

T.C.
GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK ve DOĞA BİLİMLERİ FAKÜLTESİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ DENEYLER 1
TAHRİBATLI MALZEME MUAYENESİ
(Çekme Deneyi)

Öğrenci No:

Adı Soyadı:

DENEY SORUMLUSU: Dr. Öğr. Üyesi Fatih ŞENASLAN

GÜMÜŞHANE 2022

TAHRİBATLI MALZEME MUAYENESİ

Malzeme muayenesi tahribatlı ve tahribatsız muayene yöntemleri olarak ikiye ayrılır. Tahribatlı muayene; malzemelerin çekme, basma, eğilme vb. kalıcı şekil değişikliklerine karşı göstereceği direnci ve dayanımı belirlemek için uygulanan muayene yöntemleridir. Tahribatsız muayeneler, malzemelerdeki iç bünve ve dış yüzey süreksizliklerinin, malzemenin fiziki yapısına zarar vermeden tespit edilmesini sağlar.

Malzemelerin kendine ait fiziksel, mekanik, ısı, elektriksel ve optik özellikleri vardır. Bu özellikler arasında, mekanik özellikler (çekme, basma ve eğme mukavemeti, rijitlik, elastisite, tokluk, süneklik, kırılma ve sertlik gibi) mühendislik uygulamalarında daha yaygın bir şekilde kullanılır.

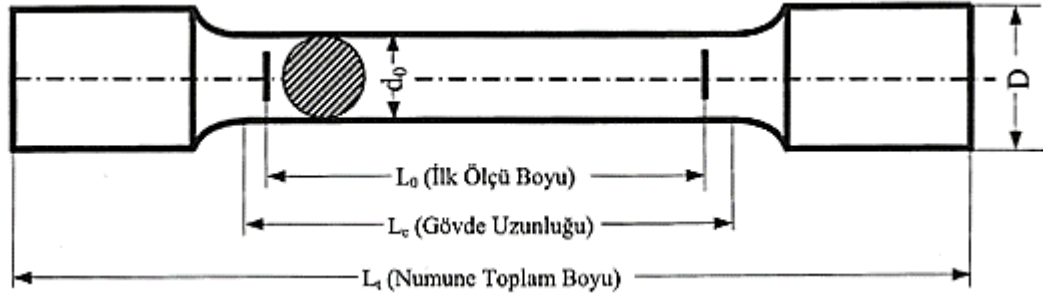
ÇEKME DENEYİ

Deneyin Amacı ve Önemi

Çekme deneyi, metal ve metal dışı malzemelerin statik yükleme koşulları altında mekanik özelliklerini belirlenebilmesi amacıyla yapılır. Diğer bir ifadeyle, her türlü konstrüksiyon, tasarım ve imalat aşamasında kullanılacak olan malzemenin seçimi için malzemelerin mekanik özelliklerini belirlenebilmesi amacıyla çekme deneyi uygulanır. Çekme deneyi, metal ve onların alaşımlarına, polimer, seramik ve kompozit malzemelere uygulanan en geleneksel ve en çok tercih edilen tahribatlı malzeme muayenesi deneyidir. Çekme deneyi en temel mekanik özelliklerin belirlenebileceği bir deney olması nedeniyle çeşitli tasarım, imalat ve mühendislik uygulamalarında uygun malzeme seçimi, malzemelerin gerekli kalite standardını sağlayıp sağlamadığı kontrolü, yeni malzeme ve proseslerin geliştirilmesi, farklı malzemeler ile kıyaslanması ve farklı çalışma koşullarında malzemelerin mekanik davranışlarının tespiti için büyük ölçüde kullanılmaktadır.

Çekme deneyi, standartlara göre hazırlanmış deney numunesinin tek eksen, belirli bir hızla ve sabit sıcaklıkta koparıncaya kadar çekilmesidir. Metal malzemelerin çoğunda bazı mekanik özellikleri belirlenebilmesi için EN ISO 6892-1 (2016) veya ASTM E8/E8M (2016) standardında belirlenmiş kurallar içinde çekme deneyleri yapılır. Bu standart, metalik malzemelerin çekme deneyi metodunu kapsar ve oda sıcaklığında tayin edilebilecek mekanik özellikleri tanımlar. Dökme demir, bazı demir olmayan metallerde ve metal olmayan malzemelerde (plastikler, seramikler, tekstil vb.) ise ayrı kurallar geçerlidir. Ayrıca ortam sıcaklık şartlarına göre kullanılan standartlar değişebilmektedir. Bu nedenle malzemelerin mekanik davranışlarını kıyaslayabilmek için çekme standardının doğru seçilmesi önemlidir.

Çekme deneyine tabi tutulacak yuvarlak numunelerin standartlara uygun şekil ve boyutları (EN 6892-1) Şekil 1’de verilmiştir. Tablo 1’de ise çapı 4 mm veya daha büyük olan tel, çubuk ve profil malzemeler için örnek bir çekme deney numunesinin ölçüleri verilmiştir.

