



**ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ**  
**MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ**  
**MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ**

## **BURULMA DENEYİ FÖYÜ**

**HAZIRLAYAN**

Yrd.Doç.Dr. Kemal YILDIZLI

**EKİM 2012**

**SAMSUN**

# BURULMA DENEYİ

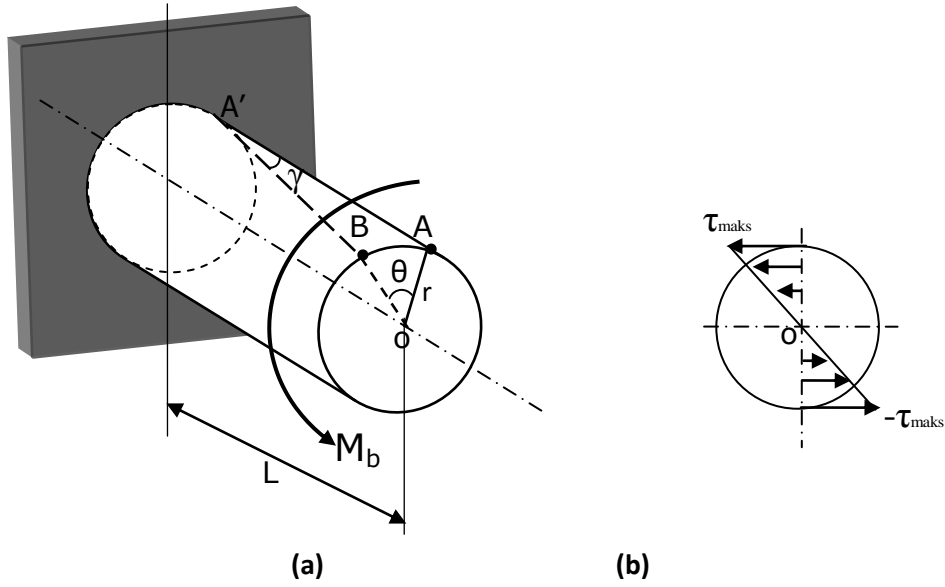
## 1. DENEYİN AMACI

Bu deney, burulma momentine maruz bırakılan içi dolu metalik bir çubuk malzemede, burulma açısı ile ilişkili kayma gerilmelerini ve kayma şekil değişimlerini deneysel olarak belirlemeye imkan verir. Ayrıca deneyde, test edilecek malzemeye ait kayma modülünün hesaplanmasını ve burulma momentinin ölçümünü öğretmek amaçlanmaktadır.

## 2. TEORİK ESASLAR

Burulma deneyini değerlendirebilmek için, burulma momenti ve etkileri, içi dolu bir çubuk malzeme üzerinde Şekil 1'de gösterilmiştir.

Şekil 1.a' da görülen, bir ucu ankastre L uzunluğunda r yarıçaplı bir çubukta, burulma momenti ( $M_b$ ) etkisi ile, başlangıçta çubuk üzerindeki A noktası, B konumuna; A-A' lifi ise, A' noktası sabit olduğu için A'B şeklini alır. Bu durumda, A noktasının B noktasına hareketi sonucu, bu noktaların, çubuğun O merkezine göre konumları arasında taranan açı, burulma açısı ( $\theta$ ); A-A' lifi ve A'B lifi arasında oluşan açı, kayma açısı ( $\gamma$ ) olarak ifade edilir.



Şekil 1. Burulma momentine maruz bir çubuk

Şekil 1.b'de görüldüğü gibi, çubuğun deformatsiyonu sırasında yüzeydeki liflerde eşit ve zıt yönde maksimum kayma gerilmeleri ( $\tau_{maks}$ ) oluşur. Kayma gerilmeleri, çubuk merkezine doğru gidildikçe azalır ve çubuk merkezinde sıfır değerini alır.

