

YAPISAL JEOLOJİ

DERS NOTLARI-I:

1. METODLAR VE UYGULAMALAR

1.1. Giriş

Yapısal Jeoloji en yalın hali ile "Yer kabuğunun deformasyona maruz kalması sonucu oluşmuş mimarisini inceleyen bilim dalıdır (Billings 1972)". Burada mimari yer kabuğunun şeklini, simetrisini, geometrisini ve bu özelliklerin mümkün olabilecek her ölçekteki gelişimi ile alansal dağılımını içerir (Davis 1984). Aynı zamanda yapısal Jeoloji, yer kabuğunu oluşturan malzemenin mukavemeti ve mekanik özellikleri yanında malzemenin nerede ve nasıl deforme olduğu ile de ilgilenir. Jeolojik yapılar en yalın halleri ile yedi gruba ayrılırlar. Bu yapıların yer kabuğundaki dağılımı, bir birleri ile olan ilişkileri ve bu ilişkinin zamansal ve mekansal değişimi ve bu değişimleri etkileyen kuvvetler yapısal jeolojinin ilgilendiği başlıca konulardır.

1.2. Temel Jeolojik Yapılar

Yapısal jeolojik olarak faylar (faults), eklemler (joints), damarlar (veins), kıvrımlar (folds), klevaj (cleavage), foliyasyon (foliation) ve lineasyonlar (lineations) temel yapıları oluştururlar. Bu yapılar bu ders notlarının ileriki aşamalarında daha detaylı olarak anlatılacaktır. Bununla birlikte kısaca tanımlamak gerekirse;

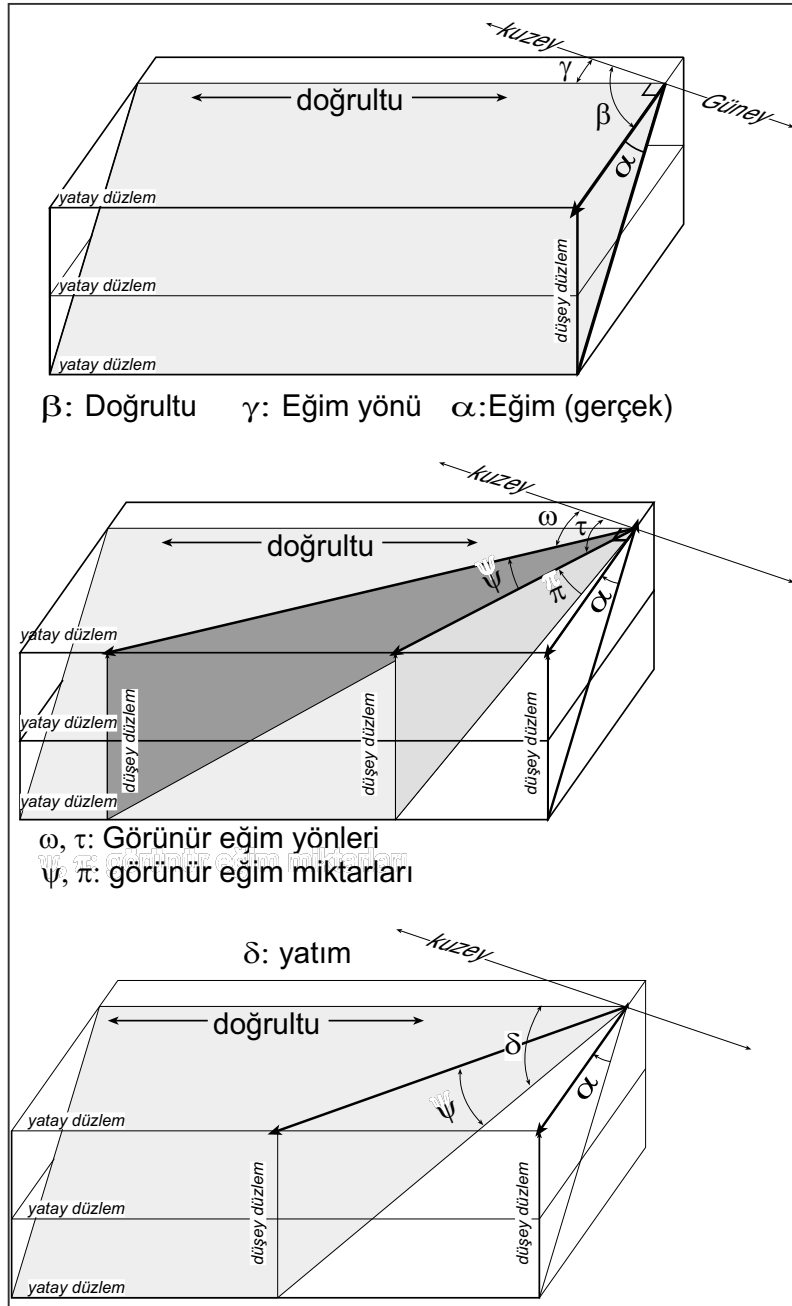
Faylar: Üzerlerinde ötelenmenin olduğu kırıklardır. Yer kabuğu yer çekimi ve plakaların hareketi sonucu belli oranda strese ($\text{stres} = \text{kuvvet}/\text{alan}$) maruz kalmaktadır. Stres kayacın mukavemetini aştığında kayaçlar belli düzlemler boyunca kırılarak veya kıvrılarak alansal (deformasyon) ve hacimsel değişikliğe (dilatasyon) dolayısıyla ötelenmeye uğrarlar. Ötelenme kristal boyutundan binlerce kilometreye kadar her ölçekte olabilir. Dolayısıyla, bir kırığın fay olarak tanımlanması için genelde üzerinde 1cm den büyük ötelenme olması yeterlidir. Daha küçük ötelenmelerin olduğu kırıklar fay olarak tanımlanmazlar fakat tiplerine göre değişik eklem kategorilerinde sınıflandırılırlar.

Eklemler ve damarlar: Geliştikleri düzlem boyunca üzerlerinde önemsenmeyecek kadar az veya hiç bir hareketin olmadığı düzlemsel kırıklar eklemler olarak sınıflandırılırlar. Eklemler genelde sistematik bir geometri içerisinde bir birine paralel düzlemler halinde bulunurlar. Eklem düzlemleri genelde belli bir geometride, simetride ve mesafededirler. Eklemlerin oluşturduğu boşluklar eğer ikncil olarak kuvars, kalsit, bakır veya benzeri minerallerle doldurulmuşlarsa **damar** olarak adlandırılırlar. Damarların olduğu eklemler genelde içinde oluştukları kayacın uzaması veya genişlemesi sonucu (minerallerin içersine çökebileceği miktarda) belli bir ötelenme veya açılma/aralanma sonucu oluşmuşlardır.

Kıvrımlar: Sistematik olarak kıvrımlanmış kayaçlardır. Kıvrımlar onları oluşturan şartları yansıtabilecek şekilde her boyutta (ölçekte) ve çok farklı şekillerde oluşabilirler.

Klevaj, foliyasyon, ve lineasyon genelde yüksek sıcaklık ve basınç altında kayaçların deformasyon ve rekristalizasyon (yeniden kristallenme) sonucu **sünek** (kırık/çatlak oluşturmadan) akma (flow) sonucu magmatik veya metamorfik ortamlarda oluşurlar.

Foliyasyon: Mika ve benzeri yaprak şekilli minerallerin, küçük fayların, veya yassılaştırmış tanelerin bir birlerine paralel şekilde belli düzlemler boyunca dizilmesidir. Foliyasyonun özel bir türü olan **klevaj** ise çok yüksek derecede deforme olmuş kayaçlarda yapraksı minerallerin çok ince düzlemler oluşturmasıdır. Dolayısıyla kayacın kolaylıkla ayrılıp parçalanabildiği düzlemlere verilen isimdir. Klevaj kıvrımlanma sırasında kayaçların kısılması/daralması sonucu oluşur. Bazı klevajlar, faylanmaya bağlı olarak makaslanma sonucu gelişirken, bir çoğu strese bağlı olarak kayaçların rekristalizasyona maruz kalıp daha fazla kısılmayı mümkün kılacak şekilde süreksizlik düzlemleri oluşturması sonucu oluşurlar. **Lineasyon** ise hornblende gibi iğne veya dikdörtgen prizma şekilli minerallerin, kayaç parçalarının, çok küçük kıvrım paketçiklerinin, kayma çizikleri veya kayma tepeliklerinin uzun eksenlerinin belli bir yönde bir birlerine paralel şekilde dizilmesidir.



Şekil 1. Doğrultu, eğim yönü, eğim miktarı ve görünür eğim.

Yukarıda adı geçen temel jeolojik yapıların hepsi matematiksel olarak düzlem ve/veya çizgi olarak tanımlanabilirler. Bu düzlemlerin veya çizgilerin belli bir referansa göre oryantasyonlarının belirlenmesi ve bu oryantasyonların belli bir jeolojik anlamı olup olmadığının araştırılması yapısal jeolojide "oryantasyon verileri" olarak değerlendirilir. Belirlenecek olan referans dünyanın her yerinde aynı ve değişmez olmalı, dolayısıyla evrensel olmalı ve kullanımı kolay olmalıdır. Arazide oryantasyonu belirlenen bir düzlem veya çizginin ofis ortamında tekrar üretilebilmesi ancak ortak ve evrensel bir referans sistemi ile olabilir. Bu bağlamda, günümüzde kullanılan en temel iki referans sistemi; dünyanın yüzeyi (ortalama deniz seviyesi) ve coğrafik kutuplardır. Herhangi bir düzlem veya çizginin yönelimi pusula ve içersindeki su düzeyi sayesinde kolaylıkla ölçülebilir. Bu bağlamda düzlemlerin, çizgilerin ve bunların bir birleri ile olan kesişimleri sonucu oluşan yeni düzlem ve çizgilerin yönelimleri oryantasyon verilerinin temelini oluştururlar. Aşağıda detaylıca anlatılan bu kavramlar, düzlem ve çizgilerin oryantasyonunun anlaşılması için çok önemlidir.

Konum (attitude): Bir şeyin uzaydaki yönelimini ifade eder. Bir düzlemin konumu doğrultu ve eğimle tanımlanır. Bir çizginin konumu ise yönelim ve dalımla tanımlanır.

Cihet (bearing): bir doğrunun/çizginin yatay

düzlemde (referans koordinat sistemi içersinde) referans doğrultusuna göre yaptığı açıdır. Jeolojide kullanılan referans doğrultusu genelde coğrafik kuzeydir. Başka bir deyişle cihet yatay düzlemdeki bir doğrunun kuzeye göre yaptığı açıdır.

Doğrultu (Strike): Eğik bir düzlemin yatay düzlemlerle olan arakesitinin cihetidir (yani kuzeyden yaptığı açıdır). Dolayısıyla ölçüm yatay düzlem içersinde yapılır (Şekil 1).

Eğim (dip): (gerçek eğim olarak da adlandırılabilir) Eğik bir düzlem ile bu düzlemin doğrultusuna dik yöndeki düşey düzlemin arakesitininin oluşturacağı çizgi ile bu çizginin yatay düzleme olan izdüşümü arasındaki açıdır. Eğim düşey düzlemde doğrultuya dik yönde ölçülür (Şekil 1). Doğrultuya dik olmayan her hangi bir yöndeki eğim **görünür eğim** olarak adlandırılır. Gerçek eğim düzlemin alabileceği en büyük eğim değeridir. Dolayısıyla görünür eğim(ler) gerçek eğimden bher zaman daha küçüktürler.

Yönelim (trend): Yatay olmayan çizgilerin (vektörlerin) yerin içine doğru olan uçlarının yatay düzleme olan projeksiyonlarının cihetleridir (kuzeyden yaptıkları açı). Bir düzlemin yönelimi eğim yönü olarak da adlandırılır.

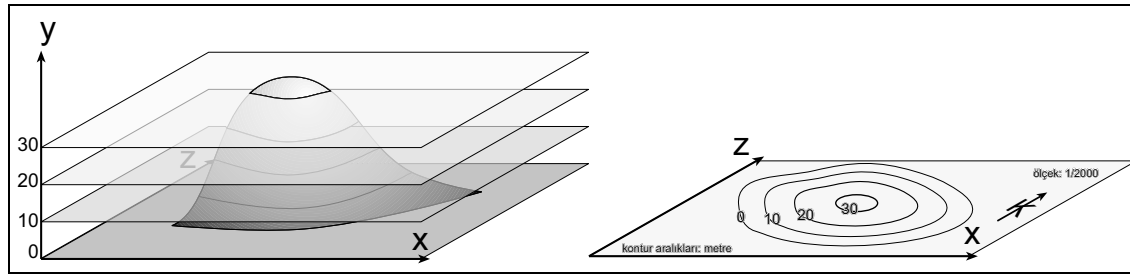
Dalım (plunge): Dalım daha çok kıvrım eksenleri için kullanılır. Yatay olmayan bir çizgi ile bu çizginin yatay düzlemdeki iz düşümü arasındaki açıdır. Şekil 1'de gösterilen görünür eğim miktarı dalım olarak da adlandırılabilir.

Yatım (rake/pitch): Bir düzlem içerisindeki bir çizginin aynı düzlem içerisinde düzlemin doğrultusu ile yaptığı açıdır.

Görünür eğim: Bir eğik düzlem ile bu düzlemi herhangi bir yönde kesen düzey düzlemin arakesitinin yatay düzleme izdüşümü ile yaptığı açıdır. Ölçüm düşey düzlemde yapılır ve görünür eğim gerçek eğimden her zaman daha düşüktür. Görünür eğimin dalımdan tek farkı görünür eğim bir düzleme işaret ederken dalım bir çizgiye işaret eder aksi takdirde aralarında geometrik olarak bir fark yoktur sadece ima ettikleri geometrik şekil farklıdır.

1.3. Topografik Haritalar

Jeolojik haritalar genelde uydu görüntüleri, hava fotoğrafları veya topografik haritalar kullanılarak hazırlanırlar. Topografik haritalar 3 Boyutlu yer yüzünün 2 boyutlu düzlem üzerine projeksiyonudur. Er yüzü düzlem üzerine eş yükselti eğrilerinin projekte edildiği konturlar olarak temsil edilirler. Bu sayede, bir jeolog yer yüzünü haritaya bakarak canlandırabilir veya doğrudan harita üzerinden araziye gitmeden mesafe ölçümleri ve alan hesaplamaları yapabilir. Eşyükselti eğrileri genelde bir referans düzlemine göre yapılır. Bu referans düzlemi genelde ortalama deniz seviyesi veya her hangi bir ülkenin kendisinin belirlediği bir nokta olabilir (Şekil 2).



Şekil 2: Topografik haritaların oluşturulması

Topografik harita üzerinde bir birini takip eden iki kontur arasındaki mesafe kontur aralığı olarak adlandırılır. Genelde tüm haritalarda kontur aralığı sabittir, fakat çok düz alanlarda ve topografyanın çok kompleks olduğu alanlarda kontur aralıkları değişebilir ama bu değişiklik mutlaka harita üzerinde belirtilir. Kontur aralıkları o haritanın hassasiyeti konusunda bize fikir verirler. Sık konturlar daha hassastır fakat hazırlanmaları daha zordur. Seyrek konturlar ise daha az hassastır fakat görece hazırlanmaları daha kolay ve ucuzdur. Haritalarda unutulmaması gereken en önemli konu düşey boyutun haritaya sadece değerler olarak yansıtıldığıdır. Gerçekte haritanın projeksiyonu (iz düşümü) düşey düzlem boyunca yani y eksenini boyunca yapıldığından düşey eksen boyunca olan noktalar haritada temsil edilemezler.

Bir topografik haritada konturlar aşağıdaki kurallara uyarlar.

1. Konturlar vadilerden geçerlerken V-şeklindedirler ve v'nin sivri köşesi eğim yukarıyı gösterir.
2. Sırtlarda konturlar genelde U-şekillidirler ve u'nun alt kısmı eğim aşağıyı gösterir.
3. Haritada kapalı konturlar (daire veya elipsler) tepeleri veya çukur alanları gösterirler. Çukur alanlar ayrıca eğim aşağı gelecek şekilde kontura dik küçük çizgilerle veya eğim aşağıyı gösteren bir okla belirtilirler.
4. Sık konturlar yüksek eğimleri, seyrek konturlar ise daha az eğimli alanları gösterirler
5. Yatay alanların konturları yoktur
6. Konturlar asla bir birlerini kesemezler. Bu kural sadece dik veya ters eğimli yüzeyler için geçerli değildir.

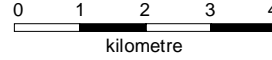
Topografyada iki nokta arasındaki yükseklik farkı rölyef olarak ifade edilir. Her hangi bir haritanın en düşük ve en yüksek noktaları arasındaki yükseklik farkına ise maksimum rölyef denir. Bir topografik

haritada bazı önemli noktaların (yol kesişimi, zirve noktaları gibi) yükseklikleri ayrıca belirtilir ve spot yükseklik/kot olarak adlandırılırlar. Nirengi noktaları ise kalıcı olarak ölçülüp belirlenmiş noktalardır ve santimetre ölçeğinde hassastırlar.

1.3.1. Haritalarda Ölçek

Haritalarda ölçek, harita üzerindeki her hangi iki noktanın uzaklığının gerçekte yer üstündeki uzaklığına olan oranıdır. Örneğin yeryüzünde 1km olan bir uzaklık harita üzerinde 1 cm ile gösterilmiş ise bu haritanın ölçeği 1/100.000'dir (tersinden söylemek gerekirse 1km=100.000cm). Ölçekler aslında birimsizdirler, o yüzden kullanırken orantının her iki tarafında aynı birimde olmalıdırlar. Ölçekler ayrıca lineer olarak da gösterilirler.

Oranlı ölçek (1/100.000, 1/25.000, 1/5000 gibi)



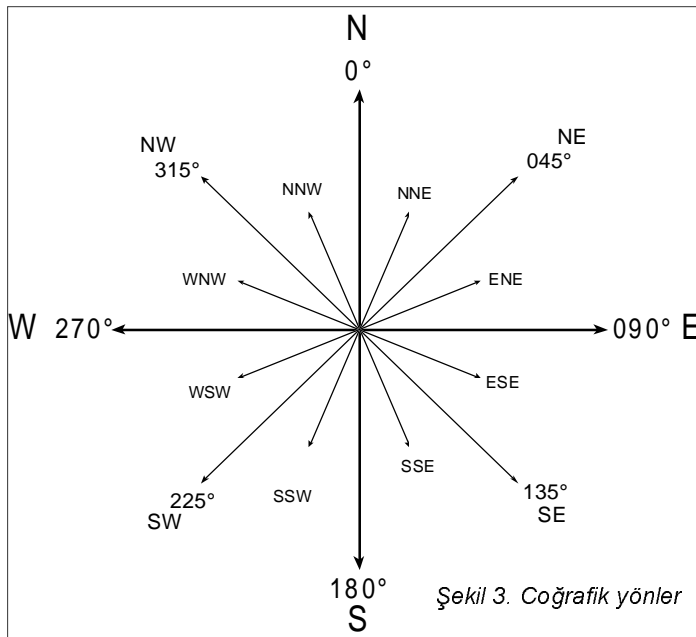
Lineer ölçek: Lineer ölçek özellikle büyültme küçültme durumları için çok daha uygundur.

Büyük ölçekli haritalar daha küçük paydaya sahipken, küçük ölçekli haritalar daha büyük paydaya sahiptirler. Örneğin 1/100.000'lik ölçek 1/25.000'e göre daha küçük ölçeğe sahiptir. Haritaların ölçekleri amaca uygun olarak seçilirler. Jeolojik haritalama için 1/25.000 ölçeği genelde temel ölçek olarak kabul edilirken, ülkesel boyutlu haritalar için 1/500.000 veya çok daha küçük ölçekler kullanılır. Şehir ve bölge planlaması için ise 1/5.000 veya çok daha büyük ölçekler kullanılır.

1.3.2. Haritalarda Oryantasyon

Haritalar genelde kuzey üst tarafa gelecek şekilde hazırlanırlar. Dolayısıyla yazıların üst tarafı kuzeyi gösterir. Ayrıca her haritada gerçek (coğrafi) kuzey yönü veya enlem boylamlar belirtilir. Coğrafi kuzey ile pusulanın kuzeyi (magnetik kuzey) çakışmazlar. Magnetik kuzey yöreden yöreye ve yıllara bağlı olarak değişir. Bu yüzden her topografik haritada coğrafi kuzey ile magnetik kuzey arasındaki fark (deklinasyon) ve yıllık değişim belirtilir. Ülkemiz için deklinasyon 5 ile 8° arasındadır bu yüzden jeolojik uygulamalarda bu fark genelde önemsenmez.

Harita üzerinde bir doğrunun ciheti o doğrunun kuzeyden yaptığı açı, açı ölçeği yardımı ile doğrudan ölçülebilir. Ölçülen açı en yaygın olarak iki değişik yöntemle ifade edilebilir. Bunlar;



- Azimut yöntemi:** 360° üzerinden hesaplanır. Ölçüm kuzeyden başlayarak saat yönünde yapılır (Şekil 3) ve üç basamaklı sayılarla ifade edilir (245°N, 112°N, 039°N, 095°N gibi) (N:north=kuzey).
- Quadrant yöntemi:** çizginin cihetine göre saat yönünde veya tersi yönde (Şekil 3), her zaman çizginin kuzeyden yaptığı dar açı ölçülerek, ölçümün doğu veya batı yönlerinden hangisinde yapıldığı mutlaka belirtilir (N35W, N56E, N88E, N90E, N90W, N00E gibi) (E: east=doğu, W: west=batı, S: south=güney)

Herhangi bir haritada mutlaka olması gereken şeyler şunlardır:

1. Ölçek
2. Oryantasyon (genelde coğrafi kuzeye göre)
3. Kontur aralıkları ve yükseklik değerleri

1.3.3. Profiller

Profiller belli bir yönde, düşey düzlem boyunca yer yüzündeki değişimleri gösteren diyagramlardır. Profil hazırlanırken yatay ve düşey ölçek mutlaka belirtilmelidir. Eğer yatay ve düşey ölçek aynı ise bu

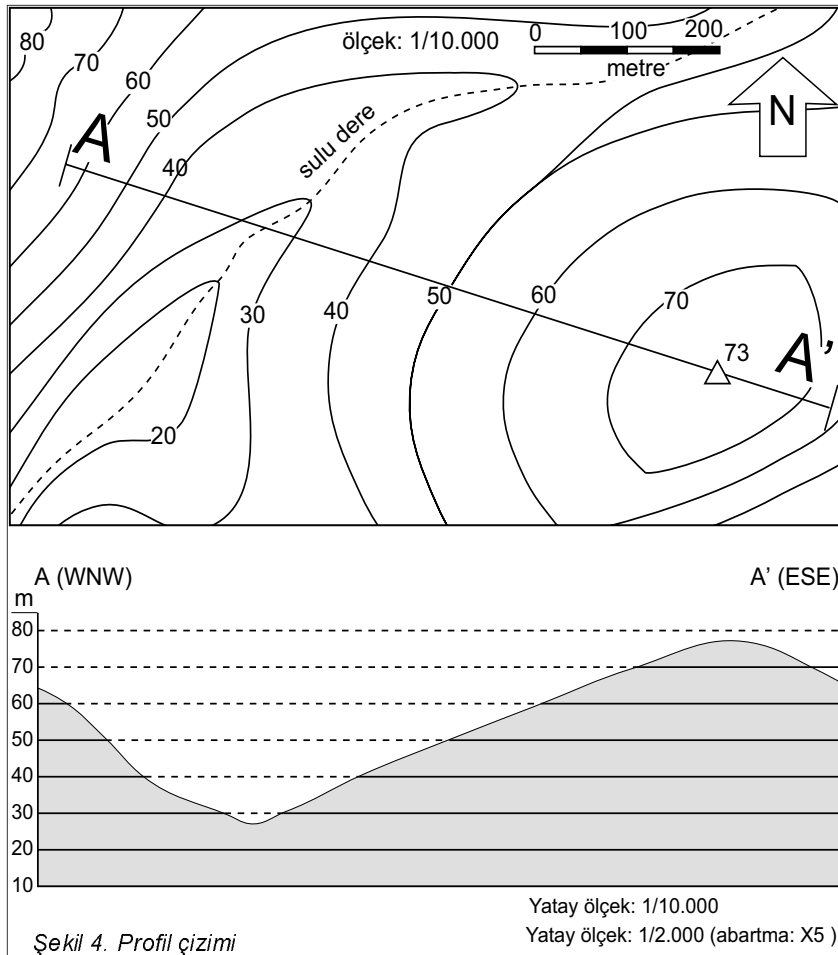
tip profillere gerçek ölçekli profiller denir. Topografik değişimleri belirginleştirmek veya azaltmak için düşey ölçek amaca göre değiştirilebilir (belirtmek koşulu ile). Bu tip profillere abartılmış (exaggerated) profiller denir. Abartılmış profillerde yatay ve düşey ölçekler mutlaka ayrı ayrı olarak verilirler veya abartma oranı mutlaka belirtilir.

