



KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ
METALURJİ VE MALZEME MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

METALURJİ VE MALZEME LABORATUAR II
BASMA VE EĞME DENEYİ

Doç. Dr. Mustafa ASLAN
Arş. Gör. Ezgi AKSU KILIÇGEDİK

Ekim 2024

Trabzon

İÇİNDEKİLER

İÇİNDEKİLER	I
ŞEKİLLER DİZİNİ	II
Basma Deneyi	1
Basma Deneyinin Amacı	1
1. Teorik Bilgi	1
2. Basma Gerilmesi Hesabı	4
3. Deneyin Yapılışı	6
3.1. Numune Hazırlama	6
3.2. Basma Deneyi	6
3.3. Raporda istenenler.....	6
Üç Nokta Eğme Deneyi	7
Üç Nokta Eğme Deneyinin Amacı	7
1. Teorik Bilgi	7
2. Eğme Gerilmesi Hesaplamaları	9
3. Deneyin Yapılışı	10
3.1. Numune Hazırlama	10
3.2. Eğme Deneyi.....	10
3.3. Raporda istenenler.....	11
Kaynaklar	11

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1. Örnek bir numunenin çekme ve basma deneyleri ile elde edilen mühendislik (gerilme-%uzama) diyagramı	1
Şekil 2. Basma Kuvveti uygulanan sünek malzemelerdeki fiçı oluşumu; a) basma kuvveti yok, b) Basma kuvveti etkisiyle fiçı oluşumunun ilk aşaması, c) Fıçı oluşumunun tamamlanması	2
Şekil 3. Metalik bir malzemenin çekme ve basma diyagramı	3
Şekil 4. Metalik bir malzemenin mühendislik (teknolojik) ve gerçek çekme-basma diyagramlarının şematik gösterimi	5
Şekil 5. Çeşitli malzemelerin basmada deformasyon ve kırılma şekilleri; (a) Sünek bir malzemenin (düşük karbonlu çelik gibi) deformasyonu, (b) Gevrek bir malzemenin (gri dökme demir gibi) kırılma şekli ve (c) Yarı gevrek bir malzemenin (pirinç gibi) kırılma şekli.....	6
Şekil 6. Eğilme halindeki çubuk üzerindeki gerilme dağılımı	7
Şekil 7. Üç nokta eğme deneyinin şematik gösterimi.....	8
Şekil 8. Değişik eğme deneyi düzenekleri.....	8

Deney Adı

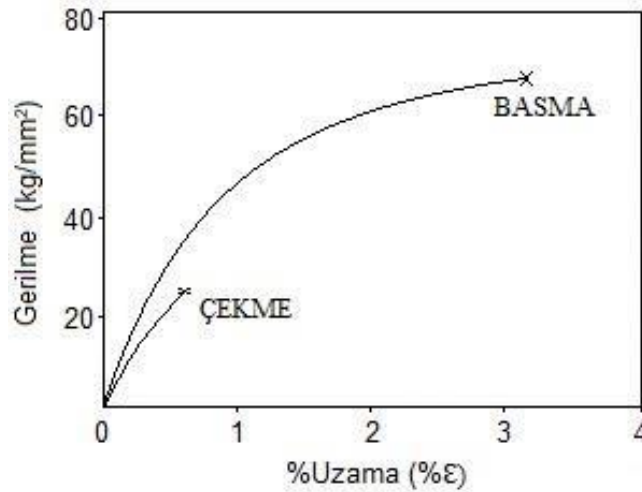
Basma Deneyi

Basma Deneyinin Amacı

Basma deneyi, metalik ve metalik olmayan malzemelerin statik yükleme koşulları altında, basma akma mukavemeti, basma mukavemeti, şekil değişimi, % kesit değişimi gibi mekanik özelliklerini belirlemek amacıyla yapılır.

