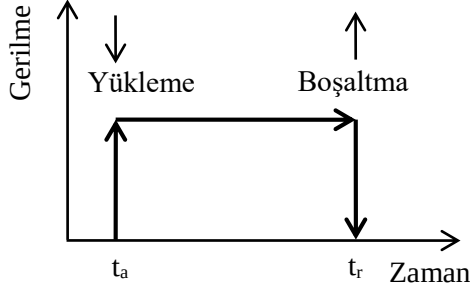


CİSİMLERİN ZAMANA BAĞLI ŞEKİL DEĞİŞTİRMESİ

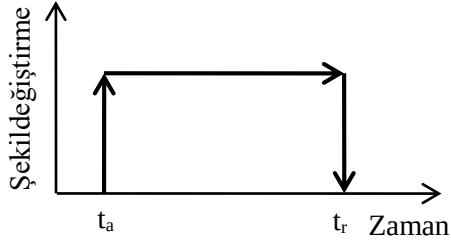
Cisimlerin mekanik davranışlarının zamanla nasıl değiştiğini belirlemek için t_1 süresince uygulanan bir σ_1 gerilmesi etkisinde oluşan şekildeğiştirme miktarını ölçmek gerekir. Elde edilen ölçüm değerlerine göre şekildeğiştirme-zaman eğrilerinin biçimi, cismin uygulanan gerilme etkisinde davranışı ve bunun zamanla değişimi hususunda önemli bilgiler verir.

Gerilme yükleme-boşaltma çevrimi:

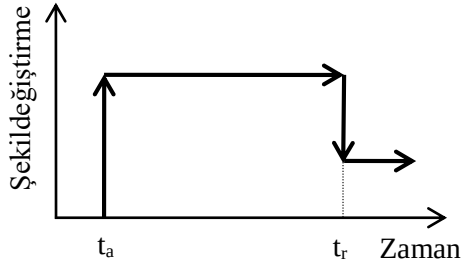


Numune belli bir gerilmeye maruz bırakılıyor ve gerilme kaldırılıyor

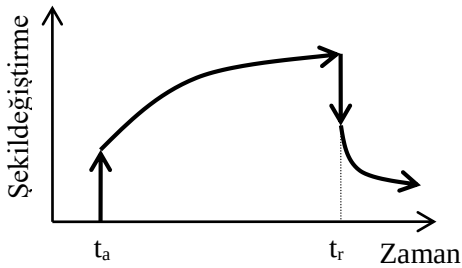
Aşağıda çeşitli cisimlerin yukarıda verilen yükleme altında zamanla şekil değiştirme tepkisi:



İdeal elastik (Hooke) katı cismi: Zamanla değişmeyen elastik şekildeğiştirme var sadece; metaller (akma gerilmesinin altında), seramikler ve camlar.

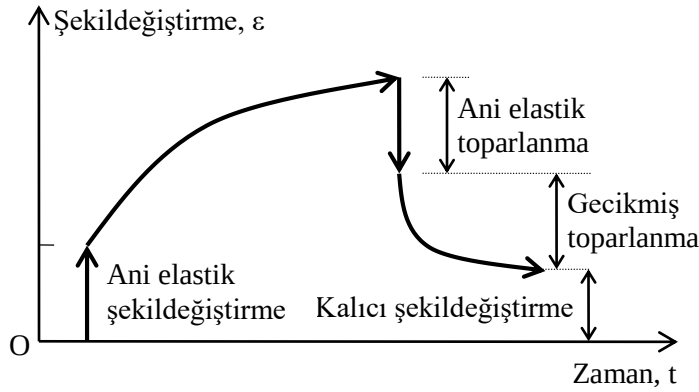


Elasto-plastik deformasyon: Gerilme kaldırıldığında elastik şekildeğiştirme geri geliyor, plastik şekildeğiştirme kalıcı; sünek cisimler (akma gerilmesi üstünde).



