

2022-2023 GÜZ YARIYILI

EMB 433-ENERJİ LABORATUVAR PROGRAMI

| DENEY | SORUMLU | DENEY TARİHLERİ VE SAATLERİ | | |
|---|------------------------------|-----------------------------|-----------------|-----------------|
| | | 20/10/2022 | 27/10/2022 | 03/11/2022 |
| | | Başlangıç Saati | Başlangıç Saati | Başlangıç Saati |
| Boru Kayıpları Deneyi | Arş. Gör. E. Serhat AKYÜZ | 13:00 | | |
| Elektrik Makineleri ve Sürücüler Deneyi | Arş. Gör. G. Gizem TOLUN | 14:00 | | |
| Yakıt Pili | Arş. Gör. E. Serhat AKYÜZ | | 13:00 | |
| Isı Geri Kazanımı Deneyi | Arş. Gör. G. Gizem TOLUN | | 14:00 | |
| Çok Amaçlı Soğutma Deneyi | Arş. Gör. E. Serhat AKYÜZ | | | 13:00 |
| Francis Türbin Deneyi | Arş. Gör. G. Gizem TOLUN | | | 14:00 |

EMB 433-ENERJİ LABORATUVAR Yoklama Listesi

| Öğrenci No | Adı Soyadı |
|-------------|------------------------|
| 2015701028 | SELİM CAN DEDEOĞLU |
| 2016701003 | FURKAN ÇÜRÜK |
| 2016701010 | SERDAR HAYTAOĞLU |
| 2016701101 | MUHAMMED EL ABO |
| 2019701001 | MUHAMMED BURAK YÜCEBAĞ |
| 2019701100 | FATIMA ALHAJ YOUSSEF |
| 2019701106 | MUHAMMET NADİR TOKGÖZ |
| 20217010001 | KÜBRA YILDIRIM |

- Her öğrenci en az 5 deneye katılmak ve deney raporunu teslim etmek zorundadır. Daha az sayıda deneye katılanlar devamsız sayılacaklardır. Başarı değerlendirmesi 6 deney üzerinden yapılacaktır.
- Öğrencinin her deney için deney öncesindeki sınav, deney performansı, rapor ve rapor tesliminde yapılacak sözlü sınavından aldığı notlar aşağıda belirlenen oranlarda birleştirilerek her deney için bir not ve bu notların aritmetik ortalamasından ise her öğrenci için ara sınav notu oluşturulacaktır.

| Deney Öncesi sınav | Deney Performansı | Rapor | Sözlü |
|--------------------|-------------------|-------|-------|
| %20 | %20 | %40 | %20 |

NOT: Deney föylerine bölüm web sayfasından ulaşılabilir.



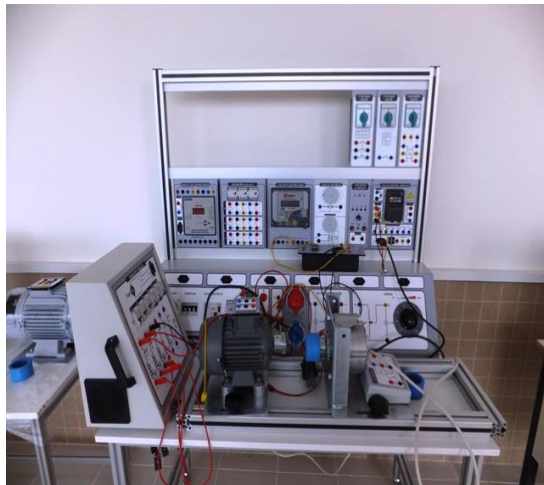
Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi

Mühendislik Fakültesi

Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü

EMB 433 ENERJİ LABORATUVARI DERSİ

DENEY FÖYLERİ



2022-2023 GÜZ DÖNEMİ



Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi
Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü

ISI GERİ KAZANIM DENEY FÖYÜ



1. GİRİŞ

Klima sistemlerinde egzoz havasından yararlanmak, soğutma sistemlerinde kondenserden atılan ısının kullanılması veya motorların soğutulması ve egzoz gazlarından atılan ısının kullanılması işlemine **ısı geri kazanımı** denir. Bir başka deyişle herhangi bir makinada esas süreç sonucunda ısı atımı söz konusu oluyorsa atılan ısının kullanılması işlemine ısı geri kazanımı denir.

Isı geri kazanımına örnek teşkil eden bazı uygulamalar şöyledir;

- Bir proses soğutmasında kondenserden geri kazanılan ısı büro ısıtmasında kullanılır.
- Nem alma, ön ısıtma gibi konfor şartlarının yaratılmasında kullanılır.
- Otellerde soğutma esnasında kondenserde atılan ısı, sıcak su elde etmek için kullanılır.

Isı geri kazanımında ısı kaynağındaki sıcaklığın düşük olması halinde bu ısı, ısı pompası yardımı ile sıcaklığı yükseltilebilir.

Isı geri kazanım sistemleri, atık ısıların % 25 ile % 90 arasındaki kısmının geri kazanılması mümkündür. HVAC (havalandırma-iklimlendirme) sistemlerinde bu oran, optimum çözümlü uygulamalar için % 35 ile % 80 aralığındadır. Havadan havaya plakalı eşanjörlerin kullanılması durumunda ise bu oranın, projenin optimum çözüm limitlerinde kalabilmesi için, % 45 ile % 65 arasında tutulması gerekmektedir.

1.1. Psikometri

Psikometri, nemli havanın termodinamik özellikleri ile bu özellikleri kullanarak nemli havadaki işlemler ve şartlar ile ilgilenen, termodinamiğin bir dalıdır. Psikrometrik diyagram, genel itibariyle kapalı mahalleri istenilen (sıcaklık, nem) koşullara getirmek amacıyla gerekli hesapları yapabilmek için kullanılmaktadır. Bu mahaller, yaşama alanları veya özellikleri gereği belli koşullarda kalması gereken hacimler olabilir (bilgi işlem üniteleri, tekstil malzemeleri vb.

1.2. Tanımlar ve Psikometrik Diyagramdaki Gösterimleri

Kuru Termometre Sıcaklığı (Kt, °C)

Normal bir termometre ile yani haznesinin etrafı kuru olup hava ile temas halinde olan bir termometre ile ölçülen hava sıcaklığına denir.

Yaş Termometre Sıcaklığı (Yt, °C)

Haznesinde ıslak bir bezle sarılı termometrenin, normal hava akımı sağlanıp, hazne etrafındaki hava doyumluk sınırına getirildiğinde termometrenin gösterdiği sıcaklıktır.

Çiğ Noktası Sıcaklığı

Sabit basınçta soğutulan nemli havanın içerdiği su buharının yoğunlaşmaya başladığı sıcaklığa denir.

Entalpi (h- kcal/kg)

Kuru hava - su buharı karışımına (ıslak havaya) ısıtılması esnasında verilmesi ya da soğutulması esnasında alınması gereken ısı miktarıdır. Havadaki ısı miktarını, belirlenmiş bir referans değerine göre gösteren bir ısıl özelliktir.

Bağıl Nem (ϕ)

Mevcut havada bulunan su buharı miktarının aynı sıcaklıktaki doymuş havada bulunan su buharı miktarına oranına denir.

Özgül Nem (gr/kg)

Mevcut havada bulunan birim miktardaki nemli havanın ihtiva ettiği su buharı miktarına denir.

Yani mevcut şartlarda 1 kg havadaki nemin gram cinsinden miktarıdır.

Yoğunluk (ρ -kg/m³)

Nemli hava ağırlığının, kapladığı hacme oranı hava yoğunluğu olarak tanımlanır. Hava yoğunluğunu etkileyen unsurlar, içindeki su buharı miktarı, havanın sıcaklığı, ve havanın bulunduğu rakım ve açık hava basıncı olarak sayılabilir. Psikrometrik diyagram üzerinde bu değişkenlere göre havanın yoğunluğu belirlenebilmektedir.

Duyulur Isı (Q_d - kcal/kg)

Nemli havadan, kuru termometre sıcaklığını değiştirmek için verilmesi ya da alınması gereken ısı miktarıdır.

Gizli Isı (Q_g - kcal/kg)

Nemli havadan, kuru termometre sıcaklığı değişmeksizin içeriğindeki su buharının yoğuşturulması yani faz durumunu değiştirmek için verilen veya alınan ısı miktarıdır.

Duyulur ısı Oranı

Duyulur ısının (Q_{duyulur}), toplam ısıya (Q_{duyulur} + Q_{gizli}) oranıdır.

Havanın Özgül Isısı (CP - Kcal/kg °C)

1 kg nemli havanın sıcaklığını 1 °C arttırmak için gereken ısı miktarına özgül ısı denir.

-100 ile + 100 °C aralığı için,

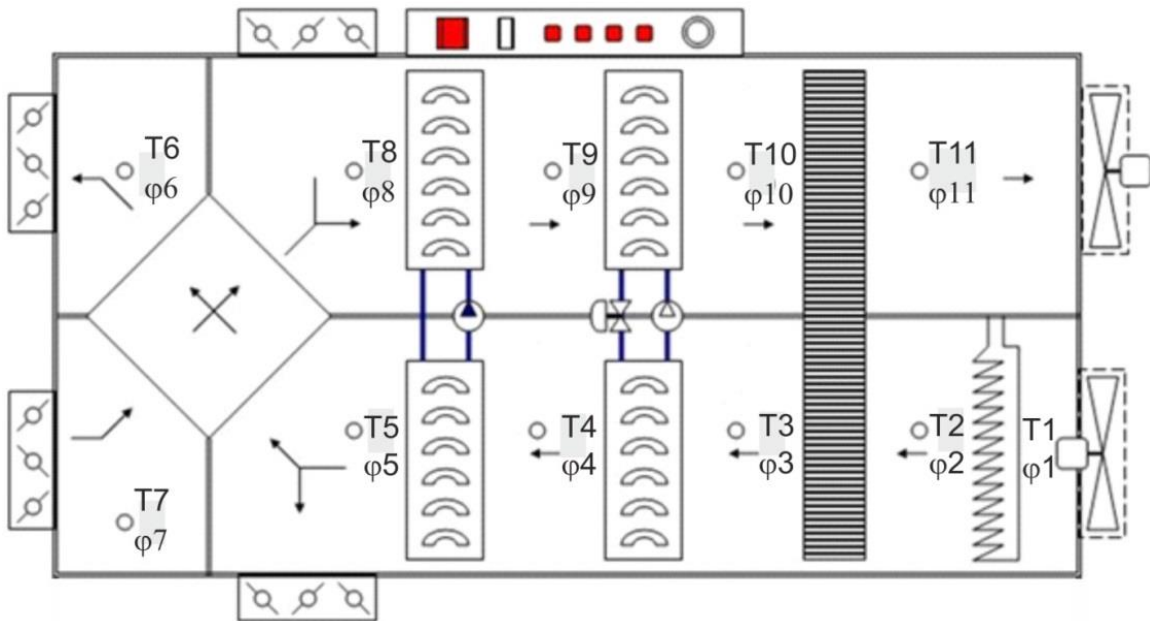
$$C_p = 1,004 \text{ KJ/kg}^\circ\text{C} = 0,24 \text{ kcal/kg}^\circ\text{C}$$

Duyulur Isı Oranı Çizgisi (Doğrusu)

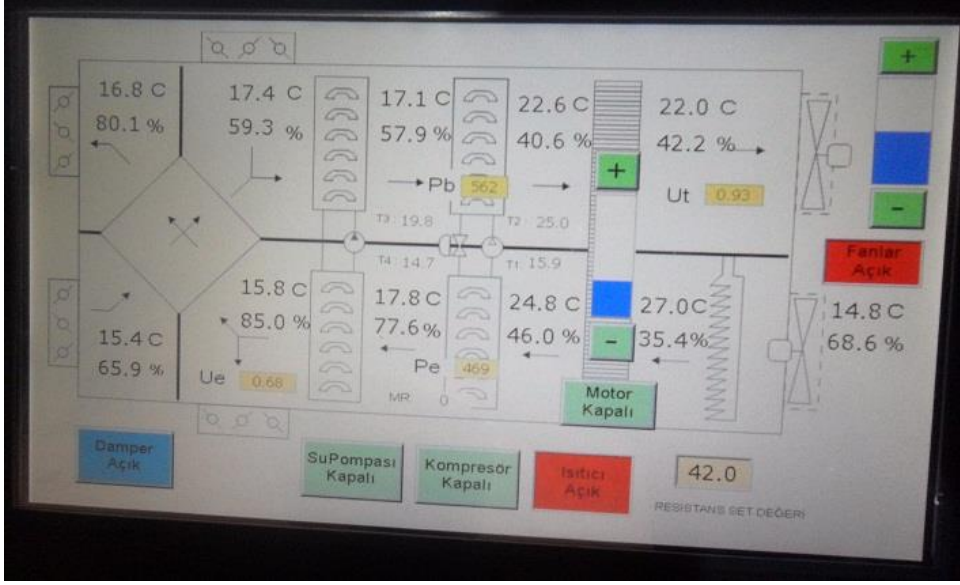
Duyulur ısı oranı ile referans noktasından geçen çizgiye duyulur ısı oranı çizgisi denir.

2. DENEY DÜZENEGİ VE DENEYLER

Bu deneyde, ısı geri kazanımı için kullanılan farklı tip ısı değıştircilerin (ısı tekeri, ısı pompası, sulu tip ısı değıştirici ve plakalı ısı değıştirici) farklı çalışma koşullarında karşılaştırılması amaçlanmıştır.



Şekil 1. Isı geri kazanım sisteminin şeması



Şekil 2. Isı geri kazanım sisteminin kontrol ekranı

2.1. Isı Teker (Rejeneratör) Etkinliğinin Hesaplanması (Deney No: 1)

Denevin Amacı: Kazanılan atık ısı ve ısı tekerinin etkinlik değerinin deneysel olarak incelenmesi.

Denevin Yapılışı:

- 1) Sigortaları açık (ON) konumuna getirilir.
- 2) Fanları dokunmatik ekran yardımıyla çalıştırılır (Şekil 2).
- 3) Fan frekansını her iki kanaldaki hızlar 1.2 m/s olacak şekilde ayarlanır.
- 4) Isı tekeri devir sayısını ayarlayın (2, 4, 6 ve 8 dev/dk değerleri için).
- 5) Isıtıcı çıkışındaki sıcaklığı (T_2) 50°C olacak şekilde ayarlayın.
- 6) Sistem kararlı hale gelince ölçümleri aşağıdaki tabloya kaydedin.
- 7) Tablo değerlerini kullanarak aşağıdaki hesaplamaları yapın. Bu hesaplamalar için psikometrik diyagramdan yararlanın.

| Ölçüm sayısı | 1 (n=2 dev/dk) | 2 (n=4dev/dk) | 3 (n=6 dev/dk) | 4 (n=8 dev/dk) |
|--|-------------------|------------------|-------------------|-------------------|
| Isıtıcı çıkışındaki hava sıcaklığı, T_2 [°C] | | | | |
| Isıtıcı çıkışındaki havanın nemi, φ_2 [%] | | | | |
| Isı tekeri alt çıkış hava sıcaklığı, T_3 [°C] | | | | |
| Isı tekeri alt çıkış hava nemi, φ_3 [%] | | | | |
| Isı tekeri üst giriş hava sıcaklığı, T_{10} [°C] | | | | |
| Isı tekeri üst giriş hava nemi, φ_{10} [%] | | | | |
| Isı tekeri üst çıkış hava sıcaklığı, T_{11} [°C] | | | | |
| Isı tekeri üst çıkış hava nemi, φ_{11} [%] | | | | |
| Taze hava hızı (üst kanal), u_t [m/s] | | | | |
| Egzoz hava hızı (alt kanal), u_e [m/s] | | | | |

n: Isı tekeri devir sayısı (dev/dk)

Hesaplamalar:

Egzoz havasından aktarılan ısı: $\dot{Q}_1 = \dot{m}_e (h_2 - h_3) \quad (\text{kW})$

Isı tekerinden taze havaya aktarılan ısı: $\dot{Q}_2 = \dot{m}_t (h_{10} - h_{11}) \quad (\text{kW})$

Isı tekeri etkinlik değeri: $\eta_t = \frac{T_2 - T_3}{T_2 - T_{10}}$

Havanın hacimsel debisi:

$$\dot{V}_t = A \times u_t \quad (m^3 / s)$$

$$\dot{V}_e = A \times u_e \quad (m^3 / s)$$

Havanın kütleli debisi:

$$\dot{m}_t = \frac{\dot{V}_t}{v_t} \quad (kg / s)$$

$$\dot{m}_e = \frac{\dot{V}_e}{v_e} \quad (kg / s)$$

$$A = \text{Panjur kesit alanı} = 0.2763 m^2$$

$$u_t = \text{Taze hava hızı (üst kanal)} \quad (m/s)$$

$$u_e = \text{Egzoz hava hızı (alt kanal)} \quad (m/s)$$

$$v_t = \text{Taze havanın özgül hacmi} \quad (m^3/kg)$$

$$v_e = \text{Egzoz havasının özgül hacmi} \quad (m^3/kg)$$

2.2. Sulu Isı Değiştirici Etkinliğinin Hesaplanması (Deney No: 2)

Deneyin Amacı: Sulu ısı değiştiricide farklı hava debilerinde kazanılan atık ısı miktarının ve ısı değiştiricinin etkinlik değerinin deneysel olarak hesaplanması.

Deneyin Yapılışı:

- 1) Sigortaları açık (ON) konumuna getirilir.
- 2) Fanları dokunmatik ekran yardımıyla çalıştırılır.
- 3) Su dolaşım pompasını çalıştırılır.
- 4) Isıtıcı çıkışındaki sıcaklığı (T_2) 50°C olacak şekilde ayarlanır.
- 5) Sistem kararlı hale gelince sıcaklık, nem ve hava hızı değerlerini aşağıdaki tabloya kaydedin.
- 6) Tablo değerlerini kullanarak aşağıdaki hesaplamaları yapın. Bu hesaplamalar için psikometrik diyagramdan yararlanın.
- 7) Fan frekansını her iki kanaldaki hızlar 1 ve 1.2 m/s olacak şekilde bu deneyi tekrarlayınız.

| Ölçüm sayısı | 1 | 2 | 3 |
|---|--------------------------------|------------------------------------|----------------------------------|
| | ($u_t=1$ m/s $u_e= 1$ m/s) | ($u_t=1.2$ m/s $u_e= 1.2$ m/s) | ($u_t=1.2$ m/s $u_e= 1$ m/s) |
| Isıtıcı çıkışındaki hava sıcaklığı, T_2 [°C] | | | |
| Isıtıcı çıkışındaki havanın nemi, ϕ_2 [%] | | | |
| Sulu Batarya alt giriş hava sıcaklığı, T_4 [°C] | | | |
| Sulu Batarya alt giriş hava nemi, ϕ_4 [%] | | | |
| Sulu Batarya alt çıkış hava sıcaklığı, T_5 [°C] | | | |
| Sulu Batarya alt çıkış hava nemi, ϕ_5 [%] | | | |
| Sulu Batarya üst giriş hava sıcaklığı, T_8 [°C] | | | |
| Sulu Batarya üst giriş hava nemi, ϕ_8 [%] | | | |
| Sulu Batarya üst çıkış hava sıcaklığı, T_9 [°C] | | | |
| Sulu Batarya üst çıkış hava nemi, ϕ_9 [%] | | | |

u_t : Taze hava hızı (üst kanal)

u_e : Egzoz hava hızı (alt kanal)

Hesaplamalar:

Egzoz havasından bataryaya aktarılan ısı: $\dot{Q}_1 = \dot{m}_e (h_4 - h_5)$

Sulu bataryadan taze havaya aktarılan ısı: $\dot{Q}_2 = \dot{m}_t (h_8 - h_9)$

Sulu ısı değiştiricinin etkinlik değeri: $\eta_t = \frac{T_4 - T_5}{T_4 - T_8}$

2.3.Rekuperatör (Plakalı Isı Değiştirici) Etkinliğinin Hesaplanması (Deney No: 3)

Denevin Amacı: Rekuperatörün farklı hava debilerinde kazanılan atık ısı miktarının ve ısı değiştiricinin etkinlik değerinin deneysel olarak hesaplanması.

Denevin Yapılışı:

- 1) Sigortaları açık (ON) konumuna getirin.
- 2) Fanları dokunmatik ekran yardımıyla çalıştırın.
- 3) Plakalı ısı değiştirici için kontrol ekranından damperleri açık konuma getirin.
- 5) Isıtıcı çıkışındaki sıcaklığı (T_2) 50°C olacak şekilde ayarlayın.
- 6) Sistem kararlı hale gelince sıcaklık, nem ve hava hızı değerlerini aşağıdaki tabloya kaydedin.
- 7) Tablo değerlerini kullanarak aşağıdaki hesaplamaları yapın. Bu hesaplamalar için psikrometrik diyagramdan yararlanın.
- 8) Tabloda verilen farklı fan frekansları için bu deneyi tekrarlayınız.

| | | | |
|--|-------------------------------------|---|---------------------------------------|
| Ölçüm sayısı | 1 ($u_t=1$ m/s $u_e= 1$ m/s) | 2 ($u_t=1.2$ m/s $u_e= 1.2$ m/s) | 3 ($u_t=1.2$ m/s $u_e= 1$ m/s) |
| Isıtıcı çıkışındaki hava sıcaklığı, T_2 [°C] | | | |
| Isıtıcı çıkışındaki havanın nemi, ϕ_2 [%] | | | |
| Plaka alt giriş hava sıcaklığı, T_5 [°C] | | | |
| Plaka alt giriş hava nemi, ϕ_5 [%] | | | |
| Plaka alt çıkış hava sıcaklığı, T_6 [°C] | | | |
| Plaka alt çıkış hava nemi, ϕ_6 [%] | | | |
| Plaka üst giriş hava sıcaklığı, T_7 [°C] | | | |
| Plaka üst giriş hava nemi, ϕ_7 [%] | | | |
| Plaka üst çıkış hava sıcaklığı, T_8 [°C] | | | |
| Plaka üst çıkış hava nemi, ϕ_8 [%] | | | |

u_t : Taze hava hızı (üst kanal)

u_e : Egzoz hava hızı (alt kanal)

Hesaplamalar:

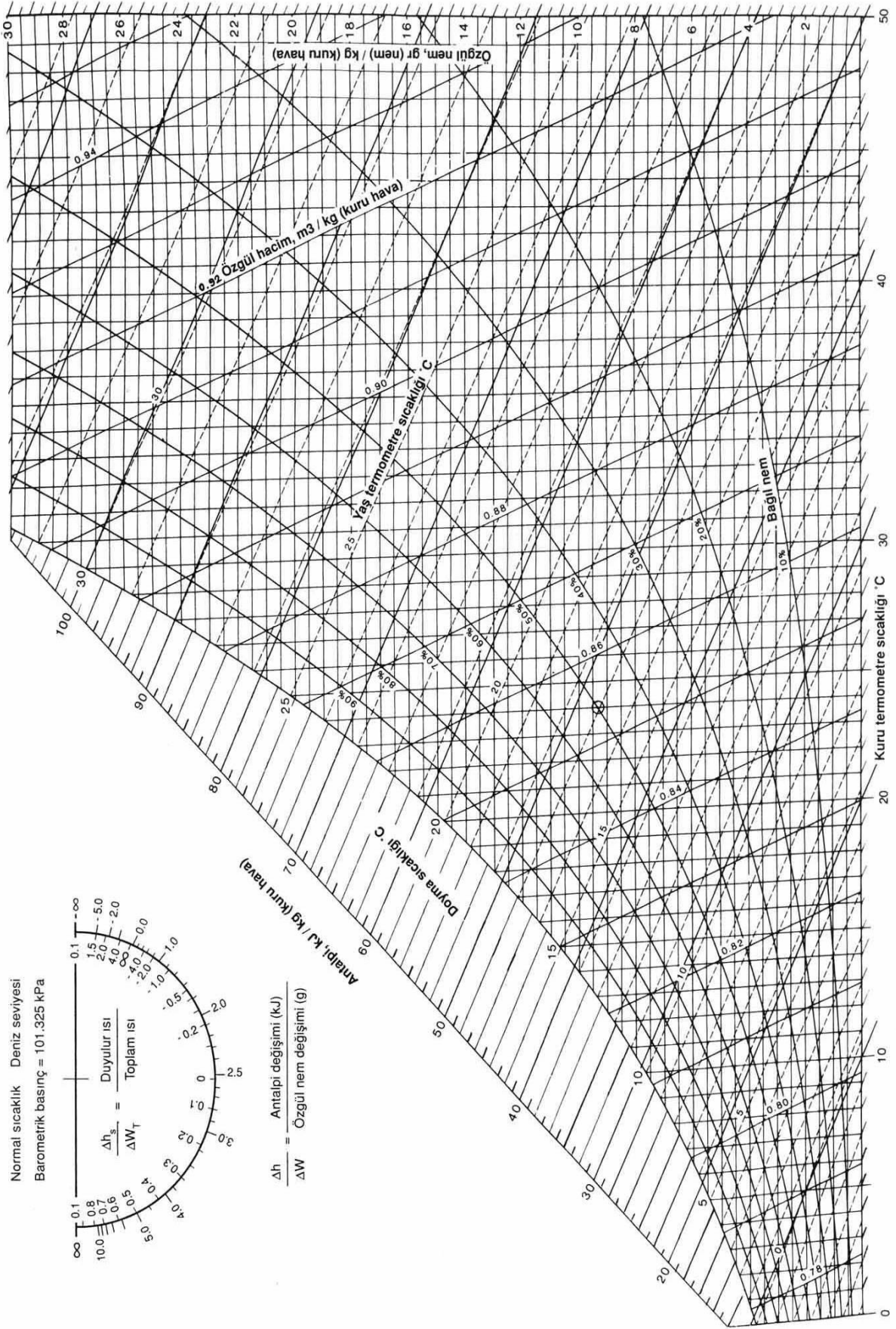
Plakalı eşanjöre verilen ısı yükü: $\dot{Q}_1 = \dot{m}_e (h_5 - h_6)$

Plaka'dan alınan yük: $\dot{Q}_2 = \dot{m}_t (h_8 - h_7)$

Isıl etkinlik değeri: $\eta_t = \frac{T_5 - T_6}{T_5 - T_7}$

3. Raporda İstenenler

1. Isı geri kazanımı ile ilgili genel bilgi veriniz.
2. Isı tekerinden geri kazanılan ısıyı ve ısı tekerinin etkinlik değerini hesaplayınız. Isı teker devrinin değişimi ile etkinlik değerlerini grafiksel olarak değerlendiriniz.
3. Sulu ısı değiştiriciden geri kazanılan ısıyı ve etkinliğini hesaplayınız.
4. Reküperatörlü ısı değiştiricinin geri kazanılan ısıyı ve etkinliğini hesaplayınız.





Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi
Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü

FRANCIS TÜRBİNİ DENEY FÖYÜ



1.GİRİŞ

1.1 Francis Türbinleri

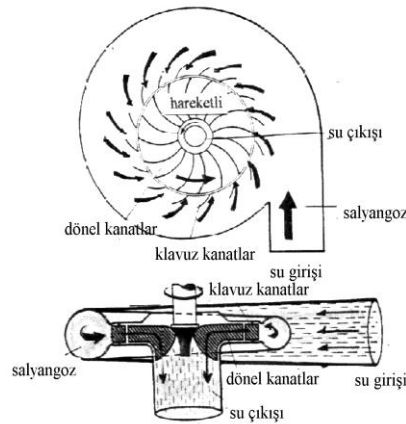
Genellikle orta kademe su düşmelerinde ve büyük debilerde iyi sonuç verirler. Tam püskürtmeli olarak tanınan bu türbinlerde suyun debisi $130 \text{ m}^3/\text{s}$ civarındadır. Girişteki suyun potansiyel enerjisinin bir kısmı kinetik enerjiye çevrilir. **Difüzör** vasıtasıyla suyun hızı, çarka girişte en yüksek değerini alır. Suyun hızla çıkması sonucu oluşan tepkime ile çark döndürülür. Bu türbinlerde statör (**salyangoz**), su kütlesini çarka bütün çevreden gönderir. Suyun yörüngesi çarka girişte çevreden merkeze doğru, çıkışta ise dönme eksenine paraleldir.