Örneğin: Yatay ölçek: 1/10.000 (1cm=10.000cm=100m)

Düşey ölçek: 1/2.000 (1cm=2.000cm=20m)

Düşey abartma: X5 gibi.

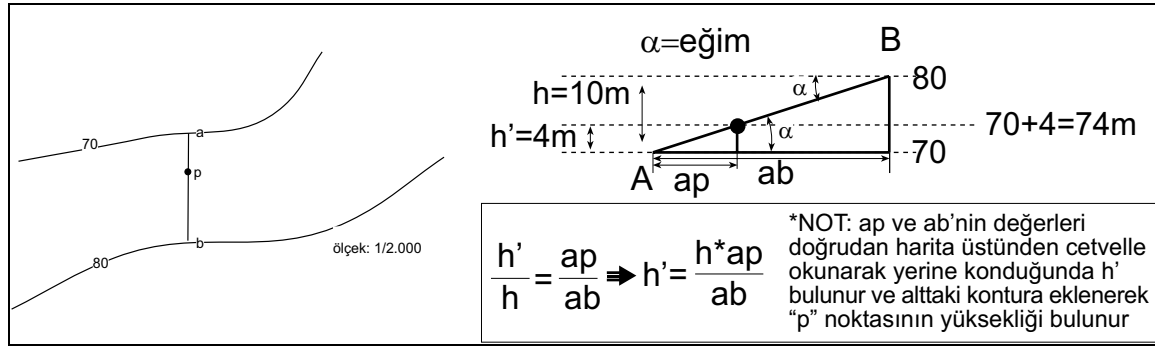
1. Bir topografik haritadan profil çizmek için aşağıdaki adımları takip ediniz
2. Profilin hazırlanacağı hattı harita üzerinde belirleyiniz ve işaretleyiniz (A-A' gibi) (Şekil 4)
3. Bu hat boyunca hattın kesmiş olduğu kontur sayısı ile maksimum ve minimum kontur değerlerini haritadan okuyunuz. Böylece profili çizmek için kaçtane yatay çizgiye ihtiyacınız olacağını belirlemiş olursunuz.
4. Düşey ölçeği seçiniz. Böylece profili çizerken kontur aralıklarının kaç santimetre ile ifade edeceğinizi belirlemiş olursunuz. Örneğin eğer düşey ölçeği 1/2.000 olan bir profil için 10m 5mm ile temsil edilecektir.
5. Maksimum ve minimum kontur değerlerine göre konturların hepsini temsil edecek miktarda yatay çizgi çiziniz. Ayrıca alta ve üste maksimum ve minimum değerden en az birer fazla çizgi ekleyiniz. Örneğin maksimum değer 60m ve minimum değer -30m ise 70m ve -40m'yi temsil edecek iki tane fazladan çizgi ekleyiniz. Her bir çizginin karşısına yükseklik değerini yazmayı ihmal etmeyiniz
6. Boş bir kağıt alıp bu kağıdın bir köşesini profil alınacak hat ile çakıştırınız. Kağıt üzerine profilin başlangıç ve bitiş noktalarını işaretleyiniz. Bir sonraki adımda profil hattının konturları kestiği noktaları kağıda işaretleyip kontur değerlerini belirtiniz. Bu işlemi yaparken, eğer varsa, önemli yolları, dereleri, spot yükseltilerive nirengi noktalarınıda işaretlemeyi unutmayınız.
7. Bir üst şıktaki işlemler tamalanınca, kağıdı profilin çizileceği diyagramın üzerine koyup işaretlenmiş noktaların hepsini uygun yüksekliklere transfer ediniz.



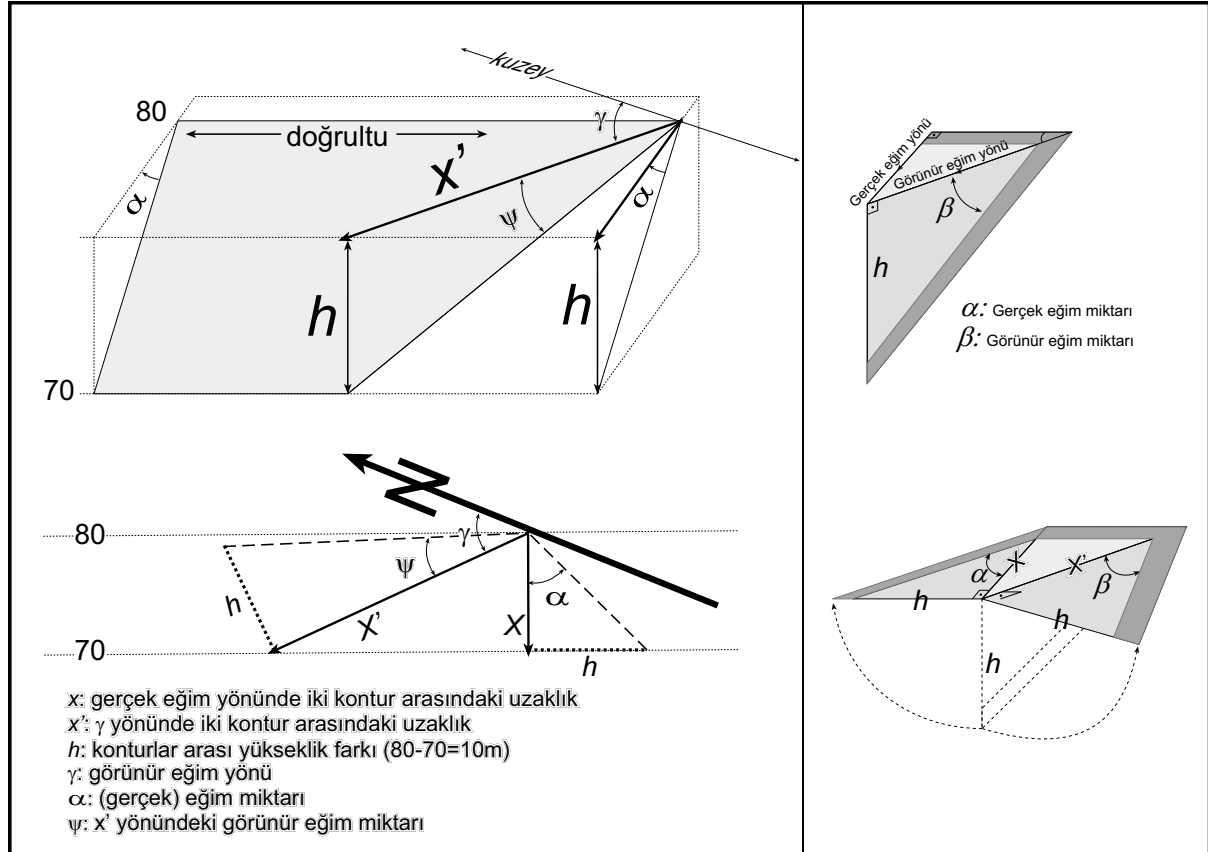
Profilin bir ucundan başlayarak işaretlenmiş noktaları birleştirdiğinizde o hat boyunca arazinin profilini elde etmiş olacaksınız (Şekil 4).

1.3.4. Eğim ve Yüksekliklerin Hesaplanması

Bir toografik harita üzerinde verilmiş her hangi bir noktanın yüksekliği, o noktayı içeren en yakın iki farklı kontura veya varsa en yakındaki nirengi noktalarına çizilecek dik doğru yardımı ile yaklaşık olarak belirlenir. İki kontura dik ve yüksekliği belirlenecek olan noktadan geçen çizgi çizildikten sonra haritanın ölçeğine bağlı olarak trigonometri kuralları kullanılarak veya doğrudan cetvelle ölçerek istenen noktanın yüksekliği belirlenir (Şekil 5). Bir diğer yöntem ise benzer üçgenler ilişkisi kullanılarak orantı yoludur.



Şekil 5. harita üzerinde herhangi bir noktanın yüksekliğinin ve eğiminin hesaplanması



Şekil 6. Gerçek eğim ve görünür eğim ilişkisi.

1.3.5. Gerçek eğim ve görünür eğim

Haritalarda gerçek eğim bir birini takip eden iki veya daha fazla farklı yüksekliğe sahip konturlar arasında alınacak dik uzaklık (x) ve kullanılan konturların yükseklik farkları (h) kullanılarak bulunur. Görünür eğim ise aynı şekilde farklı konturlar ve bu konturlara dik olmayan herhangi bir yönden alınacak uzaklık değeri (x') kullanılarak bulunur. Görünür eğim bulunurken görünür eğim (x') yönü (E-W yönünde, N-S yönünde, NW-SE yönünde A-B boyunca gibi) mutlaka belirtilmelidir. Unutulmaması gerekir ki h değeri başlangıç ve bitiş konturlarının düşey yüksekliklerinin (kontur değerlerinin) farkıdır (Şekil 6).

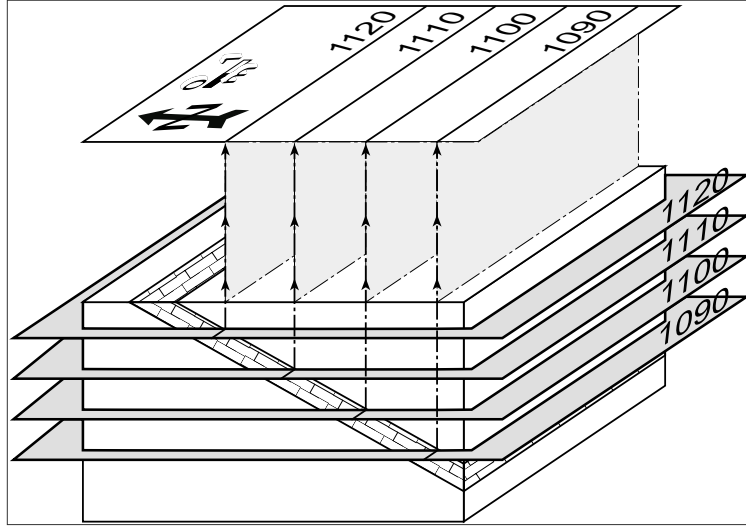
1.5. Yapısal Konturlar

Yapısal konturlar topografik konturlar gibi bir yapısal yüzey üzerinde aynı yüksekliğe sahip noktaları birleştiren eğrilere verilen addır. Yapısal konturlar topografik konturlarla aynı özelliklere sahiptirler. Yapısal konturların topografik konturlardan farkı onların bir yapısal düzleme ait olmalarıdır. Bu nedenle yapısal konturlar ait oldukları yapıya göre belli özellikler gösterirler.

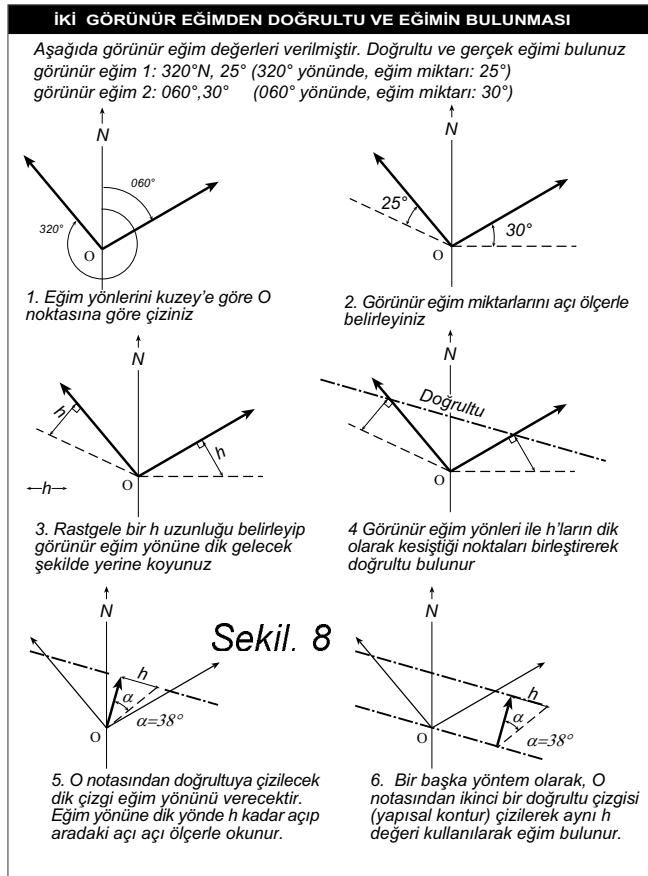
Fakat üzerlerinde yapılacak hesaplamalar topografik konturlarla aynıdır. Topografik konturlarda olduğu gibi yapısal konturlarda bir birlerini kesemezler (yapının düşey veya devrik olması durumları hariç).

Yapısal konturların devamlılığı içerdikleri yapının başka bir yapı tarafından (fay veya uyumsuzluk yüzeyi gibi) kesilip kesilmemesi ile belirlenir.

Yapısal konturlar topografik konturlarda olduğu gibi, yapısal bir yüzey ile yatay referans düzlemlerle olan kesişim çizgilerinin bir harita düzlemine projeksiyonudur. Şekil 7'de yapısal konturların oluşturulması gösterilmiştir. Sık yapısal konturlar topografik konturlarda olduğu gibi daha yüksek eğimi, seyrek yapısal konturlar ise daha az eğimli yüzeyleri gösterir.



Şekil 7. Yapısal konturların oluşturulması.



1.5.1. İki görünür eğimden doğrultu ve eğimin bulunması

Şekil 6 ve Şekil 8 de de gösterildiği gibi her hangi iki yöndeki görünür eğim ve gerçek eğim aynı iki kontur arasında tanımlanması durumunda hepsi aynı h değerine sahip olacaklardır. Bu durumda h değeri biliniyorsa o değere göre, bilinmiyorsa rastgele (fakat aynı) bir h değeri seçerek verilen görünür eğim yönlerinde, eğim miktarlarına göre h değeri kullanılarak her bir yön için x', h üçgeni oluşturulur. Oluşturulan üçgenlerin birleşimi doğrultuyu verir. Doğrultu kullanılarak da gerçek eğim miktarı bulunur (aynı h değeri kullanılarak). Bir diğer yöntem ise birleşim noktasından ilk doğrultuya paralel bir

başka doğrultu çizmektir. Alında bu iki çizgi iki farklı yapısal konturdur. İlk çizilen kontur h konturu (değeri ne olursa olsun önemli değil) ikincisi ise yani birleşim noktasından geçen kontur 0 (sıfır) yapısal konturu olarak değerlendirilir. İlk kontur bu kontura göre h değeri kadar aşağıda yani düşük değerdedir. Sıfır ve h konturu belirlendikten sonra konturlara dik yön eğim yönü olacaktır. Bundan sonra aynı h değeri kullanılarak gerçek eğim miktarı bulunur.

1.6. Üç nokta problemleri

Matematiksel olarak bir düzlemi tanımlamak için en az iki doğru veya üç tane nokta gereklidir. Bu nedenle her hangi bir jeolojik yüzey veya düzlem için verilecek üç nokta o düzlemi tanımlamamız için yeterlidir. Jeolojik olarak verilecek olan üç nokta genelde ya ortalama deniz seviyesinden olan yükseklik olarak veya belli bir noktadan yapılmış sondaj derinlikleri olarak verilir, veya herhangi üç değişik noktadaki mostra yükseklikleri olarak verilebilir.

Yüksekliği bilinen üç noktayı kullanarak ilgili yapısal düzlemin yapısal konturları çizilebilir. Şekil 9'da bir düzleme ait üç noktanın yükseklik değerlerini kullanarak o düzleme ait yapısal konturların çizimi anlatılmaktadır.

Örnek (Şekil 9): A,B ve C noktalarından yapılan sondajlar sonucunda bir düzleme ait yükseklikler sırası ile A:270, B: 350 ve C:120m dir.

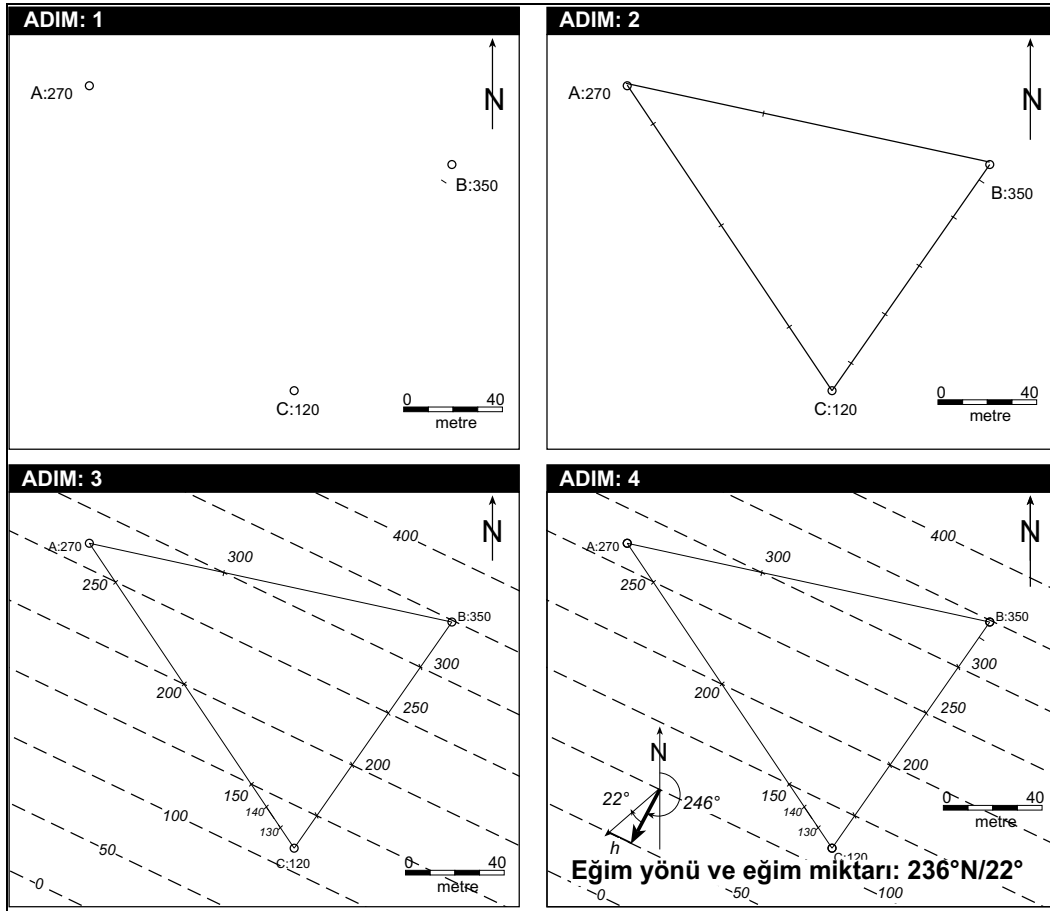
Problemler:

1. Bu verilere göre yapısal düzlemin yapısal konturlarını B notasından başlayarak 50metre aralıklarla çiziniz.
2. Yapısal düzeyin gerçek eğimini hesaplayınız.

Çözüm:

1. Yapısal konturlar
 - A,B ve C noktalarını birleştiriniz
 - Birleşim çizgilerini Şekil 9'da gösterildiği üzere uygun şekilde bölünüz 50 ve 50'nin katları olan noktaları (150,200,250,300,350 gibi) işaretleyiniz.
 - İşaretli noktalardan eş yükseklikteki noktaları cetvelle birleştirdiğimizde yapısal konturları elde etmiş oluruz.
2. Eğim yönü ve miktarı
 - Rastgele 2 kontur alınız ve bu iki konturu dik bir çizgi ile birleştiriniz. Bu çizgiye X diyelim.
 - X doğrusuna (az olan kontur üzerinden) h kadar dik bir doğru çiziniz (h değeri ölçüğe göre alınacaktır)
 - Başlangıç noktası ile h çizgisinin X'den yaptığı açı eğim miktarı olacaktır. Açı ölçerle bu açının değerini okuyunuz. Şekil 9'deki örnekte bu açı 22°dir.
 - Başlangıç noktasından geçecek şekilde kuzey-güney (N) çizgisi çiziniz ve N den başlayarak X doğrusunun okla belirtilmiş olan ucuna olan yönü okuyunuz. Şekil 9'de bu açı 246°dir.
 - Eğim yönü ve eğim miktarını azimuth metoduna göre yazınız. Şekil 9'de eğim yönü ve miktarı 246°N/22° dir.

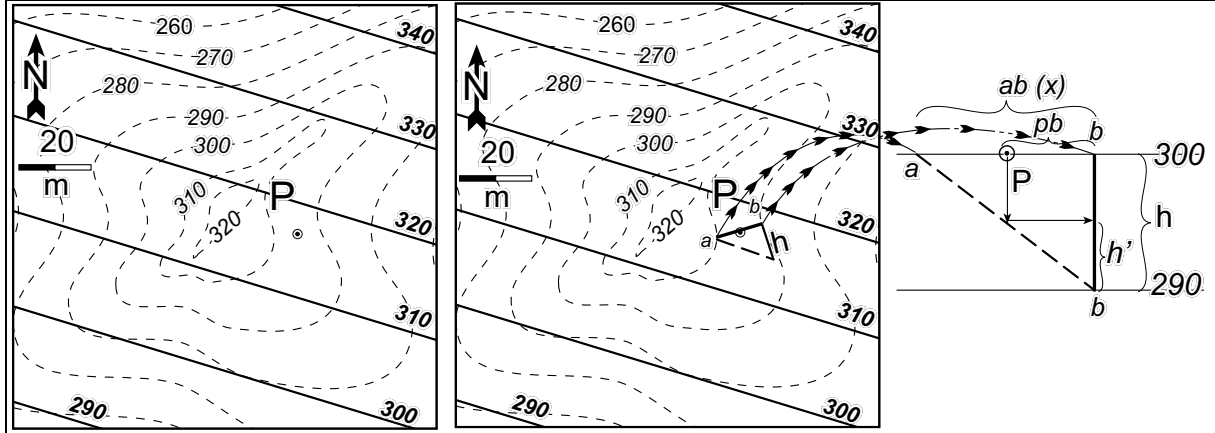
Unutulmaması gereken en önemli iki unsur, konturların bir birlerine paralel ve aralıklarının eşit olması gerekliliğidir.



Şekil 9. Bir düzleme ait üç noktanın yüksekliğini kullanarak, düzlemin yapısal konturlarının bulunması ve yapısal konturlardan eğim yönü ve eğim miktarının hesaplanması. Yükseklikler metredir,

1.7. Harita üzerinde herhangi bir noktanın yüksekliğinin bulunması

Harita üzerinde verilen herhangi bir noktanın yüksekliğinin bulunabilmesi için herşeyden önce o noktanın (topografyaya, herhangi bir yapısal yüzey veya yüzeylere göre ayrı ayrı olarak) hangi yüzeye göre yüksekliğinin bulunacağı belirtilmelidir. Noktanın hangi yüzey yada yüzeylere göre yüksekliğinin bulunacağı belirtildikten sonra yapılacak şey o noktanın içinde bulunduğu ilgili yüzeye ait en yakın iki farklı yükseklikteki iki konturdan alınacak dik uzaklık (x) ve konturlar arasındaki düşey fark (h) kullanılarak yükseklik oran orantı yöntemi ile veya cetvelle yapılacak ölçümler arasındaki oranlar kullanılarak bulunur(bakınız Şekil 10).



P noktasının topografya üzerindeki yüksekliği bir çok yöntemle bulunabilir. Burada üç tanesi anlatılacaktır.

1. noktasından geçecek şekilde farklı yükseklik değerlerine sahip en yakındaki iki kontura dik çizilerek ab doğrusu elde edilir. a ve b den geçen konturların değerleri bir birinden çıkarılarak konturlar arası düşey fark (yani h yüksekliği) bulunur. Örneğin, 1/1000 ölçekli bir haritada kontur değerleri farkı 10m olsun (300-290=10m gibi). ab doğrusunun eğim aşağı ucundan ab doğrusuna dik yönde h yüksekliği çizilir. Daha sonra şekilde gösterildiği gibi p noktasından hipotenüs çizgisine yapılan projeksiyon h çizgisine projekte edilerek h' değeri cetvelle ölçülür ve ölçükle çarpılır. Bulunan değer az olan kontura eklenir.

2. Benzer üçgenler yöntemi:

$$(h'/h) = (pb/x) \Rightarrow h' = (pb \cdot h) / x$$

buradan bulacağımız h' değerini alttaki kontura ekleyerek yani $(290+h')$ P noktasının yüksekliğini bulmuş oluruz.

