

2921

SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ



**SIVI HALKALI VAKUM POMPASI
TASARIMI VE İMALATI**

Kemal ALDAŞ
YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA ANABİLİM DALI
Konya, 1993

**T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ**

SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

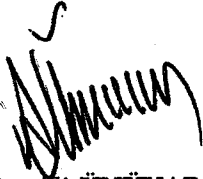
SIVI HALKALI VAKUM POMPASI
TASARIMI VE İMALATI

Kemal ALDAŞ

29/12/

YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNA ANABİLİM DALI

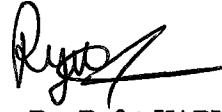
Bu tez 14.10.1993..... tarihinde aşağıdaki jüri tarafından kabul edilmiştir.



Doç. Dr. Ali ÜNÜVAR
(Başkan)



Doç. Dr. Kemal ALTINIŞIK
(Üye)



Yrd. Doç. Dr. Rafet YAPICI
(Danışman)

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

SIVI HALKALI VAKUM POMPASI TASARIMI VE İMALATI

Kemal ALDAŞ
Selçuk Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Makina Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Rafet YAPICI
1993, Sayfa: 56

Jüri: Doç. Dr. Ali ÜNÜVAR
Doç. Dr. Kemal ALTINIŞIK
Yrd. Doç. Dr. Rafet YAPICI

Bu çalışmada, önce sıvı halkalı vakum pompasının tasarımı yapıldı. Seçilen debi, dönme sayısı ve vakuma göre bu pompanın boyutları hesaplandı.

Bu boyutlara göre pompanın imalatı yapıldı. Sonra, vakum pompasının deney tesisatı kuruldu. Bu tesisata vakum pompası monte edildi.

Daha sonra bu deney tesisatı kullanılarak, sıvı halkalı vakum pompasının karakteristik eğrileri tesbit edildi. Ayrıca, bu vakum pompasında kullanılan sıvının sıcaklığının, giriş delik alanının çıkış delik alanına oranının ve rotorla yan kapaklar arasındaki boşluğun bu pompanın karakteristiğine etkisi incelendi.

Deneyler sonunda; bu pompanın genel veriminin yaklaşık % 10 olduğu, pompanın meydana getirdiği vakuma, alan oranının ve sıvı sıcaklığının etkisinin fazla olmadığı; ancak, rotorla yan kapaklar arasındaki boşluğun etkisinin çok büyük olduğu görüldü.

ANAHTAR KELİMELEER: Sıvı halkalı, vakum pompası.

ABSTRACT

Master Thesis

LIQUID RING VACUUM PUMP DESIGN AND MANUFACTURING

Kemal ALDAŞ

Selçuk University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Mechanical Engineering

Supervisor: Assoc. Prof. Dr. Rafet YAPICI

1993, Page: 56

Jüry: Assoc. Prof. Dr. Ali ÜNÜVAR

Assoc. Prof. Dr. Kemal ALTINIŞIK

Assoc. Prof. Dr. Rafet YAPICI

In this work; a liquid ring vacuum pump has been designed, and with the selected value of flow rate, the number of revolution and the value of vacuum, the dimensions of the pump have been calculated. In accordance with these dimension the pump has been manufactured.

The experimental installation for vacuum pump has been set up. The pump has been fitted on this installation and the characteristic curves of liquid ring vacuum pump have been established.

In addition to the effects on the characteristics of the pump which come from, the temperature of the liquid which is used in the pump, the ratio between the suction area and the discharge area and the clearance between the rotor and the cylinder with its covers have been investigated.

The experiements have show that the efficiency of the pump is approximately, 10 %, the area ratio and the temperature of the liquid have little effects on the vacuum which is obtained from the pump, but the clearance between rotor and cylinder with its cover have got a great effect on it.

KEY WORDS: Liquid ring, vacuum pump.

TEŞEKKÜR

Çalıőmaya değerli tavsiyeleriyle yön veren ve hiç bir yardımını esirgemeyen danışmanım Yrd. Doç. Dr. Rafet YAPICI'ya teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa No
ÖZET	iii
ABSTRACT	iv
TEŞEKKÜR	v
İÇİNDEKİLER.....	vi
SEMBOLLER.....	viii
1. GİRİŞ.....	1
2. KAYNAK ARAŞTIRMASI	2
3. MATERYAL VE METOD.....	3
4. VAKUM TEKNİKLERİ	4
4.1. Kaba Vakum Tekniği.....	4
4.2. İnce Vakum Tekniği.....	5
4.3. Yüksek Vakum Tekniği.....	5
4.4. Ultra Vakum Tekniği.....	5
5. VAKUM POMPALARININ SINIFLANDIRILMASI.....	7
6. SIVI HALKALI VAKUM POMPASININ TEORİSİ	8
7. KULLANILDIĞI YERLER.....	10
8. SIVI HALKALI VAKUM POMPASININ BOYUTLANDIRILMASI.....	11
8.1. Kanatların Süpürdüğü Hacmin Hesabı.....	11
8.2. Pompanın Boyutlarının Hesabı.....	13
8.3. Pompanın Emme ve Sıkıştırma Alan Oranlarının Hesabı.....	15
9. SIVI HALKALI VAKUM POMPASININ KONSTRÜKSİYONU.....	17
10. VAKUM POMPASININ DENEY TESİSATI VE DENEYİN YAPILIŞI	19
11. ÖLÇME METOTLARI.....	22
11.1. Debinin Ölçülmesi.....	22

11.2. Basıncın Ölçülmesi	23
11.3. Sıcaklıkların Ölçülmesi.....	24
11.4. Motor Gücünün Ölçülmesi.....	24
12. DENEY SONUÇLARI	26
12.1. Karakteristik Eğriler.....	28
12.2. Alan Oranının Pompa Karakteristiğine Etkisi.....	29
12.3. Su Sıcaklığının Pompa Karakteristiğine Etkisi.....	30
13. TARTIŞMA.....	33
14. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	34
15. KAYNAKLAR.....	36
EKLER	
AK-A. Deney Sonuçları.....	37
EK-B. Debi Katsayısı ve Boşaltma Katsayısı Çizelgeleri.....	47
EK-C. Sıvı Halkalı Vakum Pompası Deney Tesisatının Fotoğrafları.....	48
EK-D. Sıvı Halkalı Vakum Pompasının İmalat Resimleri.....	49

SEMBOLLER

- A_0 : Orifis metre delik alanı (m^2)
- C : Debi katsayısı
- d : Orifis metrenin delik çapı (m)
- D : Boru çapı (m)
- D_1 : Rotor dış çapı (m)
- D_2 : Kanat dış çapı (m)
- e : Eksen kaçıklığı (m)
- g : Yerçekim ivmesi (m/s^2)
- h : Basınç farkı (orifis metre) (mmSS)
- H : Basınç farkı (vakum metre) (mmHg)
- H_H : Basınç farkı (hava için) (mmHS)
- I : Motorun yükte çalışırken çektiği akım (A)
- I_b : Motorun boşa çalışırken çektiği akım (A)
- L : Kanat genişliği (m)
- k : Alan oranı
- \dot{m} : Kütle debisi (kg/s)
- m : Orifis metre delik alanı ile boru alanının oranı
- n : Devir sayısı (dev/dak)
- P_1 : Orifis metre giriş basıncı (kg/m^2)
- P_2 : Orifis metre çıkış basıncı (kg/m^2)
- P_{at} : Atmosfer basıncı (mmHg)
- P_b : Motorun boşa çalışırken çektiği güç (kW)
- P_g : Akışkanın pompaya giriş basıncı (N/m^2)
- P_m : Motor mil gücü (kW)

- P_o : Motorun sürtünme ve rüzgar kaybı (kW)
- P_y : Motorun yükte çektiği güç (kW)
- p : Giriş basıncı (mmHg)
- \dot{Q} : Hacimsel debi (m^3/h)
- \dot{Q}_g : Akışkanın pompaya giriş debisi (m^3/h)
- R : Gaz sabiti (J/kgK)
- R : Sıvı halkasının yarıçapı (m)
- s : Kanadın suya batan kısmının uzunluğu (m)
- t : Kanat kalınlığı (m)
- T_g : Akışkanın pompaya giriş sıcaklığı ($^{\circ}C$)
- T_s : Pompa suyu sıcaklığı ($^{\circ}C$)
- T_1 : evre sıcaklığı ($^{\circ}C$)
- T : Pompa suyu sıcaklığı ($^{\circ}C$)
- V : Hacim (m^3) .
- W : Kanat ykseklıği (m)
- Y : Genleşme katsayısı
- Z : Kanat sayısı
- η : Genel verim
- η_v : Volumetrik verim
- η_{mot} : Elektrik motor verimi
- ρ_1 : Akışkan yoğunluğu (kg/m^3)
- ρ_g : Akışkanın pompa giriş yoğunluğu (kg/m^3)
- ρ_h : Havanın yoğunluğu (kg/m^3)
- ρ_{Hg} : Civanın Yoğunluğu (kg/m^3)
- β : İki kanat arasındaki açı

1. GİRİŞ

17. yüzyıla kadar vakumla ilgili hiç bir araştırma yapılmamıştır. 1643 yılında Evangelisto Torricelli atmosferin yaklaşık 760 mmHg sütununun uyguladığı kuvvete eşit bir basınç meydana getirdiğini bulmuş ve kullandığı monometredeki cıvanın üzerinde oluşan boşluğun da mutlak boşluk olduğu fikrini ortaya atmıştır. İlk vakum kavramı böylece oluşmuştur.

Vakum pompası, atmosferden düşük basınçtaki bir ortamda bulunan gazı, atmosfer basıncındaki veya bu basıncın biraz üzerindeki bir ortama boşaltan bir pompadır.

İlk kullanılabilir vakum pompası Otto Von Güricke tarafından, 1650 yılında yapılan pistonlu pompadır. 19. yüzyıla kadar vakum pompalarında fazla bir gelişme olmamıştır. 19. yüzyılın başlarında elektriğin bulunmasıyla vakum pompaları üzerindeki çalışmalar hız kazanmıştır.

Günümüzde vakum pompaları ile 1×10^{-18} atm. basınca kadar vakum elde edilebilmektedir (11).

Sıvı halkalı vakum pompalarının tahriki genellikle elektrik motorlarıyla yapılır. Bu pompanın diğer mekanik pompalardan avantajı, sürtünme ve yağ tüketiminin az olması, bu pompada kullanılan sıvının soğutmaya ve sızdırmazlığa yardımcı olmasıdır. Dezavantajları ise; güç tüketiminin fazla olması, çok miktarda soğutma suyu gerektirmesidir (2).

Bu çalışmanın birinci gayesi, sıvı halkalı vakum pompasını tasarlayarak ve boyutlarını hesaplayarak fonksiyonunu yerine getirecek şekilde imal edilmesidir.

Çalışmanın ikinci gayesi ise, imal edilen bu pompa da sıvı olarak su kullanılarak karakteristiklerinin belirlenmesi, bu karakteristikleri etkileyen faktörlerin tespiti ve olumsuz yönde etkileyen faktörlerin araştırılmasıdır.

2. KAYNAK ARAŞTIRMASI

Weissler ve Carlson (1979), sıvı halkalı vakum pompalarında kullanılan sıvı sıcaklığının volumetrik verimine ve pompa giriş basıncına etkisini incelemiştir (11).

Mathy ve Grivil (1983), yılında sıvı halkalı vakum pompasında, suyun yerine yağ, hava yerine de helyum gazı kullanarak, pompa performansında nasıl bir değişiklik olacağı üzerine deneyler yapmışlardır. Bu pompaların su ile havayı pompalamak için dizayn edilmesine rağmen, yağ ve helyum gazına adaptasyonunun oldukça basit olduğunu, deneyler sonucunda yağ ve helyum gazı kullanıldığı zaman güç tüketiminin biraz fazla (aynı debi ve basınç şartlarında), fakat emme basıncı sınırının daha düşük olduğunu bulmuşlardır (7).

Fujita ve Okazaki (1987), yılında su halkalı vakum pompasının çalışma karakteristiklerinin teorik analizini yapmışlardır. Kanatlar arasındaki gazların çevre hacme kaçtıklarında pompanın anormal çalışacağını ve anormal çalışmayı önlemek için, basma tarafından emme tarafına kaçan gazın miktarının, basınç oranının ve sızdırmazlık su miktarının minimum ne olması gerektiğini hesaplamışlardır (4).

Teifke (1988), çalışma prensiplerine göre vakum pompalarının genel bir sınıflandırmasını yapmış, sıvı halkalı, paletli vakum pompaları ve ejektörlerin çalışma prensiplerini incelemiştir. Bu pompaların avantaj ve dezavantajları üzerinde çalışmalar yapmış ve pompa tipinin seçiminin ekonomiklikle birlikte çevre ve emniyet kriterlerine de bağlı olduğunu incelemiştir (10).

Kozlov (1990), sıvı halkalı pompalarda çarkın kanatlarının ucundaki optimum çevresel hızın hesabını veren bir metod geliştirmiş ve bu metodun, belirli çalışma şartlarında enerji tüketimini minimize ettiğini bulmuştur (6).

3. MATERYAL VE METOD

İmalatını yaptığımız sıvı halkalı vakum pompasının; gövdesi, yan kapakları, yatak yuvası ve yatak kapağı pik döküm, kanat, alüminyum döküm, mil C-10 çeliği kullanılarak imal edildi. Yağdanlık, rulman ve kaplin satın alındı.

Deney tesisatında kullandığımız diğer malzemelerden orifis metre, çelikten imal edildi. Watt metre, amper metre, termometreler, tesisat borusu, vana, musluk, 20/5 akım trafosu ve plastik hortumlar ise satın alınarak temin edildi.