Geniş kullanma alanı olan bu türbinlerin büyük güçte olanları dik, küçük güçte olanları yatay eksenli çalışırlar. Francis türbinler kendi aralarında, yüksek hızlı, orta hızlı ve yavaş hızlı olmak üzere üçe ayrılırlar.

Francis türbinleri suyun giriş sırasına göre salyangoz, sabit dağıtıcı, hareketli dağıtıcı, kumanda çemberi ve kumanda mekanizması, çark ve emme borusu kısımlarından oluşurlar.

1.2 Salyangoz

Cebri boru Şekil-1’de görüldüğü gibi salyangoz biçiminde bir muhafaza (zarf) ile son bulur. Bu zarf Francis türbinin salyangoz kısmını oluşturur. Salyangoz cebri borudan gelen suya türbin çevresi boyunca eşit hızla taşıyan ve sabit dağıtıcılara gelmesini sağlayan bir kılıftır. Genel olarak kesitleri daire şeklindedir. Yüksek düşüslü türbinlerde salyangoz çelikten, alçak düşüslü türbinlerde ise betondan yapılır.



Şekil 1.1 Francis çarkı ve salyangoz

1.3 Sabit ve Hareketli Dağıtıcılar

Salyangozdan gelen su, önce sabit dağıtıcılara sonra da hareketli dağıtıcılara gelir. Sabit dağıtıcılar suyu çarka yönlendirirler. Hareketli dağıtıcılar türbine gelen suyu açıp kapamaya, istenilen miktarda çarka göndermeye yararlar. Ayrıca türbinden çekilen güce göre çarka gelen suyu otomatik olarak ayarlarlar; herhangi bir arıza anında türbine gelen suyu anî olarak kapatırlar.

1.4 Kumanda Çemberi ve Mekanizması

Hareketli dağıtıcılar bir kumanda çemberine bağlı olup, kumanda çemberi de bir mekanizma ile hareket ettirilerek debiyi değiştirirler. Hareketli dağıtıcılar pimler vasıtasıyla kumanda çemberine bağlanırlar.

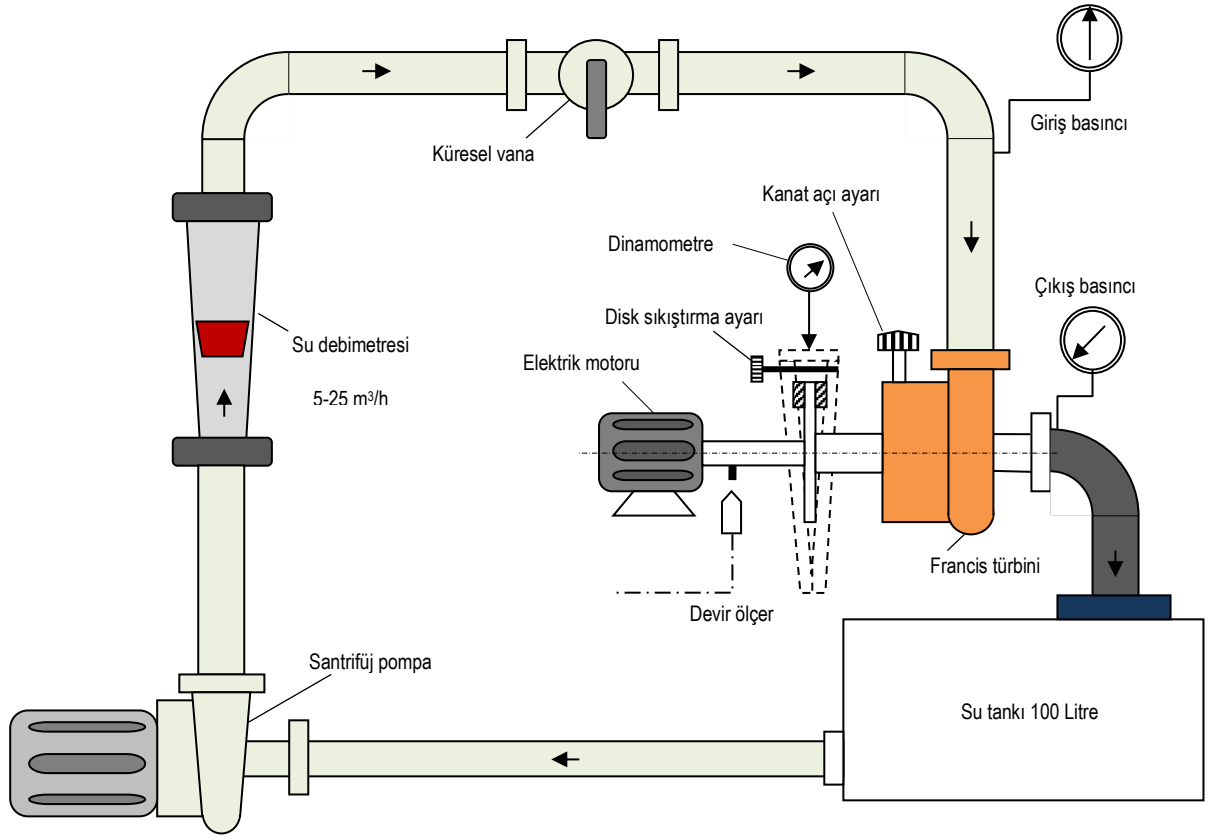
1.5 Çark

İki döner çarkın birbirine kanatlar yardımıyla birleştirilmesi ile meydana gelir. Kanatlar ile sınırlanan kanalların kesitleri girişten çıkışa doğru azalarak gittiğinden, çevreden giren suyun potansiyel enerjisi kinetik enerjiye çevrilerek kanatları büyük bir hızla terk eder. Bu esnada meydana gelen tepkime kuvveti çarkı döndürür.

1.6 Emme Borusu (yayıcı)

Çarktan çıkan suyu boşaltma kanalına ileten borudur. Emme borusu çıkış hızını azaltarak türbinin genel verimini artırır. Küçük türbinlerde emme borusu kesitleri dairesel, büyük türbinlerde ise dirsekli yapılıdır.

2. DENEY DÜZENEĞİ VE DENEYLER



Şekil 2.1 Denev düzeneği

TABLO 2.1 Malzeme listesi

| MALZEMENİN ADI | ADEDİ | ÖZELLİĞİ |
|---------------------------|-------|---|
| Torkmetre | 1 | Kapasite 0-50 N |
| DC elektrik motoru | 1 | 12 VDC, 3200 d/d |
| Pompa | 1 | 100-150 L/d, $H_{maks}=9,8$ m, 2900 d/d |
| Debimetre | 1 | 5-25 m ³ /h |
| Manometreler | 2 | 0-16 mSS ve 0-6 mSS, $\Phi 100$ mm |
| Takometre | 1 | ERM-3770 Yaklaşım anahtarlı |
| Çoklu sıcaklık göstergesi | 1 | EMKO ESM-3710 |
| Sayısal multimetre | 1 | ENTES EPM-06 |
| Francis türbini | 1 | $\Phi 250$ mm, kılavuz kanat ayarlı |
| Debi ayar vanası | 1 | Küresel vana, DN50 paslanmaz |
| Su tankı | 1 | 100tre |

➤ **Deney No:1 Farklı akış debilerinde türbin çıkış gücünün değişim**

DENEYİN AMACI: Türbin veriminin akış debisine bağlı olarak nasıl değiştiğini kavramak.

DENEYİN YAPILIŞI:

- 1) Ana şalteri açın, pompayı çalıştırın.
- 2) Küresel vanayı tam açık konuma getirin.
- 3) Kanat açısı ayarını sola çevirerek en dik konuma getirin.
- 4) Dinamometrenin kadranını sıfırlayın.

- 5) Dinamometrenin disk sıkıştırma ayar vidasını yavaşça sıkıştırın.
- 6) Disk yavaşladığında ölçülen dinamometre değerini ve türbin devir sayısını kaydedin.
- 7) Türbine giriş-çıkış basınçlarını kaydedin.
- 8) Yukarıdaki ölçümleri 7, 6 ve 5 m³/h için tekrarlayın.
- 9) Tablo değerlerini kullanıp, örnekteki bağıntı yardımıyla türbin verimlerini hesaplayın.
- 10) Akış debisi-verim değerlerini ekteki grafik üzerine aktarın.

RAPORDA İSTENENLER: Deney no, deneyin adı ve amacı, örnek değerler için türbin verim hesapları, akış debisi verim grafiği.

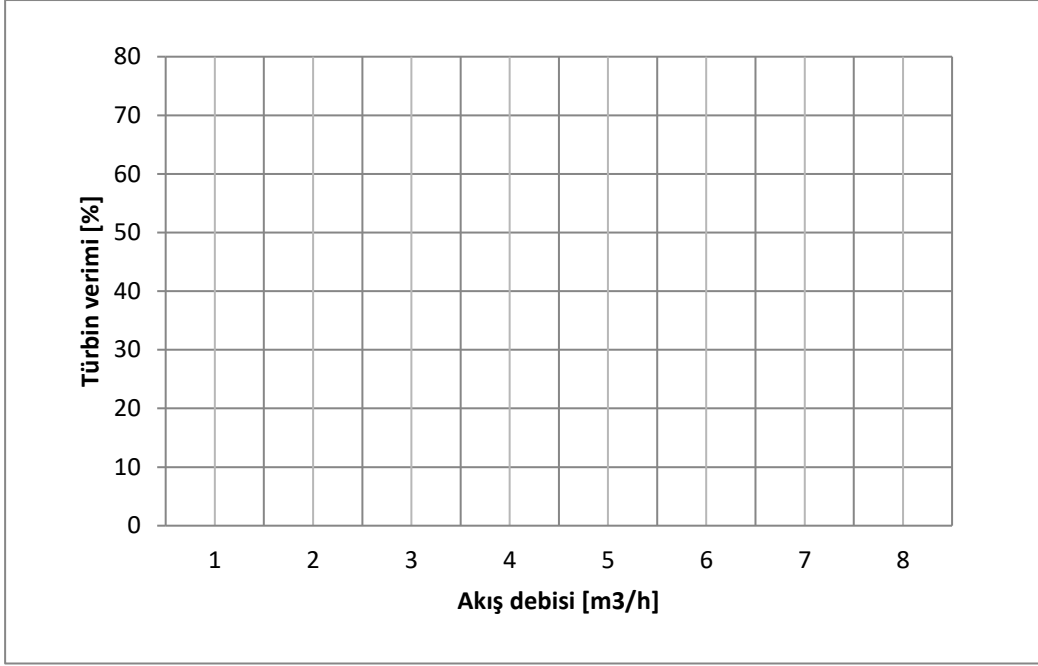
| Ölçüm sayısı | 1 | 2 | 3 |
|--|---|---|---|
| Devir sayısı, n [d/d] | | | |
| Dinamometre kuvveti, F [N] | | | |
| Su debisi, \dot{V} [m ³ /h] | | | |
| Su giriş basıncı, P ₁ [mSS] | | | |
| Su çıkış basıncı, P ₂ [mSS] | | | |

HESAPLAMALAR:

Türbin verimi [%]
$$\mu = \frac{M_d \cdot \omega}{P_h} = \frac{0,085 F \cdot 2 \cdot \pi \cdot n / 60}{\dot{m} \cdot g \cdot H}$$

M_d: Döndürme momenti [nm] ω: Açısal hız [rad/s] F: Dinamometre kuvveti [N] \dot{m} : Suyun debisi [kg/s]

g: Yer çekim ivmesi = 9.81 [m/s²] H: Net düşü [mSS], H=P₁-P₂



➤ **Deney No:2 Farklı kılavuz kanat açılarında türbin veriminin değişimi**

DENEYİN YAPILIŞI:

- 1) Ana şalteri açın, pompayı çalıştırın.
- 2) Küresel vanayı tam açık konuma getirin.
- 3) Kanat açısı ayarını sola çevirerek en dik konuma getirin.
- 4) Dinamometrenin kadranını sıfırlayın.
- 5) Dinamometrenin disk sıkıştırma ayar vidasını yavaşça sıkıştırın.
- 6) Disk yavaşladığında ölçülen dinamometre değerini ve türbin devir sayısını kaydedin.
- 7) Türbine giriş-çıkış basınçlarını kaydedin.

8) Yukarıdaki ölçümleri, kanat ayar vanasını her defasında 1 tur sağa çevirip tekrarlayın.

9) Tablo değerlerini kullanıp, örnekteki bağıntı yardımıyla türbin verimlerini hesaplayın.

10) Kılavuz kanat giriş açısı-verim değerlerini ekteki grafik üzerine aktarın.

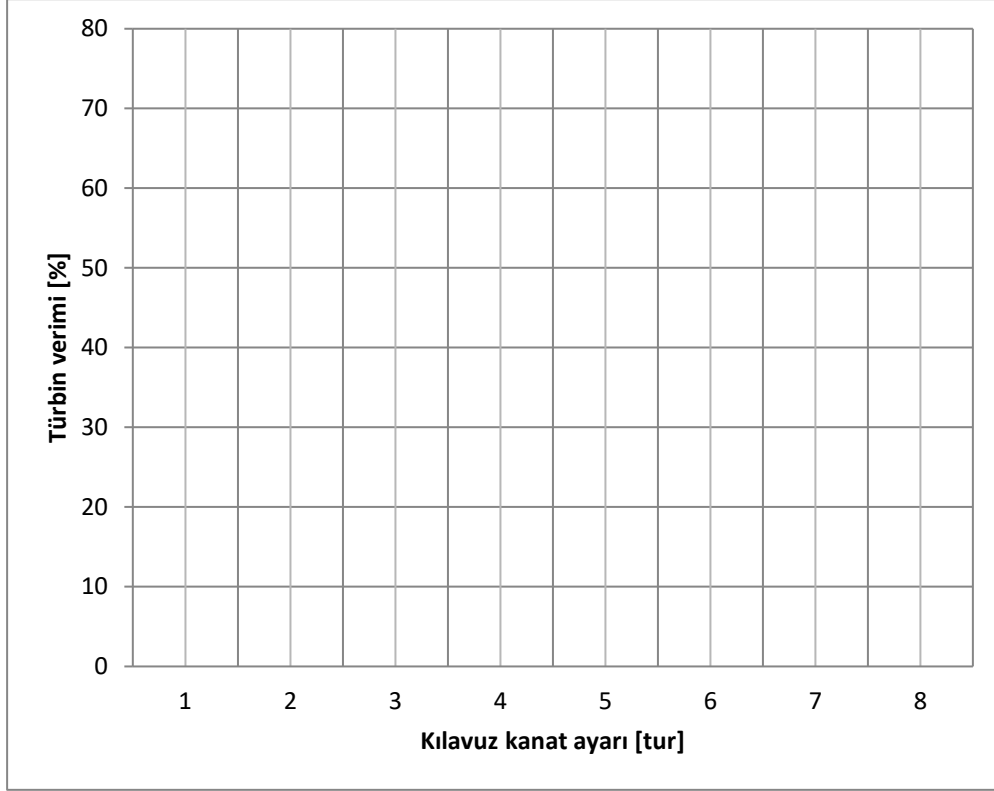
RAPORDA İSTENENLER: Deney no, deneyin adı ve amacı, örnek değerler için türbin verim hesapları, akış debisi verim grafiği.

| Ölçüm sayısı | 1 | 2 | 3 | 4 |
|--|----------|----------|----------|----------|
| Devir sayısı, n [d/d] | | | | |
| Dinamometre kuvveti, F [N] | | | | |
| Su debisi, \dot{V} [m ³ /h] | | | | |
| Su giriş basıncı, P ₁ [mSS] | | | | |
| Su çıkış basıncı, P ₂ [mSS] | | | | |
| Kılavuz kanat ayarı, [tur] | Tam açık | 3/4 açık | 1/2 açık | 1/4 açık |

HESAPLAMALAR:

Türbin verimi [%]
$$\mu = \frac{M_d \cdot \omega}{P_h} = \frac{0,085 F \cdot 2 \cdot \pi \cdot n / 60}{\dot{m} \cdot g \cdot H}$$

M_d: Döndürme momenti [nm] ω: Açısal hız [rad/s] F: Dinamometre kuvveti [N] \dot{m} : Suyun debisi [kg/s] g: Yer çekim ivmesi = 9.81 [m/s²] H: Net düşü [mSS], H=P₁-P₂



Deney No:3 Farklı akış debilerinde üretilen elektrik enerjisi değişimi

DENEYİN AMACI: Farklı akış debilerinde üretilen elektriksel gücün nasıl değiştiğini kavramak.

DENEYİN YAPILIŞI:

- 1) Ana şalteri açın, pompayı çalıştırın.
- 2) Küresel vanayı tam açık konuma getirin.
- 3) Kanat açısı ayarını sola çevirerek en dik konuma getirin.
- 4) Dinamometrenin kadranını sıfırlayın.
- 5) Dinamometrenin disk sıkıştırma ayar vidasını yavaşça sıkıştırın.

6) Disk yavaşladığında ölçülen dinamometre değerini ve türbin devir sayısını kaydedin.

7) Türbine giriş-çıkış basınçlarını kaydedin.

8) Yukarıdaki ölçümleri 7, 6 ve 5 m³/h için tekrarlayın.

9) Tablo değerlerini kullanıp, örnekteki bağıntı yardımıyla türbin verimlerini hesaplayın.

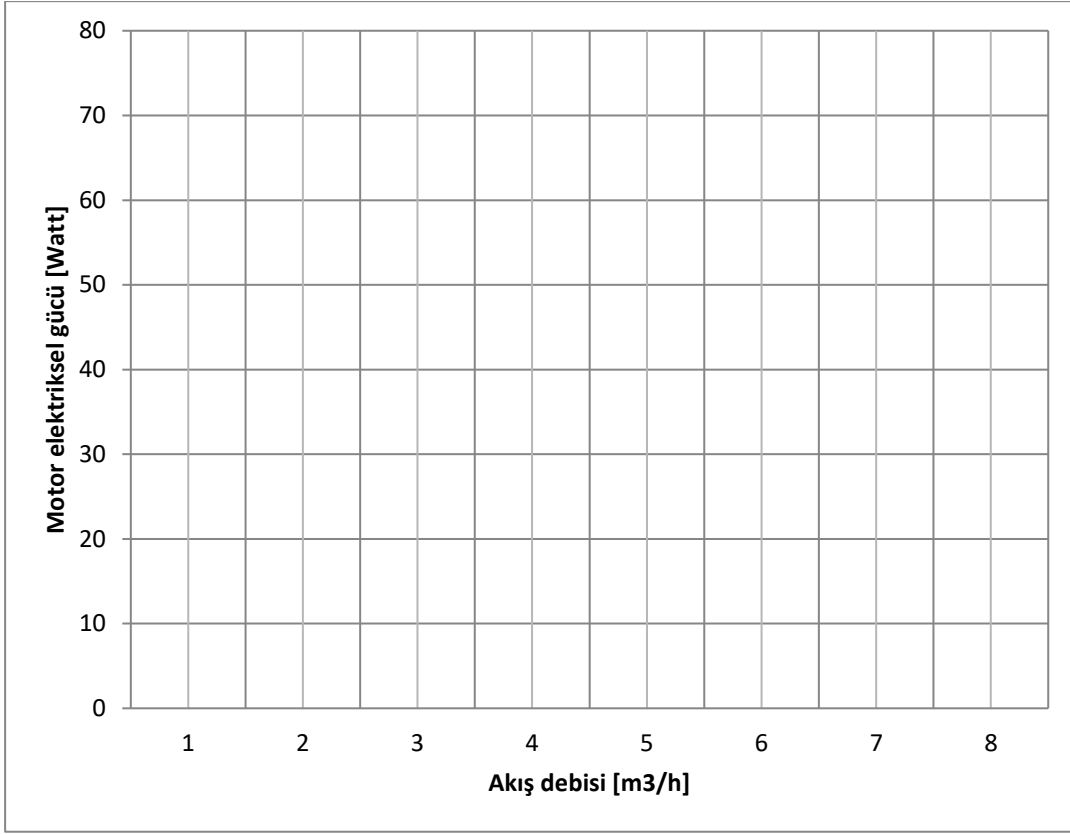
10) Akış debisi-verim değerlerini ekteki grafik üzerine aktarın.

RAPORDA İSTENENLER: Deney no, deneyin adı ve amacı, örnek değerler için türbin verim hesapları, akış debisi verim grafiği.

| Ölçüm sayısı | 1 | 2 | 3 | 4 |
|---|---|---|---|---|
| Elektrik motorunda üretilen gerilim, U_m [Volt] | | | | |
| Elektrik motorunda üretilen akım, I_m [A] | | | | |
| Motor elektriksel gücü, $P=U_m I_m$ [W] | | | | |
| Su akış debisi, \dot{V} [m ³ /h] | | | | |

HESAPLAMALAR:

Motor elektriksel gücü, $P=U_m I_m$ [W]





Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi

Mühendislik Fakültesi

Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü

BORU KAYIPLARI DENEY FÖYÜ



1.GİRİŞ

1. 1. AKIŞ KAYIPLARININ NEDENLERİ

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

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

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

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

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

Moleküller arasında sıkıntı sonucu gerçek sıvılarda enerjinin dördüncü bir biçimi ortaya çıkar, sıvıların iç enerjisinin transfer olan bir enerji olarak isimlendirilir. Sonuç olarak bu enerji sonucu sıvı ısınır. Bu enerji transferi genellikle denetlenmediğinden “*kayıp*” olarak kabul edilir. Çünkü sıvıdaki sıcaklık artışı çok küçüktür ve hızla yüzeylerden dağılır. Örnek olarak 10m’lik basınç kaybı su sıcaklığında sadece 0,023⁰C yükselmeye yol açar*

1.2. BASINÇ KAYIPLARININ EN AZA İNDİRİLMESİ

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

İdeal alanı enerji kayıplarının düşürülmesi ve sıvı akış sisteminin fiyatının arttırılmasıdır. Maksat, birçok durumlarda (hatta büyük tesisatlarda bile) mühendislik tecrübelerine dayanan çok ekonomik sistem tasarım hesaplarına teşebbüs edilmez, geçmiş tecrübelerden

* Bu durum aşağıdaki işlemlerle görülebilir;

$$\text{Enerji} = m \cdot g \cdot H = m \cdot 9,81 \cdot 10 = m \cdot 9,81 \text{ (J)}$$

$$\text{Sıcaklık artışı} = m \cdot c_p \cdot \Delta T$$

$$\text{Su için } c_p = 4,19 \text{ kJ/kgk}$$

$$\Delta T = \frac{m \cdot 9,81}{m \cdot 4,19 \cdot 10^3} = 0,023^0 \text{ C}$$

yararlanarak pratik kurallardan yararlanılır. Bununla birlikte en ekonomik olarak tasarlanan sistem tasarımına ödenecek harç bir miktar fazla olabilecek iken enerji maliyetinin artması kaçınılmazdır.

Akış kayıpları şu yollarla azaltılabilir:

1. Akış hızını düşürün. Çünkü basma kayıpları katmanlı (laminer) akışta hıza eşit olarak değişirken türbülanslı akışta hızın karesiyle orantılı değişir. Akış hızı bir sistemde hız düşürülerek veya verilen bir debi için boru çapı büyütülerek düşürülür.
2. Sıvının viskozitesinin düşürülmesi. Bu genelde pratik bir uygulama değildir. Ancak fuel-oil gibi viskozitesi çok yüksek olan sıvılarda onları ısıtmak akışkanlıklarını artırır. Diğer bütün durumlarda basınç kayıplarının düşürülmesi ısıtma masraflarından ucuza gelecektir.
3. Girdap ve türbülansların en aza indirilmesi. Bu, boru ve elemanlarında keskin köşelerden, ani kesit değişimlerinden pürüzlü iç yüzeylerden kaçınmak suretiyle dikkatli sistem tasarımıyla sağlanabilir. Buna rağmen, standart boru ve bağlantı elemanlarının kullanılması ekonomik olacaksa bunları basınç kayıplarını en aza indirecek şekilde seçmek gerekir.

1.3. BORULARDA AKIŞ KAYIPLARI

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

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

Burada;

H_L = basma kaybı (m akışkan akışı)

L = borunun uzunluğu (m)

u = ortalama anma akış hızı (m/s)

g = yer çekim ivmesi (m/s^2)

f = boyutsuz sürtünme faktörü

Örnek 1.1

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

Cözüm:

İlk olarak anma hızı u hesaplanır:

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

1.1 formülünde yerine konursa;

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

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

basma yükseklik kaybı bir basınç kaybı olduğundan ;

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

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

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

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

1.4. SÜRTÜNME FAKTÖRÜNÜN HESAPLANMASI

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

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

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

Mutlak pürüzlülük yüzeydeki girinti çıkıntılarının ortalama yüksekliğidir ve borunun malzemesine ve üretim yöntemine bağlı olarak değişmektedir. Tipik mutlak pürüzlülük değerleri Moody diyagramı içinde gösterilmiştir. Ekstrüzyonla üretilen (demir dışı) borular, cam ve plastik borular çok hassas yüzeye sahiptir ve tamamen sürtünmesiz olarak kabul

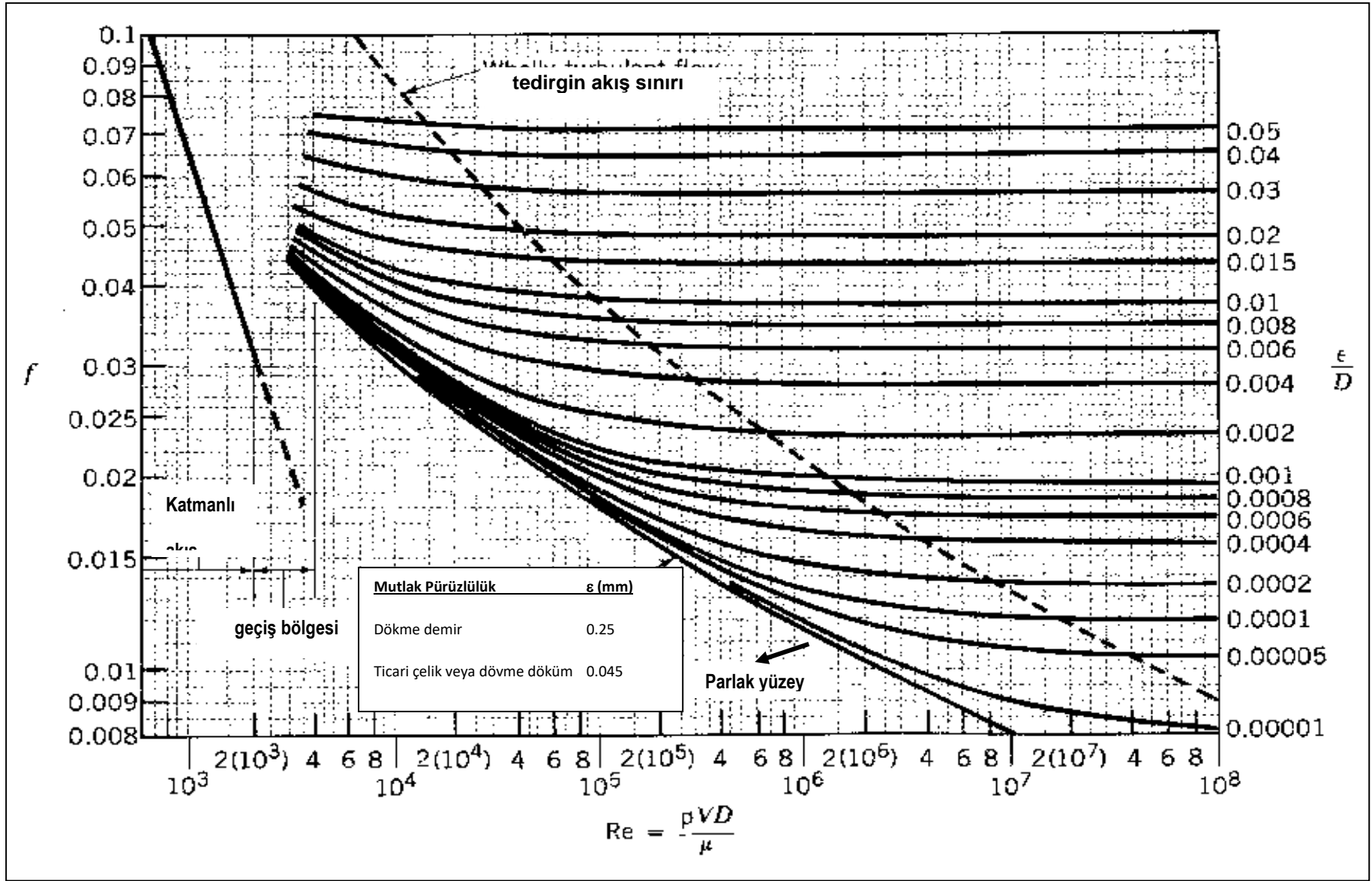
edilebilir. En düşük sürtünme faktörü (verilen bir Reynolds sayısı ile) en aşağıdaki eğri “*pürüzsüz borular*”ı göstermektedir.