### 2.1. Kayma Gerilmesinin Hesabı

Kayma gerilmesi ( $\tau$ ), burulma momenti ( $M_b$ ) ve burulma mukavemet momentinden ( $W_b$ ) aşağıdaki formül ile hesaplanır.

$$\tau = \frac{M_b}{W_b} \quad (2.1)$$

İçi dolu dairesel kesitlerde;

$$W_b = \frac{\pi d^3}{16} \quad (2.2)$$

Maksimum kayma gerilmesi ( $\tau_{\text{maks}}$ ), maksimum burulma momentinden ( $M_{\text{maks}}$ ) hesaplanır:

$$\tau_{\text{maks}} = \frac{M_{\text{maks}}}{W_b} \quad (2.3)$$

## 2.2. Kayma Açısı ve Kayma Modülünün Hesabı

Kayma açısı ( $\gamma$ ); numune uzunluğu(L) ve numune yarıçapı( $r=d/2$ ) bilindiğinde, burulma açısı ( $\theta$ ) radyan cinsinden aşağıdaki formüle yazılarak hesaplanır.

$$\gamma = \frac{r}{L} \theta \quad (2.4)$$

Kayma modülü (G), elastik deformasyon bölgesinin lineer kısımda, kayma gerilmesi ve kayma açısından belirlenebilir.

$$G = \frac{\tau}{\gamma} \quad (2.5)$$

veya deney çubuğunun değerlerinden,

$$G = \frac{32.L.M_{el}}{\pi.\theta_{el}.d^4} \quad (2.6)$$

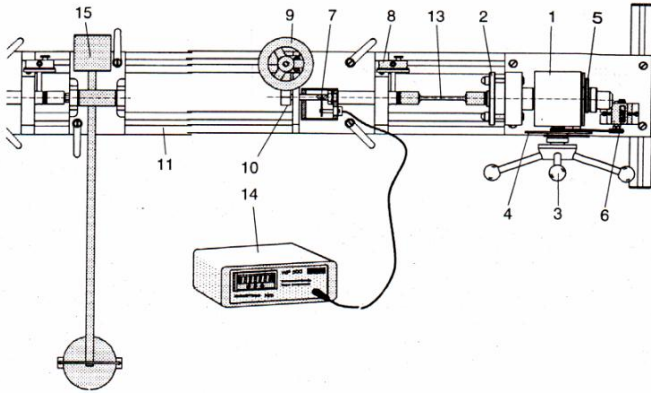
Burada  $M_{el}$ , lineer elastik deformasyon aralığında tespit edilen burulma moment değerlerinden herhangi biri ve  $\theta_{el}$  ise, buna karşılık gelen burulma açısı değeridir.

## 3. DENEY DÜZENEGİ

### 3.1. Yükleme ve Ölçüm

Burulma deney düzeneği, **yükleme tertibatı, moment ölçüm ünitesi, amplifikatör ve kalibrasyon ünitesi** olmak üzere toplam dört setten ibarettir. Yükleme (burma) tertibatı, tezgah kızakları üzerinde sabit, moment ölçüm ve kalibrasyon üniteleri ise, tezgah kızakları üzerinde hareket ettirilerek istenen konuma monte edilebilecek şekilde tasarlanmıştır (Şekil 2).

**Yükleme (burma) tertibatı**, bir redüktör (1), bir tambur (2), bir el çarkı (3), el çarkı açısı skalası (4) burulma açısı skalası (5), ve el çarkının devir sayısını gösteren mekanik bir sayaç (6) tan ibarettir. El çarkı ile redüktörün tahrik miline 1:63 tahvil oranı ile aktarılan burulma momenti, redüktör çıkışı miline bağlı tamburdan numuneye (13) iletilir. Bir ucu sabitlenen numunenin, el çarkı döndürüldükçe burulması numune kırılıncaya kadar sürer.

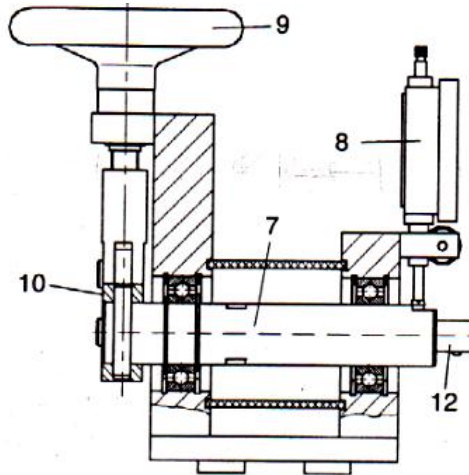


(a)

(b)

