

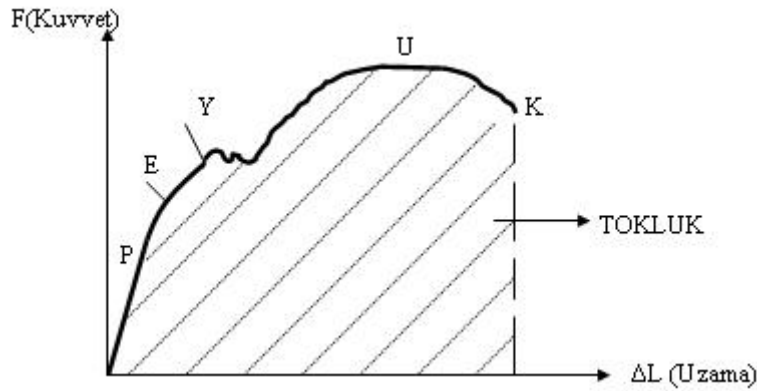
# 1. ÇEKME DENEYİ

## 1.1. DENEYİN AMACI

Mühendislik malzemeleri rijit olmadıkları için kuvvet altında deforme olup, şekil ve boyut değişiklikleri gösterirler. Malzeme özelliklerini anlamak üzere mekanik testler yapılır. Bunlardan en önemlisi “çekme deneyi”dir.

Çekme deneyinin amacı; malzemelerin statik yük altındaki elastik ve plastik davranışlarını belirlemektir. Bunun için boyutları standartlara uygun daire veya dikdörtgen kesitli deney parçası; çekme cihazına bağlanarak, aksel ve dengeli kuvvetler uygulanır.

Çekme cihazı esas olarak; birbirine göre ağırlık ve yukarı hareket edebilen, deney parçasının bağlandığı iki çene ve bunlara hareket veya kuvvet veren, bu iki büyüklüğü ölçen ünitelerden oluşur. Çenelerden birisi sabit hızda hareket ettirilerek deney parçasına dengeli miktarlarda çekme kuvveti uygulanır ve bu kuvvete karşılık gelen uzama kaydedilir.



Küçük kuvvet seviyelerinde uzama miktarı kuvvet ile doğru orantılıdır. Malzeme elastik davranış içindedir; yani kuvvet kaldırılınca uzama sıfırlanır. Bu karakter **P** noktasına kadar devam eder. Orantı limiti **P** den sonra lineer fonksiyon eğimini değiştirir. Ancak elastik davranış devam eder. Elastik davranış **E** “Elastik Limiti” noktasında sona erer. **E** den sonra kalıcı; yani plastik deformasyonlar başlar. Kuvvet azaltıldığında lineer fonksiyona paralel bir yol izler. Ancak kuvvetin sıfır olduğu yerde deformasyon artık sıfır olmaz, belirli bir plastik deformasyon kalır.

Malzeme yüklenmeye devam edilirse **Y** noktasında akar. Akma noktasında kuvvet aynı iken büyük miktarda plastik deformasyon oluşur. Akan malzeme “çalışma sertleşmesi”ne uğrar ve daha mukavim hale gelerek daha fazla kuvvet alabilir hale gelir.

Bu malzeme üzerindeki kuvvet daha da artırılarak **U** noktasına ulaşılır. **U** noktası “maksimum gerilme” noktası olup, burada malzeme kesitinde lokal daralmalar başlar. Buna malzemenin “boyun vermesi” denir. Boyun verme de malzemenin çalışma sertleşmesine uğramasına sebep olur ve malzeme daha fazla gerilmeler alabilir; ancak boyun bölgesinde kesit alanı daraldığından dolayı net kuvvet azalır. Numune genellikle kontrolsüz bir şekilde **K** noktasına ilerler ve orada kopar.

Kuvvet-uzama eğrisinin altında kalan alan o numuneyi bozunuma uğratmak için gereken enerjiyi temsil eder; tokluk adı verilir.

