

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ**  
**MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ**  
**MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ**

**MM 410 MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ LABORATUVARI II**

**2012/2013 II. DÖNEM**

**DERS İÇERİĞİ**

Öğrencilere, makina mühendisliğinin “termodinamik” ve “enerji” 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**

Deneylere katılım en az % 80 olup, yapılacak toplam 6 deneyin en az 5’ine girmek zorunludur.

**DERS BAŞARI NOTU**

- Her Deney Eşit Ağırlıktadır. **Yıl Sonu Ders Başarı Notu, Deney Notlarının Ortalamasından Oluşmaktadır.**

**DERS KİTABI**

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

**YARARLANILABİLECEK 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.

**DERS SORUMLULARI**

Y.Doç.Dr. Hüseyin Topal (NÖ-01)  
Öğr.Gör.Dr. Tolga Pirasacı (İÖ-01)

# DENEYLERDE UYGULANACAK ESAS VE KURALLAR

1. Toplam deney sayısı 6 (altı) olup 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 sitesininin (<http://mf-mm.gazi.edu.tr/posts?type=news>) **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 görevlisi'nin 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 sayfası
- İçindekiler
- Semboller
- Özet
- Giriş
- Teori ve veri toplama işlemi
- 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 Görevlisi'ne imza karşılığında ve en geç deneyin yapıldığı gün **saat 17:30'a** kadar teslim edilecektir. Zamanında teslim edilmeyen deney raporlarından öğrenci başarısız sayılacaktır. Bu ana rapor, sırasıyla aşağıdaki konu başlıklarını içerecek şekilde olmalıdır.

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

## **MM410 MAKİNA MÜH. LAB. II DENEY SORUMLULARI (2013)**

### **DENEY-1: TEK SİLİNDİRLİ DİZEL MOTORUNUN PERFORMANS PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ**

SORUMLU: Arş. Gör. Salih KARAASLAN (Oda: 449)

DENEYİN YAPILACAĞI LAB. : Motorlar Laboratuvarı

### **DENEY-2: SİLİNDİR ÜZERİNE ETKİ EDEN SÜRÜKLEME KUVVETİNİN BELİRLENMESİ**

SORUMLU: Arş. Gör. Tamer ÇALIŞIR (Oda: LDA ve PIV Laboratuvarı, B29)

DENEYİN YAPILACAĞI LAB. : Deneysel ve Sayısal Isı Transferi Laboratuvarı

### **DENEY-3: DOĞAL KONVEKSİYONLA ISI TRANSFERİ ANALİZİ**

SORUMLU: Arş. Gör. Mustafa ALPTEKİN (Oda: Isıl Güç Laboratuvarı)

DENEYİN YAPILACAĞI LAB. : Akışkanlar Mekaniği Laboratuvarı

### **DENEY-4: ZORLANMIŞ VORTEKS DENEYİ**

SORUMLU: Arş. Gör. MÜCAHİT ÇİFCİ (Oda No: Isıl Güç Laboratuvarı)

DENEYİN YAPILACAĞI LAB. : Akışkanlar Mekaniği Laboratuvarı

### **DENEY-5: SOĞUTMA KULESİ PERFORMANSININ BELİRLENMESİ**

SORUMLU: Arş. Gör. Murat ERBAŞ (Oda: Isı Bilimleri Laboratuvarı)

DENEYİN YAPILACAĞI LAB. : Isı Bilimleri Laboratuvarı

### **DENEY-6: HVAC SİSTEMLERİNDE ATIK ISI GERİ KAZANIMI**

SORUMLU: Arş. Gör. Dr. M. Zeki YILMAZOĞLU (Oda: Isıl Güç Laboratuvarı)

DENEYİN YAPILACAĞI LAB. : Isıl Güç Laboratuvarı

### **DENEY KOORDİNATÖRÜ :**

Arş. Gör. Dr. Tolga DEMİRCAN (Oda No: 406)

### **ÖĞRETİM ÜYELERİ :**

Y. Doç. Dr. Hüseyin TOPAL (Oda No: 423)

Öğr. Gör. Dr. Tolga PIRASACI (Oda: No: 401)

**MM 410 MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ LABORATUVARI II**  
**2012/2013 II. DÖNEM DENEY GRUPLARI (NÖ ve İÖ)**

| <b>G1</b> |                       |
|-----------|-----------------------|
| 41155049  | ÇAĞLAR YARDIMCI       |
| 61150087  | MUSTAFA ÇEVİK         |
| 61155016  | AHMET SERCAN GAZİTEPE |
| 71155005  | ERKAN ARICA           |
| 71155020  | ÖZGÜR EKİN FELEK      |
| 71155022  | ADEM GÜLAL            |

| <b>G2</b> |                      |
|-----------|----------------------|
| 71155032  | MURAT LAÇİN          |
| 71155048  | M. GÜRKAN YILDIRIM   |
| 81150007  | VELİ ASICI           |
| 81150012  | TUNAHAN AYDOĞAN      |
| 81150042  | SERKAN CAN GÜNTÜRKÜN |
| 81150083  | OSMAN TUNÇ           |

| <b>G3</b> |                   |
|-----------|-------------------|
| 81150501  | CAFER ALKAN       |
| 81155002  | TOLGA AKIS        |
| 81155004  | YUSUF AKSOY       |
| 81155006  | BURAK AKYAKA      |
| 81155010  | İSMAİL BURAK ATAĞ |
| 81155015  | GÖZDE BAYKUS      |

| <b>G4</b> |                    |
|-----------|--------------------|
| 81155016  | GÜRHAN BEKAR       |
| 81155017  | HASAN BÖLÜKBASI    |
| 81155022  | UGUR GÖRKEM ÇAKICI |
| 81155023  | EMRE ÇEKİÇ         |
| 81155027  | FATİH DADAK        |
| 81155036  | EMRE DÖNÜS         |

| <b>G5</b> |                    |
|-----------|--------------------|
| 81155044  | MEHMET ALP ERTEMİR |
| 81155051  | ÜMİT MUFİT GÜZEY   |
| 81155056  | METİN KAYA         |
| 81155060  | EMRE KOÇOĞLU       |
| 81155062  | EVİRİM KOYUK       |
| 81155067  | EREN LAYIK         |
| 81155068  | SAMİ MANTAR        |

| <b>G6</b> |                     |
|-----------|---------------------|
| 81155069  | MÜSERREF MERCAN     |
| 81155071  | GÖKHAN OKSAK        |
| 81155073  | ÖZGE ÖZCAN          |
| 81155076  | OGUZ ÖZKOÇAK        |
| 81155077  | CEM ÖZMEN           |
| 81155086  | ZEYNEL TERLEMEZOĞLU |
| 81155087  | NURİ MERT TUZCU     |

| <b>G7</b> |                    |
|-----------|--------------------|
| 81155092  | FATİH YILDIZ       |
| 91150014  | ERKAN BAYIR        |
| 91150020  | SERKAN CİHANGİR    |
| 91150026  | AHMET ÇAGKAN ÇEVİK |
| 91150032  | GÖRKEM DEMİR       |
| 91150034  | HALİM DİNCER       |

| <b>G8</b> |                    |
|-----------|--------------------|
| 91150036  | İSMAİL EROL        |
| 91150049  | MEHMET KOÇAK       |
| 91150093  | GÖKTUG ZORLU       |
| 91155002  | A. GÖKHAN ADIYAMAN |
| 91155005  | OGULCAN AKGÜN      |
| 91155006  | OGUZHAN AKSOY      |

| <b>G9</b> |                  |
|-----------|------------------|
| 91155007  | ORKUN AKSOY      |
| 91155008  | ERÇİN ERDİ AKTAŞ |
| 91155018  | ÖZGÜN BAL        |
| 91155019  | BAHADIR BASARAN  |
| 91155021  | ALİ BAYRAK       |
| 91155023  | KUTAY BEYAZGÜL   |

| <b>G10</b> |                     |
|------------|---------------------|
| 91155027   | ONUR BOZKUS         |
| 91155029   | PELİN CABADAG       |
| 91155038   | OSMAN ALP DİLSİZ    |
| 91155042   | ALİ EVSİLE          |
| 91155043   | ARDA GERDAN         |
| 91155052   | BAHADIR HAKTAN KAYA |
| 91155055   | ADEM KETEN          |

| <b>G11</b> |                      |
|------------|----------------------|
| 91155057   | BİLGE KAGAN KIZILSU  |
| 91155060   | AYKUT KURBAN         |
| 91155063   | HAMDİ HAKAN MUTAF    |
| 91155068   | MEHMET SERTAÇ ÖZESER |
| 91155069   | HASAN GÖKTUG ÖZSARI  |
| 91155075   | KAAN SOYER           |
| 91155078   | EFE TEMEL            |

| <b>G12</b> |                    |
|------------|--------------------|
| 91155079   | BERKE TEZEREN      |
| 91155080   | DAMLA TOPÇU        |
| 91155081   | AHMET YAGIZ TUNCEL |
| 91155082   | MERT ÇAĞLAR TURGUT |
| 91155085   | MERT YALÇIN        |
| 91155801   | AHMET SEZER        |
| 91155802   | EGEMEN EROL        |

| G13       |                     |
|-----------|---------------------|
| 061150024 | EMRAH ÇELİK         |
| 061150050 | MEHMET SAMET KÖYMEN |
| 061150059 | ARİF SELAMOĞLU      |
| 061155013 | SEDAT ERTAŞ         |
| 071150009 | ÖZKAN AVCI          |
| 071150023 | ÖMER CEMALOĞLU      |

| G14       |                |
|-----------|----------------|
| 071150032 | COŞKUN ERDURAN |
| 071150040 | BERK GÜRKAN    |
| 071150056 | ARDA ÖNER      |
| 071150076 | BURAK VARİCİ   |
| 071155040 | CAN SOYER      |
| 071155803 | UĞUR ALTUNTAŞ  |

| G15       |                  |
|-----------|------------------|
| 081150011 | RÜYA AYDIN       |
| 081150017 | HAYATİ BOZBIYIK  |
| 081150020 | MELİH CAN        |
| 081150022 | RECEP CANDAN     |
| 081150024 | ARİF SEFA CÖMERT |
| 081150025 | UĞUR ÇAKIR       |

| G16       |                     |
|-----------|---------------------|
| 081150028 | MESUT ÇELİK         |
| 081150029 | CİHAN BERK ÇEMBERCİ |
| 081150030 | YÜKSEL ÇERÇİ        |
| 081150032 | ALP DİNÇER          |
| 081150033 | ERSİN DÖNMEZBİLEK   |
| 081150035 | ERCAN EREN          |

| G17       |                    |
|-----------|--------------------|
| 081150036 | E. HASAN ERGELEN   |
| 081150038 | ONUR GÖKÇE         |
| 081150047 | VOLKAN KAYA        |
| 081150055 | ONAT ÇAĞATAY MUŞTA |
| 081150058 | ERHAN ÖĞÜT         |
| 081150060 | FURKAN ÖZDEMİR     |

| G18       |                     |
|-----------|---------------------|
| 081150061 | ELİF DENİZ ÖZKAN    |
| 081150062 | HACI HÜSEYİN ÖZTÜRK |
| 081150064 | MURAT PEHLİVANOĞLU  |
| 081150066 | SERDAR PİRSELİMOĞLU |
| 081150067 | HASAN ALİ SAVAŞ     |
| 081150072 | HAKAN ŞAHİN         |

| G19       |                  |
|-----------|------------------|
| 081150073 | SÜLEYMAN ŞAHİN   |
| 081150074 | EREN ŞALT        |
| 081150079 | AKİF TAŞKIN      |
| 081150081 | BAHAR TOYGAR     |
| 081150082 | ÖZGÜR TUNCEL     |
| 081150084 | SEBAHATTİN TURAN |

| G20       |                   |
|-----------|-------------------|
| 081150085 | ZEYNEL EREN TUTAR |
| 081150508 | ZELKİF TANSEL     |
| 081155003 | ASLAN AKKILIÇ     |
| 081155007 | TAYLAN ALINCAK    |
| 081155020 | DUYGU CEYLAN      |
| 081155021 | TUĞÇE ŞAHİN       |

