

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

2021-2022 AKADEMİK YILI BAHAR DÖNEMİ

MM 422 MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ LABORATUVARI

DERS İÇERİĞİ

Öğrencilere, makine mühendisliğinin statik, dinamik, mukavemet, malzeme, kontrol, akışkanlar mekaniği, ısı transferi ve ölçme alanlarında deneyler yaptırılması. Verilecek temel makina mühendisliği konuları doğrultusunda, gruplar halinde öğrenciler deney düzeneğinin tasarımını, kurulmasını ve kalibrasyonunu gerçekleştirecek ve belirli sistem parametreleri için deneyler yapacaktır. Her deneysel çalışma için ayrıntılı rapor hazırlanacak ve sunulacaktır.

DEVAM MECBURİYETİ

Yapılacak toplam 6 (altı) deneyin en az 5 (beş)'ine girmek zorunludur. Telifi deneyi **yapılmayacaktır.**

DERS BAŞARI NOTU

- Her Deney Eşit Ağırlıktadır. **Yıl Sonu Ders Başarı Notu, Bu 6 (altı) Deney Notunun Ortalamasından Oluşmaktadır.** (Beş deneye girmiş olan öğrencinin dönem sonu notu yine altı deney üzerinden hesaplanacaktır.)

DERS KİTABI

- J. P. Holman, Experimental Methods for Engineers, Seventh Edition, Mc-Graw Hill, 2001.

DİĞER KAYNAKLAR

- Cobb, G.W., Introduction to design and analysis of experiments, Springer, 1998.
- Montgomery, D.C., Design and analysis of experiment, 4th ed., John Wiley and Sons, 1997.
- Beckwith T.G. et al., Mechanical measurements, Addison-Wesley, 1995.

DENEYLERDE UYGULANACAK ESAS VE KURALLAR

1. Toplam 6 (altı) adet deney vardır. Bu deneylerden, **en az 5 (beş)**'ine girmek zorunludur. Aksi takdirde öğrenci dersten başarısız sayılacaktır.
2. Deneylere katılmak için aşağıdaki hususlara dikkat edilmelidir:
 - a. Laboratuvarlara yalnız deneyi yapan öğrenciler girecektir.
 - b. Deneye zamanında gelinmelidir. Geç gelenler deneye alınmayacaktır.
 - c. İlan edilen deney grubuyla ve ilan edilen gün ve saatte deneye girilecektir.
 - d. Her öğrenci deneye, ilgili deney föyü ile birlikte gelecektir. Deney föyü olmayan öğrenci deneye alınmayacaktır. Föyler, deney grupları ve deneylerle ilgili diğer bilgiler Bölüm internet sitesinin (<http://mf-mm.gazi.edu.tr/>) Duyurular kısmından indirilmeli ve deney föylerinin çıktısı önceden alınıp deneylere getirilmelidir.
 - e. Laboratuvarlarda bulunan fakat yapılan deneyle ilgisi olmayan diğer cihazlara dokunulmayacaktır.

f. Deney sırasında sorumlu araştırma görevlisinin uygulayacağı kurallara tam olarak uyulacaktır.

Yukarıda belirtilen şartlara uyulmadığı takdirde öğrenci o deneyden başarısız sayılacaktır.

3. Tüm deneylerin öncesinde deneyin yapılışı ile ilgili **elle** yazılmış “**Ön Rapor**” hazırlanacaktır. Bu ön rapor deney başlamadan önce, deneyden sorumlu Araştırma Görevlisine teslim edilecektir. Ön raporu teslim etmeyen öğrenci deneye alınmayacaktır. Bu ön rapor, sırasıyla aşağıdaki konu başlıklarını içerecek şekilde olmalıdır.

- Kapak
- İçindekiler
- Semboller
- Özet
- Giriş
- Teori ve Veri Toplama
- Kullanılan Cihazlar
- Deneyin Yapılışı

4. Deney öncesi föylerin dikkatlice okunmuş ve tam olarak anlaşılmış olması gerekmektedir. Tüm deneylerin öncesinde sorumlu araştırma görevlisi, deneyle ilgili sorular sorabilecektir.

5. Öğrencilere deneyin yapılışı ana hatlarıyla (cihazların tanıtımı, ölçülecek değerler, dikkat edilecek hususlar vb.) anlatılacak ve deneyi öğrencilerin kendilerinin yapması istenilecektir.

6. Deney **Ana Raporları** şahsi olarak hazırlanacaktır ve deneyi yaptıran araştırma görevlisine imza karşılığında ve en geç deneyin yapıldığı günden sonraki pazartesi **saat 17:30'a** kadar teslim edilecektir. Zamanında teslim edilmeyen deney raporları değerlendirilmeyecektir. Bu ana rapor, sırasıyla aşağıdaki konu başlıklarını içerecek şekilde olmalıdır.

- Ölçüm sonuçları ve istenen hesaplamalar
- Tartışma ve sonuç
- Tablolar
- Şekiller
- Deney cihazları
- Sonuçlar
- Referanslar
- Ekler

DENEYLERİN SORUMLULARI VE YAPILACAĞI LABORATUVARLAR

DENEY 1 SORUMLU LABORATUVAR	: Kesme Hızının Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisinin İncelenmesi : <i>Arş.Gör. Büşra ASLAN</i> (Oda: Mekanik ve Mukavemet Laboratuvarı) : Mekanik ve Mukavemet Laboratuvarı
DENEY 2 SORUMLU LABORATUVAR	: Malzemelerde Elastisite ve Kayma Elastisite Modüllerinin Eğme ve Burulma Testleriyle Belirlenmesi : <i>Arş.Gör. Ece YILDIRIM</i> (Oda: Otomatik Kontrol Laboratuvarı) : Mekanik ve Mukavemet Laboratuvarı
DENEY 3 SORUMLU LABORATUVAR	: Harmonik Kuvvetle Zorlanmış Sönümsüz Sistemin Titreşimi : <i>Arş.Gör. Görkem AĞAÖREN</i> (Oda: Otomatik Kontrol Laboratuvarı) : Mekanizmalar ve Makine Dinamiği Laboratuvarı
DENEY 4 SORUMLU LABORATUVAR	: Zorlanmış Vorteks : <i>Arş.Gör. Yunus Emre GÖNÜLAÇAR</i> (Oda: Akışkanlar Mekaniği Laboratuvarı) : Akışkanlar Mekaniği Laboratuvarı
DENEY 5 SORUMLU LABORATUVAR	: Silindirler Üzerine Etkiyen Sürüklenme Kuvvetlerinin Belirlenmesi : <i>Arş.Gör. Fatih DEMİR</i> (Oda: Deneysel ve Sayısal Isı Transferi Laboratuvarı) : Deneysel ve Sayısal Isı Transferi Laboratuvarı
DENEY 6 SORUMLU LABORATUVAR	: Doğal Konveksiyon ile Isı Transferinin Hesaplanması : <i>Arş.Gör. Güven Hasret YILMAZ</i> (Oda: Akışkanlar Mekaniği Laboratuvarı) : Akışkanlar Mekaniği Laboratuvarı

DERS SORUMLULARI

Öğr. Gör. Dr. Zeynep AYTAÇ YILMAZ (Oda No:455)
Arş. Gör. Dr. Fatih AKTAŞ (Oda No:454)

DENEY GRUPLARI

GRUP 1

151152012	ENES GÜLBeyAZ
161152001	ONUR ADAK
161152009	HAKAN DAĞLAĞAN
161152013	ALİ FIRAT IŞIK
161152014	AHMET CAN KABAK
161152023	İBRAHİM TOYGAR

GRUP 2

161152027	SUAT DANACIOĞLU
171152002	CABBAR ARSLAN
171152004	NURAY AYDIN
171152005	AHMET İLKE BAKIRTAŞ
171152006	MERT BALI
171152007	BÜŞRA BALIKKAYA

GRUP 3

171152008	EMİRCAN BAŞBUĞ
171152009	SELÇUK BAYKAL
171152010	DİLARA COŞKUN
171152011	MUHAMMED TALHA ÇELİK
171152012	MUHAMMED TALHA ÇİFTÇİ
171152013	ERDEM EFE

GRUP 4

171152015	ENGİN ERÜST
171152017	MUHAMMED RIDVAN GÜLER
171152018	MERT ONUR İRTEM
171152019	BURAK KARA
171152020	YİĞİT KARTAL
171152021	OSMAN KAZI

GRUP 5

171152022	EMİRHAN KILIÇER
171152025	EKREM KOÇ
171152026	FURKAN KUTLUCA
171152027	ABDULLAH TAHİR KUZUOĞLU
171152028	HÜSEYİN UTKU MERCANTAŞ
171152029	MUHAMMED ÖZTÜRK

GRUP 6

171152030	BİLAL PEKDEMİR
171152031	UĞUR ALP SIZLAYAN
171152032	ELİF YAREN SUCU
171152035	GÖKHAN YAVUZ
171152036	RECEP FATİH YUMŞAKDEMİR
171152400	AYOUB CHIKH

GRUP 7

171152501	CEMAL KORKMAZ
171152750	BÜŞRA HAYTA
181152006	OĞUZ BOSTANCIOĞLU
181152015	ALİ EVREN ERGÜN
181152400	ABDALLA AL KHALEDİ
181152700	DUYGU KOYUNCU
181152751	BURAK DAL

GRUP 8

131150049	SEDAT ERGİN
141155506	GÖKHAN ÖCAL
151150062	BERKAY ÖZCAN
161150001	ANIL ALMAZ
161150011	AYKUT AYHAN
161150018	MUSTAFA FURKAN BULUT

GRUP 9

161150023	ALİ ENES DAMAT
161150024	EFTAL DEMİRTAŞ
161150033	SERDAR ERDEM
161150034	ALPEREN ERGEN
161150042	RIDVAN GÜMÜŞ
161150049	GÖKHAN KAŞ

GRUP 10

161150051	MEHMET CAN KAYA
161150070	İSMAİL PALABIYIK
161150071	KEREM PIŞKIN
161150085	HAKAN VURAL
161150503	BAYRAM BURAK DEVECİ
161150504	ALPEREN USUFLU

GRUP 11

171150001	RABİA AÇIKALIN
171150002	ORÇUN OZAN AFŞAR
171150003	BURAK CAN AĞAR
171150005	PINAR AKAY
171150006	AHMED HUZEFYE AKCABELEN
171150007	FATİH AKSOY

GRUP 12

171150008	MUSTAFA TUĞRA AKYAZI
171150009	MERVE ALDEMİR
171150010	BERAT ALTAŞ
171150011	MUHAMMED TALHA ALTIN
171150013	BATUHAN BAHADIR ARSLAN
171150014	MERT EFE ARUN

GRUP 13

171150015	ONUR ATILA
171150017	MURAT DOĞUHAN BATIR
171150019	MUHAMMET EMİN BİLGİN
171150020	EGE CÖMERT
171150021	TUNAHAN CÜRMEN
171150022	ENSAR ÇAKMAK

GRUP 14

171150024	FURKAN ÇETİNKAYA
171150025	TUFAN ORHUN ÇEVİK
171150026	OSMAN YAĞIZ ÇİFTÇİER
171150028	AHMET YİĞİT DEMİRCİ
171150029	ALPER ELİÇORA
171150030	SEFA ERBAŞ

GRUP 15

171150033	SAMET GÖKÇE
171150034	SERDAR ŞAMİL GÜL
171150036	HALİL SEZAI GÜNEŞ
171150037	BERAT GÜNGÖR
171150040	ÖZCAN KAMANLI
171150041	MEHMET KAAAN KANDEMİR

GRUP 16

171150042	AHMET YAVUZ KANYILMAZ
171150043	BUĞRA EREN KAPTAN
171150044	NİSANUR KARABULUT
171150045	METİN KARACÜR
171150047	HAKAN KARAMAN
171150048	AHMET KAYALI

GRUP 17

171150049	TOPRAK KAYAR
171150050	ÜMİT KOCA
171150051	ÖMER KOÇAK
171150052	KORAY KORKMAZ
171150055	MUSTAFA TAHA MERT
171150056	MERVE DİLARA MUTAF

GRUP 18

171150059	HASAN OĞUZ
171150062	BERKE EYÜP ÖZCAN
171150063	SÜLEYMAN UTKU ÖZDEMİR
171150064	ETHEM BERK ÖZDEŞ
171150066	MUHAMMED ALİ ÖZTEMEL
171150067	BURHANETTİN PARLAK

GRUP 19

171150068	TUNAHAN SAĞIR
171150070	BURAK SALMAN
171150071	MUHAMMED SARIVAZ
171150073	MEHMET SERT
171150074	BERKAY SEVİL
171150075	ŞEFİK MERT SEYFETTİN
17115051	SEYİTHAN HEREK

GRUP 20

171150076	AYZİT SUBAŞI
171150077	ECENUR ŞENEL
171150079	MEHMET TALAY
171150080	SÜLEYMAN TÜRKMEN
171150081	LOKMAN UÇAK
171150082	NİYAZI UZUN
161150035	ABDULLAH EMRE ERİŞEN

GRUP 21

171150083	MAHMUT CAN UZUNALI
171150085	KEREM VURAN
171150087	İBRAHİM BERK YALÇIN
171150088	MUSTAFA YASAV
171150089	EMRE DENİZ YILDIZ
171150090	BUĞRA YILMAZ
161150752	OZAN TURAN

GRUP 22

171150091	KAMİL TAHA YILMAZ
171150092	ALPEREN YİĞİT
171150095	TARIK BURAK TALAS
171150507	RAHMETULLAH ÖMER YURTSEVEN
171150754	ALPCAN DEMİR
171150755	ŞUARA KESKİN

GRUP 23

171150757	METEHAN ÇAVUŞ
171150800	METE KAYMAK
181150013	TUĞRUL ÇEBİŞLİ
181150039	AZRA SENA İZGİ
181150040	ESMA NUR KARA
181150053	BİLGE KÜÇÜK
181150061	HÜSEYİN ARDA ÖZER

GRUP 24

181150086	GÖKÇE NUR YILDIRIM
181150090	NURSELİ YILMAZ
181150750	KAAN KAMBUR
181150751	BÜŞRA EDA KAYHAN
181150752	KERİM ÖZER
181150753	ALPER ARDIÇ
181150754	AHMET MELİH AY

DENEY GÜN VE SAAT ÇİZELGESİ

DENEY 1. Kesme Hızının Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisinin İncelenmesi						
SAAT	18.Mar	25.Mar	1.Nis	8.Nis	15.Nis	29.Nis
13.30	G1	G2	G3	G4	G5	G6
14.00	G7	G8	G9	G10	G11	G12
14.30	G13	G14	G15	G16	G17	G18
15.00	G19	G20	G21	G22	G23	G24

