



ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ  
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ  
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

**İNCE CİDARLI SİLİNDİRDE  
GERİLME VE ŞEKİL DEĞİŞTİRME ANALİZİ  
DENEYİ**

**HAZIRLAYANLAR**

Prof.Dr. Erdem KOÇ

Yrd.Doç.Dr. İbrahim KELEŞ

Yrd.Doç.Dr. Kemal YILDIZLI

**KASIM 2012**

**SAMSUN**

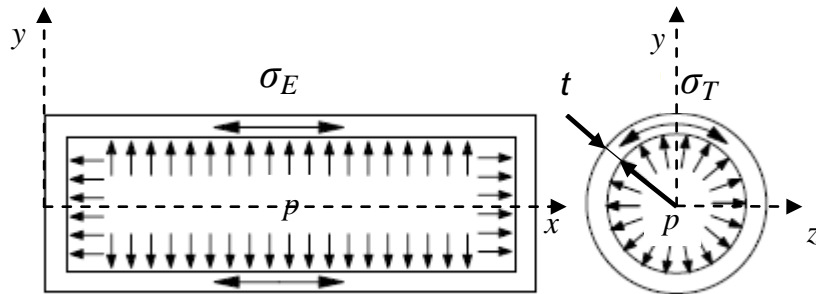
# İNCE CİDARLI SİLİNDİRDE GERİLME VE ŞEKİL DEĞİŞTİRME ANALİZİ DENEYİ

## 1. DENEYİN AMACI

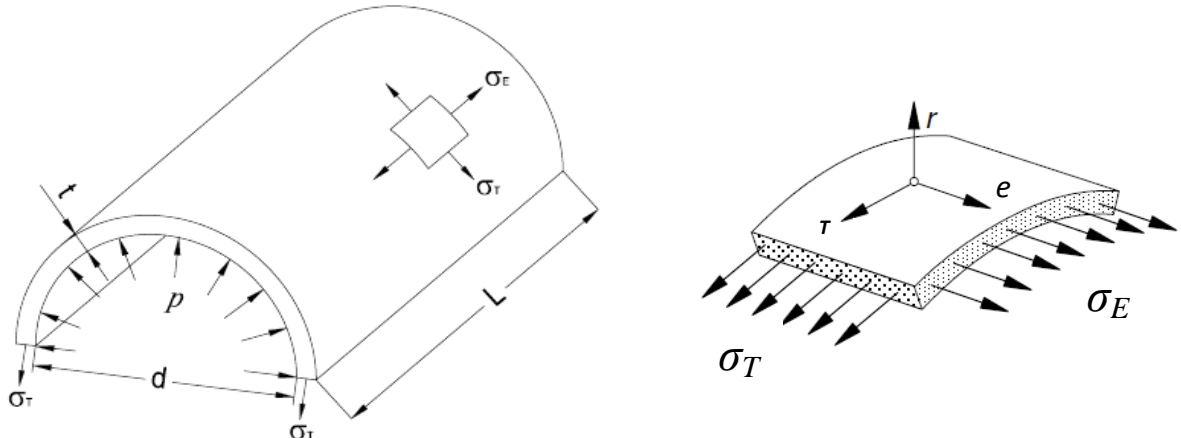
Bu deneyde, iç basınç etkisine maruz, ince cidarlı bir silindir yüzeyinde oluşan aksenal ve teğetsel şekil değişimleri, uzama ölçerler (strain gage) yardımı ile ölçülüp, gerilme değerleri belirlenerek, bilinen analitik bağıntılarla doğrulanması amaçlanmıştır.

## 2. İNCE CİDARLI SİLİNDİRDEKİ GERİLMELER

Cidar (et) kalınlığının ( $t$ ), iç çapa oranı  $1/20$ 'den daha küçük olan silindirlere **İnce Cidarlı Silindir** denilmektedir. Şekil 1'de görüldüğü gibi, iki ucu kapalı ince cidarlı bir silindirde, üniform iç basınç ( $p$ ) dağılımından dolayı, aksenal, teğetsel ve radyal doğrultularda gerilmeler oluşur. Silindir, üç eksen takımına ( $xyz$ ) göre tanımlanacak olursa, yüzey boyutlarının, radyal yöndeki (yarıçap doğrultusunda) boyutuna göre oldukça büyük olduğu görülür. Mukavemette *düzlem gerilme hali*, benzer şekilde üç eksen takımına göre tanımlanır. Bu eksenlerden ikisi ile, cismin serbest yüzeyinde yatan gerilmeler tanımlanırken; üçüncü eksen doğrultusunda oluşacak gerilmenin değeri sıfır kabul edilir. İç basınca maruz ince cidarlı bir silindirdeki radyal gerilmeler, yüzeyde oluşan gerilmelere göre çok daha küçük oldukları için ihmal edildiğinden, bu kabule uyar. Şayet, düzlem gerilme hali, Şekil 2'deki gibi, üniform iç basınca maruz  $t$  cidar kalınlığında  $d$  çapında ve  $L$  boyundaki bir silindirin yüzeyinde seçilen birim elemana uygulanırsa, yüzeyde,  $T$  ve  $e$  doğrultularında yatan gerilmeler; sırasıyla **teğetsel gerilme** ( $\sigma_T$ ) ve **eksenel gerilme** ( $\sigma_E$ ) olarak tanımlanır. Birim elemanın normal doğrultusundaki gerilme, yani üçüncü eksen ( $r$ ) doğrultusunda oluşacak **radyal gerilmeler sıfır** kabul edilir. Silindirin, aksi-simetrik geometrisinden dolayı kayma gerilmeleri oluşmaz. Bu nedenle,  $\sigma_T$  ve  $\sigma_E$  asal gerilmelerdir.



Şekil 1. İç basınç etkisindeki bir silindirin kesitindeki gerilmeler



Şekil 2. İç basınç etkisindeki ince cidarlı silindir yüzeyinde düzlem gerilme hali

## 2.1. Açık Uçlu Silindir (Tek Eksenli Gerilme Hali)

Bilindiği gibi, bir boyutu diğer ikisine oranla çok büyük olan çubuk şeklindeki elemanlarda bir veya tek eksenli gerilme hali söz konusudur. Şekil 3.a'daki gibi silindirin hareketli uç kısımlarında herhangi bir sınırlama olmayacağından, eksenel yöndeki basınç yükleri  $F$  toplamı sıfırdır. Bu nedenle gerilme hali tek eksenlidir (uni-axial). Silindirde yalnızca teğetsel gerilme ( $\sigma_T$ ) meydana gelir. Eksenel gerilme ( $\sigma_E$ ) sıfırdır. Ancak Poisson etkisi sebebiyle, silindirde teğetsel gerilmeden oluşan hem teğetsel hem de eksenel şekil değişimleri meydana gelir. İçerisinde akışkan taşıyan borular, bu duruma örnektir. İnce cidarlı ve açık uçlu bir silindirde oluşan teğetsel gerilme ( $\sigma_T$ ) Eşitlik (2.1)'de ifade edilmiştir:

$$\sigma_T = \frac{pd}{2t} \quad (2.1)$$

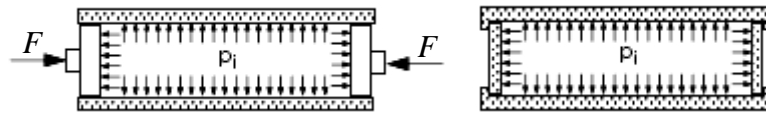
Burada  $t$ , cidar kalınlığı,  $p$  uniform iç basınç,  $d$  ortalama çap olup, iç ( $d_i$ ) ve dış ( $d_d$ ) çapların toplamının yarısına eşittir ( $d = \frac{d_i + d_d}{2}$ ).

