

# UZAMA ÖLÇER (STRAIN GAUGE) YARDIMI İLE BİRİM ŞEKİL DEĞİŞİMLERİNİN ÖLÇÜLMESİ

## 1. Amaç

Bu deneyde eğilmeye, burulmaya veya çekiye maruz kalan bir cismin şekil değiştirme miktarlarının uzama ölçerler yardımı ile bulunması amaçlanmaktadır.

## 2. Giriş

Çoğu mühendis, çalışmalarında uzama ölçerleri kullanmaktadır. Uzama ölçerleri, yapı mühendisleri yapıların ve yüklemeye maruz köprülerin desteklerindeki şekil değişimlerini, makine ve uzay mühendisleri basınç ve yüke maruz farklı şekillerin ve makine elemanlarının şekil değişimlerini bulmak için kullanmaktadırlar. Ayrıca uzama ölçerler, yük hücrelerinin veya tork algılayıcılarının (transducer) bir parçası olarak da kuvvet, basınç ve pozisyonu ölçmek için kullanılabilirler.

Bu deneyde uzama ölçerlerin nasıl çalıştıkları ve nasıl kullanılacakları anlatılmaktadır. Teorik sonuçlar ile farklı malzeme ve yapılarda ölçülen şekil değiştirme miktarlarının kıyaslanması sağlanmaktadır.

## 3. Teori

- Gerilme, Şekil Değişimi ve Elastisite Modülü

### Gerilme ( $\sigma$ )

Gerilme, malzemenin bilinen bir alanı üzerine uygulanan kuvvettir ve aşağıdaki denklem ile bulunabilmektedir:

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

Bası gerilmesi malzemenin sıkışması sonucu oluşan gerilme olup negatif değerlidir.

Çeki gerilmesi malzemenin uzamasını sağlayan gerilmedir ve pozitif değerlidir.

### **Birim Şekil değişimi ( $\epsilon$ )**

Birim Şekil değişimi, malzemenin boyundaki deęiŐimin ilk boyuna oranıdır. AŞağıdaki denklem ile bulunabilir:

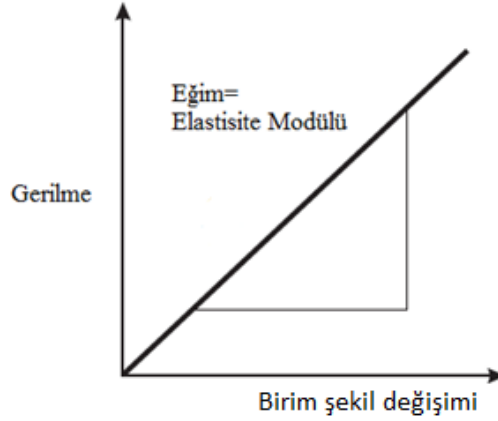
$$\epsilon = \frac{\Delta l}{l}$$

### **Elastisite Modülü ( $E$ )**

İngiliz fizikçi Thomas Young tarafında keşfedilmiştir ve Young's Modülü olarak da bilinmektedir. Malzemenin katılığının değeridir (daha katı malzemenin elastisite modülü de daha fazladır). AŞağıdaki denklem ile bulunur:

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon}$$

Bir test malzemesinin gerilme-birim Şekil değişimi grafiği çizilir ise eğim elastisite modülüdür.



**Şekil 1 Elastisite Modülü**

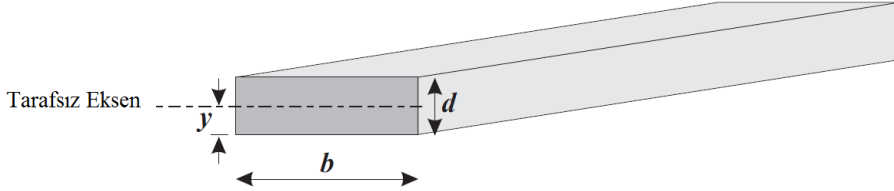
### **Kayma modülü ( $G$ )**

Kayma modülü burulma esnasında malzemenin gösterdiği direncin ölçüsüdür ve kayma gerilmesi ve kayma ağısının oranıdır.

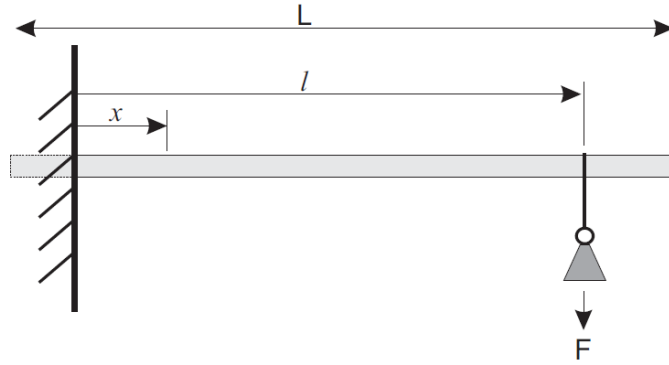
$$G = \frac{F/A}{\Delta x/h} = \frac{\tau}{\gamma}$$

- **Kirişlerin Eğilmesi**

Şekil 2 de gösterilen geometrik özelliklere sahip, bir ucundan ankastre mesnetli kirişe uygulanan yük ile oluşacak olan birim şekil değişimlerinin hesaplanması bu bölümde anlatılmaktadır.



**Şekil 2 Kiriş kesit geometrisi**



**Şekil 3 Kirişin eğilme momenti**

### **Eğilme momenti**

Bir ucundan mesnetlenmiş bir kirişte eğilme momenti aşağıdaki denklem ile ifade edilebilmektedir.

$$M = F(l - x)$$

### **Gerilme**

Kiriş boyunca herhangi bir noktada oluşacak olan gerilme:

$$\sigma = \frac{My}{I}$$

denklemini ile bulunur. Şekil 2'deki gibi dikdörtgensel kesite sahip kirişler için atalet momenti aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$I = \frac{bd^3}{12}$$

### Şekil değişimi

Hooke Kanunu'nun tekrar düzenlenmesi sonucunda Şekil değişimi denklemi Şu Şekilde ifade edilir.