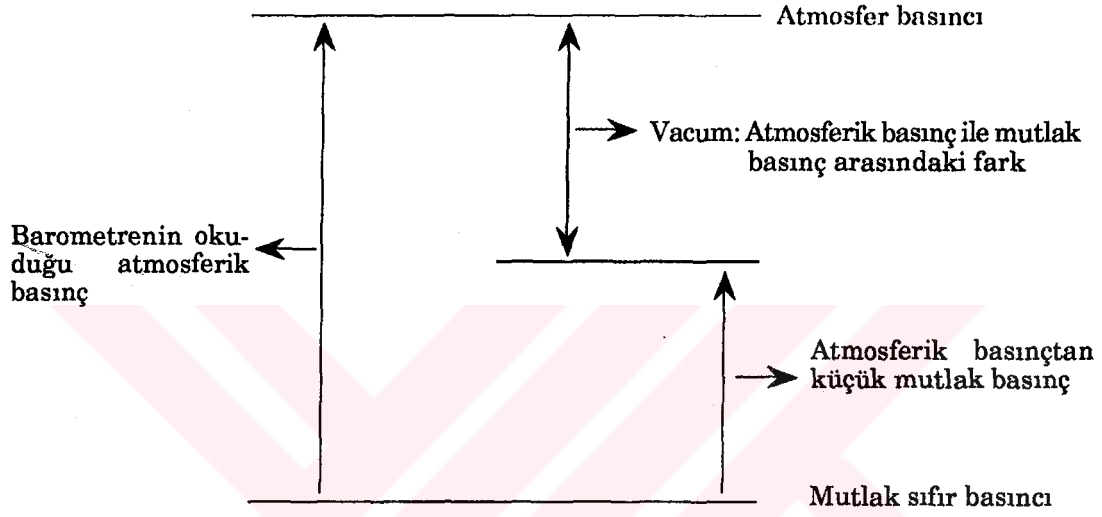
Tasarlanan ve ölçülendirilen pompa parçalarının önce modelleri yapıldı. Daha sonra parçaların dökümleri yaptırılarak, torna tezgahlarında işlendi.

Deney sonu hesaplarında kullanılan, güç Watt metre ile, sıcaklık termometre ile, akım amper metre ile basınç U-manometre ile ölçüldü. Debinin ölçülmesinde imal edilen orifis metre kullanıldı.

Pompanın karakteristik eğrilerinin çiziminde ise, deney sonuçlarını değerlendirme metotlarından; en küçük kareler metodu kullanıldı.

4. VAKUM TEKNİKLERİ

Vakum: Bir ortamdaki basınç, atmosfer basıncından küçük ise, atmosfer basıncı ile bu ortamın basıncı arasındaki farka vakum denir.



Şekil 4.1: Basınç ölçülmesinde kullanılan terimler.

Günümüzde kullanılan vakum tekniklerini dört grupta toplayabiliriz. Bunlar; kaba vakum tekniği, ince vakum tekniği, yüksek vakum tekniği ve ultra vakum tekniği.

4.1. Kaba Vakum Tekniği

760 mmHg ile 1 mmHg arasındaki çalışmalar bu teknik sahasına girer. Bu sahada kullanılan malzemelerin önemi yoktur. Dolayısıyla, çok temiz aparat gerektirmez. Sızdırmazlık ihtiyacı fazla değildir. Vidalı boru bağlantılar kullanılabilir. Bu sahada çalışan vakum pompaları, sıvı halkalı ve paletli pompalardır.

4.2. İnce Vakum Tekniği

İnce Vakum sahası 1 ile 10^{-3} mmHg arasındır. 10^{-1} mmHg kadar kullanılan malzemelerin önemi yoktur. Ancak 10^{-3} mmHg de cidarlardan ayrılan gazlar hissedilir seviyededir. Dolayısıyla bu seviyeye inebilmek için temiz ve kuru tesisat gerektirir. Boru bağlantılarının O-ring halkalarıyla sızdırmazlıklarının sağlanması gerekir. Bu sahada çalışan vakum pompaları loblu ve ejektör vakum pompalarıdır.

4.3. Yüksek Vakum Tekniği

Yüksek vakum 10^{-3} ile 10^{-6} mmHg arasındır. Vakum hacmi içindeki gazların önemi yoktur. Cidarlarda bulunan gaz ve su buharı çok önem kazanır. Çok temiz ve kuru bir sistemde çalışmak gerekir. Sızdırmazlığın O-ring halkalarıyla ve sabit bağlantılarla sağlanması gerekir. Bu sahada çalışan pompalar, difüzyon ve moleküler vakum pompalarıdır.

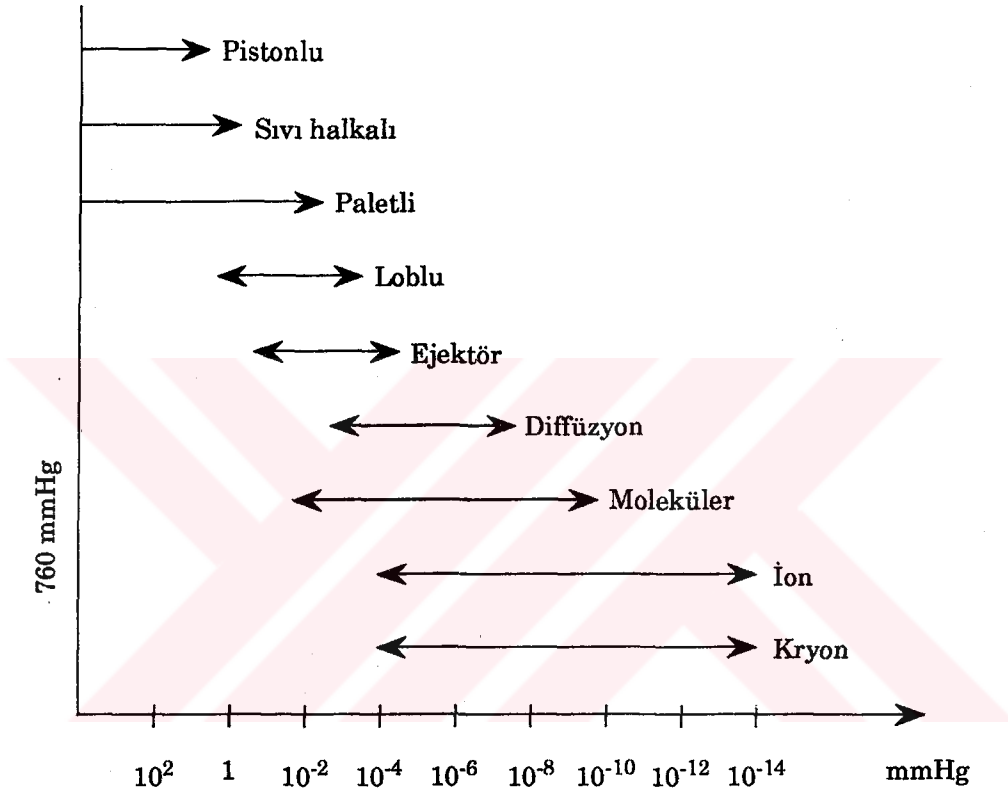
4.4. Ultra Vakum Tekniği

Ultra vakum sahası, 10^{-6} mmHg ve daha düşük basınçlar arasındır. bu sahanın tamamında cidarlarda bulunan gazlar problem oluşturur. Cihaz uygun bir temizleyici ile çok iyi temizlenmiş ve kuru olmalıdır. Bu sahada çalışan pompalar, Kryon ve İon vakum pompalarıdır.

Bu vakum değerlerine ulaşabilmek için vakum pompaları tek veya çift kademeli olabildikleri gibi, birbirini tamamlayan iki veya üç cins pompalar

seri bağlanarak da kullanılabilirler.

Şekil 4.2'de çeşitli vakum pompalarının çalıştıkları basınç sahaları gösterilmiştir (9).



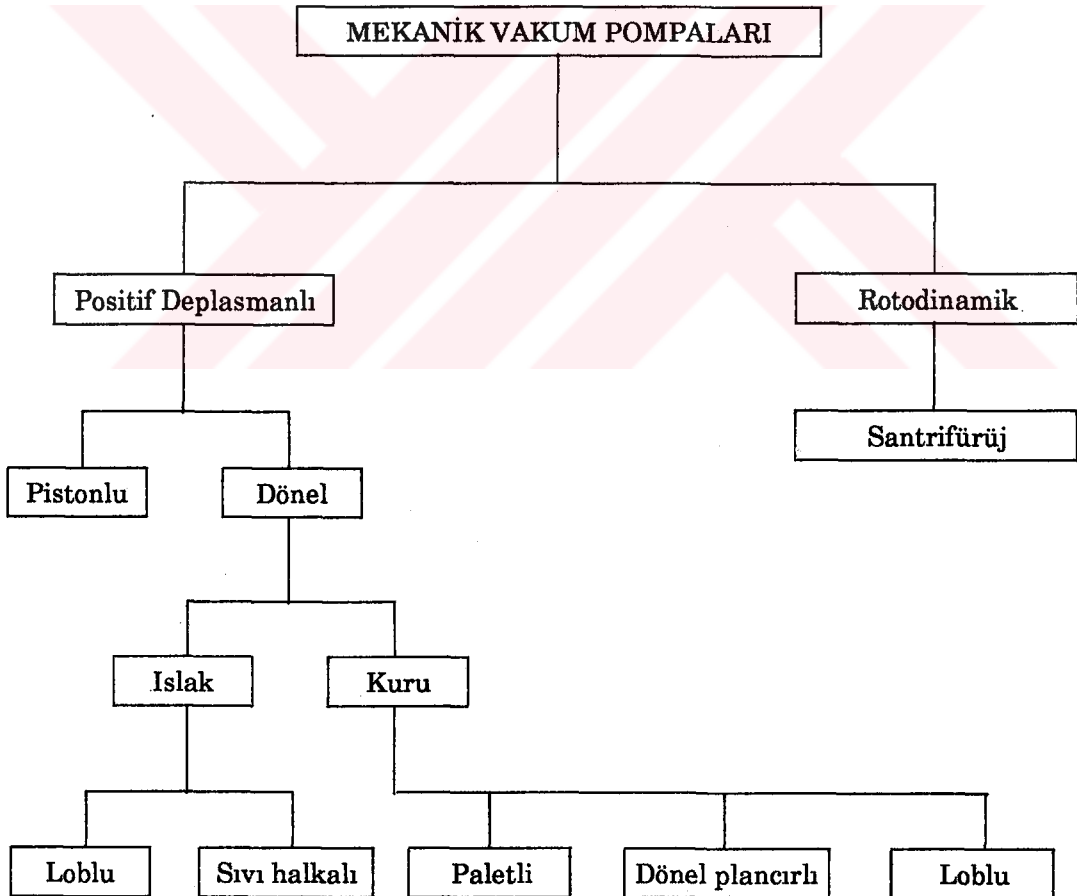
Şekil 4.2. Vakum pompalarının basınç sahaları

5. VAKUM POMPALARININ SINIFLANDIRILMASI

Vakum pompaları çalışma prensiplerine göre üç gruba ayrılır.

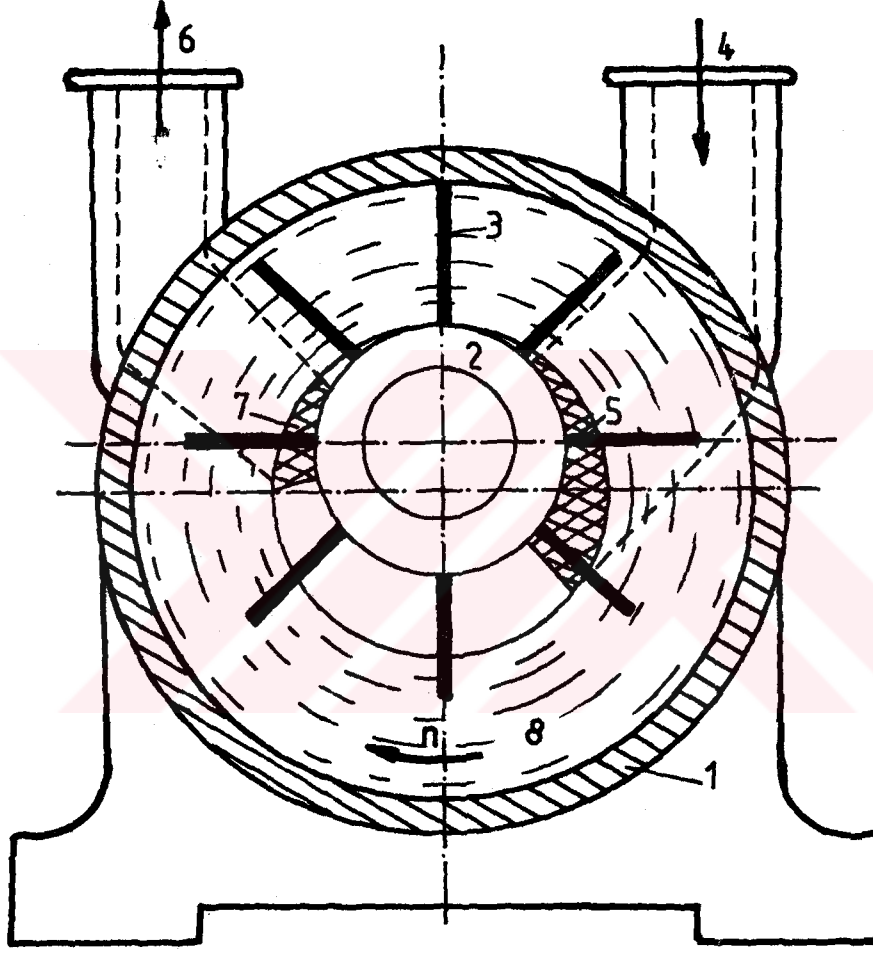
- 1- Ejektörler
- 2- Mekanik pompalar
- 3- Ön pompalama ile çalışan pompalar.

Sıvı halkalı vakum pompası mekanik pompalar sınıfına girer. Şekil 5.1'de mekanik pompalar sınıflandırılmıştır (11).