## 2.2. Kapalı Uçlu Silindir (İki Eksenli Gerilme Hali)

İki eksenli gerilmeler, iki boyutu, üçüncü boyutuna oranla çok büyük olan ince plakalarda (kalınlığı fazla olmayan) veya düzlemsel levhalarda oluşur. Şekil 3.b'deki gibi silindir, her iki ucundan da sınırlandığı için hem teğetsel ( $\sigma_T$ ) hem de eksenel gerilme ( $\sigma_E$ ) etkisinde kalır. Silindirik buhar kazanları ve basınçlandırılmış akışkan taşıyan/depolanan tanklar gibi basınçlı kaplar bu duruma iyi birer örnektir.

Silindirde oluşan eksenel gerilme  $\sigma_E$  ise Eşitlik (2.2)'de verilmiştir.

$$\sigma_E = \frac{pd}{4t} \quad (2.2)$$



a) Açık uçlu silindir

b) Kapalı uçlu silindir

Şekil 3. Açık ve kapalı uçlu silindir kesitleri

## 2.3. Gerilme- Şekil Değişirme İlişkisi

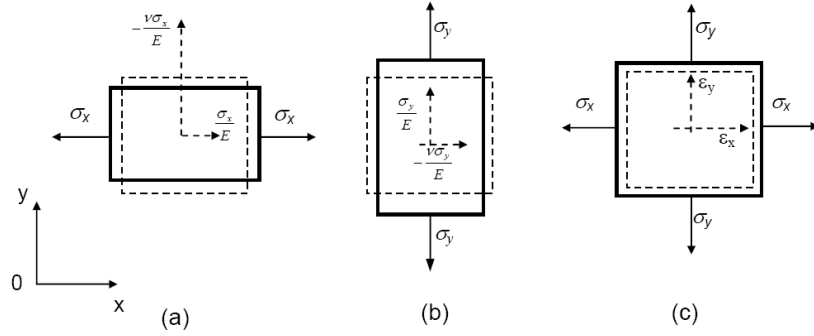
Bir cisme aritmetik toplamı sıfır olacak şekilde kuvvetler uygulandığında, cisimde gerilme hali oluşur. Gerilme etkisi altındaki cisimde, şekil değişimi meydana gelir. Cisimdeki şekil değiştirme miktarı, uzunluk değişimi veya açı değişimi cinsinden hesaplanır[2]. Elastik davranış gösteren basit bir lineer-elastik cisim,  $x$  ve  $y$  yönlerinde  $\sigma_x$  ve  $\sigma_y$  gerilmelerine maruz ise (Şekil 4.a ve b.) oluşan şekil değişimi, süperpozisyon kuralı uygulanarak değerlendirilebilmektedir(Şekil 4.c).

Burada dikdörtgen kesitli cisimde Poisson oranı  $\nu$ ; Elastisite modülü  $E$  bilindiğinde,  $x$  ve  $y$  yönündeki şekil değişimleri  $\varepsilon_x$  ve  $\varepsilon_y$ , Hooke kanunundan,

$$\varepsilon_x = \frac{1}{E}(\sigma_x - \nu\sigma_y) \quad (2.3)$$

$$\varepsilon_y = \frac{1}{E}(\sigma_y - \nu\sigma_x) \quad (2.4)$$

şeklinde belirlenir.



**Şekil 4.** İki boyutlu bir cisimde gerilme-şekil değişimi ilişkisi

a) x-ekseni doğrultusunda b) y-ekseni doğrultusunda c) x-y eksenleri (iki eksenli) doğrultularında

İnce cidarlı silindirdeki asal gerilmeler asal eksenler doğrultusunda  $\sigma_1$  ve  $\sigma_2$  olarak ifade edilirse, asal şekil değiştirme miktarları;

$$\varepsilon_1 = \frac{1}{E}(\sigma_1 - \nu\sigma_2) \quad (2.5)$$

$$\varepsilon_2 = \frac{1}{E}(\sigma_2 - \nu\sigma_1) \quad (2.6)$$

şeklinde tanımlanır. Bu eşitliklerden  $\sigma_1$  ve  $\sigma_2$  asal gerilmeleri

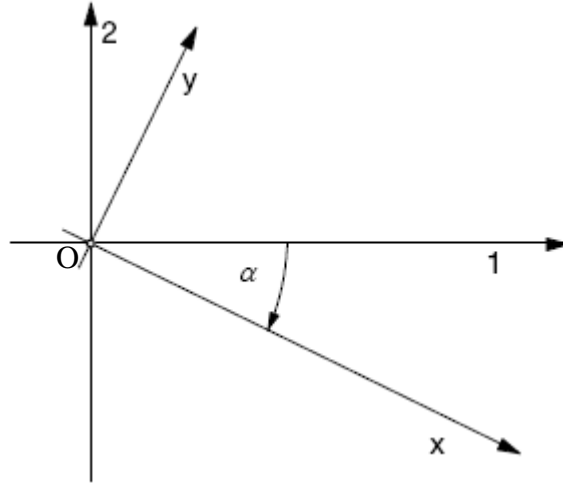
$$\sigma_1 = \frac{E}{1-\nu^2}(\varepsilon_1 + \nu\varepsilon_2) \quad (2.7)$$

$$\sigma_2 = \frac{E}{1-\nu^2}(\varepsilon_2 + \nu\varepsilon_1) \quad (2.8)$$

şeklinde bulunur.

## 2.4. Gerilme ve Şekil Değişirme Dönüşümleri

Bir düzlemdeki gerilmeler ve şekil değişirmelerin yönü oldukça karmaşıktır. Asal şekil değişirmelerin yönü genelde bilinmediğinden, asal şekil değişirmeler, herhangi bir yönde ölçülen şekil değişiminden belirlenmeye çalışılır. Bunun için, önce referans bir eksen takımı tanımlamak ve şekil değişimlerini, aynı orijinli ikinci bir eksen takımında, ilkiyle ilişkili dönüşüm denklemleri kullanarak ifade etmek gerekir. Gerilme ve şekil değişirme dönüşümü yapabilmek için, Şekil 5'deki gibi O noktasının etrafında (1,2) asal eksen takımına göre  $\alpha$  açısı kadar dönmüş herhangi bir x, y koordinat sistemi tanımlanmalıdır. Bu durumda, (1,2) asal eksen takımında şekil değişirme bileşenleri  $\varepsilon_1, \varepsilon_2$  biliniyorsa ve aynı noktadaki (1,2) asal eksen takımı ile  $\alpha$  açısı yapan (x,y) takımında birim şekil değişirme bileşenleri  $\varepsilon_x, \varepsilon_y$  hesaplanacak olursa, her iki şekil değişirme durumu, Eşitlik (2.9) ve (2.10)'daki dönüşüm bağıntıları ile ilişkilendirilebilmektedir.



