



BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

MAK4404 MAKİNE UYGULAMA
LABORATUVARI

2022-2023 GÜZ DÖNEMİ

Önsöz

Bu doküman MAK4404 Makine Uygulama 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.

Ekim 2022

Laboratuvar Komisyonu

RAPOR HAZIRLAMA KURALLARI

1. Temel Bilgiler

Makine Mühendisliği öğrencilerinin hazırlayacakları raporların, Makine Uygulama Laboratuvarı ve Genel Makine Laboratuvarı dersleri için bu belgede açıklandığı biçimde hazırlamaları amaçlanmaktadır.

Bir rapor; 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. Kâğıt 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 1.1 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.



MAK4404 MAKİNE UYGULAMA LABORATUVARI

DENEY RAPORU

DENEY NO: 5

TORNA İŞLEMLERİNDE KESME KUVVETLERİNİN ve YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNÜN ÖLÇÜLMESİ DENEYİ

Deney Yapılış Tarihi : 16.11.2022

Rapor Teslim Tarihi : 23.11.2022

Deney Grubu : A1

Deney Sorumlusu : Prof. Dr. M. Cemal ÇAKIR

Raporu Kabul Eden : Dr. Cihat ENSARİOĞLU

Raporu hazırlayan(lar) : 0318200?? XXXXX YYYYYY

0318200?? 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 DÜZENEGİ, 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, Referansın açık adı, referansın yayımlandığı 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
2022-2023 GÜZ YARIYILI



GRUPLAR

ÇARŞAMABA Günleri

Örgün Eğitim: 15:30-17:00

İkili Eğitim: 13:50-15:20

Saatleri arasında 12/17 Kişilik, Ders İsim Listelerine göre Laboratuvar Komisyonu Tarafından Belirlenen ve İlan Edilen Gruplarla yapılacaktır.

| | | | | |
|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| A1 15:30-16:15 | B1 15:30-16:15 | C1 15:30-16:15 | D1 15:30-16:15 | E1 15:30-16:15 |
| A2 16:15-17:00 | B2 16:15-17:00 | C2 16:15-17:00 | D2 16:15-17:00 | E2 16:15-17:00 |
| 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 |



**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ 2018- 2019 GÜZ YARIYILI
MAK4404 MAKİNE UYGULAMA LABORATUVARI, DENEY PROGRAMI**

| D. No | Deneyin Adı | Sorumlu Öğretim Elemanları | Deneyin Yeri | GRUPLAR | | | | |
|-------|---------------------------------------|---|---------------------------|--|--|--|--|--|
| | | | | A1 15:30-16:15 A2 16:15-17:00 F1 13:50-14:35 F2 14:35-15:20 | B1 15:30-16:15 B2 16:15-17:00 G1 13:50-14:35 G2 14:35-15:20 | C1 15:30-16:15 C2 16:15-17:00 H1 13:50-14:35 H2 14:35-15:20 | D1 15:30-16:15 D2 16:15-17:00 I1 13:50-14:35 I2 14:35-15:20 | E1 15:30-16:15 E2 16:15-17:00 J1 13:50-14:35 J2 14:35-15:20 |
| 1 | Çentik Darbe | A.Bayram , Arş. Gör. M. Altay, O. Çavuşoğlu, Ç. Dindar, M. Küçüköğlü (Numune Yok) | Malzeme Lab. | 19 EKİM | 26 EKİM | 02 KASIM | 09 KASIM | 16 KASIM |
| 2 | Dişli Deneyi | F.Karpat , E. Kartal, F.G. Dede, K. Ayas(Fren Problemlili gibi, Onur Can arkadaşları hazırlayacak) | Makine ElemanlarıLab. | 16 KASIM | 19 EKİM | 26 EKİM | 02 KASIM | 09 KASIM |
| 3 | Isı Değiştirici Deneyi | E. Pulat , Arş. Gör. Rumeysa Yalındağ, E.C. Çömez, M. Saru | Isı Tekniği Lab. | 09 KASIM | 16 KASIM | 19 EKİM | 26 EKİM | 02 KASIM |
| 4 | Basınç Kayıpları | A.Özalp , Arş. Gör.Y. Şen, E. Oruç, M. U. Sabırlı, B. Kişin | Isı Tekniği Lab. | 02 KASIM | 09 KASIM | 16 KASIM | 19 EKİM | 26 EKİM |
| 5 | Elektrohidrolik Konum Denetim Sistemi | E.E. Topcu , E. C. Çelik, Arş. Gör. M.A. Özel, Arş. Gör. E. Düzgün | Mak. Teorisi ve Din. Lab. | 26 EKİM | 02 KASIM | 09 KASIM | 16 KASIM | 19 EKİM |

Ders kayıtları olup ta listede adı olmayan öğrencilerin Efe SAVRAN(efesavran@uludag.edu.tr) 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.



**MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ 2018- 2019 GÜZ YARIYILI
MAK4404 MAKİNE UYGULAMA LABORATUVARI, DENEY PROGRAMI**

| D. No | Deneyin Adı | Sorumlu Öğretim Elemanları | Deneyin Yeri | GRUPLAR | | | | |
|-------|---|--|---------------------------|--|--|--|--|--|
| | | | | A1 10:30-11:15 A2 11:15-12:00 F1 13:50-14:35 F2 14:35-15:20 | B1 10:30-11:15 B2 11:15-12:00 G1 13:50-14:35 G2 14:35-15:20 | C1 10:30-11:15 C2 11:15-12:00 H1 13:50-14:35 H2 14:35-15:20 | D1 10:30-11:15 D2 11:15-12:00 I1 13:50-14:35 I2 14:35-15:20 | E1 10:30-11:15 E2 11:15-12:00 J1 13:50-14:35 J2 14:35-15:20 |
| 6 | Tornalama İşlemlerinde Kesme Kuvvetlerinin Belirlenmesi | C.Çakır , Arş. Gör. Dr. C. Ensarioğlu, A. Bakırcı | Torna Tesviye Atölyesi | 23 KASIM | 30 KASIM | 07 ARALIK | 14 ARALIK | 16 KASIM |
| 7 | Katı Cisimlerin Isı İletim Katsayılarının Tayini | A.Yiğit , Arş. Gör. M.T. Uysal, S. Biçer | Isı Tekniği Lab. | 16 KASIM | 23 KASIM | 30 KASIM | 07 ARALIK | 14 ARALIK |
| 8 | Kam Mekanizmaları | O. Kopmaz , Arş. Gör. E. Düzgün, Arş. Gör. M. A. Özel | Mak. Teorisi ve Din. Lab. | 14 ARALIK | 16 KASIM | 23 KASIM | 30 KASIM | 07 ARALIK |
| 9 | Naca Deneyi | H.Umur , E. Oruç, M. U. Sabırlı, B. Kişin | Akışkanlar Mekaniği Lab. | 07 ARALIK | 14 ARALIK | 16 KASIM | 23 KASIM | 30 KASIM |
| 10 | Hidrodinamik Kaymalı Yataklarda Basınç Dağılımı Deneyi | G.Karadere , H. Demir, H. Kır Arş. Gör. Meryem Altay | Mak. Elm. Ve Mekanik Lab. | 30 KASIM | 07 ARALIK | 14 ARALIK | 16 KASIM | 23 KASIM |

Ders kayıtları olup ta listede adı olmayan öğrencilerin Efe SAVRAN (efesavran@uludag.edu.tr) ile irtibata geçmeleri gerekmektedir.

Kesinlikle gruplar arası değişim yapılmayacaktır.

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

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

28 KASIM 2022 ve 5 ARALIK 2022 tarihlerinin YILİÇİ SINAV haftası olduğu varsayılmıştır. Gerekirse tarihler kaydırılacaktır.

RAPOR HAZIRLANMASI ve TESLİMİNDE DİKKAT EDİLMESİ GEREKEN KONULAR

- Listelerde belirtilen guruplar ve alt guruplar bölüm tarafından hazırlanmış ve değiştirilmeyecektir. İlgili alt guruplar tüm dönem boyunca yapılacak deneylerde aynı kalacaktır. Alt gurup **birlikte hazırlayacakları** ortak bir rapor sunacaklardır.
- Föyde yazılan teorik bilgi sadece özet şeklinde olduğundan rapor için yetersizdir. Bu yüzden teori daha geniş kapsamlı olarak araştırılıp yazılmalıdır.
- Şekiller ve grafikler düzgün bir şekilde bilgisayarla çizilmelidir. Bilgisayar kullanma imkânı yoksa grafikler cetvelle milimetrik kâğıda çizilmeli, serbest el çizimi yapılmamalıdır.
- Bilgisayarla yazılan raporlar farklı fontlar altında çoğaltılırsa rapor sonucu sıfır olarak değerlendirilir. Bu yüzden bir rapor orijinal ve tek olmalıdır. Bu yüzden, raporlarda aynı şekillerin kullanılması, özetin aynı kaynaktan alınması, benzer cümleler seçilmesi gibi kuşku uyandıracak durumlardan sakınılmalıdır.
- Sonuçlar ve yorumlar, raporu hazırlayan kişi/kişilerin şahsi görüşleri olmalıdır, böyle durumlarda ifade ve yorum benzerlikleri kopya şüphesi uyandıracığından her öğrencinin/grubun raporunu kendi çabasıyla hazırlaması menfaatinindedir.
- Sınav gününe kadar raporun teslim edilememesi ihtimaline karşı raporun bir kopyasının öğrencide bulunması yararlı olur.
- Rapor yazımı düzgün, okunaklı bir şekilde olmalı ve renkli kalem kullanılmamalıdır.
- Raporlar deneyden bir hafta sonra (deneyin yapıldığı gün) saat 17.00'e kadar deneyi yaptıran sorumlu öğretim elemanına alt grubun **tüm elemanları bulunmak kaydıyla** sunulacak ve **alt grubun tüm elemanları** öğretim elemanı tarafından **sözlü sınava** tabii tutulacaktır. Gecikilen her gün rapor notunun düşmesine neden olacaktır. Sözlü sınavın rapor notuna katkısı %30 oranındadır.
- Raporlar plastik telli bir dosya içinde teslim edilecek ve bilgisayarda veya okunabilir bir yazı ile yazılacaktır. Rapor düzeni, rapora verilecek notta dikkate alınacak bir unsurdur.
- Her raporda bulunması gereken bölümler ve bu bölümlerin içerikleri aşağıdaki gibidir.
 - > **İçindekiler:** Bölüm başlıkları ve sayfa numaraları verilmelidir.
 - > **Giriş:** Deney konusunun özeti verilmelidir.
 - > **Teori:** Deneyin konusuna açıklık getirecek teorik bilgiler verilecektir. Burada konuya yabancı bir kişinin raporunuzu okuyup anlamasına yetecek kadar bilgi verilmelidir.
 - > **Deney Düzeneği, Kullanılan Alet ve Cihazlar:** Deney düzeneği şematik olarak gösterilerek üzerindeki elemanların işlevleri kısaca açıklanmalıdır.
 - > **Deneyin Yapılışı:** Bu bölümde verilecek bilgiler, konuya uzak olan bir kişinin dahi yazılanları takip ederek deneyi kolaylıkla yapabilmesini sağlayacak açıklıkta olmalıdır.
 - > **Veriler ve Ölçüm Değerleri:** Deneye ait veriler ve deney sırasında alınan ölçümler birimleriyle birlikte tablolar halinde sunulmalıdır.
 - > **Hesaplamalar ve Sonuçlar:** Deneye ait hesaplamaların yapılacağı bölümdür. Hesaplamalar açık bir biçimde bu bölümde gösterilecektir. Tekrar olacaksa, hesaplama tek bir ölçüm için açık bir şekilde yapılarak, diğer ölçümler için bulunan sonuçlar sadece tablo halinde verilebilir.
 - > **Varılan Sonuç ve Tavsiyeler:** Bu bölümde, deney sonunda varılan sonuç ile amaç arasındaki bağının açığa kavuşturulacak şekilde yazılması gerekmektedir. Daha iyi sonuçlar elde edebilmek için deneyde ve metotta ne gibi değişikliklere ihtiyaç duyulduğu ve bunların niçin yapılamadığı anlatılmalıdır.
 - > **Ek:** Bu bölüm gerek duyulursa oluşturulacaktır. Ekler kısmına, rapor akışını bozacağı düşünülen hesaplamalar, şekiller ve grafikler konulabilir.
 - > **Kaynaklar:** Faydalanılan kitap ve yazarları alfabetik sıra ile verilmelidir.
- Rapor kapağında deneyin adı, deney no, yapan kişiler, numaralar, deneyin yapılış ve rapor teslim tarihi ile deney sorumlusu ve raporu kabul eden kişi örnek rapordaki esasa göre belirtilecektir.
- Öğrenciler dönem başında belirtilen guruplarda deneye girmek zorundadır. Mazereti olmaksızın ve haber vermeksizin grup değiştirenlerin raporu reddedilir.
- Hastalık gibi geçerli bir nedenle grubunda deneye katılmayan öğrenci deneye ertesi hafta bir başka gurupla öğretim elemanından izin almak şartıyla katılabilir. Ancak bu kazanılmış bir hak olmayıp tamamen öğretim elemanının inisiyatifindedir. Öğretim elemanı mazereti yetersiz gördüğünde öğrenciyi başka bir gurupla deneye almayabilir.
- Rapor ortalaması, yılsonu başarı notuna %20 oranında etki edecektir.
- Raporların tesliminde 5 iş günlük gecikme raporun reddine sebep olur. Raporun tesliminde gecikilen her iş günü için 5 puan kırılır.
- Düzeltilmek üzere geri çevrilen raporun teslim süresi iadeyi izleyen 3 iş günüdür.
- Girilmeyen deneyin raporu kabul edilmez ve rapor değerlendirme puanı sıfırdır.
- Uygulamalarda (deneye katılma) en az %80 devam şartı aranır. Bu şartı sağlamayan öğrenci devamsızlık nedeniyle başarısız olur.



**ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ, MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ, MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ
MAK4404 MAKİNE UYGULAMA LABORATUARI DERSİ DENEY TASARIMI ÖDEV KONULARI**

Bu ödevin amacı, MAK4404 Makine Uygulama Laboratuvarı dersini alan öğrencilerin Makine Mühendisliği ile ilgili konularda karşılaşılabilecek bazı fiziksel büyüklüklerin/sistem davranışlarının 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 | Yüzey sertlik ölçümünün belirlenmesi deneyi Bu deneyde, farklı tür malzemelere sahip yüzeylerin farklı standartlara göre sertliğinin belirlenmesi. |
| A2-F2 | Krişlerde farklı yüklemelere göre sehimler ölçüm deneyi Bu deney, ankastre krişlerde yayılı yük ve tekil yük yükleme durumunda belirlenen farklı kesitlerde sehimlerin bulunması amacıyla olmalıdır. |
| B1-G1 | Kapalı kutularda sıvı seviye ölçüm deneyi Bu deneyde, özellikle sefa olmayan teneke kutulu sıvı sıvı ürünlerin dolun esnasında hatta hareket esnasında seviyesinin ölçümünü amaçlamaktadır. |
| B2-G2 | Elektromıknatlarda kuvvet yerdeğiştirme karakteristiğinin çıkarılması Bu deneyde, farklı sabit gerilim uygulanana elektromıknatısların farklı hava aralığında (sabit gövde ile hareketli eleman arasındaki) sağladığı mıknatıs kuvvetini bulan ve belli aralıkta bu karakteristiğinin çıkarılmasını amaçlamaktadır. |
| C1-H1 | Meknaik preslerde baskı kuvvetinin belirlenmesi deneyi Bu deneyde mekanik preslerin özellikle iş yapma süresince yaptığı baskı kuvvetinin belirlenmesi amaçlanmıştır. |
| C2-H2 | Eriyik demir sıcaklığının ölçülmesi deneyi Bu deneyde, şekil verilmek üzere ergitilen demir malzemenin temassız sıcaklığını ölçme amaçlanmıştır. |
| D1-I1 | Debi kontrol sisteminde denetim organı parametrelerinin ayarlanması deneyi Bu deneyde debi kontrolünü sağlayan denetim organının PID parametrelerinin ayarlanması amaçlanmaktadır. |
| D2-I2 | Momentum (Tork) ölçme deneyi Bu deneyde farklı mekanizmalar (dişli kutusu, kayış kasnak, kavrama) ile tork aktaran bir elektrik motorunun tork değerlerinin belirlenmesi amaçlanmaktadır. |
| E1-J1 | Araç far ışık şiddeti ölçümü ve doğru pozisyonlandırılması deneyi Bu deneyde araç far ışığının kısa-uzun gibi durumlarında ışık şiddetinin ölçülmesini ve doğru pozisyonlandırılması amaçlanmaktadır. |
| E2-J2 | Araç içi gürültünün belirlenmesi deneyi Bu deneyde, hafif ticari olarak kullanılan bir aracın seyahat esnasında kabin içindeki ses haritasının çıkarılması amaçlanmaktadır. |



T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ
2022-2023 GÜZ YARIYILI



ÖDEV TESLİM KURALLARI

- Ödevin ders notuna katkısı % 5 olarak belirlenmiştir. (%20 Rapor, %15 Ara Sınav, %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 **21 Aralık 2022** Çarşamba günü, saat 17:00'ye kadar maklab@uludag.edu.tr adresine elektronik olarak teslim edilmelidir. Bu tarihten sonra ödev alınmayacaktır.



T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ
2022-2023 GÜZ YARIYILI



BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

MAK4404 MAKİNE UYGULAMA
LABORATUVARI DERSİ

DENEY FÖYLERİ

2022-2023 GÜZ DÖNEMİ

İÇİNDEKİLER

| | |
|--|----------------------------------|
| METALİK MALZEMELERİN DARBE DENEYİ (CHARPY)..... | 14 |
| DİŞLİ VERİMLİLİĞİNİ BELİRLEME DENEYİ..... | 26 |
| <u>ISI DEĞİŞTİRİCİ DENEYİ</u> | 127 |
| TAM KLİMA TESİSATI DENEYİ (Bu Yıl Yapılmayacak) | 34 |
| BASINÇ KAYIPLARI DENEYİ | 46 |
| TOPARLAK İZLEYİCİLİ, RADYAL KAM MEKANİZMASININ DİNAMİK DAVRANIŞI VE KUVVET KAPALILIĞIN BOZULDUĞU KRİTİK DEVİR SAYISININ TAYİNİ DENEYİ..... | 65 |
| TORNA İŞLEMLERİNDE KESME KUVVETLERİNİN ve YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNÜN ÖLÇÜLMESİ DENEYİ..... | 74 |
| KATI CİSİMLERİN ISI İLETİM KATSAYISI TAYİNİ..... | 91 |
| ELEKTROHİDROLİK BİR SİSTEMİN KONUM DENETİMİ | 104 |
| NACA 0012 KANAT PROFİLİNİN RÜZGAR TÜNELİNDE İNCELENMESİ..... | 113 |
| HİDRODİNAMİK KAYMALI YATAKLARDA BASINÇ DAĞILIM DENEYİ..... | Hata! Yer işareti tanımlanmamış. |

METALİK MALZEMELERİN DARBE DENEYİ (CHARPY)

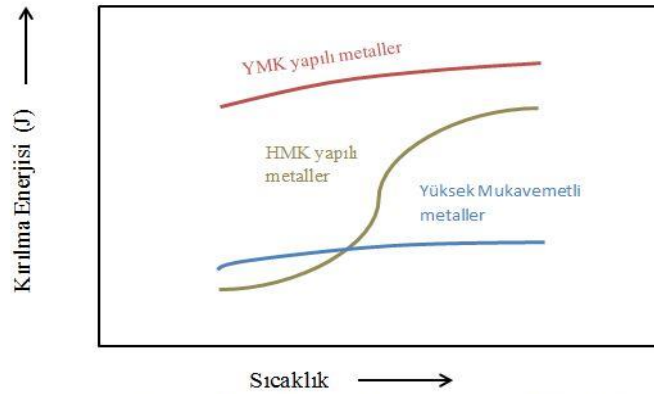
Hazırlayanlar:

1. Amaç

Darbe deneyinden, metallerin kırılma davranışlarının tespitinde yararlanılır. Metallerin özellikle gevrek kırılmaya uygun şartlardaki malzemelerin mekanik özellikleri hakkında fikir sahibi olmamızı sağlar.

2. Giriş

Genellikle metallerin mekanik özellikleri hakkında fikir sahibi olmak için çekme deneyi sonuçlarından faydalanılır. Çekme deneyi ile elde edilen gerilme-şekil değiştirme (% uzama) diyagramında iyi bir uzama gösteren metalin sünek olacağı, yani statik veya dinamik yüklere plastik şekil değiştirme ile karşı koyacağı tahmin edilir. Bu tahmin yüzey merkezli kübik (YMK) veya hekzagonal sistemdeki metaller (demir dışı metallerin çoğu, ostenitik çelikler v.b.) için bu tahmin doğrudur. Ancak, hacim merkezli kübik (HMK) sistemindeki metallerde (ferritik çelikler) bazen çekme deneyi sonuçları ile darbe deneyi sonuçları arasında farklılıklar görülür. Çekme deneyinde sünek davranış gösteren malzeme, çentik darbe deneyinde gevrek davranış gösterebilir. Bu olaya özellikle oda sıcaklığının altındaki sıcaklık değerlerinde çok rastlanmaktadır. Şekil 1’de YMK ve HMK yapıları ile yüksek mukavemetli metallerin değişik sıcaklıklarda yapılan darbe deneylerine ait kırılma enerjisi-sıcaklık eğrileri verilmektedir.

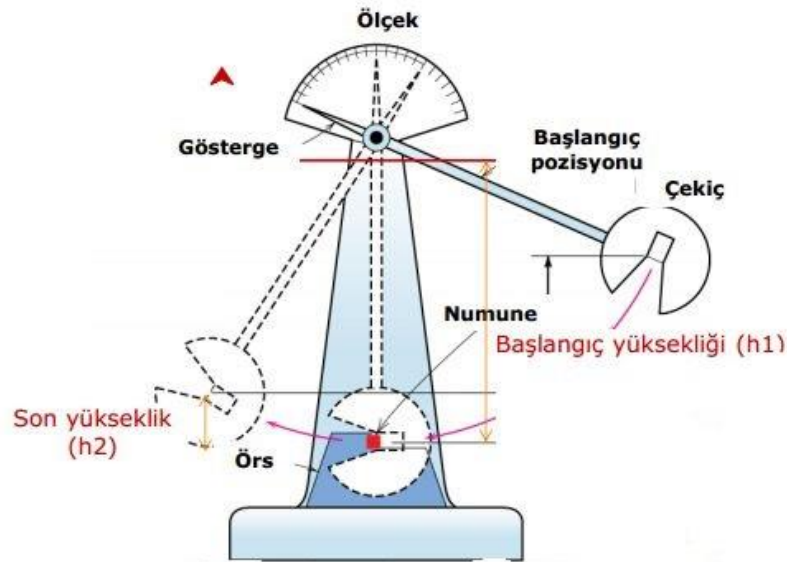


Şekil 1: Çeşitli metallerin kırılma enerjisi-sıcaklık eğrileri

Yukarıdaki grafikte çentik darbe deneyinin metalik malzemelerin mekanik özelliklerini tayin etmekteki önemini açıklanmaktadır. Çentik darbe deneyinden elde edilen sonuçlar, o numune için bir karşılaştırma değeridir. Çentik darbe deneyinde elde edilen sonuçlar, çekme deneyi sonuçları gibi mühendislik hesaplamalarda kullanılmazlar.

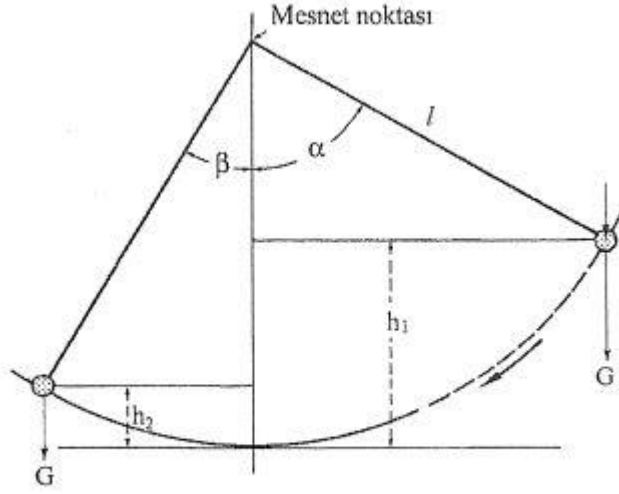
3. Teori

Darbe deneyinde standart çentik içeren numunenin dinamik bir yük (darbe etkisiyle) altında kırılması için gerekli enerji belirlenir. Bulunan değer, malzemenin darbe direnci (darbe mukavemeti) olarak tanımlanır. Bu deneylerde, yaygın olarak kullanılan sarkaçlı darbe deney makinasının şematik resmi Şekil 2’de verilmiştir.



Şekil 2: Çentik darbe deney makinasının şematik resmi

Çalışma prensibi Şekil 3’te verilen darbe deneyinde, ağırlığı G olan sarkaç, h_1 yüksekliğine çıkarıldığında potansiyel enerjisi Gxh_1 ’dir. Sarkaç bu yükseklikten serbest bırakıldığında, düşey bir düzlem içinde hareket ederek numuneyi kırar ve aksi yönde h_2 yüksekliğine çıkar. Böylece, numunenin kırılmasında sarkaçta kalan potansiyel enerji Gxh_2 ‘dir.



Şekil 3. Darbe deneyi cihazının çalışma prensibi.

Sarkacın ilk konumundaki potansiyel enerjisi ile son konumundaki potansiyel enerjisi arasındaki fark numunenin kırılması için gereken enerjiyi, yani darbe direncini verir. Sürtünme kayıpları ihlal edildiğinde, sarkacın ilk enerjisi ile son enerjisi arasındaki farka eşit olan kırılma enerjisi aşağıdaki formülle hesaplanır.

$$\text{Kırılma enerjisi: } G (h_1 - h_2) = G.l. (\cos\beta - \cos\alpha)$$

Burada;

G: Sarkacın ağırlığı (kg)

l: Sarkacın salınım merkezine uzaklığı (m)

h₁: Sarkacın ağırlık merkezinden düşme yüksekliği (m)

h₂: Sarkacın ağırlık merkezinden çıkış yüksekliği (m)

α : Düşme açısı (derece)

β : Yükselme açısı (derece)

Darbe direnci birimi genellikle joule (J) olarak verilir, ancak bazı durumlarda J/m^2 , kg.m veya $kg.m/cm^2$ cinsinden ifade edilebilir. Kırılma enerjisi yüksek olan malzemelerin kırılma tokluğu da yüksek olur.

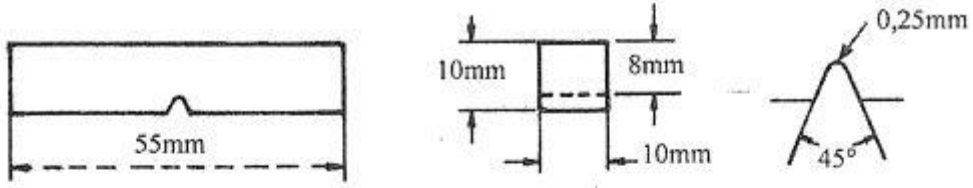


3.1. Darbe Deneyleri

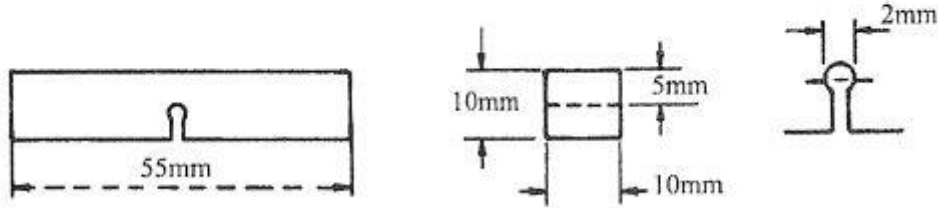
Darbe deneylerinde kullanılan numunelere genellikle şekil 4'te gösterilen şekillerde çentikler açılmaktadır. Bu tip deneylerde amaç, malzemenin yapısında muhtemelen bulunacak gerilme yığılması darbe esnasında çentik tabanında yapay olarak teşkil ettirilip, malzemenin bu durumda dinamik zorlamalara karşı göstereceği direnci belirlemektir. Gri dökme demir numunelerinde, malzemenin bünyesindeki grafit tanecikler çentik gibi etki yapacaklarından, ayrıca çentik açmaya gerek yoktur.

Çentikli bir numune zorlandığı zaman, çentiğin tabanına dik bir gerilim meydana gelir. Kırılmanın başlaması bu gerilimin etkisi ile olur. Numunenin kırılabilmesi için bu dik (normal) gerilimin, kristalleri bir arada tutan veya kristallerin kaynaşmasına karşı koyan koheziv (yapışma) dayanımından yüksek olması gerekmektedir. Numune, plastik şekil değiştirmeye fırsat bulamadan kırılma meydana geliyorsa, buna gevrek kırılma denir. Kırılan yüzey, düz bir ayrılma yüzeyidir. Kırılma yüzeyi; parıltılı ve tanelidir.

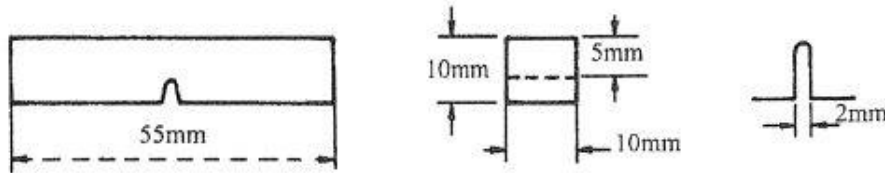
Deney esnasında, numune kırılmadan önce çoğu zaman plastik şekil değiştirme meydana gelir. Uygulanan kuvvet etkisi ile normal (dik) gerilime ilaveten, bununla yaklaşık olarak 45° farklı bir kayma gerilimi etki etmeye başlar. Kayma gerilimi, kayma dayanımını (kritik kayma (τ_{kr})) aştığı an, elastik şekil değiştirme sona erer ve plastik şekil değiştirme başlar. Bu durumda önce plastik şekil değiştirme, daha sonra meydana gelir. Buna sünek kırılma hali denir. Kırılma yüzeyi, girintili çıkıntılı ve liflidir.



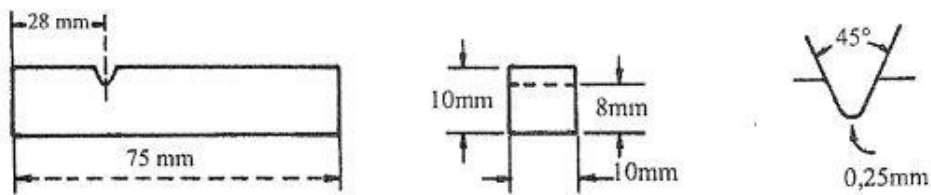
(a) V çentikli Charpy deney örneği



(b) Anahtar deliği çentikli Charpy deney örneği



(c) U çentikli Charpy deney örneği



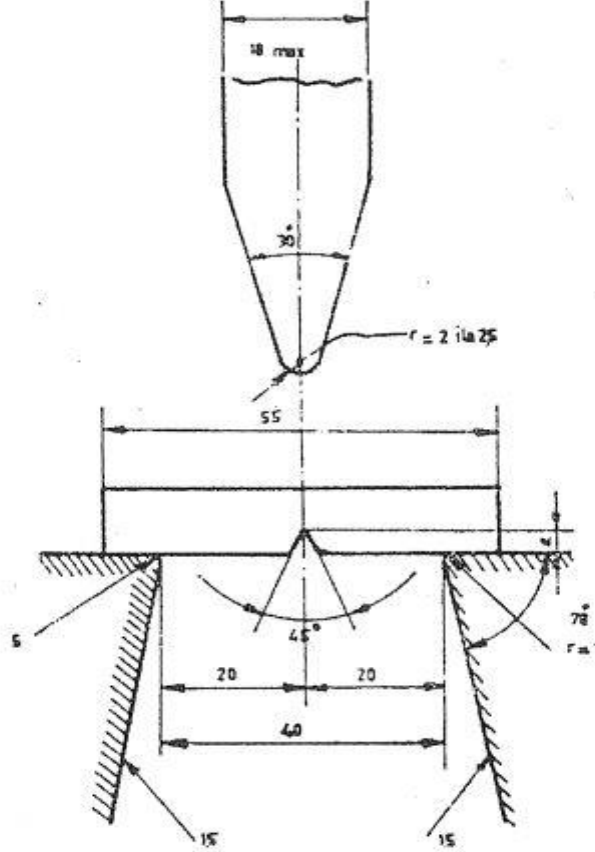
(d) V çentikli Izod deney örneği

Şekil 4. Çeşitli standartlara göre değişik darbe deneyi numuneleri. a) V-çentikli Charpy deney numunesi (ASTM, DIN, TS), b) Anahtar deliği çentikli Charpy deney numunesi (ASTM), c) U-çentikli Charpy deney numunesi (ASTM, DIN, TS), d) V-çentikli Izod deney numunesi (ASTM, DIN, TS).

Uygulamada yaygın olarak kullanılan iki çeşit darbe deneyi vardır. Bunlardan biri Charpy, diğeri de Izod darbe deneyidir.

3.2. Charpy Darbe Deneyi

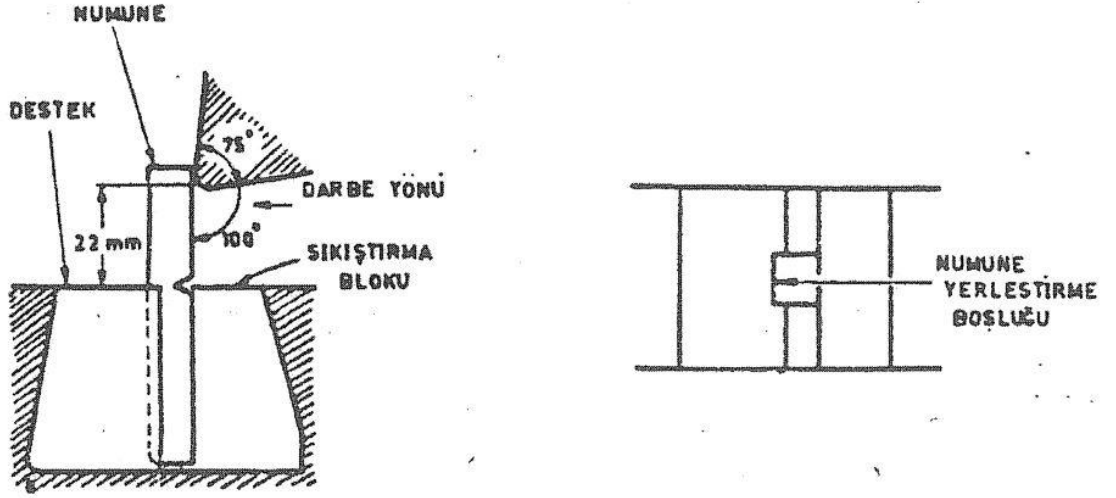
Charpy darbe deneyi yatay ve basit kiriş halinde iki mesnete yaslanan bir numunenin çentik tabanında meydana gelen çok eksenli gerilmeler etkisi ile numunenin kırılması için gerekli enerjiyi belirleme işlemidir(Şekil5).



Şekil 5. Charpy darbe deneyinde numunenin cihaza yerleştirilmesi.

3.3. Izod Darbe Deneyi

Izod darbe deneyi , dikey ve konsol kiriş halinde bir kavrama çenesine tespit edilen numunenin (Şekil6) yüzeyine, kavrama çenesinden belirli yükseklikte, bir sarkacın ucundaki çekiçle darbe yapılması ve çentik tabanında meydana gelen çok eksenli gerilmeler etkisi ile numunenin kırılması için harcanan enerjinin belirlenmesi işlemidir.



Şekil 6. Izod darbe deneyinde numunenin deneye yerleştirilmesi.

4. Deney Tesisatı

5. Deneyin Yapılışı

5.1. Cihazın Deney Öncesi Kontrolü

Deneylere başlamadan önce cihazın bir iki defa boşta çalıştırılıp, deney esnasında cihazın enerji kayıplarına sebebiyet verip vermediği kontrol edilmelidir. Enerji kayıpları genellikle yataklardaki sürtünmeden, sarkacın hareket esnasında yanlara doğru oynaması ile meydana gelen sürtünmelerden ve hava direncinden ileri gelir.

Ayarlı bir cihazda, cihaz boşta çalıştırılırken, ikinci salınım sonunda meydana gelecek enerji kaybı, ilk potansiyel enerjinin %1'inden daha düşük mertebesinde olmalıdır. Enerji kaybı bu değeri aşarsa cihaz bakımdan geçirilmelidir.



5.2. Numunelerin Yerleştirilmesi

Bu deney tamamen ampirik ve şartlar değıştikçe malzeme farklı özellik gösterdiği için numunelerin cihaza uygun bir şekilde yerleştirilmesi, doğru sonuç alma yönünden önemlidir.

Deney esnasında önce sarkaç, daha önce tespit edilen potansiyel enerjiye sahip olabileceği bir yüksekliğe çıkarılır. Daha sonra numune, uygun bir şekilde yerleştirilir. Örneğin; en çok kullanılan Charpy deneyinde numune, mesnetlere tam yaslanacak şekilde ve çekicinin salınım düzlemi ile çentiğin simetri düzlemi 0.5 mm içinde birbirine çakışacak şekilde yerleştirilir. Bu durum cihaza bağlı, yardımcı bir aletle sağlanabilir. Numune uygun şekilde yerleştirildikten sonra, okumaların yapıldığı kadranın göstergesi başlangıç durumuna getirilir ve sarkaç düzgün bir şekilde serbest bırakılır. Sonuç deneyden sonra kadrandan okunur.

5.3. Deney Sıcaklığı

Bazı malzemelerde darbe değeri, sıcaklıkla değışir. Kırılma anında deney numunesinin sıcaklığı, başka bir tolerans üzerinde anlaşmaya varılmadığı takdirde, belirtilen sıcaklıktan ± 2 °C'den daha fazla fark göstermemelidir. Şayet deney sıcaklığı malzemenin kendi standartında belirtilmemişse deney ılıman iklimlerde 20°C ve ± 2 °C, tropikal iklimlerde 27°C ve ± 2 °C sıcaklıkta yapılmalıdır. Belirtilen herhangi bir sıcaklıkta yapılan deneylerde, numunenin cihaza nakli sırasında kullanılan tutma düzeninin numune ile değen aksamı da deney numunesi ile aynı sıcaklıkta olmalıdır.

Sıfırın altındaki sıcaklıklarda deney yapıldığı zaman doğru sonuçlar elde edebilmek için aşağıdaki yöntem tavsiye edilir:

Derinliği yaklaşık olarak 100 mm olan elverişli bir kabın içine bir sıvı (alkol, aseton, v.b.) doldurulur. Kabın tabanından en az 25mm yukarıda bir ızgara bulunur ve sıvının içine daldırılan numune, sıvının üst seviyesinden en az 25mm altta bulunmalıdır. Banyonun sıcaklığını ölçmek için hangi düzen kullanılırsa kullanılsın bu, deneyi yapılacak numunelerin merkezine yerleştirilmelidir. Bütün numuneler banyoda belirtilen sıcaklıkta en az 15 dakika tutulmalıdır. Soğutucudan numuneyi çıkarıp cihaza yerleştirmek için kullanılan düzenin numuneye değen aksamı da soğutucu sıvı içine bırakılır. Soğutucudan çıkarılan numuneler 5 saniye içinde kırılmalıdır.



200 °C ‘a kadar olan sıcaklıklarda yapılan deneylerde numune bir yağ banyosuna daldırılır ve deney için belirtilen sıcaklıkta ± 2 °C toleransla 15 dakika süre ile tutulur.