| G21       |                     |
|-----------|---------------------|
| 081155028 | BURAK DELİCE        |
| 081155032 | OĞUZ DİKİCİ         |
| 081155041 | TAYLAN ERDEM        |
| 081155053 | TAYLAN CEM KAHRAMAN |
| 081155058 | YUSUF KIZILKOCA     |
| 081155072 | AYTAÇ ÖKSÜZ         |

| G22       |                        |
|-----------|------------------------|
| 081155075 | ENES ÖZKAN             |
| 081155084 | MUSTAFA ŞENGÜL         |
| 081155089 | H. F. YAVUZ YALÇINKAYA |
| 081155090 | BIKEM YAZICI           |
| 091150001 | GÜLNUR AÇIKGÖZ         |
| 091150002 | CİHAN AYDIN AĞDAŞ      |

| G23       |                       |
|-----------|-----------------------|
| 091150005 | MUHAMMET ALTUN        |
| 091150009 | SERKAN ARSLAN         |
| 091150010 | ANIL GİZAY ATAY       |
| 091150012 | KORAY BAL             |
| 091150013 | SAMET GÖRKEM BAYBÖRÜ  |
| 091150019 | İLTERİŞ MUSTAFA BÜYÜK |

| G24       |                     |
|-----------|---------------------|
| 091150024 | MEHMET ÇELİK        |
| 091150029 | BIRKAN DAĞ          |
| 091150031 | GÖKÇE DEDE          |
| 091150033 | SÜMEYRA DİLEKCAN    |
| 091150037 | ŞİNASI GEZGEN       |
| 091150041 | R. DENİZ KALELİOĞLU |

| G25       |                   |
|-----------|-------------------|
| 091150047 | AHMET CAN KARAGÖZ |
| 091150053 | ALİ KÜÇÜKALTUN    |
| 091150054 | GAMZE MERT        |
| 091150055 | SAFA OĞHAN        |
| 091150058 | MUSTAFA ÖZ        |
| 091150063 | AYŞE DİLEK ÖZKAN  |

| G26       |                   |
|-----------|-------------------|
| 091150064 | BULUT POLAT       |
| 091150066 | ERDİNÇ SAVCI      |
| 091150067 | ANIL SERDAR       |
| 091150068 | MURAT SERİMOĞLU   |
| 091150069 | CENGİZ SEVİL      |
| 091150070 | GÖKTUĞ ŞAHBAZOĞLU |

| G27       |                     |
|-----------|---------------------|
| 091150071 | MEHMET CANER ŞAHİN  |
| 091150075 | NAZİF EMRE TEKİNDUR |
| 091150076 | ÖMER TİRYAKİ        |
| 091150077 | TOLGA TOKGÖZ        |
| 091150082 | YASİN ULUÇAM        |
| 091150083 | CELİL ENES UYGUN    |

| G28       |                    |
|-----------|--------------------|
| 091150084 | GÜLİZ UZUNALLI     |
| 091150087 | AVNİ BURAK YENİCE  |
| 091150088 | ÖMER FARUK YILDIZ  |
| 091150091 | İHSAN AHMET YÜKSEL |
| 091150092 | CİHAN ÖMER ZEYDAN  |
| 091150098 | BERK AKTUĞ         |

| G29       |                      |
|-----------|----------------------|
| 091150812 | HURİ ŞEBNEM GÜLTEKİN |
| 091155001 | M. BAHADIR ACAR      |
| 091155004 | MUHAMMED SAİD AKÇAY  |
| 091155035 | SEFA DEMİRSOY        |
| 091155036 | OĞUZ DEMİRTAŞ        |
| 091155040 | FERMAN DUMAN         |

| G30       |                 |
|-----------|-----------------|
| 091155058 | EYUP KOÇAK      |
| 091155074 | HAKAN SOLMAZ    |
| 091155088 | SERTAÇ YILDIRIM |
| 101150506 | BURAK KURBAN    |
| 101150510 | EMRAH DOĞAN     |
|           |                 |

## MM 410 MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ LABORATUVARI II 2012/2013 II. DÖNEM DENEY PROGRAMI (NÖ,İÖ)

| D1. TEK SİLİNDİRLİ DİZEL MOTORUNUN PERFORMANS PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ |                 |                  |                  |                  |                  |                  |
|-----------------------------------------------------------------------------|-----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| SAAT                                                                        | 29 MART<br>CUMA | 05 NİSAN<br>CUMA | 12 NİSAN<br>CUMA | 19 NİSAN<br>CUMA | 26 NİSAN<br>CUMA | 03 MAYIS<br>CUMA |
| 09:30                                                                       | G1              | G2               | G3               | G10              | G11              | G12              |
| 10:00                                                                       | G7              | G8               | G9               | G4               | G5               | G6               |
| 10:30                                                                       | G13             | G14              | G21              | G22              | G29              | G30              |
| 11:00                                                                       | G19             | G20              | G27              | G28              | G17              | G18              |
| 11:30                                                                       | G25             | G26              | G15              | G16              | G23              | G24              |

| D2. SİLİNDİR ÜZERİNE ETKİ EDEN SÜRÜKLEME KUVVETİNİN BELİRLENMESİ |                 |                  |                  |                  |                  |                  |
|------------------------------------------------------------------|-----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| SAAT                                                             | 29 MART<br>CUMA | 05 NİSAN<br>CUMA | 12 NİSAN<br>CUMA | 19 NİSAN<br>CUMA | 26 NİSAN<br>CUMA | 03 MAYIS<br>CUMA |
| 09:30                                                            | G2              | G3               | G4               | G11              | G12              | G7               |
| 10:00                                                            | G8              | G9               | G10              | G5               | G6               | G1               |
| 10:30                                                            | G14             | G15              | G22              | G23              | G30              | G19              |
| 11:00                                                            | G20             | G21              | G28              | G29              | G18              | G25              |
| 11:30                                                            | G26             | G27              | G16              | G17              | G24              | G13              |

| D3. DOĞAL KONVEKSİYON İLE ISI TRANSFERİ ANALİZİ |                 |                  |                  |                  |                  |                  |
|-------------------------------------------------|-----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| SAAT                                            | 29 MART<br>CUMA | 05 NİSAN<br>CUMA | 12 NİSAN<br>CUMA | 19 NİSAN<br>CUMA | 26 NİSAN<br>CUMA | 03 MAYIS<br>CUMA |
| 09:30                                           | G3              | G4               | G5               | G12              | G7               | G8               |
| 10:00                                           | G9              | G10              | G11              | G6               | G1               | G2               |
| 10:30                                           | G15             | G16              | G23              | G24              | G19              | G20              |
| 11:00                                           | G21             | G22              | G29              | G30              | G25              | G26              |
| 11:30                                           | G27             | G28              | G17              | G18              | G13              | G14              |

| D4. ZORLANMIŞ VORTEKS DENEYİ |                 |                  |                  |                  |                  |                  |
|------------------------------|-----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| SAAT                         | 29 MART<br>CUMA | 05 NİSAN<br>CUMA | 12 NİSAN<br>CUMA | 19 NİSAN<br>CUMA | 26 NİSAN<br>CUMA | 03 MAYIS<br>CUMA |
| 09:30                        | G4              | G5               | G6               | G7               | G8               | G9               |
| 10:00                        | G10             | G11              | G12              | G1               | G2               | G3               |
| 10:30                        | G16             | G17              | G24              | G25              | G20              | G27              |
| 11:00                        | G22             | G23              | G30              | G13              | G26              | G15              |
| 11:30                        | G28             | G29              | G18              | G19              | G14              | G21              |



| D5. SOĞUTMA KULESİ PERFORMANSININ BELİRLENMESİ |                 |                  |                  |                  |                  |                  |
|------------------------------------------------|-----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| SAAT                                           | 29 MART<br>CUMA | 05 NİSAN<br>CUMA | 12 NİSAN<br>CUMA | 19 NİSAN<br>CUMA | 26 NİSAN<br>CUMA | 03 MAYIS<br>CUMA |
| 09:30                                          | G5              | G6               | G1               | G8               | G9               | G10              |
| 10:00                                          | G11             | G12              | G7               | G2               | G3               | G4               |
| 10:30                                          | G17             | G18              | G25              | G26              | G27              | G28              |
| 11:00                                          | G23             | G24              | G13              | G14              | G15              | G16              |
| 11:30                                          | G29             | G30              | G19              | G20              | G21              | G22              |

| D6. HVAC SİSTEMLERİNDE ATIK ISI GERİ KAZANIMI |                 |                  |                  |                  |                  |                  |
|-----------------------------------------------|-----------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| SAAT                                          | 29 MART<br>CUMA | 05 NİSAN<br>CUMA | 12 NİSAN<br>CUMA | 19 NİSAN<br>CUMA | 26 NİSAN<br>CUMA | 03 MAYIS<br>CUMA |
| 09:30                                         | G6              | G1               | G2               | G9               | G10              | G11              |
| 10:00                                         | G12             | G7               | G8               | G3               | G4               | G5               |
| 10:30                                         | G18             | G13              | G26              | G21              | G28              | G29              |
| 11:00                                         | G24             | G19              | G14              | G27              | G16              | G17              |
| 11:30                                         | G30             | G25              | G20              | G15              | G22              | G23              |

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ  
MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ**

**MM 409 MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ LABORATUVARI I**

**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.
- Kağıdın tek tarafı kullanılmalıdır.
- Sayfalar başlık sayfasından başlayarak numaralandırılmalıdır. Şekil, Tablo ve denklemler de kendi içlerinde ayrıca numaralandırılmalıdır.
- Raporun sunuş sırası aşağıdaki gibi düzenlenmelidir:

|                  |   |                                                                                                                                                                                                                                                                                      |
|------------------|---|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>ÖN RAPOR</b>  | { | <ul style="list-style-type: none"><li>- Kapak sayfası</li><li>- İçindekiler</li><li>- Semboller</li><li>- Özet</li><li>- Giriş</li><li>- Teori ve veri toplama işlemi</li><li>- Cihazlar</li><li>- Deneyin yapılışı</li></ul>                                                        |
| <b>ANA RAPOR</b> | { | <ul style="list-style-type: none"><li>- Ölçüm sonuçları ve istenen hesaplamalar</li><li>- Tartışma ve sonuç</li><li>- Tablolar</li><li>- Şekiller<ul style="list-style-type: none"><li>a) Deney cihazları</li><li>b) Sonuçlar</li></ul></li><li>- Referanslar</li><li>- Ek</li></ul> |

**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 Görevlisi'ne 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.

**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 aşağıdaki şekilde verilen formata tam olarak uyulmalıdır.

|                                                                               |
|-------------------------------------------------------------------------------|
| MÜHENDİSLİKTE İSTATİSTİKSEL YÖNTEMLER                                         |
| DENEY NO: 1                                                                   |
| HAZIRLAYAN<br>(Adı Soyadı)<br>(Öğrenci No)                                    |
| Deney Yapılış Tarihi: .....<br>Rapor Sunuş Tarihi: .....                      |
| Grup No: ...<br>Grup Üyeleri:<br>(Öğrenci No Adı Soyadı)<br>...<br>...<br>... |
| DENEY SORUMLUSU<br>(Adı Soyadı)                                               |
| GAZİ ÜNİVERSİTESİ<br>MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ<br>MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ      |

**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 ( $\alpha$ ,  $\beta$ , ...) 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, ulaşılamadı ise hangi durumlarda ve neden ulaşılamadığı 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 herbir 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, teorinin detaylı olarak açıklanması gibi.

## DENEY 1

### TEK SİLİNDİRLİ DİZEL MOTORUNUN PERFORMANS PARAMETRELERİNİN BELİRLENMESİ

**Amaç :** Motor parçaları ve motor yapısının incelenmesi. Tek Silindirli bir dizel motorunun performans parametrelerinin (Tork, Güç, mil verimi ve yakıt Tüketiminin) deneysel olarak incelenmesi.

#### 1. GİRİŞ

İçten yanmalı motorlar, yakıtın kimyasal enerjisini kullanılabilir işe çeviren makinalardır. İçten yanmalı motorların değişik şekilde sınıflandırılmaları mümkündür. Bu sınıflandırmalar;

- a. Kullandıkları yakıtlara göre (benzinli, dizel),
  - b. Silindir sayılarına göre (1, 2, 4, 6 silindir),
  - c. Silindir dizilişlerine göre (düz sıra, yıldız, V motor),
  - d. Subap mekanizması çalışma şekillerine göre (F, T, L, I tipi),
  - e. Zamanlara göre (2,4 zamanlı),
  - f. Çevrimlere göre (Otto, Dizel, Karma),
  - g. Ateşleme şekline göre (platin, elektronik ateşlemeli),
  - h. Soğutma sistemine göre (sulu, havalı soğutma),
  - ı. Piston hareketine göre (git-gel, dönel hareketli).
- olarak yapılabilir.