Kuvvet-uzama e risi daha sonra yeniden ölçeklendirilir. Uzamalar malzemenin ilk uzunlu una bölünerek “birim-uzama” ‘ya çevrilir. Aynı ekilde kuvvet numunenin ilk kesit alanına bölünerek “gerilim” hesaplanır ve dikey eksen tekrar ölçeklendirilir.

Malzeme kopana kadar önemli miktarda deformasyona u radıysa “sünek” , az deforme olmu sa “gevrek” yapıya sahiptir.

## 1.2. TANIMLAMALAR ve TEOR K B LG

**Gerilme ( ):** Birim alana etkiyen yük anlamına gelir ve a a ıdaki formülle hesaplanır.

$$\dagger = \frac{P}{A_0}$$

**Birim ekil De i tirme ( ):** Malzemeye kuvvet uygulandı ı zaman olu an boy de i iminin kuvvet uygulanmadan önceki ilk boya oranı.

$$v = \frac{\Delta L}{L_0}$$

**Elastisite Modülü (E):** Malzemenin dayanımının (mukavemetinin) ölçüsüdür. Birim uzama ile normal gerilme (çekme ya da basma gerilmesi) arasındaki do rusal ili kinin bir sonucu olup birim uzama ba ına gerilme olarak tanımlanır. Birim uzama ile normal gerilme (çekme ya da basma gerilmesi) arasındaki do rusal ili ki öyle tanımlanabilir:

$$E = \frac{\dagger}{v}$$

Malzemeye kuvvet uygulandı ında, malzemedede meydana gelen uzamalar elastik sınırlar içinde gerilmelerle orantılıdır. Buna “*Hooke Kanunu*” adı verilmektedir. Elastisite modülü malzemeye ait karakteristik bir özelliktir.

**Akma dayanımı ( $\dagger_a$ ):** Uygulanan çekme kuvvetinin yaklaşık olarak sabit kalmasına kar ın, plastik ekil de i tirmenin önemli ölçüde arttı ı ve çekme diyagramının düzgünsüzlük gösterdi i kısma kar ı gelen gerilme de eridir, ekil 1.

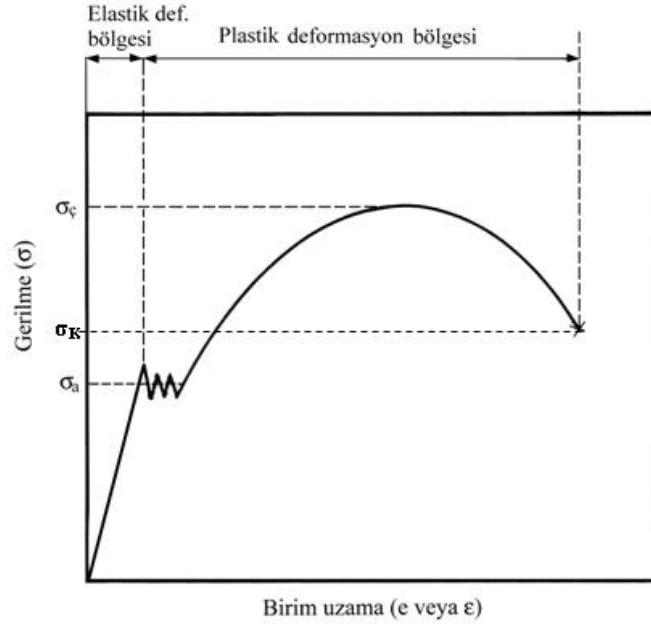
$$\dagger_a = \frac{P_a}{A_0}$$

**Çekme dayanımı ( $\dagger_c$ ):** Bir malzemenin kopuncaya veya kırılıncaya kadar dayanabilece i en yüksek çekme gerilmesi olarak tanımlanır. Bu gerilme, çekme diyagramındaki en yüksek gerilme de eri olup, a a ıdaki formül ile bulunur.

