



## MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

### MAK4291 LABORATUVAR DERS KİTABI

	Deney Adı	Sayfa
Makine Teorisi	Rezonans Deneyi	2-8
Otomotiv 1	Otto Motor Elemanları Deneyi	9-22
Otomotiv 2	Dizel Motor Elemanları Deneyi	23-31
Hidromekanik 1	Buhar Kazanları Deneyi	32-37
Hidromekanik 2	Pompa Karakteristiği Deneyi	38-41
Mekanik 1	Elastik Eğri Deneyi	42-46
Mekanik 2	Burkulma Deneyi	47-52
Termodinamik 1	Bernoulli Deneyi	53-61
Termodinamik 2	Soğutma Deneyi ve İklimlendirme Deneyi	62-69
Konstrüksiyon	Cıvata Bağlantılarında Moment – Kuvvet İlişkisinin İncelenmesi Deneyi	70-74
İmal 1	Ölçme Tekniği Deneyi	75-82
İmal 2	Sertlik Deneyi	83-94
	Laboratuvar Telafi Onay Formu	95

Makine Teorisi	<b>Deney 1:</b> Makine Dinamiği Laboratuvarı (A Blok 1. Kat – A109)
Otomotiv	<b>Deney 1:</b> Otomotiv Laboratuvarı (E1 Blok Giriş Kat) <b>Deney 2:</b> Otomotiv Laboratuvarı (E1 Blok Giriş Kat)
Hidromekanik	<b>Deney 1:</b> Hidromekanik Laboratuvarı (E1 Blok Giriş Kat) <b>Deney 2:</b> Hidromekanik Laboratuvarı (E1 Blok Giriş Kat)
Mekanik	<b>Deney 1:</b> Mekanik Laboratuvarı (A Blok Zemin Kat – AZ 12) <b>Deney 2:</b> Mekanik Laboratuvarı (A Blok Zemin Kat – AZ 12)
Termodinamik	<b>Deney 1:</b> Termodinamik ve Isı Tekniği Laboratuvarı (E1 Blok Giriş Kat) <b>Deney 2:</b> Termodinamik ve Isı Tekniği Laboratuvarı (E1 Blok Giriş Kat)
Konstrüksiyon	<b>Deney 1:</b> Konstrüksiyon Laboratuvarı (A Blok Zemin Kat – AZ 11)
İmal	<b>Deney 1:</b> E3 Blok <b>Deney 2:</b> E3 Blok

# GÜZ DÖNEMİ MAKİNE TEORİSİ, SİSTEM DİNAMİĞİ VE KONTROL

## 1. DENEYİ

1. **DENEY ADI:** Rezonans Deneyi

2. **DENEYİN AMACI:** Tek serbestlik dereceli bir sistemin rezonans frekansını deneysel ve analitik olarak bulmak.

3. **TEORİK BİLGİLER VE TANIMLAR:**

### 3.1. Tanımlar

**Titreşim:** Bir cismin denge konumu etrafında yapmış olduğu salınım hareketlerine titreşim denir.

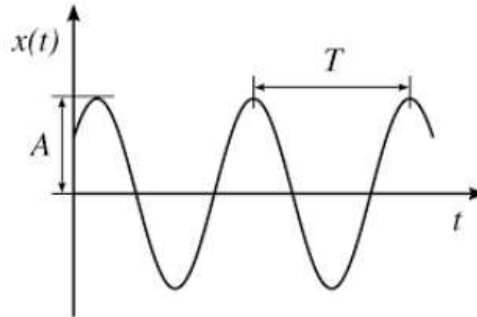
**Serbestlik Derecesi:** Bir sistemin herhangi bir anda bütün parçalarının konumlarının tamamen belirli olabilmesi için gereken birbirinden bağımsız minimum koordinat sayısıdır.

**Genlik:** Titreşen cismin denge konumuna göre maksimum yer değıştirmesi.

**Periyot:** Titreşim hareketinin bir kez tekrarlanması için gereken süre.

**Frekans:** Birim zamandaki titreşim sayısı.

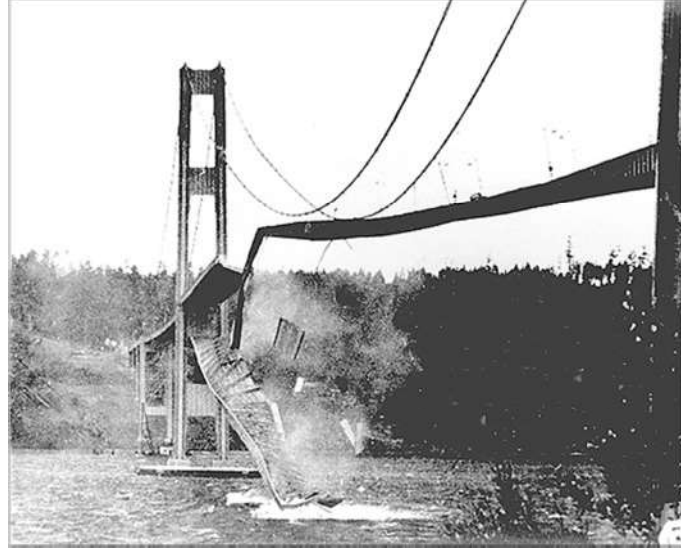
**Harmonik Hareket:** Bir hareket eşit zaman aralıklarından sonra kendini tekrarlıyorsa buna periyodik hareket denir. En basit periyodik hareket şekli harmonik harekettir (Şekil 1). İvmenin yer değıştirme ile orantılı olduğu titreşimlere ise basit harmonik hareket denir.



Şekil 1. Harmonik Hareket

**Rezonans:** Dışarıdan tahrik eden zorlayıcı etkinin frekansı, sistemin doğal frekansı ile çakışırsa sistemin salınımlarının giderek büyüdüğü ve sistemi tahrip edecek mertebeye ulaştığı görülür. Bu olaya rezonans denir, sistem için tahribat yaratabilir.

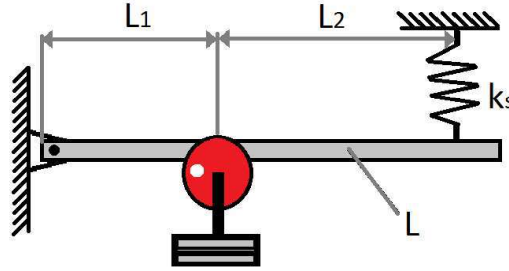
Tasarımcı rezonansı dikkate alamazsa, sonuçlar yıkıcı olacaktır. Rezonans olayının en kötü örneklerinden birisi Tacoma Köprüsü' dür. 1940 yılında, Tacoma Köprüsü' nün çökme sebebi, dış kuvvet frekansı (bu durumda rüzgâr) köprü'nün doğal frekansı ile çakışmasıdır.



Şekil 2. Tacoma Köprüsü'nün Çökmesi

### 3.2. Sistemin Matematiksel Modeli

Bu bölümde, deney sisteminin matematiksel modeli türetilmiştir. Matematiksel modelin türetilmesi için Lagranjian yaklaşım uygulanmıştır.



Şekil 3. Titreşim Deney Düzeneginin şeması

Sistem tek serbestlik dereceli olduğu için hesaplamalar sonucunda bir adet denklem elde edilecektir.

İlk olarak, Lagrange Eşitliğinin genel ifadesi aşağıdaki gibidir.

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial E_k}{\partial \dot{x}_j} \right) - \frac{\partial E_k}{\partial x_j} + \frac{\partial E_p}{\partial x_j} + \frac{\partial E_D}{\partial \dot{x}_j} = Q_j \quad (1)$$

Bu eşitlikte

$E_k$  : Sistemin toplam Kinetik Enerjisi

$E_p$  : Sistemin toplam Potansiyel Enerjisi

$E_D$  : Sistemin toplam Sönüm Enerjisi

$Q_j$  : Genelleştirilmiş kuvvet

$x_j$  : Genelleştirilmiş koordinat.

Başlangıç olarak potansiyel enerjiyi çıkarılır;

$$E_p = \frac{1}{2} k_s (L_1 + L_2)^2 \theta^2 \quad (2)$$

Sistemin kinetik enerjisi

$$E_k = \frac{1}{2} J \dot{\theta}^2 \quad (3)$$

Burada atalet momenti (J)

$$J = m_s L_1^2 \quad (4)$$

Lagrangian denklemi için kısmi türevleri alınırsa;

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial E_k}{\partial \dot{\theta}} \right) = J \ddot{\theta} \quad \frac{\partial E_k}{\partial \theta} = 0 \quad \frac{\partial E_p}{\partial \theta} = k_s (L_1 + L_2)^2 \theta \quad (5)$$

$Q = FL_1$  (kirişin O noktası etrafında sonsuz küçük döndüğü varsayılarak)

Lagrange Denkleminde kinetik ve potansiyel enerjinin türevleri yerlerine yazılırsa;

$$J \ddot{\theta} + k_s (L_1 + L_2)^2 \theta = FL_1 \quad (6)$$

bulunur.

#### 4. DENEY SİSTEMİ:

Tek serbestlik dereceli kütle yay sistemi olan deney düzeneği Şekil 4'teki gibidir. Burada sistemi tahrik etmek için verilecek olan bozucu giriş, sistemde bulunan ve çeşitli frekanslarda çalıştırılan motora bağlı disk şeklinde dengesiz bir kütlede oluşan merkezkaç kuvveti ile meydana gelir.



**Şekil 4.** Deney Sistemi

## 5. DENEYİN YAPILIŞI:

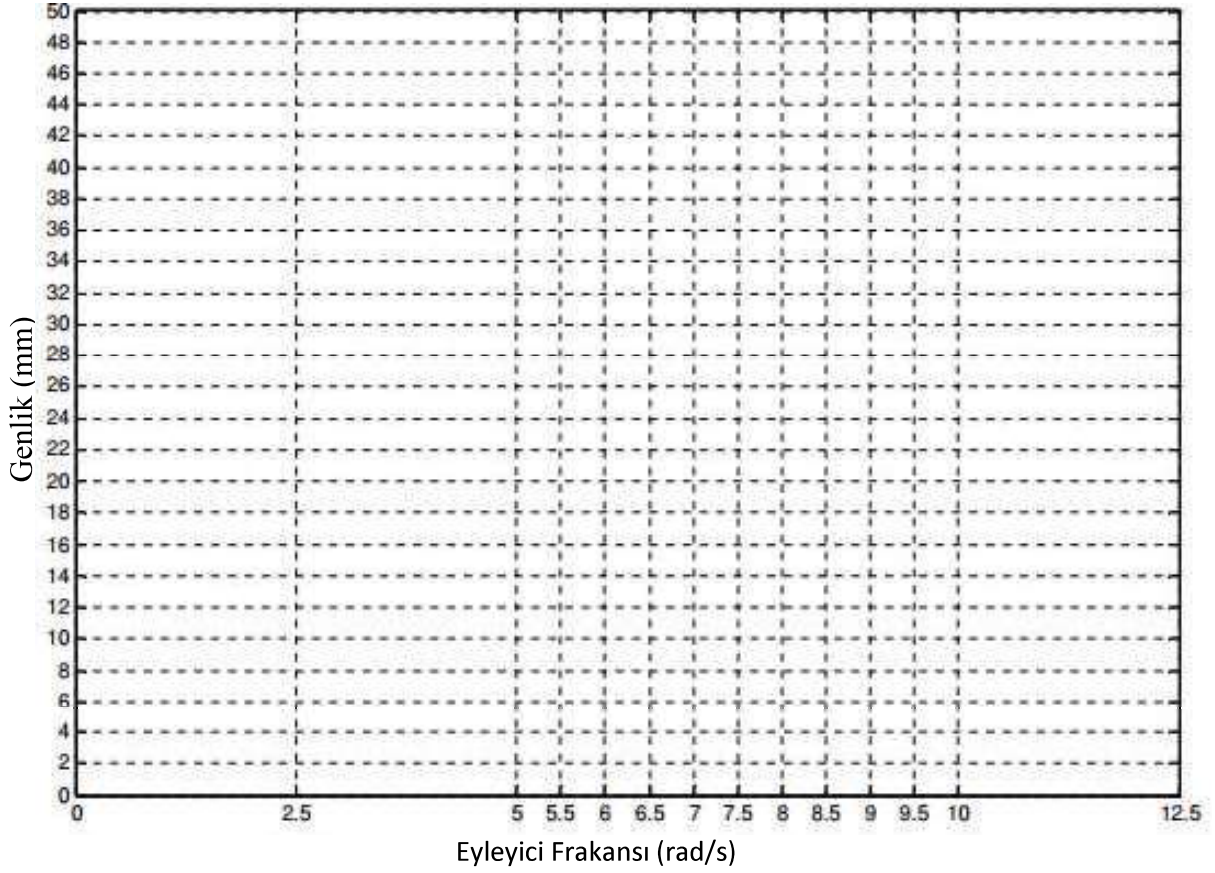
Başlamak için;

1. Tablo 1’de verilen frekanslarda kirişin denge noktasından yaptığı maksimum deplasmanlar ölçülür ..... (m).
2. Aşağıda verilen tablo kirişin yer değiştirmelerine göre doldurulur.

**Tablo 1.** Cihaz Frekansı Dönüşüm Tablosu

Sistem Frekansı	Frekans: $f (x100/2,5)$ (Hz)	Frekans $\omega = 2\pi f$	Genlik (m)
2,5	100	10,47	
5	200	20,93	
5,5	220	23,03	
6	240	25,12	
6,5	260	27,21	
7	280	29,31	
7,5	300	31,40	
8	320	33,49	
8,5	340	35,59	
9	360	37,68	
9,5	380	39,77	
10	400	41,87	
12,5	500	52,33	

3. Deplasman ölçümlerine göre frekansa karşı genlik çizimi yapılır.



Şekil 5. Grafik çizim tablosu

4. Sistemin doğal frekansı bulunur (grafikğin zirve noktası sistemin doğal frekansını gösterir).

### Analitik çalışma

1. **Adım:** Sisteme ait yay sabitinin hesaplanması

- Sabit durumda (yay deney düzeneğine bağlı iken) yayın iki ucu arasındaki mesafe ölçülür: ....(m)
- Yay söküldükten sonra iki ucu arasındaki mesafe ölçülür : ....(m)
- Yaya belirli ağırlıklar bağlandıktan sonra oluşan yer değişimi, bağlantı noktaları arasındaki mesafe ölçülür: ....(m)

Tablo 2. Ölçüm Değerleri

Eklenen kütle (kg)	$\delta_{(c-b)}$ (mm) (c-b)	$\delta_{(a-b)}$ (mm) (a-b)

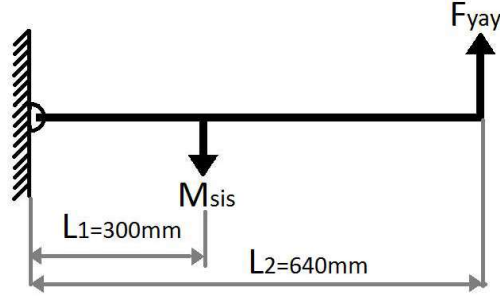
d. Yay katsayısı hesabı ( $K$ )

$$F = k\delta(c - b) \quad (7)$$

Burada,  $g=9.81 \text{ (m/s}^2\text{)}$  ve  $F \text{ (N)}$  yaya uygulanan kuvvettir.

## 2. Adım: Doğal frekansın hesaplanması

- a. Sistemin kütlesi hesaplanır (Sistemin momenti kirişin sabit noktasına göre (O) alınarak).



Şekil 6. Deney düzeneğinin serbest cisim diyagramı

$$F_{yay} = \frac{M_{sistem} \delta_{(a-b)}}{\delta_{(c-b)}} \quad (8)$$

- b. Sistemin diferansiyel denklemi aşağıdaki gibidir;

$$J\theta + kL_2^2\ddot{\theta} = F(t)L_1 \quad (9)$$

Burada,

$$J = M_{sistem}L_1^2 = \dots\dots\dots(\text{kg.m}^2) \quad (10)$$

Sonuç olarak sistemin doğal frekansı;

$$\omega_n = \sqrt{\frac{kL_2^2}{J}} \quad (11)$$

şeklindedir.

Adı-Soyadı :  
Numara :  
İmza :

Deneyi Yürüten Öğretim Elemanı :  
Deneyin Yapıldığı Tarih :  
Grup-Alt Grup :

NOT

**Tablo 3. Sonuçlar**

$\omega_n$ (Deneysel Yolla Elde Edilen)	K(N/m)	J(kg.m <sup>2</sup> )	$\omega_n$ (Analitik Yolla Elde edilen)

### Sonuçlar ve Tartışma

.....

.....

.....

.....

.....

Lütfen işlemlerinizi bu alana yazınız. (Gerek duyulduğu takdirde Ek A4 kağıdı kullanılabilir.)





## GÜZ DÖNEMİ OTOMOTİV DENEYİ

**1. DENEY ADI:** Otomotiv I (Otto Motor Elemanları) Deneyi

**2. DENEYİN AMACI:** Benzinli bir motorun demonte ve montajının uygulaması ve bazı motor elemanlarının boyutlarının belirlenmesi

### 3. TEORİK BİLGİLER VE TANIMLAR

Motorlar, yakıtın sahip olduğu kimyasal enerjiyi yanma tepkimeleriyle beraber ortaya çıkan ısı enerjisinden, mekanik işe dönüştüren makinelerdir. Motorları, yakıtın yakıldığı ortama bağlı olarak, içten yanmalı ve dıştan yanma motorlar olarak iki ana başlıkta sınıflandırmak mümkündür. Bizim konumuzu oluşturan içten yanmalı motorlar ise yanmanın başlama mekanizmasına bağlı olarak kıvılcım ateşlemeli motorlar ve sıkıştırma ateşlemeli motorlar olarak iki ana başlıkta gruplandırılmaktadır. Bilindiği üzere kıvılcım ateşlemeli motorlar, çalışma prensipleri açısından Otto ideal çevrimine daha yakın bir karakteristikte iken sıkıştırma ateşlemeli motorlar ise Diesel ideal çevrimine daha yakın bir karakter sergilemektedir.

Otto çevrimini ideal çevrim olarak kabul ederek bu çevrime mümkün mertebe yakın çalışmayı hedefleyen ve yakıt olarak yaygın olarak benzin, likit petrol gazı (LPG) gibi yakıtlarını kullanan motorlarda ilk alev çekirdeğinin oluşumu, sağlıklı çalışma şartlarında, bir dış etki ile mümkündür. Sıkıştırma stroğunun sonlarına doğru yanmaya başlayan yakıt hava karışımını tutuşturmak silindir içerisinde bulunan ve 20000V civarında bir verim veren buji merkez elektrodu ile tırnağı arasında oluşan kıvılcım yardımıyla gerçekleşmektedir.

Genel olarak kıvılcım ateşlemeli ve sıkıştırma ateşlemeli motorların çalışma mekanizmaları ve işletme parametrelerine dair geçmiş derslerde yeterince teorik bilginin sunulması sebebiyle bu başlık altında bu kısımlardan ziyade içten yanmalı motor elemanlarına dair bilgi verilecektir. Bilgi verilecek motor elemanlarının bir kısmı piston, segman gibi çevrim tipinden bağımsız olarak tüm içten yanmalı motorlarda kesin olarak bulunan elemanlardan oluşurken bir kısmı da ateşleme bujisi gibi sadece Otto çevrimini ideal çevrim kabul eden kıvılcım ateşlemeli içten yanmalı motorlarda mevcut olan elemanlardır.

### İçten Yanmalı Motorların Temel Elemanları:

**Motor Bloğu:** Motor bloğu içten yanmalı motorların en büyük parçalarından biridir. Motor bloğu diğer tüm motor elemanlarına gövdelik yapmaktadır. Motor bloğunun iç yüzeyi piston ve segmanların hareket ettiği silindiri barındırır. Dolayısıyla motor bloğunun iç yüzeyi yüksek yanma basıncı ve sıcaklıklara maruz kalmaktadır. Bu sebeple motor bloğu yüksek basınca dayanıklı malzemeden yapılmalı ve gerekli ısı transferine izin verecek özellikte olmalıdır.

Motorlar soğutma sistemine göre su soğutmalı ve hava soğutmalı olarak iki grupta kategorize edilebilir. Su soğutmalı motorlarda soğutma kanalları motor bloğunun içerisinde dış kısım ile silindir cidarları arasında kalan bölümde konumlanmıştır. Hava soğutmalı motorlarda ise bloğun dış yüzeylerinde hava kanatçıkları yer almaktadır. Görünüş olarak daha karmaşık geometriye sahip olan motor bloğu döküm yoluyla imal edilir ve ardından istenen yüzey kalitesi ve formunu oluşturabilmek için talaşlı imalat proseslerine tabi tutulur. Döküm malzemesi olarak dökme demir tercih edilebildiği gibi son yıllarda alüminyum motor blokları oldukça popülerdir. Döküm malzemesi olarak alüminyum tercih edilmişse silindir yüzeyleri çelik kovanlarla desteklenmektedir.



**Silindir Kafası:** Motor bloğunun alt ve üst kısımları her iki yandan da açık durumdadır. Bu sebeple kendi başına kapalı bir hacim yaratamazlar. Silindir kafası yanma odasının üst kısmını kapatarak çevrimin gerçekleşmesini bir yandan mümkün kılarken diğer yandan da motorun çalışabilmesi için zorunlu olan supapları, motor tipine bağlı olarak buji ve enjektörleri de üzerinde bulundurur. Silindir kafası döküm yoluyla imal edilir, bununla birlikte belli yüzeyleri talaşlı imalata tabi tutulur. Motor bloğu ile birleştirilirken arada silindir kafa contası kullanılır. Silindir kafası aynı zamanda emme ve egzoz manifoldları ile supap oturma yüzeyi bölgesi yani dolgu ve ya havanın silindire giriş bölgesi arasında irtibatı sağlamaktadır. Silindir kafasında iç

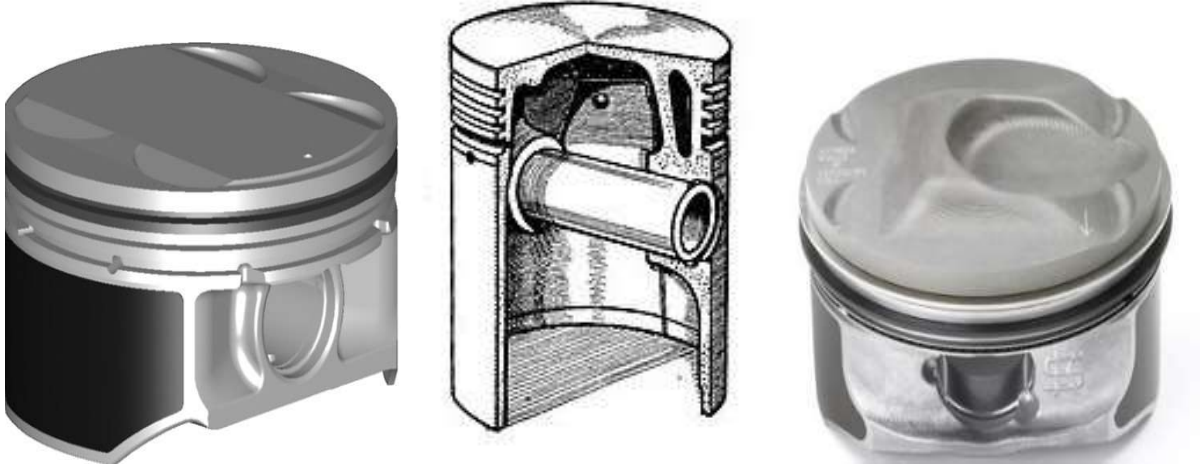
bir kanal aracılığıyla bu işlem gerçekleştiği için burada yüzey pürüzlülüklerinin mümkün olduğunca düşük tutulması volumetrik verimin yüksek tutulması için önem arz etmektedir. Zira bu kanal geometrisi gereği geleneksel talaş kaldırma metotlarıyla işlenememektedir.



**Piston:** Bilindiği üzere içten yanmalı motorlar yakıtın sahip olduğu kimyasal enerjisinin yanma sonucunda ısı enerjisine dönüşmesi ve bu ısı enerjisinin de hareket enerjisine dönüştürülmesi prensibiyle çalışmaktadır. Isı enerjisinin mekanik hareket enerjisine dönüştürülmesi işlemi piston sayesinde mümkün olmaktadır.

Sıkıştırma stroğu sonlarında hacmi küçülen gazların sıcaklık ve basıncı artış gösterir, bu sürecin ardından gerçekleşen yanma ile birlikte yanma odası sıcaklık ve basınçları artış göstermektedir. Böylelikle yanma odası içerisindeki iş gazının entalpisi artış gösterir ve piston üst yüzeyine pozitif iş yaparak, pistonu alt ölü noktaya doğru deplasmana zorlar. İlerleyen maddelerde değinilecek olan bazı yardımcı elemanların da yardımıyla piston gidip-gelme hareketi gerçekleştirir ve hareket oluşturulmuş olur.

Piston, piston tacı ve piston eteği olarak iki kısımda incelenmektedir. Piston tacı doğrudan yanma odası ile temas halinde olan kısımdır. Piston üst yüzeyi yanmanın ortaya çıkış mekanizmasına ve yakıt-hava karışımının oluşturuluş biçimine göre farklı geometrik şekillere sahip olabilmektedir. Pistonlar dökme demir ve alüminyum alaşımlı malzemelerden yapılmaktadırlar. Pistonlar silindir içerisinde sürekli olarak değişken ivme ve hızlarda hareket icra etmektedir. Buna bağlı olarak değişken ivmeler altında ciddi atalet kuvvetleri ortaya çıkmaktadır. Aynı zamanda motor hızının da değiştirilmek istendiği süreçlerde de pistonun ataleti kendini bir sorun olarak var etmektedir. Bu sebeple piston malzemesi özellikle yüksek hızda çalışan motorlar için daha ziyade en yüksek dayanım/özellik kütle oranını veren malzeme olan alüminyum alaşımlarından tercih edilmektedir. Döküm oluşturan segman yuvaları ve etek kısmının yanma odasına bakan yüzeyleri hassas talaşlı imalat proseslerine tabi tutulur.



**Krank Mili:** İçten yanmalı motorlardan elde edilen dönme hareketi krank mili sayesinde mümkündür. Daha önce değinildiği üzere pistonlar gidip gelme hareketi yapmaktadır. Krank mili ise biyel yardımıyla pistonun sahip olduğu öteleme hareketini üzerinde sahip olduğu mil ekseninden kaçık ve stroğa göre konumlandırılmış muyluların hareketi sonucunda krank mili ana eksenini üzerinde dairesel hareket yaratır.

Krank mili tek bir eksen üzerinde düzgün dağılmış bir kütleli kompozisyona sahip değildir. Öte yandan da biyel ile temas sonucunda ek kütleli kuvvetlere maruz kalmaktadırlar. Bu sebeple de krank millerinin dinamik olarak dengelenmesi gerekmektedir. Bu amaçla krank mili üzerinde dinamik dengenin sağlanması amacıyla karşı ağırlıklar konulur. Krank milleri döküm yoluyla imal edilirler. Ardından biyel ile temas halinde çalışan kısımlar ve yataklar düşük pürüzlülüğe sahip olacak şekilde talaşlı işleme tabi tutulur.



**Biyel:** Biyel pistonun doğrusal hareketinin krankın dairesel hareketine dönüştürülmesinde aracı olarak işlev görür. Bir başka deyişle pistonun hareketini krank miline iletmekle görevlidir.

