

BÖLÜM 10 KIVRIMLAR, FAYLAR VE KAYAÇLARIN DEFORMASYONU

GİRİŞ

Modern jeolojinin öncüleri olan 18. ve 19. yüzyıl jeologları, tortul kayaçların çoğunun önce deniz tabanında yatay bir şekilde çökdüklerini, daha sonra katılaştıklarını anladılar. Fakat bu başlangıçta yatay olan kayaçların eğim kazanmaları, bükülmeleri veya kırılmaları karşısında şu soruları sordular: kayaçlar hangi kuvvetlerin etkisi altında kalarak deforme oldular ? Arazide gözlemlenen deformasyon şekillerinden kayaçların geçmişi anlaşılabilir mi ? Bugünün jeologları olarak bizler de, “tüm kayaç çeşitlerinin nasıl deforme olduklarını, ve bu deformasyonun plaka tektoniği ile olan ilişkileri nelerdir ?” sorularına yanıt arıyoruz. Bu sorulara bu ve diğer bölümlerde cevaplar aramaya çalışacağız.



Şekil 10.1A. Bir kıvrım



Şekil 10.1B. Bir fay

Yer kabuğunu deforme eden önemli iki yapı, kıvrımlar (Şekil 10.1A) ve faylardır (Şekil 10.1B). Bu bölümde, bir bölgenin jeolojik tarihini anlamak için jeologların arazide bu yapılara ait verileri nasıl topladıkları ve nasıl yorumladıkları ele alınacaktır.

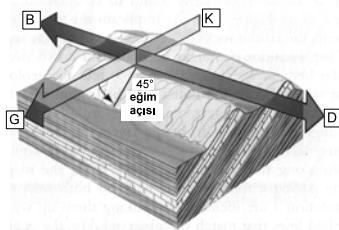
Arazi verilerinin yorumu

Bir arazi parçasının geçirdiği deformasyonları anlamak için, kayaçların üzerlerinin açık olduğu (yani örtülü olmadığı) mostralardan bilgi toplanır. Tabakalı bir tortul kayaç kıvrımlandığı zaman, jeolog çoğu kez bu kıvrımı parçalarını ayrı ayrı mostralarda gözlemler, ölçümler alır ve yorumlar. Böyle bir durumda, başlangıçta yatay olan bir tabakanın, bükülme (kıvrımlanma) sırasında aldığı konumu ölçmek önemli olur. Böyle bir konum iki ölçümle belirlenir: doğrultu ve eğim.

Doğrultu ve eğimle ilgili tanımlar

Doğrultu: bir kayaç tabakasının yatay düzlemle arakesiti olan doğrunun yönelimidir (direction).

Şekil 10.2 Bir tabakanın doğrultu ve eğimi.

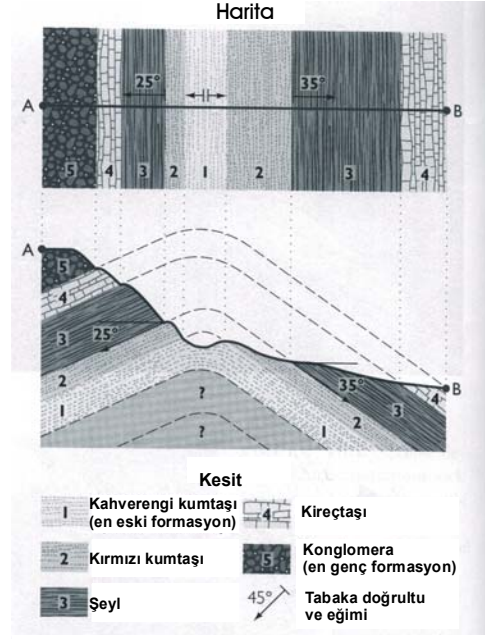


Yönelim : yatay bir doğrunun kuzey yönü ile yaptığı dar açıdır.

Eğim : doğrultuya **dik** olan eğim, bir tabakanın yatay düzlemde ne kadar saptığını (dar açı) gösterir. Örnek: “ kırmızı kumtaşlarının doğrultusu D-B, eğimi ise güneye doğru 45° dir.”