$$\dagger_c = \frac{P_{\max}}{A_0}$$

**Kopma Gerilmesi ( $\sigma_K$ ):** Numunenin koptu u andaki gerilme de eridir.

$$\sigma_K = \frac{P_K}{A_0}$$



**ekil 1.** Dük karbonlu yumu ak bir çeli in çekme diyagramı

**Yüzde Kopma uzaması (KU):** Çekme numunesinin boyunda meydana gelen en yüksek yüzde plastik uzama oranı olarak tanımlanır. Çekme deneyine tabi tutulan numunenin kopan kısımlarının bir araya getirilmesi ile son boy ölçülür ve boyda meydana gelen uzama

$$\Delta L = L_k - L_0$$

ba ntısı ile bulunur. Burada  $L_0$  numunenin ilk ölçü uzunlu unu,  $L_k$  ise numunenin kırılma anındaki boyunu gösterir. Kopma uzaması ise;

$$KU(\%) = \frac{\Delta L}{L_0} \times 100$$

ba ntısı yardımıyla belirlenir. Bu de er malzemenin sünekli ini gösterir.

**Yüzde Kesit Daralması (KD):** Çekme numunesinin kesit alanında meydana gelen en büyük yüzde daralma veya büzülme oranı olup;

$$KD(\%) = \frac{A_0 - A_K}{A_0} \times 100$$

ba ntısı ile hesaplanır. Burada  $A_0$  deney numunesinin ilk kesit alanını,  $A_k$  ise kırılma anındaki kesit alanını veya kırılma yüzeyinin alanını gösterir.  $A_k$  nın hesaplanması için hacmin sabit kalaca ı ifadesi kullanılır.

$$V_0 = V_K \Rightarrow A_0 L_0 = A_K L_K \Rightarrow A_K = A_0 \frac{L_0}{L_K}$$

Kesit daralması, kopma uzaması gibi sünekli in bir göstergesidir. Sünek malzemelerde belirgin bir büzülme veya boyun verme meydana gelirken, gevrek malzemeler büzülme göstermezler. ekil 2'de gevrek ve sünek malzemelerin kırılma davranı ları ematik olarak gösterilmi tir.



**ekil 2. (a)** Gevrek malzemenin kırılma ekli **(b)** Sünek malzemenin kırılma ekli.

### Video Ekstensometre

Ekstensometre, bir cismin uzunlu undaki küçük/büyük de i imleri ölçmek için kullanılan cihazdır. Bu cihaz gerilme-birim ekil de i tirme ve çekme testlerinde kullanılır. Bir çok malzeme için birim ekil de i tirme, numune üzerine tutturulan mekanik ekstensometreler veya numuneye ba lanan strain gaugesler kullanılarak ölçülebilir. Fakat fiber, köpük veya yumu ak plastikler gibi hassas malzemelerin testinde bu cihazlar genellikle uygun de ildir. Bunun nedeni bu cihazların a ırlık ve ba lanma yöntemi gibi parametrelerinin her ikisinin de malzeme için sonuçları ve kopma noktasını etkilemesidir. Bu problemlerin çözülmesi için günümüzde numuneye temas etmeden ölçüm yapan lazer ve video ekstensometre gibi sistemler kullanılmaktadır.