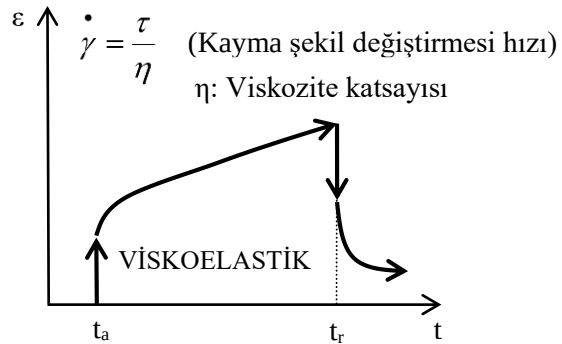
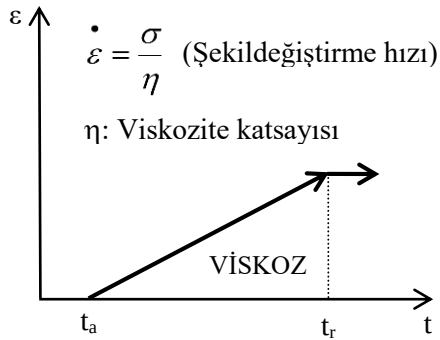
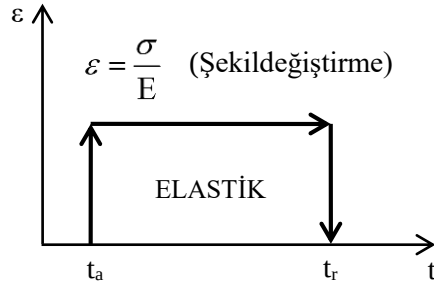
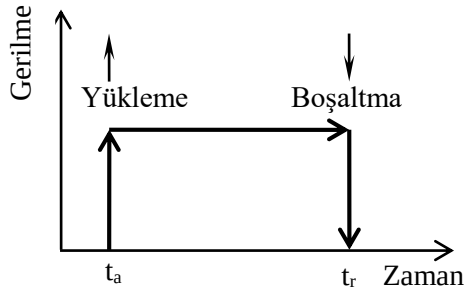
Viscoelastik davranış: Ani elastik şekil değiştirmeyi gerilme altında hızı zamanla azalan elastik şekildeğiştirme takip eder ve bir miktar viskoz (plastik) akma meydana gelir. Termoplastiklerin T_g sıcaklığı civarındaki davranışları gibi.

Yukarda elastik, plastik ve viskoelastik cisimlere ait tipik davranış eğrileri verilmektedir. Elastik cisimlerde şekildeğiştirme gerilmenin son değerine bağlıdır; geçmişte aldığı değerlerin etkisi yoktur. Buna karşın, plastik şekildeğiştirme zamandan ve normal koşullarda yükleme hızından bağımsızdır yalnız gerilmenin geçmişte aldığı bütün değerlere bağlıdır. Bazı cisimlerde, özellikle T_g sıcaklığı üstünde polimerlerde, elastik şekil değiştirme aniden geri dönmaz. Örneğin, bir plastik torba büzüştürölüp bırakıldığında başlangıçta hızlıca gevşerken devamında bu davranış yavaşlar. Zamana bağlı bu davranış “viskoelastik davranış” olarak bilinir. Viskoelastik davranışta yükleme hızının ve yükleme süresinin şekil değiştirmeye etkisi vardır. Herhangi bir andaki şekildeğiştirme gerilmenin geçmişte aldığı bütün değerlere bağlıdır. Ayrıca sıcaklık da bu tür davranışta önemli bir faktördür. Plastiklerin çoğu, beton ve ahşap normal sıcaklıkta (oda sıcaklığı); seramikler ve metaller yüksek sıcaklıkta viskoelastik davranış gösterirler.



Viskoelastik cisimler sabit bir gerilme altında zamanla şekil değiştirirler. Bu durumlarda elastik modülü kesin bir biçimde belirlenemez. Örneğin plastik bir kiriş yük altında sürekli bir biçimde şekil değiştirmeye devam eder.