Jeolojik harita alma ve bir kesit hazırlama

Arazi verilerini yansıtmada kullanılan uygun bir araç, jeologların mostraların yerlerini, mostra kayaçlarının türlerini ve kayaç tabakalarının doğrultu ve eğimlerini işaretledikleri jeolojik haritalardır. Jeolojik geçmişi anlamada önemli diğer bir araçta, jeolojik kesit almaktır. Kesit, kesitin alındığı yerde yeryüzü düşey olarak kesilebilse ve bu kesite karşıdan bakılırsa nelerin görülebileceğini yansıtan bir çizimdir. Bu anlamda doğal kesitler, dik yarlarda, maden ocaklarında veya yol yarmalarında izlenebilir. Bir jeolojik kesit, jeolojik haritada bulunan verilerden itibaren de oluşturulabilir. Şekil 10.3'de, başlangıçta yatay olarak çökelmiş, ve daha sonra sıkışma ile kıvrımlanmış tortul tabakalardan oluşmuş bir arazi parçasının haritası, ve bu haritadan yola çıkılarak hazırlanmış bir kesit görülmektedir.



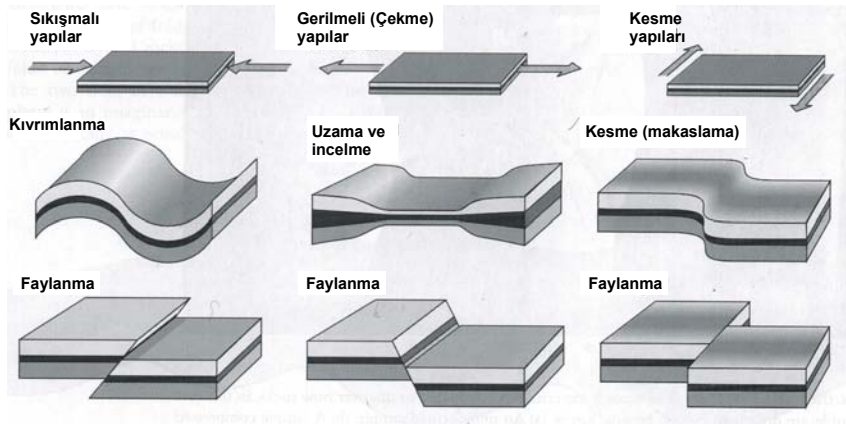
Şekil 10.3 Bir jeolojik harita ve kesit

Özellikle kesitten anlaşılacağı gibi, Şekil 10.3'deki kıvrımlanmış tabakaların büyük bir kısmı erozyona uğramışlardır. Jeolog, bu durumda önemli bir kısmı zaman içinde erozyonla yok olmuş olan mostra kayaçlarının deforme olmuş tabakalarını nasıl çizer? Jeolog, burada gözlemlenen tortul kayaçların, önce yatay halde çökelmiş olduklarını, ve bu kayaçların daha sonra bükülerek bu hale geldiklerini düşünecektir. Üst üste gelme kuralı (law of superposition) gereğince, en yaşlı kayacın üzerine giderek gençleşen kayaçların çökeldikleri hatırlandığında, jeolog, mostra kayaçlarının en yaşlısı (ve en altta olanı) olanı (1 numaralı tabaka) ile bu tabakanın üstüne gelen daha genç tabakaların izlerini, eğim açılarına göre çizecektir. 1 numaralı formasyonun her iki tarafında da aynı formasyonlar bulunmaktadır. Bu tabakaların erozyon öncesinde devamlı oldukları varsayılırsa, erozyona uğramış bu tabakaların geometrisi, kesikli çizgiler sayesinde ve eğim açıları temel alınarak, çizilir.

Bu haritalama ve kesit alma işlemleri, bu arazi parçasının bir zamanlar denizel bir ortamı yansıttığını göstermektedir. Denizde çökelen tortul kayaçlar, daha sonra yer kabuğundaki kuvvetlerle sıkışarak ve bükülerek kıvrımlanmışlardır. Mostra kayaçları, deniz yüzeyinin üzerine çıkarak (veya deniz çekilerek), erozyona maruz kalmışlar ve mostra ortamından ayrılarak başka kesimlere doğru taşınmışlardır.

KAYAÇLAR NASIL DEFORME OLURLAR ?

