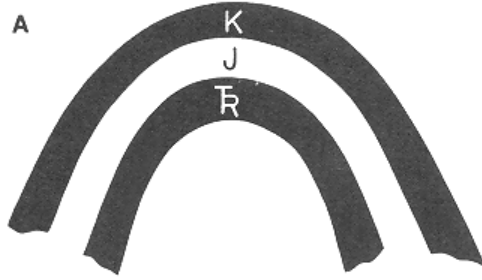


# VI. KIVRIMLAR (SÜNÜMLÜ / SÜNEK DEFORMASYON)

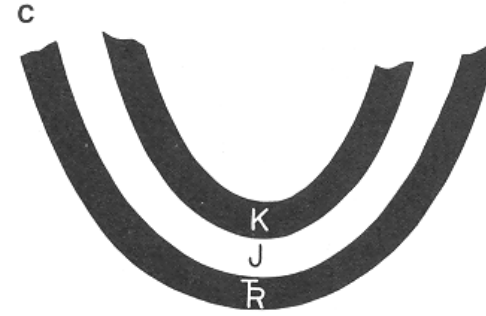


## VI. 1. Tanım ve genel bilgiler

Tabakalı kayaçların tektonik kuvvetlerin etkisiyle kazandıkları dalga şeklindeki deformasyon yapılarına **kıvrım**, meydana gelen olaya da **kıvrımlanma** denir. Bu yapı kubbe (antiklinal) veya çanak (senklinal) şeklinde olabilir (Şekil VI.1).

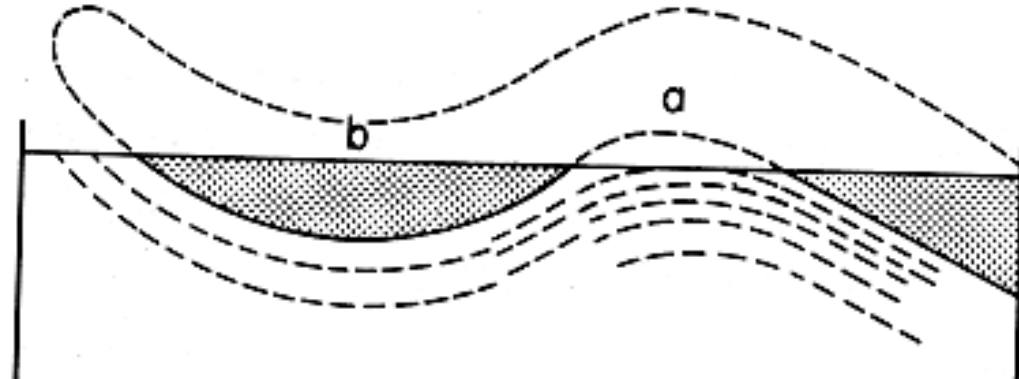


Şekil VI.1. Antiklinal (merkezde yaşlı)



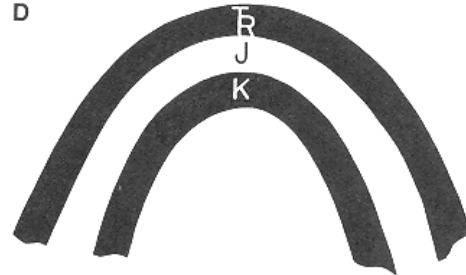
Senklinal (merkezde genç)

Bazı hallerde örneğin metamorfik kayaçların bir çoğunda kıvrımlı yapının merkezdeki birimlerinin genç mi yaşlı mı olduğu belli olmaz. Bu nedenle bu tür kıvrımlı yapılar **antiform** veya **sinform** diye adlandırılır (Şekil VI.2).

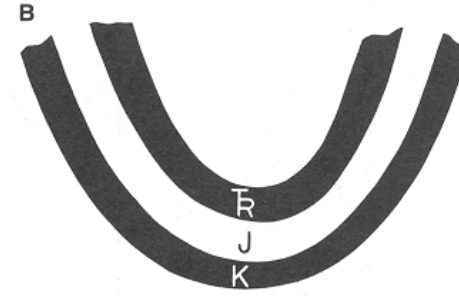


Şekil VI.2. a) Antiform, b) synform

Dış görünüm olarak antiklinale benzeyen fakat kayaçların yaş sıralaması senklinale uyan bir kıvrıma **antiformal senklinal**, bunun tam tersi duruma da **sinformal antiklinal** adı verilir (Şekil VI.3).



Şekil VI.3. Antiformal senklinal



Senformal antiklinal



# Kıvrımların Geometrik Elemanları

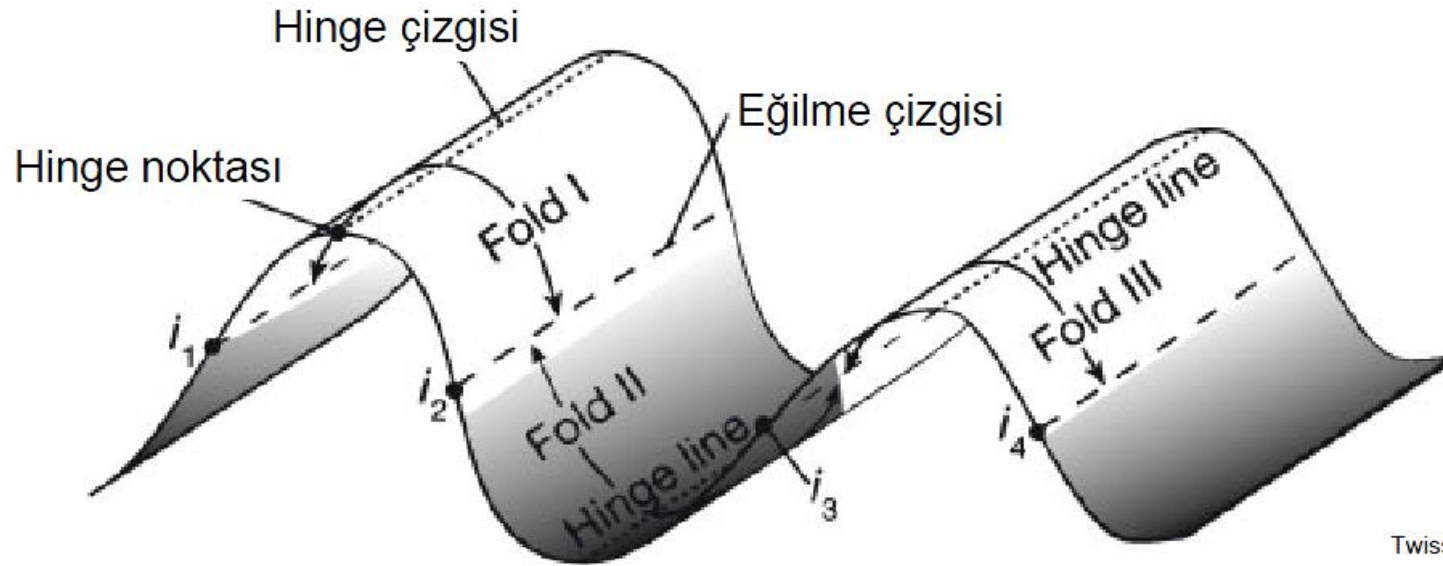
## Kıvrımlanmış Yüzeyin (Tek) Bölümleri

**Hinge noktası (Hinge point)**  $\Rightarrow$  bükümlü/kavisli bir yüzey üzerinde eğriliğin maksimum olduğu nokta

**Hinge çizgisi (Hinge line)**  $\Rightarrow$  Kıvrımlanmış bir yüzey üzerinde *hinge noktalarını birleştiren çizgi* veya kıvrımlanma yarı çapının minimum olduğu çizgi; **kıvrım eksenini**, Kıvrımlanmış bir yüzeyin eğriliğinin miktarı farklı olacağından hinge çizgisi doğru bir çizgi olmayabilir.

\* eğer, kıvrımlanmış yüzeydeki kavis bir zonu tanımlıyorsa ve bu zondaki kavislik sabit bir yay oluşturuyorsa, bu yayın orta bölümü 'hinge noktasıdır'

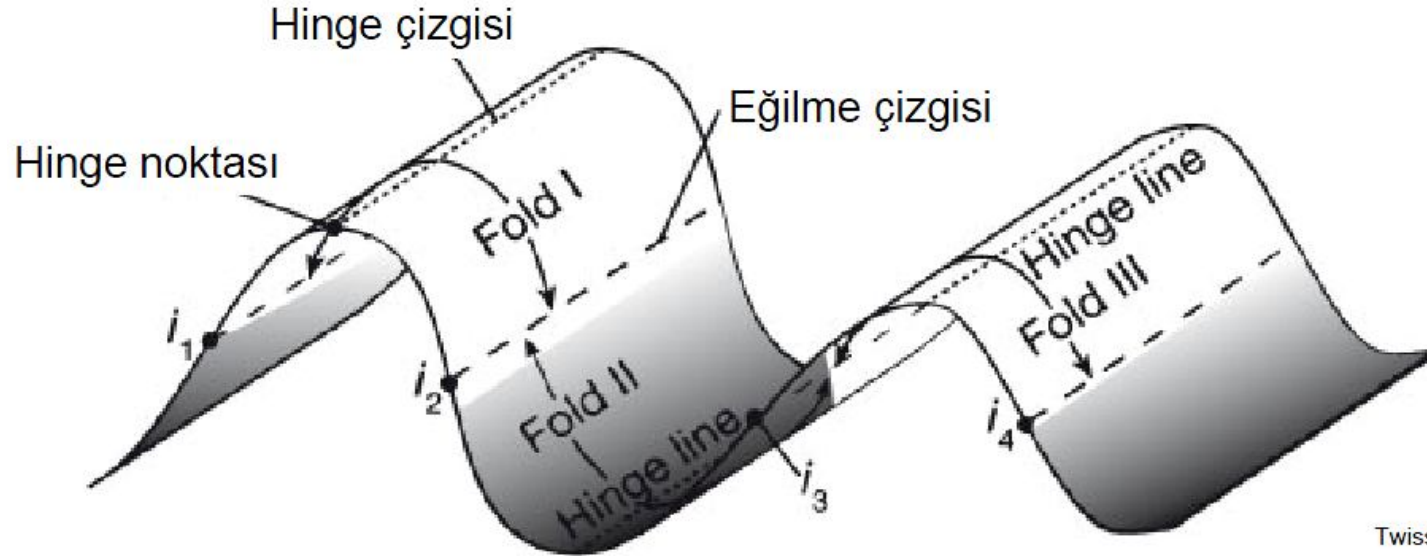
\* aksi durumda birden fazla hinge noktası olabilir



Twiss & Moores 1992

**Eğilme/bükülme noktası (Inflection point)**  $\Rightarrow$  bir kıvrım boyunca yüzeyin kavisliğinin dışbükey (konveks) konumundan içbükey (konkav) konuma dönüştüğü nokta. Eğer yüzey düzlemsel ise (yani bir kavislik söz konusu değilse) eğilme noktası düzlemsel kesitin orta noktası olarak alınır.

**Eğilme/bükülme çizgisi (Inflection Line)**  $\Rightarrow$  bir yüzey üzerindeki eğilme noktalarını birleştiren doğru.



Twiss & Moores 1992

**Kıvrım Eksenini** ⇒ Kıvrımlar genelde bir çok silindirin birleşiminden oluşmuş gibi silindir biçimlidir. Bu silindirlerin eksenine paralel fakat sanal bir çizgi kendisine paralel bir şekilde serbestce boşlukta hareket ettirilirse ve kıvrımlanmış yüzeyin biçimini tanımlıyorsa bu sanal çizgi **kıvrım eksenidir**. Kıvrımların eksenleri vardır, ancak kıvrımların tanımı için zorunlu değildir.

'Kıvrım eksenini', kıvrılmış düzlem üzerinde kaydırıldığında düz bir çizgiye en yakın doğrudur [Davis & Reynolds, 1996 (Donath & Parker, 1964 ve Ramsay 1967' den sonra)]. Kendi eksenini tarafından tanımlanan kıvrıma '**silindirik kıvrım**' denir.

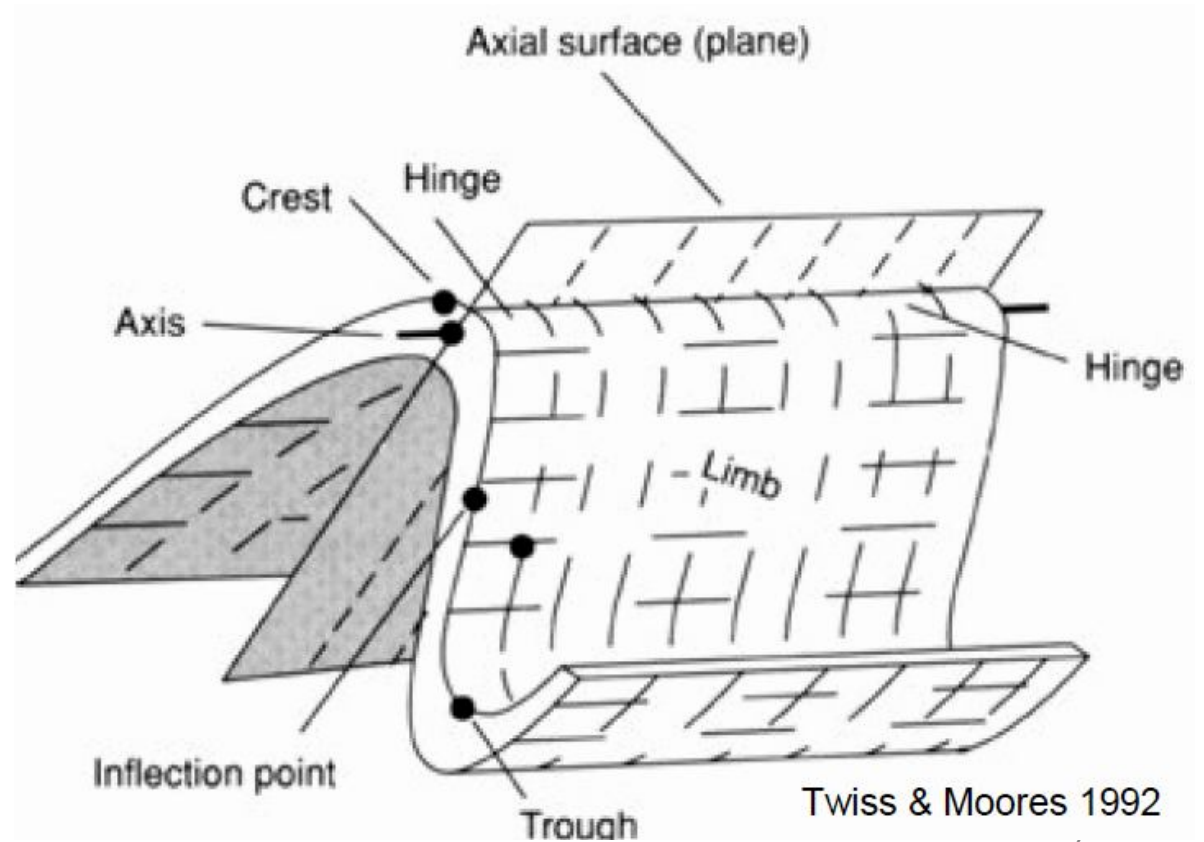
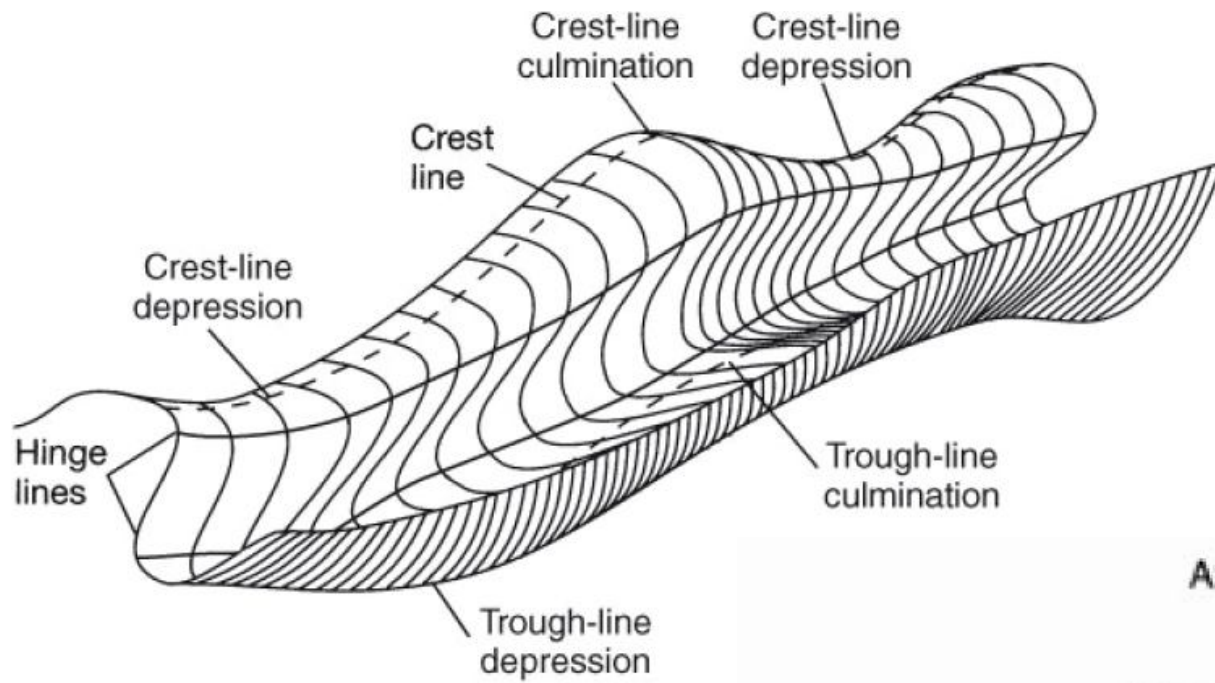
**Doruk noktası (Crest)** ⇒ Bir kıvrımın yatay bir referans düzlemine (yer yüzeyini) göre en yüksek noktası

