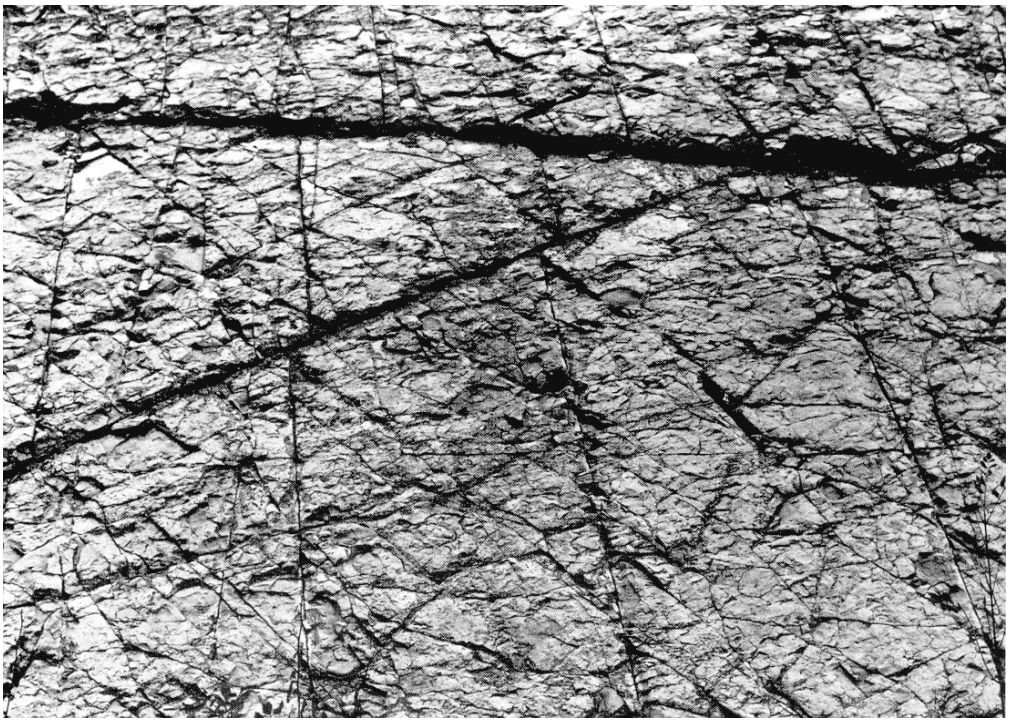
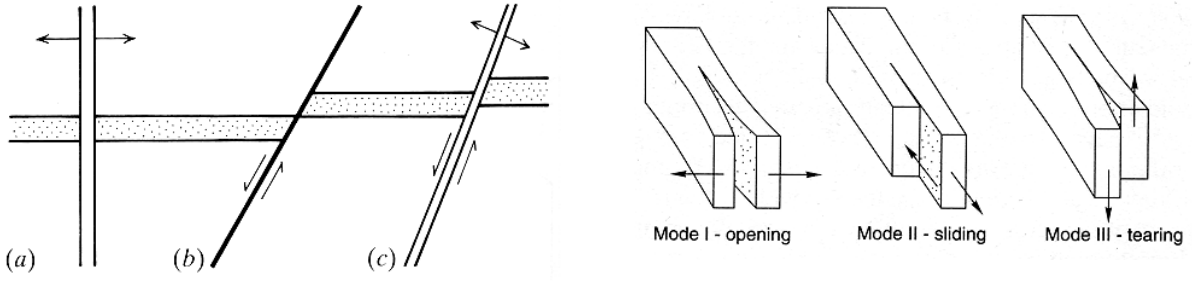
VII. EKLEMLER (JOINTS)

VII.1. Tanım ve Eklemlerin önemi

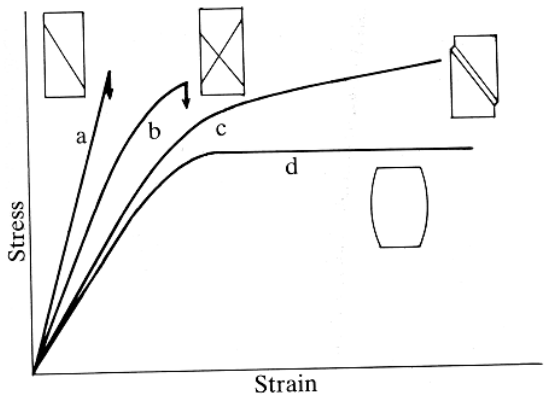
Kayaçlarda düzgün yüzeyler boyunca meydana gelmiş düzlemlere **kırık / çatlak (fracture)** adı verilir. Genelde, arazi çalışmalarında kayaçlara yakından bakıldığında, kayaç üzerinde değişik istikametlerde gelişmiş olan bu kırıklar / çatlaklar görülür. Kayacı oluşturan taneler arasındaki bağın kopması o kayacın kırılmasına, dolayısıyla kırık düzlemlerinin oluşmasına neden olur. Bu kırık sistemleri kayaçları bir bakıma parçalara bölmüştür. Bu kırıklar boyunca gözle görülebilen bir hareket varsa bu kırıklara '**fay**', eğer yoksa veya çok az bir hareket varsa bu kırıklara '**eklem**' adı verilir (Şekil VII. 1).



Şekil VII. 1. Eklem ve fayları birarada gösteren fotoğraf

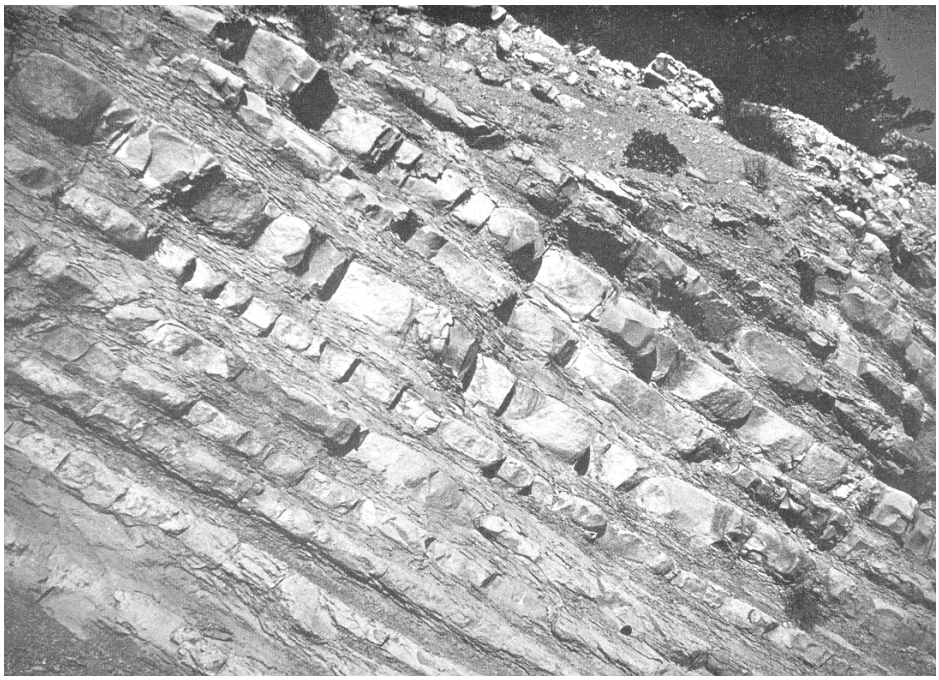


Şekil VII. 2. Değişik tür kırık (fracture) oluşumları: a) çekme (extension), b) makaslama (shear), c) kırma çekme/makaslama (hybrid extension/shear). Mode I: açılma, Mode II: kayma, Mode III: yırtılma



Şekil VII.3. Değişik karakterdeki kayaçlarda oluşan kırık sistemleri ve gerilim-deformasyon eğrileri.

a) Kırılgan (brittle), b) yarı-kırılgan (semi-brittle), c) yarı sünümlü (semi-ductile), d) sünümlü (ductile)



Şekil VII.4. Arazide, kırılgan birim olan kumtaşında oluşan eklemleri gösteren fotoğraf. Sünümlü karakterdeki şeyl de ise eklem oluşmadığına dikkat edin.

Genel olarak iki kırılma yüzeyi arasındaki açıklık 0-1 cm arasında ise bunlara **çatlak**, 1 cm den büyükse **yarık** adı verilir. Çatlak / eklem daha sonra kalsit, kuvartz gibi mineraller tarafından doldurulduysa bunlara **damar** (vein) denir.

Eklemlerin Önemi

1. Eklemler bulunduğu bölgenin yapısal evriminin aydınlatılmasında, bölgeyi etkileyen kuvvetlerin yönünün ve doğrultusunun belirlenmesinde son derece önemlidir. Gerilme-deformasyon analizi yapmamızda yardımcı olurlar.

2. Uygulamalı çalışmalarda ise eklemlerin sayı ve yönelimleri son derece önemlidir. Bunların istatiksel olarak derlenmeleri, diyagramlarda yorumlanmaları işimizi planlamamıza ve yönlendirmemize yardımcı olur. Mesela:

   - Bir taş ocağında çıkarılacak olan blokların boyutları eklemlerin kontrolündedir.
   - Bir tünel çalışmasında güzergahın durumu veya kazı sırasında alınacak tahkimat önlemleri eklemlerin sayı ve yönelimine göre planlanır.
   - Eklem analizinin petrol ve maden jeolojisinde önemli yeri vardı. Petrol jeolojisinde rezervuar kayacın verimliliği ve porozitesi doğrudan eklemlerin kontrolündedir.
   - Hidrotermal maden yatakları kırık-eklem kontrolünde gelişi. Kırıkların yönelimini bilmek cevheleşmenin takibini imkanlı hale getirir.Bir kömür yatağında eklemlerin yönelimleri, kazı kolaylığı için plan yapmamıza yarayan bilgiler sunabilir.
   - Yeraltı kazıları sırasında da destekleme maliyetlerinin optimum düzeyde tutulabilmeleri yine eklemlerin yönelimlerini iyi bilmemize bağlıdır.
   - Bir yeraltı kazısını suyun basıp basmayacağını veya nerelerde basacağını bilmek, jeolojik yapıların yanında malzeme niteliğini ve kırık yönelimlerini bilmekle mümkün olabilir.

VII.2. Eklemlerın Sınıflandırılması

Eklemler tektonik kökenli ve kökeni tektonik olmayan eklemler olmak üzere iki grupta incelenebilir.

VII.2.1. Tektonik kökenli eklemler

Bu eklemler yapısal (tektonik) kuvvetlerin etkisi ve denetimi altında meydana gelir. Yerkabuğundaki hareket ve gerilmelerin etkisiyle, kayaçların kırılgan veya yarı kırılgan davranışları sonucunda belirli mekanik kurallara bağlı olarak gelişen eklemlerdir.

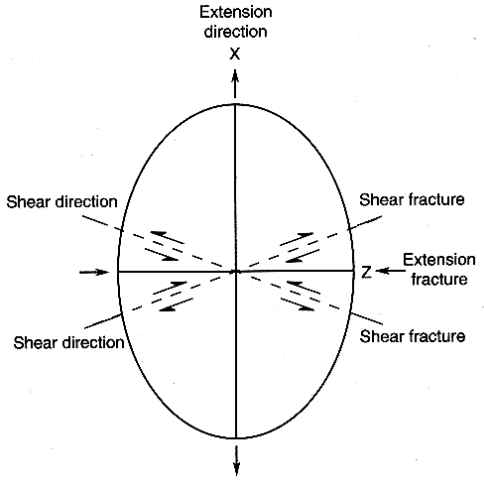
Tektonik kökenli eklemler başlıca sedimanter, mağmatik ve metamorfik kayaçların tümünde gelişebilir ve birbirleriyle daima belirli bir düzen ve geometrik ilişki içinde bulunurlar.

Tektonik kökenli eklemlerin alt grupları: a) Tektonik kuvvetlerle ilişkilerine göre sınıflanan eklemler, b) diğer tektonik yapılarla olan ilişkilerine göre sınıflanan eklemler.

a) Tektonik kuvvetlerle ilişkilerine göre

Bu tür eklemlerin yapısal önemi büyüktür. Bunlar kendilerini oluşturan yapısal kuvvet yönleri ile daima belirli bir geometrik ilişki içinde bulunurlar. i) Tansiyon eklemleri, ii) Makaslama eklemleri, iii) Stilolitler, iv) Sigmoyidal damarlar.

Şekil VII.5.



i) Tansiyon eklemleri:

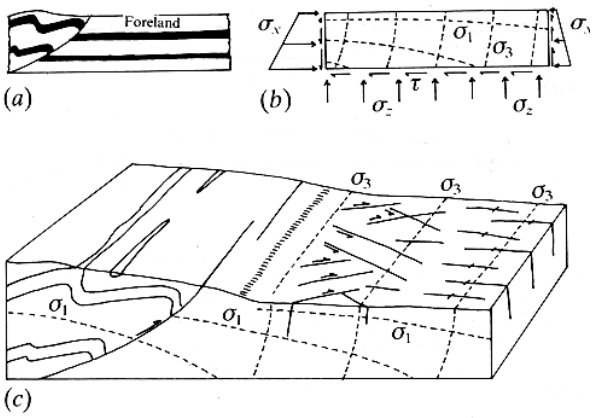
Bu eklemler, kayacı etkileyen en büyük basınç istikametine paralel, en büyük çekme istikametine dik olarak gelişir. Bu eklemlerin özellikleri:

- Eklem düzlemlerindeki hareket (açılma) eklem yüzeyine dik istikamette olduğu için eklem düzlemleri boyunca birbirine ornla kayma hareketi görülmez.
- Tansiyon eklemleri, kayaçlarda birer açılma-genişleme yüzeyleri oldukları için, yüzeyleri düzgün olmayıp pürüzlüdür.
- Yer kabuğunun kırılgan olan üst kısmında gelişirler.
- Kıvrımlı kayaçlarda kıvrım eksenine dik olarak gelişirler.
- İlk oluştukları zaman içleri boştur, zamanla içleri minerallerle (kuartz, kalsit gibi) veya kille dolarak damar adını alır.
- Baraj, tünel gibi büyük mühendislik yapılarında oturma ve su kaçırması gibi olumsuz etki gösterirler.
- Mermer ocaklarında ise belirli ve düzenli aralıklarla mevcut iseler blok alımında olumlu özellik gösterirler.

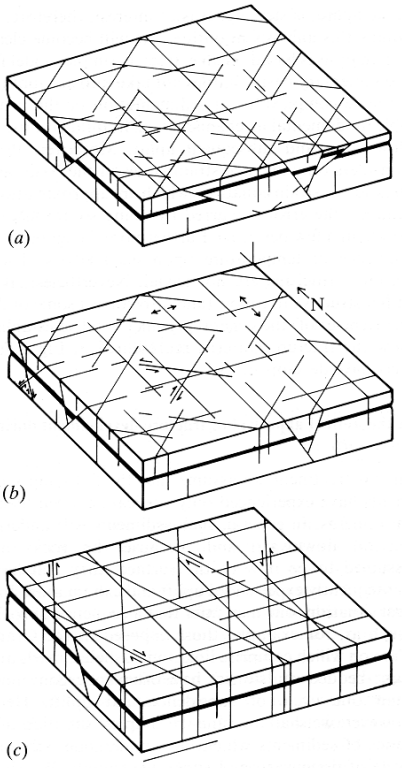
ii) Makaslama eklemleri

Kendilerini etkileyen en büyük basınç kuvvetine çapraz olacak şekilde gelişen kırıklardır. İki makaslama ekleminin kesişmesi sonucu oluşan dar açı genellikle 50°-60° dir. Bu eklemlerin özellikleri:

- Makaslama hareketi ile oluştukları için aynı zamanda birer makaslama yüzeyidirler. Bu nedenle de eklem yüzeyi boyunca az da olsa kayma hareketi gözlenir.
- Eklem yüzeyi kayma nedeniyle son derece düzgün, pürüzsüz ve cilalıdır.
- Eklemler tansiyon eklemlerinin aksine kapalıdır.
- Kıvrımlı serilerde kıvrım eksenini daima çapraz bir şekilde keserler.
- Mostralardaki tanıtman özelliği baklava dilimleri şeklinde görünüme sahip olmalarıdır.
- Makaslama yüzeyleri kayaçların zayıf zonlarına karşılık geldiğinden, özellikle baraj, tünel gibi mühendislik jeolojisi çalışmalarında önemlidir.

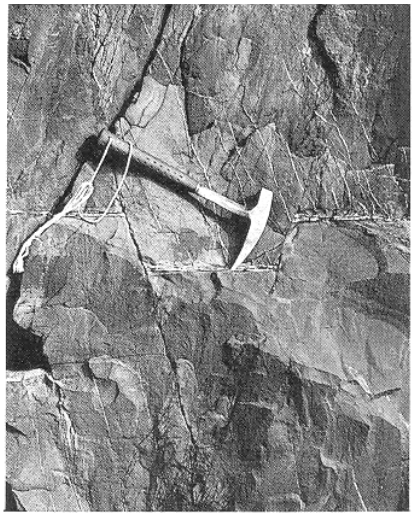


Şekil VII.6.



Şekil VII.7.

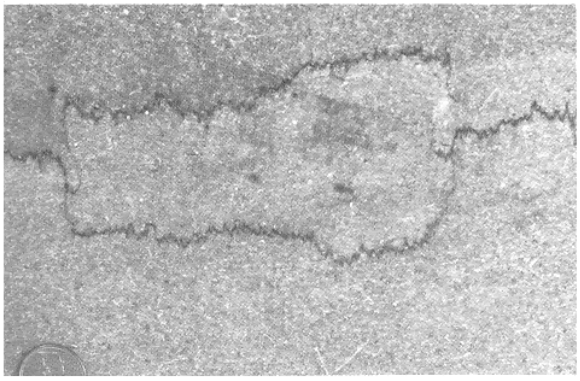
Şekil VII. 8. Makaslama eklemleri



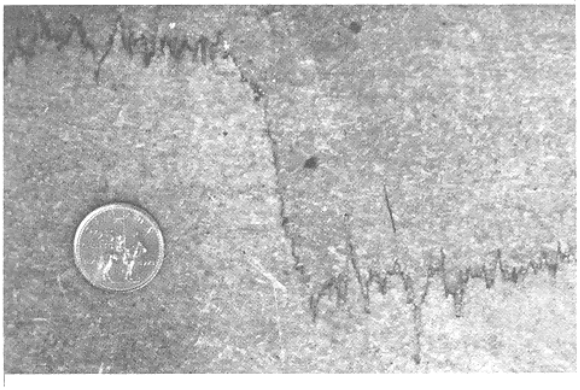
(*a*)

iii) Stilolitler.

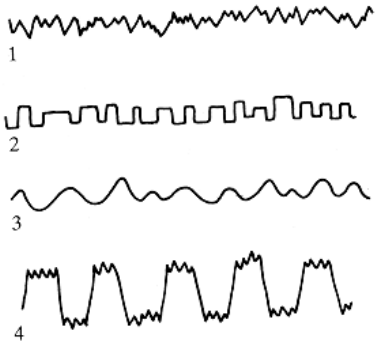
Genelde 5 veya 10 mm boyunda ve asal gerilme yönüne paralel gelişen yapılardır.



(*a*)

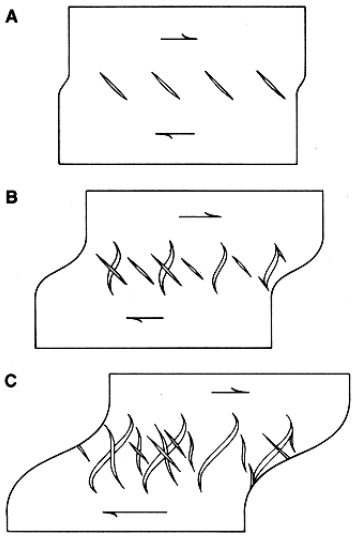


(*b*)



Şekil VII. 9. Stilolitler

iv) Sigmoyidal damarlar

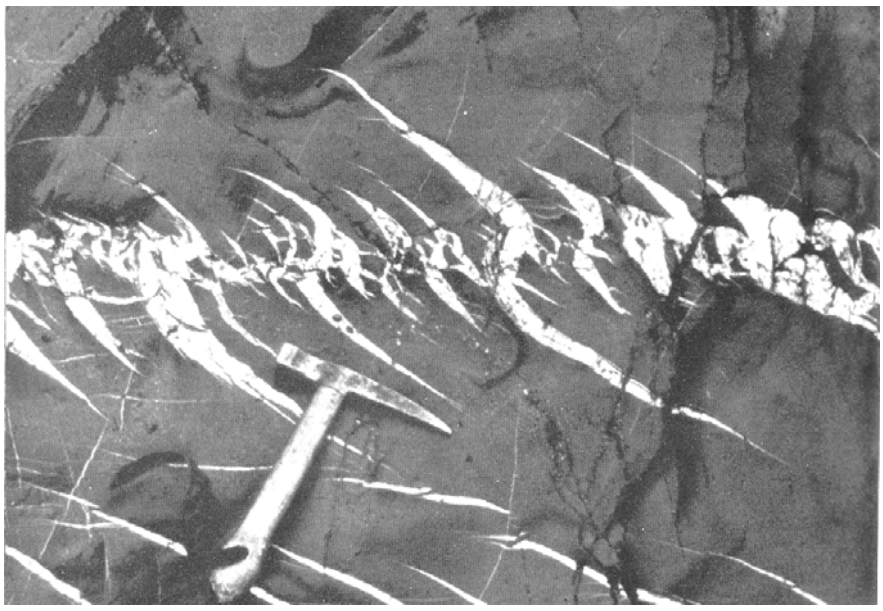


Şekil VII. 10. Sağ yönlü bir makaslama zonunda kademeli yarıkların ve geş damarların kinematik gelişimi (en echelon fractures and gash veins) (Davis, 1984)

A. Makaslama zonunun duvarları ile 45° lik açı yapacak şekilde gelişen tansiyon eklemleri. B. Devam eden basit makaslama nedeniyle daha önce oluşmuş damar/eklemlerin rotasyonu. C. Eski damar/eklemlerin rotasyonu devam edeken yeni eklemlerin/damarların gelişimi



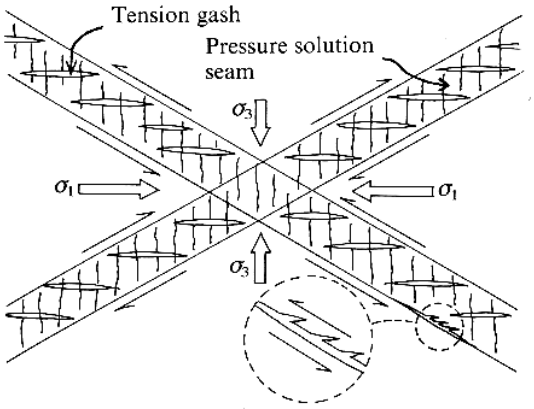
Şekil VII. 11.