DENEY 2. Malzemelerde Elastisite ve Kayma Elastisite Modüllerinin Eğme ve Burulma Testleriyle Belirlenmesi						
SAAT	18.Mar	25.Mar	1.Nis	8.Nis	15.Nis	29.Nis
13.30	G24	G19	G20	G21	G22	G23
14.00	G6	G1	G2	G3	G4	G5
14.30	G12	G7	G8	G9	G10	G11
15.00	G18	G13	G14	G15	G16	G17

DENEY 3. Harmonik Kuvvetle Zorlanmış Sönümsüz Sistemin Titreşimi						
SAAT	18.Mar	25.Mar	1.Nis	8.Nis	15.Nis	29.Nis
13.30	G17	G18	G13	G14	G15	G16
14.00	G23	G24	G19	G20	G21	G22
14.30	G5	G6	G1	G2	G3	G4
15.00	G11	G12	G7	G8	G9	G10

DENEY 4. Zorlanmış Vorteks						
SAAT	18.Mar	25.Mar	1.Nis	8.Nis	15.Nis	29.Nis
13.30	G10	G11	G12	G7	G8	G9
14.00	G16	G17	G18	G13	G14	G15
14.30	G22	G23	G24	G19	G20	G21
15.00	G4	G5	G6	G1	G2	G3

DENEY 5. Silindirler üzerine etki eden sürüklenme kuvvetlerinin belirlenmesi						
SAAT	18.Mar	25.Mar	1.Nis	8.Nis	15.Nis	29.Nis
13.30	G3	G4	G5	G6	G1	G2
14.00	G9	G10	G11	G12	G7	G8
14.30	G15	G16	G17	G18	G13	G14
15.00	G21	G22	G23	G24	G19	G20

DENEY 6. Doğal konveksiyon ile ısı transferinin hesaplanması						
SAAT	18.Mar	25.Mar	1.Nis	8.Nis	15.Nis	29.Nis
13.30	G20	G21	G22	G23	G24	G19
14.00	G2	G3	G4	G5	G6	G1
14.30	G8	G9	G10	G11	G12	G7
15.00	G14	G15	G16	G17	G18	G13

DENEY RAPORU HAZIRLAMA KURALLARI

Deney raporları, teknik olan ve olmayan kişiler tarafından kolaylıkla takip edilebilecek standart bir formatta hazırlanmalıdır. Yazım esnasında aşağıdaki hususlara uyulması böyle bir format sağlamaya yeterli olacaktır:

- Rapor el yazısı ile hazırlanmalıdır.
- Kâğıdın tek tarafı kullanılmalıdır.
- Sayfalar başlık sayfasından başlayarak numaralandırılmalıdır. Şekil, Tablo ve denklemler de kendi içlerinde ayrıca numaralandırılmalıdır.
- Raporun sunuş sırasına göre ön rapor aşağıdaki gibi düzenlenmelidir:
 - Kapak sayfası
 - İçindekiler
 - Semboller
 - Özet
 - Giriş
 - Teori ve veri toplama işlemi
 - Cihazlar
 - Deneyin yapılışı
- Ana Rapor ise aşağıdaki gibi düzenlenmelidir:
 - Ölçüm sonuçları ve istenen hesaplamalar
 - Tartışma ve Sonuç
 - Tablolar
 - Şekiller (Deney cihazları, Sonuçlar)
 - Referanslar
 - Ek

Not 1: Tüm deneylerin öncesinde yukarıda belirtilen ilgili konu başlıklarını içeren, elle yazılmış bir **Ön Rapor** hazırlanacaktır. Bu ön rapor deney başlamadan önce, deneyden sorumlu araştırma görevlisine teslim edilecektir. Ön raporu teslim etmeyen öğrenci deneye alınmayacaktır.

Not 2: Yukarıda belirtilen ilgili konu başlıklarını içeren, elle yazılmış bir **Ana Rapor** deney sonrasında hazırlanacaktır. Bu rapor deneyi yaptıran araştırma görevlisine imza karşılığında ve en geç deneyin yapıldığı gün saat **17:30'a** kadar teslim edilecektir. Zamanında teslim edilmeyen deney raporlarından öğrenci başarısız sayılacaktır.

Not 3: Ön Rapor ve Ana Rapor, deneyden sorumlu Araştırma Görevlisi tarafından birleştirilerek, **Deney Raporu** olarak değerlendirilecektir.

Not 4: Yarı ya da kısmi zamanlı çalışan öğrenciler deneyle ilgili araştırma görevlileri ile irtibata geçerek iki taraf için de uygun bir zamanda deneye girmeyi talep edebilirler. Ancak çalıştıklarına dair resmi belgelerini ilgili araştırma görevlilerine ibraz etmek zorundadırlar.

Kapak Sayfası: Kapak sayfasında deneyin adı, deneyin numarası, raporu hazırlayan öğrencinin adı ve öğrenci numarası, deneyin yapılış tarihi ile raporun sunuş tarihi, grup numarası ve grup üyelerinin tamamının adları ve numaraları, deney sorumlusunun adı ve deneyin yapıldığı kurumun adı yazılmalıdır. Kapak sayfası hazırlanırken son sayfadaki şekilde verilen formata tam olarak uyulmalıdır.

İçindekiler: Bu bölümde, raporun içeriği sayfa numaralarıyla başlıklar halinde belirtilmelidir.

Semboller: Raporda bulunan tüm semboller ve birimleri bu bölümde açıklanmalıdır. Semboller önce Latin (a,b,...,z) sonra Grek (α , β , ...) alfabelerine göre alfabetik sırada olmalıdır.

Özet: Çalışmanın önemli özelliklerinin kısa açıklaması 50-100 kelimeyle bu bölümde yapılır.

Giriş: Giriş, raporlanan çalışmanın çatısının belirtildiği kısımdır. O nedenle giriş kısmında aşırıya kaçmadan gereken bilgiler verilmelidir. Böylece okuyucu, konuyu hatırlamış veya konuya yakınlık kazanmış olacaktır. Ayrıca giriş bölümünde deneyin yapılış nedeni, nereye varılmak istendiği belirtilmelidir. Son olarak giriş bölümünde deneyin özellikleri ve konuyu tamamlayıcı diğer bilgiler verilir. Giriş bölümüne hiçbir sonuç eklenmemelidir.

Teori ve veri toplama işlemi: Yapılan hesapların veya karşılaştırmaların teorik temeli bu bölümde verilir. Temel bağıntılardan ve yapılan kabullerden başlanarak son ifadelerin elde edilişi açıklanır. Denklemler görüldükleri sıraya göre numaralandırılmalıdır. Temel hesaplamalar için gerekli olandan daha fazla denklem ve denklem türetme işlemleri bu bölümde değil Ek'te verilmelidir.

Cihazlar: Deneyde kullanılan cihazların açıklamaları ve özellikleri bu bölümde verilir. Cihaz şekilleri raporun arkasında bulunan Şekiller başlıklı kısma eklenmelidir. Cihazların yalnızca şekillerini ekleyip “deneyde kullanılan cihazlar Şekil 2’de görülmektedir” gibi bir ifade yeterli değildir.

Deneyin yapılışı: Deneyin yapılışı detaylı ve açık olarak bu bölümde anlatılmalıdır. Anlatım sırasında cihaz şekillerine, numaraları belirtilerek atıf yapılabilir.

Ölçüm sonuçları ve istenen hesaplamalar: Ölçüm sonuçları tablo ve/veya grafik şeklinde sunulmalıdır. Sonuçlar genellikle iki kısımdır: Teorik bağıntılar deneye uygulandığında elde edilen sonuçlar ve deneyde elde edilen sonuçlar. Sonuçların hassasiyeti araştırılmalı mümkünse sapmaları, ortalama sapmaları, dağılım eğrileri tablolarda belirtilmelidir. Tablolar hazırlanırken her ölçüm için hesap yapmak yerine örnek olarak seçilen bir değer için yapılan hesaplamalar detaylı olarak açıklanmalı, diğer ölçüm değerleri için yapılan hesaplamaların yalnızca sonuçları verilmelidir.

Tartışma ve sonuç: Tartışma bölümünde, Giriş’te belirtilen amaçlara ne kadar ulaşıldığına dikkat edilmelidir. Amaçlara nasıl ulaşıldığı, ulaşamadı ise hangi durumlarda ve neden ulaşamadığı açıkça belirtilmelidir. Eğer amaç ile sonuç arasında çok açık fark varsa bunun nedenini ölçümün tabiatına ve kabullere yüklemekten önce gözden kaçan olası hatalar araştırılmalıdır. Bir cümle ile sonuç açıkça belirtilmelidir.

Tablolar: Tablo olarak sunulacak tüm değerler bu bölüme konacaktır. Her tabloya bir numara verilmeli ve isimlendirilmelidir.

Şekiller: Grafikler, fotoğraflar, cihazların şematik gösterimleri bu bölümde bulunur. Bütün şekillere numara ve isim verilmelidir. Aynı grafik üzerinde birden fazla çizim bulunacaksa her bir eğrinin hangi verilere karşılık geldiği yazılmalıdır.

Referanslar: Deney sırasında faydalanılan ve raporda belirtilen referanslar (kitap, makale, tez) aşağıdaki verilen formatta belirtilmelidir.

Kitaplar : Kitabın yazarı, başlığı, baskı no, yayıncı, yılı, kullanılan sayfalar.
Makaleler : Makalenin yazarı, başlığı, yayınlandığı dergi, cilt no, sayı no, sayfa noları yıl.
Tez : Tezin yazarı, başlığı, derecesi, üniversite, bölüm, yılı.

Ek: Ana raporda bulunması gereksiz olan ama konunun detayı için sunulmasında fayda görülen hususlar ekte verilir. Örneğin; özel denklemlerin elde edilişi ve denklemlerin çözüm şekilleri, teoremin detaylı olarak açıklanması gibi.

Örnek Kapak şekli aşağıda eklenmiştir:

* Kırmızıyla yazılan kısımlara ilgili kişi ve deney bilgileri yazılacaktır.

** Deney Adı 24 punto Cambria yazı fontu ile geri kalan kısımlar 12 punto Cambria yazı fontu ile ortalanarak yazılacaktır.

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

MM 422 MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ LABORATUVARI DERSİ

DENEY NO: 1

KESME HIZININ YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

HAZIRLAYAN

“ÖĞRENCİ NO”

“ÖĞRENCİ ADI SOYADI”

DENEY YAPILIŞ TARİHİ

“TARİH”

GRUP NO: “....”

DENEY GRUBUNUN DİĞER ÜYELERİ

“ÖĞRENCİ NO” “ÖĞRENCİ ADI SOYADI”

“ÖĞRENCİ NO” “ÖĞRENCİ ADI SOYADI”

“ÖĞRENCİ NO” “ÖĞRENCİ ADI SOYADI”

DENEY SORUMLUSU

“DENEYİ YAPTIRAN ARAŞTIRMA GÖREVLİSİNİN ADI SOYADI”

DENEY 1

KESME HIZININ YÜZEY PÜRÜZLÜLÜĞÜNE ETKİSİNİN İNCELENMESİ

1. AMAÇ

Bu deneyin amacı; üretilen parçaların yüzey pürüzlülüğünü belirlemek ve yüzey pürüzlülüğüne etkiyen parametrelerden kesme hızının etkisini incelemektir.

2. TEORİ

İşleme metodu, kesicinin cinsi ve işlenen malzemeye bağlı olarak, işleme sırasında fiziksel, kimyasal ve ısı faktörlerle, kesen ve kesilen arasındaki mekanik hareketlerin de etkisiyle işlenmiş yüzeylerde, genellikle istenmediği halde tabii olarak bazı izler oluşur. Nominal yüzey çizgisinin altında ve üstünde düzensiz sapmalar meydana getiren bu duruma yüzey pürüzlülüğü denir.

İşlenen yüzeylerin kalitesi işleme performansı üzerinde önemli rol oynar. Kaliteli işlenmiş bir yüzey, yorulma mukavemetini, korozyon direncini ve sürtünme ömrünü önemli derecede iyileştirir. Yüzey pürüzlülüğü ayrıca yüzey sürtünmesine sebep olan temas, aşınma, ısı iletimi, yağ filminin tutulması ve dağıtılması kabiliyeti, kaplama veya direnç ömrü gibi parçaların çeşitli fonksiyonel özelliklerini de etkiler. Bu sebeple istenilen yüzey tamlığı genellikle belirlenir ve ihtiyaç duyulan kaliteye ulaşmak için uygun işlemler seçilir.

Talaşlı imalatla yüzey pürüzlülüğü aşağıdaki faktörlerden etkilenir:

- Takım tezgâhının rijitlik durumu,
- Yataklama sisteminden kaynaklanan hatalar,
- Takım tutucu rijitlik durumu,
- Takım aşınmasının etkileri,
- Takım geometrisi,
- Kesme parametreleri,
- Malzemenin mekanik özellikleri,
- Soğutma sıvısının etkileri.

Kesme hızı, ilerleme ve talaş derinliği gibi kesme operasyonunu kontrol eden faktörler üst seviyede kontrol edilebilir. Buna rağmen takım geometrisi, takım aşınması, talaş yükleri ve talaş oluşumları veya takım ve iş parçasının malzeme özellikleri kontrol edilemeyen özelliklerdir.

Takım tezgâhı titreşimleri, iş malzemesinin yapısındaki hasarlar, takım aşınması veya talaş oluşumunun düzensizlikleri, işleme sırasında yüzeyin bozulmasına neden olurlar.

Yüzey pürüzlülüğünü tahmin etmek ve ilerleme veya kesme hızı gibi işleme parametrelerinin uyumunu değerlendirmek ürün kalitesini yükseltir ve istenilen yüzey pürüzlülüğünün elde edilmesini sağlar.

Talaşlı işlemede genellikle yüksek kesme hızında daha iyi yüzey kalitesi elde edilir. Ancak yüksek kesme hızı takım körelmesini hızlandırdığı için aynı yüzey kalitesi uzun süre muhafaza edilemez.

