

11995

T.C.
SELÇUK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

SU JETİ POMPALARININ OPTİMUM ÇALIŞMA ŞARTLARININ TESPİTİ

DOKTORA TEZİ

Rafet YAPICI
Makina Yüksek Mühendisi

Jüri Üyeleri

Prof.Dr.Akbay Tuğan GÖKÇE

Doç.Dr.Erdem KOÇ

Yrd.Doç.Dr.Yüksel BURDURLU

KONYA-1990

T.C.
Yükseköğretim Kurulu
Bilgi Kütüphane Merkezi

ÖZET

Su jeti pompası, yüksek hızlı su jetinin kinetik enerjisinden faydalanarak düşük enerjili suyu nakletmek için kullanılan bir pompadır. Bu pompalarda, karışma odasında iki jetin karışması esnasında ortaya çıkan çarpışma kaybı, verimi etkileyen en önemli faktördür. Bu kayıp tamamen önlenemez; ancak jetlerin hız oranı, başka bir ifadeyle pompanın temel geometrik boyutları uygun seçilerek azaltılabilir.

Bu sebeple çalışmanın birinci kısmında, su jeti pompasındaki akış, teorik olarak incelendi. İlk önce enerji denklemi, momentum denklemi ve süreklilik denklemi yardımıyla bu pompadaki toplam enerji kaybı; akış parametrelerine, geometrik parametrelere ve pompada kullanılan elemanların kayıp sayılarına bağlı olarak ifade edildi. Sonra bu toplam enerji kaybı kullanılarak, taşıyıcı su ve emilen su arasındaki enerji transferini gösteren boyutsuz akış parametresi basma oranı; diğer akış parametreleri ve geometrik parametrelere göre ifade edildi. Sonuçta pompanın verimiyle alan oranı, debi oranı, basma oranı gibi boyutsuz parametreler ve kayıp sayıları arasındaki bağıntılar çıkarıldı.

Çıkarılan bu bağıntılar kullanılarak verimin maksimum olması halindeki optimum akış parametreleri ve geometrik parametreler, kayıp sayılarına bağlı olarak bulundu. Buna ilâve olarak pompanın fonksiyonunu yerine getiremeyeceği durumdaki akış parametreleri ve geometrik parametreler teorik olarak tesbit edildi.

Çalışmanın ikinci kısmında, tesbit edilen optimum akış parametreleri ve geometrik parametreler kullanılarak hesaplanan ana boyutlara göre su jeti pompası imal edilerek deney ünitesine monte edildi. Karışma odası uzunluğu ve püskürtme lülesi mesafesi hakkında teorik sonuçlar bilgi vermediğinden, bu değerler deneyler yardımıyla bulundu. Bu değerlerin, diğer parametrelere bağlı olarak verime etkisi incelendi. Verimin maksimum olduğu durumlardaki optimum karışma odası uzunluğu ve püskürtme lülesi mesafesi

bulundu. Daha sonra, sabit alan oranı için verimin, debi oranına ve basma oranına bağlı olarak nasıl değiştiği incelendi. Değişik alan oranları için bu işlem tekrarlanarak, her alan oranı için verimin maksimum olduğu yerdeki optimum basma oranları ve debi oranları tesbit edildi. Son olarak, bu değerlerden faydalanarak maksimum verimin, optimum alan ve basma oranının, debi oranına bağlı olarak nasıl değiştiğini gösteren optimum karakteristik eğriler elde edildi. Ayrıca alan oranına bağlı olarak maksimum basma oranı tesbit edildi.

Çalışmanın son kısmında, teorik sonuçlar ile deney sonuçları kıyaslandı. Teorik sonularla deney sonuçları uyum sağladığından, su jeti pompasının hesabının, teorik sonuçlar kullanılarak yapılabileceği sonucu elde edildi.

ABSTRACT

Water-jet pump is a pump which uses the kinetic energy of high-velocity water jet to pump the water which has got low energy. In these pumps, the impact losses in mixing chamber, occurring due to mixing of two jets with different velocities are the most important factor which acts on efficiency. These can't be completely prevent. However, they can be minimized by choosing the optimum mass flow ratio, in other words the optimum main dimensions of pump.

For this reason, the flow in the water-jet pump has been investigated theoretically at first. Total energy loss has been expressed according to the flow and geometric parameters and the loss coefficients of pump components by using energy, momentum and continuity equations. Then the pressure ratio which is dimensionless flow parameter has been expressed as using the total energy loss according to the other flow and geometric parameters. After then, the relations between the efficiency of pump and dimensionless parameters, which consist of area ratio, mass flow ratio, pressure ratio and loss coefficients have been derived.

Optimal flow and geometric parameters, while the efficiency is maximum, have been obtained by using the above relations. In addition, the area and pressure ratios have been obtained theoretically when the pump can not perform its function.

In the second part of work, the main dimensions of water-jet pump have been calculated as using optimal flow and geometric parameters, the pump has been manufactured and mounted to the test unit. The optimum length of mixing chamber and, the optimum distance between the jet nozzle and the mixing chamber have been determined empirically from actual tests rather than from theory. The loss coefficients for mixing chamber and diffuser have been determined experimentally. Then it has been investigated how efficiency varies as a function of mass flow ratio for various area ratios and, optimum pressure and mass flow ratios have been determined. Finally, the set of dimensionless optimum characteristic curves have been generated for various area ratios. In addition, maximum pressure ratio curve has been generated as a function of area ratio.

In the last part, the experimental results have been compared with the theoretical results. As a result, it has been obtained that the calculation of water-jet pump can be done by using the theoretical results.

ÖNSÖZ

"Su jeti pompalarının Optimum Çalışma Şartlarının Tesbiti" konulu doktora teziyle ilgili deney ünitesi, Selçuk Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümü Laboratuvarında kurulmuştur. Deney ünitesindeki su jeti pompasının tamamı ve debi ölçme aletleri bu laboratuvarında imal edilip, deney ünitesine monte edilmiştir.

Bu tez, S.Ü. Araştırma Fonu tarafından desteklenmiştir.

Çalışmalarım ve tüm doktora öğrenimim süresince, büyük desteğini gördüğüm değerli Hocam, Prof.Dr.Akbay Tuğan GÖKÇE'ye, deney ünitesinin kurulmasında yardımını esirgemeyen Arş.Gör.H.Selçuk HALKACI'ya teşekkür ederim.



SEMBOLLER

[01] : Püskürtme lülesine giriş kesiti

[02] : Emme lülesine giriş kesiti

[1,2,3,4] : Sırasıyla püskürtme lülesi, emme lülesi, karışma odası ve difüzörün çıkış kesitleri.

A : Alan oranı

A_1, A_2, A_3, A_4 : Akış kesitleri

B : Basma oranı

b : Uzunluk oranı

$c_{01}, c_{02}, c_1, c_2, c_3, c_4$: Ortalama akış hızları

d, D : Çap, boru çapı

H_k : Enerji kaybı

l, L : Boru uzunluğu

$\dot{m}_1, \dot{m}_2, \dot{m}_3$: Kütle debileri

M : Debi oranı

$p_{01}, p_{02}, p_1, p_2, p_3, p_4$: Statik basınçlar

$p_{t01}, p_{t02}, p_{t1}, p_{t2}, p_{t3}, p_{t4}$: Toplam basınçlar

Δp : Basınç farkı

$\dot{Q}_1, \dot{Q}_2, \dot{Q}_3$: Hacim debileri

Re : Reynolds sayısı

t : Püskürtme lülesi mesafesi

x, y : Hız oranları

ψ_1, ψ_2 : Lülelerin kayıp sayıları

ζ_d : Difüzörün kayıp sayısı

ζ_{ko} : Karışma odasının kayıp sayısı

ζ_t : Toplam kayıp sayısı

η : Su jeti pompasının verimi

η_d : Difüzörün verimi

σ : Kaviteasyon sayısı

σ_k, σ'_k : Kritik kavitasyon sayıları

ρ : Yoğunluk

γ : Özgül ağırlık

ν : Kinematik viskozite

θ : Koniklik açısı

λ : Boru sürtünme sayısı

Δh_1 : Birinci orifismetredeki civa seviyeleri arasındaki fark

Δh_2 : İkinci orifismetredeki civa seviyeleri arasındaki fark



İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	ii
ABSTRACT	iv
ÖNSÖZ	v
SEMBOLLER	vi
1. GİRİŞ	1
2. SU JETİ POMPASININ TEORİK İNCELENMESİ	6
2.1. Akış ve Geometrik Parametreler Arasındaki Bağlılıklar	7
2.1.1. Tanımlar ve Kullanılan Terimler	7
2.1.2. Su Jeti Pompasındaki Toplam Enerji Kaybı	8
2.1.3. Su Jeti Pompasının Basma Oranı	9
2.1.4. Su Jeti Pompasının Verimi	11
2.1.5. Teorik Sonuçların İncelenmesi	12
2.1.6. Emilen Su Debinin Sıfır Olması Hali	14
2.1.7. Su Jeti Pompalarında Kaviteasyon	15
3. SU JETİ POMPASI DENEY ÜNİTESİ	19
3.1. Deney Ünitesinin Tanıtılması	19
3.2. Su Jeti Pompası	22
3.2.1. Püskürtme Lülesi	24
3.2.2. Emme Lülesi	27
3.2.3. Karışma Odası	28
3.2.4. Difüzör	32
3.3. Debinin Ölçülmesi	35
3.4. Basıncın Ölçülmesi	38
3.5. Ölçmeye Etki Eden Faktörler	39
3.6. Ölçülen Değerleri Analiz Metodu	40

	Sayfa
4. DENEY SONUÇLARI	41
4.1. Emilen Su Debisi Sıfır Olunca Basma Oranı	41
4.2. Karışma Odası Uzunluğunun Su Jeti Pompasının Verimine Etkisi	42
4.3. Püskürtme Lülesi Mesafesinin Su Jeti Pompasının Verimine Etkisi	44
4.4. Sabit Alan Oranı İçin Karakteristik Eğri	47
4.5. Optimum Karakteristik Eğriler	49
5. DENEY SONUÇLARI İLE TEORİK SONUÇLARININ KIYASLANMASI	53
5.1. Sonuçların Değerlendirilmesi	56
6. SU JETİ POMPASI HESABI İLE İLGİLİ BİR ÖRNEK	58
KAYNAKLAR	64
ÖZGEÇMİŞ	65
EKLER	66
EK A. Deney Sonuçları	66
EK A.1. Karışma Odası Kayıp Sayısının Tesbiti	66
EK A.2. Difüzörün Verimi ve Kayıp Sayısının Tesbiti	67
EK A.3. $M = 0$ Olması Halinde Basma Oranının Tesbiti	68
EK A.4. Püskürtme Lülesi Mesafesinin Verime Etkisi	69
EK A.5. Karışma Odası Uzunluğunun Verime Etkisi	73
EK A.6. Değişik Alan Oranları İçin Debi Oranına Bağlı Olarak Basma Oranı ve Verimin Değişmesi	76
EK B. Debi Oranı, Basma Oranı ve Verimi Hesaplama ve Eğri Uydurma ile ilgili Bilgisayar Programı	86
EK C. Deney Ünitesiyle İlgili Fotoğraflar	95

1. GİRİŞ

Pistonlu ve rotorlu pompalara ilaveten sıvıları hareket ettirmek için başka pompalar da kullanılır. Bu pompalardan biri de jet prensibine göre çalışan su jeti pompasıdır. Su jeti pompasında taşıyıcı suyun basıncı, bir püskürtme lülesinde düşürülerek hızı yükseltilir ve lülenin ucunda bir vakum meydana getirilir. Bu vakum etkisiyle nakledilecek su emme lülesinin içine emilir ve taşıyıcı su ile emilen su karışma odasında karışır. Bu olay esnasında taşıyıcı su tarafından emilen suya enerji aktarılır. Karışma odası çıkışında iki akışkan aynı enerjiye sahip olur. Karışma odası çıkışına bağlanan difüzörde, karışmış suyun basıncı artırılır ve istenilen yere nakledilir.

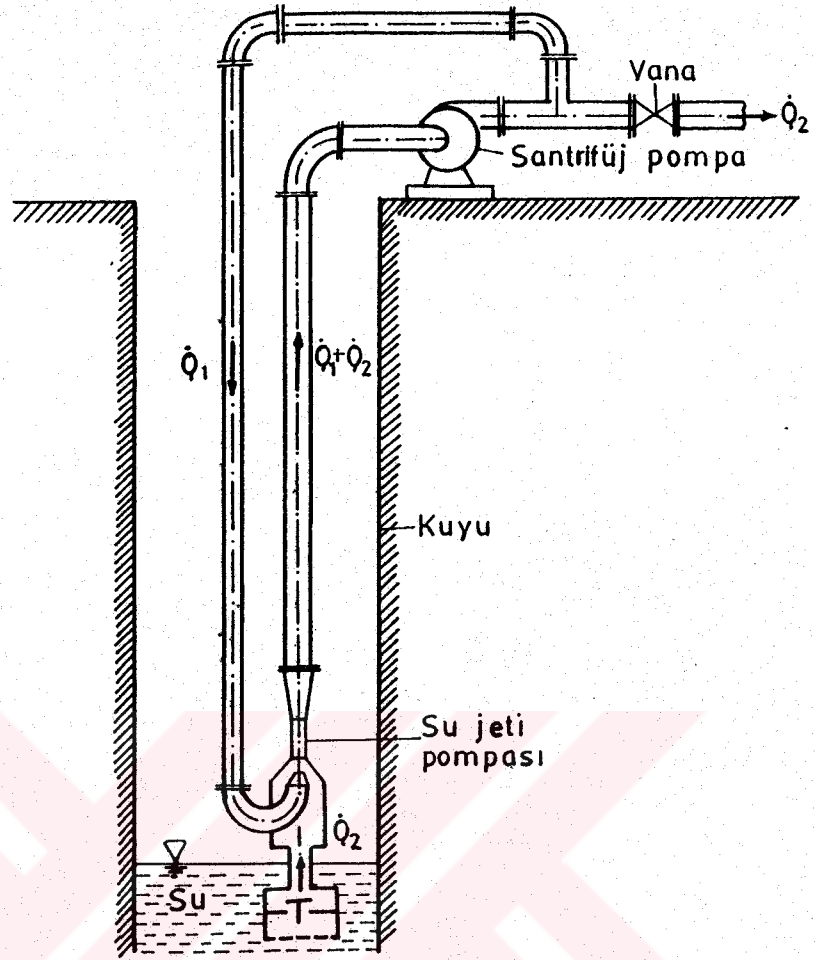
Bu pompalarda, diğer pompalardan farklı olarak bir akışkanın enerjisinden faydalanılarak ikinci bir akışkan pompalanır. Pistonlu ve rotorlu pompalara kıyasla verimleri düşük (% 43) olmasına rağmen kullanım yerine göre birçok avantajları vardır. Kolay montajı ve demontajı, bakım gerektirmemesi, alışılmış malzemelerin dışındaki malzemelerden imal edilebilmesi ve maliyetinin düşük olması başlıca avantajlarındandır. Hareketli parçalarının olmayışı, bu pompanın en önemli özelliklerinden biridir. Bu pompalarda katı, sıvı ve gaz fazındaki maddelerin nakli mümkündür. Sıvı ve gazlar, taşıyıcı veya taşınan; katılar ise sadece taşınan madde olabilir. Korrozif ve aşındırıcı maddelerin naklinde kullanılabilirler.

Su jeti pompalarının başlıca kullanım alanları, pis suyun pompalanması, derin kuyulardan suyun çıkarılması, kondenzat suyunun uzaklaştırılması ve gemilerden sintine suyunun pompalanmasını kapsar. Jet pompalarının görevlerinden birisi, iki akışkanın karıştırılması olduğundan, bazı jet pompaları sadece bir karıştırıcı olarak dizayn edilirler. Bu maksatla kullanılan jet pompalarının başlıca kullanım alanı, kimyasal proses endüstrisidir. Burada hidrokarbonlarla kostiğin, oksijenin veya bakır klorid harcının karıştırılmasında, emülsiyon üretiminde ve sıvıların oranlarının

ayarlanmasında kullanılırlar. Kuyu, lağım çukuru, depo, deniz, göl, deniz ve sıvı maden yataklarından kum, çamur, çakıl, mineral ve buna benzer maddeleri pompalamak için özel olarak dizayn edilen jet pompaları kullanılır. Buralarda kullanılan pompalar genellikle nakledilecek maddenin içine gömülerek kullanılır. Bu tip pompalar, katı veya yarı-katı maddeleri harekete geçirmek için ana püskürtme lülesine ek olarak yardımcı lüleleri de ihtiva ederler.

Endüstrinin çeşitli alanlarında çok geniş uygulama alanı bulan su jeti pompalarının en önemli uygulama alanı, derin kuyulardan su çıkarılmasıdır. Derin kuyularda kullanılan pompalar, pistonlu ve rotorlu pompalardır. Fakat son on yıldır derin kuyularda, su jeti pompaları geniş bir şekilde kullanılmaktadır. Su jeti pompaları, santrifüj pompalarla birlikte kullanıldıkları zaman, onların performanslarını artırırlar. Santrifüj pompanın emme yüksekliğinden ve barometrik yükseklikten derin kuyulardan suyun emilmesini mümkün kılarlar. Şekil 1.1 de su jeti pompasının derin kuyularda kullanılmasını izah eden bir şematik resim görülmektedir.

Su jeti pompası, derin kuyularda kullanılması halinde basınçlı suyu sağlayan pompa yeryüzüne yerleştirir. Su jeti pompası ise ya kuyudaki suyun içine gömülür veya kavitasyonu önleyecek kadar su seviyesinden yukardaki bir yüksekliğe yerleştirilir. Pompa çalıştırılmadan önce sistem tamamen su ile doldurulur. Santrifüj pompa çalıştırılarak basınçlı taşıyıcı su, aşağıdaki su jeti pompasına gönderilir. Püskürtme lülesinin ucunda meydana gelen vakumun etkisi ile kuyudaki su emilir. Emilen su ile taşıyıcı su, jet pompası tarafından santrifüj pompanın jeodezik emme yüksekliğine kadar basılır. Bu yükseklikten su, santrifüj pompa tarafından emilir ve basıncı artırılır. Santrifüj pompa çıkışında kuyudan emilen \dot{Q}_2 debisindeki su, kullanılacak yere ; \dot{Q}_1 debisindeki taşıyıcı su ise tekrar jet pompasına basılır. Şekilde görülen vana ile, emilen suyun basıncı ve debisi ayarlanır.



Şekil 1.1: Su jeti pompasının derin kuyularda kullanılması

Su jeti pompalarının özel bir uygulama alanı da, bir vadide biriken suyun uzaklaştırılmasıdır. Yüksekteki bir nehir suyunun enerjisinden faydalanarak vadideki su, nehir yüksekliğinden biraz daha düşük yüksekliğe pompalanabilir. Böyle bir durumda su jeti pompası, sistemde hiç bir hareketli parça kullanılmadan bir vadide biriken suyun boşaltılmasında kullanılır.

Su jeti pompası, çalışması itibariyle basit görünmesine rağmen boyutlandırma ve imalat sırasında gözden kaçacak herhangi bir hatanın pompa verimi üzerindeki olumsuz etkisi, büyük ölçüde olmaktadır. Mesela boyutlandırma uygun yapılmadığı zaman pompa kavitasyon dolayısıyla hem gürültülü, hem de çok düşük verimde çalışır. Püskürme lülesinin pozisyonunun ve karış-

ma odası uzunluğunun uygun olmaması, verimi % 33 den % 27 ye düşürebilmektedir. Uygulamada rastlandığı gibi difüzör kullanılmaması verimi % 30 daha azaltmaktadır.

Diğer taraftan boyutlandırma ve imalatla ilgili literatürde yeterli bilgi yoktur. Bu sebeple su jeti pompalarında lülelerin formlarının ve boyutlarının, karışma odası boyutlarının, püskürtme lülesinin pozisyonunun ve difüzörün boyutlarının verime etkisinin araştırılması gerekir. Bu çalışmada önce teorik olarak pompanın verimine tesir eden faktörlerin tesir dereceleri etüd edilmiş, daha sonra bu teorik yaklaşımın doğruluğunu araştırmak için deney ünitesi projelendirilmiş, imal edilmiş ve kurulmuştur.

Teorik yaklaşımda aşağıdaki kabuller yapılmıştır :

1- Taşıyıcı ve emilen akışkan aynı fazdadırlar. Akışkanların yoğunlukları eşit ve sabittir.

2- Taşıyıcı ve emilen suyun karışma odası girişindeki basınçları eşittir.

3- Karışma odasına girişte, emilen suyun emme kesitindeki taşıyıcı suyun jet kesitindeki, karışmış suyun karışma odası ve difüzör çıkış kesitlerindeki akış hızları üniform olup buralardaki hızlar, ortalama akış hızlarına eşittir.

4- Püskürtme lülesi ucu ile karışma odası arasındaki mesafe sıfırdır veya taşıyıcı su jeti bozulmadan karışma odasına girmektedir.

5- Emilen suyun ve taşıyıcı suyun karışma odası girişindeki akışı aksenal yöndedir.

6- Emme ve püskürtme lülesi, karışma odası ve difüzör aynı eksenlidir.

7- Karışma odasında akışkanların karışması sırasında meydana gelen çarpışma kaybı, hız değişmesinin karesi ile doğru orantılıdır.

Su jeti pompasıyla ilgili yayınlanmış ilk çalışma, Gosline ve O'Brien tarafından yapıldı [1]. Onlar, yeteri kadar büyük Reynolds sayıla-

rında çalışan geometrik benzer pompaların karakteristiklerini veren denklemleri çıkardılar.

Sonra Mc Conaghy, su jeti pompalarını santrifüj pompa ile birlikte kullanarak derin kuyulara uyguladı. Bu durumdaki karakteristiklerini tesbit etti [2].

Schulz, su jeti pompaları için hava ile yaptığı model deneylerde su jeti pompasındaki basınç ve hız seyrini, silindirik ve konik lülelerin verime etkisini incelemiştir [3]. Schulz, daha sonra Fasol ile birlikte model deneylerine dayanarak prototip su jeti pompasını imal ederek, Reynolds sayısının verime etkisini araştırdı [4].

Vogel, önce su jeti pompalarının kullanım sahalarını, daha sonra da lülelerin, karışma odasının ve difüzörün kayıp sayılarını ve Reynolds sayısına göre değişmesini incelemiştir [5,6].

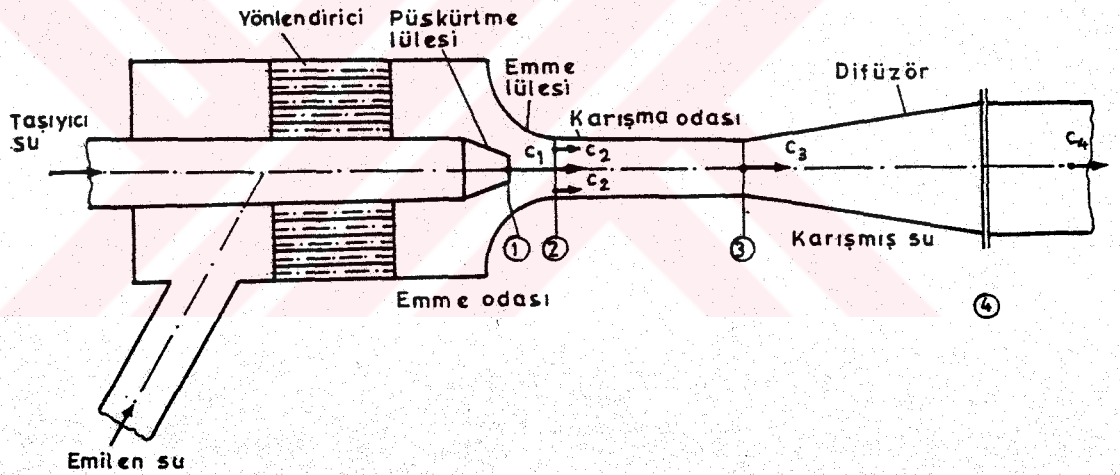
Weber, su jeti pompası ile katı madde naklini inceleyerek, bu pompaların hesap metodlarını vermiştir [7].

Petrie ve Smart, jet pompalarını petrol kuyularına uyguladıkları deneysel çalışmalarında, tesisin karakteristik eğrilerini incelemiştir [8].

Sasiç ve Petroviç, su jeti pompalarında emilen ve taşıyıcı akışkanların yoğunluklarının değişmesinin verime etkisini teorik ve deneysel olarak tetkik etmişlerdir [9].

2. SU JETİ POMPASININ TEORİK İNCELENMESİ

Su jeti pompası, yüksek kinetik enerjili su jetinin enerjisinden faydalanarak, düşük enerjili suyun toplam enerjisini artıran bir pompadır. Su jeti pompası beş temel elemandan meydana gelir. Bunlar sırasıyla emme odası, emme lülesi, püskürtme lülesi, karışma odası ve difüzördür. Emme odasında bulunan yönlendirici, emilen suyun simetrik olarak emme lülesine girmesini sağlar, şekil 2.1. Püskürtme lülesinde yüksek basınçtaki taşıyıcı suyun basıncı düşerken hızı artar. Bu sebeple emme lülesinde, su jeti tarafından meydana getirilen vakumun etkisiyle emme odasındaki su, karışma odasına emilir. Karışma odasında farklı hızlara sahip iki akışkan arasında momentum transferi olur. Bu momentum transferi esnasında, kinetik enerjisi



Şekil 2.1: Şematik olarak su jeti pompası

yüksek olan taşıyıcı suyun enerjisi, daha düşük kinetik enerjiye sahip olan emilen suya aktarılırken iki akışkan birbiriyle karışır. Karışma odası girişinde, taşıyıcı su c_1 -hızına ve emilen su c_2 -hızına, çıkışında ise karışım c_3 -hızına sahip olurlar. c_3 -hızına sahip olan karışmış haldeki su, karışma odasından çıktıktan sonra difüzöre girer ve karışmış haldeki suyun hızı, difüzörden çıkışta c_4 -hızına düşer ve istenilen yere bu hızla nakledilir.

Karışma odasında iki akışkanın karışması esnasında, akışkan parçacıkları arasında meydana gelen karşılıklı etki ve çarpışmalar sebebiyle büyük ölçüde enerji kaybı meydana gelir. Su jeti pompasının verimini, birinci derecede karışma odasındaki çarpışma kayıpları ile cidar sürtünme kayıpları etkiler.

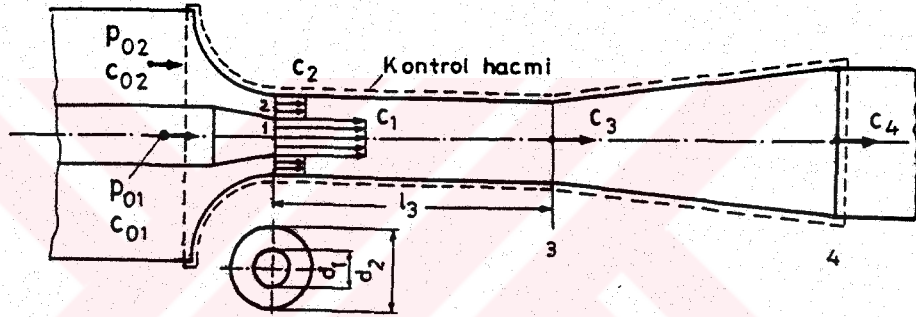
2.1. AKIŞ VE GEOMETRİK PARAMETRELER ARASINDAKİ BAĞINTILAR

2.1.1. TANIMLAR VE KULLANILAN TERİMLER

Şekil 2.2 de görülen kontrol hacmiyle ilgili tanımlar şöyledir :

p_{01}, c_{01} : Püskürtme lülesine girişte taşıyıcı suyun statik basıncı ve hızı,

p_{02}, c_{02} : Emme lülesine girişte emilen suyun statik basıncı ve hızı,



Şekil 2.2: Su jeti pompasında seçilen kontrol hacmi

p_1, p_2, p_3, p_4 : Sırasıyla, püskürtme lülesi, emme lülesi, karışma odası ve difüzör çıkışındaki statik basınçlar,

c_1, c_2, c_3, c_4 : Sırasıyla, püskürtme lülesi, emme lülesi, karışma odası ve difüzör çıkışındaki akış hızları,

$\dot{m}_1, \dot{m}_2, \dot{m}_3 = \dot{m}_4$ ve $\dot{Q}_1, \dot{Q}_2, \dot{Q}_3 = \dot{Q}_4$: Sırasıyla taşıyıcı su, emilen su ve karışmış suyun kütle ve hacim debileri,

ρ_1, ρ_2, ρ_3 : Sırasıyla, taşıyıcı su, emilen su ve karışmış suyun yoğunlukları,

p_{t01}, p_{t02}, p_{t4} : Sırasıyla, taşıyıcı su, emilen su, ve karışmış suyun toplam basınçları,

H_{tk} : Su jeti pompasındaki toplam enerji kaybıdır.

Bu bölümde kullanılan tanımlar :

Debi oranı: Emilen suyun kütle debisinin, taşıyıcı suyun kütle debisine oranıdır. M - ile gösterilirse $M = \dot{m}_2 / \dot{m}_1$ olur.

Alan oranı: Karışma odasının kesit alanı A_3 ün, lülenin çıkış kesit alanı A_1 e oranıdır. Bu oran A - ile gösterilirse $A = A_3/A_1$ olur.

Basma oranı: Emilen suyun toplam basıncındaki artmanın, taşıyıcı suyun toplam basıncındaki azalmaya oranıdır. Bu oran, B - ile gösterilirse,

$$B = \frac{(\Delta p_t) \dot{m}_2}{(\Delta p_t) \dot{m}_1} \quad \text{olur.}$$

2.1.2. SU JETİ POMPASINDAKİ TOPLAM ENERJİ KAYBI

Şekil 2.2 de görülen su jeti pompasında kontrol hacmi; püskürtme lülesi, emme lülesi, karışma odası ve difüzörü içine alacak şekilde seçildi. Karışma odası girişinde emilen su ve taşıyıcı su jeti hızları, difüzör çıkışında karışmış suyun hızı üniform olsun. Buna göre su jeti pompasındaki toplam enerji kaybı, lülelerdeki, karışma odasındaki ve difüzördeki enerji kayıplarının toplamına eşittir. Karışma odasındaki enerji kaybı iki kısımdan oluşur. Birincisi, farklı hızlara sahip iki akışkanın karışması esnasında meydana gelen çarpışma kaybıdır. İkincisi, cidar sürtünmesinden meydana gelen kayıplardır. Momentum denkleminde karışma odasındaki çarpışma kayıpları,

$$H_{kc} = \frac{1}{2} \dot{m}_1 (c_1 - c_3)^2 + \frac{1}{2} \dot{m}_2 (c_2 - c_3)^2 \quad (1)$$

şeklinde yazılabilir. Karışma odasında cidar sürtünmesinden meydana gelen sürtünme kayıpları,

$$H_{ks} = \frac{1}{2} \dot{m}_3 \left(\lambda_3 \frac{l_3}{d_3} \right) c_3^2 \quad (2)$$

olur. Burada λ_3 ve l_3 , sırasıyla karışma odasının sürtünme kayıp sayısı ve uzunluğudur. Difüzörde meydana gelen enerji kaybı ise,

$$H_{kd} = \frac{1}{2} \dot{m}_3 (\zeta_d) c_3^2 \quad (3)$$

olur. Buradaki ζ_d , difüzörün kayıp sayısıdır. Püskürtme lülesindeki enerji kaybı, püskürtme lülesinin hız kat sayısı Ψ_1 ile,

$$H_{kp} = \frac{1}{2} \dot{m}_1 c_1^2 \left(\frac{1}{\psi_1^2} - 1 \right) \quad (4)$$

ve emme lülesinin enerji kaybı, hız katsayısı ψ_2 ile,

$$H_{ke} = \frac{1}{2} \dot{m}_2 c_2^2 \left(\frac{1}{\psi_2^2} - 1 \right) \quad (5)$$

olur. $b = l_3/d_3$ olmak üzere toplam kayıp sayısı $\zeta_t = (b \lambda_3 + \zeta_d)$ olur.

Süreklilik eşitliğinden

$$\dot{m}_3 = \dot{m}_1 + \dot{m}_2 \quad (6)$$

yazılabilir. (1), (2), (3), (4) ve (5) eşitlikleriyle toplam enerji kaybı,

$$H_{kt} = \frac{1}{2} \dot{m}_1 \left(\frac{c_1^2}{\psi_1^2} - 2 c_1 c_3 \right) + \frac{1}{2} \dot{m}_2 \left(\frac{c_2^2}{\psi_2^2} - 2 c_2 c_3 \right) + \frac{1}{2} \dot{m}_3 (1 + \zeta_t) c_3^2 \quad (7)$$

olur. $x = \frac{c_2}{c_1}$, $y = \frac{c_3}{c_1}$ ve önceki tanımlarla (7) eşitliğinden

$$H_{kt} = \frac{1}{2} \dot{m}_1 c_1^2 \left[\frac{1}{\psi_1^2} - 2y - 2Mxy + \frac{Mx^2}{\psi_2^2} + (1+M)(1+\zeta_t)y^2 \right] \quad (8)$$

elde edilir.