200 °C ‘ın üstündeki sıcaklıklarda yapılan deneylerde numune bir fırında veya tuz banyosunda ısıtılır. Belirtilen sıcaklıkta ± 2 °C toleransla bir saat tutulur. Deney numunesi, banyo veya fırından çıkarıldığı andan itibaren 5sn içinde kırılmalıdır.

Oda sıcaklığından ayrı sıcaklıklarda Izod darbe deneyinin yapılışı zor olduğu için, düşük ve yüksek sıcaklıklarda Izod deneyi yapılmaz.

5.4. Darbe Direncinin Sıcaklıkla Değişimi

Belirli bir malzeme için değişik sıcaklıklarda yapılan darbe deneyleri, o malzemenin darbe direnci hakkında daha anlamlı bir netice sunar. Değişik sıcaklıklarda yapılan bir seri deney, Şekil 7’dekine benzer bir eğri verir. Bu eğriden de anlaşılacağı gibi, sıcaklık düştükçe, malzemenin darbe direnci de düşmektedir. Darbe direncinde düşme aniden olabileceği gibi (Şekil 8) belirli bir sıcaklık aralığında da olabilir (Şekil 7). Darbe direncinin aniden düştüğü sıcaklığa geçiş sıcaklığı adı verilir. Şekil 7’dekine benzer bir eğri üzerinde bu sıcaklığı tayin etmek oldukça güçtür. Bu durumda tek bir sıcaklık yerine, T1 ve T2 gibi sıcaklıklar arasında kalan bir geçiş aralığı tarif edilir. Bu eğriler yardımıyla malzemelerin sünek-gevrek geçiş sıcaklığı bir malzemenin %50 gevrek ve %50 sünek kırılma davranışı gösterdiği sıcaklık olarak tanımlanabilir. Bu sıcaklık sünek ve gevrek durumda ölçülen enerjiye karşı gelen sıcaklık değeri olarak alınır.

T1 sıcaklığının altındaki sıcaklıklarda malzeme gayet gevrek bir davranış gösterir. Kırılma, gevrek düzlemler boyunca olup, kırılma yüzeyi kristalin (ince taneli) bir görünüştedir (Şekil 9. (g) ve (h)). Bu sıcaklıklarda, darbenin tesiri ile ilk çatlak kolayca meydana gelir ve çatlak, malzeme içinde büyük bir hızla yayılır.

T2 sıcaklığının üzerindeki sıcaklıklarda ise malzeme, önce bir plastik şekil değiştirme ve daha sonra kopma meydana gelir. Sünek davranıştan dolayı malzemede çatlak oluşumu güçleşir ve çatlağın yayılma hızı da yavaşlar. Bu durumlarda kopma, yırtılma şeklinde olup kopma yüzeyi lifli bir görünür.



5.5. Geçiş Sıcaklığının Belirlenmesi

Şekil 7’de görüldüğü gibi geçiş sıcaklıkları T1 ve T2 gibi sıcaklıklar arasında gerçekleşiyorsa, gevrek sünek davranışların her ikisi birden bu aralıkta görülür. Deney sıcaklığı T1 sıcaklığına yaklaştıkça, gevrek davranış duruma hakim olur. Mühendislik uygulamalarında T1 sıcaklığı T2’ye nazaran daha büyük önem taşır. Çünkü deneyi yapılan malzeme bu sıcaklıklarda daha düşük sıcaklıklarda kullanılmaz. Geçiş sıcaklığı olarak da, genellikle bu T1 sıcaklığı alınır.

T1 sıcaklığının belirlenmesinde ise, genellikle aşağıdaki üç kriterden faydalanılır:

- Kırılma Enerjisi,
- Kırılma Yüzeyinin Görünüşü,
- Kırılmadan sonra çentik tabanında meydana gelen enlemesine büzülme miktarı.

5.6. Kırılma Enerjisi

Kırılma enerjisi kriter olarak seçildiğinde, genellikle 2-3 kg.m (15-20 ft.lb)’lik kırılma enerjisine tekabül eden sıcaklık, geçiş sıcaklığı olarak kabul edilir.

5.7. Kırılma Yüzeyinin Görünüşü

Kırılma yüzeyi görünüşü kriter olarak alındığında, kırılma yüzeyinde kristalin şeklinde gözükten alanın tüm kesit alanına oranı, yaklaşık olarak tespit edilmeye çalışılır. Şekil 9’da geçiş aralığından kırılma yüzeylerinin değişik görünüşleri verilmektedir. Şekil 9 (a) şekli sünek davranışa, (h) şekli ise gevrek davranışa ait görünüşü yansıtmaktadır. Kesitte %50 kristalin görünüşü veren sıcaklık, geçiş sıcaklığı olarak bilinir. (Şekil.9.f.)

5.8. Kırılmadan Sonra Çentik Tabanında Oluşan Enlemesine

Büzülme Miktarı

Şekil 9 incelendiğinde, sünek davranış ((a) ve (b) şekilleri) halinde, çentik tabanında belirli miktarda enlemesine büzülme görülür. Gevrek davranış halinde ise ((h) şekli) plastik şekil değiştirme olmadığından, çentik tabanında enlemesine büzülme görülmez. Bu büzülme



miktarı kriter olarak seçildiğinde, %1 mertebesinde büzülme gösteren sıcaklık, geçiş sıcaklığı olarak kabul edilir.

5.9. Geçiş Sıcaklığına Etki Eden Faktörler

Malzemelerin geçiş sıcaklığı, mühendislik uygulamasında, özellikle malzeme seçimi esnasında oldukça önemli bir kriter olur. Geçiş sıcaklığı metallerde mutlak ergime sıcaklığının %10-20' si arasında seramiklerde ise %50-70'i arasında yer alır. Geçiş sıcaklıkları düşük olan malzemelerin tokluğu yüksek olduğunda mühendislik uygulamalarında daha çok tercih edilirler. Düşük sıcaklıklarda çalışacak malzemelerde, bu özellik oldukça büyük önem taşır. Buna göre geçiş sıcaklığı aşağıda verilen,

- Kimyasal Bileşime,
- Kristal Yapıya,
- Tane Boyutuna,
- Mikro-Yapıya,
- Uygulanan Isıl İşleme,
- Soğuk İşlem Derecesine,
-v.b. faktörlere bağlıdır.

6. Ölçüm Değerleri

CHARPY DARBE DENEYİ RAPOR SORULARI

NOT: Aşağıdaki sorular raporun altıncı bölümü olan hesaplamalar ve sonuçlar kısmında cevaplandırılmalıdır, rapor bölüm web sitesindeki formatta olmalıdır. Deney çıktıları (kırılma enerjisi ve kırılma açısı), birinci sorunun çözümünde kullanılacaktır.

1) Charpy Darbe deneyinde kullanılan çekicinin kütlesini bulunuz.

Verilenler:

Çekiç serbest konumdan 160° yüksekliği çıkarılıp serbest bırakılmıştır.

Kol Uzunluğu: 770 mm



Not: Çekicinin yükseldiği açı yukarıda belirtilmiştir, kırılma enerjisi bilgisi deney gerçekleştirildikten sonra elde edilecektir.

2) a- Aşağıdaki verileri kullanarak 4140 çeliği için darbe enerjisi-sıcaklık grafiğini çizin.

| <i>Temperature</i> (°C) | <i>Impact Energy</i> (J) |
|----------------------------|-----------------------------|
| 98 | 90.2 |
| 73 | 89.4 |
| 50 | 87.3 |
| 25 | 85.6 |
| 0 | 82.7 |
| -25 | 78.5 |
| -53 | 73.2 |
| -65 | 66.5 |
| -75 | 58.1 |
| -86 | 47.5 |
| -100 | 34.7 |
| -128 | 29.1 |
| -153 | 27.2 |
| -178 | 23.5 |

b- Aşağıdaki verileri kullanarak Fe-25Mn-3Si-3Al- Twip çeliği için darbe enerjisi-sıcaklık grafiğini çizin.

| <i>Temperature</i> (°C) | <i>Impact Energy</i> (J) |
|----------------------------|-----------------------------|
| 175 | 110.2 |
| 150 | 111.2 |
| 125 | 112.3 |
| 100 | 113.3 |
| 50 | 114.6 |
| 0 | 114.8 |
| -25 | 115.5 |
| -50 | 115.2 |
| -75 | 114.7 |
| -100 | 114.1 |
| -125 | 113.6 |
| -150 | 113.1 |
| -175 | 112.4 |

c- a ve b şıklarındaki grafikleri yorumlayınız ve karşılaştırınız.

3) Çeliklerin kırılma enerjisi-sıcaklık grafiklerini C oranlarındaki değişime göre çizin ve kendi cümlelerinizle yorumlayınız.



DİŞLİ VERİMLİLİĞİNİ BELİRLEME DENEYİ

Hazırlayan: Prof. Dr. Fatih KARPAT

1. Amaç

Mevcut deney düzeneğinde, iki kademeli alın dişli ve tek kademeli sonsuz vida mekanizmaları analiz edilmiştir. Sisteme yerleştirilen her bir dişli sistemi için mil dönüş hızının ve akımın dişli giriş ve çıkış kuvvetlerine ve dolayısıyla dişli giriş çıkış momentlerine olan etkisi ortaya konulmuştur. Dişli sistemi girişinde üretilen moment ve açısal hızlar dikkate alınarak giriş gücü, dişli sistemi çıkışında üretilen moment ve açısal hızlar dikkate alınarak da çıkış gücü bulunmaktadır. Dişli ünitesinde, çıkış gücünün giriş gücüne oranlanmasıyla da dişli verimi belirlenmektedir. Bu deney düzeneğinde amaç; dişli türündeki, mil dönüş hızındaki ve akımdaki değişimin dişli verimine olan etkisinin belirlenmesidir.

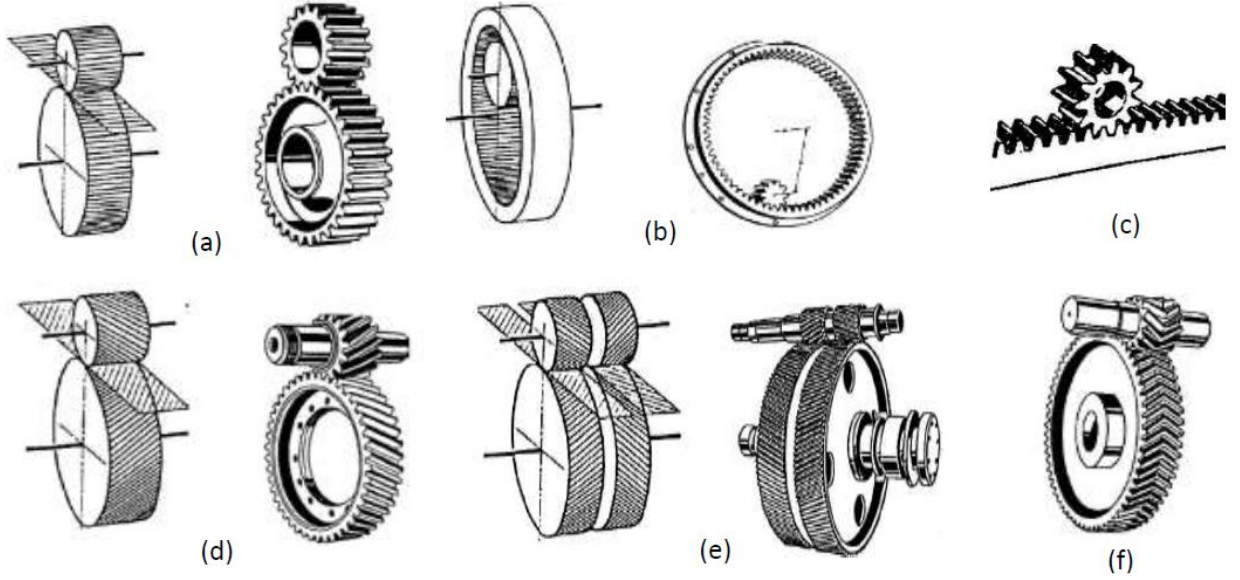
2. Giriş

2.1 Dişli Çarklar İle İlgili Bilgiler

Dişli çarklar, iki mil arasında şekil esaslı moment(güç) ve hareket ileten elemanlar olup eşzamanlı en az iki dişli çarktan oluşan sistem dişli çark mekanizması olarak tanımlanır. Mekanizmada bir döndüren ve bir veya daha çok döndürülen dişli bulunmakta olup mekanizmanın küçük dişlisine pinyon, büyük dişlisine çark denir. Güç ileten millerin konumlarına göre dişli çarklar aşağıda belirtilen üç ana grupta incelenebilir.

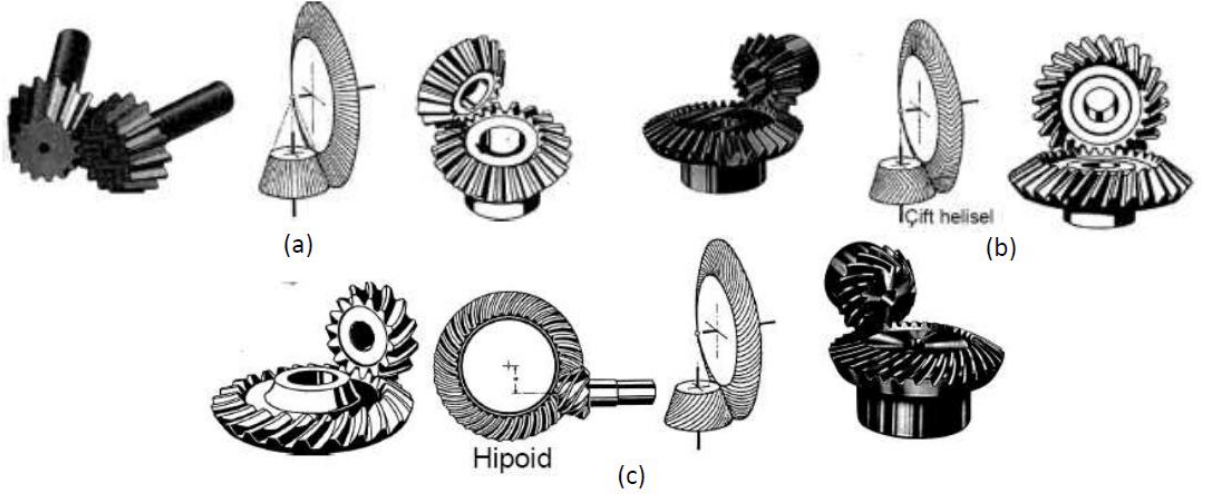
Eksenleri aynı düzlemde paralel iki mil arasında güç ve hareket (hız) ileten dişliler silindirik veya alın dişli çarklar olarak bilinir. Dişlerin ana doğrusu veya dişlerin yönü mil eksenine paralel ise silindirik düz alın dişli söz konusudur (**Şekil 1a**). Dişler ana doğru ile belirli bir açı yapıyorsa veya eğik ise helisel silindirik (alın) dişli çarklar elde edilir (**Şekil 1d**). Helisel silindirik dişli çarkların ikili helisel (**Şekil 1e**) ve çift helisel silindirik (ok dişlisi) tipleri (**Şekil 1f**) de vardır. Ayrıca çarklardan biri diğerinin içinde yuvarlanma yapıyorsa iç dişli çarklar (**Şekil 1b**) elde edilir. Bu çarklar da düz, helisel ve çift helisel olabilmektedir. Herhangi bir dişli çarkın çapı sonsuz olduğunda doğru eksenli (çubuk şeklinde) bir dişli elde edilir ve bu çark

kremayer (Şekil 1c) olarak tanımlanır. Bunlar da düz ve helisel kremayer olarak sınıflandırılabilir.



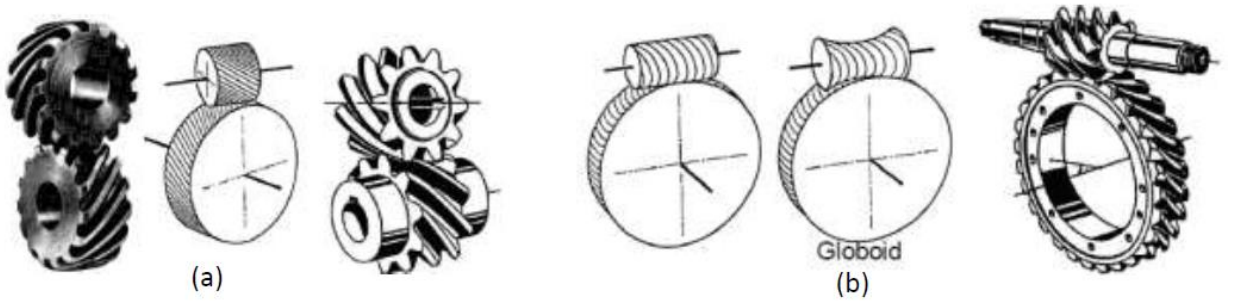
Şekil 1. Paralel eksenli miller-silindirik dişli çarklar

Eksenleri aynı düzlemde bulunan fakat kesişen iki mil arasında güç ileten çarklara konik dişli çarklar denir. Mil eksenleri arasındaki açı dik, dar veya geniş olabilmektedir. Dişlerin durumuna göre düz konik (Şekil 2a), helisel konik (Şekil 2b), çift helisel konik (Şekil 2b-orta) ve eğrisel konik (Şekil 2c) dişliler üretilmektedir. Eksenleri aynı düzlemde olmayan ve kesişmeyen dişliler hipoid konik dişliler (Şekil 2c-orta) olarak tanımlanır. Bu dişliler eğrisel konik dişlerin özel bir tipidir.



Şekil 2. Kesişen miller- konik dişli çarklar

Eksenleri aynı düzlemde olmayan aykırı (çapraz) miller arasında güç ve hız ileten dişli çarklar spiral dişli çarklar (Şekil 3a) grubundadır. Bu çarkların özel tipi uzayda eksenleri birbirine dik olan (aykırı olup izdüşümleri birbirine dik olan) miller için sonsuz vida mekanizmaları söz konusudur. Bu çarkların da silindirik (Şekil 3b-sol) ve globoid (Şekil 3b-orta) tipleri kullanılmaktadır.



Şekil 3. Aykırı(Çapraz) miller- vida mekanizmaları

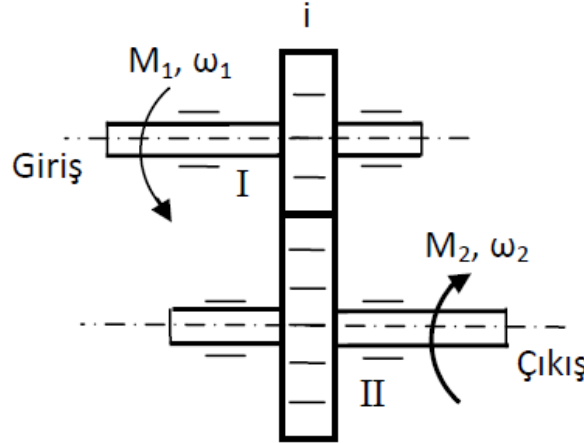
Bir dişli çark mekanizmasının sabit oranda hız iletebilmesi için çevrim oranı(i) ifadesi kullanılmaktadır. Dişli çevrim oranı(i);

$$i = \frac{n_1}{n_2} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{z_2}{z_1} = \frac{d_{02}}{d_{01}} = sbt$$

olarak ifade edilmektedir. Böylece dişli çevrim oranı(i) ve giriş milinin dönüş hızı(ω_1) bilindiği takdirde çıkış milinin dönüş hızı(ω_2) bulunabilmektedir. Bu çevrim oranı eşitliğinde; küçük dişlinin(pinyon), taksimat dairesi çapı(d_{01}), diş sayısı(z_1), giriş milinin dönüş hızı(n_1); büyük dişlinin(çark) taksimat dairesi(d_{02}), diş sayısı(z_2), çıkış milinin dönüş hızı(n_2) parametreleri de kullanılabilir.

3. Teori

Şekil 4'deki tipik dişli sistemi modelindeki gibi bu deneyde, dişli girişi ve çıkışı arasında teorik bir ilişki kurularak dişli veriminin belirlenmesi amaçlanmaktadır. Giriş mili(I), bir elektrik motoruyla döndürülmekte ve dişli kutusu üzerinden dişli çevrim oranında(i) çıkış milinin(II) dönüş hızının değişmesi sağlanmaktadır. Giriş ve çıkış millerinde oluşan kuvvetler; dinamometreyle ölçülmekte ve uygun hesaplamalarla giriş momenti(M_1) yani reaksiyon momenti ve çıkış momenti(M_2) yani frenleme momenti belirlenebilmektedir.



Şekil 4. Tek kademeli tipik dişli sistemi modeli

Dişli girişinde üretilen güç;

- $P_1 = M_1 \cdot \omega_1$



Dişli çıkışında üretilen güç;

- $P_2 = M_2 \cdot \omega_2$ olarak ifade edilmektedir.

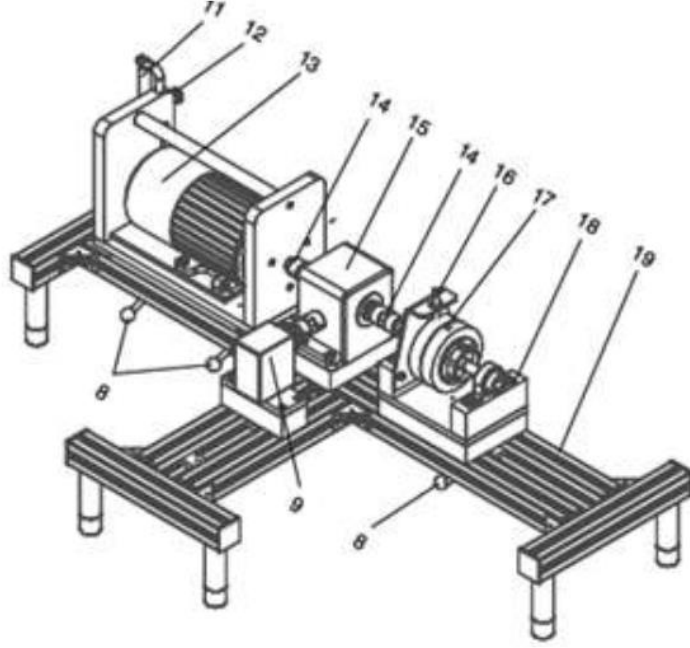
Dişli ünitesi %100 verimle çalıştığında dişli giriş ve çıkışında üretilen güçlerin eşit olması ($P_1 = P_2$) gerekmektedir. Halbuki; dişlilerde her zaman mekanik kayıplar söz konusudur. Bu kayıplar ($K = 1 - \eta$), dişli ünitesi veriminin belirlenmesiyle bulunabilmektedir. Dişli verimi (η) ise; dişli ünitesi çıkışında üretilen gücün (P_2) dişli ünitesi girişinde üretilen güce (P_1) oranıdır.

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{M_2 \omega_2}{M_1 \omega_1}$$

4. Deney Tesisatı

Deney düzeneği dişli sistemi veriminin; kuvvet, moment, mil dönüş hızı gibi teorik büyüklüklere dayanarak belirlenmesine yöneliktir. Dişli verimliliğinin ölçülebildiği deney düzeneklerinde genellikle Şekil 5'deki gibi; elektrik motoru (13) motor kontrol ünitesi, dişli çıkışına yük uygulanmasını sağlayan manyetik fren (17) bulunmaktadır. Giriş (reaksiyon) kuvveti, tahrik motoru altına yerleştirilmiş olan kuvvet sensorları ile ölçülür. Çıkış (frenleme) kuvveti ise; fren koluna (16) yerleştirilen sensor yardımıyla ölçülür. Giriş ve çıkış kuvvetlerinin dönüş eksenine olan uzaklıklarından dişli giriş ve çıkış momentleri hesaplanır.

Deney düzeneklerinde ayrıca; şasi (19) üzerine sıkma kollarıyla (8) monte edilen, sonsuz vida mekanizması (9) veya helisel alın dişli (15), doğru akım motoru (13), kavrama (14), fren kolu (16), manyetik fren (17) ve fren yatağı (18) bulunabilmektedir. Transmisyon ünitesinde iki farklı dişli kutusu kullanılmaktadır. Bunlar; iki kademeli helisel alın dişli kutusu ve tek kademeli sonsuz vida mekanizmasıdır.



Şekil 5.Örnek Bir Dişli Verimliliği Deney Düzenəğinin Genel Yapısı

5. Deneyin Yapılışı

Deneyde sabit devir altında fren kuvvetinin dişli verimliliği üzerine etkisi incelenecektir. Her bir grup için farklı devir altında; fren kuvveti minimum durumdan maksimum durumuna kadar belli aralıklar ile arttırılarak, fren kuvveti artışının (yüklem artışının) dişli verimliliğine etkisi incelenecektir.

6. Ölçüm Değerleri

Deneyde sabit devir altında fren kuvveti ve reaksiyon kuvveti ölçümü yapılacaktır. Fren kuvveti ve reaksiyon kuvveti bilindiğine göre; dişli kutusunun sağ ve sol tarafındaki moment değerleri hesaplanabilecektir. Benzer şekilde devir sayıları da devir sensörü ile ölçümü yapılacaktır. Diğer dişli kutusunun diğer tarafındaki devir sayısı da çevrim oranı kullanılarak kolayca hesaplanabilir. Moment ve devir sayıları bilinen sistemde dişli kutusunun sağ ve sol tarafında güç değerleri hesaplanacak bu güç değerlerinin oranlanması ile de dişli verimliliği hesaplanacaktır.



| Reaksiyon Kuvveti | Motor Moment Kolu | Reaksiyon Momenti | w_1 | Reaksiyon Gücü (P_1) | Fren Kuvveti | Fren Moment Kolu | Fren Momenti | w_2 | Çıkış Gücü (P_2) | Verim |
|-------------------|-------------------|-------------------|-------|--------------------------|--------------|------------------|--------------|-------|----------------------|-------|
| | 75 mm | | | | | 85 mm | | | | |
| | 75 mm | | | | | 85 mm | | | | |
| | 75 mm | | | | | 85 mm | | | | |
| | 75 mm | | | | | 85 mm | | | | |
| | 75 mm | | | | | 85 mm | | | | |

Örnek bir helisel alın dişli ünitesinin verim hesabı

Değerler:

- Mil dönüş hızı(n_1): 1000 dev/dak
- Reaksiyon kuvveti(F_1): 8.1 N
- Dengeleme kolu uzunluğu(l_1): 0.05 m
- Akım(I): 0.2 A
- Frenleme kuvveti(F_2): 44 N
- Frenleme kolu uzunluğu(l_2): 0.1 m

➤ Reaksiyon (Giriş) momenti:

$$M_1 = F_1 l_1 = 8.1 \times 0.05 = 0.405 \text{ Nm}$$

➤ Giriş Gücü:

$$\omega_1 = \frac{2\pi n_1}{60} = \frac{2\pi \times 1000}{60} = 104.72 \text{ rad/s}$$

$$P_1 = M_1 \omega_1 = 0.405 \times 104.72 = 42.41 \text{ W}$$

Çıkış Hızı:



$$i = \frac{n_1}{n_2} \rightarrow n_2 = \frac{n_1}{i} = \frac{1000}{13.5} = 74.1 \text{ dev/dak}$$

- Frenleme Momenti:

$$M_2 = F_2 l_2 = 44 \times 0.1 = 4.4 \text{ Nm}$$

- Çıkış Gücü:

$$\omega_2 = \frac{2\pi n_2}{60} = \frac{2\pi \times 74.1}{60} = 7.76 \text{ rad/s}$$

$$P_2 = M_2 \omega_2 = 4.4 \times 7.76 = 34.14 \text{ W}$$

- İki kademeli helisel alın dişli ünitesinin verimi:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{34.14}{42.41} = 0.81 \text{ (%81)}$$

7. İstenenler

*Devir sabit alınacaktır.

** Hesaplamalar bilgisayar ortamında Word dosyasına yazılacak verim her bir fren kuvvetine bağlı verim hesaplanacaktır. Benzer işlemler atlanabilir.

** Artan frenleme kuvveti - momentine bağlı verim değişimi grafik olarak gösterilecektir.

***Dişli çarklar ile ilgili genel bilgiler sunulacaktır

Not: İki kademeli helisel alın dişli için çevrim oranı 14,67 olarak alınacaktır. Ödev 5 kişilik gruplar halinde verilecektir ve 5 sayfadan fazla olmamalıdır.



TAM KLİMA TESİSATI DENEYİ

Hazırlayanlar:
Prof.Dr. Ömer Kaynaklı
Arş. Gör Hande Ufat

1. Amaç

Klima sistemlerini sınıflandırarak, tipik bir klima tesisatında kullanılan elemanların incelenmesi, yazve kış klimasına etki eden parametrelerin deneysel ve teorik olarak gözlenmesi dir.

2. Giriş

En genel halde; insan, hayvan ve bitkilerin konforu için veyaendüstriyel bir mamülün üretimi için gerekli atmosferik çevrenin (ortam şartlarının) otomatik olarak sağlanması işlemine klimatizasyon veya iklimlendirmedendir.Pratikte ise iklimlendirme (klima);havanınısıtılması,soğutulması, nemlendirilmesi veya neminin alınması, bir başka deyişle havanın şartlandırılması işlemine denir.

Tanımdan da anlaşılacağı gibi klimalar temel olarak konfor kliması ve endüstriyel tip (sanayi) kliması olmak üzere iki gruba ayrılır.

1 - Sanayi kliması

2- Konfor kliması

2.1 Yaz kliması

2.2 Kış kliması

2.3 Tam (yaz + kış) kliması



Endüstriyel (Sanayi) Klimaları : Endüstriyel tip iç iklim şartların tanımlanmasının başlıca amacı;

a-Bazı üretim yöntemlerinin normal biçimde yürütülmesinin sağlanması

b-Depolanan malzeme veya ürünlerin korunması için, endüstriyel yapılar içinde optimum şartların sağlanması

Bu tip uygulamalarda karşılaşılan en önemli problemlerden biri, üretim için gerekli iç şartlar ile personelin konforunun uyuşmamasıdır. Bu durumda bireylerin sağlık ve güvenliği hiçbir zaman göz ardı edilmeden, hem üretim hem de çalışanlar için en uygun şartların oluşturulması gerekmektedir.

Başlıca sanayi uygulamaları, tekstil, tütün, şekerlik, ilaç, lastik, gıda, kimya, özel cephanelik, laboratuvarlar, madenler ve zirai yerlerdir.

Konfor Klimaları : Konfor klimalarında amaç, insan, hayvan ve bitkilerin konforunun sağlanmasıdır. Yapılan konfor klima uygulamalarının çoğu insanlar içindir. Konfor veya rahatlık duygusu, esas olarak kişiden kişiye değişen bir kavram olduğu için kesin bir tanımın yapılması güçtür.

Başlıca uygulama alanları, ulaşım araçları, bankalar, tiyatrolar, oteller, mağazalar, hastaneler, terminaller, lokantalar ve bürolardır.

İnsan rahatlığı ve konforu temel olarak üç etkene bağlıdır. Bunlar kuru termometre sıcaklığı, bağıl nem ve hava dolaşım hızıdır. İnsanların çoğu 22 ile 27°C sıcaklıkları arasında ve %40 ile %60 arasında bir bağıl nemde kendilerini rahat hissederler. Hava akımı için uygun bir hız değeri 15 m/dk (0,25 m/s)'dir. Vücut rahatlığını etkileyen diğer faktörler hava temizliği, koku, gürültü ve ışınım etkisidir. İyi bir klima sistemi sayılan bütün bu şartları sağlamalıdır.

3. Teori

Hava ve Havanın Temel Parametreleri



İklimlendirme, kurutma vb. proseslerde temel çalışma maddesi olarak kullanılan hava (çevremizdeki atmosfer) kuru hava ve su buharından oluşmaktadır. İklimlendirme uygulamalarında, su buharı da kuru hava gibi mükemmel gaz olarak kabul edilebilir.

Mükemmel Gaz Denklemi :

$$P \cdot V = m \cdot R \cdot T$$

Kısmi Basınç : Bir gaz karışımını oluşturan her bir bileşenin kısmi basıncı; aynı hacim (V) ve sıcaklıkta (T) meydana getirdikleri basınca kısmi basınç denir.

Dalton Kanunu'na göre bir mükemmel gaz karışımının basıncı, karışımı oluşturan gazların kısmi basınçları toplamına eşittir.

$$P = P_h + P_b \quad (2.1)$$

burada,

P: Nemli havanın basıncı (kPa)

P_h: Kuru havanın kısmi basıncı (kPa)

P_b: Su buharının kısmi basıncı (kPa)

Özgül Nem (ω) : Göz önüne alınan nemli hava içindeki su buharı kütlesinin kuru hava kütlesine oranına mutlak veya özgül nem denir.

$$\omega = \frac{m_b}{m_h} \left(\frac{kg_s b}{kg_k h} \right)$$

$$\omega = \frac{m_b}{m_h} = \frac{P_b V / (R_b T)}{P_h V / (R_h T)} = \frac{P_b / R_b}{P_h / R_h} = 0,622 \frac{P_b}{P_h} \quad (2.2)$$

Tanımı gereği kuru havada su buharı yoktur, bu nedenle özgül nemi sıfırdır. Kuru havaya su buharı eklendikçe özgül nemi artar. Fakat belirli bir hale eriştikten sonra havaya



daha çok su buharı katmak mümkün olmaz. Bu halde hava, su buharına doymuş demektir ve doymuş hava diye adlandırılır.

Bağıl Nem (ϕ) : Havadaki su buharı miktarının, aynı sıcaklıkta havada bulunabilecek en çok su buharı miktarına bağlı nem adı verilir. (Yani havanın ne kadar nem alabileceğinin bir ölçüsüdür.) Bağıl nem konforu önemli ölçüde etkiler. Çünkü insan vücudunun buharlaşma yoluyla ne kadar ısı atabileceği havanın bağlı nemi ile ilgilidir.

$$\phi = \frac{m_b}{m_{b,doyma}} = \frac{P_b \cdot V / (R_b \cdot T)}{P_{b_r} \cdot V / (R_b \cdot T)} = \frac{P_b}{P_{b_r}} \quad (2.3)$$

$\phi = 0$ ise kuru hava

$0 < \phi < 1$ ise nemli hava

$\phi = 1$ ise doymuş hava olarak ifade edilir.

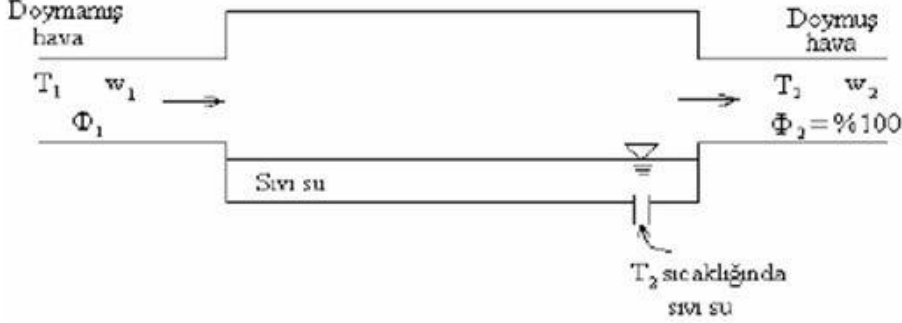
Denklem 2.2 ve 2.3' den

$$\phi = \frac{\omega \cdot P}{(0,622 + \omega) \cdot P_{b_r}} \quad (2.4)$$

$$\omega = \frac{0,622 \cdot \phi \cdot P_{b_r}}{P - \phi \cdot P_{b_r}} \quad (2.5)$$

Çiğ Noktası Sıcaklığı ($T_{çiğ}$) : Hava sabit basınçta soğutulduğu zamanyoğuşmanın başladığı sıcaklığa çığ noktası sıcaklığı denir.

Adyabatik Doyma (T_{ady}) ve Yaş Termometre Sıcaklıkları (T_{yaş}) :



Şekil 2.1 Adyabatik doyma işlemi

Şekil 2.1’de gösterilen açık sistemde doymamış hava (T₁, Ø₁, Ø₁) suyun üzerinden geçer. Bu akışı sırasında bir miktar su buharlaşarak havaya karışır, havanın nemi artar, sıcaklığı ise azalır (çünkü suyun gizli buharlaşma ısısının bir bölümü havadan sağlanmaktadır). Eğer kanal yeterince uzunsahava kanaldan doymuş olarak (Ø₂ = %100) ve adyabatik doyma sıcaklığında (T₂) çıkar. Şekil 2.1’deki sistemde Q = 0, W = 0, PE (potansiyel enerji) ve KE (kinetik enerji) değişimleri ihmal edildiğinde, termodinamiğin I. yasası yani enerjinin korunumu denkleminde;

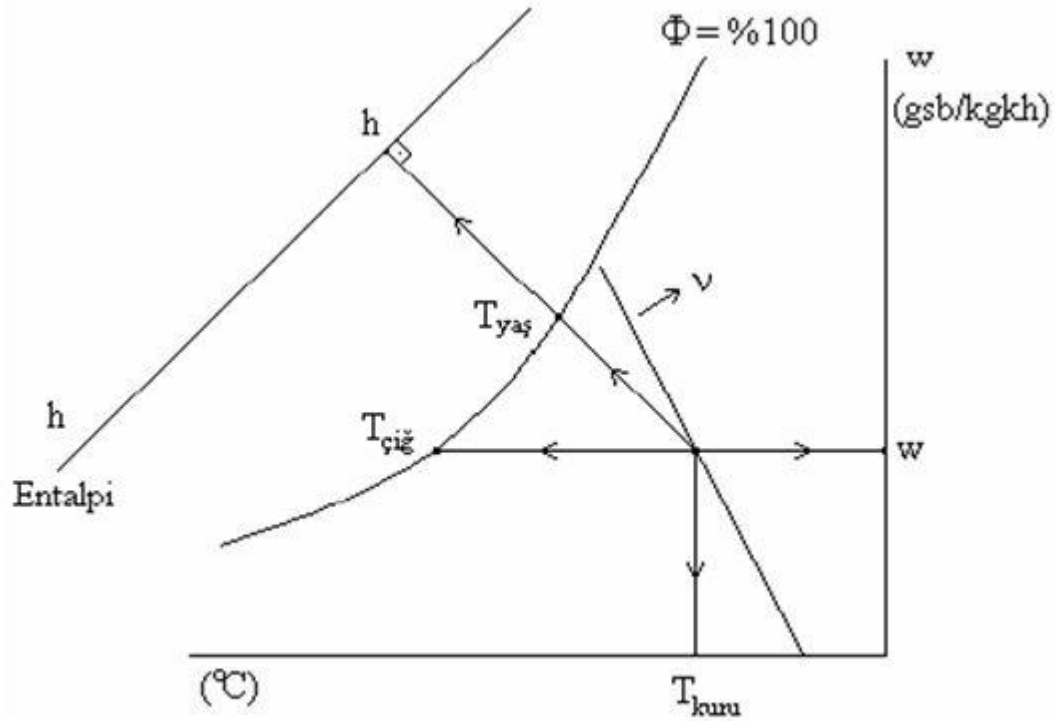
$$\omega_1 = \frac{C_p(T_2 - T_1) + \omega_2 \cdot h_{g,2}}{h_{b,1} - h_{s,1}} \quad (2.6)$$

elde edilir. Ancak adyabatik doyma sıcaklığının yukarıda anlatılan biçimde bulunabilmesi pratik bir yöntem değildir. Uygulama açısından daha elverişli bir yöntem termometrenin ucuna ıslak pamuk bağlayarak sıcaklık ölçümüdür. Bu şekilde ölçülen sıcaklık yaş termometre sıcaklığı diye adlandırılır. Bu yöntemin de dayandığı temel ilke adyabatik doyma sıcaklığı ile aynıdır. Bu sebepten atmosferik basınçta adyabatik doyma sıcaklığı ile yaş termometre sıcaklığı birbirine eşit kabul edilebilir.