Biyel üzerinde iki dairesel kanal bulunmaktadır. Bu dairesel kanallardan küçük olanı piston ile irtibatlandırılır ve biyel küçük başı olarak adlandırılır. Altta kalan kısım ise daha büyük çapa sahiptir ve yarım ay şeklindedir. Bu kısım da bir başka yarı ay şeklinde bir parça olan biyel kepiyle beraber krank miline bağlanır. Biyeler döküm yoluyla imal edilmektedir. Bileşik gerilmelere maruz kaldığı için atalet momentini arttırmak için I profilli bir ana gövdeye sahiptirler.



**Perno:** Piston üzerinde bulunan yatak ile biyel küçük başının birbiriyle irtibatlandırılmasını sağlamaktadır. Piston üzerinde mevcut olan silindirik delik ile biyel küçük başı eş eksenli konuma getirilir ve perno vasıtasıyla biyel piston üzerinden hareket alır. Pernonun merkezi eksenini boyunca hareket etmesini engellemek amacıyla yaylanma kabiliyeti olan çelik sarmal stoperler kullanılır.



**Segmanlar:** Segmanlar motor sürtünmelerinin düşürülmesi ve termal kilitlemeleri önlemek amacıyla piston ve silindir arasında konuşlandırılmış elemanlardır.

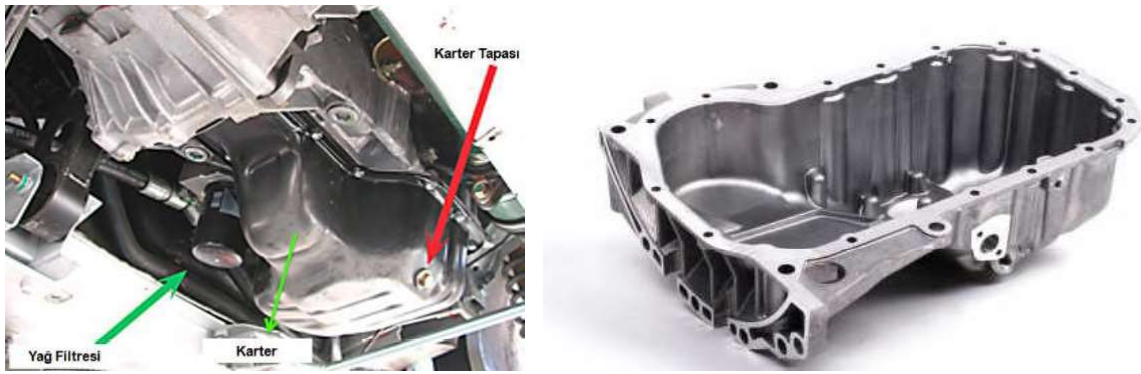
Yanma odası içerisinde çevrimin belli bir kısmında oldukça yüksek sıcaklıklar görülmektedir. Bu süreçte piston ile iş gazı arasında ciddi boyutlarda ısı transferi meydana gelmektedir. Bu süreçte ısınarak sıcaklığı artan pistonun genleşmesi ve silindir cidarlarına temas riski bulunmaktadır, bu durum şiddetlenirse termal kilitlenmelere yol açacak ve hareketi imkansız hale getirecek ya da aşınmayla sonuçlanacaktır. Öte yandan piston dinamiği açısından piston hareketi incelendiğinde tam anlamıyla doğrusal hareketten söz edemeyiz. Esasen piston gerek termal kilitlenme riskini ortadan kaldırmak gerekse de geniş bir yüzeyin birbiriyle temasından doğacak büyük sürtünme kuvvetlerinden dolayı birbiriyle temasta bulunmaz. Bu durum ancak belli anormal çalışmalarda görülmektedir. Bu iki parçayı birbirinden ayırmak, sürtünme yüzey alanını daha küçük değerlere sıkıştırmak, pistonu kılavuzluk ederek pistonun doğrusal hareket etmesini sağlamak, fazlaca ısınan pistonun ısı yükünü atmasını sağlamak segmanın başlıca görevleri arasında yer almaktadır.

Segmanlar yay çeliğinden üretilerek yüzey sertleştirme proseslerine tabi tutulur. Piston hareket yönünün değiştiği süreçlerde piston üzerindeki segman oturma yüzeyleri değişeceğinden dolayı segmanların darbe yüklerine karşı yeterli mukavemete sahip olmaları ve yüksek ısı transfer katsayısına sahip olması istenmektedir.

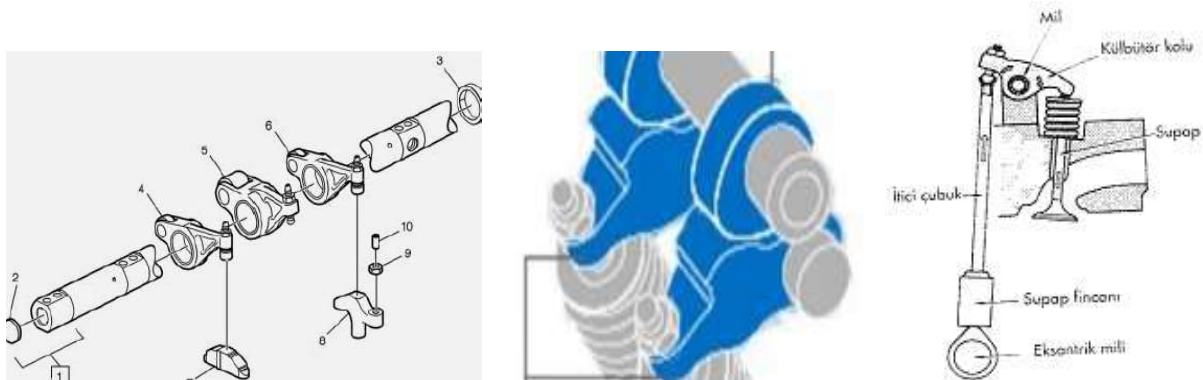
Bir çok motorun pistonu üzerine üç adet segman bulunmaktadır. Bu segmanlar birinci kompresyon segmanı, ikinci kompresyon segmanı ve sızdırmazlık segmanıdır. Yanma odası basıncı büyük oranda (%70 dolaylarında) birinci kompresyon segmanı tarafından karşılanmaktadır. Bu sebeple ikinci kompresyon segmanına nazaran daha kalın bir yapıya sahip olup çoğunlukla krom ile kaplanırlar. İkinci kompresyon segmanı ise genellikle nikel ile kaplanır. Sızdırmazlık segmanı aynı zamanda yağ sıyırma segmanı olarak da adlandırılmaktadır. Yük taşıma üzerinde pek bir etkisi bulunmayan bu segmanın yapısal olarak da silindir cidarında biriken fazlalık yağı yüzeyden kaldıracak farklılığa sahiptir.



**Karter:** Karter motor bloğunun alt kısmının atmosfer ile bağlantısını kopartan elemandır. Motoru alttan gelecek darbelere karşı korur. Aynı zamanda motor yağlama yağı için rezervuar işlevi görmektedir. Motor yağı karterde birikir ve sonrasında tekrardan buradan bir pompa yardımıyla yağlama kanallarına sevk edilir. Yağlama yağı karterde geçirdiği süre zarfında karter ile ısı transferi gerçekleşir ve yağlama yağı sıcaklığını düşürür. Böylelikle yağlama yağının yapısını bozacak sıcaklıklardan kaçınılmış olur. Karter çelik ve ya alüminyum malzemedен yapılmaktadır. Stasyonier motorlarda karter geometrisi karmaşıkısa dökme demir de karter malzemesi olarak kullanılabilir.



**Külbütör Mekanizması:** Külbütör mekanizması supapların işleyişiyle yakından ilintilidir. Kam mili tarafından tahrik alan supaplar bir dizi ara elemandan geçerek supapları açmaktadır. Bu mekanizma ise külbütör mekanizması olarak adlandırılmaktadır. Supap fincanı, itici yaylar, ayar şimi, külbütör kolu gibi elemanları barındırmaktadır. Alttan eksantrikli motorlarda ilaveten itici çubuklar da bulunmaktadır.

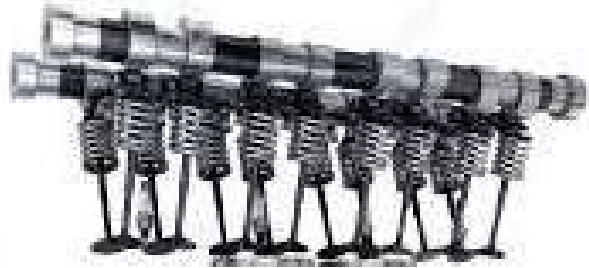


**Külbütör Kapağı:** Kam millerini ve supap mekanizmasının hareketini mümkün kılan külbütör mekanizmasının muhafazası amacıyla kullanılır. Güncel motorlarda alüminyum ve

ya ısı tesirinden yeteri kadar uzaklaştığı için kompozit plastik malzemelerden imal edilmektedir.



**Kam Mili:** Kam mili supapların açılıp kapanmasını sağlamaktadır. Dolayısıyla içten yanmalı motorlarda dolgu değişimi sürecinde görev alırlar. Kam mili krank mili ile akortlu olarak çalışmaktadır. Kam mili, krank milinden ile bir kasnak-triger kayışı ya da dişli çark-zincir ikilileriyle hareket almaktadır. Dört stroklu motorlarda krank milinin her iki turu için kam mili bir tur atarken iki stroklu motorlarda krank milinin her bir turuna karşı kam mili de bir tam tur atar. Kam milinin, supap tahriki, üzerindeki yürek profillerinin supap mekanizmasını aşağı yönlü deplase etmesiyle gerçekleşmektedir. Yürek profilinin çeşitli noktalarının mil ana merkezinden uzaklıklarının farklı olması sebebiyle kam milleri, eksantrik mili olarak da adlandırılmaktadırlar. Güncel uygulamalarda mekanik olarak şekilsel olarak ya da çeşitli hidrolik ek tertibatlar ile kam millerinin supapları açıp kapatma süresi bir miktar değiştirilebilmektedir. Motorlar alttan ve üstten eksantrikli olabilmektedir. Ancak güncel uygulamalarda üstten eksantrik tercih sebebidir.



**Manifoldlar:** Manifoldlar yanma odasına iş gazı taşımak ve uzaklaştırmakla görevli motor elemanlarıdır. Motor üzerinde emme ve egzoz manifoldu olarak iki tip manifold bulunmaktadır.

Manifoldlar yanma odasına iş gazı taşırken emme kanalında tek bir hattan gelerek en az silindir sayısı kadar kola ve ya silindir sayısının katları kadar kola ayrılarak dolgu taşıma işlemini yerine getirmektedir. Bu sebeple geometrik olarak zorunlu bir şekilde akışa karşı



direnç oluşturmaktadırlar. Özellikle emme manifoldunda ortaya çıkan dirençler silindir içerisine emilecek taze iş gazının miktarını düşüreceği için oldukça hayatidir. Manifoldların iç yüzeyleri ise talaşlı işleme şekilleri itibariyle pek müsait değildir. Üretim açısından da döküm yoluyla üretilmektedirler. Bu sebeple iç kısımlarda maça pürüzleri bulunmaktadır ve volumetrik verimi düşürmektedir. Bunun önüne geçmek için günümüz motorlarında emme manifoldları nispeten yüksek sıcaklığa dayanıklı plastik malzemeden üretilmektedir ve düşük yüzey pürüzlülükleri ile akışa karşı dirençler düşürülerek volumetrik verim kaybı azaltılmaktadır. Isı tesiri altındaki kısım ise kafa bölgesi içerisinde kalmaktadır. Bu kısım içinse daha önceden belirtildiği üzere alüminyum tercih edilmektedir. Fakat egzoz sıcaklıklarının yüksek oluşu sebebiyle aynı malzeme seçimi egzoz manifoldu için pek mümkün değildir. Öyle ki yüksek motor yükü ve yüksek devir altında gerek egzoz gaz sıcaklıklarının yükselişi gerekse de artan devir ile beraber manifold sıcaklığı iyice artmaktadır. Bu sebeple egzoz manifoldları dökme demir malzemeden imal edilmektedir. Az önce bahsi geçen şartlarda dökme demir manifoldların dahi yanma odasına yakın yerlerinde malzeme üzerinde korlaşma gözlemlenmektedir. Bazı uygulamalarda çelik malzemenin kaynaklı birleştirilmesiyle de egzoz manifoldlarının imal edildiği göze çarpmaktadır. Egzoz hattındaki kayıplar yüksek sıcaklık, daha yüksek basınç sebebiyle aerodinamik olarak daha fazla kayba maruz kalmaktadır. Ancak bu durum tahliyenin daha yüksek basınçlı ortamdaki daha düşük basınçlı ortama doğru akışından kaynaklı ve piston süpürme işinden kaynaklı olarak emme manifoldundaki kadar hayati değildir. Ancak yine de mümkün mertebe kayıplar azaltılarak egzoz gazlarının daha kolay tahliyesi gereklidir. Böylece motor elemanları gereksiz sıcaklık artışlarından korunur, negatif egzoz süpürme işi azalır ve art gaz katsayısı düşüş gösterir. Bunlar da motor efektif verimi üzerinde olumlu rol oynar. Bu amaçla her iki manifoldun da tasarımından keskin köşelerden kaçınılmalı, bazen belli hava hareketleri kazandırmak için bazen de tasarımsal olarak mevcut olan kavisli bölgeler akış formunu çok etkilemeyecek formda olmalıdır.



**Buji:** Kıvılcım ateşlemeli motorlarda sağlıklı yanmanın başlatılmasından bujiler sorumludur. Her silindir içerisinde en az bir adet olmakla beraber sayıları hedeflenen amaca dönük olarak belli bir değere kadar çıkabilmektedirler. Bir merkez elektrod ve tırnak bölgesinden oluşan bujiler 20kV gibi oldukça yüksek bir gerilimle beslenirler. Merkez elektrod bölgesinden tırnak bölgesine ark geçişi ile kıvılcım yaratılmış olur ve yanma odasındaki tutuşmaya hazır dolgu yanmaya başlar.



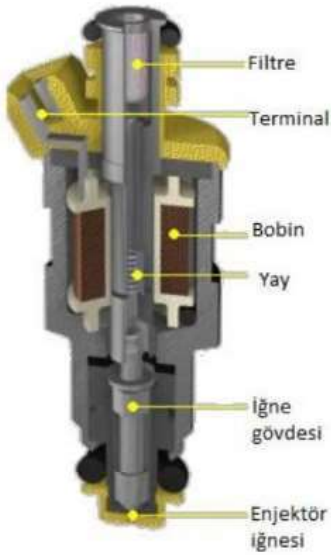
**Karbüratör:** Günümüz taşıt motorlarında karbüratörler yer almamaktadır. Ancak halen daha belli amaçlara dönük olarak kullanılan kıvılcım ateşlemeli motorlarda dolgu tevziini sağlamak amacıyla karbüratörler kullanılabilir. Öte yandan karbüratör barındıran motora sahip araçlara hala karayollarında rastlanabilmektedir.

Karbüratör içerisinde yakıt ile dolu bir sabit seviye kabı bulunmaktadır. Bu sabit seviye kabı yakıt hattı tarafından beslenmektedir. Ana haznenin çıkışından ince bir boru bulunmaktadır ve bu boru venturi bölgesine kadar uzanır. İnce borunun uç kısmı ana haznedeki yakıt seviyesi ile aynıdır ve buradan yakıt emme kanalına karışıkça sabit seviye kabına yakıt girişi gerçekleşir. Venturi bölgesi emme hattı içerisinde var olan bir darboğazdan ibarettir. Bu bölgede kesit daralmasıyla beraber kütle sürekliliği uyarınca hız artar ve Bernoulli denklemi uyarınca akışkan hızının artmasından dolayı basınç düşüşü gözlemlenir. Düşük basınç bu bölgede kısmi vakum etkisi yaratarak ucunda yakıt olan memeden yakıt çeker. Karbüratörler basit halleriyle değişken hız ve yükler altında karışım oranını tam olarak gerçekleştiremez. Bu amaçla sabit yük ve hız altında çalışılmayacaksa ki taşıt motorları oldukça geniş hız ve yük altında çalışmaktadır, karışım oranını daha düzgün bir şekilde ayarlamak için ivmelenme düzeneği, ekonomi düzeneği, tam yük düzeneği ve relanti düzeneği gibi ek düzeneklere sahiptir.



**Enjektörler:** Kıvılcım ateşlemeli motorlarda enjektör kullanımı karbüratörün yetersizliklerini ortadan kaldırmak amacıyla başlamıştır. İlk olarak tek bir enjektör ile manifoldtan püskürtme uygulanırken günümüzde her silindir için ayrı enjektör barındıran porttan püskürtme ve direkt püskürtme teknolojileri de uygulanmaktadır. Hatta tıpkı güncel dizel enjektörleri gibi kademeli püskürtme yapan benzin enjektörleri de bulunmaktadır.

Manifoldtan püskürtmeli sistemlerde püskürtme basıncı 4-5bar dolaylarındayken direkt püskürtmeli benzin enjektörlerinde püskürtme basıncı 180-200bar dolaylarına çıkmaktadır. Karışım tevziinin karbüratör yerine enjektörler ile yapılmasıyla püskürtme miktar ve zamanlaması daha hassas ayarlanabilmekte ve motorun istenilen işletme şartına geçiş kabiliyeti iyileşmekte, daha sağlıklı ve ekonomik işletme şartları gerçekleştirilebilmektedir.



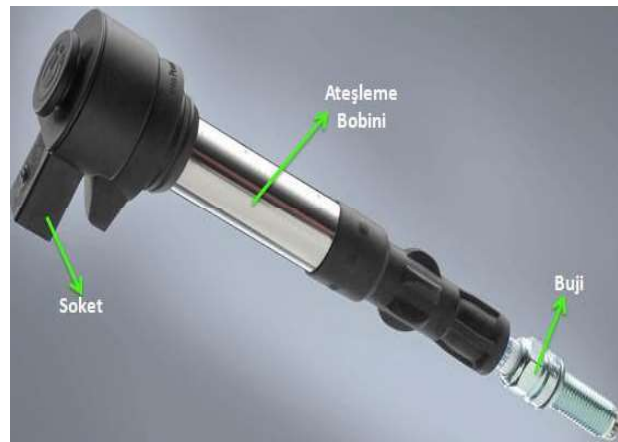
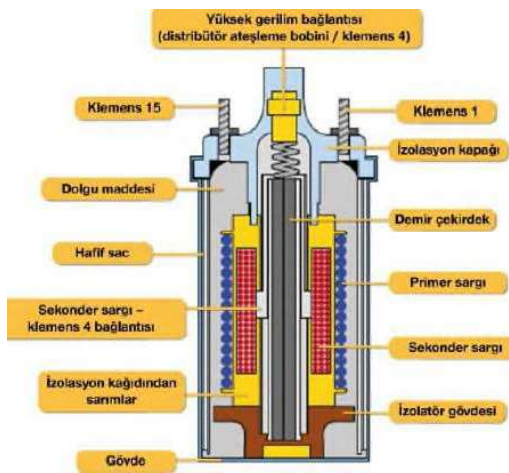
**Supaplar:** Açık çevrime göre çalışan içten yanmalı motorlar çevrimin belli süreçlerinde iş gazı girişi ve egzoz gazı çıkışı gerçekleştirmektedirler. Dolgu değişimi işlemi yanma odasında

silindir kafası üzerinde konumlanmış olan supapların açılıp kapanmasıyla mümkündür. Supaplar hareketlerini kam milinden almaktadır. Kam mili üzerindeki kaçıklığa bağlı olarak deplase olurlar ve silindir içerisine iş gazı girişi ya da dolgu çıkışında görev alırlar.

Emme supapları volumetrik verimi arttırmak amacıyla bir miktar daha büyük yapılırlar. Egzoz supapları nispeten daha yüksek sıcaklıklara maruz kalmaktadır. Bu sebeple daha dayanıklı olmaları gerekmektedir. Ayrıca yüksek sıcaklık maruziyeti sebebiyle egzoz supabı tabla çapı termal yüklere maruz kalmaktadır ve yüzey alanı/hacim oranını artırarak termal yükü üzerinden atabilmesi için tabla çapı sınırlanmıştır ve genellikle emme supaplarından daha küçük tabla çapına sahiptirler.



**Ateşleme Bobini:** Burada bujilerin ihtiyacı olan yüksek gerilim üretilir. Ateşleme bobini 12V olan akü gerilimini 20kV dolaylarına çıkartmaktadır.



Adı-Soyadı : Deneyi Yürüten Öğretim Elemanı :  
Numara : Deneyin Yapıldığı Tarih :  
İmza : Grup-Alt Grup :

NOT

**Konu:** Benzinli bir motorun demonte ve montajının uygulaması ve bazı motor elemanlarının boyutlarının belirlenmesi

**Deneyin Amacı:**

- Motoru var eden elemanların ayrı ayrı işlevlerinin teorik ve uygulamalı olarak tanıtılması
- Motor elemanlarının bir bütün halinde çalışma mekanizmasının görsel ve uygulamalı olarak tanıtılması
- Motorun tasarım parametrelerine dönük bilgi kazanılması
- Kıvılcım ateşlemeli motorların, sıkıştırma ateşlemeli motorlara göre yapısal farklılıklarına dönük bilgi kazanılması ve uygulamalı olarak öğrenciye aktarılması
- Temel motor elemanlarının boyutlarının tespiti

**Deneyin Yapılışı:**

- İlk olarak demonte edilecek motorun içerisinde yağlama yağı bulunuyorsa, yağ tapası açılarak bu delik aracılığıyla yağlama yağı karterden tahliye edilir.
- Emme ve egzoz manifoldları sökülür
- Enjektörler ve ateşleme sistemi sökülür
- Silindir kafasında yer alan mekanizmaları muhafaza etmekle görevli olan üst kapağın üzerindeki civatalar sökülerek açılır.
- Karteri motor bloğuna irtibatlandıran civatalar sökülerek karter motor bloğundan ayrılır. Böylelikle krank mili ve yatakları görünür hale gelir.
- Motor üzerinde bulunan triger kayışı ve ya zinciri sökülür. Bunun için dış kısımda bir muhafaza bulunuyorsa bu da sökülmelidir.
- Kam mili yatakları sökülerek kam milleri boşa çıkartılır ve demonte edilmiş olur.
- Kam milinin sökülmesinin ardından supap fincanları ve külbütör mekanizması sökülür.

- Dolgu değişim mekanizmasının büyük oranda sökülmesiyle silindir kafasının saplamalarına ulaşmak mümkün hale gelir. Bu adımda da silindir kafa saplamaları çıkartılarak silindir kafası alınmış olur.
- Biyel büyük başında biyel kepi sökülerek, piston biyel ile beraber motor bloğundan ayrılır.
- Piston üzerinde perno yayı yuvasından çıkartılır ve perno sökülür.
- Krank ana yatakları sökülerek krank mili motor bloğundan ayrılır.
- Bu sürecin ardından tekrardan sökülen parçaların montajına geçilir. Montaj sırası demonte sürecindeki sıralamaya göre tersten işlemektedir. Ancak pistonun tekrardan motor bloğuna yerleştirilmesi esnasında özel bir aparat olan segman pensesi kullanılmalıdır.

### **İstenenler;**

- 1- Deney esnasında söktüğünüz örnek benzinli motor biyel kolunu ölçerek, teknik resmini çiziniz. Çizdiğiniz biyel kolunun, dizel motor biyel kolundan farklarını ve de çalışma şartlarını yazınız.
- 2- Biyel kolunun üretim yöntemlerini açıklayınız.
- 3- Örnek bir benzinli motora ait biyel kolu bularak, bunun hangi motorlarda kullanıldığını ve özelliklerini belirtiniz.



## GÜZ DÖNEMİ OTOMOTİV DENEYİ

**1. DENEY ADI:** Otomotiv II (Dizel Motor Elemanları) Deneyi

**2. DENEYİN AMACI:** Dizel bir motorun demonte ve montajının uygulaması ve bazı motor elemanlarının boyutlarının belirlenmesi

### 3. TEORİK BİLGİLER VE TANIMLAR

#### **Dizel Motorların Çalışma Prensibi (Dört Zamanlı)**

Dizel motorlar, benzinli motorlardan farklı olarak havanın çok yüksek basınç ve sıcaklık değerlerine kadar sıkıştırıldığı, bu yüksek sıcaklıktaki havanın üzerine basınçlandırılmış yakıtın püskürtülmesi ile yanmanın ve dolayısıyla iş eldesinin gerçekleştiği motorlardır. Dizel motorlarda yanma, yüksek basınç ve sıcaklığın etkisiyle kendiliğinden gerçekleşir. Dizel motorlarda yakıtın yakılması sonucu iş eldesi 4 aşamada gerçekleşir:

1- Emme Stroku: Bu strokta emme valfleri açılır, atmosferden alınan hava pistonun Üst Ölü Noktadan Alt Ölü Noktaya hareketi ile silindir içine dolar.

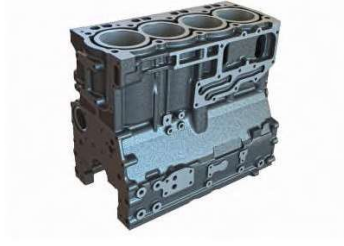
2- Sıkıştırma Stroku: Sıkıştırma stroku, pistonun yukarı doğru hareketi ile silindir içindeki havanın yüksek basınç ve sıcaklıklara sıkıştırıldığı stroktur. Sıkıştırma stroku sonunda havanın sıcaklığı yaklaşık olarak 900 °C'ye kadar yükselir. Bu strok boyunca emme ve egzoz valfleri kapalıdır.

3- Yanma (Genişleme) Stroku: Çok yüksek basınçtaki (1500-2000 bar) yakıtın, yüksek sıcaklık ve basınca sahip havanın üzerine püskürtülmesi ile patlama elde edilir. Bu patlamanın etkisi ile piston aşağı doğru hareket eder. Motordan iş elde edilen stroktur.

4- Egzoz Stroku: Yanma sonucu meydana gelen yanma ürünlerinin ve artık gazların egzoz kanalından dışarı atıldığı safhadır. Bu strokta egzoz valfi açılır ve pistonun yukarı doğru hareketi ile egzoz gazları dışarı atılır.

#### **Dizel Motor Elemanları**

**Motor Bloğu:** Motorun ana gövdesini oluşturur. Pistonlara ve krank miline yataklık yapar. İçerisinde silindirler, krank mili, pistonlar; dışarısında ise volan, su pompası, yağ filtresi gibi elemanlar bulunur. Dizel motorlarda motor blokları, yüksek sıkıştırma oranlarına ve yüksek torka dayanıklılıkları sebebiyle yaygın olarak dökme demirden yapılır.



**Şekil 1.** Motor Bloğu

**Piston:** Motor bloğunun içindeki silindirlerde yer alan ve aşağı-yukarı yönlü hareket eden parçadır. Piston, bu hareketiyle silindir içerisindeki strokların meydana gelmesini sağlar. Piston, biyel kolu ile krank miline bağlanır ve krank milinin döndürür. Bu dönme hareketi ile pistonlardaki doğrusal hareket dairesel harekete çevrilir.

Pistonlar, silindir kapağıyla beraber yanma odalarını meydana getiren, motorun en önemli elemanlarından biridir. Pistonun baş kısmında yer alan oyuklar değişik tipte yanma odalarını meydana getirir.



**Şekil 2.** Piston ve Biyel kolu

**Biyel Kolu:** Pistonla krank milini birbirine bağlayan parçadır. Piston tarafına piston pimi, krank mili tarafına ise biyel başı ve biyel kepi adı verilen kısımlar ile bağlanır. Biyel kolları genellikle çelik alaşımlardan üretilirler.