**Doruk Çizgisi** ⇒ doruk noktalarını birleştiren veya üzerinde bulunduran doğru

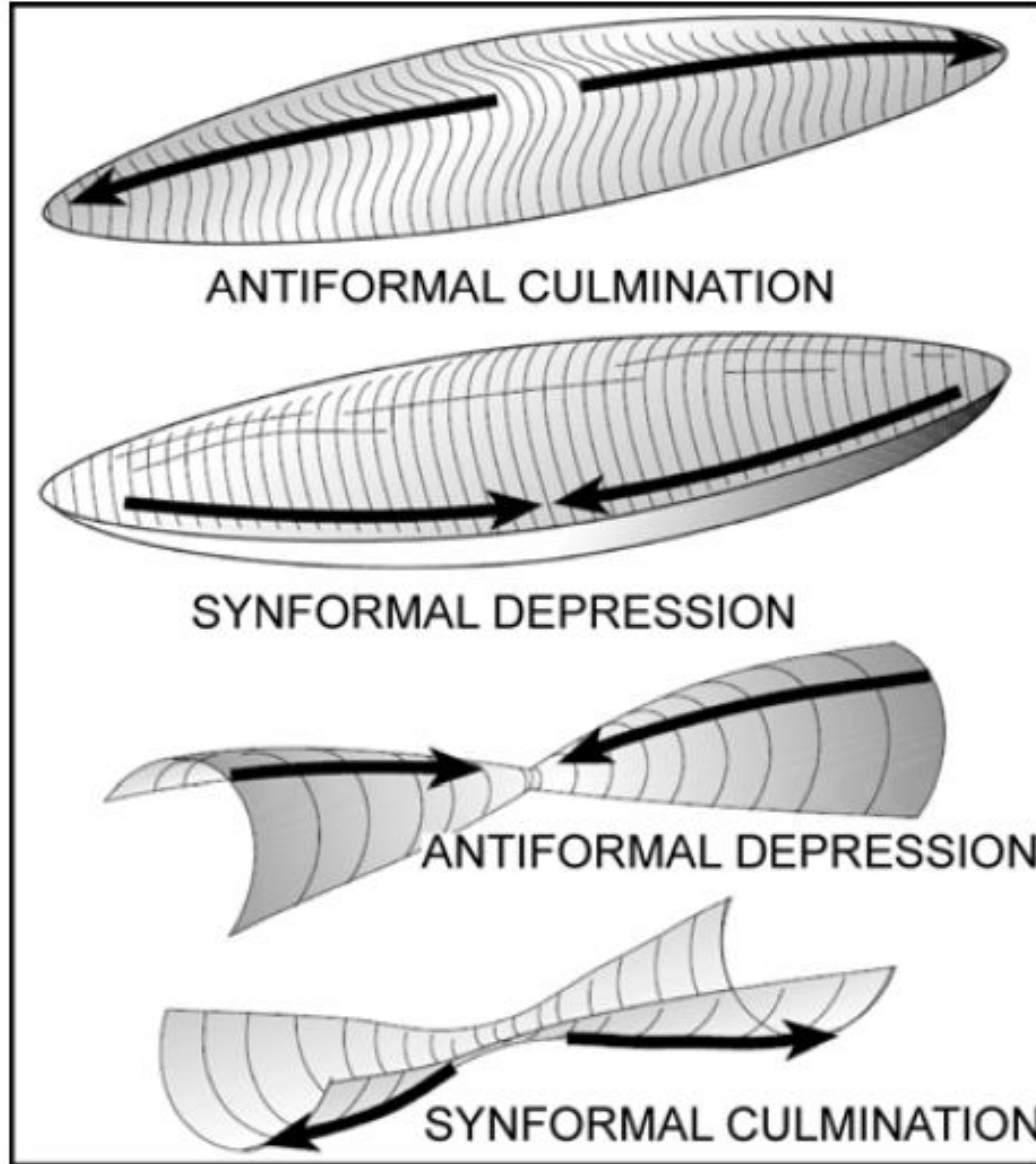
**Çukurluk (trough)** ⇒ Bir kıvrımın yatay bir referans düzlemine (yer yüzeyini) göre en düşük noktası

**Çukurluk Çizgisi** ⇒ çukur noktalarını birleştiren doğru

**Kulminasyon ve Depresyon** ⇒ doruk ve çukurluk çizgilerinin (kavisli) geçtiği maksimum ve minimum yükseliğe sahip alanlar.



Twiss & Moores 1992



Eğer bir kıvrımın kanatları aynı yöne fakat farklı miktarlarda eğimli ise kıvrımların hinge çizgisi vardır fakat doruk ve çukurluk çizgileri yoktur (örnek: monoklinal) !

Kulminasyon ve Depresyon  $\Rightarrow$  doruk ve çukurluk çizgilerinin (kavisli) geçtiği maksimum ve minimum yükseliğe sahip alanlar.

DOUBLY PLUNGING ANTICLINE AND SYNCLINE PAIRS

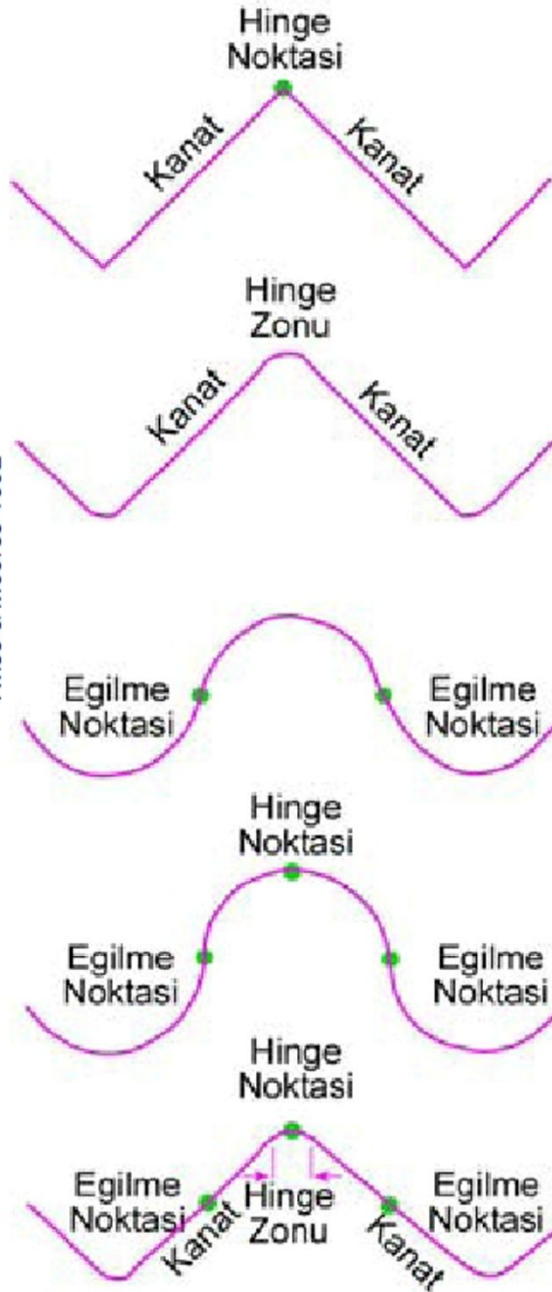






# Kıvrımların Geometrik Elemanları

Twiss & Moores 1992



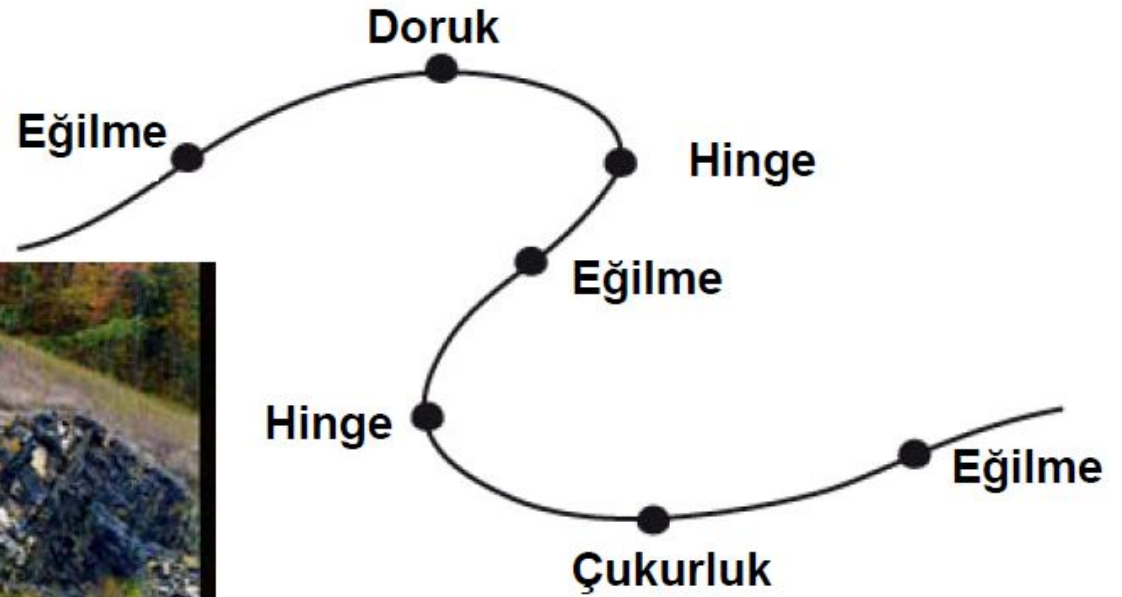
## Kıvrılanmış Yüzeyin (Tek) Bölümleri

Hinge Zonu  $\Rightarrow$  çoğunlukla kıvrılanmış yüzeyde bükümlenmenin (kavisin) en fazla / maksimum eğriliğin olduğu alan. Teknik olarak, kıvrımın iki kanatlarına bükülme noktalarından teğet olan teğet olan bir daireden daha fazla eğriliğin olduğu alan!

Kanat (Limbs/Flanks)  $\Rightarrow$  Hinge noktası/zonları arasında kalan fakat daha az eğriliğe sahip yüzeyler ki bükülme doğrularını içerir

## Kıvrımlanmış Yüzeyin (Tek) Bölümleri

**Profil** ⇒ Kıvrımların hinge çizgisine dik bir düzlem üzerindeki izi! VEYA hinge çizgisi yönünde bakıldığında kıvrımın görüntüsü. Profil üzerinde hinge, doruk, çukurluk ve bükülme çizgileri birer nokta olarak görülürler.

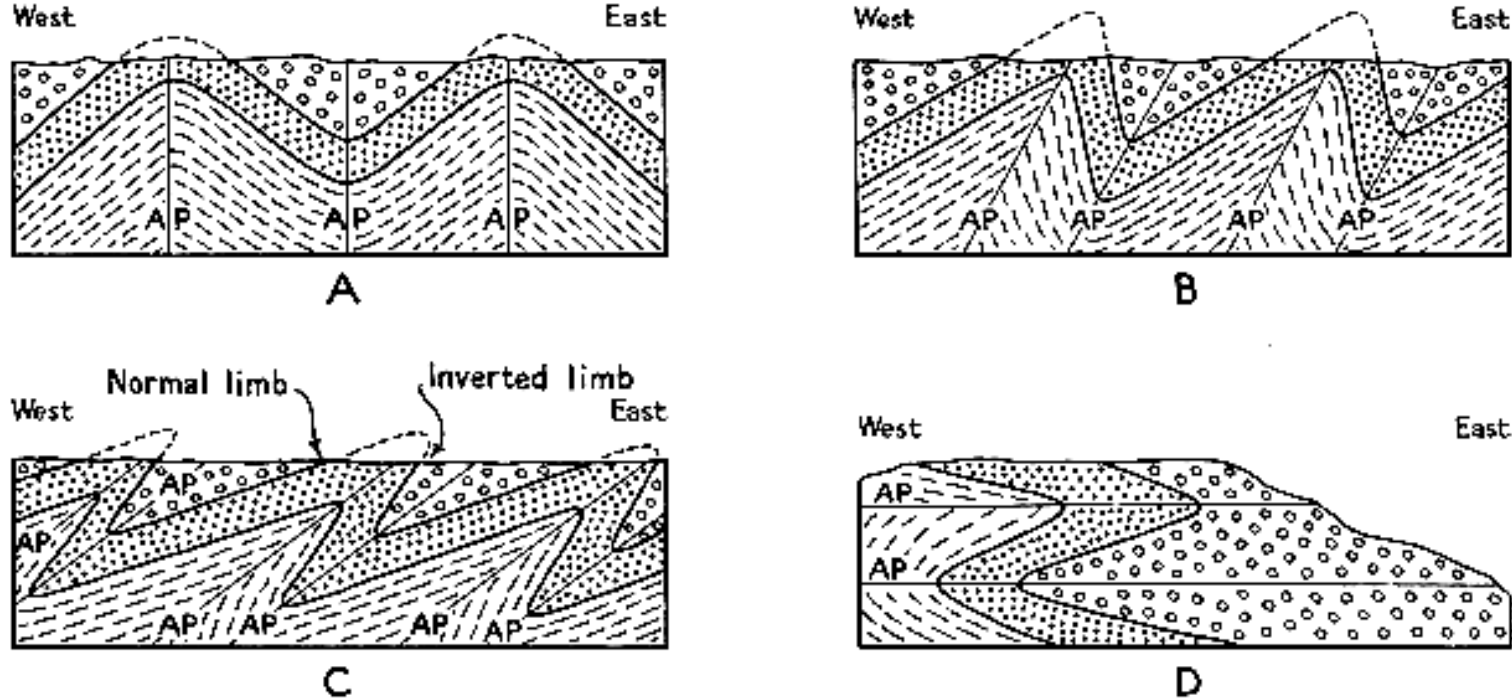


Twiss & Moores 1992

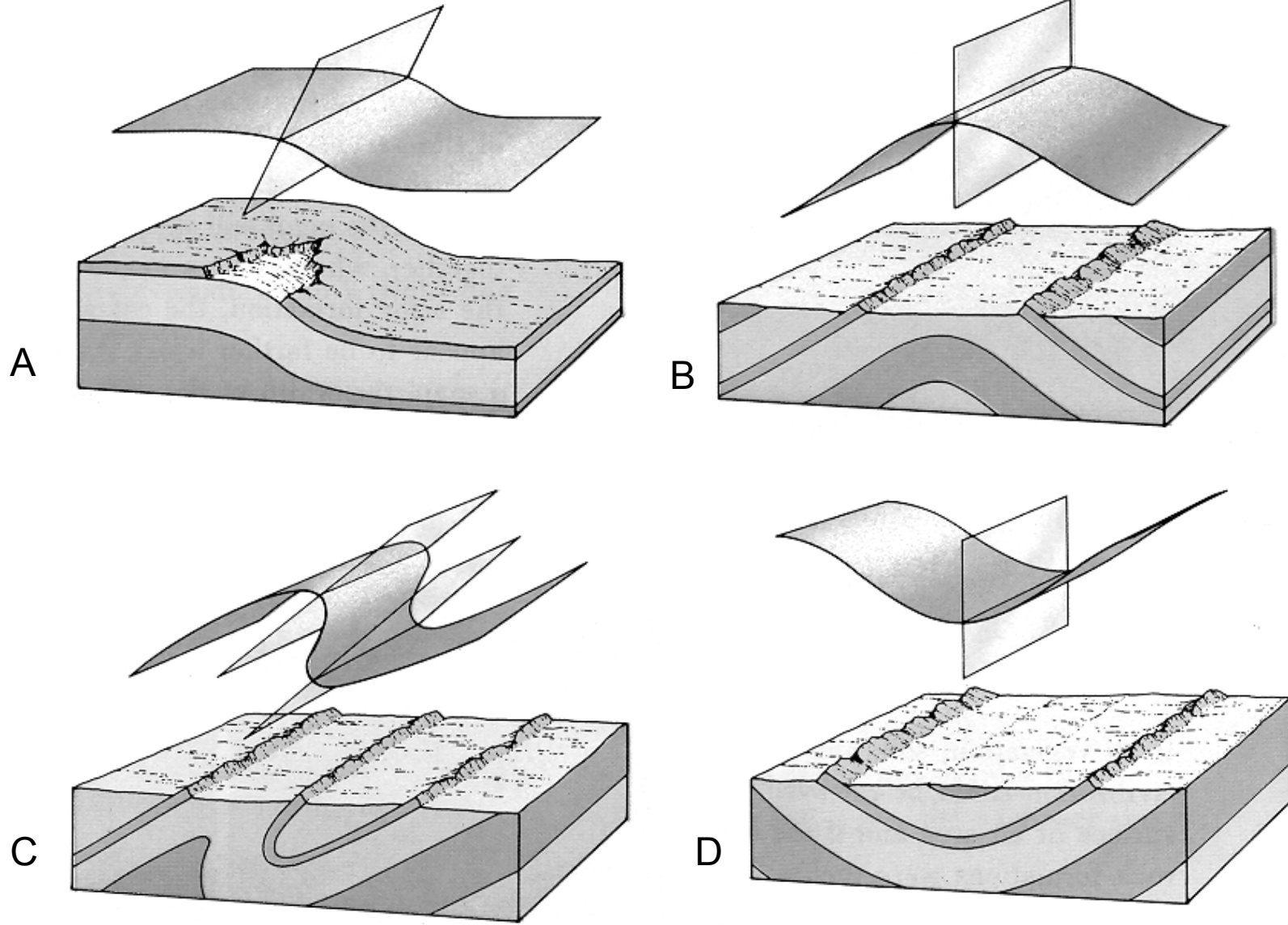
## VI. 2. Kıvrımların Sınıflandırılması

En önemli kıvrım sınıflaması şu şekildedir: Kıvrım eksen düzleminin ve kıvrım kanatlarının konumuna göre, Fleuty sınıflaması, şekle ve yapıya göre sınıflama, izogonal sınıflama, kıvrımların yatay ile olan ilişkilerine göre sınıflandırma.

