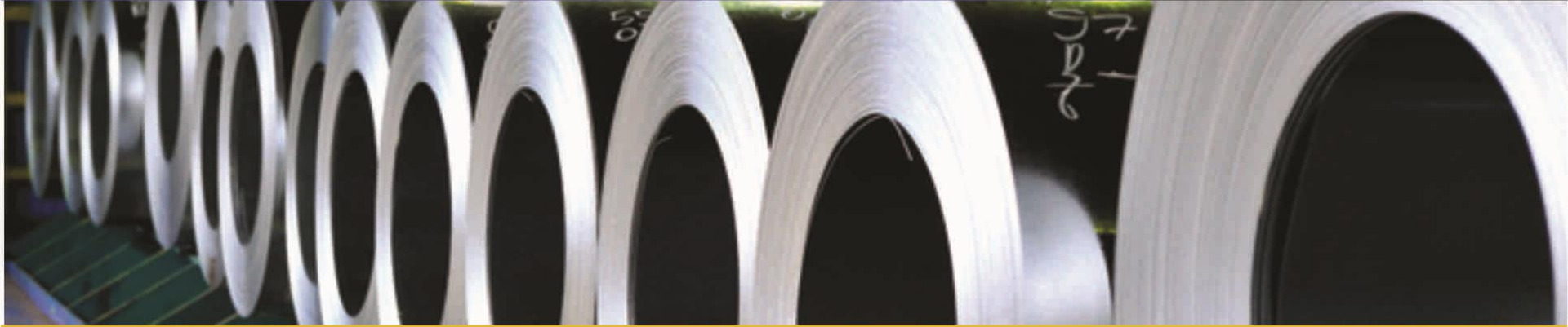


**MIKELL P. GROOVER**

Çeviri Editörleri: Mustafa Yurdakul - Yusuf Tansel İç

4<sup>th</sup> EDITION

4. BASIMDAN ÇEVİRİ



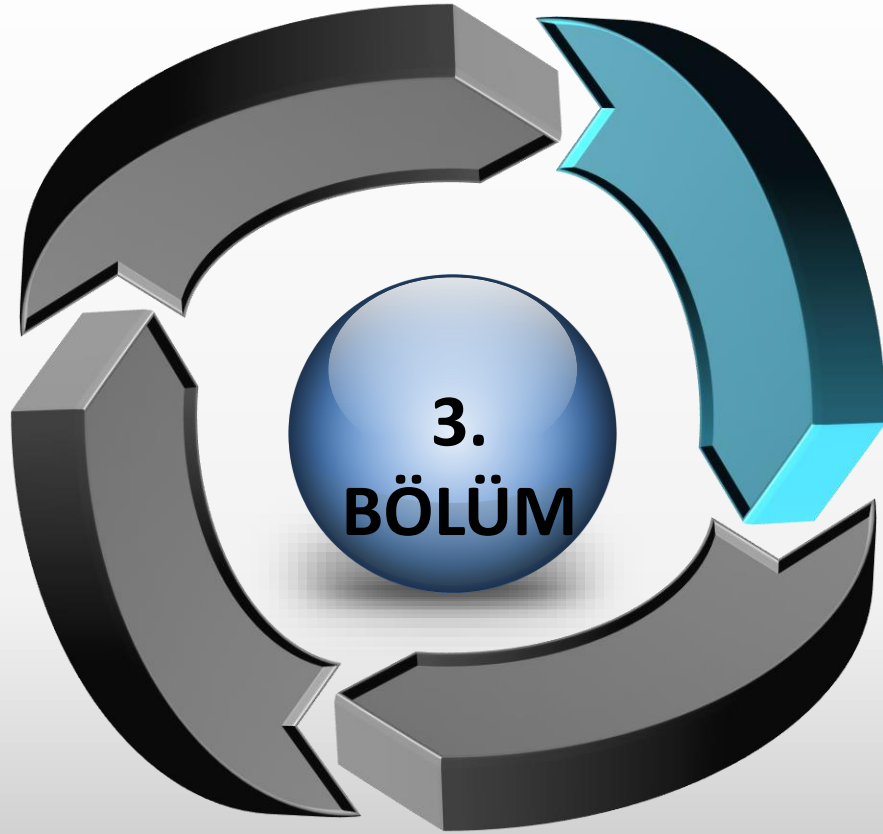
*PRINCIPLES* of **MODERN MANUFACTURING**

**MODERN İMALATIN**

*PRENSİPLERİ*

Gözden Geçirilmiş Yeni Basım



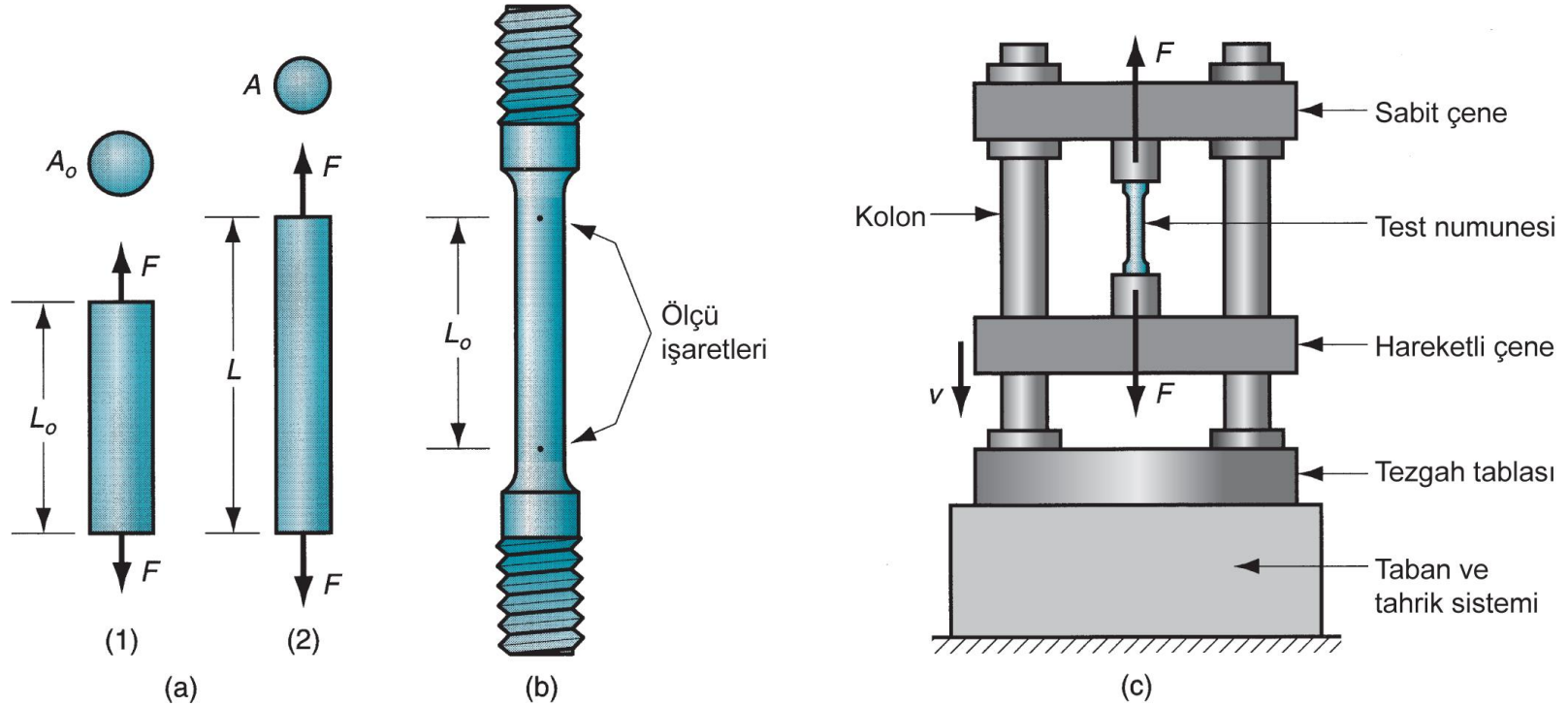


# Malzemelerin Mekanik Özellikleri

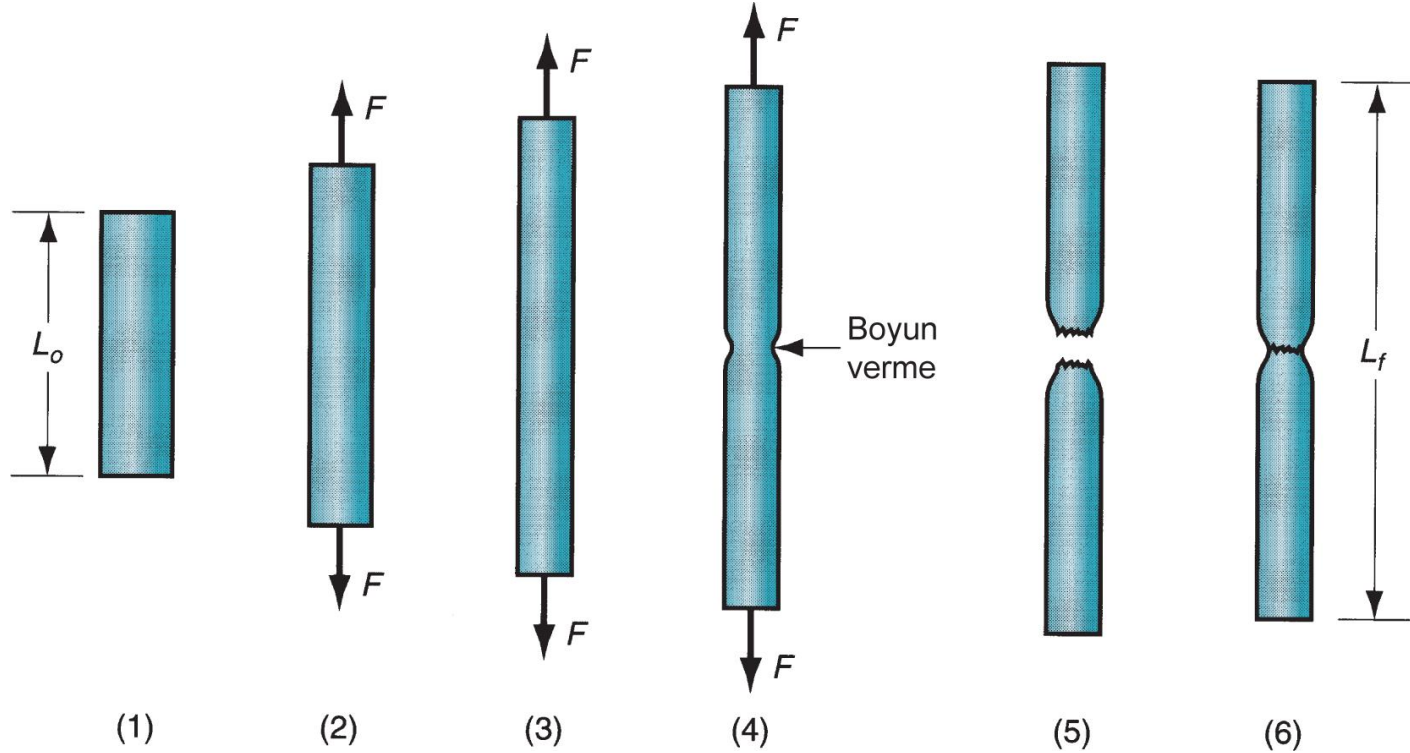
# GERİLME-BİRİM ŞEKİL DEĞİŞTİRME İLİŞKİLERİ

