

**FIRAT ÜNİVERSİTESİ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**KUYULARDAN ENJEKTÖRLÜ POMPA SİSTEMİYLE SU ÇEKİLMESİ**

Firat Üniversitesi  
Merkez Kütüphanesi



\*0069795\*

255.07.02.03.00.00/08/0069795

TME YL/35

**(YÜKSEK LİSANS TEZİ)**

**Dinçer BURAN**

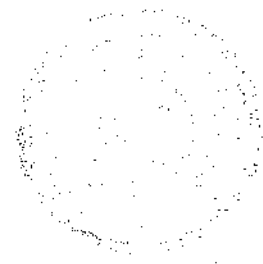
Firat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi

Makina Eğitimi Bölümü

**Tez Yöneticisi: Yrd.Doç.Dr. Asaf VAROL**

**ELAZIĞ**

**HAZİRAN 1990**



Okuduğum ve jüriye sunulmasını uygun gördüğüm bu tez, bir Yüksek Lisans (MS) tezinde bulunması gereken tüm nitelikleri taşımaktadır.

Yrd.Doç.Dr. Asaf VAROL

Tez Yöneticisi

Tez Jürisi:

.....  
.....  
.....  
.....

.....  
.....  
.....  
.....

Jüri Başkanı

Bu Tez, Yüksek Lisans (MS) Tezi Olarak Onaylanmıştır.



## ÖZET

Büyük ölçüde tarıma dayalı üretim yapan ülkemizde, yeraltı sularından yararlanmak amacıyla, değişik pompalama sistemleri kullanılmaktadır. Küçük amaçlı sulamalarda genellikle santrifüjlü pompalar tercih edilmektedir. Fakat suya erişme derinliğinin artmasıyla birlikte bu tür pompalama sistemlerinin de olumsuz yönleri ortaya çıkmaktadır. Suya erişme derinliğinin fazla olduğu kuyularda, santrifüjlü pompanın olumsuz yönlerini bertaraf etmek amacıyla enjektörlü pompa sistemleri kullanılabilmektedir.

Bu çalışmada, enjektörlü pompa sistemindeki lüle ile boğaz arasındaki mesafenin optimum değerinin, farklı çalışma şartlarından etkilenip etkilenmediği araştırılmıştır.

Birinci bölümde, yöntemin avantaj ve dezavantajlarıyla sistemi oluşturan parçalar tanıtılırken; ikinci bölümde bu parçalarda meydana gelen hız ve basınç değişimleri incelenmiştir. Üçüncü bölümde, yöntemin verimini sınırlayan kavitasyon konusu yer almaktadır. Dördüncü bölümde, sistemin işletme noktasının tesbiti için kullanılan bir çalışma diyagramı verilmiştir.

DeneySEL çalışmalar ve lüle-boğaz mesafesinin optimum değeriyle ilgili yorumlar ise, beşinci bölümde yer almaktadır.



## ABSTRACT

To a great extend, in the country, concerning to the agricultural purduction, for using underground water, people use different pumping systems. In general centrifugal pumps are preferred for small irrigational purposes. But, as the doph of water supply gets deeper; this type of pump wouldn't be able to work efficiently. When the water supply is too deep a jet pump are used and by so doing the inefficiency of centrifugal pump could be eliminated.

In this study, under the different working conditions the optimum value of the distance between the nozzle and throttle of the jet pump system were examined.

In the first chapter, the parts that composed of the system were introduced with their advantages and disadvantages, and in the second chapter, the velocity and the pressure changes which occured on these parts were examined. In the third chapter, the cavitations which are limiting the productivity of the system were mentioned. In the fourth chapter, a working diagram was given, for establishing the running point of the system.

Some comments were made related to the experimental studies and the optimum values of the distance between nozzle and throttle in the fifth chapter.

## TEŞEKKÜR

Çalışmalarım sırasında ilgi ve yardımlarını esirgemeyen, çalışmalarımı çok yakından takip eden Danışman Hocam Makina Eğitimi Bölüm Başkanı Sayın Yrd.Doç.Dr. Asaf VAROL'a teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmalarıma yapmış oldukları değerli katkılardan dolayı Sayın Hocam Yrd.Doç.Dr. Vedat TANYIDIZI'na, Metalurji Eğitimi Bölüm Başkanı Sayın Hocam Doç.Dr. M. Mustafa YILDIRIM'a, Doç.Dr. Teoman AYHAN'a ve Makina Eğitimi Bölüm Başkan Vekili Yaşar BİÇER'e teşekkür ederim.

Deney setinin kurulmasında ve deneylerde emeği geçen başta Makina Eğitimi Bölümü teknisyeni ZÜLFÜ KARAASLAN'a, Metalurji Eğitimi ve Makina Mühendisliği Bölüm teknisyenlerine teşekkürü bir borç bilirim.

Ayrıca, çalışmalarım sırasında ilgi ve desteklerini gördüğüm, hocalarıma ve mesai arkadaşlarıma da teşekkürlerimi sunarım.



## İÇİNDEKİLER

|                                                                                           | <u>Sayfa No:</u> |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|
| Özet                                                                                      | III              |
| Abstract                                                                                  | IV               |
| Teşekkür                                                                                  | V                |
| İçindekiler                                                                               | VI               |
| Şekiller                                                                                  | VIII             |
| Tablolar                                                                                  | X                |
| Resimler                                                                                  | XI               |
| Semboller                                                                                 | XII              |
| <br>                                                                                      |                  |
| 1. GİRİŞ                                                                                  | 1                |
| <br>                                                                                      |                  |
| 1.1. Enjektörlü Pompa Sisteminin Temel Parçaları ve Çalışma Prensibi                      | 2                |
| 1.2. Enjektörlü Pompaların Kullanıldıkları Alanlar                                        | 4                |
| 1.3. Yöntemin Avantaj ve Dezavantajları                                                   | 4                |
| <br>                                                                                      |                  |
| 2. ENJEKTÖRLÜ POMPA SİSTEMİNDE HIZ VE BASINÇ DEĞİŞİMLERİ                                  | 5                |
| <br>                                                                                      |                  |
| 2.1. Lülede Meydana Gelen Hız ve Basınç Değişimleri                                       | 7                |
| 2.2. Karışma Borusunda Meydana Gelen Hız ve Basınç Değişimleri                            | 9                |
| 2.2.1. Momentum Denklemi                                                                  | 10               |
| 2.2.2. Büyük Çap Oranlı Enjektörlü Pompalarda Karışma Boğazında Hız ve Basınç Değişimleri | 12               |
| 2.2.3. Küçük Çap Oranlı Enjektörlü Pompalarda Karışma Boğazında Hız ve Basınç Değişimleri | 14               |

|                                                            |    |
|------------------------------------------------------------|----|
| 2.3. Difüzörde Meydana Gelen Hız ve Basınç Değişimleri     | 16 |
| 3. ENJEKTÖRLÜ POMPA SİSTEMİNDE KAVİTASYON                  | 21 |
| 3.1. Kaviteasyon Parametresinin Tanımı                     | 23 |
| 3.2. Kaviteasyon Parametresinin Bağımlılığı                | 27 |
| 3.2.1. Lüle-Boğaz Arası Açıklık                            | 27 |
| 3.2.2. İkincil Akış Halkasının Şekli                       | 28 |
| 3.2.3. Lüle İç Dizaynı                                     | 28 |
| 3.2.4. Lüle-Boğaz Alan Oranı (R)                           | 29 |
| 3.2.5. Akışkan Özellikleri                                 | 30 |
| 3.3. Kaviteasyon ve Kaviteasyonla Sınırlı Akış Mekanizması | 31 |
| 4. ENJEKTÖRLÜ POMPA SİSTEMİNİN İŞLETME NOKTASININ TESBİTİ  | 33 |
| 5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR                                     | 39 |
| 5.1. Deney Setinin Kurulması ve Tanıtımı                   | 40 |
| 5.1.1. Santrifüj Pompa                                     | 41 |
| 5.1.1.1. Pompa Tahrik Motorunun Özellikleri                | 41 |
| 5.1.1.2. Pompa Özellikleri                                 | 42 |
| 5.1.2. Enjektörlü Pompa                                    | 42 |
| 5.1.3. Su Sayacı ve Manometre Özellikleri                  | 43 |
| 5.2. Deneyin Yapılışı                                      | 45 |
| 6. SONUÇ VE ÖNERİLER                                       | 53 |
| KAYNAKLAR                                                  | 55 |

## ŞEKİLLER

### Sayfa No:

|           |                                                                                                                                                       |    |
|-----------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 1.1 | : Enjektörlü pompa sisteminin şematik resmi.                                                                                                          | 2  |
| Şekil 1.2 | : Enjektörlü pompa sisteminde basıncın değişimi.                                                                                                      | 3  |
| Şekil 2.1 | : Lüle, karışma borusu ve difüzör.                                                                                                                    | 6  |
| Şekil 2.2 | : Lüle, boğaz ve difüzörde basıncın değişimi.                                                                                                         | 6  |
| Şekil 2.3 | : Lüle.                                                                                                                                               | 7  |
| Şekil 2.4 | : Lüle çıkışı ile boğaz girişi arasında akışın şematik gösterilmesi.                                                                                  | 10 |
| Şekil 2.5 | : Momentum denkleminin uygulandığı boşluk.                                                                                                            | 10 |
| Şekil 2.6 | : Difüzör                                                                                                                                             | 17 |
| Şekil 2.7 | : Difüzörde maksimum verim.                                                                                                                           | 20 |
| Şekil 3.1 | : Kaviteasyonla sınırlı akışın deney ve teori arasındaki uyuşuma etkisi.                                                                              | 22 |
| Şekil 3.2 | : $\sigma_L$ 'nin lüle-boğaz açıklığına bağımlılığı.                                                                                                  | 28 |
| Şekil 3.3 | : Sentetik ve düşük viskoziteli yağlar için $Y-(P_0-P_v)$ enjektörlü pompa kaviteasyon sonuçları.                                                     | 29 |
| Şekil 3.4 | : $R$ 'ye bağımsızlığı ve $S/D_L$ 'ye bağımlılığı gösteren iki enjektörlü pompadan elde edilen verilerin $Y$ sınırlayıcı akış fonksiyonuyla ilişkisi. | 30 |
| Şekil 4.1 | : Enjektörün şematik resmi.                                                                                                                           | 33 |
| Şekil 4.2 | : Çalışma diyagramı.                                                                                                                                  | 38 |
| Şekil 5.1 | : Deney setinin şematik resmi.                                                                                                                        | 41 |
| Şekil 5.2 | : Deney setinde kullanılan enjektörlü pompa ve boyutları.                                                                                             | 42 |



