



T.C.

ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ

MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ

MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

GERİLME HİPOTEZLERİNİN DOĞRULANMASI DENEYİ FÖYÜ

HAZIRLAYANLAR

Prof.Dr. Erdem KOÇ

Yrd.Doç.Dr.Kemal YILDIZLI

Arş.Gör.Kadir KAYA

NİSAN 2013

SAMSUN

GERİLME HİPOTEZLERİNİN DOĞRULANMASI DENEYİ

1. DENEYİN AMACI

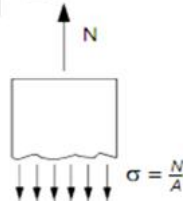
Bir iş parçası, normal ve kesme kuvvetleri etkisinde kaldığında iş parçasındaki gerilmeleri hesaplamak için eşdeğer gerilmeler kullanılır. Karakteristik malzeme özellikleri (Elastisite Modülü, Poisson oranı, akma gerilmesi vb.) genellikle sadece tek eksenli gerilme haline göre bulunduğundan, uygun eşdeğer gerilme, iki ya da üç eksenli gerçek gerilmeler şeklinde hesaplanmalıdır. Eşdeğer gerilmelerin elde edilmesi gerilme hipotezlerinin doğrulanmasına bağlıdır. Bu amaçla iş parçasının bir noktasında normal gerilme ve kayma gerilmesi aynı anda oluşturulmalıdır.

Bu deneyde, Mukavemet Bilimindeki eşdeğer gerilme halleri, şeklen uygun bir iş parçası üzerinde oluşturularak, gerilme hipotezlerinin doğrulanması ve iş parçasının mekanik davranışına uygun olan hipotezin seçilmesi amaçlanmıştır.

2. TEORİK ESASLAR

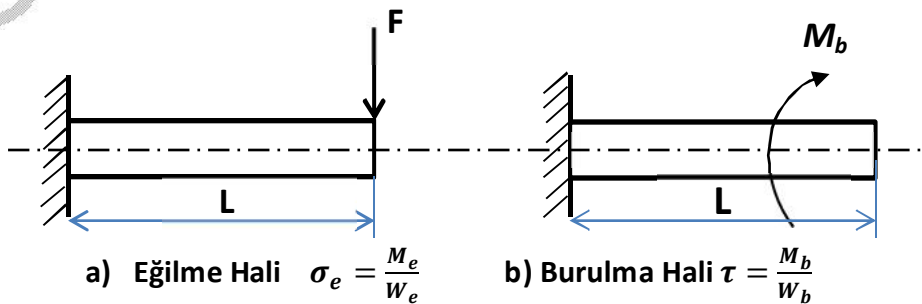
2.1 Gerilme Hipotezleri ve Eşdeğer Gerilme

Tek eksenli gerilme halinde, bir cismin **A** kesitine çekme ya da basma yükü uygulanırsa, çekme ya da basma gerilmeleri basitçe Şekil 1'deki gibi hesaplanır. Böylece, çekme ya da basma testiyle, emniyetli sınır gerilme değerleri basitçe bulunur. Bir ucu ankastre dairesel kesitli **L** uzunluğunda bir çubukta eğilme yükü (**F**) altında sadece eğilme gerilmesi (σ_e); burulma momenti (M_b) etkidiğinde ise sadece kayma gerilmesi (τ) oluşur ve Şekil 2'deki gibi kesit mukavemet momentleri (W_e, W_b) dikkate alınarak hesaplanır.



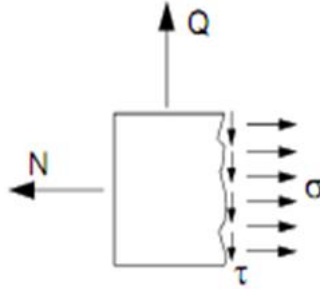
A: Kesit Alanı (Kuvvete Dik)

Şekil 1. Tek Eksenli Gerilme Hali [1]



Şekil 2. Eğilme ve Burulma Yükleri [2]

İki eksenli gerilme hali ise, eş zamanlı normal, aksenal yükler ya da eğilme ve burulma yükleri (N ve Q) uygulandığında ortaya çıkan normal gerilme (σ) ve kayma gerilmesini (τ) içermektedir(Şekil 3). Bileşke halde, bu farklı gerilmeler, iş parçasının kırılmasına neden olabilir.



Şekil 3. İki Eksenli Gerilme Hali [1]

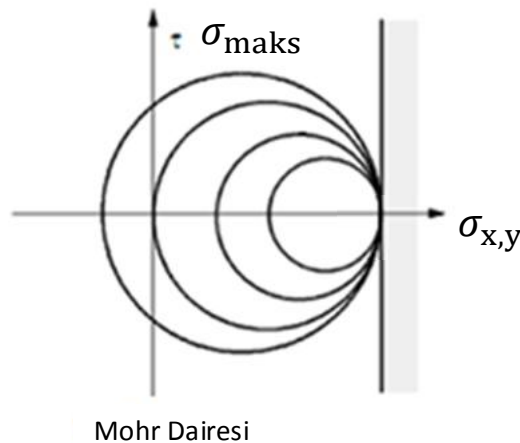
Malzeme mukavemeti, genellikle çekme testi gibi tek eksenli gerilme durumlarında hesaplandığından, iki eksenli gerilme halinin etkilerini temsil edebilecek, uygun bir eşdeğer gerilme bulunmalıdır. Yapılan çeşitli çalışmalar sonucu, farklı gerilme hipotezleri kabul edilerek uygun eşdeğer gerilme formülleri türetilmiştir. Bu gerilme hipotezlerinden en önemli üç tanesi aşağıda özetlenmiştir.

2.1.1 Maksimum Normal Gerilme Hipotezi (RANKINE)

Maksimum Normal Gerilme Hipotezindeki yaklaşım, bir iş parçasının, en büyük normal gerilmenin sonucu olarak kopacağı şeklindedir. Bu kırılma yapraksı kırılmadır. Kırılma düzlemi yük eksenine diktir. Deneyler, bu kriterin temperlenmiş dökme demir gibi gevrek malzemeler için uygun olduğunu göstermiştir (Şekil 4). Bu hipoteze göre eşdeğer gerilme ($\sigma_{eş}$)

$$\sigma_{eş} = \frac{1}{2}(\sigma_x + \sigma_y) + \frac{1}{2}\sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4\tau^2}$$

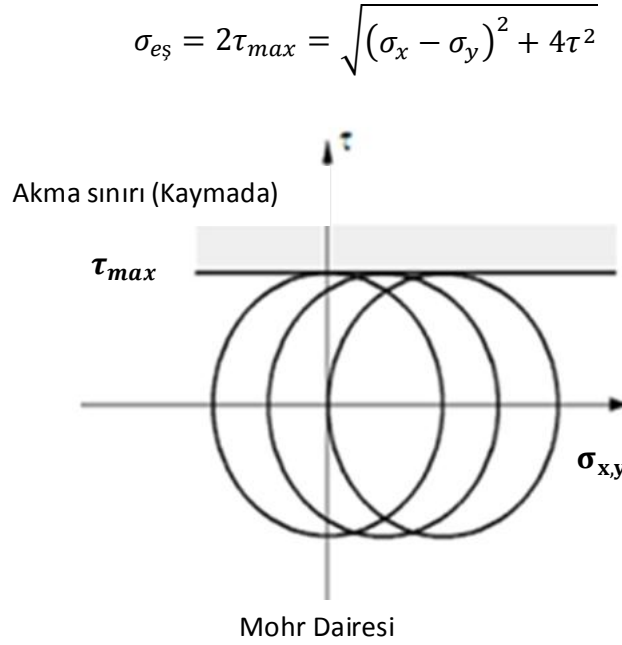
şeklinde hesaplanır.