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E}$$

- **Çubukların Burulması**

### Polar (Kutupsal) Atalet Momenti

Polar (kutupsal) atalet momenti, dairesel kesitli millerde aşağıdaki gibi hesaplanabilmektedir.

$$J = \frac{\pi D^4}{32}$$

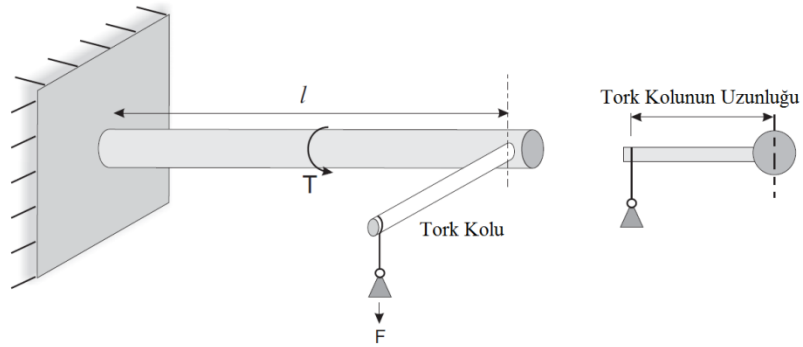
Tork ifadesi için genel denklem aşağıdaki gibi ifade edilebilmektedir.

$$\frac{T}{J} = \frac{G\theta}{l}$$

### Tork

Şekil 4' te gösterildiği üzere çubuğun ucundaki burulma kuvveti (tork) tork kolu üzerindeki kuvvetin oluşturduğu momenttir.

$$T = F \times \text{Torkkolunun uzunluğu (m)}$$



**Şekil 4 Tork ( Burulma Kuvveti )**

## Kayma gerilmesi

Teorik olarak dairesel bir çubuk için kayma gerilmesi ifadesi şu şekilde ifade edilebilmektedir.

$$\tau = \frac{TD}{2J}$$

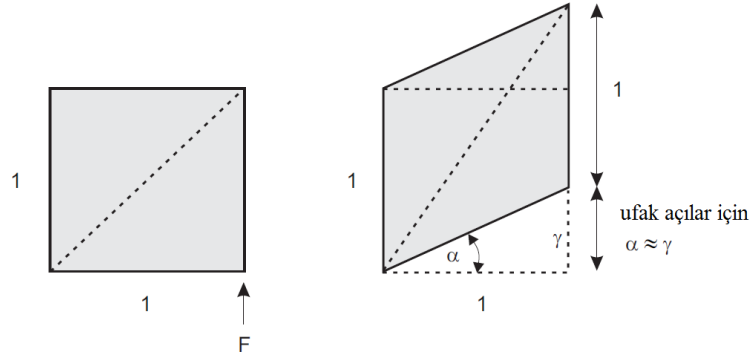
## Kayma Açısı

Teorik olarak dairesel bir çubuk için kayma açısı ifadesi şu şekildedir.

$$\gamma = \frac{\tau}{G} = \frac{r\theta}{l}$$

## Birim şekil değiştirme

Uzama ölçerler test yapılan nesnenin üzerindeki şekil değişimlerini ölçerken, birim şekil değiştirme olarak sonuç vermektedirler. Teorik hesaplamalar ile kıyaslamasını sağlamak için, teorik kayma açısını birim şekil değişimine dönüştürmek gerekmektedir. Bunun da yapılabilmesi için kayma açısı ve birim şekil değişimi arasındaki ilişkinin kurulması gerekmektedir.



**Şekil 5 Kayma açısı**

Bir kuvvet bir nesnenin uzunluğunu değiştirdiği zaman, birim şekil değiştirme ( $\epsilon$ ) :

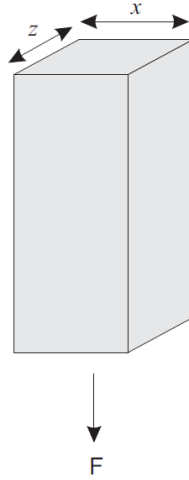
$$\epsilon = \frac{\text{boydaki değişim}}{\text{başlangıç uzunluğu}}$$

şeklinde ifade edilmektedir.

Şekil 5’ te karenin bir kuvvet ile şeklinin değiştiği görülmektedir. Bu kuvvet köşegen uzunluklarında bir değişime sebep olmakta onun dışındaki uzunluklar sabit kalmaktadır. Ufak açılar için yaklaşık olarak  $\alpha=\gamma$  kabulü yapılır ise birim şekil değiştirme kayma açısı'nın yarısı olarak ifade edilebilmektedir.

$$\varepsilon = \frac{\gamma}{2}$$

- Çeki gerilmesi ve birim şekil değiştirme, Poisson oranı



**Şekil 6 Dikdörtgen kesitli bir malzemenin çeki gerilmesi**

Cisim bir kuvvet tarafından bastırıldığı veya çekildiği zaman, oluşan gerilme cismin birim alanına uygulanan kuvvete eşittir.

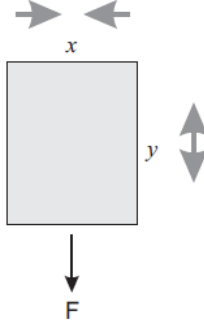
Dikdörtgen kesitli bir numunede gerilme:

$$\sigma = \frac{F}{xz}$$

denklemleri ile bulunabilir. Kuvvet yönündeki birim şekil değişimi, gerilmenin malzemenin elastisite modülüne bölünmüş halidir.