2.1.3. SU JETİ POMPASININ BASMA ORANI

Su jeti pompalarının basma oranı, emilen suyun toplam basıncındaki değişimin, taşıyıcı suyun toplam basıncındaki değişmeye oranıdır. Buna göre basma oranı B,

$$B = \frac{(p_{t4} - p_{t02})}{(p_{t01} - p_{t4})} \quad (9)$$

olur. Şekil 2.2 deki su jeti pompası için enerji eşitliği,

$$\dot{Q}_3 \cdot p_{t4} = p_{t01} \cdot \dot{Q}_1 + p_{t02} \cdot \dot{Q}_2 - H_{kt} \quad (10)$$

şeklinde yazılabilir. Buradaki toplam basınçlar,

$$p_{t01} = p_1 + \rho_1 \frac{c_1^2}{2 \psi_1^2}, \quad p_{t02} = p_2 + \rho_2 \frac{c_2^2}{2 \psi_2^2} \quad (11)$$

dir. Sıkıştırılmayan su için $\rho_1 = \rho_2$ ve $p_1 = p_2$ dir. Buna göre $\rho = \rho_1 = \rho_2$ ile taşıyıcı ve emilen suyun toplam basınçları farkı,

$$p_{t01} - p_{t02} = \frac{1}{2} \rho c_1^2 \left(\frac{1}{\psi_1^2} - \frac{x^2}{\psi_2^2} \right) \quad (12)$$

olur. $M = \frac{\dot{m}_2}{\dot{m}_1}$ ile (6) eşitliğinden,

$$\frac{\dot{Q}_1}{\dot{Q}_3} = \frac{1}{(1+M)} \quad \text{ve} \quad \frac{\dot{Q}_2}{\dot{Q}_3} = \frac{M}{(1+M)} \quad (13)$$

bulunur. (13) eşitliğindeki bağıntılar (10) eşitliğinde kullanılırsa emilen akışkanın toplam basıncındaki artma,

$$p_{t4} - p_{t02} = \frac{1}{(1+M)} p_{t01} + \frac{M}{1+M} \cdot p_{t02} - \frac{H_{kt}}{\dot{Q}_3} - p_{t02} \quad (14)$$

bulunur. (14) eşitliğine, (8) eşitliği konur ve işlem yapılırsa

$$p_{t4} - p_{t02} = \left(\frac{1}{1+M} \right) \frac{1}{2} \cdot \rho c_1^2 \left[2y(1+Mx) - (1+M)(1+\zeta_t)y^2 - (1+M) \frac{x^2}{\psi_2^2} \right] \quad (15)$$

elde edilir.

Taşıyıcı suyun toplam basıncındaki azalma,

$$(p_{t01} - p_{t4}) = (p_{t01} - p_{t02}) - (p_{t4} - p_{t02}) \quad (16)$$

şeklinde yazılabilir. (12) ve (15) eşitlikleri (16) da yerine konursa ve işlem yapılırsa,

$$(p_{t01} - p_{t4}) = \frac{1}{2} \cdot \rho c_1^2 \left[\frac{1}{\psi_1^2} - \frac{1}{(1+M)} 2y(1+Mx) + (1+\zeta_t)y^2 \right] \quad (17)$$

bulunur. (15) ve (17) eşitlikleri (9)'da yerine konarak basma oranı

$$B = \frac{1}{(1+M)} \cdot \frac{2y(1+Mx) - (1+M) \left[(1+\zeta_t)y^2 + \frac{x^2}{\psi_2^2} \right]}{\frac{1}{\psi_1^2} - \frac{2y}{(1+M)} \cdot (1+Mx) + (1+\zeta_t)y^2} \quad (18)$$

elde edilir. Şimdi buradaki boyutsuz parametreler x ve y 'yi, debi ve alan oranına bağlı olarak ifade edelim. Süreklilik eşitliğinden,

$$\frac{\dot{Q}_2}{\dot{Q}_1} = \frac{c_2}{c_1} \frac{(d_2^2 - d_1^2)}{d_1^2} = M \text{ olur. } d_2 = d_3 \text{ olduğu dikkate alınarak bu}$$

bağıntıdan,

$$x = \frac{c_2}{c_1} = \frac{M}{A-1} \quad (19)$$

bulunur. Benzer şekilde

$$\frac{\dot{Q}_3}{\dot{Q}_1} = \frac{c_3 d_3^2}{c_1 d_1^2} = 1+M \text{ yazılarak}$$

$$\frac{c_3}{c_1} = y = \frac{(1+M)}{A} \quad (20)$$

elde edilir. (19) ve (20) eşitlikleri, (18) de yerine konursa basma oranı; alan oranı, debi oranı ve toplam kayıp sayısına bağlı olarak ifade edilir. İşlem yapılarak

$$B = \frac{\frac{2}{A} \left(1 + \frac{M^2}{A-1}\right) - \frac{(1+M)^2}{A^2} (1+\zeta_t) - \frac{M^2}{(A-1)^2 \psi_2^2}}{\frac{1}{\psi_1^2} - \frac{2}{A} \left(1 + \frac{M^2}{A-1}\right) + (1+M)^2 \cdot \frac{(1+\zeta_t)}{A^2}} \quad (21)$$

bulunur.

2.1.4. SU JETİ POMPASININ VERİMİ

Su jeti pompasının verimi, emilen suyun enerjisindeki artmanın taşıyıcı suyun enerjisindeki azalmaya oranıdır. Buna göre verim

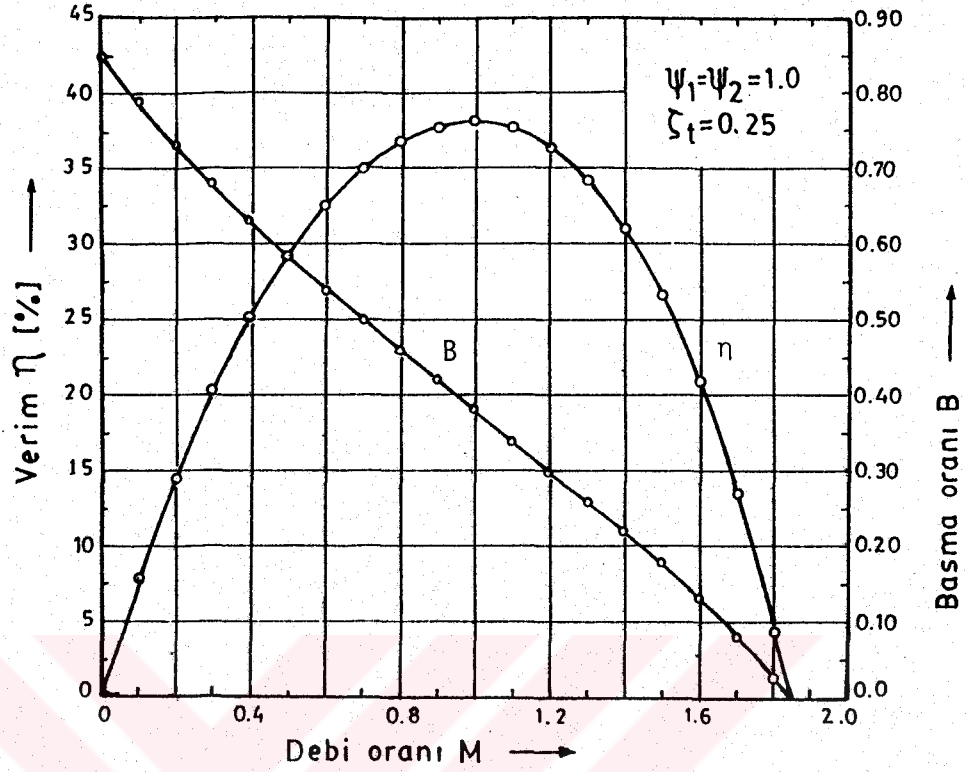
$$\eta = \frac{\dot{m}_2 (p_{t4} - p_{t02})}{\dot{m}_1 (p_{t01} - p_{t4})} = M \frac{(p_{t4} - p_{t02})}{(p_{t01} - p_{t4})} = M.B \quad (22)$$

olur. Bu eşitliğe göre verim, debi oranıyla basma oranının çarpımına eşittir. (21) eşitliği ile

$$\eta = M \frac{\frac{2}{A} \left(1 + \frac{M^2}{A-1}\right) - \frac{(1+M)^2}{A^2} (1+\zeta_t) - \frac{M^2}{(A-1)^2 \psi_2^2}}{\frac{1}{\psi_1^2} - \frac{2}{A} \left(1 + \frac{M^2}{A-1}\right) + (1+M)^2 \cdot \frac{(1+\zeta_t)}{A^2}} \quad (23)$$

şeklini alır.

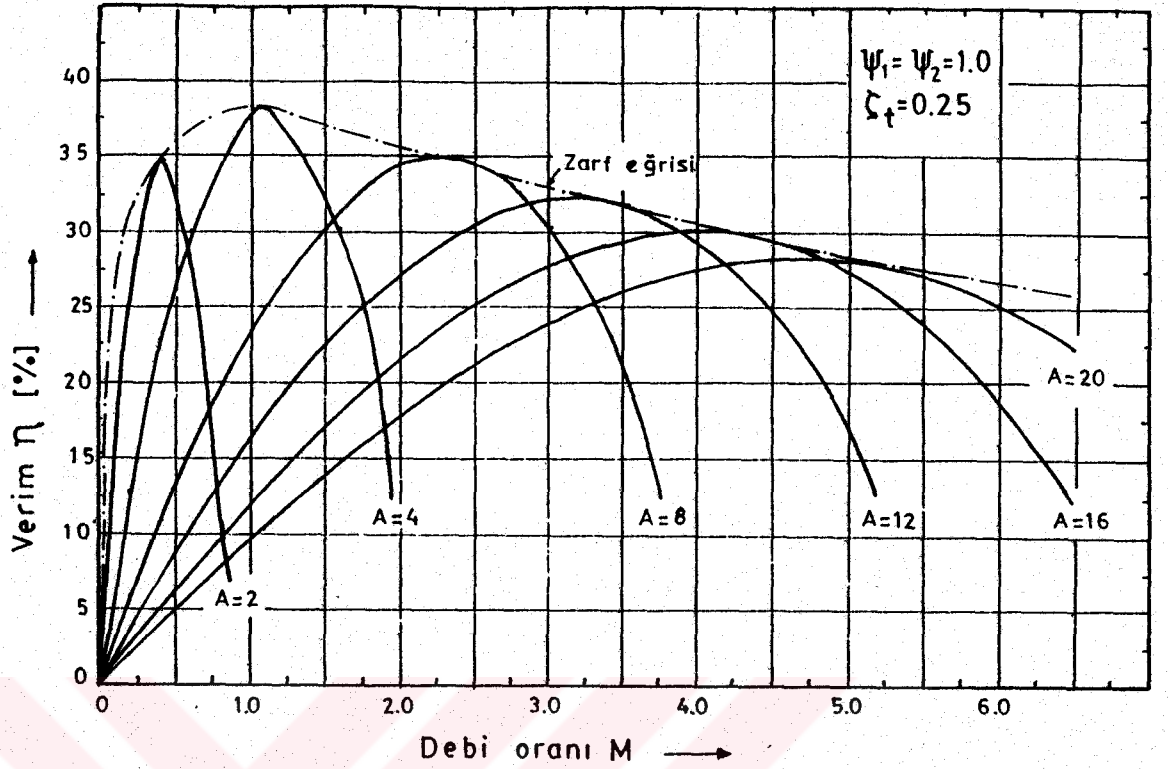
2.1.5. TEORİK SONUÇLARIN İNCELENMESİ



Şekil 2.3: Sabit alan oranı için karakteristik eğri

Sabit alan oranı, $A = 3.6$ ve toplam kayıp sayısı $\zeta_t = 0.25$ için karakteristik eğri, Şekil 2.3 deki gibidir. Bu eğriye göre debi oranı arttıkça verim, belirli bir debi oranında maksimum değerine ulaştıktan sonra düşmektedir. Basma oranı, debi arttıkça hemen hemen lineer olarak azalmaktadır. Verim, $M = 1.0$ da $\eta_{\max} = \% 38.2$ olmaktadır. Bu değerlere karşılık gelen basma oranı $B = 0.38$ dir.

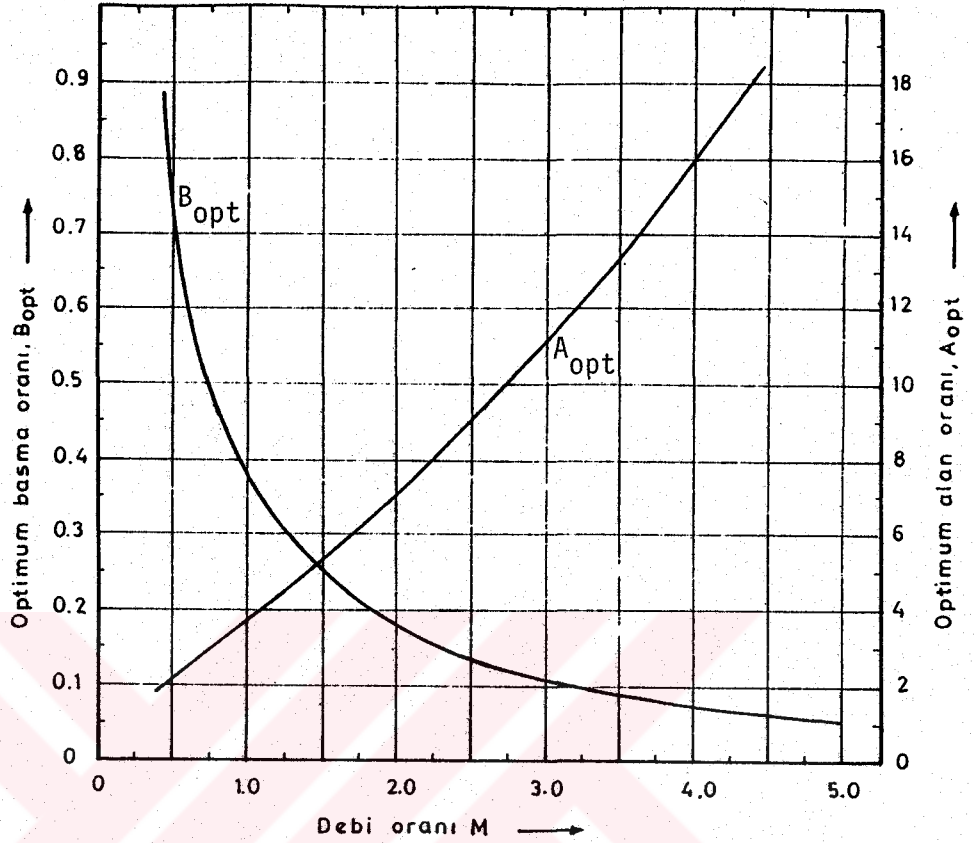
Şekil 2.4 de değişik alan oranları için debi oranının fonksiyonu olarak verim eğrisi çizilmiştir. Bu eğriye göre önce debi oranı arttıkça verim de artmaktadır. Verim, belirli bir alan oranı ve debi oranı için maksimum bir değere ulaşmaktadır. Bu değerden sonra debi oranının artmasına rağmen verim düşmektedir. Verimin maksimum olduğu $\eta_{\max} = \% 38.2$ için debi oranı $M = 1.0$ ve alan oranı 3.6 dır. Burada $A =$ sabit için elde edilen verim eğrisi, belirli bir M değeri için maksimumdan geçmektedir. Bu eğrilerin zarf eğrisi, bize her M değeri için elde edilebilecek maksimum verimi ve



Şekil 2.4: Değişik alan oranları için karakteristik eğri

bu verimin hangi A alan oranı için elde edilebileceğini göstermektedir. Yani bu zarf eğrisi, teorik olarak optimum çalışma şartlarını vermektedir. Yine bu eğriye göre debi oranını artırabilmek için mutlaka alan oranının artması gerekmektedir. Alan oranını artırabilmek için ya püskürtme lülesi çıkış çapı küçültülmeli veya karışma odası çapı büyütülmelidir. Şekil 2.4 de, her alan oranı için verimin maksimum olduğu yerdeki basma oranı, optimum basma oranını verir.

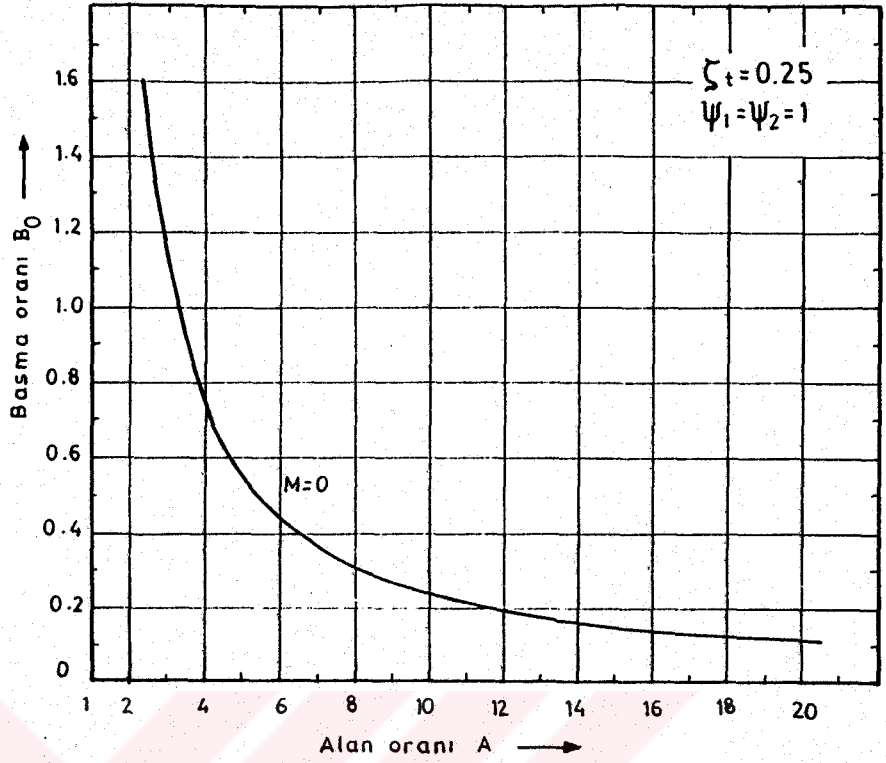
Şekil 2.5 de, şekil 2.4 deki zarf eğrisinden faydalanılarak debi oranına bağlı olarak optimum alan oranı ve basma oranını nasıl değiştiği çizilmiştir. Buradaki eğriye göre debi oranı, dolayısıyla alan oranı arttıkça basma oranı azalmaktadır. Buna göre basma oranını artırabilmek için püskürtme lülesi çıkış çapını büyütme veya karışma odası çapını küçültmek gerekir.



Şekil 2.5: Debi oranının fonksiyonu olarak optimum alan ve basma oranı.

2.1.6. EMİLEN SU DEBİSİNİN SIFIR OLMASI HALİ

Su jeti pompasından sadece taşıyıcı su debisi \dot{m}_1 geçerse bu durumda emilen su debisi sıfır olur. Bu takdirde debi oranı $M = 0$ dır. Bu çalışma noktası bir sınır durumu teşkil eder ve $A = \text{sabit}$ için elde edilen karakteristik eğrilerin başlangıç noktasıdır. Pratik olarak elde edilebilecek maksimum basma oranı verdiği için önemlidir. $A \approx 1$ olduğu zaman basma oranı maksimumdur. $A \approx 1$ ve $\zeta_t = 0,25$ için $B_{\max} = 4$ olur. Her alan oranı için belirli bir maksimum basma oranı vardır. Yani alan oranı değiştiği zaman maksimum basma oranı da değişmektedir. Şekil 2.6 da emilen su debisi sıfır olduğu zaman alan oranına bağlı olarak basma oranının nasıl değiştiği grafik olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.6: Emilen su debisi sıfır ($M=0$) olması halinde basma oranının, alan oranına bağlı olarak değişmesi.

Bu şekle göre aynen optimum basma oranı gibi, maksimum basma oranında, alan oranı arttıkça, azalmaktadır. Ancak, $M=0$ olması halindeki basma oranı B_0 , daima, $M>0$ durumundaki B_{opt} -değerinden büyüktür.

2.1.7. SU JETİ POMPALARINDA KAVİTASYON

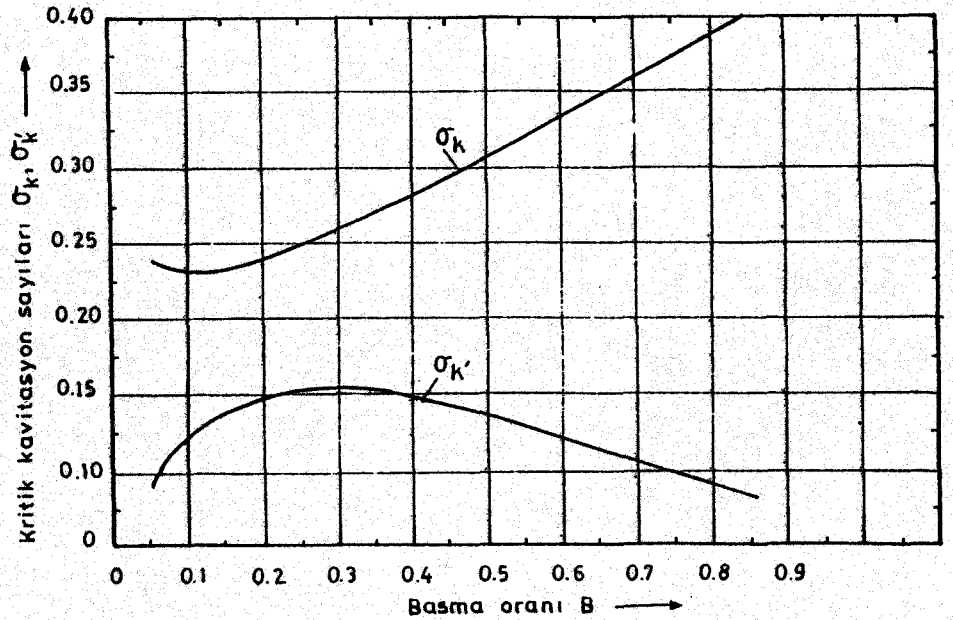
Su jeti pompaları, atmosfere açık kuyu veya depodan suyu ancak belirli şartlar altında emebilir. Böyle bir yerde suyun emilebilmesinin sebebi atmosfer basıncıdır. Pompaların gerçek jeodezik emme yüksekliği, atmosfer basıncı yüksekliğinin çok altındadır. Emme yüksekliğini azaltacak yönde etki eden faktörler; suyun kazandığı hız, emme hattındaki kayıplar ve suyun sıcaklığına bağlı olan buharlaşma basıncıdır. Bilindiği gibi ortam basıncı, suyun sıcaklığına tekabül eden buharlaşma basıncına düşerse buharlaşma olmaktadır. Su jeti pompalarında hızın maksimum olduğu yer, püskürtme lülesinden çıkan su jetinin merkezidir. Ancak, minimum basınç, biraz daha ilerdeki karışma odası girişinde meydana gelir. Buradaki ba-

sınc, suyun sıcaklığına tekabül eden buharlaşma basıncına kadar düşerse, su hızla buharlaşır ve buhar kabarcıkları teşekkül eder. Buhar kabarcıkları daha yüksek basınç bölgesine ulaştınca yoğuşur ve neticede yoğuşma bölgesinde kavitasyona sebep olur. Bu bölgeye kavitasyon bölgesi denir. Su jeti pompalarında minimum basınç, karışma odasının cidarlarında değil de ortasında meydana geldiğinden, cidarlardaki tahribat, kavitasyon olayının epeyce ilerlemesinden sonra meydana gelir.

Su jeti pompalarında kavitasyon sayısı σ ,

$$\sigma = \frac{p_{02}}{p_{01} - p_{02}} \quad (24)$$

bağıntısı ile tanımlanır. Burada p_{02} , emilen suyun emme odasındaki mutlak basıncı; p_{01} , taşıyıcı suyun püskürtme lülesi girişindeki mutlak basıncıdır. Kavitasyon sayısının kritik değerleri, kavitasyon sınırlarını belirler. Kavitasyonun karışma odasının merkezi bölgesinde başladığı durumdaki kritik kavitasyon sayısı σ_k ve kavitasyonun karışma odasının tam kesiti boyunca teşekkül ettiği durumdaki kritik kavitasyon sayısı σ_k' , deneylerle tesbit edilir. Su jeti pompalarının deneylerle tesbit edilen kavitasyon davranışı, şekil 2.7 de verilmiştir [4].



Şekil 2.7: Basma oranının fonksiyonu olarak kritik kavitasyon sayıları [4].

Bu şekle göre su jeti pompasının kavitasyonsuz çalışabilmesi için kavitasyon sayısı σ nın kritik kavitasyon sayısı σ_k dan büyük olması gerekir. $\sigma_k' < \sigma < \sigma_k$ arasında pompa kavitasyonlu çalışır. Bu bölgede verimde biraz yükselme görülür. Verimdeki bu yükselme, viskositenin azalmasıyla izah edilmektedir [4]. Ancak $\sigma = \sigma_k$ olduğu zaman ki verimle, $\sigma = \sigma_k'$ olduğu zamanki verim birbirine eşit olmaktadır. Bu aralıkta, su jeti pompası şiddetli bir gürültü ile çalışır. Kavitasyonun derecesi arttıkça yani kavitasyon sayısı σ , kritik kavitasyon sayısı σ_k' ye yaklaştıkça gürültünün şiddeti artar. $\sigma < \sigma_k'$ olunca pompanın veriminde ani bir düşme görülür. Kavitasyon sayısı daha da düşerse belirli bir kavitasyon sayısından itibaren bunun altındaki kavitasyon sayılarında pompa suyu ememez.

Kavitasyon sayısı, kritik kavitasyon sayılarının arasında olduğu zaman kavitasyondan dolayı karışma odası cidarlarında meydana gelen hasar çok azdır. $\sigma < \sigma_k'$ olduğu zaman cidarlarda kopmalar olur [4].

Şimdi de kavitasyon olayının emme odasındaki basınca göre ne zaman meydana geldiğini inceleyelim. (24) eşitliğine göre kavitasyon sayısının tanımında

$$\sigma_k (p_{01} - p_{02}) = p_{02k} \leq p_{02} \quad (25)$$

olduğu durumlarda, karışma odasında kavitasyon meydana gelmez. Buradaki p_{02k} , kavitasyonun başladığı anda emme odasındaki mutlak basınçtır. Bu basınç, en az suyun emme sıcaklığındaki buharlaşma basıncı olabilir. Kavitasyonlu bölgede çalışıldığı hallerde kavitasyonun tam teşekkül etmesi için,

$$\sigma_{k'} (p_{01} - p_{02}) = p_{02k'} < p_{02} \quad (26)$$

olmalıdır. Buradaki $p_{02k'}$, kavitasyonun tam teşekkül ettiği zamanda emme odasındaki suyun mutlak basıncıdır. Daha önce belirtildiği gibi emme sırasında meydana gelen kavitasyon, jeodezik emme yüksekliğini sınırlamaktadır. (25) eşitliğine ve enerji eşitliğine göre su jeti pompasının atmosfere

açık bir kuyudan suyu emmesi halinde elde edilebilecek maksimum jeodezik emme yüksekliği,

$$H_{\text{emax}} = \frac{p_{\text{atm}}}{\gamma} - H_{\text{ek}} - \frac{c_{02}^2}{2g} - \sigma_k \frac{(p_{01} - p_{02})}{\gamma} \quad (27)$$

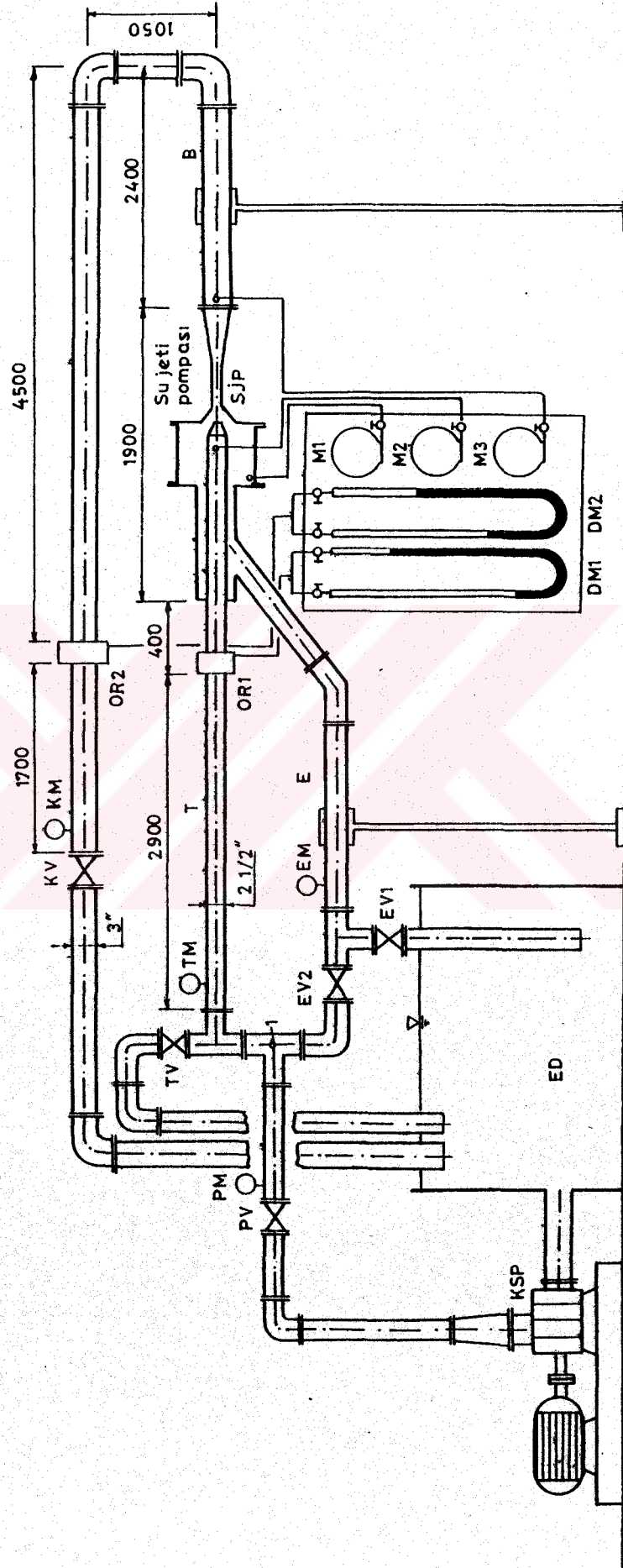
olur. Buradaki p_{atm} , atmosfer basıncı; H_{ek} , emme hattındaki toplam kayıp yüksekliği; c_{02} , suyun emme odasındaki hızı; γ , suyun özgül ağırlığıdır.

3. SU JETİ POMPASI DENEY ÜNİTESİ

3.1. DENEY ÜNİTESİNİN TANITILMASI

Şekil 3.1 de gösterilen deney ünitesinde, basınçlı su KSP ile gösterilen kademeli santrifüj pompa tarafından sağlanmaktadır. Bu pompa tarafından sağlanan suyun basıncı maksimum 7 bar dır. Gereken yerlerde suyun basıncını ve debisini ayarlamak için bu tesisatta vanalar kullanılmıştır. PV-vanası, pompa çıkışındaki; TV-vanası, taşıyıcı suyun püskürtme lülesi girişindeki; EV1-vanası, suyun emme deposundan emilmesi halinde emme odasındaki; KV-vanası, su jeti pompası çıkışındaki suyun basıncını ve debisini ayarlamak için kullanılmıştır. EV2-vanası, suyun depodan emilmediği zaman emme odasındaki basıncı ve emilen suyun debisini ayarlamak için kullanılmıştır. Emme deposundan su emilirken EV2-vanası, aksi halde EV1-vanası tamamen kapalı tutulur. Emme odasındaki mutlak basınç, EV1-vanası kullanıldığı zaman atmosfer basıncının altında, EV2-vanası kullanıldığı zaman ise üstündedir. Bu iki vana, istenilen basma oranının elde edilmesini sağlar. KV-vanası kısılarak su jeti pompası çıkışındaki karşı basınç, dolayısıyla basma oranı artırılır. TV-vanası kullanılarak, su jeti pompasının karakteristik eğrisinin mutlak basınçlara bağlı olup olmadığı incelenebilir. Diğer vanalar sabit tutulurken bu vana, açılıp kapanarak karakteristik eğrinin belirli bir noktasında, birden fazla ölçme yapılabilir. Karakteristik eğrinin farklı noktalarında ölçme yapabilmek için emme vanası veya karşı basınç vanası ayarlanmalıdır.

