



Dokuz Eylül Üniversitesi
İnşaat Mühendisliği Bölümü



İNŞ2023 YAPI MALZEMESİ I

GERİLME, ŞEKİL DEĞİŞİMİ VE ZAMAN İLİŞKİLERİ

Dr. Öğr. Üyesi Çağlar YALÇINKAYA
www.caglaryalcinkaya.com

GERİLME, ŞEKİL DEĞİŞİMİ ve ZAMAN İLİŞKİLERİ



Reoloji ve viskoelastisite

- ✓ **Reoloji** cisimlerin gerilme altında zamana bağlı şekil değişimini (deformasyon) inceleyen bilim dalıdır.
- ✓ Genel olarak katıların deformasyon ve sıvıların akış özelliklerini belirlemek amacıyla kullanılır.
- ✓ İster katı ister sıvı olsun her malzeme gerilme altında şekil değiştirir.

GERİLME, ŞEKİL DEĞİŞİMİ ve ZAMAN İLİŞKİLERİ



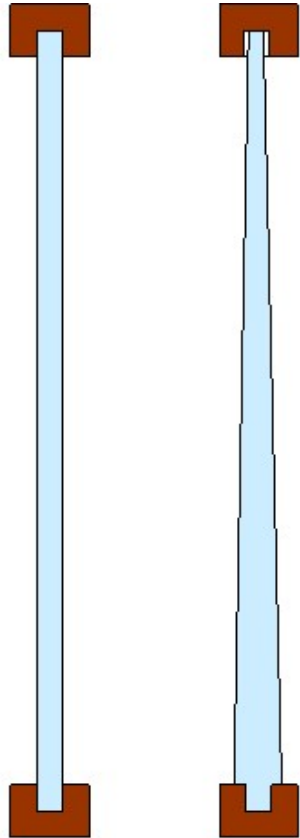
Reoloji ve viskoelastisite

- ✓ Malzemelerin kendi ağırlığı da gerilme oluşturan bir unsurdur.
 - ✓ Bu nedenle her malzeme dış yükleme olmasa da deformasyona uğrar.
-
- ✓ Fakat katı cisimler için kendi ağırlığından kaynaklanan deformasyon miktarı ihmal edilebilecek kadar küçüktür.

GERİLME, ŞEKİL DEĞİŞİMİ ve ZAMAN İLİŞKİLERİ



Reoloji ve viskoelastisite



a. Original installation

b. After 100 years

- ✓ Bu olaya kanıt olarak tarihi binaların camları gösterilebilir.
- ✓ 10-15 asırlık bina camlarının alt ve üst kalınlıkları ölçüldüğünde camların alt kısımlarının üste göre daha kalın olduğu görülmüştür.

GERİLME, ŞEKİL DEĞİŞİMİ ve ZAMAN İLİŞKİLERİ



Reoloji ve viskoelastisite

- ✓ Camlarda görülen akma olayı her cisim için farklı hızlarda gerçekleşmektedir.
- ✓ Şekil değişimi miktarı;
cismin maruz kaldığı gerilmenin şiddetine,
uygulama hız ve doğrultusuna,
cismin yapıldığı malzemenin **viskozitesine**
göre değişir.

GERİLME, ŞEKİL DEĞİŞİMİ ve ZAMAN İLİŞKİLERİ



Reoloji ve viskoelastisite

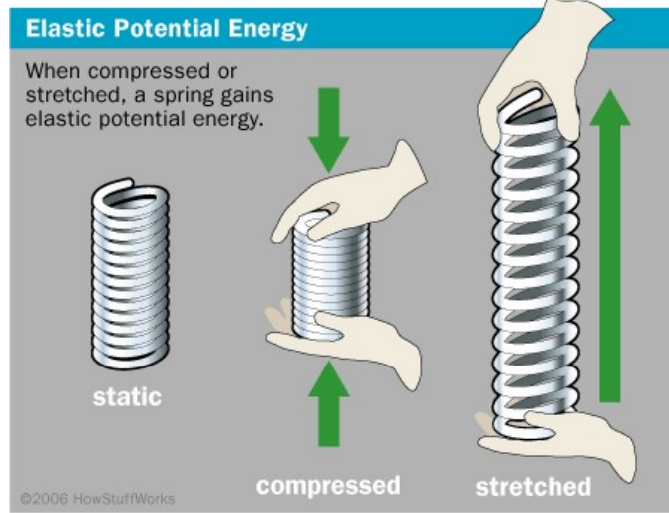
- ✓ Viskozite cismin akmaya karşı gösterdiği direnç olarak tanımlanabilir.
- ✓ Örneğin, bal suya kıyasla çok daha zor akar, diğer bir deyişle viskozitesi daha fazladır.



GERİLME, ŞEKİL DEĞİŞİMİ ve ZAMAN İLİŞKİLERİ



Reoloji ve viskoelastisite



- ✓ Cisme uygulanan dış kuvvet kaldırıldığı zaman cisim ilk konumuna geri dönüyorsa, **bu davranış elastik bir davranıştır.**



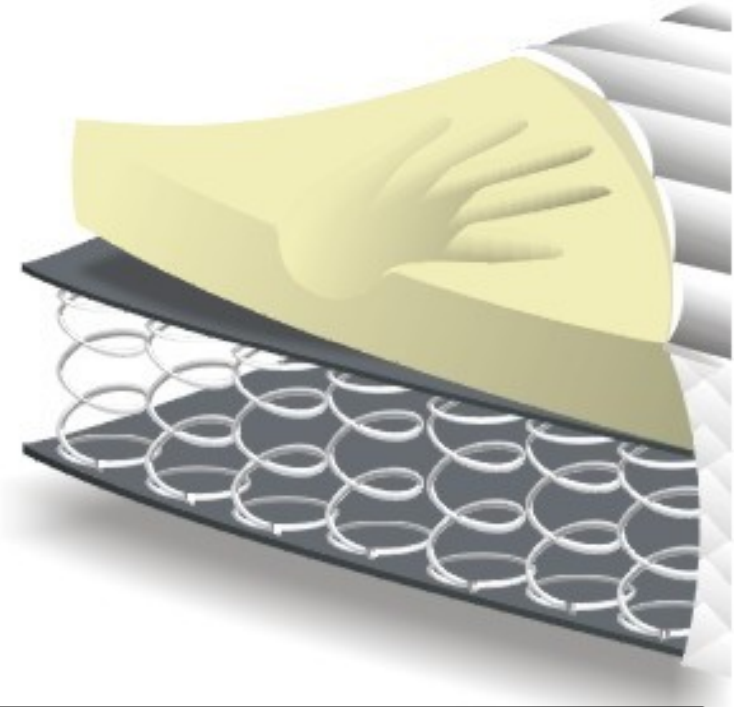
- ✓ **Viskoz davranış ise** cisme dış kuvvet uygulanınca gösterdiği gecikmeli şekil değişimi davranışdır.

GERİLME, ŞEKİL DEĞİŞİMİ ve ZAMAN İLİŞKİLERİ



Reoloji ve viskoelastisite

✓ Viskoelastisite cisimlerin ortak elastik ve viskoz davranışdır.



✓ Pek çok malzeme gerilmeler altında hem elastik hem de viskoz davranış gösterir.

GERİLME, ŞEKİL DEĞİŞİMİ ve ZAMAN İLİŞKİLERİ



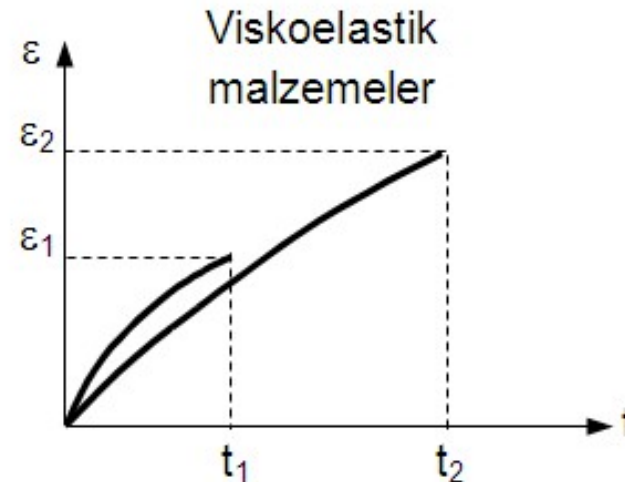
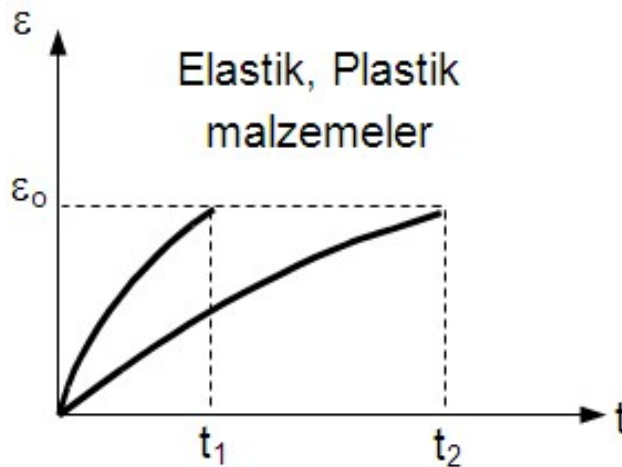
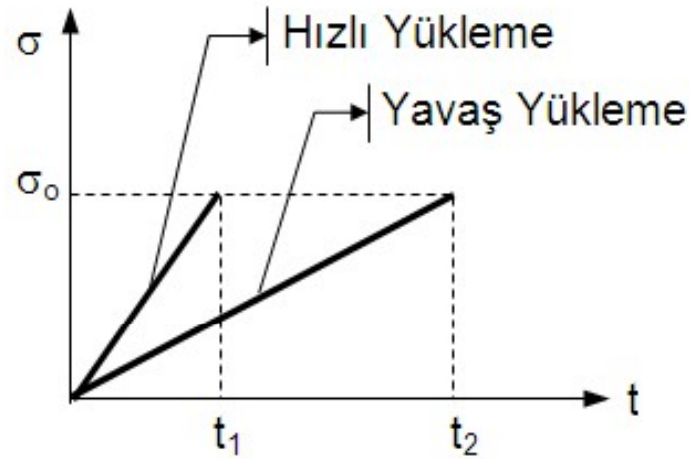
Reoloji ve viskoelastisite

- ✓ Elastik davranışın zamandan bağımsız, viskoz davranışın zamana bağlı olduğu açıktır.
- ✓ Bu nedenle viskoelastik davranış iki etkinin toplamı olarak zamana bağlı bir davranıştır.
- ✓ Elastik ve plastik davranışlarda, yükleme hızı ne olursa olsun cisimde oluşan son şekil değiştirmeler aynıdır.
- ✓ Buna karşın viskoelastik bir cisimde yavaş yükleme sonucu oluşan şekil değiştirme, hızlı yüklemenin oluşturduğundan daha büyüktür

GERİLME, ŞEKİL DEĞİŞİMİ ve ZAMAN İLİŞKİLERİ



Reoloji ve viskoelastisite



GERİLME, ŞEKİL DEĞİŞİMİ ve ZAMAN İLİŞKİLERİ

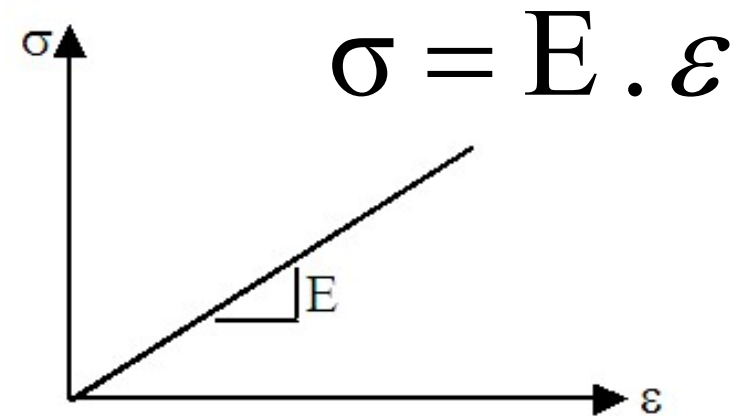
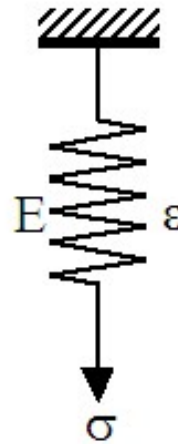


Reoloji ve viskoelastisite

- ✓ 1678 yılında Robert Hooke katıların reolojik özelliklerini modelleme amacıyla yazdığı “Elastisite Teorisi” adlı kitabında bir yayda oluşan şekil değişimi ile yaya etkiyen gerilme arasında doğrusal bağıntı olduğunu, yayın ideal elastik olduğunu göstermiştir.