3. Oran-orantı yöntemi ile:

a noktasının yüksekliği 300m,

b noktasının yüksekliği 290m

ab uzunluğu düşey düzlemde 10m lik farkı temsil ediyor (yani 300-290=10m). Bu durumda ap uzunluğunun düşey olarak kaç metreyi temsil ettiği orantı ile bulunur. Yani;

$$x \Rightarrow 10m$$

$$ap \Rightarrow h' \quad \text{buradan içler dışlar çarpımı ile } h' = (10 \cdot ap) / x \text{ bulunur.}$$

NOT: ap ve ab nin uzunlukları cetvelle harita üzerinde ölçülüp ölçeğe çevrilerek bulunur

Şekil 10. Harita üzerinde bir noktanın yüksekliğinin bulunması.

1.8. Harita üzerindeki her hangi bir noktadan düşey kesit (kuyu logu) hazırlanması

Düşey kesit veya kuyu logu, verilen herhangi bir noktadan yapılacak her hangi bir sondaj sonucu keilecek topografik veya yapısal yüzeylerin yükseklik, derinlik ve düşey kalınlıklarının bir diyagram üzerinde gösterilmesidir.

Kuyu logu hazırlanması, aslında verilen herhangi bir nokta için topografya ve her bir yapısal yüzey için (kaç tane yüzey varsa) ayrı ayrı yüksekliklerin hesaplanıp bulunan yüksekliklerin bulunması, bulunan yüksekliklerden derinlik ve düşey kalınlık hesaplanmasıdır. Bulunan yükseklik, derinlik ve düşey kalınlıklar bir diyagramda topluca gösterilir. Böylece o nokta için tüm yüzeylerin bir birleri ile olan uzaklık ilişkileri gösterilmiş olur. Harita üzerinde herhangi bir noktanın yüksekliğinin nasıl bulunacağı

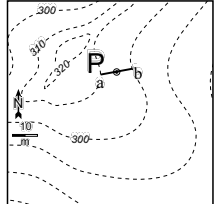
bir önceki kısımda ve şekil 10'da detaylıca anlatılmıştır. Düşey kesit (kuyu logu) hazırlama diyagramı Şekil 11adım adım anlatılmıştır.

PROBLEM : AŞAĞIDAKİ HARİTADAKİ P NOKTASINDAN DÜŞEY KESİT (KUYU LOGU) HAZIRLAYINIZ

AÇIKLAMA

- Topografik kontur
- Yapısal kontur -I
- Yapısal kontur II

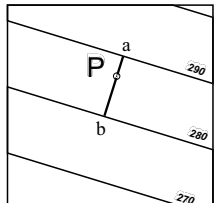
1. İlk önce sanki yapısal yüzeyler yokmuş gibi sadece topografik konturlar kullanılarak P noktasının topografya üzerindeki yüksekliği bulunur.



$h = (310 - 300) = 10\text{m}$ $h' = (h \cdot pb) / x$ $h' = 5\text{m}$

P nin topografyadaki yüksekliği=305m

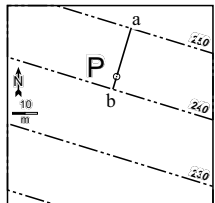
2. İkinci aşamada, topografik konturlar ve diğer yapısal konturlar yokmuş gibi P noktasının yüksekliği birinci yapısal yüzey için bulunur.



$h = (290 - 280) = 10\text{m}$ $h' = (h \cdot pb) / x$ $h' = 7\text{m}$

P nin birinci yapısal yüzeydeki yüksekliği=287m

3. Üçüncü aşamada, topografik konturlar ve birinci yüzeye ait yapısal konturlar yokmuş gibi P noktasının yüksekliği ikinci yapısal yüzey için yeniden hesaplanır.



$h = (250 - 240) = 10\text{m}$ $h' = (h \cdot pb) / x$ $h' = 3\text{m}$

P nin birinci yapısal yüzeydeki yüksekliği=243m

DÜŞEY KESİT (KUYU LOGU)

Her bir yüzey için bulunan yükseklik değerleri derinlik, ve düşey kalınlık değerleri ile beraber bir diyagram üzerinde gösterilir.

Yükseklik (m)	P noktası	(Düşey kalınlık)	Derinlik (m)
305			0
287		(18m)	18
243	?	(44m)	62

NOT-1: Yapısal yüzey sayısının ikiden fazla olması yapılacak işlemleri değiştirmez. yukarıda olduğu gibi eklenecek yeni yüzeyler için ayrıca yeni yükseklik değerleri bulunarak kesite eklenir.

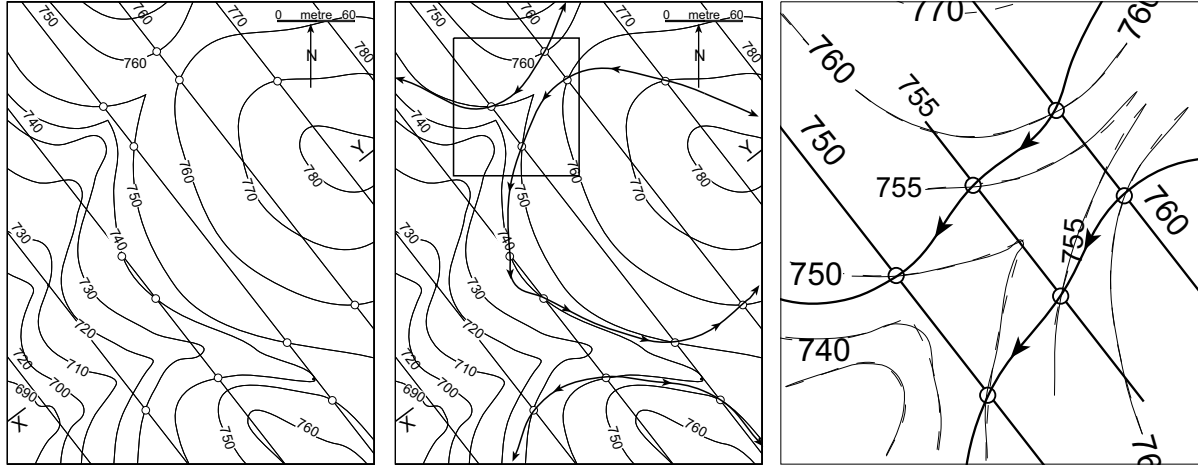
NOT-2: Yapısal yüzey veya yüzeylerin yüksekliği topografik yükseklikten fazla olması durumu yapısal yüzeyin kesitin alındığı noktadan kesilemediğini, yüzeyin o noktada topografyanın üzerinden geçtiğini gösterir. Dolayısıyla kesitte yer alamazlar.

Şekil 11. Verilen bir nokta için (P) kuyu logu hazırlanması. İlk önce P noktasının yüksekliği her bir yüzey için ayrı ayrı bulunur, daha sonra bulunan yükseklik değerlerinden düşey kalınlık ve derinlik değerleri hesaplanır sonuçlar bir diyagramda gösterilir.

1.9. Topografik ve yapısal konturlar yardımı ile formasyon sınırlarının Çizilmesi

Jeolojik birimlerin topografya üzerinde yüzlek (mostra) verebilmeleri için doğal olarak yapısal konturları ile topografik konturların eşit yükseklikte olması gerekir. Eğer bir formasyon yeryüzünde görülebiliyorsa, o noktada topografya ile aynı yüksekliğe sahip olmak durumundadır. Bu ilişkiyi kullanarak formasyon sınırları kolaylıkla çizilebilir. Yapılması gereken ilk şey topografik konturlarla yapısal konturların eşit yükseklikte kesiştiği noktaları bulmaktır. Kesişim noktaları bulunduktan sonra yapılacak iş yüksek yükseklik değerinden başlayarak kesişim çizgilerinin birleştirilmesidir. Birleştirme

işlemi sırasında bazı çizgileri birleştirmek problemlili olabilir. Bu noktalar genelde bir noktanın birden fazla nokta ile birleşme ihtimalinin olduğu durumlar ve topografyanın çok yüksek eğimli yani çok sık konturlu olduğu durumlar veya birleştirilecek çizgi sayısının fazla olmadığı durumlardır. Bu tip durumlarda ara konturlar yaklaşık olarak (göz kararı) çizilerek çizgilerin hangi yönde gideceğine karar verilebilir. Şekil 12'da formasyon sınırlarının çizilimi gösterilmiştir.



Şekil 12. Formasyon sınırlarının çizilimi. En sağdaki şekil ortada küçük kutucukla gösterilen alanın büyütülmüş halidir. Ortadaki ve en sağdaki şekilde de gösterildiği gibi formasyon sınırlarının çizimini kolaylaştırmak için istenirse 755 konturunda olduğu gibi ara konturlar çizilerek daha hassas derecede sınırın gidiş yönü belirlenebilir. Gerekirse bu işlem çok daha küçük değerler için ara konturlar (örneğin 756, 757, 758, 759... gibi) çizilerek daha sağlıklı sonuçlar elde edilebilir. Yukarıdaki örnekte 755 konturu hem topografik konturlar için hem de yapısal konturlar için çizilerek iki farklı kesişim noktası elde edilmiş dolayısıyla işlem kolaylaştırılmıştır.

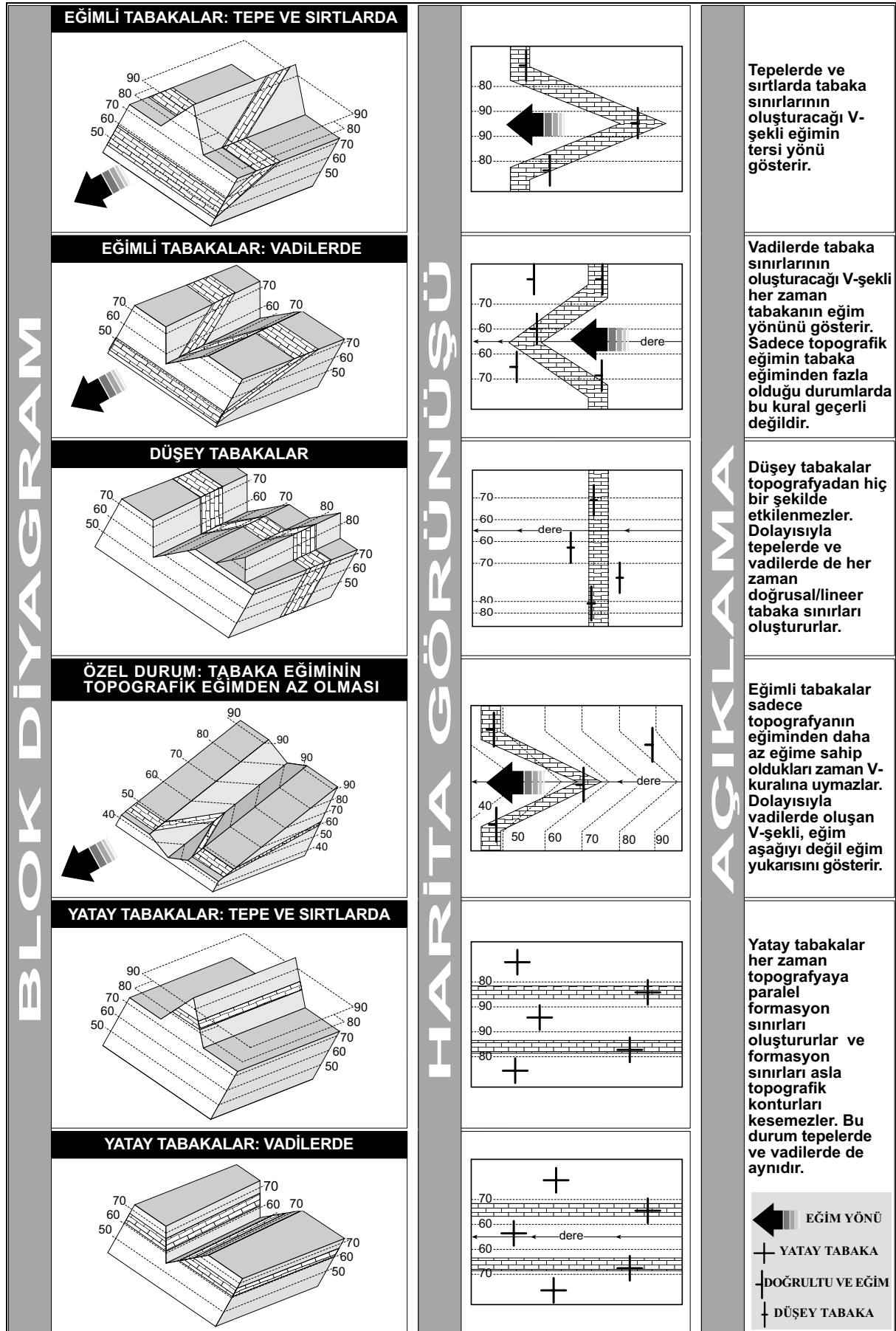
1.10. Eğimli tabakaların özellikleri

Haritalarda eğimli tabakaların sınır şekilleri eğim miktarları ve topografyanın şekli ile kontrol edilirler (Şekil 13). Yüksek eğime sahip tabakalar topografyadan az etkilenirken, az eğimli ve yatay tabakalar topografyadan daha fazla etkilenirler. Dolayısıyla yüksek eğimli tabakaların sınır şekilleri doğru veya yarı doğruya benzerken, az eğimli tabakaların sınır şekilleri çok engebeli bir arazide aşırı derecede girintili çıkıntılı çizgiler şeklinde gözükürler. Düşey tabakalar topografyadan hiç bir şekilde etkilenmez ve haritalarda düz çizgi olarak gözükürler. Eğim miktarları ne olursa olsun eğimli tabakaların sınırları vadilerde V-şekli oluştururlar. V-şeklinin sivri kısmı (yani v-harfinin alt kısmı) her zaman eğim aşağısını gösterir. Bu ilişkiye jeolojide V-kuralı denir. V-kuralı sadece topografik eğimin tabaka eğiminden fazla olduğu durumlarda geçerli değildir (Bakınız Şekil 13). Ayrıca tepelerde ve sırtlarda V-kuralı tersine çalışır. Yani, V-şeklinin alt kısmı (sivri ucu) vadilere olduğu gibi eğim aşağısını değil tersine eğim yukarıyı gösterir.

Yatay tabakaların sınır şekilleri düşey ve eğimli tabakaların aksine topografyadan fazlası ile etkilenirler. Yatay tabakalar topografik konturları takip ederler ve her zaman topografik konturlara paraleldirler. Bu nedenle yatay tabakaların şekilleri topografik konturlarda olduğu gibi aşırı derece kıvrımlı ve düzensiz şekillidirler. Yatay tabakaların eğim miktarı doğal olarak topografik eğimden az olacağından V-kuralı geçerli değildir.

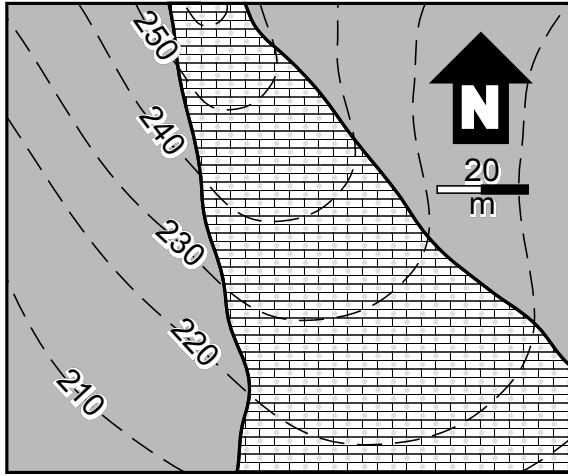
1.11. Topografik konturlar ve tabaka sınırlarını kullanarak yapısal konturların çizilmesi

Jeolojik haritalarda, topografik konturlarla formasyon sınırlarının kesiştiği noktalar, o formasyon sınırının oluşturacağı yapısal konturlarla, topografik konturların aynı yüksekliğe sahip olduğu noktalardır. Yani, yapısal konturun değeri topografik konturla aynı sayısal değeri taşır. Formasyona ait yapısal konturları çizmek için formasyon sınırı boyunca topografik konturlarla formasyon sınırının kesiştiği tüm noktalar işaretlenir. Daha sonra aynı yüksekliğine sahip noktalar birleştirilerek o formasyon sınırına ait yapısal konturlar elde edilmiş olur. Eşit ve bir birlerine paralel konturlar o formasyon yüzeyinin düzlemsel olduğunu ve her yerde eğiminin aynı olduğunu gösterir. Ters durum, düzlemsel olmayan, düzensiz bir geometriye sahip yüzeyi gösterir. Formasyon sınırlarını kullanarak yapısal konturların çizilmesi Şekil 14'de detaylı bir şekilde anlatılmıştır.



Şekil 13. Tabaka sınırlarının değişik topografik şekillere göre oluşturabilecekleri şekiller ve V-kuralı.

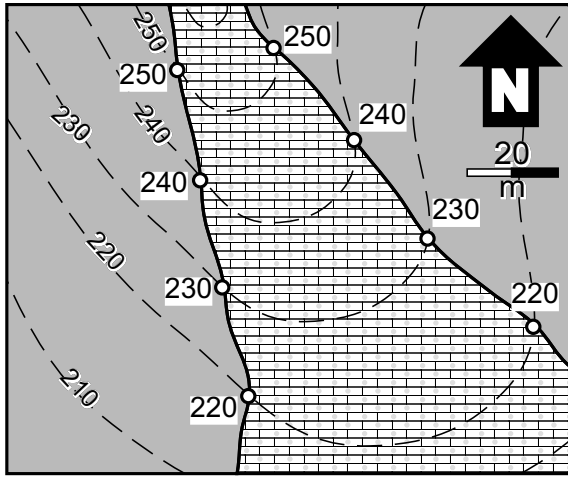
TOPOGRAFIK KONTURLAR VE FORMASYON SINIRLARINDAN YAPISAL KONTURLARIN BELIRLENMESI



PROBLEM

Yandaki şekilde topografik konturlar ve jeolojik formasyon sınırları verilmiştir. Bu verilere göre Bozkır Formasyonu ile İncik Formasyonunun sınırının yapısal konturlarını çiziniz.

-  Topografik konturlar
-  Bozkır Formasyonu
-  İncik Formasyonu

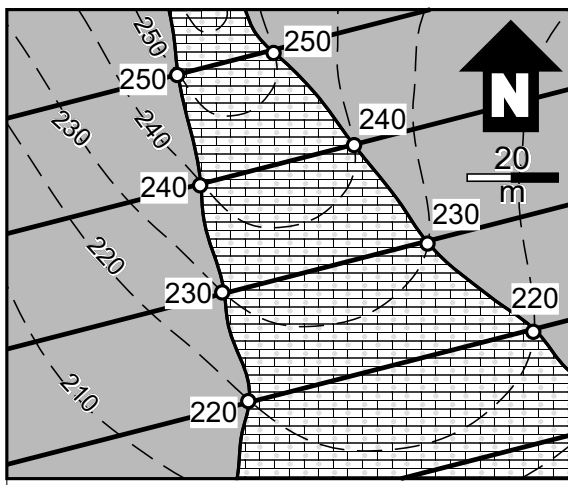


ÇÖZÜM

İlk aşama, topografik konturlarla formasyon sınırlarının kesiştiği noktaların belirlenmesidir.

* yandaki şekilde 250m-220m arasındaki konturlar ile formasyon sınırlarının kesişimleri yuvarlak içine alınmıştır

Son aşama, aynı yükseklikteki noktaların birleştirilmesidir. Böylece Bozkır Formasyonu ile İncik Formasyonu sınırının yapısal konturları elde edilmiş olur.



* yandaki şekilde yapısal konturlar bir birine paralel ve eşit aralıktadır. Bu özellik bize yapısal konturların çizildiği yüzeyin düzlemsel olduğunu yani her yerde eğim yönü ve eğim miktarının aynı olduğunu söylemektedir.

Şekil 14. Topografik konturlar ve formasyon sınırlarını kullanarak yapısal konturların çizilmesi.

1.12. Kalınlık hesapları

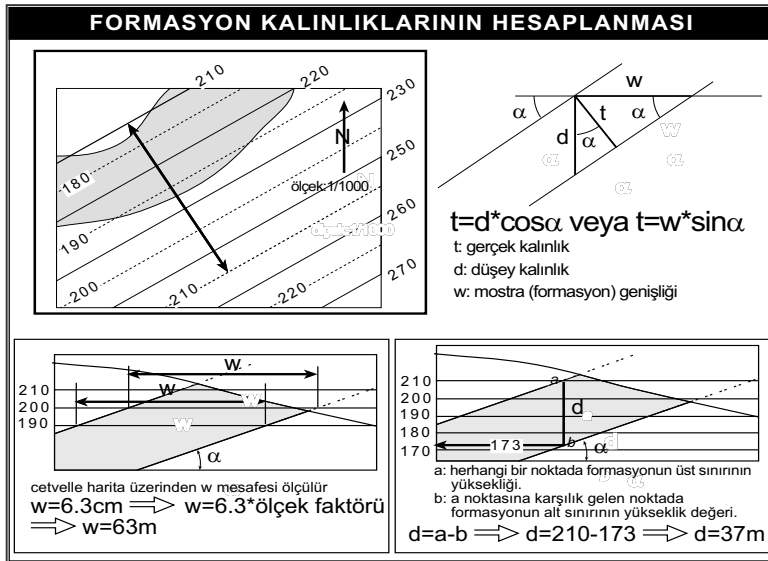
Temel olarak tabaka kalınlıkları ile ilgili iki farklı kavram vardır. Bunlar bir tabakanın düşey kalınlığı ve gerçek kalınlığıdır. Düşey kalınlık genelde bir sondajda sondajın o birimi ne hangi ölçüde keseceği ile ilgilidir, dolayısıyla önemli bir veridir. Gerçek kalınlık (stratigrafik kalınlık olarak da adlandırılır) bir birimin alt ve üst sınırları arasındaki en kısa mesafedir. Dolayısıyla, o birimin ne miktarda çökeldiği ile ilişkilidir. Çökeltme sonrası diyajenez ve kompaksiyonun ne oranda olduğunu bilemediğimiz için gerçekte çökeltmeden hemen sonraki kalınlığı bulmak ancak sıkışma oranının bilinmesi ile mümkündür. Bu konu bu dersin amacının dışındadır. Bizim için önemli olan şu anda o birimin alt ve üst sınırları arasındaki mesafe yani gerçek kalınlık ve eğimli tabakalar için düşey kalınlık miktarının bulunmasıdır.

Bir birimin düşey veya gerçek kalınlığının bulunması en kolay olarak onun alt ve üst yüzeye ait yapısal konturları kullanılarak bulunur. Burada kalınlık hesaplamalarında kullanılmak üzere en basit iki yöntem anlatılacaktır. 1. Formasyon genişliği yöntemi (w), ve 2. kontur çakıştırma yöntemi (d-düşey kalınlık).

I. Formasyon (mostra) genişliği kullanılarak

1. İlk önce kalınlığı bulunacak formasyonun alt ve üst yüzeylerine ait aynı yükseklik değerlerine sahip iki kontur belirlenir.
2. Belirlenen bu iki kontur arasındaki dik uzaklık o formasyonun sınırlarının genişliğini (formasyon/mostra genişliği) yani w değerini verir.
3. Bulduğumuz w değerini kullanarak Şekil 15. de gösterilen ilişki kurulur. Bu ilişkiye göre gerçek kalınlık (t) formülde yerine konularak bulunur. Burada dikakete edilmesi gereken nokta işlem yapılırken harita ölçeğine dikkat edilmesi gerekir. Yani uzunluk çevirimleri harita ölçeğine göre olmalıdır.

II. Düşey kalınlık kullanarak/kontur çakıştırma



Şekil 15. Tabaka kalınlıklarının hesaplanması.

çarpılarak da bulunabilir (Şekil 15).

2.12.1 Görünür kalınlıklar

Bir tabakanın veya jeolojik birimin alt veya üst sınırı bilinmiyorsa, o tabakanın veya birimin gerçek kalınlığını bilebilimemiz mümkün değildir. Ama topografya ve o birimin alt veya üst yüzeyine ait yapısal konturlar kullanılarak o birimin minimum görünür kalınlığını hesaplamak mümkündür.

Örneğin bir birimin üst sınırı biliniyor fakat alt sınır bilinmiyor olsun. Bu durumda yapılacak şey o birimin üstüne ait yapısal konturlarla topografya arasındaki maksimum fark o birimin minimum görünür eğimi olacaktır. Unutulmaması gerek şey, topografya değerlerinin kontur değerlerinden az olması gerektir. Diğer yandan, alt sınırı bilinen fakat üst sınırı bilinmeyen bir birim için yine aynı işlem kullanılır fakat bu kez topografya değerleri yapısal kontur değerlerinden daha büyük olmalıdır.