Şekil 4. Maksimum Normal Gerilme Hipotezi [1]

2.1.2 Maksimum Kayma Gerilmesi Hipotezi (GUEST, MOHR)

Bu kriter öncelikle bakır, yumuşak çelik ya da alüminyum gibi tok (darbeye dayanıklı) ve sünek (şekil alabilir) malzemelere uygulanır. Buradaki yaklaşım, malzemenin en büyük kayma gerilmesinin bir sonucu olarak kopacağı şeklindedir. En büyük kayma gerilmesi en büyük normal gerilmeye göre, 45°'lik bir açıda ortaya çıktığından, kırılma düzlemi ana yükleme eksenine 45°'lik açısal konumdadır. Aşağıdaki denklem, eşdeğer gerilme değerini ($\sigma_{eş}$); Şekil 5 ise, oluşan Mohr dairelerini göstermektedir.



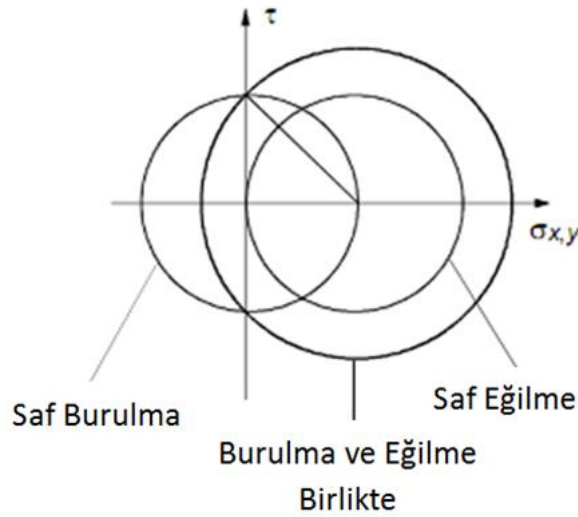
Şekil 5. Maksimum Kayma Gerilmesi Hipotezi [1]

2.1.3 Maksimum Şekil Değiştirme Enerjisi Hipotezi (V.Mises ve Henky)

Bu kriter, şekil değiştirme enerjisi belirli bir seviyeyi aştığında, malzemenin kopacağı esasına dayanır. Eğer bir cisme bir kuvvet uygulanırsa o cisim deformasyona uğrar. Deformasyona neden olan kuvvet, dış kuvvet şekil değiştirme enerjisi olarak adlandırılan deformasyon işini oluşturur. Şekil değiştirme enerjisi şekil değiştirme hacim değişimi ve şekil değişimi olmak üzere ikiye ayrılabilir. Şekil Değiştirme kriterine göre, şekil değiştirme enerjisi çok büyük olduğunda kopma oluşur. Eşdeğer gerilme ($\sigma_{eş}$), malzeme tipine bağlı olmaksızın başlıca dinamik ve değişken yükler için aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$\sigma_{eş} = \sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 - \sigma_x\sigma_y - 3\tau^2}$$

Eşdeğer gerilmeler, normal gerilmeler ve kayma gerilmelerinden oluşmaktadır. Bu iki gerilme arasındaki bağıntı Mohr Dairesinde sunulabilir. Burada kayma gerilmesi τ , Normal gerilme ise σ ile ifade edilmiştir (Şekil 6).



Şekil 6. Saf Eğilme, Saf Burulma ve birleştirilmiş yüklerde Mohr Daireleri [1]

- Saf Eğilme durumunda gerilme dairesi orijinin sağında bulunur. Kayma Gerilmesi ise ikincil normal gerilme gibi sıfırdır.
- Saf Burulma durumunda bütün normal gerilmeler sıfır olur. Gerilme çemberinin merkez noktası koordinat sisteminin merkez noktasına konumlandırılmıştır.
- Eğilme ve Burulmanın birleşimi durumunda gerilme çemberi saf yüklerin arasındadır.

2.2 Eğilme ve Burulma Yükleme Durumunda Birleştirilmiş Yükün Etkisi

Eğilme ve burulma yükleme halinin birleşimi durumunda, eşdeğer gerilme ve maksimum kayma gerilmesi ile ilişkisi aşağıdaki eşitlikteki gibi tanımlanmaktadır. Tok karakterli malzemeler kullanıldığında, bu bağıntı maksimum kayma gerilmesi kriteri olarak düşünülebilir.

$$\sigma_{eş} = 2\tau_{max} = \sqrt{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + 4\tau^2}$$

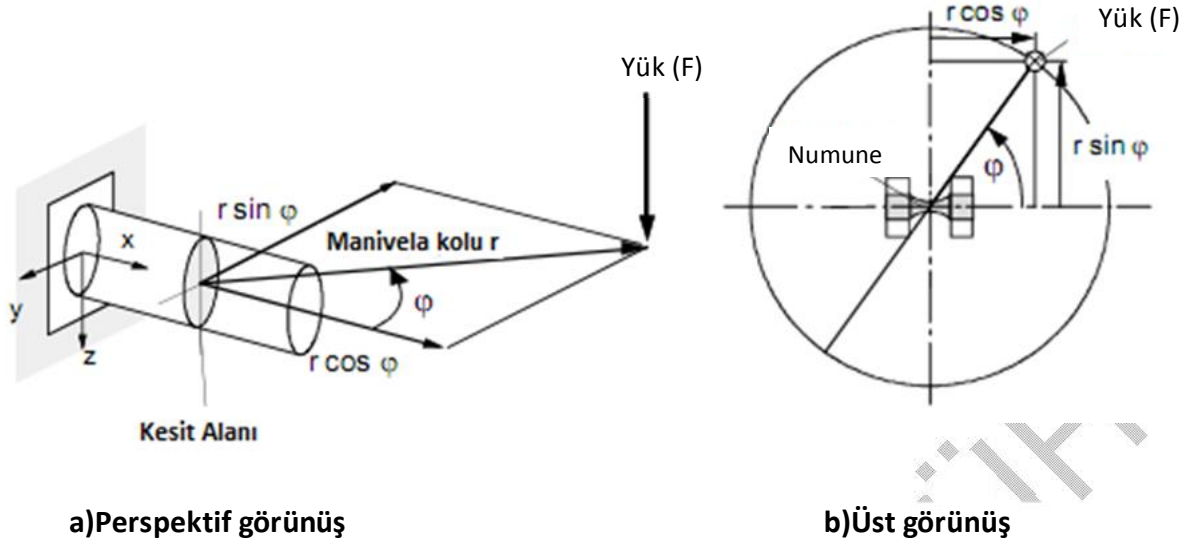
Eğilme yükü uygulanması halinde, iş parçasının boy eksenine dik (Şekil 7.a'da y doğrultusu) normal gerilme oluşmaz. Bu yüzden $\sigma_y = 0$ ve $\sigma_x = \sigma_e$ alınabilir.