Genellikle malzemeler **çekme**, **basma** ve **kayma** olmak üzere üç farklı gerilme durumuna maruz kalırlar.

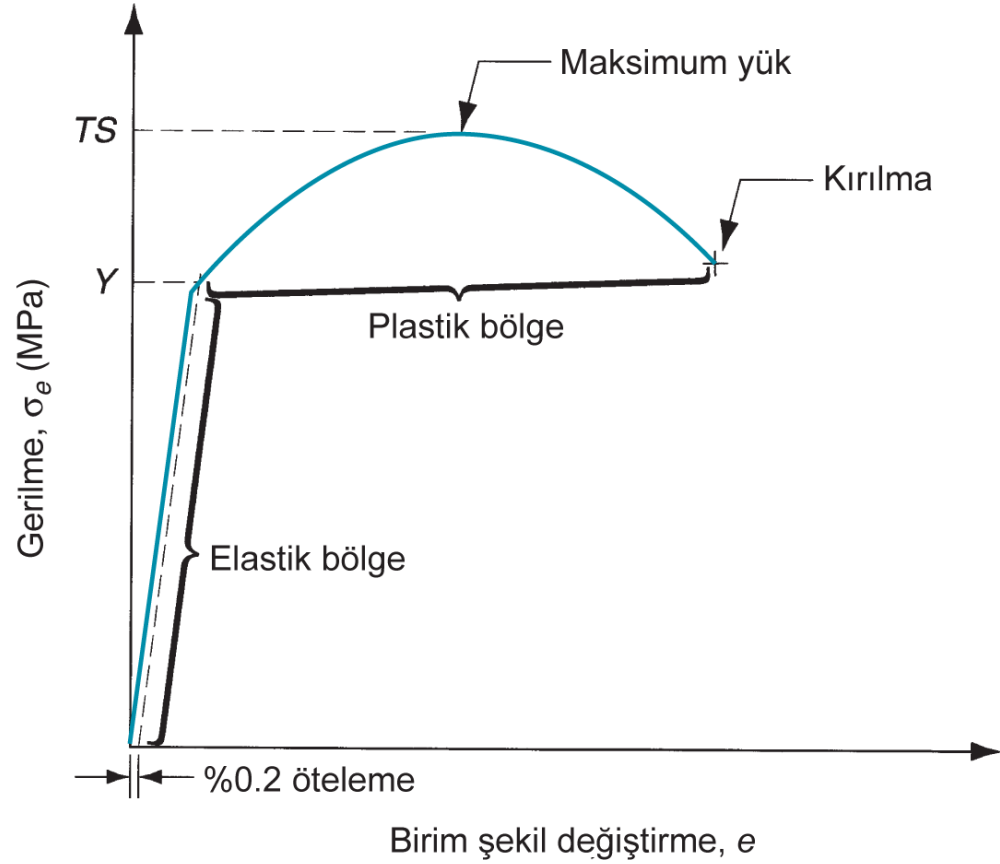
Çekme gerilmeleri malzemeyi gerdiren, basma gerilmeleri malzemeyi basmaya zorlayan, kayma gerilmeleri ise birbirine bitişik yüzeyleri birbirine karşı kaymaya zorlayan gerilmelerdir.



Çekme deneyi: (a) (1)'de çekme kuvvetinin uygulanması ve (2) sonuç olarak malzemenin uzaması;  
(b) tipik bir deney numunesi ve (c) çekme deney düzeneği



Çekme deneyinin tipik aşamaları: (1) deneyin başlangıcı, yük yok, (2) üniform uzama ve kesit daralması; (3) uzamanın devam etmesi, maksimum yüke ulaşılması (4) boyun verme başlangıcı, kuvvet düşmeye başlar (5) kırılma. Eğer kopan parçalar (6)'daki gibi uç uca getirilirse son boy ölçülebilir.



Bir metalin çekme deneyinde tipik bir mühendislik gerilme-birim deformasyon eğrisi

# Akma-Çekme Mukavemeti

- Akma noktası ( $Y$ ) plastik bölgeye geçişin işareti olup malzemenin plastik şekil değişiminin başlangıcıdır.
- $TS$  değeri  $F_{max}/A_o$  değerine eşittir.
- $TS$  ve  $Y$  değerleri tasarım hesaplarında çok önemli mukavemet özellikleridir (bu değerleri ayrıca imalat hesaplamalarında kullanılır).
- Bazı seçilmiş tipik malzemelere ait akma ve çekme mukavemet değerleri Tablo 3.2'de listelenmiştir.

TABLO 3.2 Seçilen metaller için akma ve çekme mukavemeti veya dayanımı.

Metal	Akma Mukavemeti MPa	Çekme Mukavemeti MPa	Metal	Akma Mukavemeti MPa	Çekme Mukavemeti MPa
Alüminyum, tavllanmış	28	69	Nikel, tavllanmış	150	450
Alüminyum, soğuk şekillendirilmiş	105	125	Düşük karbonlu çelik <sup>a</sup>	175	300
Alüminyum alaşımları	175	350	Yüksek karbonlu çelik <sup>a</sup>	400	600
Dökme demir <sup>a</sup>	275	275	Çelik alaşımı <sup>a</sup>	500	700
Bakır, tavllanmış	70	205	Paslanmaz çelik <sup>a</sup>	275	650
Bakır alaşımları <sup>a</sup>	205	410	Titanyum, saf	350	515
Magnezyum alaşımları <sup>a</sup>	175	275	Titanyum alaşımı	800	900



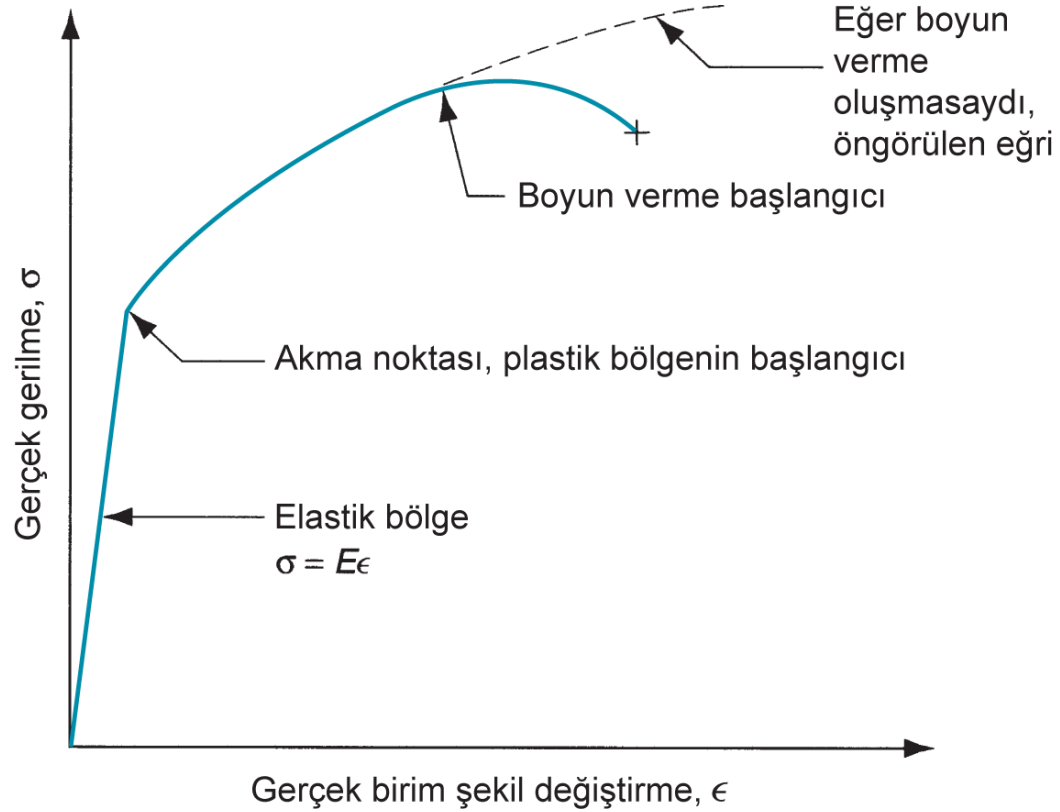
Elastiklik modülü orantı sabiti olup farklı malzemeler için farklı değerlere sahiptir.