Şekil 5.1. Mekanik vakum pompalarının sınıflandırılması

6. SIVI HALKALI VAKUM POMPASININ TEORİSİ



Şekil 6.1. Sıvı halkalı vakum pompası

- 1- Silindirik gövde, 2- Rotor,
- 3- Kanat, 4- Emme borusu,
- 5- Emme deliği, 6- Çıkış borusu,
- 7- Çıkış deliği, 8- Sıvı halkası.

Şekil 6.1'de görüldüğü gibi üzerinde kanatlar bulunan rotor, silindirik gövde içine eksantirik olarak monte edildi. Rotor döndüğü zaman silindirik gövdeyi kısmen dolduran sıvı, santrifürüj kuvvetin etkisiyle gövdenin iç yüzeyine savrulur ve gövde içerisinde bir sıvı halkası oluşur. Bu esnada sıvı halkasının iç yüzeyi, rotor göbeğinin dış yüzeyi ve iki kanat yüzeyi tarafından sınırlanan bir hacim meydana gelir. Bu oluşan hacim kanatlar üst pozisyondan alta doğru hareket ederken önce artar. Bu esnada emme borusundan gelen hava, emme deliğinden geçerek iki kanat arasında oluşan hacme emilir. Emme işlemi, bir sonraki kanadın emme deliğini geçinceye kadar devam eder.

Kanatlar alttan yukarı doğru hareket ederken, emilen hava çıkış deliğine gelir. Çıkış deliğinin alanı, giriş deliğinin alanından küçük olduğundan, bu aradaki hacim azalır. Dolayısıyla hava sıkıştırılarak basıncı çıkış basıncına yükseltilir. Bu hacimdeki hava, çıkış deliğinden geçerek, çıkış borusu vasıtasıyla dışarı atılır.

Bu pompa, eğer gövde içerisinde yeterli miktarda sıvı varsa ve yan kapaklarla rotor arasındaki boşluk toleransı iyi verilmiş ise, fonksiyonunu istenildiği gibi yerine getirebilir.

Bu şekilde görüldüğü gibi rotorun üst kısmı ile, sıvı halkasının iç kısmı, üst noktada birbirine değmekte ve sızdırmazlığı sağlamaktadır. Eğer sıvı az olursa oluşan sıvı halkasıyla rotor arasında boşluk meydana gelir. Bu boşluktan emme girişine hava kaçacağı için istenilen vakum ve debi elde edilemez. Bu pompada elde edilecek maksimum vakum, kullanılan sıvının buharlaşma basıncına, alan oranına ve sızdırmazlığa bağlıdır. Sıvı halkasının daima aynı seviyede kalmasını sağlamak için sıvı daima pompa içerisinde sirküle ettirilmektedir.

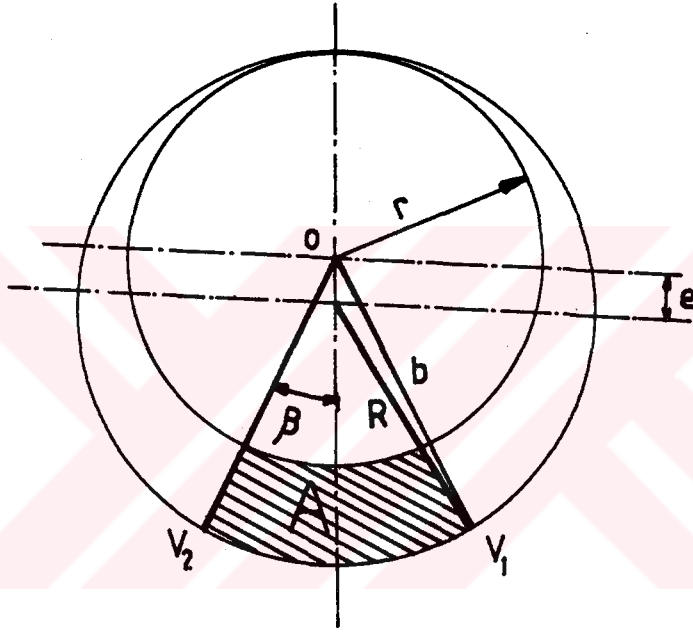
7. KULLANILDIĞI YERLER

Bu pompalar; tekstil sanayisinde, Őekerin buharlaştırılmasında, seramik ve tuğla imalında kullanılan çamurun içindeki havanın alınmasında çözücü imalatında, vakumlu ambalaj sanayisinde, vakumla soğutma işleminde, kapalı alanların kokusunun giderilmesinde, vakumla kurutma işleminde, hastane ve ilaç fabrikalarında siterilizasyondan önce havanın boşaltılmasında, yiyecek ve kimyasal ürünlerin damıtılmasında kullanılır.



8. VAKUM POMPASININ BOYUTLANDIRILMASI

8.1. Kanatların Süpürdüğü Hacmin Hesabı



Şekil 8.1. İki kanat arasındaki hacim

V_1 ile O arasındaki uzunluğa b dersek

$$b = e \cos \beta + (R^2 - (e \sin \beta)^2)^{0.5} \text{ olur, } e = a \cdot R \text{ dersek}$$

$$b = aR \cos \beta + (R^2 - (a \cdot R \sin \beta)^2)^{0.5}$$

$$b = aR \cos \beta + (R^2 - (a^2 R^2 \sin^2 \beta))^{0.5} = R [a \cos \beta + (1 - a^2 \sin^2 \beta)^{0.5}] \quad (8.1)$$

8.1 denklemi yaklaşık olarak $(R (1 + a \cos \beta - a^2/2 \sin^2 \beta))$ denklemine eşittir.

$$b \cong R (1 + a \cos \beta - a^2/2 \sin^2 \beta) \text{ olur.} \quad (8.2)$$

8.2 denkleminin her iki tarafının karesini alırsak

$$b^2 = R^2 (1 + a^2 \cos^2 \beta - a^4 / 4 \sin^2 \beta + 2a \cos \beta - 2a^2 / 2 \sin^2 \beta - 2a^3 / 2 \sin \beta \cdot \cos \beta)$$

olur. Bu denklemde a^3 ve a^4 olan terimleri ihmal edersek

$$b^2 = R^2 (1 + a^2 \cos^2 \beta + 2a \cos \beta - a^2 \sin \beta) \text{ olur}$$

$\cos 2\beta = \cos^2 \beta - \sin^2 \beta$ eşitliğini denklemde yerine koyarsak

$$b^2 = R^2 (1 + 2a \cos \beta + a^2 \cos 2\beta) \text{ olur} \quad (8.3)$$

Şekil 8.1'deki taralı alan

$$A = \int_0^\beta b^2 d\beta - \beta r^2 \quad (8.4)$$

denklemden bulunur. Burada;

$$r = R - e = R - aR, \quad r^2 = (1 - a)^2 R^2 \text{ dir.}$$

denklem 8.4'de yerine koyarsak

$$A = \int_0^\beta b^2 d\beta - \beta (1 - a)^2 R^2 \quad (8.5)$$

denklem 8.5'de b^2 'yi yerine koyup integralini alırsak

$$A = R^2 \cdot a \left[(2 - a) \beta + 2 \sin \beta + \frac{a}{2} \sin 2\beta \right] \text{ olur.}$$

$$\beta \text{ açısı} \quad \beta = \frac{\pi}{Z}, \quad \sin \beta \cong \frac{\pi}{Z}, \quad \sin 2\beta \cong \frac{2\pi}{Z} \text{ alınırsa alan}$$

$$A = \frac{4 \cdot R^2 \cdot a \cdot \pi}{Z} m^2 \text{ olur.} \quad (8.6)$$

Rotorun bir devirde süpürdüğü toplam hacim

$$V = A \cdot Z \cdot L = 4 \cdot \pi \cdot R \cdot e \cdot L \text{ m}^3/\text{devir} \quad (8.7)$$

8.2. Pompanın Boyutlarının Hesabı

Debi $Q = 1 \text{ m}^3/\text{dak}$, vakum $H = 50 \text{ mmHg}$ ve dönme sayısı $n = 1415 \text{ d/dak}$. olan bir pompa tasarlanmıştır.

Bu pompanın boyutlarının hesabı için gereken eksen kaçıklığı $e = 0.2 R$ ve kanat genişliği $L = 3 R$, kanat kalınlığı $t = 5 \text{ mm}$, kanadın suya batan kısmı $s = 20 \text{ mm}$ alınmıştır.

Buna göre bir devirdeki toplam hacim

$$V = \frac{Q}{n} = \frac{1}{1415} = 7.0672 \times 10^{-4} \text{ m}^3/\text{dev.}$$

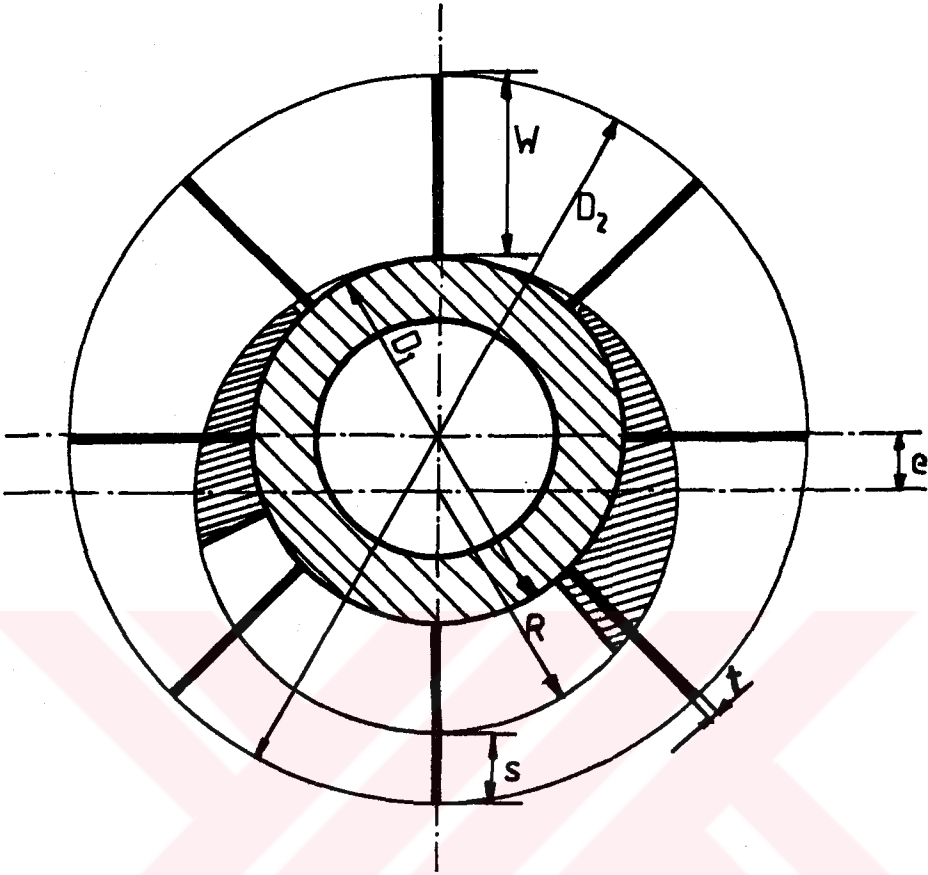
denklem 8.7'de yerine koyarak R 'yi buluruz.

$$V = 4.\pi.R.e.L = 4.\pi.R.0,2.R.3R = 7.54R^3$$

$$R = (V/7.54)^{1/3} = 4.542.10^{-2} \text{ m}$$

$$R = 45.4 \text{ mm bulunur.}$$

$e = 9 \text{ mm}$ kanat genişliği $w = 2e+s$ ifadesinden $w = 38.1 \text{ mm}$ bulunur.



Şekil 8.2. Sıvı halkalı vakum pompasının geometrisi

$$D_2 = 2 (R + e + s) = 149 \text{ mm}$$

$$r/R = 0.8 \text{ den } r = 36.3 \text{ mm}$$

$$D_1 = 2.r = 72.67 \text{ mm bulunur.}$$

Şekil 8.2'de geometrisi görülen pompanın teorik hava debisi,

$$\dot{Q} = [\pi ((D_2/2 - s)^2 - (D_1/2)^2) - Z \cdot (w - s) \cdot t] \cdot L \cdot n \text{ dev/dak.}$$

formülünden bulunur.

Bu pompa da kullanılan parçaların kalınlıklarının vakum açısından önemi yoktur.

Sıvı halkalı vakum pompalarının mil gücü

$$P_m = \frac{g \cdot \rho \cdot H \cdot \dot{Q}}{\eta} \quad \text{formülünden hesaplanır(1).}$$

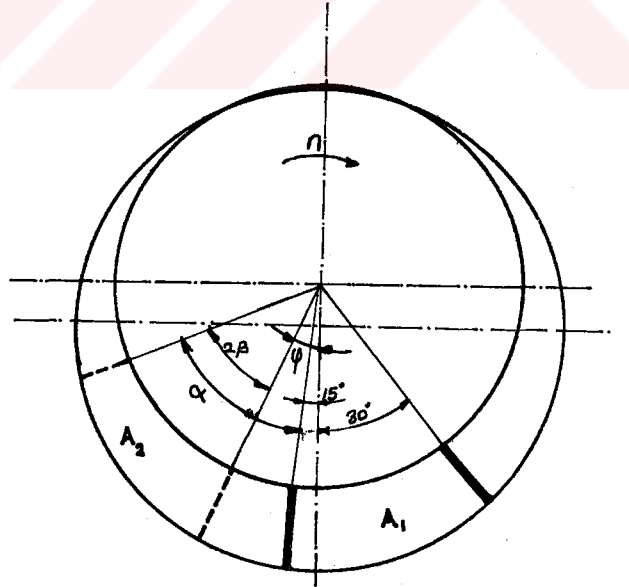
$$P_m = \frac{(9.81)(13600)(0.05)(1)}{0.1 \times 60} = 1111.8 \text{ W}$$

Yukarıda verilen çalışma noktasında pompaya bağlanan elektrik motorunun çektiği güç $\eta_{\text{mot}} = 0.8$ alınırsa

$$P = \frac{P_m}{\eta_{\text{mot}}} = \frac{1111.8}{0.8} = 1.382 \text{ kW}$$

Ancak pompanın vakum değeri arttıkça, çektiği güç artmaktadır. Bu yüzden gücü 4 kW olan elektrik motoru seçilmiştir.