Deney ünitesinde basınç ayar ve basınç ölçme manometresi olmak üzere birincisi, kaba; ikincisi, hassas özellikli iki manometre kullanılmıştır. Basınç ayar manometreleri PM, EM, TM ve KM, ilgili yerdeki vana açılırken veya kapanırken istenilen basıncın yaklaşık ayarlanmasını sağlamak için kullanılırlar. M1-manometresi, taşıyıcı suyun püskürtme lülesi girişindeki; M2-manometresi, emilen suyun emme odasındaki ve M3-manometresi karışmış suyun difüzör çıkışındaki basıncını ölçmek için kullanılmıştır.



Şekil 3.1: Su jeti pompası deney ünitesi

Bu ünite de taşıyıcı suyun debisini ölçmek için OR1-ile gösterilen orifis metre ve karışmış su debisini ölçmek için OR2-ile gösterilen orifis metre kullanılmıştır. Bu orifis metrelerdeki basınç farkları, DM1 ve DM2 ile gösterilen diferensiyel U-manometreler kullanılarak ölçülmüştür.

Kademeli santrifüj su pompası ve su jeti pompası tarafından suyun emildiği, TV-vanası açılarak suyun boşaltıldığı ve su jeti pompasından çıkan karışmış suyun toplandığı depo ED-ile gösterilmiştir.

Deney ünitesinde kullanılan, sürgülü vanalar, dirsekler, T'ler, daralan parçalar, flanşlar, borular, diferensiyel U-manometreleri ve su jeti pompası, 10 bar basınca dayanacak şekilde imal edildi veya seçildi.

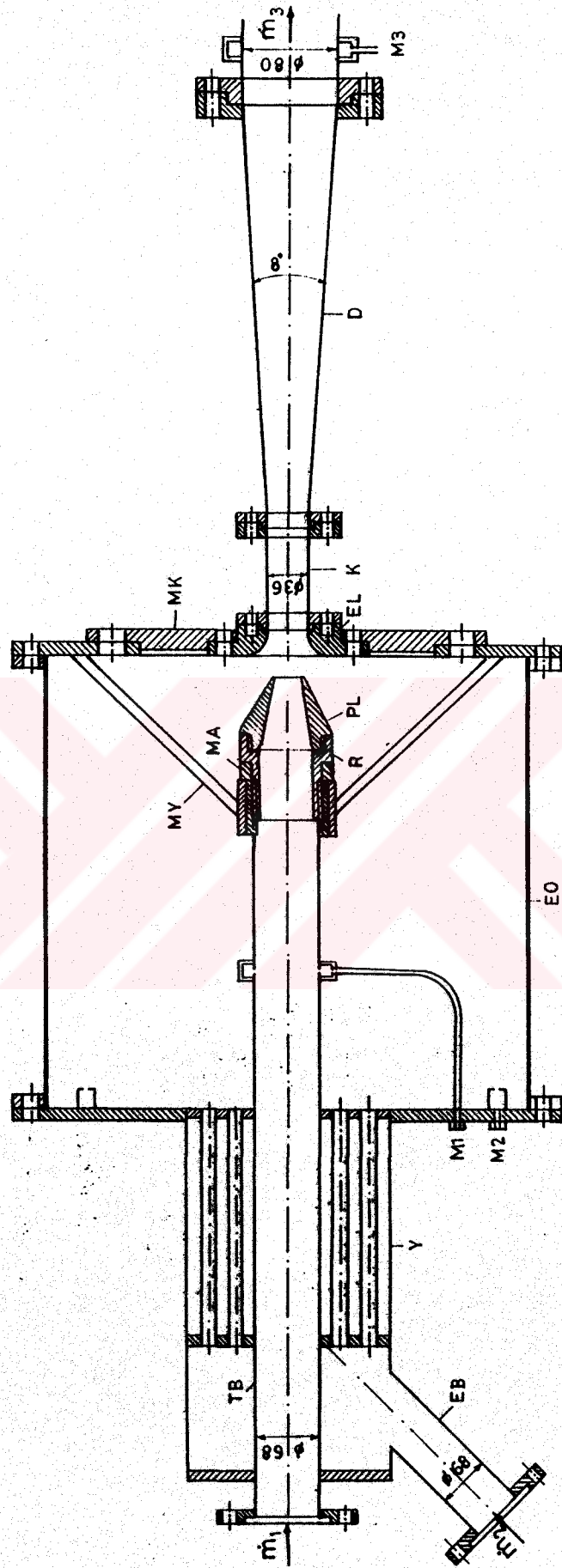
Şimdi de deney ünitesinin çalışmasını inceleyelim. Santrifüj pompa tarafından emme deposu ED den emilen su, basıncı arttırıldıktan sonra basınç ayar vanası PV den geçer. EV2-vanası kapalı iken basınçlı su borusu T den ve OR1-orifis metresinden geçtikten sonra püskürtme lülesine gelir. Lüle girişinde istenilen basıncı ve debiyi ayarlamak için basınçlı suyun bir miktarı TV nin yardımıyla emme deposuna boşaltılabilir. Basınçlı su, lüleden çıkarken lüle çıkışında vakum meydana getirir. Bu vakumun etkisiyle emme deposundan emilen su, EV1-vanası ve emme borusu E den geçerek emme odasına gelir. Lüleden çıkan taşıyıcı su ile emilen su, su jeti pompası SJP de karışır. Karışmış haldeki su, basma borusu B de iki dirsekle yönü ters çevrildikten sonra, ikinci orifis metre OR2 den ve karşı basınç vanası KV den geçtikten sonra emme deposuna akar. EV1-vanası kapalıyken santrifüj pompadan gelen basınçlı su, 1- kesitinde ikiye ayrılır. Emilen suyun basıncı, EV2-vanası; basınçlı suyun basıncı, TV-vanası ile istenilen basınçlara ayarlandıktan sonra, ilgili borulardan geçerek su jeti pompasına girerler. Karışarak su jeti pompasından çıktıktan sonra basma borusu B - den geçerek, tekrar emme deposuna akarlar.

Şekil 3.1 deki deney ünitesinde görüldüğü gibi taşıyıcı su ve emilen su birçok vana, T (ikiye ayrılma) ve dirsekten geçmektedir. Bu

elemanlar tabii olarak akışta düzensizlikler meydana getirecektir. Bu düzensizlikler, tedbir alınmadığı takdirde, debi ve basınç ölçme aletlerine yansiyacaktır. Bu sebeple ölçme aletlerinin, akıştaki düzensizliklerin kaybolduğu yerlere konulması gerekir. Şekil 3.1 de verilen uzunluklar, düzensizliklerin sona ermesi için hesaplanmış, gerekli mesafelerdir.

3.2. SU JETİ POMPASI

Şekil 3.2 de su jeti pompasının konstrüksiyonu görülmektedir. Bu konstrüksiyonda püskürtme lülesi, emme lülesi ve difüzör optimum ölçülere sahiptir. Jet pompasının başlıca elemanları; yönlendirici Y, taşıyıcı su borusu TB, emme odası EO, emme odasına bağlı olan karışma odası K ve difüzör D dir. Su jeti pompası, taşıyıcı su borusu TB deki flanşla, şekil 3.1 deki basınçlı su borusu T ye; emme borusundaki flanşla, emme borusu E ye ve difüzörün çıkışındaki flanşla basma borusu B ye bağlanmıştır. Taşıyıcı su borusu TB nin sonuna R ile gösterilen bir rakor bağlanmıştır. Bu rakora püskürtme lülesi PL vidalanmıştır. Bu konstrüksiyon sayesinde değişik geometrilere sahip püskürtme lüleleri rakora vidalanarak kullanılabilir. MA ile gösterilen ayar parçaları yardımıyla, püskürtme lülesiyle emme lülesi arasındaki mesafe, istenildiği gibi ayarlanabilir. Emilen suyun pompa girişindeki düzensizliklerini önlemek için giriş borusuna, simetrik ve paralel borulardan meydana gelen yönlendirici Y, yerleştirilmiştir. Bu yönlendirici, çapı daha büyük olan emme odasına bağlanmıştır. Emme odasının seçilen büyüklüğü, akıştaki düzensizlikleri tamamen gidererek, emme lülesi EL etrafında radyal simetrik akışı mümkün kılar. Püskürtme ve emme lülelerini aynı eksenli monte edebilmek için MY ile gösterilen merkezleme yatağı kullanılmıştır. Bu yatağın bir tarafında püskürtme lülesi, diğer tarafında merkezleme kapağı MK vardır. Merkezleme kapağına emme lülesi bağlanmıştır. Püskürtme lülesi ile emme lülesinin eksenleri çakışmadığı zaman akış, simetrik olmaz. Eksen kaçıklığı epeyce büyük olursa püskürtme lülesinden çıkan su jeti, emme lülesi veya karışma odası cidarına çarparak geriye doğru



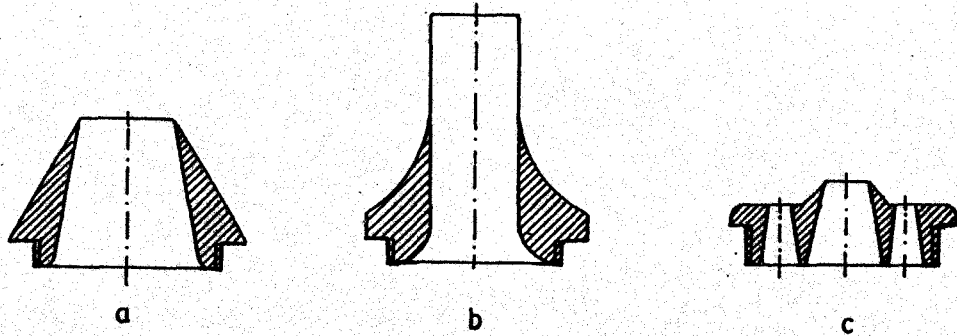
Şekil 3.2: Su jeti pompası

akışa sebep olur. Püskürtme lülesi veya mesafe ayar parçası değiştirilmek istendiği zaman önce merkezleme kapağının sökülmesi gerekir. Bu kapak söküldükten sonra karışma odasının difüzörle olan bağlantısı sökülüp hafifçe ileri itilerek çıkarılır ve istenilen değiştirme işlemi yapılır. Karışma odasının uzunluğunu ayarlamak için değişik boylardaki karışma odaları kullanılır. Bu amaçla emme lülesi ile merkezleme kapağını bağlayan civatalar gevşetilip karışma odası çıkarılır.

Taşıyıcı suyun basıncının ölçülmesini, püskürtme lülesinden önce yerleştirilen M1-bağlantısı; emme odasındaki emilen suyun basıncının ölçülmesini, M2-bağlantısı sağlar. Basma borusunun başlangıcındaki basma basıncı, hemen difüzör çıkışında ölçülür. Bu ölçmelerin her birinde Piezometre halkaları kullanılmıştır.

3.2.1. PÜSKÜRTME LÜLESİ

Su jeti pompalarında değişik formlara sahip püskürtme lüleleri kullanılmaktadır. Püskürtme lüleleri, minimum enerji kaybıyla akışkanın enerjisini kinetik enerjiye dönüştüren elemanlardır. Şekil 3.3 de su jeti pompalarında kullanılan üç değişik püskürtme lülesi tipi görülmektedir.



Şekil 3.3: Değişik püskürtme lüleleri

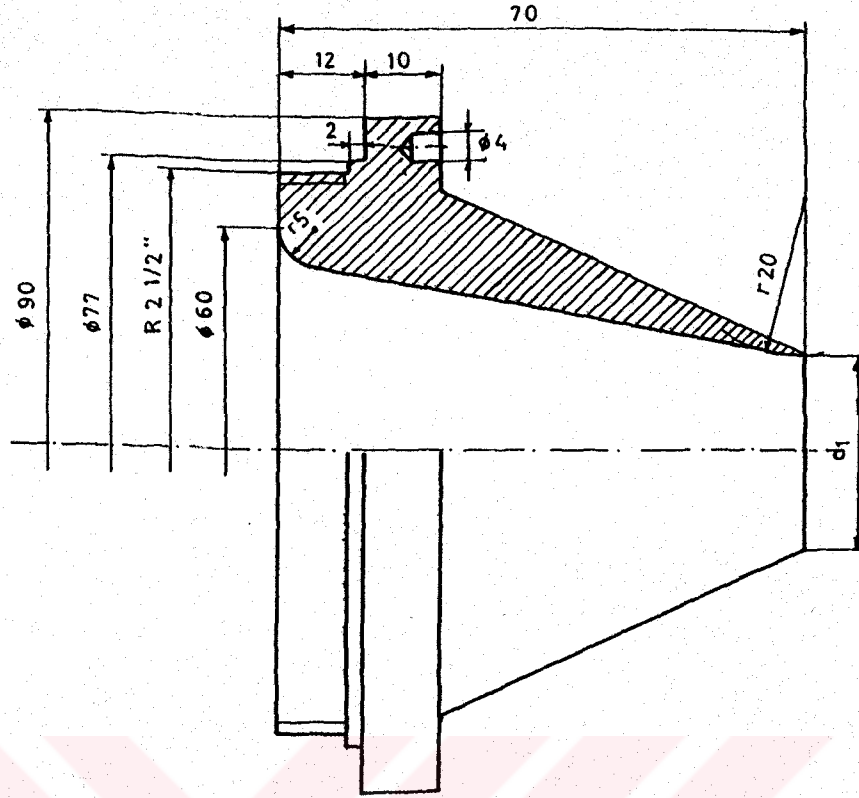
Şekil 3.3a da görülen püskürtme lülesi uzunluğu çapına göre nispeten küçük olan konik bir lüledir. Şekil 3.3b deki püskürtme lülesi silindirik olup uzunluğu çapına göre büyüktür. Şekil 3.3c de ise çok lüneli püskürtme lülesi görülmektedir. Ortadaki daha büyük çaplı konik lüle ile

çevresindeki küçük çaplı konik lüleler, bu lüleyi oluşturur. Su jeti pompasına takılan konik veya çok lüleli püskürtme lülelerinin bir kısmı, emme lülesinin girişine girer. Yani bu iki lülelin ucuyla karışma odası arasında bir mesafe vardır. Silindirik püskürtme lüleli jet pompasında ise lülenin bir kısmı karışma odasının içine girer. Karışma odasının içine girmiş silindirik lülelerin uzunluğunun büyük olması sebebiyle hem taşıyıcı su jetinde, hem de emilen su jetinde sürtünme kayıpları büyük olur. Bu tür püskürtme lülesi, su jeti pompasında kullanıldığı zaman üniform bir karışımın elde edilebilmesi için karışma odası uzunluğunun büyük olması gerekir. Çünkü taşıyıcı su ve emilen su jetleri başlangıçta paralel hareket etmeye zorlandıklarından daha ileride dağılıp birbirleriyle karışırlar.

Konik püskürtme lülelerinde hem lülenin kendisindeki hem de emme lülesindeki kayıplar, silindirik püskürtme lülelerine göre daha küçük olur. Tedrici olarak daralan emme lülesinde emilen su jetinin ivmelenmesi, taşıyıcı su jetinin kısa mesafede dağılmasını ve dolayısıyla iki su jetinin üniform şekilde karışmasını sağlar. Bu sebeple karışma odası uzunluğu, silindirik püskürtme lüleli jet pompasındakine göre daha küçük olur. Taşıyıcı su jetinin şekil 3.3c deki gibi birkaç jete ayrılmasıyla, karışma odası uzunluğu daha da kısaltılabilir. Bu tür püskürtme lülesinin çevresindeki küçük lüleler, suyun kolayca emilmesini sağlamaktadırlar. Ancak daha büyük cidar sürtünmesine sebep olmaktadır.

Konik püskürtme lülesine sahip su jeti pompalarının verimi, diğerlerine göre daha büyük olmaktadır. Silindirik püskürtme lüleli ve merkezindeki ana lüle ile çevresindeki beş küçük lüleden oluşan püskürtme lüleli su jeti pompalarının verimi, konik püskürtme lüleli pompanın verimine göre, yaklaşık % 1.5 daha küçük olmaktadır [4].

Verimi daha büyük olduğu için kurulan deney ünitesinde konik püskürtme lüleleri kullanılmıştır. İmal edilen konik püskürtme lüleleri şekil 3.4 de görülmektedir.



Şekil 3.4 : Konik püskürtme lülesi

Tablo 3.1 : Konik püskürtme lülesi için çıkış çapı, çap oranı ve alan oranı

Çap d_1	9.0	12.95	15.0	17.0	19.25	25.5
Çap oranı d_3/d_1	4.055	2.818	2.433	2.147	1.896	1.431
Alan oranı A_3/A_1	16.44	7.944	5.92	4.61	3.595	2.048

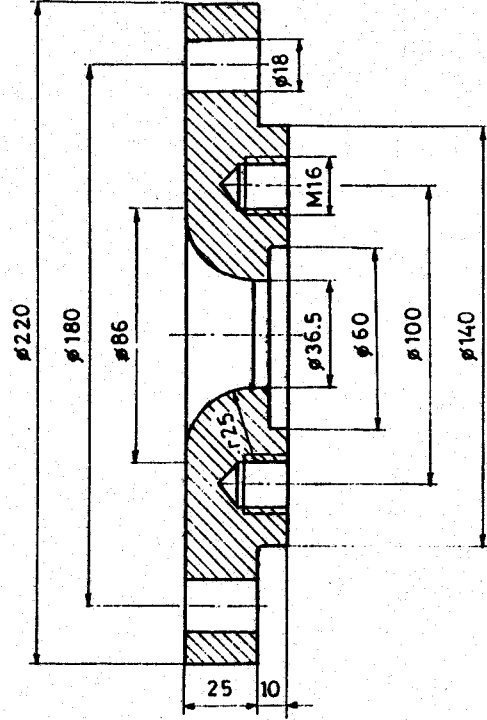
Bu şekilde, taşıyıcı suyun düzgün bir akışla püskürtme lülesine girmesi için lülenin girişinde bir radius vardır. Lülenin çıkışındaki daha büyük radiusla, lülenin ucunun küçük bir mesafede silindirik olması sağlanır. Lülenin ucunun küçük bir mesafede silindirik olması, lüleden çıkan su jetinin imlenmesini önler. Böylece su jeti, lüleden çıktıktan sonra dağılmadan ve daralmadan belirli mesafe kateder. Lüleden çıkan su jetinin ekseninin karışma odası eksenine çakışabilmesi için, lülenin giriş ve çıkış eksenlerinin birbiriyle ve karışma odası eksenine çakışması gere-

kir. Aksi takdirde, su jeti karışma odası iç cidarına çarparak geriye doğru sıçrar ve daha fazla çarpışma kaybına sebep olduğu gibi, birlikte emilen su jetinin simetrik olarak karışma odasına girmesini önler. Lülenin ucu, mümkün olduğu kadar pürüzsüz olmalıdır. Lülenin içinde ve ucunda çok küçük bir çentik veya çapak olduğu zaman, lüleden çıkan su jeti bozulmakta ve çok enterasan jet profilleri ortaya çıkmaktadır. Bu olaylar yapılan deneylerde gözlenmiştir. Bu olumsuz etkiler, su jeti pompasının verimini önemli ölçüde düşürmektedir.

Tablo 3.1 de laboratuvarında imal edilen püskürtme lülelerinin çapı, karışma odası çapının lüle çapına oranı ve alan oranı A verilmiştir. Bu tabloda verilmeyen lülenin giriş boyutları ve uzunluğu sabit tutulmuştur. Sadece püskürtme lülesinin çıkış çapı, dolayısıyla koniklik açısı değiştirilmiştir. Bu lülelerin hız katsayıları ψ_1 , koniklik açısına ve Re-sayısına bağlı olarak değişmektedir. Koniklik açısı büyüdükçe hız katsayısı büyümekte ve Re-sayısı artıkça da küçülmektedir. Bu lüleler için hız katsayısı 0.96 ile 0.99 arasında değişmektedir [5].

3.2.2. EMME LÜLESİ

Emilen suyun emme lülesinden simetrik olarak geçebilmesi için bu lüleyle püskürtme lülesi aynı eksenli olmalıdır. Emilen suyun karışma odasına kolayca ve düzenli bir şekilde girmesi için emme lülesinin formu da önemlidir. Su jeti pompalarında çoğu zaman karşılaşıldığı gibi lülelerin en küçük kesite kadar konik olarak daralması uygun değildir. Emme lülesi kesiti tedrici olarak daralmalı ve çıkış kısmında, küçük bir mesafede silindirik olmalıdır. Şekil 3.5 de böyle bir emme lülesinin formu görülmektedir. Bu şekildeki lüle, $r=0.7 d_3$ lük bir radyusa sahiptir. Bu radyusun daha büyük olduğu zaman ilave bir sürtünme kaybına sebep olur. Daha küçük olduğu zaman ise emilen su jeti daha ani olarak daralacağı için, lüle girişindeki kaybı arttıracaktır. Yüzeyi pürüzsüz ve uygun radyusa sahip emme lülelerinin hız katsayıları 0,95 ile 0,97 arasında değişmektedir. Em-



Şekil 3.5: Emme lülesi

me lülesi; su jeti pompalarının verimini, karışma odası ve difüzörden daha az etkiler.

3.2.3. KARIŞMA ODASI

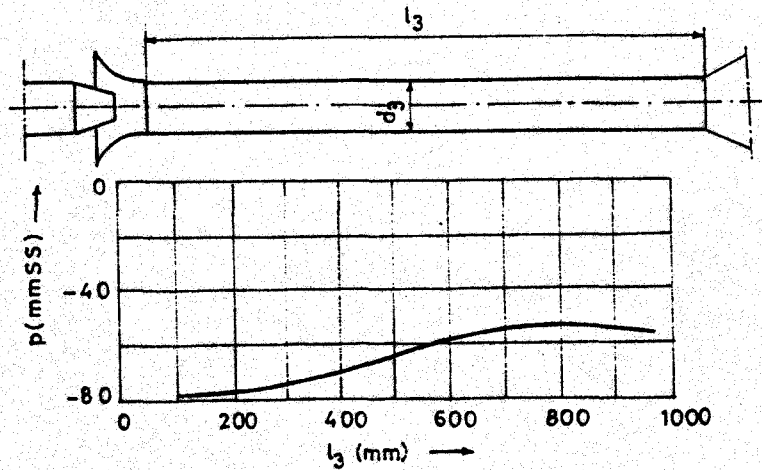
Su jeti pompalarında karışma odası, emilen su ve taşıyıcı suyun uniform bir şekilde karıştığı yerdir. Karışma odasında iki akışkan arasında momentum transferi sonucunda, taşıyıcı suyun enerjisinin bir kısmı emilen suya aktarılır. Bu enerji alış-verişi sırasında, taşıyıcı suyun enerjisinin bir kısmı, akışkan parçacıklarının arasındaki çarpışma ve akışkanla karışma odası cidarındaki sürtünme sebebiyle kaybolur. Çarpışma sebebiyle meydana gelen kayıplar tamamen önlenemez. Fakat emilen su ve taşıyıcı su jetlerinin hızları, uygun seçilerek azaltılabilir.

Bu sebeple her alan oranı için en uygun debi oranının bulunması gerekir. Buna rağmen karışma odasında, iki akışkanın karışması esnasında ortaya çıkan çarpışma kayıpları, su jeti pompalarının verimini en büyük ölçüde etkilemektedir. Su ile karışma odasının cidarı arasındaki sürtünme

kayıpları, karışma odasının uzunluğu uygun seçilerek azaltılabilir. İki akışkanın üniform bir şekilde karışması için gereken karışma odası uzunluğunu teorik olarak, yani momentum, enerji ve süreklilik denklemlerini kullanarak tesbit etmek mümkün değildir. Bu yüzden karışma odası uzunluğu, deneysel sonuçlar kullanılarak tesbit edilir.

Bu maksatla, silindirik karışma odasının kesiti ve uzunluğu boyunca basınç ve hız dağılımı Schulz tarafından deneysel olarak incelenmiştir [3]. Schulz, su jeti pompaları için taşıyıcı ve emilen akışkan olarak havayı kullanarak model deneyler yapmıştır. Bu deneyler; konik, silindirik ve çok lüleli püskürtme lüleleri kullanılarak yapılmıştır. Deney sonuçlarına göre en kısa karışma odası uzunluğu, çok lüleli püskürtme lülesinde; biraz daha uzun olarak konik püskürtme lülesinde; en uzun olarak da silindirik püskürtme lülesinde gerekmektedir. Fakat karışma odasında en uygun basınç artışı, konik püskürtme lülesi kullanıldığı zaman olmaktadır [3].

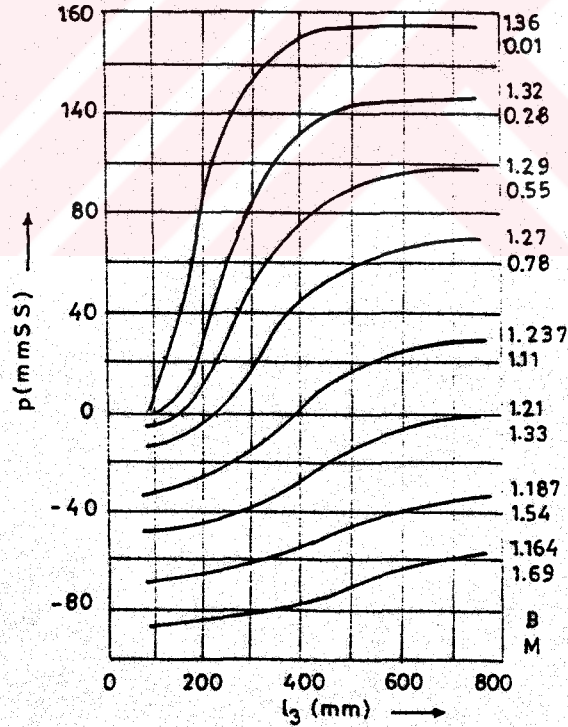
Böyle bir püskürtme lüleli jet pompasının karışma odasında cidardaki basıncın uzunluk boyunca değişmesi Şekil 3.6 daki grafikte görülmektedir. Basınç, önce belirli bir uzunluğa kadar yükselmekte ve maksimum bir değere ulaştıktan sonra düşmektedir. $l_3/d_3 \approx 8$ değerinde karışma odasındaki



Şekil 3.6: Konik püskürtme lüleli jet pompasında karışma odası boyunca basıncın değişmesi ($d_1 = 44.9$ mm, $d_2 = 96$ mm, $M = 1.6$, $B = 1.16$) [3].

basınç maksimumdur. Bu değere tekabül eden karışma odası uzunluğu, yukarıda verilen alan oranı, debi oranı ve basma oranı için optimum uzunluktur. Bu optimum uzunluğa gelinceye kadar iki akışkan arasında enerji alış-verişi ve karışma olayı devam etmektedir. l_{3opt} değerinde bu olaylar bitmekte ve akış olayı normale dönmektedir. Akışkanın cidarla ve kendi parçacıkları arasındaki sürtünmesi sebebiyle basınç düşmektedir. Bu yüzden $l_3 > l_{3opt}$ olduğu zaman karışma odasında ilave bir kayıp olacaktır. Aksi olduğu takdirde basınç istenildiği değere ulaşmadan akışkan karışma odasından çıkacaktır.

Karışma odasında maksimum basıncın yeri, basma oranına ve debi oranına bağlı olarak değişir. Şekil 3.7 de, basma ve debi oranına bağlı olarak silindirik karışma odasının uzunluğu boyunca basınç değişmesi, konik püskürtme lüleli jet pompası için gösterilmiştir.

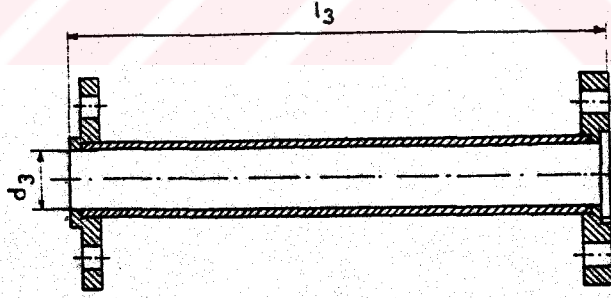


Şekil 3.7: Debi oranı ve basma oranına bağlı olarak karışma odası uzunluğu boyunca basınç değişmesi [3].

Bu şekle göre debi oranı azaldıkça ve basma oranı arttıkça, karışma odasındaki basınç artmaktadır. Debi oranı arttıkça maksimum basıncın yeri,

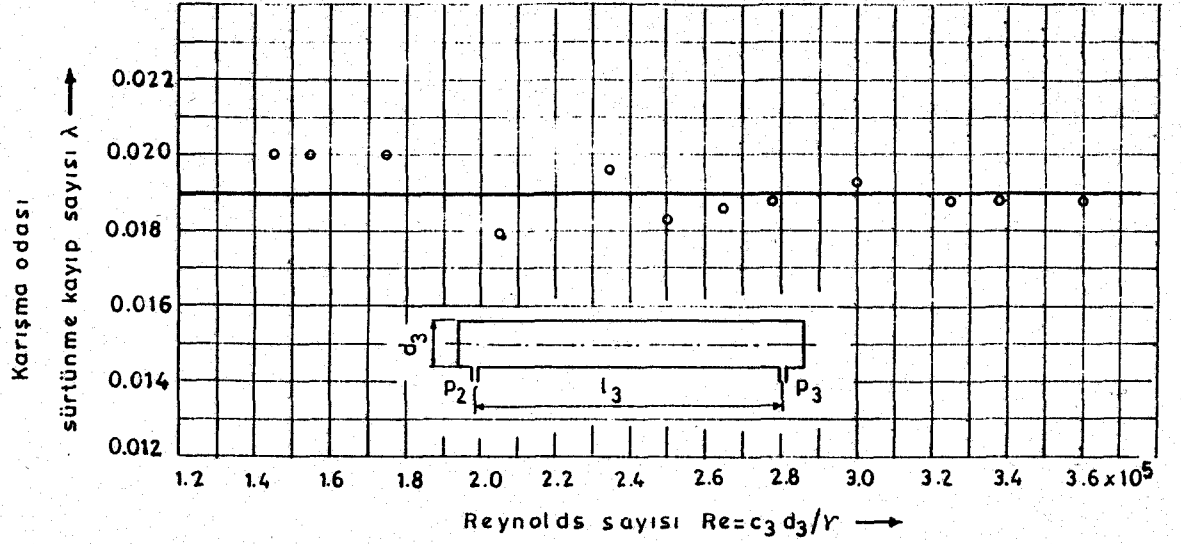
karışma odası çıkışına doğru kaymaktadır. Buna göre her alan oran için, optimum bir debi oranı ve basma oranı olduğundan, buna karşılık gelen optimum bir uzunluk oranı $(l_3/d_3)_{opt}$ olur. Uzunluk oranı, karışma odasının uzunluğunun çapına oranıdır.

Karışma odasındaki enerji kaybı, sadece karışma odasının uzunluk oranına bağlı değildir. Buradan akan akışkanın viskozitesi ve karışma odasının iç cidarının pürüzlülük durumuna da bağlıdır. Ayrıca taşıyıcı su jetinin eksenine karışma odası ekseninin çakışması gerekir. Bunu sağlamak için şekil 3.8 deki gibi karışma odasının her iki ucunda merkezleme flanşları olmalıdır ve bu flanşlar önce boru ile merkezlenmelidir. Daha sonra uçlarındaki flanşlar yardımıyla emme lülesine ve difüzöre merkezlenmelidirler. Emme lülesi de, merkezleme yatağı yardımıyla püskürtme lülesiyle merkezlendiğinden, taşıyıcı su jetinin eksenine karışma odasının eksenine çakışır. Montaj sırasında karışma odasının eğilmemesi için ya borunun kalınlığı yeterli olmalı veya borunun dışında çevre boyunca birkaç takviye kanat olmalıdır.



Şekil 3.8: Silindirik karışma odası

Şekil 3.9 da karışma odası imalinde kullanılan borunun sürtünme kayıp sayısını tesbit etmek için yapılan deneyin sonucu, grafik olarak verilmiştir. Deneyin yapıldığı $1.5 \times 10^5 < Re < 3.6 \times 10^5$ aralığında borunun sürtünme kayıp sayısı λ , hemen hemen sabittir. Bu aralıkta, borunun sürtünme kayıp sayısı $\lambda = 0.019$ değerine sahiptir. Bu değere göre karışma odasının sürtünme kayıp sayısı, karışma odasının uzunluk oranına bağlı

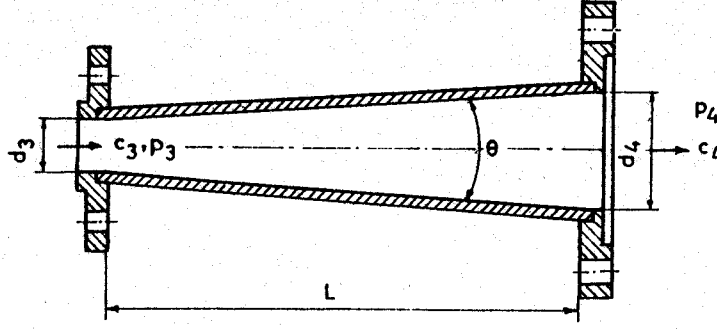


Şekil 3.9: Reynolds sayısının fonksiyonu olarak karışma odasında kullanılan borunun sürtünme kayıp sayısı

olarak $\zeta_{ko} = 0.019$ b veya $\zeta_{ko} = 0.019 l_3/d_3$ eşitliğine göre değişecektir. Borunun iç yüzeyi daha pürüzsüz yapılarak bu kayıp sayısı küçültülebilir. Fakat iki akışkan karışırken meydana gelen çarpışmalarda daha fazla enerji kaybolduğundan yüzey daha pürüzsüz yapılarak enerji kaybı, büyük miktarda azaltılamaz.

