



BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

MAK3016 GENEL MAKİNE LABORATUVARI
LABORATUVARI DERSİ

2020-2021 BAHAR DÖNEMİ

Önsöz

Bu doküman MAK3016 Genel Makine Laboratuvar dersi için gerekli bilgileri bir arada vermek amacı ile hazırlanmıştır. Dokümanın birinci bölümünde rapor yazma ve teslim kuralları, deney grupları ve deney uygulama saatleri, dönem ödev konuları ve değerlendirme verilmiştir. İkinci bölüm ise dönem içinde yapılacak deneylere ait föyleri içermektedir.

Şubat 2021

Laboratuvar Komisyonu

RAPOR HAZIRLAMA KURALLARI

1. Temel Bilgiler

Makine Mühendisliği öğrencilerinin, MAK3016 Genel Makine Laboratuvarı dersi için bu belgede açıklanan kurallara uygun olarak hazırlanması gerekmektedir.

Bir deney raporu; Kapak, Ön Kısım, Ana Kısım ve Eklerden oluşur. **Kapak**, dış kapak olarak düzenlenir. **Ön kısımda**, içindekiler kısmı bulunur. **Ana kısım**, raporun içeriğidir. **Ekler**, raporun akıcılığını kesmemek için rapor sonuna atılmış bilgileri içerir.

Kapak ve bölümlere ilişkin bilgiler ve örnekler bu belge içinde verilmiştir.

2. Sayfa Düzeni

- Sayfa düzeni, rapor örnek kalıbında belirtildiği gibi olacaktır. Buna göre. Kağıt boyutu A4, Üst ve alt boşluklar 2.5, sol boşluk 3.3 ve sağ boşluk 2.2 cm olacaktır.
- Sayfa numaraları, sayfanın sol alt kısmında yer almalıdır.
- Ön kısım sayfaları roma rakamları ile numaralandırılacaktır.Örneğin; İçindekiler I
- Ana kısımda yer alan tüm sayfalar numaralanacaktır.

3. Paragraf Düzeni

Normal yazı paragrafları, “normal” paragraf tipinde olacaktır. Bu paragraf türünde, 12 punto, normal “Times New Roman” karakteri kullanılacaktır.

Paragraf ilk satırı, diğer satırlar ile aynı hizada olacak ve paragraflar arasında bir satır atlanacaktır.

Alt başlıklar için örnekler aşağıda verilmiştir

1. Birinci Başlık

1.1. İkinci Başlık

1.1.1. Üçüncü Başlık

4. Resim ve Tablolar

Resim ve şekil altyazıları, şeklin altına ve ortalanarak aşağıdaki biçimde yazılacaktır. Şekil numaraları, bölüme bağlı olarak verilecektir. Örneğin Şekil 1.3 gibi.



Şekil 1.1: Deney tesisatının genel görünümü

Tablo isimleri tabloların üst kısımlarına aşağıda gösterildiği gibi yazılacaktır.

Tablo 1.1: Genel Tablo

5. Referanslar

Referanslar, referansa atıf yapılan yerde köşeli parantez içinde gösterilecektir. Örneğin [1] biçiminde.



MAK3016 GENEL MAKİNE LABORATUVARI

DENEY RAPORU

DENEY NO: 5

MİLLERİN KRİTİK HIZLARININ TAYİNİ DENEYİ

Deney Yapılış Tarihi	: 06.03.2021
Rapor Teslim Tarihi	: 13.03.2021
Deney Grubu	: A1
Deney Sorumlusu	: Prof. Dr. Osman KOPMAZ
Raporu Kabul Eden	: Arş Gör. Ercan Düzgün
Raporu hazırlayan(lar)	: 0313200?? XXXXX YYYYYY 0313200?? ZZZZZZ TTTTTT



İÇİNDEKİLER

1 - GİRİŞ	4
1. <u>Birinci Başlık</u>	<u>1</u>
1.1. İkinci Başlık	1
1.1.1. Üçüncü Başlık	1

1. GİRİŞ

Giriş bölümünde, bu raporda sunulan konunun kısa bir tanıtımı yapılmalıdır. Amaç açıklanmalıdır. Ayrıca, rapor içinde, konuların sıralanışına da yer verilmelidir.

2. TEORİ

İkinci bölüm, rapor içeriği ile ilgili ve rapora temel oluşturacak teorik bilgileri kapsamalıdır.

3. DENEY DÜZENİĞİ, KULLANILAN ALET VE CİHAZLAR

Bu bölümde deney tesisatı çizilmeli ve anlatılmalıdır. Ayrıca deneyde kullanılan alet ve cihazlar ve bunların özellikleri verilmelidir. Ölçüm yapan cihazların ölçüm teknikleri kısaca anlatılmalıdır.

4. DENEYİN YAPILIŞI

Bu bölümde deneyin yapılışı anlatılmalıdır.

5. VERİLER VE ÖLÇÜM DEĞERLERİ

Deneyde yapılan ölçümler, varsayılan veriler tablolar ile bu bölümde verilmelidir.

6. HESAPLAMA VE SONUÇLAR

Yapılan hesaplamalar bu başlık altında gösterilmeli, tekrarlı hesaplamalar varsa bir tanesi gösterildikten sonra tablolar halinde sunulmalı ve özetlenmelidir.

7. VARILAN SONUÇ VE TAVSİYELER

Yapılan deneyin sonucunun amaçla ilişki bu bölümde tartışılacaktır.

8. KAYNAKLAR

Rapor içinde atıfta bulunulan referanslar, aşağıda gösterilen örnekler uygun biçimde yazılmalıdır.

Referans numarası, Soyad, Adın ilk harfi, Referanasın açık adı, referansın yayınlandığı yer, yayın evi, yayın yılı.

[1] Kılıç M, Yiğit A., *Isı Transferi*, Alfa Yay. ,2004.

[2] Frieden, D.E., *Principle of System Analysis*, McGraw Hill. 1998

9. EKLER

Ekler, raporun akıcılığını kesmemek için rapor sonuna atılmış bilgileri içerir.



T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ
2020-2021 BAHAR YARIYILI



GRUPLAR

CUMA Günleri

Örgün Eğitim: 10:30-11:15
İkili Eğitim: 13:50-14:40

Saatleri arasında 13/18 Kişilik, Ders İsim Listelerine göre Laboratuvar Komisyonu Tarafından Belirlenen ve İlan Edilen Gruplarla yapılacaktır.

DENEY RAPORLARI maklab@uludag.edu.tr ADRESİNE MESAJ YOLU İLE İLETİLECEKTİR. DENEY RAPORUNU İÇEREN DOSYA HER DENEY İÇİN BİR MESAJ EKİ OLARAK GÖNDERİLECEKTİR. MESAJIN KONUSU VE RAPORUN PDF FORMATINDAKİ DOSYA İSMİ ÖRNEK OLARAK **DENEY04 K1-1 ŞEKLİNDE HEM DENEYİN NUMARASINI, HEM ÖĞRENCİNİN HANGİ GRUPTA OLDUĞUNU İÇERECEK ŞEKİLDE KODLANMALIDIR.**

A1 10:30-11:15	B1 10:30-11:15	C1 10:30-11:15	D1 10:30-11:15	E1 10:30-11:15
A2 11:15-12:00	B2 11:15-12:00	C2 11:15-12:00	D2 11:15-12:00	E2 11:15-12:00
F1 13:50-14:35	G1 13:50-14:35	H1 13:50-14:35	I1 13:50-14:35	J1 13:50-14:35
F2 14:35-15:20	G2 14:35-15:20	H2 14:35-15:20	I2 14:35-15:20	J2 14:35-15:20



T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ
2020-2021 BAHAR YARIYILI



**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ 2020- 2021 BAHAR YARIYILI
MAK3016 GENEL MAKİNE LABORATUVARI, DENEY PROGRAMI**

D. No	Deneyin Adı	Sorumlu Öğretim Elemanları	Deneyin Yeri	*Aşağıda Belirtilen Tarihlerde Tüm Deney Grupları Aynı Deneyi Takip Edeceklerdir.				
1	Millerin Kritik Hızlarının (Titreşim Modlarının) Tayini Deneyi	Prof. Dr. O. Kopmaz, E. Düzgün, M. A. Özel	Mak. Teorisi ve Din. Lab.	19 MART	19 MART	19 MART	19 MART	19 MART
2	Kurutma Deneyi	Prof. Dr. A. B. Etemoğlu, Ü. Çeğil, M. Türker	Isı Tekniği Lab.	26 MART	26 MART	26 MART	26 MART	26 MART
3	Güneş Enerjisi Deneyi	Prof. Dr. A. Yiğit, A. F. Altun, Y. Şen	Isı Tekniği Lab.	2 NİSAN	2 NİSAN	2 NİSAN	2 NİSAN	2 NİSAN
4	Debi Ölçümü ve Yük Kayıplarının Tespiti Deneyi	Dr. Öğr. Üyesi O. Yemenici, N. Aydın, M. Erman Çalışkan	Akışkanlar Mekaniği Lab.	9 NİSAN	9 NİSAN	9 NİSAN	9 NİSAN	9 NİSAN

Ders kayıtları olup da listede adı olmayan öğrencilerin **Arş. Gör. Neslihan Aydın** ile irtibata geçmeleri gerekmektedir.

Kesinlikle gruplar arası değişim yapılmayacaktır.

Deneyi yapan öğretim elemanından izinsiz olarak kendi grubu ile deneye girmeyen öğrenci o deneye girmedik olarak değerlendirilecektir.

2 deneyin üzerinde devamsızlığı olan öğrenci, "Devamsız" sayılmaktadır. Girilmemiş bir deneyin raporu verilse dahi o deney için öğrenci devamsız sayılmaktadır.



**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ 2020- 2021 BAHAR YARIYILI
MAK3016 GENEL MAKİNE LABORATUVARI, DENEY PROGRAMI**

D. No	Deneyin Adı	Sorumlu Öğretim Elemanları	Deneyin Yeri	*Aşağıda Belirtilen Tarihlerde Tüm Deney Grupları Aynı Deneyi Takip Edeceklerdir.				
5	Boyut Ölçümü ve Analizi	Dr. Öğr. Üyesi G. Şefkat, M.A. Özel, E. Düzgün	Mak. Teorisi ve Din. Lab.	16 NİSAN	16 NİSAN	16 NİSAN	16 NİSAN	16 NİSAN
6	Uzama Ölçer (Strain Gauge) Deneyi	Prof. Dr. Y.Pala Ç. Kahya, O. C. Kalay	Mak. Elm. Ve Mekanik Lab.	30 NİSAN	30 NİSAN	30 NİSAN	30 NİSAN	30 NİSAN
7	Metalik Malzemelerin Çekme Deneyi	Prof. Dr. A. Bayram K. Turan, Ç. Dindar	Malzeme Lab.	07 MAYIS	07 MAYIS	07 MAYIS	07 MAYIS	07 MAYIS
8	Işınım Deneyi	Doç. Dr. Erhan Pulat E. Beyazoğlu, R. Yalındağ	Isı Tekniği Lab.	14 MAYIS	14 MAYIS	14 MAYIS	14 MAYIS	14 MAYIS

Ders kayıtları olup ta listede adı olmayan öğrencilerin **Arş. Gör. Neslihan Aydın** ile irtibata geçmeleri gerekmektedir.

Kesinlikle gruplar arası değişim yapılmayacaktır.

Deneyi yapan öğretim elemanından izinsiz olarak kendi grubu ile deneye girmeyen öğrenci o deneye girmede olarak değerlendirilecektir.

2 deneyin üzerinde devamsızlığı olan öğrenci, "Devamsız" sayılmaktadır. Girilmemiş bir deneyin raporu verilse dahi o deney için öğrenci devamsız sayılmaktadır.

BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ, MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ, MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ
MAK3016 GENEL MAKİNE LABORATUVARI DERSİ DENEY TASARIMI ÖDEV KONULARI

Bu ödevin amacı, MAK3016 Genel Makine Laboratuvarı dersini alan öğrencilerin Makine Mühendisliği ile ilgili konularda karşılaşılacak bazı fiziksel büyüklüklerin deneysel olarak belirlenmesi için deney tasarlayabilme yeteneklerinin geliştirilmesidir. Öğrenciler aşağıda Deney Grubu için belirlenen konularda deney tasarımını **özgün** bir şekilde **bireysel** olarak hazırlayıp, kurallarına uygun olarak teslim etmelidir.

Ödev konuları dönem içinde araştırılıp ilan edilen tarihte, kuralla uygun olarak hazırlayıp teslim edecektir.

GRUP ADI	DENEY KONUSU
A1-F1	EĞİK DÜZLEMDE KURU SÜRTÜNME DENEYİ Bu deneyde, farklı tür malzemeler için eğik düzlemde sürtünme katsayısının belirlenmesi, dinamik ve statik sürtünme arasındaki farkın gözlenmesi ve düzlemin farklı eğim açılarında statik kuvvet dengesinin oluşturulması amaçlanmaktadır.
A2-F2	BURULMA DENEYİ Bu deney, burulma momentine maruz bırakılan içi dolu metalik bir çubuk malzemede, burulma açısı ile ilişkili kayma gerilmelerini ve kayma şekil değişimlerini deneysel olarak belirlemeye imkân verir. Ayrıca deneyde, test edilecek malzemeye ait kayma modülünün hesaplanmasını ve burulma momentinin ölçümünü öğretmek amaçlanmaktadır.
B1-G1	KAYIŞ-KASNAK MEKANİZMALARINDA KAYIŞ KUVVETLERİ VE SÜRTÜNMENİN BELİRLENMESİ Bu deneyde, kayış-kasnak mekanizmalarında sarım açısı, kayış türleri(V kayışlar, düz kayışlar) ve kayış yuvalarındaki değişimin sürtünme üzerine etkisi analiz edilmiştir. Bu sayede, kayış-kasnak arasındaki sürtünmeden dolayı oluşan sürtünme katsayılarının hesaplanıp karşılaştırılması amaçlanmaktadır.
B2-G2	BURKULMA DENEYİ Bu deneyde, Euler burkulma teorisinin incelenmesi ve mesnetleme şekillerine göre kritik burkulma kuvvetleri ve gerilmelerinin belirlenerek sistemin emniyet kontrolünün yapılması amaçlanmıştır.
C1-H1	AKIŞKANLARIN ISI İLETİM KATSAYILARININ BELİRLENMESİ DENEYİ Akışkanların (sıvılar ve gazlar) ısı iletim katsayılarının belirlenmesi ve bulunan bu değerlerin tablo (literatür) değerleriyle karşılaştırılması.



T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ
2020-2021 BAHAR YARIYILI



C2-H2	RULMANLI VE KAYMALI YATAKLARDA SÜRTÜNME VE DİNAMİK DAVRANIŞ DENEYİ Bu deneyde, farklı tür malzemelerden oluşan kaymalı yatakların yatak boşluklarına yerleştirilerek yüzey çiftleri arasında oluşan sürtünme için sürtünme katsayılarının belirlenmesi ve karşılaştırılması amaçlanmaktadır.
D1-I1	MOTORLARDA EMİSYON ÖLÇÜM DENEYİ Buji ateşlemeli bir motorda egzoz emisyonlarının belirlenmesi, motor performans parametreleri ile ilişkilerinin incelenmesi ve emisyon kontrol yöntemlerinin tanıtılması.
D2-I2	AÇISAL HIZIN ÖLÇÜLMESİ Farklı kütleler kullanarak açısal hızın ölçülmesi amaçlanmaktadır.
E1-J1	OHM KANUNU ve BİR İLETKENİN ÖZDİRENCİNİN BELİRLENMESİ Direncin tanımı ve direncin bağlı olduğu parametreler. Parametrelerin ölçülmesi ile öz direncin bulunması ve literatür ile karşılaştırılması. Basit direnç devrelerinde (Seri ve Paralel) eşdeğer direncin bulunması amaçlanmaktadır.
E2-J2	SIVI SEVİYE DENETİM SİSTEMİ Bu deneyde tank içi sıvı seviyesinin kapalı döngü oransal denetimi amaçlanmaktadır.

ÖDEV TESLİM KURALLARI

- Ödevin ders notuna katkısı % 15 olarak belirlenmiştir. (%25 Rapor, %15 Ödev, %60 Yıl Sonu)
- Her konu ilgili deney grubundaki öğrenciler tarafından **BİREYSEL** olarak yapılacaktır.
- Sunulan Ödevler; bir kapak sayfası ve 1. AMAÇ 2. TEORİ 3. DENEY DÜZENİĞİ, KULLANILAN ALET VE CİHAZLAR 4. DENEYİN YAPILIŞI 5. ÖLÇÜM ve HESAPLAMALAR 6. SONUÇ ve YORUM 7. KAYNAKLAR başlıkları ile **MAKSİMUM BEŞ SAYFA** olacak şekilde hazırlanmalıdır.
- Her bir ödevin **ÖZGÜNLÜĞÜ** dikkate alınarak değerlendirilecektir. İnternet ortamından veya diğer bir ödev sunumundan etkilenildiği belirlenen ödevler **SIFIR NOT** ile değerlendirilecektir.
- En geç **08 Mayıs 2020** Cuma günü, saat 17:00'ye kadar maklab@uludag.edu.tr adresine **mesaj eki olarak** ÖDEV K1-1 örneğinde olduğu gibi hem mesaj konusu hem de ödev dokümanını içeren pdf dosya ismi ile teslim edilmelidir. Bu tarihten sonra ödev alınmayacaktır.



T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ
2020-2021 BAHAR YARIYILI



**BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ**

**MAK3016 GENEL MAKİNE LABORATUVARI
DERSİ**

DENEY FÖYLERİ

2020-2021 BAHAR DÖNEMİ

MİLLERİN KRİTİK HIZLARININ (TİTREŞİM MODLARININ) TAYİNİ

Hazırlayanlar: Prof. Dr. Osman KOPMAZ

1. Amaç

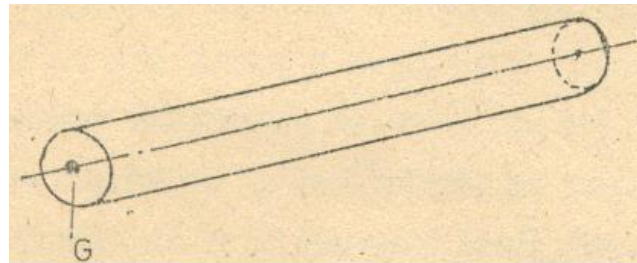
Bu deneyde amaç, basit mesnetlenmiş bir milin kritik devir sayısının ve buna ait titreşim çeşitlerinin (modlarının) tayinidir. Milin işletme devir sayısı bu kritik devir sayılarından birine tesadüfen eşit veya çok yakın ise “rezonans” durumu ortaya çıkar; yani milin mekanik enerjisi giderek artar ve bu artan enerjiyi dengeleyecek sürtünme ve saire gibi enerji kaybettiren unsurlar yoksa neticede milin yer değiştirmeleri, milin kırılmasına yok açacak mertebeye ulaşır.

2. Giriş

Millerde kritik devir sayısının varlığına sebep, ideal katı (rijit) olmayışlarıdır. Katı fakat şekil değiştirebilen millerde dönme esnasında sınır ve yükleme şartlarıyla devir sayısına bağlı olarak farklı şekiller göze çarpar. Başka bir deyişle elastik eğrileri farklı olur.

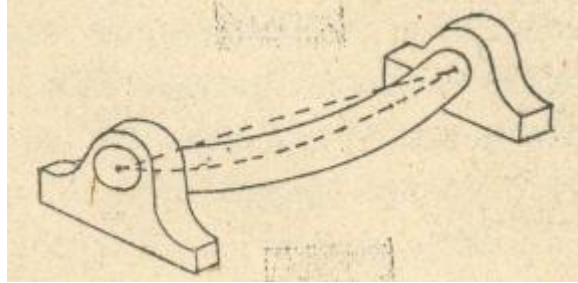
Eğer mil, rijit bir malzemeden yapılmış olsaydı esnemesi sıfır olacağından bir rezonans olayı ortaya çıkmayacaktı.

Şimdi mili sükunette iken döndürmeye başladığımızı düşünelim. Milin dolu daire kesitli olduğunu varsayıyoruz. Milin malzemece üniform imal edildiğini, yani her kesitte, kesitin geometrik merkezi ile kütle merkezinin –bu hal pratikte pek mümkün olmamakla beraber– çakıştığını kabul edelim (Şekil-1).



Şekil 1. Üniform Mil

Bu mili basit yani uçları dönmeye müsaade edecek tarzda mesnetlediğimizde, kendi ağırlığı altında bir elastik eğri oluşturacaktır (Şekil 2).

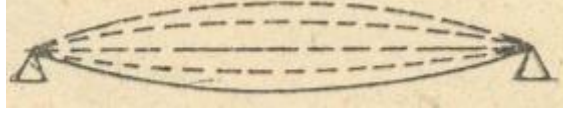


Şekil 2. Elastik eğri (abartılı çizilmiştir)

Dolayısıyla daha sükunette iken her kesit yatak merkezleri ekseninden belirli bir uzaklıktadır. Dönme hareketi başladığında milin her bir diferansiyel parçacığına, o kısmın sehimiyle orantılı merkezkaç kuvveti etkimeye başlayacaktır. Devir sayısı arttıkça daha büyük sehimli bir elastik eğri oluşur. Ağırlık kuvveti olmasa ve mil hem geometrik hem de malzeme yoğunluğu bakımından üniform olsaydı dönme esnasında dengelenmemiş merkezkaç kuvvet oluşmayacaktı.

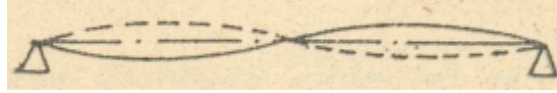
Milin ağırlığı fevkalade az bile olsa yoğunlukla milin geometrik merkezi ile kütle merkezi birbirinden imalat ve içyapı nedeniyle farklılık arz eder veya milde bir ilkel eğrilik mevcuttur. Bu durumda da dönme hareketi başladığında dengelenmemiş merkezkaç kuvvetler oluşur ve devir sayısı arttıkça büyük sehimli elastik eğriler oluşur. Devir sayısı sabit tutulduğunda elastik eğrinin biçimi korunur.

Deneyimizde belirli bir devir sayısına vardığımızda, o devir sayısını korusak ile milin elastik eğri sehimlerinin artmaya çalıştığını görüyoruz. İşte bu durumda devir sayısı milin birinci kritik devir sayısına eşit ve bir “rezonans” durumuyla karşı karşıyayız demektir. Ne var ki, gerek yataklarda, gerek havada ve gerekse malzeme bünyesindeki sürtünme ve sönüm tesirleri nedeniyle elastik eğri sehimlerinin sonsuza gitmesi mümkün olmaz. Basit mesnetli bir milde birinci kritik hıza kadar elastik eğrinin görünümü Şekil 3’deki gibidir. Mil döndüğünden bu bir dönel yüzeyi andırır.



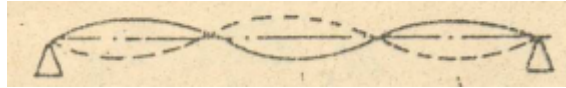
Şekil 3. Birinci kritik hızda milin şekli

Devir sayısını arttırmaya devam edersek birinci kritik hızdan sonra elastik eğri sehimlerinde nisbî bir azalma izlenir. Devir sayısı yine belli bir değere geldiğinde yine elastik eğrinin sehimlerinde artma izlenir ama bu defa elastik eğrinin şeklinin biraz değişik olduğu gözlenecektir (Şekil 4).



Şekil 4. İkinci kritik hızda milin şekli

Dikkat edilirse milin orta noktasının hemen hemen hiç hareket etmediği görülür. Devir sayısı yine arttırılsın. Belli bir devir sayısına geldiğimizde bu defa Şekil 5'deki ilgi çekici bir elastik eğri ile karşılaşacağız.