Şekil 5. Koordinat dönüşümleri

$$\varepsilon_x = \frac{1}{2} [(\varepsilon_1 + \varepsilon_2) + (\varepsilon_1 - \varepsilon_2) \cos 2\alpha] \quad (2.9)$$

$$\varepsilon_y = \frac{1}{2} [(\varepsilon_1 + \varepsilon_2) - (\varepsilon_1 - \varepsilon_2) \cos 2\alpha] \quad (2.10)$$

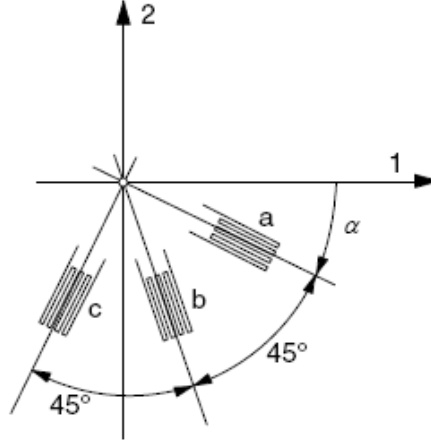
$\sigma_1, \sigma_2$  asal gerilmeleri ve  $\alpha$  açısı biliniyorsa, x ve y doğrultularındaki gerilmeler aşağıdaki denklemlerden hesaplanabilir:

$$\sigma_x = \frac{1}{2} [(\sigma_1 + \sigma_2) + (\sigma_1 - \sigma_2) \cos 2\alpha] \quad (2.11)$$

$$\sigma_y = \frac{1}{2} [(\sigma_1 + \sigma_2) - (\sigma_1 - \sigma_2) \cos 2\alpha] \quad (2.12)$$

## 2.5. Asal Gerilme ve Asal Şekil Değişirmelerin Belirlenmesi

Asal gerilmeler, kayma gerilmesinin sıfır olduğu yerlerdeki gerilmelerdir. Bilinmeyen asal gerilme ve asal şekil değişirmeleri belirlemek için, 3 adet strain gage daha önce tanımlandığı gibi (x-y) eksen takımı üzerine 45° aralıklarla yerleştirilir ve 0°, 45° ve 90° yönlerindeki şekil değişirme miktarları ölçülür. Bu açılardaki ölçümlerin alınmasının sebebi, en büyük kayma gerilmesinin, 45°'lik doğrultularda meydana gelmesindedir (Şekil 6).



**Şekil 6.** Asal şekil değişirmelerin belirlenmesi için strain gagelerin dizilimi

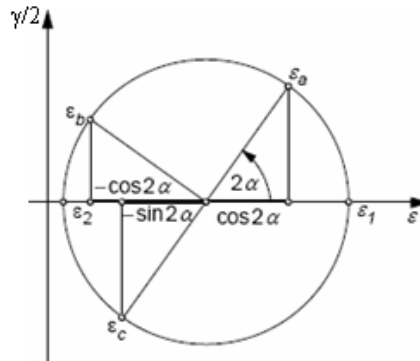
Ölçülen şekil değişirme miktarları, bilinmeyen asal şekil değişirmelere bağlı olarak;

$$\varepsilon_a = \frac{1}{2} [(\varepsilon_1 + \varepsilon_2) + (\varepsilon_1 - \varepsilon_2) \cos 2\alpha] \quad (2.13)$$

$$\varepsilon_b = \frac{1}{2} [(\varepsilon_1 + \varepsilon_2) - (\varepsilon_1 - \varepsilon_2) \sin 2\alpha] \quad (2.14)$$

$$\varepsilon_c = \frac{1}{2} [(\varepsilon_1 + \varepsilon_2) - (\varepsilon_1 - \varepsilon_2) \cos 2\alpha] \quad (2.15)$$

belirlenir. Maksimum kayma gerilmesi biliniyorsa,  $\varepsilon_a$ ,  $\varepsilon_b$  ve  $\varepsilon_c$ , Mohr dairesi üzerinde gösterilerek, bilinmeyen asal şekil değişirmeler  $\varepsilon_1, \varepsilon_2$  ve dönme açısı  $\alpha$  tekrar hesaplanabilir. Buna göre,



**Şekil 7.** Üç strain gage ölçümünün Mohr dairesi üzerinde gösterimi

(2.13), (2.14) ve (2.15) eşitliklerinden yararlanılıp gerekli dönüşümler yapıldığında asal şekil değişirmeler ( $\varepsilon_{1,2}$ ) ve dönme açısı ( $\alpha$ );

$$\varepsilon_{1,2} = \frac{\varepsilon_a + \varepsilon_c}{2} \pm \frac{\sqrt{2}}{2} \sqrt{(\varepsilon_a - \varepsilon_b)^2 + (\varepsilon_b - \varepsilon_c)^2} \quad (2.16)$$

$$\alpha = \frac{1}{2} \arctan \frac{\varepsilon_a - 2\varepsilon_b + \varepsilon_c}{\varepsilon_a - \varepsilon_c} \quad (2.17)$$

denklemlerinden bulunur. Asal gerilmeler ise Eşitlik (2.7) ve (2.8)'den elde edilebilmektedir.

## 2.6. Poisson Oranının Belirlenmesi

Poisson oranı tek eksenli gerilme hali için hesaplanır. Tek eksenli gerilme hali için silindirde şekil değiştirmeler ile Poisson oranı ( $\nu$ ) arasındaki ilişki;

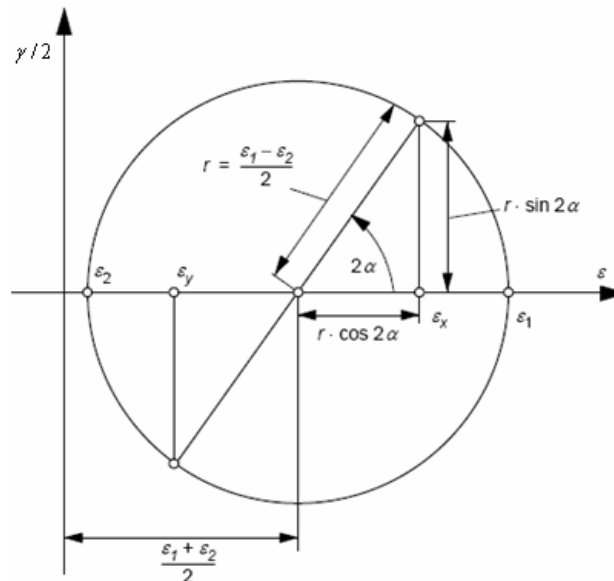
$$\varepsilon_y = -\nu \cdot \varepsilon_x \quad (2.18)$$

şeklinde tanımlanır. Açık uçlu silindirde (tek eksenli gerilme hali) yapılan deney neticesinde  $0^\circ$  ve  $90^\circ$ 'deki şekil değişimi ölçümleri alınarak Poisson oranı aşağıdaki gibi belirlenir. Kapalı uçlu silindir durumu, iki eksenli gerilme hali oluşturduğundan, poisson oranı bu durum için tekrar hesaplanmaz. Açık uçlu durumda hesaplanan poisson oranı kullanılır.

