



T.C.

ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

ÇEKME/EĞME
DENEY FÖYÜ

HAZIRLAYAN

Yrd.Doç.Dr. Kemal YILDIZLI

ŞUBAT 2011

SAMSUN

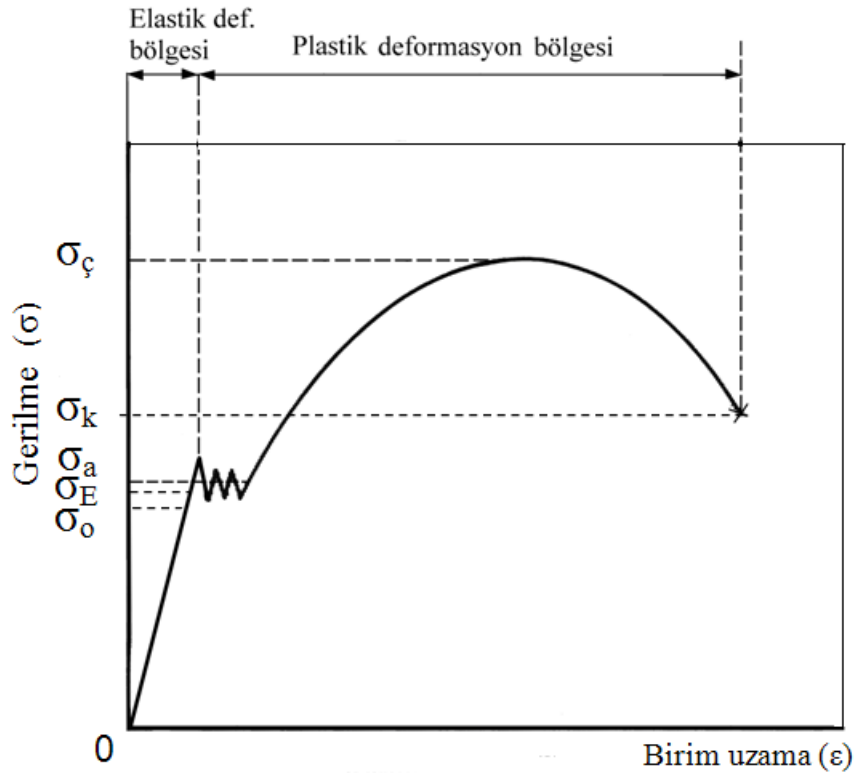
ÇEKME DENEYİ

1. DENEYİN AMACI

Çekme deneyi, malzemelerin mekanik özelliklerinin belirlenmesi, mekanik davranışlarına göre sınıflandırılması ve malzeme seçimi amacıyla yapılır. Bu deneyde standard çekme numunelerinin mukavemet değerleri ölçülür. Elde edilen değerler karşılaştırılarak, malzemelerin mekanik özellikleri değerlendirilir.

2. TEORİK BİLGİ

Bu deney sonucunda, kuvvet (F)-uzama (Δl) eğrisi elde edilir. Ancak bu eğri ile birlikte kullanılan numunenin boyutlarını da vermek gerekir. Bu nedenle, bu eğri yerine daha evrensel olan gerilme-şekil değiştirme (birim uzama) eğrisi kullanılır. Gerilme-birim uzama eğrisine çekme diyagramı adı verilir. Şekil 1'de normalize edilmiş durumdaki az (düşük) karbonlu bir çeliğin gerilme-birim uzama eğrisi verilmiştir (σ - ϵ eğrisi, $\epsilon = \frac{\Delta l}{l_0}$).



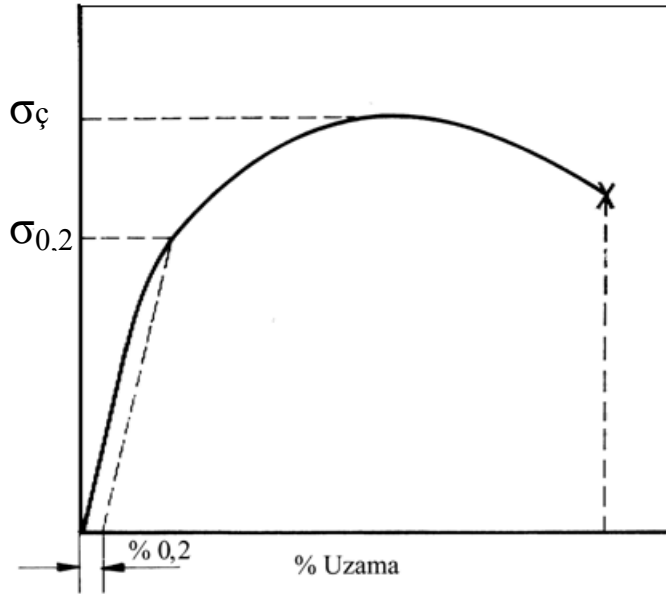
Şekil 1. Düşük karbonlu yumuşak bir çeliğin çekme diyagramı.