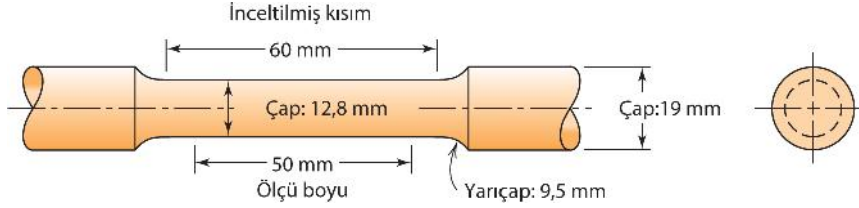


**ekil 3.** Video ekstensometre

Video ekstensometre cihazı, test esnasında bilgisayara ba lı dijital video kameralar vasıtasıyla numune üzerinden sürekli görüntü alarak malzemelerin gerilme/birim ekil de i tirme ölçümlerini yapmayı sa lar. Teste tabi tutulan malzemeye ait numuneler genellikle belirli bir ekilde kesilir ve özel i aretleycilerle (kaydedilen görüntülerde i areti numune renginden ve dokusundan ayıran genellikle özel etiketler veya kalemler) i aretlenir. Teste tabi tutulan numune çekme/basma durumundayken kaydedilen görüntülerde bu i aretler arasındaki piksel mesafesi, sabit bir ekilde video kamera tarafından takip edilir. Piksel mesafeleri ölçülerek do ru bir birim ekil de i tirme ölçümü de eri alınır. Do ru bir kalibrasyon ve iyi bir görüntü algoritması ile bir mikrometreden ( $\mu\text{m}$ ) çok daha dü ük seviyede çözünürlük elde edilebilir.

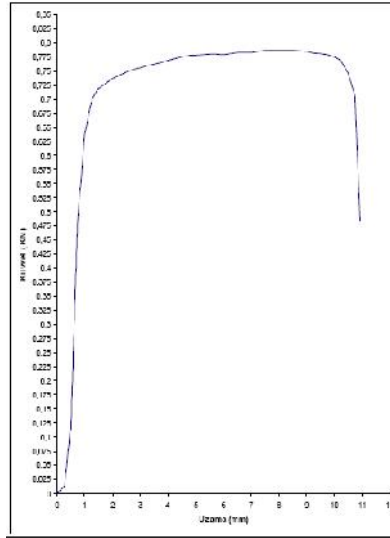
### 1.3. DENEYİN YAPILIŞI

Çekme deneyi için önce test edilecek malzemeden standartlara uygun bir çekme numunesi hazırlanır ( ekil 4). Çekme deney makinesinin çeneleri arasına düzgün ve ortalayacak bir şekilde sıkı tırlan bu numune gittikçe artan bir yükte kopuncaya kadar çekilir. Bu esnada uygulanan  $F$  yükü ile buna karşılık malzemenin gösterdiği uzamalar ( $L$ ) cihaz ile ölçülür. Deney sonucu elde edilen yük ( $F$ ) ve uzama ( $L$ ) değerlerinden yararlanılarak ( $F - L$ ) diyagramı elde edilir. Bu diyagrama çekme diyagramı da denir. ekil 5'de de yumuşak bir çeliğin çekme deneyi sonucu elde edilecek çekme diyagramı görülmektedir.



ekil 4. Standartlara uygun dairesel kesitli bir çekme numunesi

$F - L$  diyagramındaki değerlerden yararlanılarak her nokta için  $\sigma$  ve  $\epsilon$  değerleri hesaplanır ve mühendislik açısından büyük önem taşıyan gerilme-uzama diyagramı çizilir.



ekil 5. Yumuşak çeliğe ait  $F - L$  diyagramı

### 1.4. DENEY SONRASI DEĞERLEMLER

- Kuvvet ile cihaz ve video ekstensometreden alınan uzama verileri kullanılarak her ikisi için ayrı ayrı gerilme - uzama diyagramının elde edilmesi.
- Gerilme - uzama diyagramlarından elastisite modüllerinin hesaplanması.
- Gerilme - uzama diyagramlarından akma gerilmesi, çekme dayanımı ve kopma gerilmelerinin hesaplanması
- Yüzde kopma uzaması ve yüzde kesit daralmalarının hesaplanması.
- Bulunan değerlerin karşılaştırılarak yorumlanması.

