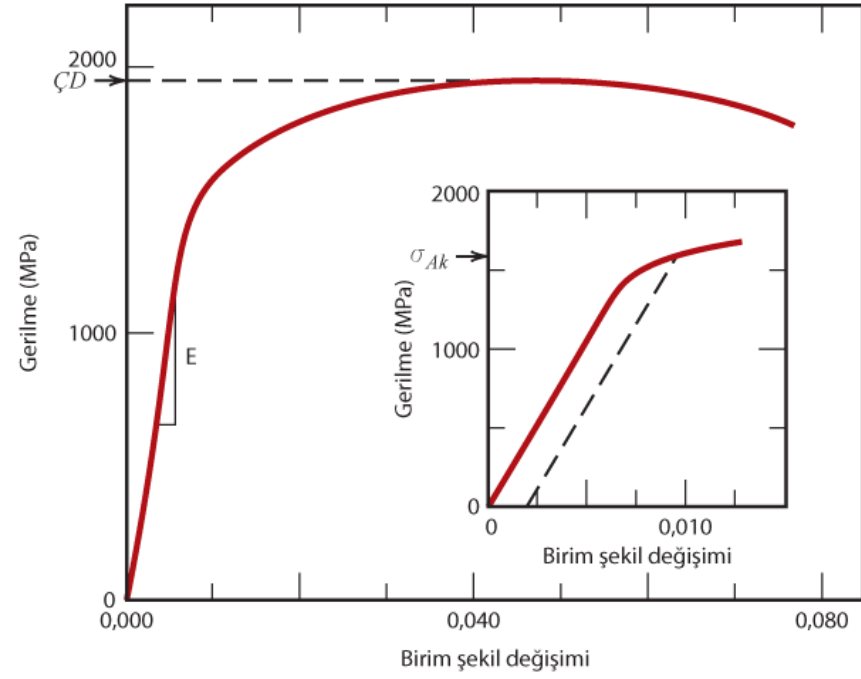
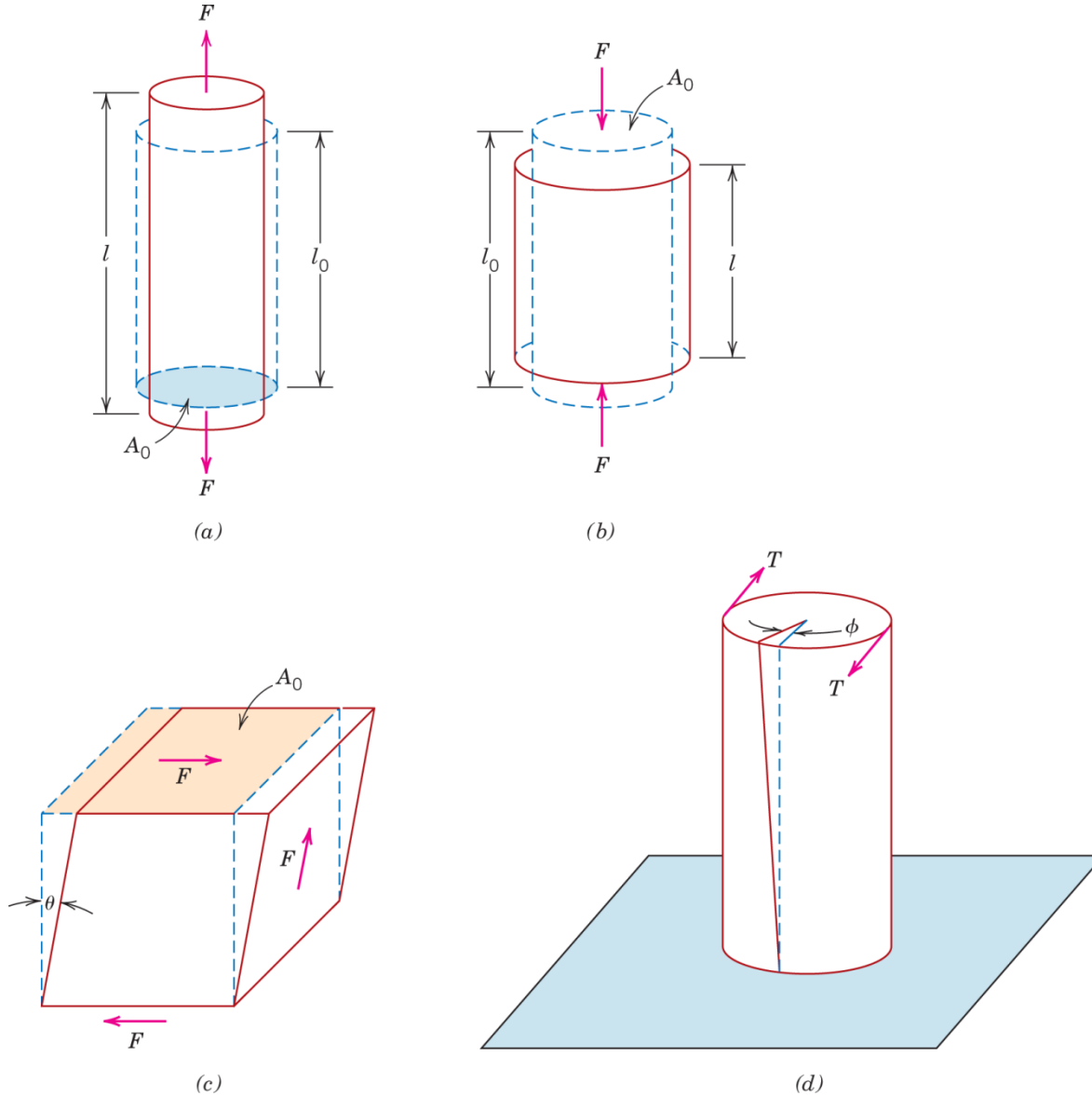


Bölüm 6 Metallerin Mekanik Özellikleri



(b)