Çekme deneyi sonucunda malzemenin orantı sınırı, elastiklik sınırı, akma sınırı ve çekme dayanımı gibi mukavemet değerleri ile kopma uzaması, kopma büzülmesi ve tokluk ve süneklik değerleri belirlenir. Malzemenin cinsine, kimyasal bileşimine ve metalografik yapısına bağlı olan bu özellikler aşağıda sırasıyla açıklanmaktadır.

a) Orantı sınırı (σ_0): Gerilme-birim uzama diyagramında Hooke yasasının, yani $\sigma = E \cdot \varepsilon$ bağıntısının geçerli olduğu doğrusal kısmı sınırlayan gerilme değeridir. Bu bağıntıdaki orantı katsayısına (E) elastiklik modülü denir ve bu katsayı çekme diyagramının elastik kısmını oluşturan doğrunun eğimini gösterir. Bir malzemenin elastiklik modülü ne kadar büyükse, o malzemenin elastik şekil değiştirmeye karşı direnci de o ölçüde büyük olur.

b) Elastiklik sınırı (σ_E): Malzemeye uygulanan kuvvet kaldırıldığı zaman plastik uzamanın görülmediği veya yalnız elastik şekil değiştirmenin meydana geldiği en yüksek gerilme değeridir. Genellikle, elastiklik sınırı orantı sınırına eşit kabul edilir. Pratikte σ_e yerine %0,01 veya %0,005'lik plastik uzamaya karşı gelen gerilme ($\sigma_{0,01}$ veya $\sigma_{0,005}$) değerleri alınır.

c) Akma dayanımı (σ_a): Uygulanan çekme kuvvetinin yaklaşık olarak sabit kalmasına karşın, plastik şekil değiştirmenin önemli ölçüde arttığı ve çekme diyagramının düzgünlük gösterdiği kısma karşı gelen gerilme değeridir (Şekil 1). Bu değer akma kuvvetinin (F_a) numunenin ilk kesit alanına bölünmesiyle ($\sigma_a = F_a/A_0$) bulunur. Düşük karbonlu yumuşak çelik gibi bazı malzemeler, deney koşullarına bağlı olarak belirgin akma sınırı gösterebilirler. Malzemelerin belirgin akma göstermemesi durumunda, genelde %0,2'lik plastik uzamaya ($\varepsilon_{plastik} = 0,002$) karşı gelen çekme gerilmesi akma sınırı veya akma dayanımı olarak alınır (Off-set kuralı). Şekil 2'de belirgin akma göstermeyen bir malzemenin çekme diyagramı ile bu malzemenin akma dayanımının nasıl belirlendiği görülmektedir.



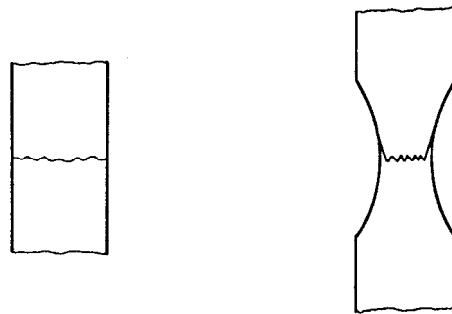
Şekil 2. Belirgin akma göstermeyen bir malzemenin akma dayanımının belirlenmesini gösteren diyagram.

d) Çekme dayanımı (σ_c): Bir malzemenin kopuncaya veya kırılıncaya kadar dayanabileceği en yüksek çekme gerilmesi olarak tanımlanır. Bu gerilme, çekme diyagramındaki en yüksek gerilme değeri olup, $\sigma_c = F_{maks}/A_0$ formülü ile bulunur. Burada F_{maks} malzemeye uygulanan en yüksek kuvveti, A_0 ise malzemenin ilk kesit alanını gösterir.

e) Kopma dayanımı (σ_k): Çekme deneyi esnasında, numune kesiti çekme kuvvetini artık karşılayamadığı anda kopma meydana gelir. Çekme diyagramı çiziminde kaydedilen bu son gerilme değerine, malzemenin kopma dayanımı adı verilir.