2. KIVRIMLI TABAKALAR VE KIVRIM TÜRLERİ

Kıvrımlar sünek deformasyonun en iyi şekilde yansıtıldığı jeolojik yapılardır. Kıvrımlar magmatik, sedimanter ve metamorfik olmak üzere her türlü kayada gelişebilirler. Kıvrımlar sedimenter kayalar slump (kayma, heyalan), volkanik ve sokulum kayalarda akma sonucu ilksel olduğu gibi, tektonik hareketlere bağlı olarak ikincil olabilirler. Tektonik olarak kıvrımlar kayacın uygulanan stresin yönüne ve büyüklüğüne bağlı olarak yeni stress şartlarına kendi iç yapısını uyarlaması sonucu oluşurlar. Dolayısıyla kıvrımlar kayacın rhyolojisine (malzemenin değişik sıcaklık ve stress altındaki davranış biçimleri), deformasyon şartlarına ve deformasyon hızına bağlı olarak çok farklı geometrilere oluşurlar.

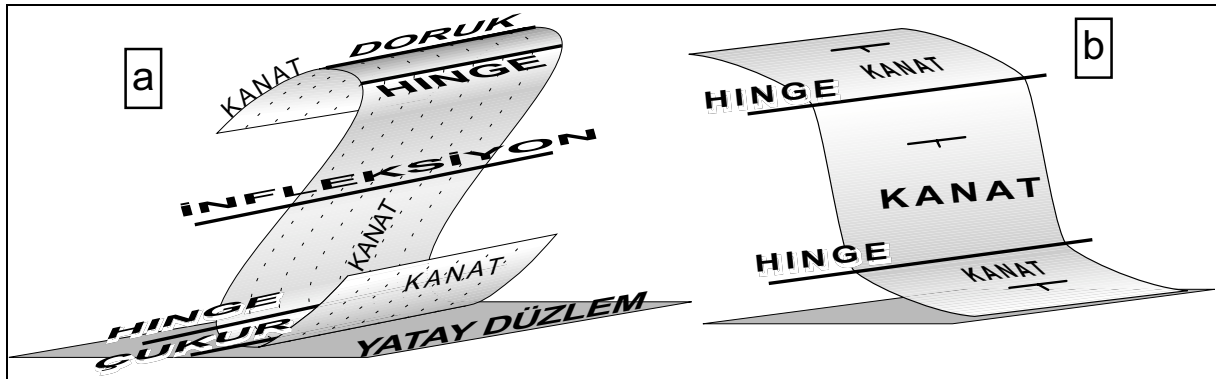
Diğer yandan kıvrımların oluştukları kayacın içerisinde görülebilmeleri için kayalar tabaklanmalı veya katmanlanmalı olmalıdır aksi halde kıvrımlar izotropik bir kayacın içerisinde görülemeyebilirler. Katmanlanma sedimenter kayalarda tabakalanma veya laminalanma şeklinde, magmatik kayalarda akıntı katmanlanması ve metamorfik kayalarda metamorfik foliyasyon türünde olabilirler.

Bir kıvrım en yalın olarak **şekli** ve **oryantasyonu** ile tanımlanır. Şekil ve oryantasyon ya arazide/yerinde veya oryantasyondan bağımsız olarak, kıvrımı oluşturan mekanizma hakkında ip uçları verecek şekilde, el numunesinde tanımlanır. Oryantasyon ise bir referansa göre (örneğin yatay düzlem ve kuzey yönü) dolayısıyla en iyi şekilde arazide tanımlanır. Kıvrımların tanımlanması bağlamında şekil dört parametre ile ifade edilir. Bunlar, 1. kıvrımı oluşturan yüzeylerin (kanatların) formu (görünüşüne/tipine), 2. kıvrımı oluşturan kıvrım katmanlarının formu, 3. ortak bir düzleme sahip olan kıvrımlanmış yüzeylerin formu, 4. profil düzleminde kıvrımlanmış tek bir yüzeyin şekline.

2.1. Kıvrım yüzeylerinin şekli

Kıvrım yüzeylerinin şekilleri bir çok değişik kavramla açıklanır. Bunlardan bazıları aşağıda verilmiş ve Şekil 16'de gösterilmiştir.

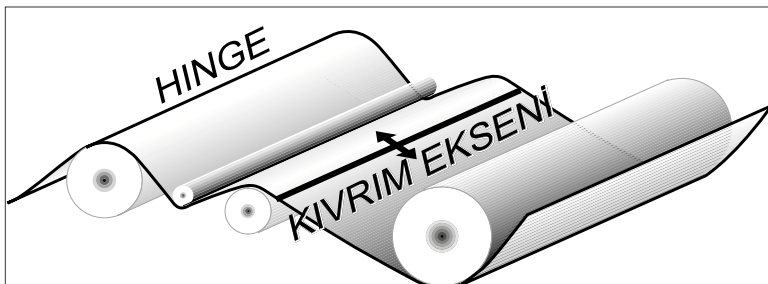
Hinge çizgisi: kıvrımlanmış bir yüzey üzerinde maximum eğriliğin olduğu veya kıvrımlanma yarıçapının minimum olduğu çizgidir (Şekil 16)



Şekil 16. Tek bir kıvrım yüzeyinin tanımlanmasında kullanılan temel geometrik öğeler. a) doruk ve çukurluğa sahip bir kıvrım. b) kanatları aynı yöne eğimli bir kıvrım doruk ve çukurluk çizgisine sahip değildir.

Hinge Zonu: Hinge çizgisinin içinde bulunduğu, maximum eğriliğin olduğu alan.

Doruk Çizgisi: Bir kıvrımın yatay bir düzleme (yer yüzüne) göre eğim yönünün değiştiği çizgiye verilen isimdir. Doruk çizgisi boyunca, kıvrım kanatlarının eğim yönü bir birinden uzağı işaret edecek şekildedirler (bakınız Şekil 16a). Eğer bir kıvrım eğimli ise ve kanatları hep aynı yönde (fakat farklı miktarlarda) ise, bu tip kıvrımlar hinge çizgilerine sahip olmalarına rağmen doruk ve çukurluk çizgisine sahip değildirler (bakınız Şekil 16b).

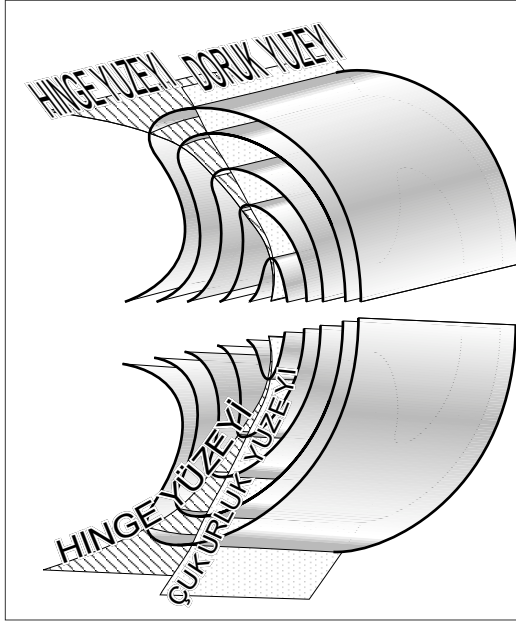


Şekil 17. Silindirik kıvrım kavramı.

Çukurluk Çizgisi: Doruk çizgisinde olduğu gibi bir kıvrımın kanatlarının eğim yönünün yatay düzleme göre değiştiği çizgidir. Çukurluk çizgisi boyunca kanatların eğimi bir birlerine doğrudur.

Kıvrım Eksen: Bir çok kıvrım birçok silindirin birleşiminden oluşmuş gibi yaklaşık olarak silindirik şekillidir (Şekil 17). Bu silindirlerin oryantasyonu bu ders kapsamında daha ilerideki konularda da göreceğimiz gibi istatistiksel yöntemler kullanılarak bulunur. Silindirik kıvrımlar silindirlerin eksenine paralel sanal bir çizginin kendisine paralel bir şekilde (ama serbestce) boşlukta hareket ettirilmesi ile oluşurlar. Bu sanal çizgiye kıvrım eksen denir.

Kıvrım Kanadı: Hinge zonları arasında kalan fakat hinge zonlarına göre daha az eğriliğe sahip kıvrımlanmış yüzeylere kanat denir (Şekil 16).



Şekil 18. Hinge, doruk ve çukurluk yüzeyleri

Hinge Yüzeyi: Bir kıvrım seti içerisinde, bir birlerini takip eden hinge çizgilerini içeren yüzeye hinge yüzeyi denir (Şekil 18). Hinge yüzeyleri bazen kıvrım eksen düzlemi olarak adlandırılırlar. Genelde hinge yüzeyleri eğridir. Düz olmaları durumunda hinge düzlemi veya eksen düzlemi olarak adlandırılırlar.

Doruk Yüzeyi: Hinge yüzeyinde olduğu gibi doruk yüzeyi bir kıvrım boyunca doruk noktalarını içeren yüzeydir. Doruk yüzeyleri de eğri veya düzlemsel olabilir (Şekil 17).

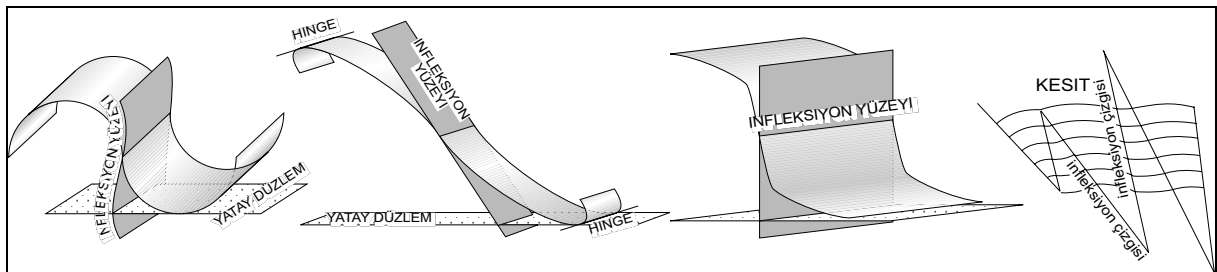
Çukurluk Yüzeyi: Hinge ve doruk yüzeylerinde olduğu gibi çukurluk yüzeyi bir kıvrımda bir birini takip eden kıvrımların çukur çizgilerini içeren yüzeydir. Eğri veya düzlemsel olabilir (Şekil 18).

Aynı sınır yüzeylerine sahip olan dalga şeklindeki kıvrımlar Şekil 20'de de verildiği gibi bazı kavramlarla tanımlanırlar. Bunlar;

İnfleksiyon Yüzeyi: Bir kıvrım boyunca, kıvrım kanatlarının konveksten konkava (veya tersi) dönüştüğü noktaları birleştiren çizgiye infleksiyon çizgisi denir. Bir kıvrım paketinde infleksiyon çizgilerini birleştiren yüzeye infleksiyon yüzeyi denir. İnfleksiyon çizgisi ve yüzeyi her zaman hinge çizgisinden eşit uzaklıkta değildir. İnfleksiyon yüzeyinin pozisyonunu kıvrımın geometrisi belirler. Ayrıca infleksiyon yüzeyi düzlemsel olduğu gibi bazen eğri bir yüzey şeklindedir. (Şekil 19).

Kıvrım Sistemi ve Kıvrım Seti: Bir birleri ile alansal (spatial) ve jenetik (oluşum biçimi) olarak ilişkili kıvrımlara kıvrım sistemi denir. Bir birlerine yaklaşık olarak benzer boyutta, özelliklerde ve aynı jenez/orijine sahip olarak oluşmuş iki veya daha fazla kıvrım paketi kıvrım seti olarak adlandırılır (Şekil 20).

Medyan Yüzeyi: Bir kıvrım paketinde infleksiyon noktalarından geçen düzleme median yüzeyi denir (Şekil 20). Bir çok kıvrım setinde median yüzeyi kıvrımlar simetrik olsun veya olmasın hinge çizgilerinden eşit uzaklıkta oluşurken, bazı kıvrım setlerinde median yüzeyi hinge çizgilerinden eşit uzaklıkta değildirler (Şekil 20).



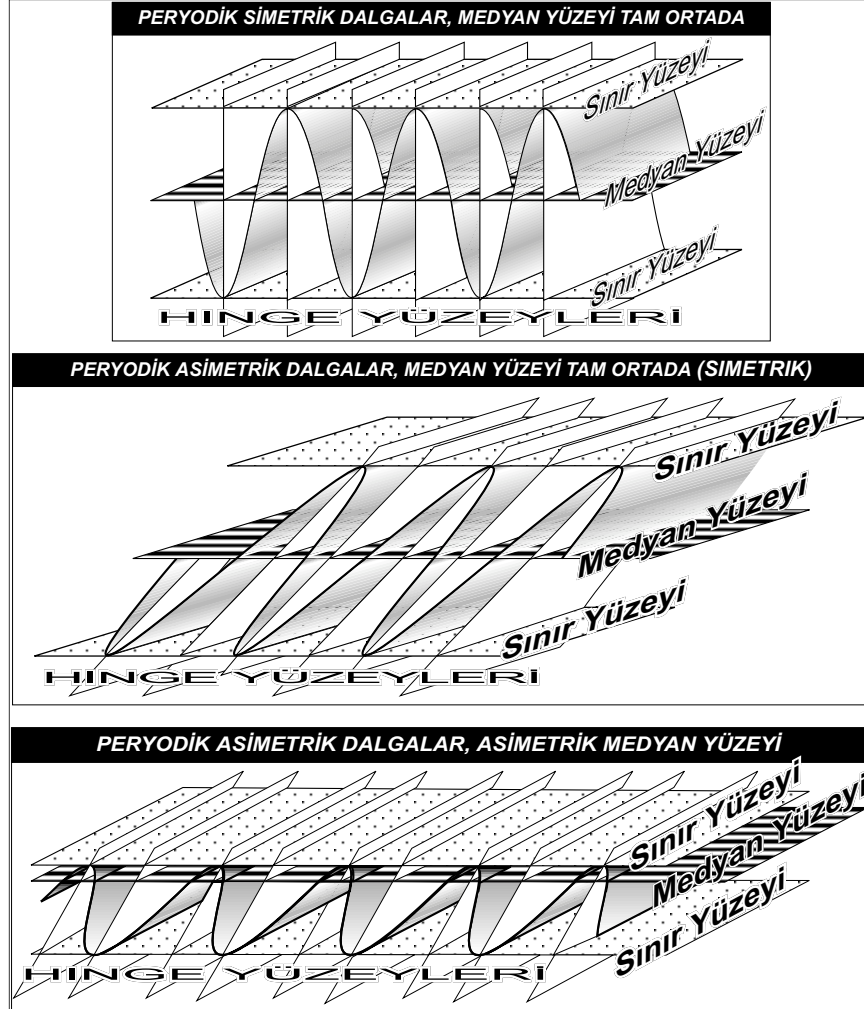
Şekil 19. İnfleksiyon yüzeyleri. İnfleksiyon çizgileri Busk metoduna göre enine kesit alımlarında konkav/konveks yüzeylerin ayırımında ve kıvrım çekirdeklerinin belirlenmesinde (infleksiyon çizgilerinin kesişim noktası) yardımcı olurlar.

Sınır/Zarf Yüzeyi: Dalga biçimli bir kıvrım pakelinin alt ve üst sınırını belirleyen yüzeye sınır yüzeyi veya zarf yüzeyi denir. Sınır yüzeyleri, bir birini takip eden kıvrımların hinge çizgilerine çizilecek teğet düzlemleridir (Şekil 20).

Kavuşma Yönü: Kıvrım kanatları bir birleri ile üç temel biçimde kavuşurlar (kenetlenirler). Yani kıvrım kanatlarının bir birine göre eğim yönlerine bağlı üç değişik kıvrım çeşidi vardır (Şekil 21).

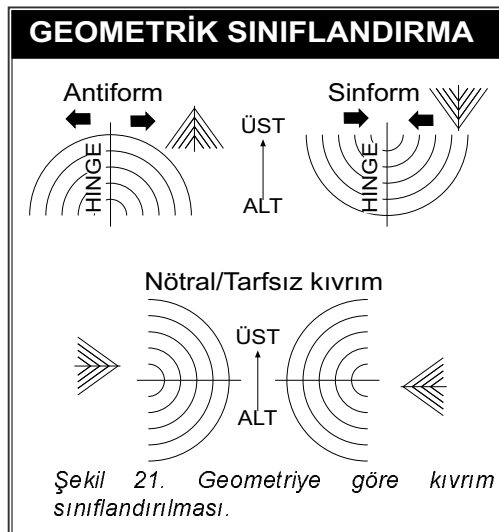
1. **Sinform:** Kıvrım kanatlarının eğimi bir birlerini gösterecek şekildedir. Her ikisinde hinge doğrudur (Şekil 21).

2. **Antiform:** Kıvrım kanatlarının eğimi bir birlerinden uzağı gösterecek şekildedir. Her ikisinde hingeden uzağa doğrudur (Şekil 21).



Şekil 20. Kıvrım paketlerinin sınıflandırılmasında kullanılan elementler

tabakayı en dış kısmında barındıran kıvrımlara verilen isimdir (Şekil 22).



Şekil 21. Geometriye göre kıvrım sınıflandırılması.

3. **Nötral/tarfsız Kıvrım:** Kıvrım kanatlarının eğimi aynı yöndedir (Şekil 21).

Stratigrafik ilişkilerine göre sinform ve antiformal kıvrımlar iki temel gruba ayrılırlar. Bunlar;

Antiklinal: Syapı olarak antiforma benzer fakat en genç tabaka en dışta, en yaşlı tabaka ise çekirdek kısmındadır (Şekil 22).

Senklinal: Yapı olarak sinforma benzer fakat en genç tabaka çekirdek kısmında, en yaşlı tabaka ise en dıştadır (Şekil 22).

Senklinal ve antiklinaller yatay bir düzleme (veya yeryüzüne) göre aldıkları pozisyona bağlı olarak ayrıca dört alt sınıfa ayrılırlar. Bunlar;

Antiformal Senklinal: Yapı olarak antiforma beneyen fakat en iç kısımda en genç tabakayı barındıran kıvrımlara denir (Şekil 22).

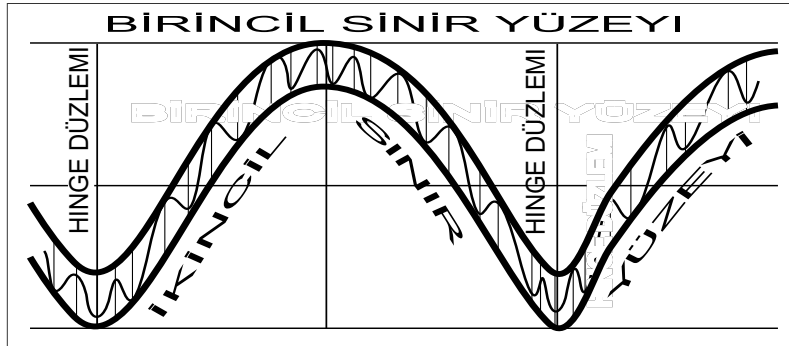
Sinformal Antiklinal: Yapısal olarak sinforma benzeyen fakat en genç

Bir çok büyük ölçekli kıvrımın tabakaları arasında kıvrımın oluşum mekanizmasına bağlı olarak daha küçük ölçekli kıvrımlar oluşur. Özellikle fleksürel kayma sonucu oluşmuş kıvrımlarda, kanatlarda deformasyonun yarattığı hacim değişikliğine uyum göstermek için küçük kıvrımlar oluşur. Dolayısıyla büyük/ana kıvrım ile küçük kıvrımlar büyüklük ve aralarındaki oluşum mekanizmalarına bağlı olarak birincil kıvrımlar ve ikincil kıvrımlar olarak sınıflandırılırlar. Burada, birincil ve ikincil oluşum sırasını değil geometrik büyüklüğü ifade eder. İkincil kıvrımlar genelde hep birincil kıvrımların kanatlarında oluşurlar dolayısıyla birincil kıvrım kanatlarındaki tabakalar ikincil kıvrımların sınır/zarf yüzeylerini oluştururlar (Şekil 23). Burada unutulmaması gereken en önemli özellik, birincil ve ikincil kıvrımların kıvrım eksenleri düzlemleri ve hinge yüzeyleri bir birlerine paraleldir.

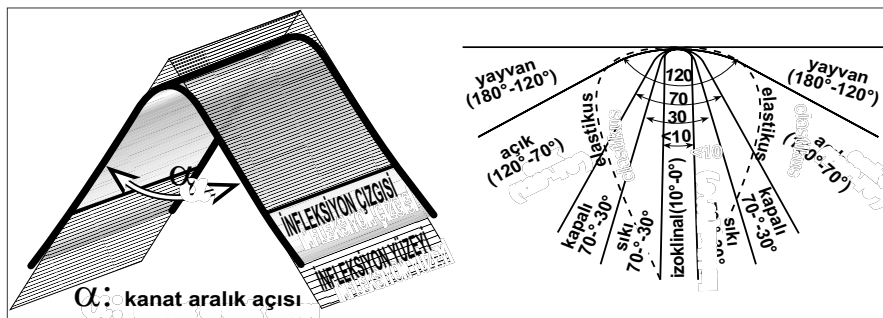
Ayrıca, kıvrım eksenleri aynıdır. İkincil kıvrımlar parazitik kıvrımlar olarak da adlandırılırlar.



Şekil 22. Kıvrımların geometri ve stratigrafiye göre sınıflandırılması.



Şekil 23. Bir birincil kıvrım içerisinde gelişmiş ikincil kıvrımlar. Birincil ve ikincil kıvrımların hinge düzlemlerinin paralel olmasına ve birincil kıvrımların tabaka sınırlarının ikincil kıvrımların sınır yüzeylerini oluşturduğuna dikkat ediniz.



Şekil 24. Kıvrımların profil düzleminde kanat açıklığına göre sınıflandırılması

2.2. Kıvrımların Profil düzleminde sınıflandırılması

Kıvrımlarda profil düzlemi kıvrımın eksenine dik yöndeki enine kesit kastedilir. Profil düzleminde kıvrım şekilleri ayrıca bir sınıflandırmaya tabii tutulabilir.

Sıklık/kanat aralığı: Bir kıvrımın sıklığı ile kanatları arasındaki açı kastedilir. Bu açı kıvrımın infleksiyon çizgileri arasında ölçülür (Şekil 24)

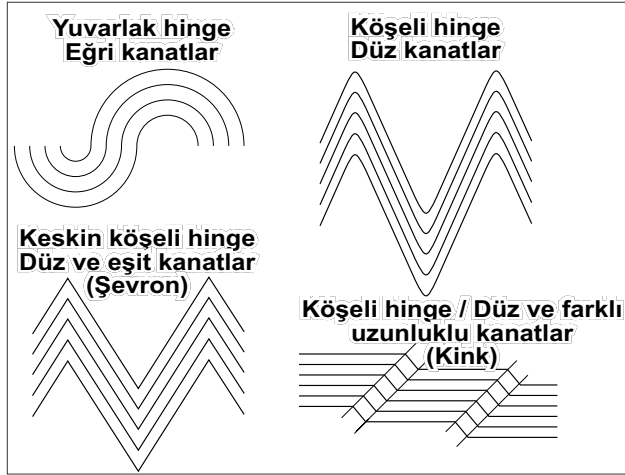
Kanat açıklık açılara kıvrımlar Şekil 24 gösterildiği gibi 180°'den 0°'ye değişen değerlerde değişik açısız gruplara ayrılmıştır. Yayvan kıvrımlar 180° ile 120° arasında açı değerine sahiptir. Açık kıvrımlar ise 120° ile 70°'dir. Kapalı kıvrımlar ise 70° ile 30°, sıkı kıvrımlar 30° ile 10° arasında ve izoklinal kıvrımlar 10°'den daha düşük kanat arası açı değerine sahiptirler. Genelde izoklinal kıvrımların kanatları bir birine paralel olarak kabul edilirler. Kanat aralık açısı sıfırdan küçük olan içe kapanmış kıvrımlar elastik olarak adlandırılır (Şekil 24). Gerçek hayatta, kanatlar arası açılar yukarıda ve Şekil 24'de verildiği kadar net değildir. Bir kıvrım boyunca bu açılar değişebilir. Bu tip durumlarda genelde ortalama değerler kullanılır veya açı değeri göz kararı belirlenir. En doğru yöntem ise bu kitabın daha ileriki kısımlarında da bahsedileceği gibi bir istatistiksel yöntem olan kontur diyagramları vasıtasıyla belirlenirler.

Hinge/kanat Şekli:

Kıvrımların profil düzleminde kanat şekli ve hinge biçimine göre ayrıca sınıflandırılırlar. Kıvrımların hingeleri yuvarlar, köşeli veya keskin köşeli olabilirler (Şekil 25).