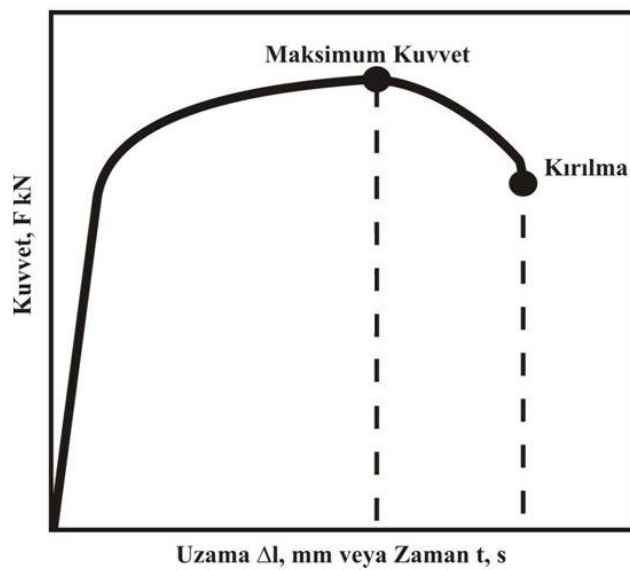


Şekil 1. Yuvarlak kesitli silindirik başlı çekme numunesi.

Tablo 1. Çapı 4 mm veya daha büyük daire kesitli çekme deneyi numunelerinin ölçüleri

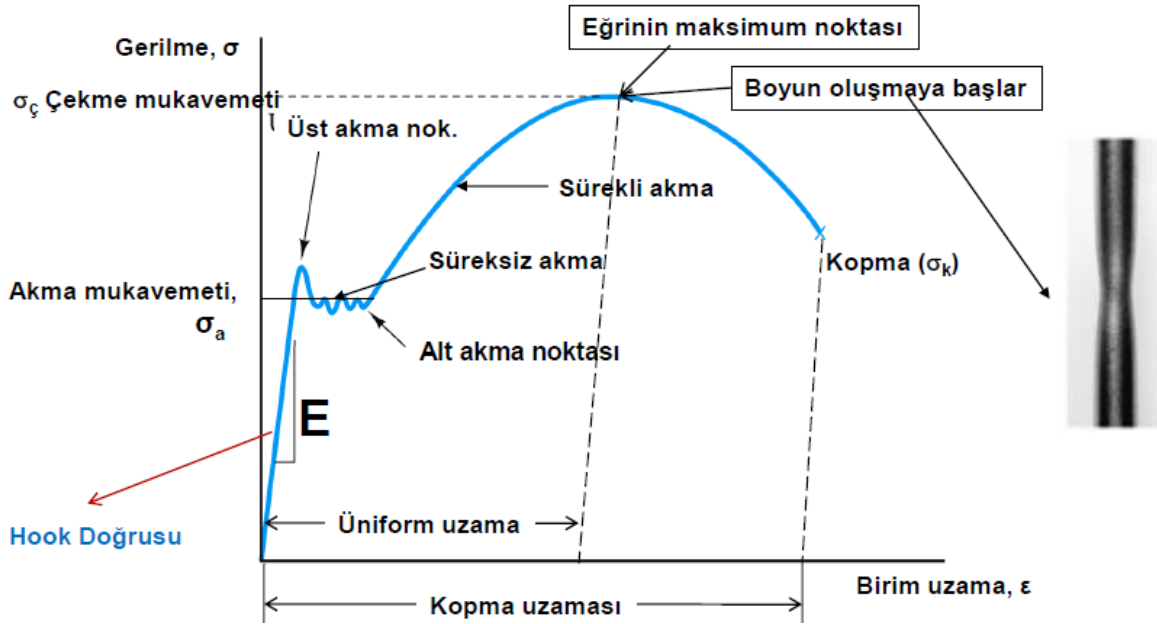
Numune Çapı d_0 mm	Kesit Alanı S_0 mm^2	Ölçü Boyu $L_0 = 5d_0$ mm	Gövde Boyu L_g mm	Toplam Boy $L_t > L_g + 2d_0$ mm
$5 \pm 0,040$	19,6	$25 \pm 0,25$	≥ 28	> 38
$10 \pm 0,075$	78,5	$50 \pm 0,5$	≥ 55	> 75
$20 \pm 0,150$	314,0	$100 \pm 1,0$	≥ 110	> 150

Çekme deneyinde, standartlara uygun olarak hazırlanmış bir deney numunesine tek eksenli ve sabit hızla artan bir çekme kuvveti uygulanır. Uygulanan eksenel kuvvet ile bu kuvvetin uygulanması sonucu numunenin boyunda meydana gelen uzama deney cihazı tarafından sürekli olarak kaydedilerek, Şekil 2’de görülen Kuvvet – Uzama eğrisi elde edilir.



Şekil 2. Kuvvet-Uzama veya Kuvvet-Zaman diyagramı

Kuvvet-Uzama eğrisi, çekme deneyi cihazlarının ürettiği ilk eğridir ve numuneye uygulanan kuvvet ile bu kuvvet neticesinde numune boyunda meydana gelen uzamayı gösterir. Ancak, çekme deneyi ile ilgili mekanik özelliklerin belirlenmesinde, bu eğri üzerinde görülen değerler doğrudan değil, belirli formüller yardımıyla yeni değerlere dönüştürülerek kullanılır. Söz konusu bu yeni değerler, “Gerilme” ve “Birim Şekil Değişimi” dir. Gerilme “ σ ” işareti ile gösterilir, birim alana düşen kuvveti ifade eder ve kuvvet– uzama eğrisindeki herhangi bir kuvvet değerinin, deney numunesinin orijinal (deney öncesindeki) kesit alanına bölünmesiyle elde edilir. Şekil 3’te bir Gerilme–Birim uzama eğrisini gösteren grafik verilmiştir. Tablo 2’de ise çekme deneyi ile ölçülebilen başlıca mekanik özellikler, onların sembolleri ve birimleri verilmiştir.



