

X. KIVRIMLAR, FAYLAR VE KAYAÇLARIN DEFORMASYONU

X.1. GİRİŞ

Modern jeolojinin öncüleri olan 18. ve 19. yüzyıl yer bilimcileri, tortul kayaçların çoğunun önce deniz tabanında yatay bir şekilde çöktiklerini, daha sonra katılaştıklarını anladılar. Fakat bu başlangıçta yatay olan kayaçların (Şekil X.1, X.2) eğim kazanmaları (Şekil X.3, X.4), bükülmeleri veya kırılmaları karşısında şu soruları sordular: kayaçlar hangi kuvvetlerin etkisi altında kalarak deforme oldular? Arazide gözlemlenen deformasyon şekillerinden, kayaçların geçmişi anlaşılabilir mi? Bugünün yer bilimcileri olarak bizler de, “tüm kayaç çeşitlerinin nasıl deforme olduklarını, ve bu deformasyonun plaka tektoniği ile olan ilişkileri nelerdir?” sorularına yanıt arıyoruz. Bu bölümde bu sorulara cevaplar aramaya çalışacağız.



Şekil X.1. Geniş alanlarda yayılım gösteren yatay tabakalı birimler



Şekil X.2. Yatay konumdaki sedimanter kayaçların yakın görünümü (Yeniceoba-Konya GB'sı, E.Özsayın).



Şekil X.4. Eğim kazanmış tabakalar.



Şekil X.5. Yüksek eğim kazanmış tabakalar (Yeniceoba-Konya batısı, E.Özsayın)

Yerküre üzerindeki kayaçların uğradığı deformasyon havadan çekilen fotoğraflar incelendiğinde çok belirgin olarak görülebilmektedir (Şekil X.6 ve X.7).



Şekil X.6. Yeryüzündeki deformasyonu (kırınımlar) gösteren, düşey yönde çekilmiş bir hava fotoğrafı.



Şekil X.7. Yerkabuğunda oluşmuş en önemli yapılardan olan ve deprem üreten bir fayı gösteren, eğik çekilmiş hava fotoğrafı.

X.2. ARAZİ VERİLERİNİN YORUMU

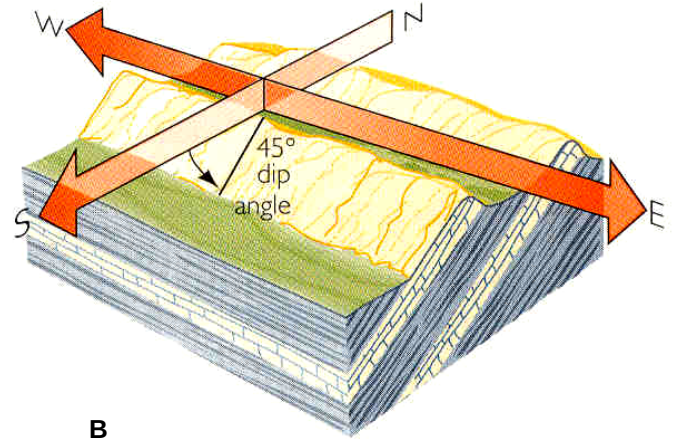
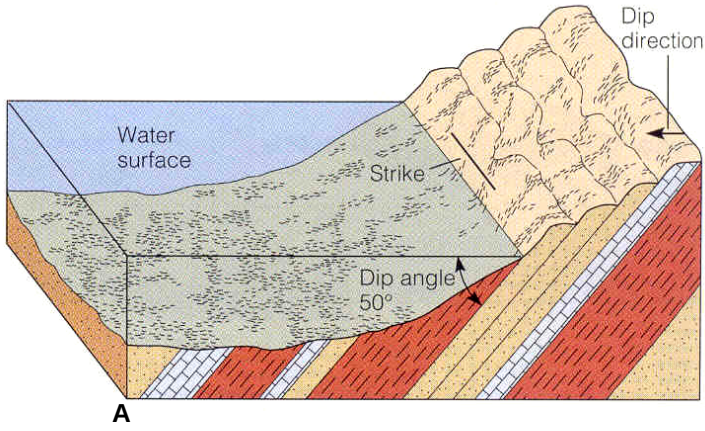
X.2.1. Doğrultu ve Eğim

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

Doğrultu (strike): bir kayaç tabakasının yatay düzlemle arakesiti olan doğrunun yönelimidir (direction). Şekil X.8A da doğrultu yatay konumdaki su yüzeyi ile tabakanın arakesitidir. Şekil X.8B de ise kırmızı kumtaşılarının doğrultusu D-B'dir.

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

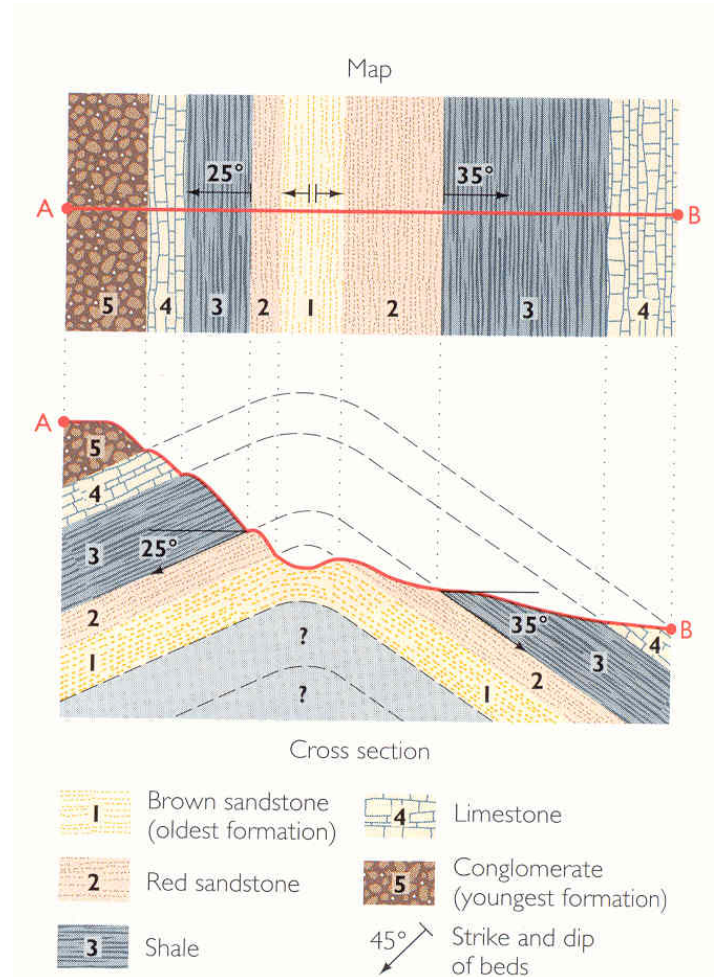
Eğim: doğrultuya **dik** olan eğim, bir tabakanın yatay düzlemden ne kadar saptığını (dar açı) gösterir. Şekil X.8A da eğim 50°, Şekil X.8B'de ise eğim güneye doğru 45°'dir.



