

T.C.  
BİLECİK ŞEYH EDEBALI ÜNİVERSİTESİ  
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ  
MAKİNE VE İMALAT MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ  
MÜHENDİSLİKTE DENEYSSEL METODLAR II DERSİ

**EĞME DENEYİ**

Deney Sorumlusu: Arş. Gör. Emre SÖNMEZ  
İlgili Öğretim Üyesi: Doç. Dr. Harun MİNDİVAN

**DENEYİN ADI:**

Malzemelerin Eğme Deneyi

**DENEYİN AMACI:**

Eğme ve katlama deneyleri malzemelerin özellikle plastik şekil değiştirme kabiliyeti hakkında fikir veren deneylerdir. Katlama deneyi, malzemelerin şekil değiştirme özellikleri hakkında genellikle kalitatif bilgi vermek amacıyla ve ayrıca kaynak yoluyla birleştirilen metalik parçaların kaynaklarının iyi yapılıp yapılmadığını belirlemek amacıyla yapılır. Eğme deneyinde ise malzemeye ait şekil değişimi kabiliyeti hakkında sağlanan kalitatif bilginin yanı sıra eğme dayanımı ( $\sigma_e$ ) ve elastisite modülü ( $E_e$ ) gibi kantitatif değerlerde bulunur.

**DENEYDE KULLANILAN MALZEMELER VE TECHİZATLAR:**

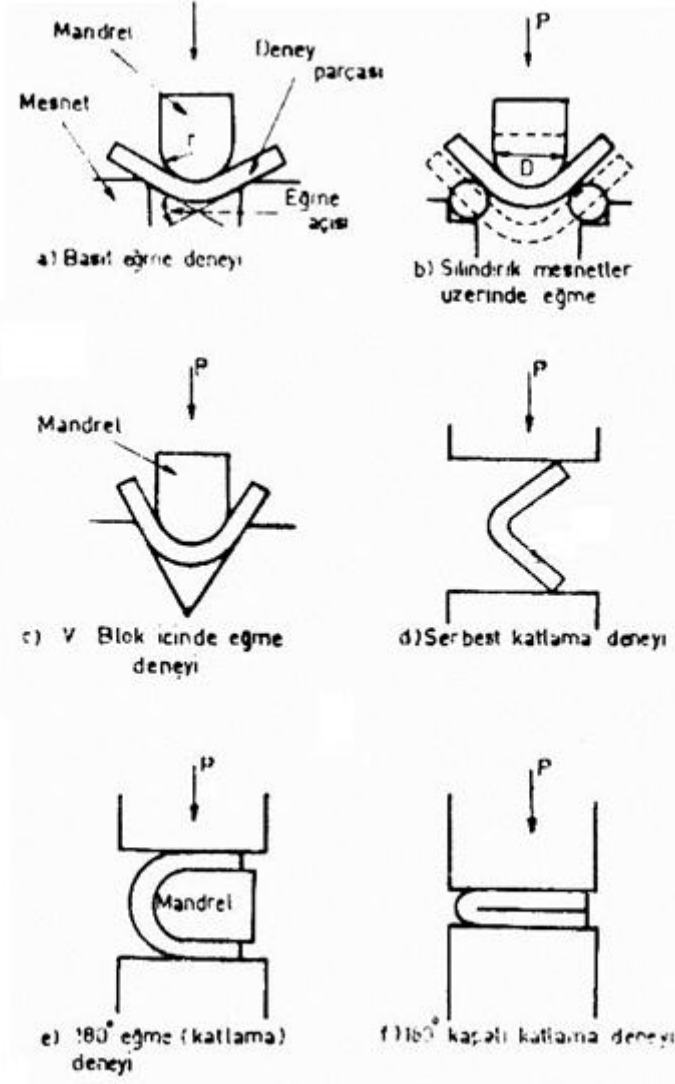
SHIMADZU AG IC100 kN Çekme Cihazı, Eğme numunesi (AA6060), Eğme mandreli, Kumpas veya Mikrometre.