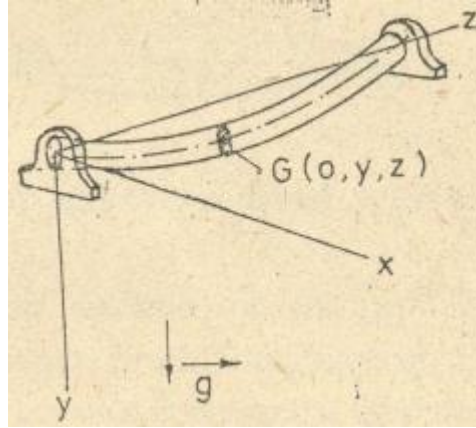


Şekil 5. Üçüncü kritik hızda milin şekli

3. Teori

3.1. Hareket Denklemlerinin Çıkartılması

Şimdi bu durumun teorik yönden açıklamasını yapmaya çalışacağız. Bu maksatla milimizi yataklarıyla beraber ve sükûnette yayılı ağırlık kuvveti altında oluşturduğu elastik eğriyi de gösterir vaziyette bir xyz koordinat takımında tasvir edelim (Şekil 6)



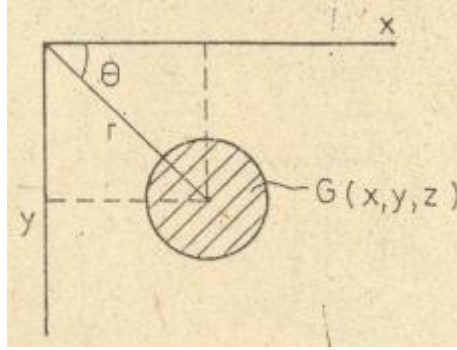
Şekil 6. xyz koordinat takımında basit mesnetli mil

Burada xyz koordinat takımının şekildeki gibi seçilmesi tamamen keyfidir. Ancak koordinat takımı seçildiğinde elastik eğrinin eğriliği ile kesit eğilme momenti arasındaki ilişkinin işaretinde bir seçim yapılmış olur ($\frac{d^2y}{dz^2} = \frac{-M}{EI}$ veya $\frac{d^2y}{dz^2} = \frac{M}{EI}$). yz düzlemi düşeydir, xy düzlemi ise yatayıdır. Keza xy düzlemi de bu iki düzleme dik olup düşey durmaktadır. Şekil 6'da mil elastik eğrisi yerçekim vektörü doğrultusuna paralel yani düşey yz düzlemi içindedir ve hareket olmadığından

$$EI_x \frac{d^4y}{dz^2} = \frac{dm}{dz} g \quad (1)$$

bağıntısından bulunabilecek bir eğridir. Burada $\frac{dm}{dz} \cong \rho A = sbt$ olup milin birim uzunluk başına kütlesidir (ρ : mil malzemesinin yoğunluğu [kg/m^3], A : kesit alanı [m^2]).

Dönme hareketi esnasında, kütle merkezi başlangıçta (O,y,z) koordinatlarıyla verilen noktada bulunan herhangi bir kesit öyle bir konuma gelsin ki bu konumda kütle merkezi koordinatları (x,y,z) olsun. Göz önüne alınan anda devir sayısını da sabit tuttuğumuzu varsayıyoruz. Dolu daire kesit söz konusu olduğundan bu kesit üzerinde x ve y eksenlerine paralel alınacak ve çaptan geçen her eksen asal eksen olacaktır. Dolayısıyla milin ağırlık merkezi ve merkezkaç kuvvetler tesiri altındaki eğilmesi bu iki asal eksen doğrultusunda bileşenlerine ayrılıp incelenebilir. Bu bilgiler ışığında Şekil 7 yardımıyla hareket denklemlerini elde edebiliriz.



Şekil 7. Milin herhangi bir kesitinin t anındaki yeri

Elastik eğri denklemi Şekil 8'deki notasyona göre;

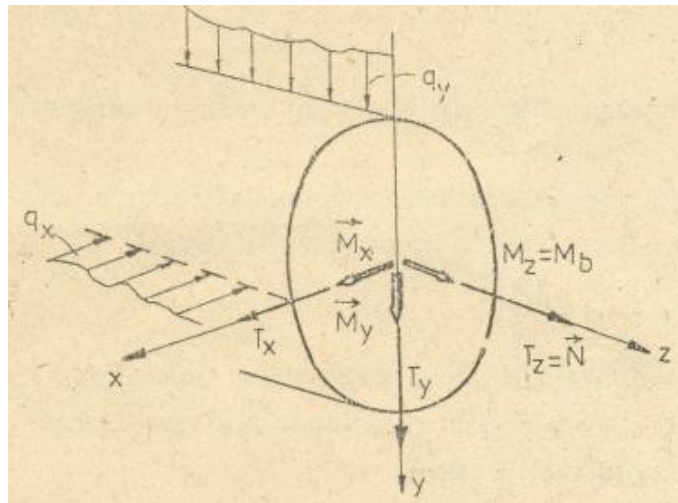
x doğrultusunda

$$EI_y \frac{\partial^4 x(z, t)}{\partial z^4} = -q_x$$

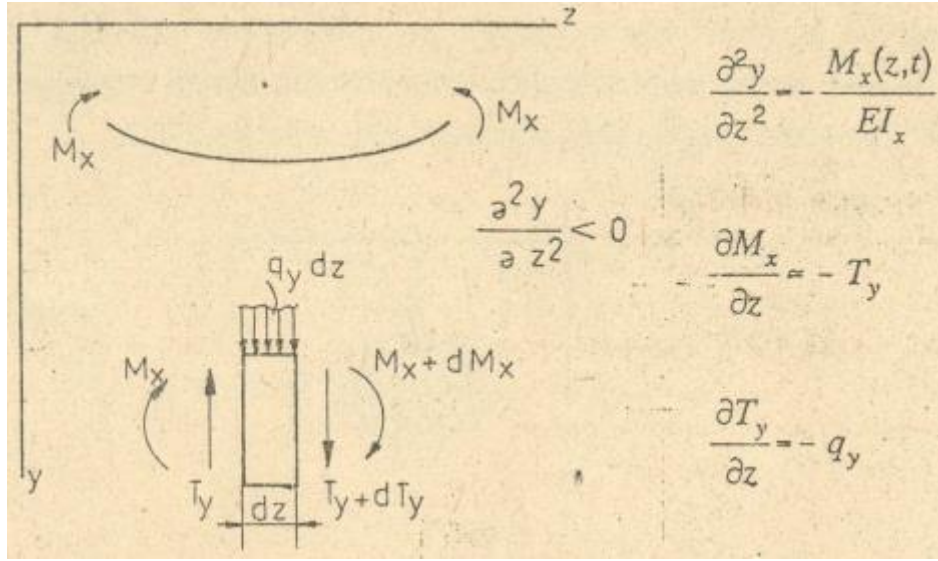
ve y doğrultusunda

$$EI_x \frac{\partial^4 y(z, t)}{\partial z^4} = -q_y$$

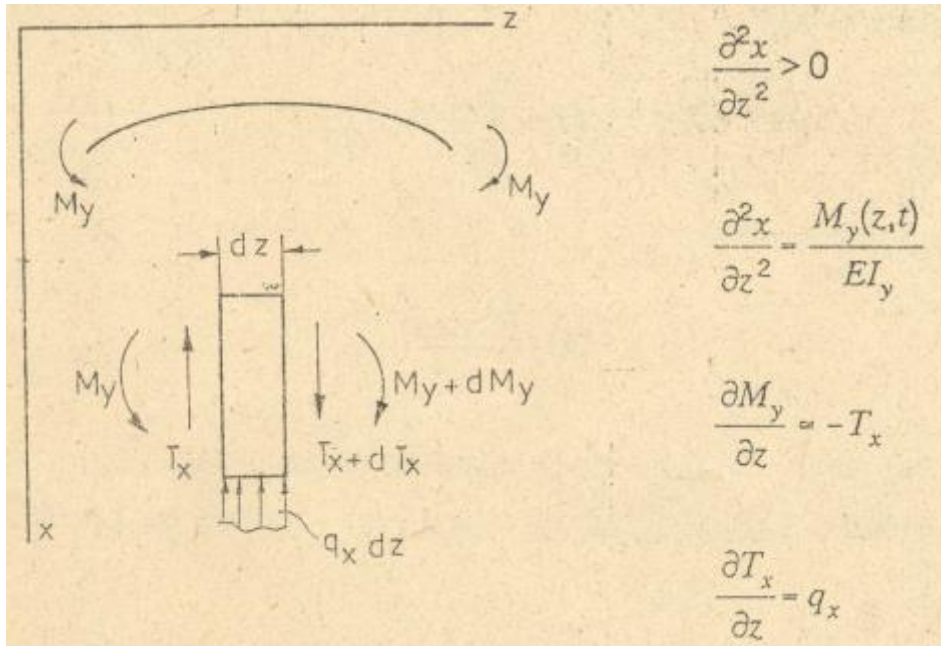
olur. Burada q_x ve q_y , x ve y doğrultusunda yayılı yükler olup Şekil 8'deki notasyona uyulursa, q_x (-x) yönünde ve q_y (+y) yönünde ise pozitif alınacaktır.



a) Kesit kuvvetlerinin tanımlanması



b) yz düzleminde elastik eğri moment bağıntıları



c) xy düzleminde elastik eğri moment bağıntıları

Şekil 8. Hareket denklemlerinin çıkarılmasında kullanılan notasyon ve açıklayıcı bilgiler

Burada q_x , x doğrultusunda yayılı atalet kuvvetinden ibarettir. Yayılı atalet kuvveti (merkezkaç kuvveti) negatif x yönünde olup Şekil 8'deki notasyona göre q_x 'in işaret kabulüne uygundur. O halde



$$q_x = \rho A \frac{\partial^2 x(z, t)}{\partial t^2}$$

dir. q_y ise yayılı ağırlık kuvveti ile negatif y yönünde yayılı (merkezkaç) atalet kuvvetinden oluşmaktadır ve buna göre

$$q_y = \rho A g - \rho A \frac{\partial^2 y(z, t)}{\partial t^2}$$

olur. Bu ifadeler (2) ve (3) de yerine konursa

$$EI_y \frac{\partial^4 x(z, t)}{\partial z^4} + \rho A \frac{\partial^2 x(z, t)}{\partial t^2} = 0$$

$$EI_x \frac{\partial^4 x(z, t)}{\partial z^4} + \rho A \frac{\partial^2 y(z, t)}{\partial t^2} = \rho A g$$

Bulunur. Bunlar hareketin xy ve yz düzlemlerindeki izdüşümlerine ait denklemlerdir. (6) homojen, 4. Mertebeden, lineer bir kısmi türevli diferansiyel denklemdir. (7) nin (6)dan farklı sağ taraflı olmasıdır. Ancak (7)n, n sağ tarafındaki ifade sabit sayı olup zamanla değişmemektedir. Dolayısıyla buradan gelecek özel çözüm statik halde yayılı ağırlık yükü altındaki elastik eğri denkleminden başkası değildir.

Şimdi (6) denklemini ele alalım. Bu kısmi türevli diferansiyel denklemin

$$x(z, t) = Z(z)T(t)$$

şeklinde çözümü olup olmadığını araştırıyoruz. Buna değişkenlerine ayrılabilen çözüm denir. (8)i (6) da yerleştirelim.

$$EI_y \frac{\partial^4}{\partial z^4} [Z(z)T(t)] + \rho A \frac{\partial^2}{\partial t^2} [Z(z)T(t)] = 0$$

$$EI_y T(t) \frac{\partial^4 Z(z)}{\partial z^4} + \rho A Z(z) \frac{\partial^2 T(t)}{\partial t^2} = 0$$

z ye göre türevleri (') ve zamana göre türevleri (') ile gösterirsek

$$EI_y T Z'''' + \rho A Z \ddot{T} = 0$$



elde ederiz. Buradan

$$\frac{EI_y Z''''}{\rho A Z} = \frac{-\dot{T}}{T}$$

bulunur. Bu eşitliğin solundaki oran z ye, sağındaki t ye bağlıdır. Eşitliğin sağlanması ise oranın hem z den hem t den bağımsız olması, yani bir sabit sayı olması ile mümkündür. Bu sabit sayıya p^2 diyelim. Ayrıca,

$$\frac{EI_y}{\rho A} = k^2$$

tanımlarsak

$$\frac{-\dot{T}}{T} = p^2$$

$$k^2 \frac{Z''''}{Z} = p^2$$

bulunur. (14) bağıntısını

$$\dot{T} + p^2 T = 0$$

şeklinde yazabiliriz. Bunun çözümü bildiğiniz gibi

$$T = A \cos(pt) + B \sin(pt)$$

dir(sabit sayıyı p^2 olarak tanımlamamız bu formda çözüm elde etmek için bir hazırlıktı). (15) bağıntısını da

$$Z'''' - \frac{p^2}{k^2} Z = 0$$

şeklinde yazalım.

$$\alpha^4 = \frac{p^2}{k^2}$$

şekline girer. Bunun karakteristik denklemi yazılır ve karakteristik kökleri bulunursa



$$r^4 - \alpha^4 = 0$$

dan

$$r_1 = i\alpha, r_2 = -i\alpha, r_3 = \alpha, r_4 = -\alpha, (i = \sqrt{-1})$$

olur ve buradan

$$Z = C_1 e^{i\alpha z} + C_2 e^{-i\alpha z} + C_3 e^{\alpha z} + C_4 e^{-\alpha z}$$

veya

$$Z = C \sin(\alpha z) + D \cos(\alpha z) + E \sinh(\alpha z) + F \cosh(\alpha z)$$

bulunur. Demek ki (6) denkleminin (8) şeklinde bir çözümü mümkündür. Burada T(t) ye ait (17) çözümündeki A ve B sabitleri başlangıç şartlarından, Z(z) ye ait (24) çözümündeki C,D,E,F sabitleri ise sınır şartlarından tayin edilecektir. Basit mesnetli milde sınır şartları her iki uçta sehim ve eğilme momentinin sıfır olmasıyla verilir. Yani

$$z = 0 \text{ da } x(0, t) = 0, \frac{\partial^2 x(0, t)}{\partial z^2} = 0$$

$$z = L \text{ de } x(L, t) = 0, \frac{\partial^2 x(L, t)}{\partial z^2} = 0$$

x(z,t) nin x=ZT biçiminde önerildiğini dikkate alırsak (25) sınır şartları

$$z=0 \text{ da } Z(0)=0; Z''(0)=0; z=L \text{ de } Z(L)=0, Z''(L)=0$$

şartları ile eşdeğerdir. Bu sınır şartları sırasıyla (24) de uygulanırsa

$$\begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 1 \\ 0 & -\alpha^2 & 0 & \alpha^2 \\ \sin(\alpha L) & \cos(\alpha L) & \sinh(\alpha L) & \cosh(\alpha L) \\ -\alpha^2 \sin(\alpha L) & -\alpha^2 \cos(\alpha L) & \alpha^2 \sinh(\alpha L) & \alpha^2 \cosh(\alpha L) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C \\ D \\ E \\ F \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

bağıntısı bulunur. Bu bir homojen denklem takımıdır. Bunun ilk iki denklemi

$$D + F = 0 - \alpha^2(D + F) = 0$$



şeklinde ve burada katsayılar determinantı sıfırdan farklı olduğundan (28) denkleminin sağlanması için $D=F=0$ olmalıdır. Demek ki basit mesnetli mil halinde $Z(z)$ de $\cos(\alpha z)$ ve $\cosh(\alpha z)$ fonksiyonları gözükmez. (27) nin kalan iki denklemi

$$C \sin(\alpha L) + E \sinh(\alpha L) = 0 - C \alpha^2 \sin(\alpha L) + E \alpha^2 \sinh(\alpha L) = 0$$

dır. Bunun katsayılar determinantı sıfıra eşit olmazsa yegane çözüm $C=E=0$ dır. Bu ise çubuğun xz düzleminde hareket bileşeninin olmaması demektir ve olayın fiziği ile çelişkilidir. O halde (29) denklem takımının katsayılar determinantı sıfıra eşit olmalıdır ki C ve E nin sıfırdan farklı çözümleri olabilsin. Buna göre katsayılar determinantı açılırsa

$$\begin{vmatrix} \sin(\alpha L) & \sinh(\alpha L) \\ -\alpha^2 \sin(\alpha L) & \alpha^2 \sinh(\alpha L) \end{vmatrix} = 2\alpha^2 \sin(\alpha L) \sinh(\alpha L) = 0$$

olmalıdır. Bunun sıfır olması için ya $\alpha=0$, ya $\sin(\alpha L)=0$ yahut $\sinh(\alpha L)=0$ olmalıdır. $\alpha=0$ olursa $\sin(\alpha z)$ ve $\sinh(\alpha z)$ çözümleri (24) de ortadan kalkar. D ve F ye ait denklem takımının katsayılar determinantı sıfıra eşit olduğundan sıfırdan farklı D ve F mümkün olur ve $Z(z)$ de $\cos(\alpha z)$ ve $\cosh(\alpha z)$ fonksiyonları 1 e dönüşür. Sınır şartları $D=-F$ alınırsa sağlanır ancak bu durumda $Z(z)=0$ a dejenere olur. O halde $\alpha^2=0$ olamaz. Diğer bir ihtimal $\sinh(\alpha L)=0$ olmasıdır. Halbuki Şekil 9'dan görüleceği gibi $\sinh(\alpha L)$ ancak $\alpha L=0$ dolayısıyla $\alpha=0$ için sıfırdır. Bu ise triviyal (kolayca bulunan, boş) $Z(z)=0$ çözümüne sevk ediyor. O halde $\sinh(\alpha L)$, $\alpha \neq 0$ için hiçbir zaman sıfır olamaz. Geriye $\sinh(\alpha L)=0$ olması ihtimali kalıyor. $\sin(\alpha L)=0$ olabilmesi için

$$\alpha L = i\pi, i = 0, 1, 2, \dots$$

değerlerini almalıdır, yani $\alpha L \neq 0$ olan αL değerleri mevcuttur. α nın (19), k nın (13) bağıntısından karşılıkları kullanılır ve (13) de bir değil her i değerine karşı gelen α lar olduğunu belirtmek için α yerine α_i yazılırsa

$$\alpha_i^2 L^2 = i^2 \pi^2 \rightarrow \alpha_i^2 L^2 = \frac{p_i}{k} L^2 = \frac{p_i L^2}{\sqrt{EI_y / \rho A}} = \sqrt{\frac{\rho A}{EI_y}} p_i L^2 = i^2 \pi^2$$

$$p_i^2 = \left(\frac{i^2 \pi^2}{L^2} \right)^2 \frac{EI_y}{\rho A} i = 0, 1, 2, 3, \dots$$



bulunur. Demek ki (14) ve (15) denklemlerinde kullandığımız p^2 değerleri keyfi sabitler değil, (32) bağıntısını sağlayan sabitler olmalıdır. Bunlar o problemin sınır şartlarına bağlı elde edildiğinden problemin özdeğerleri (eigenwert (Alm.), eigenvalu veya charracteristic value (İng.)) adını alırlar. Bizim deneyimizde ise sistemin özdeğerleri sistemin tabii frekanslarıdır. Buna göre $i=0$ hali sükûnete tekabül ettiğinden göz önüne alınmazsa tabii (dairese) frekanslar

$$p_i = \left(\frac{i^2 \pi^2}{L^2} \right) \sqrt{\frac{EI_y}{\rho A}} i = 0, 1, 2, 3, \dots$$

bağıntısıyla verilir. Farklı p_i lere bağlı farklı α_i ler elde edilmektedir, yani her bir p_i frekansında $Z(z)$ fonksiyonunda ortaya çıkan $\sin(\alpha_i z)$ ve $\sinh(\alpha_i z)$ ler farklı olacaktır. Şimdi her bir p_i frekansında milin alacağı biçimi gösteren $Z_i(z)$ fonksiyonu

$$Z_i(z) = C_i \sin(\alpha_i z) + E_i \sinh(\alpha_i z)$$

şeklinde (cos($\alpha_i z$) ve cosh($\alpha_i z$) bulunamayacağını görmüştük). Sınır şartlarını yeniden uygulayalım.

$$z=0 \text{ da } Z_i(0)=0, Z_i''(0)=0$$

Şartları kendiliğinden sağlanır.

$$z=L \text{ de ise}$$

$$Z_i(L) = C_i \sin(\alpha_i L) + E_i \sinh(\alpha_i L) = 0 \quad Z_i''(L) = \alpha_i^2 (-C_i \sin(\alpha_i L)) + E_i \sinh(\alpha_i L) = 0$$

olmalıdır. $\alpha_i L = i\pi$ olduğundan $\sin(\alpha_i L) = 0$ dır. Halbuki $\sin(\alpha_i L)$ ancak $\alpha_i = 0$ için sıfır olup sınır şartlarını sağlamaz. Şu halde $E_i=0$ olmalıdır.

Demek ki p_i frekansına (özdeğerine) karşı gelen milin şekil fonksiyonu (özfonksiyonu)

$$(\alpha_i z) = C_i \sin\left(\frac{i\pi z}{L}\right)$$

$$Z_i(z) = C_i \sin$$

şeklinde. Nu şekil fonksiyonları milin o frekansta alacağı şekli göstermekte olup, elastik eğri birinci doğal frekansta (kritik devir sayısında)



$$\begin{aligned}(\alpha_1 z) &= C_1 \sin\left(\frac{\pi z}{L}\right) \\ Z_1(z) &= C_1 \sin\end{aligned}$$

şeklinde bir yarım sinüs dalgasını, ikinci kritik hızda

$$Z_2(z) = C_2 \sin\left(\frac{2\pi z}{L}\right)$$

şeklinde tam bir sinüs dalgasını, üçüncü kritik hızda

$$Z_3(z) = C_3 \sin\left(\frac{3\pi z}{L}\right)$$

şeklinde üç yarım sinüs dalgasını v.s. oluşturur. Böylece gözlemlerimize teorik bir izah getirmiş olduk. Bir doğal frekans ve buna tekabül eden özfonksiyon bir titreşim çeşidini (tarzını veya modunu) karakterize eder. Bu nedenle deneyimize titreşim modlarının tayini adını veriyoruz.

Görüldüğü gibi (6) denklemini sağlayacak sonsuz çarpım çözüm mevcuttur. Lineer diferansiyel denklemde ayrı ayrı çözümler toplamı da çözüm teşkil ettiğinden

$$x(z, t) = \sum_{i=1}^{\infty} Z_i(z) T_i(t)$$

olacaktır.

$$Z_i(z) = C_i \sin\left(\frac{i\pi z}{L}\right)$$

$$T_i = A_i \cos(p_i t) + B_i \sin(p_i t)$$

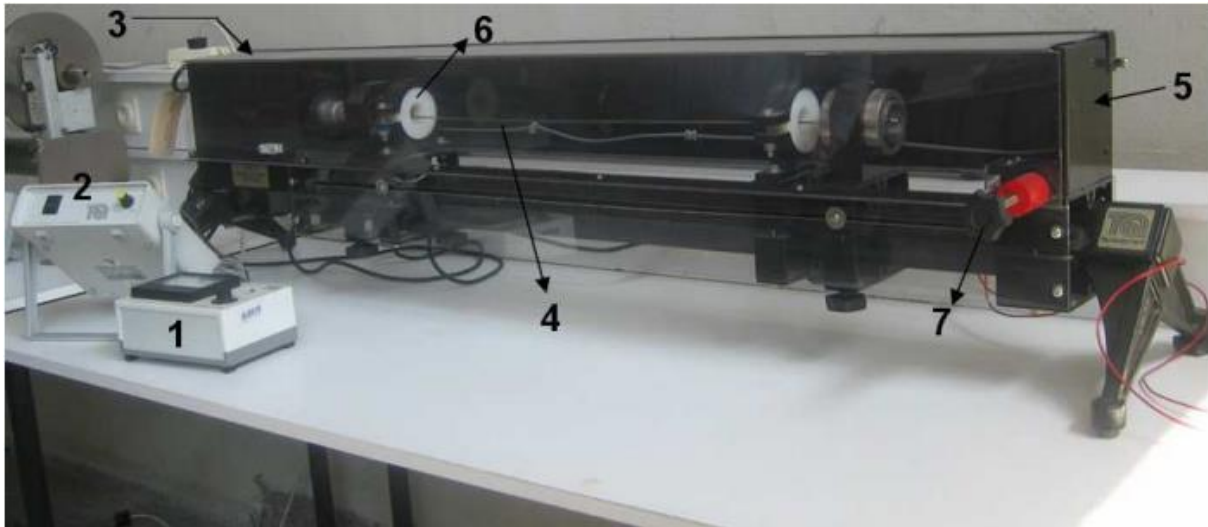
olup, $C_i A_i = K_i$ ve $C_i B_i = L_i$ tanımlarsak (40) ı şöyle yazabiliriz:

$$x(z, t) = \sum_{i=1}^{\infty} \sin\left(\frac{i\pi z}{L}\right) [K_i \cos(p_i t) + L_i \sin(p_i t)]$$

Burada K_i ve L_i başlangıç şartlarından tayin edilir. Yukarıdaki ifadeler basit-basit uç şartlarına sahip bir kiriş için çıkartıldı. Benzer yaklaşımla kirişin farklı uç şartlarına ait doğal frekansları ve mod şekilleri de elde edilebilir.

