



MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ

MAK4072 ÖZEL LABORATUVAR DERS KİTABI (ISI)

| | Deney Adı | Sayfa |
|----------------|---|-------|
| Otomotiv 1 | Supap Avans Deneyi | 2-12 |
| Otomotiv 2 | Motor Performans Deneyi | 13-22 |
| Otomotiv 3 | Motor Emisyon Ölçüm Deneyi | 23-33 |
| Otomotiv 4 | İndikatör Diyagramı Çıkarma Deneyi | 34-40 |
| Termodinamik 1 | Borularda Yük Kaybı Deneyi | 41-45 |
| Termodinamik 2 | Radyasyon (Işınım) Isı Transferi Deneyi | 46-53 |
| Termodinamik 3 | Pompa Deneyi | 54-61 |
| Termodinamik 4 | Soğutma Tesisatı Arıza Simülasyonu Deneyi | 62-65 |
| Hidromekanik 1 | Seri ve Paralel Bağlı Pompaların İncelenmesi Deneyi | 66-72 |
| Hidromekanik 2 | Seri Bağlı Pistonlu Kompresör Deneyi | 72-79 |
| Hidromekanik 3 | Paralel Bağlı Pistonlu Kompresör Deneyi | 80-84 |
| Hidromekanik 4 | Fanların İncelenmesi Deneyi | 85-94 |
| | Laboratuvar Telafi Onay Formu | 95 |

| | |
|--------------|---|
| Otomotiv | Deney 1: Otomotiv Laboratuvarı (E1 Blok Giriş Kat) Deney 2: Otomotiv Laboratuvarı (E1 Blok Giriş Kat) Deney 3: Otomotiv Laboratuvarı (E1 Blok Giriş Kat) Deney 4: Otomotiv Laboratuvarı (E1 Blok Giriş Kat) |
| Hidromekanik | Deney 1: Hidromekanik Laboratuvarı (E1 Blok Giriş Kat) Deney 2: Hidromekanik Laboratuvarı (E1 Blok Giriş Kat) Deney 3: Hidromekanik Laboratuvarı (E1 Blok Giriş Kat) Deney 4: Hidromekanik Laboratuvarı (E1 Blok Giriş Kat) |
| Termodinamik | Deney 1: Termodinamik ve Isı Tekniği Laboratuvarı (E1 Blok Giriş Kat) Deney 2: Termodinamik ve Isı Tekniği Laboratuvarı (E1 Blok Giriş Kat) Deney 3: Wilo Laboratuvarı (E2 Blok Giriş Kat) Deney 4: Termodinamik ve Isı Tekniği Laboratuvarı (E1 Blok Giriş Kat) |

BAHAR DÖNEMİ OTOMOTİV-1 DENEYİ

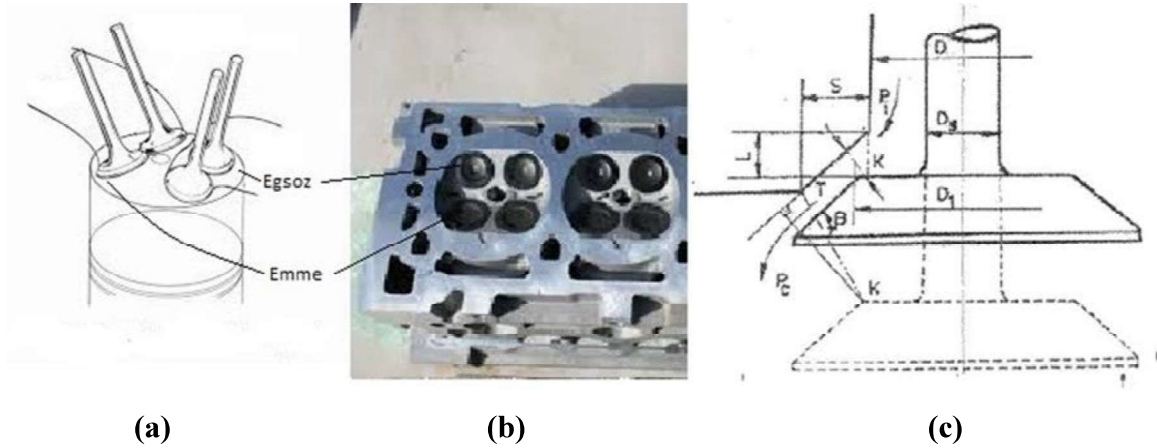
1. **DENEY ADI:** Supap Avans Deneyi

2. **DENEYİN AMACI:** Deneysel olarak supap avansının incelenmesi ve içten yanmalı motor süreçlerinin değerlendirilmesi

3. TEORİK BİLGİLER VE TANIMLAR

Motorlarda dolgu değişimi, yakıtın yanması sonucu silindirde oluşan egzoz gazlarının egzoz supabının açılması ile silindirden dışarı atılması ve emme supabının açılarak yerine taze dolgunun silindire alınması olayı olarak tanımlanır. Dolgu değişiminin esas amacı mümkün olduğu kadar fazla sıcak egzoz gazlarını dışarı atıp, yerine taze dolgu almaktır. Motorlarda tüm çalışma şartları silindirin içine alınabilen taze dolgu miktarıyla ilgilidir. Böylece silindir hacmi sabit kaldığı halde daha fazla yakıt yakılarak daha fazla güç elde edilebilir

Bu nedenle gerçek çevrimin emme ve egzoz stroklarının başlangıç ve bitişini belirlemesi ve volümetrik verimin yüksek tutulması açısından emme ve egzoz supaplarının avans ve gecikme miktarları önemli rol oynamaktadır. Ateşleme veya püskürtme zamanı ise termik verimi büyük ölçüde etkileyen parametrelerdendir.



Şekil 1. (a), (b) Supapların motor üzerindeki konumları ve (c) konstrüksiyon

Şekil 1(a,b)'den görüldüğü gibi emme supap çapları egzozunkilere göre nispeten büyüktür. Bunun temel sebebi, emme strokunun volümetrik verim üzerinde egzoz a göre daha büyük etkisi olmasıdır. Ayrıca egzoz valfinin gereğinden fazla geniş olması, sıcak egzoz gazlarının

dışarı atılmadan önce manifold içerisinde daha uzun süre kalmasına izin verip manifold ve çevresini daha çok ısıtmasına neden olacaktır.

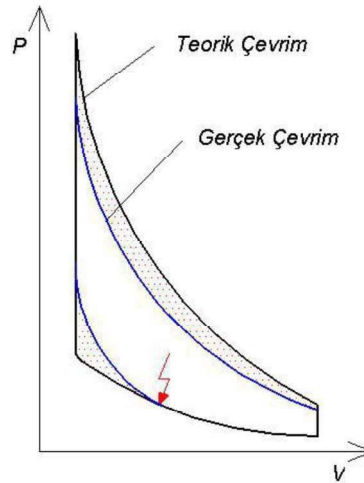
3.1. Püskürtme ve Ateşleme Avansı

Termodinamik bakımdan çevrim veriminin maksimum olabilmesi için ısının tam Ü.Ö.N.'da ; yani sıkıştırmanın maksimum olduğu anda çevrime sokulması gerekir. Bu da ancak yanmanın sonsuz hızda olması ile mümkündür. Gerçekte ise bu mümkün değildir. Bu nedenle yanmanın tam Ü.Ö.N.'da tamamlanabilmesi için piston Ü.Ö.N.'ya gelmeden ateşlemenin (püskürtmenin) yapılması gerekmektedir. Böylece ideal çevrim verimine mümkün olduğunca yaklaşılmaya çalışılır.

Ateşlemenin (veya püskürtmenin) gereğinden erken veya geç yapılmasının olumsuz etkileri motorun gücünde, yakıt tüketiminde veya vuruşu nedeni ile termik zorlamaların artmasında belirgin olarak kendini gösterecektir.

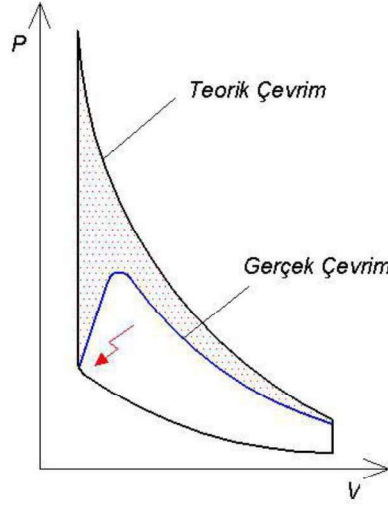
Erken ateşleme sonucu silindirin içi basınç piston Ü.Ö.N.'ya varmadan önce ve aniden artacağından pistonun hareketini durdurmaya yönelik bir etki yaratır ve kayıp iş alanı artar.

Ayrıca yakıtın vuruşu direncinin fazla olmaması durumunda vuruşu kaçınılmaz olacaktır ve bu da termik ve mekanik zorlamalar doğuracaktır.



Şekil 2. Erken ateşleme durumunda indikatör diyagramı

Ateşleme anında piston A.Ö.N.'ya doğru hareketine başlamıştır. Dolayısı ile hacim genişlemekte basınç düşmektedir. Bu nedenle yakıtın enerjisi tam olarak hareket enerjisine çevrilemez.



Şekil 3: Ü.Ö.N.'da ateşleme durumunda indikatör diyagramı

3.2. Supap Avans ve Gecikmesi, Süperpozisyon

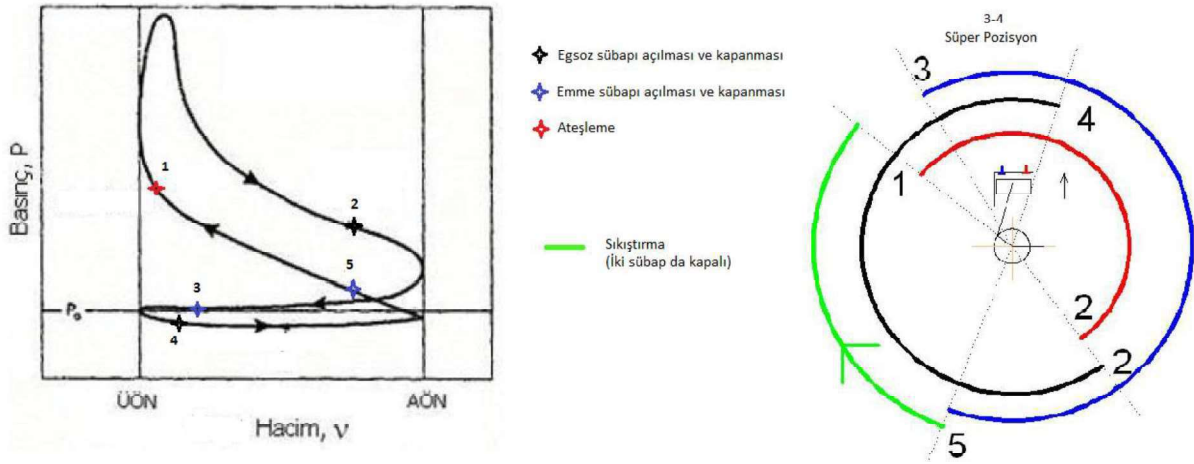
Egzoz supabının avansla açılması, genişleme strokunun sonlarında, silindir içi basınç atmosfer basıncına göre yüksekken, egzoz gazlarının çıkışına izin verir. Bu durum bir miktar çevrim işinden ödün verilmesine sebep olurken, yüksek basınçlı egzoz gazlarının daha kolay dışarı atılmasıyla bir sonraki çevrime daha az art gaz kalmasını sağlar.

Gecikme ile kapanması sonucunda ise hali hazırda silindir dışına doğru hız kazanmış gazların ataletlerinden faydalanarak dışarı çıkmasına Ü.Ö.N'dan sonra bir süre daha izin verir. Buna bağlı olarak da daha fazla taze dolgu emme supabından silindirlerin içine alınır. Böylece volümetrik verim artmış olur.

Emme supabının gecikmeli kapanması, egzoz supap kapanma gecikmesiyle aynı mantıkla, piston A.Ö.N.'da iken hareket halinde olan taze dolgu gazlarının ataletinden yararlanılarak bir miktar daha doldurma yapılır. Böylece volümetrik verim yükseltilmiş olur.

Emme supabının avansla açıldığı noktada egzoz supabı da açık konumdadır ve aşağıda açıklanacak olan supap bindirmesi meydana gelir.

Emme ve egzoz supaplarının avansla açılıp gecikme ile kapanması esnasında her ikisinin de aynı anda açık kaldığı bir süreç vardır. Buna supap bindirmesi veya supapların süper pozisyonu denir.



Şekil 4. Ateşleme ve supap açılma-kapanmalarının indikatör ve avans diyagramında gösterilmesi

Egzoz supabı açıkken pistonun Ü.Ö.N.'ya varmasından önce emme supabının da açılmaya başlamasıyla süper pozisyon süreci başlar. Bu sırada egzoz valfinden çıkmakta olan yüksek hızlı egzoz gazları, konum olarak yakın bulunan emme valfi civarında basınç düşmesine sebep olur ve silindir içi basınç atm basıncından yüksek olduğu halde taze dolgu emmeyi başlatır. Bu durum art gazların süpürülmesine de yardımcı olur.

Bu durumda benzinli motorlarda bir miktar yakıt dışarı kaçar. Bu da özgül yakıt sarfiyatını artırır. Diesel motorlarında ise emilen sadece hava olduğundan bir kayıp söz konusu değildir.

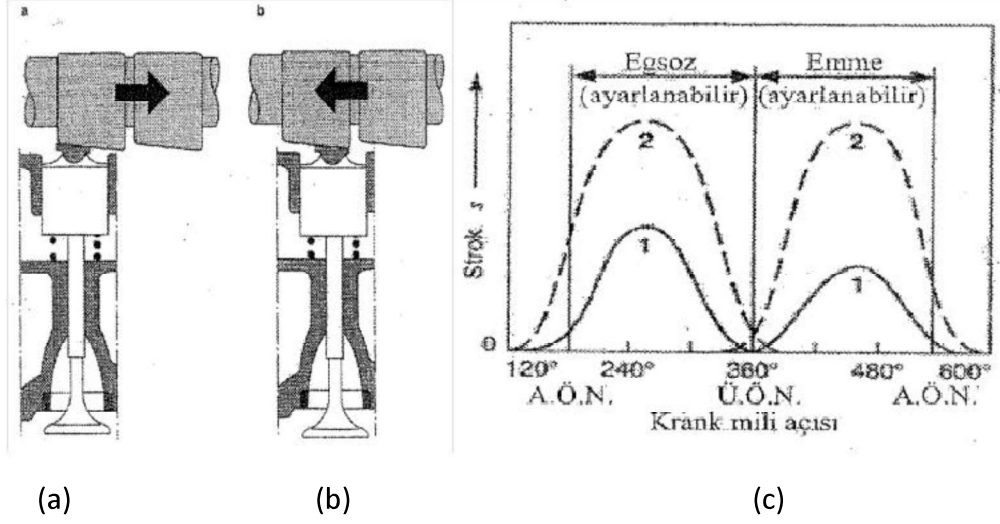
3.3. Değişken Supap Zamanlaması

3.3.1. Kam Mili Profili Kontrolü

Binek otomobillerinin motorları, volümetrik verim açısından orta devirlerde verimli çalışırken rölanti gibi çok düşük devirlerde ve çok yüksek devirlerde yeterince verimli değildir. Aynı şekilde yüksek devirlerde performans sağlayacak şekilde hazırlanan motorlar da düşük devirlerde verimli çalışmaz. Bu uygunsuzluğu gidermek adına uygulanan yöntemlerden bazıları aşağıdaki gibidir.

Şekil 6'da görülen sistemde kam mili, elektronik kontrol ünitesi kontrolünde hidrolik bir piston yardımıyla aksel olarak kaydırılıyor. Bu durumda tüm supaplar etkilenmektedir. 'a' durumu düşük devirler için uygun olmaktadır. Devir yükseldikçe hidrolik pistonun baskısıyla kam mili hareket ettirilir ve 'b' durumu elde edilir. Böylece supap stroku büyümüş olur, ancak aynı zamanda supapların açılma-kapanma hızı da artmış olmaktadır. Sürekli bu durumda çalışma

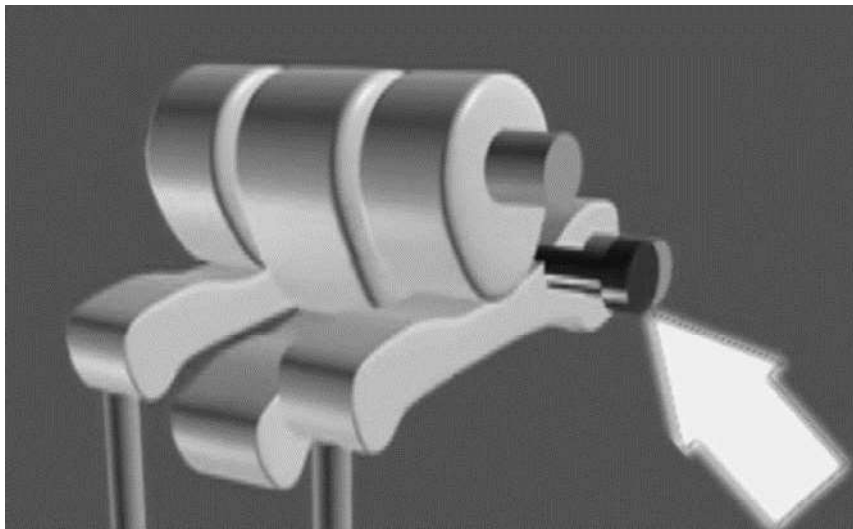
supaplara zarar verebilir. Bu nedenle düşük devirlerde kısa strok ve yavaş kalkış uygun olmaktadır.



Şekil 6 Hidrolik hareketli, değişken profilli kam mili süpab sistemi ((a): düşük devirde minimum kalkış durumu, (b): Yüksek devirde maksimum kalkış durumu) (c): supap profili değişimi [1]

3.3.2. DOHC VTEC Teknolojisi

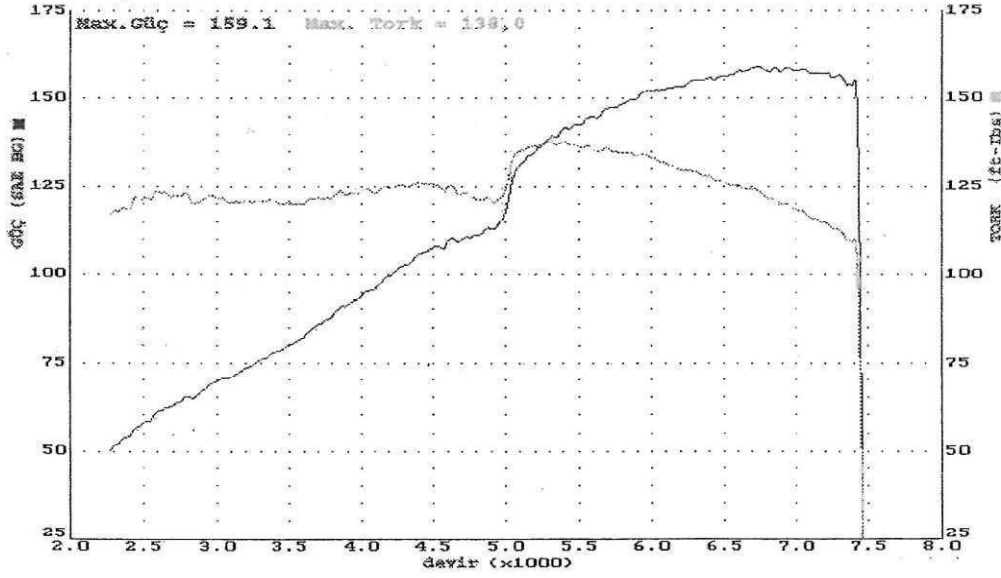
Bu emme supabı kontrol yönteminde, düşük tork ve hızlarda, Şekil 7'deki gibi supaplara direkt bağlı kam mili profilleri aktif durumdadır. Bu konumda motor devri düşük olduğundan emme supabı açılma avansı ve kapanma gecikmesi daha düşüktür ve supap daha düşük strokla açılır. Supap strokunun az olması, düşük devirde doğal olarak sağlanamayan silindir içi hava hareketi ve pülverizasyonu, dar supap açıklığında oluşan türbülans ve yüksek hız yardımıyla elde edilir.



Şekil 7: DOHC VTEC sistemi çalışma prensibi

Yüksek hızlarda ise supaplara direkt bağlı olmayan, ve yüksek profilli başka bir kam mili tarafından hareket ettirilen külbütör kolu, diğer külbütör kollarıyla bağlanarak, supapların bu profile uygun hareket etmeleri sağlanır.

Şekil 8’de bu motora ait güç ve tork eğrileri ve kam maili profili değişim noktasındaki (yaklaşık 5000 d/d) eğrideki değişim görülmektedir.



Şekil 8: DOHC VTEC 1.6lt motorunun performans eğrisi

3.3.3. Multi Air

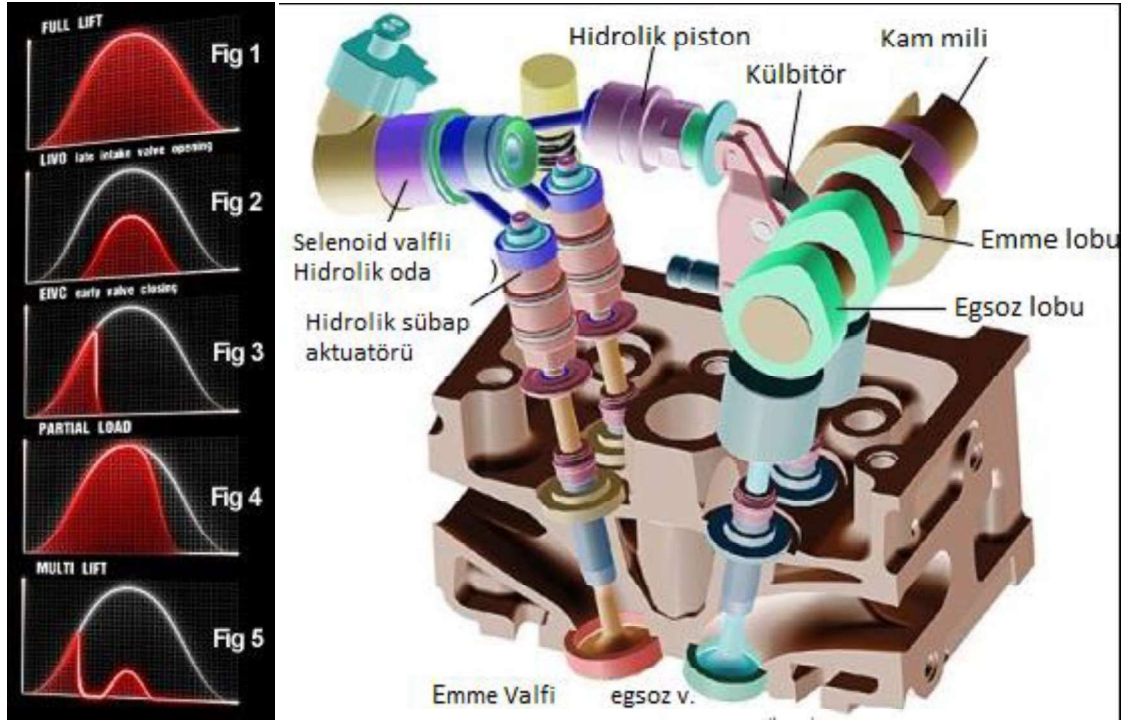
Motorun kullanıldığı andaki çalışma durum ve şartlarına bağlı olarak, emme supaplarının açılıp kapanma zamanlarını, miktarlarını ve sürelerini kontrol ederek, tork ve güç artışı aynı zamanda emisyonunda da önemli ölçüde azalma sağlayan bir teknolojidir.

Sistemin emme supaplarına uygulanan prensibi şudur: mekanik bir eksantrik mili tarafından hareket ettirilen piston hidrolik oda yardımıyla emme supabına bağlanır ki bu hidrolik bağlantı selenoid supap denilen bir supap tarafından kontrol edilir.

Selenoid supap kapalı olduğunda, hidrolik odadaki yağ emme supaplarına geçer ve hareket ettirir. Selenoid supap açık durumdaysa, hidrolik oda ve emme supapları ayrılmış demektir; emme supapları artık eksantrik milini takip etmez ve supap yayının altında kalır.

Herhangi bir motor çalışma koşulunda duruş fazının yumuşak olması için sübabin son kısmı olan kapanma vuruşunu hidrolik fren kontrol eder.

Çalışma koşullarına göre, supaplarda anlık olarak uygulanabilen hareket tarzları şu şekilde ayrılabilir:



Şekil 9: İşletme şartlarına bağlı supap kontrol modları

Birinci Şekil: ‘Full Lift’ olarak adlandırılan bu mod yüksek devirlerde yüksek güç için uygundur ve selenoid supap açık, emme supapları ise tamamen kam miline bağlıdır.

İkinci Şekil: ‘LIVO (Late Intake Valve Open)’ olarak adlandırılan bu mod, motorun az yüklendiği durumlarda kullanılır. Emme supabı hızlı bir şekilde kısmen açılıp kapanır, bu kısmi açılmada havanın içeri girerken oluşturduğu türbülans hava-yakıt karışımının iyi pülverize olmasını sağlar, bu sayede gerçekleşen yanma iyileşmesi yakıt ekonomisine ve emisyon azaltılmasına da katkı sağlar.

Üçüncü Şekil: ‘EVIC (Early Intake Valve Closing)’ olarak adlandırılan bu mod, uzun kısmi yük durumlarında kullanılır. Zamanında açılan emme supabı emme stroğunun erken evrelerinde tekrar kapılır. Bu sayede bu durum için üretilen kısma valfine gerek kalmamış ve bu valfin yarattığı kayıplardan da kaçınılmış olur.

Dördüncü Şekil: Bu mod daha çok düşük hızda ivmelenmelerin olduğu durumlarda, yani yoğun trafikte kullanılır. Bu modda zamanında açılan emme supabı emme stroğunun sonuna doğru erken kapanarak havayı keser. Bu sayede silindirdeki havanın bir kısmının emme manifolduna geri kaçması da engellenmiş olur.

Beşinci Şekil: ‘Multilift’ denilen bu mod ikinci ve üçüncü modun aynı strokta kullanılmasıyla oluşur. Supap emme stroğunda iki kere açılıp kapanır. Çok düşük devirlerde kullanılan bu mod, hem hava alımını sınırlar hem de hava-yakıt karışımının iyi pülverize olmasını sağlar.