**TEORİK BİLGİ:**

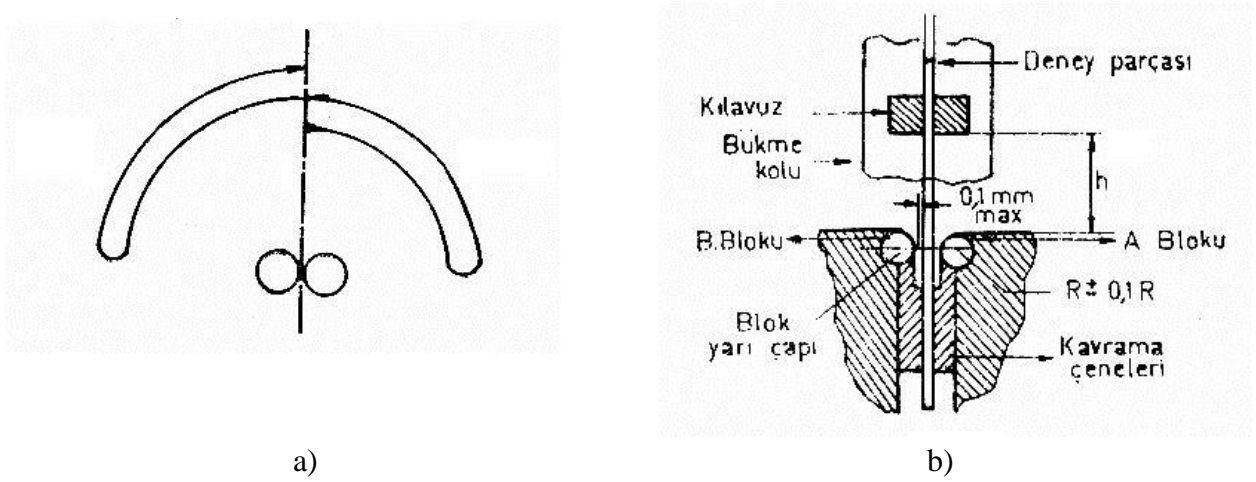
Eğme, iki desteğe serbest olarak oturtulan daire veya dikdörtgen kesitli düz bir deney parçasının ortasına bir eğme kuvveti uygulandığında oluşan biçim değişikliğidir. Değişik yöntemlerin hepsinde (ileri-geri eğme hariç) amaç, malzemeyi çatlayıncaya kadar tek yönde eğmektir. Katlama ise eğmenin özel bir durumu olup daire veya dikdörtgen kesitli deney parçasının iki kolunun birbirine paralel duruma getirilmesi ( $180^\circ$  eğme) işlemidir. Katlama deneyinde sünekliği iyi olan malzemeler  $180^\circ$  katlanmalarına rağmen çatlama göstermezler. Böyle malzemelerin deney sonucunda  $180^\circ$  katlanmaya rağmen çatlamanın görülmediği belirtilir. Şekil 1’de değişik eğme ve katlama deney düzenekleri verilmiştir.

Ayrıca alternatif (ileri-geri) eğme deneyi bulunmaktadır. Bu deneyde, numune cihaza sağlam bir şekilde oturtulur ve yarıçapı belli olan mandreller etrafında ileri – geri bükülür (Şekil 2). Bu sırada numunenin kesidi alternatif olarak çekme ve basma gerilmelerine uğrar. Burada malzemenin çatlama göstermesi için tatbik edilen eğme sayısı kriter olarak kullanılır.

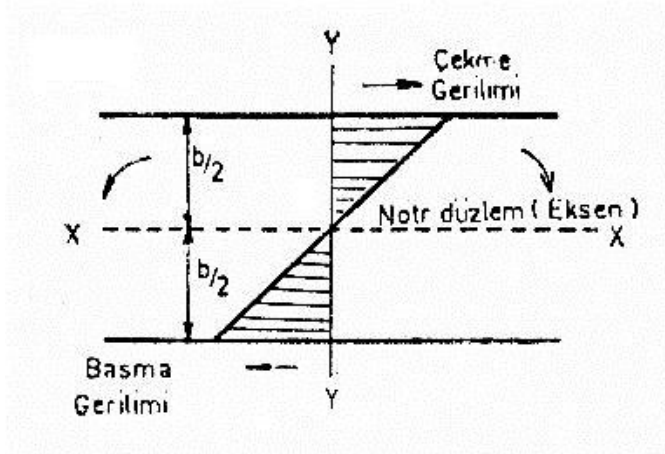
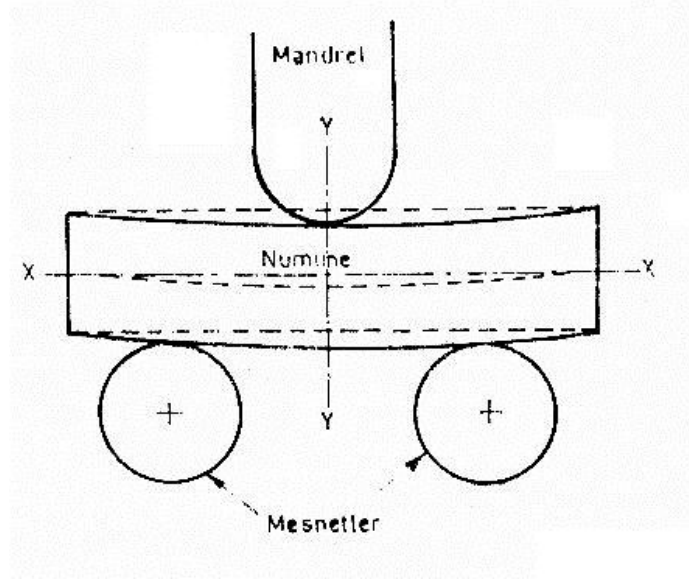
Eğme deneyinde deney yapılacak numuneye bir kuvvet uygulandığında, numune kesitinin bir kısmında basma gerilmesi, kesitin geri kalan kısmında çekme gerilmesi meydana geliyorsa numune eğilme halindedir. Eğilme halindeki numunelerin kesitinde, iç yüzeye yakın bölgede basma gerilmeleri, dış yüzeye yakın bölgede ise çekme gerilmeleri meydana gelmektedir (Şekil 3).