Tek ağızlı kesme takımıyla yapılan talaş kaldırma işleminde elde edilen ortalama ideal yüzey pürüzlülüğünün takım uç yarıçapı ve ilerlemesi ile olan ilişkisi aşağıdaki denklemde verilmiştir:

$$R_i = \frac{f^2}{32r}$$

R_i : İdeal ortalama yüzey pürüzlülüğü, mm

f : İlerleme, mm/dev

r : Uç yarıçapı, mm

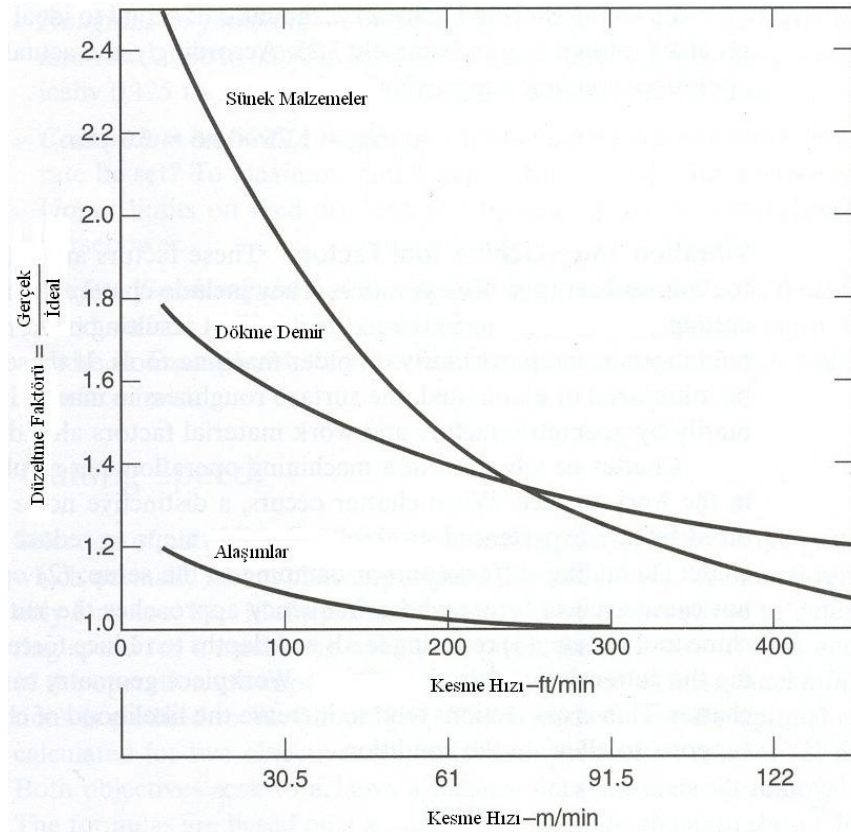
Yüzey pürüzlülüğüne etki eden faktörlerin etkisiyle oluşan gerçek yüzey ideal yüzeyden daha pürüzlü olur. Bu faktörler göz önünde tutularak ideal ve gerçek yüzey pürüzlülükleri arasında bir düzeltme faktörü geliştirilebilir. Şekil 1’de gerçek yüzey pürüzlülüğü ve ideal yüzey pürüzlülüğü arasındaki düzeltme faktörü gösterilmektedir. İdeal yüzey pürüzlülüğüne bağlı olarak gerçek yüzey pürüzlülüğü aşağıdaki denklemle ifade edilir:

$$R_a = r_{ai} R_i$$

R_a : Gerçek yüzey pürüzlülüğü

r_{ai} : Düzeltme faktörü

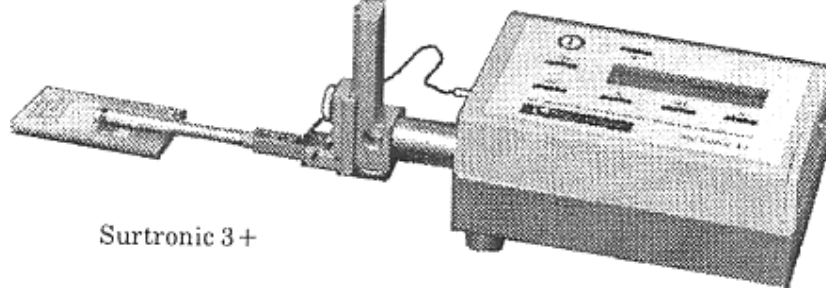
R_i : İdeal yüzey pürüzlülüğü



Şekil 1. Yüzey pürüzlülüğü düzeltme faktörü

Yüzey Pürüzlülüğünün Ölçümü

Deneylerde, Taylor Hubson 3+ Yüzey Pürüzlülüğü Ölçüm Cihazı (Şekil 2) yardımıyla yüzeyde oluşan çukurcuklar ve tepelikler ölçülecektir.



Şekil 2. Taylor Hubson 3+ yüzey pürüzlülüğü ölçüm cihazı

Bir yüzey profilinin pürüzlülük hesapları yapılırken, yüzeyin üstünde ve altında kalan alanları eşit şekilde kesen ve ortalama çizgisi olarak adlandırılan referans çizgisinden yararlanılır (Şekil 3). Bu çizgi matematiksel olarak yüzey profilinin ağırlık merkezi şeklinde de ifade edilebilir (L_c).



Şekil 3. Ölçüm ve örnekleme uzunluğu

Örnekleme uzunluğu yüzeyin pürüzlülük karakteristiğini bulmada öncelikli olarak seçilen parametredir. n adet örnekleme uzunluğunun bir araya gelmesi ile L_n şeklinde ölçüm uzunluğu oluşmaktadır (Şekil 3).

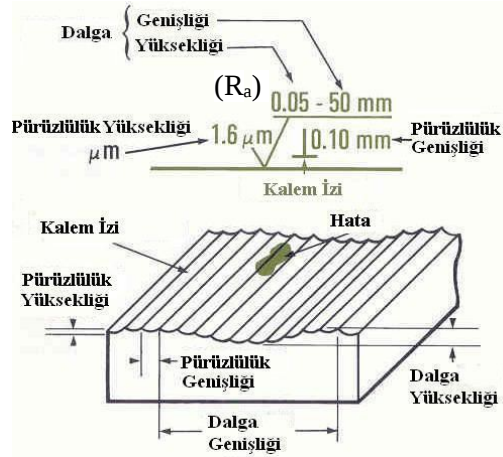
Ortalama Yüzey Pürüzlülüğü (R_a):

Ortalama yüzey pürüzlülüğü, ortalama çizgisinden ölçülen yüksekli değişimlerinin aritmetik ortalamasıdır.

$$R_a = \frac{1}{l} \int_0^l |Z(x)| dx$$

R_a değerleri deneyde kullanılacak cihaz tarafından otomatik olarak hesaplanmaktadır.

Yüzey pürüzlülüğü ve karakteristiğini göstermekte kullanılan semboller Şekil 4'te gösterilmiştir.



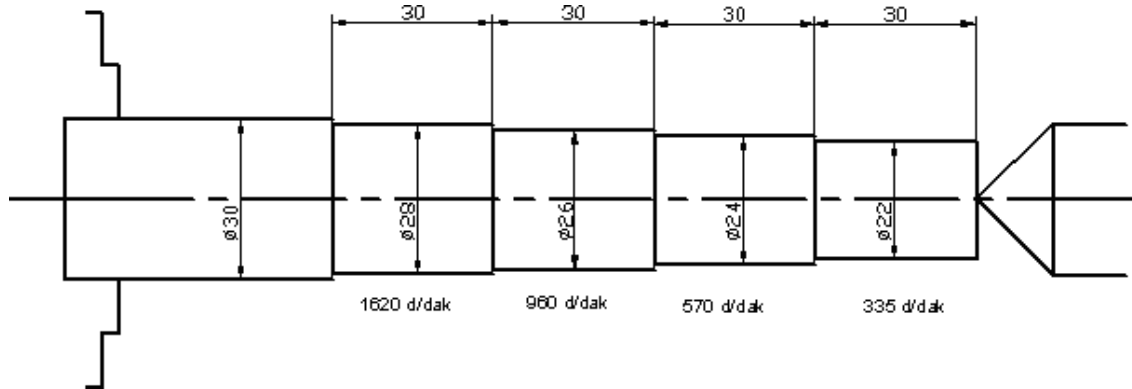
Şekil 4:Yüzey karakteristiği ve sembolleri

3. CİHAZ VE GEREÇLER

Bu deneyde, G.Ü. Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü Takım Tezgâhları Laboratuvarlarındaki torna tezgâhı kullanılacaktır.

4. YÖNTEM

1. Tornalama için Ç1010, Ç1020 veya Ç1030 yuvarlak malzeme temin edilir.
2. Kesici ağız olarak 0.4'lük radyüse sahip sert metal bir kesici uç seçilir ve deney boyunca değiştirilmez.
3. Parça ayna-punta arasına bağlanır ve 30 mm'lik mesafelerle, sırası ile yaklaşık 20, 40, 80 ve 140 m/dak. kesme hızlarında tornalanır (Şekil 5).



Şekil 5. Deney numunesinin tornalanması

4. Tornalanması yapılan parçada, yüzey pürüzlülük ölçme cihazı ile her bir çapta en az 3 adet ölçüm alınır.
5. Parçaların yüzey pürüzlülükleri hesaplanır.

5. RAPOR VE DEĞERLENDİRME

Torna tezgâhında işlenmiş parçaların;

1. İşlenilen çaplar yukarıda verilen ölçülerden küçük de olsa farklı olduğundan, her bir çapın gerçek değeri ve tezgâhın çalışma hızından faydalanarak elde edilen kesme hızı değerlerinin hesaplanması.
2. Yüzey pürüzlülük cihazıyla ölçülen ve hesaplar sonucunda bulunan yüzey pürüzlülük değerlerinin karşılaştırılması ve yorumlanması.
3. Yüzey pürüzlülüğünü etkileyen kesme hızı parametresinin karşılaştırılması ve yorumlanması

6. KAYNAKLAR

1. Akkurt, M., “Makina Elemanları Cilt II”, Birsen Yayınevi, İstanbul (2000).
2. Akkurt, M., “Talaş Kaldırma Yöntemleri ve Takım Tezgahları”, Birsen Yayınevi, İstanbul (1998).
3. Güllü, A., “Silindirik Taşlamada İstenen Yüzey Pürüzlülüğünü Elde Etmek İçin Taşlama Parametrelerinin Bilgisayar Yardımıyla Optimizasyonu”, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Makine Eğitim Bölümü, Ankara, (1995).
4. Huynh, V., M., Fan, Y., “Surface-Texture Measurement and Characterization With Applications To Machine-Tool Monitoring”. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 7, 2-10,(1992).
5. Jang, D.Y., Choi, Y.G., Kim, H.G., Hsiao, A., “Study of The Corelation Between Surface Roughness and Cutting Vibrations To Develop An Online Roughness Measuring Tecnique _n Hard Turning”, International Journal of Machine Tools Manufacture, 36(4), 453-464(1996).
6. Özses, B., “Bilgisayar Sayısal Denetimli Takım Tezgahlarında Değişik İşleme Koşullarının Yüzey Pürüzlülüğüne Etkisi”. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Makine Mühendisliği Bölümü, Ankara, (2002).
7. Onwubolu, G., C., “Surface Roughness Prediction Model in Machining of Carbon Steel by PVD Coated Cutting Tools” American Journal of Applied Sciences, 2 (6), 1109-1112 (2005).
8. Groover, M., P., “Fundamentals of Modern Manufacturing- Materials, Processes and Systems”, Prentice-Hall Inc., New Jersey, 220-639(1996).

DENEY 2

MALZEMELERDE ELASTİSİTE VE KAYMA ELASTİSİTE MODÜLLERİNİN
EĞME VE BURULMA TESTLERİ İLE BELİRLENMESİ

1. AMAÇ

Eğme deneyinde amaç bir kirişte kiriş ile uygulanan yük, kiriş kalınlığı, kiriş genişliği ve kiriş uzunluğu ile sehim arasındaki bağıntıların incelenmesi ve çelik malzemenin elastisite modülünün bulunmasıdır.

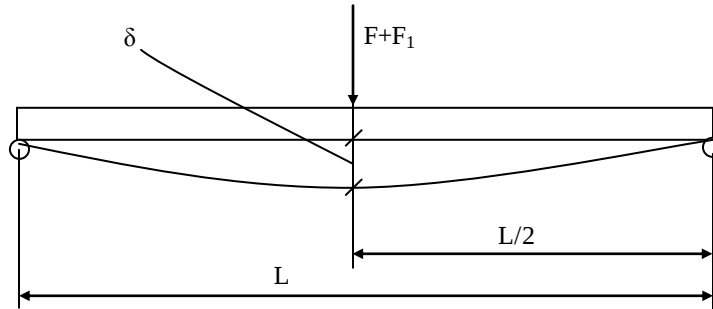
Burulma deneyinde ise amaç bir milde burulma açısının burulma momenti ve mil uzunluğu ile değişimi incelenerek çelik, pirinç ve alüminyum numunelerin kayma modüllerinin bulunmasıdır.

2. TEORİ

2.1 Eğme Deneyi

Bir veya daha fazla noktadan desteklenmiş ve çubuk eksenine dik olarak yüklenmiş elemanlara kiriş denir. Kirişler eğme yüküne maruzdurlar. Eğme deneyi sonucunda malzemelerin şekil değiştirme özellikleri hakkında edinilen genel bilginin yanında eğilme momenti, eğilme gerilmesi, elastisite modülü ve eğilme miktarı (sehim) gibi değerler hesaplanır. Elastisite modülü çekme deneyi ile saptanabileceği gibi eğme deneyi ile de belirlenebilir.

Bu deneyde malzemenin akma sınırından düşük gerilmeler uygulanarak elastik bölge aşılmadan malzemenin elastisite modülü hesaplanacaktır.



Şekil 1. Eğme Deneyi

Orta noktasından F kuvveti uygulanan basit mesnetli kiriş (Şekil 1) için sehim formülü:

$$\delta = \frac{FL^3}{48EI} \quad (1)$$

şeklindedir. Eğilme gerilmesi σ_b ise

$$\sigma_b = \frac{M_b c}{I} \quad (2)$$

olarak ifade edilir.

Burada:

δ = Sehim (mm)

L = Kiriş boyu (mm)

M_b = Eğilme Momenti (Nmm)

σ_b = Eğilme Gerilmesi (N/mm²)

E = Elastisite Modülü (N/mm²)

I = Atalet Momenti (mm⁴)

F_1 = Yük kolunun ağırlığı (N)

F = Eklenen ağırlık (N)

C = h/2 (mm)

Dikdörtgen kesit için $I = \frac{bh^3}{12}$, dairesel kesit için $I = \frac{\pi d^4}{64}$ tür.

2.2 Burulma Deneyi

Burulma deneyi genel olarak malzemelerin kayma elastisite modülü, kayma akma gerilmesi gibi özelliklerinin belirlenmesi için yapılır. Burulma deneyinde, bir mil bir ucundan sabitlenir ve serbest uçtan döndürülerek burulma açısı ve burulma momentini kaydedilir. Elde edilen değerlerden burulma diyagramı olarak adlandırılan burulma momentini-burulma açısı eğrisi çizilir.

Daha çok dairesel kesitli numuneler (miller) burulma gerilmesine maruzdurlar. Deney sırasında uygulanan burulma momentini etkisiyle numunede kayma gerilmeleri oluşur. Bu gerilmeler numunenin merkezinden yüzeyine doğru doğrusal olarak artar. Kayma gerilmesi numunenin merkezinde sıfır iken yüzeyde maksimum değerdedir.

Burulma deneyinde dairesel kesitli numunenin yüzeyinde oluşan kayma gerilmesi

$$\tau = \frac{Tr}{J} \quad (3)$$

olarak yazılabilir. (3) Denkleminde J polar atalet momentini yerine konursa

$$\tau = \frac{16T}{\pi d^3} \quad (4)$$

bağıntısı elde edilir. Burulma açısının genel formülü

$$\phi = \int_0^L \frac{T(x)dx}{J(x)G} \quad (5)$$

şeklinde. Sabit burulma momentini ve sabit kesit için (5) ifadesi integre edilirse

$$\phi = \frac{TL}{JG} \quad (6)$$

elde edilir. Burada ϕ radyandır.