$$\nu = -\frac{\varepsilon_a}{\varepsilon_c} = -\frac{\varepsilon(0^\circ)}{\varepsilon(90^\circ)} \quad (2.19)$$

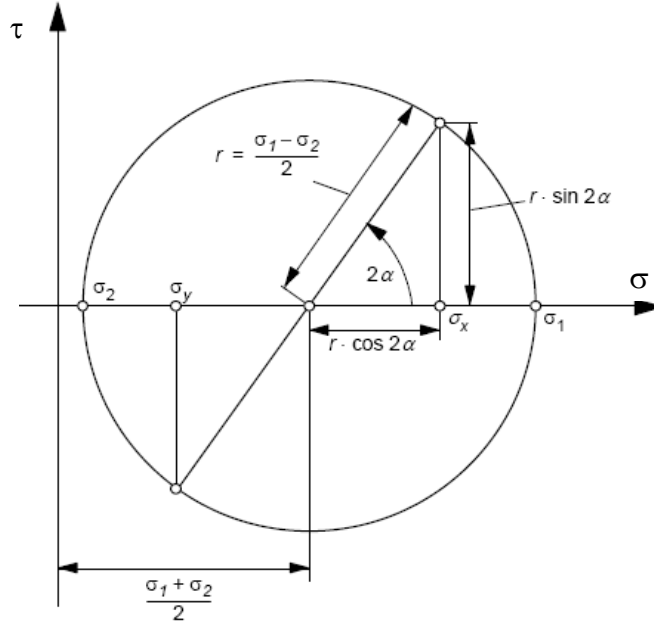
## 2.7. Mohr Dairesi

Bu bölümde, bir noktadaki şekil değiştirme halinin anlaşılmasını büyük ölçüde kolaylaştıran ve düzlemlerin değişmesiyle şekil değiştirmelerdeki dönüşümlerin hızla yapılmasını sağlayan bir teknik olan **Mohr dairesi** üzerinde durulacaktır (Şekil 8). Mohr dairesinde yatay eksenle uzama oranları ( $\varepsilon$ ), dikey eksenle ise kayma açılarının yarısı ( $\gamma/2$ ) alınmaktadır. Mohr dairesinin merkez koordinatları  $\left[ \frac{1}{2}(\varepsilon_1 + \varepsilon_2), 0 \right]$  dir. Dairenin yarıçapı  $r = \frac{\varepsilon_1 - \varepsilon_2}{2}$  dir.



Şekil 8. Şekil değiştirme dönüşümleri için Mohr dairesi

Gerilme dönüşümleri için Mohr dairesi ise Şekil 9'da verilmiştir. Burada yatay eksen normal gerilme ( $\sigma$ ) ve dikey eksen kayma gerilmesini ( $\tau$ ) göstermektedir.



Şekil 9. Gerilme dönüşümleri için Mohr dairesi

### 3. DENEY DÜZENEĞİ ve ÇALIŞMA PRENSİBİ

Deney düzeneğinde incelenen, ince cidarlı bir silindirin teknik özellikleri Çizelge 1'de verilmiştir.

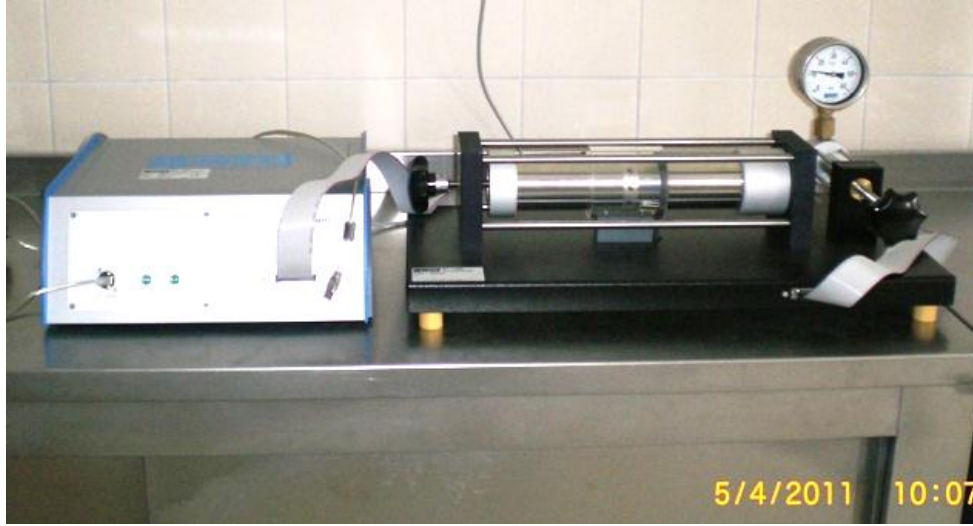
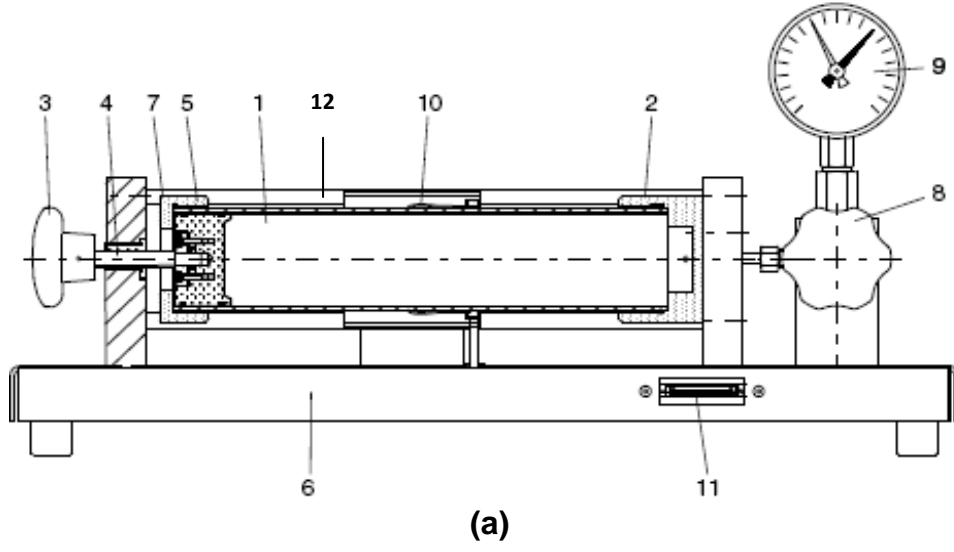
Deney düzeneği kesiti, Şekil 10'da görülmektedir. Alüminyum alaşımından yapılmış ince cidarlı silindir (1), yatay pozisyonda, kapalı iki ucundan döküm bir tezgah (6) üzerine monte edilmiştir. Deney düzeneğindeki bir kriko mekanizması (8) yardımı ile hidrolik akışkan (yağ) silindir içerisine pompalanır ve oluşan silindir içi basıncın büyüklüğü, 0–35 bar (maksimum 3,5 N/mm<sup>2</sup>) aralığına kalibreli bir manometreden (9) okunur.