6.2 GERİLME VE BİRİM ŞEKİL DEĞİŞİMİ KAVRAMLARI



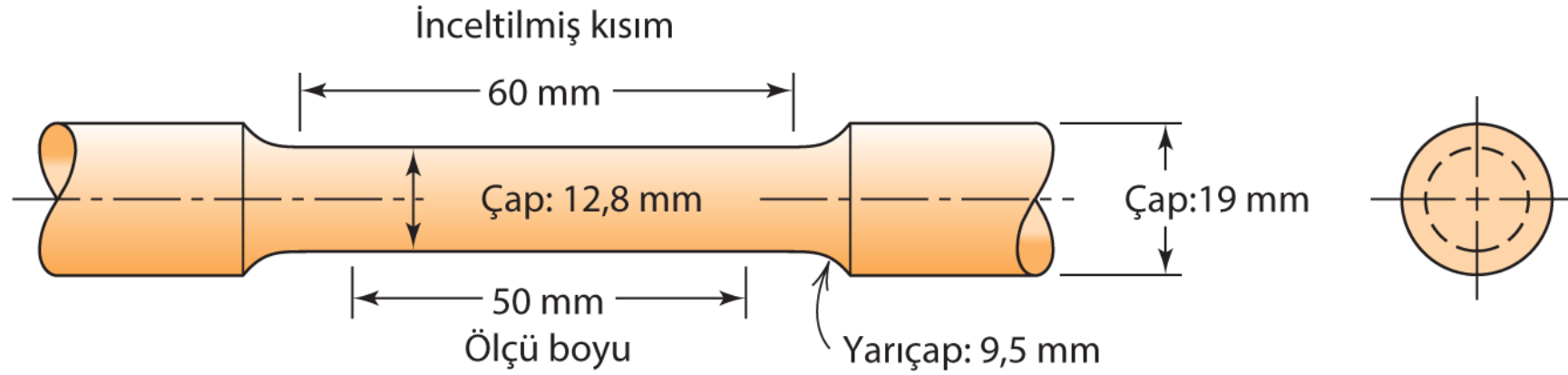
Şekil 6.1

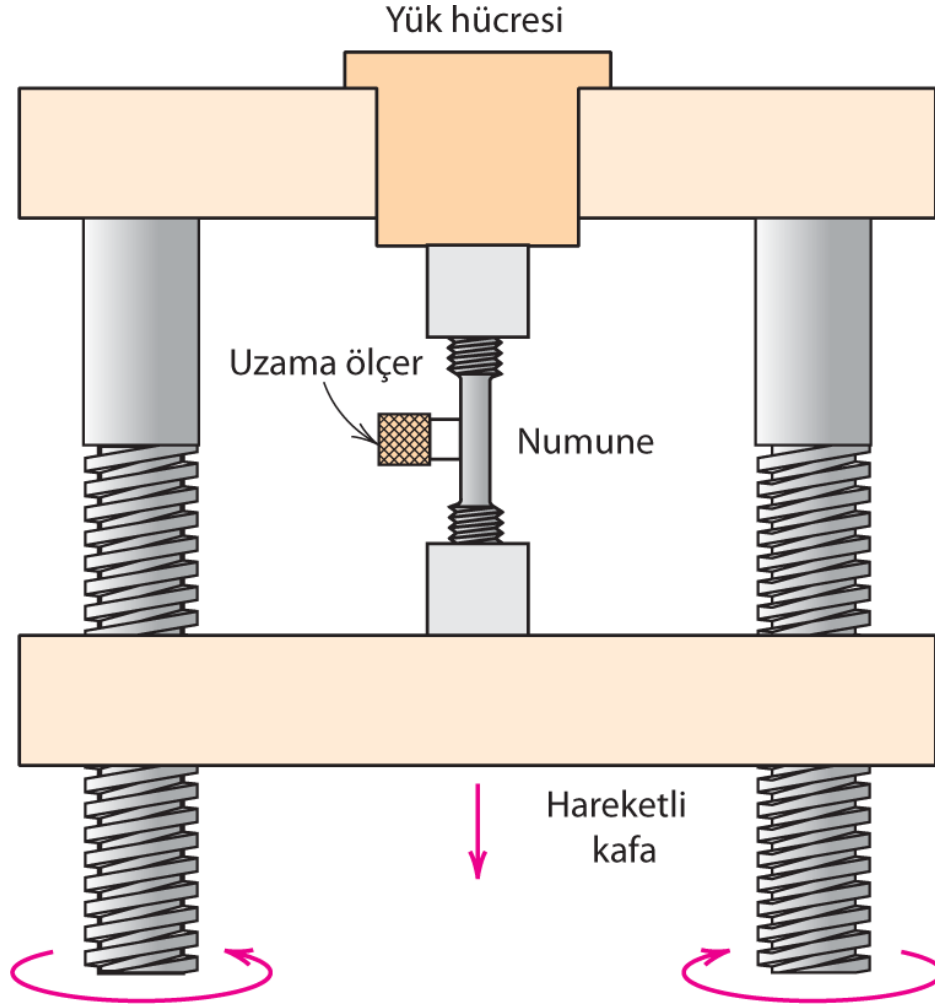
- (a) Çekme yükü altında oluşan uzama ve pozitif birim şekil değişiminin, (b) basma yükü altında oluşan kısalma ve negatif birim şekil değişiminin, (c) γ , kayma birim şekil değişiminin, $\gamma = \tan \theta$. (d) uygulanan bir T burulma momentinin neden olduğu burulma deformasyonunun (dönme açısı, ϕ) şematik olarak gösterilişi. Şekillerde kesikli çizgiler deformasyondan önceki, sürekli çizgiler ise deformasyondan sonraki şekli göstermektedir.

Çekme Deneyi

Şekil 6.2

Dairesel kesitli
standart bir çekme
numunesi





Şekil 6.3 Çekme deneyi cihazının şematik olarak gösterilişi. Numune boyu hareketli kafa tarafından uzatılmakta, yük hücresi ve uzama ölçer (ekstansometre) sırasıyla uygulanan kuvvetinin büyüklüğünü ve uzama miktarını ölçmektedir. (H.W. Hayden, W. G. Moffatt, and J. Wulff, *The Structure and Properties of Materials*, Vol. III, *Mechanical Behavior*, p. 2. (1965) Yayın hakkı John Wiley & Sons Firmasına aittir. John Wiley & Sons Firmasının izni ile basılmıştır.)

- Geometriden kaynaklanan etkileri en aza indirmek için yük ve uzama, sırasıyla **mühendislik gerilmesi** ve **mühendislik birim şekil değişimi** parametreleri elde etmek üzere normalize edilir. Mühendislik gerilmesi σ ,

Çekme ve basma zorlanmasında mühendislik gerilmesinin tanımı

$$\sigma = \frac{F}{A_0}$$

(6.1)

- Mühendislik birim şekil değişimi ise

Çekme ve basma
zorlanmasında
mühendislik birim
şekil değişiminin
tanımı
ile tanımlanır.

$$\epsilon = \frac{l_i - l_0}{l_0} = \frac{\Delta l}{l_0} \quad (6.2)$$

Basma Deneyi

- Servis (çalışma) koşullarında yükler basma türünde ise basma zorlanmasında gerilme birim şekil değişimi verilerinin elde edildiği basma deneylerinden yararlanır. Basma deneyi, kuvvetin basma olması ve numunenin gerilme eksenine boyunca sıkıştırılması dışında, çekme deneyine benzer şekilde yapılır.

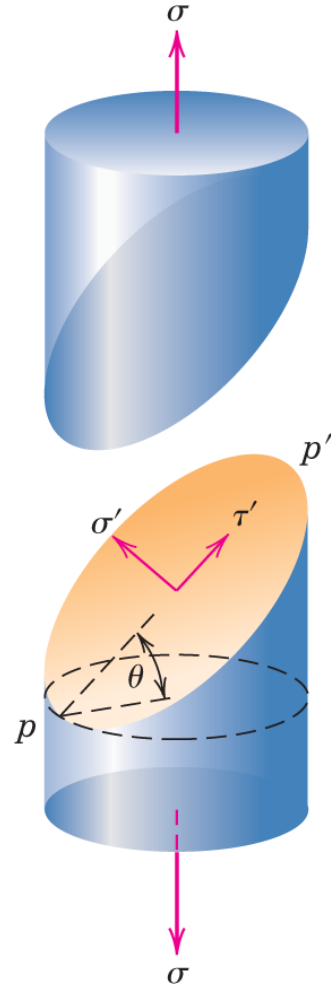
Kayma ve Burulma Deneyleri

- [Şekil 6.1c](#)'de görüldüğü gibi saf kayma kuvveti kullanılarak yapılan bir deneyde kayma gerilmesi τ ,

Kayma gerilmesinin
(tanımı)ır.

$$\tau = \frac{F}{A_0} \quad (6.3)$$

Gerilme Halinin Geometrik Yönden Değerlendirilmesi



Şekil 6.4 Uygulanan saf çekme gerilmesinin dik olarak etkidiği düzlemle θ açısı yapan bir düzlem üzerindeki normal (σ') ve kayma (τ') gerilmelerinin şematik olarak gösterimi

Elastik Şekil Değişimi

6.3 GERİLME-BİRİM ŞEKİL DEĞİŞİMİ DAVRANIŞI

Hooke Kanunu- elastik şekil değiştirmede (çekme veya basma) mühendislik gerilmesi ile mühendislik birim şekil değişimi arasındaki ilişki