3. DENEY ALET VE CİHAZLARI

3.1. Deney Cihazı

Deney düzeneği olarak Burulma ve Eğme Test Cihazı MT 210 kullanılacaktır.

3.2. Deney Numuneleri

Kirişler 650 mm uzunluğunda çelik malzemeden yapılmıştır. Kirişteki her bir çizginin arası 100 mm'dir. Kiriş kesitleri şu şekildedir: 3x25 mm, 4x25 mm, 6x25 mm, 8x25 mm, 4x15 mm, 4x20 mm ve 4x30 mm.

Burulma deneyinde kullanılan numuneler 8 mm çapındaki çelik, alüminyum ve pirinç malzemelerden imal edilmiş olup 650 mm uzunluğundadırlar. Kirişlerde olduğu gibi her bir çizginin arası 100 mm'dir. Ağırlıkların asılacağı ağırlık kolunun ağırlığı 2.5 N'dur. Ayrıca herbiri 5'er N olan 4 adet ağırlık bulunmaktadır. Ölçü aleti olarak 0.01 mm hassasiyetinde komparator kullanılacaktır.

4. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

4.1.Eğme Deneyinin Yapılışı

- **Yük ile Sehîm Arasındaki Bağîntının İncelenmesi:**

600 mm uzunluğundaki kirişin iki ucuna mesnetler yerleştirilir. Kirişin üzerinde işaretli her iki çizgi arası 100 mm'dir. Kesit uzunlukları 6x25 mm olan test numunesi mesnetlere yerleştirilir. Test numunesinin tam merkezine ağırlık düzeneği asılır. Ağırlık düzeneğinin üst yüzeyine ölçü aleti yerleştirilir ve sıfırlanır. Böylece test düzeneği kurulur. Daha sonra ağırlıklar tek tek konularak sehîm miktarları ölçülür.

- **Kiriş Uzunluğu ile Sehîm Arasındaki Bağîntının İncelenmesi:**

Yük 10 N'da sabit tutularak 6x25 mm kesitindeki test numunesinin değişik mesnet mesafelerindeki (300 mm, 400 mm, 500 mm, 600 mm) sehîmler ölçülür.

- **Kiriş Genişliği ile Sehîm Arasındaki Bağîntının İncelenmesi:**

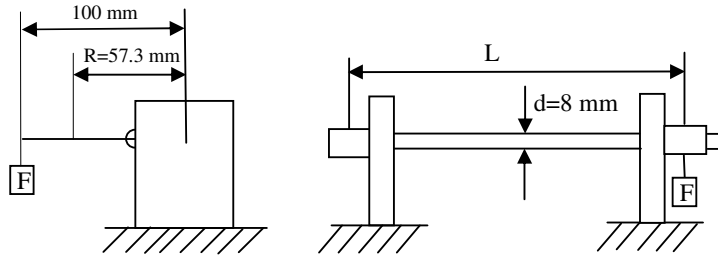
Kiriş uzunluğu 600 mm, kalınlık 4 mm, yük ise 5 N'da tutularak farklı genişlikteki (15 mm, 20 mm, 25 mm, 30 mm) kirişlerde oluşan sehîmler ölçülür.

- **Kiriş Kalınlığı ile Sehım Arasındaki Bağıntının İncelenmesi:**

Kiriş uzunluğu 600 mm, genişlik 25 mm, yük ise 5 N'da tutularak farklı kalınlıktaki (3 mm, 4 mm, 6 mm, 8 mm) kirişlerde oluşan sehımler ölçölür.

Not: Elastisite Modölü E hesaplanırken ilk ağırlığın (ağırlık kolu) sebep olduğu sehım için ölçü aleti sıfırlanmalıdır. Fakat eğilme gerilmesi hesaplanırken ilk ağırlık da hesaba katılmalıdır.

4.2. Burulma Deneyinin Yapılışı



Şekil 2. Burulma Deney Düzenegi

- **Burulma Momenti ile Burulma Açısı Arasındaki Bağıntının Bulunması:**

Deney numunesinin bir ucu sabitlenerek diğeri serbest bırakılır. Numune uzunluğu 600 mm'ye ayarlanır. Serbest ucuna bağlanmış kolun üzerindeki çentiğe ölçü aleti yerleştirilir ve sıfırlanır. Burma kolu üzerindeki çentik ile mil eksenini arası 57.3 mm olarak ayarlanmıştır. Bu mesafede ölçü aletindeki 1mm'lik sapma 1 dereceye karşılık gelir. 2.5 N, 7.5 N, 12.5 N ve 17.5 N'luk yükler dairesel kesitli çubuğun ekseninden 100 mm'lik mesafeden uygulanarak burulma açıları bulunur.

- **Numune Uzunluğu ile Burulma Açısı Arasındaki Bağıntının Bulunması:**

Yük 12.5 N'da sabit tutulup numune uzunlukları 300 mm, 400 mm, 500 mm ve 600 mm'ye ayarlanarak burulma açıları bulunur.

5. HESAPLAMALAR VE İSTENİLENLER

- Sehimi yükün fonksiyonu olarak gösteren diyagramı çiziniz.
- Sehimi kiriş uzunluğunun fonksiyonu olarak gösteren diyagramı çiziniz.
- Sehimi kiriş genişliğinin fonksiyonu olarak gösteren diyagramı çiziniz.
- Sehimi kiriş kalınlığının fonksiyonu olarak gösteren diyagramı çiziniz.

- Her bir yük için eğilme momenti, eğilme gerilmesi, sehim ve elastisite modülünü hesaplayarak tablo halinde gösteriniz ve ortalama elastisite modülünü hesaplayınız.
- Her bir yük için burulma momenti, burulma açısı, burulma kayma gerilmesi ve kayma elastisite modülünü hesaplayarak tablo halinde gösteriniz ve ortalama kayma elastisite modülünü hesaplayınız.
- Burulma açısını burulma momentinin fonksiyonu olarak gösteren diyagram çizin.
- Her bir numune uzunluğu için burulma açısını hesaplayarak burulma açısını numune uzunluğunun fonksiyonu olarak gösteren diyagramı çizin.
- Teori ile deneysel sonuçları karşılaştırınız.
- Hata analizi yapınız.
- Hataların sebeplerini açıklayınız.

DENEY 3

TEK SERBESTLİK DERECELİ SÖNÜMSÜZ SİSTEMİN HARMONİK ZORLANMIŞ TİTREŞİMİ

1 GİRİŞ

Mekanik sistemlerin titreşimleri iki kategoriye ayrılabilir: serbest titreşim ve zorlanmış titreşim. Serbest titreşim, harici bir etki olmadığında bir sistemin denge konumu etrafında salınmasıdır. Titreşim sırasında bir sisteme herhangi bir dış zorlanma etki ediyorsa, sistemin titreşimine zorlanmış titreşim denir. Bu deneyde, dikdörtgen kesitli bir kirişin harmonik zorlanmış titreşimi incelenecek ve deneysel sonuçlar hareket denkleminin analitik çözümü ile karşılaştırılacaktır.

2 TEORİ

2.1 Tek Serbestlik Dereceli Sönümsüz Sistemlerin Serbest Titreşimi

Tüm tek serbestlik dereceli sönümsüz mekanik sistemler Şekil 2.1'de gösterilen eşdeğer sistem modelleri ile temsil edilebilirler. Eğer genelleştirilmiş koordinat yer değiştirme olarak seçilirse, sistem birer eşdeğer kütle ve eşdeğer yay ile temsil edilebilir. Benzer şekilde, açısal genelleştirilmiş koordinatlar için sistem birer eşdeğer atalet momenti ve eşdeğer burulma yayı ile temsil edilebilir. Bu sistemler için hareket denklemi, Newton'un ikinci hareket yasasını uygulayarak şu şekilde elde edilebilir:

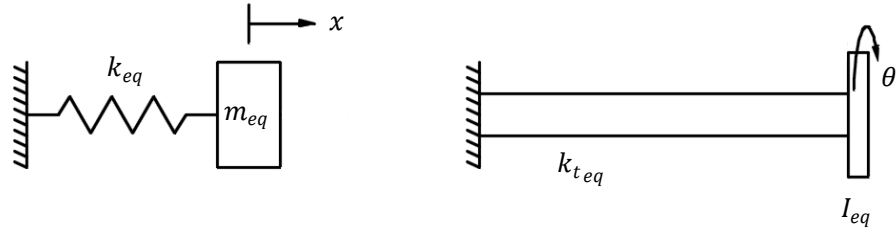
$$m_{eq}\ddot{x} + k_{eq}x = 0 \quad 2.1$$

$$I_{eq}\ddot{\theta} + k_{teq}\theta = 0 \quad 2.2$$

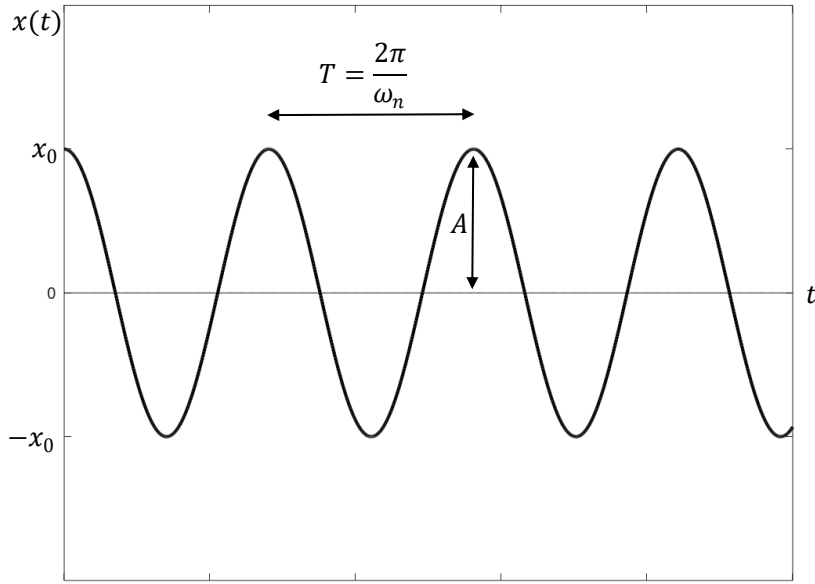
Denklem 2.1 ve 2.2 ikinci mertebeden lineer homojen diferansiyel denklemlerdir. Adi diferansiyel denklemler konusunda daha ayrıntılı açıklama için herhangi bir diferansiyel denklem kitabına başvurabilirsiniz [2]. Bu homojen diferansiyel denklemlerin çözümleri aşağıdaki gibidir:

$$x_h(t) = C_1 \cos\left(\sqrt{\frac{k_{eq}}{m_{eq}}} t\right) + C_2 \sin\left(\sqrt{\frac{k_{eq}}{m_{eq}}} t\right) \quad 2.3$$

$$\theta_h(t) = C_1 \cos\left(\sqrt{\frac{k_{teq}}{I_{eq}}} t\right) + C_2 \sin\left(\sqrt{\frac{k_{teq}}{I_{eq}}} t\right) \quad 2.4$$



Şekil 2.1: Genelleştirilmiş koordinat olarak doğrusal yerdeğiştirme (solda) ve açısal yerdeğiştirme (sağda) kullanılarak oluşturulmuş tek serbestlik dereceli sönümsüz sistemin eşdeğer sistem modelleri



Şekil 2.2: Sönümsüz bir sistemin serbest titreşim tepkisi

Denklem 2.3 ve 2.4'ten sistemlerin denge pozisyonları etrafında sırasıyla $\sqrt{\frac{k_{eq}}{m_{eq}}}$ ve $\sqrt{\frac{k_{teq}}{I_{eq}}}$ frekanslarında titreştiği görülebilir. Bu iki frekans değeri doğal frekans olarak adlandırılır ve literatürde genellikle ω_n ile temsil edilir. Mekanik sistemlerde doğal frekans sistemin serbest titreşim özelliklerini temsil eder. Şekil 2.2'de, $x(0) = x_0$ ve $\dot{x}(0) = 0$ başlangıç koşullarıyla Denklem 2.3'ün çözümünü verilmiştir ve beklenildiği gibi sistemde herhangi bir sönümleme elemanı bulunmadığından, sistemin enerjisini kaybetmeden sürekli olarak denge noktası etrafında salındığı görülmektedir.

2.2 Tek Serbestlik Dereceli Sönümlü Sistemlerin Serbest Titreşimi

Sönümsüz sistemlere benzer şekilde sönümlü sistemler de eşdeğer sistemleri kullanılarak modellenebilir. Ancak bu sefer sisteme eşdeğer bir sönümleme elemanı dahil edilmelidir. Mekanik sistemlerde sönümlemenin temel sebepleri kuru sürtünme ve viskoz sürtünmedir. Şekil

2.3 eşdeğer sistem modellerini göstermektedir ve hareket denklemleri aşağıdaki gibi elde edilebilir:

$$m_{eq}\ddot{x} + c_{eq}\dot{x} + k_{eq}x = 0 \quad 2.5$$

$$I_{eq}\ddot{\theta} + c_{teq}\dot{\theta} + k_{teq}\theta = 0 \quad 2.6$$

Bu noktada Denklem 2.5 ve 2.6'yı basitleştirilmiş bir biçimde ifade etmek yararlı olacaktır:

$$\ddot{x} + 2\zeta_x\omega_{n_x}\dot{x} + \omega_{n_x}^2x = 0 \quad 2.7$$

$$\zeta_x = \frac{1}{2} \frac{c_{eq}}{\sqrt{k_{eq}m_{eq}}}, \quad \omega_{n_x} = \sqrt{\frac{k_{eq}}{m_{eq}}} \quad 2.8$$

$$\ddot{\theta} + 2\zeta_\theta\omega_{n_\theta}\dot{\theta} + \omega_{n_\theta}^2\theta = 0 \quad 2.9$$

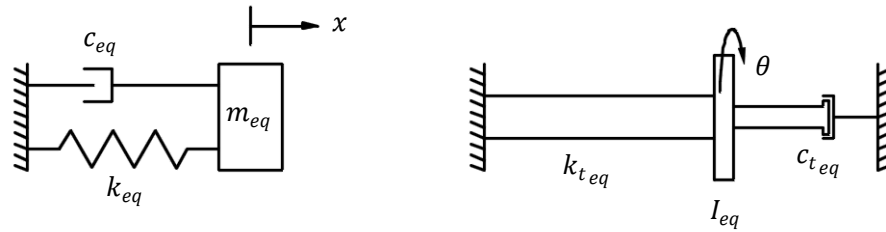
$$\zeta_\theta = \frac{1}{2} \frac{c_{teq}}{\sqrt{k_{teq}I_{eq}}}, \quad \omega_{n_\theta} = \sqrt{\frac{k_{teq}}{I_{eq}}} \quad 2.10$$