**TABLO 3.1** Seçilen malzemeler için elastiklik modülü.

Metaller	Elastiklik Modülü MPa	Seramik ve Polimerler	Elastiklik Modülü MPa
Alüminyum ve alaşımları	$69 \times 10^3$	Alüminyum oksit	$\times 10^3$
Dökme demir	$138 \times 10^3$	Elmas <sup>a</sup>	$1035 \times 10^3$
Bakır ve alaşımları	$110 \times 10^3$	Düz cam	$\times 10^3$
Demir	$209 \times 10^3$	Silikonkarbür	$\times 10^3$
Kurşun	$21 \times 10^3$	Tungsten karbür	$\times 10^3$
Magnezyum	$48 \times 10^3$	Naylon	$\times 10^3$
Nikel	$209 \times 10^3$	Fenol formaldehit	$\times 10^3$
Çelik	$209 \times 10^3$	Polietilen (düşük yoğunluklu)	$\times 10^3$
Titanyum	$117 \times 10^3$	Polietilen (yüksek yoğunluklu)	$\times 10^3$
Tungsten	$407 \times 10^3$	Polistiren	$\times 10^3$

TABLO 3.3 Çeşitli malzemeler için uzama yüzdesi (tipik değerler) olarak süneklik.

Malzemeler	Uzama	Malzemeler	Uzama
<i>Metaller</i>		<i>Metaller, devam</i>	
Alüminyum, tavllanmış	40%	Düşük karbonlu çelik <sup>a</sup>	30%
Alüminyum, soğuk şekillendirilmiş	8%	Yüksek karbonlu çelik <sup>a</sup>	10%
Alüminyum alaşımları, tavllanmış <sup>a</sup>	20%	Çelik alaşımı <sup>a</sup>	20%
Alüminyum alaşımları, Is. İşl. Gör. <sup>a</sup>	8%	Paslanmaz çelik, ostenitik <sup>a</sup>	55%
Alüminyum alaşımları, dökülmüş <sup>a</sup>	4%	Titanyum, nerdeyse saf	20%
Gri dökme demir <sup>a</sup>	0.6%	Çinko alaşımı	10%
Bakır, tavllanmış	45%	Seramikler	0 <sup>b</sup>
Bakır, soğuk şekillendirilmiş	10%	Polimerler	
Bakır alaşımı: pirinç, tavllanmış	60%	Termoplastik polimerler	100%
Magnezyum alaşımları <sup>a</sup>	10%	Termosetting polimerler	1%
Nikel, tavllanmış	45%	Elastomerler (e.g., kauçuk)	1% <sup>c</sup>

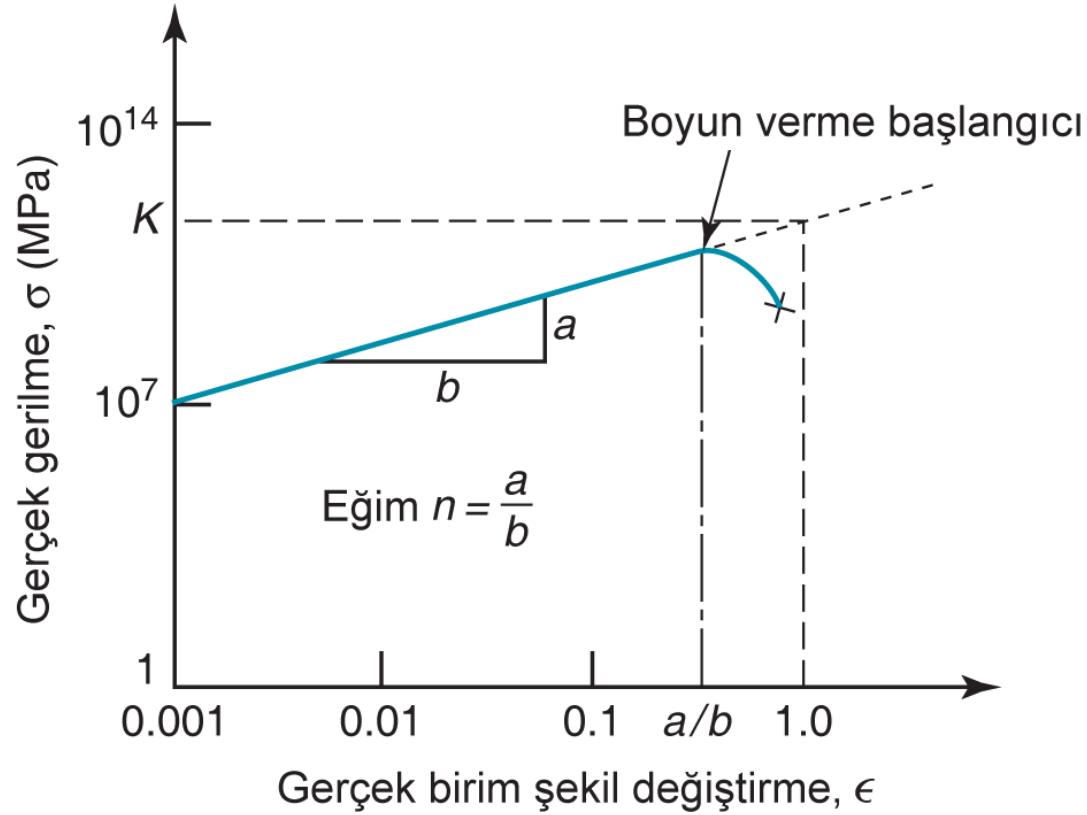


Mühendislik gerilme-birim şekil değiştirme eğrisinin gerçek gerilme-birim şekil değiştirme diyagramı

# Plastik Bölge

## Pekleşme( Çalışma Sertleşmesi)

- Birim şekil değiştirme artarken metal daha dayanıklı olmaktadır
- Malzeme özelliğidir
- Belirli imalat işlemleri sırasında önemli bir faktördür
- Malzemenin davranışı bu özellikten etkilenir
- Eğer gerçek gerilme-gerçek birim şekil değiştirme eğrisinin plastik kısmı Logaritmik Ölçekte çizilirse Şekil 3.5 teki doğrusal grafik çıkar.



Şekil 3.5 Plastik Bölgede, Log–log ölçekte çizilmiş gerçek gerilme- birim şekil değiştirme eğrisi

# Gerçek gerilme ile gerçek birim şekil değiştirme arasındaki ilişki

$$\sigma = K \varepsilon^n \quad \text{Akma Eğrisi}$$

K; Mukavemet Katsayısı, MPa

n; Pekleşme üsteli=a/b

- Metallerin plastik bölgedeki davranışını sağlar.

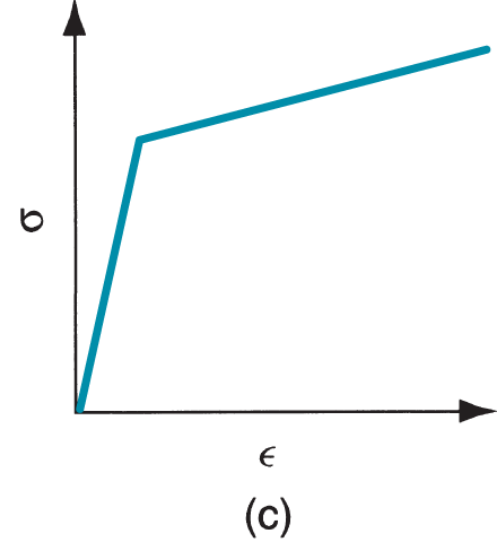
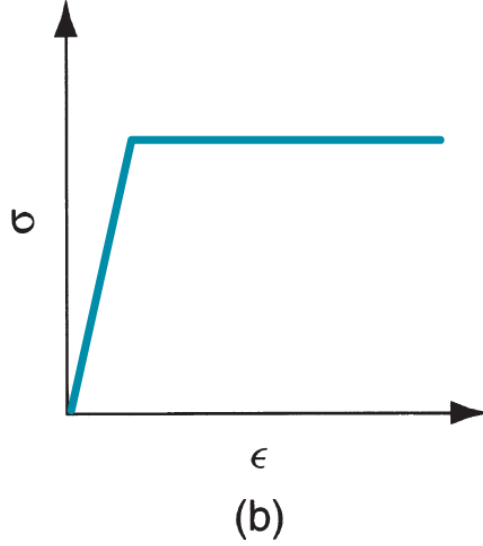
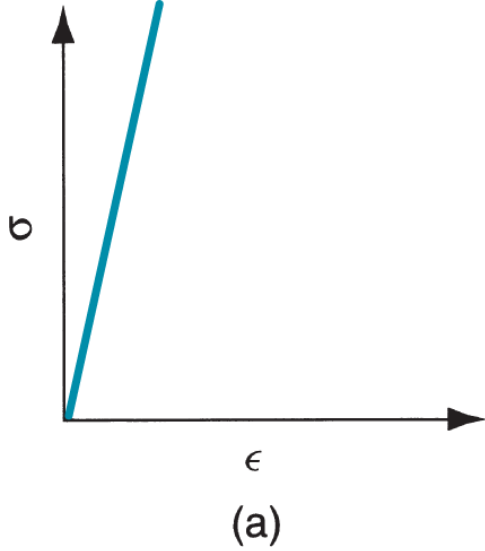
**TABLO 3.4** Seçilen metaller için tipik mukavemet katsayısı  $K$  ve pekleşme üsteli  $n$  değerleri.

