

STRATİGRAFI İLKELERİ

DERS NOTLARI*

Prof. Dr. Faruk Ocakođlu

Eskişehir Osmangazi Üniversitesi
Jeoloji Mühendisliđi Bölümü
Eylül-2013

*Bu ders notları “The Key to Earth History” adlı bir İngilizce ders kitabının bir kısmının tarafımdan yapılan çevirisine yine benim yaptığım küçük eklemelerden oluşur. *Doyle, P., Bennett, M.R., Baxter, A.N., 1994. The Key to Earth History, An Introduction to Stratigraphy. John Wiley and Sons., Inc., New York, 231 pp.*

İÇİNDEKİLER

	Sayfa no
Stratigrafinin Geçirdiği Evrim Üzerine Bazı Notlar	3
Stratigrafiye Başlayabilmek İçin En Az Bilgi	5
Stratigrafinin Temel İlkeleri	9
Katastrofizim ve Uniformitariyanizm	9
Olayların sırasının kurulması	11
Süperpozisyon	11
Bağlı yaş kavramının anlaşılması	11
Uyumsuzluklar	12
Walter Yasası	13
Jeolojik Zaman	15
Jeolojik zaman çizelgesi nasıl oluşturuldu?: tarihsel perspektif	15
Jeolojik Zamanın Kurulmasında Biyostratigrafi	16
Jeolojik kayıta olaylar	20
Olay stratigrafisi	20
Kronostratigrafik ölçek	22
Mutlak jeolojik Yaş	24
Radyometrik yaşlandırma	24
Radyometrik yaşlandırma yöntemleri ve sınırlılıkları	26
Litostatigrafi Birimleri	28
Biyostratigrafi	33
Manyetostatigrafi	sonra
Stratigrafik kaydın yorumlanması	40
Bağlı Deniz Seviyesi, Fasiyeler ve Sekans stratigrafisi	43
Sedimanter havzaların evrimi ve kapanması	51

STRATİGRAFİ VE GEÇİRDİĞİ EVRİM ÜZERİNE BAZI NOTLAR

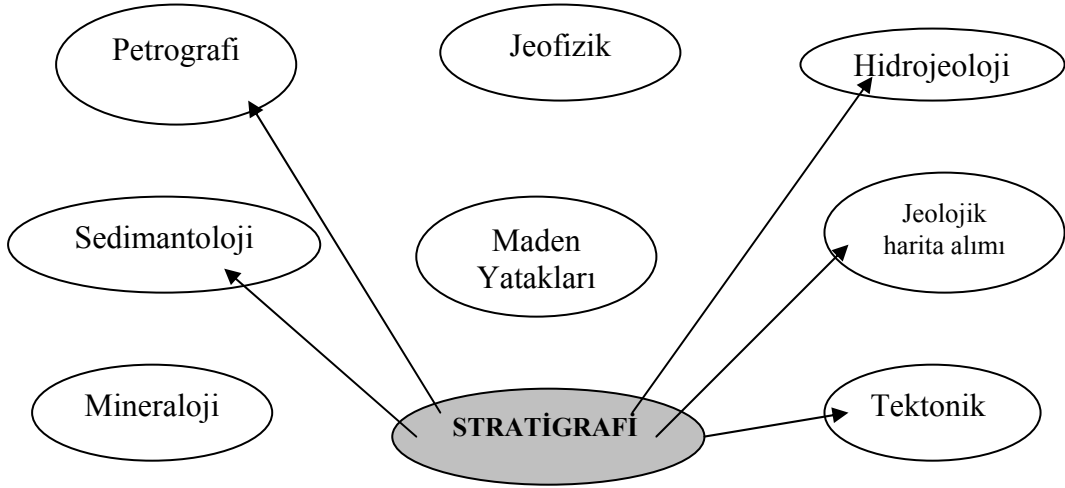
Bazı ders kitaplarında stratigrafi ve sedimantolojinin bir kitap hacmine sıkıştırıldığına tanık oluyoruz. Bu durumlarda önce sedimantoloji dersinin müfredatı (sedimanter kayaçların oluşum süreçleri, ortamları, özellikleri vb.) ele alındıktan sonra stratigrafiye geçilir. Bu bölümde stratigrafi başlığı altında sedimanter kayaçların litoloji, fosil içeriği, yaş, jeofizik özellikler vb. temelinde gruplanmış paketlerinin geometrisi, düşey ve yanal yayılımı incelenir. Ancak, pratik göstermektedir ki, eğitimde tündengelim yöntemi, anlamada kolaylık sağlamaktadır. Önce stratigrafinin anlatılması, ve ardından sedimantolojiye geçiş, öğrencide anlama kolaylığı sağlamaktadır. Bu durum, çocuklara okuma yazma öğretilirken önce cümlelerin ezberletilmesi, oradan aşağı doğru daha küçük yapılara geçilmesi durumunda da tekrarlanmaktadır.

Şu halde stratigrafi, dar anlamda, tabakalı kayaçların yukarıda belirtilen özellikler (litoloji, fosil içeriği, yaş, jeofizik) temelinde gruplanma esaslarını, böylece gruplanmış paketlerin geometrisini, düşey ve yanal devamlılığını ele alan; bunların arkasındaki gerçekliği ortaya koymaya çalışan bilim dalıdır, diyebiliriz.

1960'lara kadar stratigrafi daha çok stratigrafik adlandırmayla ve stratigrafik birimlerin birbirleriyle ilişkileriyle uğraşıyordu. Bunlardan **litostratigrafi** katmanların litolojileri (kaya türleri) ve fiziksel özellikleri ile, bunların litoloji temelinde düzenlenmesi ile uğraşır. Biyostratigrafi, kaya birimlerinin içerdikleri fosiller temelinde incelenmesi, organizasyonu (bu fosiller nelerdir? En bol hangi seviyelerde bulunur? Yanal yönde nereye kadar uzanır? Dikey yönde -yani zaman içinde- ne zaman ilk kez gözükür ve ne zaman ortadan kalkar? vb.) ile uğraşır. Bu iki çalışma alanı klasik stratigrafinin omurgasını oluşturur, günümüzde standart olarak incelenir. Bugünün öğrencileri bunun ötesine geçerek stratigrafik ve sedimantolojik ilkeleri kayaçlara yeri geldiğinde levhalar ölçeğinde uygulayabilmelidir. Bu ise stratigrafinin yeni bazı dallarına aşına olmayı gerektirir. Örneğin 1970'lerin sonlarında ortaya çıkan sekans stratigrafisi kavramını öğrenmemiz gerekir. Dünyanın ve üzerindeki kayaçların özellikle sedimanter evrimini kavrayışımızı iki önemli katkıya, **manyetostatigrafiye** ve **sismik stratigrafiye** borçluyuz. Bunları da anlamak durumundayız. Stratigrafi, rutin bir işlemin ötesinde, aslında bir detektiflik bilimidir. Kayaçlar yer tarihinin ve onu şekillendiren süreçlerin kendilerinden çıkarabileceği ipuçlarıdır. Her bir tabaka, geçmişteki belirli bir zamanda dünyanın coğrafya, iklim ve ekolojisine ilişkin bir ipucu taşır.

Stratigrafinin görevi, tabakalardan oluşan bir istif gözlemek, tanımlamak, yorumlamak; böyle bir istifin başka kaya türleri ile ilişkisini belirlemektir. Böylece geçmişteki olay ve süreçleri ortaya çıkarmaktır. Böylece stratigrafi, yeryüzünün zaman ve mekan içindeki evrimini incelemiştir.

Jeolojide zamanın incelenmesi, stratigrafinin incelenmesidir. Şu halde, geniş anlamıyla stratigrafi, gezegenimizde olup biten her şeyi kaplar. Bütün jeologlar uzmanlıkları ne olursa olsun stratigrafinin uygulayıcılarıdır. Şekil 1 stratigrafi dersinin müfredatımızdaki diğer derslerle ilişkisini göstermektedir.



Şekil 1: Stratigrafinin diğer bilimlerle ilişkisi

STRATİGRAFİYE BAŞLAYABİLMEK İÇİN EN AZ BİLGİ

KAYAÇ ÇEVİRİMİ

Yerküre farklı kayaç türlerinden oluşmuştur. Bu kayaçlar öngörülebilir bir şekilde birbirlerine dönüşürler. Bu dönüşüm büyük oranda yer kabuğu ile kısmen astenosfer içinde gerçekleşmektedir. Magmatik kayaçlar, birincil kayaçlardır. Yeriçinden türeyen eriyik malzemenin (magma) kristalleşmesinden

oluşurlar. Bunlar soğuma hızına göre oldukça farklı dokulara sahip olabilirler.

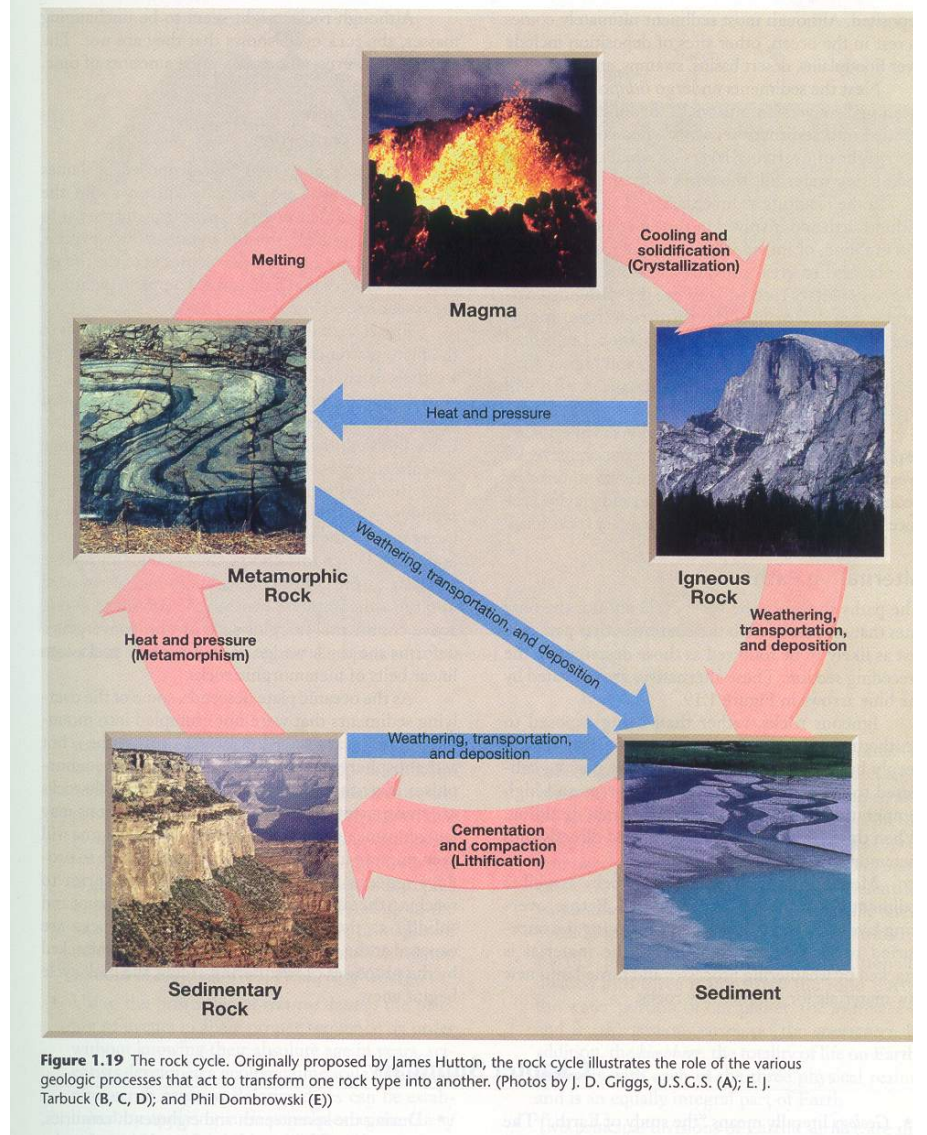
Bazıları yüzeyde bazıları da yerin derinliklerinde oluşan bu kayaçlar yüzey koşullarıyla buluştuklarında

kırılanmaya ve bozunmaya başlarlar.

Böylece oluşan kırıntılar değişik etmenlerle sedimanter havzalara taşınırlar, oradaki taşlaşma süreci sonucunda sedimanter kayaçlara dönüşürler. Bir kısım sedimanter kayaç ise birincil kayaçlardan

çözünmüş iyonlardan ibaret doğrudan sudan çökelirler (karbonat ve evaporitler), yada bitkisel materyalin bozunup dönüşmesinden (kömür) oluşurlar.

Hem magmatik hem de sedimanter kayaçlar yüksek basınç ve sıcaklığa maruz kaldıklarında mineralleri ve görünüşleri değişir. Bu süreç sonunda metamorfik kayaçlar oluşur.



Şekil 2: Kayaç çevrimi

KAYAÇ KÜTLELERİ: Kırıklar ve kıvrımlar

Yerkabuğunu oluşturan kütleler tabakalı ya da masif olabilirler. Sedimanter kayaçlar genelde tabakalı iken magmatik ve metamorfik kayaçlar bazen tabakalı görülmelerine karşın çoğunlukla masif kristalen kütleleridir.

Yerkabuğunu oluşturan kayaçlar çoğunlukla kabuk ölçekli levha hareketlerinden kaynaklanan gerilimler yüzünden şekil ve hacim değiştirirler, deforme olurlar. Bu deformasyon

kıvrımlar şeklinde (sedimanter kayaçlardaki plastik bükülmeler) ortaya çıkabilir. Böylece antiklinal, senklinal ve monoklinaller oluşabilir (Şekil 3) . Kayaçlar kırılğan bir deformasyona da uğrayabilirler. Bu kez faylar ve eklem sistemleri ortaya çıkar (Şekil 4) .

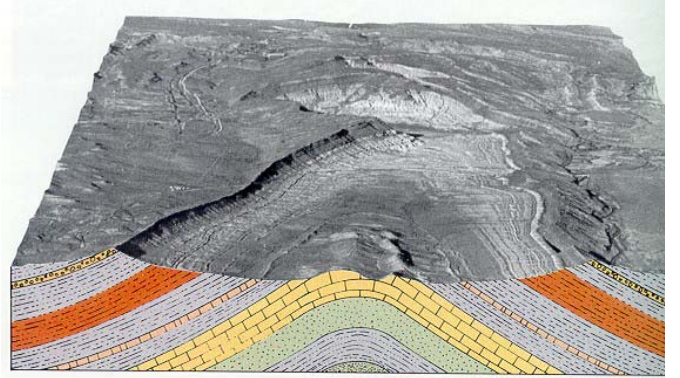


Figure 20.11
A plunging fold is commonly expressed at the surface by a series of alternating ridges and valleys. In the plunging anticline shown here, the surface trace of the beds forms a V pointing in the direction of plunging with the oldest rocks in the center of the fold. The subsurface configuration of a fold can be determined by careful study of the surface layers.

Şekil 3: Bir kıvrımın kesit ve topoğrafyada görünümü

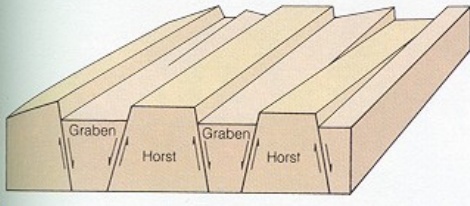
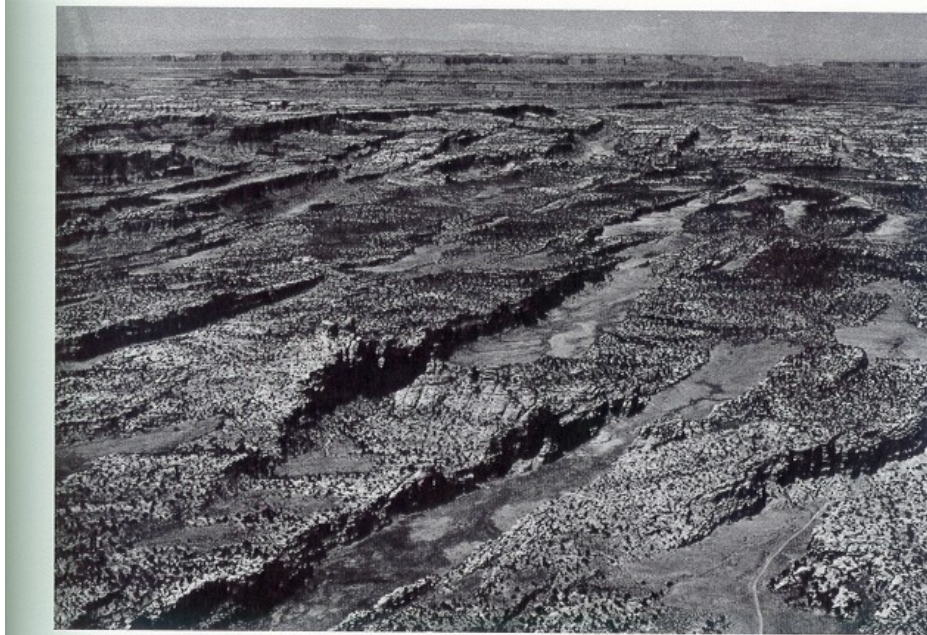


Figure 20.16
Horsts and grabens in Canyonlands National Park, Utah, are clearly expressed at the surface. Grabens (down-dropped blocks) form elongate valleys, which are partly covered with a smooth flat veneer of sediment. Horsts (upraised blocks) form elongate ridges. Relative movement along the major faults is shown in the idealized diagram.

Şekil 4: Fayların arazide görünüşleri

MAGMATİK KAYAÇ KÜTLELERİ

Intrüzif ve Ekstrüzif Magmatik Kayaçlar

Magmatik kayaçlar yerkabuğunun 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) kayaçların, erimiş kayaçların soğuması ile oluştuğuna işaret edilmişti. Pek çok kanıt magmatik kayaçların 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 oluştuğundan sonra, magma kütlesi yüzeye doğru yükselir, çünkü yoğunluğu çevre kayaçlarından daha azdır. Erimiş kayaçların yüzeye çıktığı noktalarda görkemli volkanik patlamalar oluşur. Yüze ulaşan magmaya lav denir. Bölüm kapağı sayfasında görülen lav çeşmeleri (İng. lava fountain) , gazlar kaçarken erimiş kayaçları 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 kayaçların yüzeyde soğumasıyla oluşan magmatik kayaçlara **ekstrüzif** veya **volkanik kayaçlar** denir. Ekstrüzif kayaçlar kuzey ve güney Amerika'nın batı kesiminde ve diğer pek çok kıtada yaygındır. Anadolu'da da bu tür kayaçlar çok yaygın olarak bulunur.

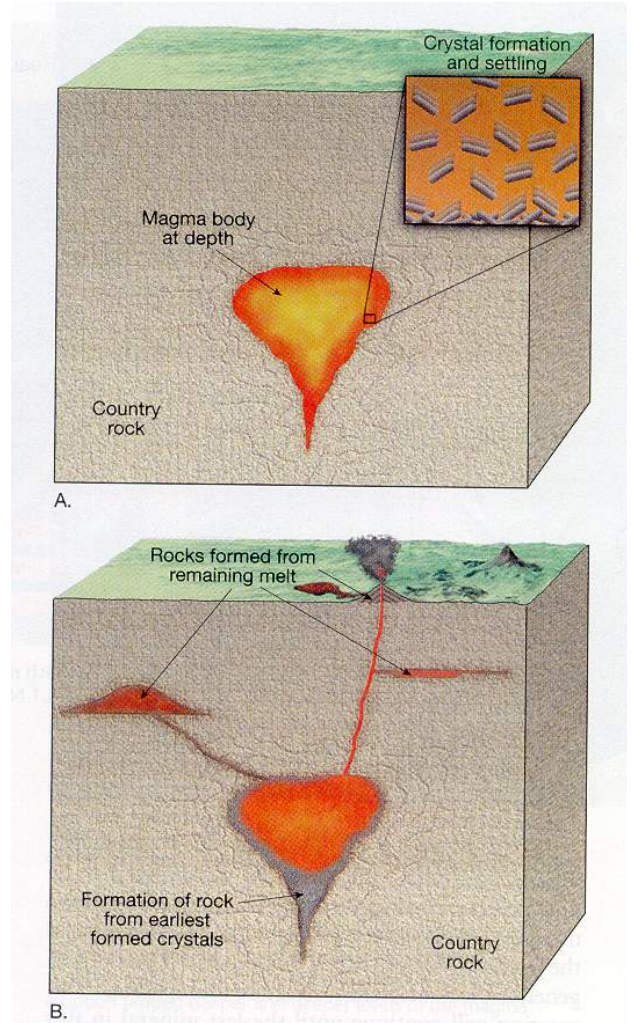


Figure 3.9 Separation of minerals by crystal settling. A. Illustration of how the earliest-formed minerals can be separated from a magma by settling. B. The remaining melt could migrate to a number of different locations and, upon further crystallization, generate rocks having a composition much different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

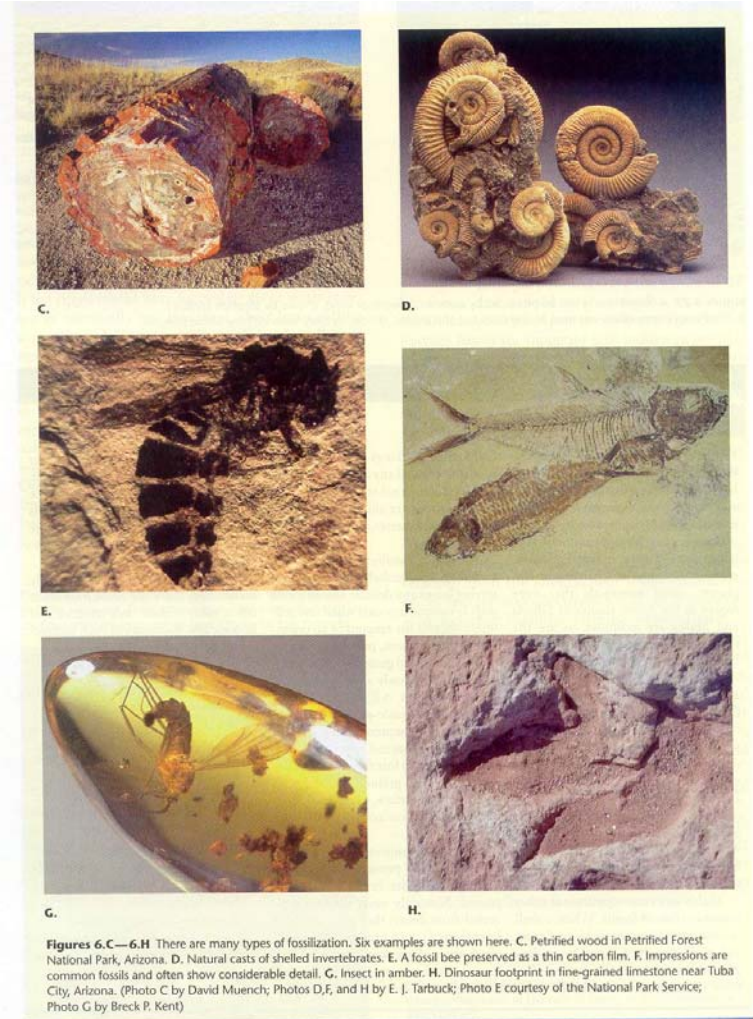
Şekil 5: Magmatik kayaçların türemesi ve oluşması

FOSİLLER VE KORUNMALARI

Fosiller, bir zamanlar yaşayan bitki ve hayvanların kalıntılarıdır (Şekil 6) . Fosillere genellikle “taşlaşmış” (ing. Petrified) denir, ancak bu süreç genellikle iyi bilinmez. En yaygın fosiller denizlerde yaşayan ve sert iskeletimsi parçaları ve yumuşak dokuları olan bitki ve hayvanlardır. En ender rastlanan fosiller karada yaşayan, iskeletleri kolayca kırılabilen yaratıklara aittir. Fosil kaydı şaşırtıcı ölçüde eksiksizdir. Hatta pek çok enfes örnekte en nazik bitki ve hayvanlar bile korunabilmiştir.

Fosilleşme sürecinin üç aşaması vardır.

- 1- Önce bitki veya hayvan olur. Ölüm nedeni her zaman anlaşılabilir.
- 2- İkinci olarak fosil gömülmelidir, yani üstü sedimanlarla örtülmelidir. Eğer gömülme hızlı olmazsa artıklarla beslenen canlılar (yırtıcılar ve ardından çürükçül bakteriler) yumuşak dokuları yok edecek rüzgar ve su da iskeletimsi bölümlerin ufalanmasına yol açacaktır.
- 3- Bir kez gömüldükten sonra bir dizi süreç organik maddeyi mineral maddeye dönüştürecektir. Uygun kimyasal koşullarda dokular ve iskeletimsi madde bozulmadan kalabilecektir. Daha yaygın olarak kavrık ve iskeletimsi malzeme mineral maddeyle kaplanacak veya büsbütün ornatılacaktır. Veya gözenek suları tarafından çözülecek ve bu boşluk başka mineral dolgularıyla doldurulacaktır.



Şekil 6: Fosiller stratigrafinin en önemli araçlarından biridir.

STRATİGRAFİNİN TEMEL İLKELERİ

1-Katastrofizizm Ve Üniformitariyanizm (Kıta Avrupasında Aktualizm)

Jeologlar, maden jeolojisinin doğuşundan (18. yy) önce yeryüzünü biçimlendiren olguların günlük basit jeolojik süreçlerden öte deprem, volkan patlaması ve sel baskını gibi aniden ortaya çıkan ve ciddi sonuçlar doğuran olaylar olduğuna inanmaktaydılar. Egemen dinsel kavrayış katastrofik yaklaşıma uygun düşüyordu. Hem dünyanın yaş tahminleri hem de Nuh tufanı gibi mucize anlatıları bu hipoteze daha da zemin hazırlıyordu.

18. yy'da katastrofizizm kavramı yeniden ele alındı. Eldeki jeolojik verilere yenilerini ekleyerek yeni ve karşıcıl bir hipotez üreten kişi James Hutton (1726-1797) oldu. 1795'te "Kanıtlı ve Resimli Yer Teorisi" adlı iki ciltlik eserini yayımladı. Hutton gözlemlerinden ibaret kayaç çevrimine ilişkin ilk ipuçlarını serimliyordu. Ona göre yüksek dağlar derece derece aşındırılıyor, aşınan malzeme denize taşınp orada birikiyordu. Hutton bu yavaş sürecin geçmişten beri devam edegeldiğini ileri sürüyordu. Bu prensip bizim bugün **üniformitariyanizm ilkesi** diye bildiğimiz, ilk kez Charles Lyell tarafından kullanılan ilkedir.

Bazı yazarlar ise bu sözcüğün ilk kez Whewell (1794-1866) tarafından kullanıldığını ileri sürüyorlar.

Lyell, bu kavrayışa bir ekleme yapmış, jeolojik geçmişte bu günkü süreçlerin üstelik aynı hızlarla "Gradualizm" çalıştığını ileri sürmüştür.

Hutton'ı özellikle İskoçya'da gördüğü bir kanıt çok etkilemiştir. Siccar point'teki bu manzara dik tabakalar üzerine uyumsuzlukla gelen yatay tabakalardan oluşuyordu. Hutton, dik tabakaların bir zamanlar dağlardan aşındırılmış çakılların denizde birikmesinden oluştuğunu, başlangıçta yatay çökelen bu tabakaların daha sonra eğim kazandığını ve aşındırıldığını



Şekil 7: James Hutton çağdaş jeolojinin tartışmasız kurucusudur.



Şekil 8: Charles Lyell, Darwin'in çağdaşı önemli yerbilimcilerden biridir.

açıklıyor. Aşınan kırıntılar bu kez yeniden yatay olarak eskilerin üzerine birikiyorlar. Böylece, yükselme, erozyon ve aşınma çevriminin ilk kez farkına varılıyor. Üniformitariyanizm güçlü bir prensip olmakla birlikte gerçekliği tam olarak yansıtmamaktadır. Örneğin uzun zaman aralıklarıyla oluşan güçlü fırtınaların oluşturduğu sedimantasyon etkilerini, Kretase-Tersiyer sınırında (günümüzden yaklaşık 65 My. önce) meteor çarpması etkisini, Devoniyen öncesi bitkisiz karaların durumunu, Kambriyen atmosferini, son buzul dönemini ve Kuvaterner'de bunun dört kez tekrarlandığını biliyoruz.