Kuru Termometre Sıcaklığı (T_k) : Havanın içindeki nemin ve güneş radyasyonunun etkisi olmaksızın herhangi bir termometre, termo eleman veya bir sıcaklık ölçerle ölçmüş olduğumuz sıcaklığa kuru termometre sıcaklığı denir.

2.3. Psikrometrik Diyagram

Yukarıda verilen formülleri sık sık kullanmak zorunda kalmak pratik değildir. Bu nedenle hesapları bir kez yapıp sonuçları kolay okunabilecek diyagramlar halinde ifade etmek daha kolay olur. Nemli havanın fiziksel özelliklerini grafik halinde veren bu diyagramlara psikrometrik diyagram adı verilir ve iklimlendirme uygulamalarında çok kullanılır. Genelde kullanılan diyagram 1 atm (101,325 kPa) basınçta SI birimlerinde (uluslararası sistem) hazırlanmış olanıdır. Diğer basınçlar için hazırlanmış psikrometrik diyagramlar da vardır.



Şekil 2.2 Psikrometrik Diyagram

3. İKLİMLENDİRME İŞLEMLERİ

İklimlendirme işlemlerine geçmeden önce nemli hava (kuru hava + su buharı) için kütle ve enerji korunumu denklemleri yazıldığında;



kuru hava için: $m_{h,g} = m_{h,\dot{c}} = m_h$ (3.1)

su buharı için (yoğuşma olduğu durumda) :

$$\begin{aligned} m_{sb,g} &= m_{sb,\dot{c}} + m_{yoğ,su} & \Rightarrow & & m_{yoğ,su} &= m_{sb,g} - m_{sb,\dot{c}} \\ \frac{m_{yoğ,su}}{m_k} &= \frac{m_{sb,g}}{m_k} - \frac{m_{sb,\dot{c}}}{m_k} & \Rightarrow & & \frac{m_{yoğ,su}}{m_k} &= \omega_g - \omega_c \end{aligned} \quad (3.2)$$

su buharı için (nemlendirme olduğu durumda) :

$$\begin{aligned} m_{sb,\dot{c}} &= m_{sb,g} + m_{püsk,su} & \Rightarrow & & m_{püsk,su} &= m_{sb,\dot{c}} - m_{sb,g} \\ \frac{m_{püsk,su}}{m_k} &= \frac{m_{sb,\dot{c}}}{m_k} - \frac{m_{sb,g}}{m_k} & \Rightarrow & & \frac{m_{püsk,su}}{m_k} &= \omega_c - \omega_g \end{aligned} \quad (3.3)$$

Klima sistemi sürekli akışlı açık sistem (SASA)'dır. Bu durumda SASA için enerjinin korunumu (termodinamiğin I. yasası) denklemi kuru hava ve su buharı için yazıldığında;

$$Q - W = \Delta H_{\dot{c}} - \Delta H_g + \Delta KE + \Delta PE \quad (3.4)$$

Klima sistemi için KE (kinetik enerji), PE (potansiyel enerji) değişimleri ve fan işi ihmal edilebilir. Bu durumda denklem 3.4;

$$Q = (m_{kh,\dot{c}} \cdot h_{kh,\dot{c}} + m_{sb,\dot{c}} \cdot h_{sb,\dot{c}}) - (m_{kh,g} \cdot h_{kh,g} + m_{sb,g} \cdot h_{sb,g}) + m_{yoğ,su} \cdot h_s - m_{püsk,su} \cdot h_s$$

Denklemin her iki tarafı m_h 'ya bölüldüğünde;

$$q = (h_{kh,\dot{c}} + w_{\dot{c}} \cdot h_{sb,\dot{c}}) - (h_{kh,g} + w_g \cdot h_{sb,g}) + (w_g - w_{\dot{c}}) \cdot h_s - (w_{\dot{c}} - w_g) \cdot h_s \quad (3.5)$$

I. terim II. terim III. Terim IV. terim

burada,

I. terim: nemli havanın çıkış entalpisidir ($h_{\dot{c}}$) ve psikrometrik diyagramdan okunur.

II. terim: nemli havanın giriş entalpisidir (h_g) ve psikrometrik diyagramdan okunur.

III. terim: soğutma esnasında eğer yoğuşma oluyorsa yoğuşan su miktarıdır.

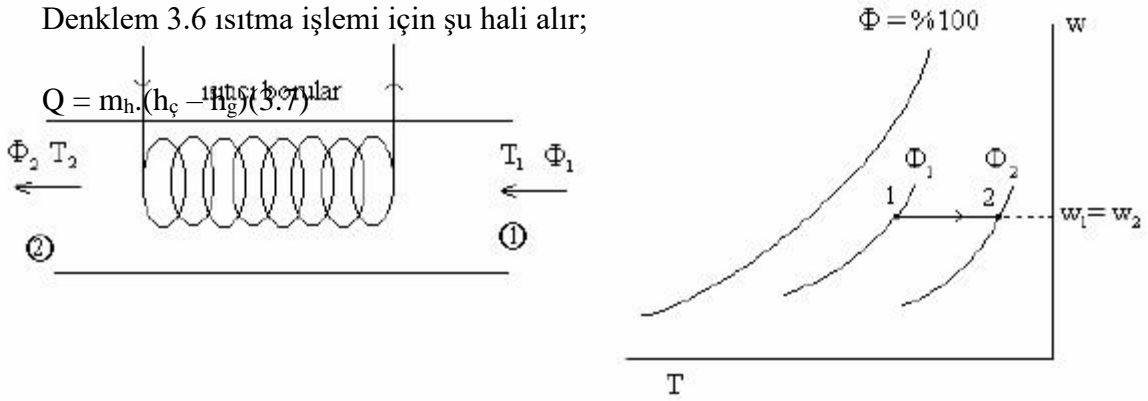
IV. terim: nemlendirme esnasında havanın üzerine yerleşen su miktarıdır.

Not: Bir klima sisteminde ya soğutmadan dolayı yoğuşma vardır ya da ısıtmadan sonra kuruyan havayı nemlendirmek için püskürtülen su vardır. Bu nedenle işlemlerde, enerjinin korunum denkleminde bu iki terimden (III. ve IV. terimlerden) sadece biri hesaba dahil edilir. Bu durumda denklem 3.5 şu hali alır;

$$Q = m_h \cdot (h_c - h_g) \pm m_{su} \cdot h_s \quad (3.6)$$

3.1. Isıtma

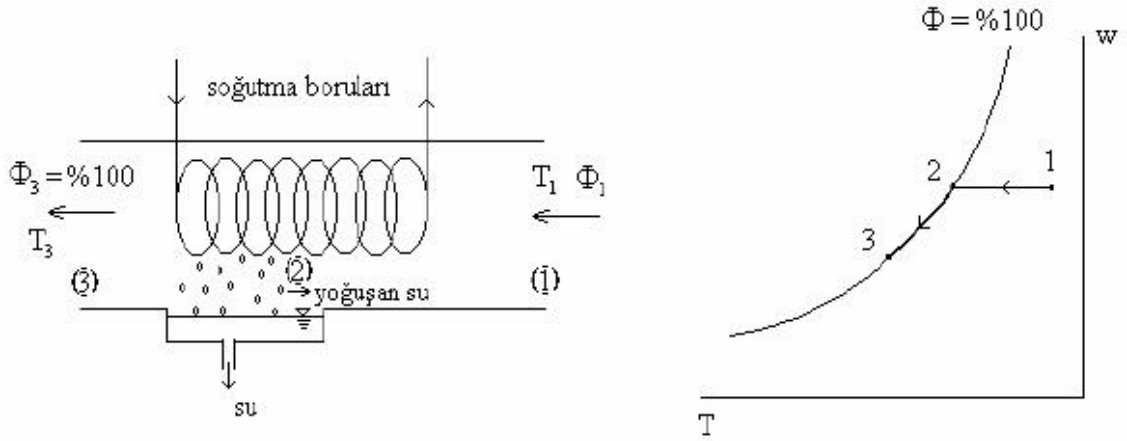
Isıtma işlemi sırasında nemlendirme veya nem alma söz konusu olmadığından havanın özgül nemisabit kalır (şekil 3.1). Ama bağıl nem azalır. Bunun nedeni havada bulunabilecek nem miktarının sıcaklık ile artmasıdır.



Şekil 3.1 Isıtma işlemi ve psikrometrik diyagramda gösterilişi

3.2. Soğutma

Soğutma serpantinlerinin üzerinden geçen havanın özgül nemi sabit kalırken bağıl nemi artar (şekil3.2). Eğer soğutmaya devam edilirse, hava çığ noktası sıcaklığına ulaşır (2 noktası) ve havanın dahafazla soğutulması bir miktar su buharının yoğuşmasına neden olur. Yoğuşma devam ederken havanınhali, doymuş hava eğrisi ($\Phi=100$) üzerinde ilerleyerek son hale (3 noktasına) ulaşır.



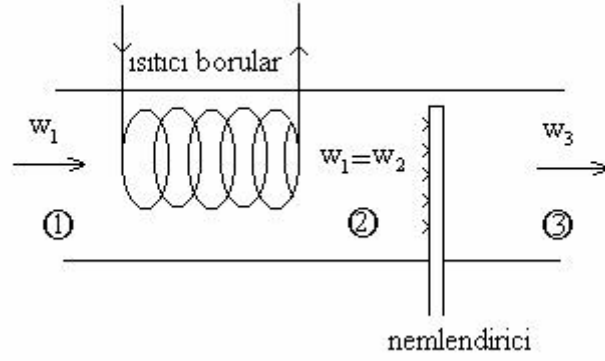
Şekil 3.2 Soğutma işlemi ve psikrometrik diyagramda gösterilişi

Denklem 3.6 soğutma işlemi için yazıldığında;

$$Q = m_h \cdot (h_c - h_g) + m_{su} \cdot h_s$$

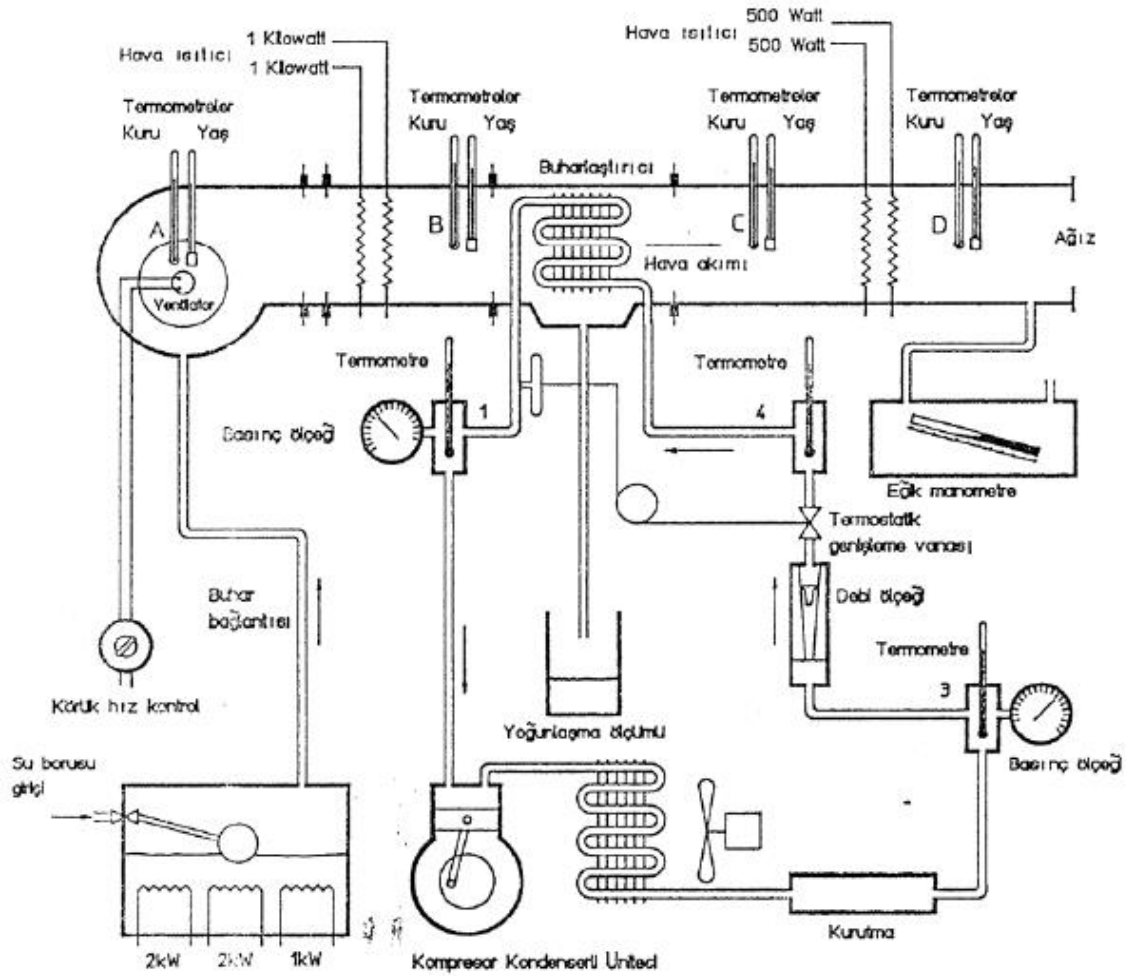
3.3. Nemlendirme

Isıtmada bağıl nemin azalmasından dolayı ortaya çıkan sorunlar, ısıtılan havayı nemlendirerek yokedilebilir. Şekil 3.3'de görülen 3 hali nemlendirmenin nasıl yapıldığına bağlıdır. Eğer nemlendirme buhar püskürtülerek yapılıyorsa nemlendirmenin yanında ısıtma da yapılıyor demektir. ($T_3 > T_2$). Eğer nemlendirme su püskürtülerek yapılıyorsa su, buharlaşma gizli ısınımları havadan alacak ve havasoguyacaktır ($T_3 < T_2$).



Şekil 3.3 Nemlendirme işlemi

4. Deney Tesisatı





5. Deneyin Yapılışı

Deney tesisatının temel elemanları ve ölçme sistemleri incelendikten sonra, sistem yaz kliması konumunda (soğutma için) çalıştırılır. Evaporatör üzerinden akan kondens suyu oluşumuna kadar sistemin rejime girmesi beklenir. Kondens suyunun aktığı görüldükten sonra ölçüm değerleri kaydedilir.

Daha sonra tesisat kış kliması konumu (ısıtma) için hazırlanır. Dahasonra buharlı nemlendirici çalıştırılır ve sistem rejime girdikten sonra ölçüm değerleri not edilir.

Ölçüm değerleri alındıktan sonra psikrometrik diyagramdan aşağıdaki tabloda eksik kalan diğer veriler doldurulur ve hesaplanması gereken veriler hesaplanır.

6. Ölçüm Değerleri

6.1. Kış Kliması

| Isıtma | T_k [°C] | T_y [°C] | ϕ (%) | ω (kgsb/ kgkh) | h (kJ/kg) | $T_{\text{çığ}}$ [°C] | ρ (kg/m ³) | m_{su} (kg/s) | Q (kW) |
|--------|------------|------------|------------|--------------------------|----------------|-----------------------|--------------------------------|---------------------------|-------------|
| Giriş | | | | | | | | | |
| Çıkış | | | | | | | | | |

6.2. Yaz Kliması

| Soğutma | T_k [°C] | T_y [°C] | ϕ (%) | ω (kgsb/ kgkh) | h (kJ/kg) | $T_{\text{çığ}}$ [°C] | ρ (kg/m ³) | m_{su} (kg/s) | Q (kW) |
|---------|------------|------------|------------|--------------------------|----------------|-----------------------|--------------------------------|---------------------------|----------|
| Giriş | | | | | | | | | |
| Çıkış | | | | | | | | | |

6.3. Nemlendirme

| Nemlendirme | T_k [°C] | T_y [°C] | ϕ (%) | ω (kgsb/ kgkh) | h (kJ/kg) | $T_{\text{çığ}}$ [°C] | ρ (kg/m ³) | m_{su} (kg/s) |
|-------------|---------------|------------|------------|--------------------------|----------------|-----------------------|--------------------------------|---------------------------|
| Giriş | | | | | | | | |
| Çıkış | | | | | | | | |



7. İstenenler

Yaz ve kış kliması ile nemlendirme işlemleri psikrometrik diyagramda gösterilecek ve bu diyagram ile deney tesisatından okunan değerler yardımıyla gerekli hesaplamalar yapılarak yukarıdaki tablolar doldurulacaktır.



BASINÇ KAYIPLARI DENEYİ

Hazırlayanlar: Arş.Gör.Neslihan GÜNEŞ – Arş.Gör. Yakup ŞEN

1. Amaç

Sıvı akışkan hatlarında kullanılan ve akım çizgilerini geometrik olarak değiştirerek kısıtlayan yerel bağlantı cihazlarındaki basınç kayıplarını ölçmek. Bu ölçüm değerlerine bağlı olarak yerel kayıp katsayısı K değerini hesaplayabilmek. Ayrıca sıvı akışkan hatlarında kullanılan boruların gerek iç yüzey (cidar) akışkan arasındaki sürtünmeden ve gerekse akışkan moleküllerinin kendi aralarındaki sürtünmesinden kaynaklanan basınç kayıplarını ölçmek. Bu ölçüm değerlerine bağlı olarak sürtünme katsayısı değerini hesaplayabilmek.

2. Giriş

Enerjinin korunumu prensibi gereğince bir borudaki veya kontrol hacmindeki ideal ve gerçek akışında enerji kayıplarının olmaması gerekir. İdeal bir sıvı akışı halinde enerji dönüşümleri sadece bunlar arasında oluşur;

- 1.Akış işi (basınç yüksekliği)
- 2.Kinetik enerji (hız yüksekliği)
- 3.Potansiyel enerji (potansiyel yükseklik)

Bütün enerji formlarının (biçimleri) hepsi kullanışlı olup kullanışlı bir enerji çıkışına dönüştürülebilir veya sıvı akışında kullanılabilir(basınçlı tanklar içinde).

Gerçek sıvılar olması durumunda, sıvı akışı durumunda moleküller arasında sürtünme oluşur. Bu sürtünme iki ana nedenden dolayı ortaya çıkmaktadır.

- 1.Akışın akıntı dışı doğası
- 2.Sıvı viskozitesi sonucu sıvı sürtünmesi

Moleküller arasında sürtünme sonucu gerçek sıvılarda enerjinin dördüncü bir biçimi ortaya çıkar, sıvıların iç enerjisinin transfer olan bir enerji olarak isimlendirilir. Sonuç olarak bu enerji sonucu sıvı ısınır. Bu enerji transferi genellikle denetlenmediğinden “kayıp” olarak



kabul edilir. Çünkü sıvıdaki sıcaklık artışı çok küçüktür ve hızla yüzeylerden dağılır. Örnek olarak 10m'lik basınç kaybı su sıcaklığında sadece 0,0230C yükselmeye yol açar*.

3. Teori

3.1. Basınç Kayıplarının En Aza İndirilmesi

Akış kayıpları faydalı enerjinin kaybı olduğundan, kayıpların en aza indirilmesi çok önemlidir. Buna rağmen borular, bağlantı elemanları ve tesisat üzerindeki akış kayıplarının en aza indirilmesi için oldukça büyük bir masraf yapılması kaçınılmaz olacaktır.

İdeal olanı enerji kayıplarının düşürülmesi ve sıvı akış sisteminin fiyatının arttırılmasıdır. Birçok durumlarda (hatta büyük tesisatlarda bile) mühendislik tecrübelerine dayanan çok ekonomik sistem tasarım hesaplarına teşebbüs edilmez, geçmiş tecrübelerden yararlanarak pratik kurallardan yararlanılır. Bununla birlikte en ekonomik olarak tasarlanan sistem tasarımına ödenecek harç bir miktar fazla olabilecek iken enerji maliyetinin artması kaçınılmazdır.

Akış kayıpları şu yollarla azaltılabilir:

1. Akış hızını düşürün. Çünkü basma kayıpları katmanlı (laminer) akışta hıza eşit olarak değişirken türbülanslı akışta hızın karesiyle orantılı değişir. Akış hızı bir sistemde hız düşürülerek veya verilen bir debi için boru çapı büyütülerek düşürülür.

2. Sıvının viskozitesinin düşürülmesi. Bu genelde pratik bir uygulama değildir. Ancak fuel-oil gibi viskozitesi çok yüksek olan sıvılarda onları ısıtmak akışkanlıklarını arttırır. Diğer bütün durumlarda basınç kayıplarının düşürülmesi ısıtma masraflarından ucuza gelecektir.

3. Girdap ve türbülansların en aza indirilmesi. Bu, boru ve elemanlarında keskin köşelerden, ani kesit değişimlerinden pürüzlü iç yüzeylerden kaçınmak suretiyle dikkatli sistem tasarımıyla sağlanabilir. Buna rağmen, standart boru ve bağlantı elemanlarının kullanılması ekonomik olucaksa bunları basınç kayıplarını en aza indirecek şekilde seçmek gerekir.

3.2. Borularda Akış Kayıpları



Borularda akış kayıplarını hesaplamak için en kullanışlı formüllerden biri Darcy-Weisbach denklemidir (Darcy eşitliği olarak da bilinir).

$$H_L = f \cdot \frac{L}{d} \cdot \frac{u^2}{2g} \quad (1.1.)$$

Burada;

H_L = basma kaybı (m akışkan akışı)

L = borunun uzunluğu (m)

u = ortalama anma akış hızı (m/s)

g = yer çekim ivmesi (m/s²)

f = boyutsuz sürtünme faktörü

Örnek 3.1

Uzunluğu 1km, çapı 100mm olan borudan 20 L/s su geçmesi durumunda basma yüksekliği kaybını ve böylece basınç kayıplarını hesaplayınız. Sürtünme faktörü 0,02 kabul edilecektir.

Çözüm:

İlk olarak anma hızı u hesaplanır:

$$u = \frac{\dot{V}}{A} = \frac{20 \cdot 10^{-3}}{\pi \cdot \frac{0,1^2}{4}} = 2,55 \text{ m/s}$$

1.1 formülünde yerine konursa;



$$H_L = 0,02 \cdot \frac{1000}{0,1} \cdot \frac{2,55^2}{2 \cdot 9,81}$$

$$H_L = 66,1\text{m}$$

basma yükseklik kaybı bir basınç kaybı olduğundan

$$H_L = h_p = \frac{P}{\rho g}$$

$$P = \rho \cdot g \cdot H_L$$

$$P = 10^3 \cdot 9,81 \cdot 66,1 \text{ (Pa)}$$

$$P = 648 \text{ kPa bulunur}$$

Örnek 3.2

Örnek 3.1’de verilen boru için akış hızlarına karşı basma yüksekliği kayıplarını bir grafik halinde, anma akış hızı 0 ve 5m/s aralığında 1m/s’lik adımlarla çiziniz. Sürtünme kaybını sabit kabul ediniz.

Çözüm:

Darcy eşitliğinden;

$$H_L = f \cdot \frac{L}{d} \cdot \frac{u^2}{2g}$$

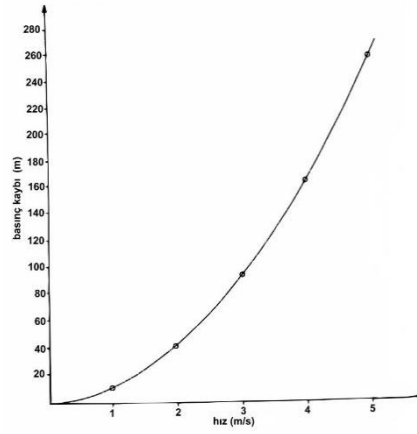
$$H_L = 0,02 \cdot \frac{1000}{0,1} \cdot \frac{u^2}{2 \cdot 9,81}$$

$$H_L = 10,19u^2$$

Şimdi yukarıdaki formüle hızları koyarak basma kayıplarını hesaplayabiliriz.

| u (m/s) | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|--------------------|---|------|------|------|-------|-------|
| H _L (m) | 0 | 10,2 | 40,8 | 91,7 | 163,3 | 254,5 |

Bu noktalar Şekil-3.1’de çizilmiştir. Bu elbette bir paraboldür, çünkü sürtünme kaybı sabit kabul edildiğinden, basma kayıpları hızın karesiyle değişir. Böylelikle uzun borularda yüksek akış hızlarından kaçınmak gerektiğini görmekteyiz ve küçük bir hız azalmasında (örnek olarak 5m/s’den 4m/s’ye azalmasında) basma kayıplarında çok önemli bir azalma olmaktadır(255m’den 163m’ye düşer).



3.3.Sürtünme Faktörünün Hesaplanması

Örnek-3.2’de sürtünme faktörü sabit kabul edilmişti. Pratikte buna rağmen sürtünme faktöründeki artış bilinmez ve akış hızları değiştiğinden dolayı sabit kabul edilemez. Sürtünme kaybının bulunması ile ilgili birçok kartlar ve diyagramlar bulunmaktadır. Fakat Şekil-1.2’de gösterilen Moody diyagramı çok geniş kullanıma sahiptir.

Moody diyagramı aslında sürtünme faktörü (sol y ekseninde) ve Reynolds sayısı(x ekseninde)nınlogaritmik ölçekte çizimidir. Sağ taraftaki y eksenini şu şekilde tanımlanan bağıl pürüzlülük değerini verir:

$$\text{Bağıl pürüzlülük}(\epsilon_R) = \frac{\text{mutlak pürüzlülük}(\epsilon)}{\text{boru çapı}(d)}$$

Mutlak pürüzlülük yüzeydeki girinti çıkıntıların ortalama yüksekliğidir ve borunun malzemesine ve üretim yöntemine bağlı olarak değişmektedir. Tipik mutlak pürüzlülük değerleri Moody diyagramı içinde gösterilmiştir. Ekstruzyonla üretilen (demir dışı) borular, cam ve plastik borular çok hassas yüzeye sahiptir ve tamamen sürtünmesiz olarak kabul edilebilir. En düşük sürtünme faktörü (verilen bir Reynolds sayısı ile) en aşağıdaki eğri “pürüzsüz borular”ı göstermektedir.



Reynolds sayısı 2000'ın altında ise akış katmanlı (laminer)dır. Laminer akışta sürtünme faktörü, pürüzlülüğten bağımsız olarak sadece Reynolds sayısına bağlıdır. Bu, diyagramın sol tarafında aşağıya doğru düz bir çizgi olarak gösterilmiştir. Sadece laminer akış için;

$$f = 64/Re$$

Bu değer Reynolds sayısı 2000 ile 4000 arasında olduğunda akış kararsız bir bölgededir ve diyagram kullanılamaz.

Reynolds sayısı arttığında akış tedirgin (türbülanslı) olmaya başlar. Diyagramda sağa yatay olarak tamamen türbülanslı bölgeye gelindiğinde, sürtünme faktörü Reynolds sayısından bağımsız hale gelir. Bu bölge diyagramda kesikli çizgiler halinde ayrılmıştır. Sadece bu bölge için sürtünme faktörü hızın değişmesi ile değişmez ve basma kayıpları eğrisi doğru bir parabol olacaktır.

Örnek-3.3

Viskozitesi 0,06 Pa.s olan yağ (BY=0,9), 120mm çapında, 100m uzunluğunda dökme demir bir boru içinden akmaktadır. Basma kayıplarını su hızlar için hesaplayınız.

a) 1m/s b) 3m/s c) 10m/s

Çözüm:

Moody diyagramından mutlak pürüzlülük $\epsilon = 0,25\text{mm}$ (dökme demir)

$$\epsilon_R = \frac{\epsilon}{d} = \frac{0,25}{120} = 0,0021$$

a) $u = 1\text{m/s}$



$$Re = \frac{u.d.\rho}{\mu} = \frac{1.0,12.900}{0,06} = 1800$$

$$\text{Akış katmanlı olduğundan } f = \frac{64}{Re} = \frac{64}{1800} = 0,0356$$

11.1'deki formül kullanılarak;

$$H_L = f \cdot \frac{L}{d} \cdot \frac{u^2}{2g}$$

$$H_L = 0,0356 \cdot \frac{100}{0,12} \cdot \frac{1^2}{2.9,81}$$

$$H_L = 1,51m$$

b) $u = 3m/s$

$$Re = \frac{u.d.\rho}{\mu} = \frac{3.0,12.900}{0,06}$$

$$Re = 5400$$

Moodydiyagramı kullanılarak $Re = 5400$ ve bağıl pürüzlülük $= 0,0021$ için $f = 0,0395$ bulunur

11.1 formülünde yerine konulursa

$$H_L = 0,0395 \cdot \frac{100}{0,12} \cdot \frac{3^2}{2.9,81}$$

$$H_L = 15,1m$$

c) $u = 10m/s$

$$Re = \frac{u.d.\rho}{\mu} = \frac{18.0,12.900}{0,06}$$

$$Re = 18.10^3$$

Moodydiyagramında $Re = 18.10^3$ ve bağıl pürüzlülük $= 0,0021$ için $f = 0,031$ bulunur

11.1 formülünde yerine konulursa

$$H_L = 0,031 \cdot \frac{100}{0,12} \cdot \frac{10^2}{2.9,81}$$

$$H_L = 132m$$

Bu basma kayıpları elbette çok yüksek olduğundan pratik değildir. $P = \square .g.hp$ olduğundan boru boyunca basınç düşmesi $900.9,81.132 = 1,165 MPa$ olacaktır. Bu açık bir durum olduğundan mühendisler basma kayıplarını düşürmek için boru çaplarını büyütürler.



hızlarını düşürmelidirler. Ayrıca dökme demir yerine daha pürüzsüz yüzeye sahip çelik boru veya çekme demir boru kullanılarak basma kayıplarını azaltabilirler.

3.4. Bağlantı Elemanlarındaki Basma Kayıpları

Bağlantı elemanlarındaki basma kayıpları sıklıkla “ikincil kayıplar” olarak adlandırılırsa da yanlış kullanım olduğunda bağlantı elemanlarından kaynaklanan basma kayıpları boruların kendisinden kaynaklanan kayıpları geçebilir.

Bağlantı elemanlarındaki kayıpların hesaplanmasında çeşitli yöntemler kullanılabilir, en yaygın ve geniş kullanım “K faktörü” yöntemidir. K faktörü 1.2 eşitliğinde tanımlanmaktadır.

$$H_L = K \cdot \frac{u^2}{2g} \quad (1.2)$$

Burada;

H_L = bağlantı elemanlarındaki basma kayıpları (m akışkan akışı)

u = ortalama veya anma akış hızı (m/s)

g = yer çekim ivmesi (m/s²)

K = boyutsuz bağlantı kayıp faktörü

K değerinin bulunması için birçok tablo ve diyagramlar elde edilebilir ki o pratikte şunlara bağlıdır:

1. Bağlantı elemanının malzemesi ve üretim yöntemi
2. Bağlantı elemanının boyutu
3. Akışkanın doğası (durumu) (karakteri)

Buna rağmen K faktörünün hesabında yüksek hassasiyet gerektirmeyen durumlar için Tablo 3.1’deki ortalama değerleri birçok durumlarda kullanılabilir.

Notlar:



1. Ani duraklama ve genişlemelerde K faktörü giriş A1 yüzeyi ile çıkış A2 yüzeyi oranına bağlıdır. Ani genişleme durumunda Tablo 11.1 K faktörünü belirlemek için basit bir formül verilmiştir. Ani daralma durumunda aynı formül kullanılmaz ve K değeri tablodan uygun olan oranına göre seçilir.

2. Şayet bir boru tank veya depoya bağlanıyorsa, A1/A2 oranı sıfır alınabilir. Bundan dolayı $K=1$ alınır. Bir tank veya depodan bir boruya girişte A2/A1 oranı sıfır alınabilir, böylece $K=0,5$ alınır.

3. Yavaş daralmalar için, gittikçe incelen veya iyi yuvarlatılmış geçişlerde basma kaybı ihmal edilebilir. Kademeli genişlemelerde K faktörü duvarın eğimine bağlıdır. Şayet açı 500°'yi aşarsa etkisi ani genişleme gibi olur ve $K=1$ alınabilir. Şayet açı çok keskin ise ve 100°nin altında ise basma kayıpları ihmal edilebilir ve $K = 0$ alınabilir.

4. Vana için K faktörü (ve ayrıca basma kaybı) valfin açılma oranına bağlıdır. Valf tamamen kapalı olduğunda K faktörü sonsuz olduğunda valfle tamamen basma kaybı vardır (akış olmaz). Tam akış olan bir sistemde valf norma olarak tamamen açıktır. Buna rağmen, tasarım mühendisleri valfleri seçerken ayar emniyeti sağlamak üzere $\frac{1}{2}$ veya $\frac{3}{4}$ açık olarak dikkate alırlar. Bazı durumlarda kısma kontrolün önemli bir parçasıdır, sıvı akış sistemini tasarlarken düşük bir kısma gerekebilir.

5. Sabit boru çaplarında uygun boyutlu bağlantı elemanları kullanılabilir. u hızı bütün bağlantı elemanlarında sabit kabul edilir. Böylece toplam K faktörü bütün bağlantı elemanlarının K değerlerinin toplamı olarak alınabilir. Bu durum Örnek 11.4'te açıklanmaktadır.



TABLO 1. Bağlantı elemanları için tipik K faktörleri

| BAĞLANTI ELEMANI | K FAKTÖRÜ |
|---|------------------|
| U dönüşü (kapalı) | 2.2 |
| Standart 45° dirsek | 0.4 |
| Standart 90° dirsek | 0.9 |
| Uzun radyuslü (geniş) 90° dirsek | 0.6 |
| Dişli birleştirme (ünyon) | 0.05 |
| T (akış hat boyunca) | 0.4 |
| T (akış yan taraftan) | 1.8 |
| Ani genişleme | $(1-A_1/A_2)^2$ |
| Ani daralma (A_2/A_1) | 0.5 |
| 0.1 | 0.4 |
| 0.3 | 0.45 |
| 0.5 | 0.3 |
| 0.7 | 0.2 |
| 0.9 | 0.08 |
| Yavaş daralma | İhmal edilebilir |
| Yavaş genişleme, açığa bağlı | >50° 1.0 |
| 40° | 0.9 |
| 30° | 0.7 |
| 20° | 0.4 |
| 10° | 0.15 |
| Sürgülü (şiber) vana, (konumu) tam açık | 0.2 |
| ¾ açık | 0.9 |
| ½ açık | 5.0 |
| ¼ açık | 24 |
| Stop (diskli) vana, (konumu) tam açık | 10.0 |
| ¾ açık | 11.0 |
| ½ açık | 12.5 |
| ¼ açık | 50.0 |
| Klapeli valf, filtreli (mafsallı) | 2.0 |
| (kaldırmalı) | 10.0 |
| Çek valf (klape), (mafsallı) | 2.5 |
| (bilyalı) | 4.0 |
| (kaldırmalı) | 15.0 |



Örnek-3.4

Bir sistemde su 60m yükseğe 100mm çaplı galvanizli çelik boru ile pompalanmakta ve aşağıdaki bağlantı elemanları bulunmaktadır:

1 adet klapeli valf ve pislik tutucu

4 adet standart 900 dirsek

4 adet dişli ünyon

2 adet kapama valfi

1 adet ani genişleme (basınçlı tanka)

Kapama valfi yarım açık konumda iken 20 L/s debide sistemdeki basma kayıplarını hesaplayınız. Suyun viskozitesini $0,9 \cdot 10^{-3}$ Pa.s kabul edin.

Çözüm:

İlk olarak u hızı hesaplanır.

$$u = \frac{\dot{V}}{A} = \frac{20 \cdot 10^{-3}}{\pi \cdot \frac{0,1^2}{4}} = 2,55 \text{ m/s}$$

Böylece Reynolds sayısı hesaplanabilir;

$$Re = \frac{u \cdot d \cdot \rho}{\mu} = \frac{2,55 \cdot 0,1 \cdot 10^3}{0,9 \cdot 10^{-3}} = 2,83 \cdot 10^5$$

Boru Moody diyagramında (şekil 11.2) ϵ (galvanizli döküm) = 0,15mm alınır. Böylece bağıl pürüzlülük $\epsilon/d = 0,15/100 = 0,0015$

Diyagramdan; $f = 0,0225$

1.1'deki Darcy formülü kullanılarak;



$$H_L = f \cdot \frac{L}{d} \cdot \frac{u^2}{2g}$$

$$H_L = 0,0225 \cdot \frac{60}{0,1} \cdot \frac{2,55^2}{2 \cdot 9,81}$$

$$H_L = 4,47\text{m}$$

Bağlantı Elemanları

Tablo 1'i kullanarak

| Bağlantı | Sayısı | K Faktörü | Toplam K Faktörü |
|---------------|--------------|-----------|------------------|
| Dip vanası | 1 | 2,0 | 2,0 |
| Dirsek | 4 | 0,9 | 3,6 |
| Ünyon | 4 | 0,05 | 0,2 |
| Burgulu vana | 1 açık | 5,0 | 5,0 |
| | 1 yarım açık | 1,0 | 1,0 |
| Genişleme | 1 | 1,0 | 1,0 |
| Toplam | | | 12,0 |

1.2 formülü kullanarak;

$$H_L = K \frac{u^2}{2g}$$

$$H_L = 12 \cdot \frac{2,55^2}{2 \cdot 9,81}$$

$$H_L = 3,98\text{m}$$

Sistemdeki toplam basma kayıpları, borulardaki ve bağlantı elemanlarındaki basma kayıplarının toplamıdır.

$$H(\text{toplam}) = 4,47 + 3,98 = 8,45\text{m}$$

3.5.Eşdeğer Uzunluk (Le)

Bir bağlantı elemanın eşdeğer uzunluğu, aynı basma kaybını veren düz boru uzunluğu olarak tanımlanır ve sıkça kullanılır.



$$f \frac{\ell e}{d} \cdot \frac{u^2}{2g} = K \frac{u^2}{2g}$$

$$\ell e = K \frac{d}{f} (1.3)$$

Örnek-3.5

100 mm çaplı tamamen açık ve küresel vananın eşdeğer uzunluğunu bulunuz.

Çözüm:

Tablo-1.1'den $K = 10$, 1.3 eşitliği kullanılarak;

$$\ell e = k \frac{d}{f} = \frac{10 \cdot 0,1}{0,02} = 50m$$

Örnek-3.6

Örnek 1.4'ü eşdeğer uzunluğu kullanarak çözünüz.