Bu deney düzeneğinde, açık uç ve kapalı uç koşulu olarak adlandırılan, iki farklı uç koşulunda gerilme durumları oluşturmak mümkündür.

Ayar çarkının (3), elle sağa veya sola döndürülmesi neticesi, bu çarkın merkezlendiği vidalı (yivli) mil (4), silindir içindeki pistonu (5) içeri-dışarı iterek, silindirin sol ucundaki durumu (açık-kapalı) değiştirmektedir. "Açık uçlu silindir" olarak tanımlanan durumda, ayar çarkı içe doğru döndürülüp, piston, sıkma bileziğinden uzaklaştırılır. Böylece, silindir içine pompalanan yağ, açılan aralıktan sızarak, tüm eksenel kuvvetler silindir dışındaki bir kanala (12) aktarılıp, silindir, eksenel kuvvetin etkisinden kurtarılır. Bu durumda, silindirde sadece teğetsel gerilmeler (tek eksenli gerilme hali) oluşur.

Düzeneği "Kapalı uçlu silindir" durumuna geçirmek için, bu kez ayar çarkı (3) dışa doğru döndürülerek piston sıkma bileziğinin içine (7) itilir. Sonra, silindir içine yağ pompalandığında, silindir, her iki ucundan da sınırlandırıldığı için, iç basınç artar. Böylece, silindir hem teğetsel hem de eksenel gerilme tesirinde (iki eksenli gerilme hali) kalır.





**Şekil 10.** İnce cidarlı silindir deney tesisatı

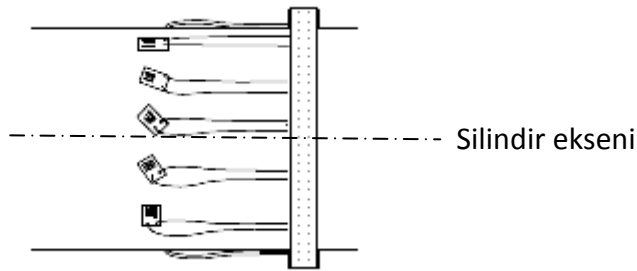
**Çizelge 1. İnce cidarlı silindirin teknik özellikleri**

Malzeme	Alüminyum Alaşımı
İç çap	71.5 mm
Cidar kalınlığı	3 mm
Uzunluk	400 mm
Elastisite Modülü	72 GPa= 72000 MPa (N/mm <sup>2</sup> )
Poisson oranı	0.33
İç basınç ölçüm aralığı	0-35 bar

### 3.1. Ölçüm Aparatları (Uzama Ölçer: Strain Gage)

Şekil 11’de görüldüğü gibi, 5 adet uzama ölçer (strain gage), silindir eksenine ile,  $0^{\circ}$ ,  $30^{\circ}$ ,  $45^{\circ}$ ,  $60^{\circ}$  ve  $90^{\circ}$  açılarda yakın aralıkla silindir çevresine yerleştirilmiştir. Ayrıca, her bir açıda, ortalama şekil değişimini ölçebilmek için silindir etrafına aksisimetrik olarak aynı açılarla yerleştirilmiş 5 adet daha uzama ölçer konumlandırılmıştır. Her bir uzama ölçer, Wheatstone köprüsünün bir kolunu oluşturmakta, köprünün diğer üç kolu, çok kanallı şekil değişimi ölçüm cihazınca oluşturulmaktadır. Wheatstone köprüsü kollarını oluşturan uzama ölçerler ile şekil değişimi okumalarının yapıldığı ölçüm cihazı arasındaki bağlantı, çok yollu bir bağlantı terminali vasıtası ile irtibatlandırılmıştır.

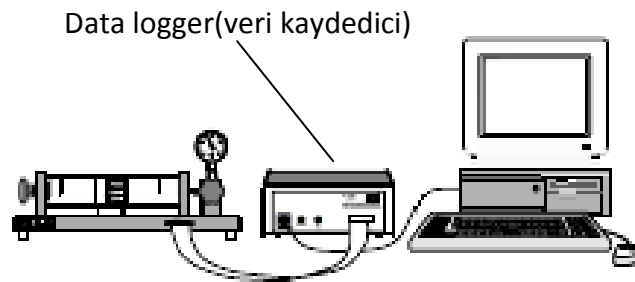
Her bir uzama ölçerin, yerleşim doğrultusunda, silindir yüzeyinde ölçülen şekil değişimleri, Bölüm 2’de verilen uygun matematiksel dönüşüm denklemlerinde yazılarak, karşılık gelen gerilme değerleri hesaplanır.



Şekil 11. Uzama ölçerlerin (strain gage) konumları

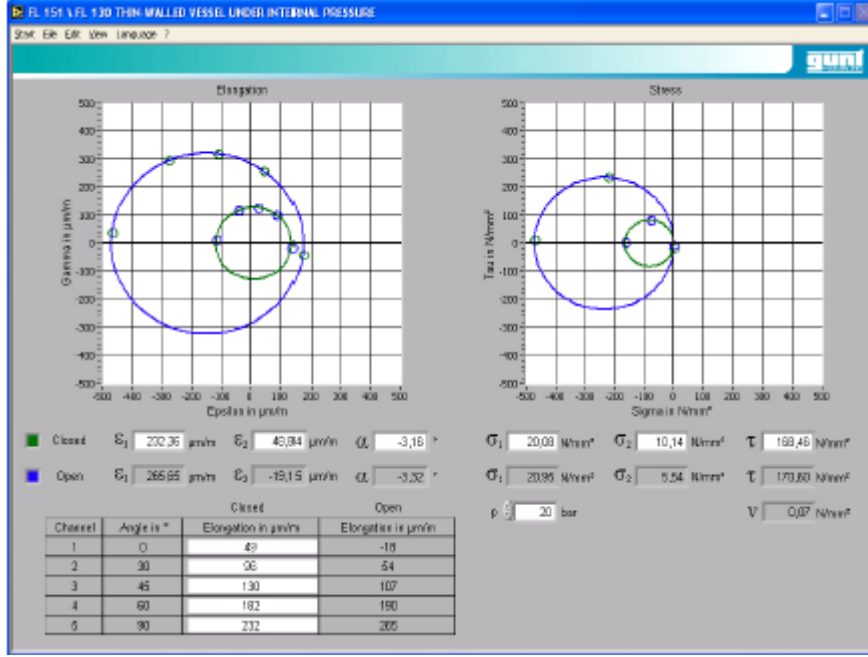
### 3.2. Bilgisayar Yazılımının Çalıştırılması

Deney düzeneğinin, data logger (veri kaydedici) ile bağlantısı kurulup, bilgisayar yazılımı çalıştırılır(Şekil 12).