Şekil VII. 12.

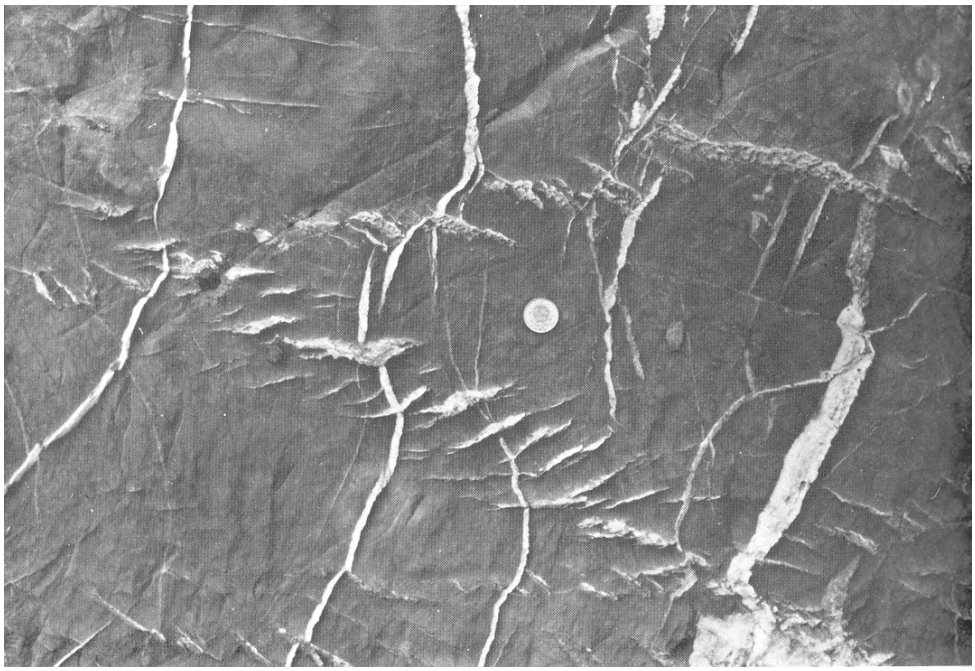


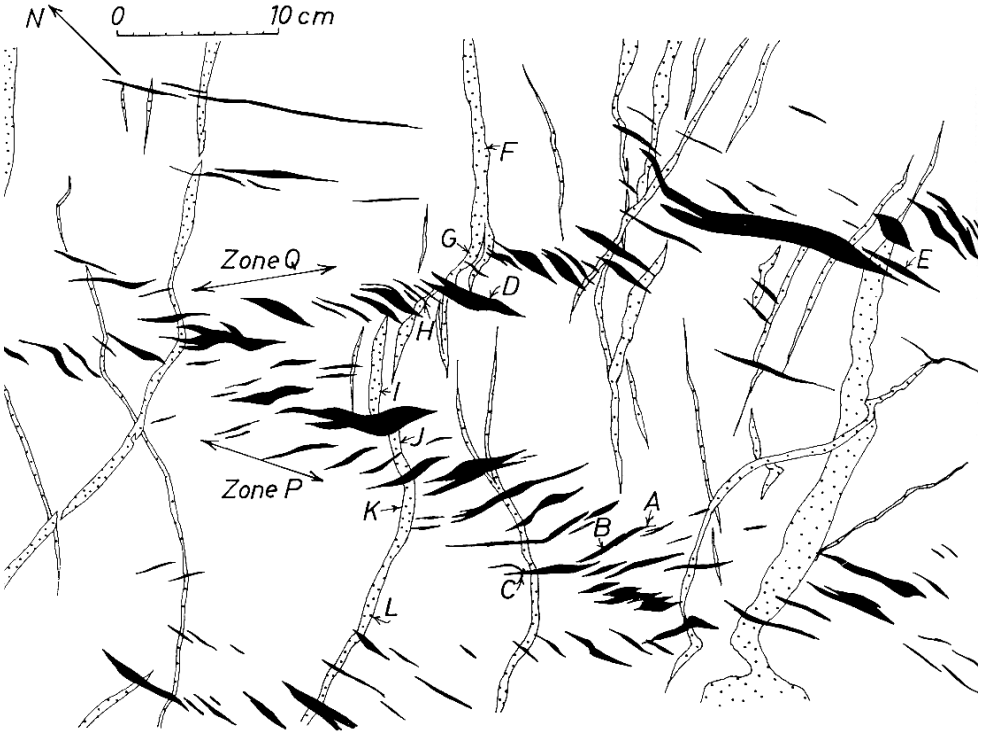
(*b*)



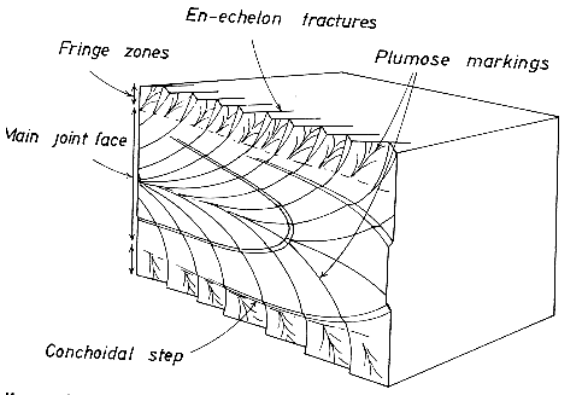
(*c*)

Şekil VII. 13

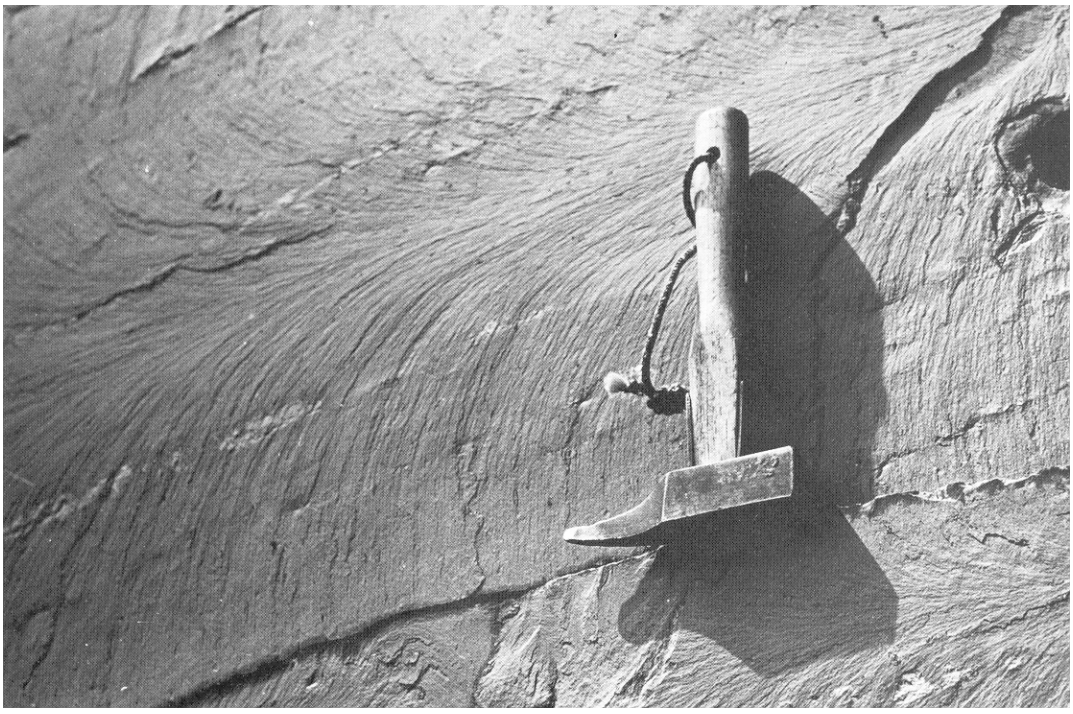




Şekil VII. 14.



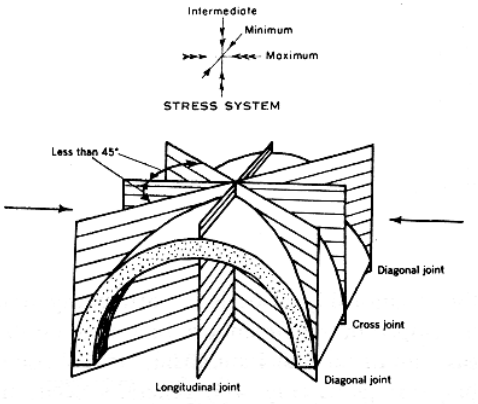
Şekil VII. 15. Eklem düzlemlerinde gelişen tüy (plumose) yapıları



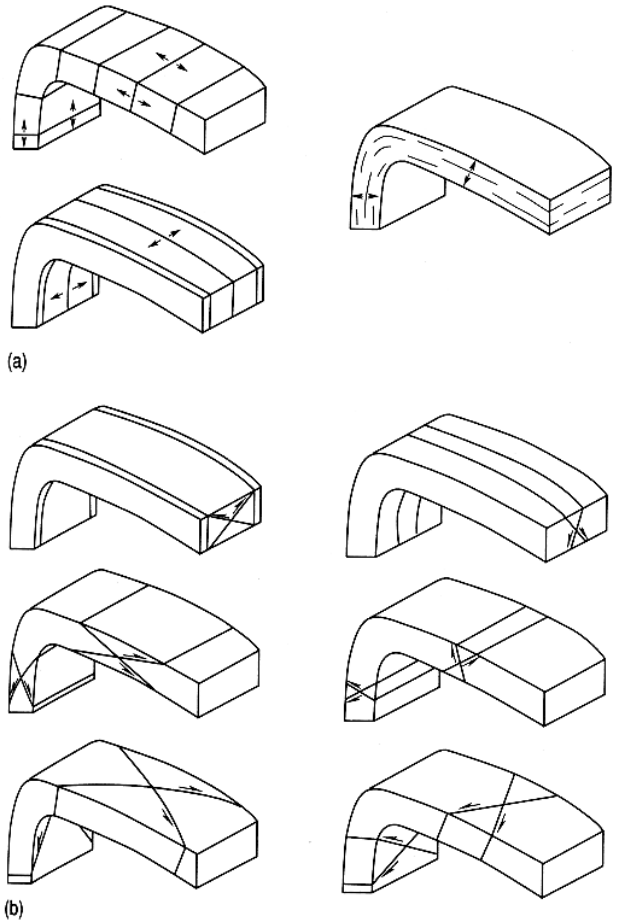
Şekil VII. 16. Tüy yapılarının yakından görünümü

b) Diğer tektonik yapılarla olan ilişkilerine göre sınıflama

i) Kıvrım ekseni ile olan ilişkilerine göre (boyuna, enine ve diyagonal eklemler) (Şekil VII 17, 18)

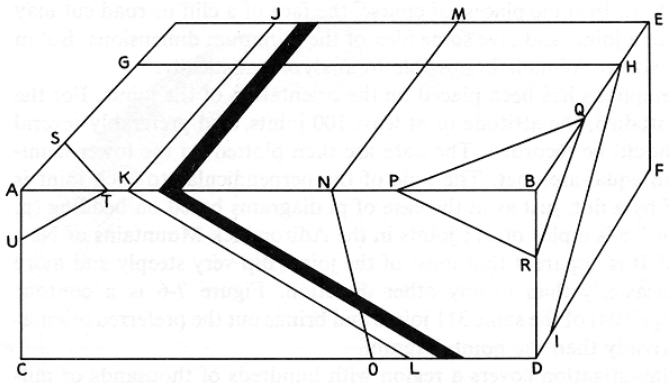


Şekil VII. 17. Boyuna (longitudinal), diyagonal (diagonal), enine (cross) eklemler



Şekil VII. 18. Kıvrım ekseni ile olan ilişkisine göre değişik eklem çeşitleri

ii) Tabaka ile olan ilişkisine göre eklem çeşitleri (Şekil VII. 19)

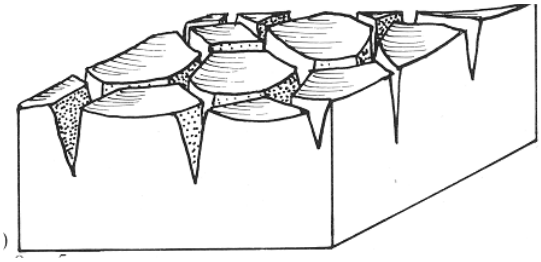


Şekil VII. 19. Kalın çizgi tabaka, ABCD ve GHI: eğim eklemleri, JKL: tabak eklemi, MNO ve BDEF: Doğrultu eklemleri, PQR ve STU: diyagonal eklemler.

VII.2.2. Kökeni tektonik olmayan eklemler

a. Kuruma eklemleri

Bunlar, killi ve karbonatlı çamurlar gibi sulu tortulların suyunu kaybetmesi sonrasında karalarda çökelmiş sedimentlerde gelişim gösteren eklemlerdir. Özellikle sıcak bölgelerde, gölsel ortamlarda çökelleri sağlayan su, ortamdan uzaklaştığı veya suyun buharlaştığı zamanlarda, çökeller üzerinde gelişen eklemlerdir. Şiddetli yağmurlardan sonra yatay killi-çamurlu tarla toprağı üstünde gelişen eklemlerde, birer kuruma eklemidir (Şekil VII.20).

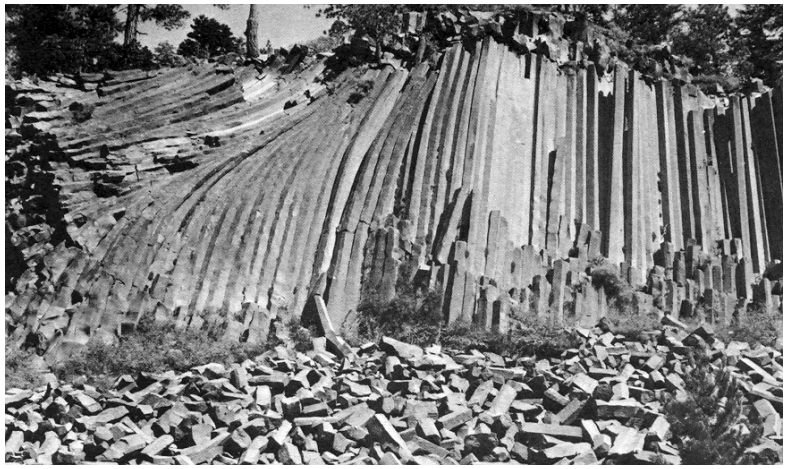


Şekil VII. 20. Kuruma nedeniyle oluşmuş eklemler

b. Soğuma eklemleri

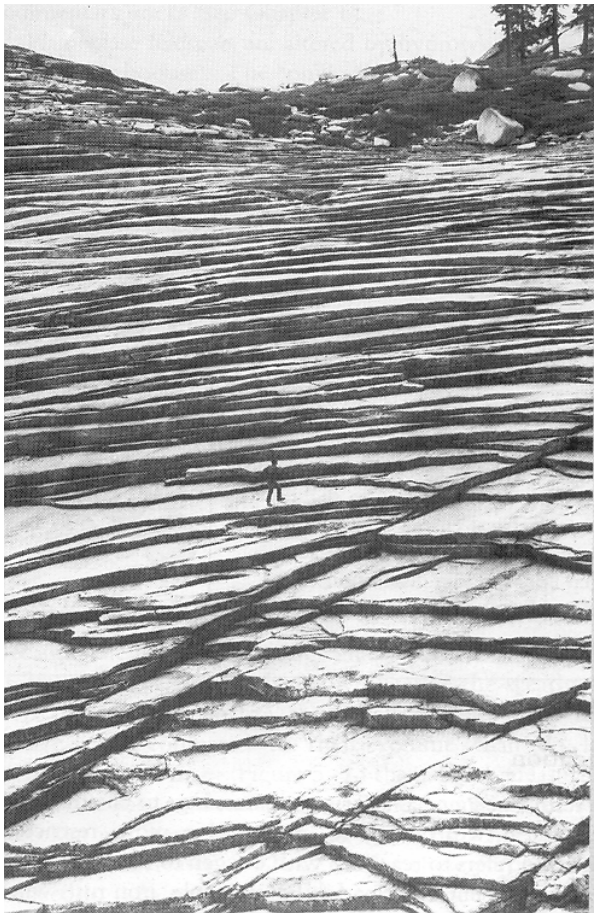
Özellikle mağmatik kayaçlardan bazalt gibi akıcı lavlarda, bunların soğuması ve büzülmesi aşamasında gelişen eklemlerdir. Bunlar çoğunlukla sütun şeklindedirler ve enine kesitlerinde beşgen veya altıgen şeklinde görülürler (Şekil VII. 21).

Şekil VII. 21. Lavlarda oluşmuş soğuma eklemleri



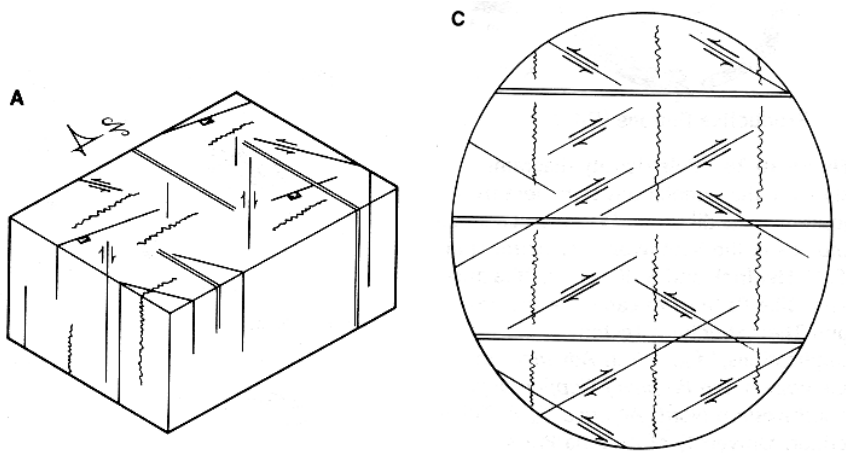
c. Basınç azalması ile oluşan eklemler

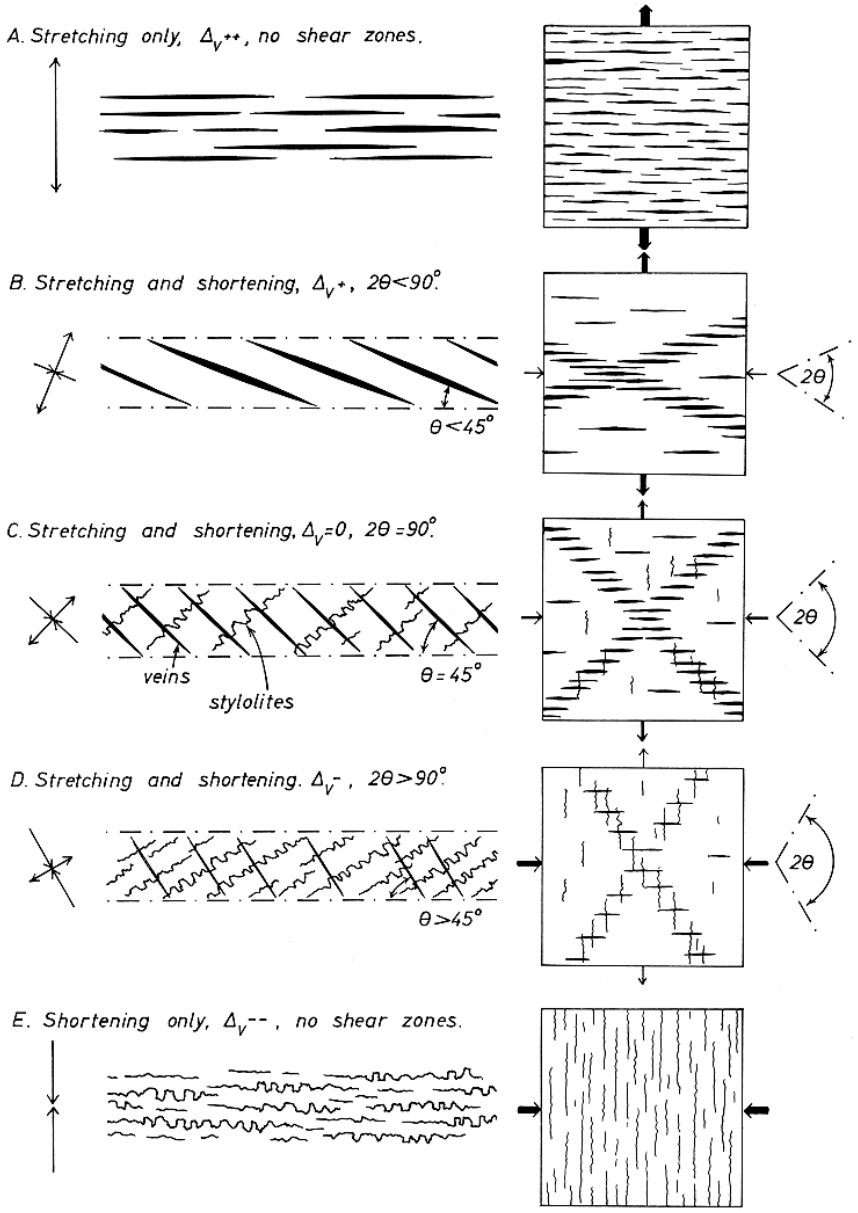
Bunlar bir kayaç kütlesi üzerinden, çeşitli nedenlerle onu dengede tutan basıncın kalkması sonucu kütlenin genişlemesi ile oluşur (Şekil VII.22).