4. Deney Tesisatı

Deney tesisatı Şekil 10'da görülmektedir. Mil dolu daire kesitli kalın bir telden ibarettir. Basit mesnetleme şartlarını mümkün olduğunca sağlamak için belirli bir miktar yatak düzleminde dönebilen küresel rulmanlı yatak kullanılmıştır. Ayrıca, sol taraftaki kızak yardımıyla bu uçta ankastre mesnet şartı da elde edilebilir. Tahrik ise 6000 dev/dk hıza kadar çıkabilen 188 Watt güce sahip bir doğru akım motoru ile sağlanmaktadır. Devir sayısının değiştirilmesi sürekli olup bir hız kontrol ünitesi ile gerçekleştirilmektedir. Devir sayısının ölçümü için bir analog takometre bulunmakla beraber daha hassas ölçüm için optik takometre de kullanılmaktadır. Deney yapabilmek için kapağın kapatılması ve sıkma vidasının sonuna kadar sıkılması gerekmektedir. Aksi halde devre tamamlanmaz ve motor çalışmaz.



Şekil 10. Deney Tesisatı: 1-Takometre, 2-Hız kontrol ünitesi,
3-DC motor, 4-Mil, 5-Koruyucu kapak, 6-Kızak, 7-Sıkma vidası.

5. Deneyin Yapılışı

Mil sabitlenir, sağ ve soldaki kızaklar kenarlara yaklaştırılarak kapak kapatılır, sıkma vidasının sonuna kadar sıkıldığından emin olduktan sonra hız kontrol ünitesi açılır. Buradaki



düğme sağa döndürülerek milin dönme hızı kontrollü bir şekilde artırılır. Belirli bir devir sayısına erişildiğinde milin elastik eğri sehimlerinin devir sayısı sabit tutulsa bile artma eğilimi gösterdiği gözlenir. Bu devir sayısı takometreden okunur ve milin birinci kritik hızı olarak kaydedilir.

Devir sayısı arttırılmaya devam edilir. Bir müddet sonra elastik eğride orta noktada bölünme olur ve milin orta noktasının hemen hemen hareketsiz kaldığı gözlenir. Milin ortasında sehim sıfır olan noktaya nod(düğüm) denir. Bu şeklin ortaya çıktığı devir sayısı ölçülür. Bu da milin ikinci kritik devir sayısıdır.

Devir sayısı yine arttırılırsa milin elastik eğrisinde iki noktada sehimlerin sıfır olduğu gözlenir. Bu noktalar mil açıklığının 1/3 ü ile 2/3 ünde oluşur. Söz konusu durumun ortaya çıktığı devir sayısı ölçülerek milin üçüncü kritik devir sayısı olarak kaydedilir.

6. Ölçüm Değerleri ve Veriler

Deneyimizde kullanılan malzemeye ve geometrik ölçülere ait bilgiler şöyledir:

Malzeme yoğunluğu $\rho = 7850 \text{ kg/m}^3$

Malzemenin elastisite modülü $2.1 \times 10^{11} \text{ N/m}^2$

Kesit alanı $A = 0.25\pi D^2$

Çap $D = \dots$

Kesit alan atalet momenti $I_x = I_y = \pi D^4/64$

Buna göre basit mesnetli mil için;

$$p_i = \left(\frac{i^2 \pi^2}{L^2} \right) \sqrt{\frac{EI_y}{\rho A}} i = 0,1,2,3, \dots (\text{basit mesnetli mil için})$$

Ankastre-basit uçlu mil için;

$$p_1 = \left(\frac{25\pi^2}{16L^2} \right) \sqrt{\frac{EI_y}{\rho A}}, p_2 = \left(\frac{81\pi^2}{16L^2} \right) \sqrt{\frac{EI_y}{\rho A}}, p_3 = \left(\frac{169\pi^2}{16L^2} \right) \sqrt{\frac{EI_y}{\rho A}} [\text{rad/s}]$$



T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ
2020-2021 BAHAR YARIYILI



Bu şekilde ilk üç kritik hız rad/s cinsinden hesaplanır, ölçülen devir sayılarıyla kıyaslama yapmak için hesaplanan p_i değerleri dev/dk ya çevrilir.

7. İstenenler

Teorik frekanslar hesaplanacak ve ölçülenlerle kıyaslanacaktır. Farklılık varsa bunlar teorik gerekçeleriyle açıklanacaktır.



KURUTMA DENEYİ

Hazırlayanlar: Arş. Gör. Burak TÜRKAN, Arş. Gör. Ahmet Serhan CANBOLAT

1. 1.Amaç

Deneyde kurutmaya etki eden farklı parametrelerin nem oranını nasıl değiştirdiği amaçlanmıştır.

2. 2.Giriş

Deneyin amacı belli bir neme sahip toprağın kurutulması, kurutmak için harcanan ısı kaybının belirlenmesi ve kurutma cihazının çalışma prensibinin incelenmesidir.

3. Teori

Kurutma, suyun ya da başka uçucu sıvıların evaporasyon ile uzaklaştırılmasıdır. Birçok katı materyal, üretimlerinin bazı aşamalarında kurutmaya ihtiyaç duyarlar. Kurutma; enerji-şiddetli bir prosestir ve sıvının termal kurutmaya uzaklaştırılması mekanik ayırma teknikleriyle ayrılmasından daha maliyetli olacaktır.

Isı ve kütle aktarımı işlemlerinin her ikisi de kuruma hızına etki eden faktörler arasında yer almaktadır. Ticari kurutucular da tasarlanırken bu aktarım mekanizmaları göz önünde bulundurularak, kurutma sırasında gerekli ısının en verimli şekilde kullanılması amaçlanır.

Kurutulması amaçlanan nemli maddenin fiziksel durumu ve içerdiği nemin konumu en başta ele alınması gereken özelliklerdir. Katının levha, granül, kristal, pellet, çamur, çözelti veya toz halinde olması, sıvının katının yüzeyinde, içerisinde veya her iki durumda bulunması gibi özellikler kurutucu seçimi etkilemektedir.

Kurutma işlemi öncesinde ısı işlemler dışında, diğer yöntemlerle katı maddenin suyunun uzaklaştırılması daha ekonomik bir kurutma işlemi gerçekleştirmeyi sağlar. Bu nedenle kurutulan ürüne öncelikle mekanik yöntemler olarak tanımlanan filtrasyon, presleme,



santrifüjleme, çöktirme, eleme gibi işlemler uygulanır ki işlemler, daha az güç gereksinimi ve uzaklaştırılan birim su içi daha az maliyet gerektirmektedir.

Kurutma ekipmanı seçimindeki en önemli faktör beslemenin doğası ve konsantrasyonudur. Kurutma ekipmanları aşağıdaki dizayn ve işleme özelliklerine göre sınıflandırılabilirler:

- (a) Kesikli ya da sürekli.
- (b) Beslemenin fiziksel hali: sıvı, balçık, ıslak katı.
- (c) Katının nakil metodu: bant, döner, akışkanlaştırılmış.
- (d) Isıtma sistemleri: iletim, taşınım, ışıınım.

Bir kurutucu seçerken düşünülmesi gereken faktörler şunlardır:

1. Besleme koşulu: katı, sıvı, macun, toz, kristaller.
2. Besleme konsantrasyonu, başlangıçtaki sıvı içeriği.
3. Ürün şartları: gereken kuruluk, fiziksel hal.
4. Gereken iş yeteneği.
5. Ürünün ısı duyarlılığı.
6. Buharın doğası: toksikliği, yanıcılığı.
7. Katının doğası: yanıcılığı, toksikliği.[1]

Isı ve kütle transferinde kullanılan boyutsuz sayılar

Reynolds Sayısı: Akışın karakterinin belirlenmesinde önemli bir boyutsuz sayıdır. Akışın türbülanslı veya laminer olduğunu belirtir. Akışta atalet kuvvetlerinin viskoz (sürtünme) kuvvetlere oranını gösteren ve akışkanlar mekaniğinde son derece önemli olan bu sayı şu şekilde gösterilir;

$$Re = \frac{\rho V D}{\mu}$$

Burada akışkanın hızı u , karakteristik uzunluk L ve kinematik viskozite ν ile gösterilmiştir.

Prandtl Sayısı: Isıl ve hız sınır tabaka içinde ısı ve momentum yayılımının bir ölçüsüdür ve şu şekilde ifade edilir.



$$Pr = \frac{v}{\alpha}$$

Burada ısıl yayılım katsayısıdır.

Schmidt Sayısı: Kütle transferinde Pr sayısı yerine kullanılır. Schmidt sayısı momentum difüzyonunun kütle difüzyonuna oranı olarak aşağıdaki gibi tarif edilir;

$$Sc = \frac{v}{D_{AB}}$$

Burada D_{AB} ikili kütle difüzyon katsayısıdır.

Lewis Sayısı: Kütle transferinde kullanılan bir diğer boyutsuz sayı ise Lewis sayısıdır. Burada ısıl difüzyonun kütle difüzyonuna oranı tarif edilir ve şu şekilde gösterilir;

$$\frac{Sc}{Pr}$$

Lewis sayısı eğer 1 ise Sc Pr a eşittir. Aynı zamanda $Nu=Sh$ ifadesi alınabilir.

Nusselt sayısı: Taşınım ile ısı transferinde önemli bir boyutsuz sayıdır. Bu boyutsuz sayı yüzeyde taşınım ile ısı geçişinin bir ölçüsüdür. Taşınım ile ısı transferinin iletimle ısı transferine oranıdır.

$$Nu = \frac{hL}{k}$$

Burada ısı taşınım katsayısı h , Nusselt sayısı Nu , karakteristik uzunluk L , akışkanın ısı iletim katsayısı k olarak ifade edilir.

Sherwood sayısı: Kütle transferinde Nusselt yerine Sherwood sayısı kullanılır. Bu parametre yüzeydeki boyutsuz konsantrasyon basamağı olarak tarif edilir ve yüzeyde meydana gelen taşınım ile kütle transferinin miktarının belirlenmesi için çok önemli bir parametredir.

$$Sh = \frac{h_m L}{D_{AB}}$$

Burada kütle taşınım katsayısı h_m (m/s) ile gösterilmiştir.



Kurutmanın Amacı

Kurutma işlemi çeşitli amaçlarla uygulanmaktadır. Bunları aşağıdaki başlıklar altında toplamak mümkündür :

Hacim veya Ağırlığı Düşürmek

Hacim ve ağırlığı düşürerek maddelerin taşınma, depolanma ve kullanılma işlemlerini daha kolay ve ekonomik hale getirmek mümkündür. Taşıma maliyeti, maddenin içerdiği nem miktarı ile doğru orantılı olarak artmaktadır. Onun için özellikle, uzak mesafelere taşınan maddelerin nem oranlarının mümkün olduğu kadar düşük olması gerekmektedir. Kurutma işleminin enerji yoğun bir işlem olduğu göz önüne alınarak, enerji maliyetleri ile taşıma maliyetleri arasında bir dengenin kurulması gerekmektedir. Örneğin kömür - su karışımları gemiye yüklenmeden önce, karışımın içerdiği suyun uzaklaştırılması ve belli bir ölçüde kurutulması gerekmektedir. Aynı şey birçok hammadde için

geçerlidir.

İstenen Özelliklerde Ürün Elde Etmek

Kurutma ve nem içeriğini ayarlamanın en önemli amaçlarından biri de istenen özelliklere sahip hammadde veya ürün elde etmektir. Örneğin çimento sanayiinde kullanılan kömürü daha kolay öğütülebilmesi için kurutulmaktadır. Seramik endüstrisinde hammadde olarak kullanılan kaolinin, kullanılmadan önce kurutulması gerekmektedir. Gıda sanayinde meyve ve sebzeler kurutularak hem daha uzun ömürlü, hem de daha kolay taşınır ürünlere dönüştürülmektedir. Yine bazı kimyasal maddeler, tablet haline getirilmek amacıyla kurutulmaktadırlar.

Ürünleri Sterilize Etmek ve Korumak

Özellikle ilaç ve gıda endüstrilerinde, ürünleri sterilize etmek veya korumak amacıyla ürünlerin nem içeriği ayarlanmaktadır. Böylece, nemin neden olduğu küflenme, çürüme ve bozulmaları önlemek mümkün olmaktadır.

***Çözelti ve Sulu Atık Çözeltilerden Yan Ürün Elde Etmek**

Bazı endüstriyel proseslerde, çözelti halinde bulunan ara ürünlerden son ürüne geçmek için kurutma uygulanmaktadır. Örneğin, deterjan bir sıvı çözelti halinde üretilmekte ve bu ara ürün sprey kurutucularda kurutularak toz deterjanlara dönüştürülmektedir. Bunun gibi süt tozu, üretilirken de benzer bir uygulama söz konusu olmaktadır. [2]

Temel kurutu tipleri



1. Döner kurutucu :

Prensibi : Serbest haldeki granüler katıyı kurutmak için en uygun kurutucu tipidir. Döner kurutucuda kurutulmuş ürün içinde genellikle amonyum sülfat, nitrat ve fosfat tuzları ile vinil reçineleri ve kum bulunmaktadır.

Avantajları :

1. Düşük kurulum maliyeti
2. Düzgün sıcaklık kontrolü
3. Yüksek ısı etkinlik
4. Düşük işçilik gereksinimi
5. Uygun kurutma zamanı sağlaması

Dezavantajları :

- Yüksek atık oluşturma eğilimi
- Kararlı olmayan kurutma süresi
- Ürün yapısının bozulmasıdır.

2. Vakumlu döner kurutucu:

Prensibi: Kesikli kurutuculardır. Vakumlu döner fırınlar yatay olarak bağlanmış ve içinde kurutulacak katıyı merkezindeki bir mil aracılığıyla karıştıran silindirik bir kabuktan oluşur. Karıştırıcı ya sürekli olmayan tek spiralden ya da sürekli olan çift spiralden oluşur. Kurutucu üst tarafta bulunan tek bölmeden doldurulurken, alt tarafta bulunan tek ya da daha fazla bölmeden boşaltılmaktadır. Vakum ise alışlagelmiş herhangi bir metotla uygulanmaktadır.

3. Tepsi kurutucular:

Prensibi : Bu kurutucuda kurutulması tercih edilen malzemeler süzme sonucu oluşan kek, boyar maddeler, farmakolojik maddeler ve küçük miktarlarda bulunan malzemelerdir.

Avantajları:

- Hassas ürün muamele özelliği
- Ürün kaybı olmaması
- Temizleme kolaylığı
- Mekan ihtiyacının az olmasıdır.



Dezavantajları :

- Uzun kurutma süresi ve yüksek ekipman gerekliliğidir

4. Sürekli ve Dolaşımli püskürtücü :

Prensibi : katalizör taneciklerini, pigmentler, sentetikler, naylon ve yapay ipek gibi doğal fiberler ile fındık, meyve, sebze gibi yiyecek ürünlerini kurutmak için kullanılır.

Avantajları :

- Ürün kalite kontrolünün iyi sağlanması
- Sıcaklık, nem, hava akış kontrol aralığının ayarlanabilmesi
- Yüksek ısı etkinlik

Dezavantajları :

- Yüksek kurulum maliyeti
- Sık bakım gereksinimi
- Kalite kontrol güçlüğüdür.

5. Püskürtmeli kurutucu

Prensibi : kurutulacak malzeme bir lüle ile atomize edilir ve sıcak gazın geçebilmesi için konik biçimde bir alt kısmı olan dikey silindirik kapalı odacığa ince bir şekilde püskürtülerek dağıtılır. Damlacıklar hızlı bir biçimde buharlaşır, böylece kurutulmuş olan katı da odacıktan boşaltılır.

Avantajları :

- Kısa kurutma zamanı
- Isıya duyarlı ürünlere karşı uygulanabilir
- Partikül boyutu ve yoğunluğunun kontrol edilebilir olması

Dezavantajları :

- Düşük katı içeriği
- Gerekli ekipman bakımı.

6. Flaş kurutucu :

Prensibi : Yaş ürün ısıtılmış bir akımın içine yollanır. gaz akımının hızı katı partikülleri kurutma odacığından siklon ayırıcıya ya da kollektöre taşır.

Avantajları :

- Kısa kurutma zamanı
- Düşük ürün boşaltım sıcaklığı

Dezavantajları :

- İç yüzeyin aşınma ihtimali
- Yüksek sıcaklıkta yanıcı maddelerin kurutulma güçlüğüdür.

7. Akışkan yatak kurutucular:

Prensibi : Akışkanlaştırma aracı sıcak gaz ise ve partiküller de yaş ise kuruma işlemi çabuk gerçekleşir. Tüm partiküller sıcak gaz ile çevrildiğinden ve partiküller ile gaz arasındaki bağıl hız yüksek olduğundan yüksek hızda ısı transferi gerçekleşir ve bunun sonucu olarak da kuruma çabuk olur.

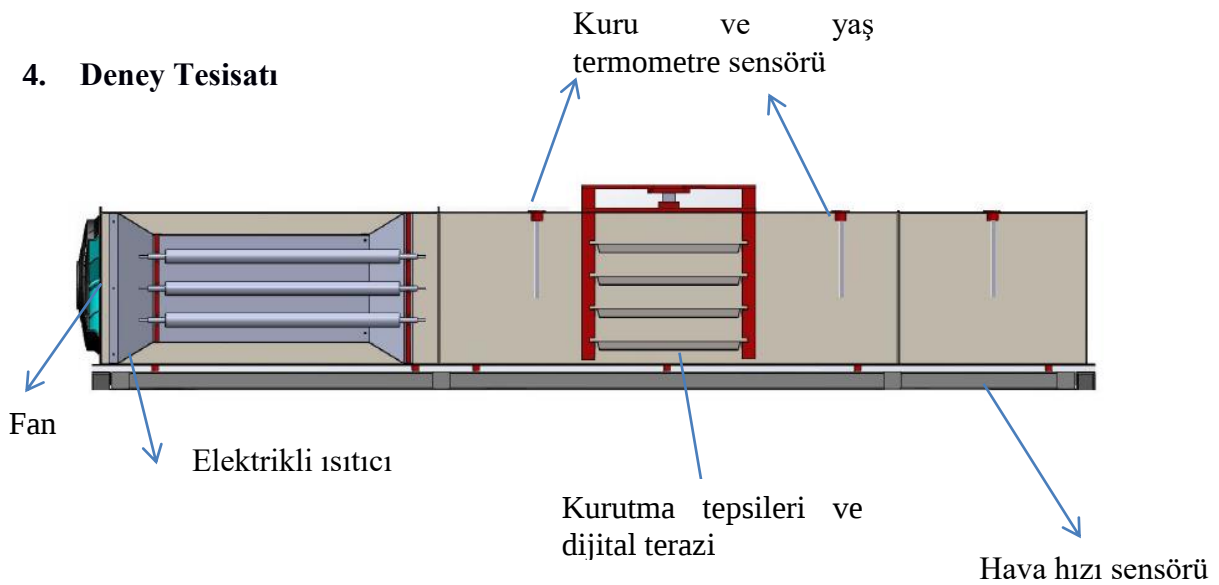
Avantajları :

- Hızlı ve kararlı ısı transferi
- Kısa kurutma zamanı gereksinimi
- Küçük yer gereksinimi

Dezavantajları :

- Yüksek güç maliyeti ve kararsız kuruma zamanıdır. [3]

4. Deney Tesisatı





Şekil 2. Kurutucu Deney Tesisatı

- Kuru Termometre Sensörü
- Yaş Termometre Sensörü
- Nem Sensörü
- Hava hızı sensörü
- Elektrikli Isıtıcı
- Dijital Terazî(yük hücresi sensörü)

5. Deneyin Yapılışı

Sistem rezistans ve fan çalıştırılarak dengeye gelmesi sağlanır. Nemli toprak belli miktarda alınarak tepeye konularak dijital teraziden ağırlığı ölçülür. Sistemde yaş ve kuru termometre olmak üzere üçer adet sıcaklık sensörü bulunmaktadır. Isıtıcı öncesi giriş sıcaklıkları, ısıtıcıdan sonraki sıcaklıklar ve çıkış sıcaklıkları 5 dakika aralıklarla ölçülerek kaydedilir. En son olarak anemometreden hava hızı ölçülür. Nemli topraktaki kütleli azalma (Buharlaştıran su) miktarına göre hesaplamalar yapılır.

6. Sonuçlar

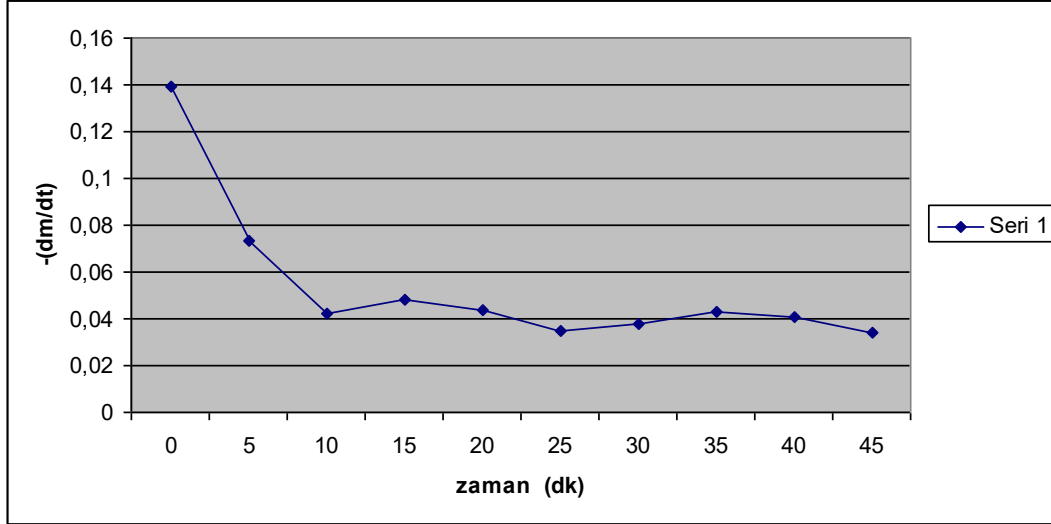
6.1 Tablolar

Tablo 1 Deney sonucu hesaplanan değerler

t (dk)	m _{toprak} (gr)	-(dm/dt) (gr/dk)
0	55.215	0.139
5	54.683	0.073
10	54.480	0.042
15	54.266	0.048
20	54.003	0.044
25	53.825	0.035
30	53.650	0.038
35	53.444	0.043
40	53.222	0.041

45	53.035	0.034
----	--------	-------

6.2 Grafikler



Grafik 1 $-(dm/dt)$ -t grafiği

7. Yorum

Deneyde amacımız elimizdeki nemli toprak numunesinin ısıtılmakta olan hava yardımıyla neminin ne kadarının uzaklaştırıldığını ve ısı kaybını hesaplamaktır.

Süreç mühendisliğinde doğru yerde doğru prosesi seçmek ve üretime geçmek çok önemlidir. Kurutma prosesini seçerken ise bazı unsurlar göz önünde bulundurulur. Bunlar ürünün kalitesini koruması, sıcaklık değişkeninden hangi oranda etkileneceği, ürünün fiziksel ve kimyasal yapısı ,yer ihtiyacı ve nakil koşulları olarak ifade edilebilir. Kurutucuların amacı, bir madde içindeki nemi her zaman %100 uzaklaştırmak değildir. Maddelerdeki nem oranının bazen belirli bir değerde olması istenebilir.

Her 5 dakikada bir yapılan ölçümler sonucu nemli toprağın ağırlığının içinden buharlaşan su nedeniyle azaldığı gözlemlendi. Deney sırasında ölçülen kuru termometre sıcaklığı kuru havanın sıcaklığını , yaş termometre ise havanın içindeki nemin sıcaklığını göstermektedir. Isı kaybını hesaplarken deney düzeneğinin tepsilerinin olduğu bölümde ısı kaçışlarının olduğu göz önünde bulundurulmalıdır. Ayrıca kurutulacak maddeden nemin buharlaşması için gerekli gizli ısıyı hava sağlamıştır.

8. Kaynaklar

1. Rankel AS, Lieberman HA, Shiffmann RF, "Drying" **The Theory and Practice of Industrial Pharmacy**, Ed.: L Lachman, HA Lieberman, JL Kanig, Lea and Febiger, 1986, s. 47-65.
2. Moyers CG, Baldwin GW, "Psychrometry, Evaporative Cooling and Solid¹; Drying" **Perry's Chemical Engineers' Handbook** (Ed.: RH Perry, DW, Green, JO Maloney), McGraw-Hill, New York, 1999, s. 12/1-90.
3. McCabe VL, Smith SC, **Unit Operations of Chemical Engineering**, 3rd ed. McGraw-Hill, 1976, s.269-510.