Bütün bunlar bir insan ömründe rastlanılacak şeyler değildir ve doğaları ve yarattığı sonuçlar itibariyle katastrofiktir (afet gibidir). Çağdaş jeoloji kavrayışımız, jeolojik kaydın yer yer katastrofik olayların (yani çok hızlı gelişen olayların) izlerini taşıdığını kabul etmektedir. Gradualizm, yani geçmişteki olayların bugünkülerle aynı hızda geliştiği düşüncesi bugün taraftar bulamamaktadır.

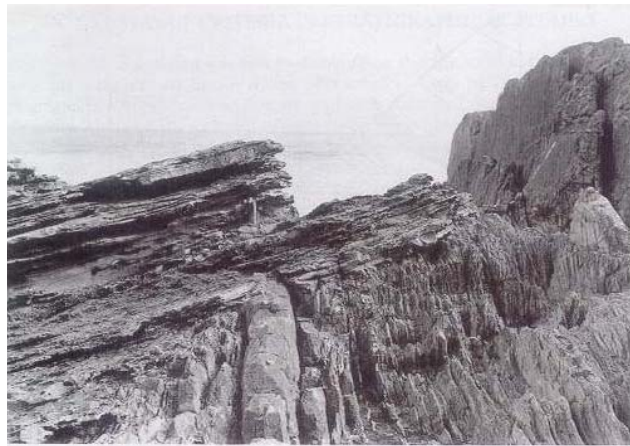


Figure 3.7 Photograph of Hutton's unconformity at Siccar Point, Berwickshire, southern Scotland. Inconformity of Upper Old Red Sandstone (Devonian) on the vertical Silurian greywackes and shales. [Photograph: BGS]

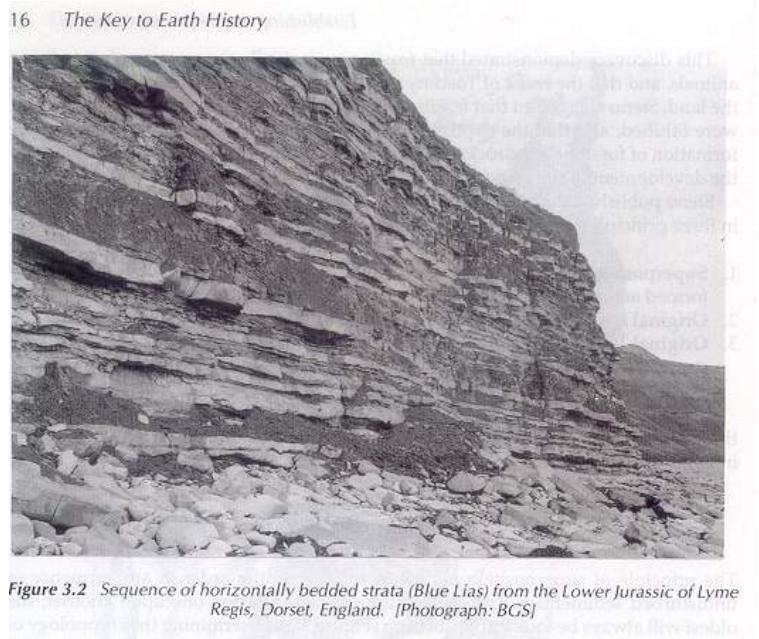
Şekil 9: Hutton'a üniformitariyanizm ilkesi için ilham olan Siccar Point uyumsuzluğu

OLAYLARIN SIRASININ KURULMASI

Stratigrafi, yerkabuğunda saklı bulunan jeolojik kayıtları, zaman içerisinde gerçekleşen olayların sırası şeklinde yorumlanması demektir. Kayaların üst üste dizilmesi olayların art arda dizilmesi anlamına geldiğinden bu olayların bağıl derecelerini anlayıp yorumlamak için bazı araçlara sahip olmamız gerekmektedir. Aşağıda bunlardan ikisi verilecek ve araziye nasıl uygulandığı gösterilecektir.

Süperpozisyon ilkesi

Biri diğerinin üzerine gelerek istiflenmiş, örselenmemiş (yani ilksel yatay konumlarını yitirmemiş) sedimanter kayaçların düzenlerinin anlaşılmasını sağlayan ilkedir. Bu, üst üste gelen sedimanter kayaçların göreceli yaş ilişkilerini ortaya çıkarır. İlke, örselenmemiş bir istifte alttaki tabakanın (her bir tabakanın geçmişteki kısa veya uzun bir olay sonucu oluştuğu unutulmamalıdır) üsttekenden daha yaşlı olduğunu öngörür (Şekil 10).



Şekil 10: Bir yatay tabakalanmalı katmanlar dizisi

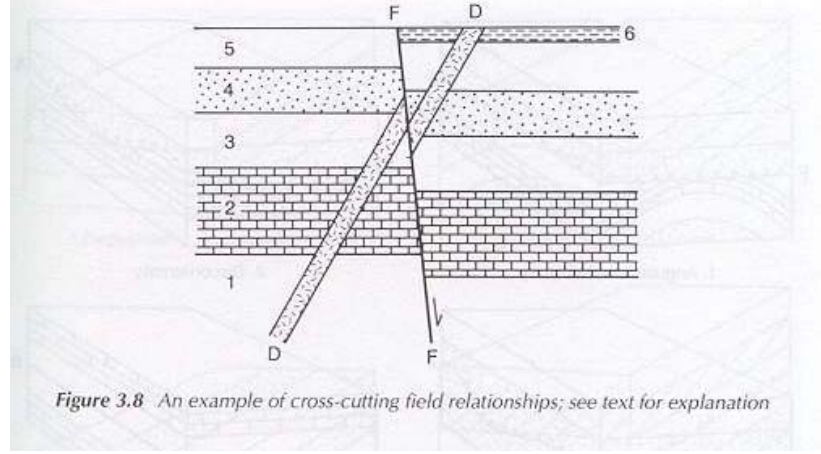
Kayaçların kabuk kuvvetleri nedeniyle kıvrılıp kırıldıkları, örselendikleri durumlarda da süperpozisyon ilkesi belli bir güvenilirlikle kullanılabilir. Bu durumda tabaka alt ve üstlerine işaret eden ve daha kayaç oluşurken gelişen bir dizi *sedimanter yapıdan* yaralanılarak kıvrımlı, ancak kendi iç düzeni bozulmamış istifin normal mi yoksa devrik mi olduğuna karar verilir.

Ancak süperpozisyon ilkesi karmaşık jeolojik yapıya sahip bir alanda yalnız başına stratigrafik sorunların çözümüne yetmez. Bu durumda birbirini kesme ilişkisi yerasından ve uyumsuzluklardan yararlanır.

Bağıl Yaşlandırmanın Anlaşılması

Yalnızca süperpozisyon ilkesi karmaşık jeolojiye sahip arazilerde olayların sırasının ortaya çıkarılmasına yetmez. Bu araziler, karmaşık tektonik geçmişleri yüzünden tabakaları çoğunlukla

eğimli konumda hatta devrik olarak içerirler. Böyle arazilerde jeolog, jeolojik birimlerin kronolojisini, dolayısıyla jeolojik olayların sırasını ortaya çıkarmak için daha hassas araçlara ihtiyaç duyar. Bu araçlardan ikisi aşağıda verilmiştir.



Şekil 11: Arazide birbirini kesme ilişkisini gösterir bir şematik kesit.

Birbirini kesme ilişkisi yasası (cross-cutting relation principle)

Bu yasa ilk kez Hutton tarafından farkına varılmıştır. Yasa, istifleri kesen jeolojik özellik ve yapıların (faylar, magmatik intrüzyonlar gibi) istiflerin kendisinden daha genç olduğunu ileri sürer (Şekil 11). Birbirini kesme ilişkisi, jeolojik kaydın stratigrafik değerlendirilmesinde son derece kullanışlı bir yasadır.

Uyumsuzluklar

Uyumsuzluklar bağıl kronolojinin kurulmasının yanı sıra kayaç istifleri arasındaki zaman boşluklarının varlığını da ortaya koyarlar. Bu zaman boşlukları pek kısa olabileceği gibi çok uzun da olabilir. Stratigrafik kayıta farklı nedenlerle oluşan dört tür uyumsuzluk tanımlanabilir.

- 1-Açısal uyumsuzluk
- 2-Diskonformite
- 3-Non-konformite
- 4-Parakonformite

Hutton'un Siccar Point'te gözlediği (Şekil 9) uyumsuzluk pek güzel bir ***açısal uyumsuzluk*** örneğidir. Görüleceği üzere burada uyumsuzluğun (ki bu bir düzlemdir!) altında ve üstündeki tabakaların eğimleri farklıdır. Böyle bir uyumsuzluk çökeltme, deformasyon, yükselme, aşınma, çökeltme olayları dizisinin bir sonucu olarak gelişmiştir. Diğer uyumsuzluk türleri biraz daha belirsizdir. Bunlardan ***diskonformitede*** alttaki ve üstteki tabakalar birbirine paralel olmakla birlikte uyumsuzluk düzlemi, üzerinden bir miktar sedimanın aşındırılıp götürüldüğü düzensiz bir seviyeye

karşılık gelir. Böyle bir durum en yaygın olarak deniz seviyesini ani olarak düşmesi, bunu izleyen aşınma en sonunda deniz seviyesinin yeniden yükselmesiyle sediman birikimi ile oluşur.

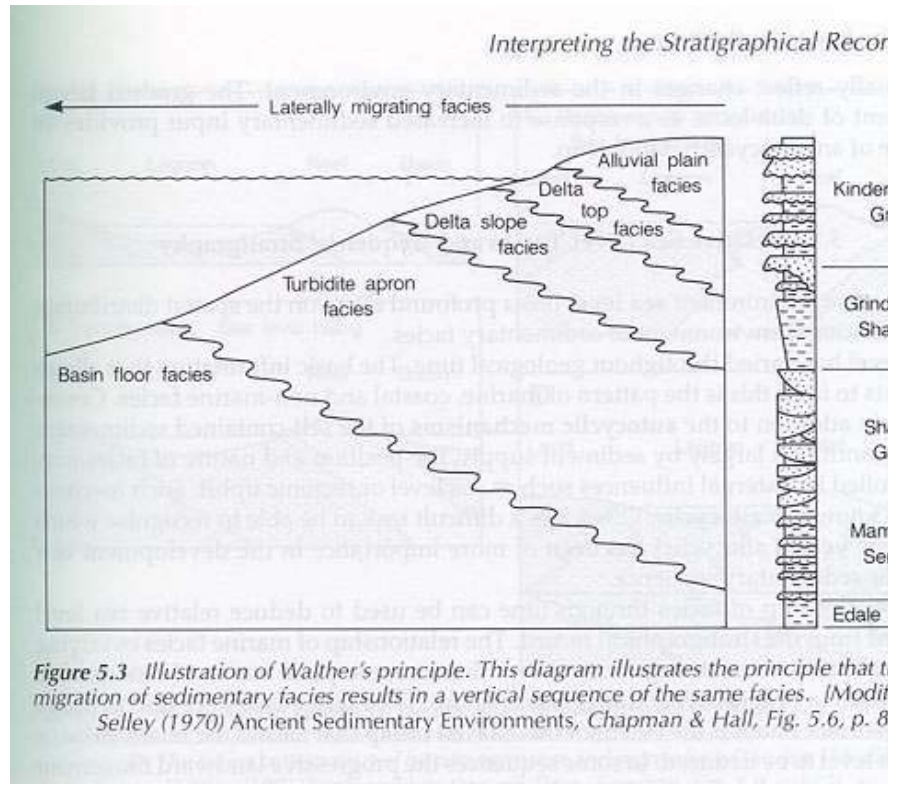
Nonkonformite,

tabakalı kayalar bir kristalin temeli (yani bir magmatik ya da metamorfik kütle) sedimentar olarak üzerlemişse ortaya çıkar.

Parakonformite (ya da **diyastem**), üstteki üç uyumsuzluk türünden farklı olarak aşınma nedeniyle oluşmaz. Bir lokalitede, sedimentasyon hızı aşınma hızına eşitse, yani net sediman birikimi ya da aşındırması yoksa bu stratigrafik seviyeye parakonformite adı verilir. Parakonformitenin temsil ettiği zaman dilimi birkaç saatten birkaç milyon yıla kadar ulaşabilir. Her bir tabakanın tabanı bir parakonformite olarak düşünülebilir. Fakat asıl karakteristik parakonformiteler daha geniş zamanları (10 bin-100 binlerce yıl) kapsayanlardır. Bunlar karakteristik olarak sekans stratigrafik çerçevede ayırt edilirler.

Walther Yasası

Henüz 1894'te Johannes Walther tarafından formüle edilen bu yasa sedimentar kayaların birbirleri ile yanal geçiş ilişkilerinin varlığını, ve bu yanal geçişlerin, zaman içinde farklı fasiyelerin düşey dizilimine neden olacağını ifade eder (Şekil 13). Bundan daha önce bazı paleontologlar, aynı fosil topluluğunu içeren birbirine komşu farklı türden kayaların varlığını



Şekil 13: Walther yasasının bir doğrulaması. Çizim, sedimentar fasiyelerin yanal geçişinin aynı fasiyelerin dikey dizilimine de yolaçacağını gösteriyor.

saptamışlardı. Walther, güncel sediman çökelme ortamlarındaki gözlemlerde çökelme ortamlarının yeryüzündeki konumlarının sabit olmadığını, tersine zamanla yer değiştirdiğini göstermiştir.

Bunun güzel örneği, zaman içinde gelişen menderesli akarsuların yer değiştirmesidir. Walther, çökelme ortamı yer değiştirdikçe komşu ortamlarda oluşmuş sedimanter fasiyeslerin (tabakaların) de zaman içinde düşey profilde birisinin diğerinin üzerine geleceğini saptamıştır ki, bu sedimantolojik/stratigrafik çalışmalarda yorumlamalarda son derece önemlidir. Walther yasası, fasiyesler arasındaki ilişkilerin sedimantolojik olduğu otosiklik durumlarda (örneğin delta loblarının yanal yönde hareketi) uygulanabilmektedir.

JEOLJİK 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.

Jeolojik Zaman Çizelgesi Nasıl Oluşturuldu?: Tarihsel perspektif

Kronostratigrafik birimlerin sistematik olarak isimlendirilmeye başlanması, Britanya coğrafyasının William Smith tarafından 1815 yılında tamamlanıp elle boyanan jeolojik haritalarından sonra ortaya çıkmıştır. İlk isimlendirilen periyodlar, 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'Omalus 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 Devoniyen 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 kayalar 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 kayalar için kullanılmıştı.

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

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 Paleosen'i (Paleo:eski, yaşlı köklerinden) öneriyor.

1846'da Edward Forbes Lyell'in yeni Pliyosen'i yerine Pleistone '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 da, 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 ayırtıyor. Araştırmacının bu bölümlenmesi, onun aynı zamanda Jura faunası üzerinde (bunu 10 evreye bölüyor) ne denli kapsamlı bilgi birikimine de sahip olduğunu gösteriyor. Ancak, bugünkü

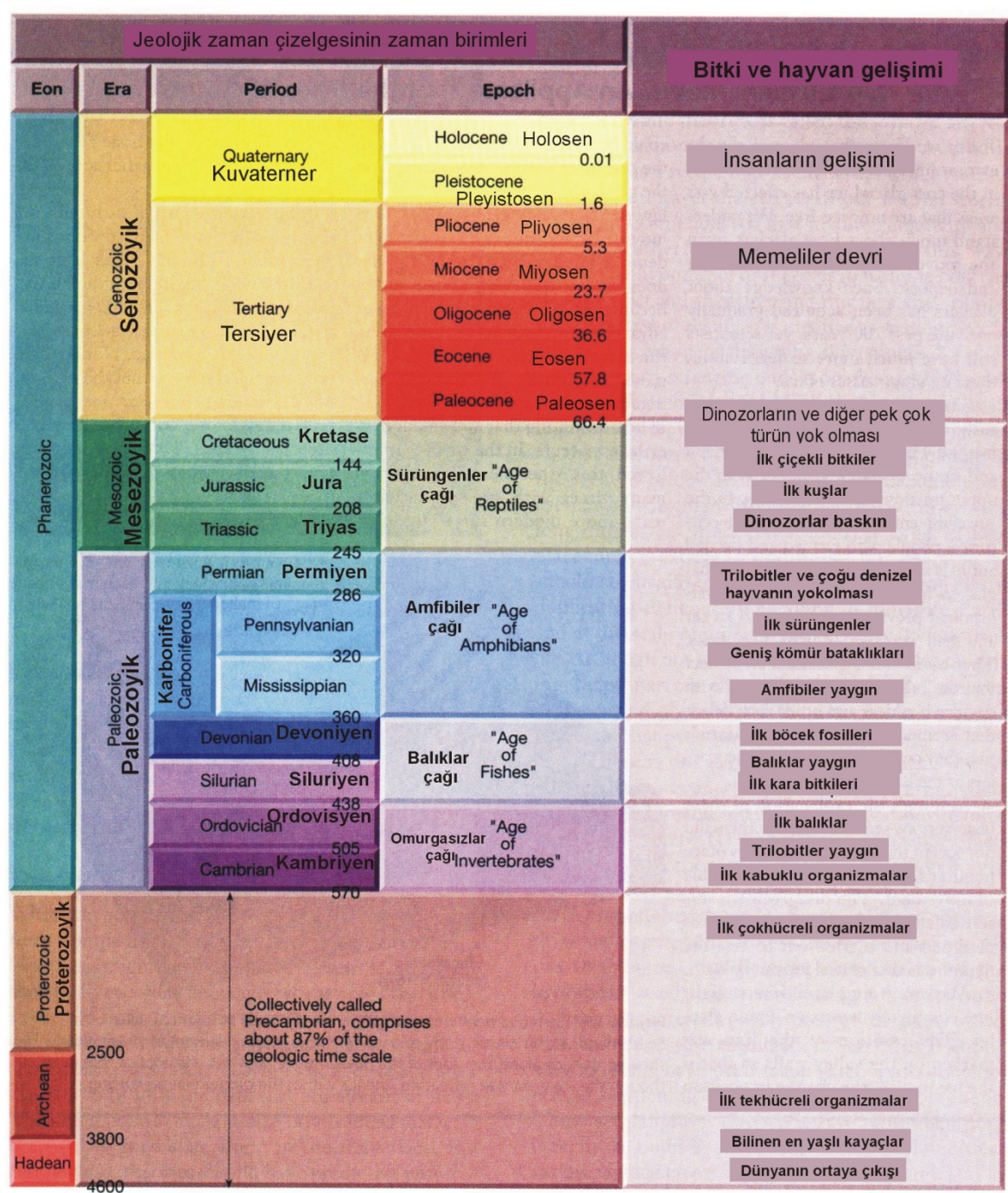


Figure 1.7 The geologic time scale. Numbers on the time scale represent time in millions of years before the present. These dates were added long after the time scale had been established using relative dating techniques. The Precambrian accounts for more than 85 percent of geologic time. (Data from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

Şekil 14: Standart bir Jeolojik Zaman Çizelgesi

bilgilerimiz. çerçevesinde d'Orbigny'in bu bölümlemesi ardındaki felsefeye baktığımızda onun inanç sisteminden kaynaklanan ciddi hataları görüyoruz.

D'Orbigny, "Cours elementaire de paleontologie et de geologie 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 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

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. Conchylarian
	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).

Şekil 15: D'Orbigny'nin 1840'larda yaptığı kaya birimleri sınıflaması. Çoğu jeolojik kat adının daha o zaman bilindiğine dikkat ediniz.

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 grupları 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 Amans Gressly tarafından iki farklı durum için kullanıldı. Bunlardan ilki herhangi bir kaya biriminin belirli 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.

JEOLOJİK KAYITTA OLAYLAR

Sedimanter kaydın, çoğunlukla, belirli bir zaman dilimi boyunca tedrici (ing. Gradual) bir birikimle oluştuğuna inanılır. Genel süreçlerin ve ortamların daha yakından incelenmesi ise, sedimanter kaydı oluşturan bazı çökellerin aslında kısmen hızlı bir şekilde çökeldiğini göstermektedir. Jeolojik zamanın enginliğini dikkate aldığımızda bu çökeltmenin “anlık” olduğunu bile söylemek mümkündür. Bu tür çökeller çoğunlukla *özel çökeltme olayları* ile ilişkilidir. Doğaları gereği bu *olay seviyeleri* zaman konusuna açıklık getirirler, ve stratigrafik istifin bağıl yaşının saptanmasında bağımsız bir araç olarak önemlidirler.

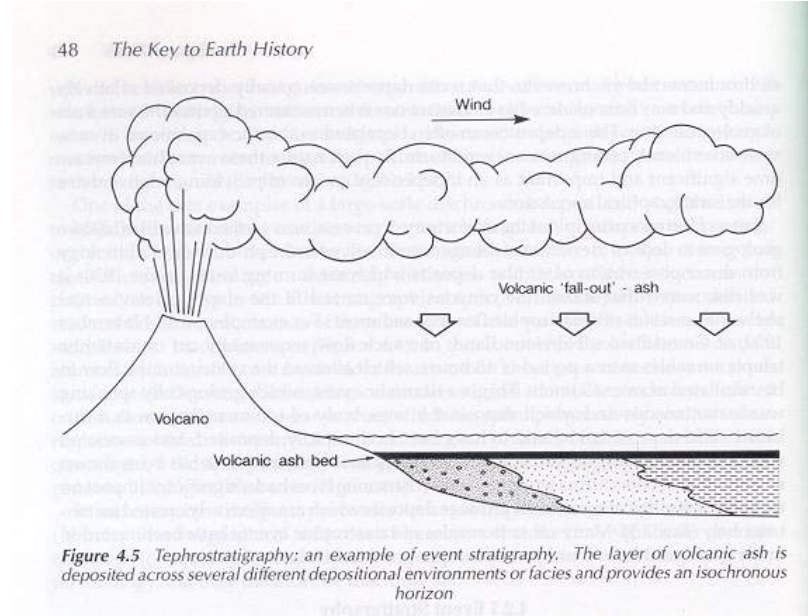
James Hutton’ın süreçlerin tekdüzeliği ilkesi, ki şimdi buna aktüalizm diyoruz, jeologlara belirli bir kayatürünü oluşturan ajanların (amillerin) doğasını, günümüzde oluşmakta olan benzer çökelleri doğrudan gözleyerek tahminde bulunma olanağını sağlamaktadır. 1930’larda kıta şelfi yamaçlarındaki denizaltı kanyonlarının katastrofik (afet benzeri) sediman akışları sonucu oluştuğu keşfedildi. Örneğin 18 Kasım 1927’de Grand Bank (Newfoundland-Doğu ABD) böyle bir akış transatlantik telefon kablolarının 13 saatlik bir süre içinde kademeli olarak kesti. Bu, akış hızının 45 knot (90km/saat) civarında olduğunu gösteriyordu. Bu, jeolojik olarak konuşursak, çok anlık bir olaydı, ve türbidit olarak bilinen çok miktarda sedimanı çökeltmişti. Bu çökellerin (türbiditlerin) hem ani çökeldiğini, hem de özel olaylarla (burada türbidit akıntılar) ilgili olduğu söylenebilir. Bir başka örnek olarak sedimantolojik kayıta önemli etki yaratan ve neredeyse bir anda sedimanların çökmesine yolaçan güçlü fırtınalardan ve dev dalgakardan (tsunamiler) söz edebiliriz. Bunlardan başka çok çeşitli katastrofik olaylar jeolojik kayıta gizlidir ve önemli seviyeleri teşkil ederler.

Olay Stratigrafisi

Katastrofik olayların ürünleri jeolojik olarak bir anda oluştururlar/biriktirilirlere ve bu yüzden stratigrafik kolonda zaman çizgilerini göstermek için kullanılabilirler. Bunların çalışılması ise olay stratigrafisi adını alır.

Olay seviyelerinin değeri, bunların yayılım gösterdikleri alan boyunca aynı zamanda ve bir anda çökelmiş olmasından kaynaklanır. Bazı olay çökelleri, neredeyse anlıktır, saat veya dakikalar ölçeğinde çöklerler; veya kendilerini meydana getirici olaydan kısa bir zaman sonra oluşurlar (volkanik patlama sonrası küllerinin düşerek birikmesinde olduğu gibi) (Şekil 16). Bir patlamada iri parçalar önce birikirken, ince parçaların asılı halden birikmeye geçmesi için

daha çok zaman gerekir. Ancak iri ve ince partiküllerin birikmesi arasındaki zaman farkı ihmal edilebilir ölçüdedir. Şu halde, jeolojik olarak bu tür seviyeler eşzamanlı (isochronous) olarak düşünülebilir, ve şayet geniş bir alana yayılmış halde bulunuyorlarsa, bir jeolojik kesitin daha uzaktaki bir başkası ile denestirilmesinde kullanılabilir. Bazı



Şekil 16: Tefrostratigrafi, olay stratigrafisinin iyi bir örneğidir.

durumlarda, bu denestirmenin en iyi biyozon denestirmesinden daha hassas olduğu belirtilmektedir. Volkanik kül döküntüleri bazı olay seviyeler jeolojik kayıta kolayca tanınabilirler ve geniş alanlara yayılırlar. Kül döküntüsü, çok farklı ortamlarda (deniz, kara ya da göl) birikebilir. Bu seviyenin denestirilmesi böylece, çökelme sırasındaki farklı ortamların denestirilmesinde kullanılabilir. Bu sonucuyu fosiller vasıtasıyla yapmak zordur, çünkü her ortamda uygun nitelikte fosil bulunmaz. Tefrostratigrafi, bu tür volkanik çökellerin incelenmesi işidir (Şekil 16). Bu, denestirme amacıyla yaygın olarak kullanılır. Bunda her bir volkanik kül seviyesinin apayrı jeokimyasal bileşime sahip olmasından yararlanır.

Olaylar kökenlerine göre sınıflanabilir; 1- Fiziksel olaylar, 2) Kimyasal olaylar, 3) Biyolojik olaylar, 4) Bileşik (kompozit) olaylar.

Fiziksel olay seviyelerinin açık örnekleri volkanik patlamalarla üretilen tefra (veya kül) tabakalarıdır. Fırtınaların, tsunamilerin, meteorit çarpmalarının ve kütle hareketlerinin ürünleri hep fiziksel olay tabaka örneklerini oluştururlar. Daha az ani, fakat daha düzenli bir fiziksel olay olarak yer manyetik alanının terslenmesi de sedimanter ve magmatik kayaların oluşumu sırasında onlarda bazı izler bırakır. Manyetostratigrafi, bu terslenmeleri korelasyon ve yaşlandırma amacıyla kullanılır.

Kimyasal olay seviyeleri, ayrıntılı teknik olanaklar bulunmadıkça kolay tanımlanabilir seviyeler değildir. Bu seviyeler kendini, alt ve üstündeki seviyelerin ortalama değerlerinden aşırı ölçüde sapan kararlı izotop konsantrasyonları ile belli ederler.

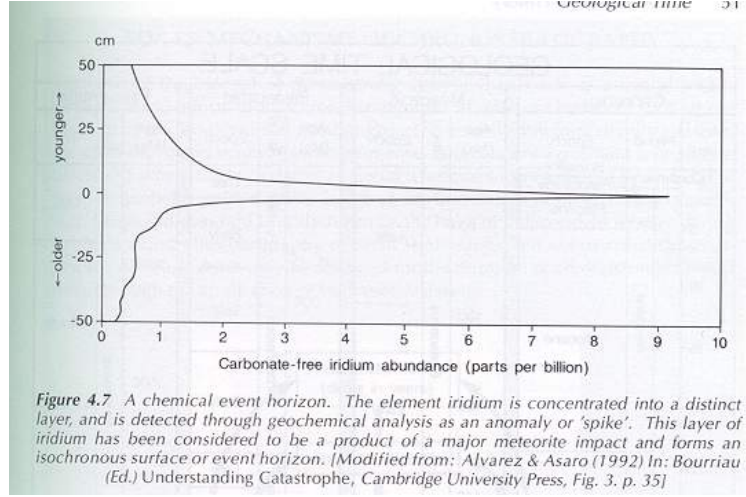
Kemostratigrafi, stratigrafide bu tür seviyeleri inceleme işidir. Bunun bir örneği Şekil 17'de gösterilmiştir. Biyolojik olaylar belirli ortamların bazı türler tarafından hızla işgal edilmesiyle veya tersine bir ortamda bulunan türlerin yokolması ile karakterize edilirler.

KRONOSTRATİGRAFI 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 jeologun 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.