Şekil VII. 22. Granit üzerinde gelişmiş eklemler.

Şekil VII. 23.





Şekil VII. 24.

VIII. FAYLAR (FAULTS)

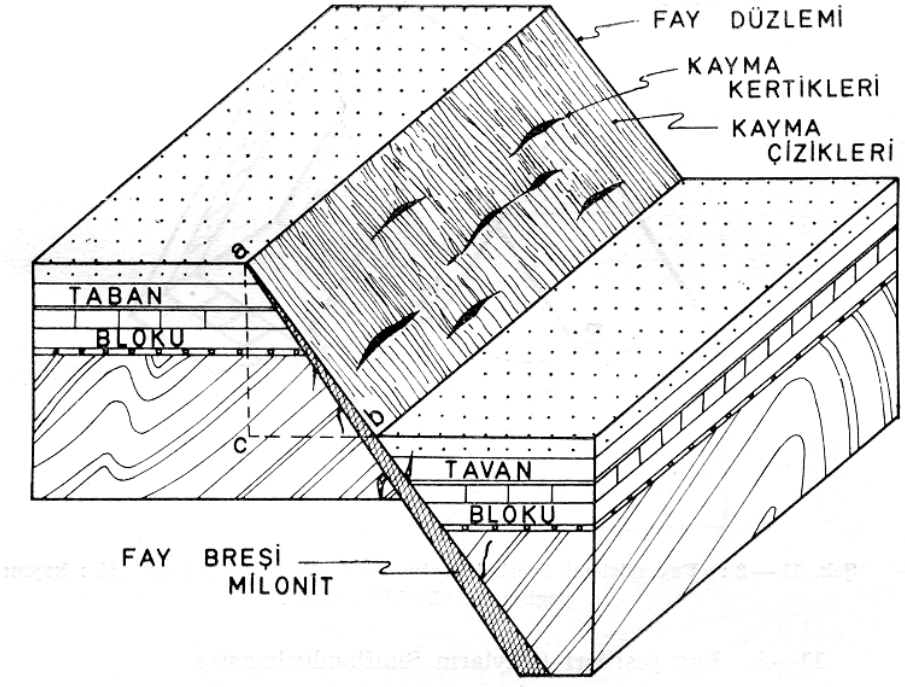
VIII.1. Tanım ve genel bilgiler

Kayaçların bir düzlem boyunca gözle görülecek miktarda kayma göstermesi olayına **faylanma** (faulting), bu olay sonucu meydana gelen yapıya da **fay** (fault) adı verilir.

Faylarda kayma hareketinin oluştuğu düzleme **fay düzlemi** (fault plane) veya fay aynası denir (Şekil VIII.1).

Faylarda kırılma yüzeyinin (fay düzlemi) her iki tarafında yer alan kayaç topluluklarına **blok** adı verilir. Fay düzleminin iki yanındaki bu bloklar bu düzleme sürtünerek ve değişik doğrultularda kayarak birbirlerine nazaran yer değiştirirler. Fay düzleminin üst kısmında kalan bloğa **tavan bloğu** (hanging wall) altta kalan bloğa ise **taban bloğu** (foot wall) adı verilir.

Fay düzlemi üzerinde kayma ile ilişkili olarak bazı yapılar meydana gelir. Bunların en önemlileri **fay çizikleri** (slickensides / slickenlines / striations) ve **fay kertikleridir** (chatter mark). Faylarda kırılma ve blokların birbirleri üzerinde sürtünerek kaymaları, fay düzlemi veya fay zonundaki kayaçların parçalanıp ufalanmasına yol açar. Fay düzleminde yer alan ve mekanik olarak ezilmiş-ufalanmış bu malzemeye **fay breşi** adı verilir. Çok fazla ufalanmış malzemeye ise **milonit** adı verilir.

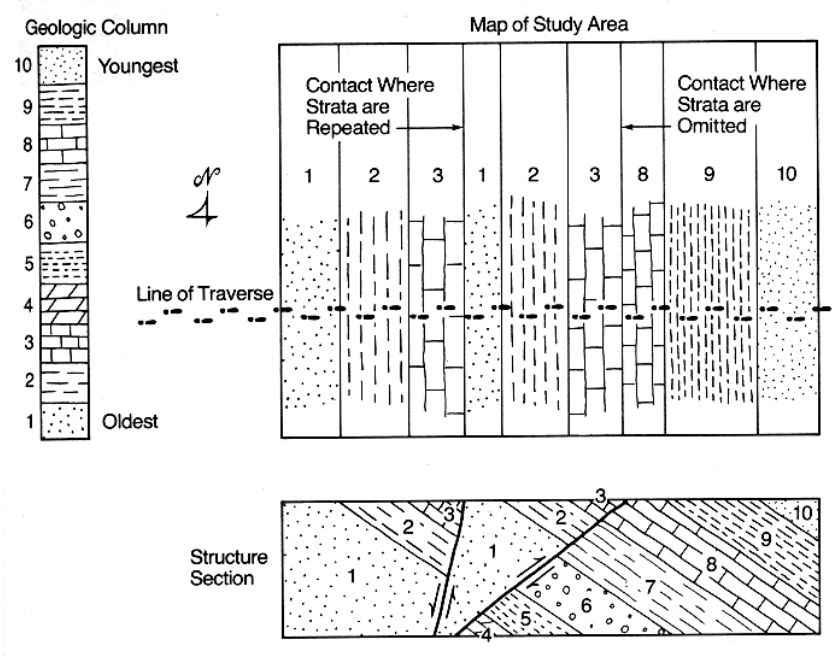


Şekil VIII.1.

VIII.2. Fayların tanınma kriterleri

VIII.2.1. Tabakaların tekrarlanması veya kaybolması

Arazi çalışmaları sonucunda hazırlanan harita üzerinde sırasında olması gereken tabakaların yokluğu veya aynı tabakanın tekrarlanması genelde bir fayın varlığına işaret eder. Bir genelleme yapılacak olursa tabakaların tekrarlanması normal fayın, eksik olması ise ters fayın varlığını işaret eder (Şekil VIII.2).



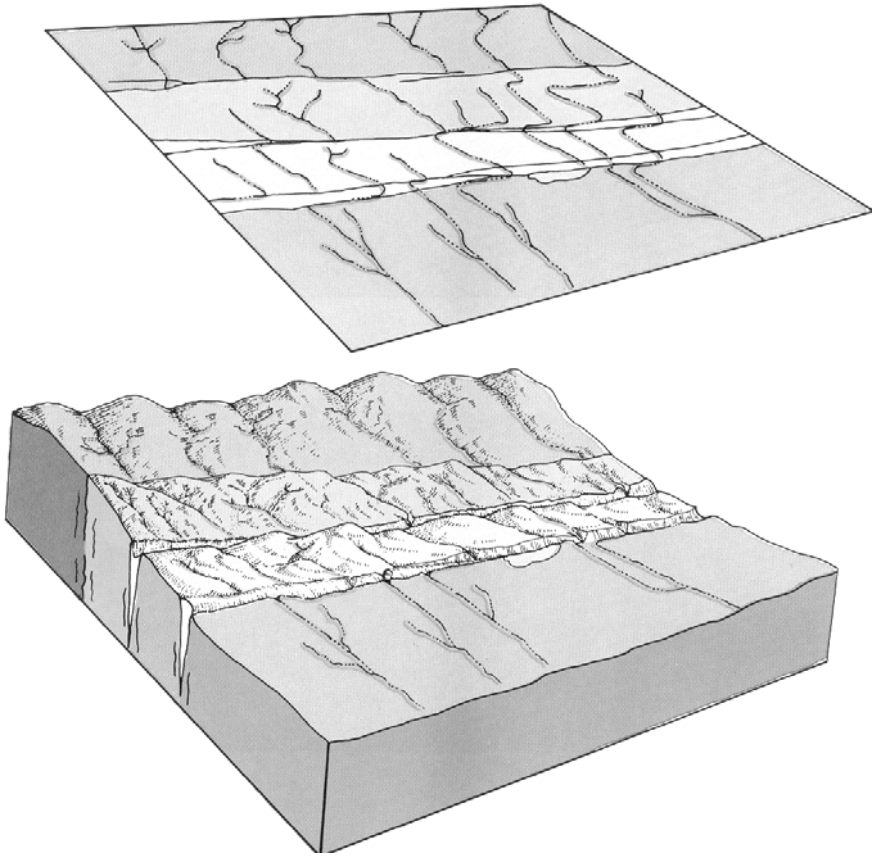
Şekil VIII. 2.

VIII.2.2. Fasiyeslerin ani değişmeleri

Çizgisellikler boyunca ani fasiyes değişiklikleri fayın önemli kriterlerindendir (Şekil VIII.3, 4).

Harita

Blok diyagram

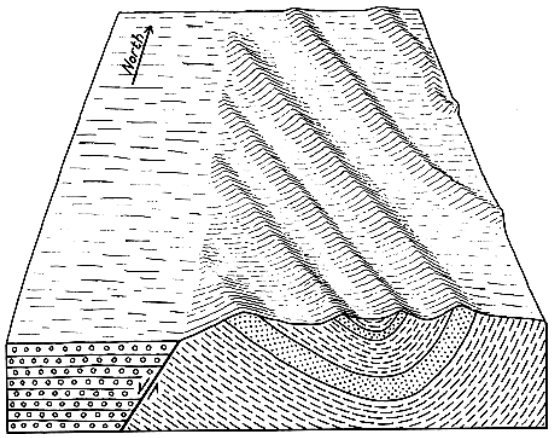


Şekil VIII.3.

VIII.2.3. Yapıların devamsızlığı

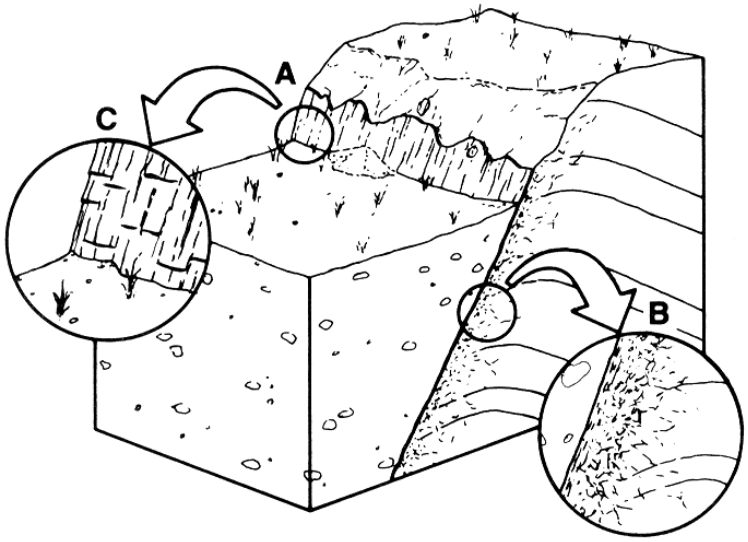
Belirli hatlar boyunca tabaka, kıvrım, dayk, eklem gibi yapıların aniden kesilmesi bir faya işaret eder (Şekil VIII. 4).

Şekil VIII.4.



VIII.2.4. Fay düzlemi üzerindeki karakteristik yapılar

Fay düzleminin görülmesi, fay varlığının kesin kanıtıdır. Ayrıca **fay çizikleri** kayma hareketinin doğrultusunu, **fay kertikleri** ise kayma hareketinin yönünü gösterir. Fay düzlemi üzerinde elimizi kaydırdığımızda, en kolay hareket ettiği yön, elimizin yerinde bulunması gereken bloğun hareket yönünü gösterir (Şekil VIII. 1, 5).



Şekil VIII. 5

VIII.2.5. Fay düzlemiyle temas halinde bulunan tabaka uçlarının kıvrılması

Fay bloklarındaki tabakaların uç kısımlarında fay düzlemine yaklaştıkça kıvrımlanma görülür. Bu durum, faylanma ve fay düzleminin sürtünerek kayması nedeniyle buradaki tabaka uçlarının hareket yönünün aksi tarafına kıvrılmasıyla oluşur (Şekil VIII.5).

VIII.2.6. Fay breşi ve milonit oluşumu

Faylarda kırılma ve blokların birbirleri üzerinde sürtünerek kaymaları, fay düzlemi veya fay zonundaki kayaçların parçalanıp ufalanmasına yol açar. Fay düzleminde yer alan ve mekanik olarak ezilmiş-ufalanmış bu malzemeye **fay breşi** adı verilir. Çok fazla ufalanmış malzemeye ise **milonit** adı verilir. Bir düzlem üzerinde bu iki malzemenin bulunması bu düzlem üzerindeki hareketi belirler.

VIII.2.7. Silisleşme ve mineralizasyon

Fay zonu boyunca kayaçların kırılıp, parçalanması ve breş oluşumu, buralarda yeraltı sularının veya çeşitli kimyasal solusyonların hareketi için son derece elverişli bir ortam hazırlar. İçerisinde çeşitli maddeleri erimiş olarak bulunduran yeraltı suları bunların içerisinde dolaşırken, zamanla bu içerdiği kimyasal maddeleri kristal haline dönüşerek, breş zonundaki boşlukları doldurur. Böylece kırıklı, çatlaklı ve breşik fay zonları, zamanla çeşitli mineral yoğunlaşmalarına sahip olur. En çok rastlanan mineralizasyon, kuvars oluşumu ile meydana gelen silisleşmedir. Bu olay sadece kuvars oluşumu için değil, diğer minerallerin çökelmesi için de geçerlidir. Bazı fay zonlarındaki mineralizasyonda ekonomik değere sahip önemli maden yatakları geliştiği de görülür. Bunlar çok defa fay zonlarındaki damar halinde maden yatakları olarak işletilir.

VIII.2.8. Sıcak, soğuk su kaynaklarının çizgisel sıralanışı

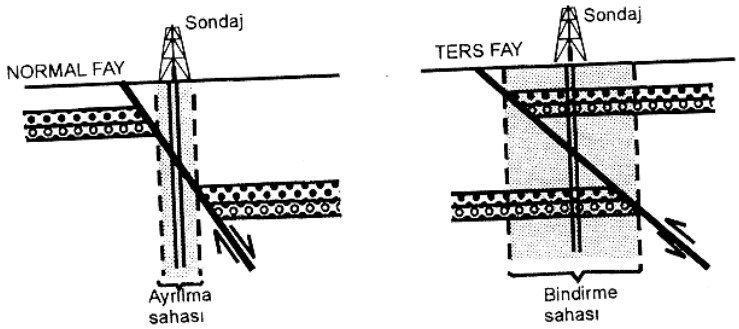
Fay zonlarındaki kayaçların kırılıp, parçalanması dolayısıyla bunlar arasında oluşan boşluklar, yeraltı sularının yeryüzüne çıkması için için son derece elverişli bir kanal vazifesi görür. Bu nedenle de çok sayıda su kaynaklarının birbiri ardına çizgisel sıralanım sunması, bu istikamet boyunca bir fay olasılığı akla getirmektedir. Diğer yandan belirli hatlar boyunca rastlanan traverten oluşumları da, vaktiyle bikarbonatca zengin yeraltı sularının fay hattı boyunca çıkış yaptığını ve buralarda traverten oluşumuna sebep olduğunu düşündürür.

VIII.2.9. Çizgisel bitki anomalisi

Fay zonları boyunca kayaçların kırılıp, parçalanması sonucu bu kesimler çevreye nazaran belirgin oranda topraklaşır. Topraklaşan bu kesimlerde ise doğal olarak bitkiler daha yoğun gelişir. Üstelik fay zonlarındaki bitki yoğunlaşmasına önemli katkı sağlar. Arazi çalışmalarında veya hava fotoğrafı değerlendirmelerinde çizgisesel bitki anomalileri çoğu kez önemli bir fay kriteri sayılır.

VIII.2.10. Sondajlarda ayrılma veya bindirme sahalarının saptanması

Stratigrafik istiflenmesi bilinen bölgelerde, çeşitli amaçlar için yeraltına yapılan sondajlarda, belli derinliklerde kesilmesi gereken bir tabaka kesilemiyorsa, bir ayrılma sahasının olabileceğine ve dolayısıyla bir normal fayın varlığına karar verilebilir. Diğer yandan belli derinliklerde bir kere kesilmesi gereken bir tabaka birden fazla kesiliyorsa, bir bindirme sahasının dolayısıyle bir ters fayın varlığına karar verilebilir (Şekil VIII.6).

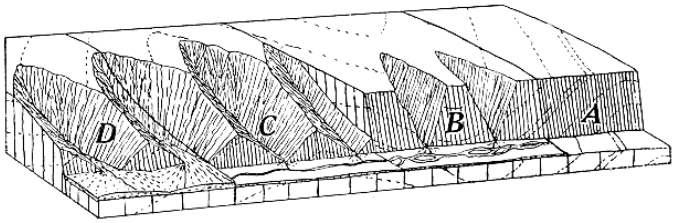


Şekil VIII.6.

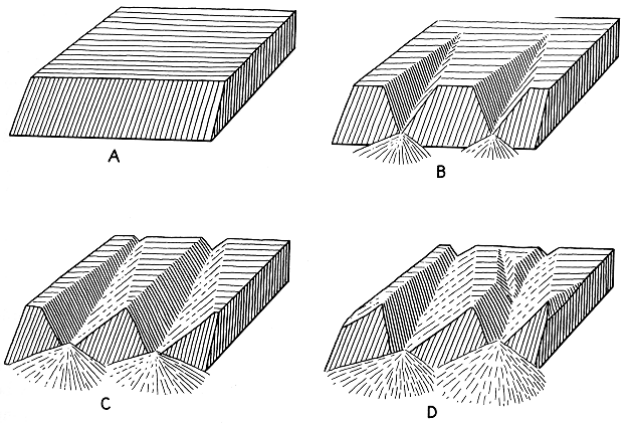
VIII.2.11. Fizyografik kriterler

a. Fay sarplıkları (fault scarps) (Şekil VIII.7)

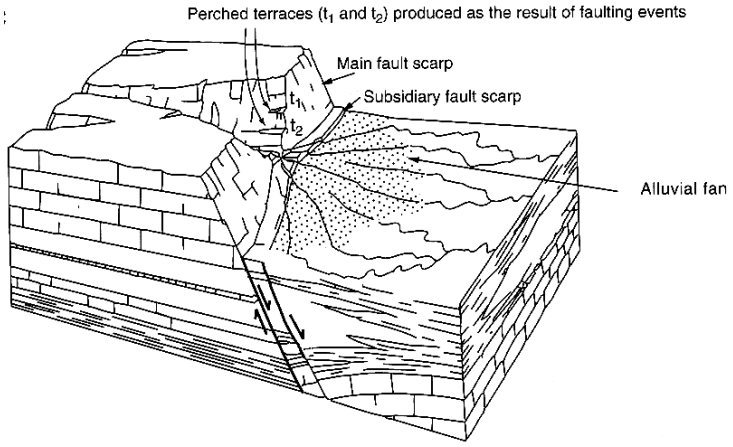
b. Fay zonunda görülen üçgen yüzeyler ve sıralı birikinti konileri (triangular facets and alluvial fans) (Şekil VII.8)



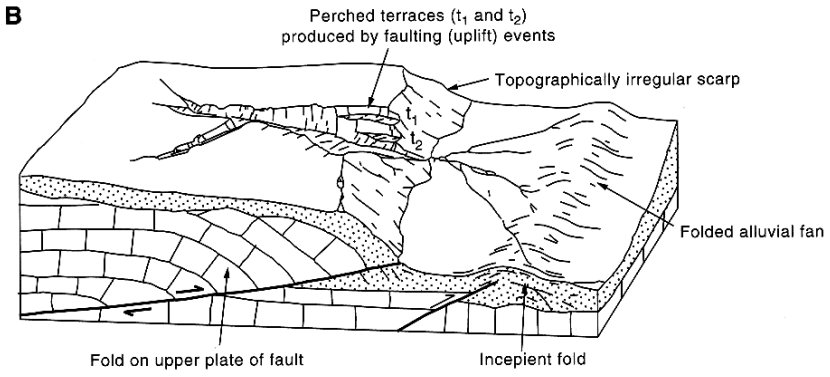
Şekil VIII.7.



