



ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

STRAIN GAGE DENEY FÖYÜ

HAZIRLAYAN

Prof. Dr. Erdem KOÇ

Yrd.Doç.Dr. İbrahim KELEŞ

Yrd.Doç.Dr. Kemal YILDIZLI

EKİM 2012

SAMSUN

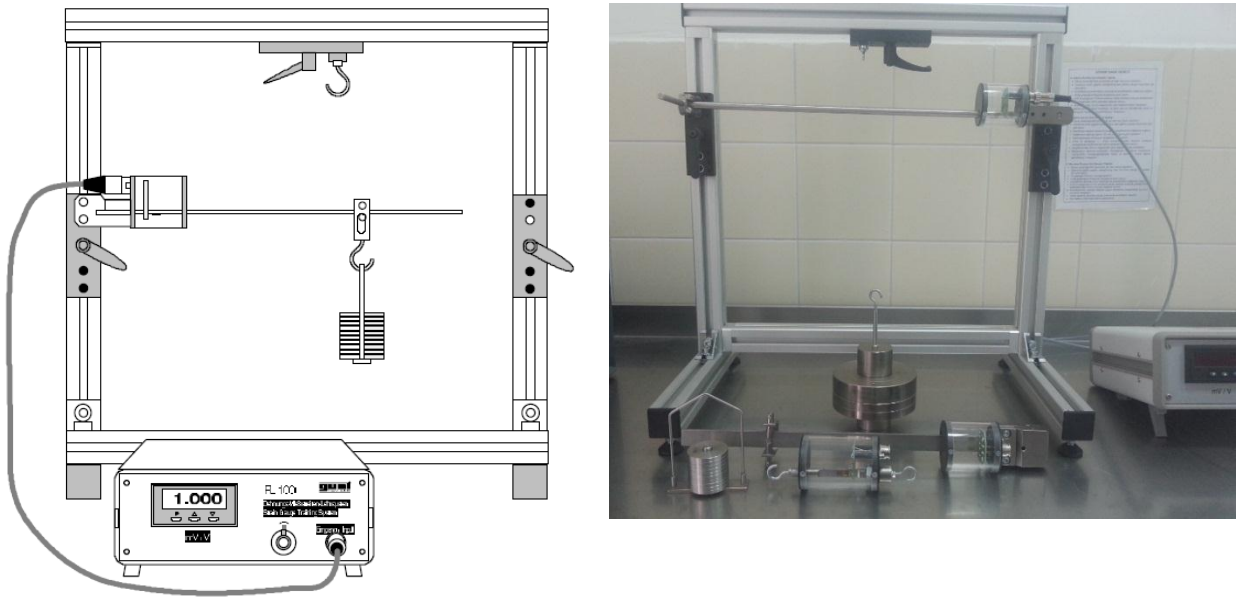
STRAIN (GERİNİM,UZAMA) GAGE DENEYİ

1. DENEYİN AMACI

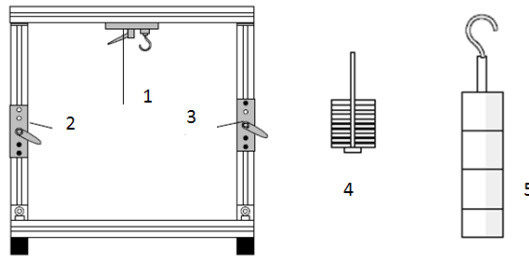
Bir cisme kuvvet olarak etkiyen ağırlığın, cisimde meydana getirdiği şekil değişikliğini deneysel olarak strain gageler yardımıyla ölçülür. Bu deneyde çekme ve eğilme durumlarında birim uzamaları(şekil değiştirmeleri), burulma durumunda ise burulma momenti tespit edilir. Ayrıca her üç durum için strain gagelerin nasıl kullanıldığının ve ölçümlerin nasıl yapıldığının gösterilmesi hedeflenmektedir.

2. DENEY DÜZENEGİ

Strain gageler makine parçalarının yüzeylerinde oluşan birim uzamaları (strain) ölçmek için kullanılan sensörlerdir. Deney düzeneği eğilme, burulma ve çekme durumlarında strain gageler aracılığıyla şekil değişimleri ölçülür. Şekil 1.'de deney düzeneğinin genel bir görünüşü verilmiştir.