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

$$f = 64/Re$$

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

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



Şekil-1.1

Moody

diyagramı

1.5. BAĞLANTI ELEMANLARINDAKİ BASMA KAYIPLARI

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

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

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

Burada;

H_L = bağlantı elemanlarındaki basma kayıpları (m akışkan akışı)

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

g = yer çekim ivmesi (m/s²)

K = boyutsuz bağlantı kayıp faktörü

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

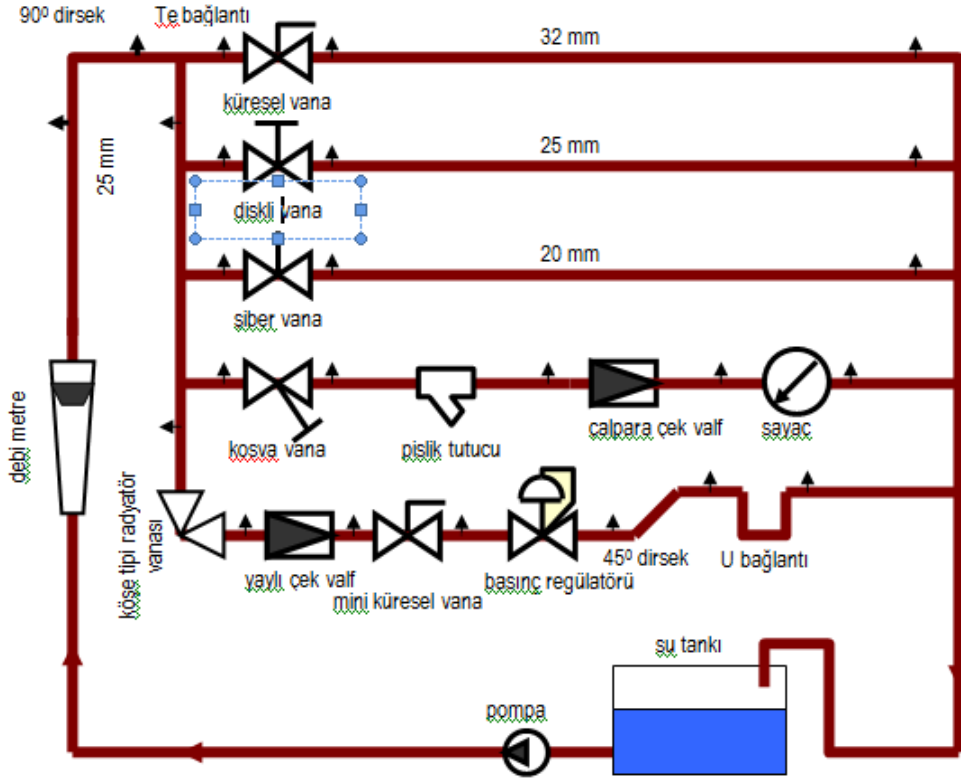
1. Bağlantı elemanının malzemesi ve üretim yöntemi
2. Bağlantı elemanının boyutu
3. Akışkanın doğası (durumu) (karakteri)

TABLO-1.1 Bağlantı elemanları için tipik K faktörleri

| BAĞLANTI ELEMANI | K FAKTÖRÜ |
|---|------------------|
| U dönüşü (kapalı) | 2.2 |
| Standart 45 ⁰ dirsek | 0.4 |
| Standart 90 ⁰ dirsek | 0.9 |
| Uzun radyuslü (geniş) 90 ⁰ dirsek | 0.6 |
| Dişli birleştirme (ünyon) | 0.05 |
| T (akış hat boyunca) | 0.4 |
| T (akış yan taraftan) | 1.8 |
| Ani genişleme | $(1-A_1/A_2)^2$ |
| Ani daralma (A ₂ /A ₁) | 0 |
| | 0.1 |
| | 0.3 |
| | 0.45 |
| | 0.5 |
| | 0.3 |
| | 0.7 |
| | 0.2 |
| | 0.9 |
| | 0.08 |
| Yavaş daralma | İhmal edilebilir |
| Yavaş genişleme, açığa bağlı | >50 ⁰ |
| | 1.0 |
| | 40 ⁰ |
| | 0.9 |
| | 30 ⁰ |
| | 0.7 |
| | 20 ⁰ |
| | 0.4 |
| | 10 ⁰ |
| | 0.15 |
| Sürgülü (şiber) vana, (konumu) tam açık | 0.2 |
| | ¾ açık |
| | 0.9 |
| | ½ açık |
| | 5.0 |
| | ¼ açık |
| | 24 |

| | | |
|-----------------------------------|--------------------|------|
| Stop (diskli) vana, (konumu) | tam açık | 10.0 |
| | $\frac{3}{4}$ açık | 11.0 |
| | $\frac{1}{2}$ açık | 12.5 |
| | $\frac{1}{4}$ açık | 50.0 |
| Klapeli valf, filtreli (mafsallı) | | 2.0 |
| | (kaldırmalı) | 10.0 |
| Çek valf (klape), (mafsallı) | | 2.5 |
| | (bilyalı) | 4.0 |
| | (kaldırmalı) | 15.0 |

2.DENEY DÜZENEGİ



Şekil-2.1 Deneý düzeneđi

Tablo 2.1.Cihaz bilgileri

| | | |
|----|------------------------------|--------------|
| 1 | Pano boyutları | 1800x1200 mm |
| 2 | Pano malzemesi | MDF |
| 3 | Deneyisel ölçüm sayısı | 15 |
| 4 | Debi ölçüm aralığı | 250-2500 L/h |
| 5 | Boru malzemesi ve çapı | PPRC-25 mm |
| 6 | 20 mm PPRC boru iç çapı | 12,5 mm |
| 7 | 25 mm PPRC boru iç çapı | 16 mm |
| 8 | 32 mm PPRC boru iç çapı | 20 mm |
| 9 | Pompa maks. basma yüksekliği | 40 mSS |
| 10 | Pompanın maksimum debisi | 2100 L/h |

3. DENEYLER

3.1. Yerel kayıp katsayılarının hesabı (Deney No:1)

DENEYİN AMACI: Sıvı akışkan hatlarında kullanılan ve akım çizgilerini geometrik olarak değiştirerek kısıtlayan yerel bağlantı cihazlarındaki basınç kayıplarını ölçmek. Bu ölçüm değerlerine bağlı olarak yerel kayıp katsayısı K değerini hesaplayabilmek.

DENEYİN YAPILIŞI:

- 1) Manometre bağlantı hortumlarını diskli vana giriş ve çıkışındaki tapalara bağlayın.
- 2) Su hattını açın ve debiyi 250 L/h değerine ayarlayın.
- 3) Ölçüm değerlerini tabloya kaydedin.
- 4) Su debisini sırayla 500, 1000, ve 1500 L/h (veya ulaşabildiği en büyük debi) değerlerine ayarlayarak ölçümleri tabloya kaydedin.
- 5) Debi değerlerini boru kesitine bölerek akış hızlarını bulun.
- 6) (1.2) formülü yardımıyla K değerlerini farklı akış hızları ve basınç kayıpları için hesaplayın.

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

- 7) 1 ile 6 arasındaki işlem adımlarını vananın farklı açıklık oranları için tekrarlayabilirsiniz.
- 8) Diğer vana ve bağlantı elemanları için deneyleri benzer şekilde tekrarlayın.

RAPORDA İSTENENLER:

Deney no, deneyin adı ve amacı, ölçüm sonuçları ve K değerleri

| ÖLÇÜM | Debi [L/h] | Kesit [m ²] | Hız [m/s] | ΔP [mbar] | K |
|---------------------|------------|-------------------------|-----------|-----------|---|
| Dirsek, PPRC, 25 mm | 1800 | 2,2420x10 ⁻⁴ | | 0.020 | |
| Dirsek, PPRC, 25 mm | 1600 | 2,2420x10 ⁻⁴ | | 0.017 | |
| Dirsek, PPRC, 25 mm | 1500 | 2,2420x10 ⁻⁴ | | 0.012 | |
| | | | | | |

| | | | | | |
|---------------------------------|------|-------------------------|--|-------|--|
| Ortalama | | | | | |
| Te, galvaniz, 3/4" (yatay akış) | | 2,2420x10 ⁻⁴ | | | |
| Te, galvaniz, 3/4" (yatay akış) | | 2,2420x10 ⁻⁴ | | | |
| Ortalama | | | | | |
| Te, galvaniz, 3/4" (düşey akış) | 1800 | 2,2420x10 ⁻⁴ | | 0.048 | |
| Te, galvaniz, 3/4" (düşey akış) | 1400 | 2,2420x10 ⁻⁴ | | 0.025 | |
| Te, galvaniz, 3/4" (düşey akış) | 1200 | 2,2420x10 ⁻⁴ | | 0.015 | |
| Ortalama | | | | | |
| Küresel vana, pirinç, 25 mm | | 2,2420x10 ⁻⁴ | | | |
| Küresel vana, pirinç, 25 mm | | 2,2420x10 ⁻⁴ | | | |
| Ortalama | | | | | |
| Sürgülü vana, pirinç, 25 mm | | 2,2420x10 ⁻⁴ | | | |
| Sürgülü vana, pirinç, 25 mm | | 2,2420x10 ⁻⁴ | | | |
| Ortalama | | | | | |
| Diskli vana, pirinç, 25 mm | | 2,2420x10 ⁻⁴ | | | |
| Diskli vana, pirinç, 25 mm | | 2,2420x10 ⁻⁴ | | | |
| Ortalama | | | | | |
| Kosva vana, pirinç, 25 mm | | 2,2420x10 ⁻⁴ | | | |
| Kosva vana, pirinç, 25 mm | | 2,2420x10 ⁻⁴ | | | |
| Ortalama | | | | | |
| Pislik tutucu, pirinç, 25 mm | | 2,2420x10 ⁻⁴ | | | |
| Pislik tutucu, pirinç, 25 mm | | 2,2420x10 ⁻⁴ | | | |
| Ortalama | | | | | |
| Çalpara çek valf, pirinç, 25 mm | 1600 | 2,2420x10 ⁻⁴ | | 0,038 | |

| | | | | | |
|--------------------------------------|------|-------------------------|--|-------|--|
| Çalpara çek valf, pirinç, 25 mm | 1400 | 2,2420x10 ⁻⁴ | | 0,029 | |
| Çalpara çek valf, pirinç, 25 mm | 1000 | 2,2420x10 ⁻⁴ | | 0,013 | |
| Ortalama | | | | | |
| Su sayacı, metal, ¾" | | 2,2420x10 ⁻⁴ | | | |
| Su sayacı, metal, ¾" | | 2,2420x10 ⁻⁴ | | | |
| Ortalama | | | | | |
| Radyatör vana, pirinç, ½" | | 1,4095x10 ⁻⁴ | | | |
| Radyatör vana, pirinç, ½" | | 1,4095x10 ⁻⁴ | | | |
| Ortalama | | | | | |
| Mini küre. vana, pirinç, ¾" | | 2,2420x10 ⁻⁴ | | | |
| Mini küre. vana, pirinç, ¾" | | 2,2420x10 ⁻⁴ | | | |
| Ortalama | | | | | |
| Yaylı çek valf , pirinç, 25 mm | | 2,2420x10 ⁻⁴ | | | |
| Yaylı çek valf , pirinç, 25 mm | | 2,2420x10 ⁻⁴ | | | |
| Ortalama | | | | | |
| Basınç regülatörü, pirinç, 25 mm | | 2,2420x10 ⁻⁴ | | | |
| Basınç regülatörü, pirinç, 25 mm | | 2,2420x10 ⁻⁴ | | | |
| Ortalama | | | | | |
| Yarım dirsek, 45°, PPRC, 25 mm | | 2,2420x10 ⁻⁴ | | | |
| Yarım dirsek, 45°, PPRC, 25 mm | | 2,2420x10 ⁻⁴ | | | |
| Ortalama | | | | | |
| U parçası (4'lü dirsek), PPRC, 25 mm | | 2,2420x10 ⁻⁴ | | | |
| Ortalama | | | | | |
| İçten dişli Te, PPRC, 25 mm | | 2,2420x10 ⁻⁴ | | | |
| İçten dişli Te, PPRC, 25 mm | | 2,2420x10 ⁻⁴ | | | |
| Ortalama | | | | | |

3.2. Sürekli basınç kayıplarının ölçümü (Deney No:2)

DENEYİN AMACI: Sıvı akışkan hatlarında kullanılan boruların gerek iç yüzey (cidar) akışkan arasındaki sürtünmeden ve gerekse akışkan moleküllerinin kendi aralarındaki sürtünmesinden kaynaklanan basınç kayıplarını ölçmek. Bu ölçüm değerlerine bağlı olarak sürtünme katsayısı değerini hesaplayabilmek.

DENEYİN YAPILIŞI:

- 1) Manometre bağlantı hortumlarını ince düz boru (çap 20 mm) giriş ve çıkışındaki tapalara bağlayın.
- 2) Su hattını açın ve debiyi 100 L/h değerine ayarlayın.
- 3) Ölçüm değerlerini tabloya kaydedin.
- 4) Su debisini sırayla 250, 500, 750, 1000, 1250 ve 1500 L/h değerlerine ayarlayarak ölçümleri tabloya kaydedin.
- 5) Debi değerlerini boru kesitine bölerek akış hızlarını bulun.
- 6) Moody diyagramı (Şekil-1.2) yardımıyla borunun bağıl pürüzlülük değerini hesaplayın.
- 7) Akış hızı yardımıyla akışın Reynolds değerini hesaplayın.

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

- v_s - akışkanın hızı [m/s]
- d - boru çapı [m]
- μ - akışkanın dinamik viskozitesi [Ns/m³]
- ν - akışkanın kinematik viskozitesi: $\nu = \mu / \rho$
- ρ - akışkanın yoğunluğu [kg/m³]

- 8) Bağıl pürüzlülük ve Re sayısını Moody diyagramında kesiştirerek f sürtünme katsayısını bulun.
- 9) Sürtünme katsayısı (f) değerini Darcy (1.1) formülünde yerine koyarak basınç kaybını hesaplayın.

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

10) Hesaplanan değer ile ölçülen değeri karşılaştırın.

| | | | |
|--------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| PPRC boru dış çapı | 32 mm | 25 mm | 20 mm |
| PPRC boru iç çapı | 20,5 mm | 16,9 mm | 13,4 mm |
| Kesitler | $3,2989 \times 10^{-4} \text{ m}^2$ | $2,2420 \times 10^{-4} \text{ m}^2$ | $1,4095 \times 10^{-4} \text{ m}^2$ |

| ÖLÇÜM | DEBİ L/h | Hız [m/s] | Re Reynolds sayısı | f Sürtünm e faktörü | L Uzunlu k | H_s mbar | ΔP bar |
|---------------------|-------------|------------------|--------------------------|-----------------------------|--------------------|---------------|-------------------|
| PPRC boru, 32 mm | | | | | 0,70 | | |
| PPRC boru, 32 mm | | | | | 0,70 | | |
| | | | | | | | |
| PPRC boru, 25 mm | | | | | 0,76 | | |
| PPRC boru, 25 mm | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| PPRC boru, 20 mm | 1600 | 3,15 | 42000 | 0,023 | 0,70 | 0,071 | 0,225 |
| PPRC boru, 20 mm | 1500 | | | | 0,70 | | 0,214 |
| PPRC boru, 20 mm | 1300 | | | | 0,70 | | 0,134 |

EK-1 Doymuş suyun farklı sıcaklıklardaki viskozite ve yoğunluk değişimleri

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



Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi
Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü

YAKIT PİLİ DENEY FÖYÜ



1.GİRİŞ

1.1. Elektroliz

Elektrolizi birkaç şekilde tanımlayabiliriz.

- 1) Kendiliğinden oluşmayan bir kimyasal tepkimenin elektrik enerjisi yardımıyla gerçekleşmesine, yani elektrik enerjisinin kimyasal enerjiye dönüşmesine elektroliz denir.
- 2) Elektrolit, elektrik akımını ileten katyon ve anyon içeren saf sıvı ya da sulu çözeltilerdir. Sıvı halde ya da suda çözüldüğünde iyonlarına ayrışabilen bir madde içerisinden doğru akım geçirildiğinde kendiliğinden oluşmayan indirgenme ve yükseltgenme olayı gerçekleşerek, elektrolit içindeki bazı elementlerin açığa çıkması olayı elektrolizdir.
- 3) Elektrik enerjisini kimyasal enerjiye dönüştürerek bazı maddelerin ayrıştırılarak elementlerini serbest olarak açığa çıkarma işlemine elektroliz denir.

Elektroliz işlemi içerisinde kullanılan terimler şu şekildedir;

Redoks Tepkimesi: İndirgenme ve yükseltgenmenin bir arada olduğu tepkimelere redoks tepkimesi adı verilir.

Elektrot: Kimyasal olayların gerçekleştiği yerdir.

Anot: Yükseltgenmenin olduğu ve güç kaynağının (+) ucuna bağlı elektroda anot denir.

Katot: İndirgenmenin olduğu ve güç kaynağının (-) ucuna bağlı elektroda katot denir.

Saf Madde: Aynı tür taneciklerden oluşan maddelerdir.

İlke olarak, bir elektroliz hücresi içinde, genelde düzlem bir metal veya karbon plakalar olan, iki elektrot ve bunların içine daldırıldığı, elektrolit olarak adlandırılan iletken bir sıvı bulunmaktadır. Doğru akım kaynağı bu elektrotlara bağlandığında akım iletken sıvı içinde, pozitif elektrottan negatif elektroda doğru akacaktır. Bunun sonucu olarak da, elektrolit içindeki su, katottan çıkan hidrojen ve anottan çıkan oksijene ayrışacaktır. Burada yalnız suyun ayrışmasına karşılık, su iyi bir iletken olmadığı için elektrolitin içine iletkenliği artırıcı olarak genelde potasyum hidroksit gibi bir madde eklenebilir.

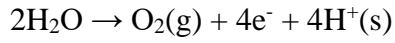
Suyun elektrolizi için, normal basınç ve sıcaklıkta, ideal olarak 1.23 volt yeterlidir. Tepkimenin yavaş olması ve başka nedenlerle, elektroliz işleminde daha yüksek gerilimlerde

kullanılır. Hidrojen üretim hızı, gerçek akım şiddeti ile orantılı olduğundan, ekonomik nedenlerle yüksek akım yoğunlukları yeğlenmektedir. Bundan dolayı pratikte suyun ayrıştırılması için hücre başına uygulanan gerilim genelde 2 volt dolayındadır.

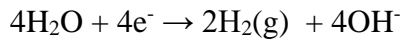
Elektrolizde anot ve katot arasında oluşan elektron akımı ile hidrojen oluşturulur. Katot dış devreden e^- olarak elektrolitteki indirgenmeyi sağlar. Anotta ise dış devreye e^- verebilmesi için elektrolitte bir yükseltgenme olur. (Elektron kaybı "yükseltgenme" , elektron kazanılması "'indirgenme" olarak adlandırılır.)

İşlem basamakları:

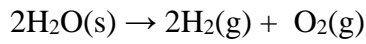
Anot reaksiyonu (Yükseltgeme)



Katot reaksiyonu (İndirgeme)



Toplam reaksiyon



Elektronlar, elektrik kaynağından elektrotlardan birine doğru hareket ederler ve bu elektrodu negatif yüklerler. Bu elektrot katot elektrodu olup indirgenme yarı reaksiyonu için elektron sağlar. Su molekülleri, katotta indirgenerek hidrojen gazı oluştururlar. Güç kaynağı diğer elektrot aracılığıyla elektronları çeker ve elektrot pozitif yüklenerek anodu oluşturur. Anotta su molekülleri oksijene yükseltgenir.

1.2.Yakıt Pili

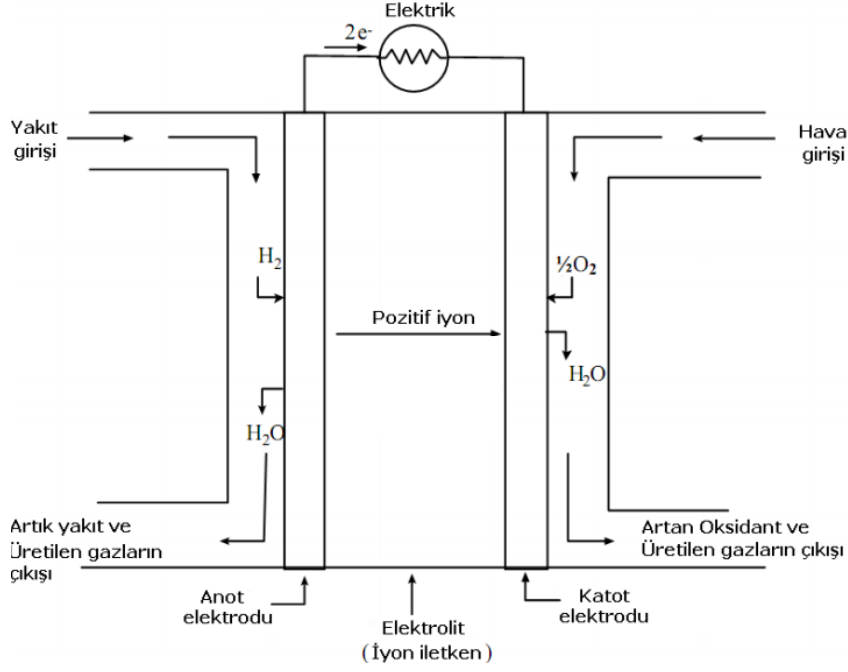
Yakıt pili; uygun bir yakıt ve oksitleyicinin elektrokimyasal bir reaksiyonu ile elektrik enerjisi üreten bir sistemdir. Yani yakıt pili, yakıt ve havanın elektrokimyasal tepkimesi ile yakıt kimyasal enerjisini doğrudan elektrik enerjisine dönüştüren bir üreteçtir. Elektrolizin ters reaksiyonu olarak da tanımlanabilecek olan yakıt pili reaksiyonu sonrası, doğru akım (DC)

formunda elektrik üretilir. Yakıt pilleri, elektrokimyasal bir süreç ile elektrik ürettiği olmaları bakımından piller ve aküler ile benzerlik gösterirler. Piller ve aküler, içerisinde depo edilmiş olan enerjiyi elektrokimyasal bir reaksiyon ile elektrik enerjisine dönüştürürler. Sağladıkları enerji, içerisinde depo edilmiş olan enerji ile sınırlıdır. Yakıt pilleri ise yakıt ve hava sağlandığı sürece bu dönüşümü sürekli gerçekleştirebilen enerji üretim sistemidir.

Kimyasal Enerji (H₂ ve O₂ - Hava) → Elektrik Enerjisi + Isı + Su

Temel olarak bir yakıt pili; elektrolit ve bunun her bir yüzeyi ile temas halinde bulunan geçirgen gözenekli yapıda bulunan anot ve katot elektrotlardan oluşur. İyi gaz geçişi sağlamak ve reaksiyon yüzey alanı daha çok arttırmak için elektrotlar çok gözenekli yapılardır. Yani elektrotlar geçirgen ve gözenekli (poroz) yapıdadır. Elektronlar oluştuğunda elektronları ara yüzden dışa veya ara yüze doğru iletir. Bu sebeple elektrot elektrik iletkenliği iyi olan bir maddeden yapılmalıdır. Elektrotların arasında elektrolit (membran) yer almaktadır. Anot ve katotta gerçekleşen iki elektrokimyasal yarı tepkimenin yalıtılmış biçimde olması ve yakıt ve oksitleyicinin birbirine karışmaması için elektrotlar arasında elektrolit (membran) denilen ayırıcı yerleştirilmektedir. Başka bir deyişle Yakıt pillerinde her bir anot-elektrolit-katot grubuna “Membran Elektrot Grubu-Membraneelectrodeassembly (MEA)” denilir. Ya da bunların her birisi “Yakıt Hücresi“ olarak adlandırılmaktadır. Bir yakıt hücresinde oluşan gerilim 1 Volt 'un altında olduğundan çok sayıda hücre seri olarak bağlanarak, yüksek gerilim seviyelerine ulaşılabilir. Yakıt pillerinde ayrıca katalizörler de kullanılır. Reaksiyon oluşum hızını arttırmak için kullanılan bu katalizörler, yakıt pili tipine bağlı olarak farklılıklar gösterir. Ve genellikle de her bir elektrotla temas halinde katalizörler kullanılır.

Yakıt pilinin anot (negatif) kutbu ya da elektrotuna; gaz yakıt, katot (pozitif) kutbu ya da elektrotuna ise; oksitleyici (hava ya da oksijen) gönderilir. Gönderilen bu yakıt ve havanın elektrokimyasal reaksiyonu sonucunda anot ve katot arasında oluşan potansiyel farkı bir elektron akışını ve elektriksel gerilimi meydana getirir. Reaksiyon sonrası ısı, saf su ve karbon içerikli bir yakıt kullanılıyorsa ilave olarak karbondioksit açığa çıkar. Pek çok yakıt pili gerek normal gerekse kombine çevrimlerde kullanılabilirler ve oldukça yüksek verimle enerji dönüşümü sağlarlar. Aşağıdaki şekilde bir yakıt pili ve işleyişi şematik olarak görülmektedir.



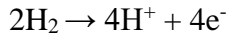
Şekil 1.1 Bir yakıt pili ve işleyişi

Temel Süreçler:

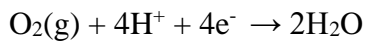
1. Yakıt pilinde reaktantların (tepkimeye giren maddeler) aktarımı,
2. Elektrokimyasal reaksiyon,
3. Elektrolit aracılığıyla iyonik iletim ve dış devre aracılığıyla elektronik iletim,
4. Yakıt pilinden ürünlerin aktarılması (uzaklaştırılması) süreci.