Temel olarak; MultiAir Teknolojisinin faydaları şunlardır:

Eksantrik mil tasarımında serbestlik sağlamasından dolayı maksimum güç artışı sağlar.

Düşük hız ve tork modlarında kam profilinden bağımsız olarak uygulanabilen hızlı supap kapanma stratejileri sayesinde düşük devir torkunu iyileştiriliyor.

Supapların süper pozisyon sürecinin de kontrol edilebilmesinden dolayı emisyon ve yakıt tasarrufunda iyileşme sağlanır.

Atmosferik ve turbo motorlarda sabit hava basıncı aşırı hızlı hava kontrolü ile birleşince daha yüksek dinamiklikte bir motor reaksiyonu oluşturuyor.

Adı-Soyadı : Deneyi Yürüten Öğretim Elemanı :
Numara : Deneyin Yapıldığı Tarih :
İmza : Grup-Alt Grup :

NOT

4. DENEYİN YAPILIŞI

İlk olarak, silindir kafası üzerinde uygun bir yere, supaplara basacak şekilde bir komparatör yerleştirilir. Daha sonra, özel olarak volanı derecelenmiş motorun emme ve egzoz supabı açılma ve kapanma avansları ölçülür ve kaydedilir. Ardından, ölçülen emme supabı açılma avansı, emme supabı kapanma gecikmesi, egzoz supabı açılma avansı, egzoz supabı kapanma gecikmesi ile sıkıştırma değerleri ile supap bindirmesi süreci elde edilir.

Deney sonucunda istenenler ise şu şekilde sıralanabilir;

- 1- Supap avans ve gecikmeli kapanma değerlerine niçin ihtiyaç duyulur
- 2- Ölçülen avans değerlerini tabloya kaydediniz ve bir çizim programı yardımıyla, yukarıdaki supap avansı formatında diyagram çizin ve supap bindirmesi, emme, sıkıştırma, egzoz sürelerini °KMA cinsinden hesaplayınız.
- 3- Örnek bir motor seçerek avans değerlerini tabloya kaydediniz ve bir çizim programı yardımıyla yukarıdaki supap avansı formatında diyagram çizin ve supap bindirmesi, emme, sıkıştırma, egzoz sürelerini °KMA cinsinden hesaplayınız.

Tablo 1. Ölçüm verileri tablosu

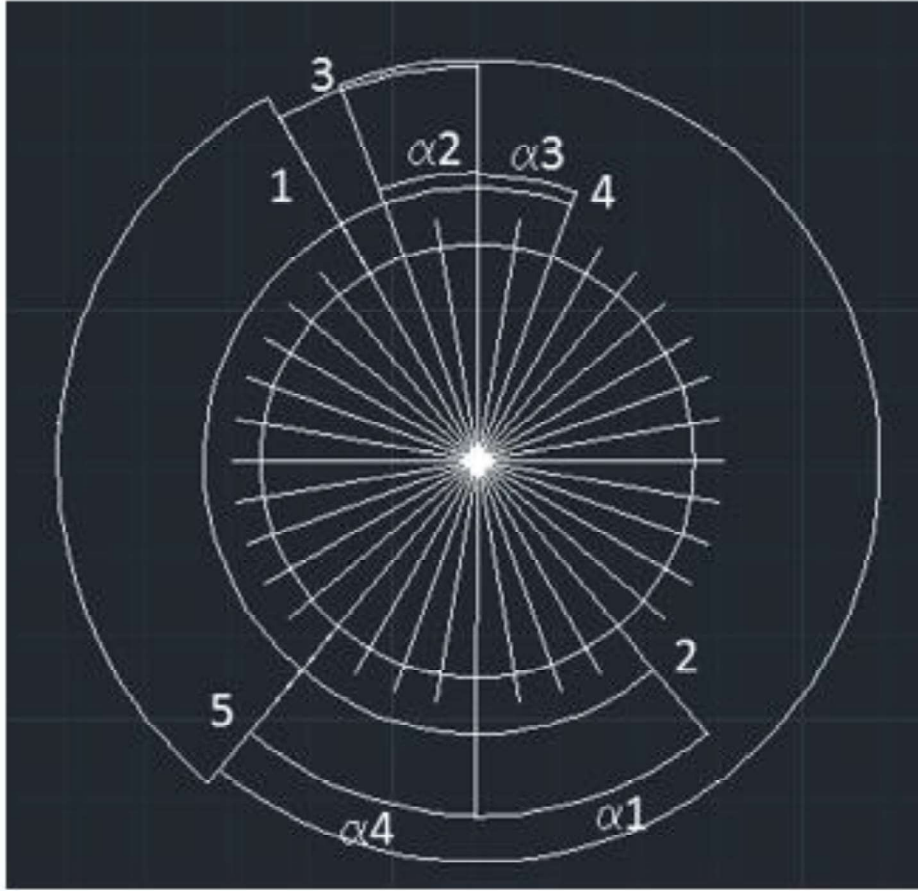
| | |
|--|--|
| Ölçülen motor (Marka, tipi, silindir say, yakıt türü) | |
| Emme sübabı açılma avansı (°KMA) | |
| Emme sübabı kapanma gecikmesi (°KMA) | |
| Egzoz sübabı açılma avansı (°KMA) | |
| Egzoz sübabı kapanma gecikmesi (°KMA) | |
| Sıkıştırma süreci (°KMA) | |
| Sübab bindirme süreci (°KMA) | |

Tablo 2. Seçilecek örnek motor için ölçüm verileri tablosu

| | |
|--|--|
| Örnek motor (Marka, tipi, silindir say, yakıt türü) | |
| Emme sübabı açılma avansı (°KMA) | |
| Emme sübabı kapanma gecikmesi (°KMA) | |
| Egzoz sübabı açılma avansı (°KMA) | |
| Egzoz sübabı kapanma gecikmesi (°KMA) | |
| Sıkıştırma süreci (°KMA) | |
| Sübab bindirme süreci (°KMA) | |
| Ateşleme (veya püskürtme) avansı (°KMA) | |

Tablo 3. Hesaplamalar

Lütfen işlemlerinizi bu alana yazınız. (Gerek duyulduğu takdirde Ek A4 kağıdı kullanılabilir.)



| | | | |
|-------------------------|--------------------------------|------|-----------------------|
| $\alpha 1$: | Egzoz sübabı açılma avansı | 1-5: | Sıkıştırma süreci |
| $\alpha 2$: | Emme sübabı açılma avansı | 1-2: | Ateşleme ve iş süreci |
| $\alpha 3$: | Egzoz sübabı kapanma gecikmesi | 3-5: | Emme süreci |
| $\alpha 4$: | Emme sübabı kapanma gecikmesi | 2-4: | Egzoz süreci |
| $\alpha 2 + \alpha 3$: | Sübab bindirmesi | | |

Şekil 10. Supap avans diyagramı



BAHAR DÖNEMİ OTOMOTİV-2 DENEYİ

1. DENEY ADI: Motor Performans Deneyi

2. DENEYİN AMACI: Deneysel olarak motor performansının incelenmesi ve motor güç değerinin belli deneysel verilerden yola çıkılarak hesaplanması

3. TEORİK BİLGİLER VE TANIMLAR

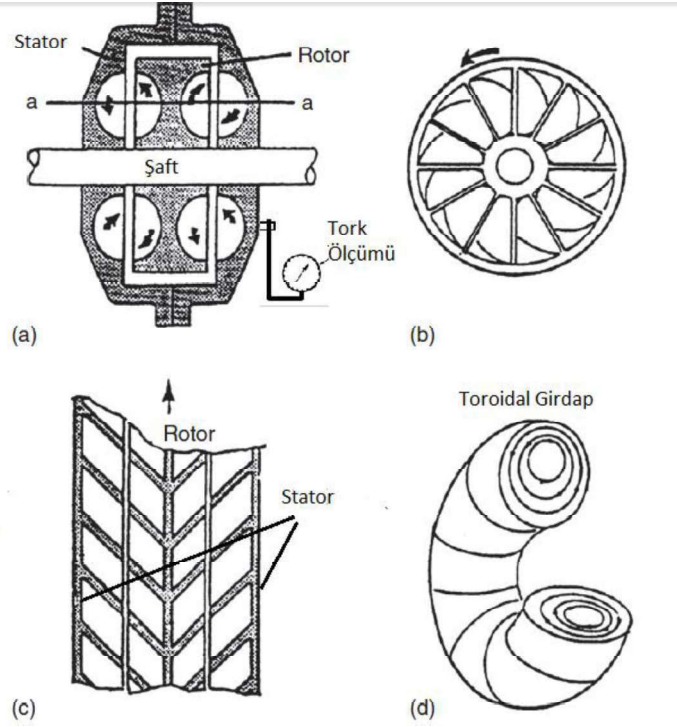
Motor performansının irdelenmesi açısından ulaşılması gereken başlıca değerler; motor momenti, efektif motor gücü, ortalama efektif basınç, özgül yakıt tüketimi ve efektif verim olarak sıralanabilir.

Bu değerlerin hesaplanabilmesi için ölçülmesi gereken değerler; uygulanan motor fren yükünün hesaplanması için ölçülecek değerler ise dinamometre kolundan alınan kuvvet, motor devri ve belirli sürede harcanan yakıtın miktarıdır. Bu değerlerin ölçülebilmesi için başlıca ölçüm aletleri ve sistemler aşağıdaki gibidir.

3.1. Motor Yükleme Sistemleri (Dinamometreler)

3.1.1. Su Frenleri (Hidrokinetik Dinamometreler)

Hidrokinetik dinamometrelerde kullanım kolaylığı açısından akışkan olarak genellikle su kullanılır. Değişik yapıda su frenleri bulunmasına karşın, bu dinamometrelerin çalışma prensipleri ortaktır. Temel olarak, motora bağlı şaftla birlikte dönen, hareketi akışkana aktaracak kanatlara sahip rotor ve aralarında akışkan hareketine izin verecek şekilde yerleştirilmiş statordan oluşurlar (Şekil1 (a)(b)).



Şekil 1. Hidrokinetik dinamometre çalışma prensibi

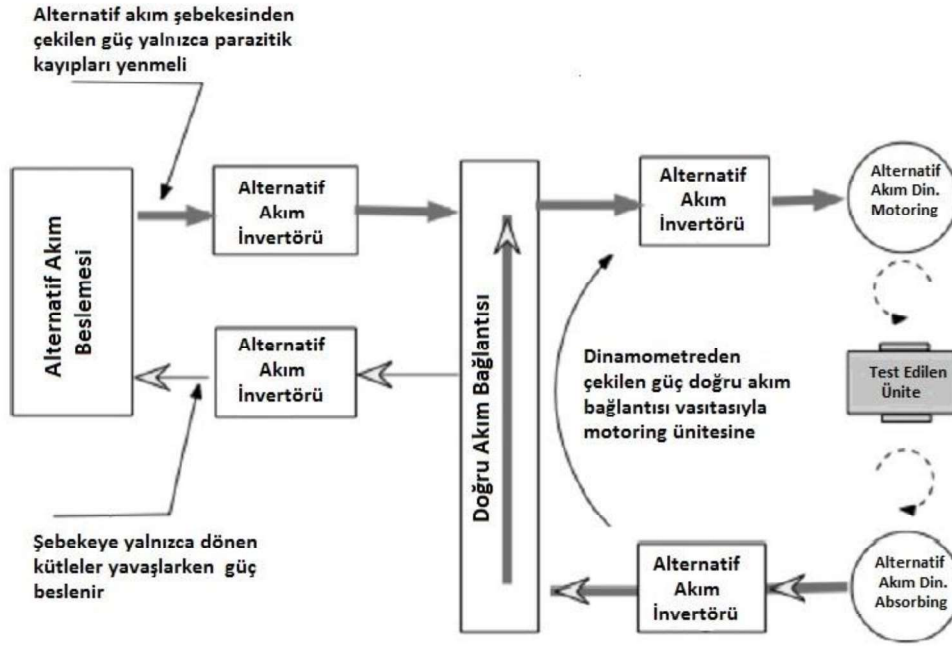
Rotor kısmı motordan aldığı momentumu santrifüj (merkezkaç) kuvvetlerle akışkana aktarır. Akışkan, rotor ve statora uygun şekilde yerleştirilmiş radyal kanatlar arasında toroidal girdaplar (Şekil 1 (d)) oluşturur ve bu hareketin sonucu olarak ısı salınımı gerçekleştirilir. Böylece motordan alınan kinetik enerji akışkana ısı olarak aktarılarak harcanmış ve motora karşı bir tork üretilmiş olur. Bu tork statora bağlı bir kol yardımıyla bir kuvvet ölçü aletine iletilerek, karşı yük hesaplanır.

Su frenlerinde karşı yük ayarı rotor ve stator kanat sayıları veya açıları değiştirilerek ya da karşı yük talebine göre akışkan miktarını otomatik değiştirebilen düzeneklerle sağlanabilir.

2.1.2. Alternatif Akım Dinamometreleri

Alternatif akım dinamometrelerinde motordan alınan hareket, statorda oluşturulan manyetik alan içinde dönen, iletken tel sargıları içeren rotor kısmına aktarılır. Bu hareket, iletkende elektrik akımı indüklenmesine neden olur.

Alternatif akım dinamometrelerinde gerek duyulan tork değerinde, istenen hız değerine erişmek için bir enkoder yardımıyla hassas şekilde voltaj-frekans kontrolü yapılabilir. Birden fazla dinamometre motora kombine şekilde bağlanarak, üretilen karşı yükün bir kısmı veya tamamı, motora geri beslenebilir.



Şekil 2. Alternatif akım dinamometresi içeren sistemin elektrik resirkülasyonu

3.1.3. Doğru Akım Dinamometreleri

Doğru akım dinamometrelerinin hareket enerjisini elektrik enerjisine dönüştürme prensibi temel olarak alternatif akım dinamometresininkiyle aynıdır fakat rotorda oluşan elektrik akımı fırçalar yardımıyla doğru akım şeklinde, anahtarlarla kontrol edilen dirençlerden geçirilir. Böylece motordan alınan enerji burada ısıya çevrilerek harcanmış olur. Rotorda akımın oluşması sırasında statorda, rotordan çekilip harcanan enerjiyle orantılı bir tork oluşur. Bu tork su frenlerindeki prensiple ölçülerek, karşı yük hesaplanır.

Doğru akım dinamometrelerinde atalet alternatif akım dinamometresine göre daha yüksektir ve maksimum çalışma hızları daha düşüktür.

3.1.4. Aktif (Rejeneratif) Dinamometreler

Bu tür dinamometreler, belirli kontrol algoritmaları kullanarak, saat yönü veya tersi, fren veya tahrik gibi tüm 4 bölgede çalışabilir ve frenleme enerjisini elektrik enerjisine çevirip şebekeye geri verebilir.

Aktif dinamometrelerin, 2-quadrant olarak da bilinen alternatif akım dinamometrelerinden farkı, iki yönde de çalışma imkânına sahip olup, ilk hareket düzeneği olarak da kullanılabilirlerdir.

3.1.5. Eddy Akımı Dinamometreleri

İçerisinde sargılar bulunan stator ve üzerinde dönme eksenine paralel oluklar açılmış bir rotordan oluşur. Rotor üzerindeki oluklar, dişli çark biçiminde tepe noktaları oluşturduğundan rotor dışarıdan bir kuvvetle döndürülmek istenildiğinde stator sargılarına uygulanan doğru akımın yarattığı manyetik alanın rotordan statora ve tersine Eddy akımları oluşturur. Bu akımlar statora kuvvet çizgileri yönünde bir tork uygular ve bir kol yardımıyla ölçülerek karşı yük bulunur.

Bu tip yükleme sistemlerinde yükleme yapılan yerde stator sargılarını beslemek için kullanılan doğru akımı yaratacak bir elektrik şebekesi veya doğru akım üreticisine ihtiyaç vardır.

3.2. Motor Devrinin Ölçülmesi

3.2.1. Mekanik Takometreler

Bu sınıfta en çok kullanılan takometre merkezkaç kuvvet takometresidir. Bu takometrenin merkezindeki mile yayla bağlanmış olan belirli ağırlık merkezkaç kuvveti etkisiyle merkezden uzaklaşmaya çalışırken, yayda meydana getirdiği uzama miktarı sayesinde hızın değeri saptanır.

3.2.2. Optik Takometreler

Dönen elemanın üzerine koyulan işarete, takometreden frekansı ayarlanan ışık gönderilir. Gönderilen ışık ve devri ölçülen elemanın frekansları örtüştüğü frekans okunur.

3.2.3. Elektrikli Takometreler

3.2.3.1. İmpuls Vericili Takometreler

Dönen parça üzerinden, mekanik, manyetik, kapasitif, indüktif veya fotoelektrik impulslar alıp değerlendirebilen takometrelerdir.

3.2.3.2. Manyetik Vericili Takometreler

Ortasında demir çekirdek, etrafında hafif metalden tambur ve dışta mıknatıs bulunur. Motordan alınan hareketle mıknatıs ve çekirdek birlikte dönerken oluşan eddy akımları kuvvet çizgileri tamburu da dönmeye zorlar. Bu tork çekirdek-mıknatıs ile metal tambur arasındaki hız farkıyla orantılıdır (yani ölçülecek elemanın hızı), tambura bağlı koldaki kuvvet ölçülerek hız hesaplanır.

3.3. Yakıt Sarfiyatının Ölçülmesi

Yakıt tüketimi ölçümü aşağıdaki temel sınıflarda incelenebilir:

- Hacimsel ölçüm
- Tartı ile ölçüm
- Debi ölçümü

3.3.1. Hacimsel Ölçüm Metodu

Hacimsel olarak ölçeklendirilmiş bir kap yardımıyla ölçüm yapılabilir. Tüketim miktarı gözle veya bir dikey dar kesitte azalan yakıt üzerine yerleştirilen manyetik parça ve kesit dışına yerleştirilmiş alıcılar yardımıyla saptanabilir.

3.3.2. Tartı Metodu

Yakıt deposu hassas bir load-cell veya basit bir tartı üzerine yerleştirilerek, zaman içindeki azalma miktarı gözlenebilir.

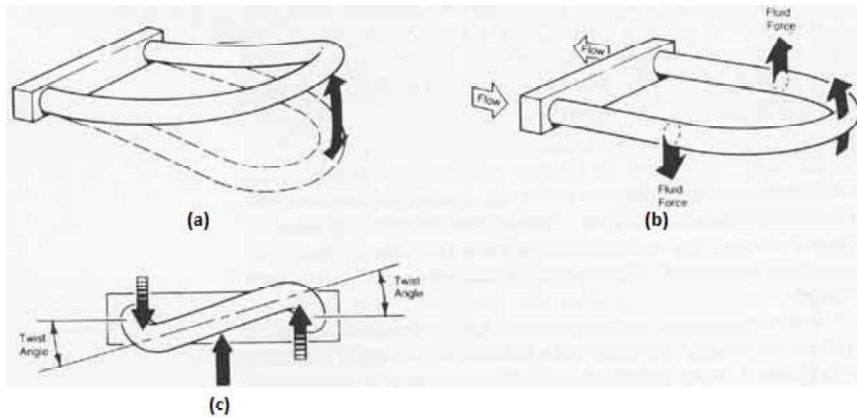
3.3.3. Debi Ölçümü

3.3.3.1. Ventürili Debi Ölçme Metodu

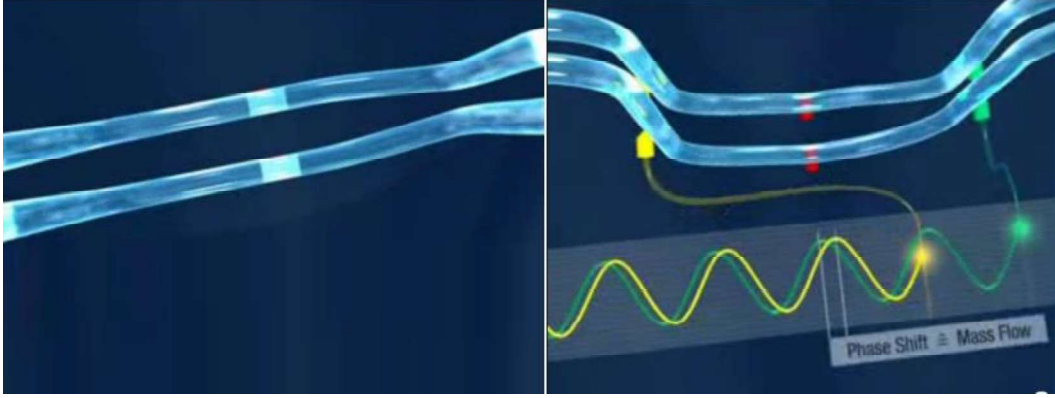
Yakıtın bir ventüriden geçmesiyle giriş ve çıkış uçlarında yakıtın akış hızına bağlı oluşan basınç farkı ölçülerek harcanan yakıt debisi saptanabilir. Ölçülen basınç farkı, diyaframlı bir sistemle daha hassas ve dijital hale getirilebilir.

3.3.3.2. Coriolis Prensibiyle Debi Ölçümü

Eğer akışkan Şekil 3-a'da görülen biçimde salınan bir U şeklindeki bir borudan geçirilirse, borunun iki ucuna da zıt yönlere akış miktarıyla orantılı bir kuvvet uygular (Şkil 3-b). U şeklindeki borunun iki ucunda akış yönleri ters olduğundan dolayı akış, borunun kollarını, debiyle doğru orantılı bir genlikte burulmaya zorlar (Şekil 3-c).



Şekil 3. Coriolis kuvveti etkisi



Şekil 4. Coriolis prensibiyle debi ölçümü

4. DENEY TESİSATI VE HESAPLAMALAR

4.1. Motor Döndürme Momenti M_e (Nm)

Load-cell'den okunan değer G (kg), yerçekimi ivmesi g ile çarpılarak kuvvete F (N) geçilir. Daha sonra moment kolu ile ağırlığın çarpılmasıyla motor döndürme momenti M_e elde edilir.

$$F = G \cdot g \text{ (N)} \quad , \quad (g = 9.81) \quad (1)$$

$$M_e = F \cdot L \text{ (Nm)} \quad (2)$$

4.2. Efektif Motor Gücü N_e (kW)

Motor momenti M_e (Nm) ve motor devir sayısı n (dev/dk) bilindiğine göre, aşağıdaki formülasyon yardımıyla efektif güce geçilir.

$$N_e = \frac{M_e \cdot n}{9549} \text{ (kW)} \quad (3)$$

4.3. Ortalama Efektif Basınç (MPa)

Ortalama efektif basınç aşağıdaki motor gücü formülasyonundan çıkarılır. Burada, a 2 stroklu motorlar için 1, 4 stroklu motorlar için 2 alınır. Z motorun silindir sayısıdır. V_H (m^3) ise strok hacmidir.

$$N_e = \frac{P_{me} \cdot V_H \cdot Z \cdot n}{a \cdot 60} \text{ (kW)} \quad (4)$$

$$P_{me} = \frac{a \cdot 60 \cdot N_e}{V_H \cdot Z \cdot n} \text{ (MPa)} \quad (5)$$

4.4. Özgül Yakıt Tüketimi b_e (g/kWh)

Aşağıdaki eşitlikler yardımı ile özgül yakıt tüketimi hesaplanır. Burada m_y tüketilen yakıt miktarının gr olarak değeri olmakla birlikte, t bu yakıtın tüketimi için geçen süredir.

$$b_e = \frac{m_y}{t} \cdot \frac{3600sn}{1saat} \cdot \frac{1}{N_e} \quad (\text{gr/kWh}) \quad (6)$$

4.5. Efektif Verim (%)

Efektif verim, aşağıdaki formüller yardımıyla hesaplanır. Burada B_h bir saatte tüketilen yakıt miktarı olmakla beraber, t m_y (gr) miktarındaki yakıtın tüketim süresi, H_u ise kJ/kg cinsinden yakıtın alt ısıl değeridir ve benzinli motor için 44000 kJ/kg olarak alınabilir.

$$B_h = \frac{m_y}{t} \cdot \frac{3600sn}{1saat} \cdot \frac{1kg}{1000gr} \quad (\text{kg/h}) \quad (7)$$

$$\eta_e = \frac{3600}{H_u \cdot b_e} \cdot 100 \quad \text{veya} \quad \frac{3600}{H_u \cdot B_h} \cdot N_e \cdot 100 \quad (\%) \quad (8,9)$$

4.6. Hava Fazlalık Katsayısı λ

Teorik hava fazlalık katsayısı, V_{hava} giren emme havasının ölçülen hacimsel debi değerinden (l/dk), ρ_{hava} havanın yoğunluğundan (gr/l), V_{benzin} tüketilen benzinin debisinden (l/dk), ρ_{benzin} benzinin yoğunluğundan (gr/l) ve A/F_{benzin} yani stokiometrik hava-yakıt oranından (benzin için 14.7 kabul edilebilir) yola çıkılarak hesaplanır.

$$\lambda_{teorik} = \frac{V_{hava} \cdot \rho_{hava}}{V_{benzin} \cdot \rho_{benzin} \cdot A/F_{benzin}} \quad (10)$$

4.7. Soğutma Suyuna Giden Isı Miktarı Q_{su} (kJ/h)

Soğutma suyuna giden ısı miktarı aşağıdaki eşitlikler yardımı ile hesaplanır. Burada, ρ_{su} soğutma suyu yoğunluğu olup, \dot{Q}_{su} soğutma suyunun hacimsel debisi m^3/dk 'dir. \dot{m}_{su} ise soğutma suyunun kütleli debisi olup birimi kg/dk'tir.

$$\dot{Q}_{su} = \dot{Q}_{su} \cdot \rho_{su} \cdot c_{su} \cdot (t_c - t_g) \quad (\text{kJ/dk}) \quad (11)$$

$$\dot{Q}_{su} = 60 \cdot \dot{m}_{su} \cdot c_{su} \cdot (t_c - t_g) \quad (\text{kJ/h}) \quad (12)$$

4.7. Soğutma Suyuna Giden Isı Oranı ($Q_{su}/Q_{yakıt}$)

Burada yukarıdaki Q_{su} soğutma suyuna giden ısı akışı, yakıtın yanması sonucu oluşan ısı oranına oranlanır. B_h değeri, saatte tüketilen yakıt miktarı kg/h, H_u değeri ise yakıtın alt ısıl değeridir (kJ/kg).

$$\dot{Q}_{yakıt} = B_h \cdot H_u \quad (\text{kJ/h}) \quad (13)$$

Adı-Soyadı : Deneyi Yürüten Öğretim Elemanı :
Numara : Deneyin Yapıldığı Tarih :
İmza : Grup-Alt Grup :

NOT

5. DENEYİN YAPILIŞI

İlk olarak motor soğutma suyu, motor yağı gibi kontroller yapıldıktan sonra, motor rejim çalışma sıcaklığına ulaşıncaya kadar ısıtılır. Ardından seçilen gaz kelebeği koşulunda, belirlenen devirde kalacak şekilde yüklenir ve motor torku kararlı hale gelinceye kadar beklenir. Motor torku, motor devir sayısı, kronometre ile motorun terazide seçilen yakıt miktarını tüketme süresi, egzoz sıcaklığı, soğutma suyu debisi, soğutma suyu giriş ve çıkış sıcaklığı, emme havası debisi gibi veriler kaydedilir. Yük ve devir sayısı değiştirildiği zaman önce yeniden motor torku kararlı hale gelene kadar beklenir ve ardından aynı işlemler yeniden tekrarlanır.