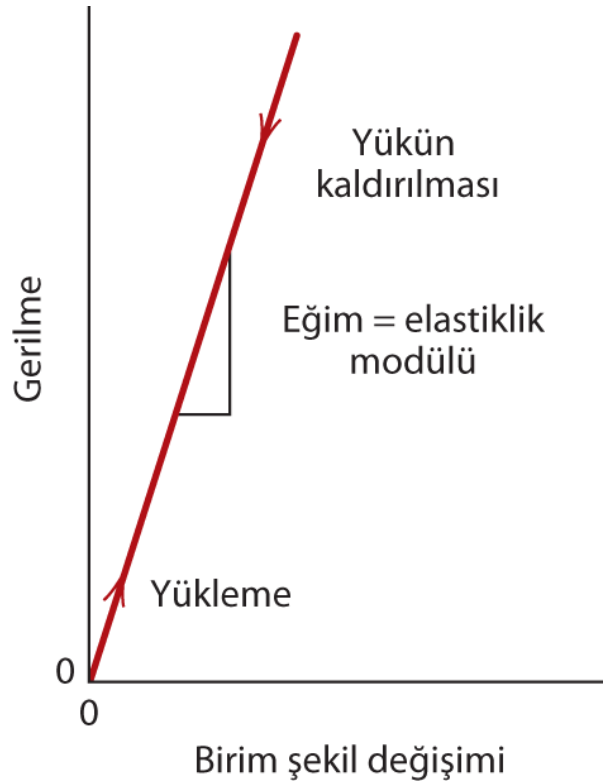
$$\sigma = E\epsilon \quad (6.5)$$

- Hooke Kanunu olarak bilinen bu denklemdeki E orantı sabiti (GPa) **elastiklik modülü** veya *Young modülü* olarak adlandırılır.

Tablo 6.1 Çeşitli Metallerin Oda Sıcaklığındaki, Elastiklik ve Kayma Modülleri ile Poisson Oranları

<i>Metal Alaşım</i>	<i>Elastiklik</i>	<i>Kayma Modülü</i>	<i>Poisson Oranı</i>
	<i>Modülü</i>	<i>Modülü</i>	
	<i>GPa</i>	<i>GPa</i>	
Alüminyum	69	25	0,33
Pirinç	97	37	0,34
Bakır	110	46	0,34
Magnezyum	45	17	0,29
Nikel	207	76	0,31
Çelik	207	83	0,30
Titanyum	107	45	0,34
Volfram	407	160	0,28

- Gerilme ile orantılı olarak değişen Şekil değişimine (veya deformasyona) **elastik Şekil değişimi** adı verilir ve Şekil 6.5'te görüldüğü gibi, gerilme (düşey eksen) - birim Şekil değişimi (yatay eksen) eğrisi arasında doğrusal bir ilişki vardır.



Şekil 6.5 Yükün uygulanması ve ardından kaldırılması sırasında doğrusal elastik Şekil değişimini gösteren Şematik gerilme-birim Şekil değişimi diyagramı

- Kayma gerilmesi ve birim şekil değişimi

Elastik şekil değiştirmede kayma gerilmesi ile kayma birim şekil değişimi arasındaki ilişki

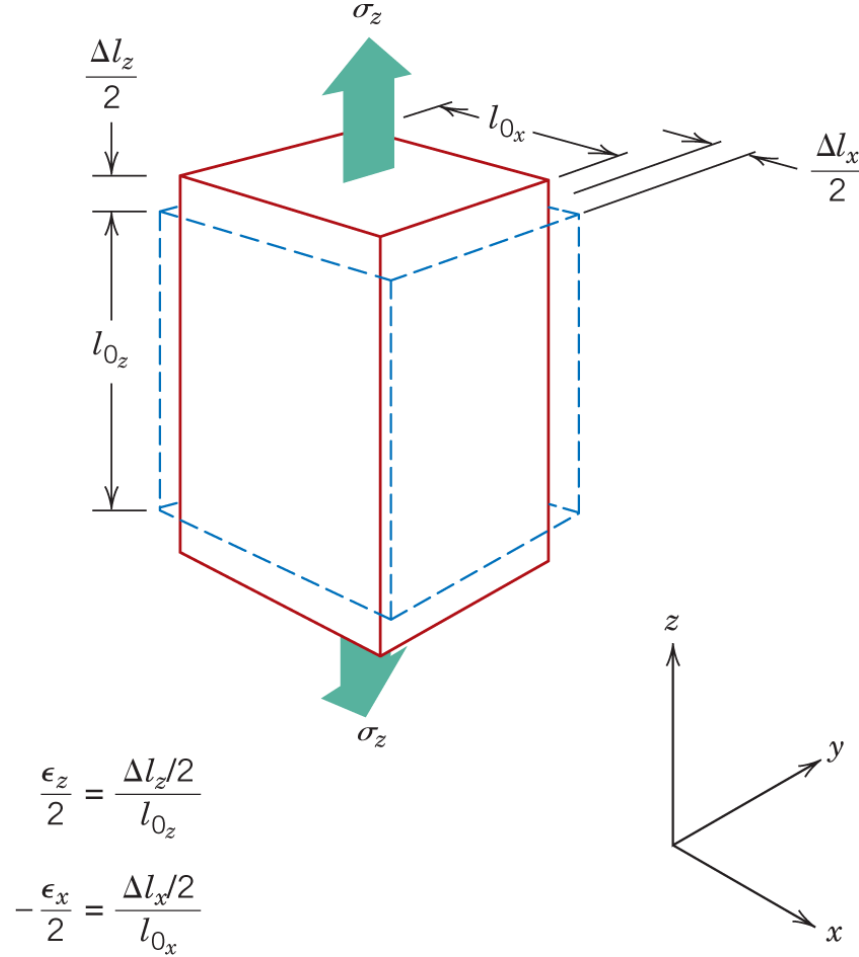
$$\tau = G\gamma \quad (6.7)$$

ifadesi gereğince birbirleriyle doğru orantılı olarak değişir, burada G kayma modülü olup kayma gerilmesi-birim şekil değişimi grafiğinde doğrusal bölgedeki eğrinin eğimine eşittir.

6.4 ANELASTİKLİK

- Gerilmenin uygulanması sonrasında, elastik şekil değişimi bir miktar devam eder ve yük kaldırıldıktan sonra elastik şekil değişiminin tamamen geri dönebilmesi için belirli bir sürenin geçmesi gerekir. Bu şekilde zamana bağlı olarak meydana gelen elastik davranış **anelastiklik** olarak bilinir.

6.5 MALZEMELERİN ELASTİK ÖZELLİKLERİ



Şekil 6.9 Uygulanan çekme gerilmesine karşılık olarak parçada oluşan aksenal (z) uzama (pozitif şekil değişimi) ve yanal daralma (negatif şekil değişimi). Sürekli çizgi gerilmenin uygulandığı andaki, kesikli ise gerilmenin uygulanmadan önceki boyutunu göstermektedir.

- **Poisson oranı** olarak adlandırılan ν parametresi, yanal doğrultudaki birim şekil değişiminin, aksenal doğrultudaki birim şekil değişimine oranı olarak tanımlanır.

