TEKTONİK 2 DERS NOTLARI

Yrd.Doç.Dr. Yaşar EREN
Selçuk Üniversitesi Jeoloji Müh. Bölümü
Konya

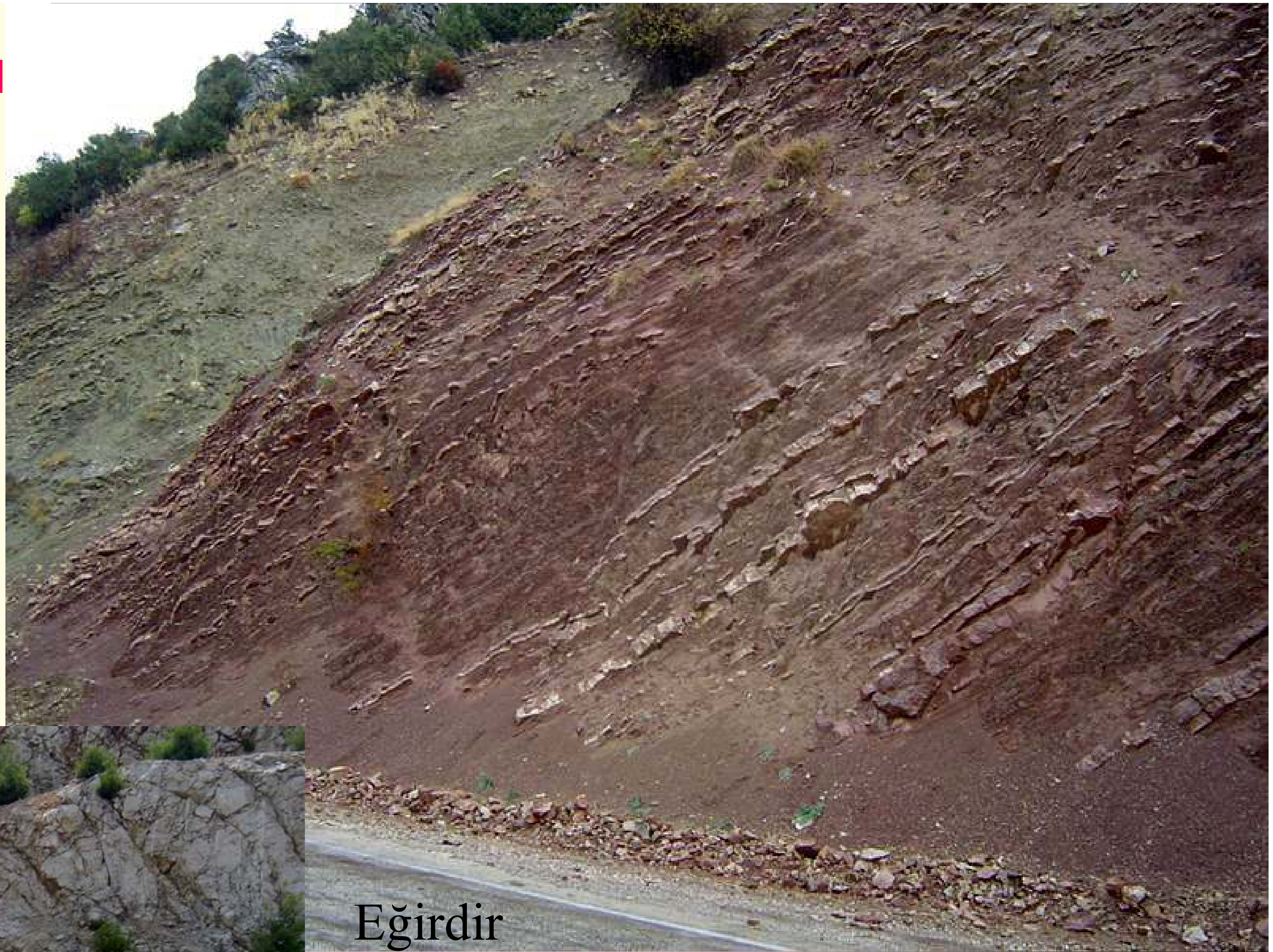
Yapısal jeolojinin amacı

- **Geometri: haritalama ve ölçümler**

- **Kinematik:Deformasyonla ilişkili hareket**
  - **Translasyon: Konum değişimi**
  - **Dönme:**
  - **Distorsiyon: şekil değişimi**
  - **Dilatasyon: Hacim değişimi**

Dinamik/mekanik: Gerilmelerin deformasyonla ilişkisi

Sedimanter kayaçları yatay konumda görmediğiniz her yerde, Bu kayaçların büyük ölçekli süreçlerle deforme olduklarını

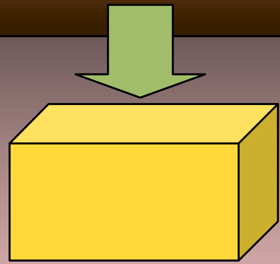


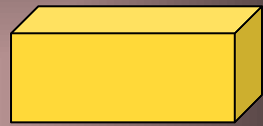
Yrd.Doç.Dr.Yaşar EREN

Giriş

- Bu derste önce,yerkabuğundaki deforme kayaçların iyi bir şekilde anlaşılabilmesi için, deformasyon geometrik olarak incelenecek
- Sonra, tektonit kavramı, mesoskopik düzlemsel tektonit yapılar, lineasyon, kıvrımlar ve kıvrımlanma mekanizmaları, çok evreli kıvrımlanma kayma zonları, ve levha tektoniği ve orojenez konuları tanıtılacaktır.

Yrd.Doç.Dr.Yaşar EREN





Deformasyon süreçleri

A) Gerilme ve deformasyon kavramı

Gerilme tipleri

1) Kompresyonel
2) Tansiyonel
3) kayma/kesme

Biçim değişimi

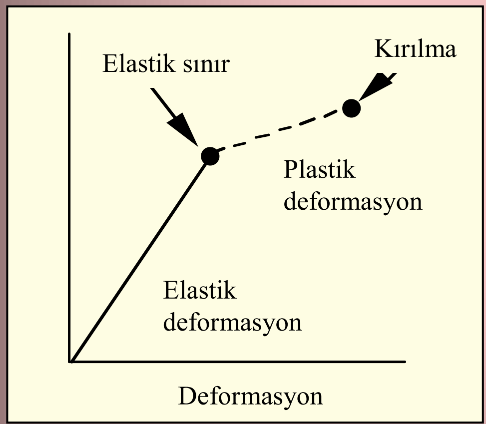
ELASTİK
PLASTIK ()
GEVREK

(DEFORMASYON)

GERİLME

kUVVET/birim alan

kg/cm^2



cm

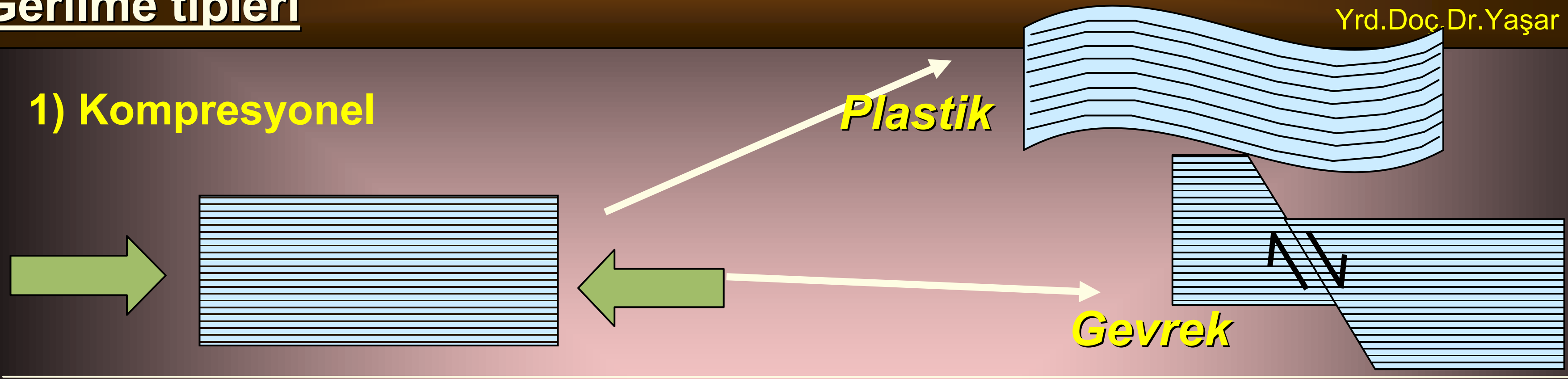
Şekil değişikliği (deformasyon)

Deformasyon

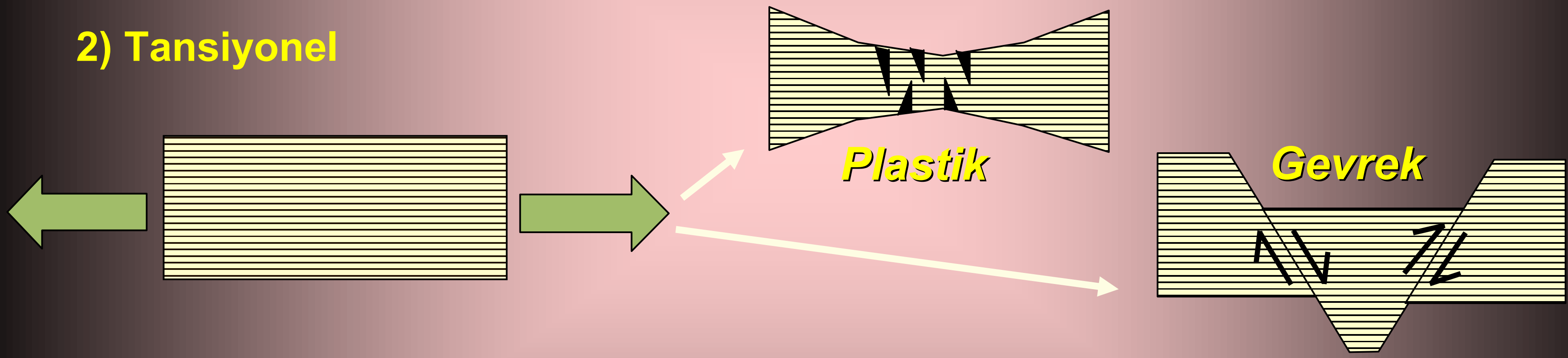
Gerilme tipleri

Yrd.Doç.Dr.Yaşar EREN

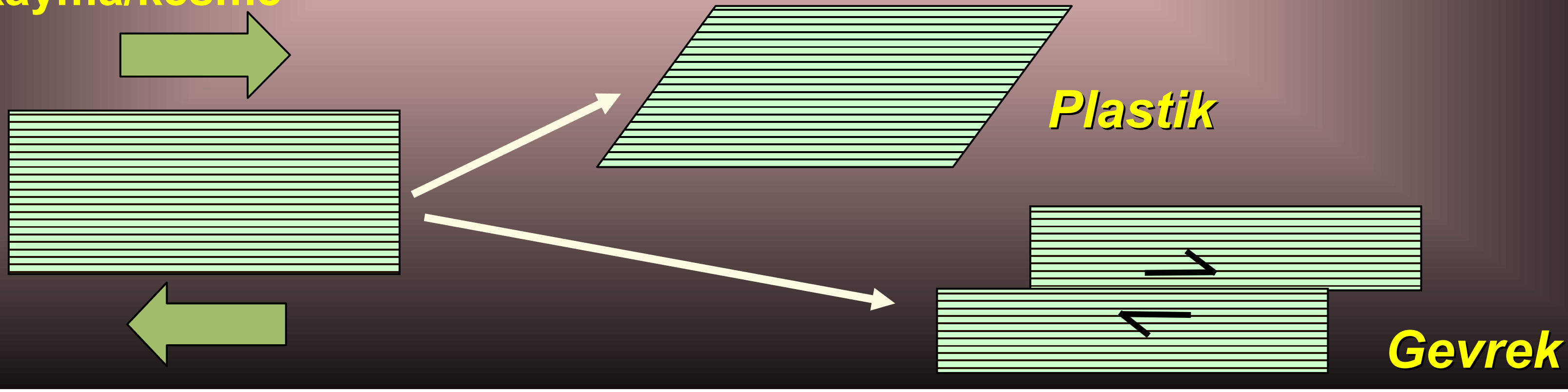
1) Kompresyonel



2) Tansiyonel

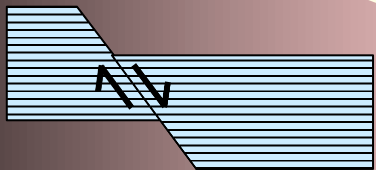


3) Kayma/kesme



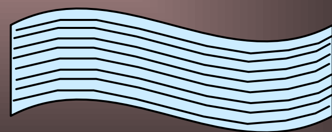
Katıların davranışı üzerinde derine gömülme, sıcaklık ve basınç Artışının etkisi

Gevrek



Derinlere doğru gidildiğinde:

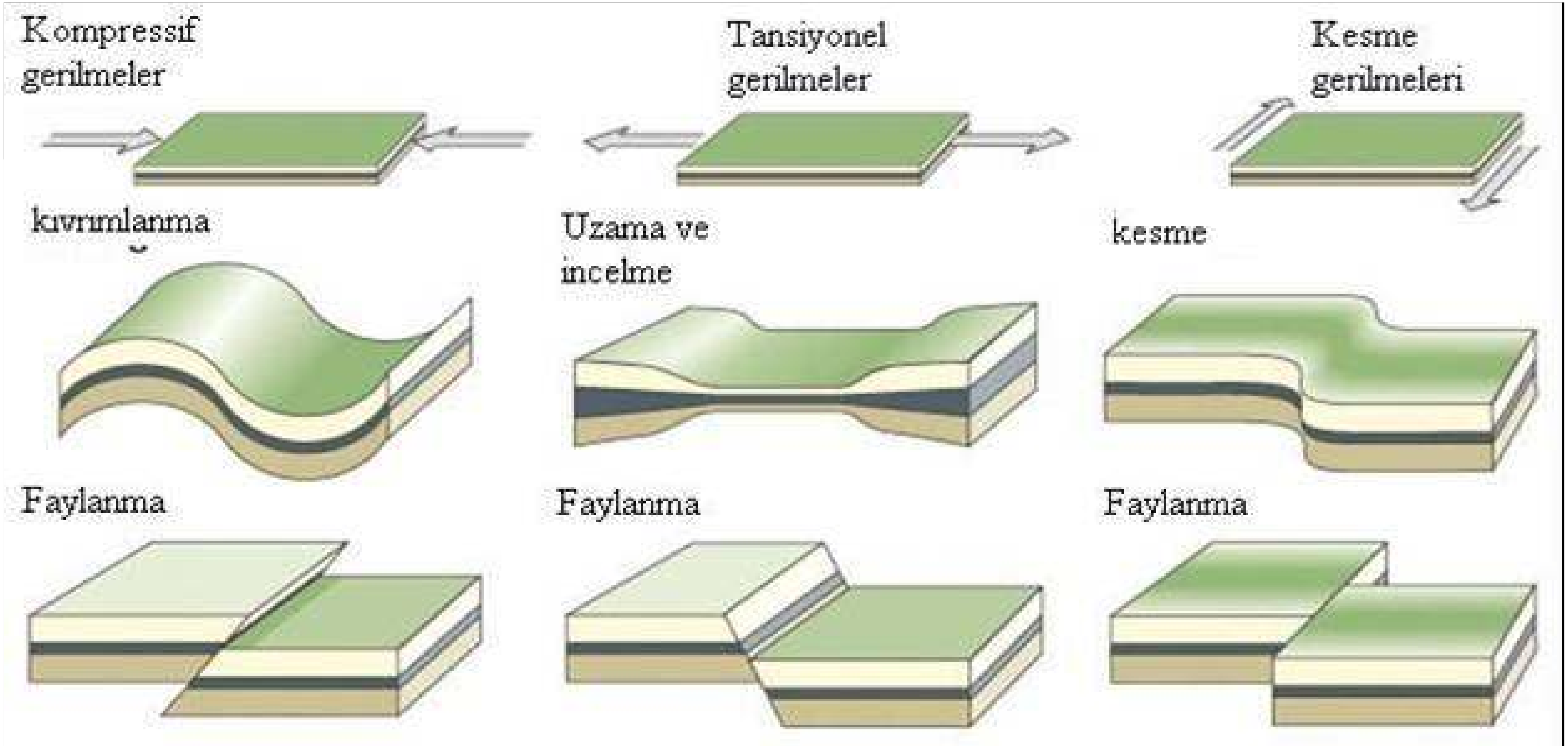
Gevrek/sünümlü



Sünümlü

Etki eden faktörler:

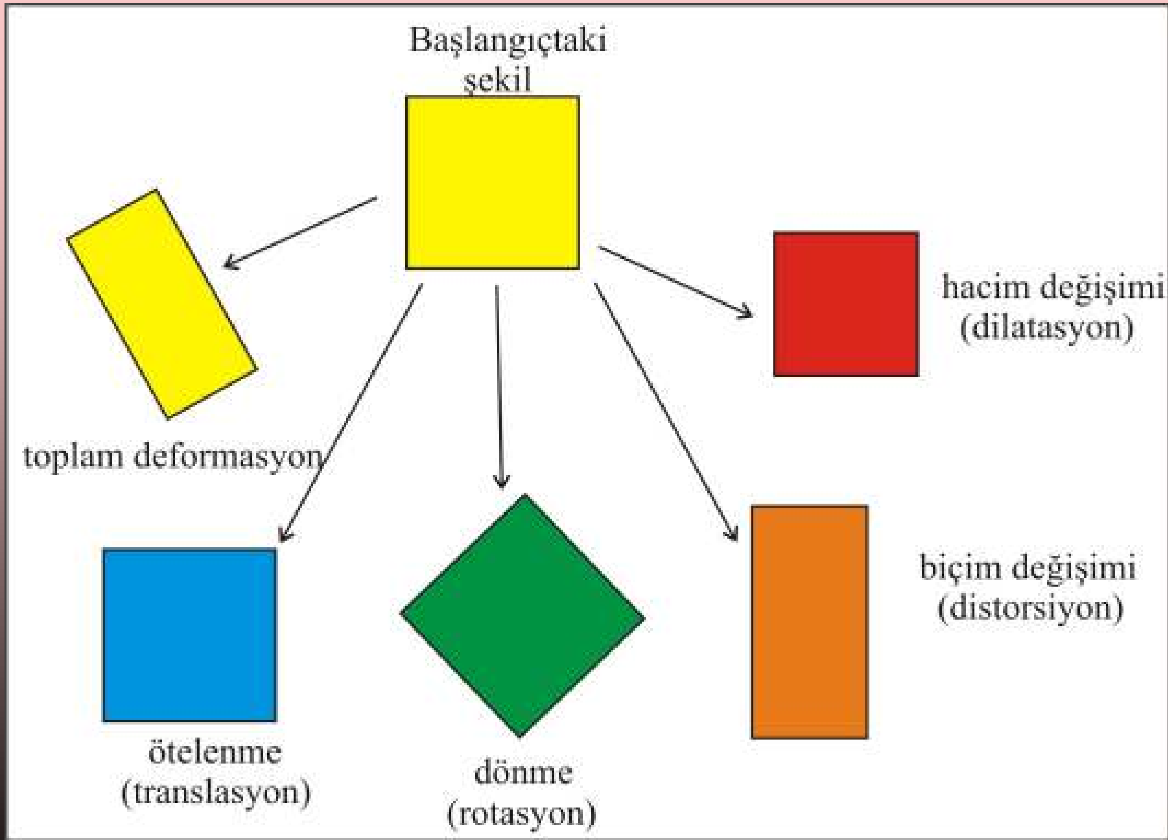
- Gömülme derinliği
- Gerilmelerin doğası, yönelimi ve zamanlaması
- Deformasyon süresi



Doğada bir çok deformasyon yapıları beraberce bulunur. Kıvrım kuşakları (kompresyonel) genellikle bir çok bindirme fayı içerir

DEFORMASYON

- Deformasyon= ötelenme (translasyon) + dönme (rotasyon) + biçim değişimi (strain-distorsiyon) + Hacim değişimi (dilatasyon)



DEFORMASYON

Yrd.Doç.Dr.Yaşar EREN

deformasyon.swf

Tanımlamalar-1

Elastik deformasyon(elastic deformation):

Gerilmeye uğrayan katı bir cisimdeki biçim değişimidir. Genellikle geriye dönüşlüdür ve gerilme kaldırıldığında cisim başlangıçtaki şeklini alır. Elastik deformasyonlar genellikle küçüktür ($e < 0.02$, $\gamma < 0.02$).

Gevrek deformasyon (brittle deformation):

Gerilmeye uğrayan bir cisimde, elastik sınır aşıldığında kırık oluşumuna yol açan deformasyon tipidir.

Sünümlü deformasyon (ductile flow): Bazı maddelerin gerilmeye uğradığında kırık oluşmadan sürekli bir deformasyona uğrama özelliğidir. Sünümlü akma esnasınnda oluşan deformasyon elastik deformasyondan daha fazladır.

Reoloji (Rheology): Bir cisim üzerine uygulanan gerilme ile sonuçtaki deformasyon veya deformasyon oranının ilişkisidir.

Kompetentlik:

Bir kayacın deforme olabilme özelliğini yansıtan bir terimdir. Kompetent tabakalar daha dayanımlıdır, çok zor akmaya uğrarlar ve inkompetent (kompetent olmayan) materyale göre daha çabuk kırılırlar

- **Birim boy değişimi** (longitudinal strain): Birim boydaki kısalma veya uzama olarak tanımlanabilir. e (ekstensiyon) simgesi ile gösterilir. Eğer herhangi bir doğrultudaki başlangıçtaki boy lo ile simgelenir ve deformasyondan sonra, yine belirli bir yönde doğrunun boyu l_1 olursa

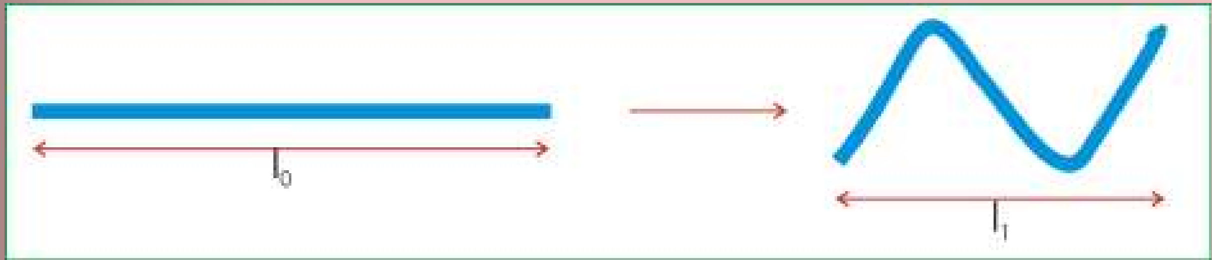
$$e = \frac{l_1 - l_o}{l_o} = \frac{\Delta l}{l_o}$$

olarak ifade edilir. Uzunluğun artması veya azalmasına göre + ve – olabilir. Tarif bölgesi ise +∞ arasındadır. Bu parametre genellikle elastik davranış sırasında küçük deformasyonlarda sık sık kullanılır.

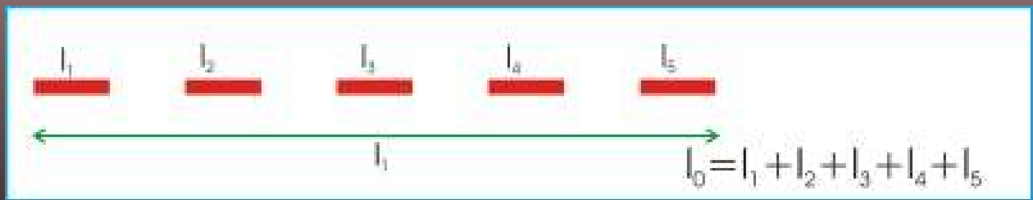
Yrd.Doç.Dr.Yaşar EREN

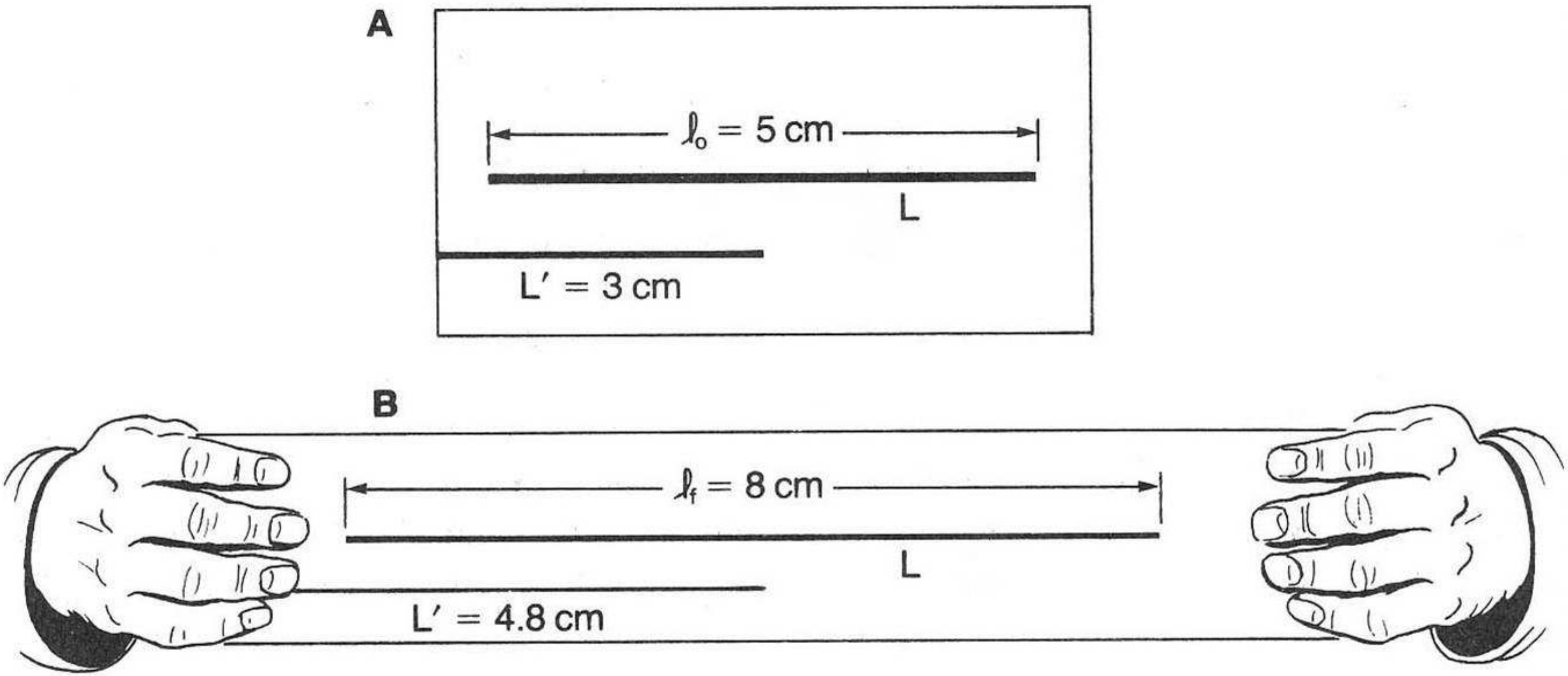
Tanımlamalar-3

Örnek: Bir tabakanın kıvrımlanmadan önceki boyu (lo) 12 m
Kıvrımlanmadan sonraki boyu (l1)= 5m ise e= 5-12/12=-0.58
Buna göre deformasyonla % 58 boy kısalması gerçekleşmiştir.