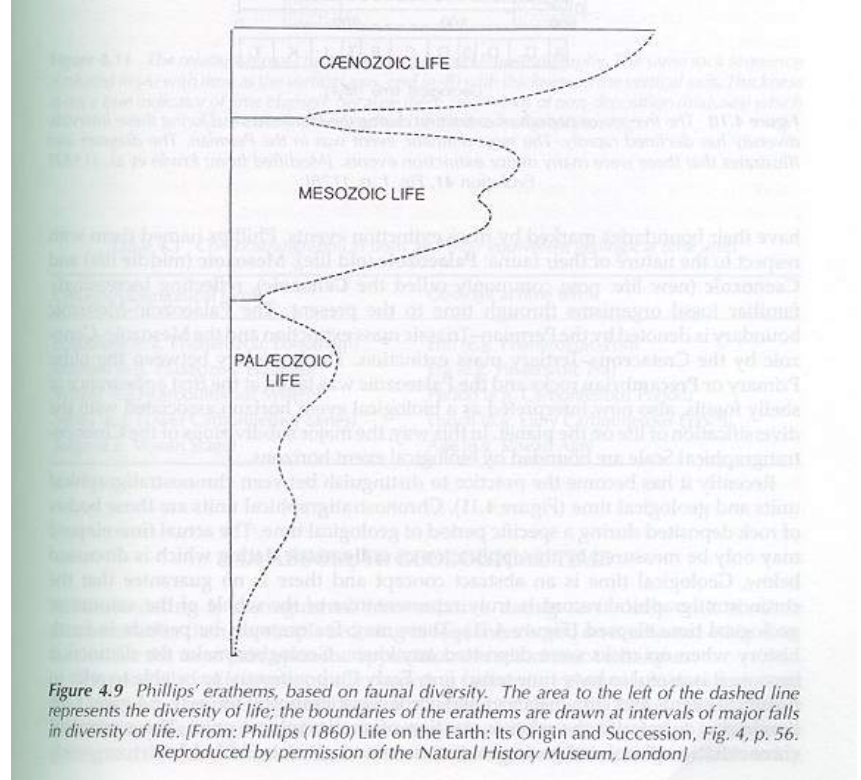
Kronostratigrafi birimlerine , bazen onları kaya-stratigrafi birimlerinden ayırmak için zaman stratigrafi birimleri adı da verilir. Kronostratigrafi birimleri bütün stratigrafi bilgisinin depolandığı bir alandır. Kronostratigrafi cetveli, jeologların bir yerlerde çalışırken gözlemledikleri kendi kaya istiflerini denestirebilecekleri 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 kayaçlardan oluşur. Sistemler başlangıçta genel litolojik benzerliklerine dayanarak belirlenmiştir. Ancak, çoğu fosil içeriği temelinde tanımlanırlar. Çoğu kronostratigrafi birim sınırı biyostratigrafi



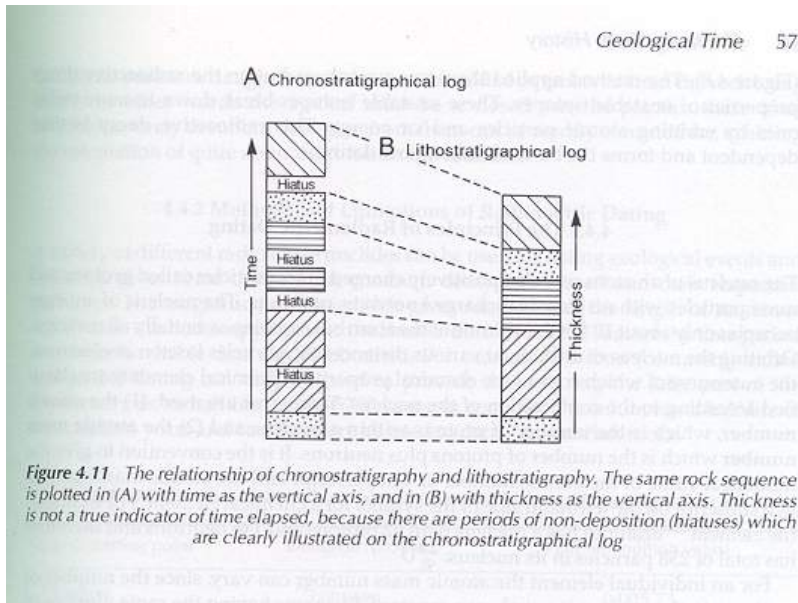
Şekil 17: Bir kimyasal olay seviyesi. İridyum elementi bir tabakada yoğunlaşmıştır.

kullanılarak tanımlanır. Diğer bazı teknikler de giderek daha sık kullanılmaktadır. Bütün 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



Şekil 18: Phillips'in faunal çeşitliliğe dayalı eratemleri. Kesikli çizginin solundaki alan hayat çeşitliliğini gösterir. Eratem sınırları hayatçeşitliliğinde büyük düşüşlerin olduğu yerlere konmuştur.



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

(1800-1874) –William Smith'in yeğeni- fosilleri içeren jeolojik kayıtları faunal 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 çökelmenin 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.

Radyoaktif yaşlandırma ilkeleri

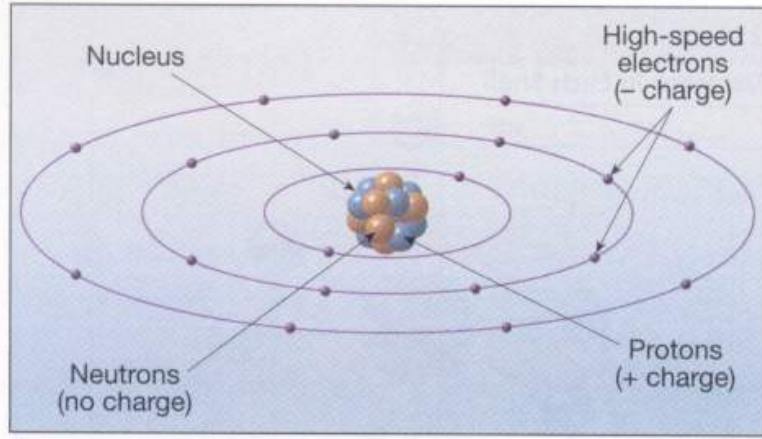
Temel atomik yapıyı gösteren iki model Şekil 20'de veriliyor. Atom, çekirdek denen bir merkezi bölgeye sahiptir. Bu bölge içinde proton (bunlar pozitif elektrikle yüklüdür) ve aynı yoğunlukta nötronlar (bunlar yüksüzdürler) bulunur. Çekirdeği, elektron adı verilen hafif partikül çevreler. Bunlar negatif 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.

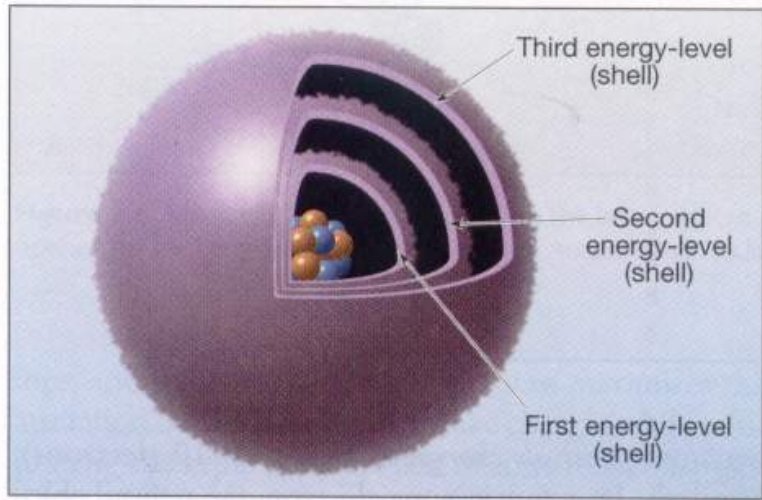
En hafif element olan hidrojen çekirdeğinde bir protonu ve onun çevresinde dönen bir elektronu içerir. Peryodik cetvelde ardarda sıralanan her bir atomun bir fazla proton ve bir fazla elektronu, ve değişen sayıda nötronu bulunur. Elektron konfigürasyonu çalışmaları

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, çekirdekteki nötronlar her zaman sabit kalmadığından, değişebilir. Aynı proton sayısına sahip ancak farklı sayıda nötron bulunduran atomlara izotop



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.

Şekil 20: İki atom modeli.

deniz. Örneğin Oksijenin iki izotopu vardır. İkisinin de 8 protonu olmasına karşın birisinin 8 diğerinin 10 nötronu bulunur. Bir elementin her izotopuna nüklit denir. Hepsi 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 (parent 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 sayıda 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 nüklitler kullanılabilir. Şekil 21, en yaygın bozunma serilerinden bazılarını ve yarılanma ömürlerini göstermektedir. Yarılanma ömrünün büyüklüğü yöntemin uygunlukla

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

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

kullanılabileceği zaman uzunluğu

Şekil 21: Jeolojik kaydın yaşlandırılmasında kullanılan bazı radyoaktif reaksiyonlar.

hakkında bir fikir vermektedir. Yarılanma ömrü ne kadar kısa ise o yöntemle güvenilir olarak ölçülecek yaş o kadar kısadır. Örneğin ¹⁴C (karbon 14 diye okunur) yalnızca Kuvaterner'in son dönemi için (50.000 yıl) uygun yaşlar verir. Buna karşın ²³⁸U Prekambriyen kayaçlarının

yaşlandırılmasında kullanılabilir. Radyoaktif yaşlandırmanın bir sınırlılığı onun neredeyse yalnız kristalin kayalara (magmatik ve metamorfik) uygulanabilir olmasıdır. Bu kayalar büyük ölçüde kapalı sistemlerdir. Radyoaktif saat, kristallenme ile birlikte çalışmaya başlamıştır. Sedimanter kayalardan elde edilecek yaşlar ise yalnızca kaynak kayaların yaşını verecektir. ^{14}C yaşlandırması sedimanlardaki organik maddelerin yaşlandırılmasında kullanılır. Duraysız ^{14}C nüklidi, atmosferin üst tabakalarında ^{14}N 'ün kozmik ışınlarla bombardımanı sayesinde oluşur. Bu radyoaktif karbon, atmosferden hidrosfer ve biyosfere uzanır. Bir kez sedimanlarda organik madde şeklinde hapsedikten sonra kapalı bir sistemdeymiş gibi davranır, ve saat çalışmaya başlar.

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

LİTOSTRATİGRAFI BİRİMLERİ

Doğada farklı türden kayaçlar bir rastgelelik içinde oraya buraya serpiştirilmiş olarak bulunmazlar. Tersine, belirli türden kayaçlar değişen kalınlıklarda paketler halinde düzenlenmişlerdir. Bu, biz jeologlar/jeoloji mühendisleri açısından anlaşılabilir bir durumdur. Sedimanter kayaçlar belirli çökme ortamlarında oluşurlar ve her çökme ortamı belirli tür kayaçları üretme eğilimindedir. Sözelimi sıcak sığ denizlerde organizma yığılımları (resifler) , dağ zincirlerinin ovalara birleştiği yerlerde daha çok alüvyal yelpaze çakılları birikmek eğilimindedir.

İşte doğadaki tabakalı kayaçalarda (sedimanter ve volkanik kayaçlar) gözlenen bu bütünlüklü kaya dizilimlerine **litostratigrafi** adı verilir. Litostratigrafi birimleri arazide kaya türleri dikkate alınarak belirlendiklerinden temel jeolojik harita birimleridir. Çünkü arazide jeoloji haritası yapmaya çıkan bir jeolog kayaçların türlerine ve görünüş özelliklerine dayanarak onları birbirinden ayırabilir, haritasına işleyebilir. Tabakalı kayaçlar dışında kalan magmatik ve metamorfik kayaçlar içinde litodem birimleri ayırtlanır.

Litostratigrafi bütün dünyadaki jeologların kavramlardan aynı şeyi anlayabilmeleri için kesin bir hiyerarşik yapı kullanılır. Yani litostratigrafi terminolojisi uluslararasıdır. Temel litostratigrafi birimi **formasyon**dur. Bu, büyük ölçüde homojen (bir veya birkaç kaya türünün aralanması şeklinde olan) , haritada açıklıkla gösterilebilecek boyutlarda bir kaya birimidir.

Kurallı Litostratigrafi Pratiği

Yeni bir araziye giren her jeologun ilk işi varolan kayaçların dizilimini anlatmaktır. Bu, üç şeyi içerir ; 1) Kayaçların (litolojilerin) ayrıntılı gözlem ve tanımlanması 2) Geleneklere uygun olarak stratigrafik birimlerin oluşturulması 3) Bunların uzayda dağılımlarının belirlenmesi. İşte bu üç olayı içeren süreç litostratigrafinin konusudur.

Litostratigrafi, kayaçların belirli kurallar uyarınca tanımlanması ve zaman ve uzayda başkaları ile karşılaştırılmasıdır. Bu, jeolojik kaydın yorumlanması için gerekli ham veriyi sağlar. Bu, bir araziden diğerine stratigrafik kaydın karşılaştırılarak bölgesel jeolojik resmin inşa edilmesi süreçlerinin temelini oluşturur. Bu, aynı zamanda bir alandaki ile başka biri arasında kayaçların zaman ilişkilerini saptamanın ilk evresini oluşturur.

Litostratigrafi, kaya istiflerinin litostratigrafik birimler olarak bilinen kaya birimlerine bölünmesini öngörür. Bu birimlerden her biri kaya türü itibarıyla homojen olmalıdır. Bu birimlerin tanımlamaları belirgin litolojik sınırlara sahiptirler genellikle daha kolaydır. Geleneksel olarak litostratigrafi birimleri yalnız tabakalı kayalarda tanımlanırlar. Ancak jeolojik kayıt yalnız tabakalı kayaları değil, magmatik ve metamorfik kayaları da içerir. “**Litodem Birimleri**” deyimi bazı araştırmacılar tarafından tabakalı olmayan bu iki grup için kullanılır.

Litostratigrafi, birimler için kullanılan terimlerde sıkı bir hiyerarşi uygular;

öylesine ki, dünyanın her yerindeki jeologlar bir terimi aynı şekilde anlayabilsinler. (Tablo 3, 1) . Bu terminoloji uluslararası anlaşmalarla garanti altına alınmıştır. Temel birim **formasyon**dur. Bu, jeolojik haritaya açık seçik geçirilebilecek, büyük ölçüde homojen litolojilerden (bir veya birkaç kaya türünün düşey/yanal yönde ardalanmasından) ibaret bir birimdir. Şu halde formasyon haritalanabilir bir birimdir. Bir formasyon adı ancak bir jeolojik makale olarak dergide basıldığında formal (kurallı) olarak hayat bulur. Bu noktadan sonra, diğer jeologlar bu ismi kullanmalıdır ki karışıklık ve yanlış yorum olmasın. Bu formal işlem üstteki kutucukta açıklanmaktadır. Bu haritalanabilir birimlerin tanımlanması litostratigrafinin temelini oluşturuyor.

Litolojik birimler aşınmayla ya da faylanmayla yüzeye çıktıklarında “yüzeylendikleri” söylenir, yüzeydeki yayılımına mostra (Türkçe “yüzlek”) denir. Bir litostratigrafik birimin yayılımı en iyi bir mostra haritasında kaydedilir. Bu tür haritaların yapımı stratigrafinin önemli görevlerinden biridir ve toprak, bitki örtüsü ve yapılaşma yüzünden icra edilmesi her zaman kolay olmayan bir görevdir. Şu halde jeolojik haritalar yüzeye çıkmış, yüzeyde gözükten kayalardan itibaren, yer yer bunlara dayanarak yapılan bazı tahminlerle yapılır.

HALEN UYGULANAN FORMAL LİTOSTRAFİYE ÖRNEK

Kuzey İngiltere’de Kuzey Yorkshire Yöresindeki alt jura kayaları sahil şeridi boyunca çok güzel mostra verirler.bu yüzden jeolojinin doğuşundan bu yana çok ilgi çekmişlerdir. İlk jeologlar bu kayalara, eski taş ustaların tabakalı kayalar için kullandığı bir terime dayanarak, Liyas adını vermişlerdi. Bu kayaların litostratigrafisi,iki nedenden yetersizdir. İlk olarak geleneksel adlamaların çoğu litolojik açıdan net tanımlanmış değildi; ikincisi her bir birimin en temsili kesitinin neresi olduğu açık değildi.

Bunun ışığında Powell (1984) bu birimlerin stratigrafisini modern geleneklere uygun olarak kurallı hale getirmeyi önerdi. O, daha önceki pek tatminkar olmayan alt, orta, üst Liyas bölümlenmesi yerine beş formasyon ayırtladı. Her formasyon haritalanabilir bir birimdir ve sınırları belirgin, kendi içinde homojen bir litoloji topluluğudur. Her bir birim şu beş parametreye özel bir vurguyla açıklanmıştır. 1) Litoloji 2) Tip veya referans kesit, sonraki çalışmalara ışık tutmak üzere harita koordinatlarıyla gösterilmiştir. 3) Formal isimler, yer, litoloji ve birim rütbesi temelinde seçilmiştir. 4) Haritalana-bilir sınırların nitelikleri belirtilmiştir. 5) Her bir birimin kalınlıkları belirtilmiştir. Powell aşağıdaki tabloda bize formal litostratigrafinin mükemmel bir örneğini sunmudur.

Çizelge 1: Kurallı Litostratigrafi Birimlerinin hiyerarşisi

Litostratigrafi birimi	Tanımlama
<i>Süpergrup</i>	<i>Oluşum şekilleri veya litolojik özelliklerine dayanarak bir araya Toplanmış gruplar</i>
<i>Grup</i>	<i>Oluşum şekilleri veya litolojik özelliklerine dayanarak bir araya toplanmış formasyonlar</i>
<i>Formasyon</i>	<i>Homojen kaya türüne sahip haritalanabilir birim</i>
<i>Üye</i>	<i>Formasyonun alt bölümleri</i>
<i>Tabaka</i>	<i>Farlı kaya türünden oluşmuş bir seviye yada tabaka</i>

Bir litostratigrafi biriminin başka alanlardakilerle karşılaştırılmasına **korelasyon (deneştirme)** adı verilir. Deneştirme çoğunlukla komşu alanlarda yapılır, ancak bazen birbirinden çok uzak alanların stratigrafleri de (örneğin iki ayrı kıtanın) deneştirilir. korelasyonun nihai amaçları 1) Daha geniş bir alanda litostratigrafi birimlerinin bağlı kronolojisini kurma, dolayısıyla jeolojik olayların bağlı sırasını ortaya çıkarma 2) Kayaçların uzamsal dağılım desenine bakarak özgün bir alanın jeolojik gelişiminin anlaşılmasını sağlamaktır. Pratikte bu tür bir korelasyon çeşitli yollarla yapılabilir. En yaygın kullanılan basit görsel deneştirmedir.

Bir korelasyonda litolojik eşdeğerlik birleştirme çizgileri ile ifade edilir. Bu çizgiler benzer litolojideki birimleri birleştirir. (Şekil 22) bu litolojik bağlama çizgileri eş zaman yüzelerini göstermeyebilir. Benzer iki kaya türü iki farklı yerde farklı zamanlarda oluşabilir. Bunun tersine zaman çizgileri litolojiden bağımsızdır ve zaman bağımlı araçlar kullanılarak (örneğin

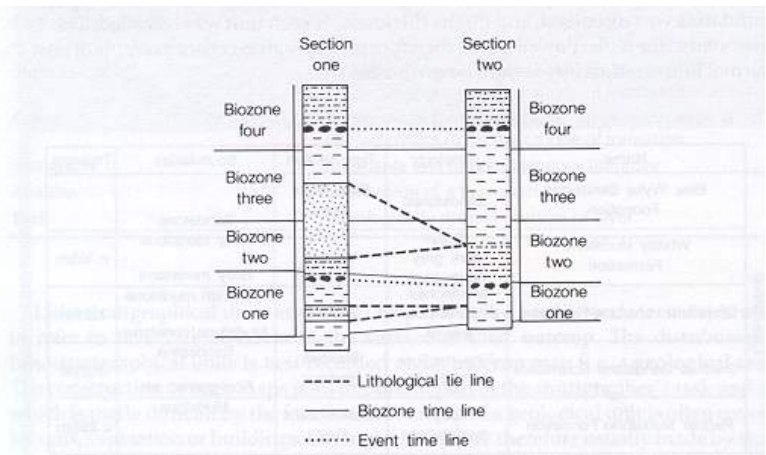


Figure 3.12 Physical correlation and the relationship of tie lines and time lines. The sediment sequences in sections one and two can be correlated on the basis of lithological similarity; lithological units are linked with tie lines. Time lines link points of equal age. They are constructed on the basis of faunal evidence (biozones), in which case they are independent of lithology and time lines may cross tie lines. Time lines may also be based on lithological horizons, or isochronous surfaces, in which case they will not cross tie lines

Şekil 22: Fiziksel deneştirme ve zaman çizgileri ile bağlama çizgilerinin ilişkisi

fosiller ya da ani jeolojik olaylar, sözgelimi ani bir volkanik patlamayla biriken kül gibi) oluştururlar.

Litolojik birimlerin dağılım, şekil ve anlamını anlamak için şu üç önemli kavramın anlaşılması gerekir. 1) *Uzayda dağılım*. 2) *Zamanda dağılım*. 3) *Bağıl kalınlık*. Uzayda dağılım ya da yanal devamlılık, bir birimin içinde çökeldiği sedimanter ortamın devamlılığına bağlıdır (şayet sonradan fayla kopmamışsa, ya da bir kısım aşınıp gitmemişse). Örneğin, denizel ortamlarda biriken sedimanlar, genellikle karalarda birikenlere göre çok daha büyük yanal devamlılığa sahiptir.

Yatay sedimanter tabakalar iki yolla birikebilirler. 1) Yukarıdan gelen sürekli bir sediman yağışı yüzünden. 2) Özel noktalardan, örneğin bir akarsu ağzından, yanlamasına gelen sedimanların birikimiyle. Sakin su kütlelerinden itibaren (örneğin okyanus ve göller) çökelen sedimanların dışında bugün pek çok sediman yanlamasına taşınarak biriktirilir. İşte bu ikinci birikme şekli, litolojik birimlerin zaman içindeki dağılımına ilişkin ilginç ipuçları taşır. Uzayda yanlamasına taşınıp biriktirilen sedimanlar, farklı noktalarda farklı zamanlarda oluşacaklardır.

Öyleyse bu yolla taşınıp biriken litostratigrafi birimleri zaman birimlerinin eşdeğeri değildirler, **diyakronik**'tirler. (**zaman aşmalı**) ; yani birim litolojik olarak uniform (tekdüze) olmakla birlikte, farklı yerlerde farklı zamanlarda oluşmuşlardır (Şekil 23). Bir başka sorun litostratigrafi birimlerinin zaman içindeki yayılımları dikkate alındığında ortaya çıkar. Bugün dünya yüzeyine dağılmış olan çökeltme ortamlarının yayılımına bakalım. Geçmişte de benzer ortamların benzer yayılımları olabileceğini düşünebiliriz. Yani çöl kumtaşları farklı zamanlarda pekala oluşmuş olabilir. Buradan litostratigrafi birimlerinin yalnız kendi başlarına zaman açısından kıymeti harbiyelerinin pek olmadığı sonucuna varabiliriz. Aynı yaşlı birimlerini karşılaştırmanın en yaygın yolu fosillerdir; Fosillerin

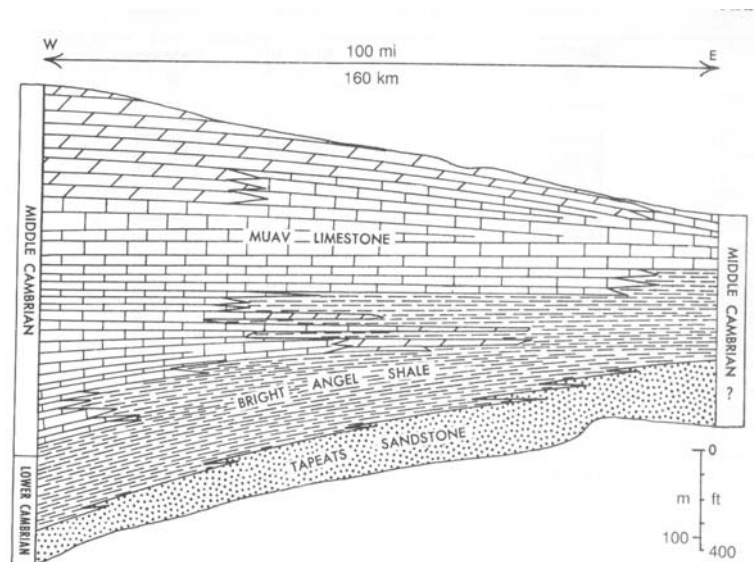


FIGURE 14.17 Changes in age of the basal Cambrian Tapeats Sandstone across the Grand Canyon region. (From Clark, T. H., and C. W. Stern, 1968, Geological evolution of North America, 2nd ed. Fig. 7.10, p. 138, reprinted by permission of John Wiley & Sons, Inc. Originally from E. D. McKee, 1954, Cambrian history of the Grand Canyon region. Part 1. Stratigraphy and ecology of the Grand Canyon Cambrian: Carnegie Inst. Washington Pub. 563, Washington, D.C.)

Şekil 23: Litostratigrafi birimleri yanal yönde birbirine geçiş gösterir.

stratigrafik araç olarak kullanılmasına *biyostratigrafi* deniyor.

Bir birimin görece kalınlığı yanıltıcı olabilir. Bir yerde muazzam kalınlıkta sediman birikimi varken, başka bir yerde aynı zaman aralığında ancak birkaç metre sediman birikmiş olabilir. Örneğin İngiltere sahilllerinde Dorset'te Erken Jura yaşlı "Junction tabakası" yalnız birkaç metre kalınlıktadır. Bununla aynı zaman aralığında çökelmiş "Withby Çamurtaşı" formasyonu 50 m'den kalındır. Bu iki farklı tip havzada ya da bir havzanın farklı çökme hızlarına sahip iki farklı kesiminde çökelmeyi yapmıştır. Junction tabakası gibi uzun zamanda çok yavaş birikim hızları ile çökelmiş istiflere "kondanse" denir.

BİYOSTRATİGRAFİ

Önceki bölümde, süperpozisyon ilkesi ve birbirini kesme ilişkileri temelinde kayaç birimlerinin bağlı yaşlandırılmasını nasıl yapabileceğimizi anlamış olduk. Bu amaçlar sınırlı stratigrafik çalışmalar için doğru olmakla birlikte dünya ölçeğinde birimlerin zaman eşdeğerlerinin saptanmasında yetersizdir; bu amaç için kayaçların bağlı yaşlarının karşılaştırılmasından başka bağımsız bir alete ihtiyacımız bulunuyor. Bu metotlardan ikisi *faunal ardılık* ve *jeolojik olaylardır*. İlki biyostratigrafinin konusudur.

Faunal ve Floral ardılık

Yeryüzünde en azından 3,5 milyar yıldır yaşam devam ediyor ve bu zaman içinde, onda evrimler ve geriye dönüşümsüz gelişimler ortaya çıktı. Bu zaman boyunca farklı hayvan (fauna) ve bitki (flora) türleri ortaya çıktı veya varolanlar yok oldu (Şekil 24). Bunun kanıtını kayaç kaydı içindeki fosillerde buluyoruz. Bu prensip *faunal ve floral ardılık* diye bilinir. Canlı topluluklarının geçirdiği evrim zaman-bağımlı ve dönüşümsüz olduğundan jeolojik birimlerin bağlı yaşlandırılmasında kullanılabilir. Önce ilk jeologların fosil kaydını nasıl kavradıklarını ve bunu jeolojik dizilimin yorumunda nasıl kullandıklarını ele alalım.

James Hutton, süperpozisyon ilkesini kullanarak bağlı

kronoloji vasıtasıyla küçük/dar alanlarda jeolojik istiflerin yorumunu yapabilmiş, ancak birimlerin yanal devamlılıkları yanal yönde her zaman izlenemediğinden (örtü, tektonizma gibi nedenlerle)



Şekil 24: Seçilmiş bazı klavuz fosiller. A-Ammonit, B-Belemnit, C-Graptolit, D-Foraminifera, E-Trilobit, F-Kokosfer

daha bölgesel ölçekli değerlendirmeleri bir İngiliz mühendis William Smith (1769-1839) 'in çalışmalarında görüyoruz.

1793'te İngiltere güneyinde Both yakınında bir kanal inşaatında çalışırken tabakaları ve süperpozisyon ilkesini daha yakından inceleme şansına sahip oldu. Daha sonra bu kişi Wales ve İngiltere'nin ilk jeoloji haritalarını 1815'te yapıp yayımladı. Smith'in haritalamasında iki kriter dikkate alınmıştı. 1) Litoloji veya kaya türü 2) kayaçların içerdiği özgün fosil topluluğu. Smith'in gözlemlerinin özgürlüğü şuradaydı ki, tarihte ilk kez, bazı tabakalar/jeolojik birimler içerdikleri özgün fosillerine göre gruplanıyordu ve fosil içeriği bu birimlerin uzun mesafeler boyunca korelasyonunda kullanılıyordu.

