

**SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ  
MÜHENDİSLİK-MİMARLIK FAKÜLTESİ  
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ**

**MEKANİK LABORATUARI**



**DENEY RAPORU**

**DENEY ADI**

DENEYSEL GERİLME ANALİZİ - EĞME DENEYİ

**DERSİN ÖĞRETİM ÜYESİ**

DOÇ.DR. RAMAZAN KAYACAN

**DENEYİ YAPTIRAN ÖĞRETİM ELEMANI**

DOÇ.DR. RAMAZAN KAYACAN

**DENEY GRUBU:**

**DENEY TARİHİ :**

**TESLİM TARİHİ :**



T.C.  
SÜLEYMAN DEMİREL ÜNİVERSİTESİ  
MÜHENDİSLİK MİMARLIK FAKÜLTESİ  
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ  
DENEYSEL GERİLME ANALİZİ DENEY FÖYÜ



### DENEYİN ADI:

Deneyel Gerilme Analizi - Eğme Deneyi

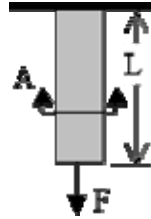
### DENEYİN AMACI:

Bu deneyde yük etkisi altındaki bir parçanın herhangi bir noktasında wheatstone köprüsü ve gerilme ölçerler kullanılarak düzlem gerilme değerlerinin nasıl ölçüleceği ve dolayısıyla gerilme değerlerine karşılık gelen gerilme değerlerinin nasıl hesaplanacağı gösterilecektir. Bunun için alt ve üst yüzeylerine uzun eksenini doğrultusunda gerilme ölçer yapıştırılmış ve serbest ucuna ağırlık asılan bir ankastre kiriş kullanılacaktır.

### TEORİK BİLGİ:

#### • Gerilme:

- Bir malzeme kuvvet etkisi altında olduğu zaman malzeme içinde herhangi bir noktada meydana gelen gerilme birim alanda etkili olan iç kuvvet olarak tanımlanır.
- Örnek olarak bir ucu ankastre mesnetlenmiş ve diğer ucu aşağıya doğru sarkan dairesel kesitli tel veya silindir düşünün. Bu tel veya silindirin serbest ucunda F kuvveti (örneğin asılı bir ağırlık) silindiri aşağıya doğru çekiyor olsun.



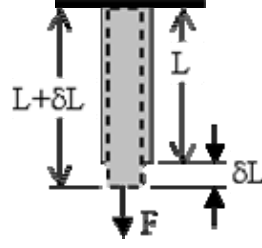
- Telin veya silindirin kesit alanı A ve silindirin ilk uzunluğu L olsun.
- Bu durumda malzemede uygulanan yükten dolayı aksenal gerilme adı verilen bir gerilme oluşacaktır. Aksenal gerilme şu formülle ifade edilecektir:

$$\sigma_a = \frac{F}{A}$$

- Gerilmenin biriminin basınç birimi ile aynı olduğuna dikkat ediniz (birim alana etki eden kuvvet).

#### • Gerinme:

- Yukarıda verilen basit örnekte uygulanan kuvvetin sonucu olarak telde veya silindirde uzama meydana gelecektir. Gerinme telin veya silindirin boyunda meydana gelen uzama miktarının telin veya silindirin ilk uzunluğuna oranı olarak tanımlanır.
- Tel veya silindire kuvvet uygulandığı zaman aşağıdaki şekilde gösterildiği gibi ilk uzunluğu L'de artış meydana gelirken kesit alanı A'da da azalma meydana gelecektir:



- Silindirde meydana gelen aksel gerilme ise şu formülle ifade edilir:

$$\varepsilon_a \equiv \frac{\delta L}{L}$$

- Gerilme birimsizdir.

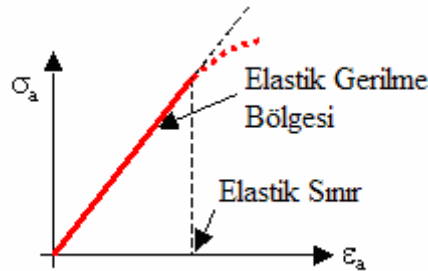
- **Hooke Kanunu:**

- Elastik malzemeler için gerilme ile gerilme arasında doğrusal bir bağıntı vardır.
- Matematiksel olarak bu bağıntı Hooke Kanunu olarak adlandırılan şu eşitlikle ifade edilir:

$$\sigma_a = E \varepsilon_a$$

Bu eşitlikte E = Elastiklik Modülü olarak adlandırılır..

- Verilen bir malzeme için Elastiklik Modülü sabit kabul edilir.
- Gerilme değerinin çok yükselmesi durumunda Hooke Kanununun geçersiz olduğuna dikkat ediniz. Tipik bir gerilme-gerilme diyagramında Hooke Kanunu sadece elastik gerilme bölgesinde geçerlidir. Bu bölgede yükleme geri alınabilir. Elastik sınırın ötesine yani plastik bölgeye geçildiği zaman malzeme davranışı geri alınamaz hale dönüşür. Gerilme-gerilme diyagramının plastik bölgesinde gerilme-gerilme arasındaki bağıntı doğrusal olmaktan çıkar ve Hooke Kanunu geçersiz olur.



- Bu deneyde sadece elastik gerilme bölgesi düşünülecektir.

### Tel Direnci

- L uzunluğunda ve A kesit alanına sahip bir telin elektrik direnci şu formülle ifade edilebilir:

$$R = \frac{\rho L}{A}$$

Bu eşitlikte  $\rho$  telin malzemesinin özgül direncidir. ( $\rho$  sembolünü yoğunluk için kullanılan sembolle karıştırmayınız.)

- Bir telin elektrik direnci telde meydana gelen gerilme ile değişim gösterir:

- Gerinme artınca tel uzunluğu L artacak ve dolayısıyla telin elektrik direnci olan R'de artacaktır.
- Gerinme artınca telin kesit alanı A azalacak ve dolayısıyla telin elektrik direnci olan R'de artacaktır.
- Çoğu malzeme için gerinme artınca telin özgül direnci  $\rho$  artacak ve dolayısıyla telin elektrik direnci R'de artacaktır.
- Kısacası gerinme artınca telin elektrik direnci de artacaktır.
- Aslında sabit sıcaklıkta gerinme ile birlikte telin elektrik direnci de doğrusal olarak artacaktır.
- Matematiksel olarak şöyle ifade edilebilir:

$$\frac{dR}{R} = S \epsilon_a,$$

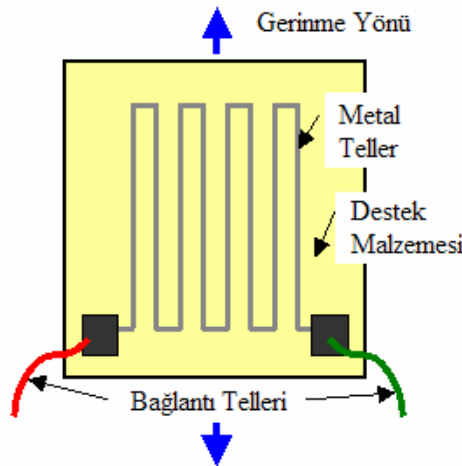
Bu eşitlikte S gerinim ölçer faktörüdür ve şu eşitlikle ifade edilir:

$$S \equiv \frac{dR/R}{\epsilon_a}.$$

- S değeri piyasada bulunan ticari gerinim ölçerler için genelde 2.0 civarındadır. Gerinim ölçer faktörü S birimsizdir.

### Gerinim Ölçer

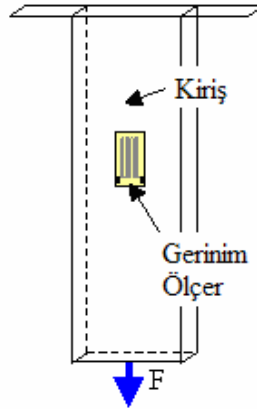
- Yukarıda verilen bilgi (telin elektrik direncinin gerinme ile artış göstermesi) gerinim ölçerlerin çalışmasını anlamak için önemlidir.
- Bir gerinim ölçer genelde plastik olan bir alt malzemeye (destek malzemesi) gömülü küçük çaplı bir tel içermektedir. Bu tel, uzunluğunu artırmak için birkaç defa gidiş geliş şeklinde döşenmiştir. Daha uzun tel demek daha büyük direnç demektir. Bu da gerinme ile ortaya çıkan daha büyük direnç değişimi demektir. Aşağıdaki şekilde örnek bir gerinim ölçer gösterilmektedir:



Şekilde verilen gerinim ölçerde dört adet tel döngüsü kullanılmıştır. Bu da tek bir telin uzunluğunun sekiz katı tel uzunluğu demektir. Ticari olarak piyasada bulunan bazı gerinim ölçerlerin daha fazla tel döngüsü bulunmaktadır. Bu deneyimizde kullanılan döngü sayısı

- Uygulanan gerinmenin yönü şekilde gösterilmektedir. Gerinim ölçerlerde gömülü olan döngülü telin iki ucu bağlantı telleri yardımıyla elektrik direncindeki değişimi ölçecek elektronik bir devreye bağlanmaktadır.
- Gerinim ölçerler nasıl kullanılır? Bunu gösteren bir laboratuvar uygulaması bu deneyimizde anlatılacaktır.
- Eksenel gerinmenin oluştuğu bir kiriş düşünün. Bu kirişte meydana gelen eksenel gerinme ölçülmek istenmektedir.

- Gerinim ölçer, uygulanan yükten dolayı oluşacak aksel gerinme ile aynı yönde olacak şekilde kirişin yüzeyine yapıştırılır:



- Kiriş yüzeyinde gerinme meydana gelince gerinim ölçerde yükün uygulandığı yönde uzar. Böylece meydana gelen gerinme ile gerinim ölçerin direnci de artar. Gerinim ölçerin (döngülü telin) direncinde meydana gelen değişimin ölçülebildiği farz edilirse gerinim ölçerler gerinme ölçmede kullanılan bir metot haline gelirler.

### Yaygın Olan Gerinim Ölçer Değerleri

- Burada gerinim ölçer direnci, gerinim ölçer faktörü ve gerinim ölçer direncinde tahmin edilen değişim için yaygın olan değerler verilecektir:
  - Gerinmesiz bir durumda gerinim ölçerin sahip olduğu elektrik direnci R değeri, yaygın olarak ya  $120 \Omega$  veya  $350 \Omega$  dur. Bu deneyimizde  $350 \Omega$  dirence sahip gerinim ölçerler kullanılacaktır.
  - En yaygın ticari gerinim ölçerlerin elektrik direnci  $120 \Omega$  dur.
  - Gerinim ölçerlerde kullanılan tel döngüsünün gerinim ölçer faktörü S ise genelde 2.0 civarındadır.
  - Metal kirişlerin yer aldığı mühendislik uygulamalarının çoğunda aksel gerinme değeri  $\epsilon_a$   $10^{-6}$  ila  $10^{-3}$  aralığında bulunmaktadır.
- Verilen bu değerleri ve yukarıda gerinmenin ve gerinim ölçer faktörünün bir fonksiyonu olarak ifade edilen direnç formülünü kullanarak,

$$\frac{dR}{R} = S\epsilon_a, \text{ or } dR = RS\epsilon_a = (120 \Omega)(2.0)(10^{-6} \text{ to } 10^{-3}),$$

i.e.  $dR = 0.00024 \Omega \text{ to } 0.24 \Omega$ .

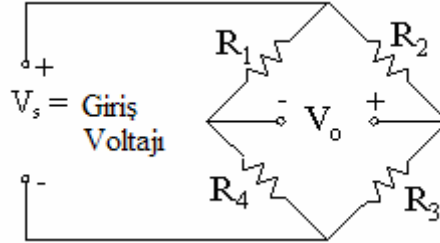
- Burada elde edilen dR değerinin ne kadar küçük olduğuna dikkat ediniz!
- Tipik bir  $120 \Omega$  gerinim ölçer için direncinde meydana gelen değişimin R'ye oranı olarak ifade edilen dR/R değeri  $2 \times 10^{-6}$  dan  $2 \times 10^{-3}$  ya kadar değişim göstermektedir.
- Gerinim ölçerlerle çalışılırken karşılaşılan ana problem dR/R değerinin çok küçük olmasıdır. dR/R değeri çok küçük olduğu için döngülü telin direncinde meydana gelen değişimin ohmmetre kullanılarak ölçülmesi doğru bir yol değildir. Çünkü çoğu ohmmetreler dirençte meydana gelen değişimi ölçmek için yeter derecede çözünürlüğe sahip değildir. Dirençte meydana gelen değişim miktarları direncin kendi değerine göre üç ila altı daha küçüktürler.

### Gerinim Ölçer Elektronik

Yukarıda bahsedildiği gibi dR/R değeri çok küçük olduğundan ve direk olarak ölçülmesi zor olduğundan direncin kendisinden ziyade dirençte meydana gelen değişimi ölçecek elektronik devreler tasarlanmalıdır. İşin iyi yanı bahsedilen ölçümü yapacak böyle devrelerin mevcut olmasıdır.

## Wheatstone Köprüsü

- Dirençte meydana gelecek çok küçük değişim değerlerini ölçen akıllı devreye Wheatstone Köprüsü adı verilir.
- Aşağıda basit bir Wheatstone köprü devresi gösterilmektedir:



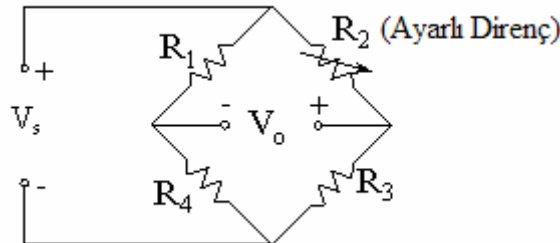
- Şekilde görüldüğü gibi köprüde dört direnç (seri olarak bağlanmış iki dirençten oluşan iki paralel ayağı olan) bulunmaktadır. Paralel ayakların birleştiği noktalardan giriş voltajı ( $V_s$ ) verilmektedir. Çıkış voltajı da ( $V_o$ ) iki paralel ayağın orta noktalarından ölçülür.
- Bu analizde çıkış voltajı ( $V_o$ ); voltmetre, osiloskop veya bilgisayarlı veri toplama sistemi kullanılarak ölçülür. Bu ölçüm cihazlarının sonsuz giriş impedansı olduğu kabul edilir. Böylece bu cihazların Wheatstone köprü devresi üzerinde etkisi yoktur.
- Çıkış voltajı ( $V_o$ ) Ohm Kanunu yardımıyla hesaplanabilir. Şöyle ki,

$$V_o = V_s \frac{R_3 R_1 - R_4 R_2}{(R_2 + R_3)(R_1 + R_4)}$$

- Wheatstone köprüsü nasıl çalışır? Eğer dört direnç birbirinin aynısıysa, yani  $R_1 = R_2 = R_3 = R_4$  ise, köprünün sağ ve sol ayaklarından aynı akım aktığı için köprü dengededir. Denge olan bir köprü için  $V_o = 0$ 'dır.
- Daha genel ifadeyle (yukarıdaki formülden görüldüğü üzere) Wheatstone köprüsü dirençleri aynı değere sahip olmasa da eşitlikteki pay sıfır olduğu müddetçe dengede olabilirler. Şöyle ki,

$$R_3 R_1 = R_4 R_2, \text{ or } \frac{R_1}{R_2} = \frac{R_4}{R_3}$$

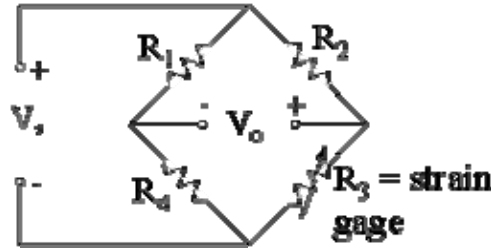
- İdeal olarak aynı kabul edilen dirençler pratikte aynı olmadıklarından (dirençler genelde nominal değerlerinin % 1-2 oranında toleranslıdır) köprü otomatik olarak dengede olmayacaktır. Böylece bazı durumlarda dirençlerden birinin yerine köprüyü dengelemek amacıyla küçük ayarlamaların yapılmasına imkan verecek potansiyometre (ayarlı direnç) kullanılır. Aşağıdaki devrede ok şekli direnci değiştirilebilen ayarlı direnci göstermektedir:



Yukarıdaki şekilde  $R_2$  direnci potansiyometre ile değiştirilmek üzere tesadüfen seçilmiştir. Ama bu maksat için diğer üç dirençten herhangi biri de seçilebilirdi.

## Çeyrek Köprü Devresi

- Gerinmeyi ölçmek için dirençlerden biri, bu durumda  $R_3$  direnci, gerinim ölçerle yer değiştirir. (Diğer sabit dirençlerden birinin yerine ayarlı direnç kullanılabilir ama bundan sonraki devre şemalarında ayarlı direnç gösterilmeyecektir.)



Yine de devre şemasında gösterilen ok, ayarlı direnci değil  $R_3$  ün yerine geçen aktif gerinim ölçeri göstermektedir. Çünkü aktif gerinim ölçerin direnci de değişebilmektedir.

- Yukarıdaki şekilde gösterildiği gibi dört dirençten sadece biri aktif gerinim ölçerle değiştirilen devre, çeyrek köprü devresi olarak adlandırılır.
- Çıkış voltajı ( $V_o$ ) Ohm kanunu yardımıyla şu şekilde hesaplanabilir:

$$V_o = V_s \frac{R_3 R_1 - R_4 R_2}{(R_2 + R_3)(R_1 + R_4)}$$

- Yüksüz durumda yani deneyin başlangıcında gerinim ölçerin ilk direnci  $R_{3i} = 120 \Omega$ , olsun ve  $R_1 = R_2 = R_{3i} = R_4 = 120 \Omega$  olsun.
- Köprü  $R_3 = R_{3i}$  olduğu zaman başlangıçta dengededir.  $R_{3i} R_1 - R_4 R_2 = 0$  ve dolayısıyla  $V_o$  sıfır olur.

### Dengesi bozulmuş çeyrek köprü devresi - gerinimi ölçmek için

- Normal çalışma durumunda Wheatstone köprüsü başlangıçta dengededir. Daha sonra gerinim ölçere gerinim uygulandığını farzedin. Böylece gerinim ölçerin direncinde de  $dR_3$  miktarı kadar değişim olacaktır. Yani  $R_3$  değeri  $R_{3i}$  den  $R_{3i} + dR_3$  'e yükselecektir.
- Bu şartlar altında köprü dengede değildir ve çıkış voltajı ( $V_o$ ) da sıfır olmayacaktır. Çıkış voltajı ( $V_o$ ) şu şekilde hesaplanabilir:

$$V_o = V_s \frac{(R_{3i} + dR_3)R_1 - R_4 R_2}{(R_2 + R_{3i} + dR_3)(R_1 + R_4)} \approx \frac{dR_3 R_1}{(R_2 + R_{3i})(R_1 + R_4)} V_s$$

Buradaki eşitliğin, payın  $R_{3i} R_1 - R_4 R_2 = 0$  olması şartı göz önünde bulundurularak sadeleştirildiğine dikkat ediniz. Eşitlikteki payda da gerinim ölçerin direncinde meydana gelen değişim kendi direncine göre çok küçük olduğu kabul edildiğinden ( $dR_3 \ll R_{3i}$ ) sadeleştirilmiştir.

- Eksenel gerinme, gerinim ölçer direnci ve gerinim ölçer faktörünün fonksiyonu olarak gerinim ölçerin direncinde meydana gelen değişim için elde edilen eşitlik şu şekildeydi:

$$dR_3 = S \varepsilon_4 R_{3i}$$

Bu eşitlik yukarıda verilen çıkış voltajı formülüne uygulanabilir. Burada  $R_{3i}$  'nin gerinim ölçerin başlangıç direnci olduğuna dikkat ediniz.

- Biraz matematiksel işlem ve sadeleştirmeden sonra şu eşitlik elde edilir:

$$\varepsilon_4 = \frac{V_o}{V_s} \frac{1}{S} \frac{(R_2 + R_{3i})^2}{R_2 R_{3i}}$$

- Eğer  $R_2 = R_3$  ise (örneğin her ikisi de  $120 \Omega$  ise) yukarıdaki eşitlik şu şekli alır:

$$\varepsilon_a = 4 \frac{V_o}{V_s} \frac{1}{S}$$

- Yukarıdaki sonucun önemi şöyledir: Eğer giriş voltajı  $V_s$  ve gerinim ölçer faktörü  $S$  sabit ise gerinim ölçerin yerleştirildiği noktadaki aksenal gerinme, Wheatstone köprüsünün çıkış voltajının ( $V_o$ ) lineer bir fonksiyonudur.
- Daha da ötesi, bilinen  $S$  ve  $V_s$  değerleri için oluşan gerinme değeri  $V_o$  çıkış voltajının ölçülmesi ile yukarıda verilen formül kullanılarak hesaplanabilir.

### Örnek Problem

- **Verilenler:**

Çekme etkisi altındaki bir kirişte meydana gelen gerinmeyi ölçmek için çeyrek köprü devresi ve standart bir gerinim ölçer kullanılır. Kullanılan gerinim ölçerin gerinim ölçer faktörü  $S = 2.0$  ve Wheatstone köprüsünün giriş voltajı  $V_s = 5.0$  V dur. Köprü, kiriş yüksüz durumda iken dengededir. Yüksüz durumda gerinim ölçer devresi dengede iken bütün dirençlerin eşit olduğunu kabul ediniz. Sıfır olmayan ve değeri bilinen bir yük için ölçülen çıkış voltaj değeri  $V_o = 1.13$  mV' dur.

- **Hesaplanacaklar:**

Kirişte oluşan aksenal gerinmeyi hesaplayınız.

- **Çözüm:**

- Aksenal gerinme için yukarıda verilen denklem kullanılır ve verilen değerler bu denklemde yerine yerleştirilir:

$$\varepsilon_a = 4 \frac{V_o}{V_s} \frac{1}{S} = 4 \frac{1.13 \text{ mV}}{5.0 \text{ V}} \frac{1}{2.0} \left( \frac{1 \text{ V}}{1000 \text{ mV}} \right) = 0.000452$$

- Gerinme değeri çok küçük bir sayı olduğu için gerinme değerlerini mikrogerinim ( $\mu\text{strain}$ ) şeklinde rapor etmek yaygın bir uygulamadır ve ölçülen gerinme değerinin  $10^6$  ile çarpılması sonucu bulunur.
- Burada mikrogerinme değeri şu şekilde bulunur:

$$\varepsilon_a = 0.000452 \left( \frac{10^6 \mu\text{strain}}{1} \right) = 452 \mu\text{strain}$$

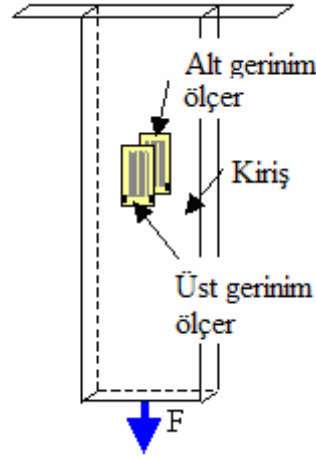
- Sonuç olarak  $S$  ve  $V_s$  sadece iki haneli olarak verildiği için mikrogerinme değerinin de sadece ilk iki hanesi göz önüne alınır ve gerinim değeri şu şekilde olur:

$$\varepsilon_a = 450 \mu\text{strain}$$

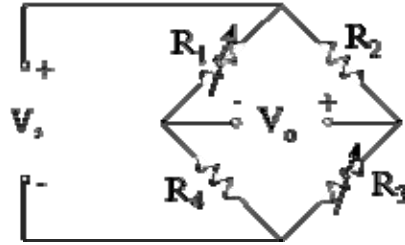
### Yarım Köprü Devresi

- Şimdi de aşağıdaki şekilde gösterildiği gibi kiriş üzerinde biri üst yüzeyde, diğeri alt yüzeyde olacak şekilde iki adet aktif gerinim ölçer kullanılsın:





- Ayrıca her iki gerinim ölçerin Wheatstone köprüsüne aşağıda gösterildiği gibi bağlandığı farz edilsin:



Burada  $R_1$  ve  $R_3$  dirençlerinin iki adet gerinim ölçerle değiştirildiğine dikkat ediniz.

- Köprüde yer alan dört adet direncin yarısı gerinim ölçer olduğu için bu devreye yarım köprü devresi adı verilir.
- Kirişte gerinme meydana geldiğinde her iki gerinim ölçer direncinin aynı oranda değiştiği kabul edilirse biraz matematiksel işlem ve sadeleştirme sonrasında aşağıdaki denklem elde edilir:

$$\varepsilon_a = \frac{V_o}{V_s} \frac{1}{2S} \frac{(R_{2i} + R_{3i})^2}{R_{2i}R_{3i}}$$

Eğer bütün dirençler başlangıçta aynı değere sahipse (örneğin  $120 \Omega$ ) yukarıdaki denklem şu hale dönüşür:

$$\varepsilon_a = 2 \frac{V_o}{V_s} \frac{1}{S}$$

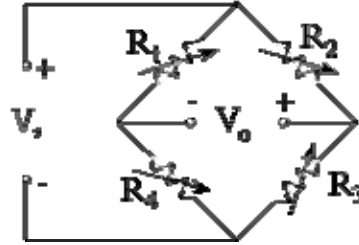
- Çeyrek köprü devresine kıyasla yarım köprü devresi, meydana gelen bir gerinme için iki kat daha fazla çıkış voltajı verir. Bu da diğer bir ifadeyle devre duyarlılığının iki kat artması demektir.
- Burada şu soru akla gelebilir: Neden ikinci aktif gerinim ölçer  $R_2$  veya  $R_4$  den ziyade  $R_1$  direnci ile yer değiştirmiştir? Bunun cevabı  $R_3$  ile yer değiştiren gerinim ölçerde oluşan gerinme değeri ile gerinme değeri aynı işarete sahip olacak şekilde ikinci aktif gerinim ölçerin yerleştirilmesi gerektiğidir. Bu da  $R_1$  direncidir.
- Yukarıda verilen cevabın doğruluğu şu şekilde gösterilebilir: Wheatstone köprüsündeki dört direncin de aktif gerinim ölçerlerle yer değiştirdiğini düşünün. Bu gerinim ölçerlerin başlangıç direnç değerleri  $R_{1i}$ ,  $R_{2i}$ ,  $R_{3i}$ , ve  $R_{4i}$  olsun. Meydana gelen gerinme sonrası oluşan direnç değişim değerleri  $dR_1$ ,  $dR_2$ ,  $dR_3$ , ve  $dR_4$  olsun. Ohm Kanunu kullanılarak çıkış voltajı formülü şu şekilde yazılabilir:

$$\frac{V_o}{V_s} = \frac{R_{2i}R_{3i}}{(R_{2i} + R_{3i})^2} \left( \frac{dR_1}{R_{1i}} - \frac{dR_2}{R_{2i}} + \frac{dR_3}{R_{3i}} - \frac{dR_4}{R_{4i}} \right).$$

- Formülden görüldüğü üzere  $dR_1$  ve  $dR_3$  terimlerinin işareti artıdır ve gerinme arttıkça çıkış voltajına artı katkıda bulunurlar. Buna rağmen  $dR_2$  ve  $dR_4$  terimleri eksi işaretlidir ve dolayısıyla gerinme arttıkça çıkış voltajına eksi katkıda bulunurlar.
- Yukarıdaki örnekte her iki gerinim ölçer de aynı gerinmeyi ölçeceği için sadece  $R_1$ 'i ikinci aktif gerinim ölçer olarak seçmek uygun olur. Bunun yerine  $R_2$  veya  $R_4$  seçilmiş olsaydı gerinme arttıkça çıkış voltajında hiç değişim olmayacaktı. Çünkü yukarıdaki denklemden de görüldüğü üzere  $dR_2$  veya  $dR_4$  işaretleri  $dR_3$  'e göre ters olacaktı ve her iki gerinim ölçerde oluşan direnç değişimleri birbirini sıfırlayacaktı.

### Tam Köprü Devresi

- Wheatstone köprüsündeki dört direncin dördü de aktif gerinim ölçerlerle yer değiştirebilir. Bu tür devreye tam köprü devresi adı verilir.



- Dikkat: Tam köprü devresi oluşturulmasında işaretlere çok dikkat edilmelidir.
- Eğer doğru bir tam köprü devresi oluşturulursa (örneğin  $R_1$  ve  $R_3$  pozitif gerinmeye sahip olurken  $R_2$  ve  $R_4$  negatif gerinmeye sahip olacak şekilde) tam köprü devresinin duyarlılığı çeyrek köprü devresinin duyarlılığından dört kat daha fazla olur.

$$\varepsilon_a = \frac{V_o}{V_s} \frac{1}{S}$$

- Genel ifadeyle, eğer  $n$  Wheatstone köprüsünde kullanılan aktif gerinim ölçerin sayısını gösterirse, çeyrek köprü için  $n = 1$ , yarım köprü için  $n = 2$  ve tam köprü için  $n = 4$  olur. Gerinme formülü de şu şekilde genelleştirilebilir:

$$\varepsilon_a = \frac{V_o}{V_s} \frac{4}{n} \frac{1}{S}$$

- Dikkat edilecek nokta: Yukarıdaki denklemin elde edilmesinde pozitif gerinme için (çekme) pozitif gerinim ölçerler ( $R_1$  ve  $R_3$ ) ve negatif gerinme için (basma) negatif gerinme ölçerler ( $R_2$  ve  $R_4$ ) seçilmiştir. Eğer devre, pozitif gerinim ölçerler basma etkisi altında ve negatif gerinim ölçerler çekme etkisi altında olacak şekilde oluşturulursa yukarıdaki denklemden elde edilen sonuç negatif olacaktır.
- Bir son not ise şudur: Köprünün başlangıçta dengeye getirilmesi her zaman gerekli değildir. Diğer bir deyişle köprünün çıkış voltajı başlangıçta sıfırdan farklı bir değerde olacaktır.

$$V_{o_{mf}} \neq 0.$$

Bu voltaj değeri deneyin başlangıç noktasındaki referans çıkış voltajını göstermektedir. Böyle bir durum eğer kiriş üzerinde başlangıçta belli bir yük varsa da oluşabilir.

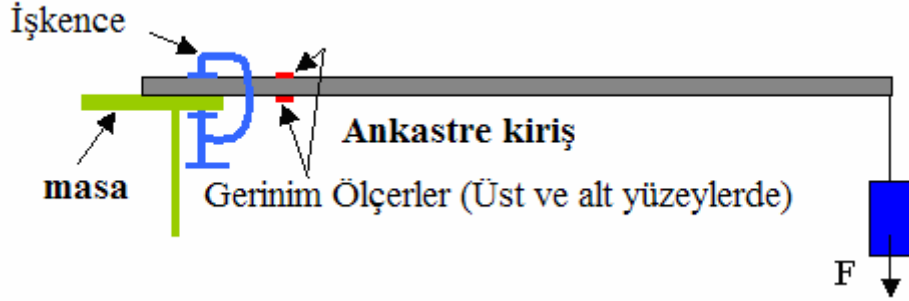
- Böyle durumlarda gerinme değeri çıkış voltajının kendisinden ziyade okunan çıkış voltajı ile başlangıçtaki çıkış voltajı arasındaki fark kullanılarak hesaplanabilir:

$$\varepsilon_a = \frac{(V_o - V_{\text{ref}})}{V_s} \frac{4 l}{n S}$$

---

## Uygulama – Ankastre Kiriş Eğme Deneyi ve Gerilme Analizi

- Örnek olarak laboratuvarımızda basit bir ankastre kiriş deneyi uygulayalım. Ankastre kiriş aşağıdaki şekilde gösterildiği gibi bir ucundan rijit bir masaya monte edilmiş olsun. Diğer ucundan ise ağırlık asılsın.

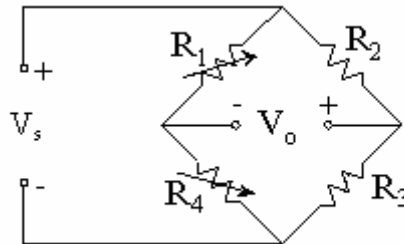


Bu uygulamada bir aktif gerilim ölçer kirişin üst yüzeyine ve ikinci aktif gerilim ölçer ise kirişin alt yüzeyine aynı mesafede ve aynı yönde olacak şekilde yapıştırılmıştır.

- Uygulanan ağırlık nedeniyle kiriş sehim yapacak (dolayısıyla gerilme oluşacak) ve kirişin üst yüzeyine yapıştırılmış gerilim ölçerlerde uzama (pozitif eksenel gerilme) meydana gelecektir. Buna rağmen kirişin alt yüzeyine yapıştırılmış olan gerilim ölçerlerde ise kısalma (negatif eksenel gerilme) meydana gelecektir.
- Eğer kiriş kesiti simetrik ve her iki gerilim ölçer değeri ve özellik olarak birbirinin aynısı ise şu eşitlik geçerli olacaktır:

$$dR_{alt} = - dR_{üst}$$

- Bu durumda gerilim ölçerler için  $R_1$  ve  $R_3$  seçilirse, kirişe hangi yük uygulanırsa uygulansın, Wheatstone köprüsü daima dengede olacaktır ve herhangi bir çıkış voltajı okunmayacaktır. Çünkü  $dR_1$  ve  $dR_3$  birbirini sıfırlayacaktır.
- Durum böyle olunca yarım köprü devresi ya  $R_3$  ve  $R_2$  ya da  $R_3$  ve  $R_4$  ( $R_1$  ve  $R_4$  ya da  $R_1$  ve  $R_2$  dirençleri de kullanılabilir) dirençleri aktif gerilim ölçerlerle yer değiştirecek şekilde oluşturulmalıdır.
- Bu deney için kurulmuş olan Wheatstone köprü devresinde  $R_1$  direnci yerine birinci aktif gerilim ölçer kirişin üst yüzeyine ve  $R_4$  yerine ikinci aktif gerilim ölçer kirişin alt yüzeyine yapıştırılmıştır.



- Bu durumda devre analizi şu sonucu verir:

$$\varepsilon_a = 2 \frac{V_o}{V_s} \frac{1}{S}$$

- Bir gerilim ölçerli çeyrek köprü devresine kıyaslanırsa iki gerilim ölçerli yarım köprü devresinde iki kat daha fazla çıkış voltajı elde edilir.

- Genelde bir sistem için duyarlılık çıkışın girişe oranı olarak tanımlanır. Bu durumda çıkış  $V_o$  voltajıdır ve giriş ise ölçülmesi istenen aksenal gerinme değeridir.
- Sonuç olarak yarım köprü duyarlılığı çeyrek köprü duyarlılığına göre iki kat daha fazladır.

#### **Bu deneyde istenilenler:**

- Teorik olarak (Mukavemet dersinde öğrenilen formüller kullanılarak) gerinim ölçerlerin bağlandığı noktadan geçen kesitin üst ve alt yüzeylerinde meydana gelen aksenal gerilme değerleri hesaplanacaktır. Hesaplamalarda kullanılan formüllerin elde edilmiş şekilleri gösterilecektir.
- Deneysel olarak okunan çıkış voltajı değerleri ve yukarıda verilen formül kullanılarak aksenal gerinme değerleri hesaplanacaktır. Hesaplanan aksenal gerinme değerleri Hooke Kanunu kullanılarak aksenal gerilme değerlerine dönüştürülecektir.
- Deneysel olarak elde edilen gerinme değerleri ile girişe uygulanan ağırlık değerleri arasındaki ilişkiyi gösteren grafik çizilecektir. Ölçülen gerinme değerleri ile asılan ağırlıklar arasında doğrusal bağlantı olup olmadığı kontrol edilecektir.
- Teorik ve deneysel gerilme sonuçları karşılaştırılarak yüzde fark değerleri hesaplanacaktır.
- Var olan yüzde farkların tahmin edilen nedenleri açıklanacaktır.
- Ayrıca teorik olarak gerinim ölçerlerin bağlandığı noktada meydana gelen sehım değerleri hesaplanacaktır.
- **Gereken değerler:** Giriş Uzunluğu ( $L$ ), Yükün asıldığı noktadan gerinme ölçerlerin yapıştırıldığı noktaya olan giriş mesafesi ( $L_g$ ), Giriş genişliği ( $b$ ), Giriş kalınlığı ( $t$ ), Gerinme ölçer faktörü ( $S$ ), Giriş voltaj değeri ( $V_s$ )
- **Okunacak değerler:** Asılan ağırlıklar ( $W$ ) ve her bir ağırlığa karşılık gelen çıkış voltaj değeri ( $V_o$ )