Sert ve sağlam görünen kayaçlar, uzun zaman aralıkları içinde ve yerkabuğundaki kuvvetlerin etkisi altında deforme olurlar. Bu kuvvetler 1) bir cismi sıkıştıran ve boyunu azaltan sıkışma kuvvetleri (compressive forces); 2) bir cismi çeken, boyunu uzatan ve koparmaya çalışan çekme kuvvetleri, (tensional forces) ve 3) bir cismi, birbirine ters yönlerde sıkıştıran kesme (makaslama kuvvetleri: shearing forces) olabilirler. Kesme kuvvetlerini tasarlamada, iki el ayası arasına sıkıştırılmış bir iskambil destesinin, eller birbirlerine göre ters yönlerde ve paralel hareket ettirildikleri zaman yapacakları birbirleri üzerindeki kayma hareketleri yardımcı olabilir. Şekil 10.4'de, bu üç kuvvet cinsinden itibaren gelişebilecek jeolojik yapılar (kıvrım ve fay cinsinden) gösterilmiştir. Plaka tektoniği kuramına göre, bu üç kuvvet cinsi, birbirlerinden uzaklaşan veya yaklaşan veya birbirlerine göre yanyana kayarak hareket eden plakalarda oluşurlar.



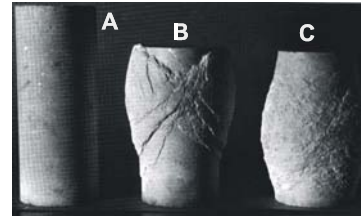
Şekil 10.4. Değişik türde kuvvetlerin etkisi altında gelişen kıvrım ve fay yapıları.

Bir kayacın bükülmesi (kıvrımlanması) veya kırılmasını (faylanmasını) neler denetler ?

Her ne kadar jeoloji, arazi verilerine dayansa da jeolojik olaylar aynı zamanda laboratuvar ortamında da incelenirler. Jeologların özellikle bir kayaç formasyonunun niçin bir yerde kıvrımlanma ile ve niçin başka bir yerde kırılma, veya faylanma ile deforme olduğunu laboratuvar deneyleri ile anlamaya çalışmışlardır. Bu deneylerde, yeryüzeyine yakın kısımlarla 30 kilometre kadar derin kısımlarda hüküm süren basınç ve sıcaklık koşulları kayaç örneklerine uygulanabilmektedir.

Böyle bir deneyde, araştırmacılar, silindirik bir mermer parçasını iki madeni piston arasına koyarak sıkıştırmışlardır. Aynı zamanda, mermer parçasının çevresine de sıkıştırıcı kuvvetler (çevre basınçları) uygulamışlardır. Yerkabuğunun sığ kesimlerine denk düşecek bir şekilde, düşük çevre basınçlarında sıkıştırılan mermer parçası kırılarak deforme olmuştur (kırılgan deformasyon). Tersine, kabuğun derin kısımlarına karşılık gelecek şekilde yüksek çevre basınçları uygulanan kayaç parçası ise, yavaşça, düzenli bir şekilde ve kırılmadan deforme olmuştur (plastik deformasyon). Bu son deneyde, kayaç, bükülebilir, esnek bir şekilde

davranmıştır. Şekil 10. 5'de bu deneylere ait fotoğraflar verilmiştir.



Şekil 10.5 A) Deney öncesi mermer silindiri; B) Kırılgan deformasyon; C) Sünekli deformasyon.

Doğal koşullarda kırılgenlık ve süneklilik

Diğer malzemelerin büyük bir kesiminde olduğu gibi kayaçlarda, uygulanan kuvvetler altında maruz kaldığı deformasyona göre kırılgen (gevrek) veya süneklilik olarak sınıflandırılabilir. Artan kuvvetler etkisi altında, gevrek bir malzeme fazla şekil değişikliğine uğramadan aniden kırılır; süneklilik bir cisim ise yumuşak ve devamlı bir şekilde plastik deformasyon geçirir. Oda sıcaklığında cam, gevrek bir malzeme, seramik kili ise süneklilik bir malzemedir. Mermer sığ kabuk derinliklerinde kırılgen, derin kesimlerde ise süneklilik davranış gösterir.