T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ
2020-2021 BAHAR YARIYILI



4. Travers, DN, "Heat Transfer and the Properties of Steam" Pharmaceutics the Science of Dosage Form Design, (Ed. ME Aulton), Churchill Livingstone, 1990, s. 525-537.
5. Sucker H, "Waermetransport" Pharmazeutische Technologie, (Ed. H Sucker, P Speiser), Georg Thieme Verlag, 1978, s. 166-174.
6. Travers DN, "Drying" Pharmaceutics: The Science of Dosage Form Design, (Ed. ME Aulton), Churchill Livingstone, 1990, s. 629-646.
7. Colaizzi JL, Pittlic WH, "Oral Drug Delivery Systems for Prescription Pharmacy" Pharmaceutics and Pharmacy Practice, (Ed. GS Banker, RK Chalmers), J.P. Lippincott Company, USA, 1982, s. 213-216.
8. Bauer KH, Frömming, KH, Führer C, Pharmazeutische Technologie, Georg Thieme Verlag, Stuttgart, 1986, s. 89-101.
9. Rahm H, Stahl PL, "Trocknen" Pharmazeutische Technologie, (Ed. H Sucker, P Speiser), Georg Thieme Verlag, 1978, s. 190-202.
10. Mitchell J. Jr, "Determination of water", Standard Methods of Chemical Analysis, (Ed. FJ Welcher), Van Nostrand Comp. Inc. Princeton USA, s. 526-532.
11. Vogel AI, Elementary Practical Organic Chemistry, Part III, Quantitative Organic Analysis, Longman, London, 1971, s. 813-823,
12. Carstensen JT, Zoglio MA, "Tray drying of pharmaceutical wet granulations", J Pharm Sci, 1982, 71, s. 35-39.
13. Sucker H, "Wirbeischichten" Pharmazeutische Technologie, (Ed. H Sucker, P Speiser), Georg Thieme Verlag, 1978, s. 133-135.
14. Duschler G, Carius G, Bauer KH, "Single-step granulation": Development of vacuum-based IR drying method (Pilot Scale Results), Drug Dev Ind Pharm, 23, 119-126, 1997.
15. Duschler G, Carius G, Bauer KH, "Single-step granulation method with microwaves": Preliminary studies and pilot scale results, Drug Dev Ind Pharm, 1995, s. 21, 1599-1610.
16. Kiekens F, Cordoba-Diaz, M, Remon JR "Influence of chopper and mixer speeds and microwave power level during the high-shear granulation process on the final granule characteristics, Drug Dev Ind Pharm, 1999, 25, s. 1289-1293.
17. Jones DM, Fluidized Bed Processing and Drying, Pharm. Eng. March 1991.
18. Külling W, Simon EJ, Fluid-bed Technology Applied to Pharmaceuticals, Pharm Tech March, 1980, s. 79-83.
19. Vemuri, S, "Lyophilization Cycle Development for Interleukin-2" Develop Biol Stand, 1991, 74, s. 341-351.
20. Sinnott, R.K., "Chemical Engineering Design", Coulson & Richardson's Chemical Engineering Series, 4th edition, Volume 6, 2005

GÜNEŞ ENERJİLİ SICAK SU SİSTEMLERİ

1. AMAÇ

Güneş enerjili sıcak su sistemlerinin incelenmesi ve tabii dolaşımli güneş enerjili su ısıtıcılarının temel özelliklerinin belirlenmesi.

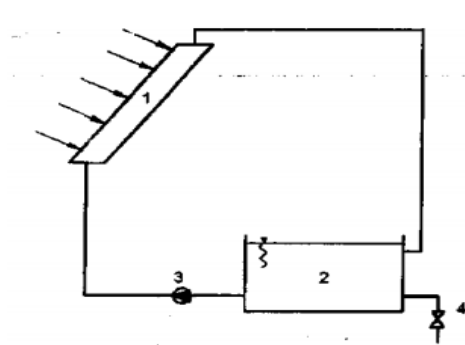
2. GİRİŞ

Günümüzde artan enerji kullanımı insanları yeni enerji kaynakları aramaya itmştir. Son yıllarda ucuzluğu ve bol miktarda bulunması sebebiyle kullanımı hızla artan bir enerji türü de güneş enerjisidir. Özellikle güneş enerjisi potansiyeli büyük olan ülkeler bu enerjiden birçok alanda (ısınma, su ısıtma, kurutma, damıtma, soğutma, elektrik üretimi (güneş pilleri) vb. yararlanmaktadırlar.

3. TEORİ

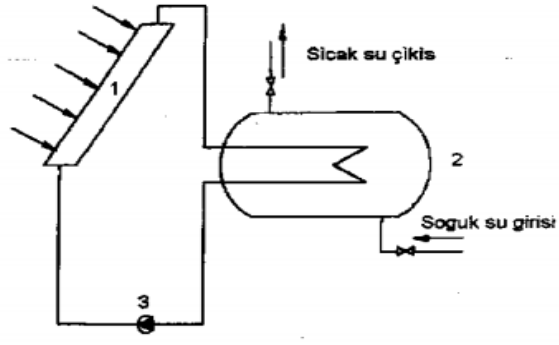
3.1.Genel Bilgiler

Güneş enerjili sıcak su sistemleri devre şekline göre; *açık devreli* veya *kapalı devreli* olarak iki kısımda incelenebilir. Toplayıcıda dolaştırılan akışkan (su, antifrizli su, donmayan sıvı veya hava) tesisatta sıcak su gereksinimi için kullanılıyorsa açık devreli sistem, (Şekil 1), bir ısı değıştircisi ile depodaki akışkan ısıtılıyorsa yani toplayıcıda hep aynı akışkan dolaştırılıyorsa kapalı devreli sistem olarak adlandırılır.



Şekil 1. Açık devreli sistem

1. Kollektör;
2. Kullanma suyu;
3. Pompa;
4. Şebeke Suyu

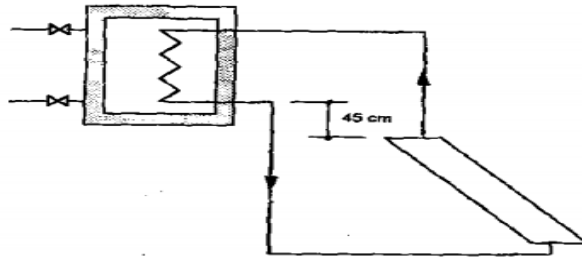


Şekil 2. Kapalı devreli sistem

1. Kollektör;
2. Boyler;
3. Pompa

Güneş enerjili sıcak su sistemleri, akışkanın akış şekline göre de; doğal taşınımlı (Şekil 3) ve zorlanmış taşınımlı (Şekil 1-2) sıcak su sistemleri olarak iki grupta incelenebilir.

Doğal taşınımlı sistemlerde devredeki akışkanın akışı yoğunluk farkından dolayı doğal taşınım ile olurken, zorlanmış taşınımlı sistemlerde akış bir pompa vasıtasıyla sağlanmaktadır.



Şekil 3. Doğal taşınımlı, kapalı devreli sistemler

3.2.Temel Kavramlar:

Föyün bu kısmında, güneş kolektörlü sistemlerin tasarım ve hesaplamaları için temel formüller sunulmuştur.

1-) Tesisin günlük sıcak su miktarı ihtiyacı

$$\dot{V}_{su} = N.M.KS \dots\dots\dots 1$$

Burada;

$\dot{V}_{su}$: Tesisin günlük sıcak su tüketimi (lt/gün)

N: Daire sayısı

M: Bir dairede oturan kişi sayısı

KS: Kişi başı sıcak su tüketimi. Kişi başına kullanılan sıcak su miktarı, genellikle 40-

60 lt/gün arasındadır.



2-) Tesisin günlük sıcak su enerjisi ihtiyacı

$$Q_{\text{gün}} = \dot{m}_{\text{su}} \cdot c_p \cdot (T_{\text{is}} - T_{\text{şeb}}) \dots\dots\dots 2$$

Burada;

$\dot{m}_{\text{su}}$: Tesisin günlük sıcak su tüketimi (kg/gün)

$Q_{\text{gün}}$: Günlük enerji ihtiyacı kJ/gün

T_{is} : İstenilen su sıcaklığı (50-60 °C)

$T_{\text{şeb}}$: Şebeke suyu sıcaklığı. Hesaplamanın yapıldığı yer ve aya bağlı olarak meteorolojiden alınan 100 cm derinlikteki en düşük toprak sıcaklığı.

3-) Kollektör ortalama sıcaklığı

$$T_{kol} = \frac{T_{şeb} + 2.T_{is}}{3} \dots\dots\dots 3$$

4-) Kollektör verimi

$$I_{\text{rad}} = \frac{Q_{\text{rad}} \cdot S}{t} \dots\dots\dots 4$$

$$1. \eta_{kol} = a_0 - a_1 \frac{(T_{kol} - T_{ort})}{I_{\text{rad}}} - a_2 \frac{(T_{kol} - T_{ort})^2}{I_{\text{rad}}} \dots\dots\dots 5$$

Burada;

Q_{rad} : Yatay yüzeye gelen güneş radyasyonu miktarı (kJ/m² gün)

S: Düzeltme faktörü

t: Güneşlenme süresi (saat/gün)

T_{ort} : Günlük ortalama sıcaklık

a_0, a_1, a_2 : Verim eğrileri sabitleri. Kollektör üreten firmalar tarafından tespit edilir.
($a_0=0,80$; $a_1 = 13$; $a_2 = 0,05$)

5-) Anlık verim

$$\eta = \frac{\dot{m}_{akışkan} \cdot c_p \cdot (T_{sç} - T_{sg})}{A \cdot I_{rad}} \dots\dots\dots 6$$

Burada:

$\dot{m}_{akışkan}$: Sistemde dolaşan suyun debisi (kg/sn)

T_{sg} : Suyun kollektöre giriş sıcaklığı

$T_{sç}$: Suyun kollektörden çıkış sıcaklığı

6-) Gerekli kollektör alanı

$$A = \frac{Q_{gün}}{\eta_{kol} Q_{rad} S} \dots\dots\dots 7$$

7-) Gerekli kollektör sayısı

$$n = \frac{A}{A_k} \dots\dots\dots 8$$

Burada:

n : Gerekli kollektör sayısı

A : Gerekli toplam kollektör alanı (m²)

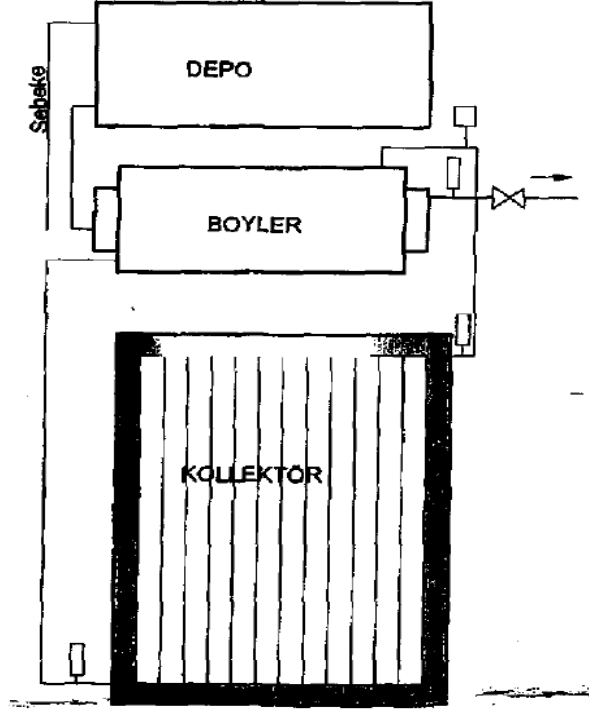
A_k : Bir kollektörün alanı (m²)

8-) Boyler kapasitesi

$$V = 50 \cdot n \cdot A_k \dots\dots\dots 9$$

Boyer hacmi, sistemde kullanılan kollektör alanına bağlıdır. Bu değer 1 m² kollektör alanı için 40-60 lt arasındadır.

4. DENEY TESİSATI



Şekil 5. Deney düzeneği

5. SİSTEMİN ÇALIŞMASI VE DENEYİN YAPILMASI

Sistem düz levha tipi bir toplayıcıdan (kollektörden), bir boylerden ve bir depodan ibaret kapalı devreli tabii dolaşımli bir sıcak su ısıtma sistemidir. Kollektör içinde birbirlerine paralel dikey olarak sıralanmış ve siyaha boyanmış bakır borular mevcuttur. Bu borular içerisinde kapalı devre halinde ısıtma suyu dolaşmaktadır. Kollektör içindeki borular içinde bulunan su güneş ışıınımı sayesinde ısınır ve ısınan ısıtma suyunun yoğunluğu azalır. Yoğunluğu azalan su kollektörün üst kısımlarına doğru yükselerek üst kısmından boylere girer. Boylere giren ısıtma suyu boylerdeki kullanma suyunu ısıtır. Boylerde kullanma suyunu ısıtan su soğur ve yoğunluğu artar. Yoğunluğu artan bu su kollektörün alt kısmına doğru hareket eder. Güneş ışıınımı olduğu ve toplayıcı sıcaklığı boyler sıcaklığından büyük olduğu müddetçe sirkülasyon devam eder.

Güneş enerjili su ısıtma sistemi sabah saatlerinde güneşe doğru uygun bir şekilde konumlandırılır. Bir süre sonra sistem içindeki su ısınarak sirkülasyona başlar. Deney

esnasında sistemin çalışma prensibi incelenecek ve kollektör giriş-çıkış sıcaklıkları ile kullanma suyu sıcaklığı ölçülecektir.

6. ÖLÇÜM DEĞERLERİ

6.1 Temel Veriler:

$N=1$, $M=5$, $KS=50$, $S=0.90$ (Ekim-Bursa), $\dot{m}_{akışkan}=0,009$ kg/s, $T_{is}=50^{\circ}\text{C}$

$T_{şeb}=19.7^{\circ}\text{C}$ (Ekim-Bursa), $A_k=1.6$ m²

$Q_{rad}=9128$ kJ/m²·gün (Ekim-Bursa)

$T=6.08$ saat/gün (Ekim-Bursa), $T_{ort}=15.4^{\circ}\text{C}$ (Ekim-Bursa)

6.2 Ölçülen Değerler

$T_{sg}=$

$T_{sç}=$

DEBİ ÖLÇÜMÜ VE YÜK KAYIPLARININ TESPİTİ

Hazırlayanlar: Arş. Gör. Neslihan GÜNEŞ

1. Amaç

Akış ölçümü deney düzeneği, sıkıştırılamayan bir akışkanın tipik akış ölçüm metotlarını öğretmek ve ‘Süreklilik ve Bernoulli’ denklemlerinin uygulamasını açıklamak amacıyla tasarlanmıştır. Ayrıca akışı tanımlayan her bir elemanda meydana gelen basınç kayıplarının tespiti de deneyin amaçlarındandır.

2. Giriş

Akış bir venturimetre, bir orifis metre ve bir rotametre ile tanımlanmaktadır. Debi herhangi bir kesitten birim zamanda geçen akışkan miktarıdır. Hacimsel ve kütleli olmak üzere ikiye ayrılır. Eğer birim zamanda ölçülen birim; hacim ise hacimsel debi, kütle ise kütleli debi olarak isimlendirilir. Burada deney düzeneğinde bulunan venturimetre, orifis metre ve rotametre ise genellikle kesit değişimi prensibi ile debi ölçümünü sağlayan elemanlardır.

3. Teori

Bir boru boyunca sürekli, adyabatik ve sıkıştırılmaz bir akışkan için Bernoulli denklemi şu şekilde yazılabilir:

$$P_A + \frac{1}{2}\rho U_A^2 + \rho g z_A = P_B + \frac{1}{2}\rho U_B^2 + \rho g z_B + \Delta P_{KT} + \rho g h_m \quad (1)$$

Burada;

g: Yerçekimi ivmesi (9.81 m/s^2)

ΔP_{KT} : Giriş ve çıkış arasında sürtünme ve daralma sonucunda ısı enerjisi olarak kontrol hacminden ayrılan toplam kayıp enerjisi.

$\rho g h_m$: Pompa gücü

Süreklilik Denklemi:

$$\dot{Q}=UxA \quad (2)$$

$$\dot{m}=\dot{Q}\rho=\rho UA \quad (3)$$

Şeklinde verilmektedir.

3.1. Venturimetre

Süreklilik denklemi

$$\rho U_A A_A = \rho U_B A_B \quad (4)$$

Bernoulli denklemi

$$\frac{P_A}{\rho g} + \frac{U_A^2}{2g} = \frac{P_B}{\rho g} + \frac{U_B^2}{2g} \quad (5)$$

Bu iki denklemden

$$U_B^2 = \frac{2g}{1 - \left[\frac{A_B}{A_A}\right]^2} \left[\frac{P_A}{\rho g} - \frac{P_B}{\rho g} \right] \quad (6)$$

veya

$$U_{Bteorik}^2 = \frac{2g}{1 - \left[\frac{A_B}{A_A}\right]^2} [h_A - h_B] \quad (7)$$

elde edilir. Bu denklemden hesaplanacak olan U_B hızı o noktadaki teorik hız değeri olacaktır. Bir de deneysel olarak elde edilen kütleli debiden faydalanılarak gerçek hız;

$$\dot{m}_{gerçek} = \rho_{su} U_{gerçek} A \quad (8)$$

denklemden elde edilir. Gerçek hızın teorik hıza oranı C_d ile gösterilen boşaltma katsayısını verecektir.

$$C_d = \frac{U_{gerçek}}{U_{teorik}} \quad (9)$$

3.2. Orifismetre

E ve F noktaları arasında Bernoulli ve Süreklilik denklemlerinden hareketle;

$$U_{Fteorik}^2 = \frac{2g}{1 - \left[\frac{A_F}{A_E}\right]^2} \left[\frac{P_E}{\rho g} - \frac{P_F}{\rho g} \right] \quad (10)$$

veya

$$U_{Fteorik}^2 = \frac{2g}{1 - \left[\frac{A_F}{A_E}\right]^2} [h_E - h_F] \quad (11)$$

Denklemden F noktasının teorik hızı elde edilir. Deneyssel olarak elde edilen kütleli debiden faydalanılarak gerçek hız ise;

$$\dot{m}_{gercek} = \rho_{su} U_{gercek} A \quad (12)$$

Denklemden elde edilir. Gerçek hızın teorik hıza oranı C_d ile gösterilen boşaltma katsayısını verecektir.

$$C_d = \frac{U_{gercek}}{U_{teorik}} \quad (13)$$

3.3. Dik Açılı Dirsek

G ve H noktaları arasında Bernoulli ve Süreklilik denklemlerinden hareketle;

$$U_{Hteorik}^2 = \frac{2g}{1 - \left[\frac{A_H}{A_G}\right]^2} \left[\frac{P_G}{\rho g} - \frac{P_H}{\rho g} \right] \quad (14)$$

veya

$$U_{Hteorik}^2 = \frac{2g}{1 - \left[\frac{A_H}{A_G}\right]^2} [h_G - h_H] \quad (15)$$

Denklemden H noktasının teorik hızı elde edilir. Deneyssel olarak elde edilen kütleli debiden faydalanılarak gerçek hız ise;

$$\dot{m}_{gercek} = \rho_{su} U_{gercek} A \quad (16)$$

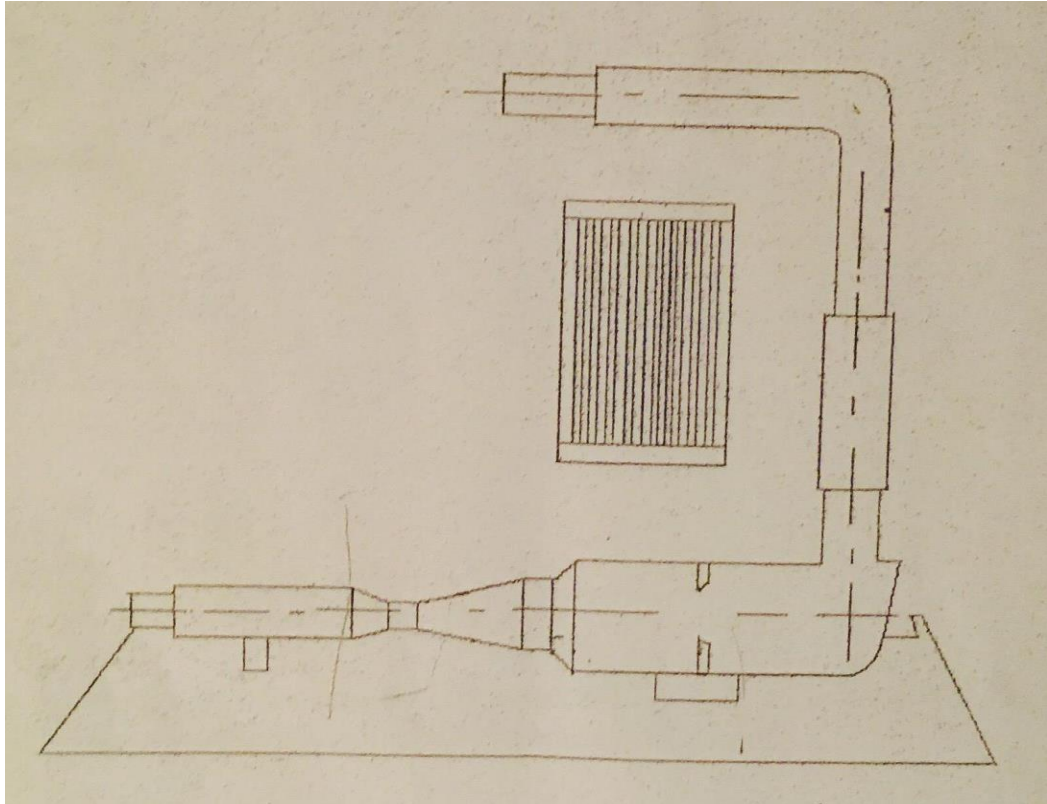
Denkleminden elde edilir. Gerçek hızın teorik hıza oranı C_d ile gösterilen boşaltma katsayısını verecektir.

$$C_d = \frac{U_{gerçek}}{U_{teorik}} \quad (17)$$

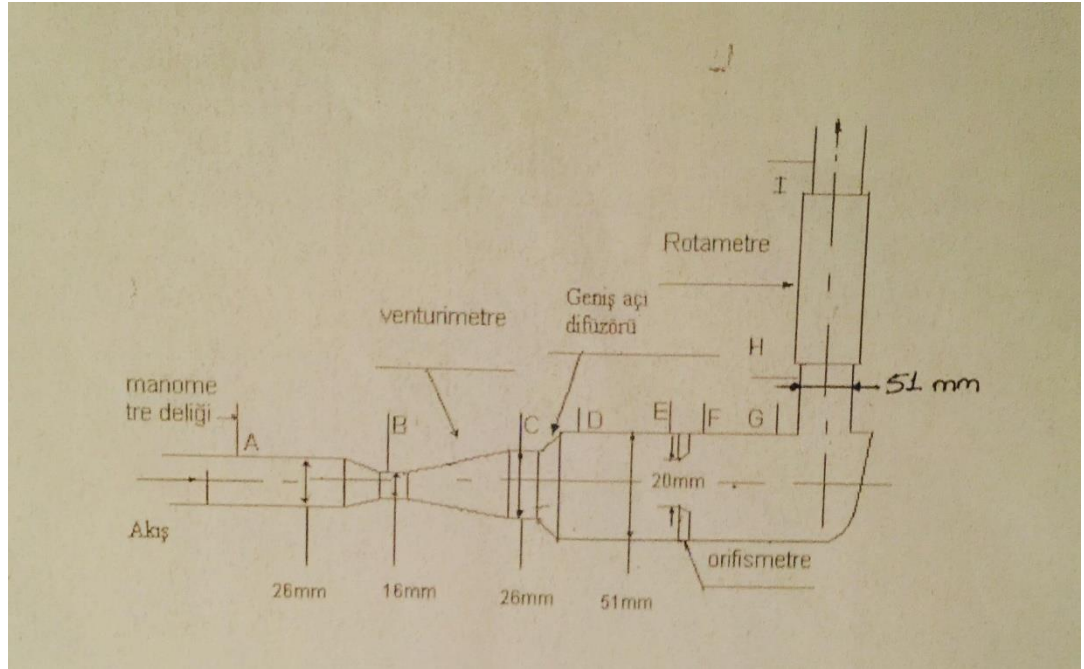
4. Deney Tesisatı

Su, dolu bir tanktan pompa yardımıyla venturimetreye gönderilmektedir. Venturimetre daralan bir bölüm, bunu izleyen bir kısılma bölümü ve uzun bir genişleyen bölümden oluşmaktadır. Venturi çıkışında ani bir genişleme sonucunda akışkan kesiti değişmeyen uzun bir boru ortasına yerleştirilmiş orifismetre ve daha sonra da boru sonuna yerleştirilmiş dik açılı bir dirsekten geçerek, rotametreye ulaşır. Rotametre çıkışında ise akışkan bir hortum ile tekrar tanka geri gönderilir. Böylece kapalı bir sistem oluşturulur.