Keskin köşeli ve eşit kanat uzunluklarına

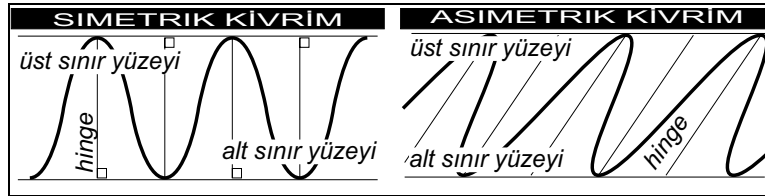
sahip kıvrımlar **Şevron (chevron)** kıvrımlar olarak adlandırılırlar. Farklı kanat uzunluklarına sahip köşeli kıvrımlar **kink** kıvrımlar olarak adlandırılırlar. Şevron ve kink kıvrımlarda kanatlar düz veya eğri olabilir.



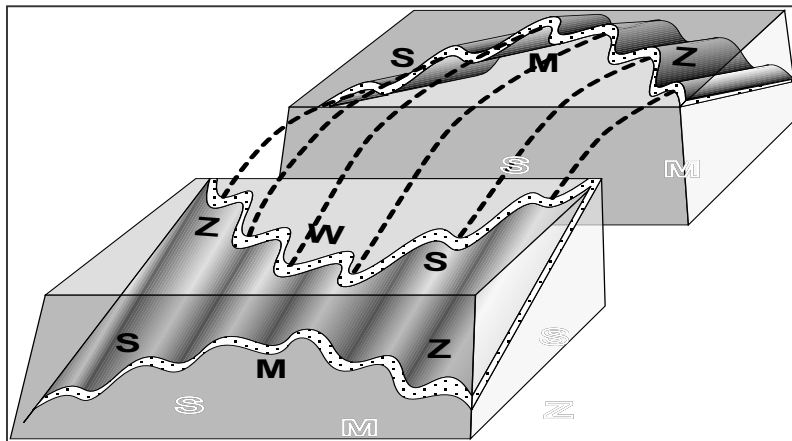
Şekil 25. Kıvrımların hinge/kanat şekline göre sınıflandırılması

Kıvrımların hinge/kanat oranlarına bağlı olarak bir **P-parametresi** ve bu parametreye bağlı bir kıvrım sınıflandırması önermiştir (Şekil 26) ve Tablo 1.

Kıvrım Simetrisi: Bir kıvrımın hinge düzlemi eğer simetri düzlemi ise, yani hinge düzlemine göre kıvrımın bir tarafı diğer tarafının aynadaki görüntüsü gibi ise bu tip kıvrımlara simetrik kıvrımlar denir. Simetrik olmayan kıvrımlar asimettir ve bir kanat diğerinden her zaman daha kısadır. Bir kıvrım seti eğer set içerisindeki kıvrımların hepsi simetrik ise simetrik olarak kabul edilir. Bu durumda hinge düzlemi sınır ve medyan yüzelerine diktir (Şekil 27). Aynı şekilde eğer bir kıvrım seti içerisindeki kıvrımların hinge yüzeyleri sınır yüzelerine dik değilse kıvrım seti asimettir (Şekil 27).

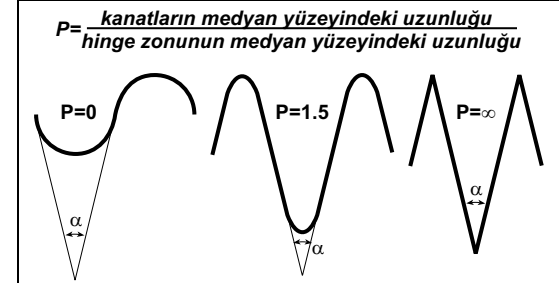


Şekil 27. Profil düzleminde kıvrım simetrisi ve asimetrisi. Asimmetrik kıvrımların bir kanadı diğerinden daha kısadır.



Şekil 28. Ana kıvrım üzerindeki parazitik/ ikincil kıvrımlar ve ikincil kıvrımların adlandırılması.

Hinge/kanat oranı: Hinge zonu ile kanat genişlikleri bir kıvrımın geometrisini etkileyen en önemli öğelerden ikisidir. Ramsey (1967)



Şekil 26. P-parametresine göre sınıflandırma. Aynı kanat açıklığına sahip (α) kıvrımlardaki P değerinin değişimine dikkat ediniz.

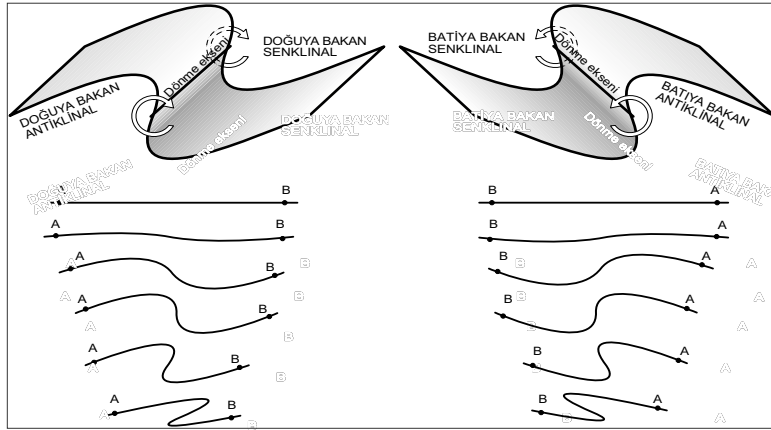
Tablo 1. Hinge/kanat (P) oranına göre sınıflandırma

Kıvrım adı	Tanım	P değeri
Şevron/kink	Çok dar hinge zonu	20 - ∞
Köşeli	Dar hinge zonu	5-20
Yarı yuvarlak	Geniş hinge zonu	1-5
Yuvarlak	Çok geniş hinge zonu	0*-1

Profil düzleminde, özellikle ikincil kıvrımlar, alfabedeki harflere olan benzerliklerine göre de, S, Z, M, W kıvrımları gibi adlandırılırlar (Şekil 28). Bu tip kıvrımlar aslında arazide hangi yönden bakıldığı ile ilgilidir. Şekil 28'da belirtildiği gibi bir yönden bakınca S-şeklinde gözükürken kıvrım başka bir bakış açısından Z olarak görülebilir.

Parazitik bir kıvrım seti içerisinde M ve W kıvrımları S-ve Z kıvrımlarına göre daha simetrikler ve kıvrımların çekirdek kısımlarında gelişirler.

Verjans: En yalın hali ile verjans asimmetrik bir kıvrım döndüğü yöndür (Şekil 28). Verjans da bakılan yöne göre değişen bir olgudur. Örneğin belli bir açıdan baktığımızda verjansı saat yönünde gözükürken bir kıvrıma tam ters yönden bakarsak verjans saat



Şekil 29. Kıvrımlarda verjans. Soldaki kıvrım doğuya doğru saat yönünde dönerken sağdaki kıvrım saat yönünün tersi yönde, batıya dönerek oluşmuştur

(kıvrım setinin orta noktası) olan bir kıvrım seti dalga boyu ve dalga yüksekliğine (amplitüd) bağlı olarak tanımlanabilir (Şekil 31A-C). Periyodik olarak gelişmiş fakat medyan yüzeyi kıvrım setinin orta noktasında olmayan kıvrım setleri için amplitüden bahsedilemez dalga boyundan bahsedilebilir. Eğer bir kıvrım setindeki kıvrımlar periyodik değil ve düzensiz olarak gelişmişlerse bu tip kıvrımlar için bir dalga boyu ve amplitüden bahsedilemez (Şekil 31D).

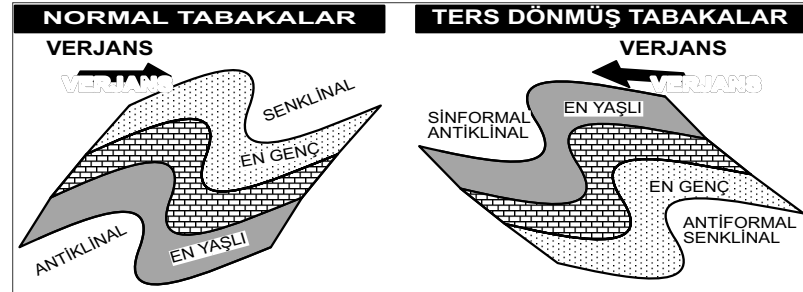
2.3 Kıvrımlarda Kalınlık değişimi

Kıvrımların genel geometrilerini tanımladıktan sonra, artık kıvrımlarda kalınlık değişimleri konusuna geçebiliriz. Kıvrımlar aslında tabakaların ve/veya dan ve değişik katmanların basınç ve sıcaklık altında deforme olarak kıvrılmasından oluşurlar. Kıvrılanmış bir tabaka boyunca tabaka kalınlığının değişip değişmemesi tabakaların kıvrılma sırasındaki bir birlerine göre düktilite (süneklik) farklarına bağlıdır. Bu fark, tabakaları oluşturan kayaların litolojik farklarına bağlıdır (Donath ve Parker 1964). Örneğin normal koşullarda kili litolojiler kumlu litolojilere göre daha sünektirler.

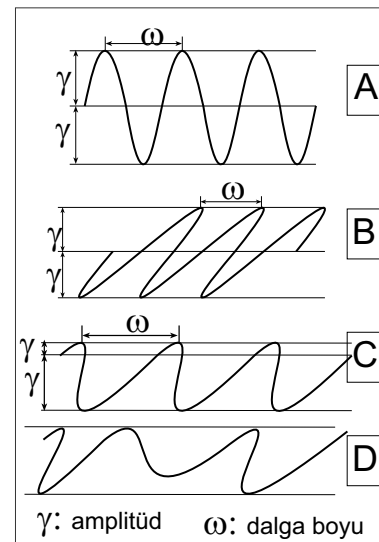
Kıvrım boyunca tabaka kalınlığı değişmeyen tabakalar genelde fleksürel kıvrılma sonucu oluşurlarken, bir çok kıvrımda olduğu gibi, tabaka kalınlıklarının henge bölgelerinin kanat kısımlarına göre daha fazla kalın olması bu tip kıvrımların plastik akma sonucu oluştuğunu gösterir. Dolayısıyla kıvrılma sürecine bağlı tabaka kalınlıklarındaki değişim, hem tabakalar arası litolojik farklılıklara bağlı düktilite değişimi hemde kıvrılma mekanizmasındaki farklılıkları yansıtır. Buna bağlı olarak Ramsey (1967) kıvrılanmış tabakaların morfolojik özelliklerini kullanarak bir sınıflandırma önermiştir. Bu sınıflandırmaya göre bir kıvrımın geometrisi aşağıdaki kriterlere bağlı olarak tanımlanabilir;

yönünün tersi yönde olduğu görülecektir (Şekil 29). Verjans stratigrafik anlamda birimlerin gençleşme yönünün belirlenmesinde de kullanılır. Normal (ters dönmemiş) durumlarda verjans stratigrafik gençleşmenin olduğu yöndür. Bu noktada dikkat edilmesi gereken konu kıvrımların ters dönüp dönmediğinin araştırılmasıdır. Eğer kıvrımlar ters döndü iseler stratigrafik ilişkiler ters olacak ve verjans tersi yönü gösterecektir (Şekil 30).

Boyut: Bir birine paralel periyodik olarak gelişmiş, medyan yüzeyi henge noktalarından eşit uzaklıkta



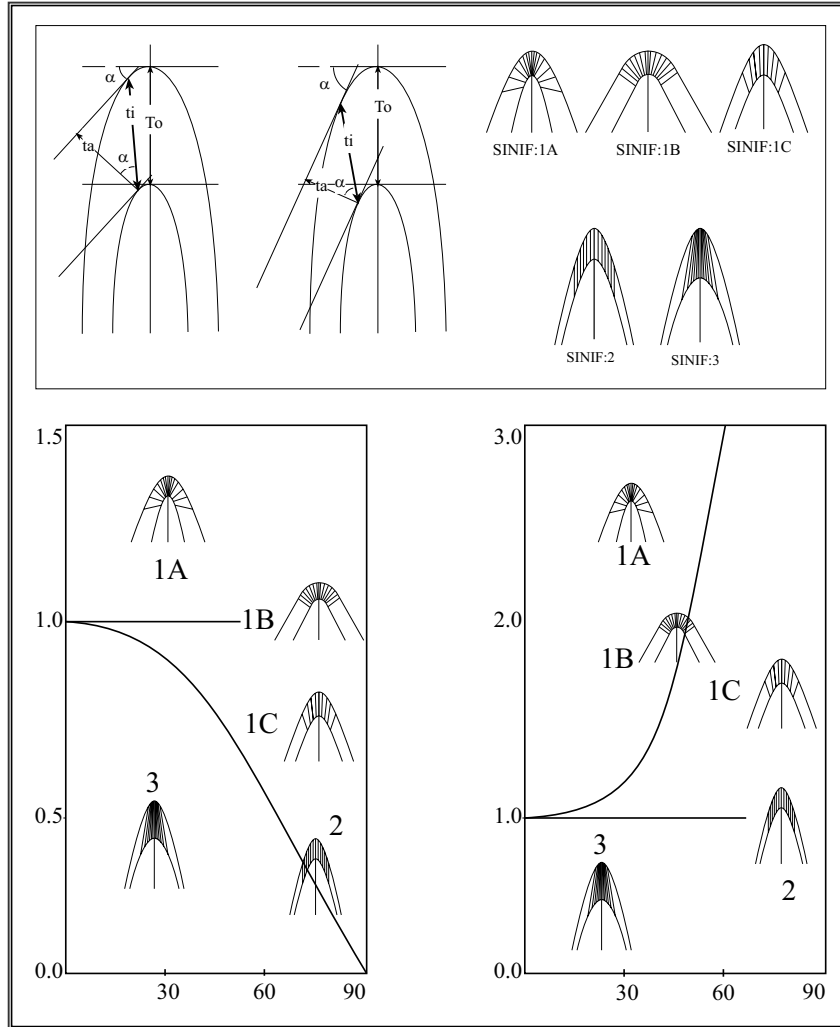
Şekil 30. Verjans stratigrafik gençleşme ilişkisi. Normal tabakalı durumda verjans gençleşme yönünü gösterirken, ters dönmüş tabakalarda verjans stratigrafik olarak yaşlanmanın olduğu yönü gösterecektir.



Şekil 31. Periyodik kıvrımlarda dalga boyu amplitüd ilişkisi.

1. Tabakaların görece kıvrılma derecesi: Bu yöntem eğim izagonları (Dip isagons) yöntemi de denir. Dip izagonları bir birini takip eden iki farklı yüzeydeki eşit eğim miktarına sahip noktalar belirlenir. Her bir yüzeydeki eşit eğim notasını birleştiren çizgiye dip izagonu denir (Şekil 31).

2. Tabakaların eşit eğim noktalarından geçen çizgi (teğet çizgisi) üç şekilde ifade edilebilir. 1)



2. Eksen çizgisine paralel mesafe (T_o). 3. izagonal mesafe (t_i) dip izagonun uzunluğu.

Kıvrımlardan alınacak profil eğer kıvrım yüzeylerinden geçen teğet çizgileri yatay olacak şekilde alınmış ise $t_a = T_o$ 'dur bu durumda $t = T(\cos\alpha)$ formülü geçerlidir. Bu ilişkiler kullanılarak Ramsey (1967) beş çeşit kıvrım tipi belirlemiştir (Şekil 31).

Sınıf 1A: Dip izagonları alt yüzeyde çok yakınsaktır, iç yüzeyin kıvrılma miktarı dış yüzeyden daha fazladır. En kısa t_i değeri hinge düzlemi boyunca.

Sınıf 1B: Orta derecede yakınsak izagonlar. Dış kıvrımın eğriliği iç kıvrımın eğriliğinden daha azdır. İzagonlar hem dış hemde ç kıvrım yüzeyine diktir. t_i kıvrım boyunca sabittir. T_o ise hinge boyunca en küçük değere sahiptir. U tip kıvrımlar paralel kıvrımlar veya konsantrik kıvrımlar olarak da adlandırılırlar.

Sınıf 1c: Dip izagonları çok

zayıf olarak yakınsaktır, dış kıvrımın eğriliği iç kıvrımdan azdır, t_i hinge bölgesinde maksimumdur, T_o hinge bölgesinde minimumdur.

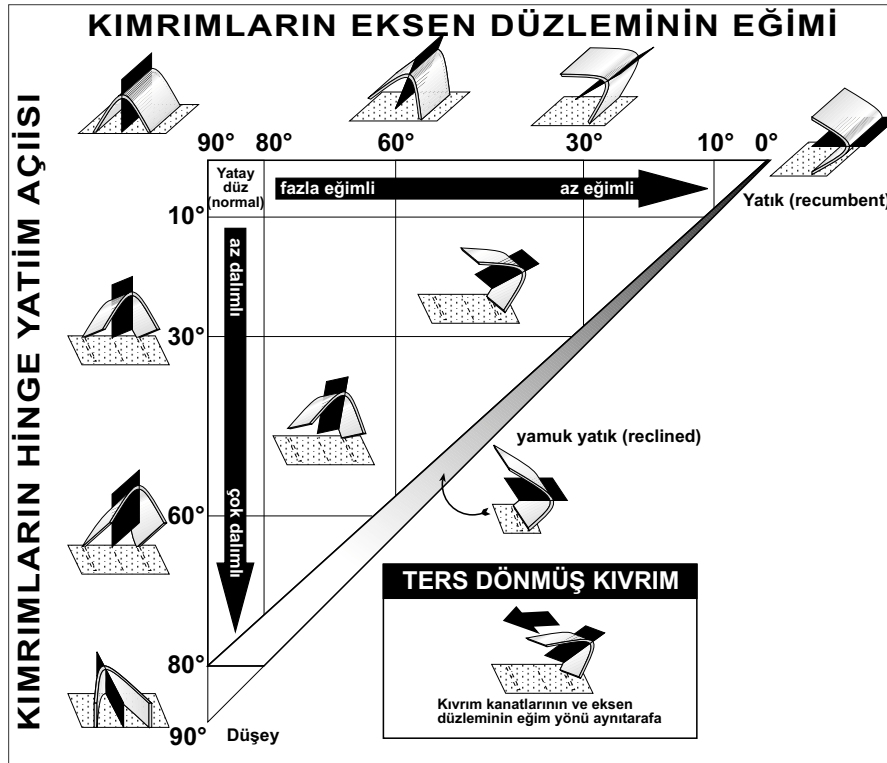
Sınıf 2: Dip izagonları bir birine paraleldir, iç ve dış kıvrımların eğriliği eşittir, izagonlar eksen düzlemine (hinge düzlemi) paraleldir, t_i hinge noktasında maksimumdur, T_o ise bütün kıvrım boyunca sabittir. Bu tip kıvrımlar benzer (similar folds) kıvrımlar olarak da adlandırılırlar.

Sınıf 3. Dip izagonları iraksak, dış kıvrımın eğriliği iç kıvrımın eğriliğinden daha fazladır, iç kıvrım yüzeyi arasındaki en uzak mesafe (t_i ve T_o) hinge boyunca.

2.4 Kıvrımların oryantasyonu

Bu noktaya kadar tanımlanmış kıvrımlarla ilgili parametreler, el numunelerinden kilometreler ölçeğindeki her türlü kıvrım tipi için geçerlidir. Mostra ölçeğinde kıvrımlar ayrıca yer yüzüne göre belli bir oryantasyon sundukları için el örneği büyüklüğündeki kıvrımlara göre bazı başka özelliklere de sahiptirlerdir. Her şeyden önce bir kıvrım doğru biçimde tanımlıyabilmek için arazide kıvrımın hinge ve eksen düzlemlerinin oryantasyonlarının düzgün bir biçimde belirlenmesi gerekir. Dolayısıyla kıvrımlar hinge' çizgisinin dalım miktarı ve eksen düzleminin eğimine göre alt gruplara ayrılırlar (Şekil 32). Örneğin Eksen düzleminin yaklaşık düşey ($<80^\circ$) ve hinge çizgisinin yatay ($<10^\circ$) olduğu kıvrımlar yatay, düz (veya normal) kıvrımlar olarak adlandırılırlar. Hinge çizgisinin ve eksen düzleminin yatay olduğu kıvrımlar yatık (recumbent) kıvrımlar olarak adlandırılır. Eksen düzleminin yataya yakın, fakat hinge çizgisinin dalımlı olduğu kıvrımlar yamuk yatık (veya reclined) kıvrımlar olarak adlandırılır, bunun

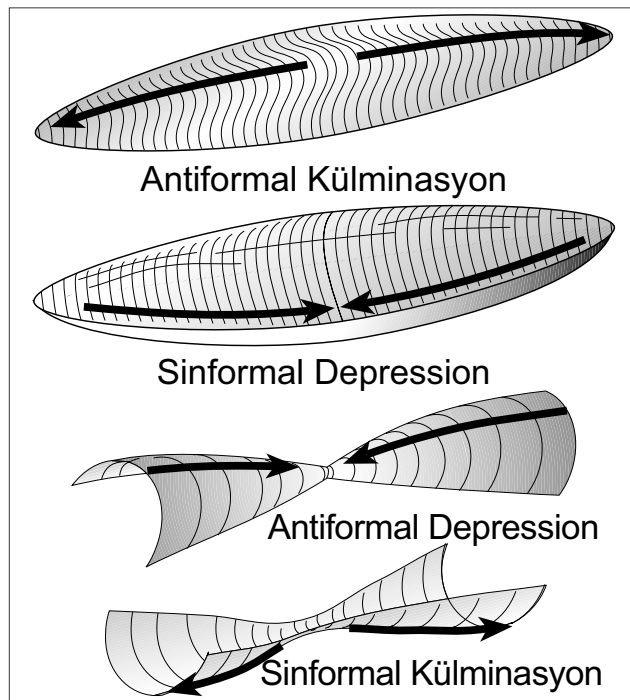
dışındaki diğer durumlarda kıvrımlar eksen düzleminin ve hinge çizgisinin eğim durumuna göre fazla eğimli-çok dalımlı veya az eğimli-az dalımlı (vb) kıvrımlar olarak adlandırılırlar.



Şekil 32. Kıvrımların oryantasyonlarına göre sınıflandırılması (Ramsey 1967'den adapte edilmistir)

Eksen düzleminin eğimli olduğu bir çok kıvrımda ve reclined kıvrımlarda eksen düzlemi ve kıvrımın her iki kanadı aynı yönde eğimlidirler, bu tip kıvrımlarda kanatlardan bir tanesi 90°'den fazla kıvrımlanmıştır, bu tip kıvrımlar ters dönmüş kıvrımlar olarak adlandırılırlar (Şekil 32). Arazide tüm geometrisi görülemeyen kıvrımların ters dönüp dönmediğini ancak tabakaların durumuna göre bilebiliriz, bu nedenle tabakaların taban yapılarının incelenmesi çok önemlidir. Taban yapıları (veya ilksel yapılar olarak da adlandırılırlar) ile ilgili konular bu notların ilerleyen kısımlarında verilecektir. Daha detaylı bilgiyi ise sedimentoloji

kitaplarında bulabilirsiniz. Normal kıvrımlar dışındaki tüm diğer kıvrımlarda doruk çizgisi ile hinge çizgisi farklı pozisyonadırlar. Bir çok kıvrımda hinge çizgisinin dalım miktarı kıvrım boyunca değişkendir ve bazen dalım yönü tam tersi yöne dönebilir bu tip kıvrımlar çift dalımlı kıvrımlar olarak adlandırılırlar (Şekil 33).



Şekil 33. Çift dalımlı kıvrımların adlandırılması

Çift dalımlı kıvrımlarda, eğer hinge çizgisi bir birinen uzağa dalıyorsa bu tip yapılar kulminasyon, aynı yöne dalımlı ise çöküntü (depression) denir. Külminasyon ve depression hem antiformal (veya antiklinal) hemde sinformal (veya senklinal) yapılar için geçerlidir (Şekil 33).