(a) (b)
Şekil 1. Strain (gerinim, uzama) ölçme yöntemleri deney düzeneği

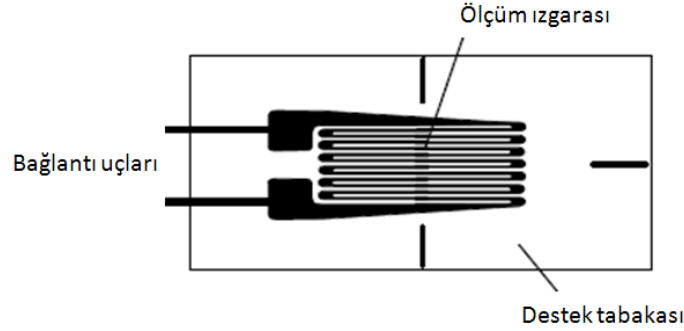


Şekil 2. Yükleme çerçevesi ve elemanları

Yükleme çerçevesi hafif alaşımli olarak yapılmıştır ve farklı deney modüllerini birleştirmek için hizmet etmektedir(Şekil 2). Çerçeve üzerindeki yatay olarak hareket eden ve hızlı bir şekilde kenetleme işlemini yapan tutacak (1) çekme durumunda kullanılmaktadır. Düşey olarak hareket eden ve kenetleme işlemini yapan tutacaklar (2-3) eğilme ve burulma durumlarında, birim uzama ve burulma momentlerinin tespiti için strain gageleri üzerinde barındıran deney aparatlarının takıldığı yerlerdir. Eğilme deneyinde küçük ağırlıklar (4) 1-6 N(0.55 N aralıklarla) kullanılır. Burulma ve çekme deneyinde ise daha büyük olan ve 5-50 N(5 N aralıklarla) değişen ağırlıklar (5) kullanılır.

3. STRAIN GAGE TEKNİĞİ İLE ÖLÇÜM ESASLARI

Strain gageler, kesiti çok küçük iletken bir telin çok ince bir şerit üzerine tekrarlı sarımlar şeklinde yerleştirilmesinden oluşur. Strain gageler üzerine yapıştırılan parça ile birlikte deformasyona uğrarlar. Bu sırada strain gageler üzerindeki tellerin çapı da değişir. Çapı değişen tellerin direnci de değişerek üzerinden geçen akımın voltajını değiştirir. Bu voltaj değişimi ölçülerek tellerdeki ve dolayısıyla üzerine yapıştırılan parçadaki şekil değişimi ölçülmüş olur. Daha sonra elastisite teorisinin bilinen denklemleri kullanılarak ölçülen şekil değişimi gerilmeye dönüştürülür. Şekil 3. de yaprak tipi strain gage gösterilmektedir.



Şekil 3. Yaprak tipi strain gage

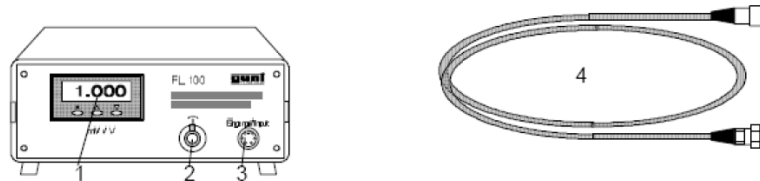
Her bir strain gage, üretici firma tarafından belirlenmiş olan şekil değiştirme ile direnç arasında uygunluğu sağlayan ve gage faktörü (k) denilen, hassasiyet faktörüne sahiptir.

$$k = \frac{\Delta R/R_0}{\varepsilon} \quad (3.1)$$

Burada ε = Uzama , R_0 = Sıfır noktasındaki direnç (yük yok) Ω (Ohm) , ΔR =Yük uygulandıktan sonra dirençteki değişim Ω (Ohm). Metalik strain gage'ler için gage faktörü (k) genel olarak 2 civarındadır. Bütün deneylerde strain gage faktörü $k=2.05$ alınacaktır.

Ölçüm Amplifikatörü

Ölçüm amplifikatörünün ön panelinde dijital gösterge (1) ile yükleme yapıldığında şekil değişimini mV/V olarak okunur. Potansiyometre (2) aracılığıyla sistemin başlangıçtaki kalibrasyon ayarı yapılır. Amplifikatör ile strain gage arasındaki veri aktarımını sağlayan yedi toplu iğne başlı soket (3) ve bağlantı kablosu (4) ile sağlanmaktadır(Şekil 4).