**VI.2.1. Kıvrım eksen düzleminin ve kıvrım kanatlarının konumuna göre** kıvrımlar simetrik, asimetrik, devrik, yatık (Şekil VI.10, 11) ve yeniden kıvrımlanmış kıvrım (Sekil VI.12) olarak sınıflandırılır .



**Şekil VI.10.** A. Simetrik kıvrım, B. Asimetrik kıvrım, C. Devrik kıvrım, D. Yatık (recumbent) kıvrım (Billings 1972)

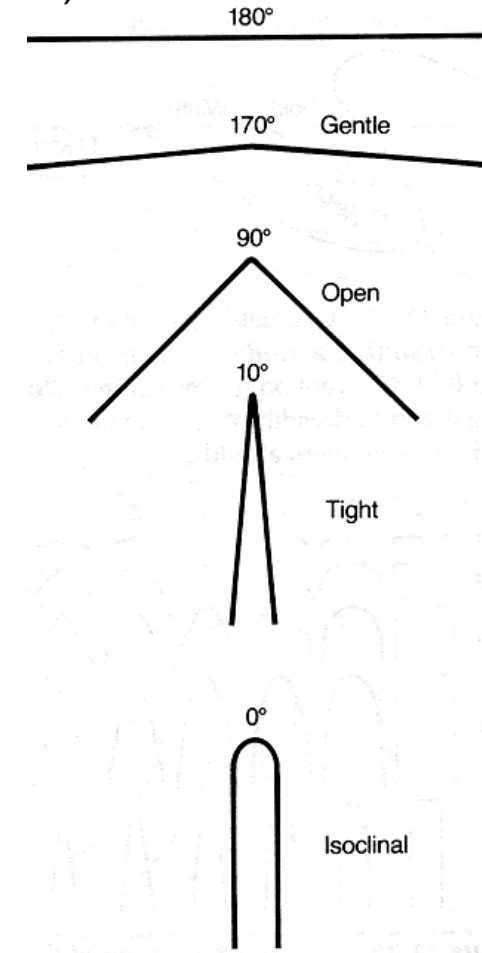


**Şekil VI.11.** Kıvrım geometrisinin üç boyutlu görünümü. A. Monoklinal, B. Simetrik antiklinal, C. Devrik antiklinal ve senklinal, D. Simetrik senklinal (Hamblin & Howard 1986).

## VI.2.2. Fleuty Sınıflandırması

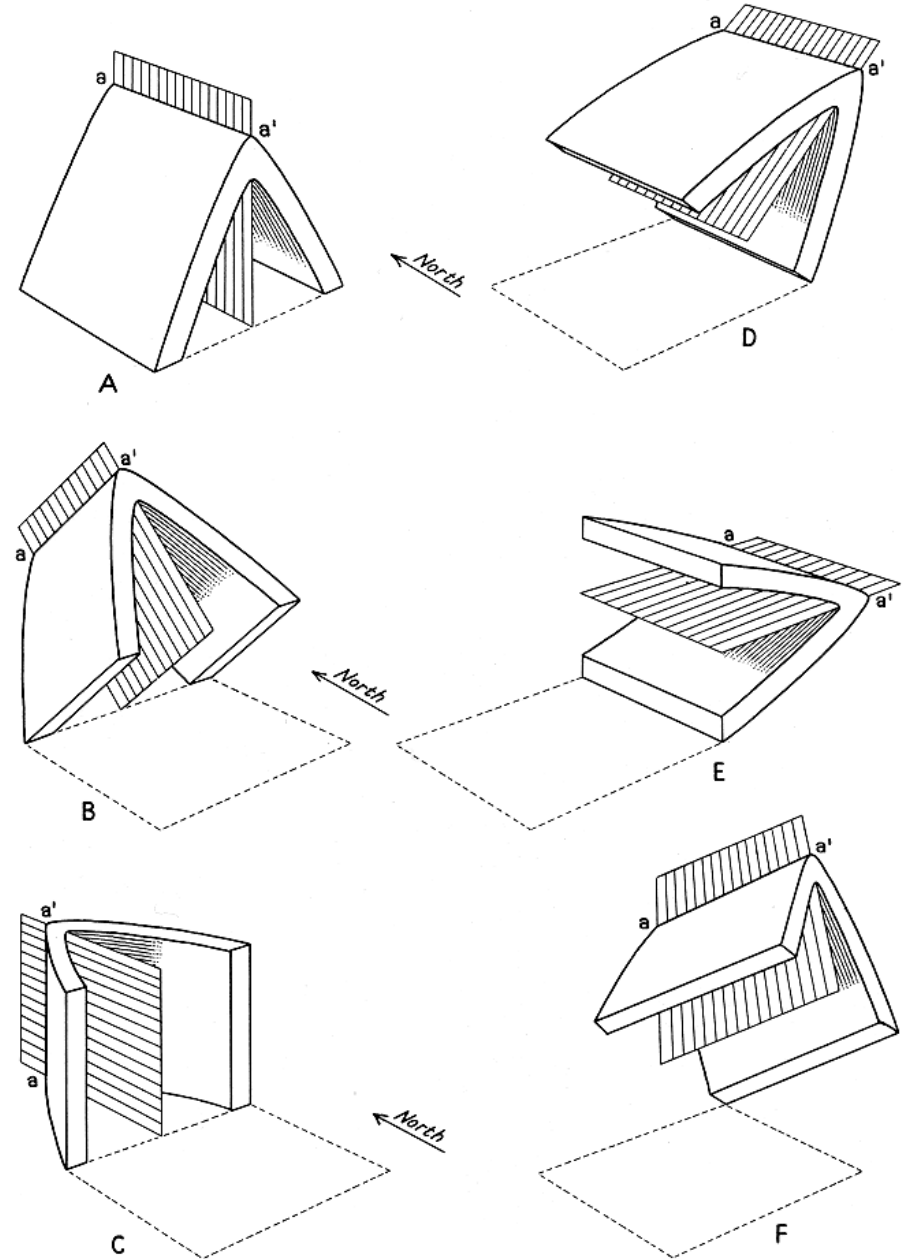
Kıvrım kanatları arasındaki açığa göre sınıflandırma (Şekil VI.13):

Kıvrım kanatları arasındaki açı	Kıvrıma verilen ad
$0^{\circ} - 10^{\circ}$	İzoklinal kıvrım
$11^{\circ} - 30^{\circ}$	Sıkı (kapalı-tight) kıvrım
$31^{\circ} - 70^{\circ}$	Kısmen sıkı kıvrım
$71^{\circ} - 120^{\circ}$	Açık (open) kıvrım
$121^{\circ} - 180^{\circ}$	Hafif (gentle) kıvrım



## Eksen düzleminin eğim derecesine göre sınıflandırma:

Eksen düzleminin eğim derecesi	Kıvrıma verilen ad
0° –	Yatay
1° – 10°	Yataya yakın
11° – 30°	Azmeylli kıvrım
31° – 60°	Orta derece meyilli kıvrım
61° – 80°	Çok meyilli kıvrım
81° – 89°	Düşeye yakın kıvrım
90°	Düşey kıvrım



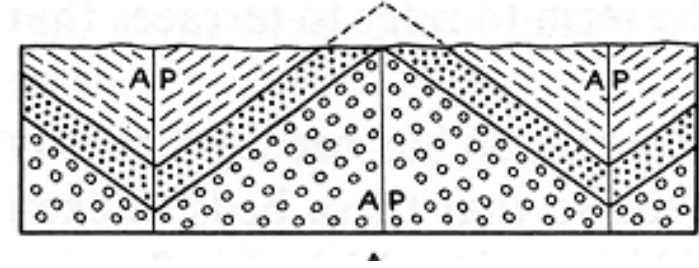
Kıvrım eksenini (a-a') ve eksen düzleminin konumuna göre oluşan değişik kıvrımlar.

- A. Yatay eksenli, düşey eksen düzlemlili kıvrım,
- B. Dalımlı eksenli, eğik eksen düzlemlili kıvrım,
- C. Düşey eksenli ve eksen düzlemlili kıvrım,
- D. Yatay eksenli devrik eksen düzlemlili kıvrım,
- E. Yatay eksenli, yatık eksen düzlemlili kıvrım,
- F. Dalımlı eksenli ve eğik düzlemlili kıvrım.



## VI.2.3. Şekle ve Yapıya göre sınıflandırma

a) Zik-zak (şevron) kıvrım  
Gevrek (kompetant)  
malzemelerde gelişir



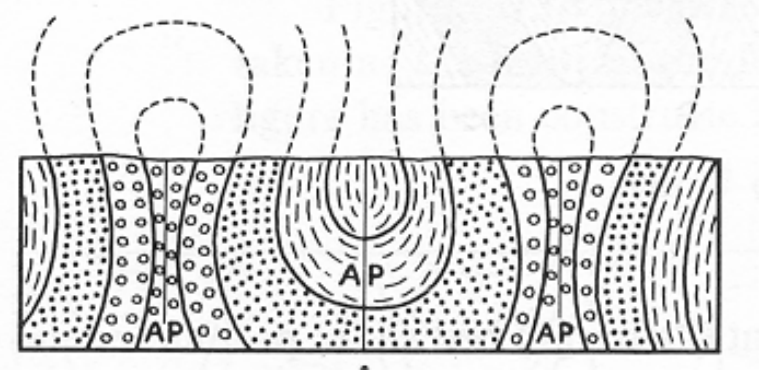
**b) Silindirik kıvrım (cylindrical fold)**

Yarım daire şeklindedir. Genelde uzun süreli deformasyonu temsil eder.



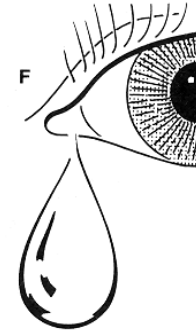
**c) Yelpaze kıvrım (fan fold)**

Kıvrım kanatları yelpaze şeklinde birbirlerine dönük olarak meydana gelen kıvrımlardır. Uzun süren, derin gömülme ve şiddetli sıkışma ile meydana gelirler .



**d) Gözyaşı şeklinde kıvrım (tear drop fold)**

Devamlı kıvrılarak oluşmuş kıvrımlardır.

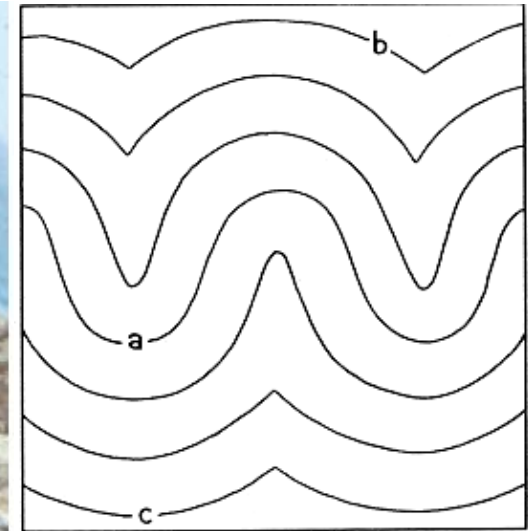


**e) Kutu (box/conjugate) kıvrım**  
Üç kanattan oluşan kıvrımlardır .



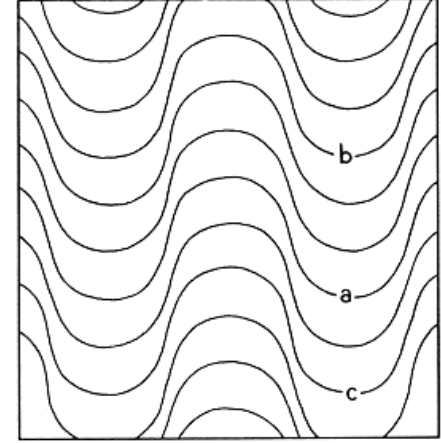
### f) Konsentrik kıvrım (paralel/concentric fold)

Kıvrımı oluşturan tabakların kalınlıkları her tarafta aynıdır. Antiklinal derinlere doğru küçülür, senklinaller ise derinlere doğru büyür. Genelde kompetant karakterli kayalarda oluşur .

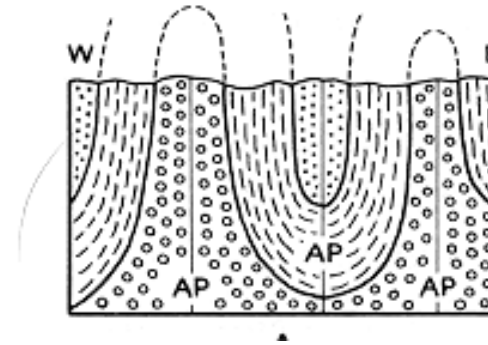


### g) Benzer kıvrım (similar fold)

Bu kıvrımlarda tabakaların herbirinin yapmış olduğu kıvrım birbirine benzer ve eşit büyüklüktedir. Tabaka kalınlıkları kıvrım ekseninde artar kanatlarda ise azalır.

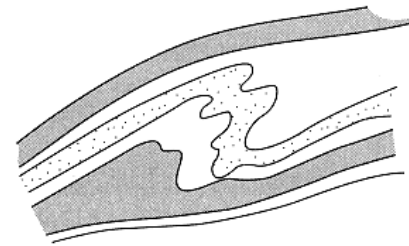


### h) İzoklinal kıvrım (isoclinal fold)



### i) Disharmonik kıvrım (disharmonic fold)

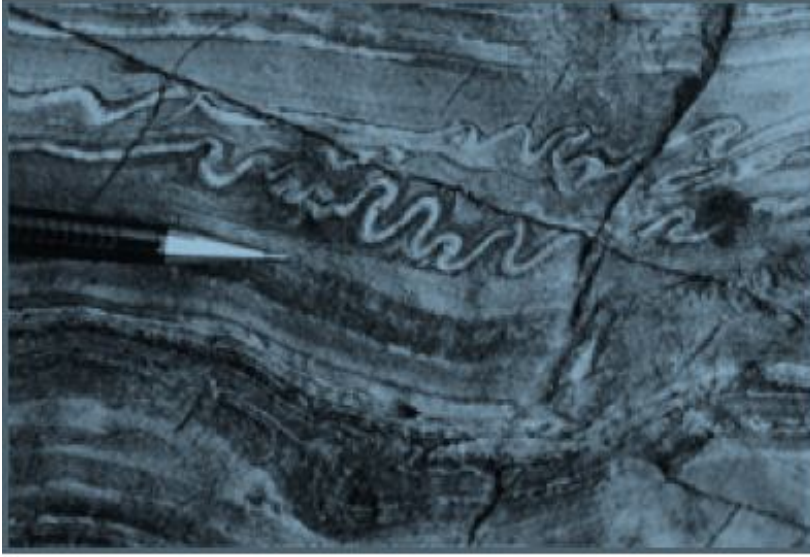
Tabakaların plastiklik dereceleri veya kıvrılma eğilimleri birbirinden farklı ise ve bu tabakalar birlikte kıvrılmaya uğarlarsa disharmonik kıvrım oluşur.