Şekil VIII.8.

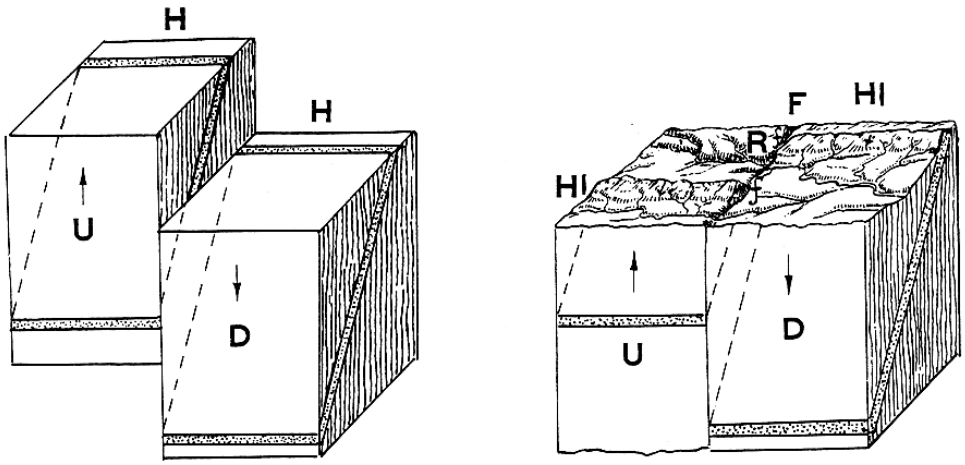


Şekil VIII.9. Normal fay.



Şekil VIII. 10. Ters fay

c. Belirli morfolojik yapının bir çizgisellik boyunca kesilmesi (Şekil VIII. 11)



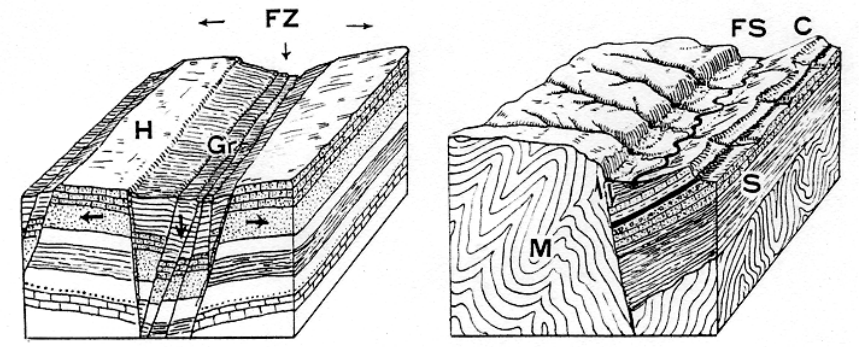
Şekil VIII. 11.

d. Aktif fayların güncel sediman depolarını kesmesi

e. Ötelenen dere-akarsu yatakları (Offset streams)(Şekil VIII.13)

f. Vadilerin karşısına tepelerin gelmesi (shutter ridges) (Şekil VIII.13)

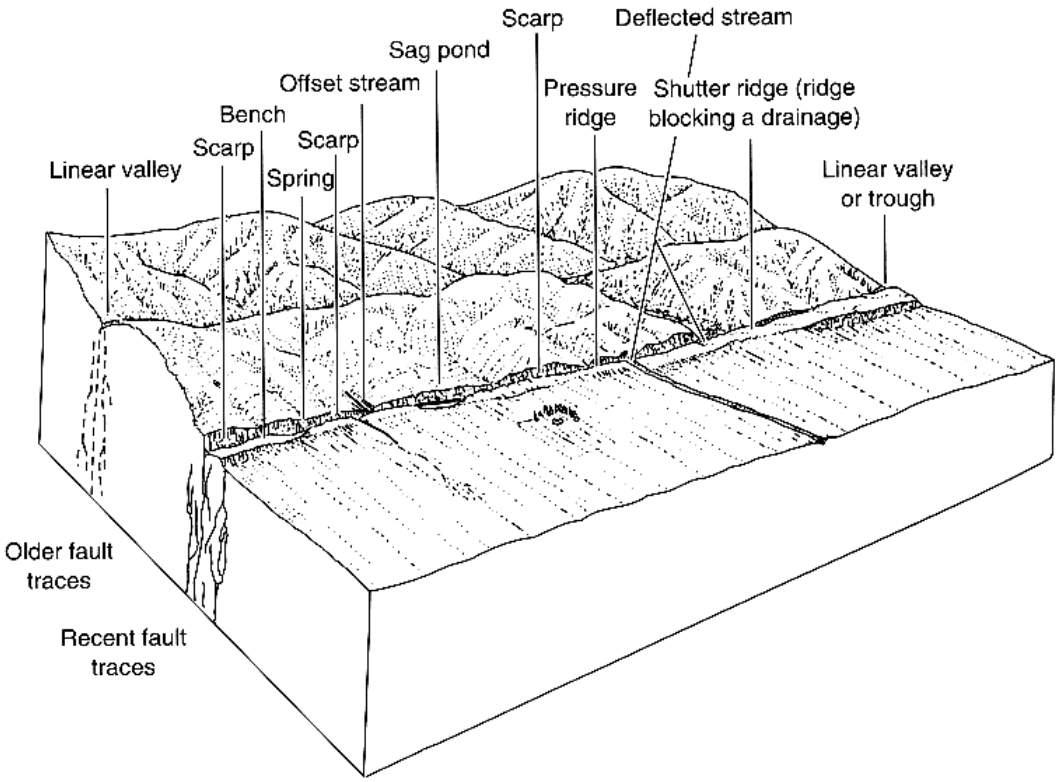
g. Çizgisel vadiler (linear valleys) (Şekil VIII.13)



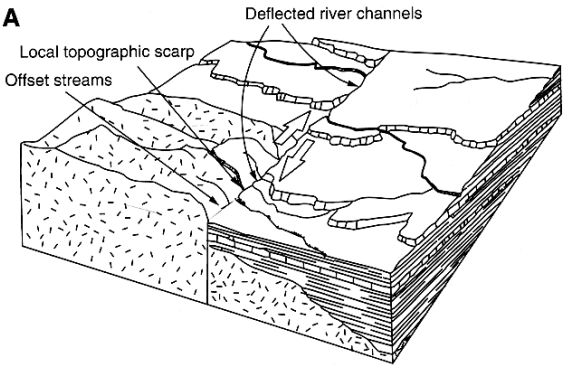
Şekil VIII.12

h. Basınç sırtları (pressure ridge) (Şekil VIII.13)

i. Sıcak, soğuk su kaynakları (Şekil VIII.13)



Şekil VIII.13.

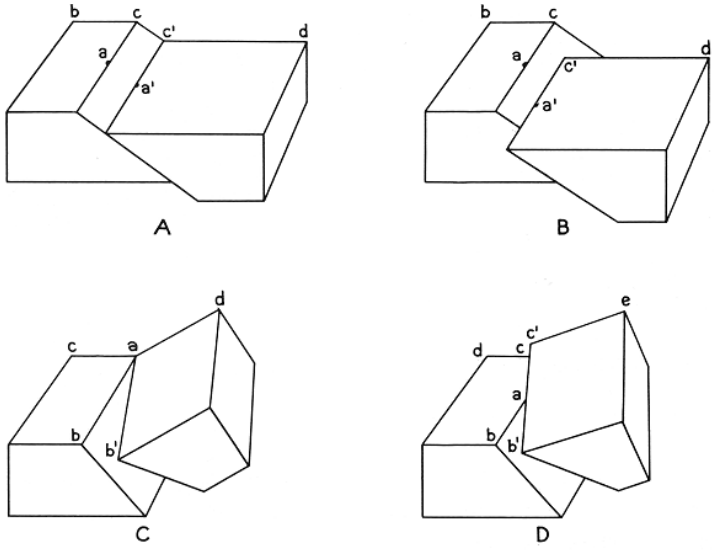


Şekil VIII.14.

VIII.3. Fayların Sınıflandırılması

VIII.3.1. Fay düzlemi üzerindeki hareketin karakterine göre

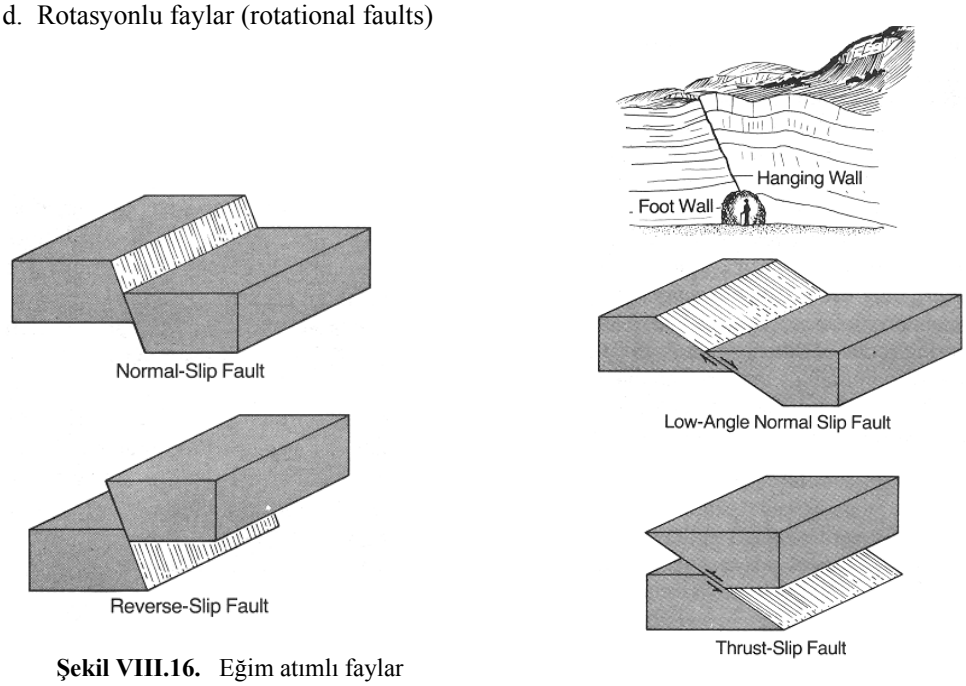
Fay düzlemi boyunca meydana gelen kayma hareketi ya **translasyon** şeklinde düz bir çizgi boyunca (Şekil 15 A, B) veya **rotasyonlu** - dönmeli (Şekil 15 C, D) olur. Eğimi 45° den büyük olan faylara **büyük açılı**, 45° den küçük olanlara ise **küçük açılı** faylar denir.



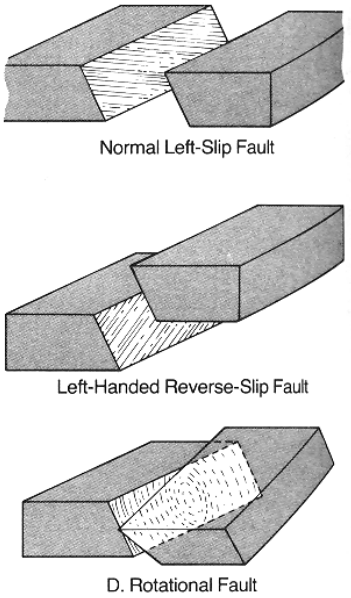
Şekil VIII.15

VIII.3.2. Geometrik Sınıflandırma (Atım yönlerine göre sınıflandırma)

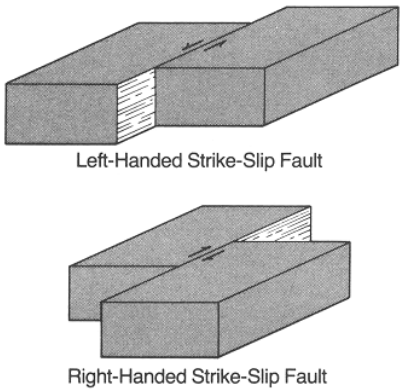
a. Eğim atımlı faylar (dip-slip faults)
b. Doğrultu atımlı faylar (strike-slip faults)
c. Yan atımlı faylar (Oblique faults)
d. Rotasyonlu faylar (rotational faults)



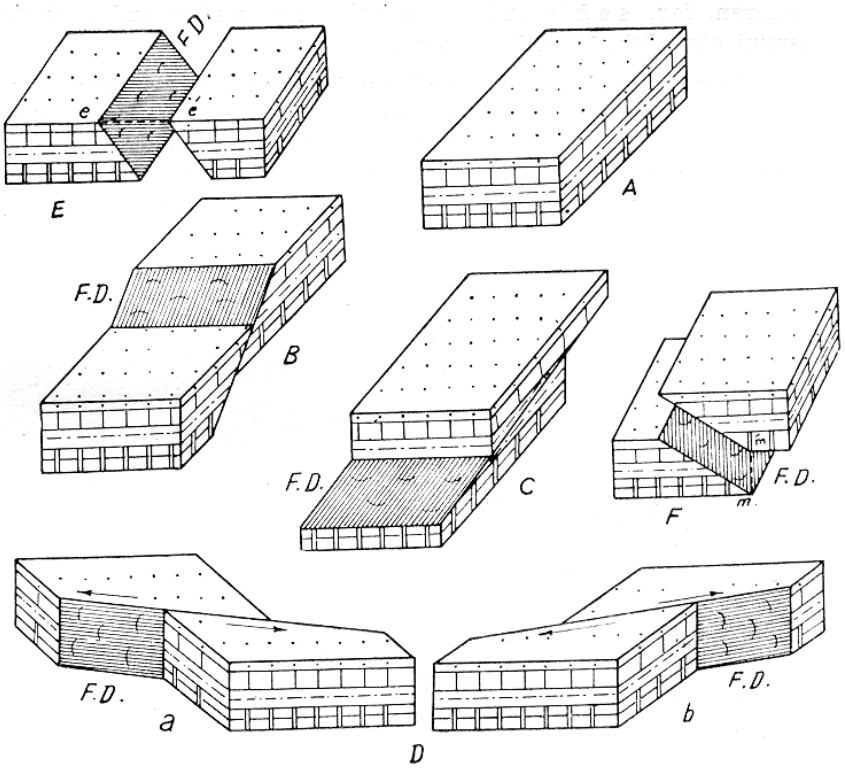
Şekil VIII.16. Eğim atımlı faylar



Şekil VIII.17. Verev ve rotasyonal faylar



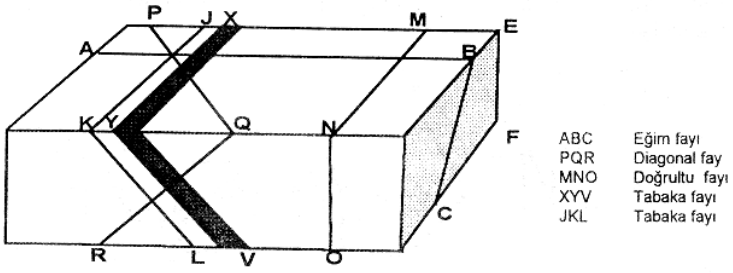
Şekil VIII.18. Doğrultu atımlı faylar



Şekil VIII. 19. Fayların geometrik sınıflandırmasına göre çeşitleri. A. Faylanmadan önceki tabaka durumu, B. Eğim atımlı normal fay, C. Düşük açılı, eğim atımlı ters fay, D. Doğrultu atımlı faylar, a. Sol yönlü, b. Sağ yönlü, E. Yan atımlı normal fay, F. Yan atımlı ters fay, FD: fay düzlemi ve üzerindeki fay çiziği ile fay kertikleri

VIII.3.3. Tabakalara göre sınıflandırma

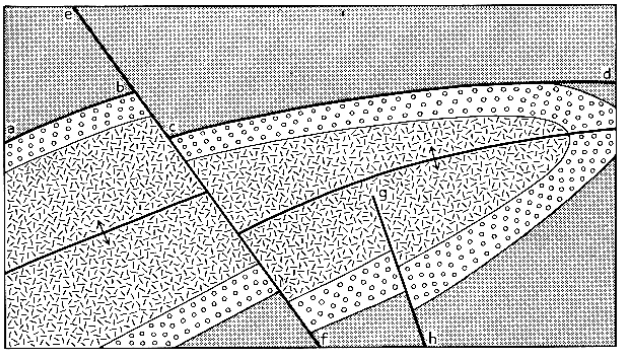
a. Tabaka fayları
b. Doğrultu fayları
c. Eğim fayları
d. Diagonal faylar



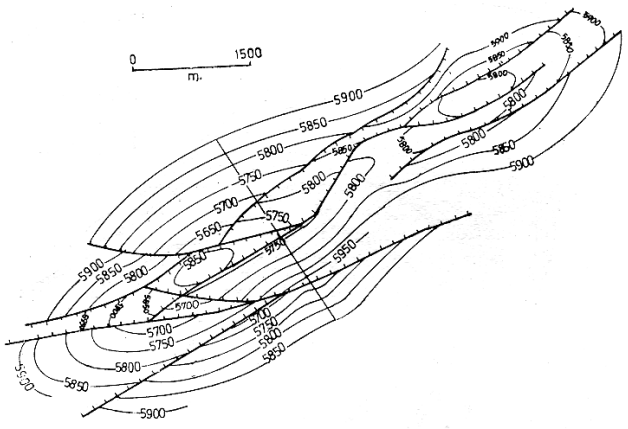
Şekil VIII. 20.