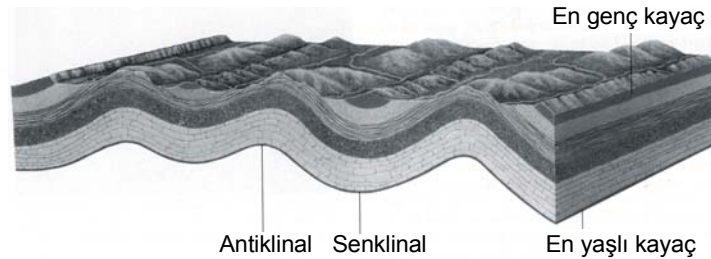
Doğal koşullar deneylerin yürütüldüğü laboratuvar koşullarından daha karmaşıktır. Doğada, tektonik kuvvetler milyonlarca yıl boyunca uygulanırken bir laboratuvar deneyi bir kaç saatte bitirilebilir. Buna rağmen, deneyler bize doğada deformasyonun nasıl olabileceği konusunda kıymetli bilgiler verirler. Arazide, kıvrım ve fayları gördüğümüzde, bunların sırası ile süneklilik ve kırılgen kayaçlara ait deformasyonlar olduğunu söyleriz. Aynı kayaç, kabuğun sığ kesimlerinde gevrek, derin kesimlerinde ise süneklilik davranabilir.

KAYAÇLAR NASIL KIVRIMLANIRLAR ?

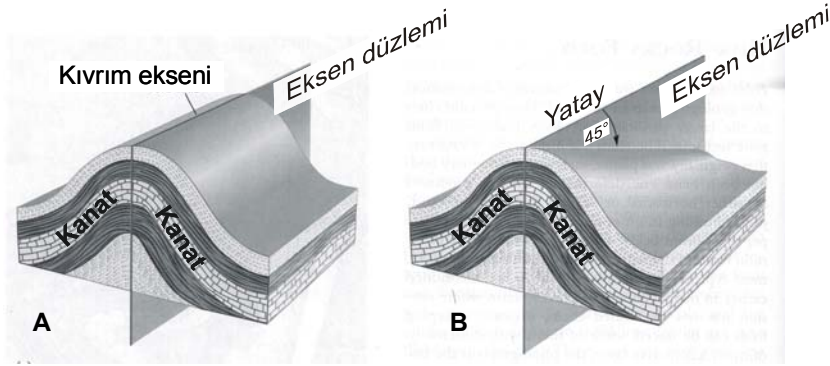
Kıvrım, önce düzlemsel olan bir yapının – örneğin bir tortul kayaç tabakası – bükülmesine verilen isimdir. Yer kabuğu içinde kuvvetler yatay veya düşey olabilirler. Kıvrımlanma, bu kuvvetler altında oluşan dağ kuşaklarında gelişir. Henüz erozyonun tamamen etkilemediği genç dağ sistemlerinde, kilometrik boyutlarda büyük kıvrımlar gözlenebilir. Daha küçük ölçeklerde ise, santimetre boyutunda kıvrımlar da gözlemlenebilir. Kayaçların maruz kaldıkları kuvvetlerin büyüklüğüne, uygulama süresine ve kayaçların deformasyona gösterdikleri dirençlere göre kıvrımlanma hafif veya şiddetli olabilir.

Kıvrım türleri

Tabakalı kayaçlar, sıkışma kuvvetlerine değişik şekillerde kıvrımlanarak yanıt verirler. Kıvrımlar yukarıya doğru kavisli bir şekilde iseler **antiklinal**, aşağıya doğru veya çukur şeklinde iseler **senklinal** adını alırlar (Şekil 10.6). Bir kıvrımın her iki tarafına **kanat** denir. **Eksen düzlemi**, bir kıvrımın iki kanadı arasında ve kıvrımı mümkün olduğu kadar simetrik bir şekilde ikiye bölen sanal bir düzlemdir. Eksen düzleminin kıvrımın tabakalarla arakesiti olan doğru parçasına ise **kıvrım eksenini** denir. Kıvrım eksenini yatay olan bir kıvrım ile kıvrım eksenini yatay olmayan, veya **dalımlı** olan bir kıvrım, Şekil 10. 7'de gösterilmiştir.