**Şekil 3.:** Biyel kolu ve elemanları

**Krank Mili:** Krank mili, pistondan gelen doğrusal hareketin biyel kolu yardımıyla aktarıldığı ve dairesel harekete dönüştürüldüğü motor elemanıdır. Biyelin bağlandığı muyluların karşısına yerleştirilen karşıt ağırlıklar, muyluda meydana gelen merkezkaç kuvvetlerini



dengeleyerek krankta meydana gelen titreşimleri minimuma indirir. Krank milleri özel çelik alaşımlarından dövülerek veya dökülerek yapılır.



**Şekil 4.** *Krank mili*

**Kam Mili (Ekzantrik Mil):** Subapların açılıp kapanmasını sağlayan motor elemanıdır. Hareketini krank milinden bir zincir veya kayış yardımıyla alır. Çoğu motorda biri emme diğeri egzoz subaplarını tahrik etmek üzere 2 adet kam mili bulunur. Genellikle tek parça olarak üretilirler.



**Şekil 5.** *Kam mili*

**Subaplar:** Silindire hava girişini ve silindirden egzoz atımını sağlayan motor parçalarıdır. Motorda emme ve egzoz subabı olmak üzere iki çeşit subap bulunur. Emme subabı, emme zamanında kam mili vasıtasıyla açılıp içeriye hava alınmasını sağlar. Egzoz subabı da aynı şekilde egzoz zamanında krank mili vasıtasıyla açılıp egzoz gazlarının silindirden dışarı atılmasını sağlar.



**Şekil 6.** *Subap*

**Volan:** Krank miline bağlı olan bu ağır kütelli motor parçası, krank milinden aldığı hareketi kavrama diski aracılığıyla vites kutusuna iletir. Ağır kütlesi sayesinde ilettiği torktaki dalgalanmayı azaltır, minimum titreşimli bir güç aktarımını sağlar. Volan, ağır kütesinin sağladığı ataletle pistonların yukarı doğru hareketini de sağlar.



**Şekil 7.** *Volan*

**Silindir Kapağı:** Emme ve egzoz subapları, kam mili ve enjektörleri barındıran motor elemanıdır. Motor bloğunun üstünde yer alarak pistonlarla beraber yanma odasını oluşturur. Soğutma suyunun dolaştığı su kanallarına sahiptir



**Şekil 8.** *Silindir kapağı*

**Karter:** Motorun yağlanacak kısımlarına gönderilen ve geri dönen motor yağının biriktiği kısımdır. Yağın depo edilmesini ve soğumasını sağlar. Krank milinin muhafazasını sağlar. İçerisinde yağ filtresi, yağ basınç sensörü, yağ sıcaklık sensörü vb elemanlar bulunur. Motorda yağlanacak kısımlar, yağ pompası vasıtasıyla karterden alınır ve gerekli yerlere iletilir.



**Şekil 9.** *Karter*

**Emme Manifoldu:** Atmosferden veya (turbo şarjlı motorlar için) egzozdan alınan havanın silindirlere gönderildiği kanaldır. Düzgün ve kesintisiz bir akış sağlamak için manifoldlara

çok az bir kavis verilir. Modern motorlarda genellikle plastik olarak üretilirler. Her bir silindir için ayrı girişi bulunur.



**Şekil 20.** *Emme Manifoldu*

**Egzoz Manifoldu:** Yanma sonucu oluşan gazların dışarı atılmasını sağlayan elemandır. Yüksek egzoz gazı sıcaklıklarına dayanabilmesi için genellikle dökme demir, çelik veya alüminyum alaşımlarından yapılırlar.



**Şekil 31.** *Egzoz Manifoldu*

**Yağ Filtresi:** Atmosferden alınan hava ile içeri giren toz ve pislikler, karbon zerrecikleri, aşınmalar sonucu ortaya çıkan metal parçacıkları sistemde dolaşan yağ vasıtası ile karterde birikir. Bu yabancı maddelerin bir kısmı karter dibine çöker veya süzgeç tarafından tutulur. Tutulamayacak kadar küçük partiküller ise yağ filtresi tarafından tutularak sisteme pompalanmaları önlenir. Bu yabancı maddeler filtre ile tutulmadığı takdirde hareketli parçalar arasında sıkışıp aşınmaya neden olabilir.



**Şekil 42.** Yağ filtresi

**Su Pompası (Devirdaim Pompası):** Su Pompası, suyu motor cekerlerinde dolaştırıp motorun soğutulmasını sağlar. Su pompası, içerisinde yer alan düz veya kavisli kanatçıklar vasıtası ile suyu pompalar. Bu kanatçıkların bağlı olduğu milin diğer ucu bir kasnağa bağlıdır. Bu kasnak, bir kayış ile krank miline bağlanır ve su pompasının hareketi bu şekilde krank milinden alınır.



**Şekil 53.** Su Pompası

**Rail Borusu:** Alçak basınç pompasından alınan yakıtın yüksek basınç pompası yardımıyla 1600-2000 barlara yükseltilerek gönderildiği ve depolandığı yakıt hattıdır. Bu hatta yakıt yüksek basınçta ve pompalanmaya hazır şekilde bekletilir. Rail borusunda basıncın aşırı yükselmesi durumunda yakıt, tahliye borusu ile tahliye edilir.



**Şekil 64.** Common-Rail Boru hattı

**Enjektör:** Yakıtın çok yüksek basınçlarda püskürtüldüğü motor elemanıdır. İçerisinde yer alan seleoid valfin uyarılması sonucu açılan iğne ile yakıt çok yüksek basınçta püskürtülür. Enjektörler ECU'den gelen bilgiler doğrultusunda, güç ihtiyacına göre açık kalma sürelerini ayarlarlar. Enjektörle püskürtme sayesinde daha iyi, daha verimli bir yanma elde edilir.



**Şekil 75.** *Diesel Enjektör*

Adı-Soyadı : Deneyi Yürüten Öğretim Elemanı :  
Numara : Deneyin Yapıldığı Tarih :  
İmza : Grup-Alt Grup :

NOT

**Konu:** Dizel bir motorun demonte ve montajının uygulaması ve bazı motor elemanlarının boyutlarının belirlenmesi

**Deneyin Amacı:**

- Motoru var eden elemanların ayrı ayrı işlevlerinin teorik ve uygulamalı olarak tanıtılması
- Motor elemanlarının bir bütün halinde çalışma mekanizmasının görsel ve uygulamalı olarak tanıtılması
- Motorun tasarım parametrelerine dönük bilgi kazanılması
- Sıkıştırılmalı ateşlemeli motorların, kıvılcımlı ateşlemeli motorlara göre yapısal farklılıklarına dönük bilgi kazanılması ve uygulamalı olarak öğrenciye aktarılması
- Temel motor elemanlarının boyutlarının tespiti

**Deneyin Yapılışı:**

- İlk olarak demonte edilecek motorun içerisinde yağlama yağı bulunuyorsa, yağ tapası açılarak bu delik aracılığıyla yağlama yağı karterden tahliye edilir.
- Emme ve egzoz manifoldları sökülür
- Silindir kafasında yer alan mekanizmaları muhafaza etmekle görevli olan üst kapağın üzerindeki civatalar sökülerek açılır.
- Karteri motor bloğuna irtibatlandıran civatalar sökülerek karter motor bloğundan ayrılır. Böylelikle krank mili ve yatakları görünür hale gelir.
- Motor üzerinde bulunan triger kayışı ve ya zinciri sökülür. Bunun için dış kısımda bir muhafaza bulunuyorsa bu da sökülmelidir.
- Kam mili yatakları sökülerek kam milleri boşa çıkartılır ve demonte edilmiş olur.

- Kam milinin sökülmesinin ardından supap fincanları ve külbütör mekanizması sökülür.
- Dolgu değişim mekanizmasının büyük oranda sökülmesiyle silindir kafasının saplamalarına ulaşmak mümkün hale gelir. Bu adımda da silindir kafa saplamaları çıkartılarak silindir kafası alınmış olur.
- Biyel büyük başında biyel kepi sökülerek, piston biyel ile beraber motor bloğundan ayrılır.
- Piston üzerinde perno yayı yuvasından çıkartılır ve perno sökülür.
- Krank ana yatakları sökülerek krank mili motor bloğundan ayrılır.
- Bu sürecin ardından tekrardan sökülen parçaların montajına geçilir. Montaj sırası demonte sürecindeki sıralamaya göre tersten işlemektedir. Ancak pistonun tekrardan motor bloğuna yerleştirilmesi esnasında özel bir aparat olan segman pensesi kullanılmalıdır.

### **İstenenler,**

- 1- Deney esnasında söktüğünüz örnek dizel motor pistonunun ölçerek, teknik resimini çizin. Çizdiğiniz pistonun, benzinli motor pistonundan farklarını ve de çalışma şartlarını yazınız.
- 2- Pistonun üretim yöntemlerini açıklayınız.
- 3- Örnek bir dizel motora ait bir piston bularak, bunun hangi motorlarda kullanıldığını ve özelliklerini belirtiniz.

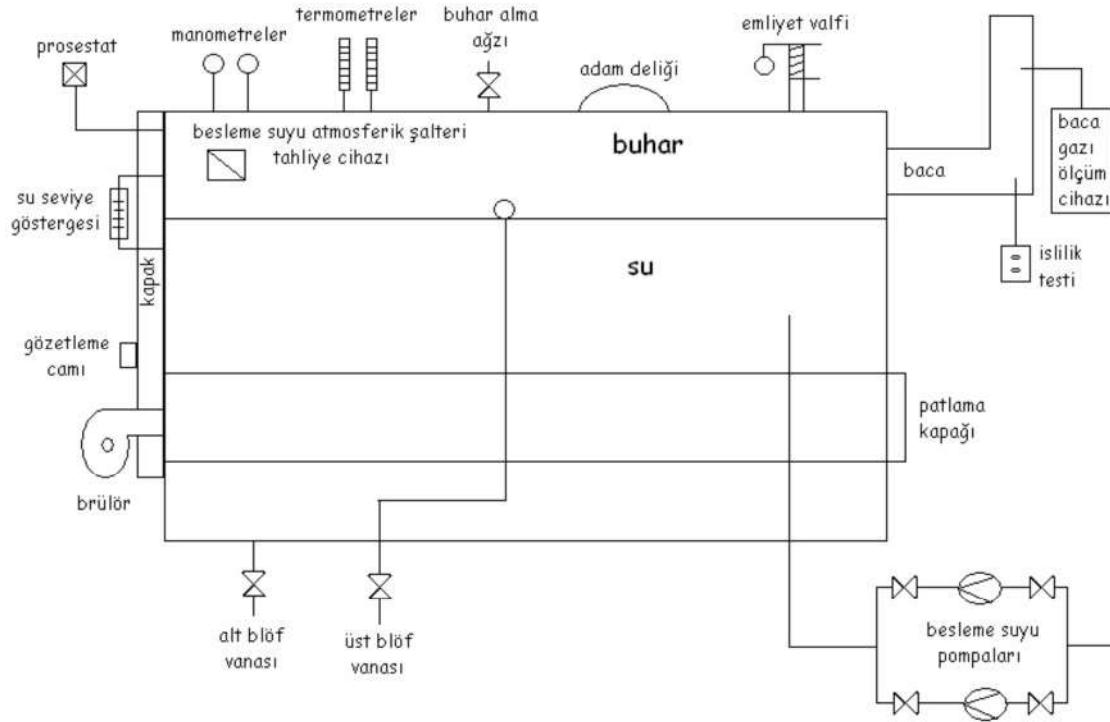
## GÜZ DÖNEMİ BUHAR KAZANLARI DENEYİ

1. DENEY ADI: Buhar Kazanları

2. DENEYİN AMACI: Buhar Kazanlarının İncelenmesi

### 3. TEORİK BİLGİLER VE TANIMLAR

**Buhar Kazanı:** Herhangi bir yakıtın (Katı, Sıvı, Gaz) yakılması sonucu veya elektrik veya nükleer enerji kaynağı kullanılarak sudan istenilen sıcaklık, basınç ve miktarda buhar elde etmeye yarayan basınçlı kapalı bir kaptır. Şekil 1’de buhar kazanını şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 1. Buhar kazanının şematik gösterimi

### Temel Kavramlar

- Buhar: Suyun gaz durumuna denir.
- Doyma sıcaklığı: Verilen basınçta suyun kaynamaya başladığı sıcaklığa doyma sıcaklığı denir.
- Doyma basıncı: Verilen sıcaklıkta suyun kaynamaya başladığı basınca doyma basıncı denir.



- Sıkıştırılmış sıvı: Verilen bir basınçta suyun sıcaklığı doyma sıcaklığının altında ise sıkıştırılmış sıvı olarak tanımlanır.
- Doymuş sıvı: Verilen bir basınçta o basınca karşılık gelen doyma sıcaklığında olup, içinde buhar zerresi olmayan suya doymuş sıvı denir. Su buharlaşmanın başlangıcındadır.
- Doymuş buhar: Verilen bir basınçta o basınca karşılık gelen doyma sıcaklığında olup, suyun tamamının buhar fazında olduğu durumdur. Buhar yoğunlaşma sınırındadır.
- Kızgın buhar: Verilen bir basınçta buharın sıcaklığı o basınçtaki doyma sıcaklığından daha yüksek ise buhar kızgın buhardır.

### **Buharın Kullanılma Nedenleri**

- İdeal bir ısı taşıyıcı olması
- Küçük çaplı borularla daha fazla ısı taşıyabilmesi
- Çevre dostu olması (yani temiz olması)
- Geri kazanımı ile enerji tasarrufu sağlanabilir
- Akışkanın taşınması kendi basıncıyla gerçekleşir. Pompaya gerek yoktur. Dolayısıyla maliyeti düşüktür.
- Sıcaklık kontrolünü çok hassas bir biçimde gerçekleştirmek mümkündür.
- Buhar tesisattaki korozyon riskini azaltır.
- Isı kayıpları azdır yani ideal bir ısı taşıyıcısıdır. Küçük çaplı borular ile iletilmesi nedeniyle ısı kayıpları diğer sistemlere göre daha azdır. Termodinamik özellikleri iyidir.
- Yatırım gideri azdır, küçük çaplı boru kullanılır, yalıtım az yapılır, ucuz montaj.
- Buhar emniyetlidir yani alevlenme özelliği yoktur. Steril bir akışkandır.
- Buhar çevre dostudur. Saf maddedir.
- Dezavantajı ise; yüksek enerji ve basınç olduğundan korunması yapılmalıdır.

### **Buharın Kullanım Alanları**

- Petrokimyada
- Termik santrallerinde elektrik üretiminde (Buhar türbinleri)
- Sterilizasyon amacı ile ilaç ve gıda endüstrisinde
- İnşaat malzemelerin endüstrisinde
- Buharlı ısıtma sistemleri (kalorifer tesisatlar)
- Rafinerilerde
- Kimyasal prosesler
- Gıda endüstrisinde
- Sterilizasyon (ambalaj ve gıda)

- Gübre endüstrisinde
- Kauçuk ürünlerinde ve imalatında
- İnşaat malzemeleri endüstrisinde
- Kâğıt endüstrisinde
- Ahşap işletmesi ve şekillendirilmesi

### **Buhar Kazanlarının Sınıflandırılması**

#### 1. Kullanılış yerlerine göre:

- Sabit kazanlar
- Portatif kazanlar
- Lokomotif kazanlar
- Gemi buhar kazanları

#### 2. Buhar kazanları kazan basınçlarına göre:

- Alçak basınçlı kazanlar
- Yüksek basınçlı kazanlar
- Süper kritik basınçlı kazanlar

#### 3. Ocak cinsine göre:

- Dıştan ocaklı kazanlar
- İçten ocaklı kazanlar

#### 4. Kullanılan yakıt cinsine göre:

- Kömür yakan kazanlar
- Sıvı yakıt kullanılan kazanlar
- Gaz yakıt kullanılan kazanlar

#### 5. Konstrüksiyonuna göre:

- Duman borulu kazanlar
- Alev borulu
- Alev-duman borulu
- Su borulu kazanlar

### **Kazan Tipleri**

#### **Duman Borulu Kazanlar**

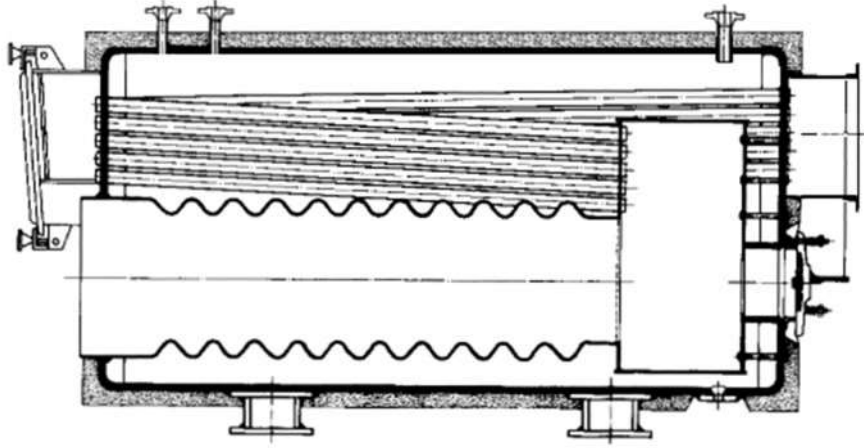
##### *Alev-Duman Borulu Kazanların Üstünlükleri*

- Yapıları basittir
- İşletmeleri, suyun şartlandırılma isteği daha basittir.
- Büyük su hacminden dolayı yük değişimlerine daha iyi uyum sağlar.

- İmal maliyetleri daha azdır.
- Boyutları ufaktır (daha az yüksekliğe ihtiyaç gösterir)
- Taşınması ve montajı kolaydır.

#### *Alev-Duman Borulu Kazanların Sakıncaları*

- Belirli işletme basıncına (20 bar) ve belirli buhar üretim (15 t/h) miktarına imal edilebilirler.
- Buhar üretimi büyük su hacminden dolayı daha uzun zaman alır.
- Büyük su hacminden dolayı, bilhassa bir külhan çökmesi veya dış zarf yırtılmasında, çok miktarda buharın ortaya çıkması sonucu tahribata sebep olabilir.
- Su sirkülasyonu zayıftır.



**Şekil 2.** Duman borulu kazan

#### Su Borulu Kazanlar

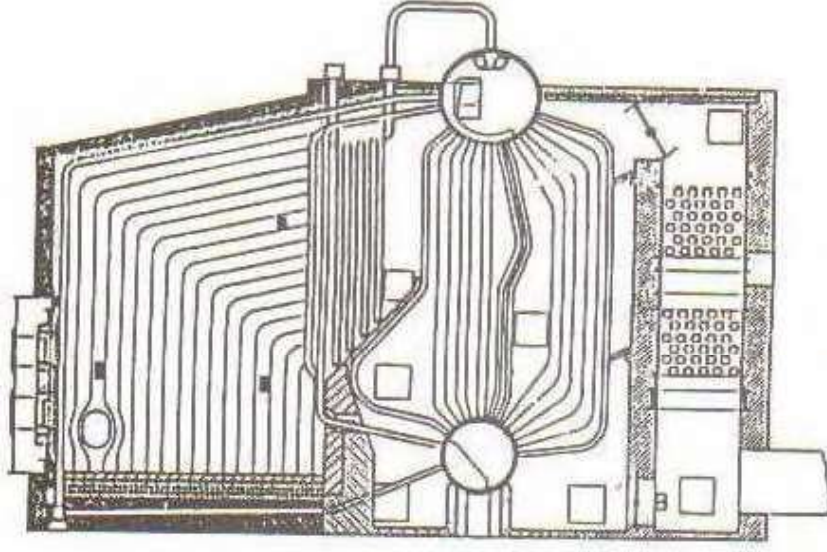
##### *Su Borulu Kazanların Üstünlükleri*

- Herhangi bir boru yarılmasında kazandaki suyun çok az bir kısmı süratle buhara dönüştüğünden büyük bir tehlike yaratmaz.
- Isıtma yüzeyi fazla ve su hacmi az olduğundan birim ısıtma yüzeyinden daha fazla buhar elde edilir. Ayrıca daha kısa zamanda buhar üretilir.
- Yüksek basınçlarda ve büyük kapasitelerde imal edilme imkânı vardır.
- Daha iyi bir su sirkülasyonu vardır.

##### *Su Borulu Kazanların Sakıncaları*

- Daha hassas bir su şartlandırılması ister.
- İlk imal maliyeti daha fazladır.

- Daha dikkatli bir işletme ister.
- Kapladığı hacim ve boyutlar daha fazladır.



Şekil 3. Su borulu kazan

Adı-Soyadı :  
Numara :  
İmza :

Deneyi Yürüten Öğretim Elemanı :  
Deneyin Yapıldığı Tarih :  
Grup-Alt Grup :

NOT

### Araştırmada istenenler,

1. Buhar kazanlarında verim artırma yöntemlerini araştırınız.

### Tablo 1. Araştırma sonuçları

Lütfen araştırma sonuçlarınızı bu alana yazınız. (Gerek duyulduğu takdirde Ek A4 kâğıdı kullanılabilir.)



## GÜZ DÖNEMİ POMPA DENEYİ

1. **DENEY ADI:** Pompa Karakteristiği

2. **DENEYİN AMACI:** Pompa Karakteristiğinin İncelenmesi

### 3. TEORİK BİLGİLER VE TANIMLAR

**Pompa:** Pompalar, mekanik enerjiyi hidrolik enerjiye çeviren makineler olarak tanımlanabilir. Pompaların görevi, bir sıvının bir ortamdan başka bir ortama geçebilmesi ve hareketini devam ettirebilmesi için gerekli enerjiyi vermektir. Bir pompa tarafından sıvıya verilecek bu enerji, sıvının bir boru içinde akışını sağlayacak ve sıvı ile boru arasındaki sürtünme kayıplarını karşılayacak veya sıvının potansiyel ve kinetik enerjisini (gücünü) artıracaktır.

#### Temel Kavramlar

**Debi (Q):** Pompa debisi, pompa basma flanşından birim zamanda net olarak basılan sıvı hacmidir. Pompanın iç kaçakları (dengeleme deliklerinden, aşınma bileziklerinden geçen sıvı), aksenal itme dengeleme sistemlerinde ve yumuşak salmastraya giden sıvı miktarı pompa debisi belirlenmesinde dikkate alınmaz.

**Manometrik yükseklik (basma yüksekliği-H):** Pompanın manometrik yüksekliği, basılan sıvının pompa giriş ve çıkış kesitleri (flanşları) arasında birim ağırlık başına kazandığı net enerjidir.

**Özgül hız (Özgül devir sayısı):** Özgül hız, pompa çarkının geometrik olarak biçimini belirleyen bir sayı olup pompanın optimum noktadaki performansı için hesaplanır (Denklemler 1). Bu sayı 12 ile 35 arasında ise pompa tipi tam santrifüjdür.

$$n_q = \frac{nQ^{1/2}}{H^{3/4}} \quad (1)$$

#### Karakteristik Eğriler

**Pompa karakteristiği:** Pompa karakteristik eğrileri, bir pompanın sabit devir sayısında, su basması halinde, manometrik basma yüksekliği (H), pompa mil gücü (P), pompa verimi ( $\eta$ ) ve gerekli emmedeki net pozitif yükün (ENPY<sub>G</sub> veya NPEY<sub>G</sub>) debiye bağlı olarak değişimini gösteren eğrilerdir.

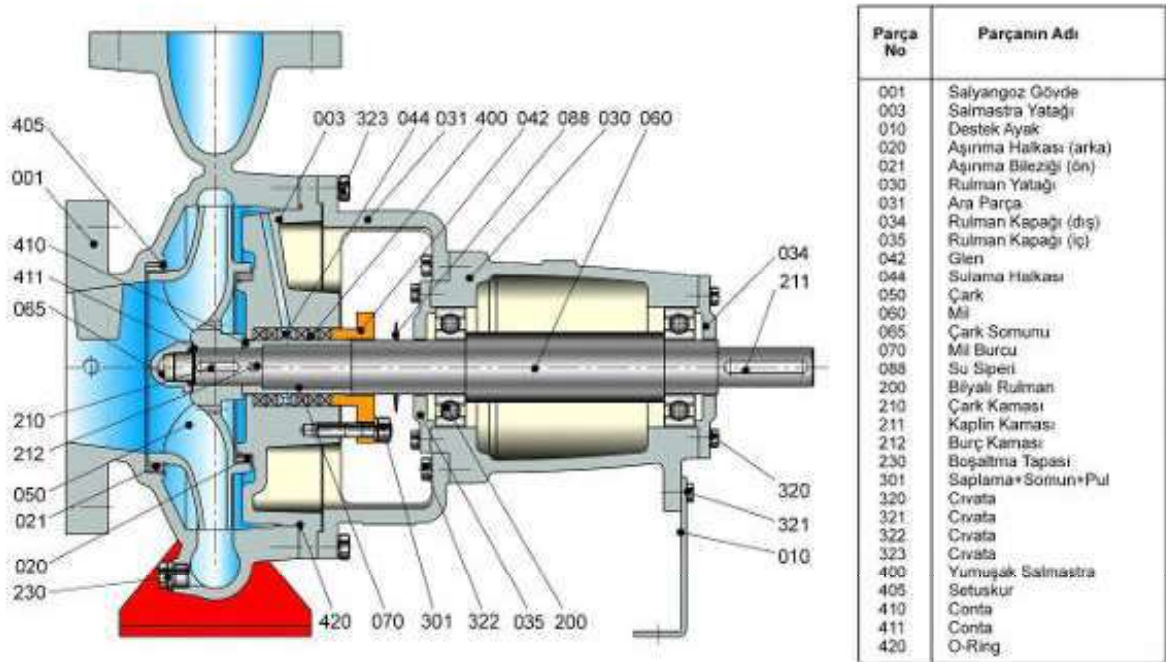
**Sistem karakteristiği ( $H_s$ ):** Belirli bir tesisatta, belirli bir sıvının belirli bir debide basılabilmesi için pompa tarafından birim ağırlıktaki sıvıya verilmesi gereken enerji (yük) “boru karakteristiği” veya “şebeke karakteristiği” olarak adlandırılır.

Pompa karakteristik eğrilerinden H-Q eğrisi ile sistem karakteristik eğrisi  $H_s$ 'in kesişim noktası pompanın çalışma noktasıdır.

### **Kavitasyon**

Pompa içinde herhangi bir bölgedeki statik basınç yerel olarak basılan sıvının buharlaşma basıncının altına düşerse o bölgeden geçen sıvı buharlaşır ve çok sayıda çok küçük boyutlarda doymuş sıvı buharı habbecikleri oluşur. Bu sırada sıvı içinde erimiş hava ve gazlar da serbest kalarak gaz kabarcıkları oluştururlar. Akan sıvının dinamik etkisi ile sürüklenen buhar zerrecikleri yerel statik basıncın, o sıcaklıktaki buharlaşma basıncından daha yüksek olduğu bir bölgeye geldiklerinde aniden yoğuşurlar. Sıvının yerel olarak buharlaşması ve yoğuşması döngüsüne kavitasyon adı verilir. Sıvı buharı zerreciklerinin yoğuşması; pompada titreşim, gürültü ve yoğuşma bölgesine yakın katı yüzeylerde kavitasyon erozyonuna neden olur. Santrifüj pompalarda kavitasyona karşı en hassas bölgeler kanat girişinde emme yüzeyi ve çarkın ön yanağıdır.