Hooke Cismi

- ✓ Hooke cismi olarak adlandırılan sistemde yay tam bir elastik elemandır.



GERİLME, ŞEKİL DEĞİŞİMİ ve ZAMAN İLİŞKİLERİ

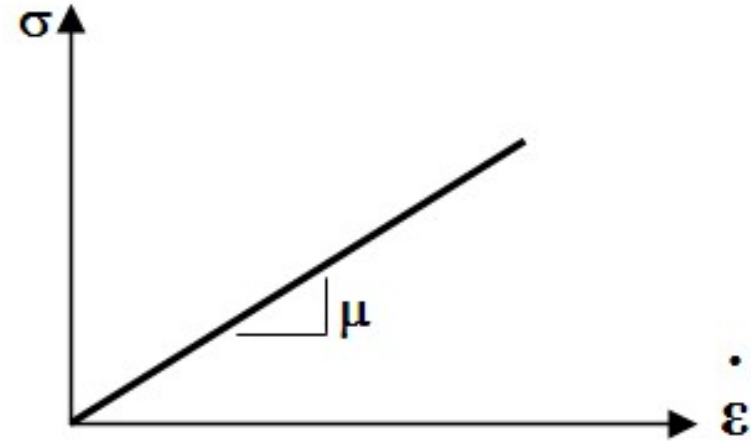
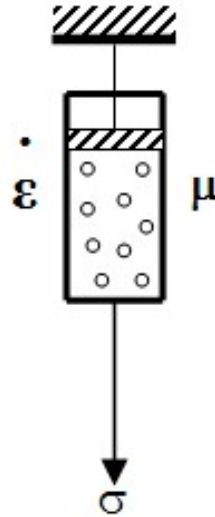


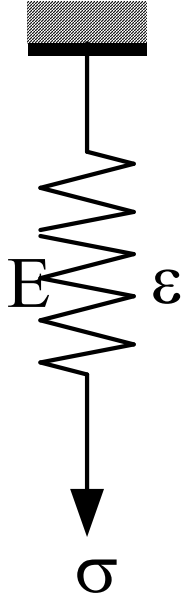
Reoloji ve viskoelastisite

- ✓ Isaac Newton ise 1687 yılında “Principia” adlı kitabında sıvıların kayma gerilmesi altında gecikmeli şekil değişimi gösterdiğini açıklamış ve tamamiyle viskoz davranış gösteren yağ kutusu (iç sürtünmeli amortisör, sönüm kutusu) ile modellemiştir.

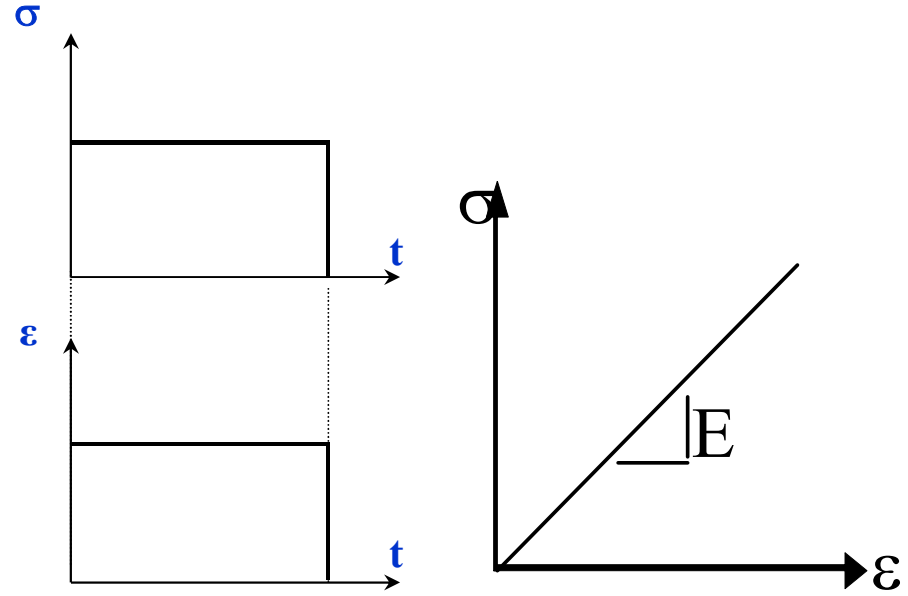
Newton Cismi

- ✓ Newton cisminin sabit gerilme altında şekil değişimi zamanla sürekli olarak artar.





Şekil 7.2. Hooke cismi



Şekil 7.3. Elastik davranış modeli

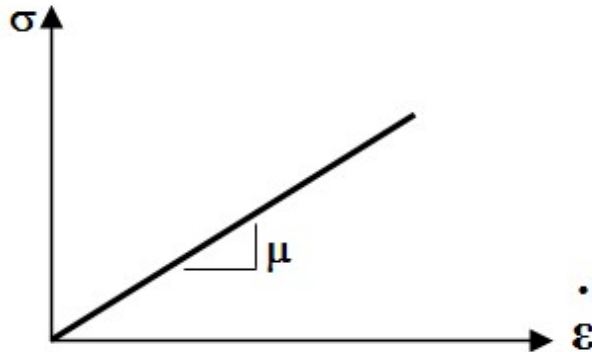
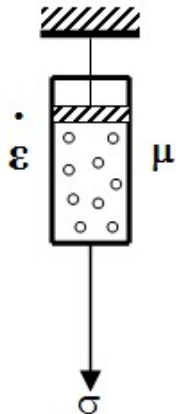
GERİLME, ŞEKİL DEĞİŞİMİ ve ZAMAN İLİŞKİLERİ



➡ Reoloji ve viskoelastisite

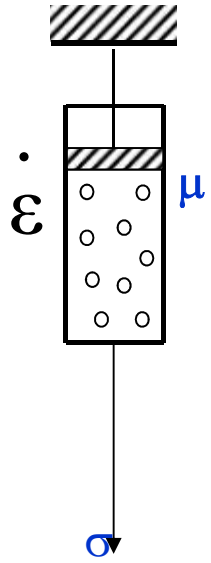
➡ Newton Cismi

- ✓ Newton cisminin sabit gerilme altında şekil değişimi zamanla sürekli olarak artar.
- ✓ Gerilme kaldırılınca Newton cismi aldığı son şekil değişimini korur.
- ✓ viskoz davranışı simgeleyen bağıntı da, normal gerilme halinde:

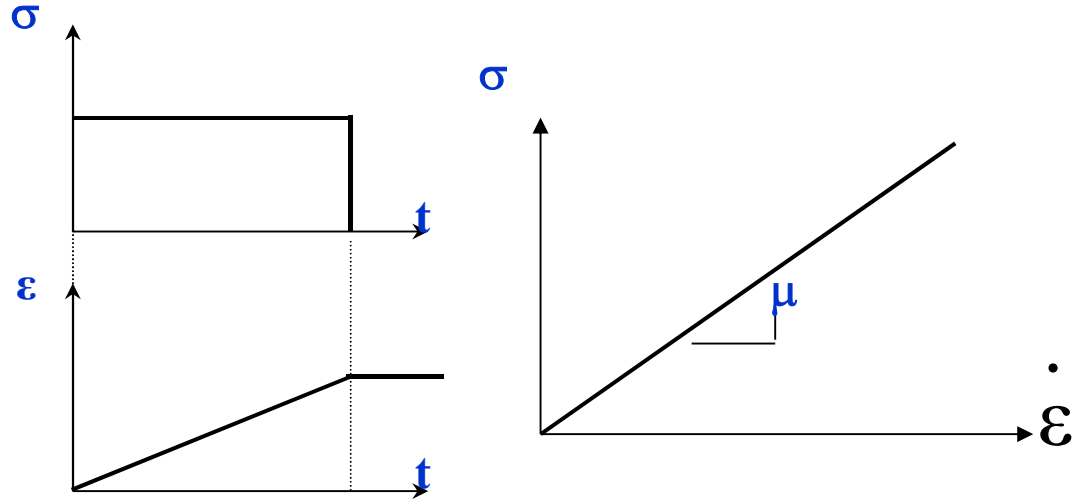


$$\sigma = \mu \cdot \dot{\varepsilon}$$

$$\dot{\varepsilon} = \frac{d\varepsilon}{dt}$$



Şekil 7.4. Newton cismi



Şekil 7.5. Viskoz davranış modeli

GERİLME, ŞEKİL DEĞİŞİMİ ve ZAMAN İLİŞKİLERİ



Reoloji ve viskoelastisite

- ✓ Yaklaşık 300 yıldan beri Hooke Yasası katılar ve Newton Yasası da sıvılar için uygulamada kullanılmıştır.
- ✓ 19. yüzyıldan itibaren endüstrileşme ile birlikte bilim adamları sıvı davranışı gösteren katılar ve katı davranışı gösteren sıvılar keşfetmişlerdir.
- ✓ Üstelik aynı malzemenin farklı gerilme düzeylerinde farklı davranış gösterebildiği hatta gerilmenin uygulanma hızının bile reolojik davranışı değiştirdiği görülmüştür.

GERİLME, ŞEKİL DEĞİŞİMİ ve ZAMAN İLİŞKİLERİ



Reoloji ve viskoelastisite

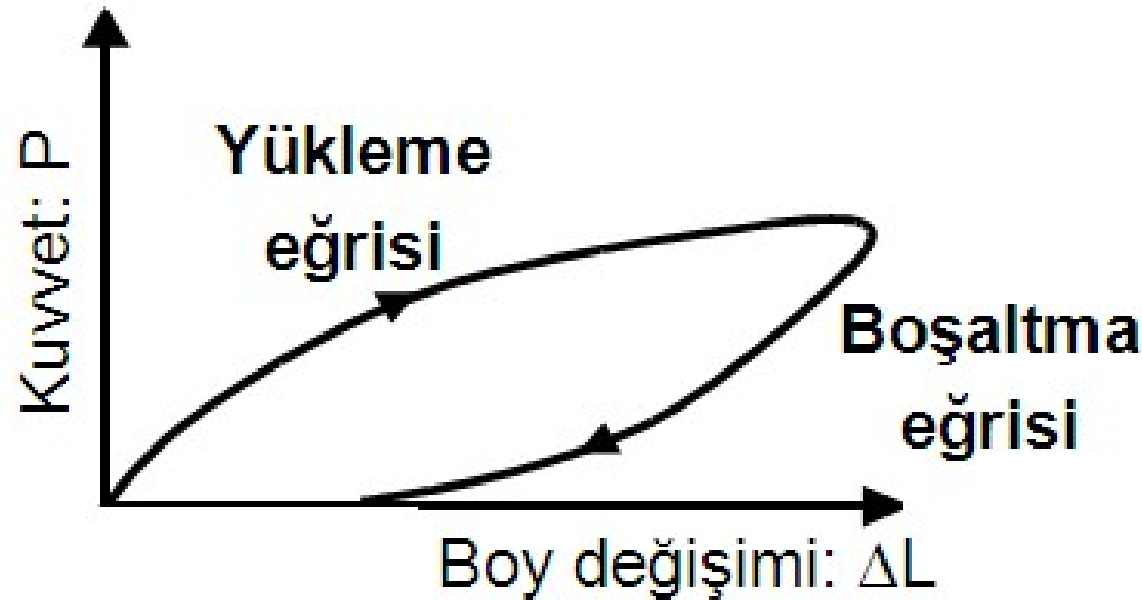
- ✓ Örneğin yol yapımında kullanılan bitümlü malzemeler araçların hızlı hareket ettiği en sol şeritte daha az deforme olmakta, buna karşılık araçların daha yavaş hareket ettiği en sağ şerit, kavşaklar ve otobüs duraklarında daha fazla deforme olmaktadır.
- ✓ Burada tekerlek yüklerinin uygulanma hızı yol malzemesinin reolojik davranışını değiştirmektedir.
- ✓ Fakat en sağ şerit, kavşaklar ve otobüs duraklarının deforme olmasında buralarda ağır araçların seyretmesinin de önemli rol oynadığı dikkate alınmalıdır.