**Şekil 2.** Burulma deney düzeneği (Üstten görünüş (a) ve önden görünüş (b))

**Moment ölçüm ünitesi** (Şekil 3), seçilen numune uzunluğuna göre, ünite, tezgah kızakları üzerinde hareket ettirilerek arzu edilen konumda sabitlenebilir. Moment ölçümü, bu ünite de yeralan numuneden daha kalın bir mil yardımı ile yapılır. Mil yüzeyine çeşitli pozisyonlarda yerleştirilmiş strain gageler elastik deformasyonu ölçer. Milin kare kesitli sağ ucu (12), deney numunesinin sol ucuna bir soketle mekanik olarak bağlanır. Deney numunesi burulmaya çalışıldığında, ölçüm miline aktarılan moment nedeni ile milde oluşan elastik deformasyon miktarına bağlı strain gagelerdeki voltaj değişimi, dijital formda N.m cinsinden, **amplifikatör** (14) den okunur. Bu nedenle, deney numunesinin sol ucunun, moment ölçüm mili ile bağlantısı tam anlamı ile ankastre değildir. Burulma açısının ölçümünde hata oluşturur.

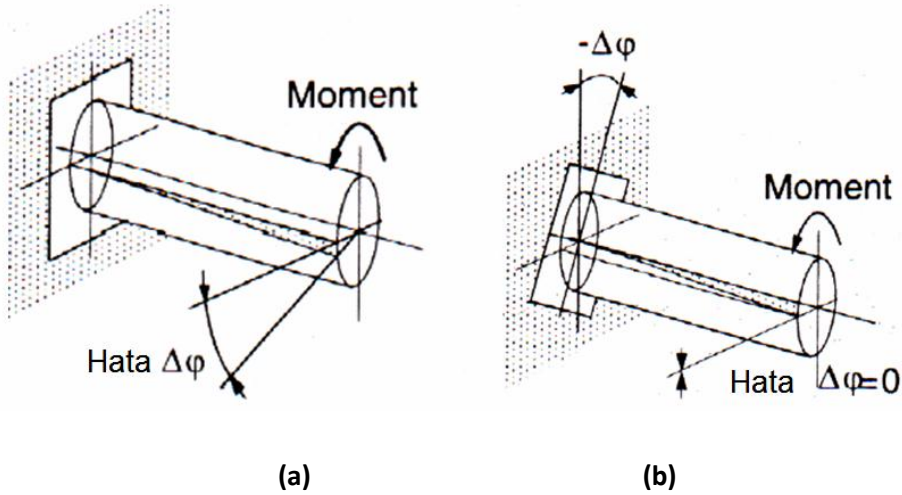


**Şekil 3.** Moment ölçüm ünitesi kesit görünüşü

Deney numunesine moment uygulandığında, numunenin sol ucu ve moment ölçüm mili de hafifçe burulur. Bu nedenle 5 nolu skalanın, doğru burulma açısını yansıtması için, moment ölçüm milinin burulmasından kaynaklanan bu ölçüm hatasını kompanze etmek gerekir. Deneyde oluşan bu açı farkı, bir (kadrant) (8), bir el çarkı (9) ve bir vida mekanizması ile hareket verilen bir döner dingil (10) yardımı ile, Bölüm 5.1’de açıklanan kompanzasyon işlemi ile kapatılır.

### 3.2. Kompanzasyon İşlemi

Numuneye aktarılan moment, moment ölçüm milinin de burulmasına sebep olur. Bu deformasyon numunedeki burulma açısı tanımlanırken bariz bir hata meydana getirir. Bu hatayı telafi etmek amacıyla, moment ölçüm milinin diğer ucuna karşı yönde bir moment uygulamaya yarayan kompanzasyon mekanizması mevcuttur. Şekil 4.a' da görüldüğü gibi, deneyde oluşan bu açı farkı, moment ölçüm ünitesine ait bir kadran (8) dan izlenir. Bir vida mekanizması ile hareket verilen döner dingil (10), ölçüm milinin diğer ucunda karşı bir döndürme momenti oluşturur. Kadranın ibresi, tekrar sıfır değerini gösterinceye kadar, moment ölçüm ünitesinde bulunan el çarkı çevrilerek bu fark sıfırlanır (Şekil 4.b).