## **4. POMPA DENEY TESİSATI**



**Şekil 1.** Pompa parçalarının şematik gösterimi

Adı-Soyadı :  
Numara :  
İmza :

Deneyi Yürüten Öğretim Elemanı :  
Deneyin Yapıldığı Tarih :  
Grup-Alt Grup :

NOT

## 5. DENEYİN YAPILIŞI

### Hesaplamalarda istenenler,

Öğrenci yukarıda teorik olarak belirtilen prosesleri kendi almış olduğu deney sonuçlarını kullanarak aşağıda istenilen verileri hesaplayacaktır.

1. Pompa karakteristik eğrisinin çizilmesi
2. Pompa verim eğrisinin çizilmesi

**Tablo 1.** Ölçüm verileri tablosu

Ölçüm	P <sub>1</sub> (mSS)	P <sub>2</sub> (mSS)	Q (l/dk)	M <sub>d</sub> (Nm)
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				

**Tablo 2.** Hesaplamalar

Lütfen işlemlerinizi bu alana yazınız. (Gerek duyulduğu takdirde Ek A4 kâğıdı kullanılabilir.)



**Lütfen işlemlerinizi bu alana yazınız. (Gerek duyulduğu takdirde Ek A4 kâğıdı kullanılabilir.)**

## GÜZ DÖNEMİ MEKANİK DENEYİ

### 1. DENEY ADI: Elastik Eğri

**2. DENEYİN AMACI:** Kalınlığı ve malzeme türü bilinen kirişlerin eğrilik yarıçaplarının hesaplanması ve eğrilik yarıçapı içeren elastik modül hesabının deneysel yolla yapılması.

Bu şekilde, yapılan yükleme ve ölçülen yerlerdeki sehim miktarlarının karşılaştırılması, farklı çubuk boyu, malzeme ve farklı mesnet tipleri için yapılabilir. Maksimum sehim, deney esnasında gözlemlendiği noktada, dijital gösterge yardımı ile ölçülebilmektedir.

### 3. TEORİK BİLGİLER VE TANIMLAR

Elastik eğilme durumunda, bir kiriş yalnızca uygulanan moment düzleminde eğildiği takdirde, gerilme dağılımı ve kirişin eğriliği arasındaki ilişki şu şekildedir:

$$\frac{M}{I} = \frac{\sigma}{y} = \frac{E}{R} \quad (1)$$

M: Kiriş kesitinde oluşan eğilme momenti

I: Kiriş kesitinin tarafsız eksene göre atalet momenti

E: Kiriş malzemesinin elastisite modülü

R: Eğrilik yarıçapı

$\sigma$  : Eğilme momentinden dolayı, tarafsız eksenden y kadar mesafede oluşan eğilme gerilmesi

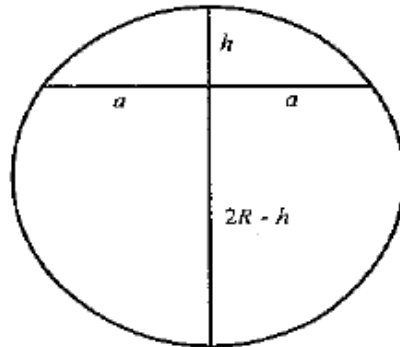
y: Tarafsız eksenden alınan dikey uzaklık

Kirişin eğriliği ( $1/R$ ), yaklaşık olarak sehimin ikinci türevine eşittir.

Eğer; z noktası seçilen orjinden x kadar uzaktaki, kirişin sehimine eşitse :

$$\frac{d^2z}{dx^2} = \frac{1}{R} = \frac{M}{EI} \quad (2)$$

### Eğrilik Yarıçapının Sagital Methodu ile Bulunması



Şekil 1. Sagital Method ile Eğrilik Yarıçapı

Dairenin geometrik bağlantıları kullanıldığında;

$$h(2R - h) = a^2 \quad (3)$$

burada

a= sehim ölçerler arasındaki mesafe

h= Sehim

Hesaplanan sehimin karesi çok küçük olduğu için ihmal edilebilir. Bu yüzden;

$$\frac{1}{R} = \frac{2h}{a^2} \quad (4)$$

Elastik eğilme teorisinden, eğrilik yarıçapının tersinin değeri kullanılırsa eşitlik;

$$\frac{1}{R} = \frac{M}{EI} \quad (5)$$

$$M = Wb \quad (6)$$

$$h = \frac{Wa^2b}{2EI} \quad (7)$$

burada;

W =Kirişe uygulanan yük

b = Uygulanan yük ile mesnet arası mesafeyi göstermektedir.

#### 4. ELASTİK EĞRİ DENEY TESİSATI



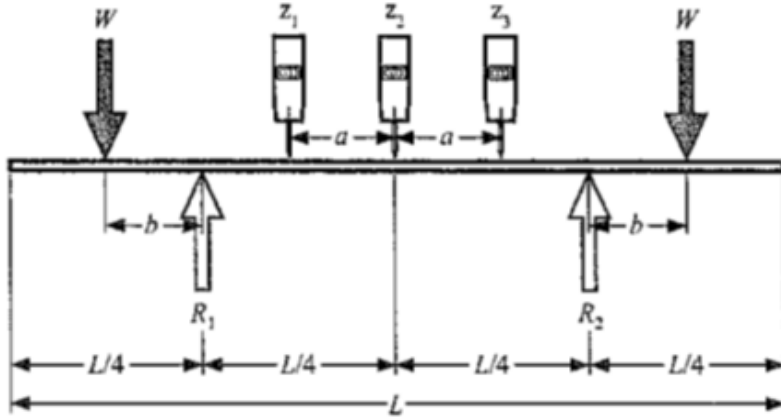
Şekil 2. Eğilme deney seti ve dijital gösterge

Kullanılan Cihaz Donatım ve Malzemeler:

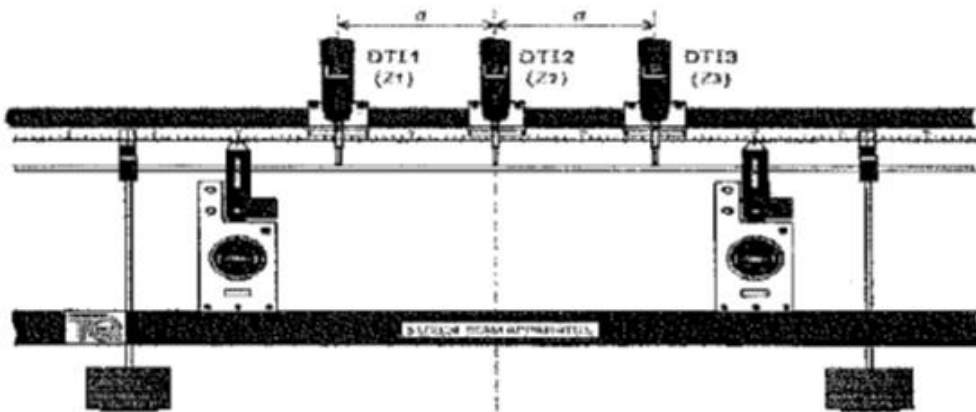
- Eğilme davranışı incelenecek çubuk numune
- Eğilme deney seti
- Dijital gösterge (sehim ölçer), Şekil 2'de gösterilmiştir.

## 5. DENEYİN YAPILIŞI

- Deney düzeneği şekil 3 ve şekil 4’de görüldüğü gibi düzenlenir.  $R_1$  ve  $R_2$  mesnet noktalarını  $W$  ise yük noktasını göstermektedir.
- Mesnetler üzerine kalınlığı 6,4 mm olan yumuşak çelik konularak sabitleştirilir. Mesnetler arasındaki kirişin tam orta noktasına denk gelecek şekilde dijital göstergeler yerleştirilir. Dijital göstergenin hem sağ hem de sol tarafına eşit  $a$  mesafesi kadar uzaklığa diğer dijital göstergeler yerleştirilir.
- Mesnetlerden  $b$  mesafe uzağa ise yükler konulacaktır. Yük noktasına sırasıyla 5 N, 10N, 15N, 20N, 25N asılarak bu yüklerle karşılık gelen sehim değerleri 3 dijital sehim ölçer cihazdan alınarak kaydedilecektir. Kaydedilen datalar tablo 1’de yerlerine yazılır.
- Ölçümler yapıldıktan sonra dijital göstergelerin arasında mesafe her iki taraftan da 50 mm artırılarak aynı deney prosedürü tekrarlanacaktır.
- Ölçümler yapıldıktan sonra son kez dijital göstergelerin arasındaki mesafe her iki taraftan da 50 mm artırılarak aynı deney prosedürü uygulanacaktır.



Şekil 3. Eğrilik Yarıçapı Deneyi Kuvvet Diyagramı



Şekil 4. Eğrilik Yarıçapı Deney Düzeneği

## Hesaplamlarda istenenler,

**Tablo 1.** Deney Esnasında Doldurulacak Tablo

	W (N)	b (mm)	a (mm)	a <sup>2</sup> (mm <sup>2</sup> )	z <sub>1</sub> (mm)	z <sub>2</sub> (mm)	z <sub>3</sub> (mm)	$\frac{z_1+z_3}{2}$ (mm)	$h = z_2 - \frac{z_1+z_3}{2}$ (mm)
Test 1	5	250	100						
	10	250	100						
	15	250	100						
	20	250	100						
	25	250	100						
Test 2	5	250	150						
	10	250	150						
	15	250	150						
	20	250	150						
	25	250	150						
Test 3	5	250	200						
	10	250	200						
	15	250	200						
	20	250	200						
	25	250	200						

3 test için bulunan sehim değerlerini kullanarak h-W grafiklerini çiziniz. Yük sehim grafiklerinde ortaya çıkan Test 1, Test 2, Test 3 grafiklerinin eğimlerini kullanarak eğim-a<sup>2</sup> grafiğini oluşturunuz. Elde edilen bu grafiğin eğimini kullanarak kirişin elastik modülünü hesaplayınız.

**NOT:** h-W ve eğim-a<sup>2</sup> grafiklerini çizerken grafiklerdeki çizgilere ait denklemlerin virgülden sonraki kısım en az 10 basamak olmalıdır. Aksi takdirde hata oranı yüksek çıkacaktır.

$$\frac{h}{w} = \frac{a^2 b}{2EI} \quad (8)$$

b mesafesi sabit ve 0.25 m alınır ise

$$eğim = \frac{0.125}{EI} \rightarrow E = \frac{0.125}{I \times eğim} \quad (9)$$

olacaktır.

Bulduğunuz Elastik modülü tablo 2' de verilen malzemenin elastik modülü ile kıyaslayarak hata analizini yapınız.

**Tablo 2.** Malzemeler ve Elastik Modülleri

MALZEME	ELASTİKLİK MODÜLÜ
YUMUŞAK ÇELİK	210 Gpa
PIRİNÇ	105 Gpa
ALÜMİNYUM	76 Gpa

$$\% \text{ Hata Analizi} = 100x \frac{E_{deneysel} - E_{teorik}}{E_{teorik}} \quad (10)$$

Deneyler sonucunda ortaya çıkan hataların nedenlerini kısaca açıklayınız.



## GÜZ DÖNEMİ MEKANİK 2 DENEYİ

### 1. DENEY ADI: Burkulma Deneyi

**2. DENEYİN AMACI:** İki ucundan farklı mesnet tipleri ile bağlı, P eksenel yükü ile yüklü farklı kesitlere/malzemelere sahip çubuklarda burkulma deneyleri yapılarak, kritik burkulma yükünün tespitidir. Ayrıca, çubuk kesiti / malzemesi ve farklı mesnet tiplerinin burkulmaya etkisinin incelenmektedir. Bu şekilde, yapılan yükleme ve ölçülen yerlerdeki sehim miktarlarının karşılaştırılması, farklı çubuk boyu, malzeme ve farklı mesnet tipleri için yapılabilir. Maksimum sehim, deney esnasında gözlemlendiği noktada, dijital göstergeler yardımı ile ölçülebilmektedir.

### 3. TEORİK BİLGİLER VE TANIMLAR

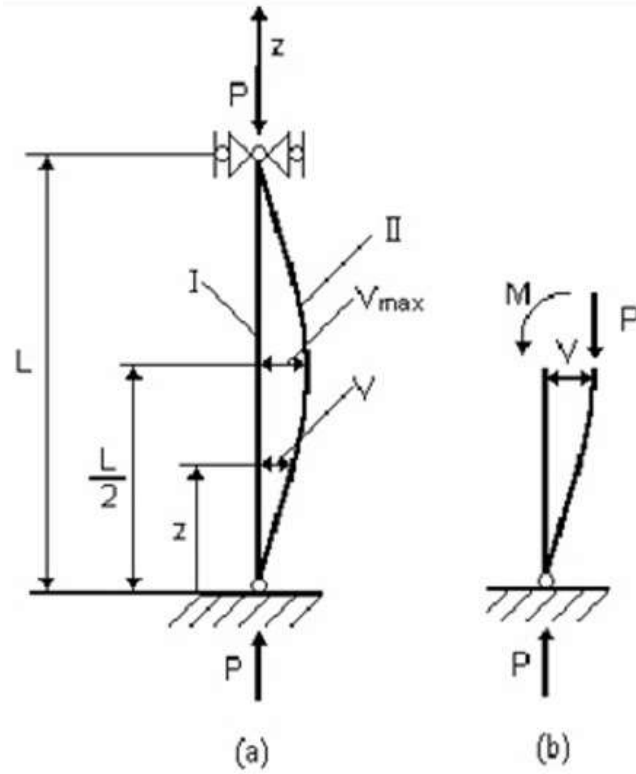
Bir dikey P basma kuvveti çubuğa artan bir yükü, çubuk şekil değiştirene kadar uygulandığında (Şekil 1), P kuvvetinin etkisiyle çubuğun dengeden ayrılması, düşey doğrultudan ayrılması, olayına “burkulma” denir. Burkulma problemiyle, kısa olmayan basınca karşı çalışan taşıyıcı elemanlarda sıkça karşılaşılır. Burkulma sonunda çubuk aşırı şekil değiştirme veya kırılma değerini aşan değerlerde artık görev yapamaz hale gelebilir ve kırılabilir. Eğer malzeme lineer elastik sınırlar içerisinde burkulmaya çalışıyor ise, burkulma çubuk kırılmaz, fazlaca şekil değiştirir. Fakat kırılma olmasa dahi burkulma çubuk şekil değişikliğinin fazla olması nedeniyle görev yapamaz hale gelebilir. Bu nedenle burkulmaya maruz kalan çubukların görevlerini yapabilecek şekilde tasarlanmalıdır.

#### İki Ucundan Mafsallı Prizmatik Çubuk

İki ucundan mafsallı ve P eksenel yükü ile yüklü bir prizmatik çubuk için, I denge konumuna çok yakın II konumu gibi bir eğrisel denge konumunun hangi şartlarda mümkün olacağını tespiti önemlidir. II konumu mevcut olduğu varsayılırsa bu konuma ait elastik eğri denklemi elde edilebilir.

$$\frac{d^2V}{dz^2} = -\frac{M}{EI} \quad (1)$$

I: Ağırlık merkezinden geçen atalet momenti



Şekil 1. İki ucu mafsallı prizmatik çubuk için yükleme durumu

Şekil 2'den,  $M=P.V$  yazılabilir. Böylece elastik eğri denklemi:

$$\frac{d^2V}{dz^2} = -\frac{PV}{EI} \quad (2)$$

veya,

$$\frac{P}{EI} = k^2 \quad (3)$$

yazılırsa,

$$\frac{d^2V}{dz^2} + k^2V = 0 \quad (4)$$

şeklinde ikinci dereceden sabit katsayılı bir diferansiyel denklem elde edilir. Genel çözümü,

$$V = c_1 \sin(kz) + c_2 \cos(kz) \quad (5)$$

Şeklindedir.

$$z=0 \text{ için } V=0 \text{ olması şartı ile } c_2=0 \quad (6)$$

$$z=L \text{ için } V=0 \text{ olması şartı ile } c_1 \neq 0 \text{ ve } c_1 \sin(kL)=0 \quad (7)$$

elde edilir. İkinci şartın sağlanması için  $c_1$  veya  $\sin(kL)$ ' den birisinin sıfır olması gerekir.



$c_2=0$  olduğuna göre  $c_1$ 'de sıfır olursa  $V=0$  olur. Dolayısıyla denge konumu olarak I doğrusal konumu elde edilir. II denge konumunun mevcut olabilmesi için,  $\sin(kL)=0$  olması gerekir. Bu şartın sağlanması için,

$$kL = n\pi \Rightarrow k^2 L^2 = n^2 \pi^2 \quad (8)$$

yazılabilir. Bu durumda, eşitliğindeki  $k^2$  değeri, yerine yazılacak olursa

$$\frac{P}{EI} = \frac{n^2 \pi^2}{L^2} \quad (9)$$

Dolayısıyla

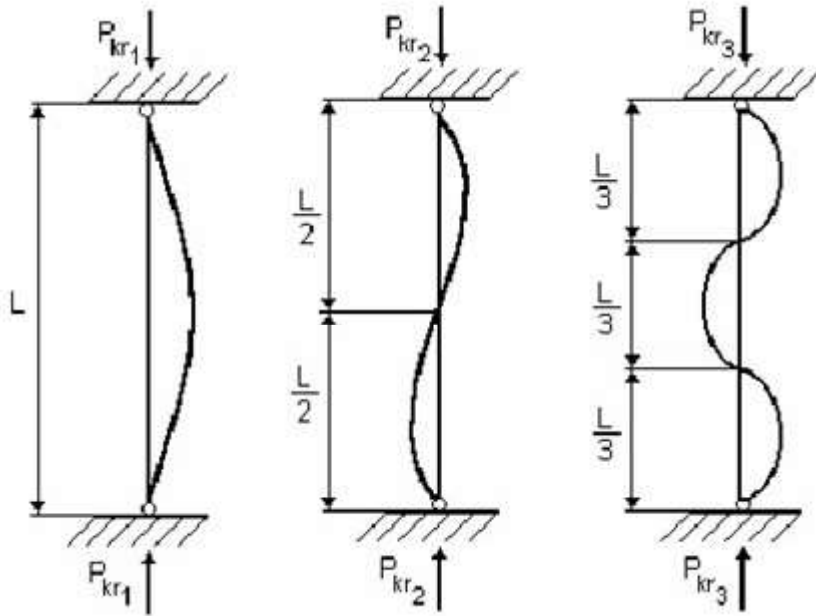
$$P = n^2 \frac{\pi^2 EI}{L^2} \quad (10)$$

elde edilir. Burada,  $n=1,2,3,\dots$  olan tamsayıdır. Böylece, denklem ile bulunacak değerlerin her biri için I denge durumuna yakın II gibi denge durumları olacağı anlaşılır.

$n=1$  için elde edilen, en küçük  $P_{kr}$  değeridir.

$$P_{kr} = \frac{\pi^2 EI}{L^2} \quad (11)$$

$P$  dış yükü sıfırdan itibaren artarken bu değeri aştığı zaman çubuk burkulabileceği için dış yük bakımından aşılması gereken değer kritik değer,  $P_{kr}$ , değeridir. Şekil 2'de  $n=1, 2, 3$  değerlerine karşılık gelen II denge konumları gösterilmiştir.



Şekil 2.  $n=1, 2, 3$  değerlerine karşılık gelen II denge durumları

#### 4. BURKULMA DENEY TESİSATI



**Şekil 3.** Burkulma deney seti, burkulma numuneleri ve dijital gösterge

Kullanılan Cihaz Donatım ve Malzemeler:

- Burkulma davranışı incelenecek çubuk numune
- Burkulma deney seti
- Dijital gösterge (sehim ölçer), Şekil 3'te gösterilmiştir.

#### 5. DENEYİN YAPILIŞI

Farklı kesit ve malzemedan yapılmış deney numuneleri, deney düzeneğine farklı mesnet tiplerine göre bağlanır. Yük kolu yardımıyla numuneye aksel basınç kuvveti uygulanır. Her bir yükleme değeri için elde edilen sehim miktarı Tablo 1' e yazılır.

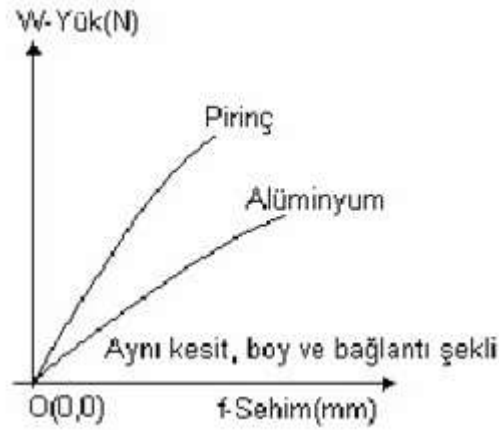
Burkulma deney sonuçlarına göre aşağıdaki grafikleri çizilme imkanı verir

Bu grafiklerden ilki, aynı deney numunesi için ( çubuk kesiti, malzemesi ve boyu aynı) farklı mesnet tiplerinde göre çizilebilecek olan grafiklerdir. (Şekil4)

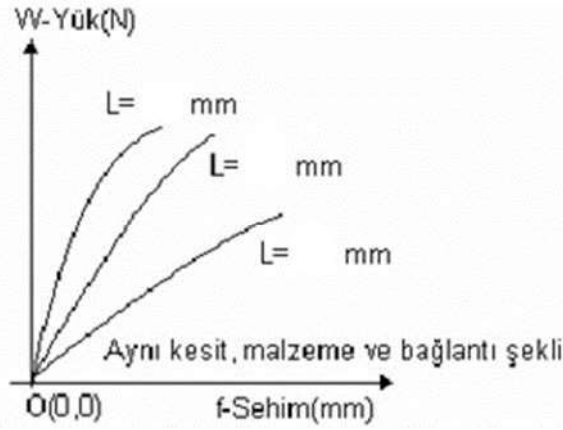


**Şekil4.** Aynı malzeme ve kesite sahip numunenin farklı mesnet tiplerindeki yük-sehim grafiği

İkinci grafik ise, aynı kesit ve boya, aynı mesnet tipine sahip farklı malzemeden yapılmış deney çubuklarının yük-sehim miktarını gösteren grafikdir.(Şekil 5).



**Şekil 5.** Aynı kesite sahip farklı malzemeden deney numunelerinin yük-sehim grafiği  
Çizilebilecek diğer bir grafik ise aynı malzeme ve kesite sahip deney çubuğunun farklı boyları için, aynı mesnet tipindeki yük-sehim miktarı grafikidir. (Şekil 6).



**Şekil 6.** Aynı malzeme ve kesite sahip numunenin farklı boyları için yük-sehim grafiği

Adı-Soyadı :  
Numara :  
İmza :

Deneyi Yürüten Öğretim Elemanı :  
Deneyin Yapıldığı Tarih :  
Grup-Alt Grup :

NOT

### Hesaplamalarda istenenler,

**Tablo 1.** Deney Esnasında Doldurulacak Tablo

Çubuk Malzemesi:		Kesit Boyutları:
Bağlantı Şekli:		Çubuk Boyu:
Deney No:	Yük (N)	Sehim Miktarı (mm)
1		
2		
3		
4		

Deneyler sonucunda ortaya çıkan hataların nedenlerini kısaca açıklayınız.

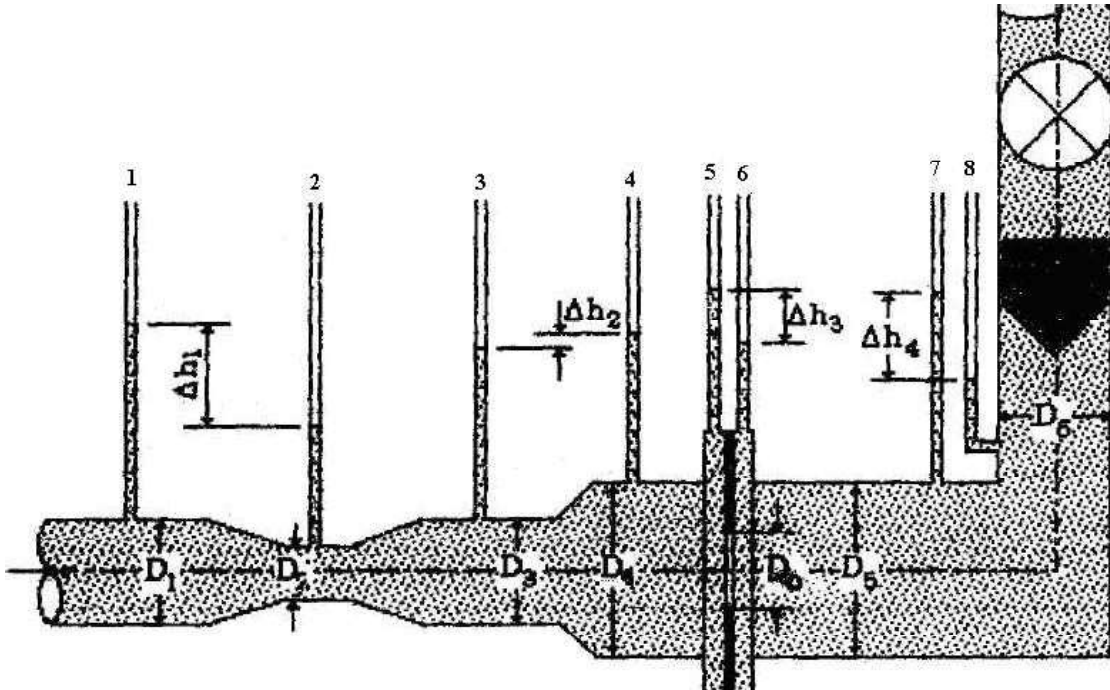
## GÜZ DÖNEMİ AKIŞKANLAR MEKANİĞİ DENEYİ

### 1. DENEY ADI: Bernoulli Deneyi

2. **DENEYİN AMACI:** Kapalı bir kanalda (boruda) akış olayında; ağırlık, ventürimetre ve rotametre yöntemiyle debi tayini, ani genişleme elemanının da ve dirsekte yersel enerji kayıplarının etüdü ve boru içerisinde bulunan orifisin debi katsayısının tayini.

3. **DENEY APARATININ ŞEMASI VE KISA AÇIKLAMASI:** Deney aparatının şeması laboratuarda öğrenci tarafından çizilecektir.

Deney tesisatının çalışma prensibi: Karakteristikleri üzerinde belirtilen santrifüj bir pompa tarafından beslenen tesisat kapalı devre olarak çalışmaktadır. Sistemde su  $D_1=26$  mm çaplı bir borudan geçerek  $D_2=16$  mm çapa daralıp tekrar  $D_3=26$  mm çaplı bir boruya genişleyerek, ventürimetre bölgesinden geçip  $D_4=51$  mm çapa ani olarak genişlemekte ve aynı çapta devam ederken,  $D_0=20$  mm çaplı bir orifisten geçmekte ve yine  $D_5=51$  mm çaplı boru ile devam ederken  $90^\circ$  lik bir dirsek ile sapma yaparken çap  $D_6=25$  mm'ye daralmaktadır. Daha sonra düşey konumdaki rotametreden geçerek debi ayar vanasından geçmekte ve tartı kabına akıp, oradan da depoya geri dönerek devresini tamamlamaktadır.



Şekil 1. Şematik Bernoulli deney tesisatı

### 3.1.Deney Cihazının Konstrüktif Değerleri:

$D_0=20$  mm (standart orifis çapı),  $D_1=D_3= 26$  mm,  $D_2=16$  mm (ventürimetre bölgesi),  
 $D_4=D_5=51$  mm,  $D_6=25$  mm'dir.