3.2.4. DİFÜZÖR

Su jeti pompalarında, hızı çok yüksek olan taşıyıcı su ile hızı düşük olan emilen su, karışma odasında karıştıktan sonra bu iki hızın arasındaki ortak bir hızla karışma odasından çıkarlar. Karışma odası çıkışındaki akışkan hızı yine de büyüktür. Basma hattındaki enerji kaybını azaltmak için hızın düşürülmesi gerekir. Bu amaçla karışma odasının sonuna bir difüzör bağlanmıştır. Su jeti pompalarında kullanılan difüzör, minimum enerji kaybına sebep olarak suyun kinetik enerjisini basınç enerjisine dönüştürmelidir. Bunun için difüzörün boyutlarının uygun seçilmesi ve iç yüzeyinin pürüzsüz olması gerekir. Ayrıca şekil 3.10 da görülen iki ucundaki merkezleme flanşları yardımıyla, difüzör; karışma odası ve basma borusuyla merkezlenmelidir.



Şekil 3.10: Konik difüzör

Su jeti pompalarında kullanılan difüzörler için verim

$$\eta_d = \frac{2(p_4 - p_3)}{\rho(c_3^2 - c_4^2)} \quad (28)$$

bağıntısıyla tarif edilir. Bunun yerine süreklilik eşitliği ve geometrik bağıntılar kullanılarak

$$\eta_d = \frac{(p_4 - p_3)}{\rho \frac{c_3^2}{2} \left\{ 1 - \left[\frac{1}{1 + 2 \left(\frac{L}{d_3} \right) \operatorname{tg} \frac{\theta}{2}} \right]^4 \right\}} \quad (29)$$

eşitliği yazılabilir. Bu ifadedeki statik basınç artışının difüzöre girişteki dinamik basınca oranına, basınç artırma katsayısı denir. Bu akış parametresi

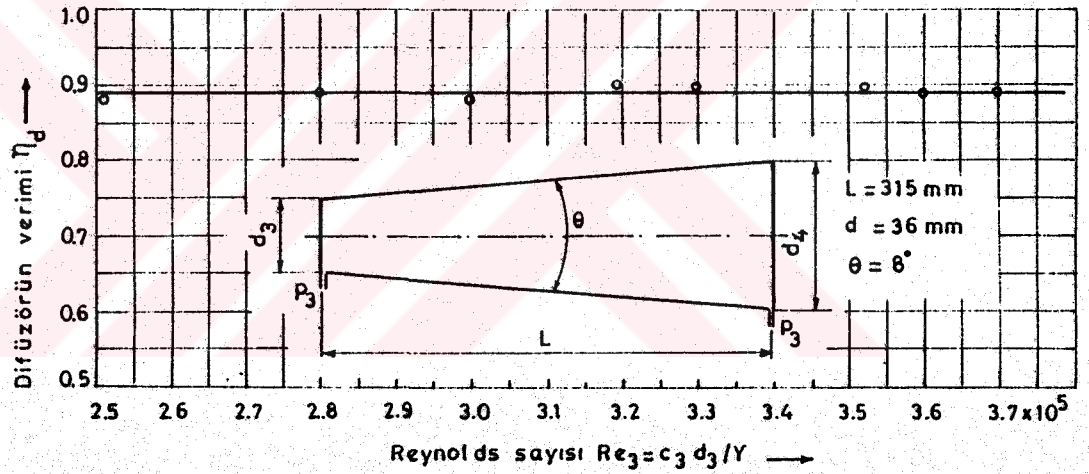
$$C_p = 2(p_4 - p_3) / \rho c_3^2$$

olup, bu değer, $Re > 7.5 \times 10^4$ olduğu zaman, Reynolds sayısından

bağımsızdır [10]. Bu takdirde difüzörün verimi, koniklik açısı θ ve uzunluğunun giriş çapına oranı L/d_3 ile değişir. Püskürtme lülesinin aksine difüzör, koniklik açısı küçük bir eleman olarak imal edilmelidir. Difüzörün koniklik açısı θ nın büyük olması halinde, geciktirilmiş akış sebebiyle akışkan çeperleri izlemeyerek difüzör yüzeyinden ayrılır ve ana akışla çeper arasında girdaplar oluşur. Bu sebeple ilave kayıplar meydana geldi-

ğinden basınç istenildiği gibi artmaz. Koniklik açısı büyüdükçe olay, ani genişlemeye yaklaşacağından enerji kaybı da artacaktır. Çok küçük koniklik açılarında da difüzörün uzunluğu artacağından sürtünme kayıpları artacaktır. Bu sebeple koniklik açısı, çeperden ayrılmanın kesin olarak önlenmesi için olmalıdır. Konik difüzörler için en uygun koniklik açısı $\theta = 8^\circ$ dir.

Su jeti pompalarında kullanılan difüzörün verimine etki eden ikinci geometrik parametre L/d_3 dir. Bu parametre, su jeti pompasının verimini önemli derecede etkilemektedir. Su jeti pompasında difüzör kullanılmadığı zaman yani $L/d_3 = 0$ olunca, pompanın verimi yaklaşık yarı yarıya düşmektedir. Deneysel olarak tesbit edilen en uygun oran, $L/d_3 = 10-15$ arasındadır [8].



Şekil 3.11: Reynolds sayısının fonksiyonu olarak difüzör verimi

Şekil 3.11 de su jeti pompasında kullanılan difüzörün verimini tesbit etmek için yapılan deneyin sonucu verilmiştir. Deney sonucuna göre difüzörün verimi, Reynolds sayısından bağımsızdır. Şekilde verilen boyutlar için difüzörün verimi $\eta_d = 0.89$ olarak tesbit edilmiştir. Difüzörün verimine bağlı olarak difüzördeki enerji kaybı,

$$H_{kd} = \frac{1}{2} \dot{m}_3 (1 - \eta_d) c_3^2 \quad (30)$$

şeklinde ifade edilir. (3) eşitliği ile (30) eşitliği karşılaştırılırsa difüzörün kayıp sayısı ile verimi arasında

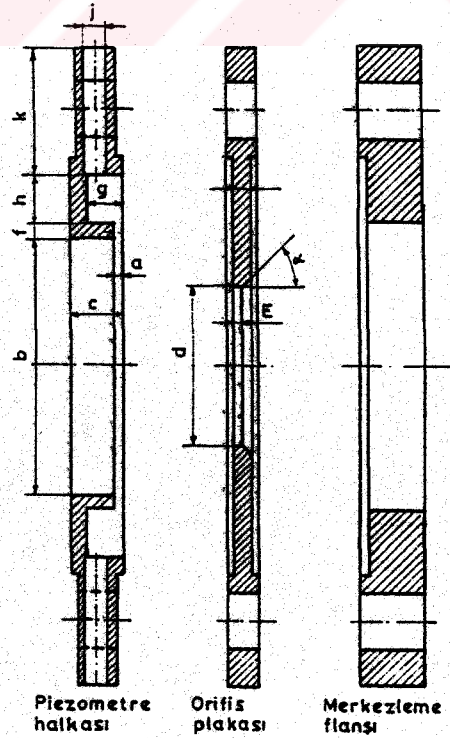
$$\zeta_d = 1 - \eta_d \quad (31)$$

bağıntısı olduğu anlaşılır.

$\eta_d = 0.89$ için deney ünitesinde kullanılan difüzörün kayıp sayısı $\zeta_d = 0.11$ olur. Difüzörlerin kayıp sayıları geometrik parametreler uygun seçildiği zaman yüzey pürüzlülüğüne bağlı olarak 0.10 ile 0.20 arasında değiştiğinden deney ünitemizde kullanılan difüzörün oldukça olumlu sonuç verdiği söylenebilir.

3.3. DEBİNİN ÖLÇÜLMESİ

Deney ünitesinde, debi ölçmek için orifisetreler kullanılmıştır. Bu amaçla, taşıyıcı suyun debisini ölçmek için basınçlı su borusuna ve karışmış suyun toplam debisini ölçmek için basma borusuna yerleştirilen birer orifisetre kullanılmıştır. Her iki orifisetre, TSE 1423 e göre imal edilmiştir. İmal edilen orifisetre, şekil 3.12 de görüldüğü gibi olup boyutları tablo 3.2.de verilmiştir.



Şekil 3.12: Piezometre halkalı orifisetre

Tablo 3.2: Orifismetrenin önemli olan ölçüleri

Boru çapı	d	k	e	E	f	g	h	a	b	c	α
2 1/2"	33.2	37.5	1.5	3.5	3.5	10	16	1.4	69	14	35°
3"	42	39.5	2.0	4.0	4.5	12	16	1.5	81.1	16	35°

Şekil 3.12 de görülen orifis metre; Piezometre halkası, orifis plakası ve merkezleme flanş olmak üzere üç elemandan meydana gelir. Orifis plakasında bulunan ve boru çapından daha küçük olan delik sayesinde, suyun basıncı düşürülerek basınç farkı meydana getirilir. Bu basınç farkı ölçülerek borudan geçen suyun debisi hesaplanır. Orifis plakasının iki tarafına bağlanan Piezometre halkası yardımıyla plakanın iki tarafındaki basınç ölçülür. Merkezleme flanş yardımıyla orifismetrenin bağlandığı boruların eksenlerinin aynı olması sağlanır.

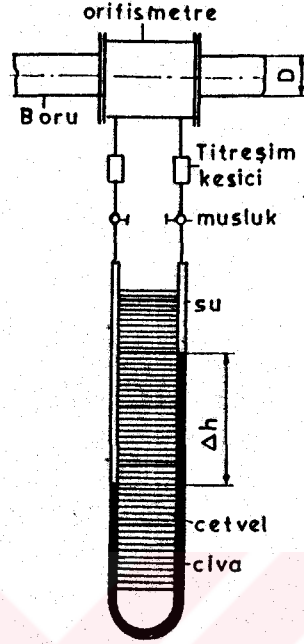
Tablo 3.2 de boru çapına bağlı olarak verilen orifis metre ölçüleri, TS 1423 e uygundur. Bu tablodaki ölçülerden sadece orifis plakasının çapı d, istenildiği gibi seçilebilir. Bu çap, basınç farkının ölçülmesinde kullanılacak manometrenin ölçme sahasına bağlı olarak seçilir. Çünkü debi sabit tutularak bu çap küçültülürse, orifis plakasında meydana gelecek basınç farkı artacaktır. Orifis plakasının çapı büyütülürse basınç farkı küçülecek, dolayısıyla okuma hatası da artacaktır.

Orifismetreden geçen suyun kütleli debisi,

$$\dot{m} = \alpha \cdot \frac{\pi}{4} d^2 \sqrt{2 \Delta p \rho} \quad (32)$$

formülüyle hesaplanmıştır. Buradaki α , debi katsayısıdır. Bu katsayı, Re_D sayısına, borunun pürüzlülüğüne ve delik çapının boru çapına oranı d/D ye bağlıdır. Bu değerlere bağlı olarak debi katsayısı α , TS 1423 den alınmıştır. Kütle debisinin hesabında kullanılan Δp , orifismetredeki basınç düşmesi; ρ , suyun yoğunluğudur. Orifis metrelerdeki basınç farkını ölçmek için civalı U-manometreleri kullanılmıştır. Bu amaçla orifismetredeki Piezomet-

re deliklerine U-manometresinin uçları bağlanmıştır. Deney ünitesindeki basınç farkını ölçmek için kullanılan U-manometresi, şekil 3.13 de görülmektedir.



Şekil 3.13: Civalı U-manometresi

Civa seviyelerini okuyabilmek için U-manometreye bir cetvel yerleştirilmiştir. Basınç dalgalarının sönmesini kolaylaştırmak için her iki uça, titreşim kesiciler kullanılmıştır. Bu maksatla kapiler tüpler de kullanılabilir. Tesisat çalıştırılırken, civanın manometreden sisteme kaçmasını önlemek için manometre muslukları kullanılmıştır. Şekil 3.13 e göre orifismetrede meydana gelen basınç farkı

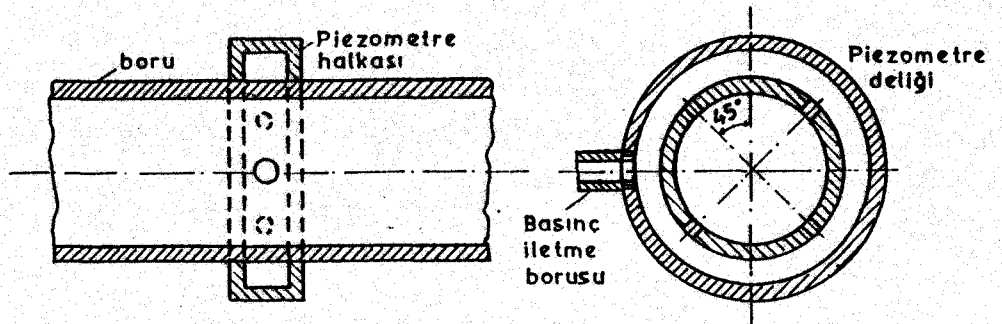
$$\Delta P = (\rho_{civa} - \rho_{su}) g \cdot \Delta h \quad (33)$$

olur. Bu formüle göre civalı U-manometresi, dikey durumda olmalıdır. Ayrıca manometrede ve manometreye orifismetrenin giriş ve çıkışındaki basıncı ileten basınç borularında hava ve su buharı olmamalıdır. Bunun için en kolay çözüm, manometreyi orifismetreden daha aşağıya yerleştirmektir. Bununla birlikte basınç iletme borularının, orifismetreden daha yukarıya çıkmaması gerekir.

Orifismetrelerle ölçülen su debisinin yeterli doğrulukta olabilmesi için, deney ünitesinde orifismetrenin konulacağı yer de çok önemlidir. Ori-fis metre, kendisinden sonra ve önce gelen elemanlardan yeteri kadar uzağa konulmalıdır. Bu mesafeler, orifismetreden önce boru çapının en az 30 ka-tı, orifismetreden sonra yine boru çapının en az 15 katı olmalıdır. Eğer bu mesafelere uyulmaz ve akış tam teşekkül etmeden ölçme aletine girerse manometredeki civa seviyesi düzensiz bir şekilde değişir. Dolayısıyla be-lirli bir basınç farkı okunamaz. Deney ünitesinde bu mesafeler, gereken minimum mesafeden mümkün olduğu ölçüde daha büyük tutulmuştur.

3.4. BASINÇIN ÖLÇÜLMESİ

Deney ünitesinde; taşıyıcı suyun, emilen suyun ve karışmış suyun basınçlarını ölçmek için 160 mm gösterge çaplı ve 0.01 bar hassasiyetli manometreler kullanılmıştır. Deneyler sırasında çeşitli çalışma şartlarını elde edebilmek için bu basınçların ayarlanması için 100 mm gösterge çaplı kaba manometreler kullanılmıştır. Bu basınç ayarını yapmak için kullanılan kaba manometreler, basınç ve debi ayar vanalarının yanına yerleştirilmiş-tir. Basınç ölçmek için kullanılan hassas manometreler ise ölçme panosuna yerleştirilmiştir. Her basınç ölçme yerine, şekil 3.14 de görüldüğü gibi birer Piezometre halkası yerleştirilmiştir. Piezometre halkasının yerleş-tirildiği boru çevresindeki basınç değişmesini dikkate almak için dört adet delik açılmıştır. Bu deliklerden suyun basıncı Piezometre halkasına



Şekil 3.14 Borulara yerleştirilen Piezometre halkası

iletir. Bu delikler, boru eksenleriyle 45° lik açı yapacak şekilde yerleştirilmiştir. Böylece su içinde bulunan yabancı cisimler Piezometre halkasına geçemez. Piezometre halkasındaki basınç, daha büyük bir delik ve bu deliğe bağlanan şeffaf hortumlar vasıtasıyla manometreye iletir. Basınç ölçmek için kullanılan manometrelerin herbirinin önüne, birer titreşim kesici ve manometre musluğu bağlanmıştır. Böylece deney tesisatı ilk çalıştırılırken ve çalışma esnasında meydana gelen basınç darbeleri söndürülmüş ve bu darbelerden manometreler korunmuştur. Şeffaf basınç iletme hortumları kullanılarak, bu hortumlarda hava veya su buharı olup olmadığı ölçmeler esnasında kontrol edilmiştir. Basınç ölçmek için kullanılan manometreler, ölçme yerlerinden daha aşağıya yerleştirilmiştir. Bu sebeple manometrelerin ölçme yerlerine olan düşey mesafeleri, hesaplarda dikkate alınmıştır. Ölçme sırasında manometrelerdeki ibreler oynadığı zaman titreşim kesicinin ayar vidası sıkılarak, basınçtaki dalgalanmalar önlenmiştir.

Taşıyıcı suyun basıncı, püskürtme lülesi girişinde; emilen suyun basıncı, emme odasında ve karışmış suyun basıncı, difüzör çıkışında ölçülmüştür.

3.5. ÖLÇMEYE ETKİ EDEN FAKTÖRLER

Ölçmeye etki eden faktörlerden en etkilisi debinin sabit olmamasıdır. Emme deposundaki su seviyesi yeterli olmadığı zaman burada girdaplar meydana gelmektedir. Bu sebeple emme deposunda seviye, düzensiz olarak değişmekte ve pompa, su ile birlikte hava emdiğinden debi değişmektedir. Bunun için emme deposundaki su seviyesi, bu düzensizliklerin önlendiği seviyede tutulmuştur. Ölçmeyi etkileyen ikinci faktör, su jeti pompasında ve ölçme aletlerine basıncı ileten hortumlarda, hava veya su buharı olmasıdır. Bunu önlemek için ölçme yapmadan önce, deney tesisatının en üst kısmında bulunan hava alma musluğu açılarak gazlar dışarı atılmıştır.

Karışma odası ve püskürtme lülesinin değiştirilmesi esnasında sökülüp takılan civataların fazla sıkılması yüzünden contalar, boru içine sar-

kabilmektedir. Civatalar az sıkıldığı zaman ise sisteme hava girebilmektedir. Ölçmeler sırasında contaların durumu ve sistemin hava alıp almadığı kontrol edilmiştir.

Gereken basıncı ve debiyi ayarlamak maksadıyla vanalar ayarlandıktan belirli bir süre sonra, basınç sinyalleri ölçme aletlerine ulaşmakta ve bu sürede debi de değişmektedir. Bu yüzden bu mahsurlar geçtikten sonra debi sabit olduğunda, ölçmeler yapılmıştır.

Karışma odası sökülüp takılırken, su jeti pompası ile basma borusunun eksenlerinin çakışmaması da ölçmeleri etkilemektedir. Bunu önlemek için de her defasında eksenlerin çakışıp çakışmadığı kontrol edilmiştir.

3.6. ÖLÇÜLEN DEĞERLERİ ANALİZ METODU

Yapılan deneylerde debileri tesbit etmek maksadıyla, taşıyıcı su için 1. orifismetreye ve karışmış su için 2. orifismetreye bağlanan U-manometrelerindeki civa seviyeleri arasındaki Δh_1 ve Δh_2 farkları ölçüldü. Taşıyıcı su basıncı p_{01} , emilen su basıncı p_{02} ve karışmış su basıncı p_4 ölçüldü. Ölçülen bu değerlere göre debi oranı M, basma oranı B ve verim η , EK B de verilen "Su jeti pompası deney sonuçlarını değerlendirme programı" adlı bilgisayar programı kullanılarak hesaplandı. Ölçülen ve bu programa göre hesaplanan değerler EK A da verildi.

Deneylerde ölçülen değerlerin istatistikî analizi, EK B de verilen "En küçük kareler metodu" adlı bilgisayar programına göre yapıldı. Değişik deneyler için en küçük kareler metoduna göre minimum hatayı veren eğriler bulundu. Bulunan eğrilerin denklemleri ve bu eğrilerin standart hataları, EK B nin sonunda verildi.

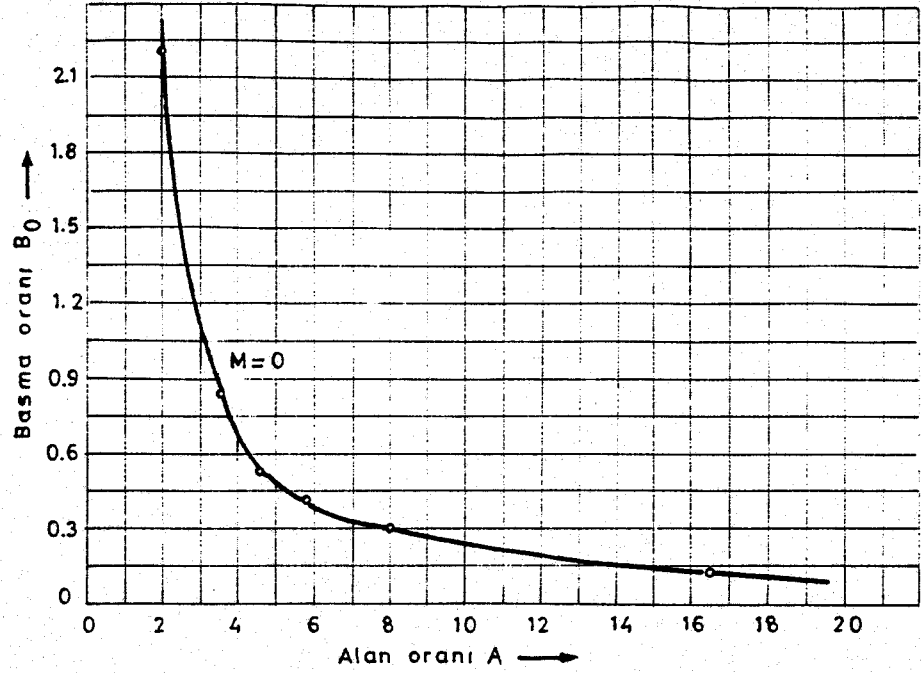
4. DENEY SONUÇLARI

Yapılan deneylerde önce emilen su debisinin sıfır olması halinde basma oranının alan oranına bağlı olarak nasıl değiştiği incelenmiştir. Sonra, sabit alan oranlarında karakteristik eğrinin seyrinin nasıl olduğu ele alınmıştır. Daha sonra da karışma odası uzunluğunun ve püskürtme lülesinin ucundan karışma odasına kadar olan mesafenin, su jeti pompasının verimini nasıl etkilediği incelenmiştir. Bu incelemelerden yararlanarak değişik alan oranları için, optimum karışma odası uzunluğu ve püskürtme lülesi mesafesi tesbit edildikten sonra, alan oranına bağlı olarak optimum karakteristik eğrinin nasıl değiştiği incelenmiştir. Deneylerde su jeti pompasının kavitasyon davranışı ele alınmamıştır.

4.1. EMİLEN SU DEBİSİ SIFIR OLUNCA BASMA ORANI

Su jeti pompalarında difüzör çıkışındaki karşı basınç p_4 artırılırsa belirli bir basınca erişildiğinde, emme deposundan su emilemez. Bu basınç biraz daha artırılırsa geriye doğru akış vuku bulur. Taşıyıcı suyun bir miktarı emme borusundan ve geriye kalan miktarı da basma borusundan emme deposuna akar. Bu sebeple su jeti pompalarında maksimum bir basma oranı vardır. Bu oran ancak emilen su debisi sıfır olduğu zaman maksimum olur. Deneylerde alan oranına bağlı olarak bulunan maksimum basma oranı eğrisi, şekil 4.1 de verilmiştir. Bununla ilgili deneyler, her alan oranı için optimum karışma odası uzunluğu ve püskürtme lülesi mesafesi ile yapıldı.

Şekil 4.1 de görülen deney değerlendirmesine göre alan oranı arttıkça, basma oranı düşmektedir. Buna karşılık alan oranı arttıkça püskürtme lülesinin çıkış çapı küçülür. Bu sebeple püskürtme lülesi girişinde basınç büyük olmaktadır. Bu basınç büyüdükçe, basma oranı küçülmektedir. Alan oranı seçildikten sonra, seçilecek basma oranı bu şekilde verilen değerden daima küçük olacaktır.

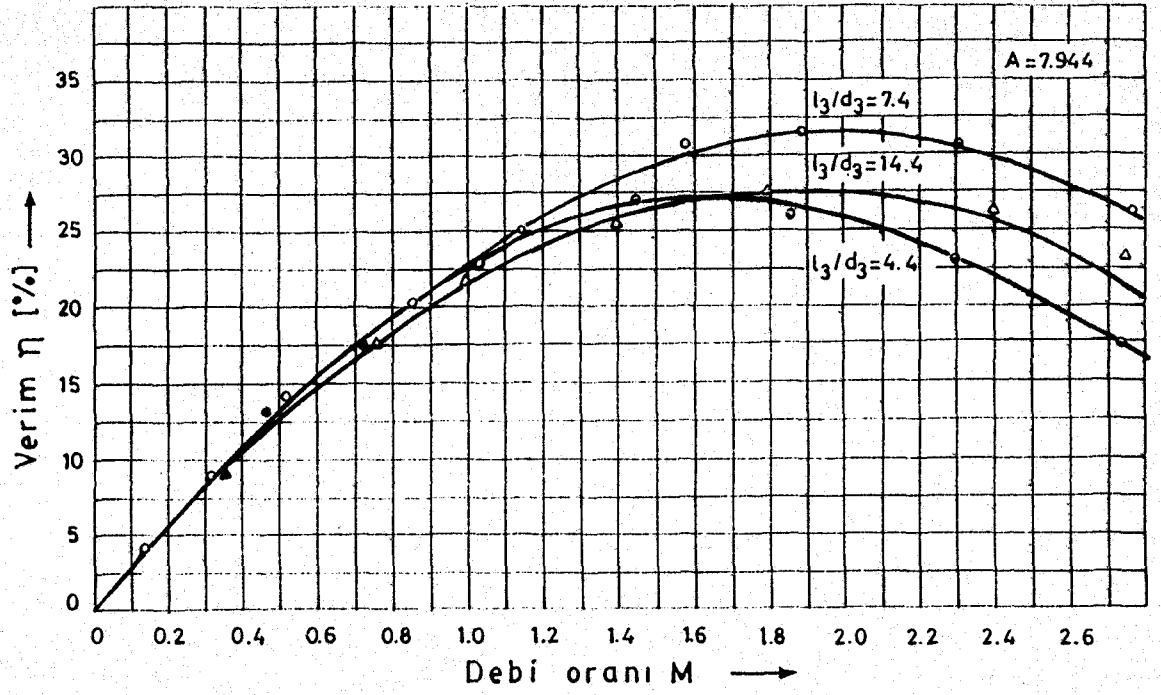


Şekil 4.1: $M \approx 0$ için alan oranının fonksiyonu olarak basma oranı

4.2. KARIŞMA ODASI UZUNLUĞUNUN SU JETİ POMPASININ VERİMİNE ETKİSİ

Su jeti pompasının verimine karışma odası uzunluğunun etkisini araştırmak için şekil 3.8 deki silindirik karışma odası kullanılmıştır. Bunun için uzunlukları $l_3 = 160, 270$ ve 360 mm olan üç karışma odası imal edilmiştir. Değişik alan oranları için karışma odası uzunluğu değiştirilerek verimin maksimum olduğu l_3/d_3 oranı, deneylerle tesbit edilmiştir.

Şekil 4.2 de alan oranı $A = 7.94$ için karışma odası uzunluğunun, debi oranına bağlı olarak, su jeti pompasının verimini, nasıl etkilediği yapılan deneylerin sonuçları kullanılarak gösterilmiştir. Bu şekle göre karışma odası uzunluğunun karışma odası çapına oranı $l_3/d_3 = 7.4$ olduğu zaman, verilen alan oranı için su jeti pompasının verimi maksimum olmaktadır. Debi oranı $M = 1.95$ için maksimum verim $\eta_{\max} = \% 31.49$ dur. Her uzunluk için verim, küçük debi oranlarında yaklaşık aynıdır. Karışma odası uzunluğu büyütülürse veya küçültülürse verim düşmektedir. $l_3/d_3 = 4.4$ için $M = 1.7$ de verim maksimum değere erişirken, $\eta = \% 27.13$ olmuştur. $l_3/d_3 = 14.4$ için maksimum verimin $\eta = \% 27.65$ olmasına rağmen, debi oranı $M = 1.88$ dir. Bu-

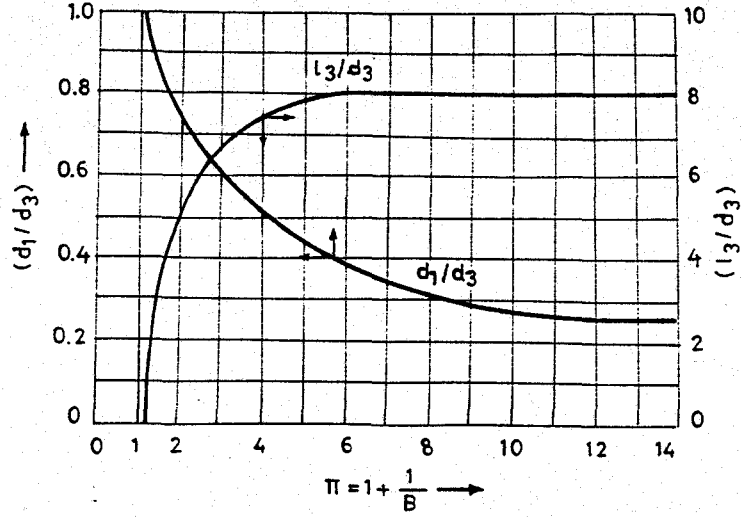


Şekil 4.2: Karışma odası uzunluğunun verime etkisi

na göre $A = 7.94$ için en uygun karışma odasında, $l_3/d_3 = 7.4$ olmalıdır. $l_3/d_3 = 4.4$ ve $l_3/d_3 = 14.4$ olduğu zaman, optimum uzunluk oranına göre verimdeki düşme, yaklaşık % 4.36 dır.

Verimdeki bu düşme, karışma odası uzunluğu küçük olduğu zaman taşıyıcı su ile emilen suyun istenildiği gibi karışmamasından kaynaklanmaktadır. Kötü ve eksik karışma yüzünden enerji alış-verişi de tamamlanamamaktadır. Bu sebeple taşıyıcı suyun enerjisinden daha azı emilen suya aktarılabilmekte, debi oranı ve verim düşmektedir.

Karışma odası uzunluğu büyük olduğu zaman ise taşıyıcı su ve emilen su daha iyi karıştığından taşıyıcı suyun enerjisi, daha büyük miktarda emilen suya aktarılmaktadır. Sonuçta debi oranı nisbeten artmaktadır. Ancak, karışma odası uzunluğu optimum uzunluktan büyük olduğunda, fazla uzunluktaki kısımda, sürtünme sebebiyle ilave bir enerji kaybı olmaktadır. Bu yüzden verim düşmekte, debi oranı sabit kalmaktadır. Yapılan deneylerde alan oranları; 2.048, 3.595, 4.61, 5.92, 7.944 için optimum karışma odası uzunluk oranı $l_3/d_3 = 7.4$ olarak tesbit edilmiştir. Alan oranı 16.44 için ise optimum karışma odası uzunluk oranı $l_3/d_3 = 4.4$ dır.



Şekil 4.3: Optimum karışma odası uzunluğu [3].

Schulz tarafından optimum karışma odası uzunluğunu tesbit etmek için yapılan deneylerin sonucu şekil 4.3 de verilmiştir. Bu şekle göre optimum l_3/d_3 oranı, $d_1/d_3 = 0.4$ değerine kadar sabittir ve 8 dir. d_1/d_3 oranı, 0.4 den başlayarak arttıkça, l_3/d_3 oranı düşmektedir. Karışma odası optimum uzunluğunu tesbit etmek için yapılan deneylerin sonuçlarıyla Schulz'un sonuçlarının kıyaslanması tablo 4.1 de verilmiştir.

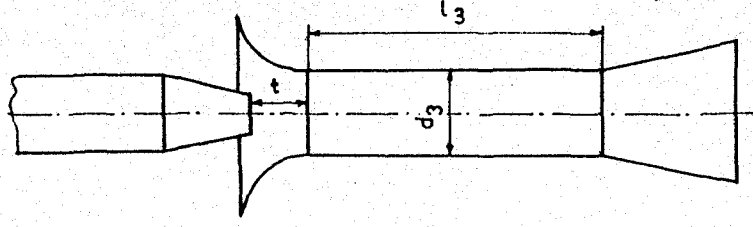
Tablo 4.1: Bulunan karışma odası uzunluk oranının kıyaslanması

Alan oranı	A	2.048	3.595	4.61	5.92	7.944	16.44
Schulz [3]	l_3/d_3	4.7	7.4	7.6	7.8	8.0	8.0
Bulunan	l_3/d_3	4.4	7.4	7.4	7.4	7.4	7.4
Fark %	-	6.4	0.0	2.6	5.1	7.5	7.5

Bu tabloya göre bulunan l_3/d_3 oranı ile Schulz'un sonuçları arasındaki fark, maksimum % 7.5 dir.