f) 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 $\Delta l = l_k - l_0$ bağıntısı ile bulunur. Burada l_0 numunenin ilk ölçü uzunluğunu, l_k ise numunenin kırılma anındaki boyunu gösterir. Kopma uzaması ise; $KU (\%) = \frac{\Delta l}{l_0} \times 100$ bağıntısı yardımıyla belirlenir. Bu değer malzemenin sünekliğini gösterir.

g) Kopma büzülmesi (KB): Çekme numunesinin kesit alanında meydana gelen en büyük yüzde daralma veya büzülme oranı olup, $KB (\%) = \frac{A_0 - A_k}{A_0} \times 100$ bağıntısı ile hesaplanır. Burada A_0 deney numunesinin ilk kesit alanını, A_k ise kırılma anındaki kesit alanını veya kırılma yüzeyinin alanını gösterir. Kopma büzülmesi, kopma uzaması gibi sünekliğin bir göstergesidir. Sünek malzemelerde belirgin bir büzülme veya boyun verme meydana gelirken, gevrek malzemeler büzülme göstermezler. Şekil 3'de gevrek ve sünek malzemelerin kırılma davranışları şematik olarak gösterilmiştir.



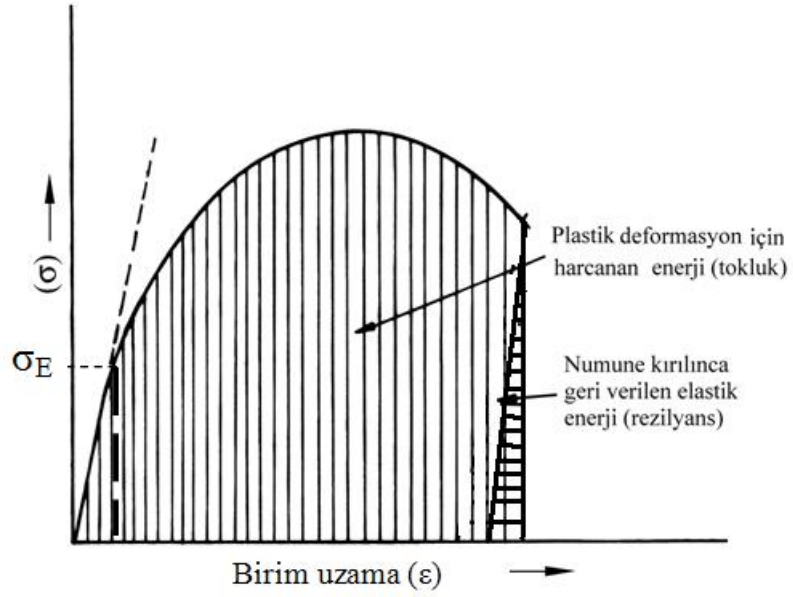
(a) Gevrek malzemenin kırılması (büzülme yok) (b) Sünek malzemenin kırılması (büzülme var)

Şekil 3. Gevrek ve sünek malzemelerin kırılma şekilleri.

g) Rezilyans: Malzemenin yalnız elastik şekil değiştirmesi için harcanan enerji veya elastik şekil değiştirme sırasında malzemenin depoladığı enerji demektir. Bu enerji, gerilme (σ)-birim uzama (ϵ) eğrisinin elastik kısmının altında kalan alan ($\frac{\sigma_E \cdot \epsilon_{el}}{2}$) ile belirlenir ve numune kırılıncaya geri verilir.

h) Tokluk: Malzemenin birim hacmi başına düşen plastik şekil değiştirme enerjisi olarak tanımlanır ve malzemenin kırılıncaya kadar enerji depolama veya soğurma yeteneğini gösterir. Tokluk, genellikle σ - ϵ eğrisinin altında kalan alanın ($\int_0^{\epsilon_k} \sigma \cdot d\epsilon$) hesaplanması ile bulunur. Bu formüldeki ϵ_k malzemede kırılıncaya kadar