Çözüm:

$$K = 12, f = 0,0225, d = 0,1m$$

$$\ell e = \frac{12 \cdot 0,1}{0,0225} = 53,3m$$

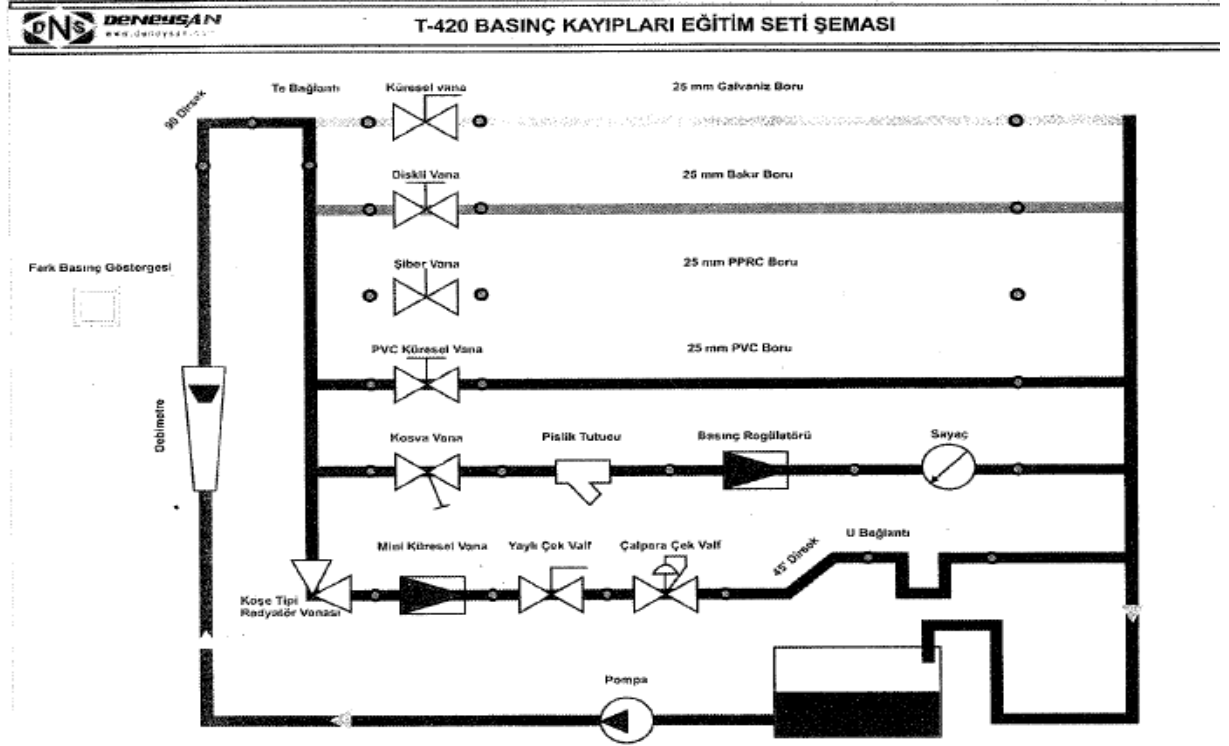
$$\ell(\text{toplam}) = 60 + 53,3 = 113,3m$$

$$H_L = f \frac{\ell}{d} \frac{u^2}{2g}$$

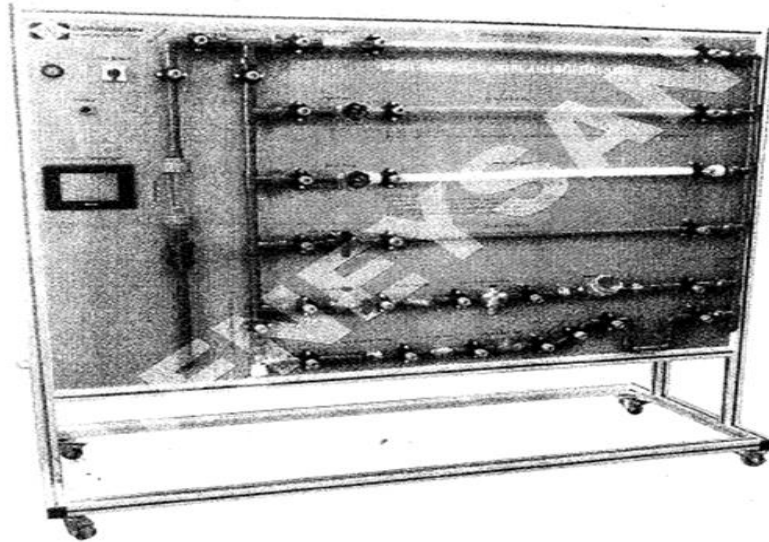
$$H_L = 0,0225 \cdot \frac{113,3}{0,1} \cdot \frac{2,55^2}{2 \cdot 9,81}$$

$$H_L = 8,45m \text{ (daha önce bulunmuştu)}$$

4. Deney Tesisatı



Şekil 2. Basınç Kayıpları Deney Şeması



Şekil 3. Basınç Kayıpları Deney Tesisatı



5. Deneyin Yapılışı

Cihazın Teknik Özellikleri

Tablo 2 Basınç Kayıpları Cihazının Teknik Özellikleri

| | | |
|----|------------------------------|-------------------------------|
| 1 | Pano boyutları | 1800x1200 mm |
| 2 | Pano malzemesi | DKP SAÇ |
| 3 | Deneysel ölçüm sayısı | 20 |
| 4 | Debi ölçüm aralığı | 250-2500 L/h |
| 5 | Boru malzemesi ve çapı | PPRC-PVC-BAKIR-GALVENİZ-25 mm |
| 6 | 25 mm PVC boru iç çapı | 20,80 mm |
| 7 | 25 mm PPRC boru iç çapı | 15,75 mm |
| 8 | 25 mm GALVENİZ boru iç çapı | 22,40 mm |
| 9 | 25mm BAKIR boru iç çapı | 23,10 mm |
| 10 | Pompa maks. basma yüksekliği | 40 mSS |
| 11 | Pompanın maksimum debisi | 2100 L/h |

5.1 Yerel Kayıp Katsayılarının Tayini

- 1)Manometre bağlantı hortumlarını diskli vana giriş ve çıkışındaki tapalara bağlayın.
- 2)Su hattını açın ve debiyi 100 L/h değerine ayarlayın.
- 3)Ölçüm değerlerini tabloya kaydedin.
- 4)Su debisini sırayla 200, 300, 400, ve 500 L/h değerlerine ayarlayarak ölçümleri tabloya kaydedin.
- 5)Debi değerlerini boru kesitine bölerek akış hızlarını bulun.
- 6)(1.2) formülü yardımıyla K değerlerini farklı akış hızları ve basınç kayıpları için hesaplayın.

$$K = \frac{H_L}{u^2} \cdot 2g$$

7)1 ile 6 arasındaki işlem adımlarını vananın farklı açıklık oranları için tekrarlayabilirsiniz.

8)Diğer vana ve bağlantı elemanları için deneyleri benzer şekilde tekrarlayın.



5.2 Sürekli Basınç Kayıplarının Ölçümü

1)Manometre bağlantı hortumlarını ince düz boru (çap 25 mm) giriş ve çıkışındaki tapalara bağlayın.

2)Su hattını açın ve debiyi 100 L/h değerine ayarlayın.

3)Ölçüm değerlerini tabloya kaydedin.

4)Su debisini sırayla 250, 500, 1000, ve 1500 L/h değerlerine ayarlayarak ölçümleri tabloya kaydedin.

5)Debi değerlerini boru kesitine bölerek akış hızlarını bulun.

6)Moody diyagramı yardımıyla borunun bağıl pürüzlülük değerini hesaplayın.

7)Akış hızı yardımıyla akışın Reynolds değerini hesaplayın.

$$Re = \frac{\rho v_s d}{\mu} = \frac{v_s d}{\nu} = \frac{\text{Atalet kuvvetleri}}{\text{Viskozite kuvvetleri}}$$

• v_s - akışkanın hızı [m/s]

• d - boru çapı [m]

• μ - akışkanın dinamik viskozitesi [Ns/m³]

• ν - akışkanın kinematik viskozitesi: $\nu = \mu / \rho$

• ρ - akışkanın yoğunluğu [kg/m³]

8)Bağıl pürüzlülük ve Re sayısını Moody diyagramında kesiştirerek f sürtünme katsayısını bulun.



9) Sürtünme katsayısı (f) değerini Darcy (1.1) formülünde yerine koyarak basınç kaybını hesaplayın.

$$H_s = f \frac{L u^2}{D 2g} \quad (1.1)$$

10) Hesaplanan değerler ile ölçülenleri karşılaştırın.

6. Ölçüm Değerleri

| DEBİLER | 250L/h | 500L/h | 750L/h | 1000L/h | 1500L/h |
|---------------------------|--------|--------|--------|---------|---------|
| Küresel vana | | | | | |
| Diskli vana | | | | | |
| Şiber vana | | | | | |
| PVC küresel vana | | | | | |
| Kosva vana | | | | | |
| Mini küresel vana | | | | | |
| Pislik tutucu | | | | | |
| Basınç regilatörü | | | | | |
| Su sayacı | | | | | |
| Yaylı çekvalf | | | | | |
| Çalpara çekvalf | | | | | |
| Köşe tipi radyatör vanası | | | | | |
| U bağlantı | | | | | |
| 45° dirsek | | | | | |
| 90° dirsek | | | | | |
| TE bağlantı | | | | | |

| Debiler | Boru dış çaplar | Boru iç çaplar | kesitler | Debi 250L/h | Debi 500L/h | Debi 750L/h |
|---------------|-----------------|----------------|----------|-------------|-------------|-------------|
| Galveniz boru | | | | | | |
| Bakır boru | | | | | | |
| PPRC boru | | | | | | |
| PVC boru | | | | | | |



7. İstenenler

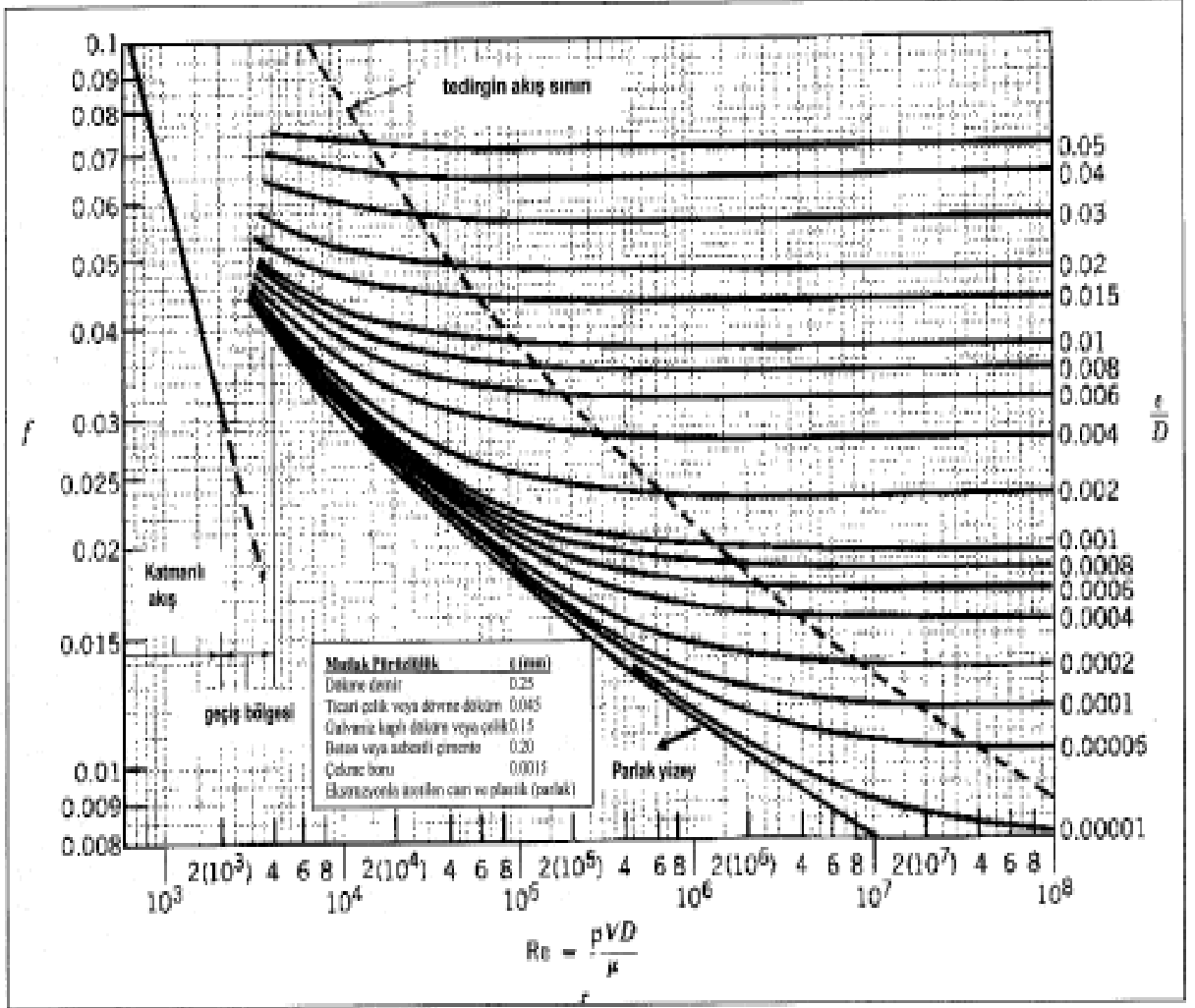
Ölçüm sonuçlarını her bir vana için karşılaştırın (maliyet, enerji kaybı, kalite, lokal kayıp katsayıları, tesisatta seçilebilirlik, kullanılabilirliği, tercih edilme sebeplerini kısaca karşılaştırarak (grafikler veya tablolar halinde) açıklayın.

Aynı karşılaştırmayı boru tipi seçimi için (galvenizli, bakır, PPRC ve PVC boru için) yaparak, tesisatta kullanacağınız boruyu hangi parametrelere göre seçtiğinizi ve neden-sonuç ilişkisi içerisinde açıklayın.

Ayrıca yapılan deneysel ölçümler ile sizin yaptığınız teorik hesaplamaları grafik ya da tablolar halinde sunarak; deneysel sonuçlar ve teorik hesaplamalar arasındaki temel benzerlik veya bazı farklılıkları kısaca yorumlayın.

EK-1 Doymuş suyun farklı sıcaklıklardaki viskozite ve yoğunluk değişimleri

| $T, ^\circ\text{C}$ | $\rho, \text{kg/m}^3$ | $\mu, \text{N} \cdot \text{s/m}^2$ | $\nu, \text{m}^2/\text{s}$ |
|---------------------|-----------------------|------------------------------------|----------------------------|
| 0 | 1000 | 1.788 E-3 | 1.788 E-6 |
| 10 | 1000 | 1.307 E-3 | 1.307 E-6 |
| 20 | 998 | 1.003 E-3 | 1.005 E-6 |
| 30 | 996 | 0.799 E-3 | 0.802 E-6 |
| 40 | 992 | 0.657 E-3 | 0.662 E-6 |
| 50 | 988 | 0.548 E-3 | 0.555 E-6 |
| 60 | 983 | 0.467 E-3 | 0.475 E-6 |
| 70 | 978 | 0.405 E-3 | 0.414 E-6 |
| 80 | 972 | 0.355 E-3 | 0.365 E-6 |
| 90 | 965 | 0.316 E-3 | 0.327 E-6 |
| 100 | 958 | 0.283 E-3 | 0.295 E-6 |



Şekil 4. Moddy Diyagramı



TOPARLAK İZLEYİCİLİ, RADYAL KAM MEKANİZMASININ DİNAMİK DAVRANIŞI VE KUVVET KAPALILIĞIN BOZULDUĞU KRİTİK DEVİR SAYISININ TAYİNİ DENEYİ

Hazırlayanlar: Prof.Dr.O.KOPMAZ – Y.Doç.Dr.S.TELLİ ÇETİN

1. Amaç

Bu deneyde toparlaklı, santrik (merkezi) ötelenen izleyicili, kuvvet kapalı bir radyal kam mekanizmasının dinamik davranışının gözlenmesi ve izleyicinin atalet kuvvetleri nedeniyle kamla temasının kesildiği kritik devir sayısının tayini amaçlanmaktadır. Deneyle bulunan devir sayısı teorik model yardımıyla bulunanla mukayese edilerek, teorik yaklaşımın geçerliliği de irdelenecektir.

2. Giriş

Kam mekanizmalarında izleyici ile kamın teması esas itibariyle iki yolla sağlanır. Bunlardan birincisi herhangi bir kuvvet tatbikiyle izleyicinin kama temas ettirilmesi (Buna kuvvet kapalılık denir). İkinci yol ise kam ve izleyiciye özel bir şekil verilerek birbirleriyle devamlı temasta kalmalarını sağlamaktır (Buna da şekil kapalılık adı verilir).

Kuvvet kapalı kam mekanizmalarında işletme devir sayısı için bir üst sınır söz konusudur. Bu sınıra erişildiğinde izleyici kamın konturundan ayrılır, tabiri caizse “uçar” ve çok kısa bir müddet sonra tekrar çarparak kamla temasa geçer. Bu çarpıp ayrılmalar mevcut dinamik şartlara göre ardarda veya münferit olabilir. İzleyicinin kam yüzeyinden ayrılması ve uçuşuna “sıçrama” (İngilizcesi jump) denir. Sıçrama hadisesi istenmeyen bir şeydir. Bir kere kam mekanizmasından beklenen hareket planı gerçekleşmemiş olur; ikincisi sıçramalar iki cismin çarpışması demektir ki, mekanizma uzuvlarında kalıcı deformasyonlara veya kısaca hasara yol açarlar.

3. Teori

Kuvvet kapalı bir radyal kam mekanizmasında temasın kesileceği işletme devir sayısı izleyicinin hareket denklemi yazılıp burada kamdan gelen temas kuvveti sıfıra eşitlenerek

bulunur. Bunu şekil yardımıyla açıklayacak olursak Şekil.1 den görüleceği üzere izleyicinin hareket denklemleri şöyle yazılabilir:

$$x \text{ doğrultusunda } (\rightarrow \sum F_x = ma_x)$$

$$-F \cos \mu + F_A - F_B = 0 \quad (1)$$

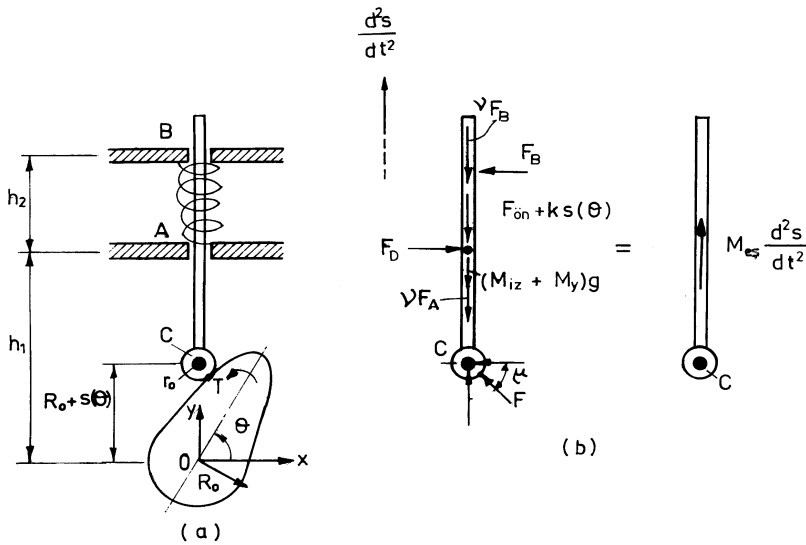
$$y \text{ doğrultusunda } (\uparrow \sum F_y = ma_y)$$

$$-F \sin \mu - v(F_A + F_B) - (F_{\ddot{on}} + k s(\theta)) - m g = m_{es} \frac{d^2 s}{dt^2}$$

(2)

$$\text{Moment denklemi } (\curvearrowright M_c = I \alpha)$$

$$[h_1 - R_0 - s(\theta)]F_A - [h_1 + h_2 - R_0 - s(\theta)]F_B = 0 \quad (3)$$



Burada μ bağlama açısı (İng. Transmission angle) olup, $R_0 = R + r_0$ sivri uçlu izleyicili kamın temel daire yarıçapı, r_0 toparlak yarıçapı, R toparlaklı izleyicili kamın temel daire



yarıçapı (buna ekidistans temel daire yarıçapı da denir) olmak üzere kam mekanizmaları teorisinden bilindiği gibi

$$\mu = \tan^{-1} \frac{R_0 + s(\theta)}{ds/d\theta} \quad (4)$$

bağıntısı mevcuttur. Ayrıca v (nü okunur) sürtünme katsayısı, k yay katsayısı, $F_{\text{ön}}$ yayın öngerilme kuvveti, m izleyiciyle hareket eden ve ağırlık yapan kütlelerin toplamı, $m_{\text{eş}}$ ataletçe eşdeğer kütledir. İzleyicinin (fevkalade küçük yatak boşluklarının müsaade ettiği hariç) x doğrultusunda hareketi ve hareket düzlemine dik bir eksen etrafında dönmesi olmadığından (1) ve (3) denklemlerinin sağ tarafına sıfır konmuştur; yani

$$\begin{aligned} a_x &= 0, & \alpha &= 0 \\ a_y &= d^2s/dt^2 \end{aligned} \quad (5)$$

olmaktadır.

Burada kritik devir sayısının tayininde (2) numaralı denklemden yararlanılacaktır. Bu denklemden kamdan izleyiciye kuvvet gelmemesi için iki şartın mevcudiyeti ortaya çıkar; ya $\mu=0^\circ$ dir veya $F=0$ 'dır veya iki hal birlikte mevcuttur. $\sin \mu \neq 0$ kabul etmek şartıyla $F=0$ olması halinde (2) denklemden aşağıdaki bağıntı elde edilir:

$$m_{\text{eş}} \frac{d^2s}{dt^2} + v(F_A + F_B) + (F_{\text{ön}} + ks(\theta)) + mg = 0 \quad (6)$$

(6) ifadesinin sıfıra eşit olması için her halükarda $d^2s/dt^2 < 0$ olması gerektiği anlaşılmaktadır. Şu halde kritik devir sayısında ayrılma (jump) hadisesi izleyici ivmesinin negatif olduğu bölgede beklenmelidir. Hareket kanunlarıyla ilgili bilgilerimize göre

$$\frac{d^2s}{dt^2} = \frac{d^2s}{d\theta^2} \dot{\theta}^2 + \frac{ds}{d\theta} \ddot{\theta} \quad (7)$$

yazılabilir. Burada $\ddot{\theta}=0$ (yani kamın sabit açısal hızla döndüğünü) kabul edeceğiz. Buna göre (6) bağıntısında ivme yerine

$$\frac{d^2s}{dt^2} = \frac{d^2s}{d\theta^2} \dot{\theta}^2 \quad (8)$$



yazılır ve $\dot{\theta}^2$ çekilirse kuvvet kapalılığın bozulacağı kritik devir sayısı için

$$\dot{\theta}^2_{kr} \geq \frac{v(F_A + F_B) + (F_{\dot{\theta}} + k s(\theta))}{m_{es} \left| \frac{d^2 s}{d\theta^2} \right|} \quad (9)$$

bağıntısını buluruz (Not: Burada $d^2 s/d\theta^2 < 0$ olduğunu biliyoruz, dolayısıyla oran pozitif bir sayıdır).

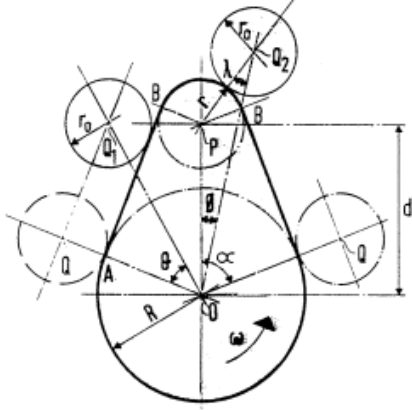
4. Deney Tesisatı

Tesisatta tahrik için şönt sargılı bir doğru akım elektrik motoru kullanılmakta olup, bu motor bir elastik kavramayla uzatma miline bağlanmıştır. Milin üzerinde devir sayısındaki dalgalanmaları azaltmak amacıyla bir de volan monte edilmiş vaziyettedir. Kam milin ucuna monte edilir ve emniyet somunları sıkılır. İzleyiciler toparlaklı veya tablalı tiptendir. İzleyici çubuğunun üst ucunda bir çelik bilye yer alır ve bu bilye bir yay ve de arzuya bağlı eklenecek kütleleri taşıyan ikinci bir çubuk tarafından yerinde tutulur. Bu bilye, üst çubuğa, sadece bir aksenal kuvvet iletilmesini temin eder.

İzleyicinin hareketini kaydetmek için kâğıt sarıllı bir düşey tambur mevcuttur ve bu tambur hareketini bir trigger kayışıyla kam milinden alır. Kam mili hızı bataryalı bir dijital takometreyle ölçülmektedir.

5. Deneyin Yapılışı

Deney tesisatında mile teğetsel kam monte edilir. İzleyici olarak mecburen toparlaklı olan kullanılacaktır. Şekil 2’de bu kamın teknik resmi görülmektedir. Bu kamın profili iki dairenin teğetlerle birleştirilmesinden oluşur.



Şekil 2

Burada,
R:Ekidistans temel daire yarıçapı
r₀: Toparlak yarıçapı
r:Kam burun kısmının yarıçapı
α: Temel daire üzerinde teğetsel kısmın başladığı noktadan kamın tepe noktasına kadar olan açı (toplam kalkış açısı) ve
d:Temel ve burun dairelerinin merkezleri arasındaki mesafedir.

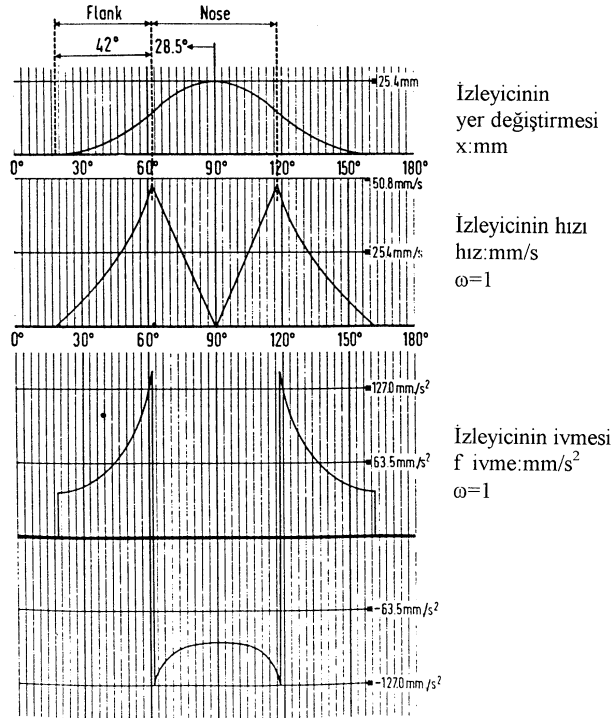
Bunların sayısal değerleri şöyledir:

$$R = 25.4 \text{ mm}, r = 12.7 \text{ mm}$$

$$d = 38.1 \text{ mm}, r_0 = 14.3 \text{ mm}$$

$$\alpha = \cos^{-1} \frac{R - r}{d} = 70.53^\circ$$

Bu kama ait deplasman, hız ve ivme grafikleri ise Şekil 3'deki gibidir.



Şekil 3.



Kamın teğetsel kısmıyla burun kısmında izleyicinin deplasman, hız ve ivmesini veren ifadeler, kam sabit duruyor ve izleyici ters tarafa dönüyormuş gibi düşünülerek aşağıdaki gibi bulunabilir.

İzleyicinin en düşük konumunda toparlak merkezi Q da bulunsun. Kam θ kadar döndüğünde, izleyicinin yer değiştirmesi

$$X = OQ_1 - OQ \\ = (R + r_0) \sec \theta - (R + r_0) \quad (10)$$

olup, hızı

$$V = \omega \frac{dx}{d\theta} = \omega (R + r_0) \sec \theta \tan \theta \quad (11)$$

ve ivmesi ise

$$a = \omega^2 \frac{d^2 X}{d\theta^2} = \omega \frac{dV}{d\theta} = \omega^2 (R + r_0) (\sec^3 \theta + \sec \theta \tan^2 \theta)$$

veya

$$a = \omega^2 \frac{d^2 X}{d\theta^2} = \omega \frac{dV}{d\theta} = \omega^2 (R + r_0) (\sec^3 \theta + \sec \theta \tan^2 \theta) \quad (12)$$

olur. Toparlak A dan B ye giderken, kamın taradığı açı β olsun. Şekilden,

$$\beta = \tan^{-1} \frac{d \sin \alpha}{R + r_0} = 42^\circ$$

olarak bulunur. (11) ve (12) de $\theta = \beta$ alınır, teğetsel kısımdaki maksimum hız ve ivme bulunur. Buna göre

$$|v|_{maks,teget} = 0.0484 \omega = 0.0051 N \text{ (m/s)}$$

(13)

$$|a|_{maks,teget} = 0.1411 \omega^2 = 0.00155 N \text{ (m/s}^2\text{)} \quad (14)$$



bulunur. Burada ω rad/s , N ise devir/dak cinsinden yerine konulmalıdır.

Toparlık izleyicinin en yüksek pozisyonundan itibaren ϕ açısı kadar döndürüldüğünde izleyicinin deplasmanı,

$$\sin \lambda = \frac{d \sin \phi}{r + r_0} \quad (15)$$

olmak üzere

$$\begin{aligned} x &= OQ_2 - OQ \\ &= \{d \cos \phi + (r + r_0) \cos \lambda\} - (R + r_0) \end{aligned}$$

olur. Burada

$$\cos \lambda = \sqrt{1 - \sin^2 \lambda} = \sqrt{1 - \left(\frac{d}{r + r_0}\right)^2 \sin^2 \phi} \quad (16)$$

yerleştirilir ve düzenlenirse

$$x = d \left\{ \cos \phi + \sqrt{\left(\frac{r + r_0}{d}\right)^2 - \sin^2 \phi} \right\} - (R + r_0) \quad (17)$$

ifade edilir. Buradan izleyici hızı

$$v = -\omega d \left\{ \sin \phi + \frac{\sin 2\phi}{2 \sqrt{\left(\frac{r + r_0}{d}\right)^2 - \sin^2 \phi}} \right\} \quad (18)$$

ve izleyici ivmesi

$$a = -\omega^2 d \left\{ \cos \phi + \frac{\sin^4 \phi + \left(\frac{r + r_0}{d}\right)^2 \cos 2\phi}{\left[\left(\frac{r + r_0}{d}\right)^2 - \sin^2 \phi\right]^{3/2}} \right\} \quad (19)$$



olur.

Burun bölgesinde ϕ 'nin maksimum değeri

$\phi_m = \alpha - \beta = 70.5 - 42 = 28.5^\circ$ 'dir ve bu (18) ve (19)'da yerine konursa burun kısmının sınırlarındaki hız ve ivmesinin maksimum şiddetleri aşağıdaki gibi bulunur:

$$|v|_{maks,burun} = 0.0302 \omega = 0.00316 N \text{ m/s}$$
$$|a|_{maks,burun} = 0.1349 \omega^2 = 0.00148 N \text{ m/s}^2$$

Burada ω rad/s veya N dev/dak cinsinden yazılacaktır.

Devir sayısı, düzenli aralıklarla arttırılır ve kaydedici kalemin tambur kağıdına çizdiği grafik mekanizma durdurularak gözlenir. Grafikte deplasman eğrisinden sapmanın olduğu tespit edildiği devir sayısı ile bir önceki devir sayısı arasında kalan devir sayılarında deney, kayıt kağıdı değiştirilerek daha küçük aralıklarla tekrarlanarak, kritik devir sayısı hassas biçimde tespiti çalışılır.

6.Ölçüm Değerleri

7.İstenenler

Deney sonucuyla teorik sonucun mukayesesi teorik modelin geçerliliğinin sınanması için lazım ve yararlıdır. Bunun için teorik kritik devir sayısını hesaplamalıyız. Mekanizmada yataklama yerlerindeki yağlama şartlarından ötürü sürtünmeyi ihmal edip (9) bağıntısında $v \cong 0$ alacağız. Lüzum edecek diğer sayısal değerler şöyledir:

$$m_{iz} = 1771.34 \text{ g}$$

$$m_{kalem} = 16.14 \text{ g}$$

$$m_y = 70.89 \text{ g}$$

Burada $m = m_{iz} + m_y + m_{kalem}$ ve $m_{eş} = m_{iz} + \frac{1}{3}m_y + m_{kalem}$ alınacaktır.



T.C.
BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ
2022-2023 GÜZ YARIYILI



$$k = \dots\dots\dots \text{kN/m}$$

$$F_{\ddot{o}n} = \dots\dots\dots \text{N}$$

dir.

Buna göre (9) yardımıyla

$$\dot{\theta}_{kr} \geq \dots\dots\dots \text{rad/s}$$

olarak bulunur.



TORNA İŞLEMLERİNDE KESME KUVVETLERİNİN ve YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNÜN ÖLÇÜLMESİ DENEYİ

Hazırlayanlar: Prof. Dr. M. C. ÇAKIR, Arş. Gör. Dr. C. ENSARİOĞLU

Giriş

Dünyadaki teknolojik gelişmelere paralel olarak, karmaşık ve yüksek hassasiyetli parçalara olan gereksinim hızla artmaktadır. Bu amaca hizmet eden sayısal denetimli takım tezgahlarının sağladığı en önemli avantaj, işlenen parça boyutlarındaki hassasiyet derecesinin ve yüzey kalitesinin operatörün tecrübesine bağlı olmamasıdır. Ancak, sayısal denetimli tezgahlarda takım aşınması zamanında tespit edilemez ve bu durum, karşılan en önemli sorunlardandır.

Aşınmış bir kesici ile yapılan talaş kaldırma işleminde, kesici takım tezgaha zarar verebileceği gibi, istenen parça boyutları ve yüzey kalitesi de elde edilemez. Ayrıca, keskinliğini kaybetmiş bir takıma etkiyen direnç kuvvetlerinin artması, kesme işlemi için gereken enerjiyi ve dolayısıyla maliyeti artırır (Çakır, 2013). Diğer taraftan, kesme kuvvetlerindeki değişim, takım aşınması hakkında bilgi almak için kullanılabilir.

Bu deneyde; tormalama işleminde kesme kuvvetlerinin ölçülebilmesi amacıyla bir kuvvetölçer, yüzey pürüzlülüğünün ölçülebilmesi amacıyla ise bir profilometre kullanılacaktır. Yapılan ölçümler, teorik olarak hesaplanacak değerlerle karşılaştırılacaktır.

Talaş Kaldırma İşleminin Esasları

Talaşlı imalat işlemindeki en önemli husus, işlemin mümkün olan en düşük maliyetle, istenilen kalitede gerçekleştirilmesidir. Bu hedef doğrultusunda oluşan işlenebilirlik kavramı, kesme koşullarının yanında takım-iş parçası malzemesi ikilisinin yoğun etkisini de içerir.

İşlenebilirliği yüksek bir malzemenin kısa sürede, yüksek talaş hacmiyle işlenmesi ve yeni oluşan yüzeyin kaliteli olması beklenir. Aynı zamanda, takım malzemesinin işlem esnasında az aşınması ve böylece uzun olması gerekir. Yüksek işlenebilirlik daima maliyet faktörünü göz önünde tutarak talaş kaldırma işleminin ekonomik olmasını öngörür.



İşlenebilirlik adı altında arzulanan özellikler genelde karşıt karakterde olup, ilgili kesme operasyonuna bağlı kalınarak optimum verim alınacak şekilde belirlenir.

İşlenebilirlik için önemli kriterler; takım ömrü, kesme kuvvetleri, yüzey kalitesi ve talaş oluşum koşullarıdır.

Takım Ömrü

Talaş kaldırma olayının ekonomikliği göz önüne alındığında, en önemli faktörlerden biri kesici takımın ömrüdür. Kaba talaş kaldırma işlemlerinde çeşitli takım açıları, kesme hızları, ilerleme değerleri ekonomik bir takım ömrü verecek şekilde seçilir. Çok kısa takım ömrü veren koşullar ekonomik değildir, çünkü takım bileme ve değiştirme maliyetleri yüksektir. Buna karşın, çok düşük kesme hızları ve ilerleme değerleri ile takım ömrünün gereğinden fazla uzatılması da ekonomik olmayacaktır. Çünkü bu durumda da üretim hızı düşecektir (Akkurt, 1985).

Kesme Kuvvetleri

Kesme kuvvetleri (Şekil 1) talaş oluşumuna, talaşın şekil değiştirmesine ve talaş ile takım arasında oluşan sürtünmelere bağlıdır. Kesme kuvveti üzerinde kesme hızının (V_c) ve kesme sıvısının etkisi azdır. γ talaş açısı ve κ yanaşma (yerleştirme) açısı büyüdükçe talaş kesitinin kesme kuvveti üzerindeki etkisi de büyür.

Ana kesme kuvveti F_c en önemli kesme kuvveti bileşenidir. Tam olarak ölçülebilmesi için bileşenlerin birbirlerini etkilemesinin önüne geçmek gerekir.

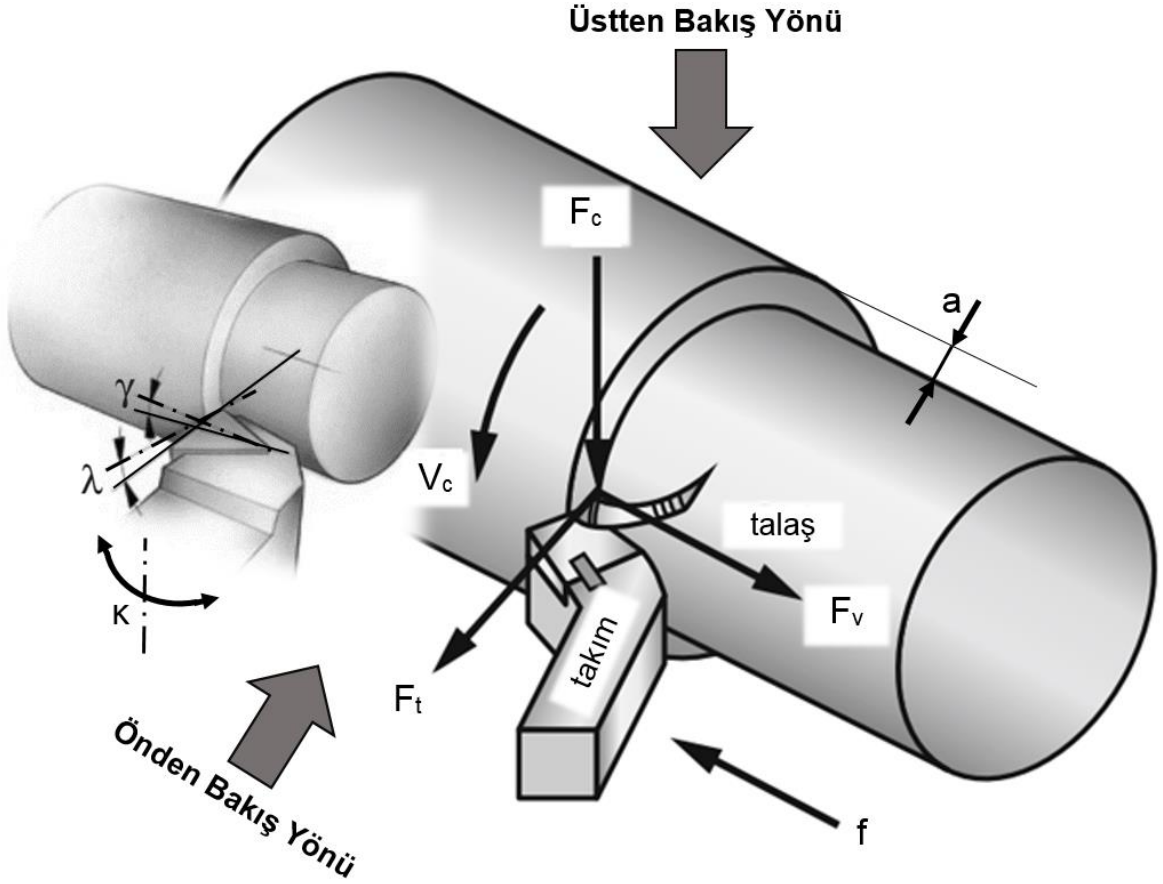
Genel olarak, ilerleme f ve kesme derinliği a 'nın artması F_c 'yi artırırken, kesme hızı V_c 'nin artması bu kuvveti düşürür (El-Hofy, 2013). Yaklaşık 450 m/dak'a kadar süren bu düşüşün sebebi, iş parçası malzemesinin termal yumuşaması olarak düşünülmektedir (Davim, 2013).