Şekil 4. Ölçüm Amplifikatörü

4. ÇEKME DURUMUNDA STRAIN GAGE İLE ÖLÇÜM

4.1. Temel Esaslar

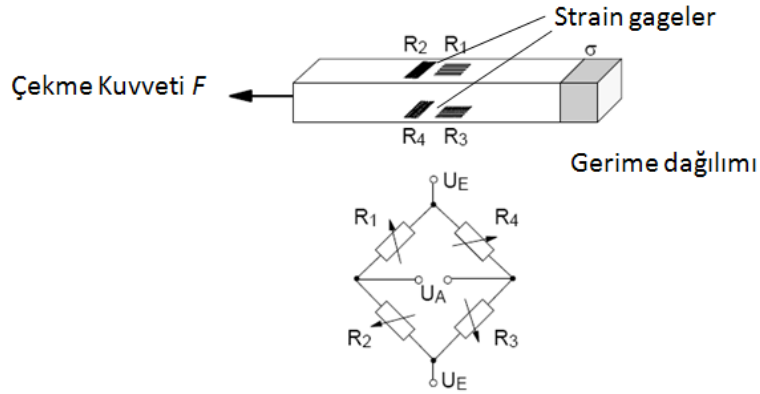
Çekme kuvveti $F(N)$ ve kesit alanı $A(mm^2)$ alınır, çekme gerilmesi $\sigma_c (N/mm^2)$ aşağıdaki formül ile bulunur.

$$\sigma_c = \frac{F}{A} \quad (4.1)$$

Hooke kanuna göre ölçülen birim uzama (şekil değiştirme) ε ile elastisite modülü $E (N/mm^2)$ çarpılarak gerilme $\sigma_c (N/mm^2)$ elde edilir.

$$\sigma_c = E \cdot \varepsilon \quad (4.2)$$

Çekme kuvveti altındaki dikdörtgen plaka şeklindeki deney numunesinin ön ve arka yüzeylerine ikişer tane strain gage yerleştirilmiştir (Şekil 5).



Şekil 5. Çekme yüküne maruz bırakılan bir çubuk üzerindeki strain gage konumları

Ölçme köprüsünün çıkış sinyali U_A , U_E besleme voltajına göre referans alınır. Strain gagecin duyarlılığı k ile tam köprü için ölçülen şekil değiştirme aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$\varepsilon = \frac{1}{2(1+\mu)} \frac{4}{k} \frac{U_A}{U_E} \quad (4.3)$$

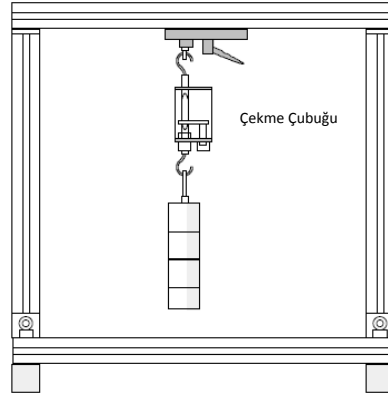
Ancak burada strain gage yardımıyla ampifikatörden okunan değer $(\frac{U_A}{U_E})$ birimi mV/V olduğundan boyutsuzlaştırmayı sağlamak amacıyla okunan değerler 10^{-3} ile çarpılmalıdır. Burada μ Poisson oranı olup elastisite modülü $E = 210000 N/mm^2$ olan çelik için $\mu = 0.28$ olarak alınacaktır. Ancak farklı malzemelere ait elastisite modülleri ve Poisson oranları Tablo 1.'de verilmiştir.