4.3. PÜSKÜRTME LÜLESİ MESAFESİNİN SU JETİ POMPASININ VERİMİNE ETKİSİ

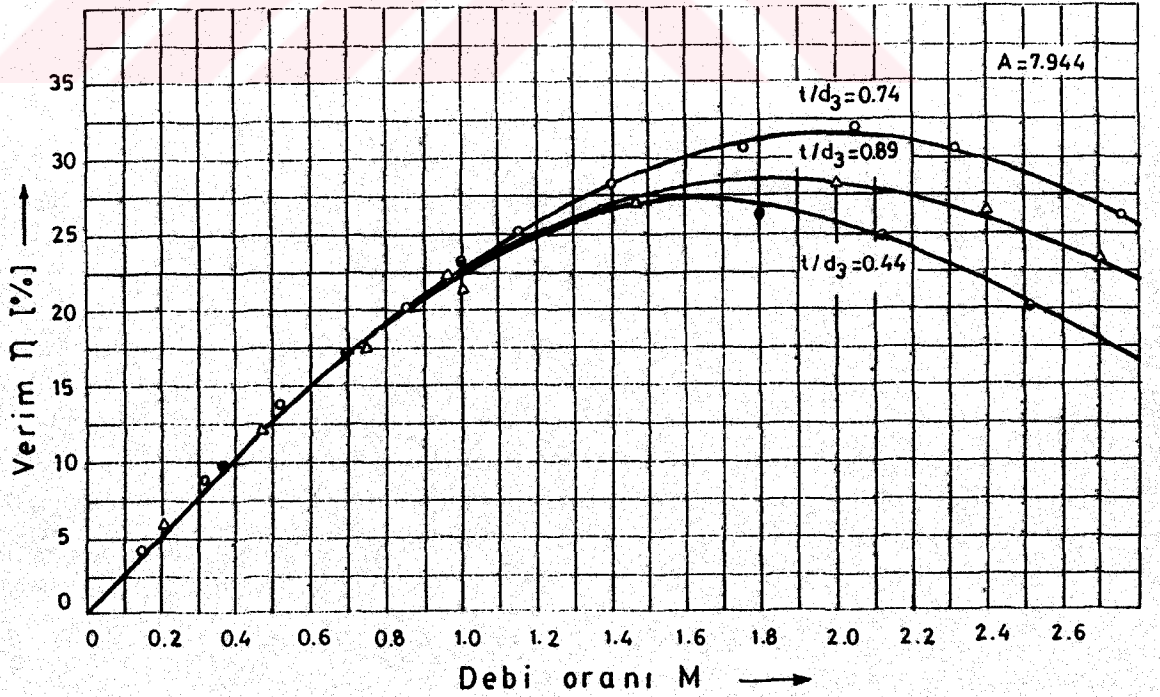
Püskürtme lülesi mesafesi, püskürtme lülesinin ucuyla karışma odası arasındaki mesafedir. Bu mesafe, şekil 4.4 de t ile gösterilmiştir. Püskürtme lülesi mesafesi t , karışma odasının çapı d_3 e, dolayısıyla lü-



Şekil 4.4: Püskürtme lülesi ile karışma odası arasındaki mesafe

lenin çıkış çapı d_1 e bağlıdır. Emilen suyun karışma odasına kolayca girebilmesi için püskürtme lülesi biraz geride tutulur. Bu mesafe taşıyıcı su jetinin, karışma odası girişinde dağılmasına imkan vermeyecek uzunlukta olmalıdır. Deney ünitesinde bu mesafe, püskürtme lülesinin bağlandığı rarkorla lüle arasına, farklı uzunluklarda mesafe ayar parçaları yerleştirilerek ayarlandı.

Püskürtme lülesi mesafesinin, su jeti pompasının verimine etkisini araştırmak için yapılan deneylerin sonucu şekil 4.5 de verilmiştir. Üç farklı mesafe için verimin, sabit alan oranı $A = 7.944$ de debi oranına bağlı olarak değişmesi, bu şekilde görülmektedir. Debi oranı yaklaşık $M = 1$ e

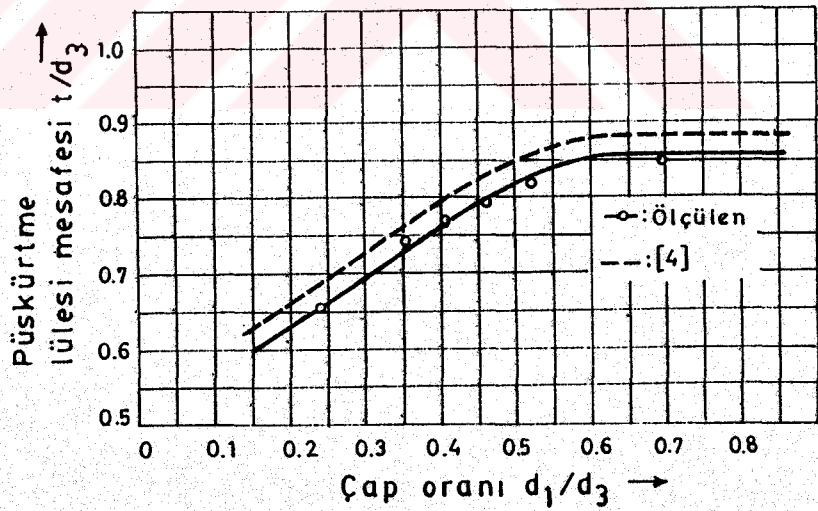


Şekil 4.5: Püskürtme lülesi mesafesinin, su jeti pompasının verimine etkisi

kadar üç eğri çakışmıştır. $t/d_3 = 0.74$ için verim maksimumdur ve % 31.49 değerindedir. $t/d_3 = 0.89$ için maksimum verim $\eta = \% 28.49$, $t/d_3 = 0.44$ için ise $\eta = \% 27.34$ dür. Püskürtme lülesi mesafesi küçültülürse maksimum verimin yeri, küçük debi oranlarına doğru kaymaktadır.

Küçük t -mesafelerinde emilen su ile püskürtme lülesinin dış cidarı ve emme lülesinin iç cidarı arasındaki sürtünme kaybı arttığından verim düşmektedir. Büyük t -mesafelerinde taşıyıcı su jeti karışma odasına girmeden dağıldığından verim yine düşmektedir. Optimum t -değerine göre püskürtme lülesi mesafesi daha da büyütülürse veya küçültülürse verim, daha da küçülecektir.

Optimum püskürtme lülesi mesafesi, alan oranına bağlı olarak değişmektedir. Bu yüzden, bu çalışmada kullanılan alan oranları için optimum t -mesafeleri, deneysel olarak tesbit edilmiştir. Tesbit edilen optimum t -mesafeleri, literatür [4] de verilen sonuçlarla şekil 4.6 da kıyaslanmıştır.

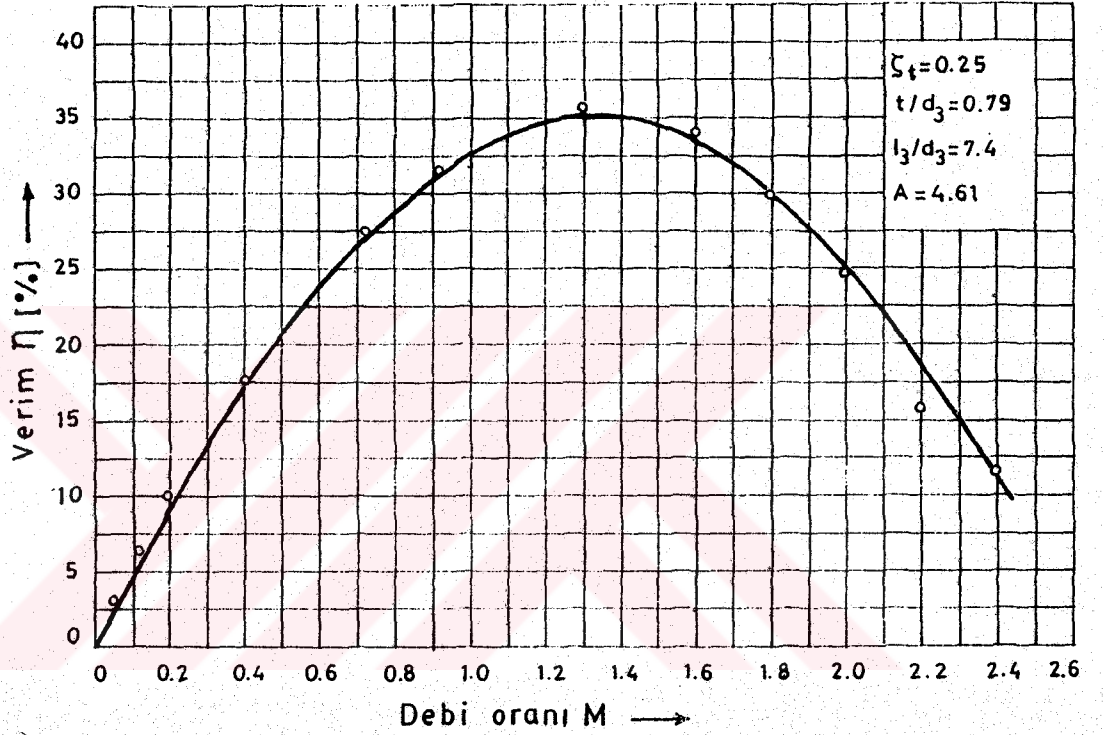


Şekil 4.6: Çap oranına bağlı olarak optimum püskürtme lülesi mesafesi

Bu şekildeki deney sonuçlarına göre çap oranı d_1/d_3 , 0.15 den 0.6 ya kadar artarken püskürtme lülesi mesafesi hemen hemen lineer olarak artmaktadır. Daha büyük çap oranları için t -mesafesi sabit kalmaktadır.

4.4. SABİT ALAN ORANI İÇİN KARAKTERİSTİK EĞRİ

Alan oranı $A= 4.61$ ve toplam kayıp sayısı $\zeta_t = 0.25$ için deneysel olarak tesbit edilen ve debi oranına bağlı olarak verimin nasıl değiştiğini gösteren eğri, şekil 4.7 de verilmiştir. Deneysel optimum karışma odası uzunluğu ve püskürtme lülesi mesafesi kullanıldığından, bu alan oranı ile elde edilen bu eğri, bir optimum karakteristik eğrisidir.

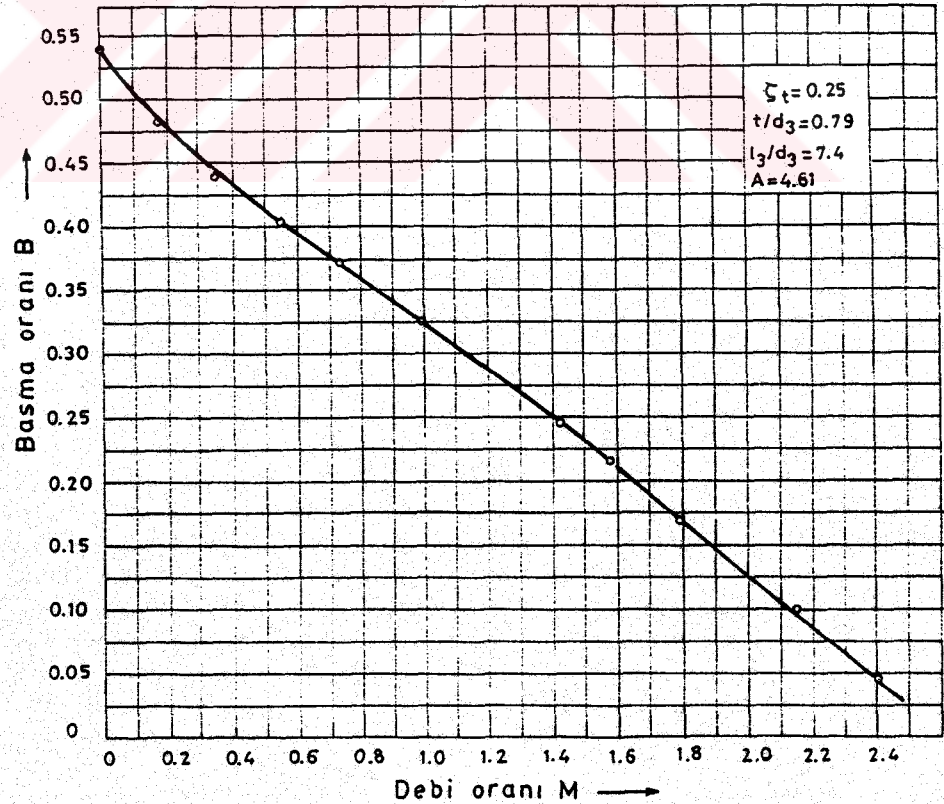


Şekil 4.7: Sabit alan oranı için verimin debi oranına bağlı olarak değişmesi

Bu eğride su jeti pompasının verimi, debi oranına göre parabolik bir fonksiyon olarak değişmektedir. Verim, belirli bir debi oranına kadar artmakta ve maksimum değerine ulaştıktan sonra azalmaktadır. Belirtilen alan oranı için debi oranı $M=1.3$ de verim maksimum olmakta ve $\eta_{\max} = \% 35.22$ ye erişmektedir. Püskürtme lülesi, emme lülesi, karışma odası ve difüzörün iç yüzeyleri daha pürüzsüz yapılarak verim biraz daha yükseltilebilir.

Jet pompalarının verimini, taşıyıcı akışkan ve emilen akışkanın viskoziteleri ve bunların yoğunluklarının oranı da etkilemektedir. Deneylerde taşıyıcı akışkan ve emilen akışkan olarak su kullanıldı. Bu yüzden taşıyıcı akışkanın yoğunluğunun emilen akışkanın yoğunluğuna oranı 1 dir. Yoğunluk oranı 1 den büyük olduğu zaman verim, biraz artmaktadır. Bu oran 1 den küçük olduğu zaman ise verim, biraz düşmektedir. Yoğunluk oranının verime etkisi, Petrovic tarafından araştırılmıştır. O, deneylerinde gliserin ve su kullanmıştır. Taşıyıcı akışkan ve emilen akışkan olarak sırasıyla gliserin-su, su-su ve su-gliserin kullanılmıştır. Taşıyıcı akışkan gliserin olduğu zaman verimdeki artma % 1.5 dir. Emilen akışkan gliserin olduğu zaman ise verimdeki düşme % 1.5 dir [9].

Basma oranının, debi oranına bağlı olarak değişmesini gösteren deney sonuçları şekil 4.8 de verilmiştir. Bu şekildeki eğri, daha önce belirtilen geometrik ve akış parametreleri ile çizilmiştir.



Şekil 4.8: Basma oranının debi oranına bağlı olarak değişmesi

Deney sonucuna göre basma oranı, debi oranına göre hemen hemen lineer olarak değişmektedir. Debi oranı arttıkça basma oranı azalmaktadır. Zira artan debi oranı ile emilen su debisi arttığından, su jeti pompasından çıkan suyun basıncı düşer. Taşıyıcı suyun enerjisi, daha fazla emilen suya transfer edildiğinden çıkış basıncı düşer.

Bu eğriye göre, verimin maksimum olduğu debi oranı $M=1.3$ de basma oranı $B=0.271$ dir. Bu oran, alan oranı $A= 4.61$ için optimum basma oranıdır.

4.5. OPTİMUM KARAKTERİSTİK EĞRİLER

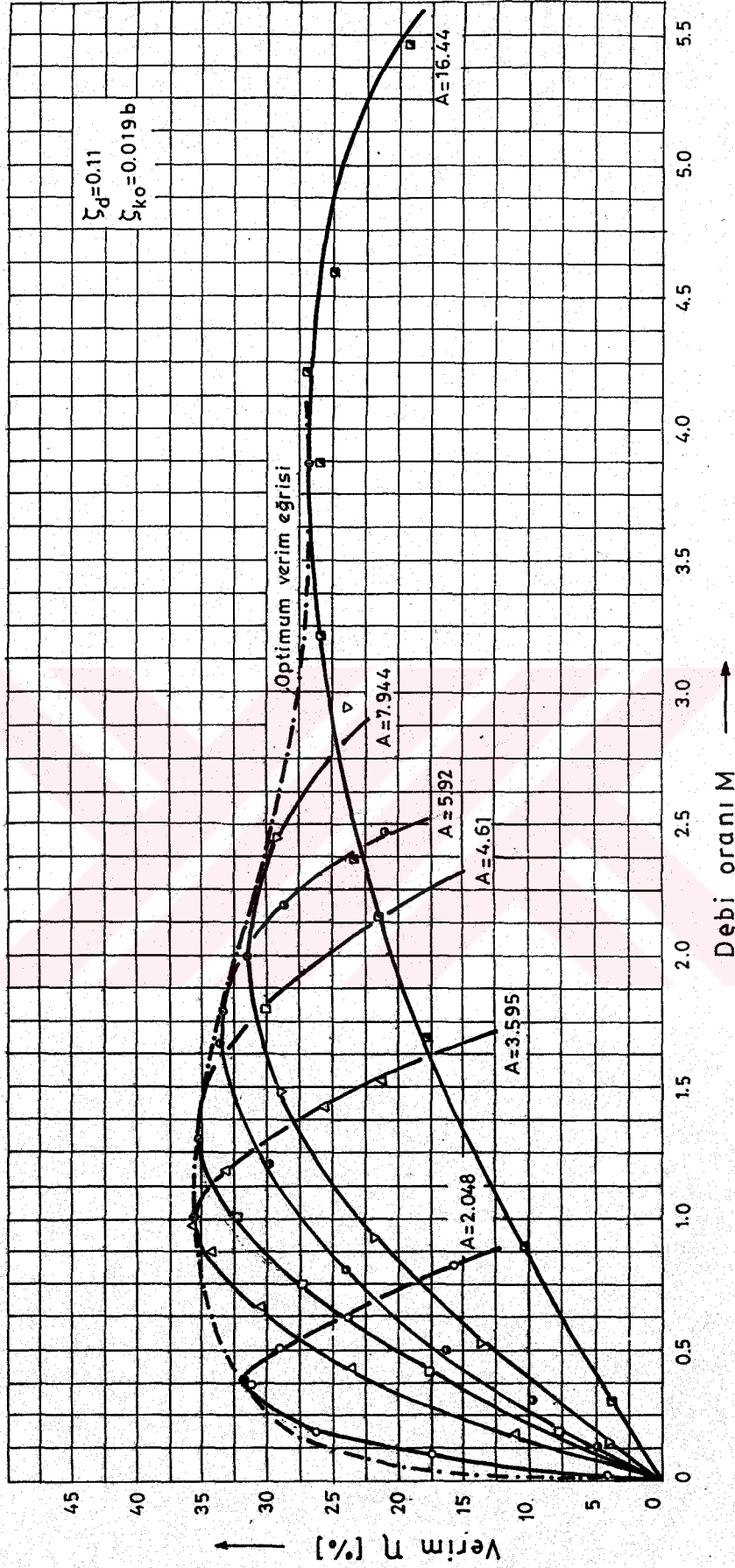
Şekil 4.9 da değişik alan oranları için debi oranına bağlı olarak verim eğrileri çizilmiştir. Alan oranı, sabit tutularak çizilen verim eğrilerinin zarf eğrisi, optimum verim eğrisini verir. Çünkü zarf eğrisi, her alan oranı için verimin maksimum olduğu noktadan geçer. Her bir alan oranı için verimin maksimum olduğu debi oranı farklı olmaktadır. Bu debi oranı, alan oranı arttıkça daha büyük değerlere tekabül etmektedir. Ancak optimum verimin değeri, debi oranı dolayısıyla alan oranı arttıkça önce artmakta ve maksimum bir değere ulaştıktan sonra düşmektedir. Bu dönüm noktası, verimin maksimum olduğu alan oranını ve debi oranını verir.

Deneylerde kullanılan alan oranları için maksimum verimler ve bunlara karşılık gelen debi oranları tablo 4.2 de verilmiştir.

Tablo 4.2: Alan oranları için maksimum verimin değerleri ve bu verimlere karşılık gelen debi oranları

$A = A_3/A_1$	2.048	3.595	4.61	5.92	7.944	16.44
$\eta_{\max} [\%]$	31.81	35.60	35.22	33.81	31.49	26.63
$M=\dot{m}_2/\dot{m}_1$	0.40	1.0	1.30	1.80	1.95	3.80

Bu tabloya göre veya şekil 4.9 a göre verim, $A= 3.595$ de maksimumdur. Maksimum verimin değeri % 35.60 dır. Buna tekabül eden debi oranı, $M=1.0$ dır.



Şekil 4.9: Alan oranına bağlı olarak optimum verim eğrisi

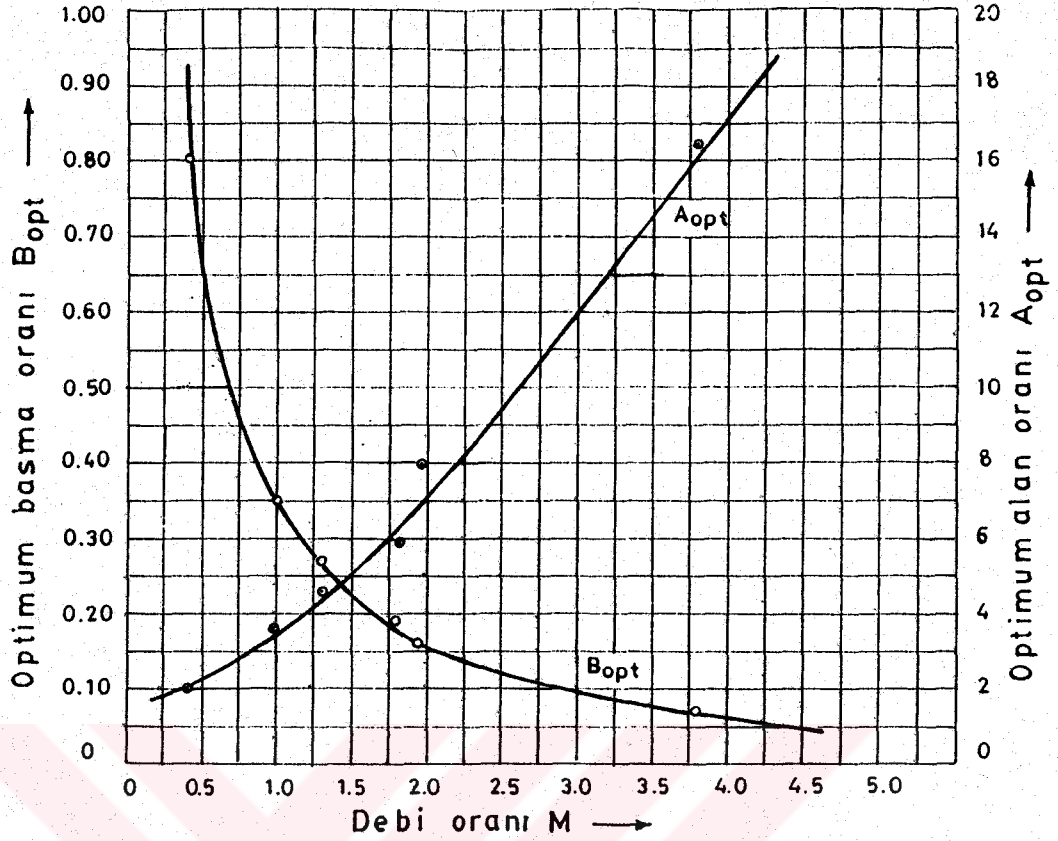
Sonuçları şekil 4.9 da verilen deneyler, optimum karışma odası uzunlukları ve optimum püskürtme lülesi mesafeleri kullanılarak yapılmıştır. Difüzörün kayıp sayısı $\zeta_d = 0.11$ ve karışma odasının kayıp sayısı $\zeta_{ko} = 0.019b$ dir. Burada $b = l_3/d_3$ olup karışma odası uzunluğuna göre değişmektedir. Su ile yapılan deneylerde, $7 \times 10^4 < Re = c_3 d_3 / \nu < 10^5$ aralığında, ölçmeler gerçekleştirilmiştir.

Şekil 4.10 daki optimum karakteristik eğri, şekil 4.9 daki optimum verimin eğrisinden faydalanarak çizilmiştir. Bu sebeble buradaki basma oranı ve alan oranı eğrisi de optimum eğrilerdir. Çünkü, bu eğrilerdeki her basma oranı ve alan oranı için verim, maksimumdur. Bu karakteristik eğriye göre debi oranı arttıkça, optimum basma oranı düşmektedir. Bunun sebebi, debi oranı arttıkça emilen su debisi arttığından, taşıyıcı suyun enerjisinin daha büyük debilerdeki emilen suya aktarılması ve dolayısıyla suyun jet pompasından çıkış basıncının düşmesidir.

Alan oranı arttıkça emilen suyun akış kesiti büyüdüğünden daha fazla su emilebilmekte ve bu yüzden debi oranı da artmaktadır.

Şekil 4.10 daki karakteristik eğri, optimum çalışma şartlarını verdiği için su jeti pompalarının boyutlandırılmasında kullanılması gereken temel eğridir. Bu eğrilerdeki B_{opt} ile M , optimum akış parametreleri ve A_{opt} da optimum geometrik parametredir. Bu parametreler, su jeti pompasının verimini etkileyen, temel parametrelerdir.

Su jeti pompaları boyutlandırılırken bu parametrelerden birisi seçildiği zaman diğerleri rastgele seçilemez. Seçilen parametreye göre diğer iki parametre şekil 4.10 da verilen optimum karakteristik eğriden tesbit edilir. Çünkü maksimum verimde her basma oranı B ye, belirli bir A da sadece bir M -değeri karşılık gelir. Maksimum verimin değeri, şekil 4.9 da verilen optimum verim eğrisinden faydalanarak tesbit edilir. Optimum karışma odası uzunluğu ve optimum püskürtme lülesi mesafesi ise alan oranı A nın değerine göre sırasıyla şekil 4.3 ve şekil 4.6 dan faydalanarak tesbit



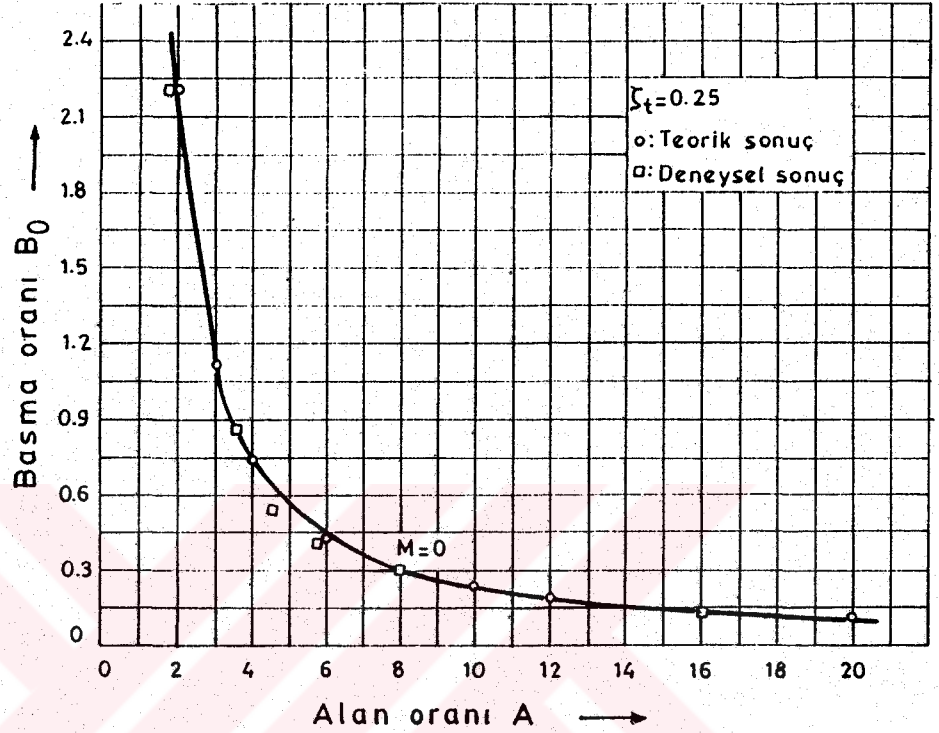
Şekil 4.10: Optimum karakteristik eğri

edilir. Difüzörün koniklik açısı, ilgili konuda belirtildiği gibi $\theta = 6^\circ - 10^\circ$ olmalıdır.

Su jeti pompaları boyutlandırılırken temel parametrelerden birisi seçildikten sonra diğerleri rastgele seçilirse, su jeti pompası düşük verimde çalışacaktır. Sonuçta pompa ya küçük miktarda su emecek veya çok küçük bir yüksekliğe suyu basabilecektir. Hatta alan oranı seçildikten sonra basma oranı şekil 4.1 de verilen B_0 değerine eşit veya daha büyük seçilirse, pompa fonksiyonunu yerine getiremeyecektir. Yani, pompa suyu ememeyecektir. Yine parametreler rastgele seçildiği zaman pompa kavitasyonlu bölgede çalışabileceğinden, yüksek gürültü meydana gelebilecektir.

5. DENEY SONUÇLARI İLE TEORİK SONUÇLARIN KIYASLANMASI

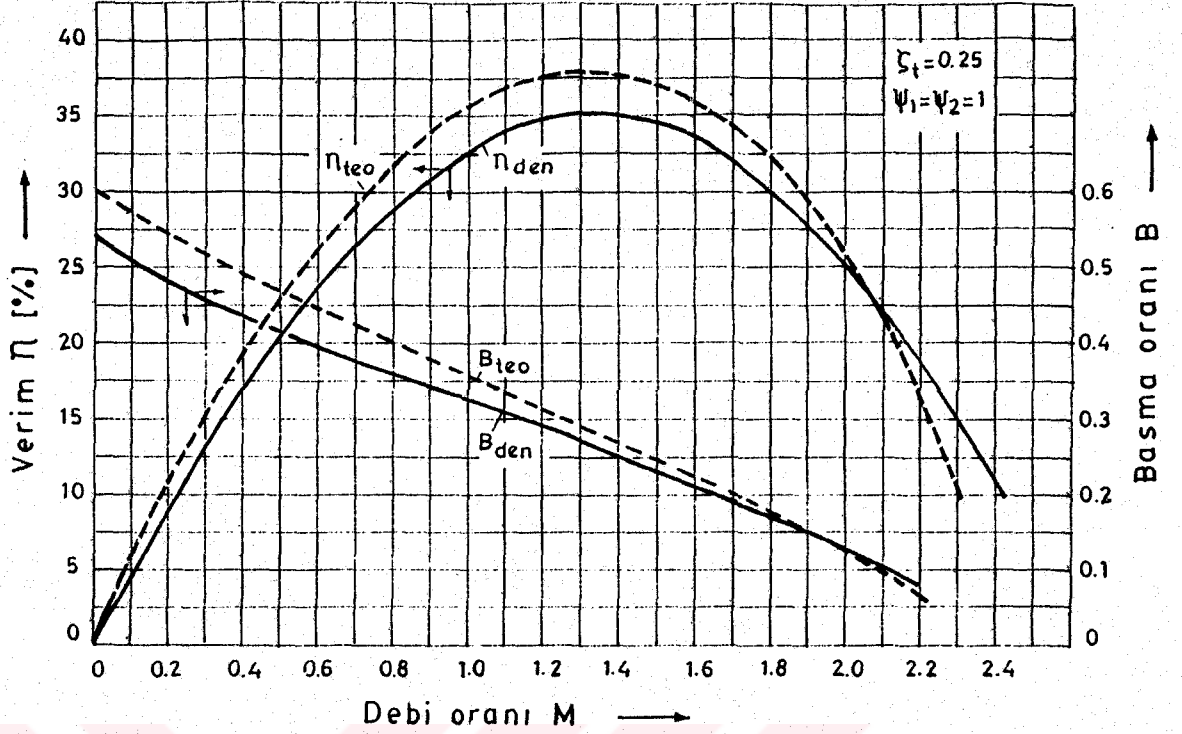
Emilen su debisinin sıfır olması halinde bulunan teorik ve deneysel sonuçlar şekil 5.1 de grafik olarak gösterilmiştir.



Şekil 5.1: $M=0$ için basma oranının alan oranına bağlı olarak değişmesi

Buradaki basma oranı B_0 , her alan oranı için elde edilebilecek maksimum basma oranını göstermektedir. İki sonuca göre, alan oranı arttıkça basma oranı düşmektedir. Ancak küçük alan oranlarında, basma oranındaki düşme daha büyüktür. Teorik ve deneysel sonuçlardan elde edilen eğriler, hemen hemen çakışmaktadır. Bu sebeple herhangi bir alan oranı için maksimum basma oranını hesaplarken teorik sonuçlar kullanılabilir. Ancak, bunun yapılabilmesi için karışma odası ve difüzörün kayıp sayısının bilinmesi gerekir.