Çeliklerin tornalanmasında ortalama olarak:

$$F_t = 0,4-0,6 F_c \text{ ve } F_v = 0,2-0,3 F_c \text{ iken,}$$

dökme demirlerin tornalanmasında ortalama olarak:

$F_t = 0,33-0,6 F_c$ ve $F_v = 0,15-0,3 F_c$ olmaktadır (El-Hofy, 2013).



Şekil 1. Tornalamada kesme kuvvetleri (teğetsel yönde F_c , eksenel yönde F_v , radyal yönde F_t), hareketler (teğetsel yönde V_c , kesme hızı; eksenel yönde f , ilerleme; radyal yönde a , kesme derinliği) (Laperrière ve Reinhart, 2014) ve açılar (γ , talaş açısı; λ , eğim açısı; κ , yanaşma açısı) (Anonim, 2016a)

Talaş kaldırma sırasında kesme kuvvetleri takım ve iş parçası üzerinde şekil değiştirmelere neden olarak takım/parça konumunu değiştirirler ve işleme kalitesine etki ederler.

Takım ankastre bir çubuk olarak göz önüne alınırsa kesme kuvvetleri takımı şu şekilde etkiler:

- ❖ F_c (teğetsel) ana kesme kuvveti, eğilmeye (düşey düzlemde) ve burulmaya,
- ❖ F_v (eksenel) ilerleme kuvveti, eğilmeye (yatay düzlemde) ve burulmaya,



- ❖ F_t radyal kuvvet, basmaya ve takım uzun olduğunda burkulmaya, zorlar.

Ayrıca takım, tespit sistemine yeterince sıkılarak bağlanmadığında ya da uygun şekilde desteklenmediği halde F_v kuvveti takımı eğik bir hale getirebilir, F_t kuvvetiyse takımı parçadan uzaklaştırabilir. Talaş kaldırma kuvvetlerinden en önemlisi olan F_c göz önüne alınırsa bu kuvvetin oluşturduğu eğilme momenti ve buna bağlı eğilme gerilmeleri:

$$\sigma_e = \frac{M_e}{W} = \frac{6 \cdot F \cdot L}{B \cdot H^2} \leq \frac{\sigma}{S}$$

Burada M_e , eğilme momenti; W , eğilme mukavemet momenti; F , eğilme kuvveti; L , efektif takım uzunluğu; B ve H ise takım kesimine ait boyutlardır.

Kesme Kuvveti Bağlıları

Ortogonal ve eğik kesmede üç kuvvet F_c , F_t , F_v için kesme düzleminde gerilmeler cinsinden bağıntılar yazabilmek için aşağıdaki kabuller yapılmaktadır:

- ❖ Kalem ucu keskindir ve hiç sürtünme ve yan kuvvet kalem üzerine etkimez.
- ❖ Kesme düzlemi üzerindeki gerilme dağılımı homojendir.
- ❖ Kesme düzleminde talaş üzerine etkileyen bileşke kuvvet R , talaş yüzeyinde talaş üzerine etkileyen kuvvete eşit, aynı doğrultuda ve zıt yöndedir.

Merchant Kuvvet Çemberi'ne (Şekil 2) göre F_c ana kesme kuvveti ve F_t radyal kuvvet ile ilgili bağıntılar ortogonal talaş kaldırma işlemi için şu şekilde yazılabilir (Boothroyd, 1978):

$$F_c = \frac{b \cdot t \cdot \tau_s \cdot \cos(\mu - \gamma)}{\sin\phi \cdot \cos(\phi + \mu - \gamma)}$$

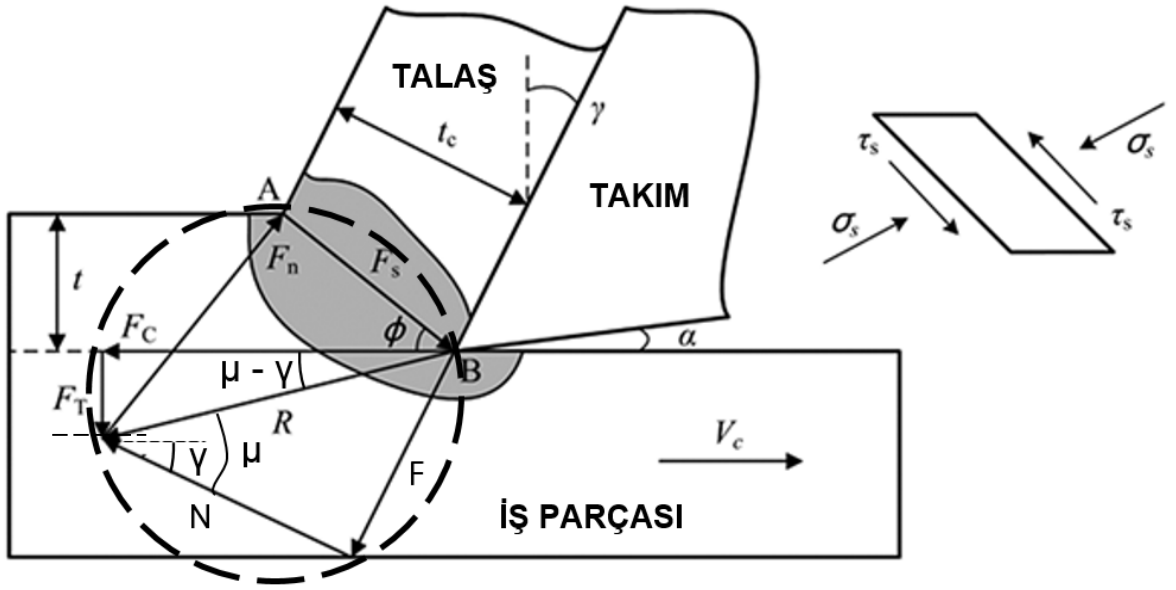
$$F_t = \frac{b \cdot t \cdot \tau_s \cdot \sin(\mu - \gamma)}{\sin\phi \cdot \cos(\phi + \mu - \gamma)}$$

Burada τ_s , kesme (kayma) düzlemindeki kayma gerilmesidir ve bu düzlemde eşit dağıldığı kabul edilmiştir.

ϕ kesme (kayma) açısı, birincil deformasyon bölgesinde yer alır ve kesme düzlemi ile yatay eksen arasındadır. γ talaş açısı ikincil deformasyon bölgesinde yer alır ve takımın talaş yüzeyi ile düşey eksen arasındadır. α boşluk açısı, üçüncül deformasyon bölgesinde yer alır ve

takımın serbest yüzeyi ile işlenmiş yüzey arasındadır. μ sürtünme açısı ise, ikincil deformasyon bölgesinde yer alan talaş yüzeyine dik gelen N normal kuvvet ile bileşke kuvvet R arasındadır.

V_c , kesme hızı (iş parçasının devir sayısı olan “n” ile hesaplanabilir); t, deforme olmamış talaş kalınlığı; t_c , (ölçülen) talaş kalınlığı; b talaş genişliğidir. t değeri teoriktir ve aşağıdaki şekilde hesaplanır. Kesme kuvvetlerinin teorik hesabında t değeri kullanılır. r_c ise talaş oranıdır.

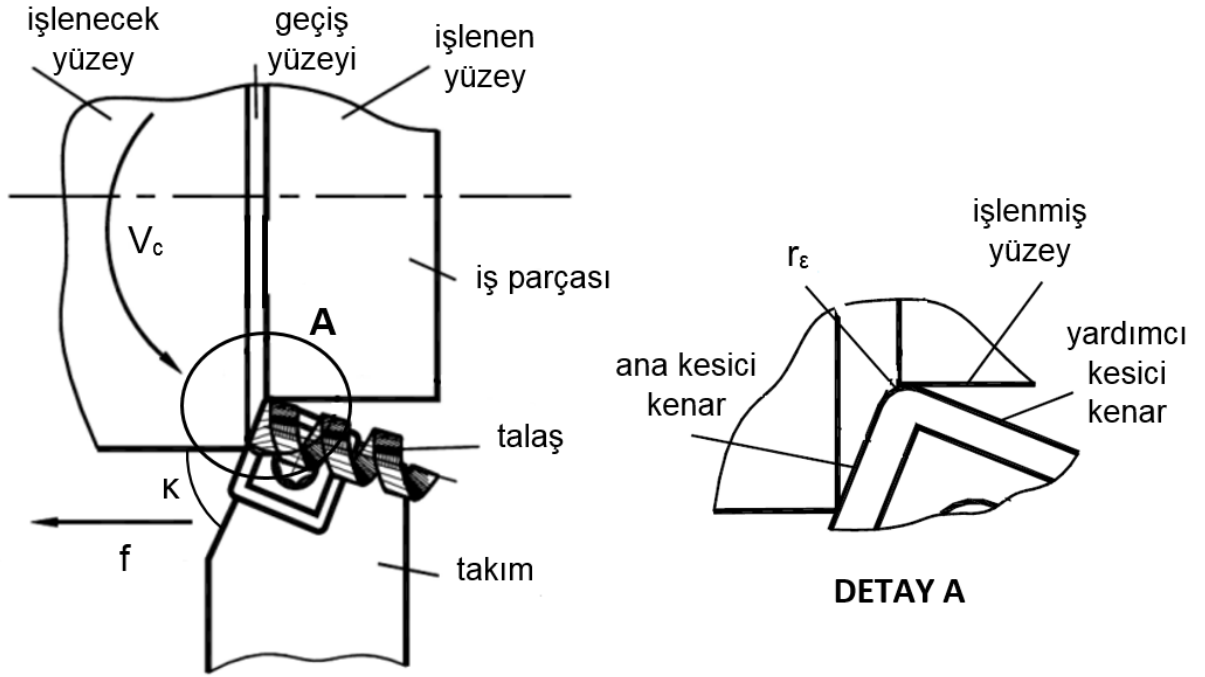


Şekil 2. Merchant Kuvvet Çemberi (Şekil 1’e önden bakış yönünden bakıldığında görülen büyüklükler) (Li ve Hou, 2013)

$$t = f \cdot \sin \kappa \quad r_c = \frac{t}{t_c}$$

$$b = \frac{a}{\sin \kappa} \quad V_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000}$$

f, ilerleme değeridir. κ yanaşma açısı, ilerleme yönü ile kesici kenar arasında kalan açıdır. Şekil 2’deki bakış açısından (önden bakış yönü) görülmemektedir. Bu açı, işleme Şekil 1’de tanımlanan “üstten bakış yönü”nden bakıldığında görülmektedir (Şekil 3). Şekil 3’te r_c köşe yarıçapıdır ve iki kesici kenar arasına verilen yuvarlatma yarıçapı olarak tanımlanır.



Şekil 3. Tornalama işlemine üstten bakış (Davim, 2008)

ϕ kesme açısı ise şu şekilde hesaplanır:

$$\tan \phi = \frac{r_c \cdot \cos \gamma}{1 - r_c \cdot \sin \gamma}$$

F_c 'yi veren bağıntıda μ sürtünme açısını Ernst ve Merchant'a ait şu bağıntıyla hesaplamak mümkündür (Boothroyd, 1978):

$$2 \cdot \phi + \mu - \gamma = \frac{\pi}{2}$$

Kesme Kuvvetlerinin Etkileri

Talaş kaldırma sırasında kesme kuvvetleri, gerek takım gerekse parça üzerinde birtakım şekil değiştirmelere sebep olarak takım/parça konumunu değiştirirler ve işleme kalitesini etkilerler.

Torna tezgahında talaş kaldırma işlemlerinin analizinin yapılabilmesi için işlemten önce, kesme işlemi sırasında ve işlem sonrasında bazı gözlemlerde bulunmak gerekir. Yapılabilecek



gözlemlerden birisi, kesme kuvveti bileşenlerinin ölçülmesidir. Bu ölçüm, tezgah ve takım tasarımı için gereklidir. Kesme kuvvetlerinin ölçülmesinde kullanılan kuvvet-ölçerlerden birisi, Massachusetts Teknoloji Enstitüsü (MIT) tarafından önerilen sekizgen halka kuvvet-ölçerdir (Boothroyd, 1978).

Yüzey Kalitesi ve Yüzey Pürüzlülüğü

Birçok iş parçası; belirli bir yüzey kalitesi gerektiren fonksiyonlara sahip olabilmeleri için talaşlı imalata tabi tutulurlar. Yataklama, sıkı-geçme, sızdırmazlık amacıyla kullanılacak; boyama veya markalamaya tabi tutulacak; gaz veya sıvı akışı için kullanılacak; ışığı yüksek oranlarda yansıtma için kullanılacak; görsellik gerekliliğine sahip parçalarda yüzey kalitesi önemli hale gelmektedir (Stephenson ve Agapiou, 1997; Juneja, 2003).

Yüzey kalitesi, bir parçanın yorulma mukavemetini, korozyon direncini, sürünme ömrünü önemli ölçüde artırır. Ortaya çıkan yüzeyin; sürtünme, aşınma, ışığı yansıtma, ısı transferi, yağlayıcıları yayma ya da tutma, yüzey kaplamaya uygunluk gibi pek çok özelliği yüzey kalitesi ile değişir (Tseng ve ark., 2016).

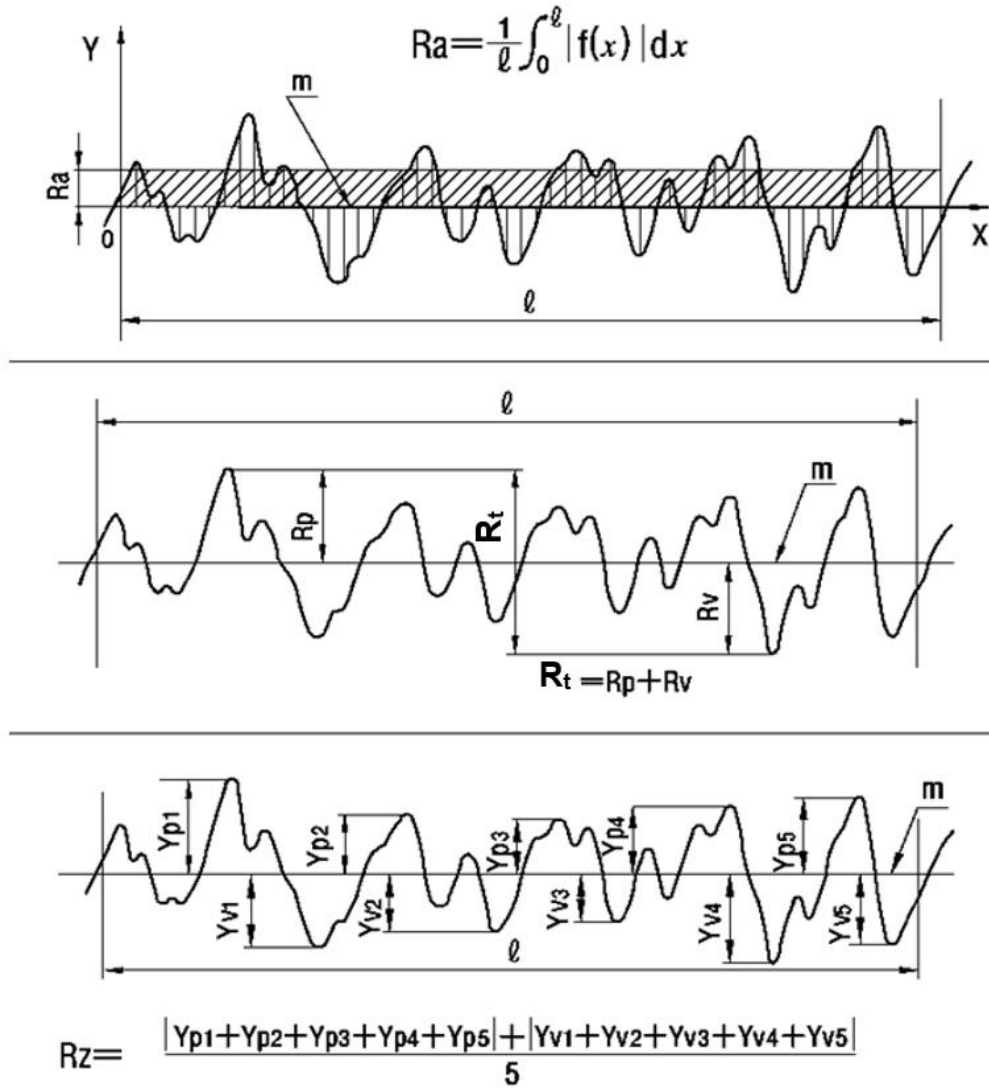
Uygun yüzey kalitesini sağlamak için, pek çok talaşlı imalat işleminde (özellikle ince işlemlerde) takım geometrisi ve ilerleme hızları belirli sınırlar içerisinde kalır. Ayrıca, takım aşınması arttıkça ortaya çıkan yüzey daha kaba ve beklentilerden uzak olmaya başladığı için, ince işlem gereklilikleri takım ömrünü de kısıtlamaktadır. Bu sebeple, yüzey kalitesi gereklilikleri, işleme verimliliğini ve takımlama maliyetlerini ciddi bir biçimde etkileyebilir (Stephenson ve Agapiou, 1997).

Yüzey büyük ölçekte incelenirse (Şekil 4); genel şekil, dalgalılık ve pürüzlülük olarak üç seviyede incelenebilir. Maksimum profil tepe yüksekliği R_p , maksimum profil çukur derinliği R_v , maksimum profil yüksekliği R_t ($R_p + R_v$) gibi farklı tanımlamalar olsa da (Şekil 5) en sık kullanılan yüzey pürüzlülüğü tanımı ortalama profil yüksekliği R_a 'dır.

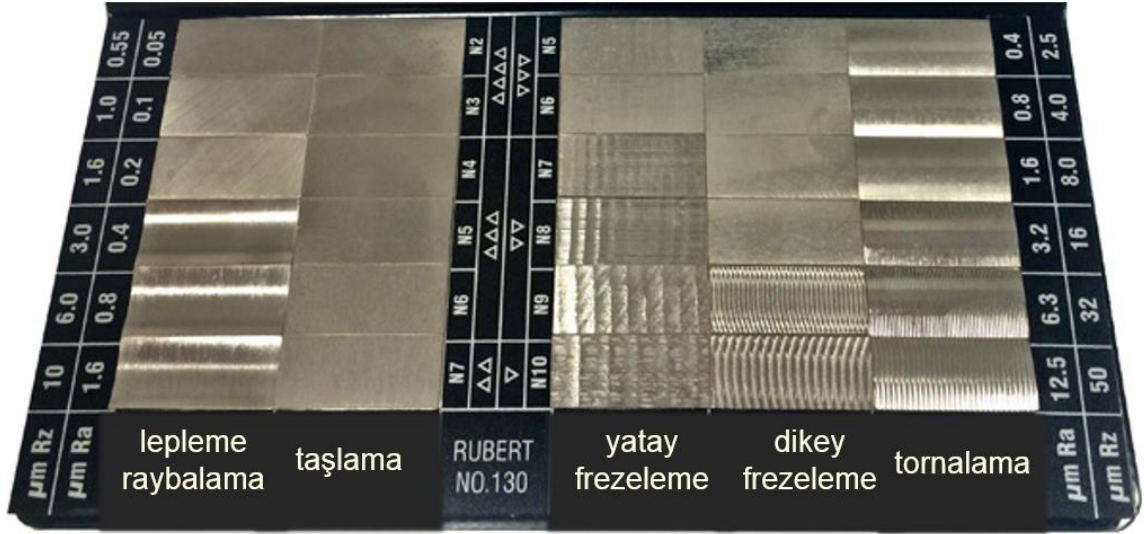
Farklı işlemler farklı yüzey topografileri çıkarırlar (Şekil 6). Örneğin, frezelenmiş bir yüzey üç boyutta da homojen değildir, taşlanmış bir yüzey oyuklar ve oluklu kısımlar içerebilir, honlanmış bir yüzeyse çapraz kanallara sahiptir (Stephenson ve Agapiou, 1997). Farklı işlemler için karakteristik yüzey pürüzlülüğü değerleri Tablo 1'de görülmektedir.



Şekil 4. Büyük ölçekte incelendiğinde yüzey karakteristikleri (Stephenson ve Agapiou, 1997)



Şekil 5. Farklı yüzey pürüzlülüğü tanımlamaları (Anonim, 2016b)



Şekil 6. Farklı işlemlerde elde edilen yüzeyler (Anonim, 2016c)

Genel olarak tornalamada, çok düşük ilerleme ve kesme hızlarında çalışılmadığı sürece; ilerlemedeki (f) artış yüzey pürüzlülüğünü artırırken, kesme hızındaki (V) artış yüzey pürüzlülüğünü düşürür. Titreşimsiz bir işlem sağlandığı sürece, kesme derinliği (a) yüzey pürüzlülüğünü ihmal edilecek seviyede artırır (Davim, 2010).

Tablo 1. Farklı işlemlerinde yüzey pürüzlülüğü değerleri (Lieu ve Sorby, 2008)

| İşlem | Yüzey pürüzlülüğü (μm) | İşlem | Yüzey pürüzlülüğü (μm) |
|-------------|-------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------------|
| Lepleme | 0,012-0,8 | Soğuk çekme | 0,2-6,3 |
| Honlama | 0,025-1,6 | Hassas/eriye n kalıba döküm | 0,4-6,3 |
| Taşlama | 0,025-6,3 | Kokil/metal kalıba döküm | 0,8-6,3 |
| Tornalama | 0,025-25 | Basınçlı döküm | 0,4-3,2 |
| Frezeleme | 0,15-25 | Ekstrüzyon | 0,4-12,5 |
| Raybalama | 0,4-6,3 | Dövme | 1,6-25 |
| Planyalama | 0,4-25 | Sıcak haddeleme | 6,3-50 |
| Delik delme | 0,8-12,5 | Kum kalıba döküm | 6,3-50 |

Yüzey pürüzlülüğünün teorik hesaplaması işlem tipine göre değişmektedir. Tornalama işleminde R_a ve R_t büyüklüklerinin teorik hesabı şu şekildedir (Davim, 2010):

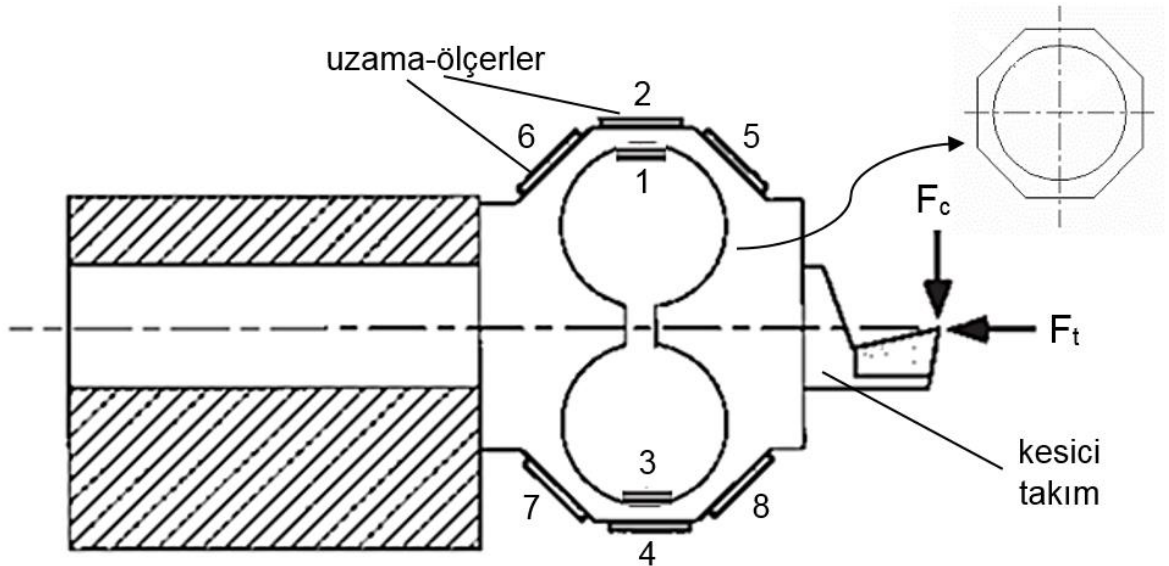
$$R_t = \frac{f^2}{8 \cdot r_\epsilon}$$

$$R_a = 0,0321 \cdot \frac{f^2}{r_\epsilon}$$

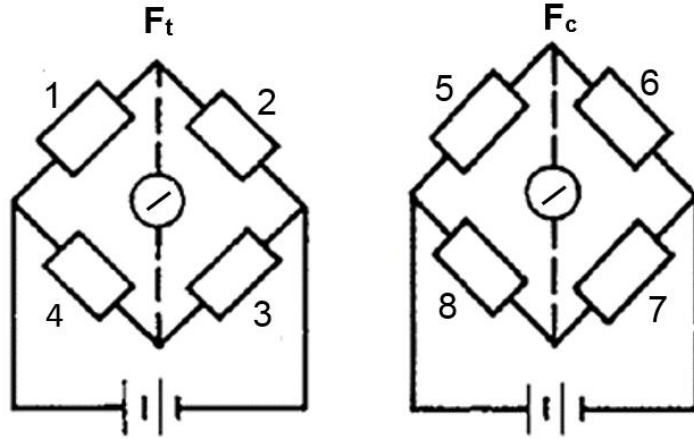
Kuvvet-ölçer

Kuvvet-ölçerlerde Uzama-ölçer Kullanımı

Kuvvet-ölçer tasarımında yatay ve düşey yüklemenin gerilme ölçümlerini ayırmak gerekmektedir. Bu, kuvvet-ölçer tasarımında en zor noktadır. Yükün dairesel bir bölgeye gelmesi, bazı kesitlerde gerilme noktalarının oluşmasına neden olur ki bu da kuvvetlerin analizine olanak sağlar. Şekil 7’de kuvvet-ölçer ve uzama noktaları görülmektedir. İlgili ölçme devreleri ise Şekil 8’de verilmiştir.



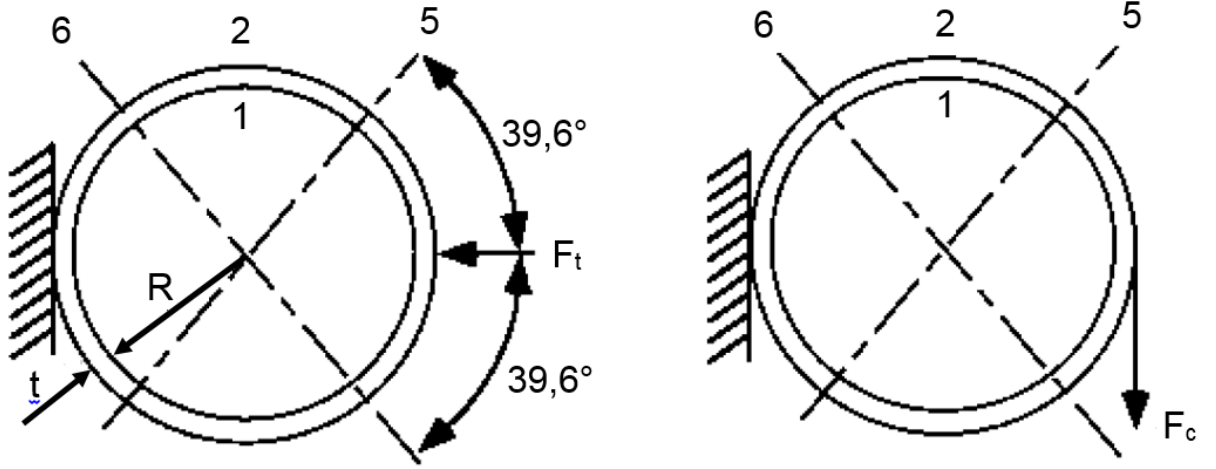
Şekil 7. Sekizgen halka tipi kuvvet-ölçer ve uzama noktaları (Maekawa ve ark., 2013)



Şekil 8. Şekil 7 için ölçme devreleri: 1, 3, 5, 7 bası; 2, 4, 6, 8 çeki tipi yükleme (Shaw, 2005)

Düşey F_c kuvveti için sıfır gerinme noktaları yatayla $39,6^\circ$ açılı pozisyonda oluşmaktadır (Şekil 9). Bu açıda yerleştirilen uzama-ölçerlere (5 ve 6) yatay bir yük geldiğinde (F_t), bu noktalarda gerinmeler sıfır olur. Toplam gerinme, 1 ve 2 nolu uzama-ölçerler tarafından okunmuş olur. Düşey bir yük geldiğinde ise (F_c), 1 ve 2 nolu uzama ölçerlerde gerinme sıfır olur. Toplam gerinme, 5 ve 6 nolu uzama-ölçerler tarafından okunmuş olur.

Böylelikle, kuvvet-ölçerlerde yatay ve düşey ölçümleri ayırma gerekliliği yerine getirilmiş olur. Çünkü, 1 ve 2 nolu uzama-ölçerler sadece radyal yüklere, 5 ve 6 nolu uzama-ölçerler ise sadece teğetsel yüklere cevap verecektir. Oluşacak gerilmeler; maruz kalınan yüklere, halka boyutlarına (yarıçap R , kalınlık t ve genişlik b) ve elastisite (Young) modülü E 'ye bağlı olacaktır (Maekawa ve ark., 2013).



Şekil 9. Halkaların radyal ve teğetsel kuvvetle yüklenmesi (Maekawa ve ark., 2013)

Kullanım sırasında ani darbelerden kaçınılmalı, yeterli hassasiyeti elde etmek için kısa kablolar kullanılmalı ve düzeneğin titreşim oluşmayacak kadar rijit olması sağlanmalıdır.

Profilometre

En basit ve doğruluğu en düşük yöntem olan görsel ya da dokunmayla değerlendirme dışında, yüzey dokusunun ve geometrisinin değerlendirilmesi için 3 tip ölçme metodu vardır:

- ❖ Optik,
- ❖ Elektronik,
- ❖ Taramalı prob (ölçüm ucu) mikroskobisi (Davim, 2010).

Bunların tümü tahribatsız muayene olsa da ilki temassız, diğer ikisi temaslı ölçümdür. Dünyadaki yüzey kalitesi standartlarının çoğu temaslı ölçümlere göre hazırlanmıştır. Bu tip bir ölçüm, yüzeyin yansıtma özelliğine, rengine ya da yüzeydeki kirliliklerden etkilenmez (Menezes ve ark., 2013).

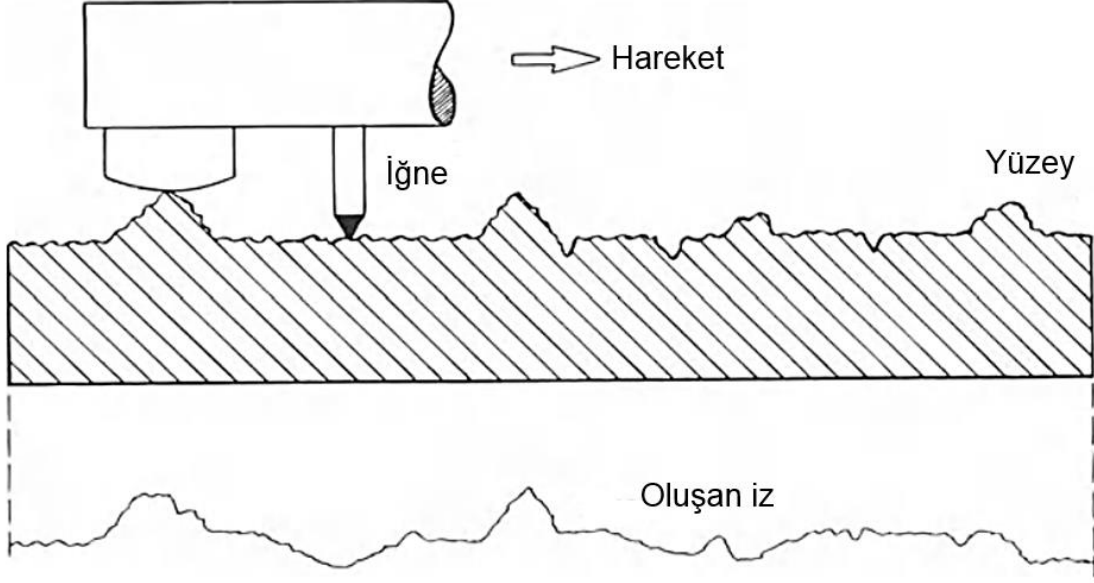
En yaygın metot, elektronik tip temaslı ölçüm metotlarından olan iğneli (stylus) profilometre (Şekil 10) kullanmaktır. Bu metotta, ince ve çok hafif bir iğne, incelenen yüzey boyunca sabit bir hızda düzgün bir şekilde çekilmektedir. İğnenin yükseklik konumu, analog

bir sinyal oluşturur ve sonrasında bu sinyal dijital hale getirilerek depolanır. Depolanan bu veri, analiz edilebilir ve görsel olarak incelenebilir (Şekil 11). Çıkan sonuç, orijinal yüzeyin büyütülmüş bir görünümüdür (Menezes ve ark., 2013).



Şekil 10. İğneli (stylus) portatif profilometre

Elde edilen verilerin analizi yapılarak “Yüzey Kalitesi ve Yüzey Pürüzlülüğü” bölümünde anlatılan pürüzlülük ifadeleri ile (R_a , R_t , R_p , vb.) sonuçlar gösterilebilir.



Şekil 11. İğneli (stylus) profilometrenin çalışma prensibi (Smith, 2013)

Talaş Boyu – Kesme Parametreleri İlişkisi

Talaş kırılmasını etkileyen kesme parametreleri genelde ilerleme ve kesme derinliği olmaktadır. İlerlemenin artması talaş kalınlığını artırmakta ve kırılmayı kolaylaştırmaktadır. Küçük kesme derinlikleri ve uygun seviyede yüksek ilerleme değerleri, nispeten küçük talaşların oluşmasını sağlamaktadır. Ayrıca, kesme sıvısının kesme ortamına ince bir şekilde püskürtülmesi, malzemeye su verme işlemine benzer şartlar oluşturarak sıcak talaşın sertleşmesini ve küçük parçalara bölünmesini sağlayacaktır (Singal ve Singal, 2010).

Deney Raporu

Yapılacak deneylerde; farklı devir sayıları (n), ilerlemeler (f) ve kesme derinlikleri (a) kullanılarak kesme kuvvetlerinin (F_c , F_t , F_v), yüzey pürüzlülüğünün (R_a) ve oluşan talaşın değişimi incelenecektir.

Bazı işlem değişkenlerinin deneyde **kullanılan** değerleri aşağıdaki gibidir:

| |
|--------------------|
| İşlem değişkenleri |
|--------------------|



| |
|---------------------------------|
| n_1, n_2 (devir sayısı) = |
| f_1, f_2 (ilerleme) = |
| a_1, a_2 (kesme derinliği) = |
| κ (yanaşma açısı) = |
| γ (toplam talaş açısı) = |
| Takım değişkenleri |
| r_ϵ (köşe yarıçapı) = |
| İş parçası değişkenleri |
| D (çap) = |
| τ (kayma gerilmesi) = |

Bazı işlem değişkenlerinin deneyde **ölçülen** değerleri aşağıdaki gibi olmuştur:

| | F_c (N) (ana kesme kuvveti) | F_t (N) (radyal kuvvet) | F_v (N) (ilerleme kuvveti) | h_k (mm) (talaş kalınlığı) | b_k (mm) (talaş genişliği) | R_a (μm) (ortalama profil yüksekliği) | Talaş boyu (uzun, orta, kısa) |
|----------------------|----------------------------------|------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---|----------------------------------|
| n_1 f_1 a_1 | | | | | | | |
| n_1 f_1 a_2 | | | | | | | |
| n_1 f_2 a_1 | | | | | | | |
| n_2 f_1 a_1 | | | | | | | |

Bu veriler kullanılarak **aşağıdaki değerlendirmelerin yapılması beklenmektedir:**

1. Yukarıdaki tabloları doldurunuz ve ardından, verilen formüllerin yardımıyla, bunlara karşılık gelen teorik değerleri hesaplayınız.



2. Ölçülen değerler tablosunda yer alan F_c değerleri ile aynı tablodaki F_t ve F_v değerlerini karşılaştırınız ve sonucu yorumlayınız.
3. $a-F_c$ (A-B karşılaştırması), $f-F_c$ (A-C karşılaştırması) ve $V-F_c$ (A-D karşılaştırması) grafiklerini çiziniz. Grafiklerde F_c değerlerinin teorik değerleri için bir doğru, pratik değerleri için bir doğru çiziniz.
4. $a-R_a$ (A-B karşılaştırması), $f-R_a$ (A-C karşılaştırması) ve $V-R_a$ (A-D karşılaştırması) grafiklerini çiziniz. Grafiklerde R_a değerlerinin teorik değerleri için bir doğru, pratik değerleri için bir doğru çiziniz.
5. Kesme derinliği – talaş boyu (A-B karşılaştırması), ilerleme – talaş boyu (A-C karşılaştırması) ilişkilerini yorumlayınız.

Not: V hesabı yapılırken D çapındaki değişim ihmal edilecektir.

Kaynaklar

Akkurt, M., **1985**. Takım Tezgahları - Talaş Kaldırma Yöntemleri ve Teknolojisi, Birsen Yayınevi, 705 s.

Anonim, **2016a**.

http://www2.coromant.sandvik.com/coromant/pdf/Metalworking_Products_061/tech_a_1.pdf

Anonim, **2016b**. https://my.misumi-ec.com/pdf/tech/press/pr1167_1168.pdf

Anonim, **2016c**.

https://www.gardco.com/images/surface_pro/roughness_comparison/roughnessspecimen_s.jpg

Boothroyd, G., **1988**. Fundamentals of Metal Machining and Machine Tools, Third Edition, CRC Press, 562 s.

Çakır, M.C., **2013**. Modern Talaşlı İmalatın Esasları, Nobel Akademik Yayıncılık, 268 s.

Davim, P., **2008**. Machining: Fundamentals and Recent Advances, Springer Science & Business Media, 362 s.

Davim, P., **2010**. Surface Integrity in Machining, Springer Science & Business Media, 215 s.

Davim, P., **2013**. Machining and Machine-tools: Research and Development, Elsevier, 280 s.

El-Hofy H.A-G, **2013**. Fundamentals of Machining Processes: Conventional and Nonconventional Processes, Second Edition, CRC Press, 562 s.

Laperrière, L. ve Reinhart, G. (Ed.), **2014**. CIRP Encyclopedia of Production Engineering, Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg.

Li S, Hou B, **2013**. Material Behavior Modeling in Machining Simulation of 7075-T651 Aluminum Alloy, *ASME Journal of Engineering Materials and Technology*, 136(1).



Lieu, D.K., Sorby, S.A., **2008**. Visualization, Modeling, and Graphics for Engineering Design, Cengage Learning, 1088 s.

Juneja, B.L., **2003**. Fundamentals of Metal Cutting and Machine Tools, New Age International, 614 s.

Maekawa, K., Obikawa, T., Yamane, Y., Childs, T.H.C., **2013**. Metal Machining: Theory and Applications, Butterworth-Heinemann, 408 s.

Menezes, P., Nosonovsky, M., Ingole, S.P., Kailas, S.V., Lovell, M.R., **2013**. Tribology for Scientists and Engineers: From Basics to Advanced Concepts, Springer Science & Business Media, 948 s.

Shaw, M.C., **2005**. Metal Cutting Principles, Oxford University Press, 651 s.

Singal, R.K ve Singal, M., **2010**. Fundamentals of Machining and Machine Tools, I. K. International Pvt Ltd, 368 s.

Smith, G.T., **2013**. Industrial Metrology: Surfaces and Roundness, Springer Science & Business Media, 336 s.

Stephenson, D.A. ve Agapiou, J.S., **1997**. Metal Cutting Theory and Practice . New York: Marcel Dekker, 914 s.