İşlem basamakları:

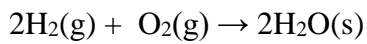
Anot reaksiyonu



Katot reaksiyonu



Toplam reaksiyon



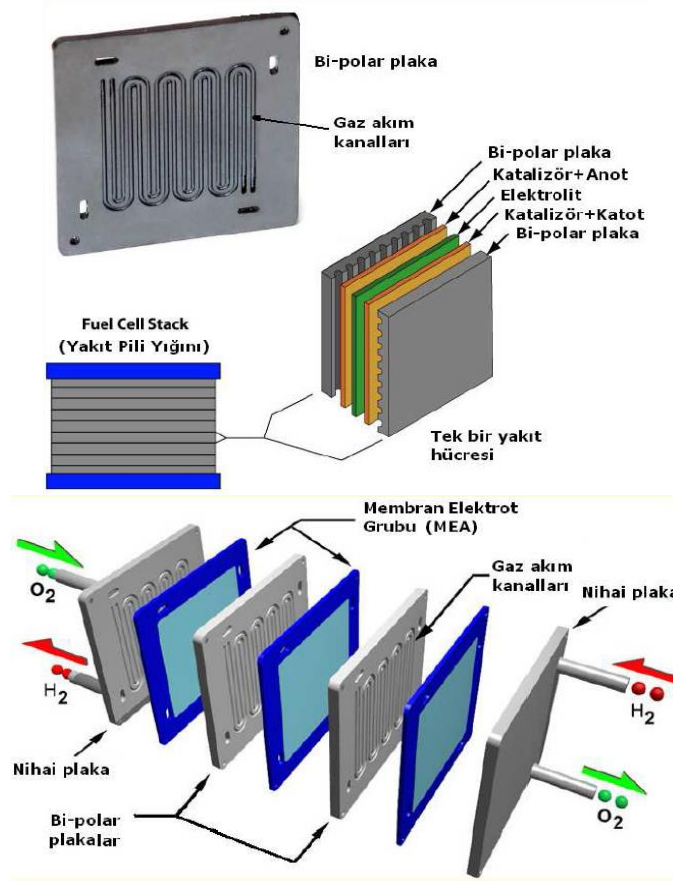
Yakıt Piliin Üstünlükleri

- Enerji dönüştürücüde hareketli parça olmaması
- Kompakt yapıli olması
- Sessiz olması
- Yakıt esnekliği
- Uzaktan işletim
- Ölçü/boyut esnekliği
- Hızlı yük takip edebilme yeteneği

Yakıt Pillerinin Bazı Olumsuz Yönleri

- Halen maliyeti yüksektir
- Güç üretim endüstrisi için tanıdık olmayan bir teknolojidir
- Bazı yakıt türleri için (hidrojen, metanol vb.) bir dağıtım altyapısı bulunmamaktadır
- Hidrojen güvenliği sağlanması

Yakıt pilinde çok sayıda hücrenin bir araya getirilmesiyle “yakıt pili yığıını-fuelcellstack” denilen yapılar oluşturulmaktadır. Yakıt pili yığınları ile istenilen oranda voltaj üretebilecek bir sistem geliştirilerek değişik amaçlar için kullanılmaktadır. Bir yakıt pili yığıını ve elemanlarının detaylı görünümü aşağıdaki şekillerde verilmektedir



Şekil 1.2 Yakıt pili yığılı

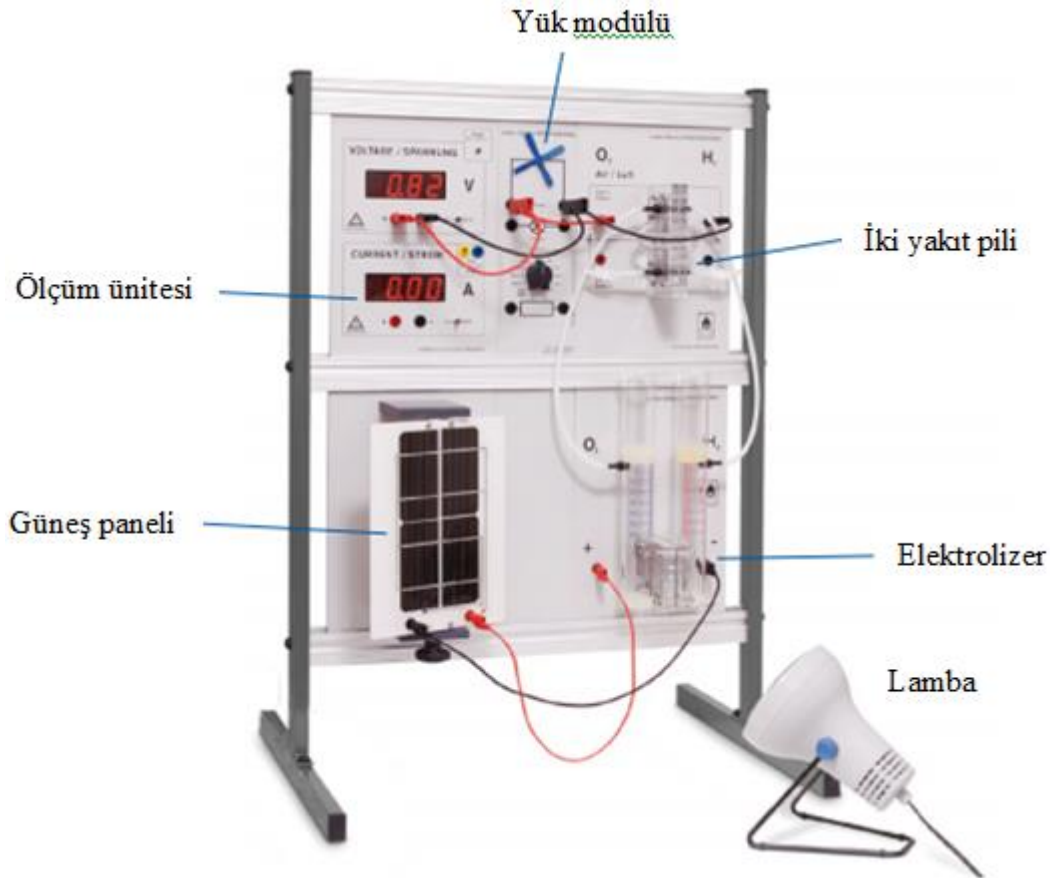
Yakıt pilleri çalışma sıcaklık aralığına göre düşük ve yüksek sıcaklık yakıt pilleri olarak kategorize edilebilirlerse de, (bazı kaynaklarda orta sıcaklık da sınıflandırmaya dâhil edilmektedir) asıl farklılık kullanılan elektrolit malzemesinden kaynaklanmaktadır. Bu çeşitlilik temel çalışma prensibini etkilemez, ancak performansları çalışma koşulları ve uygulama alanlarının farklılaşmasına yol açar. Aşağıdaki tabloda yakıt pili çeşitleri ve özellikleri görülmektedir.

Uygulamada en sık karşılaşılan yakıt pili çeşitleri şunlardır:

| Yakıt Pili | Elektrolit | Çalışma Sıcaklığı | Elektriksel Verim | Yakıt/Oksitleyici |
|-----------------|-----------------------------------|----------------------|-------------------|--|
| Alkali | Potasyum Hidroksit çözeltisi | Oda sıcaklığı-250 °C | % 60–70 | H ₂ /O ₂ |
| PEM | Proton iletken elektrolit membran | Oda sıcaklığı-80 °C | % 40 | 60 % H ₂ /O ₂ , hava |
| Direkt Metanol | Polimer iletken membran | Oda sıcaklığı-130 °C | % 20–30 | CH ₃ OH/O ₂ , hava |
| Fosforik Asit | Sıvı fosforik asit | 160–220 °C | % 55 | Doğalgaz, biyogaz, H ₂ /O ₂ , hava |
| Erimiş Karbonat | Alkali karbonatlar | 620–660 °C | % 65 | Doğalgaz, biyogaz, kömür gazı, H ₂ /O ₂ , hava |
| Katı Oksit | Erimiş alkali metal karışımı | 800–1000 °C | % 60–65 | Doğalgaz, biyogaz, kömür gazı, H ₂ /O ₂ , hava |

Şekil 1.3 Uygulamada en sık karşılaşılan yakıt pilleri

2.DENEY DÜZENEĞİ VE DENEYLER



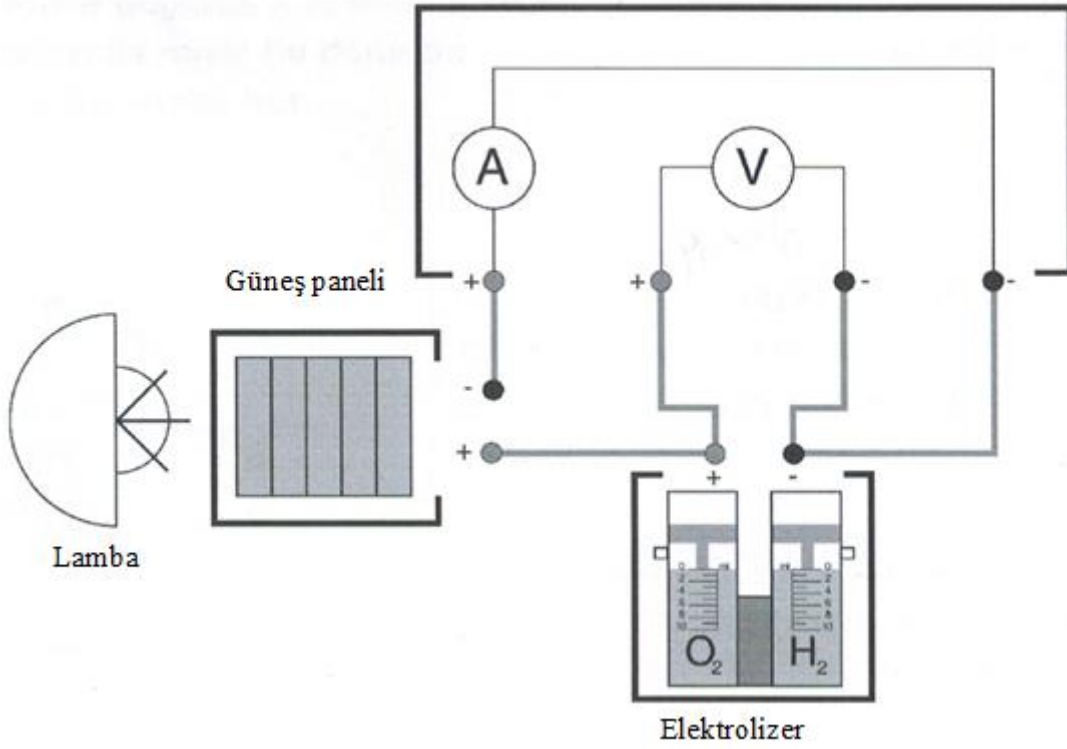
Şekil 2.1 Deney Tesisatı

3.1.DENEY NO: 1

DENEYİN ADI: Elektrolizerin Karakteristik Eğrisi

GEREKLİ ALET VE CİHAZLAR

- Solar Modül
- Elektrolizer
- Akım/Gerilim Gösterici
- 5 Adet Bağlantı Kablosu
- Saf Su
- 100-150 W Lamba



Şekil 3.1 Deney Şeması

➤ DENEYİN YAPILIŞI:

- 1) Şekil 3’de görüldüğü üzere bağlantıları yapın.
- 2) Yüksek akıların ölçülebilirliğini mümkün kılmak için solar modüle alternatif olarak DC güç kaynağı da kullanılabilir. Solar modülün pozitif terminali

elektrolizerin pozitif terminaline ve solar modülün negatif terminali elektrolizerin negatif terminaline bağlanmalıdır.

- 3) Solar modülün akımını değiştirmek için solar modülü farklı açılarda tutarak ışık yoğunluğunu değiştirin. Farklı akım değerlerine ayarlayın, başlangıç olarak düşük akımlardan başlayın ve yükseltin (yaklaşık 30 mA'den 800 mA'e). Elektrolizer gerilimini kaydedin. En az 8 elektrolizer akım ve gerilim ölçümü alın ve tabloya yazın.

➤ RAPORDA İSTENENLER:

- 1) Elektrolizin I-V karakteristiğini çizin.
- 2) I-V karakteristik eğrisini yorumlayın.

Tablo 3.1 Ölçüm Tablosu

| Gerilim / V | Akım / mA |
|-------------|-----------|
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |
| | |

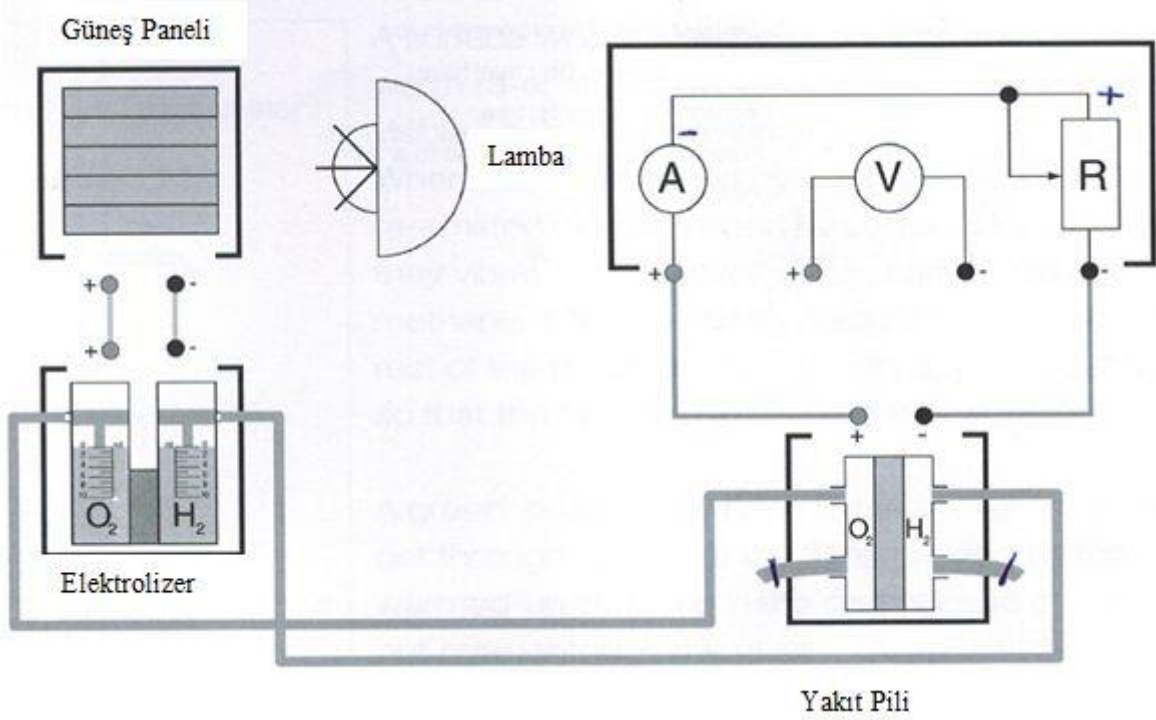
3.2. DENEY NO: 2

DENEYİN ADI: Paralel ve Seri Bağlı Yakıt Hücresinin Karakteristik Eğrisi

➤ **Kısım-1: Yakıt Hücresi Paralel Bağlantıda**

➤ **GEREKLİ ALET VE CİHAZLAR**

- Solar Modül
- Elektrolizer
- Yakıt Hücresi
- Yük Modülü
- Akım/Gerilim Gösterici
- 9 Adet Bağlantı Kablosu
- Saf Su
- 100-150 W Lamba
- 2 Uzun Tüp
- 2 Kısa Tüp
- 2 Tüp Klipi



Şekil 3.2.a (Arındırma)

➤ DENEYİN YAPILIŞI:

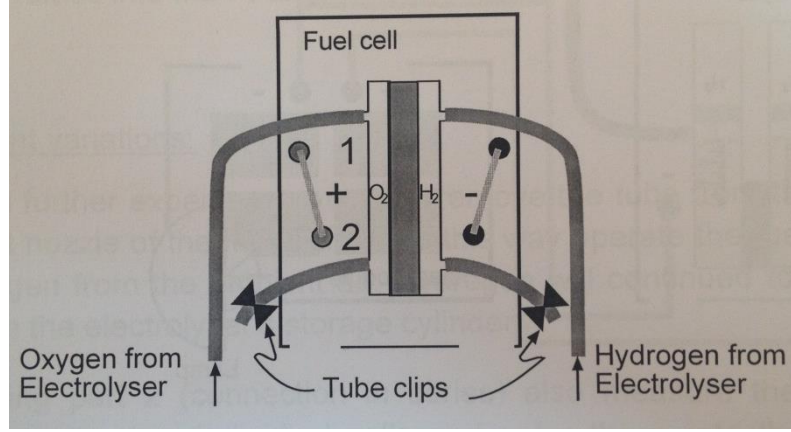
1) Şekil 3.2a’da görüldüğü üzere bağlantıları yapın. Eğer elektrolizeri daha hızlı doldurmak istenirse, solar modüle alternatif olarak DC güç kaynağı da kullanılabilir.

DC güç kaynağı 1.8V’u, akım ise 3 A’i geçmemelidir. Polariteyi kontrol edin.

2) Yakıt hücresi ve elektrolizer arasındaki gaz tüpleri bağlantısını kontrol edin. Yük modülü üzerindeki ayar anahtarını “AÇIK” (OPEN) durumuna getirin.

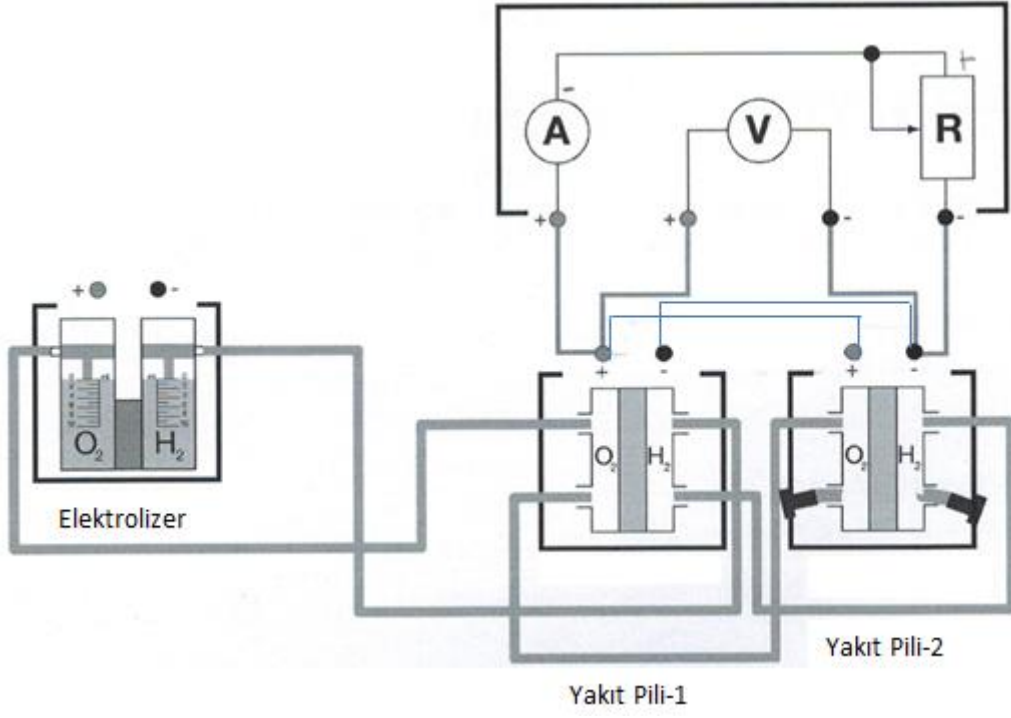
3) Elektrolizerin tüm gaz depolama silindirlerinin 0 ml seviyesinin üstüne kadar saf su ile dolu olduğundan emin olun. Elektrolizeri sabit akım (700-900 mA) durumuna getirmek için aydınlatılmış solar modülü kullanın. Gaz üretiminin sağlıklı sağlanabilmesi için solar modül ışık kaynağına karşı hizalanmış olmalıdır.

4) Üretilen gazla tüm sistem 5 dakika süresince arındırılır. Sonrasında yük modülündeki ayar anahtarını 2 Ω değerine getirin. 3 dakika bekleyin. Ampermetre yaklaşık 400 mA değerini, voltmetre ise yaklaşık 0.75 V değerini gösterecektir. Sonrasında ise yük modülündeki ayar anahtarını tekrar “AÇIK” (OPEN) durumuna getirin.



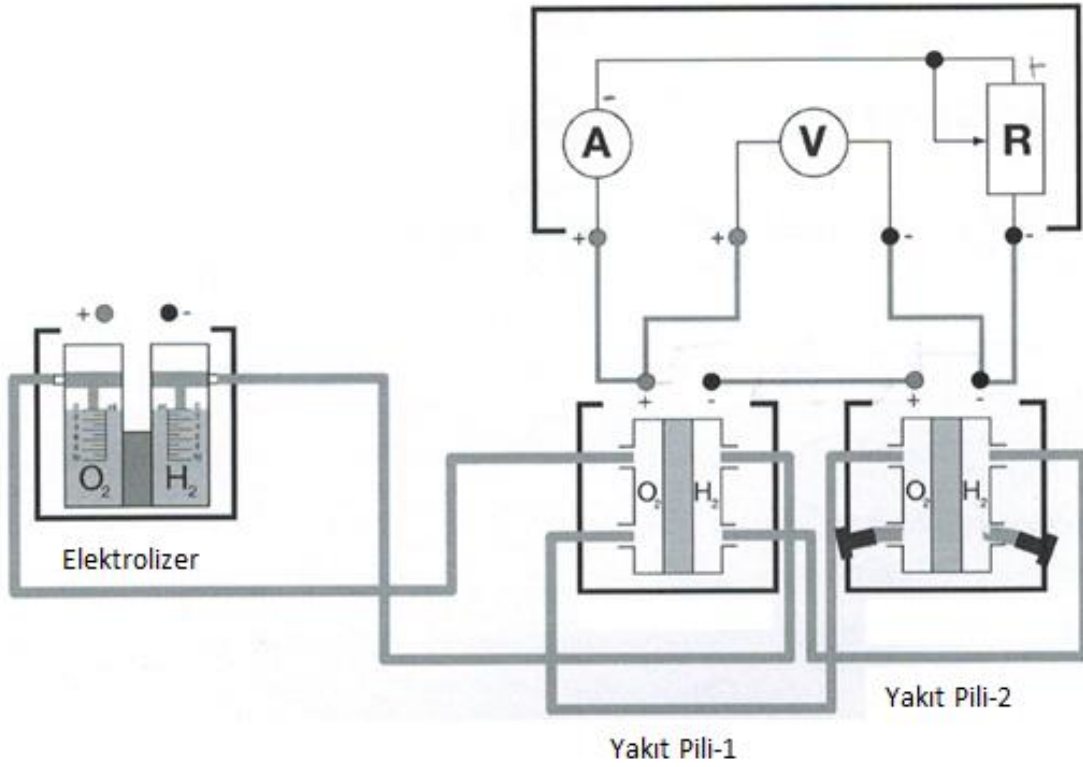
Şekil 3.2c (Depolama)

- 5) Yakıt hücresinin gaz çıkışlarındaki kısa tüpleri kapatmak için tüp kliplerini kullanın. (Şekil 3.2c)
- 6) Elektolizerin hidrojen tarafı seviyesi 60 ml'ye ulaştığında solar modül ve elektrolizer arasındaki bağlantıyı kesin.
- 7) Ölçüm direncini değiştirmek suretiyle (yük modülü üzerindeki ayar anahtarı ile) yakıt hücresinin karakteristik eğrisini hesaplayın. “AÇIK” (OPEN) durumundan başlayın (açık-devre gerilimi), sonrasında direnç değerini ayar anahtarını kullanarak adım adım düşürün. Akım ve gerilim değerini her adım için kaydedin. Her adımda sonuç almak için 30 saniye bekleyin. Ölçüm tablosuna rakamları yazın.
- 8) Karakteristik eğrisi için ölçümleri aldıktan sonra yük modülü üzerindeki ayar anahtarını “AÇIK” (OPEN) durumuna getirin ve yakıt hücresindeki klipleri kaldırın.



Şekil 3.2b Yakıt pili paralel bağlantıda

➤ **Kısım-2: Yakıt Hücresi Seri Bağlantıda**



Şekil 3.2d (Depolama/Ölçüm)

Hesaplamaları yakıt hücresi seri bağılyken ki durum için de tekrarlayın. (Şekil 3.2d)

Tablo 3.2 Ölçüm Tablosu

| Direnç / Ω | Gerilim / V | Akım / A | Güç / mW |
|-------------------|-------------|----------|----------|
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

➤ RAPORDA İSTENENLER:

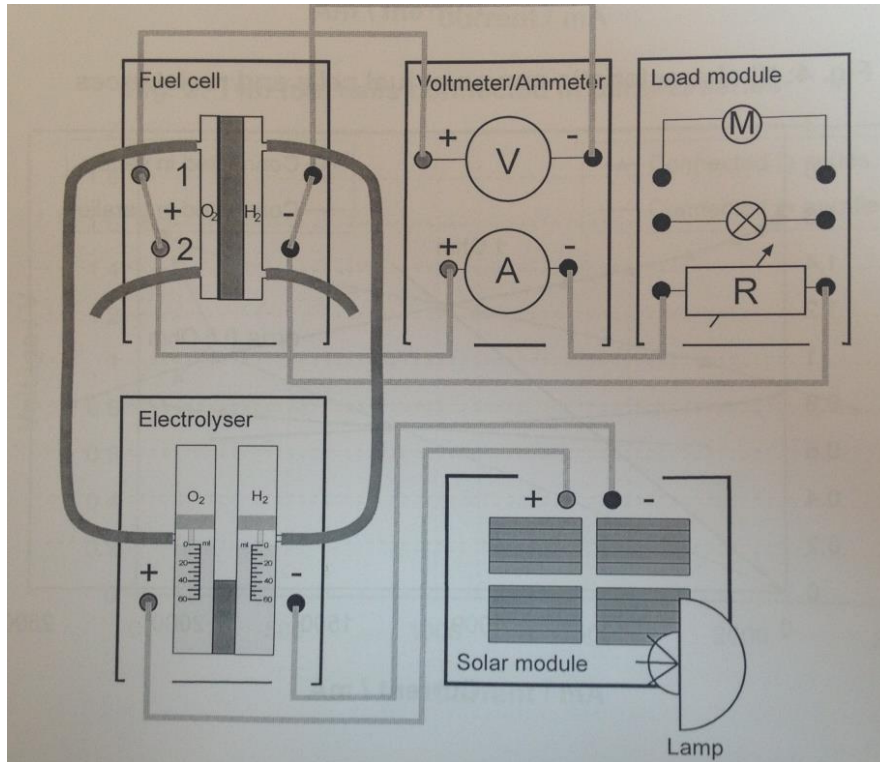
- 1) Elektrolizer paralel bağılyken ki IV karakteristiğini çizin.
- 2) I-V karakteristik eğrisini yorumlayın.
- 3) Lambanın akım ve gerilimini IV karakteristik eğrisine girin.
- 4) Yakıt hücresinin hem seri hem de paralel bağlanma durumları için yakıt hücresi karakteristik eğrisi çizin.
- 5) Yakıt hücresinin hem seri hem de paralel bağlanma durumları için PI diyagramı çizin. Lambanın güç tüketim değerini hesaplayın ve değeri PI diyagramına girin.
- 6) Elektrolizerin enerji verimliliğini belirleyin.

3.3.DENEY NO: 3

DENEYİN ADI: Faraday Verimliliği ve Yakıt Hücresinin Enerji Verimliliği

➤ GEREKLİ ALET VE CİHAZLAR

- Solar Modül
- Elektrolizer
- Yakıt Hücresi
- Yük Modülü
- Akım/Gerilim Gösterici
- 9 Adet Bağlantı Kablosu
- Saf Su
- 100-150 W Lamba
- 2 Uzun Tüp
- 2 Kısa Tüp
- 2 Tüp Klipi



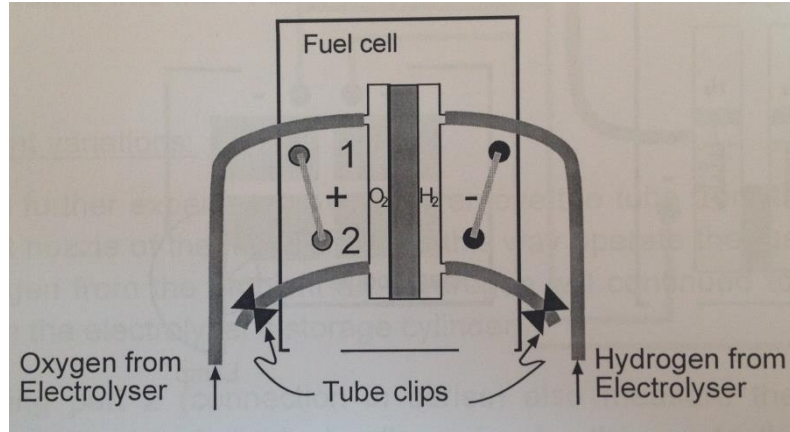
Şekil 3.3a (Arındırma)

➤ DENEYİN YAPILIŞI:

- 1) Şekil 3.3a'da görüldüğü üzere bağlantıları yapın. Eğer elektrolizeri daha hızlı doldurmak istenirse, solar modüle alternatif olarak DC güç kaynağı da kullanılabilir.

DC güç kaynağı 1.8V'u, akım ise 3 A'yi geçmemelidir. Polariteyi kontrol edin.

