



TEKNİK BİLİMLER MESLEK YÜKSEKOKULU

Endüstriyel Ölçme ve Kontrol

6. KUVVET ÖLÇME SİSTEMLERİ

Yrd. Doç. Dr. Garip GENÇ
Prof. Dr. Nihat AKKUŞ

www.garipgenc.com

Page 1

❖ Kuvvetin tanımı

Kuvvet, vektörel bir Fiziki Büyüklük (Physical Quantity) türüdür. Uluslararası Birimler Sistemi'ne (SI) göre kuvvet birimi Newton (N) dur. Bir kilogramlık kütleyle sahip olan bir cisme 1 m/s^2 lik ivme kazandırmak için gerekli olan kuvvet; $1\text{ N} = 1\text{ kg} \times 1\text{ m/s}^2$ dir.

Kuvvet ile ivme (a) arasındaki bağıntı ilk olarak Newton tarafından tespit ve ifade edilmiştir. Buna göre kuvvet Newton'un 2. Kanunu'na göre;

$$F = m \cdot a \text{ dir}$$

SI Birimler Sisteminin kabulünden önce kuvvet birimi olarak Kilopond (kp) kullanılmaktaydı ve tanımı; "Bir kilogramlık kütleyle sahip bir cisme $9,80665\text{ m/s}^2$ lik ivme kazandıran kuvvet" olarak yapılmaktaydı. $1\text{ kp} = 1\text{ kg} \times 9,80665\text{ m/s}^2$

Yrd. Doç. Dr. Garip GENÇ ve Prof. Dr. Nihat AKKUŞ

www.garipgenc.com

Page 2

➤ GIMP (Uluslararası Ölçü ve Ağırlıklar Komitesi) Tarafından Tanınan Birimler

Parametre	Birim	Sembol	Tanım
Zaman	Dakika	Min	1 min = 60 s
	saat	H	1 s = 60 min
	gün	D	1 d = 24 h
Düzlem Açısı	derece	°	$1^\circ = \pi/180$ rad
	dakika	'	$1' = (1/60)^\circ$
	saniye	"	$1'' = (1/60)'$
Hacim	litre	l, L	1 l = 1 dm ³
Ağırlık	ton	T	1 t = 907.184740 kg
Enerji	elektron volt	EV	1 eV = 1,60219x10 ⁻¹⁹ J
Atom Ağırlığı	atomik ağırlık birimi	kg	1 u = 1,66057x10 ⁻²⁷
Uzunluk	astronomik birim	AU	1 AU = 149597,870x106 m
	parasel	Pc	1 pc = 206265 AU
Sıvı Basıncı	Bar	Bar	1 bar = 105 Pa

Yrd. Doç. Dr. Garip GENÇ ve Prof. Dr. Nihat AKKUŞ

www.garipgenc.com

Page 3

➤ Kuvvet Birimleri ve Çevirimleri

	N (Newton)	Dyn (Dyne)	Lbf (Pound Force)	Kp (Kip Force)	Oz (ounce force)
N	1	100000	0,2248089431	0,224808943 1E-3	3,59694309
dyn	1E-5	1	2,248089431E-6	2,248089431 E-9	3,59694309E-5
kp	4448,2216 15	444822161,5	1000	1	16000
lbf	4,4482216 15	444822,1615	1	0,001	16
oz	0,2780138 51	27801,3851	0,0625	6,25E-5	1

Bazı ülkelerde (mesela ABD'de pound force, lbf olduğu gibi) kuvvet için halen başka kuvvet birimleri kullanılmaktadır.

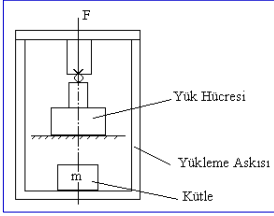
Yrd. Doç. Dr. Garip GENÇ ve Prof. Dr. Nihat AKKUŞ

www.garipgenc.com

Page 4

> Kuvvet ölçme sistemleri

Eğer kuvvet direkt olarak kütle etkisiyle (bir cismin kütlesi) oluşuyorsa, burada: Dolaysız (Direkt) Kütle Etkisinden:



Dolaysız Kütle Etkisi

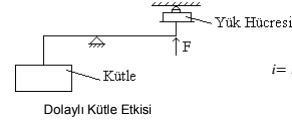
$$F = m \cdot g_1$$

$$F = m \cdot g_1 \left(1 - \frac{\rho_1}{\rho_m} \right)$$

$$\rho_1 = \text{Hava Yoğunluğu}$$

$$\rho_m = \text{Kütle Malzemesi Yoğunluğu}$$

Eğer kütle etkisi uygun bir sistemle büyütülüyorsa, burada: Dolaylı (Endirekt) Kütle Etkisi' n den:

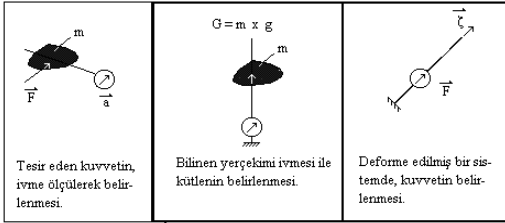


$$F = m \cdot g_1 \left(1 - \frac{\rho_1}{\rho_m} \right) \cdot i$$

$$i = \text{Kuvvet aktarma oranı (Tahvil oranı)}$$

Bahsedilir ki, bu tür kuvvet oluşturma sistemlerine Kuvvet Uygulama Makineleri denir. Bir ülkedeki tüm kuvvet ölçümlerinin esasını teşkil etmek üzere ulusal, resmi bir kuruluş nezdinde Kuvvet Skalası'nın oluşturulmasında kullanılan makine için; Kuvvet Standardı Makinesi (Force Standard Machine), kullanılır. Bu tür makineler ülke içindeki başka (özel ve/veya resmi) kuruluşlarda da mevcut olup, mukayese ölçümleriyle Kuvvet Standardı Makinesine bağlantılı (izlenebilir) iseler, bu makineler için; Kuvvet Referans Standardı Makinesi (Force Calibration Machine) tanımı kullanılır.

> Kuvvet ölçme teknikleri



Kuvvet ölçme tekniğinin esas uygulama alanı.

❖ STRAIN ÖLÇME (Gerinim, uzama)

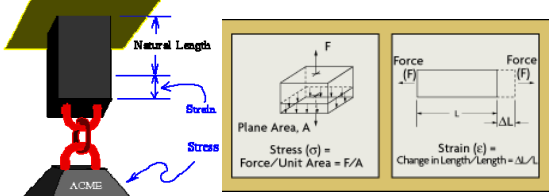
Yakın zamanlara kadar, ölçme aletini direkt kullanarak, bir parça üzerinde ortaya çıkan gerilmelerin ölçülmesi en büyük mühendislik problemlerinden birisi idi. Elektrik dirençli strain-gauge'lerin bulunuşundan önce bu amaç için mekanik - extensometre'ler kullanılmıştı.

Bunların bazı dezavantajları vardı. Gerekli gauge uzunluğu 12 mm den az değildi. Hacimleri, sınırlı yer şartları için elverişli değildi. Bu yüzden pek çok gerilme problemi emniyet faktörleri esas alınarak çözülmüştür.

1866 da Lord KELVİN, metal bir tel üzerine gerilim uygulandığı zaman, tel uzunluğu ve çap değiştiğinde elektrik direncinin de değiştiğini buldu. Böylece strain ölçümünün temel prensibi ortaya konmuş oldu.

• STRAIN (GERİNİM, UZAMA) TANIMI

Dış kuvvete maruz kalan bir parça, gerilim ve strain altındadır. Gerilim direkt ölçülemez. Fakat etkisi ölçülebilir. Ve de gerilim ile strain arasındaki ilişki bilinirse gerilime hesaplanabilir.



Yrd. Doç. Dr. Garip GENÇ ve Prof. Dr. Nihat AKKUŞ

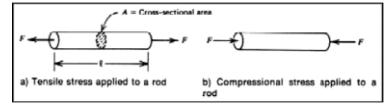
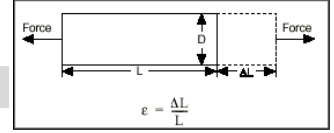
www.garipgenc.com

Page 9

Strain' in tanımını iyice anlamak için şekildedeki gibi homojen bir çubuk (**L**) boyunda olsun ve bir (**F**) kuvvetiyle çekilsin ya da basma etkisinde kalsın. Çubuk eksen boyunca uzar veya kısalır.