**Rotametre:** 0–270 mm arası taksimatlandırılmış olup 0-35 L/d arasında okuma yapılabilir.

**Piyezometrik Panel:** Okuma skalası 0–380 mm arasındır.

## 4. TEORİK BİLGİLER VE TANIMLAR

### Ventürimetre ile Debinin Tayini

1 ve 2 kesitleri arasında Bernoulli enerji denklemini yazarsak:

$$z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} = z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + \Sigma H_k \quad (1)$$

olur. Burada sistemin kayıpsız olması kabulü ile kayıp enerji terimi  $\Sigma H_k =0$  alınır. Boru ekseninin yatay konumda olduğu göz önüne alınırsa  $z_1=z_2$  olur. Bu durumda yukarıdaki denklem:

$$\frac{P_1 - P_2}{\gamma} = \frac{V_2^2 - V_1^2}{2g} \quad (2)$$

şekline gelir.

Denklemden  $P_1$ , 1 kesitindeki basınç olup:

$$P_1 = h_1 \cdot \gamma \quad (3)$$

$P_2$ , 2 kesitindeki basınç olup

$$P_2 = h_2 \cdot \gamma \quad (4)$$

şeklinde dir. Bunlar yukarıdaki son Bernoulli ifadesinde yerlerinde konulduğunda

$$2 \cdot g (h_1 - h_2) = V_2^2 - V_1^2 \quad (5)$$

elde edilir. Diğer taraftan  $Q_1=Q_2$  süreklilik denkleminde:

$$\frac{\pi \cdot D_1^2}{4} \cdot V_1 = \frac{\pi \cdot D_2^2}{4} \cdot V_2 \rightarrow V_2 = \left( \frac{D_1}{D_2} \right)^2 \cdot V_1 \quad (6)$$

elde edilir. Denklem (6) dan çekilen hız değeri 5.denkleminde yerine yazılıp ( $h_1-h_2=\Delta h$  için)

$V_1$  çekilirse:

$$V_1 = \sqrt{\frac{2 \cdot g \cdot \Delta h}{\left( \frac{D_1}{D_2} \right)^4 - 1}} \quad (7)$$

bulunmuş olur. Burada  $D_1$  ve  $D_2$  ve  $D_3$  çapları tesisattan belli olup  $D_1=D_3=26\text{mm}$ ,  $D_2=16\text{mm}$ 'dir. Yerçekimi ivmesi  $g=9,806 \text{ m/s}^2$  alınır ve  $\Delta h$  deney esnasında tespit edilip m olarak konduğunda  $V_1$  "m/s" biriminden bulunur. Buradan sistemim debisi:

$$Q_V = \frac{\pi \cdot D_1^2}{4} \cdot V_1 = \frac{\pi \cdot D_1^2}{4} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot g \cdot \Delta h}{(D_1/D_2)^4 - 1}} \quad (8)$$

olarak yazılır. Burada da  $D_1$  çapının m biriminde konulması halinde debi ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) biriminde hesaplanır.

## 5. DENEYİN YAPILIŞI VE HESAPLAR

Deneye başlanırken sistemdeki tüm prizleri numaralandırınız. Pompayı çalıştırdıktan sonra debi ayar vanasını tam açık konuma getirerek sistemdeki tüm havayı hava tahliye supabını açarak boşaltınız. Bu işleme tesisatta ve prizlerin su ile dolu kısımlarında hiç hava kabarcığı kalmayınca kadar devam ediniz.

Debi ayar vanasıyla sistemin debisini ayarlayarak, prizlerdeki su seviyelerinin tam olarak ölçekli panoya düşmesini sağlayınız.

Daha önce numaralandırdığımız prizlerdeki su yüksekliklerini hassas bir şekilde teker teker okuyarak daha önce teşkil ettiğiniz hesap tablosuna yazınız.

Bu değerleri kullanarak yukarıdaki formüller yardımıyla, tüm hesaplamaları yapıp, bulduğunuz sonuçları yine aynı tabloda yerlerine yazınız.

### 5.1.Ventürimetre İle Debi Tayini

Teorik bilgiler bölümünde anlatılmıştır.

### 5.2.Rotametre İle Debi Tayini

$$Q_R = K \cdot h_R \cdot 10^{-9} \text{ (m}^3/\text{s)} \quad (9)$$

$Q_R$  : Rotametre debi ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

$K$  : Debi çarpanı,  $2160 \text{ mm}^2/\text{s}$

$h_R$  : Rotametreden okunan değer (mm)

### 5.3. Ağırlık Yöntemi İle Debi Tayini

$$Q_{AY} = \frac{W}{t} \cdot \frac{1}{\rho} \quad (10)$$

$Q_{AY}$  : Ağırlık yöntemi debi ( $m^3/s$ )

$W$  : Depoda biriken su ağırlığı, 7,5 kg

$t$  : zaman (s)

$\rho$  : Suyun yoğunluğu  $1000 \text{ kg/m}^3$

### 5.4. Genişleme Elemanının Yersel Enerji Kaybının Tayini

3 ve 4 kesitleri arasında Bernoulli Denklemi:

$$z_3 + \frac{P_3}{\gamma} + \frac{V_3^2}{2g} = z_4 + \frac{P_4}{\gamma} + \frac{V_4^2}{2g} + K_G \cdot \frac{V_4^2}{2g} \quad (11)$$

olarak yazılır. Burada  $K_G$  ani genişleme kayıp katsayısıdır. Sistem yatay olduğundan  $z_3=z_4$ ,  $P_3-P_4=\Delta h_2 \cdot \gamma$  yerlerine konursa:

$$2g \cdot \Delta h_2 = V_4^2 - V_3^2 + K_G \cdot V_4^2 \quad (12)$$

$K_G$  hariç bütün değerler bilindik olup, bilinmeyen  $K_G$  değeri çekilerek hesaplanır. Debi bilindiğine göre, süreklilik ifadesinden tüm hızlar biliniyor demektir.  $\Delta h_2$  ise deney esnasında okunacaktır.

### 5.5. Dirseğin Yersel Enerji Kaybı:

Dirseğin giriş ve çıkışı olan 5 ve 6 kesitleri arasında kayıplı Bernoulli Denklemi:

$$z_5 + \frac{P_5}{\gamma} + \frac{V_5^2}{2g} = z_6 + \frac{P_6}{\gamma} + \frac{V_6^2}{2g} + K_d \cdot \frac{V_6^2}{2g} \quad (13)$$

olarak yazılır. Burada  $K_d$ ,  $90^\circ$  lik dirsekte yersel enerji kayıp katsayısıdır. Prizlerdeki sıvı yüksekliğine göre hidrostatikten:

$$z_5 - z_6 + \frac{P_5 - P_6}{\gamma} = \Delta h_4 \quad (14)$$

yazılıp, yukarıdaki ifadede yerine koyarsak Bernoulli Denklemi:

$$2g \cdot \Delta h_4 = V_6^2 - V_5^2 + K_d \cdot V_6^2 \quad (15)$$

şekline gelir. Burada hız değerleri Süreklilik ifadesinden  $\Delta h_4$  ise deney ölçümlerinden bilindiğine göre, bilinmeyen dirsek kayıp katsayısı  $K_d$  hesaplanabilir.



### 5.6.Orifis Debi Katsayısının Tayini

$$Q = m \cdot \Omega \cdot \sqrt{2g \cdot \frac{\Delta P}{\gamma}} = m \cdot \Omega \cdot \sqrt{2g \cdot \Delta h_3} \rightarrow m = \frac{Q}{\Omega \cdot \sqrt{2g \cdot \Delta h_3}} \quad (16)$$

ifadesinden hesaplanabilir. Burada

- m : Orifis debi katsayısı  
Q : Debi (m<sup>3</sup>/s)  
 $\Omega$  : Orifis kesit alanı (m<sup>2</sup>)  
g : Yer çekimi ivmesi (9,806m/s<sup>2</sup>)  
 $\Delta h_3$  : Deneyde okunacaktır (m)

$$\Omega = \pi \cdot D_0^2 / 4 \quad (17)$$

D<sub>0</sub> : Orifis çapı (m)

## 6. RAPORDA İSTENENLER

Öğrenci yukarıda teorik olarak belirtilen denklemler yardımıyla kendi almış olduğu deney sonuçlarına göre istenilen verileri hesaplayacaktır.

1. Buna göre öncelikle Venturimetre Yöntemine göre V<sub>1</sub> ve V<sub>2</sub> hızları bulunup, bu yönteme göre hacimsel debi hesaplanmalıdır.
2. Daha sonra Rotametre ve Ağırlık Yöntemlerine göre debiler hesaplanmalıdır. Ortalama debi değerine göre tüm farklı çaplar için hızlar hesaplanır (V<sub>1</sub>, V<sub>2</sub>, V<sub>3</sub>, V<sub>4</sub>, V<sub>5</sub>, V<sub>6</sub>).
3. Deneysel veriler ve hesaplanan değerlere göre genişleme ve dirsekteki yersel yük kayıp katsayıları bulunmalıdır.
4. Ortalama debi kullanılarak orifis debi katsayısı bulunmalıdır.
5. Piyezometrik ve toplam yük eğrilerinin ölçekli olarak milimetrik kâğıda çizimini yapınız.
6. Sonuç ve irdeleme yapınız.

Adı-Soyadı :  
Numara :  
İmza :

Deneyi Yürüten Öğretim Elemanı :  
Deneyin Yapıldığı Tarih :  
Grup-Alt Grup :

NOT

7.

## HESAP TABLOSU

**Tablo 1.** Ölçüm Tablosu

Deney No	Okunacak Değerler									
	h <sub>1</sub>	h <sub>2</sub>	h <sub>3</sub>	h <sub>4</sub>	h <sub>5</sub>	h <sub>6</sub>	h <sub>7</sub>	h <sub>8</sub>	h <sub>R</sub>	t
	(mm)									(s)
1										

**Tablo 2.** Hesaplanan Değerler

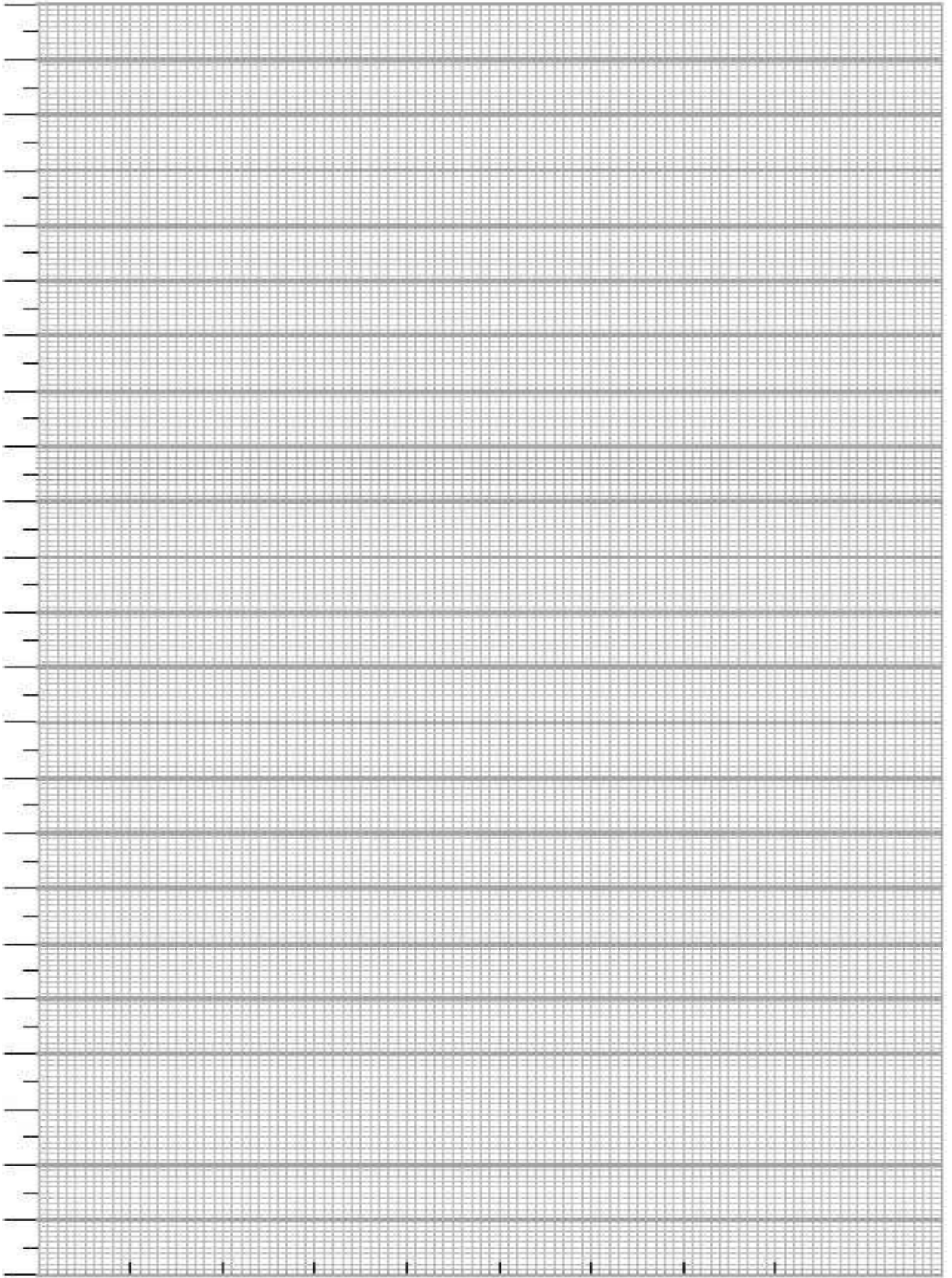
Deney No	Hesaplanan Değerler														
	V <sub>1</sub>	V <sub>2</sub>	Q <sub>V</sub>	Q <sub>R</sub>	Q <sub>AY</sub>	Q	V <sub>1</sub>	V <sub>2</sub>	V <sub>3</sub>	V <sub>4</sub>	V <sub>5</sub>	V <sub>6</sub>	K <sub>G</sub>	K <sub>d</sub>	m
	(m/s)		(m <sup>3</sup> /s)				(m/s)						(birimsiz)		
1															

### 7.1. Hesaplamalar

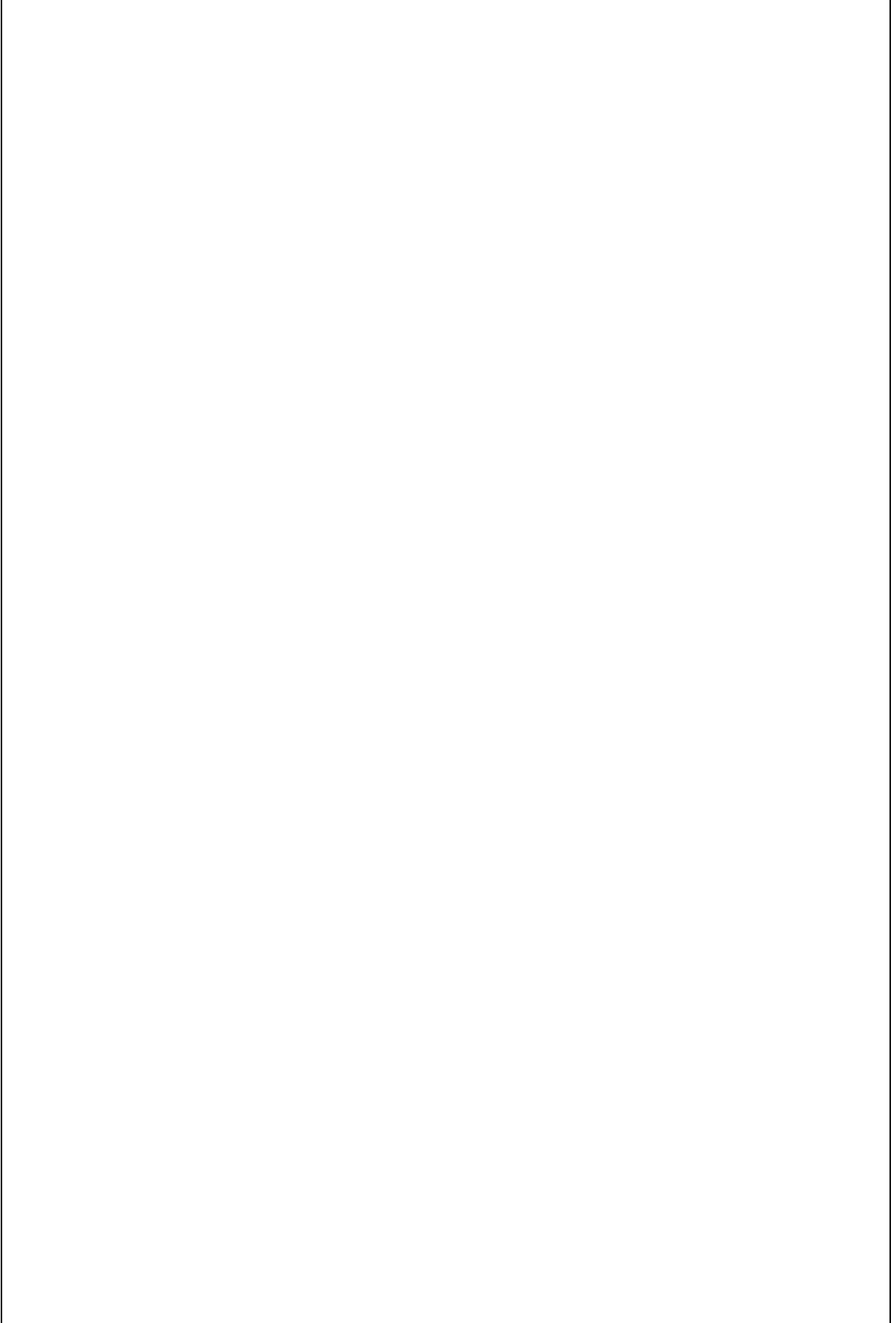
Lütfen işlemlerinizi bu alana yazınız. (Gerek duyulduğu takdirde Ek A4 kâğıdı kullanılabilir.)

Lütfen işlemlerinizi bu alana yazınız. (Gerek duyulduğu takdirde Ek A4 kâğıdı kullanılabilir.)

7.2. Piyezometrik ve toplam yük eğrilerinin ölçekli olarak milimetrik kâğıda çizimi



### 7.3.Sonuç ve İrdeleme



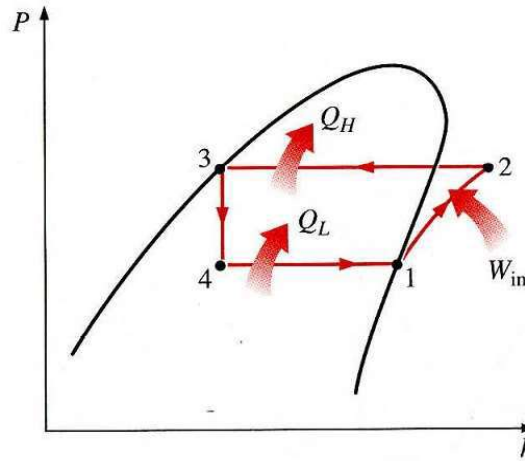
## GÜZ DÖNEMİ TERMODİNAMİK DENEYİ

**1. DENEY ADI:** Soğutma Çevrimi ve İklimlendirme Deneyi

**2. DENEYİN AMACI:** Soğutma sistemlerinin çalışma prensiplerinin tanıtılması ve klima santrali test düzeneğinde alınan ölçüm sonuçlarının değerlendirilmesi

### 3. TEORİK BİLGİLER VE TANIMLAR

Uygulamada sık sık sıcaklığı düşük olan bir ortamdan çekilen ısının sıcaklığı daha yüksek olan bir ortama verilmesi problemi ile karşılaşılır. Bu amacı gerçekleştirmek için geliştirilen sistem bir yerin çevre sıcaklığı altında tutulması için kullanılıyorsa soğutma makinası adını alır. Bu sırada çevreden iş verilmesi gerektiğinden bir soğutma makinası çevrimi (P-h) ve (T-s) diyagramları üzerinde saat ibrelerinin aksi yönde çizilir. (Şekil 1’de gösterilmiştir.)

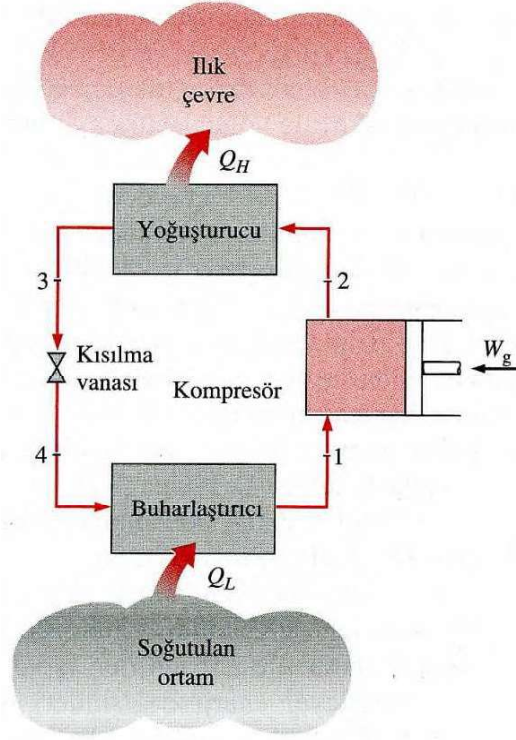


**Şekil 1.** İdeal buhar sıkıştırımlı çevrimin P-h diyagramı

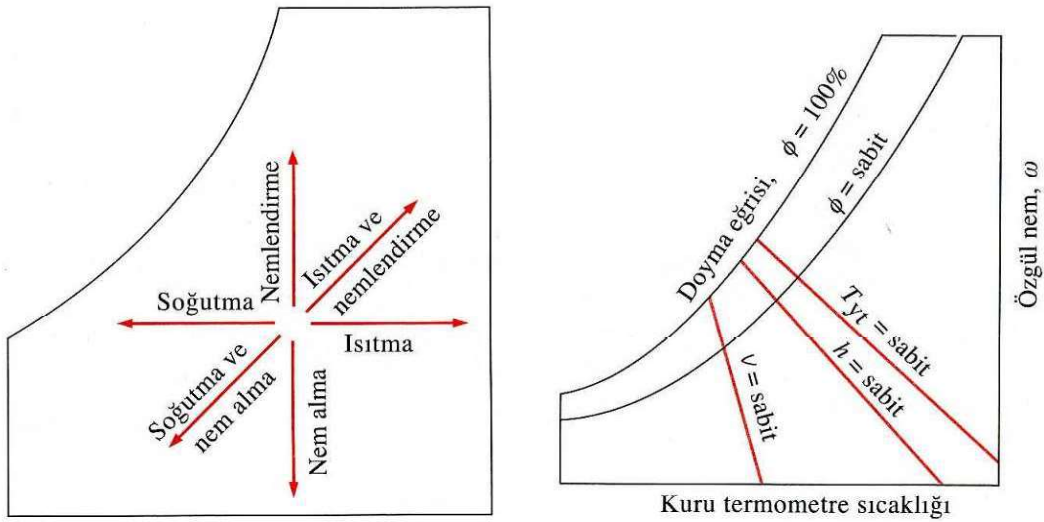
Çevrimde gerçekleşen çeşitli süreçlerde akışkan buharlaşıyor veya yoğuşuyorsa buharlı soğutma makinası çevrimi (veya buhar sıkıştırımlı soğutma makinası) söz konusu olur. Kompresöre 1 noktasında giren doymuş buhar 2 noktasına kadar sıkıştırıldıktan sonra kondenserde (yoğuşturucuda) soğutma suyuna (veya soğutma havasına)  $q_{2-3}$  ısısını vererek yoğuşmakta ve 3 noktasında doymuş sıvı elde edilmektedir. 3 noktasından genişleyerek iş yapan akışkan 4 noktasından 1 noktasına kadar buharlaştırıcı (evaporatör) içerisinde buharlaşarak çevreden  $q_{4-1}$  ısısını alır.

#### 4. İKLİMLENDİRME DENEY TESİSATI

Deney tesisatı ile havanın iklimlendirilmesinin psikrometrik diyagramda şematik olarak gösterimi Şekil 3'te verilmiştir. Kullanılan deney cihazında hava öncelikle bir miktar soğutulmaktadır. Soğutulan havanın ve ilk durumda şartlandırılmamış ortam mahali havasının bağıl nemi, yaş termometre sıcaklığı, kuru termometre sıcaklığı, özgül hacmi, özgül nemi psikrometrik diyagramda aşağıdaki şekilde bulunabilmektedir.



Şekil 2. İdeal buhar sıkıştırımlı çevrimi



Şekil 3. Psikrometrik diyagram

Bir soğutma makinasının verimi etkinlik katsayısı ile ifade edilir ve COP ile gösterilir.

$$COP_{SM} = \frac{q_L}{w_{net,g}} = \frac{h_1 - h_4}{h_2 - h_1} \quad (1)$$

Herhangi bir noktanın entalpisi hesaplanırken, örneğin  $T_A$  kuru termometre sıcaklığında  $w_A$  mutlak nemine sahip A noktası (şartlandırılmamış hava) için,

$$h_A = c_p T_A + \omega h_{buh} \quad (2)$$

şeklinde belirlenebilir. Aynı şekilde örneğin  $T_B$  kuru termometre sıcaklığında  $w_B$  mutlak nemine sahip B noktası (şartlandırılmış hava) için,

$$h_B = c_p T_B + \omega h_{buh} \quad (3)$$

şeklinde belirlenebilir.  $c_p$  havanın mevcut koşullarında özgül ısınma ısısı,  $h_{buh}$  ise havanın içerisinde bulunan su buharının entalpisidir ve

$$h_{buh} = 2501,3 + 1,805 T_{buh} \quad (4)$$

formülüyle belirlenebilir. A ve B noktaları için ayrı ayrı  $h_{buh}$  değeri hesaplanacaktır.

Evaporatör vasıtasıyla ortamdaki gerçekleştirilen ısı çekimi, klima santralinde havadan çekilen ısıdır ve enerji dengesi yazılacak olursa,

$$\dot{Q}_l = \dot{Q}_{hava} \quad (5)$$

ve

$$\dot{m}_{sa} (h_1 - h_4) = \dot{m}_{hava} (h_A - h_B) \quad (6)$$

şeklinde yazılabilir. Kanal kesiti bilinen santralde (30 cm x 30 cm alınabilir) havanın kütleli debisi belirlendikten sonra hava hızının bulunması istenmektedir.

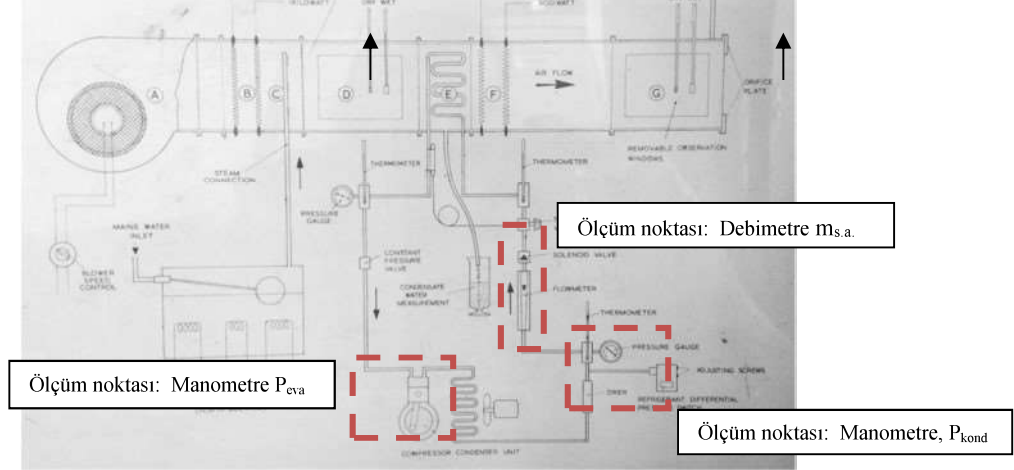
$$\dot{m}_{hava} = \rho_{hava} \cdot A_{kanal} \cdot V_{hava}$$



Madde (1)'de belirtilen ölçüm noktası Madde (2)'de belirtilen ölçüm noktası

$T_{\text{kuru}}, T_{\text{yaş}}, \text{Bağıl nem}$  A

$T_{\text{kuru}}, T_{\text{yaş}}, \text{Bağıl nem}$  B



Şekil 4. Klima santralinin şematik gösterimi

## 5. DENEYİN YAPILIŞI

Soğutma çevriminin tüm ekipmanları klima santrali üzerinde Şekil 4'te gösterilmektedir.