VIII.3.4. Kıvrımlara göre sınıflandırma

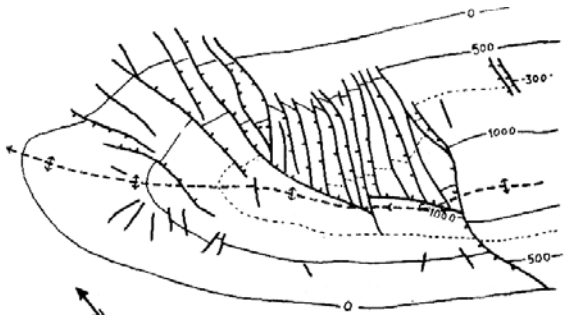
a. Boyuna faylar (longitudinal faults)
b. Enine faylar (transverse faults)
c. Diagonal faylar (diagonal faults)



Şekil VIII. 21.
abcd: boyuna fay; ef, hg: enine faylar



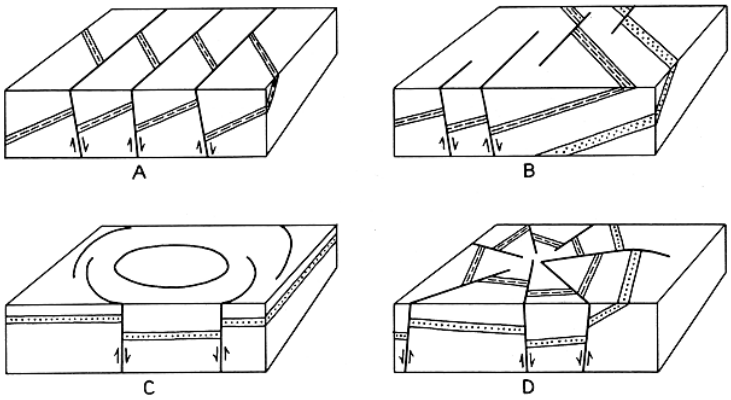
Şekil VIII. 22. Boyuna faylar (Teksas Quitman petrol sahası)



Şekil VIII. 23. Enine ve diyagonal faylar (Kalifornia)

VIII.3.5. Mostra görünümlerine göre sınıflandırma

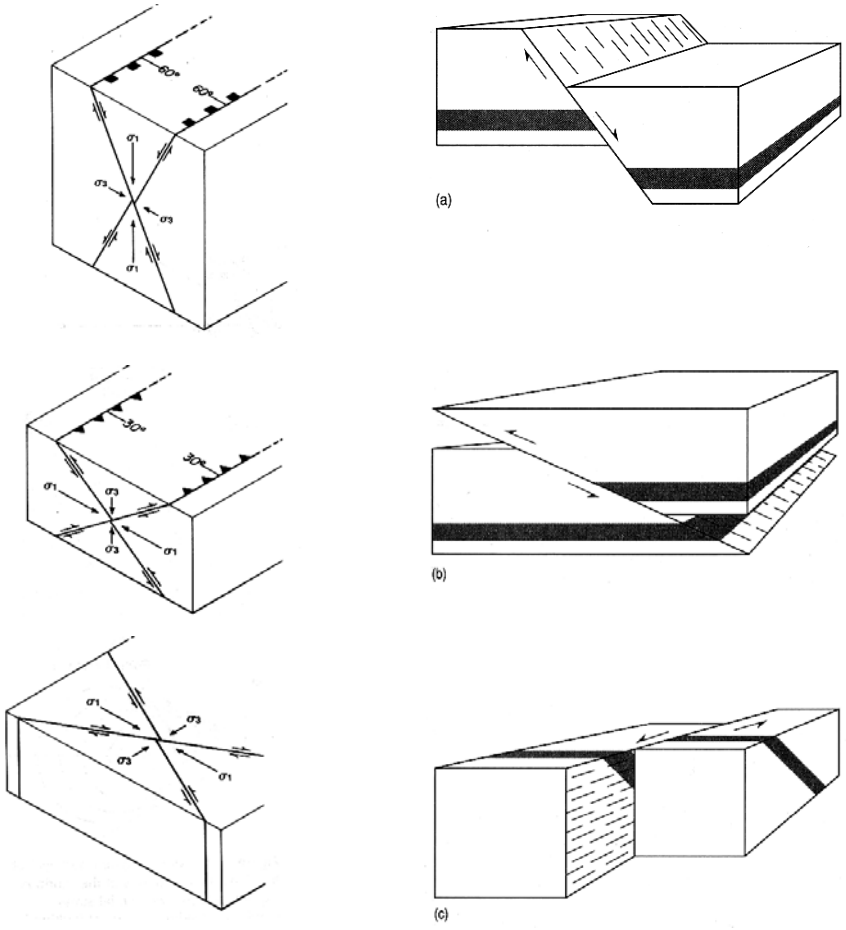
a. Paralel faylar (Şekil A)
b. Kademeli (en echelon) faylar (Şekil B)
c. Çevresel (periferal) faylar (Şekil C)
d. Işınsal faylar (Şekil D)



Şekil VIII. 24. Mostra görünümüne göre fay çeşitleri

VIII.3.6. ANDERSON sınıflandırması

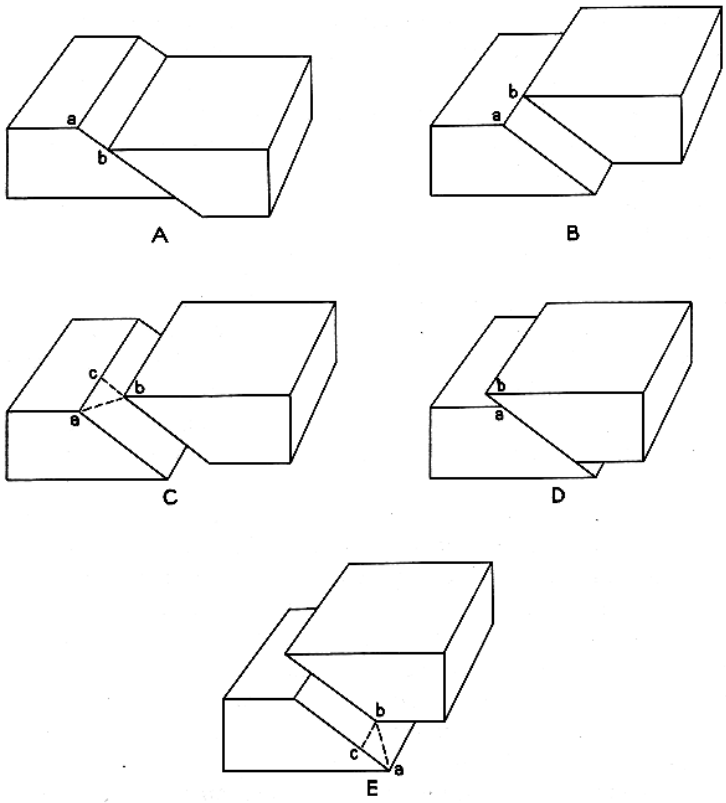
Gerilme yönlerine bağlı olarak gelişen kayma yüzeylerinin konumuna göre sınıflama.



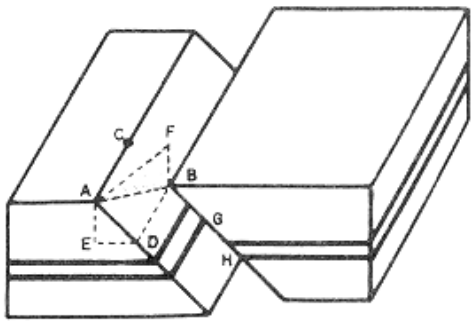
Şekil VIII. 25.

VIII.4. Fay atımı ve seperasyon (görünür atım)

Başlangıçta birbiri yanında bulunan noktaların faylanma sırasında uğradıkları yer değiştirmenin çizgisel değerine **atım** denir. Yerdeğiştirmenin (kaymanın) yönüne göre, atım: eğim atımı (Şekil A,D: a-b), doğrultu atımı (Şekil VIII. 26 B, a-b), net atım (Şekil VIII. 26 C,E: a-b), düşey atım, yatay atım (Şekil VIII. 26 C a-c; şekil E c-b) gibi değişik isimler alır.



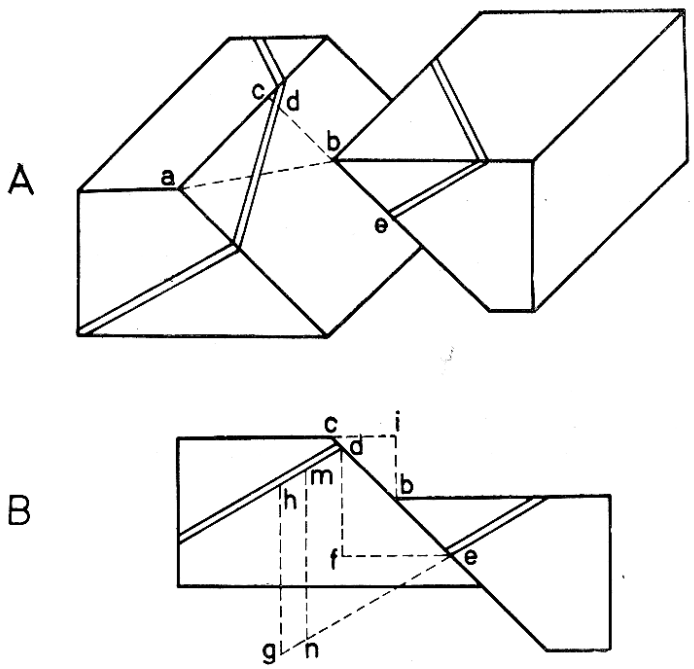
Şekil VIII. 26. Değişik atım çeşitleri



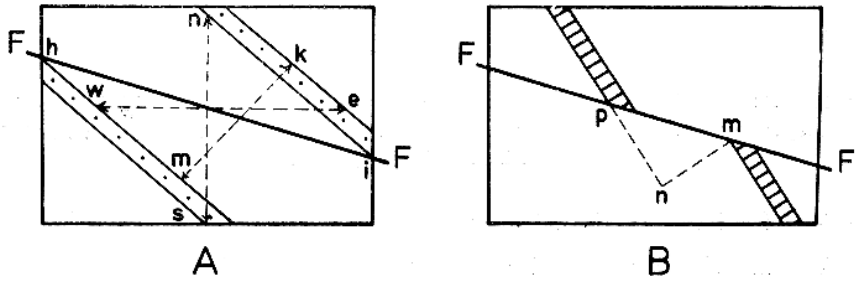
Şekil VIII. 27. AB: Net atım, AE: Düşey atım, ED: yatay atım, AD: eğim atım, DB: doğrultu atım, CAB açısı: sapma açısı (Rake, pitch), FAB açısı: net atımın FAB düşey düzlemi üzerindeki dalımı (plunge, inclination).

Net atımın fay düzlemi üzerinde yatayla yapmış olduğu açıya **sapma açısı** (rake-pitch) denir. Doğrultu atımlı bir fayda bu açının değeri sıfır, eğim atımlı fayda doksan, yan atımlı (oblik) faylarda sıfır ile doksan derece arasında değişir.

Faylanma sırasında birbirinden uzaklaşan bir damar, bir tabaka serisi veya belirli bir kalınlığı olan bir düzlemin alt veya üst yüzeylerinin değişik yönlü dik kesitler üzerindeki yer değiştirme miktarlarına **görünür atım** veya **seperasyon** (seperation) denir.



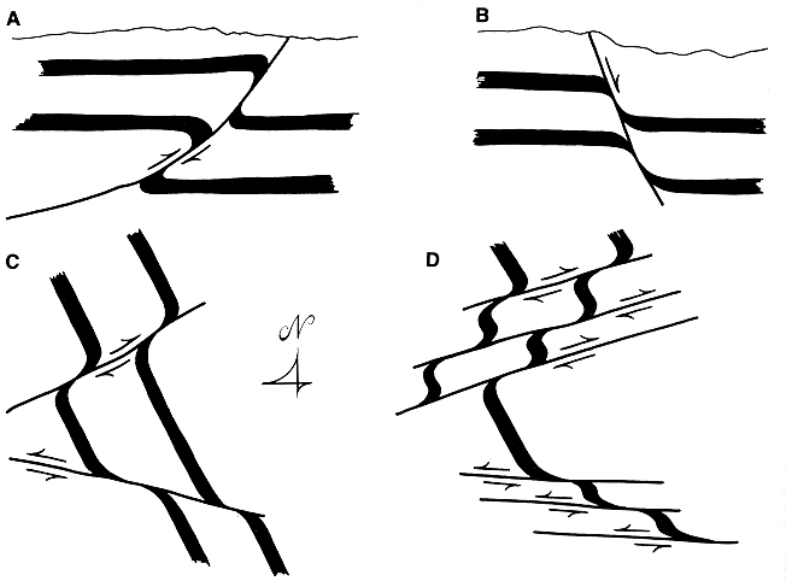
Şekil VIII. 28. Faylı yapılarda görünür atım ve seperasyon. A: yan atımlı bir fay nedeniyle bir damarın bölünen parçaları. B: Fay doğrultusuna dik bir düzlem üzerinde damarın görünür atımları. cb: eğim atım, ac: doğrultu atım, ib: düşey atım, ci: yatay atım, de: eğim seperasyonu, mn ve hg: düşey seperasyon,



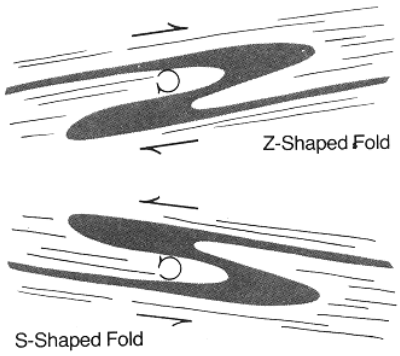
Şekil VIII. 29. Faylı bir yapıda normal-yatay seperasyon veya offset. (Şekil A da mk, B de mn). A'da we: doğu-batı yönünde; ns: kuzey güney yönünde; hi: fay doğrultusunda yatay seperasyon**.**

Sürüme kıvrımları (drag folds)

Sürüme kıvrımları fay düzlemi üzerindeki kayma yönünü bulmak için kullanılan önemli yapılardan biridir.



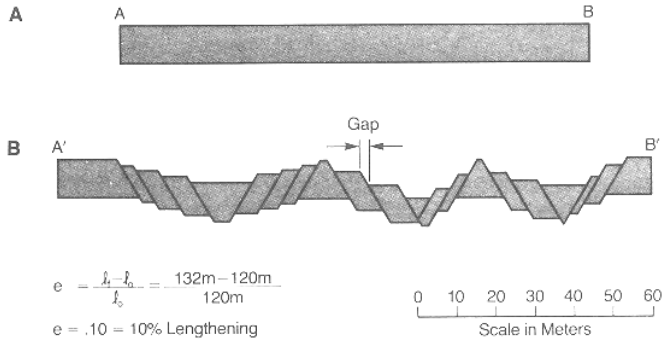
Şekil VIII.30. A. Ters faylarda gelişen sürüme kıvrımı, B. Normal faylarda gelişen sürüme kıvrımı, C, D. Doğrultu atımlı faylar boyunca gelişen sürüme kıvrımları.



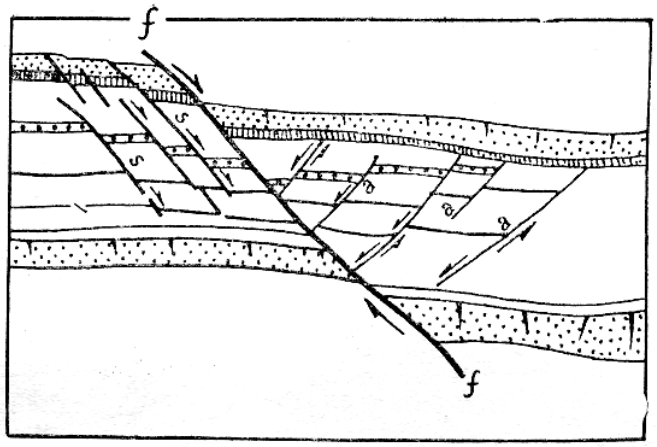
Şekil VIII. 31. Makaslama zonlarında gelişen S ve Z şeklindeki sürüme kıvrımları.

VIII.5. Normal Faylar

Genişlemeli tektonik rejimlerde (extensional tectonic regime) oluşan önemli yapılar olup bu rejimlerin genel bir göstergesi sayılırlar.

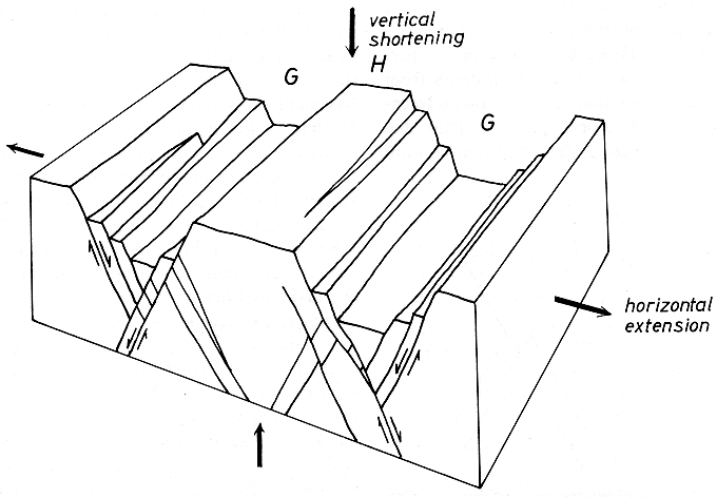


Şekil VIII. 32. Bir tabakanın normal faylanma ile esnemesi (stretching).



Şekil VIII. 33. Normal faylarda gelişen sintetik (s) ve antitetik (a) faylar

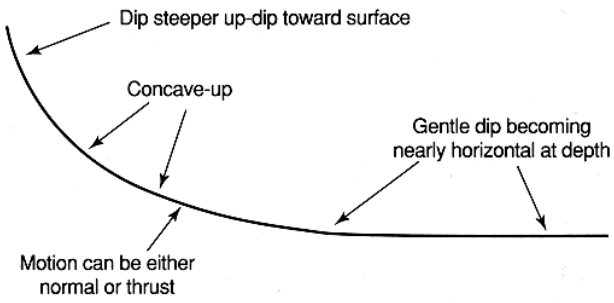
VIII.5. 1. Horst ve Grabenler



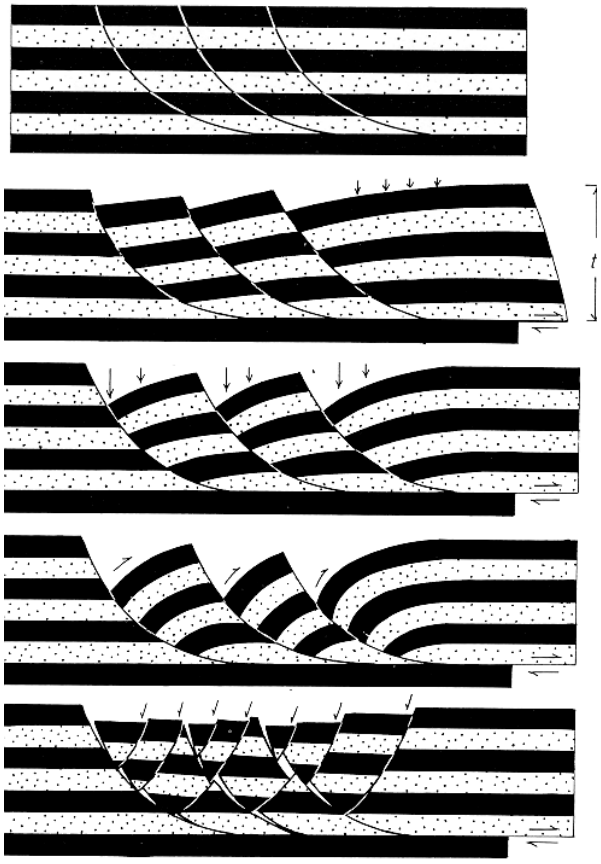
Şekil VIII.34. H: horst, G: graben

VIII.5. 2. Listrik (kavisli) faylar

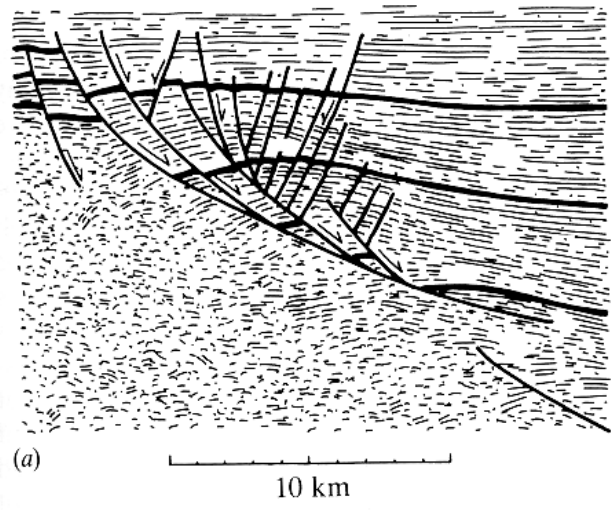
Fay düzlemi yüzeye yakın kesimlerde oldukça dik, derinlere doğru düşük eğimli veya yataya yakın konumdaki faylara **listrik fay** (kavisli fay) denir.



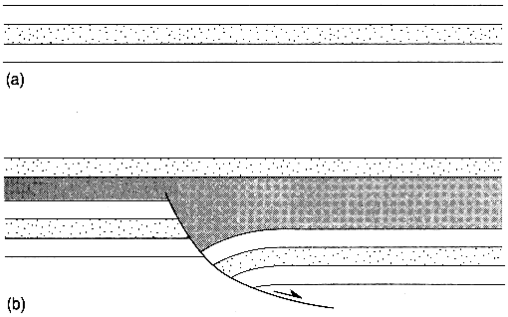
Şekil VIII. 35. Listrik fayın genel bir kesiti



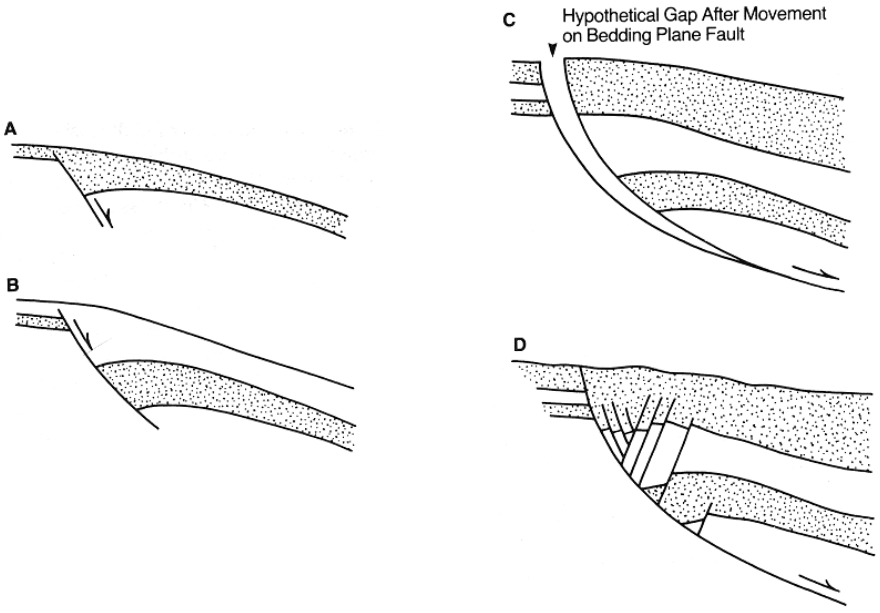
Şekil VIII. 36. Listrik fayın gelişimini gösteren diyagramlar



Şekil VIII. 37. Sismik kesitte görülen, listrik faylarla ilişkili büyüme fayı, roll over antiklinal, antitetik ve sintetik faylar.