Örnek: Budinajlanan bir tabakanın, budinaj öncesi boyu (lo)0 40 cm
Budinajlanmadan sonraki boyu (l1)= 65 cm ise e= 65-40/40=0.63
Buna göre deformasyon sonucu cisimde %63 boy uzaması oluşmuştur.





$$e = \frac{8\ \text{cm} - 5\ \text{cm}}{5\ \text{cm}} = 0.6$$

DEFORMASYON

Deforme Belemnit

$$e = \frac{185\text{ mm} - 82\text{ mm}}{82\text{ mm}} = 1.3$$

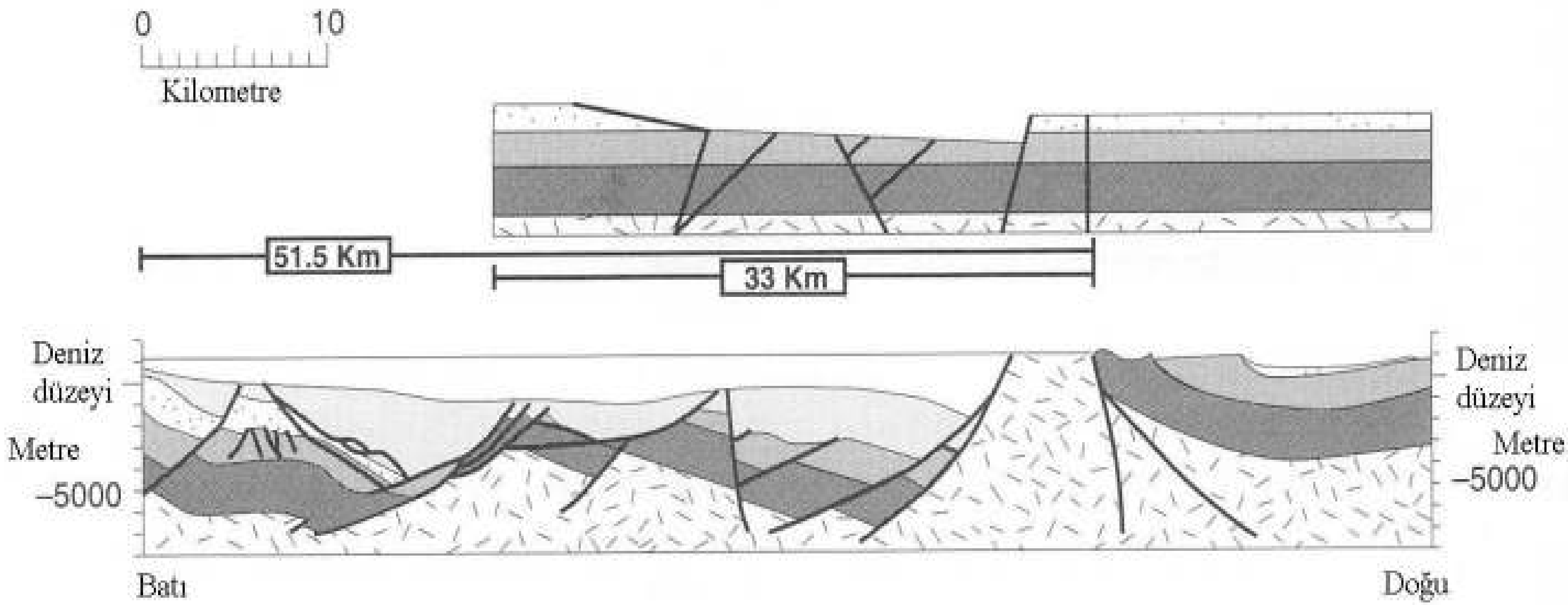
$$\%\ \text{Boy değişimi} = e \times 100 = 130\%$$

$$S = \frac{185\text{ mm}}{82\text{ mm}} = 2.3$$

$$\%\ \text{Boy değişimi} = (S - 1) \times 100 = 130\%$$


Konya

Yrd.Doç.Dr.Yaşar EREN



(51.5 - 33)/33 = .56 = uzama

100'le çarptığımızda %56 uzama elde edilir

Benzer bir örnek bindirme kuşaklarında da boy değişimini hesaplamak için kullanılabilir

Yrd.Doç.Dr.Yaşar EREN

strainMethods.swf

Tanımlamalar-4

Yrd.Doç.Dr.Yaşar EREN

2-Kuvadratik uzama (λ)

Deformasyondan sonraki boy ile başlangıçtaki boy oranının karesine Kuvadratik uzama denir. Genellikle büyük sonlu deformasyonların analizinde kullanılır ve λ harfi ile gösterilir.

$\lambda=(l_1/l_o)^2$ (1.2)

her zaman pozitif değerlidir ve tarif bölgesi **$0<\lambda<+\infty$** arasındadır.

Kuvadratik uzama ve uzama arasındaki ilişki

$\lambda=(l_1/l_o)^2 = (l_o/l_o + l_1-l_o/l_o)^2 =(1+e)^2$

şeklinde bağıntılanabilir.

Bazı jeolojik problemlerin çözümünde bunun tersi kullanılır ve **λ'** ile gösterilir.

$\lambda'=1/\lambda$ (1.3)

Yukarıdaki örneklerdeki verileri kullanırsak

1. Örnek: $\lambda=(5/12)^2=0.17$ $\lambda'=5.9$
2. Örnek $\lambda=(65/40)^2=2.6$ $\lambda'=0.38$

3-Logaritmik uzama (ε)

ε-harfi ile gösterilir.

$$\varepsilon=\log(l_1/l_o) \quad (1.4)$$

logaritma tabanı 10 veya doğal logaritma olabilir. Tanım aralığı

$-\infty<\varepsilon<+\infty$ arasındadır.

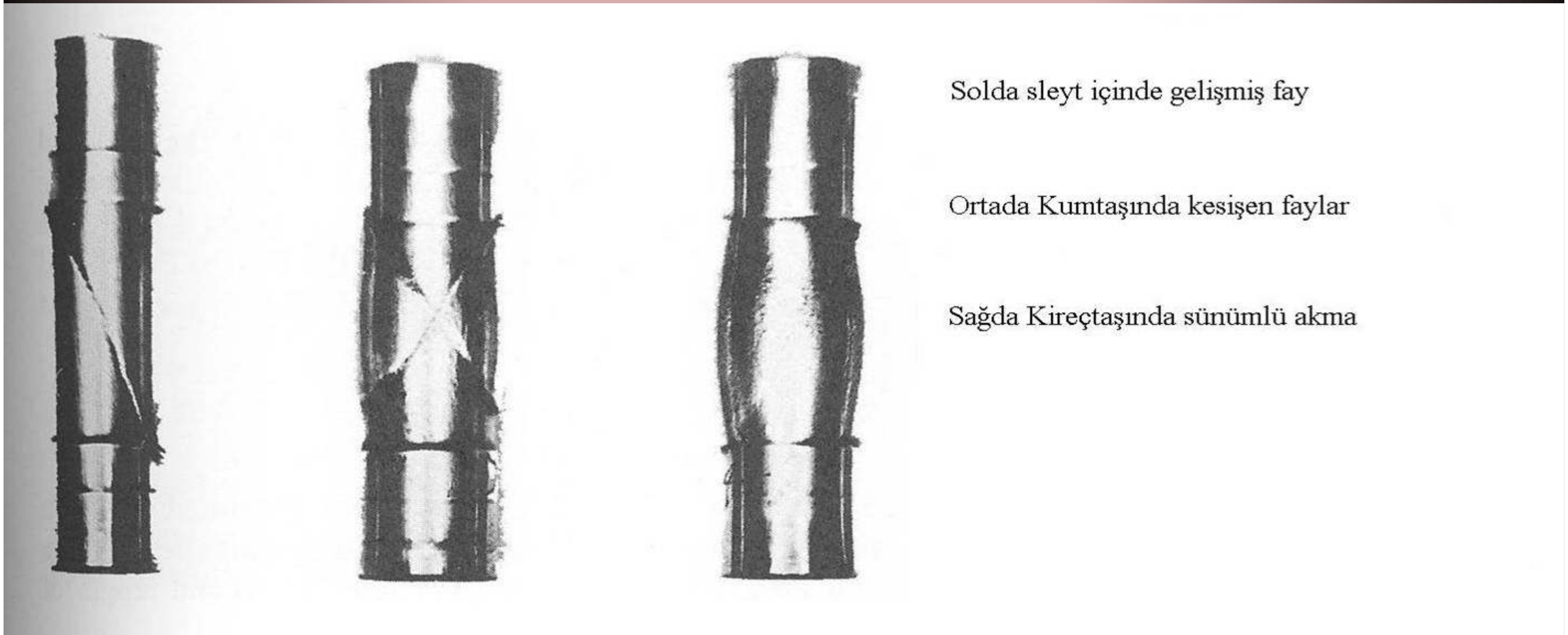
$$\varepsilon=\log(1+e)=1/2 \log\lambda$$

logaritmik uzama, uzama oranının logaritmasının yarısına eşittir.

Deformasyon oranı

Deformasyon oranı = boy değişimi (e) /zaman (t) = e/t

Kayacın deforme oranı deformasyon tipi üzerinde önemli etkisi vardır



Bir saatlik deformasyon sürecinde 2.297 cm uzunluğundaki örnek 2.28 cm'e kısalmıştır. Bu deney esnasındaki ortalama deformasyon oranını (hızını) bulun.

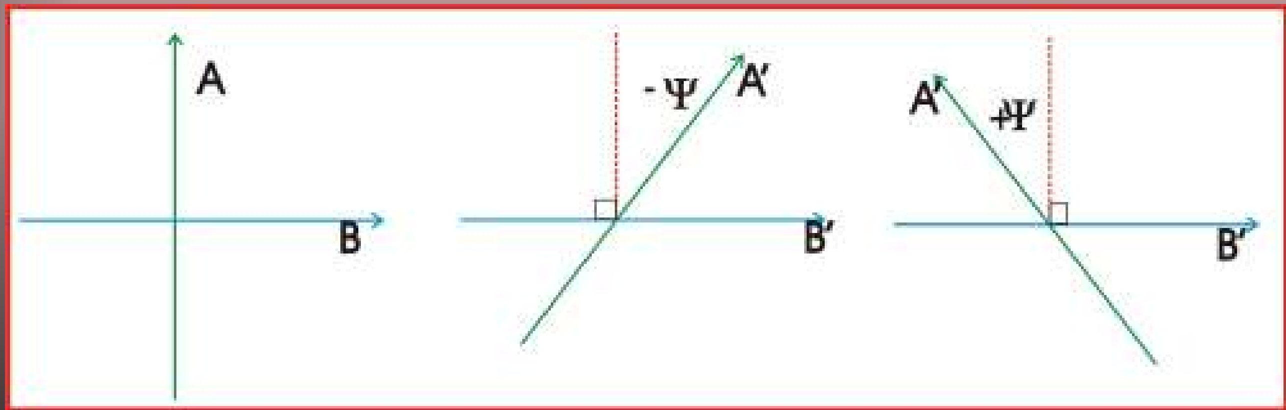
Tanımlamalar-6

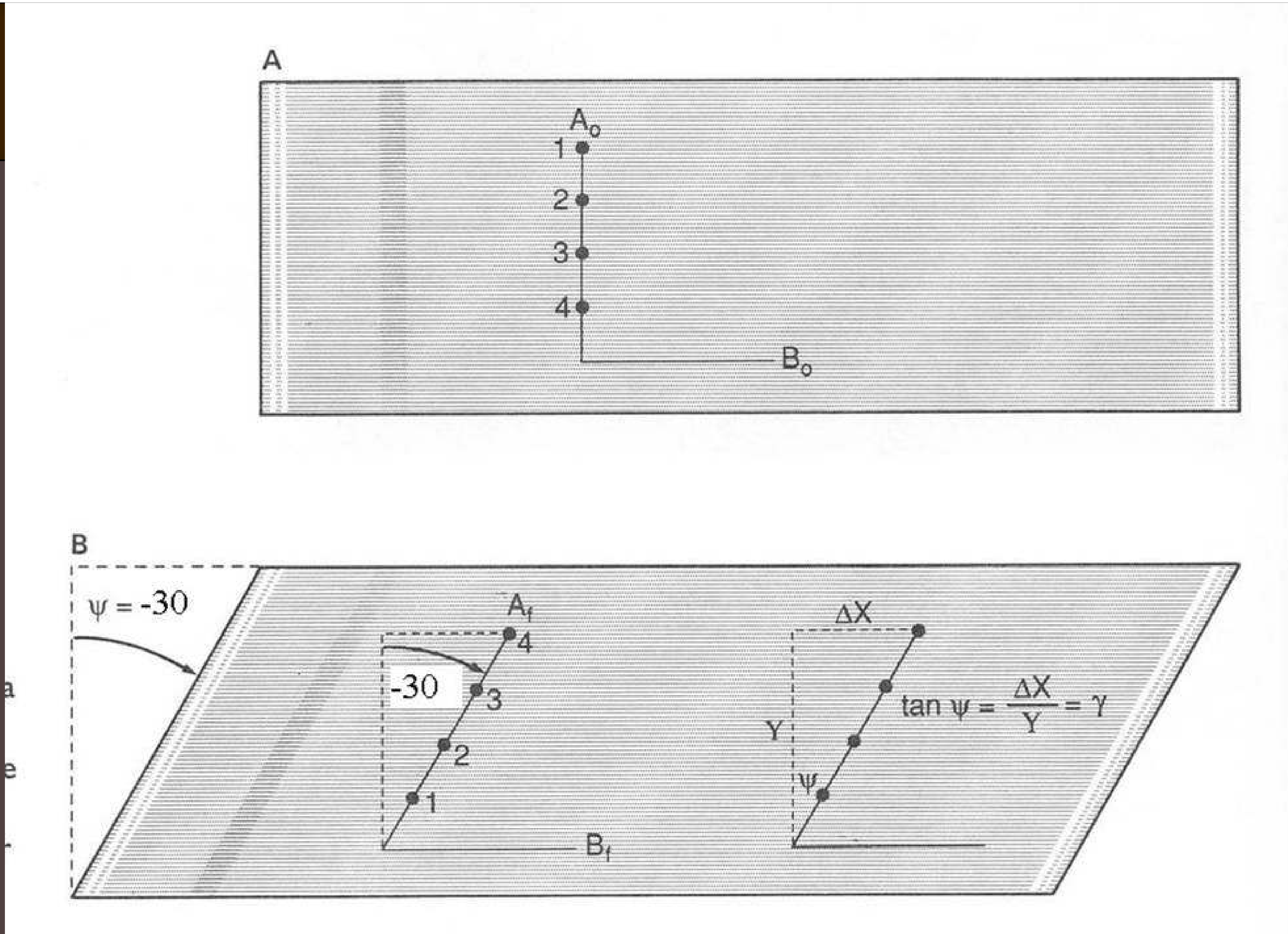
Yrd.Doç.Dr.Yaşar EREN

4-Açısal deformasyon (γ) ve kayma deformasyonu(ψ)

Deformasyondan önce birbirleriyle dik açı yapan iki doğru arasındaki açı, deformasyondan sonra diklikten sapar. Bu diklikten sapma açısına açısal deformasyon veya açısal kayma denir ve ψ- ile simgelenir.Kayma sağ yönlüyse (-), sol yönlü ise (+) olarak alınır (Şekil 1.4).Bu açının tanjantı ise kayma deformasyonu (makaslama deformasyonu) dur.