GERİLME, ŞEKİL DEĞİŞİMİ ve ZAMAN İLİŞKİLERİ



Şekil Değiştirme Türleri

- ✓ Her malzemenin yükleme karşısında göstereceği iç dirence bağlı olarak yükleme ve yükü kaldırma (boşaltma) – şekil değişimi ilişkisi farklı olabilir.



GERİLME, ŞEKİL DEĞİŞİMİ ve ZAMAN İLİŞKİLERİ



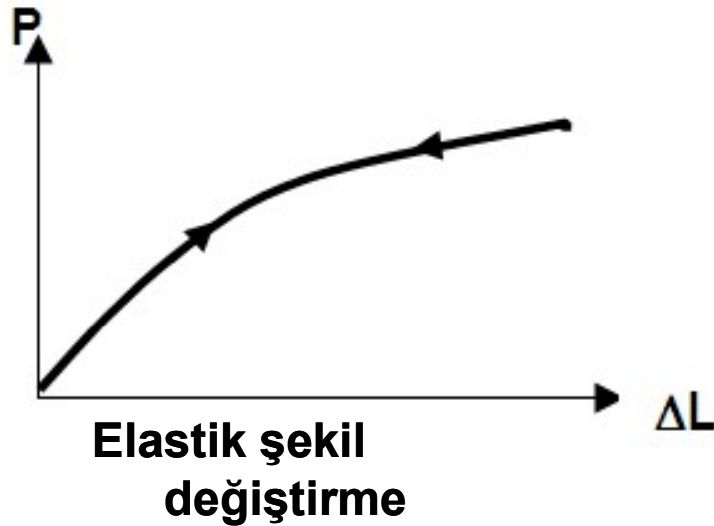
Şekil Değiştirme Türleri

- ✓ Bir malzemenin iç direnci (deformasyonlara karşı koyması);
katı cisimler için elastisite modülü,
sıvılar için viskozite katsayısı
ile karakterize edilebilir.

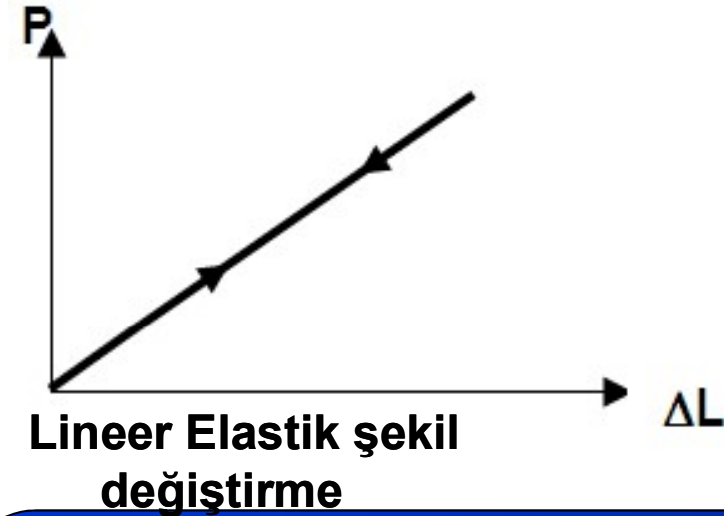
GERİLME, ŞEKİL DEĞİŞİMİ ve ZAMAN İLİŞKİLERİ



Uygulamadaki tipik yükleme, boşaltma – şekil değiştirme türleri



Yükleme ve boşaltma eğrilerinin çakıştığı şekil değiştirme: **elastik şekil değiştirme**

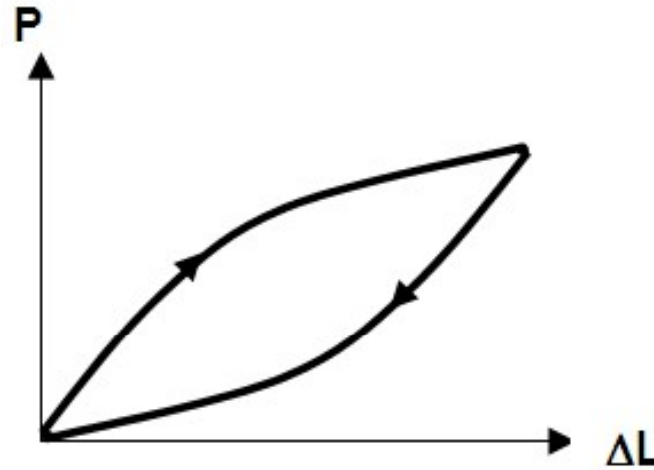


yük şekil değişimi bağıntısının doğrusal olduğu elastik şekil değiştirme: **lineer-elastik şekil değiştirme**

GERİLME, ŞEKİL DEĞİŞİMİ ve ZAMAN İLİŞKİLERİ



Uygulamadaki tipik yükleme, boşaltma – şekil değiştirme türleri



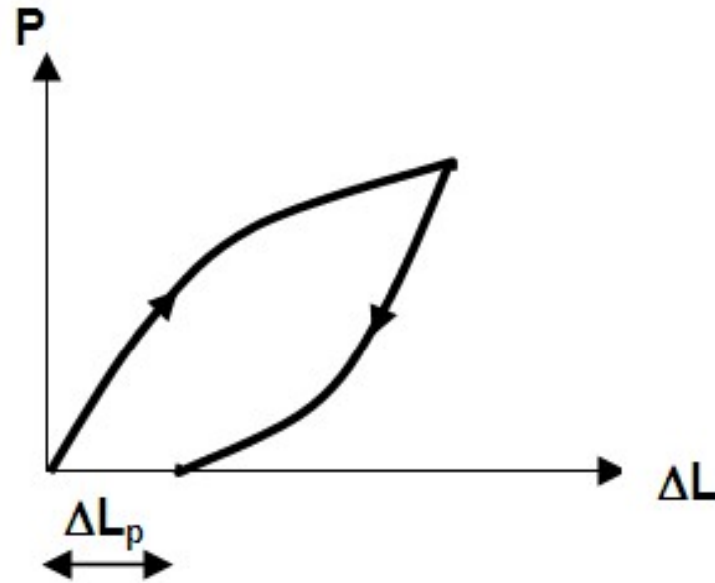
İç sürtünmeli elastik şekil değiştirme

Yükleme ve boşaltma farklı eğriler üzerinde meydana gelir, fakat yükleme eğrisinin başlangıcı ile boşaltma eğrisinin sonu çakışırsa ve ayrıca bu eğriler zamana bağlı olmazsa bu tür şekil değiştirme: **İç sürtünmeli elastik şekil değiştirme**

GERİLME, ŞEKİL DEĞİŞİMİ ve ZAMAN İLİŞKİLERİ



Uygulamadaki tipik yükleme, boşaltma – şekil değiştirme türleri



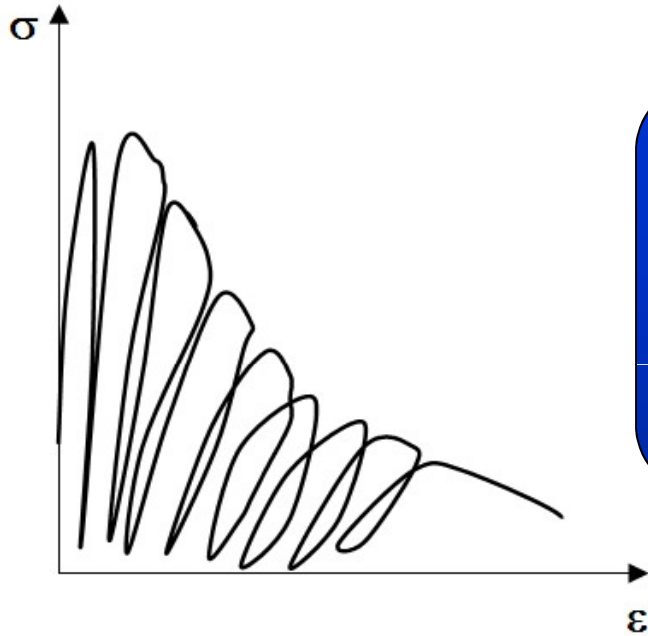
Plastik şekil değiştirme

Yükleme ve boşaltma eğrileri farklı olan ve yükleme başlangıcı ile boşaltma sonu çakışmayan şekil değiştirme:
plastik şekil değiştirme

GERİLME, ŞEKİL DEĞİŞİMİ ve ZAMAN İLİŞKİLERİ



Histeris çemberi



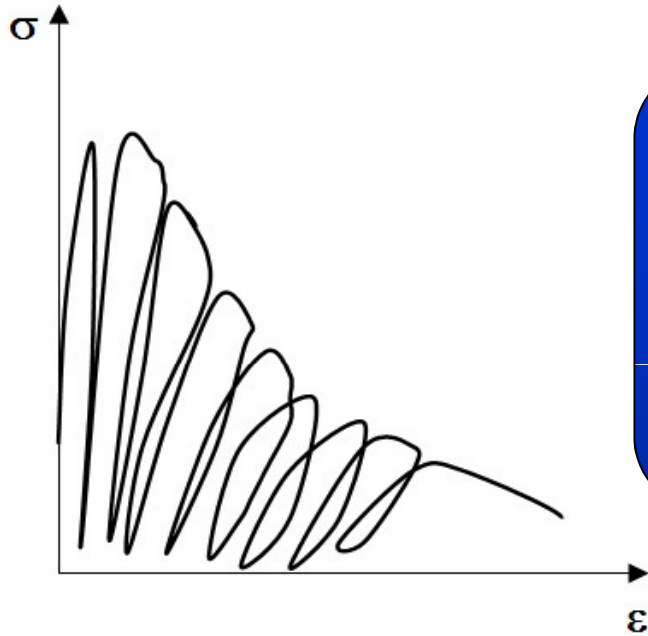
✓ Gerilme – deformasyon diyagramında yükleme boşaltma sonucu oluşan eğriler arasında kalan alan “Histeris çemberi veya döngüsü (hysteresis loop)” olarak adlandırılmaktadır

✓ Malzeme sürekli bir yükleme boşaltmaya maruz kalırsa her döngü sonucu malzemede plastik deformasyonlar artar ve elastisite modülünde azalma meydana gelir.

GERİLME, ŞEKİL DEĞİŞİMİ ve ZAMAN İLİŞKİLERİ



Histeris çemberi



✓ Histeris çemberi içinde kalan alan malzemede yükleme ve boşaltma sırasında ısıya dönüşerek kaybolan enerjinin bir göstergesidir.