Şekil X.8. Bir tabakanın doğrultu ve eğimi.

X.2. 2. Jeolojik harita alma ve kesit hazırlama

Arazi verilerini yansıtmada kullanılan uygun bir araç, yerbilimcilerin 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 bakılsa nelerin görülebileceğini anlatan bir çizimdir. Bu anlamda doğal kesitler, dik yarlarda, maden ocaklarında veya yol yarmalarında izlenebilir. Bir jeolojik kesit, jeolojik haritada bulunan verilerden itibaren oluşturulabilir. Şekil X.9'da, başlangıçta yatay olarak çökelmiş, ve daha sonra sıkışma ile kıvrılmış tortul tabakalardan oluşmuş bir arazi parçasının haritası, ve bu haritadan yola çıkılarak hazırlanmış bir kesit görülmektedir. Özellikle kesitten anlaşılacağı gibi, Şekil X.9'daki kıvrılmış tabakaların büyük bir kısmı erozyona uğramışlardır. Yerbilimci, bu durumda önemli bir kısmı zaman içinde erozyonla yok olmuş olan mostra kayaçlarının deforme olmuş tabakalarını nasıl çizer?



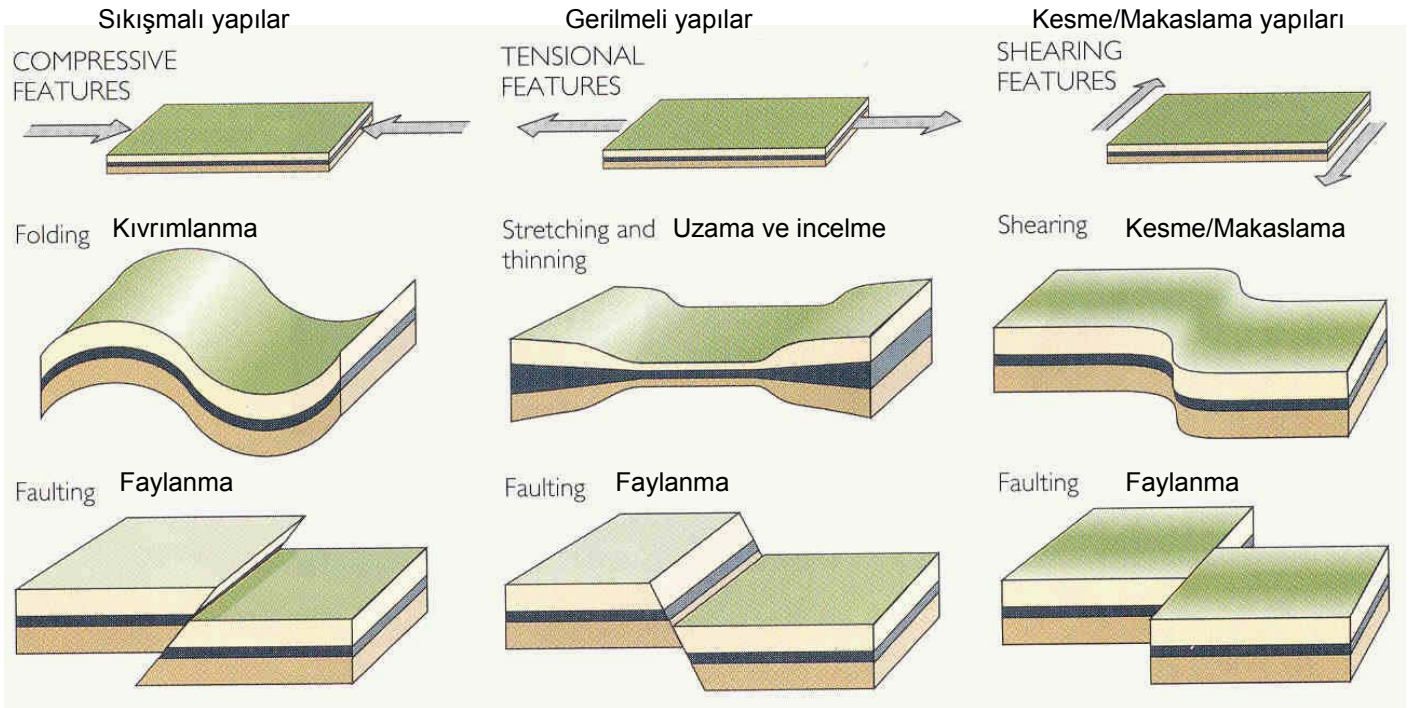
Şekil X.9. Bir jeolojik harita ve bu haritadan hazırlanan kesit

Yer bilimci, burada gözlemlenen tortul kayaçların, önce yatay halde çökelmiş olduklarını (**law of original horizontality**), 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 çökdikleri 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.

X.3. KAYAÇLAR NASIL DEFORME OLURLAR ?

X.3.1. Deformasyona neden olan kuvvetler

Sert ve sağlam görünen kayaçlar, uzun zaman aralıkları içinde ve yer kabuğundaki 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 düşünmede, 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 X.10'da, 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.

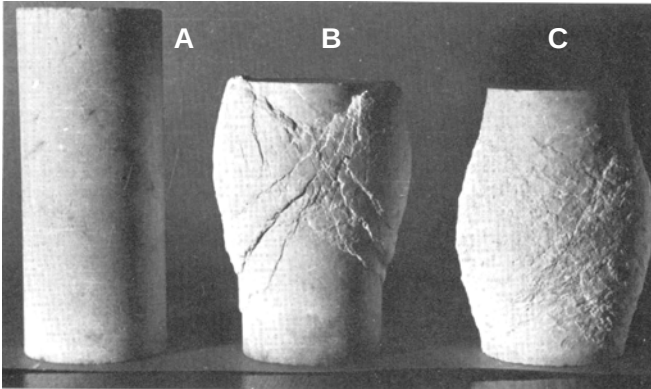


Şekil X.10. Değişik türde kuvvetlerin etkisi altında gelişen kıvrım ve fay yapıları.