Deney düzeneğinde her bir elemana bağlı toplamda 9 adet manometre mevcuttur. Bunların her birinin çıkış noktaları şekilde gösterilmiştir.



Şekil 1. Deney düzeneği



Şekil 2. Deney tesisatında gerekli ölçüler ve manometre çıkışları

5. Deneyin Yapılışı

- Tankın içine pompanın boyunu aşacak şekilde su doldurulur.
- Pompa çalıştırılarak, sistemin içerisinde su sirkülasyonu sağlanır.
- Rotametrede debi ayarı yapılır.
- Ayarlanan bu debide manometrelerden değerler okunur.
- Tank içinde suyun ağırlığını ölçmeye yarayan terazi önce kabın içine su doldurulmak suretiyle dengeye getirilir.
- Sistemde dolaşan su debisinin ölçümü amacıyla, terazinin bir tarafına ağırlıklar konulup, diğer tarafına ise terazi dengeye ulaşınca kadar su doldurulur ve bu arada geçen süre kronometre yardımıyla tespit edilir.
- Aynı işlemler farklı debi değerleri için tekrar edilerek rotametrenin kalibrasyon eğrisi çıkarılır.

6. Ölçüm Değerleri

Tablo 1. Ölçüm sonuçları

	MANOMETRİK SEVİYELER (mm)			
DENEY NO	VENTURİMETRE	ORİFİSMETRE	ROTAMETRE	$\Delta T(\text{sn})$
1				
2				
3				
4				
5				
6				

7. İstenenler

Deney raporunun bir kapak sayfası olmalıdır (bir örneği aşağıda verilmektedir). Deney raporu aşağıdaki içeriğe uygun olarak hazırlanmalıdır:

1. Giriş

Burada kısaca deneyin amacı açıklanmalıdır.

2. Ölçümler

Burada deneyin yapılışı kısaca açıklanmalı ve ölçüm verilerinin kaydedildiği tablo sunulmalıdır.

3. Hesaplamalar ve değerlendirmeler

Burada aşağıdaki işlemler yapılmalıdır.

3.1- Ölçüm değerlerine göre venturimetre, orifismetre ve tank ile hacimsel debileri hesaplayınız.

Venturimetre için geniş kesitin çapı $D=26$ mm, dar kesitin çapı $d=16$ mm, debi katsayısı $C_d=0,98$ dir. Orifismetre için ise geniş kesitin çapı $D=51$ mm, dar kesitin çapı $d=20$ mm, debi katsayısı $C_d=0,61$ dir.

Deneylerden birinin hesaplarını raporda detaylı olarak yazınız. Hesaplanan debileri ve rotametre debilerini bir tabloda gösteriniz. Ayrıca bir grafik üzerinde venturimetre, orifismetre ve

rotametre debilerini tank ile ölçülen hacimsel debilere bağı olarak karşılaştırmalı olarak gösteriniz.

3.2- Tank ile yapılan hacimsel debi ölçümünü doğru kabul ederek venturimetre ve orifismetre için yeni debi katsayıları ve rotametre için bir düzeltme katsayısı belirleyiniz. Bu amaçla her deney seti için bu katsayıları yeniden belirleyiniz ve bir tabloda ve grafik üzerinde debilere bağı olarak karşılaştırmalı olarak gösteriniz.

Ayrıca aritmetik ortalamalarını hesaplayarak yeni debi katsayısı ve düzeltme katsayısı olarak alınız.

3.3- Basınç farklarını hacimsel debiye bağı olarak gösteren bir diyagram çiziniz.

4. Sonuçlar ve yorumlar

Burada deneyler ve hesaplamalarla ilgili yorumlar yapılmalıdır.

BOYUT ÖLÇÜMÜ VE ANALİZİ

Hazırlayanlar: Prof. Dr. İbrahim YÜKSEL, Dr. Öğr. Üyesi Gürsel ŞEFKAT

1. Amaç

Bir cismin uzunluğu, sıcaklığı, ağırlığı veya rengi gibi çeşitli fiziksel özelliklerinin belirlenme işlemleri ancak ölçme tekniği ile mümkündür. Bir ürünün istenilen özelliklere sahip olup olmadığı ölçme ve kontrol ile tespit edilir.

2. Giriş

Bilinmeyen bir değer, kendi cinsinden bilinen ve birim olarak kabul edilen değerlere mukayyesine ÖLÇME denir. Her ne kadar insanlar çeşitli duyu organları ile bu tür fiziksel özellikleri ayarlanabilirse de kişiden kişiye bu özelliklerin farklılıklar göstermesi yüzünden, bu algılama işlemleri yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle pratikte insan duyularından etkilenmeyen çeşitli ölçme aletleri, sistemleri ve yöntemleri geliştirilmiştir.

Ölçme işlemlerinin hemen bütün mühendislik dalları ile yakından ilişkisi vardır. Özellikle laboratuvar çalışmalarının her kademesinde ölçmeye gerek duyulmaktadır. Ölçmeler yapılırken sistem seçimi, ölçme sonuçlarının çeşitli istatistiki sonuçlar ile değerlendirilmesi ve ölçmedeki hassasiyetlerin belirlenmesi, ölçme tekniğinin temel konularıdır.

Ölçme teknikleri son 25-30 yılda büyük gelişim göstermiştir. 1950’li yıllarda elektronik devrelerdeki, 1960’lı yıllarda lazer ve optik cihazlardaki, 1970’li yıllarda fiber optik elemanlardaki yenilikler, bilgisayarlardaki işlem hızlarının artması ve boyutlarının küçülmesi ölçme tekniklerinin gelişmelerine olumlu etkiler yapmıştır.

3. Teori

Üretimi içeren boyutsal ölçülerdeki temel prensip, üretim tasarlanan değerler içerisinde kalıp kalmadığının kontrolüdür. Bu nedenle, endüstrinin her alandaki seri üretimi arttırmak, maliyeti düşürmek ve kaliteyi iyileştirmek ancak ölçme ve kalite kontrolüyle gerçekleşmektedir.

Böylece, tasarladığı en ekonomik üretim sistemiyle çalışan endüstri kuruluşları standart ölçme sistemine bağlı kaldığı sürece ayakta durabilmektedir.

3.1. Ölçme Çeşitleri

Ölçme işlemi üç değişik şekilde yapılır:

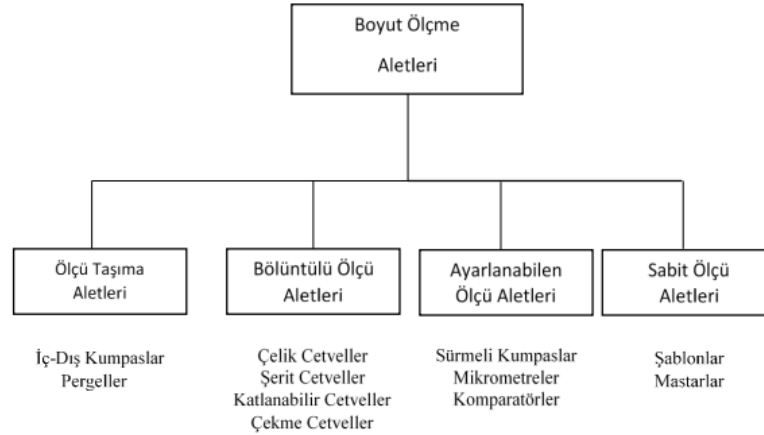
- a) Doğrudan doğruya ölçme (direkt)
- b) Dolaylı ölçme (endirekt)
- c) Mutlak ölçme

a) Doğrudan doğruya ölçme (direkt): Master olarak alınmış bir birim ile ölçülecek değer doğrudan doğruya karşılaştırılması suretiyle yapılan ölçme işlemidir. Bu ölçme işleminde ölçü, doğrudan doğruya okunabilmektedir. Doğrudan doğruya ölçmeye örnek olarak; çelik cetvellerle, sürmeli kumpaslarla yapılan ölçme işlemi verilebilir.

b) Dolaylı ölçme (endirekt): Bu ölçme işleminde ise, ölçü aleti belli bir kıyaslama parçasına ayarlanır ve ölçme işlemi bu kıyaslama parçasına göre yapılır. Pergel, iç ve dış çap kumpasları, çatal ve tampon masterları ve Jhonson masterları ile yapılan ölçme işlemleri dolaylı ölçmelerdir.

c) Mutlak ölçme: Ölçülecek değer sayısal değerin ile ölçme sonundaki diğer değerlerin sayısal değerleri arasındaki matematiksel ilişkiler dikkate alınarak yapılan ölçme işlemine denir.

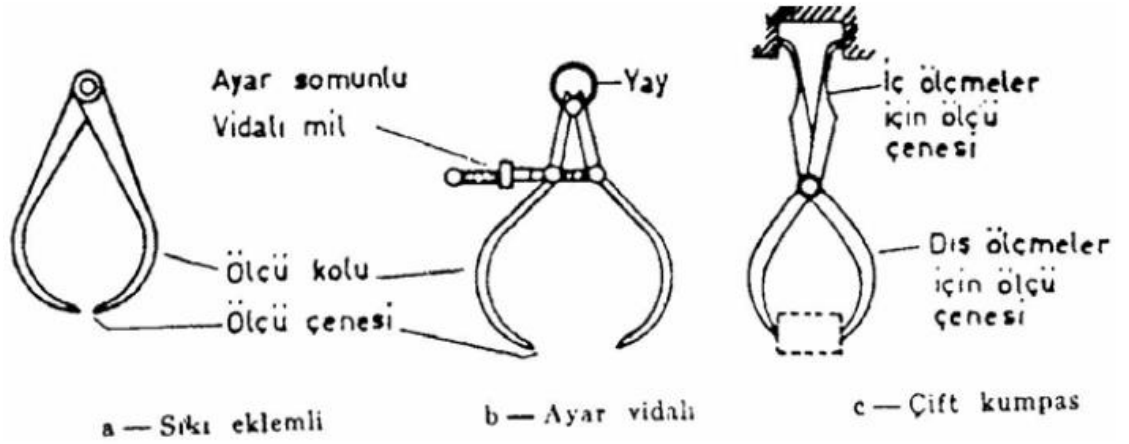
Boyut Ölçme Aletleri



Ölçü Taşıma Aletleri

Doğrudan ölçülemeyen iç ve dış çapların mukayeseli olarak ölçülmesinde veya kontrol edilmesinde kullanılan ölçü aletlerindendir. Genel olarak iç ve dış çapların yaklaşık ölçü alma veya kontrolünde kullanılan bu ölçü aletlerine iç ve dış çap kumpasları denir.

Bunlar basit bölüntüsüz ölçü aletleri olup iş parçalarından ölçü almak, ölçü taşımak veya ölçülerini kontrol etmekte kullanılırlar.



Şekil 1 Ölçü Taşıma Aletleri

Bölüntülü Ölçü Aletleri

Uzunlukların ölçülmesinde kullanılan, üzerinde çizgisel bölüntüleri bulunan ölçü aletleridir.

Çelik Cetveller: Makine atölyelerinde en çok kullanılan ölçü aletlerindendir. Daha çok ölçme ve markalama işlemlerinde kullanılırlar. Bükülebilen, yaylanabilen ve çeneli çelik cetvel gibi değişik tip ve ölçülerde yapılanları vardır. Yay çeliğinden yapılan çelik cetvelin genişliği 20 mm. boyları ise 100-1000 mm. ve kalınlıkları 0.1 mm ölçülerinde yapılırlar. Çelik cetveller 0-5 mm. aralıklı olarak ince çizgi bölüntülü yapılabildiği gibi 1 mm. aralıklı olarak yapılanları da vardır. Bazıları ise bir tarafı (mm) bölüntülü diğer tarafı ise (") inç bölüntülü olarak yapılırlar.

Şerit Metreler: Büyük uzunlukların ölçülmesinde kullanılırlar. Genellikle 5,10,20,30 ve 50 m. uzunluğunda 12-13 mm. genişliğinde paslanmaz yay çeliğinden yapılırlar.

Katlanır Metreler: Hassas işlerde kullanılmazlar. Bir metrede 1 mm. lik okuma hatası kabul edilebilecek mertebededir. Bu metreler tahta, çelik ve alüminyum gibi malzemelerden yapılırlar. Çoğunlukla ağaç işleri ve metal doğramacılık ile inşaat sektöründe kullanılmaktadırlar.

Çekme Ölçü Cetveli: Bu cetveller, dökümcülükte kullanılan modellerin yapımında kullanılmaktadır. Döküm ile yapılacak parçalarda, döküm malzemesinin soğuması esnasında meydana gelecek boyut değişiminden doğacak hataları ortadan kaldıracak şekilde yapılırlar.

Tablo 1 Cetvel Uzunluğuna ve Döküm Malzemesine Göre Çekme Payları

Cetvel Uzunluğu (L)	Genişlik	Kalınlık	Uygulama Örnekleri	
500	28	7	%1	Gri Döküm
			%1.5	Prinç ve hafif metaller
			%2	Çelik Döküm
1000	30	8	%2.5	Döküm, Metal modellerde çift çekme ölçüsü

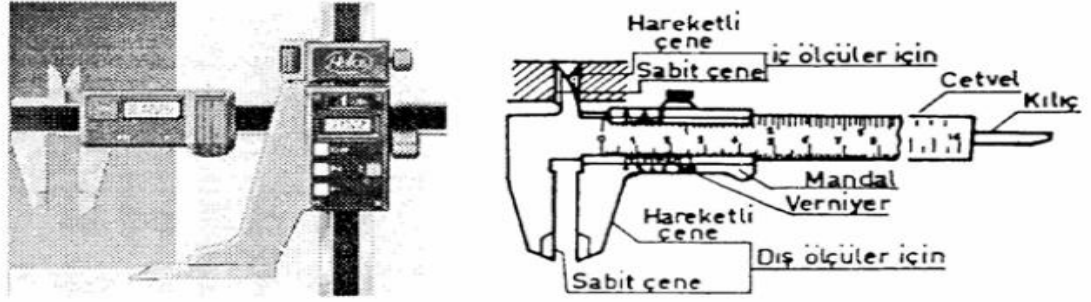
Ayarlanabilen Ölçü Aletleri

Bu ölçü aletleri, ölçü taşıma (bölüntüsüz) aletlerinden farklı olarak istenilen ölçüde ayarlanabilen veya ölçüleri üzerinde doğrudan okuma imkânı sağlayan aletlerdir.

Sürmeli Kumpaslar: Sürmeli kumpaslar uzunluk ölçülerini, iç çap, dış çap, derinlik ve kanal gibi ölçüleri ölçme işlemlerinde kullanılır. Kumpaslar sürgü taksimatlarına göre;

- 1/10 mm. sürgü taksimatlı kumpaslar (0.1 mm. hassasiyetli),
- 1/20 mm. sürgü taksimatlı kumpaslar (0.05 mm. hassasiyetli),
- 1/50 mm. sürgü taksimatlı kumpaslar (0.02 mm. hassasiyetli),

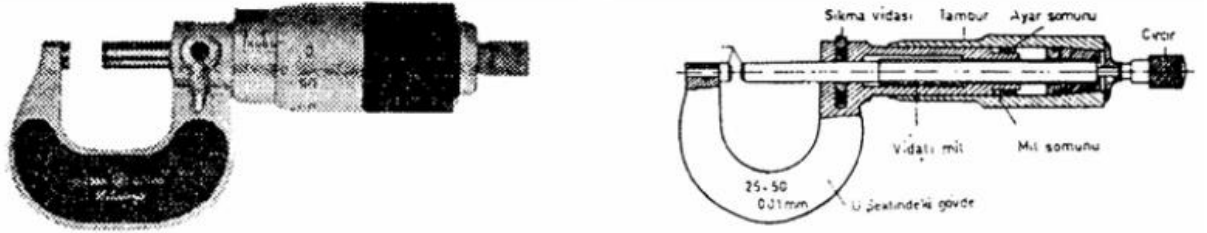
Olarak isimlendirilirler.



Şekil 2 Dijital ve mekanik sürgülü kumpaslar

Mikrometreler: Kumpaslara nazaran daha hassas ve okuma kolaylığı sağlayan ölçü aletidir. Genellikle daire kesitli parçaların çaplarının ve düz parçaların kalınlıklarının ölçülmesi işleminde kullanılırlar. Mikrometreler krom, nikel ve vanadyum alaşımlı çelik malzemelerden yapıp ince işlemlere tabi tutulurlar. Mikrometrelerde ölçme aralığı tamburun 1 tam devir yaptığında hareketli çene vida adımının değerine bağlıdır. Örneğin 100 eşit aralığa bölünmüş tambur bir tam devir yaptığında çene 1 mm. hareket etmiş ise bu mikrometrenin ölçü hassasiyeti $1/100=0.01$ mm. olacaktır.

Mikrometreler kullanım alanlarına göre dış çap, iç çap, derinlik, dişli modülü, vida ve özel mikrometreler olarak sınıflandırmak mümkündür.



Şekil.3. Mikrometre ve Kesiti

Komparatörler: Atölyelerde en çok kullanılan ibreli ölçü ve kontrol aletlerindendir. Komparatörler görünüş olarak saate benzer ve saat ibresi ile birlikte hareket eden bir de uç kısmı vardır. Komparatörlerde ölçme alanları 0-10 mm, bazılarında 50 mm'ye kadar, kadran üzerindeki iki çizgi aralığı genelde 0.01 mm yi (0.001-0.00 ~ ve 0.005 mm yi) gösterecek şekilde hazırlanmıştır.

Komparatörler,

- [illegible]

Sabit Ölçü Aletleri

Mastarlarla dolaylı veya doğrudan ölçme ve kontrol işlemi yapılır. Bu amaçla kullanılan mastarları iki grupta toplamak mümkündür.

- Johanson Masterları:** Dikdörtgen prizma şeklinde yüksek karbonlu paslanmaz çeliklerden yapılmıştır. Yüzeyleri çok hassas işlemlere tabi tutulmuştur. Ölçme yüzeyleri o

kadar hassas yapılmışlardır ki herhangi bir ölçüyü elde etmek için birbirine birleştirdiklerinde kuvvetli bir şekilde yapışmaktadır. Birbirine yapışma kuvveti 40 kg/cm^2 civarında olduğu yapılan deneyler sonucu tespit edilmiştir. Takım halinde bulunan Johanson masterları 18-32-47-56-76-78-87-103-111-118 ve 128 parçalı olarak hazırlanmıştır. Johanson masterları ile ölçme ve kontrol işlemleri 20°C sıcaklıkta yapılmalıdır. Masterlar üzerinde belirtilen değerler master anma ölçüleridir. Johanson masterları kullanılma amaçlarına göre dört değişik hassasiyet derecesinde yapılırlar.

1. AA grubu Johanson masterları, bu masterlar Johanson masterlarının en hassas olanlarıdır. Bunlar ölçme laboratuvarlarında kullanılırlar. Toleransları $\pm 0.00005 \text{ mm}$ dir.

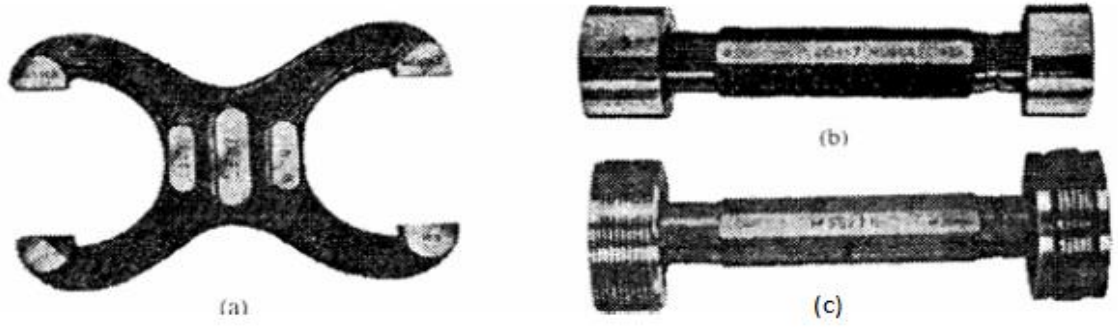
2. A grubu Johanson masterları ölçme ve kontrol aletlerinin ayar ve kontrolünde kullanılırlar. İkinci derecede hassasiyete sahip olup toleransı $\pm 0.0001 \text{ mm}$ dir.

3. B grubu Johanson masterları, hassas olarak yapılması gereken aleti kalıp ve benzeri takımların yapımında kontrol amacı ile kullanılır. Toleransı $\pm 0.0002 \text{ mm}$ dir.

4. C grubu Johanson masterları, masterların en fazla toleransa sahip olanlarıdır. Atölyelerde kontrol, markalama vs. gibi işlerde kullanılırlar. Toleransları $\pm 0.0004 \text{ mm}$ dir.

Sınır Masterları: Makine parçalarının imalatı sırasında, verilen ölçü sınırlarına dikkat edilerek istenilen ölçülerde yapılması gerekir. Makine parçalarının istenilen ölçü sınırları içerisinde yapılıp yapılmadığını kontrol için hazırlanmış aletlere sınır masterları denir. Sınır masterlarını kullanım alanlarına göre, çatal, tanpon, vida masterları olmak üzere üçe ayırabiliriz.

Çatal masterlar; silindirik parçaların seri olarak ölçülmesi ve kontrollerinde kullanılırlar. 100 mm çapa kadar iki taraflı daha büyük çaplarda tek taraflı hilal biçiminde yapılırlar. Çatal masterlar alıştırma derecelerine göre farklı renklerde yapılırlar (mavi, siyah, sarı, açık yeşil). İlgili anma çapı ve tolerans değerleri master gövdesi üzerinde belirtilmiştir.



Şekil.5. Sınır Masterlar a) Çatal b) Tanpon c) Vida

Tanpon masterlar; silindirik parçaların seri olarak ölçülmesi ve kontrollerinde kullanılırlar. Delik ölçülerinin istenilen ölçü sınırları içerisinde işlenip işlenmediklerini tanpon masterlar ile kontrole ederiz. Tanpon masterının iki ucundaki silindirik baş kısımlarından birisi geçer diğeri ise geçmez taraftır. Tanpon master ölçüleri de çatal masterlarda olduğu gibidir. Yalnız tek değişikliği, çatal masterların tersine küçük ölçülü olan ağız kısmı geçer büyük olan geçmez tarafını oluşturur.

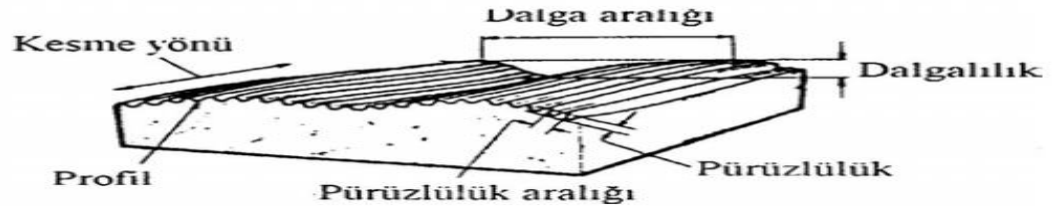
Vida masterları; hassas çalışması gereken taşlanmış erkek ve dişi vidaların hassaslığının kontrolü için kullanılır. Master gövdesi üzerinde bulunan (M) veya (V) harfleri masterın metrik veya parmak sistemine ait olduğunu, daha sonra gelen makamlar vida ölçüsü ve adımını gösterirler.

3.2. Yüzey Pürüzlülüğü Ölçümü ve Analizi

Bir yüzeyin elde edilmesinde görünüşü, rengi, paslanma ve aşınma direnci, sertliği, emme hareketi, yağlama ve toleransları gibi pek çok önemli noktalar rol oynar. Bunlardan bazıları doğrudan yüzey kalitesiyle bağlantılıdır. Yüzey hassasiyeti üretimde uygulanan işleme metotlarına göre değişmektedir. Taşlama, frezeleme, planyalama ve diğer metotlarla işlenmiş bir malzeme yüzeyi, sayısız küçük pürüzlerin birleşmesiyle oluşur. Yüzeyi tamamen kaplayan bu pürüzler, o yüzeyin görünüşünü, kalitesini ve uygunluğunu belirtir. Daha iyi bir yüzey elde etmek için, önceden işlenmiş yüzeylerdeki pürüzler mümkün olduğu kadar yok edilmeye çalışılır. Bu amaçla taşlama, honlama, lepleme ve süper ince işleme metotları kullanılır.