Tablo 1. Farklı malzemelere ait elastisite modülleri ve Poisson oranları

Malzeme Tipi	Elastisite modülü (E) N/mm^2	Poisson oranı μ
Çelik CrNi 18,8	191000	0.305
Bakır	123000	0.33
Pirinç	88000	0.33

4.2. Deneyin Yapılışı

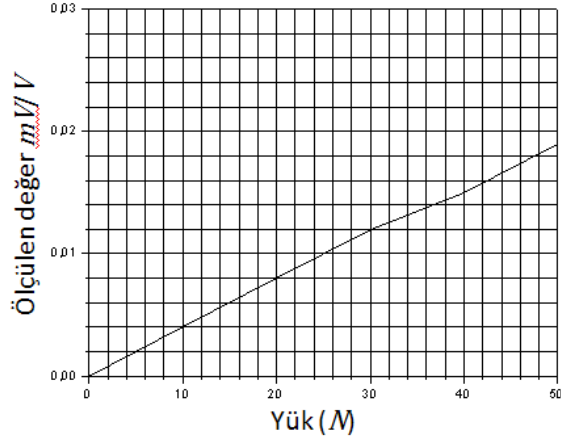
Çerçevedeki tutucuyu sabitleyerek, strain gagelerle takılmış olan çekme çubuğu tutucudaki ilgili yere takılır(Şekil 6). Ampfilikatörü açarak deney düzeneği ile bağlantısı sağlanır. Dijital göstereyi sıfırlayarak dengeleme ayarı yapılır. Küçük ağırlıklarla çubuğa yükleme yapılarak ampfilikatörden okuma yapılır.



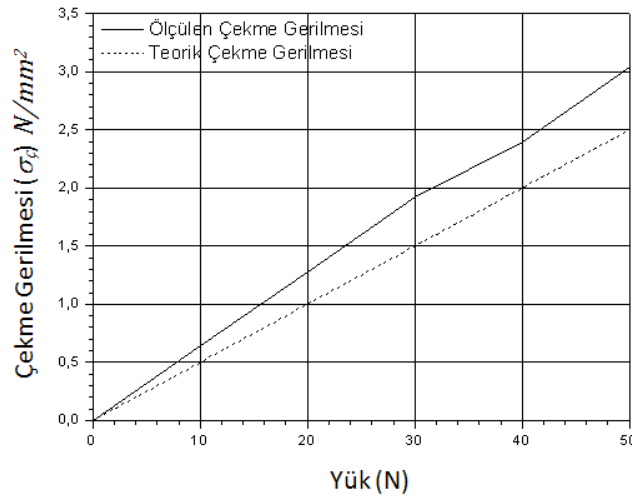
Şekil 6. Çekme yükü altındaki sistemin şematik konfigürasyonu

Tablo 2. Çekme durumunda farklı yükler için tespit edilmiş şekil değiştirme miktarları

Çekme yüküne maruz çelik CrNi18.8 çubuk için deney sonuçları						
Yük (M)	0	10	20	30	40	50
Ölçülen değer $m/V/V$	0	0.004	0.008	0.012	0.015	0.019



Şekil 7. Farklı yükler için ölçülen değer-yük grafiği



Şekil 8. 10 x 2 mm olan çelik numune için teorik ve ölçülen çekme gerilmesi-yük diyagramları

Örnek: Kesit alanı 20 mm^2 , 50 N yük için çekme durumunda strain gage yardımıyla amfilikatörden okunan değer $(\frac{U_A}{U_E}) 0.019 \times 10^{-3}$ ve $k=2.05$ ölçülen uzama aşağıdaki şekilde hesaplanır;

$$\varepsilon = \frac{1}{2(1 + 0,28)} \frac{4}{2,05} 0,019 \cdot 10^{-3} = 14,48 \cdot 10^{-6}$$

olarak bulunur. Buradan da ölçülen gerilme hesabı;

$$\sigma_{\zeta} = E \cdot \varepsilon = 210000 \cdot 14,2 \cdot 10^{-6} = 3,04116 \text{ N/mm}^2 \text{ dir.}$$

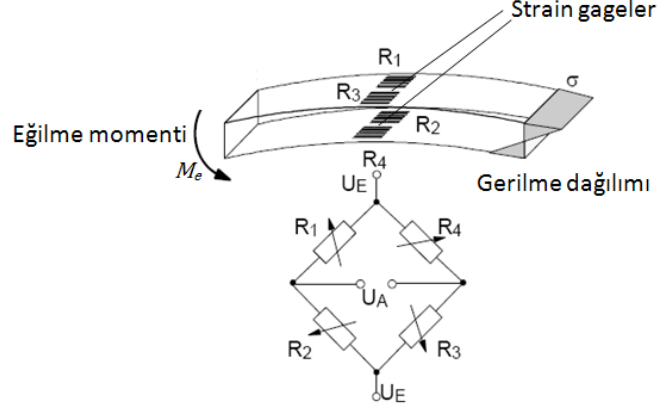
Teorik olarak hesaplanan gerilme değeri ;

$$\sigma_{\zeta} = \frac{F}{A} = \frac{50}{20} = 2,5 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} \text{ olarak elde edilir.}$$

5. EĞİLME DURUMUNDA STRAIN GAGE İLE ÖLÇÜM

5.1. Temel Esaslar

Bir uçtan mesnetli eğme yüküne maruz çubuk şeklindeki deney numunesinin ön ve arka yüzlerine ikişer tane strain gage yerleştirilmiştir(Şekil 9).