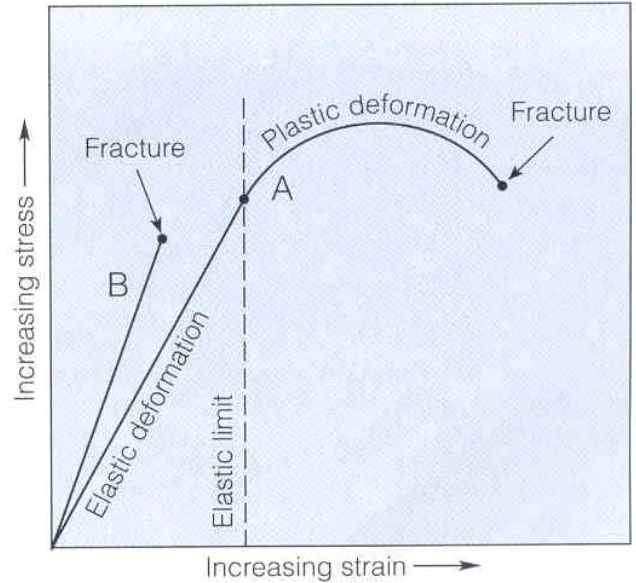
X.3.2. Bir kayacın bükülmesi (kıvrımlanması) veya kırılmasını (faylanmasını) neler denetler ?

Her ne kadar jeoloji, arazi verilerine dayansa da, jeolojik olaylar aynı zamanda laboratuvar ortamında da incelenirler. Yer bilimciler 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 kısımlara yakın 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 uygulamışlardır. Yer kabuğunun sığ kesimlerine denk düşecek bir şekilde, düşük çevre basınçlarında sıkıştırılan mermer parçası kırılarak deforme olmuştur. Tersine, kabuğun derin kısımlarına karşılık gelebilecek 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 X.11. A) Deney öncesi mermer silindiri; B) Elastik deformasyon; C) Plastik deformasyon.



Şekil X.12. Elastik ve plastik deformasyon gösteren cisimlerin gerilim (stress)-yamulma (strain) grafiği

X.3.3. Doğal koşullarda kırılgenlik ve süneklilik

Diğer malzemelerin büyük bir kesiminde olduğu gibi kayaçta, uygulanan kuvvetler altında maruz kaldığı deformasyona göre kırılgen/gevrek (brittle) veya sünekli/sünümlü (ductile) olarak sınıflandırılabilir. Artan kuvvetler etkisi altında, gevrek bir malzeme, fazla şekil değişikliğine uğamadan aniden kırılır; sünekli bir cisim ise yumuşak ve devamlı bir şekilde plastik deformasyon geçirir (Şekil X.12). Oda sıcaklığında cam, gevrek bir malzeme, seramik kili ise sünekli bir malzemedir. Mermer sığ kabuk derinliklerinde kırılgen, derin kesimlerde ise sünekli davranış gösterir.

Doğal koşullar tabiidir ki, deneylerin yürütüldüğü laboratuvar koşullarından daha karmaşıktır. Doğada, tektonik kuvvetler milyonlarca yıl boyunca uygulanırken bir laboratuvar deneyi bir kaç saatte bitirilebilir.

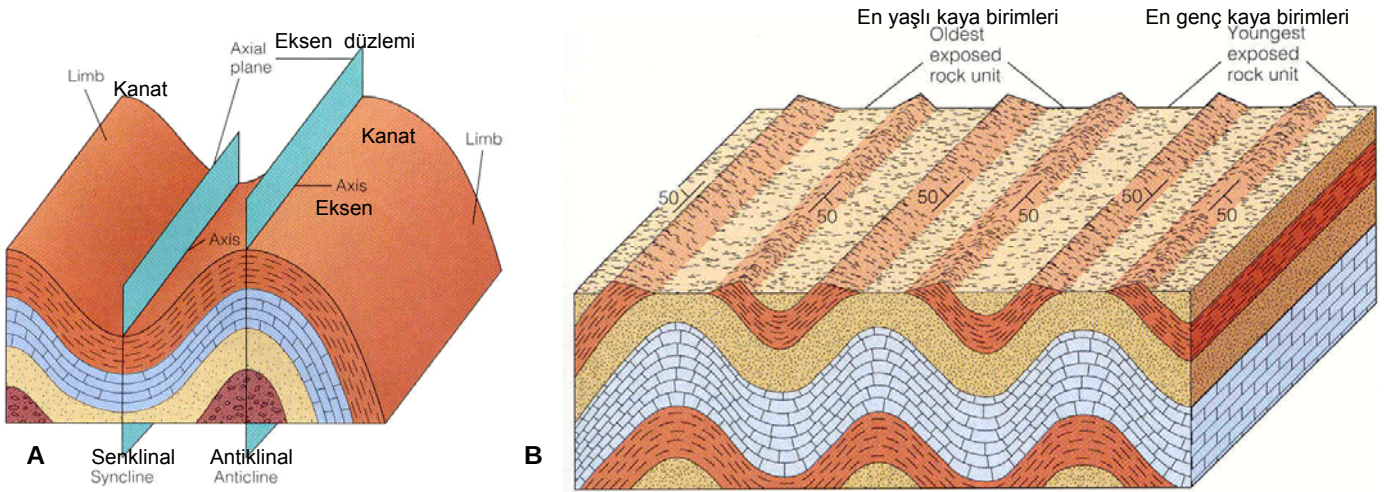
Buna rağmen, deneyler bize doğada deformasyonun nasıl olabileceği konusunda kıymetli bilgiler verirler. Arazide, kıvrım ve fayları gördüğümüzde, bunların sırası ile sünekli ve kırılğan kayalara ait deformasyonlar olduğunu söyleriz. Aynı kayaç, kabuğun sığ kesimlerinde gevrek, derin kesimlerinde ise sünekli davranabilir.

X.4. KAYAÇLAR NASIL KIVIRIMLANIRLAR?

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 kıvrımlarda gözlemlenebilirler. Kayaçların maruz kaldıkları kuvvetlerin büyüklüğüne, uygulama süresine ve kayaçların deformasyona gösterdikleri dirençlere göre kıvrımlanma hafif veya şiddetli olabilir.

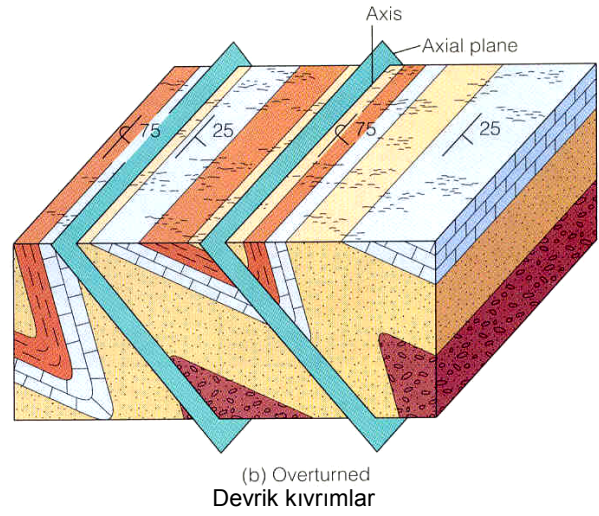
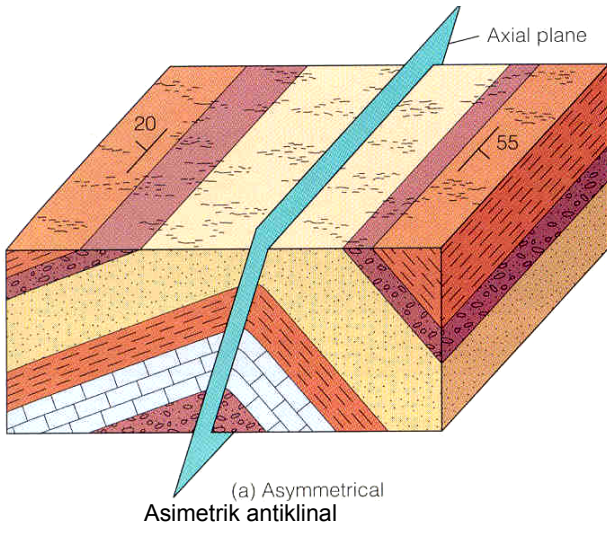
X.4.1. Kıvrım türleri