8.3. Pompa Emme ve Sıkıştırma Alanlarının Hesabı



Şekil 8.3. Emme ve sıkıştırma sonunda kanatlar arasındaki hacim

Şekil 8.3'deki A_1 alanını daha önceden kullanılan denklem 8.4'den bulabiliriz.

$$A = \int_{\varphi}^{\alpha} b^2 d\varphi - \beta r^2 \quad \text{verilen sınırlara göre integral alınır}$$

$$A_1 = R^2 a \left[(2-a)\beta + (\sin\alpha - \sin\varphi) + \frac{a}{2} (\sin 2\alpha - \sin 2\varphi) \right] \quad (8.8)$$

bulunur. Burada $\beta = \frac{\pi \cdot 45}{360}$ dir. iki kanat arasındaki açı 45° 'dir.

A_1 için $\alpha = 15^\circ$ ve $\varphi = -30^\circ$ dur. Bu değerleri denklem 8.8'de yerine koyarsak

$$A_1 = 660.5 \text{ mm}^2 \text{ bulunur.}$$

Deneylerde kullanılacak dört değişik A_2 alanları Şekil 8.3'deki α ve φ açıları değiştirilerek denklem 8.8'den hesaplanır.

$$\alpha = 90^\circ \text{ ve } \varphi = 45^\circ \text{ için } A_{21} = 370.9 \text{ mm}^2$$

$$\alpha = 80^\circ \text{ ve } \varphi = 35^\circ \text{ için } A_{22} = 436.2 \text{ mm}^2$$

$$\alpha = 75^\circ \text{ ve } \varphi = 30^\circ \text{ için } A_{23} = 468.3 \text{ mm}^2$$

$$\alpha = 70^\circ \text{ ve } \varphi = 25^\circ \text{ için } A_{24} = 499.4 \text{ mm}^2$$

bulunur, alan oranları ise

$$k_1 = \frac{A_1}{A_{21}} = 1.78$$

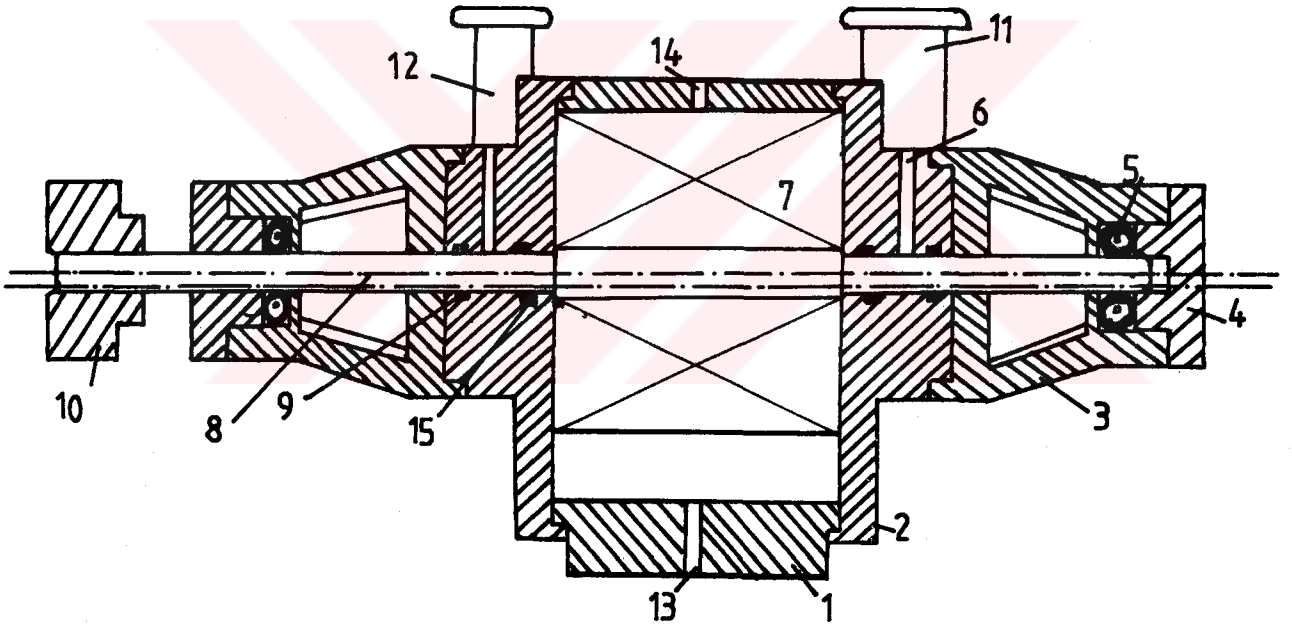
$$k_2 = \frac{A_1}{A_{22}} = 1.51$$

$$k_3 = \frac{A_1}{A_{23}} = 1.41$$

$$k_4 = \frac{A_1}{A_{24}} = 1.32 \text{ olur.}$$

9. VAKUM POMPASININ KONSTRÜKSİYONU

Komple resmi Şekil 9.1'de görülen sıvı halkalı vakum pompasının, bütün parçaları boyutlandırıldıktan sonra gövde, yan kapaklar, yataklama gövdesi, kanat ve yatak kapakların modelleri yapıldı. Gövde, yan kapaklar, yatak gövdesi ve yatak kapakları pik döküm, kanatlar ise alüminyum döküm olarak döküldü.



Şekil 9.1. Sıvı halkalı vakum pompası kesiti

- 1- Gövde, 2- Yan kapak, 3- Yatak gövdesi
- 4- Yatak kapağı, 5- Rulman, 6- Yağ deliği,
- 7- Kanat 8- Mil, 9- O-ring, 10- Kaplin,
- 11- Giriş borusu, 12- Çıkış borusu,
- 13- Tahliye deliği, 14- Sıcaklık ölçme deliği, 15- Keçe

Dökümden çıkan gövdenin iç tarafı işlendi, yan yüzeylerine kapakların tam eksende monte edilebilmesi için fatura açıldı. Üzerinde, bağlantı vida delikleri, sıcaklık ölçme deliği ve tahliye deliği açıldı. Yan kapaklarda bulunan emme ve basma deliklerinin kalıp üzerinde maca kullanılarak dökümde düzgün çıkması sağlandı. Kapak içinde sızdırmazlığı sağlayacak O-ring ve keçe yuvaları açıldı. O-ring ve keçe bu yuvalara yerleştirildi. Kapaklara, milin, O-ring ve keçenin yağlanması sağlayacak yağ delikleri açıldı.

Yan kapakların iç yüzeyleri kanatlarla aynı düzlemde çalışacağı için, bu yüzeyler tornada düzgün olarak işlendi. Yan kapaklarının gövdeye tam eksende monte edilebilmesi için, her iki yüzeyine conta payı bırakılarak fatura açıldı.

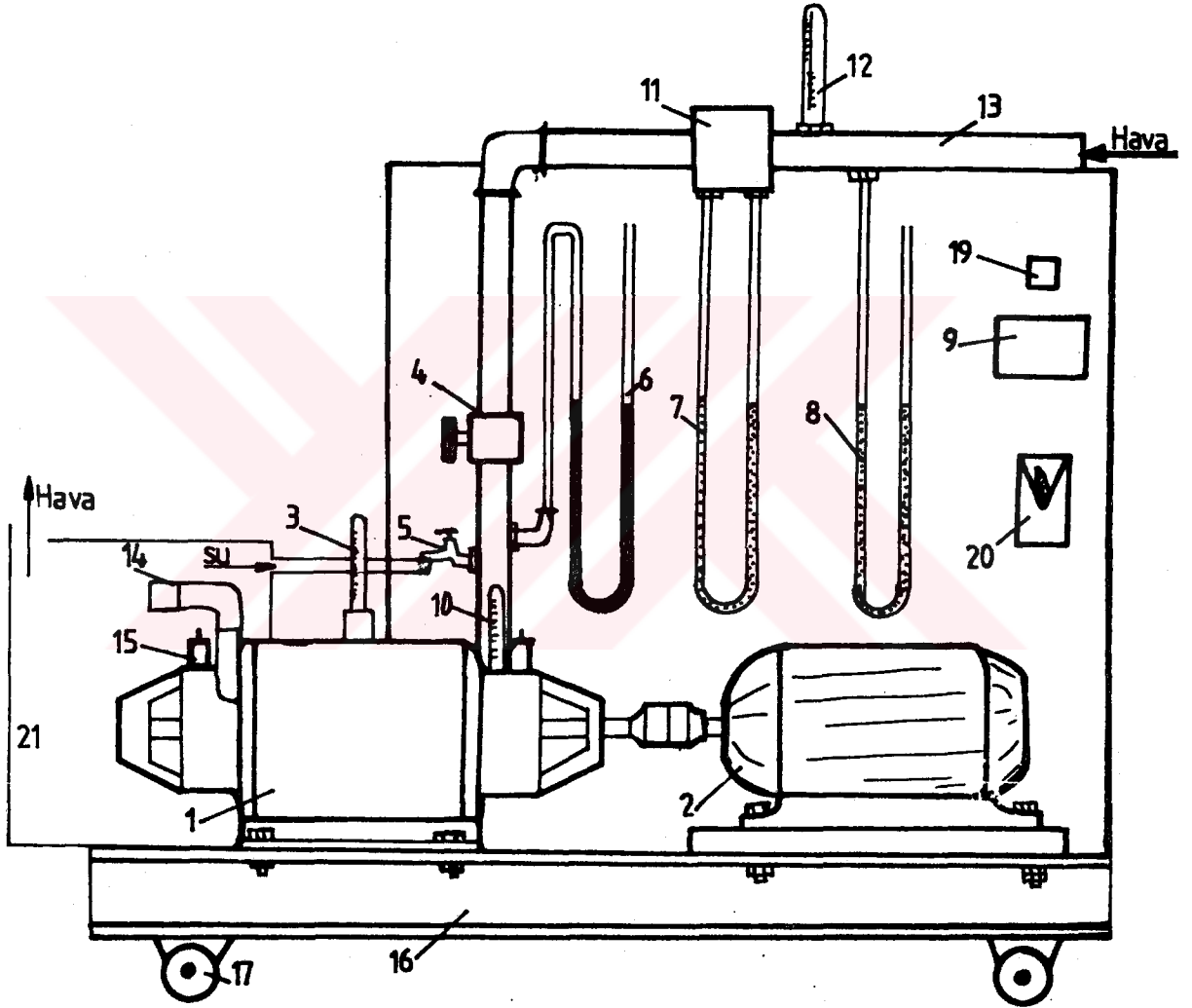
Alüminyum dökümden döktürülen kanatların alın yüzeyleri, yan kapaklarla beraber çalışacağı için tornada düzgün olarak işlendi. Milin üzerine kanatlar sıkı geçme ve vidalı olarak monte edildi. Balans makinasında rotorun balans ayarı yapıldı.

Pik dökümden dökülen yatak gövdesinin iç kısmına, rulman yerleştirileceği için hassas olarak işlendi. Yatak gövdesi, yan kapaklara monte edileceği için bu yüzeylere fatura açıldı.

Pompada kullanılan mil C-10 çeliğinden ölçülerine uygun olarak işlendi. Bütün parçalar yapıldıktan sonra Şekil 9.1'de görüldüğü gibi monte edildi.

Keçelerin ve O-ringlerin yağlanması yan kapaklara açılan yağlama deliğinden daima yağ verilerek sağlanmaktadır. Yağın dışarı kaçmamasını O-ring, sistemde bulunan sıvının da yağa karışmamasını keçe sağlamaktadır. O-ringler ve keçeler aynı zamanda pompadan dışarıya ve dışarıdan da pompaya hava sızdırmazlığını sağlamaktadırlar.

10. VAKUM POMPASI DENEY TESİSATI VE DENEYLERİN YAPILIŞI



Şekil 10.1. Deney tesisatının şematik görünüşü

Deneyde kullanılan elektrik motoru (2) ilk çalışma anında yüksek güç çektiği için yükte çalıştırılmaması gerekir. Bunun için ilk çalışma anında vananın (4) açık olmasına dikkat edilmelidir.

Termik şalter (20), açıldığı zaman motor çalışır ve pompa, tesisat borusu (13) vasıtasıyla hava çekmeye başlar. Tesisat borusundan geçen havanın manometrede (8) basıncı, termometrede (12) sıcaklığı ölçülür. Hava orifismetreden (11) geçerken, orifismetrede manometre (7) vasıtasıyla orifisetre basınç farkı ölçülür. Hava vanadan geçerek pompa (1) girişine gelir. Pompaya girişinde havanın sıcaklığı pompa girişine yerleştirilen termometrede (10) ölçülür. Bu arada tankta (21) emilen su musluk (5) vasıtasıyla emme borusuna geçer ve burada hava ile birleşerek pompaya girer. Pompada basıncı atmosfer basıncına yükseltilecek hava ve su beraber çıkış borusu (14) vasıtasıyla dışarı atılır. Pompada kullanılan suyun sıcaklığı pompa üzerine yerleştirilen termometre (3) vasıtasıyla ölçülür.

Vananın tamamen kapatılmasıyla, pompadan elde edeceğimiz vakum değerini, cıvalı manometrede (6) görebiliriz. Elektrik motorunun çalışma anında çektiği gücü wattmetreden (9), çektiği akımı ise ampermetreden (19) okuruz. Deney tesisatında bulunan parçalar pano ve sehba (16) üzerine monte edilmiştir.