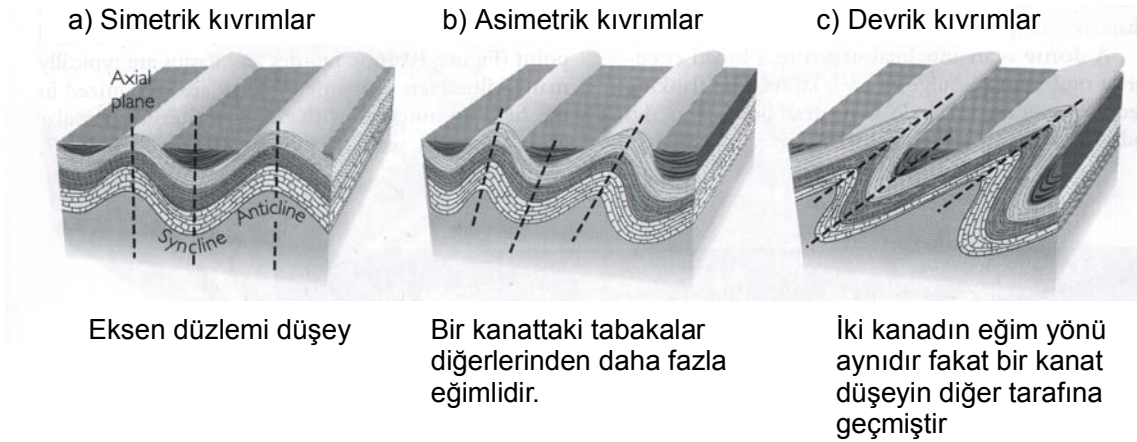


Şekil 10.6 Antiklinaler yukarı doğru kavisli, senklinaler ise aşağıya doğru kavisli yapılardır.



Şekil 10.7. A) Kıvrım eksenini yatay olan; B) Kıvrım eksenini dalımlı olan kıvrım.

Her kıvrım, Şekil 10.7'de gösterildiği gibi düşey bir eksen düzlemi etrafında simetrik iki kanada sahip değildir. Artan yatay kuvvetler etkisi ile bir kıvrımın bir kanadı diğerine göre daha eğimli hale gelebilir: bu kıvrıma **asimetrik kıvrım** denir (Şekil 10.8). Devam eden deformasyonla bir kanat, önce düşey hale gelip daha sonra da düşeyin de diğer tarafına doğru eğim kazanmışsa, bu şekildeki bir kıvrıma **devrik kıvrım** denir (Şekil 10.8). Böyle bir kıvrımın her iki kanadı da aynı eğim yönündedir. Fakat böyle bir kıvrımda, altta kalan kanatta yer alan formasyonların sırası, ilk konumlarının tersidir, yani **yaşlı kayaçlar genç kayaçların üstüne gelmişlerdir**.



Şekil 10.8. İlerleyen deformasyonla, sırası ile a, b ve c'de gelişen kıvrımlar.

Dom, yuvarlak şekilli bir antiklinal türüdür. Yine yuvarlak şekilli olan senklinal ise **havza** (basin) adını alır.

Jeologlar kıvrımlardan ne sonuçlar çıkarırlar ?

Kıvrımlı bir arazide yapılan gözlemlerle jeolog her zaman tam bir veri dosyasına ulaşamaz. Çoğu kez kayaçlar toprakla örtülüdür veya erozyonla aşınıp gitmiştir. Bu durumda jeolog birbirinden ayrı mostralardan elde ettiği gözlemleri yorumlamak zorunda kalır. Kıvrımlarla deforme olmuş bir arazi parçasına kıvrım kuşağı denir. Böyle bir yapı için, yatay tektonik kuvvetlerin etkisi altında sıkışarak oluşmuştur yorumu yapılır.

KAYAÇLAR NASIL KIRILIRLAR ?

Kırık ve faylar

Bir kayaç kuvvetler etkisi altında kırıldığı zaman, oluşan yapılar çatlaklar ve faylardır. İkisinin arasındaki farkı anlamak için kırılmış kayaç yüzeylerine ve bu kırığın çevresine bakılır. Eğer yüzeyler birbirlerine göre paralel olarak hareket etmemişlerse (hareket yoksa) buna çatlak, hareket varsa fay denir. Çatlak ve fayların incelenmesi, yöredeki kayaçların geçirmiş oldukları deformasyonla ilgili bilgiler verir.