1. Teorik Bilgi

Basma deneyi işlem itibarı ile çekme deneyinin tamamen tersidir. Basma deneyi de çekme deneyi makinelerinde yapılır. Basma kuvvetinin uygulandığı malzemeler genellikle basma deneyi ile muayene edilir. Uygulamada basma kuvvetlerinin uygulandığı yerlerde kullanılan malzemeler genellikle gevrek malzemelerdir. Gri dökme demir, yatak alaşımları gibi metalik ve tuğla, beton gibi metal dışı malzemelerin basma mukavemetleri, çekme mukavemetlerinden çok daha yüksek olduğundan, bu gibi malzemeler basma kuvvetlerinin uygulandığı yerlerde kullanılırlar ve basma deneyi ile test edilirler (Şekil 1).



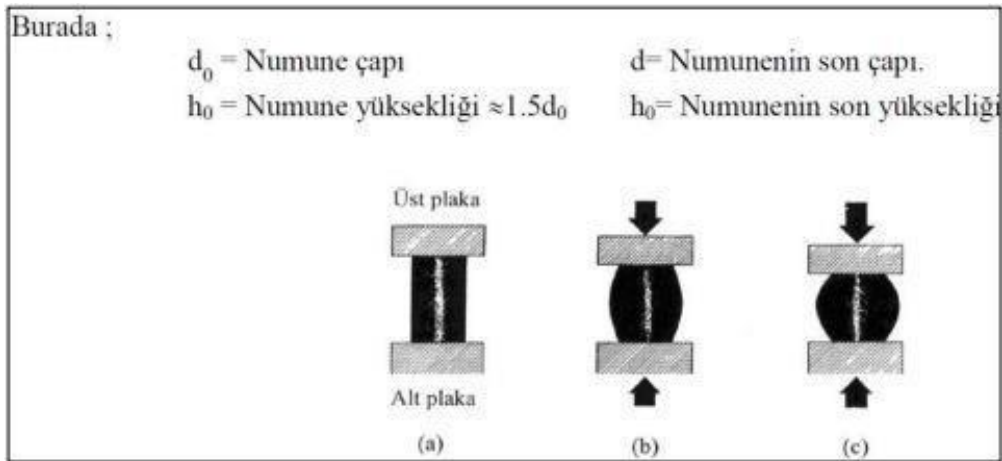
Şekil 1. Örnek bir numunenin çekme ve basma deneyleri ile elde edilen mühendislik (gerilme-%uzama) diyagramı

Basma deneyi ile de malzemelerin mekanik özellikleri tespit edilebilir. Basma deneyi sırasında numunenin kesiti devamlı olarak arttığından, çekme deneyinde görülen 'Boyun' oluşumu problemi yoktur. Basma deneyi bilhassa gevrek ve yarı gevrek malzemelerin sünekliliğini ölçmede çok faydalıdır, zira bu malzemelerin sünekliliği çekme deneyi ile hassas

olarak ölçülemez. Bu malzemelerin çekmede % uzama ve % kesit daralması değerleri hemen hemen sıfırdır.

Basma deneyinin diğer bir avantajı da çok küçük numunelerin bile kullanılabilmesidir. Bu avantaj, özellikle çok pahalı malzemelerle çalışıldığında veya çok az miktarda malzeme bulunduğu durumlarda çok faydalıdır.