Denklem 2.7 ve 2.9'da görünen yeni parametreler (ζ_x, ζ_θ) sönümleme oranı olarak adlandırılır. Denklemlerin basitleştirilmesi iki ana amaca hizmet eder: birincisi, sistemdeki eşdeğer sönümlemenin boyutsuz hale getirilmesidir ve ikincisi, çözümü daha kısa bir formda sunmaktır. $\zeta_x < 1$ ve $\zeta_\theta < 1$ için bu denklemlerin basitleştirilmiş notasyonla çözümleri aşağıdaki gibidir:

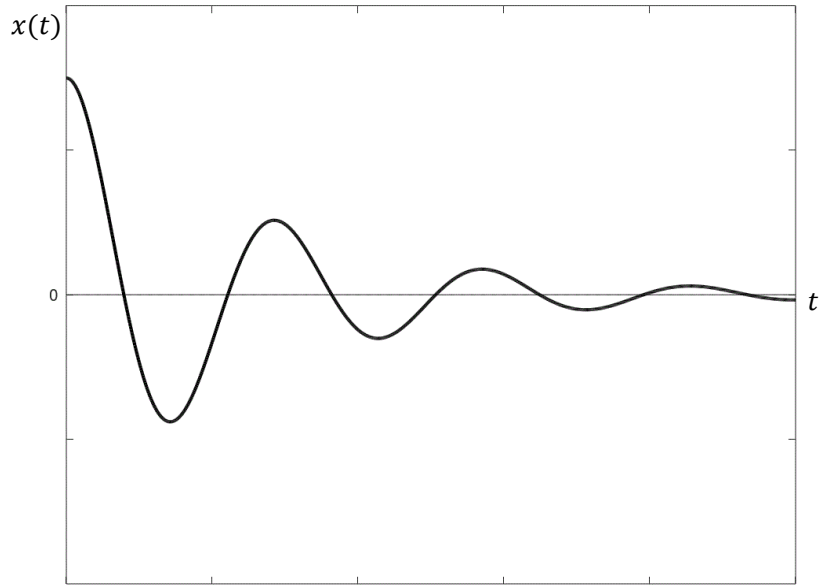
$$x_h(t) = e^{-\zeta_x\omega_{n_x}t} \left[C_1 \cos(\omega_{n_x}\sqrt{1-\zeta_x^2}t) + C_2 \sin(\omega_{n_x}\sqrt{1-\zeta_x^2}t) \right] \quad 2.11$$

$$\theta_h(t) = e^{-\zeta_\theta\omega_{n_\theta}t} \left[C_1 \cos(\omega_{n_\theta}\sqrt{1-\zeta_\theta^2}t) + C_2 \sin(\omega_{n_\theta}\sqrt{1-\zeta_\theta^2}t) \right] \quad 2.12$$

Sönümsüz sistemlerden farklı olarak, sönümlü sistemlerin serbest titreşimi denge noktası etrafında genliği küçülen salınımlar üretir. Denklem 2.11'in çözümü başlangıç koşullarını $x(0) = x_0$, ve $\dot{x}(0) = 0$ olarak Şekil 2.4'te verilmiştir.



Şekil 2.3: Tek serbestlik dereceli sönümlü sistemin eşdeğer sistem modelleri



Şekil 2.4: Sönümlü sistemin serbest titreşim tepkisi

2.3 Tek Serbestlik Dereceli Sistemlerin Zorlanmış Titreşimi

Önceki bölümde açıklandığı gibi, bir sistem dış bir zorlanma etkisi altındaysa, o sistemin titreşimi zorlanmış titreşim olarak sınıflandırılır. Bu tür sistemlerin eşdeğer sistem modelleri Şekil 2.5'te verilmiştir. Eşdeğer sistem modelini kullanarak bu sistemlerin hareket denklemlerini elde etmek mümkündür:

$$\ddot{x} + \omega_{n_x}^2 x = \frac{1}{m_{eq}} F_{eq}(t) \quad 2.13$$

$$\ddot{\theta} + \omega_{n_\theta}^2 \theta = \frac{1}{I_{eq}} M_{eq}(t) \quad 2.14$$

Bu deneyde dış zorlanma olarak sadece harmonik kuvvetler kullanılacaktır. Eğer uygulanan kuvvet her T periyodunda kendini tekrarlıyorsa periyodik yada harmonik olarak adlandırılır:

$$F_{eq}(t + T) = F_{eq}(t) \quad 2.15$$

Buradan yola çıkarak bir kuvvetin frekansı aşağıdaki gibi tanımlanır:

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \quad 2.16$$

Bu deneyde, aşağıdaki forma sahip tek frekanslı bir kuvvet ile çalışacağız:

$$F_{eq}(t) = F_0 \sin(\omega t + \psi) \quad 2.17$$

burada F_0 kuvvetin genliği, ω frekansı ve ψ fazıdır. Zorlanma frekansının sistemin doğal frekansından bağımsız olduğuna unutulmamalıdır.

Denklem 2.13 ve 2.14'te verilen diferansiyel denklemler, sağ taraftaki eşdeğer kuvvet ve moment terimleri sebebiyle artık homojen değildir. Homojen olmayan diferansiyel denklemlerin genel çözümü aşağıdaki gibi elde edilebilir:

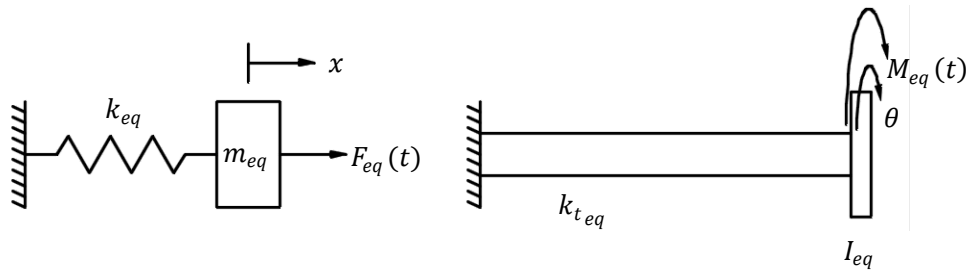
$$x_g(t) = x_h(t) + x_p(t) \quad 2.18$$

burada $x_h(t)$ Denklem 2.3'te elde edilen homojen çözümü ve $x_p(t)$ çözümü $F_{eq}(t)$ 'e bağlı olan özel çözümü temsil eder. $F_{eq}(t)$ 'in Denklem 2.17'de verilen formda olduğunu varsayarak, $x(0) = x_0$ ve $\dot{x}(0) = \dot{x}_0$ başlangıç koşullarıyla Denklem 2.13'ün genel çözümü $\omega \neq \omega_n$ için aşağıdaki gibi elde edilir:

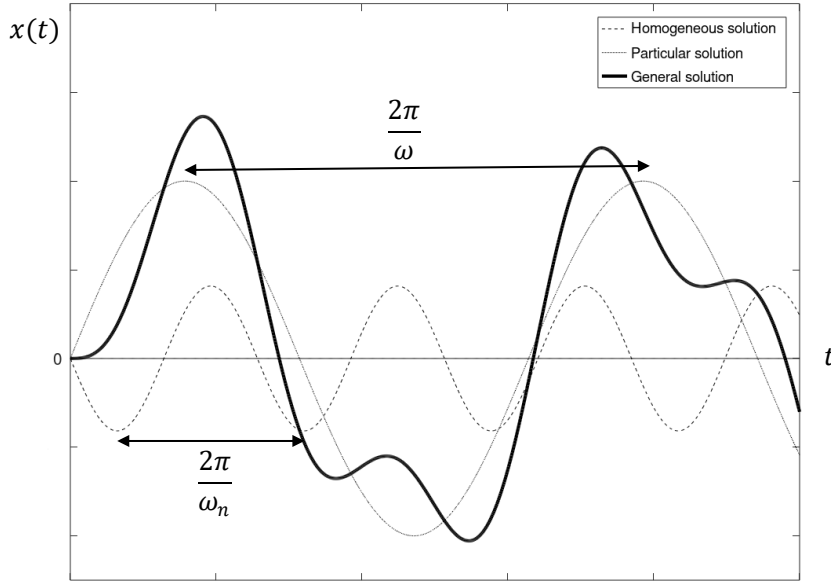
$$x_h(t) = C_1 \cos(\omega_n t) + C_2 \sin(\omega_n t) \quad 2.19$$

$$x_p(t) = \frac{F_0}{m_{eq}(\omega_n^2 - \omega^2)} \sin(\omega t + \psi) \quad 2.20$$

$$x_g(t) = \left[x_0 - \frac{F_0 \sin \psi}{m_{eq}(\omega_n^2 - \omega^2)} \right] \cos(\omega_n t) + \frac{1}{\omega_n} \left[\dot{x}_0 - \frac{F_0 \omega \cos \psi}{m_{eq}(\omega_n^2 - \omega^2)} \right] \sin(\omega_n t) + \frac{F_0}{m_{eq}(\omega_n^2 - \omega^2)} \sin(\omega t + \psi) \quad 2.21$$



Şekil 2.5: Tek serbestlik dereceli sönümsüz sistemin eşdeğer sistem modelleri



Şekil 2.6: Harmonik zorlanmış sönümsüz sistemin titreşim tepkisi

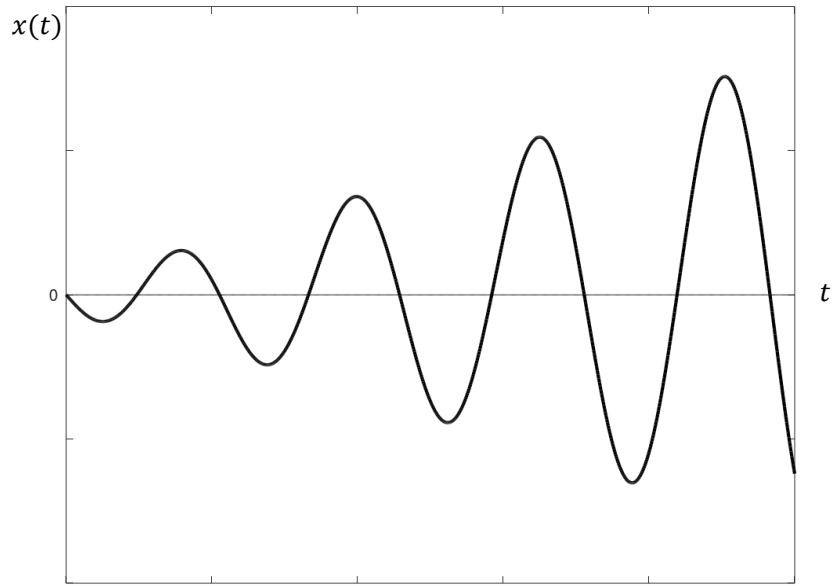
Şekil 2.6'da verilen sistem tepkisi farklı frekansa sahip iki trigonometrik fonksiyonun toplamıdır. $\omega = \omega_n$ durumu özeldir ve zorlanma frekansı doğal frekansa eşit olduğunda homojen ve özel çözümler doğrusal olarak bağımlı hale gelir. Bu nedenle, bu durum için başka bir özel çözüme ihtiyaç vardır. $F_{eq}(t)$ 'in Denklem 2.22'de verilen forma sahip olduğu varsayılırsa, özel ve genel çözümler şu şekilde bulunur:

$$F_{eq}(t) = F_0 \sin(\omega_n t + \psi) \quad 2.22$$

$$x_p(t) = -\frac{F_0}{2m_{eq}\omega_n} t \cos(\omega_n t + \psi) \quad 2.23$$

$$x_g(t) = x_0 \cos(\omega_n t) + \left(\frac{\dot{x}_0}{\omega_n} + \frac{F_0 \cos \psi}{2m_{eq}\omega_n^2} \right) \sin(\omega_n t) - \frac{F_0}{2m_{eq}\omega_n} t \cos(\omega_n t + \psi) \quad 2.24$$

Zorlanma frekansının doğal frekansa eşit olduğu durumda sistemin titreşim genliği, Şekil 2.7'de gösterildiği gibi sınırlanmadan artar. Genliğin sınırlanmadan arttığı bu duruma rezonans denir. Matematiksel olarak mümkün olmasına rağmen, gerçek bir fiziksel sistemde titreşim genliği sınırlıdır ve sistemde bulunan sönümleme etkileri nedeniyle sürekli olarak artamaz. Rezonans, mekanik veya yapısal bir sistemde tehlikeli bir durumdur ve istenmeyen büyük yer değiştirmelere veya kırılmaya neden olur. Burulma modunda rezonans salınımları ünlü Tacoma Narrows Köprüsü'nün yıkılmasının temel sebeplerinden biridir. Bu nedenle, bir mühendis tasarlanacak sistemin doğal frekanslarının ve çalışma koşullarının daima farkında olmalıdır.



Şekil 2.7: Zorlanma frekansı doğal frekansa eşit olduğunda sönümsüz sistemin tepkisi

2.4 Deney Düzenekinin Modeli

Şekil 2.8’de verilen sistemin modeli aşağıdaki elemanlardan oluşur:

- i. Rijit, kütlesi m , uzunluğu L olan A noktasından döner mafsalla bağlanmış AD kirişi.
- ii. Kirişe C noktasından bağlanmış sabiti k olan yay.
- iii. Dengelenmemiş kütleyle sahip olan iki tane disk ω sabit açısal hızıyla döndüren, B noktasından kirişe bağlanmış, M kütleli motor ünitesi. İki diskin üzerinde de m_u kütleli ve e eksen kayıklığına(eksentrisite) sahip dengelenmemiş kütleler bulunmaktadır.
- iv. D noktasında, sistemin eşdeğer kütlelerinin değiştirilmesini sağlayan her biri m_d kütleli n tane sökülebilir ağırlıklar mevcuttur.