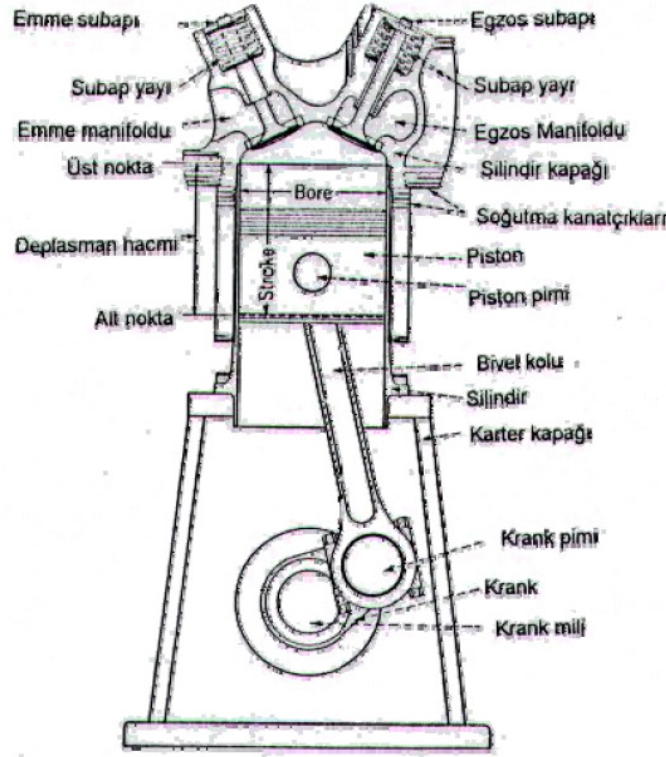
İçten yanmalı motorlar çalışma prensibine göre iki gruba ayrılırlar;

- a. Kıvılcım ateşlemeli motorlar (Benzinli motorlar),
- b. Sıkıştırılmalı ateşlerneli motorlar (Dizel motorlar)

İçten yanmalı bir motorun genel görünüşünden bir kesit ve motoru oluşturan temel parçalar Şekil 1 ile verilmektedir. Yanma odası silindir ve pistonun bir arada olmasıyla oluşmaktadır. Piston silindir içerisinde, aynı düzlemde ilerigeri hareket etmekte ve emme supabından içeri giren taze yakıt-hava karışımı silindir içerisinde ateşlenerek, kimyasal enerji ısı enerjisine çevrilmektedir. Açığa çıkan ısı enerjisinden dolayı silindir içerisindeki basınç artar. Yüksek basınçlı gazın pistonu itmesiyle, basınçlı gazın sahip olduğu enerji işe dönüşür. Bu işlem silindir içerisinde oluşan yüksek basıncın pistonu itmesiyle başlamakta ve biyel kolu yardımı ile krank miline aktarılmasıyla oluşmaktadır. Yanma sonucu oluşan atık gazlar egzoz supabının açılmasıyla dışarı atılmaktadır. Ateşleme, benzinli motorlarda bir buji ile yapılırken dizel motorlarda bu işlem, sıkıştırma stroğu sonuna doğru, dizel yakıtın bir enjektör vasıtasıyla silindir içerisine püskürtülmesi sonucu ortamdaki yüksek sıcaklık nedeniyle yakıtın kendi kendine tutuşmasıyla olmaktadır. Bir motor şu ana elemanlardan oluşmaktadır:

|                       |
|-----------------------|
| 1. Silindir Bloğu     |
| 2. Silindir Kapağı    |
| 3. Silindir Contaları |
| 4. Karter             |
| 5. Egzos Manifoldu    |
| 6. Emme Manifoldu     |

|               |
|---------------|
| 7. Krank Mili |
| 8. Biyel Kolu |
| 9. Pistonlar  |
| 10. Segmanlar |
| 11. Kam Mili  |
| 12. Subaplar  |



Şekil 1. Bir silindirli bir motor kesitinin görünüşü

## 2. MOTOR PERFORMANS DENEYLERİ

Deneyler iki kısımdan oluşmaktadır. Birinci kısımda motorda güç hesaplamasının yapılabilmesi için tork ölçümü gerçekleştirilecektir., ikincisinde ise özgül yakıt tüketiminin hesaplanabilmesi için yakıt tüketimi ölçümleri gerçekleştirilecektir. Motor performansı denildiğinde güç, verim, ortalama etkin basınç vb. motorun durumu hakkında bilgi veren özellikler akla gelmektedir. Bu deneyde motor gücü ölçümleri yapılacaktır. Motorlarda iki çeşit güç vardır. Bunlardan birincisi, silindir içerisine giren karışımın yanması ile meydana gelen ısı enerjisinin mekanik enerjiye dönüşmesi sırasında elde edilen, indike güçtür. Diğeri ise mil, fren veya faydalı güç olarak adlandırılan ve motorun volanından veya kasnağından ölçülen güç olup motorun gerçek gücüdür. Yani motor içerisindeki sürtünme ve diğer kayıplardan sonra kalan gerçek güçtür. Motor verimleri, motorun gerçek performansının ideal performansına oranı olarak açıklanabilir. Motorlarda genel olarak üç verim üzerinde durulur. Bunlar ısı verim, mekanik verim ve hacimsel verimdir.

### 2.1. Motor Gücünün Belirlenmesi

Motorlarda güç ölçümleri dinamometre yardımıyla yapılmaktadır. Dinamometrelerin değişik tiplerinin bulunmasına rağmen çalışma prensipleri aynıdır. Bir dinamometre genel olarak iki kısımdan oluşur. Bunların ilki test edilecek motorun bağlandığı rotor kısmı, ikincisi ise elektrikli, manyetik, hidrolik olarak veya sürtünme vasıtasıyla rotora bağlı olan stator

kısmıdır. Dinamometrenin genel görünümü Şekil 2 ile verilmektedir. Motor, dinamometre ile yüklenirken, rotor dolayısıyla bağlı olan krank mili oluşan  $f$  kuvvetini yenebilmek için, bir dönüşte  $2\pi r$  kadar çevresel yol alacaktır. Böylece yapılan iş:

$$W = 2 \pi r f$$

olmaktadır. Dinamometre dışında oluşan moment, dönme momenti ile dengelenmiş durumdadır:

$$F R = f r$$

Dolayısıyla bir dönüşte yapılan iş:

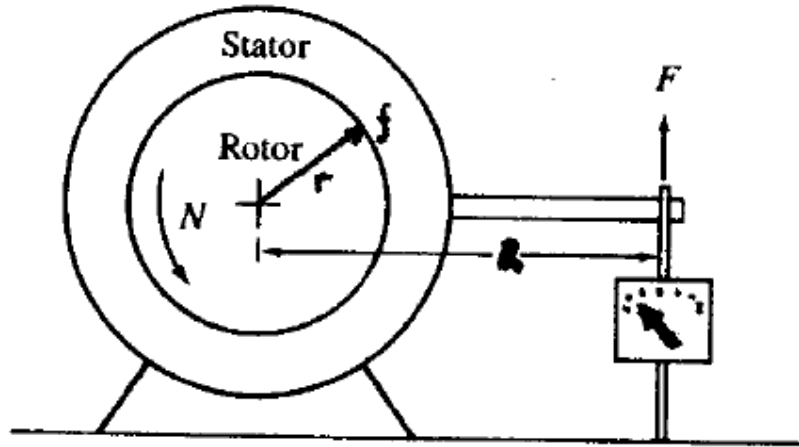
$$W = 2 \pi R F$$

olmaktadır. Motor birim zamanda  $N$  devir yaptığına göre, güç:

$$P = W N$$

elde edilir. Dolayısıyla  $FR$  çarpımı tork ( $T$ ) olarak yerine konularak, güç denkleminin son hali aşağıdaki şekilde yazılabilir:

$$P = 2 \pi T N$$



Şekil 2. Dinamometrenin genel görünümü

Yukarıdaki eşitliklerde;

$P (W)$  : Güç,

$R (m)$  : Tork kolu uzunluğu,

$F (N)$  : Kuvvet,

$N (dev/s)$  : Motor hızı,

$T (Nm)$  : Tork

olmaktadır.

Fren gücü olarak da adlandırılan mil gücü, motorun krank milinden alınan güç olup aşağıdaki şekilde hesaplanır.

$$BP \text{ (kW)} = 2 \pi T N / 1000$$

Mil ısı verimi, mil gücünün tüketilen yakıtın eşdeğer gücüne olan oranıdır ve şu şekilde bulunur;

$$\eta_b (\%) = (BP / Q) \times 100$$

Burada kullanılan Q yakıtın eşdeğer gücü olup Tüketilen yakıttaki kullanılabilir enerjiyi gösteren yakıt eşdeğer gücü:

$$Q \text{ (kW)} = M_f \times Q_c$$

Burada Q<sub>c</sub> (kJ/kg) yakıtın ısı değeri olup benzin için 43540 (kJ/kg), mazot için 42700 (kJ/kg) alınabilir. M<sub>f</sub> (kg/h) ise motorun birim zamanda tükettiği yakıt miktarı olup hesaplanma yöntemi aşağıda verilmektedir;

Motorun birim zamanda tükettiği yakıt miktarının hesaplanması için değişik yöntemler kullanılabilir. Bu deneyde yakıt tüketimi belirlenirken hacimsel yöntem kullanılmakta ve dolayısıyla yakıt ölçüm çubuğundan yararlanılmaktadır. Cam çubuk üzerindeki ml bölüntülerinden yararlanılarak, motorun belirli bir yakıt hacmini kaç saniyede tükettiği belirlenir.

$$M_f \text{ (kg/h)} = V_f \times \rho_f \times 3.6$$

Burada, V<sub>f</sub> (ml/s) motorun birim zamandaki hacimsel yakıt tüketimi, ρ<sub>f</sub> (kg/l) yakıtın yoğunluğu olmaktadır. Yakıtın yoğunluğu benzin için 0.73 (kg/l), mazot için ise 0.83 (kg/l) olarak alınabilir.

### 3. DENEYLERİN YAPILIŞI

Deneyler sabit gaz keleşbeği açıldığında, motora verilen yükün kademeli olarak artırılmasıyla yapılır. Deneyler sırasında motor hızı takometreden; yakıt tüketimi, yakıt tüketim çubuğundan, kuvvet ise teraziden okunur. Deneyler sırasında motorun yüksüz durumda, kararlı hale gelinceye kadar ısınması beklenir. Böylece, deneyler sırasında motorun ısınmasıyla birlikte işletme şartlarının değişmesinin deney sonuçlarına etkisi ortadan kaldırılır. Ölçümler alınırken, yapılan her ayardan sonra bir müddet beklenerek, motorun kararlı hale gelmesi sağlanmalıdır. Mil gücünün belirlendiği deneyde sabit gaz keleşbeği konumunda motor kademeli olarak yüklenerek belirlenen motor hızlarına getirilir ve;

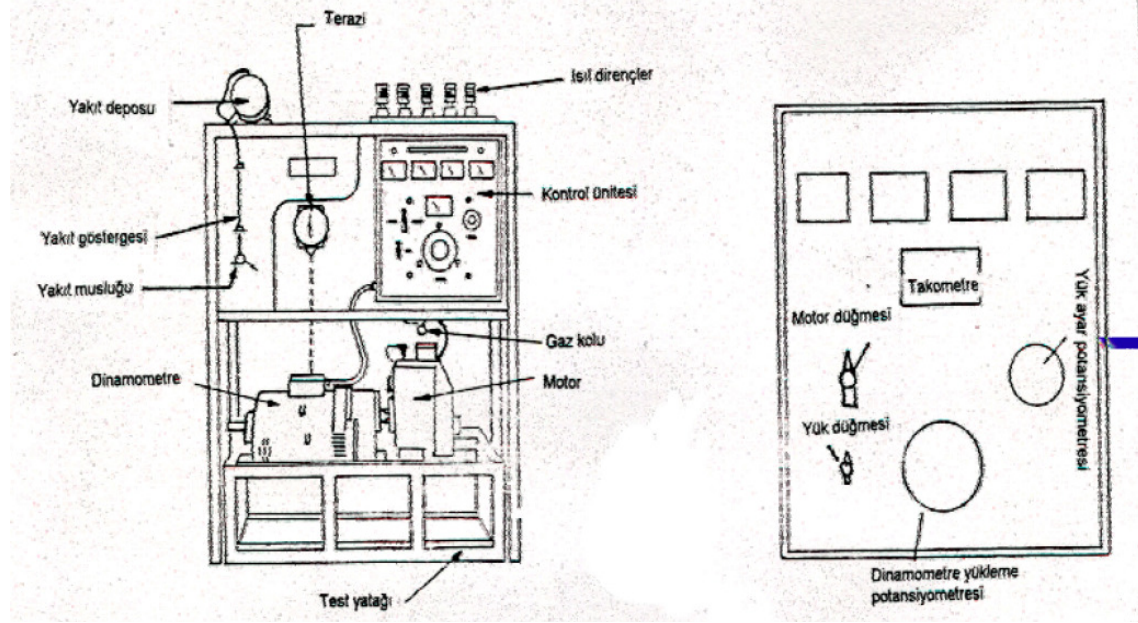
- Motor hızı (dev/s)
- Motor yükü (N)
- Yakıt tüketimi (ml/s)

ölçümleri yapılır. Elde edilen değerler mil gücünün belirlenmesinde kullanılır.