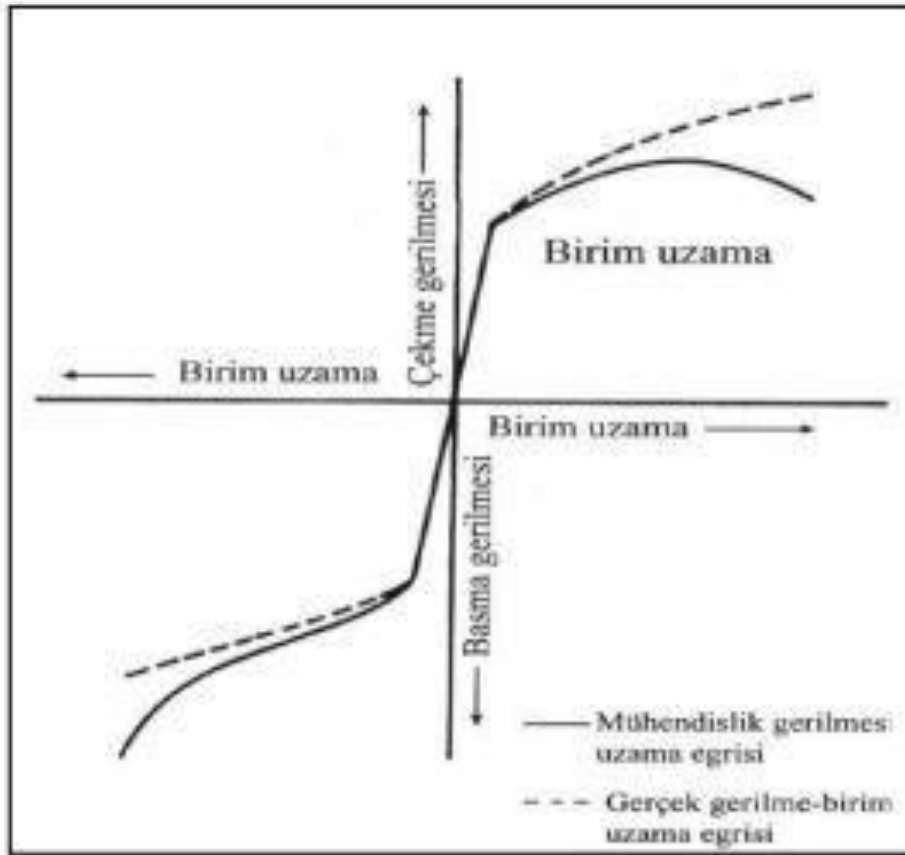
Basma numunelerinde, uniform bir gerilme durumu elde edilmesi gayesiyle yuvarlak kesitli numuneler tercih edilir. Fakat kare veya dikdörtgen kesitli numuneler de kullanılabilir. Basma numunelerinde önemli olan bir özellik, numunenin çapı (d_0) ile yüksekliği (h_0) arasındaki orandır. Bu oranın (h_0/d_0) çok büyük olması, numunenin deney sırasında bükülmesine ve gerilmenin numune üzerinde homojen olarak dağılmamasına sebep olur, dolayısıyla yanlış sonuçlar elde edilir. Bu sebeple pratikte üst limit olarak (h_0/d_0) <10 oranı tavsiye edilir. Basma numunesinin yüksekliğinin çapa göre çok kısa olması da istenmez, alt limit olarak da (h_0/d_0) >1.5 oranı tavsiye edilir. Numune boyutlarının (h_0/d_0) >1.5 olması durumunda, numune ile numunenin basıldığı plakalar arasındaki sürtünme, deney sonuçlarını etkileyecek değerlere yükselir. Genel olarak, basma numunelerinde (h_0/d_0) >2 oranı en fazla kullanılan orandır. Bununla beraber farklı malzemeler için farklı (h_0/d_0) oranı kullanılmaktadır. Metalik malzemeler için basma numunelerinde genellikle (h_0/d_0) = 2 oranı kullanılır.



Şekil 2. Basma Kuvveti uygulanan sünek malzemelerdeki fiçi oluşumu; a) basma kuvveti yok, b) Basma kuvveti etkisiyle fiçi oluşumunun ilk aşaması, c) Fiçi oluşumunun tamamlanması

Basma deneyi, basma plakaları birbirine paralel olan bir makine ile yapıldığından numunelerin itina ile hazırlanmış olması gerekir. Basma numunelerinde yükün kullanıldığı alt ve üst yüzeyler numunenin düşey eksenine dik ve birbirine paralel olmalıdır.