Sistemin hareket denklemi aşağıdaki gibi elde edilebilir:

$$\left(\frac{1}{3}mL^2 + ML_1^2 + nm_dL_2^2\right)\ddot{\theta} + kL_2^2\theta = m_ueL_1\omega^2 \sin(\omega t) \quad 2.25$$

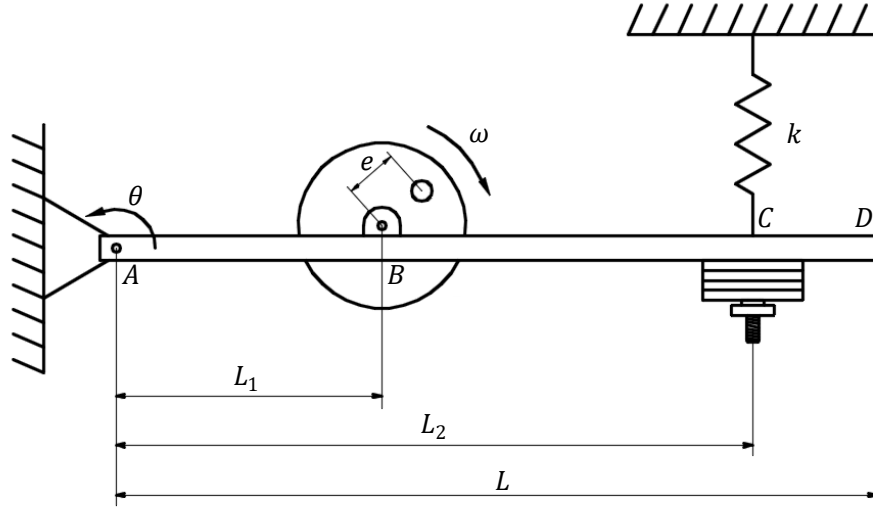
Denklem 2.24’ü aşağıdaki gibi basitleştirilmiş biçimde ifade etmek daha uygun olacaktır:

$$\ddot{\theta} + \omega_n^2\theta = F_0 \sin(\omega t) \quad 2.26$$

$$\omega_n = \sqrt{\frac{kL_2^2}{\left(\frac{1}{3}mL^2 + ML_1^2 + nm_dL_2^2\right)}} \quad 2.27$$

$$F_0 = \frac{m_u e L_1 \omega^2}{\left(\frac{1}{3} m L^2 + M L_1^2 + n m_d L_2^2\right)} \quad 2.28$$

Daha önce de belirtildiği gibi, sönümsüz bir sistemin zorlanmış titreşim tepkisi iki kısımdan oluşur: homojen ve özel çözüm. Sistem sönümsüz olarak modellenmesine rağmen, gerçek bir sistemde mafsallı sürtünmesi ve hava direnci gibi küçük sönümleme etkileri mevcuttur. Bu nedenle, sistemin tepkisi kararlı duruma yaklaştıkça, homojen çözümün etkisi sönümleme nedeniyle kaybolur ve özel çözüm sistemin hareketini belirler. Başka bir deyişle bir müddet sonra sistem zorlanma frekansında salınmaya başlar.

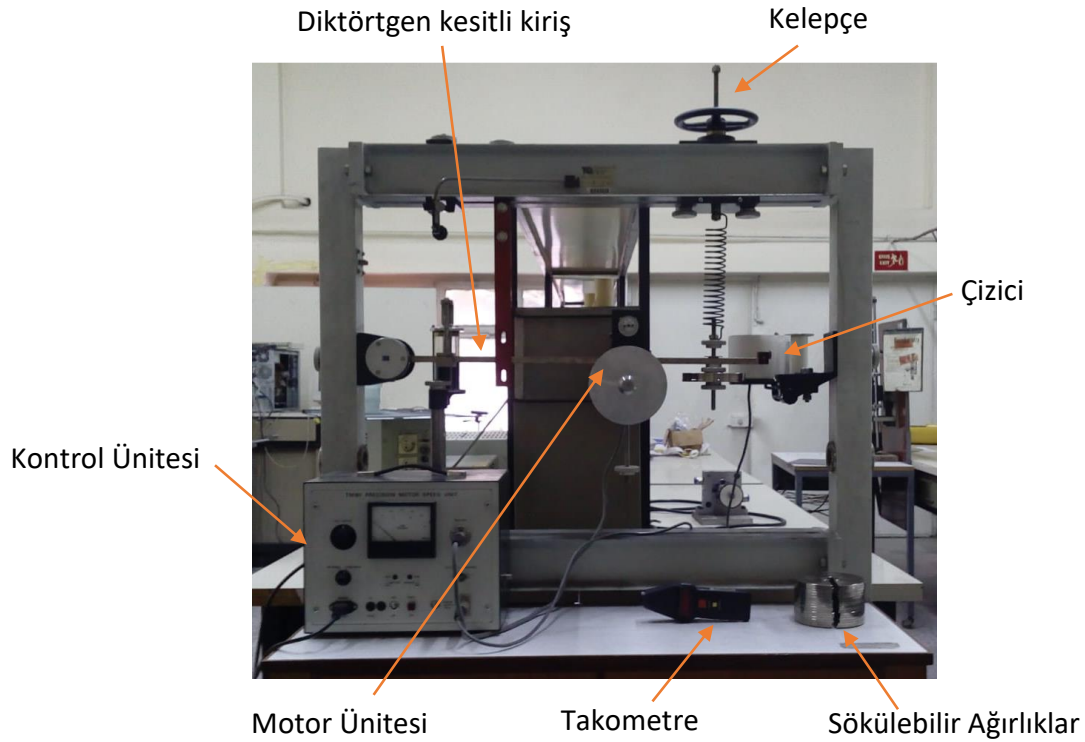


Şekil 2.8: Deney düzeneğinin modeli

3 DENEY DÜZENEGİ

Şekil 3.1'de verilen deney düzeneği aşağıdaki ekipmanlardan oluşmaktadır:

- Dikdörtgen kesitli kiriş: Kiriş, test yatağına bir uçtan döner mafsallı ile ve diğer uçtan da yay ile bağlıdır. Yayın alt ucu serbestçe hareket ederken, üst ucu bir kelepçe ile test yatağına bağlıdır. Bu kelepçe yardımıyla yayın üst ucunun konumu ayarlanabilir.
- Motor ünitesi: Motor ünitesi kirişe sıkıca vidalanmıştır. Harmonik zorlanma, motorun çıkış miline bağlanan ve dengelenmemiş kütleyle sahip iki diskin döndürülmesiyle elde edilir. Meydana gelen zorlanmanın frekansı, hız kontrol ünitesi yardımıyla motorun dönme hızının değiştirilmesi ile ayarlanır.
- Çizici: Titreşim grafiği, dikdörtgen kirişin sağ ucuna sabitlenmiş bir çizici ile elde edilir.



Şekil 3.1: Deney düzeneği

4 DENEYİN YAPILIŞI

Senkron motorun elektrik kablosu, kontrol ünitesindeki elektrik soketine takılır. Daha sonra kiriş, kelepçe ayarlanarak yatay konuma getirilir. Çizicinin konumu, kirişin ucunda bulunan kalem kağıt rulosuna hafifçe değecek şekilde ayarlanır. Deneydeki sistem parametrelerinin sayısal değerleri Tablo 3.1'de verilmiştir.

Tablo 3.1: Sistem parametrelerinin sayısal değerleri

<i>Parametre</i>	<i>Sembol</i>	<i>Değer</i>	<i>Birim</i>
Motor ünitesinin kütlesi	M	4.930	kg
Kirişin kütlesi	m	1.922	kg
Dengelenmemiş kütle	m_u	33.051	g
Sökülebilir ağırlıkların kütlesi	m_d	400	g
Eksentirisite	e	41.750	mm

Deneye başlamadan önce L , L_1 ve L_2 . değerlerini ölçün. Ayrıca yay sabiti k 'yi hesaplamak için gerekli ölçümleri yapın.

Deney sırasında, farklı motor hızlarında aşağıdaki parametreleri ölçün ve sistemin rezonans frekansını belirlemeye çalışın.

- i. Zorlanma Frekansı: Bu sistemde, zorlanma frekansı motorun açısal hızıdır. Düşük hızlarda disklerin devrini sayarak ve yüksek hızlarda optik bir takometre kullanarak motorun açısal hızını ölçün.
- ii. Titreşim Genliği: Kirişin sağ ucundaki çizici üzerindeki grafikten titreşimin genliğini ölçün.

5 RAPOR

Raporunuzun hesaplama kısmında aşağıdaki sonuçlar yer almalıdır:

- Tablo halinde deneysel veriler,
- Yay sabitinin bulunması için yapılan hesaplamalar,
- Analitik model kullanılarak hesaplanan sistemin doğal frekansı,
- Deneysel veriler kullanılarak çizilecek olan zorlanma frekansı vs. titreşim genliği grafiği, ve bu grafikten belirlenecek olan sistemin rezonans frekans değeri.

Raporunuzun sonuç kısmında aşağıdaki hususlar hakkında yorum yapmanız beklenmektedir:

- Analitik modelden hesaplanan doğal frekans değeri deneysel sonuçlarla örtüşüyor mu? Analitik ve deneysel sonuçlar arasındaki farkın olası nedenlerini tartışın.
- Analitik modele göre rezonans halindeyken sönümsüz sistemin titreşim genliğinin sürekli artması gerekir. Rezonans tepesinin sınırlı olmasına sebep olan etkenleri tartışın.

6 REFERANSLAR

1. Kelly, S. Graham. *Fundamentals of Mechanical Vibrations*. McGraw Hill, 2000.
2. Boyce, William E., et al. *Elementary Differential Equations and Boundary Value Problems*. Wiley, 2017.
3. Tacoma Bridge - YouTube. www.youtube.com/watch?v=3mclp9QmCGs.

DENEY 4

ZORLANMIŞ VORTEKS DENEYİ

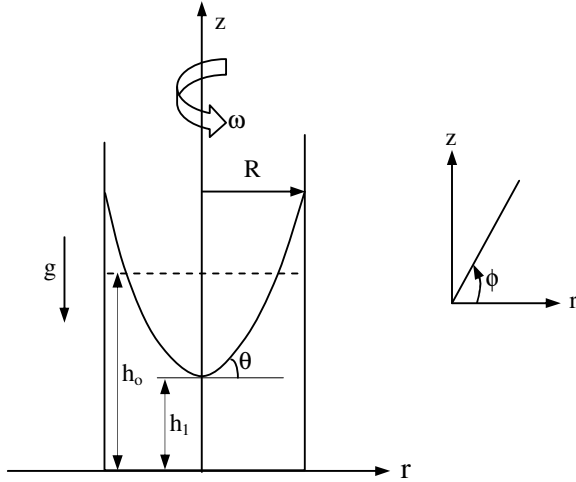
1. AMAÇ

Deneyin amacı, zorlanmış vorteks hareketi yapan bir silindir içindeki sıvıda basınç dağılımının belirlenmesi.

2. GİRİŞ

Kısmen dolu olan bir silindir içindeki sıvı sabit bir ω açısal hızı ile kendi eksenini etrafında döndürülürse kısa bir süre sonra silindir içinde relatif hızlar ortadan kalkar ve sıvı rijit cisim gibi hareket etmeye başlar (Şekil 1).

Zorlanmış bir vortekste, dışarıdan enerji sağlama nedeniyle akışkanın hızı ve basıncı artar. Bu prensip santrifüj pompalarda kullanılır. Sıvı, pompaya merkezden alçak basınçla girer. Kanatların veya savurucunun merkezinden, çevreye doğru ilerlerken hızı ve basıncı artar. Bu sayede pompa kanatlarında basınçlandırılan sıvı belli bir yüksekliğe basılabilmektedir.



Şekil 1. ω açısal hızı ile döndürülen sıvının yüzeyi ve koordinat sistemi

3. TEORİ

Silindirik koordinat sisteminde Navier-Stokes denklemleri yazılırsa.

r - yönünde,

$$\rho \left(\frac{\partial V_r}{\partial t} + V_r \frac{\partial V_r}{\partial r} + \frac{V_\phi}{r} \frac{\partial V_r}{\partial \phi} - \frac{V_\phi^2}{r} + V_z \frac{\partial V_r}{\partial z} \right) = F_r - \frac{\partial P}{\partial r} + \mu \left(\frac{\partial^2 V_r}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial V_r}{\partial r} - \frac{V_r}{r^2} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 V_r}{\partial \phi^2} - \frac{2}{r^2} \frac{V_\phi}{\partial \phi} + \frac{\partial^2 V_r}{\partial z^2} \right) \quad (1)$$

ϕ - yönünde,

$$\rho \left(\frac{\partial V_\phi}{\partial t} + V_r \frac{\partial V_\phi}{\partial r} + \frac{V_\phi}{r} \frac{\partial V_\phi}{\partial \phi} + \frac{V_r V_\phi}{r} + V_z \frac{\partial V_\phi}{\partial z} \right) = F_\phi - \frac{1}{r} \frac{\partial P}{\partial \phi} + \mu \left(\frac{\partial^2 V_\phi}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial V_\phi}{\partial r} - \frac{V_\phi}{r^2} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 V_\phi}{\partial \phi^2} + \frac{2}{r^2} \frac{V_r}{\partial \phi} + \frac{\partial^2 V_\phi}{\partial z^2} \right) \quad (2)$$

z - yönünde,

$$\rho \left(\frac{\partial V_z}{\partial t} + V_r \frac{\partial V_z}{\partial r} + \frac{V_\phi}{r} \frac{\partial V_z}{\partial \phi} + V_z \frac{\partial V_z}{\partial z} \right) = F_z - \frac{\partial P}{\partial z} + \mu \left(\frac{\partial^2 V_z}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial V_z}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 V_z}{\partial \phi^2} + \frac{\partial^2 V_z}{\partial z^2} \right) \quad (3)$$

denklemleri elde edilir.

Zorlanmış vorteks hareketinde, V_r , V_z , F_r , F_ϕ , $\frac{\partial V_\phi}{\partial \phi}$ ifadelerinin sıfır olduğu ve hareketin zamana bağlı olmadığı göz önüne alınırsa, yukarıda verilen (1), (2) ve (3) nolu eşitlikler önemli oranda basitleşir.

r - yönündeki eşitlik,

$$\rho \left(-\frac{V_\phi^2}{r} \right) = -\frac{\partial P}{\partial r} \quad (4)$$

ϕ - yönündeki eşitlik,

$$\frac{1}{r} \frac{\partial P}{\partial \phi} = 0 \quad (5)$$

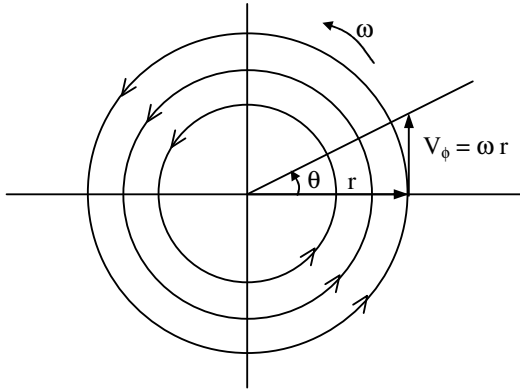
z – yönündeki eşitlik,

$$\frac{\partial P}{\partial z} = -\rho g \quad (6)$$

haline gelir. (4), (5) ve (6) ifadeleri incelendiğinde basıncın r ' nin ve z 'nin fonksiyonu olduğu görülür ($P = P(r,z)$). Silindirik içindeki basınç ifadesini hesaplamak isteyelim.