- 2) Yakıt hücresi ve elektrolizer arasındaki gaz tüpleri bağlantısını kontrol edin. Yük modülü üzerindeki ayar anahtarını "AÇIK" (OPEN) durumuna getirin.
- 3) Elektrolizerin tüm gaz depolama silindirlerinin 0 ml seviyesinin üstüne kadar saf su ile dolu olduğundan emin olun. Elektrolizeri sabit akım (700-900 mA) durumuna getirmek için aydınlatılmış solar modülü kullanın. Gaz üretiminin sağlıklı sağlanabilmesi için solar modül ışık kaynağına karşı hizalanmış olmalıdır.
- 4) Üretilen gazla tüm sistem 5 dakika süresince arındırılır. Sonrasında yük modülündeki ayar anahtarını 2 Ω değerine getirin. 3 dakika bekleyin. Ampermetre yaklaşık 400 mA değerini, voltmetre ise yaklaşık 0.75 V değerini gösterecektir. Sonrasında ise yük modülündeki ayar anahtarını tekrar "AÇIK" (OPEN) durumuna getirin.



Şekil 3.3b (Depolama)

- 5) Yakıt hücresinin gaz çıkışlarındaki kısa tüpleri kapatmak için tüp kliplerini kullanın. (Şekil 3.3b)
- 6) Elektrolizerin hidrojen tarafı seviyesi 60 ml'ye ulaştığında solar modül ve elektrolizer arasındaki bağlantıyı kesin.
- 7) Sistem tüplerden ve contalarından dolayı her zaman belli bir kaçak oranına sahiptir. Bunlardan dolayı sistem öncelikle boş durumda çalıştırılmalıdır. Sistem

yüklenmeden (“AÇIK” durumunda) 3 dakikalık periyotlarda çalıştırılır ve hidrojen depolama silindirlerindeki hidrojen kayıpları kaydedilir. Sonuç olarak dakikadaki hidrojen kaçak oranı ml olarak hesap edilir.

- 8) Elektrolizer ve solar modülü tekrardan bağlayın ve 60 ml seviyesine kadar hidrojen depolama silindirlerini doldurun. Sonrasında elektroliz için güç beslemesini tekrardan kesin.
- 9) Direnç değerini 0.3Ω değerine ayarlayın. 180 saniyede yakıt hücresinin tükettiği hidrojen hacmini kaydedin. Aynı zamanda yakıt hücresi akım ve gerilim değerlerini de not edin. 180 saniye sonra tekrar “AÇIK” (OPEN) durumuna getirin.
- 10) 8. ve 9. basamakları iki kez tekrarlayın ve yakıt hücresi tarafından tüketilen hidrojen hacminin ortalamasını alın. Ölçümlerden sonra ayar anahtarı ile “AÇIK” (OPEN) durumuna getirin ve klipleri yakıt hücresinin tüplerinden sökün.

➤ RAPORDA İSTENENLER:

- 1) Hidrojen hacmini hesaplayın.
- 2) Yakıt hücresinin faraday verimini belirleyin.
- 3) Yakıt hücresinin enerji verimliliğini belirleyin.

Tablo 3.3 Ölçüm Tablosu

Yüksüz yakıt hücresi durumu – Sızıntı hesabı

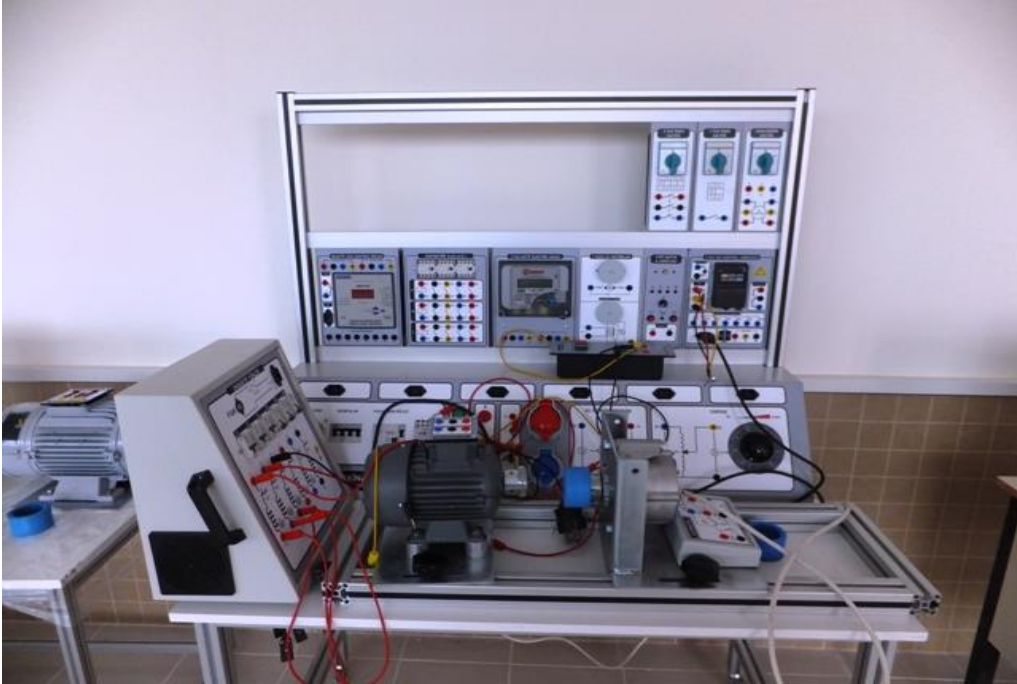
| | | |
|----------|-------------------------|---------|
| t=3 dak. | Depodaki hidrojen kaybı | ml |
| | Sistemin sızıntı oranı | ml/dak. |

| | | | |
|-----------------|------------|------------|-----------------------|
| R= 0.3Ω | Zaman= s | V_1 = ml | $V_{ortalama}$ = ml |
| | Gerilim= V | V_2 = ml | $V_{kullanılan}$ = ml |
| | Akım= A | V_3 = ml | |



Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi
Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü

ELEKTRİK MAKİNELERİ VE SÜRÜCÜLERİ DENEY FÖYÜ



1. GİRİŞ (Transformatörler)

1.1. Transformatörlerin Önemi

Elektrik santralleri kullanılan yakıta yakın yerlerde tesis edildikleri için çoğu zaman tüketim merkezlerine uzakta bulunur. Bu sebepten elektrik enerjisi, üretildiği yerden uzak bölgelere iletilebilmesi gerekmektedir.

Elektrik enerjisinin en önemli özelliklerinden biri de üretildiği yerden çok uzak bölgelere kolayca taşınabilmesidir. Bu taşınmanın verimli bir şekilde yapılabilmesi için gerilimin yeteri kadar büyük olması gerekir.

Bilindiği gibi elektrik enerjisi doğru veya alternatif akım olarak üretilir. Doğru akımda yüksek gerilimli enerji iletimi son zamanlarda büyük önem kazanmıştır. Ancak bu konuda istenilen düzeye gelinememiştir. Buna karşılık alternatif akımlı elektrik enerjisinin gerilimi transformatörler yardımıyla yükseltilip düşürüldüğünden, enerjinin alternatif akımla taşınması önemini korumaktadır. Alternatif akımın gücünü ve frekansını değiştirmeden alçaltmaya veya yükseltmeye yarayan bir elektrik makinesi olarak transformatörlerin, elektrik enerjisinin AC 'de taşınmasında önemli bir yeri vardır.

Santrallerdeki alternatörlerde üretilen alternatif akımın gerilim değeri 0,4- 3,3-6,3-10,6-13-14,7-15,8 ve 35 kV'tur. Bu düşük değerdeki gerilimlerin uzak yerlerdeki tüketim merkezlerine iletilmesi için yükseltilmesi gerekir. Alternatif akımın gerilim değerinin yükseltilmesi ise günümüzde transformatörlerle yapılmaktadır.

Ülkemizde transformatörlerle yükseltilip, enerji nakil hava hatları ile tüketim merkezlerine iletilen gerilim değerleri 15-34,5-66-154-380 kV'tur. Bu gerilim değerleri tüketim merkezlerinde kullanma gerilimi olarak 220 ve 380 voltluk alçak gerilim değerine düşürülmesi transformatörlerle sağlanmaktadır.

Elektrik enerjisinin iletilmesi ve dağıtılması için gerilim değerlerinin değiştirilmesinde transformatörlerin önemi büyüktür.

Transformatörler gerilimi yükseltmek için kullanıldıkları gibi düşürmek için de kullanılır. Santral çıkışında yükseltici, tüketim merkezlerinde ise düşürücü olarak kullanılır. Transformatörler hareketli parça içermediklerinden dolayı verimleri çok yüksektir (%99.9).

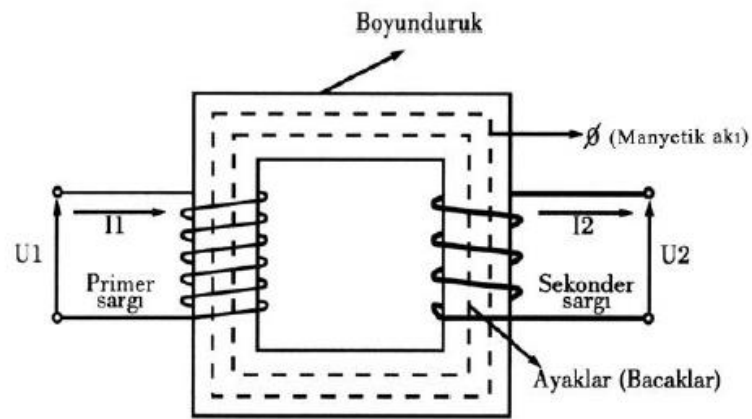
1.2.Genel Tanımı ve Yapısı

Genel tanımı:

Elektromanyetik indüksiyon yolu ile frekansta değişiklik yapmadan gerilim ve akım değerlerini ihtiyaca göre bir oran dâhilinde değiştiren makinelere transformatör denir. Kısaca trafo denir.

Genel yapısı:

Transformatörler ince saclardan yapılmış ve demir gövde adı verilen kapalı bir manyetik devre ile yalıtılmış iletkenlerden sarılıp demir gövde üzerine yerleştirilmiş iki bobinden meydana gelmiştir. Oto trafoları dışında bu iki bobin elektrikli olarak birbirinden tamamen yalıtılmıştır.



Sargı Çeşitleri

Basit bir transformatörde iki sargı vardır. Bunlar:

- Primer sargı
- Sekonder sargı

➤ Primer Sargı

Transformatörde gerilim uygulanan sargıdır. Bu sargıya birinci sargı veya birinci devrede denir.

- Alçaltıcı transformatörde ince kesitli iletkenle çok sipirli olarak sarılır.
- Yükseltici transformatörde kalın kesitli iletkenle az sipirli olarak sarılır.

➤ Sekonder sargı

Transformatörde gerilim alınan ve alıcının bağlandığı sargıdır. Bu sargıya ikinci sargı veya ikinci devrede denir.

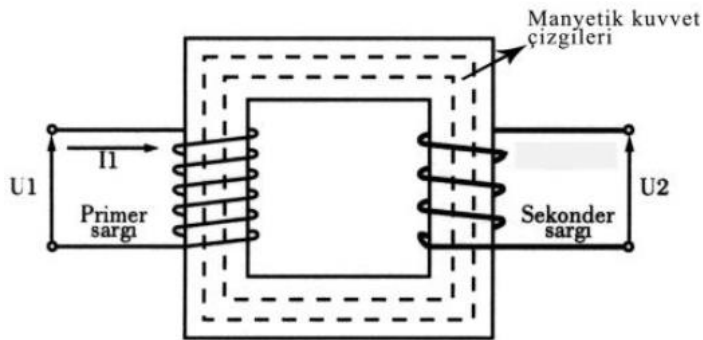
- Alçaltıcı transformatörde kalın kesitli iletkenle az sipirli olarak sarılır.
- Yükseltici transformatörde ince kesitli iletkenle çok sipirli olarak sarılır.

1.3.Genel Çalışma Prensibi

Şekildeki transformatöre alternatif gerilim uygulanırsa primer sargılarından alternatif bir akım geçer. Bu I_1 akımı, demir nüve üzerinde zamana göre yönü ve şiddeti değişen bir manyetik alan meydana getirir.

Bu manyetik alan devresini, nüve üzerinden ve sekonder sargının bulunduğu bacak üzerinden de geçerek tamamlar. Devresini sekonder sargının bulunduğu bacak üzerinden tamamlayan değişken manyetik alan kuvvet çizgileri, sekonder sargı iletkenlerini keserek sekonder sargılarında bir E.M.K. indüklenir.

Böylece aralarında hiçbir elektriki bağ olmadığı halde, primer sargıya uygulanan alternatif gerilim sekonder sargıda, elektromanyetik indüksiyon yolu ile aynı frekanslı bir gerilim indüklenmiş olmaktadır.



Dönüştürme Oranı

$$K = \frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{I_2}{I_1} = a$$

- U1: Primere uygulanan gerilim (Volt)
- U2: Sekonderden alınan gerilim (Volt)
- N1: Primersipir sayısı (Sipir)
- N2: Sekondersipir sayısı (Sipir)
- I1: Primer akımı (Amper)
- I2: Sekonder akımı (Amper)
- a, K: Dönüştürme oranı

1.4.Kullanım Amacına Göre Transformatör Çeşitleri

Düşürücü Tip Transformatör: Kullanım alanı en yaygın transformatör tipidir. Bu tip transformatörlere alçaltıcı tip transformatörler de denir. Primer sargıya uygulanan alternatif gerilimden daha küçük bir alternatif gerilim sekonder sargıdan alınıyorsa bu tip transformatörlere düşürücü tip transformatör denir. Düşürücü tip transformatörler evlerimizdeki gece lambalarında, şarjlı süpürgelerde, cep telefonlarının şarj aletlerinde vb. cihazlarda kullanılır.

Yükseltici Tip Transformatör: Primer sargısına uygulanan alternatif gerilimden daha büyük bir alternatif gerilim sekonder sargıdan alınıyorsa bu tip transformatörlere yükseltici tip transformatör denir. Televizyonlarda ve enerji nakil hatlarındaki yüksek gerilim bu tip transformatörler ile oluşturulur.

Ölçü Transformatörleri: Alternatif akımda yüksek gerilimlerin ve büyük akımların ölçü aletleri ile ölçülmesi zordur. Bu nedenle yüksek gerilim ve büyük akımların ölçülmesi için ölçü transformatörleri kullanılır. Ölçü transformatörleri yardımı ile yüksek gerilimler ve büyük akımlar, transformatörün sekonder sargısında ölçü aletlerinin ölçebileceği değerlere düşürülür. Ölçü transformatörleri, ölçmelerin güvenli bir biçimde, kolay ve doğru bir şekilde yapılmasını sağlar. İki ayrı özellikte ölçü transformatörü vardır. Bunlar; akım transformatörleri ve gerilim transformatörleridir.

Yalıtım Transformatörleri: Yalıtım trafolarında amaç gerilim dönüşümü değildir. Bu transformatörlerin kullanım amacı iki devreyi elektriksel olarak birbirinden yalıtımdır. Bu tip transformatörlerde primer sargısına uygulanan gerilim sekonderden aynı şiddette alınır.

Oto Transformatör: Primer sargısının bir kısmı veya tamamının sekonder sargı olarak da kullanıldığı ve aynı manyetik alanın etkisinde kalan tip transformatörlerdir. Normal transformatörlerde primer ve sekonder olmak üzere iki ayrı sargı bulunur. Oto transformatörlerde ise tek bir sargı bulunur. Primer ve sekonder sargı görevini yaparlar. Sargı sayısı bire düşürüldüğünde kaçak reaktansları azalmıştır. Oto transformatörlerinde çok sayıda dışarıya uç çıkartılarak değişik değerlerde gerilim elde edilir. Bu bakımdan oto transformatörleri potansiyometre gibi kullanılır.

Bahsedilen çeşitlerin dışında hat transformatörü, empedans uygunlaştırma transformatörü vb. çeşitleri de bulunmaktadır.

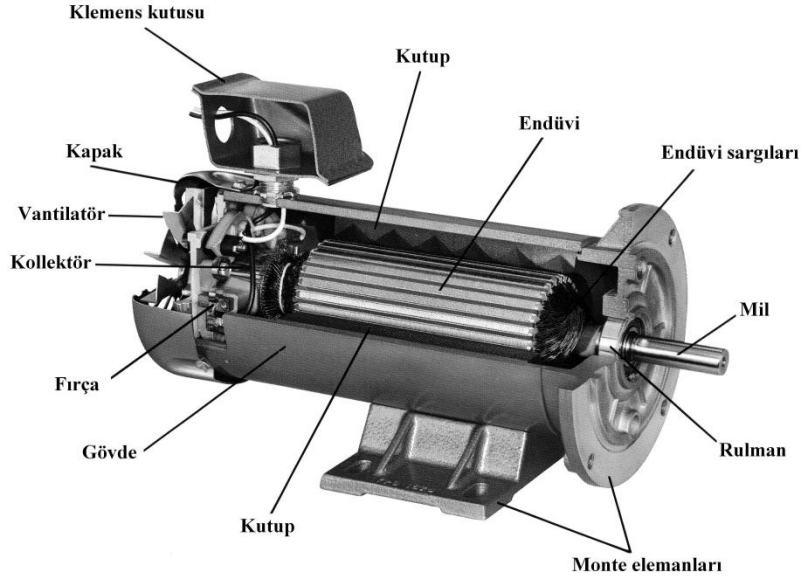
2. Doğru Akım Makineleri

Mekanik enerjiyi, doğru akım elektrik enerjisine çeviren veya doğru akım elektrik enerjisini mekanik enerjiye çeviren cihazlara doğru akım makineleri denir.

Çalışma prensibi ile tanımlarsak ; Sabit bir manyetik alan içerisinde hareket eden iletkenlerde elde edilen indüksiyon akımının kollektörler ve fırçalar yardımı ile doğrultup dış devreye alınması prensibi ile çalışan makinelere doğru akım makineleri denir.

Doğru akım makinesinin yapısı;

- 1- Endüktör (duran kısım)
- 2- Endüvi (dönen kısım)
- 3- Kollektör
- 4- Fırçalar
- 5- Yataklar ve diğerleri



Doğru akım makineleri endüktörün yapısına bağlı olarak elektromıknatıslı ve sabit mıknatıslı olmak üzere iki şekilde imal edilirler. Bu ikisi arasında endüktör haricinde yapı bakımından aynı özellikleri gösterirler.

✓ **Endüktör (Kutup) :**

Doğru akım makinelerinde manyetik alanın meydana geldiği kısımdır. Endüktöre kutup da denilmektedir. Kutup uzunluğu yaklaşık olarak endüvi uzunluğuna eşittir. Endüktörler tabii mıknatıslarla yapıldığı gibi, kutuplara sargılar sarılarak, bu sargıların enerjilendirilmesiyle mıknatıslık özelliği kazandırılmış elektromıknatıslardan da yapılabilir.

✓ **Endüvi:**

Gerilim indüklenen ve iletkenleri taşıyan kısma endüvi denir. Doğru akım makinelerinde endüvi, küçük güçlerde doğrudan doğruya milin üzerine istiflenmiş ve büyük güçlerde de mil üzerine yerleştirilmiş endüvi burcu veya endüvi yıldızı üzerine geçirilmiş dinamo sac paketlerinden meydana gelen endüvi çekirdeği ile silindir şeklinde olan bu çekirdeğin dış kısmına açılmış oluklara yerleştirilen sargılardan meydana gelir.

✓ **Kollektör ve Fırçalar:**

Doğru akım makinelerinde, endüvide indüklenen akımı dış devreye alabilmek için veya dış devredeki akımı endüviye iletebilmek için fırçalar kullanılır.

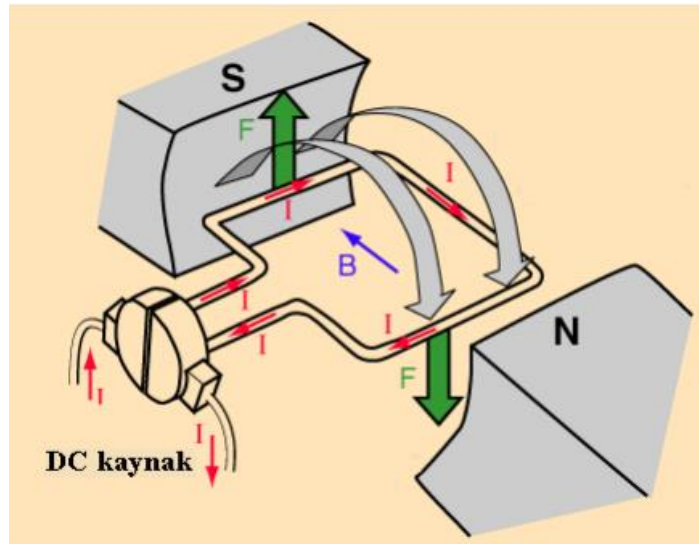
2.1.Doğru Akım Makinelerinin alışma İlkeleri

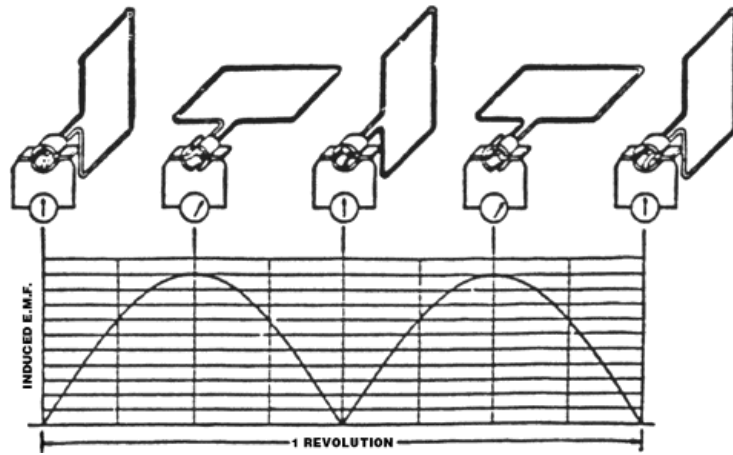
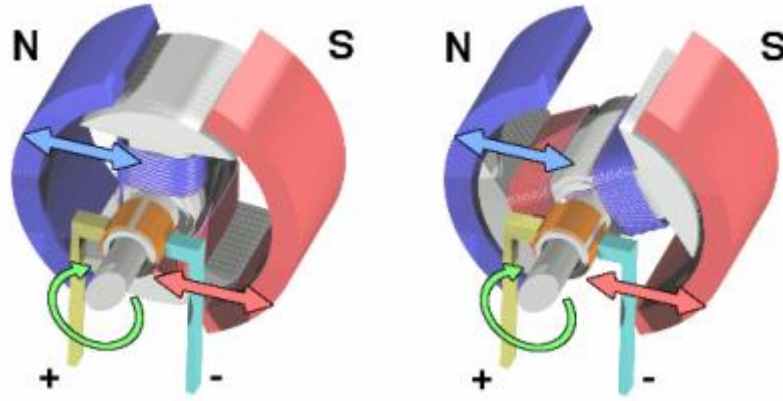
Dış devreden DC gerilim uygulandığında DC motor olarak, dış devreden mekanik enerji verildiğinde DC dinamo olarak çalışır.

Doğru akım motoru, içinden akım geçen iletkenin manyetik ortam dışına itilmesi prensibine göre çalışır. Motorlarda manyetik alanı endüktör oluşturmaktadır. İçinden akım geçen iletkenler ise endüvi üzerinde bulunur. Endüvi üzerindeki iletkenlere fırça ve kolektör yardımıyla doğru gerilim uygulanır. Böylece endüvi üzerindeki iletkenden akım geçer ve manyetik alan oluşur. Endviden geçen akım, manyetik alan oluşturur. Endüktör sargısının manyetik alanı (N–S), endüvide üzerinde manyetik alan oluşturan iletken veya iletken demetini dışa doğru iter. Bu itilme, mil etrafında dönmeyi meydana getirir.

N ve S kutupları, endviden geçen akım yönüne göre iletken veya iletken demetini manyetik ortamın dışına iter. Bu itilme prensibi, doğru akım motorlarının çalışma esasını oluşturur. İletkenden geçen akım yn değiştirirse itilme yönü de değişir. İtilme yönünün değişmesi motorun dönüş yönünü de değiştirir.

İçerisinden akım geçen iletken, manyetik alana sokulursa iletkene bir kuvvet etkir. Etkiyen bu kuvvetin yönü sol el kuralı ile bulunabilir. Sol el kuralına göre; işaret parmağı yönünde bir manyetik alanın (B) olduğu ortama, üzerinden orta parmak yönünde akım (I) geçen bir iletken sokulursa, iletkene başparmak yönünde bir kuvvet (V) etkidiği görülür. Buna göre DC motorun çalışması aşağıdaki şekillerde görülmektedir.





Çalışma prensipleri aynı olmakla birlikte farklı yapıda doğru akım motorları da kullanılmaktadır. Bu motorları birbirlerinden ayıran en büyük fark endüktör sargılarının yapılarında görülür. İşletmelerde üç farklı yapıda doğru akım motoru kullanılmaktadır. Bunlar; şönt, seri ve kompant motorlardır.

2.2.Doğru Akım Generatörlerin Çalışma İlkeleri

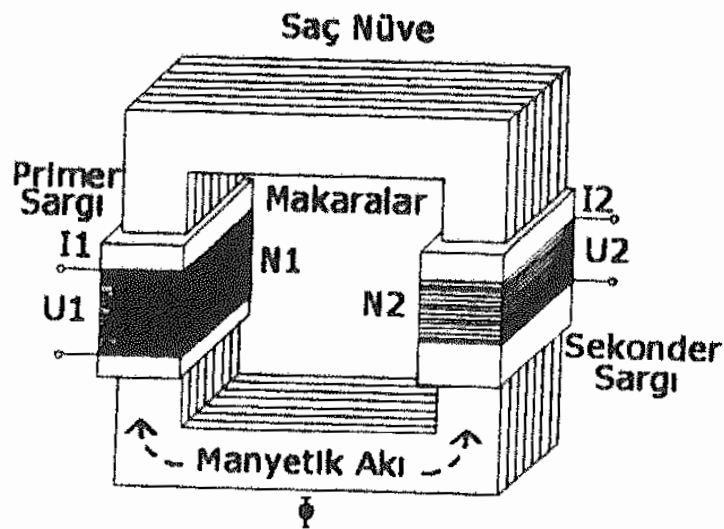
Dinamoların (DC Generatör) çalışma prensibi; kısaca, sabit manyetik alan içinde bulunan iletkenler manyetik alan kuvvet çizgilerini kesecek şekilde hareket ettirilirse o iletkende gerilim indüklenir. Bu olaya indükleme olayı denir. İletkende indüklenen gerilimin miktarı iletkenin hareket hızı ve manyetik alanın değeri ile doğru orantılıdır. İletkenin hareket yönü değiştirildiğinde, iletkende indüklenen gerilimin yönü de değişir. İndüklenen bu gerilim, bilezik ve fırçalar yardımı ile fırça uçları arasına bağlanan bir lambadan akım geçerek lambanın yanmasına neden olur.

3. DENEYLER

3.1.BİR FAZLI TRANSFORMATÖR DENEYLERİ

Transformatörün Yapısı: Transformatörler alternatif akım veya gerilimi, frekans ve gücünü değiştirmeden yükselten ve alçaltan bir devre elemanıdır. Transformatörlerin döner parçası olmadığından verimleri çok yüksektir. Aşağıda, Şekil-1.1’de transformatörün prensip şeması verilmiştir. Transformatörde iki adet sargı bulunur, birinci sargıya primer, ikinci sargıya sekonder adı verilir. Bu iki sargı makaralar aracılığı ile saç nüve üzerine yerleştirilir. Primer sargı ince telden çok siperli olarak, sekonder sargı ise kalın telden az siperli olarak sarılır. Yapım tekniği bakımından transformatörler çekirdek tipi, mental tipi ve dağıtılmış tip vb. gibi değişik şekillerde imal edilmektedir. Piyasada daha çok mental tip transformatörler üretilmektedir. Transformatörlerin saç nüvesi saf döküm demirden değil birer yüzeyleri yalıtılmış ince silisli saçlardan yapılır.