Makine parçalarının tezgahlar ile yapımı sırasında elde edilen yüzeyler etkin yüzeylerdir. Yüzey pürüzlülüğü ve şekil hataları önemsenmeyerek, projede tayin ve yapımında elde edilen yüzeylere geometrik yüzeyler denmektedir. Şekil ve dalgalanma hataları dikkate alınmadan sınırlanmış bir alandaki yüzeyin belirli bir şekilde tanımlanan bütün bozuklukların tamamına yüzey pürüzlülüğü denir.

Yüzey normalde pürüzsüzdür, ancak dalgalı olabilir. Herhangi bir durumda yüzey mükemmel bir düzlüğe sahip olamaz ve her zaman pürüzlü bir dokuya sahip olacaktır. Bazı yüzeyler hem pürüzlü hem de dalgalı olabilir.



Şekil.6. Yüzey Karakteristiği

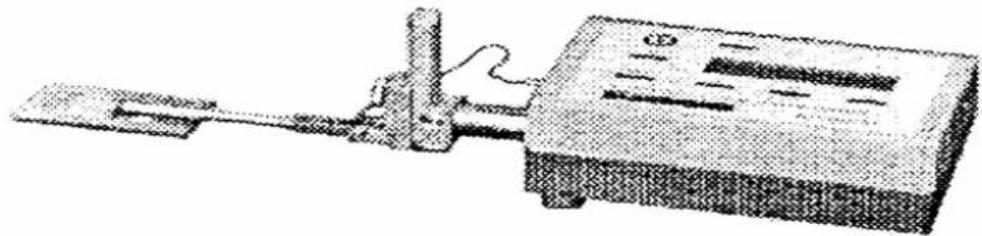
Yüzey Pürüzlülüğünün Ölçümü

Yüzey pürüzlülüğünün ölçümü için birçok cihaz ve teknik kullanılmaktadır.

Mühendislik açısından en önemlileri;

10. Elektriksel entegre eden iğneli cihazlar,
11. Dokuma (parmak-tırnak) ile yüzey pürüzlülüğü tayini ve mekaniksel cihazlar şeklinde bu tekniğin geliştirilmesi,
12. Çeşitli tür ışık girişim mikroskopları,
13. Yüzeyin plastik modelinin çıkartılması,

Şeklinde sıralanabilir.



Şekil.7. Elektronik Yüzey Pürüzlülüğü Ölçüm Cihazı

Yüzey Pürüzlülüğünün Analizi

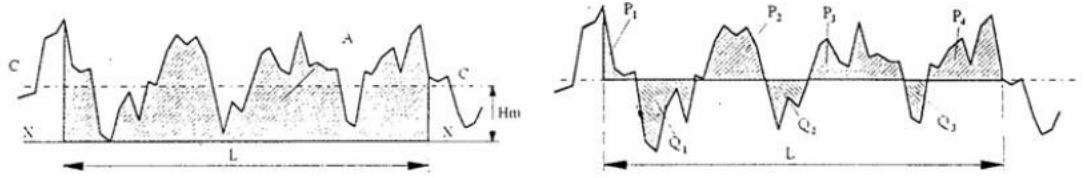
Yüzey pürüzlülüğünün belirlenmesinde farklı ülkelerde kullanılan birkaç parametre belirtilmiş ve kullanılmıştır. Aşağıda isimleri ve kısaltmaları verilen en çok bilinenleridir.

2. Aritmetiksel ortalama sapma: R_a
3. Kareler ortalaması karekökü (r.m.s.): R_q
4. Numunedeki çukur yüksekliğinin maksimum sivriligi: R_y, R_{tmax}
5. R_t değerlerinin ortalaması: $R_{tm}, R_{z(DIN)}$
6. Profilin sivrilik aralıklarının ortalaması: S_m

1.Aritmetiksel Ortalama Sapma (R_a): en çok kullanılan ve geçerli uluslararası pürüzlülük parametresidir. Matematiksel ifadesi,

$$R_a = \frac{1}{L} \int_0^L |y(x)| dx$$

Şeklinde verilir. Yüzey profilinin grafiksel izinden R_a değeri aşağıdaki şekilde bulunabilir.



Şekil.8. Aritmetiksel Ortalama Sapma R_a 'nın Grafiksel Gösterimi

6. Yüzeyin genel yönünde ve en derin çukurluk için uygun bir X-X çizgisi çizilir.
7. Uygun bir örnekleme boyu L seçilir.
8. X-X çizgisi ile eğri arasında kalan A alanı bulunur. Merkez çizgisi C-C ile X-X çizgisi arasındaki dik mesafe (H_m);

$$H_m = \frac{A}{L}$$

9. C-C ile yüzey profili ikiye bölünür. Eğri ile C-C çizgisinin üzerindeki kapalı alanların toplamı P ile altta kapalı alanlar toplamı Q eşitlenir. Buna göre R_a aşağıdaki şekilde ifade edilir. Burada P ve Q alanları mm^2 , L mm olarak verilir.

$$R_a = \frac{\sum P + \sum Q}{L}$$

Tablo 2. Çeşitli Son İşlemlere Göre R_a değerleri

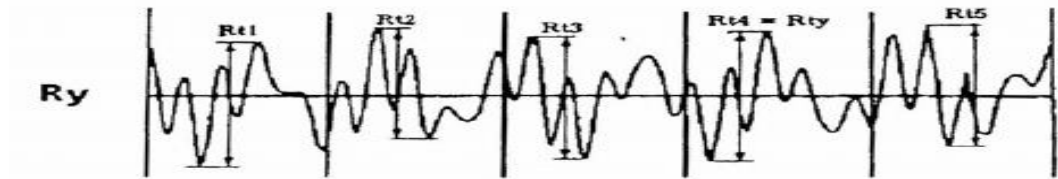
Son İşlem	Ra değeri (μm)
Çok ince işleme	0.05-0.2
Perdahlama	0.05-0.4
Honlama	0.1-0.8
Taşılama	0.1-1.6
Elmas takım ile tornalama	0.1-0.4
Tornalama	0.4-6.3
Delik işleme. genişletme	0.4-6.3
Çekme	0-3.2
Broşlama	0.8-3.2
Ekstrüzyon	0.8-3.2
Frezeleme	0.8-6.3
Planyalama	1.6-12.5

2. Kareler Ortalaması Karekökü R_q : R_q , R_a 'ya karşı rms parametresidir. Matematiksel olarak:

$$R_q = \sqrt{\frac{1}{L} \int_0^L y^2(x) dx}$$

İle ifade edilir.

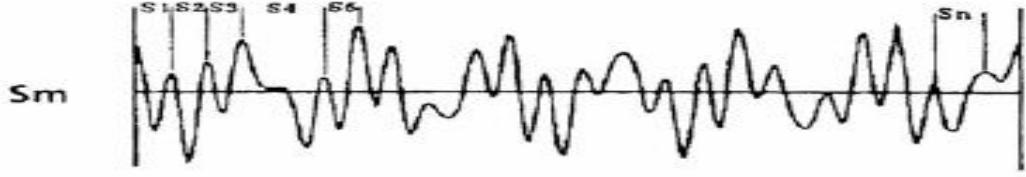
3. Numunedeki Çukur Yüksekliğinin Maksimum Sivrilği R_y R_{tmax} : Herbir ölçme boyundaki çukur yüksekliklerinin en büyük sivrilği olarak tanımlanır. R_y olarak en büyük R_t değeri alınır.



4. R_t Değerlerinin Ortalaması R_{tm} , $R_z(DIN)$: R_{tm} olarak bilinen bu parametre, kabul edilen uzunluktaki bütün çukur yüksekliklerinin sivrilik değerlerinin ortalamasıdır.

$$R_z(DIN) = \frac{(R_{t1} + R_{t2} + R_{t3} + \dots + R_{tn})}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{i=n} R_{ti}$$

5. Profilin Sivrilik Aralıklarının Ortalaması S_m : Bu parametre, kabul edilen uzunluğun üzerinde ölçülen, ana çizgideki profil sivriliklerinin arasındaki mesafelerin ortalaması olarak tanımlanır.



$$S_m = \frac{(S_1 + S_2 + S_3 + \dots + S_n)}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{i=n} S_i$$

4. DENEYİN YAPILIŞI

Çeşitli parçalar mikrometre ve kumpas ile beş kez ölçülür. Standart sapma değerleri bulunur.

Taşlanmış ve frezelenmiş yüzeylerin yüzey pürüzlülüğü değerleri belirlenir. Bu değerlerin tolerans sınırları içinde olup olmadığına bakılır.

5. Ölçüm Değerleri

Parça No	Ölçüm No				
	1	2	3	4	5
1 (Sürgülü Kumpas)	21.1	21.14	21.34	21.1	21.3
2 (Digital Kumpas)	30.12	30.18	30.22	30.25	30.14
3 (Mikrometre)	22.92	22.65	22.99	23.01	23
4 (Digital Mikrometre)	23.022	23.01	23.00	23.002	23.006

Sürgülü kumpasın hassasiyeti : 1/50

Mikrometrenin hassasiyeti : 1/1000

Yüzey Pürüzlülüğü;

Taşlanmış Yüzey : $R_a=0.2$

Frezelenmiş Yüzey : $R_a=2.4$

6. Hesaplama ve Sonuçlar

1 No'lu parça için:

Ortalama Değer (Aritmetik ortalama): $X_{m1} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i$

$$X_m = \frac{1}{5} (21.1 + 21.14 + 21.34 + 21.1 + 21.3) = X_m = 21.196mm$$

Numune	$\sigma_i = X_i - X_m$	$(X_i - X_m)^2$
1	-0.096	0.009216
2	-0.056	0.003136
3	0.144	0.020736
4	-0.096	0.009216
5	0.104	0.010816

Sapmaların mutlak ortalaması:

$$|\sigma_i| = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |X_i - X_m|$$

$$|\sigma_i| = \frac{1}{5} (0.096 + 0.056 + 0.144 + 0.096 + 0.104) \Rightarrow |\sigma_i| = 0.00992mm$$

Standart sapma:

$$\sigma = \left[\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - X_m)^2 \right]^{1/2}$$

$$\sigma = \frac{1}{4}(0.09216 + 0.003136 + 0.020736 + 0.09216 + 0.0108)^{1/2} \Rightarrow \sigma = 0.115mm$$

Diğer parçalar için de aynı işlemler yapılarak değerler bulunur.

Yüzey Pürüzlülüğü;

Taşlama: $R_a=0.2\mu m$ $0.1 \leq 0.2 \leq 0.6$ olduğundan uygundur.

Frezeleme: $R_a=2.4\mu m$ $0.8 \leq 2.4 \leq 6.3$ olduğundan uygundur.

$R_t=37\mu m$

6. Sonuç

Ölçümlerde giderilebilecek hataların bertaraf edilmesiyle sapma değerleri minimuma inebilir.

Genellikle atölye ve laboratuvarlarda kullanılan ölçme ve kontrol takımlarının referans sıcaklığı $20^\circ C$, açık arazide kullanılan ölçme aletlerinde $15^\circ C$ kabul edilmektedir. Bu sıcaklıklardan farklı bir sıcaklıkta ölçme yapılıyorsa, ölçme aletinin ve ölçülen parçanın ısı genleşme katsayıları alınarak ölçme sonuçlarının düzenlenmesi gerekir. Mümkünse dijital ölçü aletleri kullanılarak ölçümler daha hassas yapılabilir.

7. İstenenler

Kumpas ile ölçülen 3 numunenin standart sapmasını bulunuz.

Yüzey pürüzlülüğü ile ölçülen parçaların hangi yüzey işlemine tabi tutulmuş olabileceği ile ilgili yorum yapınız.

KAYNAKLAR

- S.ÇELİK ‘Ölçme ve Kontrol’, M.E.B. İstanbul. 1989
- İ.YÜKSEL. ‘Ölçme Tekniği Ders Notları’ 1988
- Surtronic 3+Operator’s Handbook. Rank Taylor Hobson Limited
- Helios ürün kataloğu
- O.F.GENCELİ. ‘Ölçme Tekniği’.
- M.BAĞCI-Y.ERİŞKİN. ‘Ölçme Bilgisi ve Kontrol’.

UZAMA ÖLÇER (STRAIN GAUGE) DENEYİ

Hazırlayanlar: Arş. Gör. Dr. Betül Gülçimen ÇAKAN, Arş. Gör. Çağlar KAHYA

1. Amaç

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

2. Giriş

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

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

3. Teori

- Gerilme, Şekil Değişimi ve Elastisite Modülü

Gerilme (σ)

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

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

Bası gerilmesi malzemenin sıkışması sonucu oluşan gerilme olup negatif değerlidir.

Çeki gerilmesi malzemenin uzamasını sağlayan gerilmedir ve pozitif değerlidir.

Birim şekil değişimi (ϵ)

Birim şekil değişimi, malzemenin boyundaki değişimin ilk boyuna oranıdır. Aşağıdaki denklem ile bulunabilir:

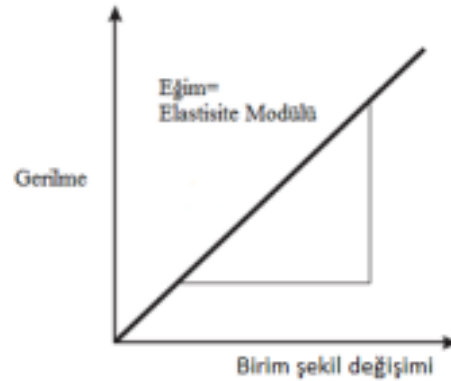
$$\epsilon = \frac{\Delta l}{l}$$

Elastisite Modülü (E)

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

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

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



Şekil 1 Elastisite Modülü

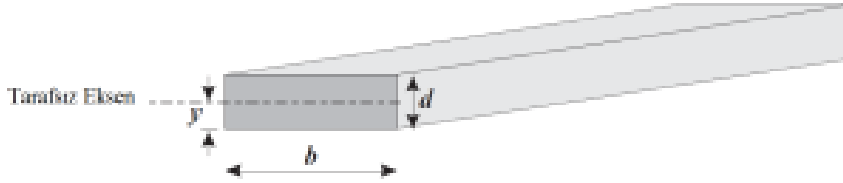
Kayma modülü (G)

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

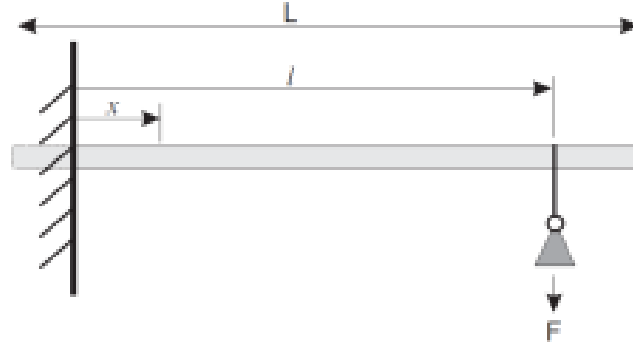
$$G = \frac{F/A}{\Delta x/h} = \frac{\tau}{\gamma}$$

- **Kirişlerin Eğilmesi**

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



Şekil 2 Kiriş kesit geometrisi



Şekil 3 Kirişin eğilme momenti

Eğilme momenti

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

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

Gerilme

Kiriş boyunca herhangi bir noktada oluşacak olan gerilme:

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

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

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

Şekil değışimi

Hooke Kanunu'nun tekrar düzenlenmesi sonucunda şekil değışimi denklemi řu şekilde ifade edilir.

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

• Çubukların Burulması

Polar (Kutupsal) Atalet Momenti

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

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

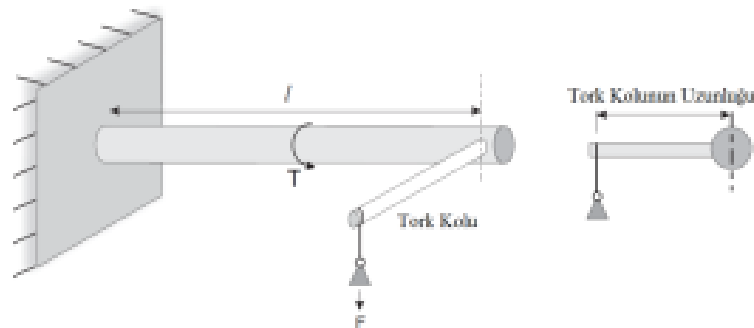
Tork ifadesi için genel denklem aşğıdaki gibi ifade edilebilmektedir.

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

Tork

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

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



Şekil 4 Tork (Burulma Kuvveti)

Kayma gerilmesi

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

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

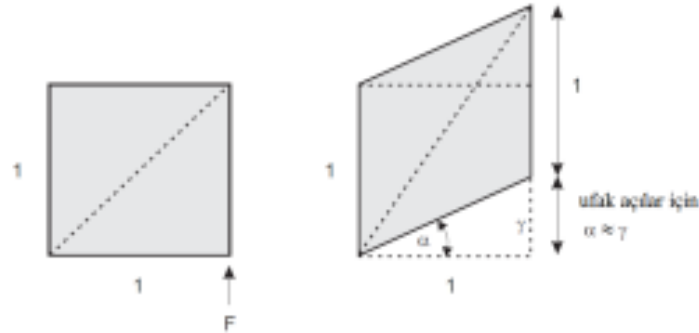
Kayma Açısı

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

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

Birim şekil değiştirme

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



Şekil 5 Kayma açısı

Bir kuvvet bir nesnenin uzunluğunu değiştirdiği zaman, birim şekil değiştirme (ϵ) :

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

şeklinde ifade edilmektedir.

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

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

- Çeki gerilmesi ve birim şekil değiştirme, Poisson oranı



Şekil 6 Dikdörtgen kesitli bir malzemenin çeki gerilmesi

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

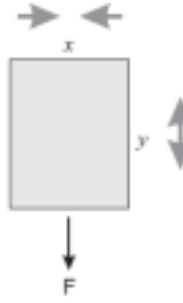
Dikdörtgen kesitli bir numunede gerilme:

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

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

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

Poisson Oranı (ν)



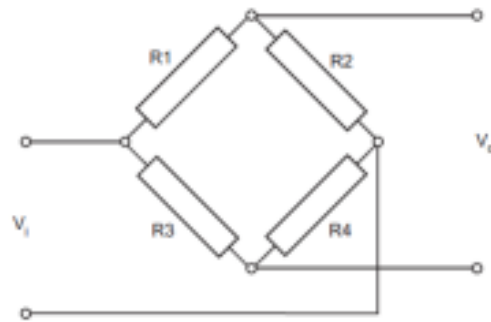
Şekil 7 Poisson Oranı

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

$$\nu = \frac{-\epsilon_x}{\epsilon_y}$$

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

- **Wheatstone Köprüsü**



Şekil 8 Wheatstone köprüsü

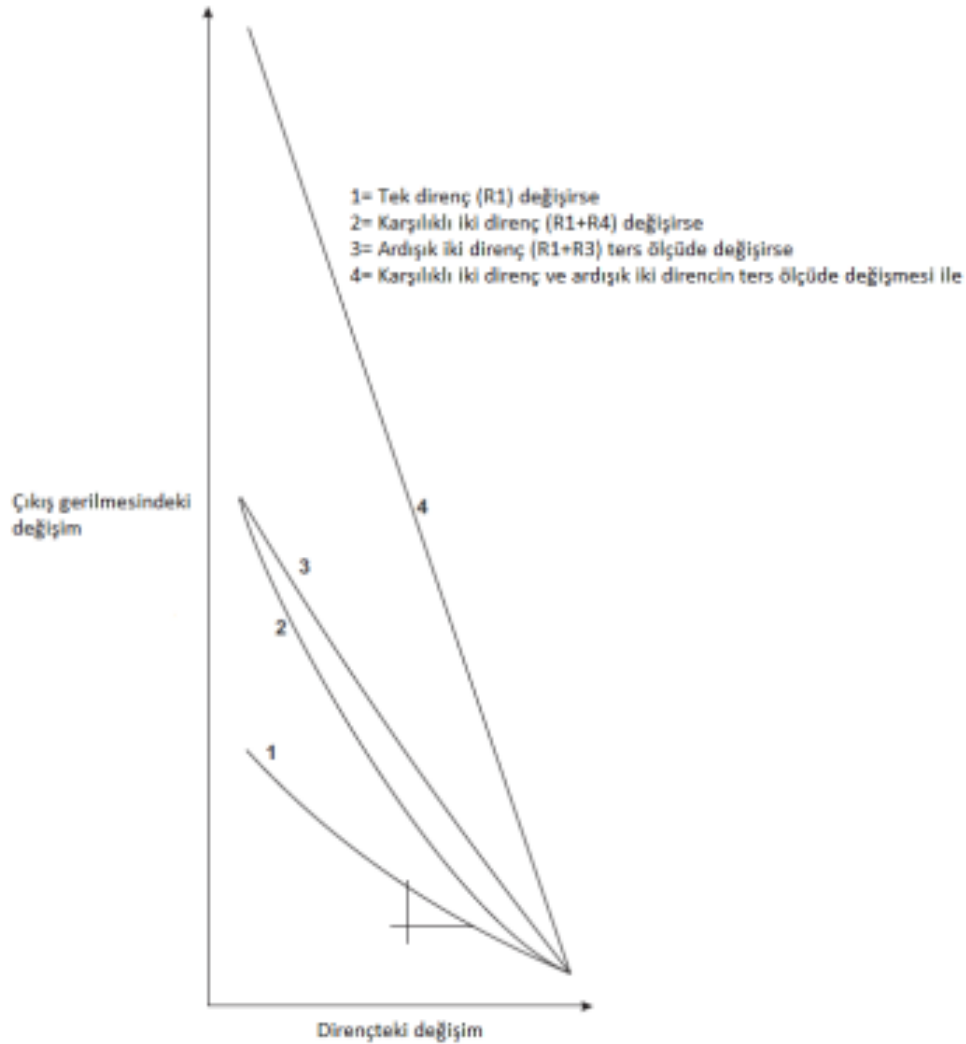
Birçok uzama ölçerin temelini oluşturan ve hassas bir ölçüm yapılmasını sağlayan Wheatstone köprüsü Şekil 8' de gösterilmektedir. Elmas şeklinde uç uca eklenen dört adet dirençten oluşmaktadır. Giriş gerilmesi (V_i) karşılıklı iki bağlantılardan bağlanır ve çıkış gerilmesi diğer iki uçtan ölçülür.

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

$$V_o = V_i \frac{R2}{R1 + R2} - V_i \frac{R4}{R3 + R4}$$

Burada dirençlerin eşit olması durumunda çıkış gerilmesinin, giriş gerilmesi ne olursa olsun sıfır olacağı görülmektedir. Ancak dirençlerden bir tanesi değişecek olursa (örneğin $R1$) çıkış gerilmesi de değişen dirence orantılı olarak değişecektir.

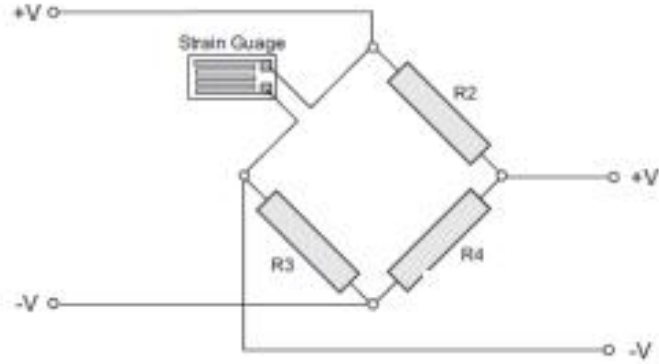
Bağlanan uzama ölçer sayılarına göre; tek bir uzama ölçer bağlanır ise çeyrek köprü, iki uzama ölçer bağlanır ise yarım köprü ve dört adet uzama ölçer bağlandığı durum için ise tam köprü olarak isimlendirilmektedir. Bağlantı şekilleri aşağıdaki gösterildiği şekillerde yapılır.