#### 4. DENEY DÜZENEGİ

Kullanılan sistemde bir silindirik bir deney motoru, motora bağlı bir elektrikli dinamometre, sistemin kontrolünü sağlayan bir kontrol paneli ve yakıt tüketimi, motor yükü ölçümlerinde kullanılan ölçüm cihazları bulunmaktadır. Deney düzeneğinin genel görünümü Şekil 3 ile verilmektedir.



Şekil 3. Düney düzeneğinin genel görünümü

##### 4.1. Motorun Çalıştırılması

Motor çalıştırılmadan önce kontrol panelindeki bütün düğmelerin '**kapalı (off)**' konumunda olmasına dikkat edilmelidir. Panelin yanındaki elektrik şalteri '**açık (on)**' konumuna getirildikten sonra aşağıdaki işlemler takip edilmelidir:

- Yük ayarı yapan potansiyometre saat yönünde çevrilerek tamamen açılır,
- Motor düğmesi '**motor**' konumuna getirilir,
- Dinamometreyi yükleyen düğme, motor çalışmaya başlayana kadar saat yönünde yavaş yavaş açılır,
- Motor çalışmaya başladıktan sonra, motor düğmesi '**yükleme (load)**' konumuna getirilir. Bu andan itibaren motor kendi kendine çalıştığı için dinamometreyi yükleyen potansiyometre etkinliğini kaybetmiştir.
- Motor hızı, gaz keleşği yardımı ile ayarlanır. Motorun yüklenmesi için ise yük ayarı yapan potansiyometre kullanılır.

##### 4.2. Kısa Sınav ve Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Deneyler öncesinde yapılacak olan kısa süreli sınavlarda, temel motor elemanları, motor çeşitleri, deney yöntemi ve deney seti ile ilgili detaylar ve föyde yer alan tüm tanımlamalar kullanılarak sorular hazırlanacaktır. Deneylerde sırasında alınan değerlerin kullanılmasıyla elde edilen mil gücü yatay ekseninde motor hızı olmak üzere aynı grafikte, ölçekli, düzenli ve temiz olarak çizilmelidir. Elde edilen sonuçların değerlendirilmesi,

kaynaklardan yararlanılarak yapılmalıdır. Mil Verimi için ise, deneylerde sırasında alınan değerlerin kullanılmasıyla elde edilen mil gücü yatay ekseninde motor hızı olmak üzere, mil gücü ve mil verimi için farklı iki dikey ekseni olan aynı grafikte, ölçekli, düzenli ve temiz olarak çizilmelidir. Tüm çalışma soruları cevaplanmalıdır. Kaynak araştırılması yapılmalı ve motorda güç-verim artışı, yakıt tasarrufu için yapılabilecek modifikasyonlarla ilgili öneriler ortaya koyulmalıdır.

## **5. KAYNAKLAR**

1. Crouse, W.H., Automotive Engine Design, McGraw-Hill Book Company, USA, 1970, ISBN 07-014671-3
2. A Guide to Experiments, Cussons Ltd., UK, 1970
3. Heywood, J.B., Internal Combustion Engine Fundamentals, McGraw-Hill Book Company, USA, 1988, ISBN 0-07-028637-X
4. Taylor, F.C., The Internal Combustion Engine in Theory and Practice, The MIT Press, USA, 1985, ISBN 0-262-70026-3

## DENEY 2

### SİLİNDİR ÜZERİNE ETKİ EDEN SÜRÜKLEME KUVVETİNİN BELİRLENMESİ

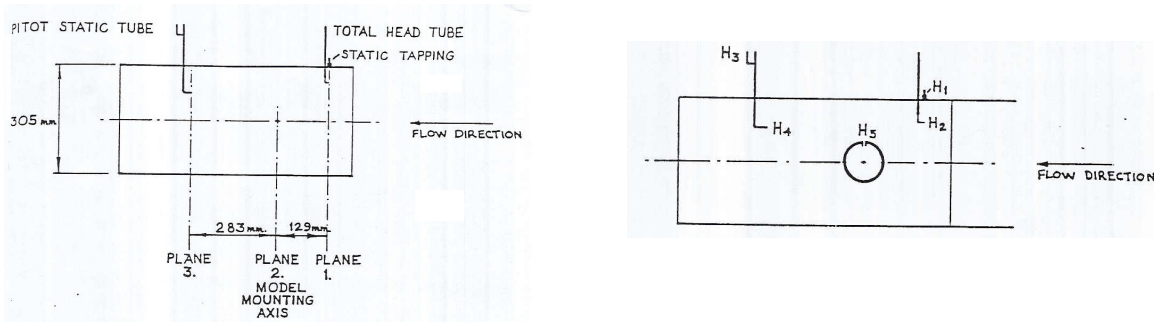
#### AMAC

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 kaplanmışdır. 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).

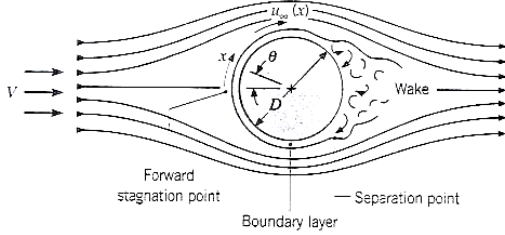


Şekil 1. Çalışma bölümünün şematik olarak görünümü

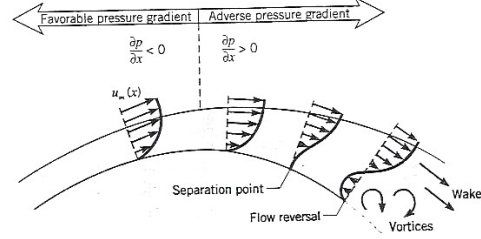
#### TEORİ

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 genişir ( $dp/dx < 0$ ). 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 çaptır ve Reynolds sayısı,

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

şeklinde ifade edilir. Burada,  $\rho$  havanın yoğunluğu olarak ifade edilir ve değeri ise  $1.24 \text{ kg/m}^3$  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,  $\Delta h$  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 ertelemesi 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;

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

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  $\theta$  değerleri ile değişiminin grafiğini çizdiriniz ve basınç değerinin minimum olduğu yerde ayrılma noktasının açı 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 <sub>2</sub> O |
| $H_2$      | Çalışma alanına girişteki toplam basınç                                            | mmH <sub>2</sub> O |
| $H_3$      | Modelin alt kısmındaki statik basınç                                               | mmH <sub>2</sub> O |
| $H_4$      | Modelin alt kısmındaki toplam basınç                                               | mmH <sub>2</sub> O |
| $H_5$      | Model üzerinde basınç tapındaki statik basınç                                      | mmH <sub>2</sub> O |
| $H_\theta$ | Modelin $\theta$ açısı kadar döndürülmesindeki statik basınç                       | mmH <sub>2</sub> O |
| $\Delta h$ | Dinamik basınç                                                                     | mmH <sub>2</sub> O |
| Re         | Silindir için Reynolds sayısı                                                      |                    |
| u          | Hız                                                                                | m/s                |
| $\theta$   | Üst tarafındaki pozisyonadaki basınç tabından itibaren döndürülen silindirin açısı | deg                |
| $\rho$     | Havanın yoğunluğu                                                                  | kg/m <sup>3</sup>  |
| $\nu$      | Havanın kinematik viskozitesi                                                      | m <sup>2</sup> /s  |
| $\mu$      | 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 <sub>2</sub> O)       |
|----------------|----------------------------|
| $H_2 =$        | (mmH <sub>2</sub> O)       |
| $H_3 =$        | (mmH <sub>2</sub> O)       |
| $H_4 =$        | (mmH <sub>2</sub> O)       |
| $\theta$ (deg) | $H_5$ (mmH <sub>2</sub> O) |
| 0              |                            |
| 20             |                            |
| 40             |                            |
| 60             |                            |
| 80             |                            |
| 100            |                            |
| 120            |                            |
| 140            |                            |
| 160            |                            |
| 180            |                            |

| $H_1 =$        | (mmH <sub>2</sub> O)       |
|----------------|----------------------------|
| $H_2 =$        | (mmH <sub>2</sub> O)       |
| $H_3 =$        | (mmH <sub>2</sub> O)       |
| $H_4 =$        | (mmH <sub>2</sub> O)       |
| $\theta$ (deg) | $H_5$ (mmH <sub>2</sub> O) |
| 0              |                            |
| 20             |                            |
| 40             |                            |
| 60             |                            |
| 80             |                            |
| 100            |                            |
| 120            |                            |
| 140            |                            |
| 160            |                            |
| 180            |                            |

| $H_1 =$        | (mmH <sub>2</sub> O)       |
|----------------|----------------------------|
| $H_2 =$        | (mmH <sub>2</sub> O)       |
| $H_3 =$        | (mmH <sub>2</sub> O)       |
| $H_4 =$        | (mmH <sub>2</sub> O)       |
| $\theta$ (deg) | $H_5$ (mmH <sub>2</sub> O) |
| 0              |                            |
| 20             |                            |
| 40             |                            |
| 60             |                            |
| 80             |                            |
| 100            |                            |
| 120            |                            |
| 140            |                            |
| 160            |                            |
| 180            |                            |
| 200            |                            |
| 220            |                            |
| 240            |                            |
| 260            |                            |
| 280            |                            |
| 300            |                            |
| 320            |                            |
| 340            |                            |
| 360            |                            |