- Her öğrenci aşağıdaki deney işlem sırasını takip ederek deneyini gerçekleştirecektir.
- Föyde açıklanan teorik bilgiler yardımıyla istenilen hesaplamaları yapacak ve ekteki şablon ile sonuçlarını düzenleyecektir.
- Mavi ile boyalı hacimde bulunan soğutma serpantini öncesi ve sonrası ölçüm noktaları oluşturulmuştur. Şekil 4'te ölçüm alınacak noktalar gösterilmiştir.

Madde 1. Havanın ilk şartlardaki fiziksel özelliklerini belirlemek amacıyla fan devreye alındıktan sonra, ancak soğutucu çalıştırılmadan klima santrali üzerindeki ölçüm noktasından (Şekil 4'de gösterilmiştir) değerler okunacaktır. Sırasıyla kuru termometre sıcaklığını ( $^{\circ}\text{C}$ ), yaş termometre sıcaklığını ( $^{\circ}\text{C}$ ) ve bağıl nem (%) değerleri okunacaktır ve tabloya yazılacaktır.

Madde 2. Sonrasında kompresör çalıştırılır ve hava belirli bir süre soğutulur. Soğutulan havanın klima santralinden çıkış şartları (1) nolu maddede belirtildiği gibi aynı şekilde belirlenir. Sırasıyla soğutulan havanın, kuru termometre sıcaklığı ( $^{\circ}\text{C}$ ), yaş termometre sıcaklığı ( $^{\circ}\text{C}$ ) ve bağıl nem (%) değerleri okunup tabloya yazılacaktır.

Madde 3. Bu esnada ayrıca, soğutucu akışkan debisi ( $m_{s.a.}$ ) evaporator ve kısılma valfi öncesinde yerleştirilmiş olan debimetre ile ölçülmektedir (kg/h). Öğrenci debimetre üzerindeki skaladaki değeri okuyacaktır ve tabloya yazacaktır.

Madde 4. Ayrıca soğutma çevrimine yerleştirilen manometreler vasıtasıyla evaporasyon ve kondenzasyon basınçları belirlenir. Öğrenci tarafından bu değerler Tablo 1'e not edilecektir.

### **Hesaplamalarda istenenler,**

Öğrenci yukarıda teorik olarak belirtilen prosesleri kendi almış olduğu deney sonuçlarını kullanarak aşağıda istenilen verileri hesaplayacaktır.

1. lnP-h diyagramı (Şekil 6) üzerinde soğutma çevrimini çizecektir ve Şekil 1'de belirtilen 1-2-3-4 noktalarının entalpi değerlerini Şekil 6'da verilen diyagram üzerinden okuyacaktır.

Deney sonunda, hazırlamış olduğunuz diyagramı teslim etmeyi unutmayınız.

2. Klima Santralinde gerçekleşen soğutma prosesini psikrometrik diyagram (Şekil 5) üzerinde çizecektir. Psikrometrik diyagramda ortam havası "A" olarak belirtilecektir. Şartlandırılmış hava ise "B" olarak belirtilecektir. Öğrenci sonrasında, psikrometrik diyagram üzerinden ortam havasının ve şartlandırılmış havanın mutlak nemini belirleyecektir.

**Deney sonunda, hazırlamış olduğunuz diyagramı teslim etmeyi unutmayınız.**

3. Havanın kütleli debisini belirleyiniz. ( $m_{hava}=?$ )

(Hesaplamalarda föyde belirtilen formülasyonlardan yararlanılacaktır ve yapılan hesaplamalar Tablo 2 ve Tablo 3'te ilgili boşluklara yazılacaktır.)

4. Havanın hızını belirleyiniz. ( $V_{hava}=?$ ) (Tablo 2 ve Tablo 3'te ilgili boşluklara yazılacaktır.)

5. Sistemin COP değerini belirleyiniz. (Tablo 2 ve Tablo 3'te ilgili boşluklara yazılacaktır.)

<b><u>Hatırlatma</u></b>
1 Pa = 1 N/m <sup>2</sup>
1 bar = 10 <sup>5</sup> Pa
$c_p = 1,004$ kJ/kg K (değişimini ihmal ederek, sabit kabul ediniz.)
Mutlak basınç = Manometrik basınç + Atmosferik basınç

Adı-Soyadı : Deneyi Yürüten Öğretim Elemanı :  
Numara : Deneyin Yapıldığı Tarih :  
İmza : Grup-Alt Grup :

NOT

**Tablo 1.** Ölçüm verileri tablosu

Madde (1)'de belirtilen ölçüm sonuçları			Madde (2)'de belirtilen ölçüm sonuçları			Madde (3) ve Madde (4)'te belirtilen ölçüm sonuçları		
Kuru termometre sıcaklığı	Bağıl nem	Yaş termometre sıcaklığı	Kuru termometre sıcaklığı	Bağıl nem	Yaş termometre sıcaklığı	$m_{s.a.}$	$P_{eva}$	$P_{kond}$
(°C)	(%)	(°C)	(°C)	(%)	(°C)	(kg/h)	Lütfen birimi ile birlikte değerleri yazınız.	

**Tablo 2.** Hesap sonuçları

	Hesaplanan değer			Hesaplanan değer	
$h_A$		kJ/kg	$m_{hava}$		Lütfen birimi ile birlikte değerleri yazınız.
$h_B$		kJ/kg	$V_{hava}$		
$h_1$		kJ/kg	COP		
$h_4$		kJ/kg			

**Tablo 3.** Hesaplamalar

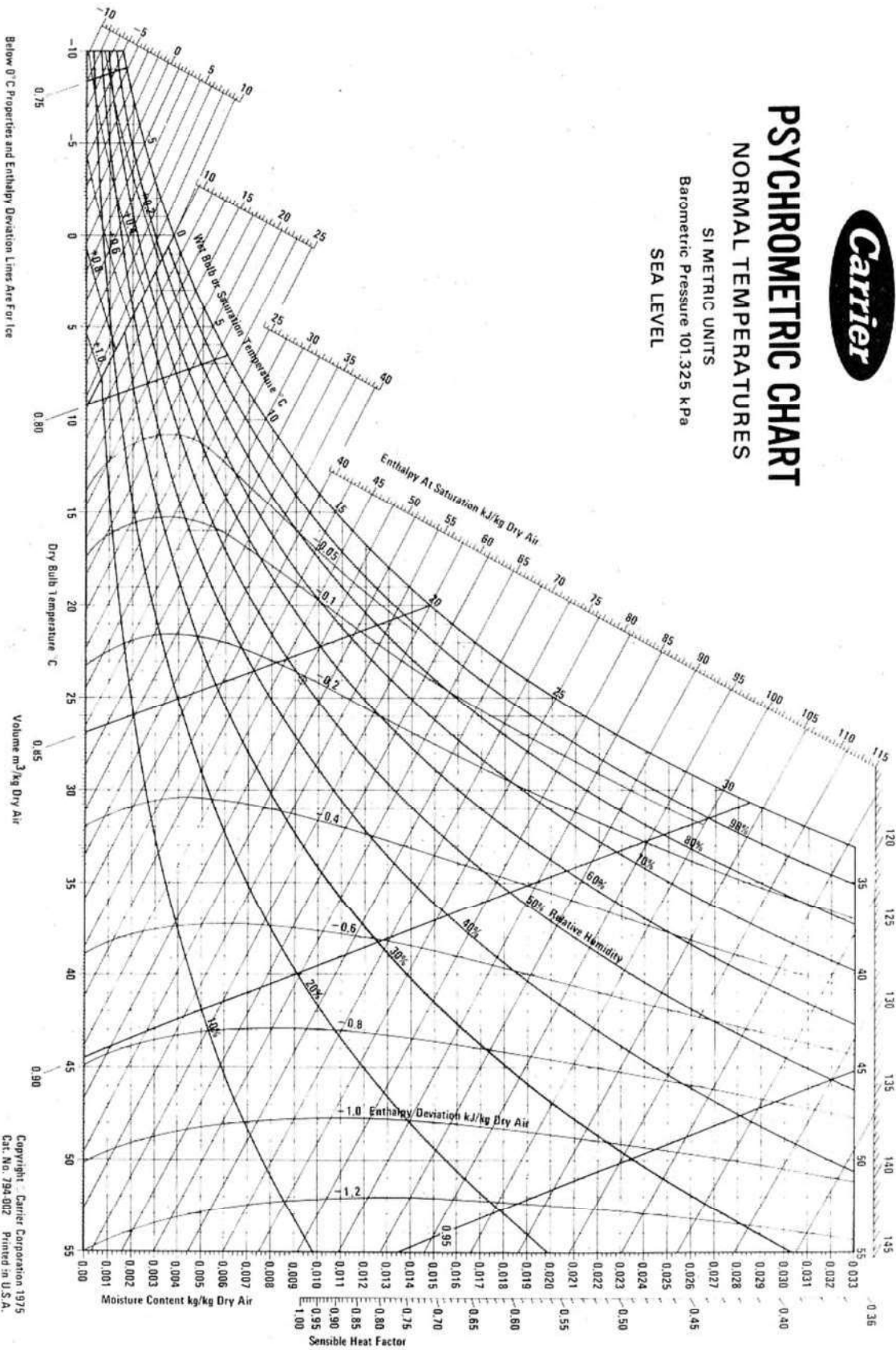
Lütfen işlemlerinizi bu alana yazınız. (Gerek duyulduğu takdirde Ek A4 kağıdı kullanılabilir.)



# PSYCHROMETRIC CHART

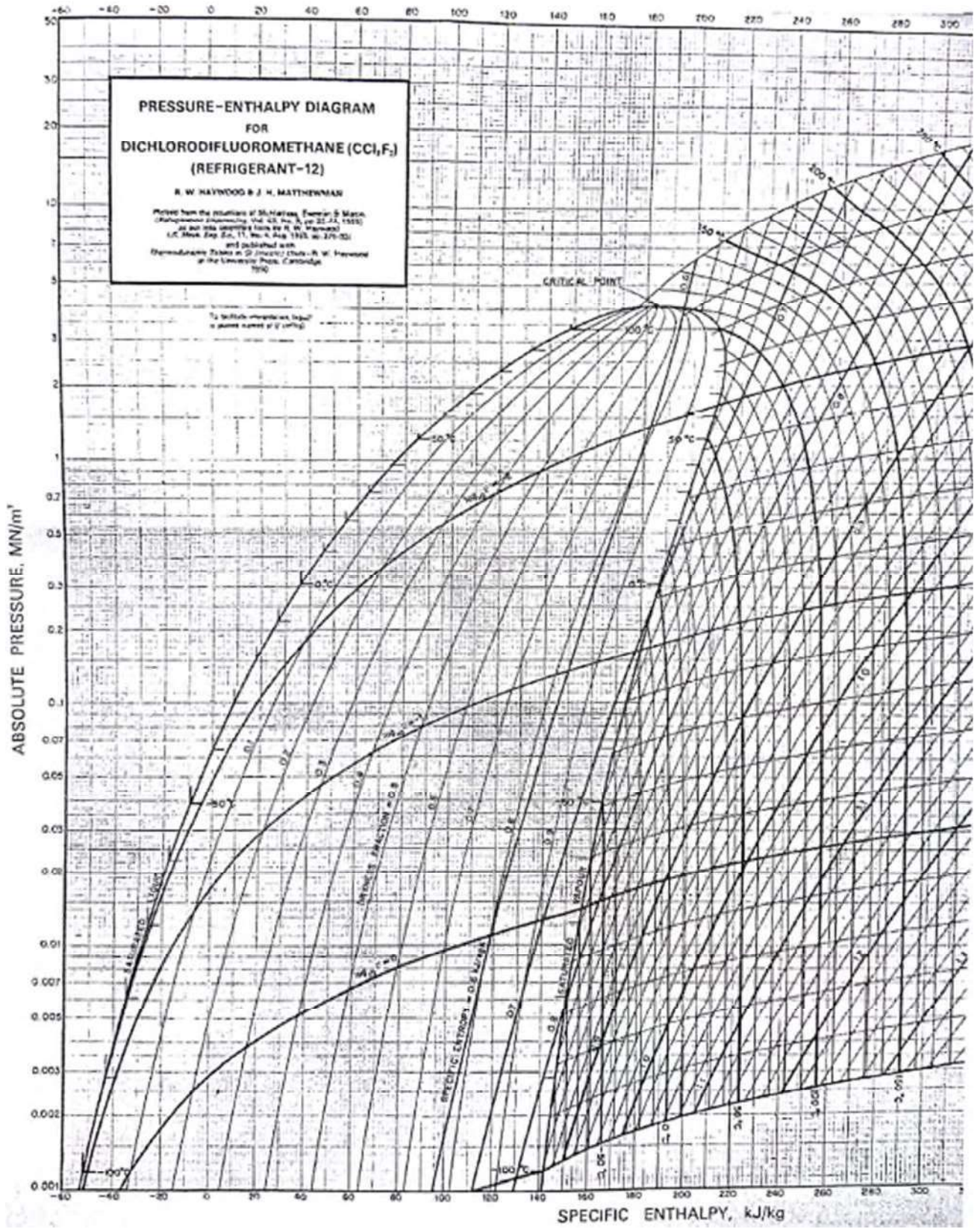
## NORMAL TEMPERATURES

SI METRIC UNITS  
Barometric Pressure 101.325 kPa  
SEA LEVEL



Şekil 5. Psikrometrik diyagram

## Pressure-enthalpy diagram for Freon 12



Şekil 6. Soğutucu akışkanın lnP-h diyagramı

## GÜZ DÖNEMİ KONSTRÜKSİYON DENEYİ

### 1. DENEY ADI: Cıvata Bağlantılarında Moment - Kuvvet İlişkisinin İncelenmesi

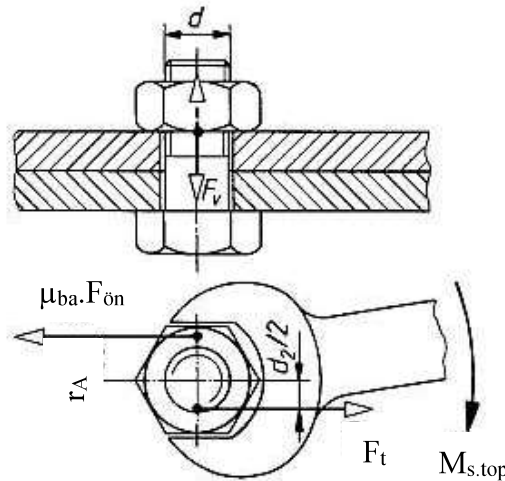
### 2. DENEYİN AMACI:

- Cıvata bağlantılarında sıkma momenti ( $M_{s.top}$ ) ve ön gerilme kuvveti ( $F_{ön}$ ) arasındaki ilişkinin deneysel olarak belirlenmesi
- Cıvata-Somun dişleri arasındaki ( $\mu_{cs}$ ) ve Somun-Sıkılan Parça arasındaki başlık altı ( $\mu_{ba}$ ) sürtünme katsayılarının tespit edilmesi

### 3. TEORİK BİLGİLER VE TANIMLAR

Cıvata bağlantılarında, sıkılan parçalar arasındaki kuvvet bağı, somunun bir anahtarla sıkılması yoluyla sağlanır. Anahtara kol kuvveti ile uygulanan moment, sistemdeki iki direnç momenti toplamını ( $M_{s.top}$ ) karşılamak zorundadır. İki dirençten birisi, cıvata-somun dişleri arasındaki sürtünme momenti ( $M_{cs}$ ), diğeri de somun ile sıkılan parça arasındaki “başlık altı” sürtünme momentidir ( $M_{ba}$ ).

Anahtara uygulanan sıkma momenti moment anahtarındaki komparatörden okunan değer yardımıyla Denklem 2 kullanılarak hesaplanır. Cıvataya etki eden  $F_{ön}$  (sıkma kuvveti) ise parça üzerindeki komparatörden okunan değer yardımıyla Denklem 3 kullanılarak hesaplanır.



Şekil 1. Cıvata Bağlantılarında Moment- Kuvvet İlişkisini Gösterilmesi

$$M_{s.top} = M_{cs} + M_{ba} \quad (1)$$

$$M_{s.top} = k_d \Delta_d \quad (2)$$

$$F_{\dot{on}} = k_p \Delta_p \quad (3)$$

#### 4.1 Başlık Altı Sürtünmesinin Dâhil Edilmediği Durum

Bu durumda, başlık altı sürtünme momenti ihmal edilir.  $M_{ba} \approx 0$ . Bu durumda toplam sıkma momenti değerı cıvata-somun dişleri arasındaki sürtünme momenti ( $M_{cs}$ ) değerine eşit olur.

$$M_{cs} = F_t \cdot r_2 \quad (4)$$

“ $F_t$ ” – “ $F_{\dot{on}}$ ” arasındaki bağıntı aşağıdaki gibidir.

$$F_t = F_{\dot{on}} \cdot \tan(\beta + \rho) \quad (5)$$

$$\mu_{cs} = \tan(\rho) \quad \rho: \text{sürtünme açısı} \quad (6)$$

#### 4.2 Başlık Altı Sürtünmesinin Dâhil Edildiği Durum

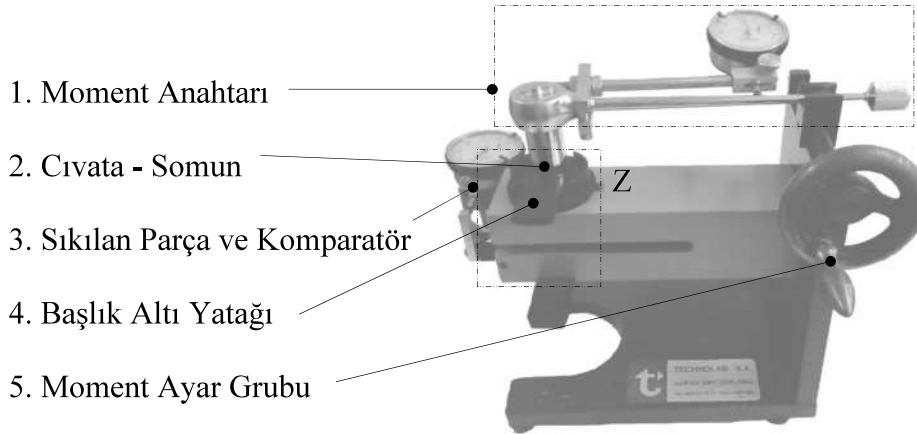
Bu durumda toplam sıkma momenti değerı cıvata-somun dişleri arasındaki sürtünme momenti ( $M_{cs}$ ) ile somun ile sıkılan parça arasındaki “başlık altı” sürtünme momentinin toplamına eşit olur ( $M_{ba}$ ).

$$M_{s,top} = M_{cs} + M_{ba} \quad (7)$$

$$M_{ba} = \mu_{ba} \cdot F_{\dot{on}} \cdot r_A \quad (8)$$

Deneyde Kullanılacak Değerler		
Ortalama Vida Yarıçapı	$r_2 =$	4 mm
Ortalama Somun Yarıçapı	$r_A =$	7 mm
Moment Anahtarı Katsayısı	$k_a =$	15 Nm/mm
Parça Rijitliği	$k_p =$	25 kN/mm
Helis Açısı	$\beta =$	5,45 °

#### 4. DENEY DÜZEĞİ



Şekil 2. Deney Düzeneği

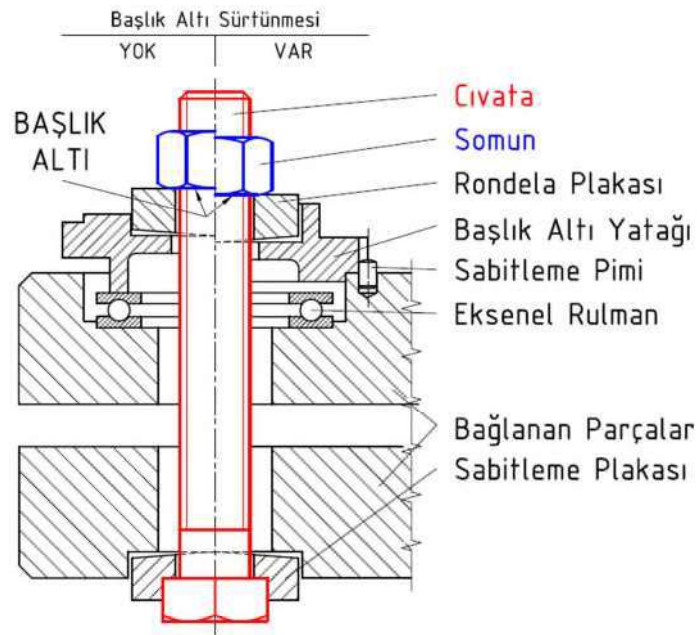
## 5. DENEYİN YAPILIŞI

### 3.1 Başlık Altı Sürtünmesinin Dâhil Edilmediği Durum

- Başlık Altı Yatağı Şekil 3'deki gibi takılarak aksenal rulman sayesinde Başlık Altı Sürtünmesinin ihmal edilebileceği durum oluşturulur.
- Cıvata-Somun bağlantısı, el ile hafifçe sıkılarak vida dişleri arasında sürtünme bağımlı oluşturacak ilk temas sağlanır ve Sıkılan Parça'ya ait Komparatör ibresi harekete başladığı anda Komparatör sıfırlanır.
- Moment Anahtarı, Somun ve Moment Ayar Grubundaki ilgili yuvaya takılarak Moment Ayar kolu çevrilir. Moment Anahtarı Komparatör ibresi harekete başladığı anda Komparatör sıfırlanır.
- Moment Ayar kolu çevrilerek, komparatörlerde okunan değerler tabloya işlenir.

### 3.2 Başlık Altı Sürtünmesinin Dâhil Edildiği Durum

- Başlık Altı Yatağı ters çevrilerek yuvaya oturtulur, böylece aksenal rulman teması kesilerek Başlık Altı sürtünmesinin meydana geldiği durum sağlanmış olur.
- Diğer adımlar, bir önceki durumdaki gibi uygulanır.



Şekil 3. Bağlantı Bölgesi (Z) Kesit Resmi



Adı-Soyadı :  
Numara :  
İmza :

Deneyi Yürüten Öğretim Elemanı :  
Deneyin Yapıldığı Tarih :  
Grup-Alt Grup :

NOT

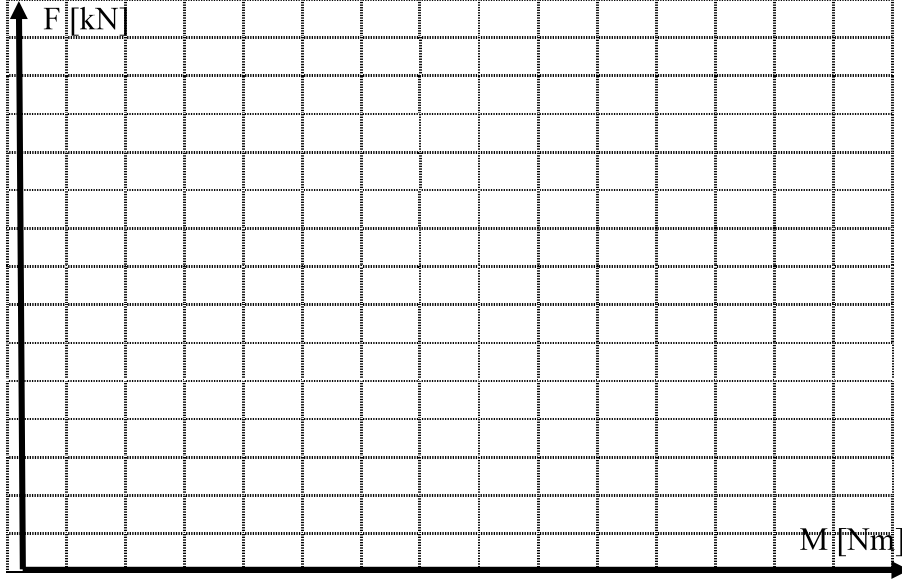
### İstenenler:

Deney sonuçlarını kullanarak:

1. Başlık altı sürtünmesinin dâhil edildiği ve edilmediği durum için sıkma momenti ( $M_{s.top}$ ) ve ön gerilme kuvveti ( $F_{ön}$ ) değerlerini hesaplayınız ve aralarındaki ilişkiyi veren grafiği oluşturunuz.
2. Deney sonuçlarını kullanarak sürtünme katsayılarını ( $\mu_{cs}$ ,  $\mu_{ba}$ ) hesaplayınız.
3. Cıvatalı bağlantılarda başlık altı sürtünmesinin olduğu durumu avantaj/dezavantaj bakımından yorumlayınız.

#	Başlık Altı Sürtünmesi Dâhil değil				Başlık Altı Sürtünmesi Dâhil			
	$\Delta_{parça}$	$F_{ön}$	$\Delta_{anahtar}$	$M_{top} = M_{cs}$	$\Delta_{parça}$	$F_{ön}$	$\Delta_{anahtar}$	$M_{top} = M_{cs} + M_{ba}$
	x 0,01 [mm]	[kN]	x0,01 [mm]	[Nm]	x0,01 [mm]	[kN]	x0,01 [mm]	[Nm]
1								
2								
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9								
10								

- 1- Başlık altı sürtünmesinin dâhil edildiği ve edilmediği durum için Sıkma momenti ( $M_{s.top}$ ) ve ön gerilme kuvveti ( $F_{ön}$ ) değerlerini hesaplayınız ve aralarındaki ilişkiyi veren grafiği oluşturunuz.



- 2- Deney sonuçlarını kullanarak başlık altı sürtünmesinin dâhil edildiği ve edilmediği durum için sürtünme katsayılarını ( $\mu_{cs}$ ,  $\mu_{ba}$ ) hesaplayınız.

- 3- Cıvatalı bağlantılarda başlık altı sürtünmesinin olduğu durumu avantaj/dezavantaj bakımından yorumlayınız

## GÜZ DÖNEMİ İMAL (ÖLÇME TEKNİĞİ) DENEYİ

**1. DENEY ADI:** Ölçme Tekniği Deneyi

**2. DENEYİN AMACI:** İstatistiksel proses kontrol araçlarının imalatta kullanımının tanıtılması ve tekrarlı kumpas, mikrometre ölçümleri ile alınan ölçüm sonuçlarına bağlı olarak numune ve proses uygunluklarının değerlendirilmesi

### 3. TEORİK BİLGİLER VE TANIMLAR

#### 3.1. METROLOJİ VE ÖLÇME TEKNİĞİNİN TEMELLERİ

Teknik problemlerin çözümünde ölçme tekniğinden yararlanılır. Ortaya atılan teorik hipotezler gereken deney ve gözlemler yapılmak suretiyle ölçme tekniği vasıtasıyla doğruluğu ispat edilerek desteklenirler.