Bu uzunluk değişimi (δL) doğrusal yayılımlıdır. Ve verilen **F** yükü için (δL) yayılımı çubuk uzunluğu (**L**) na bağlıdır. İşte strain her iki halde, birim uzunluk başına yayılmazdır.

Yani her durumda
Strain: $\delta L/L$ dir.



Yrd. Doç. Dr. Garip GENÇ ve Prof. Dr. Nihat AKKUŞ

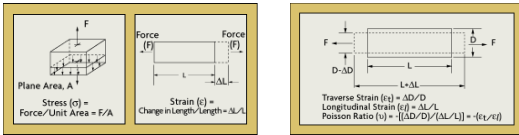
www.garipgenc.com

Page 10

• ÇAPRAZ-YANAL STRAIN (POISSON ORANI)

Çapraz strain, yükün uygulandığı eksen dik yönde meydana gelen azalma veya artıştır. Aynı şekilde hesaplanır. Çapraz strain'in direkt strain'e oranı **POISSON oranı** olarak bilinir.

Pozitif bir değerdir. Bu (ν) değer her metal ve alaşım için farklıdır. En düşük değeri $\nu=0,21$ ile çinko (Zn) da, en büyük değeri $\nu=0,35$ ile pirinç'te görülür. Çelik için $\nu=0,29$ dur.



NOT: Doğrudan gerilime altındaki elastik malzemelerde E elastisite modülü;

E = Gerilme (σ) / Strain (ϵ) dır. (**$\sigma = E \cdot \epsilon$**)

Değeri de ve gerilim/strain eğrisinin eğimidir.

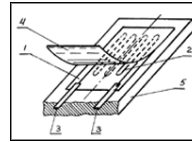
Yrd. Doç. Dr. Garip GENÇ ve Prof. Dr. Nihat AKKUŞ

www.garipgenc.com

Page 11

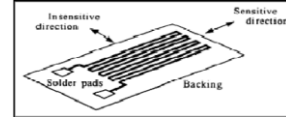
• STRAIN GAUGE'İN YAPISI VE KULLANILIŞI

Özel bir teknikle imali hazırlanan çok ince bir tel, şekilde görüldüğü gibi ince plastik yaprakçık üzerine yerleştirilir. Aynı plastik malzeme ile örtülür. Gerekli yerlerdeki sağlamlaştırma bantları ve bağlantı kolları yapıştırılarak bir strain gauge yapılmış olur.



Metal Tel Bağlı Strain Gauge Yapısı:

- 1 = substrate
- 2 = strain-sensitive wire
- 3 = leads
- 4 = protective film
- 5 = measured surface



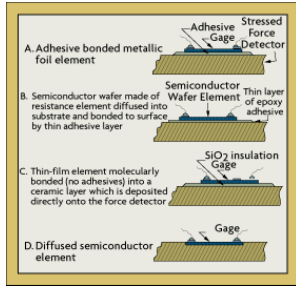
Yrd. Doç. Dr. Garip GENÇ ve Prof. Dr. Nihat AKKUŞ

www.garipgenc.com

Page 12

• Straingauge'in Yapıştırılması ve Yerleştirilmesi

Böyle bir straingauge kullanılacağı yer eğer metalik bir yüzeye ise, o yüzey önce taşlanır, zımparalanır sonra aseton, eter gibi eriticilerle yüzey yağından temizlenir. Straingauge'ler için genellikle iki komponentli yapıştırıcılar kullanılır. Bu yapıştırıcılar ölçüm yapılacak yere sürülür. Straingauge buraya istenen yönde konur. Özel plastik folye ile örtülür. Baş parmakla birkaç dakika hafifçe bastırılır. Bu konu da imalatçı firmaların verdikleri kullanma talimatına dikkat edilmelidir.



Yrd. Doç. Dr. Garip GENÇ ve Prof. Dr. Nihat AKKUŞ

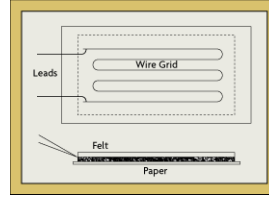
www.garipgenc.com

Page 13

• STRAINGAUGE ÇEŞİTLERİ VE ÖZELLİKLERİ

Yapılış ve kullanıldığı yerler bakımından straingauge'ler çok çeşitlidir. Düz yüzeylere yapıştırılacak straingauge'lerin yanında küresel yüzeylerdeki genişmeleri (ışmeleri) ölçülebilecek tipte olanları da vardır.

• TEL HALİNDEKİ STRAINGAUJELER



Bu tip straingauge'lerin bir düzlemde sağa sola kıvrılarak yerleştirilmişleri olduğu gibi, ince bir spiral şeklinde yapılabildikleri de mevcuttur.

Bu tip straingauge'lerin bağlantı bantları kalın ve mukavim yapılarak dayanıklılık süreleri artırılır.

Straingauge telinin bu banda bağlantısı çok özel bir kaynak işlemi ile gerçekleşir. Lehim yapmak doğru değildir.

Yrd. Doç. Dr. Garip GENÇ ve Prof. Dr. Nihat AKKUŞ

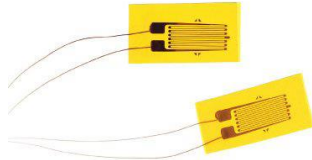
www.garipgenc.com

Page 14

• FOLYE HALİNDEKİ STRAINGAUGE'LER

Bu tip gauge'ler, 2-10 µm kadar valslenerek inceltilmiş metal bandın, bir tarafını bir plastik reçine ile diğer tarafını ışığa hassas cila tabakası ile kaplayarak elde edilirler. Daha sonra ciladan açık kalan yerler uygun bir ışığa tutularak kimyasal yolla eritilir. Böylece hassas straingauge'ler elde edilmiş olur. Bunlar tel straingaugelere göre daha uzun ömürlüdürler.

Hassasiyetleri fazladır. Bağlantı uçları bazı tiplerinde yoktur. Olmadığı zaman uçların straingauge teline bağlanması gerekir. Bu işlem çok dikkatli yapılmalıdır. Aksi takdirde Straingauge zarar görebilir ve ömrü azalır.



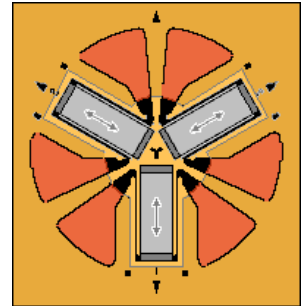
Yrd. Doç. Dr. Garip GENÇ ve Prof. Dr. Nihat AKKUŞ

www.garipgenc.com

Page 15

• ROZET HALDEKİ STRAINGAUJELER

Bu tip gaugeelerde birden fazla (genellikle 3 tane) straingauge belli açılarla bir araya getirilmiştir. Biri diğerine göre 120° derece olanına ve 3 lü tipe delta rozet, 135° olanına 135'lik, 90° olanına da 90'lık rozet denir. Bu tip rozetlerle farklı yönlere uzama ve gerilmeler aynı anda saptanır.



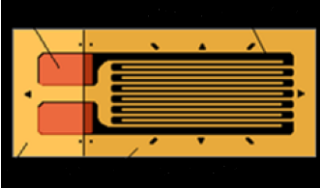
Yrd. Doç. Dr. Garip GENÇ ve Prof. Dr. Nihat AKKUŞ

www.garipgenc.com

Page 16

Yüksek Sıcaklıklara Uygun Straingaugeler

Genellikle bilinen straingaugeler en fazla 200°C sıcaklığa kadar kullanılabilirler. Daha yüksek sıcaklıklarda yanıp kömürleştikleri için özelliklerini kaybederler. Böyle sıcak yerlerde yapılacak ölçümler için seramik yüzey üzerine yerleştirilmiş straingaugeler kullanılır. Bazı hallerde çok ince metal boru içine saf metaloksit tozları ile beraber yerleştirilmiş ince straingauge teli kullanılmaktadır.



Not: Statik deneylerde 300°C, dinamik deneylerde 600°C nin üstünde doğru sonuçlar elde edilemeyeceğinden yüksek sıcaklıklarda straingauge imalat eden firmaların talimatlarına uyulmalıdır.

GAUGE FAKTÖRÜ VEYA STRAIN DUYARLILIĞI

Bir metal iletkenin direnci $R = \rho \cdot L/A$ formülü gereğince metalin öz direnci ve uzunluğuyla doğru kesitiyle ters orantılıdır. Çekmeye çalışılan bir straingauge'nin kesiti azalıp uzunluğu arttığı zaman, iletkenin metalik kafesinde çarpılmaya izin verilerek direncinde kısmen artış görülür. Fakat yalnız başına bu olay dirençteki değişimi tamamen izah edemez. İletken metal kafesindeki diğer değişimlerin de öz dirençte değişime meydana getirdiği ortaya konmalıdır. Zira sıcaklığın da öz direnci değiştirdiği bilinmelidir.

$$\text{Gauge faktörü: } k = (\delta R/R) / (\delta L/L) \text{ dir.}$$

Burada (R)straingauge'nin normal direncidir.

Gauge faktörü (k), imalatçı firmalar tarafından belirlenir. Genellikle tel ve folye gaugelerin yaklaşık gauge faktörü 2 olmasına karşılık gauge'nin uzunluğuna ve büyüklüğüne bağlı olarak 1,7-4 arasında değişir.

Gauge faktörü (k) yı matematiksel göstermek istersek; bir metal iletken, kuvvetle yüklenmeden önceki direnci,

$$A = \rho \cdot L/A \text{ şeklindedir.}$$

ρ : Özgül direnç
L: Tel boyu
A: Tel kesiti

Yüklemeden dolayı oluşan değişimi incelemek için yukarıdaki denklemin **kısmi türevi** alınır. Her terim kendi ana büyüklüğüne oranlanırsa;

$$\Delta R/R = \Delta \rho/\rho + \Delta L/L - \Delta A/A \text{ elde edilir.}$$

Telin kesiti $A = \pi \cdot D^2/4$ olduğundan;
 $\Delta A/A = 2 \cdot \Delta D/D$ yazılabilir.

Ayrıca bu ifade enine uzama oranı için;
 $\Delta D/D = \epsilon \cdot \rho - \nu \cdot \epsilon \cdot \lambda = -\nu \cdot \Delta L/L$
eşitliği kullanılabilir.
(ν = Poisson oranı ve $\nu \approx 0,33$)

$\Delta R/R = [1+2\nu + (\Delta \rho/\rho) \cdot (L/\Delta L)] \cdot (\Delta L/L)$
ifadesi yazılabilir.
Parantez içindeki kısım "k" ile gösterilirse;
 $\Delta R/R = k \cdot \epsilon$ denklemini elde edilir.

Örnek:

(k) gauge faktörü 2 olan bir straingauge, çekme gerilimine maruz kalmış bir shaft (mil) yüzeyi üzerindeki strain'i ölçmektedir. Gauge'nin normal direnci $R=120\Omega$ ve direnç değişimi $\delta R=0,012 \Omega$ dur.
Strain $\epsilon=\delta L/L$ ve $\sigma=?$ nedir?

Çözüm:

$$\Delta R/R = k \cdot \epsilon \Rightarrow \epsilon = (\Delta R)/(R \cdot k) = 0,12/(120 \cdot 2) = 0,00005$$

$$\text{Çelik için } E = 21.103 \text{ daN/mm}^2$$

$$\sigma = E \cdot \epsilon \Rightarrow \sigma = 21.103 \cdot 0,00005 \Rightarrow \sigma = 1,05 \text{ daN/mm}^2$$

Buradan da görülüyor ki (δR) çok küçüktür. Bunu ölçmek için Wheatstone köprü devresi bir galvanometre ile birlikte kullanılır. Gauge faktörü (k) arttıkça duyarlılık artar.

• **Straingauge'lerin Seçiminde Şu Noktalara Dikkat Edilmelidir:**

- Gauge'in **k-faktörü** ve tipi
- Ölçüm yapılacak yerin **sıcaklığı** ve gauge'nin bu sıcaklığa dayanımı
- Ölçüm yerindeki **yükler** ve bu yerin bu yüklerle dayanıklılığı
- Straingauge'nin enine **genleşme ve süneklilik** sınırı
- Straingauge'in birlikte kullanılacak **ölçü aletleri** ve bunların birbirine **uygunluğu**

Hatırlatma :

Bir sonraki dersimizde **straingauge** kullanılarak deneysel çalışmalar yapılacaktır.