Deney sonucunda istenenler aşağıda bilgilerinize sunulmuştur;

- 1- Dinametreler hakkında kısaca bilgi veriniz.
- 2- Hesaplarınızı laboratuvar hazırlık föyündeki formüllerden de yararlanarak açık olarak ölçülen her devir için yapınız.
- 3- Hesaplanan motor momenti, ort. efektif basınç, özgül yakıt tüketimi, efektif verim, hava fazlalık katsayısı, soğutma suyuna giden ısı, soğutma suyuna giden ısı oranı, düzeltilmiş motor momenti, düzeltilmiş motor gücü, düzeltilmiş özgül yakıt sarfiyatı ve düzeltilmiş efektif verim değerlerini ölçülen motor devrine bağlı olarak çiziniz ve kısaca yorumlayınız.

Tablo 1. Ölçüm tesis verileri tablosu

| | | | |
|---|--|---------------------------|---|
| YTÜ MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ OTOMOTİV ANABİLİM DALI ÖZEL LABORTUAR DERSİ MOTOR PERFORMANS TESTİ DENEYİ VERİ KAYIT FORMU | | | |
| Deney Tarihi | | Moment Kolu Uz. | |
| Deney Motoru | | Motor Hacmi | |
| Silindir Sayısı | <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 4 | Lab Sıcaklığı | |
| Yakıt Türü | <input type="checkbox"/> Benzin <input type="checkbox"/> Dizel <input type="checkbox"/> LPG | Lab Nemi | |
| | | Yakıt Tüketimi Ölçüm Yön. | <input type="checkbox"/> Hacimsel <input type="checkbox"/> Gravimetrik |

Tablo 2. Ölçüm verileri tablosu

| Ölçüm No. | Motor Devri (dev/dak) | Kuvvet (N) | Yakıt Sarfiyat Süresi (10g veya 50cc) (sn) | Egzoz Sıc (°C) | Soğutma Suyu Giriş Sıc (°C) | Soğutma Suyu Çıkış Sıc (°C) | Emme Havaşı Giriş Sıc (°C) | Soğutma Suyu Debisi (sL/dk) | Emme Havaşı Orifis Fark Basıncı (mmHg) |
|-----------|-----------------------|------------|--|----------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------------------|-----------------------------|--|
| 1 | | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | | | |
| 4 | | | | | | | | | |
| 5 | | | | | | | | | |

Tablo 3. Hesap sonuçları

| Ölçüm No. | Motor Devri (dev/dak) | Motor Döndürme Momenti Me (Nm) | Motor Gücü (kW) | Ort. Efektif Basınç Pme (MPa) | Özgül Yakıt Sarfiyatı be (g/kWh) | Efektif Verim (%) | Hava Fazlalık Katsayısı λ (-) | Soğutma Suyuna Giden Isı Qsu (kJ/h) | Soğutma Suyuna Giden Isı Qsu/Qty (%) |
|-----------|-----------------------|--------------------------------|-----------------|-------------------------------|----------------------------------|-------------------|-------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|
| 1 | | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | | | |
| 4 | | | | | | | | | |
| 5 | | | | | | | | | |

Tablo 4. Hesaplanan değerlerin DIN6270 Standardına göre Düzenlenmesi

| Ölçüm No. | Ortam Sıcaklığı T (°K) | Standart Ortam Sıcaklığı To (°K) | Ortam Basıncı B (mm Hg) | Deniz Seviyesinde Hava Basıncı Bo (mmHg) | Ortamın Nemi φ (%) | Standart ortamı bağıl nemi φo (%) | Std. şartlarda havadaki su buharının doyma basıncı PD0 (mmHg) | PD (mm Hg) | K | α | MDo [Nm] | Ne [kw] | beo (gr/kWh) | ηeo (%) |
|-----------|------------------------|----------------------------------|-------------------------|--|--------------------|-----------------------------------|---|------------|---|---|----------|---------|--------------|---------|
| 1 | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | | | | | | | | | | | | | | |
| 5 | | | | | | | | | | | | | | |

Lütfen işlemlerinizi bu alana yazınız. (Gerek duyulduğu takdirde Ek A4 kağıdı kullanılabilir.)



BAHAR DÖNEMİ OTOMOTİV-3 DENEYİ

1. DENEY ADI: Motor Emisyon Ölçüm Deneyi

2. DENEYİN AMACI: Deneysel olarak motor emisyon değerlerinin ölçülmesi ve performans verilerinin de kullanılmasıyla spesifik emisyon değerlerinin hesaplanması

3. TEORİK BİLGİLER VE TANIMLAR

3.1. İçten Yanmalı Motorlardan Yayılan Emisyonlar:

Son yıllarda, artan çevre kirliliği ve küresel ısınmayla birlikte, hava kalitesini artırma çabası ciddi boyutlara ulaşmıştır. Yapılmış çalışmalarda özellikle hava kirliliğinin insan sağlığı üzerinde meydana getirdiği olumsuz etki ciddi şekilde öne çıkmıştır. Taşıtlardan atmosfere yayılan emisyonlar, oluşan hava kirliliğinin önemli sebeplerinden biri olduğu bilinmektedir. Bu nedenle, taşıtların atmosfere bıraktığı emisyonların, taşıtlar için düzenlenmiş çeşitli emisyon standartları ile sınırlandırılması amaçlanmıştır. Günümüzde taşıtların tahriki amacıyla kullanılan motorlarda genellikle fosil yakıtlardan faydalanılmaktadır. Fosil yakıtların hava ile yakılması sonucunda yanma ürünü olarak açığa çıkan bileşenlerin özellikle önemli olanlarını,

- 1) Karbon monoksit
 - 2) Azot oksitler,
 - 3) Yanmamış Hidrokarbonlar,
 - 4) İs ve Partiküller,
- olarak sınıflandırmak mümkündür.

Tablo 1. Emisyon Konsantrasyonları ve Bağıl Yayılma miktarları

| Kirletici Madde | Konsantrasyonu (ppm) | Bağıl Yayılma Miktarı (g/kg yakıt) |
|-----------------|-------------------------|---------------------------------------|
| NO _x | 500-1.000 | 20 |
| CO | 10.000-20.000 | 200 |
| HC | 3.000 | 25 |
| Partiküller | - | 2-5 |

3.1.1. Karbon monoksit

Yanma ürünleri arasında CO bulunmasının teorideki en önemli nedeni oksijenin yetersiz olmasıdır. Yanma odasının tümü ele alındığında oksijen genel olarak yetersiz olabileceği gibi, karışımın tam homojen olmaması durumunda yanma odasının belirli konumunda yerel olarak

yetersiz de olabilir. Temel olarak CO oluşumu hava fazlalık katsayısının (HFK) kuvvetli bir fonksiyonu olarak değişmektedir.

3.1.2. Azot oksitler

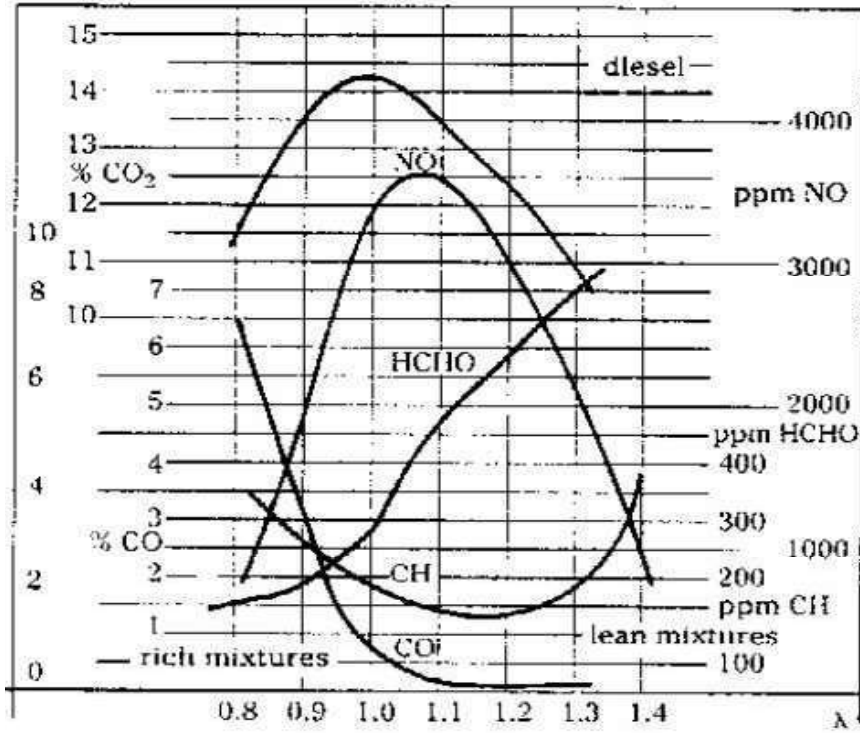
Atmosferin yaklaşık % 78'i azottan meydana gelmektedir. Azot oksitlerin temel kaynağı hava içerisindeki azottur. Atmosferdeki azotun, oksitlerine (NO_x) dönüşümü ise yanma işlemleri sonucunda olmaktadır. Azot oksitlerin büyük bir kısmı trafikteki motorlu taşıtların egzozları ile sabit yakma tesislerinde meydana gelmektedir. Azot oksitler yakıt içerisindeki azotlu maddelerden olduğu gibi, yüksek sıcaklıkta yakma tesislerinde kullanılan azotun oksijenle birleşmesinden de meydana gelmektedir. Atmosferde kararlı ve kararsız olarak bulunan azot oksitler yanma olaylarında sonra havaya atılan en önemli kirletici emisyonlar olarak bilinmektedir.

3.1.3. Hidrokarbonlar

Gaz halindeki organik bileşiklerin toplamıdır. Alifatik ve aromatik yapıda çok sayıda hidrokarbon kirletici olarak kabul edilmektedir. Hidrokarbonların (HC) önemli bir kısmı petrol ürünleri ve yanma artıklarıdır. Egzoz gazları içerisindeki HC'lerin bulunuş nedeni, CO ve NO_x'lerin aksine yüksek sıcaklıkların mevcudiyeti değildir. Yanma ürünleri arasında HC'lerin bulunmasına neden, sıcaklıkların veya oksijenin yetersiz olması gibi etkiler sonucunda yanmanın tamamlanamamasıdır.

3.1.4. İs ve Partiküller

Tek molekül boyutundan (0.0002) büyük, 500p dan küçük katı ve sıvı taneciklerdir. Dizel motorlarında meydana genel difüzyon alevinde, genel olarak hidrojenin karbona oranla oksijene karşı daha aktif olması nedeniyle yanmanın tamamlanması için zaman ve özellikle oksijen bulunmadığında is oluşacaktır. İs karbon moleküllerinin bir araya gelerek oluştuğu yapıdır. Motorun yük durumuna göre değişen HFK'nın bir fonksiyonu olarak is miktarı değişiklik gösterir.



Şekil 1. Hava Fazlalık Katsayısına Bağlı Emisyonların Değişimi

3.2. Motorlarda Emisyon Önleyici Yöntemler

İçten yanmalı motorlarda, egzoz emisyonlarının azaltılmasında önlemek için çeşitli yöntemler kullanılmaktadır.

3.2.1. Egzoz Gaz Resirkülasyonu (EGR)

Yanma sırasında oluşan NO_x miktarı, büyük ölçüde silindir içi sıcaklığa bağlıdır. Emme havasının egzoz gazları ile seyreltilmesi NO_x emisyonlarında büyük düşüşe neden olmaktadır. Yanma odasındaki karışımın egzoz gazları ile seyreltilmesi yanma sonucu oluşan maksimum sıcaklığın düşmesine neden olur.

3.2.2. Su Püskürtülmesi

Su Püskürtülmesi ile maksimum alev sıcaklığı düşürülmekte ve NO_x formasyonu azaltılmaktadır. 1 kg yakıt başına 1 kg su püskürtülmesi ile NO_x emisyonlarında %60 azalma sağlanmaktadır.

3.2.3. Yüksek Basınçlı Elektronik Püskürtme Sistemleri

Dizel motorunda yanmanın özelliği olarak is oluşumu ile NO_x Ters orantılıdır. Püskürtme başlangıcı ÜÖN'ye yaklaştıkça is emisyonu artmakta, NO_x emisyonu azalmaktadır. Yüksek basınçlı püskürtme sayesinde püskürtme ve yanma süresi kısaltılarak bu emisyonlar kontrol altına alınabilmektedir.

3.2.4. Partikül Filtreleri:

Dizel motorlarında egzoz gazı içerisinde bulunan partikülleri tutmak için kullanılır. Filtre elemanı genellikle üzerinde birçok delik açılmış paslanmaz bir çelik taşıyıcının üzerine gözenekli seramik kaplanarak oluşturulur. Egzoz gazları seramik yüzeyli filtre içinden geçerken partiküller yüzeyde tutulmaktadır.

3.2.5. Katalitik Konvertörler:

Motorlarda genel olarak iki tip katalitik konvertör kullanılmaktadır. HC ve CO emisyonlarını kontrol etmede kullanılan oksidasyon katalisti (two way); HC, CO ve NO_x emisyonlarının kontrol etmede kullanılan oksidasyon-redüksiyon katalisti (three way). Katalitik konvertörler, bir seramik destek katalist etkisini yaratan değerli metaller ve bu metalleri kaplayan Al₂O₃'ü içermektedir.

3.2.6. Seçici Katalitik İndirgeme (SCR):

SCR sistemlerinde, bir indirgeyici katalizörden egzoz gazına enjekte edilir. Enjekte edilen indirgeyici tarafından oluşan amonyak (NH₃) ile katalizördeki azot oksitler, suya ve azota indirgenmektedir. SCR sisteminde en çok kullanılan indirgeyici üre çözültisidir ve Ad-blue olarak adlandırılmaktadır.

3.3. Emisyon Ölçüm Standartları:

İçten yanmalı motorlarda kaynaklanan egzoz gazlarının hava bileşenlerinin azaltılması hava kirletici bileşenlerinin sınırlandırılması yönünde çalışmalar 1960'ların başında ABD'de ve 1970'lerde Avrupa ülkelerinde başlamıştır. EURO 93 yönetmeliği diğer adıyla EURO I yönetmeliği 1991 yılında uygulamaya konulmuştur. Bu standartlar taşıt sınıfına, motor tipine göre değişmektedir.

Tablo 2. Yolcu taşıtları için EURO standartları (g/km)

| Tier | Date | CO | HC | HC+NO _x | NO _x | PM |
|--------------------------|----------------------|-------------|-------------------|--------------------|-----------------|--------------------|
| Diesel | | | | | | |
| Euro 1† | 1992.07 | 2.72 (3.16) | - | 0.97 (1.13) | - | 0.14 (0.18) |
| Euro 2, IDI | 1996.01 | 1.0 | - | 0.7 | - | 0.08 |
| Euro 2, DI | 1996.01* | 1.0 | - | 0.9 | - | 0.10 |
| Euro 3 | 2000.01 | 0.64 | - | 0.56 | 0.50 | 0.05 |
| Euro 4 | 2005.01 | 0.50 | - | 0.30 | 0.25 | 0.025 |
| Euro 5† | 2009.09 ^b | 0.50 | - | 0.23 | 0.18 | 0.005 |
| Euro 6† | 2014.09 | 0.50 | - | 0.17 | 0.08 | 0.005 |
| Petrol (Gasoline) | | | | | | |
| Euro 1† | 1992.07 | 2.72 (3.16) | - | 0.97 (1.13) | - | - |
| Euro 2 | 1996.01 | 2.2 | - | 0.5 | - | - |
| Euro 3 | 2000.01 | 2.30 | 0.20 | - | 0.15 | - |
| Euro 4 | 2005.01 | 1.0 | 0.10 | - | 0.08 | - |
| Euro 5† | 2009.09 ^b | 1.0 | 0.10 ^c | - | 0.06 | 0.005 ^d |
| Euro 6† | 2014.09 | 1.0 | 0.10 ^c | - | 0.06 | 0.005 ^d |

3.4. Emisyon Ölçüm Cihazları:

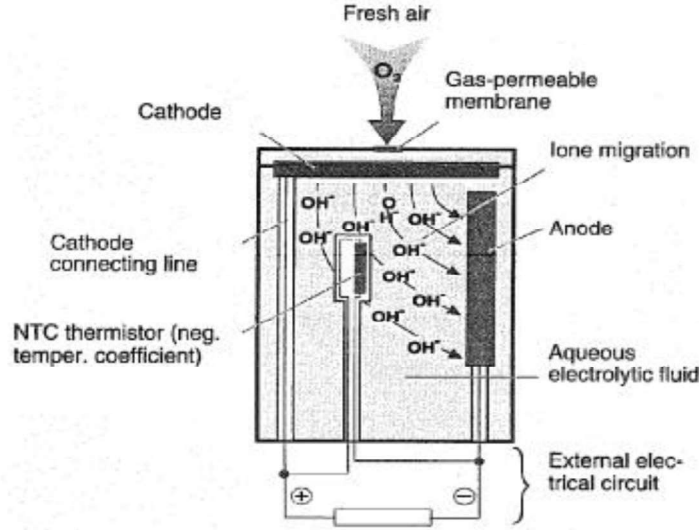
Emisyon ölçümlerinde kullanılan analizörlerin çekirdeğini özelleştirilmiş sensörler oluşturmaktadır. Çalışması genel olarak absorpsiyon, ionizasyon, iletkenlik, manyetizma gibi fiziksel ya da fiziko-kimyasal prensipler üzerine kuruludur. Sensörler incelenecek örneğin özelliklerine göre değişim göstermektedir. Dizayn şekillerine göre analizörler şu şekilde sınıflandırılırlar;

- Portatif analizörler: Kısa zamanda farklı noktalardan ölçüm alabilen analizörler,
- Sabit analizörler: Belli noktalara sabitlenmiş ve oradan aylar hatta yıllar boyunca ölçüm alabilen analizörler.
- In-situ analizörler: İşlem akışına direkt olarak dahil edilmiş olan ve içinden ölçüm alabilen analizörler,
- Dışarıdan ölçüm alan analizörler: Akışın dışındaki bir odadan probe yardımıyla ölçüm alan analizörlerdir.

3.4.1. Emisyon Ölçümünde Kullanılan Metotlar

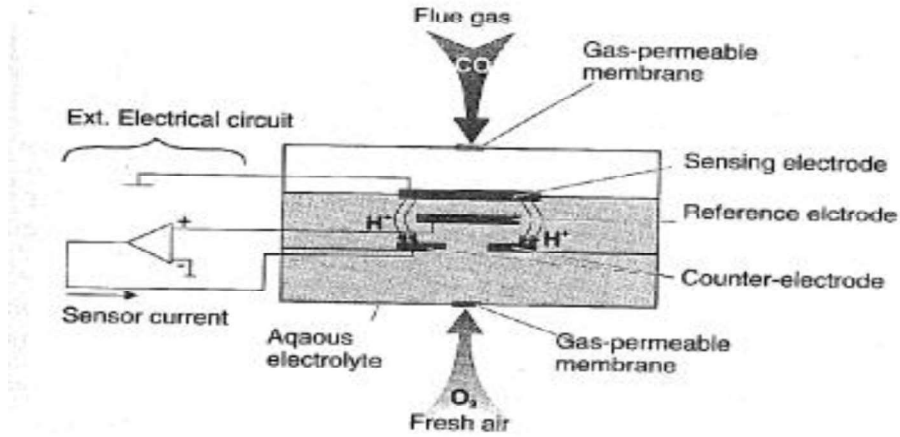
3.4.1.1. Elektrokimyasal (Potansiyometrik) Sensörler

Bu sensörler iyon seçici potansiyometre prensibi ile oksijenle beraber CO, SO₂ ve NO_x analizi için uygundur. Sensörler seçiciliğine uygun olan sıvı elektrolitik çözelti ile doludur. Üzerlerine elektriksel alan uygulanmış iki ya da üç elektrot çözeltiye yerleştirilir. Sensörler dışarıdan gaz geçirgen bir zar yardımıyla ayrılır. Bunun dışındaki dizayn ve çalışma parametreleri analiz edilecek gaz bileşimine göre seçilmektedir. İki farklı örnekle inceleyecek olunursa;



Şekil 2. Oksijen Sensörü Şeması

Giren gaz olan oksijen zardan geçerek sensör katoduna ulaşır. Katodun kimyasal bileşiminden dolayı OH^- iyonlarının oluşumuna neden olan kimyasal reaksiyonlar katotta gerçekleşir. Serbest iyonlar sıvı elektrolit vasıtasıyla sensör anoduna geçer ve oksijen konsantrasyonuna bağlı olarak bir elektrik akımı oluşur. Bu akım R direncinde ölçülecek sinyali oluşturacak bir voltaj düşmesi yaratır.

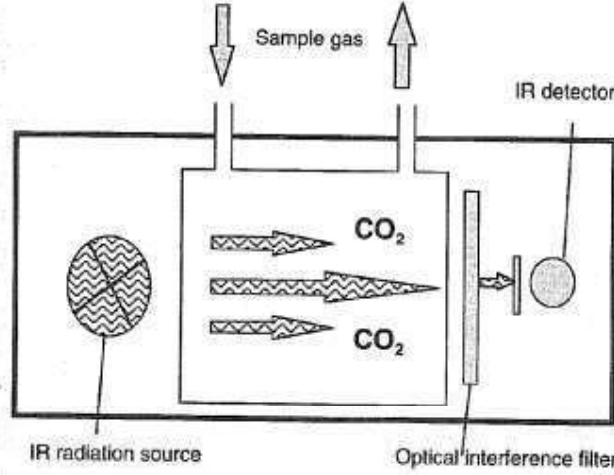


Şekil 3. CO sensörü şeması (Üç elektrolitli sensör)

CO molekülleri gaz geçirgen zardan geçerek sensörün algılama elektrotuna ulaşır. Burada karşı elektrota göç edecek H^+ iyonlarının oluşmasını sağlayan kimyasal reaksiyonla gerçekleşir. Karşı elektrotta ikinci bir reaksiyon taze havadan gelen oksijen vasıtasıyla gerçekleşir. Bu ikinci reaksiyon dış devrede bir elektrik akımının oluşmasına neden olur. Bu akım işlenerek CO konsantrasyonunun hesaplanmasında kullanılır. Üçüncü elektrot olan referans elektrodu sensör sinyalini dengelemek için kullanılır.

3.4.1.2. İnfrared Absorbsiyon (IR)

Bu metotta absorpsiyon derecesini anlamak için iki farklı yol izlenir. Birincisi, bir gaz dedektörünün kullanıldığı ve radyasyonun dedektör hücresindeki basıncını değiştirdiği yoldur. İkincisi ise, katı haldeki IR dedektörünün dar bantlı ara filtre ile beraber kullanıldığı ve radyasyonun yalnızca ilgilenilen gazın aralığında bu filtreden geçebildiği yoldur. Hücreden geçebilen radyasyon miktarı ölçülerek analiz edilecek gazın konsantrasyonu hesaplanabilir.



Şekil 4. Karbondioksit için kullanılan NDIR sensörü

3.4.1.3. Isıl İletkenlik Metodu

Genelde hidrojen analizinde kullanılan bu metot iki farklı ısıl iletkenlikteki gazları kullanır. Sensörde Wheatstone köprüsü kurularak ısı kaynağı ve aynı zamanda ısı dedektörü olarak kullanılacak tel demeti oluşturulur. Köprünün bir ayağının örnek gaza gelirken diğer ayağının ise referans gaz üzerine gelmesine dikkat edilmelidir. Farklı gaz konsantrasyonlarının tel üzerinde oluşturduğu soğuma elektrik sinyali olarak alınarak işlenir.

3.4.1.4 Katalitik Tel Metodu

Örnek gazın içerisindeki yanıcı gazların konsantrasyonlarının tespitinde, ısıtılmış katalitik bir tel üzerinde yanıcı gazların oksitlenmesi metodu kullanılır. Yanıcılar daha önceden ısıtılmış katalitik malzeme ile reaksiyona girerek yanma ısılarıyla orantılı olarak teli ısıtarak elektriksel iletkenliğinin düşmesine neden olur. Bu işlem yalnızca oksijen konsantrasyonunun yeterli olduğu durumlarda mümkündür. İletkenlikteki değişim gazın içindeki bütün yanıcıların içeriğiyle ilgili bir ölçüdür. Bunlara ana hidrokarbonlar ve CO ile hidrojenidir. Çapraz duyarlılıklar analizler sırasında göz önünde tutulmalıdır. Çapraz duyarlılıklar: Metan değerleri CO ve hidrojenle belli oranlarda artar.