Şekil VIII. 38. Büyeme fayı (growth fault) ve ters sürüme kıvrımı. (a) tabakaların faylanmadan önceki durumu, (b) tabakaların faylanmadan sonraki durumu

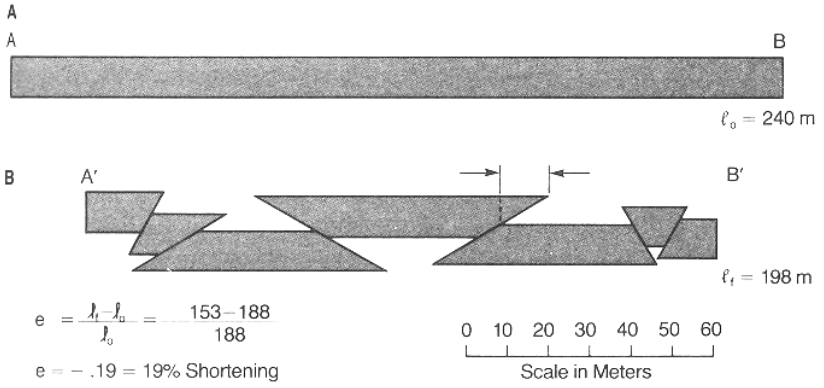


Şekil VIII. 39. Büyüme faylarının ve ters sürüme kıvrımlarının (reverse drag folds) oluşum mekanizması

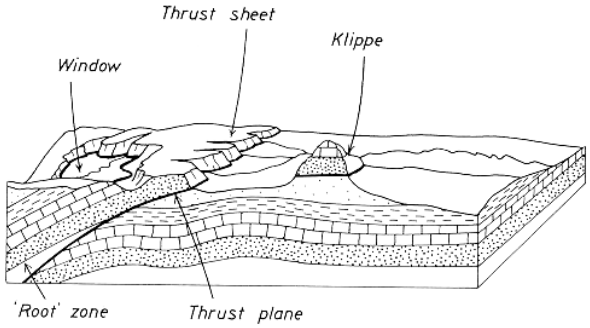
VIII.6. Ters ve Bindirme Fayları

Ters ve bindirme fayları sıkışmalı tektonik rejimlerin (compressional / contractional tectonic regimes) denetimi ve etkisi altında gelişirler. Basınç kuvvetleri, kayaçların dayanımlılıklarını aştığında, o ana kadar kıvrılarak plastik özellikle cevap vermiş kayaçlar bu kez kırılarak ters ve bindirme fayları oluştururlar.

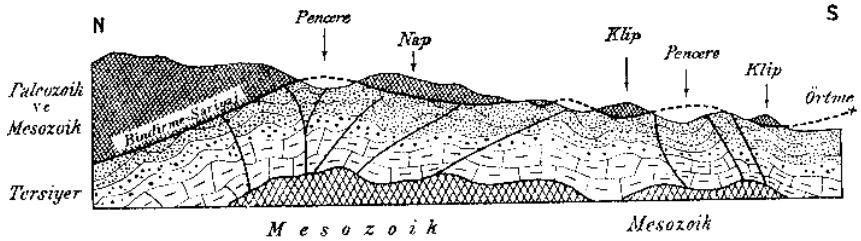
Ters faylar, fay düzleminin eğim açısına göre, değişik isimlerle ifade edilir. Eğim derecesi 45° den az olanlara **küçük açılı ters fay**, 45° den büyük olanlara **büyük açılı ters fay**, 10°-35° arasında olanlara **bindirme** (thrust), eğim açısı çok düşük olanlara da (0°-10°) **örtü fayı** veya **nap** (overthrust, nappe) denir.



Şekil VIII. 40. Bir tabakanın ters-bindirme fayının etkisi ile kısalması (shortening)

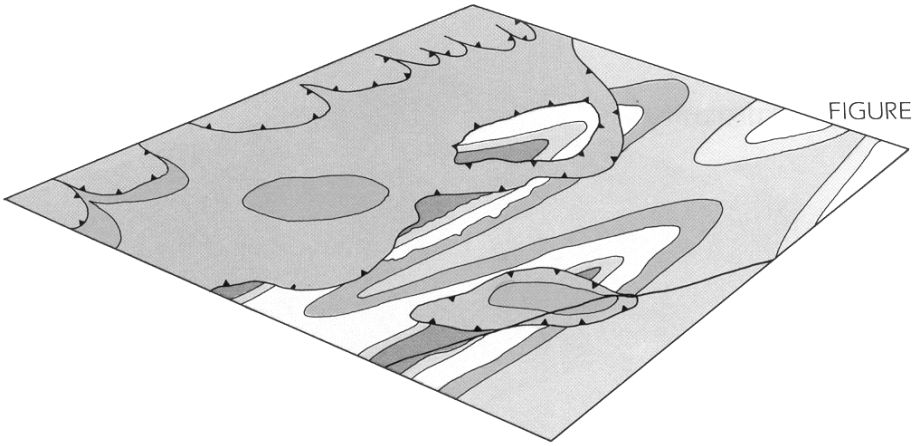


Şekil VIII. 41. Bindirme (thrust) zonlarında aşınmanın etkisi ile oluşan klip (klippe) ve pencere (window) yapıları

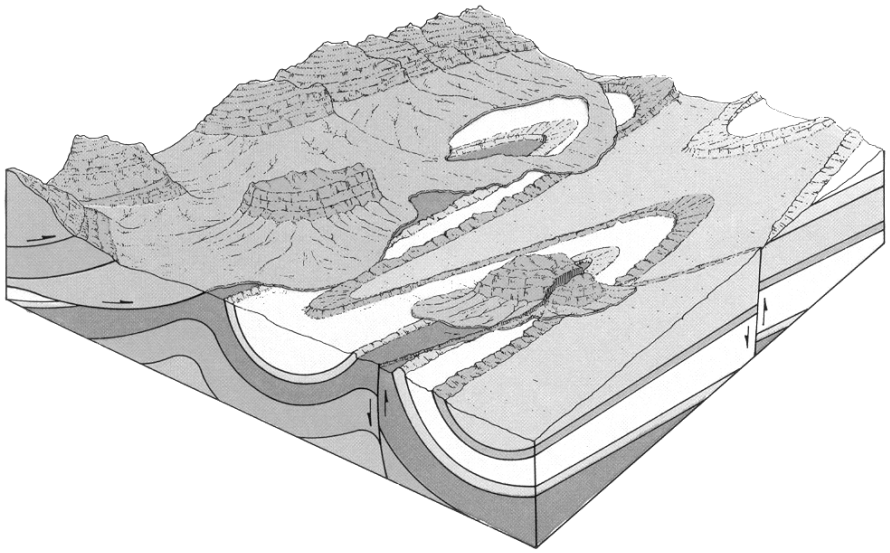


Şekil VIII. 42. Sürüklenen bir kütlenin önünde gelişen nap, pencere ve klip.

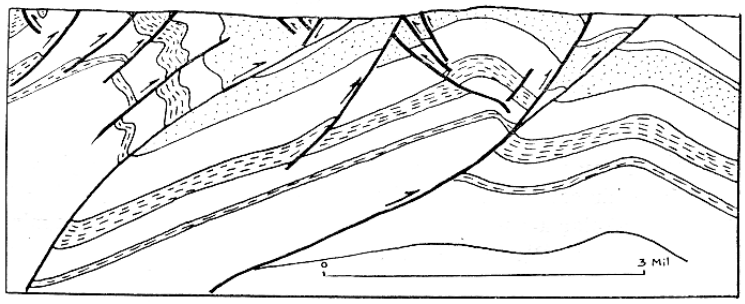
Jeolojik harita



Blok diyagram

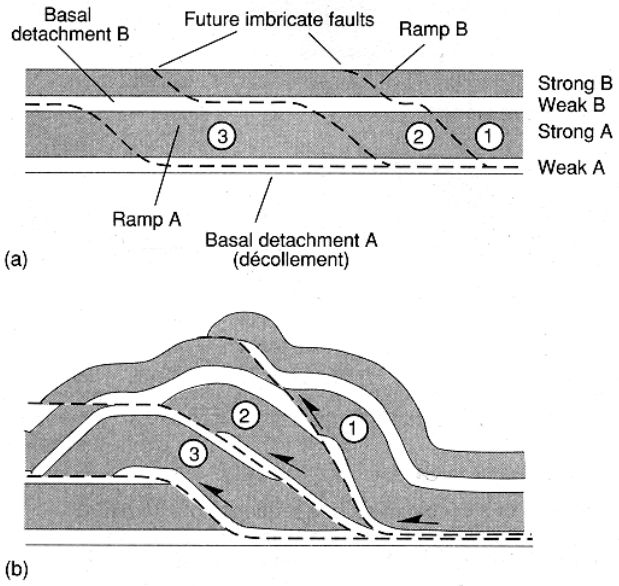


Şekil VIII. 43.

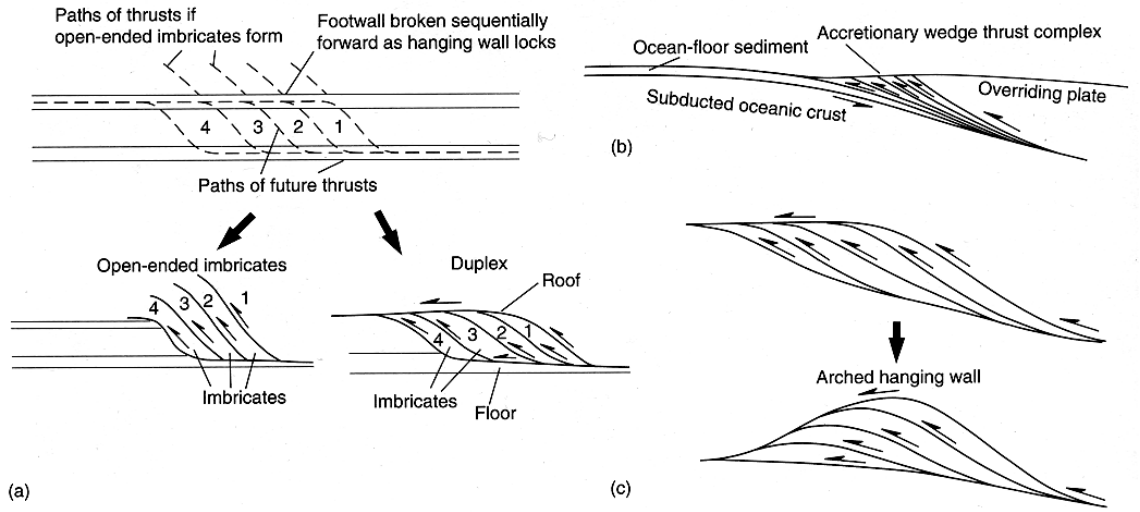


Şekil VIII. 44. Bir petrol sahasındaki (Kalgari-Kanada) bindirme fayları, sürüme kıvrımları (drag folds) ve roll-over antiklinal yapısı

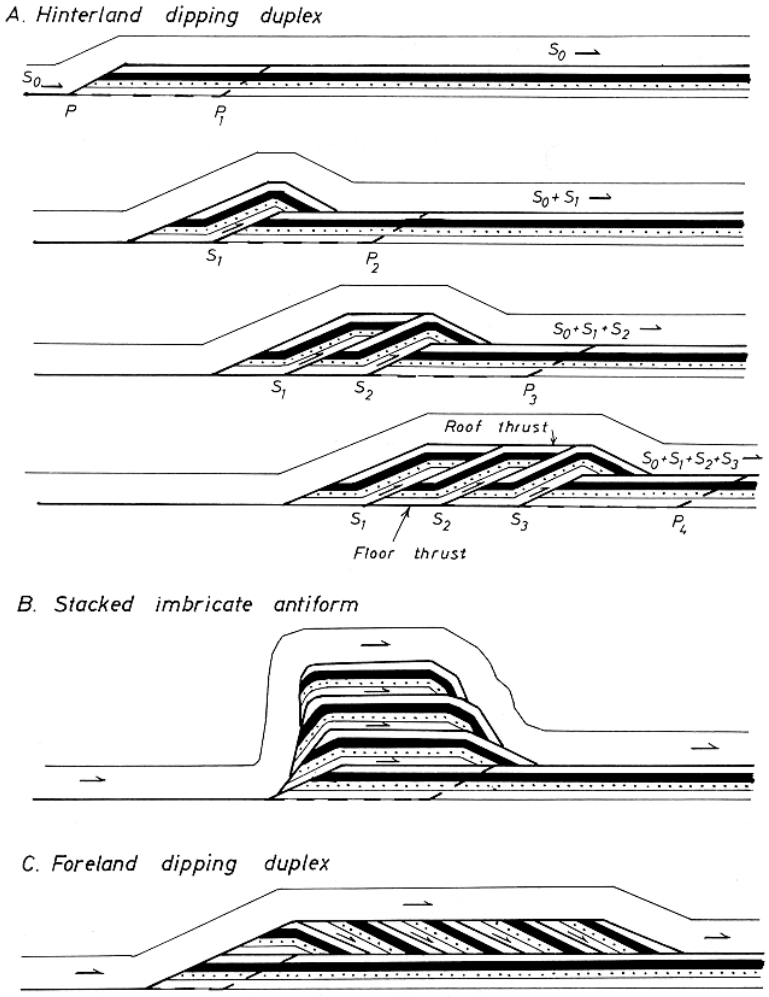
Ters ve bindirme fayları ile gelişen özel yapılar.



Şekil VIII. 45. Ramp ve imbrike yapıların uluşumu



Şekil VIII.46. İmbrike ve dupleks yapılarının oluşumunu gösteren diyagramlar.

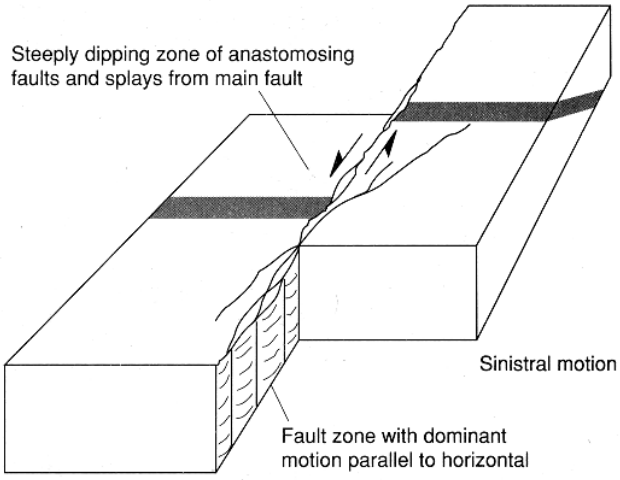


Şekil VIII. 47. Ramp, imbrike ve dupleks yapıların oluşumunu gösteren diyagramlar.

VIII.7. Doğrultu Atımlı Faylar (Strike-slip faults)

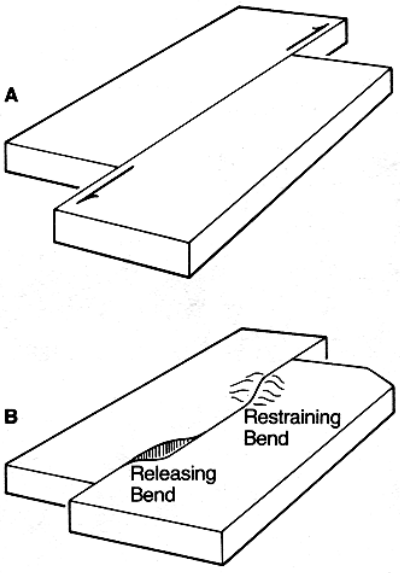
Bu tür faylarda yer değiştirme olayı fayın doğrultusuna paralel olarak meydana gelir. Genelde fay düzlemleri dik ve dike yakındır. Deformasyonu oluşturan gerilimin son evrelerinde gelişirler.

Şekil VIII. 48.



VIII.7.1. Doğrultu atımlı fay sistemlerinin geometrisi

Fay izinin (fault trace) gidişine göre doğrultu atımlı faylar düz doğrultu atımlı faylar (Şekil VIII.49 A) bükümlü doğrultu atımlı faylar (Şekil VIII.49 B) ve sıçramalı doğrultu atımlı faylar olmak üzere üçe ayrılır.

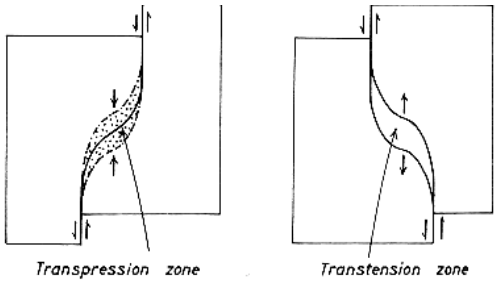


Şekil VIII.49. A. Düz doğrultu atımlı fay **B.** Bükümlü doğrultu atımlı fay.
Releasing bend: Gevşeyen büklüm; Restaining bend: sıkıştıran büklüm

Düz doğrultu atımlı faylar arazi ya da harita üzerinde çizgisel gidişli, son derece düzgün ve doğrusal hatlar şeklinde görülür. Bu faylar, makaslama hareketi oluşturmalarına rağmen, fay zonları boyunca önemli deformasyon olaylarına (çökme, yükselme, kıvrımlanma, ters ve normal faylanma gibi) neden olmazlar.

Fay çizgisi boyunca görülen bükümlerde fayın sol veya sağ yönlü oluşuna ve büklümün sola veya sağa doğru oluşuna göre fay blokları ya birbirini sıkıştırır, ya da blokları birbirinden ayıracak şekilde serbestleştirir.

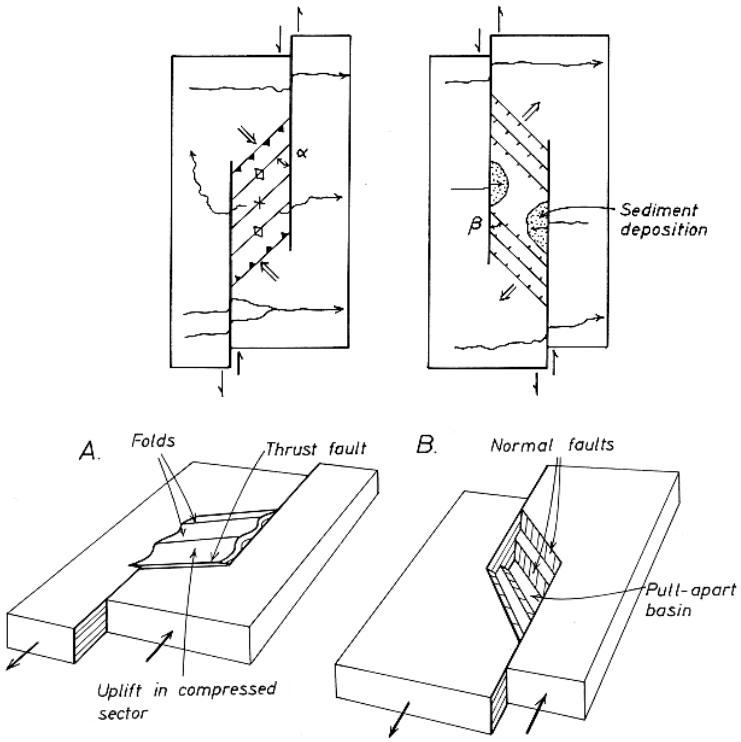
Şekil VIII. 50



Sağa büklümlü, sol yönlü doğrultu atımlı fay (Transpression zone: sıkışma zonu)

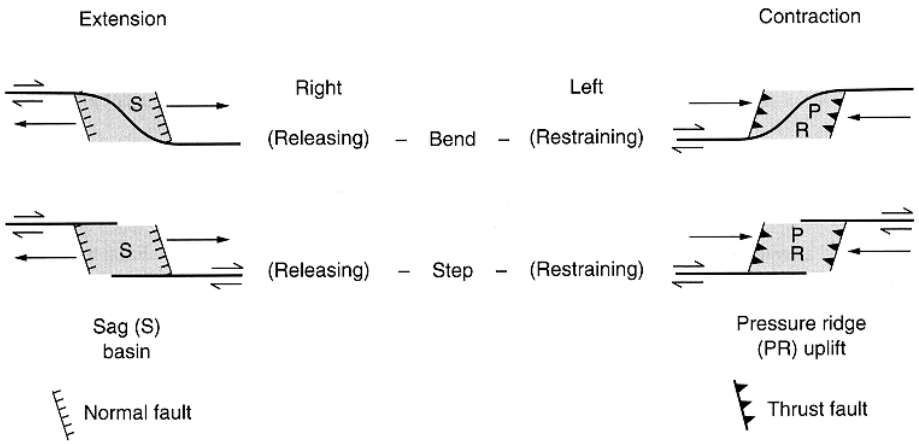
Sola büklümlü, sol yönlü doğrultu atımlı fay (Transtension zone: serbestlenme zonu)

Şekil VIII. 51.