Şekil 12. Veri kaydedici ve deney sistemi ile bağlantısı

Şekil 13’de görüldüğü gibi, yazılım penceresinin orta kısmında bulunan silindir kapalı veya açık konumu manuel olarak işaretlenir. Alt kısmında ise, konumları  $0^{\circ}$ ,  $30^{\circ}$ ,  $45^{\circ}$ ,  $60^{\circ}$  ve  $90^{\circ}$  açılarla değişen strain gagelere karşılık gelen uzama değerleri takip edilebilir. Sağ tarafında bulunan  $p$  bölümüne manuel olarak istenen basınç değeri (Örnek: 20 bar) yazılır. Deney sırasında strain gageler ile anlık olarak etkiyen basıncın büyüklüğüne bağlı anlık asal şekil değiştirmeleri, asal gerilmeleri, kayma gerilmesi ve Poisson oranı otomatik olarak hesaplanır. Ayrıca yazılım penceresinin üst tarafında Mohr dairelerinin oluşumu takip edilebilmektedir.



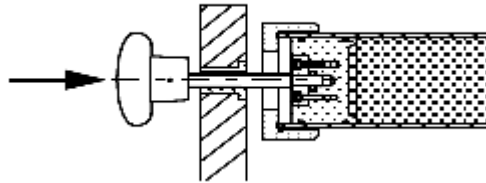
Şekil 13. Deney parametreleri ve her iki durumdaki Mohr dairelerinin oluşumu

#### 4. DENEYİN YAPILIŞI

Deney düzeneğinden yararlanarak silindirde iki farklı gerilme durumu elde edilmektedir. Bunlar; açık uç durumundaki silindirde oluşan asal gerilmeler ve kapalı uç durumunda oluşan asal gerilmelerin belirlenmesidir. Herhangi bir deneye başlamadan önce, iç basınç sıfır iken, tüm strain gage kanal okumaları ya sıfırlanmalı veya başlangıç değerleri doğru olarak kaydedilmelidir.

##### 4.1. Açık Uçlu Silindirde Gerilme Halinin Oluşturulması

- Hidrolik pompa vanası gevşetilerek hidrolik yağ tamamen boşaltılır.
- Manometrenin ibresinde hafif bir yükselme oluşana kadar, el çarkı saat ibresi yönünde döndürülüp piston içeri doğru itilir (Şekil 14). Daha sonra vana tekrar gevşetilerek manometre sıfırlanır.



Şekil 14. Pistonun açık pozisyonu

- Manometre 20 bar basıncı gösterinceye kadar hidrolik yağ pompalanır.
- Veri kaydedicisinden sırasıyla (A1,A2,A3,A4,A5) şekil değiştirme değerleri okunarak Çizelge 1 oluşturulur.
- Hidrolik pompa vanası yardımıyla hidrolik yağ tamamen boşaltılır ve böylece yük ortadan kaldırılır.
- Basınç değeri sıfır iken veri kaydedici cihazdan sırasıyla (A1,A2,A3,A4,A5) şekil değiştirme değerleri tekrar okunur.

- Her iki ölçüm (p=20 bar ve p=0 bar) arasındaki fark alınarak Çizelge 2'deki üçüncü kolona yazılır. Bu şekilde oluşabilecek herhangi bir sapma etkisi ortadan kaldırılmış olur.

**Çizelge 2.** Açık uçlu silindirde gerilme durumunda ölçülen şekil değiştirme değerleri

Açık Silindir		İç Basınç: p = 20 bar = 2N/mm <sup>2</sup>	İç Basınç: p=0 bar	İki ölçüm arasındaki fark
Kanal	Açı	Şekil değiştirme (ε, μm/m)	Şekil değiştirme (ε, μm/m)	Şekil değiştirme (ε, μm/m)
A1	0 <sup>0</sup>	-119	0	-119
A2	30 <sup>0</sup>	70	0	70
A3	45 <sup>0</sup>	135	0	135
A4	60 <sup>0</sup>	263	0	263
A5	90 <sup>0</sup>	360	-4	364

**Örnek:** p=2N/mm<sup>2</sup>, d = 71.5 mm, t = 3 mm alınarak yapılan deney sonucunda ölçülen şekil değiştirmeler  $\varepsilon_a(0^\circ) = -119.10^{-6}$ ,  $\varepsilon_b(45^\circ) = 135.10^{-6}$ ,  $\varepsilon_c(90^\circ) = 364.10^{-6}$  olarak bulunur. Bilinmeyen asal şekil değiştirmeler ( $\varepsilon_{1,2}$ ) ve dönme açısı ( $\alpha$ ) Eşitlik (2.16) ve (2.17) kullanılarak;

$$\varepsilon_{1,2} = \frac{\varepsilon_a + \varepsilon_c}{2} \pm \frac{\sqrt{2}}{2} \sqrt{(\varepsilon_a - \varepsilon_b)^2 + (\varepsilon_b - \varepsilon_c)^2} = \frac{-119 + 364}{2} \pm \frac{\sqrt{2}}{2} \sqrt{(-119 - 135)^2 + (135 - 364)^2},$$

$$\varepsilon_1 = 364,32.10^{-6}, \varepsilon_2 = -119,32.10^{-6} \text{ ve}$$

$$\alpha = \frac{1}{2} \arctan \frac{\varepsilon_a - 2\varepsilon_b + \varepsilon_c}{\varepsilon_a - \varepsilon_c} = \frac{1}{2} \arctan \frac{(-119 - (2 \times 135) + 364).10^{-6}}{(-119 - 364).10^{-6}} = 1,481^\circ \text{ dir.}$$

Poisson oranı;

$$\nu = -\frac{\varepsilon(0^\circ)}{\varepsilon(90^\circ)} = -\frac{-119.10^{-6}}{364.10^{-6}} = 0,3269 \text{ olarak bulunur.}$$

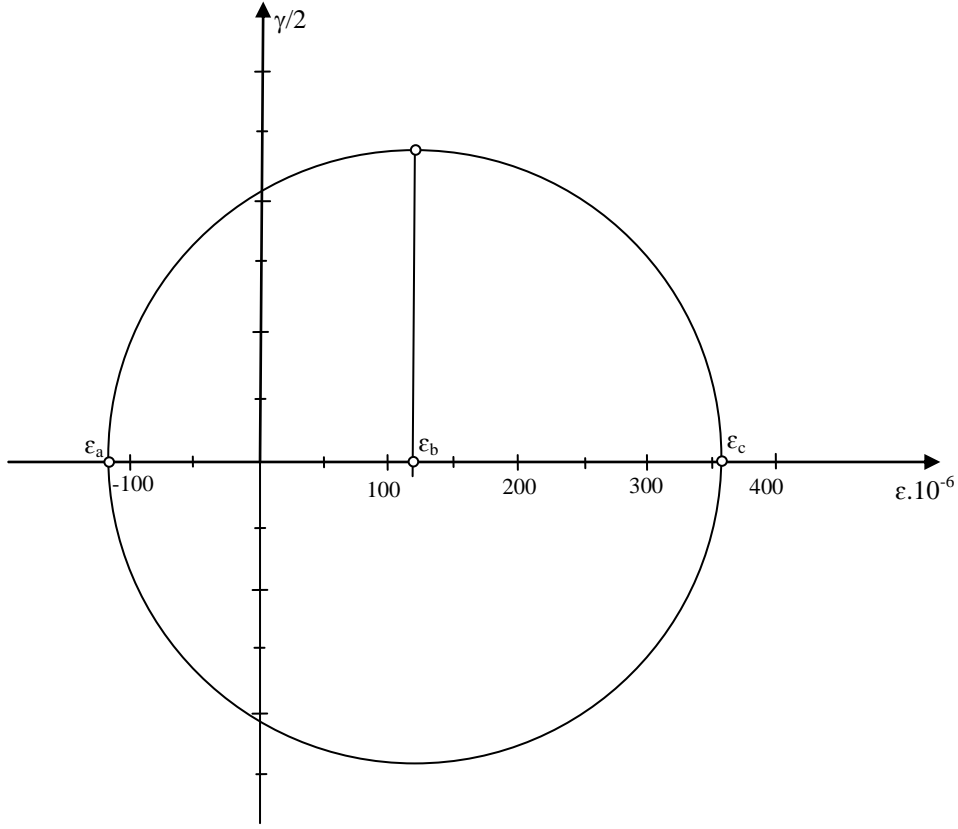
Asal gerilmeler ( $\sigma_{1,2}$ ) ise, Eşitlik (2.5) ve (2.6)'dan faydalanılarak belirlenmektedir.