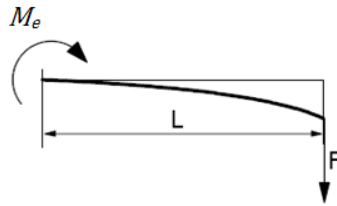
Şekil 9. Eğilme yüküne maruz çubuk üzerindeki strain gage konumları

Eğilme çubuğunun yüzeyindeki gerilme σ_e , eğilme mukavemet momenti W_e ve eğilme momentini M_e kullanarak hesaplanabilir.

$$\sigma_e = \frac{M_e}{W_e} \quad (5.1)$$

Uçtan yüklü bir eğilme çubuğundaki eğilme momentini (M_e), F yükünün bir fonksiyonudur. Yükün bulunduğu nokta ile ölçüm yapılan nokta arasındaki mesafe L alınırsa, eğilmeye maruz bırakılan bir çubuktaki eğilme momentini (M_e) şu şekilde hesaplanır(Şekil 10). Burada çubuğun boyu $L=250$ mm alınacaktır.

$$M_e = -F \cdot L \quad (5.2)$$



Şekil 10. Bir uçtan mesnetli eğme yüküne maruz çubuk

Eğilme mukavemet momenti W_e , b genişliğinde ve h yüksekliğine sahip dikdörtgen kesitli bir malzeme için aşağıdaki formülle hesaplanır. Eğilmeye maruz çubuğun genişliği $b = 19,75$ mm ve yüksekliği $h = 4,75$ mm'dir.

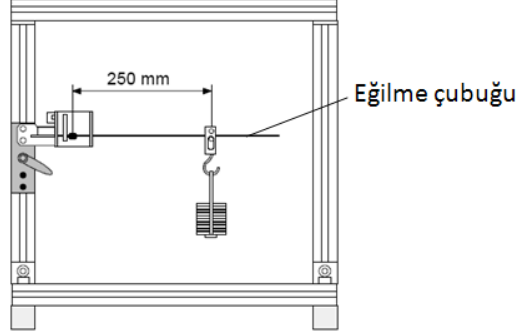
$$W_e = \frac{b \cdot h^2}{6} \quad (5.3)$$

k faktörüne bağlı olarak tam köprü için eğilme durumunda ölçülen çökme (sehim) aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$\varepsilon = \frac{1}{k} \frac{U_A}{U_E} \quad (5.4)$$

5.2. Deneyin Yapılışı

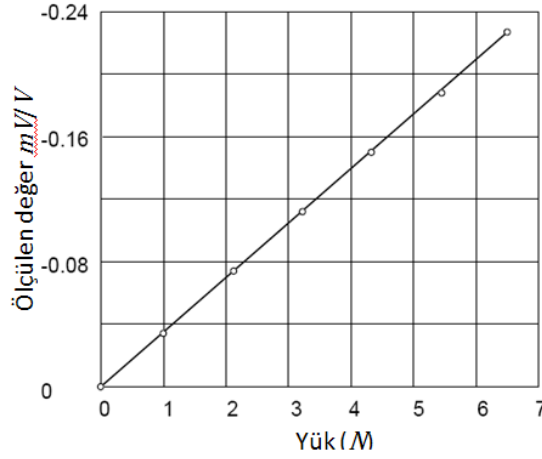
Çerçeve üzerindeki tutucu sabitlenir. Ampfilikatör açılır. Yükleme yapıldığı aparat 250 mm uzunluğuna göre ayarlanır. Dijital göstereyi sıfırlayarak dengeleme ayarı yapılır. Küçük ağırlıklarla çubuğa yükleme yapılır ve ağırlıkları 1,1'er aralıklarla artırarak ekrandan okuma yapılır(Şekil 11).