Deneylere başlamadan önce çıkış yankapak üzerinde bulunan çıkış alanı Şekil 8.3'de görülen α açısı 90° olacak şekilde çelik macunla kapatıldı. Böylece A_{21} alanı elde edildi. Vana ve su musluğu açıldıktan sonra pompa çalıştırıldı. Su hortumu pompa çalıştıktan sonra su tankına bağlandı ve pompa içerisinde sıvı halkasının oluşması için bir müddet beklendi.

Vana tamamen kapatılarak, bu alanda en yüksek vakum elde edildi. Vananın açıklığı değiştirilerek pompa girişindeki vakum değiştirildi. Vananın her açıklığında güç, akım, orifismetredeki basınç farkı, vakum ve sıcaklıklar ölçüldü. Bu işleme vananın tam açıklığına kadar devam edildi. Aynı alan oranında birden fazla deneyler yapılarak ölçülen değerler tablolara kaydedildi.

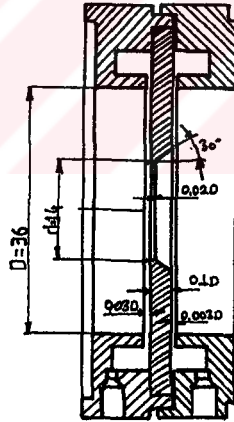
Diğer alanlar, yankapak üzerinde bulunan çıkış delik alanı, Şekil 8.3'deki α açısı A_{22} için 80° , A_{23} için 75° , A_{24} için 70° olacak şekilde çelik macunla kapatılarak elde edildi. Bir önceki deneyde izlenen yol, bu alanlar için de takip edilerek sonuçlar tablolara kaydedildi.

Bu tablolar yardımıyla deney sonuçlarını değerlendirme metotlarından en küçük kareler metodu kullanılarak karakteristik eğrilerinin denklemleri bulundu. Bu denklemler yardımıyla eğriler çizildi.

11. ÖLÇME METOTLARI

11.1. Debinin Ölçülmesi

Standart ölçülerinde yapılan orifismetrenin girişinde gazın yoğunluğunun bulunabilmesi için giriş sıcaklığının ve basıncının bilinmesi gerekir. Bunun için orifisetre girişine termometre ve manometre yerleştirilmiştir.



Şekil 11.1. Orifisetre

Gazın kütle debisi

$$m = C \cdot Y \cdot A_o \sqrt{2 \cdot g \cdot \rho_s \rho_H h} \quad \text{kg/s}$$

denkleminde bulunur (2)

Ek-B Şekil 16.2'den,

$$m = \left(\frac{d}{D}\right)^2 = \left(\frac{14}{36}\right)^2 = 0.151$$

oranına karşılık gelen debi katsayısı $C = 0.61$ bulunur.

Ek-B Şekil 16.1'den hava için $n = 1.41$ alınarak,

$$\frac{P_1 - P_2}{P_1} = \frac{0,75 \cdot 1000 \cdot 9,81}{0,680 \cdot 13600 \cdot 9,81} = 0.081$$

oranına karşılık gelen genişleme katsayısı $Y = 0.98$ bulunur.

$$A_o = \pi/4 (14 \times 10^{-3})^2 = 1.538 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$P_{at} = 90722 \text{ N/m}^2$$

$$R = 287 \text{ J/KgK}$$

$$T_1 = 30 \text{ }^\circ\text{C} (303 \text{ K})$$

$$\rho_H = \frac{P_{at}}{R \cdot T_1} = 1.043 \text{ kg/m}^3 \text{ bulunur.}$$

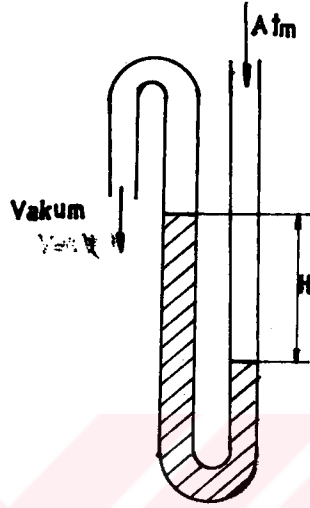
Bilinen değerleri yerine koyarsak

$$\dot{m} = 1.315 \times 10^{-2} \sqrt{h} \text{ kg/s} \text{ olarak elde edilir.} \quad (11.1)$$

11.2. Basıncın Ölçülmesi

Deney esnasında orifismetre girişinde, orifismetrede ve pompa girişinde basınç ölçülmesi yapılmaktadır. Sadece pompa girişindeki vakumu ölçerken cıvalı, diğerlerinde ise sulu manometre kullanılmıştır. U - şeklinde bükülmüş sert plastik hortumun içine başlangıçta belli bir seviyede cıva

doldurulmuştur. Vakum meydana gelince sağ koldaki cıva seviyesi düşer ve iki cıva seviyesi arasında $H(\text{mm})$ yükseklik farkı oluşur. Bu yükseklik vakumun mmHg olarak ifadesidir.



Şekil 11.2. Cıvalı vakumetre

11.3. Sıcaklıkların Ölçülmesi

Deneyde; orifisetre girişi, pompa girişi ve pompanın içinde bulunan sıvının sıcaklığının ölçülmesi için üç ayrı yerde sıcaklık ölçülmesi yapılmaktadır. Sıcaklık ölçümlerinde skaları $-10, 100\text{ }^{\circ}\text{C}$ arasında olan ispirotolu termometreler kullanılmıştır.

11.4. Gücün Ölçülmesi

Üç fazlı elektrik motorunun çektiği güç wattmetre ile ölçülmektedir. Wattmetreyi sisteme bağlamak için 3 adet 20/5 akım trafosu kullanılmıştır.

Wattmetrede okunan değer, motor mil gücünün, motor sürtünme ve rüzgar kaybının, demir ve bakır kayıplarının toplamıdır. Motor mil gücünü bulmak için wattmetrede okunan değerden, motor sürtünme ve rüzgar kayıplarının ve bakır kayıplarının çıkartılması gerekir. Demir kayıpları çok küçük olduğundan ihmal edilmiştir.

Motor sürtünme ve rüzgar kayıplarını bulabilmek için, motor boşta çalıştırılarak çektiği gücü ve akım değeri bulunur. Bu değerden boştaki bakır kayıpları çıkartılarak, motorun sürtünme ve rüzgar kayıpları bulunur. Motorun devri değişmediğinden motorun sürtünme ve rüzgar kayıplarının değeri sabit kalır.

Motorun bakır kayıplarını bulmak için, motor boşta ve çalışmaz durumda iken, ohmmetre ile motorun iç direnci ölçülür ve bakır kaybı $P_{cu} = 3I^2 R$ denkleminde hesap edilir. Kullandığımız elektrik motorunun mil gücü aşağıdaki ölçülen değerleri kullanarak hesaplanmıştır.

$$P_b = 430 \text{ W (motorun boşta çalışırken çektiği gücü)}$$

$$I_b = 2.6 \text{ A (motorun boşta çalışırken çektiği akım)}$$

$$R = 2.7 \text{ ohm (motorun boşta iken iç direnci)}$$

Motorun sürtünme ve rüzgar kaybı,

$$P_o = P_b - 3I_b^2 R = 430 - 3 \cdot 2.6^2 \cdot 2.7 = 375.2 \text{ W'dır.}$$

Motorun mil gücü,

$$P_m = P_y - (P_o + 3I^2 \cdot R) \text{ formülü kullanılarak bulunabilir. Bu-}$$

rada;

P_y = motor yükte çalışırken wattmetrede okunan değer. Bilinen değerleri yerine koyarsak,

$$P_m = P_y - (375.2 + 8.1 I^2) \text{ ifadesi elde edilir.}$$

12. DENEY SONUÇLARI

Pompada, hava giriş emme alanı (A_1) sabit tutulup, çıkış basma alanı değiştirilerek deneyler yapıldı. Ölçülen değerler yardımıyla her alan oranı için $H - \dot{Q}_g$, $\eta_v - \dot{Q}_g$, $\eta - \dot{Q}_g$ ayrıca $P_m - p$ ve üç değişik sıcaklık için $\eta_v - p$ eğrileri çizildi. Bu eğrilerin çiziminde aşağıdaki denklemlerden faydalanıldı.

$$\dot{Q}_g = \frac{\dot{m}}{\rho_g} \quad (\text{m}^3/\text{h}) \quad (12.1)$$

Denklem 10.1'deki m denklemini 12.1'de yerine koyarsak;

$$\dot{Q}_g = 1.3152 \times 10^{-2} \times 3600 \times \sqrt{h} / \rho_g = 47.34 \sqrt{h} / \rho_g \quad (\text{m}^3/\text{h}) \quad (12.2)$$

elde edilir. Burada;

$$\rho_g = \frac{P_g}{R \cdot T_g} \quad \text{dir.}$$

Genel verim ifadesi;

$$\eta = \frac{g \cdot \rho_g \cdot H_H \cdot \dot{Q}_g}{P_m} \quad \text{dir.} \quad (12.3)$$

$$H_H = \frac{g \cdot \rho_{Hg} \cdot H}{g \cdot \rho_g} = \frac{13600 \cdot H}{\rho_g}$$

denklem 12.3'de yerine koyarsak,

$$\eta = \frac{9,81 \cdot 13600 \cdot H \cdot \dot{Q}_g}{3600 \cdot P_m} = 37.06 H \cdot \dot{Q}_g / P_m \quad (12.4)$$

ifadesi elde edilir.

Pompanın volumetrik verimi;

$$\eta_v = \frac{\dot{Q}_g}{\frac{n}{60} \cdot Z \cdot V}$$

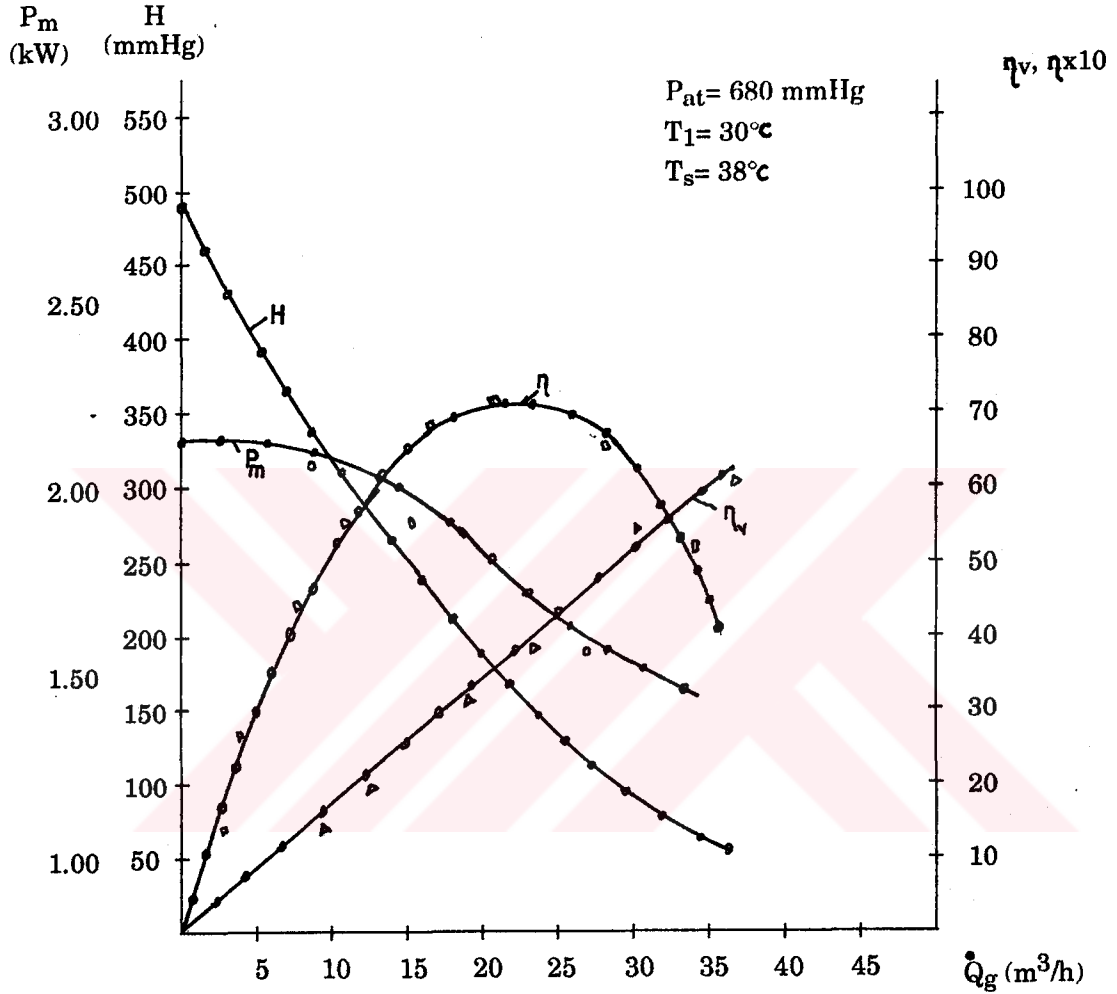
Burada $V = A_1 \cdot L$

Bilinen değerleri denklemde yerine koyarsak

$$\eta_v = \frac{\dot{Q}_g}{\frac{1415}{60} \cdot 8 \cdot 8,6 \times 10^{-5}} = 1,707 \times 10^{-2} \cdot \dot{Q}_g$$

$$\eta_v = 1,707 \times 10^{-2} \dot{Q}_g \text{ ifadesi elde edilir.} \quad (12.5)$$