Tseng, T-L, Konada, U., Kwon, Y., **2016**. A novel approach to predict surface roughness in machining operations using fuzzy set theory, *Journal of Computational Design and Engineering*, 3(1), s 1-13.



KATI CİSİMLERİN ISI İLETİM KATSAYISI TAYİNİ

Hazırlayanlar: Arş. Gör. Yakup ŞEN

1. Amaç

Isı transferi şekillerinden biri olan ısı iletiminin incelenmesi ve ısı iletim katsayısının tayinidir.

2. Giriş

İki sistem arasında veya bir sistemle çevresi arasında bir sıcaklık farkı olduğu zaman enerji transfer edilmektedir. Yalnız sıcaklık farkından dolayı bir sisteme transfer edilen bu enerjiye, termodinamikte ısı enerjisi denilmektedir. Diğer taraftan termodinamiğin ikinci kanununa göre ısı, sıcak bir sistemden daha soğuk bir sisteme doğru akmaktadır. İki sistem, bir cismin muhtelif parçaları olabilir. Enerjinin muhtelif şekilleri ve bunların birbirlerine dönüşümleri ile uğraşan termodinamik biliminde, ısı ve iş, geçici enerji şekilleri olarak tarif edilir; çünkü bunlar, iki sistem arasında veya bir sistem ile çevresi arasında yalnız enerji alışverişi olduğu zaman mevcuttur. Isı doğrudan doğruya ölçülemez ve gözlenemez, ancak doğrudan doğruya gözlenebilir ve ölçülebilir.

Isının geçişi ortam sıcaklıklarındaki farka bağlı olduğu kadar, ortam ve yüzeylerinin özelliklerine de bağlıdır. Bu sebeple ısı transferi sistemi birbirinden farklı üç başlık altında incelenmelidir.

1. İletim (kondüksiyon)
2. Taşınım (konveksiyon)
3. Işınım (radyasyon)

1. Isı İletimi: Isı iletimi, bir ortam (katı, sıvı, gaz) içerisinde bulunan bölgeler arasında veya doğrudan doğruya fiziki temas durumunda bulunan farklı ortamlar arasında, atom ve moleküllerin fark edilebilir bir yer değiştirmesi olmaksızın bunların doğrudan teması sonucu meydana gelen ısı yayılımı işlemidir.



Bir bölgede moleküllerin ortalama kinetik enerjisi, sıcaklık farkından dolayı bitişik bölgedeki moleküllerin ortalama kinetik enerjilerinden fazla ise, enerjileri fazla olan moleküller bu enerjiyi komşu olan moleküllere iletirler. Bu enerji transferi, akışkanlarda moleküllerin elastik çarpmaları, metallerde, serbest elektronların yüksek sıcaklıktan alçak sıcaklık bölgelerine yayılımı ile olur. Katılarda enerji transferi, elektron yayılımına ilaveten maddenin yapısını meydana getiren kafes titreşimleri ile de komşu bölgelere iletilir. Fakat bu son halde enerji transferi miktarı azdır. Bu sebepten iyi elektriki iletkenler aynı zamanda iyi ısı iletkenleridir.

2.Taşınım: Bu tür ısı geçişinde ısı bir akışkanın hareketi yardımıyla taşınır. İçinde durgun hava bulunan bir ortama yüzeyleri sıcak olan bir cisim konduğunda bir hava hareketi oluşur. Bu hareket dünyanın çekim alanında yoğunluk farklarından doğar. Bu akışa ve buradaki ısı taşınımına doğal taşınım denir.

3.Yayınım: Eğer farklı sıcaklıklardaki iki cisim içinde mutlak vakum olan bir ortamla birbirinden ayrılmış olsalar ve bu cisimlerin birbirini gören yüzeyleri dışındaki diğer yüzeyleri adyabatik olarak yalıtılmış olsa bile zamanla bu cisimlerin sıcaklığının birbirine eşitlendiği yani aralarında bir enerji alışverişi olduğu gözlenir. Bu ısı geçişi türüne ısı yayılımı denir.

Biz bu deneyde iletim konusunu ele alacağız. Isı transferinin bu türü atomik yada moleküler seviyedeki aktiviteler ile ilişkilidir. İletim bir maddenin partikülleri arasındaki ilişki esnasında daha fazla enerjiye sahip partiküllerden daha az enerjiye sahip partiküllere enerji transferi olarak görülebilir.

Isı iletiminin özel kanunu boyutlu ısı akımı için diferansiyel denklemi;

$$Q_x = -kA \frac{dT}{dx}$$

denklemini şu şekilde de ifade edilebilir :

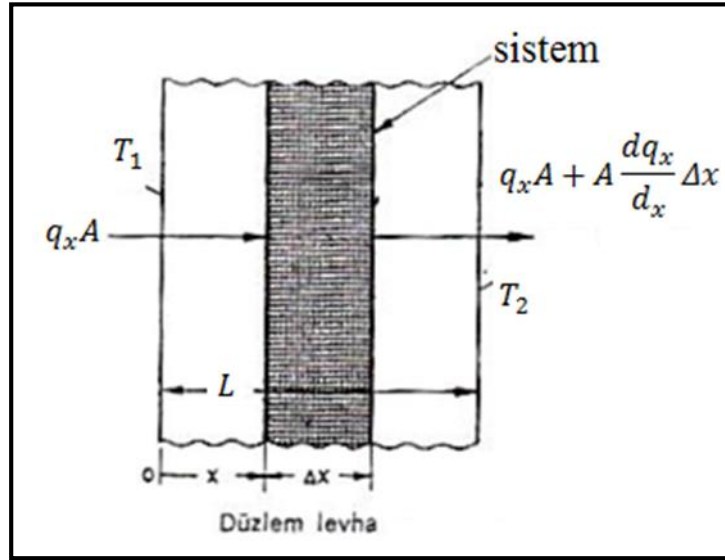
$$q_x = -k \frac{dT}{dx}$$

Burada q_x , x istikametinde birim zamanda birim yüzeyden ısı transferi miktarı olup kısaca ısı akısı adını alır. q_x vektörel bir miktar olup, yönü ve bir değeri vardır. Yönü, azalan sıcaklık doğrultusundadır.

3. Teori

3.1. Düzlem Duvarda Bir Boyutlu Isı İletimi

Kalınlığı L olan bir duvardan ısı iletimi, bir boyutlu ısı iletiminin en basit halini temsil eder.



Sürekli rejim durumunda taralı diferansiyel sistem için termodinamiğin birinci kanununu uygularsak (yapılan iş ve sürekli rejimde sistemin enerji değişimi sıfır).

$$q_x + q_{x+\Delta x} = 0 \text{ bulunur.}$$

$$q_{x+\Delta x} = q_x + \frac{dq_x}{dx} \Delta x \text{ olduğundan üstteki ifade de yerine konursa;}$$

$$\frac{dq_x}{dx} = 0$$

$$q_x = \text{sabit}$$

neticesi elde edilir. O halde sürekli rejimde birim zamanda transfer edilen ısı miktarı sabittir.



Kalınlığı L olan ve yüzey sıcaklıkları T_1 ve T_2 olan bir duvar için ısı transferi ifadesi;

$$Q_x = kA \frac{T_1 - T_2}{L}$$

ve ısı akısı için;

$$q_x = \frac{Q_x}{A} = k \frac{T_1 - T_2}{L}$$

Q_x = x istikametinde birim zamanda transfer edilen ısı miktarı

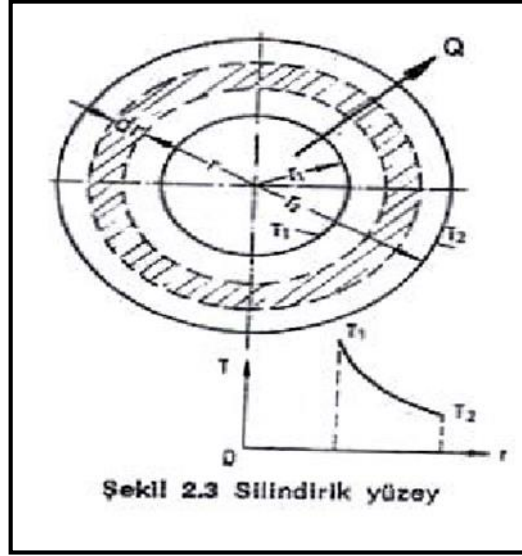
k = ısı iletim katsayısı, malzemenin fiziki bir özelliği

A = x istikametine dik kesit alanı

3.2. Silindirik Yüzeylerde Isı İletimi

Silindirik duvarlardan ısı iletimi pratikte önemli bir problemdir. Kalın cidarlı boruların duvarlarından ısı iletimine, ısı kayıp ve kazançlarının hesabına mühendislikte sık sık rastlanır.

Şekilde verilen silindirik borunun iç yarıçapı r_1 , dış yarıçapı r_2 ve bunlara karşılık yüzeyler de T_1 ve T_2 üniform sıcaklıklarında iseler, uzun bir silindir için uç tesirler ihmal edilip, ısı akımı yalnız radyal yönde varsayılabilir. r yarıçapındaki silindirik bir tabaka için Fourier ısı iletimi kanununu uygulayalım.



$$Q_x = -kA \frac{dT}{dr}$$

Burada A, r yarıçapındaki ısı iletim yüzey alanı olup iç ve dış yarıçaplar arasında değişir. dr kalınlığındaki diferansiyel eleman için $A=2\pi rL$ olduğundan birim zamanda ısı iletimi;

$$Q_x = -2k\pi rL \frac{dT}{dr}$$

olur. Burada L, silindirin uzunluğudur. r_1 ve r arasında, k sabit varsayıлып integre edilirse;

$$Q_r \int_{r_1}^r \frac{dr}{r} = -k2\pi L \int_{T_1}^T dT$$

$$Q_r (\ln r - \ln r_1) = -k2\pi L (T - T_1)$$

ve sıcaklık dağılımı için;

$$T = T_1 - \frac{Q_r \ln\left(\frac{r}{r_1}\right)}{2\pi kL}$$

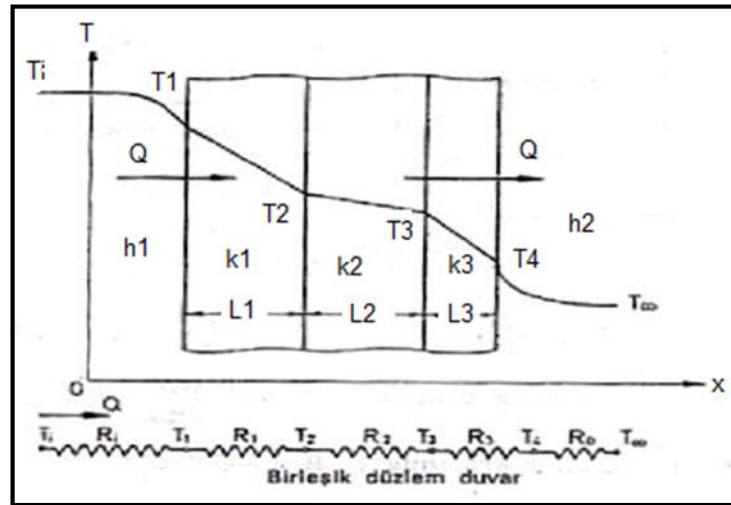
bulunur. Sıcaklık dağılımı logaritmikdir. $r=r_2$ de $T = T_2$ olduğundan, ısı akım ifadesi

$$Q = \frac{2k\pi L(T_1 - T_2)}{\ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}$$

olarak elde edilir.

3.3. Birleşik Düzlem Duvarda Bir Boyutlu Isı İletimi

Tipik bir birleşik duvar şekilde görülmektedir. Bu, bir fırının duvarı olabilir. Fırının içerisindeki gazların sıcaklığı T_i , yüzey ile sıcak gazlar arasındaki film katsayısı h_1 , dış transfer sıcaklığı T_2 , atmosfer ile dış yüzey arasındaki film katsayısı h_2 olsun. Bu şartlar altında, ısı sıcak gazlardan atmosfere, birleşik duvar vasıtası ile sürekli olarak akacaktır. Duvar tabakaları arasında mükemmel ısı teması olduğunu, dolayısıyla temas yüzeylerinin aynı sıcaklıkta bulunduğunu varsayıyoruz.



Her noktada belli bir A yüzeyinden transfer edilen ısı miktarı aynı olduğundan (neden?)

$$Q = h_1 A (T_i - T_1) = \frac{k_1 A}{L_1} (T_1 - T_2) = \frac{k_2 A}{L_2} (T_2 - T_3) = \frac{k_3 A}{L_3} (T_3 - T_4) = h_2 A (T_4 - T_\infty)$$

yazılabilir. Isı iletim katsayılarının bunlara tekabül eden sıcaklık basamakları ile ters orantılı olduğuna dikkat ediniz. Formül sistemini dirençler cinsinden aşağıdaki şekilde ifade edebiliriz:

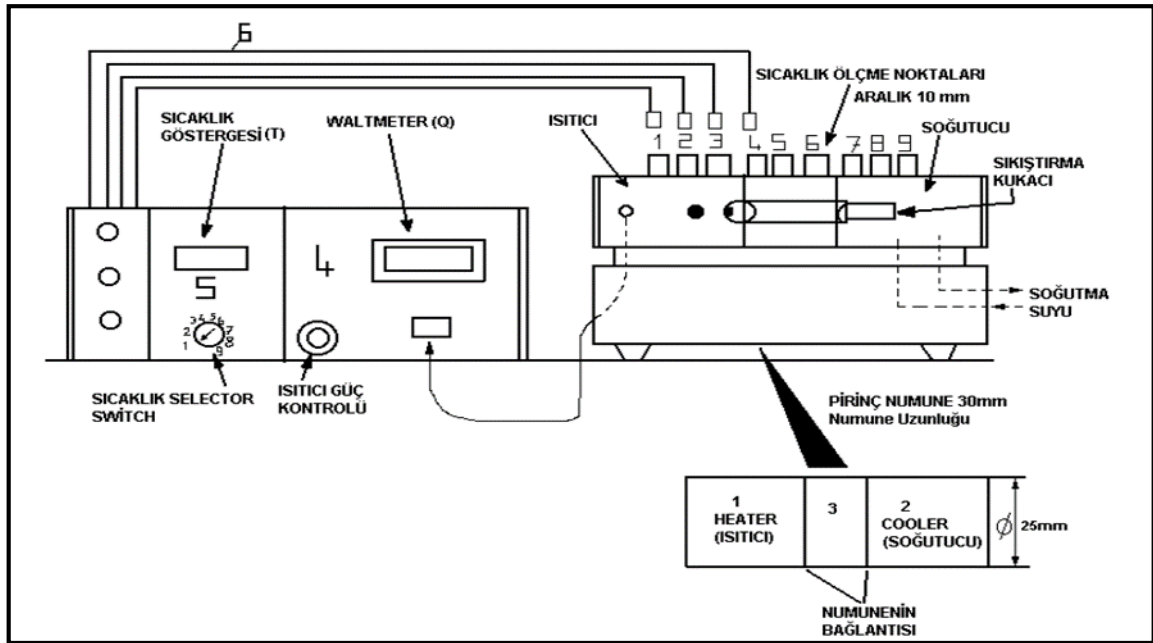
$$Q = \frac{T_i - T_1}{R_i} = \frac{T_1 - T_2}{R_1} = \frac{T_2 - T_3}{R_2} = \frac{T_3 - T_4}{R_3} = \frac{T_4 - T_\infty}{R_0}$$

Toplam ısııl direnç $\left(\frac{T_i - T_\infty}{Q}\right)$ değerine eşit olduğundan, toplam ısııl direnç, ayrı ayrı dirençlerin toplamına eşittir. Aynı netice seri haldeki elektriki dirençler için de doğrudur. O halde;

$$Q = \frac{T_i - T_\infty}{\frac{1}{h_1 A} + \frac{L_1}{k_1 A} + \frac{L_2}{k_2 A} + \frac{L_3}{k_3 A} + \frac{1}{h_2 A}}$$

şeklinde yazılabilir.

4. Deney Tesisatı



Deney düzeneği, üste üste monte edilen bir soğutma bölümü ile bir ısıtma bölümünden oluşmaktadır. Ayrıca ısııl iletkenlik katsayısı ölçülecek numunelerden imal edilmiş değiştirilebilir ara bölüm, soğutma ve ısıtma bölümleri arasına monte edilebilmektedir. Soğutma ve ısıtma bölümleri 25 m çapında ve malzemesi pirinçtir. Tek boyutlu ısııl iletimini incelemek için soğutma, ısıtma ve değiştirilebilir ara bölmenin çevreye açık kısımları yalıtılmıştır. Soğutma bölümü, değiştirilebilir ara bölüm ve ısıtma bölümü üst üste monte edilerek silindirik bir yapı elde edilir.



Çubuk bir ucundan ısıtılıp diğer ucundan soğutularak çubuk boyunca doğrusal ısı iletimini sağlayacak sıcaklık farkı yaratılır. Isıtma, soğutma bölümleri ve değiştirilebilir ara bölmenin sıkıca birbirine kilitlenmesi ara yüzeylerde iyi bir ısı iletimi sağlar.

İşlem 1-Standart Pirinç Malzeme

1. Doğrusal ısı iletim deneyine başlamadan önce ölçülecek malzemeyi deney düzeneğine yerleştiriniz ve ayarlayınız.

- Isıtıcı olan ana ünitenin anahtarını kapatınız.
- Deney parçasını ölçüm ünitesine yerleştirerek vida ile tutturunuz.
- Deney için gerekli ise su hortumunu bağlayınız. Doğru sonuç alabilmek için bağlantıları doğru yaptığınızdan emin olunuz.
- Suyu açınız. Ve sızıntıları tespit etmek için suyun deney elemanından birkaç dakika geçmesine müsaade ediniz.
- Isıl çiftlerin (termokupl) soketini ana makinada doğru numaraları kontrol ederek takınız. Ve ısıtma kablosunun soketini ana makinaya takınız.
- Ana ünitenin anahtarını açınız. Ve ısı kontrolünü minimuma getiriniz. Isıtıcının anahtarını açınız.

2. Aşağıdaki kısımda tanımlandığı gibi ısı transfer macununu kullanarak pirinç orta kısmına oturtunuz.

- Uygun eldiven kullanınız.
- Kâğıt mendil veya eski bir bez kullanarak macun uygulanacak yüzeyi temizleyiniz.
- Yüzeye macunu ince bir tabaka halinde sürünüz. Yüzeyde hava baloncukları olmadığından emin olunuz.
- Deney parçasını yerine yerleştiriniz. Ve kâğıt mendil veya eski bir bez kullanarak fazla macunları temizleyiniz.
- Macunun elbisenize ve cildinize temasından sakınınız.

3. Referans olacak yerel ortam sıcaklığını ölçmek için sağlam bir termometre kullanınız.

4. Su akışını başlatmak için su çıkış valfini açınız. Daha sonra ısıtıcıyı çalıştırınız ve 30 Watt gücüne ayarlayınız.

5. Sıcaklık durgun hale gelene kadar bekleyiniz ve sonra T1 ve T9 değerlerini kaydediniz.

6. Karşılaştırma için birinci testi tekrarlayınız ya da ısıtıcı gücünü 30 Watt'tan fazla bir değere ayarlayınız.

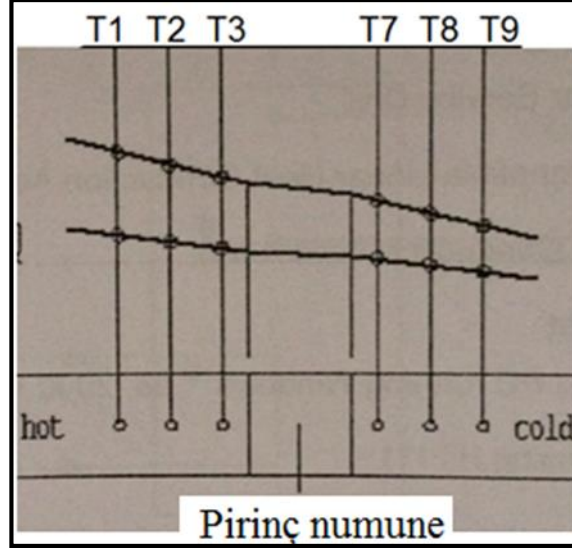
7. Isıtıcıyı ve su desteğini kapatınız.

1.Basit Bir Çubuk Boyunca İletim

Basit bir çubuk boyunca iletimi incelemek için ara bölmeye pirinç numune yerleştirilir. Termokupl yardımıyla her güç ayarı için elde edilen sonuçlardan çubuk boyunca mesafeye karşılık sıcaklığın grafiğini çiziniz. Sonuçlarınıza karşılık iyi bir grafik çizebilmelisiniz.

Referans sıcaklık için doğru boyunca ısı dağılımını hesaplayınız. Metal çubuğun ısı iletkenliğini bulmak için en uç noktalardaki T1 ve T9 ölçümlerinin aralarında verilmiş mesafeyi, ısıtıcı gücünü ve çubuk alanını aşağıdaki denklemi kullanarak bulunuz.

$$k = \frac{Q \Delta x}{A \Delta T}$$

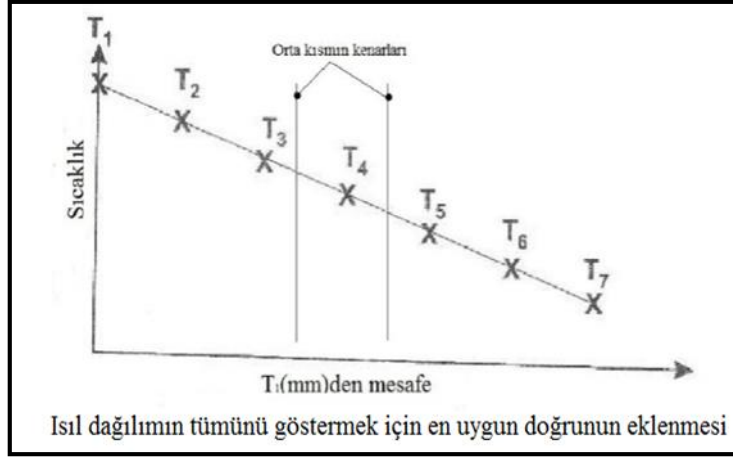


2. Kompozit Çubuk Boyunca İletim

İki pirinç bölmenin arasına ısı iletkenliği bilinmeyen çelik bölme sıkıştırılarak kompozit bir silindir oluşturulmuştur.

İşlem 1'de olduğu gibi, sonuçları mesafeye karşılık grafik olarak çiziniz.

Isıl dağılımın tümünü bulmak için sonuçların tümüne en uygun doğruyu ekleyiniz.

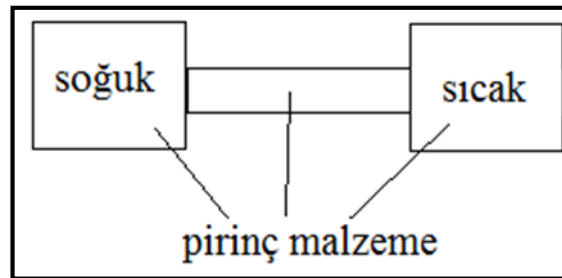


Tüm sonuçlardan bütün çubuk için ısı direnç R değerini bulunuz, sonra ısı dirençleri seriler metodunda toplam R değerini ve orta kısmındaki k değerini bulmak için kullanınız.(1. işlemde pirincin ortasının her kenarı için bulduğunuz k değerlerini kullanınız.)

3. Isıl İletkenlik Üzerine Kesit Alanının Etkisi

Amaç;

Isıl bir iletken boyunca sıcaklık profili üzerine kesit alandaki değişim etkisi incelenmiştir.



$$Q = A_1 \left(\frac{dT}{dx} \right)_1 = A_2 \left(\frac{dT}{dx} \right)_2 = A_3 \left(\frac{dT}{dx} \right)_3$$

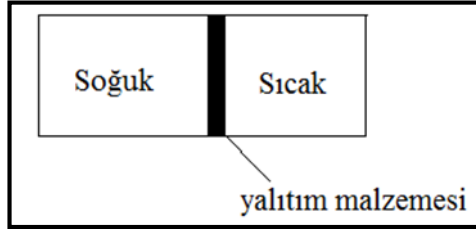


$$\frac{A_{ısıtıcı}}{A_{numune}} = \frac{\left(\frac{dT}{dx}\right)_{numune}}{\left(\frac{dT}{dx}\right)_{ısıtıcı}}$$

4.Yalıtımın Isıl İletkenlik Üzerine Etkisi

Amaç;

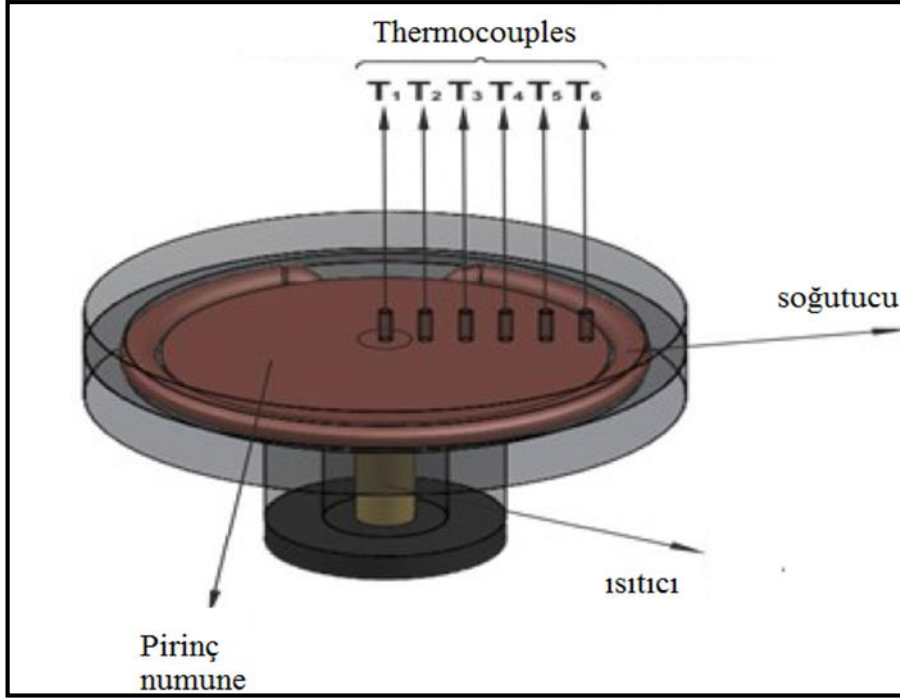
İki metal arasında konulan yalıtım malzemesi(mantar,kağıt,macun vb.) ile yalıtımın ısı iletkenlik üzerine etkisini incelemek.



Yalıtım malzemesinin ısı iletim katsayısı hesabı;

$$k = \frac{Q}{A} \left(\frac{\Delta x}{\Delta T}\right)_{yalıtım}$$

5.Radyal Isı İletim Deneyi



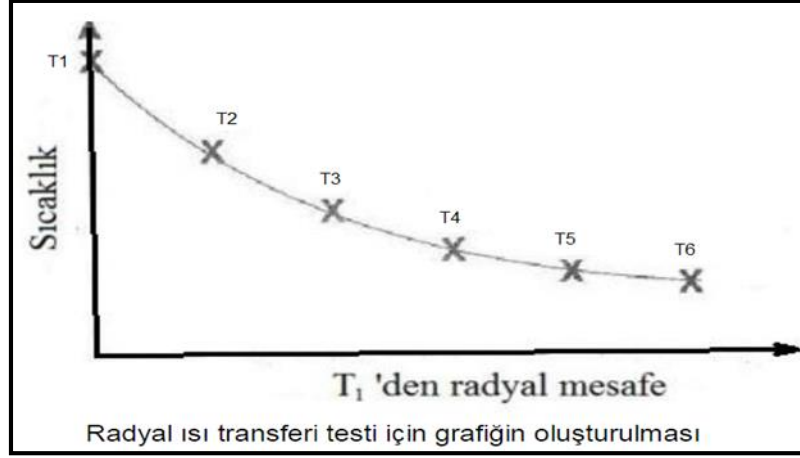
Amaç;

Düzensiz boyutlar ve malzeme için bir katı disk etrafında ısı iletiminin nasıl olduğunu göstermek,

Düzensiz boyutlardaki bir katı diskte malzemenin deneysel ısı iletkenliğinin nasıl hesaplanacağını göstermektir.

1. Birinci deneyin birinci işleminde anlatıldığı gibi deney aparatınızı ayarlayıp bağlayınız.
2. Referans alınacak yerel ortam sıcaklığını ölçmek için sağlamlığından emin olduğunuz bir termometre kullanınız.
3. Su akışını başlatmak için su çıkışını açınız, daha sonra ısıtıcıyı 30 watt güce ayarlayınız ve çalıştırınız.
4. Sıcaklıklar durgun hale gelene kadar bekleyiniz ve daha sonra T1'den T6'ya sıcaklıkları kaydediniz.
5. Karşılaştırma için testi bir kez daha tekrar ediniz ya da ısıtıcı gücünü ayarlayınız.
6. Isıtıcı ve su desteğini kapatınız.

Her güç ayarı için sonuçlardan yola çıkarak diskteki radyal mesafelere karşılık sıcaklıkları birinci termokupl yardımı ile çiziniz. Sonuçlarınıza karşılık bir eğri oluşturabilmelisiniz.



Deneyin Yapılışı Eğrinin tüm dağılımı önemli değildir, fakat şeklin tümü radyal ısı transferi için radyal mesafe ve sıcaklık arasında doğrusal olmayan bir ilişkiyi sağlaması gerekir.

Sonuç setlerinden birini seçiniz. Teori kısmındaki eşitliği, radyal konumundaki T1'i ve radyal konumundaki T2'yi kullanınız.

T3'ü bulmak için hesaplanmış T2 değerini kullanınız ve bu yolla devam ederek diğer teorik sıcaklıkları bulunuz. Teorik eğriyi grafiğine ekleyerek tahmin sonuçlarının ne kadar iyi olduğunu karşılaştırınız.

En uzak etkin iki ölçüm T1 ve T6'yı bu pozisyonlardaki radyal mesafeyi, disk kalınlığını ve ısıtıcı gücünü kullanarak aşağıdaki eşitlik yardımıyla pirinç diskin ısı iletkenliğini hesaplamak için kullanınız.

$$k = \frac{Q \ln \frac{R_5}{R_2}}{2\pi L(T_6 - T_2)}$$

Q: Elektriksel güç girişi (W)

L: Parçanın aksel uzunluğu

R₆: Dış çap

R₂: İç çap

5. Ölçüm Değerleri

6. İstenenler

KAYNAKLAR

Incropera, F. And Dewitt P.D., Isı Ve Kütle Geçişinin Temelleri, 2001.



ELEKTROHİDROLİK BİR SİSTEMİN KONUM DENETİMİ

Hazırlayanlar: Prof. Dr. İbrahim YÜKSEL, Doç. Dr. Elif TOPÇU

1. Amaç

Bu deneyde elektrohidrolik bir konum denetim sisteminin temel elemanları hakkında bilgi verilecek, temel bağıntılar gösterilecektir. Daha sonra bilgisayar denetimli elektrohidrolik konum denetim sistemi üzerinde deney yapılacaktır.

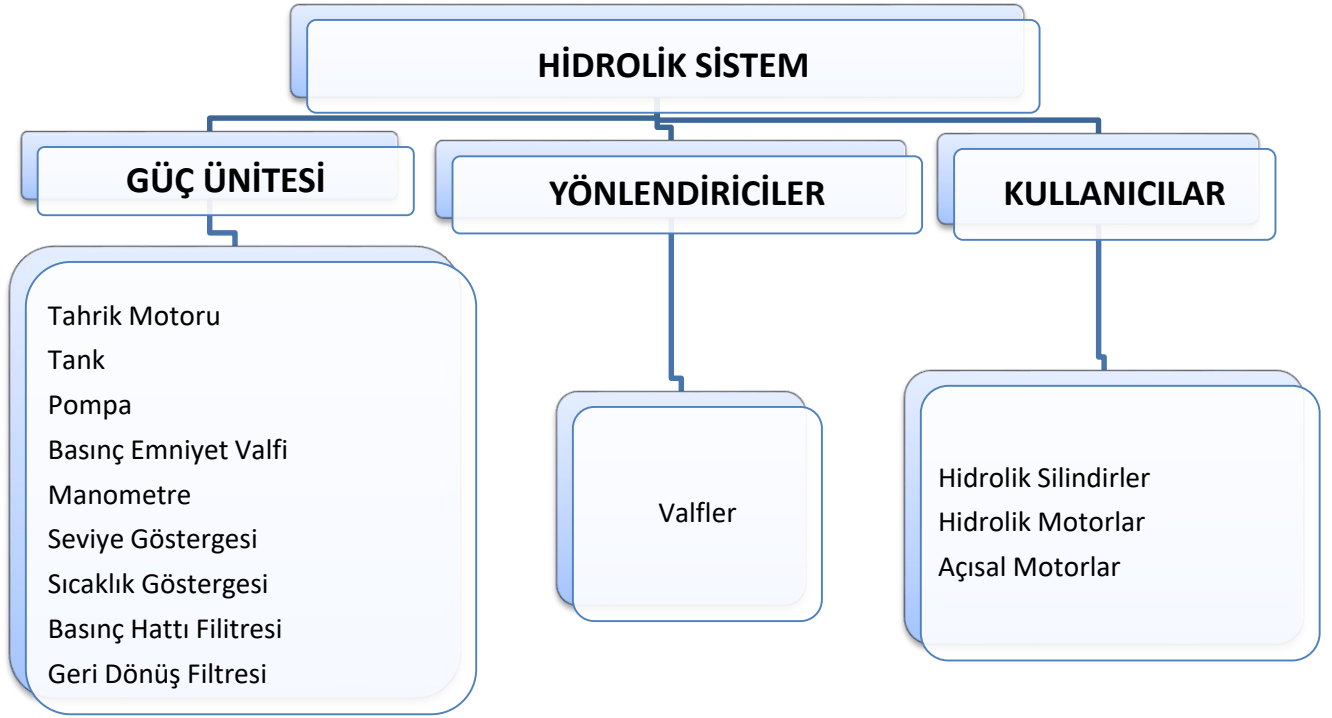
2. Giriş

Hidrolik güç iletim sistemleri endüstride değişken seviyelerdeki büyük güçlerin kullanıldığı ve hassas denetim gerektiren yerlerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Basma ve kesme presleri, plastik enjeksiyon makineleri, robotlar, uzay araçları, uçaklar ve takım tezgahları hidrolik sistemlerin yaygın olarak kullanıldığı yerlerden bazılarıdır. Bu alanlarda kullanılan hidrolik sistemlerin pek çoğunda elektriksel denetim elemanları kullanılmaktadır. Geri beslemeli elektrohidrolik denetim ise sistemde elektrohidrolik valflerin, elektriksel algılayıcıların ve denetim organının kullanılmasıyla oluşturulmaktadır.

3. Teori

3.1. Hidrolik

Basıncılı bir akışkan ile sağlanan güç iletimi ve kontrolü endüstrinin her alanında giderek yaygınlaşmaktadır. Büyük kuvvetlere, hassas hız kontrolüne ve yüksek güç-ağırlık oranlarına ihtiyaç duyulan durumlarda hidrolik sistemler kullanılır. Hidrolik güç, araba krikolarından hastane yataklarına, binlerce ton kuvvetindeki preslerden hassasiyeti mikrometre derecesine varan robotlara kadar geniş bir uygulama alanına sahiptir. Hidrolik sistem elemanları genel olarak üç ana grupta toplanırlar.



Güç Ünitesi

Tahrik Motoru: Pompayı tahrik etmek için genellikle elektrik motoru kullanılır ancak açık arazide ve mobil taşıtlarda içten yanmalı motor kullanılır.

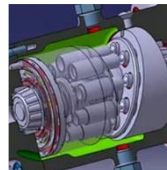
Tank: Sistemde dolaşan akışkanı depolamak için kullanılır.

Pompa: Hidrolik akışkan akışı meydana getirirler. Farklı tipte pompalar kullanılmakta olup şu şekilde adlandırılırlar;



Döner Pompalar

- Dıştan Dişli Pompalar
- İçten Dişli Pompalar
- Basit Kanatlı Pompalar
- Dengeli Kanatlı Pompalar
- Değişken Debili Kanatlı Pompalar



Pistonlu Pompalar

- Eksenel Pistonlu Pompalar
- Radyal Pistonlu Pompalar
- Plancer Pompalar

Basınç Emniyet Valfi: Sistemin belirlenen basınçta tutulmasını sağlar.

Sıcaklık Göstergesi: Akışkanın sıcaklığını kontrol etmek için kullanılır.

Seviye Göstergesi: Akışkanın sıcaklığını kontrol etmek için kullanılır.

Filtre: Basınç hattı ve geri dönüş filtresi olmak üzere iki adet kullanılır.

Yönlendiriciler;

Valfler: hidrolik akışkan, kontrol sinyali ve kullanıcılar arasındaki sınırı belirler. Debi, akış yönü ve akışkan basıncının kontrol edilmesi için kullanılırlar. Kontrol sinyalleri mekanik, el kumandalı, hidrolik, pnömatik veya elektrikli olabilir. Elektrikli olanları servo ve solenoid valf olarak iki grupta toplanırlar. Akışkanın gideceği yönü belirledikleri için bu adı alırlar. Valfleri aşağıdaki gibi sınıflandırabiliriz.

| Basınç Kontrol Valfleri | Akış Kontrol Valfleri | Yön Kontrol Valfleri | Mobil Hidrolik Valfler |
|---|--|--|---|
| <ul style="list-style-type: none">• Emniyet Valfleri• Basınç Dengeleme Valfleri• Basınç sıralama Valfleri• Basınç Düşürücü Valfler | <ul style="list-style-type: none">• Üç yollu veya bypass geçişli valfler• Öncelikli akış kontrollü valfler• Akış bölücüler | <ul style="list-style-type: none">• Çek valfler• Oturtmalı valfler• Kayar sürgülü valfler• İki kademeli valfler | <ul style="list-style-type: none">• Sürgülü tipi kartuşlu valfler• Pistonlu tip kartuşlu valfler |

Kullanıcılar;

Üç temel tip hidrolik kullanıcı vardır ve tipleri tabloda verildiği gibidir.



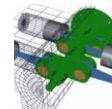
Hidrolik Silindirler

- Dalma Silindirler
- Tek Etkili Silindirler
- Çift Etkili Silindirler



Hidrolik Motorlar

- Jenaratif Tipte motor
- Piston Tipi Motorlar



Açısal Motorlar

- Kanatlı Tip Açısal Motorlar
- Piston Tipi Döner Silindirler
- Helisel Vidalı Açısal Motor



4. ELEKTROHİDROLİK VALF-SİLİNDİR SİSTEMİNİN TEMEL DENKLEMLERİ

Yüke maruz servovalf denetimli bir elektrohidrolik bir sistemin matematik modeli genel olarak valf debi denklemleri, silindir debi denklemleri, yük denklemleri ve denetim sistemini ifade eden denklemlerden oluşmaktadır. Burada amaç detaylı bir matematik analiz olmayıp, basitçe sistemin dinamik davranışına esas olan parametrelerin etkilerini göstermektir.

4.1. Servo Valfin Matematik Modeli

Yük basıncı (P_L) ve valf sürgü konumuna (x_v) bağlı olarak valfin debi denkleminin doğrusallaştırılmış şekilde ifadesi

$$Q_v(t) = K_v * x_v(t) - K_p * P_L(t) \quad (1)$$

ile ifade edilebilir. Valfin elektriksel kısmının dinamik davranışı ise birinci dereceden bir gecikme elemanı gibi modellenebilir.

$$G_v(s) = \frac{X_v(s)}{I(s)} = \frac{K_v}{T_v s + 1} \approx K_v \quad (2)$$

Burada K_s valf kazancı, T_v valf zaman sabitidir. Valfin zaman sabiti tüm sistemin zaman sabitinin yanında çok küçük kaldığı için ihmal edilerek valf bir kazanç elemanı gibi ele alınabilir.