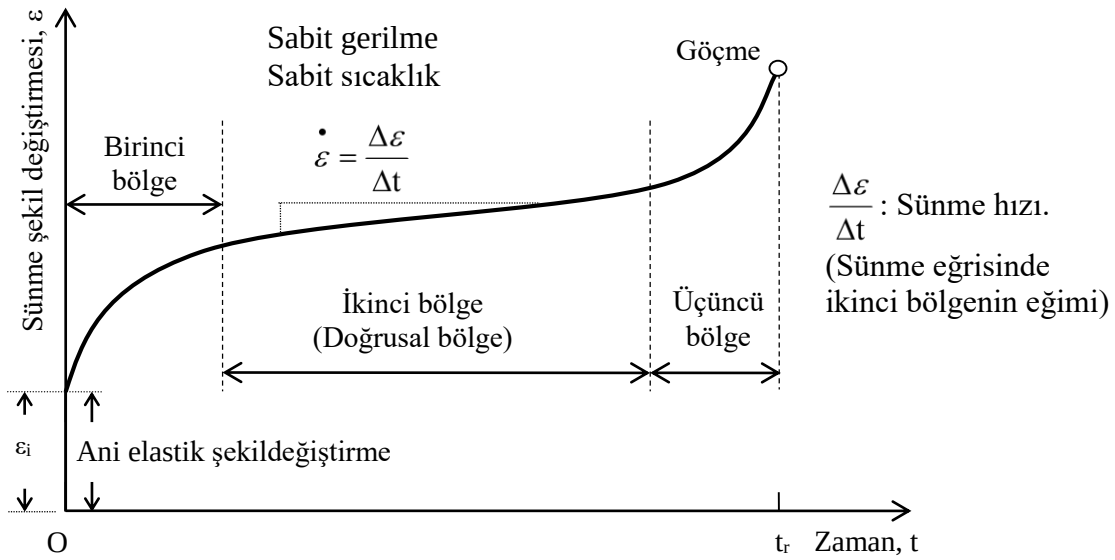
Kalıcı şekildeğiştirme yükleme esnasında meydana gelen viskoz akıştır. Tam viskoelastik cisimlerde uzun süre sonunda bu tamamen kaybolabilir.



SÜNME

Cisimlerin sabit gerilme altında zamanla yaptığı plastik şekil değiştirmedir. Hemen hemen tüm cisimlerde zamana bağlı şekildeğiştirme görülebilir. Metallerde genellikle yüksek sıcaklıklarda gerçekleşen bu olay; betonda, ahşap ve plastiklerde normal sıcaklıkta meydana gelebilir. Plastikler ve kauçuk gibi amorf polimerler genellikle sünme açısından hassas malzemelerdir. Bu nedenle özellikle yüksek binalarda sünmeyi azaltıcı önlemler almak gerekir. Bu tür yapılarda sünmesi farklı malzemeler kullanılması halinde ciddi sorunlara neden olabilecek çatlaklar ve benzeri hasarlar meydana gelebilir.

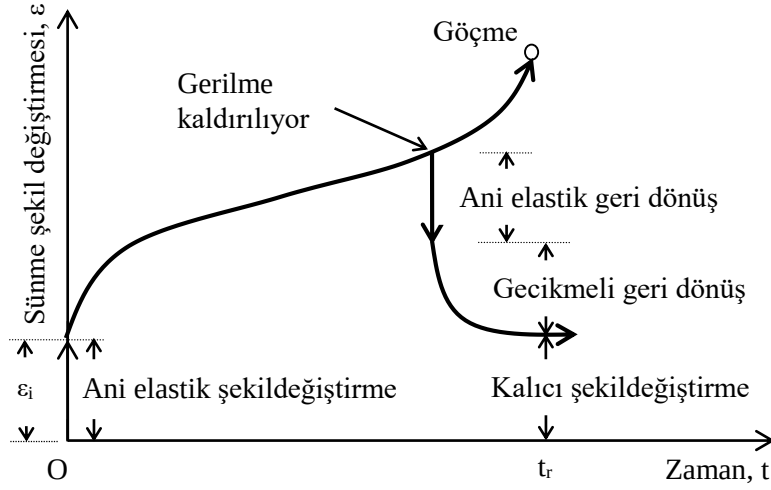
Sünme deneyleri çok uzun süreli olup kontrollü ortam şartlarında (değişmez sıcaklık ve nem) sabit gerilme altında gerçekleştirilir. Tipik bir sünme diyagramı aşağıda verilmiştir.