## ŞEKİLLER

Sayfa No:

|           |                                                                                                                                                            |    |
|-----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Şekil 1.1 | : Enjektörlü pompa sisteminin şematik resmi.                                                                                                               | 2  |
| Şekil 1.2 | : Enjektörlü pompa sisteminde basıncın değişimi.                                                                                                           | 3  |
| Şekil 2.1 | : Lüle, karışma borusu ve difüzör.                                                                                                                         | 6  |
| Şekil 2.2 | : Lüle, boğaz ve difüzörde basıncın değişimi.                                                                                                              | 6  |
| Şekil 2.3 | : Lüle.                                                                                                                                                    | 7  |
| Şekil 2.4 | : Lüle çıkışı ile boğaz girişi arasında akışın şematik gösterilmesi.                                                                                       | 10 |
| Şekil 2.5 | : Momentum denkleminin uygulandığı boşluk.                                                                                                                 | 10 |
| Şekil 2.6 | : Difüzör                                                                                                                                                  | 17 |
| Şekil 2.7 | : Difüzörde maksimum verim.                                                                                                                                | 20 |
| Şekil 3.1 | : Kavitasyonla sınırlı akışın deney ve teori arasındaki uyuşuma etkisi.                                                                                    | 22 |
| Şekil 3.2 | : $\sigma_L$ 'nin lüle-boğaz açıklığına bağımlılığı.                                                                                                       | 28 |
| Şekil 3.3 | : Sentetik ve düşük viskoziteli yağlar için $\gamma-(P_0-P_v)$ enjektörlü pompa kavitasyon sonuçları.                                                      | 29 |
| Şekil 3.4 | : $R$ 'ye bağımsızlığı ve $S/D_L$ 'ye bağımlılığı gösteren iki enjektörlü pompadan elde edilen verilerin $\gamma$ sınırlayıcı akış fonksiyonuyla ilişkisi. | 30 |
| Şekil 4.1 | : Enjektörün şematik resmi.                                                                                                                                | 33 |
| Şekil 4.2 | : Çalışma diyagramı.                                                                                                                                       | 38 |
| Şekil 5.1 | : Deney setinin şematik resmi.                                                                                                                             | 41 |
| Şekil 5.2 | : Deney setinde kullanılan enjektörlü pompa ve boyutları.                                                                                                  | 42 |

- Şekil 5.3 : 1.40 m. su yüksekliğinde,  $R= 0,055$  alan oranı ve  $\dot{V}_1 = 0,09 \text{ m}^3/\text{dak}$ 'da çekilen net debi ile lüle-boğaz mesafesi arasındaki ilişki. 49
- Şekil 5.4 : 1.10 m. su yüksekliğinde,  $R= 0,055$  alan oranı ve  $\dot{V}_1 = 0,09 \text{ m}^3/\text{dak}$ 'da çekilen net debi ile lüle-boğaz mesafesi arasındaki ilişki. 49
- Şekil 5.5 : 0.75 m. su yüksekliğinde,  $R= 0,055$  alan oranı ve  $\dot{V}_1 = 0,09 \text{ m}^3/\text{dak}$ 'da çekilen net debi ile lüle-boğaz mesafesi arasındaki ilişki. 50
- Şekil 5.6 : 0.75 m. su yüksekliğinde,  $R= 0,097$  alan oranı ve  $\dot{V}_1 = 0,15 \text{ m}^3/\text{dak}$ 'da çekilen net debi ile lüle-boğaz mesafesi arasındaki ilişki. 50
- Şekil 5.7 : 0.10 m. su yüksekliğinde,  $R= 0,097$  alan oranı ve  $\dot{V}_1 = 0,15 \text{ m}^3/\text{dak}$ 'da çekilen net debi ile lüle-boğaz mesafesi arasındaki ilişki. 51
- Şekil 5.8 : Aynı alan oranına ( $R= 0,055$ ) ve işletici debiye ( $\dot{V}_1 = 0,09 \text{ m}^3/\text{dak}$ ) göre, değişen su yüksekliğindeki debi ile lüle boğaz mesafesi arasındaki ilişki. 51
- Şekil 5.9 : Sabit su yüksekliğinde (0,75 m.), değişen işletici debi ve  $R$  alan oranında çalışan enjektörlü pompa sistemindeki  $\dot{V}_2$ -S ilişkisi. 52
- Şekil 5.10 : Enjektör pompada boğaz girişi ve difüzör çıkışı arasındaki basınç farkıyla lüle-boğaz mesafesi arasındaki ilişki. 52

## TABLÖLAR

### Sayfa No:

|                                                                                          |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tablo 1 : Değişik kavitasyon parametrelerinin özeti.                                     | 24 |
| Tablo 2 : Deneysel verilerin karşılaştırılması. -                                        | 25 |
| Tablo 3 : Deney sonuçları.                                                               | 47 |
| Tablo 4 : Enjektör pompadaki basınç farkının lüle-boğaz mesafesine göre değişim tablosu. | 48 |

## RESİMLER

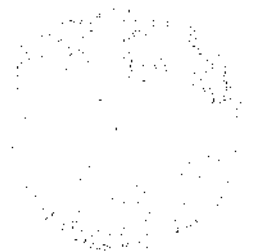
### Sayfa No:

|                                                 |    |
|-------------------------------------------------|----|
| Resim 1 : Ölçüm odasının komple resmi.          | 43 |
| Resim 2 : Pompa sisteminin kuyu bağlantı resmi. | 44 |
| Resim 3 : Enjektör pompa.                       | 45 |

## SEMBOLLER

|            |                                                                             |                      |
|------------|-----------------------------------------------------------------------------|----------------------|
| $D_n$      | : Lüle çapı                                                                 | (m)                  |
| $D_t$      | : Boğaz çapı                                                                | (m)                  |
| $r$        | : Yarıçap                                                                   | (m)                  |
| $z$        | : Yükseklik                                                                 | (m)                  |
| $y$        | : Akış hızı $(U_1+U_2)/2$ olan kayma tabakasının merkezinden radyal uzaklık | (m)                  |
| $\delta$   | : Kayma tabakası kalınlığının yarısı                                        | (m)                  |
| $S$        | : Lüle-boğaz arası mesafe                                                   | (m)                  |
| $Y$        | : Sınırlayıcı akış fonksiyonu                                               | (m)                  |
| $\Delta h$ | : Basınç kaybı                                                              | (mSS)                |
| $C_0$      | : Gidiş borusundaki ortalama akışkan hızı                                   | (m/s)                |
| $C_1$      | : Lüle çıkışındaki ortalama akışkan hızı                                    | (m/s)                |
| $U$        | : Hız                                                                       | (m/s)                |
| $w$        | : Mutlak hız                                                                | (m/s)                |
| $A_t$      | : Boğaz akış alanı                                                          | (m <sup>2</sup> )    |
| $A_n$      | : Lüle kesiti                                                               | (m <sup>2</sup> )    |
| $A_\delta$ | : Boğaz girişinde kayma tabakasının kesiti                                  | (m <sup>2</sup> )    |
| $W$        | : Boğazda sürtünmeden dolayı ortaya çıkan basınç kayıp kuvveti              | (N)                  |
| $P_{tw}$   | : Boğaz duvarındaki statik basınç                                           | (Pa)                 |
| $P$        | : Statik basınç                                                             | (Pa)                 |
| $\rho$     | : Yoğunluk                                                                  | (kg/m <sup>3</sup> ) |

|           |                                                  |                     |
|-----------|--------------------------------------------------|---------------------|
| $\gamma$  | : Özgöl ağırlık                                  | (N/m <sup>3</sup> ) |
| $\dot{V}$ | : Hacimsel debi                                  | (m <sup>3</sup> /s) |
| $\dot{m}$ | : Kütlesel debi                                  | (kg/s)              |
| $\zeta_N$ | : Lüle kayıp katsayısı                           | (-)                 |
| $\lambda$ | : Sürtünme kayıp katsayısı                       | (-)                 |
| $n$       | : Daralma oranı                                  | (-)                 |
| $\xi$     | : $2.(P_2 - P_{tw})/(\rho.U_m^2)$                | (-)                 |
| $M$       | : $\dot{V}_2/\dot{V}_1$                          | (-)                 |
| $\eta_D$  | : Difüzör verimi (%)                             | (-)                 |
| $N$       | : Basınç oranı                                   | (-)                 |
| $M_L$     | : Kavitasyonla sınırlı akış oranı                | (-)                 |
| $R$       | : Lüle/boğaz alan oranı                          | (-)                 |
| $\sigma$  | : Kavitasyon parametresi                         | (-)                 |
| $M_{mep}$ | : Maksimum verim akış oranı                      | (-)                 |
| $m$       | : $\dot{m}_2/\dot{m}_1$ , kütlesel debiler oranı | (-)                 |
| $\eta$    | : Enjektörlü pompa verimi                        | (-)                 |
| $\alpha$  | : Yaklaşma açısı                                 | (-)                 |



## 1. GİRİŞ

Derin kuyulardan enjektörlü pompa yöntemiyle su veya farklı yoğunluktaki akışkanların taşınımının, yaklaşık 138 yıllık bir geçmişi vardır. Bu konuda ilk olarak 1852 yılında J. Thomson tarafından su taşımak amacıyla bir deneme yapılmıştır. Yöntem esas olarak kinetik enerjinin basınç enerjisi olarak kullanılması prensibine dayanır.

Ülkemizin birçok yöresinde sulama amacıyla kuyular kazılmaktadır. Bu kuyularda suya erişme derinliği en az 10 metre civarındadır. Hatta bazı bölgelerimizde bu yükseklik 15-30 metreye ulaşabilmektedir. Oysa bir santrifüj pompanın maksimum emme derinliği 6.5-7 metreyi aşmamaktadır. Yine deniz seviyesinden yükseklerle çıkıldıkça her 1000 metre için genel emme yüksekliğinden 1.5 metre çıkarmak gerektiği de göz önünde tutulursa, kuyuya santrifüj pompayı yerleştirmek başlı başına bir sorun olmaktadır. Örneğin 10 metre derinlikteki suyu çıkartmak için pompanın kuyu içerisinde en az 4 metre derinliğe yerleştirilme zorunluluğu doğmaktadır. Kuyu içerisine yerleştirilen pompada, rutubet nedeniyle kısa sürede paslanmalar olmakta ve hatta kısa bir süre sonra pompa kullanılamayacak duruma gelebilmektedir.