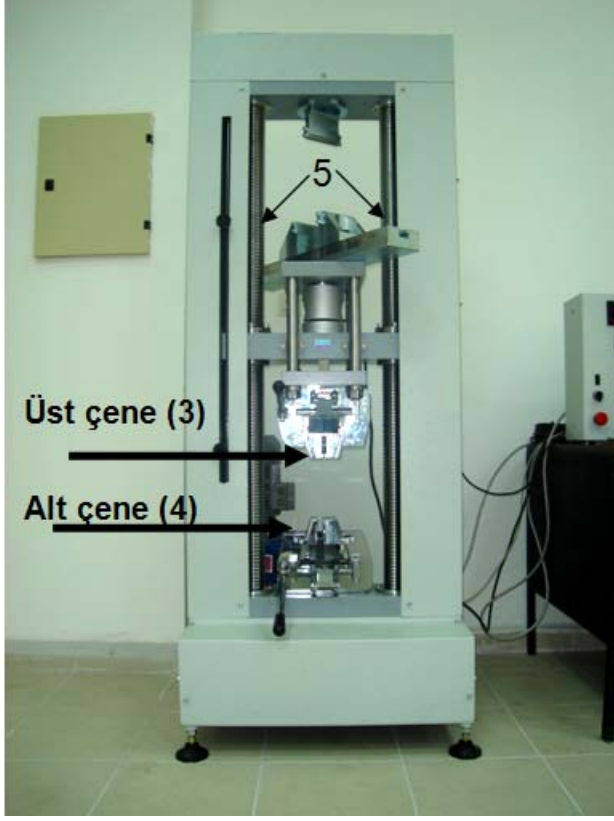
meydana gelen en yüksek veya toplam birim şekil değiştirme miktarıdır. Tokluğun gerilme–birim uzama eğrisi yardımıyla belirlenişi Şekil 4’de gösterilmiştir.



Şekil 4. Gerilme-birim uzama eğrisi yardımıyla Şekil değiştirme enerjilerinin (rezilyans ve tokluk) belirlenmesi.

3. DENEY DÜZENEğİ

Çekme deneyi, üniversal çekme test cihazlarında gerçekleştirilir. Bu cihazlarda çekme kuvveti, mekanik veya hidrolik güç aktarım organları vasıtası ile uygulanır. Şekil 5’de çekme deney düzeneği verilmiştir. Düzenek, genel olarak, elektrik motoru(1), redüktör(2), deney numunesini tutmayı sağlayan üst çene(3) ve alt çene(4) den ibarettir. Alt çene sabit (hareketsiz); üst çene ise yukarı/aşağı hareket edebilmektedir. Üst çenenin hareketi, sağ ve sol tarafta düşey konumlu simetrik iki adet sonsuz vida mekanizması (5) ile sağlanır. Bu hareket, elektrik motoru ile tahrik edilen dişli redüktörden vida mekanizmasına iletilen döndürme momenti ile gerçekleşir. Alt çene sabit olduğundan, üst çenenin yukarı hareketi ile çekme kuvveti, deney numunesine tatbik edilir. Deney esnasında, kuvvet değeri, yük hücresinden (load cell); uzama değeri ise; üst çenenin hareketini sağlayan vidanın adımına (hatve) göre ölçülür. Deney sırasında çekme numunesine sürekli olarak artan çekme kuvveti uygulanır ve kırılma anına kadar hem uygulanan kuvvet hem de numunede meydana gelen uzama, bilgisayara kaydedilir.



a) Ön görünüş

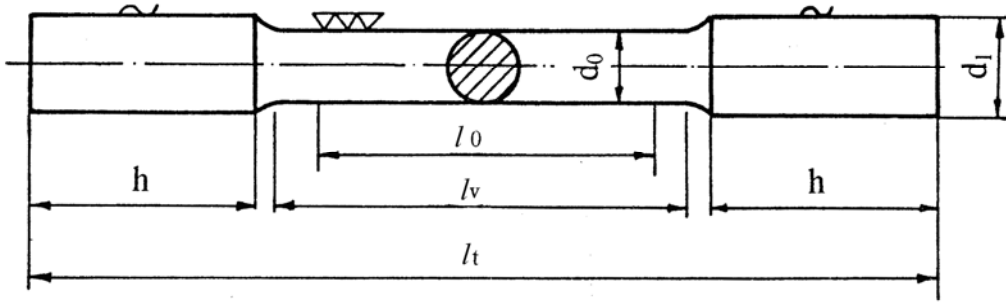


b) Yan görünüş

Şekil 5. Çekme/eğme deney düzeneği

4. DENEYİN YAPILIŞI

Çekme deneyinin yapılışı çeşitli standart ve kaynaklarda ayrıntılı biçimde verilmiştir. Numune tipi büyük ölçüde malzemenin biçimine göre seçilir. Çekme deney numuneleri, içi dolu çubuk, boru, profil, köşebent, levha veya inşaat demirinden ilgili standartlara göre talaşlı işleme ile hazırlanır. Şekil 6'da TS 138 A normuna göre hazırlanmış içi dolu, daire kesitli (yuvarlak) silindirik başlı bir çekme numunesi görülmektedir.