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E}$$

## Poisson Oranı ( $\nu$ )



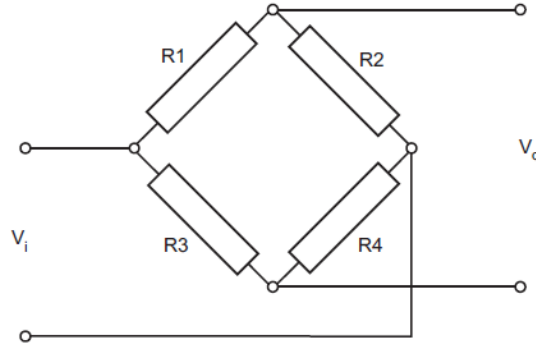
Şekil 7 Poisson Oranı

Poisson oranı, malzemedeki enine şekil değişiminin, boyuna şekil değişimine oranıdır. Fransız matematikçi Simeon Poisson tarafından malzeme esnetildikçe kesit alanının azaldığını fark ederek keşfedilmiştir. Metaller için genellikle poisson oranı 0,3'tür.

$$\nu = \frac{-\varepsilon_x}{\varepsilon_y}$$

Metaller çekildiği zaman (çeki birim şekil değişimi, pozitif) enine birim şekil değişimi negatif olur (bası).

- **Wheatstone Köprüsü**



Şekil 8 Wheatstone köprüsü

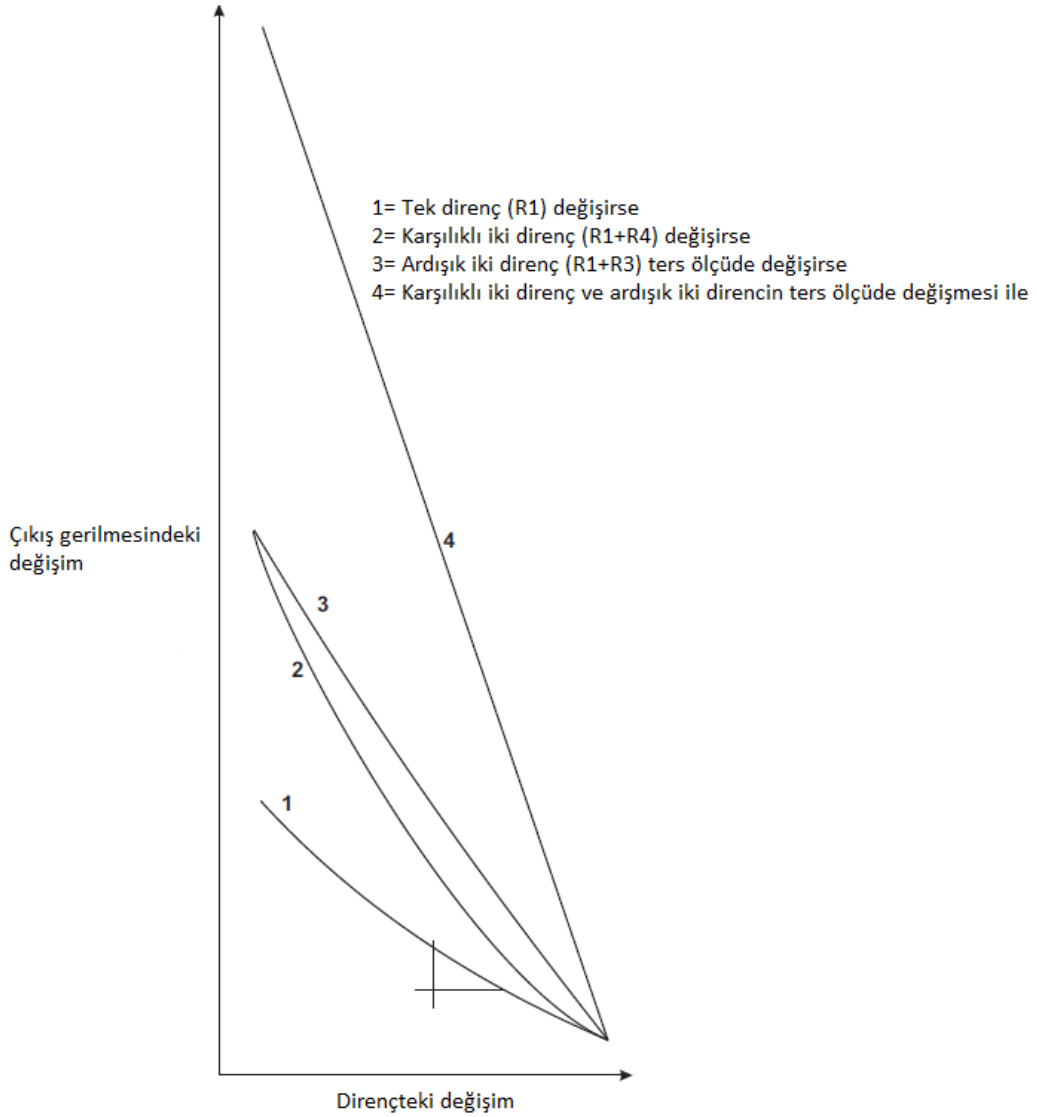
Birçok uzama ölçerin temelini oluşturan ve hassas bir ölçüm yapılmasını sağlayan Wheatstone köprüsü Şekil 8' de gösterilmektedir. Elmas şeklinde uç uca eklenen dört adet dirençten oluşmaktadır. Giriş gerilmesi ( $V_i$ ) karşılıklı iki bağlantılardan bağlanır ve çıkış gerilmesi diğer iki uçtan ölçülür.

Çıkış gerilmesi ( $V_o$ ) dirençlerin oranına bağlıdır ve şu şekilde ifade edilebilmektedir.

$$V_o = V_i \frac{R_2}{R_1 + R_2} - V_i \frac{R_4}{R_3 + R_4}$$

Burada dirençlerin eşit olması durumunda çıkış gerilmesinin, giriş gerilmesi ne olursa olsun sıfır olacağı görülmektedir. Ancak dirençlerden bir tanesi değişecek olursa (örneğin  $R_1$ ) çıkış gerilmesi de değişen dirence orantılı olarak değişecektir.

Bağlanan uzama ölçer sayılarına göre; tek bir uzama ölçer bağlanır ise çeyrek köprü, iki uzama ölçer bağlanır ise yarım köprü ve dört adet uzama ölçer bağlandığı durum için ise tam köprü olarak isimlendirilmektedir. Bağlantı şekilleri aşağıdaki gösterildiği şekillerde yapılır.

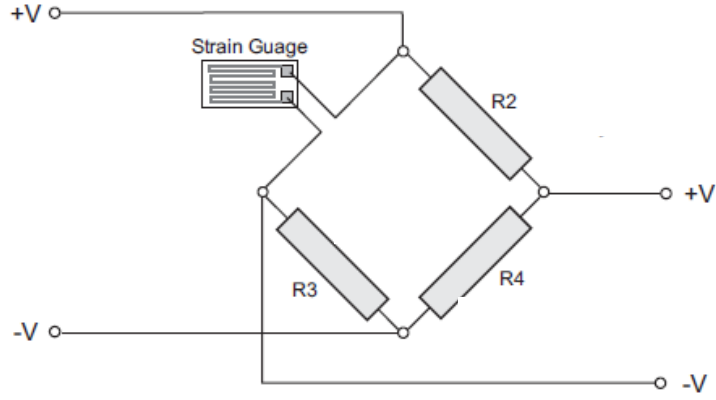


**Şekil 9 Wheatstone köprüsünde direnç değişimine karşılık çıkış gerilmesindeki değişim**



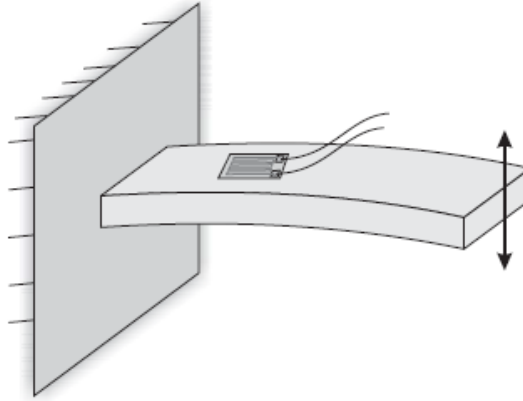
## Çeyrek köprü Bağlantısı

Uzama ölçer direnci = ↑ Çıkış = ↑  
Uzama ölçer direnci = ↓ Çıkış = ↓



**Şekil 10 Çeyrek köprü - Bir aktif uzama ölçer**

Tek bir uzama ölçer, dirençlerden bir tanesi ile değiştirilir ise çıkış gerilmesi uzama ölçerdeki birim şekil değişimi ile orantılıdır. Uzama ölçer direncinin değişmesi ile çıkış potansiyel gerilme farkı da değişmektedir.

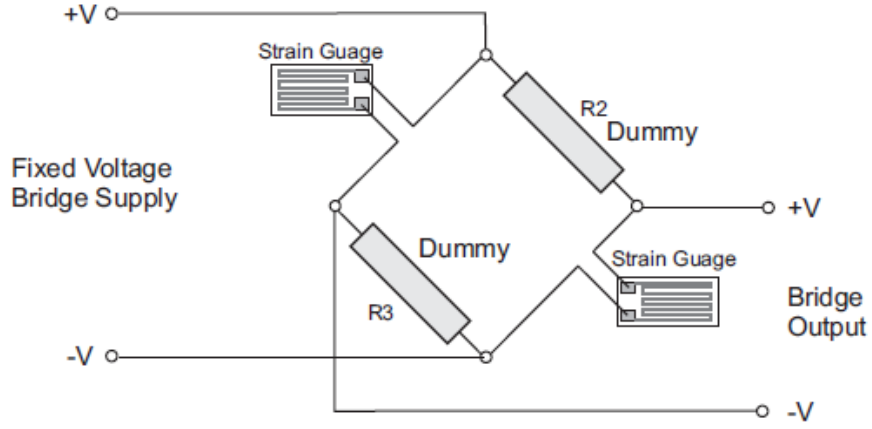


**Şekil 11 Çeyrek köprü uygulaması**

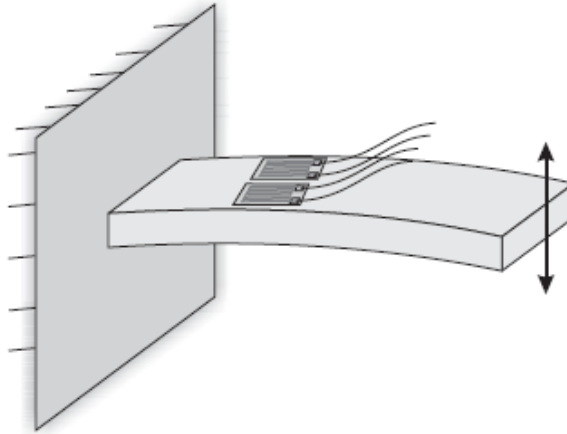
## Yarım Köprü 1 ( Karşıt Kollar)

Uzama ölçer direnci =  $\uparrow \times 2$  Çıkış =  $\uparrow \times 2 (+Ve)$

Uzama ölçer direnci =  $\downarrow \times 2$  Çıkış =  $\downarrow \times 2 (-Ve)$



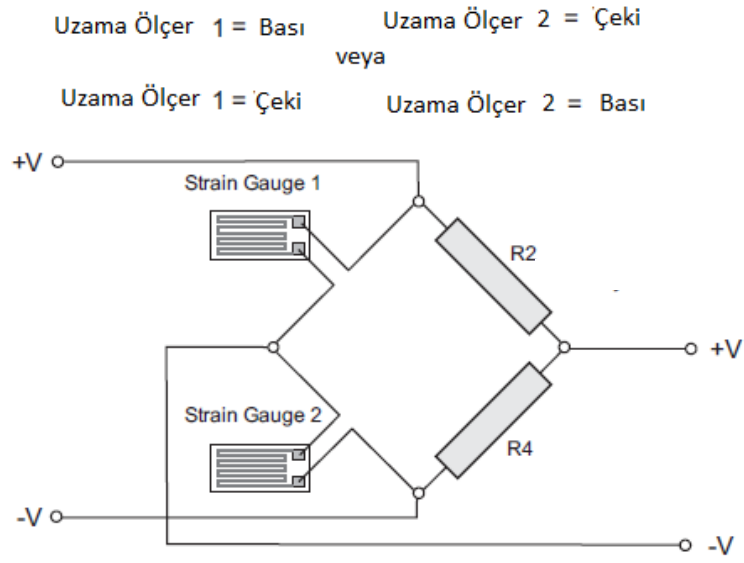
Şekil 12 Yarım köprü bağlantısı ( karşıt kollarda)



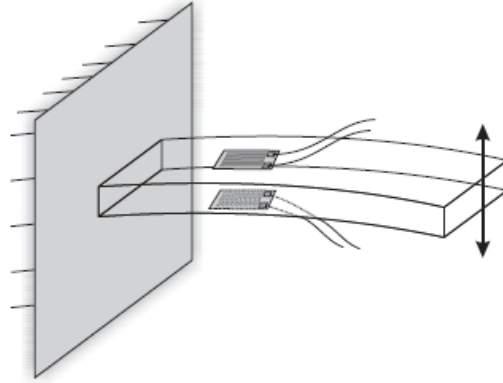
Şekil 13 Yarım köprü uygulaması

Eğer R1 ve karşısındaki R4 dirençleri aynı oranda artarsa, tek bir direncin değişimi sonucu oluşacak olan voltaj farkının iki katı kadar bir değişim olmaktadır. Bu da daha fazla çıkış böylelikle daha fazla hassas sonuç alınmasını sağlamaktadır. Her bir uzama ölçer diğerinin karşısına bağlanarak aynı uzamalar ölçülmektedir yani dirençlerinde aynı doğrultuda bir değişim olmaktadır. Böylelikle aynı bölge için iki uzama ölçer, aynı tipte uzamaları (çeki veya bası) ölçmektedir.

## Yarım Köprü 2 ( Ardışık Kollar)



Şekil 14 Yarım köprü bağlantısı ( ardışık kollarda)

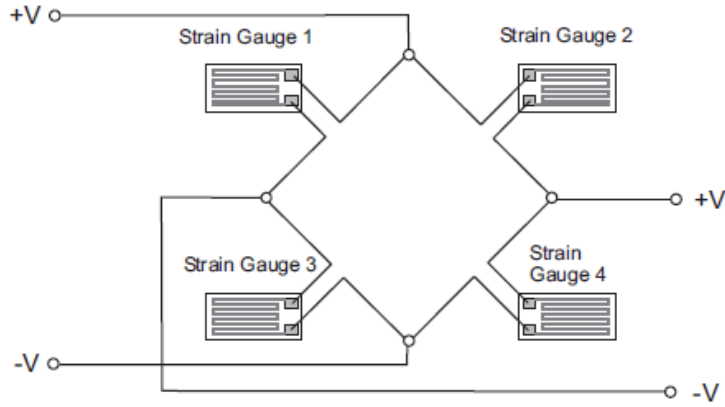


Şekil 15 Yarım köprü uygulaması

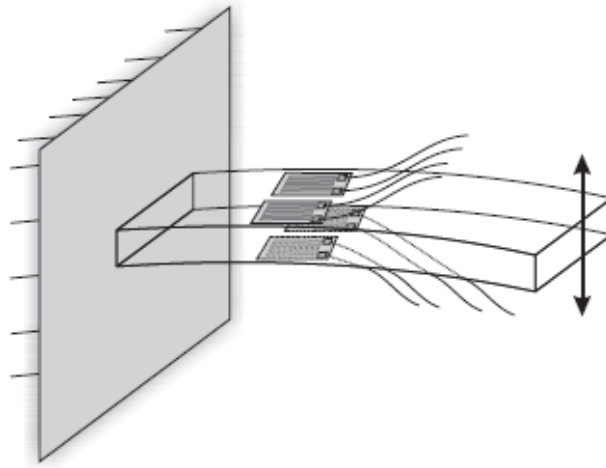
Şekil 14'de iki ardışık uzama ölçer ile yapılan yarım köprü bağlantısı gösterilmektedir. Bu durumda uzama ölçer dirençlerindeki değişim birbirlerini dengelemektedirler. Bunlar aynı değerde fakat zıt yönlü bir ölçüm yapmaktadırlar. Bir tanesi basıyı ölçer iken diğeri çekiği ölçmektedir. Bu şekildeki kullanım, çeyrek köprü bağlantısına göre iki kat daha çok çıkış vermektedir.

## Tam Köprü

Uzama Ölçer 1 ve 4 = Bası      Uzama Ölçer 2 ve 3 = Çeki  
veya  
Uzama Ölçer 1 ve 4 = Çeki      Uzama Ölçer 2 ve 3 = Bası



Şekil 16 Tam köprü



Şekil 17 Tam köprü uygulaması

Dört uzama ölçerin de kullanıldığı tam köprüde, yarım köprüye nazaran iki kat daha hassas sonuçlar elde edilmektedir. Yarım köprüde olduğu gibi, karşılıklı uzama ölçerler aynı tip uzamayı ölçecek şekildedir. Örneğin 1 ve 4 çeki doğrultusundaki şekil değişimini ölçerken, 2 ve 3 bası doğrultusundaki şekil değişimini ölçmelidir.

### Köprü Denklemi

Birim şekil değişimini hesaplamak için kullanılan standart denklem:

$$\varepsilon = 4 \frac{V_o}{GF V_i N}$$

olup burada;

$\varepsilon$  : Birim şekil değişimi

$V_o$  : Köprü boyunca ölçülen gerilim (V)

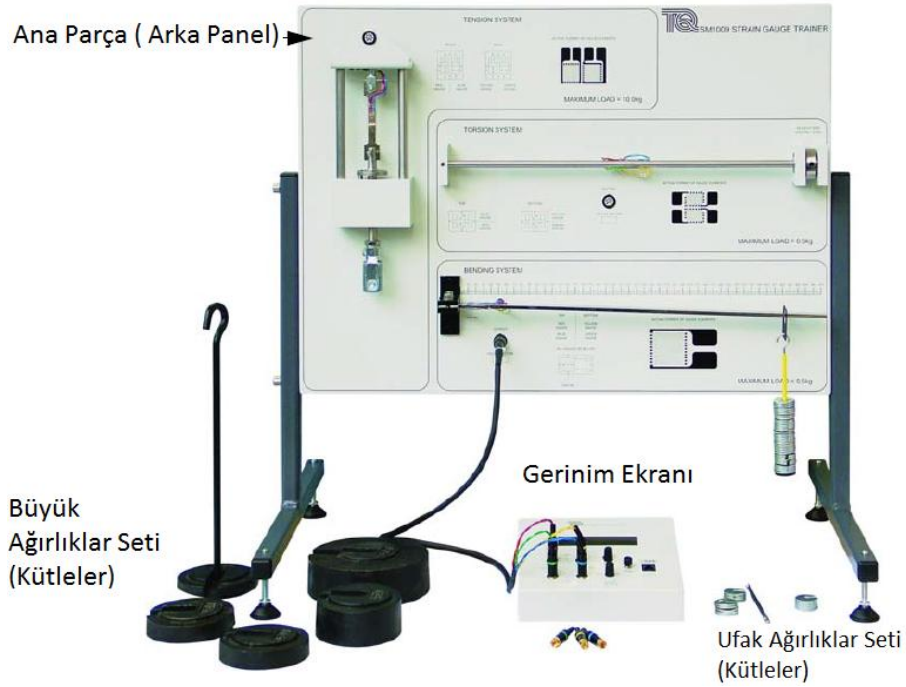
$GF$  : Gauge faktör

$V_i$  : Köprüye giriş gerilmesi (V)

$N$  : Aktif kolların sayısı ( uzama ölçer bağlantı sayısı)

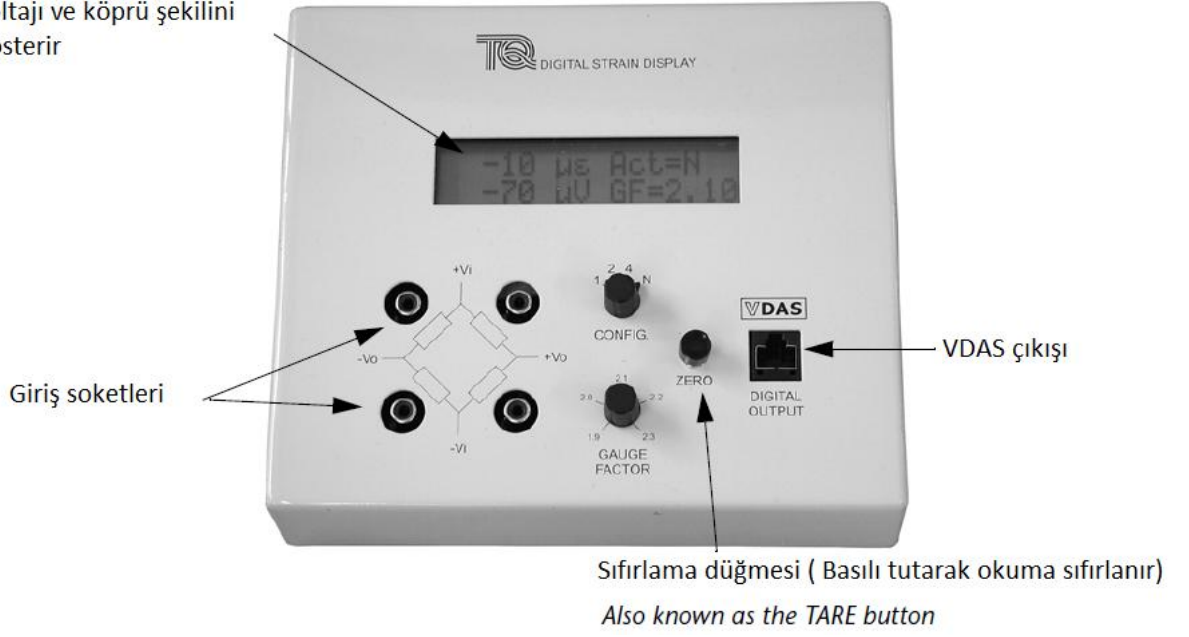
Çıkış sonuçları mikron mertebesinde olduğu unutulmamalıdır. (Birim uzama( $10^{-6}$ ))

#### 4. Deney Tesisatı



Şekil 18 Uzama Ölçer Deney Seti

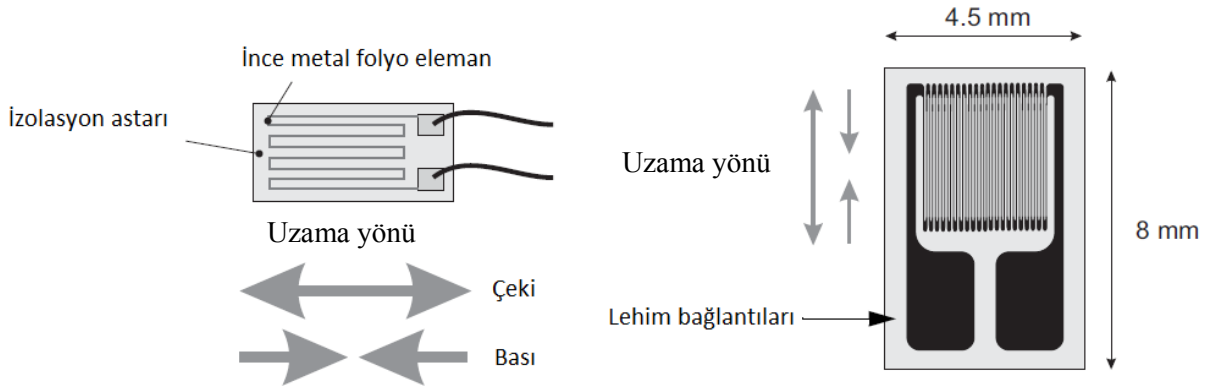
Ekran- gerinim, çıkış voltajı ve köprü şeklini gösterir



**Şekil 19 Dijital Gerinim Ekranı**

### Uzama ölçerler (strain gauges)

Uzama ölçerler birim şekil değişimini ölçen elektrikli algılayıcılardır. Dış bir kuvvet ile üzerlerindeki metalin uzaması veya kısılması sonucu elektriksel direncin değişimi direk olarak birim şekil değişimi ile orantılıdır.

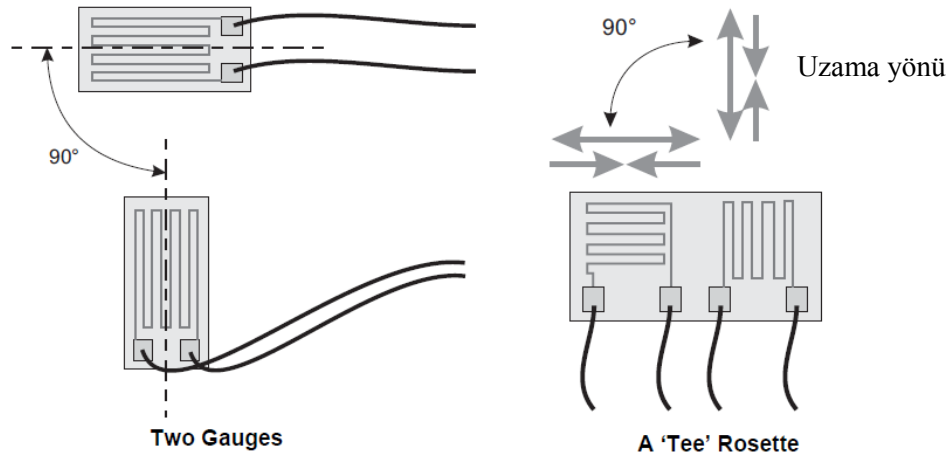


**Şekil 20 Uzama Ölçer**

Uzama ölçerler zigzag şekilli kesilmiş metal folyolardan oluşmaktadır. Şekil 20' de basitleştirilmiş bir uzama ölçer gösterilmektedir. Mikron boyutlu kalınlığa sahip olan bu

uzama ölçerler elektriksel yalıtım ve mekanik sağlamlık için bir tabaka üzerine montelenmektedir. Kullanıcı uzama ölçeri, ölçüm yapacağı parçanın yüzeyine tutturarak parçanın yüzeyindeki kılma veya uzama miktarlarını bulabilmektedir. Okunan negatif gerinim bası ve okunan pozitif değerler ise çeki birim şekil değişimini göstermektedir.

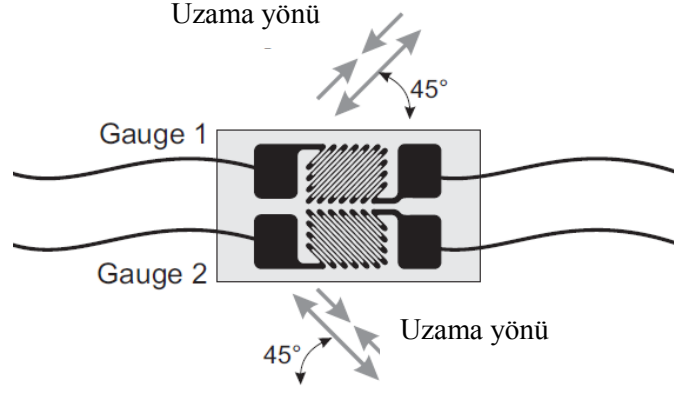
İki veya daha fazla yönde şekil değişimi bulunmak isteniyor ise ekstra uzama ölçerler birbirlerinin yakınlıklarına eklenirler. Uzama ölçerlerin genellikle çok ufak olması ve istenen açı değerinde konumlandırılmasının güç olmasından dolayı, rozet denilen iki veya daha fazla uzama ölçerin bir arada bulunduğu gereçler kullanılabilir. Rozetlerin üzerindeki her bir uzama ölçer makineler ile hassas bir şekilde konumlandırılmaktadır.



**Şekil 21 Birbirine dik iki uzama ölçer ve T rozet**

### **Kayma ve tork uzama ölçerleri**

Uzama ölçerler en iyi sonucu ölçülen birim şekil değişiminin doğrultusunda konumlandırıldıklarında vermektedir. Burulma düzeneğinde bulunan çubuktaki gerilim ve birim şekil değişiminin çubuk boylamı ile arasındaki açı  $45^\circ$ 'dir.  $45^\circ$ 'lik iki adet uzama ölçerden oluşan özel bir rozet vasıtası ile gerinim ölçülmektedir. Şekil 22'de burulma düzeneğinde kullanılan rozet büyütülmüş görünümü ile gösterilmektedir.

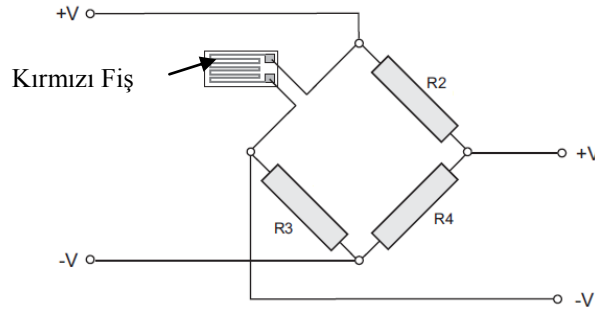


Şekil 22 Kayma ve Tork uzama ölçer rozeti

## 5. Deneyin Yapılışı

### Eğilmeye Maruz Parçada Birim Şekil Değişiminin Ölçülmesi

Bu deneyde çeyrek wheatstone köprüsü ile ölçüm yapılmaktadır. Bunun için öncelikle kırmızı fiş ve kablo şeklinde gösterildiği yere , diğer boş fişler de kalan soketlere takılır. Aktif kol sayısı 1 olarak ayarlanır. Gauge faktörü deney setinin üzerinden okunarak ayarlanır. Yük taşıyıcısı 420 mm uzaklığa ayarlanarak deney setinde sistem sıfırlanır. Yük taşıyıcısı 10 gr ağırlığındadır. 4 tane 10 gr ağırlık konularak deney setinden uzama değeri ölçülür. Yük daha sonra artırılarak uzama değerleri ve çıkış voltajları tabloya kaydedilir.



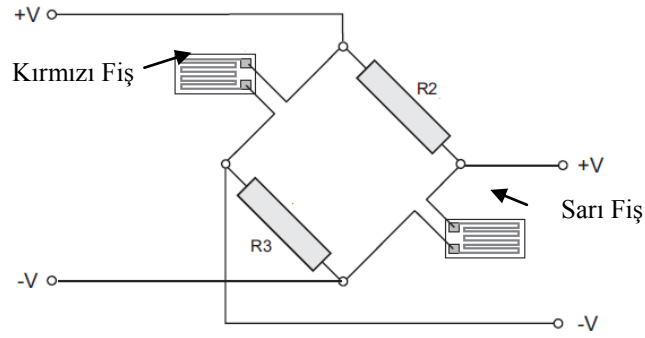
Şekil 6. Çeyrek Köprü Bağlantısı

### Çekiye Maruz Parçada Uzama Oranının Ölçülmesi

Bu deneyde yarım wheatstone köprüsü ile ölçüm yapılacaktır. Bunun için öncelikle kuvvet doğrultusundaki uzama ölçerlerden ölçüm alabilmek için kırmızı-sarı fişler ve kablo şeklinde gösterildiği yere karşılıklı takılır. Diğer boş fişler de kalan soketlere takılır. Aktif kol sayısı 2 olarak ayarlanır. Gauge faktörü deney setinin üzerinden okunarak ayarlanır. Yük



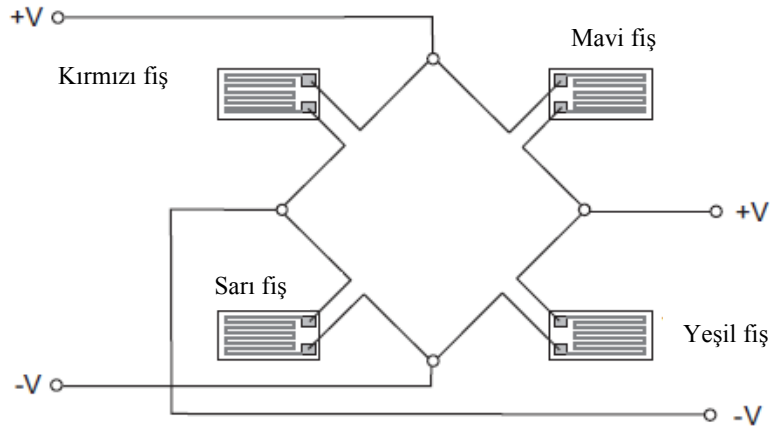
taşıyıcısı 500 gr ağırlığındadır. İlâveten 500 gr ağırlıklar konularak deney setinden uzama değerleri ölçülür.



Şekil 7. Yarım Köprü Bağlantısı

### Burulmaya Maruz Parçada Uzama Oranının Belirlenmesi

Bu deneyde tam wheatstone köprüsü ile ölçüm yapılarak burulmaya maruz kalan bir parçada oluşacak olan birim şekil değişimlerinin bulunması amaçlanmaktadır. Bunun için oluşacak maksimum gerilme doğrultusunda yerleştirilen uzama ölçerler kırmızı ve yeşil fişler karşılıklı olarak bağlanır. Mavi ve sarı uzama ölçerler de karşılıklı olarak bağlanarak tam köprü oluşturulmuş olur. Aktif kol sayısı burada 4'tür. Gauge faktör deney seti üzerinden okunarak ayarlanır. Yük taşıyıcı torç kolu üzerinde belirtilen yere asılır ve 10 gr ağırlıklardan üzerine konularak deney setinden uzama miktarı ve çıkış voltajı okunur.



Şekil 23 Tam köprü bağlantısı





## EKLER

Eğilme Sistemindeki Kiriş	Elastisite Modülü : 207 GPa Kesit Ölçüleri: 20mm x 5 mm
Burulma Sistemindeki Kiriş	Kayma Modülü : 79,6 GPa Çap : 10mm Tork Kolu Uzunluğu : 150mm
Çeki Gerilmesindeki Numune	Elastisite Modülü : 207 GPa Poisson Oranı : 0,3 Kesit Ölçüleri : 2 mm x 10 mm

Symbol	Description
$b$	Genişlik
$d$	Kiriş yüksekliği
$A$	Alan
$I$	Atalet Momenti
$y$	Tarafsız eksenden uzaklık
$\sigma$	Gerilme
$M$	Uygulanan moment
$F$	Kuvvet
$L$	Uzunluk
$l$	Uygulanan kuvvet ve mesnet arasındaki mesafe
$x$	Ölçüm yapılan noktaya olan uzaklık
$E$	Elastisite Modülü
$\nu$	Poisson oranı
$T$	Tork
$J$	Polar Atalet Momenti
$G$	Kayma Modülü
$D$	Çap
$r$	Yarı çap
$\tau$	Kayma Gerilmesi
$\gamma$	Kayma açısı
$\theta$	Burulma açısı