Bu problemlere çözüm olarak dalgıç pompa kullanmak düşünülebilirse de, bu tip pompaların santrifüj pompalardan çok daha pahalı olması nedeniyle ekonomik yönden iyi bir çözüm yolu olmadığı görülmektedir.

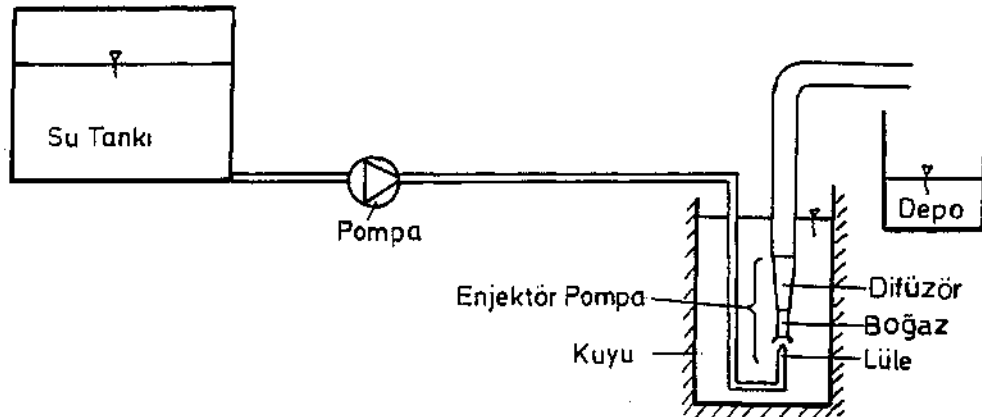
Halbuki böylesi yerlerde enjektörlü pompa kullanarak, hem yukarıda sözü edilen hiç bir problemle karşılaşılmayacak, hem de daha ekonomik

bir çözüm yolu seçilmiş olacaktır.

Öte yandan enjektörlü pompa sistemiyle ilgili yapılan araştırmalarda, bu sistemin performansını etkileyebilecek bir çok özelliğin incelenmesine rağmen lüle-boğaz (Şekil 1.1) arasındaki mesafenin verim üzerindeki etkisini inceleyen tatmin edici bir çalışma yapılmamıştır.

Bu çalışmada, özellikle lüle-boğaz arasındaki mesafenin, sistemin genel performansı üzerindeki etkisi araştırılmakla birlikte; sulama amacıyla açılan kuyularda kullanılabilecek daha ekonomik ve daha kullanışlı bir pompa sisteminin geliştirilmesi amaç edinilmiştir.

### 1.1. Enjektörlü Pompa Sisteminin Temel Parçaları ve Çalışma Prensibi



Şekil 1.1. Enjektörlü pompa sisteminin şematik resmi

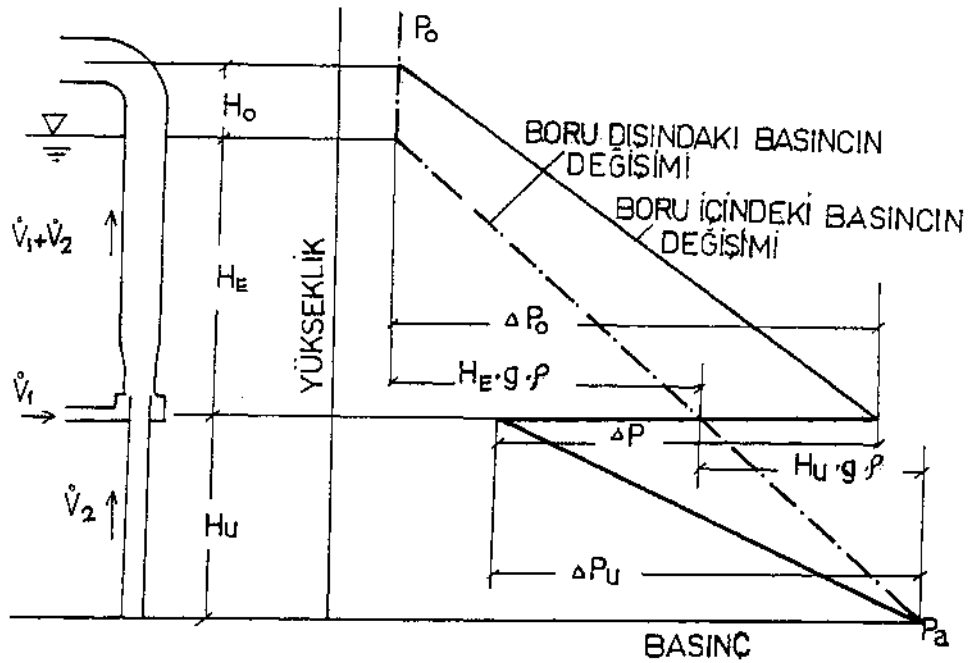
Enjektörlü pompalar yapı itibarıyla basit; fakat karışma borusu ve difüzördeki olaylar nedeniyle de karmaşıktır. Çok fazlı akışkanların



pompalanması hesaplama zorluklarını artırır. Enjektörlü pompanın çalışma elemanları lüle, boğaz ve difüzördür. (Şekil 1.1).

Lüle, akışkanın sahip olduğu yüksek basınç<sup>??</sup> enerjisini, yüksek hız<sup>??</sup> enerjisine dönüştüren, enjektörlü pompanın "motor"udur. Boğaz, yüksek hızlı akışkanla, lüle etrafında akan düşük hızlı akışkanı karıştıran, enjektörlü pompanın "pompa"sıdır. Difüzör ise karışan akışkanların hızlarını, akışkanları yüzeye getirecek kadar yüksek bir basınca dönüştürür. Şekil 1.1'de enjektörlü pompanın temel parçalarıyla birlikte sistemin şematik bir resmi görülmektedir.

Enjektörlü pompa sistemindeki basınç dağılımı, genellikle Şekil 1.2'deki gibidir.



Şekil 1.2. Enjektörlü pompa sisteminde basıncın değişimi/18/.

Bu sistemde su pompası yardımıyla enjektöre su basılır ve enjektör içerisinde alçak basınç oluşturulur. Boru dışındaki suyun statik basıncı ile enjektörde yaratılan alçak basınç dengeleninceye kadar boru içerisindeki

su yukarı doğru yükselecektir. Enjektöre gönderilen su miktarı (işletici su) artırıldıkça boru içerisindeki su daha da yükselecek ve sonuçta borunun ağzından dışarı fışkıracaktır.

## **1.2. Enjektörlü Pompaların Kullanıldıkları Alanlar**

Enjektörlü pompalar;

- Dikey hidrolik katı veya yalnızca su taşınmasında,
- Kömür, çakıl, kum, mineraller, uranyum ve benzeri katıların ıslak olarak taşınması zorunlu olan tüm su altındaki katı malzemelerin taşınmasında,
- Kuyu ve artezyen açmada, ortaya çıkan katı-sulu kalıntıların taşınımında,
- Deniz kıyıları ve sahillerin sağlamlaştırılmasında,
- Derin deniz diplerinden çeşitli sedimanların çıkarılmasında ve diğer benzeri yerlerde kullanılır/19/.

## **1.3. Yöntemin Avantaj ve Dezavantajları**

Enjektörlü pompa sistemi, basitliği, hareketli parçalarının olmayışı, küçük boyutu ve zor sıvıların pompalanabilmesi kabiliyetinden dolayı derin kuyularda kullanılması uygun olan bir yöntemdir.

Sistemin en önemli özelliklerinden birisi de, su-katı karışımı taşınırken, katı malzemenin temiz su pompası içerisine girmemesi, dolayısıyla tıkanma veya aşınma oluşmamasıdır. Yine reaktörlerde radyoaktif artıkları istenilen bir yere gönderme işleminde radyoaktif artıkların pompa içerisine girmemesi; dolayısıyla pompaların radyoaktif

etki altında kalmaması da bu sistemin diğer bir üstünlüğünü teşkil etmektedir./19/

Bunların yanı sıra enjektörlü pompalar;

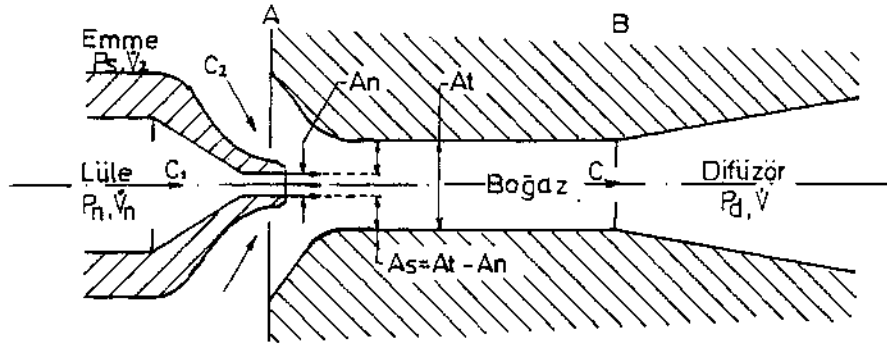
- Suya erişme derinliğinin fazla olduğu yerlerde santrifüj pompanın kuyu dışında montajına imkan sağlarlar.
- Düzenli akım hızlarıyla sürekli bir taşımayı mümkün kılarlar. Böylece akış düzeninde tıkanma tehlikesi ile karşılaşılmaz.
- Hareketli parçalarının olmayışı nedeniyle uzun süre bakım gerektirmezler. Bu yüzden maliyetleri diğer pompalara nazaran daha düşüktür.