4. MOTOR EMİSYON ÖLÇÜM DENEY TESİSATI

$$EP_i = EV_i x \frac{M_i}{M_{eg}} x \frac{\dot{m}_{eg}}{P_{ef}} \quad (1)$$

$$\dot{m}_{eg} = \dot{m}_h + \dot{m}_y \text{ (gr/s)} \quad (2)$$

$$\dot{m}_h = \frac{n \cdot V_H \cdot \rho_H \cdot \eta_V}{a \cdot 60} \text{ (gr/s)} \quad (3)$$

EP_i : Kirlenici kütlesi (gr/kwh)

EV_i : Bileşenlerin egzoz emisyon değeri

M_i : Bileşenlerin molar kütlesi (kg/kmol)

M_{eg} : Egzoz gazının molar kütlesi (kg/kmol)

\dot{m}_{eg} : Egzoz gazının debisi (gr/s)

\dot{m}_h : Hava debisi (gr/s)

\dot{m}_y : Yakıtın Debisi (gr/s)

ρ_H : Havanın özgül ağırlığı (gr/m³)

η_V : Volümetrik verim

Tablo 3. Egzoz Bileşenlerinin Molar Kütleleri

| Bileşen | Molar Kütle (kg/kmol) |
|-----------------|--------------------------|
| NO _x | 46,006 |
| CO | 28,0104 |
| HC | 13,876 |
| O ₂ | 31,99880 |
| CO ₂ | 44,009 |
| Egzoz | 28,84 |

5. DENEYİN YAPILIŞI

İlk olarak motor soğutma suyu, motor yağı gibi kontroller yapıldıktan sonra, motor rejim çalışma sıcaklığına ulaşınca kadar ısıtılır. Ardından seçilen gaz kelebeği koşulunda, belirlenen devirde kalacak şekilde yüklenir ve motor torku kararlı hale gelinceye kadar beklenir. CO, CO₂, O₂, HC, NO_x, lamda (λ), yakıt tüketimi, emme havası orifis basınç farkı, motor moment kolunun ağırlığı gibi veriler kaydedilir. Yük ve devir sayısı değiştirildiği zaman önce yeniden motor torku kararlı hale gelene kadar beklenir ve ardından aynı işlemler yeniden tekrarlanır.

Hesaplamalarda istenenler,

Öğrenci yukarıda teorik olarak belirtilen prosesleri kendi almış olduğu deney sonuçlarını kullanarak aşağıda istenilen verileri hesaplayacaktır.

- 1- İçten yanmalı motor kaynaklı kirletici emisyonları kısaca açıklayınız ve emisyon ölçüm cihazları hakkında kısaca bilgi veriniz.
- 2- Hesaplarınızı laboratuvar hazırlık föyündeki formüllerden de yararlanarak açık olarak ölçülen her devir için yapınız.
- 3- Hesaplanan özgül emisyon değerlerini (CO, CO₂, HC, O₂, NO_x) ölçülen motor devrine bağlı olarak çiziniz ve kısaca yorumlayınız.

Adı-Soyadı : Deneyi Yürüten Öğretim Elemanı :
Numara : Deneyin Yapıldığı Tarih :
İmza : Grup-Alt Grup :

NOT

| | | | |
|---|---|---------------------------|--|
| YTÜ MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ OTOMOTİV ANABİLİM DALI ÖZEL LABORTUAR DERSİ MOTOR EMİSYON ÖLÇÜMÜ TESTİ DENEYİ VERİ KAYIT FORMU | | | |
| Deney Tarihi | | Moment Kolu Uz. | |
| Deney Motoru | | Lab Sıcaklığı | |
| Silindir Sayısı | <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 4 | Lab Nemi | |
| Yakıt Türü | <input type="checkbox"/> Benzin <input type="checkbox"/> Dizel <input type="checkbox"/> LPG | Yakıt Tüketimi Ölçüm Yön. | <input type="checkbox"/> Hacimsel <input type="checkbox"/> Gravimetrik |

Tablo 4. Ölçüm verileri tablosu

| Ölçü m No. | Motor Devri (d/d) | Kuvvet (N) | Yakıt Sarfıyat Süresi (10g veya 50cc) (sn) | Emme Orifis Fark Basıncı (mmHg) | Hava Basıncı (λ) | CO (%hac) | CO ₂ (%hac) | HC (ppm) | O ₂ (%hac) | NO _x (ppm) |
|------------|-------------------|------------|--|---------------------------------|------------------|-----------|------------------------|----------|-----------------------|-----------------------|
| 1 | | | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | | | | |
| 4 | | | | | | | | | | |
| 5 | | | | | | | | | | |

Tablo 5. Hesap sonuçları

| Ölçüm No. | Motor Devri (d/d) | Motor gücü (kW) | Emme havası debisi (g/h) | Yakıt tüketimi (g/h) | Özgül CO emisyonu (g/kWh) | Özgül CO ₂ emisyonu (g/kWh) | Özgül HC emisyonu (g/kWh) | Özgül O ₂ emisyonu (g/kWh) | Özgül NO _x emisyonu (g/kWh) |
|-----------|-------------------|-----------------|--------------------------|----------------------|---------------------------|--|---------------------------|---------------------------------------|--|
| 1 | | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | | | |
| 4 | | | | | | | | | |
| 5 | | | | | | | | | |

Tablo 6. Hesaplamalar

Lütfen işlemlerinizi bu alana yazınız. (Gerek duyulduğu takdirde Ek A4 kağıdı kullanılabilir.)

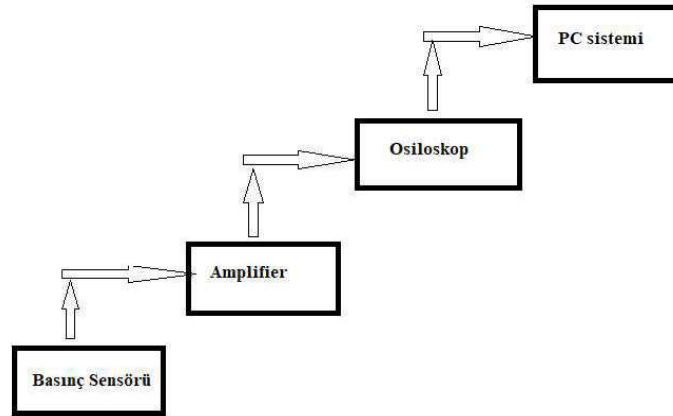
BAHAR DÖNEMİ OTOMOTİV-4 DENEYİ

1. DENEY ADI: İndikatör Diyagramı Çıkarma Deneyi

2. DENEYİN AMACI: Deneysel olarak silindir içinden alınan basınç verilerini kullanarak indikatör diyagramının elde edilmesi ve incelenmesi

3. TEORİK BİLGİLER VE TANIMLAR

İçten yanmalı motorun Silindir içindeki basınç değişimini gösteren indikatör (P-V basınç-hacim) diyagramı motorun yanma odası içindeki basıncın ölçülmesi ile yapılmaktadır. Silindir içi yüksek basınç ölçümü genellikle silindir kapağında uygun bir alana yerleştirilen piezoelektrik basınç sensörleri ile yapılır. Silindir içindeki basınç değişimi bir basınç sensörü ile elektrik sinyallerine dönüştürülür. Daha sonra bu sinyaller bir amplifikatörde yükseltilerek bir osiloskoba iletilip indikatör diyagramının krank açısına veya silindir hacmine göre değişimi görülebilir ve bu diyagram PC ekranına aktarılabilir.



Şekil 1. Basınç ölçüm aşamaları

Basınç piezoelektrik ölçümlerini yaparken dikkat edilmesi gereken noktalar:

Kayma: Çıkış sinyalindeki zamana bağlı ölçülen değışkenden bağımsız olarak istenmeyen değışim olarak tanımlanabilir.

Zaman Sabiti: Sinyal yükselticinin zaman sabiti ürün aralık kapasitörü ve zaman sabit direncinden belirlenebilir. Bu sabit piezoelektrik ölçüm sisteminin düşük motor hızı durumunda (marş sırasında) kapasitörün yük boşaltmasıyla meydana gelebilecek belirgin bir hata göstermeden ölçüm yapabilme kabiliyetinin değerlendirilmesinde önemlidir.

Filtreleme: Elektriksel filtreleme genellikle sinyal yükselticide ölçülen ham datada bulunan belirli frekansların elimine edilmesiyle sağlanır. Genel olarak istenmeyen düşük frekanslı

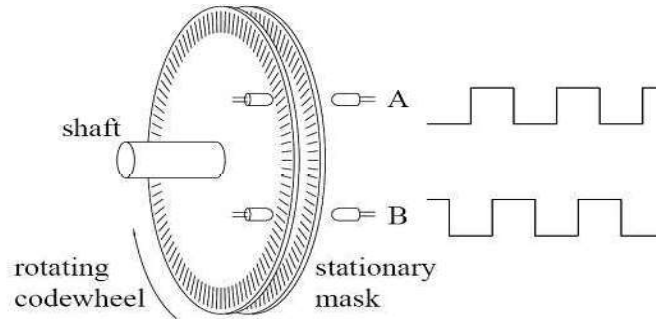
bileşenlerin filtrelenmesinde yüksek geçirimli filtreler kullanılır; vuruntu ölçüm durumunda yüksek frekanslı bileşenlerin göz önünde bulundurulduğu yanma ölçümlerinde kullanılır.

3.1. Basınç sensörlerinin montajı

Basınç sensörleri 5 ila 18 mm çapta vidalı çıkışa sahip şekilde imal edilmektedir. Yanma odası içine yerleştirilirler ve böylece uçları yanma odası malzemesiyle yapışır. Bu da motor kafa yapısında sensörü destekleyecek boşluk ve malzeme bulma açısından problem meydana getirir. Bu nedenle, benzinli motorlar için buji geometrili, diesel motorlar için kızdırma bujisi geometrili özel sensörler geliştirilmiştir.

3.2. Devir Sayısının Ölçülmesi

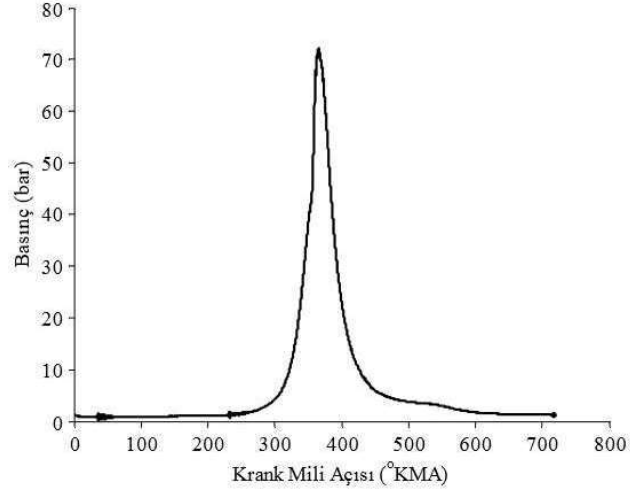
Dönen makinelerin devir sayılarını ölçmek üzere mekanik, optik ve elektronik takometreler kullanılmaktadır. Motorla alakalı tüm testlerde motorlar boş krank uçlarından artımsal şaft enkoderi ile enstrümante edilmektedir. Bu cihaz bir tam turu sırasında sahip olduğu eşit aralık sayısınca kare dalga oluşturması vasıtasıyla krank milinin o anki konum bilgisinin ölçülmesini sağlar.



Şekil 2. Enkoder çalışması şematik şekli

Eksik olan kare dalga ya da zero pozisyonuyla üst ölü nokta konumlandırılabilir. Bu konumlar tetikleyici olarak kullanılabilir.

Aşağıda Resim 5'te ölçümü yapılmış ve grafik şeklinde gösterilmiş bir açık indikatör diyagramı gösterilmiştir.



Şekil 3. Krank miline bağlı açık indikatör diyagramı

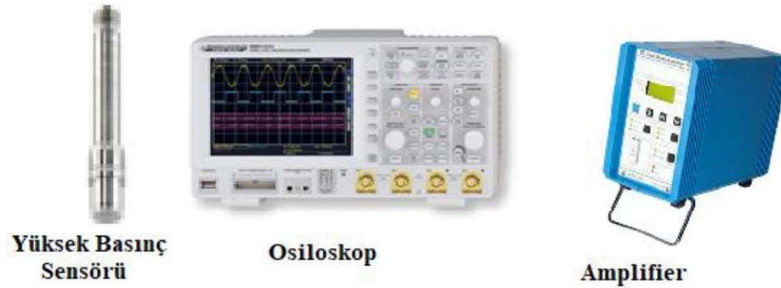
3.3. İndikatör diyagramı ile ölçülebilen büyüklükler

- Maksimum silindir basıncı (P_{max})
- Maksimum basıncın yeri (αP_{max})
- Basıncın değişimi ($dP/d\alpha$)
- Maksimum püskürtme basıncı ($P_{i_{max}}$)

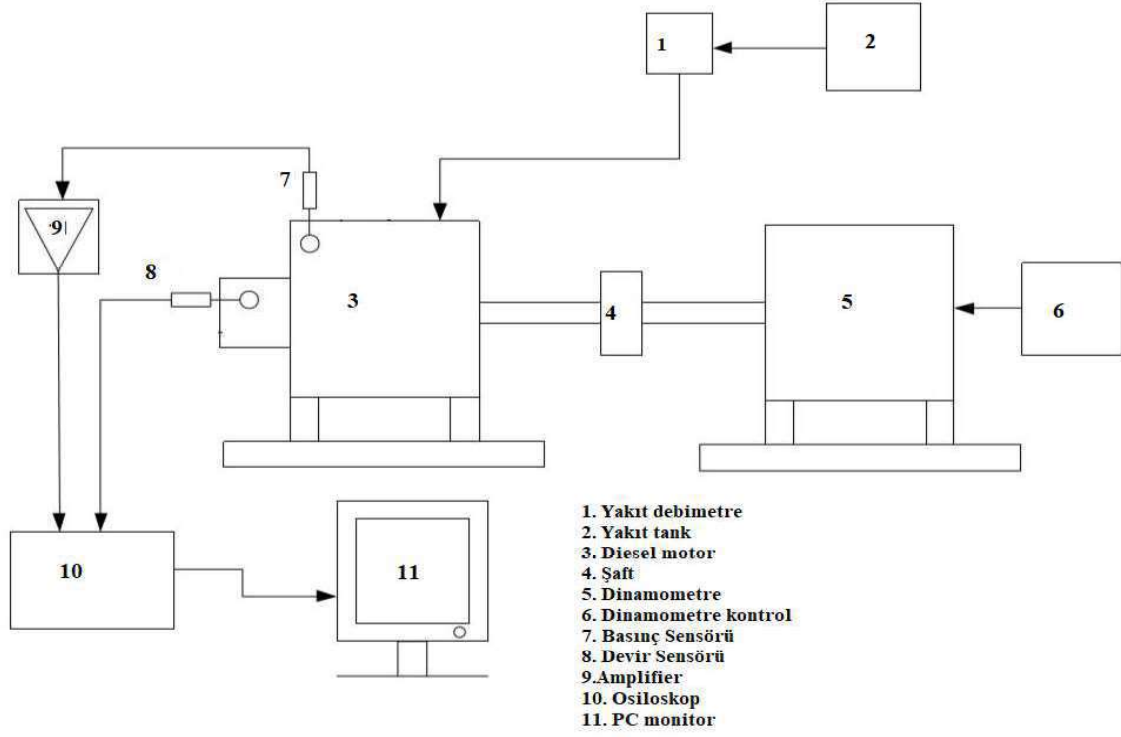
Yüksek basınç indikatör diyagramından faydalanılarak yapılan en kapsamlı analizlerden biri basınç eğrisinin termodinamik analizidir. Bu analiz, açığa çıkan ısı miktarı ve bunla orantılı olarak yanan yakıt miktarının hesaplanmasını sağlar. Böylece yanma süreci hakkında önemli bilgiler elde edilebilir.

4. İNDİKATÖR DİYAGRAMI ÇIKARMA DENEY TESİSATI

Deneyde kullanılan cihazların görselleri Resim 2’de, Deney setinin şematik şekli Resim 3’de gösterilmiştir.



Resim 4. Deney cihazlarının Görselleri



Şekil 5. İndikatör diyagramı çıkarma deney setinin şematik şekli

5. DENEYİN YAPILIŞI

Deney sırasında aşağıdaki adımlar takip edilecektir.

- Basınç sensörü silindir kapağına yerleştirilir.
- Amplifier ve osiloskop bağlantısı yapılır.
- Devir sensörü bağlantısı gerçekteŐtiriniz.
- Motor marş yapılıp osiloskoptan indikatör okunur
- Osiloskoptan okunan diyagram PC ekranına aktarılır

Hesaplamalarda istenenler,

Öğrenci yukarıda teorik olarak belirtilen prosesleri kendi almış olduğu deney sonuçlarını kullanarak aşağıda istenilen verileri hesaplayacaktır.

1- Motorun sıkıştırma oranı (ϵ) ve devrini (n) hesaplayınız.

2- Deney esnasında elde edilen basınç verilerinden yararlanarak, motor için P-V indikatör diyagramını çiziniz.

3- Silindir içi basınç ölçümünde kullanılan algılayıcıları ve tiplerini açıklayınız.

Adı-Soyadı :
Numara :
İmza :

Deneyi Yürüten Öğretim Elemanı :
Deneyin Yapıldığı Tarih :
Grup-Alt Grup :

NOT

Tablo 1. Ölçüm verileri tablosu

| Madde (1)'de belirtilen ölçüm sonuçları | | Madde (2)'de belirtilen ölçüm sonuçları | |
|---|---------------------------------|---|----------------------|
| Min. ve max. Basınç farkı | İki çevrim başlangıç arası süre | Basınç verileri | Krank konum verileri |
| (V) | (ms) | (bar) | (°CA) |
| | | - | - |

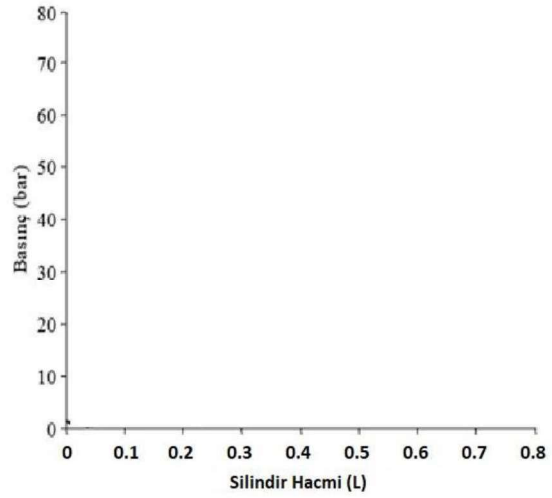
Tablo 2. Hesap sonuçları

Motorun Sıkıştırma oranı (ϵ)

(ϵ) =

Motor Devri (n)

n=



Tablo 3. Hesaplamalar

Lütfen işlemlerinizi bu alana yazınız. (Gerek duyulduğu takdirde Ek A4 kağıdı kullanılabilir.)



BAHAR DÖNEMİ BORULARDA YÜK KAYBI DENEYİ

1. DENEY ADI: Borularda Yük Kaybı

2. DENEYİN AMACI: Pürüzlü bir boruda türbülanslı akış halinde sabit bir bağıl pürüzlülük için sürekli (üniversal) yük kayıp katsayısı (λ) ile Reynolds Sayısı (Re) arasındaki bağıntının deneysel olarak bulunması

3. TEORİK BİLGİLER VE TANIMLAR

L uzunluğunda ve D çapında bir boru içinde V ortalama hızında bir akış varsa boru boyunca meydana gelen üniversal yük kaybı Darcy ifadesinden:

$$H_k = \lambda \frac{L \cdot V^2}{D \cdot 2 \cdot g} \quad (1)$$

olarak yazılır. Burada:

H_k ; boru boyunca meydana gelen üniversal enerji kaybı olup birimi “mSS” (metre su sütunu)’dur. L; deneye tabi tutulan boru uzunluğu olup birimi “m”dir. D: deneye tabi tutulan borunun iç çapı olup birimi “m”dir. V: boru içerisindeki enine kesit boyunca hız olup birimi “m/s”dir. g: yerçekimi ivmesi olup birimi “m/s²”dir. λ ise: üniversal yük kayıp katsayısı olup boyutsuz ve birimsiz olup Reynolds “Re” sayısı ile boyutsuz boru bağıl pürüzlülüğü ($\varepsilon=k/D$)’nin fonksiyonu, yani $\lambda=f(\text{Re}, \varepsilon)$ ’dur. Burada k ise uzunluk boyutunda boru içerisinde ortalama pürüz yüksekliğidir.

Genelde üniversal yük kayıp katsayısı λ , Re ve ε ’un fonksiyonu olduğu halde, deney esnasında boru değişmediğinden bağıl pürüzlülük ε sabit kalacaktır. O halde bu deneyde sabit bir ε için $\lambda=f(\text{Re})$ değişimi elde edilecektir.

Şu halde bu deneyde sadece Reynolds sayısına bağlı olarak üniversal yük kayıp katsayısı λ ’nın değişimi incelenecektir.

Yukarıdaki bağıntıdan λ çekilirse:

$$\lambda = \frac{2 \cdot g \cdot H_k \cdot D}{L \cdot V^2} \quad (2)$$

elde edilir. Reynolds sayısı ise:

$$\text{Re} = \frac{V \cdot D}{\nu} \quad (3)$$

idi. Burada; yukarıdaki açıklamaya ilave olarak ν : suyun ortam sıcaklığındaki kinematik viskozitesi olup “m²/s” biriminde değeri aşağıda tablodan alınacaktır.

| Ortam Sıcaklığı | °C | 0 | 5 | 10 | 15 | 20 | 30 |
|--|-------------------|-------|------|-------|------|-------|-------|
| Kinematik Viskozite (10 ⁶) | m ² /s | 1,788 | 1,52 | 1,307 | 1,15 | 1,003 | 0,799 |

Deneyde 20°C ortam sıcaklığı için suyun kinematik viskozitesi, ortalama bir değer olarak 1.10⁻⁶ m²/s alınabilir.

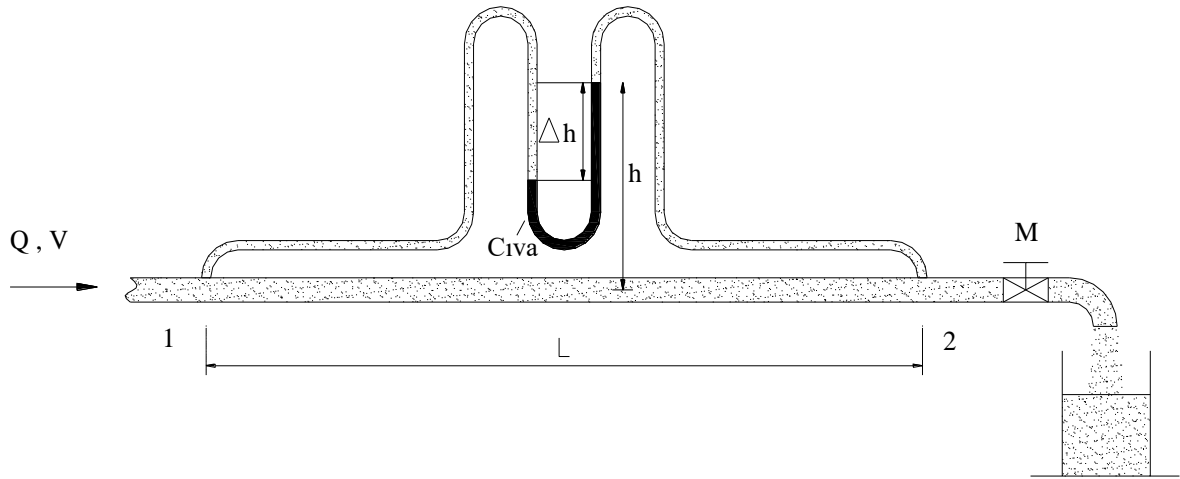
Burada λ ve Re sayılarının hesaplanabilmesi için H_k ve V ifadelerinin bilinmesi gerekmektedir.

4. DENEYİN YAPILIŞI

H_k 'nın hesaplanabilmesi için Şekil 1'de 1'den 2'ye Bernoulli denkleminin yazılması gerekir. Buna göre:

$$Z_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2.g} = Z_2 + \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2.g} + H_k \quad (4)$$

olur. Burada; sistem yatay konumda olduğundan $Z_1=Z_2$, boru çapı sabit olduğundan



Şekil 1. Deney tesisatı

$V_1=V_2$ dir. H_k ise üniversal enerji kaybı olup, ifadesi Darcy formülüyle yukarıda verilmiştir. Bunlar yukarıdaki Bernoulli denkleminde yerlerine konursa;

$$\frac{P_1 - P_2}{\gamma} = \lambda \frac{L V^2}{D 2g} \quad (5)$$

olur. Cıvalı diferansiyel manometrede seviye farkı Δh olduğuna göre, hidrostatikten:

$$P_1 - h \cdot \gamma_s + \Delta h \cdot \gamma_c = P_2 - h \cdot \gamma_s + \Delta h \cdot \gamma_c \quad (6)$$

den:

$$P_1 - P_2 = \Delta h \cdot (\gamma_c - \gamma_s) \rightarrow \frac{P_1 - P_2}{\gamma_s} = \Delta h \cdot \left(\frac{\gamma_c - \gamma_s}{\gamma_s} \right) \quad (7)$$

olur. Bu da yukarıda Bernoulli denkleminde yerine konursa:

$$\frac{P_1 - P_2}{\gamma_s} = \lambda \frac{L}{D} \frac{V^2}{2g} = H_k = \Delta h \cdot \left(\frac{\gamma_c - \gamma_s}{\gamma_s} \right) = \Delta h \cdot \left(\frac{13,6 - 1}{1} \right) \cdot 10^{-3}$$

$$H_k = 12,6 \cdot \Delta h \cdot 10^{-3} \text{ mSS} \quad (8)$$

bulunur. Burada Δh mm olarak konduğunda H_k mSS (metre su sütunu) olarak hesaplanır. Ortalama hız V 'nin hesaplanması için önce ölçekli kap yardımı ile debinin tespiti gerekmektedir. Şöyle ki; vananın belirli bir konumunda t zamanında ölçekli kaptaki biriken su miktarı W litre olsun. Bu takdirde sistemin debisi:

$$Q = \frac{W}{t} \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s} \quad (9)$$

olur. Buradan:

$$V = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot D^2} \quad (10)$$

bulunur. Burada Q “m³/s”, D “m” olması halinde V “m/s” biriminde olur.

Her bir debi değeri için bir hız, her bir Δh değeri için bir H_k hesaplamak ve bunlardan istifade ederek de λ ve Re değerlerini hesaplamak mümkündür.

Debi değiştirilerek elde edilen λ ve Re değerlerinin logaritmik ölçekle koordinat eksenine işlenmesi suretiyle değişim elde edilmiş olacaktır. Bu değişimin elde edilebilmesi için önce bütün değerleri içeren bir tablonun oluşturulması gerekir. Bu deney Moody diyagramının temel prensibini vermektedir.

5. HESAPLAMALARDA İSTENENLER

Öğrenci yukarıda teorik olarak belirtilen prosesleri kendi almış olduğu deney sonuçlarını kullanarak aşağıda istenilen verileri hesaplayacaktır.