4.2. Silindir Sisteminin Matematik Modeli

Belirli bir karşı yüke, kütle ve sönümleyiciye sahip, sıkıştırılabilirliğin ve sızıntı kayıplarının da hesaba katıldığı çift piston çubuklu bir silindir sisteminin denklemleri aşağıdaki gibi ifade edilebilir.

$$Q_L(t) = A \frac{dy(t)}{dt} + C_{ip} P_L(t) + \frac{V_t}{4\beta_e} \frac{dP_L(t)}{dt} \quad (3)$$



Burada, A (m^2) piston etkin kesit alanı V_t (m^3) toplam sıkıştırılabilir hacim, C_{tp} ($(m^3/s)/(N/m^2)$) toplam sızıntı katsayısı, β_e (N/m^2) bulk modülü, y (m) piston konumudur. Sıkışabilirlik ve sızıntı ihmal edildiği takdirde denklem

$$Q_L(t) = A \frac{dy}{dt} = A v(t) \quad (3)$$

olarak ifade edilebilir. Burada $v(t)$ piston hızıdır.

Silindir hareketli elemanların kütlesi m (kg) , sönüm katsayısı B ($N/(m/sn)$) olan bir sistemde hareket oluşturmaktadır. Sistemde silindir hareketini tamamlamadan yay kuvveti ile bozucu giriş etkisi oluşturulmaktadır. Buna göre hareket denklemi için;

$$AP_L(t) - F_y(t) = m \frac{d^2y(t)}{dt^2} + B \frac{dy(t)}{dt} \quad (4)$$

ifadesi yazılabilir. Burada F_y (N) yay kuvveti bozucu giriş olup deneydeki sistem için $k \cdot x_h(t)$ ı içermektedir. $x_h(t)$ silindirin yaya temasından sonraki hareket miktarı, k yaylılık katsayısıdır.

4.3. Denetim Organı, Konum Algılayıcısı ve Akım Sürücünün Matematik Modeli

Denetim organı, konum algılayıcısı ve akım sürücü kazanç tipi elemanlar olarak ele alınmıştır. Buna göre her birinin transfer fonksiyonu

$$G_{denetim}(t)=K \ ; \ G_{akim\ surucu}(t)=K_a \ ; \ G_{algilayici}(t)=K_{alg} \quad (5)$$

olarak ifade edilebilir.

4.4. Sistemin kapalı döngü denetimi

Başvuru giriş, karşılaştırıcı, denetim organını da içine alan denetleyici kısmı temelde mikrodenetleyici olarak isimlendirilen elektronik bir devredir. Bu çalışma çerçevesinde denetim kısmı, içinde veri toplama kartı bulunan bir bilgisayar ile gerçekleştirilmektedir. Bu sistem veri toplama kartı ile sistemin çalışmasını ve denetim yordamlarını (algoritmalarını) çalıştıran bir yazılımdan (programdan) meydana gelmiştir.

Şekil 1'den de görüldüğü gibi denetleyicide giriş bilgileri ile geri besleme bilgileri karşılaştırıldıktan sonra ortaya çıkan hata sinyaline bağlı olarak uygun bir denetim bilgisi veya



işareti üretilir. Bu denetim bilgisi denetleyicide uygun bir denetim etkisi biçiminde hazırlanır. Bu işlem de uygun bir yazılım programı ile yerine getirilir.

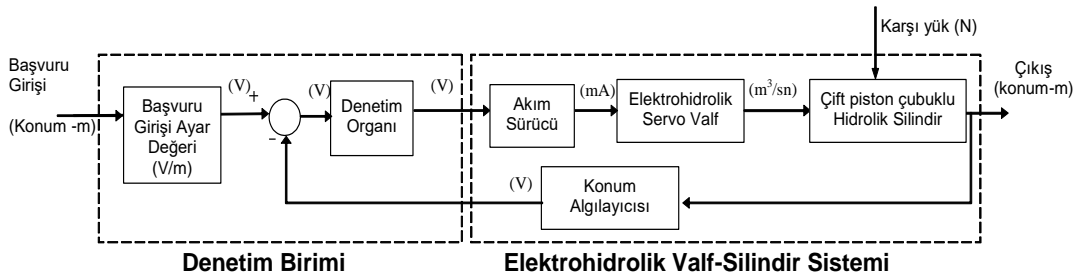
Denetleyicinin çıkışında elde edilen denetim bilgisi veya işareti motor eleman olan valfe gönderilir. Yalnız sayısal biçimde (kesikli/dijital) olan bu işaret genelde benzeşik (sürekli/analog) işaret ile çalışan motor elemana gönderilmeden önce DAC (dijital-analog çevirici) adı verilen elektronik bir devrede benzeşik bir işarete dönüştürülür. Bu işaret ise düşük akımlı bir gerilim işareti olduğu için eyleyiciyi harekete geçirecek güce sahip değildir. Bunun için benzeşik elektronik elemanlardan (genelde tranzistör, diyot gibi) meydana gelmiş bir sürücü devre (akım sürücü devre veya güç kuvvetlendiricisi) kullanılır. Bu devreden sağlanan yüksek akımlı elektrik enerjisi temel devresi bir sargı (bobin) elemanından oluşan valfte mekaniksel bir hareket oluşturur. Bu mekaniksel hareket sonucunda valften akışkan akışı sağlanır. Akışkan akışı ise silindirin ilgili odalarına dolarak basınç kuvveti yardımıyla piston hareketini oluşturur. Geri besleme döngüsü içinde yer alan en önemli elemanlardan birisi de konum algılayıcısıdır. Kullanılan konum algılayıcısı pistonun konumunu algılayıp değerlendiren bir ölçme elemanıdır. Algılama elemanı algılama ve işaret kuvvetlendirme-değerlendirme olmak üzere iki kısımda inceleyebiliriz. Algılama kısmı ölçülecek ve dolayısıyla denetlenen değişkeni hisseden bölümdür. Burada algılanan fiziksel değişken uygun bir işarete dönüştürülür. Algılayıcının bu kısmı işaret veya enerji dönüştürücü (transducer) olarak bilinir. Bu dönüştürme işlemi için elektronik elemanlardan oluşan devreler kullanılır. Algılayıcı çıkışı benzeşik bir işaret olduğundan denetleyiciye gönderilmeden önce benzeşik-sayısal (analog-dijital) dönüştürücü olan ADC de sayısal işarete dönüştürülür.

5. Deney Tesisatı

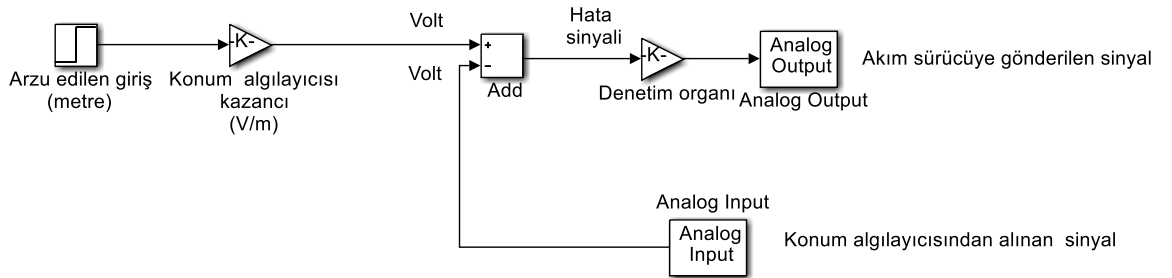
Kullanılan deney düzeneği çift etkili silindir, servo valf, sürücü devreler, direnç tipi bir konum algılayıcısı, denetim birimi ve güç ünitesinden oluşmaktadır. Hidrolik silindir 150 mm stroklu, 40mm piston, 22 mm piston çubuğu çaplı çift etkili-çift piston çubuklu senkronize bir silindiridir. Güç ünitesi 20 lt/dak ve 100 bar basınç sağlayabilen dişli bir pompa, 5 kW lık güce sahip elektrik motoru ve yağ tankından oluşmaktadır. Servo valfin kapasitesi 10 lt/dak'dır. Akım sürücü kazancı 3 mA/V' dur. Konum algılayıcının kazancı ise 25 V/m' dir. Sistemde bulunan yay 0,05 m uzak mesafeye konumlandırılmıştır. Silindir harekete başladığı andan yaya

temas edene kadar yüksüz durumdadır. Sistemin kapalı döngü blok şeması Şekil 1’ de gösterildiği gibidir.

Sistem bilgisayar ve ver toplama ve denetim kartından oluşan bir denetim birimi ile denetlenmektedir. Hidrolik sistemi denetleyebilmek için MATLAB/Simulink ortamında Şekil 2’ de gösterilen model kurulmuştur.



Şekil 1. Elektrohidrolik Konum Denetim Sisteminin Kapalı Döngü Blok Şeması



Şekil 2- Denetim birimi MATLAB/Simulink modeli

6. Deneyin Yapılışı

Sistem elektrik düğmesinden açık hale getirilerek elektrik motorunun, sürücü, valf ve algılayıcının güç ihtiyacı karşılanır. sağlanır. Basınç emniyet valfi maksimum sistem basıncının yaklaşık %15 fazla değerine ayarlanır. Bu değer not edilir.

Geri beslemeli elektrohidrolik konum denetim sisteminin silindir elemanının hareket mesafesi belirlenir ve bu değer bilgisayar ortamında hazırlanan model üzerinde arzu edilen giriş değeri olarak verilir. Bu deneyde sistemin basamak girişe karşılık verdiği cevap inceleneceği için hazırlanan modelde arzu edilen giriş değeri olarak basamak girişin şiddeti girilir. Denetim

organı kazancı ayarlanır. Bilgisayar programında hazırlanan model çalıştırılarak akım sürücü devreye denetim sinyali gönderilir. Silindirin pistonunun hareketi ile konum algılayıcı eleman üzerinden de sinyaller veri toplama sistemi üzerinden toplanmaya başlar. Elde edilen sonuçlar bilgisayar üzerinden ve sistem üzerinden gözlenir.

Farklı kazanç değerleri için deney tekrarlanır.

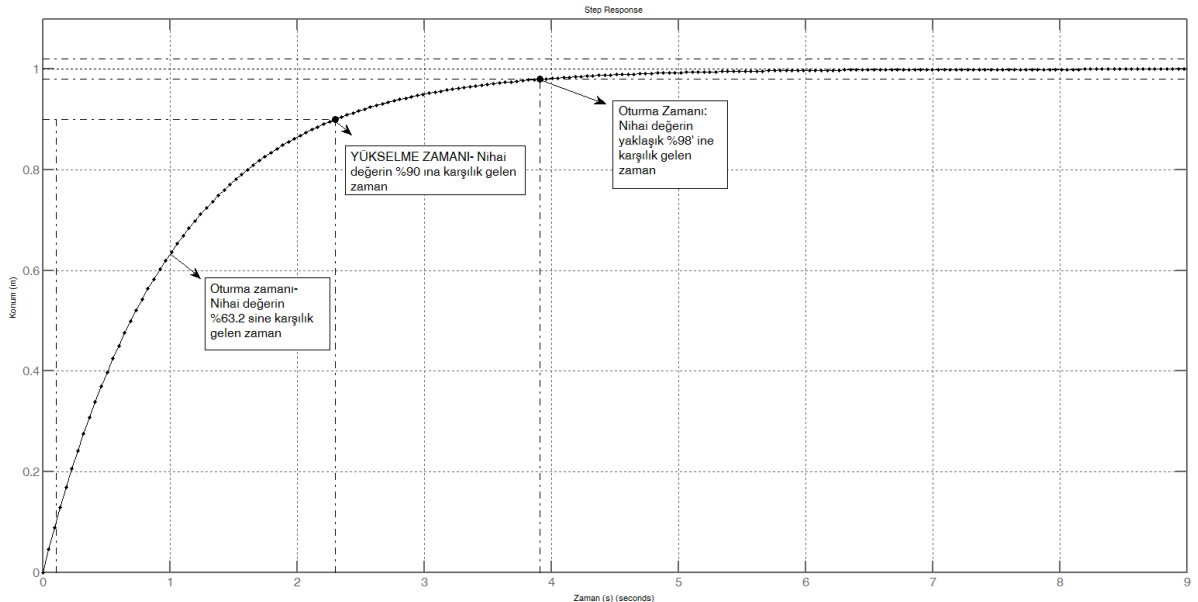
7. Ölçüm Değerleri

Başvuru giriş değeri, denetim organı kazancı değeri not edilir. Deney sırasında silindir pistonunun hareketi ile elde edilen zamana bağlı konum değişim değerleri çıkış olarak ölçülür. Burada hesaplanacak değerlerin açıklaması aşağıda verilmiştir.

Oturma zamanı: Çıkışın nihai değerinin yaklaşık %98' ine karşılık gelen zaman değeri

Yükselme zamanı: Çıkışın nihai değerinin %90' ına karşılık gelen zaman değeri

Zaman sabiti: Çıkışın nihai değerinin %63.2' sine karşılık gelen zaman değeri



Şekil 3 Zaman sabiti bir sistemin birim basamak giriş için cevap eğrisi



8. İstenenler

Birim basamak giriş için elde edilen zaman- silindir konum değişim eğrisi çizdirilecek. Konum değişiminin zamana göre gerilim cinsinden değişimi deney sırasında okunacaktır. Buna göre sistem tanımlamasında verilen konum algılayıcısı kazancına göre pistonun konum değişim eğrisi x ekseninde zaman, y ekseninde metre cinsinden konum değişimi olarak çizdirilecek. Bu eğrinin hangi denetim organı kazanç için çizdirildiği yazılmalıdır.

Elde edilen bu eğriden sistemin zaman sabiti, yükselme zamanı, oturma zamanı değerleri buldurulacak.

Elde edilen konum eğrisinden hareketle pistonunun yaklaşık hız değişimi ve bu hız değişimine göre valf debisi hesabı yapılacak. Bunun için harekete başladığı noktadan itibaren yaklaşık doğrusal bir eğri çizilerek ilk harekete başladığı anda sisteme verilen debi hesabı yapılabilir.

Pistonun ileri hareketinde sistem basıncı dikkate alındığında pistonun verilen boyutları için kaç N' luk bir yük harekete ettirilebilir? Hesaplayınız.

KAYNAKLAR

- [1] *Merritt, H.E.*, Hydraulic Control Systems, John Wiley & Sons Inc., New York, London, Sydney, 1967.
- [2] *İbrahim YÜKSEL*, “Otomatik kontrol, Sistem Dinamiği ve Denetim sistemleri”. Dora Yayıncılık. 2014.
- [3] *Elif Erzan Topçu, Mesut Şengirgin, İbrahim Yüksel* “Servovalf Kumandalı Elektrohidrolik Bir Konum Denetim Sisteminde Karşı Yükün Etkisinin İncelenmesi” 6. Ulusal Hidrolik Pnömatik Kongresi Ve Sergisi, 12-15 Ekim 2011, Tepekule İzmir.

NACA 0015 KANAT PROFİLİNİN RÜZGÂR TÜNELİNDE İNCELENMESİ

Hazırlayanlar: Mehmet Erman Çalışkan

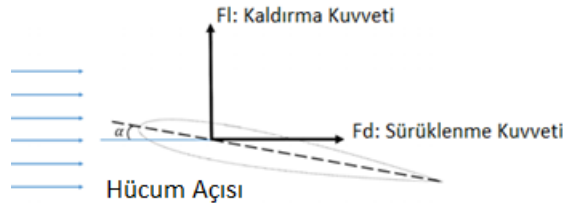
Muhammet Üsame Sabırlı

1. Amaç

Rüzgâr tüneline yerleştirilmiş NACA 0015 kanat profili üzerindeki kaldırma, sürüklenme kuvvetleri ve katsayılarının hesaplanması. Bu değerlerin literatürle kıyaslamasının yapılması ve bu değerlerden elde edilen grafiklerin yorumlanması.

2. Giriş

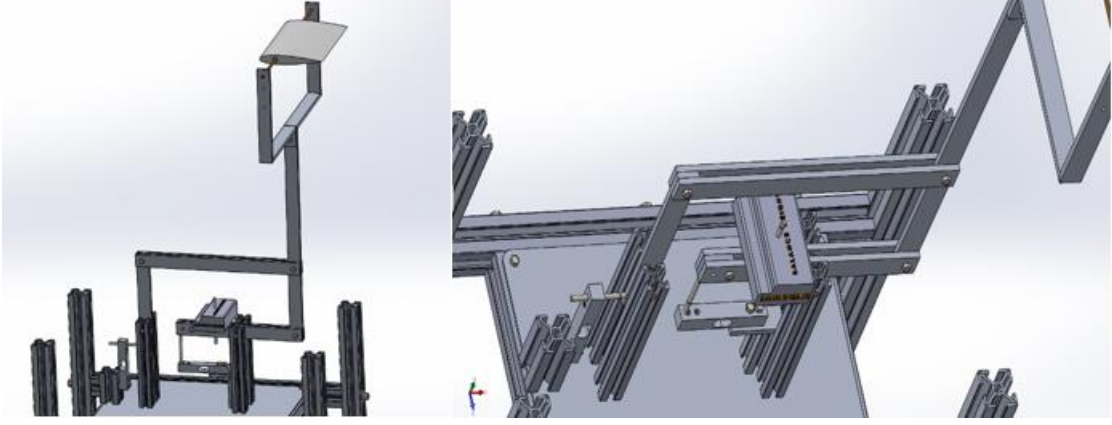
Kanat profillerinin üzerinden akan akışta, belirli hücum açılarında kanadın belirli aerodinamik özellikleri gözlenir. Bunlardan en temel iki parametre Şekil 1’de de gösterildiği üzere kaldırma ve sürüklenme kuvvetleridir.



Şekil 1 Kanat üzerindeki kaldırma ve sürüklenme kuvvetleri

Bir kanat profilinin, hava tüneline aerodinamik performanslarını ölçmek için temelde 3 çeşit yöntem bulunur. Bunlardan ilki gerinim ölçerlerle kuvvet ölçümü yapan denge sistemleri, ikincisi kanat üstündeki ve altındaki basınç farkının ölçerek kuvvet hesabı yapan sistemler bir de bunların ikisinin de kullanıldığı birleşik sistemler. Bu deney düzeneğinde; üzerinde gerinim ölçerler bulunan yük hücreleriyle oluşturulmuş Şekil 2’de gösterilen bir denge-kol sistemi kullanılmıştır. Bu aerodinamik performans ölçer sistemdeki hareketli kollar ve bağlantı noktalarındaki rulmanlar sayesinde, iki farklı yönde oluşan kaldırma ve sürüklenme

kuvvetlerini, dik bir şekilde ve birbirinden bağımsız olarak, ölçüm yapan iki farklı yük hücreğine iletmektedir.

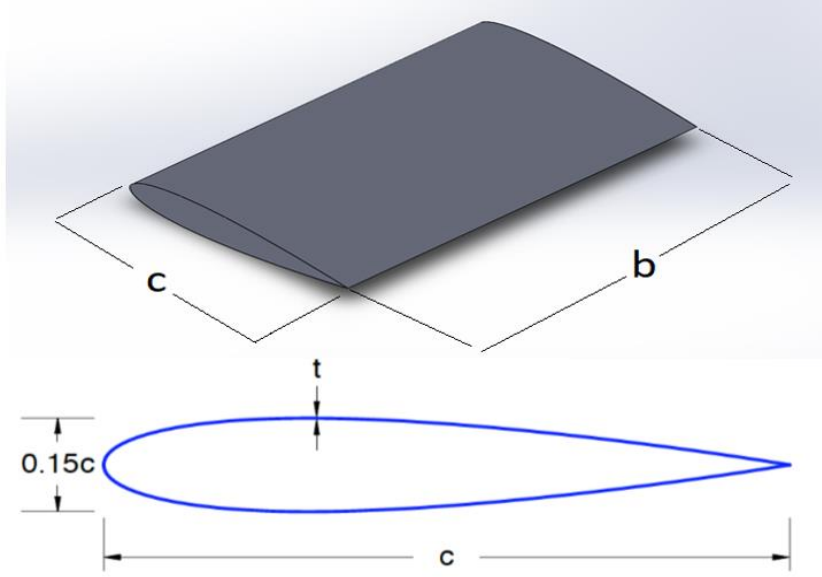


Şekil 2 Aerodinamik performans ölçen iki bileşenli denge sistemi

3. Teori

3.1. Hücüm Açısına Bağlı Olarak Kanat Profiline Etki Eden Kuvvetler

Deneyde NACA 0015 kanat profili kullanılmıştır. Burada 0015 kodunda yer alan '00' kanat profilinin kamber (bombe) açısını ifade eder. 0 derece kamber açısı kanat profilinin simetrik olduğunu gösterir. '15' kodu ise kanat profilinin veter (chord) (c) uzunluğunun, kanat profilinin kalınlığına oranını ifade eder. Şekil 3'de gösterilen bu profil (b=0,16m, c=0,1m) Şekil 2'de gösterilen sisteme bağlanarak tünel içindeki test alanına konumlandırılmıştır. Bu sistem aracılığı ile kanat üzerinde oluşan kaldırma ve sürüklenme kuvvetleri, istenilen hücüm açısında (α) mN olarak ölçülebilmektedir.

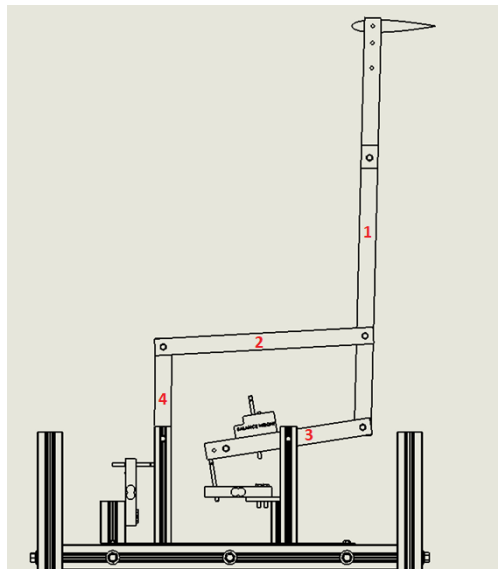


Şekil 3 Deneyde kullanılan Naca0015 kanat profili

Kanat üzerindeki kaldırma katsayısı;

$$C_L = \frac{F_L}{0.5\rho U^2 A}; \quad A = bc \text{ (Projeksiyon Alanı)}$$

C_L Şekil 4'te görüldüğü üzere kanatta oluşan kaldırma kuvvetinin etkisiyle 1 numaralı koldan yük hücresinin bağlı olduğu 3 numaralı kola aktarılan kuvvet sayesinde elde edilen F_L kuvvetinden elde edilir.

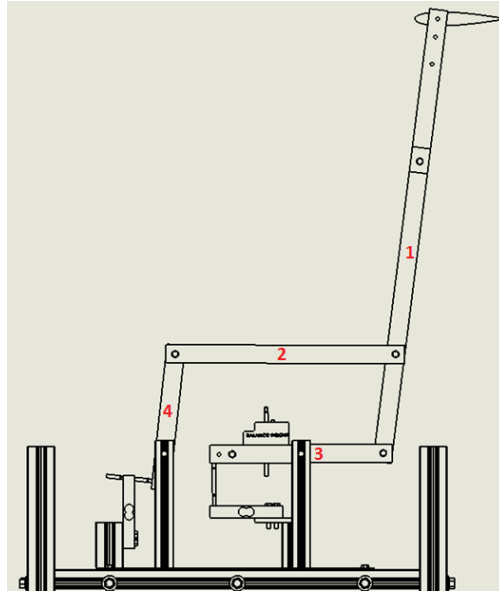


Şekil 4 Kaldırma kuvvetinin sistemdeki etkisi

Kanat üzerindeki sürüklenme katsayısı;

$$C_D = \frac{F_D}{0.5\rho U^2 A}; \quad A = bc \text{ (Projeksiyon Alanı)}$$

C_D Şekil 5'te görüldüğü üzere kanatta oluşan sürüklenme kuvvetinin etkisiyle 1 numaralı koldan 2 numaralı kola, oradan da yük hücresinin bağlı olduğu 4 numaralı kola aktarılan kuvvet sayesinde elde edilen F_D kuvvetinden elde edilir.



Şekil 5 Sürüklenme kuvvetinin sistemdeki etkisi

3.2. Hesaplamalar

Belli hücum açılarında ve belli hava hızlarında yük hücrelerine gelen kuvvetlerden elde edilen değerler mN cinsinden olduğu için aşağıda gösterilen katsayı hesaplamalarında değerler N cinsinden girilmelidir.

Havanın yoğunluğu $\rho=1.2 \text{ kg/m}^3$ değerinde alınırken havanın hızı $U: m/s$ biriminde alınmalıdır. Kanat üzerindeki projeksiyon alanı ise $A: bc$ şeklinde alınmalıdır. ($b:0,16m$ $c:0,1m$)

Havanın hızına ve kanat geometrisine bağlı olarak hesaplanan boyutsuz Reynolds sayısı ise aşağıdaki formülden elde edilmelidir. Burada havanın viskozitesi $\nu: 1,48 * 10^{-5}$ olarak alınmalıdır.

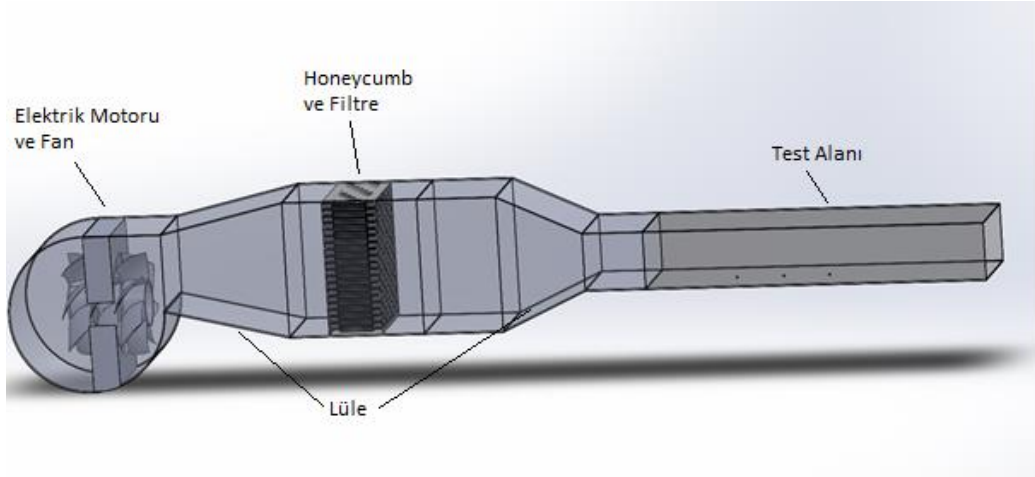
$$Re: \frac{U * c}{\nu}$$

$$C_L = \frac{F_L}{0.5\rho U^2 A}; \quad A = bc \text{ (Projeksiyon Alanı)}$$

$$C_D = \frac{F_D}{0.5\rho U^2 A}; \quad A = bc \text{ (Projeksiyon Alanı)}$$

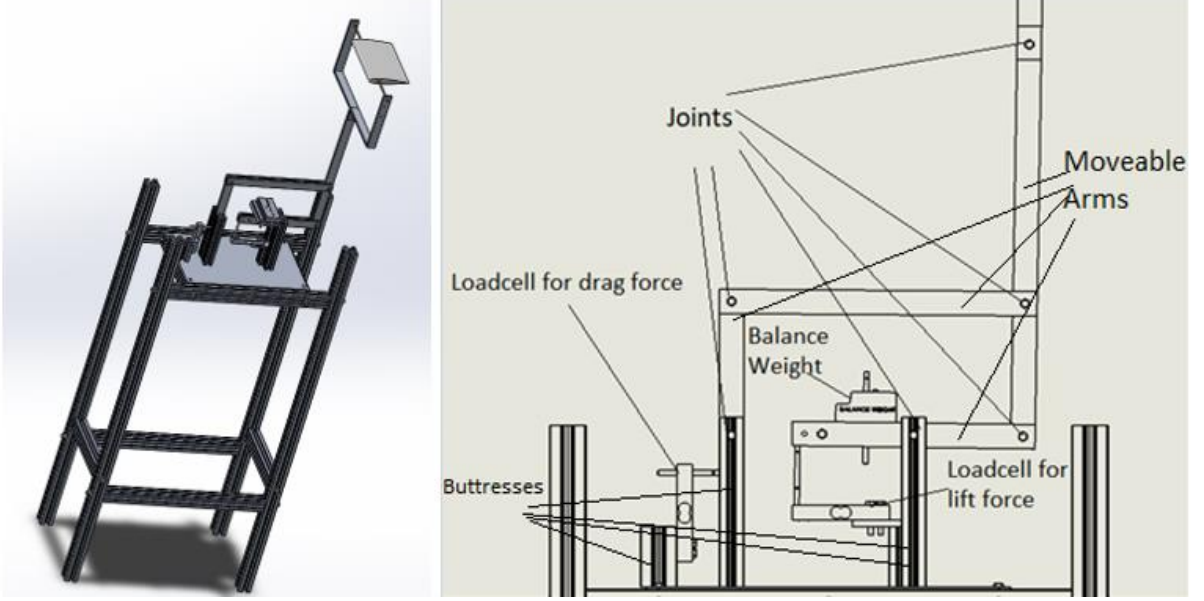
4. Deney Tesisatı

Deneyler Şekil 6'te detaylarıyla verilen açık döngülü bir hava tüneline gerçekleştirilmektedir.



Şekil 6 Açık döngülü hava tüneli

Deneyde kullanılan, üzerine kanat bağlanarak, o kanadın aerodinamik performanslarının ölçüldüğü sistem ise Şekil 7'da verilmiştir.



Şekil 7 Deneyde kullanılan aerodinamik performans ölçen denge sistemi

5. Deneyin Yapılışı

1. Deneyde; $U=5, 7$ ve 10m/s olmak üzere 3 farklı hızda ve $\alpha=0, 5, 10$ ve 15 derece hücum açılarında ölçümler alınacağı için ilk önce kanat profilinin hücum açısı $\alpha=0^\circ$ olarak ayarlanır.

2. $\alpha=0^\circ$ hücum açısı ayarlandıktan sonra tünelin hızı sırasıyla $U=5, 7$ ve 10m/s 'ye ayarlanıp bu üç hız için kaldırma ve sürüklenme kuvveti değerleri kaydedilir. Yük hücrelerinden programa gelen anlık ortalama kaldırma ve anlık ortalama sürüklenme kuvvet değerleri, hazırlanacak olan ölçüm değerleri excel tablosunda yerine yazılır (Bu değerler mN olarak okunduğu için excel tablosunda katsayı hesabı yapılırken buna dikkat edilmelidir.). Program çıktısının bir örneği Şekil 8'de verilmiştir.



```
Reading: 39.22000 mN_lift Average_lift: 40.06 Reading: 69.14469 mN_drag Average_drag: 69.74 Time:189 Counter:225
Reading: 40.96000 mN_lift Average_lift: 40.06 Reading: 69.86170 mN_drag Average_drag: 69.73 Time:189 Counter:226
Reading: 39.56000 mN_lift Average_lift: 40.06 Reading: 69.69788 mN_drag Average_drag: 69.73 Time:189 Counter:227
Reading: 43.36000 mN_lift Average_lift: 40.08 Reading: 69.47660 mN_drag Average_drag: 69.73 Time:190 Counter:228
Reading: 41.72000 mN_lift Average_lift: 40.09 Reading: 69.72341 mN_drag Average_drag: 69.73 Time:190 Counter:229
Reading: 41.32000 mN_lift Average_lift: 40.10 Reading: 68.71915 mN_drag Average_drag: 69.73 Time:190 Counter:230
Reading: 38.98000 mN_lift Average_lift: 40.10 Reading: 69.91490 mN_drag Average_drag: 69.73 Time:190 Counter:231
Reading: 38.78000 mN_lift Average_lift: 40.10 Reading: 69.22766 mN_drag Average_drag: 69.73 Time:190 Counter:232
Reading: 39.64000 mN_lift Average_lift: 40.09 Reading: 69.79149 mN_drag Average_drag: 69.73 Time:191 Counter:233
Reading: 39.04000 mN_lift Average_lift: 40.09 Reading: 68.42766 mN_drag Average_drag: 69.73 Time:191 Counter:234
Reading: 39.12000 mN_lift Average_lift: 40.09 Reading: 70.54894 mN_drag Average_drag: 69.73 Time:191 Counter:235
Reading: 41.00000 mN_lift Average_lift: 40.09 Reading: 68.54894 mN_drag Average_drag: 69.72 Time:191 Counter:236
Reading: 40.62000 mN_lift Average_lift: 40.09 Reading: 70.11064 mN_drag Average_drag: 69.73 Time:191 Counter:237
```

Şekil 8 Sistemden alınan değerlerin okunduğu programın örnek bir ekran görüntüsü

3. $\alpha=0^0$ deki hızlara bağlı olarak anlık değerler kaydedildikten sonra hücum açısı sırasıyla $\alpha=5^0, 10^0$ ve 15^0 'ye alınıp yine belirtilen hızlardaki anlık kuvvet değerleri kaydedilir.



6. Ölçüm Değerleri

| α | U(m/s) | Re | Okunan ort. (mN) | | Referans (mN) | | Naca 0015(mN) | | Naca 0015 | | |
|----------|--------|----|------------------|-----------|---------------|----------|---------------|----|-----------|----|--|
| | | | FL(Anlık) | FD(Anlık) | FL(Ref.) | FD(Ref.) | FL | FD | CL | CD | |
| 0 | 5 | | | | | | | | | | |
| | 7 | | | | | | | | | | |
| | 10 | | | | | | | | | | |
| 5 | 5 | | | | | | | | | | |
| | 7 | | | | | | | | | | |
| | 10 | | | | | | | | | | |
| 10 | 5 | | | | | | | | | | |
| | 7 | | | | | | | | | | |
| | 10 | | | | | | | | | | |
| 15 | 5 | | | | | | | | | | |
| | 7 | | | | | | | | | | |
| | 10 | | | | | | | | | | |



7. İstenenler

1. Kanat profilleri ile ilgili genel bilgiler verilir ve çalışmanın amacı açıklanır.
2. Rüzgâr tüneli, NACA 0015 kanat profili, deney mekanizması ve mantığı açıklanır.
3. Ölçüm değerleri başlığında bir örneği verilen excel tablosuna, her bir konfigürasyon için elde edilen anlık kaldırma ve sürüklenme kuvvet değerleri, sistemin kanatsız halinin oluşturduğu kaldırma ve sürüklenme kuvvetlerinden gelen referans değerlerinden çıkarılır ve kanadın asıl kaldırma ve sürüklenme kuvvetleri bulunur.
(F_L, F_D)
4. Bu kaldırma ve sürüklenme kuvveti değerleri, yine excel tablosunda, hesaplama kısmında verilen kaldırma ve sürüklenme katsayılarına dönüştürülür.(C_L, C_D)
5. Hesaplamalar kısmında kanat üzerinden akış için formülü verilen Re sayısı her bir hız için belirlenir ve daha sonra aşağıda istenen grafikler excelde çizdirilir.
 - a:Re – CL grafiği (Her bir hücum açısı için)
 - b:Re – CD grafiği (Her bir hücum açısı için)
 - c: α – CL grafiği (Her bir hız için)
 - d: α – CD grafiği (Her bir hız için)
 - e: α – CL/CD grafiği (Her bir hız için)
6. Bu 5 tane grafik literatürdeki Naca 0015 profilin aerodinamik performans eğrileriyle karşılaştırılır ve yorumlanır.
7. Deneyde aerodinamik ölçümleri yapılan Naca 0015 profilinin, her bir hızda, stall açısı ve en iyi performans gösterdiği hücum açısı eğrilerden belirlenip yorumlanır.
(Performans ölçütü C_l/C_d)
8. Yararlanılan kaynaklar alfabetik sıraya göre verilir.

KAYNAKLAR



HİDRODİNAMİK KAYMALI YATAKLARDA BASINÇ DAĞILIMI DENEYİ

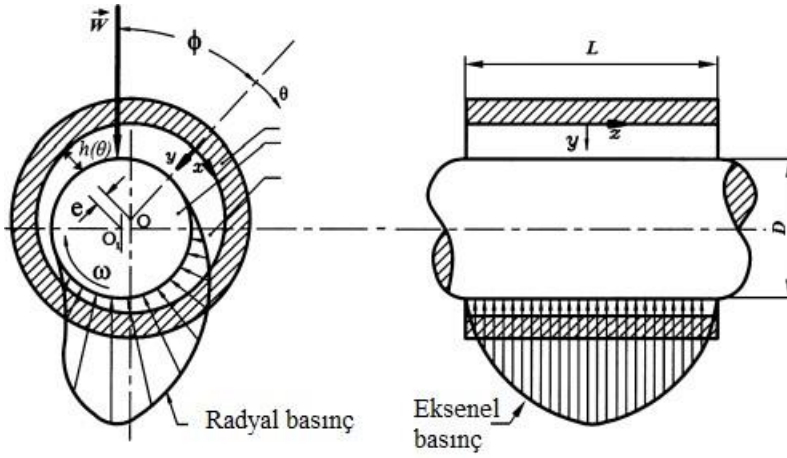
Hazırlayanlar: Arş. Gör. Tufan Gürkan Yılmaz

1. Amaç

Bu deneyde bir hidrodinamik radyal kaymalı yataklarda oluşan basınç dağılımının devir sayısına göre değişiminin incelenmesi amaçlanmaktadır. İstenirse test aparatına konulacak yükler vasıtasıyla yük durumunun etkisi de incelenebilir.

2. Giriş

Darbeye ve titreşime karşı dayanım, sessiz çalışma, uzun ömür gibi avantajları ile birlikte kaymalı yataklar endüstride oldukça yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Genel olarak eksenleri arasında eksantriklik bulunan mil ve yatak gövdesi ile bunların arasında bulunan yağlayıcı elemandan oluşan kaymalı yataklar yağ filminin oluşum esasına göre hidrostatik ve hidrodinamik olarak ikiye ayrılmaktadır. Hidrodinamik yağlama esasında yağ filmi milin rölatif hareketi ile oluşmaktadır. Mil hareketi ve bahsedilen eksantriklik neticesinde oluşan basıncın hassas bir şekilde hesabı hidrodinamik kaymalı yatakların çeşitli açılardan (deformasyon, ısı vb.) analizine temel teşkil etmektedir. Radyal yataklarda hidrodinamik yağ film tabakasının olduğu bölge eğik düzlemlerde olduğu gibi mil ile yatak arasındaki boşluğun tamamında oluşmaz. Bu nedenle basınç denkleminin çözümünde Θ_{maks} açısı ile ilgili sınır şartları, yani hidrodinamik yağ tabakasının *başlangıç ve bitim noktaları* kesin değildir yani yatak büyüklüklerine bağlıdır. Bu konuda yağlama teorisinde çeşitli varsayımlar vardır. Her üç varsayımda da uygulanan matematik işlemler aynıdır. Bunlardan birincisi; en eskisi olan ve Sommerfeld tarafından kullanılan sınır şartlarıdır. Burada hidrodinamik yağ tabakasının $\Theta=0$ da başlayıp $\Theta=2\pi$ de bittiği, yani mil ile yatak arasındaki boşluğun tamamında mevcut olduğudur. Buna *Sommerfeld sınır şartları* denir.