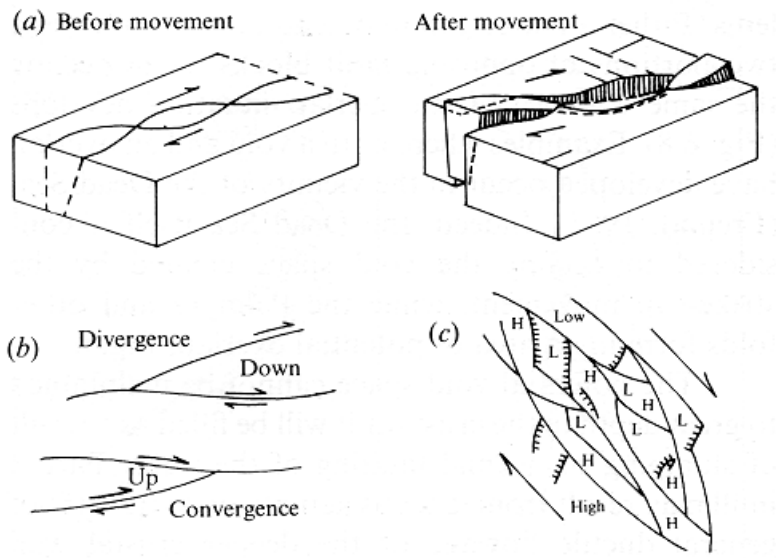
Sağa sıçramalı, sol yönlü doğrultu atımlı fay

Sola sıçramalı sol yönlü doğrultu atımlı fay

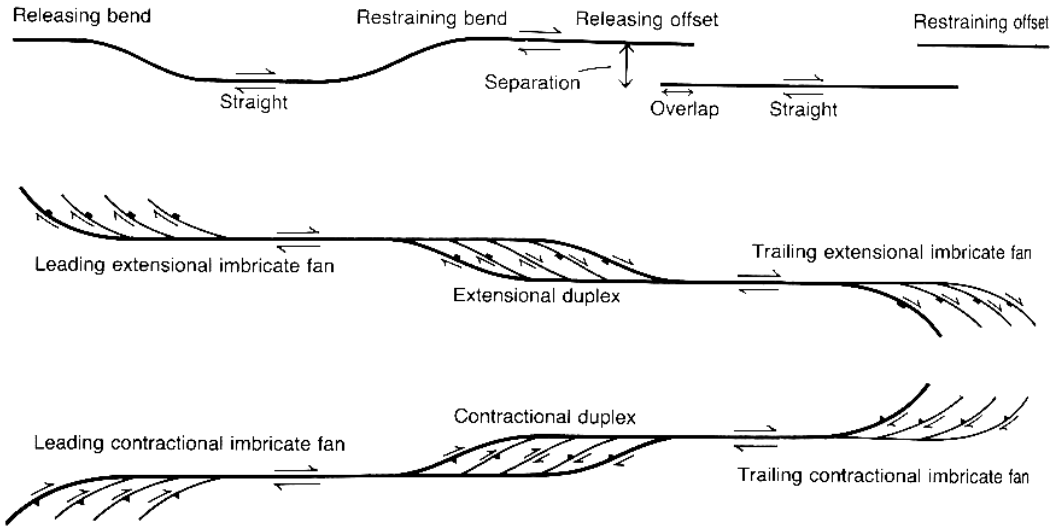


Şekil VIII. 52. Değişik yönlü doğrultu atımlarda büklüm (bend) veya sıçramanın (step) durumuna göre genişleme (extension) veya sıkışmanın (contraction) meydana gelmesi, sıkışan (restraining) ve serbestleşen (releasing) alanların oluşması ve bunlara bağlı olarak basınç sırtı (pressure ridge), çöküntü (sag) gibi yapıların gelişmesi (Keller &Pinter 1998)

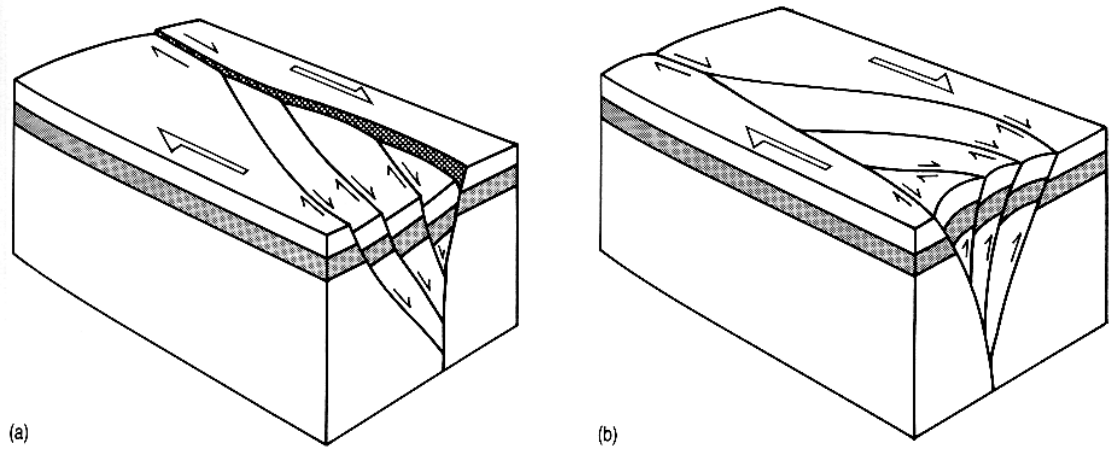
VIII.7.2. Doğrultu atımlı fayların dallanması ve örgülenmesi



Şekil VIII. 53. Doğrultu atımlı fayların dallanarak ayrılması (divergence), birleşmesi (convergence) ve örgülenmesi.

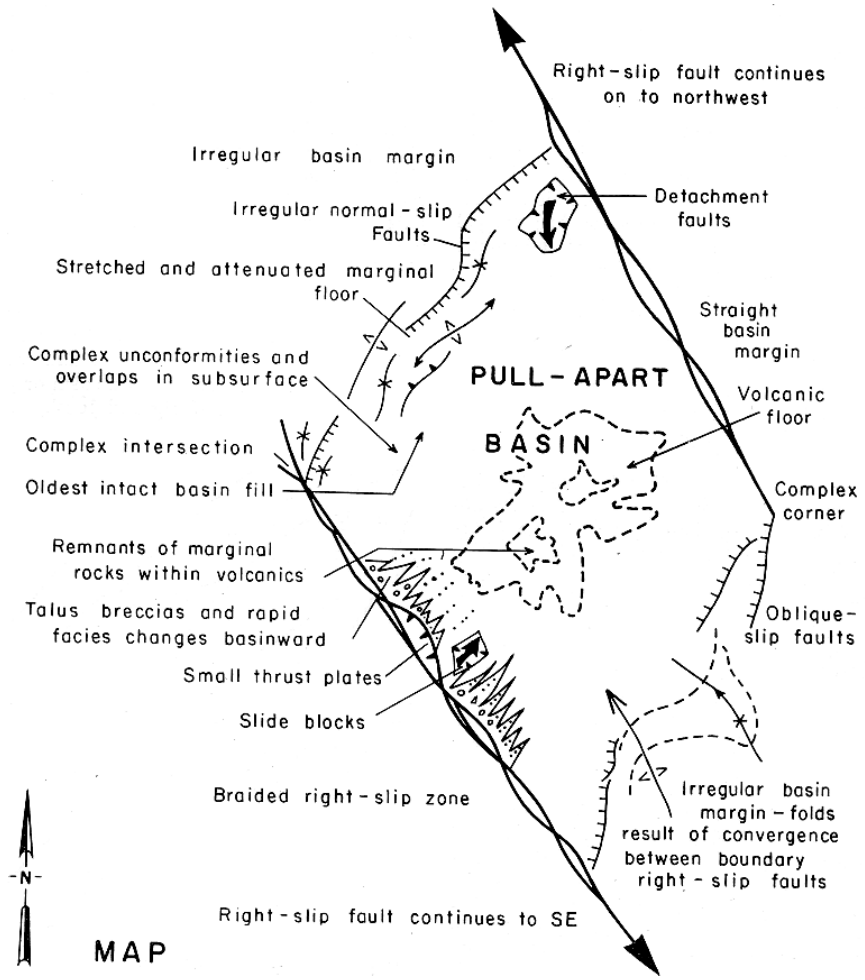


Şekil VIII. 54. Sağ yönlü doğrultu atımlı bir fay zonunda gelişen yapılar

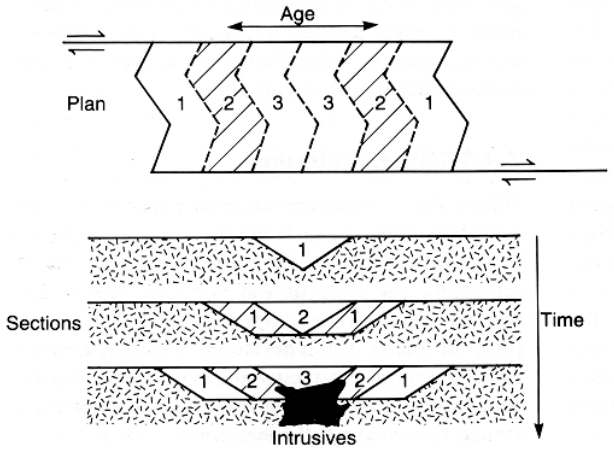


Şekil VIII. 55. Negatif çiçek yapısı (Negative flower) **(a)** ve Pozitif çiçek yapısı (Negative flower) **(b)**

VIII.7.3. Çek-ayır (Pull-apart) havzalarının oluşumu



Şekil VIII. 56. Sol yönlü sağa atlamalı doğrultu atımlı bir fayda gelişen çek-ayır havzasında (pull-apart basin) gelişmesi beklenen yapılar (Crowell, 1974).

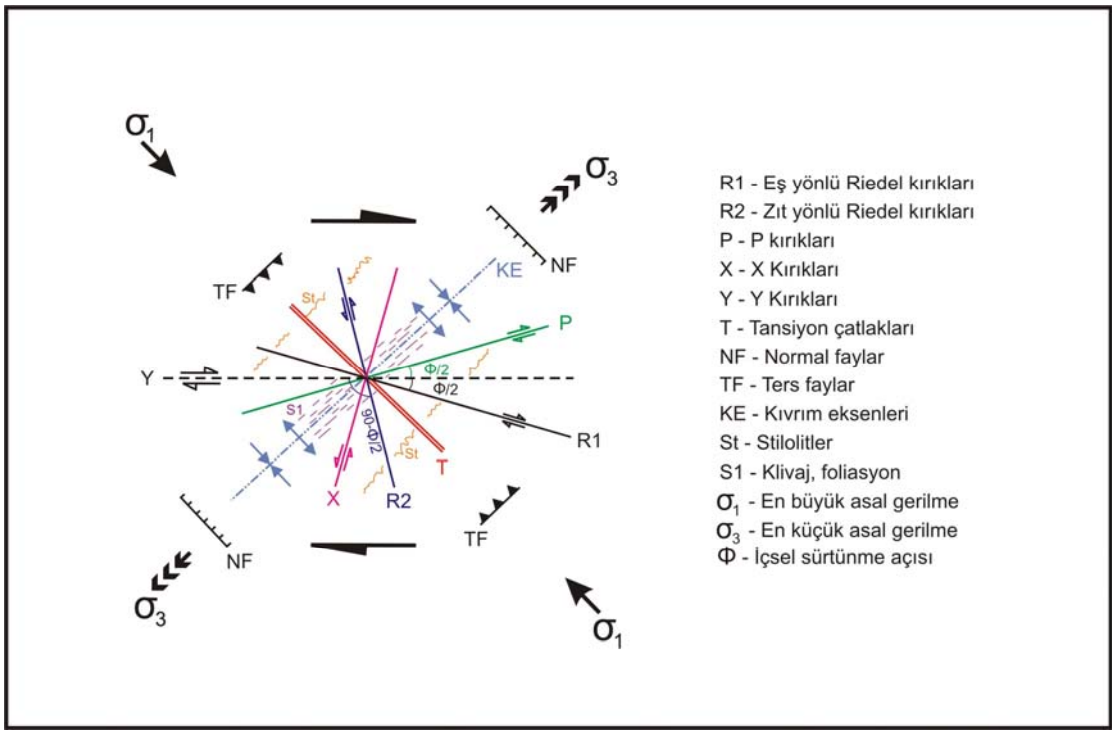


Şekil VIII. 57. Zamana bağlı olarak bir çek-ayır havzanın gelişimi (Crowell, 1974)

VIII.7.4. Makaslama zonlarında oluşabilecek yapısal deformasyonlar ve yapılar

Basit makaslama sonucunda oluşan deformesyon yüzeylerinden herbiri üzerinde meydana gelen farklı kırık setleri saptanmıştır (Şekil VIII.58).

Bu yapılardan R1, P ve Y kırıkları ana fay ile eş yönlü hareket ederler. R2 ve X kırıkları ise zıt yönlü kırıklardır. Bunlardan Y kırığı, ana faya karşılık gelmektedir.

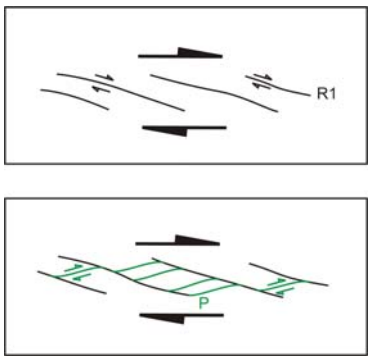


Şekil VIII.58. Basit makaslama sonucu meydana gelen kademeli (en echelon) yapılar (Harding, 1974; Bartlett et al., 1981; Hancock, 1985'den).

Eş yönlü Riedel kırıkları (R1) ana fay ile yaklaşık olarak Φ/2 kadar bir açı yapacak şekilde meydana gelirler. Zıt yönlü riedel kırıkları (R2) ise ana fay ile 90 - Φ/2 kadar açı yaparlar. Burada Φ, malzemenin içsel sürtünme açısıdır. Bu durumda R1'ler yaklaşık 15 - 20^0 , R2'ler ise 65 - 70^0 lik açılarla oluşurlar. R1 ve R2'nin açıortayı yaklaşık olarak en büyük asal gerilim eksenini gösterir.

P'ler, kademeli R1 kırıkları arasındaki makaslama dayanımın azalması sonucu meydana gelirler. R1'lerin ana faya göre simetriği olarak da düşünülebilirler. R1 ve P'ler sonucu deformasyon zonu örgülü bir hal alabilir, bunun sonucu olarak da duplex yapıları ortaya çıkabilir (Woodcock, 1986). Bu durum Şekil VIII.59'da gösterilmiştir.

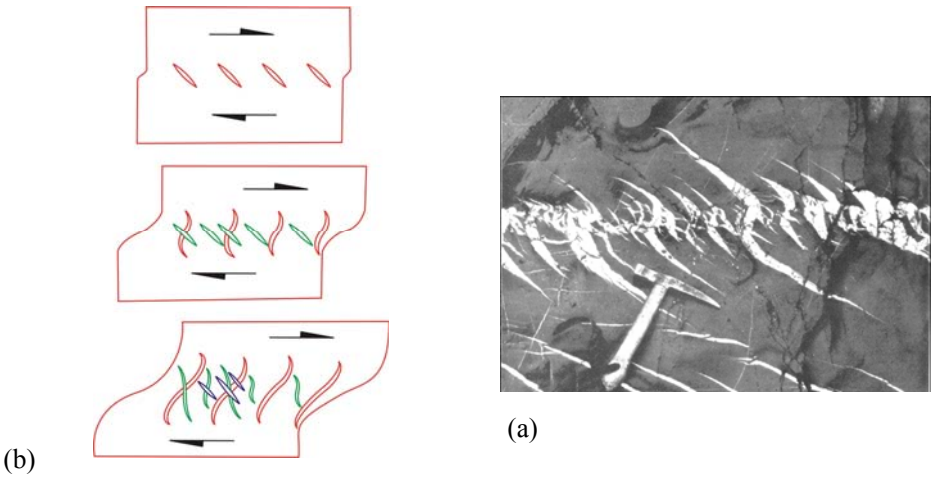
Şekil VIII.59. R1 kırıkları ile P kırıkları arasındaki ilişki (Woodcock, 1986).



T, tansiyon çatlakları, en büyük asal gerilim eksenine (σ_1) paralel meydana gelirler. İlerleyen deformasyon sonucu dönme eğilimindedirler ve sigmoyidal damarları meydana getirirler (Şekil VIII.60).

Ayrıca σ_1 'e paralel olarak normal faylar gelişir. σ_3 'e, en küçük asal gerilim eksenine paralel olarak ise ters faylar, kıvrım eksenleri, stilolitler ve foliasyon yapıları meydana gelir (Şekil VIII.58) .

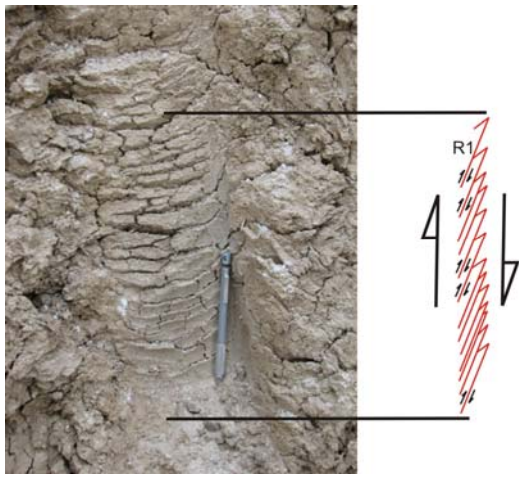
Her kırık da bir ana fay olarak düşünülebilir ve kendi içinde yukarıdaki yapıları meydana getirebilir.



(b) (a)

Şekil VIII.60. a. Sigmoyidal damarların oluşum mekanizması, b. Bu şekilde meydana gelmiş sigmoyidal damarlar (Davis ve Reynolds, 1996).

Bu yapıların oluşumu, geçmiş yıllarda araştırmacılar tarafından değişik modeller üzerinde gözlenmiştir. Kil, pekişmemiş kum, parafin ve ıslak mendiller kullanılarak bu deneyler tekrarlanmış ve bu yapıların oluşum mekanizması ortaya konmuştur. Ayrıca homojen kayaçların kuşatılmış basınç altında deformasyonunda ve de büyük depremlerde faylar üzerindeki alüvyon malzemede bu yapıların oluştuğu gözlenmiştir. Kum modellerde çalışan Naylor ve diğ. (1986), bu kırıklar ile ana fay arasındaki açıların, malzemenin kalınlığıyla değiştiğini görmüştür. Kulanılan malzemenin kalınlığı azaldıkça açılar da küçülmüştür. Bu yapılar makaslama kuvvetlerinin etkin olduğu başka koşullarda da gelişebilirler. Bir kazı esnasında kepçe dişlerinin bıraktığı izlerde gelişen eş yönlü Riedel kırıkları Şekil VIII.61'de görülebilir.



Şekil VIII.61. Kepçenin bıraktığı diş izinde gözlenen R1 kırıkları ve kesit görüntüsü

VIII.8. Kinematik Göstergeler

Fay aynası adı da verilen fay yüzeyleri genelde parlak, pürüzsüz kayma düzlemleridir (slickensides) (Şekil VIII.62.a). Bu, blokların birbirleri üzerindeki aşındırıcı hareketlerinin bir sonucudur. Fay aynaları üzerinde aynı zamanda fay çizikleri (slickenlines) adı verilen ince, düz, sığ çizgiler bulunur (Şekil VIII.62.b). Fay çiziklerinin oluşum sebebi, kayma düzleminde bulunan ince tanelerin hareket esnasında yüzeye sürtünerek burayı kazımalarıdır (Davis ve Reynolds, 1996). Bu çizikler fayın hareket yönünü olmasa da hareket doğrultusunu verirler. Fay çizikleri küçük ölçekli veya büyük ölçekli olabilirler (Şekil VIII.62.c).



(a)



(b)



(c)

Şekil VIII.62. a. Parlak, pürüzsüz fay yüzeyi (slickensides) (College of Marin web sitesinden), b. Küçük ölçekli fay çizikleri (Pittsburgh Üni. web sitesinden), c. Büyük ölçekli fay çizikleri (slickenlines) (UCSC web sitesinden).

Kayma düzlemlerinde parlak yüzeyler ve çizikler dışında başka yapılar da bulunur ve bunlar fayların karakterini anlamada kullanılabilirler. Bu yapılardan bazıları önceki bölümde anlatılmış olan yapılardır. Basit makaslamayla oluşan yapıların geometrisi mikro ve makro ölçeklerde aynıdır. Bu yapıların geometrisi kinematik analizlerde kullanılabilir. Bunlar dışında kinematik analizler için kullanılabilecek fay yüzeyinde bulunan başka yapılar da vardır. Bunların en önemlileri aşağıda verilmiştir.