Basma deneyi sonucunda, malzemelerin basma diyagramı elde edilir. Basma diyagramı, genelde çekme diyagramına benzer. Basma diyagramının elastik deformasyonu gösteren kısmı çekme diyagramının elastik kısmı gibidir ve akma sınırından sonra, basma diyagramında da plastik deformasyon azalması meydana gelir. Basma diyagramında plastik deformasyonu gösteren kısmın ilk aşaması, çekme diyagramının plastik deformasyon bölgesinin ilk devresini andırır, ancak çekme diyagramında maksimum noktadan sonra gerilme değerinde bir azalma meydana gelirken, basma diyagramında gerilme artar. Yani basma eğrisinin eğiminde artış meydana gelir. Bu durum, basma sırasında numune kesitinin devamlı artmasından kaynaklanır. Özellikle plastik deformasyonun sonuna doğru numune kesiti büyük oranda arttığından, basma gerilmesinde de ani yükselme görülür. Şekil 3 'de metalik bir malzemenin çekme ve basma diyagramları görülmektedir.



Şekil 3. Metalik bir malzemenin çekme ve basma diyagramı

2. Basma Gerilmesi Hesabı

Basma deneyinde, basma yükünün orijinal kesit alanına bölünmesiyle mühendislik basma gerilmeleri hesaplanır. Burada akma yükünün numunenin orijinal kesit alanına bölünmesiyle akma gerilmesi hesaplanır.

Akma Gerilmesi:

$$\sigma_{ak} = P_{akma}/A_0$$

P_{akma} : Akma yükü

A_0 : Başlangıç kesit alanı

Çekme deneyinde olduğu gibi, bariz şekilde akma göstermeyen malzemelerin akma gerilmesi, teknolojik (mühendislik) basma diyagramı üzerinde %0.01'den %0.2'ye kadar kalıcı bir deformasyona karşılık gelen bir gerilim olarak tayin edilir. Metalik malzemelerin çekme ve basma deneyleri ile elde edilen akma gerilmeleri değerleri birbirine eşittir.

Basma deneyinde de gerçek gerilmeler, çekme deneyindeki gibi hesaplanır, yani herhangi bir andaki basma yükünün, o andaki numune kesit alanına bölünmesiyle bulunur.

Basmada gerçek gerilme:

$$\sigma_{b,g} = P_i/A_i$$

P_i : Herhangi bir i noktasındaki basma yükü

A_i : P_i yükünün tatbik edildiği herhangi bir i noktasındaki numune kesiti

Basma deneyinde gerçek gerilme değerleri ($\sigma_{b,g}$) mühendislik gerilme değerlerinden ($\sigma_{b,m}$) aşağıdaki bağıntı ile hesaplanabilir.

$$\sigma_{b,g} = \sigma_{b,m} (1 + e_b)$$

Burada;

$\sigma_{b,g}$: Gerçek basma gerilmesi

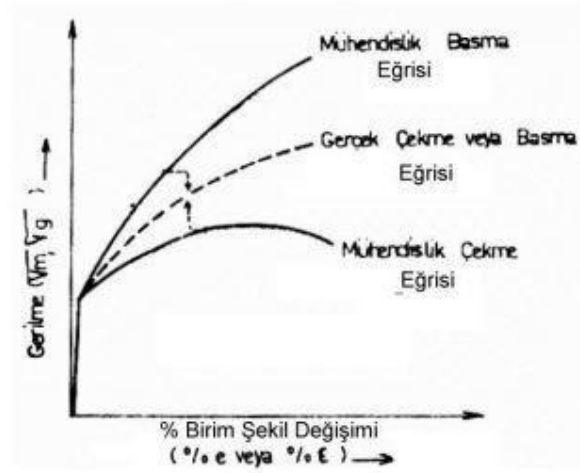
$\sigma_{b,m}$: Mühendislik (teknolojik) basma gerilmesi

e_b : Basma mühendislik (teknolojik) şekil değiştirme oranı

Yukarıdaki bağıntıda basmada mühendislik şekil değiştirme oranının e_b negatif değerde olduğu göz önüne alınmalıdır. e_b 'nin mutlak değeri alındığında gerçek gerilme,

$$\sigma_{b,g} = \sigma_{b,m} (1 - e_b) \text{ formülü ile hesaplanır.}$$

Metalik malzemelerin gerçek çekme ve basma diyagramlarında gerçek gerilme değerleri birbirine eşittir. Halbuki mühendislik (teknolojik) çekme ve basma diyagramlarında, plastik bölgedeki mühendislik basma gerilmesi değerleri mühendislik çekme gerilmesi değerlerinden daha fazladır (Şekil 4).