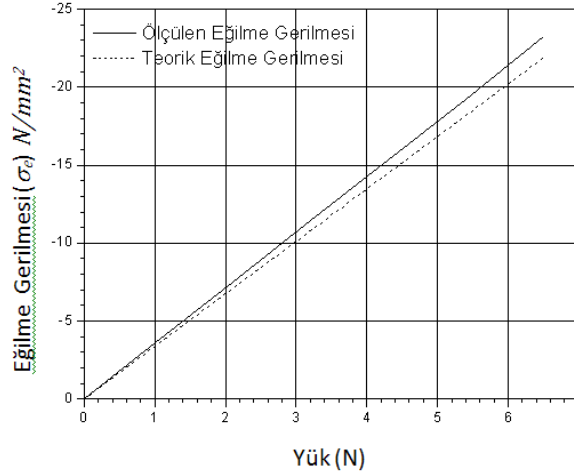
Şekil 11. Eğilme yüküne maruz sistemin şematik konfigürasyonu

Tablo 3. Eğilme durumunda farklı yükler için tespit edilmiş çökme miktarları

Eğilme yüküne maruz çelik çubuk için deney sonuçları (L=250 mm)							
Yük (M)	0	1 (sadece tutucu)	2.1	3.2	4.3	5.4	6.5
Ölçülen değer $m/V/V$	0	-0.035	-0.073	-0.112	-0.150	-0.188	0.227



Şekil 12. Farklı yükler için ölçülen değer-yük grafiği



Şekil 13. 4,75 x 19,75 mm çelik numune için teorik ve ölçülen eğilme gerilmesi-yük diyagramları

Örnek: 6.5 N yük için eğmeye maruz bir çubuk için strain gage yardımıyla ampifikatörden okunan değer ($\frac{U_A}{U_E}$) $-0,227 \cdot 10^{-3}$ ve $k=2,05$ ölçülen çökme aşağıdaki şekilde hesaplanır;

$$\varepsilon = \frac{1}{2.05} (-0,227 \cdot 10^{-3}) = -0,0001107$$

Çelik için elastisite modülü 210000 N/mm^2 alınırsa ölçülen gerilme değeri (σ_e) Hooke kanununa göre;

$$\sigma_e = \varepsilon \cdot E = -0,0001107 \cdot 210000 = -23,25 \text{ N/mm}^2 \text{ dir.}$$

Dikdörtgen kesit için eğilme mukavemet momenti şu şekilde hesaplanır;

$$W_e = \frac{19,75 \cdot 4,75^2}{6} = 74,26 \text{ mm}^3$$

Teorik gerilme ;

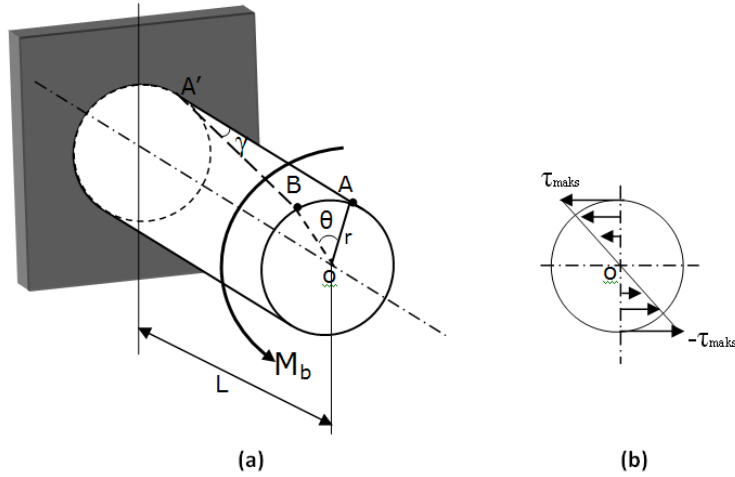
$$\sigma_e = \frac{M_e}{W_e} = \frac{-6,5 \cdot 250}{74,26} = -21,88 \text{ N/mm}^2$$

6. BURULMA DURUMUNDA STRAİN GAGE İLE ÖLÇÜM

6.1. Temel Esaslar

Burulma deneyini değerlendirebilmek için, burulma momenti ve etkileri, içi dolu bir çubuk malzeme üzerinde Şekil 14.'de gösterilmiştir.