Uygulanan gerilme ve cismin elastiklik modülüne bağlı olarak numune ε_i kadar ani elastik şekildeğiştirme yapar. Birinci bölgede şekildeğiştirme hızı zamanla azalır. İkinci bölgede şekildeğiştirme hızı zamanla değişmez; sabittir. Sünmenin en uzun dönemi bu dönemdir. Bu bölgenin eğimi sünme hızını verir ve bir anlamda cismin ömrünü belirleyici temel parametredir. Üçüncü bölgede şekildeğiştirme hızının zamanla artış gösterdiği bölgedir. Sünme hızında zamanla görülen artış numunenin kesit alanında meydana gelen azalma nedeniyledir. Sünme hızında görülen bu artış sonucu cisim ani olarak kopmaktadır. Haliyle, buradan görüleceği üzere çekme gerilmesi uygulandığında kopmayan cisim aynı gerilme altında belli bir süre sonra kopabilmektedir.

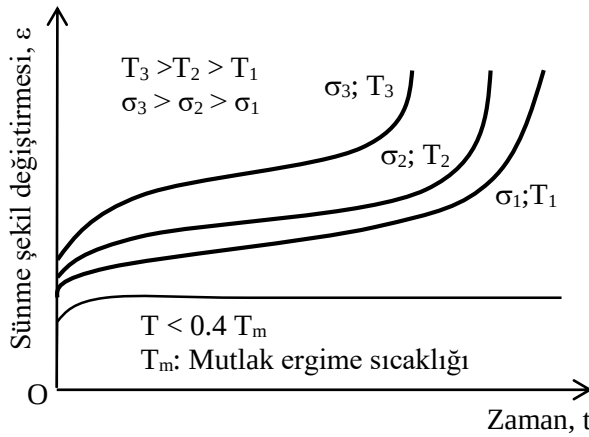
Metallerin çoğu için sünme deneyi eksenel çekme şeklinde uygulanır ve bu amaç için hazırlanan numune çekme deneyi için hazırlanan numune ile benzer geometriye sahiptir. Bunun yanı sıra gevrek cisimler için eksenel basınç uygulaması daha elverişlidir. Basınç altında sünme deneyi için genellikle yükseklik-çap oranı 2 ila 4 arasında değişen silindirik numuneler kullanılır. Çoğu cisimler için sünme karakteristikleri yükleme doğrultusundan bağımsızdır.

Sünme yapmakta olan bir cismin üzerindeki gerilme kaldırılacak olursa aşağıda verilen şekilde görüldüğü gibi şekil değiştirmenin bir kısmı geri döner. Bu geri dönüşün bir kısmı ani olarak gerçekleşirken bir kısmı ise gecikmeli olarak gerçekleşir.



Gerilme ve Sıcaklık Etkisi

Sünme eğrisinin biçimi uygulanan gerilmenin şiddetine bağılı olarak değışir. Sünmeye etkiyen diğeri bir faktör sıcaklıktır. Sıcaklık sünmeyi kolaylaştırıcı ve attırıcı rol oynar. Küçük gerilme değeri için ve düşük sıcaklıkta sünme hızı çok yavaş olup kopma veya göçme hiçbir zaman meydana gelmeyebilir.



Göçme esaslı sünme deneyleri genellikle logaritmik olarak çizilir.

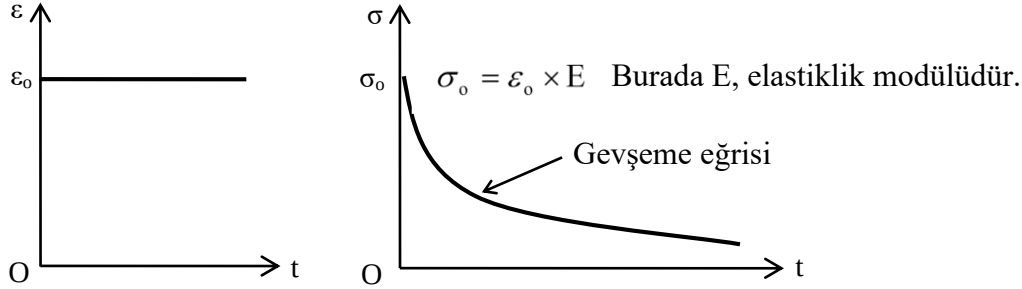
Sıcaklık $0.4 \times T_m$ değeri altında olduğı durumlarda başlangıç şekil değıştirmesini takiben meydana gelen sünme şekil değıştirmesi zamandan bağımsızdır. Gerilme veya sıcaklık artışına bağılı olarak