Şekil 1. Örnek basınç dağılımı

Esasen pratikte yatakta dar bölgeye giren yağ sıkışmakta ve bu bölgede basınç artmaktadır. Üst kısımdaki geniş bölgede ise basınç düşmekte ve negatif değer almaktadır. Bu basınçların mertebesi pozitif basınçların mertebesindedir. Sıvıların atmosferik basıncın altında fazlaca bir negatif basınca mukavemet edememelerinden, negatif basınç bölgesinde kavitasyon denilen bir olay meydana gelir ve burada yağ tabakası kopar. Bu bölge hidrodinamik olmayan bölge olarak adlandırılır ve bu bölge yük taşıma işlevi görmez. Dolayısıyla bu bölgede basınçların sıfır kabul edilmesinin bir sakıncası yoktur.

3. Teori

Hidrodinamik radyal kaymalı yataklarda mil ile yatak arasında eksantriklik bulunması basınç oluşumu için mutlak bir zorunluluktur. Bu eksantriklik oranı şu şekilde ifade edilir.

$$\varepsilon = e/(D - d) \quad (1)$$

Burada e eksantriklik D yatak çapı ve d mil çapıdır.

Bu eksantriklik ile maksimum basıncın olduğu açı arasında bir bağıntı bulunur. Bu bağıntı şu şekilde ifade olunur.

$$\cos(\theta_{maks}) = -3\varepsilon/(2 + \varepsilon^2) \quad (2)$$

Test aparatında ölçüm noktaları radyal yönde 30° lik açılara bölünmüştür. Dolayısıyla ara açıdaki (örn: 25°) bir basınç dağılımını bulmak için aşağıdaki eşitlik kullanılabilir.

$$(P - P_0)_{maks} = \frac{-k \sin \theta_{maks} (2 + \epsilon \cos \theta_{maks})}{(1 + \epsilon \cos \theta_{maks})^2}$$

(3) Burada P deney cihazından okunan basınç P₀ ilk basınçtır. k bir düzeltme katsayısıdır.

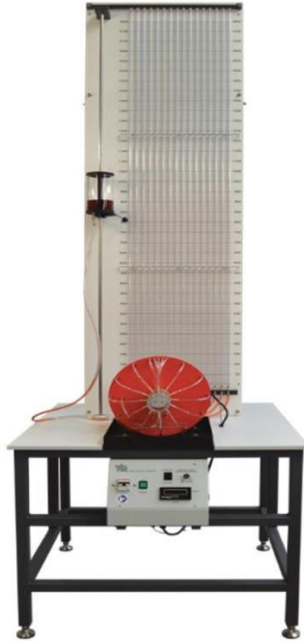
Farklı şartlar için (devir sayısı, yük vs.) farklı k lar hesaplanacaktır.

Hidrodinamik kaymalı yataklarda yatağın performansını Sommerfeld sayısı denen bir değer belirler. Bu değer 0.5 ile 10 arasında olması yatağın uygun olduğunu ifade eder.

$$S_0 = \frac{P_0 \psi^2}{\eta \omega} \quad (4)$$

Burada P₀ ortalama basınç değeri F/bD, $\psi = (D-d)/D$, η yağın dinamik vizkozitesi, ω milin açısal hızını ifade etmektedir. b yatak boyudur.

4. Deney Düzenegi



Şekil 2. Deney düzeneginin genel görünüşü



Şekil 2’ de gösterilen deney düzeneğinin temel elemanları yağ haznesi, manometre panosu, basınç kanalları, hidrodinamik radyal kaymalı yatak ve kontrol panelidir. Deney setinde bulunan elemanların temel ölçüleri Tablo 1’de verilmiştir.

Tablo 1. Yatak temel büyüklükleri

| Boyut | Değer |
|---------------|-------|
| Yatak çapı | 55 mm |
| Mil çapı | 50 mm |
| Yatak boyu | 70 mm |
| Radyal boşluk | 5 mm |

5. Deneyin Yapılışı

Cihaz çalıştırılmaya başlamadan önce dönme yönü seçilmelidir. Daha sonra kontrol paneli üzerindeki sigorta açılır. Cihaz düşük bir devirde çalıştırılmaya başlanır. Cihaz daha sonra istenen devir sayısına getirilir. 10 dk yağ sıcaklık ve vizkozitesinin rejime girmesi için beklenir.

Cihazdan okunan değerler uygun şekilde Tablo 2’ ye işlenir.

6. Ölçüm Değerleri

Tablo 2. d/d hızda oluşan basınç değerleri

| Ölçüm noktası | Basınç (P-P ₀) (mm yağ sütunu) |
|---------------|--|
| 1 | |
| 2 | |
| 3* | |
| 4 | |
| 5 | |



| | |
|-----|--|
| 6* | |
| 7* | |
| 8* | |
| 9* | |
| 10* | |
| 11* | |
| 12* | |
| 13* | |
| 14* | |
| 15* | |
| 16* | |

- * işareti radyal yöndeki noktaları ifade eder.

7. İstenenler

- a) P-P₀ grafiği 16 noktaya bağlı olarak milimetrik kağıda elle veya bir bilgisayar programı vasıtasıyla çizilecektir. (Radyal yön için ayrı eksenel yön için ayrı)
- b) Maksimum basınç noktasının olduğu açı θ_{maks} radyal yön grafiğinden belirlenecektir.
- c) θ_{maks} bulunduktan sonra ε oranı k katsayısı hesapacaktır.
- d) Sommerfeld sayısı hesaplanacak ve uygunluğu kontrol edilecektir.

EŞANJÖR (ISI DEĞİŞTİRİCİSİ) DENEYİ FÖYÜ

Giriş

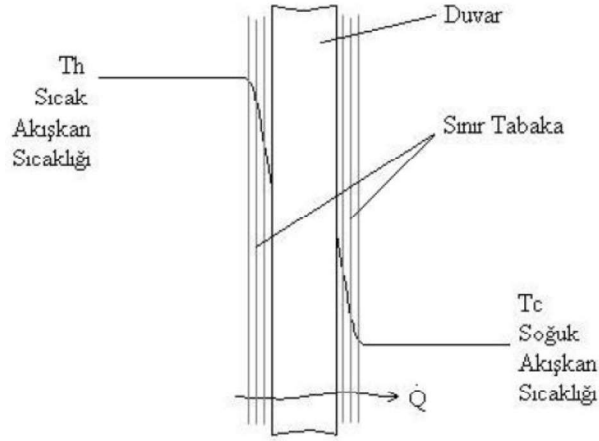
Isı değiştiricileri (eşanjör) değişik tiplerde olup farklı sıcaklıktaki iki akışkan arasında ısı alışverişini temin ederler. Isı değiştiricileri başlıca yüzeyle ısı değiştiricileri, karışımlı ısı değiştiricileri ve regeneratörler olmak üzere üç ana grupta toplanabilirler. Bu deneyde kullanacağımız eşanjör, iki akışkanın birbirinden ayrılmış bölgelerden aynı anda geçirilerek ısının transfer edildiği yüzeyle tip ısı eşanjörleri sınıfına girmektedir.

Isı Transferi

Birçok uygulamalarda ısının sıcak bir akışkandan soğuk bir akışkana transfer edilmesi gerekmektedir. Isı eşanjörleri bu amaç için geliştirilmiş ısı cihazlarıdır. Her ne zaman bir sıcaklık farkı olursa ısı transfer edilir ve ısı transferinin iyi bilinen üç seklı (iletim, taşınım ve yayılım) ayrı ayrı veya bir arada meydana gelebilir.

Toplam Isı Transfer Katsayısı

Tipik bir ısı eşanjöründe, bir duvar boyunca ayrılmış bulunan sıcak akışkandan soğuk akışkana ısı transfer edilir. Sıcaklık dağılımı aşağıdaki şekilde olduğu gibidir.



Isı $T_h - T_c$ sıcaklık farkı nedeniyle üç direnç boyunca $(\frac{1}{A_h h_h} + \frac{x}{A_m k} + \frac{1}{A_c h_c})$ transfer edilir. Seri dirençler için \dot{Q} ısı transfer miktarı aşağıdaki gibidir.

$$\dot{Q} = \frac{T_h - T_c}{\sum R}$$

$$\dot{Q} = \frac{T_h - T_c}{(\frac{1}{A_h h_h} + \frac{x}{A_m k} + \frac{1}{A_c h_c})}$$

Isı eşanjöründe duvar kalınlığı (yani iç borunun et kalınlığı) genellikle ince olduğu için bütün alanlar eşit kabul edilebilir. O zaman yukarıdaki ifade aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\dot{Q} = A_m \cdot U \cdot (T_h - T_c)$$

Burada; A_m : Ortalama ısı transfer alanıdır.

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{h_h} + \frac{x}{k} + \frac{1}{h_c}$$

U, toplam ısı transfer katsayısı olarak adlandırılır. x/k iletim direnci diğerlerine göre genellikle küçüktür. Bununla birlikte, çeperlerde kirlenme olabilir. Yani çeperlerde kireç veya karbon gibi maddeler tabaka oluşturabilirler. Bu durum ısı eşanjörünün tasarımı aşamasında göz önünde tutulmalıdır.

Yüzey ısı transfer katsayılarının yani h_h ve h_c 'nin uygun biçimde hesaplanması çok önemlidir.

Borularda Zorlanmış Taşınım

Taşınım ile ısı transferini etkileyen çok sayıda faktör ısı eşanjörü problemlerinin teorik çözümünü hemen hemen imkânsız kılar. Bununla birlikte deneysel araştırmalarla desteklenmiş boyut analizi kolayca kullanılabilir bazı bağıntıların elde edilmesini sağlamış bulunmaktadır. Kullanılan bağıntı genellikle aşağıdaki gibidir.

$$Nu = f(Re, Pr, geometri)$$

Bu parametre, yüzeydeki boyutsuz sıcaklık gradyanına eşittir ve yüzeyde oluşan taşınım ile ısı geçişinin bir ölçüsünü verir. Akışkan tabakasındaki ısı transferi, akışkan bir miktar hareket içerdiği zaman taşınım ile, akışkan tabakası hareketsiz olduğu zaman iletimle olur.

Burada; boyutsuz sayılar:

$$Nu = \frac{h \cdot L}{k} = \frac{\text{Akışkanın taşınım ile aktardığı ısı}}{\text{Akışkanın iletim ile aktardığı ısı}} \quad \text{Nusselt Sayısı}$$

$$Re = \frac{u_m \cdot \rho \cdot L}{\mu} = \frac{u_m \cdot L}{\nu} \quad \text{Reynold Sayısı}$$

$$Pr = \frac{u \cdot \rho}{k / (\rho \cdot c_p)} \quad \text{Prandtl Sayısı}$$

Laminar akışta Nu sayısı sabittir, ancak türbülanslı akışta Reynold sayısı ve Prandtl sayısının bir fonksiyonu şeklinde ifade edilir.

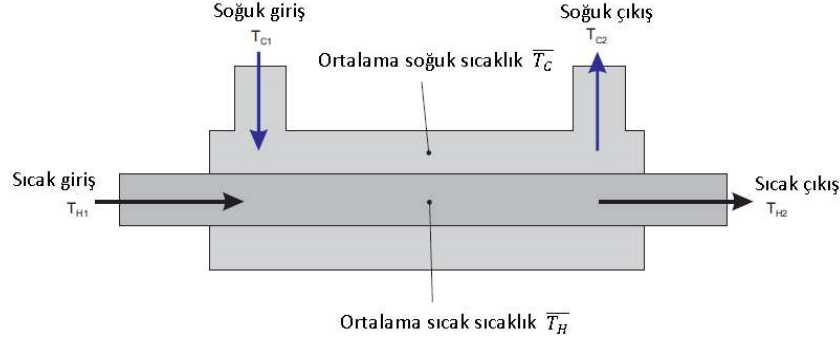
Düzgün kesit alanlı kanallarda ve borularda türbülanslı akış için en çok bilinen Dittus-Boelter bağıntısı;

$$Nu = 0,023 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,4} \quad (\text{Dittus-Boelter-1930})$$

şeklindedir. Burada,

$$L = d_h = \frac{4 \cdot \text{Kesit Alanı}}{\text{Islak Çevre}} : \text{Karakteristik uzunluk (hidrolik çap-boru ve kanallarda)}$$

Isı Eşanjörlerinde Ortalama Sıcaklık



Çoğu ısı transfer denklemleri ve özgül ısı kapasitesi ve su yoğunluğu hesaplamaları için ısı eşanjöründeki sıcak ve soğuk devrelerin ortalama sıcaklığının bulunması gerekir. Bu devrenin giriş ve çıkış kısımlarındaki arasında orta noktanın hesaplanmış sıcaklık değeridir.

Soğuk devrenin ortalama sıcaklığı: $\overline{T_C} = \frac{T_{C1} + T_{C2}}{2}$

Sıcak devrenin ortalama sıcaklığı: $\overline{T_H} = \frac{T_{H1} + T_{H2}}{2}$

Isı Kapasitesi (C)

Kütlesi verilen bir malzemenin sıcaklığını 1 derece (Kelvin veya Santigrat) artırmak için gerekli ısının bir ölçüsüdür. Malzemenin kütlesi ile özgül ısı kapasitesinin (c) çarpımına eşittir.

$$C = m \times c$$

Sabit Basıncıta Özgül Isı Kapasitesi (c_p)

Özgül ısı kapasitesi, 1 kg malzemenin sıcaklığını 1 derece (Santigrat) artırmak için gerekli ısı enerjisinin miktarıdır. Isı enerjisindeki değişimin sıcaklığındaki değişime oranıdır.

$$c = \frac{\Delta Q}{\Delta T}$$

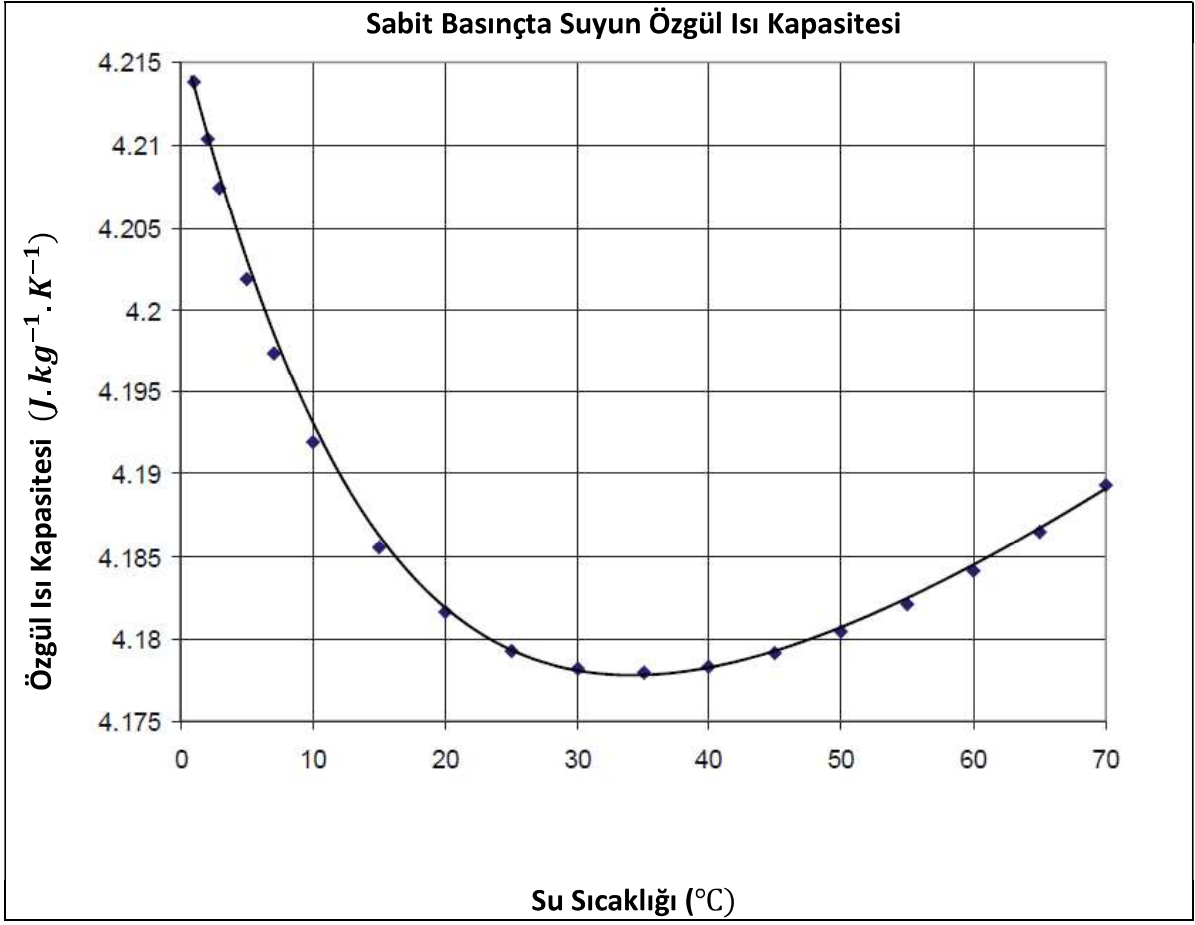
Basıncı ve sıcaklık özgül ısı kapasitesinin değerini etkiler. Bilinen bir sıcaklık aralığında az önce verilen denklemin sabit basınç için de geçerli olduğu kabul edilir.

$$c_p = \frac{Q}{\Delta T}$$

Aşağıdaki grafik, ortalama sıcaklıkta özgül ısı kapasitesinin bulunması için kullanılabilir. Diğer bir yol olarak aşağıda verilen denklem yardımıyla kesin bir değer bulunabilir. T sıcaklık değeri °C birimindedir. Sıcaklık değeri akış devresinin ortalama sıcaklık değeridir.

$$\frac{c_p(T^{\circ}\text{C}'de)}{c_p(15^{\circ}\text{C}'de)} = 0,996185 + 0,0002874\left(\frac{T + 100}{100}\right)^{5,26} + 0,011160 * 10^{-0,036T}$$

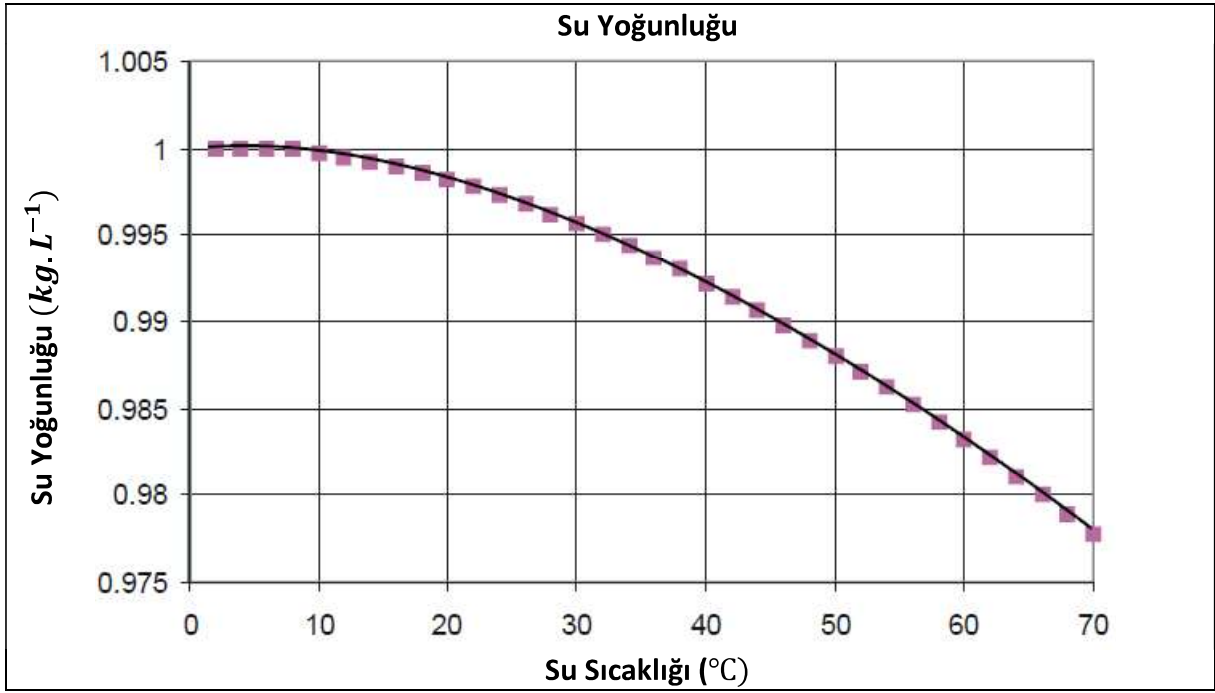
*Suyun 15°C'deki özgül ısı kapasitesi 4185,5 J.kg⁻¹.K⁻¹.



Yoğunluk (ρ)

Suyun sıcaklığı değiştiğinde yoğunluğu da azda olsa değişir. Maksimum yoğunluğu 4°C'dedir ve bu sıcaklık değeri yükseldikçe veya düştükçe azalır. Bu durum tüm hesaplamaları etkiler. Aşağıdaki grafik, sabit basınç ve birim kütle için suyun yoğunluğunun sıcaklığa göre değişimini vermektedir. Diğer bir yol olarak aşağıda verilen denklem yardımıyla kesin bir değer bulunabilir. T sıcaklık değeri °C birimindedir. Sıcaklık değeri akış devresinin ortalama sıcaklık değeridir.

$$\rho = \frac{(999,839 + 16,952.T - 7,990.10^{-3}.T^2 - 46,241.10^{-6}.T^3 + 105,846.10^{-9}.T^4 - 281,030.10^{-12}.T^5)}{(1 + 16,887.10^{-3}.T)}$$



Isı Transferi, Enerji Dengesi ve Verimler

Eşanjörlerde, ısı sıcak su devresinden soğuk su devresine transfer olur.

Isı transfer hızı, akışkan kütlenin akış hızının, akışkanın sıcaklık değişiminin ve özgül ısı kapasitesinin bir fonksiyonudur (ortalama sıcaklıkta).

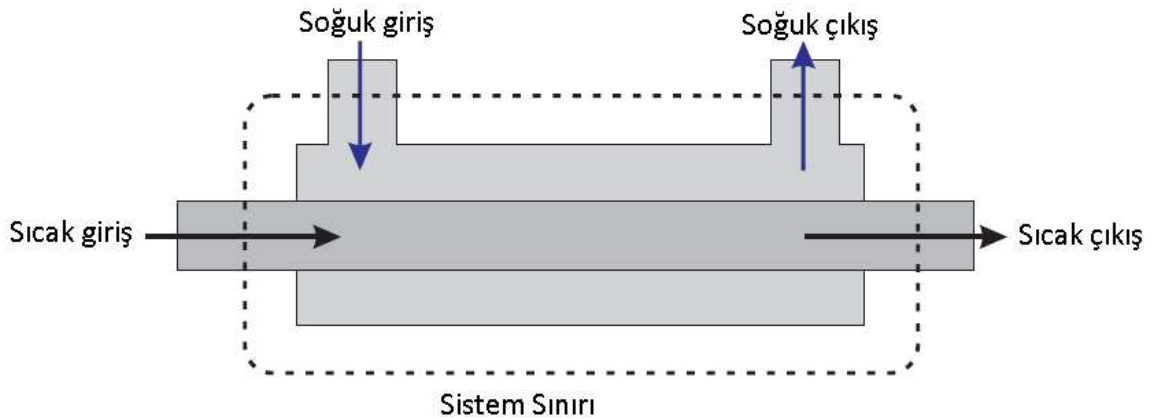
$$\dot{Q} = m \cdot c_p \cdot \Delta T$$

İdeal bir eşanjörde, dış ortamdan ne ısı alınır nede dış ortama ısı verilir. Soğuk akışkan tüm ısıyı sıcak akışkandan absorplar. Dolayısıyla ısı transfer hızı:

$$\dot{Q} = \dot{Q}_e = \dot{Q}_a = m_H \cdot c_{pH} \cdot \Delta T_H = m_C \cdot c_{pC} \cdot \Delta T_C$$

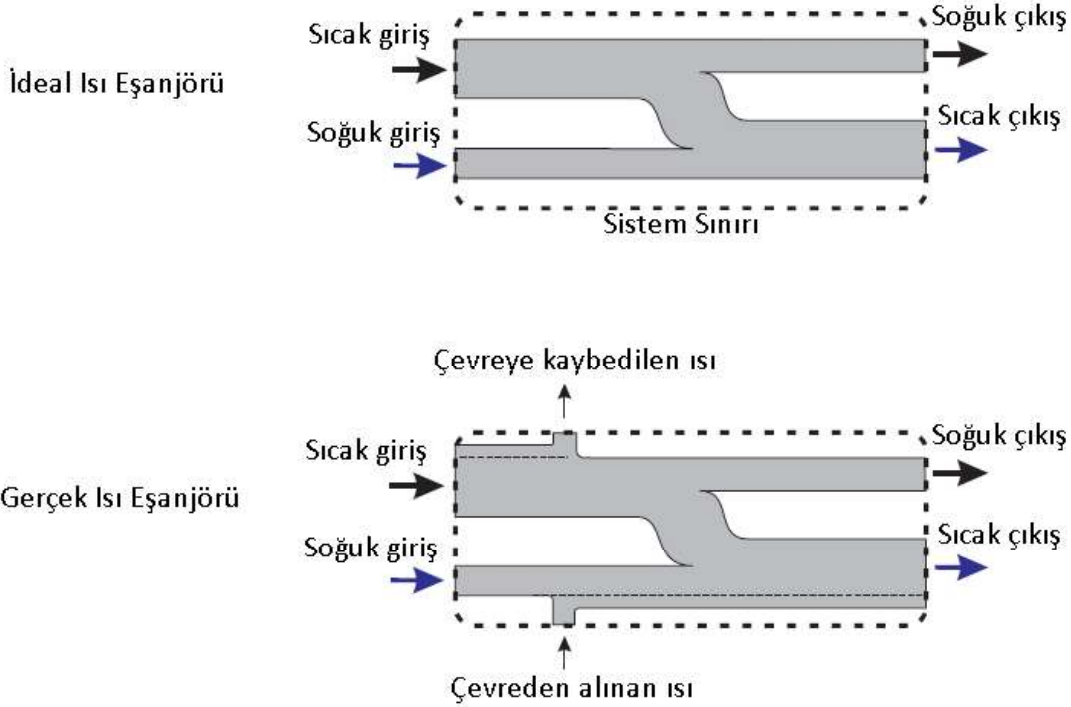
Hacimsel akış için tekrar düzenlenirse:

$$\dot{Q} = \dot{Q}_e = \dot{Q}_a = V_H \cdot \rho_H \cdot c_{pH} \cdot \Delta T_H = V_C \cdot \rho_C \cdot c_{pC} \cdot \Delta T_C$$



Isı eşanjöründe ısı transferini daha iyi anlamak için, yukarıdaki şekildeki gibi onu giriş ve çıkışları olan sıcak ve soğuk su akışlı bir sistem olarak kabul edebiliriz.

Daha öncede bahsedildiği gibi ideal ısı eşanjöründe sistem sınırından ısı transferi yoktur. Fakat gerçekte sıcak ve soğuk akışkanlar genellikle çevreden farklı sıcaklıktadırlar ve bundan dolayı bir miktar ısı sistem sınırında transfer olur. Örneğin, sıcak bir odadan soğuk akışkana ısı transfer olur. Aşağıdaki şekiller girişleri, çıkışları ve kayıpları göreceli miktarları ile şema olarak göstermektedir.



Enerji denge katsayısı (C_{EB}), absorplanan ve salınan enerji arasındaki ilişkiyi gösterir.

$$C_{EB} = \frac{\dot{Q}_a}{\dot{Q}_e}$$

Fakat gösterildiği gibi sistemin dışına veya içine muhtemel ısı akışından dolayı, eğer ısı eşanjörü sınırlarından enerji absorplarsa enerji denge katsayısı 1'den büyük bir değer çıkar. Dolayısıyla bu sadece yol göstericidir. Çünkü gerçekte:

$$\dot{Q}_e = \dot{Q}_a \pm \text{sınırlardan kazanılan veya kaybolan ısı}$$

Ortalama sıcaklık verimi ve ısı transfer katsayısı, eşanjörlerin karşılaştırılması için daha faydalı sonuçlar verir.

Isı eşanjörünün sıcak devresinin sıcaklık verimi, sıcak devredeki sıcaklık değişiminin sıcak ve soğuk devredeki maksimum ve minimum sıcaklık arasındaki farka bölünmesi ile elde edilir.

$$\eta_H = \frac{T_{H1} - T_{H2}}{T_{H1} - T_{C1}} \cdot 100$$

Isı eşanjörünün soğuk devresinin sıcaklık verimi, soğuk devredeki sıcaklık değişiminin sıcak ve soğuk devredeki maksimum ve minimum sıcaklık sıcaklıklar arasındaki farka bölünmesi ile elde edilir.

$$\eta_H = \frac{T_{C1} - T_{C2}}{T_{H1} - T_{C1}} \cdot 100$$

İki devrenin ortalama sıcaklık verimi her iki devrenin ortalama verimidir:

$$\bar{\eta} = \frac{\eta_H + \eta_C}{2}$$

Logaritmik Ortalama Sıcaklık Farkı

Bu ısı transferinin oluşmasını sağlayan ısı itici gücün bir ölçüsüdür. Değeri ısı eşanjörünün her bir ucundaki sıcak ve soğuk devre arasındaki sıcaklık farkının logaritmik ortalamasıdır.

$$LMTD = \frac{(T_{H2} - T_{C2}) - (T_{H1} - T_{C1})}{\ln\left(\frac{T_{H2} - T_{C2}}{T_{H1} - T_{C1}}\right)}$$

Isı Transfer Katsayısı

Duvar ve sınır tabakalar için genel ısı transfer katsayısıdır. Isı eşanjörünün ne kadar iyi çalıştığına bir ölçüsüdür. İyi bir ısı eşanjörü yüksek bir değere sahiptir, dolayısıyla bu değer mühendisler için önemlidir.

$$U = \frac{\dot{Q}_e}{A \cdot LMTD}$$

DENEY 1: DEĞİŞEN AKIŞ HIZININ ETKİSİ

Amaç

Farklı soğuk akış hızlarının paralel ve ters akış durumunda ısı eşanjörü performansını nasıl etkilediğini göstermek.

Deneyin Yapılışı (Paralel Akış)

- Isı eşanjörünü paralel akış için sisteme bağla ve ısıtıcı tankı sıcaklığını 60°C'ye ayarla.
- Ortam sıcaklığını referans olması için termometre ile ölçün
- Tabloda test 1 için gösterilen sıcak ve soğuk akış hızlarını ayarlamak için elle akış kontrol vanalarını kullanın.
- Isı eşanjörü sıcaklığının dengeye gelmesi için en az 5 dakika bekleyin.
- Sıcak ve soğuk devre sıcaklıklarını kaydedin.
- Test 2,3 ve 4 için tabloda gösterilen akış hızlarında test 1 için yapılan işlemleri tekrarlar.

| Heat Exchanger: Connection (Parallel flow): Ambient Temperature: Heater Tank Temperature: | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|------------------|-------------------|----------|----------|--------------|---------------|----------|----------|----------|--------------|---------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-------------|-------------|----------|--------|------|---|
| Test | Hot Flow (L/min) | Cold Flow (L/min) | T_{H1} | T_{H2} | ΔT_H | Average T_H | T_{H3} | T_{C1} | T_{C2} | ΔT_C | Average T_C | T_{C3} | η_H | η_C | ρ_H | ρ_C | c_{pH} | c_{pC} | \dot{Q}_e | \dot{Q}_a | C_{EB} | η | LMTD | U |
| 1 | 3 | 3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | 3 | 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | 3 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | 3 | 0.5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

* If you have the TD360a, use the T_{H3} and T_{C3} readings as the average temperatures.

| Heat Exchanger: Connection (counter flow): Ambient Temperature: Heater Tank Temperature: | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|------------------|-------------------|----------|----------|--------------|---------------|----------|----------|----------|--------------|---------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-------------|-------------|----------|--------|------|---|
| Test | Hot Flow (L/min) | Cold Flow (L/min) | T_{H1} | T_{H2} | ΔT_H | Average T_H | T_{H3} | T_{C1} | T_{C2} | ΔT_C | Average T_C | T_{C3} | η_H | η_C | ρ_H | ρ_C | c_{pH} | c_{pC} | \dot{Q}_e | \dot{Q}_a | C_{EB} | η | LMTD | U |
| 1 | 3 | 3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | 3 | 2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | 3 | 1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | 3 | 0.5 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

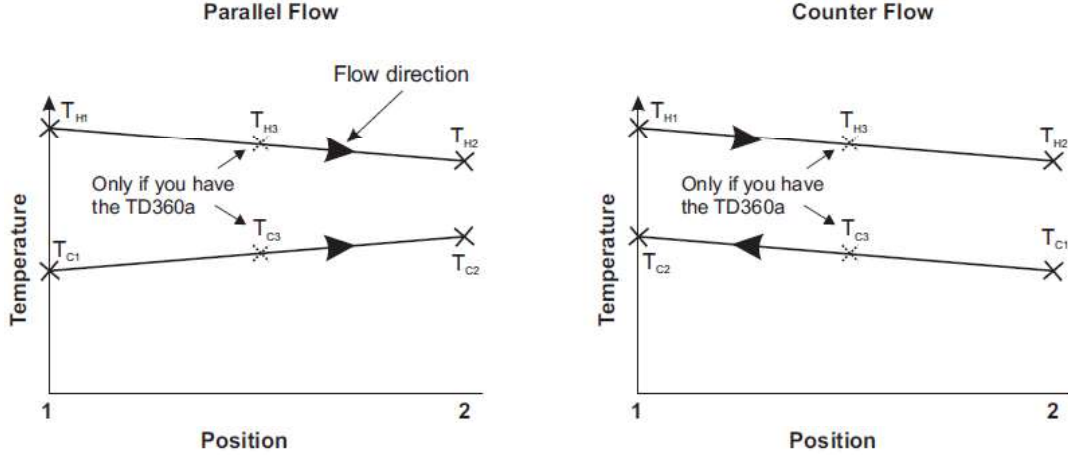
* If you have the TD360a, use the T_{H3} and T_{C3} readings as the average temperatures.

Deneyin Yapılışı (Ters Akış)

- Isı eşanjörünü ters akış için sisteme bağla ve paralel akış için yapılan prosedürü tekrarla.

Sonuçların Analizi

- Her bir akış durumu için aşağıdaki grafikleri çiziniz.



- Tabloyu doldurmak için gerekli hesaplamaları yapınız.
- Soğuk akış hızına (yatay eksen) karşılık enerji denge katsayısı (dikey eksen) ve ortalama sıcaklık verimini (dikey eksen) aynı grafikte çiziniz.
- Sonuçlara göre akış hızının ısı eşanjörü performansını nasıl etkilediğini yorumlayınız.

DENEY 2: DEĞİŞEN SICAKLIĞIN (İTİCİ GÜÇ) ETKİSİ

Amaç

Farklı Sıcak su uygulama sıcaklığının paralel ve ters akış durumunda ısı eşanjörü performansını nasıl etkilediğini göstermek.

Deneyin Yapılışı (Paralel Akış)

- Isı eşanjörünü paralel akış için sisteme bağla ve ısıtıcı tankı sıcaklığını 30°C'ye ayarla.
- Ortam sıcaklığını referans olması için termometre ile ölçün
- Tabloda gösterilen sıcak ve soğuk akış hızlarını ayarlamak için elle akış kontrol vanalarını kullanın.
- Isı eşanjörü sıcaklığının dengeye gelmesi için en az 5 dakika bekleyin.
- Sıcak ve soğuk devre sıcaklıklarını kaydedin.
- Isıtıcı tank sıcaklığının 40, 50 ve 60°C değerlerine karşılık gelen Test 2,3 ve 4 için Test 1 için yapılan işlemleri tekrarla.

| Heat Exchanger: Connection (Parallel flow): Ambient Temperature: Hot Flow: 3 L.min ⁻¹ Cold Flow: 2 L.min ⁻¹ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|--------------------|-----------------|-----------------|-----------------|--------------------------|-------------------|-----------------|-----------------|-----------------|--------------------------|-------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|----|------|---|--|--|
| Test | Heater Temperature | T _{H1} | T _{H2} | ΔT _H | Average T _H * | T _{H3} * | T _{C1} | T _{C2} | ΔT _C | Average T _C * | T _{C3} * | η _H | η _C | ρ _H | ρ _C | c _{pH} | c _{pC} | Q̇ _e | Q̇ _a | C _{EB} | η̄ | LMTD | U | | |
| 1 | 30 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | 40 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | 50 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | 60 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

* If you have the TD360a, use the T_{H3} and T_{C3} readings as the average temperatures.

| Heat Exchanger: Connection (counter flow): Ambient Temperature: Hot Flow: 3 L.min ⁻¹ Cold Flow: 2 L.min ⁻¹ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|--------------------|-----------------|-----------------|-----------------|--------------------------|-------------------|-----------------|-----------------|-----------------|--------------------------|-------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|----|------|---|--|--|
| Test | Heater Temperature | T _{H1} | T _{H2} | ΔT _H | Average T _H * | T _{H3} * | T _{C1} | T _{C2} | ΔT _C | Average T _C * | T _{C3} * | η _H | η _C | ρ _H | ρ _C | c _{pH} | c _{pC} | Q̇ _e | Q̇ _a | C _{EB} | η̄ | LMTD | U | | |
| 1 | 30 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | 40 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | 50 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | 60 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

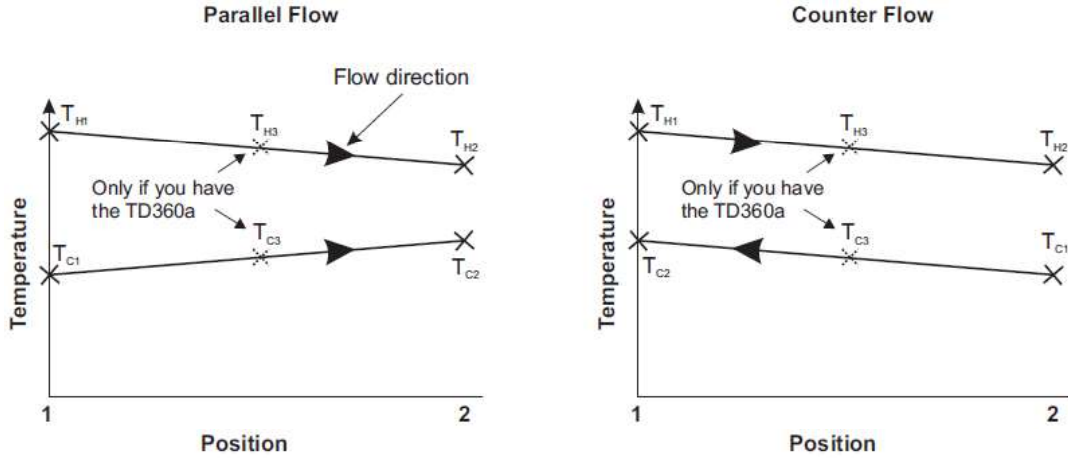
* If you have the TD360a, use the T_{H3} and T_{C3} readings as the average temperatures.

Deneyin Yapılışı (Ters Akış)

- Isı eşanjörünü ters akış için sisteme bağla ve paralel akış için yapılan prosedürü tekrarla.

Sonuçların Analizi

- Her bir akış durumu için aşağıdaki grafikleri çiziniz.



- Tabloyu doldurmak için gerekli hesaplamaları yapınız.
- Isıtıcı sıcaklığına (yatay eksen) karşılık enerji denge katsayısı (dikey eksen) ve ortalama sıcaklık verimini (dikey eksen) aynı grafikte çiziniz.
- Sonuçlara göre ısıtıcı sıcaklığının (itici gücün) ısı eşanjörü performansını nasıl etkilediğini yorumlayınız.