Şekil 1. Değişik eğme ve katlama deney düzenekleri



Şekil 2. a) İleri geri eğme deneyi cihazına ait şematik gösterim.  
b) İleri geri eğme deneyinde eğme sayısının tespiti.



Şekil 3. Eğme sırasında oluşan elastik gerilme dağılımının şematik gösterilişi.

Eğme deney numuneleri uluslararası veya ulusal standartlara göre hazırlanır. Deney numuneleri genellikle yuvarlak veya dikdörtgen kesitli çubuklardır.

Eğme deneyi sonucunda, malzemenin eğme momenti ( $M_e$ ), eğilme dayanımı ( $\sigma_e$ ), eğilme miktarı ( $Y$ ) ve elastisite modülü ( $E_e$ ) gibi değerlerin hesaplanabilmesi için aşağıdaki formüllerden de anlaşılacağı üzere deney sırasındaki ( $P$ ) eğme yükü ile ( $Y$ ) eğilme miktarının duyarlılıkla ölçülmesi ve mesnet merkezleri arasındaki uzaklığın bilinmesi gerekir.

a) Eğme momenti ( $M_e$ ) :

$$M_e = \frac{P.L}{4}$$

$M_e$ : Eğme Momenti (N-m)

$P$ : Uygulanan Kuvvet (N)

$L$ : Mesnet merkezleri arasındaki uzaklık (m)

b) Eğilme Dayanımı ( $\sigma_e$ , max) veya Kırılma Modülü (K.M.) :

Eğilmeye maruz kalmış bir çubukla Y-Y doğrultusu boyunca farklı gerilmeler oluşur. X-X eksenini boyunca simetrik kesitli çubuklarda çubuğun X-X nötr (tarafsız) düzleminde (ekseninden) herhangi bir Y mesafesindeki bir düzlemde (liflerde) oluşan eğilme gerilmesidir.

$$\sigma_e = \frac{M \cdot y}{I}$$

$\sigma_e$  : Eğilme Gerilmesi

M : Eğme Momenti

I : Çubuğun nötr eksenine göre eylemsizlik momenti.

y : Nötr ekseninden uzaklık.

Gerilmeler nötr ekseninde sıfırdan başlayarak en dış düzlemlerde (liflerde) max değerlerini alırlar.

Nötr eksenin bir tarafından basma, diğer tarafından çekme gerilmeleri oluşur. Çubuğun en dış düzlemlerinin (liflerin) koordinatı olan y, c harfi ile gösterildiğinde max. gerilme :

$$\sigma_{e, \max} = \frac{M \cdot c}{I} = \frac{M}{I/c} = \frac{M}{Z}$$

olarak yazılır. Bu değer “Eğilme Dayanımı (veya Kırılma Modülü)” olarak tanımlanır. I/c oranı genellikle, kesit modülü veya karşı koyma momenti olarak adlandırılıp, Z harfi ile gösterilir. (I) eylemsizlik momenti ve (Z) kesit modülü değerleri çubuk kesitinin geometrik şekline bağlıdır.