Kompetant (sert ve gevrek)  
İnkompetant (Plastisitesi fazla)  
Kompetant (sert ve gevrek)

## j) Ptigmatik kıvrım

Isı ve basıncın artmasıyla oluşur. Yarı ergimiş katıların çatlaklara, foliasyon düzlemlerine sokulduktan sonra deformasyona uğramasıyla oluşur

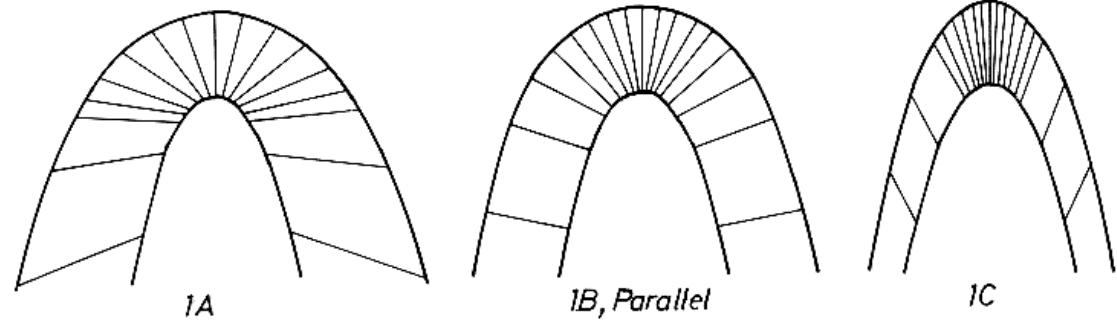


## VI.2.4. İzogonal Sınıflandırma

Bir kıvrımda yapıyı sınırlayan iki yüzey üzerinde, eğim dereceleri eşit olan noktalar vardır. Bu noktaların karşılıklı olarak birleştirilmesiyle elde edilen her hat eğim izogonu veya eş eğim hattı olarak adlandırılır. Bu izogonların, kıvrım eksenine göre olan konumları göz önüne alınarak yapılan sınıflamaya izogonal sınıflandırma denir

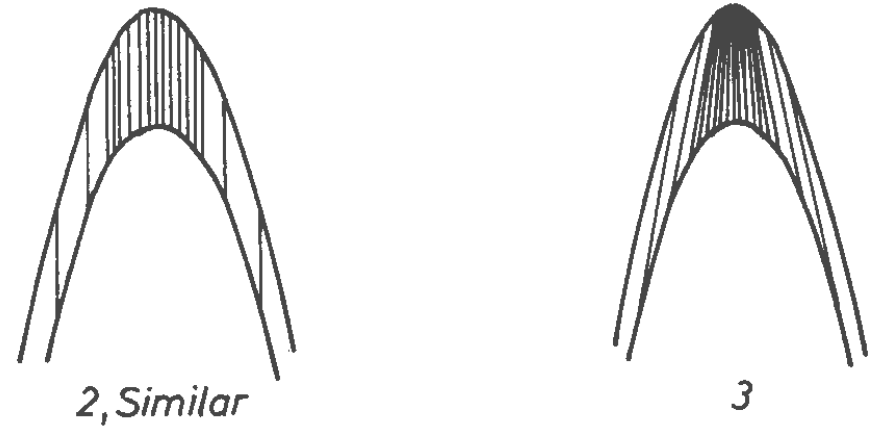
### Sınıf 1/ Yakınsak (Konverjan) izogonlu kıvrımlar:

Bu kıvrımlarda yapıyı sınırlayan yüzeylerden dışta bulunanı, içte bulunana oranla daha hafif kıvrımlanmıştır.



### Sınıf 2 / Benzer (Paralel) izogonlu kıvrımlar:

Eğim izogonları kıvrım eksenine paraleldir, yani kıvrımın iç ve dış yüzeyi aynı derecede kıvrımlanma geçirmiştir .

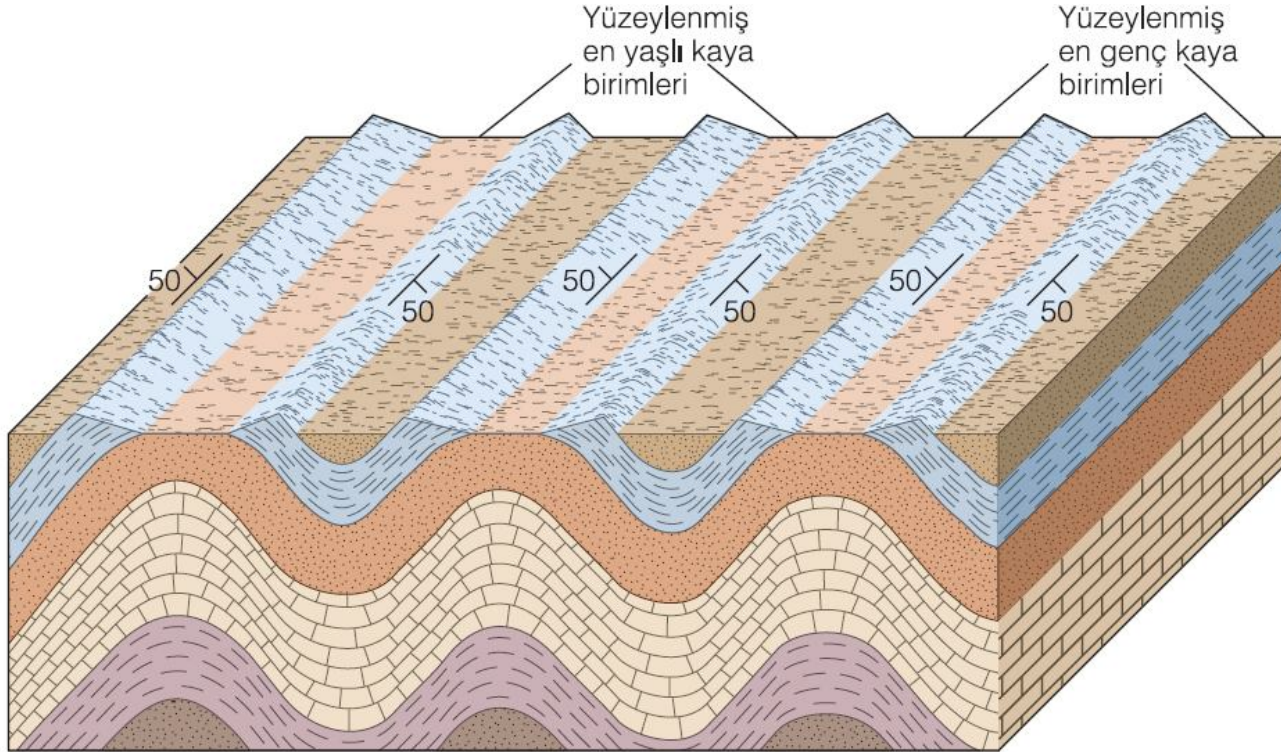


### Sınıf 3/ Uzaklaşan (Diverjan) izogonlu kıvrımlar:

İç yüzeyi, dış yüzeyine oranla daha az kıvrılmış olan kıvrımlardır.

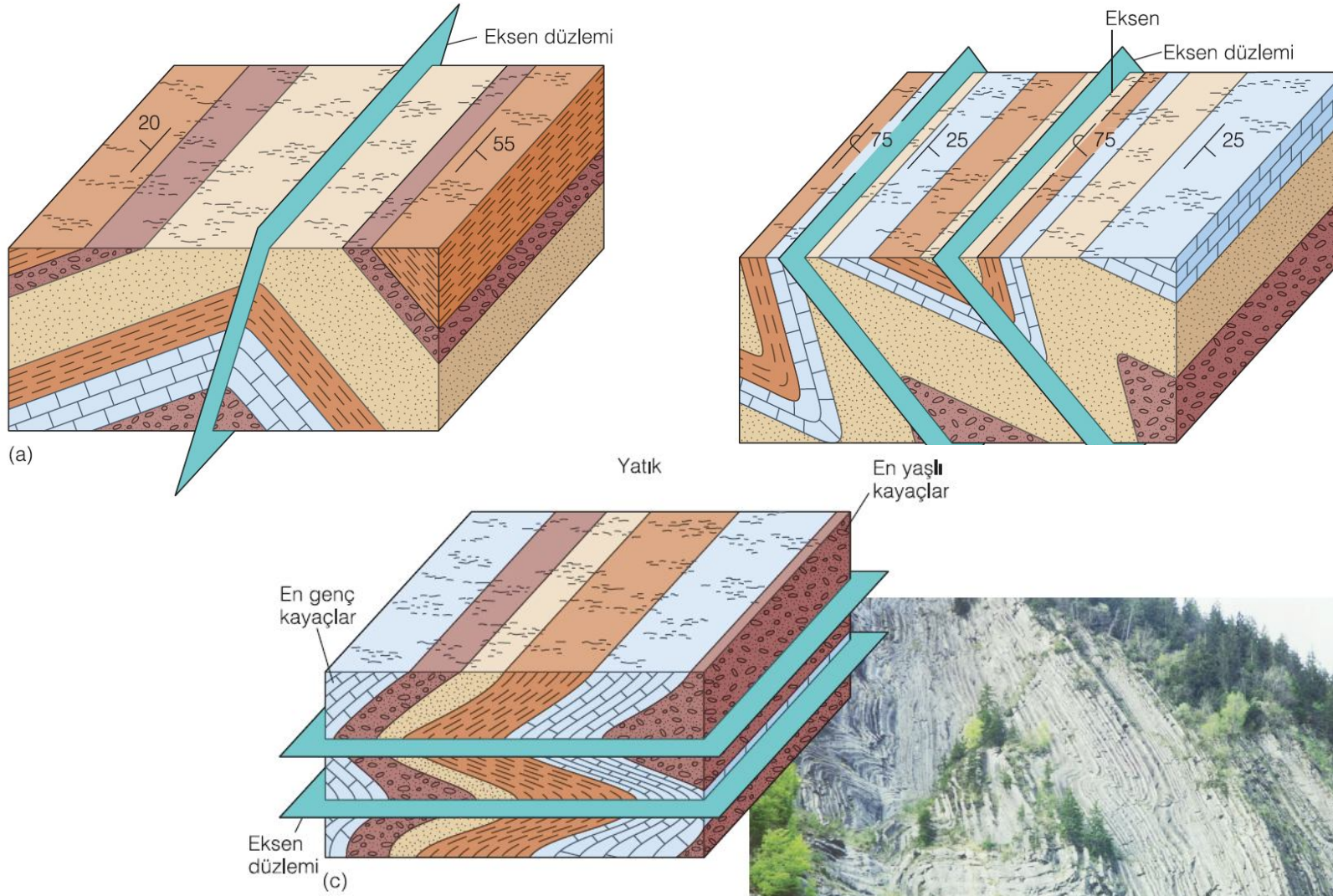
## VI.2.5. Kıvrımların yatay ile olan ilişkilerine göre sınıflandırma

Dalımsız kıvrımlar (non-plunging folds)



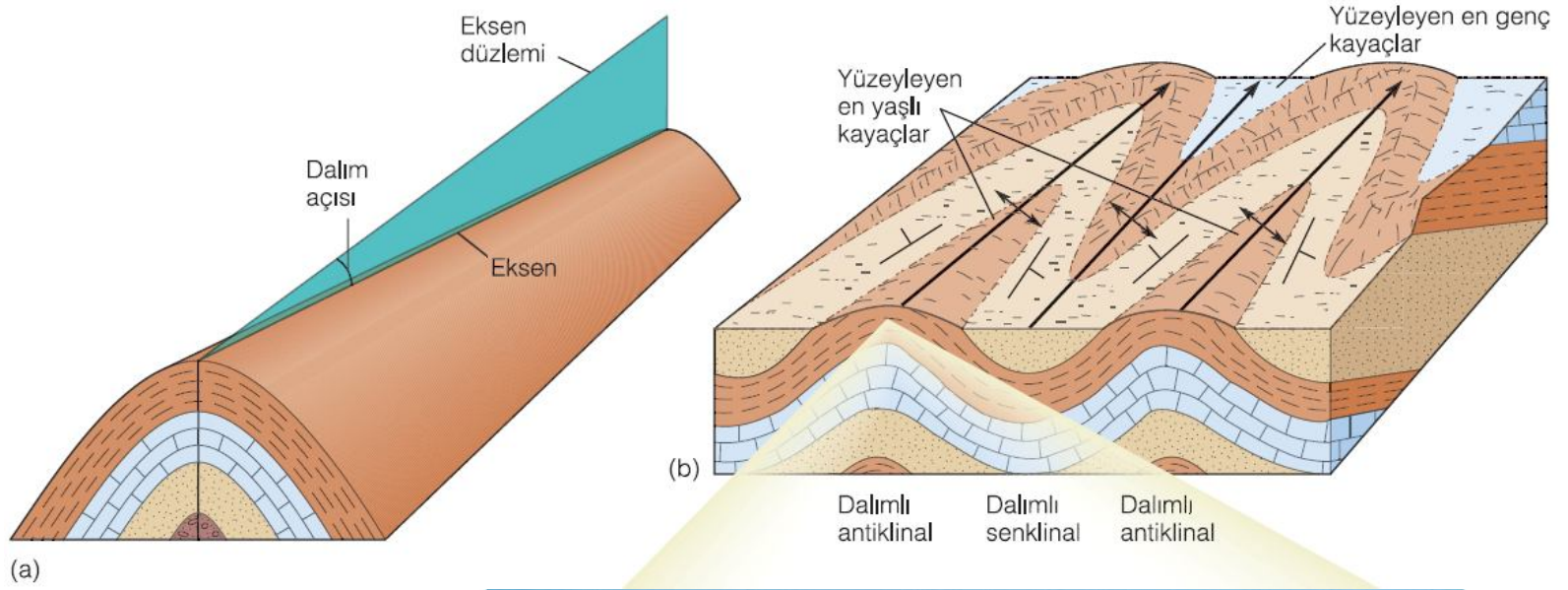
Aşınmış antiklinal ve senklinallerin, tabakalarının doğrultu, eğim ve göreceli yaşlarıyla belirlenmesi.





### Şekil 13.12

(a) Bakışsız (asimetrik) bir kıvrım. Eksen düzlemi dik konumda olmayıp kıvrım kanatları farklı eğim açlarına sahiptir. (b) Devrik kıvrımlar. İki kanat da aynı yöne eğimli olmakla birlikte bir kanat ters dönmüştür. Devrik tabakalar için kullanılan doğrultu ve eğim simgesine dikkat ediniz. (c) Yatık kıvrımlar. (d) İsviçre’de yatık bir kıvrım örneği.



### Şekil 13.13

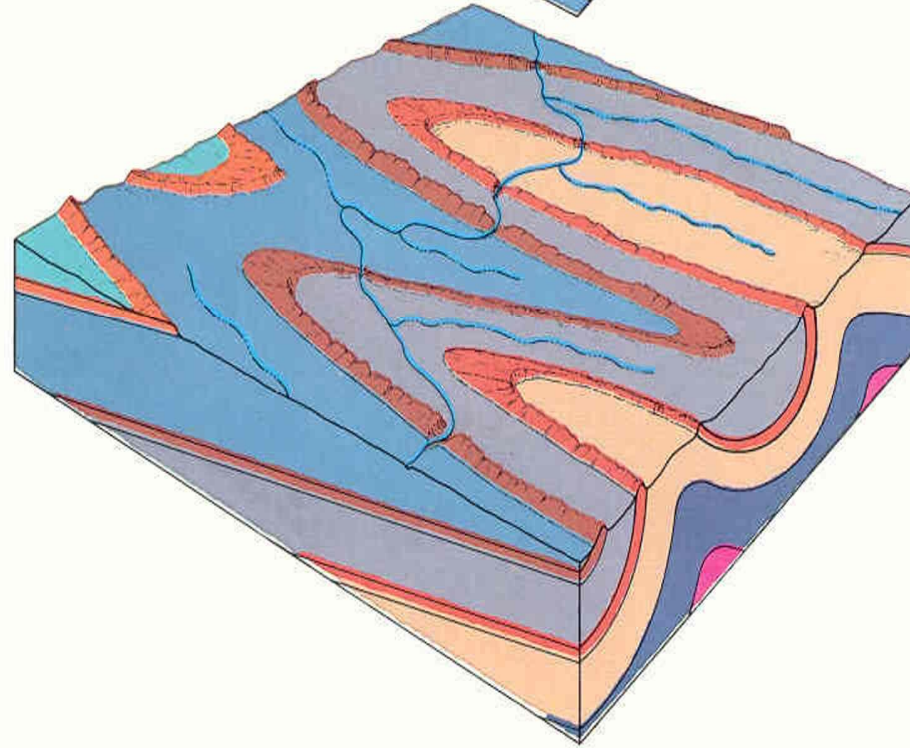
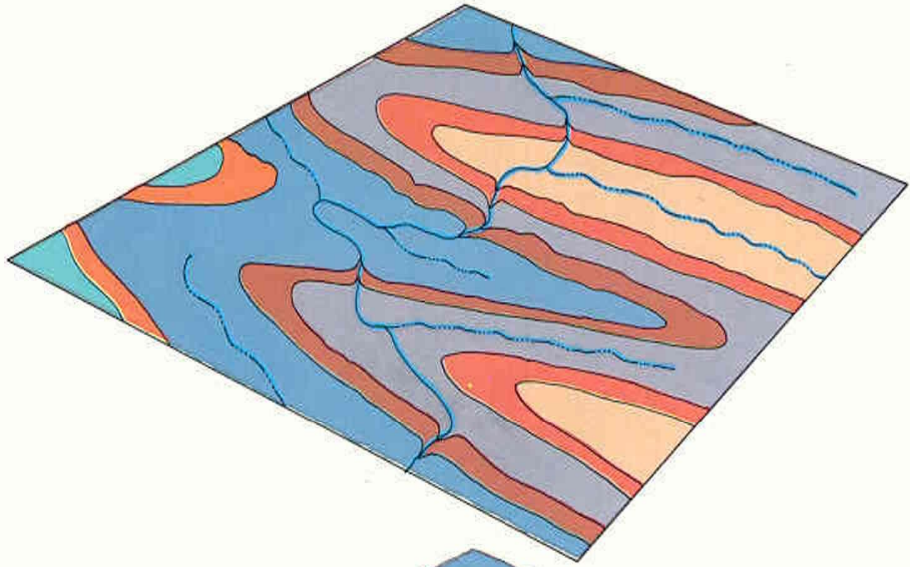
(a) Dalımlı bir kıvrım.