Şekil 3. Düşük karbonlu bir çelik için Gerilme-Uzama eğrisi

Tablo 2. Metallerde çekme deneyi ile ölçülebilen başlıca mekanik özellikler

Malzeme Değeri		Sembol	Birim
Çekme Dayanımı		R_m	N/mm^2 veya MPa
Akma Sınırları	Üst Akma Dayanımı (Üst Akma Sınırı)	R_{eH}	N/mm^2 veya MPa
	Alt Akma Dayanımı (Alt Akma Sınırı)	R_{eL}	N/mm^2 veya MPa
	% 0,2 Uzama Dayanımı (% 0,2 Uzama Sınırı)	$R_{p0.2}$	N/mm^2 veya MPa
Kopma Uzaması		$A (e)$	%
Kopma Büzülmesi		Z	%
Üniform uzama		A_g	%
Elastisite Modülü		E	kN/mm^2 veya GPa
Akma sınırı Uzaması		A_e	%

Çekme deneyi sonucunda elde edilen veriler, doğrudan mühendislik hesaplarında kullanılır. Çekme deneyi ile ilgili semboller ve açıklamaları Tablo 3'te verilmiştir. Bu tablodan gerekli mekanik özellikler hesaplanabilir.

Tablo 3. Çekme deneyi ile ilgili semboller ve açıklamaları

Sembol	BİRİM	AÇIKLAMA
σ	N/mm ²	Gerilme (genel anlamda normal gerilme)
a	mm	Yassı numunenin kalınlığı (veya boru et kalınlığı)
b	mm	Yassı numunenin gövde genişliği
B	mm	Yassı numunenin baş genişliği
d	mm	Daire kesitli numunenin gövde çapı
D	mm	Daire kesitli numunenin baş çapı (veya boru dış çapı)
L ₀	mm	Numune üzerine deney öncesi işaretlenen ilk ölçü boyu
L _U	mm	Kopmada işaretli çizgiler arasında kalan son ölçü boyu
ΔL	mm	Uzama: $\Delta L = L - L_0$, kopmada: $\Delta L_m = L_U - L_0$
ε *)	-	Uzama oranı: $\varepsilon = \Delta L / L_0$
100 ε	%	Birim uzama = $(\Delta L / L_0) \cdot 100$
L _C	mm	Gövde boyu
L _t	mm	Numunenin toplam uzunluğu
S ₀	mm ²	Gövdenin ilk kesit alanı
S _U	mm ²	Kopmada gövdenin büzüldüğü yerdeki en küçük kesit alanı
A	%	Kopma uzaması (orantılı kısa numunede: $L_0 = 5,65 \sqrt{S_0}$) $A = (\Delta L_m / L_0) \times 100$, burada $A = A_{5,65}$ alınmıştır.
A _{11,3}	%	Kopma uzaması (orantılı uzun numunede, yani yuvarlak çubuklarda $L_0 = 10d_0$ veya köşeli çubuklarda $L_0 = 11,3 \sqrt{S_0}$)
A _{50mm}	%	Kopma uzaması (ince sac numunelerde $L_0 = 50$ mm)
A _{80mm}	%	Kopma uzaması (ince sac uzun numunelerde $L_0 = 80$ mm)
A _e	%	Akma sınırı uzaması (belirgin akma sınırı olan numunelerde)
A _g	%	Üniform uzama (büzülme başlamadan önceki plastik uzama)
A _{gt}	%	Üniform toplam uzama (büzülme başlangıcından önceki uzama), $A_{gt} = A_g + A_e$
A _t	%	Kopmada toplam uzama: $A_t = \text{kopma uzaması} + A_e$
Z	%	Kopma büzülmesi: $Z = 100 \times (S_0 - S_U) / S_0$
R _m	MPa	Çekme dayanımı: $R_m = F_m / S_0$
R _{eH}	MPa	Üst akma sınırı: $R_{eH} = F_{eH} / S_0$
R _{eL}	MPa	Alt akma sınırı: $R_{eL} = F_{eL} / S_0$
R _{p0,2}	MPa	%0,2 uzama sınırı: $R_{p0,2} = F_{p0,2} / S_0$, (üst akma sınırı yerine)
μ	-	Poisson sayısı (veya çapraz kasılma). $\mu = \varepsilon_{enine} / \varepsilon_{boyuna}$
E	GPa	Elastisite modülü: $E = \tan \alpha = \sigma_e / \varepsilon_e$

*) : "Uzama oranı" ε çoğunlukla "birim uzama" veya sadece "uzama" olarak adlandırılır ve (%) birimiyle ifade edilir. Yani $\varepsilon = (\Delta L / L_0) \times 100$ alınmaktadır.

Çekme deneyi sonucunda numunenin temsil ettiği malzemeye ait aşağıdaki mekanik özellikler bulunabilir.

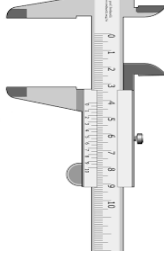
- Elastisite modülü
- Elastik sınır
- Rezilyans
- Akma dayanımı
- Çekme dayanımı

- Tokluk
- % Uzama veya birim uzama
- % Kesit daralması

ÇEKME DENEYİ YAPILIŞI VE AŞAMALARI

Çekme Deneyi için Gerekli Materyaller

- a) Üniversal bir çekme deney cihazı (video ekstansometreli)
- b) Çekme deneyi numunesi (yassı veya silindirik numune, en az 3 adet)
- c) Kumpas
- d) İşaretleme kalemi

a)	b)	c)	d)
			

Çekme deneyine başlamadan önce;

- Numune boyutları ölçülerek kayda geçilir (d ve $A_0=S_0$).
- İlk ölçü boyu L_0 numune üzerinde işaretlenir.
- Çekme deney cihazının çenelerine çekme numunesinin baş tipi ve ölçüsüne uygun tutucular (çeneler) yerleştirilir.
- Çekme numunesi, Çekme deneyi makinesinin çeneleri arasına düzgün ve ortalayacak bir şekilde sıkıştırılır.
- Çekme deney cihazının bilgisayarlı kontrol ünitesine deney numunesinin malzeme özellikleri, şekil ve boyutları girilir. Deney malzemesinin çekme standardına uygun çekme hızı belirlenerek cihaza set edilir. Belirlenen çekme hızında numune eksenî yönünde kopana kadar çekilir.