$$\sigma_1 = \frac{E}{1-\nu^2} (\varepsilon_1 + \nu\varepsilon_2) = \frac{72.10^3}{1-0,3269^2} (364,32 + 0,3269 \times (-119,32)).10^{-6} = 26,255 N / mm^2$$

$$\sigma_2 = \frac{E}{1-\nu^2} (\varepsilon_2 + \nu\varepsilon_1) = \frac{72.10^3}{1-0,3269^2} (-119,32 + 0,3269 \times 364,32).10^{-6} = 0,0729 N / mm^2$$

$$\text{Teorik gerilmeler ise; } \sigma_T = \sigma_1 = \frac{pd}{2t} = \frac{2 \times 71,5}{2 \times 3} = 24,33 N / mm^2 \text{ ve } \sigma_E = \sigma_2 = 0 \text{ dir.}$$

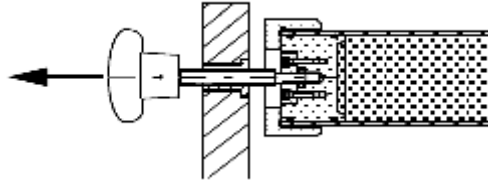
Ölçülen şekil değiştirmeler kullanılarak Mohr dairesi Şekil 15'deki gibi çizilerek elde edilir.



**Şekil 15.** Açık uçlu silindir durumu için çizilen Mohr dairesi

#### 4.2. Kapalı Uçlu Silindirde Gerilme Halinin Oluşturulması

- Hidrolik pompa vanası yardımıyla hidrolik yağ tamamen boşaltılır. Daha sonra el çarkı saat ibresi tersi yönünde sonuna kadar, ardından yarım tur saat ibresi yönünde döndürülerek sistem kapalı konuma getirilir (Şekil 16).



**Şekil 16.** Pistonun kapalı pozisyonu

- Şekil 16'daki gibi el çarkı döndürülüp, çark tarafından hareketi sağlanan yivli mil, ok yönünde sonuna kadar ilerletilir ve pistonun sıkma bileziği tarafından kavranıp kavranmadığı dikkatlice kontrol edilir.
- Manometre sıfırlanır ve iç basınç 20 bar basınca ulaşana kadar yağ pompalanır.
- Veri kaydedicisinden sırasıyla (A1,A2,A3,A4,A5) şekil değiştirme değerleri okunarak Çizelge 3'ün birinci kolonu doldurulur.
- Hidrolik pompa vanası gevşetilerek, silindir iç basınçtan tamamen kurtarılır.
- Basınç değeri sıfır iken, veri kaydedicisinden sırasıyla (A1,A2,A3,A4,A5) şekil değiştirme değerleri tekrar okunarak Çizelge 3 ikinci kolonu doldurulur.
- Her iki ölçüm ( $p=20$  bar ve  $p=0$  bar) arasındaki fark alınarak Çizelge 3'ün üçüncü kolonu oluşturulur. Bu şekilde oluşabilecek herhangi bir sapma etkisi ortadan kaldırılmış olur.

**Çizelge 3.** Kapalı uçlu silindirde gerilme durumunda ölçülen şekil değiştirme değerleri

Kapalı Silindir		Basınç: $p=20 \text{ bar}=2 \text{ N/mm}^2$	Basınç: $p=0 \text{ bar}$	İki ölçüm arasındaki fark
Kanal	Açı	Şekil değiştirme ( $\varepsilon, \mu\text{m/m}$ ) veya [ $10^{-6}$ ]	Şekil değiştirme ( $\varepsilon, \mu\text{m/m}$ ) veya [ $10^{-6}$ ]	Şekil değiştirme ( $\varepsilon, \mu\text{m/m}$ ) veya [ $10^{-6}$ ]
A1	$0^\circ$	108	-5	113
A2	$30^\circ$	124	-6	130
A3	$45^\circ$	200	2	198
A4	$60^\circ$	250	-4	254
A5	$90^\circ$	290	3	287

**Örnek:**  $p=2\text{N/mm}^2, d=71.5 \text{ mm}, t=3 \text{ mm}$  alınarak yapılan deney sonucunda ölçülen şekil değiştirmeler  $\varepsilon_a(0^\circ) = 113.10^{-6}$ ,  $\varepsilon_b(45^\circ) = 198.10^{-6}$ ,  $\varepsilon_c(90^\circ) = 287.10^{-6}$  olarak bulunur. Bilinmeyen asal şekil değiştirmeler ( $\varepsilon_{1,2}$ ) ve dönme açısı ( $\alpha$ ), Eşitlik (2.16) ve (2.17) kullanılarak aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\varepsilon_{1,2} = \frac{\varepsilon_a + \varepsilon_c}{2} \pm \frac{\sqrt{2}}{2} \sqrt{(\varepsilon_a - \varepsilon_b)^2 + (\varepsilon_b - \varepsilon_c)^2} = \frac{113 + 287}{2} \pm \frac{\sqrt{2}}{2} \sqrt{(113 - 198)^2 + (198 - 287)^2}$$

$$\varepsilon_1 = 287,02.10^{-6}, \varepsilon_2 = 112,97.10^{-6} \text{ ve}$$

$$\alpha = \frac{1}{2} \arctan \frac{\varepsilon_a - 2\varepsilon_b + \varepsilon_c}{\varepsilon_a - \varepsilon_c} = \frac{1}{2} \arctan \frac{(113 - (2 \times 198) + 287).10^{-6}}{(113 - 287).10^{-6}} = -0,6585^\circ \text{ dir.}$$

Asal gerilmeler ise, Eşitlik (2.5) ve (2.6)'dan faydalanılarak belirlenir:

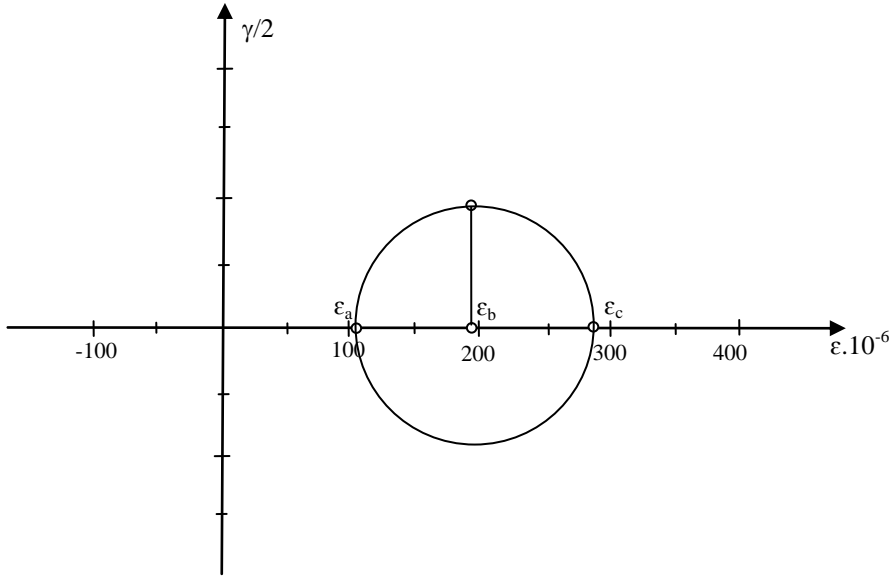
$$\sigma_1 = \frac{E}{1-\nu^2} (\varepsilon_1 + \nu\varepsilon_2) = \frac{72.10^3}{1-0,3269^2} (287,02 + 0,3269 \times 112,97).10^{-6} = 26,1156 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_2 = \frac{E}{1-\nu^2} (\varepsilon_2 + \nu\varepsilon_1) = \frac{72.10^3}{1-0,3269^2} (112,97 + 0,3269 \times 287,02).10^{-6} = 16,6715 \text{ N/mm}^2$$

Teorik olarak hesaplanan gerilmeler;

$$\sigma_T = \sigma_1 = \frac{pd}{2t} = \frac{2 \times 71,5}{2 \times 3} = 24,33 \text{ N/mm}^2 \text{ ve } \sigma_E = \sigma_2 = \frac{pd}{4t} = \frac{2 \times 71,5}{4 \times 3} = 12,16 \text{ N/mm}^2 \text{ dir.}$$

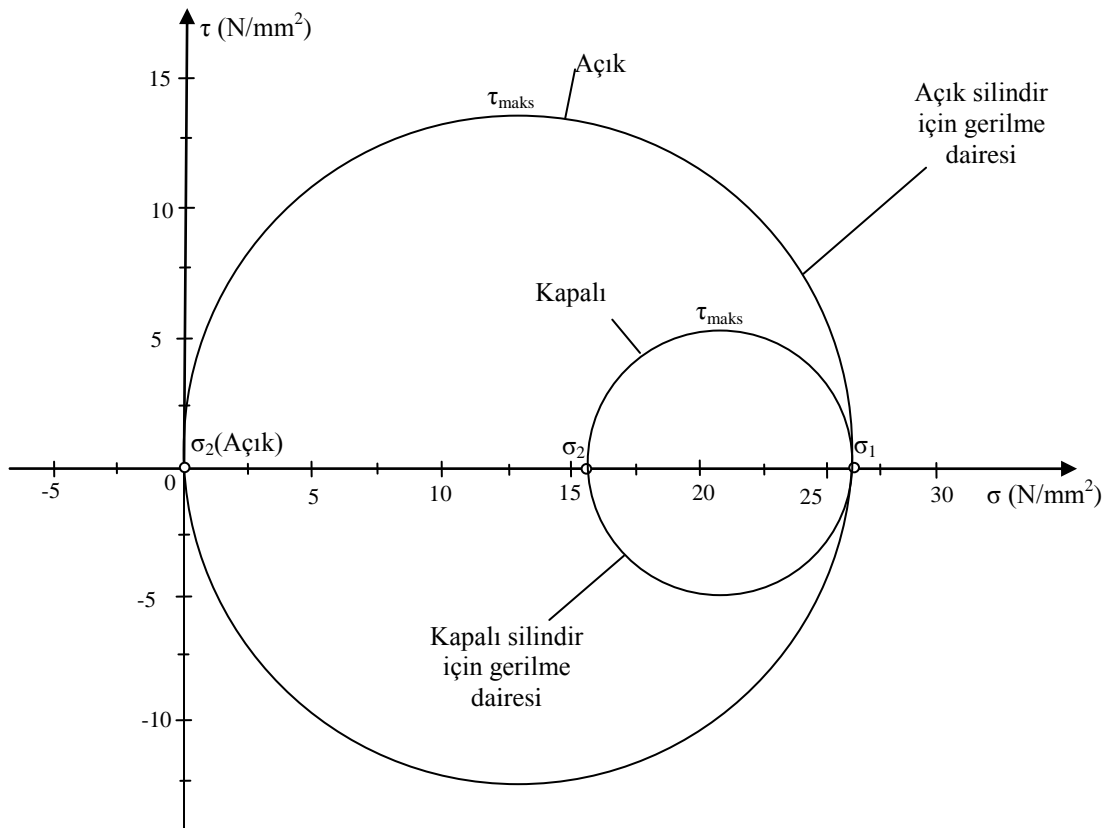
Ölçülen şekil değiştirmeler kullanılarak Mohr dairesi Şekil 17'deki gibi çizilerek elde edilir.



**Şekil 17.** Kapalı silindir durumu için Mohr dairesi

#### 4.3. Silindirin Açık ve Kapalı Durumlarının Mohr Dairesi ile Karşılaştırılması

Silindirin açık ve kapalı uçlu durumlarında elde edilen deneysel şekil değiştirme değerlerine göre hesaplanmış yatay ekseninde normal gerilmeler( $\sigma$ ) ve düşey ekseninde kayma gerilmeleri( $\tau$ ) Mohr daireleri üzerinde gösterilmektedir (Şekil 18).



**Şekil 18.** Açık ve kapalı silindir durumları için Mohr daireleri

## 5. İSTENENLER

1. Yapılan deneyde toplanan verileri kullanarak, Çizelge 2 ve Çizelge 3'ü açık ve kapalı uç durumları için tekrar oluşturunuz.
2. Deneydeki ölçüm sonuçlarına göre silindir malzemesinin Poisson oranını belirleyiniz.
3. Açık ve kapalı silindir durumları için, ölçülen Şekil değiştirmelere göre asal Şekil değişimlerini, asal gerilmelerini ve kayma açısını elde ediniz.
4. Açık ve kapalı silindir durumları için, Şekil 15 ve Şekil 17'deki gibi Mohr dairelerini çiziniz.
5. Teorik olarak teğetsel ve aksenal gerilmeleri elde ederek, deneysel olarak elde edilen gerilmelerle karşılaştırarak sonuçları yorumlayınız.
6. Şekil 18'deki gibi açık ve kapalı silindir durumları için oluşacak Mohr dairelerini birarada çiziniz.

## 6. KAYNAKLAR

- [1]. G.U.N.T. FL 130 Stress and Strain Analysis on A Thin-Walled Cylinder, Hamburg 2010.
- [2]. E.S.Kayalı,H.Çimenoęlu, Plastik Şekil Verme İlke ve Uygulamaları, 1. Baskı, Bilim Teknik Yayınevi, Aralık 1995.