$$\gamma=\tan\psi \quad (1.5)$$



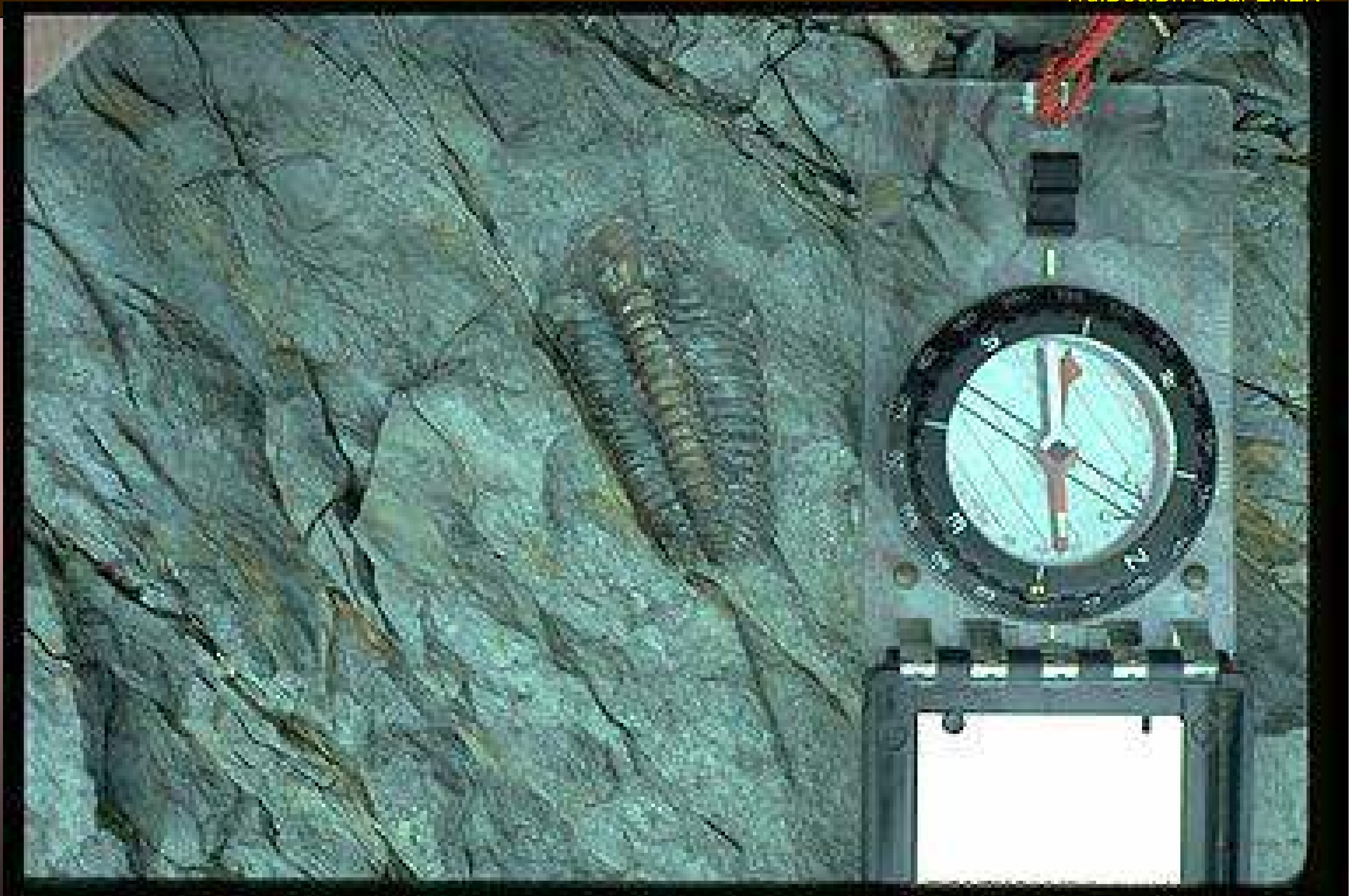


Açısal kayma (ψ, psi): Başlangıçta birbirine dik iki doğru arasındaki diklikten sapma açısı

Kayma deformasyonu (γ, gama): = tan (ψ)

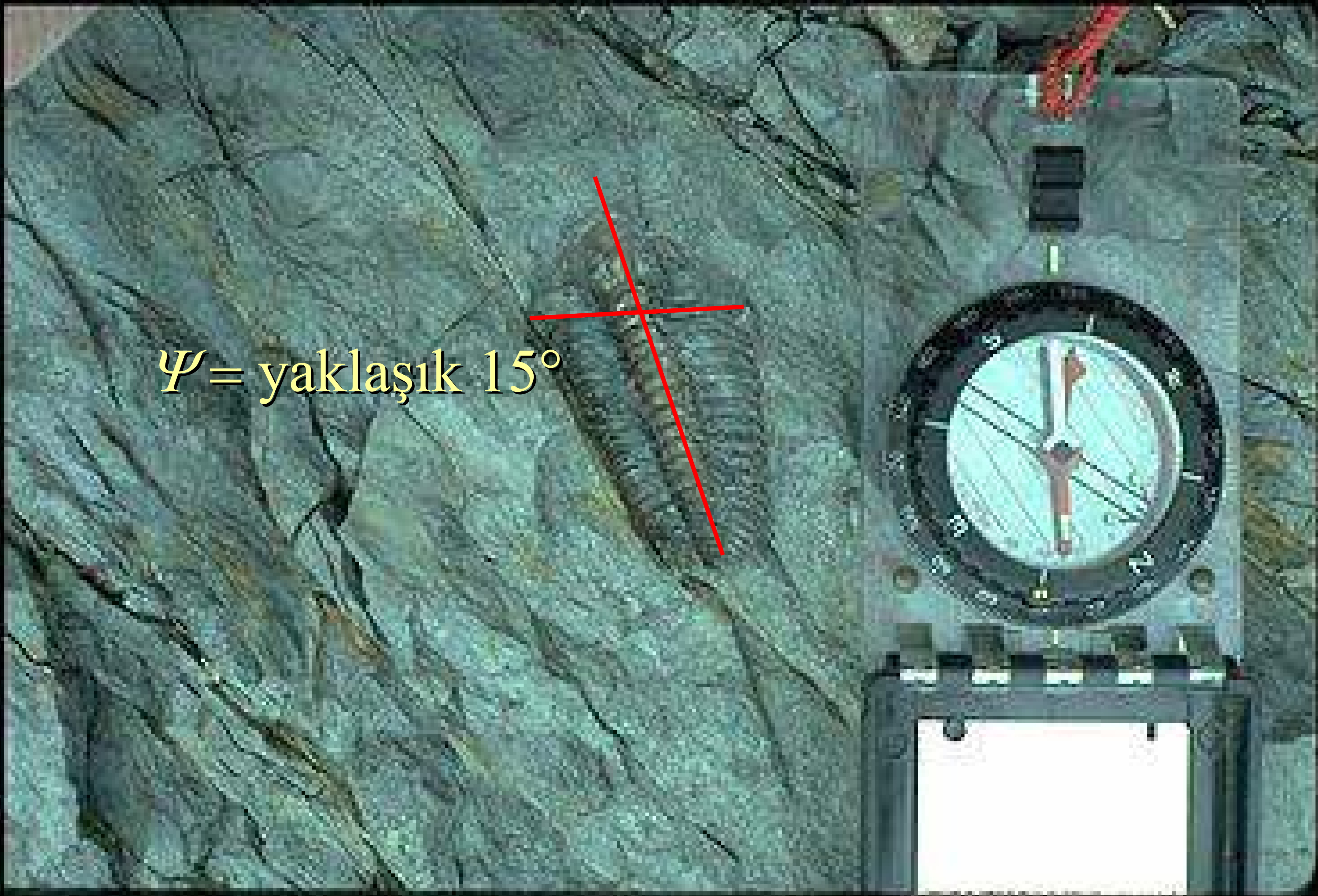
DEFORMASYON

Yrd.Doc.Dr.Yasar EREN



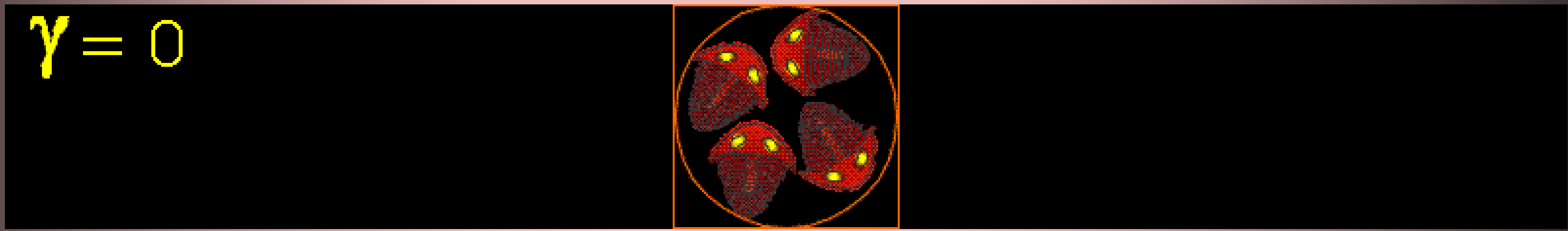
DEFORMASYON

Yrd.Doç.Dr.Yaşar EREN



DEFORMASYON

Yrd.Doç.Dr.Yaşar EREN



Tanımlamalar-6

Yrd.Doç.Dr.Yaşar EREN

1.2.Homojen ve heterojen deformasyon

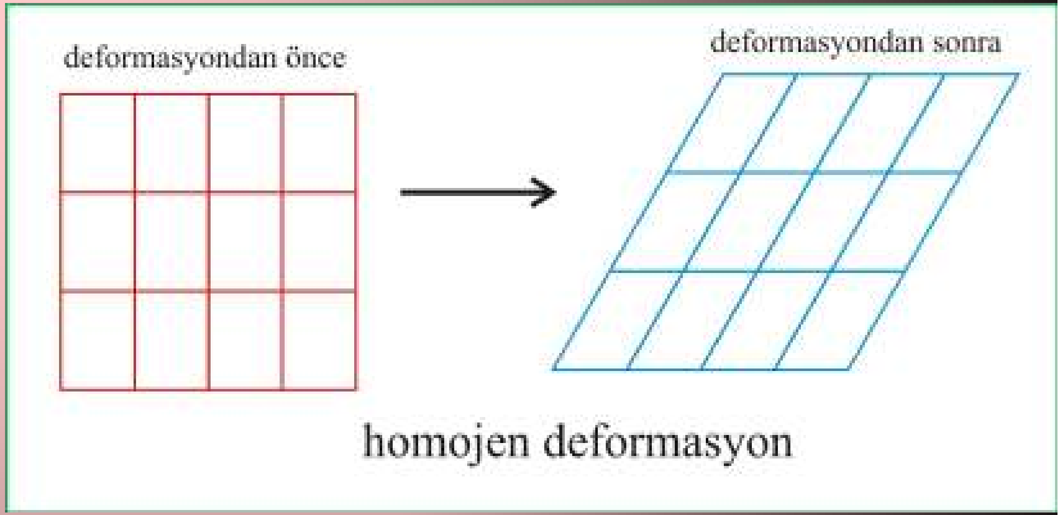
Biçim değişimine uğramış bir cisim içindekideformasyon, aşağıdaki kurallara göre homojen veya heterojen olarak tanımlanır.

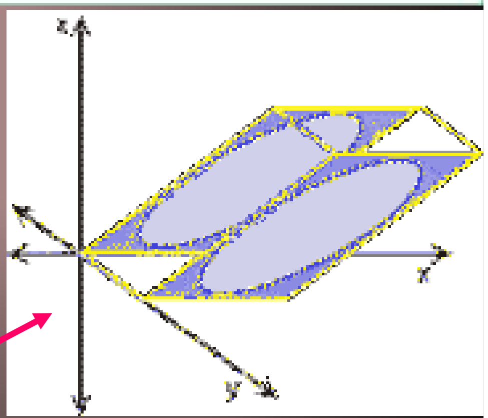
Homojen deformasyonlarda

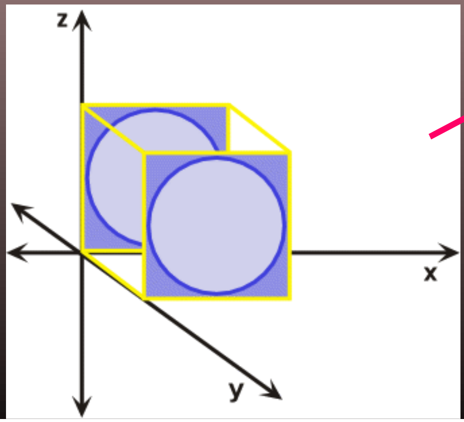
1-Doğrusal çizgiler deformasyondan sonrada doğrudur.

2-Parallel çizgiler deformasyondan sonra da paralleldir (Şekil 1.5).

3-Deforme olmuş cisimde, aynı doğrultuda e, λ ,ψ ve γ sabit değerdedir.



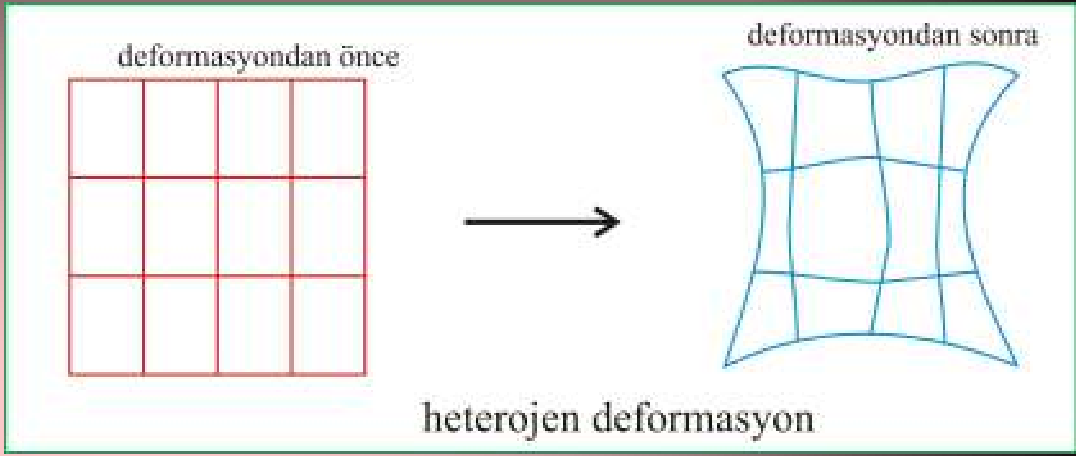


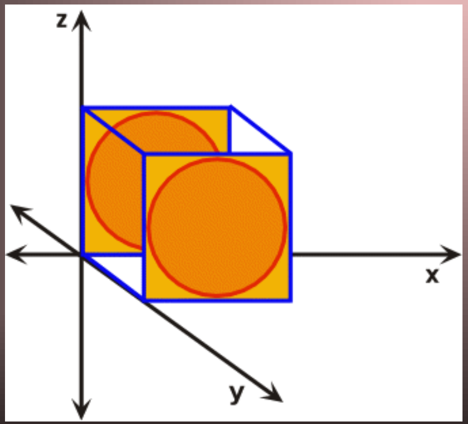


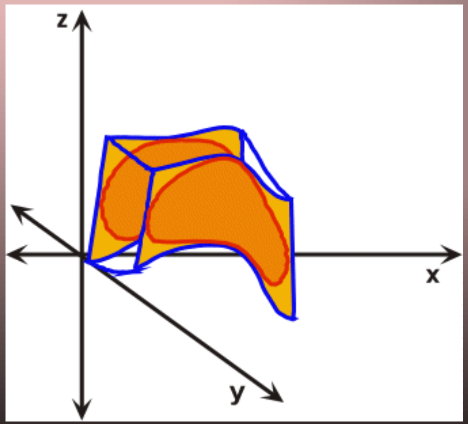
Tanımlamalar-8

Yrd.Doç.Dr.Yaşar EREN

- Heterojen deformasyonlarda
- **1-**Doğrusal çizgiler deformasyondan sonra bükülür
- **2-**Deformasyondan sonra parallel çizgiler parallel kalmaz (Şekil 1.5).
- **3-**Deforme cisimdeki aynı doğrultuda e,λ, ψ ve γ değerleri sabit değildir.