1796'da da Paris Doğa Tarihi Müzesi 'nde çalışan George Cuvier (Şekil 25) "Yaşayan ve fosil fillerin türleri üzerine" adlı çalışmasını Paris'te seçkin bir topluluk önünde sundu. Bu önemli bir makaleydi, çünkü ilk kez jeolojik geçmişte bazı türlerin yok olduğu ileri sürülüyordu. Bu çalışmasında Cuvier Sibirya'daki fil fosilleri ile halen yaşayan Hindistan ve Afrika fillerini karşılaştırmış ve mamutların bugün yaşayan fil türlerine ait olmadığı, başka deyişle soylarının tükenmiş olduğu sonucuna ulaşmıştı. Cuvier, daha sonraki çalışmaları ile bu olayın öyle tekil/ender rastlanan bir olay olmadığını, çoğu fosilin artık ortadan kalkmış eski türleri temsil ettiğini göstermiştir. Cuvier, bu yok oluşların nedeni olarak katastrofik olayları düşünüyordu, takii 1859'da Charles



Şekil 25: Modern Paleontolojinin, özellikle omurgalı paleontolojisinin kurucusu olarak bilinen George Cuvier.

Darwin "Türlerin Kökeni" adlı çalışmasını yayımlayana kadar. Smith'in tabakaların içerdikleri fosiller vasıtasıyla tanımlanabileceği düşüncesiyle birlikte Cuvier'in bazı türlerin geçmişteki yok oluşları keşfetmesi, sedimanter kayaçların türlerinden bağımsız olarak bunların birer bağıl yaş göstergesi olarak kullanılabilirliğinin yolunu açtı. Bu kuramın ilk uygulanışı kıta Avrupasının kısmen genç Senozoyik çökellerinde gerçekleşti. 1830'larda Fransa'da Deshayes, Almanya'da Bronn ve İngiltere'de Lyell fosiller temelinde Senozoyik 'i alt bölümlere ayırabildiler. Böylece bağımsız bir korelasyon aracı olarak fosilleri kullanımı, yani biyostratigrafi kurulmuş oldu.

Biyostratigrafinin Araçları

Biyostratigrafi, sedimanter kayaç birimlerinin korelasyonunu sağlamak üzere fosillerin incelenmesi ve yorumlanmasını kapsayan bir stratigrafi dalıdır.

Biyostratigrafinin araçları klavuz fosiller olarak bilinen fosillerdir (bunlara indeks veya zon fosiller de denir) . En kullanışlı klavuz fosiller yaşarken hem coğrafik hem de ortamsal olarak büyük yayılıma sahip olan, başka deyişle birbirinden uzak ve ortamsal olarak çok farklı sedimanter kayaçlar içinde bulunabilecek türlerdir. Az sayıda fosil özelliği taşıdığından, her fosil aynı biyostratigrafik değere sahip değildir.

Korelasyon amacıyla kullanılacak fosillerin uygunluğu için bir kontrol listesi türünde bir kriterler demeti ileri sürmek mümkündür. (Şekil 26)

Klavuz fosiller ideal olarak şu özelliklere sahip olmalıdırlar. 1)

Ortamdan bağımsız olmalılar. 2) Hızlı evrimleşmeliler. 3)

Coğrafik olarak geniş yayılıma sahip olmalılar. 4) Bol olmalılar. 5) Kolay korunabilir olmalılar. 6)

Kolay tanınabilir olmalılar. Ancak az sayıda fosil bu koşulların tamamını karşılayabilir; bir fosil bu koşullardan ne kadar çoğunu karşılar o kadar iyi klavuz fosildir. Fosillerin, bölgelerarası


Criteria Fossil	Independent of environment	Fast to evolve	Geographically widespread	Abundant	Readily preserved	Easily recognised	Status as guide fossils
 Graptolites	✓ (Plankton)	✓	✓ (Plankton)	✓	✓	✓ (Simple form)	Good (Ordovician to Silurian)
 Ammonites	✓ (Free swimming)	✓	✓ (Free swimming)	✓	✓	✓ (Great diversity)	Good (Devonian to Cretaceous)
 Corals	X (Need warm shallow sea)	X	X	✓	✓	✓	Poor (Carboniferous)
 Echinoids	X (Bottom dwelling)	X	X	✓	✓	✓	Poor (Cretaceous)
 Barnacles	X (Need rocky shores)	X	X	X	X	✓	Bad (not used)
 Foraminifera	✓ (Plankton)	✓	✓ (Plankton)	✓	✓	✓	Good (Particularly Mesozoic to Recent)
 Pollen	✓ (Wind blown)	✓	✓ (Wind blown)	✓	✓	✓	Good (Cretaceous to Recent)
 Coccoliths	✓ (Plankton)	✓	✓ (Plankton)	✓	✓	✓	Good (Mesozoic to Recent)
 Birds	✓ (Flying)	X	✓ (Flying)	X	X (Fragile bones)	✓	Bad (not used)

Figure 4.1 Examples of good and bad guide fossils. The matrix illustrates how different fossil groups match up to the ideal criteria for a good guide fossil. It is important to note that each criterion is not necessarily of equal importance. For example, preservation potential can be of greater importance than widespread distribution. Bird fossils, otherwise well-suited as guide fossils, are rarely preserved and therefore, make bad guide fossils

Şekil 26: İyi ve kötü klavuz fosillere örnekler

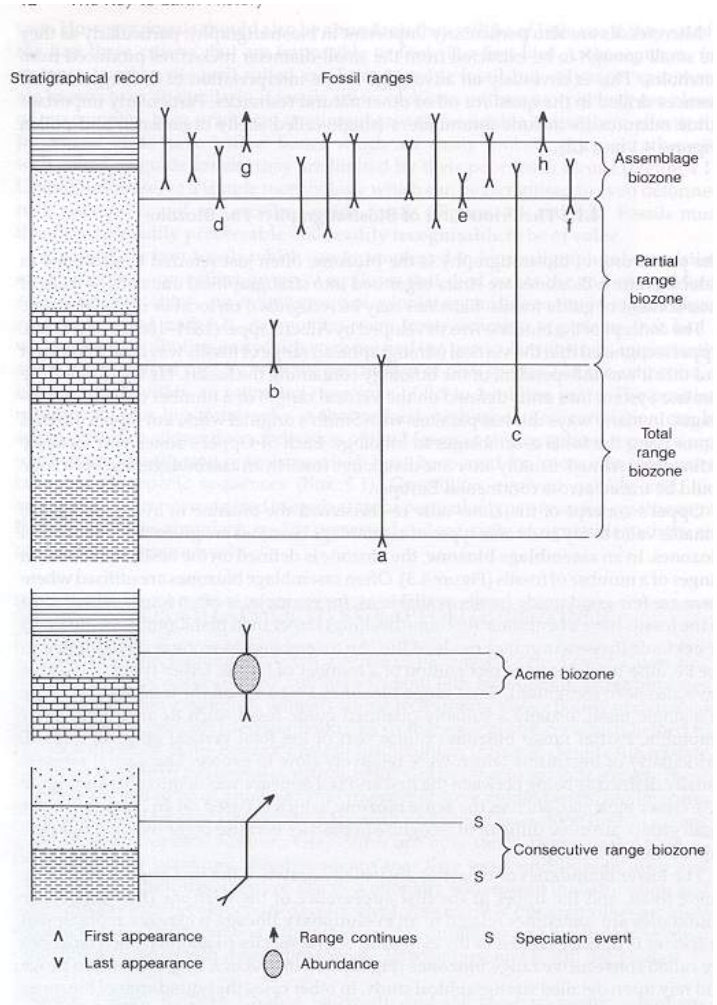
korelasyonda kullanılabilmeleri için ortamlarından bağımsız olmaları gerekir. Dipte yaşayan denizel hayvanlar deniz tabanı sedimanlarının türüne ve su derinliğine bağlı olabilirler. Dar aralıklı ortamsal parametrelere oldukça bağlı fosiller klavuz fosil olarak sınırlı kullanıma sahiptir; çünkü bunlar çok özgün ortamlarda yaşarlar. Örneğin (Midyeler) yalnızca kayalık sahillerde yaşarlar; benzer şekilde mercanlar ışık, tuzluluk ve sıcaklığa çok hassastırlar; bu yüzden her ikisi de klavuz fosil olarak sınırlı değere sahiptir (Şekil 26) .

Evrin hızlarının jeolojik zaman boyunca değişen hızlarda gerçekleştiği bilinmektedir. Bazı fosiller yeni türlerin oluşumunu sağlayan hızlı bir evrim geçirmiştir ve bu evrimleşme neredeyse 1 milyon yıldan daha az süren düzenli zaman aralıkları şeklinde gerçekleşmiştir. Hızlı yeni tür oluşumları, eldeki bir fosilin stratigrafik kaydın küçük bir kesiminde varolabileceğini gösterir. Eğer bir tür uzun zaman varlığını koruyorsa (yani yavaş evrimleşiyorsa), bunun fosili farklı zamanlarda oluşmuş kayalarda bulunabilecek demektir. Sonuç olarak hızlı evrimleşerek yeni tür oluşturan fosiller yavaş evrimleşenlere göre jeolojik kaydın çok daha hassas bölümlenmesine olanak verirler.

Yaşayan fosiller denen organizmalar, örneğin *Nautilus*, *Lingua* ve *Limulus*'lar genel anatomileri itibariyle uzun jeolojik zamanlar boyunca neredeyse hiç değişmeden kalmıştır. Bu yüzden bunlar biyostratigrafik çalışmalarda oldukça sınırlı değere sahiptirler.

Biostratigrafinin temel birimi :Biyozon

Biostratigrafinin temel birimi *biyozondur*. Eski literatürde yalnızca zon olarak kullanılır. Biyozonlar, içerdikleri klavuz fosiller temelinde düzenlenmiş stratigrafi birimleridir. Biyozon kavramı Albert Opper (1831-1865) tarafından 1850'lerde geliştirildi. Opper, fosillerin düşey (stratigrafik) gözükme aralıklarının



Şekil 27: Biyozon türleri.

zamanla ilişkili olduğunu fark etti. Araştırmacı Jura Sisteminde, çok sayıda fosil topluluğunun düşey dağılımına göre iki birim tanımladı. Çoğu yönüyle Smith'in orijinal çalışmasına benziyorsa da, Oppel, fosil topluluklarını litolojiye bağladı. Oppel'in her bir zonu, çoğunlukla topluluktaki ayırtman bir fosile göre formal olarak tanımlanıp isimlendirilmişti ve her bir zon bütün kıta Avrupası boyunca izlenebiliyordu. Oppel'in, şimdilerde biyozon olarak yeniden ortaya çıkan zon konsepti bugün de geçerliliğini koruyor ve bazı biyozon birliği tiplerine *Oppel biyozonları* adı veriliyor.

Bir **Birlik Biyozonunda** (İng. Assamblage Biozone), biyozon birçok fosilin dikey aralıkları temelinde tanımlanıyor. Birlik Biyozonu, çok az sayıda klavuz fosil varsa, örneğin bulunan çoğu fosil planktonik değil bentonikse kullanılır. Bir Birlik Biyozonu sınırlı kullanıma sahiptir; çünkü pek çok fosilin tanınmasını gerektirir. Başka biyozon türleri de tanımlanmıştır (Şekil 27). **Toplam Aralık Biyozonu** (Total Range Biozone) bir tek fosilin -çoğunlukla uygun kalitede bir klavuz fosil (örneğin ammonit veya graptolit)- toplam dikey aralığını temel alır. **Kısmi Aralık Biyozonu**, bir fosilin, özellikle kısmen yavaş evrimleşenlerin, toplam düşey aralığının bir kısmını kullanır. Kısmi aralık, başka fosillerin ilk ve son gözükmesi ile tanımlanır. Diğer biyozonlar, örneğin, **Bolluk Biyozonunun** (Acme Biozone-bir fosil grubunun bolluğuna dayanan) pratikte tanımlanması daha zordur; çünkü fosil kaydı genel olarak mükemmellikten uzaktır.

Biyozonların alt sınırları, çoğunlukla klavuz fosilin ilk gözüktüğü stratigrafik seviyeye, üst sınırı ise bir sonraki fosilin ilk bulunduğu seviyeye konur. Bu sınırlar, bir türün diğerine evrimleşmesi ile ilgili olduğu türlerde bazen bir evrim çizgisi ile ilişkili olabilirler. Bu tür biyozonlar **Ardıl Aralık Biyozonları** (İng. consecutive range biozones) olarak isimlendirilir. Pratikte bunu kanıtlamak zordur ve ayrıntılı stratigrafik çalışmalarla ancak güvenilir bir şekilde gerçekleştirilebilir. Başka durumlarda, biyozon sınırları bir türün bir coğrafik alandan diğerine göçünü yansıtabilir; bu yüzden önceleyen biyozon'un organizmalarından bağımsız olabilir. Pratikte bu durumla yaygın olarak karşılaşılır. Herhangi bir biyozon şemasının teorik temelini kaydedilen biyolojik değişikliklerin dünya üzerinde eş zamanlı olarak gelişmesi oluşturur. Yeni bir tür, her yerde evrilip aniden ortaya çıkmayacaktır; fakat bir bölgeden itibaren derece derece bütün bir kıtaya ve dünyaya yayılacaktır. Sonuç olarak yeni bir türün ortaya çıkışı bütün bir alan boyunca eş zamanlı değildir. Ancak bu problem oluşturmaz, çünkü bir türün evrimleşme ve bütün bir alana yayılma süresi bu türün varlığını koruma süresinden çok çok daha kısadır; jeolojik kayıta neredeyse anlaşılacak kadar kısadır. Çoğu amaçlar için yeni türün ortaya çıkıp yayılışı neredeyse anlık olarak kabul edilebilir.

Evrim açısından, türlerin uzun sakinlik dönemleri arasında hızlı değişimler göstermeleri anlamına gelen *sıçramalı denge* (punctuated equilibria) konsepti stratigrafik kayıta uzun zamandır bilinmektedir. Çoğu zonal şemalar (her ne kadar ayrıntılı stratigrafik çalışmalarla kanıtlanması gerekiyorsa da) aslında böyle dramatik evrimsel değişimin yansımalarıdır.

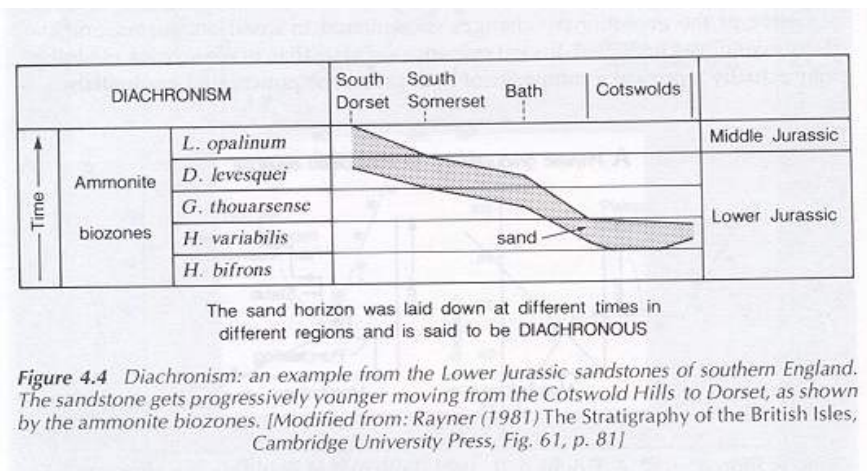
Litostratigrafi ve Biyostratigrafinin karşılaştırılması: Diyakronizm Problemi

Daha önce gördüğümüz gibi litostratigrafi birimlerinin zaman ve uzayda yayılımı çökeltme ortamlarının doğasıyla belirlenir. Her ne kadar bir ortamın komşu başka bir ortamla ilişkisi çoğunlukla dengede ise de (örneğin karasal, gelgitarası kumları ve açık deniz çamurları) bu ortamların bağıl konumları zamanla değişebilir. Deniz seviyesi yükselimi veya düşümü; ya da deltanın yanal ilerlemesi sonucunda oluşan çökeller, içsel olarak homojen fakat farklı zamanlarda oluşmuş bir litostratigrafi birimi ortaya çıkaracaktır. Bu durumda, sonuçta oluşan çökeller zaman sınırlarını aşacaklardır. Bunların **zaman aşmalı** (diachronom) olduğu söylenir. Diyakronizm'in tanınması zaman çizgileri anlamına gelen faunal ve floral dizilimin açıkça anlaşılmasını gerektirir. Bu şekilde diyakronik birimlerin korelasyon çizgilerinin zaman çizgilerini kestiği gözlenir.

Diyakronizm, jeolojik kayıta olasılıkla çok yaygındır. Ancak çoğunlukla farkına varılamaz, çünkü biyostratigrafinin ayırım gücü buna elvermez. Daha önce belirttiğimiz gibi, aslında litolojik birimler çoğunlukla bir noktadan yanlamasına yayılarak yanal devamlı birimleri ya da tabakaları oluştururlar. Eğer her birim jeolojik olarak önemsiz kısalıkta bir zamanda gelişmiş olsa, zaman aşmalı oldukları anlaşılabilir; düşey yönde gelen uniform sediman akımıyla oluşmuş gibi düşünülecektir. Halbuki sedimantasyonun uzun zaman devam ettiği geniş çökeltme alanlarında biyostratigrafinin

tanınmasında anahtar bir özellik taşır.

Büyük ölçekli diyakronizmin en iyi örneklerinden biri güney İngiltere'de Erken-Orta Jura yaşlı sarı kumtaşlarıdır. Bu



Şekil 28: Diyakronizm: güney İngiltere Alt Jura kumtaşlarından bir örnek

birim Dorset'ten Costwoda kadar geniş alanlara yayılır. Rengi, mineral içeriği ve homojen iç yapısı ile ayrı bir litostratigrafi birimi (formasyon) olarak isimlendirilmiştir. Ancak ayrıntılı ammonit faunası çalışmaları bu birimin diyakronik olduğunu göstermiştir. (Şekil 28) sedimantolojik modeller bu kumtaşlarının sığ şelfte sürekli güneye doğru göç eden kum barları şeklinde çökeldiğini gösteriyor.

Sonuç olarak biyostratigrafi litostratigrafik birimlerin bağıl yaşlandırılmasında anahtar bir öneme sahiptir. Biyostratigrafik birimler zamana bağlıdır ve *izokroniktir*; halbuki litostratigrafik birimler litoloji esasına göre ayrılan birimlerdir ve diyakroniktirler.

STRATİGRAFİK KAYDIN YORUMLANMASI

Şimdiye değin kaya birimlerinin yaşını ve stratigrafik dizilimini tanımlamamıza olanak verecek araçları inceledik. Bu bölümde artık stratigrafik birimlerin, içlerinde çökdikleri ortamların ürünleri olarak yorumlanmasına olanak sağlayacak araçları incelemeye başlayacağız. Bu yolla, yeryüzündeki ortamların zaman içinde niteliğinin nasıl değiştiği ile ilgili çıkarımlar yapma şansımız dolacak.

Fasiyesler ve onların yorumlanması:

Sedimanter fasiyesler, özgün bir çökme ortamının ürünü olan sedimanter kayaç kütleleridirler. Bir ortamı, bir

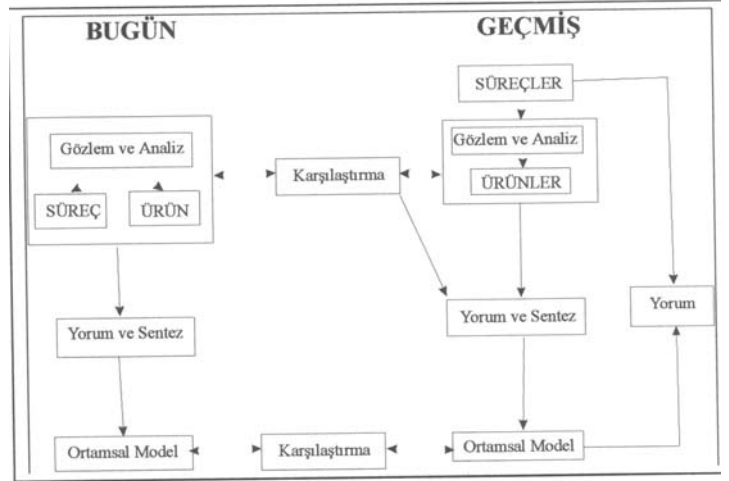
araya geldiklerinde bu ortamı yansıtan bir dizi özellikleri inceleyerek tanımlarız. Fasiyes, çökme ortamından ayrı ele alınacak bir kavram değildir, ancak bazen metamorfik araziler içinde kullanılır. Bu sonuncu durumda bir metamorfik kayacın bütün özellikleri (fasiyesi) , bu kayacın oluşumu sırasında koşulların jeolog tarafından anlaşılmasını sağlar.

Sedimanter Fasiyes kavramı ilk kez Armany Gressly (1814-1865) tarafından 1838'de İsviçre'deki Jura yaşlı kayaçları çalışırken kullanıldı. Gressly daha çok fosil içeriğine bağlı olarak litolojinin değişmesiyle ilgiliydi. O, belirli fosil gruplarının belirli kaya türleriyle bağlantılı olduğuna ikna olmuş, dahası litoloji ile fosil topluluğunun birlikte bu kayaçların bir zamanlar içinde oluştuğu ortamı tanımlamada yardımcı olacağını ileri sürmekteydi. Diğer pek çok jeolog da benzer gözlemler yapmış olmakla birlikte, "fasiyes"sözcüğünü ilk uyduran, onu "bir kayacın kökenini ortaya çıkarmaya olanak verecek bütün özelliklerin toplamı" olarak ilk tanımlayan Gressly olmuştur. Bu kavram sadece çökmenin gerçekleştiği süreçleri saptamak için değil aynı zamanda bunların ürünlerini tanımlamak için güncel ortamların incelenmesini sağlar. Şimdi, bulunduğumuz anda bir ürün oluşturan süreci gözlemlemek ve ürün ile süreç arasında nedensel

WALTHER YASASI

Henüz 1894'te Johannes Walter tarafından formüle edilen bu yasa sedimanter kayaçların birbirleri ile yanal geçiş ilişkilerinin varlığını ifade eder. Bundan daha önce bazı paleontologlar, aynı fosil topluluğunu içeren birbirine komşu farklı türden kayaçların varlığını saptamışlardı. Walther, güncel sediman çökme ortamlarındaki gözlemlerle çökme ortamlarının yeryüzündeki konumlarının sabit olmadığını, tersine zamanla yerdeğiştirdiğini göstermiştir. Bunun güzel örneği, insan ömrü içinde gelişen menderesli akarsuların yerdeğiştirmesidir. Walther, çökme ortamı yerdeğiştirdikçe komşu ortamlarda oluşmuş sedimanter fasiyeslerin (tabakaların) de zaman içinde düşey profilde birisinin diğerinin üzerine geleceğini saptamıştır ki, bu sedimantolojik / stratigrafik çalışmalarda yorumlamalarda son derece önemlidir. Walther yasası, fasiyesler arasındaki ilişkilerin sedimantolojik olduğu otosiklik durumlarda (örneğin delta loblarının yanal yönde hareketi) uygulanabilmektedir.

bağıntılar kurmak mümkündür. Bir fosil türünün analiz edilmesi ve güncel bir çökeltme ortamındaki ürünle karşılaştırılması tam bir yorumlama için anahtardır. Bu mantıksal işlem fasiyes çalışmalarının ardındaki çoğu mantık yürütmenin temelini oluşturur (Şekil 29).



Şekil 29: Sedimantolojik süreçlerin değerlendirilmesi için işakış şeması

Tek tek fasiyeslerin özellikleri 4 başlık altında tanımlanabilir: 1-Geometri, 2-Litoloji, 3-Sedimanter yapılar, 4-Fosiller. Bir sedimanter kayaç

kütlesinin geometrisi, çökeltme ortamının bir fonksiyonudur. Akarsu kanalları, kum dünleri ve sahillerin her birinin kendine has şekilleri vardır. Litoloji, fasiyes tanımında son derece önemlidir ve bir sedimanın içinde çökeldiği ortamın tahmin edilebilmesi için dikkatli litolojik gözlemlerin yapılması gerekir. Litolojik tanım içinde, renk, doku ve bileşimin özel bir yeri vardır. Çöl ortamlarında, örneğin, atmosferle karşılaşan demir hızla oksitlenir ve sedimanlar üzerinde kırmızımsı kahverengimsi bir kabuk oluşturur. Doku, ortamda cereyan eden sürecin enerjisi konusunda ipuçları verir. Yüksek enerjili ortamlar çok iri bloklar taşıyabilirler, düşük enerjili ortamlar kum ve çamur taşıyıp biriktirirler.

Bileşim, kaynak bölgenin olduğu kadar çökeltme ortamının iyi bir göstergesi olabilir. Kabuklu organizmalar sığ ve ılık denizlerin karakteristiğidirler, çünkü bunlar günümüzde böyle ortamlarda yaşarlar. Benzer şekilde arkozik kumtaşları (çoğunlukla feldspat mineral tanelerinden oluşan kumtaşları) yüzeysel bozunmanın etkin olduğu koşulları anlatır. Sedimanter yapılar fasiyesleri oluşturan süreçlerin tahmin edilmesinde son derece önemlidirler.

Bunlardan en güvenilir olanları çökeltmeyle eş yaşlı olanlar veya sedimanter kayacın çökeltmesinin doğrudan sonucu olan yapılarıdır (Şekil 30). Bunlar ortamda suyun mu yoksa rüzgarın mı baskın olduğunu ayrıca akıntı hızlarının büyüklüklerini ele verirler. Örneğin çapraz tabakalar ortamın özelliğini, akıntı gidiş yönünü ve tabakaların alt ve üstünü gösteren iyi ipuçlarıdır.

Fosiller, fasiyes kuramının tanınması sırasında önceleri oldukça önemli olmuşlardı ve hala önemlerini korumaktadırlar. En kaba şekliyle bile, aktüalizmin temel bir uygulaması olarak güncel

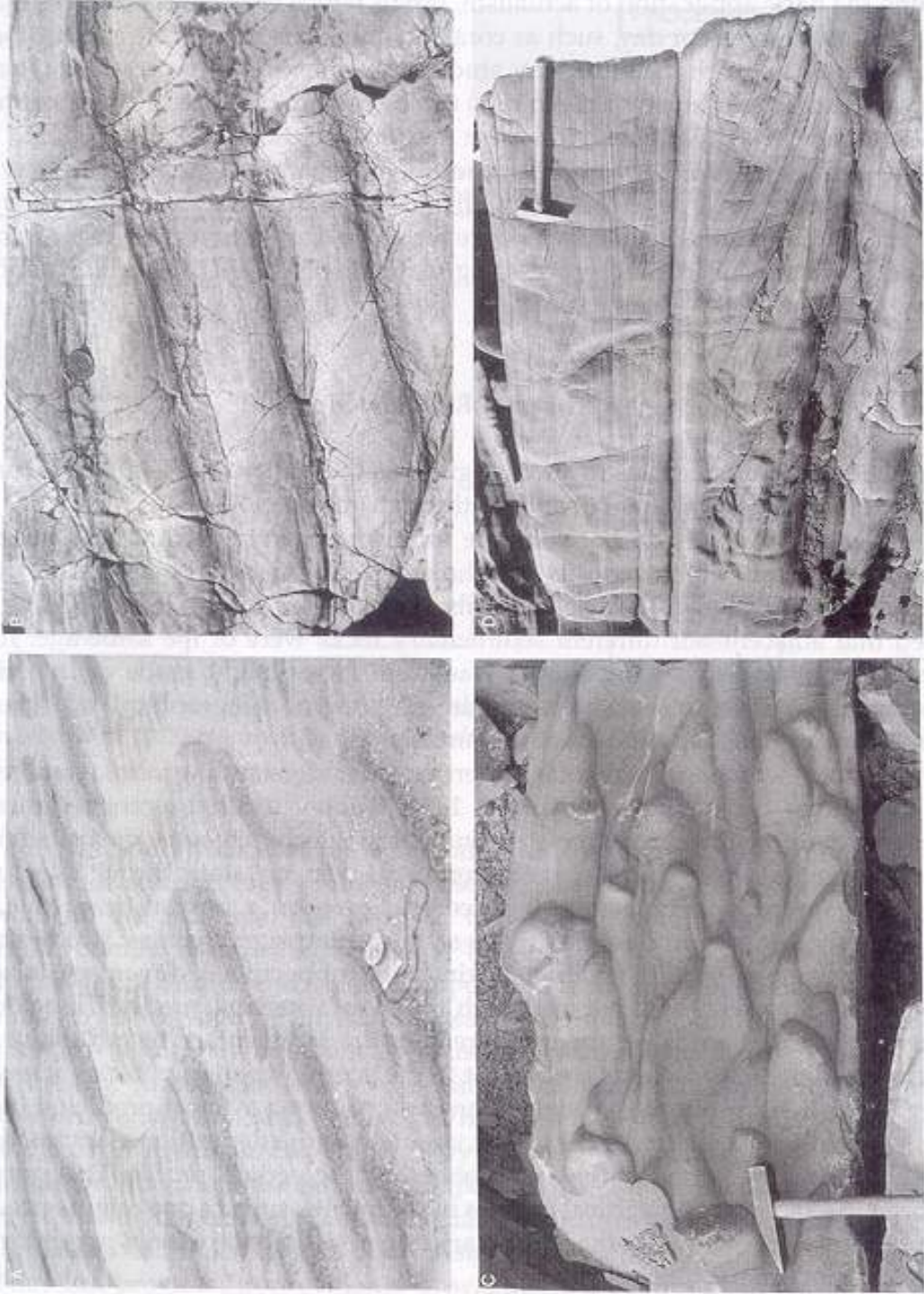


Figure 5.2 (Caption on facing page)

Şekil 30: Seçilmiş bazı sedimanter yapı örnekleri. A-Bir güncel sahilde büyük ripollar, B- Bir tabaka düzleminde korunmuş eski ripollar, C-Kaval yapıları, D-Çapraz tabakalanma

bazı organizmaların, örneğin mercanların denizin belirli yerlerinde oluştuklarını biliyoruz. Bu yolla hala yaşayan organizmalar ile bunların içinde buldukları ortamın ilişkilendirilmesi (ekoloji), eski organizma (yani fosiller) ve ortamlar içinde yapılır ki buna *paleoekoloji* denir; bu, sedimantoloji çalışmalarında önemli bir yer tutar.