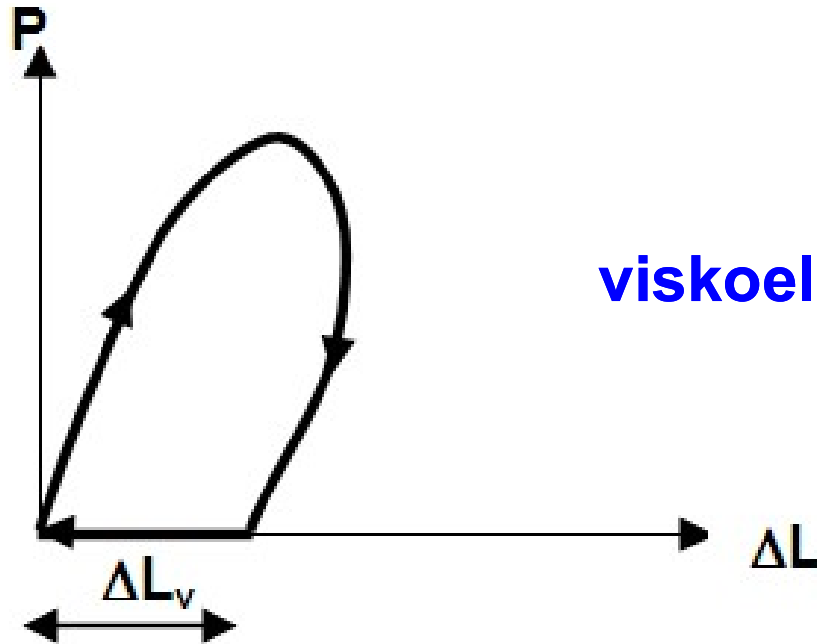
✓ Boşaltma sonunda kalan şekil değiştirmeler zamanla sıfıra inerse viskoelastik şekil değiştirme adını alır, ve ΔL_v ile gösterilir

GERİLME, ŞEKİL DEĞİŞİMİ ve ZAMAN İLİŞKİLERİ



Histeris çemberi

- ✓ Boşaltma sonunda kalan şekil değiştirmeler zamanla sıfıra inerse **viskoelastik şekil değiştirme** adını alır, ve ΔL_v ile gösterilir



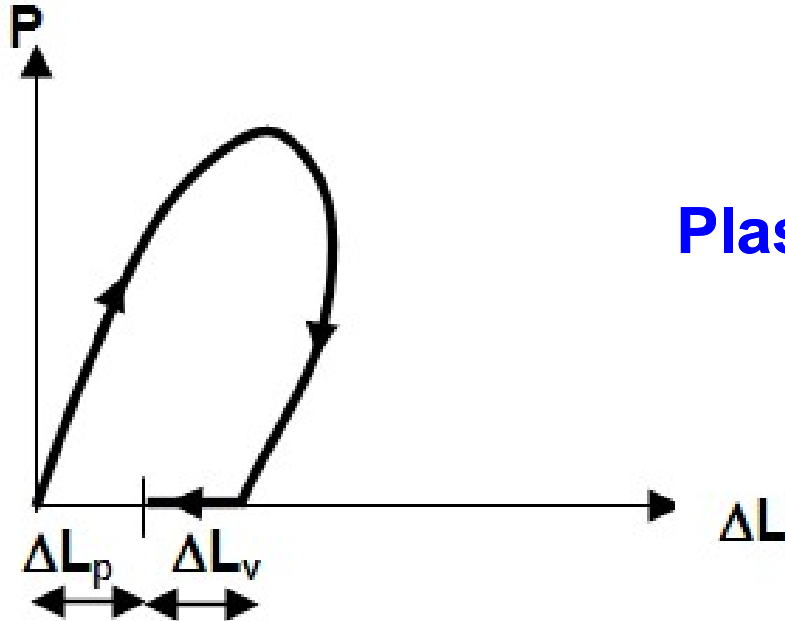
viskoelastik şekil değiştirme

GERİLME, ŞEKİL DEĞİŞİMİ ve ZAMAN İLİŞKİLERİ



Histeris çemberi

- ✓ Bazı hallerde boşaltma sonunda kalan şekil değiştirme zamanla azalmakla beraber tamamen sıfıra inmez.
- ✓ Burada ΔL_v viskoz şekil değiştirmenin geri dönen kısmını, ΔL_p ise kalıcı şekil değiştirmeyi göstermektedir



Plastik (kalıcı) şekil değiştirme

REOLOJİ MODELLERİ

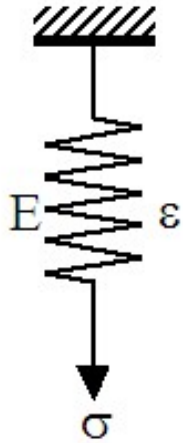
REOLOJİ MODELLERİ



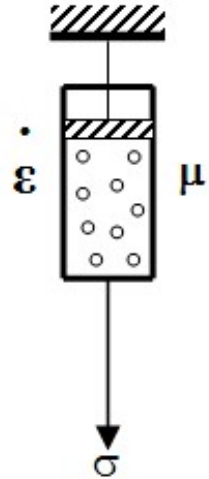
✓ Reoloji modelleri de basit cisimlerin değişik düzenlemeleri sonucuyla elde edilmektedir.

✓ Bu amaçla iki basit cisimden yararlanılmaktadır:

1. Elastik davranışı simgeleyen Hooke cismi



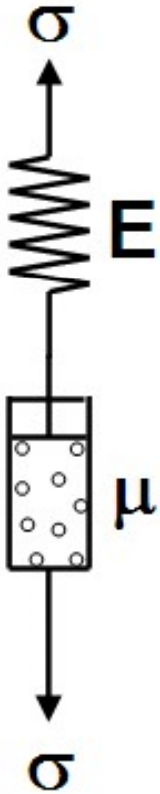
2. Viskoz davranışı simgeleyen yağ kutusu.



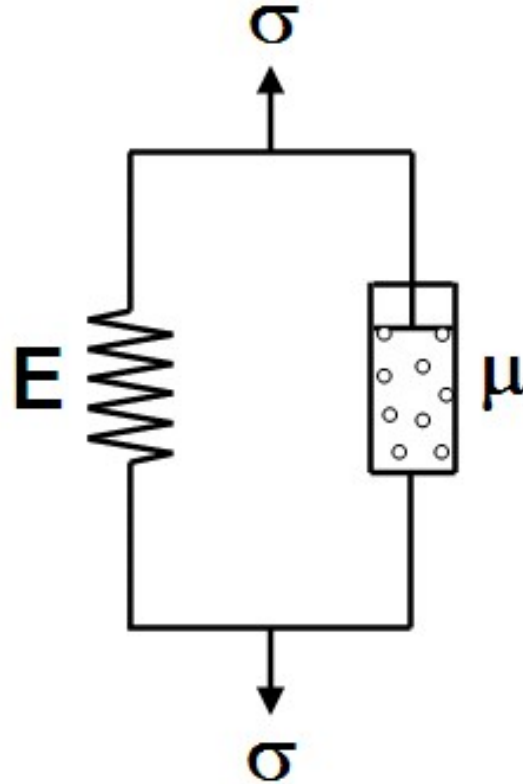
REOLOJİ MODELLERİ



- ✓ En önemli basit reolojik modeller bunların paralel ve seri bağlanmaları ile elde edilir



Maxwell Modeli



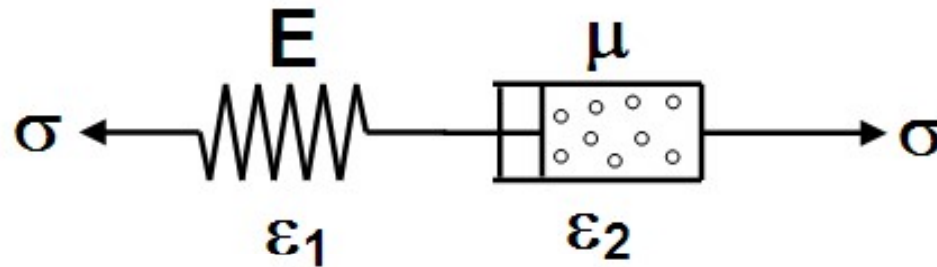
Kelvin Modeli

- ✓ Bunlardan Maxwell modeli akışkan özelliği üstün cisimleri daha iyi,
- ✓ Kelvin modeli ise katı cisimleri daha iyi simgeler.

REOLOJİ MODELLERİ



- ✓ Maxwell modelinin veya simgelediği cismin şekil değişimi denklemi:



Sistemin denge Koşulu: $\sigma = E \cdot \varepsilon_1 = \mu \cdot \dot{\varepsilon}_2$

Sistemin Uyum Koşulu: $\varepsilon = \varepsilon_1 + \varepsilon_2$

REOLOJİ MODELLERİ



$$\varepsilon = \varepsilon_1 + \varepsilon_2 \quad \text{İki tarafın türevi alınırsa; } \dot{\varepsilon} = \dot{\varepsilon}_1 + \dot{\varepsilon}_2$$

$$\sigma = E \cdot \varepsilon_1 = \mu \cdot \dot{\varepsilon}_2 \quad \text{idi. Buradan;}$$

$$\dot{\varepsilon}_2 = \frac{\sigma}{\mu} \quad \text{ve} \quad \dot{\varepsilon}_1 = \frac{\dot{\sigma}}{E} \quad \text{Olur.}$$

$$\dot{\varepsilon} = \dot{\varepsilon}_1 + \dot{\varepsilon}_2 \Rightarrow \dot{\varepsilon} = \frac{\dot{\sigma}}{E} + \frac{\sigma}{\mu} \quad \text{İfadenin zamana göre integrali alınırsa;}$$

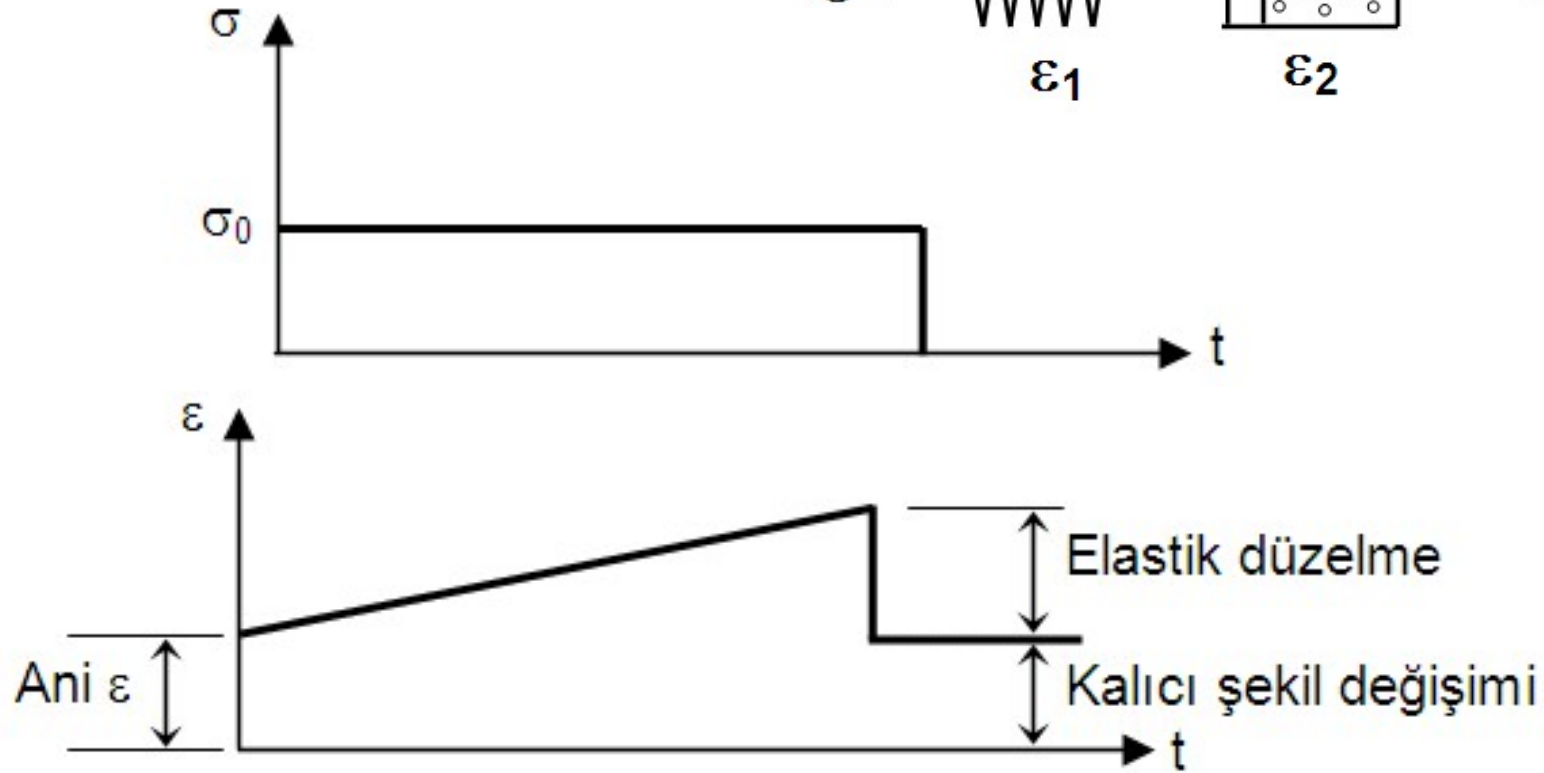
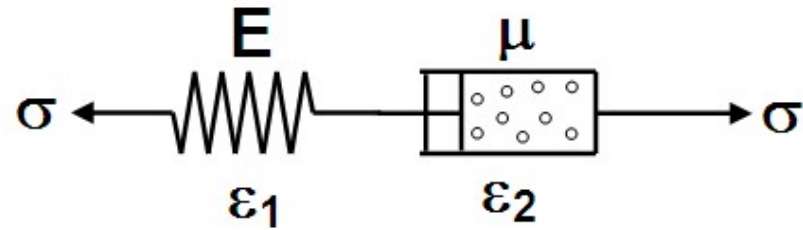
$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} + \frac{\sigma}{\mu} t \quad \text{olur.}$$