Tabakalı kayaçlar, sıkışma kuvvetlerine değişik şekillerde kıvrımlanarak yanıt verebilirler. Kıvrımlar yukarıya doğru kavisli bir şekilde iseler antiklinal, aşağıya doğru, veya çukur şeklinde iseler senklinal adını alırlar (Şekil X.13). 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 eksen** denir. Kıvrım eksen yatay veya dalımlı olabilir.

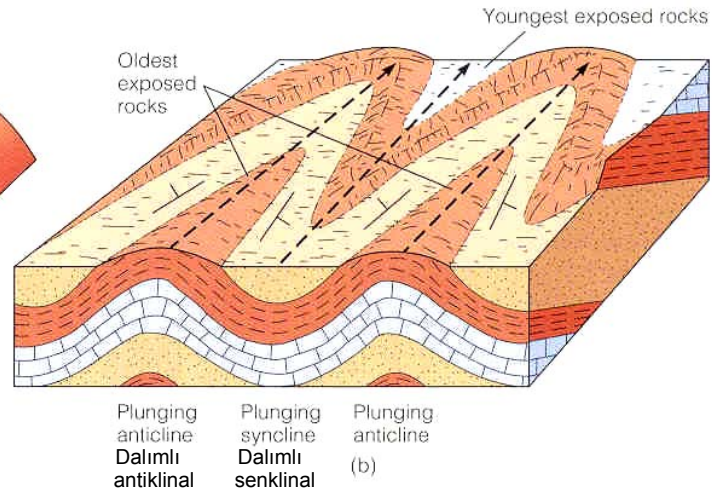
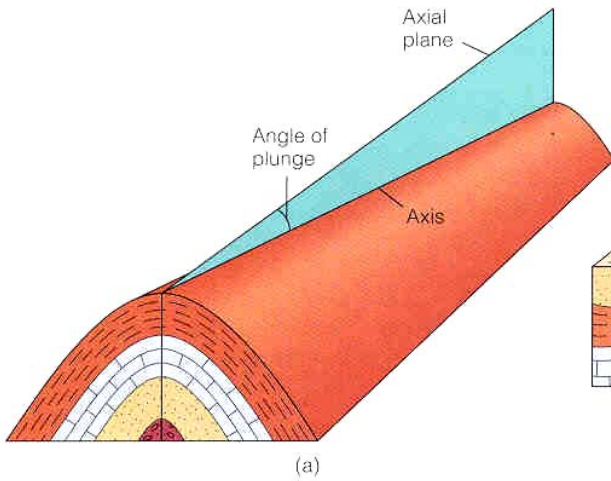
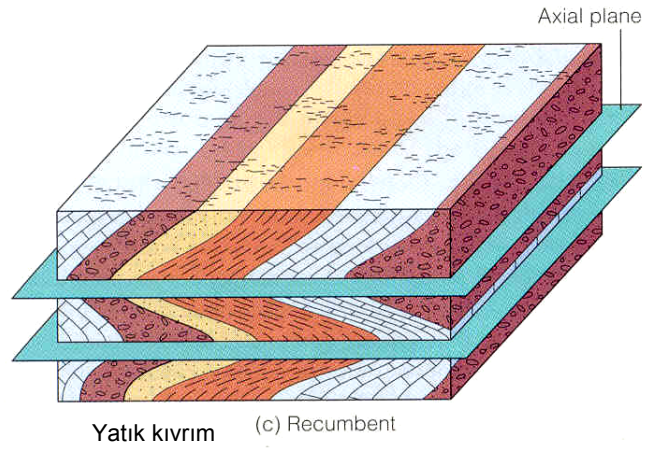


Şekil X.13. A) Kıvrım eksen yatay olan bir kıvrımın elemanlarını gösteren diyagram. B) Yatay eksenli antiklinal ve senklinalin düşey ve yatay düzlemde görünümünü gösteren blok diyagram.

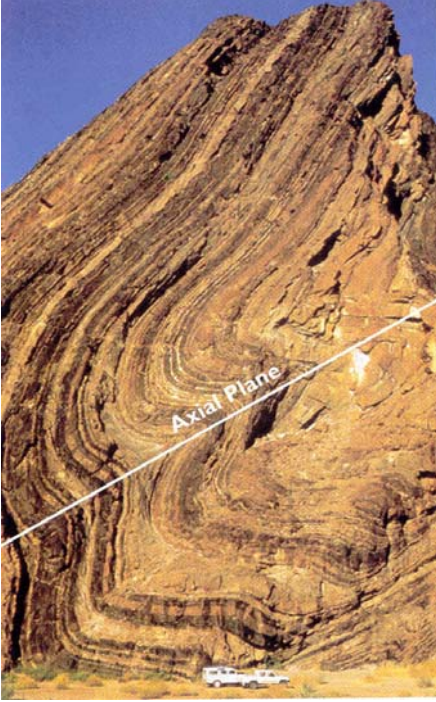
Her kıvrım, Şekil X.13'de gösterildiği gibi düşey bir eksen düzlemi etrafında simetrik iki kanada sahip değildir. Artan yatay kuvvetler etkisi ile, bir kıvrımın bir kanadı diğerine göre daha eğimli hale gelebilir: bu kıvrıma **asimetrik kıvrım** denir (Şekil 10.8). Devam eden deformasyonla bir kanad, 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 yeralan formasyonların sırası, ilk konumlarının tersidir, yani yaşlı kayaçlar genç kayaçların üstüne gelmişlerdir.