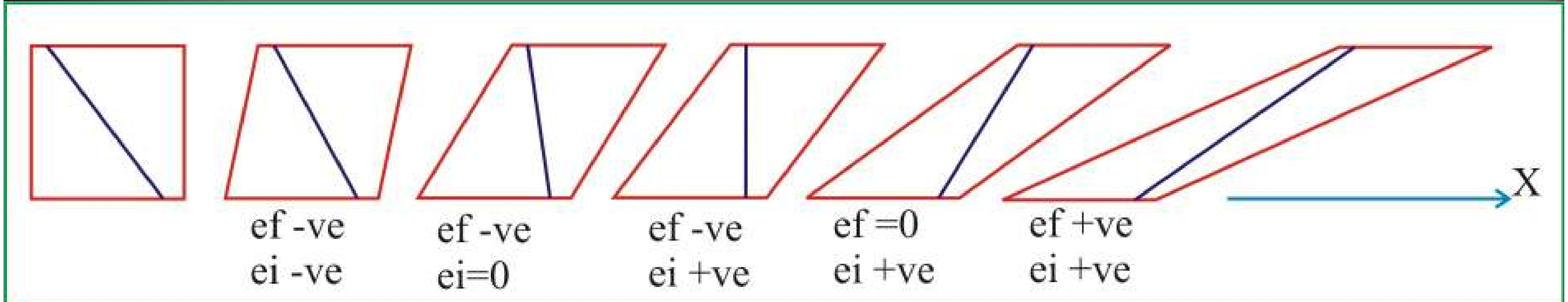
DEFORMASYON

Yrd.Doç.Dr.Yaşar EREN

figure3Girty.swf

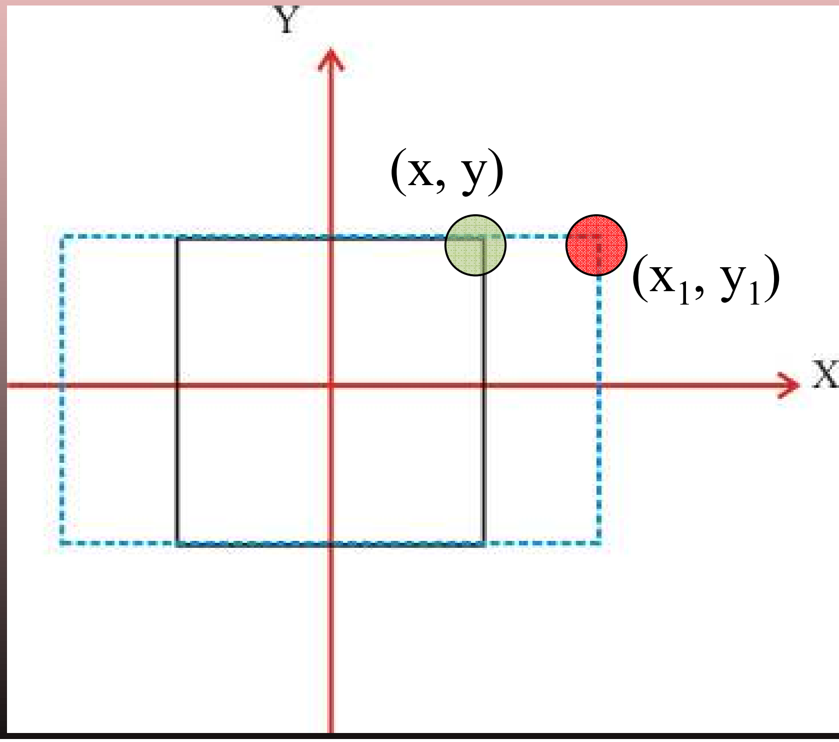
- Inhomojen deformasyonun matematiksel analizi oldukça karmaşıktır ve pratikte hemen hemen kullanışsızdır. Bu nedenle genellikle homojen deformasyonlar üzerinde durulacaktır. Aynı zamanda, bu teori inhomojen deformasyonlara da uygulanabilir. Çünkü deformasyon heterojen olsa bile küçük alanlardaki deformasyon homojen olarak kabul edilebilir. Jeolojik problemler açısından homojen olarak kabul edilebilecek elementin veya alanın boyutu oldukça değişkendir. Genellikle birkaç cm^3 lük cisimler için homojenlik geçerlidir. Çok daha küçük boyutlarda homojenlik düşer, çünkü cisimi oluşturan kristallerin deformasyonu kayaç içinde değişim gösterir.

- **1.3. Son ve artan deformasyon durumu (finite and infinitesimal strain)**
- Deforme olan cisimler karmaşık bir tarihçeye sahiptir. Yani, son deforme şeklini alana kadar, başlangıç konumundan birçok deforme süreçten geçer (Şekil 1.6). Buna ilerleyen (progresif) deformasyon denir. Doğal tektonik süreçlerle deforme olmuş kayaçları inceleyen jeolog ise, bu deformasyon sürecinin en son ürününü inceler ki, buna son deformasyon durumu (finite state of strain) denir. Son deformasyon durumu, genellikle başlangıçta şekli bilinen cisimlerin incelenmesi ile belirlenebilir. Ilerleyen deformasyon ise, belli bir zamandaki deforme şeklin daha sonra artan küçük distorsiyonu, yani artan deformasyonu şeklinde düşünülebilir.

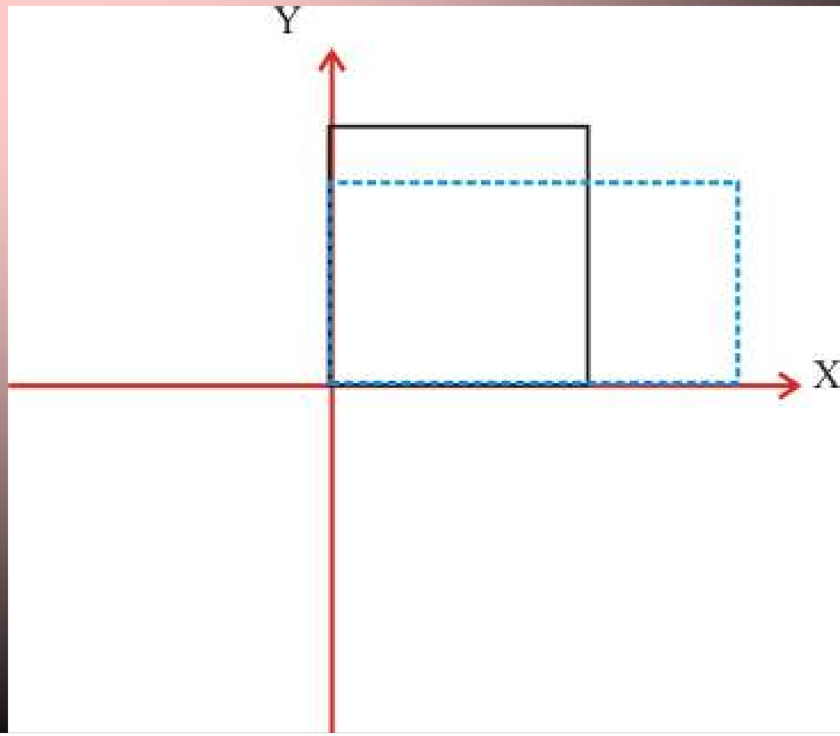


1.4. Düzlemde deformasyonun incelenmesi

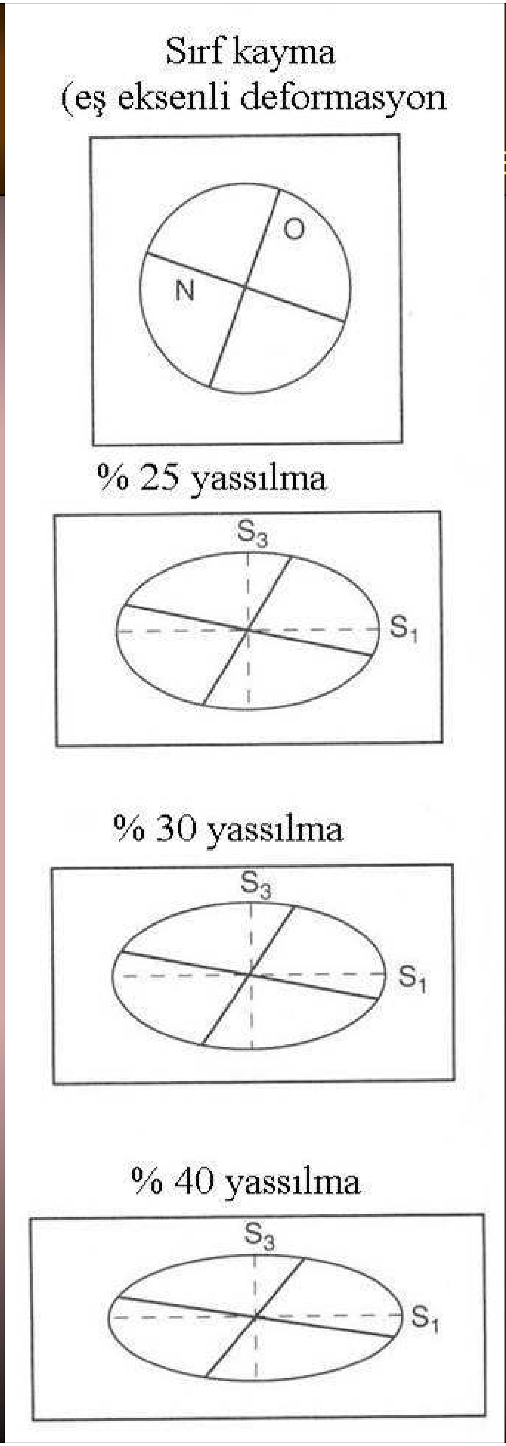
- Bu bölümde deformasyon iki boyutta yani düzlemde incelenecektir. Üç boyutlu deformasyon çözümlerinde de, genellikle iki boyutta yapılan hesaplamalar kullanılır. Deformasyon sürecinin anlaşılabilmesi için önce oldukça basit ve özel yer değiştirme tipleri incelenecektir. Bunlar
- **1-Bir yönde boy uzaması** (Şekil 1.7a)
- Şekil üzerindeki herhangi bir noktanın (x,y) deformasyondan sonraki konumu
- $x_1=(1+e)x$
- $y_1=y$ denklemlerine göre şekil değiştirecektir



- **2-Iki yönde boy değişimi** (Şekil 1.7b)
- $x_1=(ex+1)x \qquad y_1=(ey+1)y$
- Deformasyondan sonraki alan değişimi
- $(ex+1)\ (ey+1)-1=0$ ise alan değişimi yoktur.
-

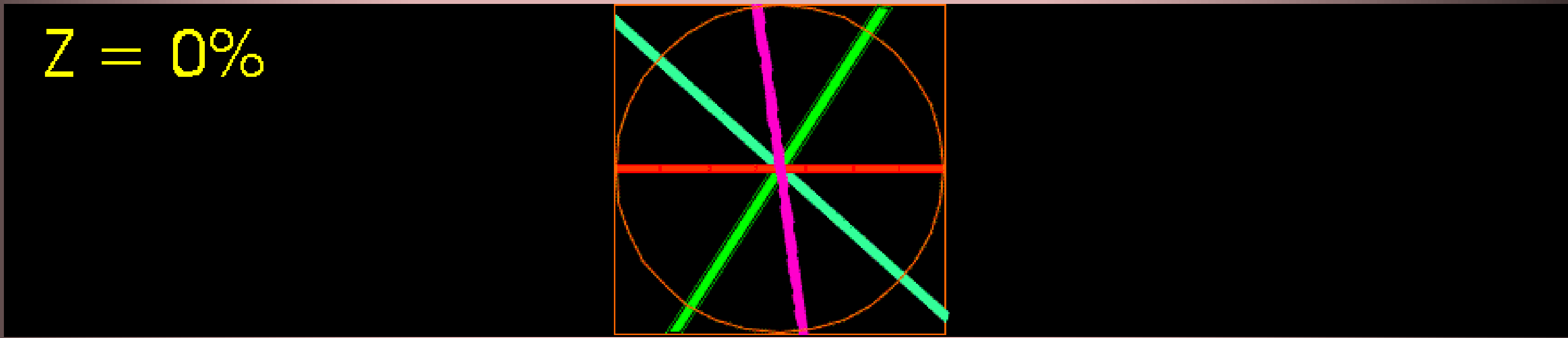


ex+1=1/ey+1 ise alan değişimi yoktur ve bu deformasyona sırf kayma (pure shear) deformasyonu denir. Bu yer değiştirme y eksenine parallel homojen kısalma, x eksenine parallel uzama oluşturur. Deformasyon oldukça basittir, fakat deformasyon vektör alanı oldukça karmaşıktır. Vektörün uzunluğu ve yönelimi cisim içinde değişir.