Bu durumda maksimum kayma gerilmesi hipotezi,

$$\sigma_{eş} = 2\tau_{max} = \sqrt{(\sigma_e)^2 + 4\tau^2}$$

haline dönüşür.

Deney düzeneğinde eğilme ve burulma yükü uygulanan numunenin şematik görünümü Şekil 7.a'da, üstten görünümü Şekil 7.b'de gösterilmiştir.



a) Perspektif görünüş

b) Üst görünüş

Şekil 7. Deney düzeneğinde aynı anda eğilme ve burulma yükü uygulanan numune

Uç noktadaki yüzey lifinde maksimum eğilme gerilmesi, eğilme momenti ve kesit atalet momenti kullanılarak

$$\sigma_e = \frac{M_e}{I_e} * \frac{d}{2}$$

bağıntısından bulunur.

Burulma sonucu uç noktada yüzey lifinde oluşan maksimum kayma gerilmesi ise;

$$\tau_{maks} = \frac{M_b}{I_b} * \frac{d}{2}$$

denklemden hesaplanır.

Dairesel kesit için eğilme atalet momenti ve burulma atalet momenti, sırasıyla

$$I_e = \frac{d^4 \pi}{64}$$

$$I_b = \frac{d^4 \pi}{32} = 2I_e$$

eşitliklerinden bulunur. Eğilme momenti (M_e) ve Burulma momenti (M_b), yük noktası ve F yükünün açısal pozisyonu (φ) kullanılarak,

$$M_e = F * r * \cos \varphi$$

$$M_b = F * r * \sin \varphi$$

bağıntıları ile bulunur.

Eğilme ve burulma yükleme halinin birleşimi durumundaki eşdeğer gerilme bağıntısında eğilme momenti ve burulma momenti bağıntıları yerine konulacak olursa eşdeğer gerilme bağıntısı

$$\sigma_{eş}^2 = \frac{d^2}{4} \left[\left(\frac{F * r * \cos \varphi}{I_e} \right)^2 + 4 \left(\frac{F * r * \sin \varphi}{2 * I_e} \right)^2 \right] \text{ veya } \sigma_{eş} = \frac{F * r * d}{2 I_e} \sqrt{\cos^2 \varphi + \sin^2 \varphi}$$

şeklinde ifade edilir. $\sqrt{\cos^2 \varphi + \sin^2 \varphi} = 1$ olduğundan,

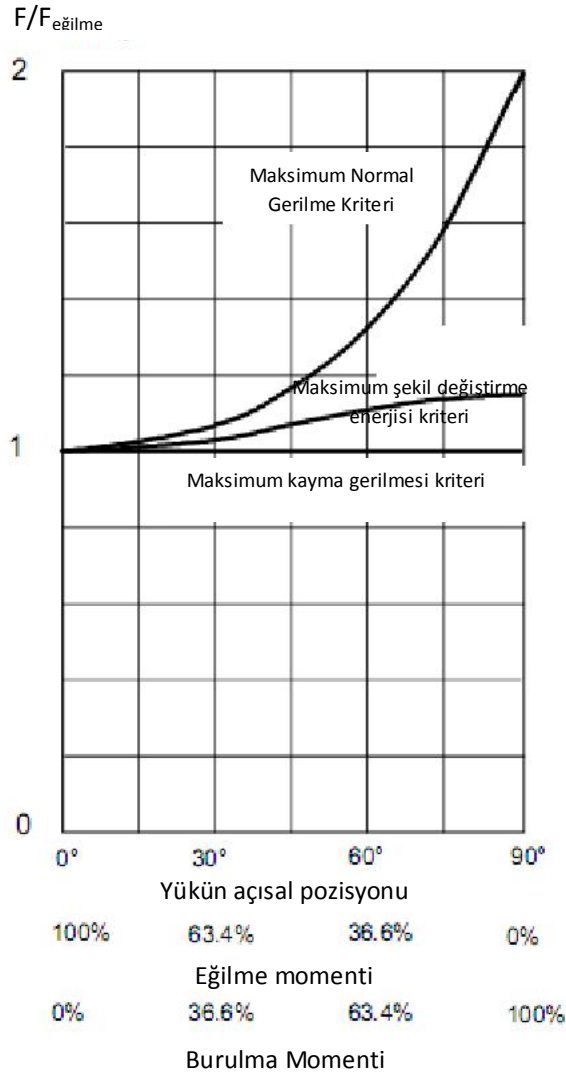
bağıntı düzenlenecek olursa, eğilme ve burulma momenti yükleme halinin birleşimi durumunda eşdeğer gerilme, aşağıdaki eşitlikten bulunur.

$$\sigma_{eş} = \frac{F \cdot r \cdot d}{2 \cdot I_e}$$

Eğilme ve burulma momenti yükleme halinin birleşimi durumu için, eşdeğer gerilme denkleminde görüleceği gibi eşdeğer gerilme ifadesi φ açısına bağlı değildir.

Bu durum, maksimum kayma gerilmesi kriteri uygulandığında geçerlidir. Böyle durumlarda, deney numunesi için akma gerilmesi değeri üzerinde bir gerilmeye sebep olacak F yükünün, eğilme ve burulma arasındaki orandan bağımsız olduğunu göstermektedir.

Eşdeğer gerilme hipotezleri arasındaki ilişkiler, grafiksel olarak Şekil 8'deki diyagramda gösterilmiştir. Burada F yükleri saf eğilme hali için akma sınırına aittir.



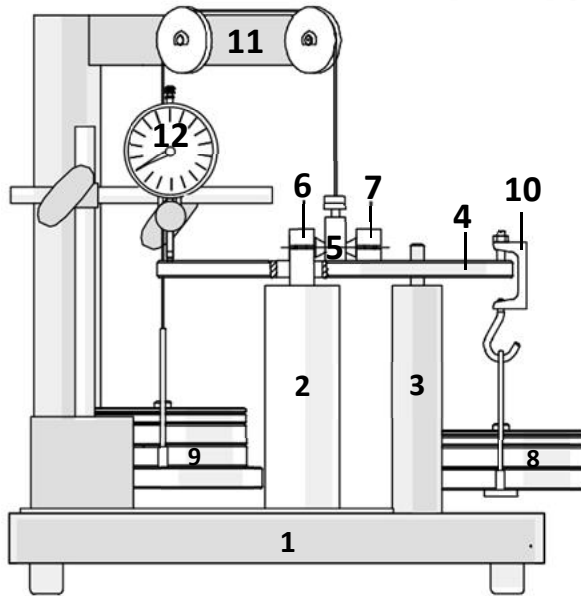
Şekil 8.Çeşitli eşdeğer gerilme hipotezleri için akma sınırı kriterleri [1]