Şekil 9 Wheatstone köprüsünde direnç değişimine karşılık çıkış gerilmesindeki

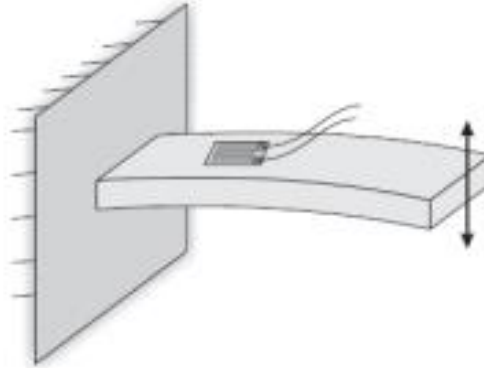
Çeyrek köprü Bağlantısı

Uzama ölçer direnci = $\uparrow$ Çıkış = $\uparrow$
Uzama ölçer direnci = $\downarrow$ Çıkış = $\downarrow$



Şekil 10 Çeyrek köprü - Bir aktif uzama ölçer

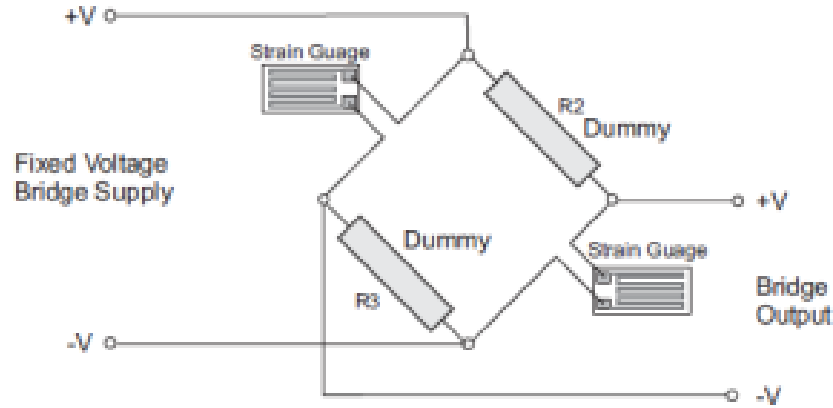
Tek bir uzama ölçer, dirençlerden bir tanesi ile değiştirilir ise çıkış gerilmesi uzama ölçerdeki birim şekil değişimi ile orantılıdır. Uzama ölçer direncinin değişmesi ile çıkış potansiyel gerilme farkı da değişmektedir.



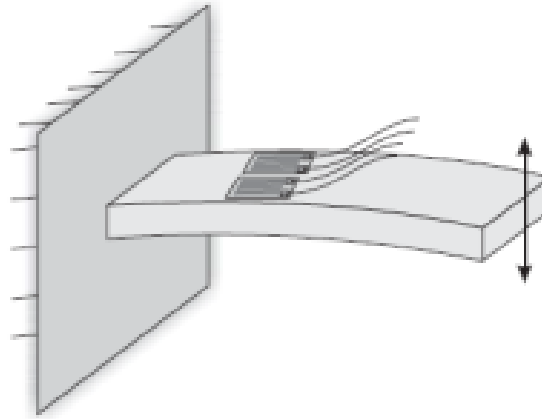
Şekil 11 Çeyrek köprü uygulaması

Yarım Köprü 1 (Karşıt Kollar)

$$\begin{aligned} \text{Uzama ölçer direnci} &= \uparrow \times 2 & \text{Çıkış} &= \uparrow \times 2 (+V_e) \\ \text{Uzama ölçer direnci} &= \downarrow \times 2 & \text{Çıkış} &= \downarrow \times 2 (-V_e) \end{aligned}$$



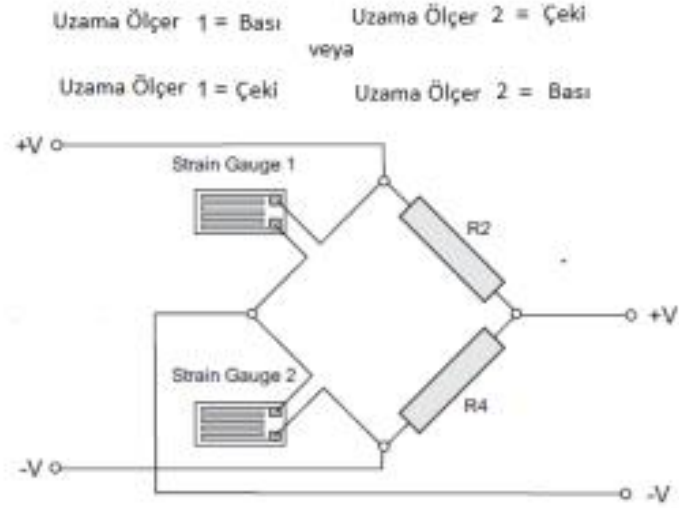
Şekil 12 Yarım köprü bağlantısı (karşıt kollarda)



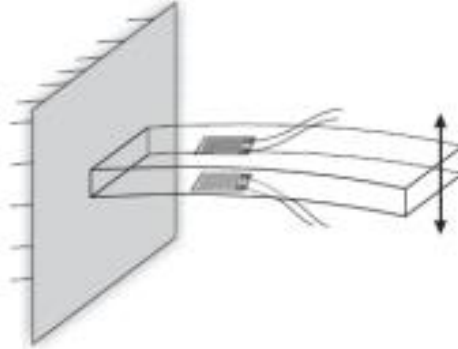
Şekil 13 Yarım köprü uygulaması

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

Yarım Köprü 2 (Ardışık Kollar)



Şekil 14 Yarım köprü bağlantısı (ardışık kollarda)



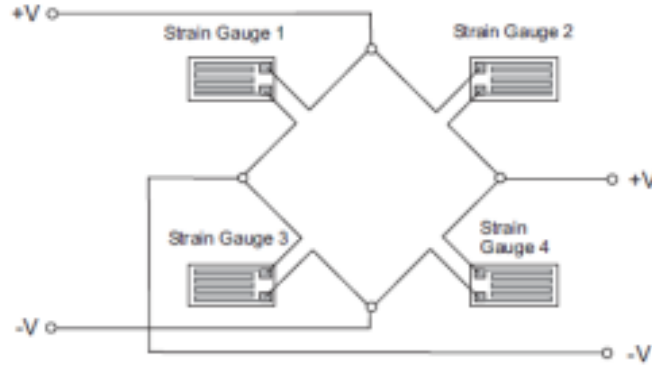
Şekil 15 Yarım köprü uygulaması

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

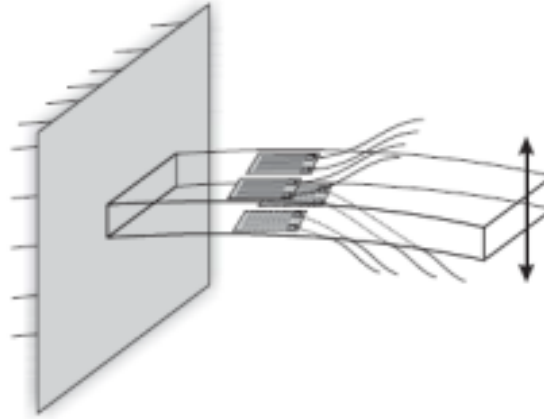
Tam Köprü

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

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



Şekil 16 Tam köprü



Şekil 17 Tam köprü uygulaması

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

Köprü Denklemi

Birim şekil değişimini hesaplamak için kullanılan standart denklem:

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

olup burada;

ε : Birim şekil değişimi

V_o : Köprü boyunca ölçülen gerilim (V)

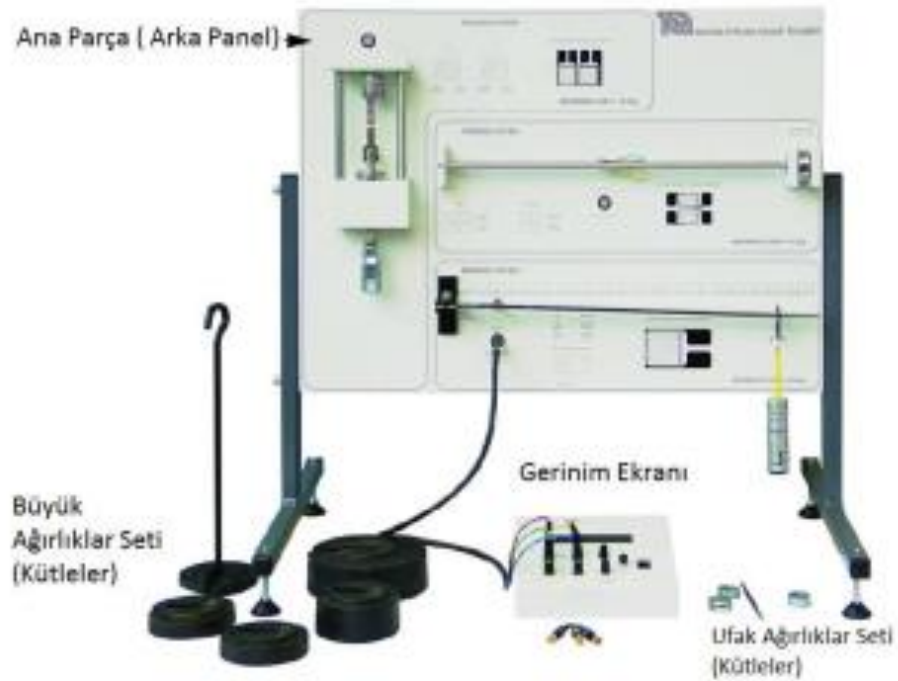
GF : Gauge faktör

V_i : Köprüye giriş gerilmesi (V)

N : Aktif kolların sayısı (uzama ölçer bağlantı sayısı)

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

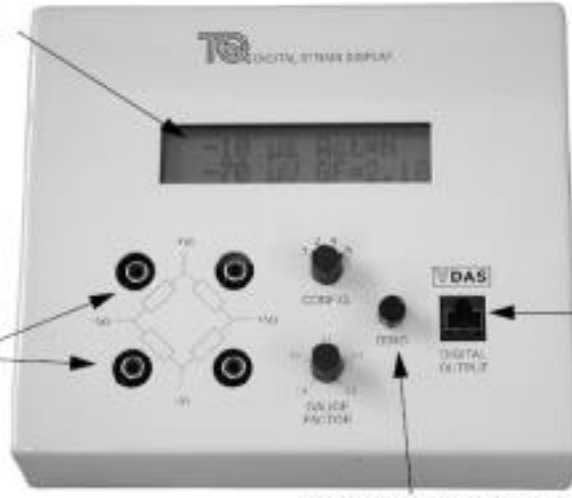
4. Deney Tesisatı



Şekil 18 Uzama Ölçer Deney Seti

Ekran- gerinim, çıkış voltajı ve köprü şeklini gösterir

Giriş soketleri



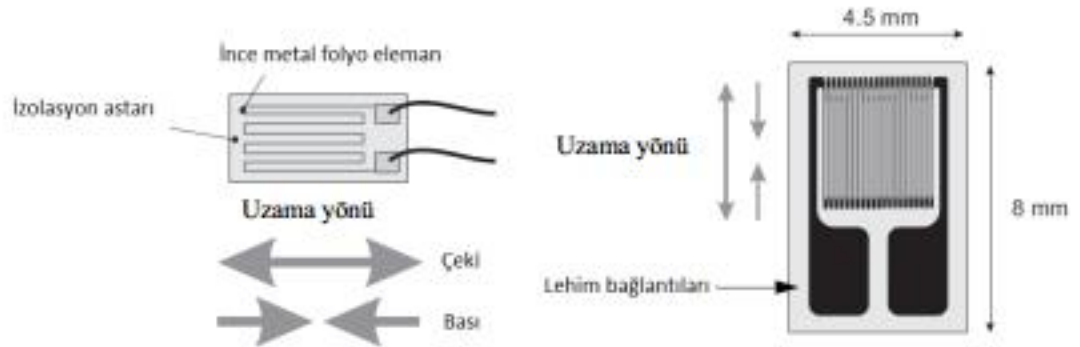
VDAS çıkışı

Sıfırlama düğmesi (Basılı tutularak okuma sıfırlanır)
Also known as the TARE button

Şekil 19 Dijital Gerinim Ekranı

Uzama ölçerler (strain gauges)

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

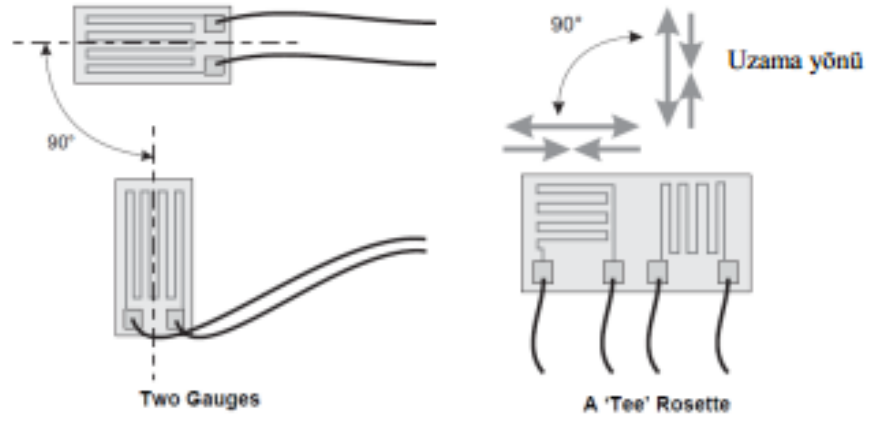


Şekil 20 Uzama Ölçer

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

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

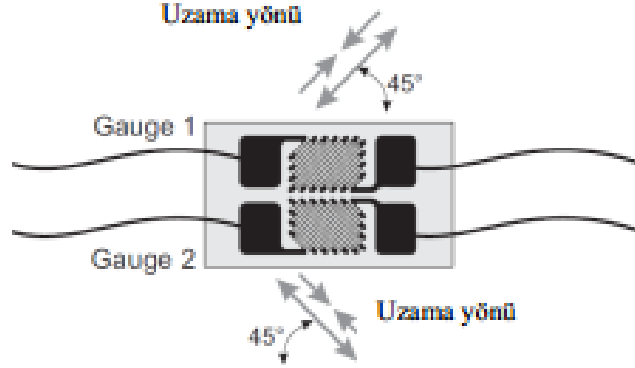
İki veya daha fazla yönde şekil değişimi bulunmak isteniyor ise ekstra uzama ölçerler birbirlerinin yakınlarna eklenirler. Uzama ölçerlerin genellikle çok ufak olması ve istenen açı değerinde konumlandırılmasının güç olmasından dolayı, rozet denilen iki veya daha fazla uzama ölçerin bir arada bulunduğu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



Şekil 21 Birbirine dik iki uzama ölçer ve T rozet

Kayma ve tork uzama ölçerleri

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

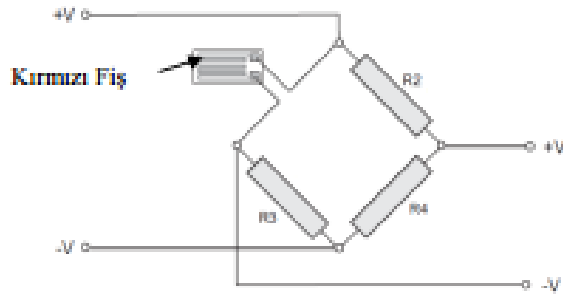


Şekil 22 Kayma ve Tork uzama ölçer rozeti

5. Deneyin Yapılışı

Eğilmeye Maruz Parçada Birim Şekil Değişiminin Ölçülmesi

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

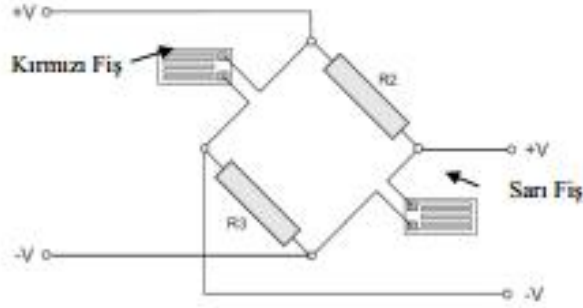


Şekil 6. Çeyrek Köprü Bağlantısı

Çekiye Maruz Parçada Uzama Oranının Ölçülmesi

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

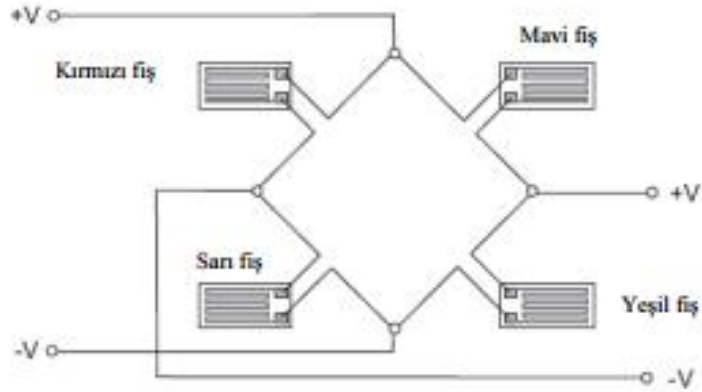
taşıyıcısı 500 gr ağırlığındadır. İlaveten 500 gr ağırlıklar konularak deney setinden uzama değerleri ölçülür.



Şekil 7. Yarım Köprü Bağlantısı

Burulmaya Maruz Parçada Uzama Oranının Belirlenmesi

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



Şekil 23 Tam köprü bağlantısı

6. Ölçüm Değerleri ve İstenenler

İlgili okumaların yapıp teorik sonuçlar ile birlikte tablolar doldurulmalı ve mukayese edilmelidir.

Tablo 1 Eğilme Sonuçları

Levha Ölçüleri: Elastiklik Modülü: 207 GPa Alan Atalet Momenti:			Köprü Bağlantısı: Çeyrek Yükleme Konumu: 420 mm			
Yük (g)	Kuvvet (N)	Uzama ($\mu\epsilon$)	Çıkış Voltajı (μV)	Eğilme Momenti (Nmm)	Hesaplanan Gerilme (N/mm ²)	Hesaplanan Uzama ($\mu\epsilon$)

EKLER

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

Symbol	Description
b	Genişlik
d	Kiriş yüksekliği
A	Alan
I	Atalet Momenti
y	Tarafsız eksen den uzaklık
σ	Gerilme
M	Uygulanan moment
F	Kuvvet
L	Uzunluk
l	Uygulanan kuvvet ve mesnet arasındaki mesafe
x	Ölçüm yapılan noktaya olan uzaklık
E	Elastisite Modülü
ν	Poisson oranı
T	Tork
J	Polar Atalet Momenti
G	Kayma Modülü
D	Çap
r	Yarı çap
τ	Kayma Gerilmesi
γ	Kayma açısı
θ	Burulma açısı

METALİK MALZEMELERİN ÇEKME DENEYİ

Hazırlayanlar: Arş. Gör. Oğuz TUNCEL, Arş. Gör. Gözde Rabia AKTAŞ

1. AMAÇ

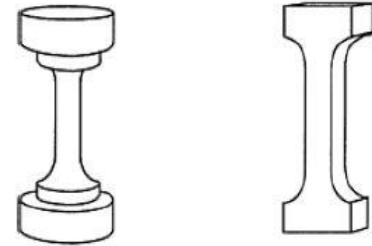
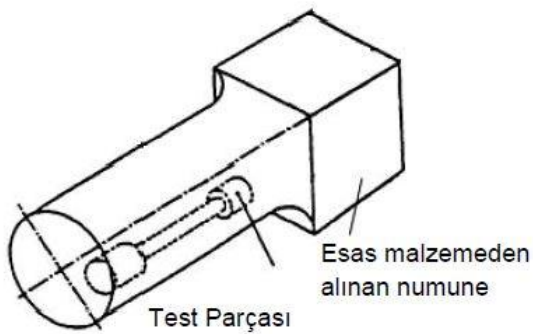
Çekme deneyi, malzemelerin statik yük altında elastik ve plastik davranışını belirlemek amacıyla uygulanır.

Çekme deneyi, asıl malzemeyi temsil etmesi için hazırlanan bir çekme çubuğu üzerinde gerçekleştirilir.

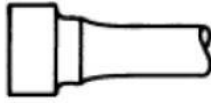
Çekme çubuğu şekli ve ölçüleri standartlara uygun olmalıdır.

Standartlara uygun olarak hazırlanmış deney numunesinin, tek eksenle, belirli bir hızla (darbesiz olarak) ve sabit sıcaklıkta koparıncaya kadar çekilir. Bu işlem sırasında uygulanan yük değerleri ve numunede oluşan uzama miktarları kayıt altına alınır. Kaydedilen değerlerden F- Δl grafiği çizilir (veya çekme cihazından alınır).

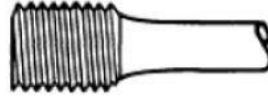
Örnek çekme deney çubuğu şekilleri:



Dairesel ve dikdörtgen kesitli deney numuneleri



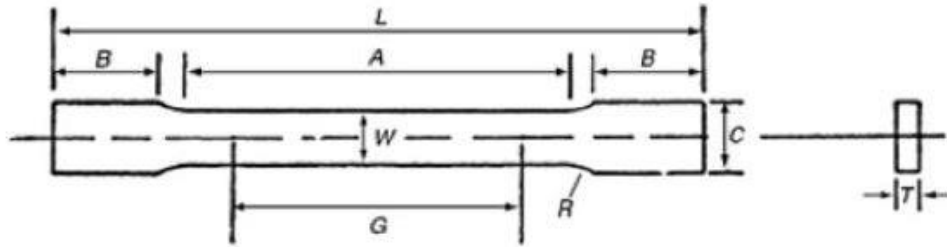
Faturalı bağlantı başı



Vidalı bağlantı başı



Delikli bağlantı başı



2. TANIMLAMALAR ve TEORİK BİLGİ

Akma Mukavemeti : (σ_A veya yeni gösterimle Re)

$$\sigma_{Akma} = \frac{F_{Akma}}{A_0} [N/mm^2] ; \text{ Akma noktası belirgin değilse } \sigma_{Akma} = \frac{F_{\epsilon=0,2}}{A_0} [N/mm^2]$$

Elastisite Modülü : (E)

Malzemelerin rijitliğinin bir ölçüsüdür. E modülü ne kadar büyük olursa, elastik uzama oranı da o kadar küçük olur. Metalik malzemelerin elastisite modüllerine alaşım elementlerinin, ısı ve mekanik işlemlerin pek fazla etkisi yoktur. Fakat sıcaklığın etkisi büyüktür. Sıcaklık artarsa E değeri azalır.

E'nin birimi hesaplandığı gerilme birimindedir.

Çekme diyagramında ilk bölgedeki doğrunun eğimidir.

Hook Kanununa göre; $\sigma = E \cdot \varepsilon$ den hesaplanır. Eşitlikteki gerilme, elastik sınır içindeki herhangi bir gerilmedir. ε ise elastik sınır içindeki söz konusu gerilmeye ait uzama oranıdır. Kısacası, Akma gerilmesi üst sınırına kadar aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$\sigma_i = E \cdot \varepsilon_i$$

Çekme Mukavemeti : ($\sigma_{\text{ç}}$ veya yeni gösterimle R_m)

Malzemelerin dayanabileceği en büyük mukavemet değeridir. Bu mukavemet değerine ulaşıncı çubukta kesit daralması (boyun verme) başlar.

$$\sigma_{\text{ç}} = \frac{F_{\text{max}}}{A_0} [N/mm^2]$$

Kopma Uzaması : (δ_k)

Malzemenin sünekliliğinin bir ölçüsüdür. Kalıcı şekil değiştirme yeteneğini verir. Bu değer ne kadar büyükse, malzemenin o kadar sünek olduğu anlaşılır.

$$\delta_{\text{kopma}} = \frac{\Delta l_{\text{kopma}}}{l_0} = \frac{l_{\text{kopma}} - l_0}{l_0}$$

Kesit Daralması : (r)

Kopma uzamasına benzer mekanik özellik bilgisi verir.

$$r = \frac{\Delta A_{\text{kopma}}}{A_0} = \frac{A_0 - A_{\text{kopma}}}{A_0}$$

Rezilyans : (U_R)

Malzemenin elastik olarak şekil değiştirdiğinde, absorbe ettiği enerjiyi, şekil değişimine neden olan kuvvetin kaldırılmasıyla geri vermesi özelliğine denir.

Rezilyans modülü ile ölçülür. Bu modül, çekme eğrisinin, elastik sınıra kadar olan kısmın alanına eşittir.

$$U_R = \frac{\sigma_A \cdot \varepsilon_A}{2} = \frac{(\sigma_A)^2}{2 \cdot E} [N/mm^2]$$

Buna göre, yüksek akma gerilmesi ve düşük elastisite modülüne sahip malzemler (örneğin yay çelikleri), yüksek rezilyans modülüne sahiptir.

Tokluk :

Malzemelerin, sünekliliğinin ve mukavemetinin bir ölçüsü olan tokluk, darbe şeklindeki yükleme ile belirlenebilecek bir mekanik davranış özelliğidir. Bu sebeple, çekme deneyi grafiğinden yararlanılarak, malzemelerin tokluk değerleri hakkında sadece karşılaştırma yapılabilir.

Çekme grafiğinin tamamı altında kalan alan değerlendirilerek fikir yürütülebilir.

Örnek olarak, yukarıdaki şekilden yararlanılabilir.