Çekme deneyi esnasında;

- Belirgin akma sınırı olan malzemelerde, kuvvetin üst akma sınırı noktasında geriye doğru döndüğü noktaya dikkat edilmelidir. Buradaki kuvvet F_{eH} (F_{akma}) olarak kayda geçilir. Deney esnasında ulaşılan maksimum kuvvet değeri F_m (F_{maks}) kayda geçilir. Maksimum kuvvet değerinden sonra varsa çekme numunesinde meydana gelen boyun verme oluşumu gözlemlenir.

Çekme deneyi sonunda;

- **Çekme Dayanımı:** Bir malzemenin kopuncaya veya kırılıncaya kadar dayanabileceği en yüksek gerilme değeridir. Çekme diyagramında (σ - ϵ) en büyük çekme kuvveti F_m 'nin karşılığındaki gerilme değeridir. Çekme dayanımı R_m , doğrudan makinenin kuvvet göstergesinden okunan en büyük çekme kuvveti F_{max} 'nin numunenin orijinal kesit alanına (A_0 veya S_0) bölünmesi ile bulunur.

$$\text{Çekme dayanımı } (\sigma_c, R_m) = \frac{F_{max}}{A_0}$$

- **Akma dayanımı:** Malzemenin elastik şekil değişiminden plastik şekil değişimine geçtiği sınır olarak tanımlanabilir. Çekme cihazının ekstansometresinden takip edilir. Daha az hassas durumlarda ise deney sonunda çekme diyagramından ölçülerek de çıkarılabilir. Akma sınırı değerlerinden belirgin akma sınırı olan malzemelerde (alaşımsız veya az alaşımlı çeliklerde belirgin akma sınırı vardır, Şekil 4) üst akma sınırı (veya üst akma dayanımı) R_{eH} ve belirgin akma sınırı olmayan malzemelerde ise %0,2 uzama sınır (veya %0,2 uzama dayanımı) $R_{p0,2}$ esasına göre belirlenir Şekil 5.

Belirgin akma gösteren malzemelerde:

$$\text{Akma dayanımı } (\sigma_a) = \frac{F_{üst akma}}{A_0}$$

Belirgin akma göstermeyen malzemelerde:

$$\text{Akma dayanımı } (\sigma_a, R_{p0,2}) = \frac{F(e = \%0,2)}{A_0}$$

- **Kopma uzaması (A):** Bu değer numune koparıldıktan sonra kopan parçalar tekrar bir araya getirilip ilk ölçü boyunun işaretlendiği çizgiler arası ölçülerek hesaplanır.
- **% Uzama** numunenin uzama miktarının orijinal uzunluğa oranının yüzde olarak ifadesidir. Bu değer ekstansometre tarafından veya koparma işleminden sonra numune kopmanın olduğu yerden birleştirilip son boy ölçümü yapılarak hesaplanır.

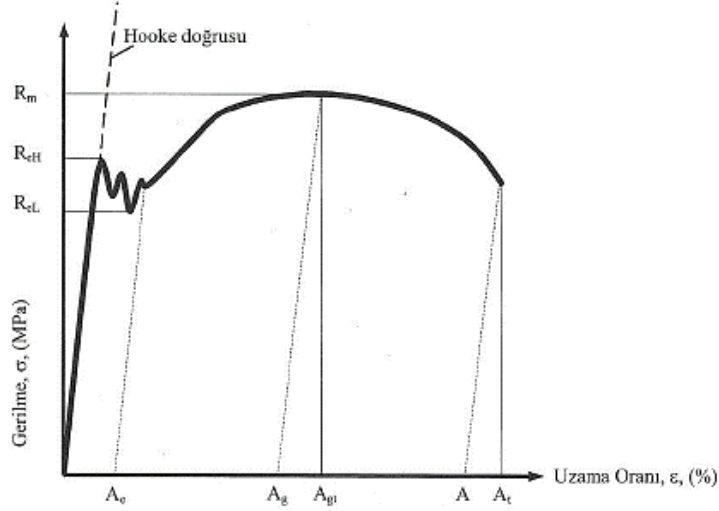
$$\% Uzama (\%e) = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100 = \frac{L_s - L_0}{L_0} \times 100$$