Yöntemin tek dezavantajı ise, boğazda, basıncın su buharı basıncının altına düşmesi halinde, sıvı buhar kabarcıklarının boğaz yüzeyine yapışması ve bu bölgede "Kavitasyon" olarak nitelendirilen hasarlara yol açması ve bu nedenle de verim üzerinde sınırlayıcı bir etki yaratmasıdır. Bundan dolayı enjektörlü pompa sistemlerinin verimi %30-%40 civarında kalmaktadır. Veriminin düşük olması ise enjektörlü pompa sistemlerinin yaygın olarak kullanılmasına engel olmuştur.

## 2. ENJEKTÖRLÜ POMPA SİSTEMİNDE HIZ VE BASINÇ DEĞİŞİMLERİ

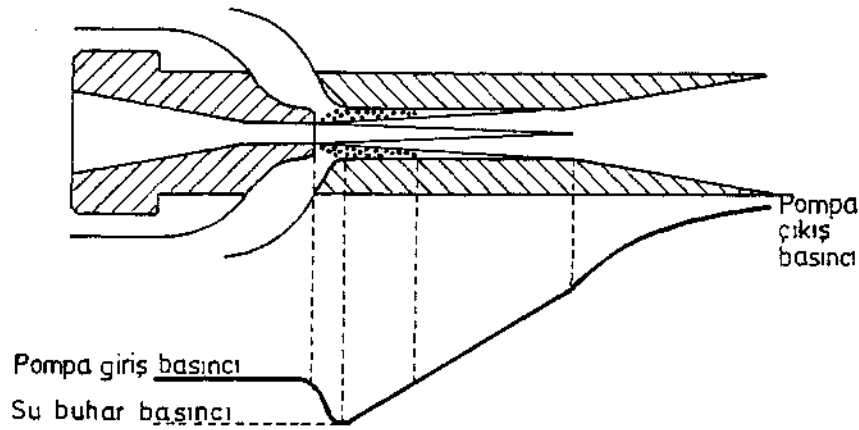
Bir enjektörlü pompanın çalışması, kuşkusuz bu pompayı oluşturan üç temel parçadaki (lüle, karışma borusu ve difüzör) olaylara bağlıdır. Şekil 2.1 bir enjektörlü pompaya ait temel parçaları göstermektedir.





Şekil 2.1. Lüle, karışma borusu ve difüzör

Burada enjektörlü pompanın A kesitinde ortadaki lüleden  $C_1$  hızında oldukça hızlı bir hüzmeye fişkırmakta ve bu akım aynı kesitte  $C_2$  hızında ikinci bir akım ile karışmaktadır. Bu karışma B kesitinde tamamlanmakta ve burada ortalama hız  $C$  olmaktadır.



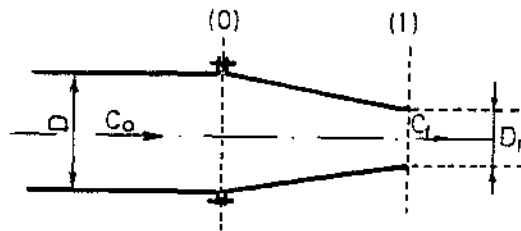
Şekil 2.2. Lüle, boğaz ve difüzörde basınç değişimi/4/.

Enjektörlü pompa boyunca basınçtaki değişim ise Şekil 2.2'de görülmektedir. Görüldüğü gibi lülede, santrifüj pompanın yarattığı yüksek basınç düşmekte; yani potansiyel enerji, kinetik enerjiye dönüşmektedir.

Lüle çıkışı ile boğaz arasında, basınç en düşük değere sahiptir. Karışma borusu boyunca hızda düşüş gözlenirken, basınçta ikinci akışkan etkisiyle yükselme görülür. Difüzörde ise, akışkan basıncında artış gözlenir.

## 2.1. Lülede Meydana Gelen Hız ve Basınç Değişimleri

Şekil 2.3'deki lülede, giriş basıncı, lüle kesiti ve lüleden geçen hacimsel debi bilindiği takdirde  $C_0$  ve  $C_1$  hızlarını süreklilik denkleminde bulmak mümkün olacaktır.



Şekil 2.3. Lüle/3/.

$$\dot{V} = A_0 \cdot C_0 \implies C_0 = \frac{4 \cdot \dot{V}}{\pi \cdot D^2} \quad \dot{V} = A_1 \cdot C_1 \implies C_1 = \frac{4 \cdot \dot{V}}{\pi \cdot D_n^2} \quad (2.1)$$

0 ve 1 noktaları arasında, akışı sürtünmesiz ve stasyoner kabul ederek Bernoulli Denklemi uygulanırsa;



$$\frac{P_0}{\rho \cdot g} + \frac{C_0^2}{2 \cdot g} + Z_0 = \frac{P_1}{\rho \cdot g} + \frac{C_1^2}{2 \cdot g} + Z_1$$

Buradaki hızların yerine (2.1) denklemiyle bulunan değerler yazılır ve 0 ve 1 noktaları arasındaki yükseklik farkı ihmal edilirse, denklem;

$$P_1 = P_0 + \frac{8}{\pi} \cdot \rho \cdot \dot{V}^2 \cdot \left( \frac{1}{D^4} - \frac{1}{D_n^4} \right) \quad (2.2)$$

haline gelecektir. Bulunan bu denklem lülede kayıp olmadığı takdirde geçerlidir. Esasen lülede sürtünmeden dolayı kayıplar meydana gelir ve bu kayıplar verilen bir koni profili için,

$$\zeta_n = \frac{\lambda}{8 \cdot \sin \alpha / 2} \cdot \left( 1 - \frac{1}{n^2} \right) \quad (2.3)$$

ifadesinden hesaplanır. Burada  $\lambda = f(\text{Reynolds sayısı, Pürüzlülük katsayısı})$  kayıp katsayısı,  $n$  daralma oranı,  $\alpha$  ise konik bir lüle profili için yaklaşıma (Convergence) açısıdır.

Dairesel kesitli bir lüledeki sürtünme kayıpları daha doğru olarak şu ifadeden hesaplanır.

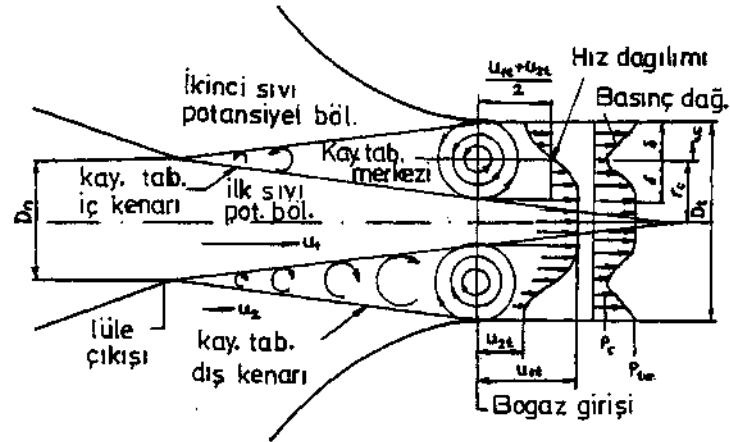
$$\zeta_n = \frac{4}{9} \cdot \lambda \cdot \frac{1}{D_h} \cdot \frac{n-1}{n \cdot (n-1)} \quad (2.4)$$

Burada  $D_h$  hidrolik çapı göstermektedir./7/.

## 2.2. Karışma Borusunda Meydana Gelen Hız ve Basınç Değişimleri

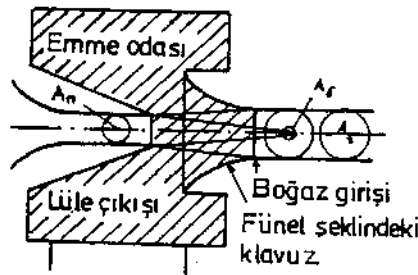
Karışma borusu girişi çok karmaşıktır. Çünkü burada birinci akışkan (işletici hacimsel debi) enerjisinin emilen ikinci akışkana aktarılmasında, impuls değişimi olmaktadır./10/. Bir enjektörlü pompanın lüle çıkışı ile boğaz arasındaki durumu Şekil 2.4 veya Şekil 2.5'de görüldüğü gibidir. Kayma tabakasının (Birinci sıvının yoğun olduğu kısım ile ikinci sıvının yoğun olarak bulunduğu kısım arasında kalan karışma bölgesi) dış kenarı (Lüle çıkışı ile boğaz giriş cidarını birleştiren çizgi) boğazda duvarla temas halindedir. Bunun sebebi, kayma tabakasının dış kenarının boğazdan önce yerleştirilmiş funel şeklindeki kısım ile (Ueda bu kısmı difüzör klavuzu olarak tanımlamıştır.) temas ettiği takdirde akışa karşı aksenal direncin artması ve böylece pompanın veriminin düşmesidir. Bunun tersi olarak, kayma tabakasının dış kenarı boğaza doğru derinleşirse, lüle çıkışı ile boğaz girişi arasındaki mesafe kısalır. Sonuç olarak lülenin dış yüzeyi ve funel klavuzu tarafından oluşturulan ikinci sıvının geçiti daralır; ikinci sıvıya karşı direnç artar ve genel verim

düşer./14/. Bu sebeplerden dolayı kayma tabakasının dış kenarının, boğaz girişinde duvarla temas halinde olduğu kabul edilecektir.



Şekil 2.4. Lüle çıkışı ile boğaz girişi arasında akışın şematik gösterilmesi./14/.

### 2.2.1. Momentum Denklemi



Şekil 2.5. Momentum Denkleminin uygulandığı boşluk./14/.