Şekil 6. Daire kesitli silindirik başlı çekme numunesi

Bu şekilde d_0 numunenin çapını, d_1 baş kısmının çapını ($1,2d_0$), l_1 inceltmiş kısmın uzunluğunu ($l_0 + d_0$), l_0 ölçü uzunluğunu ($5d_0$), h baş kısmının uzunluğunu ve l numunenin toplam uzunluğunu göstermektedir. Çapı 10 mm ve ölçü uzunluğu 50 mm olan çekme numunesi 10 x 50 TS 138A şeklinde gösterilebilir. Deneyin yapılış aşamaları aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- 1) Deney numunesi iki ucundan çenelere yerleştirilir.
- 2) Numunedeki esnekliği gidermek için 2-5 N civarı ön yük uygulanır.
- 3) Numunenin ilk ölçü boyu (gauge length) ve çapı kumpasla ölçülüp kaydedilir.
- 4) Çekme hızı istenen değere ayarlanır. (Genellikle 10 mm/dakika)
- 5) Gösterge ekranından okunan kuvvet ve uzama değerleri sıfırlanır.
- 6) Deney başlatılır ve numune kopuncaya kadar kuvvet-uzama değerleri kaydedilir.
- 7) Deney numunesi koptuktan sonra tekrar bir araya getirilerek, kopma uzunluğu ve kesit çapı kumpasla tekrar ölçülür.
- 8) Çekme diyagramı çizilir ve deney yorumlanır.

4. ÖLÇÜMLER VE DENEY SONUÇLARI

Her bir deney için aşağıdaki örnekte gösterildiği gibi önce ölçümler yapılır ve daha sonra formüller yardımıyla sonuçlar elde edilir.

Malzeme adı: Düşük karbonlu alaşımsız çelik (Örn: AISI 1020)

Isıl işlem durumu: Normalize edilmiş

Sertlik: 220–225 BSD

Ölçümler

Numune çapı (d_0) =

Ölçü uzunluğu (l_0) =

Akma kuvveti (F_a) =

En yüksek çekme kuvveti (F_{maks}) =

Son boy (l_k) =

Son çap (d_k) =

İlk kesit alanı (A_0) =

Son kesit alanı (A_k) =

İstenenler:

Çekme diyagramı (Mühendislik diyagramı)

Akma dayanımı (σ_a) = F_a/A_0 =

Çekme dayanımı ($\sigma_{\check{c}}$) = F_{maks}/A_0 =

Kopma uzaması (%) = $\frac{\Delta \ell}{\ell_0} \times 100$ =

Kopma büzülmesi (%) = $\frac{A_0 - A_k}{A_0} \times 100$ =

Tokluk =

Rezilyans =

5. DEĞERLENDİRME

Bu bölümde, farklı metallerin veya ısıl işlemlere tabi tutulmuş aynı cins numunelerden elde edilen deney sonuçları karşılaştırılarak irdelenir. Başka bir deyişle elde edilen sonuçlar arasında, malzemelerdeki yapısal farklılıklar ve değişimlere dayandırılarak açıklanır. Örneğin normalize edilen çelik yumuşatma tavına tabi tutulduğunda sertlik ve mukavemeti azalırken, kopma uzaması ve kopma büzülmesi değerleri artar. Aynı çelik su verilerek sertleştirildiğinde sertlik ve mukavemeti büyük ölçüde artarken, süneklik değerleri önemli ölçüde azalır. Başka bir deyişle çelik gevrekleşir. Bu tür yapısal değişimlerle ilgili bilgiler aşağıda verilen kaynaklarda geniş biçimde yer almaktadır. Elde edilen sonuçlara bakılarak üretilen bir parçaya uygulanması gereken en uygun ısıl işlemin ne olması gerektiği ortaya konulabilir.

6. SONUÇLAR

Bu bölümde elde edilen verilerin değerlendirilmesi sonucunda çıkarılan genel sonuçlar verilir. Aşağıda bunlarla ilgili iki örnek verilmiştir.

1. Normalize edilen çelik yumuşatma tavına tabi tutulduğunda sertlik ve mukavemeti azalırken, kopma uzaması ve kopma büzülmesi değerleri artar.
2. Su verilerek sertleştirilen çelik menevişleme işlemine tabi tutulduğunda mukavemetinde azalma, sünekliğinde ise artma meydana gelir.