Transformatörün Yapısı: Primer sargıya bir alternatif gerilim uygulandığında, bu gerilim primer sargıdan alternatif akımlar dolaşmasını ve sargıda değişken bir manyetik alan yaratmasını sağlar. Birinci sargıda meydana gelen bu değişken manyetik alan saç nüve sayesinde ikinci sargıya aktarılır. Sabit duran ikinci sargı iletkenleri değişken bir manyetik alan içinde kaldığından bu sargılarda bir gerilim indüklenir. Bu gerilim değeri sekonder sargının siper sayısı ile doğru orantılı olarak değişir. Sarım sayısı ne kadar fazla ise gerilim o oranda artar. İkinci sargıda kullanılan bobin telinin çapı arttıkça verdiği akım, transformatörün gücü oranında yükselir.



Şekil-1.1: Çekirdek tipi transformatör prensip şeması

3.2.TRANSFORMATÖRLERDE DÖNÜŞTÜRME ORANI ve SİPİR SAYILARININ BULUNMASI DENEYİ (Deney No:1)

Giriş: Transformatörler, birinci sargılarına verilen akım veya gerilim dönüştürme oranında yükseltir veya alçaltır. Bu orana dönüştürme katsayısı denir ve K harfi ile gösterilir. Dönüştürme oranı formülden de görüldüğü gibi gerilim, akım ve sarım sayısı oranlarından biriyle bulunabilir.

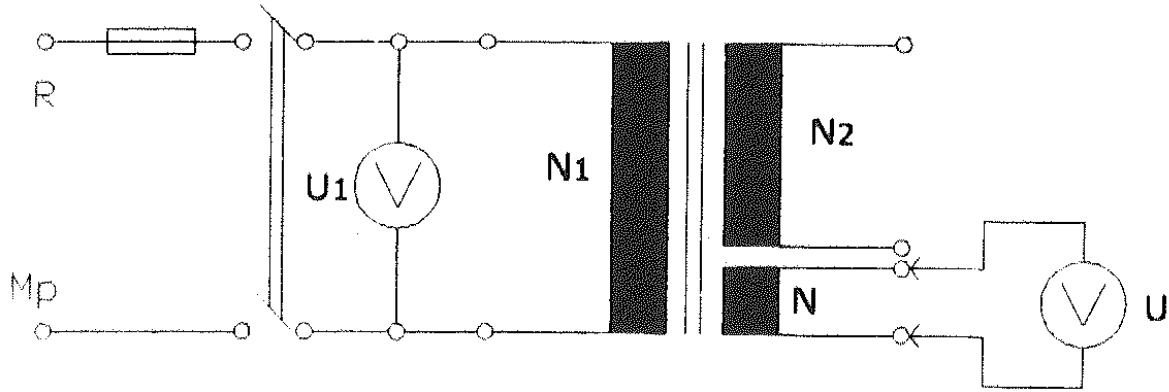
$$K= U_1/U_2 = N_1/N_2 = I_2/I_1$$

Sarım sayısı bilinmeyen transformatörün sargı makarasının üzerinde belli bir sayıda (N) bobin sarılır. Daha sonra bu bobinin ucundaki gerilim (U) okunur. Bu gerilimin değeri, sipir sayısına bölünerek ($u_s=U/N$) sipir başına düşen gerilim bulunur. Sipir başına gerilim değerini bulunca işlemiz kolaylaşır. İstedığımız sargıdaki gerilim değerini bu değere bölersek o sargıya ait sipir sayısını bulmuş oluruz.

Deneyde Kullanılan Araçlar ve Gereçler:

| DENEYDE KULLANILAN ALETLER | | | | |
|----------------------------|------------|-----------------|-------------|---------------|
| S.N. | Aletin Adı | Aletin Özelliği | Ölçme Alanı | Laboratuar No |
| 1 | | | | |
| 2 | | | | |
| 3 | | | | |
| 4 | | | | |
| 5 | | | | |

Deneyin Bağlantı Şeması:



ELEKTRİK MAKİNALARI EĞİTİM SETİ

Deneyin İşlem Basamakları:

- 1) Şekildeki bağlantıyı uygun ölçü aletleri ile düzenleyiniz.
- 2) Öğretmeninizin gözetiminde şalteri kapatarak devreye enerji veriniz.
- 3) Transformatörün boşa çalışırken giriş ve çıkış gerilimini ölçünüz.
- 4) Transformatörün makarası üzerinde bobin teli ile 10 siperlik bir sarım yapınız. Daha sonra bu sargının giriş çıkış uçlarını kazıyarak izolesini kaldırınız ve ucundaki gerilimi voltmetre ile ölçüp gözlem tablosuna yazınız.
- 5) Şalteri kapatarak deneye son veriniz.

Deneyde Alınan Değerler:

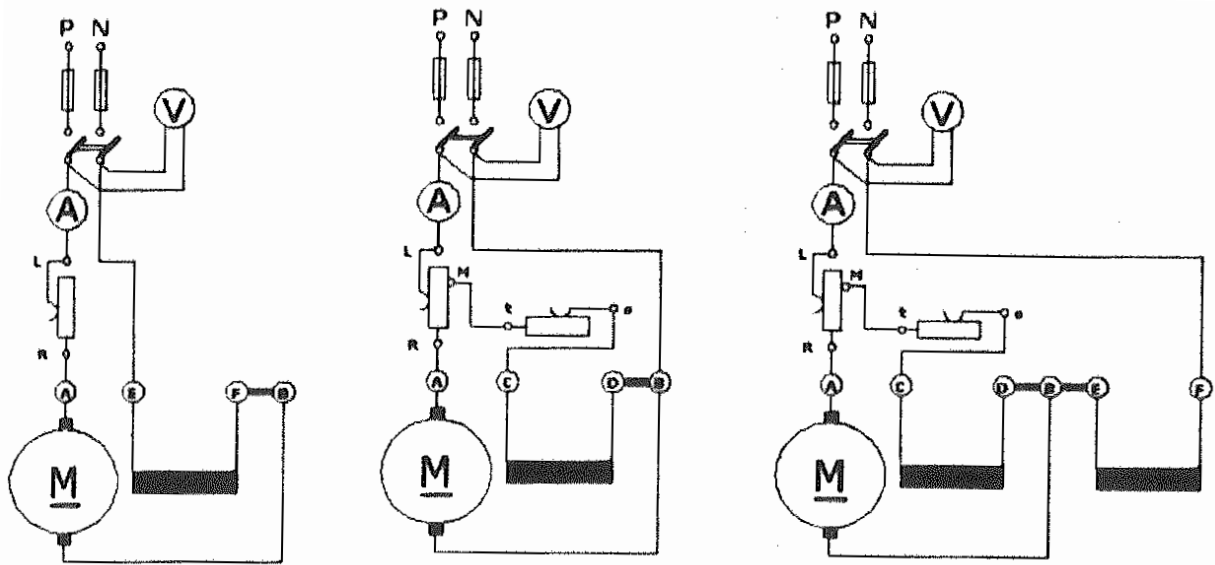
| DENEY GÖZLEM TABLOSU | | | | | |
|----------------------|--------------------|--------------------|-------|-----------|-------------------|
| S.N. | U ₁ (V) | U ₂ (V) | U (V) | N (Sipir) | Düşünceler |
| 1 | | | X | X | Dönüştürme Oranı |
| 2 | X | X | | 10 Sipir | Sipir Başına Volt |

Deneyde Yapılan Hesaplamalar:

| DENEY HESAP TABLOSU | | | | | |
|---------------------|-------------|-----------|---------------|---------------|-------------------|
| S.N. | $K=U_1/U_2$ | $u_s=U/N$ | $N_1=U_1/u_s$ | $N_2=U_2/u_s$ | Düşünceler |
| 1 | | X | X | X | Dönüştürme Oranı |
| 2 | X | | | | Sipir Başına Volt |

3.3.DC MOTOR UYGULAMALARI (Deney No:2)

Giriş: Doğru akım motorları endüvi ve endüktör olmak üzere iki ana parçadan oluşur. Endüktörleri sargılı ve mıknatıslı olmak üzere iki ayrı tipte imal edilirler. Endüktörü sargılı dc motorlar ise kendi arasında şönt, seri ve kompoint olmak üzere üçe ayrılırlar. Alan (endüktör) sargısı endüvisine paralel bağlanan motorlara şönt, seri bağlanan motorlara ise seri motor denir. Ayrıca hem şönt hem seri sargısı bulunan motorlara ise kompoint motor adı verilir. Aşağıdaki Şekil-2.1.a,b ve c'de doğru akım seri, şönt ve kompoint motora ait bağlantı şemaları verilmiştir.



Şekil-2.1.a,b,c

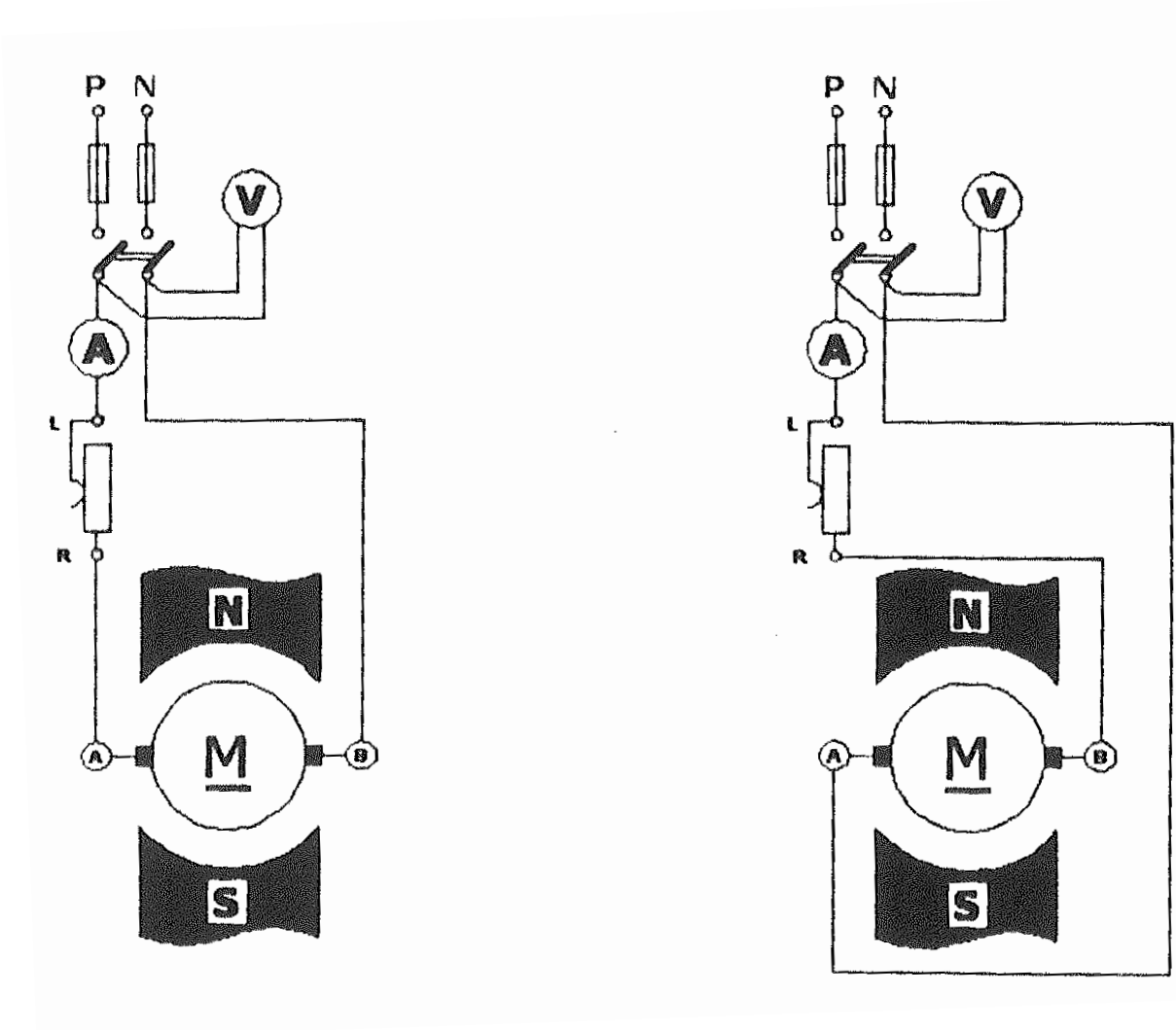
Doğru akım motorlarının devir sayısı $n=(U-I_a.R_a)/K.\phi$ formülünden anlaşıldığı üzere motora uygulanan gerilim, endüvi direnci, K katsayısı ve kutupların manyetik akısıyla değişmektedir. Genellikle motora uygulanan gerilim veya kutuplardaki manyetik akı ile ayarlama yapılır. Bunun için ya endüvi sargısına ya da endüktör sargısına seri olarak ayarlı bir sınırlama direnci eklenir. Bizim deneyimizde sabit mıknatıslı DC motor kullanılacaktır. Bu motor tipi sanayide çok tercih edilmektedir. Motorumuz sabit mıknatıslı olduğundan kutup akısını değiştiremeyiz. Bu yüzden motorumuzun devir sayısını, sadece endüviye uygulayacağımız gerilimle ayarlarız.

Doğru akım motorlarının devir yönü endüvi veya endüktör sargı uçları değiştirilerek yapılır. Sabit mıknatıslı motorlarda ise sadece endüvi uçları değiştirilebilir.

Deneyde Kullanılan Araçlar ve Gereçler:

| DENEYDE KULLANILAN ALETLER | | | | |
|-----------------------------------|-------------------|------------------------|--------------------|----------------------|
| S.N. | Aletin Adı | Aletin Özelliği | Ölçme Alanı | Laboratuar No |
| 1 | | | | |
| 2 | | | | |
| 3 | | | | |
| 4 | | | | |
| 5 | | | | |

Deneyin Bağlantı Şeması:



Deneyin İşlem Basamakları:

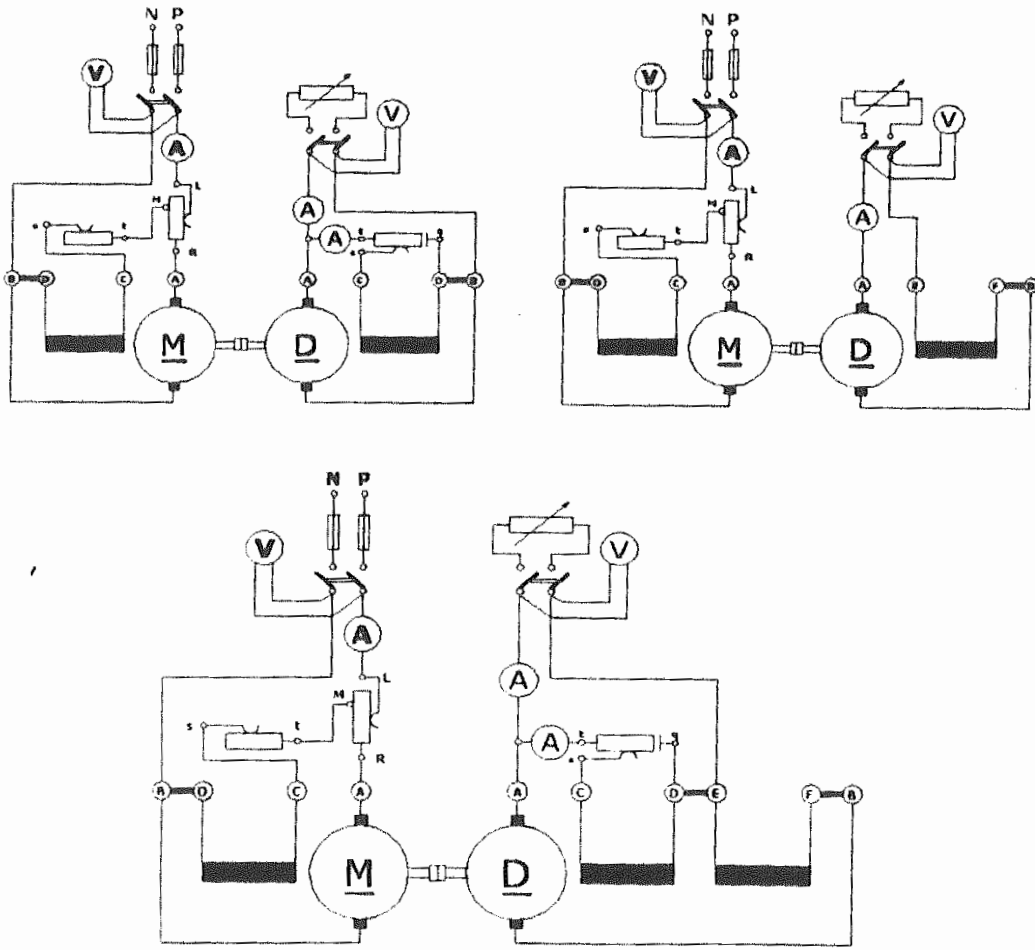
- 1) Şekildeki bağlantıyı uygun ölçü aletleri ile düzenleyiniz.
- 2) Öğretmeninizin gözetiminde şalteri kapatarak devreye enerji veriniz.
- 3) Reostayı hareket ettirerek motorun devir sayısını değiştiriniz.
- 4) Her devir sayısında ölçü aletlerinden aldığımız değerleri gözlem tablosuna yazınız.
- 5) Aynı deneyde motorun A ve B uçlarını değiştirerek devir yönünün değiştiğini gözlemleyiniz.
- 6) Şalteri kapatarak deneye son veriniz.

| DENEY GÖZLEM TABLOSU | | | | |
|-----------------------------|--------------|--------------|------------------|-------------------|
| S.N. | U (V) | I (A) | n (d/dak) | Düşünceler |
| 1 | | | | |
| 2 | | | | |
| 3 | | | | |
| 4 | | | | |
| 5 | | | | |

3.4.DC GENERATÖR (DİNAMO) UYGULAMALARI (Deney No:3)

Giriş: Doğru akım motoru ile dinamosu arasında yapı bakımından hiçbir fark yoktur. Yani bir DC makinesi hem motor olarak hem de dinamo olarak çalıştırılabilir. Yapacağımız bu deneyde bunu daha iyi anlayacaksınız. DC dinamolarında da endüvi ve endüktör olmak üzere iki ana parça bulunur. Endüktörleri sargılı ve sabit mıknatıslı olmak üzere iki ayrı tipte imal edilirler. Endüktörü sargılı DC dinamoları ise kendi arasında şönt, seri ve komponent olmak üzere üçe ayrılır. Alan (endüktör) sargısı endüvisine paralel bağlanan dinamolara şönt dinamo, seri bağlanan dinamolara ise seri dinamo denir. Ayrıca hem şönt hem de seri sargısı olan dinamolara da komponent dinamo adı verilir.

Aşağıdaki şekil-3.1.a,b ve c'de doğru akım seri, şönt ve komponent dinamolarına ait bağlantı şemaları gösterilmiştir.



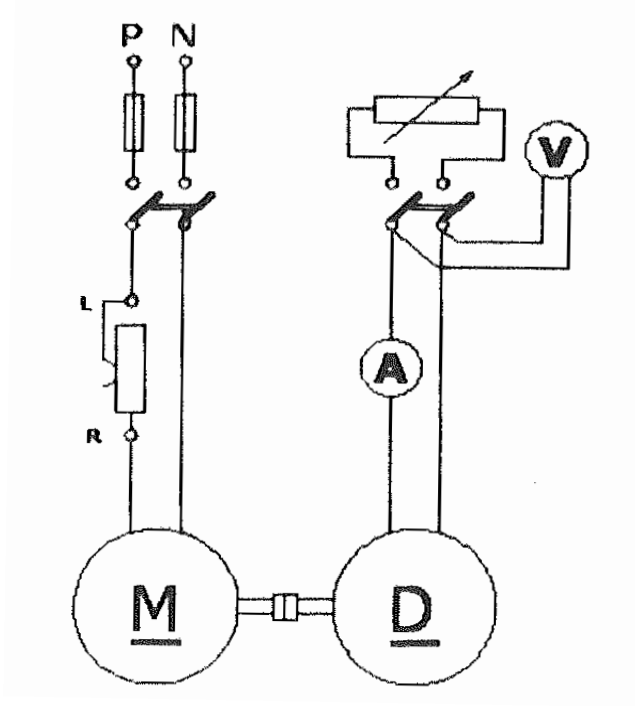
Şekil-3.1.a,b,c

Doğru akım dinamolarının gerilim üretebilmesi için döndürücü bir makineye ve uyartım kaynağına ihtiyacı vardır. Uyartım ya yabancı bir DC kaynaktan ya da dinamonun kendisinden sağlanabilir. Endüktörü sabit mıknatıstan oluşan dinamolarda, gerilim alabilmek için bizim deneyimizde olduğu gibi sadece döndürücü bir kaynağa ihtiyaç vardır. Dinamoların uyartım için gerekli beslemeyi kendi kendine sağlayabilmesi için harici bir kaynaktan döndürülmesi, kutup saçlarında bir artık mıknatısiyetin kalması ve buradan elde edilen remenans geriliminin kutup sargılarından bu artık mıknatısiyetin artırıcı yönde akım geçirmesi (doğru yönde bağlanması) ve uyartım reostasında kritik direncin aşılması gerekir. Bu şartlar sağlandığı zaman dinamolar kendi kendilerine gerilim üretmeye başlarlar.

Deneyde Kullanılan Araçlar ve Gereçler:

| DENEYDE KULLANILAN ALETLER | | | | |
|----------------------------|------------|-----------------|-------------|----------------|
| S.N. | Aletin Adı | Aletin Özelliği | Ölçme Alanı | Laboratuvar No |
| 1 | | | | |
| 2 | | | | |
| 3 | | | | |
| 4 | | | | |
| 5 | | | | |

Deneyin Bağlantı Şeması:



Deneyin İşlem Basamakları:

- 1) Şekildeki bağlantıyı uygun ölçü aletleri ile düzenleyiniz.
- 2) Öğretmeninizin gözetiminde şalteri kapatarak devreye enerji veriniz.
- 3) Reostayı hareket ettirerek motorun devir sayısını değiştiriniz.
- 4) Her devir sayısında ölçü aletlerinden aldığınız değerleri gözlem tablosuna yazınız.
- 5) Motorun A ve B uçlarını değiştirerek devir yönünün değiştiriniz.
- 6) Dinamoya bağlı ölçü aletlerinin durumunu gözlemeyiniz.
- 7) Şalteri kapatarak deneye son veriniz.

| DENEY GÖZLEM TABLOSU | | | | |
|-----------------------------|--------------|--------------|------------------|-------------------|
| S.N. | U (V) | I (A) | n (d/dak) | Düşünceler |
| 1 | | | | |
| 2 | | | | |
| 3 | | | | |
| 4 | | | | |
| 5 | | | | |

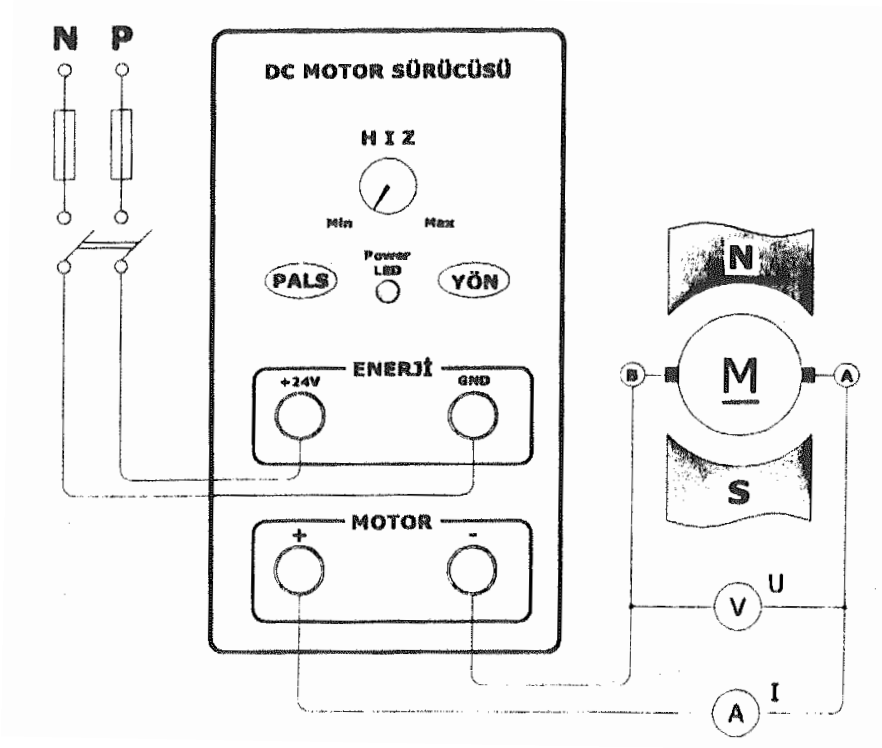
3.5.ENDÜSTRİYEL UYGULAMALARDA DC MOTORLARIN ÇALIŞTIRILMASI (Deney No:4)

Giriş: DC motor sürücüsü ile sabit mıknatıslı DC motorumuzun devir sayısını ve devir yönü rahatlıkla değiştirilebilir.

Deneyde Kullanılan Araçlar ve Gereçler:

| DENEYDE KULLANILAN ALETLER | | | | |
|-----------------------------------|-------------------|------------------------|--------------------|----------------------|
| S.N. | Aletin Adı | Aletin Özelliği | Ölçme Alanı | Laboratuar No |
| 1 | | | | |
| 2 | | | | |
| 3 | | | | |
| 4 | | | | |
| 5 | | | | |

Deneyin Bağlantı Şeması:



Deneyin İşlem Basamakları:

- 1) Şekildeki bağlantıyı uygun ölçü aletleri ile düzenleyiniz.
- 2) Öğretmeninizin gözetiminde şalteri kapatarak devreye enerji veriniz.
- 3) Hız potansiyometresini çevirerek motorun devir sayısını değiştiriniz.
- 4) Değişik devir sayılarında ölçü aletlerinden aldığınız değerleri gözlem tablosuna yazınız.
- 5) Yön butonuna basarak motorun devir yönünü değiştiriniz.
- 6) Şalteri kapatarak deneye son veriniz.

| DENEY GÖZLEM TABLOSU | | | | |
|----------------------|-------|-------|-----------|------------|
| S.N. | U (V) | I (A) | n (d/dak) | Düşünceler |
| 1 | | | | |
| 2 | | | | |
| 3 | | | | |
| 4 | | | | |
| 5 | | | | |



Osmaniye Korkut Ata Üniversitesi
Mühendislik Fakültesi
Enerji Sistemleri Mühendisliği Bölümü

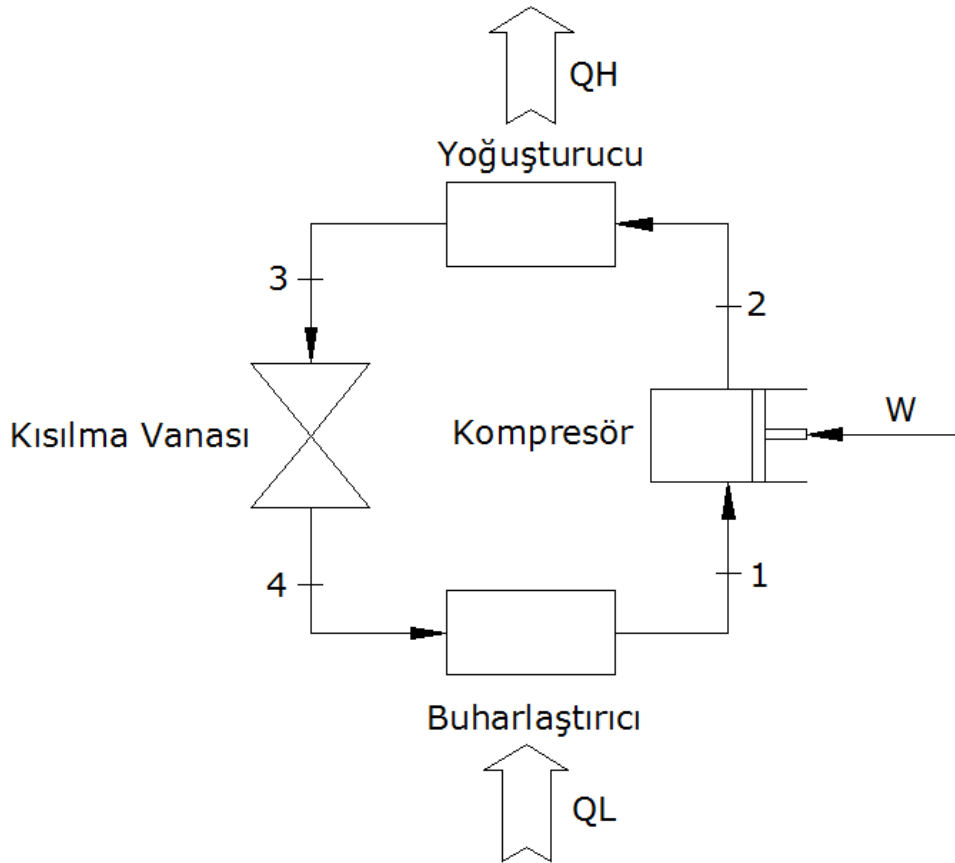
ÇOK AMAÇLI SOĞUTMA DENEY FÖYÜ



1.GİRİŞ

Isı geçişinin her zaman sıcaklığın azaldığı yönde olduğu bilinen bir gerçektir, başka bir deyişle, ısı geçişi yüksek sıcaklıktaki ortamdan düşük sıcaklıktaki ortama olur. Bu doğal bir olgudur, kendiliğinden gerçekleşir. Bu olgunun tersi kendiliğinden gerçekleşemez. Düşük sıcaklıktaki bir ortamdan yüksek sıcaklıktaki bir ortama ısı geçişi ancak soğutma makinelerinin kullanımıyla olanaklıdır.