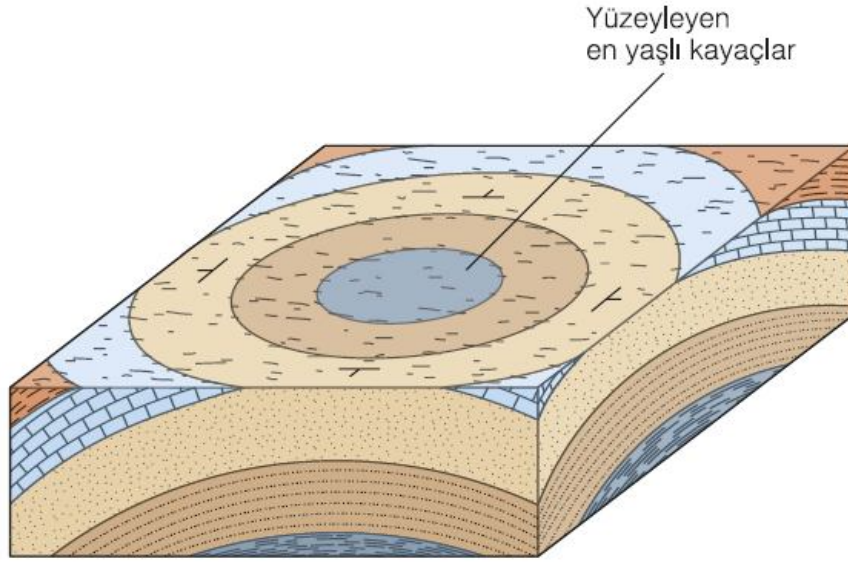
(b) Dalımlı kıvrımların yüzey ve düşey kesitteki görünüşleri. Çizginin ucundaki ok dalım yönünü gösteriyor.

(c) Wyoming'de aşınmış, dalımlı Sheep Mountain antiklinalinin görünümü. Daha büyük kıvrımın sağ yanındaki küçük kıvrıma dikkat ediniz (Monroe&Wicander, 2005).

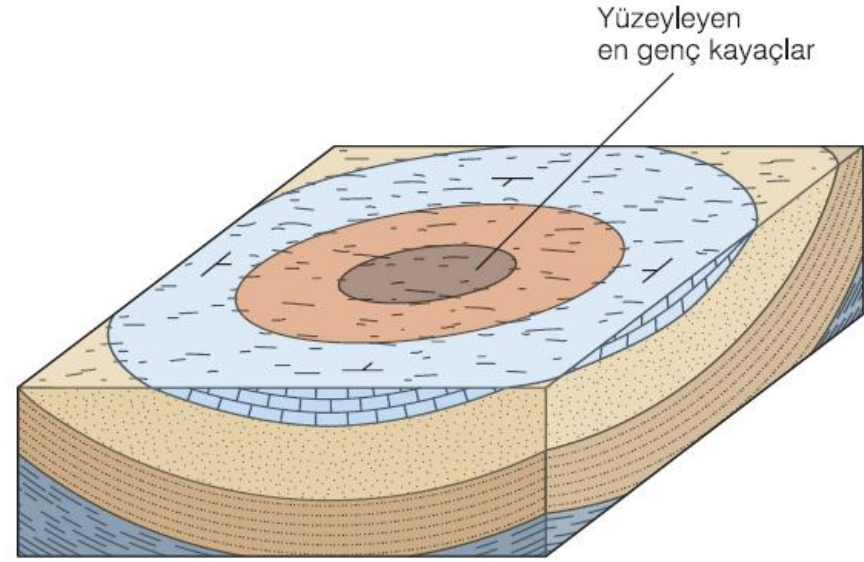


(c)





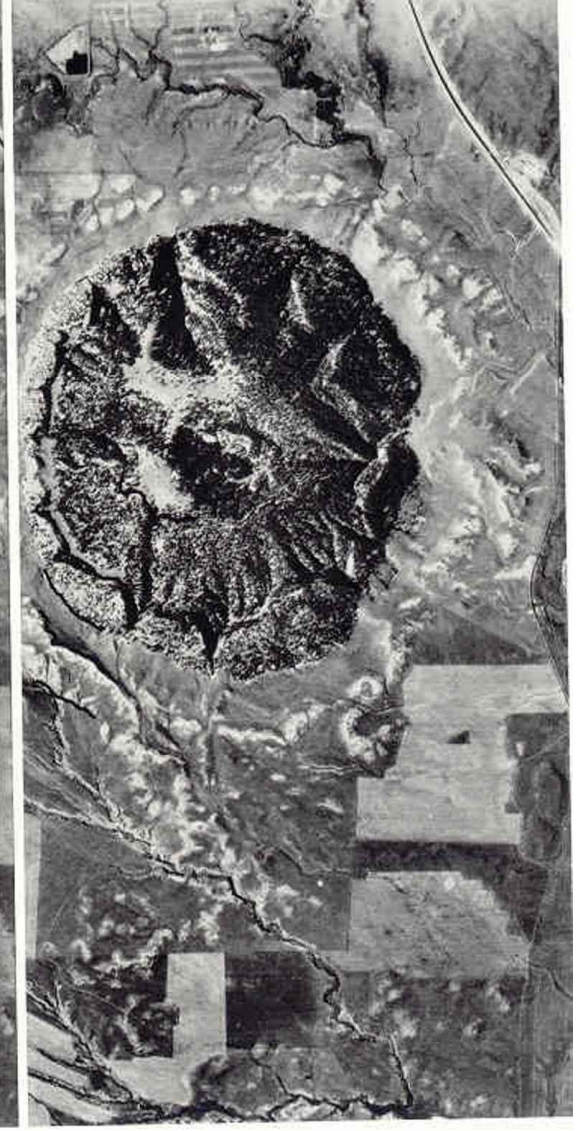
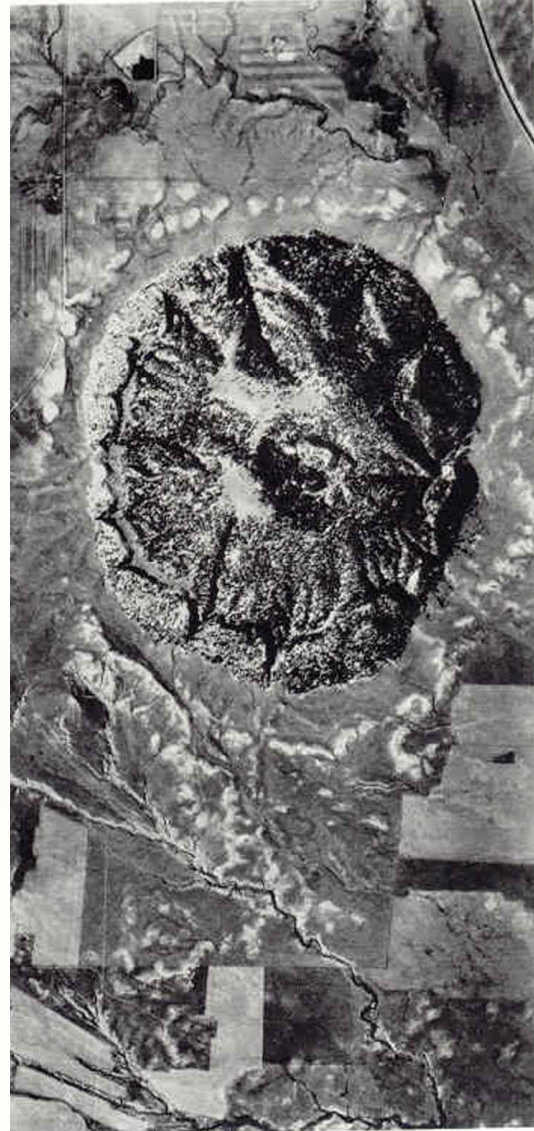
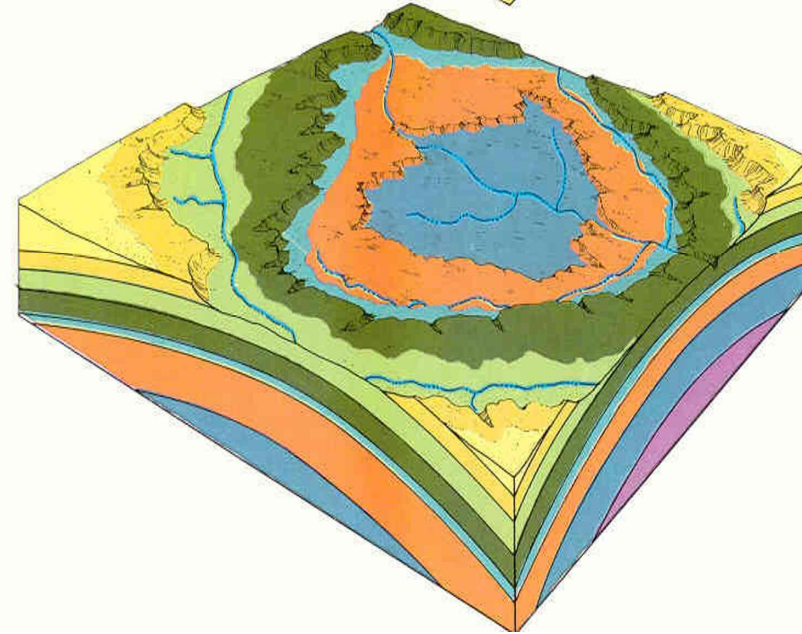
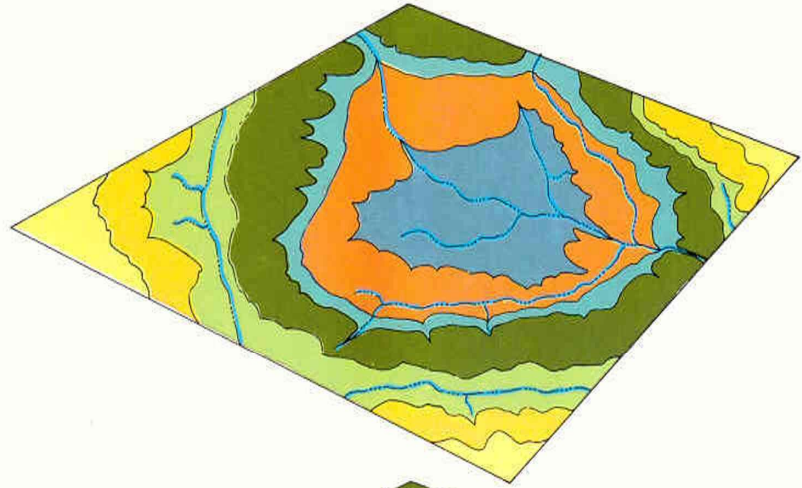
(a) Dom

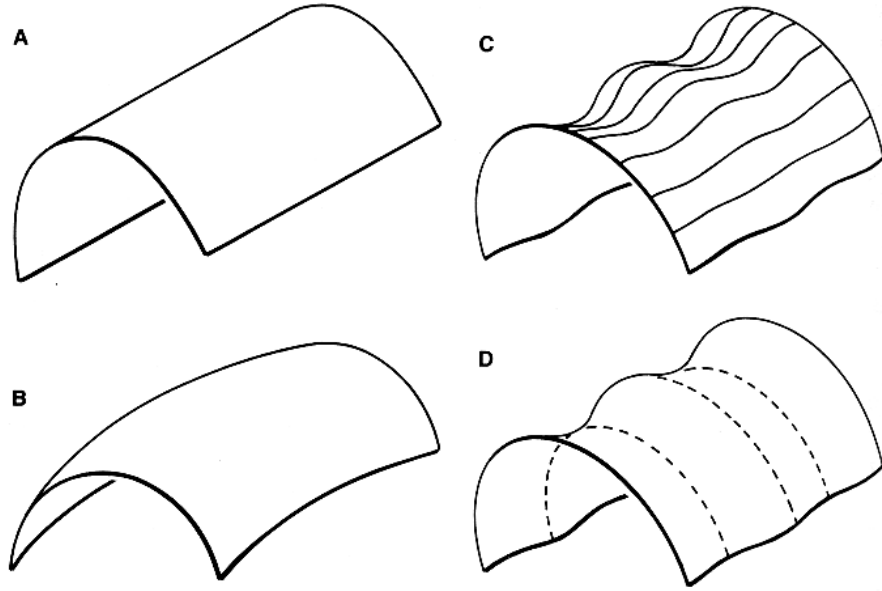


(b) Havza

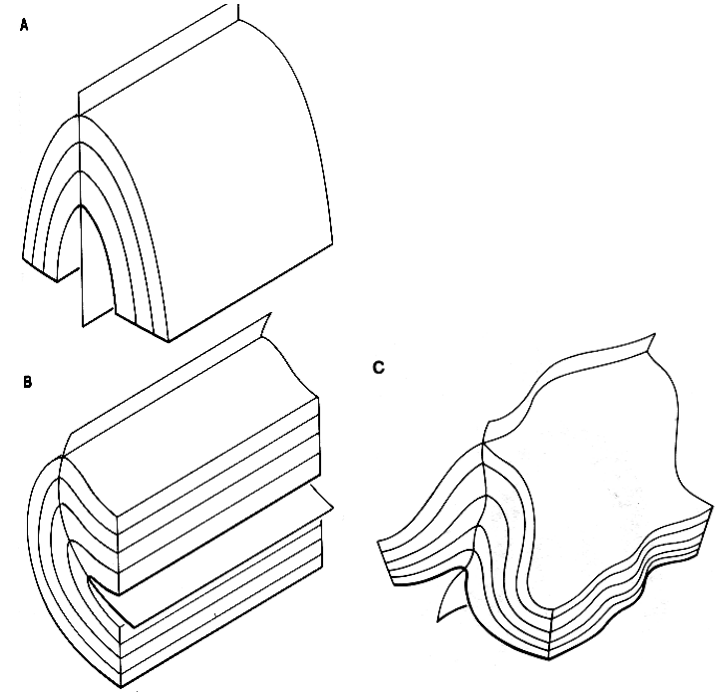
### Şekil 13.14

(a) Bir dom ve (b) bir havza. Domdaki en yaşlı kayaçların, domun merkezinde bulunduğu ve tüm kayaçların merkezdeki bir noktadan dışa doğru eğimlenirken, havzada en genç kayaçların merkezde yer aldığı ve tüm kayaçların içe doğru merkezde bir noktaya eğimlendiğine dikkat ediniz.