Şekil 4. Metalik bir malzemenin mühendislik (teknolojik) ve gerçek çekme-basma diyagramlarının şematik gösterimi

Basma deneyinde % şekil değişimi (% e_b), numunenin yüksekliğindeki azalma miktarının orijinal yüksekliğe oranının yüzde olarak ifadesidir. Basma deneyinde numunenin yüksekliği azaldığından, % şekil değişimi negatif değerdedir. Basmada % şekil değişimi, % yığılma olarak da isimlendirilir.

$$\% \text{ Şekil değişimi (\% Yığılma, \% } e_b): (h_1-h_0)/h_0 \times 100 = ((h_1/h_0)-1) \times 100$$

Burada; h_1 : Numunenin deney sonrası yüksekliği

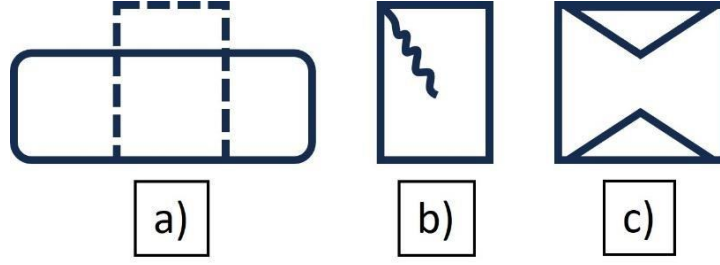
h_0 : Numunenin orijinal yüksekliği

Çekme deneyinde hesaplanan % kesit daralması yerine, basma deneyinde % kesit değişimi hesaplanabilir.

$$\% \text{ Kesit değişimi : } (\Delta A/A_0) \times 100 = (A_1-A_0)/A_0 \times 100$$

Burada: A_0 : Numunenin orijinal kesit alanı

A_1 : Numunenin deney sonrası kesit alanı



Şekil 5. Çeşitli malzemelerin basmada deformasyon ve kırılma şekilleri;
(a) Sünek bir malzemenin (düşük karbonlu çelik gibi) deformasyonu, (b) Gevrek bir malzemenin (gri dökme demir gibi) kırılma şekli ve (c) Yarı gevrek bir malzemenin (pirinç gibi) kırılma şekli

3. Deneyin Yapılışı

3.1. Numune Hazırlama

- Standartlara uygun olarak numuneler hazırlanır.
- Deney öncesi üretilen numunelerin boyutları tekrar ölçülür.

3.2. Basma Deneyi

- Numune basma başlıkları arasına ortalanarak yerleştirilir.
- Basma cihazının üst çenesi ve numune ile hafif temas sağlanana kadar aşağı doğru indirilir.
- Basma cihazını kontrol eden program üzerinden kuvvet ve uzama bilgileri sıfırlanır.
- Deney başlatılır ve numuneye kırılıncaya kadar cihaz tarafından kuvvet uygulanır.
- Bilgisayardan gerekli hesaplamalarda kullanılmak üzere kuvvet-uzama verileri alınır.

3.3. Raporda istenenler

- Deneyin amacı
- Teorik bilgi (kısaca ve öz)
- Deneyde kullanılan malzemelerin ve cihazın görüntüleri
- Deneyin yapılışını sırasına uygun bir şekilde görüntüleri ile birlikte sunma
- Basma deneyi sonucu gerekli hesaplamaların yapılması (Akma gerilmesi, %Şekil Değişimi ve %Kesit değişimi)
- Deneye uygun tasarımın yapılması
- Kaynaklar