Malzemeler	Mukavemet Katsayısı $K$ , MPa	Pekleşme üsteli, $n$
Alüminyum, saf, tavllanmış	175	0.20
Alüminyum alaşımları, tavllanmış <sup>a</sup>	240	0.15
Alüminyum alaşımları, Is. İşl. Gör.	400	0.10
Bakır, saf, tavllanmış	300	0.50
Bakır alaşımı: pirinç, tavllanmış	700	0.35
Düşük karbonlu çelik, tavllanmış <sup>a</sup>	500	0.25
Yüksek karbonlu çelik, tavllanmış <sup>a</sup>	850	0.15
Çelik alaşımı, tavllanmış <sup>a</sup>	700	0.15
Paslanmaz çelik, ostenitik, tavllanmış	1200	0.40

# Gerilme-Birim şekil Değişirme İlişkilerinin Çeşitleri

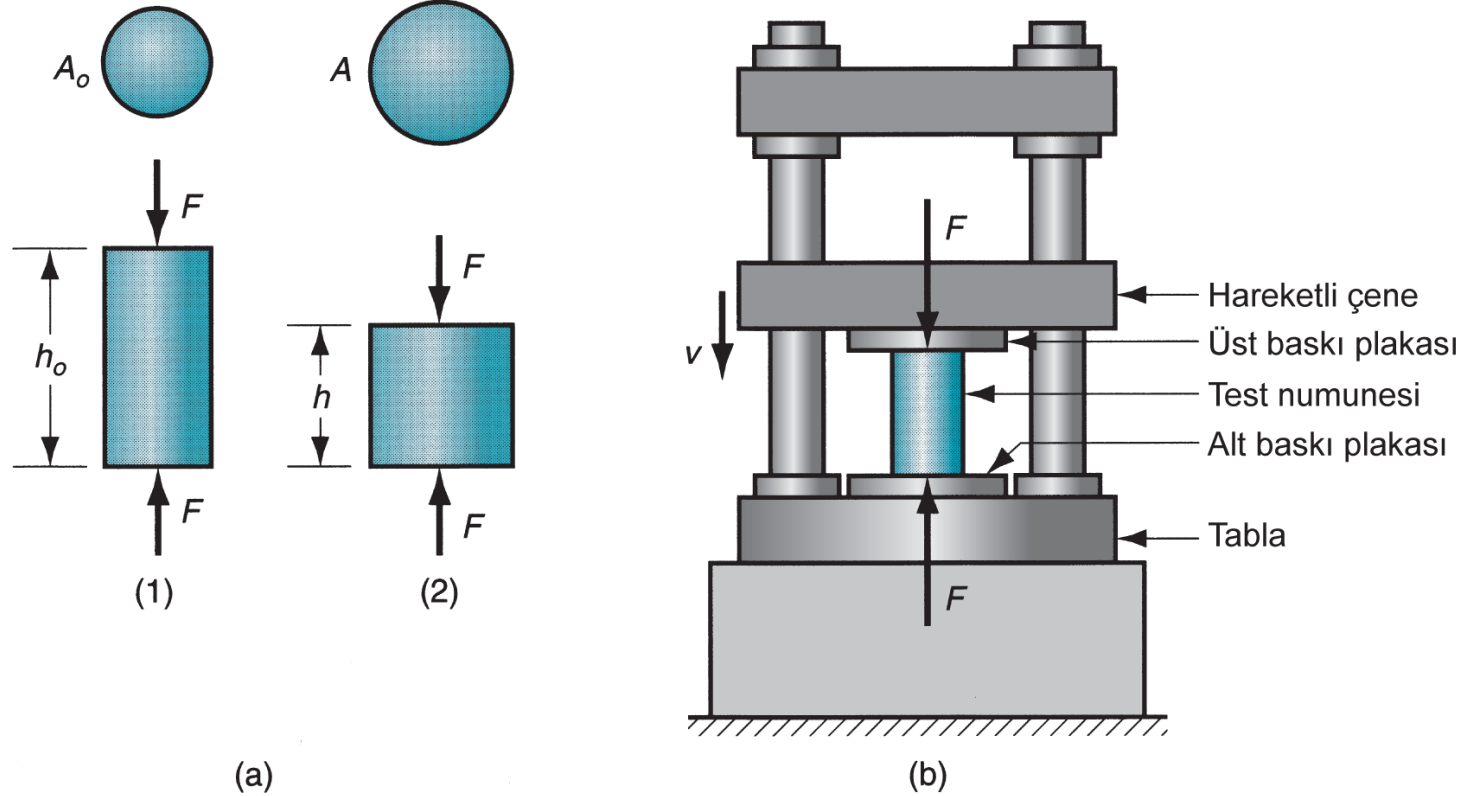
- Gerçek gerilme- birim şekil değişirme eğrisi ile daha fazla elastik ve plastik davranış bilgileri sağlanır.
- Şekil 3.6'da hemen hemen bütün katı malzemeler için temel üç tip gerilme- birim şekil değişirme ilişkisi gösterilmiştir



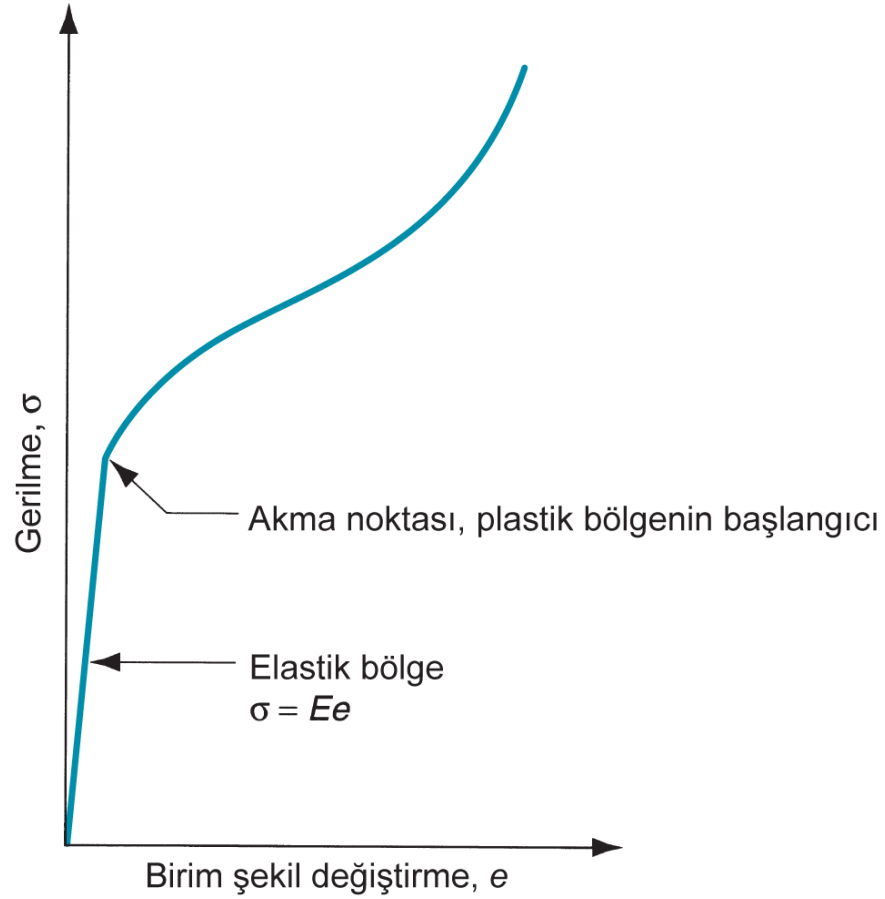


Şekil 3.6 Gerilme- birim şekil değiştirme ilişkilerinin üç türü: **(a) tam elastik, (b) elastik ve tam plastik, ve (c) elastik ve pekleşmeli model**

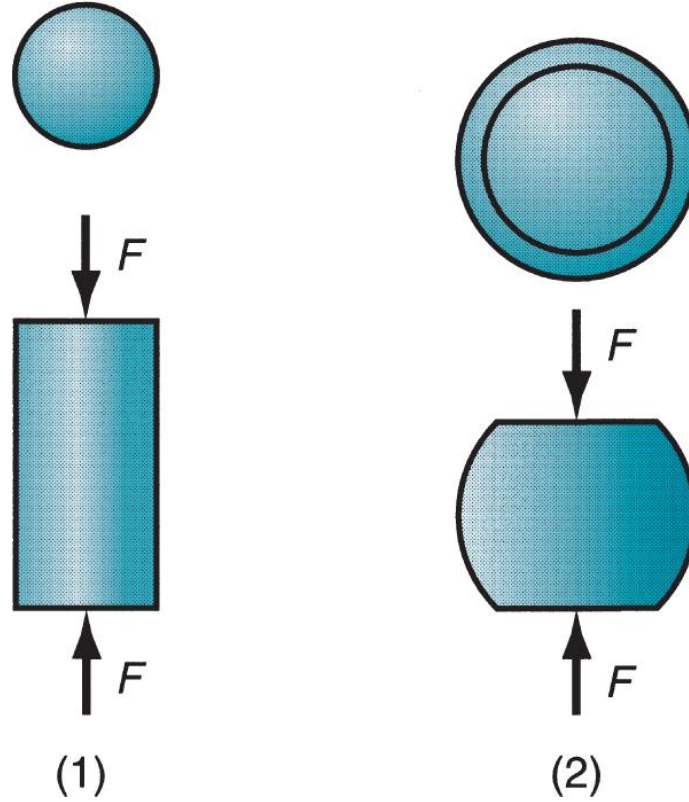
# BASMA ÖZELLİKLERİ



Basma deneyi: (a) (1) deney numunesi üzerine baskı kuvvetinin uygulanması ve (2) yükseklikte değişim oluşturur ve (b) deney numunesinin abartılı olarak çizilmiş olan deney düzeneği.