3. DENEY DÜZENEGİ

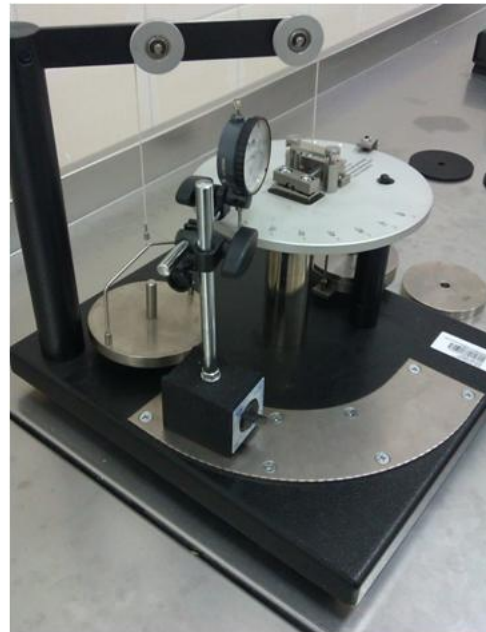
3.1. Deney Düzenegi ve Elemanları

Eşdeğer Gerilme Hipotezlerini doğrulamak için, iki eksenli gerilme hali oluşturmak gerektiğinden, deney düzenegi, bir numuneye saf eğilme, saf burulma ya da eğilme+burulma birleşimi yüklemeler yapılmasına olanak sunmalıdır.

Deney düzeneginin şematik ve gerçek görünümü Şekil 9'da verilmiştir. Düzenek, temel olarak, kalın kesitli dikdörtgen ($325 \times 390 \text{ cm}^2$) bir metal alt tabla (1), bu tablaya montajlı iki silindirik destek kolonları (2 ve 3) ve bu kolonlar üstüne yerleştirilen 200 mm çapında alüminyum bir yükleme plakası (4)'den oluşmaktadır. Test numunesi (5), bir ucundan 2 numaralı kolona; diğer ucundan yükleme plakasına kelepçeler (6 ve 7) yardımı ile bağlanır. Yüklerin numuneye tatbiki, yükleme plakası üzerindeki 7 farklı açısız konumda (0° , 15° , 30° , 45° , 60° , 75° ve 90°) bulunan noktalara, bilinen ağırlıkların (8) ve denk karşı ağırlıkların (9), etki ettirilmesi ile yapılır. Seçilen açısız pozisyona göre, yükleme durumunun tayini ardından, yükleme yapmak için ağırlıklar, ağırlık askısına (10) asılır. Karşı ağırlıklar, bir makara ve kablo sistemi (11) yoluyla yükleme plakasının tam ortasına etki ve plakayı düzgün tutar. Hangi açısız pozisyonda numuneye yük tatbiki yapılacaksa, arzu edilen doğrultunun karşı istikametine yerleştirilebilen, magnetik ayaklı bir komparatör (12), yük etkisinde numunede oluşacak elastik ve plastik deformasyon miktarlarının ölçülebilmesini mümkün kılar.



a) Şematik Görünüm



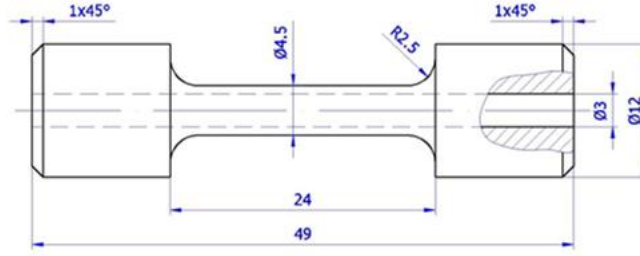
b) Kurulu Görünüm

Şekil 9. Deney düzenegi

3.2 Deney Düzeneği Elemanlarının İşlevi

3.2.1. Test Numunesi

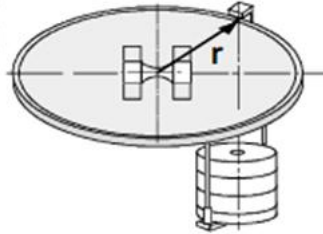
Eğilme, burulma ve eğilme+burulma yükleri tatbik edilerek, bir noktada tek ve iki eksenli gerilme halleri oluşturabilmek amacı ile, uygun geometrik şekilde (içi boş silindir çubuk) bir test numunesi Şekil 10'da verilen ölçülerde talaşlı işlenerek hazırlanır ve düzenekte test edilir. Numunenin test sırasında kelepçeler içinde kaymaması için, her iki ucu, sürtünme kuvvetini artırmak için, daha büyük çapta ve silindirik tasarlanmıştır.



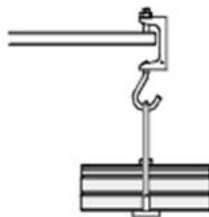
Şekil 10. Test Numunesi

3.2.2. Yükleme Plakası

Dairesel bir yükleme plakası, moment yükü oluşturmak için manivela kolu olarak kullanılır. Moment yükü, bu dairesel şekilli bir yükleme plakası kenarlarına belirli açılarda asılan ağırlıklar vasıtasıyla oluşturulur (Şekil 11). Bu sayede, seçilen açısal pozisyona göre, yükleme durumu tayin edilerek, her bir moment yükü değeri, Şekil 12'de görüldüğü gibi, uygun ağırlıklar asılarak, 0-3 Nm aralığında, 0.1 Nm'lik artışlarla sağlanabilir.



Şekil 11. Yüklerin ve numunenin bağlandığı dairesel yük plakası

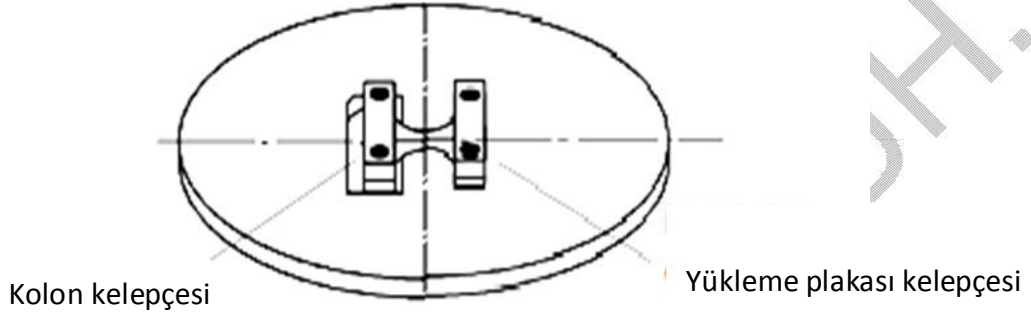


Şekil 12. Askı ve Ağırlıklar

4.DENEYİN YAPILIŞI

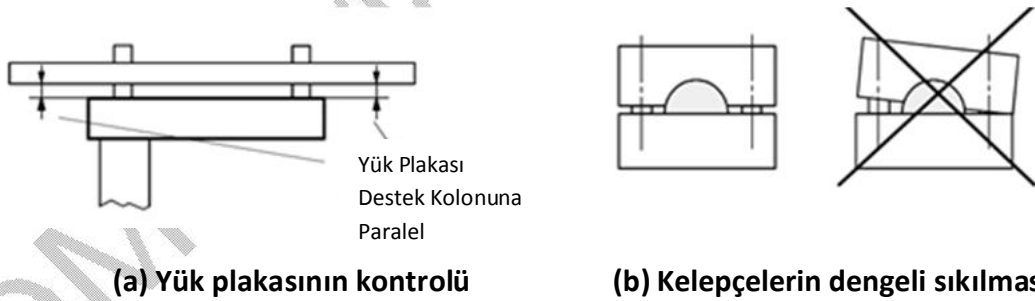
4.1 Deney Numunesinin Yerleştirilmesi

- 1- Numune bir ucundan, önce yükleme plakası üzerindeki kelepçeye, sonra taşıyıcı kolon üzerindeki diğer kelepçe yuvasına yerleştirilir ve hafifçe sıkılır. Şekil 15’de gösterildiği gibi, numune eksenini ve tam orta kesiti, plakanın merkez çizgilerinden geçecek şekilde hafifçe kaydırıldıktan sonra sıkılık artırılır.