Şekil 2.4'deki akış modelini kullanmak suretiyle, boğaz girişindeki duvar basıncını  $P_{tw}$ , elde etmek için, Şekil 2.5'de görülen emme odasındaki (taranmış kesit) boşluğa momentum kanununu uygulamak



mümkündür. Bu durumda içeri akan ikinci sıvının momentumu ihmal edilebilir olduğundan, lüle çıkış yüzeyindeki basınç  $P_2$  olarak alınabilir. Funel klavuzu duvarına yakın akış hız dağılımı,  $P_2$  ve  $P_{tw}$  ile belirlenen sadece bir akışın (ikinci sıvı akışı) hız dağılımıyla hemen hemen aynı olan potansiyel bir akıştır. Böylece, funel yüzeyindeki basınç dağılımı kullanılarak, yaklaşık olarak hesaplanır ve aşağıdaki momentum denklemi elde edilir.

$$A_t (2.P_2 - P_{tw}) + \rho \cdot U_{in} \cdot A_n = \int_{A_t} P \cdot dA + \rho \cdot \int_{A_t} U^2 \cdot dA \quad (2.5)$$

Şekil 2.4'e göre, kayma tabakasının kalınlığı  $2\delta$  ve dıştan ölçülen kayma tabakasının merkezinden radyal uzaklık pozitif  $y$ 'dir. Bunu göre iki boyutlu bir kayma tabakası için hız dağılımı,

$$U = \frac{U_1 + U_2}{2} - \frac{U_1 - U_2}{2} \cdot \left( \frac{3}{2} \cdot \left( \frac{y}{\delta} \right) - \frac{1}{2} \cdot \left( \frac{y}{\delta} \right)^3 \right) \quad (2.6)$$

olur. Bir girdap halkasının  $(u_1 + u_2)/2$  hızında hareket ettiği varsayılır ve hız dağılımı olarak (2.6) denklemi yazılırsa, açısal hız;

$$(U_1 - U_2) \cdot (1,5 \cdot (y/\delta)^3 - 0,5 \cdot (y/\delta)^3) / (2 \cdot y) \quad (2.7)$$

olur. Dolayısıyla, merkezdeki gibi, kayma tabakasının ortası civarında,  $r_c \pm y$  yarıçapındaki basınç aşağıdaki gibi bulunur.

$$P_0 - P = \frac{\rho}{4} \cdot (U_1 - U_2) \cdot \int_0^\delta \left( \frac{1,5 \cdot (y/\delta)^3 - 0,5 \cdot (y/\delta)^3}{y} \right) \cdot dy \quad (2.8)/14/$$

### 2.2.2. Büyük Çap Oranlı Enjektörlü Pompalarda, Karışma Boğazında Hız ve Basınç Değişimleri

Boğaz girişine süreklilik denklemi uygulanırsa aşağıdaki denklem elde edilir.

$$\begin{aligned} \dot{V}_1 + \dot{V}_2 = \int_{A_t} u \cdot dA = \int_0^{r_t+\delta} u_1 \cdot 2 \cdot \pi \cdot r \cdot dr + \int_{r_t-\delta}^{r_t} \left[ \frac{U_1 + U_2}{2} - \frac{U_1 - U_2}{2} \left( \frac{3}{2} \left( \frac{r+\delta-r_t}{\delta} \right)^3 - \frac{1}{2} \left( \frac{r+\delta-r_t}{\delta} \right) \right) \right] \cdot 2 \cdot \pi \cdot r \cdot dr \end{aligned} \quad (2.9)$$

Büyük çap oranlı durumlarda  $\delta$ ,  $r_t$ 'ye nazaran küçük olduğundan yukarıdaki denklem şu şekilde yazılabilir:

$$\dot{V}_1 + \dot{V}_2 = (A_t - A_s) \cdot U_1 + A_s \cdot (U_1 + U_2) / 2 \quad (2.10)$$

Mühendislik açısından yukarıdaki gibi yaklaşık formüllerin yazılması avantajlı olduğundan (hesabı kolaylaştırır), momentum ve basıncın integrasyonu için de böyle bir kısaltma yapılabilir ve yukarıdaki denklem şu şekilde yazılır:

$$A_s = \frac{U_1 \cdot A_t - (\dot{V}_1 + \dot{V}_2)}{(U_1 - U_2) / 2} \quad (2.11)$$

(2.5) denkleminin sağdaki elemanının ikinci terimi hız dağılımı ile ilgili (2.6) denklemini kullanarak hesaplanır.

$$\rho \cdot \int_{A_t} U^2 \cdot dA = \rho \cdot \left[ U_1^2 \cdot (A_t - A_s) + \left( \frac{U_1 + U_2}{2} + 0.486 \frac{U_1 - U_2}{2} \right) \cdot A_s \right] \quad (2.12)$$

Aynı şekilde (2.5) denkleminin sağ tarafının ilk terimi, basınç dağılımıyla ilgili (2.8) denkleminin kullanımıyla hesaplanır.

$$\int_{A_t} P \cdot dA = P_{tw} \cdot A_t - 0.243 \cdot \frac{\rho}{2} (U_1 - U_2)^2 \cdot A_s \quad (2.13)$$

(2.11), (2.12) ve (2.13) denklemleri (2.5) denkleminde yerine yazılır. Süreklilik denklemi kullanılarak (2.5) denklemi yeniden yazılır. Lüle çıkış statik basıncı  $P_2$  olarak alınır ve Bernoulli Denklemi lüle çıkış kesiti ile

her iki akışkanın bulunduğu bölgeye de uygulanırsa, aşağıdaki denklem elde edilir.

$$\begin{aligned} & \beta + \alpha \cdot \frac{A_n}{A_t} + 0.243 \cdot (\sqrt{\beta + \alpha} - \sqrt{\beta}) \cdot (\sqrt{\beta + \alpha} - 1) - (\beta + \alpha) \left( 1 - 2 \cdot \frac{\sqrt{\beta + \alpha} - 1}{\sqrt{\beta + \alpha} - \sqrt{\beta}} \right) \\ & - \frac{1}{2} \cdot \left( (\sqrt{\beta + \alpha} + \sqrt{\beta})^2 + 0.486 \cdot (\sqrt{\beta + \alpha} - \sqrt{\beta})^2 \right) \cdot \frac{(\sqrt{\beta + \alpha} - 1)}{\sqrt{\beta + \alpha} - \sqrt{\beta}} = 0 \quad (2.14) / 14/. \end{aligned}$$

burada;

$$\alpha = (U_{1n}/U_m)^2$$

ve

$$\beta = 2 \cdot (P_2 - P_{tw}) / (\rho \cdot U_m^2)$$

şeklinde ifade edilmişlerdir.

### 2.2.3. Küçük Çap Oranlı Enjektörlü Pompalarda, Karışma Boğazında Hız ve Basınç Değişimleri

Hesaplamalar yukarıda gösterilen süreçle  $D_n/D_t = 0,6$  ve  $A_t = A_g$  'da yapılırsa, ilk sıvının potansiyel bölgesi boğaz girişinde son bulur. Boğaz girişinde biten bu bölgeye ait kayma tabakasının hız dağılımını veren çeşitli, yaklaşık formüller vardır. Burada Razinsky tarafından uygulanan  $(3/2)$  güç hızı dağılımı kullanılmaktadır. Buna göre, boğaz girişinin  $r$  yarıçapındaki hız şöyle ifade edilir.

$$U = U_2 + (U_a - U_2) \left( 1 - \left( \frac{r}{r_t} \right)^{3/2} \right)^2 \quad (2.15)$$

ve sırasıyla; süreklilik denklemi, momentum terimlerinin (2.12) denklemi ve basınç teriminin (2.13) denklemi şöyle yazılır:

$$\dot{V}_1 + \dot{V}_2 = \int_{A_t} U \cdot dA = \int_0^{r_t} \left[ U_2 + (U_a - U_2) \left( 1 - \left( \frac{r}{r_t} \right)^{3/2} \right)^2 \right] \cdot 2\pi r \cdot dr \quad (2.16)$$

$$U_a - U_2 = (U_m - U_2) / 0.2571 \quad (2.17)$$

$$\rho \int_{A_t} U^2 \cdot dA = \rho \int_0^{r_t} \left[ U_2 + (U_a - U_2) \left( 1 - \left( \frac{r}{r_t} \right)^{3/2} \right)^2 \right]^2 \cdot 2\pi r \cdot dr$$

*bu terimlere ait*

$$= \rho \cdot 2\pi \cdot r_t^2 \cdot (U_a - U_2)^2 \cdot \left[ 0.5 \left( \frac{U_2}{U_a - U_2} \right)^2 + 0.2571 \cdot \frac{U_2}{U_a - U_2} - 0.1832 \right] \quad (2.18)$$

$$\int_{A_t} P \cdot dA = (P_{tw} - 0.218 \cdot \frac{\rho}{2} \cdot (U_a - U_2)^2) \cdot A_t \quad (2.19)$$

Basınç hem merkezde ve hem duvar üzerinde eşit alındığı ve hız dağılımına göre girdap daha önce belirtildiği gibi düşünüldüğü takdirde,

boğaz giriş kesitindeki basınç dağılımı (2.19) denklemindeki gibi hesaplanır.

(2.17), (2.18) ve (2.19) denklemlerinin (2.5)'te yerine konmasıyla, (2.14) denkleminde kullanılan;

$$\beta = 2 \cdot (P_2 - P_{1w}) / (\rho \cdot U_m^2)$$

ifadesi şu şekle girer:

$$0.864\beta - 0.7808 \cdot \sqrt{\beta} + 1 / ((1+M) \cdot (D_n/D_t)) - 0.0832 = 0 \quad (2.20) / 14/$$

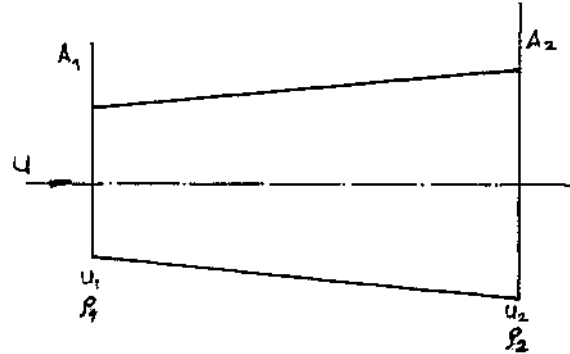
Burada  $M = \dot{V}_2 / \dot{V}_1$  akış oranını göstermektedir.

### 2.3. Difüzörde Meydana Gelen Hız ve Basınç Değişimleri

Birinci ve ikinci sıvının, karışma borusu içerisinde karışarak debisinin artması; ve burada kesitin de küçük olması nedeniyle akışkan hızının büyük değerlere çıkması, sürtünmeden dolayı ortaya çıkacak güç kayıplarını artıracaktır. Karışma borusundan sonra, yüksek değerlere çıkan akış hızını mümkün olduğu kadar çabuk düşürmek gerekecektir. İşte bu sebeple karışma borusundan hemen sonra bir difüzör yerleştirilerek kesitler tedrici olarak genişletilir ve hız azaltılır. Dolayısıyla karışma borusundan çıkan akışkanın sahip olduğu kinetik enerji basınç enerjisine dönüştürülmüş olur.