Şekil X. 14. Değişik tür kıvrımlar



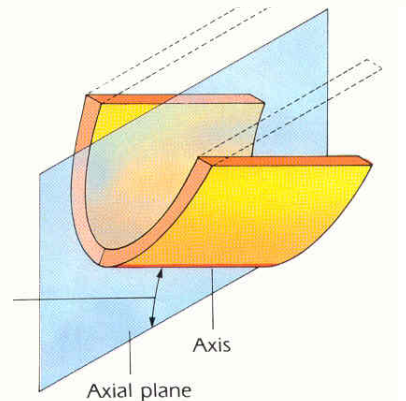
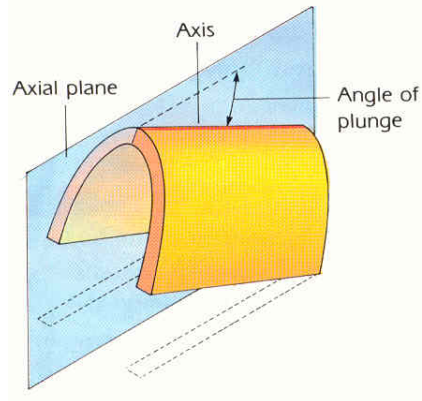
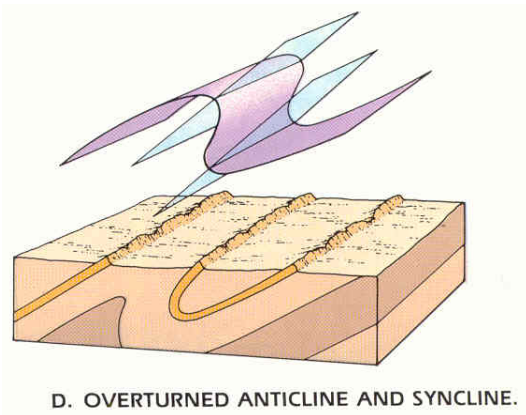
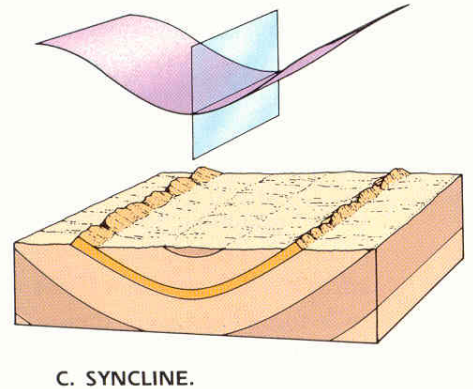
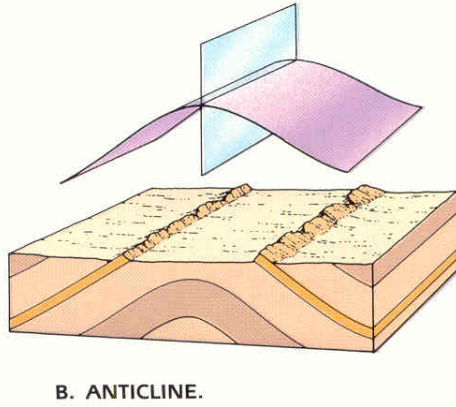
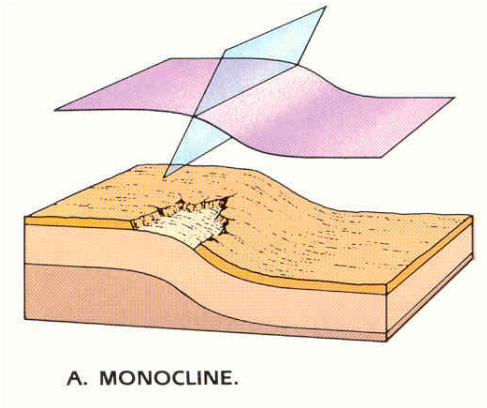
Şekil X.15. Dalımlı kıvrım



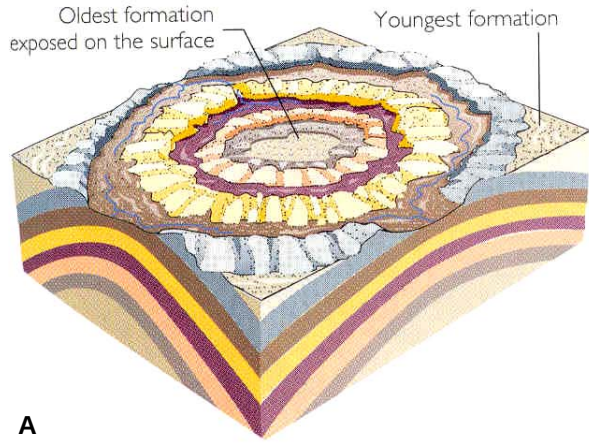
Şekil X.16. Devrik antilinal



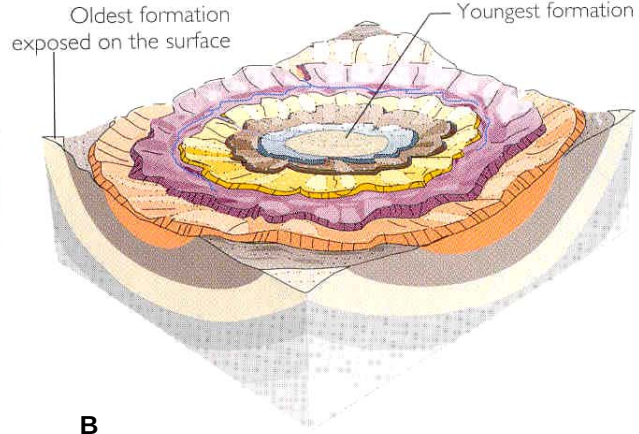
Şekil X.17. Çift dalımlı antiklinalin havadan görünümü



Şekil X.18. Değişik tip kıvrımların blok diyagramları



A



B



C

Şekil X.19. Dom, her yöne dalımı olan, yuvarlak şekilli bir antikal türüdür (A). Yine yuvarlak şekilli olan senklinal ise havza (basin) adını alır (B). Bir domun havadan görünümü (C)