Poisson oranının
yanal ve aksenal şekil
değişimleri cinsinden
tanımı

$$\nu = -\frac{\epsilon_x}{\epsilon_z} = -\frac{\epsilon_y}{\epsilon_z} \quad (6.8)$$

- İzotropik malzemeler için kayma ve elastik modülleri arasında Poisson oranına göre aşağıdaki gibi bir ilişki vardır:

Elastiklik modülü,
kayma gerilmesi
ve Poisson oranı
arasındaki ilişki

$$E = 2G(1 + \nu) \quad (6.9)$$

Plastik Deformasyon

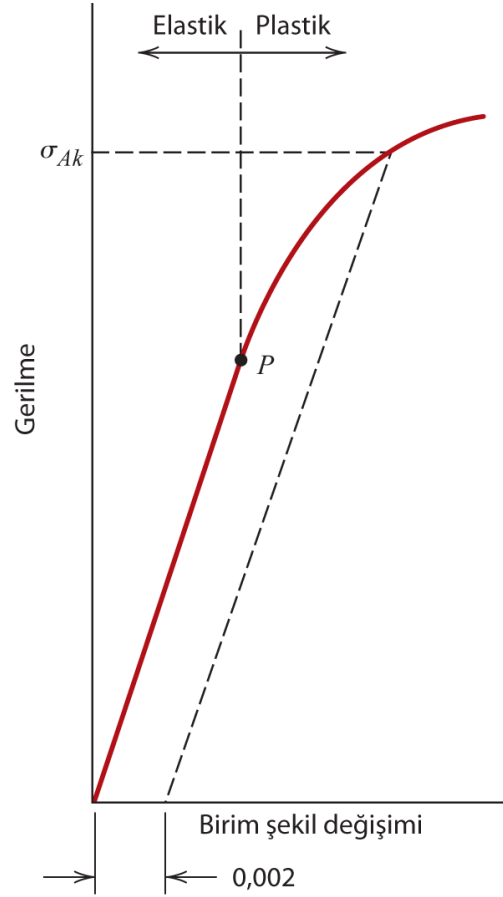
- Birçok metallik malzemedede elastik davranış yaklaşık 0,005 birim şekil değişimi miktarına kadar devam eder. Malzeme bu noktadan daha fazla deforme edildiğinde, artık gerilme ile birim şekil değişimi arasındaki orantılı değişim ortadan kalkar ([Hooke Kanunu-Denklem 6.5](#) geçerliliğini yitirir) ve kalıcı yani geri dönmeyen, **plastik deformasyon** oluşur.

6.6 ÇEKME ÖZELLİKLERİ

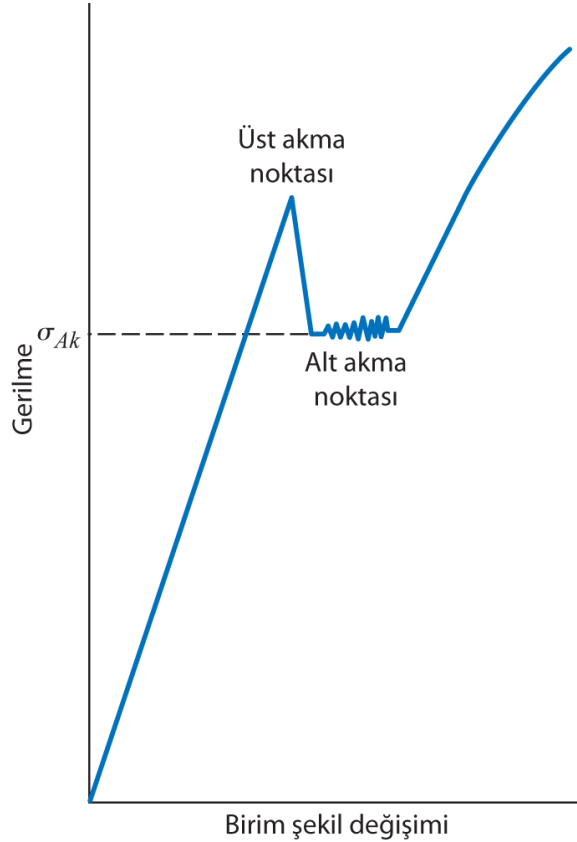
Akma Olayı ve Akma Dayanımı

- Yapıların birçoğu gerilme altında sadece elastik şekil değiştirecek şekilde tasarlanır. Plastik deforme olan (kalıcı şekil değiştiren) bir yapı veya parça kendisinden beklenen görevi yerine getiremez. Bu nedenle, plastik deformasyonun başladığı gerilmenin, yani **akma**nın nerede gerçekleştiğinin bilinmesi istenir.

- Şekil 6.10a'da P noktası olarak gösterilen ve **orantı sınırı** olarak adlandırılan bu gerilme değeri, mikro ölçekte plastik deformasyonun başladığını gösterir.



(a)



(b)

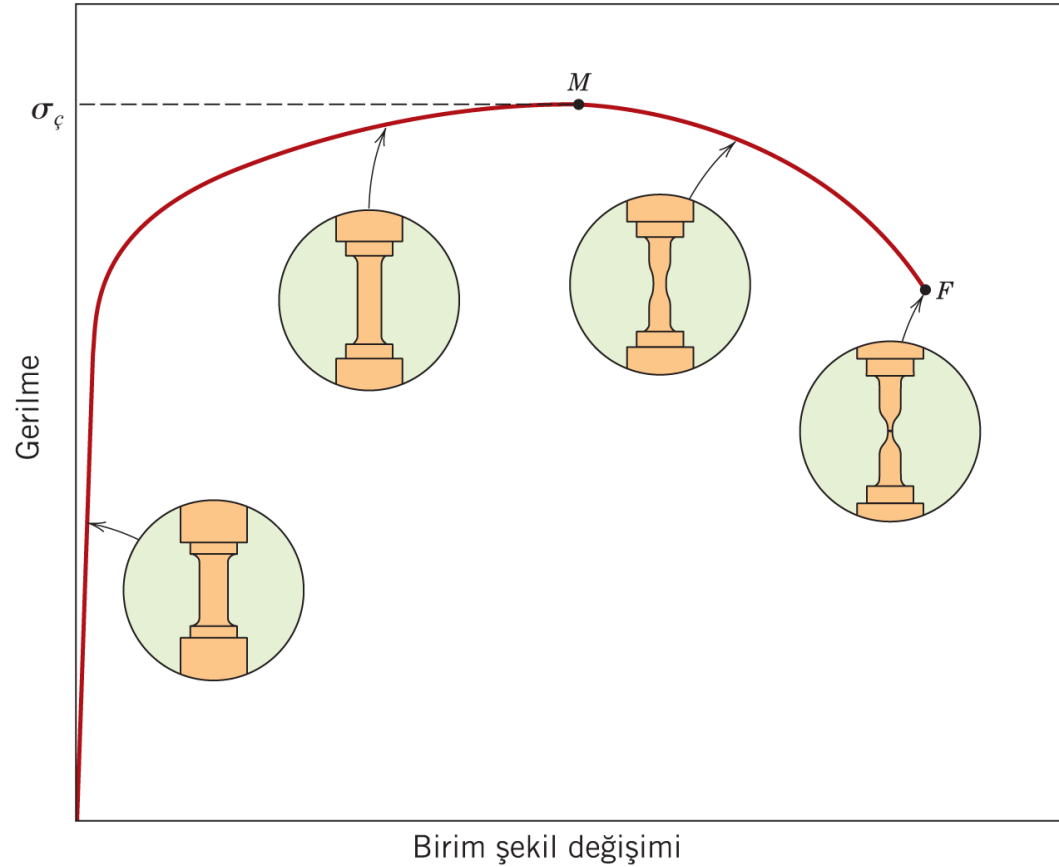
Şekil 6.10

(a) Bir metale ait elastik ve plastik deformasyonu gösteren tipik bir gerilme-birim şekil değişimi eğrisi, orantı sınırı P ve 0,002 birim şekil değişimi yöntemi kullanılarak belirlenen σ_{Ak} akma dayanımı. (b) Belirgin akma davranışı sergileyen bazı çeliklerdeki gerilme-birim şekil değişimi eğrisine tipik bir örnek

- Çizilen doğrunun gerilme-birim şekil değişimi eğrisini kestiği noktaya karşılık gelen gerilme, akma dayanımı, σ_{Ak} olarak tanımlanır. Doğal olarak **akma dayanımı** MPa cinsinden ifade edilir.