Şekil 5.2 de, $A=4.61$ için optimum karakteristik eğriler teorik ve deneysel sonuçlardan faydalanarak çizilmiştir. Bu eğrilerle, debi oranına



Şekil 5.2 : Sabit alan oranı için teorik ve deneysel karakteristik eğrilerin kıyaslanması

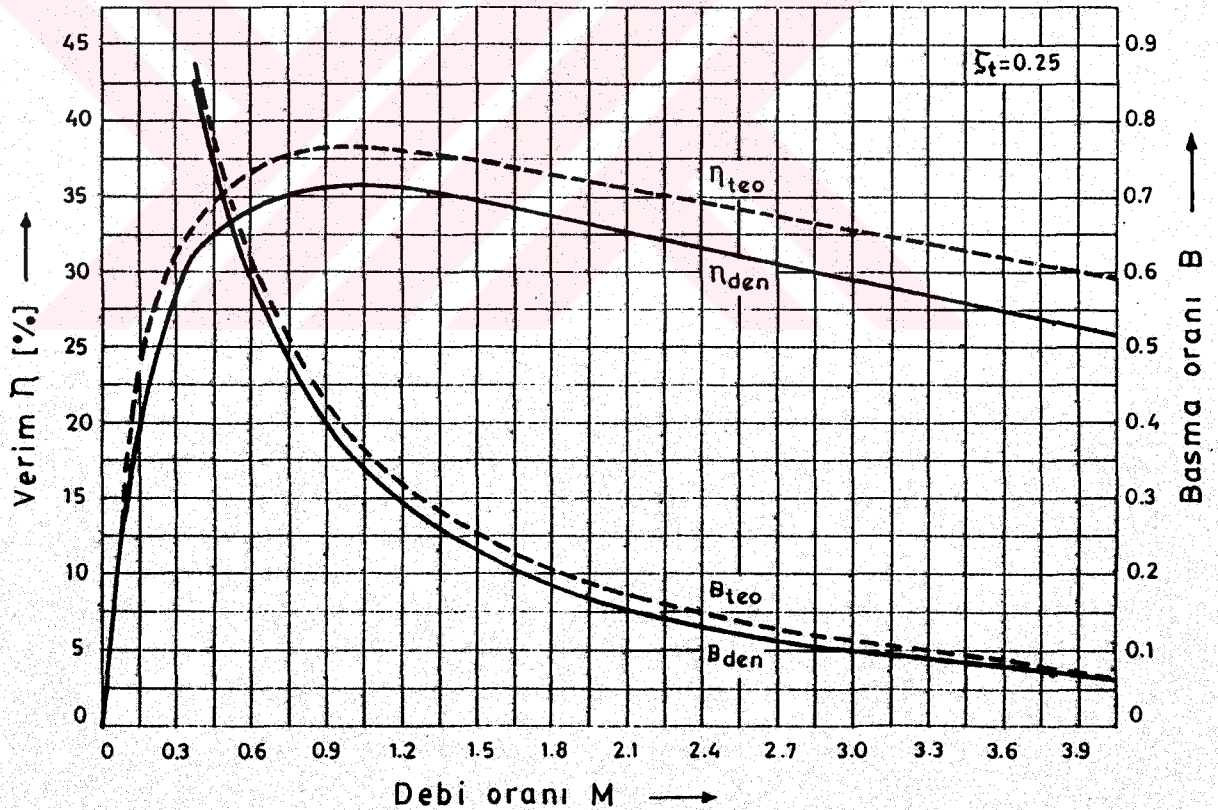
bağlı olarak bu alan oranı için verimin ve basma oranının değişmesi kıyaslanabilir. Deneysel eğride maksimum verimin elde edildiği noktaya karşılık gelen debi oranı $M = 1.3$ dür. Bu noktadaki basma oranları, teorik ve deneysel sonuçlara göre sırasıyla $B_{teo} = 0.29$ ve $B_{den} = 0.27$ dir. Alan oranı $A = 4.61$ için maksimum verim, teorik sonuçlara göre $\eta_{teo} = \% 37.82$, deneysel sonuçlara göre $\% 35.22$ dir. ikisi arasındaki fark $\% 2.6$ dır. Teoriye göre maksimum verim, deney sonuçlarına göre biraz daha büyük olan $M = 1.32$ de elde edilmektedir. Buradaki basma oranı $B = 0.287$ dir.

Verim eğrilerinin çakışmaması şöyle açıklanabilir :

Deneysel sonuçlar, püskürtme ve emme lülelerindeki kayıpları içermektedir. Teorik sonuçlar değerlendirilirken $\psi_1 = \psi_2 = 1$ alınarak emme ve püskürtme lülelerindeki kayıplar ihmal edildiğinden verim biraz daha büyük olmaktadır.

Sabit alan oranı için verilen bu eğriler, püskürtme lülesi çıkış çapı değiştirilmeyip, basma oranı değiştirildiği zaman su jeti pompasının

debi oranının ve buna karşılık gelen verimin alacağı değeri de verir. Daha düşük verimde çalışılması göz önüne alındığı zaman daha büyük miktarda su emilip basılmak istenirse mesela $M=2$ olursa buna karşılık gelen basma oranı yaklaşık $B=0.12$ ve verim $\eta=24.72\%$ olacaktır. Daha az miktarda su basılmak istenirse $M=0.6$ için $B=0.396$ ve $\eta=23.76\%$ olacaktır. Bu açıklamalara göre emilen su debisi arttırılırsa su jeti pompasının toplam jeodezik basma yüksekliği düşecek ve emilen su debisi azaltılırsa toplam jeodezik basma yüksekliği artacaktır. Verilen bu alan oranı için basma oranı sabit tutularak emilen su debisi artırılır veya azaltılırsa, su jeti pompasının verimi düşecektir. Yine aynı alan oranı için debi oranı sabit tutularak basma oranı değiştirilirse verim yine düşecektir. Çünkü her iki durumda da çalışma noktası optimum eğrinin dışında kalacaktır.



Şekil 5.3 : Teorik ve deneysel optimum karakteristik eğrilerin değişik alan oranlarında kıyaslanması
Teorik eğriler için $\psi_1 = \psi_2 = 1$ alındı.

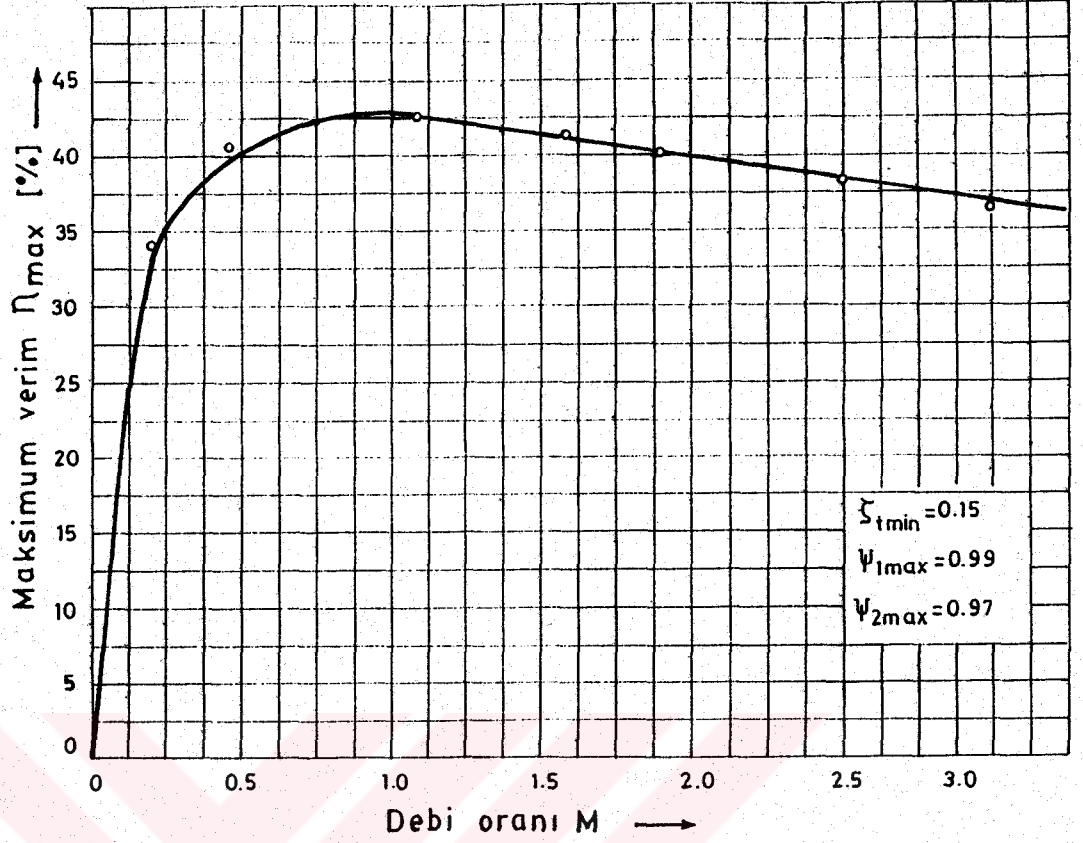
Şekil 5.3 de teorik ve deneysel optimum karakteristik eğriler birbiriyle kıyaslanmıştır. Bu şekilde, debi oranına bağlı olarak verim ve bas-

ma oranının değişmesi gösterilmiştir. Teorik incelemede, püskürtme ve emme lülesi kayıpları dikkate alınmadığından verim ve basma oranı deney sonuçlarına göre biraz daha büyüktür. İki sonuç arasında verimdeki maksimum fark, yaklaşık % 3 dır. Basma oranı arasındaki maksimum fark, yaklaşık 0.03 dır. Her bir eğri için $M= 1.0$ da verim maksimumdur. Bu verim, teorik eğriye göre % 38.20 ve deneysel eğriye göre % 35.6 dır. Bu noktadaki basma oranları sırasıyla 0.382 ve 0.356 dır.

Bulunan bu sonuçlar, su jeti pompasının temel elemanları; püskürtme lülesi, emme lülesi, karışma odası ve difüzör aynı eksenli olduğu zaman tesbit edildi. Emilen suyun emme odasına yönlendirici vasıtasıyla simetrik olarak girmesi ile, püskürtme lülesinden önce boru boyu yeteri kadar uzun tutularak taşıyıcı akışkanın bu lüleye düzenli olarak girmesi aynı zamanda sağlanmıştır. Bu şartlar sağlanmadığı zaman, verim önemli derecede düşmektedir. Mesela emilen su, emme odasına eksenel yönde girmeyip de radyal yönde girdiği zaman verim, % 30 azalmaktadır [3].

5.1. SONUÇLARIN DEĞERLENDİRİLMESİ

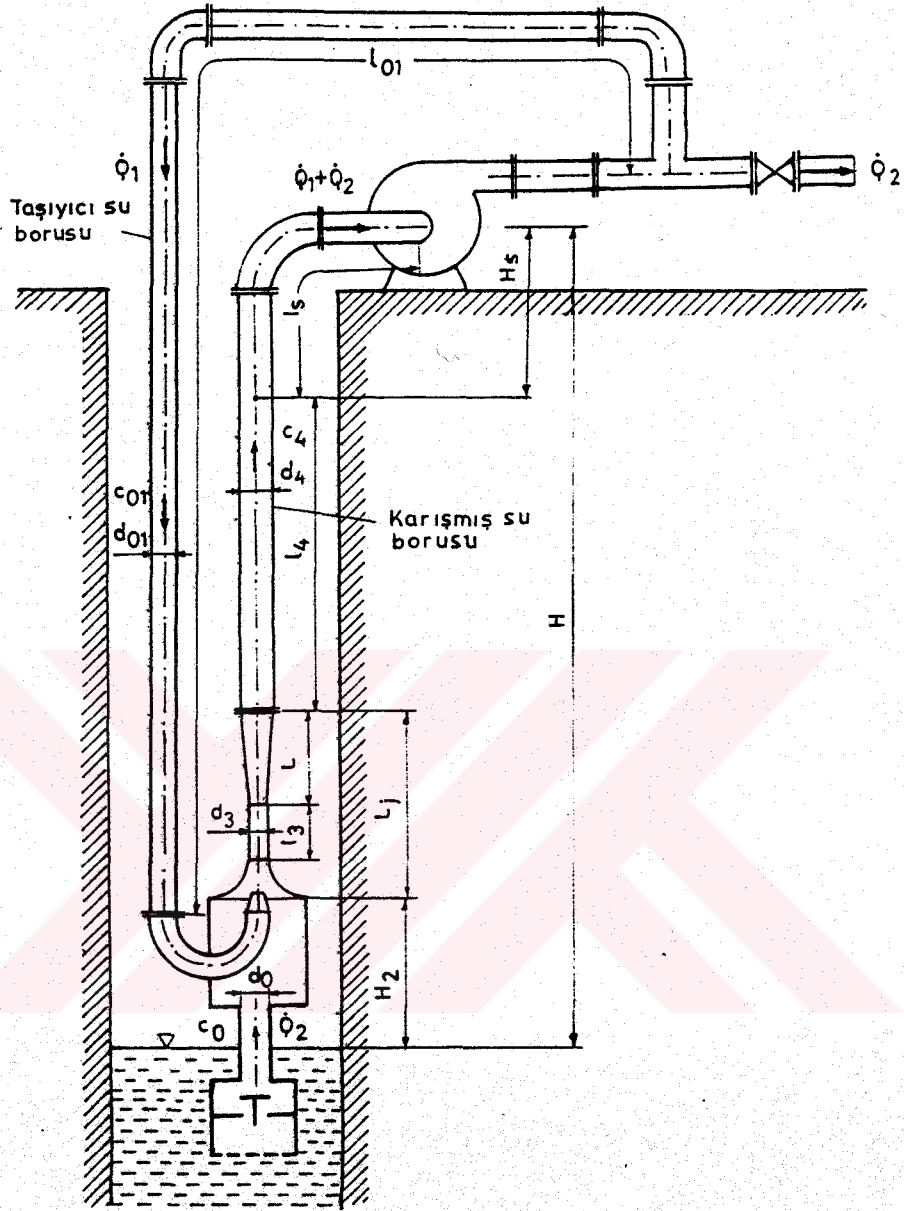
(2 3) eşitliğine göre su jeti pompasının verimi ; M, A, ζ_t, ψ_1 ve ψ_2 nin bir fonksiyonudur. Deneylerle $\zeta_t=0.25$ için bulunan ve şekil 5.3 de verilen maksimum verimin ($\eta_{max} = \% 35.6$) elde edilebilecek en büyük değer olduğu zannedilmemelidir. Çok pürüzsüz karışma odası ve difüzör imal edilerek, yine çok pürüzsüz ve daha güzel şekil verilmiş emme ve püskürtme lüleleri imal edilerek verim biraz daha yükseltilebilir. Ancak pratikte elde edilebilen en küçük karışma odası kayıp sayısı $\zeta_{ko} = 0.05$ ve difüzör kayıp sayısı $\zeta_d = 0.10$, en büyük püskürtme lülesi hız katsayısı $\psi_1 = 0.99$ ve emme lülesi hız katsayısı $\psi_2 = 0.97$ olduğundan, alan oranına bağlı olarak maksimum verim eğrisinin seyri, teoriden de anlaşıldığı gibi, bir sınıra sahiptir. Bu kayıp sayılarına ve en uygun geometrik boyutlara sahip su jeti pompalarında maksimum verimin, debi oranına bağlı olarak nasıl değiştiğini gösteren eğri, şekil 5.4 de verilmiştir.



Şekil 5.4 : Debi oranına bağlı olarak maksimum verim eğrisinin kıyaslanması —:[5],o:Teorik sonuç

Bu eğriye göre $M=1$ de verilen kayıp sayıları için $\eta_{max} = \% 43$ dür. Buna karşılık gelen alan oranı $A=3.6$ dır. Kaynak [5] tarafından verilen maksimum verim eğrisiyle, (23) eşitliği kullanılarak çizilen maksimum verim eğrisi hemen hemen çakışmaktadır. Bu sebeple su jeti pompalarının hesabı, uygun kayıp sayıları kullanılarak elde edilen teorik bağıntılar yardımıyla yapılabilir.

6. SU JETİ POMPASI HESABI İLE İLGİLİ BİR ÖRNEK



Şekil 6.1: Derin kuyularda su jeti pompası uygulaması

Şekil 6.1 de maksimum emme yüksekliği 6 m olan bir santrifüj pompasının emme hattına bir su jeti pompası monte edilerek 15 m derinlikteki bir kuyudan su çıkarılmasında kullanılacaktır. Santrifüj pompanın debisi $20 \text{ m}^3/\text{h}$ dir. Kuyudan saatte 20 m^3 su çıkarılmak istenmektedir. Kuyudaki serbest su yüzeyi ile emme lülesi girişi arasındaki mesafe 1 m dir. Santrifüj pompanın çıkışından püskürtme lülesi girişine kadar tesisat uzunluğu 17 m, boru çapı 70 mm ve sürtünme kayıp sayısı 0.03 dür. Su jeti pompası çıkı-

şından santrifüj pompa girişi arasında tesisatta kullanılan borunun çapı 80 mm ve sürtünme kayıp sayısı 0.03 dür. Su jeti pompasının emme borusunun çapı 70 mm ve uzunluğu 1 m dir. özel kayıplar ihmal edilebilir.

Su jeti pompasının optimum verimde çalışabilmesi için;

- Santrifüj pompanın jeodezik emme yüksekliğini,
- Su jeti pompasına giriş ve çıkış basıncını,
- Santrifüj pompanın giriş ve çıkış basıncını, manometrik yüksekliğini ve gücünü hesaplayalım,
- Su jeti pompasını boyutlandıralım ve verimini bulalım,
- Kavitasyonun ortaya çıkıp çıkmayacağını araştıralım.

Verilenler :

$$H_{smax} = 6 \text{ m}$$

$$H = 15 \text{ m}$$

$$\dot{Q}_2 = \dot{Q}_1 = 20 \text{ m}^3/\text{h}$$

$$H_2 = 1 \text{ m}$$

$$l_{01} = 17 \text{ m}$$

$$d_{01} = 70 \text{ mm}$$

$$\lambda_{01} = 0.03$$

$$d_4 = 80 \text{ mm}$$

$$\lambda_4 = 0.03$$

$$d_0 = 70 \text{ mm}$$

$$\lambda_0 = 0.03$$

$$l_0 = 1 \text{ m}$$

$$L_j = 0.5 \text{ m kabul edildi.}$$

- Süreklilik eşitliği kullanılarak borulardaki akış hızı hesaplanırsa:

Taşıyıcı su borusundaki hız,

$$c_{01} = \frac{4 \dot{Q}_1}{\pi d_{01}^2} = \frac{4 (20/3600)}{\pi (0.07)^2} = 1.44 \text{ m/s,}$$

emilen su borusundaki hız $c_0 = 1.44 \text{ m/s}$ olur.

Emme lülesi girişindeki hız $c_{02} \approx 0$ alınabilir.

Karışmış su borusundaki hız,

$$c_4 = \frac{4 (\dot{Q}_1 + \dot{Q}_2)}{\pi d_4^2} = \frac{4 [(20+20)/3600]}{\pi (0.08)^2} = 2.21 \text{ m/s.}$$

Santrifüj pompanın maksimum emme yüksekliği,

$$H_{smax} = H_s + \frac{\lambda_4}{d_4} l_s \frac{c_4^2}{2g} + \frac{c_4^2}{2g}$$

dir. Burada $l_s = H_s$ alınabilir. Buna göre santrifüj pompanın jeodezik emme yüksekliği,

$$H_s = \frac{H_{smax} - \frac{c_4^2}{2g}}{\left(1 + \frac{\lambda_4}{d_4} \frac{c_4^2}{2g}\right)} = \frac{6 - \frac{2.21^2}{2 \times 9.81}}{\left(1 + \frac{0.03}{0.08} + \frac{2.21^2}{2 \times 9.81}\right)} = 5.26 \text{ m bulunur.}$$

b) Emilen suyun, su jeti pompası girişindeki basıncı

$$p_{t02} = -\rho g \left(H_2 + \lambda_0 \frac{l_0}{d_0} \frac{c_0^2}{2g} \right) = -1000 \times 9.81 \left(1 + \frac{0.03 \times 1}{0.07} \cdot \frac{1.44^2}{2 \times 9.81} \right)$$

$$p_{t02} = -10255 \text{ N/m}^2 \text{ olur.}$$

Su jeti pompasından karışmış suyun çıkış basıncı, $l_4 = H - H_s - L_j - H_2$ ile

$$p_4 = \gamma \left[(H - H_s - L_j - H_2) \right] \left(1 + \frac{\lambda_4}{d_4} \frac{c_4^2}{2g} \right) \text{ ile}$$

$$p_4 = 1000 \times 9.81 \left[15 - 5.26 - 0.5 - 1 \right] \left(1 + \frac{0.03}{0.08} \times \frac{2.21}{2 \times 9.81} \right) = 88380 \text{ N/m}^2 \text{ dir.}$$

Su jeti pompası kuyunun üzerine düşey olarak monte edildiğinden karışmış su, su jeti pompasının girişine göre (γL_j) kadar potansiyel enerji kazanır. Bu nedenle,

$$H_{t4} = p_4 + \rho \frac{c_4^2}{2} + \gamma L_j = 88380 + 1000 \times \frac{2.21^2}{2} + 1000 \times 9.81 \times 0.5 = 95727 \text{ N/m}^2$$

olur. Debi oranı $M = \frac{\dot{Q}_2}{\dot{Q}_1} = \frac{20}{20} = 1$ için şekil 4.10 dan $B_{opt} \approx 0.355$ ve

$A_{opt} = 3.6$ bulunur. Optimum basma oranı,

$$B_{opt} = \frac{H_{t4} - p_{t02}}{p_{t01} - H_{t4}} \quad \text{ve} \quad p_{t01} = p_{01} + \rho \frac{c_{01}^2}{2} \text{ ile püskürtme lülesi}$$

girişindeki taşıyıcı suyun basıncı,

$$p_{01} = \frac{H_{t4} - p_{t02}}{B_{opt}} - \rho \frac{c_{01}^2}{2} + H_{t4} = \frac{95727 - (-10255)}{0.355} - 1000 \times \frac{1.44^2}{2} + 95727,$$

$$p_{01} = 393231 \text{ N/m}^2 \text{ olur.}$$

c) Santrifüj pompanın girişindeki basınç

$$p_g = -\gamma \cdot H_{smax} = 1000 \times 9.81 (6) = -58860 \text{ N/m}^2,$$

çıkışındaki basınç,

$$p_{\zeta} = p_{01} + \rho \frac{\lambda_{01} \cdot l_{01}}{d_{01}} \frac{c_{01}^2}{2} - (H - H_2) \rho g = 393231 + 1000 \times \frac{0.03 \times 17}{0.07} \times \frac{1.44^2}{2} - 9810 (15-1),$$

$$p_{\zeta} = 263445 \text{ N/m}^2 \text{ olur.}$$

Manometrik basma yüksekliği,

$$H_{man} = \frac{p_{\zeta} - p_g}{\gamma} = \frac{263445 - (-58860)}{9810} = 32.85 \text{ m dir.}$$

Santrifüj pompanın gücü, verimi % 60 alınır,

$$P = \frac{\gamma \dot{Q}_1 H_{man}}{\eta} = \frac{9810 \times 20}{0.6 \times 3600} \times 32.85 = 2.983 \text{ kW bulunur.}$$

d) Hız katsayıları, püskürtme lülesi için $\Psi_1 = 0.98$ ve emme lülesi için $\Psi_2 = 0.97$ alınabilir. Taşıyıcı su jetinin hızı, (12) eşitliğinden

$x = M/(A-1)$ konularak,

$$c_1^2 = \frac{2 (p_{t01} - p_{t02})}{\left(\frac{1}{\Psi_1^2} - \frac{M^2}{\Psi_2^2 (A-1)^2} \right) \rho} = \frac{2 (393231 + 1000 \times 1.44^2 / 2 - (-10255))}{\left(\frac{1}{0.98^2} - \frac{1^2}{0.97^2 (3.6-1)^2} \right) \times 1000},$$

$$c_1 = 30.25 \text{ m/s bulunur. Süreklilik eşitliğinden püskürtme lülesinin}$$

çıkış çapı

$$d_1 = \sqrt{\frac{4Q_1}{\pi c_1}} = \sqrt{\frac{4 \times (20/3600)}{\pi \times 29.8}} = 15.3 \text{ mm bulunur.}$$

Karışma odası çapı,

$$A_{opt} = \left(\frac{d_3}{d_1} \right)^2 = 3.6 \text{ için } d_3 = \sqrt{3.6} \times 15.3 = 29 \text{ mm olur.}$$

Karışma odası uzunluğu, tablo 4.1 den $A= 3.6$ için $\frac{l_3}{d_3} = 7.4$

ile $l_3 = 7.4 d_3 = 7.4 \times 29 = 216$ mm bulunur.

Püskürtme lülesi mesafesi

Şekil 4.6 dan $\frac{d_1}{d_3} = \frac{15.3}{29} = 0.527$ için $\frac{t}{d_3} = 0.82$ bulunur.

Buradan $t_2 = 0.82 \times 29 = 24$ mm alınabilir.

Difüzörün uzunluğu en uygun koniklik açısı $\theta = 8^\circ$ için

$$L = \frac{d_4 - d_3}{2 \operatorname{tg} \theta / 2} = \frac{80 - 29}{2 \operatorname{tg} 4} \cong 405 \text{ mm olur. Buna göre } \frac{L}{d_3} = 13.88 \text{ dir.}$$

$$\text{ve } 10 \leq \frac{L}{d_3} \leq 15 \text{ dir.}$$

Su jeti pompasının verimi,

$$\eta = M \times B = 1 \times 0.355 = \% 35.5 \text{ olur.}$$

e) (24) eşitliğine göre kavitasyon sayısı

$$\sigma = \frac{p_{02\text{mut}}}{p_{01\text{mut}} - p_{02\text{mut}}} = \frac{p_a + p_{02}}{p_{01} - p_{02}}$$

olur. $p_a = 0.9$ bar alınırsa kavitasyon sayısı,

$$\sigma = \frac{90000 - 10255}{393231 + 10255} = 0.20$$

bulunur. Şekil 2.7 den $B = 0.355$ için kritik kavitasyon sayıları $\sigma_k = 0.26$ ve $\sigma_{k1} = 0.15$ elde edilir. Bu değerlere göre, su jeti pompası kavitasyonlu bölgede çalışacaktır. Pompanın kavitasyonsuz çalışabilmesi için $\sigma_k > 0.26$ olmalıdır. Bunun için,

$$\sigma = \frac{p_a + p_{02}}{p_{01} - p_{02}} = \frac{90000 + p_{02}}{381128 - p_{02}} \geq 0.26 \text{ ile}$$

Emilen suyun emme lülesindeki basıncı,

$$p_{02} = 9714 \text{ N/m}^2$$

olmalıdır. Bu basıncı sağlamak için sistemdeki su jeti pompası, kuyudaki su seviyesinden en az 1 m aşağıda suyun içine yerleştirilmelidir.

Bu şekilde kavitasyon önlediği takdirde, su jeti pompasının verimi değişmez. Kavitasyonu önlemenin ikinci yolu da alan oranını yeteri kadar büyütmektir. Bu ikinci tedbir, karışma odası çapı d_3 ün büyümesine, debi oranının ve verimin düşmesine sebep olur.

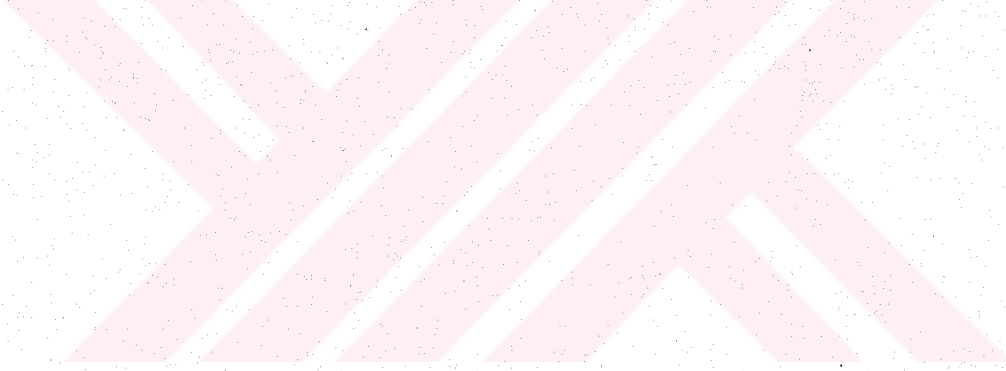


KAYNAKLAR

- [1] Gosline, James E. and O'Brien, Morrrough, P., The water jet pump, University of California Pub. in Eng. 1933.
- [2] Mc Conoghy, J. W., Jet supply Needed Lift to Centrifugal Pumps, Ingersol-Rand Co, Power, June, 1949.
- [3] Schulz, F., Modellversuche für Wasserstrahl-Wasser pumpen, Wien, 1951.
- [4] Schulz, F. und Fasol, K.H., Wasserstrahlpumpen, Springer-Verlag, Wien, 1958.
- [5] Vogel, R., Theoretische und Experimentelle Untersuchungen an Strahlapparaten, Maschinenbautechnik, Dresden, 1959.
- [6] Vogel, R., Anwendungsmöglichkeiten von Stralappareten, Machinhenbautechnick, Dresden, Mai, 1956.
- [7] Weber, M., Fetstoffinjektoren genauer berechnet, Maschirenmark, 78,13, 1972.
- [8] Petrie, H.L. and Smart, E., Jet Pumping oil Wells, Word Oil, November 1983.
- [9] Sasiç, M.T. and Petroviç, LJ.H., Determination of optimal flow and geometric parameters of ejectors, ingeniur-Archiv, 1987.
- [10] Mc Donald, A.T. and Fox, R.W., An Experimental investigation of imcompressible Flow in Conical Diffusers, international Journal of Mechanical Sciences, February, 1966.

ÖZGEÇMİŞ

Rafet YAPICI 1962 yılında Akşehir'in Tursunlu Köyünde doğdu. 1978 yılında İvriz Öğretmen Lisesini bitirdikten sonra, 1982 yılında S.Ü. Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümünden mezun oldu. Aynı yıl, aynı yerde Termodinamik Anabilim Dalında araştırma görevlisi olarak çalışmaya başladı. 1983 yılında S.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Makina Anabilim Dalında yüksek lisans öğrenimine başlayıp, 1985 yılında Makina Yüksek Mühendisi olarak mezun oldu. Aynı yıl, yine aynı yerde doktora öğrenimine başladı. 1982 yılından bu yana Selçuk Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesinde araştırma görevlisi olarak çalışmakta olan Rafet YAPICI, evli ve bir çocuk babasıdır.