Ölçümler 5 adet yapılacak, hesaplar sadece bir tanesi için gösterilecek.

1. Debi hesabı yapılacak,
2. Boru içinde geçen akışkan hızı hesaplanacak,
3. Düz boru basınç kaybı hesaplanacak,
4. Reynolds sayısı hesaplanacak,
5. Üniversal yük kayıp katsayısı hesaplanacak,
6. $\lambda = f(Re)$ eğrisi logaritmik ölçekle çizilecek,
7. Yorum bölümünde çıkan sonuçlar değerlendirilecektir.

Adı-Soyadı :
Numara :
İmza :

Deneyi Yürüten Öğretim Elemanı :
Deneyin Yapıldığı Tarih :
Grup-Alt Grup :

NOT

Lütfen işlemlerinizi bu alana yazınız. (Gerek duyulduğu takdirde Ek A4 kağıdı kullanılabilir.)

1. Debi Hesabı (Q):

2. Hız Hesabı (V):

3. Düz Boru Basınç Kaybı Hesabı (Hk):

4. Reynolds Sayısı Hesabı (Re):

5. Üniversal Yük Kayıp Katsayısı Hesabı (λ):

6. Sonuçlar:

Tablo 1: Ölçüm ve Hesap Tablosu

| İşlem No | Ölçülecek Değerler | | | Hesaplanacak Değerler | | | | |
|----------|--------------------|-------|-----------------|-----------------------|---------|----------------------|----|-----------|
| | W (L) | t (s) | Δh (mm) | Q (m ³ /h) | V (m/s) | H _k (mSS) | Re | λ |
| 1 | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | | |
| 4 | | | | | | | | |
| 5 | | | | | | | | |

7. $\lambda = f(\text{Re})$ Eğrisinin Çizimi

8. Yorum:

BAHAR DÖNEMİ RADYASYON DENEYİ

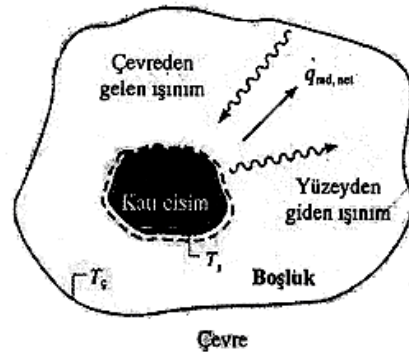
1. **DENEY ADI:** Radyasyon (Işınım) Isı Transferi Deneyi

2. **DENEYİN AMACI:** Radyasyonla ısı transferinde plakaların yayıcılıklarının belirlenmesi

3. TEORİK BİLGİLER VE TANIMLAR

Işınım (radyasyon) ısı transferi ve ısı ışınım terimleri, elektromanyetik dalgalar ya da fotonlar (kütlesi olmayan fakat enerjiye sahip parçacıklar) vasıtasıyla gerçekleşen ısı transferini tanımlamak için kullanılırlar. Bütün maddeler sürekli olarak sahip oldukları moleküler enerji seviyelerini düşürerek ya da yükselterek elektromanyetik dalga yayar ya da absorblarlar. Işımanın şiddeti ve dalga boyu ışınım yapan malzemenin sıcaklığına bağlıdır. Işımanın fiziksel mekanizmasını açıklamada elektromanyetik dalga teorisi ve kuantum mekaniğinden birlikte yararlanılır.

İletim ve taşınım ile ısı geçişi bir madde içindeki sıcaklık gradyanından kaynaklanırken, ısı ışınım ile ısı geçişi için arada bir madde bulunmasına gerek yoktur; yüzeylerin birbirini görmesi yeterlidir. Örneğin yüksek sıcaklığa bağlı bir katı cismin daha düşük sıcaklıkta yüzeye sahip bir hacimde vakum içinde muhafaza edildiğini düşünelim. Vakumun varlığı hacim içinde katı cisimden iletim ve taşınım ile olacak ısı transferini engelleyecektir, çünkü bu ısı transferi mekanizmalarının gerçekleşmesi için bir ortam mevcut değildir. Ancak katı cisim belli bir zaman sonunda soğuyarak kendisini çevreleyen yüzeyler ile ısı dengese gelecektir. Diğer bir deyişle katı cisim çevresiyle ısı transferinde bulunacak ve sonuçta ısı dengese ulaşacaktır.



Şekil 1. Sıcak bir katı cismin ışınım ile soğuması

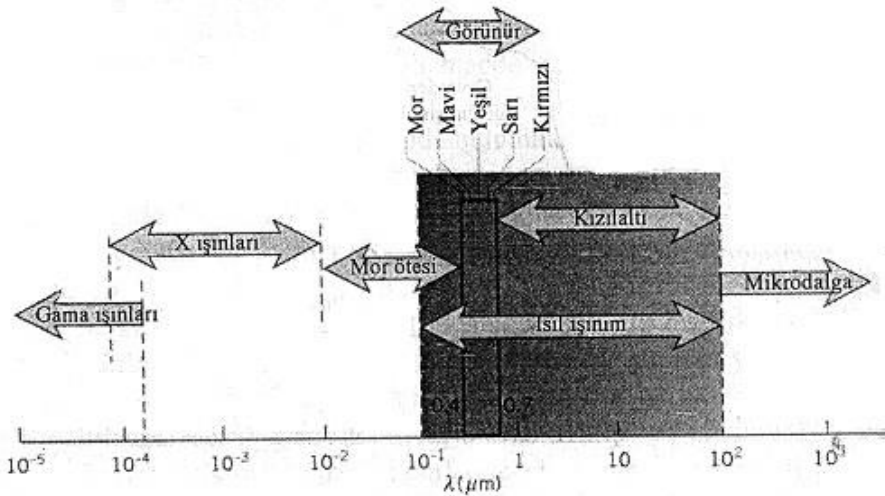
Isıl ışınım, sıcaklığı nedeniyle maddeden yayılan enerji ile ilişkilidir. Şu anda sizi çevreleyen tüm maddelerden ısı ışınım yayılmaktadır. Eğer içerdeyseniz , duvarlardan ve mobilyalardan, dışarıdaysanız ağaçlar, evler, atmosfer ve güneşten size ısı ışınım gelmektedir. Yayılma mekanizması maddenin yapısında bulunan elektronların salınım ve yörünge değiştirmeleri sonucunda açığa çıkan enerji ile ilişkilidir. Bu salınımlar da maddenin iç enerjisi ve bunun göstergesi olan sıcaklığından kaynaklanmaktadır. Böylece ısı ışınımının yayılmasını maddenin iç yapısındaki değişmesine bağlayabiliriz.

Işınımın maddeden yayılma olarak gerçekleştiğini ve enerjinin bu yolla aktarımının herhangi bir aracı ortama gerek göstermediğini açıklamıştık. Bu enerji aktarımı bir teoriye göre foton veya kuantum adı verilen parçacık demetlerinin yayılmasıyla, diğer bir teoriye göre elektromanyetik dalgaların yayılması biçiminde algılanabilir. Her iki durumda da, ışınım standart dalga özellikleri olan frekans γ ve dalga uzunluğu λ ile tanımlanır. Herhangi bir oryanda yayılan ışınım için, bu iki özellik arasındaki ilişki aşağıdaki ile verilir:

$$\lambda = c / \gamma$$

c: ışığın o ortamdaki hızı,(Boşlukta yayılma için $c_0 = 2,998 \cdot 10^8$ m/s'dir.

Dalgaboyunun birimi genellikle (μm) olup $1 \mu\text{m} = 10^{-6}$ m'dir.

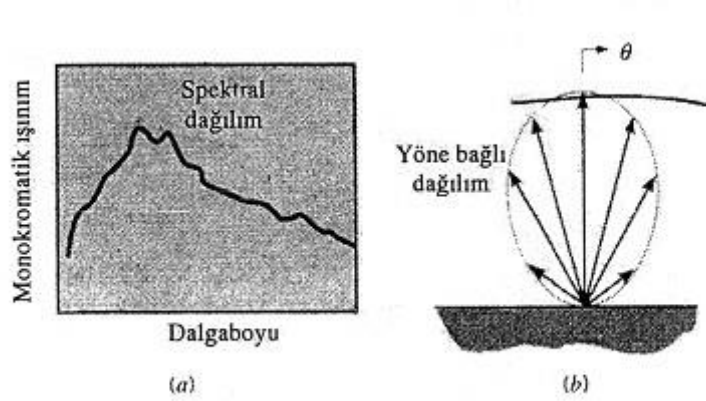


Şekil 2. Elektromanyetik ışınımın dalgaboylarına dağılımı

Tüm elektromanyetik dalgaboylarına göre dağılım yukarıdaki şekilde gösterilmiştir. Kısa dalgaboylarında bulunan gama ışınları, X ışınları ve morötesi ışınım daha çok yüksek enerji fizikçileri ve nükleer mühendislerin ilgi alanındadır. Uzun dalgaboylarında bulunan mikrodalgalar ve radyo dalgaları ise elektrik mühendislerin ilgi alanındadır. 0,1 ile 102 μm arasında bulunan spektrumun orta bölgesi, morötesi ışınımın bir bölümü ile görünür ve kızılötesi ışınımın tümünü içerir ve "ısı ışınım" diye bilinir. Isı geçişi ile

doğrudan ilgili olan bölge de budur.

Isıl ışınımın dalgaboyuna göre değişimi, hesaplanmasını zorlaştıran etkenlerden biridir. Bir başka etken de yöne bağımlılıktır. Bir yüzey belirli yönlerde daha çok ışınım yayabilir.



Şekil 3. Bir yüzeyin yaydığı ışınım. (a) Dalgaboyuna göre dağılım (b) Yöne göre dağılım

Isıl Işınım : Isıl ışınım, onun alt gruplarından biri olan, görünen ışığın optik özelliklerinin büyük oranda aynısını sergilediği bilinmektedir.

Şekilde görüldüğü gibi bir yüzeye bütün dalga boylarında gelen toplam ışınım, G , yüzeyin özelliklerine bağlı olarak yutulabilecek, yansıtılabilecek ya da madde içinden geçirilebilecektir.

Eğer yüzeye gelen toplam ışınım G ' nin yutulan, yansıtılan ve geçirilen ışınım miktarlarına oranları sırasıyla ışınım yutma oranı α , ışınım yansıtma oranı ρ ve ışınım geçirme oranı τ olarak tanımlanırsa:

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

bağıntısı elde edilir.

Çoğu katı maddelerin ışınım geçirme oranı τ sıfırdır, bu tür yüzeyler ısıl ışınım için donuk (opak) olarak adlandırılırlar. Opak bir yüzey için $\rho + \alpha = 1$ olacaktır.

Cisimleri üzerlerinden yansıyan ışınlar vasıtasıyla görürüz, eğer cisimden herhangi bir ışın yansımaları olmaz ise bu cisim siyah cisim olarak görünür. Isıl ışınımında da üzerine gelen bütün dalga boylarındaki toplam ışınımı absorblayan ideal bir yüzey siyah cisim olarak adlandırılırlar. Siyah cisim üzerine gelen ışınımı ne yansıtır ne de geçirir. Dolayısıyla bir siyah cisim için $\rho=0$, $\tau=0$ ve $\alpha=1$ 'dir.

Genel olarak siyah cisim aşağıdaki özelliklere sahip ideal bir yüzeydir.

1. Siyah cisim üzerine düşen ışınım bütünü (dalga boyu ve doğrultusundan bağımsız olarak) absorberler.
2. Aynı sıcaklık ve dalga boyunda hiçbir yüzey siyah cisimden daha fazla enerji yayamaz ya da ışıma yapamaz.
3. Siyah cisim tarafından yapılan ışıma sıcaklık ve dalga boyunun fonksiyonu olmasına karşın doğrultudan bağımsızdır. Diğer bir deyişle siyah cisim, bütün doğrultularda yayılı ışıma yapar.

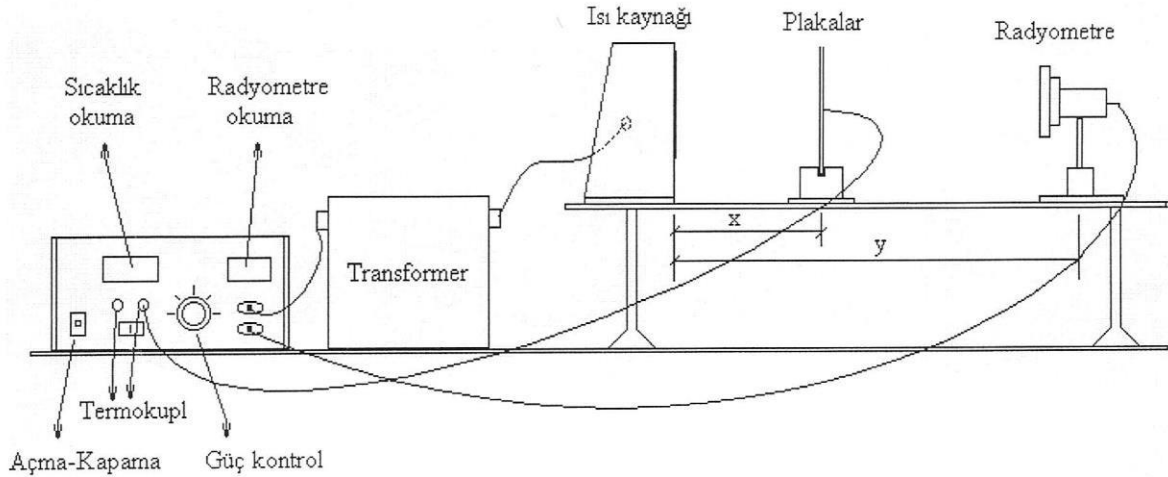
Yayıcılık (ϵ)

Gerçek bir cismin yaymış olduğu radyasyonun aynı sıcaklıktaki siyah cismin yaymış olduğu radyasyon oranıdır. Tüm dalga boyları ve yönler üzerinde ortalama bir değeri gösteren toplam yarıküresel yayma oranı şöyle tanımlanmıştır;

$$\epsilon(T) = E(T) / E_b(T)$$

Değişik malzemelerin yayıcılık değerleri bu konuyla ilgili yayınlarda mevcuttur. Genellikle, yayıcılık ısı transferi hesaplarında sabit bir çarpan bulunur.

4. RADYASYON ISI TRANSFERİ DENEY TESİSATI



Şekil 4. Radyasyon (Işınım) ısı transferi deney düzeneği

5. DENEYİN YAPILIŞI

Isıtıcı kaynağının gücü, güç kontrol ünitesi vasıtasıyla maksimum değere ayarlanır. Isıtıcı kaynağının önüne $x=50$ mm olacak şekilde plaka yerleştirilir. Bu plaka üzerindeki termokupl ile kontrol paneli üzerinden değişen plaka sıcaklıkları ve karşılık gelen radyometre değerleri okunur. İşlemler hem siyah plaka hem de gri plaka için yapılacaktır. Neticede her bir plakanın okunan her sıcaklığa karşılık gelen yayıcılık değeri hesaplanacak iki plaka için de ortalama yayıcılık bulunacak ve sıcaklık ile yayıcılık değerlerinin değişim grafiği çizilecektir.

$$q = \epsilon \cdot \sigma \cdot (T_S^4 - T_A^4)$$

$$q = 5,59 \times R$$

q: Işınım yoluyla olan ısı [W/m^2]

ϵ : Yayıcılık

σ : Stefan-Boltzmann Sabiti [$\sigma=5,67 \times 10^{-8} W/(m^2K^4)$]

T_S : Plaka yüzey sıcaklığı [$^{\circ}C$]

T_A : Çevre sıcaklığı [$^{\circ}C$]

R: Radyometreden okunan değer [W/m^2]

Hesaplamalarda istenenler,

Ölçümleri yapılacak farklı plakalar için;

1. Farklı sıcaklıklara karşılık gelen yayıcılık değeri hem radyometre değeri kullanılarak hem de Stefan-Boltzmann ifadesi kullanılarak hesaplanacak ve değerler tablosuna işlenecek,
2. Ortalama yayıcılık değeri hesaplanacak ve değerler tablosuna işlenecek,
3. Sıcaklık-yayıcılık grafiği çizilecek,
4. Yorum bölümünde çıkan sonuçlar değerlendirilecektir.

Adı-Soyadı :
Numara :
İmza :

Deneyi Yürüten Öğretim Elemanı :
Deneyin Yapıldığı Tarih :
Grup-Alt Grup :

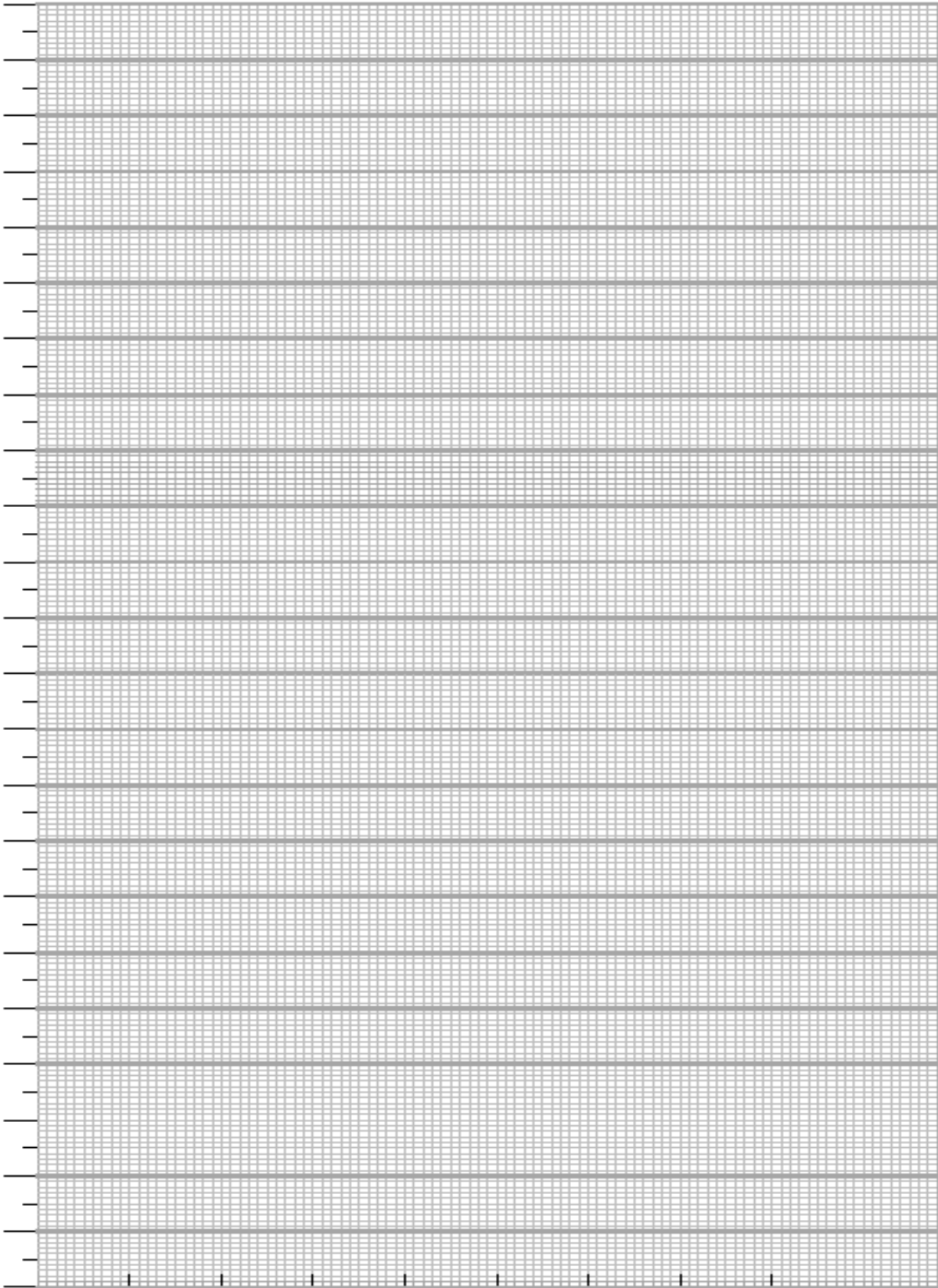
NOT

1. Radyometre değerine göre yayıcılık hesabı:

Stefan-Boltzmann ifadesi kullanılarak yayıcılık hesabı:

Ortalama yayıcılık hesabı:

4. Sıcaklığa bağlı olarak yayıcılık grafiği:





BAHAR DÖNEMİ POMPA DENEYİ

1. DENEY ADI: Pompa Deneyi

2. DENEYİN AMACI: Farklı tiplerdeki pompaların tanıtılması ve karakteristik eğrilerinin çizilmesi

3. TEORİK BİLGİLER VE TANIMLAR

Sıvıya enerji veren makinalar, bir tahrik motorundan alınan mekanik enerjiyi pompa içinden geçen sıvıya aktarırlar. Genel olarak, pompalar sıvıların basıncını ve toplam enerjisini arttırarak, bir yerden diğer bir yere nakil imkânını sağlarlar.

Uygulamada ihtiyaçların özelliklerine göre çeşitli pompa tipleri kullanılmaktadır. Pompalar genel olarak hacimsel pompalar ve santrifüj pompalar olmak üzere iki grupta toplanırlar.

Hacimsel pompalarda enerji, sıvıya, bir hacim içerisinde hareket eden bir yüzey tarafından hacmin daraltılması suretiyle tatbik edilen bir basınç vasıtası ile kesikli olarak devredilir.

Santrifüj pompalarda ise enerji, sıvıya bir eksen etrafında dönen tek veya belirli sayıdaki kanatlarla bir çark tarafından kinetik enerji şeklinde ve sürekli olarak devredilir. Bu kinetik enerji, sıvı çarkı terk ettikten sonra, yayıcı sabit difüzör kanatları veya salyangoz içerisinde basınç enerjisi şekline dönüştürülebilir.

1. Hacimsel pompalar:

- Pistonlu pompalar
- Dişli pompalar
- Paletli pompalar
- Diyaframlı pompalar

2. Santrifüj pompalar:

- Salyangozlu pompalar
- Difüzörlü (kademeli) pompalar
- Derinkuyu pompaları

Bu pompaların haricinde jet veya ejektörlü pompalar, elektromanyetik pompalar ve sıvı kumandalı pompalar adlı özel dizaynı pompalar vardır.

Sistemin karakteristik eğrisinin üzerindeki herhangi iki çalışma noktası arasındaki bağıntı;

$$\frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{Q_1}{Q_2}\right)^2 \quad (1)$$

şeklindedir.

Yani debi yarı yarıya azaldığında sistem direnci 4 kat azalmakta veya debi iki katına çıkarıldığında sistem direnci dört kat artmaktadır. Genel olarak bir pompada devir sayısı ile debi, basma yüksekliği ve güç arasındaki ilişki;

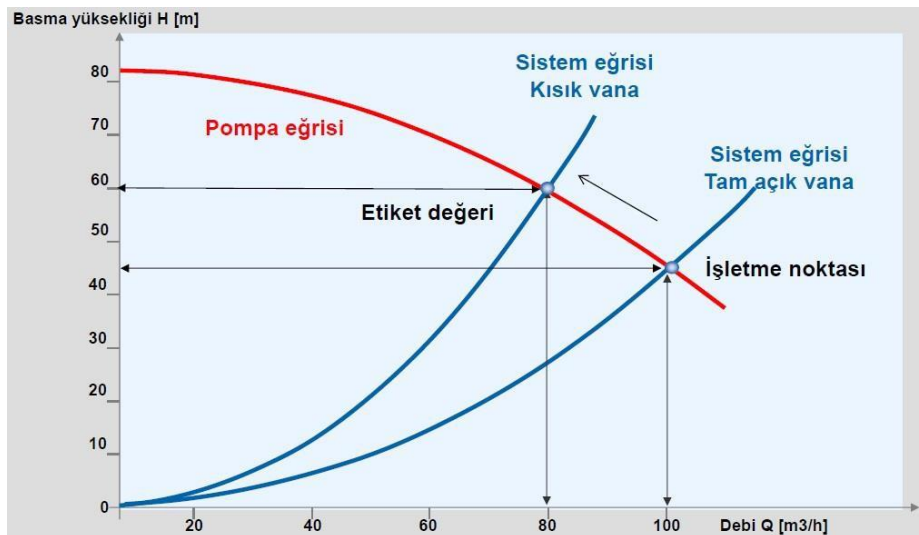
$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{n_1}{n_2} \quad (2)$$

$$\frac{H_1}{H_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^2 \quad (3)$$

$$\frac{P_1}{P_2} = \left(\frac{n_1}{n_2}\right)^3 \quad (4)$$

bağıntıları ile ifade edilmektedir. 2. No.lu bağıntıda görüldüğü üzere pompa debisi, devir hızıyla doğru orantılıdır. 3. No.lu bağıntıda ise pompa basma yüksekliğinin devir hızının karesiyle orantılı olduğu görülürken, 4. no.lu bağıntıda elektrik gücünün devir hızının küpüyle doğru orantılı olduğu görülmektedir. Yani pompa devir sayısında yapılacak bir değişiklik denklemlerde görüldüğü oranlarda debi, basma yüksekliği ve güç üzerinde değişikliklere neden olmaktadır.

4. POMPA KARAKTERİSTİK EĞRİSİ



Şekil 1. Pompa karakteristik eğrisi

Pompaların seçimi üretici firmalar tarafından oluşturulan karakteristik eğriler aracılığı ile tayin edilir. Bu eğri oluşturulurken öncelikle pompa çıkışındaki vana çok az açılarak bu duruma karşılık gelen debi ve basınç okunur. Daha sonra pompa çıkışındaki vananın açıklığı değiştirilerek pek çok ölçüm alınıp ilgili pompa karakteristiği Debi—Basma Yüksekliği için oluşturulur. Verim eğrisi için ise pompanın gücü güç ölçerler ile ölçülür. Bu değerler 5 no.lu bağıntıda yerine konular ve ilgili her ölçüme ait pompa verimi belirlenmiş olur.

$$P = \frac{\rho g Q H_m}{\eta} \quad (\text{W}) \quad (5)$$

Burada,

ρ yoğunluk olup birimi kg/m^3 'dür.

g yerçekimi ivmesi olup birimi m/s^2 'dir.

Q debi olup birimi m^3/s 'dir.

H_m basma yüksekliği olup birimi mSS'dir.