L_0 : çekme numunesinin ilk ölçü boyu,

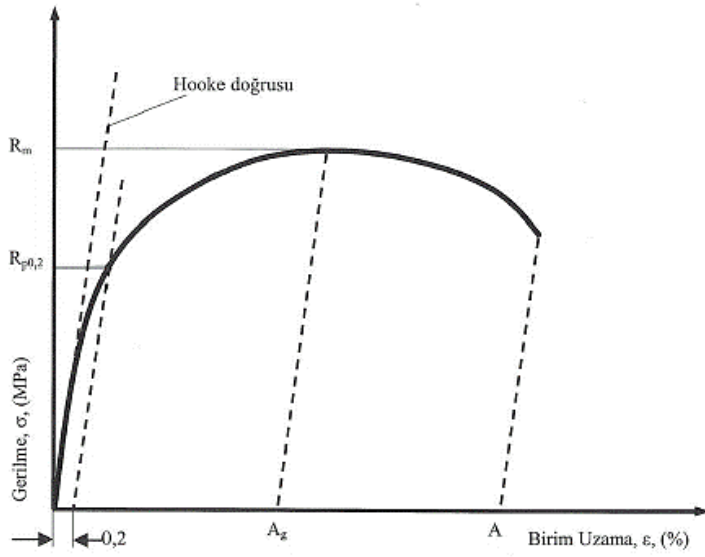
L_s : çekme numunesinin koptuktan sonraki son ölçü boyu, L_U

- **Üniform uzama (A_g):** Üniform uzama homojen plastik deformasyonun gerçekleştiği bölgeyede meydana gelen uzamayı temsil eder. A_g 'nin ve Akma Sınırı Uzaması A_e 'nin bulunması da çekme diyagramı üzerinden yapılabilir. Akma sınırı uzamasının

belirlenmesinde, Şekil 4’de gösterildiği gibi belirgin akma sınırı zikzaklarının bittiği noktadan Hooke doğrusuna paralel inilmekte, yani orada da elastik uzama kastedilen ve A_e ile gösterilen akma sınırı uzaması bir kalıcı uzama olarak gösterilmektedir. Akma sınırı uzaması, belirgin akma sınırı uzun olan bazı yassı çeliklerde önemli olabilir.



Şekil 4. Belirgin akması olan malzemelerin Gerilme–Birim Uzama diyagramı



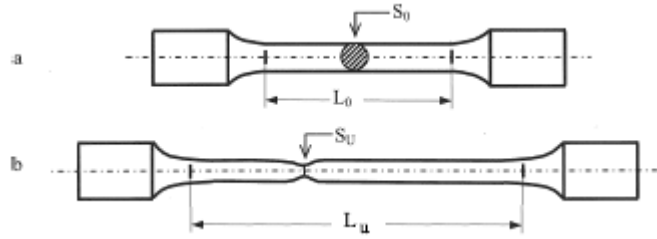
Şekil 5. Belirgin akması olmayan malzemelerin Gerilme–Birim Uzama diyagramı

- **Kesit Daralması** (Kopma Büzülmesi), Z değeri koparma işleminden sonra numune üzerinde kopmanın olduğu yerdeki en dar kesit (S_U) ölçülerek hesaplanır, Şekil6.

$$\text{Kesit daralması, } Z(\%) = \frac{\Delta A}{A_0} \times 100 = \frac{A_0 - A_s}{A_0} \times 100$$

A_0 : çekme numunesinin ilk kesit alanı, S_0

A_S : çekme numunesinin koptuktan sonraki en küçük kesit alanı, S_U



Şekil 6. Bir çekme deneyi numunesi, a: deneyden önce, b: kırıldıktan sonra

- **Elastisite Modülü (E):** Çekme diyagramındaki ilk doğrusal kısmın eğimine Elastisite Modülü veya Young Modülü denir. Elastisite modülünün hesaplandığı bölgede Hook Kanunu ($\sigma = E \times \varepsilon$) geçerlidir. Elastisite Modülü malzemelerin rijitlik ölçümüdür.

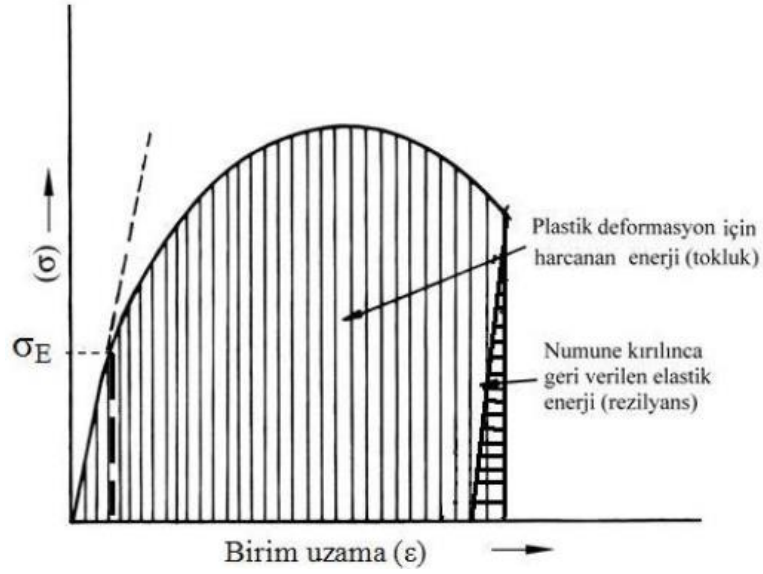
$$\tan a = E = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

- **Rezilyans:** Bir malzemenin elastik olarak şekil değiştirdiğinde absorbe ettiği enerjiyi, şekil değişimi yapan kuvvetin kalkmasıyla geri vermesi özelliğine rezilyans denir. Rezilyans, rezilyans modülü ile ölçülür ve çekme eğrisinin elastik sınıra kadar olan kısmı altında kalan alandır, Şekil 6.

$$\text{Rezilyans modülü } (U_R) = \frac{\sigma_a \cdot \varepsilon_a}{2} = \frac{\sigma_a^2}{2E}$$

- **Tokluk:** Malzemenin kırılıncaya kadar absorbe ettiği enerjidir. Bu enerji çekme eğrisinin altında kalan bölgeyi ifade etmektedir, Şekil 6. Tokluk genellikle gerilme birim uzama eğrisinin altında kalan alanın hesaplanması ile bulunur.