Deneyin Adı

Üç Nokta Eğme Deneyi

Üç Nokta Eğme Deneyinin Amacı

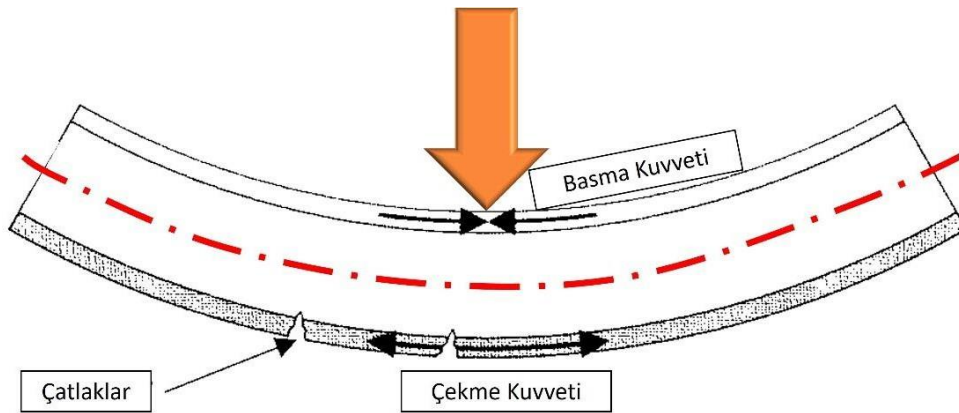
Malzemelerin eğme mukavemetlerinin hesaplanması ve şekil değiştirme özelliklerinin incelenmesi. Ayrıca eğilme davranışlarının yorumlanması.

1. Teorik Bilgi

Eğme, iki desteğe serbest olarak oturtulan, genellikle daire veya dikdörtgen kesitli düz bir deney parçasının, yön değiştirmeksizin ortasına bir eğme kuvveti uygulandığında oluşan biçim değişimidir.

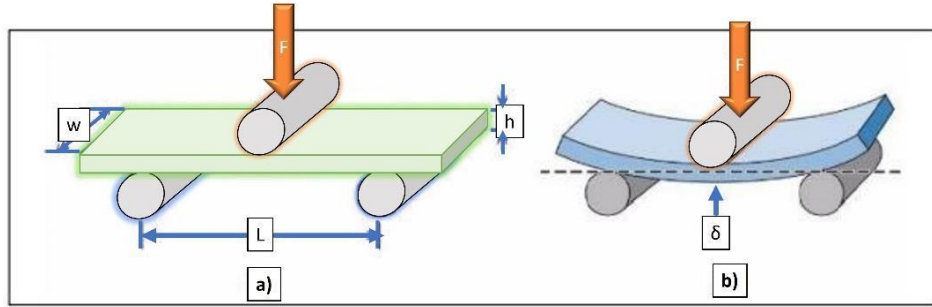
Eğme deneyinde, kalitatif sonucun yanında, eğme momenti (M_e), eğilme dayanımı (σ_e), elastisite modülü (E_e) ve eğilme miktarı (Y) gibi kantitatif değerlerde hesaplanır. Kantitatif deneyler genellikle kırılğan ve gevrek malzemeler için yapılır. (Örneğin; dökme demirler, yüksek mukavemetli çelikler, çelik döküm parçaları).

Deney numunesine bir kuvvet etkilediğinde, numune kesitinin bir kısmında basma gerilmesi, kesitin geri kalan kısmında çekme gerilmesi meydana geliyorsa numune eğilme halindedir. Eğilme halindeki numunelerin kesitinde, Şekil 6 'da görüldüğü gibi iç yüzeye yakın bölgede basma gerilmeleri, dış yüzeye yakın bölgede ise çekme gerilmeleri meydana gelmektedir.