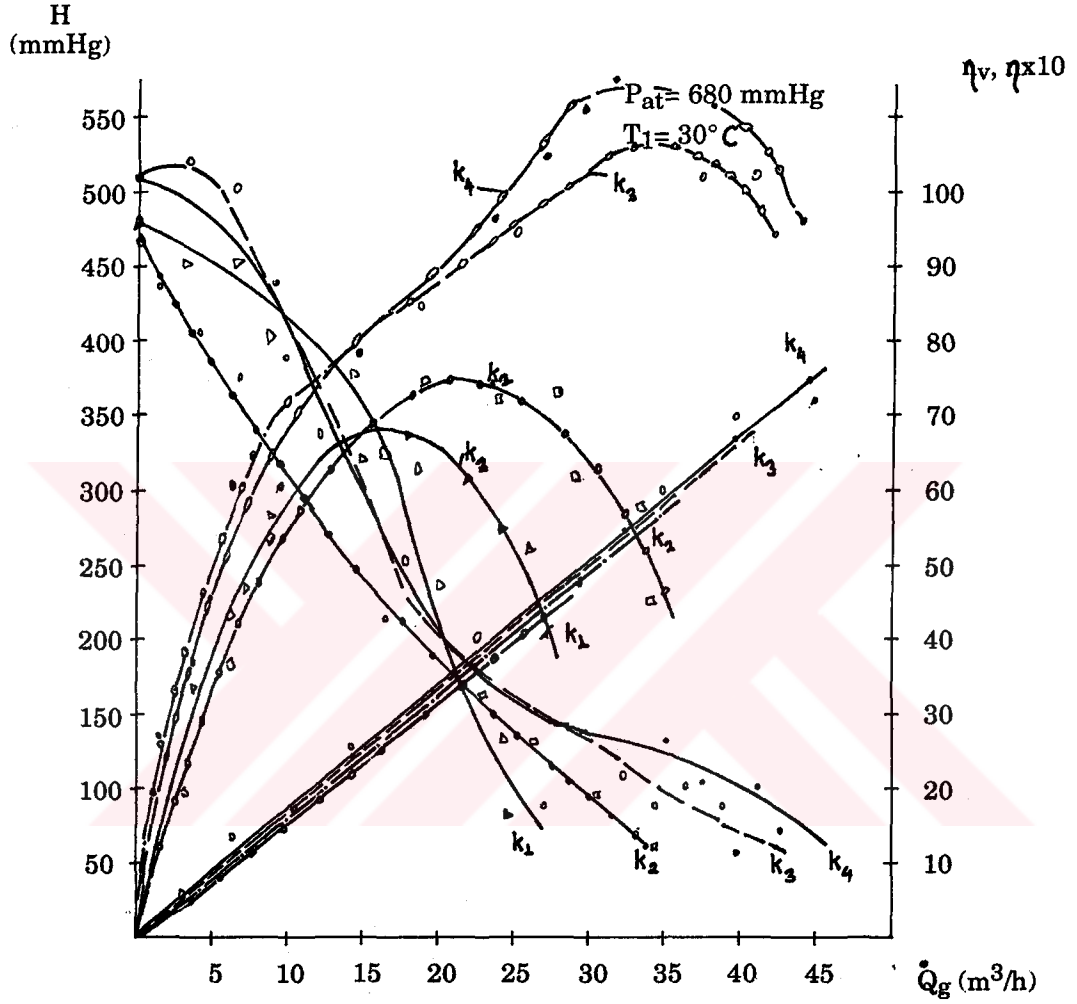
12.1. Karakteristik Eğrileri



Şekil 12.1. Alan oranı $k = 1.51$ olan pompanın karakteristik eğrileri (Bu eğrilerin çiziminde Tablo 14.1'e göre uydurulan denklemler kullanılmıştır)

Pompanın tükettiği güç, debi arttıkça azalmakta, pompanın genel verimi belli debi değerine kadar artmakta, daha sonra düşmektedir. Pompanın volumetrik verimi debi arttıkça, yaklaşık linear olarak artmaktadır. Pompadan elde ettiğimiz vakum değeri debi arttıkça azalmaktadır.

12.2. Alan Oranının Pompa Karakteristiğine Etkisi

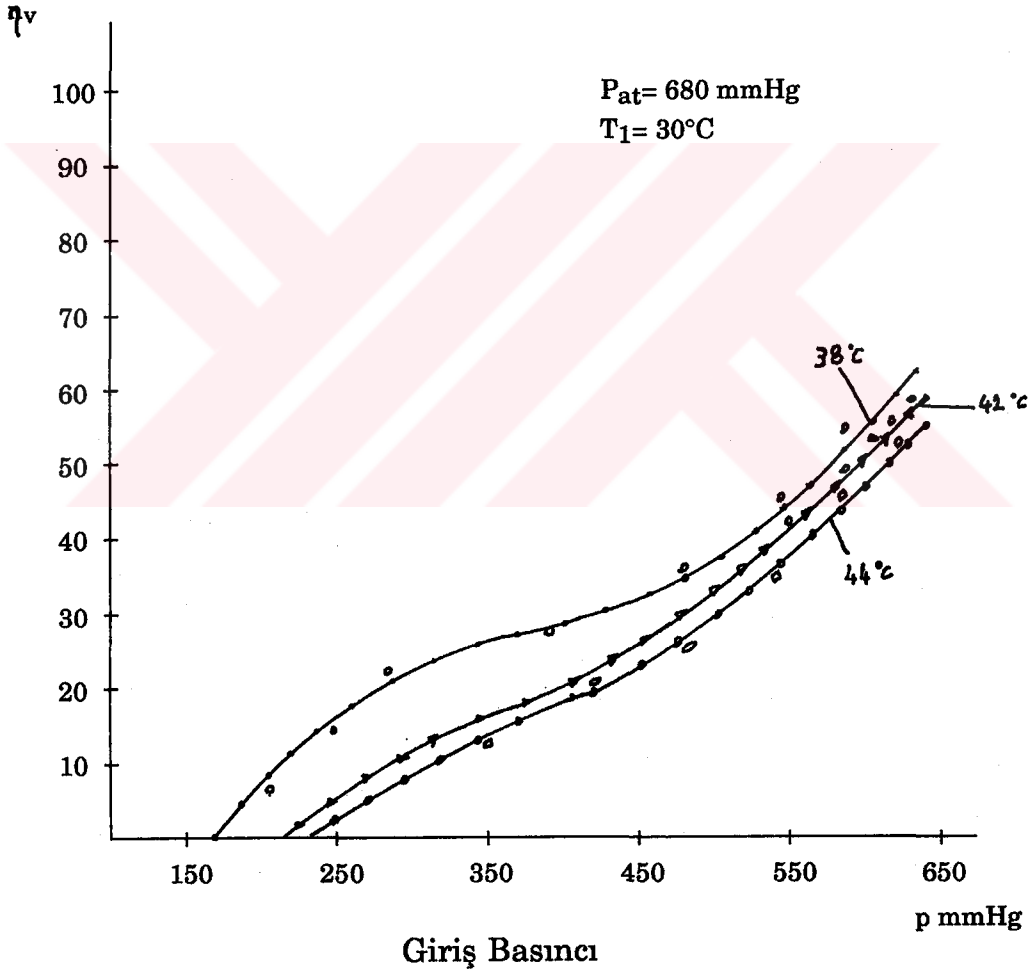


Şekil 12.2. Dört değişik alan oranı için $\dot{Q}-H$, $\dot{Q}-\eta_v$, $\dot{Q}-\eta$ diyagramları
(Bu eğrilerin çiziminde Tablo 1-10'a göre uydurulan denklemler kullanılmıştır.)

Pompanın meydana getirdiği vakum, küçük debilerde alan oranından etkilenmektedir. Ancak daha büyük debilerde vakum, alan oranı arttıkça, azalmaktadır. Pompanın volumetrik verimi, alan oranından pek etkilenmemektedir.

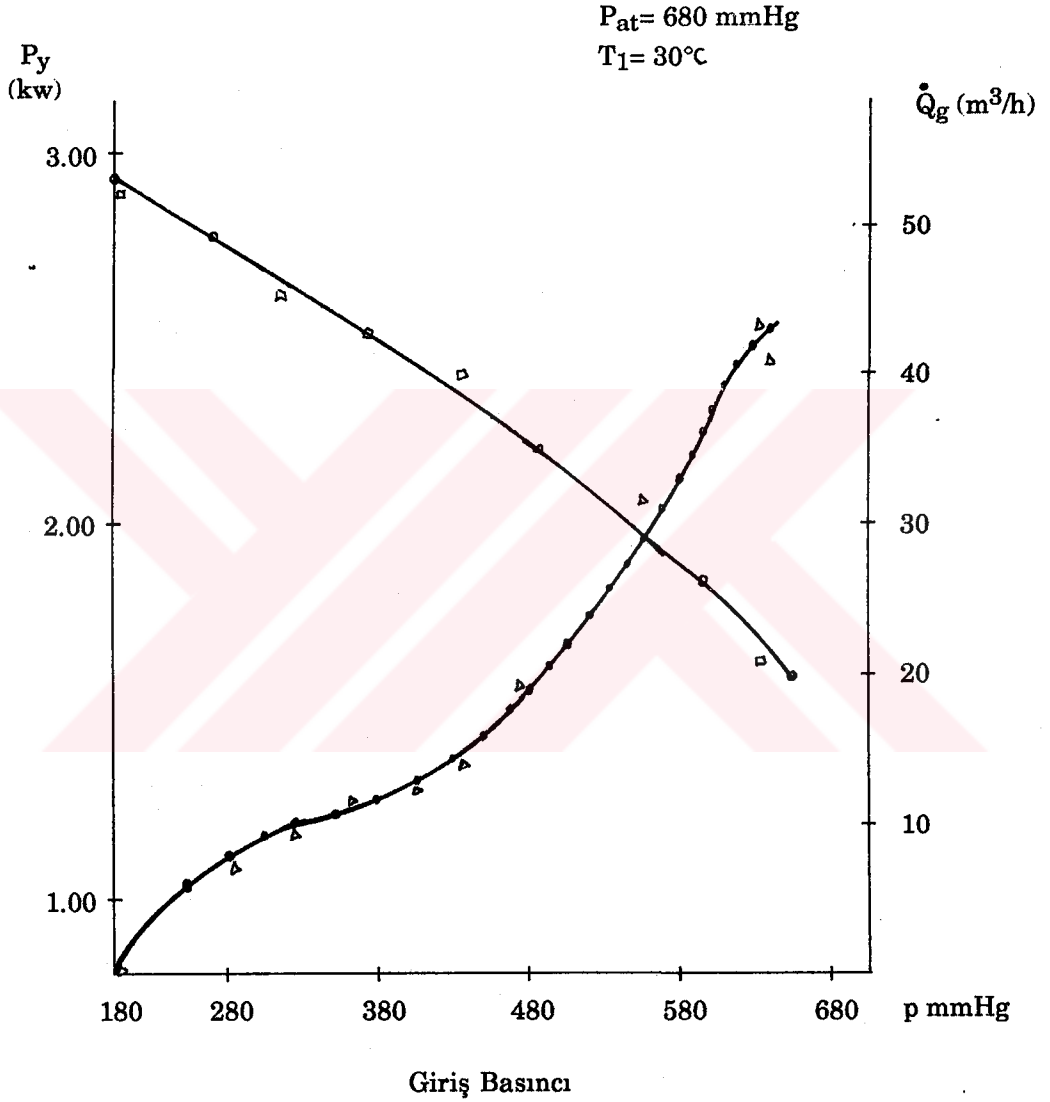
Genel verim alan oranı arttıkça azalmaktadır. Alan oranı küçüldükçe, pompanın debisi artmaktadır. Alan oranı küçüldükçe maksimum verim değeri, daha büyük debilerde elde edilmektedir.

12.3. Su Sıcaklığının Pompa Karakteristiğine Etkisi



Şekil 12.3. $K = 1.51$ alan oranında üç değişik sıcaklık için $\eta_v - p$ eğrileri (Bu eğrinin çiziminde Tablo 1-3'e göre uydurulan denklemler kullanılmıştır)

Şekilde görüldüğü gibi su sıcaklığı arttıkça volumetrik verim düşmektedir. Su sıcaklığı pompadan elde edilecek vakumu da etkilemektedir.



Şekil 12.4. Sıvı halkalı vakum pompasının $P_y - p$ ve $p - \dot{Q}$ diyagramı
(Bu eğrilerin çiziminde Tablo 7'ye göre uydurulan denklemler kullanılmıştır)

Debi sıfır iken veya vakum maksimum iken bu pompa maksimum güçte çalışmaktadır. Bu sebeple bu pompanın ilk çalıştırılması sırasında emme borusundaki vananın açık tutulması gerekir. Debi ve pompaya girişteki basınç arttıkça pompanın çektiği güç azalmaktadır.



13. TARTIŞMA

Sıva halkalı vakum pompasında elde edilen maksimum vakum kullanılan sıvının buharlaşma basıncına bağlıdır (1). Pratikte pompanın giriş vanası tamamen kapatılsa bile elde edilecek vakum miktarı atmosfer basıncının % 92'sini geçmez (1).

İmalatını yaptığımız pompanın içindeki suyun sıcaklığı yaklaşık 40 °C olmakta. Bu sıcaklığa karşılık gelen buharlaşma basıncı 76.6 mmHg'dir. Deney yaptığımız yerde atmosfer basıncı 680 mmHg'dir. Bu değere göre pompadan elde edebileceğimiz maksimum vakum $680 - 75.6 = 604.4$ mmHg olması gerekir. Fakat deneyler sonunda maksimum vakum 515 mmHg elde edilmiştir. Bunun sebebi yankapaklarla rotor arasındaki boşluğun tam olarak ayarlanamaması ve sızdırmazlığın sağlanamamasıdır.

Sıvı halkalı vakum pompasının volumetrik verimi sıvı sıcaklığı 26 °C olduğunda yaklaşık % 95'dir (11). İmalatı yapılan vakum pompasında yapılan deneyler sonunda en yüksek volumetrik verim 40 °C'de % 78.1 elde edildi. Volumetrik verimin düşük olmasının sebebi ise sıvı sıcaklığının fazla olmasıdır.

14. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu pompada elde edilen maksimum vakum $k = 1.32$ alan oranında 515 mmHg'dir. Maksimum verimin elde edildiği durumda; vakum değeri 130 mmHg maksimum verim % 11.2'dir ve debi 0.598 m³/dak.'dır.

Dört değişik çıkış kesit alanı için yapılan deneyler sonunda, alan oranı büyüdükçe elde edilen vakum, debi, verim, volumetrik verim azalmakta buna karşın tüketilen güç ve pompa ısınma süresi artmaktadır.

Sıvı halkalı vakum pompasının verimini etkileyen faktörlerin başında yan kapaklar ile rotor arasındaki tolerans miktarı gelmektedir. Deneyler esnasında, yan kapaklar ile kanat arasındaki tolerans artırılarak elde edilen vakum değeri ve hava debisinin düştüğü gözlenmiştir.

Pompanın verimine etki eden ikinci faktör ise, kullanılan suyun sıcaklığıdır. $k = 1.51$ alan oranında üç değişik sıcaklık için yapılan deneyde suyun daha düşük sıcaklıklarda yüksek vakum elde edileceği anlaşılmaktadır.

Pompanın verimini etkileyen diğer bir faktör ise, pompa içinde oluşan sıvı halkasının aynı seviyede kalmamasıdır. Bunu sağlamak için su, pompa içerisinde daima sirküler ettirilerek hem su halkasının aynı seviyede kalması, hem de pompa içerisinde ısınan suyun soğutulması sağlanmaktadır. Pompa içerisinde dolaştırılan suyun vanası kapatıldığında, vakum değerinin düştüğü görülmüştür. Bunun sebebi, pompa içerisindeki suyun ısınması, ısınan suyun buharlaşması ve su halkasının kalınlığının azalmasıdır. Su halkası kalınlığı azaldığı için rotor ile su halkası arasında boşluk oluşmakta ve böylece halkanın sızdırmazlık özelliği ortadan kalkmaktadır. Çıkış tarafındaki sıkıştırılmış hava, bu boşluktan giriş tarafına geçerek pompanın emme yapamamasına sebep olmaktadır.

Deneyler sonunda, bu pompanın genel veriminin çok düşük olduğu görülmüştür.

Sıvı halkalı vakum pompalarının performansını iyileştirmek için; alan oranlarının, sıvının ve sıvı sıcaklığının uygun seçilmesi, pompanın daha iyi soğutulması, imalat sırasında, parçaların eksen kaçıklığı olmayacak şekilde imal edilmeleri, O-ring yuvalarının toleransının iyi ayarlanması, yan kapaklarla rotor arasındaki boşluğun daha küçük tutulması ve pompanın daha iyi soğutulması gerekir.



15. KAYNAKLAR

- 1- CHERKESSKY, V.M., 1977. "Pumps Fans Compressors.", Mir Publishers.,
MOSKOW.
- 2- CHLUMSKY, V., 1965. "Reciprocating and Rotary Compressors.", Publishers
of Technical Literature. CZECHOSCOVAKIA.
- 3- DOUGLES, J.F., GASIOREK, J.M. ve SWAFFIELD, J.A., 1985. "Fluid
Mechanics.", Pitman Publishing limited. LONDON.
- 4- FUJITA, M. ve OKAZAKI, T., 1987. "Study of Water Ring Vacuum Pumps."
Journal Artical, p. 2492-2499.
- 5- HICKS, T.G. ve EDWARDS, W., 1971. "Pump Application Engineering.",
Mc Grow Hill Book Company. New York.
- 6- KOZLOW, A.N. 1990. "Calculation of Optimal Peripheral Velocity of Impeller
of Liquid-ring Machelas" Journal article. p. 510-513.
- 7- MATHY, C. ve GRAVIL, B., 1983. "Helium Pumping With liquid Ring
Vacuum Pump" 6p.
- 8- PIPKO, A., PLISKOVSky, V., KOKLEV, B. ve KUZNETSOV, V., 1981,
"Fundamentals of Vacuum Techniques." Mir Publishers. MOS-
COW.
- 9- ROTH, A., 1976. "Vacuum Technology", Notrh-Holland Publishing Company.
Amsterdam, HOLLAND.
- 10- TEIFKE, J., 1988. "Vakuumpumper in Der Verfahrenstechnik.", Journal
Artical, 14p.
- 11- WEISSLER, G.L. ve CARLSON, R.W., 1979. "Vacuum Physies and
technology.", Academic Press. New York.

16. EKLER

EK-A: Deney Sonuçları

Deney 1.

Orifis metre deki Basınç Farkı h mmSS	Vakum H mmHg	Suyun Sıcaklığı T _s	P _y Güç kW	Amper A	\dot{Q}_g m ³ /h	P _m kW	η %	η_v %
0	500	44	2.95	5.0	0	2.17	0	0
0	445	44	2.92	5.0	0	2.14	0	0
10	310	44	2.64	4.8	8.67	2.07	4.8	14.8
30	265	44	2.55	4.0	13.39	2.04	6.4	22.8
80	157	44	2.23	3.0	17.36	1.78	5.6	29.6
160	130	44	2.15	3.0	23.34	1.70	6.6	39.8
260	90	44	1.95	2.7	27.74	1.51	6.1	47.7
340	75	44	1.91	3.0	30.94	1.46	5.8	52.8
415	55	44	1.91	3.0	33.07	1.46	4.6	56.4
480	45	44	1.90	3.0	35.00	1.45	4.0	59.7
540	20	44	1.90	3.0	35.71	1.45	1.8	60.9

Tablo 16.1. Alan oranı $k = 1.51$ $\alpha = 80^\circ$ $\varphi = 35^\circ$ Hava sıcaklığı $T_1 = 30^\circ\text{C}$

Deney 1'in sonuçlarına göre uydurulan eğrilerin denklemleri ve standart hataları

$$\eta_v = -1.897 \times 10^{-2} + 4.550 \dot{Q} - 0.680 \dot{Q}^2 + 6.052 \times 10^{-2} \dot{Q}^3 - 2.537 \times 10^{-3} \dot{Q}^4 + 5.072 \times 10^{-5} \dot{Q}^5 - 3.903 \times 10^{-7} \dot{Q}^6$$

$$S = 0.601$$

$$\eta = 0.102 + 0.680 \dot{Q} - 1.609 \times 10^{-2} \dot{Q}^2$$

$$S = 0.924$$

$$H = 490.381 - 18.368 \dot{Q} + 0.161 \dot{Q}^2$$

$$S = 31.342$$

$$P_m = 2.153 + 1.126 \times 10^{-2} \dot{Q} - 2.420 \times 10^{-3} \dot{Q}^2 + 4.348 \dot{Q}^3$$

$$S = 0.0432$$

$$\eta_v(44^\circ\text{C}) = -1.327 - 3.174 \times 10^{-2} p + 1.950 \times 10^{-4} p^2$$

$$S = 2.931$$

Deney 2.

Orifis metre deki Basınç Farkı h mmSS	Vakum H mmHg	Suyun Sıcaklığı T _s	P _y Güç kW	Amper A	Q _g m ³ /h	P _m kW	η %	η _v %
0	510	42	2.83	4.9	0	2.32	0	0
0	470	42	2.83	5.0	0	2.31	0	0
7	360	42	2.75	4.8	8.44	2.18	5.1	15.5
20	290	42	2.60	4.2	11.72	2.08	6.0	19.9
40	235	42	2.50	4.0	14.52	1.99	6.35	24.7
65	190	42	2.40	3.9	16.95	1.90	6.28	28.6
100	160	42	2.35	3.8	19.64	1.85	6.29	33.5
145	140	42	2.20	3.2	22.76	1.74	6.7	38.9
180	125	42	2.10	3.0	24.70	1.65	6.9	42.1
225	110	42	2.10	3.0	26.89	1.65	6.6	45.9
270	95	42	2.00	2.9	26.6	1.55	6.0	48.9
360	75	42	1.95	2.9	32.02	1.50	5.9	54.6
445	50	42	1.94	2.9	34.21	1.49	4.2	58.3
540	25	42	1.83	2.8	36.23	1.39	2.4	61.8

Tablo 16.2. Alan oranı $k = 1.51$ $\alpha = 80^\circ$ $\varphi = 35^\circ$ Hava sıcaklığı $T_1 = 30^\circ\text{C}$

Deney 3.

Orifis metre deki Basınç Farkı h mmSS	Vakum H mmHg	Suyun Sıcaklığı T _s	P _y Güç kW	Amper A	\dot{Q}_g m ³ /h	P _m kW	η %	η_v %
0	510	38	2.90	5.0	0	2.32	0	0
0	500	38	2.91	5.0	0	2.33	0	0
20	365	38	2.75	4.8	14.2	2.30	8.3	24.2
35	315	38	2.65	4.7	16.2	2.29	8.2	27.7
65	240	38	2.50	4.5	18.3	1.96	8.3	31.3
110	190	38	2.45	4.5	21.4	1.91	7.8	36.6
160	150	38	2.38	4.2	23.7	1.86	7.1	40.8
210	130	38	2.26	4.2	26.4	1.74	7.3	45.1
245	115	38	2.20	4.1	27.7	1.68	7.0	47.3
380	80	38	1.96	4.0	32.5	1.45	6.6	55.1
500	65	38	1.87	3.8	36.42	1.37	6.4	62.1
545	30	38	1.83	3.7	38.1	1.34	3.1	65.0

Tablo 16.3. Alan oranı $k = 1.51$ $\alpha = 80^\circ$ $\phi = 35^\circ$ Hava sıcaklığı $T_1 = 30^\circ \text{C}$

Deney 1-3'ün sonuçlarına göre uydurulan eğrilerin denklemleri ve standart hataları.

$$\eta = -1.819 \times 10^{-2} + 1.189 \dot{Q} - 0.096 \dot{Q}^2 + 3.654 \times 10^{-3} \dot{Q}^3 - 5.125 \dot{Q}^4$$

$$S = 0.574$$

$$\eta_v = -1.897 \times 10^{-2} + 4.590 \dot{Q} - 0.680 \dot{Q}^2 + 6.053 \times 10^{-2} \dot{Q}^3 - 2.537 \times 10^{-3} \dot{Q}^4 + 5.072 \times 10^{-5} \dot{Q}^5 - 3.903 \times 10^{-7} \dot{Q}^6$$

$$S = 0.601$$

$$H = 471.751 - 20.057 \dot{Q} + 0.221 \dot{Q}^2$$

$$S = 21.43$$

$$\eta_v(42^\circ \text{C}) = -26.927 + 0.206 p - 4.056 \times 10^{-4} p^2 + 4.630 \times 10^{-7} p^3$$

$$S = 2.166$$

Deney 4.

Orifistremetredeki Basınç Farkı h mmSS	Vakum H mmHg	Suyun Sıcaklığı T _s	P _y Güç kW	Amper A	Q _g m ³ /h	P _m kW	η %	η _v %
0	485	38	4.30	7.3	0	3.49	0	0
5	390	38	3.70	7.0	7.7	2.92	3.8	13.1
20	345	38	3.40	6.0	13.3	2.73	6.2	22.8
45	280	38	3.00	5.5	16.8	2.37	7.3	28.6
65	225	38	2.80	5.1	17.7	2.21	6.6	30.2
100	150	38	2.50	4.8	18.9	1.93	5.4	32.2
120	125	38	2.40	4.5	19.7	1.86	4.9	33.7
150	95	38	2.30	4.5	20.9	1.76	4.1	35.7
190	65	38	2.20	4.1	22.4	1.68	3.2	38.3
300	20	38	1.90	4.0	26.2	1.39	1.3	44.8

Tablo 16.4. Alan oranı $k = 1.78$ $\alpha = 90^\circ$ $\phi = 45^\circ$ Hava sıcaklığı $T_1 = 30^\circ\text{C}$

Deney 5.

Orifis metre deki Basınç Farkı h mmSS	Vakum H mmHg	Suyun Sıcaklığı T _s	P _y Güç kW	Amper A	\dot{Q}_g m ³ /h	P _m kW	η %	η_v %
0	475	42	4.10	7.0	0	3.32	0	0
5	455	42	3.50	6.5	10.1	2.78	6.1	17.1
20	350	42	3.10	5.8	15.9	2.65	7.7	27.1
35	300	42	3.00	5.5	17.1	2.37	8.0	29.2
55	250	42	2.60	5.2	18.3	2.10	8.0	31.2
85	200	42	2.50	4.8	21.0	2.05	7.5	35.8
120	170	42	2.40	4.7	21.8	1.84	7.4	37.1
220	115	42	2.30	4.5	26.6	1.76	6.4	45.4
295	55	42	2.20	4.0	27.8	1.69	3.3	47.5

Tablo 16.5. Alan oranı $k = 1.78$ $\alpha = 90^\circ$ $\phi = 45^\circ$ Hava sıcaklığı $T_1 = 30^\circ\text{C}$

Deney 4-5'in sonuçlarına göre uydurulan eğrilerin denklemleri ve standart hataları.

$$\eta = -0.105 + 0.157 \dot{Q} - 2.691 \dot{Q}^2$$

$$S = 1.549$$

$$\eta_v = -7.057 \times 10^{-3} + 1.701 \dot{Q} + 2.843 \dot{Q}^2$$

$$S = 0.0635$$

$$H = 479.842 - 111.089 \dot{Q} + 26.081 \dot{Q}^2 - 2.215 \dot{Q}^3 + 7.556 \times 10^{-2} \dot{Q}^4 - 9.045 \times 10^{-4} \dot{Q}^5$$

$$S = 45.624$$

Deney 6.