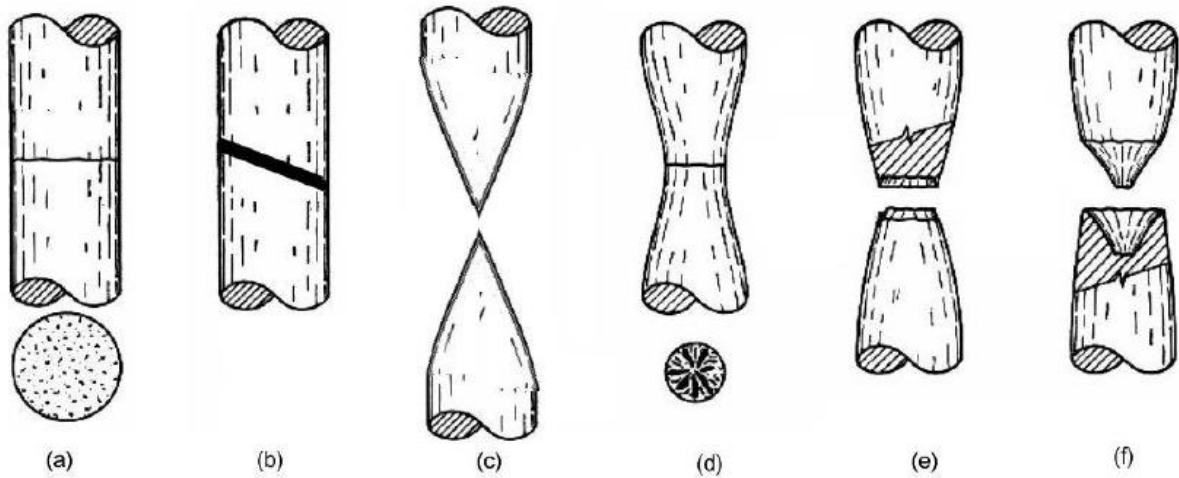
$$\text{Tokluk} = \int_0^{\varepsilon_k} \sigma_m \cdot d\varepsilon$$



Şekil 7. Gerilme-Birim uzama grafiğinde rezilyans ve tokluğu temsil eden alanlar

Çekme Deneyi Sonrası Oluşan Kırılma Şekilleri

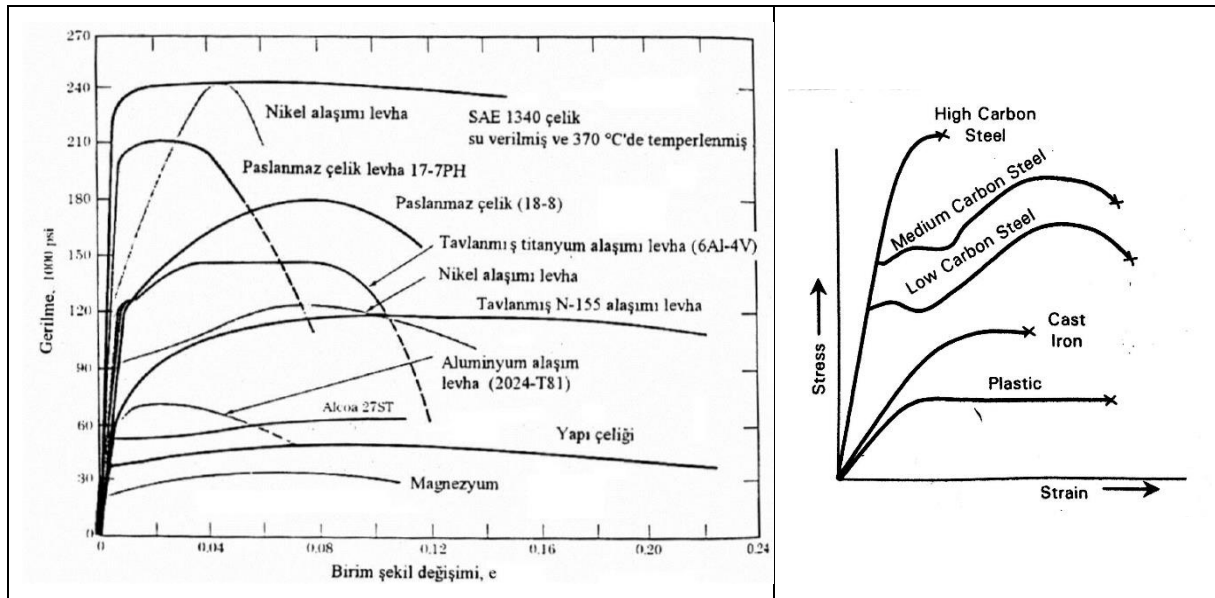
Metalik malzemelerin çekme deneyi sonrası kırılma şekillerinin ve yüzeylerinin incelenmesi malzemenin şekil değiştirme yeteneği ve süneklik davranışı hakkında önemli bilgiler verebilir. Düşük süneklığe sahip numunelerde meydana gelen gevrek kırılmada, numune neredeyse hiç plastik deformasyona uğramadan çekme eksenine dik bir doğrultuda kırılır (Şekil 8a). Kırılma yüzeyleri düz bir görünümdeydir. Lamel grafitli dökme demir ve bazı yüksek karbonlu çelikler bu tip bir kırılmaya örnek gösterilebilir. Bu şekilde kırılan numunelerin gerilme-birim şekil değişimi eğrisinde kırılmanın, elastik deformasyon bölgesinin hemen sonrasında meydana geldiği gözlemlenir.