Örneğin dairesel kesitli veya dikdörtgen kesitli bir çubuğun simetri eksenine göre (I) eylemsizlik momenti ve (Z) kesit modülü aşağıdaki formüllerle hesaplanır.

$$\text{Dairesel Kesit : } I = \frac{\pi \cdot D^4}{64} \quad Z = \frac{\pi \cdot D^3}{32}$$

$$\text{Dikdörtgen Kesit : } I = \frac{B \cdot H^3}{12} \quad Z = \frac{B \cdot H^2}{6}$$

Eğme Dayanımı ( veya kırılma modülü) cihazda okunan eğme kuvveti cinsinden ifade edilecek olursa, aşağıdaki formül yazılabilir.

$$\sigma_{e, \max} = \frac{M_e}{Z} = \frac{P_{\max} \cdot L}{4 \cdot Z}$$

$\sigma_{e, \max}$ : Eğilme Dayanımı ( veya kırılma modülü ) (N/m<sup>2</sup>)

L: Mesnet merkezleri arası açıklık (m)

Z: Kesit modülü (m<sup>3</sup>)

P<sub>max</sub> : Kırılma anında numuneye uygulanan kuvvet (N)

M<sub>e</sub> : Eğme momenti (N-m)

Bu formülü dairesel ve dikdörtgen kesitli deney numunesine uygulayacak olursak :

Dairesel Kesitlilerde:

$$K.M = \sigma_{e,\max} = \frac{8.P_{\max}.L}{\pi.D^3} = 2,546. \frac{P_{\max}.L}{D^3}$$

Dikdörtgen Kesitlilerde:

$$K.M = \sigma_{e,\max} = \frac{3.P_{\max}.L}{2.B.H^2} = 1,5. \frac{P_{\max}.L}{B.H^2}$$

yazılır. Burada:

K.M: Kırılma Modülü (Eğilme Dayanımı) (N/m<sup>2</sup>)

D: Numune Çapı (m)

B: Numune genişliği (m)

H: Numune Kalınlığı (m)

c)Elastisite Modülü (E<sub>e</sub>):

Elastisite Modülü (E<sub>e</sub>), gerilmenin deformasyonla doğru orantılı olduğu bölgede (elastik bölgede)  $\sigma_e$  eğme gerilmesinin onunla ilgili (Y) eğilme miktarına ilişkin ( $\epsilon$ ) birim şekil değişimine bölünmesi ile elde edilir. (Y) eğilme miktarına bağlı olarak ( $\epsilon$ ) deformasyon oranı aşağıdaki formülle hesaplanır.

$$\epsilon = 6.Y.H / L^2 \text{ (Dikdörtgen kesitli numunelerde)}$$

$$\epsilon = 6.Y.D / L^2 \text{ (Dairesel kesitli numunelerde)}$$

Burada:

$\epsilon$  : Elastik birim şekil değişimi (m/m)

Y: Eğilme miktarı (m)

L : Mesnet merkezleri arasındaki uzaklık (m)

D : Numune çapı (m)

H : Numune kalınlığı (m)

Bu durumda elastik modülü  $E_e = \sigma_e / \epsilon$  bağıntısıyla hesaplandığında aşağıdaki bağıntı bulunur:

$$E_e = 4.P.L^3 / 3.\pi.Y.D^4 \text{ ( Dairesel Kesitli Numunelerde)}$$

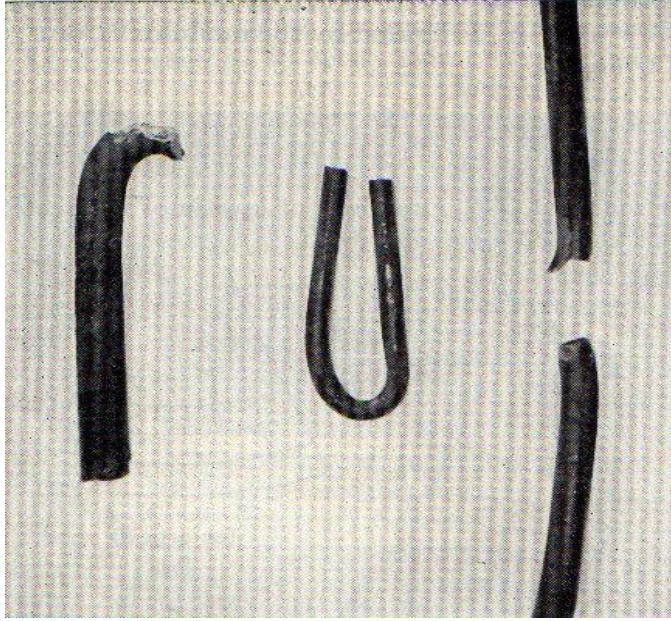
$$E_e = P.L^3 / 4.Y.B.H^3 \text{ ( Dikdörtgen Kesitli Numunelerde)}$$

Şekil 4 de eğme deneyi sonucunda numunelere ait hasarlar ile süneklikle ilgili hasarlar gösterilmektedir.