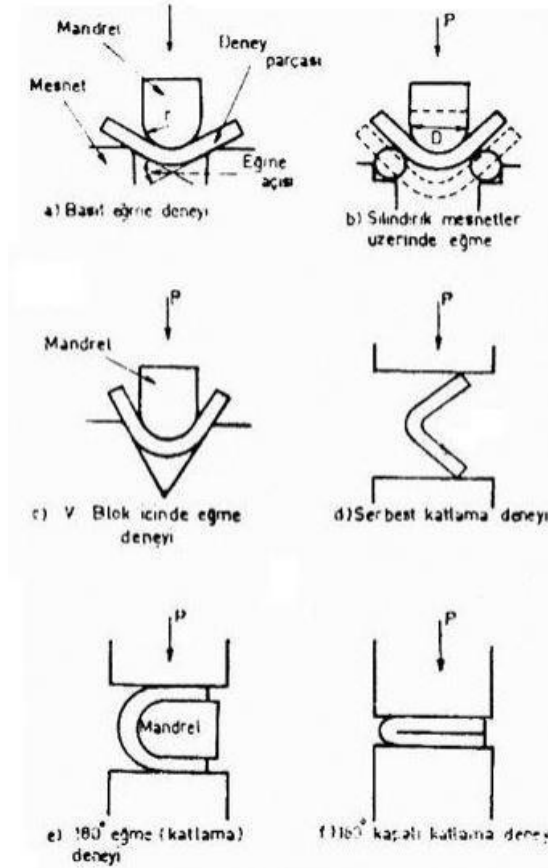


Şekil 6. Eğilme halindeki çubuk üzerindeki gerilme dağılımı [2]

Deneyin temel prensibi, deneyde kullanılacak malzemeyi "basit kiriş" modeli olarak kabul etmeye dayanmaktadır. Kiriş denklemi ideal moment durumuna göre çıkarıldığından, kirişte oluşan kayma gerilmesinin normal gerilmelere göre ihmal edilebilir düzeyde kalması istenmektedir. Bu sebeple malzemenin sabit kesit alanlı uzunluk değerinin en geniş değere oranla en az 16 katı büyük olması gerekmektedir. Deneyin sınır koşulları "basit kiriş" modellemesi ile aynıdır. Test numunesi uzunlamasına yatay bir pozisyonda destekler üzerine konurken, numunenin tam ortasından kuvvet uygulanır (Şekil 7).

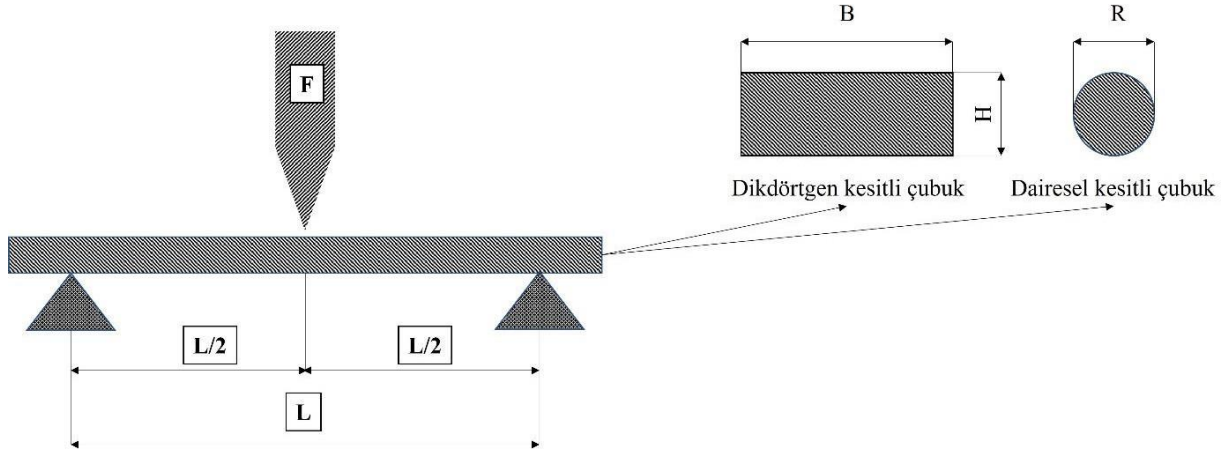


Şekil 7. Üç nokta eğme deneyinin şematik gösterimi [3]