X.5. KAYAÇLAR NASIL KIRILIRLAR: KIRIK VE FAYLAR

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

X.5.1. Eklemler

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

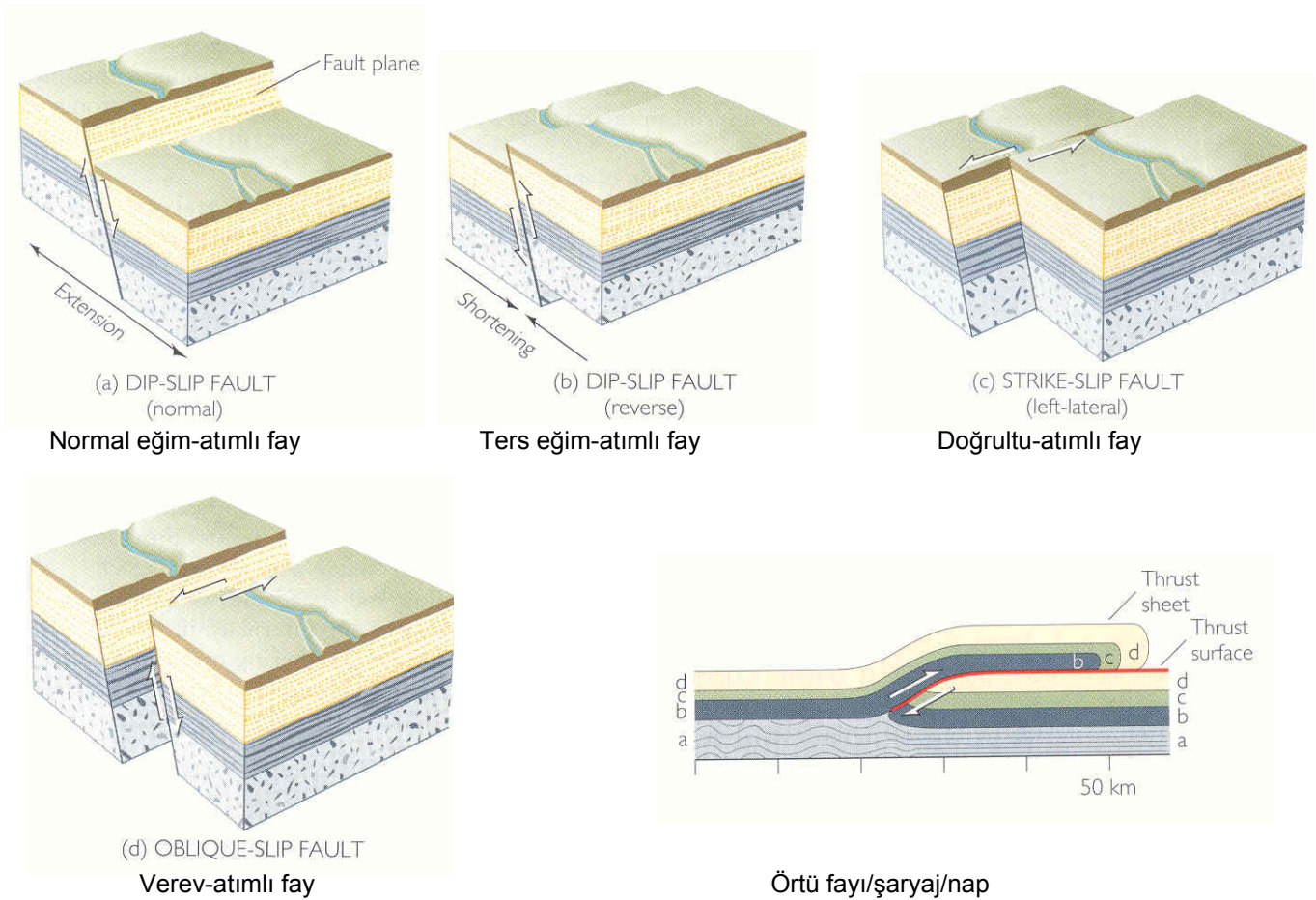
Bir formasyon değişik yerlerinden kırıldığı ve çatlaklar geliştiği zaman, bu çatlaklar boyunca kaya bünyesine sızan hava ve su kayacın ayrışmasına neden olur.

X.5.2. Faylar

Kıvrımların varlığı genellikle sıkışmaya delalet ederse 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 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. Eğim atımlı faylar, sıkışma kuvvetleri neticesinde oluşmuşsa ters fay, çekme kuvvetleri ile oluşmuşsa normal fay adını alır. Ters fayda, fay yüzeyinin üzerinde yeralan jeolojik formasyonlar altta yeralanlara 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 açısı çok düşük ise (0° - 10°), bu faya örtü fayı veya nap (fransızca nappe; ingilizce thrust fault) adı verilir. Örtü fayları, önemli deformasyon geçirmiş dağ kuşaklarına (örneğin Toroslar, Alpler) has yapılarıdır.



Şekil X.20. Değişik türde kuvvetlerin etkisi altında gelişen kıvrım ve fay yapıları.

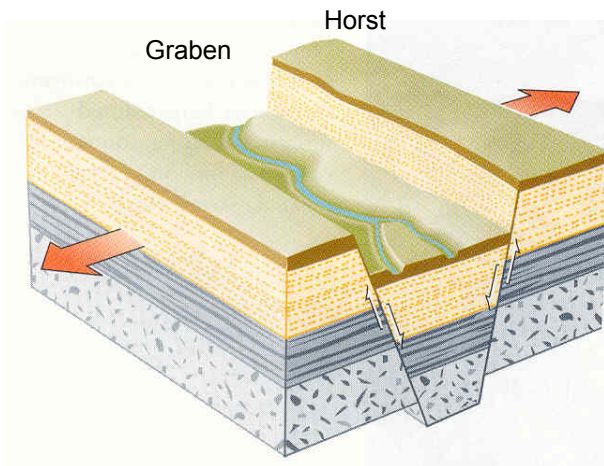


Şekil X.21. Alüvyon çökelleri içinde gelişmiş bir normal fay (Cihanbeyli batısı, E.Özsayın)

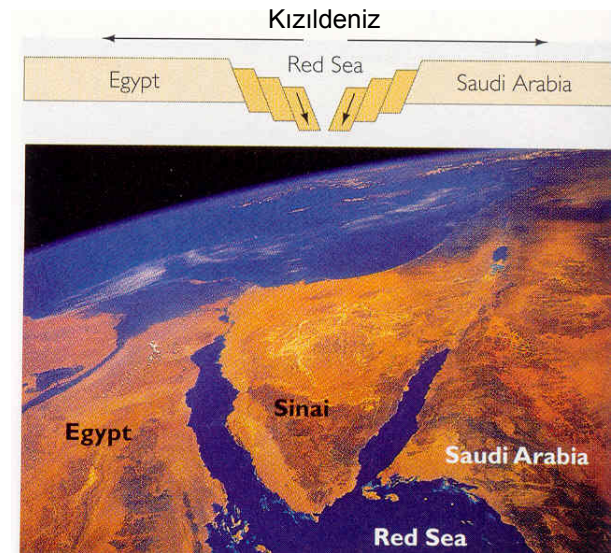


Şekil X.22. Soma kömür ocaklarında gözlenen kıvrım ve faylar (E.O.Tarı)

Normal faylarla sınırlı çöküntü alanlarına graben, yüksekte kalan kesimlere de horst adı verilir (Şekil X.23). Çekme kuvvetlerinin etkisi ile bir plakanın ikiye ayrılması durumunda oluşan ve kenarları normal fayla sınırlı çöküntü alanlarına ise rift adı verilir. Kızıldeniz bu yapının güncel örneğidir. (Şekil X.24).