REOLOJİ MODELLERİ

Maxwell Modeli

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} + \frac{\sigma}{\mu} t$$

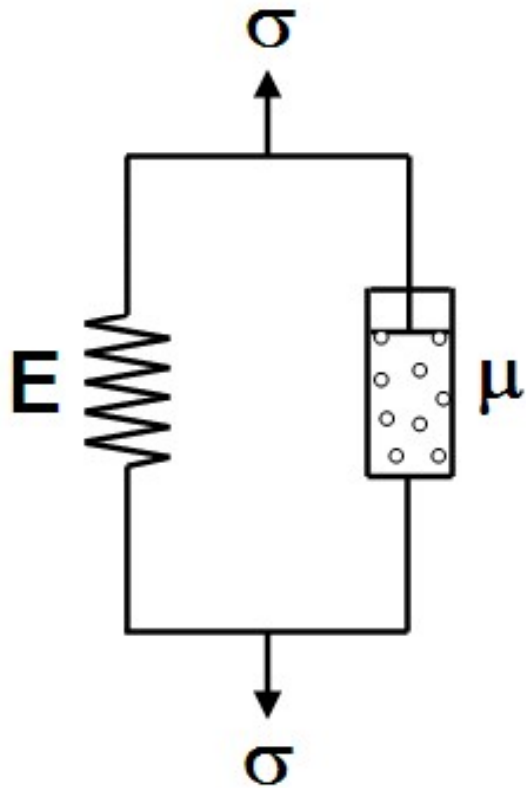
Bu davranışın grafik üzerinde gösterimi



REOLOJİ MODELLERİ



✓ Kelvin modeli ise;



Sistemin denge Koşulu: $\sigma = \sigma_1 + \sigma_2$

Sistemin Uyum Koşulu:

✓ Uyum şartında Kelvin cismi rijid varsayıldığından, Hooke ve Newton cisimlerinin aynı büyüklükte şekil değişimi yaptığı kabul edilir.

$$\varepsilon = \varepsilon_1 = \varepsilon_2$$

Kelvin Modeli

REOLOJİ MODELLERİ



Kelvin Modeli

$$\sigma = \sigma_1 + \sigma_2$$

$$\sigma_1 = E.\varepsilon \text{ ve } \sigma_2 = \mu\dot{\varepsilon}$$

$$\sigma = E\varepsilon + \mu\dot{\varepsilon} \Rightarrow \varepsilon = \frac{\sigma}{E} - \frac{\mu}{E}\dot{\varepsilon}$$

Bu diferansiyel denkleminin çözülürse;

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} (1 - e^{-Et/\mu})$$

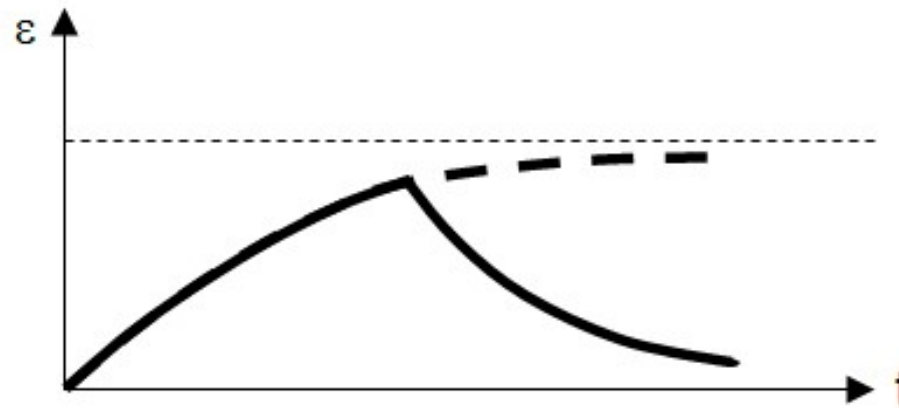
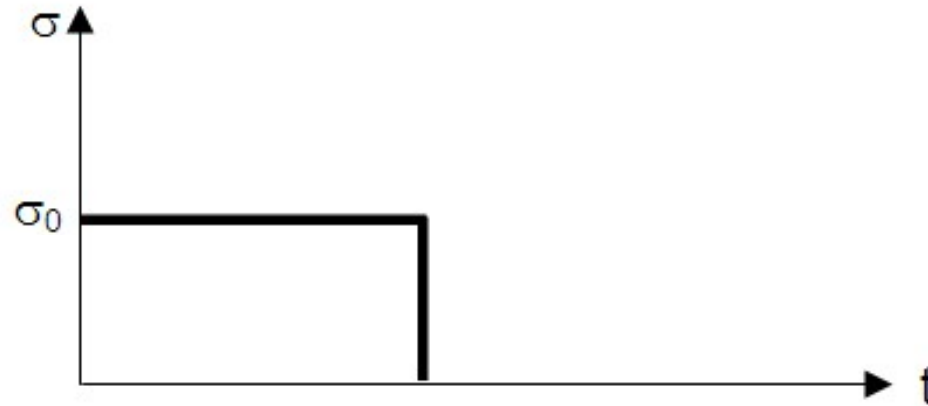
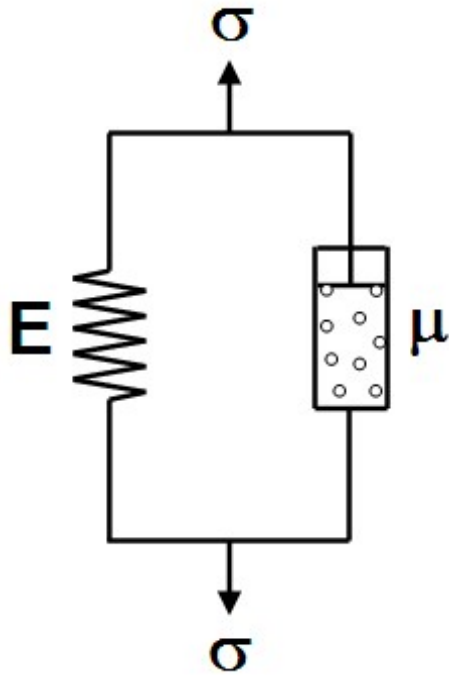
REOLOJİ MODELLERİ



Kelvin Modeli

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} (1 - e^{-Et/\mu})$$

denklemin grafik
üzerinde gösterimi

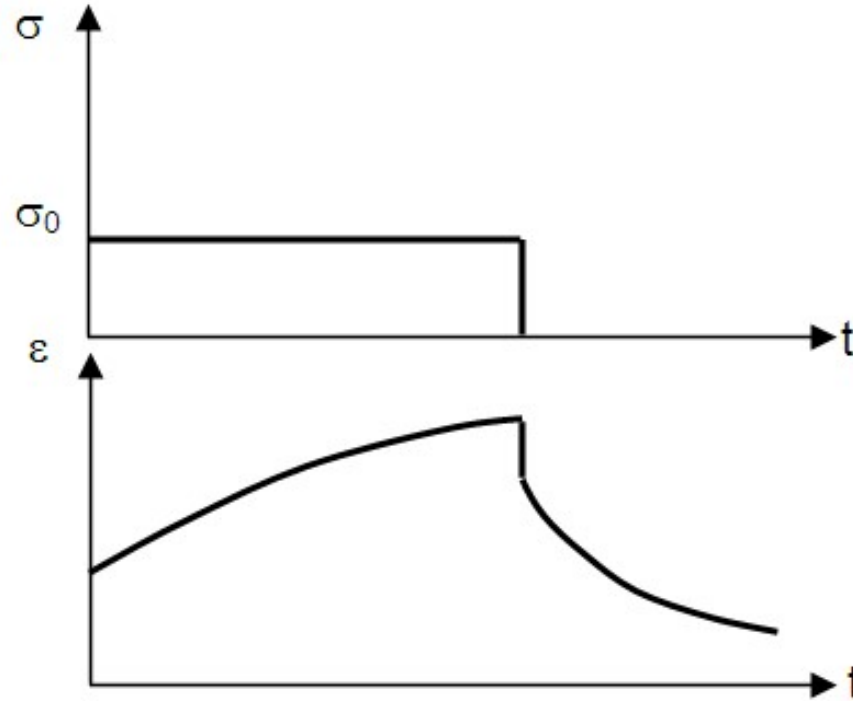
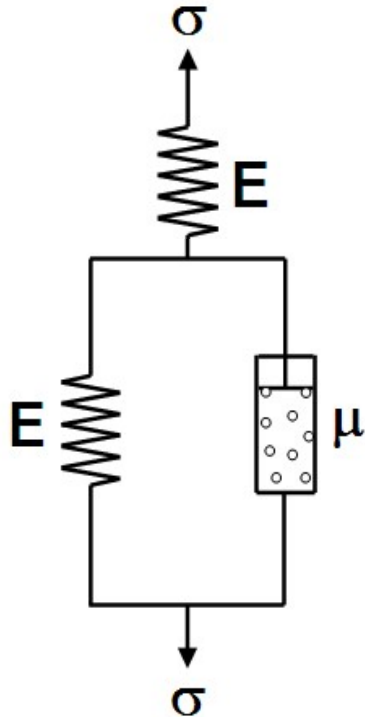


REOLOJİ MODELLERİ



✓ Kelvin ve Maxwell modellerinin düzenleri ile viskoelastik malzemeler çok iyi simgelenebilir.

✓ 3 elemanlı reolojik model betonun sünme halini oldukça iyi temsil edebilir.



GERİLME, ŞEKİL DEĞİŞİMİ ve ZAMAN İLİŞKİLERİ



Cisimlerde Sünme (Krip) Olayı

- ✓ Cisimlerde araştırılan dayanım halleri kısa süreli deneyler ile saptanan parametrelerle belirlenmektedir.
- ✓ Yapıdaki elemanlar sonsuz denebilecek bir süre boyunca kuvvetlerin etkisi altında bulunurlar.
- ✓ Sünme olayının etkisini anlayabilmek için çok sayıda uzun süreli deneyler yapılmış olup, bu uzun süreli zorlanma altında cisimlerin çok değişik mekanik özelliklere sahip olduğu anlaşılmıştır.