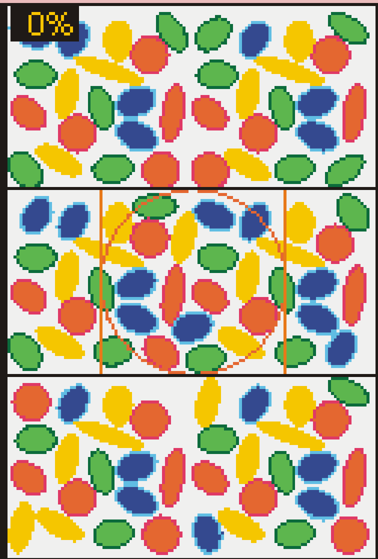
DEFORMASYON

Yrd.Doç.Dr.Yaşar EREN

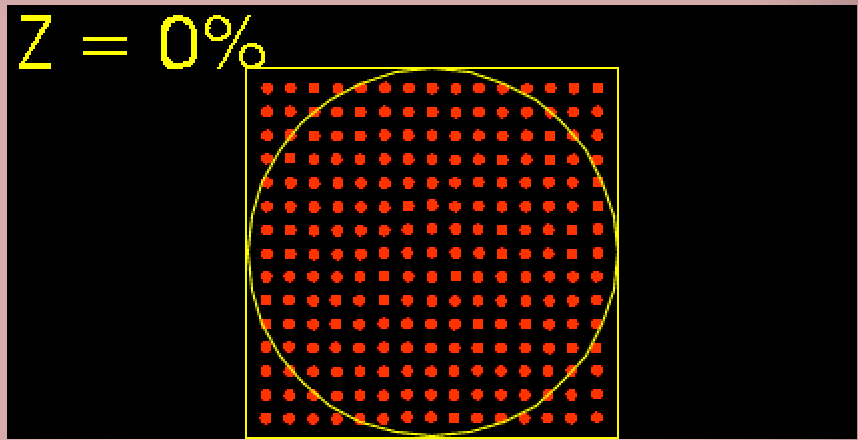


DEFORMASYON

Yrd.Doç.Dr.Yaşar EREN



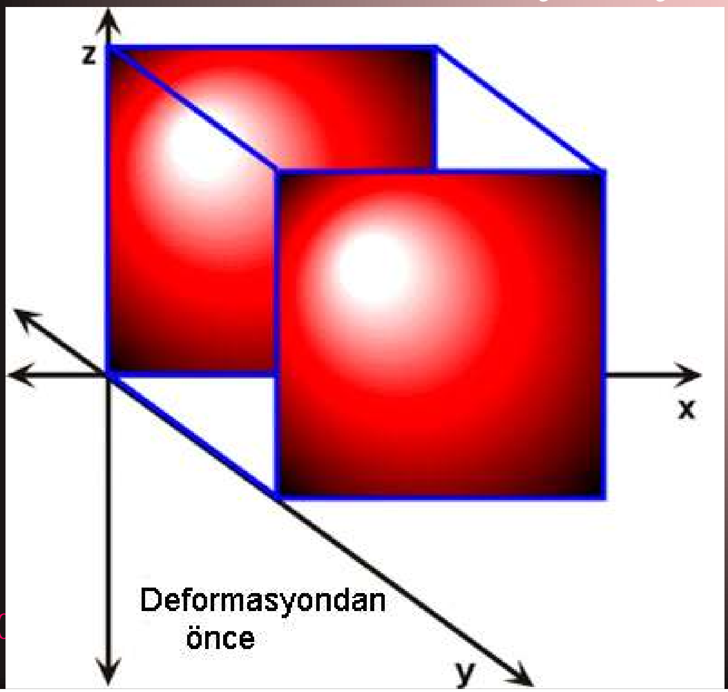
Yrd.Doç.Dr.Yaşar EREN

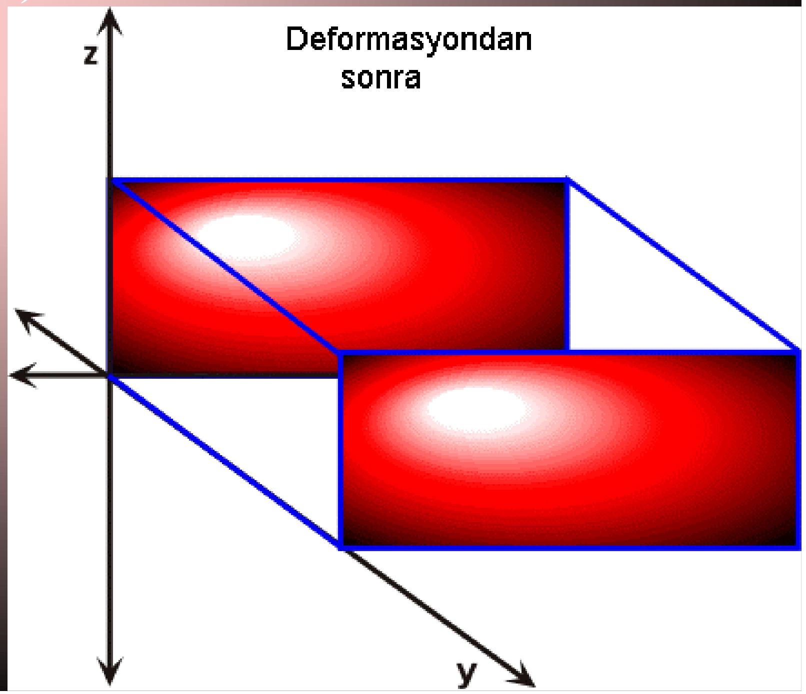


Deformasyon dönmesizdir. Deformasyon elipsinin uzun ekseni x eksenine, kısa ekseni ise y eksenine paralleldir ve bu doğruların başlangıçtaki yönelimi değişmemiştir. Koordinat transformasyon denklemleri

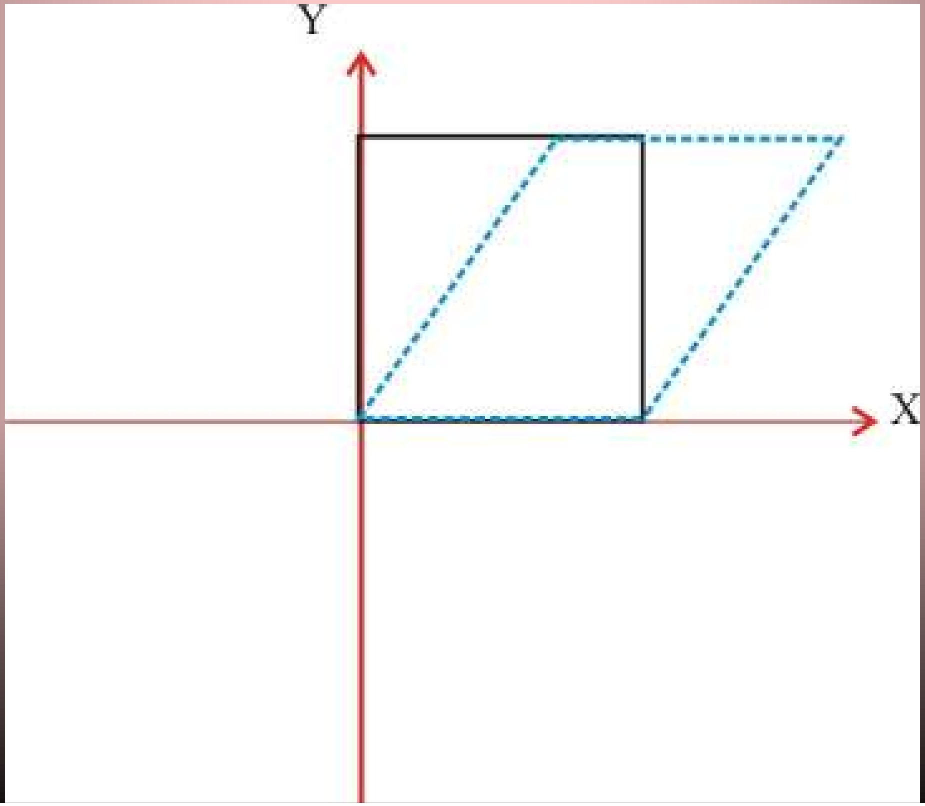
$$x1=kx$$

$$y1=y/k \text{ dır } (k=\text{sabit}).$$

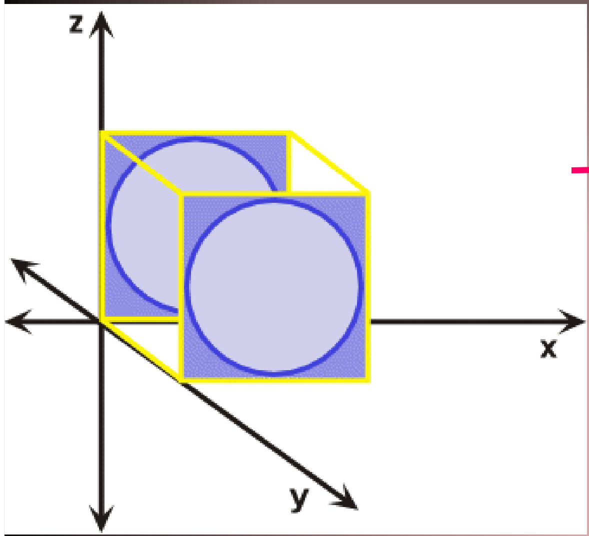


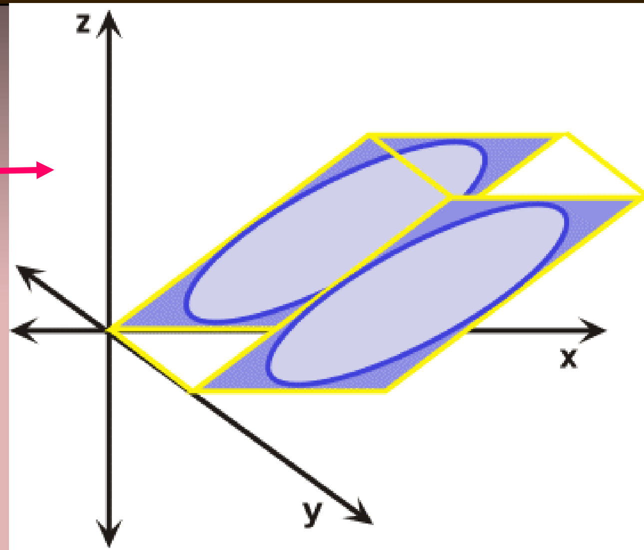


- **3-Basit kayma (simple shear)**
- Parçacıklar x eksenine parallel yer değiştirir.
- $x_1 = x + \tan\psi y$
- $y_1 = y$ $\quad$ $\tan y\psi = \gamma$ $\quad$ $x_1 = x + \gamma\ y$
-



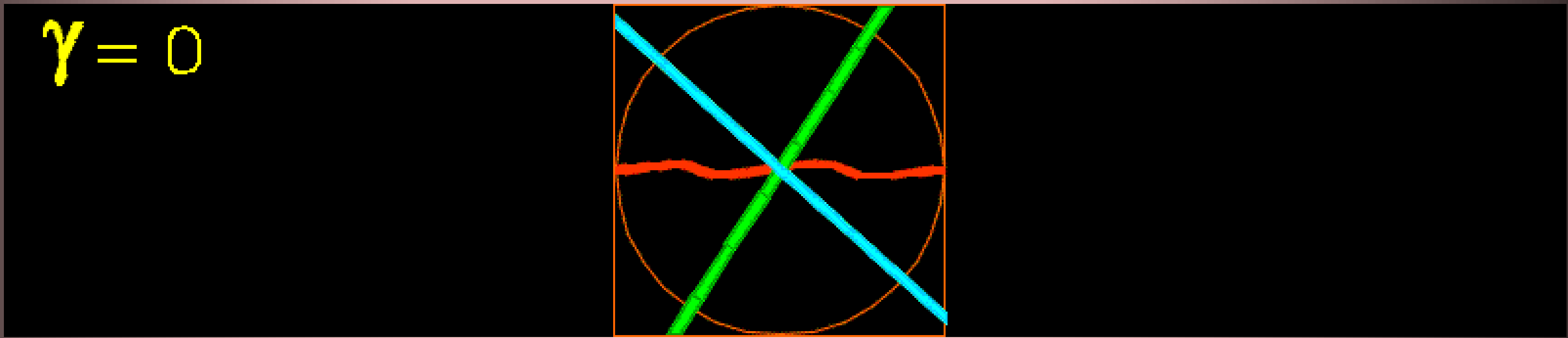
Yrd.Doç.Dr.Yaşar EREN



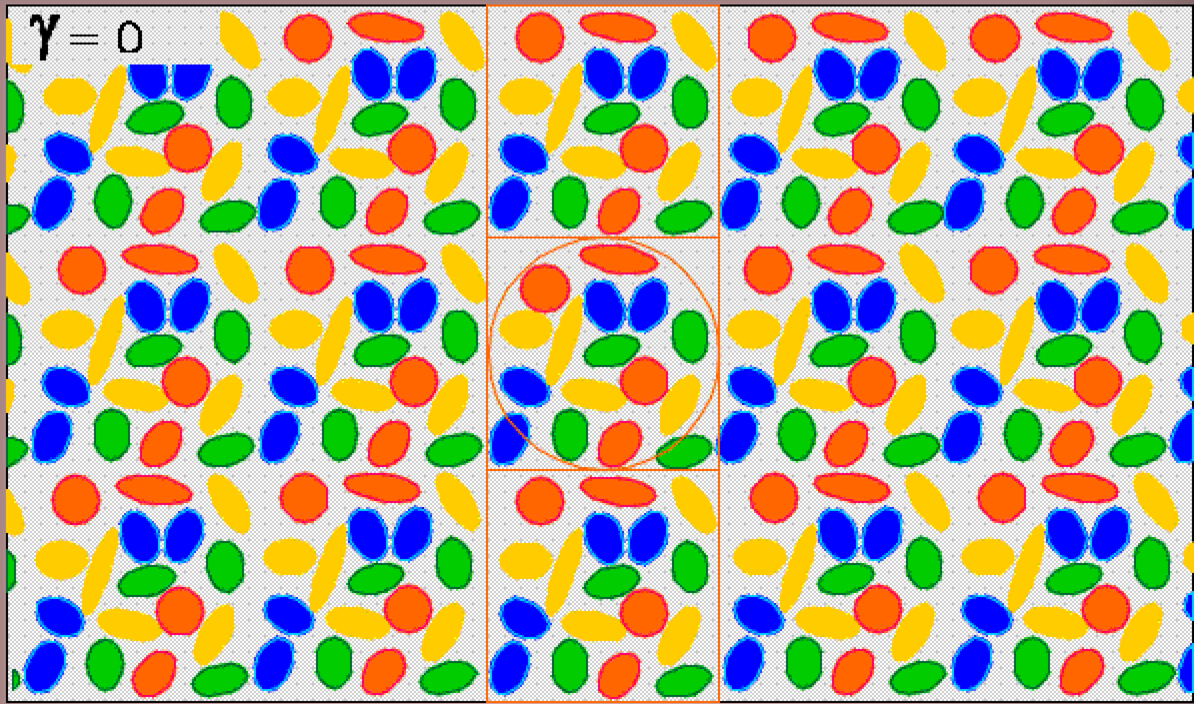


Alan değişimi yoktur. Yer değiştirme vektörleri birbirine paralleldir, fakat farklı uzunluktadır.