Şekil 2 'de görüldüğü gibi zorlanmış vortekste ϕ yönündeki hız ifadesi aşağıdaki şekilde ifade edilebilir (Katı cisim hareketi).

$$V_\phi = \omega r \quad (7)$$



Şekil 2. Zorlanmış vortekste akım çizgileri

(7) nolu ifadeyi (4) nolu denklemde yerine koyarsak aşağıdaki basınç ifadesi elde edilir.

$$\frac{\partial P}{\partial r} = \rho \frac{\omega^2 r^2}{r} = \rho \omega^2 r \quad (8)$$

Yukarıdaki ifadenin integrali alınarak,

$$\int_{P_1}^P dP = \int_{r_1}^r \rho \omega^2 r dr$$

$$P - P_1 = \rho \frac{\omega^2 (r^2 - r_1^2)}{2} + c(z) \quad (9)$$

(9) eşitliği elde edilir. $c(z)$ fonksiyonunun değerini tespit etmek için (6) nolu eşitliği kullanalım:

$$\frac{\partial P}{\partial z} = -\rho g$$

$$\frac{\partial P}{\partial z} = -\rho g = c'(z)$$

Bu eşitlik integre edilirse,

$$c(z) = -\rho g(z - z_1) \quad (10)$$

elde edilir. Eş. (10), Eş. (9) 'da yerine konulursa, $P = P(r,z)$ ifadesinin genel şekli bulunur.

$$P - P_1 = \rho \frac{\omega^2 (r^2 - r_1^2)}{2} - \rho g(z - z_1) \quad (11)$$

Eğer 1 noktası serbest yüzeyde eksen üzerinde alınır, $P_1 = P_{atm}$, $r_1 = 0$, $z_1 = h_1$ olur. Bunun sonucu olarak Eş. (11) şu hale gelir.

$$P - P_{atm} = \rho \frac{\omega^2 r^2}{2} - \rho g(z - h_1) \quad (12)$$

Sıvı yüzeyinde basıncın sabit ve atmosfer basıncına eşit olduğu düşünülürse ($P = P_{atm}$),

$$0 = \rho \frac{\omega^2 r^2}{2} - \rho g(z - h_1) \quad (13)$$

Bu eşitlik düzenlenirse serbest yüzey denklemi elde edilir.

$$z = h_1 + \frac{(\omega r)^2}{2g} \quad (14)$$

Zorlanmış vorteks hareketi esnasında hacmin sabit kaldığı düşünülürse h_1 ifadesi h_0 , R bilinenleri cinsinden yazılabilir.

Dönme olmadığı durumdaki sıvı hacmini yazalım.

$$V = \pi R^2 h_0 \quad (15)$$

Dönme esnasındaki sıvı hacmini yazalım.

$$V = \int_0^R \int_0^z 2\pi r dz dr = \int_0^R 2\pi r z dr \quad (16)$$

$$V = \int_0^R 2\pi \left(h_1 + \frac{\omega^2 r^2}{2g} \right) r dr \quad (17)$$

Buradan,

$$V = \pi \left(h_1 R^2 + \frac{\omega^2 R^4}{4g} \right) \quad (18)$$

ifadesi elde edilir. Dönme olmadığı durumdaki sıvı hacmi, Eş. (18) deki hacme eşit olduğu düşünülürse, h_1 için şu eşitlik bulunur.

$$h_1 = h_0 - \frac{(\omega R)^2}{4g} \quad (19)$$

Sonuç olarak sıvının serbest yüzeyinin eşitliği için, aşağıdaki ifade elde edilir.

$$z = h_0 - \frac{(\omega R)^2}{2g} \left[\frac{1}{2} - \left(\frac{r}{R} \right)^2 \right] \quad (20)$$

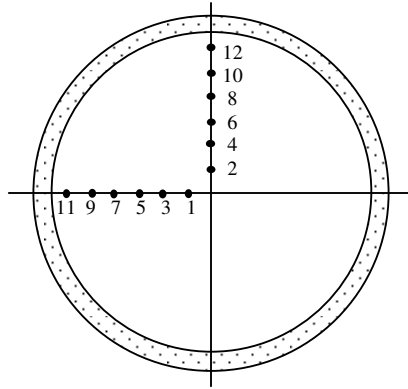
Serbest yüzeyin eğimini bulmak için (20) nolu ifadenin r 'ye göre türevi alınır. Bu durumda,

$$\frac{dz}{dr} = \frac{\omega^2 r}{g} \quad (21)$$

elde edilir.

4. TEKNİK VERİLER

Zorlanmış vorteksin oluştuğu silindirik kaba ait basınç ölçüm noktaları Şekil 3 'de ve radyal yöndeki uzaklıkları Tablo 1 'de verilmektedir.



Şekil 3. Silindir kabın tabanındaki basınç ölçüm noktaları

Tablo 1. Silindir tabanındaki basınç ölçüm noktalarının radyal yönde merkeze olan uzaklıkları

No	R (mm)
1	30
2	40
3	50
4	60
5	70
6	80
7	90
8	100
9	110
10	120
11	130
12	140

Ayrıca deneyde kullanılan silindire ait bazı veriler aşağıda verilmiştir:

Silindir iç yarıçapı (R)	: 145 mm
Silindirin içindeki su yüksekliği (h_0)	: 300 mm
Yerçekimi ivmesi (g)	: 9.81 m/s ²
Elektrik motoru devir sayısı (n)	: 1000 dev/dak
Dişli oranı	: 6/31

5. CİHAZ VE GEREÇLER

- Silindir kap
- Elektrik motoru
- Redüktör
- Basınç ölçüm aleti

6. DENEYİN YAPILIŞI VE İSTENENLER

Silindir içinde belli yükseklikteki su, tabandaki döner bir pleyt (kanatçık) vasıtası ile ω açısal hızı ile tahrik edilir.

Belli bir süre sonra, tabandan verilen hareket bütün sıvı içinde yayılır ve sıvı katı bir cisim gibi dönmeye başlar. Bu esnada sıvı içinde tabandan basınç ölçümü yapılır ve ölçüm panosunda radyal yönde bir dağılımın olduğu gözlenir.

1. Deney esnasında basınç ölçüm panosundaki basınç değerlerini mmss olarak kayıt ediniz. Bu değerleri teorik değerlerle karşılaştırınız.
2. Ölçülen basınç değerlerini kullanarak serbest yüzeyin eğrisini bulunuz ve bu eğriyi teorik olarak elde edilen eğri ile karşılaştırınız.

Bulduğunuz bütün sonuçları ve grafikleri düzgün bir şekilde deney yazım formatına uygun olarak hazırlayınız. Birimlere dikkat ediniz. Bulduğunuz sonuçların birimlerini yazmayı unutmayınız. Bulduğunuz deneysel ve teorik değerler arasındaki farkı yorumlayınız.

DENEY 5

SİLİNDİRLER ÜZERİNE ETKİ EDEN SÜRÜKLEME KUVVETLERİNİN BELİRLENMESİ

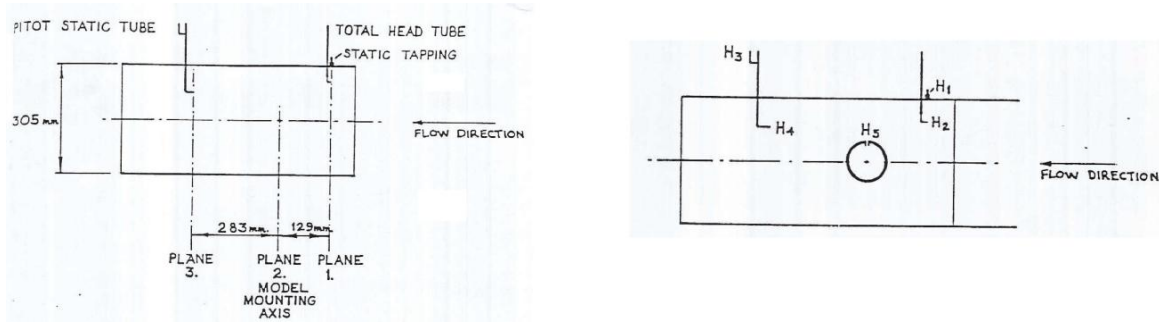
AMAC

Bu deneyin amacı, silindir üzerindeki statik basınç dağılımını, akışkan tarafından silindir üzerine uygulanan kuvveti ve silindir yüzeyindeki sürüklenme katsayısını belirlemektir. Deneyler farklı Reynolds sayıları ile yapılacaktır.

EKİPMAN

Bu deneyi gerçekleştirmek için bir açık devre tipi rüzgar tüneli kullanılmaktadır. Hava, uygun şekil verilmiş ve koruyucu bir ızgara ile kaplanmış bir alandan tünele girer. Deney sisteminin test kısmı şeffaf cam ile kaplanmıştır. Test kısmı kesit boyutları 305 mm x 305 mm'dir. Test kısmından sonra, difüzör ve eksenel fan bulunmaktadır. Fan çıkışında akış hızı çift kelebek vana sayesinde kontrol edilmektedir. Fan susturucu ile çalışmaktadır.

Test bölümünde, bir adet toplam basınç tüpü, bir adet pitot-satik tübü, 24 bölümlük su manometresi, ve 64 mm çapında 305 mm uzunluğunda bir silindir bulunmaktadır. Silindir, basınç ölçüm uçları (tapları) ile birlikte yerleştirilmiştir (Şekil 1).

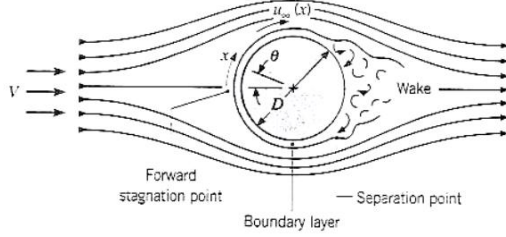


Şekil 1. Çalışma bölümünün şematik olarak görünümü

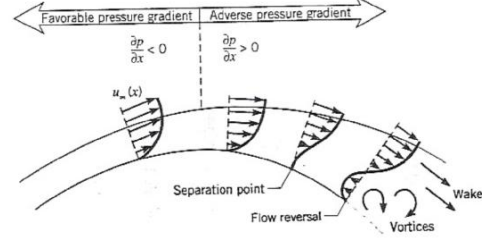
TEORİ

Şekil 2' de görüldüğü gibi, serbest akış ön durma noktasında basınç artışı ile birlikte durmaktadır. Bu noktadan sonra, basınç artan x (akım çizgisi koordinatı) yönünde azalır, ve sınır tabaka uygun bir basınç gradyanı etkisiyle gelişir ($dp/dx < 0$). Bununla birlikte, basınç silindirin sonunda en düşük değerine ulaşmakta ve silindirin arka kısmına doğru, sınır tabaka oluşumu ters yönde bir basınç gradyanının ($dp/dx > 0$) etkisinde kalır. Akışkan durma noktasındaki $u=0$ dan başlayarak, uygun basınç gradyanı ($dp/dx < 0$ olduğunda $du/dx > 0$) ile hızlanmaktadır, $dp/dx=0$ olduğunda en yüksek hıza ulaşır, ve ters basınç gradyanı sonucunda ise ($dp/dx > 0$ olduğunda $du/dx < 0$) yavaşlar. Akışkan yavaşlarken, yüzeydeki hız gradyanı, $(\partial u / \partial y)_{y=0}$, sıfır olmaktadır (Şekil 3). Ayrılma noktası denilen bu yerde, yüzeye yakın akışkanın basınç gradyanını yenmek için yeterli momentumu

yoktur ve aşağı yöndeki hareketi olanaksızdır. Arkadan gelen akışkan, geri yöndeki akışa engel olduğu için, sınır tabaka ayrılması oluşur. Bu noktada sınır tabaka yüzeyden ayrılır ve aşağı akış yönünde bir art bölge oluşur. Bu bölgedeki akış, girdapların oluştuğu, ve düzensiz bir akış olarak karakterize edilir.



Şekil 2. Silindir üzerinde akan akışta sınır tabaka oluşumu ve ayrılma



Şekil 3. Silindir üzerindeki akışta sınır tabakasının ve hız profillerinin şematik gösterimi

Reynolds sayısına bağlı olan sınır tabakanın laminierden türbülansa geçişi, ayrılma noktasının konumundan büyük ölçüde etkilenir. Silindir için karakteristik uzunluk çapı D ve Reynolds sayısı,

$$Re_D = \frac{\rho u D}{\mu} = \frac{u D}{\nu} \quad (1)$$

Şeklinde ifade edilir. Burada, ρ havanın yoğunluğu olarak ifade edilir ve değeri ise 1.24 kg/m^3 dür. u hızı Bernoulli denkleminde aşağıdaki şekilde hesaplanabilmektedir:

$$u = (2\Delta h / \rho)^{1/2} \quad (2)$$

Rüzgar tüneli içerisindeki ölçülen basınç düşümü mmSS ile ifade edilir.

$$1 \text{ mm H}_2\text{O} = 9.81 \text{ N/m}^2$$

Burada, Δh dinamik basıncı ifade etmektedir ve 1 nolu düzlemde elde edilmektedir.

$$\Delta h = H_2 - H_1 \quad (3)$$

3 nolu düzlemde ise,

$$\Delta h = H_4 - H_3 \quad (4)$$

Türbülans sınır tabakada akışkanın momentumu, laminier sınır tabakadaki akışkanın momentumundan büyük olduğu için, laminierden türbülansa geçişin ayrılmayı daha ilerideki bir noktaya erteleme beklenir. Ortalama hız değeri için sürtünme kuvveti değeri bulunurken, model üzerindeki blokaj etkisinin oluşmasına izin verildiğine dikkat edilmelidir. Bu durum için düzeltme faktörü 1.06' dır.

Yukarıda sözü edilen olgular, silindire etki eden F_D sürüklenme kuvvetini büyük ölçüde etkiler. Bu kuvvetin iki bileşeni vardır. Bunlardan birincisi sınır tabaka yüzey kayma gerilmesinden kaynaklanır ve sürtünme direnci olarak adlandırılır. Diğer ise, art bölgenin oluşumundan kaynaklanan akış yönündeki basınç farkı ile ilişkilidir ve biçim direnci veya basınç direnci olarak bilinir. Sürüklenme kuvveti aşağıdaki şekilde belirlenebilir;

$$F_3 = (P_3 - P_1)A + \rho A(u_1^2 - u_3^2) \quad (5)$$

burada $P_1 = H_1 g$ ve $P_3 = H_3 g$ olarak elde edilir. Sürüklenme kuvvetinin hesaplanmasından sonra, sürüklenme katsayısı aşağıdaki gibi hesaplanabilir;

$$C_D = F_D / A_f (\rho u^2 / 2) \quad (6)$$

burada A_f , silindirin akışa dik düzlem üzerindeki izdüşüm yüzey alanını (serbest akış yönü hız bileşenine dik doğrultudaki izdüşüm alanı), F_D ise akışkan tarafından silindire etki eden sürüklenme kuvvetini ifade etmektedir.

DENEYİN YAPILIŞI:

Deneyler, silindir yüzeyi boyunca basınç değişimini farklı Reynolds sayıları için elde etmek amacıyla yapılacaktır. Ölçülen basınç değerleri kullanılarak, sürüklenme katsayısı, C_D , elde edilecektir. Deneyi tamamlamak için, aşağıdaki işlemler akışkanın (havanın) farklı hızları (Reynolds sayısı) için tekrar edilecektir.