Bağlı Deniz Seviyesi, Fasiyeler ve Sekans stratigrafisi

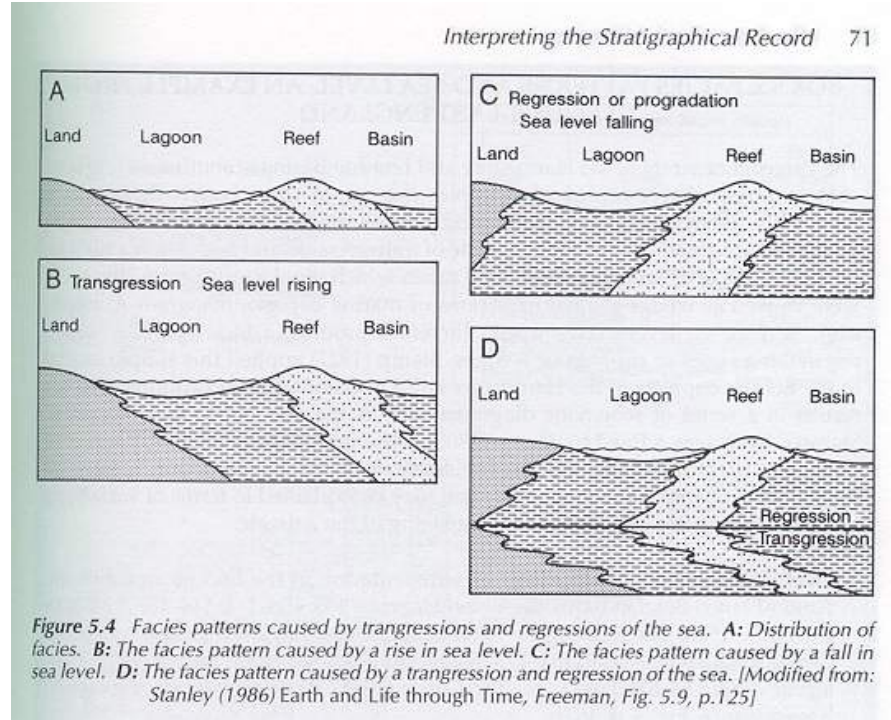
Denizel ortamda, deniz seviyesi sedimanter fasiyelerin uzaysal dağılımı ve çökme ortamları üzerinde belirleyici bir etkiye sahiptir.

Deniz seviyesi jeolojik zaman boyunca değişmiştir. Jeologların bu çıkarımı yapmasına olanak veren temel bilgi, denizel olmayan, kıyı ve denizel fasiyelerin desenleridir. sonuç olarak sedimanter fasiyelerin konumu ve nitelikleri, sedimanter sistemin özüne (iç dinamiğine) ait otosiklik mekanizmaların yanı sıra (ki bu dinamikler başlıca sediman getirmesi ile kontrol edilirler) tektonik yükselme ve deniz seviyesi gibi dış süreçlerle de kontrol edilebilirler. Bu tür mekanizmalara *allosiklik* adı verilir. Eldeki bir sedimanter istifin gelişiminde hangi mekanizmanın (otosiklik mi yoksa allosiklik mi?) daha önemli olduğunu anlamak zor bir iştir.

Zaman içinde ortaya çıkan fasiyeler ilişkileri, stratigrafik kayıttan itibaren bağlı deniz seviyesinin değişimini tahmin etmeye kullanılabilir. Denizel olmayan istiflerin ya da temel kayalar üzerleyen denizel fasiyelerin ilişkileri bazı noktalarda deniz seviyesinin yükselerek sahil şeridini kademe kademe üzerlediğini göstermektedir. Bu durumda denizel fasiyelerin kara yüzeyini aştığı (onlap) söylenir. İşte bu kıyı aşmasının uzantısıdır ki, deniz seviyesi yükselmesi ya da düşmesi yorumumuzu ona göre yaparız. Bazı istiflerde denizel fasiyelerin kara tarafına doğru sürekli, hareketi, giderek daha genç fasiyelerin kara yüzeyleri üzerinde aşmalar yaptığı gözlenir. Aşmanın, kıvrımlı, deşilmiş bir temel üzerinde gerçekleşmesi durumunda buna *overstep* adı verilir. Bu durumda aşma gösteren sedimanter fasiyeler, eğim kazanmış yaşlı sedimanlar üzerinde ilerlerler. Bu durum kuşkusuz aşılabilir bir uyumsuzluk yaratır ve bugün artık biliyoruz ki çoğu büyük uyumsuzluk böylesine ardıl aşmalarla gerçekleşiyor.

Transgressif fasiyeler desenleri, bir deniz seviyesi yükselimi sırasında denizel istiflerin kara tarafına doğru ardıl (ard arda) aşması ile oluşuyorlar (Şekil 31A). Denizel bir ortamda farklı ortamlar ve bunlara ait fosiller çoğunlukla bir denge halindedir; öylesine ki, açık denize doğru gidildikçe şu fasiyeler sıralamasıyla karşılaşabiliriz; bir çakıllı sahil fasiyesi, bir yakıncı kum fasiyesi, bir açık

deniz çamur fasiyesi. Transgressif bir istifte bu ortamlar ve onların fasiyesleri basitçe kara tarafına doğru kayacaklar ve böylece Walther yasasına uyan dikey bir dizilim ortaya çıkacaktır (Şekil 31). Deniz seviyesinin düşmesiyle birlikte regresif bir fasiyes deseni ortaya çıkacaktır; yani fasiyes deseni açık



Şekil 31: Denizin transgresyonu ve regresyonunun neden olduğu fasiyes desenleri

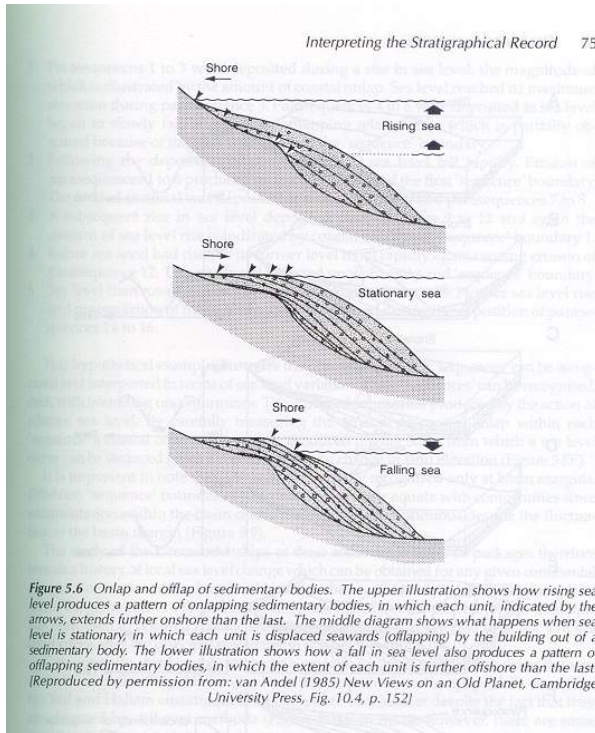
deniz tarafına doğru kayacaktır. Fasiyeslerin açık denize doğru kaymasına *offlap* adı verilir. Transgressif ve regresif fasiyes desenlerinde unutulmaması gereken bir şey, fasiyeslerin arasındaki sınırların diyakronik (zaman aşmalı) olduğudur; yani bunlar açık denize doğru ilerlerken zaman çizgilerini keserler. Bazı durumlarda transgressif ve regresif fasiyes desenlerine (parmaklanan fasiyesler bir zig-zag deseni oluşturduklarından) ayırtlamak kolaydır. Örneğin güneydoğu İngiltere'nin Senozoyik sedimanlarında ve kuzey Amerika'nın batı kesiminin üst Mesozoyik sedimanlarında durum böyledir.

Yukarıdaki tartışmada açıkça gözükten şey fasiyes ilişkilerinin bunlar yardımıyla jeolojik zaman boyunca deniz seviyesi değişim desenlerini tahmin edebileceğimiz bir araç olduğudur. Deniz seviyesi değişimleri şu değişik olgularla ilgili olabilir.

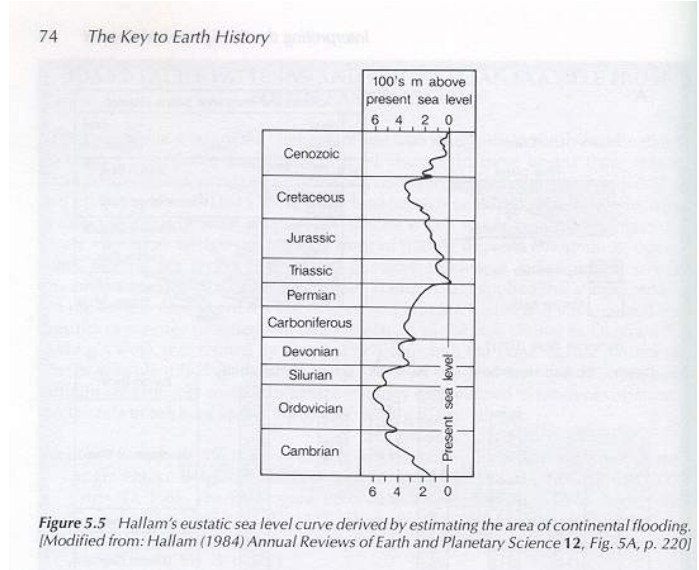
1. Kara (kıta) üzerinde yerel değişikliklerden kaynaklanan yerel veya bölgesel değişimler (Bağlı deniz seviyesi)
2. Okyanus havzalarının hacmindeki değişimlerle veya toplam okyanus suyu hacminin değişmesiyle belirlenen global veya östatik deniz seviyesi değişimleri.

Jeolojik zaman boyunca östatik deniz seviyesi değişim desenlerinin belirlenmesi, açıktır ki oldukça önemlidir. Bir stratigrafik kayıttan itibaren bir östatik deniz seviyesi eğrisi elde etmenin iki yolu vardır. bunlardan ilki, kıtasal taşkın alanının, yani verilen belli bir jeolojik zaman diliminde denizel fasiyeslerle kaplanan alanın, tahmin edilmesine dayanır. Bu, belli yaştaki denizel fasiyeslerin aynı yaştaki paleocoğrafya haritaları üzerine işaretlenmesiyle yapılır. Bu tür bir yaklaşım Halam tarafından

Fanerozoik için östatik deniz seviyesi eğrisinin üretilmesinde kullanılmıştır (Şekil 32) İkinci yöntem, bağıl onlap ve offlap'ların kullanılmasına dayanır. Duraylı (pasif) kıta kenarları deniz seviyesi değişimlerinin oldukça görkemli ayrıntıda bir sedimanter kaydını içerir. Ancak bu



Şekil 33: Sedimanter kütlelerin onlap ve offlap'ı.



Şekil 32: Kıtaların sellenme yüzey alanı tahmininden türetilen Hallam östatik deniz seviyesi eğrisi

sedimanlar yalnızca sismik araştırmalarla incelenebilir; çünkü genç sedimanlar altında gömülü haldedirler. Echosounder'daki mantık -yani deniz tabanına doğru bir sinyal gönderme ve bunun yansıyor yeniden alete geliş zamanının kaydedilmesi, böylece su derinliğinin hesaplanması gibi sismik araştırmalarda da geçerlidir. Burada, incelenecek sedimanların içine nüfuz edecek güçte patlamalar yaratılır, bu şok tabakalı kayalar içine dalgalar halinde yayılır; derinlerdeki tabaka yüzeylerinden yansıyan bir kısmı kaydediciye döner. Sık aralıklarla yapılan bu işlem sonucu yerin altındaki kayaların geometrilerinin bir tomografisi çekilmiş olur. Böyle bir örnek Şekil 33'de

verilmiştir. Kıta kenarlarında yapılan sismik yansıma çalışmaları, onlap ve offlap yüzeylerinin desenlerinin, *sekans* (sequence) adı verilen bir dizi sediman paketleri şeklinde gruplanabileceğini göstermektedir. Her bir sekans taban ve tavanında uyumsuzlukla (ing. unconformity) sınırlanmıştır. Sekans içindeki onlap ve offlap yüzeyleri parasekanslar olarak bilinir.

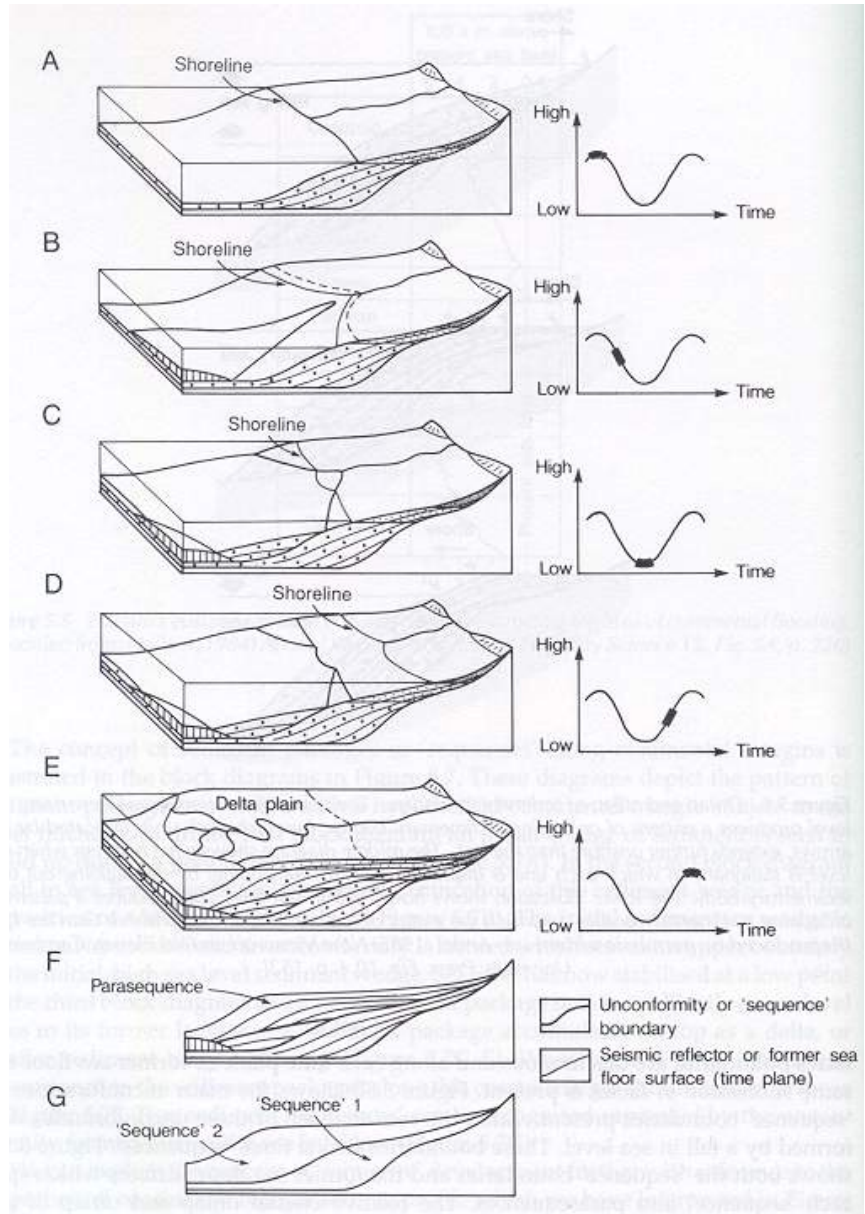
Duraylı kıta kenarları çoğunlukla denizin transgresyon ve regresyonuyla oluşan sekans istiflerini içerir. Bu sekans kavramı stratigrafide genelde gevşek bir anlama sahipse de (üst üste yığılma anlamında herhangi bir sedimanter kayaç paketi için kullanılabilir) sekans stratigrafisindeki tanımı oldukça yalın,

katı ve üstteki gibidir.

Sekanslar, deltalar gibi büyük sedimanter kütlelerin oluştuğu kıta kenarlarında gelişirler. Bu sekans gelişimi, ince taneli sedimanların

süspansiyondan itibaren çöktüğü, pek az kaba taneli sedimanın ulaşabildiği havzanın merkezi kesimleriyle zıtlık sergiler. Bir deniz seviyesi değişiminde bir delta deniz tarafına doğru büyüyecektir, yani ilerleyecektir (progradasyon) ; çünkü sedimanter havzanın bu kesiminde yeterli boşluk (ing. Accommodation)

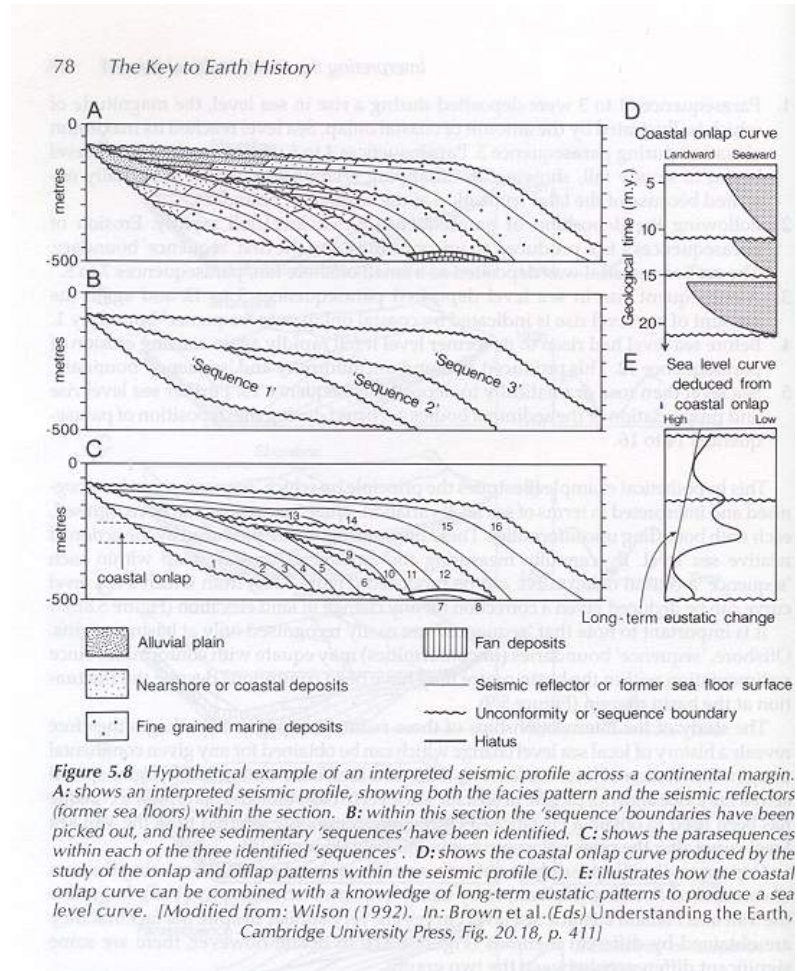
bulunmamaktadır.



Şekil 34: Deniz seviyesi değişimleriyle bir kıta kenarı boyunca sedimanter paket veya sekansların oluşumunu gösteren blok diyagram.

Deltalar ve diğer büyük sedimanter sistemler deniz seviyesi ile dengededirler. Yani deniz seviyesindeki değişimlerle yerlerini değiştirirler. Kıta kenarları boyunca sekanslar, ya da sedimanter paketler kavramı, Şekil 8'deki blok diyagramlarda gösterilmiştir. Bu diyagramlarda deniz seviyesi değişimlerine maruz kalan bir kıta kenarında oluşacak sediman paketlerinin deseni gösteriliyor. İlk blok diyagramda deniz seviyesi yüksek iken (high sea level) oluşan bir *erken sediman kaması* görülüyor (Şekil 34A) . İkinci blok diyagramda bir deniz seviyesi düşmesi, bu sediman kamasının aşındırılarak traşlanmasına neden olmuş ve açık denizde bir sediman yelpazesinin oluşmasına sebep olmuştur. İlk sediman kaması aşınmayla traşlanmış ve böylece onun üst yüzeyinde uyumsuzluk oluşmuştur. Üçüncü diyagramda deniz seviyesi iyice düşmüş ve durağan hale gelmiş ve yeni bir sediman paketi inşa olmuştur. En sonunda deniz yeniden eski seviyesine yükselirken önceki çökellerin üzerine yeni bir sedimanter paket delta ya da benzer bir kütle olarak birikir. Bu sahil kenarı boyunca oluşan sediman paketlerine yorumlanmış bir sismik kesitte bakıldığında bu, Şekil 34F'dekine benzeyecektir. Bu şekilde bir deniz seviyesi düşmesi sırasında oluşmuş uyumsuzlukta birbirinden ayrılmış iki sediman sekansı mevcuttur (Şekil 34G)

Sekans gelişimi kavramını Şekil 35'da verilen bir yorumlanmış kıta kenarı sismik profili üzerinde biraz daha inceleyelim. Şekil 35A, bir havza kenarından içine doğru alınmış idealleştirilmiş bir kesittir ve aynı zamanda eski deniz tabanı (sismik refraktörler) fasiyes desenlerini de gösterir. Burada fasiyes sınırlarının diyakronik olduğunu ve her bir zaman düzlemi veya eski deniz tabanı boyunca aynı fasiyes diziliminin mevcut



Şekil 35: Bir kıta kenarı boyunca alınmış hipotetik sismik profil yorumu.

olduğuna dikkat ediniz. Şekil 35B kesitte bulunan ana uyumsuzlukları ya da sekans sınırlarını da gösteriyor. Bu uyumsuzlukların her biri deniz seviyesi düşmesi sırasında oluşmuşlardır. Şekil 35C hem sekans sınırlarını hem de her bir sekansı parasekanslara bölen eski deniz tabanı yüzeylerini gösteriyor. *Bağıl kıyı aşması* (coastal onlap) ve *parasekansların offlap*'ı bu kesitte açıkça gözlenebilmektedir. Bu deniz kıyısının hikayesi aşağıdaki şekilde yeniden kurgulanabilir.

1. 1'den 3'e parasekanslar deniz seviyesi yükselimi sırasında oluşmuşlardır. Bu yükselimin büyüklüğü kıyı aşmasının miktarı ile kendini belli eder. Parasekans 3 sırasında deniz seviyesi en yüksek noktasına ulaşmıştır. Parasekanslar 4-6, deniz seviyesi yavaşça düşmeye başlarken oluşmuşlardır, çünkü offlap ilişkisi gösterirler (her ne kadar sekans 2 'nin taban uyumsuzluğu bunu bir ölçüde aşındırılmışsa da) . Parasekans 6' nın oluşumundan sonra deniz seviyesi hızla düşmüştür. 1'den 6'ya parasekansların aşındırması bir uyumsuzluk, yada ilk sekans sınırını oluşturmuştur. Aşındırılan malzeme parasekans 7 ve 8 olarak, küçük açılı deniz fanları şeklinde biriktirilmiştir. Daha sonraki bir deniz seviyesi yükselimi, 9'dan 12'ye parasekansları oluşturmuştur. Buradaki deniz seviyesi yükseliminin miktarı da birinci sekans sınırı üzerinde kıyı aşmalarının kara tarafına doğru uzanımlarıyla anlaşılabilir. Deniz eski seviyesine ulaşmadan önce yeniden hızlıca düşmüş ve parasekans 12'nin aşınmasına neden olmuştur. Bu ikinci bir uyumsuzluk, yani bir sekans sınırı oluşturmuştur. Daha sonra deniz seviyesi muhteşem bir yükselme göstermiş ve parasekans 13'ü çökeltmiştir. Parasekanslar 14-16'nın çökeli mi sırasında halen deniz seviyesi yükselimi ve sediman kütlelerinin deniz içine ilerlemesi (progradasyon) devam etmiştir.

Bu hayali örnek, sekansların tanınması ve deniz seviyesi değişimleri yardımıyla yorumlanmalarının ilkelerini göstermektedir. Her biri uyumsuzluklarla sınırlanmış 3 sekans tanınabilir. Bu uyumsuzluklar bağıl deniz seviyesinin hareketiyle oluşturulmuşlardır. Her bir sekans içindeki kıyı aşmalarının miktarını dikkatli bir şekilde ölçerek bir kıyı aşması eğrisi (*coastal onlap curve*) üretilebilir. (Şekil 35D). Bu sonuncudan itibaren de, Kara seviyesi için belli bir düzeltme yaparak, deniz seviyesi değişimini gösteren bir eğri oluşturulabilir. (Şekil 35E) Sekansların yalnızca havza kenarlarında kolayca tanınabileceğine dikkat etmek gerekir. Açık denizde (offshore) sekans sınırları (uyumsuzluklar) uyumluluklara karşılık gelebilir; çünkü havza merkezinde, deniz seviyesi değişimlerine rağmen, sedimantasyon süreklidir. (Şekil 36) .

Bu sediman kamaları veya paketlerinin ilişkilerinin incelenmesi, Őu halde, herhangi bir kıta kenarı için yerel deniz seviyesi değişimlerinin tarihçesini ortaya çıkarır. Dünyanın değişik kesimlerindeki kıta kenarları yerel deniz seviyesi değişimlerinin tarihçesinin korelasyonu, östatik deniz

seviyesinin bir resminin çıkarılmasına olanak sağlayabilir. Bu tür bir teknik, bu konuda çalışan ilk araştırmacılardan birinin adına atfen *Vail deniz seviyesi eğrisini* üretmek üzere uygulanmıştır (Şekil 37).

Sonuç olarak östatik deniz seviyesi eğrisini kıtasal taşkın alanlarını kullanarak (Halam yöntemi) veya sekans stratigrafisini (Vail yöntemi) kullanarak elde etmek mümkündür. Vail ve Halam östatik deniz seviyesi eğrileri, farklı yöntemlerle elde edilmiş olsa da, anahatları itibariyle oldukça benzerdir. (Şekil 38) . Ayrıntıda ise belirgin farklılıklar mevcuttur. Deniz seviyesi değişimlerinin sedimanter sekanslara yönelik olarak kullanılması ilk olarak, petrol şirketleri tarafından açık deniz petrol rezervlerinin araştırılmasında bir yan ürün olarak geliştirildi. Çok daha sonraları, sedimanter sekans konsepti havza içi yada havzalar arası korelasyonun bir amacı olarak kullanıldı. Bu uygulama *sekans stratigrafisi* olarak bilinir, ve basitçe çökel sekansların ve bunlar arasındaki uyumsuzlukların tanınmasına dayanır. Çoğu sekans stratigrafisi uzmanı, sekansların allosiklik mekanizmaların [ve başlıca da bağlı deniz seviyesindeki değişimlerin] sonuçları olarak üretildiğine inanıyorlar. Sekansları bağlayan sınırların kökensel olarak deniz seviyesindeki değişimlerle ilgili olduğu düşünülüyor.

Eğer deniz seviyesindeki değişimler östatikse (dünya ölçekli) ortaya çıkacak sekans sınırları bir kıta kenarından diğer kıta kenarına korele edilebilecektir. Ancak bazı araştırmalar kıtasal alanlardaki bağlı yükselmelerin, hatta artan sediman getiriminin (ki bunlar otosiklik mekanizmalardır) sekanslar içindeki bağlı onlap ve offlap desenlerine neden olmayacağını ileri sürüyorlar. Sekans sınırlarının nedeni ne olursa olsun sekans stratigrafileri, sedimanter sekansların ve bunları sınırlayan uyumsuzlukların korelasyonunda belli bir başarı düzeyi tutturmuşlardır.