## DENEY - 3

## 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,

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

şeklinde ifade edilir. Burada

$Q$ : Konveksiyon ısı transferi ( $W$ ),

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

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

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

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

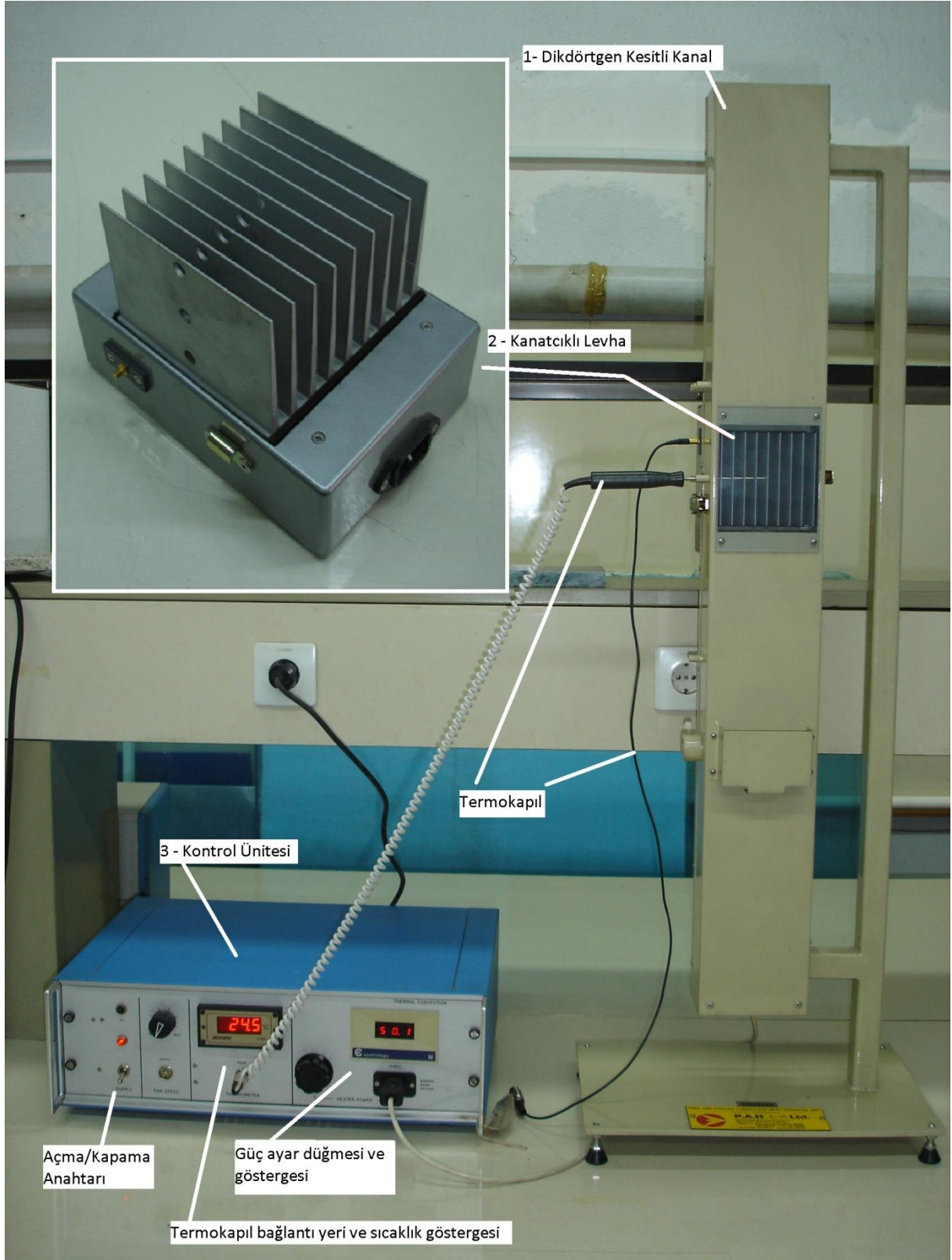
Eğer bir yüzeyden olan konveksiyon ısı transferinin miktarı, yüzey sıcaklığı ve akışkan sıcaklığı biliniyorsa o yüzedeki ısı transferi katsayısı Denklem (1) kullanılarak hesaplanabilir.

## 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 Düzenegi

#### 4. DENEYİN YAPILIŞI

Deneyin yapılışında izelenecek yol aşağıda açıklanmıştır.

1. Kanatcıklı levha kanal içerisindeki bölmeye yerleştirilir ve sabitlenir.
2. Kontrol ünitesi ile kanatcıklı 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. Kanatcıklı levha kanal içerisinde çıkartılır.

**Not:** Deney sırasında elektrik ile ilgili güvenlik kurallarına uyulması zorunludur. Bunun yanısıra özellikle kanatcıklar ısınacağından montaj ve sökme işlemlerinde sıcaklıklara dikkat edilmesi gerekmektedir.

#### 5. SONUÇLAR

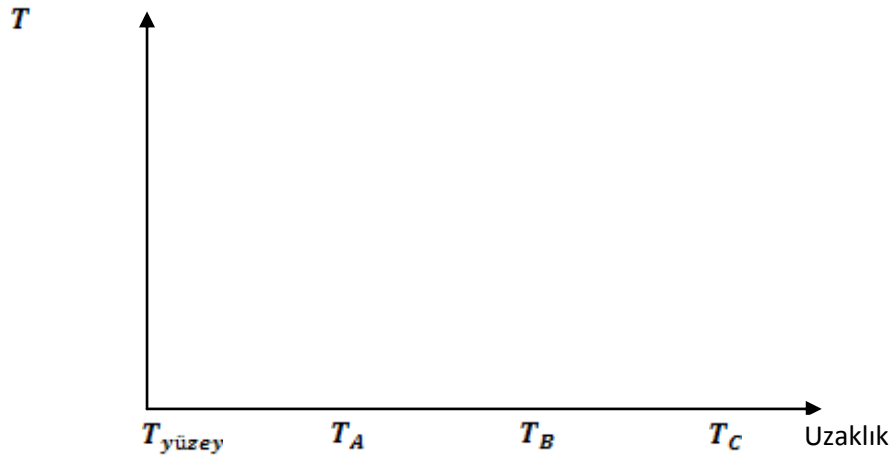
Deney sonucunda çizilmesi istenilen grafikler ve yapılması istenilen hesaplamalar aşağıda belirtilmiştir.

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 *Kanatcık 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**

## DENEY 4

## ZORLANMIŞ VORTEKS DENEYİ

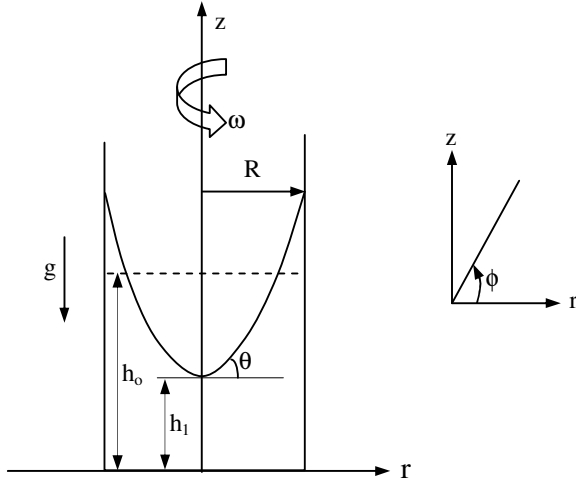
## 1. AMAÇ

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

## 2. GİRİŞ

Kısmen dolu olan bir silindir içindeki sıvı sabit bir  $\omega$  açısal hızı ile kendi ekseninde 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.  $\omega$  açısal hızı ile döndürülen sıvının yüzeyi ve koordinat sistemi

## 3. TEORİ

Silindirik koordinat sisteminde Navier-Stokes denklemleri yazılırsa.

r - yönünde,

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

$\phi$  - 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,  $V_r$ ,  $V_z$ ,  $F_r$ ,  $F_\phi$ ,  $\frac{\partial V_\phi}{\partial \phi}$  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,

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

$\phi$  - yönündeki eşitlik,

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

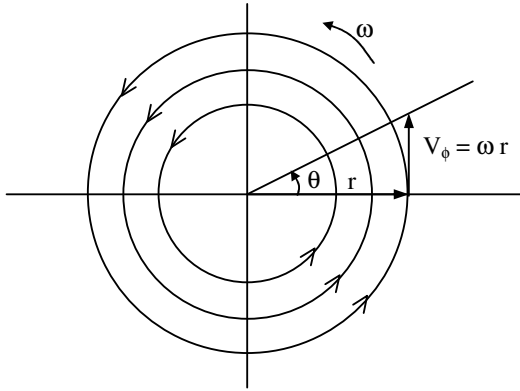
$z$  – yönündeki eşitlik,

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

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  $\phi$  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.

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

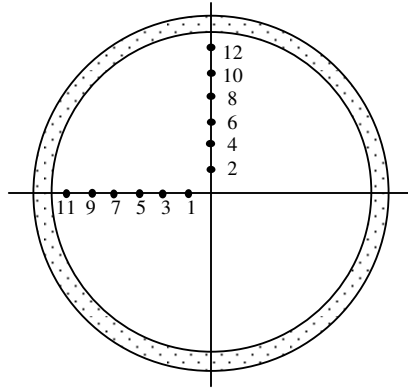
Serbest yüzeyin eğimini bulmak için (20) nolu ifadenin  $r$  'ye göre türevi alınır. Bu durumda,

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

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 <sup>2</sup> |
| 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  $\omega$  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.

GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
MÜHENDİSLİK-MİMARLIK FAKÜLTESİ  
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ  
MM 410 MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ LABORATUVARI II

## DENEY 5

### SOĞUTMA KULESİ PERFORMANSININ BELİRLENMESİ

#### 1. AMAÇ

Soğutma kulesi performansının değişik hava kütleli debilerinde belirlenmesi

#### 2. GİRİŞ

Birçok endüstri dalında, sıcaklık artışını önlemek ve atık ısıları tahliye etmek için fabrikanın belli bölümlerinden ısı transferi gereklidir. Bazen, ısı doğal veya zorlanmış taşınım ile atmosfere aktarılır, ama çoğunlukla suyu soğutmak hem gerekli hem de ekonomiktir. Suyun bol olduğu yerlerde kaynak bir nehirden, gölden alınabilir ve yüksek sıcaklıkta tekrar geri verilir. Fakat seçilen alanda kaynak yeterli görülmediğinde, bu olay mümkün değildir. Böyle durumlarda, fabrika soğutma suyu, ısının soğutma suyundan atmosfere aktarıldığı soğutma kulelerinden geçirilerek sirküle edilir.

Soğutma kuleleri çektiği ısıyı aşağıdaki biçimlerde çevreye dağıtır:

- 1) Havaya ısı verilmesi
- 2) Dolaşım suyunun bir kısmının buharlaşması

Soğutma kuleleri, dolgu yada paketleme denilen birbirine yakın yatay olarak yerleştirilmiş çubuk yada tirizlerin üzerinden suyu püskürten yada yağdıran sıcak su dağıtma sistemine sahiptirler. Dolgu, yerçekimi nedeniyle bir seviyeden diğer bir seviyeye su sıçrarken, dolgu boyunca akan havayı su ile eksiksiz bir biçimde karıştırır. Dışarıdaki hava kulenin kenarlarındaki açıklıklardan girer. Soğuk su, kulenin alt kısmından beton hüvette toplanır. Daha sonra yoğunlaştırıcıya geri pompalanır. Diğer tarafta sıcak nemli hava kuleyi tepeden terkeder.

#### 3. DENEY DÜZENİĞİ HAKKINDA BİLGİLER

Hilton Bench Top Soğutma Kulesi H891, öğrencilerin modern bir buharlaştırıcı soğutucu sistemin kurulum, tasarım ve işletim karakteristiklerini değerlendirmelerini sağlamak için özellikle tasarlanmıştır. Bu ürün ayrıca hava ve su gibi iki akışkanın aktığı ve birinden diğerine kütle transferinin olduğu açık sistemlerine iyi bir örnektir. Deney düzeneğinin şematik görünümü EK 3'de verilmiştir.

##### 3.1. Su Dolaşımı

Sıcak su yükleme tankından (load tank) kontrol vanası (control valve) ve debi ölçer (flow meter) boyunca kolonun (packed column) tepesine pompalanır. Sıcaklığı ( $T_5$ ) ölçüldükten sonra, su en üstteki paketleme (packing) katından düzgün olarak dağıtılır. Bu dağıtım plakalara (plates) sıçratma yoluyla olur ve ince su filmi akış halindeki havayla temas ettirilir. Aşağı akışı sırasında su

soğutulur ve toplam akıştan bir miktar su buharlaşır. Soğutulmuş su paketlemenin en alt kısmından (basin) küvete dökülür. Küvette sıcaklığı ( $T_6$ ) tekrar ölçülür sonra yükleme tankına (load tank) gönderilir ve burada dolaşıma yendiden katılmadan önce ısıtılır. Buharlaşmadan dolayı yükleme tankındaki (load tank) su seviyesi düşme eğilimi gösterir. Bu, dubayla çalışan iğneli vananın(float valve) açılmasına neden olur ve takviye tankından (make up tank) yükleme tankına (load tank) su transferi meydana gelir.

### 3.2. Hava dolaşımı

Atmosferden hava, fanın üzerinde bulunan kapağın açıklık miktarı ile kontrol edilen bir değerde fana girer. Fan dağıtım odasına(air distribution chamber ) açılmaktadır ve hava paketlemeye(packed column) boyunca ilerlerken girmeden önce yaş( $T_2$  wet bulb) ve kuru( $T_1$  dry bulb) sıcaklıkları ölçen termometrelerden geçer. Hava paketleme (packed column) boyunca ilerlerken nem miktarı artar ve su soğutulur. Hava, kolonun yukarısındaki damla önleyiciden (droplet arrester) geçerken havada bulunan su damlaları bu damla önleyicilere takılır ve paketlemeye geri döner. Hava daha sonra hava ölçüm orifisleri (orifice differential pressure), yaş( $T_4$ ) ve kuru( $T_3$ ) termometrelerden geçer ve dışarı atılır. Kolondaki akış kolon duvarlarının şeffaf olması nedeniyle izlenebilir.

### 3.3. Ölçüm cihazları

- a) Sıcaklık Göstergesi :K tipi termocouple lara sahip 6 noktadan ölçüm yapan dijital göstergesi. Bu göstergeyle su sıcaklıkları, yaş ve kuru termometre hava sıcaklıkları ölçülür.
- b) Eğik Manometre 1 :0 – 40 mm H<sub>2</sub>O skalalı, orifis basıncını ölçen bir manometre
- c) Eğik Manometre 1 :0 – 25 mm H<sub>2</sub>O skalalı, paketleme direncini(basınç düşümünü) ölçen manometre
- d) Değişken Alanlı Debi Ölçer :0 – 50 g/s skalalı, kontrol vanalı, paketlemeye giden suyun debisini ölçen debi ölçer.

## 4. DENEYİN YAPILIŞI

Deneyde suyun kütleli debisi sabit tutulur ve 1 kW lık elektrikli ısıtıcı kullanılarak farklı hava kütleli debileri için sistem kararlı hale gelinceye kadar beklenir. Suyun sisteme giriş sıcaklığı sabitlendiğinde kararlı hale ulaşmış olur. Kararlı hal şartlarında aşağıdaki veriler okunarak veri toplama formuna yazılır. Veriler:

- a) Giren ve çıkan havanın kuru ve yaş termometre sıcaklıkları
- b) Giren ve çıkan suyun sıcaklıkları
- c) Takviye tankındaki suyun sıcaklığı
- d) Orifis basınç farkı
- e) Suyun kütleli debisi
- f) Takviye tankından kullanılan suyun miktarı
- g) Sistem boyunca olan basınç düşümü

## 5. HESAPLAMALAR

- 1) Eklerde verilen psikometrik diyagram kullanılarak giriş ve çıkıştaki havanın özgül entalpisini, özgül ve bağıl nemlerin, ayrıca özgül hacmini her bir kütleli debi için bulup işaretleyiniz.
- 2) Havanın kütleli debisini aşağıda verilen formülü kullanarak bulunuz.



$$\dot{m}_h = 0.0137 \sqrt{\frac{\Delta h_{orifis}}{(1 + w_\phi) v_{h,\phi}}}$$

|                     |                                                   |
|---------------------|---------------------------------------------------|
| $\Delta h_{orifis}$ | orifis diferansiyeli(mm H <sub>2</sub> O)         |
| $w_\phi$            | çıkıştaki havanın özgül nem miktarı(kg/kg)        |
| $v_{h,\phi}$        | çıkıştaki havanın özgül hacmi(m <sup>3</sup> /kg) |

- 3) Manometreden okunan basınç değerindeki belirsizlik 0.5 mm H<sub>2</sub>O,  $w_\phi$  deki belirsizliği 0.00005 kg/kg ve  $v_{h,\phi}$  deki belirsizliğin 0.005 m<sup>3</sup>/kg olduğunu kabul ederek havanın kütleli debisindeki belirsizliğin analizini yapınız ve hata yüzdesini belirleyiniz.
- 4) Takviye tankında kullanılan suyun kütleli debisini deney esnasında aldığınız tankta kullanılan su miktarı değeri ve zaman aralığını kullanarak bulunuz ve hata payını hesaplayınız. Ayrıca termodinamik tablolardan suyun özgül entalpi değerini yazınız.

$$\dot{m}_{t,s} = \frac{m_{t,s}}{\Delta t}$$

|                 |                                      |
|-----------------|--------------------------------------|
| $\dot{m}_{t,s}$ | takviye suyunun kütleli debisi(kg/s) |
| $\Delta t$      | ölçüm zaman aralığı(s)               |

- 5) Deney sırasında buharlaşan su miktarını kütle dengesini yazarak aşağıdaki formülden hesaplayınız.

$$\dot{m}_{t,s} = \dot{m}_h (w_\phi - w_g)$$

|          |                                            |
|----------|--------------------------------------------|
| $w_g$    | girişteki havanın özgül nem miktarı(kg/kg) |
| $w_\phi$ | çıkıştaki havanın özgül nem miktarı(kg/kg) |

- 6) Kararlı hal için bir enerji dengesi yazarak giriş ve çıkış entalpileri arasındaki farkı aşağıdaki formülden hesaplayınız.

$$\Delta \dot{H} = \dot{H}_{çıkış} - \dot{H}_{giriş} = \dot{m}_h (h_\phi - h_g) - \dot{m}_{b,s} h_{b,s}$$

|                 |                                   |
|-----------------|-----------------------------------|
| $\dot{m}_{b,s}$ | buharlaşan suyun miktarı(kg/s)    |
| $h_{b,s}$       | buharlaşan suyun entalpisi(kJ/kg) |

- 7) Sistemin basınç düşümü ve buharlaşan su miktarını havanın kütleli debisine bağlı olarak iki ayrı grafik üzerinde gösteriniz.

## 6. TARTIŞMA SORULARI

- 1) Hesaplamalarda 4 ve 5 te elde edilen sonuçların farklı olmasının olası sebeplerini yazınız.
- 2) Yukarıda elde ettiğimiz giriş ve çıkış entalpileri arasındaki farkı sisteme teorik olarak verdiğimiz 1 kW ılık elektriksel ısıtma ve 0.1 kW pompa gücü toplamıyla karşılaştırınız. Arasındaki farkın olası sebeplerini yazınız.
- 3) Deney esnasında havanın çıkış noktasına yakın yerlerde cam kolon üzerindeki yoğuşmanın sebebi ne olabilir? Yorum yapınız.
- 4) Deneyde basınç ölçümünde kullandığımız manometreleri dikey değilde yatayla küçük bir açı yapacak şekilde yerleştirilmesinin sebebi ne olabilir? Yorum yapınız.

- 5) Böyle bir sistemde suyun soğutulabileceği en düşük sıcaklık ve havanın ısınabileceği maksimum sıcaklık ve maksimum ısı transferi ne olabilir? Açıklayınız.
- 6) Kuru ve yaş termometre sıcaklıkları arasındaki fark havanın hangi özelliğinin bir göstergesidir. Soruyu giriş ve çıkıştaki havanın durumunu düşünerek cevaplayınız.
- 7) 1000 mbar yerine 900 mbar için yapılmış psikometrik diyagramın kullanılma sebebi nedir?

## 7. SEMBOLLER VE BİRİMLER

|                     |                                     |                       |
|---------------------|-------------------------------------|-----------------------|
| $\Delta h_{orifis}$ | orifis diferansiyeli                | (mm H <sub>2</sub> O) |
| $w_g$               | girişteki havanın özgül nem miktarı | (kg/kg)               |
| $w_{\check{c}}$     | çıkıştaki havanın özgül nem miktarı | (kg/kg)               |
| $v_{h,\check{c}}$   | çıkıştaki havanın özgül hacmi       | (m <sup>3</sup> /kg)  |
| $h_{b,s}$           | buharlaşan suyun entalpisi          | (kJ/kg)               |
| $\dot{m}_{b,s}$     | buharlaşan suyun kütleli debisi     | (kg/s)                |
| $h_{b,s}$           | buharlaşan suyun entalpisi          | (kJ/kg)               |
| $\Delta t$          | ölçüm zaman aralığı                 | (s)                   |
| $h_g$               | girişteki havanın entalpisi         | (kJ/kg)               |
| $h_{\check{c}}$     | çıkıştaki havanın entalpisi         | (kJ/kg)               |

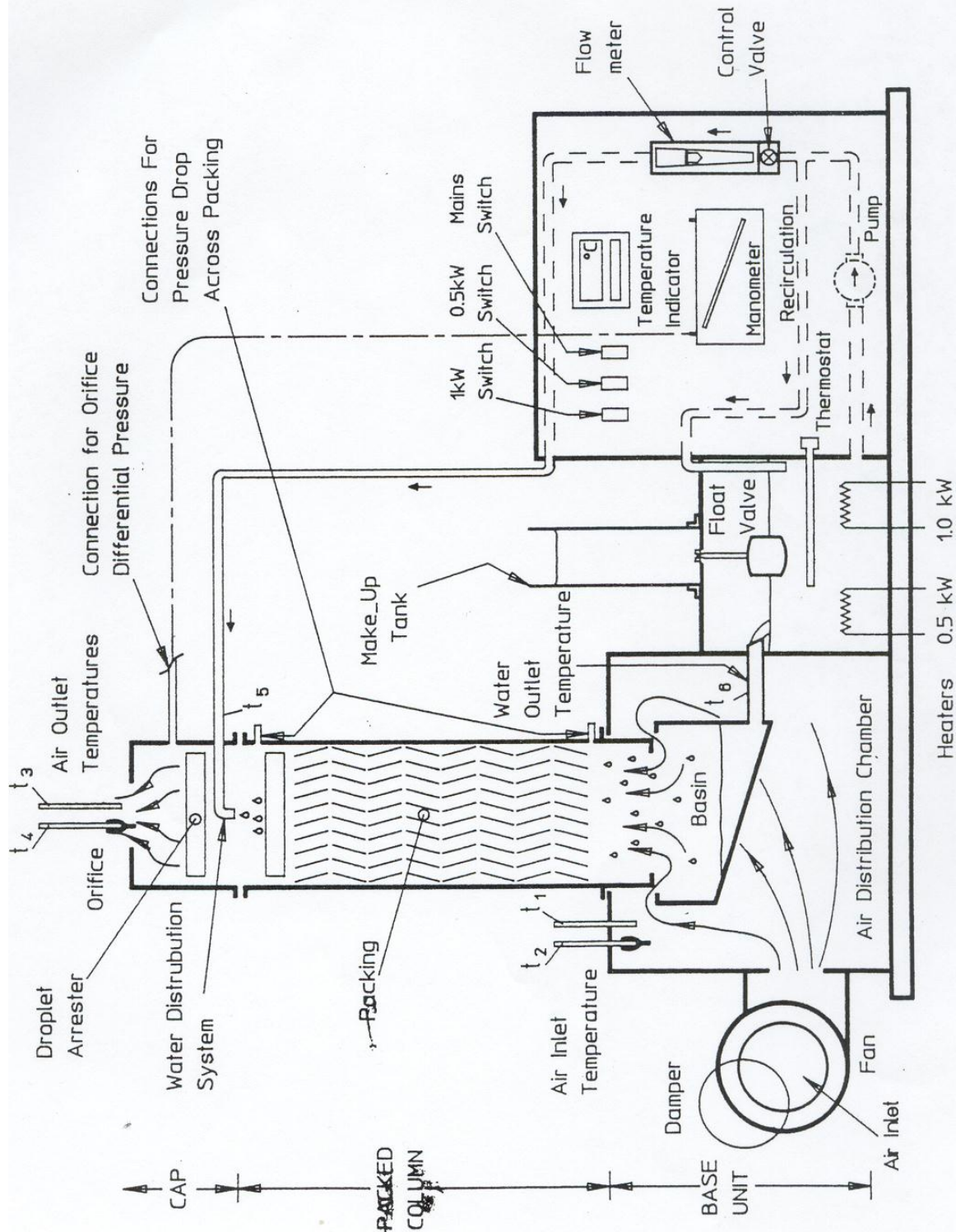
## SOĞUTMA KULESİ VERİ TOPLAMA FORMU

Tarih:

Atmosfer Basıncı = 900 mbar

| Test                                              | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---------------------------------------------------|---|---|---|---|---|---|
| Paketleme Tipi                                    |   |   |   |   |   |   |
| Paketleme Yoğunluğu(1/m)                          |   |   |   |   |   |   |
| Hava Giriş Kuru Termometre Sıcaklığı(°C)          |   |   |   |   |   |   |
| Hava Giriş Yaş Termometre Sıcaklığı(°C)           |   |   |   |   |   |   |
| Hava Çıkış Kuru Termometre Sıcaklığı(°C)          |   |   |   |   |   |   |
| Hava Çıkış Yaş Termometre Sıcaklığı(°C)           |   |   |   |   |   |   |
| Su Giriş Sıcaklığı(°C)                            |   |   |   |   |   |   |
| Su Çıkış Sıcaklığı(°C)                            |   |   |   |   |   |   |
| Besleme Tankı Su Sıcaklığı(°C)                    |   |   |   |   |   |   |
| Orifis Basıncı(mm H <sub>2</sub> O)               |   |   |   |   |   |   |
| Suyun Debisi(g/s)                                 |   |   |   |   |   |   |
| Soğutma Yüğü(kW)                                  |   |   |   |   |   |   |
| Besleme Suyu miktarı(kg)                          |   |   |   |   |   |   |
| Zaman Aralığı(s)                                  |   |   |   |   |   |   |
| Kolon Boyunca Basınç Düşümü (mm H <sub>2</sub> O) |   |   |   |   |   |   |

# H891 Bench Top Cooling Tower – Basic Unit



## DENEY 6 - HVAC SİSTEMLERİNDE ATIK ISI GERİ KAZANIMI

### Deneyin Amacı:

Kuru hava, atmosferik hava, özgül ve bağıl nem tanımları, çığ noktası sıcaklığı, psikrometri tanımlarının verilmesi ve psikrometrik diyagram kullanılarak hava özelliklerinin bulunması ve temel iklimlendirme uygulaması ile hava özelliklerinin değişiminin gösterilmesidir. Atık ısı geri kazanımı sistemlerinin HVAC uygulamalarında kullanılmasının gösterimi de bir diğer amaçtır.