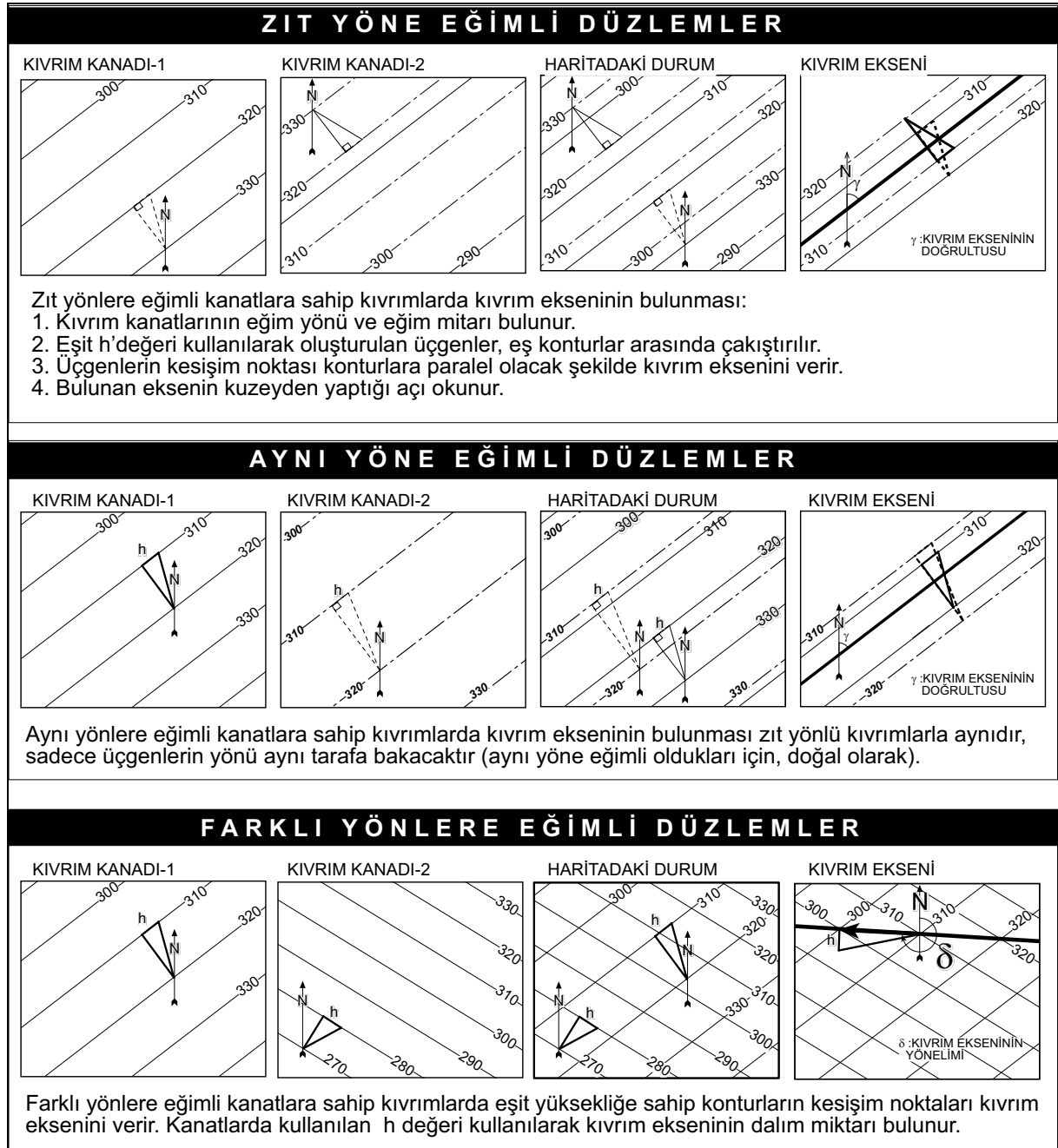
2.5. Bir Kıvrımın oryantasyonunun belirlenmesi.

Bir kıvrıma ait bilgi arazide kanatlarının doğrultu ve eğiminin psula yardımı ile ölçülmesi veya bir kıvrıma ait yapısal konturlar aracılığıyla (veya her iki veri birlikte kullanılarak) belirlenebilir.

1. Yapısal konturlar kullanarak Bir kıvrımın oryantasyonunun belirlenmesi: Kanatların eğiminin eşit fakat zıt yönde olması durumunda kıvrımın hinge düzlemi ile eksen düzlemi aynı düzlemdir ve düşeydir. Eğim miktarları farklı fakat eğim yönleri zıt olan kıvrımlarda hinge düzlemi de eğimlidir fakat kıvrım dalımlı bir kıvrım değildir. Her iki tip kıvrımda yapısal konturlar birbirlerine

paraleldirler ve bu tip kıvrımların eksenini Şekil 34'de anlatılan yöntemle bulunur.

Eğim yönleri zıt olmayan kıvrımlarda doğal olarak yapısal konturlar kesişirler ve kesişim noktalarını birleştiren çizgi hinge çizgisidir, bu çizginin yataya projeksiyonu ise kıvrım eksenidir. Kesişim izgilerinin yükseklik farkları kullanılarak bu tip kıvrımların dalım miktarı bulunabilir (Şekil 34).



Şekil 34. Kıvrım eksenlerinin yönelim ve dalımının bulunması.

2.6. Özel Kıvrım Tipleri

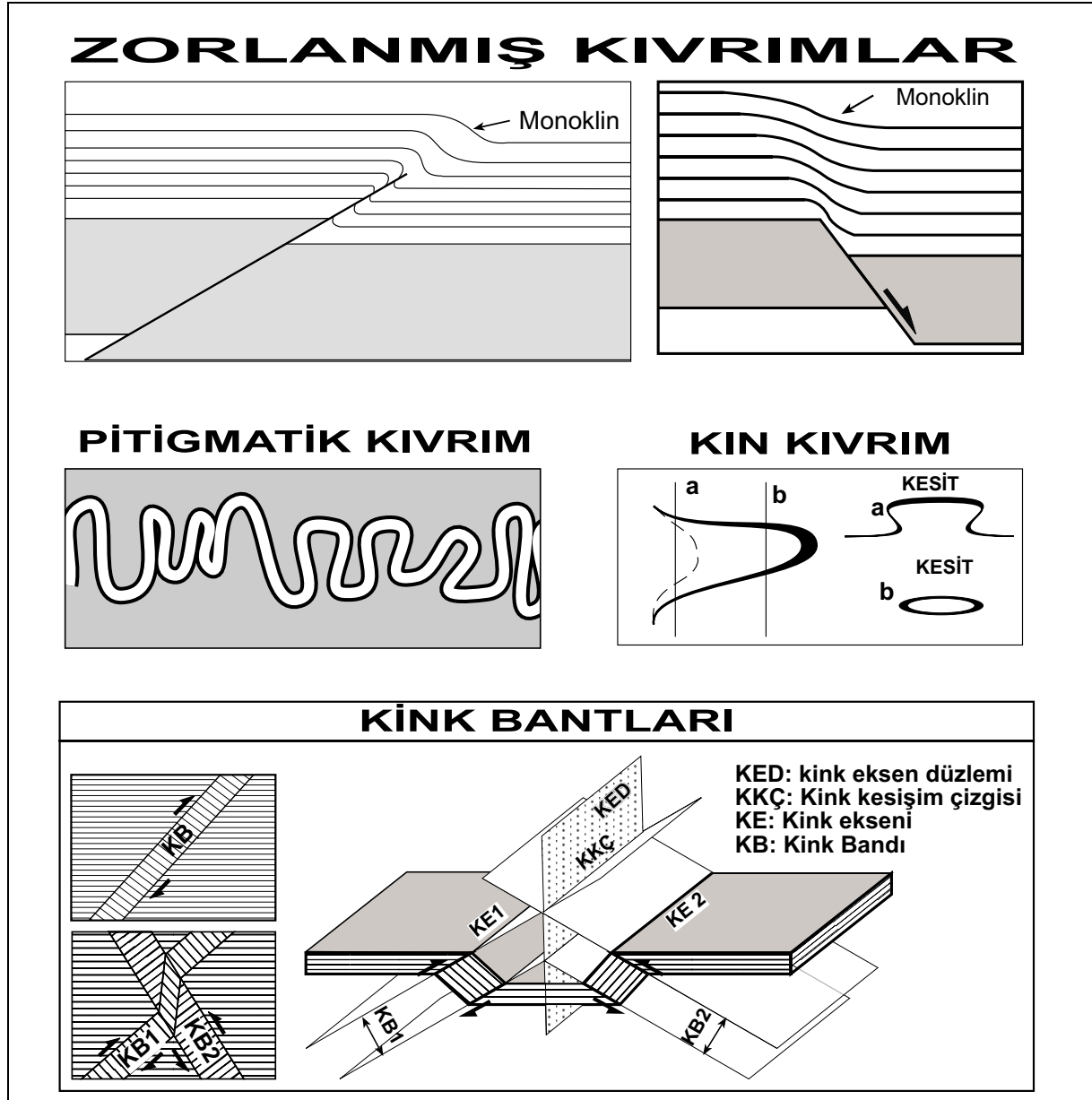
Bazı özel kıvrımlar vardır ki bu tip kıvrımlar özellikleri bakımından diğer kıvrım tiplerinden ayrılırlar ve kendilerine özel isimler alırlar. Bunlar:

2.6.1. Monoklin: Monoklinler iki yatay kanat arasında oluşmuş eğimli bir kanada sahip kıvrımlar için kullanılır. Monoklinler ayrıca zorlanmış kıvrım (forced fold) kategorisinde de değerlendirilirler. Bunun nedeni, monoklinlerin genelde alttaki bir ters fay veya normal fay tarafından meydana getirilen geometrik değişime fayları örten katmanların kıvrılarak yeni geometriye kendilerini uydurmaları sonucu oluşmalarıdır (Şekil 35). Normal faylarla oluşan monoklinlere buruşma (drape fold) kıvrımına denir.

2.6.2. Pitigmatik kıvrımlar: Pitigmatik kıvrımlar metamorfik kayalarda özelliklerin damar kayalarının soluncan gibi aşırı derecede elastikus şekilli olarak kıvrımlanması sonucu oluşan kıvrımlardır . Bu tip kıvrımlar genelde tek bir katman ve konsantrik geometriye sahiptirler (Şekil 35).

2.6.3. Kın kıvrımları (sheath folds): Bu tip kıvrımlar çok fazla makaslanmanın olduğu alanlarda oluşurlar. Şekilleri kılıç veya bıçak kınına benzetildiği için bu isim verilmiştir (Şekil 35).

2.6.4. Kink Bantları: Özellikle metamorfik kayalarda önceden var olan kıvrımların belli düzlemler boyunca yeni oryantasyona saptırılması (deflection) şeklinde oluşmuş düzlemsel köşeli kıvrımlara verilen isimdir (Şekil 35). Saptırılmanın olduğu düzlem aslında hinge düzlemidir. Kink bantları eşit kalınlığa sahip foliyasyon, kelavaj veya şistoziti içeren kayalarda oluşurlar. Kink bantları kink eksenı boyunca dereceli olarak yok olurlar veya makaslanma düzlemine dönüşürler. Genelde kink bantları boyunca bir ötelenme oluşur ve bu ötelenme bazen eşlenik kink bantlarının oluşmasına neden olur (Şekil 35).



Şekil 35. Özel kıvrım tipleri. Kink bantlarının (KB) oluşum sırasına ve hareket yönlerine dikkat ediniz.

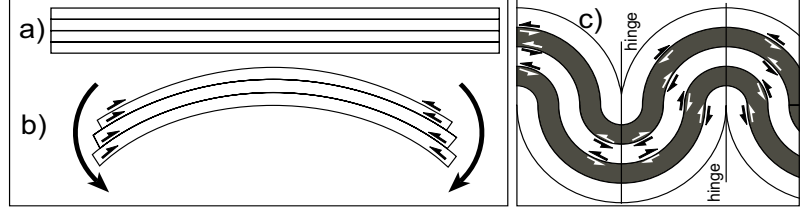
2.7. Kıvrımlanma Kinematığı

Kıvrımlanma iki türlü mekanizma ile olur, bunlar Fleksüral kıvrımlanma ve pasif kıvrımlanmadır (Donath ve Parker 1964). Fleksüral kıvrımlanma tabakalanmanın mekanik etkisinin çok yüksek olduğu

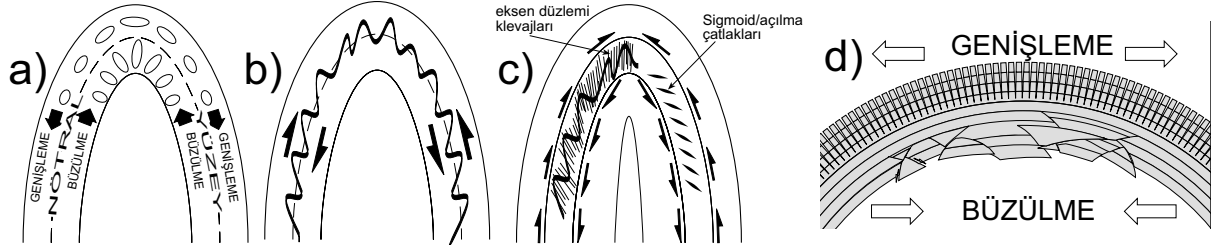
durumlarda oluşur. Tabakalar eğilip bükülerek kıvrımlanmaya aktif olarak katılırlar. Pasif kıvrımlanma ise fleksüral kıvrımlanmanın tersine tabakalanmanın mekanik etkisinin zayıf olduğu durumlarda oluşur. Pasif kıvrımlanma yalancı kıvrımlanma olarak da düşünülebilir. Çünkü tabakalar gerçekte kıvrımlanmadan kıvrım görünümü alırlar. Pasif kıvrımlanma, kıvrımların penetratif klevaj içermeleri sebebiyle kolayca anlaşılabilir. Penetratif kavramından kasıt klevajların oluşumu tabaka boyutuna göre o kadar küçük boyutlu, tekrarlama aralığı o kadar sıktır ki, sanki kayacın her yerinde klevaj varmış hissi uyandırır. Pasif kıvrımlarda penetratif klevaj, kıvrım eksenine paralel veya yarı paralel yönde gelişir.

2.7.1. Fleksüral kıvrımlanma

Fleksüral kıvrımlanma fleksüral kayma ve fleksüral akma olmak üzere iki şekilde oluşur. Fleksüral kayma kıvrımlanması, tabakaların bükülmesi tabaka düzlemleri boyunca tabakaların bir birlerinin üzerinden kayması sonucu oluşur (Şekil 36). Fleksüral kayma sırasında oluşan kayma miktarı her bir tabaka için çok küçük olsada, tüm tabakalar göz önüne alındığında, tabakalar arasındaki tüm kayma miktarı toplandığında kıvrımlanmayı oluşturacak büyüklükte kayma meydana gelmektedir.



Şekil 36. Fleksüral kıvrımlanma mekanizması. a) Düz tabakalar. b) Bükülme sırasında tabakaların birbirleri üzerinde kayarak kıvrımı oluşturmaları (oklar bükme kuvvetini göstermektedir). c) Kayma yönleri her zaman hinge düzlemine diktir.



Şekil 37. Fleksüral kayma kıvrımlanması sonucu kıvrımın iç kısmının daralmaya, dış kısmının ise genişlemeye uğraması sonucu oluşan ikincil yapılar. a) Nötral eksen boyunca deformasyon yoktur. Elipsler kıvrımlanmadan önce dairesel bir objenin kıvrımlanmadan sonra alacağı biçimi ifade etmektedir. b ve c) Kıvrımlanma sırasında oluşan (S, Z ve M şekilli) parazitik kıvrımlar kayma yönünü gösterir. Lens şekilli açılma çatlakları kıvrımlanmış katmanlara vevendir ve kıvrım katmanı ile açılma çatlaklarının oluşturduğu dar açı yönü kaymanında yönünü verir. Bu açı ideal durumda tabaka ile 45°lik açı yapar. d) Kıvrımlanma nedeni ile nötral eksenin dışında genişlemeye bağlı açılma çatlakları, iç kısmında ise küçük ölçekli bindirme fayları gelişebilir.

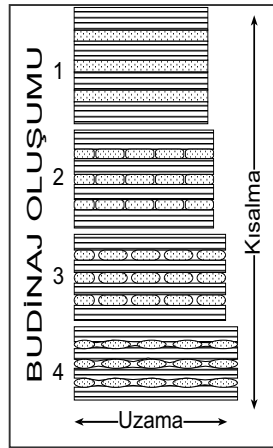
Fleksüral kayma kıvrımlanma içsel mukavemeti yüksek fakat tabakalar arası kohezyonu düşük kayaç ardaşımından oluşan katmanlar genelde fleksüral kıvrımlanmaya uğrarlar. Özellikle kumtaşı, silttaşı, şeyl ardaşımından oluşan sedimanter kayaçlar, kum, silt ve şeylin bir birlerine göre mukavemetlerinin ve makaslanma dirençlerinin farklı olması sebebi ile bir birleri boyunca kayarak fleksüral kayma kıvrımlanmasına uğrarlar. Bu yüzden bu tip kayaçlarda fleksüral kaymaya bağlı oluşan kıvrımlar konsantrik kıvrımlar olup dip izagonları tabaka yüzeyine diktir dolayısıyla 1B-sınıfı (dip izagonlarına bakınız) kıvrımlardır. Ayrıca bu tip kıvrımlar bükülürken içteki tabakalar katmana paralel yönde kısılmaya/büzülmeye uğrarken dıştaki tabakalar katmana paralel uzamaya/genişlemeye maruz kalırlar (Şekil 37). Nötral yüzey, kısılma ile genişleme bölgelerini ayıran yüzeydir ve nötral yüzey boyunca her hangi bir deformasyon olmaz.

2.7.1.1. Fleksüral kaymaya bağlı gelişen ikincil yapılar

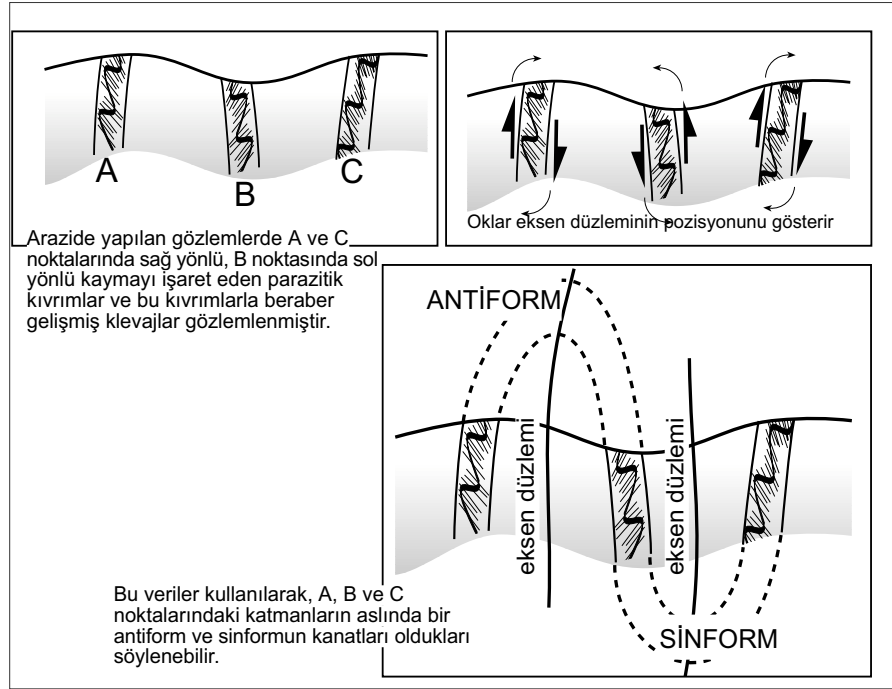
Fleksüral kaymaya bağlı oluşan ikincil yapılar kıvrımlanmanın biçimini gösteren dört temel mekanizmaya işaret ederler. Bunlar 1. bölgesel kısılma, 2. kıvrımın iç kısmında tabakalanmaya paralel kısılma, 3. kıvrımın dış kısmında tabakalanmaya paralel uzama ve 4. tabakaya paralel kayma.

Fleksüral kayma sırasında, görece daha güçlü iki katman arasında kalan zayıf tabakalar, eksen düzlemi sıkıştırma yönüne dik olan ve verjansı ana kıvrım eksenini gösterecek şekilde gelişmiş ikincil asimetrik (bir kanadı kısa) kıvrımlanmaya uğrarlar (Şekil 38). Bu tip kıvrımlara parazitik kıvrımlar veya sürüklenme kıvrımları denir. Fleksüral kaymaya bağlı olarak gelişen bu tip parazitik kıvrımlar arazide kıvrımların tipinin ve kıvrım eksenlerinin yerinin tespit edilmesinde önemli veri sağlarlar (Şekil 38).

Nötral eksenin dış kısmındaki genişleme bölgesinde ise tabaka yüzeyine dik yönde gelişmiş kama şekilli çatlaklar oluşur (Şekil 37d). Güçlü ve zayıf mukaveete sahip tabaka alternasyonuna sahip kıvrımlarda (kumtaşı, şeyl gibi) nötral yüzeyin dışında budinaj yapıları gelişebilir (Şekil 39).



Şekil 39. Budinaj gelişim mekanizması



Şekil 38. Küçük ölçekli yapılar kullanılarak kıvrım türlerinin ve eksenlerinin yerinin tespit edilmesi

2.7.1.2. Fleksüral akma

Fleksüral akma kıvrımlanması tabakaların bir birlerine göre kayma göstermeden gerçekten eğilip bükülmesi sonucu oluşur. Fleksüral akma düktil/sünek deforme olan tabakalar arasında görülen bir kıvrımlanma türüdür. Tabakaların elastisitesi o kadar düşük olmalıdır ki, kayaç herhangi bir çatlak veya kırık oluşturmadan kolaylıkla uzayıp genişleyebilmelidir. Doğada, jips, anhidrit, kayatuzu gibi tuzlar, kil ve matrikslerinde fazla kil barındıran kumtaşı ve silttaşları sünek deforme dolayısıyla fleksüral akma mekanizması ile kıvrımlanırlar. Yüksek ve alçak mukavemete sahip kayaç ardalanmalarının (sünek ve kırılabilir özellikteki kayaçların bir birini takip etmeleri sonucu) kıvrımlanması durumunda kumtaşı, kireçtaşı veya konglomera gibi sağlam kayaçlar genelde kalınlıklarını korurken, sünek olarak deforme olan kiltası, marl, şeyl gibi kil içeren birimler ve tuzlar genelde kanatlarda incelikte kalınlaşırlar. Kanatlarda incelik ve hinge bölgesinde kalınlaşma fleksüral akma mekanizmasının en önemli göstergesidir. Bu tip kıvrımlar Sınıf 1C, Sınıf 2 ve bazen Sınıf 3 tipi kıvrımları oluşturabilirler.

3. KONTAKTLAR

Yer yuvarı, belli jeolojik veya (plaka) tektonik ortama ait bir çok kayaç veya yapısal topluluğun yan yana ve üst üste belli bir jeolojik olay veya olaylar diizisine bağlı olarak yığılması ile oluşmuştur. Bu kayaç veya yapıların bir birleri ile temas ettikleri yüzeyler kontaklar olarak adlandırılırlar. Her bir kontakt tipi o kantağın oluştuğu jeolojik veya tektonik ortamın özelliklerini yansıtır, dolayısıyla bir jeoloğa oluşum şartları hakkında bilgi verir. Bu bağlamda kontaklar oluşumlarına bağlı olarak ilksel ve ikincil yapılar olarak iki alt grupta incelenebilirler.

İlksel yapılar, kayaçların oluşumu sırasında veya hemen sonrasında fakat tamamen kayçlaşma prosesinden (litifikasyon=kayaçlaşma) önce oluşmuş yapılardır. Dolayısıyla bu tip yapılar oluşum şartlarının belirlenmesinde çok önemlidirler. İkincil yapılar ise kayaçlaşma prosesinden yani litifikasyondan sonra oluşan yapılardır ve deformayonal yapılar olarak adlandırılırlar.

Kontaklar en temel olarak stratigrafik/depozisyonel kontaklar, tektonik kontaklar ve magmatik kontaklar olmak üzere üç ana gruba ayrılırlar. Stratigrafik kontaklar normal depozisyonel kontaklar ve uyumsuz kontaklar olmak üzere ikiye ayrılırlar. Depozisyonel kontaklar, sedimanların zamansal olarak herhangi bir kesintiye uğramadan zaman içerisinde üst üste çökmesi sonucu oluşurlar. Çökelim sırasında sedimanın kaynağındaki, ortamın tektonizmasındaki, havza içerisindeki şartların değişmesi (derinlik veya rölyef değişimi gibi) veya iklimsel değişimlere (deniz seviyesinde değişim veya ortamın çölleşmesi veya tersi) bağlı olarak kayaçların petrografik özellikleri değişir. Bu değişim zamansal bir kesinti olmadan olur. Dolayısıyla oluşan kayaçlar bir birleri ile stratigrafik olarak uyumlu/konkordantdırlar. Sedimaların çökeli mi sırasında herhangi bir zamansal kesiklilik var ise bu zamansal kesikliliğe hiatüs/hiyatüs denir. Eğer hiatüs jeolojik olarak belirlenebiliyor ise unkonformiti/uyumsuzluk olarak adlandırılır. Bazı durumlarda, özellikle fosil kayıtlarının yetersizliği veya kullanılan yaş belirleme tekniğinin yeterince hassas olmaması nedeni ile hiatüsün magnitudü belirlenemez. Örneğin, çok özel şartlarda bir kaç bin yıllık hassasiyete ulaşılabilirken bazı durumlarda bu hassasiyet milyonlarca yıl ölçeğindedir. Bu durumda var olabilecek zamansal kesintiler (hiatüs) belirlenemezler, tabii eğer tabaklar bir birlerine paralel iseler, yani yapısal olarak uyumlu fakat stratigrafik olarak (zamansal kesinti nedeni ile) uyumsuz iseler. Bu konu daha çok stratigrafinin ilgilendiği bir konu olup burada daha derinlemesine incelenmeyecektir. Tektonik ve magmatik kontaklar ayrı konular olarak inceleneceğinden burada sadece uyumsuzluklar anlatılacaktır.