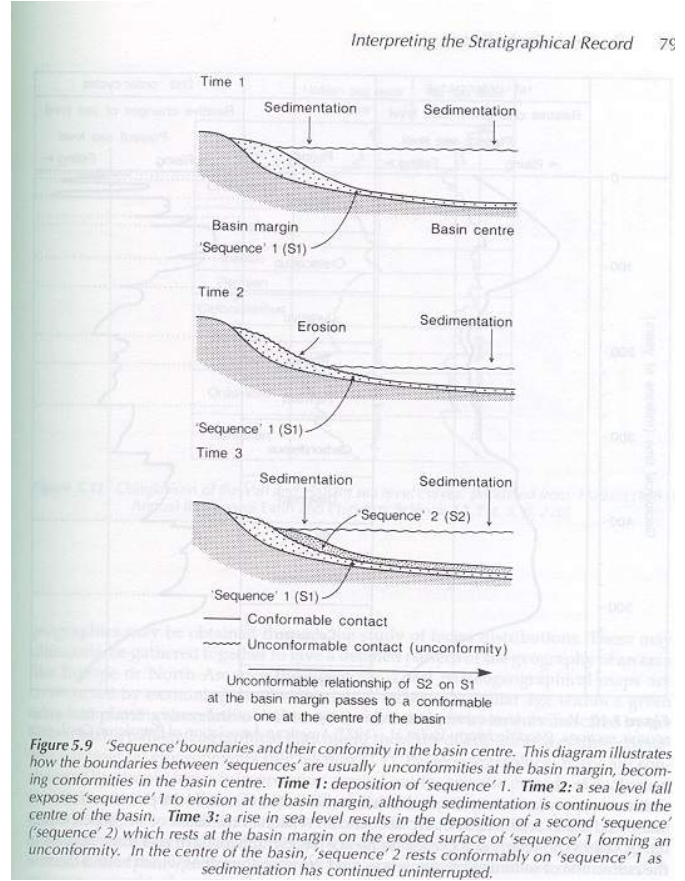


Figure 5.9 'Sequence' boundaries and their conformity in the basin centre. This diagram illustrates how the boundaries between 'sequences' are usually unconformities at the basin margin, becoming conformities in the basin centre. **Time 1:** deposition of 'sequence' 1. **Time 2:** a sea level fall exposes 'sequence' 1 to erosion at the basin margin, although sedimentation is continuous in the centre of the basin. **Time 3:** a rise in sea level results in the deposition of a second 'sequence' ('sequence' 2) which rests at the basin margin on the eroded surface of 'sequence' 1 forming an unconformity. In the centre of the basin, 'sequence' 2 rests conformably on 'sequence' 1 as sedimentation has continued uninterrupted.

Şekil 36: Sekans sınırları ve havza ortasında uyumlulukları.

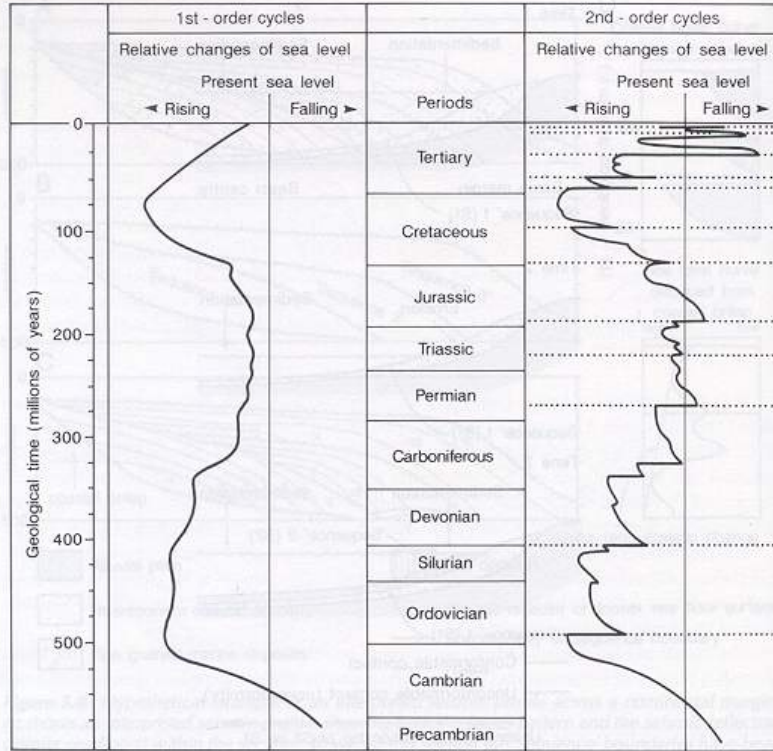


Figure 5.10 Vail sea level curve produced from the analysis of sedimentary 'sequences' within seismic sections. [Modified from: Vail et al. (1977) American Association of Petroleum Geologists Memoir 26, Fig. 1, p. 84]

sediment supply (an autocyclic mechanism) could not have caused the patterns of relative onlap and offlap seen within many 'sequences'. Whatever the cause of 'sequence' boundaries (alloycyclic versus autocyclic), 'sequence' stratigraphers have had some success in the correlation of sedimentary 'sequences' and the unconformities which bound them.

Şekil 37: Sismik kesitlerdeki sedimanter sekanslardan yararlanılarak yapılan Vail deniz seviyesi eğrisi.

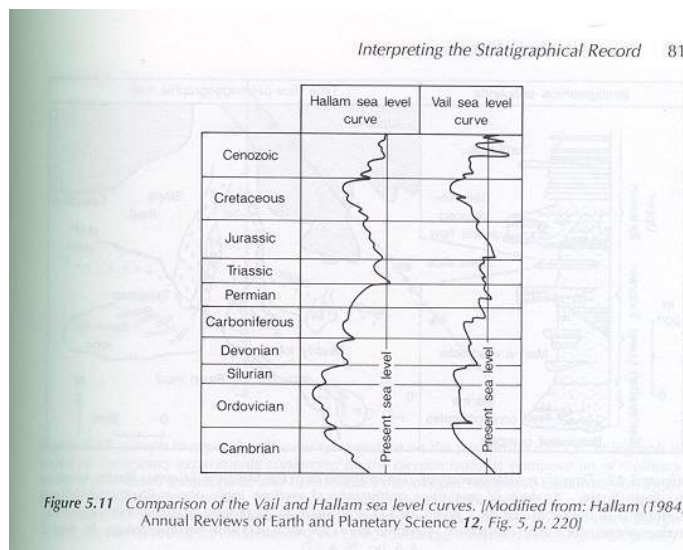


Figure 5.11 Comparison of the Vail and Hallam sea level curves. [Modified from: Hallam (1984) Annual Reviews of Earth and Planetary Science 12, Fig. 5, p. 220]

Şekil 38: Vail ve Hallam deniz seviyesi eğrilerinin karşılaştırılması

SEDİMANTER HAVZALARIN EVRİMİ VE KAPANMASI: LEVHA TEKTONİĞİNİN ROLÜ

20. yy' ın başlarında okyanus havzalarının yaşıyla ilgili olarak egemen olan görüş, onların epey eski olduklarıydı. Dahası çoğu jeolog kıtalar ve okyanusların kalıcılıklarını, yani konumlarını ve biçimlerini değiştirmeksizin hep varlıklarını sürdürdüklerini kabul ediyordu. Dağların, bir zamanlar eriyik olan dünyanın zamanla soğumasının yol açtığı gerilimler yüzünden oluştuğuna inanırlardı. Öyle ya, iç kısım soğuyup büzüldükçe zaten katı olan dış kabuk, bu hacim küçülmesi yüzünden kıvrılıp kırılacaktı. Yani dağlar, su kaybedip büzüşen meyvaların yüzeyindeki kırışıklıklar gibi algılanıyordu. Her ne kadar yetersizse de, bu düşünce sistemi zamanın jeolojik kavrayışını büyük ölçüde biçimlendirdi.

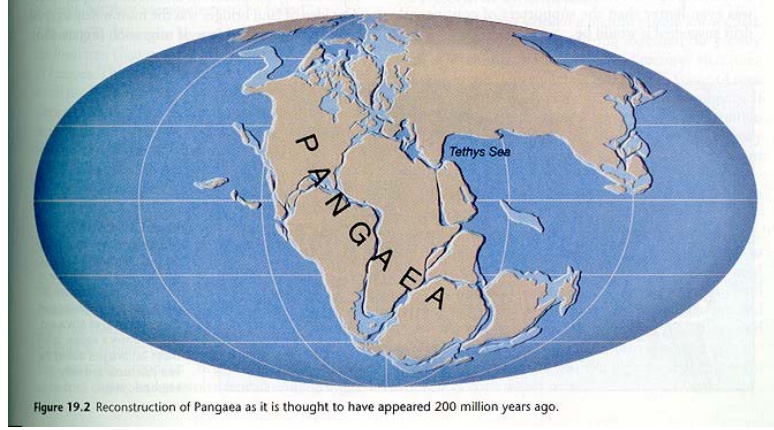
Ancak, 1960' lardan bu yana muazzam miktarlardaki yeni veriler gezegenimizin nasıl çalıştığı ve nitelikleri konusundaki kavrayışımızı kökten bir şekilde değiştirdi. Bu gün yerbilimciler olarak biliyoruz ki, kıtalar yerküre üzerinde yavaş yavaş göç ediyorlar. Kara kütlelerinin birbirlerinden ayrıldığı yerlerde uzaklaşan iki blok arasında yeni okyanus havzaları oluşuyor. Bu arada okyanus tabanının yaşlı bölümleri, derin okyanus tabanlarındaki hendeklerde mantoya doğru çekiliyorlar. Bu hareket yüzünden kıtasal bloklar en sonunda birbirleriyle çarpışırlar ve dünyanın büyük sıradağlarını oluştururlar. Sonuç olarak o zamandan bu yana yeryüzündeki tektonik süreçler ilişkin yeni bir devrimci model ortaya çıktı.

Bilimsel düşüncedeki bu derin tersyüz oluş sözcüğün tam anlamıyla bir bilimsel devrim olarak tanımlanmıştır. Başka bilimsel devrimlerdeki gibi düşüncelerin ortaya atılmasıyla genel kabul görmesi arasında epey bir zaman geçmiştir. Devrim, 20. yy başlarında kıtaların dünya üzerinde sürüklendiğini ileri süren düz bir mantıkla başlamıştır. Yıllar süren ateşli tartışmalardan sonra, kıtaların kaydığı fikri, imkansız bulunduğundan, yerbilimcilerin büyük çoğunluğu tarafından reddedildi.

Hareketli bir dünya kavramı, özellikle Kuzey Amerikalı Jeologlar için nahoş bir şeydi, çünkü bur kavramı destekleyecek çoğu veri kendilerinin pek aşına olmadıkları güney kıtalardan toplanmıştır. Ancak 1950 ve 1960' larda yeni veriler neredeyse terkedilmiş olan bu öneriye yeniden dikkat çekti. Artık 1968' de, bu yeni gelişmeler, kıtaların sürüklenmesi ve deniz tabanı yayılmasının özelliklerini içeren şimdiye kadarki en kapsamlı teorinin, levha tektoniği teorisinin, hayat bulmasının sağladı.

Kıtaların Sürüklenmesi: Erken doğmuş bir düşünce

Kıtaların, özellikle Güney Amerika ve Afrika'nın, bir parçalı resim bulmacasının bölümleri gibi birbirine uyduğu düşüncesi dünyanın makul doğruluktaki ilk haritalarının gelişmesiyle ortaya çıktı. Ancak buna, bir Alman meteorolog ve jeofizikçi olan Alfred Wegener'in "Kıtalar ve Okyanusların Kökeni" ni bastığı 1915 yılına değin pek az önem verildi. Bu kitabında Wegener köktenci nitelikteki kıta sürüklenmesi (continental drift) hipotezinin temel hatlarını ileri sürüyordu.



Şekil 39: 200 milyon yıl önceki Pangea'nın bir rökonstrüksiyonu

Wegener, bir zamanlar varolduğunu düşündüğü bir tek süperkıtanın (Pangea "bütün kıtalar" anlamında bir uydurma sözcük) varlığını önerdi. Dahası o, bu süperkıtanın 200 milyon yıl önce daha küçük kıtalara kırılmaya başladığını, ve daha sonra da bunların bu günkü konumlarına sürüklendiklerini idda etmiştir. Bu hipotezin savunuculuğunu yapan Wegener ve diğerleri iddalarını desteklemek için temel veriler topladılar. Kuzey ve Güney Amerika'nın birbirine uyması, fosil kanıtları, kaya yapıları ve eski iklimler, hepsi, şimdi ayrı olan bu kara kütlelerinin bir zamanlar bitişik olduğu fikrini destekliyordu. Şimdi bu kanıtları inceleyelim:

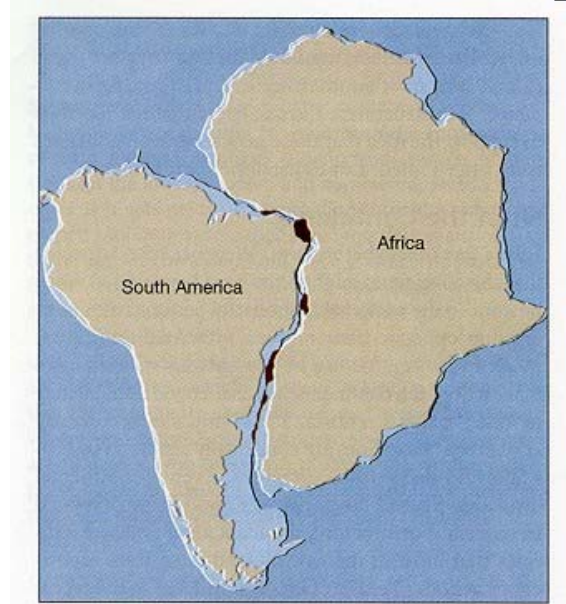


Figure 19.3 This shows the best fit of South America and Africa along the continental slope at a depth of 500 fathoms (about 900 meters). The areas where continental blocks overlap appear in brown. (After A. G. Smith, "Continental Drift." In *Understanding the Earth*, edited by I. G. Cass. Courtesy of Artemis Press)

Şekil 40: Güney Amerika ve Afrika kıtalarının kenarları birbirine iyi düzeyde uyum gösterir.

Kıtaların Uyumu:

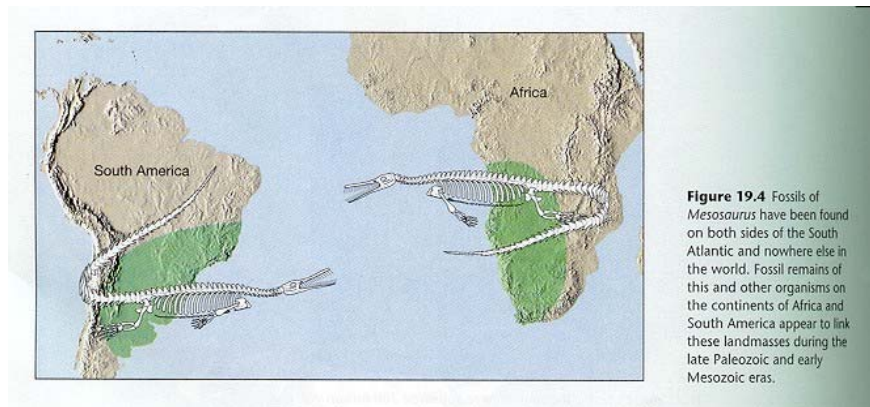
Ondan önceki bir kaç gibi Wegener de güney Atlantik'in iki yakasının kıyı şekli arasındaki dikkat çekici benzerliğin farkına varmış, ve bu kıtaların bir zamanlar bitişik olabileceğini ileri sürmüştü. Ancak onun bugünkü kıyı çizgileri boyunca kıtaları birbirine çakıştırmak üzere kullanması derhal diğer yerbilimcilerin muhalefetini çekti. Bu muhalifler, haklı bir şekilde, kıyı çizgilerinin aşındırıcı ve biriktirici süreçler tarafından sürekli değiştirildiğini ileri sürüyorlardı. Kıtalar yer değiştirmiş olsa bile onların kenarlarının bugün iyi bir uyum göstermesi bu yüzden pek mümkün olamazdı. Dahası, pek çok fosil kanıtı, dünya yüzünün jeolojik geçmişte yükselmeler ve çökmeler yaşadığını göstermişti. Ek olarak bu da eski kıta kıyılarının şeklinin ve konumunu değiştirmiş olmalıydı. Wegener bu sorunlardan habersizdi; üstelik onun kıtaların yap-boz misali uyumu fikri oldukça kaba bir yaklaşımdı.

Aslında kıtaların gerçek dış sınırları kıta şelfinin açık denize kavuştuğu yerde başlar. Bugün, kıta şelflerinin deniz tarafına doğru kenarı denizin birkaç yüz metre altında bulunur. 1960'ların başında Sir Edward Bullard ve iki arkadaşı, Güney Amerika ve Afrika'nın şelflerinin 900 m derinlikteki kıta şelflerinin uyumunu gösteren bir harita ürettiler. Çok belirgin uyum Şekil 43.3'te gösterilmiştir. Her ne kadar kıtaların üst üste çakıştığı birkaç bölge varsa da buralar akarsuların çok büyük miktarlarda sediman getirerek kıta şelfinin genişlettikleri alanlara karşılık geliyorlar. Kıta şelfinin uyumu kıta sürüklenmesini ileri sürenlerin düşündüklerinden bile daha iyidir.

Fosil Kanıtlar:

Her ne kadar Wegener Atlantik'in iki yakasındaki kıyıların dikkat çekici benzerliğiyle yakından ilgilenmişse de, o, başlangıçta hareketli bir dünya düşüncesinin imkansız olduğuna inanmıştı.

Wegener, Güney Amerika ile Afrika'yı birbirine bağlayan bir kara köprüsünün varlığına ilişkin fosil kanıtlardan sözeden bir makaleyle karşılaşana kadar kendi düşüncesini de pek ciddiye almamıştı.



Şekil 41: *Mezozorus fosili* hem güney Amerika hem de Afrika'da bulunmuştur.

Gerçekten, Wegener bu konudaki yayınları araştırarak paleontologların (bitki ve hayvanların fosilleşmiş kalıntılarının inceleyen bilim adamları) birbirinden epey ayrı duran kara kütlelerindeki özdeş fosillerin varlığını açıklamak üzere bir tür kara bağlantısının varlığında hem

fikir olduklarının gördü. Bu gereklilik, özellikle geç Paleozoyik – erken Mesozoyik yaşam formları için doğrudur.

Mezozorus: Wegener, Pangea süperkıtasının varlığına ilişkin kanıtlarına bir güvenilirlik kazandırmak için her iki kıtada olan, ama şimdi ayrık duran iki kıta arasındaki okyanusu geçemeyecek bazı fosil organizmaların bahsedildiği çalışmalardan söz eder. Bunun klasik örneği, olasılıkla sucul olan, fosil kalıntıları yalnız Güney Amerika ve Güney Afrika’ da bulunan testere dişli (snaggle-toothed) bir sürüngen olan *Mezozorus*’ tur. Eğer bir organizma güney Atlantik okyanusunu geçebilecek kadar iyi yüzebilseydi, kuşkusuz başka kıtalara da yayılırdı. Başka kıtalarda bulunmadığından Güney Amerika ve Afrika’nın bir şekilde bitişik olması gerektiğini ileri sürüyordu.

Wegener zamanında, birbirinden binlerce kilometrelik açık okyanusla ayrılmış yerlerdeki özdeş fosillerin keşfi nasıl açıklanıyordu? Kara köprüsü fikri, göç sorununun çözümünde en yaygın kabul göreniydi (Şekil 43.5). Örneğin biz bugün biliyoruz ki, son buzul çağı sırasında deniz seviyesinin düşmesi Asya ile Kuzey Amerika arasındaki dar Bering boğazı boyunca hayvanların geçişine olanak sağladı. Buna benzer şekilde Afrika’yı Güney Amerika’ya bağlayan bir kara köprüsü mümkün müydü? Bu gün kesinlikle biliyoruz ki, bu büyüklükte kara köprüleri mevcut değildi. Eğer olsaydı onları deniz altında bir yerlerde bulurduk; ancak bulamıyoruz.

Glossopteris: Wegener, Pangea’nın varlığını kanıtlamak üzere bir eğreltiotu türü olan *Glossopteris*’in de yayılımından söz ediyor. Çok uzaklara sürüklenemeyen iri tohumlarıyla tanınan bu bitkinin büyük ölçüde Afrika, Avustralya, Hindistan ve Güney Amerika’ da geç Paleozoyik’ te bulunduğu biliniyor. Ayrıca Wegener *Glossopteris* fosil artıklarının yalnız subpoler iklimde yaşadığını da öğrenmiş bulunuyordu. Şu halde, bu kıta parçaları bir zamanlar birleşik olmalıydı; çünkü kıtaların bu günkü konumu, soğuk seven bu bitkiler için hepten uygun değildi. Wegener’ e göre bu fosiller bir süperkıtanın varlığını gösteren ikna edici kanıtlardır.

Bugünkü Organizmalar:

Kitabında Wegener, kıtaların sürüklenmesi kavramını desteklemek üzere bugünkü organizmaların dağılımından da söz eder. Örneğin, benzer atalara sahip olan güncel organizmalar, son birkaç on milyon yıl boyunca yalıtılmış bir şekilde evrimleşmiş olmalıydılar. Bunun en açık olanı Avustralya marsupiyalleri (örneğin kanguru) gibi her iki Amerika’ da bulunan fosil marsupiyal opozumlarla akrabalığı bulunan hayvanlardı.

Kayaç Türleri ve Yapısal Benzerlikleri:

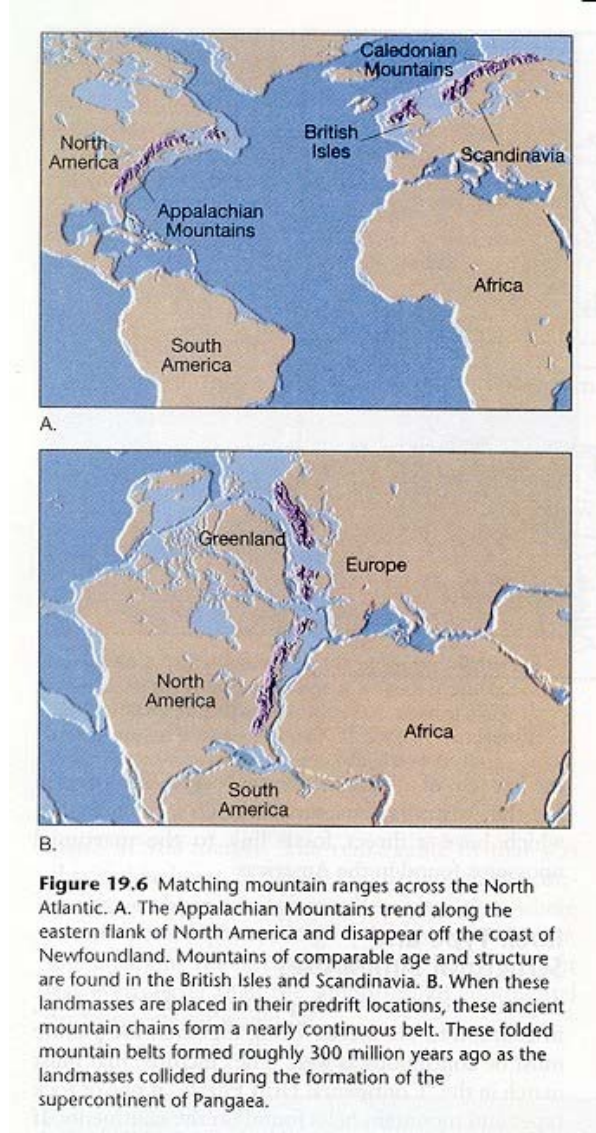
Resim yap bozlarıyla uğraşan herkes, parçaların birbirine uymasının yanısıra, sonuçta ortaya çıkacak resmin de süreklilik göstermesi gerektiğini bilir. Kıta sürüklenmesi yap bozuna uyması gereken bir başka resim kıtalar üzerindeki kaya türleri ve dağ kuşaklarıdır. Eğer bu kıtalar bir zamanlar bir bütün idiyse, bir kıta üzerinde belli bir bölgedeki kayaç, bu kıtaya sınır itibariyle uyan diğer kıta üzerindeki komşu bölgede aynı yaş ve türde bulunmalıdır.

Bu kıtanın sahilinde kaybolan ve sonra bu kez diğer kıtanın üzerinde yeniden gözükten dağ kuşağı şeklindeki bu tür kanıtlar mevcuttur. Örneğin, Appalaşları içeren dağ kuşağı Birleşik Devletlerin doğusu boyunca kuzeydoğu gidişli olarak uzanır ve New Foundland sahili açıklarında kaybolur. Benzer yaş ve yapıdaki dağlar Britiş adalarında ve İskandinavya'da da bulunur. Bu kara kütleleri yeniden bir araya getirildiğinde (Şekil 43.6 B) dağ zinciri neredeyse sürekli bir kuşak halini alır.

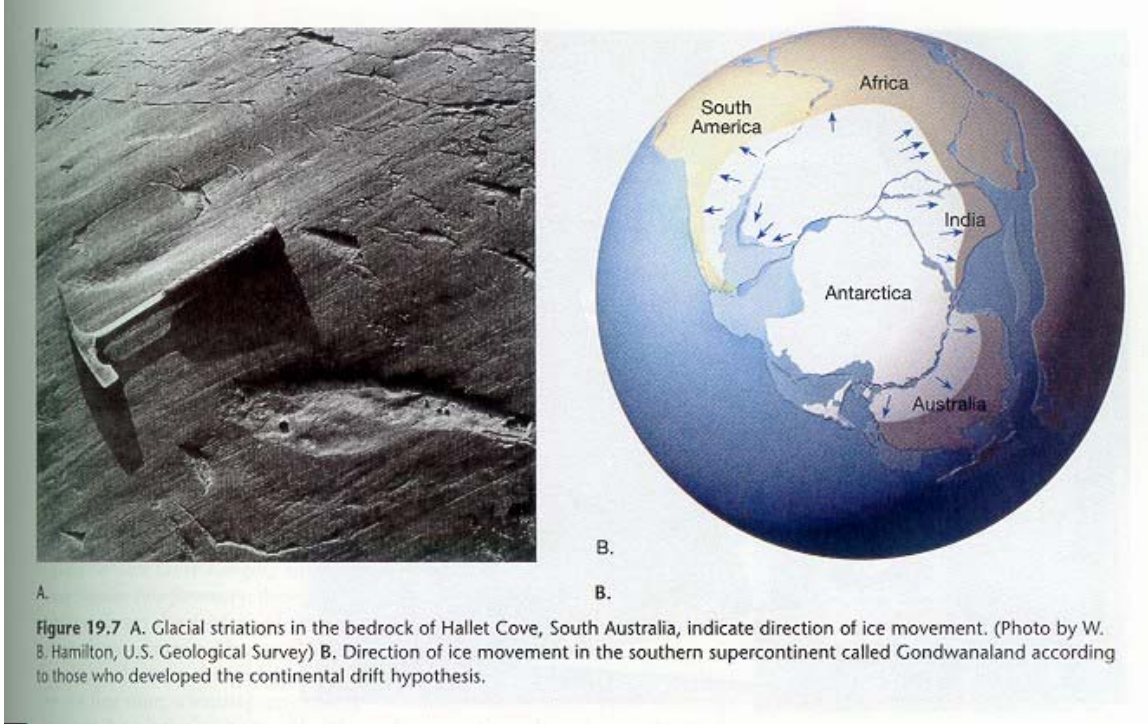
Wegener, Atlantik'in iki yakasındaki kayaç yapıları benzerliğinin bu kara parçalarını kuramsal olarak birbirine bağlamasından çok hoşnut kaldı. Kendi ifadesiyle; "Bütün yapılan, sanki yırtılan bir gazete kağıdını, kenarlarının denkleştirerek bir araya getirmek ve sonra yazı satırlarının bir taraftan diğer tarafa kesintisizce geçişini sağlamak gibi bir şey!"