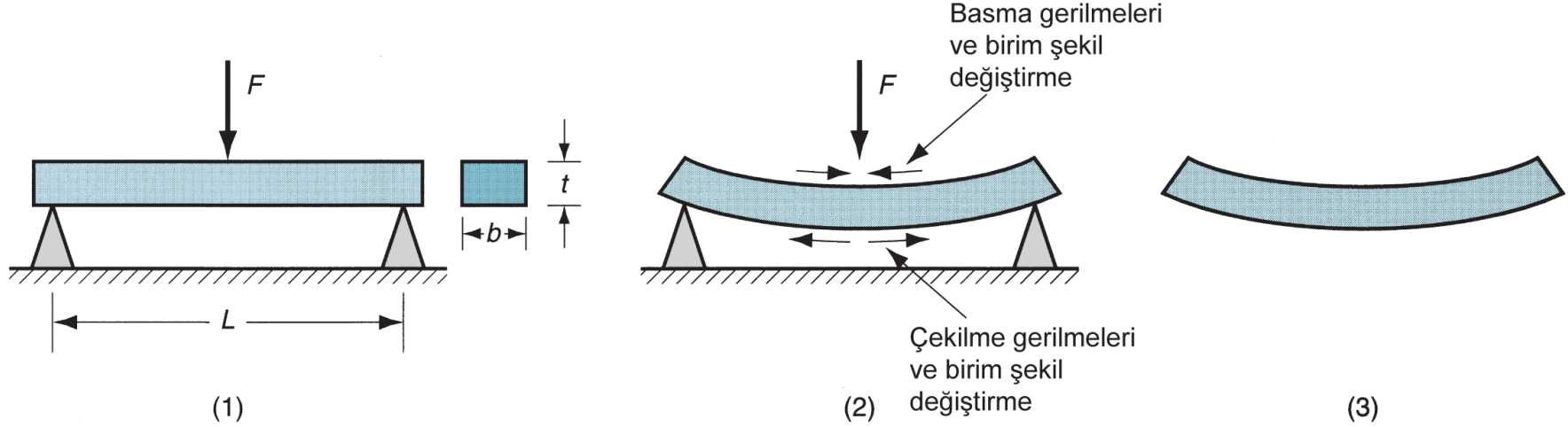


Basma deneyi için tipik mühendislik gerilme- birim şekil değiştirme eğrisi



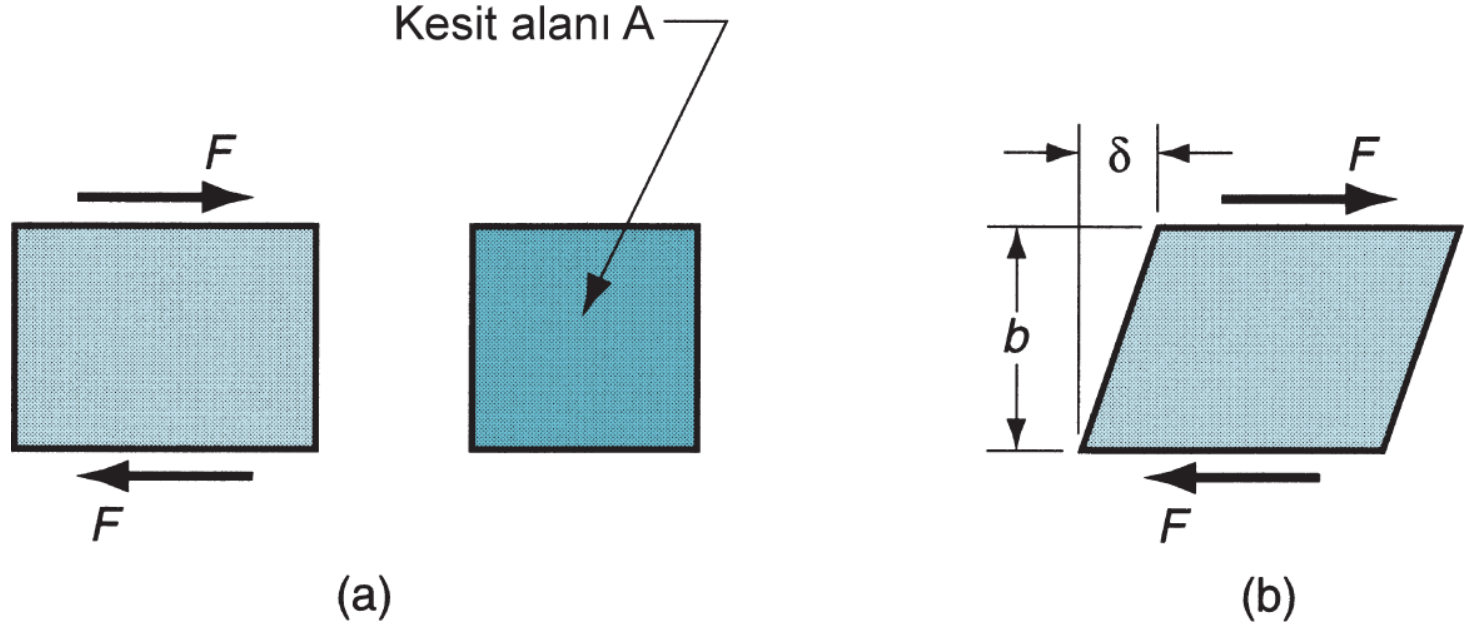
Basma deneyinde fiçlaşma etkisi (1) deneyin başlangıcı ve (2) dikkate değer bir basma oluştuğundan sonra

# EĞİLME TESTLERİ

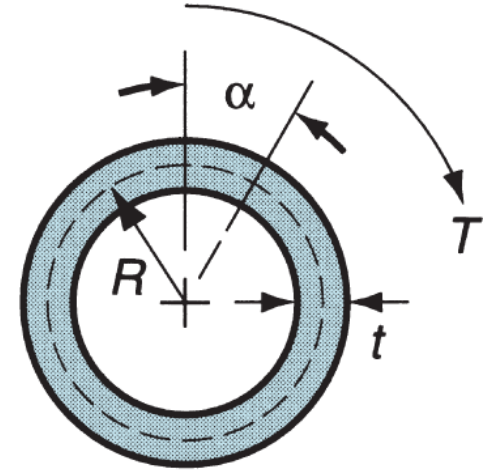
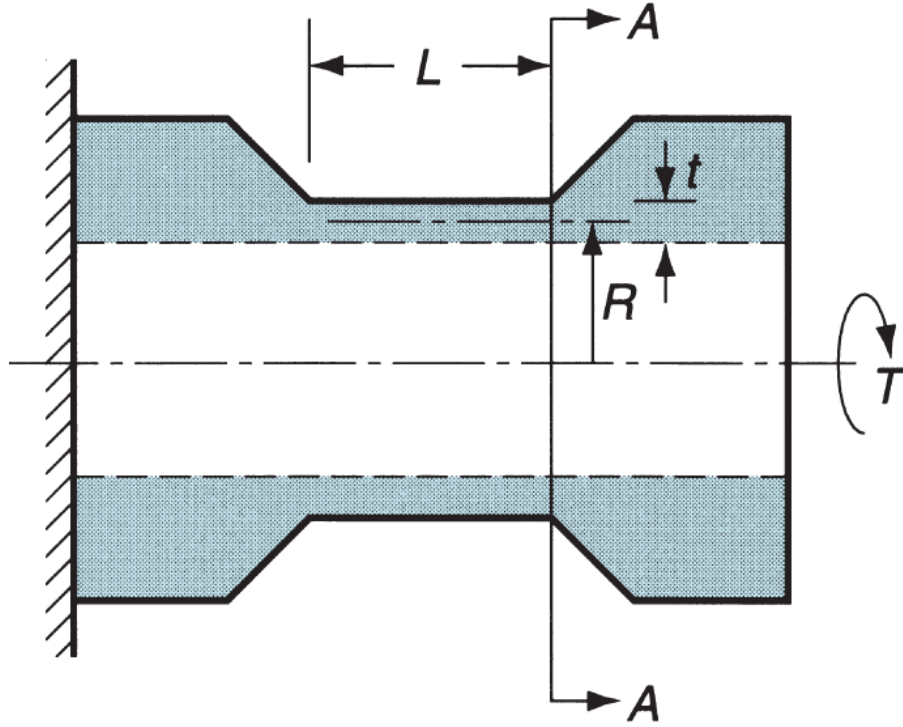


Malzemede hem çekme hem de basma gerilmelerinin oluşmasına sebep olan dikdörtgen kesitin eğilmesi :  
(1) başlangıç yüklemesi (2) numunenin gerilmesi ve şekil değişimi artmış ve (3) bükülmüş parça.