Bir difüzör kesiti tedricen artan bir borudan ibarettir (Şekil 2.6). Öncelikle akışın sürtünmesiz ve hızların bütün kesitte üniform olduğu kabul edilirse, süreklilik denkleminde 2 kesitindeki hızın düştüğü ve Bernoulli Denkleminde de bu kesitteki basıncın artmış olduğu görülür.

Yani 2 kesitinde, kinetik enerji kısmen potansiyel enerjiye dönüşmüştür.



Şekil 2.6. Difüzör

Pratikte gerek 1 ile 2 noktaları arasındaki sürtünme kayıplarından ve gerekse hızın üniform yayılmamış olmasından dolayı Bernoulli Denklemini direkt uygulamak mümkün olmamaktadır.

Bunun yerine  $A_1$  başlangıç kesitinden  $A_2$  son kesitine genişleyen bir kanal düşünelim (Şekil 2.6).  $P$  basınç,  $u$  kanal eksenine paralel hız bileşeni ve  $w$  herhangi bir noktadaki mutlak hız olsun. Bu takdirde birim zamanda  $A_1$ 'den geçen kinetik enerji;

$$\int_{A_1} \frac{1}{2} \rho w^2 u dA \quad (2.21)$$

ve  $A_2$ 'den geçen enerji;

$$\int_{A_2} \frac{1}{2} \rho w^2 u dA \quad (2.22)$$

olur. Burada  $\rho$  akışkanın yoğunluğudur.

Kinetik enerji;

$$\int_{A_1} \frac{1}{2} \rho w^2 u dA - \int_{A_2} \frac{1}{2} \rho w^2 u dA \quad (2.23)$$

basınç enerjisine dönüştüğünden,

$$\int A_2 p \cdot u \cdot dA - \int A_1 p \cdot u \cdot dA \quad (2.24)$$

ve dönüşümün verimi;

$$\eta_D = \frac{\int A_2 p \cdot u \cdot dA - \int A_1 p \cdot u \cdot dA}{\int A_1 (1/2) \cdot \rho \cdot w \cdot u \cdot dA - \int A_2 (1/2) \cdot \rho \cdot w \cdot u \cdot dA} \quad (2.25)$$

olur. Eğer akış difüzörün başlangıç ve son kısımlarında tamamen aksenal ise  $w=u$  olur ve  $p$  kesit boyunca sabit alınırsa, verim;

$$\eta_D = \frac{(P_2 - P_1) \cdot \bar{u}_1 \cdot A_1}{\int A_1 (1/2) \cdot \rho \cdot u \cdot dA - \int A_2 (1/2) \cdot \rho \cdot u \cdot dA} \quad (2.26)$$

olur. Burada  $P_1$  ve  $P_2$  sırasıyla başlangıç ve son kısımlardaki basınçlar,  $\bar{u}_1$  ise başlangıç kısmındaki ortalama hızdır.

$$A_1 \cdot \int (1/2) \cdot \rho \cdot u \cdot dA = (1/2) \cdot \rho \cdot \bar{u}_1 \cdot A_1 \cdot \alpha$$

$$A_2 \cdot \int (1/2) \cdot \rho \cdot u \cdot dA = (1/2) \cdot \rho \cdot \bar{u}_1 \cdot A_2 \cdot \beta$$

yazılırsa;





$$\eta_D = \frac{(P_2 - P_1)}{(1/2) \cdot \rho \cdot \bar{U}_1 \cdot [\alpha - \beta \cdot (A_1/A_2)]} \quad (2.27)$$

bulunur.

Hız dağılımının, başlangıç ve son kısımlarında sabit olması halinde  $\alpha = \beta = 1$ 'dir, ve;

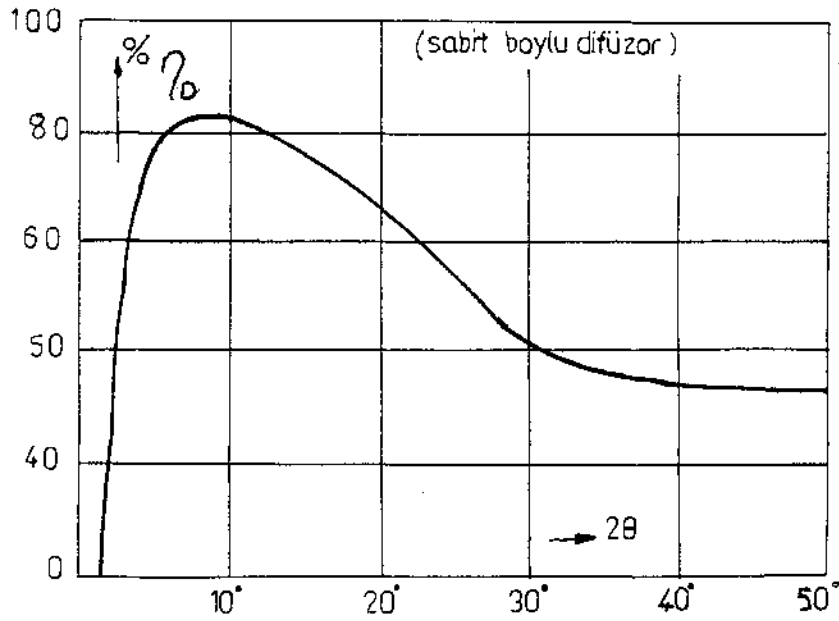
$$\eta_D = \frac{(P_2 - P_1)}{(1/2) \cdot \rho \cdot \bar{U}_1 \cdot [1 - (A_1/A_2)]} \quad (2.28)$$

olur. Uygulamalarda başlangıç ve son kısımlarda tamamiyle sabit bir hız dağılımına ulaşılamadığından (2.28) eşitliğine göre bulunan verim sadece yaklaşık olarak kabul edilebilir. (2.28) eşitliği şu şekilde de yazılabilir:

$$\eta_D = \frac{\rho \cdot g \Delta h}{(1/2) \cdot \rho \cdot \bar{U}_1 \cdot [1 - (A_1/A_2)]} \quad (2.29)$$

Burada  $\Delta h$  genişleme boyunca metre cinsinden basınç kaybıdır./7/.

Dairesel kesitli bir difüzörün dizayn açısından kritik parametresi genişleme açısı ve difüzör boyudur. Çok küçük açılarda giriş ve çıkış hızları arasındaki fark çok küçük olup, bunun yanında güç kaybı büyüktür. Yani güç kaybı transformasyona uğrayan enerji miktarından büyük olabilir. Dolayısıyla difüzör içinde basınç azalması görülür. Çok büyük genişleme açısı ise, hızda sert bir düşme sağlarken, büyük bir artan basınç gradyanı doğuracağından, difüzör duvarları boyunca teşekkül eden sınır tabaka,



Şekil 2.7. Difüzör'de maksimum verim./15/.

akımının kalınlaşmasına ve ayrılmasına sebep olabilir. Bunun sonucunda ise hem sürtünme kayıpları artar hem de zamana bağlı ve geniş periyotlu (1÷10 sn) dalgalanmalar meydana gelir.

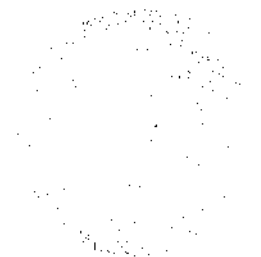
Şekil 2.7'de sabit boylu bir difüzörde verim ile genişleme açısı ( $2\theta$ ) arasındaki ilişki gösterilmiştir. Görüldüğü gibi  $7^0-8^0$  civarındaki genişleme açısında verim maksimumdan geçmektedir. Bundan sonra verim tekrar azalmaya başlar.  $40^0$  dereceden sonra sınır tabakada ayrılma tam olduğu için artık cidarların durumu verime tesir etmez ve verim takriben sabit kalır. Difüzör boylu yerine kesitlerin oranı sabit tutulursa, maksimum verimin  $10^0$  civarına karşılık geldiği ortaya çıkmaktadır./15/.

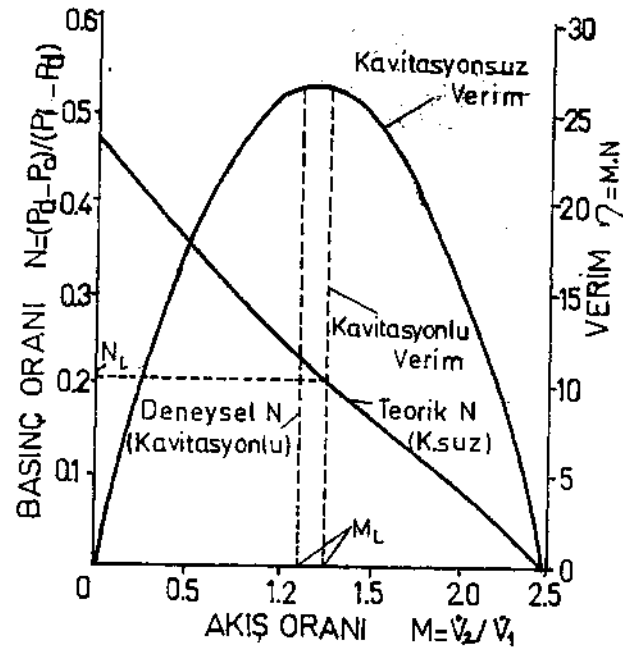
### 3. ENJEKTÖRLÜ POMPA SİSTEMİNDE KAVİTASYON

Akış içerisindeki bir noktada basınç, akışkanın buharlaşma basıncının altına düşerse kaynama ve buharlaşma başlar, akışkan içindeki erimiş hava ve gazlar açığa çıkar. Buhar ve gaz habbecikleri akış kesitini küçülterek debiyi düşürür. Öte yandan akışla sürüklenen habbeler basıncın büyük olduğu bölgelere gelince ani olarak kaybolur. Genellikle küre şeklinde olan bir habbeciğin dış yüzeyinden gelen basınç kuvvetinin etkisi altında tutunamayarak yok olması sırasında yüzeydeki kuvvet bir noktaya indirgenmiş olduğundan çok büyük basınçlar doğar. Boru çeperi sünger gibi bir görünüm kazanır. Bu olaya kavitasyon adı verilir.