## 2. BURULMA DENEYİ

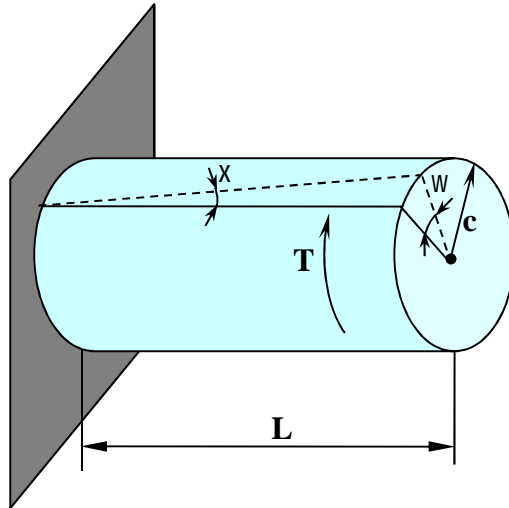
**2. 1. DENEYİN AMACI:** Burulma deneyi, malzemelerin kayma modülü ( $G$ ) ve kayma akma gerilmesi ( $\tau_A$ ) gibi özelliklerinin belirlenmesi amacıyla uygulanır.

Metallik malzemelerin burulma deneyi, genelde malzemelerin büyük plastik gerilmelerde akma karakteristiklerinin belirlenmesinde kullanılır. Burulma deneyinin çekme deneyi gibi çok geniş kullanım alanı yoktur ve tamamen standartla tırlmamıştır. Uygulamada malzemelerin genel mekanik özelliklerinin saptanmasında seyrek olarak kullanılır. Bununla beraber plastik deformasyonla ilgili teorik çalışmalar ve metallerin çekilebilme (tel ve çubuk) dövülebilme özelliklerinin belirlenmesi gibi mühendislik uygulamalarında ihtiyaç duyulan bir deneydir. Burulma deneyi, özellikle takım çelikleri gibi gevrek malzemelerin dövülebilme özelliğinin belirlenmesinde yüksek sıcaklarda da yapılır. Aynı zamanda kullanım yerlerinde burulma momentinin önemli olduğu alet, dingil, matkap ucu gibi parçalara direkt olarak uygulanabilen bir deneydir.

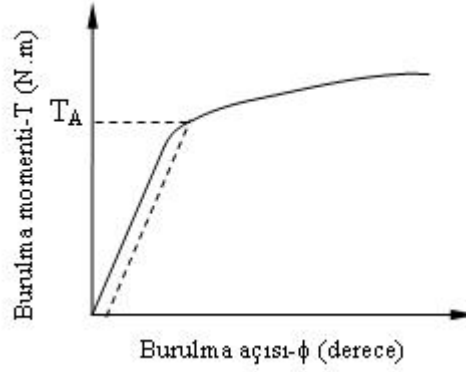
### 2.2. TANIMLAMALAR ve TEORİK BİLGİLER :

#### Burulmada Mekanik Özellikler

Burulma deneyi, iki uçundan sıkı tırlı numuneye, bir ucu sabit olmak üzere diğ er uçundan burulma momenti uygulanarak yapılır ( ekil1). Buruma momenti etkisiyle numunede kayma gerilmeleri oluşur. Deney sırasında uygulanan burulma momenti ( $T$ ) – burulma açısı ( $\phi$ ) diyagramı elde edilir,



ekil 1 Burulma deneyininematik görünümü



ekil 2 Burulma momenti (T) – burulma açısı (φ) diyagramı.

### Kayma Gerilmesi

Silindirik bir numunedeki c yarıçapından küçük herhangi bir ρ yarıçapında meydana gelen kayma gerilmesi (τ) u ekilde ifade edilir:

$$\tau = \frac{T\rho}{J} \quad (1)$$

Burada

T: Burulma momenti

ρ: Kayma gerilmesinin istendi i yarıçap

J: Polar atalet momenti

çi dolu millerde polar atalet momenti:  $J = \frac{1}{2}f c^4$  (c mil kesitinin yarıçapıdır)

çi bo aftlarda ise:  $J = \frac{1}{2}f (c_2^4 - c_1^4)$  (c<sub>2</sub> aftın dı yarıçapı c<sub>1</sub> ise iç yarıçapıdır)