**Şekil VI.7.** Eksen çizgisi (hinge line) düz (A), kavisli (B), ve düzensiz kavisli (C,D) olan kıvrımlar



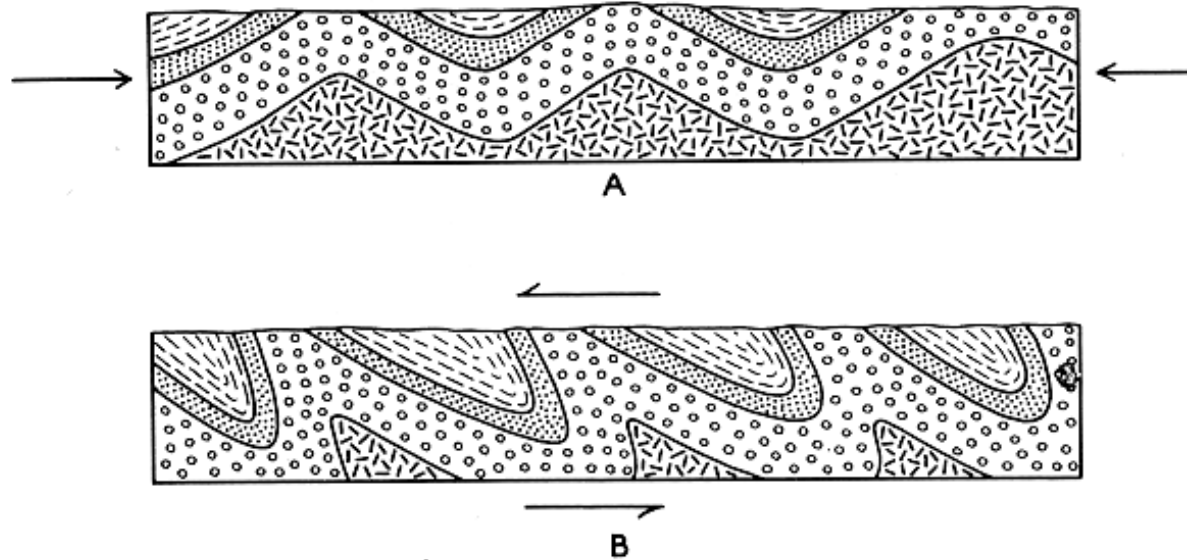
**Şekil VI.8.** Eksen düzlemi düzlemsel (A), kavisli (B), ve düzensiz kavisli (C) olan kıvrımlar.

## VI.3. Kıvrımların oluşum mekanizması

Üç ana mekanizma mevcut olup bunlar: Fleksür kıvrımlanma, Kesme (Shear) / Pasif / Yalancı kıvrımlanma, Akma (Flow) kıvrımlanma

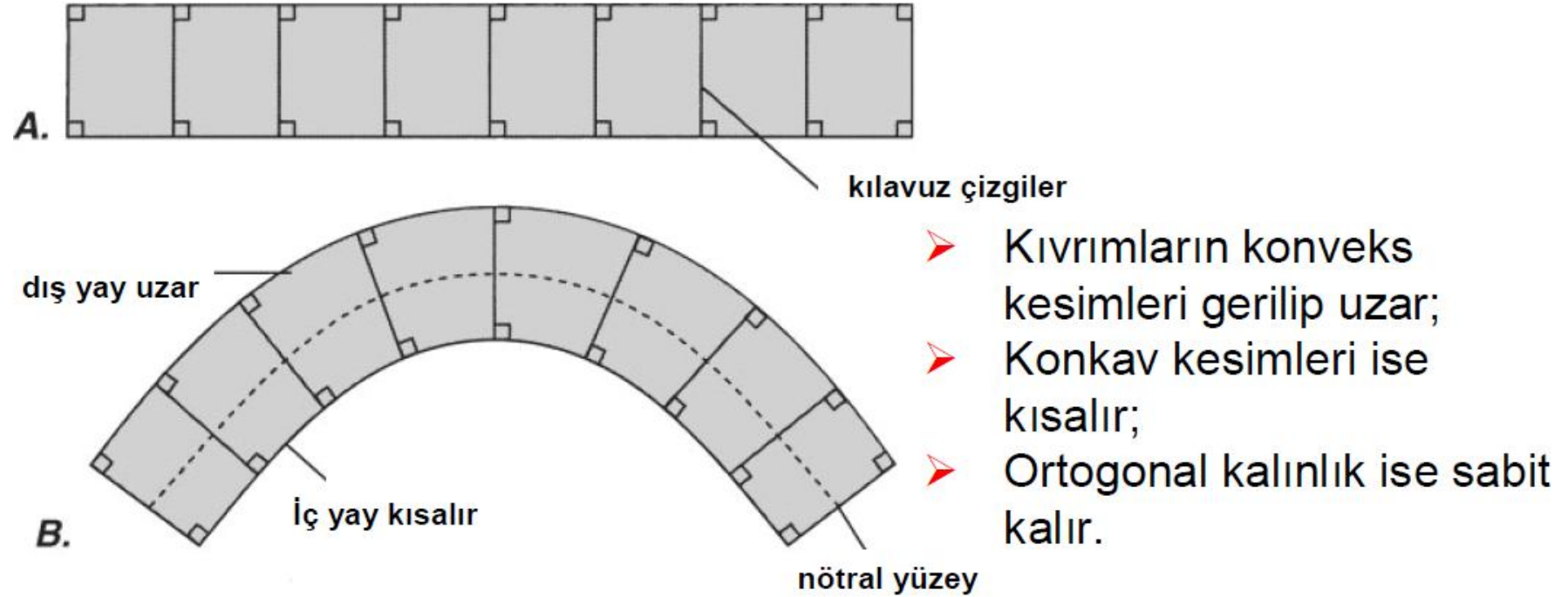
### VI.3.1. Fleksür kıvrımlanma (Flexure folding)

Sıkışma veya kuvvet çifti etkin rol oynar (Şekil VI. 30). En karakteristik özelliği, kıvrımlanma sırasında tabakaların birbirleri üzerinden kaymasıdır. Yan basınçlar, kıvrım içerisinde tabaka yüzeylerine paralel olacak şekilde hareket ederler (Şekil VI. 31, 32). Katmanların kalınlığı aynı kalır, kıvrımlanma mekanizması kıvrım dış bükeyinin (konveks) uzaması veya sabit kalması ile içbükey (konkav) kenarının kısalması veya sabit kalmasına bağlı olarak değişir!



Şekil VI. 30. (Billings 1972)

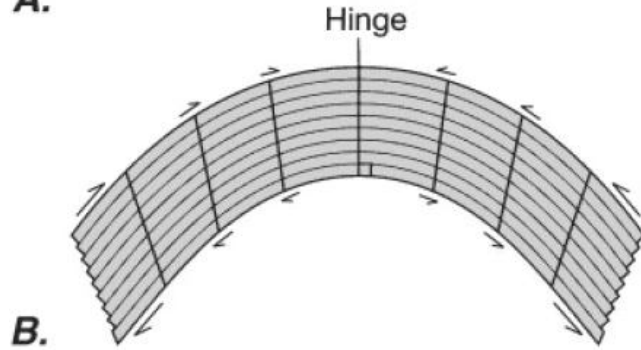
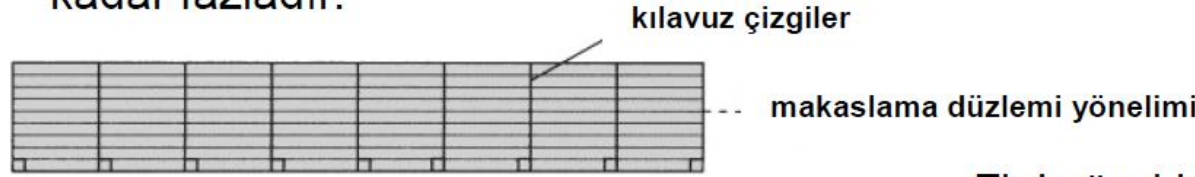
**Ortogonal Fleksür**  $\Rightarrow$  Bu tür kıvrımlar daha çok plastik deformasyona dayanıklı/direnen kompetent katmanlarda gelişirken kıvrımlarda gelişen eğrilik (curvature) düşüktür.



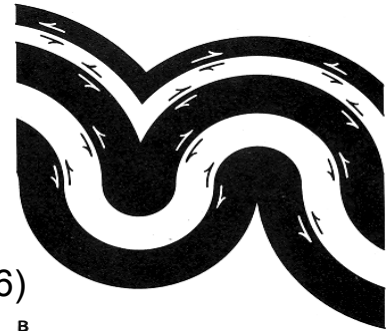
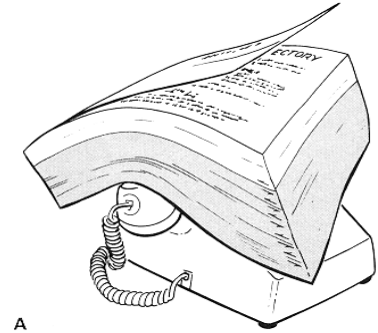
**Nötr Yüzey**  $\Rightarrow$  katman uzunluğunun değişmediği yüzey



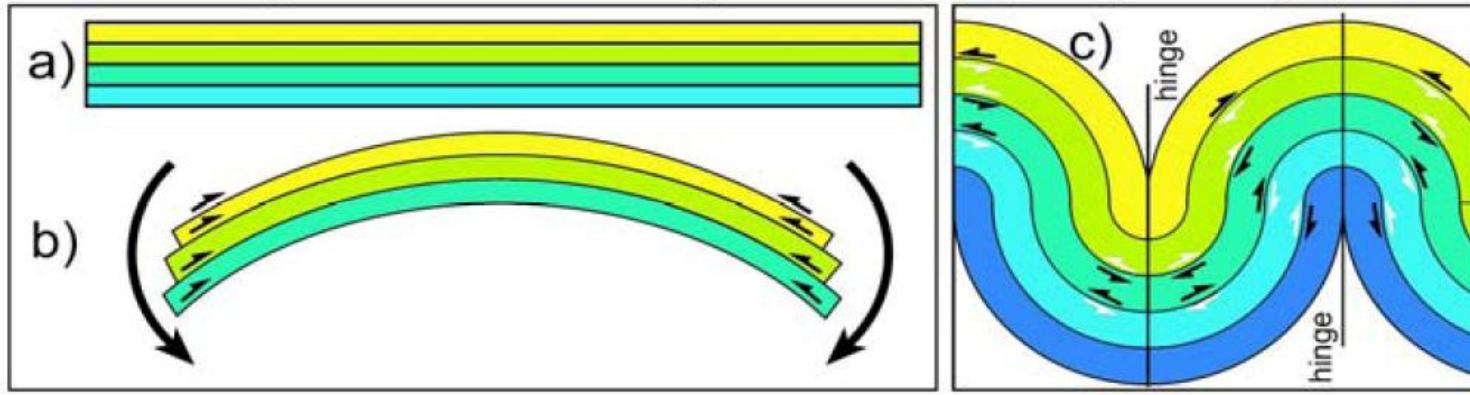
**Fleksürel Kayma** ⇒ Fleksürel kayma kıvrımlanmasında katmanların/tabakaların bükümlenmesi tabaka düzlemleri boyunca tabakaların birbirlerinin üzerinde kayması sonucu oluşur. Mekanizma basit makaslama şeklinde tabaklara paralel gelişir; bunun sonucu da kırımların konveks ve konkav kesimlerinde uzama veya kısalma gelişmez. Deformasyon sırasında gelişen kayma miktarı her bir tabaka için çok küçüktür; ancak deformasyonun kalın bir istifi etkilediği dikkate alındığında tabakalar arasındaki kayma miktarı istifi kıvrımlandıracak kadar fazladır.



Fleksürel kayma kıvrımlanması bir deste kağıdın eğiltilenerek kıvrılmasına benzerdir ki bu durumda kayma makaslama düzlemlerine paralel gelişir.

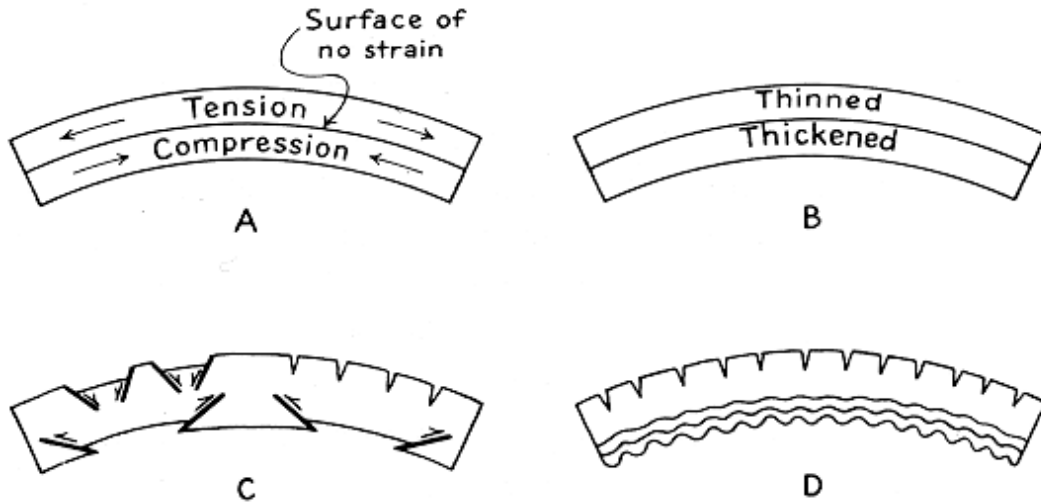


Şekil VI. 31  
(Davis and Reynolds 1996)

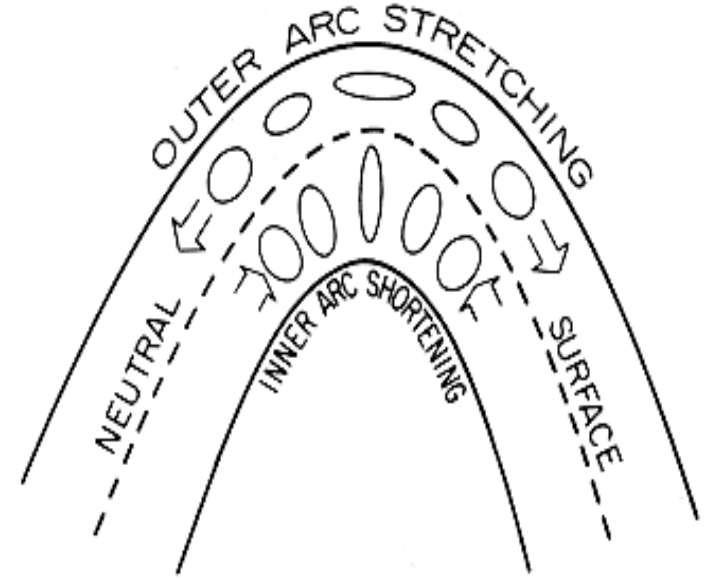


Davis ve Reynolds 1996

Fleksür kıvrımlanma sırasında kıvrımın dış kısmında tansiyon, iç kısmında ise sıkışma gerilmesi etkin olur. Bunun sonucu olarak kıvrımın dış kesiminde tansiyon çatlakları ve normal faylarla sınırlı horst graben türü yapılar oluşurken iç kısımda ters veya bindirme fayları oluşur (Şekil VI. 33). Orta kesimde bu tür deformasyon görülmez (Şekil VI.34).



Şekil VI. 33. (Billings 1972)



Şekil VI. 34. (Davis and Reynolds 1996)

## Fleksürel Kayma ⇒

- kıvrımın konveks bölümündeki kayma düzlemleri boyunca gelişen kayma konkav kesimlerine göre kıvrımların 'hinge zonu'na doğru gelişir;
- Kıvrım kanatlarındaki kayma hareket yönü böylece kıvrım eksen düzleminin her iki tarafında değişiklik sınırlanırken, makaslama miktarı / büyüklüğü kıvrım hinge'ne doğru azalır;
- Makaslama düzlemlerine dik yönde ölçülen katman kalınlığı sabittir, değişmez.