Çekme Dayanımı

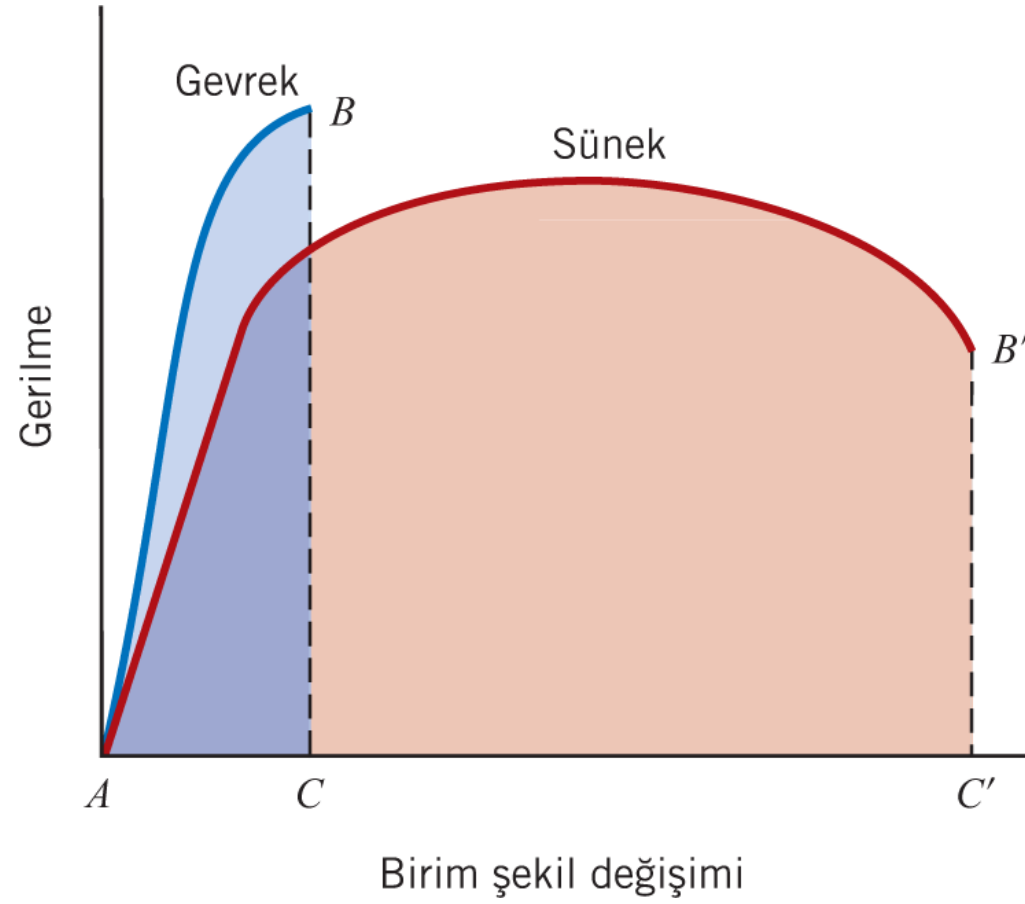
- **Çekme dayanımı (ÇD)** σ_{ζ} (MPa), mühendislik gerilmesi-birim şekil değişimi eğrisindeki maksimum gerilmedir (Şekil 6.11).



Şekil 6.11 Kopma noktası F 'e kadar, tipik bir mühendislik gerilmesi-birim şekil değişimi eğrisi. Çekme dayanımı ζD , M noktasında gösterilmiştir. Şekil içi dairesel gösterimlerde ise numunenin şekil değiştirmesi sırasında, eğri boyunca farklı noktalarda alacağı geometri şematik olarak gösterilmiştir.

Süneklik

- **Süneklik**, bir diğer önemli mekanik özellik olup, kırılmaya kadar malzemede oluşabilecek plastik deformasyonun miktarının bir ölçüsüdür.
- Kırılmaya kadar çok az veya hiç plastik deformasyon göstermeyen malzemeler *gevrek* olarak adlandırılır.



Şekil 6.13 Kopana dek yüklenmiş gevrek ve sünek metallere ait çekme gerilmesi-birim şekil değişimi eğrilerinin şematik gösterimi

Yüzde uzama
cinsinden süneklik

$$\%UZ = \left(\frac{l_k - l_0}{l_0} \right) \times 100 \quad (6.11)$$

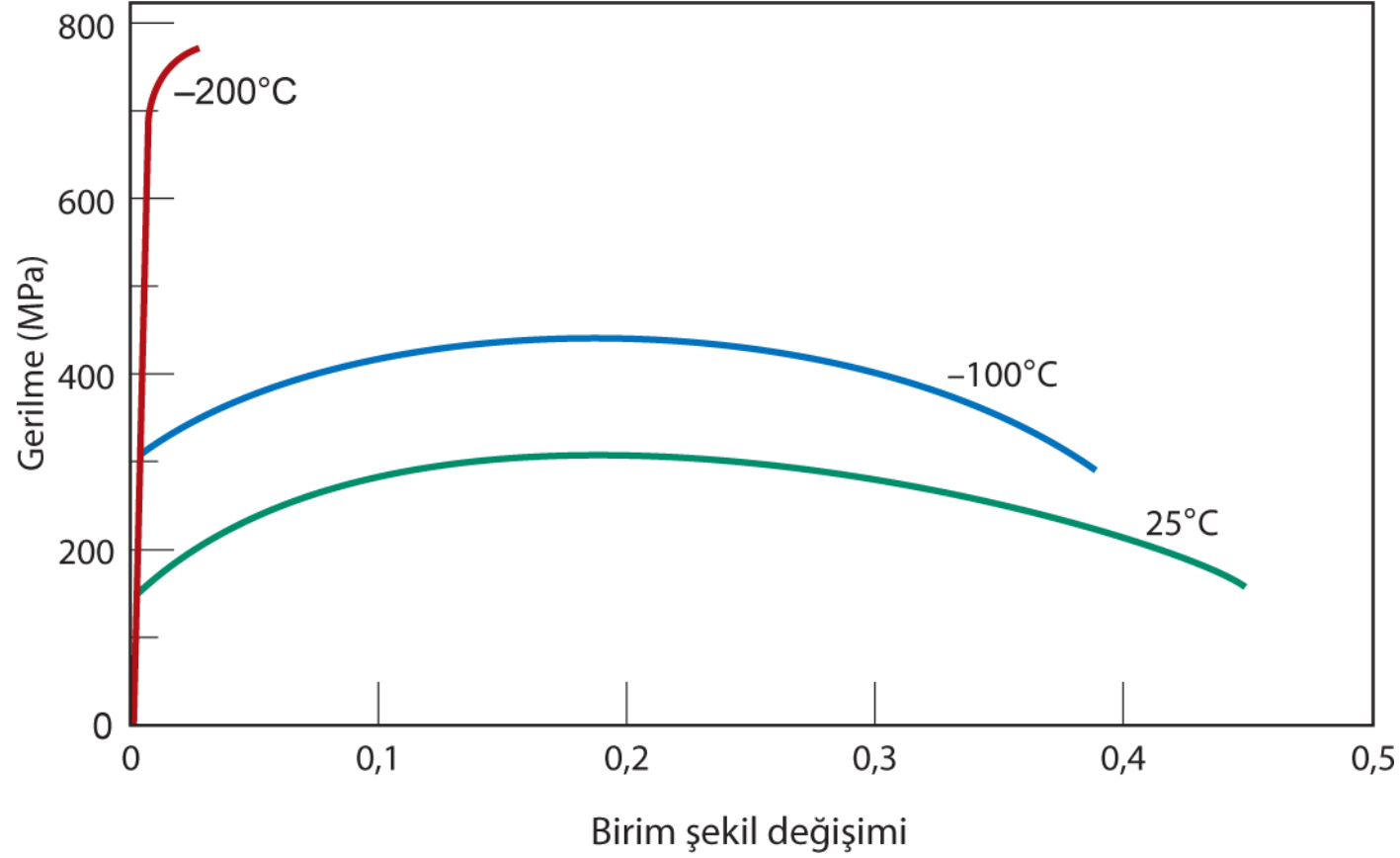
Yüzde kesit daralması
cinsinden süneklik