Şekil 15. Numunenin yerleştirilmesi

- 2- Numune bağlanır iken, destek kolonları ve yük plakası arasındaki açıklık (boşluk) paralel kalmalı (Şekil 16.a) ve kelepçe oturma yüzeyleri birbirine paralel kalacak şekilde dikkatle vidalanmalıdır (Şekil 16.b).



Şekil 16. Numunenin sabitlenmesi

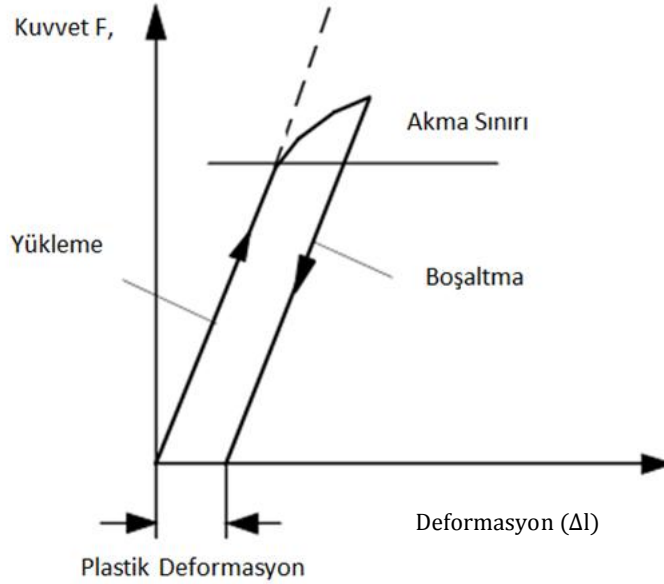
4.2 Dikkat Gerektiren Diğer Hususlar

- 1) Bu deneyde, metalik bir numune için akma sınırı, yükleme yapılarak belirlendiğinden, elastik şekil değiştirme sınırına kadar ya da elastik sınırın ötesinde yükleme yapmak gerekir. Bu şekilde yükleme yapılarak iş parçası plastik (kalıcı) deformasyona uğratılır. Plastik deformasyona uğrayan bir metalik numune pekleşme (mukavemet artışı) gösterir. Bu durumda, test edilen metalik malzemenin akma sınırı değeri yükselir. Ancak, pekleşen numuneler tekrar deneyde kullanılmaz.

2) Pekleşme etkisini mümkün olduğunca küçük tutmak için, numunenin plastik deformasyon miktarı, mümkün olduğunca küçük tutulmalıdır.

Bu etkiyi minimize etmek için;

- a) Her test için yeni numune kullanılabilir. Test edilecek numuneler aynı malzemeden yapılmalıdır. Aynı boyut ve sertlikte numuneler seçilmelidir.
- b) Numune, boyutça stabil kalmalıdır. Bununla birlikte testler ters sırayla yapılmalıdır. Bir seri saf eğilme momenti ile başlamalı saf burulma ile sonlandırılmalı diğer seri ise saf burulma ile başlatılmalı ve saf eğilme momenti ile sonlandırılmalıdır. İki serideki ölçülen değerlerin ortalaması hesaplanarak artan pekleşme etkisi ortadan kaldırılmalıdır.
- 3) Emniyet gerilme değeri geçilene kadar, her bir yükleme için, yani malzemenin akması sağlanana kadar, ağırlık diskleri eklenerek ya da ağırlık diskleri değiştirilerek numuneye uygulanan yük artırılmalıdır.
- 4) Deneyi güvenilir şekilde, yapabilmek için yükler kaldırılırken, kalıcı deformasyon sürekli olarak ölçülmelidir. Numunenin davranışı, Şekil 17'de verilen bir kuvvet-deformasyon eğrisi çizilerek, elastik bölgede orantı sınırından, lineer olmayan karakteristiğe geçtiğinde (akma sınırı aşımında) test durdurulmalıdır.



Şekil 17. Metalik bir malzemenin, elasto-plastik şekil değiştirmesine ilişkin kuvvet-deformasyon eğrisi

4.3. Yükleme ve Deformasyon Ölçümü

- 1- Karşı ağırlıklar deney numunesinin cinsine göre;
 - Çelik için 14N
 - Bakır için 8N
 - Pirinç için 11N
 - Alüminyum için 12N

olarak hazırlanır ve karşı ağırlık askısına yerleştirilir.

- 2- Dairesel plaka üzerindeki yük noktalarından ilki (0°) seçilir.
- 3- (0°) yükleme noktasının tam karşısına, aynı doğrultuda komparatör yerleştirilir ve kadranda sıfırlanır.
- 4- Yük noktasına, uygulanan karşı ağırlığa denk (ağırlık askısı dahil) ilk yükleme yapılır. Bu yükleme sonucu, deformasyon kadranda okunur, bir tabloya kaydedilir ve yük kaldırılır.
- 5- Yük kaldırıldığında, elastik ($\Delta l = 0$) ve plastik deformasyonun ($\Delta l > 0$) olup oluşmadığı kadranda takip edilir.
- 6- Takip eden her yükleme için, ağırlık 1N artırırlarak (Çelik için 2N ve katları), deformasyon miktarları ölçülür ve her yüklemeden sonra yük kaldırılır (Boşaltma). Yük kaldırıldığında kadranda okunan değerler tekrar kaydedilir. Eğer, plastik deformasyon, 10/100 mm den büyükse söz konusu numune için ölçüme son verilir.
- 7- **Madde 2-6 aynen**, 15° , 30° , 45° , 60° , 75° ve 90° yükleme noktaları için tekrarlanır ve herbir açısal pozisyon için yeni bir tablo hazırlanarak, alınan ölçümler yazılır.
- 8- İlk ölçüm serisinin (**Madde 1-7**) tam aksine, ikinci ölçüm serisi, sırasıyla 90° , 75° , 60° , 45° , 30° , 15° ve 0° yük noktaları için, yani saf burulma yüklemelerinden, saf eğilme yüklemelerine doğru tekrarlanır ve tabloya işlenir.
- 9- Her iki seriden faydalanarak bir kuvvet-deformasyon grafiği çizilir. Aynı açısal pozisyon için, iki ayrı akma sınır kuvveti belirlenir. Bu kuvvetlerin ortalaması hesaplanarak pekleşme etkisi minimize edilir.