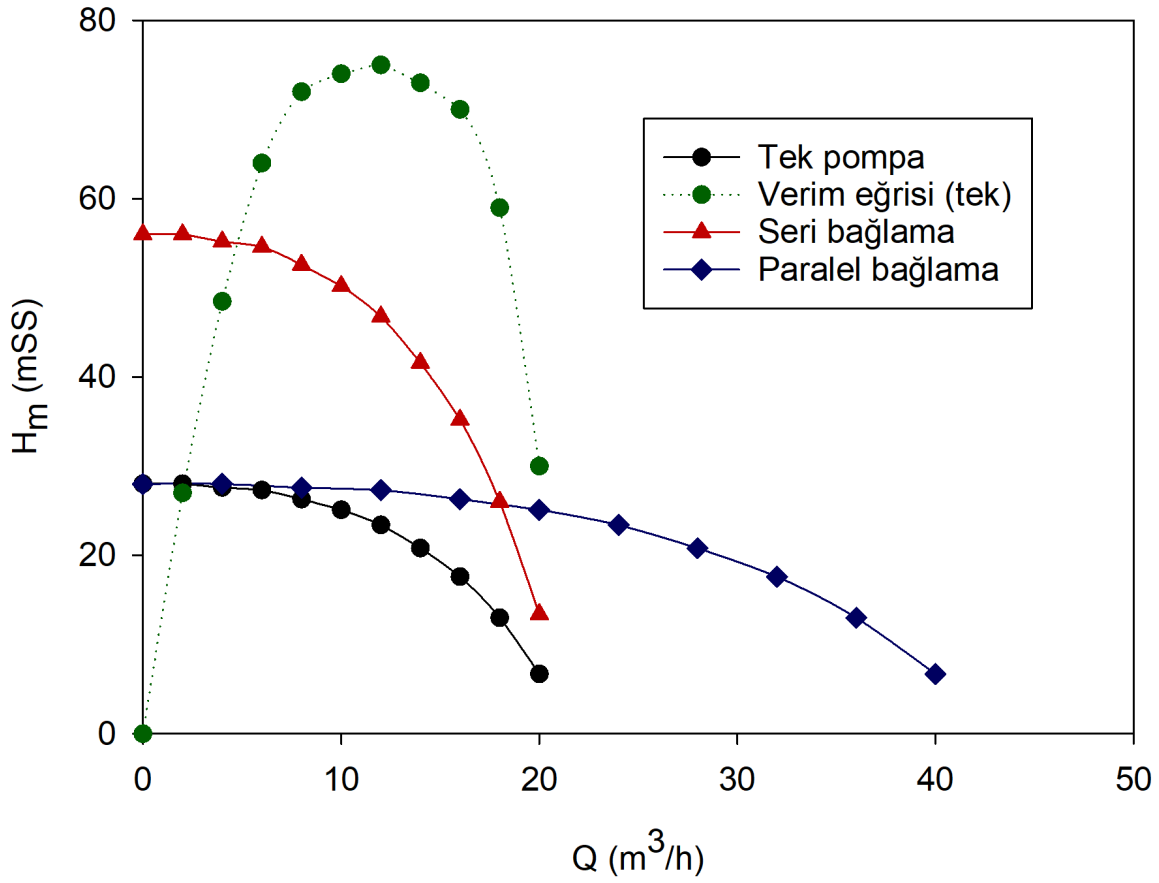
Pompalar çalışma şartlarına bağlı olarak seri ve/veya paralel olarak çalıştırılabilirler. Aynı pompa karakteristiğine sahip iki pompanın seri bağlanması; aynı debi değerinde daha yüksek basma yüksekliği oluşturmak için kullanılır. Pompaların paralel bağlanması ise, aynı basma yüksekliğinde daha yüksek debi elde etmek için kullanılır.

Örnek uygulama;

Tablo 1'de değerleri verilen pompanın karakteristik eğrileri tek pompa, seri bağlı ve paralel bağlı durumlara göre Şekil 2'de görülmektedir.

Tablo 1. Örnek uygulama için pompa karakteristik değerleri

| Q (m^3/h) | H_m (mSS) | η (%) |
|-----------------------------|-------------|------------|
| 0,0 | 28,0 | 0,0 |
| 2,0 | 28,0 | 27,0 |
| 4,0 | 27,6 | 48,5 |
| 6,0 | 27,3 | 64,0 |
| 8,0 | 26,3 | 72,0 |
| 10,0 | 25,1 | 74,0 |
| 12,0 | 23,4 | 75,0 |
| 14,0 | 20,8 | 73,0 |
| 16,0 | 17,6 | 70,0 |
| 18,0 | 13,0 | 59,0 |
| 20,0 | 6,7 | 30,0 |



Şekil 2. Pompa karakteristik eğrileri

5. DENEYİN YAPILIŞI

Yapılacak deney sırasında öncelikle tek pompa için H_m — Q ve η ifadelerine bağlı karakteristik eğriler 4. bölümde anlatıldığı gibi Şekil 3’de görülen taslak üzerine çizilecektir. Debi değerlerinin ölçülmesi amacıyla düzenek üzerinde bulunan bir debi ölçer kullanılacaktır. Basma yüksekliği ise pompa giriş ve çıkışından veri alan bir fark basınç manometresi aracılığıyla ölçülecektir. Verim değerlerini bulmak için ise, düzenek üzerinde bulunan güç ölçer aracılığıyla pompa gücü okunacak ve 5 no.lu bağıntıya göre hesaplanacaktır. Son olarak karakteristik değeri belirlenmiş olan pompanın seri ve paralel bağlanması durumundaki H_m — Q eğrileri 4. bölümde anlatıldığı gibi oluşturulacaktır.

Adı-Soyadı : Deneyi Yürüten Öğretim Elemanı :
Numara : Deneyin Yapıldığı Tarih :
İmza : Grup-Alt Grup :

NOT

Tablo 2. Ölçüm verileri tablosu

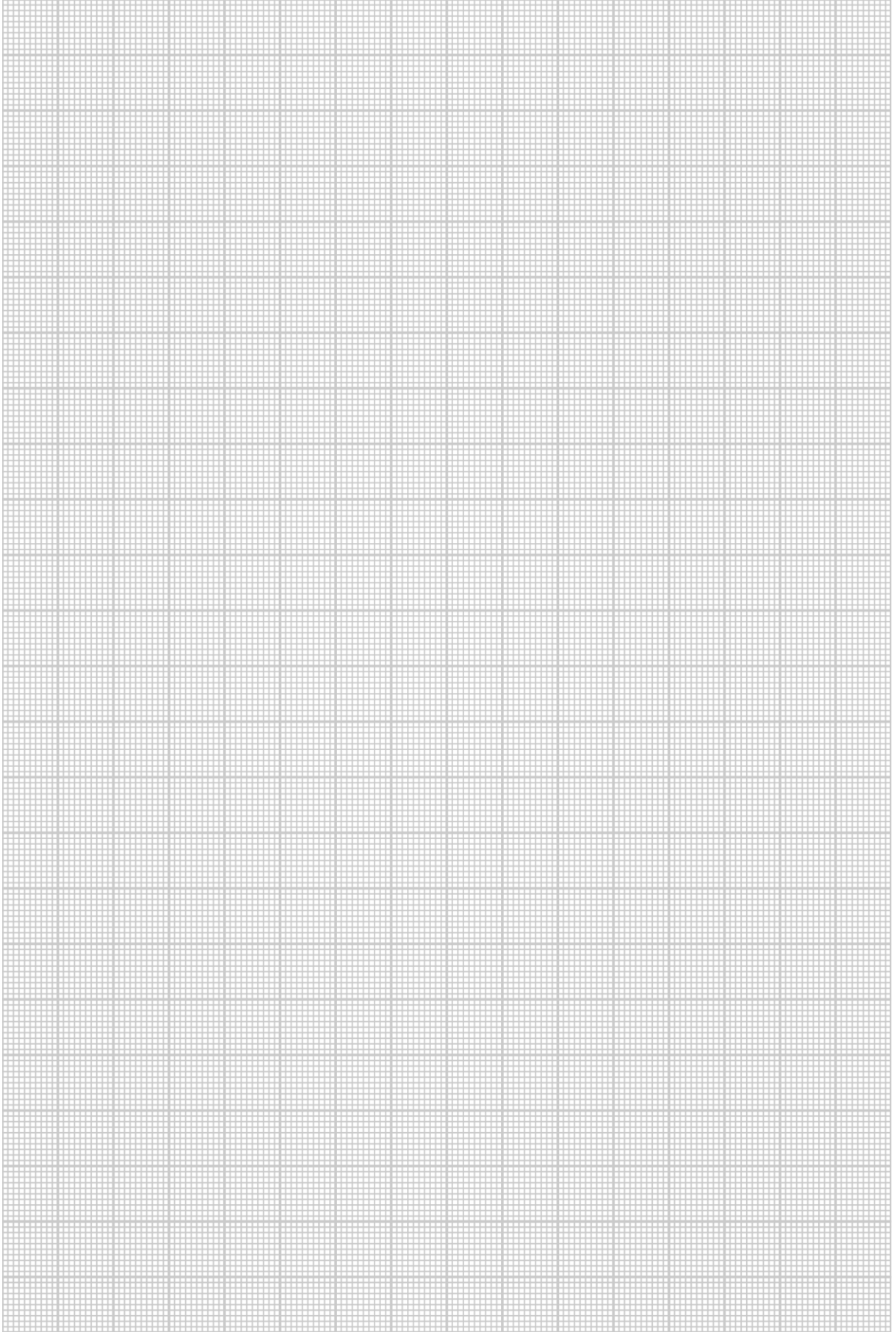
| Ölçüm No | Debi (.....) (Birim) | Basınç Farkı (.....) (Birim) | Güç (.....) (Birim) |
|-------------|----------------------------|------------------------------------|---------------------------|
| 1 | | | |
| 2 | | | |
| 3 | | | |
| 4 | | | |
| 5 | | | |
| 6 | | | |
| 7 | | | |
| 8 | | | |
| 9 | | | |
| 10 | | | |

Tablo 3. Hesap sonuçları

| Ölçüm No | Debi (m³/s) | H_m (mSS) | Verim (.....) (Birim) |
|---------------------|-----------------------------------|--------------------------------|--------------------------------------|
| 1 | | | |
| 2 | | | |
| 3 | | | |
| 4 | | | |
| 5 | | | |
| 6 | | | |
| 7 | | | |
| 8 | | | |
| 9 | | | |
| 10 | | | |

Tablo 4. Hesaplamalar

Lütfen işlemlerinizi bu alana yazınız. (Gerek duyulduğu takdirde Ek A4 kağıdı kullanılabilir.)

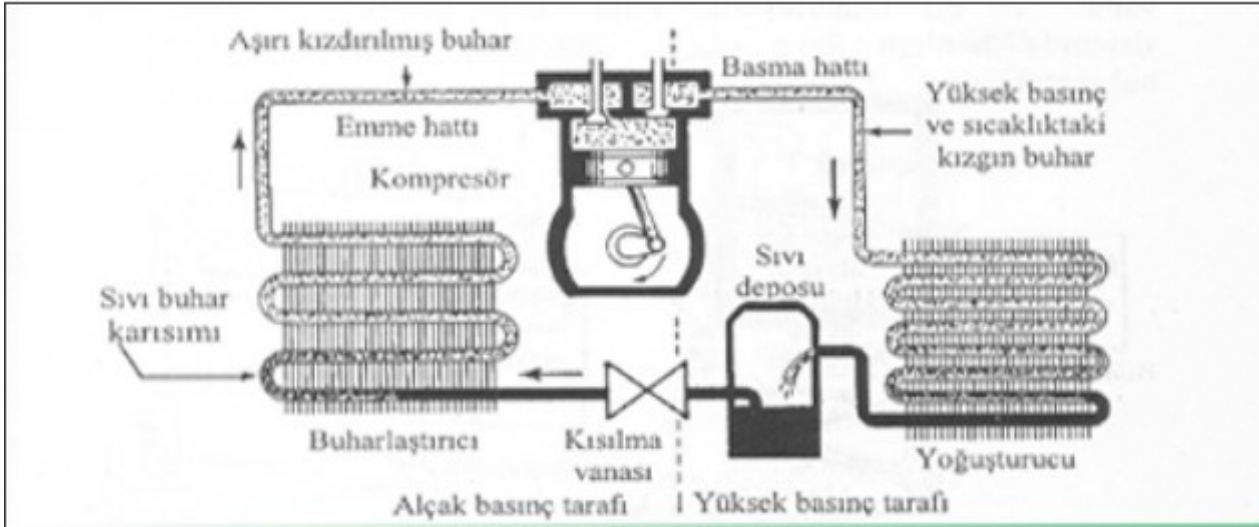


Şekil 3. Basma yüksekliği – debi diyagramı

1.DENEY ADI: Soğutma Tesisatı Arıza Simülasyonu

2.DENEYİN AMACI: Soğutma sisteminde oluşabilecek arızaların tespiti

3.TEORİK BİLGİLER VE TANIMLAR



KOMPRESÖR: Kompresörler, evaporatörde bulunan düşük basınç ve sıcaklıkta ve buhar halindeki soğutucu akışkanı emerek, daha yüksek basınçta kondenser kısmına basan iş elemandır.

KONDENER (YOĞUŞTURUCU):Yüksek basınç ve sıcaklıkta kızgın buhar halindeki soğutucu akışkanın ısını dış ortama atarak doymuş sıvı haline getiren bir ısı değiştiricisidir.

EVAPORATÖR (BUHARLAŞTIRICI): Soğutulmak istenen ortamdan ısının çekilmesini sağlayarak soğutucu akışkanın buharlaşmasını sağlayan elemanlardır.Sistemin alçak basınç hattı üzerindedir.

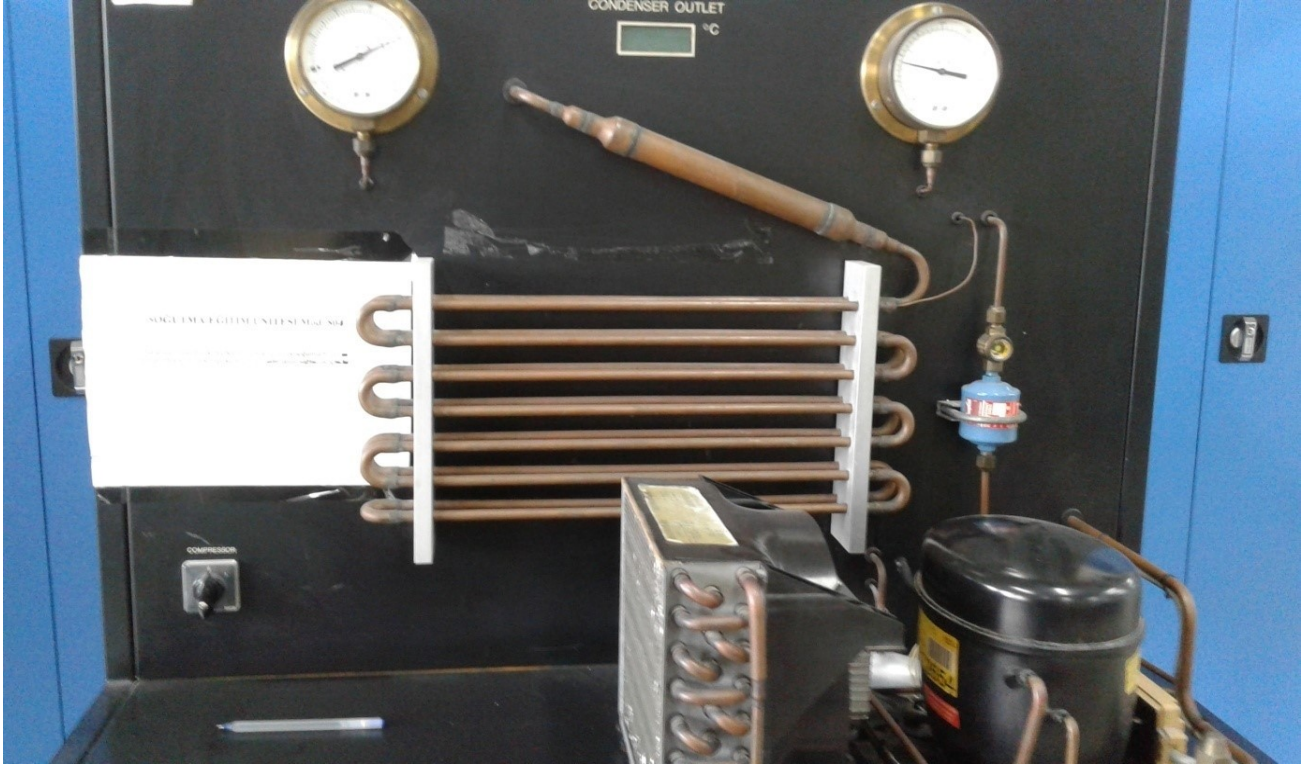
Kurutucu Filtre: Kurutucu (drayer) nun görevi su, asitleri emerek tutmak ve küçük katı maddeleri de (toz vs.) süzmektir.

Gözetleme Camı: Kondenser çıkışına konulur.Akış kontrolü yapar.

Akümülatör: Kompresörden önce konulur, kompresöre sıvı kaçışını engeller.

Manometreler: Soğutmada kullanılan manometreler genellikle yüksek basınç tarafı ve alçak basınç tarafı olarak iki adet kullanılır.

4.DENEYİN YAPILIŞI



DENEY CİHAZI

Cihaz üzerinde 5 tane arıza simülasyonu düğmesi var. Her düğmeye basıldığında oluşabilecek arızalarla ilgili cihaz üzerinde arıza uyarısı verir. Böylece her düğmeye sırasıyla basılarak öğrenciden cihaz üzerindeki gözlemleri sorulur. Ve oluşan problemle ilgili arıza analizi yapılır.

Cihaz üzerinde tesbiti yapılacak arızalar şunlardır:

1. Kompresör kapasitesi yetersiz
2. Kondenser fanı arızası
3. Fazla soğutucu akışkan
4. Eksik soğutucu akışkan
5. Kılcal boru tıkalı



YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

Makine Fakültesi Makine Mühendisliği Bölümü

Termodinamik-4 Deneyi Özel Laboratuvar Föyü Bahar Dönemi

Öğrencinin

Adı Soyadı :
No: :
Grup :
Deney Tarihi :
Deneyi Yapan Öğretim Elemanı :

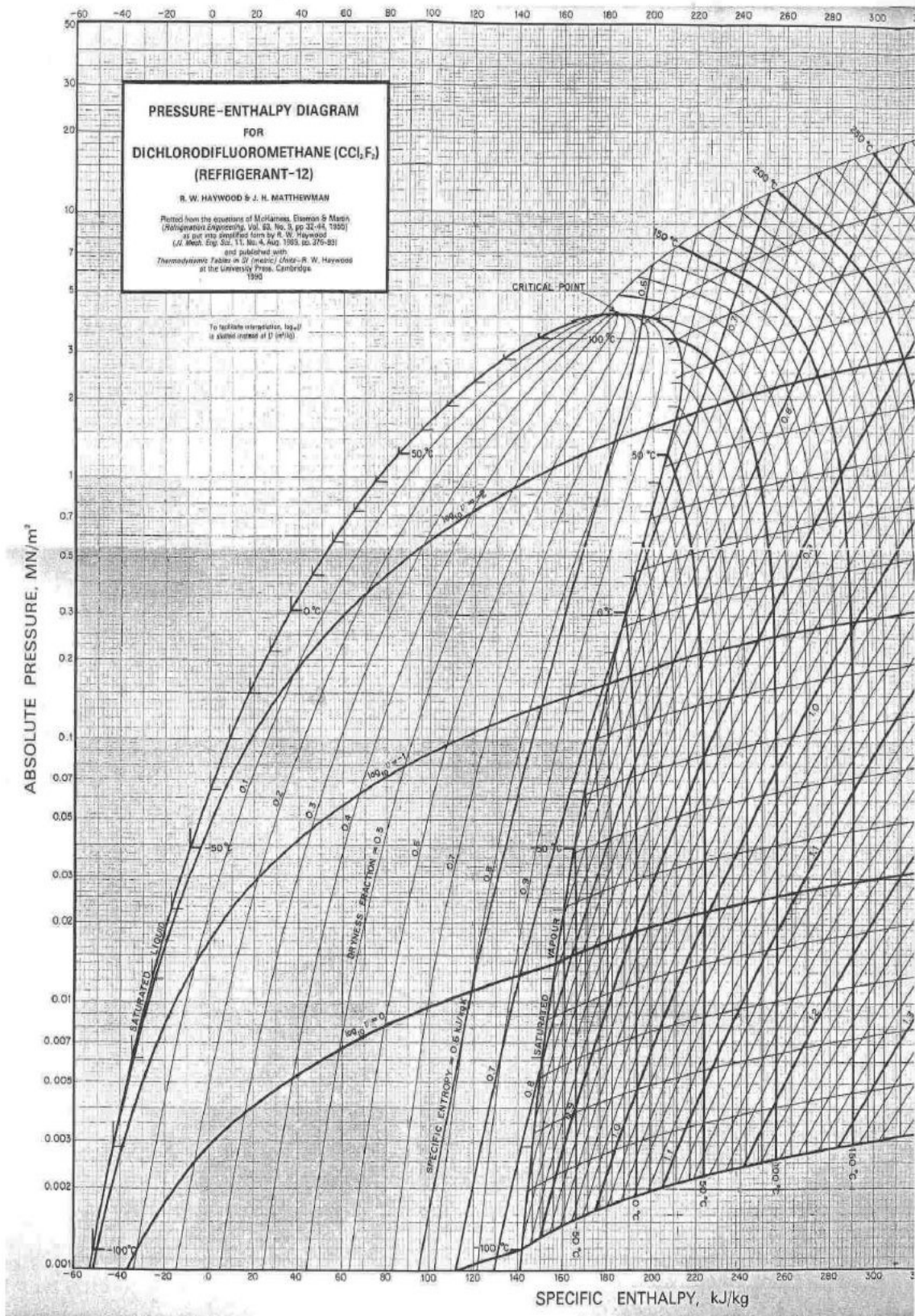
Aşağıda belirtilen soğutma cihazı arızalarının belirtilerini yazınız.

- 1.Kondenser fanı arızası:
- 2.Kompresör kapasitesi yetersiz:
- 3.Kılcal boru tıkalı:
- 4.Eksik soğutucu akışkan:
- 5.Fazla soğutucu akışkan:

PROBLEM: emme basıncı ve basma basıncı ile çalışan bir soğutma cihazında sistemde dolaşan soğutucu akışkan debisi kg/s dir. Buna göre

İstenenler: a) $Q_L = ?$ b) $W_C = ?$ c) $Q_H = ?$ d) $COP = ?$

Pressure-enthalpy diagram for Freon 12



BAHAR DÖNEMİ POMPA DENEYİ

1. **DENEY ADI:** Seri ve Paralel Bağlı Pompaların İncelenmesi

2. **DENEYİN AMACI:** Seri ve Paralel Bağlı Pompaların İncelenmesi ve Karakteristik Eğrilerin Oluşturulması

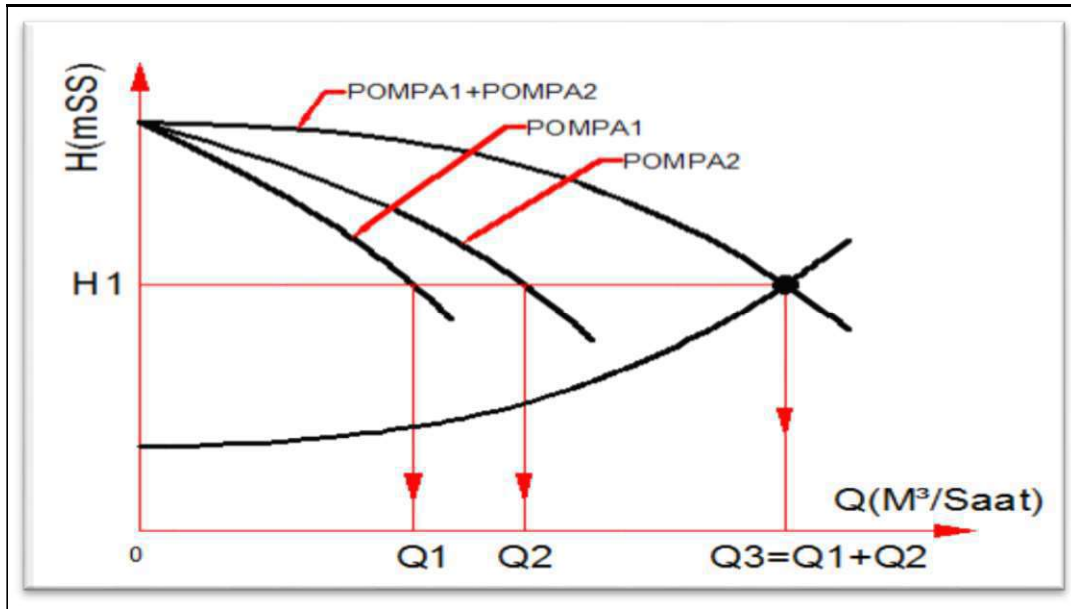
3. TEORİK BİLGİLER VE TANIMLAR

Paralel Bağlı Pompalar

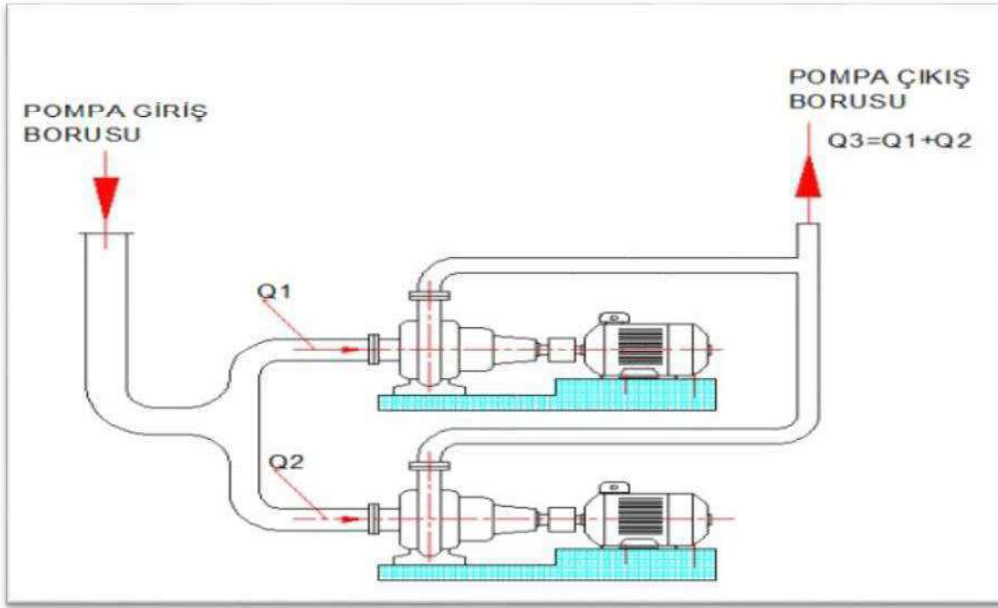
Pompaların paralel bağlanması; sistemin ihtiyaç duyduğu pompa debisinin sağlanması ve kademeli ayar istenen hallerde toplam debiyi arttırmak için uygulanan yöntemdir. İkinci pompanın birinciye paralel bağlanması durumunda çıkışta pompa kapasitelerinin toplamı kadar bir kapasite elde edilmesi mümkündür (Şekil 1).