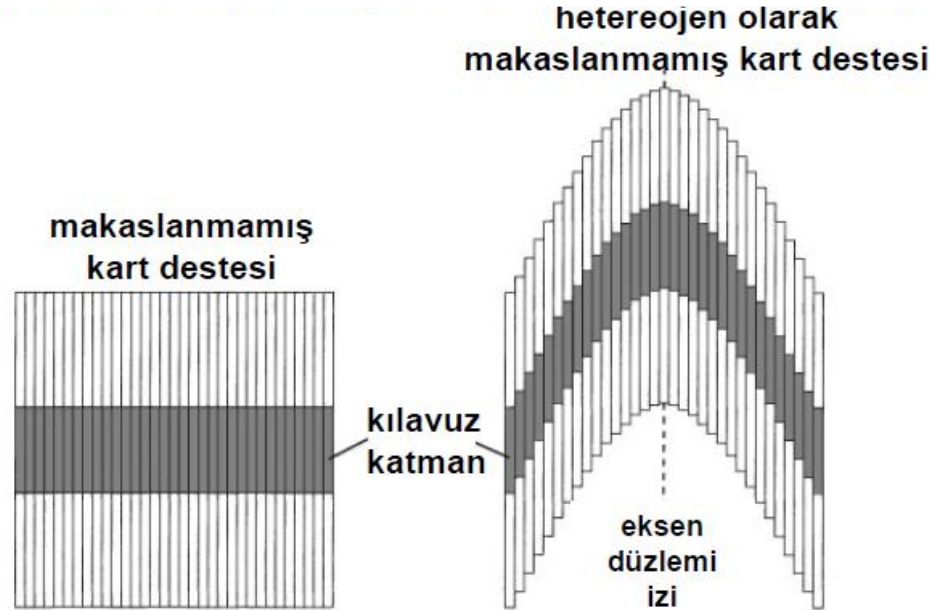


## VI.3.2. Kesme (Shear) / Pasif / Yalancı kıvrımlanma

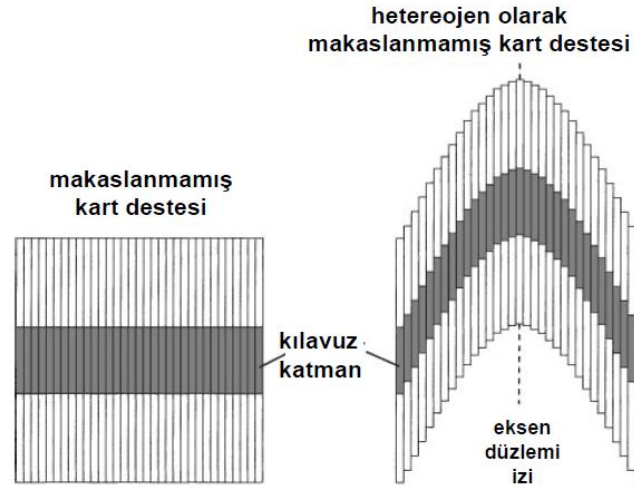
### Bir Katmanın Pasif Makaslama ile Kıvrımlanması ⇒

Pasif-makaslama kıvrımlanması

- Eğer katmanlar inkompetant ise ve kıvrılma prosesi üzerinde herhangi bir etkisi yok ise gelişen kıvrımlanma mekanizması
- katmanlar sadece deformasyonu kayıt eden bir kılavuz seviye niteliğindedir;
- Deformasyon katmanları kesen makaslama düzlemleri boyunca gelişen heterojen basit makaslama;
- kıvrım geometrisini oluşturmak için makaslama miktarı ve yönü makaslama düzlemleri boyunca sistematik olarak değişir;



## Bir Katmanın Pasif Makaslama ile Kıvrımlanması ⇒



- Pasif makaslama kıvrımlanması: homejen olmayan, heterojen basit makaslama mekanizması olup, bir deste kağıdın makaslanması ile tanımlanabilir;
- Kıvrımın eksen düzlemi makaslama düzlemine paraleldir;
- Makaslama düzlemlerine paralel ölçülen katman kalınlığı sabittir;
- Katmanın konveks ve konkav kesimlerinde kıvrımın şekli tamamen aynıdır.



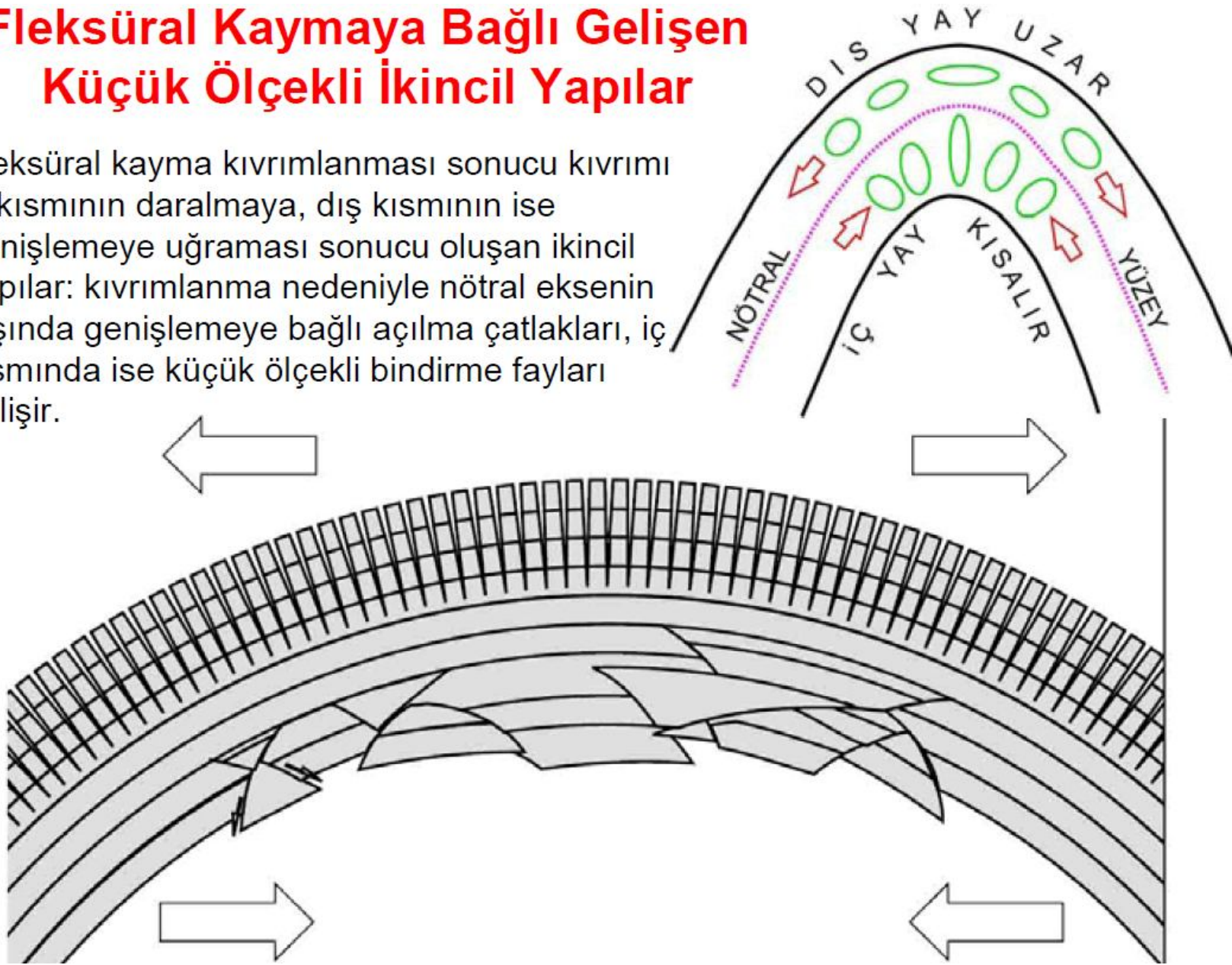
### VI.3.3. Akma kıvrımları (Flow folding)

Az-çok akışkan gibi davranan çok yumuşak kayalarda gelişir



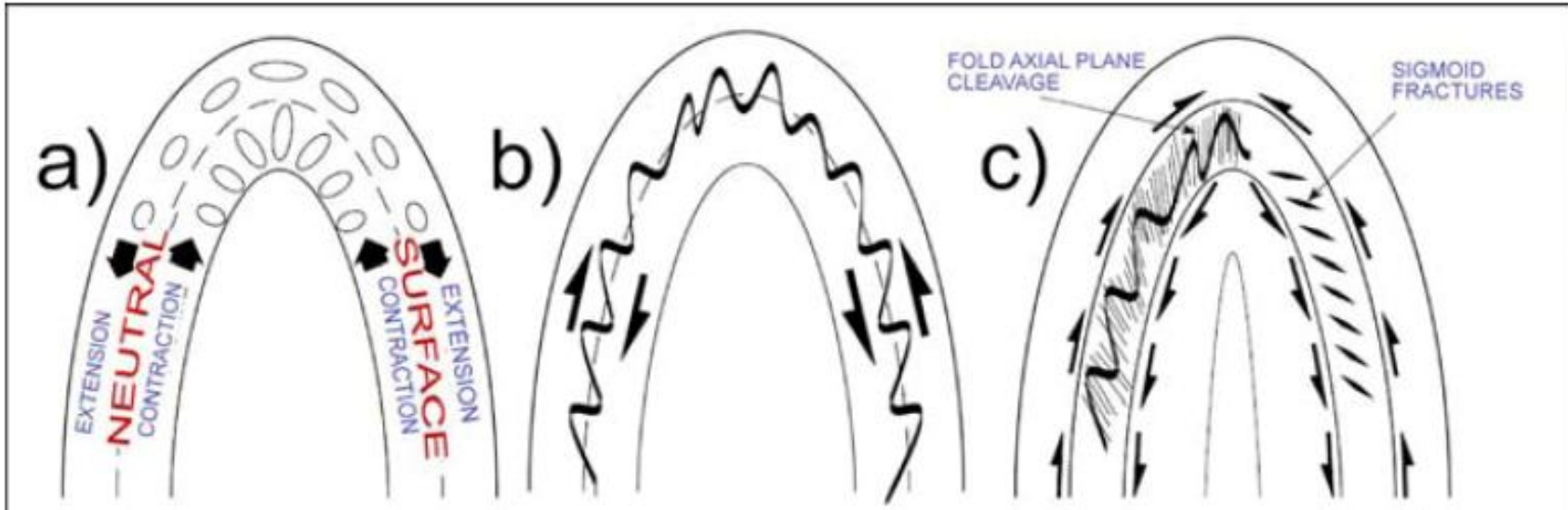
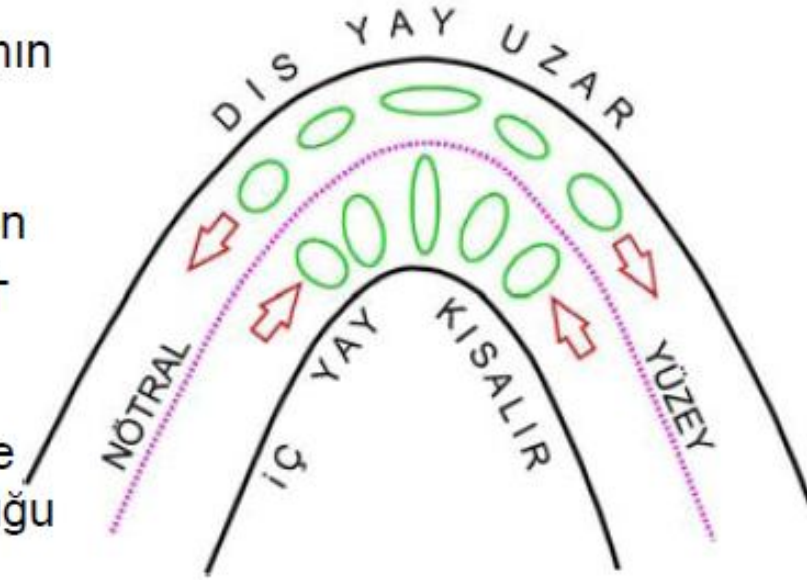
## Fleksüral Kaymaya Bağlı Gelişen Küçük Ölçekli İkincil Yapılar

Fleksüral kayma kıvrımlanması sonucu kıvrımı iç kısmının daralmaya, dış kısmının ise genişlemeye uğraması sonucu oluşan ikincil yapılar: kıvrımlanma nedeniyle nötral eksenin dışında genişlemeye bağlı açılma çatlakları, iç kısmında ise küçük ölçekli bindirme fayları gelişir.



## Fleksüral Kaymaya Bağlı Gelişen Küçük Ölçekli İkincil Yapılar

Fleksüral kayma kıvrımlanması sonucu kıvrımın iç kısmının daralmaya, dış kısmının ise genişlemeye uğraması sonucu oluşan ikincil yapılar: (a) nötral yüzey boyunca deformasyon yoktur; (b) kıvrımlanma sırasında S-, Z- ve M-şekilli parazitik kıvrımlar oluşur ve kayma yönünü gösterirler. (c) lens şekilli açılma çatlakları kıvrımlanmış katmanlara verevdir ve kıvrım katmanı ile açılma çatlağının oluşturduğu dar açı kaymanın yönünü verir.





**Yumuşak ve katı (zayıf ve güçlü) katmanların ardalanması ⇒ katmana dik yassılaşıma (flattening) ve katmana/tabakaya paralel uzama**

\* Katı/sert tabakalar kırılma eğiliminde (tuğlalarda olduğu gibi) veya incelişip-şişerek (pinch-and-swells) yapılarını oluşturur;

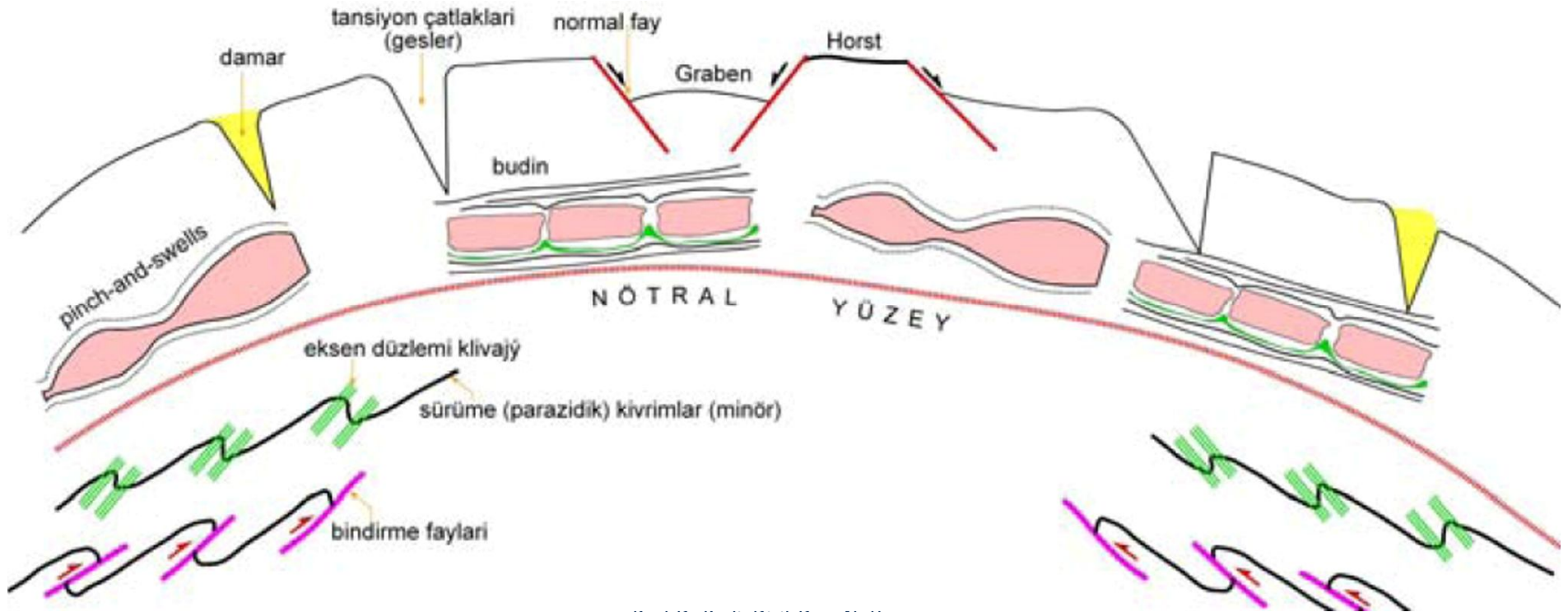
\* Zayıf/yumuşak katmanlar ise akma eğiliminde olup, boşlukları doldurmak eğilimindedir