Şekil 14.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 (θ); A-A' lifi ve A'B lifi arasında oluşan açı, kayma açısı (γ) olarak ifade edilir.



Şekil 14. Burulma momentine maruz bir çubuk

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

$$\tau = \frac{M_b}{W_b} \quad (6.1)$$

İçi dolu dairesel kesitlerde ($d=10 \text{ mm}$);

$$W_b = \frac{\pi d^3}{16} \quad (6.2)$$

Maksimum kayma gerilmesi (τ_{maks}), maksimum burulma momentinden (M_{maks}) hesaplanır:

$$\tau_{maks} = \frac{M_{maks}}{W_b} \quad (6.3)$$

Birim uzama (ε) ile kayma açısı (γ) arasında aşağıdaki gibi bir ilişki vardır.

$$\gamma = 2 \varepsilon \quad (6.4)$$

Hooke kanununa göre kayma gerilmesi (τ), kayma modülü (G) ile arasındaki bağıntı şu şekilde yazılır.

$$\tau = \gamma \cdot G = 2 \varepsilon \cdot G \quad (6.5)$$

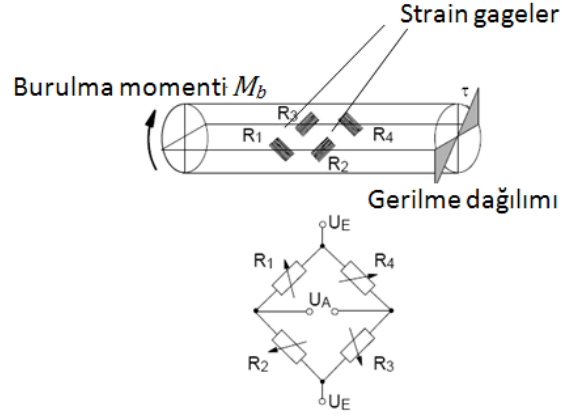
Burada kayma modülü $G = 80000 \text{ N/mm}^2$ alınacaktır. Burulma momenti (M_b), burulma çubuğunun yüzeyindeki kayma gerilmesi (τ) ve burulma mukavemet momentinden (W_b) aşağıdaki formül ile hesaplanır.

$$M_b = \tau \cdot W_b \quad (6.6)$$

k faktörüne bağlı olarak tam köprü için ölçülen burulma momenti aşağıdaki şekilde hesaplanır:

$$M_b = \frac{2}{k} G W_b \frac{U_A}{U_E} \quad (6.7)$$

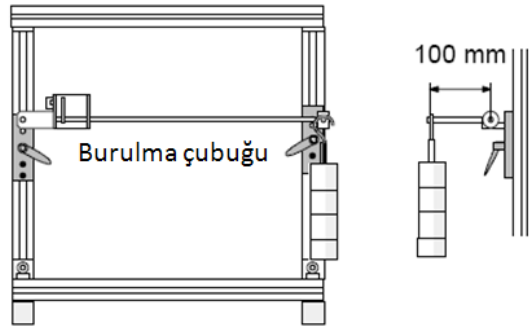
Bir uçtan mesnetli burulma momentine maruz çubuk şeklindeki deney numunesine 45° lik açılarla dört tane strain gage yerleştirilmiştir (Şekil 15).



Şekil 15. Burulmaya maruz çubuk üzerindeki strain gagelerin konumları

6.2. Deneyin Yapılışı

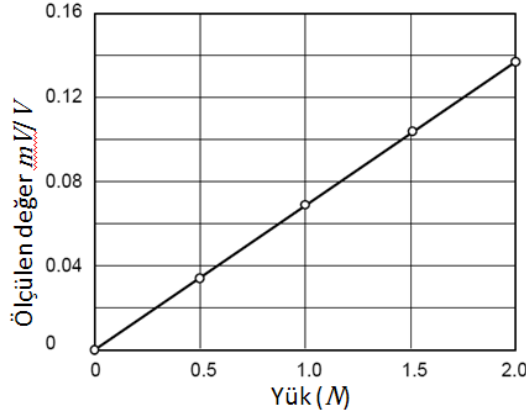
Burulma çubuğu Şekil 16'daki gibi çerçeveye yerleştirilir. Ampfilikatörü açılır. Dijital göstereyi sıfırlayarak dengeleme ayarı yapılır. Küçük ağırlıklarla çubuğa yükleme yapılır ve ağırlıkları 5'er aralıklarla artırarak ekrandan okuma yapılır(Şekil 16).