3.1. Uyumsuzluklar /Unkonformiti

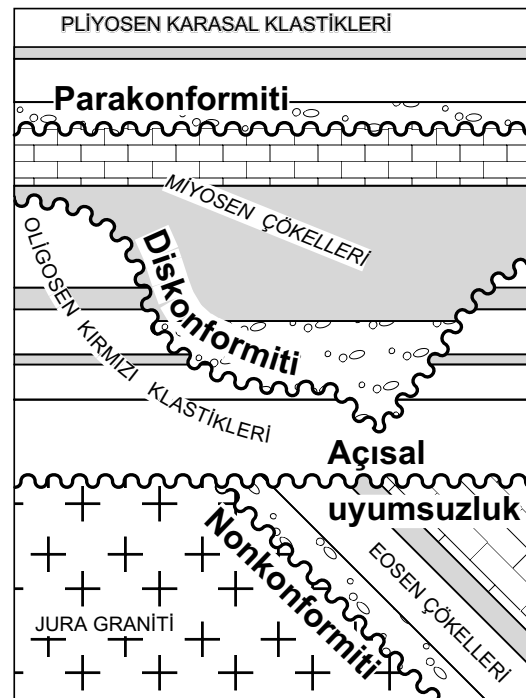
Unkonformiti, ölçülebilir miktarda zamansal farka sahip iki kayaç topluluğu arasındaki depozisyonel kontak tipine verilen isimdir. Unkonformitiler net çökelmeyen olmadığı veya erozyonun olduğu zaman periyotlarını belirlerler. Erozyon dolayısıyla kayaçlar çökelmiş olsalar bile tamamen aşınıp jeolojik kayıtlardan silinmişlerdir. Bazı özel ortamlarda erozyonla yerinden taşınmış bu kayıp malzeme, yakındaki bir havza içerisinde çökerek bir üst seviyede oluşan kayaçların taneleri (kum veya çakıl) olarak bulunabilirler. Bu tip taneler unkonformitilerin belirlenmesinde en sağlam delillerdir.

3.1.1. Uyumsuzluk tipleri

Unkonformitiler temel olarak üç guruba ayrılırlar. Bunlar; 1. Diskonformiti, 2. Açısal unkonformiti/uyumsuzluk, 3. Nonkonformiti (Şekil 40).

Nonkonformiti, bir kristalen bir kayaç (plutonik veya metamorfik gibi) topluluğu üzerine sedimater veya volkanik bir kayaç topluluğunun normal sedimantasyonla veya volkanik bir prosese bağlı olarak çökmesi ile oluşur. Kristalen bir kayaçla sedimater bir kayaç arasında zaten belli bir stratigrafik ilişki olamayacağından bu tip kontaklara nonkonformiti denir (Şekil 40).

Açısal uyumsuzluk/unkonformiti; sedimater veya volkanik kayaç toplulukları arasında görülen diskordansa verilen isimdir. Buradaki açısal terimi



Şekil 40. Uyumsuzluk tipleri

Diskonformiteler bazen üzerinde birimlerin çökeldiği eski topografyanın şekline sahiptirler. Özellikle karsal veya delta ortamlarında, akıntıya bağlı olarak gelişmiş kanallar olarak gözükebilir. Sismik kesitlerde bazen bu kanallar 3-Boyutlu olarak haritalanabilmektedir.

Sonuç olarak, fosil diğer yaşlandırma tekniklerinin dışında, alttaki birimlerin çakılalarının üstteki birimde görülmesi, çok iri taneli konglomeralar, eski toprak yüzeyleri, volkan akıntıları tarafından pişirilmiş yüzeyler (su altında pişme işlemi olmaz), kanalların varlığı ve dikkatlice yapılmış bölgesel haritaların incelenmesi uyumsuzluk ilişkilerinin belirlenmesinde çok önemli ipuçları verirler.

3.1.2. Uyumsuzlukların tektonik önemi

Uyumsuzluklar bir bölgenin evrimin anlaşılmasında çok önemli ipuçları içerirler. Örneğin, açılmal uyumsuzluklar genelde bir bölgenin kıvrılma ve ters faylanma ile tektonik olarak sıkışmaya ve buna bağlı olarak da kısalmaya maruz kaldığını gösterirler. Kıvrılma olmayı yaratan rejimin etkin olduğu dönem uyumsuzluk yüzeyinin altındaki en genç birim ile uyumsuzluk yüzeyinin üzerindeki en yaşlı birimin yaşının bulunması ile parantez içine alınabilir. Örneğin uyumsuzluk yüzeyinin altındaki en genç birim Geç Kretase olsun, uyumsuzluk yüzeyinin üzerindeki en yaşlı birim ise Orta Eosen olsun. Bu durumda uyumsuzluğu yaratan tektonizma Geç Kretaseden genç fakat Orta Eosedan yaşlıdır. Yani, tektonik aktivite Paleosen-Erken Eosen aralığında olmuştur.

Buttress (Yaslanma/dayanma) unkonformiti, özel tür bir uyumsuzluk çeşididir. Tektonik aktivitenin çok yoğun olduğu bölgelerde, hızla oluşan havzalarda, çöken bloğun hızla doldurulması sonucu, çökelen birimlerin fay duvarına yaslanması sonucu oluşan uyumsuzluklara verilen isimdir.

Breakup (kopma/ayırılma) unkonformiti. Buttress unkonformiti gibi breakup unkonformitide özel bir tür unkonformitidir. Okyanus açılıma bağlı risfleşme ve bu riftleşmeye bağlı gelişmiş rift çökellerinin üzerinde gelişmiş olan ve okyanus tabanı yayılmasının başlangıcını buna bağlı olarak çok geniş ölçekli çökme ve ortamların karsaldan denizele dönüştüğünü gösteren bir uyumsuzluk türüdür. Breakup unkonformiti rift sedimanlarının platform (veya kıta şelfi) sedimanları ile örtülmüş olması ile karakterize edilir.

Buttress ve Breakup unkonformiteler jenetik (oluşum mekanizmasına bağlı) sınıflandırmalardır ve yoruma dayalıdır bu nedenle çok dikkatli kullanılmalıdır. Her iki türde açılmal, nonkonformiti veya diskonformiti gibi temel uyumsuzluk tiplerinden her hangi birini veya hepsini aynı anda fakat lokal olarak içerebilirler (Şekil 43).

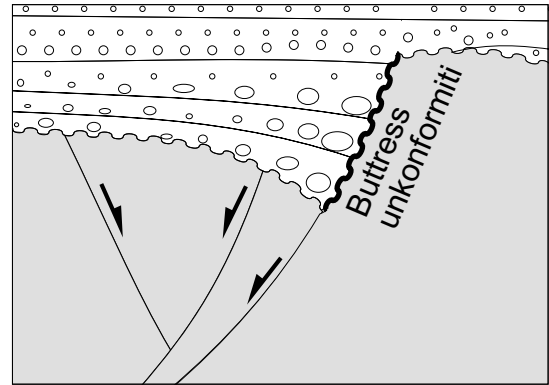
3.1.3. Unkonformitelerle ilgili işlemler

Unkonformitelerle ilgili uygulamalar, diğer yapısal veya topografik yüzeylerle yapılan işlemlerden farklı değildir. Unkonformitelerin geometrilerine bağlı olarak yüzey veya düzlem olup olmamalarına bağlı olarak bu ders notlarında daha önce anlatılan metodlar aynen uygulanırlar. Paralel yüzeylerden farklı olarak unkonformitelerin alttaki birimleri kesmeleri nedeni ile aşağıda bu birimlerin unkonformiti yüzeyi boyunca olan sınırlarının bulunması anlatılacaktır.

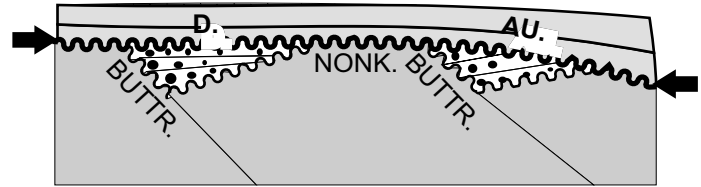
3.1.3.1. Unkonformiti düzlemi boyunca birimlerin sınırlarının bulunması

İlk önce yapılacak işlem hem unkonformiti düzleminin (veya yüzeyinin) hemde diğer birimlerin yapısal konturlarının çizilmesidir. Şekil 44'de bu işlem adım adım anlatılmıştır.

Tahmin edileceği gibi tabakaların uyumsuzluk düzleminin altında bulunduğu alanın üzerinden yapılacak bir sondajda bu tabakalar kesilebilirken diğer alanların üzerinden yapılacak sondajda bu birimler kesilmezler. Birimlerin hangi derinliklerde kesileceklerini bulmak için ise daha önceden

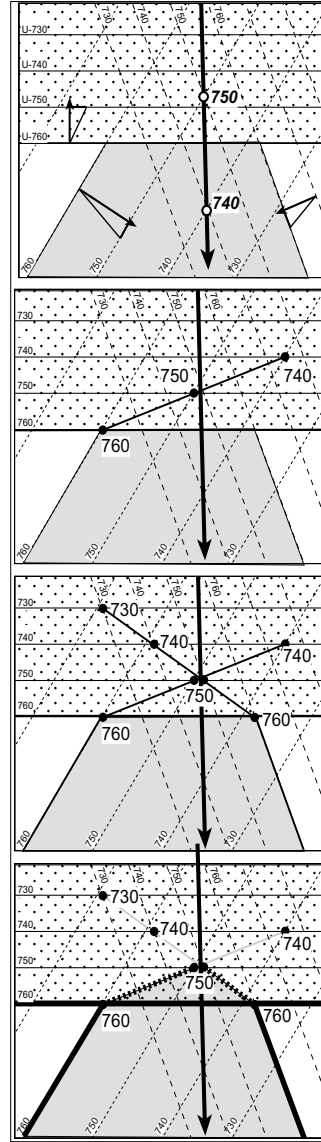


Şekil 42. Buttress unkonformiti



Şekil 43. Breakup unkonformiti (oklarla gösterilmiştir) boyunca gelişen diğer unkonformiti türleri . AU: açılmal unkonformiti, BUTTR. Buttress unkonformiti, D: Diskonformiti, NONK. Nonkonformiti .

anlatıldığı gibi (bakınız kuyu logu alımı kısmı, 1.8 nolu kısım) kanatların konturlarını kullanarak ilgili birimi hangi derinlikte keseceğimizi bulabiliriz. Eğer bu derinlik unkonformiti yüzeyinin o noktadaki derinliğinden yüksekse bu bize o birimin o noktada erozyonla eşindiğini dolayısıyla kuyuda kesemeyeceğimizi söyler. Aksi takdirde o birimin ilgili yüzünü bulduğumuz derinlikte kesmiş oluruz. Bulduğumuz derinlik değeri unkonformiti yüzeyinin o noktadaki derinliğinden çıkardığımızda, kalan değer bize o birimi kaç metre keseceğimizi söyler (yani kuyu boyunca görünür kalınlık). Daha önceden yapmış olduğumuz uygulamalara benzetmek gerekirse unkonformiti düzlemini düzlemsel bir topografya gibi algılayabiliriz. Zaten unkonformiti yüzeyi üzerindeki birimler sedimantasyondan önceki topografyayı temsil etmektedir. Bu noktadan sonra takip edilecek yöntem daha önce Bölüm 1.8de de detaylıca anlatıldığı gibi konturları kullanarak yüksekliklerin bulunması ve bu yükseklik değerlerinin mantıksal bir dizilim halinde verilmesidir.



* topografya düz ve yüksekliği 760m olarak alınmıştır.

1. Tabakaların ve uyumsuzluk düzleminin eğim yönü, doğrultu ve eğim miktarlarını belirleyiniz. Şekilde bir senklinal ve bir uyumsuzluk düzlemi (U ile gösterilen konturlar) verilmiştir. Ayrıca kırımın eksenini çiziniz. Bu işlem, kanatların eşit noktaları birleştirilerek yapılır (boş halkalar)

2. İkinci aşamada, kanatlardan birisi ile uyumsuzluk düzleminin eş yükseklik noktaları belirlenir (siyah yuvarlaklar), ve bu noktalar birleştirilirler.

3. Aynı işlem diğer kanat için tekrarlanır

4. Kesişim çizgileri kırım eksenine kadar olmalıdır. Bu aşamadan sonra yapılacak işlem çizgilerin gereksiz olan kısımlarının silinmesidir. Bu işlem eğim yönleri göz önüne alınarak yapılır. Eğim yukarıdan başlayarak kırım eksenine kadar olan kısımlar korunurken diğer kısımlar silinir. Şekilde gereksiz olan yani silinecek kısımlar gri çizgiler olarak verilmiştir. Uyumsuzluk düzlemi altındaki sınırlar noktali olarak verilmiştir

Şekil 44. Unkonformiti düzlemi boyunca altta kalan birimlerin sınırlarının bulunması.

4. FAYLAR VE MAKASLAMA (SHEAR) ZONLARI

Faylar kırıkların özel bir türü olup, üzerlerinde makaslanma hareketine bağlı olarak (düzleme paralel yönde) gözle görülebilir miktarlarda ötelenme olan her türlü kırığa verilen isimdir. Doğada oluşan kırık veya çatlaklarda her zaman belli miktarlarda ötelenme mutlaka vardır. Burada önemli olan bu ötelenmenin miktarının gözle görülebilir miktara ulaşip ulaşmadığıdır. Örneğin, deformayona uğramış bir mineral deformayona kristal kafesi (lattice) boyutunda bir ötelenme ile karşılık verir. Bu ölçeklerde olan bir ötelenme doğal olarak gözle görülmez fakat kristal yamulmuş olarak görülür. Bu amaçla faylar genelde üzerlerinde 1 cm veya daha büyük miktarlarda ötelenmenin olduğu kırık yada çatlaklar olarak tanımlanabilir. Faylar genelde çok belirgin bir düzlem veya yüzey boyunca geliştikleri gibi, bazen mukavemeti zayıf olan kayalarda fay olarak tanımlanabilecek net bir kırık gelişmediği gibi, bazen de deformasyonun çok yoğun olduğu bölgelerde, faylar bir birlerine paralel, yarı paralel veya bir birlerini keser şekilde gelişmiş sayılamıyacak kadar çok düzlemler veya yüzeyler olarak bulunabilirler. Bu tip hatlar fay yerine fay zonu/kuşağı olarak adlandırılırlar. Bu tip hatlarda tek bir düzlem yerine deformasyona uğramış geniş bir kuşak bulunmaktadır. Faylar ve makaslanma zonları (shear zone) el numunesi boyutundan onlarca hatta yüzlerce kilometre boyutlara ve/veya aynı şekilde onlarca veya yüzlerce kilometre ötelenmelere sahip olabilirler.

Bazı eklem türleri üzerinde ötelenmeler oluşur bu tip eklemler makaslanma eklemleri denir fakat üzerlerinde atım gözle görülebilecek miktarlarda olmadığından fay olarak sınıflandırılmazlar. Bununla birlikte özellikle genişleme eklemleri boyunca hareket makaslanma hareketi olmayıp (yani düzleme paralel olmayıp) açılma şeklinde olup düzleme dik yöndedir. Bu tip eklemler fissure/yarık (fişur) olarak adlandırılırlar. Yarıklar yer yüzünün üst kesimlerinde, daha çok gerilmeye, uzamaya, çekip ayırma hareketine veya çok aşırı miktarlarda sıkıştırılmış sıvı basıncına (gözenek suyu basıncı) bağlı olarak gelişirler. Makaslanma zonları ise genelde yer yüzünün derin kesimlerinde, sıcaklığın ve çevresel basıncın (confining pressure) yüksek olduğu ortamlarda oluşurlar. Bu tip ortamlar genelde metamorfik kayaların da oluşum ortamlarıdır.

4.1. Fayların sınıflandırılması

Faylar iki nemli kritere göre sınıflandırılırlar. 1. kayma/atım ve 2. ötelenme. Gerçek atım yönü ve biçiminin belli olduğu durumlarda faylar atıma göre sınıflandırılırlar. Dolayısıyla fayların gerçek atım yönü ve biçimi kesin olarak bilinmelidir. Diğer durumlarda ise sınıflandırma ötelenmeye göre yapılır. Dolayısıyla fayın gerçek hareket yönü ve biçimi dikkate alınmaz. Kayma ve ötelenme arasındaki fark çok iyi anlaşılması gereken bir olgudur.

4.1.1. Kaymaya göre fay sınıflandırması

Atım/kayma faylanmadan önce bitişik olan ve faylanma ile bir birlerinden ayrılmış iki noktayı birleştiren vektöre verilen isimdir. Bu bağlamda üç temel çeşit fay tanımlanmıştır. Bunlar; 1. **strike-slip/yanal atımlı faylar** yatay atıma sahiptirler ve sağ yönlü (dextral) veya sol yönlü (sinistral) olmak üzere iki biçimde tanımlanırlar (Şekil 45). Fay düzlemi genelde düşey veya düşeye yakındır (90° ile 75° arası). atım/kayma vektörü fay düzlemi içerisinde olup doğrultuya paralel veya yarı paraleldir. 2. **Eğim atımlı faylarda** hareket fay düzleminin eğimi yönündedir. 3. Verev atımlı faylar.

Fay düzleminin eğimine göre faylanmış bloklar **üst blok** ve **alt blok** olarak tanımlanırlar. Üst bloğun fay düzlemine veya başka bir deyişle yer çekimi yönüne göre hareketine bağlı olarak eğim atımlı faylar **normal** ve **ters faylar** olmak üzere iki gruba ayrılırlar. Normal faylarda üst blok eğim aşağı hareket ederken göreceli olarak alt blok eğim yukarı hareket eder. Eğim aşağı hareket eden bloğa düşen blokta denir. Normal faylarda düşen blok üst blok iken ters faylarda düşen blok üst bloktur (Şekil 45). Eğim atımlı faylar ayrıca fay düzleminin eğim miktarına göre de sınıflandırılırlar. Doğada normal faylarda fay düzleminin eğim miktarı 45°den büyük fakat 90°den küçük olup ortalama olarak 60° dir. 45°den daha düşük eğime sahip normal faylar **düşük açılı normal faylar** olarak adlandırılırlar. Ters faylar genelde 45°den büyük fay düzlemi eğimine sahipken 45°den düşük eğim miktarına sahip faylar bindirme fayları olarak adlandırılırlar ve bu tip fayların ortalama eğim miktarı 30°dir (Şekil 45). Eğim atımlı faylarda kayma vektörü fay düzlemi içerisinde doğrultuya dik yöndedir.

Verev atımlı faylarda hareket yanal ve eğim atımın birleşimi şeklindedir. Yani fay düzlemi boyunca hem düşey atım hemde yanal atım vardır. Fay düzlemi içerisinde ölçülen hareket vektörü fay düzleminin doğrultusuna verevdir yani atımın yatımı (rake/pitch) 90° küçük ve 0°den büyüktür (Şekil 45). Dolayısıyla verev atımlı faylar yanal atımlı faylar ile eğim atımlı fayların birleşmiş halidir. Durum böyle olunca verev atımlı faylar hem yanal atımlı fay sınıflandırması hemde eğim atımlı fay sınıflandırmasına tabiidirler. Hareket vektörünün yatımına göre "**normal**", "**ters**", "**sağ yanal**", "**sol yanal**" gibi hem yanal atımlı fayların hemde eğim atımlı fayların sınıflandırma kriterleri birleştirilerek

sınıflandırılırlar. Örnek verecek olursak, **sağ yanal (dextral) bileşenli normal atımlı fay, normal bileşenli sağ yanal atımlı fay, sol yanal bileşenli ters verev atımlı fay** gibi (Şekil 45'de iki tane verev atımlı fay örneği verilmiştir).. Bu noktada dikkat edilecek nokta kayma vektörünün (rake'in) yatımıdır. Rake 45'den büyük ise fay aslında eğim atım karakteri baskınken, 45'den küçük olduğu durumlarda ise yanal atım baskındır. Dolayısıyla adlandırma sırasında baskın olmayan atım sınıfı "bileşen" olarak yerini alır. Yukardaki örneklerde "sağ yanal bileşenli normal fay" tanımından yatımın 45° büyük ve fayın egemen olarak normal fay karakterinde olduğunu anlıyoruz.

Bir diğer fay türü ise pivotal/burulma tipi faylardır. Bu tip faylarda fay bloklarının bir birlerine göre hareketleri yatay bir eksene göre dönerek gerçekleştiği için fay bir ucunda normal bileşenli iken diğer ucunda ters karakterlidir (Şekil 45). Bu tip faylar makas fayı olarakta adlandırılırlar.

4.2. Atımın değerlendirilmesi

Bir fay boyunca fayın atımının değerlendirilmesi o fay boyunca ötelenmeye maruz kalmış bir çizgi veya düzlemin ötelenmeden önceki konumuna geri getirilmesi ile yapılır. Yanal atımlı faylarda ve eğim atımlı faylarda işlemler daha kolay iken verev atımlı faylarda işlemler daha karmaşıktır.

Bu konu ile ilgili olarak bilinmesi gereken beş (5) kavramın çok iyi anlaşılması gerekir. Bunlar Şekil 45'de gösterilmiştir.

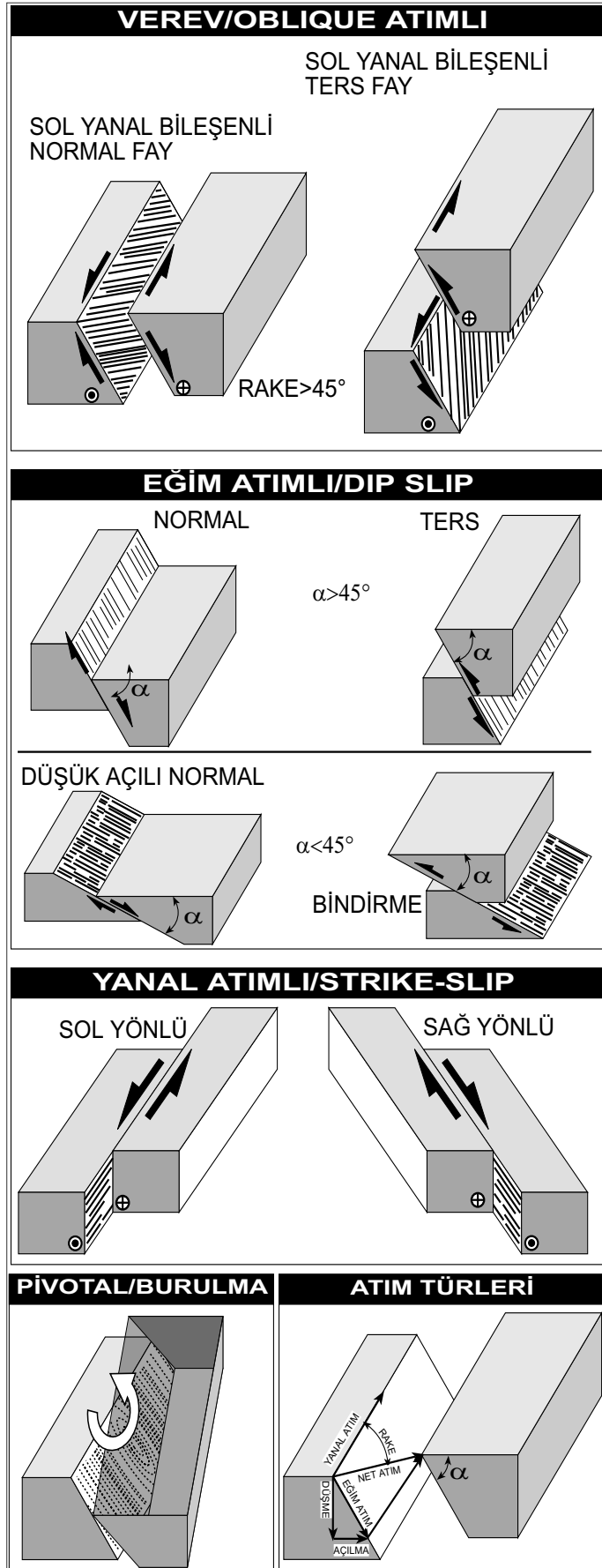
1. Gerçek atım: bir fayın gerçek hareket vektörüdür.

2. Yanal atım: Yanal veya verev atımlı faylarda gerçek hareket vektörünün fayın doğrultusu yönündeki bileşenidir.

3. Eğim/düşey atım: gerçek atımın fay düzlemi üzerinde ve eğim yönündeki bileşenidir.

4. Düşme: fay bloklarının düşey dülemde/yer yüzüne göre olan hareket miktarıdır. Düşme aynı zamanda normal bir fayın yer kabuğunda oluşturduğu incelleme veya ters faylarda ise kalınlaşma miktarına karşılık gelir.