Dik tansiyon geç (gash) veya çatlakları

Damarlar

Eşlenik normal faylar ve birlikte gelişen horst ve graben yapıları

Budinaj ve sıkma-ve kabarma/şişme yapıları



## Tabakaya Paralel Kısılma ⇒

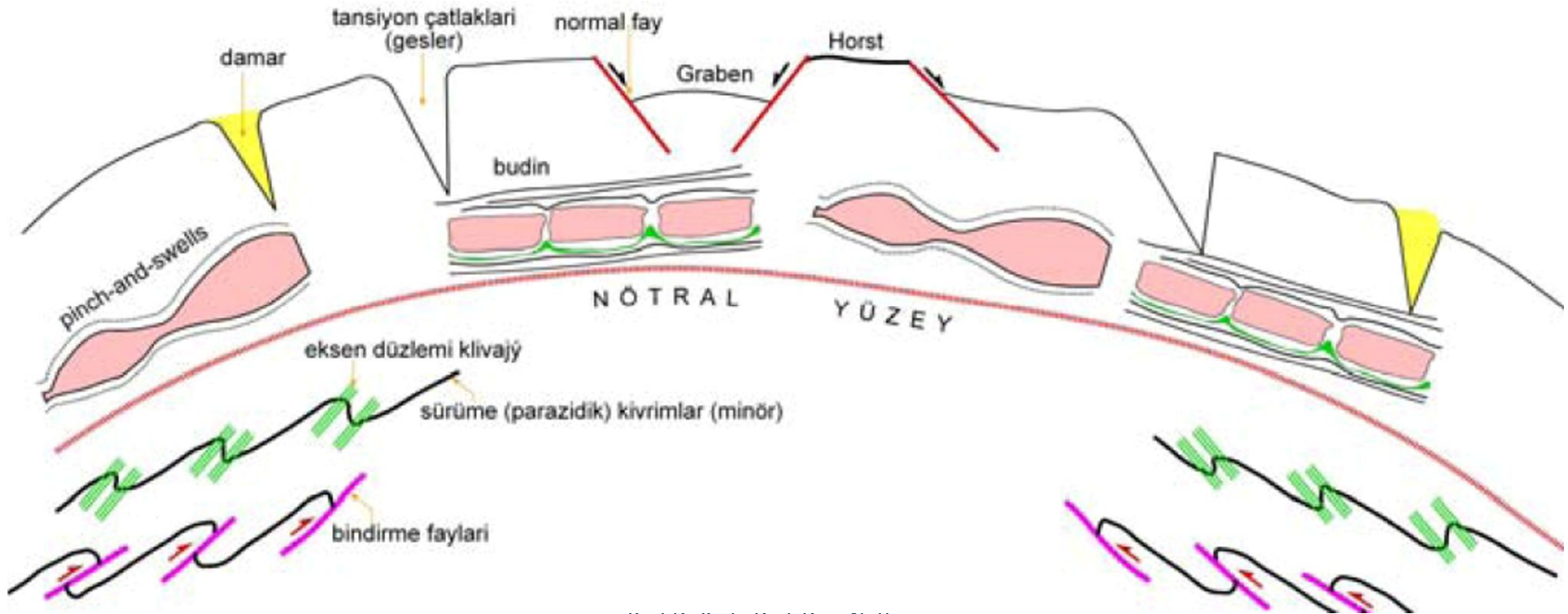
### Kıvrımların iç kısımlarında gelişirler ⇒

- \* Simetrik ve asimetrik kıvrımlar
- \* Bindirme fayları
- \* Eksen düzlemi klivajı

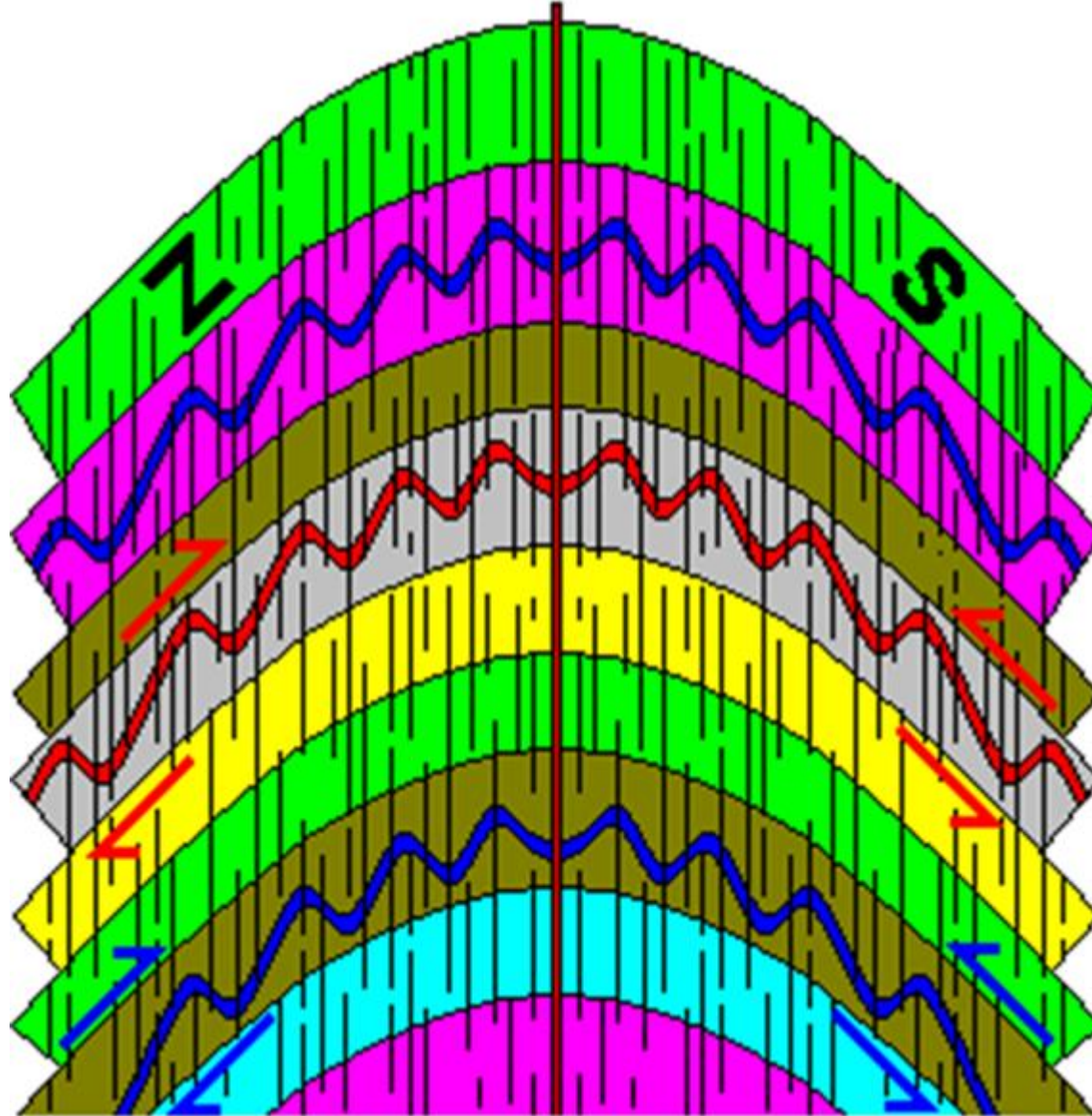
Kıvrımlanmış zayıf tabakalarda çok sık aralıklarla oluşmuş çatlaklar veya klivaj düzlemleri;

Genelde sıkışma yönüne dik oluşurlar ve

Sürüme/drag kıvrımların eksen yönlerine yarı paralel gelişirler

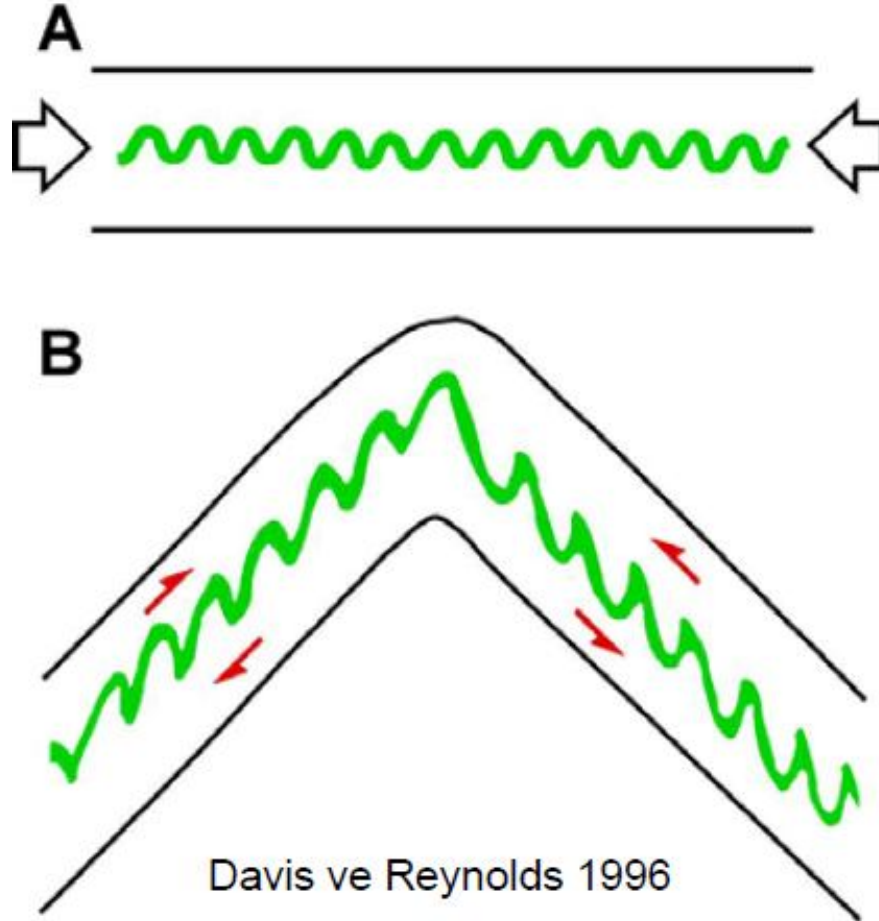


## Sürüme/Drag Kıvrımlarının Kullanımı ⇒





## Sürüme/Drag Kıvrımlarının Kullanımı ⇒



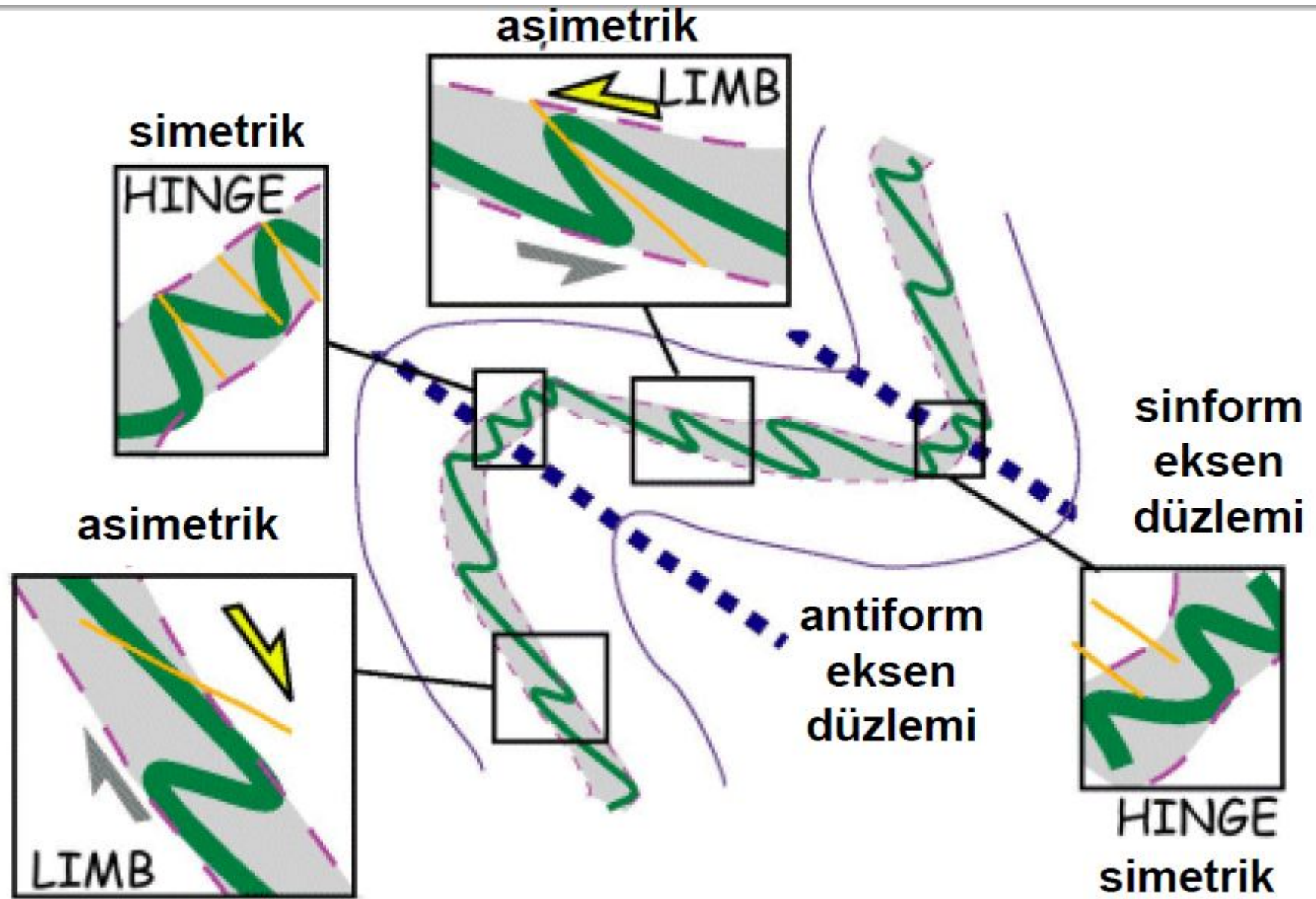
### Sürüme Kıvrımlarının Oluşumu

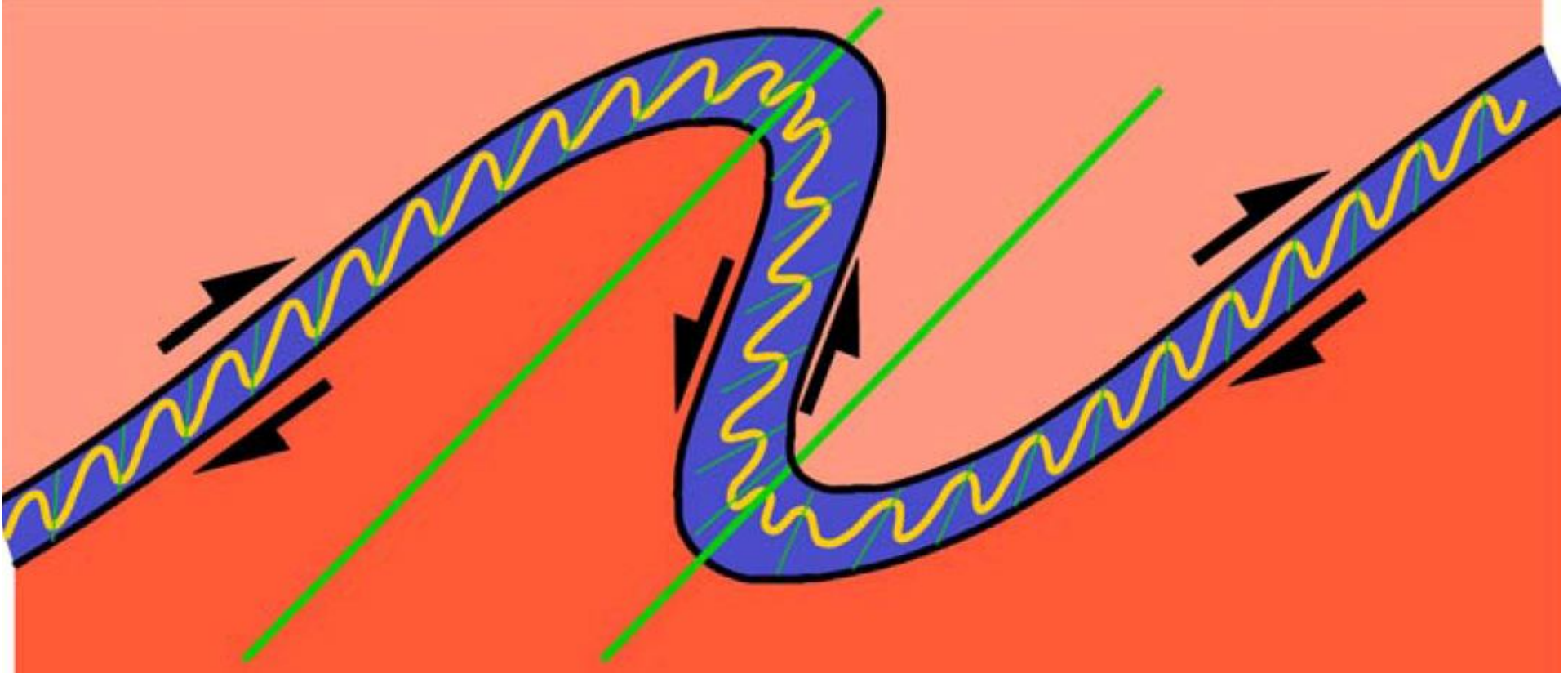
(A) Bükülmeden hemen önce iki sert/katı tabaka arasında kalan zayıf/yumuşak tabakada tabakalanmaya paralel gelişen sıkışma sonucu bir dizi dik ve simetrik antiklinal ve senklinaller oluşur;

(B) Bükülme ve fleksüral kayma mekanizmasının başlaması ile bu yapılar simetrik, hatta devrik kıvrımlara dönüşürler

### Sürüme Kıvrımlarının Şeklinin / Geometrisinin Kullanımı ↓

- S-sekilli kıvrımlar ⇒ sol yanal
- Z-sekilli kıvrımlar ⇒ sağ yanal





Eğer kıvrım eksenin doğru bir kayma var ise ⇒ **Antiform**  
Eğer eksenden uzaklaşıyorsa ⇒ **Sinform**



Şekil devrik bir kıvrımı resimlemektedir:  
Devrik Sinform veya Devrik Antiform?