$$\%KD = \left(\frac{A_0 - A_k}{A_0} \right) \times 100 \quad (6.12)$$

Table 6.2 Tavlannmış Durumları İçin Çeşitli Metal ve Alaşımların Tipik Mekanik Özellikleri

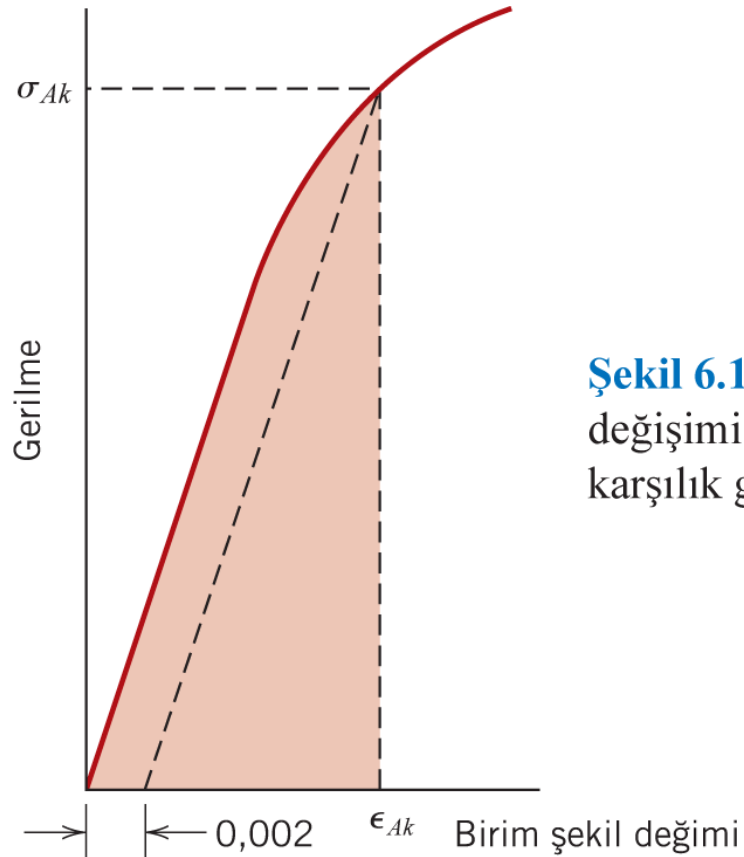
<i>Metal Alaşım</i>	<i>Akma Dayanımı, MPa</i>	<i>Çekme Dayanımı, MPa</i>	<i>Süneklik, %UZ [50 mm]</i>
Alüminyum	35	90	40
Bakır	69	200	45
Pirinç (70Cu–30Zn)	75	300	68
Demir	130	262	45
Nikel	138	480	40
Çelik (1020)	180	380	25
Titanyum	450	520	25
Molibten	565	655	35

Şekil 6.14 Demirin
üç farklı sıcaklıktaki
mühendislik gerilmesi
– birim şekil değişimi
eğrisi



Rezilyans

- **Rezilyans** bir malzemenin elastik şekil değiştirme sırasında enerji absorbe etme ve sonra, yük boşaltıldığında bu enerjiyi geri verebilme kabiliyetidir.



Şekil 6.15 Malzemenin mühendislik gerilmesi-birim şekil değişimi eğrisinden rezilyans modülünün (gölgelendirilmiş alana karşılık gelen) nasıl belirlendiğini gösteren şematik gösterim grafik

Tokluk

- **Tokluk**, mekanikle ilgili bir terim olup birkaç durumda kullanılır. İlk olarak, tokluk daha özel adıyla, kırılma tokluğu, çatlağın (veya gerilme yığılmasına yol açan bir kusur) bulunması durumunda malzemenin kırılmaya karşı direncini gösteren bir özelliktir.
- Tokluk, bir malzemenin kırılmadan enerji absorbe etme ve plastik şekil değiştirme kabiliyeti olarak da tanımlanabilir.

6.7 GERÇEK GERİLME VE GERÇEK BİRİM ŞEKİL DEĞİŞİMİ

- **Gerçek gerilme** σ_g , F yükünün uygulandığı andaki gerçek kesit alanına A_i bölünmesi ile hesaplanır.

Gerçek gerilmenin tanımı

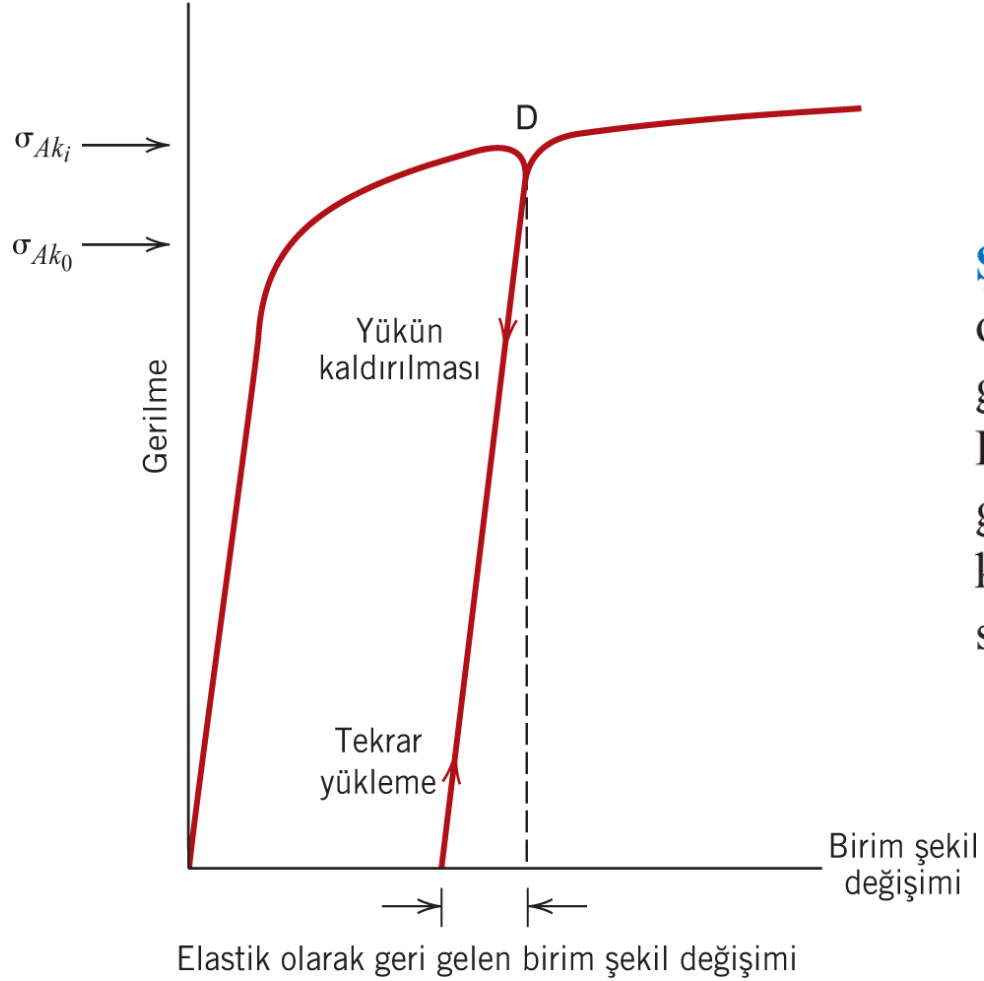
$$\sigma_g = \frac{F}{A_i} \quad (6.15)$$