Yapılan çalışmalar; kavitasyonun enjektörlü pompada iki yerde oluşmaya meylettğini göstermiştir. Yani biri boğaz girişinde, diğeri ise difüzör girişinde. Kavitasyon difüzör girişinde sadece akış oranı ( $\dot{V}_2/\dot{V}_1$ ) dizayn noktasından büyük olduğu zaman ortaya çıkmaktadır. Yine akışın gözlenmesiyle, pompa dizaynında kabul edilen yüksek bir performans oranında çalışıldığı takdirde de kavitasyon görülmektedir./14/.

Enjektörlü pompalardaki karışma boğazı kavitasyonu, yüksek jet hızı, düşük emme basıncı veya düşük boşalma (deşerj) basıncından kaynaklanmaktadır. Jet sınırındaki yeni başlangıç halindeki kavitasyonun Enjektörlü pompa verimine etkisi yoktur, fakat ciddi şartlar altında duvarlara sıçramaktadır. Kavitasyonla birlikte boşalma basıncından bağımsız olan sınırlayıcı bir akış şartı oluşur. Verim hızla düşer ve pompa ana akış karakteristikleri geleneksel teoriyle artık belirlenemez olur. Bu durum Şekil 3.1'de görülmektedir./6/.





Şekil 3.1. Kavitasyonla sınırlı akışın deney ve teori arasındaki uyuşuma etkisi. /6/.

Şekilde  $N$  (ve  $\eta$ ) değerleri, kavitasyonun oluşumuna bağlı olarak aniden bir kez kavitasyonla sınırlı akış oranına ( $M_L$ ) ulaşır. Daha sonra  $N=0$  ile  $N=N_L$  değerleri arasına düşer. Kavitasyonsuz çalışma için enjektörlü pompaların dizaynında kullanılan ve önceden belirlenebilen performans eğrisi sadece  $M_L$ 'ye kadar uygulanabilir. Çalışma  $M < M_L$ 'de olacağından,  $M_L$  değerinin belirlenmesi enjektörlü pompa dizayn edenler için kritik şekilde önemlidir.

Kavitasyonla sınırlı akış oranının tesbiti için;

$$M_L = \frac{1-R}{R} \cdot \frac{(P_0 - P_v)^{1/2}}{(\sigma_L \cdot Z)^{1/2}} \quad (3.1)$$

denklemini kullanılabilir. Burada R, tüle-boğaz alan oranını,  $P_0$ , emme giriş basıncını,  $P_v$ , akışkanın buharlaşma basıncını,  $Z = \rho \cdot C_2^2 / 2$  ve  $\sigma_L$  ise kavitasyon parametresini göstermektedir./6/.

### 3.1. Kavitasyon Parametresinin Tanımı

"Santrifüjlü Pompada Kavitasyon" Çalışmasında Thoma kompresördeki yükseklik düşüşü ( $\Delta H$ )'ın, toplam kaldırmanın bazı katsayılarla çarpımı olarak ifade edilebileceğini göstermiş ve bunu, benzer çalışma şartlarında pompalardaki basınç dağılımının benzer olması kavramına dayalı olan, kavitasyon parametresi ( $\sigma = \Delta H / H$ ) olarak adlandırmıştır. Aynı kavrama dayalı olarak dış akış için H yerine, hız yüksekliği kullanılır. Enjektörlü pompalar, pompalama etkisinin iki sıvının karışımıyla oluşması, ( $\sigma = \Delta H / H$ ) denklemi için H bölücüsü olarak çok sayıda yüksekliklerin kullanılabilmesi (Örneğin; ilk sıvının jet hızı yüksekliği, ikinci sıvının hız yüksekliği veya bu sıvıların hız diferansiyel yüksekliği) bakımından diğer pompalardan ayrılır./6/.

Tablo 1. Değişik Kaviteasyon Parametrelerinin Özeti./6/.

| Kaynak          | Sembol      | İfade / Tanım                                                                                 | $\sigma_L$ veya $\hat{\sigma}_L$<br>terimleriyle                               | Verilen parametre<br>terimleriyle $\sigma_L$ veya $\hat{\sigma}_L$                      |
|-----------------|-------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| Rouse           | $\sigma_R$  | $\frac{(P_0 - \rho \cdot V_s^2 / 2 \cdot g_c)}{\rho (V_n^2 - V_s^2) / 2 \cdot g_c}$           | $\frac{\xi^2 (\hat{\sigma}_L - 1)}{1 - \xi^2}$                                 | $\hat{\sigma}_L = 1 + \frac{\sigma_R (1 - \xi^2)}{\xi^2}$                               |
| Bonnington      | $\sigma_B$  | $\frac{P_0}{\rho \cdot (V_n^2 / 2 \cdot g_c)}$                                                | $\xi^2 \cdot \hat{\sigma}_L$                                                   | $\hat{\sigma}_L = \sigma_B / \xi^2$                                                     |
| Schulz ve Fasol | $\sigma_s$  | $\frac{P_0}{(P_s - P_0)}$                                                                     | $\frac{\xi^2 \cdot \hat{\sigma}_L}{1 - \xi^2 \cdot \hat{\sigma}_L}$            | $\hat{\sigma}_L = \left( \frac{\sigma_s}{1 + \sigma_s} \right) \cdot \frac{1}{\xi^2}$   |
| Sanger          | $W$         | $\frac{(P_0 - P_v)}{\rho \cdot (V_n^2 / 2 \cdot g_c)}$                                        | $\xi^2 \cdot \sigma_L$                                                         | $\sigma_L = W / \xi^2$                                                                  |
| Hansen ve Na    | $\sigma$    | $\frac{(P_0 - P_v)}{\rho \cdot (V_s^2 / 2 \cdot g_c)}$                                        | $\sigma_L$                                                                     | $\sigma_L = \sigma$                                                                     |
| Cunningham      | $\lambda_c$ | $\frac{\rho \cdot (V_s^2 / 2 \cdot g_c)}{(P_0 - P_v)}$                                        | $\frac{1}{\sigma_L}$                                                           | $\sigma_L = \frac{1}{\lambda_c}$                                                        |
| Cunningham      | $\gamma$    | $\rho \cdot V_s^2 / 2 \cdot g_c$                                                              | $\sigma_L = \frac{NPSH}{\gamma}$                                               | $\sigma_L = \frac{NPSH}{\gamma}$                                                        |
| La Verne        | $S_j$       | $\left( \frac{P_1 - P_d}{P_0 - P_v} \right)^{3/4} \cdot \left( \frac{Q_s}{Q_n} \right)^{1/2}$ | $\left( \frac{\sigma_1 - 1}{\xi^2 \cdot \sigma_L} \right)^{3/4} \cdot M^{1/2}$ | $\sigma_L = \left[ - \left( \frac{\xi^{3/2} \cdot S_1}{\sqrt{M}} \right)^{4/3} \right]$ |

Tablo 2. Deneysel verilerin karşılaştırılması.

| Referans                            | R                                | $\sigma_L$    | Akışkan |
|-------------------------------------|----------------------------------|---------------|---------|
| 1937 Gosline ve O'Brien /8/         | 0.25,0.326,0.419                 | 1.02-1.67     | Su      |
| 1954,1968 Cunningham /5/            | 0.1-0.6                          | 1.35-1.67     | Yağlar  |
| 1954,1968 Cunningham /5/            | 0.174                            | 0.83 (a)      | Yağ     |
| 1956 Vogel /20/                     | 0.334                            | 1.37-1.54     | Su      |
| 1958 Bonnington /2/                 | 0.25,0.562                       | 1.00-1.50     | Su      |
| 1958 Schulz ve Fasol /17/           | 0.107                            | 1.22-1.37     | Su      |
| 1959 Maslin /13/                    | 0.351,0.410,0.425<br>0.484,0.530 | 1.05-1.25     | Su      |
| 1964 Murdock /6/                    | 0.0236,0.0511                    | 1.74-2.12 (e) | Yağ     |
| 1964 Mueller /6/                    | 0.2                              | 6.9-7.7 (b)   | Su      |
| 1965 Lewis /12/                     | 0.055                            | 1.39          | Cıva    |
| 1965 La Verne /11/                  | 0.107                            | 0.625 (a)     | Su      |
| 1968 Hansen ve Na /9/               | 0.25                             | 1.36          | Su      |
| 1968 Sanger /16/                    | 0.066,0.197                      | 0.8-1.33 (c)  | Su      |
| 1969 Cunningham,Hansen<br>ve Na /6/ | 0.295,0.34,0.50                  | 1.10-1.33     | Su      |
| 1969 Brown /6/                      | 0.129-0.517                      | 0.8-1.5 (d)   | Yağ     |

- a) Kaviteasyon zamanının gecikmesi geçiş deneylerinde normal olmayan şekilde düşük değerlere sebep olmaktadır.
- b) Lüle ucunda, kaviteasyonu önlemek için sınırlı bir ikincil akış deliği oluşturulmuştur.
- c) Lüle dışında ve boğaz girişinde dikkatli akış düzenlemesi kullanılmıştır.

d)  $\sigma_L$  değerleri değişik pompa dizaynlarıyla ilgilidir. Detay yoktur.

e) Yüksek  $\sigma_L$  değerleri muhtemelen kısa konik boğaz girişinden kaynaklanmaktadır.

Çok küçük R değerleri bir faktör olabilir.

Kavitasyon parametresi için bugüne kadar pek çok araştırma yapılmıştır. Bu çalışmaların özeti Tablo 1'de, bu parametrelerle, R alanlar oranı ve akışkan benzerliği arasındaki ilişkiler de Tablo 2'de gösterilmiştir.

Öte yandan doğrudan kullanılabilcek bir kavitasyon parametresi için aşağıdaki denklem önerilmektedir:

$$\sigma = \frac{H_2 - P_v/\gamma}{H_3 - H_2} \quad (3.2)$$

Burada  $H_2$ , enjektörlü pompa girişindeki ikinci sıvının toplam yüksekliği,  $H_3 - H_2$  pompadaki ikinci sıvının toplam kaldırma yüksekliği ve  $P_v$ , ikinci sıvının doymuş buhar basıncıdır.

Tablo 2'deki beş durumda, dipnotlar oldukça yüksek veya düşük  $\sigma_L$  değerlerinin hesaplanması için gerekli olan özel şartlardır. Bu özel durumların yanında, Tablo 2,  $\sigma_L = 0.8 - 1.67$  arasında olduğu 11 referansı göstermektedir. Genel kullanım için  $\sigma_L = 1.35$ 'lik bir değer tavsiye edilmektedir.