Eski İklimsel Kanıtlar:

Alfred Wegener meslekten bir meteorolog olduğundan, kıta sürüklenmesini destekleyen Paleoklimatik (eski iklimsel) verileri sağlamayla yakından ilgiliydi. Çabaları, dramatik bir küresel iklim değişimine ilişkin kanıtları bulduğunda meyvasını verdi. Özellikle, Paleozoyik döneminin



Şekil 42: Kuzey Atlantik'te birbirine uyan dağ zincirleri



Şekil 43: Güney Avustralya’da bir kaya üzerinde buzul çizikleri.

sonuna yakın (220-300 Milyon yıl arasında) kalın bir buz örtüsünün güney yarıkürede geniş alanları kapladığını öğrendi. Aynı yaştaki buzul çökeli tabakaları Güney Afrika’ da, Kuzey Amerika’ da ve Hindistan ve Avustralya’ da gözlemlendi. Bu buzul çökellerinin altında çizilmiş ve üzerinde oluklar oluşmuş anakayaçlar bulundu. Bazı yerlerde, buzulların şimdiki deniz tarafından karalara doğru kaymış olduğu saptandı. Geç Paleozoyik buzullaşmasının kanıtlarını içeren alanların çoğu bugün subtropikal / tropikal kuşakta, Ekvatorun 30 derece iki yanında bulunur.

Gerçekten dünyanın bugün tropikal kuşakta kalan bazı bölgeleri, bir zamanlar, yaygın bir kıtasal buz örtüsünün oluşumuna yol açan bir soğukluk dönemi mi geçirmiştir? Yani kıtalar bugünkü konumlarındayken sözü edilen geçmişte bütün bölge soğumuş muydu?

Wegener bu hipotezi aynı zaman diliminde (yani o zaman güneyde buzullar gelişirken) kuzey yarıkürede geniş tropikal bataklıkların bulunması yüzünden reddediyordu. Gelişkin bitkileriyle bu bataklıklar en sonunda Birleşik Devletler, Avrupa ve Sibirya’ nın kömür yatakları haline gelmişlerdir. Bu kömür yataklarından elde edilen fosiller göstermektedir ki, o zamanki ağaç eğreltiotları büyük yapraklara sahiptiler ve bu olasılıkla tropikal yerleşimi göstermektedir. Dahası o zamanki kömürler arasında korunmuş ağaçların büyüme halkaları gelişmemişti, ki bu tropikal koşullarda pek gözlenmeyen mevsimsel sıcaklık değişimleri yüzündendir.

Wegener’ in iddası, Güney Afrika bölgesinin güney kutup civarında olduğu o zamanki bir tek kıtanın (Pangea) sözkonusu olduğu idi.

Fakat bugünün kurak sıcak Avustralya’ sında buzullar nasıl gelişmiş olabilirdi? Çok yaygın açık sular boyunca kara hayvanları nasıl göç etmiş olabilirdi? Veriler ikna edici olmakla birlikte, bilim camiasının çoğunluğunun “kıta sürüklenmesi” kavramını ve bunun mantıksal sonuçlarını kabul etmesi için 50 yılın geçmesi gerekti.

Büyük Tartışma:

Wegener’ in önerisi 1924’te, kitabı İngilizce, Fransızca, İspanyolca ve Rusça’ ya çevrilene kadar, açık bir eleştiri çekmedi. Bu tarihten 1930’ da ölümüne kadar onun “sürüklenme hipotezi” düşmanca bir eleştiri dalgasına maruz kaldı. Saygın Amerikan Jeoloğu R.T. Chamberlain’ den aktarırsak;

“Wegener’in hipotezi genelde avare türünden bir hipotezde; öylesine ki, dünyamıza özgürlük getirdi, onu daha az bağlı kıldı. Başka saçma, çirkin rakip teorilerden çok daha az onu kısıtladı. Bu kuramın bütün arzusu oyunu daha az sınırlayıcı ve daha az keskin belirleyici kurallarla oynamaktır.”

W. B. Scott, eski Amerikan Felsefe Kurumu başkanı, kıta sürüklenmesi ile ilgili egemen Amerikan görüşünü, hipotezi tanımlayan şu bir kaç sözcükle açıkladı.

“Tam bir deli saçması”

Kıtaların Sürüklenmesi ve Paleomanyetizma

1930’ larda Wegener’ in ölümünden 1950’ lere kadar kıta sürüklenmesi hipotezi konusunda pek az yeni açılım sağlanabildi. Dünya yüzeyinin % 70 inden fazlasını kaplayan okyanusların altı

konusunda pek az şey biliniyordu. İşte bu kısmen araştırılmamış bölge, gezegenimizin pek çok gizinin çözülmesinde bir anahtar olmuştur.

Kıta sürüklenmesi konusunda yeni bir ilginin başlangıç atılımı, olasılıkla, yeni bir çalışma alanı olan, kayaç manyetizması ile gelmiş olmalıdır. Kayaç manyetizmasını çalışan ilk araştırmacılar, bugünkü manyetik alanın niteliklerini anlayabilmek için geçmişte yerin manyetik alanının nasıl



Figure 19.9 Earth's magnetic field consists of lines of force much like those a giant bar magnet would produce if placed at the center of Earth.

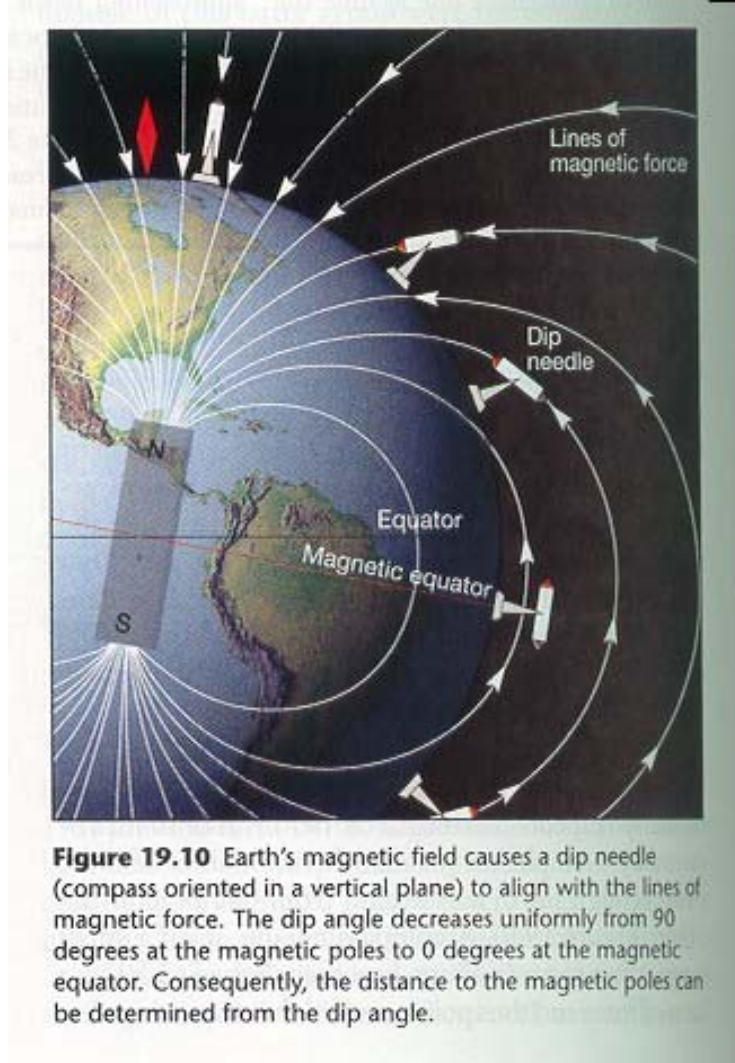
Şekil 44: Yer manyetik alanı.

değiştiğini incelemenin yarar sağlayacağını umdular. Pusula kullanan herkes bilir ki, manyetik alan bir kuzey ve bir güney kutba sahiptir. Bugün bu kutuplar coğrafik kutulara yakındır, fakat onunla tam çakışmazlar.

Paleomanyetizma

Pek çok açıdan bir manyetik alan, basit bir mıknatıs çubuğunun ürettiğine benzer. Görülmez kuvvet çizgileri dünyayı kat eder ve bir kutuptan diğerine uzanır. Kendisi de küçük bir mıknatıs olan ve serbest hareket edebilen bir pusula iğnesi, bu kuvvet çizgilerine paralel olarak yönelir ve sonuç olarak kutupları gösterir.

Eski zamanlardaki manyetik alan incelemeleri, belli kayaların “fosil pusulalar” işleri gören bazı mineralleri içermesi gerçeğine dayanır. Bu demirce zengin mineraller (örneğin manyetit gibi) bazaltik bileşimli lav akışlarında yaygındır. Curie (Küri diye okunur) noktası olarak bilinen bir sıcaklıkların daha yükseğe ısıtılırsa, bu manyetik mineraller manyetizmalarını kaybederler. Ancak, bu demirce zengin mineraller Curie sıcaklığının (yaklaşık 5800C) altındaki bir sıcaklığa soğutulduklarında, o anki manyetik kuvvet



Şekil 45: Yer manyetik alanı pusula iğnesinin sapmasına yolaçar.

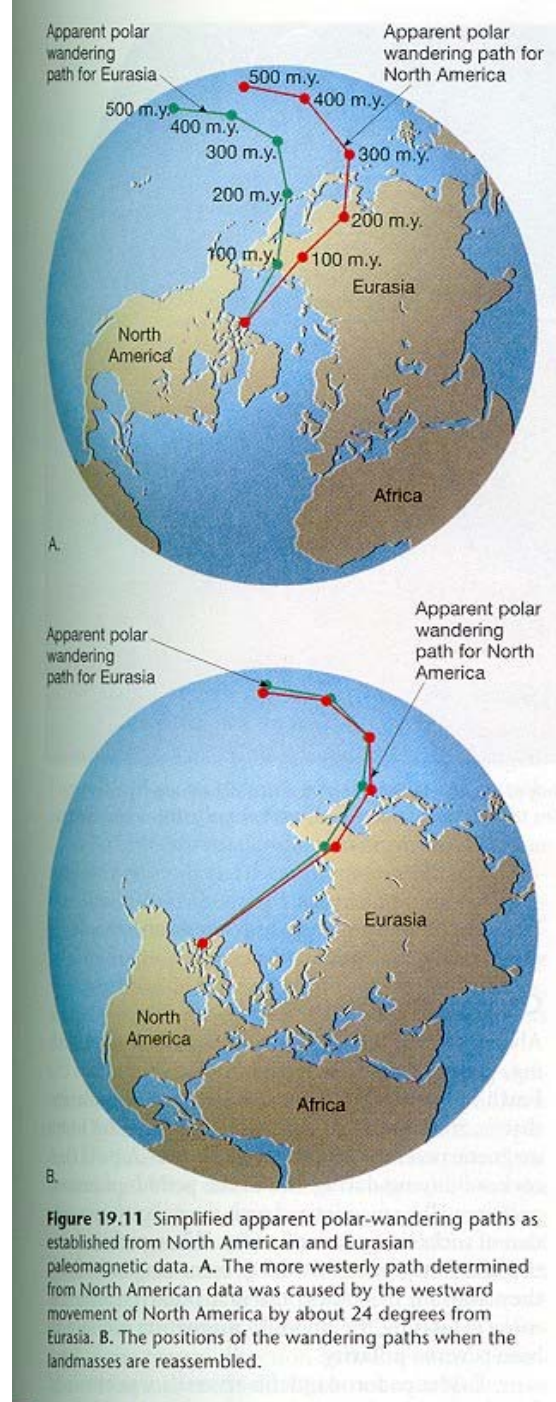
çizgilerine paralel doğrultuda bir mıknatıslanma kazanırlar. Mineral bir kez katılaştığında, sahip olduğu manyetizma o konumda donup kalacaktır. Bu açıdan onlar, mıknatıs iğnesi gibi davranacak; soğuma anındaki manyetik kutba işaret edeceklerdir. Bu durumda, şayet kayaç yer değiştirmiş, ya da manyetik kutup konum değiştirmiş ise, kayaç manyetizması çoğu durumda,

orijinal (ilksel) yönelimini koruyacaktır. Binlerce, hatta milyonlarca yıl önce oluşmuş olan bu oluşumları anındaki manyetik kutup konumlarını “kaydetmiş” olan kayaçlar, şu halde “fosil manyetizma” veya “paleomanyetizmaya” sahiptir denir.

Kayaç manyetizmasının bir başka önemli yönü şudur ki, manyetizma kazanmış mineraller yalnız manyetik kutupların doğrultusunu göstermez; aynı zamanda oluştukları yerin enlemi (kutba yakınlığı, ekvatorдан uzaklığı) konusunda da bilgiler taşırlar. Paleomanyetizmadan enlemin nasıl elde edilebileceğini gözümüzün önüne getirebilmek için, düşey bir düzlem üzerine yerleştirilmiş bir pusula iğnesi düşünelim. Böyle bir düzenek kuzey manyetik kutup civarında durduğunuzda manyetik kuvvet çizgilerine paralel olarak ve neredeyse yeryüzüne dik olarak duracaktır. Bu düzenek ekvatora doğru yaklaştırıldıkça eğim açısı giderek azalacak ve bu civardaki yatay kuvvet çizgilerine paralel duracaktır. Bu basit deney bize göstermektedir ki paleomanyetizma kayaçların eski enlem konumlarını belirlemek için kullanılabilir bir araçtır.

Kutup Gezinmesi

1950’ lerde S. K. Runcorn ve arkadaşlarının Avrupa’ da yürüttüğü bir çalışma hiç beklenmedik bir keşfe yol açtı. Farklı yaşlardaki lav akışları içinde bulunan denirce zengin minerallerin manyetik diziliminin oldukça farklı olduğu bulundu. Manyetik kuzey kutbunun görünür konumunun işaretlenmesi, son 500 milyon yıl içerisinde, kutbun konumunun Hawaii yakınındaki bir yerden, kuzeye doğru doğu Sibirya’ ya ve oradan da, bugünkü konumuna yavaş yavaş göç ettiğini (gezindiğini) göstermiştir. Bu, ya



Şekil 46: Kuzey Amerika ve Avrasya’ dan paleomanyetik verilerle kurulan kutup gezinmesi rotası.

manyetik kutbun zaman içerisinde göç ettiğinin (ki buna “polar gezinme” deniyor) ya da lavların zamanla hareket ettiğini başka deyişle kıtaların sürüklendiğinin güçlü bir kanıtıydı.

Manyetik kutupların hareket ettiği biliniyorsa da, manyetik alan çalışmaları göstermektedir ki, manyetik kutupların ortalama pozisyonları coğrafik kutupların pozisyonlarına tekabül etmektedir. Bu, bizim manyetik alanın kısmen yerin kendi etrafında dönmesinden kaynaklandığına ilişkin bilgimize uygun düşmektedir. Coğrafik kutuplar belirgin bir şekilde gezinmiyorsa ki bunun böyle olduğunu biliyoruz, manyetik kutuplarda büyük ölçüde gezinemez. Öyleyse, görünür polar gezinmenin daha kabul edilebilir bir açıklaması kıta sürüklenmesi hipoteziyle sağlanmıştır. Eğer manyetik kutupların konumu sabitse, görünür hareket kıtaların sürüklenmesiyle oluşturmaktadır.

Bu son fikir, Avrupa’ nın kayaç manyetizmasından sağlanan enlemi ile paleomanyetizmadan sağlanan kanıtların karşılaştırılması ile daha da desteklendi. Kömür oluşturan geniş bataklıklar bütün; Avrupa’ yı kapladığında, paleomanyetik çalışmalar Avrupa’ yı ekvatora yakın bir yerde göstermektedir, ki bu, kömür yataklarının özelliklerine uygundur.

Kıta sürüklenmesi için daha fazla kanıt, birkaç yıl sonra Kuzey Amerika ve Avrupa için polar gezinme eğrilerinin oluşturulmasıyla gerçekleşti. Kuzey Amerika ve Avrupa’ ya ait eğriler, herkesi şaşkırtacak bir şekilde, benzer bir rotaya sahipti, yalnızca 240 boylamıyla ayrılmıştı. Bu kayaçlar soğuduklarında, birbirine paralel göç eden iki manyetik kuzey kutbu bu vardı? Bu imkansızdı. Bu polar göç yollarının farklılığı, şimdi ayrı duran bu iki kıta yanyana getirildiğinde halloluyordu. O zaman iki gezinme eğrisi birbiriyle çakışıyordu.

Bu yeni veriler kıta sürüklenmesine olan ilgiyi alevlendirmesine karşın, düşüncelerde net bir atılıma yol açmadı. Bunun bir nedeni, paleomanyetik verileri elde etmede kullanılan tekniklerin yeni olması ve, henüz test edilmemiş olmasıydı. Dahası, kayaç manyetizması zamanda gerilere gidildikçe zayıflıyordu. Su sorunlara ve diğer muhalif görüşlere karşın bazı araştırmacılar kıta sürüklenmesinin gerçekleştiğine ikna oldular. Yeni bir dönem başlamıştı.

Bir Bilimsel Devrim Başlıyor

1950 ve 60’ larda, büyük teknolojik ilerlemeler okyanus tabanlarının yoğun bir şekilde haritalanmasını olanaklı kıldı. Bu çalışmalar küresel ölçekli bir okyanus sırtı sisteminin keşfini getirdi. Dahası, Atlantik ortasındaki sırt Atlantiğin her iki kenarına paralel bulunuyordu. Atlantik ortası sırt boyunca uzanan bir merkezi vadinin keşfi de oldukça önemliydi, bunun varlığı bu merkezi bölgede büyük çekme gerilmelerin çalıştığını gösteriyordu. Buna ek olarak yüksek ısı akışı ve volkanizma da okyanus sırtı sistemini karakterize ediyordu.

Okyanusların başka bölgelerinde de ek bazı keşifler yapıldı. Derin okyanus çukurları civarında yapılan deprem çalışmaları, buradaki tektonik aktivitenin kabuğun oldukça derinlerinde gerçekleştiğini gösterdi. Denizin 100’ lerce metre altında bulunan zirveleri düzleştirilmiş denizaltı

dağları (seamount) önceleri olasılıkla su üstünde bulunmuş ve aşınmayla tepeleri aşındırılmıştı. Bütün bu önemli bilgilere ek olarak okyanusların tabanından taranan kayaçların yaşları 160 milyon yılı geçmiyordu. Acaba okyanus tabanı jeolojik olarak daha genç bir özellik miydi?

Deniz Tabanı Yayılması (Sea Floor Spreading)

1960' ların başında henüz keşfedilmiş olan bu yeni olgular Princeton Üniversitesinden (ABD) Harry Hess tarafından, daha sonra deniz tabanı yayılması olarak adlanan bir hipotez olarak bir araya getirildi.

Alçak gönüllü bir kişi olan Hess

makalesini "Jeosir" de bir deneme" olarak sundu. Önceki kuram olan "Kıtasal Sürüklenme" nin okyanusal havzaları büyük ölçüde ihmal etmesinin aksine, deniz tabanı yayılması doğrudan görüşümüzün uzağındaki alanın aktivitesine odaklanmıştır.

Şimdi artık klasik olan makalesinde, Hess, okyanus ortası sırtların manto yükselim zonlarının üstünde konumlandığını önerdi (Şekil 47). Mantodan yükselen malzeme yanlara doğru yayıldıkça, deniz tabanı tıpkı bir kaşyıcı kuşak gibi sırt zirvesinden öteye doğru taşınır. Burada çekme kuvvetleri kabuğu kırıklar ve magmanın içine girebileceği ve yeni okyanusal kabuk oluşturabileceği bir boşluk sağlar. Yani deniz tabanı sırttan uzaklaştıkça, sırtta yeni kabuk oluşumu gerçekleşir. Hess, ayrıca, Peri – Chile hendeği gibi derin okyanus hendeklerinin okyanusal kabuğun gezegenin içine çekildiği yerler olduğunu ileri sürmüştür. Buralarda, okyanusal kabuğun yaşlı kısmı mantoya doğru çekildikçe yavaş yavaş tüketilir. Bir araştırmacının dediği gibi: "Okyanusal kabuğun genç olduğuna şüphe yoktur" hatta;

Deniz tabanı yayılması hipotezinin zemin bulmasıyla birlikte, Harry Hess bilimsel devrimin bir başka evresini başlattı. Düşüncelerini destekleyen nihai kanıtlar birkaç yıl sonra bir lisans üstü öğrencisi Fred Vine ve danışmanı D. H. Matthew' un çalışmaları ile geldi. Vine ve Matthews' un çalışmalarının büyüklüğü, daha önceleri ilgisizmiş gibi düşünülen iki fikri, Hess' in deniz tabanı yayılması hipotezini ve henüz keşfedilmemiş olan jeomanyetik terslenmeyi, birleştirebilmesindeydi.

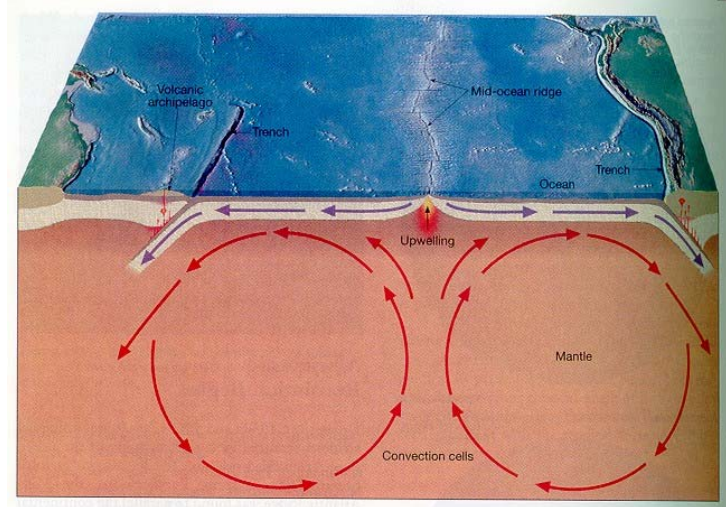


Figure 19.12 Seafloor spreading. Harry Hess proposed that upwelling of mantle material along the mid-ocean ridge system created new seafloor. The convective motion of mantle material carries the seafloor in a conveyor-belt fashion to the deep-ocean trenches, where the seafloor descends into the mantle.

Şekil 47: Deniz tabanı yayılması.

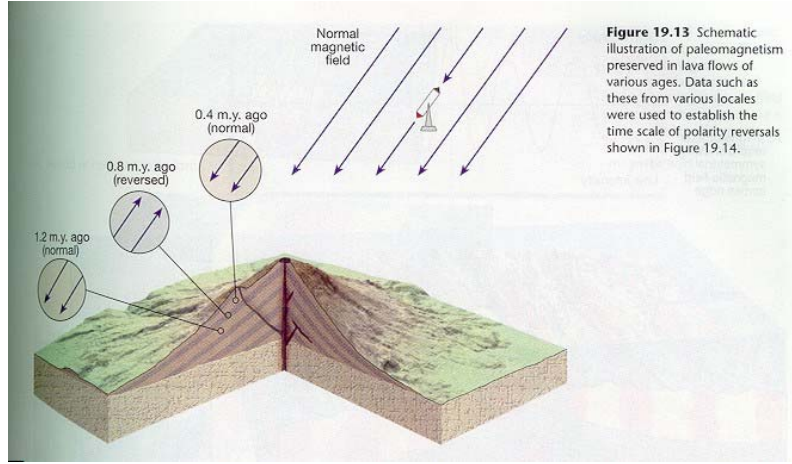
Jeomanyetik Terslenmeler

Hess' in deniz tabanı yayılması formüle ettiği dönemde Jeofizikçiler yerin manyetik alanının periyodik olarak

terslendiği (yani zamanla kuzey manyetik kutbu güney ve güney manyetik kutbun da kuzeye dönüşmesi) olgusunu kabul etmeye başlamışlardı. Ters polarite dönemlerinden

birinde katılmış olan bir kayaç, bugün oluşan kayaçların tersi bir şekilde mıknatıslanmış olacaktır. Bugün manyetik alanda aynı manyetizmayı sunan kayaçlar “normal polarite” tersi söz konusu ise “ters polarite” sahiptir denir.

Manyetik terslenme kanıtları dünyadaki sediman ve lav örneklerinden elde edilmiştir. Manyetik terslenme kavramı bir kez kabul gördükten sonra, araştırmacılar polarite terslenmeler için bir zaman ölçeği oluşturmaya giriştiler. Yeryüzünde volkanik aktivitenin, kesik kesik te olsa milyonlarca sürdüğü bölgeler vardır (Şekil 48). İş, farklı yaşlardaki çok sayıda lav akışında paleomanyetizma polaritesini ölçmektir. Bütün yerküreden toplanan bu veriler yerin manyetik alanı değiştiği zamanki yaşları saptamakta kullanılmıştır. Şekil 49'



Şekil 48: Değişik yaşlardaki lav akışlarında korunan paleomanvetizma.

kayaçların tersi bir şekilde mıknatıslanmış olacaktır. Bugün manyetik alanda aynı manyetizmayı sunan kayaçlar “normal polarite” tersi söz konusu ise “ters polarite” sahiptir denir.

Manyetik terslenme kanıtları dünyadaki sediman ve lav örneklerinden elde edilmiştir. Manyetik terslenme kavramı bir kez kabul gördükten sonra, araştırmacılar polarite terslenmeler için bir zaman ölçeği oluşturmaya giriştiler. Yeryüzünde volkanik aktivitenin, kesik kesik te olsa milyonlarca sürdüğü bölgeler vardır (Şekil 48). İş, farklı yaşlardaki çok sayıda lav akışında paleomanyetizma polaritesini ölçmektir. Bütün yerküreden toplanan bu veriler yerin manyetik alanı değiştiği zamanki yaşları saptamakta kullanılmıştır. Şekil 49'

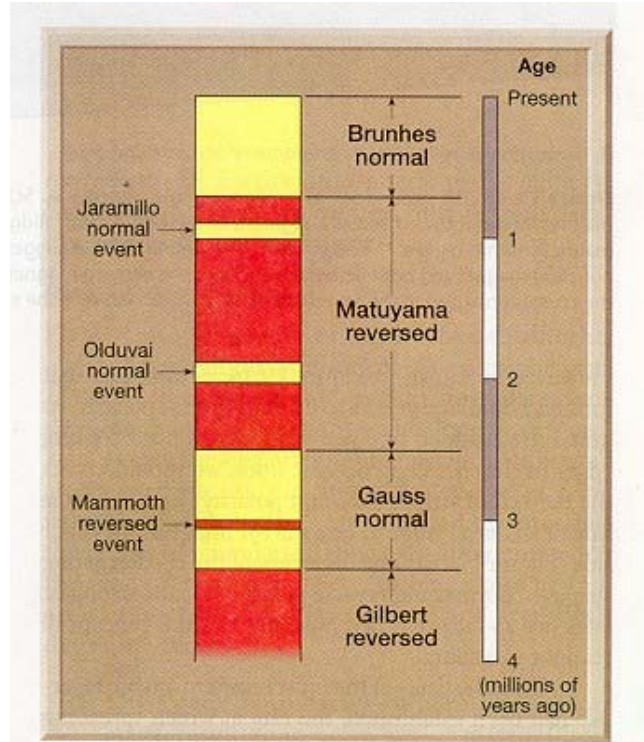


Figure 19.14 Time scale of Earth's magnetic field in the recent past. This time scale was developed by establishing the magnetic polarity for lava flows of known age. (Data from Allen Cox and G. B. Dalrymple)

Şekil 49: Yakın geçmişte yer manyetik alanının zaman cetveli.

da son birkaç milyon yıl içinde polarite terslenmesi zaman ölçeğini göstermektedir.

Bu arada, manyetik terslenmelerle deniz tabanı yayılması hipotezi arasında belirgin bir ilişki açığa çıkarılmıştır. Araştırmacılar kabaca sırtta paralel yüksek ve alçak şiddetli manyetizmanın sözkonusu olduğu kabul şeritlerinin varlığını saptamışlardır (Şekil 50). Bu manyetometre adı verilen, oldukça hassas, okyanus tabanını sırtta dik yönde kateden gemilere yüklenmiş aletlerle gerçekleştirilmiştir.

Bu oldukça basit manyetik değişim deseni 1963' te, Fred Vine ve P. H. Matthews düşük ve yüksek şiddetli dilimlerinin keşfini Hess' in deniz tabanı yayılması keşfine bağlayana kadar açıklamamıştı. Vine ve Matthews, yüksek şiddetli manyetizma şeritlerinin normal polarite gösteren okyanusal kabuğa karşılık geldiğini ileri sürmüşlerdir.