A. Kırıklar
   - R1, eş yönlü riedel kırıkları
   - R2, zıt yönlü riedel kırıkları
   - T, tansiyon çatlakları
   - P kırıkları
   - Mikro – bindirmeler

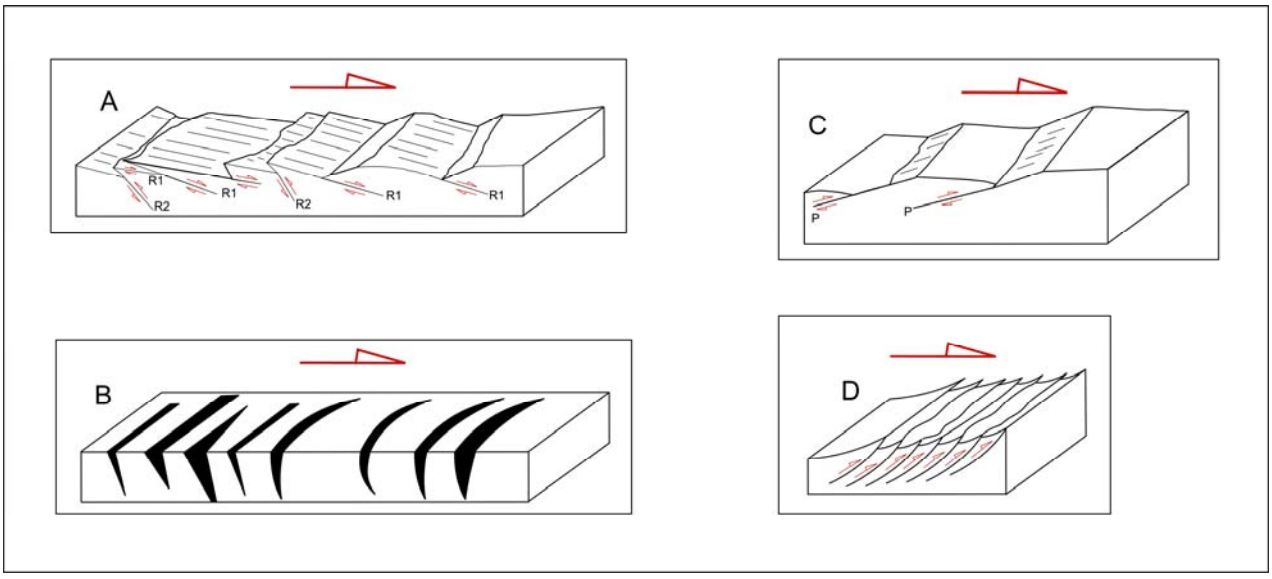
B. Saplanmalar, oyuklar
   - Saplanma izi (Gouging / grain grooves)
   - Kaşık şeklinde çöküntüler (Spoon-shaped depressions)
   - Koparma izi (Gouging / plucking markings)
   - Tanelerin ufalarak bıraktığı izler (Debris trails)

C. Basamak şeklinde yapılar (Steps)
   - Kristal büyümeleri / Fiber lineasyonu (Chatter marks / crystal fibers)
   - Tansiyon çatlaklarının oluşturduğu basamaklar
   - Slickolite yapıları
   - P kırıklarının oluşturduğu basamaklar
   - Saplanmaların meydana getirdiği basamaklar

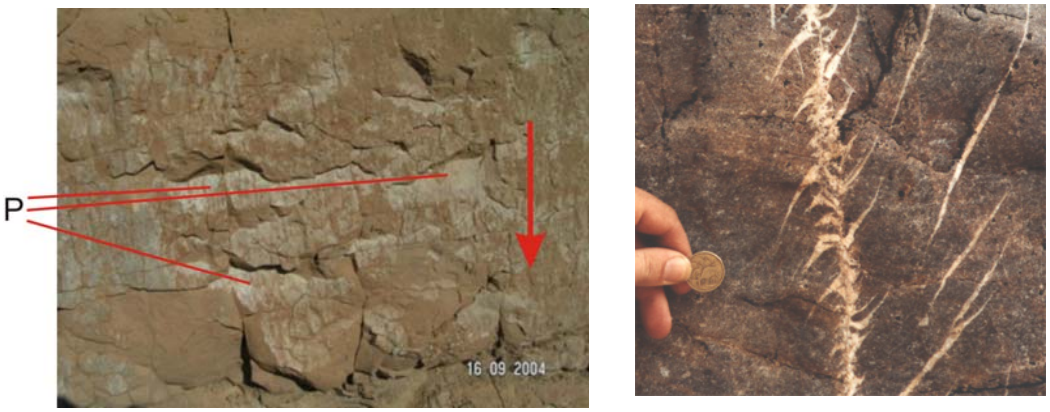
D. Düzlemsel yapı dizileri
   - SC tip yapılar
   - Domino tip dönmeler
   - Sürüme etkisiyle oluşan yapılar
   - Kırık dizilimi

3.1. Kırıklar

Bunlar, Şekil VIII.58' de gösterilmiş olan kırık setleridir. Bunların incelenmesi ve ideal geometriye oturtulmasıyla fayların karakterleri belirlenebilir. Bu kırıklardan doğada en çok gözlenebilenler Şekil VIII.63'de gösterilmiştir.



Şekil VIII.63. a. Riedel kırıkları, b. Tansiyon çatlakları ve sigmoyidal damarlar, c. P kırıkları (Petit, 1987'den değiştirilerek). d. Mikro-bindirmeler (Doblas, 1998'den değiştirilerek). Şekillerde üstteki aşınmış blok sağa doğru hareket etmiştir.



(a) (b)

Şekil VIII.64. a. P kırıkları, aşınmış blok ok yönünde hareket etmiştir, b. Sigmoyidal damarlar (Virtual Explorer web sitesinden)

3.2. Saplanmalar, oyuklar

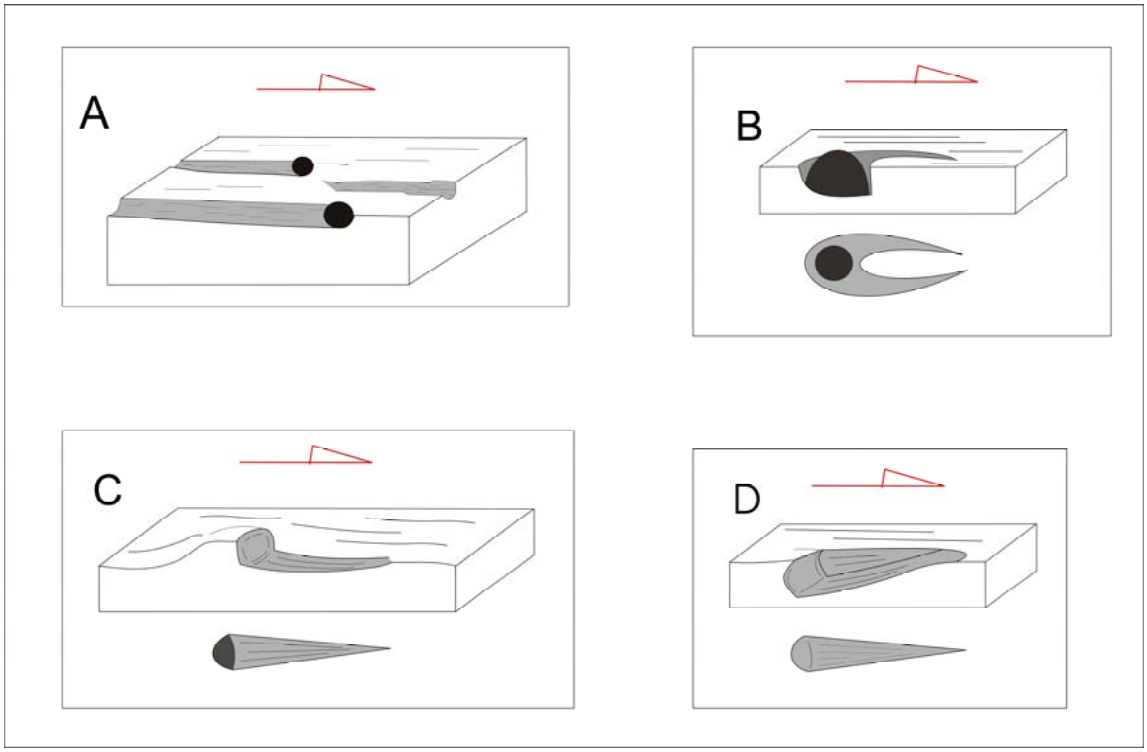
Bu izler, kayma düzlemindeki çakılların, tanelerin bıraktığı izlerdir.

Saplanma izi (Gouging / grain grooves): Bu yapı genelde, matriksinden daha sert taneler içeren kayaçlarda gözlenir. Faylanma esnasında bu sert taneler hareket yüzeyine saplanıp, yüzeyi kazıyarak oluk şeklinde izler bırakırlar (Şekil VIII.65.a). Ancak izi bırakan çakılı görmek önemlidir. Çünkü oyuğun neresinin başlangıç, neresinin son olduğu başka şekilde anlaşılamayabilir.

Kaşık şeklinde çöküntüler (Spoon-shaped depressions): Kayan bloğun kayma yüzeyindeki sert çakılların çevresini aşındırmasıyla meydana gelirler. Uzayan uçları, hareketin yönünü gösterir (Şekil VIII.65.b)

Koparma izi (Gouging / plucking markings): Özellikle aktif normal faylarda, yüzeyde parçaların kopması sonucu meydana gelirler (Şekil VIII.65.c). Saplanma izine benzerler, ancak tam ters yönde değerlendirilirler. Bu iki yapıyı birbiriyle karıştırmak tam tersi sonuç verecektir.

Tanelerin ufalarak bıraktığı izler (Debris trails): Fay yüzeyini çizen tanelerin bıraktığı izlerdendir. Burada tane, hareket devam ettikçe ufalanıp yok olmuştur. Yani iz, "v" şeklinde daralarak sonlanır (Şekil VIII.65.d).



Şekil VIII.65. a. Saplanma izi (gouging/grain grooves) (Petit, 1987'den değiştirilerek), b. Kaşık şeklinde çöküntü (spoon-shaped depression), c. Koparma izi (gouging/plucking marking), d. Tanelerin ufalarak bıraktığı izler (debris trails) (Doblas, 1998'den değiştirilerek). Şekillerde üstteki aşınmış blok sağa doğru hareket etmiştir.



Şekil VIII.66. Saplanma izi, aşınmış blok ok yönünde hareket etmiştir (Miskolc Uni. web sitesinden).

3.3. Basamak şeklindeki yapılar (Steps)

Fay yüzeyinde bulunan asimetrik basamak şeklindeki yapılar bize aşınmış olan bloğun ne tarafa doğru hareket ettiğini gösterebilir.

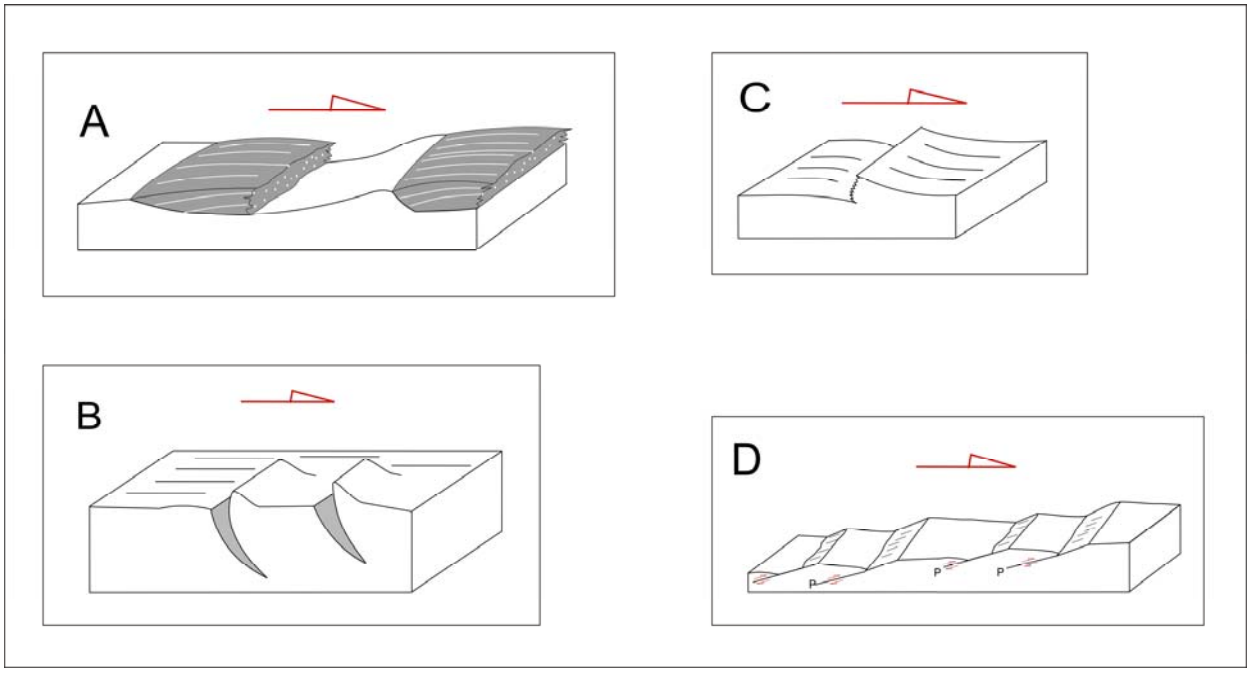
Fay kertikleri / Kristal lifleri (Chatter marks / crystal fibers): Fay yüzeylerindeki pürüzlülük sonucunda hareketin yönüne bağlı olarak pürüzün bir tarafında açılma gelişecektir ve fay çiziklerine dik asimetrik basamaklar meydana gelecektir. Bunlara fay kertiği (chatter mark) adı verilir. Karbonat ve silisçe zengin sıvıların dolaşımı sırasında fay kertikleri üzerinde kristal lifleri (crystal fibers) büyüyecektir. Üzerinde kristal lifleri bulunan fay kertikleri iyi birer kinematik göstergedir. Geometrileri (Şekil VIII.67.a) kullanılarak fayın karakteri tespit edilebilir. Şekil VIII.67' de kristal liflerinin oluşum mekanizması gösterilmiştir.

Tansiyon çatlaklarının oluşturduğu basamaklar: Bu basamaklar Şekil VIII.67.b'de görüldüğü gibi kinematik gösterge olarak kullanılabilirler

Slickolite yapıları: Slickolite yapıları (Şekil VIII.67.c), stilolit oluşumu sonrası yüzeydeki malzemenin aşınmasıyla meydana çıkan izlerdir. Başka bir deyişle oblik stilolit izleridir.

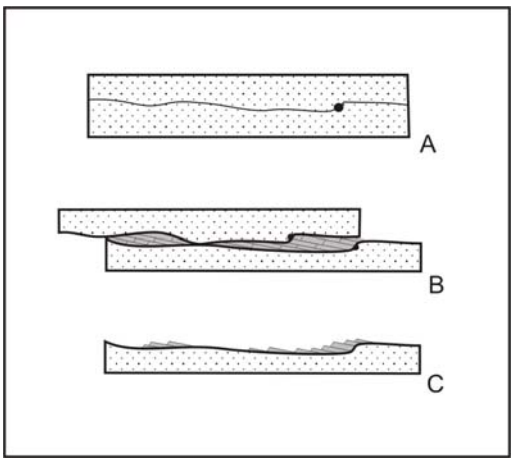
P kırıklarının oluşturduğu basamaklar: Kademeli olarak meydana gelmiş olan P kırıkları, fayın karakerini belirlemek için iyi göstergelerdir (Şekil VIII.67.d).

Saplanmaların meydana getirdiği basamaklar : Yukarıda bahsedilen saplanma izlerinin arka arkaya gelerek bir dizi oluşturduğu yapılar, tek bir saplanma izine göre daha doğru sonuçlar verecektir.



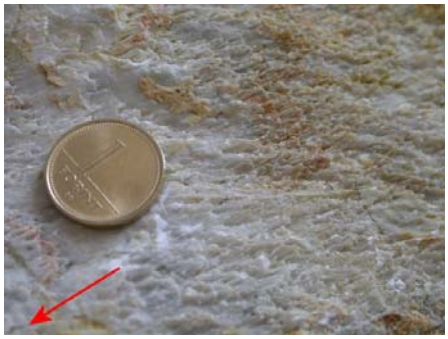
Şekil VIII.67. a. Üzerinde kristal büyümeleri gelişmiş fay kertikleri (chatter marks) (Petit,1987'den değiştirilerek), b.Tansiyon çatlaklarının oluşturduğu basamaklar c. Slickolite yapıları, d. P kırıklarının oluşturduğu basamaklar (Doblas, 1998'den değiştirilerek). Şekillerde üstteki aşınmış blok sağa doğru hareket etmiştir.

Şekil VIII.68. Kristal liflerinin (crystal fibers) oluşum mekanizması (Davis ve Reynolds, 1996).





(a)



(b)

Şekil VIII.69.a. Kristal büyümeleri, üstteki aşınmış blok aşağı-sağa doğru hareket etmiştir (Louisiana State Uni. web sitesinden), b. Slickolite yapısı, aşınmış blok ok yönünde kaymıştır (Miskolc Uni. web sitesinden).

3.4. Düzlemsel yapı dizileri

Kademeli olarak dizilmiş bazı düzlemsel yapılar da ortamdaki makaslama kuvvetleri hakkında bilgi verebilir.

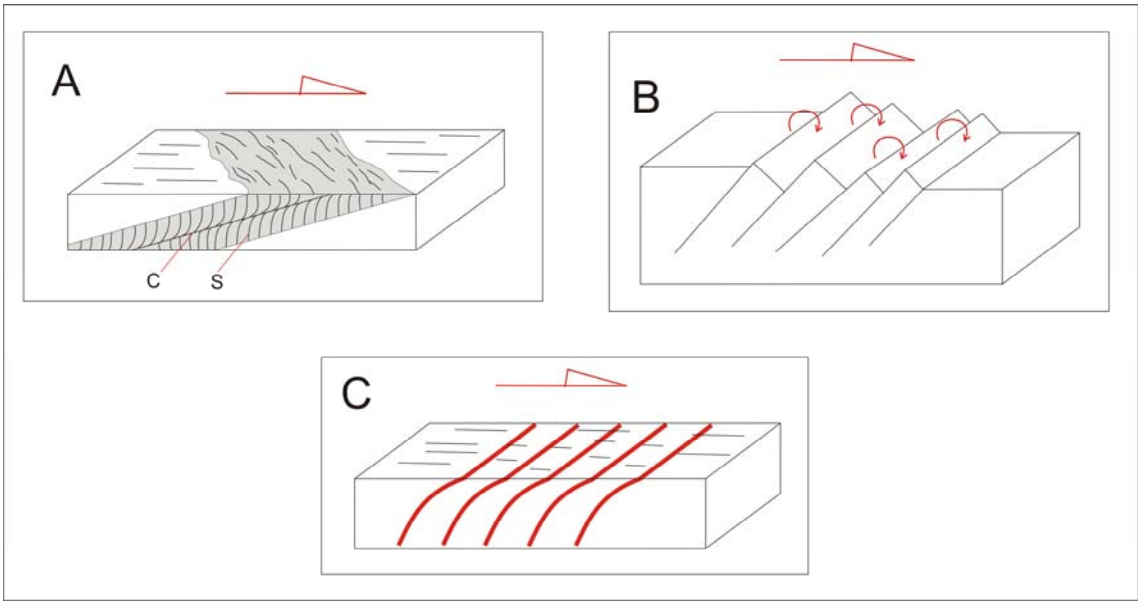
SC tip yapılar: Bu yapılar aslında sünümlü davranış gösteren malzemeler de görülseler de iyi birer kinematik gösterge oldukları için buraya alınmışlardır. Foliasyon (S) ve makaslama bantları (C) olarak adlandırılırlar (Davis ve Reynolds, 1996). Kırılgan malzemelerdeki P ve Y düzlemlerine karşılık gelirler. Şekil VIII.70.a' da bu yapılar görülmektedir.

Domino-tip dönmeler: Zıt yönlü faylarla oluşan blok dönmeleri (Şekil VIII.70.b) makaslamanın yönünü gösterebilir.

Sürüme etkisiyle oluşan yapılar: Fay yüzeyinin kestiği bantlar, tabakalar ve benzeri düzlemsel yapılarda görülürler. (Şekil VIII.70.c' deki kırmızı çizgiler).

Kırık dizilimi: Birinci bölümde bahsedilen kırıkların oluşturduğu diziler, silsileler, ardalanmalar; tek tek gördüğümüz kırıklara oranla daha iyi gösterge olabilirler.

Bu yapılar için örnek fotoğraflar Şekil VIII.71'de verilmiştir.



Şekil VIII.70. a. SC tip yapılar (S-foliasyon, C-makaslama bandı) (Petit,1987'den değiştirilerek), b. Domino tip dönmeler, c. Sürüme etkisiyle oluşan yapılar (Doblas, 1998'den değiştirilerek). Şekillerde üstteki aşınmış blok sağa doğru hareket etmiştir.



(a)



(b)



(c)

Şekil VIII.71. a. SC tip yapılar ,tabancanın namlusu C'ye paraleldir (UCSC web sitesinden), b. Domino tip dönme (Nevada Sys. web sitesinden), c. Sürüme kıvrımları (drag folds) (Emporia St. Uni. web sitesinden)