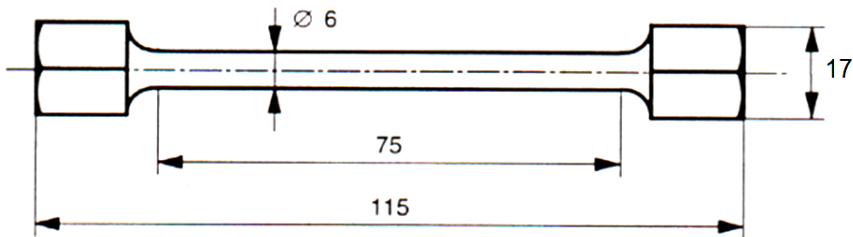


Şekil 4. Moment ölçüm milindeki deformasyon (a) ve giderilmesi (b)

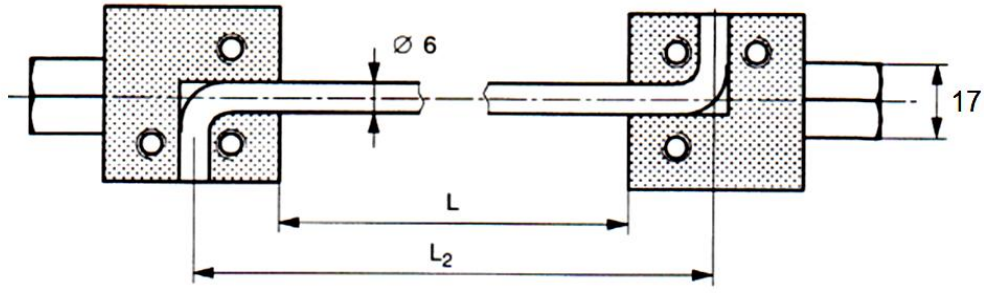
Yük tertibatlı **kalibrasyon ünitesi**(15), tanımlanan moment, yükler kullanılarak moment ölçüm ünitesini kalibre etmek için üretilir.

### 4. DENEY NUMUNESİ

Burulma deneyi için kullanılacak test numuneleri (13), 17 mm'lik altıgen geometriye sahip metalik malzemeden talaşlı imalatla Şekil 5'de verilen ölçülerde işlenerek hazırlanır. Ayrıca, aynı kesit çapında ancak daha uzun (tutucu içinde kalacak kısımları ile birlikte  $L=750$  mm ye kadar) olan metalik malzemeleri de test etmek mümkündür(Şekil 6).



Şekil 5. Kısa numune



**Şekil 6.** Uzun numune ve tutucuları

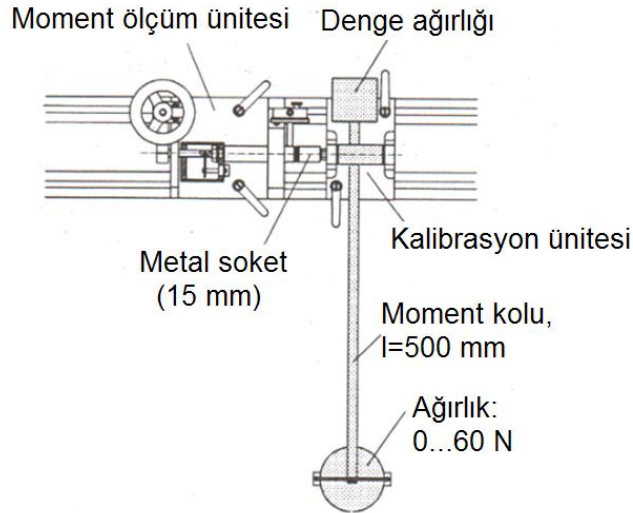
(L: tutucular arası mesafe; kıvrılmış uç merkezleri arası mesafe [mm])

## 5. DENEYE HAZIRLIK

Deney öncesi, düzeneğin kalibrasyon işleminin yapılması ve sonrasında deney numunesinin yerleştirilmesi gerekmektedir. Bu işlemlerin nasıl yapılacağı hakkında detaylar aşağıda açıklanmıştır.

### 5.1. Kalibrasyon İşlemi

Kalibrasyon işlemi, moment ölçüm ünitesini, belirli bir moment aralığı için kalibre etmek amacı ile yapılmaktadır. Kalibrasyon ünitesi, Şekil 7’de görüldüğü gibi, 500 mm sabit uzunlukta bir moment kolu ve bu kolun ucuna asılan toplam 60 N’luk bir ağırlık setini içerir.