5. Açılma/daralma: fay bloklarının yatay düzlemde doğrultuya dik yöndeki hareket miktarıdır. Açılma aynı zamanda



Şekil 45. Kayma vektörüne göre fayların sınıflandırılması

fayın yer kabuğunda yarattığı (ters faylarda) daralma veya (normal faylarda) uzamaya karşılık gelir.

Faylarla ve benzeri düzlemlerle ilgili bir diğer önemli ayrıntı Rake/yatım kavramının anlaşılmasıdır.

Şimdiye kadar yapılan her türlü hesaplama ve değerlendirme hep yatay ve/veya düşey düzlemler boyunca yapılmıştır. Rake/yatım ise ilgilenilen düzlemin kendi içerisinde ölçülen bir olgudur. Şekil 46da rake'in diğer yapısal unsurlardan farkı gösterilmiştir.

Rake kavramı sadece faylarda değil kesişen her türlü düzlemlerin birbirleri üzerinde oluşturacakları çizgisellikler için kullanılabilir. Örneğin Şekil 47'da 1 ve 2 nolu düzlemlerin kesişimi ile JI çizgisi oluşur. Eğer bu iki düzlem bir kıvrımın iki kanadı ise JI çizgisi hinge çizgisini oluşturur ve bu çizginin yatay düzleme olan iz düşümü (projeksiyonu) JH çizgisidir ve bu çizgi hinge çizgisinin harita düzlemindeki yansımasıdır. Dolayısıyla JH çizgisi kıvrım eksenini oluşturur. JHI düzlemi düşey bir düzlem olduğu için γ açısı kıvrım ekseninin dalımını oluşturur. Diğer yandan hinge çizgisinin 1 ve 2 nolu düzlemler içerisinde (düşey düzlem değil) düzlemlerin kendi içlerinde, düzlemlerin doğrultuları ile yaptıkları θ ve ψ açıları her bir düzlem içerisindeki rake'i tanımlar. Dikkat edileceği gibi JI doğrusunun dalımı düzlemlerin konumundan bağımsız iken, rake'in miktarı tamamen içinde bulunduğu düzlemin konumu ile ilgilidir.

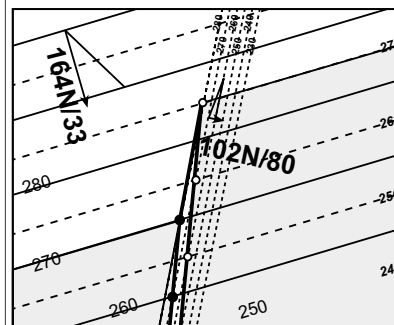
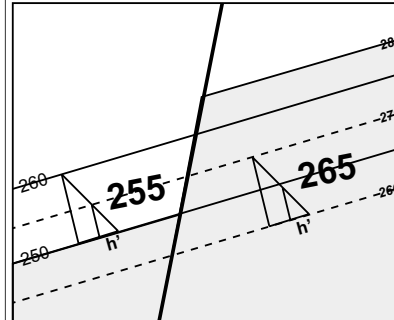
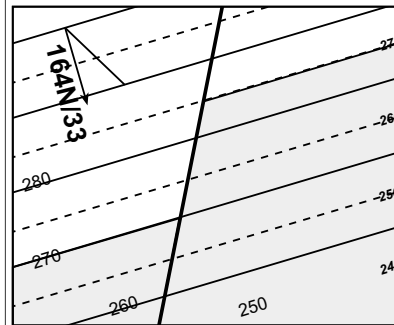
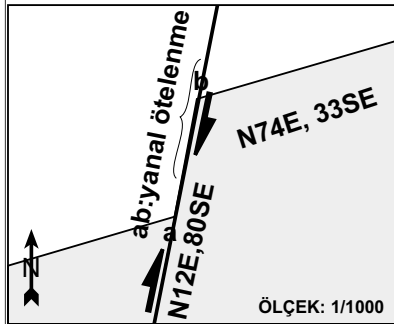
Rake kavramı sadece faylarda değil kesişen her türlü düzlemlerin birbirleri üzerinde oluşturacakları çizgisellikler için kullanılabilir.

Örneğin Şekil 47'da 1 ve 2 nolu düzlemlerin kesişimi ile JI çizgisi oluşur. Eğer bu iki düzlem bir kıvrımın iki kanadı ise JI çizgisi hinge

çizgisini oluşturur ve bu çizginin yatay düzleme olan iz düşümü (projeksiyonu) JH çizgisidir ve bu çizgi hinge çizgisinin harita düzlemindeki yansımasıdır. Dolayısıyla JH çizgisi kıvrım eksenini oluşturur. JHI düzlemi düşey bir düzlem olduğu için γ açısı kıvrım ekseninin dalımını oluşturur. Diğer yandan hinge çizgisinin 1 ve 2 nolu düzlemler içerisinde (düşey düzlem değil) düzlemlerin kendi içlerinde, düzlemlerin doğrultuları ile yaptıkları θ ve ψ açıları her bir düzlem içerisindeki rake'i tanımlar. Dikkat edileceği gibi JI doğrusunun dalımı düzlemlerin konumundan bağımsız iken, rake'in miktarı tamamen içinde bulunduğu düzlemin konumu ile ilgilidir.

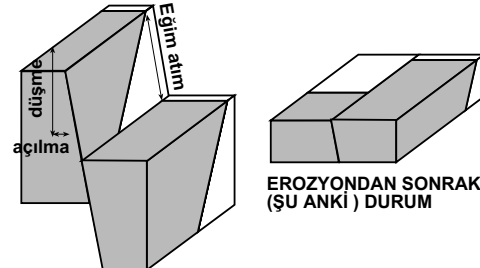
Faylarda rake' olgusu genelde fayın hareketi sırasında oluşan ve fayın gerçek hareketini gösteren fay çiziklerinin fay düzlemii içerisindeki konumları ile ilgilidir. Fay çizikleri aslında bir fayın gerçek hareket

Soru: N74E,33SE oryantasyonuna sahip tabakalar N12E,80SE oryantasyonuna sahip bir normal fayla ötelenmiştir. Yanal ötelenme miktarı 30metredir ve sağ yönlüdür. B verilere göre, düşey atımı, açılma ve düşmeyi hesaplayınız



Şekil 46. Tabakaların yapısal konturlarını kullanarak fayın atımının hesaplanması.

1. İlk önce verilen bilgilere göre fayın ve tabakaların konumlarını belli bir ölçüğe göre yerleştiriniz.

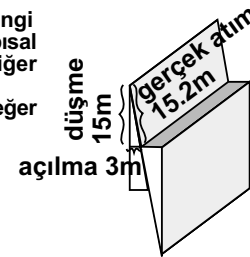


FAYLANMADAN SONRAKİ DURUM

EROZYONDAN SONRAKİ (ŞU ANKI) DURUM

2. Verilen eğim miktarları ve h değerini kullanarak kontur aralığını (x değeri) belirle. Bu işlemden sonra haritayı oluşturmak için belli bir referans yüzeyi seç. Yandaki haritada 270m referans yüzey olarak seçilmiştir (her hangi bir yükseklik seçilebilir, sonucu etkilemez). Yandaki haritada kesiksiz çizgiler fayın batısındaki tabakaya, kesikli çizgiler ise fayın doğusundaki tabakaya ait konturlardır.

3. Fayın batı veya doğusundaki herhangi bir tabakanın bir yapısal konturunun fayın diğer yanındaki değerini bulunuz. Bulunan değer düşme miktarıdır.



$$270-255=15m$$

$$265-250=15m$$

4. Aynı h değeri kullanılarak fayın yapısal konturlarını çiziniz. Tabakaların fay düzlemi üzerindeki izi, fayın yapısal konturları ile, tabakaların eş yükseklik kontur noktaları birleştirilerek çizilir. Şekilde siyah noktalar batıdaki tabakanın, beyaz yuvarlaklar ise doğudaki tabakanın fay üzerindeki izidir. Yani fayla tabakaların kesişim çizgileridir.

vektörüdür ve gerçek atım fay çiziklerine göre belirlenir. Şekil 47'da JI yönü fay çiziklerinin yönüdür. γ açısı fay çiziklerinin dalımı q açısı ise çiziklerin fay düzlemi içersindeki rake'leridir. Şekilde gösterilen KN doğrusu düşmeyi, NI doğrusu açılma/daralmayı KI düşey atımı, MI ise yanal atımı verir. Eğer gerçek atımı, fay düzleminin konumu biliyor isek, fayın ve gerçek atımının geometrisini oluşturarak diğer atımları hesaplamak çok kolaydır. Bu konu ile ilgili örnekleri, daha ileriki konularda detaylı olarak göreceğiz. Şimdilik bu konuyu tekrar dönmek üzere burada kesip fay hareketinin belirlenmesi ile ilgili konulara geçiyoruz.

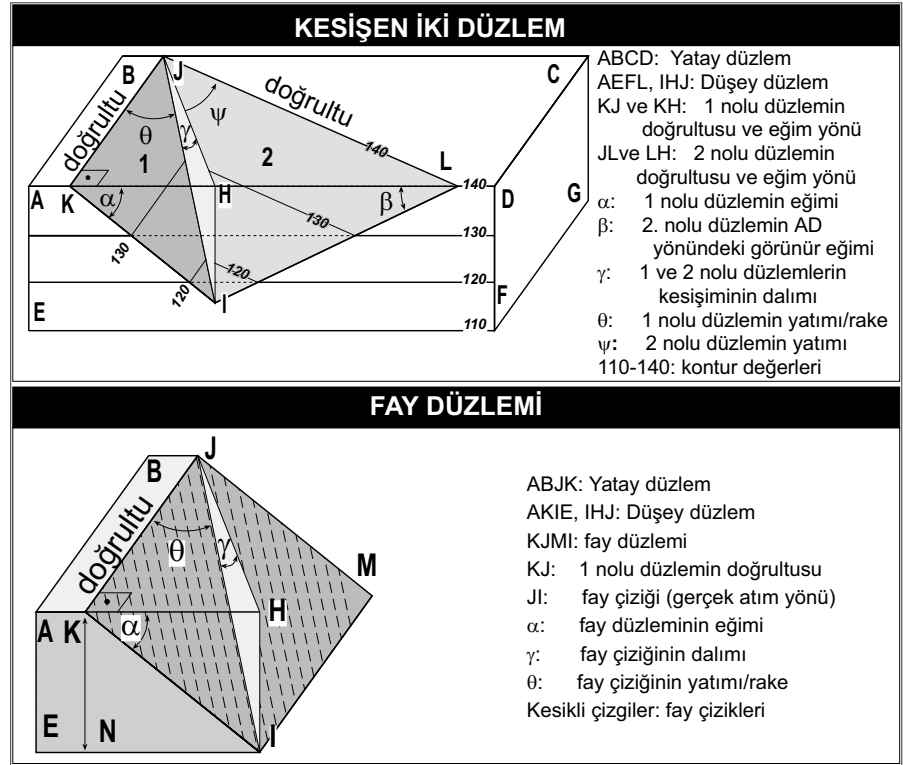
Fayların fiziksel özellikleri

Faylar bir çok fiziksel özellikler içerir. Bu özelliklerin hepsini tek bir mostrada bulmak hemen hemen imkansızdır. Fay yüzeyi boyunca bu özelliklerden bir çoğuna rastlamak ve bulunan özelliklerin hepsinin mantıklı bir dizilim içersinde ele alınması sayesinde fayların genel karakteristikleri ortaya çıkarılabilir. Faylar daha öncede belirtildiği gibi oryantasyonu ve özellikleri belirgin tek bir kırık yüzeyinden veya bir birleri ile belli geometrik ilişki içersinde olan sıkça gelişmiş bir çok kırık yüzeyinin oluşabilir. Bu tip durumlarda tek bir fay yerine fay zonundan bahsedebiliriz. Bu tip fay zonlarında fayın hareketine bağlı olarak bir çok küçük kırım gelişebilir (Şekil 48).

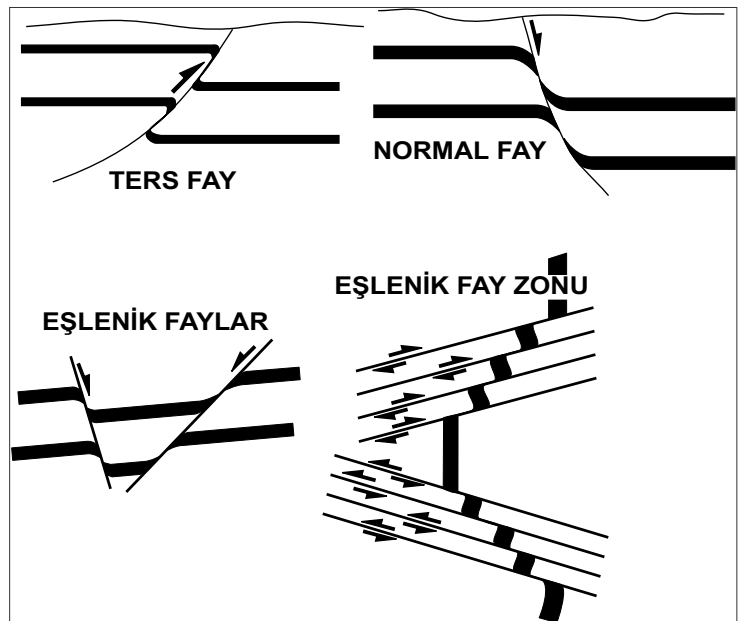
Bu kırımlara sürüklenme

kırılmaları denir ve fayın hareketinin belirlenmesinde yardımcı olan çok önemli veriler sunarlar. Fayın tek bir yüzey mi yoksa bir zon olarak mı gelişeceği bir çok etmene bağlıdır. Herhangi bir fay için bu etmenlerin neler olduğunu kesin olarak belirlemek henüz hemen hemen imkansızdır. Bu etmenler, kayacın mukavemetine, yükleme hızına, deformasyonun olduğu fiziksel ortamın şartlarına (sıcaklık, basınç gibi) ve faylanma süresine bağlıdır.

Arazide bazı fay düzlemleri parlatılmış yüzeyler olarak karşımıza çıkarlar. Bu tip yüzeylere **fay aynası** denir (slickensided surfaces). Bu parlaklık fay bloklarının hareketi sırasında fay yüzeyinin sürtünme nedeni ile kaygan bir zemin oluşturması veya yüzeyi boyunca kayaçların ufalanması sonucu oluşur. Bazı faylarda parlak yüzeyler gözükmez bunun nedeni fay bloklarının kayaç yapısının parlaklık



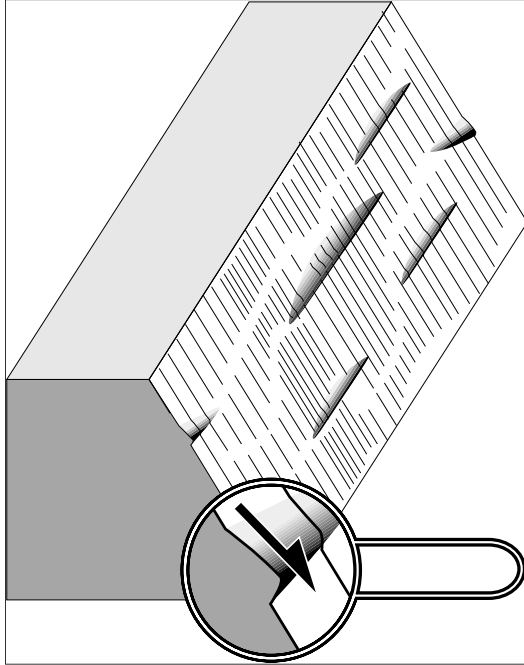
Şekil 47: Kesişen düzlemler ve fay düzlemlerinde rake, dalım, kesişim (kırım) eksenini, henge çizgisi, ve fay çiziyi, gerçek atım, yanal atım, düşey atım, düşme ve açılma ilişkisi.



Şekil 48. Faylanmaya bağlı gelişen sürüklenme kırılmaları.

kazanmasına elverişli olmaması veya oluşan parlak yüzeylerin daha sonradan alterasyona uğraması sonucu kaybolmuş olmasının olabilir.

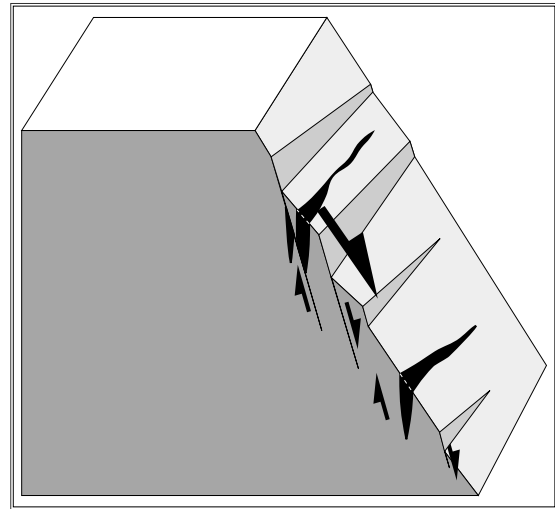
Bir çok fay yüzeyi, kayma yönüne paralel gelişmiş çizikler içerirler, bu çiziklere **fay çizikleri** denir ve fay bloklarının gerçek hareket yönünü gösterirler. Bazı fay çizikleri fay blokları arasında kalmış sert tanelerin veyadüzgün olmayan fay yüzeyinin diğer fay bloğunu oyması sonucu derin oluk şekilli oyuklar şeklinde gelişebilirler bu tip çiziklere **fay oyukları** denir. Fay çizikleri ve oyukları harekete



Şekil 49: Fay çizikleri ve fay tepecikleri. Mercek fay tepeciğinin yakından görünüşüdür. Fay tepeciğinin yönelimi harekete diktir. Tepeciklerin uzun ve kısa kenarları ile fayın hareket yönüne dikkat

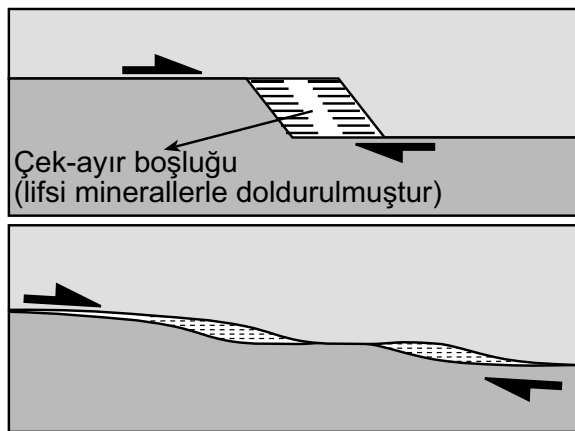
paralel gelişirken, fayın hareketine dik yönde küçük tepecikler gelişir. Bu tepeciklere fay tepecikleri denir. Fay tepecikleri uzun eksenini fayın hareketine dik yönde gelişirler. Tepecikler hareketin olduğu düzlemde asimetric bir geometri sunarlar. Tepeciğin yüksek eğimli kısmı (kısa kenarı) üst bloğun hareket ettiği yönde ve az eğimli kısmı (uzun kenarı) ise üst bloğun hareketinin tersi yöndedir (Şekil 49).

Fay tepeciklerinin bu özellikleri fay bloklarının hareket yönünün belirlenmesinde çok önemli bilgiler sağlarlar. Özellikle faylanmış kırılğan kayalarda yoğun şekilde gelişmiş eklemeler ve mikro faylar görülür (Şekil 50). Ayrıca faylanmış kayalar kırılma ve ufalanma sonucu breşe dönüşebilir. Bu tip kayalara fay breşi denir ve fay breşleri arazide faylanmanın en önemli göstergelerindendirler. Faylar tarafından oluşturulmuş kayalara genel olarak **milonit** denir. Fay yüzeyi boyunca ayrıca bazı boşluklar gelişir ve bu boşluklar fay boyunca hareket eden sıvılardan çökelen minerallerle doldurulur. Bu mineraller bazen değerli madenlerin oluşmasına neden olabilir. Bu tip boşluklar çoğunlukla fay



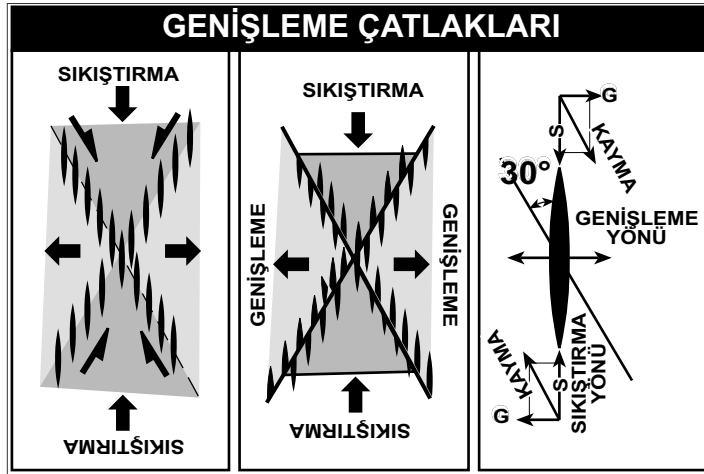
Şekil 50. Ana fay üzerinde gelişen mikro faylar ve genişleme yapıları ile ilişkileri

yüzeyinin düzensiz olmasından kaynaklanan küçük çaplı çek-ayır boşluklarıdır (Şekil 51). Çek-ayır boşlukları genelde ikincil olarak kalsit, jips gibi lifsi minerallerle doldurulurlar. Liflerin gelişimi fay çiziklerinde olduğu gibi fayın gerçek hareket yönüne paraleldir (Şekil 51).

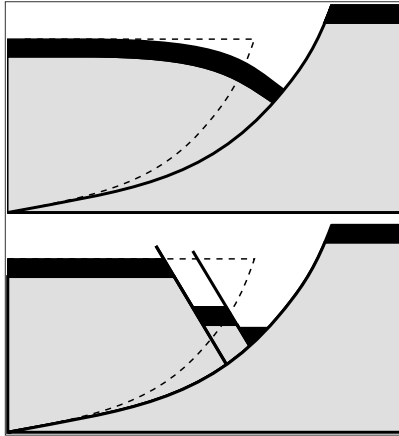


Şekil 51. Çek ayır boşlukları. Boşluklarda gelişen lifsi mineraller fayın hareketine paraleldir.

Genişleme çatlakları, fayların hareket yönlerinin belirlenmesinde kullanılan bir diğer önemli yapı çeşididir. Bu yapılar mikroskopik ölçekten bir kaç on kilometre ölçeğine değişen büyüklükte gelişebilirler (Şekil 52). Genişleme çatlakları genelde her zaman ikincil minerallerle dolduruldukları için genişleme damarları olarak da adlandırılırlar. Genişleme çatlaklarının bir diğer özelliği ise çatlakların fayı yaratan kuvvetlerle olan ilişkisidir. Çatlağın uzun eksenini her zaman ana sıkıştırma stresine paralel ve ana genişleme ekei



Şekil 52. Genişleme çatlaklarının gelişimi. Çatlakların, fay düzlemi, sıkıştırma ve genişleme yönleri ile olan ilişkisine dikkat ediniz.



Şekil 53. Ters sürüklenme kıvrımlarının oluşum mekanizması.

her zaman uzun eksene diktir. Fay yüzeylerinde, çatlakın yarısı alttaki diğer yarısında üstteki blokta kaldığı için çatlakların sadece yarısı bir blokta görülür. Genişleme çatlakları ile fayın arasındaki açı genelde 30° civarındadır. Bu özellik genişleme çatlaklarının fayların kinematik analizlerinde kullanılan en güvenilir verileri oluşturmalarına sebep olmaktadır.

Bazı faylarda sürüklenme kıvrımları beklenildiğinin aksi yöndedir. Bu tip kıvrımlara ters sürüklenme kıvrımları denir ve çok özel şartlarda oluşurlar. Ters kıvrımlanma genelde bölgesel genişlemenin görüldüğü ortamlarda ve yerel olarak deltaların ön kısımlarında ve yüksek eğimli topografyanın olduğu bölgelerde (heyalan olarak) gelişen yukarıdan aşağıya doğru eğimi azalan

ve listrik/kürek şekilli normal faylarda görülür (Şekil 53).

Kürek şekilli faylarda, fayın geometrisi nedeni ile eğim aşağı hareket eden üst blok ile alt blok arasında geometrik uyumsuzluk doğar. Bu uyumsuzluk, Şekil 53'de kesikli çizgi ile de gösterilmiştir. Arada oluşabilecek olan boşluk eğer fay bloklarını oluşturarak kayaç kırılğan ve kıvrılmaya pek eğilimli değil ise ana faya zıt yönde oluşacak ikincil faylarla örtülür. Aksi takdirde üst blok ters yönde kıvrılarak aradaki boşluğu doldurur. Bu olay da ters sürüklenme kıvrımlarının oluşmasına sebep olur (Şekil 53).