Şekil 7. Çekme deneyi sonrası gözlenen farklı kırılma şekilleri

Sünek malzemelerde ise genellikle kırılmadan önce büyük oranda kesit daralması (boyun oluşumu) gözlemlenir. Bakır–aluminyum alaşımı gibi bazı metallerde ise sünek kırılmadan önce önemli oranda boyunlaşma gözlenmez, kırılma kalın deformasyon bantlarının kayması sonucu oluşur (Şekil 8b). Çok yüksek süneklığe sahip malzemelerde yüksek oranda boyun vermeden sonraki kırılma şekli Şekil 8c’deki gibidir. Şekil 8d’de görülen kırılma şekli, çoğunlukla ısıtıl işlem uygulanmış yüksek mukavemetli çeliklerde görülür ve kırılma yüzeyinde, yüzeyden merkeze doğru yıldız şeklinde oluşumlar görülür. Şekil 8(e ve f) ise koni-çanak tipi kırılma olarak bilinir ve tokluğu yüksek malzemelerde görülür. Bu tip kırılma, numunenin çevresi boyunca yüzeyden merkeze doğru 45° açıyla ilerler ve merkezde çekme eksenine dik düz bir kopma şeklinde meydana gelir. Şekil 8e’de görülen koni-çanak tipi kırılma sıcak haddelenmiş düşük karbonlu çeliklerde, Şekil 8f’de görülen koni-çanak tipi kırılma ise daha sünek, sıcak haddelenmiş çok düşük karbonlu çeliklerde gözlenir. Gevrek kırılma, herhangi bir boyun oluşumu veya gözle görülür bir plastik deformasyon belirtisi göstermeden ani bir şekilde meydana gelir. Bu durum herhangi bir konstrüksiyonda ciddi risklerin doğmasına sebep olduğundan gevrek malzemelerin kullanım alanlarının doğru seçilmesine büyük özen gösterilmelidir.

Şekil 9’de çekme deneyinde sünek ve gevrek davranış gösteren çeşitli mühendislik malzemelerine ait gerilme-birim şekil değiştirme eğrileri verilmiştir. Bu gerilme-birim şekil değişim eğrilerinde, malzemenin mukavemet ve süneklikle ilgili özelliklerinin yanısıra deformasyon sertleşmesi kabiliyeti hakkında da bilgi elde edilebilir.

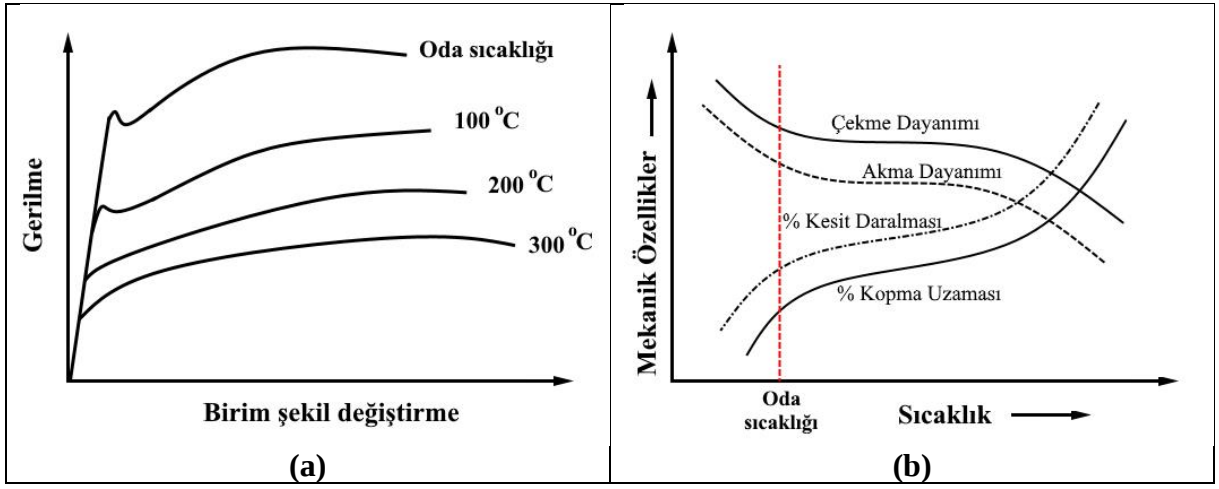


Şekil 9. Çekme deneyinde sünek ve gevrek davranış gösteren bazı mühendislik malzemelerine ait gerilme-birim şekil değişimi eğrileri

DENEY ŞARTLARININ ÇEKME DENEYİ SONUÇLARINA ETKİSİ

Sıcaklığın Çekme Deneyi Sonuçlarına Etkisi

Çekme deneyi cihazlarında, çene tertibatı arasına yerleştirilebilecek şekilde fırınlar mevcuttur. Bu fırınlar yardımıyla numunenin farklı sıcaklıklarda çekme deneyleri yapılabilir. Fırınlar yerine, soğutucu tertibatlar kullanılarak da oda sıcaklığından daha düşük sıcaklıklarda deney yapmak mümkündür. Farklı sıcaklıklarda deneye tabi tutulan aynı malzemeden hazırlanmış, aynı cins ve boydaki numunelerin çekme deneyi sonuçları farklılık gösterir (Şekil 10a). Genel olarak, sıcaklık arttıkça malzemenin mukavemeti azalır, sünekliği ise artar (Şekil 10b). Düşük sıcaklıklarda ise mukavemet ve kırılgnalık artar.