# KAYMA ÖZELLİKLERİ

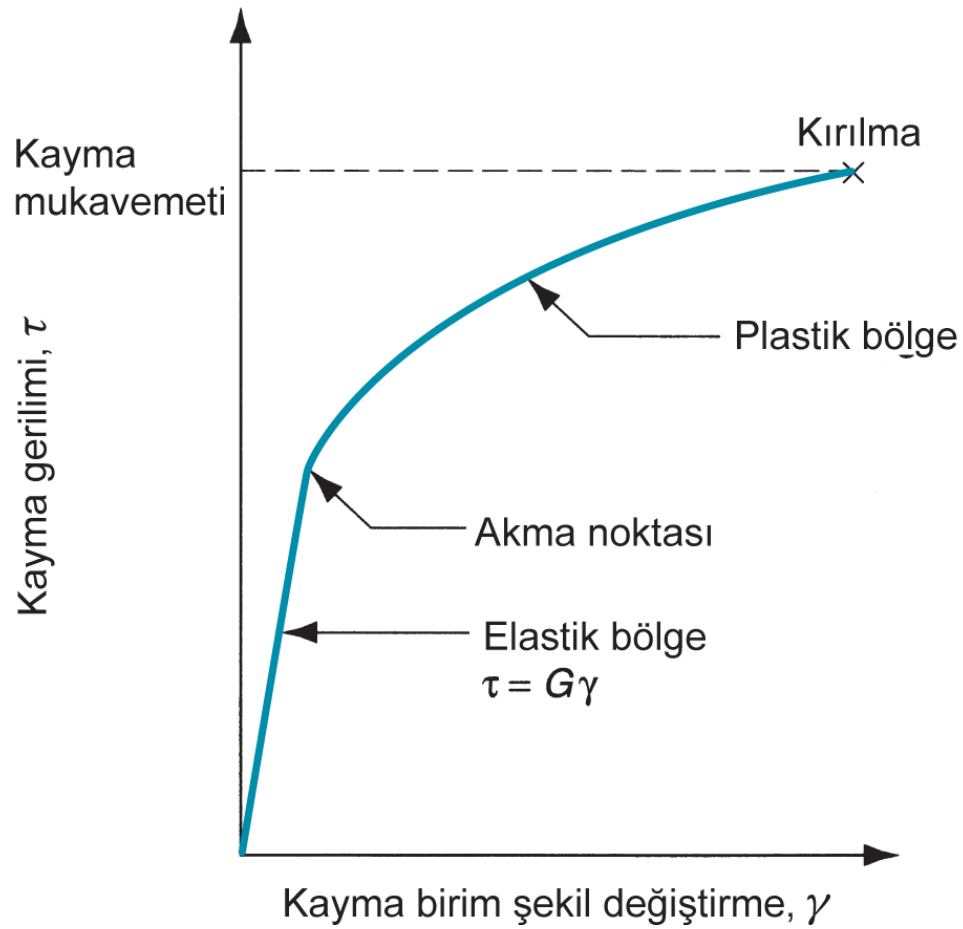


Kayma (a) gerilme ve (b) birim deformasyon



A-A kesiti

Burulma deney düzeneği

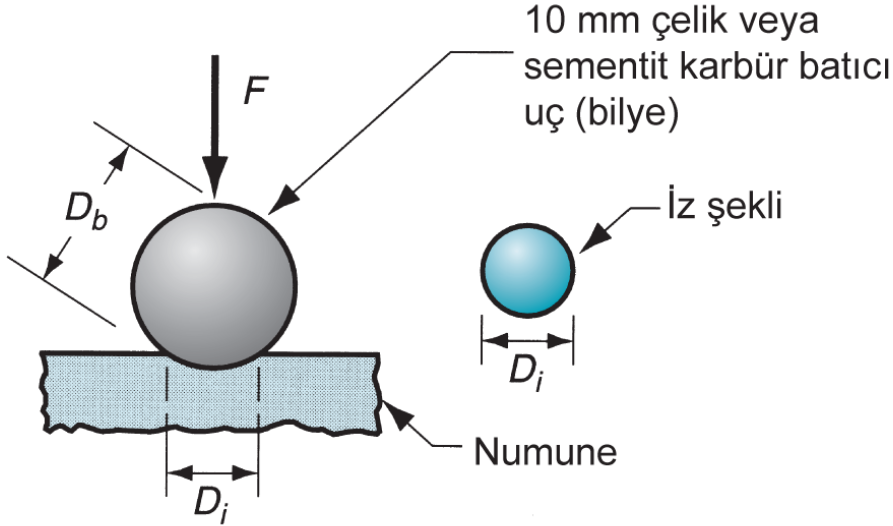


Burulma deneyinden elde edilmiş olan tipik bir kayma gerilmesibirim şekil değiştirme eğrisi

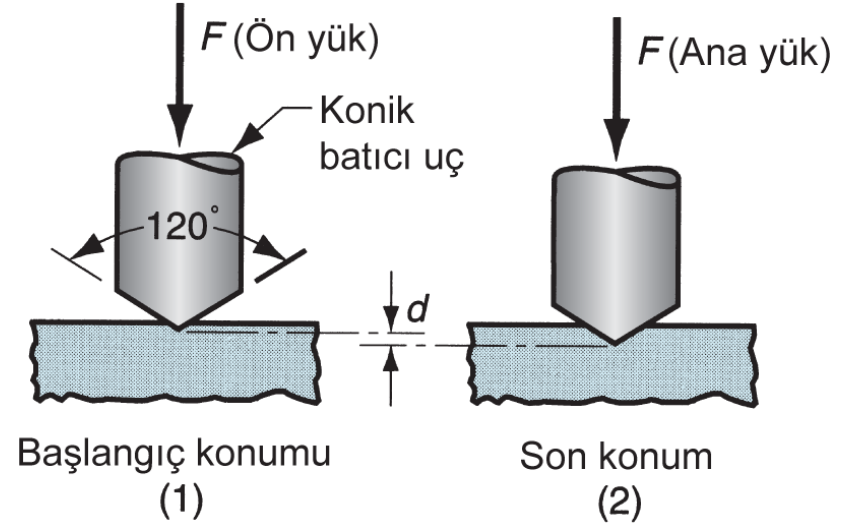


# SERTLİK

Malzemenin Sertliği, malzemeye uygulanan kalıcı ize karşı malzemenin gösterdiği direnç olarak tanımlanır.

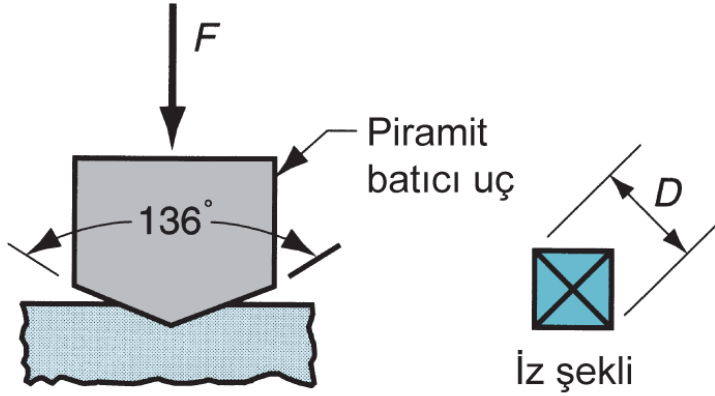


(a) Brinell

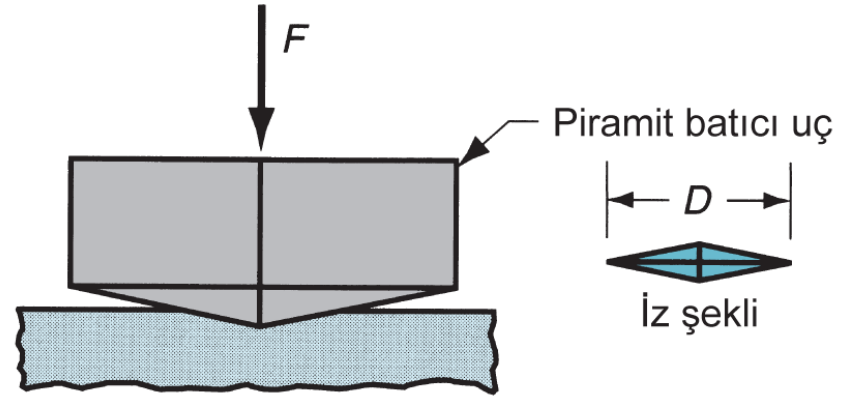


(b) Rockwell

Sertlik test metotları: (a) Brinell; (b) Rockwell: (1) ön yük ve (2) ana yük, (c) Vickers, ve (d) Knoop



(c) Vickers



(d) Knoop

Sertlik test metotları: (a) Brinell; (b) Rockwell: (1) ön yük ve (2) ana yük, (c) Vickers, ve (d) Knoop

TABLO 3.5 Yaygın Rockwell sertlik ölçeği.

Rockwell ölçeği	Sertlik Sembolü	Batıcı uç	Yük (kg)	Test edilen tipik malzemeler
A	HRA	Koni	60	Karbürler, seramikler
B	HRB	1.6 mm bilye	100	Demir dışı metaller
C	HRC	Konik	150	Demirli metaller, takım çelikleri

TABLO 3.6 Seçilen metallerin tipik sertlik değerleri.

Metal	Brinell Sertliği, HB	Rockwell Sertliği, HR <sup>a</sup>	Metal	Brinell Sertliği, HB	Rockwell Sertliği, HR <sup>a</sup>
Alüminyum, tavllanmış	20		Magnezyum alaşımları, sertleştirilmiş <sup>b</sup>	70	35B
Alüminyum, soğuk şekillendirilmiş	35		Nikel, tavllanmış	75	40B
Alüminyum alaşımları, tavllanmış <sup>b</sup>	40		Çelik, düşük C, sıcak haddelenmiş <sup>b</sup>	100	60B
Alüminyum alaşımları, sertleştirilmiş <sup>b</sup>	90	52B	Çelik, yüksek C, sıcak haddelenmiş <sup>b</sup>	200	95B, 15C
Alüminyum alaşımları, dökülmüş <sup>b</sup>	80	44B	Çelik, alaşım, tavllanmış <sup>b</sup>	175	90B, 10C
Gri dökme demir <sup>b</sup>	175	10C	Çelik, alaşım, Isıl İşlem Görmüş <sup>b</sup>	300	33C
Bakır, tavllanmış	45		Çelik, paslanmaz, östenitik <sup>b</sup>	150	85B
Bakır, soğuk şekillendirilmiş	100	60B	Titanyum, neredeyse saf	200	95B
Kurşun	4		Çinko	30	

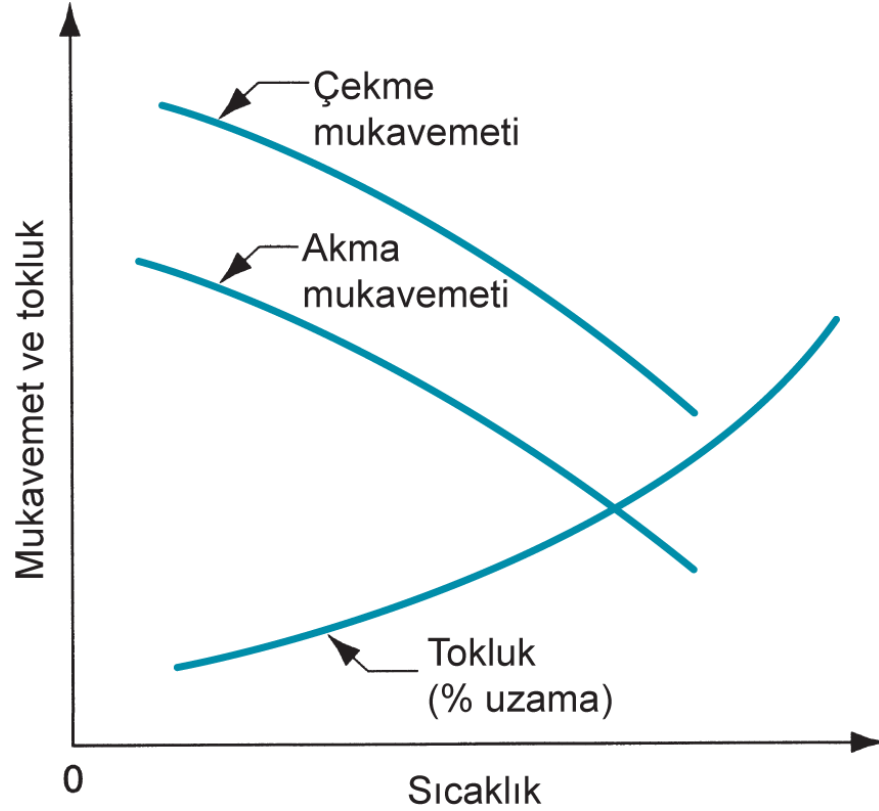
TABLO 3.7 Seçilmiş seramik ve diğer sert malzemelerin sertlikleri.