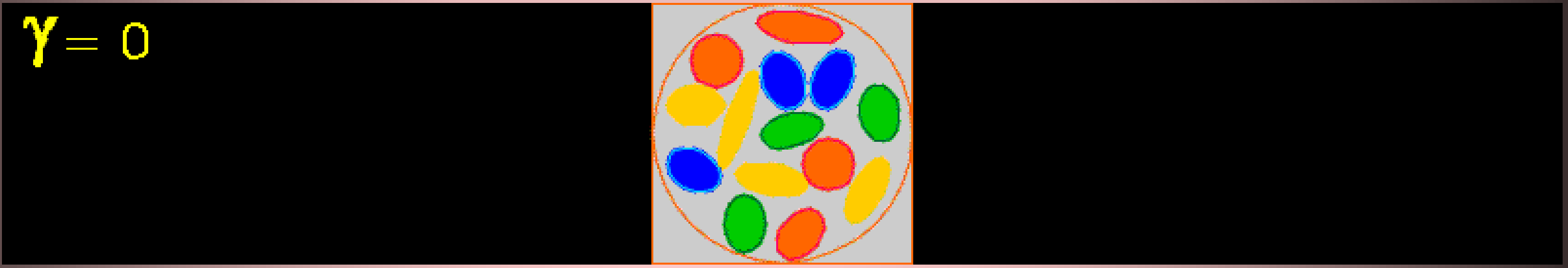
Yrd.Doç.Dr.Yaşar EREN



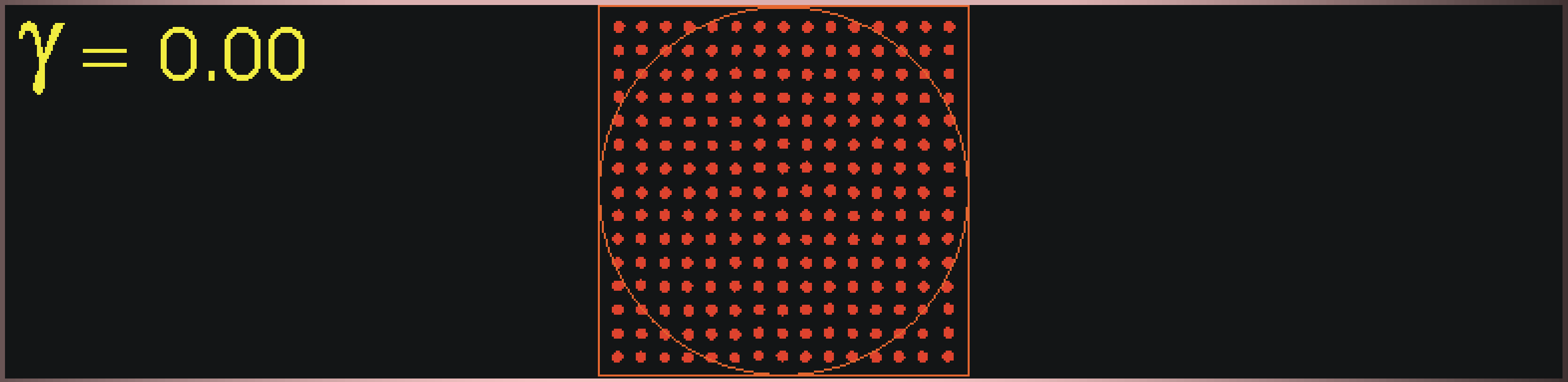
Yrd.Doç.Dr.Yaşar EREN



Yrd.Doç.Dr.Yaşar EREN



Yrd.Doç.Dr.Yaşar EREN

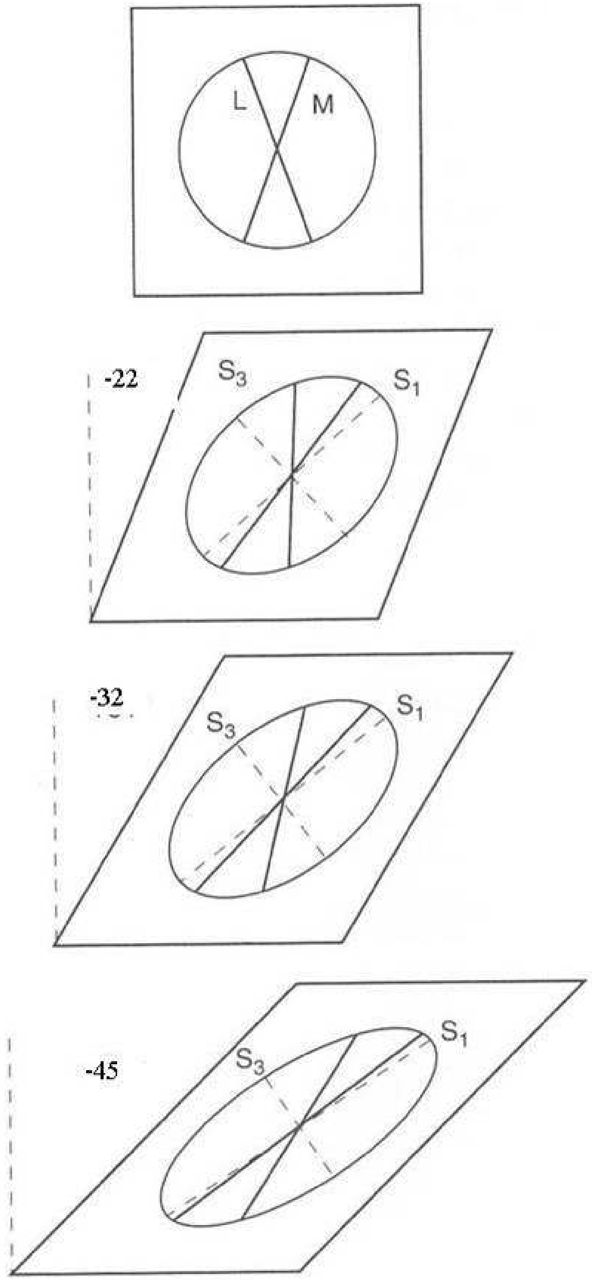


DEFORMASYON

figure9Girty.swf

Deformasyon dönmelidir.

Basit kayma
(eş eksenli olmayan def)



BASİT KAYMA ZONUNDAKİ YAPILAR

R ve R' Kesme kırıkları

Kıvrımlar

Genleşme kırıkları

Bindirme fayları

Tüm yapılar

DEFORMASYON

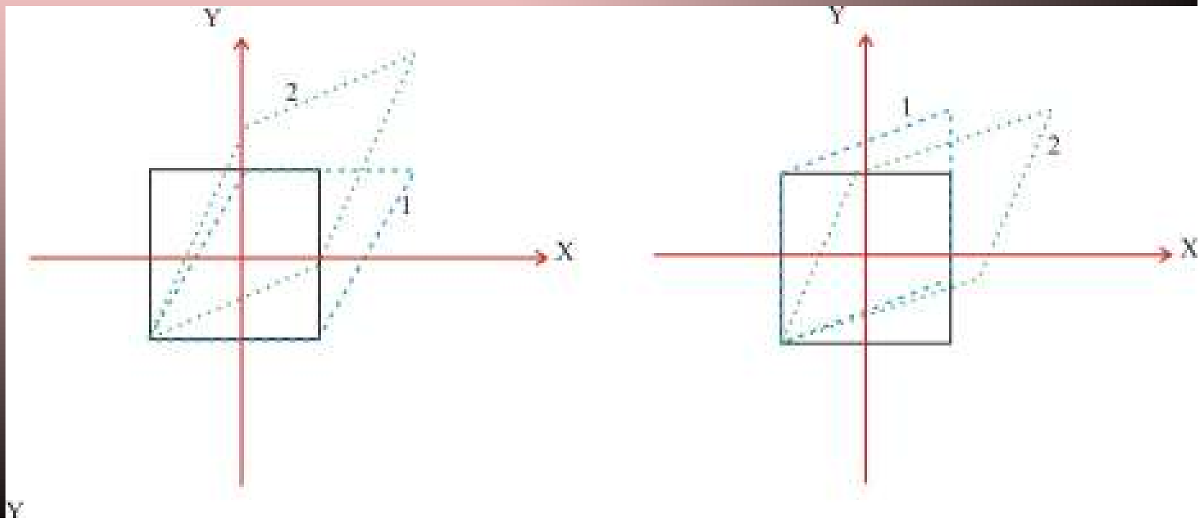
Yrd.Doç.Dr.Yaşar EREN

figure10Girty.swf

Yrd.Doç.Dr.Yaşar EREN

figure8Girty.swf

- **4-Üstelenmiş basit kayma** (Şekil 1.7d)
- Eğer x eksenine parallel deforme olmuş cisim y eksenine parallel başka bir kaymaya uğrarsa, x eksenine parallel çizgiler ψ_2 açısı kadar sapacaktır.
- $y_2=y_1+\tan\psi_2 x_1$ $x_2=x_1$ bu değerleri yukarıdaki denklemlerde yerine koyarsak $y_2=y+\tan\psi_2(x+\tan\psi_1)$
- $x_2=x+\tan y\psi_1 y$
- Deformasyon miktarı aynı fakat sırası değiştirilirse
- ilk deformasyon $x_1=x$ $y_1=y+\tan\psi_2 x$
- ikinci deformasyon $y_2=y_1$ $x_2=x_1+\tan\psi_1 y_1$
- yerine konduğunda $y_2=y+\tan\psi_2 x$
- $x_2=x+\tan\psi_1(y+\tan\psi_2 x)$ olur.
- Bu da yukarıdaki eşitliğe denk değildir. Sonuç olarak, eğer iki deformasyon birbirini üstelerse, son ürün deformasyonun sırasına bağlıdır.



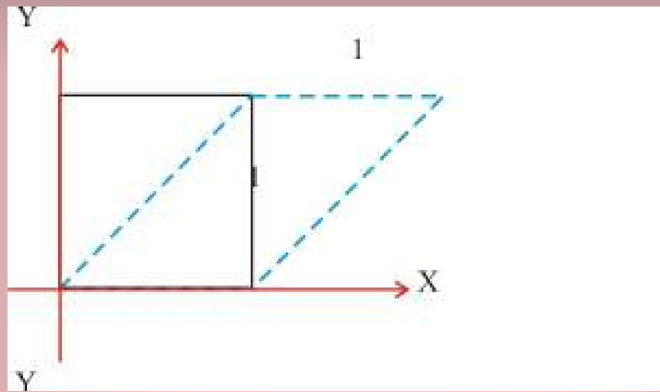
DEFORMASYON

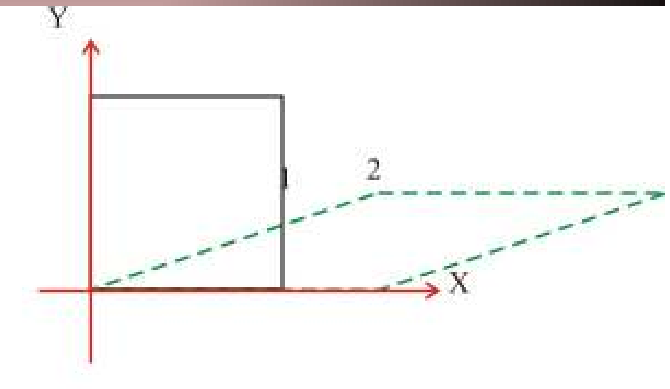
Yrd.Doç.Dr.Yaşar EREN

brach_pureshear.mov

brach_simpleshear.mov

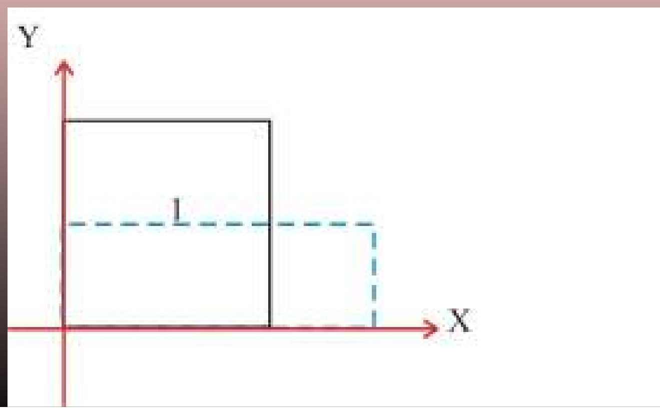
- **5-a)Basit kayma + sırf kayma**
- $x_2=(e_x+1)\,(x+\tan\psi_1 y)$ $\quad$ $y_2=(e_y+1)y$

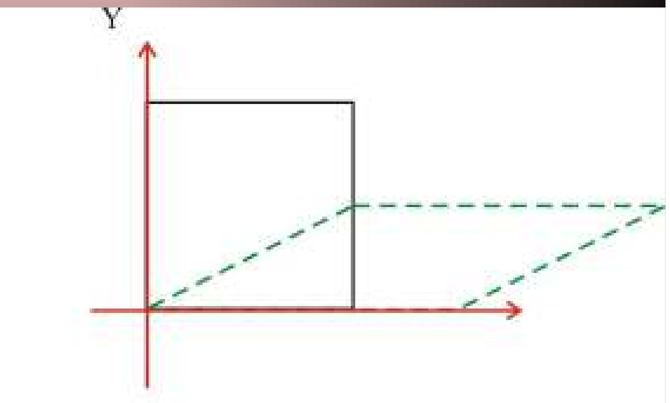




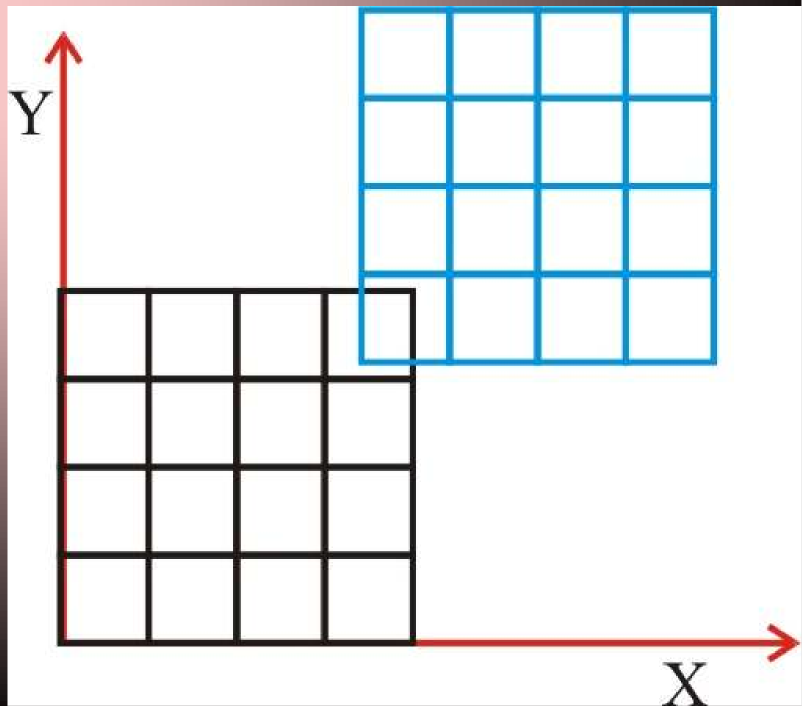
b)Sırf kayma + basit kayma

- $x_2=(e_x+1)\,x+\tan\psi_1(e_y+1)y$ $\quad$ $y_2=(e_y+1)y$
- 5 a ve 5b ‘deki dönüşümler birbirine eşit değildir.