Şekil 8. Değişik eğme deneyi düzenekleri

2. Eğme Gerilmesi Hesaplamaları



Şekil 9. 3-Nokta Eğme deneyi ve örnek numune geometrileri şematik gösterimi

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

Eğme momenti (M_e) hesabı:

$$M_e = P.L/4$$

M_e : Eğme momenti (kg-mm)

P : Uygulanan kuvvet (kg)

L : Mesnetler arasındaki uzaklık (mm)

Eğilme Dayanımı (Kırılma Modülü):

$$\sigma_{e, \max} = M_e/Z = P_{\max}.L/4.Z$$

$\sigma_{e, \max}$: Eğilme dayanımı (kırılma modülü)(kg/mm²)

L : Mesnet merkezleri arasındaki açıklık (mm)

Z : Kesit modülü (mm)

P_{\max} : Kırılma anında numuneye uygulanan kuvvet (kg)

M_e : Eğme momenti (kg-mm)

Bu formülü dairesel ve dikdörtgen kesitli deney numunelerine uygulayacak olursak;

$$\text{Dairesel kesitlerde; } I = \pi D^4/64 \quad Z = \pi D^3/32$$

Dikdörtgen kesitlerde; $I = BH^3/12$ $Z = BH^2/6$

I : Eylemsizlik momenti

D : Numune çapı (mm)

B : Numune genişliği (mm)

H : Numune kalınlığı (mm)

Elastisite Modülü (E_e) : Elastisite modülü gerilmenin deformasyonla doğru orantılı olduğu bölgede (elastik bölge), σ_e eğme gerilmesinin onunla ilgili (Y) eğilme miktarına ilişkin (ϵ) deformasyon oranına bölünmesiyle elde edilir.

(Y) eğilme miktarına bağlı olarak deformasyon oranı aşağıdaki formülle hesaplanır:

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

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

ϵ : Elastik deformasyon oranı (mm/mm)

Y : Eğilme miktarı (mm)

L : Mesnetler arası mesafe (mm)

D : Numune çapı (mm)

H : Numune kalınlığı (mm)

3. Deneyin Yapılışı

3.1. Numune Hazırlama

- Standartlara uygun olarak numuneler hazırlanır.
- Deney öncesi üretilen numunelerin boyutları tekrar ölçülür.

3.2. Eğme Deneyi

- Alt çenedeki mesnet aralığı kaydırılarak ayarlanır.
- Numune mesnetler üzerine ortalanacak şekilde yerleştirilir.
- Eğme cihazının üst çenesi ve numune ile hafif temas sağlanana kadar aşağı doğru indirilir.
- Eğme cihazını kontrol eden program üzerinden kuvvet ve uzama bilgileri sıfırlanır.
- Deney başlatılır ve numuneye kırılıncaya kadar cihaz tarafından kuvvet uygulanır.

- Bilgisayardan gerekli hesaplamalarda kullanılmak üzere kuvvet-uzama verileri alınır.

3.3. Raporda istenenler

- Deneyin amacı
- Teorik bilgi (kısa ve öz)
- Deneyde kullanılan malzemelerin ve cihazın görüntüleri
- Deneyin yapılışını sırasına uygun bir şekilde görüntüleri ile birlikte sunma
- Üç nokta eğme deneyi sonucu gerekli hesaplamaların yapılması (Akma gerilmesi, %Şekil Değişimi ve %Kesit değişimi)
- Deneye uygun tasarımın yapılması
- Kaynaklar

KAYNAKLAR

1. Kayalı, E.S., Ensari, C., Dikeç, F., 'Metalik malzemelerin Mekanik Deneyleri', İTÜ Kimya Metalurji Fakültesi, İstanbul, 1990.
2. <http://www.nature.com/nphoton/journal/v8/n8/images/nphoton.2014.169-f1.jpg>
3. The Science and Engineering of Materials, 4 th ed Donald R. Askeland - Pradeep P. Phule Chapter 6 - Mechanical Properties and Behavior
4. Metalik Malzemenin Eğme ve Katlanma Deneyleri TS205.