- **Gerçek birim şekil değişimi** ise aşağıdaki gibi hesaplanır:

Gerçek birim şekil değişiminin tanımı

$$\epsilon_g = \ln \frac{l_i}{l_0} \quad (6.16)$$

6.8 PLASTİK DEFORMASYON SONRASI ELASTİK GERİ DÖNÜŞ



Şekil 6.17 Elastik geri gelme (dönme) olayını gösteren şematik mühendislik gerilmesi-birim şekil değişimi diyagramı. Başlangıç akma dayanımı σ_{Ak_0} olarak gösterilmiş; σ_{Ak_i} ise D noktasından yükün kaldırılması ve tekrar uygulanması sonrasındaki akma dayanımıdır.

6.9 BASMA, KESME VE BURULMA DEFORMASYONU

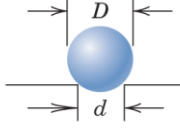
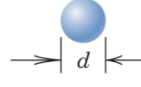
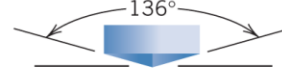

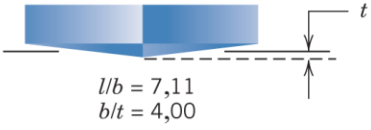
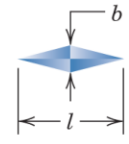
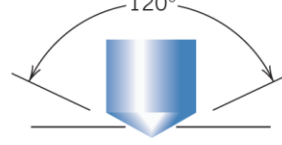

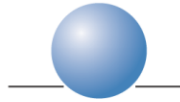

- Doğal olarak metaller, basma, kesme ve burulma yüklerinin etkisi altında da plastik şekil değiştirir. Plastik bölgede sergiledikleri gerilme-birim şekil değişimi davranışları çekme zorlanmasındakine benzerdir.

6.10 SERTLİK

- Dikkate alınması gereken bir başka mekanik özellik de **sertlik**dir. Sertlik, malzemenin yerel (bölgesel) plastik deformasyona (Örn.: batma veya çizilmeye) karşı gösterdiği direncin bir ölçüsüdür.

Rockwell Sertlik Ölçme Yöntemleri

Tablo 6.5 Sertlik Ölçme Yöntemleri

Yöntem	Batıcı Uç	Batıcı Uç Şekli		Yük	Sertlik Değerine Ait Formül ^a
		Yan Görünüş	Üst Görünüş		
Brinell	10 mm çaplı küresel çelik veya tungsten karbür			P	$BSD = \frac{2P}{\pi D [D - \sqrt{D^2 - d^2}]}$
Vickers mikrosertlik	Elmas piramit			P	$VSD = 1,854P/d_1^2$
Knoop mikrosertlik	Elmas piramit			P	$KSD = 14,2P/l^2$
Rockwell ve Rockwell-Yüzey	Elmas koni 1,588, 3,175, 6,350, ve 12,7 mm çaplı çelik küre			60 kg	} Rockwell
				100 kg	
	150 kg				
				15 kg	} Rockwell-Yüzey
				30 kg	
				45 kg	

^aVerilen sertlik formüllerinde P'nin (uygulanan yük) birimi kg, D, d, d₁ ve l birimi ise mm'dir.

Kaynak: H.W. Hayden, W. G. Moffatt, and J. Wulff, *The Structure and Properties of Materials*, Vol. III, *Mechanical Behavior*. (1965) Yayın hakkı John Wiley & Sons Firmasına ait olup John Wiley & Sons Firmasının izni ile basılmıştır.

Tablo 6.6a Rockwell Sertlik Skalaları

<i>Skala Sembolü</i>	<i>Uç</i>	<i>Ana yük (kg)</i>
A	Elmas	60
B	1,588 mm. bilya	100
C	Elmas	150
D	Elmas	100
E	3,175 mm bilya	100
F	1,588 mm bilya	60
G	1,588 mm bilya	150
H	3,175 mm bilya	60
K	3,175 mm bilya	150

Tablo 6.6b Rockwell-Yüzey Sertlik Skalaları

<i>Skala Sembolü</i>	<i>Uç</i>	<i>Ana yük (kg)</i>
15N	Elmas	15
30N	Elmas	30
45N	Elmas	45
15T	1,588 mm bilya	15
30T	1,588 mm bilya	30
45T	1,588 mm bilya	45
15W	3,175 mm bilya	15
30W	3,175 mm bilya	30
45W	3,175 mm bilya	45

Brinell Sertlik Ölçme Yöntemi

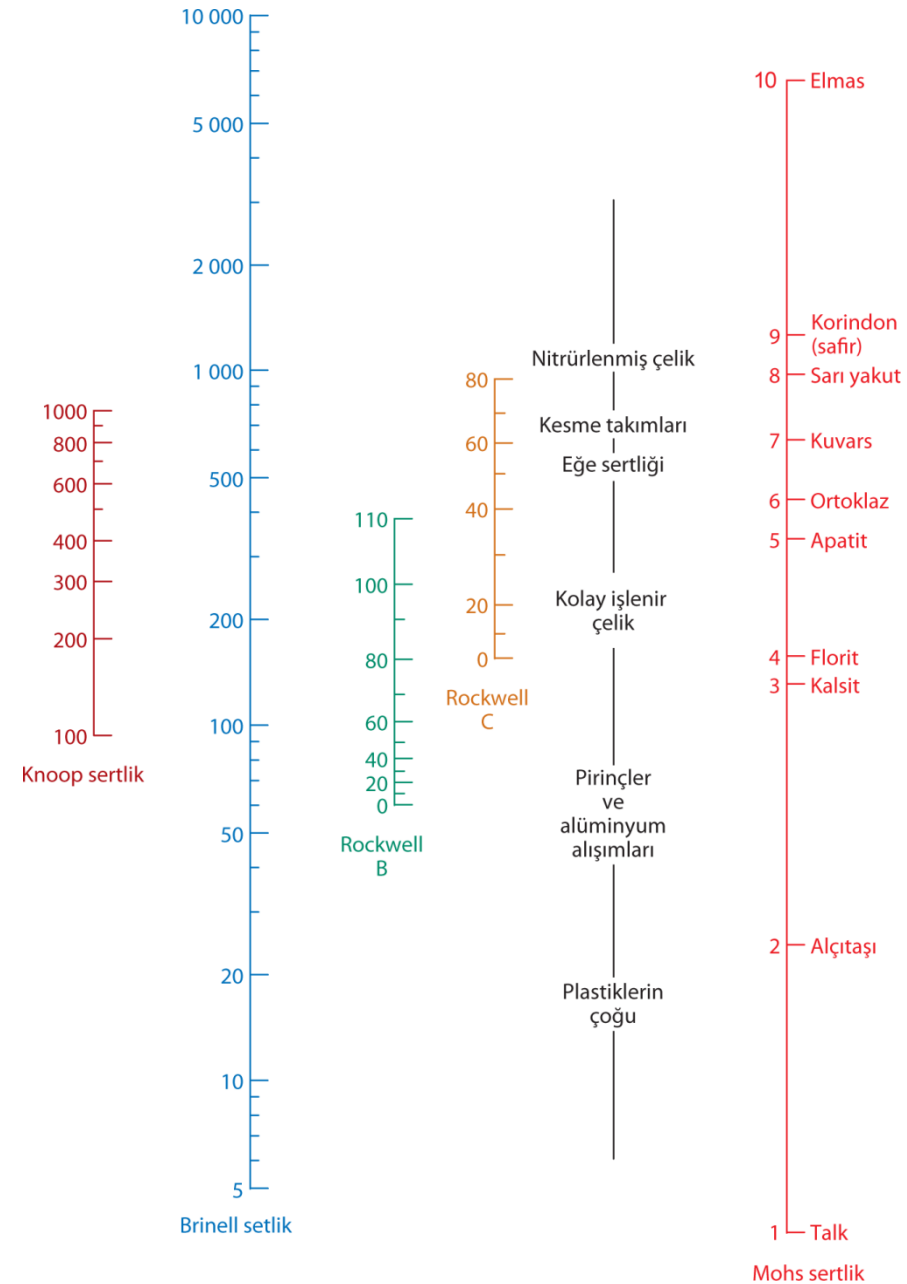
- Rockwell ölçümlerinin çoğunda olduğu gibi, Brinell deneylerinde de sert bir küresel uç metalin yüzeyine batması için zorlanır. Kullanılan sertleştirilmiş çelik (veya tungsten karbür) batıcı ucun çapı 10 mm'dir. Standart yük aralığı, 500 ile 3000 kg arasında, 500 kg artışlarla değişir ve deney sırasında yük belirli bir süre (10 ile 30 sn aralığında) boyunca sabit tutulur.
- Brinell sertlik değeri (BSD), uygulanan yükün ve ölçüm sonrası yüzeyde oluşan iz çapının bir fonksiyonudur (bk. [Tablo 6.5](#)).