Maksimum kayma gerilmesi numunenin yüzeyinde oluca ı için c olarak verilen de er numune yüzeyinde 1 nolu denklem a a ıdaki ekilde ifade edilebilir.

$$\tau = \frac{Tc}{J} \quad (2)$$

### Burulma Açısı

Sisteme uygulana tork nedeniyle sistemin serbest ucunda meydana gelen dönme açısı (φ) olarak ifade (Şekil 1). Buna göre dönme açısı a a ıdaki gibi hesaplanır.

$$\phi = \frac{TL}{GJ} \text{ (radyan)} \quad (3)$$

### Kayma Birim ekel De i imi

Kayma gerilmeleri etkisi ile numunedeki meydana gelen deformasyon, kayma birim ekil de i imi (γ) olarak ifade edilir ( ekil 1). Buna göre kayma birim ekil de i imi γ :

$$\gamma = \frac{wc}{L} \quad (4)$$

$\phi$  : Burulma açısı (Radyan)

c: Numunenin yarıçapı (mm)

L: Numunenin boyu (mm)

### Kayma Modülü

Kayma modülü (G), burulma diyagramının lineer kısmından (elastik bölgesinden) hesaplanır. Burulma diyagramının elastik bölgesinde kayma gerilmesi, kayma birim ekleme oranıyla orantılı olarak artar. Elastik bölgede, kayma gerilmesinin ( $\tau$ ), kayma birim ekleme oranına ( $\gamma$ ) oranı kayma modülünü (G) verir.

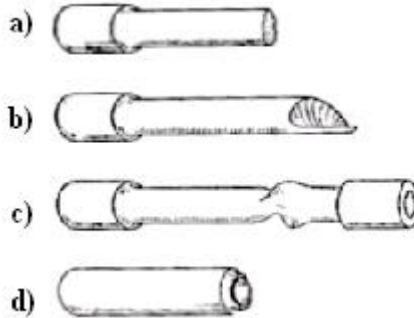
$$G = \frac{\tau}{\gamma} \quad (5)$$

Veya daha önce hesaplanan burulma açısı kullanılarak hesaplanabilir:

$$G = \frac{TL}{\phi J} \cdot \frac{180}{\pi} \quad (6)$$

### Burulmada Kırılma Ekilleri

Burulma deneyinde çeşitli malzemelerin kırılma ekilleri Şekil 4'te gösterilmiştir. Burulma deneyinde sünek bir malzemenin kırılması, maksimum kayma gerilmeleri yönünde, genellikle numunenin düz eksen boyunca olur (Şekil 3a). Gevrek bir malzemenin kırılması ise, maksimum çekme gerilmesi doğrultusuna dik bir düzlem boyunca yani numune boyuna  $45^\circ$  lik açılı düzlemde olur (Şekil 3b). Boru ekindeki sünek bir malzemenin kırılması ise, numunenin boyu uzun ise numunenin bükülmesi sonucunda ekinin bozulmasıyla (Şekil 3c), diğer numunenin boyu kısa ise yine maksimum kayma gerilmesi yönünde (Şekil 3d) olur.



**Şekil 3** Burulmada kırılma ekilleri a) Yuvarlak numunenin sünek kırılma ekli, b) Yuvarlak numunenin gevrek kırılma ekli, c) Sünek bir malzemenin boru ekindeki, uzun numunesinin burulması, d) Sünek bir malzemenin boru ekindeki, kısa numunesinin kopma ekli.

### 2.3. DENEYİN YAPILIŞI:

Burulma deneyi için önce dairesel kesitli test numunesi hazırlanır burulma cihazına bağlanır. Numunenin bir ucu ankastre olarak mesnetlenirken diğer ucu deplasmanları sınırlandırılmı fakat dönebilecek şekilde mesnetlenir. Daha sonra moment kolunun ucuna farklı ağırlıklar