Şekil 10. (a) Gerilme–Birim şekil değiştirme eğrisinin sıcaklığa bağlı değişimi, **(b)** Mekanik özelliklerin sıcaklığa bağlı değişimi (çelikler için)

Deformasyon Hızının Çekme Deneyi Sonuçlarına Etkisi

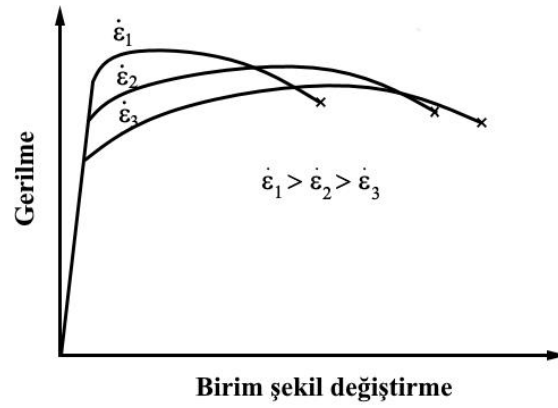
Deformasyonun numuneye uygulanma hızı, çekme deneyi sonuçlarını önemli ölçüde etkiler. Deformasyon hızı ($\dot{\epsilon}$):

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

eşitliğiyle tanımlanır ve birimi s^{-1} 'dir. Deformasyon hızının pratik uygulamalarda kolaylıkla ölçülebilmesi bakımından, mühendislik deformasyon hızı ($\dot{\epsilon}$) kavramı geliştirilmiştir. Mühendislik deformasyon hızı ($\dot{\epsilon}$),

$$\dot{\epsilon} = \frac{de}{dt} = \frac{d(L - L_0)/L_0}{dt} = \frac{1}{L_0} \frac{dL}{dt} = \frac{v}{L_0}$$

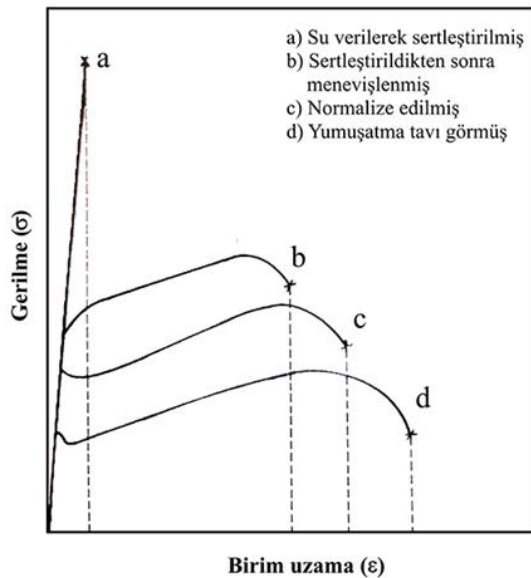
eşitliğiyle ifade edilir. Böylece, mühendislik deformasyon hızının, cihazın çekme hızı ve numunenin ölçü uzunluğuna bağlı bir değer olduğu görülür. Çekme hızı, mm/dak. birimi ile verilir ve bir dakikada cihaz çenelerinin kaç mm ilerlediğini gösterir. Çekme deneyi sırasında cihazın çekme hızı (v), deney boyunca sabit tutulur. Çekme hızı deformasyon hızı ile doğrudan ilişkili olduğundan deney sonuçları rapor edilirken belirtilmelidir. Şekil 11’de görüldüğü gibi artan deformasyon hızı ile malzemenin çekme dayanımı artar, uzama miktarı ise düşer.



Şekil 11. Deformasyon hızının malzemenin Gerilme-Birim şekil değiştirme eğrisine etkisi

Isıl İşlemin Çekme Deneyi Sonuçlarına Etkisi

Malzemelerin mekanik özellikleri içyapılarına bağlıdır. İçyapılar ise farklı ısıtma işlemleriyle değiştirilebilir. Bu nedenle, malzemelerin mekanik davranışları uygulanan ısıtma işleme göre değişiklik gösterir. Örnek olması açısından Şekil 12’de C60 çeliğine uygulanan farklı ısıtma işlemlerinden sonra elde edilen gerilme-birim uzama eğrileri verilmiştir.



Şekil 12. C60 çeliğine uygulanan farklı ısıtma işlemlerinden sonra elde edilen gerilme-birim uzama eğrileri

Kaynaklar

- [1] Kayalı, E.S., Ensari, C. ve Dikeç, Feridun, Metalik Malzemelerin Mekanik Deneyleri, İ.T.Ü. Kimya-Metalürji Fakültesi, İstanbul, 1990.
- [2] Yüksel, M. Ve Meran, C., Malzeme Bilgisine Giriş, Malzeme Bilimleri Serisi -Cilt 2, MMO yayını, yayın No: MMO/545, Ekim 2010.
- [3] Savaşkan, T., Malzeme Bilgisi ve Muayenesi, Trabzon, 2007.
- [4] Yüksel, M., Malzeme Bilgisi- Cilt 1, TMMOB, 2003.
- [5] Callister, W. D., & Rethwisch, D. D., Malzeme bilimi ve Mühendisliği. Nobel, 2013.
- [6] Jastrzebski, Z. D., “The Nature and Properties of Engineering Materials”, John Wiley & Sons, Singapur, 1987.
- [7] ASTM E8 Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials