

## YÜK HÜCRELERİ ( STRAIN GAUGE )

Sabit bir cisme dışarıdan bir güç uygulandığında, malzeme üzerinde gerilim ve burkulmalar meydana gelir. Gerilim objenin harici güce karşı gösterdiği mukavemet, burkulma ise objedeki iç yer değiştirme ve biçimsel bozulma diye tanımlanır.

Üzerine kuvvet uygulanan matelyalde meydana gelen gerilme :

$$\begin{aligned} \text{Uygulanan kuvvet} & : F \\ \text{Uygulanan alan} & : A \quad \text{'ise} \end{aligned}$$

Üzerinde oluşan gerilme ;

$$\text{Gerilim ( } \rho \text{ ) : } F / A$$

'dan hesaplanır.

Burkulma ise, objeye uygulanan güç sonucu matelyal boyutlarında meydana gelen biçim değiştirmesinin tüm etkilenen boydaki yüzdesel dağılımıdır.

Burkulma miktarı, matelyalin orijinal boyundaki değişimin, ilk boyuna bölümünden hesaplanır.

$$\text{Burkulma ( } \epsilon \text{ ) : } \Delta L / L \quad \text{'dır.}$$

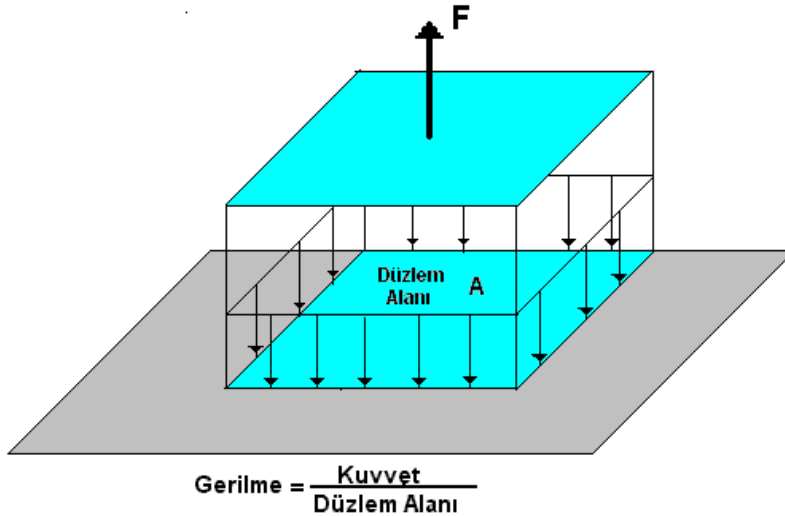
Burkulma uzaması 0.005 inch / inch 'den küçük ise mikro burkulma ifadesi kullanılır.

$$\text{Mikro burkulma} \quad : \text{Burkulma} \times 10^{-6}$$

Burkulma yani baskı sonucu fiziksel değişim miktarı ve gerilme Yük Hücreleri ile ölçülür.

Strain Gauge'lerle ilk bilgiler Lord Kelvin tarafından incelenmiş ve metalik iletkenlerin gerilmeye maruz bırakıldığında, elektriksel direncinin değiştiğini görmüştü.

O günlerden sonra keşfedilen bu parametrenin endüstriyel alanda ilk uygulamaları 1930 larda başlamıştır.



Temelde tüm yük hücreleri (Strain Gauge'ler) mekanik hareketi, elektriksel işarete çevirmeye göre dizayn edilir.

Metalin iç kapasitans ve induktansı veya direnci burkulmayla orantılı bir büyüklük üretir.

Mesela tel gerilmeye maruz bırakıldığında, çapı daralmasıyla beraber boyunda uzama meydana gelir. Bu da telin iç direncini değiştirerek gerilme algılamasını büyütür. Tüm gerilmeler de Gauge Faktör denilen, gerilim hassasiyeti faktörü aşağıdaki eşitlikle hesaplanır.

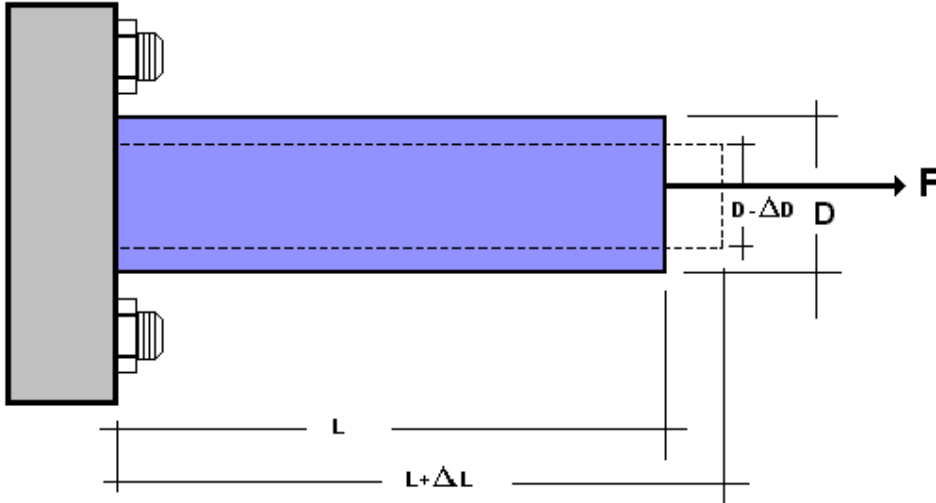
$$\text{GF} : (DR / R) / (DL / L)$$
$$: (DR / R) / \text{Burkulma}$$

İdeal tip yük hücresi, yalnızca dış etkiyle meydana gelen zorlama sonucu hücredeki şekil değişikliğini elektriksel dirence çevirendir. Bununla beraber uygulamalarda çevre sıcaklığı, malzemenin imalat kusurları, yük hücresinin altındaki yüzeye olan yapışma miktarı ve metalin esnekliğe karşı fiziksel stabilitesi, elektriksel direncinin değişimini etkiler.

Farklı materyallerin aynı yöndeki gerilimlere karşı tepkisi de farklıdır. Bir metale uygulanan yük kristal seviyede değişik aksenal gerilemeler oluşturur. Kuvvetin bastığı yöndeki ana kuvvet haricinde poisson ve torsional gerilme gibi ölçülebilir büyüklüklerin hepsi bunlara örnek sayılabilir..

Kesme (shear) zorlaması, materyalin baskı altında iken açısal kaçınıcı olarak ifade edilir. Örneklersek bir kitaba üst sağ köşeden güç tatbik edildiğinde, kuvvet kitaba Tropezoidal şekil almaya zorlar. Bu durumda oluşan shearing gerilmesi X ve Y eksenleri arasındaki açısal oran, yani tanjantı olarak düşünülebilir.

Poisson gerilmesi ise bir metal çubuğun incelik uzaması olarak tanımlayabiliriz. Bu tip gerilmeye uzamaya göre ters yöndeki negatif gerilme olarak da ifade edebiliriz. Boy artarken tel çapı düştüğünden iletkenlikte düşer.



$$\text{Çapsal Gerilme} : \Delta D / D$$

$$\text{Boylamsal Gerilme } (\epsilon_l) : \Delta L / L$$

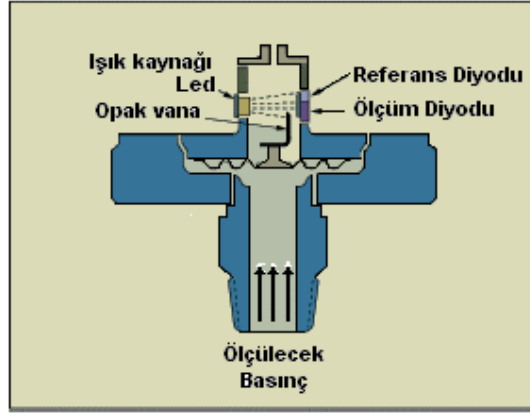
$$\text{Poisson Oranı } (\nu) : [ (\Delta D / D) / (\Delta L / L) ] = (\epsilon_t / \epsilon_l)$$

#### YÜK HÜCRESİ TİPLERİ :

Yük hücresinin kuvvet altındaki deformasyonu mekanik, optik, akustik, pnomatik ve elektriksel olarak ölçülebilir.

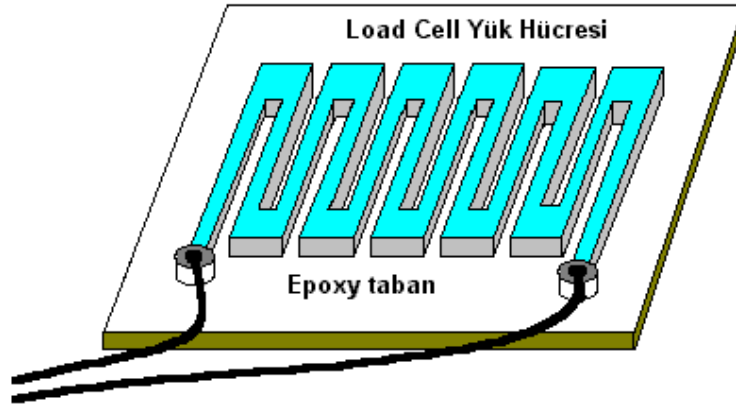
İlk imal edilen yük hücreleri gerilmenin boyda yarattığı uzamayı, orijinal boyu ile karşılaştırarak ölçen mekanik dizaynli aletlerdi. Örneğin hala kullanılan uzunluk ölçüm metresi gerilmeyi ölçmede kullanılabilir. Ancak bu tip aletlerin hassasiyetleri kaba ve kullanımı zordur.

Optik tabanlı ölçüm cihazları çok doğru ve hassas ölçüm yaparlar. Fakat çok sık arızalanmaları ve devamlı bakım zorunluğu endüstride kullanımı popüler kılmamaktadır. Bir optik ışın kaynağında üretilen ışığın cisimdeki gerilmenin yarattığı uzamaya bağlı olarak değiştirdiği aynaya çarpan ışığın açısız yansıma göre yoğunluk değişiminin algılanmasıyla ölçülür. Optik cihazların ideal olarak kullanım yeri laboratuvarlardır.



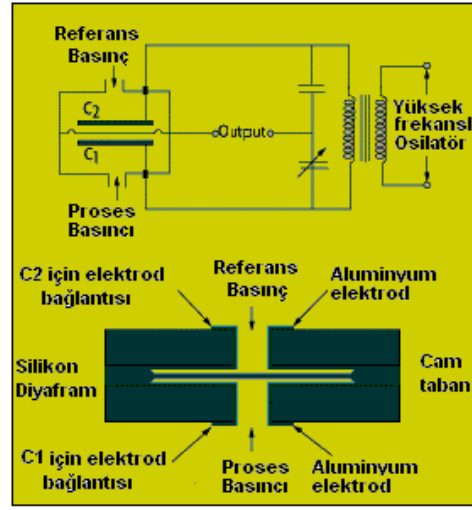
**Optik Load Cell**

Materyal gerilmesinin parametre olarak en uygun olarak ölçülebildiği metod ise uygulanan yüke karşı elektriksel direnç üreterek iletkenin boyundaki mikroskopik değişimin ölçülmesidir.



Bu tip celler şu an en yaygın kullanım alanına sahiptir. Burada daha çok bu tip yük hüresi (Strain Gauge) 'nden bahsedilecektir.

Kapasitif ve İndüktif tip yük hücreleri imal edilip kullanılmaktaysa da, vibrasyona karşı zayıf kalmaları ve buradan kaynaklanan hataların azaltılması için kompleks montaj elemanların kullanılması ve sık arızalar bu tip cihazların kullanımını engellemektedir.



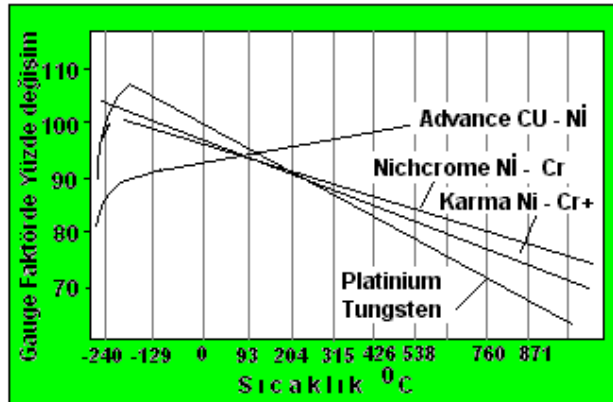
**Kapasitif Tip Yük Hücresi**

İlk metalik tel tip yük hücreleri 1938 de imal edilmiştir. Bu tip ölçüm hücreleri 0.025 mm çapındaki iletken telleri bir ızgara gibi sararak Epoxy reçine kaplı ince bir film tabakası altında gerilime maruz kalacak yüzeye yapıştırılmaktaydı.

Bu yüzeye bir kuvvet uygulandığında, yüzeydeki uzunluk değişimi, hücrenin boyunu uzaltıp çapını küçültmekte gerilme kuvvetine bağlı olarak şeritli ızgara'nın direncini lineer olarak değiştirmektedir. Bu ızgara tipli yük hücresi ve alttaki yüzeye "metalik bağlama yapışkanı" birlikte hareket etmekte, bu yapışkan aynı zamanda metal yüzeyi ile yük hücresi arasında yalıtkan olarak kullanılmaktadır.

Bir yük hücresinin gerilim etkisiyle ürettiği elektriksel sinyalin stabil olması ve çevresel şartların (mesela sıcaklık) ölçmede yarattığı sapmaların etkisinin hesaba katılması gerekir .Yük hücrelerinin çoğu sıcaklığa duyarlı olduğundan iletkenlik parametresi değişmekte ve zaman geçtikçe bu etki daha fazla artmaktadır. Kısa süreli testlerde bu etki problem yaratmazken, endüstriyel uygulamalar gibi uzun süreye yayılan ölçümlerde karakteristikteki bu değişim dikkate alınmaktadır.

Her yük hücresinin iç direnci Gevç Faktörü ( GF ) denilen, direnç, sıcaklık katsayısı, ısıl katsayı ve stabiliteyle beraber anılan bir katsayıya sahiptir



Yük hücresini oluşturan iletken teller Bakır-Nikel, Nikel-Krom, Platinyum-Nikel ve Nikel-Demir gibi metal alaşımlardan imal edilmektedir.

## Direnç Tip Yük Hücrelerinde Kullanılan Alaşımlar ve Özellikleri :

<u>Metal Cinsi</u>	<u>Alaşım Yüzde Miktarı</u>
Platinyum-Nikel	%90 hacim Pt-%10 Ni
Bakır-Nikel	%55 hacim Cu-%44 Ni-%1 Mn
Nikel-Krom	%65 hacim Ni-%20 Fe-%15 Cr
Karma	%52 hacim Fe -%36 Ni-%8,5 Cr-%3,5 Mn

## Metallerde İletkenlik ve Direnç :

İletkenlik metalin içinden geçen akıma karşı gösterdiği geçirgenlik seviyesi, direnç ise metalin akıma karşı gösterdiği engel ya da kısıtlama olarak ifade edilir.

Bir A kesitine sahip metalde direnç ;

$$R = \rho \times L / A \text{ dır.}$$

Burada  $\rho$  : metalin iletkenliği  
L : iletkenin boyu  
A : iletkenin kesiti, alanıdır.

Elektriksel direnç sıcaklığa bağlı olarak değişir. Bazı malzemelerde iletkenlik artarken bazılarında ise azalır. Grafit gibi karbon esaslılarda düşerken, metallerde ise yükselir. İletkenliğin sıcaklığa bağlı olarak değişimini veren eşitlik ;

$$\rho_T = \rho_{20}^0 ( 1 + \alpha \Delta T ) \text{ dır.}$$

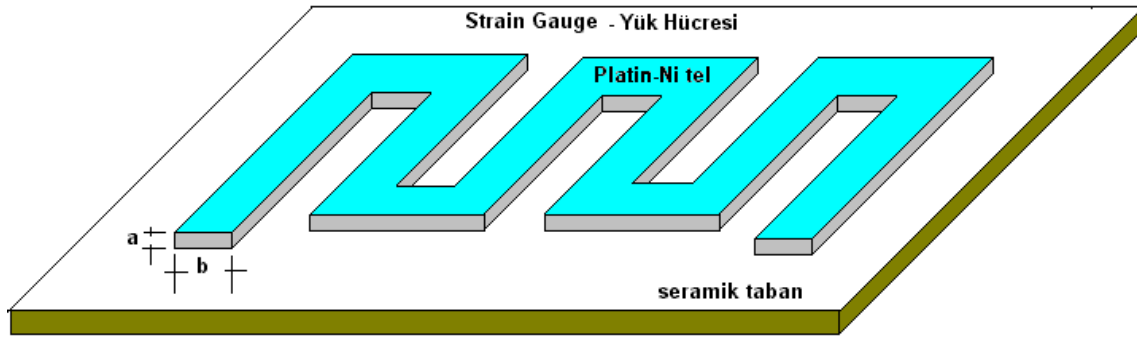
Burada  $\rho_{20}^0$  : iletkenin 20 °C deki öz direncidir.  
 $\alpha$  : Öz direnç sıcaklık sabitidir.  
 $\Delta T$ : İletkenin 20 °C den farklı ortamlardaki sıcaklık farkıdır.  
( T – 20 ) °C dir.

Dolayısıyla direnç parametresini sıcaklığa bağlı olarak yazarsak ;

$$R = \rho_T \times L / A = \rho_{20}^0 ( 1 + \alpha \Delta T ) \times L / A \text{ bulunur.}$$

### UYGULAMA:

Aşağıdaki şekilde görülen Strain Gauge'nin "a" kesiti 0,005 mm, "b" kesiti 0,1 mm olan dikdörtgen biçimli Platinyum%90 – Nikel%10 alaşımdan imal edilmiştir. Yük hücresinin 20 °C sıcaklıkta, 300 ohmluk dirence sahip telden sarabilmemiz için ne kadar boyda tel kullanmalıyız.



Platinyum – Nikel karışımının öz direnci :  $29,8 \cdot 10^{-8}$  ohm .m dir

$$R = \rho_T \times L / A$$

$$300 = (29,8 \cdot 10^{-8} \times L) / (0,005 \cdot 10^{-3} \times 0,1 \cdot 10^{-3}) \text{ ise}$$

$$L = (300 \times 0,0025 \cdot 10^{-6}) / 29,8 \cdot 10^{-8}$$

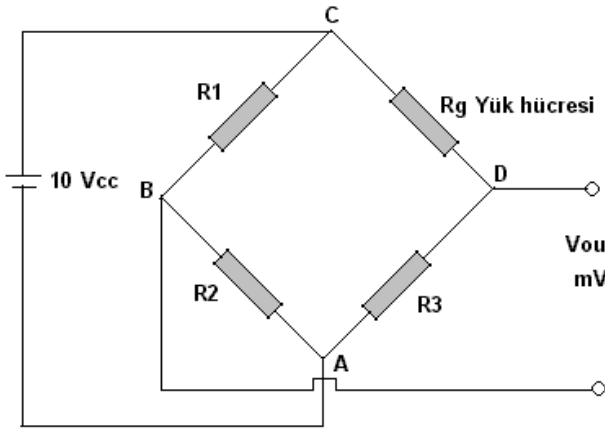
$$L = 0,005 \cdot 10^{+2}$$

$$L = 0,5 \text{ metre}$$

Eğer seramik tabanın eni ve boyu 1,2 cm ise, Platinyum – Nikel alaşımından yan yana kalıptaki kaç tane kanala “erimiş Platinyum – Nikel tozu” püskürtmemiz (sarmamız) gerekir. İletkenler arasındaki boşluğu 0,1 mm kabul ediniz.

N tur adedi :  $1,2 \times 10 \text{ mm} / 0,2 \text{ mm} = 60$  tur sarılması gerekir.

## WHEATSTONE KÖPRÜSÜ :



$$V_{out} = V_{cc} \left[ \frac{R_3}{R_3 + R_g} - \frac{R_2}{R_1 + R_2} \right]$$

Wheatstone köprüsü endüstride pek çok parametrenin ölçümünde bir referans seviyesi esas alınarak, karşılaştırmalı sinyal üretiminde kullanılan bir devredir.

Yukarıda resmi görülen Wheatstone köprüsü çalışma prensibi olarak, eğer R1, R2, R3 ve Rg dirençleri birbirine eşitse Vcc beslemesi köprü girişine uygulandığında B ve D çıkışında herhangi bir voltaj okunmaz .Yani çıkış sıfırdır.

Eğer yük hücresinin Rg'ye bağlı olduğu bacakta uygulanan yükten dolayı strain gauge' nin direnci değişirse çıkış terminalinde voltaj artmaya başlar.

G köprü dizaynı da denilen bu yöntemde Rg direnci uygulanan kuvvetle direnci değişir.

Yük hücreleri Wheatstone köprüsüne 1 tane bağlanabileceği gibi 2,3 ve 4 bacağa da sabit dirençler yerine Yük hücreleri bağlanabilir.

Toplam gerilim  $V_{out} = V_{cd} - V_{cb}$  den hesaplanır. Yada yukarda yazıldığı gibi ;

$$V_{out} = V_{cc} \left[ \frac{R_3}{R_3 + R_g} - \frac{R_2}{R_1 + R_2} \right]$$

'den hesaplanır.

Diğer kullanışlı olan bir yöntemde bir bacağa bağlanan Yük hücresi uygulanan gerilme kuvvetini ölçerken diğer bacağa bağlanan hücre sıkıştırma kuvvetini ölçebilir.

4 köprülü uygulamalarda 2 yük hücresi(Geyc) gerilme kuvvetini pozitif yönde ölçerken diğer iki hücre sıkıştırma kuvvetini negatif etkisini ölçer. Bu durumda çıkış sinyali dört adet geyce uygulanan kuvvetlerin yarattığı gerilim kuvvetleriyle orantılı bir çıkış olur.

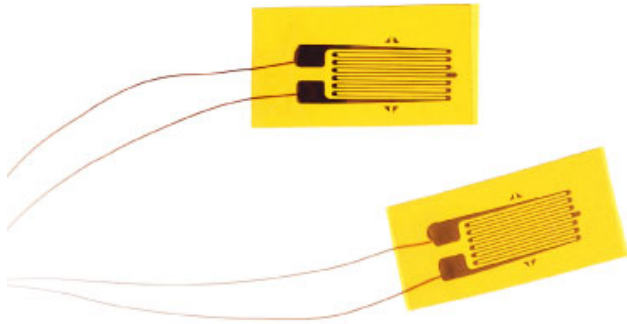
Dört hücreli uygulamada ana test çubuğuna her yönden gelen kuvvetlerle, germe, kesilme ve aksenal etkili kuvvetler beraber ölçülmüş olur. Genelde Kantar sistemi gibi ağırlık ölçümlerinde bu metod uygulanır.

### Yük Hücresi İmalatı :

Yük hücresinin yerleştirileceği yüzey alkol ve benzeri sıvılarla temizlenir ve kurutulur. 10x10 mm boyutundaki "kare kalıp" metal çubuğun üzerine yerleştirilir . Bir eritme tabancası kanisteri (deposu) 'ne toz seramik yerleştirilir. Oksijen veya asetilen gaz ateşlenerek seramik tozları yanmanın içinde eriyerek kalıba girer ve metal yüzeye fışkırarak yapışır burada kalınlığı 0,2 mm lik seramik tabaka oluştururlur.

Metal ızgaralı tabakayı oluşturmak için "10 –15 kanallı kalıp" seramik tabaka üzerine yerleştirilir. Aynı tabanca kanisteri bu sefer %90 pilatin %10 nikel tozu konur. Asetilen ateşlenerek toz içine akar ve eriyerek seramik tabaka üzerinde ince metal iletken tabaka oluşur.

Yük hücresinin seramik film üzerindeki görünümü aşağıdaki gibidir.



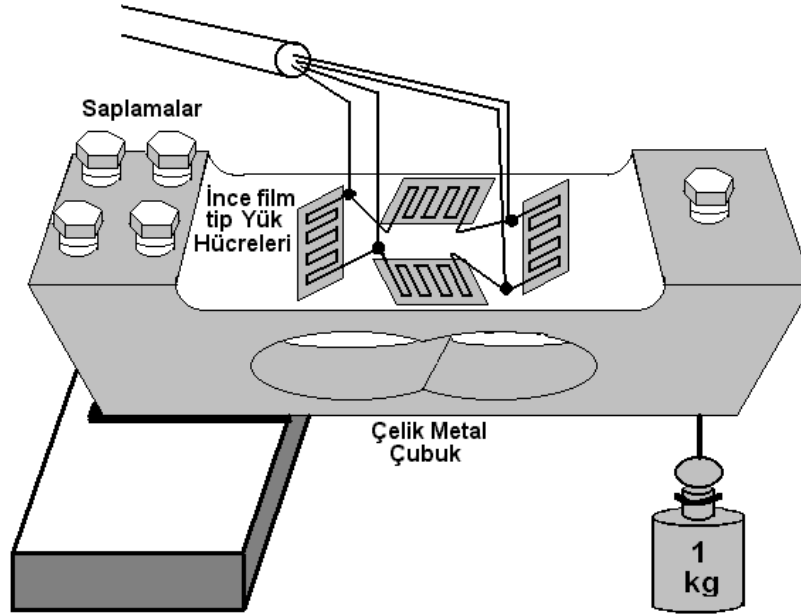
İnce film tip diye de adlandırılan bu tip yük hücreleri gerilime maruz çelik çubuğa moleküler olarak bağlandığından, yerleştirme çok çok iyidir ve difüzyon tekniğiyle üretildiği için de ( bu sektörde bir gelişme göstererek ) yapıştırma gereksinimini tamamen ortadan kaldırmıştır. Yapıştırma tiplerine göre metalle aralarındaki yalıtkanlık oldukça yüksek olduğundan bu durum kayma, histeris gibi bozucu sinyalleri oldukça düşürmüş ve iyi bir performansa kavuşmuşlardır.

## Transducer Olarak Dizayn Edilmesi :

Yük hücreleri imal edildikten sonra kuvvet, yüklenme,basınç, tork ve ağırlık ölçümünde kullanılmak üzere uygun metal çubuk ve diyaframlara monte edilir. Bu çubuklar transducer olarak adlandırılır.

Burada ağırlık ölçümünde yük hücrelerinin nasıl çalıştığı açıklanacaktır.

Aşağıda ağırlık ölçümünde kullanılan Load Cell montajı görülmektedir. Wheatstone köprüsü bağlantısına özellikle dikkat edilmelidir.



Yük hücreleri 4 adet olmak üzere çelik karkas üzerine monte edilmiştir. Dizayn olarak aşağı – yukarı, ileri ve geri bölgelerden gelen tüm hareket ve güçleri ölçebilecek kabiliyettedir. Çünkü bu bölgelerden gelen herhangi bir gerilmeye karşı dört cell'den biri mutlaka cevap verecektir.

Ayrıca bu dört cell Wheatstone köprüsünün her bir bacağına monte edildiğinden çevre sıcaklığındaki bir artış hepsini aynı oranda etkileyeceğinden farklı direnç uyumsuzluğu da ortadan kalkacaktır.

Yük hücreleri Epoxy reçine üzerine moleküler olarak sıcak erimiş püskürtme ile kalıplandığından atomlar arasında moleküler bağlantı güçlü olup üzerindeki iletken kanalları aynı anda çalışacaktır. Bu ince film imalatı celler kuvvetli bir yapıştırıcı ile metal çubuk üzerine yapıştırılmıştır ve bağlandığı yüzey ile beraber hareket etmektedir. Dolayısıyla uygulanan kuvvet nedeniyle metal yüzeyindeki esneme cell iletkenlerini de uzatıp kısaltacağından iç direnç değişimi nedeniyle bir sinyal üretilmesine neden olacaktır. Bu sinyal sonra yükseltip, lineerleştirilir ve bir elektronik indikatörde belirlenen "Ölçüm Aralığı"nda ağırlık bilgisi olarak karşımıza çıkar.

**Uygulanan ağırlık ( Kg )**                      **Load cell Çıkışı ( mV )**

0.0

0.00



10.0	0.10
20.0	0.20
30.0	0.30
40.0	0.40

Yukarda referans ağırlık takılarak load cell hücre sine uygulandığında vereceği voltaj çıkışı gösterilmiştir. Bu voltaj bir indikatöre giriş olarak verilecekse indikatörün gösterge aralığına göre bir amplifikatör de yükseltilmelidir.