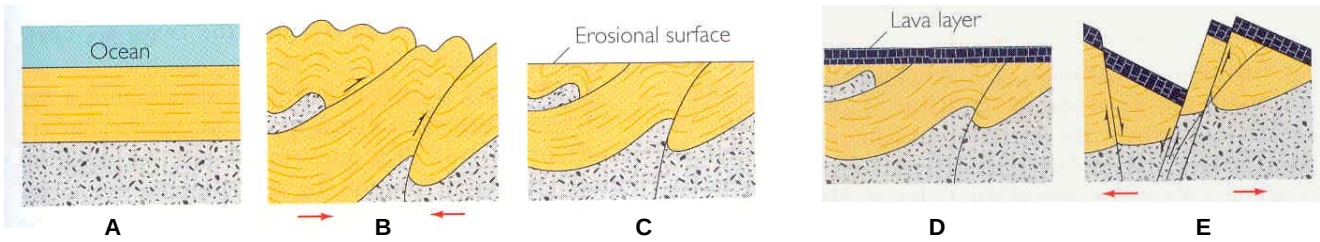
Şekil X.23. Horst ve grabenin görünümü



Şekil X.24. Rift'e örnek: Kızıldeniz

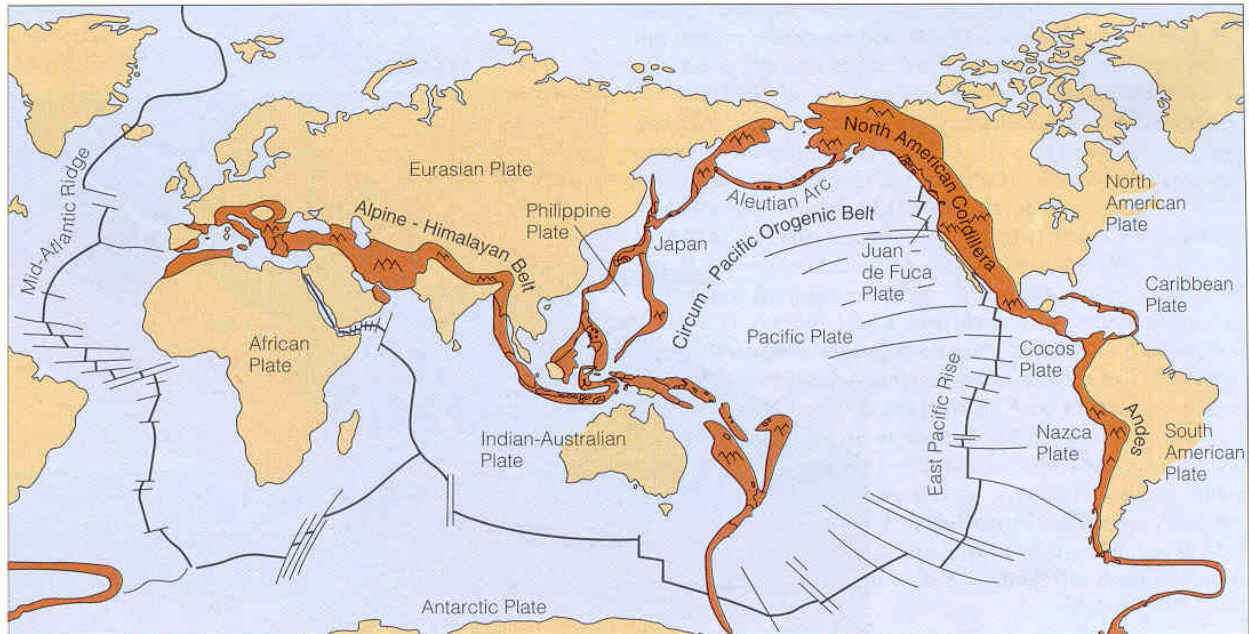
X.6. JEOLJİK GEÇMİŞİ ANLAMA

Genellikle bir bölgenin jeolojik geçmişi ardışık deformasyon evreleri ve diğer jeolojik işlevlerle ilgilidir. Batı Amerika'nın "Basin and Range" bölgesine ait kesitlerde (Şekil X.25) karmaşık bir geçmişe ait bulgular ve yorumlar vardır. Yer bilimci, 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 yarılması olayları gerçekleşmiş olabilir.



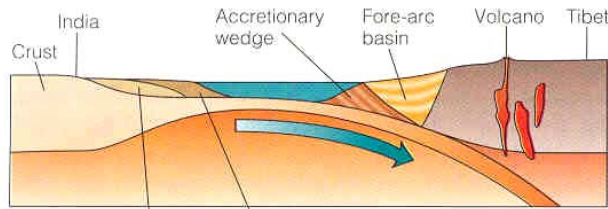
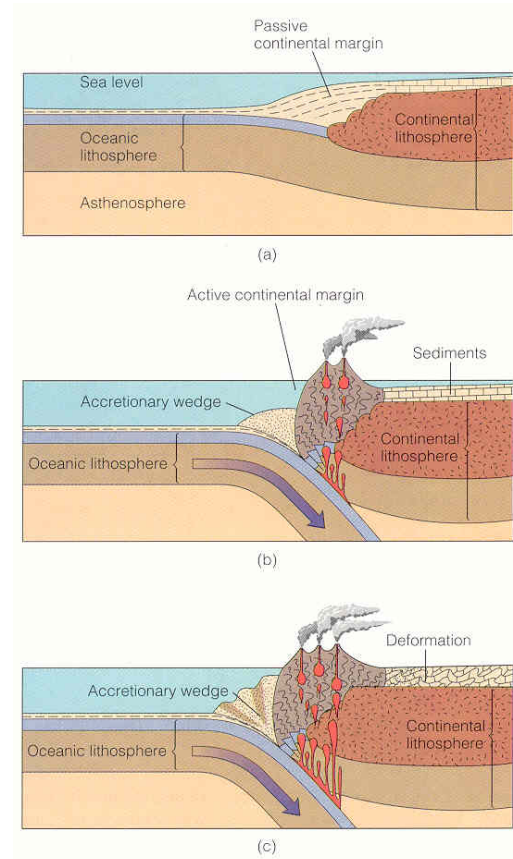
Şekil X.25. Batı Amerika'nın bir bölümüne ait jeolojik geçmişi gösteren kesitler.

Günümüzün genç sıradağlarını oluşturan Alpler, Toroslar ve Himalayaların günümüzden birkaç on milyon yıllık geçmişleri 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 yerbilimci, bunların üzerinde çalışarak geçmişi çözmeye çalışmaktadır.