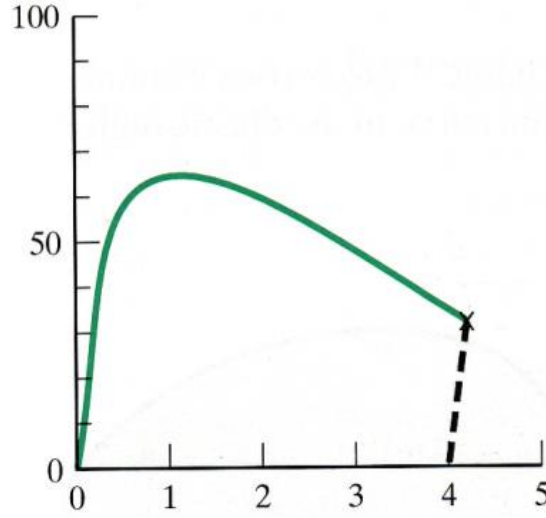
3. DENEY CİHAZI



Üniversitemiz laboratuvarında bulunan çekme cihazı yukarıdaki şekilde görülmektedir. Bu gün için çok mükemmel cihazlar geliştirilmiştir. Hidrolik ve elektronik sistemle çalışan, çeşitli yükleme kapasiteli olanları mevcuttur.

Ancak ister mekanik, isterse de elektronik donanımlı cihazlar olsun, deneyin tarifinde verilen aynı prensibe göre çalışırlar.

Cihazlarda otomatik kaydediciler, deney esnasında tatbik edilen yük ve uzama miktarını grafik olarak çizerler. Uzama miktarı apsiste, yük miktarı da ordinatta olacak şekilde ayarlanmıştır.



Deney esnasında cihaz tarafından çizilen yük-uzama (F- Δl) diyagramı

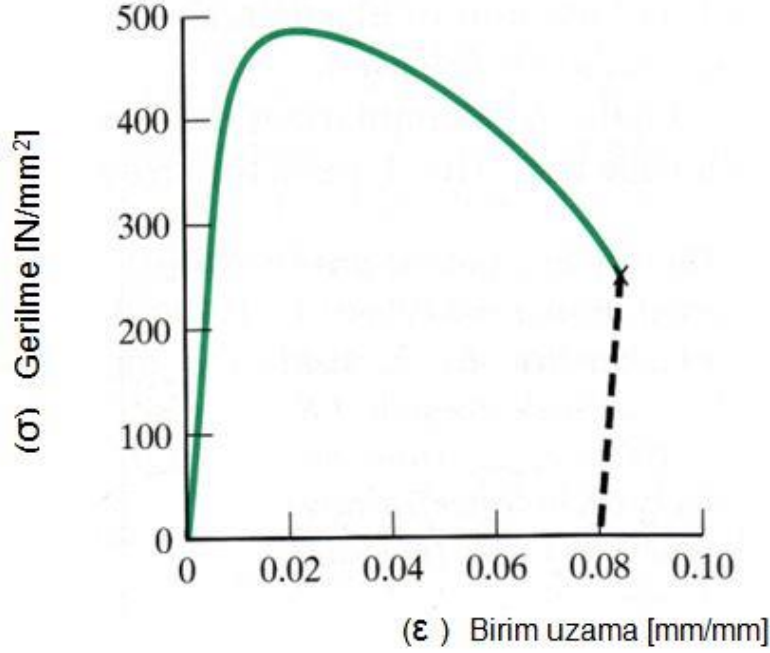
Deney sonucunda bulunan yük ve uzama miktarı, numunenin boyutlarına bağlı olarak, aynı malzemeden farklı sonuçların elde edilmesine sebep olur. Bu değerlerin, numune boyutlarından bağımsız hale getirmek için, gerilme-birim uzama (σ - $\% \epsilon$) değerlerine çevrilerek kullanılması, malzemelerin sınıflandırılması, kullanma yerlerinin seçimi v.b. hakkında tam fikir elde edilmesini sağlar.

Hesaplamalarda,

$$\text{Gerilme} \quad \sigma = F/A_0 \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

$$\% \text{ Uzama} \quad \% \epsilon = (\Delta l / l_0) \cdot 100$$

$\Delta l = l - l_0$ (l : çekmede ölçülen uzunluk, l_0 : deney başında ölçülen ilk boy)
olarak alınmaktadır.



σ - ϵ Çekme Diyagramı (Mühendislik Çekme Diyagramı)

F- Δl diyagramındaki bilgilerden faydalanılarak yapılan hesaplamalar sonucu çizilen (σ - ϵ) diyagramı yukarıdaki gibidir.

4. TEKNOLOJİK ÇEKME DİYAGRAMI (σ - ϵ) :

Söz konusu diyagramda görüldüğü gibi, OA lineer bir doğrudur ve artan bir gerilme ile orantılı olarak % uzamanın arttığı görülür. A noktasına kadar olan bölümde, gerilme sıfıra indirilirse (uygulanan yük numune üzerinden kaldırılırsa) % uzama noktası da sıfıra iner (belirli bir miktar uzayan numune ilk boyuna geri döner). İşte bu bölgeye (OA bölgesine) malzemenin **Elastik Bölgesi** denir. Bu bölgede Hook kanunu geçerli olup ($\sigma = E \cdot \epsilon$), OA doğrusunun eğimi malzemenin **elastisite modülünü** (E'yi) verir.

$$E = \sigma / \epsilon \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

A noktası burada **Elastik Sınır** veya orantı sınırı olarak tanımlanır.

$$\text{Elastik sınır} = F_A/A_0$$

A noktasından itibaren, artan gerilme ile orantılı olmayan bir şekil değiştirme meydana gelir. Daha az artan bir gerilmeye karşılık, daha büyük değerde şekil değiştirme olduğu görülür.

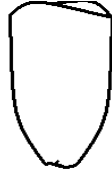
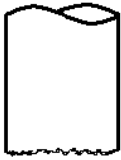
B noktasına gelindiğinde, l_0 boyu içerisinde bir bölgede, numune kesitinde gözle farkedilebilecek mertebede bir incelme meydana gelir. Buna **boyun verme (kesit daralması)** denir. Kesitin daralmaya başladığı andaki en büyük gerilme, **çekme gerilmesidir**.

B noktasında başlayan kesit daralması, BC arasında daha da artarak devam eder ve numune C noktasında kopar. Kopma anındaki gerilme de **kopma gerilmesidir**.

$$\text{Çekme dayanımı} = F_{\max}/A_0 \quad [\text{N/mm}^2]$$

$$\text{Kopma dayanımı} = F_{\text{kopma}}/A_0 \quad [\text{N/mm}^2]$$

Metalik malzemelerin çekme deneyi sonucundaki kopma şekilleri şematik olarak aşağıdaki gibidir;



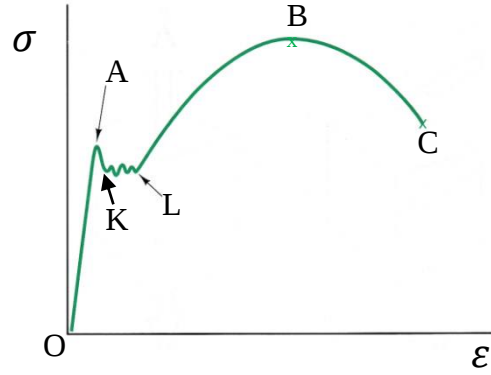
•

(b)

(c)

Genel olarak iki tür kopma şekli ile karşılaşılır, gevrek kopma (a) ve sünek kopma (b ve c).

Bazı malzemelerde (özellikle az ve orta karbonlu çeliklerde) orantı sınırı bitip plastik şekil değiştirmeye başlamadan önce değişik bir akma olayı ile karşılaşılır.



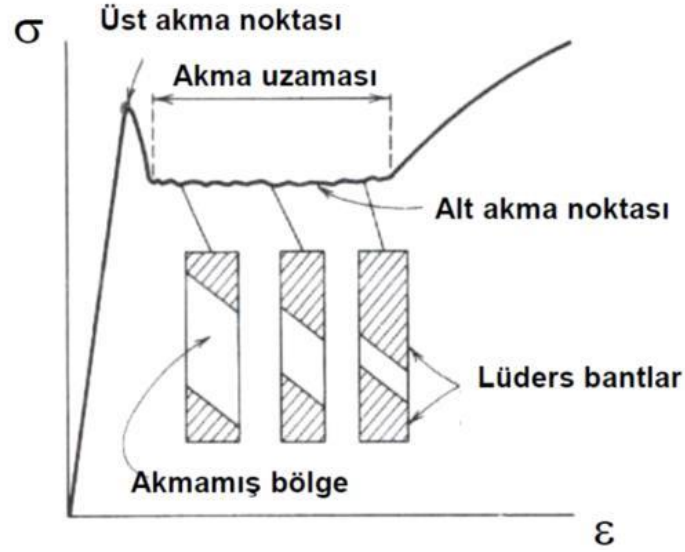
A noktasına gelindiğinde, gerilme sabit olmasına rağmen numunede uzama gözlenir ve olay KL arasında devam eder.

Bu tip akma olayı, malzemedeki dislokasyonların kilitlenmesi ve çoğalması ile açıklanmaktadır.

A noktasındaki gerilmeye **üst akma noktası**, K noktasındaki gerilmeye de **alt akma noktası** adı verilir.

Düşük karbonlu çeliklerde görülen belirgin akma (üst akma ve alt akma sınırı) görülmektedir. Arayer atomları (C, N) dislokasyonların altındaki çekme gerilmesi bölgesine difüze olurlar ve Cottrell **Atmosferi** diye anılan atom yığılmalarını oluştururlar. Cottrell atmosferi dislokasyonun hareketini engeller. Dolayısıyla dislokasyonun hareket edebilmesi için Cottrell atmosferinden kurtulması, bunun için de uygulanan gerilmenin yükseltilmesi gerekir. Gerilme, dislokasyonları atmosferlerinden kurtardığı anda gerilme değerinde ani bir düşme olur. Akmanın bu şekilde meydana geldiği en yüksek nominal gerilme değerine üst akma sınırı, akmanın devam ettiği ortalama nominal gerilmeye alt akma sınırı denir.

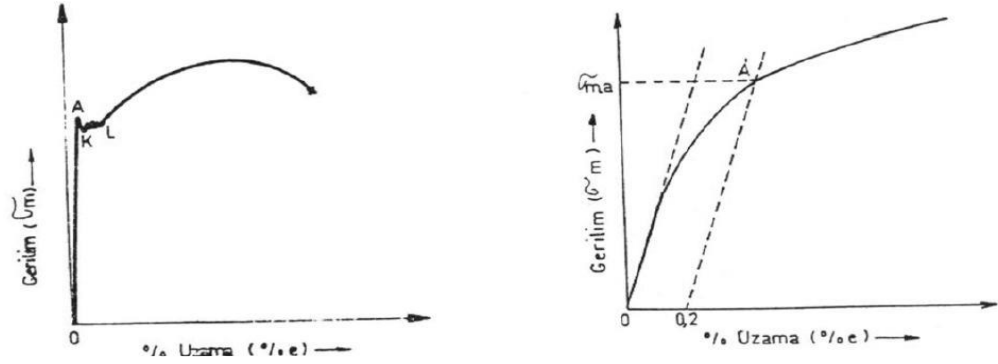
Üst akma sınırından sonra çekme çubuğunda şekil değişimi homojen olmaktan çıkar ve akma boyunca çubukta çekme doğrultusu ile yaklaşık 45° açı yapan bantlar oluşur. **Lüders-Hartmann bantları** olarak adlandırılan bantlar akma süresince tüm çekme çubuğuna yayılır.



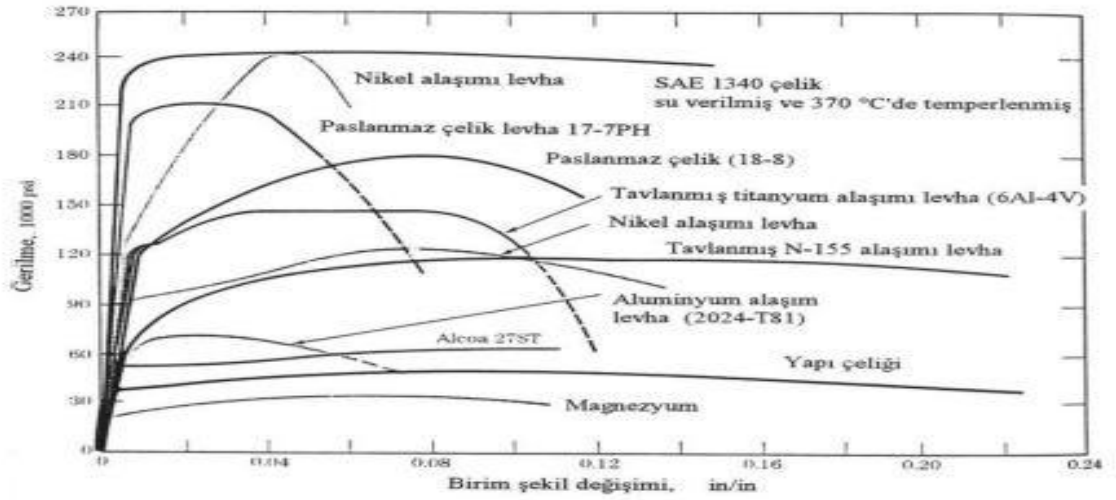
Çekme deneyinde parça uzarken kesit yüzeyi de azalır. Deney çubuğunun eksenine dik doğrultudaki birim şekil değiştirme (en veya kalınlık doğrultusu) ile aksenal (boyuna) doğrultudaki birim şekil değiştirme arasındaki oranın mutlak değerine **poisson oranı** denir.

$$\nu = \frac{-\varepsilon_{enine}}{\varepsilon_{boyuna}}$$

Akma olayı, bütün malzemelerde **belirgin akma** şeklinde değildir, **sürekli akma** özelliğine de sahip olabilirler. Mühendislik değerlendirmeleri açısından elastik sınır önemli olduğundan malzemelerin akma sınırlarının bilinmesi gereklidir. Bu durumda akma gerilmesi, diyagram üzerinde belirli bir kalıcı uzamaya ($\varepsilon = \% 0,2$) karşılık gelen gerilme olarak tanımlanır. (Aynı tarif, “çekme grafiği üzerindeki elastik doğruya, $\varepsilon = \% 0,2$ noktasından çizilen paralelin eğiriyi kestiği noktadaki gerilmedir” şeklinde de verilebilir.)



Şekilde belirgin akma göstermeyen bir malzemenin akma dayanımının belirlenmesini gösteren diyagram gösterilmiştir.



Bazı metal ve alaşımlarının mühendislik Gerilim-Uzama Diyagramı yukarıdaki şekilde verilmiştir.

5. KAYNAKLAR

- 1) Uludağ Üniversitesi Malzeme Bilimi Ders Notları.
- 2) İstanbul Üniversitesi Çekme Deneyi Föyü.
- 3) Celal Bayar Üniversitesi Çekme Deneyi Föyü.

İŞINIMLA ISI TRANSFERİ DENEYİ

Hazırlayanlar: Arş. Gör. Dr. Nurullah ARSLANOĞLU

1. AMAÇ

İşinimla ısı transferi olayının tanıtılması, Stefan-Boltzman kanunun gösterilmesi ve çeşitli metal plakaların yayma katsayılarının bulunması.

2.TEORİ ÖZETİ

Elektromanyetik dalgalar şeklinde veya fotonlar vasıtasıyla gerçekleşen ısı transferi şekline *ışınım*la (radyasyonla) ısı transferi denir. Işınımın fiziksel mekanizması henüz tam olarak bilinmemekte ve açıklanamamaktadır. Bazı ışınım olayları dalga teorisi ile bazı ışınım olayları ise kuantum teorisiyle açıklanabilmektedir. İster foton karakterinde, ister dalga karakterinde olsun ışınım, boşlukta ışık hızı ($c_0 = 2,998.10^8$ m/s) ile ilerler. Elektromanyetik dalgaların veya fotonların ilerlemesi için maddesel bir ortama ihtiyaç yoktur.

Bazı ısı transferi problemlerinde ışınım ile ısı transferi ihmal edilebilmektedir (örn. radyatörlerde ışınım, toplam ısı transferinin %5-20'sini oluşturur). Fakat sıcak bir borudan çevreye olan ısı transferinde ışınım ile ısı transferi taşınım yoluyla olan ısı transferine eşit olabilmektedir. Bu durumda ışınımı ihmal etmek büyük hatalara neden olmaktadır. Bu yüzden mühendisler hesaplarında, duruma göre ışınım ile ısı transferini de hesaba katmak, ihmal etmemek zorundadırlar.

Bir cismin uzaya yaydığı toplam ışınım enerjisi (G), başka bir cisme rastladığında üç olay meydana gelir. Enerjinin bir kısmı (R) cismin yüzeyinden yansarak uzaya dağılır, bir kısmı (τ) cismin içinden geçerek diğer yerlere akar, bir kısmı da (A) cismin içinde absorplanır (yutulur). Bu durumda,

$$G = R + \tau + A$$

yazılabilir. Bu denklemde bütün terimler G ile bölünürse,

$$\rho = \frac{R}{G} \quad : \text{ışınım yansıtma oranı, yansıtılan ışıının gelen ışıına oranı}$$

$$\alpha = \frac{A}{G} \quad : \text{ışınım yutma oranı, yutulan ışıının gelen ışıına oranı}$$

$$\tau = \frac{\tau}{G} \quad : \text{ışınım geçirme oranı, geçirilen ışıının gelen ışıına oranı}$$

olmak üzere,

$$\alpha + \tau + \rho = 1$$

bağıntısı elde edilir. Burada ρ , malzemenin cinsine ve yüzeyin pürüzlülüğüne bağlıdır. α ve τ ise cismin fiziksel özelliklerine bağlıdır.

Eğer bir yüzey, üzerine gelen bütün ışıını yansıtıyorsa ($\rho=1$) bu yüzey *beyaz cisim* olarak adlandırılır. Eğer bir yüzey, üzerine gelen bütün ışıını yutuyorsa ($\alpha=1$) bu yüzey *siyah cisim* olarak adlandırılır. Gazlar ise (özellikle seyrek gazlar) ışıını hemen hemen yutmadıklarından ve yansıtmadıklarından ($\tau=1$) *saydam cisim* olarak adlandırılır.

2.1 Siyah Cismin Neşretme (Yayma) Gücü

İdeal ısıyıcı olarak tanımlanan siyah cisim, verilen bir sıcaklıkta mümkün olan maksimum ışıını neşreden ve üzerine gelen bütün ışıını yutan bir yüzeydir.

İdeal ısıyıcının (siyah cismin) ışıını neşretme gücü,

$$E_s = \sigma \cdot T^4 \quad [W/m^2]$$

şeklinde yazılabilir. Burada σ , Stefan –Boltzman katsayısı olup değeri aşağıda verilmiştir.

$$\sigma = 5,67.10^{-8} \quad [W/m^2K^4]$$

Gerçek bir cismin neşrettiği ışıını, aynı sıcaklıkta siyah cismin neşrettiği ışıından daha azdır. Gerçek cismin ışıını neşretme gücü,

$$E = \epsilon \cdot E_s = \epsilon \cdot \sigma \cdot T^4 \quad [W/m^2]$$

bağıntısı ile verilir. Burada ϵ , gerçek yüzeyin neşretme gücünün aynı sıcaklıktaki siyah yüzeyin neşretme gücüne oranı şeklinde tarif edilir ve *yayma katsayısı (emissivite veya yayma oranı)* olarak adlandırılır.

Gerçek cisimler için ϵ , büyük oranda yüzeyin yapısına bağlı olup, radyasyon dalga boyu, ışının gelişi, yüzey sıcaklığına da bağlıdır. Fakat bu genellikle pratik hesaplama yapılacağı zaman ortalama değerler kabul edilir. Çeşitli malzemelerin yayma katsayıları çeşitli kitap ve kaynaklarda bulunabilir. Gerçek cisimler için yayma katsayısı 0 ile 1 arasında değişir ($0 < \epsilon < 1$).

2.2 Yüzeyler Arasında Işınım İle Isı Transferi

Yüzeyler arasındaki ışınlama ısı transferini, yüzeylerin birbirlerine olan geometrik konumları etkilemektedir.

Görüş Faktörü

Herhangi bir yüzeyin (A_i) yapmış olduğu ışınlamın diğer bir yüzeye (A_j) düşen kısmına *görüş faktörü* (F_{ij}) denir. Burada, ilk alt indis ışınlamın geldiği ikinci alt indis ışınlamın düştüğü yüzeyi gösterir.

Görüş faktörü, sıcak yüzey (ışınım yapan yüzey) ile soğuk yüzey arasındaki pozisyonun geometrisi ile ilgili bir terimdir. Işınım dalgaları doğrusal bir hat boyunca yayıldıklarından, bir cismin diğerini görüp görmemesine veya görme açısına bağlı olarak ışınlam değişiklik gösterir. Görüş faktörünün hesaplanabilmesi için birçok yöntem, tablolar ve diyagramlar vardır. Bunların bir kısmı kitaplarınızda verilmiştir. Görüş faktörü verilen tanımdan da anlaşılacağı gibi ışınlam yapan cisimlerin birbirlerine olan konumlarına (görüp görmemesine veya ne oranda gördüğüne) göre 0 ile 1 arasında değişir.

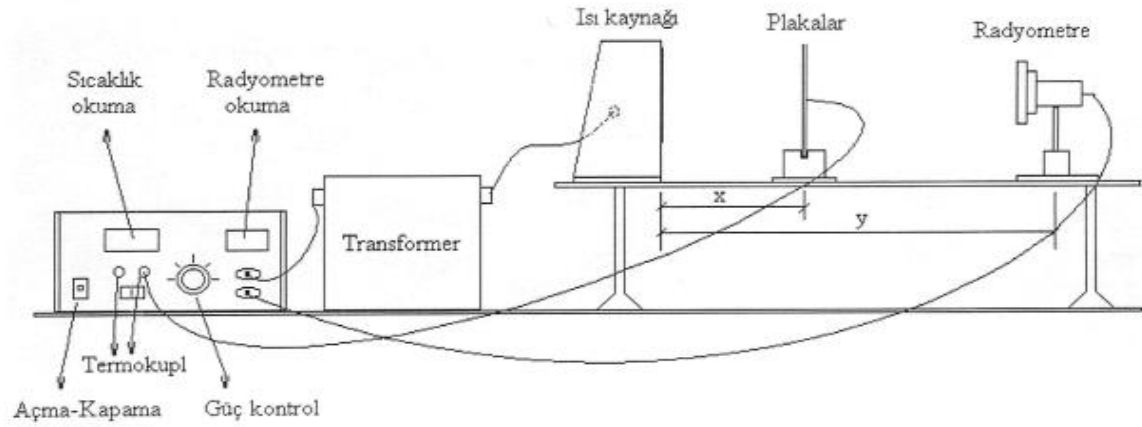
Bir yüzeyin neşretme gücü

$$E = \epsilon \cdot \sigma \cdot T^4 \quad [W/m^2]$$

idi. Buna göre bir yüzeyden ışınlama olan net ısı transferi, yüzeyin yapmış olduğu ışınlam ile yüzeye çevreden olan ışınlamın farkıdır.

$$q = Q/A = \epsilon \cdot \sigma \cdot (T_1^4 - T_2^4) \quad [W/m^2]$$

3. DENEY TESİSATI



4. DENEYİN YAPILIŞI

Isıtıcı kaynağının gücü, güç kontrol ünitesi vasıtasıyla maksimum değere ayarlanır. Isıtıcı kaynağının önüne $x=50$ mm olacak şekilde mat siyah bir plaka yerleştirilir. Bu plaka üzerindeki mevcut termokupl ile kontrol paneli üzerinden sıcaklığın yükselişi gözlenir. Sıcaklık maksimum değere geldikten sonra güç kesilir ve $y=110$ mm uzaklığa yerleştirilen radyometre vasıtası ile siyah plaka üzerinden yayılan ısı (R), W/m^2 olarak okunur. Radyometreden okunan bu değer ile, radyometrenin görüş açısına (Θ) bağlı olarak bulunan 5,59 katsayısı çarpılarak radyasyonla transfer edilen gerçek ısı ($q_{gerç}$) bulunur. T_{cev} , ortam sıcaklığı da ölçülerek aşağıdaki tablo oluşturulur.

2

Mak.Yük.Müh. Ömer Kaynaklı

$$R = q \cdot \sin^2 \Theta$$

$$\Theta = 25^\circ \Rightarrow q_{gerç} = 5,59 \cdot R$$

Buraya kadar anlatılan işlemler siyah plaka için yapıldığı gibi, parlak plaka ve gümüş kaplama plakalar için de tekrarlanır ve plakaların yayma katsayıları bulunur. Sonuçlarda olumsuzluk varsa nedenleri yorumlanır.

Okunan Değerler			Hesaplamalar	
T_y [K]	T_{cev} [K]	R [W/m ²]	$q_{gerç}$ [W/m ²]	ϵ