GERİLME, ŞEKİL DEĞİŞİMİ ve ZAMAN İLİŞKİLERİ



Cisimlerde Sünme (Krip) Olayı

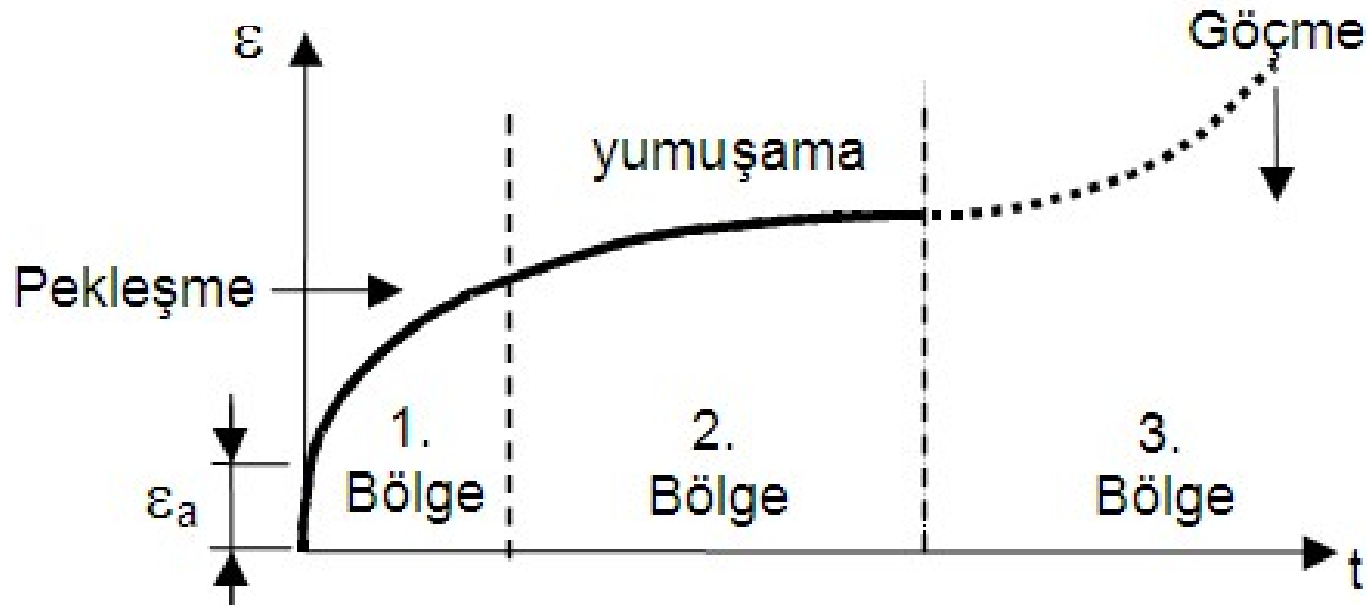
- ✓ Genel olarak herhangi bir cisme belirli büyüklükte bir kuvvet uygulanıp bu kuvvetin uygulanmasına devam edilince, cismin iki tür şekil değişimi gösterdiği belirlenmiştir.
- ✓ Bunlardan bir tanesi kuvvetin tatbik edildiği an gösterdiği ani şekil değişimi, diğeri zamanla artan gecikmeli şekil değişimidir.
- ✓ Toplam şekil değişimi bu iki şekil değişiminin toplamıdır.
- ✓ Sünme olayının meydana getirdiği şekil değişimleri belirli bir büyüklüğü aşınca gerek kullanım, gerek görünüş, gerekse statik hatta emniyet açısından bazı önemli sakıncalar doğabilir.
- ✓ Sünme olayı önemli çatlaklar meydana getirebilir. Bu çatlaklar stabiliteyi etkilemese bile yapının estetiğini bozabilir.

GERİLME, ŞEKİL DEĞİŞİMİ ve ZAMAN İLİŞKİLERİ



Cisimlerde Sünme (Krip) Olayı

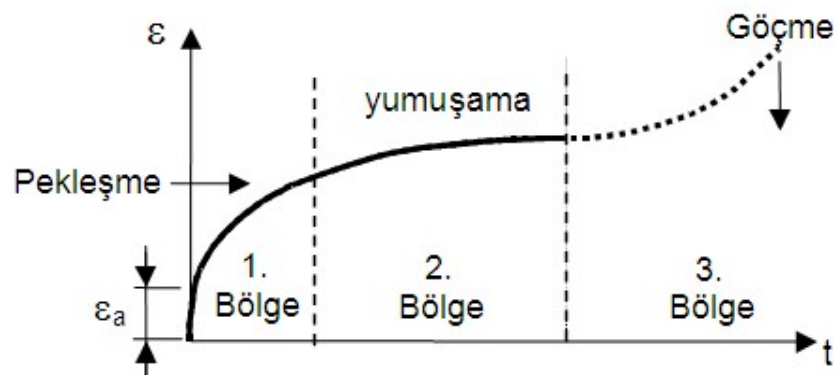
- ✓ Deney örneği belirli bir σ_1 gerilmesi altında tutulup, birim şekil değişimleri kaydedilirse yükün mertebesine ve zamana bağlı karakteristik eğriler elde edilir



GERİLME, ŞEKİL DEĞİŞİMİ ve ZAMAN İLİŞKİLERİ



Cisimlerde Sünme (Krip) Olayı

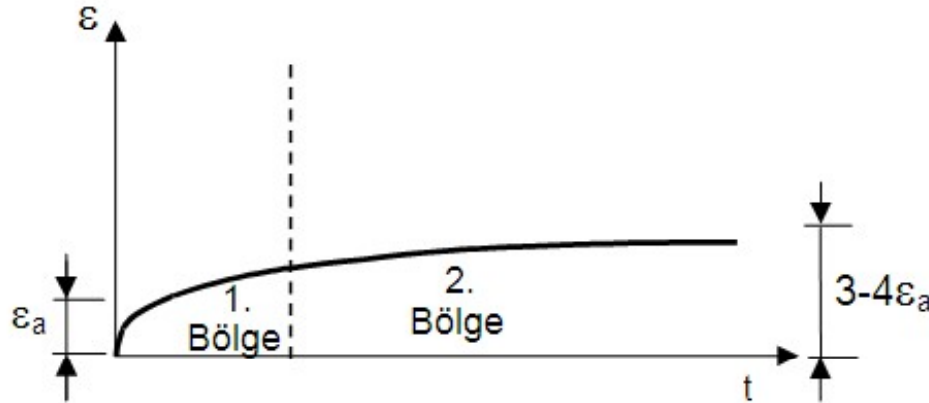


- ✓ Malzemeye yükleme yapıldığında ani bir ϵ_a gerilmesi oluşur.
- ✓ ϵ_a şekil değişiminden sonra sünme değerleri oldukça hızlı artar (1. bölge).
- ✓ Sonra şekil değişim artım hızlarının azaldığı 2. bölge vardır.
- ✓ Eğer yükler yeterince büyük ise şekil değişimlerin arttığı 3. bölge oluşur ve bu durum kırılmaya kadar gider.
- ✓ Şekil değişim hızının belirli bir değere varması ile ikinci kısım, diğer bir deyişle sünme başlar.

GERİLME, ŞEKİL DEĞİŞİMİ ve ZAMAN İLİŞKİLERİ



Cisimlerde Sünme (Krip) Olayı



✓ Yükleme düşük mertebelerde ise sünme yandaki gibi zamanla azalan bir deformasyon artış hızıyla gerçekleşir

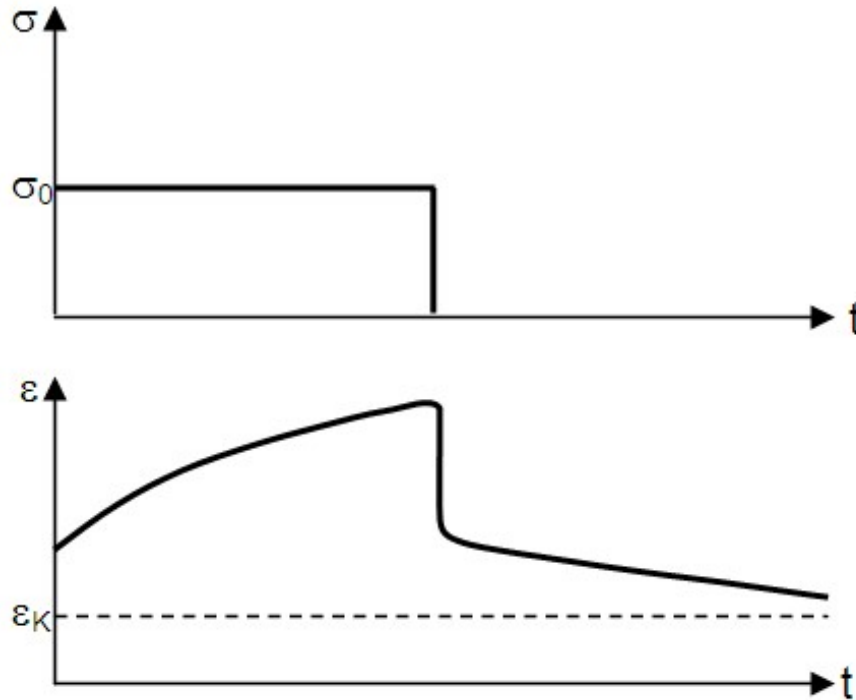
- ✓ İkinci bölgeye ulaştıktan sonra geçen bir (t_1) süresinde meydana gelen sünme miktarı $V_0 \times t_1$ den ibarettir.
- ✓ Bu kısımda cisim belirli bir hız altında akan bir sıvıya benzemekte olduğundan bu tür sünmeye **viskoz sünme** denir.

GERİLME, ŞEKİL DEĞİŞİMİ ve ZAMAN İLİŞKİLERİ



Cisimlerde Sünme (Krip) Olayı

- ✓ Gerilmenin kaldırılması halinde cisimde derhal ani bir elastik şekil değişimi azalması ve bunu takiben gecikmeli bir şekil değişimi azalması görülür.



- ✓ Ancak geciken elastik şekil değişimi sonucunda cisimde ϵ_k kalıcı bir (plastik) şekil değişimi oluşur

GERİLME, ŞEKİL DEĞİŞİMİ ve ZAMAN İLİŞKİLERİ



Cisimlerde Sünme (Krip) Olayı

- ✓ Betonun zamana bağlı şekil değişimi uzun zamandır bilinen bir gerçektir. 30 yıl süreli deneylerde bile betonun sünme yaptığı gözlenmiştir.
- ✓ Eğer uygulanan gerilmeler betonun kırılma gerilmesinden küçük büyüklüklerde ise bu olayın çok önemli sakıncaları olmayabilir.

GERİLME, ŞEKİL DEĞİŞİMİ ve ZAMAN İLİŞKİLERİ



Cisimlerde Sünme (Krip) Olayı

- ✓ Ancak sünme olayının önemi kısaca şöyle belirtebilir; başlangıçta (yükleme anında) malzeme pratik değeri az olan şekil değişimi gösterirse de, sünme olayı sonucunda şekil değişimlerinin başlangıç şekil değişiminin 3-4 katına ulaştığı görülmüştür.
- ✓ Örneğin deneyler sonucu, betonun etkilendiği gerilme değeri, basınç dayanımının 0.70'ini aştığı takdirde, sünme etkisiyle belirli bir süre sonra betonun dayanımını kaybedip yıkılma durumuna geçebildiği anlaşılmıştır.

GERİLME, ŞEKİL DEĞİŞİMİ ve ZAMAN İLİŞKİLERİ



Cisimlerde Sünme (Krip) Olayı

- ✓ Yapılarda toplam şekil değişimlerin sınırlandırılması şeklinde çeşitli ülkelerin şartnamelerinde hükümler vardır.
- ✓ Ayrıca sünme, öngerilmeli betonda önemli gerilme kayıplarına yol açabilir.
- ✓ Bu nedenle ilk öngerilmeli beton yapılar başarısızlığa uğramışlardır ve aynı nedenle mukavemet hesaplarında sünme etkisi gözönüne alınır.