7. KAYNAKLAR

1. T. Savaşkan: Malzeme Bilgisi ve Muayenesi, Akademi Ltd. Şti. Yayınları, No:15, Trabzon, 2004.
2. TS 138 EN 10002-1: Metalik Malzemeler-Çekme Deneyi, Türk Standartları Enstitüsü, Nisan 2004.
3. W. F. Smith: Principles of Materials Science and Engineering, McGraw-Hill, Inc., New York, USA, 1996.
4. E. S. Kayalı, C. Ensari ve F.Dikeç: Metalik Malzemelerin Mekanik Deneyleri, İTÜ Kütüphanesi, sayı: 1262, İstanbul, 1990.
5. Çekme Deney Düzenegi, Kullanım Klavuzu, Mares, 2010.

EĞME DENEYİ

1. DENEYİN AMACI

Eğme deneyi ile, eğilen bir çubuğa etkiyen yük ve elastik deformasyon arasındaki ilişkiyi göstermek amaçlanır. Sabit veya değişken yükleme şartlarında, elastik deformasyon sahasında çubuğun dayandığı maksimum eğilme yükü bulunur.

2. TEMEL ESASLAR

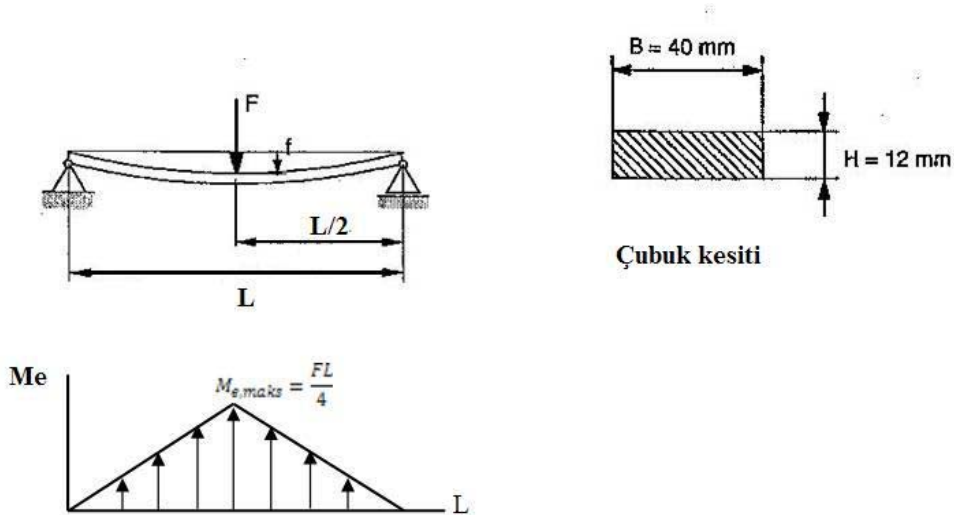
Şekil 1'de görüldüğü gibi, bir çubuk, eğme yüküne maruz bırakıldığında, elastiklik modülünün ve kesit atalet momentinin etkisi belirlemeye başlar. Eğme deneyi, iki mesnet üzerine yerleştirilmiş ve konsantre bir kuvvetle yüklenmiş bir çubuğu inceler. Merkezi kuvvet tatbiki incelenmesi dışında, mesnet aralığını değiştirerek, kuvvet uygulamak da mümkündür.

Merkezden yüklü bir eğilme çubuğundaki sehim, F yükünün bir fonksiyonudur. Mesnetlerin aralığı L, kesit atalet momentini I ve elastik modülü E alınırsa, sehim f aşağıdaki formül ile bulunur.

$$f = \frac{F.L^3}{48EI}$$

Düzlemsel atalet momentini I, B genişliğinde ve H yüksekliğine sahip dikdörtgen kesitli bir malzeme için aşağıdaki formülle hesaplanabilir.

$$I = \frac{BH^3}{12}$$



Şekil 1. İki uçtan mesnetli eğme yüküne maruz çubuk

Kullanılan çelik malzeme için elastik modülü $E=210.000 \text{ N/mm}^2=210 \text{ GPa}$ 'dır. Deney yapılırken, çubuğun maksimum izin verilebilir yükünün bilinmesi önemlidir. Şayet malzemenin akma gerilmesi (σ_a) aşılsa, çubuk kalıcı olarak deforme olacak ve artık kullanım için uygun olmayacaktır. Malzeme $400 \text{ N/mm}^2 = 400 \text{ MPa}$ akma gerilmesine sahiptir. Bu gerilme değeri, izin verilen maksimum F_{maks} yükünü, mesnet aralığının bir fonksiyonu olarak belirlemeyi sağlar. Maksimum eğme gerilmesi ($\sigma_{e,\text{maks}}$), çubuğun merkezinde (ortasında) meydana gelir:

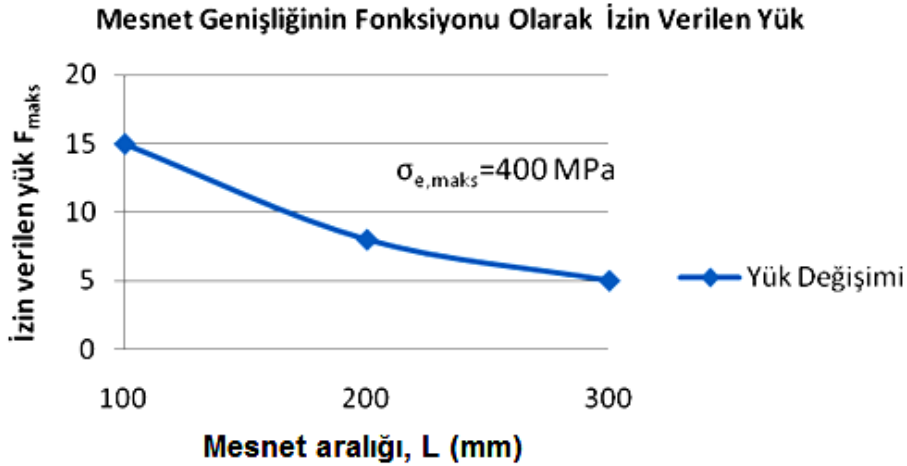
$$\sigma_{e,\text{maks}} = \frac{M_{e,\text{maks}}}{W_b}$$

$$M_{e,\text{maks}} = \frac{FL}{4} \quad \text{ve} \quad W_b = \frac{BH^2}{6}$$

Bu durumda;

$$F_{\text{maks}} = \frac{2\sigma_{e,\text{maks}}.B.H^2}{3.L}$$

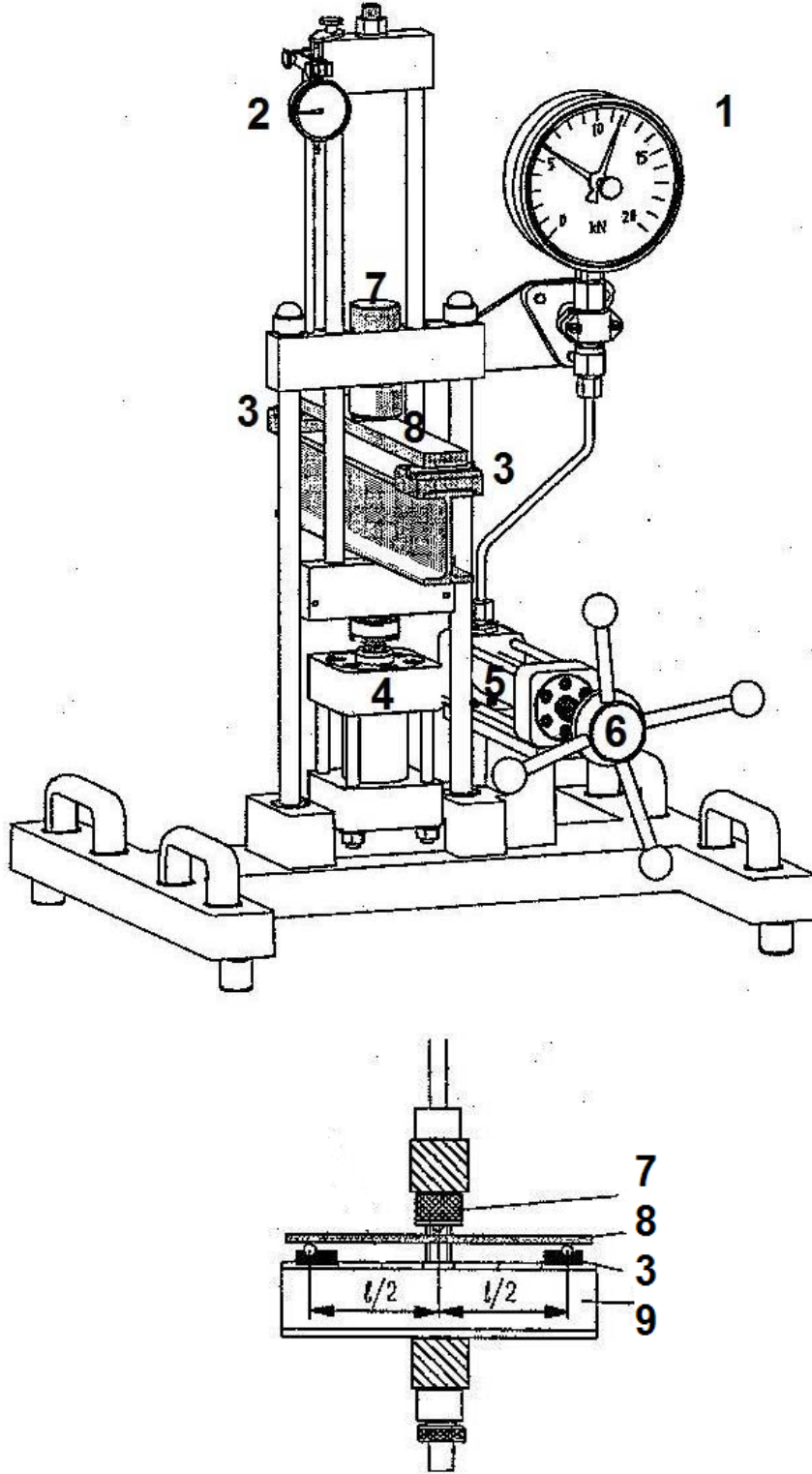
Şekil 2'deki diyagramda, mesnet aralığı ile maksimum izin verilen yük ilişkisi gösterilmektedir.