- ani şekildeğiştirme artar,
- sünme hızı artar ve
- kopma/göçme süresi (ömür) kısalır.

Metallerde sünme süresindeki davranışı belirleyen süreçlerden bir tanesi “pekleşme”, diğeri “toparlanma” veya “gevşeme” dir. Pekileşme sürecinde dislokasyon hareketi dolayısıyla şekildeğiştirme kısıtlanır. Toparlanmada ısı enerjisiyle etkin hale gelmiş dislokasyon tırmanması, çapraz kayma ve boş kafes köşesi difüzyonu ana etkenlerdir. Yüksek sıcaklıkta boş kafes köşesi sayısı arttığından difüzyon hızlanır; toparlanma, dolayısıyla pekleşmenin tersi olan gevşeme artar.

GEVŞEME

Bir cisme bir F kuvveti uygulamak suretiyle bilirlri bir miktar şekildeğiştirme yaptırdıktan sonra bu şekildeğiştirme zamanla değişmeyecek şekilde cisim iki ucundan mesnetlenmiş olsun. Bu durumda cisim sürekli bir gerilim altındadır ve şekildeğiştirme miktarı zamanla değişmediğinden cismin içyapısında meydana gelen değişiklikler cisimdeki gerilmeyi azaltır. Sabit şekildeğiştirme uygulanan bir cisimde gerilmenin zamanla azalmasına *gevşeme* denir.



Gevşeme, sünme gibi, zamana bağlı bir davranıştır ve gerçekte sünme olayından kaynaklanmaktadır. Pratikte, gevşeme olayının dikkate alınmasında büyük yarar vardır. Örneğin, öngerilmeli betonarme elemanlarda kullanılan donatı çeliklerinde (çelik tendon) gevşemenin az olması veya olmaması istenir. Bu çelikler çekme dayanımının %70'i kadar bir gerilmeyle yükleyip boy sabit olacak şekilde tutulduğunda 1000 saat sonunda gerilmedi azalmanın %5'den az olması istenir.

Sünmenin zararları:

- i) $\sigma > \sigma_{kr}$ olması halinde, yapıda veya elemanda ciddi boyutta çatlaklara neden olur.
- ii) Öngerilmeli betonarme elemanlarda gerilmenin zamanla azalmasına neden olur.
- iii) Sünme sonucu betonarme kolonlar kısalır ve donatıya aktarılan yük artar.
- iv) Beton üzerinde yapılan taş, mermer gibi kaplamaların kırılmasına neden olur.
- v) Donatısız betonda mevcut çatlakların zamanla büyümesine neden olur.