- Silindiri açılı pozisyonda yerleştiriniz?
- Tünelin çıkış kısmında bulunan çift kelebek vanayı istenilen Reynolds sayısını sağlayacak şekilde ayarlayın.
- Silindiri döndürerek farklı açılı pozisyonlar için silindir üzerindeki farklı noktalarda basınç değerlerini ölçün.
- Havanın hızını değiştirerek (kelebek vananın pozisyonunu değiştirerek) yukarıdaki işlemleri tekrarlayın.

VERİ ANALİZİ

1. Dairesel silindir çevresindeki basınç dağılımını çizin (en yüksek hız değeri için bir grafik)
2. Silindir çevresindeki basınç dağılımı H_5 değerinin θ değerleri ile değişiminin grafiğini çizdiriniz ve basınç değerinin minimum olduğu yerde ayrılma noktasının açısı değerini belirleyiniz (bir grafik üzerinde üç doğru çizin)
3. Denklem 5' i temel denklemleri (Momentum ve süreklilik denklemleri) kullanarak elde ediniz.
4. Sürüklenme kuvvetinin Reynolds sayısı ile değişiminin grafiğini çizin.
5. Artan Reynolds sayıları ile ayrılma açısı nasıl bir değişim gösterir?
6. Artan Reynolds sayısı ile sürtünme ve ayrılma değerleri nasıl etkilenir?
7. Sürüklenme kuvveti, C_D , değerinde sınır tabaka geçişinden dolayı büyük bir düşme meydana gelir. Ayrılma, art bölge ve biçim direnci değeri nasıl etkilenir?
8. Sınır tabaka geçişinin olup olmadığını açıklayın.
9. Rüzgar tünelinde meydana gelen blokajı belirleyin.
10. Silindirin çapı 64 mm' den daha büyük olursa, ne olur?
11. Statik basınç duvar üzerindeki statik basınç tablalarından veya statik basınç probundan yararlanılarak ölçülmüştür. Bu iki yöntem arasındaki fark nedir?

SİMGELER

A	Tünelin kesit alanı	m^2
A_f	Silindirin ön yüz alanı	m^2
C_D	Sürtünme kuvveti	
D	Silindirin çapı	m
F_D	Sürtünme kuvveti	N
H_1	Çalışma alanına girişteki statik basınç	mmH ₂ O
H_2	Çalışma alanına girişteki toplam basınç	mmH ₂ O
H_3	Modelin alt kısmındaki statik basınç	mmH ₂ O
H_4	Modelin alt kısmındaki toplam basınç	mmH ₂ O
H_5	Model üzerinde basınç tapındaki statik basınç	mmH ₂ O
H_θ	Modelin θ açısı kadar döndürülmesindeki statik basınç	mmH ₂ O
Δh	Dinamik basınç	mmH ₂ O
Re	Silindir için Reynolds sayısı	
u	Hız	m/s
θ	Üst tarafındaki pozisyonadaki basınç tabından itibaren döndürülen silindirin açısı	deg
ρ	Havanın yoğunluğu	kg/m ³
ν	Havanın kinematik viskozitesi	m ² /s
μ	Havanın dinamik viskozitesi	kg/ms

KAYNAKLAR

1. Incropera, F.P. and Dewitt, D.P., “Introduction to Heat Transfer”, Third Edition, John Wiley and Sons, 1996.
2. Fox, R.W. and McDonald, A.T., “Introduction to Fluid Mechanics”, Fourth Edition, John Wiley and Sons, 1994.
3. Cengel, Y.A., “Heat Transfer”, Mc Graw Hill, 1998.

H ₁ =	(mmH ₂ O)
H ₂ =	(mmH ₂ O)
H ₃ =	(mmH ₂ O)
H ₄ =	(mmH ₂ O)
θ (deg)	H ₅ (mmH ₂ O)
0	
20	
40	
60	
80	
100	
120	
140	
160	
180	

H ₁ =	(mmH ₂ O)
H ₂ =	(mmH ₂ O)
H ₃ =	(mmH ₂ O)
H ₄ =	(mmH ₂ O)
θ (deg)	H ₅ (mmH ₂ O)
0	
20	
40	
60	
80	
100	
120	
140	
160	
180	

H ₁ =	(mmH ₂ O)
H ₂ =	(mmH ₂ O)
H ₃ =	(mmH ₂ O)
H ₄ =	(mmH ₂ O)
θ (deg)	H ₅ (mmH ₂ O)
0	
20	
40	
60	
80	
100	
120	
140	
160	
180	
200	
220	
240	
260	
280	
300	
320	
340	
360	

DENEY - 6

DOĞAL KONVEKSİYON İLE ISI TRANSFERİ

1. GİRİŞ

Bir çok endüstriyel uygulamada ısı transferi doğal konveksiyon yolu ile gerçekleşmektedir. Bu uygulamalarda ısı transferi katsayısının belirlenmesi sistem tasarımı bakımından çok önemlidir.

Bu deneyin amacı dikey bir kanalın yan duvarına yerleştirilen kanatcıklı bir yüzyedeki ısı transferinin incelenmesi ve bu yüzyedeki ısı transferi katsayısının belirlenmesidir.

2. TEORİ

Bir yüzey ile bu yüzeyin üzerinden geçen akışkanın sıcaklıklarının farkı nedeniyle meydana gelen ısı transferi Newton'un soğutma kanunu kullanılarak,

$$Q = h.A.(T_{\text{yüzey}} - T_{\text{akışkan}}) \quad (1)$$

şeklinde ifade edilir. Burada

Q : Konveksiyon ısı transferi (W),

h : Yüzeyin konveksiyon ısı transferi katsayısı (W/m^2K),

A : Isı transferi yüzey alanı ($A = 0,13 m^2$),

$T_{\text{yüzey}}$: Yüzey sıcaklığı (K),

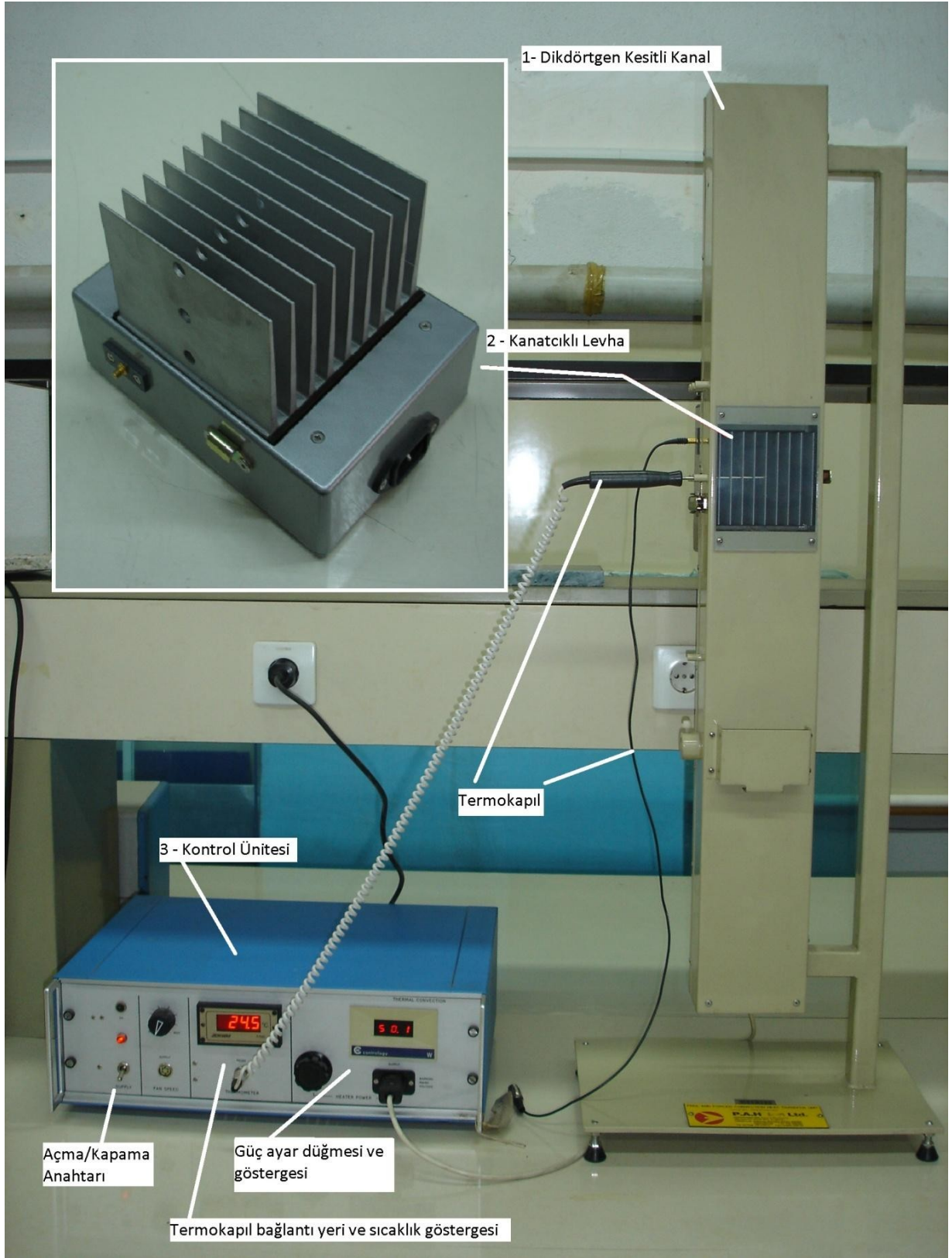
$T_{\text{akışkan}}$: Akışkan sıcaklığı (K)'dır.

Eğer bir yüzeyden olan konveksiyon ısı transferinin miktarı, yüzey sıcaklığı ve akışkan sıcaklığı biliniyorsa o yüzyedeki ısı transferi katsayısı Denklem (1) kullanılarak hesaplanabilir.

3. DENEY DÜZENEGİ

Bu deneyde kullanılan deney düzeneği Şekil 1. de gösterilmiştir.

Deney düzeneği dikdörtgen kesitli bir kanal (1), bu kanal içerisine yerleştirilen kanatcıklı levha (2) ve güç kontrolü ile sıcaklık ölçümlerini yapmakta kullanılan bir kontrol ünitesinden oluşur (3). Sıcaklık ölçümlerinin alınmasında termokapılardan faydalanılır (4).



Şekil 1. Deney Düzeneği

4. DENEYİN YAPILIŞI

Deneyin yapılışında izelenecek yol aşağıda açıklanmıştır.

1. Kanatçıklı levha kanal içerisindeki bölmeye yerleştirilir ve sabitlenir.
2. Kontrol ünitesi ile kanatçıklı levhanın güç bağlantıları yapılır.
3. Kontrol ünitesinin fişi güç kaynağına bağlanır ve üzerinde bulunan açma kapama anahtarı açılır.
4. Isıtıcı gücü kontrol ünitesi üzerinden istenilen değere ayarlanır.
5. Sistem sürekli rejim şartlarına gelene kadar plaka yüzey sıcaklığı belirli aralıklarda ölçülerek kaydedilir. (Ek 1.)
6. Sistem sürekli rejim şartlarına geldikten sonra sırasıyla A, B, C, noktalarındaki sıcaklıklar ölçülür. (Ek 1.)
7. Yukarıdaki işlemler farklı ısı akıları için tekrarlanır.
8. Deney sonunda
 - a. Kontrol ünitesi üzerindeki açma kapama anahtarı kapatılarak güç ünitesinin fişi çekilir.
 - b. Kontrol ünitesi ile güç kaynağı arasındaki bağlantı sökülür.
 - c. Kanatçıklı levha kanal içerisinden çıkartılır.

Not: Deney sırasında elektrik ile ilgili güvenlik kurallarına uyulması zorunludur. Bunun yanı sıra özellikle kanatçıklar ısınacağından montaj ve sökme işlemlerinde sıcaklıklara dikkat edilmesi gerekmektedir.

5. SONUÇLAR

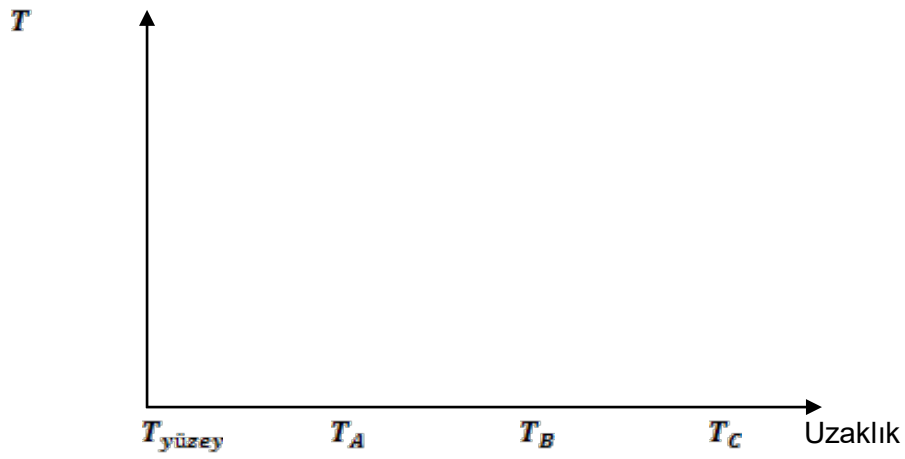
Deney sonucunda çizilmesi istenilen grafikler ve yapılması istenilen hesaplamalar aşağıda belirtilmiştir.

1. Sistem sürekli rejim şartlarına gelirken ölçülen sıcaklıkları kullanarak *Plaka yüzey sıcaklığı - Zaman* grafiğini (Ek 2.) çiziniz. (Her ısı akısı için ayrı ayrı çizilecektir.)
2. Sistem sürekli rejim şartlarına geldikten sonra ölçülen sıcaklıkları kullanarak *Kanatçık yüzey sıcaklığı - Uzaklık* grafiğini (Ek 3.) çiziniz. (Her ısı akısı için ayrı ayrı çizilecektir.)
3. Sistem sürekli rejim şartlarına geldikten sonra ölçülen sıcaklıkları kullanarak Ortalama ısı transferi katsayısını hesaplayınız. (Her ısı akısı için ayrı ayrı hesaplanacaktır.)
4. *Isı transfer katsayısının - Isı akısı* ile değişimi grafiğini (Ek 4.) çiziniz.

Ek 1. Ölçüm tabloları

Deney No:				
Q:				
Zaman			...	
$T_{yüzey}$			...	

Deney No	Q	$T_{giriş}$	$T_{yüzey}$	T_A	T_B	T_C

Ek 2. Plaka yüzey sıcaklığı - Zaman grafiği**Ek 3. Kanatçık yüzey sıcaklığı - Uzaklık grafiği****Ek 4. Isı transfer katsayısının - Isı akısı ile değişimi grafiğini**