Şekil 2. Mesnet aralığının fonksiyonu olarak izin verilen yük

3. DENEY DÜZENEĞİ

Eğme deney düzeneğinin şematik görünümü, Şekil 3'de verilmiştir. Deney konfigürasyonu, kuvvet göstergesi (1), kadran (2), iki adet mesnet (3), hidrolik silindirler (4 ve 5) çevirme kolu (6), zımba (7) ve dikdörtgen kesitli deney çubuğundan (8) ibarettir. Çevirme kolu döndürüldüğünde, 5 numaralı hidrolik silindir içindeki piston hareket eder ve silindir içindeki sıvı akışkanı (4) nolu hidrolik silindir içerisine gönderir. Böylece, 4 numaralı silindirin pistonu yukarı doğru hareket eder ve 7 numaralı zımba sabit olduğundan, zımba üzerinde deney numunesini eğmeye maruz bırakır. Deney esnasında kuvvet değişimi, kuvvet göstergesinden(1), sehim ise kadrandan (2) okunarak kaydedilir. Mesnet aralığı, I profil (9) üzerinde arzu edilen mesafeye mesnetler kaydırılarak değiştirilebilir.



Şekil 3. Üç nokta eğme şematik deney konfigürasyonu

Sabit yük altında, mesnet aralığının sehim üzerine etkisini incelemek istenir. 5 kN sabit bir yük seçilir. Bu yük, çubuğun plastik deforme olmadığı tüm mesnet aralık değerlerine izin verir.

Teorik olarak hesaplanmış sehim değerleri:

Çeşitli mesnet aralıkları için sehim değerleri			
L aralığı (mm)	100	200	300
Sehim f (mm)	0,09	0,69	2,32

4. DENEYİN YAPILIŞI

Eğme deneyinin yapılış aşamaları aşıağıda sıralanmıştır:

- 1) Mesnetleri kaydırarak mesnet aralığı ayarlanır. (100, 200, 300 mm)
- 2) Kuvvet göstergesi, ilk sehimi gösterinceye kadar çubuğa hafifçe yük uygulanır.
- 3) Kadran sıfıra ayarlanır.
- 4) Çubuk 5 kN test yükü ile yüklenir.
- 5) Kadrandan deformasyon miktarı okunur ve kaydedilir.
- 6) Deneyi bir başka mesnet aralığı için tekrarlanır.

Deney sırasında kadrandan okunan sehim değerleri:

Çeşitli mesnet aralıkları için sehimler, f (F=5 kN)			
Mesnet aralığı, L	100	200	300
Sehim, f	0,29	0,95	2,56

5. İSTENENLER

Deney sonuçları teorik hesap sonuçlarıyla aynı grafikte gösterilir.(Mesnet aralığı-sehim grafiği)

Bunun için,

- Teorik hesaplama bulunan sehim değeri tablosu çiziniz.
- Kadrandan okunan deneysel sehim değerleri tablosunu çiziniz.
- Teorik ve deneysel bulunan sehim değerlerinin grafiğini çiziniz.

6. KAYNAKLAR

- 1) GUNT WP 300.04. Bending Device for Universal Material Tester Catalogue, 2010