4.4. Uygun Gerilme Hipotezinin Doğrulanması

- Deney düzeneğine çelik numune yerleştirilerek yapılan, 0° (Saf Eğilme) 30° , 60° ve 90° lik (Saf Burulma) yüklemeleri sonucunda ölçülen deformasyon miktarları örnek olarak Tablo 1'de verilmiştir. Tablo verilerine göre, farklı yüklemelerdeki kuvvet-deformasyon grafiği çizilir (Şekil 18).
- Bu dört farklı açısal yükleme konumunun herbiri için, akma sınırı iki kez (saf burulmaya giderken (yük noktası: 90°) ve saf eğilmeye dönerken (yük noktası: 0°)) hesaplanır. Böylece, pekleşme etkisi, belirlenen bu iki kuvvet değerinin ortalaması alınarak asgari seviyeye indirilmiş olur.

Tablo 1. Numuneye uygulanan yüklemelere karşılık örnek deformasyon değerleri

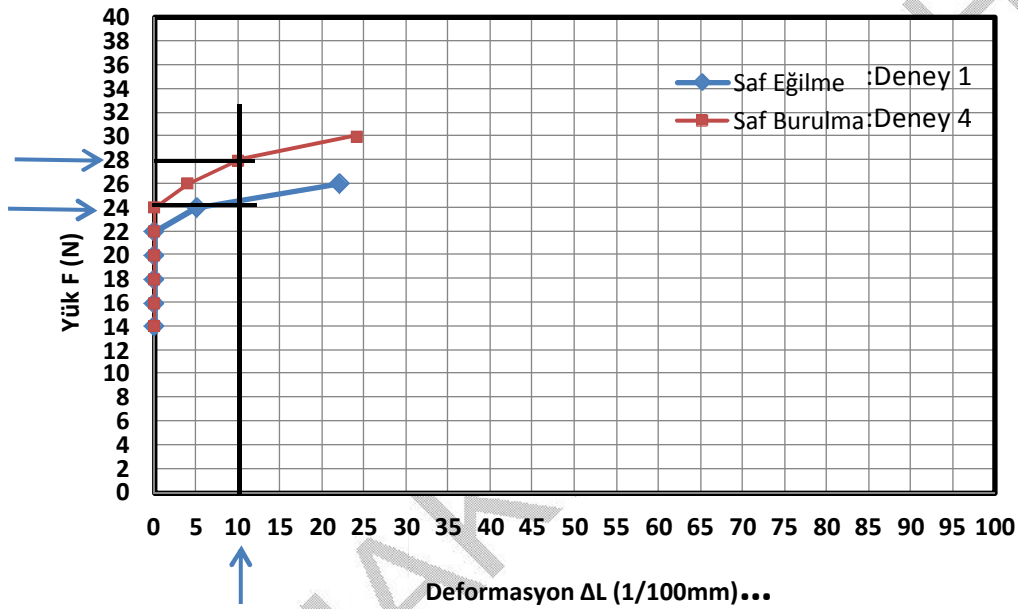
Deney numarası:1	Açısal pozisyon:0°				Ölçüm No:1				Malzeme: Çelik					
Yük F (N)	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40
Deformasyon Δl (1/100 mm)	198	223	248	274	300	325	351	385	430					
Kalıcı Deformasyon Δl (1/100 mm)	0	0	0	0	0	0	4	10	24					
Akma sınırı yükü: 28 N														

Deney numarası:2	Açısal pozisyon:30°				Ölçüm No:1				Malzeme: Çelik					
Yük F (N)	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40
Deformasyon Δl (1/100 mm)	206	234	261	290	303	320								
Kalıcı Deformasyon Δl (1/100 mm)	0	0	0	0	5	17								
Akma sınırı yükü: 24 N														

Deney numarası: 3	Açısal pozisyon:60°				Ölçüm No:1				Malzeme: Çelik					
Yük F (N)	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40
Deformasyon Δl (1/100 mm)	245	259	288	319	342	367	413	429						
Kalıcı Deformasyon Δl (1/100 mm)	0	0	0	0	0	0	6	12						
Akma sınırı yükü: 28 N														

Deney numarası: 4	Açısal pozisyon: 90°				Ölçüm No:1				Malzeme: Çelik					
Yük F (N)	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40
Deformasyon Δl (1/100 mm)	252	284	316	348	381	414	456							
Kalıcı Deformasyon Δl (1/100 mm)	0	0	0	0	0	5	13							
Akma sınırı yükü: 26 N														

- Şekil 18'deki grafik gösterimde görüldüğü gibi çizilen kuvvet-deformasyon grafiğinde, orantı sınırı karakteristiğinden sapma ortaya çıktığında (kalıcı deformasyon 10/100mm değerini geçtiği anda) deneye son verilir ve grafiğin yatay eksenindeki **dik okla** gösterilen noktadan düşey çizilen doğru ile yükleme eğrileri kestirilerek, **F** yük ekseninde karşılık gelen kuvvet değerleri, yani akma sınırları bulunur. Akma yükü sınırı geçildikten sonra, pekleşmenin bir sonucu olan mukavemet artışı (plastik deformasyonun devamı için yük artış trendinin sürmesi) kolaylıkla görülebilir.



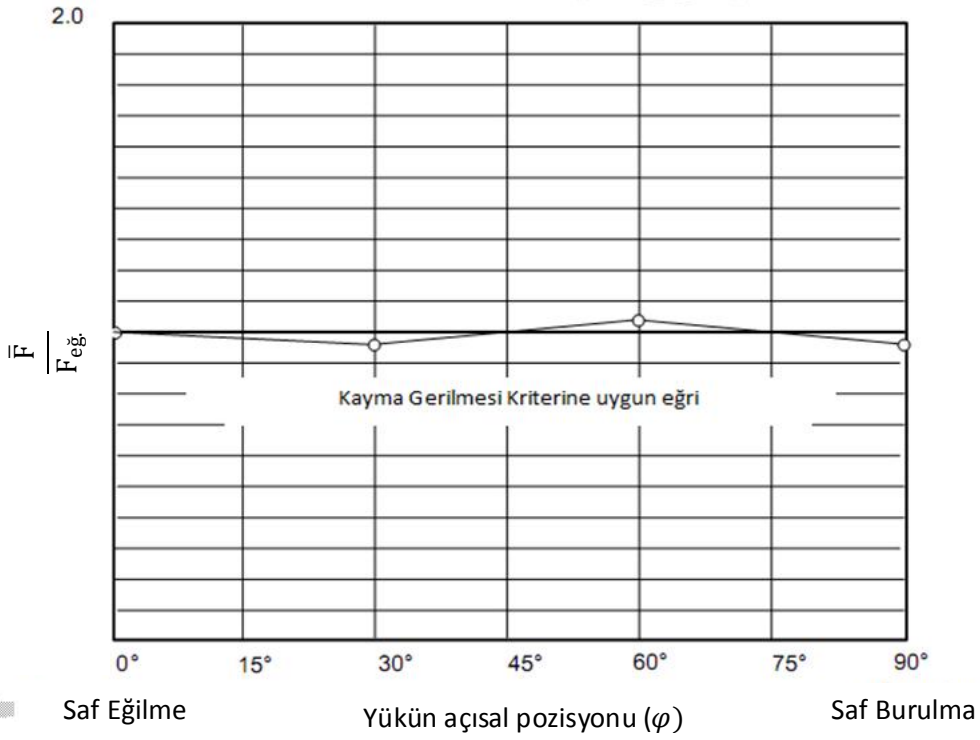
Şekil 18. Farklı yüklemeler yaparak grafik metotla akma sınırı tayini