Orifismetre deki Basınç Farkı h mmSS	Vakum H mmHg	Suyun Sıcaklığı T _s	P _y Güç kW	Amper A	Q̇ _g m ³ /h	P _m kW	η %	η _v %
0	515	36	3.00	5.5	0	2.37	0	0
4	470	36	2.90	5.5	9.5	2.27	7.2	16.2
25	300	36	2.50	4.7	13.1	1.94	7.5	22.2
55	230	36	2.30	4.5	16.4	1.76	7.9	23.0
120	175	36	2.20	4.1	21.6	1.68	8.3	36.8
235	145	36	2.10	3.9	28.5	1.60	9.5	48.7
360	130	36	1.96	3.9	34.3	1.50	11.2	58.6
590	95	36	1.83	3.6	41.3	1.34	10.8	70.5
700	75	36	1.75	3.5	43.5	1.27	9.5	74.2
830	55	36	1.65	3.2	45.8	1.19	7.8	78.3

Tablo 16.6. Alan oranı $k = 1.32$ $\alpha = 70^\circ$ $\phi = 25^\circ$ Hava sıcaklığı $T_1 = 30^\circ\text{C}$

Deney 7.

Orifis metre deki Basınç Farkı h mmSS	Vakum H mmHg	Suyun Sıcaklığı T _s	P _y Güç kW	Amper A	Q _g m ³ /h	P _m kW	η %	η _v %
0	510	38	2.98	5.2	0	2.38	0	0
0	500	38	2.94	5.0	0	2.36	0	0
7	410	38	2.75	4.8	9.8	2.18	6.8	16.7
12	345	38	2.58	4.7	10.3	2.02	6.5	17.9
50	250	38	2.30	4.3	16.4	1.77	8.5	28.6
120	190	38	2.10	4.0	22.4	1.59	9.9	38.9
205	160	38	2.00	3.8	27.5	1.50	10.8	47.8
280	140	38	1.95	3.6	31.0	1.46	11.0	53.9
410	75	36	1.75	3.5	43.5	1.27	9.5	74.2
560	85	38	1.78	3.5	39.8	1.30	9.6	71.0
700	60	38	1.70	3.5	42.7	1.22	7.7	74.2
810	45	38	1.60	3.5	44.8	1.12	6.6	77.9

Tablo 16.7. Alan oranı $k = 1.32$ $\alpha = 70^\circ$ $\varphi = 25^\circ$ Hava sıcaklığı $T_1 = 30^\circ\text{C}$

Deney 7'nin sonuçlarına göre uydurulan eğrilerin denklemleri ve standart hataları.

$$\dot{Q} = -9.527 - 0.268 p + 3.88 \times 10^{-3} p^2 - 1.575 \times 10^{-5} p^3 + 2.647 \times 10^{-8} p^4 + 1.560 \times 10^{-11} p^5$$

$$S = 1.032$$

$$P_y = 6.372 - 4.909 p + 2.723 \times 10^{-4} p^2 - 7.5110 \times 10^{-7} p^3 + 9.753 \times 10^{-10} p^4 - 4.845 \times 10^{-13} p^5$$

$$S = 0.008$$

Deney 8.

Orifis metre deki Basınç Farkı h mmSS	Vakum H mmHg	Suyun Sıcaklığı T _s	P _y Güç kW	Amper A	Q̇ _g m ³ /h	P _m kW	η %	η _v %
0	500	40	3.00	5.3	0	2.39	0	0
0	490	40	3.00	5.2	0	2.40	0	0
10	380	40	2.76	4.9	10.6	2.19	6.8	18.4
40	260	40	2.45	4.4	15.1	1.91	7.6	26.3
90	170	40	2.22	4.1	18.7	1.70	6.9	32.5
170	125	40	2.07	4.0	23.6	1.56	7.0	41.1
370	115	40	1.88	3.6	34.3	1.39	10.5	59.9
530	70	40	1.80	3.6	38.0	1.31	7.52	66.1
670	60	40	1.69	3.6	42.1	1.20	7.8	73.1
730	55	40	1.64	3.5	43.5	1.16	7.6	76.3
810	50	40	1.60	3.5	45.5	1.12	7.5	79.1

Tablo 16.8. Alan oranı $k = 1.32$ $\alpha = 70^\circ$ $\varphi = 25^\circ$ Hava sıcaklığı $T_1 = 30^\circ\text{C}$

Deney 6-8'in sonuçlarına göre uydurulan eğrilerin denklemleri ve standart hataları.

$$\eta = -0.330 + 1.737 \dot{Q}$$

$$S = 1.138$$

$$\eta_v = -3.270 \times 10^{-3} + 1.763 \dot{Q} - 0.172 \dot{Q}^2 + 8.191 \times 10^{-2} \dot{Q}^3 - 1.726 \times 10^{-4} \dot{Q}^4$$

$$S = 0.979$$

$$H = 503.376 + 35.730 \dot{Q} - 8.014 \dot{Q}^2 + 0.427 \dot{Q}^3 - 9.239 \times 10^{-3} \dot{Q}^4 + 7.124 \times 10^{-5} \dot{Q}^5$$

$$S = 20.380$$

Deney 9.

Orifistremetre deki Basınç Farkı h mmSS	Vakum H mmHg	Suyun Sıcaklığı T _s	P _y Güç kW	Amper A	Q _g m ³ /h	P _m kW	η %	Q _v %
0	510	34	2.90	5.5	0	2.27	0	0
3	500	34	2.90	5.5	9.5	2.27	7.7	16.2
10	420	34	2.90	5.2	12.0	2.30	8.1	20.5
15	335	34	2.60	5.0	11.1	2.02	6.8	21.9
30	270	34	2.45	4.9	13.2	1.88	7.1	22.5
55	235	34	2.30	4.9	16.5	1.73	8.3	28.1
95	190	34	2.20	4.6	19.7	1.65	8.4	33.6
175	160	34	2.00	4.2	25.6	1.48	10.2	42.9
270	130	34	1.90	4.0	28.5	1.39	9.8	50.4
380	110	34	1.80	3.9	33.2	1.38	9.8	67.9
470	100	34	1.70	3.9	36.9	1.30	10.5	63.0
660	75	34	1.60	3.8	41.9	1.10	10.6	71.5
760	55	34	1.60	3.8	43.6	1.10	8.1	74.4

Tablo 16.9. Alan oranı $k = 1.41$ $\alpha = 75^\circ$ $\phi = 30^\circ$ Hava sıcaklığı $T_1 = 30$

Deney 10.

Orifis metre deki Basınç Farkı h mmSS	Vakum H mmHg	Suyun Sıcaklığı T _s	P _y Güç kW	Amper A	Q̇ _g m ³ /h	P _m kW	η %	η _v %
0	510	38	2.90	5.5	0	2.27	0	0
0	490	38	2.90	5.4	0	2.28	0	0
10	360	38	2.65	5.0	9.0	2.07	6.3	16.8
30	285	38	2.48	4.7	13.8	2.06	7.0	23.7
50	260	38	2.30	4.6	16.8	1.75	9.2	28.7
90	190	38	2.10	4.5	19.4	1.56	8.7	33.1
160	150	38	2.00	4.2	23.9	1.48	8.9	40.8
300	130	38	1.80	4.0	31.5	1.39	10.9	53.8
510	90	38	1.70	3.8	38.3	1.20	10.6	50.8
640	70	38	1.60	3.6	41.5	1.11	9.6	70.9
760	55	38	1.60	3.6	44.5	1.11	8.1	75.4

Tablo 16.10. Alan oranı $k = 1.41$ $\alpha = 75^\circ$ $\phi = 30^\circ$ Hava sıcaklığı $T_1 = 30^\circ\text{C}$

Deney 9-10'un sonuçlarına göre uydurulan eğrilerin denklemleri ve standart hataları.

$$\eta_v = 0.887 + 1.669 \dot{Q}$$

$$S = 3.971$$

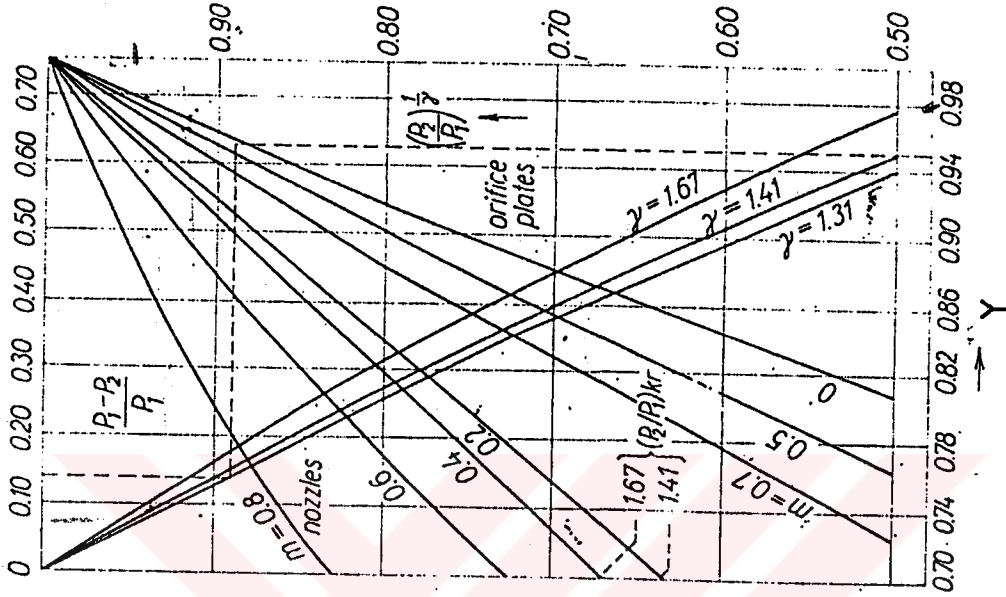
$$\eta = 0.007 + 1.266 \dot{Q} - 7.787 \times 10^{-2} \dot{Q}^2 + 2.319 \times 10^{-3} \dot{Q}^3 - 2.508 \times 10^{-5} \dot{Q}^4$$

$$S = 0.582$$

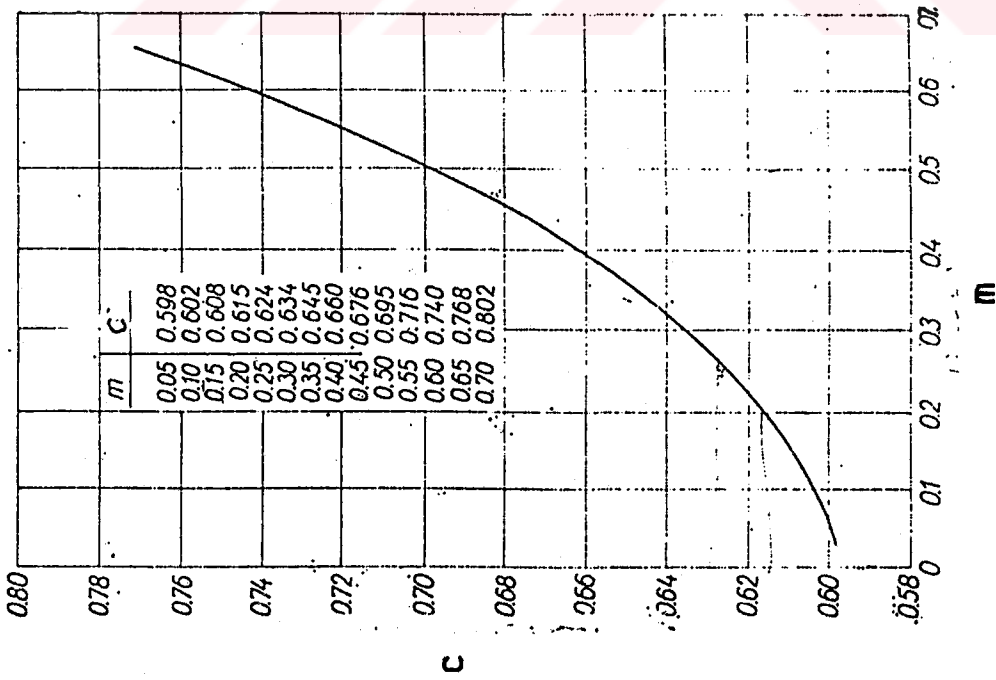
$$H = 503.358 + 27.539 \dot{Q} - 6.483 \dot{Q}^2 + 0.336 \dot{Q}^3 - 7.103 \times 10^{-3} \dot{Q}^4 + 5.371 \times 10^{-5} \dot{Q}^5$$

$$S = 35.31$$

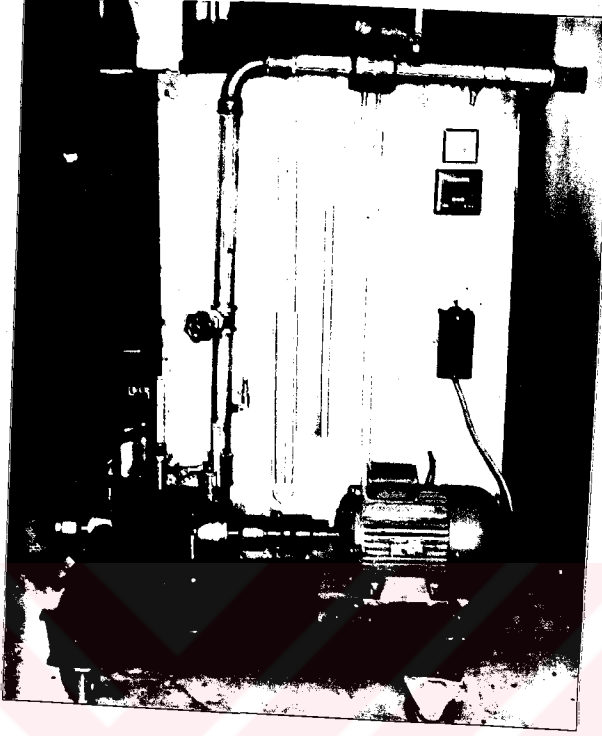
EK-B



Şekil 16.1. Havanın Genleşme Katsayısı



Şekil 16.2. Orifismetrenin Debi Katsayısı

EK-C. Sıvı Halkalı Vakum Pompası Deney Tesisatının Fotoğrafları

Fotoğraf-1: Deney Tesisatının Önden Görünüşü



Fotoğraf-2: Deney Tesisatının Yandan Görünüşü