GERİLME, ŞEKİL DEĞİŞİMİ ve ZAMAN İLİŞKİLERİ



Gevşeme (Rölaksasyon)

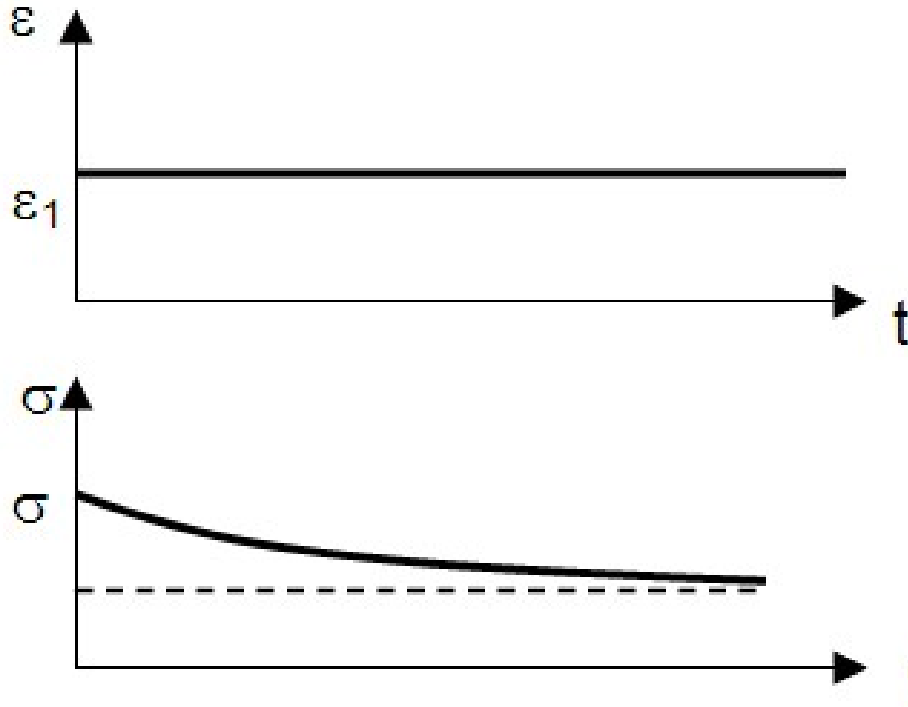
- ✓ Sünme olayında sabit gerilmeden etkilenen malzemedeki şekil değişimlerinin nasıl değiştiği incelenmiştir.
- ✓ Rölaksasyon olayında ise şekil değişiminin sabit tutulması halinde uygulanan gerilmenin nasıl değiştiği incelenir.
- ✓ Cisme herhangi bir P_0 kuvveti uygulanıp, ϵ_0 büyüklüğünde bir şekil değişimi verilsin. Bu şekil değişimi sabit tutulursa, gerilmeler zamanla azalır.

GERİLME, ŞEKİL DEĞİŞİMİ ve ZAMAN İLİŞKİLERİ



Gevşeme (Rölaksasyon)

- ✓ Cisme herhangi bir P_0 kuvveti uygulanıp, ε_0 büyüklüğünde bir şekil değişimi verilsin.
- ✓ Bu şekil değişimi sabit tutulursa, gerilmeler zamanla azalır.

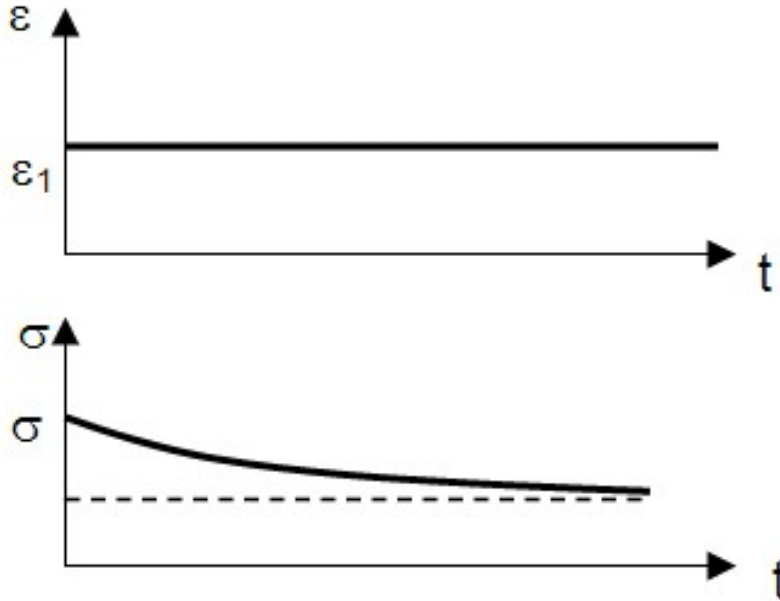


- ✓ Aslında uygulanan kuvvet herhangi bir şekilde azalmaz ise cisim uzamaya devam eder, bu uzama devam etmediğine göre, uygulanan gerilmenin zamanla azalacağı açıktır.

GERİLME, ŞEKİL DEĞİŞİMİ ve ZAMAN İLİŞKİLERİ



Gevşeme (Rölaksasyon)



- ✓ Gevşeme olayı özellikle çelik yapıların bulon ve perçinli birleşimlerinde ara sıra görülen gevşekliklerde ve ön gerilmeli beton çeliklerinin uzaması olaylarında kendini gösterir.

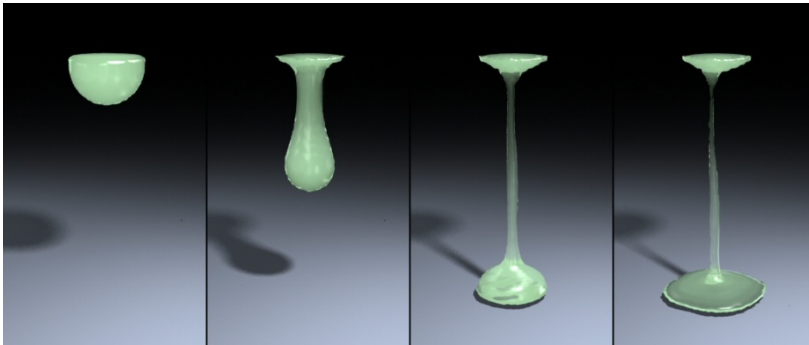
- ✓ Benzer şekilde motor silindir kapaklarını sıkan civatalar yeterli ön gerilme ile sıkılmazlar ise zamanla gevşerler.

SIVILARIN REOLOJİSİ ve VİSKOELASTİSİTE

SIVILARIN REOLOJİSİ ve VİSKOELASTİSİTE



Sıvıların Reolojisi ve Viskoelastisite



✓ Sıvılar kayma gerilmesine maruz kaldıklarında akışa geçerler.

✓ Viskozite sıvıların akış özelliklerinin belirlenmesinde kullanılan en önemli parametredir.

✓ Viskozite bir akışkanın şekil-biçim değişikliğine ya da katmanlarının birbirine göre bağlı hareketine karşı direncidir.

✓ Bu özellik tüm akışkanlarda değişik düzeylerde görülür.

SIVILARIN REOLOJİSİ ve VİSKOELASTİSİTE



- ✓ Akışkan molekülleri birbirini çekerek birbirlerine göre farklı ve bağıl hızlar kazanmalarını engellemeye çalışır.
- ✓ Çekim güçlüyse viskozite yüksek, zayıfsa viskozite düşük olur.
- ✓ Genel olarak sıvıların viskozitesi sıcaklıkla azalır, yani sıcaklık yükseldikçe sıvılar daha kolay akarlar, daha akışkan olurlar.
- ✓ Bu tip bir davranışa asfalt malzemesinde rastlanır.

SIVILARIN REOLOJİSİ ve VİSKOELASTİSİTE



- ✓ Sıvıların viskozitesinin belirlenmesinde viskozite katsayısı (η) kullanılmaktadır.
- ✓ Viskozite katsayısı Newtonyen sıvılar için aşağıdaki formülle belirlenir.

$$\tau = \eta \frac{d\gamma}{dt}$$

- ✓ Sıvılarda pratikte kayma gerilmesi (τ) hareket ettirme halinde oluşur.
- ✓ Dökme, püskürtme, karıştırma gibi etkiler sıvılarda kayma gerilmesi yaratır.

SIVILARIN REOLOJİSİ ve VİSKOELASTİSİTE



✓ Viskozite katsayısı farklı malzemeler için çok farklı değerler alabilir.

✓ Birimi paskal.saniye'dir ($1\text{Pa.s} = 1\text{N.s/m}^2$).

✓ Örneğin oda sıcaklığında
havanın viskozitesi 10^{-5} Pa.s,
suyun 10^{-3} Pa.s,
reçine ve sakızların 10^2 , 10^8 Pa.s,
asfaltın ve bazı plastiklerin 10^4 ve 10^{11} Pa.s
ve camların 10^{11} ve 10^{19} Pa.s
mertebesindedir.

SIVILARIN REOLOJİSİ ve VİSKOELASTİSİTE

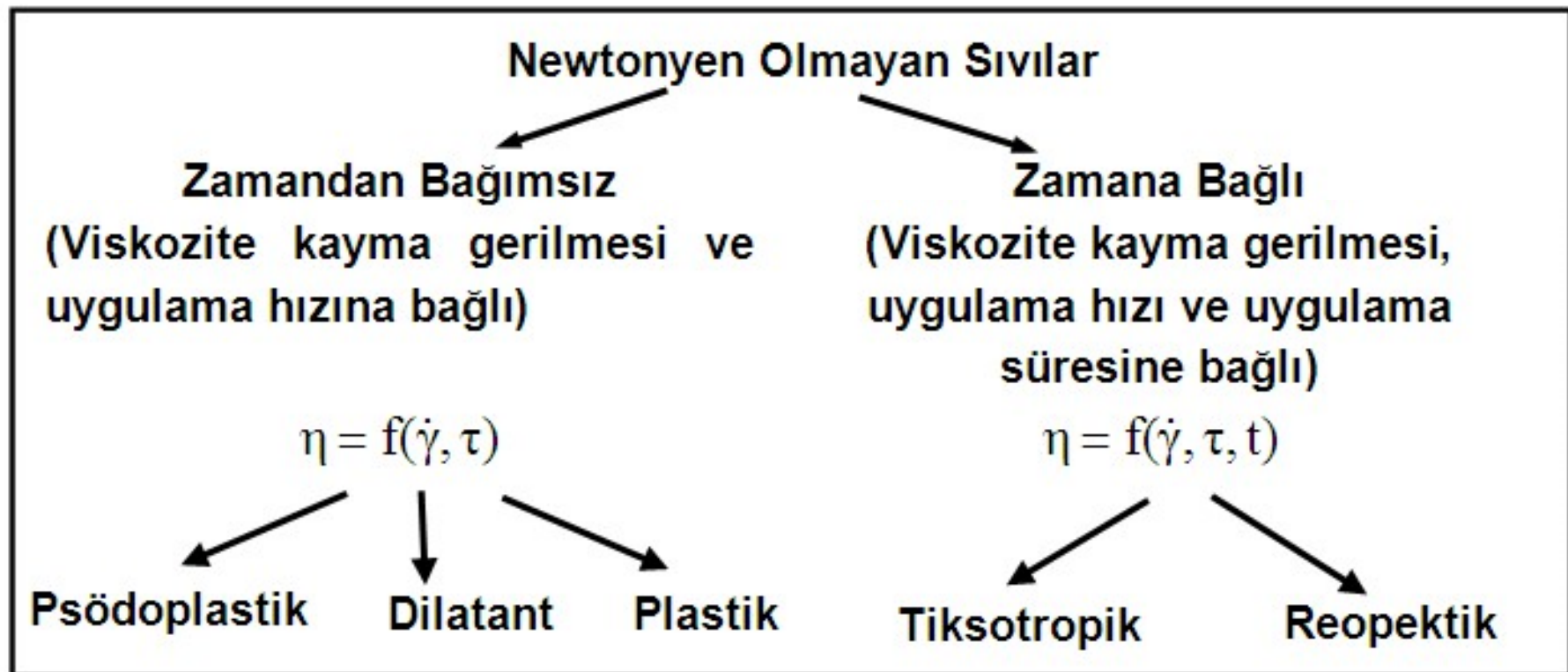


- ✓ Sıvıya uygulanan kayma gerilmesi (τ) ile deformasyonun oluşum hızı ($\dot{\gamma}$) doğru orantılıysa bir başka deyişle, viskozitesi değişmiyorsa bu sıvıya Newtonyen sıvı adı verilir.
- ✓ **Örneğin su Newtonyen bir sıvıdır.**
- ✓ Sıvıların çoğu Newtonyen davranış göstermez (Özellikle katı parçacık konsantrasyonu yüksek süspansiyonlar, polimer çözeltileri).
- ✓ Newtonyen olmayan sıvılarda kayma gerilmesi ile deformasyonun oluşum hızı arasında doğrusal bir ilişki yoktur.