Şekil 1’de farklı pompa karakteristik eğrileri gösterilmiştir. İlgili şekilde H basma yüksekliğinde Pompa1 kapasitesi Q_1 ve yine aynı H basma yüksekliğinde Pompa2 kapasitesi Q_2 ise her iki pompadan yine H basma yüksekliğinde Q_1+Q_2 kapasitesi elde edilir. Aynı boru hattında paralel çalışan pompaların “manometrik yükseklikleri eşittir”.

Paralel bağlı pompaların boru bağlantı şekilleri Şekil 2’de verilmiştir.



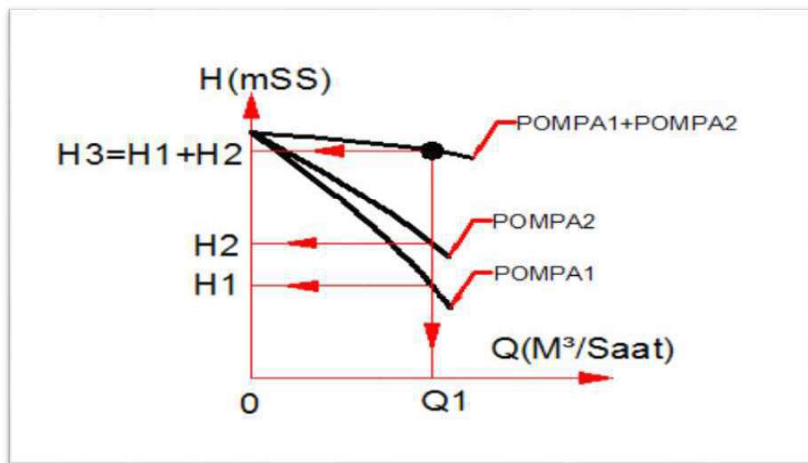
Şekil 1. Paralel Bağlı Pompalar (Debi-Basma Yüksekliği)



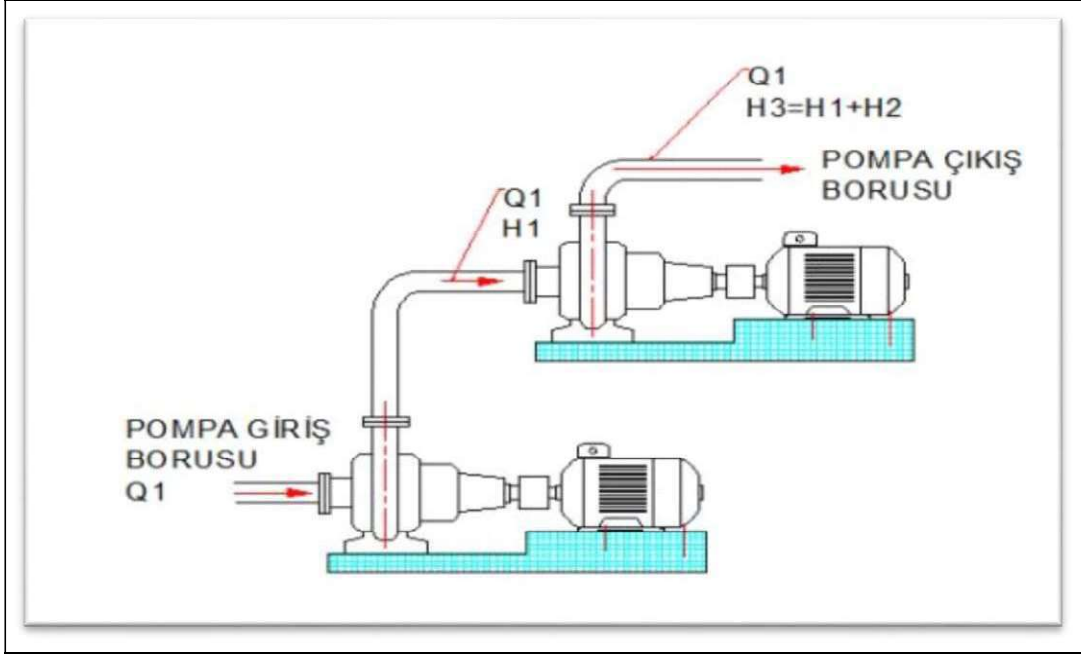
Şekil 2. Paralel Bağlı Pompaların Boru Bağlantıları

Seri Bağlı Pompalar

Pompaların seri çalıştırılması; tesisattaki basıncın yetersiz olduğu hallerde basıncı arttırmak için uygulanan bir yöntemdir. Pompalar birbirine seri (birinin çıkışı diğerinin girişine) bağlanarak her iki pompanın basma yüksekliklerinin toplamı kadar basma yüksekliği elde edilir. Seri bağlı pompalarda debi en düşük kapasiteye sahip pompanın kapasitesi kadar olur. Bu nedenle verimlilik açısından paralel bağlı pompalardaki gibi aynı büyüklükteki pompalar birbirine seri bağlanır. Şekil 3'de farklı pompa karakteristik eğrileri gösterilmiştir. Seri bağlı pompaların borulaması ise Şekil 4'de verilmiştir.



Şekil 3. Seri Bağlı Pompalar (Debi-Basma Yüksekliği)



Şekil 4. Seri Bağlı Pompaların Boru Bağlantıları

Adı-Soyadı :
Numara :
İmza :

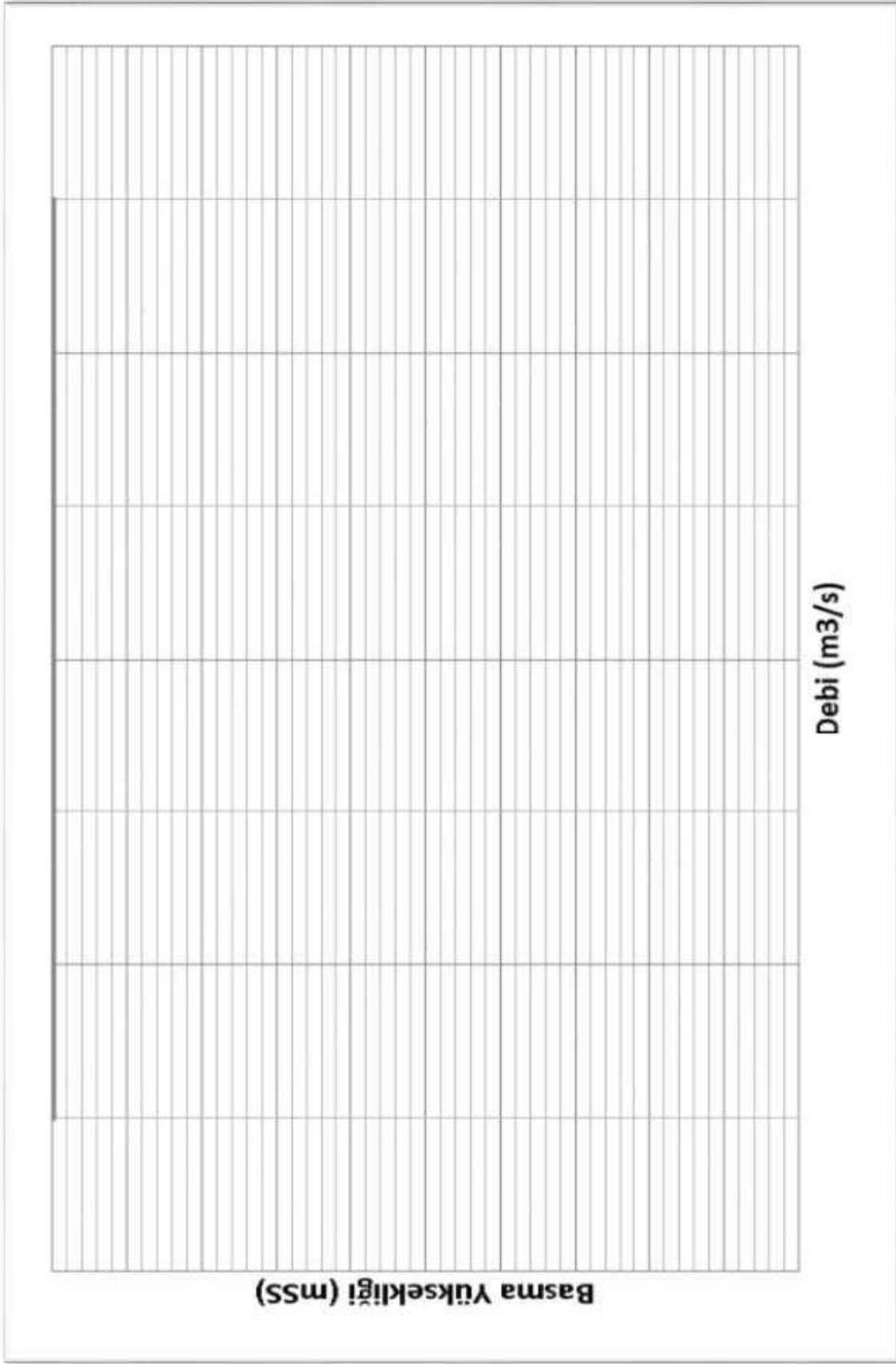
Deneyi Yürüten Öğretim Elemanı :
Deneyin Yapıldığı Tarih :
Grup-Alt Grup :

NOT

4. DENEYİN YAPILIŞI

Hesaplamalarda istenenler,

1. Test düzeneğinde yer alan vanalar uygun şekilde konumlandırılarak:
 - a. Tek pompa
 - b. Seri bağlı pompa
 - c. Paralel bağlı pompaiçin ölçümleri yaparak karakteristik eğriler çıkartınız.
2. Elde edilen üç karakteristik eğriyi karşılaştırınız.



Şekil 5. Karakteristik eğriler

Tablo 1. Hesaplamalar

Lütfen işlemlerinizi bu alana yazınız. (Gerek duyulduğu takdirde Ek A4 kağıdı kullanılabilir.)



BAHAR DÖNEMİ KOMPRESÖRLER 1 DENEYİ

1. DENEY ADI: Kompresörler 1 Deneyi

2. DENEYİN AMACI: Kompresörler hakkında genel bilgi ve seri bağlı bir pistonlu kompresörün karakteristiğinin incelenmesi

3. TEORİK BİLGİLER VE TANIMLAR

Kompresör

Endüstriyel uygulamalardaki basınçlı hava veya gaz ihtiyacını karşılamak için, belirli bir giriş basıncında aldığı havayı belirli bir deşarj basıncına kadar sıkıştıran enerji dönüşüm makinalarına **kompresör** denir. Kompresörler enerji üretmezler enerji tüketerek enerjiyi daha faydalı bir forma dönüştürürler. Endüstride genellikle hareketini elektrik motorundan alırlar.

Gazların basıncını artıran makinalar üç farklı ismi vardır. Bu tipler makinaların sağladıkları basınç değerine göre isimlendirilirler. Gaz basıncını mutlak olarak yaklaşık 0,07 bar değerine sıkıştırabilen makinalara “**fan**” denir. Mutlak basıncı 0,07 bar ile 3 bar arasına ulaştırabilen makinalara “**blower**”, 3 bar’ın üzerinde mutlak basınç sağlayan makinalara da “**kompresör**” adı verilir.

Basınçlı Havanın Kullanım Alanları

1) Enerji Endüstrisi:

- Gaz türbinlerinde yakma ve soğutma havası olarak kullanım
- Reaktörlerde yakıt çubuklarının itme ve çekme sistemleri
- Buhar ve soğutucu akışkan hatlarında uzaktan kumandalı valfler ve kapaklar
- Kazan dairelerinde havalandırma sistemleri

2) Madencilik

- Kaya deliciler ve taşıma sistemleri
- Yükleme makinaları ve boşaltma araçları
- Pnömatik kazıcı ve oyucular
- Havalandırma sistemleri

3) Kimya Endüstrisi

- Oksitleme prosesleri için ham madde
- Proses kontrol uygulamaları
- İşlem hatlarındaki uzaktan kumandalı valf ve sürgülü kapaklar

4) Yapı Sektöründe

- Delme ve yıkma araçları
- Beton sıkıştırıcıları
- Tuğla ve briket fabrikaları
- Beton ve harç taşıma sistemleri

5) Sağlık Sektörü

- Dişçilerin kullandığı oyucularda
- Nefes alma sistemleri için hava sağlama
- Anestezik gazların uzaklaştırılmasında

6) Tesisat İşleri

- Zimba ve çivi tabancaları
- Boya püskürtme tabancaları
- Pnömatik matkap ve tornavidalar

7) Ağaç İşleme Endüstrisi

- Matkap besleme sistemleri
- Çerçeve, tutkal, kaplama presleri
- Ahşapları bağlama ve taşıma sistemleri
- İş alanlarından talaş ve ahşap atıklarının uzaklaştırılması
- Otomatik çivileme sistemleri

8) Çelik Tesisleri ve Dökümhaneler

- Çelik üretiminde karbonun indirgenmesi
- Şok sıkıştırma makinaları
- Yarı bitmiş ürünlerin bağlanması
- Sıcak aletler ve sistemler için soğutucu

Basınçlı Hava Kullanımının Avantajları

- Kolayca taşınabilme
- Depolanabilme kolaylığı
- Temiz ve Kuru olması
- Hafiflik
- Kullanım emniyeti

- İş kazası azlığı
- Ekonomiklik
- Basitlik
- Aşırı yükleme
- Hızlı iş ortamı
- Tam olarak ayarlanabilme

Kompresör Çesitleri

Pistonlu Kompresörler

- En eski kompresör tipidir. V tipi pistonlu kompresörler en yaygın kullanılan tiptir.
- Çok çeşitli tipte, tek veya çift etkili ve çok basamaklı olarak imal edilebilirler.
- Pistonlu kompresörler bir krank mili aracılığı ile pistonun ileri-geri hareket etmesiyle çalışırlar. Gerekli krank hareketini genellikle bir elektrik motorundan alırlar.
- İleri ve geri hareket sırasında uygun supap senkronizasyonu ile emme ve sıkıştırma prosesleri gerçekleştirilir.
- Pistonun geri hareketi ile açılan emme supabından emilen hava, ileri hareket sırasında sıkıştırılır ve uygun basınç değerine ulaşıncaya açılan egzoz supabından deşarj edilir.
- Pistonlu kompresörler kısa süreli veya kesintili çalışma durumlarındaki küçük hacimli işlerde uygundur. Örneğin, oto lastik tamircileri gibi.

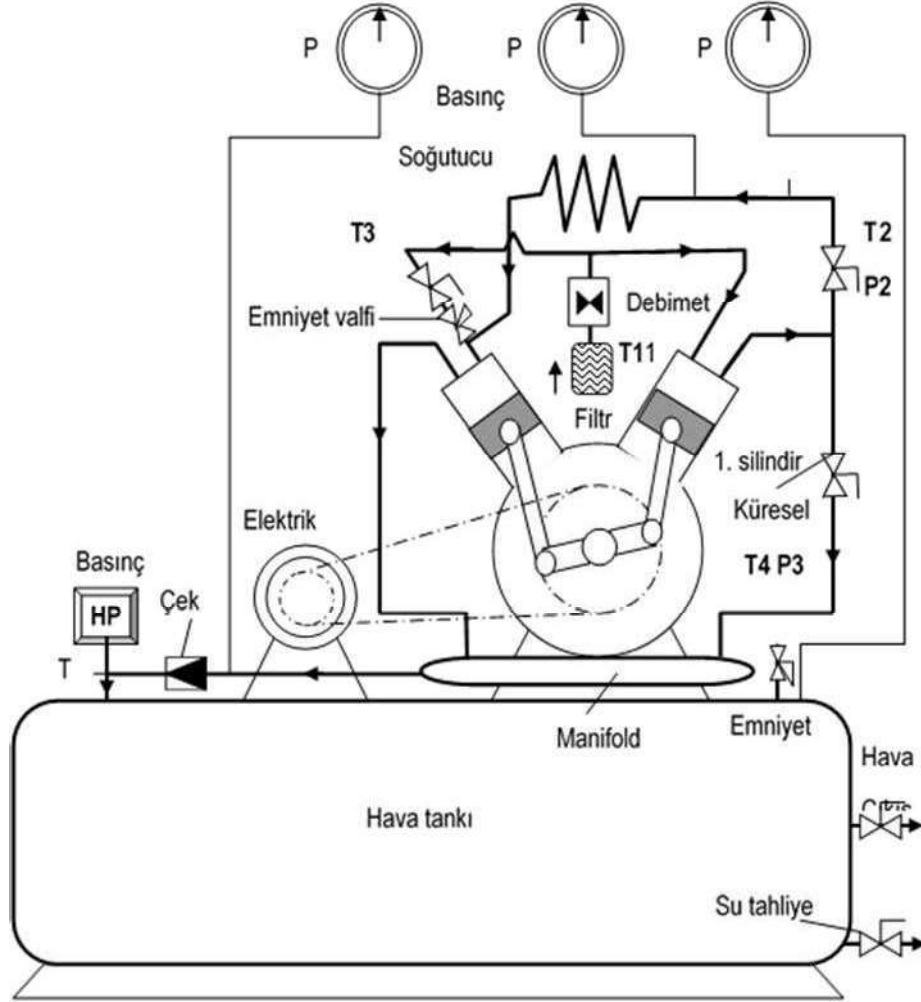
Avantajları

- Düşük enerji tüketimi vardır.
- Yüksek basınçlar elde edilebilir.
- Kapasiteler kolayca ayarlanabilir.
- Küçük ve taşınabilmektedirler.
- Tüm teknik gazlarla çalışabilirler.
- 40 Bar basınca kadar ekonomiktirler.
- Kontrolleri kolaydır.

Dezavantajları

- Düşük debiler sağlanabilir.
- Dalgalı kuvvetler oluşur.
- Yüksek son sıcaklıklar.
- Yüksek bakım maliyeti.
- Gürültülü çalışma.
- Büyük çıkış basınçları için nispeten pahalı.

4. KOMPRESÖR DENEY TESİSATI



Şekil 1. Kompresör deney setinin şematik gösterimi

Tablo 1. Deney Setinin Teknik Özellikleri

| | | | |
|-------------------------------|-----------------|-----------------------------------|------------------|
| Elektrik motor gücü | 2 BG | Ağırlık | 197,5 kg |
| Motor devir sayısı | 1400 d/d | Piston deplasmanı | 190 (lt/d) |
| Kompresör devir sayısı | 825 d/d | Silindir Adedi | 2 |
| Kasnak çapları | Φ400 mm/Φ200 mm | Silindir Çapı | Φ70/40 mm |
| Tank hacmi | 200 litre | Strok | 60 mm |
| Test basıncı | 24 bar | Cihazın dış ölçüleri AxBxH | 1500x750x1350 mm |
| Çalışma basıncı | 15 bar | | |

5. DENEYİN YAPILIŞI

Hesaplamalarda istenenler,

- 1.** Kompresör çeşitlerini kısaca açıklayınız, temel farklılıklarını belirtiniz.
- 2.** Seri bağlı pistonlu kompresörde hacimsel verim, toplam verim ve sıkıştırma oranlarını hesaplayınız, gerekli grafikleri çizerek sonuçları yorumlayınız.
- 3.** Ara soğutma yükünü hesaplayınız.

Adı-Soyadı :
Numara :
İmza :

Deneyi Yürüten Öğretim Elemanı :
Deneyin Yapıldığı Tarih :
Grup-Alt Grup :

NOT

Tablo 2. Deneyde ölçülecek özellikler

| Ölçülen özellik/ölçüm sayısı | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|------------------------------|---|---|---|---|---|
| P ₁ [mmHg] | | | | | |
| P ₂ [bar] | | | | | |
| P ₃ [bar] | | | | | |
| P ₄ [bar] | | | | | |
| T ₁ [°C] | | | | | |
| T ₂ [°C] | | | | | |
| T ₃ [°C] | | | | | |
| T ₄ [°C] | | | | | |
| T ₅ [°C] | | | | | |
| Hava debisi [L/d] | | | | | |
| N (Devir Sayısı) | | | | | |
| Cos α | | | | | |
| Akım (I) | | | | | |
| Voltaj (V) | | | | | |

Tablo 3. Hesaplamalar

Lütfen işlemlerinizi bu alana yazınız. (Gerek duyulduğu takdirde Ek A4 kağıdı kullanılabilir.)

Lütfen işlemlerinizi bu alana yazınız. (Gerek duyulduğu takdirde Ek A4 kağıdı kullanılabilir.)

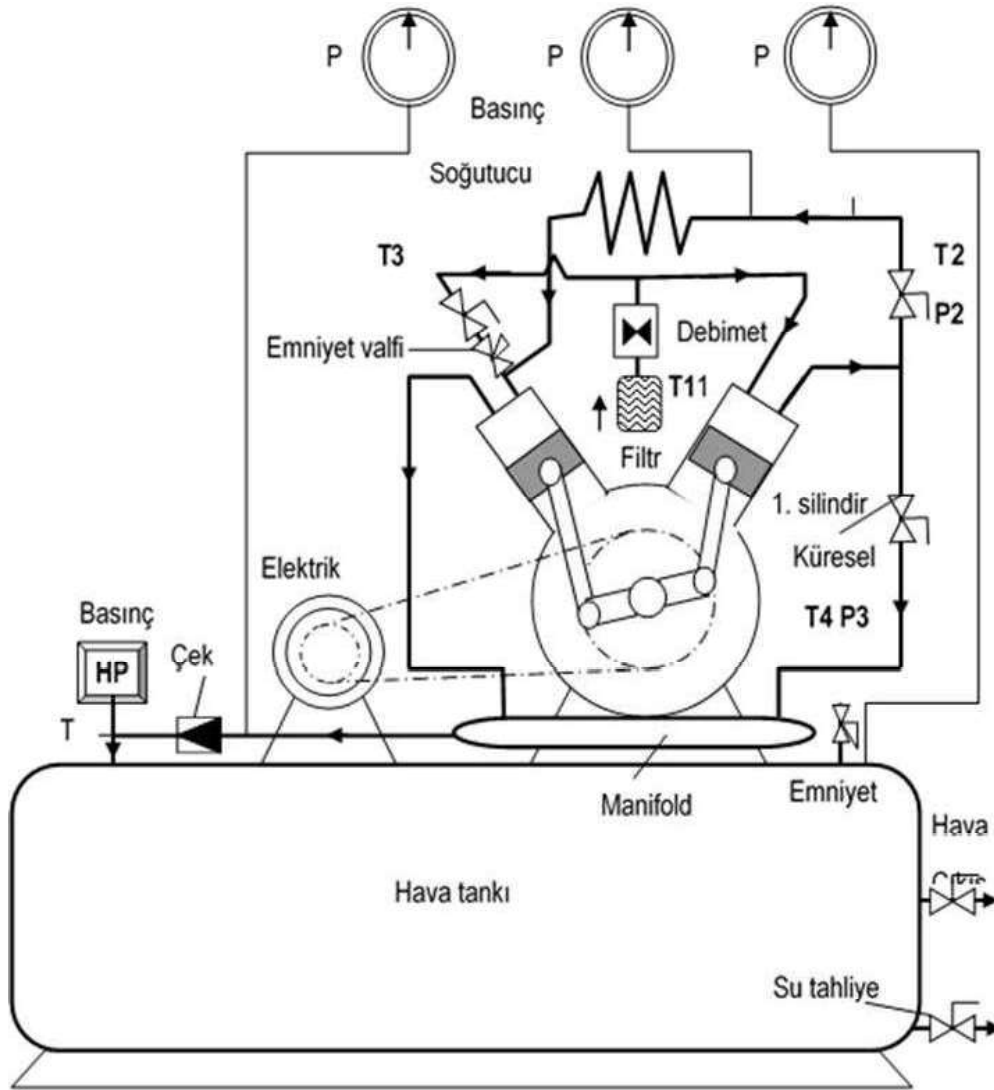
BAHAR DÖNEMİ KOMPRESÖRLER 2 DENEYİ

1. **DENEY ADI:** Paralel Bağlı Pistonlu Kompresör

2. **DENEYİN AMACI:** Paralel bağlı bir pistonlu kompresörün karakteristiğinin incelenmesi

3. **TEORİK BİLGİLER VE TANIMLAR:** Teorik içerik kompresörler 1 deneyi ile aynıdır.

4. KOMPRESÖR DENEY TESİSATI



Şekil 1. Kompresör deney setinin şematik gösterimi

Tablo 1. Deney Setinin Teknik Özellikleri

| | | | |
|-------------------------------|-----------------|-----------------------------------|------------------|
| Elektrik motor gücü | 2 BG | Ağırlık | 197,5 kg |
| Motor devir sayısı | 1400 d/d | Piston deplasmanı | 190 (lt/d) |
| Kompresör devir sayısı | 825 d/d | Silindir Adedi | 2 |
| Kasnak çapları | Φ400 mm/Φ200 mm | Silindir Çapı | Φ70/40 mm |
| Tank hacmi | 200 litre | Strok | 60 mm |
| Test basıncı | 24 bar | Cihazın dış ölçüleri AxBxH | 1500x750x1350 mm |
| Çalışma basıncı | 15 bar | | |

5. DENEYİN YAPILIŞI

Hesaplamalarda istenenler,

Paralel bağlı pistonlu kompresörde hacimsel verim, toplam verim ve sıkıştırma oranlarını hesaplayınız, gerekli grafikleri çizerek sonuçları yorumlayınız.