Farklı açılarda yapılan deneyler sonucu bulunan tüm akma sınırları Tablo 2'deki gibi sıralanır (F_{11} , F_{12}). Farklı yükleme koşullarında, numune için belirlenen ortalama akma yükü değerleri Tablo değerlerinden hesaplanır (\bar{F}). Tablonun ilk sütunu 3. satırdaki (Gri hücre), saf eğilme hali için (yük noktası: 0°) bulunan ortalama akma yükü, referans akma yükü olarak kabul edilir ($F_{eğ.}$). Tabloda, farklı açılar için bulunan diğer ortalama akma yükleri (\bar{F}), referans akma yüküne ($F_{eğ.}$) bölünerek normalize edilir. Ortalama akma yükünün, referans akma yüküne oranı ($\bar{F}/F_{eğ.}$) nın, yükün açısal pozisyonuna göre değişim grafiği Şekil 19'daki gibi elde edilir. Bu aşamada, numunenin deformasyon davranışını yansıtan sonuç eğri, Bölüm 2.2'de açıklanan, eşdeğer gerilme hipotezleri eğrileri (Şekil 8) ile karşılaştırılarak doğrulanır.

Eğer çıkan eğri, yatay eksene paralel uzanıyorsa, "Maksimum Kayma Gerilmesi Hipotezi" kullanılır ve numune için eşdeğer gerilme değeri bu kritere göre bulunur. Eğer, akma sınırı saf burulma halinin iki katından fazla ise, bu saf eğilmedir. Bu durumda numune için, "Maksimum Normal Gerilme Hipotezi" uygulanarak eşdeğer gerilme değeri bulunur.

Tablo 2.Farklı açılarda yapılan yüklemeler sonrası elde edilen numune akma yükü değerleri

Malzeme: Çelik				
Yükün Açisal Pozisyonu	0° (Saf Eğilme)	30°	60°	90° (Saf Burulma)
Akma Sınırı F_{11}	28	24	28	26
Akma Sınırı F_{12}	24	26	26	24
Ortalama $\bar{F} = \frac{(F_{11}+F_{12})}{2}$	26	25	27	25
$\frac{\bar{F}}{F_{eğ.}}$	1	0.96	1.04	0.96



Şekil 19. $\frac{\bar{F}}{F_{eğ.}}$ nin, φ (yükün açisal pozisyonu) ile değişimi

Şekil 19'daki gibi, $\frac{\bar{F}}{F_{eğ.}}$ nin, φ (yükün açisal pozisyonu) değişimi grafiğinde deney sonuçları, yatay eğri şeklinde olduğundan eşdeğer gerilme değerini hesaplamak için maksimum kayma gerilmesi hipotezi uygulanır.

4.5. Birleşik Yükleme Durumunda Eşdeğer Gerilme Hesabı

$0^\circ, 30^\circ, 60^\circ$ ve 90° lik açısal pozisyonlarda yapılan yüklemeler için bulunan \bar{F} değerleri, $\sigma_{eş} = \frac{F * r * d}{2 * I_b}$ bağıntısında F yerine yazılarak eşdeğer gerilme değerleri hesaplanır. Örnek deneyde hesaplanan eşdeğer gerilme değerleri Tablo 3’de verilmiştir.

Tablo 3. $0^\circ, 30^\circ, 60^\circ$ ve 90° lik açısal pozisyonlarda yapılan yüklemeler için eşdeğer gerilme değerleri

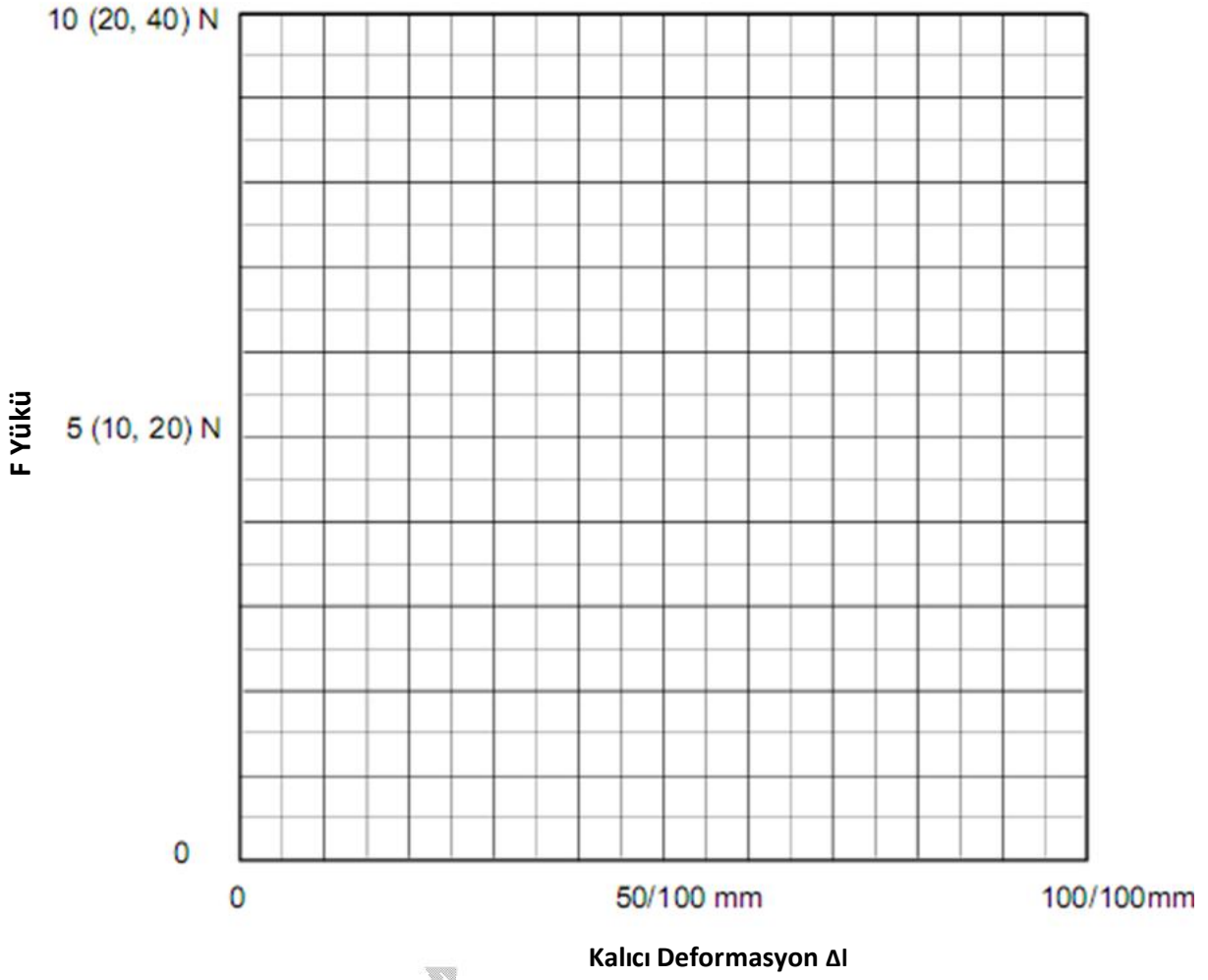
Açısal Pozisyon	0°	30°	60°	90°
Yükleme Durumu	(Saf Eğilme)	(Eğilme+Burulma)	(Eğilme+Burulma)	(Saf Burulma)
F (N)	26	25	27	25
$\sigma_{eş}$ (N/mm ²)	290,627	279,449	301,8049	279,449