**Şekil 7.** Kalibrasyon ünitesi

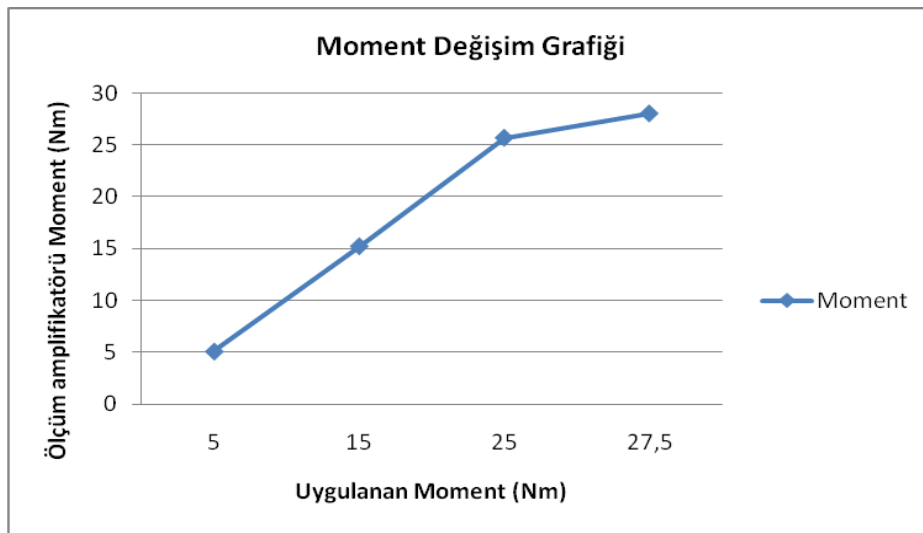
Moment kolu ve ağırlıkların yerleştirildiği metal tutucunun kendi ağırlıklarının oluşturduğu moment, bir denge ağırlığı (15) ile dengelenir. Sonra, ağırlıklar asılarak, 0-30 Nm aralığında kalibrasyon momentleri oluşturup, 2.5 Nm ölçüm hassasiyeti ile düzenek kalibre edilmeye çalışılır.

Kalibrasyon işleminin aşamaları sırası ile aşağıda tariflenmiştir:

- Kalibrasyon ünitesi, moment ölçüm ünitesine yaklaştırılır ve 15 mm uzunluğunda metal bir soket ile monte edilir.
- Moment ölçüm ünitesinin elektriksel kabloları amplifikatöre bağlanır.
- Amplifikatörün arka tarafında bulunan ana güç girişi açılır ve strain gagelerin ısınması için yaklaşık 30 dakika beklenir.
- Sadece ağırlık tutucu asılarak, ölçüm amplifikatörü ilk olarak resetlenerek okunan değer sıfırlanır. Okunan değeri sıfırlamak için ▽ tuşu ve P tuşuna aynı anda basılır (Şekil 8). Bu işlemi yaparken hiçbir yük uygulanmamalıdır.
- Ağırlıklar, 5 Nm artışlarla arttırılır ve her defasında amplifikatörden okunan moment değerleri not edilir. Yüklerden hesaplanan tüm moment değerleri ve amplifikatörden okunan tüm değerlerin görüldüğü Şekil 9'daki gibi bir grafik çizilir ve aralarında bir doğrusallığın olup olmadığı belirlenir. Doğrusallık yok ise, moment ölçüm ünitesi kalibreli değildir.