SIVILARIN REOLOJİSİ ve VİSKOELASTİSİTE



- ✓ Newtonyen olmayan sıvıların reolojik davranışları aşağıdaki gibi gruplandırılır.



SIVILARIN REOLOJİSİ ve VİSKOELASTİSİTE



Psödoplastik (yalancı plastik) davranış:

- ✓ Sıvıya etkiyen kayma gerilmesi arttıkça sıvının viskozitesi düşmektedir.
- ✓ Yani düşük gerilmeler altında plastik, yüksek gerilme kuvvetleri altında viskoz davranış gösterir
- ✓ Boya, emülsiyon ve çözücüler bu gruba girer.

SIVILARIN REOLOJİSİ ve VİSKOELASTİSİTE



Dilatant davranış:

- ✓ Bu tür sıvılarda deformasyon hızındaki artışla viskozitede de artış meydana gelir.
- ✓ Psödoplastik davranışa göre daha seyrek görülür
- ✓ Özellikle kil, şeker çözeltileri, mısır nişastası su karışımı, su-kum karışımı gibi süspansiyonlar dilatant özellik gösterir.

SIVILARIN REOLOJİSİ ve VİSKOELASTİSİTE



Dilatant davranış:



SIVILARIN REOLOJİSİ ve VİSKOELASTİSİTE



Dilatant davranış:



SIVILARIN REOLOJİSİ ve VİSKOELASTİSİTE



Dilatant davranış:



A pool filled with non-newtonian fluid.avi

SIVILARIN REOLOJİSİ ve VİSKOELASTİSİTE



Plastik davranış:

- ✓ Bu tip sıvılar statik yükler altında katı madde gibi davranırlar.
- ✓ Belli bir kayma gerilmesi uygulandığında harekete geçer ve akışkanlık kazanırlar.
- ✓ Sıvıyı durgun halden akıcı hale geçirmek için gerekli minimum kuvvete eşik değeri (eşik kayma gerilmesi) denir.

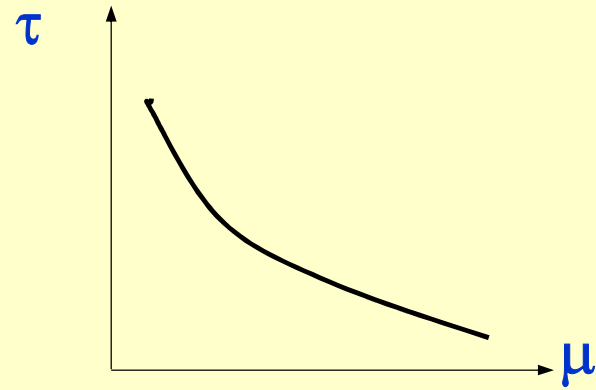
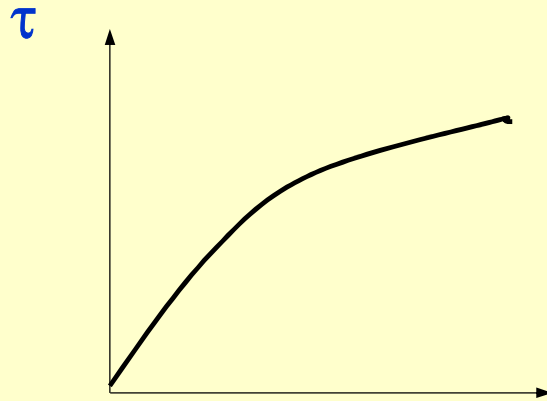
SIVILARIN REOLOJİSİ ve VİSKOELASTİSİTE



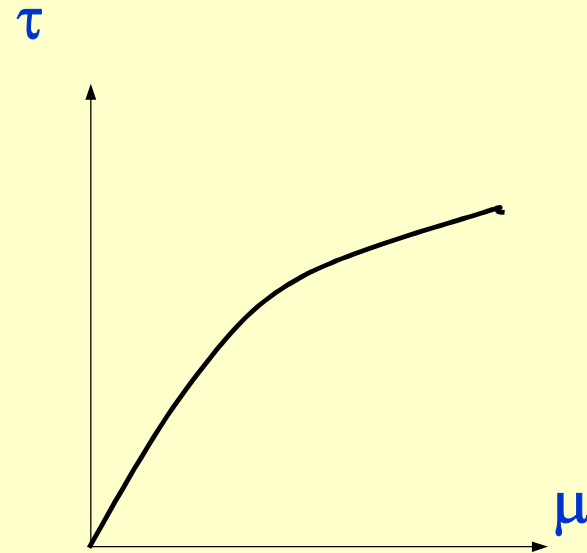
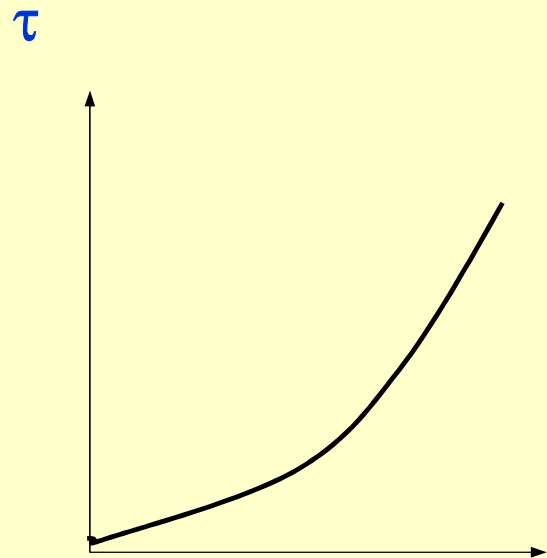
Plastik davranış:



- ✓ Plastik davranışa tipik örnek olarak domates ketçabı veya mayonez verilebilir.
- ✓ Ketçap şişeyi sallamadan akışa geçmez ama akışa geçtikten sonra sallamaya devam etmeniz gerekmez.



Psödoplastik davranış modeli

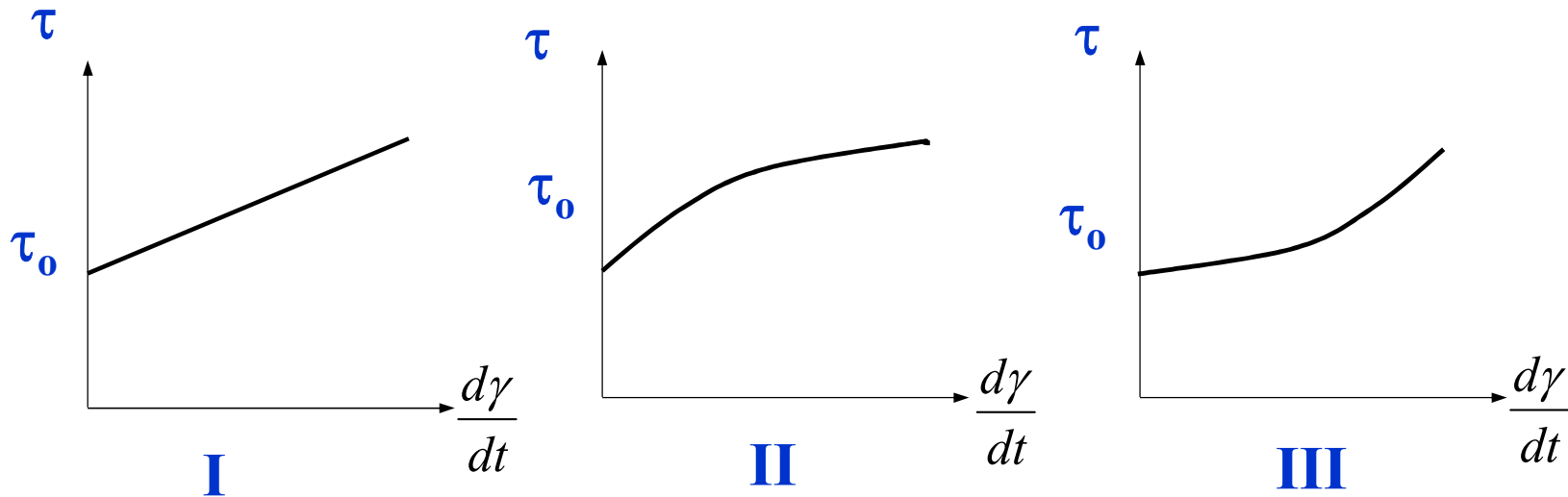


Dilatant davranış modeli

SIVILARIN REOLOJİSİ ve VİSKOELASTİSİTE



- ✓ Çimento hamuru ve taze beton da plastik sıvı tanımına uymaktadır.
- ✓ Taze betonu reolojik açıdan temsil eden en uygun model **Bingham Modelidir.**



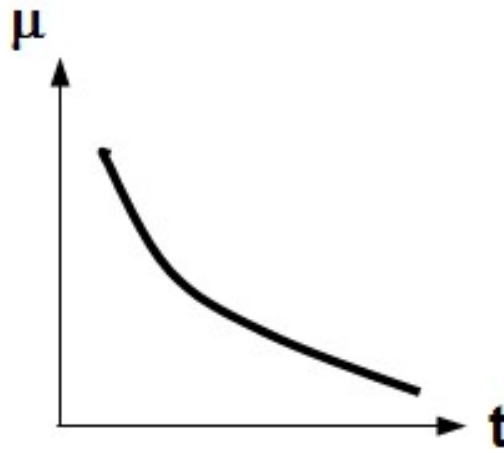
Plastik davranış modelleri I: eşik değerini aştıktan sonra Newtonyen, II: eşik sonrası psödoplastik, III: eşik değeri sonrası dilatant

SIVILARIN REOLOJİSİ ve VİSKOELASTİSİTE



Tiksotropik davranış:

- ✓ Tiksotropik davranış gösteren sıvılarda viskozite sabit bir deformasyon hızında (karıştırma hızı) zamanla düşmektedir
- ✓ Taze beton, gres yağı, ağır mürekkepler tiksotropik özellik gösterir.

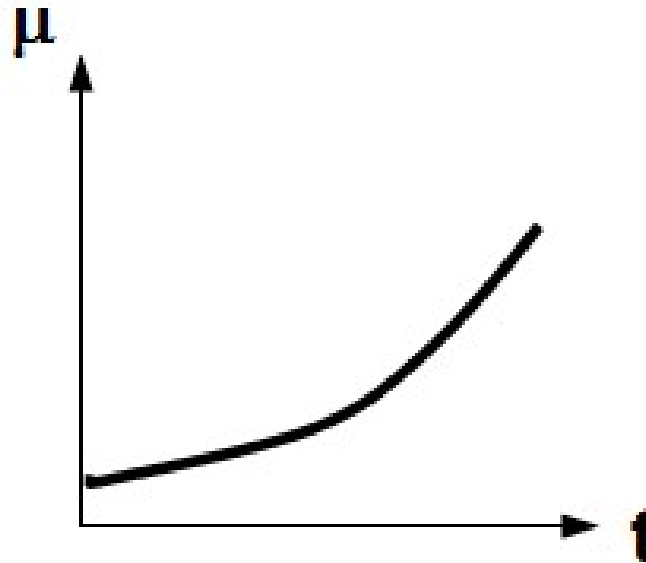


SIVILARIN REOLOJİSİ ve VİSKOELASTİSİTE



Reopektik davranış:

- ✓ Tiksotropik davranışın aksine sabit bir deformasyon hızında viskozite zamanla artmaktadır
- ✓ Tiksotropik davranışa göre çok daha ender rastlanan bir durumdur.



SIVILARIN REOLOJİSİ ve VİSKOELASTİSİTE



✓ açıklanan farklı reolojik davranışların birkaçı birden tek bir malzemedede farklı gerilme mertebelerinde ve farklı karıştırma sürelerinde görülebilir.

✓ Ayrıca sıcaklık değişiminin malzeme reolojisinde yaptığı değişikliklere değinilmemiştir.



Dokuz Eylül Üniversitesi
İnşaat Mühendisliği Bölümü



İNŞ2023 YAPI MALZEMESİ I

GERİLME, ŞEKİL DEĞİŞİMİ VE ZAMAN İLİŞKİLERİ

Dr. Öğr. Üyesi Çağlar YALÇINKAYA

www.caglaryalcinkaya.com