Knoop ve Vickers Mikrosertlik Ölçme Yöntemleri

- Diğer iki sertlik ölçme yöntemi, **Knoop** (nup şeklinde telaffuz edilir) ve **Vickers**'dir. Vickers için bazen *elmas piramit* adı da kullanılır. Bu yöntemlerin her ikisinde de piramit geometrisine sahip çok küçük bir elmas uç, sertliği ölçülecek numunenin yüzeyine batırılmaya zorlanır. Uygulanan yükler, Rockwell ve Brinell'dekine göre çok daha küçük olup 1 ile 1000 g arasında değişir. Ölçüm sonrası yüzeyde oluşan izin boyutu mikroskop altında ölçülür ve daha sonra sertlik değerine çevrilir ([Tablo 6.5](#)).

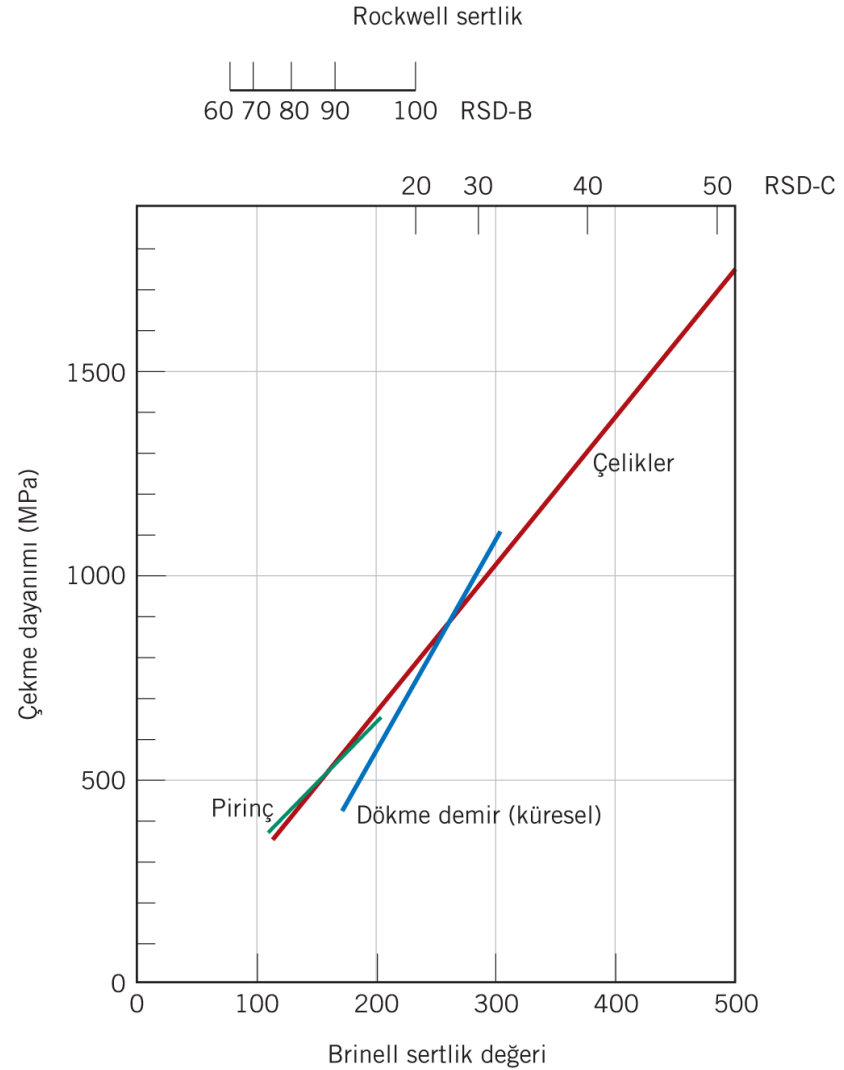
Sertlik Dönüşümü

Şekil 6.18
Çeşitli sertlik skalalarının karşılaştırılması (G. F. Kinney, *Engineering Properties and Applications of Plastics*, p. 202. (1957) Yayın hakkı John Wiley & Sons Firmasına ait olup John Wiley & Sons Firmasının izni ile basılmıştır.)



Sertlik ve Çekme Dayanımı Arasındaki İlişki

Şekil 6.19 Çelik, pirinç ve dökme demirler için sertlik ve çekme dayanımı arasındaki ilişkiler [*Metals Handbook: Properties and Selection: Irons and Steels*, Vol. 1, 9th edition, B. Bardes (Editor), American Society for Metals, 1978, p. 36 and 461 and *Metals Handbook: Properties and Selection: Nonferrous Alloys and Pure Metals*, Vol. 2, 9th edition, H. Baker (Editor), American Society for Metals, 1979, p. 327.]



6.12 TASARIM/EMNİYET FAKTÖRLERİ

- Daha az kritik olan statik durumlarda, tok malzemelerin kullanılması durumunda, ön görülen en büyük yükten hareketle hesaplanan gerilme seviyesi, σ_h ile bir tasarım faktörü N' 'nin çarpılmasıyla **tasarım gerilmesi** σ_t , belirlenir:

$$\sigma_t = N' \sigma_h \quad (6.23)$$

- Alternatif olarak, tasarım gerilmesinin yerine bir **emniyet gerilmesi** veya *işletme gerilmesi*, σ_{em} kullanılır. Emniyet gerilmesi, malzemenin akma dayanımını esas almaktadır ve akma dayanımının bir emniyet katsayısına (S) bölünmesi

Emniyet gerilmesinin
hesaplanması

$$\sigma_{em} = \frac{\sigma_{Ak}}{S} \quad (6.24)$$