Malzeme	Vickers Sertliği, HV	Knoop Sertliği, HK	Malzeme	Vickers Sertliği, HV	Knoop Sertliği, HK
Sertleştirilmiş takım çeliği <sup>a</sup>	800	850	Titanyum nitür, TiN	3000	2300
Sementit karbür (WC - Co) <sup>a</sup>	2000	1400	Titanyumkarbür, TiC	3200	2500
Alüminyum oksit, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2200	1500	Kübik bor nitür, BN	6000	4000
Tungsten karbür, WC	2600	1900	Elmas, sinterlenmiş polikristal	7000	5000
Silikon karbür, SiC	2600	1900	Elmas, doğal	10,000	8000

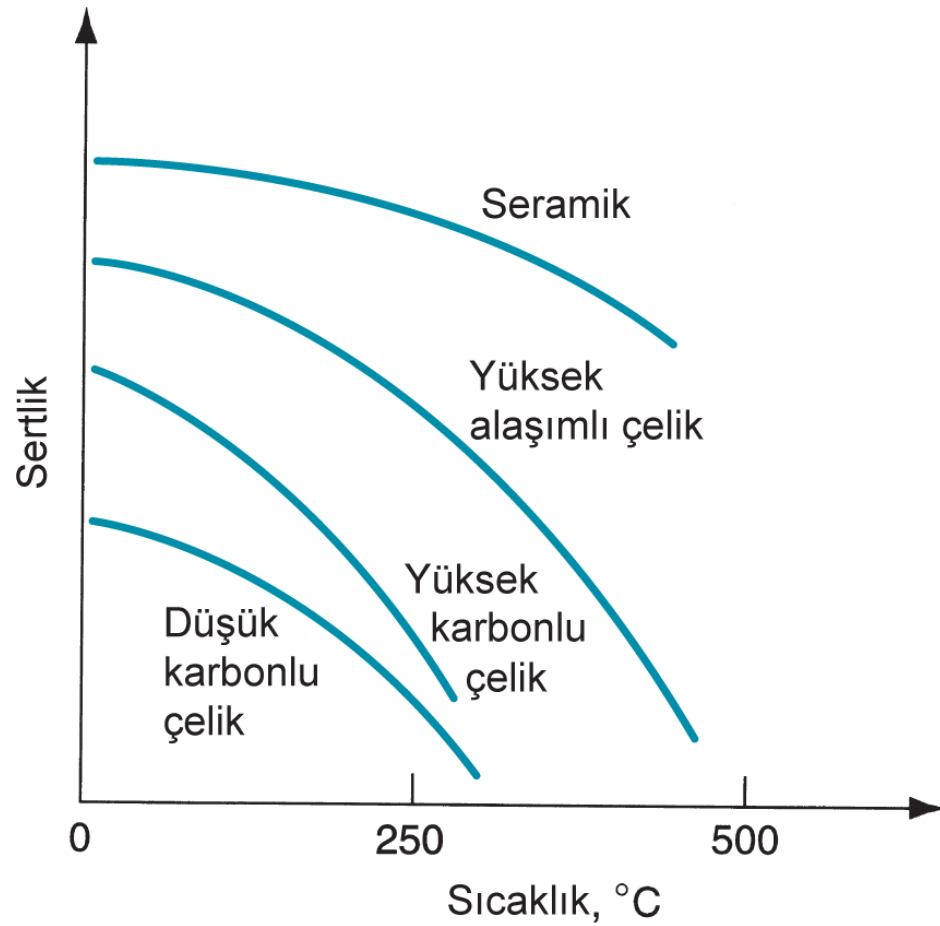
TABLO 3.8 Seçilmiş polimerlerin şertjikleri.

Polimer	Brinell Sertliği, HB	Polimer	Brinell Sertliği, HB
Naylon	12	Polipropilen	7
Fenol formaldehit	50	Polistiren	20
Polietilen, düşük yoğunluklu	2	Poli vinil klorür	10
Polietilen, yüksek yoğunluklu	4		

# SICAKLIĞIN ÖZELLİKLER ÜZERİNE ETKİSİ



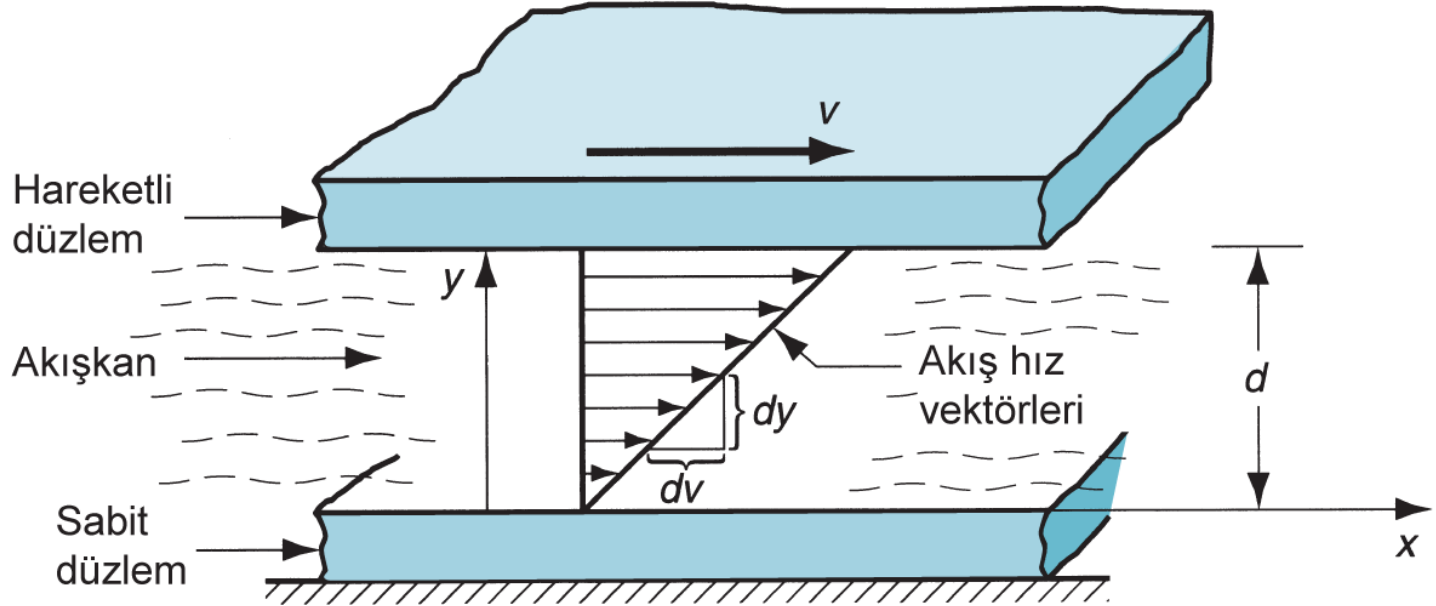
Sıcaklığın mukavemet ve süneklik üzerine genel etkisi