E K L E R

EK A. DENEY SONUÇLARI

EK A.1. Karışma Odası Kayıp Sayısının Tesbiti

Δh_2 mmHg	Δh_{ko} mmHg	$b\lambda_{ko}^*$ b=8.76	λ -	Re $\times 10^5$
565	85.0	0.162	0.0188	3.59
553	83.0	0.162	0.0188	3.56
498	75.0	0.162	0.0188	3.38
463	69.5	0.162	0.0188	3.26
430	64.5	0.161	0.0186	3.14
416	63.0	0.163	0.0190	3.09
412	62.5	0.164	0.0190	3.06
408	61.5	0.162	0.0188	3.06
387	60.0	0.167	0.0193	2.98
377	55.5	0.158	0.0183	2.94
358	52.5	0.158	0.0183	2.86
332	50.0	0.162	0.0188	2.76
310	46.5	0.161	0.0186	2.66
287	44.5	0.167	0.0193	2.56
276	40.5	0.158	0.0183	2.51
242	38.0	0.169	0.0196	2.35
237	36.0	0.163	0.0190	2.33
193	29.5	0.164	0.0190	2.10
184	26.5	0.155	0.0179	2.05
137	20.5	0.161	0.0186	1.77
133	21.5	0.174	0.0200	1.75
105	17.5	0.179	0.0200	1.55
92	15.0	0.176	0.0200	1.45
78	14.0	0.193	0.0220	1.34

$$* \quad b = \frac{1}{3} \sqrt{\frac{d}{3}}$$

EK A.2. Difüzörün Verimi ve Kayıp Sayısının Tesbiti

Δh_2 mmHg	Δh_d mmHg	Re $\times 10^5$	η_d %	ζ_d -
592	374	3.68	89.0	0.110
588	370	3.67	88.7	0.113
583	368	3.65	89.0	0.110
576	363	3.63	88.8	0.112
570	360	3.61	89.0	0.110
563	354	3.59	88.6	0.114
548	348	3.54	89.5	0.105
540	340	3.52	88.7	0.113
523	333	3.46	89.7	0.103
508	321	3.41	89.0	0.110
505	320	3.40	89.2	0.108
498	315	3.38	89.1	0.109
478	304	3.31	89.5	0.105
450	283	3.21	88.5	0.115
442	283	3.18	90.0	0.100
395	249	3.01	88.6	0.114
360	227	2.87	89.8	0.102
338	215	2.78	89.0	0.110
280	176	2.53	88.0	0.112

EK A.3. $M \approx 0$ Olması Halinde Basma Oranının Tesbiti

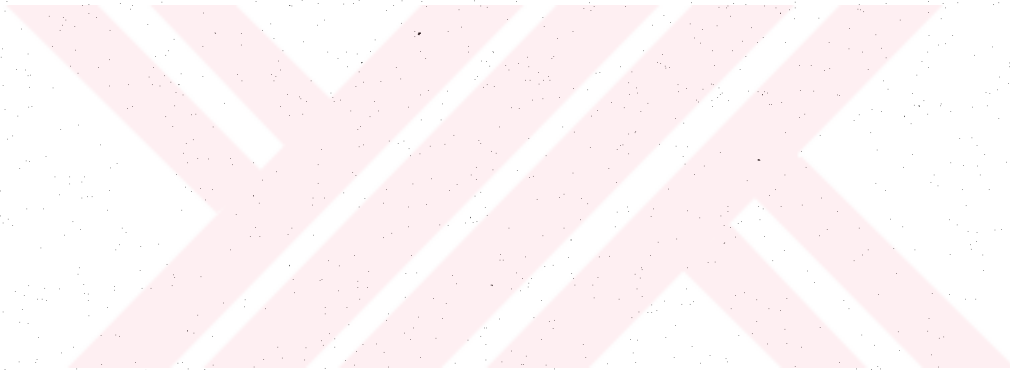
A	Δh_1	Δh_2	P_{01}	P_{02}	P_4	B_0
-	mmHg	mmHg	bar	bar	bar	-
16.440	60	23	6.45	-0.030	0.72	0.130
16.440	55	21	6.43	-0.030	0.75	0.137
16.440	54	21	6.43	-0.025	0.74	0.134
7.944	250	96	5.68	-0.030	1.30	0.302
7.944	247	95	5.62	-0.020	1.30	0.304
7.944	249	95	5.65	-0.025	1.30	0.303
5.920	385	150	4.91	-0.020	1.45	0.422
5.920	406	163	4.88	-0.025	1.43	0.419
5.920	405	157	4.88	-0.020	1.47	0.434
4.610	495	190	4.45	-0.025	1.55	0.539
4.610	495	189	4.41	-0.025	1.53	0.536
4.610	495	192	4.42	-0.010	1.55	0.539
3.595	683	260	3.30	-0.015	1.53	0.859
3.595	685	260	3.29	-0.015	1.52	0.854
3.595	680	258	3.20	-0.010	1.48	0.853
2.048	955	365	1.52	-0.025	1.06	2.187
2.048	1015	388	1.48	-0.030	1.03	2.179
2.048	975	372	1.50	-0.025	1.08	2.226

EK A.4. Püskürtme Lülesi Mesafesinin Verime Etkisi

EK A.4.1 $d_1=12.95 \text{ mm}$, $t/d_3=0.89$, $l_3/d_3=7.4$, $A=7.944$

Δh_1 mmHg	Δh_2 mmHg	P_{01} bar	P_{02} bar	P_4 bar	M -	B -	η %
249	95	5.650	-0.025	1.300	0.001	0.303	0.04
250	96	5.680	-0.030	1.300	0.004	0.302	0.14
247	95	5.620	-0.020	1.300	0.005	0.304	0.16
247	97	5.620	-0.020	1.290	0.016	0.301	0.48
248	110	5.620	-0.015	1.280	0.080	0.297	2.36
248	134	5.620	-0.025	1.230	0.192	0.285	5.46
248	154	5.620	-0.045	1.190	0.277	0.278	7.71
247	184	5.610	-0.050	1.140	0.399	0.266	10.61
248	210	5.620	-0.055	1.120	0.492	0.261	12.84
248	257	5.610	-0.090	1.050	0.650	0.251	16.29
250	300	5.620	-0.120	1.000	0.776	0.243	18.89
250	322	5.610	-0.125	0.970	0.840	0.237	19.93
252	372	5.610	-0.150	0.920	0.969	0.230	22.29
254	416	5.620	-0.175	0.870	1.074	0.222	23.88
254	437	5.600	-0.200	0.830	1.126	0.218	24.60
255	485	5.620	-0.215	0.790	1.235	0.211	26.07
150	287	3.300	-0.350	0.260	1.242	0.203	25.17
256	512	5.590	-0.250	0.730	1.292	0.205	26.47
257	540	5.590	-0.270	0.700	1.350	0.202	27.23
257	573	5.590	-0.290	0.650	1.420	0.194	27.55
257	583	5.580	-0.310	0.620	1.441	0.191	27.57
256	590	5.580	-0.300	0.620	1.461	0.189	27.66
256	596	5.580	-0.315	0.600	1.473	0.188	27.64
133	310	3.030	-0.220	0.280	1.475	0.185	27.21
127	320	2.880	-0.155	0.290	1.573	0.175	27.52
127	327	2.940	-0.130	0.310	1.601	0.171	27.31
118	326	2.780	-0.095	0.310	1.694	0.167	28.37
112	340	2.680	-0.035	0.320	1.824	0.154	28.18
110	347	2.700	-0.010	0.330	1.879	0.148	27.75
102	350	2.530	0.020	0.330	2.003	0.146	29.15
99	365	2.500	0.070	0.340	2.112	0.130	27.49

Δh_1 mmHg	Δh_2 mmHg	P_{01} bar	P_{02} bar	P_4 bar	M -	B -	η %
97	364	2.450	0.070	0.330	2.140	0.128	27.37
90	370	2.370	0.110	0.340	2.287	0.119	27.21
89	380	2.370	0.140	0.350	2.349	0.110	25.84
85	377	2.270	0.150	0.350	2.414	0.110	26.66
79	385	2.190	0.190	0.360	2.578	0.100	25.72
75	390	2.150	0.220	0.360	2.696	0.085	23.05
75	397	2.170	0.240	0.370	2.729	0.080	21.75
67	415	1.980	0.310	0.380	3.034	0.053	16.04
62	420	1.910	0.330	0.390	3.219	0.049	15.85



EK A.4.2 $d_1=12.95$ mm , $t/d_3=0.74$, $l_3/d_3=7.4$, $A=7.944$

Δh_1 mmHg	Δh_2 mmHg	P_{01} bar	P_{02} bar	P_4 bar	M -	B -	η %
250	96	5.630	-0.015	1.300	0.004	0.302	0.14
250	100	5.630	-0.020	0.290	0.025	0.058	0.15
250	103	5.630	-0.035	1.270	0.040	0.298	1.21
250	104	5.630	-0.025	1.270	0.045	0.296	1.34
250	122	5.630	-0.040	1.240	0.132	0.290	3.84
250	125	5.630	-0.035	1.240	0.146	0.289	4.23
251	167	5.630	-0.050	1.180	0.322	0.276	8.89
250	180	5.630	-0.055	1.160	0.375	0.271	10.19
252	223	5.630	-0.075	1.100	0.525	0.260	13.62
252	280	5.620	-0.105	1.030	0.709	0.248	17.58
255	332	5.620	-0.135	0.970	0.850	0.239	20.31
255	362	5.620	-0.160	0.930	0.931	0.234	21.80
250	420	5.620	-0.180	0.880	1.101	0.226	24.87
255	440	5.620	-0.190	0.850	1.129	0.221	24.90
257	455	5.620	-0.300	0.740	1.157	0.216	24.95
257	460	5.600	-0.215	0.820	1.169	0.219	25.62
258	512	5.610	-0.330	0.680	1.283	0.208	26.69
150	299	3.310	-0.320	0.290	1.289	0.204	26.30
258	535	5.600	-0.270	0.730	1.334	0.209	27.85
258	568	5.590	-0.280	0.700	1.405	0.204	28.68
140	310	3.130	-0.255	0.300	1.412	0.199	28.05
260	593	5.590	-0.310	0.660	1.448	0.201	29.05
260	610	5.620	-0.315	0.640	1.483	0.196	29.03
118	340	2.760	-0.085	0.330	1.752	0.175	30.57
110	350	2.640	-0.040	0.340	1.891	0.169	32.04
102	362	2.520	0.020	0.350	2.054	0.157	32.22
98	370	2.450	0.060	0.360	2.150	0.149	31.99
91	380	2.350	0.115	0.360	2.312	0.129	29.84
85	388	2.240	0.165	0.370	2.463	0.116	28.63
75	405	2.090	0.240	0.390	2.767	0.096	26.60
70	414	2.020	0.290	0.400	2.942	0.077	22.55
68	417	1.980	0.290	0.390	3.014	0.072	21.68

EK A.4.3 $d_1=12.95$ mm , $t/d_3=0.44$, $l_3/d_3=7.4$, $A=7.944$

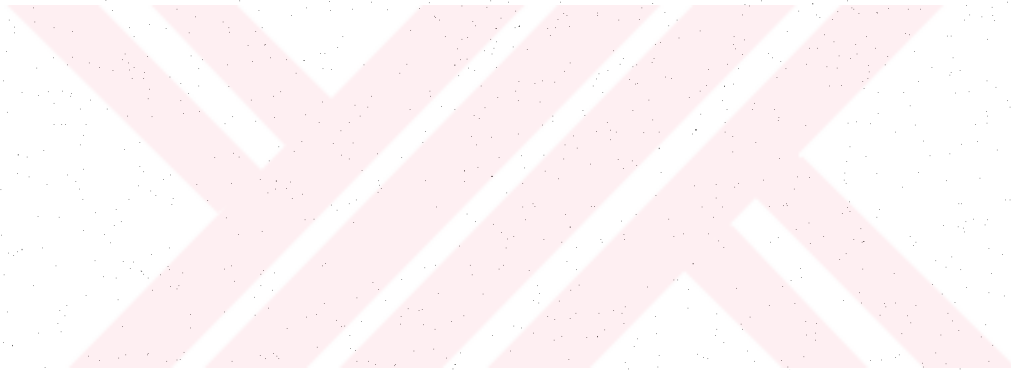
Δh_1 mmHg	Δh_2 mmHg	P_{01} bar	P_{02} bar	P_4 bar	M -	B -	η %
250	96	5.680	-0.035	1.290	0.004	0.300	0.13
250	100	5.670	-0.030	1.280	0.025	0.297	0.75
250	105	5.670	-0.030	1.270	0.051	0.294	1.49
250	111	5.670	-0.025	1.260	0.080	0.290	2.32
251	180	5.680	-0.050	1.170	0.373	0.270	10.07
253	220	5.570	-0.070	1.110	0.512	0.265	13.54
254	275	5.660	-0.100	1.060	0.687	0.253	17.37
254	317	5.670	-0.130	0.990	0.811	0.241	19.51
255	373	5.660	-0.150	0.930	0.960	0.230	22.10
255	400	5.650	-0.165	0.900	1.030	0.226	23.31
165	288	3.520	-0.410	0.270	1.142	0.211	24.09
260	462	5.650	-0.210	0.830	1.161	0.218	25.36
259	496	5.630	-0.190	0.850	1.243	0.221	27.42
260	525	5.630	-0.250	0.740	1.303	0.206	26.81
144	311	3.180	-0.250	0.300	1.382	0.193	26.74
260	562	5.630	-0.280	0.680	1.383	0.198	27.32
260	585	5.650	-0.300	0.650	1.431	0.194	27.74
262	608	5.630	-0.315	0.610	1.469	0.188	27.66
262	610	5.620	-0.310	0.620	1.473	0.190	27.99
136	322	3.050	-0.190	0.300	1.494	0.181	27.06
123	337	2.860	-0.080	0.320	1.683	0.161	27.12
115	345	2.730	-0.025	0.320	1.808	0.147	26.62
111	350	2.670	0.010	0.330	1.878	0.141	26.51
107	355	2.620	0.045	0.330	1.953	0.129	25.21
106	357	2.590	0.050	0.330	1.975	0.129	25.41
105	357	2.580	0.050	0.330	1.989	0.129	25.70
98	365	2.490	0.100	0.340	2.128	0.117	24.88
99	375	2.480	0.115	0.340	2.155	0.111	23.85
95	380	2.430	0.140	0.350	2.242	0.107	23.95
91	385	2.350	0.170	0.360	2.334	0.102	23.75
84	397	2.250	0.240	0.380	2.524	0.082	20.70

EK A.5. Karışma Odası Uzunluğunun Verime Etkisi

EK A.5.1 $d_1=12.95$ mm , $t/d_3=0.74$, $l_3/d_3=4.4$, $A=7.944$

Δh_1 mmHg	Δh_2 mmHg	P_{01} bar	P_{02} bar	P_4 bar	M -	B -	η %
249	95	5.620	-0.025	1.290	0.001	0.302	0.04
249	98	5.610	-0.035	1.270	0.017	0.299	0.51
249	100	5.610	-0.030	1.270	0.027	0.298	0.81
249	111	5.620	-0.030	1.270	0.082	0.298	2.45
249	125	5.620	-0.025	1.240	0.148	0.288	4.27
249	148	5.620	-0.040	1.200	0.250	0.280	6.99
250	175	5.610	-0.050	1.160	0.356	0.272	9.67
250	214	5.610	-0.075	1.100	0.500	0.261	13.02
250	243	5.600	-0.095	1.060	0.598	0.255	15.24
250	273	5.610	-0.100	1.030	0.694	0.248	17.17
250	300	5.610	-0.125	0.980	0.776	0.240	18.60
252	354	5.580	-0.150	0.920	0.921	0.231	21.30
173	271	3.680	-0.500	0.250	1.029	0.220	22.64
253	410	5.610	-0.190	0.840	1.063	0.218	23.20
255	457	5.580	-0.310	0.700	1.170	0.210	24.52
151	295	3.330	-0.335	0.280	1.266	0.204	25.78
258	515	5.580	-0.300	0.670	1.290	0.201	25.90
256	545	5.570	-0.280	0.660	1.365	0.195	26.61
256	557	5.570	-0.280	0.640	1.391	0.190	26.46
258	572	5.570	-0.290	0.620	1.414	0.188	26.51
255	585	5.560	-0.310	0.590	1.455	0.185	26.91
135	317	3.030	-0.185	0.300	1.484	0.181	26.79
134	317	3.030	-0.190	0.300	1.493	0.182	27.23
127	327	2.900	-0.120	0.310	1.601	0.169	27.11
126	330	2.920	-0.105	0.320	1.623	0.167	27.08
120	332	2.840	-0.090	0.310	1.696	0.162	27.42
115	340	2.730	-0.035	0.320	1.787	0.151	27.04
110	347	2.680	0.000	0.320	1.879	0.140	26.28
104	355	2.570	0.060	0.330	1.995	0.125	25.00

Δh_1 mmHg	Δh_2 mmHg	P_{O1} bar	P_{O2} bar	P_4 bar	M -	B -	η %
101	360	2.540	0.070	0.330	2.060	0.123	25.27
97	365	2.480	0.100	0.330	2.144	0.112	24.08
92	375	2.400	0.140	0.350	2.273	0.108	24.61
91	377	2.360	0.160	0.350	2.299	0.101	23.13
89	378	2.340	0.180	0.360	2.341	0.097	22.73
80	390	2.200	0.235	0.360	2.579	0.075	19.37
75	400	2.080	0.275	0.370	2.743	0.064	17.46



EK A.5.2 $d_1=12.95$ mm , $t/d_3=0.74$, $l_3/d_3=14.4$, $A=7.944$

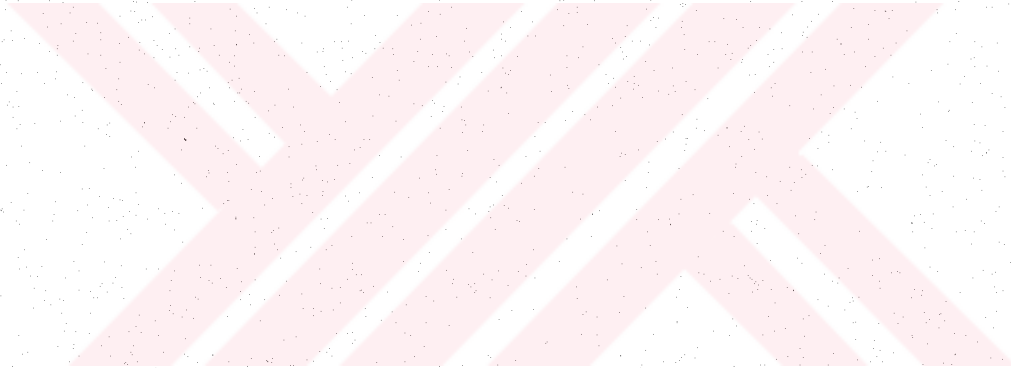
Δh_1 mmHg	Δh_2 mmHg	P_{01} bar	P_{02} bar	P_4 bar	M -	B -	η %
250	96	5.670	-0.025	1.290	0.004	0.299	0.13
250	97	5.670	-0.025	1.280	0.010	0.296	0.29
250	115	5.670	-0.040	1.240	0.099	0.288	2.86
250	140	5.670	-0.045	1.200	0.213	0.278	5.92
250	152	5.650	-0.040	1.170	0.264	0.269	7.11
250	174	5.640	-0.050	1.130	0.352	0.261	9.21
252	208	5.640	-0.060	1.100	0.473	0.256	12.08
252	255	5.640	-0.085	1.030	0.631	0.242	15.29
253	295	5.640	-0.130	0.960	0.750	0.234	17.56
254	309	5.640	-0.130	0.960	0.788	0.234	18.44
255	340	5.640	-0.130	0.920	0.872	0.224	19.53
256	379	5.640	-0.155	0.880	0.972	0.219	21.33
257	390	5.650	-0.180	0.840	0.997	0.214	21.34
257	433	5.640	-0.190	0.800	1.104	0.207	22.85
257	483	5.640	-0.135	0.830	1.222	0.204	24.88
153	292	3.380	-0.310	0.280	1.239	0.192	23.84
259	510	5.630	-0.250	0.700	1.275	0.196	24.96
260	547	5.630	-0.285	0.640	1.351	0.189	25.51
140	310	3.180	-0.220	0.290	1.412	0.179	25.29
260	581	5.630	-0.305	0.600	1.423	0.184	26.14
130	323	2.980	-0.140	0.300	1.555	0.167	26.02
121	331	2.860	-0.090	0.310	1.681	0.160	26.96
113	338	2.770	-0.045	0.320	1.803	0.153	27.56
108	350	2.650	0.010	0.340	1.918	0.147	28.24
98	365	2.490	0.085	0.350	2.128	0.129	27.46
88	381	2.350	0.155	0.360	2.373	0.109	25.90
84	387	2.270	0.195	0.370	2.479	0.099	24.49
75	403	2.110	0.260	0.380	2.757	0.077	21.31
70	415	2.000	0.305	0.390	2.947	0.062	18.20

EK A.6. Değişik Alan Oranları İçin Debi Oranına Bağlı Olarak
Basma Oranı ve Verimin Değişmesi

EK A.6.1 $d_1=9.0$ mm , $t/d_3=0.66$, $l_3/d_3=7.4$, $A=16.44$

Δh_1 mmHg	Δh_2 mmHg	p_{01} bar	p_{02} bar	p_4 bar	M -		
54	21	6.430	-0.030	0.750	0.011	0.137	0.15
54	21	6.430	-0.030	0.740	0.011	0.135	0.15
54	22	6.430	-0.200	0.740	0.035	0.164	0.57
54	55	6.430	-0.030	0.680	0.636	0.123	7.83
54	73	6.480	-0.040	0.650	0.885	0.118	10.46
52	78	6.000	-0.550	0.133	0.985	0.116	11.46
51	83	5.970	-0.545	0.130	1.068	0.116	12.34
54	125	6.470	-0.080	0.580	1.466	0.112	16.47
48	130	5.470	-0.370	0.190	1.668	0.106	17.75
46	125	5.550	-0.420	0.160	1.672	0.108	18.05
46	131	5.420	-0.375	0.190	1.735	0.108	18.82
54	163	6.480	-0.100	0.540	1.816	0.108	19.67
54	190	6.430	-0.115	0.500	2.041	0.104	21.32
45	165	5.200	-0.260	0.220	2.104	0.097	20.44
43	164	5.220	-0.280	0.210	2.166	0.099	21.34
42	173	5.000	-0.260	0.210	2.290	0.099	22.66
54	233	6.480	-0.150	0.440	2.367	0.099	23.37
40	176	4.920	-0.245	0.220	2.400	0.100	23.96
54	260	6.480	-0.175	0.400	2.557	0.096	24.50
55	273	6.430	-0.215	0.340	2.611	0.092	24.15
54	275	6.480	-0.185	0.380	2.658	0.094	24.98
37	195	4.800	-0.170	0.240	2.721	0.091	24.77
54	287	6.430	-0.200	0.350	2.737	0.092	25.15
55	293	6.480	-0.195	0.350	2.741	0.090	24.78
37	212	4.650	-0.080	0.280	2.880	0.084	24.12
33	235	4.350	-0.020	0.290	3.326	0.078	25.97
33	243	4.250	-0.010	0.280	3.399	0.075	25.46
30	270	3.720	0.110	0.330	3.863	0.067	26.06

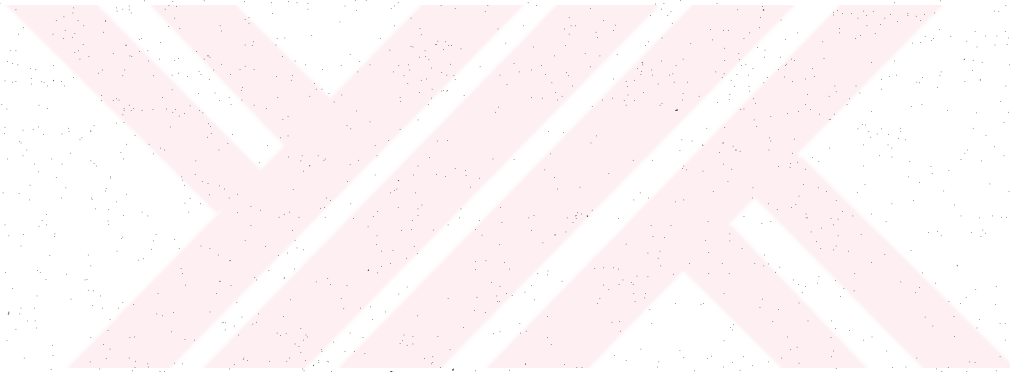
Δh_1 mmHg	Δh_2 mmHg	P_{01} bar	P_{02} bar	P_4 bar	M -	B -	η %
27	280	3.730	0.130	0.340	4.220	0.065	27.28
26	297	3.520	0.170	0.350	4.479	0.060	26.83
25	300	3.510	0.200	0.360	4.615	0.054	24.93
24	313	3.350	0.235	0.370	4.854	0.049	23.74
23	322	3.190	0.270	0.390	5.065	0.047	23.72
22	333	3.070	0.300	0.400	5.306	0.042	22.19
21	335	3.030	0.320	0.400	5.474	0.035	19.12
20	343	3.000	0.330	0.400	5.713	0.032	18.07



EK A.6.2 $d_1=15.0$ mm , $t/d_3=0.77$, $l_3/d_3=7.4$, $A=5.92$

Δh_1 mmHg	Δh_2 mmHg	p_{01} bar	p_{02} bar	p_4 bar	M -	B -	η %
405	155	4.880	-0.020	1.430	0.003	0.418	0.12
495	195	4.410	-0.015	1.530	0.017	0.532	0.93
406	163	4.880	-0.025	1.430	0.027	0.419	1.14
405	165	4.880	-0.015	1.430	0.035	0.416	1.44
495	211	4.420	-0.020	1.490	0.058	0.512	2.98
408	185	4.880	-0.025	1.390	0.092	0.403	3.69
495	241	4.420	-0.020	1.460	0.131	0.497	6.52
498	250	4.440	-0.020	1.450	0.148	0.489	7.26
497	254	4.450	-0.025	1.450	0.159	0.489	7.77
408	244	4.880	-0.050	1.290	0.254	0.372	9.44
408	253	4.880	-0.050	1.280	0.276	0.369	10.20
408	326	4.880	-0.085	1.180	0.449	0.342	15.38
413	395	4.850	-0.070	1.150	0.585	0.331	19.39
412	418	4.880	-0.130	1.080	0.633	0.320	20.27
418	555	4.850	-0.190	0.920	0.868	0.286	24.84
413	572	4.830	-0.210	0.880	0.908	0.280	25.41
420	618	4.830	-0.230	0.840	0.966	0.273	26.35
421	648	4.830	-0.245	0.800	1.011	0.264	26.71
218	343	2.620	-0.265	0.340	1.033	0.268	27.72
423	670	4.840	-0.285	0.760	1.040	0.261	27.16
423	700	4.840	-0.300	0.730	1.085	0.256	27.78
200	355	2.490	-0.170	0.350	1.160	0.247	28.60
192	355	2.460	-0.190	0.330	1.204	0.248	29.84
186	368	2.370	-0.110	0.340	1.280	0.226	28.94
177	362	2.340	-0.120	0.340	1.318	0.234	30.88
175	370	2.330	-0.080	0.360	1.357	0.228	30.93
165	370	2.250	-0.070	0.350	1.427	0.226	32.24
167	375	2.230	-0.065	0.350	1.429	0.226	32.25
158	377	2.200	-0.005	0.380	1.504	0.217	32.61
152	377	2.130	-0.020	0.350	1.553	0.213	33.13

Δh_1 mmHg	Δh_2 mmHg	P_{01} bar	P_{02} bar	P_4 bar	M -	B -	η %
152	387	2.080	0.005	0.360	1.586	0.212	33.69
142	383	2.050	0.020	0.360	1.662	0.207	34.44
137	398	1.980	0.075	0.370	1.763	0.190	33.53
122	398	1.900	0.130	0.380	1.928	0.172	33.18
121	410	1.350	0.245	0.390	1.984	0.164	32.51
95	428	1.650	0.310	0.400	2.441	0.084	20.42
92	425	1.650	0.300	0.380	2.484	0.074	18.50



EK A.6.3 $d_1=17.0$ mm , $t/d_3=0.79$, $l_3/d_3=7.4$, $A=4.61$

Δh_1 mmHg	Δh_2 mmHg	P_{01} bar	P_{02} bar	P_4 bar	M -	B -	η %
495	189	4.410	-0.025	1.530	0.002	0.536	0.09
495	190	4.450	-0.025	1.550	0.004	0.539	0.23
495	192	4.420	-0.010	1.550	0.010	0.539	0.51
495	195	4.410	-0.015	1.530	0.017	0.532	0.93
497	202	4.420	0.000	1.520	0.033	0.520	1.74
495	211	4.420	-0.020	1.490	0.058	0.512	2.98
495	220	4.420	-0.025	1.480	0.081	0.509	4.10
495	238	4.370	-0.025	1.450	0.124	0.502	6.23
495	241	4.420	-0.020	1.460	0.131	0.497	6.52
498	250	4.440	-0.020	1.450	0.148	0.489	7.26
497	254	4.450	-0.025	1.450	0.159	0.489	7.77
492	262	4.390	-0.030	1.410	0.183	0.481	8.80
495	277	4.380	-0.045	1.390	0.213	0.478	10.16
495	278	4.370	-0.040	1.390	0.215	0.478	10.27
475	275	4.390	-0.040	1.390	0.233	0.475	11.08
495	302	4.390	-0.035	1.370	0.266	0.464	12.35
495	310	4.380	-0.040	1.360	0.283	0.463	13.08
498	333	4.380	-0.050	1.330	0.326	0.452	14.71
495	352	4.360	-0.065	1.290	0.367	0.441	16.19
410	312	2.980	-0.790	0.340	0.414	0.428	17.71
498	392	4.340	-0.080	1.250	0.438	0.431	18.89
370	335	2.780	-0.625	0.360	0.542	0.408	22.10
498	458	4.350	-0.120	1.170	0.554	0.408	22.60
498	462	4.340	-0.125	1.160	0.561	0.406	22.80
500	530	4.320	-0.155	1.080	0.669	0.384	25.71
503	572	4.310	-0.170	1.050	0.729	0.378	27.55
507	583	4.330	-0.175	1.030	0.738	0.369	27.26
310	358	2.480	-0.400	0.380	0.742	0.373	27.70
507	626	4.330	-0.210	0.980	0.801	0.360	28.84
505	643	4.310	-0.200	0.970	0.829	0.355	29.46
507	659	4.340	-0.215	0.940	0.848	0.345	29.26

Δh_1 mmHg	Δh_2 mmHg	P ₀₁ bar	P ₀₂ bar	P ₄ bar	M -	B -	η %
505	673	4.310	-0.220	0.940	0.871	0.350	30.47
507	687	4.310	-0.230	0.920	0.887	0.345	30.59
508	713	4.300	-0.240	0.900	0.920	0.341	31.42
508	728	4.290	-0.260	0.870	0.940	0.337	31.67
257	373	2.200	-0.205	0.390	0.953	0.332	31.65
508	760	4.280	-0.270	0.840	0.983	0.329	32.37
253	382	2.180	-0.180	0.400	0.992	0.330	32.69
235	382	2.100	-0.135	0.390	1.067	0.311	33.21
225	390	2.010	-0.075	0.400	1.134	0.300	34.03
224	392	2.020	-0.070	0.410	1.144	0.303	34.69
205	397	1.920	0.000	0.410	1.256	0.278	34.85
201	403	1.900	0.020	0.420	1.295	0.277	35.83
185	405	1.830	0.070	0.410	1.398	0.247	34.48
184	415	1.820	0.090	0.420	1.434	0.243	34.91
170	413	1.740	0.130	0.420	1.527	0.228	34.81
164	418	1.710	0.150	0.420	1.588	0.218	34.64
156	421	1.660	0.195	0.420	1.663	0.191	31.80
145	430	1.630	0.230	0.420	1.791	0.168	30.06
138	428	1.590	0.260	0.420	1.855	0.148	27.47
130	438	1.570	0.290	0.430	1.975	0.135	26.68
125	437	1.520	0.300	0.420	2.031	0.122	24.78
118	446	1.490	0.350	0.440	2.151	0.100	21.51
115	445	1.460	0.340	0.400	2.189	0.071	15.57
105	454	1.420	0.380	0.430	2.371	0.067	15.77
103	456	1.410	0.400	0.430	2.411	0.047	11.38

EK A.6.4 $d_1=19.25$ mm , $t/d_3=0.82$, $l_3/d_3=7.4$, $A=3.595$

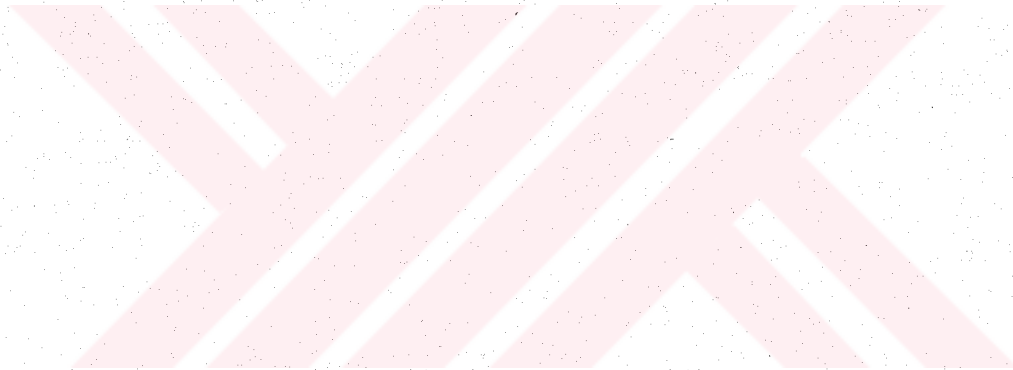
Δh_1 mmHg	Δh_2 mmHg	P_{01} bar	P_{02} bar	P_4 bar	M -	B -	η %
683	260	3.300	-0.015	1.530	0.000	0.859	0.01
680	260	3.200	-0.010	1.480	0.002	0.853	0.20
685	262	3.290	-0.015	1.520	0.002	0.854	0.21
690	275	3.280	-0.070	1.510	0.023	0.879	2.05
685	292	3.300	-0.015	1.470	0.058	0.801	4.67
690	340	3.280	-0.015	1.380	0.138	0.727	10.02
685	342	3.300	-0.030	1.390	0.145	0.736	10.70
683	425	3.280	-0.050	1.240	0.279	0.630	17.56
690	463	3.280	-0.070	1.210	0.328	0.617	20.24
683	518	3.260	-0.050	1.170	0.412	0.585	24.07
698	540	3.230	-0.105	1.080	0.426	0.553	23.55
483	380	1.970	-0.440	0.430	0.438	0.564	24.67
685	585	3.230	-0.135	1.000	0.498	0.513	25.53
445	390	1.910	-0.320	0.430	0.517	0.507	26.24
695	610	3.240	-0.140	0.990	0.519	0.506	26.26
690	648	3.220	-0.160	0.910	0.571	0.469	26.75
698	663	3.210	-0.200	0.920	0.580	0.495	28.68
693	683	3.210	-0.170	0.870	0.609	0.451	27.46
698	712	3.200	-0.240	0.850	0.637	0.471	29.99
390	398	1.790	-0.185	0.440	0.638	0.465	29.65
698	733	3.190	-0.270	0.810	0.661	0.461	30.48
705	743	3.230	-0.260	0.820	0.664	0.456	30.25
695	740	3.190	-0.275	0.790	0.673	0.451	30.35
705	753	3.190	-0.215	0.840	0.675	0.457	30.84
360	403	1.770	-0.155	0.440	0.715	0.450	32.20
353	408	1.730	-0.120	0.440	0.743	0.438	32.50
350	410	1.720	-0.090	0.440	0.754	0.418	31.54
345	408	1.720	-0.110	0.440	0.763	0.433	33.06
323	415	1.680	-0.050	0.450	0.837	0.411	34.44
323	417	1.670	-0.040	0.460	0.842	0.418	35.19
318	418	1.690	-0.050	0.440	0.858	0.397	34.09