Sonuç olarak bu kayalar varolan manyetik alanı

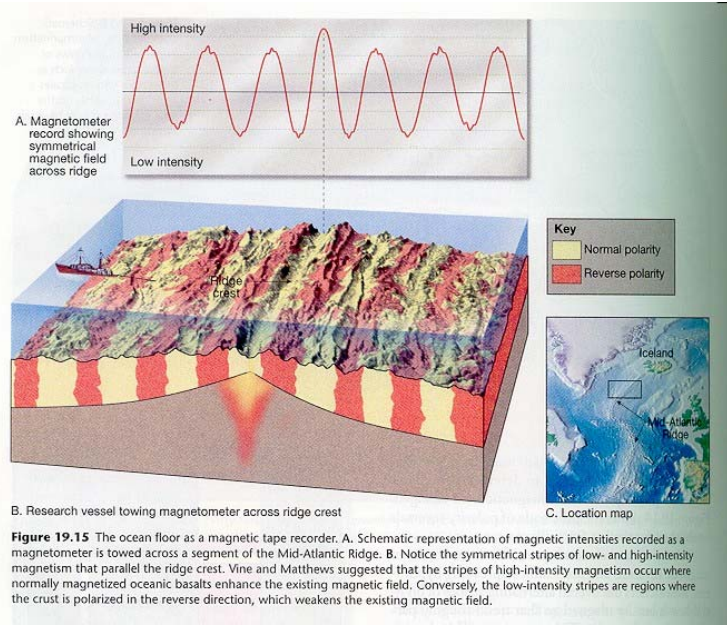


Figure 19.15 The ocean floor as a magnetic tape recorder. A. Schematic representation of magnetic intensities recorded as a magnetometer is towed across a segment of the Mid-Atlantic Ridge. B. Notice the symmetrical stripes of low- and high-intensity magnetism that parallel the ridge crest. Vine and Matthews suggested that the stripes of high-intensity magnetism occur where normally magnetized oceanic basalts enhance the existing magnetic field. Conversely, the low-intensity stripes are regions where the crust is polarized in the reverse direction, which weakens the existing magnetic field.

Şekil 50: Bir manyetik kaydedici şerit olarak okyanus tabanı.

arttırlar (güçlendirirler). Tersine, düşük yoğunluklu şeritler okyanusal kabuğun ters yönde polarize olduğu, ve sonuç olarak varolan manyetik alanı zayıflattığı bölgelerdir. Fakat, normal ve ters mıknatıslanmış kayaç şeritleri bütün okyanus tabanlarına nasıl yayılabiliyordu ?

Vine ve Matthews, magmanın sırtları boyunca sokulduğu ve katılaştığını, manyetik bileşenlerin varolan (o anki) manyetik alanın polaritesini aldığı sonucuna vardılar. Son 700.000 yılda, küresel sırt sistemi boyunca normal mıknatıslanmış kabuk oluşmuştur. Ancak Şekil 49'da görüldüğü gibi, 1.5 milyon yıl önce oluşmuş okyanusal kabuk ters polarite gösterir. Sırtın iki yanına eşit miktarlarda lav şeridi eklendiğinde, gerek polarite gerekse şekil itibarıyla okyanus sırtının bir tarafındaki desenin diğer taraftaki desenin aynadaki görüntüsü olması beklenir. İşte bu arda dizilen normal ve ters polarite şeritler, deniz tabanı yayılması kavramının şimdiye kadar sunulan en güçlü kanıtlarıdır (Şekil 51).

Şu halde, bir kez en son manyetik terslenmenin tarihi bir kez saptandığında farklı sırtlardaki yayılma hızları kesin olarak saptanabilir. Örneğin Pasifik Okyanusu'nda, belirli bir zaman dilimindeki manyetik şeritler Atlantik Okyanusu'ndakinden daha geniştir. Buradan, Pasifik merkezindeki yayılmanın Atlantiktendinden daha hızlı gerçekleştiği sonucu çıkarabiliriz.

Artık bugün, paleomanyetizmanın kıta sürüklenmesi ve deniz tabanı yayılmasını desteklemek üzere ileri sürülen en ikna edici kanıt olduğu konusunda ortak bir kanaat bulunuyor. 1968 yılıyla birlikte, Jeologlar oluşumlarını manyetik terslenmelerden çok ta farklı olmayacak bir şekilde tersyüz etmeye başladılar. Bilimsel düşünce akımı artık hareketli bir dünyaya doğru ilerliyordu.

Levha Tektoniği: Eski düşüncenin yeni bir sürümü:

1968 yılıyla birlikte kıta kayması ve deniz tabanı yayılması kavramları Levha Tektoniği olarak bilinen daha kapsamlı bir teori halinde birleştirildi. Levha tektoniği Yer litosferinin yitik 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 yer alır. Dahası, litosfer "Levha" adı verilen çok sayıda parçaya bölünmüştür. Bunlar sürekli hareket halindedir ve şekil ve boyut açısından değişime uğrarlar. Şekil 52A ve B'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

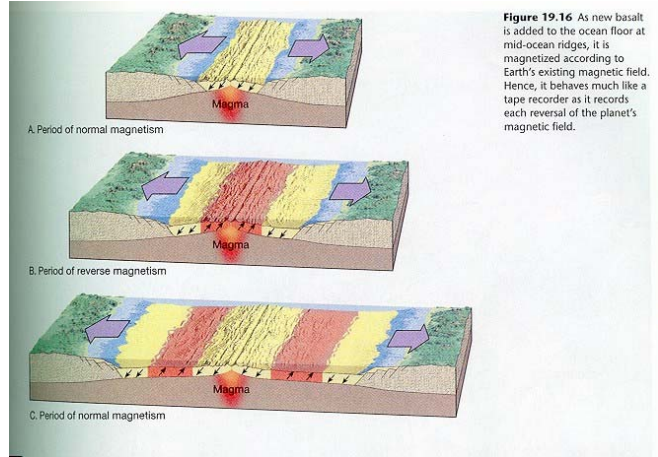


Figure 19.16 As new basalt is added to the ocean floor at mid-ocean ridges, it is magnetized according to Earth's existing magnetic field. Hence, it behaves much like a tape recorder as it records each reversal of the planet's magnetic field.

Şekil 51: Okyanus ortası sırta yeni bazalt eklendiğinde bunlar önceki yer manyetik alanına uygun olarak manyetizma kazanır

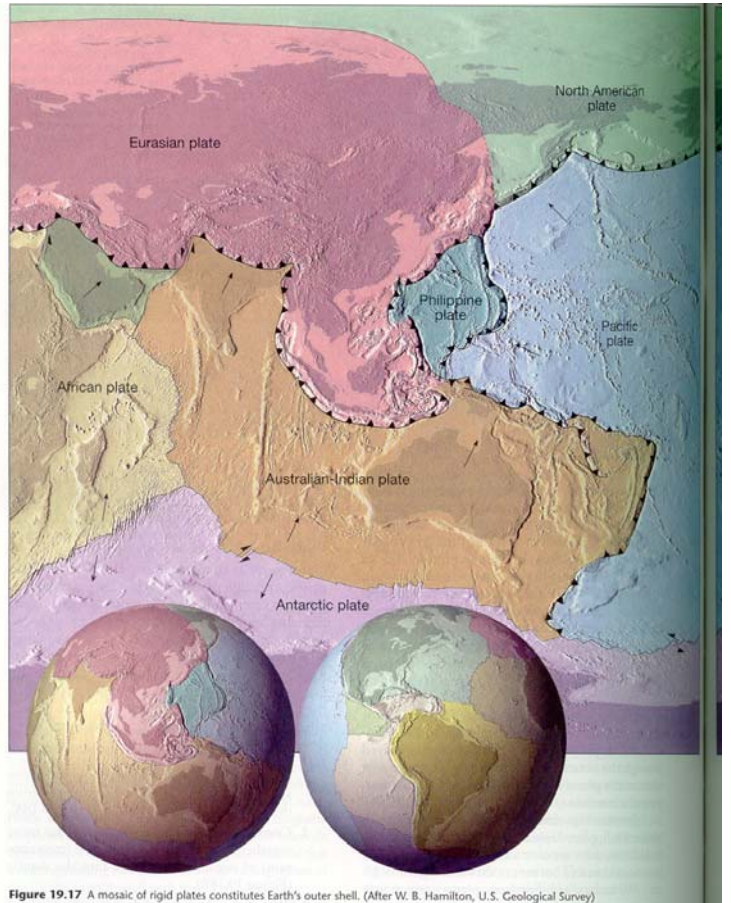
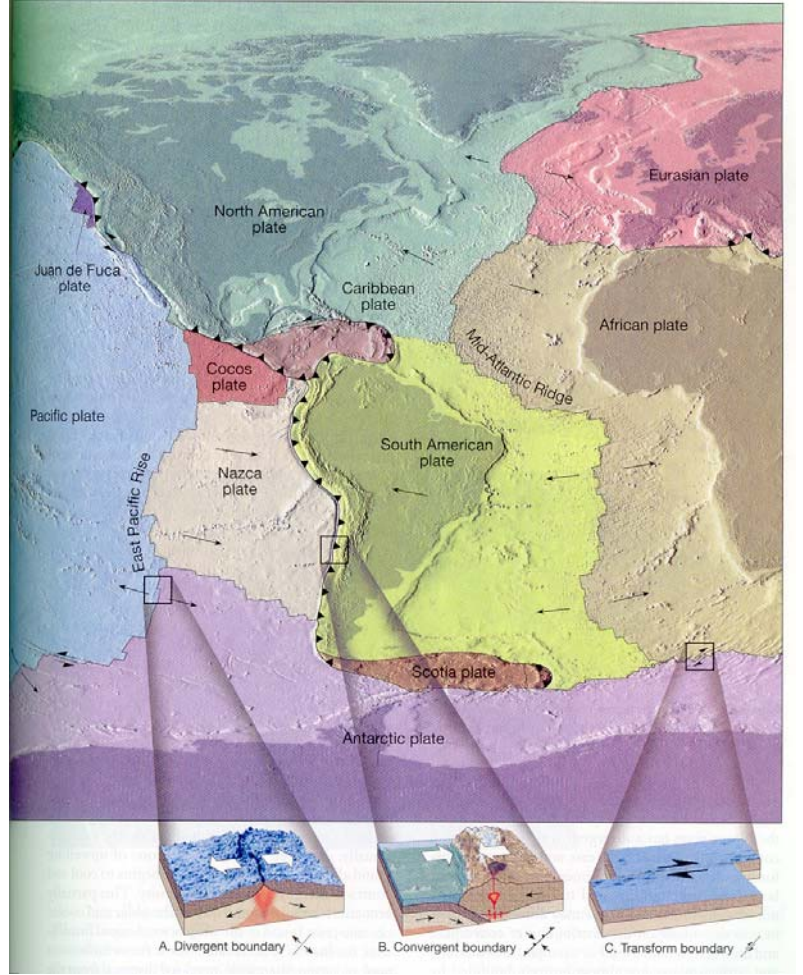


Figure 19.17 A mosaic of rigid plates constitutes Earth's outer shell. (After W. B. Hamilton, U.S. Geological Survey)

Şekil 52A: Kırılgen levhalar mozaiği, yerkürenin kabuğunu oluşturur.

tamamıyla birlikte geniş bir deniz tabanının 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 tabanıyla birlikte hareket ettiğini düşünmemişti. Belirtilen şekilde, ayrıca, hiçbir levhanın sınırının tamamen kıta kenarların 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 varlığına belirtelim.



Şekil 52B: Kırılğan levhalar mozayigi, yerkürenin kabuğunu oluşturur.

Bugün biliyoruz ki, litosferik levhalar oldukça yavaş (yılda 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 olabilirse 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 (Şekil 53). 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 sınırlandırılmıştır. 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 etkileyen 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.

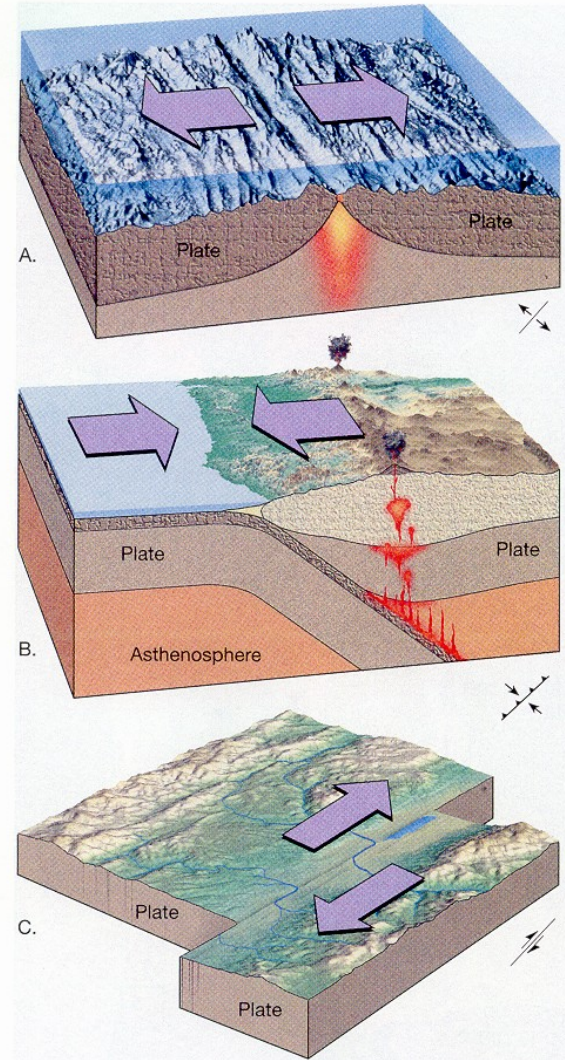


Figure 19.18 Schematic representation of plate boundaries showing the relative motion of plates. A. Divergent boundary. B. Convergent boundary. C. Transform fault boundary.

Şekil 53: Levhaların bağıl hareketini gösteren levha sınırları gösterimi

SEDİMANTER HAVZALARIN EVRİMİ

Çoğu sedimanter kayaç, boyutu ve şekli levha tektoniği süreçleri tarafından kontrol edilen bazı havzalarda çöker. Güncel sedimanter havzalar, stratigrafik kayıttaki sedimanter kayaçların çökeldikleri ortamları yorumlayabileceğimiz analog (benzer) sistemlerdir. Levha kenarlarında işleyen süreçler farklı tipte bir dizi sedimanter kayaç üretirler; ancak genelde beş

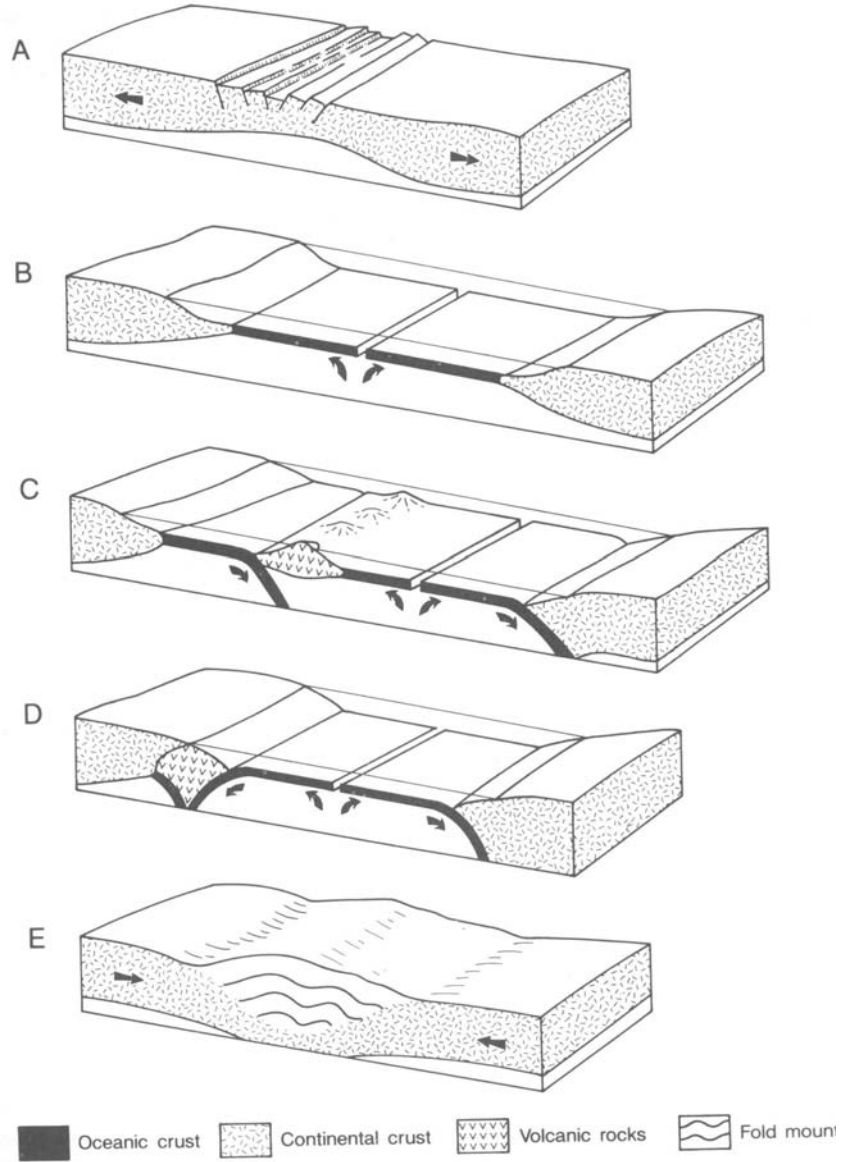
ana kategori tanımlanabilir.

Bunların her biri karakteristik bir sedimanter kayıtle ilişkilendirilebilir.

1- Uzaklaşan levha sınırları ile ilgili havzalar:

Levha ayrılması ile ilgili iki havza tipi bulunur, ki bunlar Wilson çevriminin ilk bölümü ile ilişkilidir (Şekil 54). Wilson çevrimi, okyanusların evrimini, yani doğuşu ve kapanışını formüle eden bir jeolojik olaylar zinciridir.

Kıtasal kabuk parçaları birbirinden ayrıldıkça rift vadisinin genişliği artar ve vadi tabanı deniz seviyesine doğru alçalır. En sonunda sığ bir deniz oluşturmak üzere deniz tarafından basılır. İlerleyen levha uzaklaşması rift vadisinin oluşturduğu deniz yolunu genişletir ve vadi tabanı okyanus kabuğu oluşumuna tanıklık eder. Denizin merkezi eksenini boyunca bir deniz tabanı yayılma sırtı gelişir ve hala devam eden kıtaların birbirinden uzaklaşması bir okyanus havzasının oluşumuna kadar gider (Şekil 55). Kızıldeniz, bugün ilk evrede bulunmaktadır. Bu, Arap ve Afrika levhalarının uzaklaşması ile oluşmaktadır. Buna karşın Atlantik okyanusu bu süreçte bir sontraki evreyi temsil eder; çünkü Kuzey Amerika ve Avrasya levhaları



Şekil 54: Wilson çevrimi.

birbirinden çok daha fazla ayrılmışlardır. Burada, rift vadisinin oluşumunun kendiliğinden levhanın kopmasına ve yeni okyanus havzasının oluşmasına yolaçmadığı belirtilmelidir. Uzaklaşma süreci, şayet harekete geçirici mekanizma aniden durursa, sonlanabilir. Bu yüzden bazı alanlarda riftleşme hiçbir zaman okyanuslaşma aşamasına kadar devam edemez.

Yeni bir okyanus oluşumuna yolaçan kıtaların kenarları çok az deprem etkinliğinin bulunduğu alanlardır ve okyanus oluşumu gerçekleştiğinden sonra levha hareketleri ile ilgili değildir. Bu yüzden bu alanlar pasif kenarlar olarak adlandırılırlar. Okyanus-kıta arayüzeyi bir yitim zonuyla kendini belli etmez ve hem kıta hem de okyanus aynı levhanın parçalarıdır. Pasif kenarlara geniş ve sığ kıta şelfleri eşlik eder. Buralar kalın sediman istiflerinin birikmesi için ideal alanlardır. Bu sedimanlar şelf ortamından daha derin okyanus havzalarına doğru türbidit akıntı denin büyük sualtı akışları ile yayılırlar.

2- Yakınlaşan levha kenarları ve ilgili havzalar:

Yakınlaşan levha kenarları ile ilgili dört türü havza vardır. Bunlar çoğunlukla Wilson çevriminin ikinci bölümü ile ilgilidirler (Şekil 56). Okyanus kabuğunun imha olması, okyanus tabanında derin hendekler şeklinde gözlenen yitim zonları boyunca gerçekleşir. Okyanus hendekleri, tipik olarak okyanus

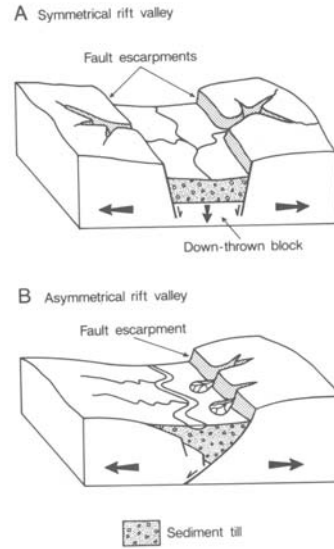


Figure 6.7 The structure and morphology of rift valleys. A: A symmetrical rift valley, or graben. B: An asymmetrical rift valley, or half-graben. [Modified from: Summerfield (1991) Global Geomorphology, Longman, Fig. 4.9, p. 92]

Şekil 55: Rift vadilerinin yapısı ve morfolojisi.

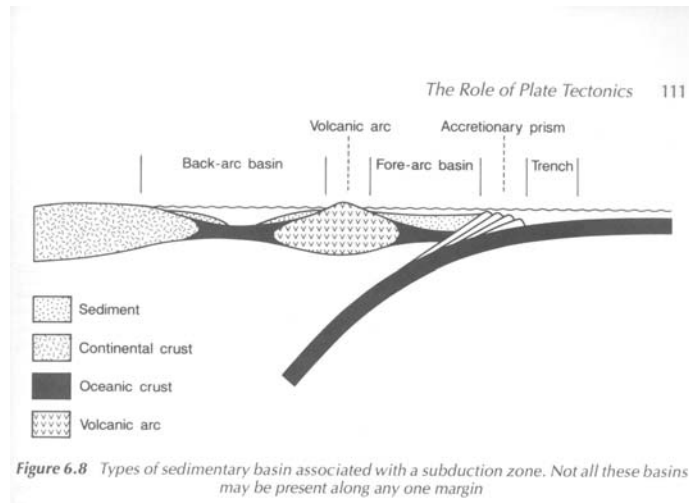


Figure 6.8 Types of sedimentary basin associated with a subduction zone. Not all these basins may be present along any one margin

Şekil 56: Yitim zonu ile ilgili sedimanter havza türleri.

tabanından 2 km daha alçaktadır. Okyanus hendekleri volkanik ada yaylarında veya kıta kenarlarında üretilen sedimanter malzemenin tutulduğu çukur alanlardır. Bir levha dalarken, hendekte biriken sedimanlar dalan levhayla birlikte mantoya çekilirler, ya da üzerleyen levha yüzünden sıyrılarak dilimler halinde ona eklenirler. Üzerleyen levhanın ucundaki bu sürekli tektonik eklenme kesit görünümde üçgen şekilli bir sediman kütlesi inşa eder ki, buna yığışım prizması adı verilir (Şekil 57). Üçgen sediman kütlesi hendekle kıta kenarı veya ada yayı arasında “yayönü havzası” adı verilen bir havzanın gelişmesine yolaçar. Yayönü havzasının genişliği hendek ile kıta kenarı/yayönü arasındaki mesafeye bağlıdır. Bu ise dalma açısı ile belirlenir.

Ada yayının gerisinde, kara tarafına doğru bir yay-ardı havza oluşabilir (Şekil 58). Yay-ardı havzaların geometrisi oldukça

karmaşık olabilir ve boyutları çoğunlukla ada yayının kıta kenarı veya diğer yaylarla ilişkisine bağlıdır.

Bir hendekte kabuğun dalması bir okyanusu en sonunda tamamen tüketebilir. Okyanus kapanması iki kıtayı giderek birbirine yakınlaştırır ve en sonunda Wilson çevriminin son evresinde çarpışırlar. İki kıtanın çarpışması, daha önce var olan okyanusta birikerek ığışım karmaşığına eklenmiş bulunan sedimanların yoğun bir şekilde deformasyonuna neden olur. Deforme olan sedimanlar nap adı verilen devasa boyutlu bindirme dilimleri oluştururlar. Bu bindirme dilimleri çarpışma alanına yakın kesimde kıta üzerine yüklenir ve bu kesimi ağırlığı altında çökertir. Bu yüklenme önülke havzası adı verilen bir çevre havza oluşturur. Önülke havzaları naplar ilerledikçe bunlardan türeyen sedimanlarla hızla dolarlar.

3- Transform kenarlarla ilgili havzalar:

112 The Key to Earth History

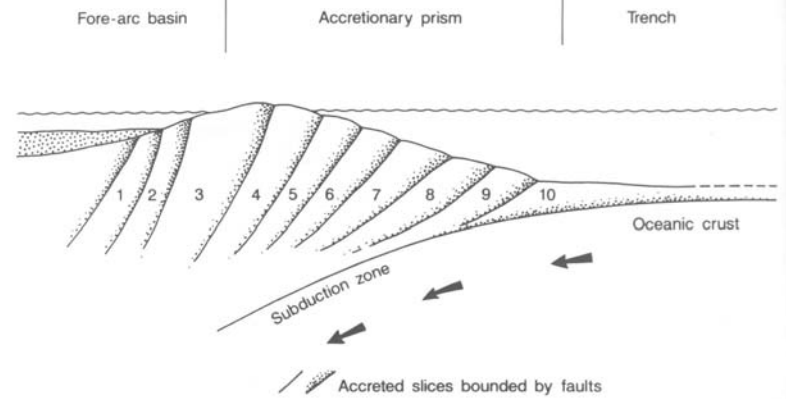
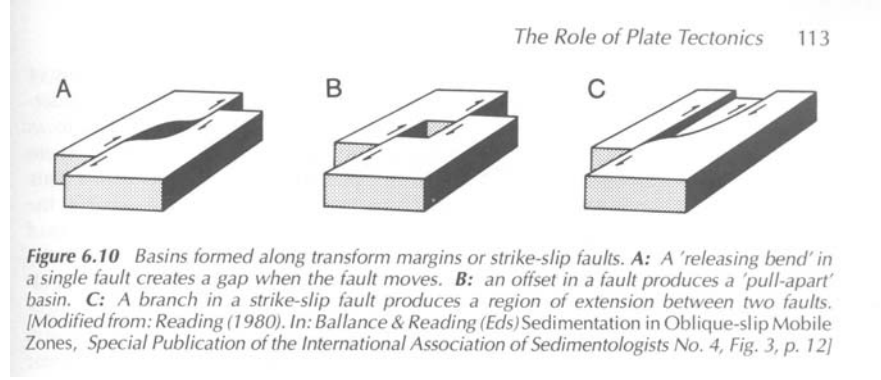


Figure 6.9 A model of an accretionary prism. As the ocean crust descends slices of trench sediment are accreted to the opposite side of the trench. Each slice is usually fault bounded and the numbers refer to the age of each slice, 1 is the oldest and 10 is the youngest. [Modified from: Nichols (1993). In: Duff (Ed.) Holmes' Principles of Physical Geology, Chapman & Hall, Fig. 30.14, p. 710]

Şekil 57: Bir yığışım prizması modeli.

Transform faylı kenarlarda kabuk ne üretilir ne de tüketilir. Ancak levhalar arasındaki sınır düz ve pürüzsüz olmadığından, yani transform levha sınırı düzensizlikler sunduğundan yerel



Şekil 58: Doğrultu atımlı faylarla ya da transform faylar boyunca oluşan havzalar.

sıkışma ve açılma alanları oluşur. Makaslamayla ortaya çıkan açılma (ing. transtension) alanlarında oluşan havzalar karakteristik olarak boyutlarına göre derindir ve kenarları dik faylar tarafından belirlenmiştir (Şekil 59). Bu tür havzalara yurdumuzdan Kuzey Anadolu Fay Zonu üzerindeki Erzincan havzası örnek olarak gösterilebilir.

4- Havza kenarları ile ilgili olmayan kıtasal havzalar:

Kıtasal kabuktan ibaret bir levha üzerinde çok çeşitli sedimanter havzalar oluşabilir. Bunların içinde intrakratonik havzalar en sözedilmeye değer alanlardır. Bu tür havzalar kıtasal kabuk üzerindeki geniş bölgesel bükülmelerle oluşurlar. Bükülem/bel verme doğrudan faylarla belirlenmez. Bunlar oval şekillidir ve kapalıdır. Nasıl oluştukları tam anlaşılacakla birlikte üst mantodaki termal olaylar sonucu oluştukları iddia edilmektedir.

5- Okyanus havzaları

Bunlar alansal olarak en büyük sedimanter havza türünü oluştururlar. Buralarda sedimantasyon hızı çok düşüktür, çünkü sediman kaynağı olan karalardan / kıtalardan çok uzaklarda yer alırlar.