Şekil 8. Sıfırlama işleminin yapıışı



Şekil 9. Burulma momenti için kalibrasyon eğrisi oluşturulması

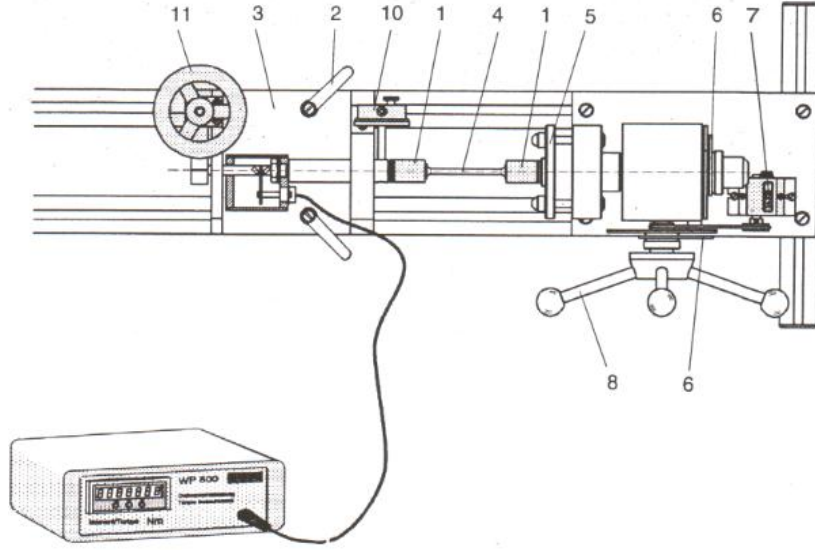
## 5.2. Numune Yerleştirme İşlemi

Deney numunesi yerleştirme işlemi Şekil 10'da şematik olarak izah edilmiştir. Yerleştirme işlemi yapılırken aşağıdaki sıra takip edilmelidir:

- Altıgen ağızlı numune tutucular (1) dan biri tambura, diğeri moment ölçüm ünitesi mil ucuna takılır.

- Moment ölçüm ünitesinin (3) kilitleme ayakları (2) açılır ve sola doğru itilir.
- Deney numunesi (4) iki ucundan tutuculara yerleştirilir ve moment ölçüm ünitesi sağa doğru kaydırılır. Hareketli tamburun\*(5), hareket sahasının tam ortasında bulunduğundan emin olunur.
- Hareketli tamburun ayarlanan konumunu değiştirmeden, moment ölçüm ünitesi sola kaydırılarak numunenin sol ucunu tutan tutucu ile irtibatlandırılır.

**\*Not:** Burulma deneyi sırasında, numune burulduğu için, boyunda uzama meydana gelebilir. Bu uzamadan kaynaklanan yeni bir direnç meydana gelmemesi için, uygulanan döndürme momentini numuneye ileten tambur, aynı zamanda doğrusal hareket edecek şekilde tasarlanmıştır.



Şekil 10. Numunenin yerleştirilmesi

## 6. DENEYİN YAPILIŞI

- Amplifikatör arka panelindeki start tuşuna basılarak cihaz çalıştırılır ve yaklaşık 30 dakika ısınmasına izin verilir.
- Numune elle kontrol edilerek herhangi bir gevşeklik olmayana dek, el çarkı hafifçe çevrilip ön gerilme uygulanır.
- Amplifikatör ön panelindeki ▽ tuşuna basılı tutulup aynı anda P tuşuna basılarak, moment göstergesi Şekil 8’de görüldüğü gibi sıfırlanır.
- El çarkı ve burulma açısı skalası elle çevrilerek sıfır derece konumuna getirilir.
- Moment ölçüm ünitesinde bulunan kadran (10) sıfıra ayarlanır.
- Devir sayacı (7) sıfırlanır.
- Burulma momenti, el çarkı numune kırılıncaya kadar çevrilerek manuel olarak uygulanır. Yük tatbiki, Bölüm 6.1’de tariflendiği şekilde yapılır.
- El çarkının her turunda, oluşan momentin değeri, amplifikatörün ön panelindeki dijital göstergeden okunur. Numunenin burulma açısı değeri ise, moment ölçüm milinde oluşan  $\Delta\phi$  kadarlık burulma farkı, kompanzasyon işlemi (Bakınız Bölüm 3.1) ile giderildikten sonra burulma açısı skalasından okuma gerçekleştirilir.
- Her burulma momenti ve karşılık gelen burulma açısı değerleri Tablo 1’deki gibi listelenir.
- Kayma gerilmeleri ve kayma açıları hesaplanır.



## 6.1. Yükleme (Burma) İşlemi

- Numuneye yük uygulamak için, el çarkı (8) saat ibresi yönünde döndürülür. El çarkı, her bir yük kademesi için tanımlanmış bir açıyla döndürülmelidir. Yükleme işlemine düşük burulma açıları oluşturacak şekilde başlanmalı, sonra, burulma açıları gittikçe yükseltilmelidir.
- Her bir yük kademesi için aşağıdaki açılar önerilmektedir.
  - ✓ El çarkının ilk dönüşü:  
90° numune üzerinde 1,42'lik açıya karşılık gelir.
  - ✓ İkinci ve üçüncü dönüşler:  
180° numune üzerinde 2,85'lik açıya karşılık gelir.
  - ✓ Dördüncü dönüş:  
360° numune üzerinde 5,71'lik açıya karşılık gelir.
- Uzun ve ince kesitli numunelerde, kırılmadan önce birkaç yüz dönüş yaptıkları görülebilir. Bu durumda, burulma açısı değeri, devir sayacı, burulma açısının bulunmasında pratiklik sağlar. El çarkının dönüş açısını, numunenin burulma açısına çevirmek için giriş açısı 63'e bölünür.