### 1. GİRİŞ

İklimlendirme, havanın istenilen sıcaklık, nem, temizlik ve sirkülasyon hızı bakımından kontrol altına alınması olarak tanımlanabilir. İklimlendirme prosesinin belli başlı uygulama alanları arasında, konutlar, hastaneler, toplantı salonları, maden ocakları, alışveriş merkezleri, ofisler, fabrikalar, kara, hava ve deniz taşımacılığı sıralanabilir. İnsanın vücut rahatlığı veya konforu temel olarak üç etkene bağlıdır. Bunlar, kuru termometre sıcaklığı (sıcaklık), bağıl (izafi) nem ve hava dolaşımıdır. Kişiden kişiye değişiklik göstermesine rağmen konfor için havanın, bağıl nemi %50, sıcaklığı 20°C olmalı ve ortam içerisindeki hava belirli hızlarda sirküle edilmelidir. Bunun yanında; insan konforunun öncelikli önem taşımadığı birçok iklimlendirme sahası da vardır. Üretim atölye ve fabrikaları, laboratuvarlar, veri işlem odaları, nükleer güç santralleri, fotoğraf ve ilaç endüstrisi, tekstil endüstrisi, hayvancılık, gıda ve çiçekçilik gibi endüstriyel tesisler doğru sıcaklık, nem, hava hareketi, hava kalitesi ve temizliği gibi karakteristikleri içeren proses ve çevre koşullarını sağlamak üzere tasarlanırlar. Örneğin bir dokuma fabrikasında, dokuma salonunun bağıl nemi, ipliklerin kopmaması ve ürün kalitesinin artırılması amacı ile %90 civarında tutulmalıdır.

### 2. TANIMLAR

#### Kuru Hava ve Atmosferik Hava:

Hava azot, oksijen ve küçük miktarlarda başka gazlardan oluşan bir karışımdır. Atmosferdeki hava bir miktar su buharı (veya nem) içerir, bu nedenle **atmosferik hava** diye adlandırılır. İçinde su buharı bulunmayan hava ise **kuru hava** olarak tanımlanır. Havayı su buharıyla kuru havanın bir karışımı olarak ele almak çözümlemeyi kolaylaştırır, çünkü kuru havanın bileşimi sabit kalırken, su buharının miktarı denizlerden, göllerden, duşlardan hatta insan vücudundan olan buharlaşma ve yoğunlaşma sonucu değişir. İklimlendirme uygulamalarında havanın sıcaklığı -10°C'den 50°C'ye kadar değişir. Bu aralıkta kuru hava mükemmel bir gaz olarak kabul edilebilir. Havadaki su buharı da (-10°C/50°C aralığında suyun doyma basıncı düşük olduğu için) mükemmel bir gaz gibi kabul edilir ve  $P_v = RT$  mükemmel gaz hal denklemini sağlar. Bu durumda atmosferik hava, basıncı kuru havanın ve su buharının kısmi basınçlarının toplamı olan, mükemmel bir gaz karışımı olarak incelenebilir.

$$P = P_a + P_v \quad [\text{kPa}] \quad (1)$$

Burada,  $P_a$ ; kuru havanın kısmi basıncını,  $P_v$ ; su buharının kısmi basıncını göstermektedir. Yukarıdaki denklemde,  $a$  indisi kuru havayı,  $v$  indisi de su buharını simgelemektedir. Havada bulunan su buharı miktarı olarak çok az olmasına karşın, insan konforunu (rahatlığını) önemli ölçüde etkiler. Bu bakımdan iklimlendirme uygulamalarında göz önüne alınması gereken temel kıstaslardan biridir.

#### Havanın Özgül Nemi ve Bağıl (İzafi) Nemi:

Havadaki su buharı miktarı değişik biçimlerde belirtilebilir. Bunun en doğrudan yolu, bir birim kuru hava kütlelerinde bulunan su buharı kütlelerini belirtmektir. Bu değer **mutlak** veya **özgül nem** diye adlandırılır ve  $w$  ile gösterilir.

$$w = \frac{m_v}{m_a} \left[ \frac{kg_{subuharı}}{kg_{hava}} \right] \quad (2)$$

Özgül nem, ideal gaz tanımı ile aşağıdaki bağıntıyla da ifade edilebilir.

$$w = \frac{m_v}{m_a} = \frac{P_v V / R_v T}{P_a V / R_a T} = 0.622 \frac{P_v}{P_a} \quad (3)$$

P toplam basınç olmak üzere,

$$w = \frac{0.622 P_v}{P - P_v} \left[ \frac{kg_{subuharı}}{kg_{hava}} \right] \quad (4)$$

1 kg *kuru hava* göz önüne alınsın. Tanımı gereği kuru havada su buharı yoktur ve bu nedenle özgül nemi sıfırdır. Kuru havaya su buharı eklendikçe özgül nemi artar. Fakat belirli bir hale erişildikten sonra havaya daha çok su buharı katmak mümkün olmaz. Bu halde hava su buharına doymuştur ve **doymuş hava** diye adlandırılır. Doymuş havaya katılan su buharı yoğunlaşır. Belirli bir sıcaklık ve basınçtaki doymuş havada bulunan su buharı miktarı (4) numaralı denklemde  $P_v$ 'yi, belirtilen sıcaklıkta suyun doyma basıncı olan  $P_g$  ile değiştirilerek hesaplanabilir. Bir ortamdaki rahatlığımız, havanın içerdiği su buharı miktarı ile yakından ilgilidir. Fakat bu rahatlığın ölçüsü daha çok havadaki su buharı miktarının (mv), aynı sıcaklıkta havada bulunabilecek en çok su buharı miktarına (mg) oranıyla ilgilidir. Bu orana **bağıl nem** adı verilir ve  $\phi$  ile gösterilir.

$$\phi = \frac{m_v}{m_g} = \frac{P_v V / R_v T}{P_g V / R_v T} = \frac{P_v}{P_g} \quad (5)$$

Burada,

$P_g = P_{doyma@T}$  olarak ifade edilir . Eşit. 4 ve 5 birleştirilirse bağıl nem;

$$\phi = \frac{wP}{(0.622 + w)P_g} \quad \text{ve} \quad w = \frac{0.622 \phi P_g}{P - \phi P_g} \quad (6-7)$$

olarak ifade edilir.

Bağıl nem; kuru hava için 0, doymuş hava için 1 değerini alır. Havada bulunabilecek su buharı miktarı sıcaklığa bağlıdır. Bu nedenle özgül

nem sabit kalırken, bağıl nem sıcaklıkla değişir.

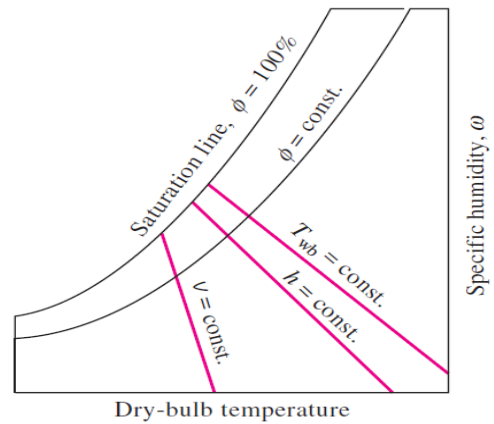
### Çiğ noktası sıcaklığı:

$T_{çn}$ , hava sabit basınçta soğutulduğu zaman havadaki su buharının yoğunlaşmaya başladığı sıcaklık diye tanımlanır. Başka bir deyişle  $T_{çn}$ , suyun buhar basıncındaki doyma sıcaklığıdır.

$$T_{çn} = T_{doyma@P_v} \quad (8)$$

### Psikrometrik diyagram:

Verilen bir basınçta atmosferik havanın hali, bağımsız iki yeğin (kütle ile değişmeyen) özellik tarafından kesin olarak belirlenir. Diğer özellikleri belirleyebilmek için psikrometrik diyagramlar, iklimlendirme uygulamalarında yaygın olarak kullanılır. 1 atmosfer (101.325 kPa) basınç için SI birimlerinde hazırlanmış bir psikrometrik diyagram EK-1'de verilmiştir. Diğer basınçlar için (deniz düzeyinden çok yüksek yerlerde kullanılmak üzere) hazırlanmış psikrometrik diyagramlar da vardır. Psikrometrik diyagramın temel öğeleri Şekil 1'de verilmiştir. Kuru termometre sıcaklıkları yatay eksen, özgül nemler ise dikey eksen yer almaktadır. Diyagramın sol tarafında, bir doğru yerine doyma eğrisi adı verilen bir eğri vardır. Sabit yaş termometre sıcaklığı eğrileri sağa doğru eksi eğimli doğrulardır. Sabit özgül hacim doğrularının eğimleri daha dik olup, sabit entalpi doğruları hemen hemen sabit yaş termometre doğrularına paraleldir.