Metroloji, ölçü ile ilgili bilim sahasıdır. Metroloji, doğruluk seviyesi ve uygulama alanına bakmaksızın, ölçmeye dayanan pratik ve teorik tüm konuları kapsar.

Yalın üretim, akıllı üretim, değiştirilebilir imalat teknolojisi gibi modern imalat sistemlerinde, kaliteli ürün, üretim ve kaliteli imalat prosesleri için ölçme tekniği bir temel oluşturur ve kaçınılmazdır. Sistemin bir bütün olarak değerlendirilmesi, farklı yerlerde imal edilen mamullerin belirlenen özelliklere uyması ve bir ölçü birliği içinde üretimin gerçekleşmesi gerekmektedir.

Endüstride kullanılan bir ölçü aletinin yaptığı ölçümün bütün dünyada tanınması ve yapılan diğer ölçümlerle aynı olduğunun kabul edilmesi, bu ölçümün, bir ölçme referans zinciri ile en yüksek hassasiyetli temel ölçme standardına ulaşması ile mümkündür.

#### 3.2. KALİTE KONTROL

Kalite kontrolü yapmak; en ekonomik, en kullanışlı ve tüketiciyi her zaman memnun eden kaliteli bir ürünü geliştirmek, tasarlamak, üretmek ve bakımını yapmak demektir (K.ISHIKAWA). Bu amaca ulaşmak için şirketteki üst yöneticiler, şirket içindeki bütün bölümler ve tüm çalışanlar dâhil olmak üzere herkes kalite kontrole katılmalı ve gelişmesine yardım etmelidir.

Kalite kontrolde ilk adım tüketicilerin isteklerini bilmektir. Kalite kontrolde diğer bir adım tüketicilerin ne satın alacaklarını bilmektir. Maliyet bilinmeden kalite tanımlanamaz.

Üretim işlemini istenilen ortalama kalite ve kalite tekdüzeliği altında yürütmek, en ekonomik ve en güvenilir bir biçimde ancak istatistiksel kalite kontrol metotlarını uygulamakla mümkündür. Kalite kontrolü ile üretim işlemi sonunda elde edilen ürünlerin istenilen standartlara uyup uymadığı tespit edilir ve standartlara uymayan ürünler ya bazı işlemler ile düzeltilir, ya düşük fiyatla satılır veya imha edilir.

Buna göre, kalite kontrolünün amacı; standart dışı üretimi önlemek veya önemsiz bir seviyeye düşürmektir. İstatistiksel kalite kontrolü ise; üretim işleminin normal koşullar altında kurulmasını ve yürütülmesini sağlamada çok önemli rol oynayan, bir aksaklık veya özel bir nedenle üretimin kontrol dışına çıkması halinde bu durumu hemen ortaya çıkartarak gerekli tedbirlerin zamanında alınmasını sağlayan metotların uygulanmasıdır. Özetle, bu metotlar üretim işlemlerine istenilen yönü vermek için imalatçının başyardımcısıdır.

### **3.3. İSTATİSTİKSEL KALİTE KONTROLÜ (İKK)**

Gittikçe artan tüketici ihtiyaçları ve buna paralel olarak genişleyen üretim hacmi, muayeneye dayalı bir denetim sisteminin uygulanmasını kimi zaman olanaksız, kimi zaman da yüksek maliyetli kılmaya başlayınca istatistik temelli yeni arayış ve çözümler gündeme geldi.

İlk gelişme W.A. Shewhart'ın uyguladığı "Kontrol şemaları" ile Dodge ve Romig'in geliştirdiği "Örnekleme ile muayene" sistemleri ile oldu. Bu basit oysa son derece etkili araç ve sistemler istatistiksel örnekleme temeline dayanıyordu. Bu araçların yaygın olarak kullanılmaya başlaması ile "İstatistiksel Süreç Denetimi-kontrolü — SPC" adı altında hatalı üretimi en aza indirmeyi hedefleyen yöntemler ile örnekleme muayene sistemleri günümüze kadar başarıyla uygulanmaya gelmiştir.

İstatistik tekniklerin yoğun olarak kullanıldığı başlıca 3 alandan söz edilebilir. Bunlar,

1. Dışarıdan satın alınan ham ya da yarı mamul maddenin kontrolü (GİRİŞ KONTROL)
2. Dış kuruluşlara ya da ayrı kuruluşun diğer kısımlarına gönderilen malzeme veya ürünün kontrolü (ÇIKIŞ KONTROLÜ)
3. Üretim sırasındaki kontrol (PROSES -Süreç- KONTROLÜ)

Bunlardan ilk ikisinde KABUL ÖRNEKLEMESİ diye adlandırılan teknikler, sonuncusunda ise KONTROL GRAFİKLERİ kullanılır. Birçok durumda Kabul örnekleme yöntemi ile kabul edilen malın kalitesi %100 muayene sonucunda kabul edilenden daha iyi olmaktadır.

Çünkü , %100 muayenenin bıktırıcı ve yoğunluk yaratan etkileri kalitenin düşmesine sebep olmaktadır. Ancak, örneklemeğe uygun olmayan bazı kritik parçaların %100 muayene ile kontrolü kaçınılmaz olmakta bu durumda muayene maliyeti önem kazanmaktadır. Kaliteye ilişkin maliyetler her üretici kuruluş için mutlaka büyük önem taşımaktadır.

İstatistiksel kalite kontrolün hedefi, prosesi kontrol ve kabul edilebilen bir durumda tutmaktır. Böylece ürünlerin talep edilen kriterlere uygunluğu garanti edilecektir.

İstatistiksel proses kontrolünün temelini kalite kontrol kartları oluşturur. Kalite kontrol kartları, prosesin kontrolü ve denetimi için kullanışlı görsel yardımcılardır.

### **3.4. Kalite Kontrol Kartları**

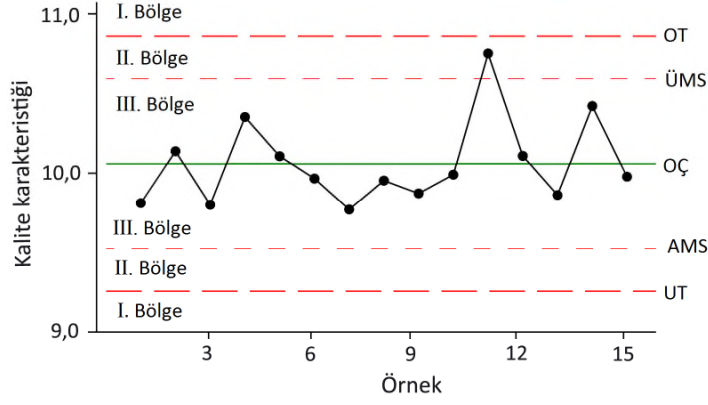
Kontrol kartlarının temelini Shewhart adıyla anılan diyagram oluşturur. Bu tür diyagramlarda, üretim prosesinden düzenli olarak belli aralıklarla alınan veriler işlenir. Bu aralıklar, zaman ölçüsü olabileceği gibi (örneğin saat) miktar ölçüsü olarak da (örneğin parça adedi) tanımlanabilir. Kalite kontrol kartları, bir prosesin istatistiksel kontrol altında çalışıp çalışmadığını, prosese hâkim olup olmadığını gösterir. Kalite kontrol kartları, rastgele ve sistematik değişikliklerin birbirinden ayırt edilebilmesine izin verirler. Bu sayede sistematik değişikliklerin ne olduğu tespit edilerek proseste yapılan değişiklikler ile uygunluk sağlanır.

Kontrol Grafiğinin Yapısı ve Kontrol Grafiğindeki Bölgeler:

I. Bölge: Sürecin arzu edilen özelliklere uygun olarak çalışmadığı bölgelerdir. Bir gözlem noktası bu bölgeye düşerse sürecin kontrol altında olmadığına karar verilir.

II. Bölge: Sürecin arzu edilen özelliklerden tehlikeli bir şekilde uzaklaştığını belirten bölgedir.

III. Bölge: Sürecin istenilen özellikler etrafında kontrollü olarak çalıştığını ifade eden bölgedir.



**Şekil 1.** Kontrol Grafiğinin Genel Yapısı

ÜMS: Üst Müdahale Sınırı

AMS: Alt Müdahale Sınırı

OT: Üst Tolerans Sınırı

UT: Alt Tolerans Sınırı

Hesaplamalarla bulunacak olan "Kontrol limitleri-sınırları" Tolerans sınırları değil, istatistikî güvenlik sınırlarıdır. Genellikle AMS; Tüketiciyi korumak, ÜMS; Fabrikanın israfını önlemek için oluşturulur.

Ortalamalar için X-R kontrol çizelgesi iki farklı çizelgeden oluşmaktadır. Bunlar alınan ölçülerin ortalamalarının grafiğini veren ortalama X çizelgesi ve alınan ölçümlerin en büyüğü ile en küçüğü arasındaki farkı veren R çizelgesidir. Bu iki çizelge birlikte analiz edilerek süreç değerlendirilir. Genel olarak X çizelgesi sürecin ayar durumunun, R çizelgesi ise değişkenliğinin teşhis edilmesinde kullanılır.

Bu çizelgeler, kalitenin uzunluk, ağırlık, sertlik, mukavemet ve saflık gibi ölçülebilen miktarlarla kontrol edildiği süreçlerde kullanılır. Örnek vermek gerekirse:

- İmal edilen bir milin çapı
- Kutuya doldurulan bir ürünün ağırlığı
- İmal edilen civatanın kopma mukavemeti
- Isıl işlem gören ürünün sertliği
- İmal edilen elektrik ampulünün enerji sarfıyatı vs.

Burada standart çizelge olarak kabul edilen ortalamalar için X-R çizelgesinden bir örnek verilerek çizelgenin içeriği, ana ortalama değeri ve sınırları gibi kavramlar açıklanacaktır:

Adı-Soyadı : Deneyi Yürüten Öğretim Elemanı :  
Numara : Deneyin Yapıldığı Tarih :  
İmza : Grup-Alt Grup :

NOT

#### 4. DENEYİN YAPILIŞI

##### Hesaplamalarda istenenler,

- Deneyde ölçülen iç çap, dış çap ve değerleri verilen tablolarda ilgili yerlere yazılacaktır
- Hesaplamalar verilen formüller yardımı ile açık bir şekilde yapılarak bulunan değerler tablolarda ilgili yerlere yazılacaktır.
- Aritmetik ortalama ( $\bar{x}$ ) ve Aralık ( R ) grafiklerinin çizilebilmesi için, ortalamaların ortalaması ( $\bar{\bar{X}}$ ), aralıkların ortalaması ( $\bar{\bar{R}}$ ) üst ve alt müdahale sınırları ( ÜMS/AMS ) hesaplanacaktır ve tabloda ilgili yerlere yazılacaktır.
- Aritmetik ortalama ( $\bar{x}$ ) ve Aralık (R) çizilen grafikte ilgili yerlere yazılacaktır, ölçüm sonuçları bir paragrafta değerlendirilecek, görüş ve öneriler aynı paragrafta belirtilecektir.

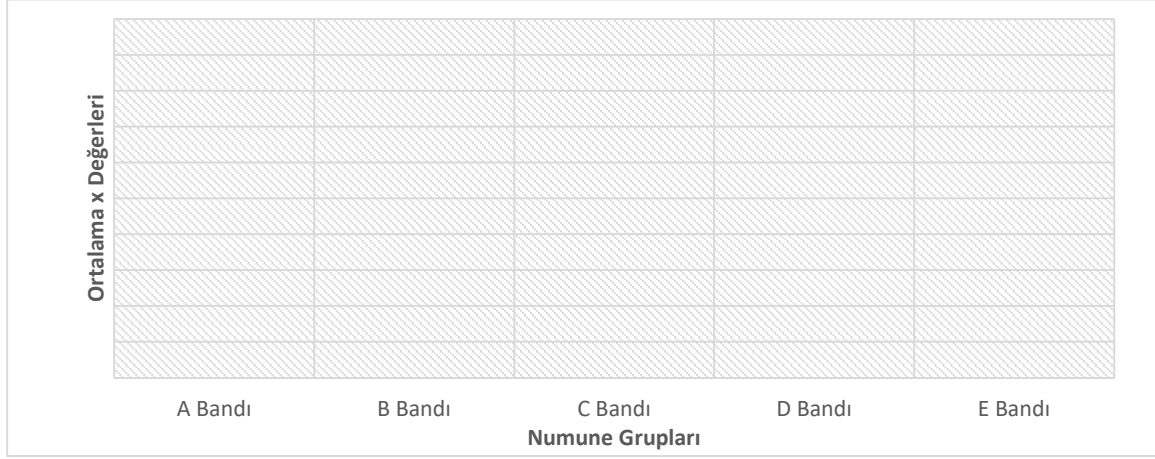
**Tablo 1.** İç Çap İçin Ölçüm Verileri Tablosu

Numune	A Bandı	B Bandı	C Bandı	D Bandı	E Bandı
Ölçüm					
1. Ölçüm					
2. Ölçüm					
3. Ölçüm					
4. Ölçüm					
5. Ölçüm					
$\sum x$					
$\bar{x}$					
$\bar{\bar{x}}$					
Aralık (R) Değeri					

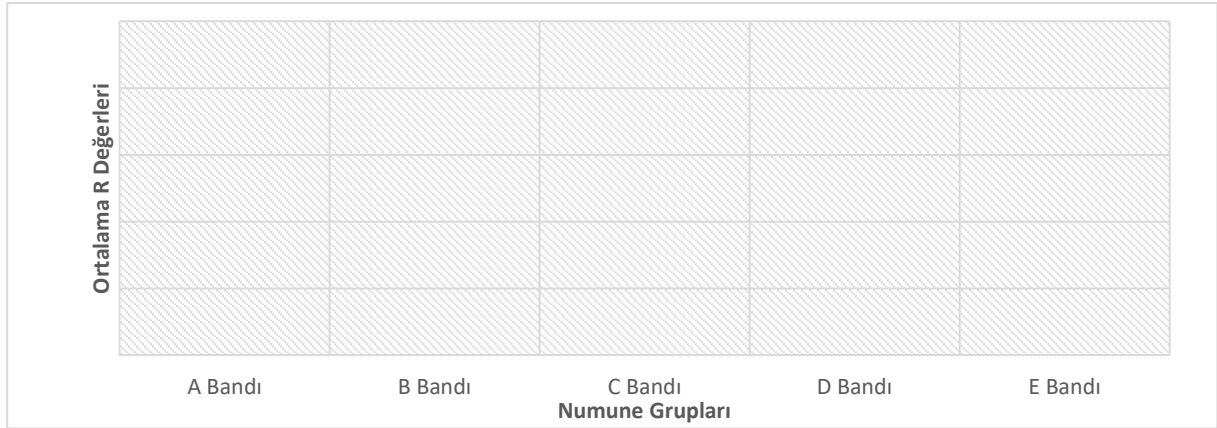
**Tablo 2.** Hesap Sonuçları-Müdahale Sınırları İçin Hesaplanan Değerler

Alt Kontrol Sınırı		Orta Çizgi		Üst Kontrol Sınırı	
$\bar{\bar{X}} - A_2\bar{R}$		$\bar{\bar{X}}$		$\bar{\bar{X}} + A_2\bar{R}$	
$D_3\bar{R}$		$\bar{R}$		$D_4\bar{R}$	

**Grafik 1.** Aritmetik ortalama grafiği (x)



**Grafik 2.** Aralık (R)



Lütfen numunelerinizin imalat prosesinin iç çap için uygunluğunu hesaplamış olduğunuz kalite kontrol kartlarına bağlı olarak değerlendirerek, varsa hatalar ve olası sebepleri ile ilgili örnekler veriniz. :



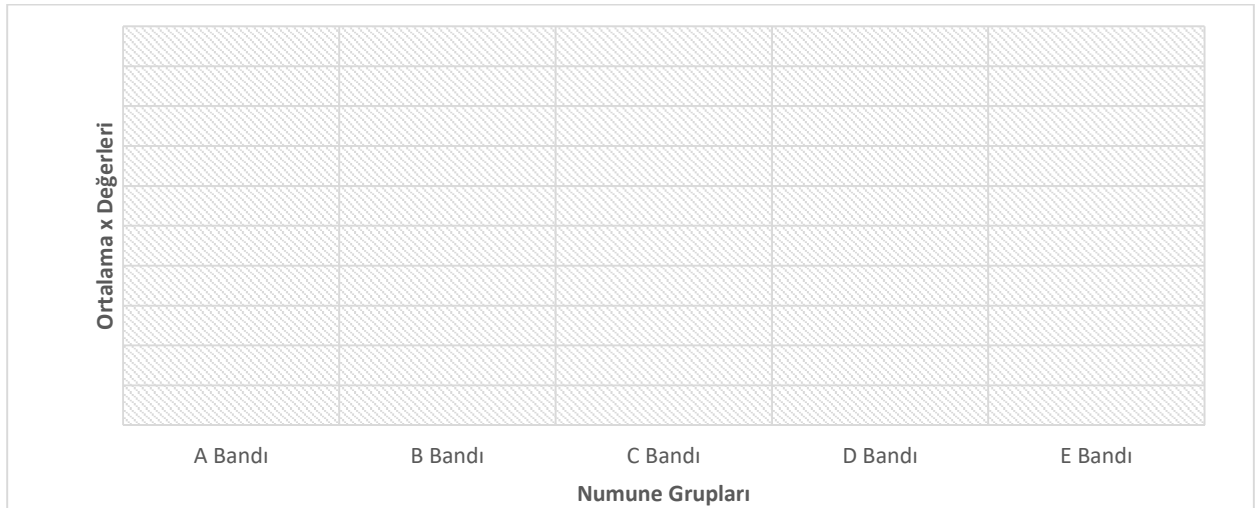
**Tablo 3.** Dış Çap İçin Ölçüm Verileri Tablosu

Numune \ Ölçüm	A Bandı	B Bandı	C Bandı	D Bandı	E Bandı
6. Ölçüm					
7. Ölçüm					
8. Ölçüm					
9. Ölçüm					
10. Ölçüm					
$\sum x$					
$\bar{x}$					
$\bar{\bar{x}}$					
Aralık (R) Değeri					

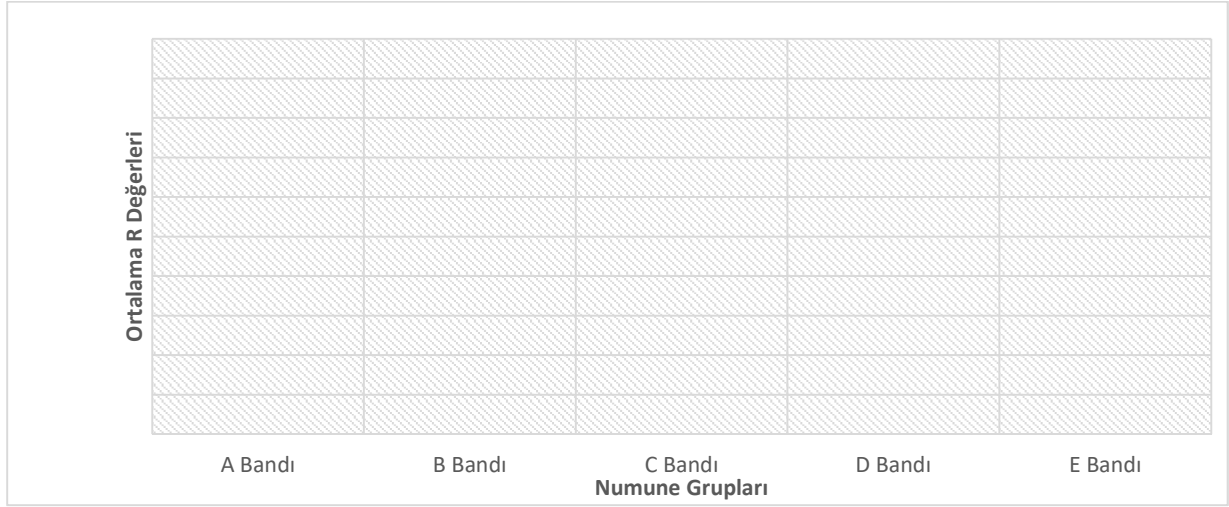
**Tablo 4.** Hesap Sonuçları-Müdahale Sınırları İçin Hesaplanan Değerler

Alt Kontrol Sınırı		Orta Çizgi		Üst Kontrol Sınırı	
$\bar{\bar{X}} - A_2 \bar{R}$		$\bar{\bar{X}}$		$\bar{\bar{X}} + A_2 \bar{R}$	
$D_3 \bar{R}$		$\bar{R}$		$D_4 \bar{R}$	

**Grafik 3.** Aritmetik ortalama (x)



#### Grafik 4. Aralık (R)



Lütfen numunelerinizin ve imalat prosesinin dış çap için uygunluğunu hesaplamış olduğunuz kalite kontrol kartlarına bağlı olarak değerlendirerek, varsa hatalar ve olası sebepleri ile ilgili örnekler veriniz.

**Tablo 2.** Müdahale Sınırları Hesaplanması için Kullanılacak Faktörlere Ait Tablo

n	Sabit değerler														
	Müdahale sınırları											Orta çizgi			
	A	A <sub>2</sub>	A <sub>3</sub>	B <sub>3</sub>	B <sub>4</sub>	B <sub>5</sub>	B <sub>6</sub>	D <sub>1</sub>	D <sub>2</sub>	D <sub>3</sub>	D <sub>4</sub>	C <sub>4</sub>	1/ C <sub>4</sub>	d <sub>2</sub>	1/ d <sub>2</sub>
2	2,121	1,880	2,659	0,000	3,267	0,000	2,606	0,000	3,686	0,000	3,267	0,7979	1,2533	1,128	0,8865
3	1,732	1,023	1,954	0,000	2,568	0,000	2,276	0,000	4,358	0,000	2,574	0,8862	1,1284	1,693	0,5907
4	1,500	0,729	1,628	0,000	2,266	0,000	2,088	0,000	4,698	0,000	2,282	0,9213	1,0854	2,059	0,4857
5	1,342	0,577	1,427	0,000	2,089	0,000	1,964	0,000	4,918	0,000	2,114	0,9400	1,0638	2,326	0,4299
6	1,225	0,483	1,287	0,030	1,970	0,029	1,874	0,000	5,078	0,000	2,004	0,9515	1,0510	2,534	0,3946
7	1,134	0,419	1,182	0,118	1,882	0,113	1,806	0,204	5,204	0,076	1,924	0,9594	1,0423	2,704	0,3698
8	1,061	0,373	1,099	0,185	1,815	0,179	1,751	0,388	5,306	0,136	1,864	0,9650	1,0363	2,847	0,3512
9	1,000	0,337	1,032	0,239	1,761	0,232	1,707	0,547	5,393	0,184	1,816	0,9693	1,0317	2,970	0,3367
10	0,949	0,308	0,975	0,284	1,716	0,276	1,669	0,687	5,469	0,223	1,777	0,9727	1,0281	3,078	0,3249
11	0,905	0,285	0,927	0,321	1,679	0,313	1,637	0,811	5,535	0,256	1,744	0,9754	1,0252	3,173	0,3152
12	0,866	0,266	0,886	0,354	1,646	0,346	1,610	0,922	5,594	0,283	1,717	0,9776	1,0229	3,258	0,3069
13	0,832	0,249	0,850	0,382	1,618	0,374	1,585	1,025	5,647	0,307	1,693	0,9794	1,0210	3,336	0,2998
14	0,802	0,235	0,817	0,406	1,594	0,399	1,563	1,118	5,696	0,328	1,672	0,9820	1,0194	3,407	0,2935
15	0,775	0,223	0,789	0,428	1,572	0,421	1,544	1,203	5,741	0,347	1,653	0,9823	1,0180	3,472	0,2880
16	0,750	0,212	0,763	0,448	1,552	0,440	1,526	1,282	5,782	0,363	1,637	0,9835	1,0168	3,532	0,2831
17	0,728	0,203	0,739	0,466	1,534	0,458	1,511	1,356	5,820	0,378	1,622	0,9845	1,0157	3,588	0,2787
18	0,707	0,194	0,718	0,482	1,518	0,475	1,496	1,424	5,856	0,391	1,608	0,9854	1,0148	3,640	0,2747
19	0,688	0,187	0,698	0,497	1,503	0,490	1,483	1,487	5,891	0,403	1,597	0,9862	1,0140	3,689	0,2711
20	0,671	0,180	0,680	0,510	1,490	0,504	1,470	1,549	5,921	0,415	1,585	0,9869	1,0133	3,735	0,2677
21	0,655	0,173	0,663	0,523	1,477	0,516	1,459	1,605	5,951	0,425	1,575	0,9876	1,0126	3,778	0,2647
22	0,640	0,173	0,663	0,523	1,477	0,516	1,459	1,605	5,951	0,425	1,575	0,9882	1,0119	3,819	0,2618
23	0,626	0,162	0,633	0,545	1,455	0,539	1,438	1,710	6,006	0,443	1,557	0,9887	1,0114	3,858	0,2592
24	0,612	0,157	0,619	0,555	1,445	0,549	1,429	1,759	6,031	0,451	1,548	0,9892	1,0109	3,895	0,2567
25	0,600	0,153	0,606	0,565	1,435	0,559	1,420	1,806	6,056	0,459	1,541	0,9896	1,01,5	3,931	0,2544

## GÜZ DÖNEMİ MALZEME LABORATUVARI DENEYİ

**1. DENEY ADI:** Sertlik Deneyi

**2. DENEYİN AMACI:** Soğuk şekillendirme sonrası malzemelerin sertlik değerinin değişip değişmediğinin belirlenmesidir.

### 3. TEORİK BİLGİLER VE TANIMLAR

#### 3.1. Sertlik Deneyi

Sertlik, malzeme yüzeyine bastırılan cisme karşı malzemenin gösterdiği dirençtir.

Sertlik deneyleri genel olarak, kısa süreli deneylerdir.

Parça yüzeylerinde oluşturulan iz genellikle çok küçük olduğundan, tahribatsız bir deney olarak da kabul edilebilir.

Sertlik ölçümünde, yönteme göre, standart boyutlu, sertliği ölçülecek malzemeye göre daha sert olan uçlar kullanılır. Sertliği ölçülecek parçanın yüzeyinin çok düzgün olması gerekir

#### **Statik Sertlik Ölçme Yöntemleri**

Brinell Sertliği (HB, BSD) : iz büyüklüğü ölçülür

Vickers Sertliği (HV, VSD) : iz büyüklüğü ölçülür

Rockwell Sertliği (HR) : batma derinliği ölçülür

#### **Numune Yüzeyini Mekanik Yolla Temizleme ve Parlatma**

Brinell, Vickers ve mikrosertlik ölçümlerinde sertliği ölçülecek numune yüzeylerinin kir,pas ve oksitlerden temizlenmesi ve yüzey pürüzlülüğünün giderilmesi gerekir.

Parça yüzeyinin oksitli, kirli veya pürüzlü olmasına göre;

- Yüzeydeki oksitler, kirler ve benzeri yabancı maddeler tel fırçalarla temizlenebilir,
- Yüzeyi bozuk numunelerde yüzey düzgünlüğünün sağlanabilmesi için yüzeyler

Şekil. 1’de gösterilen yüzey temizleme cihazı ile zımparalanmalı ve parlatılmalıdır.