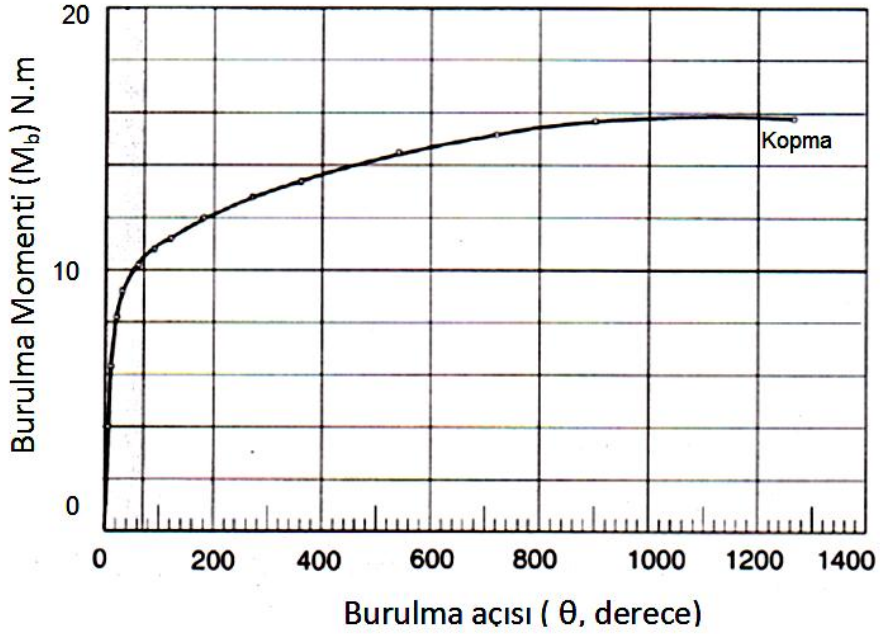
**Tablo 1.** Ø6 x 75 mm pirinç numune için örnek ölçüm sonuçları

El Çarkı Devri	Burulma Açısı [°]	Burulma Momenti [N.m]
0	0	0
0,25	1,5	0,1
0,5	3	0,3
0,75	4,5	0,9
1	6	1,6
1,5	9	3,6
2	12	5,9
2,5	15	7,5
3	18	8,2
4	24	9,0
5	30	9,3
6	36	9,7
7	42	10,0
10	60	10,2
15	90	10,8
20	120	11,2
30	180	12,0
45	270	12,8

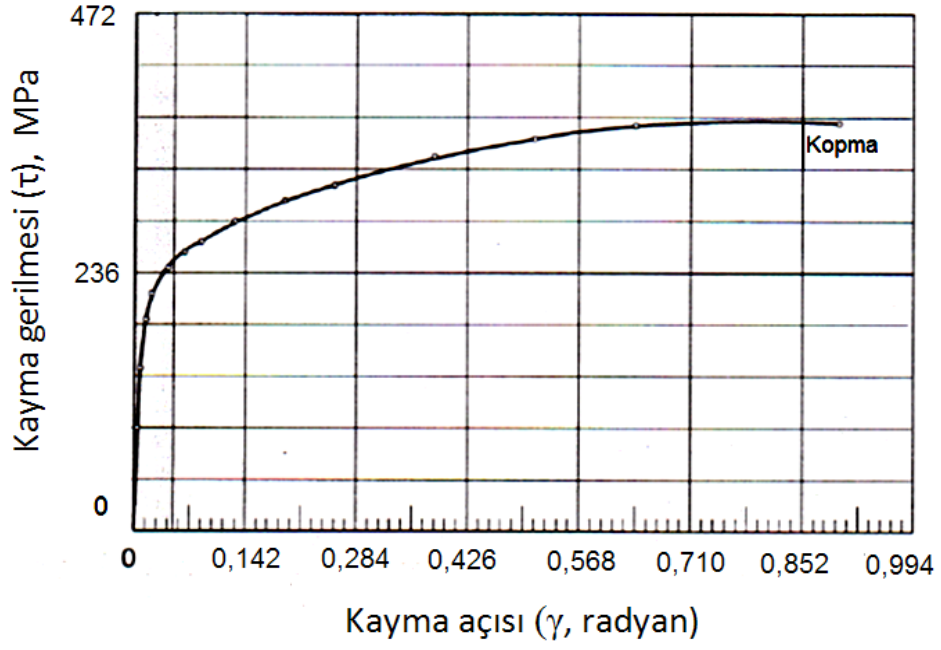
Tablo 1 devamı		
El Çarkı Devri	Burulma Açısı [°]	Burulma Momenti [N.m]
60	360	13,4
90	540	14,5
120	720	15,2
150	900	15,7
170	1020	15,5
206	1238	Kırılma