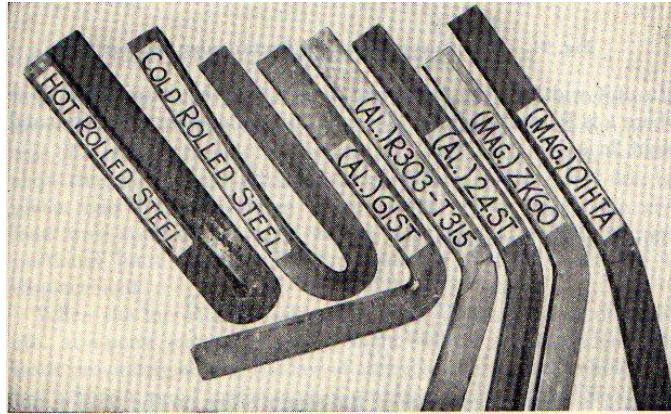
### **DENEYİN YAPILIŞI:**

Eğme deneyi SHIMADZU AG IC100 kN çekme cihazında gerçekleştirilir. Eğme düzeneği olarak mesnetler bir tabla üzerine, yükleme bloğu denilen mandrel ise cihazın üst kısmına yerleştirilir. Eğme deneyinin yapıldığı düzenek Şekil 3'de şematik olarak gösterilmektedir. Bu düzenekte mandrel çapı ve mesnetlerin çapı önemlidir. Bu değerler, kullanılacak malzemeye göre ve bu malzemeye ait olan standarta uygun olarak deneye

başlanmadan önce kumpasla ölçülür. Ayrıca mesnetler arası açıklıkta yine standarta uygun ayarlanır. Düzenek ayarlandıktan sonra mesnetler üzerine numune yerleştirilir ve numune bir yükün uygulandığı mandrel yardımıyla eğilir. Eğme deneyi sonucunda, malzemenin eğme momenti, eğilme dayanımı ve elastisite modülünün hesabı için numunenin kırıldığı andaki maksimum yükünü ( $P_{max}$ ) ve deney sırasında yükün uygulandığı noktada numunenin başlangıçtaki duruma göre düşey eksendeki değişme miktarı olan Eğilme miktarı ( $Y$ )'nın değerleri deney cihazına bağlı gösterge ve kayıt düzenlerinden faydalanılarak kaydedilir.



a)



b)

Şekil 4. a) Eğme deneyi sonucunda meydana gelen hasarlar  
b) Farklı süneklğe sahip malzemelerin eğme hasarı

### **İSTENENLER:**

- 1) Yapılan deney sonucunda deneyde kullanılan malzemeye ait Eğme momenti ( $M_e$ ), eğilme dayanımı ( $\sigma_e$ ) ile Eylemsizlik Momentini ( $I$ ) hesaplayınız.
- 2) Eğme deneyi sonucunda numuneye ait eğme yüklerini (ordinat) ve yüke karşı gelen eğilme miktarlarını (apsis) bir grafik kullanarak çiziniz. Bu eğri yardımıyla elastisite modülünü ( $E_e$ ) hesaplayınız.

## **REFERANSLAR:**

- 1–KAYALI, E.S., ENSARİ, C., DIKEÇ, F., Metalik Malzemelerin Mekanik Deneyleri, İTÜ. Kimya-Metalurji Fakültesi, Ofset Atölyesi, İstanbul, 1996
- 2–ÖZBEK, Tekin., Mukavemet, Birsen Yayınevi
- 3–ASM Metals Handbook, Vol.8, Bending Testing, Metals Handbook, Mechanical Testing, Ninth Edition, 1978
- 4–DIETER, G.E., Mechanical Metallurgy, McGraw-Hill, Second Edition, Singapore, 1977
- 5–DAVIS, H.E., TROXELL, G.E., WISKOCIL, C.T., The Testing and Inspection of Engineering Materials, Third Edition, McGraw Hill-Book Co., 1964
- 6–LIDDICOT, R.T., POTTS, P.O., Laboratory Manual of Materials Testing, The Macmillan Company, 1952
- 7–TS 205 / Şubat 1977 Metalik Malzemelerin Eğme ve Katlama Deneyleri, TSE
- 8–TS 6067 / Ekim 1988, Teknoloji Eğme Deneyi, Basınç Alın Kaynağı ile Birleştirilmiş ve Kaynakla Kaplanmış Metalik Malzemeler İçin, TSE
- 9–TS 281 / Mayıs 1989, Teknolojik Eğme Deneyi, Ergitme Kaynağı ile Kaplanmış Metalik Malzeme İçin, TSE
- 10–Bernstein, M.L., Zaimovsky, V.A., Mechanical Properties of Metals, Mir Publishers, Moscow, 1983