Soğutma makineleri de ısı makineleri gibi bir çevrimi esas alarak çalışır. Bir soğutma çevriminde kullanılan aracı akışkana soğutucu akışkan adı verilir. En yaygın kullanılan soğutma çevrimi, buhar sıkıştırımlı soğutma çevrimidir ve aşağıda Şekil 1.'de gösterildiği üzere dört elemanla gerçekleşir: kompresör, yoğusturucu, kısılma vanası ve buharlaştırıcı.



Şekil 1. Bir Soğutma Çevrimi

Soğutucu akışkan kompresöre buhar olarak girer ve burada yoğusturucu basıncına sıkıştırılır. Kompresör çıkışında kızgın buhar halinde olan akışkan, yoğusturucuda çevre

ortama ısı vererek soğur ve yoğuşur. Akışkan yoğuşturucudan sonar kılcal borulara girer ve kısılma etkisiyle basıncı ve sıcaklığı büyük ölçüde azalır. Soğutucu akışkan daha sonar buharlaştırıcıda soğutulan ortamdan ısı alarak buharlaşır. Çevrim, buharlaştırıcıdan çıkan akışkanın kompresöre girmesiyle tamamlanır.

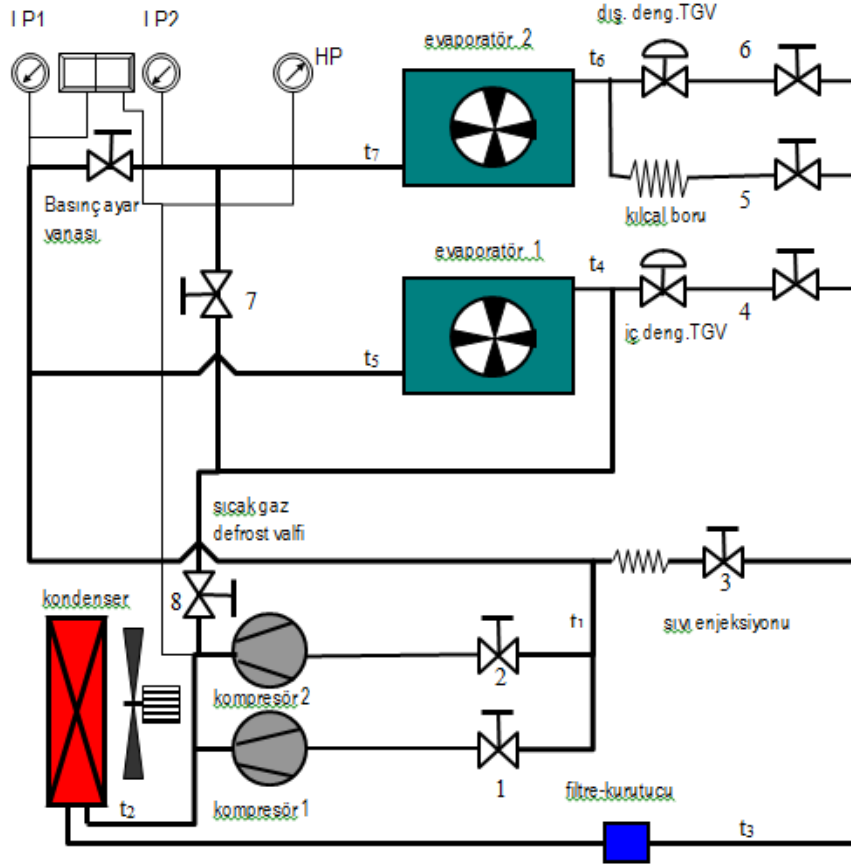
Bir soğutma makinesinin performansı kompresör giriş/ çıkış sıcaklıkları ve basınçları ile kondenser çıkış sıcaklığı ölçülerek değerlendirilebilir. Bu basit yöntem uygulanarak soğutma makinesinin durumu hakkında ayrıntılı bilgiler elde edilir. Soğutma makinemizde soğutucu akışkan olarak R 134a kullanılmaktadır.

2.DENEY DÜZENEGİ VE DENEYLER

Soğutma makinesini incelemek için Şekil 2’de Çok Amaçlı Soğutma Eğitim Seti adlı deney düzeneği kullanılmaktadır. Deney düzeneğinde basınç ayar vanası, hava soğutmalı yoğuşturucu, iki ayrı buharlaştırıcı, iki ayrı kompresör, kurutucu ve birden çok genleşme cihazları bulunmaktadır.

TEKNİK ÖZELLİKLER

| | | |
|----|-----------------------------------|--------------------------|
| 1 | kompresör tipi ve beygir gücü | Aspera, ¼ BG |
| 2 | Kondenser kapasitesi | 1/3 BG, fanlı-lamelli |
| 3 | Kondenser fan kapasitesi | Fanco-42 W, φ250 mm |
| 4 | Evaporatör tipi | Özel imalat, lamelli |
| 5 | Evaporatör fanı | 12x12 cm Tidar DP201-A |
| 6 | İçten dengelemeli genleşme valfi | Alco-TIE MW55-PCN800 997 |
| 7 | Dıştan dengelemeli genleşme valfi | Alco-TIE MW55-PCN800 997 |
| 8 | Kılcal boru uzunluğu | 500 mm |
| 9 | Emme hattı vanaları | Castel, 3/8” |
| 10 | Sıvı hattı vanaları | Castel, ¼” |
| 11 | Basınç anahtarı | Danfoss |



Şekil 2. Çok Amaçlı Soğutma Eğitim Seti Şeması

3. DENEYİN AMACI

Var olan bir soğutma makinesinin performansı kompresör giriş/ çıkış sıcaklıkları ve basınçları ile yoğuşturucu çıkış sıcaklığı ölçülerek hesaplanması amaçlanmaktadır. Bu basit yöntem her türlü soğutma makinelere uygulanabilir. Ancak karışım soğutucu akışkanlı sistemlere uygularken dikkatli olunmalıdır(R-407 vb.). Ayrıca farklı genleşme cihazları kullanılarak soğutma sisteminin çalışma prensibi incelenecektir.

3.1. Akış kontrolündekılcal borunun genleşme cihazı olarak kullanılması (Deney No:1)

Deneyin Amacı: Bilindiği gibi kılcal borular küçük ve orta ölçekli ticari tip cihazlarda, küçük tip klimalarda yaygın olarak kullanılmaktadır. Avantajları; ucuz oluşu, hareketli elemanlarının bulunmayışı nedeniyle arıza yapmaması ve kompresör durma anında alçak ve yüksek taraf basınçlarını dengeleyerek yeniden çalışma anında kompresörün yüksüz olarak çalışabilmesini sağlayabilmesidir. Bu deneyde evaporatörde buharlaşan soğutucu akışkan kadar sıvı geçişine müsade eden kılcal borulu bir soğutma sisteminin çalışma prensibi incelenecektir.

Deneyin yapılışı:

- 1) 1 ve 5 no'lu vanalarını, basınç ayar vanasını açın, diğerlerini kapatın. Bu durumda akış kontrolü olarak kılcal boru devreye girecektir.
- 2) Kumanda panosundan 1. kompresör, 2. evaporatör ve kondenser fanlarını çalıştırın.
- 3) Evaporatördeki karlanmanın ilerlemesini, basınç ve sıcaklıkların değişmesini gözleyin.
- 4) Basınç ve sıcaklıklarda kararlılık sağlanınca ölçümleri tabloya (sıra 1-7 arası) kaydedin.
- 5) Cihazı durdurup o andaki saati tabloya kaydedin.
- 6) Alçak ve yüksek basınç göstergelerin eşitlenmesini bekleyin ve eşitlendiği andaki saati tabloya kaydedin.
- 7) Dengeleme için geçen süreyi hesaplayın.

| Özellikler / ölçüm sayısı | Okunacağı gösterge | 1 | 2 | 3 |
|---|--------------------|---|---|---|
| 1) Basma hattı basıncı, P_2 [kPa] | HP | | | |
| 2) Yoğunlaşma sıcaklığı, t_y [$^{\circ}$ C] | HP | | | |
| 3) Evaporatör basıncı, P_{e2} [kPa] | LP2 | | | |
| 4) Buharlaşma sıcaklığı, t_{e2} [$^{\circ}$ C] | t_6 | | | |
| 5) Evaporatör çıkış sıcaklığı, t_7 [$^{\circ}$ C] | t_7 | | | |
| 6) Kızgınlık değeri [$t_7 - t_6$] [$^{\circ}$ K] | | | | |
| 7) Kompresörü durdurma saati | - | | | |
| 8) Göstergelerin eşitliği andaki saat | - | | | |
| 9) Eşitleme süresi [dakika] | - | | | |

Raporda istenenler: Deney no, deneyin adı ve amacı, tablo değerleri ve kılcal borulu soğutma sistemlerinin çalışma prensibinin açıklanması.

3.2. Akış kontrolünde içten dengelemeli termostatik genişleme valfinin kullanılması (Deney No:2)

Deneyin amacı: Orta büyüklükteki ticari soğutma sistemlerinde kullanılan içten dengelemeli termostatik genişleme valflerinde evaporatör çıkışına bağlanan kuyruk basıncına göre kızgınlık ayarı yapılabilmektedir. Bu deneyde içten dengelemeli termostatik genişleme valflerinin çalışma prensipleri öğrenilecektir.

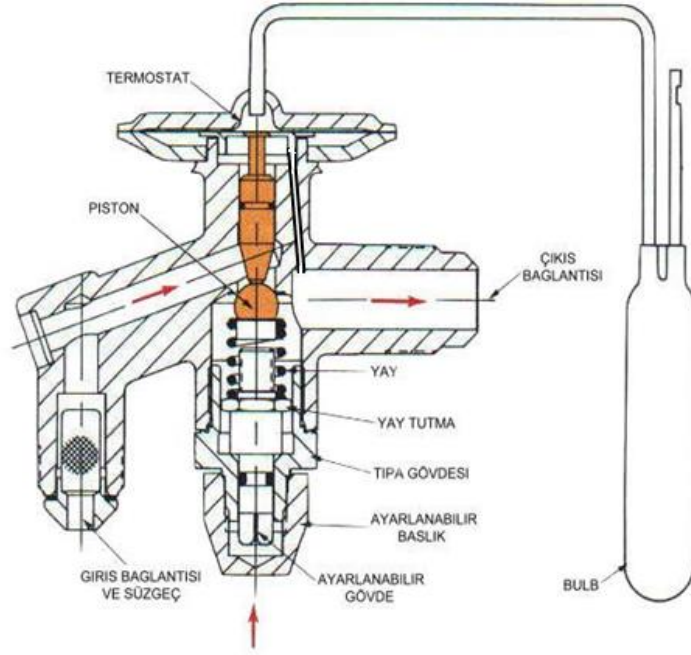
Deneyin yapılışı:

- 1) 1 ve 4 no'lu vanaları açın, diğerlerini kapatın. Bu durumda içten dengelemeli termostatik genişleme valfi devreye girecektir.
- 2) Kumanda panosundan 1. kompresör, 1. evaporatör ve kondenser fanlarını çalıştırın.
- 3) Evaporatördeki karlanmanın ilerlemesini, basınç ve sıcaklıkların değişmesini gözleyin.

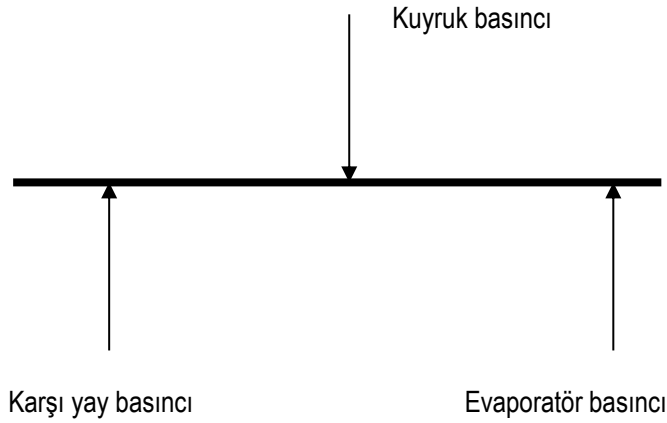
- 4) Kızgınlık değerini, kızgınlık ayar vidası yardımıyla ilk olarak 5 K değerine ayarlayın. Kararlılık sağlanınca ölçümleri tabloya kaydedin.
- 5) Kızgınlık değerini sırasıyla 10 K,20 K değerlerine ayarlayıp kararlılık sağlandığında ölçüm değerlerini tabloya kaydedin.
- 6) Kompresörleri durdurun, göstergelerin eşitlenip eşitlenmediğini kontrol edin.

| Özellikler / ölçüm sayısı | Okunacağı gösterge | 1 | 2 | 3 |
|--|--------------------|---|----|----|
| 1) Basma hattı basıncı, p_2 [kPa] | HP | | | |
| 2) Yoğunlaşma sıcaklığı, t_y [$^{\circ}$ C] | HP | | | |
| 3) Evaporatör basıncı, p_{e1} [kPa] | LP1 | | | |
| 4) Buharlaşma sıcaklığı, t_4 [$^{\circ}$ C] | t_4 | | | |
| 5) Evaporatör çıkış sıcaklığı, t_5 [$^{\circ}$ C] | t_5 | | | |
| 6) Kızgınlık değeri= $[t_5-t_4]$ [$^{\circ}$ K] | - | 5 | 10 | 20 |
| 7) Kompresörü durdurma saati | - | | | |
| 8) Göstergelerin eşitlendiği andaki saat | ? | | | |

Raporda isteneler: Deney no, deneyin adı ve amacı, tablo değerleri, içten dengelemeli termostatik genişleme valfinin çalışma prensibi ve sistemin çalışma şartlarına göre kızgınlık ayarının yapılması.



Şekil 3. İçten Dengelemeli Termostatik Vana



Şekil 4. Termostatik Genleşme Valfinin Çalışma Prensibi

3.3. Akış kontrolünde dıştan dengelemeli termostatik genleşme valfinin kullanılması (Deney No:3)

Deneyin amacı: Soğutucu akışkanın evaporatöre giriş ve çıkışındaki basınç kaybı 0.7 barın üzerinde olursa kızgınlığın artarak, evaporatör ısı transfer yüzeyini olumsuz yönde etkileyip sistem eksik soğutucu akışkanla beslenmektedir. Dıştan dengelemeli termostatik genleşme

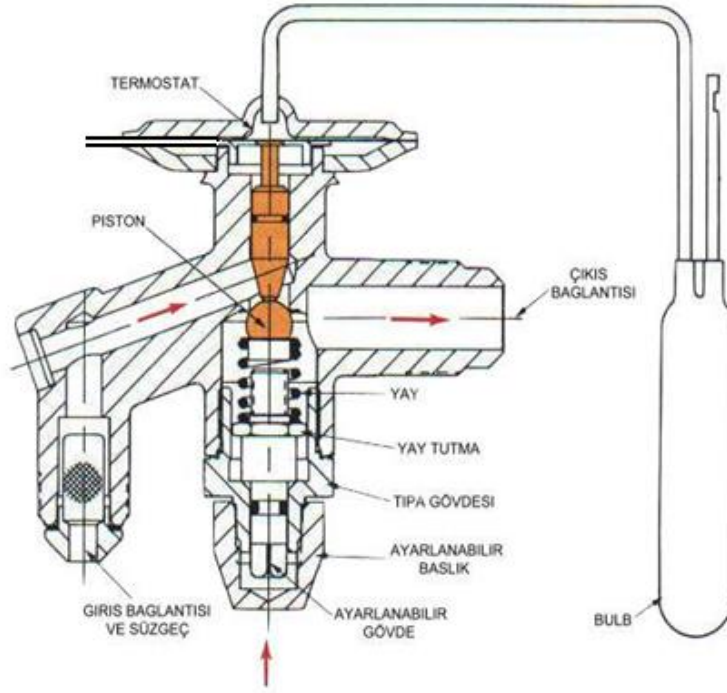
valflerinde evaporatör basıncı TGV girişinden değil de çıkışından alındığı için sistem yeterli soğutucu akışkanla beslenmektedir. Bu deneyde dıştan dengelemeli termostatik genişleme valfinin çalışma prensibi, kızgınlığın ayarlanan değerden çok fazla sapma olmadan korunması öğretilecektir.

Deneyin yapılışı:

- 1) 2 ve 6 no'lu vanalarını, basınç ayar vanasını açın, diğerlerini kapatın. Bu halde dıştan dengelemeli termostatik genişleme valfi devreye girecektir.
- 2) Kumanda panosu yardımıyla 2. kompresör, 2. evaporatör ve kondenser fanlarını çalıştırın.
- 3) Evaporatördeki karlanmanın ilerlemesini, basınç ve sıcaklıkların değişmesini gözleyin.
- 4) Kızgınlığı ilk olarak 3 Kelvin değerine ayarlayıp ölçümleri tabloya kaydedin.
- 5) Kızgınlığı 8 K değerine ayarlayıp ölçümleri tabloya kaydedin.
- 6) Son olarak kızgınlığı 15 K değerine ayarlayıp ölçümleri kaydedin.
- 7) Kızgınlık arttıkça evaporatör yüzeyinin daha azının kullanıldığını gözlemleyin.
- 8) Kompresörü durdurun, basınç göstergelerinin eşitlenip eşitlenmediğini kontrol edin.

| Özellikler / ölçüm sayısı | Okunacağı gösterge | 1 | 2 | 3 |
|---|--------------------|---|---|----|
| 1) Basma hattı basıncı, p_2 [kPa] | HP | | | |
| 2) Yoğunlaşma sıcaklığı, t_y [°C] | HP | | | |
| 3) Evaporatör basıncı, p_{e2} [kPa] | LP2 | | | |
| 4) Buharlaşma sıcaklığı, t_6 [°C] | t_6 | | | |
| 5) Evaporatör çıkış sıcaklığı, t_7 [°C] | t_7 | | | |
| 6) Kızgınlık değeri, $[t_6-t_7]$ [°K] | - | 3 | 8 | 15 |
| 7) Kompresörü durdurma saati | - | | | |
| 8) Göstergelerin eşitlendiği andaki saat | ? | | | |

Raporda istenenler: Deney no, deneyin adı ve amacı, tablo değerleri, evaporatör ısı transfer yüzeyinden nasıl yüksek verimin alındığının açıklanması.



Şekil 5. Dıştan dengelenmeli termostatik vana

3.4. Teorik ve gerçek soğutma çevrimlerinin p-h diyagramı üzerinde gösterilmesi, kompresör, evaporatör ve kondenser kapasitelerinin belirlenmesi (Deney No:4)

Deneyin amacı: Basınç ve sıcaklıklar yardımıyla teorik ve gerçek p-h diyagramının çizilmesi ve bu diyagram üzerinde evaporatör ve kondenser kapasitelerinin hesaplanması.

Deneyin yapılışı:

- 1) 1, 4 no'lu vanaları açıp diğerlerini kapatın.
- 2) Kumanda panosu yardımıyla 1. kompresör, 1. evaporatör ve kondenser fanlarını çalıştırın.
- 3) Sistem kararlı hale gelince tablo değerlerini kaydedin ve sistemi durdurun.

| Özellikler / ölçüm sayısı | Okunacağı gösterge | 1 | 2 | 3 |
|---|----------------------|---|---|---|
| 1) Basma hattı basıncı, p_2 [kPa] | HP | | | |
| 2) Basma hattı sıcaklığı, t_2 [°C] | t_2 | | | |
| 3) Evaporatör basıncı, P_{e2} [kPa] | LP2 | | | |
| 4) Kompresör giriş sıcaklığı, t_1 [°C] | t_1 | | | |
| 5) Sıvı hattı sıcaklığı t_3 [°C] | t_3 | | | |
| 6) Emme hattı sıcaklığı, t_4 [°C] | t_4 | | | |
| 7) Soğutucu akışkan debisi, \dot{m}_r [g/s] | Elektronik debimetre | | | |

Raporda istenenler: Deney no, deneyin adı ve amacı, tablo değerleri ve p-h diyagramı.

Hesaplamalar:

Kompresör giriş(1) ve çıkış basınçları (2):

$$p_1 = \dots \text{ bar}$$

$$p_2 = \dots \text{ bar}$$

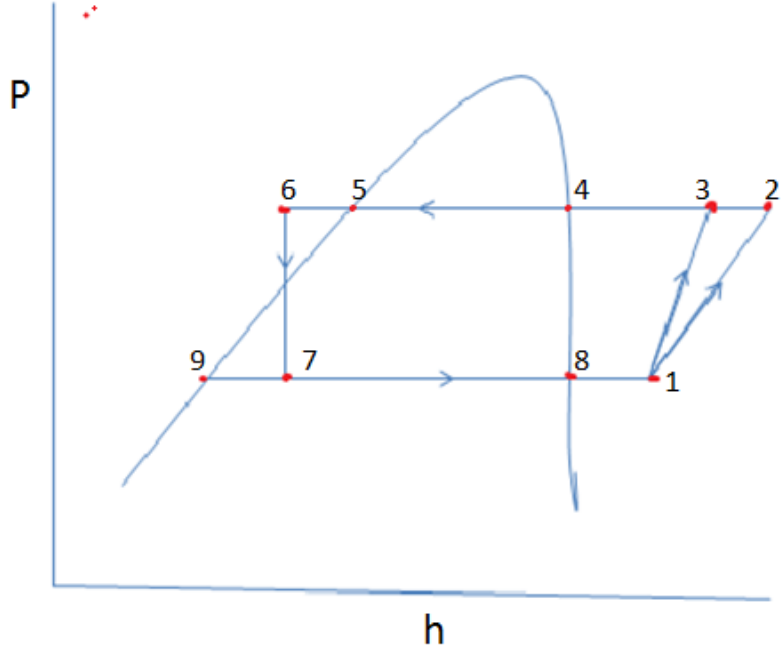
Kompresör giriş(1) ve çıkış sıcaklıkları (2):

$$T_1 = \dots \text{ °C}$$

$$T_2 = \dots \text{ °C}$$

Kondenser çıkış sıcaklığı:

$$T_6 = \dots \text{ °C}$$



Şekil 6. Soğutma Çevriminin p-h diagramında gösterimi

Verilen değerler yardımıyla Şekil 6 da verilen p-h diagramındaki noktalar bulunur. Bu noktalardaki entalpiler aşağıda verilmiştir.

$$h_1 = \dots \text{ kJ/kg}$$

$$h_2 = \dots \text{ kJ/kg}$$

$$h_6 = h_7 = \dots \text{ kJ/kg}$$

$$h_9 = \dots \text{ kJ/kg doymuş sıvı entalpisi}$$

$$h_8 = \dots \text{ kJ/kg doymuş buhar entalpisi}$$

Ayrıca Şekil 6 dan veya daha hassas olarak Çizelge1 den

$$T_4 = T_5 = \dots ^\circ\text{C}$$

$$T_7 = T_8 = \dots ^\circ\text{C}$$

değerleri elde edilir.

a) Kuruluk derecesi

Evaporatör girişindeki kuruluk derecesi

$$x_7 = \frac{h_7 - h_9}{h_8 - h_9} = \dots$$

olarak bulunur.

b) $COP_{C,c}$ ve $COP_{R,c}$ (Carnot etkinliği ve gerçek etkinlik)

$$COP_{C,c} = \frac{T_e}{T_c - T_e} = \dots$$

olarak elde edilir.

Soğutma gerçek etkinliği de

$$COP_{R,c} = \frac{h_1 - h_7}{h_2 - h_1} = \dots$$

olarak hesaplanır.

d) Evaporatör ısısı

Evaporatöre verilen ısı da aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\dot{Q}_e = \dot{M}_R \cdot (h_1 - h_7) = \dots kW$$

f) Kompresör izantropik verimi:

Kompresör izantropik verimi

$$\eta_i = \frac{h_3 - h_1}{h_2 - h_1}$$

eşitliğinden bulunur. Bunun için önce h_3 ün bulunması gerekli olduğundan ve $s_1 = s_3$ kabulüyle 3 noktası belirlenir. Buradan da

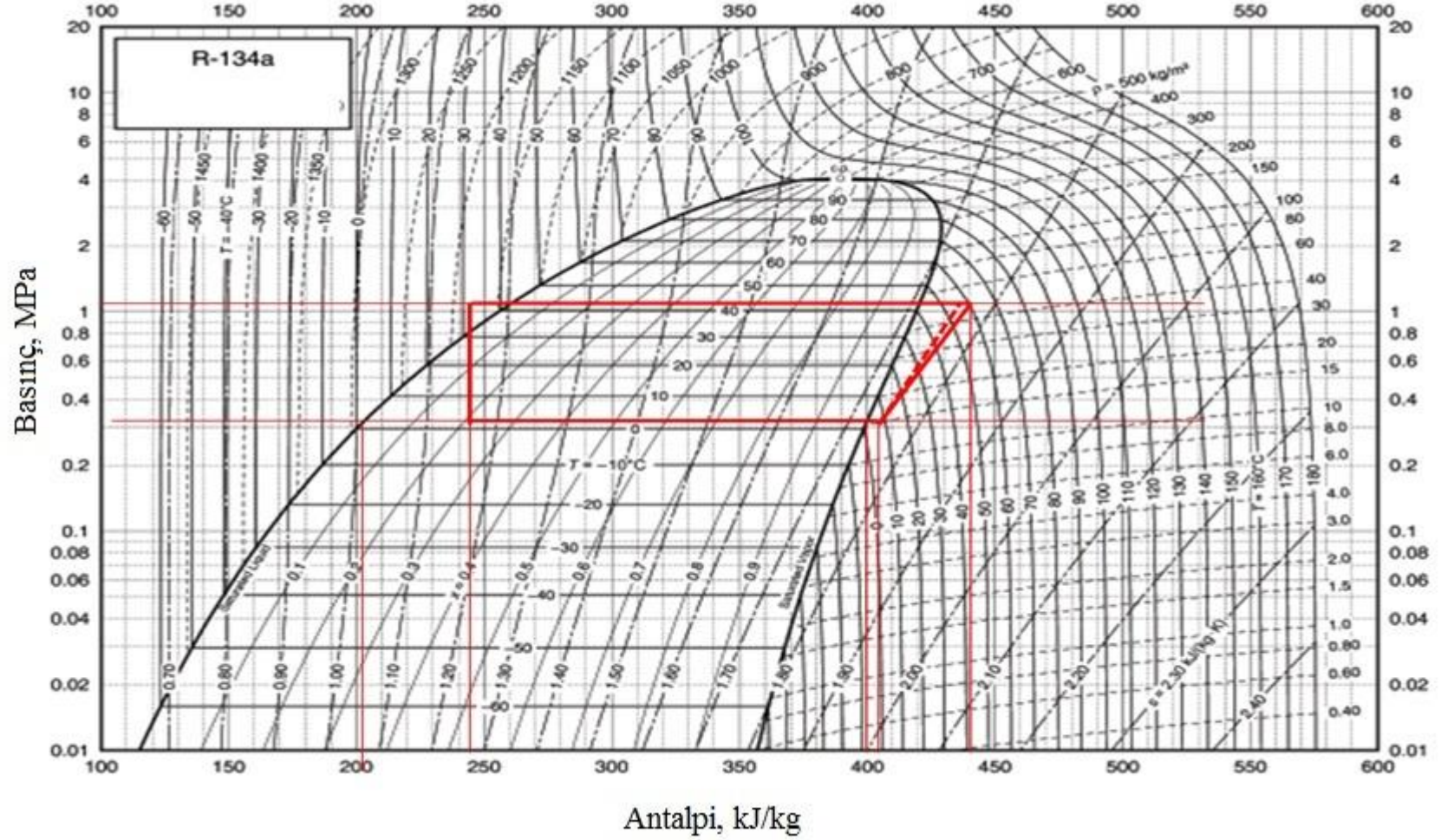
$$h_3 = \dots kJ/kg$$

olarak elde edilir

g) İkinci kanun verimi

$$\eta_{IK} = \frac{COP_{R,c}}{COP_{C,c}} = \dots$$

şeklinde bulunur.