Adı-Soyadı :
Numara :
İmza :

Deneyi Yürüten Öğretim Elemanı :
Deneyin Yapıldığı Tarih :
Grup-Alt Grup :

NOT

Tablo 2. Deneyde ölçülecek özellikler

| Ölçülen özellik/ölçüm sayısı | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|------------------------------|---|---|---|---|---|
| P ₁ [mmHg] | | | | | |
| P ₂ [bar] | | | | | |
| P ₃ [bar] | | | | | |
| P ₄ [bar] | | | | | |
| T ₁ [°C] | | | | | |
| T ₂ [°C] | | | | | |
| T ₃ [°C] | | | | | |
| T ₄ [°C] | | | | | |
| T ₅ [°C] | | | | | |
| Hava debisi [L/d] | | | | | |
| N (Devir Sayısı) | | | | | |
| Cos α | | | | | |
| Akım (I) | | | | | |
| Voltaj (V) | | | | | |

Tablo 3. Hesaplamalar

Lütfen işlemlerinizi bu alana yazınız. (Gerek duyulduğu takdirde Ek A4 kağıdı kullanılabilir.)

Lütfen işlemlerinizi bu alana yazınız. (Gerek duyulduğu takdirde Ek A4 kağıdı kullanılabilir.)



BAHAR DÖNEMİ FAN DENEYİ

1. **DENEY ADI:** Fanların İncelenmesi

2. **DENEYİN AMACI:** Radyal Vantilatörlerin İncelenmesi

3. TEORİK BİLGİLER VE TANIMLAR

Fanlar

Fanlar pompalar gibi, fakat pompalardan farklı olarak sıvı yerine havanın veya gazın basınçlandırılarak aktarılmasını sağlayan ekipmanlardır. Fanlar havayı en fazla 60-70 milibar seviyesinde basınçlandırabilir, havanın hem emilmesi hem basılması işlerinde kullanılabilir. Fanların kullandığı enerji esas olarak aşağıdaki iki unsurun toplamını yenmek için gerekmektedir.

1. Hava veya gazın içinden geçeceği kanal, dirsek, filtre, eşanjör gibi ekipmanlarda uğrayacağı basınç kayıplarının toplamını yenebilecek statik basınç (H_s)
2. Hava veya gazın tüm yollardan ve işlemlerden geçtikten sonra aktarılacağı ortamda yayılması için ihtiyaç duyacağı hız basıncı (H_v)

Fanın yaptığı iş yukarıda belirtilen basınçlar için gereken toplam fark basınç ile aktardığı havanın hacminin çarpımına eşittir.

$$\text{Yani } W = V \cdot \Delta p \quad (1)$$

Burada V = aktarılan havanın hacmi

$$\Delta p = H_s + H_v = \text{toplam fark basınç} \quad (2)$$

Radyal Fanlar

Bu fanlarda da pompalardaki gibi döner bir çark ve o çarkın içinde bulunduğu helezonik bir yuva bulunmaktadır. Hava veya gaz eksene paralel olarak merkezden girer, basınçlandırılarak çark çevresine teğet olarak kanallara aktarılırlar. Bu fanlar daha çok endüstriyel tesislerdeki toz toplama sistemlerinde ve soğutma sistemlerinde kullanılan en temel ekipmanlardır.

Fan Kanunları

Dinamik olarak benzer olan fanlar için, karakteristik değişkenler arasındaki ilişkileri veren denklemler, fan kanunları olarak adlandırılırlar.

1. **Kanun:** Benzer fanların debi oranları, devir oranlarına eşittir.

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{n_1}{n_2}$$

2. **Kanun:** Benzer fanların basınç oranları, devir oranlarının karesine eşittir.

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{(n_1)^2}{(n_2)^2}$$

3. **Kanun:** Benzer fanların güç oranları, devir oranlarının küpü ile doğru orantılıdır.

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{(n_1)^3}{(n_2)^3}$$

Örnek : Debisi 10300 m³/h, statik basıncı 25 mmSS, devir sayısı 1687 d/dk ve gücü 3.08 BG olan bir fanın yeni debisi 15000 m³/h çıkartılırsa yeni karakteristikleri ne olur?

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{n_1}{n_2} \quad \frac{10300}{15000} = \frac{1687}{n_2}$$

$$n_2 = 1687 \cdot \frac{15000}{10300} \quad n_2 = 2457 \text{ d / dk}$$

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{(n_1)^2}{(n_2)^2} \quad \frac{25}{P_2} = \left(\frac{1687}{2457} \right)^2$$

$$P_2 = 25 \cdot \left(\frac{2457}{1687} \right)^2 \quad P_2 = 53 \text{ mmSS}$$

$$\frac{N_1}{N_2} = \frac{(n_1)^3}{(n_2)^3} \quad \frac{3,08}{N_2} = \left(\frac{1687}{2457} \right)^3$$

$$N_2 = 3,08 \cdot \left(\frac{2457}{1687} \right)^3 \quad N_2 = 9,51 \text{ BG} \quad \text{bulunur.}$$

Fan Seçiminde Kullanılan Gerekli Parametreler

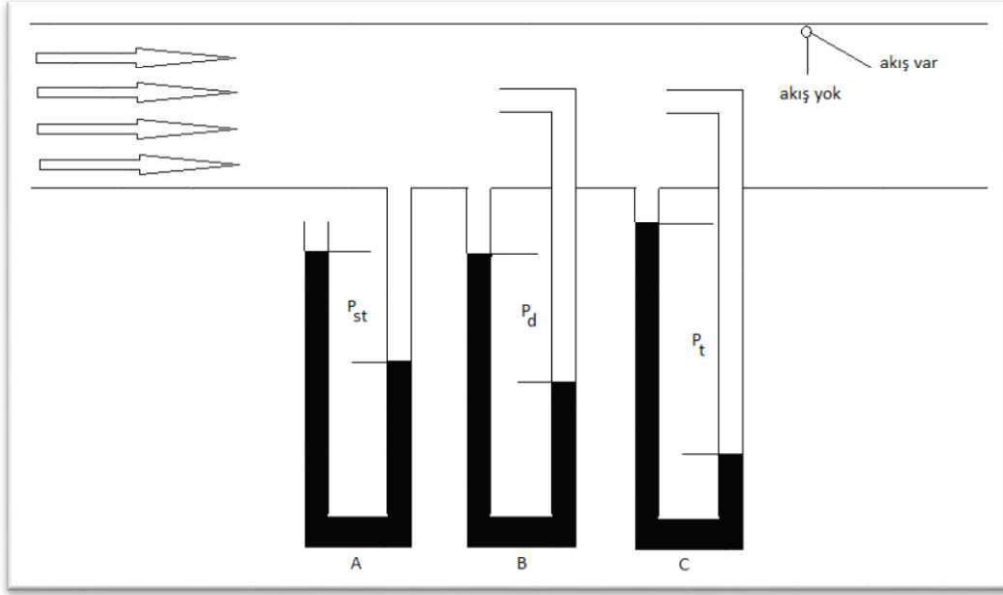
Mutlak Basınç

Mutlak basınç iki bileşenden oluşur. Bunlar atmosferik basınç ve etkin (efektif) basınçtır.

$$P = P_{atm} + Pe$$

Atmosferik basınç (P_{atm}), söz konusu yerin üzerindeki atmosfer kalınlığındaki hava tabakası ağırlığı tarafından oluşturulur (1 Atm=101,325 kPa). Etkin basınç ise, zaten atmosferik basınç etkisinde olan akışkana, bir başka dış kuvvet uygulanarak oluşturulur.

Bir U borulu manometrenin, içinden geçen gaz akışı olan bir kanala bağlanmış şekline göre, kanalda hüküm süren üç değişik basınç okunabilir.



Şekil 1. Statik, dinamik ve toplam basıncın ölçülmesi

İçinde akış olan bir kanaldaki statik, dinamik ve toplam basınç:

$$P_t = P_{st} + P_d \quad P_d = \rho_h \cdot \frac{V^2}{2} \quad (\text{Pascal})$$

P_t = Toplam basınç

P_{st} = Statik basınç

P_d = Dinamik basınç

ρ_h = Havanın yoğunluğu ($1,2 \text{ kg/m}^3$)

V = Havanın hızı (m/s)

Basma Yüksekliği

Bazen basınçların Pa (Pascal) birimi yerine mmSS (milimetre su sütunu) birimi ile verilmesi tercih edilir. Bu durumda, herhangi bir sistemin iki noktası (1 ve 2) arasındaki basınç farkına karşı gelen yüksekliğe basma yüksekliği denir.

$$\frac{\rho_{su} \cdot g \cdot H}{1000} = \Delta P_{st} + \Delta P_d + \Delta P_z \quad (\text{Pa})$$

H = Basma yüksekliği (mmSS)

ρ_{su} = Suyun yoğunluğu ($998,3 \text{ kg/m}^3$)

g = Yerçekimi ivmesi ($9,81 \text{ m/s}^2$)

Fan Gücü ve Verimi

Bir fanın teorik gücü aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır. Hava kaçakları, mil sürtünmesi kayıpları ve akış sürtünmesi dirençleri nedeniyle bir güç kaybı olur ve fan verimi terimi ortaya çıkar.

$$N = Q \cdot \Delta P_t \quad (kW)$$

Q = Havanın hacimsel debisi (m³/s)

ΔP_t = Fanın girişi ve çıkışı arasındaki toplam basınç farkı (Pa)

Debi

Debi, birim zamanda geçen hava miktarıdır.

$$Q = V \cdot A \quad (m^3 / s)$$

V= Hız (m/s)

A= Kesit alanı (m²)

Radyal Fanlarda Verim

Tablo 1. Verim hesabı

| Ölçülen özellik | Örnek |
|--|-------|
| Şebeke gerilimi [Volt] | 225 |
| Fan akımı [Amper] | 1,31 |
| Güç katsayısı, Cos Φ | 0,85 |
| Elektriksel güç girişi, $P_e=U \cdot I \cdot \cos\Phi$ | 250 |
| Basma yüksekliği, $P_3 - P_2$ [mmSS] | 31 |
| Hız, u [m/s] | 20,55 |
| Debi [m ³ /s] ($\dot{V} = 0,021 \cdot u$) | 0,417 |

$$\eta_g = \frac{P_f}{P_e} = \frac{\dot{V} \rho g \Delta P}{U I \cos\phi} = \frac{0,417 \times 1,2 \times 9,81 \times 31}{225 \times 1,31 \times 0,85} = 0,60 \text{ (%60)}$$

Radyal Fanlarda Özgül Fan Gücü

Tablo 2. Özgül fan gücü hesabı

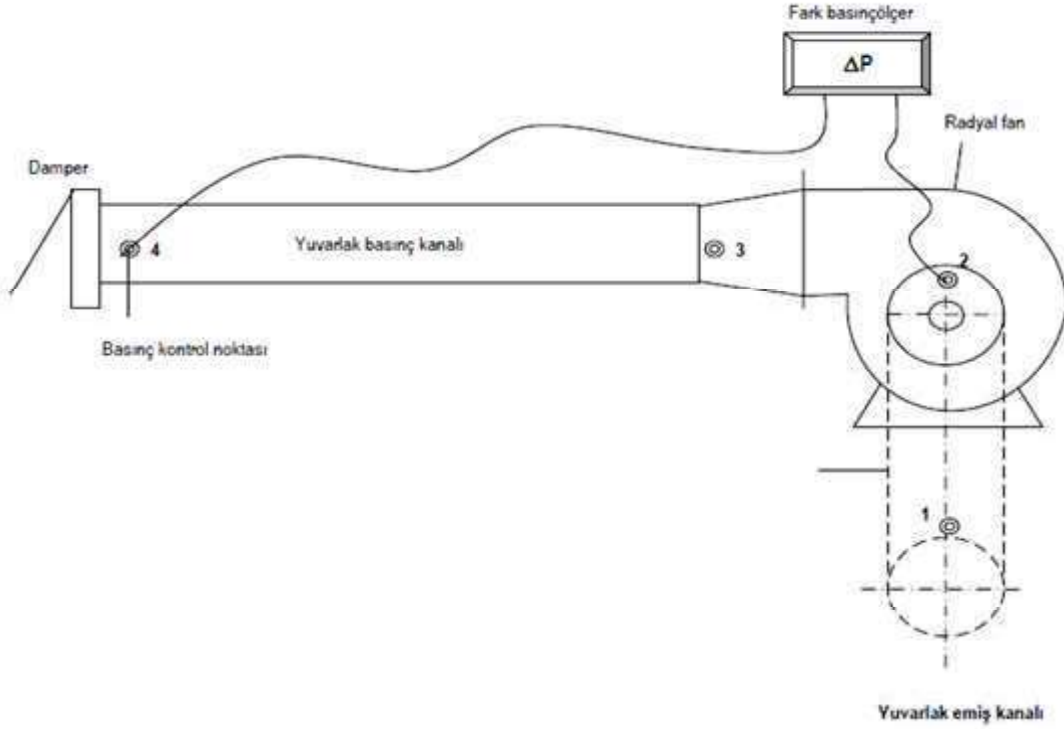
| Ölçülen özellik | Örnek |
|--|-------|
| Şebeke gerilimi [Volt] | 225 |
| Fan akımı [Amper] | 1,31 |
| Güç katsayısı, Cos Φ | 0,85 |
| Elektriksel güç girişi, $P_e=U \cdot I \cdot \cos\Phi$ | 250 |
| Basma yüksekliği, $P_3 - P_2$ [mmSS] | 31 |
| Hız, u [m/s] | 20,55 |
| Debi [m ³ /s] ($\dot{V} = 0,021 \cdot u$) | 0,417 |

$$SFP = \frac{P_e}{\dot{V}} = \frac{U I \cos\phi}{\dot{V}} = \frac{225 \times 1,31 \times 0,85}{0,417} = 600,8$$

Fan Performans Eğrileri

Fan seçiminde kullanılmak üzere, belirli tip boyut ve mil hızı (d/dk) için, fan basıncı, verimi ve gücünün fan debisi ile değişimini gösteren, fan performans eğrilerini kullanılmaktadır.

4. RADYAL FAN DENEY TESİSATI



Şekil 2. Radyal fan deney tesisatının şematik gösterimi

Radyal Fan Deney Seti Teknik Özellikleri

Fan motor gücü : 0,55 kW üç faz
Fan motor devir sayısı : 1450 d/d
Fan debisi (en fazla) : 1600 m³/h
Sayısal multimetre : ENTES EPM-06
Emiş kanalı boyutları, $\Phi D \times L$: 175x920 mm
Basınç kanalı boyutları, $\Phi D \times L$: 160x950 mm
Kare basınç kanalı boyutu, $A \times L$: 145x145x1200
Frekans dönüştürücü : Telemeknik
Fark basınçölçer : ORDEL
Fan basıncı (en fazla) : -

Adı-Soyadı :
Numara :
İmza :

Deneyi Yürüten Öğretim Elemanı :
Deneyin Yapıldığı Tarih :
Grup-Alt Grup :

NOT

5. DENEYİN YAPILIŞI

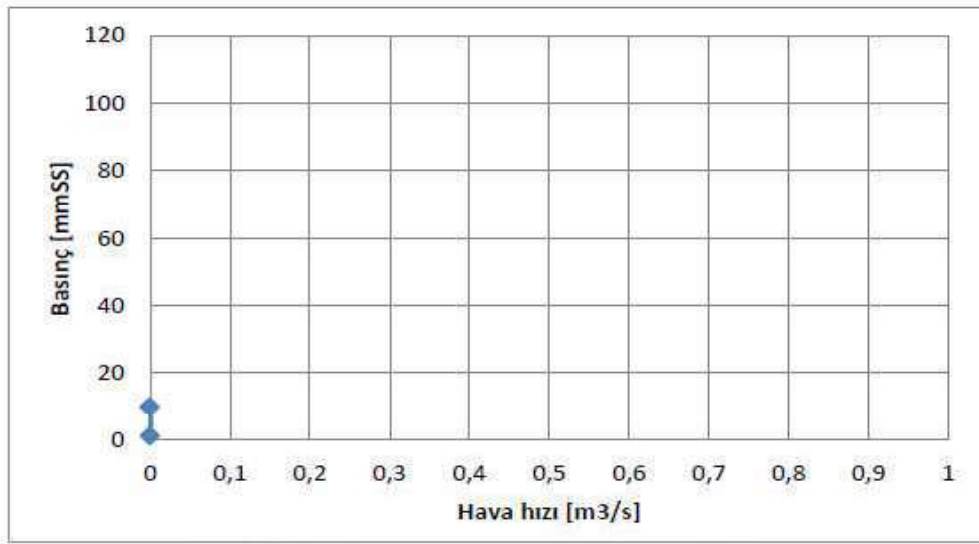
Hesaplamalarda istenenler,

1. Fan karakteristik eğrisini çiziniz.
2. Emiş kanalındaki basınç kayıplarını hıza bağlı olarak bulunuz.
3. Basma kanalındaki basınç kayıplarını hıza bağlı olarak bulunuz
4. Fan debisi ile elektriksel güç girişi arasındaki ilişkiyi deneysel olarak çiziniz.
5. Radyal fan genel verimini bulunuz.
6. Özgül fan gücünü bulunuz.

Fan karakteristik eğrisi:

Tablo 3. Ölçülecek ve hesaplanacak değerler

| Ölçülen özellik/ölçüm sayısı | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|
| Basma yüksekliği P_3-P_2 , [mmSS] | | | | | | | | | | |
| Hız, u [m/s] | | | | | | | | | | |
| Debi [m ³ /s] ($\dot{V} = 0,021 \times u$) | | | | | | | | | | |



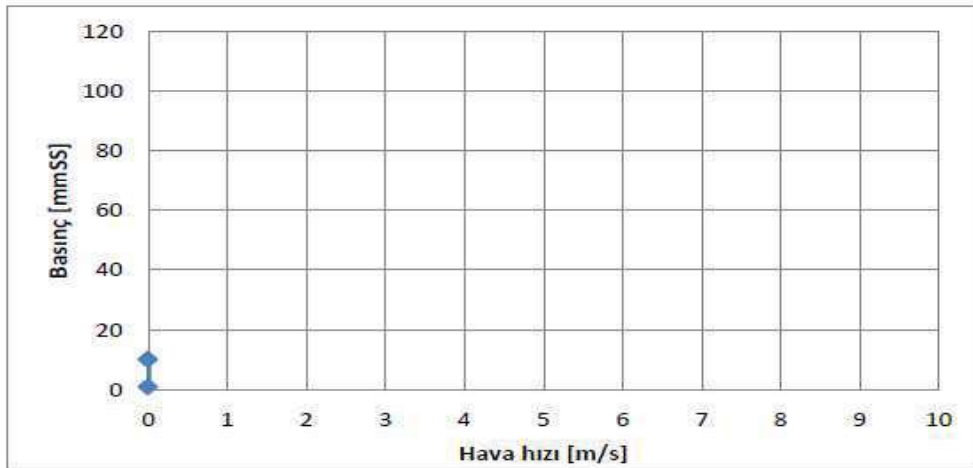
Fan karakteristik eğrisi (Basınç kaybı-debi ilişkisi)

Şekil 3. Karakteristik eğri çizimi

Emiş kanalındaki basınç kayıpları:

Tablo 4. Ölçülecek değerler

| Ölçülen özellik/ölçüm sayısı | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|------------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|
| Basınç farkı [mmSS] | | | | | | | | | | |
| Hız, u [m/s] | | | | | | | | | | |



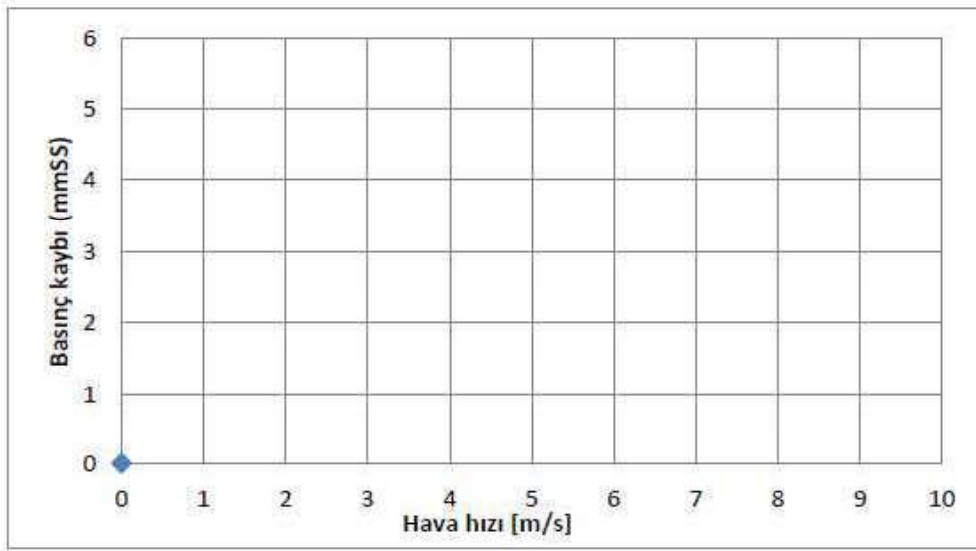
Emiş kanalındaki hız-basınç kaybı ilişkisi

Şekil 4. Hız-basınç kaybı ilişkisinin çizimi

Basma kanalındaki basınç kayıpları hız ilişkisi:

Tablo 5. Ölçülecek değerler

| Ölçülen özellik/ölçüm sayısı | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|------------------------------|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|
| Basınç farkı [mmSS] | | | | | | | | | | |
| Hız, u [m/s] | | | | | | | | | | |



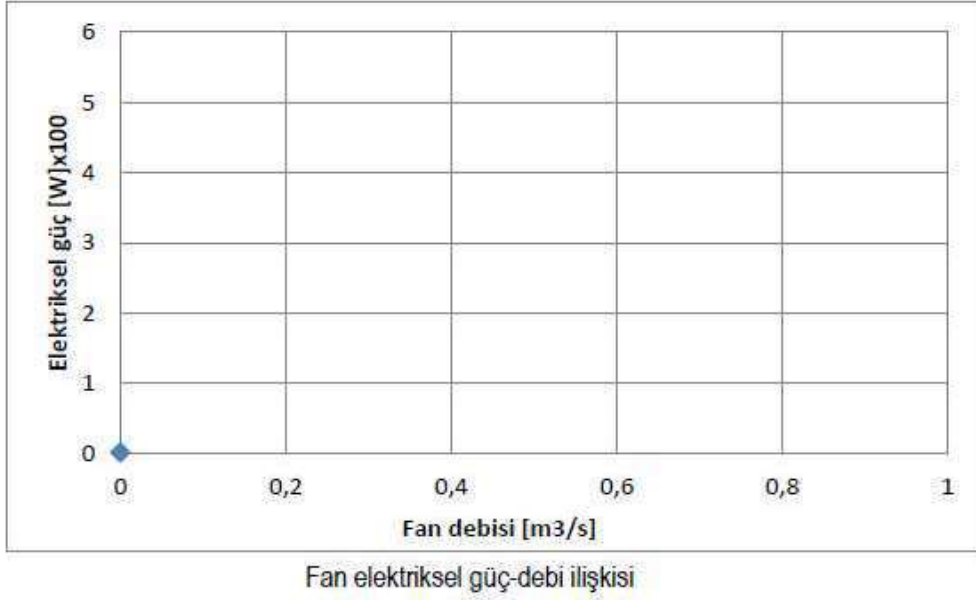
Basma kanalındaki hız-basınç kaybı ilişkisi

Şekil 5. Hız-basınç kaybı ilişkisinin çizimi

Fan debisi ile elektriksel güç girişi arasındaki ilişki:

Tablo 6. Ölçülecek ve hesaplanacak değerler

| Ölçülen özellik/ölçüm sayısı | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|
| Şebeke gerilimi [Volt] | | | | | | | | | | |
| Fan akımı [Amper] | | | | | | | | | | |
| Güç katsayısı, $\cos\Phi$ | | | | | | | | | | |
| Elektriksel güç girişi, $P_e=U.I.\cos\Phi$ | | | | | | | | | | |
| Hız, u [m/s] | | | | | | | | | | |
| Debi [m^3/s] ($\dot{V} = 0,021 \times u$) | | | | | | | | | | |



Şekil 6. Fan debisi ile elektriksel güç arasındaki ilişkinin çizimi

Radial fan genel verimi hesabı:

Tablo 7. Ölçülecek ve hesaplanacak değerler

| Ölçülen özellik/ölçüm sayısı | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|
| Şebeke gerilimi [Volt] | | | | | | | | | | |
| Fan akımı [Amper] | | | | | | | | | | |
| Güç katsayısı, $\cos\Phi$ | | | | | | | | | | |
| Elektriksel güç girişi, $P_e=U.I.\cos\Phi$ | | | | | | | | | | |
| Hız, u [m/s] | | | | | | | | | | |
| Debi [m ³ /s] ($\dot{V} = 0,021 \times u$) | | | | | | | | | | |

Özgül fan gücü hesabı:

Tablo 8. Ölçülecek ve hesaplanacak değerler

| Ölçülen özellik/ölçüm sayısı | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|--|---|---|---|---|---|---|---|---|---|----|
| Şebeke gerilimi [Volt] | | | | | | | | | | |
| Fan akımı [Amper] | | | | | | | | | | |
| Güç katsayısı, $\cos\Phi$ | | | | | | | | | | |
| Elektriksel güç girişi, $P_e=U \cdot I \cdot \cos\Phi$ | | | | | | | | | | |
| Hız, u [m/s] | | | | | | | | | | |
| Debi [m^3/s] ($\dot{V} = 0,021 \times u$) | | | | | | | | | | |

Tablo 9. Hesaplamalar

Lütfen işlemlerinizi bu alana yazınız. (Gerek duyulduğu takdirde Ek A4 kağıdı kullanılabilir.)

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ LABORATUVAR TELAFİ ONAY FORMU

Öğrencinin Numarası :

Öğrencinin Adı Soyadı :

| | <i>TELAFİ EDİLECEK LABORATUVAR (kendi grubu)</i> | <i>TELAFİYE GİRDİĞİ LABORATUVAR</i> |
|--|--|--|
| LABORATUVAR ADI | | |
| LABORATUVAR TARİHİ | | |
| LABORATUVAR GRUBU | | |
| BÖLÜM ONAYI* / / 20... | UYGUNDUR. / / 20... Öğretim Elemanının Adı Soyadı / İmza | TELAFİ EDİLMİŞTİR. / / 20.... Öğretim Elemanının Adı Soyadı / İmza |

*Telafi edilecek olan laboratuvar onayı kendi grubunun öğretim elemanından alındıktan sonra form Makine Mühendisliği Bölüm Başkanlığı'nda onaylatılacaktır.