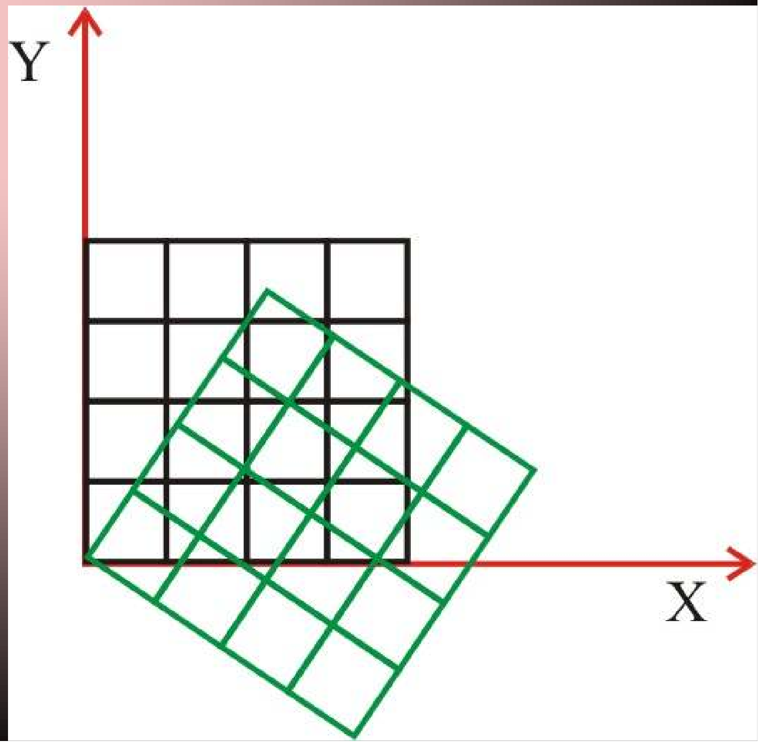


- **6:Cisim yer değiştirmesi (body translation-ötelenme)**
- Yer değiştirme vektörleri birbirine parallel ve eşit uzunluktadır. Bu tip deformasyonda cisim uzayda biçim değişimi ve dönme oluşturmadan yer değiştirir. Koordinat transformasyon denklemleri
- $x_1=x+A$ $y_1=y+B$
- A ve B sabitlerdir. A x-eksenine B ise y-eksenine parallel yerdeğiştirme vektörüdür.



Yrd.Doç.Dr.Yaşar EREN

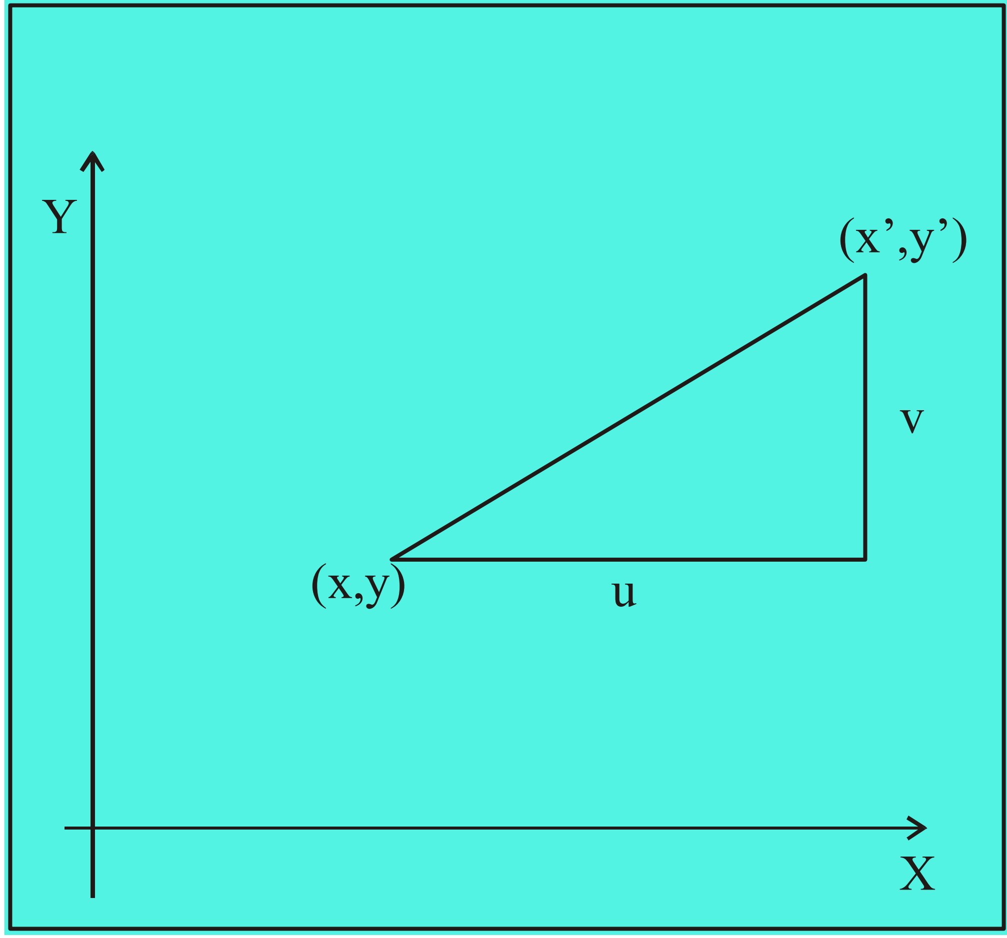
- 7: Gövde dönmesi (body rotation)
- Yerdeğiştirme vektörleri başlangıçtaki koordinatlarına göre yön ve uzunluk olarak değişir. Bu içsel deformasyon olmadan orijinde dönmeyi simgeler. Koordinat transformasyon denklemleri -ω=Saat yönünde dönme ω=Saat ibresinin tersi yönünde dönme olmak üzere
- $x_1 = \cos\omega_x + \sin\omega_y$ $y_1 = -\sin\omega_x + \cos\omega_y$



Yrd.Doç.Dr.Yaşar EREN

1.4.1. Yerdeğiştirme ve genel dönüşüm eşitlikleri

Iki boyutta bir noktanın yer değişimi başlangıçtaki (x,y) ve son durumdaki (x_1,y_1) noktalarını birleştiren bir doğru ile ifade edilebilir



- Bu uzunluğu ve yönelimi olan bir vektördür ve bu vektör x ve y eksenlerine parallel ölçülmüş u- ve v- ile tanımlanabilir. Son yer değiştirme vektörü gerçek yer değiştirme vektörünü temsil etmeyebilir. Sadece noktanın ilk ve son konumunu belirtir. Tüm noktaların yer değişim vektörlerini temsil eden yer değiştirme vektörleri alanı yer değiştirme vektör alanı olarak adlandırılır.

Bir yüzey üzerindeki tüm noktaların hareketi koordinat dönüşüm denklemleri olarak bilinen iki denklem ile ifade edilebilir

1- $x1=f1\ (x,y)$ $\quad y1=f2(x,y)$ (1.6)
2- $x=f3(x1,y1)$ $\quad y=f4(x1,y1)$ (1.7)

Bu iki eşitlikte aynı değişimi ifade eder 1.si Langrangiyen denklemi, 2. si Euler denklemleri olarak bilinir.
1.sinde yerine yerleştirilecek değerler noktaların başlangıçtaki durumunu 2.sinde ise yerine konacak değerler son durumdaki değerleri kullanır.
Koodinat transformasyon denklemlerinin en basit genel şekli doğrusaldır.

1- $$\frac{x_1 = ax + by}{y_1 = cx + dy} \quad (1.8)$$

2- $$\frac{\mathrm{x} = \mathrm{Ax}_1 + \mathrm{By}_1}{\mathrm{y} = \mathrm{Cx}_1 + \mathrm{Dy}_1} \quad (1.9)$$

a, b, c, d, A, B, C ve D sabitlerdir ve bu katsayılar arasında aşağıdaki ilişkiler vardır (Şekil 9).

A= $\dfrac{a}{ad - bc}$ B= $\dfrac{-b}{ad - bc}$

C= $\dfrac{-c}{ad - bc}$ D= $\dfrac{d}{ad - bc}$

2*2 lik bir matrikle bunu ifade edersek

$$\begin{array}{c|c|c} \begin{array}{c} x_1 = \\ y_1 = \end{array} & \begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix} & \begin{array}{c} x \\ y \end{array} \end{array} \text{......(1.10)........................} \begin{array}{c|c|c} \begin{array}{c} x = \\ y = \end{array} & \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} & \begin{array}{c} x_1 \\ y_1 \end{array} \end{array}$$

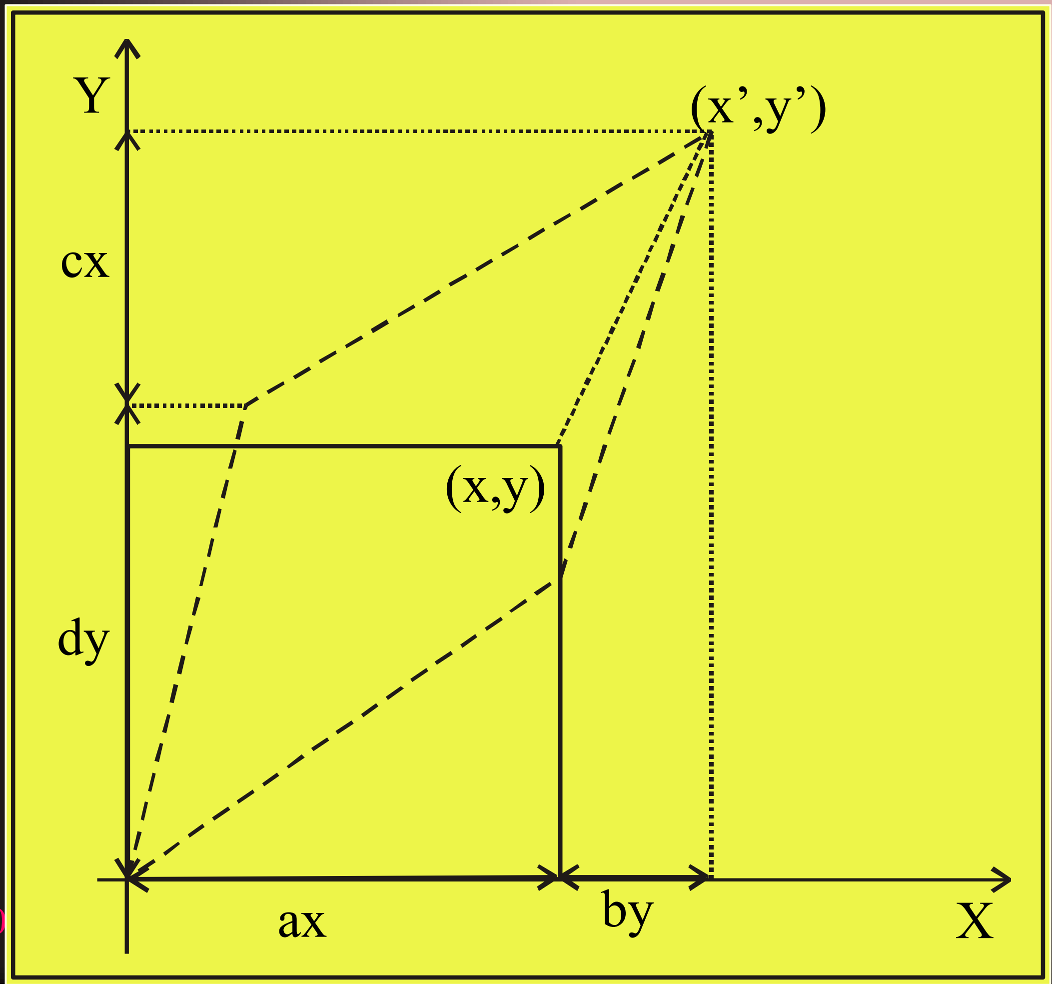
(1.11)

Yrd.Doç.Dr.Yaşar EREN

Şekilde orijinal dörtgenin dört noktası

(0,0) (x,0) (x.y) (0,y) deforme olduğunda

(0,0) (ax,cx) (ax+by,cx+dy) (by,dy) konumunu alır.



a, d x ve y-eksenlerine parallel boy değişimini

b, c ise kayma deformasyonu bileşenleridir.

$b = d \tan\alpha$

$c = a \tan\beta$

Yrd.Doç.Dr.Yaşar EREN

Lineer koordinat transformasyon homojen deformasyonlara yol açar

$y=mx+k$ ile verilen bir doğru (1.9) nolu denklem ile deforme edildiğinde yeni çizgilerin konumu

$$\frac{cx+ay}{ad-bc} = m\left(\frac{dx-by}{ad-bc}\right)+k$$ veya

$$y1 = \frac{c+dm}{a+bm}x1 + k\left(\frac{ad-bc}{a+bm}\right)$$ olur

buda

$y_1=Mx_1+K$

ile verilen diğer bir denkleme özdeştir.

Yani doğru yine doğru olarak kalmıştır.

K ile k arasındaki ilişki sadece sabit bir çarpanla ilişkilidir ve homojen bir deformasyon oluşturur.