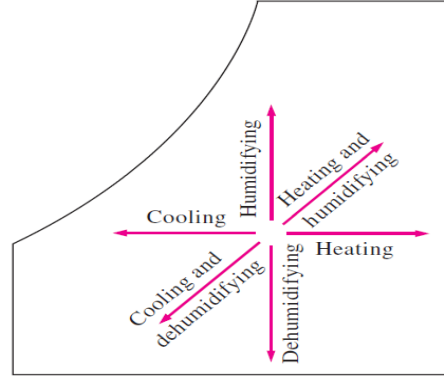


Şekil 1. Psikrometrik diyagramda özelliklerin gösterimi

### 3. İKLİMLENDİRME İŞLEMLERİ

Oturulan veya çalışılan bir ortamı istenilen sıcaklık ve nemde tutabilmek için iklimlendirme adı verilen işlemlere gerek duyulur. Bu işlemler duyulur ısıtma (sıcaklığın yükseltilmesi), duyulur soğutma (sıcaklığın düşürülmesi), nemlendirme (su buharının eklenmesi) ve nem almadır (su buharının havadan ayrılması). Havayı istenen sıcaklık ve nem düzeyine getirmek için bazen bu işlemlerden birkaçı birlikte uygulanır. Değişik iklimlendirme işlemleri Şekil 2’de, psikrometrik diyagramında gösterilmiştir. Duyulur ısıtma ve duyulur soğutma işlemleri bu diyagramda yatay birer doğru olarak görülmektedir, çünkü bu işlemler sırasında havadaki nem miktarı sabittir ( $w$ =sabit). Hava

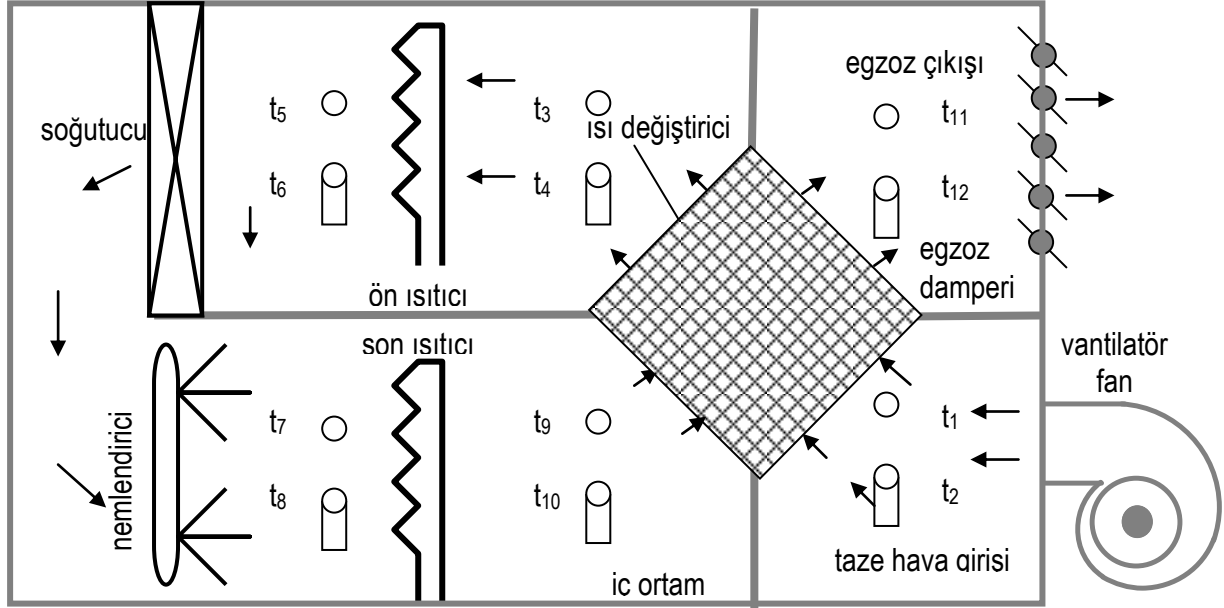
kış aylarında ısıtılır ve nemlendirilir, yaz aylarında ise soğutulur ve nemi alınır.



Şekil 2. Değişik iklimlendirme işlemleri

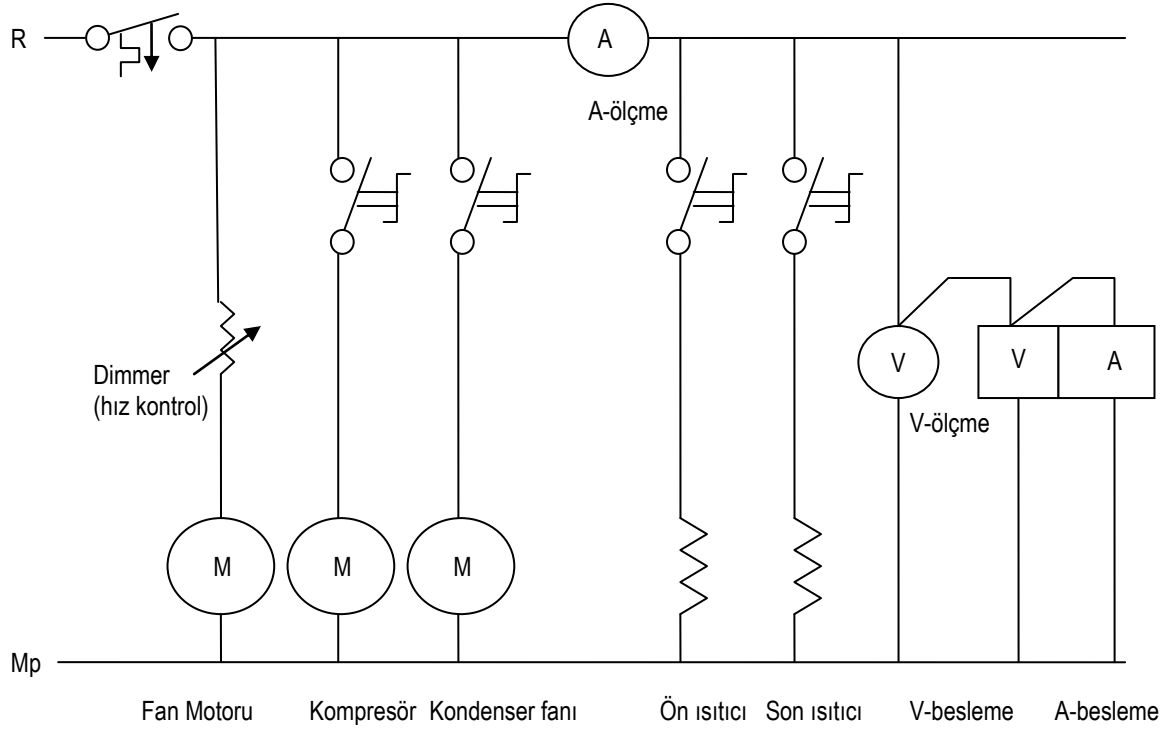
### 4. DENEY DÜZENEĞİ

#### GERİ ISI KAZANIMLI KLİMA SANTRAL EĞİTİM SETİ ŞEMASI



Şekil 3. Deney düzeneği şematik gösterimi

### ELEKTRİK KUMANDA ŞEMASI



### TEKNİK ÖZELLİKLERİ

|    |                                              |                            |
|----|----------------------------------------------|----------------------------|
| 1  | Fan markası ve modeli                        | Bahçivan                   |
| 2  | Fan motor gücü ve devir sayısı               | 170 W, 2350 d/d            |
| 3  | Fan debisi                                   | 650 m <sup>3</sup> /h      |
| 4  | Ön ısıtıcı gücü                              | 1100 W                     |
| 5  | Son ısıtıcı gücü                             | 1100 W                     |
| 6  | Nemlendirici tipi                            | Su püskürtmeli dolgulu tip |
| 7  | Isı değiştirici tipi ve malzemesi            | Plakalı (alüminyum)        |
| 8  | Isı değiştirici modeli                       | BT AL 03 N 021 M T AZ SC   |
| 9  | Isı değiştirici boyutları                    | 300x300x350                |
| 10 | Isı değiştirici sıra sayısı ve lamel aralığı | 27 sıra-7,5 mm             |
| 11 | Damper ölçüleri                              | 200x230 mm                 |

### ÇALIŞTIRMA VE BAKIM TALİMATNAMESİ

1. Kondenser lamelleri altı ayda bir basınçlı su ile temizlenmelidir.
2. Kompresör durdurulduktan sonra 5 dakika geçmeden tekrar çalıştırılmamalıdır.
3. Nemlendirici musluğu çok fazla açılmamalıdır. Aksi takdirde drenaj tavaşı taşabilir.
4. Fan düşük devirde iken ısıtıcıların aşırı yüklenmemesi gerekir.



A. DENEY NO: 01

B. DENEYİN ADI:

**Isıtma durumunda ısı geri ısı kazanım kapasitesinin ve veriminin hesaplanması**

C. DENEYİN AMACI:

Plakalı ısı geri kazanım cihazını tanımak ve verim hesaplamalarını yapmak

D. GEREKLİ ALET VE MALZEMELER:

- Hava hız ölçer (anemometre)

E. DENEYİN YAPILIŞI:

- Sigortaları açarak fanı ve ön ısıtıcıyı çalıştırın.
- Sistemdeki tüm sıcaklıkları ölçün.
- Çevrimi psikrometrik diyagrama aktarın.
- Isı değiştiriciden kazanılan ısı miktarını hesaplayın.
- Isı değiştiriciden kazanılan ısı miktarını toplam ısı yüküne oranlayın.
- Isı değiştiricinin ısıl verimini hesaplayın.

F. RAPORDA İSTENENLER: Deney no, deneyin adı ve amacı, temel işlemler, tablo değerleri ve hesaplamalar

| Fan konumu                                                      | 2 | 3 | 4 |
|-----------------------------------------------------------------|---|---|---|
| Giriş kuru termometre, $t_1$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]             |   |   |   |
| Giriş yaş termometre, $t_2$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]              |   |   |   |
| Isı değiştirici çıkışı kuru t., $t_3$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]    |   |   |   |
| Isı değiştirici çıkışı yaş t., $t_4$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]     |   |   |   |
| Ön ısıtma sonu kuru term., $t_5$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]         |   |   |   |
| Ön ısıtma sonu yaş term., $t_6$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]          |   |   |   |
| Soğ. Nem sonu kuru term., $t_7$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]          |   |   |   |
| Soğ. nem sonu yaş term., $t_8$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]           |   |   |   |
| Son ısıtma sonu kuru term., $t_9$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]        |   |   |   |
| Son ısıtma sonu yaş term., $t_{10}$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]      |   |   |   |
| Isı değiştirici çıkışı kuru t., $t_{11}$ [ $^{\circ}\text{C}$ ] |   |   |   |
| Isı değiştirici çıkışı yaş t., $t_{12}$ [ $^{\circ}\text{C}$ ]  |   |   |   |
| *Hava hızı, $u$ [m/s]                                           |   |   |   |
| Giren havanın özgül hacmi, $v$ [ $\text{m}^3/\text{kg}$ ]       |   |   |   |

\* Hava hızı fan girişinde 4 noktadan ölçülerek ortalaması bulunarak hesaplanacaktır.

A. DENEY NO: 02

G. DENEYİN ADI:

**Soğutma durumunda ısı geri ısı kazanım kapasitesinin ve veriminin hesaplanması**

H. DENEYİN AMACI:

Plakalı ısı geri kazanım cihazını tanımak ve verim hesaplamalarını yapmak

İ. GEREKLİ ALET VE MALZEMELER:

- Hava hız ölçer (anemometre)

J. DENEYİN YAPILIŞI:

1. Sigortaları açarak fanı ve kompresörü çalıştırın.
2. Sistemdeki tüm sıcaklıkları ölçün.
3. Çevrimi psikrometrik diyagrama aktarın.
4. Isı değiştiriciden kazanılan ısı miktarını hesaplayın.
5. Isı değiştiriciden kazanılan ısı miktarını toplam ısı yüküne oranlayın.
6. Isı değiştiricinin ısıl verimini hesaplayın.

K. RAPORDA İSTENENLER: Deney no, deneyin adı ve amacı, temel işlemler, tablo değerleri ve hesaplamalar

| Fan konumu                                               | 2 | 3 | 4 |
|----------------------------------------------------------|---|---|---|
| Giriş kuru termometre, $t_1$ [ $^{\circ}$ C]             |   |   |   |
| Giriş yaş termometre, $t_2$ [ $^{\circ}$ C]              |   |   |   |
| Isı değiştirici çıkışı kuru t., $t_3$ [ $^{\circ}$ C]    |   |   |   |
| Isı değiştirici çıkışı yaş t., $t_4$ [ $^{\circ}$ C]     |   |   |   |
| Ön ısıtma sonu kuru term., $t_5$ [ $^{\circ}$ C]         |   |   |   |
| Ön ısıtma sonu yaş term., $t_6$ [ $^{\circ}$ C]          |   |   |   |
| Soğ. Nem sonu kuru term., $t_7$ [ $^{\circ}$ C]          |   |   |   |
| Soğ. nem sonu yaş term., $t_8$ [ $^{\circ}$ C]           |   |   |   |
| Son ısıtma sonu kuru term., $t_9$ [ $^{\circ}$ C]        |   |   |   |
| Son ısıtma sonu yaş term., $t_{10}$ [ $^{\circ}$ C]      |   |   |   |
| Isı değiştirici çıkışı kuru t., $t_{11}$ [ $^{\circ}$ C] |   |   |   |
| Isı değiştirici çıkışı yaş t., $t_{12}$ [ $^{\circ}$ C]  |   |   |   |
| *Hava hızı, $u$ [m/s]                                    |   |   |   |
| Giren havanın özgül hacmi, $v$ [ $m^3/kg$ ]              |   |   |   |

\* Hava hızı fan girişinde 4 noktadan ölçülerek ortalaması bulunarak hesaplanacaktır.