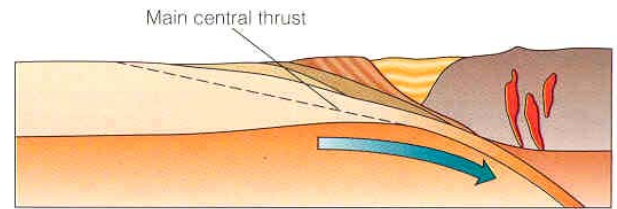


Şekil X.26. Dünya üzerinde genç orojenik hareketlerin yoğunlaştığı Alp-Himalaya ve Pasifik çevresi kuşakları.

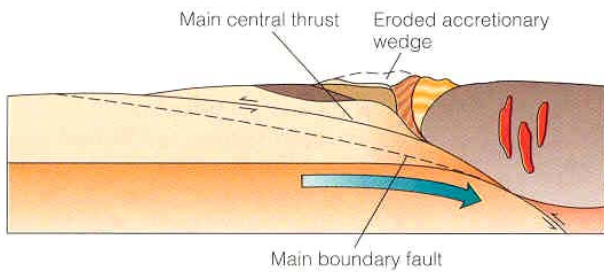
Şekil X.27. Güney Amerika'da And Dağlarının oluşumunu açıklayan şematik diyagramlar.



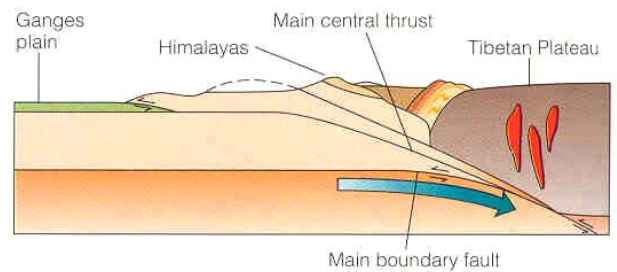
(a) 60 M.Y.A.



(b) 40-50 M.Y.A.

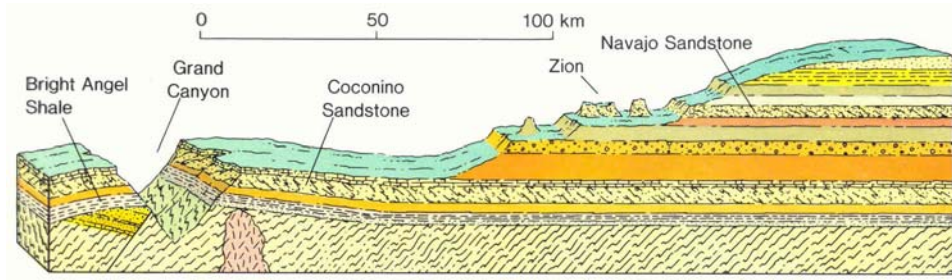


(c) 20-40 M.Y.A.

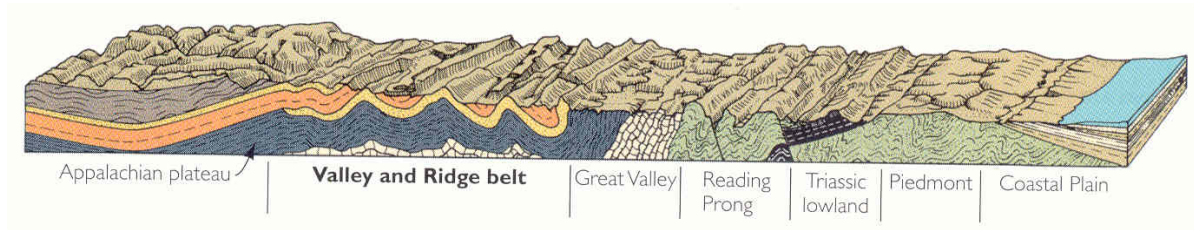


(d) 20-0 M.Y.A.

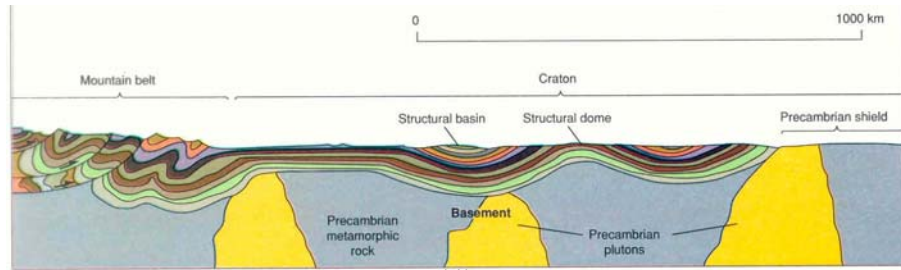
Şekil X.28. Hindistan ve Asya Levhalarının çarpışarak Himalayalar'ın oluşumunu açıklayan şematik diyagramlar.



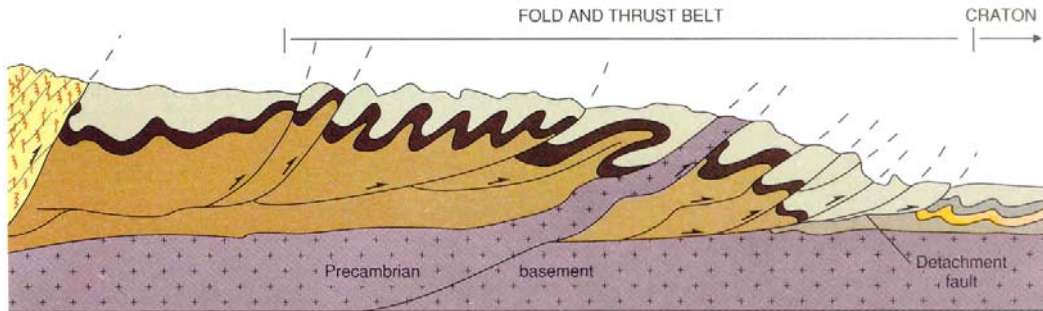
Şekil X.29.



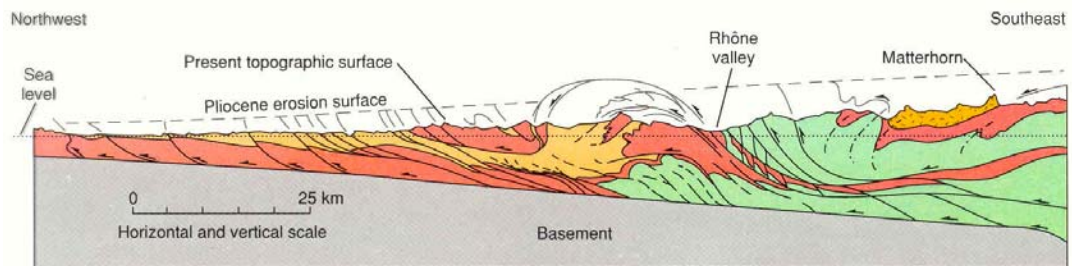
Şekil X.30.



Şekil X.31.



Şekil X.32.



Şekil X.33.