## 7. İSTENENLER

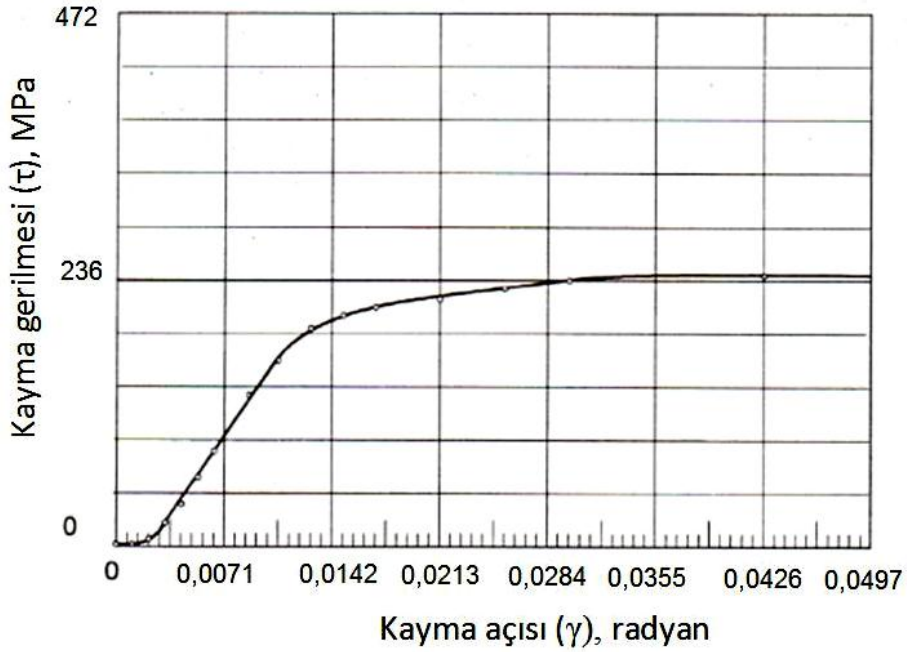
- 1) Deneysel verilerden yararlanarak, Şekil 11'dekine benzer bir burulma momenti-burulma açısı diyagramı oluşturunuz. Numunenin burulma dayanımını hesaplayınız.
- 2) Burulma momenti ve burulma açısı değerlerini kullanarak kayma gerilmeleri ve kayma açılarını hesaplayınız
- 3) Şekil 12' deki gibi kayma gerilmesi-kayma açısı grafiğini çiziniz.
- 4) Elastik deformasyon aralığında, lineer artış gösteren burulma moment değerlerini ve burulma açı değerlerini kullanarak Şekil 13'dekine benzer bir  $\tau$ - $\gamma$  diyagramı çiziniz ve kayma modülünü hesaplayınız.



Şekil 11. Ø6 x 75 mm piriç numune için burulma momenti-burulma açısı diyagramı



Şekil 12. Ø6 x 75 mm pirinç numune için kayma gerilmesi-kayma açısı diyagramı



Şekil 13. Ø6 x 75 mm pirinç numune için elastik deformasyon aralığı yakınlaştırılmış bölgenin detayı

## 8. KAYNAKLAR

[1]. G.U.N.T. WP 500 Torsion Tester, 30 NM, Hamburg 2010.