Şekil 7. Deneysel veriler sonunda elde edilen soğutma çevrimi

| Temp., °C | Pres-sure, MPa | Density, kg/m³ | Volume, m³/kg | Enthalpy, kJ/kg | | Entropy, kJ/kg·K | | Specific Heat, kJ/kg·K | | c_p/c_v | Velocity of Sound, m/s | | Viscosity, μPa·s | | Thermal Cond., mW/m·K | | Surface Tension, mN/m | Temp., °C |
|-----------|----------------|----------------|---------------|-----------------|--------|------------------|--------|------------------------|-------|-----------|------------------------|-------|------------------|-------|-----------------------|-------|-----------------------|-----------|
| | | | | Liquid | Vapor | Liquid | Vapor | Liquid | Vapor | | Liquid | Vapor | Liquid | Vapor | Liquid | Vapor | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| -103.30* | 0.00039 | 1591.1 | 35.4960 | 71.46 | 334.94 | 0.4126 | 1.9639 | 1.184 | 0.585 | 1.164 | 1120 | 126.8 | 21.75 | 6.66 | 145.2 | 3.08 | 28.07 | -103.30 |
| -100 | 0.00056 | 1582.4 | 25.1930 | 75.36 | 336.85 | 0.4354 | 1.9456 | 1.184 | 0.593 | 1.162 | 1103 | 127.9 | 1893.0 | 6.60 | 143.2 | 3.34 | 27.50 | -100 |
| -90 | 0.00152 | 1555.8 | 9.7698 | 87.25 | 342.76 | 0.5020 | 1.8972 | 1.189 | 0.617 | 1.156 | 1052 | 131.0 | 1339.0 | 7.03 | 137.3 | 4.15 | 25.79 | -90 |
| -80 | 0.00567 | 1529.0 | 4.2682 | 96.16 | 348.83 | 0.5654 | 1.8580 | 1.198 | 0.642 | 1.151 | 1002 | 134.0 | 1018.0 | 7.46 | 131.5 | 4.95 | 24.10 | -80 |
| -70 | 0.00798 | 1501.9 | 2.0590 | 111.20 | 355.02 | 0.6262 | 1.8264 | 1.210 | 0.667 | 1.148 | 952 | 136.8 | 809.2 | 7.89 | 126.0 | 5.75 | 22.44 | -70 |
| -60 | 0.01591 | 1474.3 | 1.0790 | 123.36 | 361.31 | 0.6846 | 1.8010 | 1.223 | 0.692 | 1.146 | 903 | 139.4 | 663.1 | 8.30 | 120.7 | 6.56 | 20.80 | -60 |
| -50 | 0.02945 | 1446.3 | 0.60620 | 135.67 | 367.65 | 0.7410 | 1.7806 | 1.238 | 0.720 | 1.146 | 855 | 141.7 | 555.1 | 8.72 | 115.6 | 7.36 | 19.18 | -50 |
| -40 | 0.05121 | 1417.7 | 0.36108 | 148.14 | 374.00 | 0.7956 | 1.7643 | 1.255 | 0.749 | 1.148 | 807 | 143.6 | 472.2 | 9.12 | 110.6 | 8.17 | 17.60 | -40 |
| -30 | 0.08438 | 1388.4 | 0.22594 | 160.79 | 380.32 | 0.8486 | 1.7515 | 1.273 | 0.781 | 1.152 | 760 | 145.2 | 406.4 | 9.52 | 105.8 | 8.99 | 16.04 | -30 |
| -28 | 0.09270 | 1382.4 | 0.20680 | 163.34 | 381.57 | 0.8591 | 1.7492 | 1.277 | 0.788 | 1.153 | 751 | 145.4 | 394.9 | 9.60 | 104.8 | 9.15 | 15.73 | -28 |
| -26.0* | 0.10123 | 1376.7 | 0.19018 | 165.81 | 382.78 | 0.8690 | 1.7472 | 1.281 | 0.794 | 1.154 | 742 | 145.7 | 384.2 | 9.68 | 103.9 | 9.31 | 15.44 | -26.07 |
| -26 | 0.10167 | 1376.5 | 0.18958 | 165.90 | 382.82 | 0.8694 | 1.7471 | 1.281 | 0.794 | 1.154 | 742 | 145.7 | 383.8 | 9.68 | 103.9 | 9.32 | 15.43 | -26 |
| -24 | 0.11130 | 1370.4 | 0.17407 | 168.47 | 384.07 | 0.8798 | 1.7451 | 1.285 | 0.801 | 1.155 | 732 | 145.9 | 373.1 | 9.77 | 102.9 | 9.48 | 15.12 | -24 |
| -22 | 0.12165 | 1364.4 | 0.16006 | 171.05 | 385.32 | 0.8900 | 1.7432 | 1.289 | 0.809 | 1.156 | 723 | 146.1 | 362.9 | 9.85 | 102.0 | 9.65 | 14.82 | -22 |
| -20 | 0.13273 | 1358.3 | 0.14735 | 173.64 | 386.55 | 0.9002 | 1.7413 | 1.293 | 0.816 | 1.158 | 714 | 146.3 | 353.0 | 9.92 | 101.1 | 9.82 | 14.51 | -20 |
| -18 | 0.14460 | 1352.1 | 0.13592 | 176.23 | 387.79 | 0.9104 | 1.7396 | 1.297 | 0.823 | 1.159 | 705 | 146.4 | 343.5 | 10.01 | 100.1 | 9.98 | 14.21 | -18 |
| -16 | 0.15728 | 1345.9 | 0.12551 | 178.83 | 389.02 | 0.9205 | 1.7379 | 1.302 | 0.831 | 1.161 | 695 | 146.6 | 334.3 | 10.09 | 99.2 | 10.15 | 13.91 | -16 |
| -14 | 0.17082 | 1339.7 | 0.11602 | 181.44 | 390.24 | 0.9306 | 1.7363 | 1.306 | 0.838 | 1.163 | 686 | 146.7 | 325.4 | 10.17 | 98.3 | 10.32 | 13.61 | -14 |
| -12 | 0.18524 | 1333.4 | 0.10744 | 184.07 | 391.46 | 0.9407 | 1.7348 | 1.311 | 0.846 | 1.165 | 677 | 146.8 | 316.9 | 10.25 | 97.4 | 10.49 | 13.32 | -12 |
| -10 | 0.20060 | 1327.1 | 0.09959 | 186.70 | 392.66 | 0.9506 | 1.7334 | 1.316 | 0.854 | 1.167 | 668 | 146.9 | 308.6 | 10.33 | 96.5 | 10.66 | 13.02 | -10 |
| -8 | 0.21693 | 1320.8 | 0.09242 | 189.34 | 393.87 | 0.9606 | 1.7320 | 1.320 | 0.863 | 1.169 | 658 | 146.9 | 300.6 | 10.41 | 95.6 | 10.83 | 12.72 | -8 |
| -6 | 0.23428 | 1314.3 | 0.08587 | 191.99 | 395.06 | 0.9705 | 1.7307 | 1.325 | 0.871 | 1.171 | 649 | 147.0 | 292.9 | 10.49 | 94.7 | 11.00 | 12.43 | -6 |
| -4 | 0.25268 | 1307.9 | 0.07987 | 194.65 | 396.25 | 0.9804 | 1.7294 | 1.330 | 0.880 | 1.174 | 640 | 147.0 | 285.4 | 10.57 | 93.8 | 11.17 | 12.14 | -4 |
| -2 | 0.27217 | 1301.4 | 0.07436 | 197.32 | 397.43 | 0.9902 | 1.7282 | 1.336 | 0.888 | 1.176 | 631 | 147.0 | 278.1 | 10.65 | 92.9 | 11.34 | 11.85 | -2 |
| 0 | 0.29290 | 1294.8 | 0.06931 | 200.00 | 398.60 | 1.0000 | 1.7271 | 1.341 | 0.897 | 1.179 | 622 | 146.9 | 271.1 | 10.73 | 92.0 | 11.51 | 11.56 | 0 |
| 2 | 0.31462 | 1288.1 | 0.06466 | 202.69 | 399.77 | 1.0098 | 1.7260 | 1.347 | 0.906 | 1.182 | 612 | 146.9 | 264.3 | 10.81 | 91.1 | 11.69 | 11.27 | 2 |
| 4 | 0.33766 | 1281.4 | 0.06035 | 205.40 | 400.92 | 1.0195 | 1.7250 | 1.352 | 0.916 | 1.185 | 603 | 146.8 | 257.6 | 10.90 | 90.2 | 11.86 | 10.99 | 4 |
| 6 | 0.36198 | 1274.7 | 0.05644 | 208.11 | 402.06 | 1.0292 | 1.7240 | 1.358 | 0.925 | 1.189 | 594 | 146.7 | 251.2 | 10.98 | 89.4 | 12.04 | 10.70 | 6 |
| 8 | 0.38761 | 1267.9 | 0.05280 | 210.84 | 403.20 | 1.0388 | 1.7230 | 1.364 | 0.935 | 1.192 | 585 | 146.5 | 244.9 | 11.06 | 88.5 | 12.22 | 10.42 | 8 |
| 10 | 0.41461 | 1261.0 | 0.04944 | 213.58 | 404.32 | 1.0485 | 1.7221 | 1.370 | 0.945 | 1.196 | 576 | 146.4 | 238.8 | 11.15 | 87.6 | 12.40 | 10.14 | 10 |
| 12 | 0.44301 | 1254.0 | 0.04633 | 216.33 | 405.43 | 1.0581 | 1.7212 | 1.377 | 0.956 | 1.200 | 566 | 146.2 | 232.9 | 11.23 | 86.7 | 12.58 | 9.86 | 12 |
| 14 | 0.47288 | 1246.9 | 0.04345 | 219.09 | 406.53 | 1.0677 | 1.7204 | 1.383 | 0.967 | 1.204 | 557 | 146.0 | 227.1 | 11.32 | 85.9 | 12.77 | 9.58 | 14 |
| 16 | 0.50425 | 1239.8 | 0.04078 | 221.87 | 407.61 | 1.0772 | 1.7196 | 1.390 | 0.978 | 1.209 | 548 | 145.7 | 221.5 | 11.40 | 85.0 | 12.95 | 9.30 | 16 |
| 18 | 0.53718 | 1232.6 | 0.03830 | 224.66 | 408.69 | 1.0867 | 1.7188 | 1.397 | 0.989 | 1.214 | 539 | 145.5 | 216.0 | 11.49 | 84.1 | 13.14 | 9.03 | 18 |
| 20 | 0.57171 | 1225.3 | 0.03600 | 227.47 | 409.75 | 1.0962 | 1.7180 | 1.405 | 1.001 | 1.219 | 530 | 145.3 | 210.7 | 11.58 | 83.3 | 13.33 | 8.76 | 20 |
| 22 | 0.60789 | 1218.0 | 0.03382 | 230.29 | 410.79 | 1.1057 | 1.7173 | 1.413 | 1.013 | 1.224 | 520 | 145.8 | 205.5 | 11.67 | 82.4 | 13.53 | 8.48 | 22 |
| 24 | 0.64578 | 1210.5 | 0.03186 | 233.12 | 411.82 | 1.1152 | 1.7166 | 1.421 | 1.025 | 1.230 | 511 | 144.5 | 200.4 | 11.76 | 81.6 | 13.72 | 8.21 | 24 |
| 26 | 0.68543 | 1202.9 | 0.03000 | 235.97 | 412.84 | 1.1246 | 1.7159 | 1.429 | 1.038 | 1.236 | 502 | 144.1 | 195.4 | 11.85 | 80.7 | 13.92 | 7.95 | 26 |
| 28 | 0.72688 | 1195.2 | 0.02828 | 238.84 | 413.84 | 1.1341 | 1.7152 | 1.437 | 1.052 | 1.240 | 493 | 143.6 | 190.5 | 11.95 | 79.8 | 14.13 | 7.68 | 28 |
| 30 | 0.77020 | 1187.5 | 0.02664 | 241.72 | 414.82 | 1.1435 | 1.7145 | 1.446 | 1.065 | 1.249 | 483 | 143.2 | 185.8 | 12.04 | 79.0 | 14.33 | 7.42 | 30 |
| 32 | 0.81543 | 1179.6 | 0.02513 | 244.62 | 415.78 | 1.1529 | 1.7138 | 1.456 | 1.080 | 1.257 | 474 | 142.7 | 181.1 | 12.14 | 78.1 | 14.54 | 7.15 | 32 |
| 34 | 0.86263 | 1171.6 | 0.02371 | 247.54 | 416.72 | 1.1623 | 1.7131 | 1.466 | 1.095 | 1.265 | 465 | 142.1 | 176.6 | 12.24 | 77.3 | 14.76 | 6.89 | 34 |
| 36 | 0.91185 | 1163.4 | 0.02238 | 250.48 | 417.65 | 1.1717 | 1.7124 | 1.476 | 1.111 | 1.273 | 455 | 141.6 | 172.1 | 12.34 | 76.4 | 14.98 | 6.64 | 36 |
| 38 | 0.96315 | 1155.1 | 0.02113 | 253.43 | 418.55 | 1.1811 | 1.7118 | 1.487 | 1.127 | 1.282 | 446 | 141.0 | 167.7 | 12.44 | 75.6 | 15.21 | 6.38 | 38 |
| 40 | 1.0166 | 1146.7 | 0.01997 | 256.41 | 419.43 | 1.1905 | 1.7111 | 1.498 | 1.145 | 1.292 | 436 | 140.3 | 163.4 | 12.55 | 74.7 | 15.44 | 6.13 | 40 |
| 42 | 1.0722 | 1138.2 | 0.01887 | 259.41 | 420.28 | 1.1999 | 1.7103 | 1.510 | 1.163 | 1.303 | 427 | 139.7 | 159.2 | 12.65 | 73.9 | 15.68 | 5.88 | 42 |
| 44 | 1.1301 | 1129.5 | 0.01784 | 262.43 | 421.11 | 1.2092 | 1.7096 | 1.523 | 1.182 | 1.314 | 418 | 138.9 | 155.1 | 12.76 | 73.0 | 15.93 | 5.63 | 44 |
| 46 | 1.1903 | 1120.6 | 0.01687 | 265.47 | 421.92 | 1.2186 | 1.7089 | 1.537 | 1.202 | 1.326 | 408 | 138.2 | 151.0 | 12.88 | 72.1 | 16.18 | 5.38 | 46 |
| 48 | 1.2529 | 1111.5 | 0.01595 | 268.53 | 422.69 | 1.2280 | 1.7081 | 1.551 | 1.223 | 1.339 | 399 | 137.4 | 147.0 | 13.00 | 71.3 | 16.45 | 5.13 | 48 |
| 50 | 1.3179 | 1102.3 | 0.01509 | 271.62 | 423.44 | 1.2375 | 1.7072 | 1.566 | 1.246 | 1.354 | 389 | 136.6 | 143.1 | 13.12 | 70.4 | 16.72 | 4.89 | 50 |
| 52 | 1.3854 | 1092.9 | 0.01428 | 274.74 | 424.15 | 1.2469 | 1.7064 | 1.582 | 1.270 | 1.369 | 379 | 135.7 | 139.2 | 13.24 | 69.6 | 17.01 | 4.65 | 52 |
| 54 | 1.4555 | 1083.2 | 0.01351 | 277.89 | 424.83 | 1.2563 | 1.7055 | 1.600 | 1.296 | 1.386 | 370 | 134.7 | 135.4 | 13.37 | 68.7 | 17.31 | 4.41 | 54 |
| 56 | 1.5282 | 1073.4 | 0.01278 | 281.06 | 425.47 | 1.2658 | 1.7045 | 1.618 | 1.324 | 1.405 | 360 | 133.8 | 131.6 | 13.51 | 67.8 | 17.63 | 4.18 | 56 |
| 58 | 1.6036 | 1063.2 | 0.01206 | 284.27 | 426.07 | 1.2753 | 1.7035 | 1.638 | 1.354 | 1.425 | 350 | 132.7 | 127.9 | 13.65 | 67.0 | 17.96 | 3.95 | 58 |
| 60 | 1.6818 | 1052.9 | 0.01144 | 287.50 | 426.63 | 1.2848 | 1.7024 | 1.660 | 1.387 | 1.448 | 340 | 131.7 | 124.2 | 13.79 | 66.1 | 18.31 | 3.72 | 60 |
| 62 | 1.7628 | 1042.2 | 0.01083 | 290.78 | 427.14 | 1.2944 | 1.7013 | 1.684 | 1.422 | 1.473 | 331 | 130.5 | 120.6 | 13.95 | 65.2 | 18.68 | 3.49 | 62 |
| 64 | 1.8467 | 1031.2 | 0.01024 | 294.09 | 427.61 | 1.3040 | 1.7000 | 1.710 | 1.461 | 1.501 | 321 | 129.4 | 117.0 | 14.11 | 64.3 | 19.07 | 3.27 | 64 |
| 66 | 1.9337 | 1020.0 | 0.00966 | 297.44 | 428.02 | 1.3137 | 1.6987 | 1.738 | 1.504 | 1.532 | 311 | 128.1 | 113.5 | 14.28 | 63.4 | 19.50 | 3.05 | 66 |
| 68 | 2.0237 | 1008.3 | 0.00916 | 300.84 | 428.36 | 1.3234 | 1.6972 | 1.769 | 1.552 | 1.567 | 301 | 126.8 | 109.9 | 14.46 | 62.6 | 19.95 | 2.83 | 68 |
| 70 | 2.1168 | 996.2 | 0.00865 | 304.28 | 428.65 | 1.3332 | 1.6956 | 1.804 | 1.605 | 1.607 | 290 | 125.5 | 106.4 | 14.65 | 61.7 | 20.45 | 2.61 | 70 |
| 72 | 2.2132 | 983.8 | 0.00817 | 307.78 | 428.86 | 1.3430 | 1.6939 | 1.843 | 1.665 | 1.653 | 280 | 124.0 | 102.9 | 14.85 | 60.8 | 20.98 | 2.40 | 72 |
| 74 | 2.3130 | 970.8 | 0.00771 | 311.33 | 429.00 | 1.3530 | 1.6920 | 1.887 | 1.734 | 1.705 | 269 | 122.6 | 99.5 | 15 | | | | |

3.5.Farklı buharlaşma basınçlı paralelevaporatör-paralel kompresör uygulaması (Deney No:5)

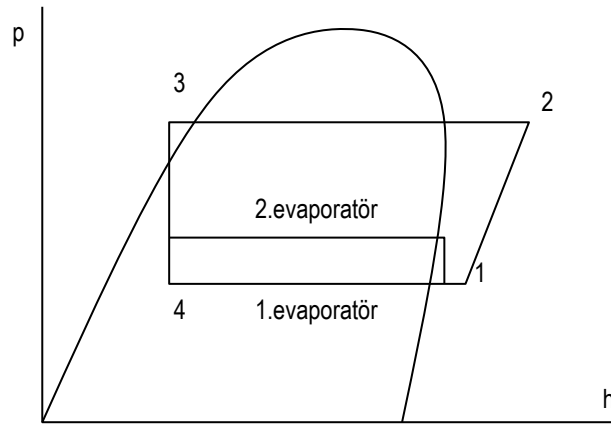
Deneyin amacı: Farklı buharlaşma basınçlı paralel evaporatör ve paralel kompresör durumunda şartların değişimini incelemek.

Deneyin yapılışı:

- 1) 1, 2, 4 ve 6 no'lu vanaları, basınç ayar vanasını açın, diğerlerini kapatın.
- 2) Kumanda panosu yardımıyla tüm fan ve kompresörleri çalıştırın.
- 3) Basınç ayar vanasını; LP1 ile LP2 arasındaki fark 1 bar olacak şekilde bir miktar kısıtlayın. Böylece 1 ve 2 no'luevaporatörler arasında buharlaşma farkı oluşacaktır.
- 4) Şartlarda kararlılık sağlanınca tablo değerlerini kaydedin.
- 5) Bu defa basınç ayar vanasını LP1 ile LP2 arasındaki fark 2 bar olacak şekilde ayarlayın.
- 6) Şartlarda kararlılık sağlanınca tablo değerlerini kaydedin.
- 7) Bu defa basınç ayar vanasını LP1 ile LP2 arasındaki fark 4 bar olacak şekilde ayarlayın. Ancak bu durumda 2. evaporatörden yeterli akışkan geçemeyecek ve kızgınlık artacaktır.

| Özellikler / ölçüm sayısı | Okunacağı gösterge | 1 | 2 | 3 |
|--|-----------------------|---|---|---|
| 1) Basma hattı basıncı, P_2 [kPa] | HP | | | |
| 2) Yoğunlaşma sıcaklığı, t_y [$^{\circ}$ C] | HP | | | |
| 3) 1. evaporatör basıncı, P_{e1} [kPa] | LP1 | | | |
| 4) 2.evaporatör basıncı, P_{e2} [kPa] | LP2 | | | |
| 5) 1. evap buharlaşma sıcaklığı, t_{e1} [$^{\circ}$ C] | t_4 | | | |
| 6) 2.evap buharlaşma sıcaklığı, t_{e2} [$^{\circ}$ C] | t_6 | | | |
| 7) 1. evaporatör çıkış sıcaklığı, $t_{eç1}$ [$^{\circ}$ C] | t_5 | | | |
| 8) 2. evaporatör çıkış sıcaklığı, $t_{eç2}$ [$^{\circ}$ C] | t_7 | | | |
| 9) 1. evap kızgınlık değeri, $[t_{eç1}-t_{e1}]$ [$^{\circ}$ K] | t_5-t_4 | | | |
| 10) 1. evap kızgınlık değeri, $[t_{eç2}-t_{e2}]$ [$^{\circ}$ K] | t_7-t_6 | | | |

Raporda istenenler: Deney no, deneyin adı ve amacı, tablo değerleri, farklı buharlaşma basınçlı paralel evaporatör-paralel kompresörün sisteme etkileri.



Şekil 8. Çift evaporatör uygulaması

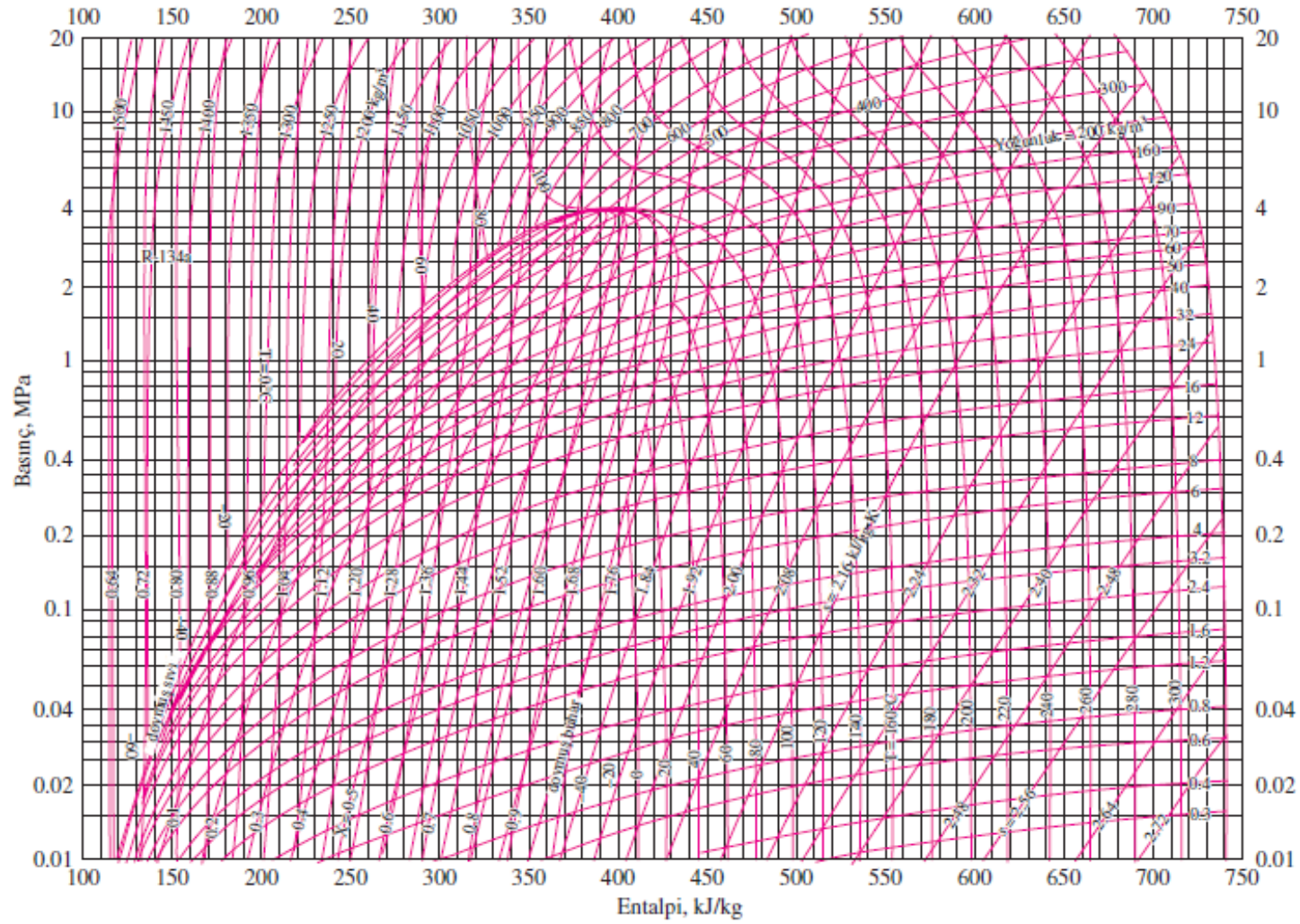
3.6.Sıcak gaz defrost işlemi (Deney No:6)

Deneyin amacı: Buharlaşma sıcaklığını orta seviyede olan evaporatörlerde sıkça kullanılan yöntemdir. Basma hattından alınan gazın evaporatör girişine doğrudan verilmesiyle evaporatör de oluşan karlanma giderilir. Ancak emme hattı aküsüyle birlikte kullanılmasında fayda vardır.

Deneyin yapılışı:

- 1) 2 ve 4 no'lu vanaları açın, diğerlerini kapatın.
- 2) Kumanda panosundan 1. kompresör, 1. evaporatör ve kondenser fanlarını çalıştırın.
- 3) Evaporatör yüzeyinin karlanması için belirli bir süre bekleyin.
- 4) 8 no'lu vanayı açarak sıcak gazı evaporatöre verin. Karlanmanın aniden eridiği görülecektir. Bu durumda emme ve basma basınçları eşitlenecektir.
- 5) 8 no'lu vanayı tekrar kapatın düğmeleri kapatarak sistemi durdurun.

Raporda istenenler: Deney no, deneyin adı ve amacı, sıcak gaz defrostunun avantajı ve dezavantajları.



Şekil 9. R134a soğutucu akışkanın basınç-entalpi diyagramı