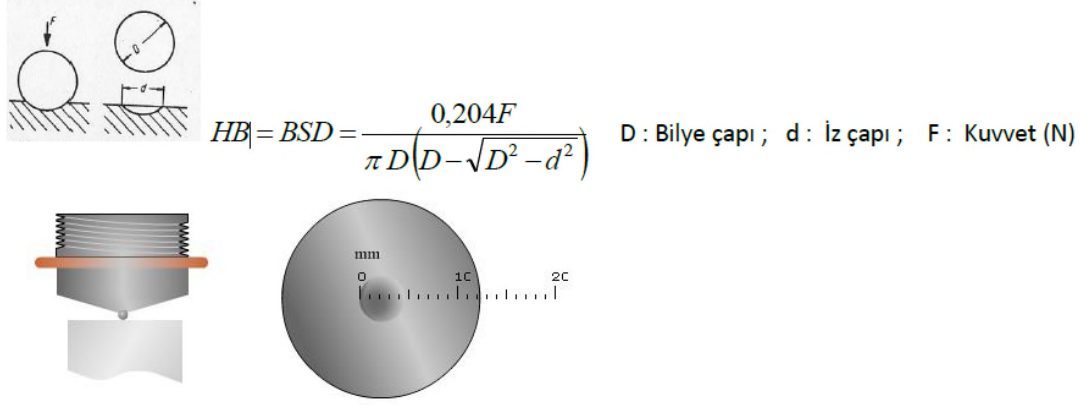


**Şekil 1.** Yüzey temizleme cihazı

### 3.1.1 Brinell Sertlik Ölçme Yöntemi (HB, BSD)

(DIN 50351, TS 139, EN ISO 6506-1)

Brinell sertlik değeri (HB), numuneye uygulanan yük değerinin oluşan izin yüzey alanına bölünmesi ile elde edilir.



Şekil 2. Brinell sertlik deneyi uç izi

Bilye çapı 2,5; 5 ve 10 mm. olabilir. Sert uç olarak sertleştirilmiş çelik bilye veya sert metal bilye kullanılır.

Bilye çapı seçiminde, parçanın et kalınlığı ve malzeme yapısı önem kazanır

$S > 6$  ise  $D = 2,5, 5, 10$  mm.

$S < 3$  ise  $D = 2,5$  mm.

$3 < s < 6$  ise  $D = 2,5, 5$  mm olmalıdır.

Lamel grafitli dökme demir gibi heterojen yapıya sahip malzemelerin sertliğini ölçerken, büyük çaplı bilye tercih edilir.

Uygulanacak yük:  $F = x D^2$  formülü ile hesaplanır.

“x”, katsayısını malzemeye göre değişmekte olup sıklıkla kullanılan metal malzemeler için belirlenen x katsayısı Tablo 1.’de verilmektedir.

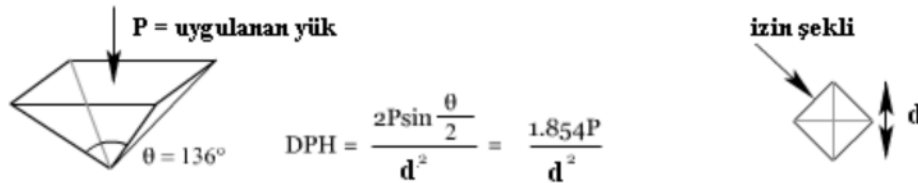
Tablo 1. Metal malzemeler için x katsayısı değerleri

Malzeme cinsi	x Katsayısı
Hafif metaller (Al, Mg, prinç (Cu-Zn), bronz (Cu-Al, Cu-Sn, Cu-Mn) gibi) için	10
Yumuşak çelik, dökme çelik, kır dökme demir için	30
Saf Au, Al gibi metaller için	5
Yatak alaşımları için	2,5
Yüksek sıcaklıkta yumuşayan metaller için	0,5
Pb, Zn için	1,25

- Yüklemeye zamanı 10-15 s'dir. Fazla akma gösteren malzemelerde bu süre, 30 s'ye çıkabilir.
- Minimum numune kalınlığı  $S_{min} = 17x$  bilyanın batma derinliği kadar olmalıdır.
- Numune yüzeyi parlak ve düzgün olmalıdır.
- Kalıcı iz çapı  $0,2D$ 'den küçük ve  $0,7D$ 'den büyük olmamalıdır.  
 $\emptyset 0,2D < d < 0,7D$
- Numune üzerinde kalan izin merkezinin parça kenarından ve bir diğer izin merkezinden uzaklığı iz çapının iki katı kadar olmalıdır (2d).
- İz çapı (d); 0,01 mm hassasiyetle ölçülmelidir. İz tam dairesel değilse birbirine dik doğrultudaki çaplar ölçülüp, ortalaması alınmalıdır.
- 400 HB'ye kadar olan sertlikler için, sertleştirilmiş çelikten imal edilmiş bilyeler kullanılır. Sert malzemelerde karbürden yapılmış bilyeler tercih edilir.

### 3.1.2 Vickers Sertlik Ölçme Yöntemi (HV, VSD)

(DIN 50133, TS 207-1, EN ISO 6507-1)



**P= uygulana yük (kp)**

**d=ortalama köşegen uzunluğu (mm)**

**DPH : Diamond pyramid hardness (HV)**

**Şekil.3** Vickers sertlik deneyi uygulaması ve uç izi

Yumuşak malzemelerden, özel yöntemlerle sertleştirilmiş çok sert malzemelere kadar geniş bir kullanım aralığı mevcuttur.

Yük : 1-150 kg (en fazla 2,10 ve 30 kg)

Batıcı uç : Kare tabanlı, tepe açısı  $136^\circ$  olan elmas piramit

Bekleme süresi : 15 sn (yumuşak malzemelerde 30 sn)

Sertlik değeri deney yükünden bağımsız olmasına karşın, sertlik belirtilirken, yük değeri de verilir.

Ölçüm tamlığı (hassasiyeti) 0,001 olmalıdır. Ölçüm yaparken, küçük ve büyük yükler kullanılır.

Deney sonunda parçanın arka yüzünde iz belli olmamalıdır.

Küçük yükler 1,96-49 N

Normal yükler 49-980 N

Özel yükler 1 kg-100 kg

En çok kullanılan yükler 10 kg=98 N ve 30kg=294 N'dir.

Muayene parçasının kalınlığı en az  $1,5 d_0$  olmalıdır. Çelik için ise  $1,2 d_0$  olmalıdır.

Ölçüm yaparken izler arası mesafe  $3d_0$  kadar olmalıdır. Parça kenarında ise en az  $2,5 d_0$  uzaklıkta ölçüm yapılmalıdır.

Yük uygulama süresi yaklaşık 10-15 s'dir. Yüzeyi sertleştirilmiş (sementasyon, nitrasyon, indüksiyon ile) parçalar ya da sertleştirme işlemi uygulanmış parçalar için uygundur.

### **Ölçüm sonucunun verilmesi:**

850 HV 30 / 10

sertlik değeri=850 HV

uygulanan yük=30kgf.  $\cong$  300 N

sert uc batma süresi=10 s.

### **3.1.3 Mikrosertlik Ölçme Yöntemi (HV , HK)**

Özel Vickers sertlik ölçüm yöntemidir.

1-1000 g gibi çok düşük yüklerle sertlik ölçülebilir.

Vickers veya Knoop ucu kullanılabilir. Ucun batma derinliği, uzunluğunun yaklaşık  $1/30$ 'u kadardır. Yük, iz alanına bölünerek sertlik bulunabilir. Bu amaçla da tablolar ya da aşağıda verilen formül kullanılır.

Vickers ve Knoop Sertlik ölçümleri için yapılan deneylerde sert ucun numune yüzeyinde bıraktığı izler çok küçük izler oluşturulur ve bu izleri ölçmek için mikroskop kullanılır.

### **3.1.4 ISO 4545 Knoop Sertlik Ölçme Yöntemi**

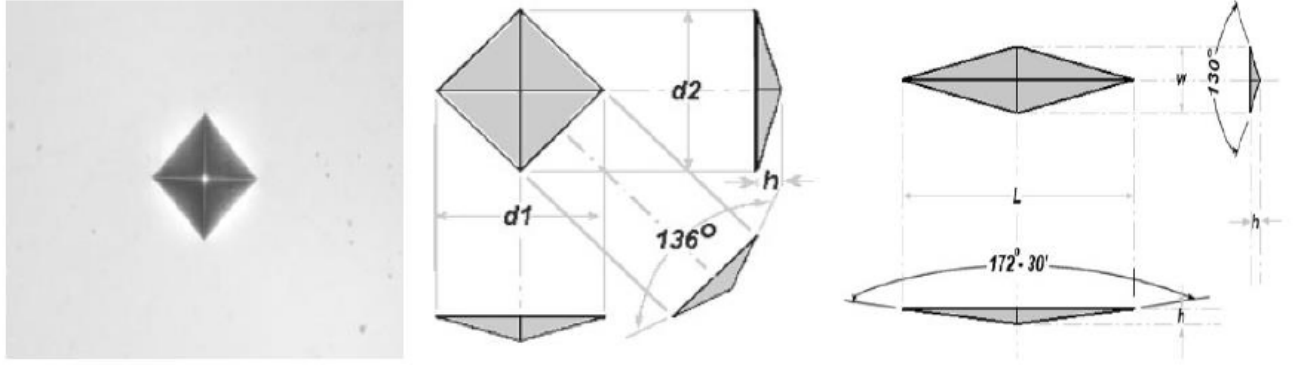
Çentikleyici : Elmas Piramit  $172^\circ 30'$  ve  $130^\circ$  (Şekil. 4)

Yükleme Aralığı : 0.49 N-9.81 N

EN ISO 6507 Vickers

Çentikleyici: Elmas Piramit  $136^\circ$

Yükleme aralığı: 0.49N-9.81 N



**Şekil. 4** Vickers ve Knoop izleri

**Ölçüm sonucunun verilmesi:**

450 HV 25/10

Sertlik değeri =450 HV

Uygulanan yük=25 g

Sert uç batma süresi =10 s.

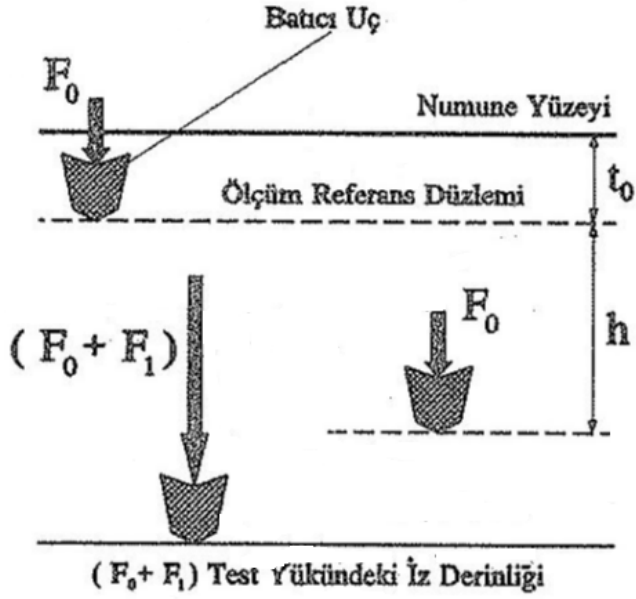
**3.1.5 Rockwell Sertlik Ölçme Yöntemi**

(DIN 50103, TS 140, EN ISO 6508-1)

Brinell ve Vickers yöntemlerinde optik yolla iz çapı ölçülür ve ölçülen değer formüle konarak sertlik değeri hesaplanır. Her iki yöntemde de ölçüm işlemi zaman alır. Oysa Rockwell yönteminde daha kısa sürede, sert ucun batma derinliği esas alınarak sonuca varılır. Parçanın et kalınlığı, sert ucun batma derinliğinin en az 10 katı olmalıdır veya parça arkasında iz oluşmamalıdır.Şekil5 ve 6 da Rockwell yönteminde kullanılan farklı uçlar ve ölçüm yöntemi şematik olarak verilmiştir.



**Şekil 5** Malzeme cinsine göre kullanılan uçlar



Şekil 6. Rockwell metodunun şematik uygulanması

Rockwell B: Cu alaşımları, Al alaşımları, düşük karbonlu çelik

Rockwell C: Çelik, sert dökme demir, perlitik dökme demir

Rockwell A: Yüzeyi sertleştirilmiş çelik

Rockwell D: Yüzeyi sertleştirilmiş, ince et kalınlığına sahip parçalar

Rockwell E: Al alaşımları

Rockwell F: Tavllanmış Cu alaşımları içindir.

Tablo.2'de farklı malzemeler için uygulanan Rockwell serlik ölçüm yöntemleri verilmiştir.



Sembolü	Sertlik Ölçme Ucu	Ön Yükleme Kuvveti P <sub>0</sub> , Kg	Toplam Yük P, Kg	Uygulama Alanları
HR <sub>A</sub>	120° Elmas koni	10	60	Sert metal, yüzeysel sertleştirme derinliği 0,4 mm olan ince sac malzemeler
HR <sub>B</sub>	1/16" Bilye	10	100	Metal olmayan malzemelerle yumuşak çelikler
HR <sub>C</sub>	120° Elmas koni	10	150	Sertleştirilmiş çelikler
HR <sub>D</sub>	120° Elmas koni	10	100	Yüzeysel sertleştirme işlemi yapılmış orta sertlikte çelikler
HR <sub>E</sub>	1/8" Bilye	10	100	Dökme demir, alüminyum ve magnezyum alaşımları
HR <sub>F</sub>	1/16" Bilye	10	60	Tavllanmış bakır alaşımları, kalınlığı 0,6 mm' ye kadar olan ince malzemeler
HR <sub>G</sub>	1/16" Bilye	10	150	Fosforlu bronz, berilyumlu bakır ve yumuşak demir
HR <sub>H</sub>	1/8" Bilye	10	60	Alüminyum, çinko ve kurşun.
HR <sub>K</sub>	1/8" Bilye	10	150	Yatak malzemeleri ve diğer çok yumuşak malzemeler
HR <sub>L</sub>	1/4" Bilye	10	60	Ser kauçuk ve sentetik malzemeler
HR <sub>M</sub>	1/4" Bilye	10	100	Sentetik malzemeler ve sert ağaçlar
HR-15N			15	Yüzeysel sertleştirme işlemi yapılmış masterlar
HR-30N	120° Elmas koni	3	30	
HR-45N			45	
HR <sub>P</sub>	1/4" Bilye	10	150	Yatak malzemeleri, sert ağaç ve sentetik malzemeler
HR <sub>R</sub>	1/2" Bilye	10	60	
HR <sub>S</sub>			100	
HR-15T			15	Rockwell B, F veya G deki malzemelerle, kalınlığı 0,25 mm' ye kadar olan ince sac malzemeler
HR-30T	1/16" Bilye	3	30	
HR-45T			45	
HR <sub>V</sub>	1/2" Bilye	10	150	Rockwell "K,L,M,P,R,ve S" deki malzemeler ve benzerleri

### 3.1.5.1 Rockwell C Yöntemi (HRC, RSD-C)

Uç: Elmas koni (tepe açısı 120°)

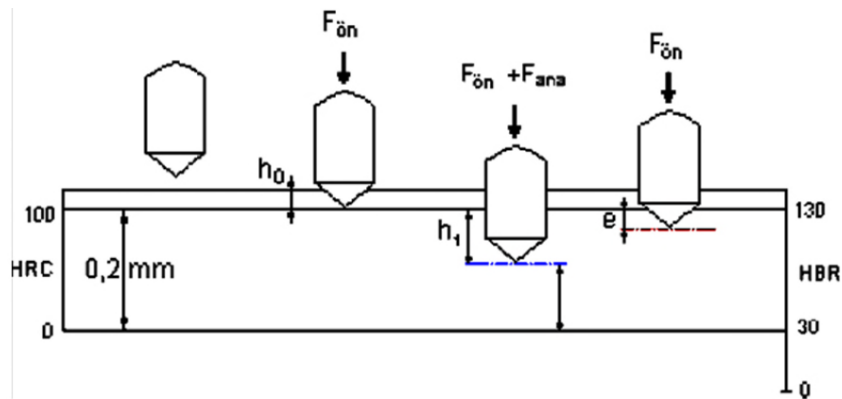
$$F_{\text{ön}} = 10 \text{ kgf} = 98 \text{ N}$$

$$F_1 = 140 \text{ kgf} = 1372 \text{ N}$$

$$F_{\text{ön}} + F_1 = 150 \text{ kgf} = 1470 \text{ N}$$

Ölçüm tamlığı ±1 HRC'dir

$$HRC = RSD - C = 100 - e$$



Şekil 7. Rockwell C metodunun uygulanması

Yüzey pürüzlülüğü ve makrogeometrik hatalardan oluşabilecek ölçüm hatalarının ortadan kaldırılabilmesi için ön yükleme yapılır. Bu noktada kadran sıfırını gösterecek şekilde ayarlanır, daha sonra ilave yük etki ettirilir.

Etki süresi yaklaşık 3-6 s'dir. Yük kaldırıldığında, sertlik değeri kadrandan okunur.

İzler arası mesafe en az 3 mm olmalıdır.

Sertleştirilmiş (ıslah edilmiş, su verilmiş) ya da yüzeyi sertleştirilmiş çelik, dökme demir gibi malzemelerin sertliğinin ölçülmesinde kullanılır.

### **3.1.5.2 Rockwell B Yöntemi (HRB, RSD-B)**

Uç: Sertleştirilmiş bilye

$$F_{\text{ön}} = 10 \text{ kgf} = 98 \text{ N}$$

$$F_{\text{ön}} = 10 \text{ kgf} = 98 \text{ N}$$

$$F_{\text{ön}} + F_1 = 100 \text{ kgf} = 980 \text{ N}$$

$$HRB = RSD - B = 130 - e$$

e: Sert uç batma derinliği

Ön yükten sonra 30 HRB'de sıfırlama yapılır,

İzler arası mesafe en az 3 mm olmalıdır.

35-110 HRB arasındaki ölçümlerde geçerlidir.

Orta sertlikteki parçalar için uygun bir yöntemdir.

Ölçüm hassasiyeti, Brinell Sertlik Ölçüm yöntemine göre daha azdır.

#### **Rockwell yönteminin üstünlükleri;**

- Brinell ve Vickers yöntemlerinde olduğu gibi parça yüzeylerinin çok düzgün olarak hazırlanması gerekmez.
- İşlem süresi kısadır.
- Otomasyona uygundur.
- Ölçüm tamlığının az olması ve kaba bir ölçüm yöntemi olması ise dezavantajlı yanıdır.

#### **Ölçüm sonucunun verilmesi:**

55 HRC sertlik değeri= 55 birimi: HRC (Hardness Rockwell C)

### 1. DENEY ADI: Çentik Darbe (Vurma Deneyi)

2. DENEYİN AMACI: Çentik darbe testi, malzemenin gevrek kırılma eğilimlerinin saptanması ve uygulanan ısıl işlemlerin kalite kontrolünün yapılmasıdır.

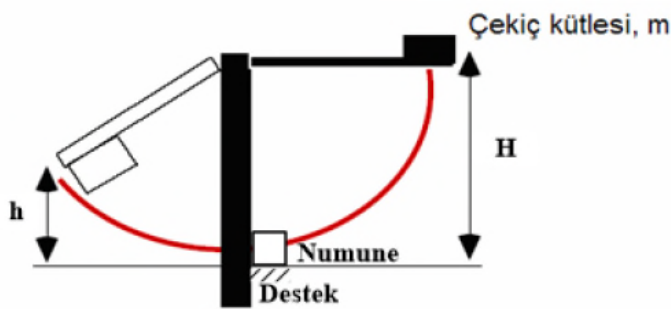
### 3. TEORİK BİLGİLER VE TANIMLAR

Gevrek kırılma ani olarak meydana geldiğinden düşük bir kırılma işi ile gerçekleşir. Bu tür kırılma, malzemenin güvenli kullanım olasılığını azaltır.

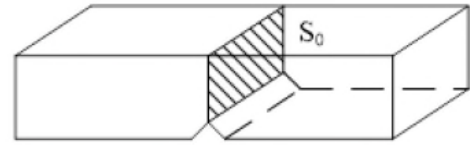
Gevreklik, malzemenin tokluk özelliğinin tersi olarak düşünülebilir.

Bazı malzemeler bileşimleri nedeniyle gevrektiler (örneğin DDL, Fe 3C, Metal karbürler), bazı malzemeler ise oda sıcaklığında sünek olmalarına karşın bazı koşullarda (örneğin sıfırın altındaki sıcaklıklarda, gerilme yığılmalarının bulunması halinde, darbe zorlama hızı ve şiddeti altında) gevrek davranış gösterirler.

Çentik darbe deneyinde, numunenin dinamik zorlama altında kırılması için gerekli enerji miktarı tayin edilir. Bulunan değer, malzemenin darbe direnci ya da darbe mukavemeti olarak verilir.



Şekil. Charpy çentik darbe deneyi



Çekiç kütlesi : m

Çentik vurma tokluğu:  $\alpha_K = \frac{A_v}{S_0}$

Anma kesiti :  $S_0$

$A_v = mg(H-h)$

Şekil 6. Charpy çentik darbe deneyi

#### Deneyin Yapılışı

Deney, Charpy ve Izod darbe deneyi olmak üzere iki şekilde yapılır.

Charpy deneyinde Şekil 6.'da görüldüğü gibi cihazın sarkaç çekici, önceden belirlenmiş bir H yüksekliğinden düşer ve en alt noktada arka yüzeyine vurduğu çentikli deney parçasını eğmeye zorlar.

Bu sırada vurma hızı 4-7 m/s arasında olmalıdır.

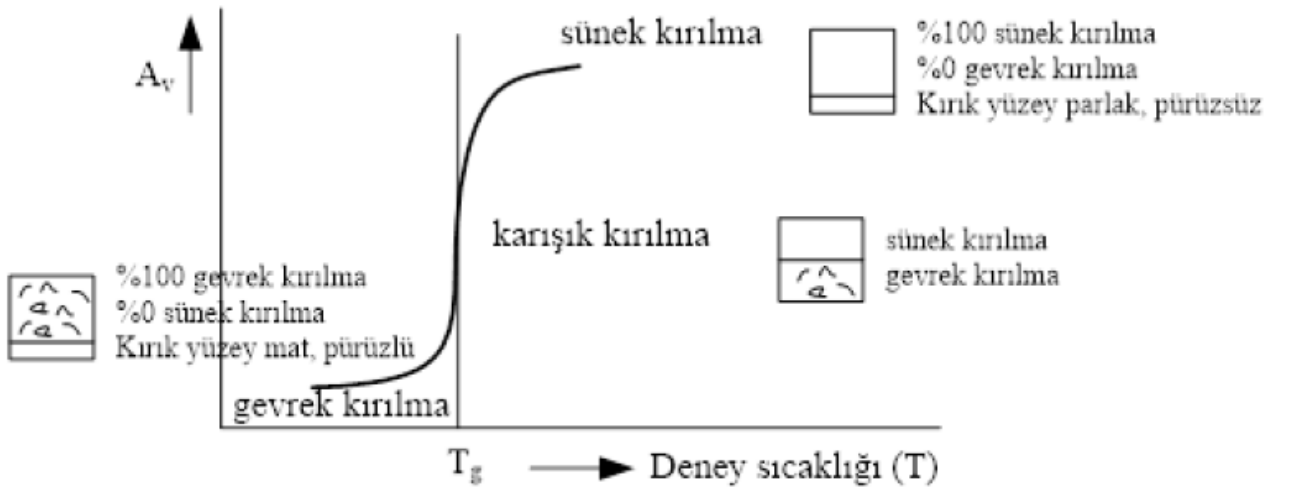
Deney parçasının kırılması veya desteklerin arasından şekil değiştirerek geçmesi için sarkaç enerjisinin bir kısmı kırma işi ( $A_v$ ) olarak tüketilir.

Vurma değeri ( $VD = A_v$ ) olarak da belirtilen bu değeri, cihaz üzerinden okunur.

### Alınan sonuçların yorumlanması:

Çentik vurma tokluğu, dayanım hesaplamalarında sayısal bir değeri olarak kullanılamaz, çünkü konstrüksiyonlardaki gerilme durumları, yüklemenin seyri, boyutlar ve çentik geometrisi çok farklıdır. Bu nedenle de malzemenin kalitesini belirlemek için yapılan deneyde sonuçlar kırma işi ya da vurma değeri olarak belirtilir.

Geçiş bölgesinde büyük dağılmalar gösteren vurma değeri, alt bölgede yaklaşık 10 J düzeyinde kalırken, üst bölgede malzemenin durumuna bağlı olarak 100-300 J'dir.



Şekil 7. Darbe geçiş sıcaklığının etkisi

### Darbe Geçiş Sıcaklığı ( $T_g$ )

Malzemenin sünek yapıdan gevrek yapıya geçtiği sıcaklığa **geçiş sıcaklığı** veya **darbe geçiş sıcaklığı** denir. Malzemenin düşük sıcaklıkta dayanım göstermesi istenir. Bunun için düşük geçiş sıcaklıklarında malzemenin çentik tokluğuna sahip olması gerekir. Malzemelerin kırılma tokluğu deney sıcaklığının azalması ile azalarak gevrek kırılma davranışı gösterebilirler (Şekil. 7)

Adı-Soyadı :  
Numara :  
İmza :

Deneyi Yürüten Öğretim Elemanı :  
Deneyin Yapıldığı Tarih :  
Grup-Alt Grup :

NOT

## **SERTLİK DENEYİ**

### **Deney tasarımı:**

Verilen malzemenin soğuk sertleşme (pekleşme) sonucu sertlik değerlerinin değişip değişmediğini gösteren bir deney tasarlayınız ve deney işlem adımlarını yazınız.

- 1)
- 2)
- 3)
- ...

### **Deneyin uygulanması:**

Deneyi uygulayınız, gerekli hesaplama ve yorumları yaptıktan sonra deney sonucunu aşağıdaki kısımları doldurarak belirtiniz.

#### **Gerekli başlıklar:**

- Malzeme:
- Uygulanacak Test ve Skalası (Varsa ilgili standart):
- Ölçümler:
- Hesaplamalar (Gerekliyse):
- Yorum:
- SONUÇ:

## **ÇENTİK DARBE DENEYİ**

### **Deney hazırlığı:**

1. Çentik darbe testi ile ilgili aşağıda verilen deneye başlangıç bilgi sorularını cevaplandırınız:
  - a) Çentik darbe testi hangi amaçla gerçekleştirilir?
  - b) Darbe geçiş sıcaklığı nedir?
  - c) Deneyin nasıl uygulandığını maddeler halinde belirtiniz:

### **Deneyin uygulanması:**

**İstenen:** Deney esnasında verilen 10x10 mm<sup>2</sup> kesitli çelik çubuktan standart 2 mm V çentikli çentik darbe numunesi hazırlayarak:

- a) Kırma enerjisini J cinsinden ölçünüz:
- b) Çentik darbe dayanımını (tokluğunu) bulunuz:

## MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ LABORATUVAR TELAFİ ONAY FORMU

Öğrencinin Numarası : .....

Öğrencinin Adı Soyadı : .....

	<i><b>TELAFİ EDİLECEK LABORATUVAR (kendi grubu)</b></i>	<i><b>TELAFİYE GİRDİĞİ LABORATUVAR</b></i>
<b>LABORATUVAR ADI</b>		
<b>LABORATUVAR TARİHİ</b>		
<b>LABORATUVAR GRUBU</b>		
<b>BÖLÜM ONAYI*</b>  ..... / ..... / 20...	<b>UYGUNDUR.</b>  ..... / ..... / 20...  Öğretim Elemanının Adı Soyadı / İmza	<b>TELAFİ EDİLMİŞTİR.</b>  ..... / ..... / 20....  Öğretim Elemanının Adı Soyadı / İmza

\*Telafi edilecek olan laboratuvar onayı kendi grubunun öğretim elemanından alındıktan sonra form Makine Mühendisliği Bölüm Başkanlığı'nda onaylatılacaktır.