5. İSTENENLER

- 1- Deneyde farklı açısal pozisyonlarda yapılan yüklemelere ilişkin ölçülen deformasyon değerini kullanarak Tablo 4’ü doldurunuz.
- 2- Tablo 4’ü kullanarak, Şekil 20’deki, farklı yüklemeler için, F(Kuvvet)-deformasyon(Δl) grafiğini çiziniz.
- 3- Farklı açılarda yapılan yüklemeler sonrası numune için belirlenen akma yük değerlerini kullanarak Tablo 2’e benzer şekilde, Tablo 5’i oluşturunuz.
- 4- Tablo 5’deki değerleri kullanarak, Şekil 19’daki gibi, $\frac{\bar{F}}{F_{eğ}}$ - yük açısal pozisyonu grafiğini (Şekil 21) çiziniz.
- 5- Deney numunesi için uygun olan eşdeğer gerilme kriterini belirleyiniz. Farklı açısal pozisyonlar için, eşdeğer gerilme değerlerini hesaplayıp, Tablo 6’yı doldurunuz.

Tablo 4. Örnek metalik numuneye uygulanan yüklemelere karşılık ölçülen deformasyonlar

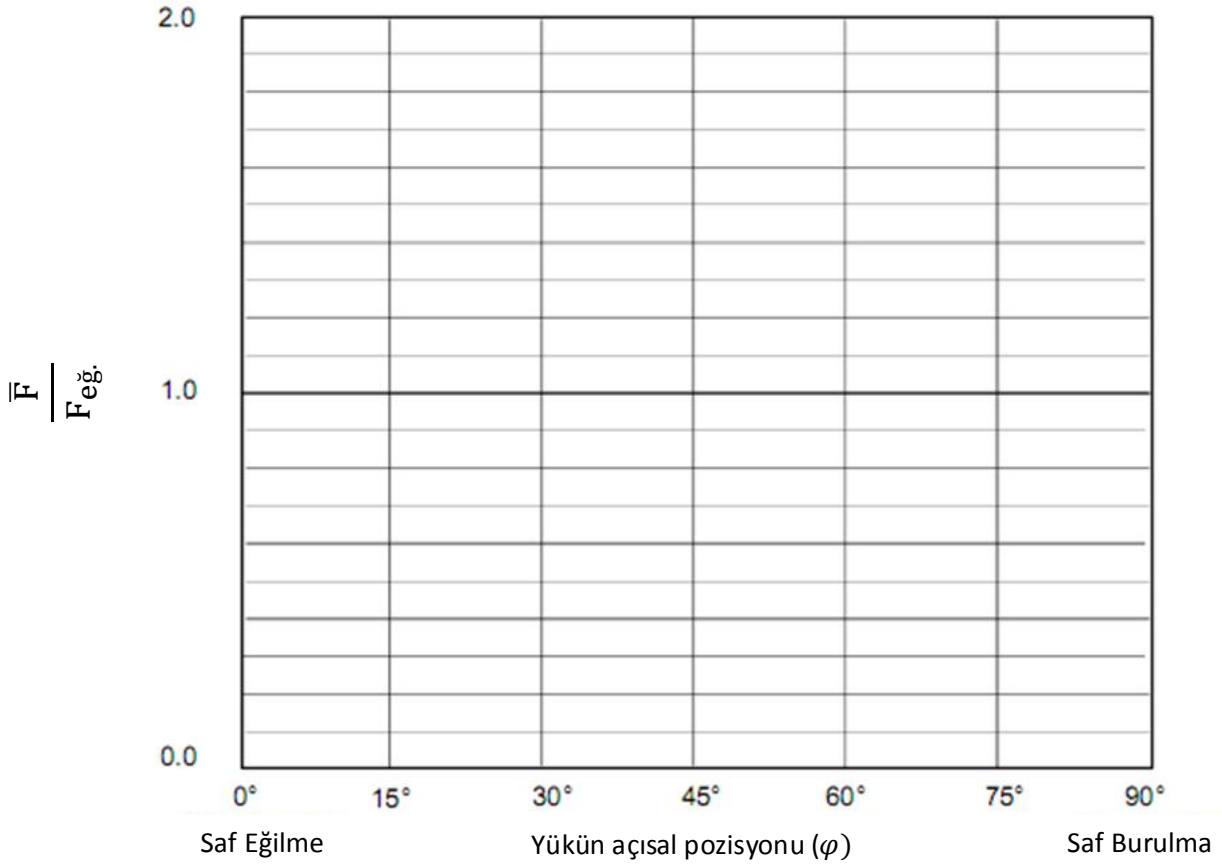
Test numarası:	Açısal pozisyon:				Ölçüm No:				Malzeme:					
Yük F (N)	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	34	36	38	40
Deformasyon Δl (1/100 mm)														
Kalıcı Deformasyon Δl (1/100 mm)														
Akma sınırı yükü:														



Şekil 20. Örnek Kuvvet-Deformasyon Grafiğı

Tablo 5. Farklı açılarda yapılan yüklemeler sonrası belirlenen numune akma yükleri

Malzeme:				
Yükün Açılal Pozisyonu				
Akma Sınırı F_{I1}				
Akma Sınırı F_{I2}				
Ortalama $\bar{F} = \frac{(F_{I1} + F_{I2})}{2}$				
$\frac{\bar{F}}{F_{eğ.}}$				



Şekil 21. $\frac{\bar{F}}{F_{eğ.}}$ nin, φ (yükün açısai pozisyonu) ile değişimi

Tablo 6. Farklı açısai pozisyonlarda yapılan yüklemeler için eşdeğer gerilme değerleri

Açısai Pozisyon	0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°
F							
$\sigma_{eş}$							

6.KAYNAKLAR

[1]. E.KOÇ. Makina Elemanları, Cilt-1 Nobel Yayınevi, 5. Baskı, Adana, 2013

[2].G.U.N.T. WP 130 Verification of Stress Hypothesis Experiment Instructions, 2010