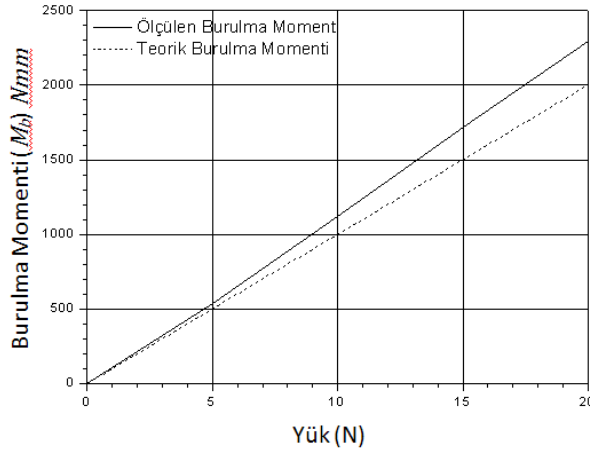
Şekil 16. Burulma yüküne maruz sistemin şematik konfigürasyonu

Tablo 4. Burulma durumunda farklı yükler için tespit edilmiş burulma moment değerleri

Burulma yüküne maruz çubuk için deney sonuçları (kol seviyesi 100 mm)					
Yük (M)	0	5	10	15	20
Burulma Momenti (Nm)	0	0.5	1.0	1.5	2.0
Ölçülen değer mV/V	0	-0.035	-0.073	-0.112	-0.150



Şekil 17. Farklı yükler için ölçülen değer-yük grafiği



Şekil 18. Ø 10 x 100 mm çelik numune için teorik ve ölçülen burulma momenti-yük diyagramları

Örnek: $G = 80000 \text{ N/mm}^2$ ve $W_b = 196,3 \text{ mm}^3$ 2 N yük için burulmaya maruz bir çubuk için strain gage yardımıyla ampifikatörden okunan değer $\left(\frac{U_A}{U_E}\right) = 0,150 \cdot 10^{-3}$ ve $k = 2,05$ ölçülen burulma momenti aşağıdaki şekilde hesaplanır;

$$M_b = \frac{2}{2,05} 80000 \cdot 196,3 \cdot 0,150 \cdot 10^{-3} = 2298,15 \text{ Nmm}$$

Teorik olarak hesaplanan burulma momenti ;

$$M_b = 20 \cdot 100 = 2000 \text{ Nmm}$$

7. İSTENENLER

- 1- Deneysel verilerden yararlanarak, Şekil 7.'dekine benzer bir birim uzama-yük diyagramını oluşturunuz.
- 2- Ölçülen değerleri ve deney verilerini kullanarak her bir yük için ölçülen çekme gerilmesi ve teorik çekme gerilmelerini hesaplayarak Şekil 8.'dekine benzer teorik ve ölçülen çekme gerilmesi-yük diyagramını çiziniz.
- 3- Elde edilen deneysel sonuçlar ile Şekil 12.'dekine benzer bir çökme(sehim)-yük diyagramını oluşturunuz.

4- Ölçülen değerleri ve deney verilerini kullanarak her bir yük için ölçülen eğilme gerilmesi ve teorik eğilme gerilmelerini hesaplayarak, Şekil 13.'dekine benzer teorik ve ölçülen eğilme gerilmesi-yük diyagramını çiziniz.

5- Şekil 17.'deki gibi burulma momenti-yük grafiğini oluşturunuz.

6- Ölçülen değerleri ve deney verilerini kullanarak her bir yük için ölçülen burulma momentlerini ve teorik burulma momentlerini hesaplayarak, Şekil 18.'dekine benzer teorik ve ölçülen burulma momenti-yük diyagramları çiziniz.

7- Çekme ve eğilme durumlarındaki ölçülen gerilmeler ile teorik gerilmeler arasındaki farkın nedenini açıklayınız.

8- Burulma momentinin teorik olarak hesaplayarak deneysel sonuç ile arasındaki farkı irdeleyiniz.

9- Burulma momenti ve burulma mukavemet momentini kullanarak kayma gerilmesini hesaplayınız.

KAYNAKLAR

[1]. G.U.N.T. FL 100 Strain Gauge Training System, Hamburg 2010.