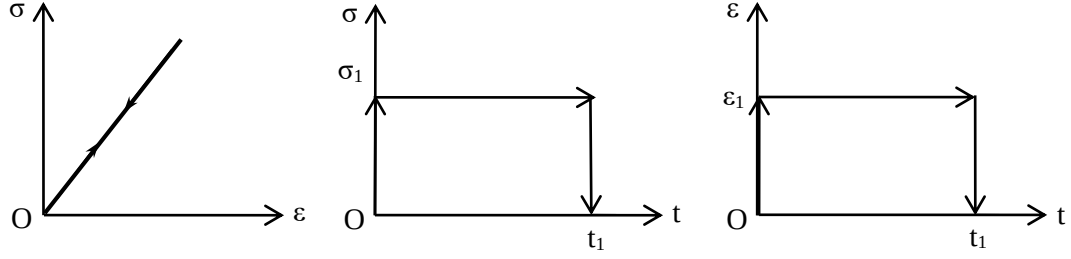
SÜNMENİN TAHMİN EDİLMESİ

Cisimlerin sünme şekil değiştirmesi viskoelastik davranış prensipleriyle açıklanabilir. Viskoelastik davranış genellikle viskoz davranış ile elastik davranışın bileşiminden oluşur. Bu tür davranışta, belli bir gerilmeye maruz cismin şekil değiştirmesinin zamanla değişimi söz konusudur. Elastik davranış bir yay (Hooke cismi) ile temsil edilir. Viskoz davranış ise iç sürtünmeli yağ kutusu (Newton cismi) ile temsil edilir. Gerçek cisimlerin viskoelastik davranışı bu elemanların (yay ve yağ kutusu) çeşitli şekillerde bir araya getirilerek oluşturulan mekanik modellerin davranışı ile açıklanabilir.

Yay ile temsil edilen elastik davranışta gerilme ile şekildeğiştirme orantılıdır. Hooke yasasına

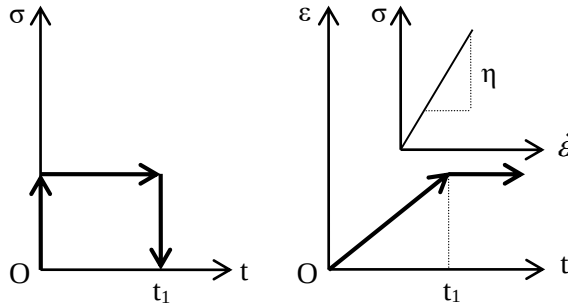
$\varepsilon = \frac{\sigma}{E}$ dir. Burada ε şekil değiştirme, σ gerilme, E yay katsayısı (elastiklik modülü) dür. Buna

göre bu cismin t_1 süresince etkiyen σ_1 gerilmesine bağlı olarak zamanla yaptığı şekil değiştirmesi şematik olarak aşağıdaki gibi gösterilebilir.



Şekil değiştirmenin tamamı ani olarak gerçekleşir ve zamanla değişmez. Gerilme kaldırıldığında tümü geri gelir; yani cisim orijinal boyutlarına döner.

Yağ kutusu ile temsil edilen viskoz davranışta gerilme ile şekildeğiştirme hızı orantılıdır. Sabit gerilme altında şekildeğiştirme zamanla sürekli artar ve gerilme kaldırıldığında cisim aldığı son şekildeğiştirme değerini korur.



$$\sigma = \eta \times \dot{\epsilon} = \eta \frac{d\epsilon}{dt} \quad \frac{d\epsilon}{dt} = \dot{\epsilon} = \frac{\sigma}{\eta} \text{ (sabit)}$$

Burada $\dot{\epsilon}$, şekildeğiştirme hızı;
 η , viskozite katsayısıdır.

$$\epsilon = \frac{\sigma}{\eta} \times t \quad \text{şeklinde lineer değişim var.}$$

VİSKOELASTİK KATI CİSİMLERİN REOLOJİSİ

Elastik cisim yay ile viskoz cisim yağ kutusu çeşitli şekillerde bir araya getirmek suretiyle sıvı ve katı cisimlerin gerilme altında davranışlarını incelemek mümkündür. Bu amaçla oluşturulan sistemler reolojik modeller olarak isimlendirilir ve bu şekilde gerilme altında zamana bağlı davranışı inceleyen mekaniğin dalına reoloji denir. Gerçek mühendislik cisimlerinin davranışlarını incelemek amacıyla oldukça karmaşık reolojik modeller oluşturmak olasıdır. Sadece iki temel elemandan oluşan en basit reolojik modellere örnek Maxwell modeli, Kelvin modeli ve Prandl modeli verilebilir.

Maxwell modeli bir yay (Hooke cismi) ile bir yağ kutusu (Newton cismi) seri bağlanarak elde edilir. Kelvin modeli bu iki cismin paralel bağlı halidir. Burger modeli Maxwell ile Kelvin cisimleri seri bağlanarak oluşturulan karmaşık bir modeldir.