Çatlaklar

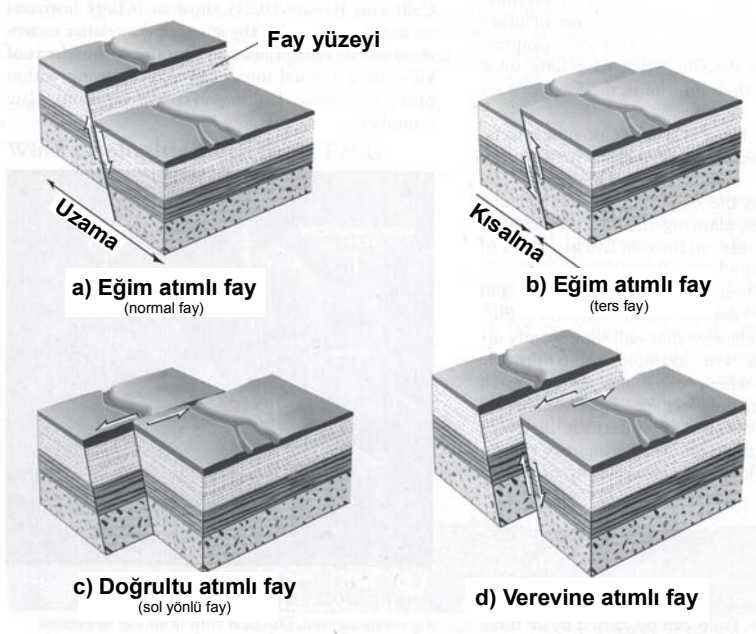
Eklem (joint) de denen çatlaklar (fractures, cracks) kabuk içindeki kuvvetlerle oluştukları gibi (tektonik kırıklar), tektonik olmayan çatlaklar da vardır. Erozyonla aşınıp giden tabakalarda azalan çevre basıncı ile, kalan kayaçlar kırıklandırırlar. Ayrıca volkanik kayaçlarda da lavların soğuma ve büzülme yüzünden çatladıkları bilinmektedir.

Bir formasyon değişik yerlerinden kırıklandığı ve çatlaklar geliştiği zaman, bu çatlaklar boyunca kaya bünyesine sızan hava ve su kayacın ayrışmasına (weathering) neden olur.

Faylar

Kıvrımların varlığı genellikle sıkışmayı gösterse de, faylar hem sıkışma, hem çekme hem de kesme kuvvetleri altında oluşabilirler. Bu kuvvetler özellikle plaka sınırlarında etkin ve şiddetlidirler. Çarpışan plakaların sınırlarında gelişen dağ kuşaklarında veya birbirlerinden uzaklaşan plakaların arasındaki rift vadilerinde fayları bulmak doğaldır. Kuzey Anadolu fayı gibi transform faylarında ise, iki plaka yanyana önemli ölçülerde kayabilirler (**atım**: yüzlerce kilometre olabilir). Plakaların iç kesimlerinde de kuvvetler etkin olabilirler ve plaka sınırlarından uzak ve plaka içindeki yerlerde faylanmalar oluşturabilirler.

Fayın oluştuğu kırık yüzeyine **fay yüzeyi** denir. Tabakalarda olduğu gibi, fay yüzeyinin de doğrultu ve eğimi vardır. Bu yüzeyin her iki tarafında bulunan fay bloklarının birbirlerine göre fay yüzeyi üzerinde yaptıkları hareketlerin, doğrultu veya eğim yönüne yakınlığına göre sırası ile doğrultu atımlı veya eğim atımlı faylar tanımlanır. Doğrultu atımlı bir fayda (strike-slip fault), fay hareketleri yataydır. Bir fayın atımının hem eğim



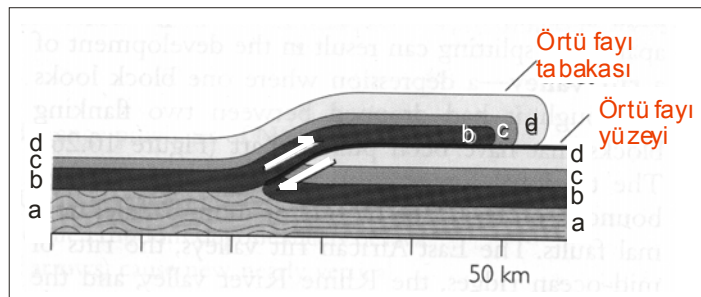
hem de doğrultu yönünde bileşenleri varsa, bu faya verev atımlı (oblik atımlı) fay denir.

Şekil 10.9. Fay çeşitleri.

Eğim atımlı faylar, sıkışma kuvvetleri neticesinde oluşmuşsa ters fay, çekme kuvvetleri ile oluşmuşsa normal fay adını alır. Ters fayda, fay yüzeyinin üzerinde yer alan jeolojik formasyonlar altta yer alanlara göre yukarı doğru çıkmışlardır. Normal bir fayda ise, fay yüzeyi üstündeki formasyonlar alttakilere göre aşağıya doğru ilerlemişlerdir (ötelenmişlerdir).