Bazı malzemeler için sıcaklığın fonksiyonu olarak sıcak-tipik sertlik değeri



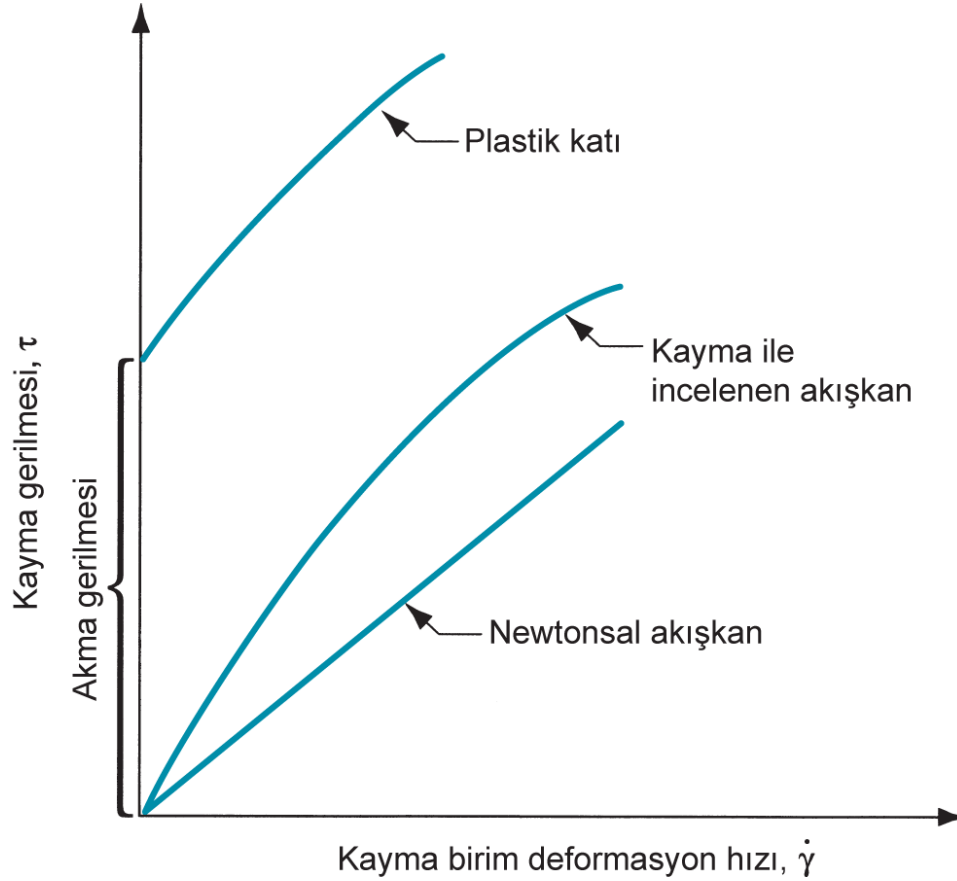
# AKIŞKAN ÖZELLİKLERİ



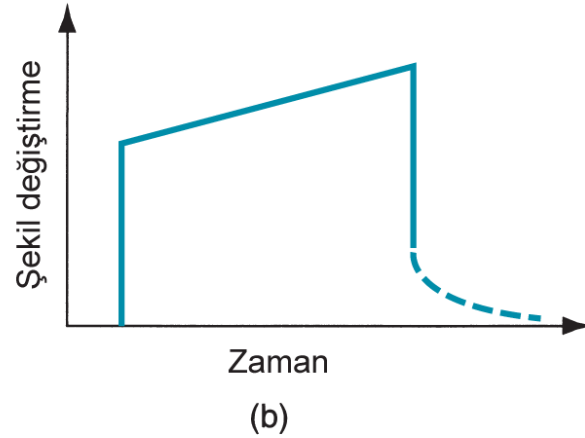
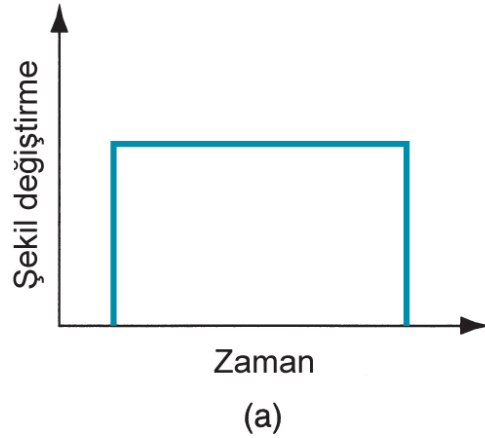
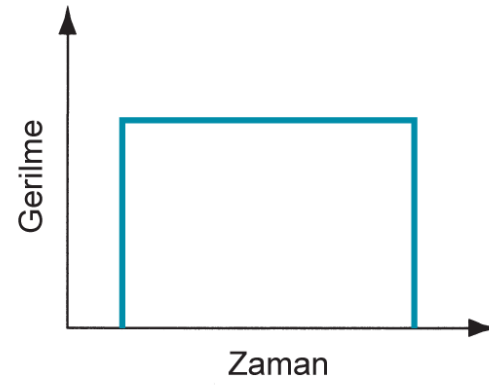
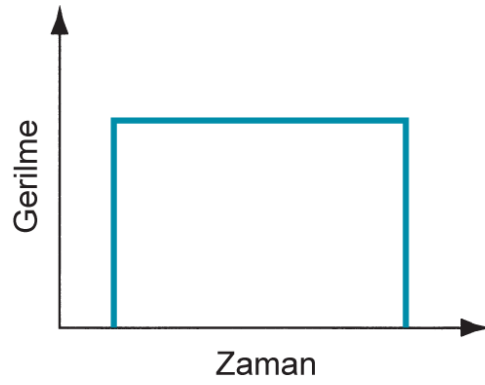
Biri sabit diğeri  $v$  hızıyla hareket eden iki paralel düzlem arasında sıvı akışı

TABLO 3.9 Seçilen sıvıların viskozite değerleri

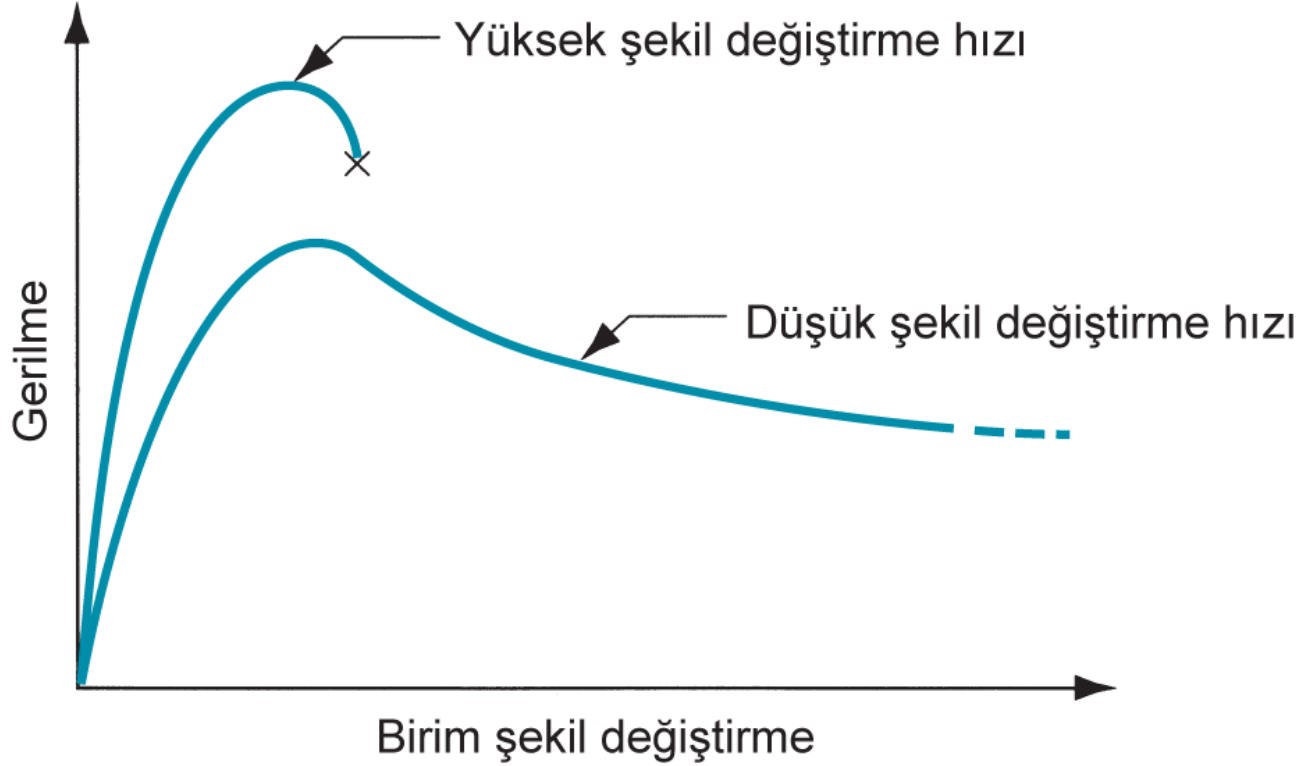
Malzeme	Viskozite katsayısı, Pa-s	Malzeme	Viskozite katsayısı, Pa-s
Cam <sup>b</sup> , 540° C (813 K)		Krep şurubu (oda sıcaklığı)	50
Cam <sup>b</sup> , 815° C (1088 K)		Polimer, <sup>a</sup> 151° C (424 K)	115
Cam <sup>b</sup> , 1095° C (1368 K)		Polimer, <sup>a</sup> 205° C (478 K)	55
Cam <sup>b</sup> , 1370° C (1643 K)		Polimer, <sup>a</sup> 260° C (533 K)	28
Civa, 20° C (293 K)		Su, 20° C (293 K)	0.001
Makina yağı (oda sıcaklığı)		Su, 100° C	0.0003



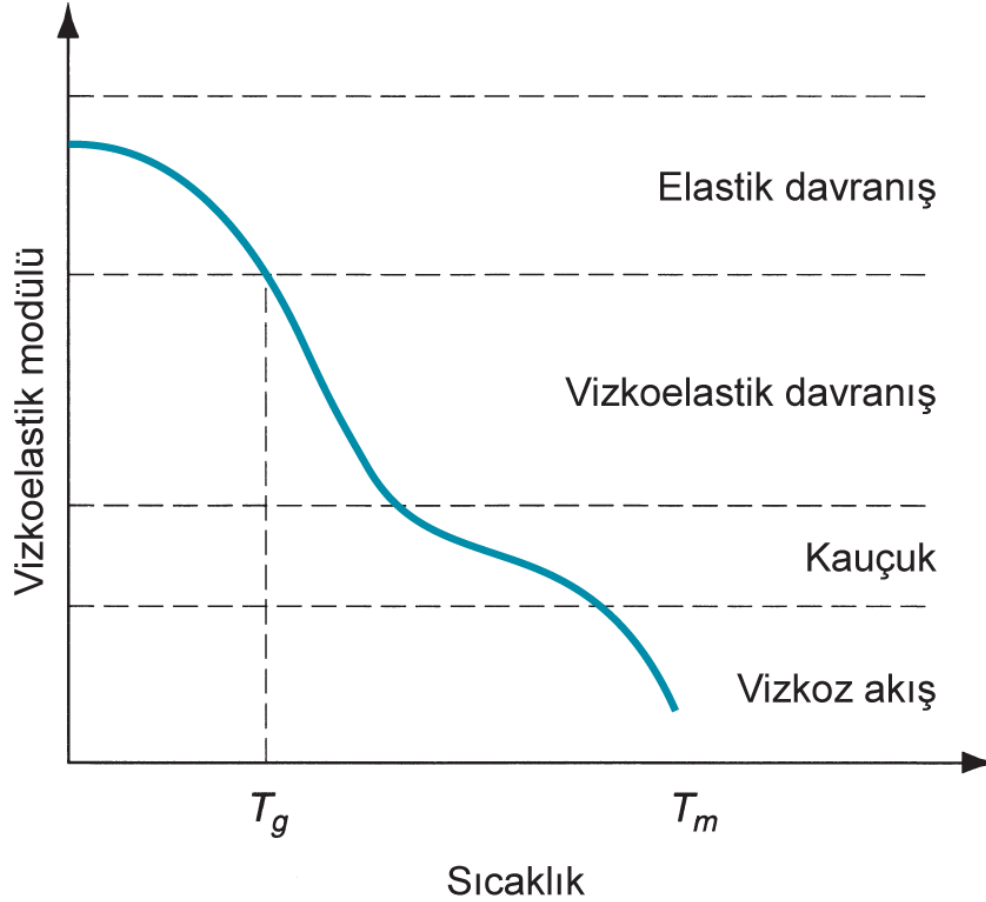
Newtonsal ve kayma ile incelen (pseudoplastik) akışkanların viskoz davranışı. Polimer eriyikleri kayma ile incelen akışkan davranışı sergiler. Kıyaslama için plastik katı malzeme davranışı görülmektedir.



Elastik ve viskoelastik özellikleri kıyaslanması: (a) malzemenin zamana bağlı uygulanan gerilmeye mükemmel elastik cevabı (b) Aynı şartlar altında viskoelastik malzemenin davranışı. (b)'deki malzeme zaman ve sıcaklığın fonksiyonu olarak şekil değişimi yapar.



Yüksek ve düşük şekillendirme hızlarında, viskoelastik malzemenin (termoplastik polimer) gerilme birim şekil değiştirme eğrisi



Bir termoplastik polimer için sıcaklığın fonksiyonu olarak vizkoelastite modülü