Δh_1 mmHg	Δh_2 mmHg	P_{01} bar	P_{02} bar	P_4 bar	M -	B -	η %
312	415	1.700	-0.050	0.440	0.869	0.394	34.25
313	418	1.670	-0.030	0.440	0.873	0.388	33.84
305	415	1.610	-0.010	0.440	0.891	0.390	34.76
303	420	1.640	0.005	0.450	0.908	0.380	34.51
284	423	1.590	0.040	0.450	0.978	0.366	35.85
280	425	1.590	0.045	0.450	0.997	0.362	36.12
273	423	1.620	0.040	0.450	1.018	0.357	36.36
265	430	1.590	0.050	0.430	1.065	0.335	35.70
250	432	1.500	0.160	0.460	1.131	0.298	33.70
250	438	1.560	0.120	0.440	1.146	0.295	33.78
240	435	1.500	0.170	0.450	1.182	0.277	32.72
218	440	1.430	0.240	0.450	1.303	0.227	29.51
200	443	1.380	0.290	0.440	1.412	0.174	24.53
187	453	1.380	0.295	0.410	1.523	0.133	20.32

EK A.6.5 $d_1=25.5$ mm , $t/d_3=0.85$, $l_3/d_3=4.4$, $A=2.048$

Δh_1 mmHg	Δh_2 mmHg	P_{01} bar	P_{02} bar	P_4 bar	M -	B -	η %
975	372	1.540	-0.025	1.080	0.001	2.226	0.28
955	365	1.520	-0.025	1.060	0.002	2.187	0.46
965	408	1.560	-0.025	1.060	0.054	2.034	10.98
965	430	1.560	-0.015	1.030	0.082	1.861	15.27
965	447	1.560	-0.020	1.000	0.103	1.729	17.85
883	410	1.060	-0.423	0.540	0.105	1.751	18.31
965	472	1.550	-0.030	0.970	0.134	1.645	21.98
970	505	1.530	-0.040	0.910	0.170	1.473	24.99
970	506	1.530	-0.040	0.900	0.171	1.436	24.53
970	513	1.530	-0.050	0.900	0.179	1.452	25.97
970	522	1.530	-0.055	0.860	0.189	1.322	25.00
772	418	1.080	-0.235	0.530	0.193	1.333	25.70
970	542	1.530	-0.050	0.840	0.212	1.253	26.53
970	555	1.520	-0.060	0.830	0.226	1.255	28.38
742	425	1.090	-0.170	0.540	0.227	1.242	28.17
730	423	1.090	-0.170	0.540	0.234	1.243	29.06
970	577	1.520	-0.060	0.800	0.250	1.168	29.22
717	430	1.100	-0.135	0.530	0.255	1.129	28.81
970	595	1.520	-0.080	0.760	0.270	1.086	29.26
686	423	1.090	-0.095	0.530	0.273	1.081	29.49
970	608	1.520	-0.075	0.750	0.283	1.055	29.88
970	613	1.520	-0.075	0.740	0.289	1.030	29.72
970	620	1.520	-0.080	0.730	0.296	1.012	29.95
960	615	1.510	-0.075	0.730	0.297	1.018	30.28
651	428	1.090	-0.030	0.530	0.314	0.973	30.59
650	430	1.090	-0.040	0.530	0.318	0.991	31.54
625	430	1.090	0.010	0.530	0.345	0.907	31.25
618	434	1.100	0.025	0.530	0.358	0.868	31.10
615	433	1.090	0.020	0.530	0.360	0.891	32.08
593	437	1.090	0.065	0.530	0.392	0.816	31.95
585	438	1.090	0.070	0.530	0.403	0.808	32.53

Δh_1 mmHg	Δh_2 mmHg	P_{01} bar	P_{02} bar	P_4 bar	M -	B -	η %
545	440	1.090	0.125	0.520	0.456	0.687	31.38
513	445	1.100	0.180	0.520	0.510	0.587	29.93
475	445	1.100	0.240	0.500	0.569	0.442	25.12
445	450	1.090	0.285	0.500	0.630	0.377	23.73
432	455	1.090	0.300	0.490	0.664	0.331	21.98
400	460	1.090	0.340	0.490	0.738	0.268	19.78
390	452	1.070	0.360	0.500	0.745	0.264	19.68
376	468	1.080	0.380	0.490	0.808	0.208	16.81
362	457	1.060	0.400	0.500	0.821	0.201	16.49
360	457	1.060	0.400	0.500	0.826	0.201	16.60



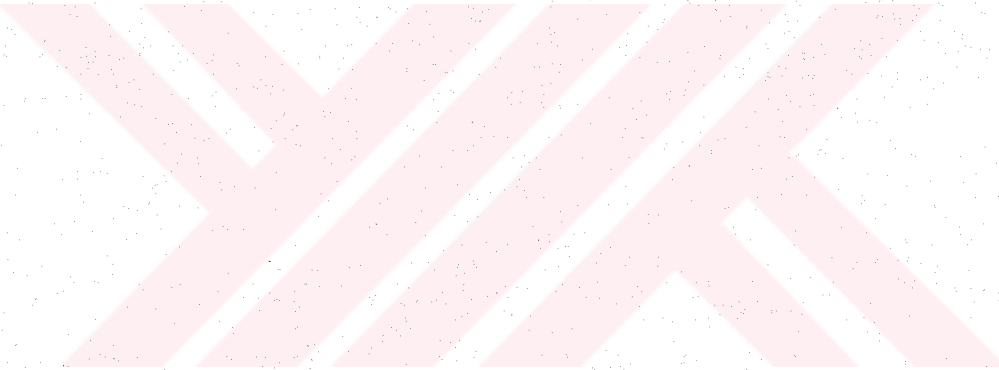
EK B. DEBİ ORANI, BASMA ORANI ve VERİMİ HESAPLAMA ve
EĞRİ UYDURMA İLE İLGİLİ BİLGİSAYAR PROGRAMLARI

```

100      '          SU JETİ POMPASI
105      '          DENEY SONUÇLARINI DEĞERLENDİRME PROGRAMI
110      '
115      '          DEĞİŞKENLERİN AÇIKLAMASI
120      '          *****
125      '          DK1      : 1. ORİFİSMETRENİN DEBİ KATSAYISI
130      '          DK2      : 2. ORİFİSMETRENİN DEBİ KATSAYISI
135      '          OD1      : 1. ORİFİSMETRENİN DELİK ÇAPI
140      '          OD2      : 2. ORİFİSMETRENİN DELİK ÇAPI
145      '          TBD01    : TAŞIYICI SU BORUSU ÇAPI
150      '          BBD4     : BASMA BORUSU ÇAPI
155      '          SUYOG    : SU YOĞUNLUĞU
160      '          CYOG     : CIVA YOĞUNLUĞU
165      '          DH1(I)   : 1.ORİFİSMETREDEKİ CIVA SEVİYE FARKI
170      '          DH2(I)   : 2.ORİFİSMETREDEKİ CIVA SEVİYE FARKI
175      '          P01(I)   : TAŞIYICI SUYUN BASINCI
180      '          P02(I)   : EMİLEN SUYUN BASINCI
185      '          P4(I)    : KARIŞMIŞ SUYUN BASINCI
190      '          M1       : TAŞIYICI SUYUN KÜTLE DEBİSİ
195      '          M3       : KARIŞMIŞ SUYUN KÜTLE DEBİSİ
200      '          V(I)     : VERİM
205      '          M(I)     : DEBİ ORANI
210      '          B(I)     : BASMA ORANI
215      CLS
220      READ DK1 ,DK2 ,OD1 ,OD2,TBD01,BBD4,SUYOG,CYOG
225      DATA 0.622,0.63,33.2,42 ,68 ,80 ,1000 ,13600
230      DIM DH1(100),DH2(100), P01(100), P02(100), P4(100),
          V(100),M(100),B(100)
235      PI#=3.1415927#
240      WHILE -1
245          CLOSE:QWE=0
250          FOR I=1 TO 100
255              READ DH1(I),DH2(I), P01(I), P02(I), P4(I)
260              IF DH1(I)=999 AND DH2(I)=9999 AND P4(I)=9999 AND
                  QWE=0 THEN KUTUK$ ="EK"+RIGHT$(STR$(P01(I)),1)
                  +"DEN"+RIGHT$(STR$(P02(I)),1):PRINT KUTUK$
                  :OPEN KUTUK$ FOR OUTPUT AS #1 :GOTO 255
265              IF DH1(I)=999 AND DH2(I)=9999 AND P4(I)=9999
                  THEN GOTO 255
270              IF DH1(I)=0 AND DH2(I)=0 AND P01(I)=0 AND
                  P02(I)=0 AND P4(I)=0 THEN ADET=I-1 :GOTO 355
275              IF DH1(I)=888 AND DH2(I)=888 AND P4(I)=8888
                  THEN ADET=I-1 :GOTO 355
280              DP1=(CYOG-SUYOG)*9.810001*DH1(I)*.001
285              DP2=(CYOG-SUYOG)*9.810001*DH2(I)*.001
290              M1=DK1*(PI#/4)*(OD1/1000)^2*SQR(2*DP1*SUYOG)
295              C1=4*M1/(SUYOG*PI#*(TBD01/1000)^2)
300              M3=DK2*(PI#/4)*(OD2/1000)^2*SQR(2*DP2*SUYOG)
305              M(I)=(M3-M1)/M1
310              C4=4*M3/(SUYOG*PI#*(BBD4/1000)^2)
315              PT01=P01(I)+{(SUYOG/(200000!))*C1^2-.03
320              PT4 =P4(I) +(SUYOG/(200000!))*C4^2-.06
325              B(I)=(PT4-(P02(I)-.06))/(PT01-PT4)
330              V(I)=M(I)*B(I)

```

```
335     PRINT USING "DEBI ORANI= #.##### ";M(I)
340     PRINT USING "VERIM      = ##.##### ";V(I)*100
345     PRINT USING "BASMA ORANI= #.##### ";B(I)
350     NEXT
355     FOR I=1 TO ADET
360         FOR J=I+1 TO ADET
365             IF M(I)>M(J) THEN SWAP M(I),M(J):SWAP DH1(I)
                ,DH1(J):SWAP DH2(I),DH2(J) :SWAP P01(I),
                P01(J):SWAP P02(I),P02(J) :SWAP P4(I),P4(J)
                :SWAP V(I),V(J):SWAP B(I),B(J)
370         NEXT
375     NEXT
```




```

20 DEFDBL A-H,O-Z
30 DIM IROW(50),JCOL(50),JORD(50),Y1(50),A(50,51),X1(50),B(50)
40 PRINT " *****"
50 PRINT
60 PRINT " ENKÜÇÜK KARELER METODU"
70 PRINT
80 PRINT " *****"
90 PRINT
100 LOCATE 8,15:PRINT " M E N Ü"
110 LOCATE 9,15:PRINT "*****"
120 LOCATE 10,15:PRINT " 1- LİNEER REGRESYON"
130 LOCATE 12,15:PRINT " 2- ENKÜÇÜK KARELER POLİNOM TAHMİNİ"
140 LOCATE 14,15:PRINT " 3- ÇARPIM REGRESYONU"
150 LOCATE 16,15:PRINT " 4- ORTOGONAL POL. ENKÜÇÜK KARELER"
160 LOCATE 18,15:PRINT " 5- LİNEER OLMAYAN ENKÜÇÜK KARELER"
170 LOCATE 20,15:PRINT " SECİMİNİZ :";:INPUT " ";CH
180 IF CH=1 THEN NI=1 :GOTO 240
190 IF CH=2 THEN GOTO 230
200 IF CH=4 THEN CHAIN"ORTO.BAS"
210 IF CH=5 THEN CHAIN"NONLS.BAS"
220 IF CH=3 THEN 1790 ELSE LOCATE 1 ,20:PRINT STRING$(79,32)
:GOTO 170
230 LOCATE 21,15:INPUT "POLİNOMUN DERECESİ:";NI
240 LOCATE 22,15:INPUT "DATA SAYISI :";M
250 IF M<2 THEN BEEP:LOCATE 1 ,19:PRINT STRING$(79,32)
:GOTO 240
260 IF NI=0 THEN NI=M -2:ST=1:GOTO 290
270 IF NI<1 OR NI>M-2 THEN NI=M-2
280 FOR I=1 TO M:READ X1(I),Y1(I):NEXT I
290 CLS:FOR N=1 TO NI
300 FOR I=1 TO N
310 FOR J=1 TO N
320 A(I,J)=0
330 FOR K1=1 TO M
340 A(I,J)=A(I,J)+X1(K1)^(I+J)
350 NEXT K1
360 SUM=0
370 FOR K2=1 TO M
380 SUM=SUM+X1 (K2)^J
390 NEXT K2
400 TERM=0
410 FOR K1=1 TO M
420 TERM=TERM+SUM*X1(K1)^I
430 NEXT K1
440 A(I,J)=A(I,J)-TERM/M
450 NEXT J
460 NEXT I
470 FOR I=1 TO N
480 B(I)=0
490 FOR K1=1 TO M
500 B(I)=B(I)+Y1(K1)*X1(K1)^I
510 NEXT K1
520 SUM=0
530 FOR K1=1 TO M
540 SUM=SUM+Y1 (K1)
550 NEXT K1

```

```

560 TERM=0
570 FOR K2=1 TO M
580 TERM=TERM+SUM*X1 (K2)^I
590 NEXT K2
600 B(I)=B(I)-TERM/M
610 NEXT I
620 GOSUB 940
630 CYY=0
640 FOR K1=1 TO M
650 CYY=CYY+Y1(K1)*Y1(K1)
660 NEXT K1
670 SUM=0
680 FOR K1=1 TO M
690 SUM=SUM+Y1(K1)
700 NEXT K1
710 CYY=CYY-SUM^2/M
720 A0=0
730 FOR I=1 TO M:A0=A0+Y1(I):NEXT I
740 V=0
750 FOR I=1 TO N
760 SUM=0
770 FOR K=1 TO M
780 SUM=SUM+X1 (K)^I
790 NEXT K
800 V=V-X(I)*SUM
810 NEXT I
820 A0=(A0+V)/M
830 SUM=0:FOR I=1 TO N :SUM=SUM+B(I)*X(I):NEXT I
840 S=SQR((CYY-SUM)/(M-N-1))
850 IF CH=2 THEN PRINT:PRINT:PRINT "POLİNOMUN DERECESİ ( n )="
      ;N:PRINT"-----":PRINT
      :PRINT A0;
860 IF CH=1 THEN PRINT:PRINT:PRINT "LINEER REGRESYON ":
      PRINT"-----":PRINT
      :PRINT " Y= ";A0;
870 FOR I=1 TO N :IF X(I)>0 THEN R$=" + " ELSE R$=" - "
880 IF CH=1 THEN PRINT R$ ;ABS( X(I));"X " :GOTO 900
890 PRINT R$ ; ABS( X(I));"X^";I;
900 NEXT I :PRINT
910 PRINT "S= ";S
920 NEXT N
930 END
940 MAX=N :INDIC=0 :EPS=9.999999E-21
950 FOR I=1 TO N:A(I,N+1)=B(I) :NEXT I
960 IF INDIC>=0 THEN MAX=MAX+1
970 IF N <= 50 THEN GOTO 1000
980 SIMUL=0
990 RETURN

1000 DETER=1
1010 FOR K=1 TO N
1020 KML=K-1
1030 PIVOT=0
1040 FOR I=1 TO N
1050 FOR J=1 TO N

```

```
1060 IF K=1 THEN GOTO 1120
1070 FOR ISCAN=1 TO KM1
1080 FOR JSCAN=1 TO KM1
1090 IF I =IROW (ISCAN) THEN 1160
1100 IF J =IROW(JSCAN) THEN 1160
1110 NEXT JSCAN,ISCAN
1120 IF ABS(A(I,J))<=ABS(PIVOT)THEN 1160
1130 PIVOT=A(I,J)
1140 IROW(K)=I
1150 JCOL(K)=J
1160 NEXT J,I
1170 IF ABS(PIVOT)>EPS THEN GOTO 1200
1180 SIMUL=0
1190 RETURN
1200 IROWK=IROW(K)
1210 JCOLK=JCOL(K)
1220 DETER=DETER*PIVOT
1230 FOR J=1 TO MAX
1240 A(IROWK,J)=A(IROWK,J)/PIVOT
1250 NEXT J
1260 A(IROWK,JCOLK)=1/PIVOT
1270 FOR I=1 TO N
1280 AIJCK=A(I,JCOLK)
1290 IF I=IROWK THEN 1340
1300 A(I,JCOLK)=-AIJCK/PIVOT
1310 FOR J=1 TO MAX
1320 IF J<>JCOLK THEN A(I,J)=A(I,J)-AIJCK*A(IROWK,J)
1330 NEXT J
1340 NEXT I
1350 NEXT K
1360 FOR I=1 TO N
1370 IROWI=IROW(I)
1380 JCOLI=JCOL(I)
1390 JORD(IROWI)=JCOLI
1400 IF INDIC>=0 THEN X(JCOLI)=A(IROWI,MAX)
1410 NEXT I
1420 INTCH=0
1430 NM1=N-1
1440 FOR I=1 TO NM1
1450 IP1=I+1
1460 FOR J=1 TO N
1470 IF JORD(J)>= JORD(I) THEN 1520
1480 JTEMP=JORD(J)
1490 JORD(J)=JORD(I)
1500 JORD(I)=JTEMP
1510 INTCH=INTCH+1
1520 NEXT J,I
1530 IF FIX(INTCH/2)*2<>INTCH THEN DETER=-DETER
1540 IF INDIC<=0 THEN 1570
1550 SIMUL=DETER
1560 RETURN
1570 FOR J=1 TO N
1580 FOR I=1 TO N
1590 IROWI=IROW(I)
1600 JCOLI=JCOL(I)
1610 Y(JCOLI)=A(IROWI,J)
```

```

1620 NEXT I
1630 FOR I=1 TO N
1640 A(I,J)=Y(I)
1650 NEXT I
1660 NEXT J
1670 FOR I=1 TO N
1680 FOR J=1 TO N
1690 IROWJ=IROW(J)
1700 JCOLJ=JCOL(J)
1710 Y(IROWJ)=A(I,JCOLJ)
1720 NEXT J
1730 FOR J=1 TO N
1740 A(I,J)=Y(J)
1750 NEXT J,I
1760 SIMUL=DETER
1770 RETURN
1780 END
1790 LOCATE 18,15:INPUT "DEĞİŞKEN SAYISI      "; L
1800 LOCATE 19,15:INPUT "DATA GRUBU(SET) SAYISI:" ;M
1810 IF L>50 OR M>50 THEN 1790
1820 IF M<2 THEN BEEP:LOCATE 1 ,19:PRINT STRINGS(79,32) :
      GOTO 1800
1830 FOR I=1 TO M:FOR J=1 TO L:READ X1(I ,J) :NEXT J:
      READ Y1 (I) :NEXT I
1840 CLS:FOR N=1 TO L
1850 FOR I=1 TO N
1860 FOR J=1 TO N
1870 A(I,J)=0
1880 FOR K1=1 TO M
1890 A(I,J)=A(I,J)+X1 (K1,I)*X1(K1,J)
1900 NEXT K1
1910 SUM=0
1920 FOR K2=1 TO M
1930 SUM=SUM+X1(K2,J)
1940 NEXT K2
1950 TERM=0
1960 FOR K1=1 TO M
1970 TERM=TERM+SUM*X1(K1,I)
1980 NEXT K1
1990 A(I,J)-TERM/M
2000 NEXT J
2010 NEXT I
2020 FOR I=1 TO N
2030 B(I)=0
2040 FOR K=1 TO M
2050 B(I)=B(I)+Y1(K1)*X1(K1,I)
2060 NEXT K1
2070 SUM=0
2080 FOR K1=1 TO M
2090 SUM=SUM+Y1(K1)
2100 NEXT K1
2110 TERM=0
2120 FOR K2=1 TO M
2130 TERM=TERM+SUM*X1 (K2,I)
2140 NEXT K2

```

```

2150 B(I)=B(I)-TERM/M
2160 NEXT I
2170 GOSUB 940
2180 A0=0
2190 FOR I=1 TO M:A0=A0+Y1(I):NEXT I
2200 V=0
2210 FOR I=1 TO N
2220 SUM=0
2230 FOR K=1 TO M
2240 SUM=SUM+X1(K,I)
2250 NEXT K
2260 V=V-X(I)*SUM
2270 NEXT I
2280 A0=(A0+V)/M
2290 CYY=0
2300 FOR K1 TO M
2310 CYY=CYY+Y1(K1)*Y1(K1)
2320 NEXT K1
2330 SUM=0
2340 FOR K1=1 TO M
2350 SUM=SUM+Y1(K1)
2360 NEXT K1
2370 CYY =CYY -SUM^2/M
2380 SUM=0:FOR I=1 TO L :SUM=SUM+B(I)*X(I):NEXT I
2390 S=SQR ((CYY-SUM)/(M-L-1))
2400 PRINT:PRINT:PRINT "DEGISKEN SAYISI ( n )=";L
      :PRINT"-----":PRINT
      :PRINT A0;
2410 FOR I=1 TO N :IF X(I)>0 THEN R$=" + " ELSE R$=" - "
2420 PRINT R$ ; ABS( X(I));"X ^";I;:NEXT I :PRINT
2430 NEXT N
2440 PRINT "S= ";S
2450 END
2455 REM EK 3 , M=0 OLMASI HALI
2458 REM EĞRİ ÜYDURULACAK DATALAR AŞAĞIDAKİ GİBİ VERİLİR
2459 REM DATA X(1),Y(1),X(2),Y(2),...,X(n),Y(n)
2460 DATA

```

UYDURULAN EĞRİLER

EK A.1

$$\lambda = 0.019$$

EK A.2

$$\eta_d = 0.89$$

EK A.3

$$B = \frac{(2A-1.25)}{A^2-(2A-1.25)}$$

EK A.4.1

$$\eta = -0.185033 + 32.079458 M - 9.512244 M^2 + 0.297575 M^3$$

$$\text{Standart hata} = 0.621$$

EK A.4.2

$$\eta = -0.004931 + 28.823082 M - 5.223438 M^2 - 0.653795 M^3$$

$$\text{Standart hata} = 0.431$$

EK A.4.3

$$\eta = -0.317797 + 33.828038 M - 10.564062 M^2 + 0.133284 M^3$$

$$\text{Standart hata} = 0.731$$

EK A.5.1

$$\eta = -0.241343 + 32.332157 M - 9.655078 M^2 + 0.003926 M^3$$

$$\text{Standart hata} = 0.470$$

EK A.5.2

$$\eta = 0.0419 + 28.834461 M - 7.244184 M^2 - 0.150082 M^3$$

$$\text{Standart hata} = 0.320$$

EK A.6.1

$$\eta = -0.017121 + 13.226551 M - 1.368931 M^2 - 0.071690 M^3$$

$$\text{Standart hata} = 0.591$$

EK A.6.2

$$\eta = 0.102085 + 47.694449 M - 35.329382 M^2 + 18.572685 M^3 - 4.383318 M^4$$

$$\text{Standart hata} = 0.505$$

EK A.6.3

$$\eta = -0.051599 + 54.741322 M - 35.872442 M^2 + 25.9881137 M^3 \\ -15.069756 M^4 + 2.874551 M^5$$

Standart hata = 0.729

EK A.6.4

$$\eta = -0.006435 + 86.489211 M - 81.566870 M^2 - 36.459571 M^3 \\ + 201.105723 M^4 - 185.906560 M^5 + 51.927846 M^6$$

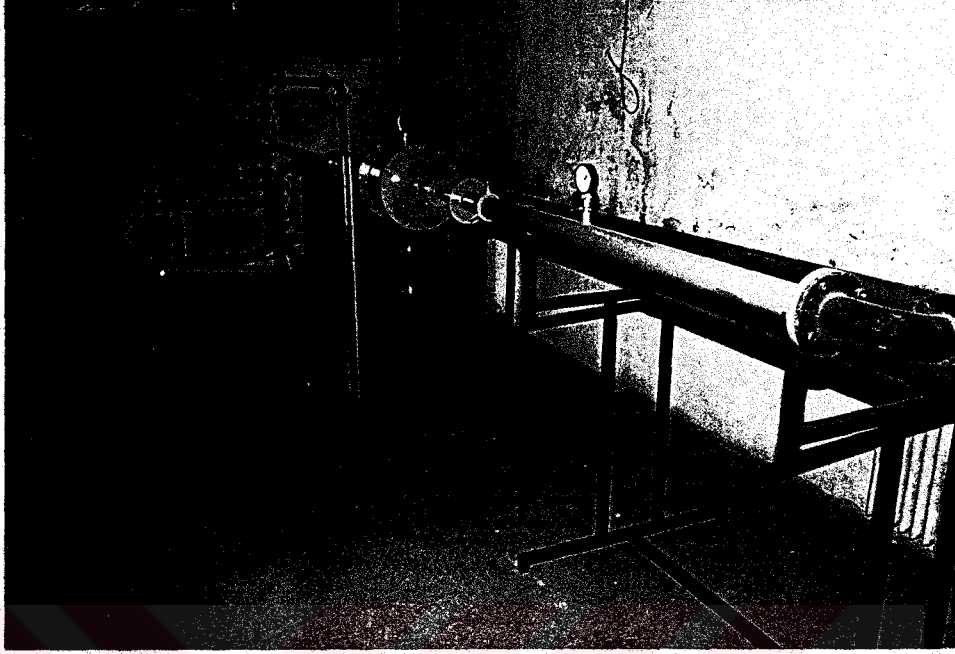
Standart hata = 0.559

EK A.6.5

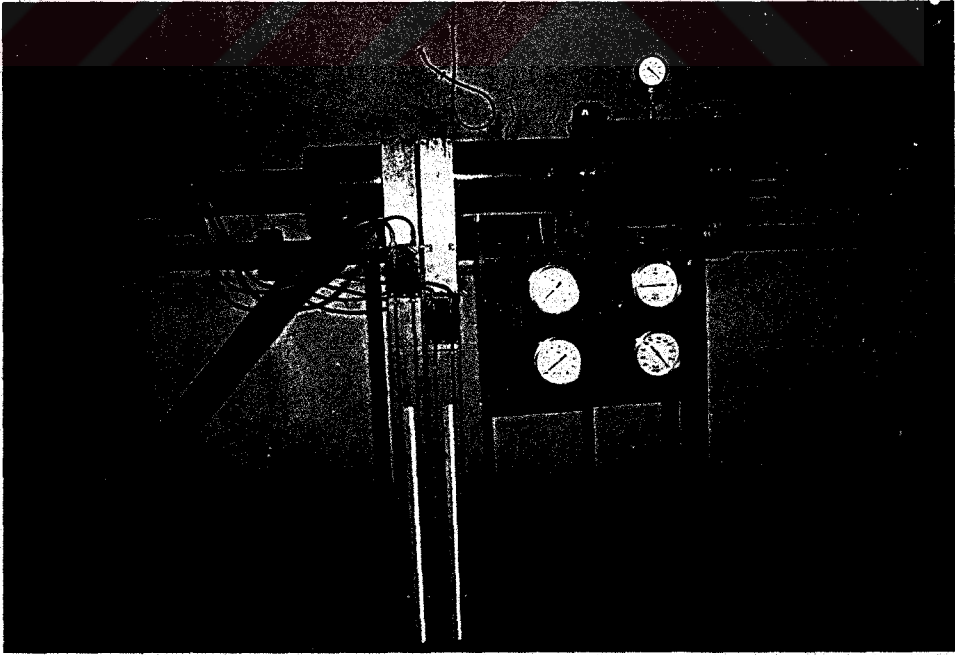
$$\eta = -0.085887 + 254.847945 M - 927.918170 M^2 + 1918.604768 M^3 \\ -1603.051551 M^4 - 377.848233 M^5 - 1795.403437 M^6 + 6413.049158 M^7 \\ -3982.998798 M^8$$

Standart hata = 0.540

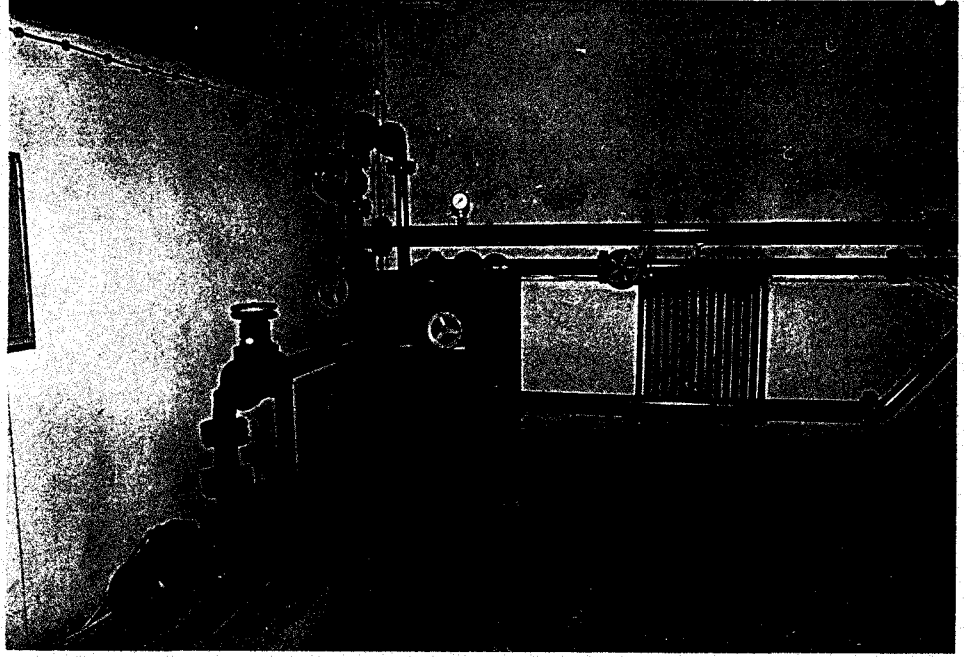
EK C. DENEY ÜNİTESİ İLE İLGİLİ FOTOGRAFLAR



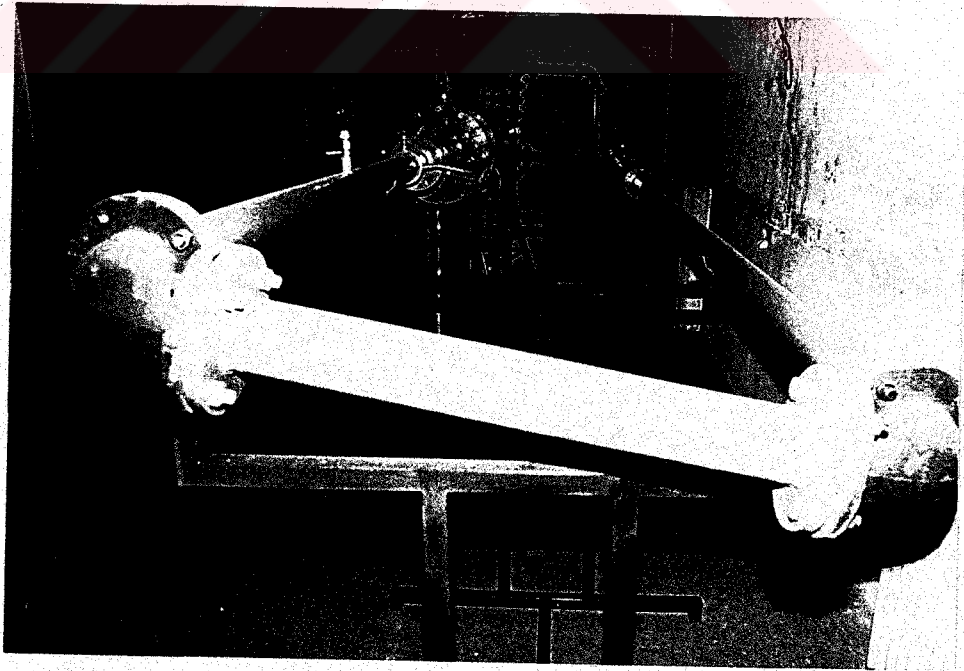
Fotograf 1: Denev üñitesinin perspektif görünüşü



Fotograf 2: Su jeti pompasının ve ölçme panosunun karşıdan görünüşü



Fotograf 3: Deney ünitesinin basınç ve debi ayar kısmının görünüşü



Fotograf 4: Deney ünitesinin yandan görünüşü