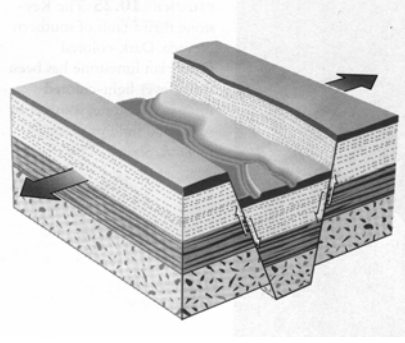
Doğrultu atımlı bir fayın bir tarafı, diğerine göre sola doğru gitmişse faya "sol yönlü doğrultu atımlı fay" denir, sağa doğru gitmişse faya "sağ yönlü doğrultu atımlı fay" denir.

Bir ters fayın yüzeyi yataya yakın ise, bu faya örtü fayı veya nap (Fransızca nappe; İngilizce thrust fault) adı verilir. Örtü fayları, önemli deformasyon geçirmiş dağ kuşaklarına (örneğin Toroslar, Alpler) has yapılardır.



Şekil 10.10. Örtü fayı

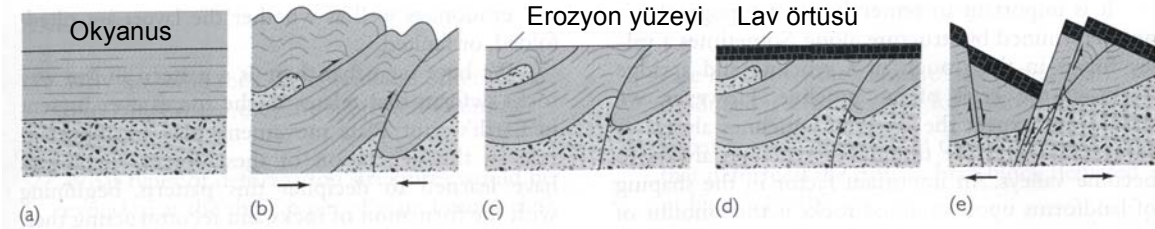
Rift vadisi ise, normal faylarla beraber oluşan bir çöküntü alanıdır (Şekil 10.11). Çekme kuvvetlerinin etkisi ile bir plakanın ikiye ayrılması durumunda oluşur ve gelişir (örnek Kızıldeniz).



Şekil 10.11. Rift vadisi

JEOLJİK GEÇMİŞİ ANLAMA

Genellikle bir bölgenin jeolojik geçmişi birbirini izleyen deformasyon evreleri ve diğer jeolojik işlemlerle ilgilidir. Batı Amerika'nın "Basin and Range" bölgesine ait kesitlerde (Şekil 10.12) karmaşık bir geçmişe ait bulgular ve yorumlar vardır. Jeolog, bugüne ait olarak sadece (e) kesitini görmekte, veya yorumlamaktadır. Diğer kesitler (a-d kesitleri), bugün gördüğünün eskiden nasıl olabileceği sorusuna yanıtlarla oluşturulmuş bir geriye bakışı yansıtmaktadır. Buna göre, önce bir okyanusal ortamda oluşan çökeltme (a), ardından bir sıkışma ve kıvrımlanma-faylanma (b) ve erozyon (c), bir volkanik etkinlik (d) ve günümüze yakın zamanlarda çekme kuvvetleri ile kabuğun bloklara ayrılması olayları (e) gerçekleşmiş olabilir.



Şekil 10.12. Batı Amerika'nın bir bölümüne ait jeolojik geçmişi gösteren kesitler.

Günümüzün genç sıradağlarını oluşturan Alpler, Toroslar ve Himalayalar ile ilgili olarak daha fazla bilgimiz olmasına karşın, birkaç yüz milyonluk veya daha eski dağ kuşaklarına ait bilgilerimiz daha azdır. Bunun nedeni ise, erozyonun etkisi sonucu, bu eski kuşakların yeniler gibi belirgin dağlar ve yapılar bırakmamalarıdır. Geriye sadece kıvrım ve fayların bir kısmını içeren parçalar kalmıştır ve jeolog, bunların üzerinde çalışarak geçmişi çözmeye çalışmaktadır.