### 3.2. Kavitasyon Parametresinin Bağımlılığı

İdeal olarak bir kavitasyon sayısı veya indeksi sadece  $P_0 - P_v$  ve hız etkilerini yansıtmalıdır. Bugüne kadar elde edilen verilerin incelenmesi  $\sigma_L$ 'nin pompa dizaynı veya akışkan özelliklerinin "birinci derece" etkilerinden uzak olduğunu göstermektedir. Tavsiye edilen indeks aşağıda belirtilen pompa akış hattı detaylarından ve çalışma faktörlerinden bazı oranda etkilenmektedir.

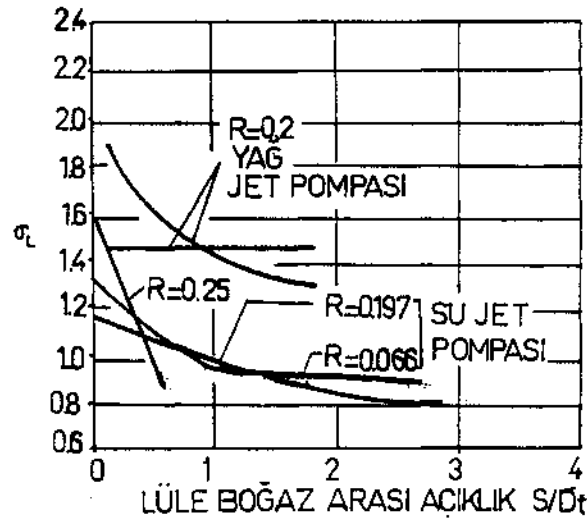
#### 3.2.1. Lüle Boğaz Arası Açıklık:

Enjektörlü pompanın performansının tanımlanmasında (kavitasyonsuz olarak) kullanılan denklemlerle lülenin ucu boğaz girişi yüzeyinde kabul edilmiştir.

Uygulamada deneyler, lülenin hem iç hem de dış taraftan akış hatlarına uygun şekilde dizayn edilmesiyle, lülenin geri çekilmesinin kavitasyonsuz pompa verimini geliştirdiğini göstermektedir. Bu şartlarda normalde % 20-30 olan verim % 40'a kadar yükselmektedir.

Kavitasyonun, lüle-boğaz arasındaki açıklığa bağımlılığı üzerine elde edilen bilgiler  $\sigma_L$  terimleriyle Şekil 3.2'de gösterilmiştir.

Yapılan araştırmalar, lülenin geri çekilmesinin  $M_L$  sınırlayıcı akış oranını geliştirdiğini göstermiştir. Yine, lülenin 1.0 ve 2.58 çap kadar geri çekilmesinin boğaz giriş basıncını % 20-40 artırdığı bulunmuştur. Dolayısıyla kavitasyon azalmıştır. Lülenin geri çekilmesi delik alanını artırırken ikincil akışkan hızını azaltır. Böylece statik basınç yükselirken, kavitasyon düşer.



Şekil 3.2.  $\sigma_L$ 'nin lüle-boğaz açıklığına bağımlılığı./6/.

Sonuç olarak, lüle boğaz arasındaki açıklığın boğaz çapına oranının  $(S/D_t) = 1.0$  olması halinde, kavitasyon direnci için en iyi seçim olduğu ortaya çıkmaktadır./6/.

### 3.2.2. İkincil Akış Halkasının Şekli:

İkincil akışın halka profilinin düzgün olmasıyla  $\sigma_L$  değeri normal lüle ve boğaz girişleri  $(S/D_t \geq 1.0)$  ile 1.3-1.7 düzeyinden  $\sigma_L = 0.9$  veya daha iyi düzeye getirilebilir. İnce duvarlı lüleler, pompaların çabuk kavitasyona uğramalarına sebep olurlar./6/.

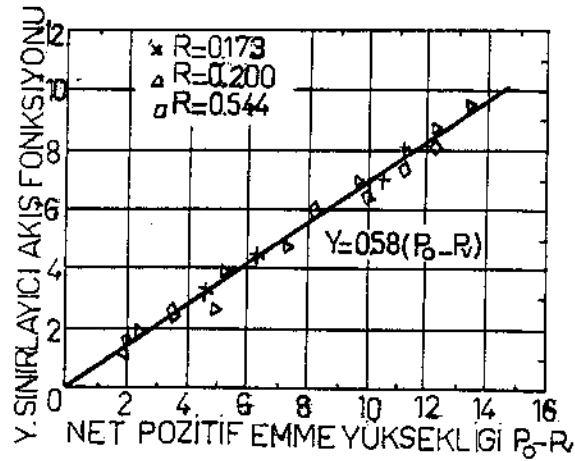
### 3.2.3. Lüle İç Dizaynı:

Aynı lüle-boğaz alan oranına sahip üç delikli bir lüle, tek jetli bir

lüleye nazaran boğaz basıncını önemli oranda artırır ve bu durum civa için kavitasyon sınırını önemli miktarda geliştirir./12/.

### 3.2.4. Lüle Boğaz Alan Oranı (R):

R, normal çalışma için yükseklik-akış oranı karakteristiğini belirleyen anahtar bir parametre olmasına rağmen, bağıl kavitasyon eğilimine yani  $M_L/M_{mep}$  oranına hiç bir etkisi yoktur.



Şekil 3.3. Sentetik ve düşük viskoziteli yağlar için  $Y-(P_0-P_v)$  enjektörlü pompa kavitasyon sonuçları (Cunnigham).

$R=0,173-0,544$  için Şekil 3.3'deki veriler  $Y-(P_0-P_v)$  eğrisinin ve  $\sigma_L$  eğiminin R'den bağımsız olduğunu göstermektedir. Şekil 3.4'de görüldüğü gibi Sanger'in  $M_L$  verilerine dayanan  $Y-(P_0-P_v)$  hatları  $R=0,066$  ve  $0,197$  için de aynıdır. Buradan  $S/D_t$ 'nin önemli etkisi görülmektedir.  $S/D_t=0$  için genel Y hattının eğimi  $\sigma_L=1,36$  iken her iki R değerleri için  $\sigma_L=1,0$  de  $S/D_t=1.0$  olmaktadır./6/.

girişindeki  $P_0$ 'a boşaltılmasıyla kavitasyonun teşvik edildiği ve  $\sigma_L=2,5-3,3$  gibi ciddi değerler verdiği ortaya çıkmaktadır. Bu nedenle yüksek oranda gaz çözebilen sıvılarla çalışıldığı zaman, çözünmüş gaz  $\sigma_L$  değişiminin bir kaynağı olarak görülmektedir./6/.

### 3.3. Kavitasyon ve Kavitasyonla Sınırlı Akış Mekanizması

Daldırılan serbest jetler ve enjektörlü pompalarla ilgili çalışmalar aşağıdaki sonuçları vermiştir.

- a) Önce jet çevresindeki kayan tabakada kavitasyon başlangıcı görülür ve bu, gözle görünmeden önce fotoğraf ve sese duyarlı cihazlarla tesbit edilebilir.
- b) Kavitasyon, jet hızının artırılmasıyla ve karışma bölgesindeki mutlak basıncın azaltılmasıyla yükselir. Enjektörlü pompalarda bu basınç etkisi  $P_0$  ve  $P_d$ 'nin azalmasından kaynaklanmaktadır. Bu nedenle basınç faktörleri, lüle çıkışındaki akış hızı, boğaz giriş basıncı ve difüzör çıkış basıncı olmaktadır.
- c) Enjektörlü pompa karışım boğazında, jet boyunca meydana gelen kabarcık oluşumunun pompa performansına etkisi çok azdır veya yoktur.
- d) Kavitasyonla sınırlı akış, gözenek bulutunun duvara çarparak boğazı sarsacak duruma geldiği zaman oluşur. Duvar teması, önce boğaz girişinin yanında veya boğazdaki aşağı akışta oluşabilir.
- e) Deneyisel sonuçlar, sınırlayıcı akış şartının boğaz basıncında

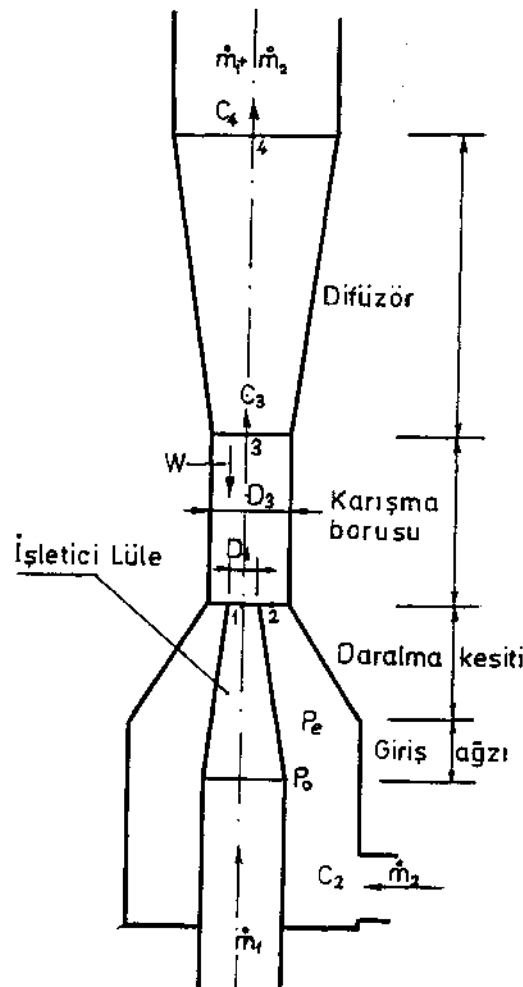
kritik seviyeye ( $P_c$ ) doğru bir azalmayla ortaya çıktığını göstermiştir. Su jet pompaları için  $P_c = P_v$ 'dir.

Çözünmüş gazlar için yüksek kapasiteli, düşük buhar basınçlı sıvıların sınırlayıcı akışı  $P_c \approx 0$ 'da oluşur. Buna "gaz kavitasyonu" denilebilir ve pompa kullanımındaki net etki su pompalarına oldukça benzerdir.

- f)  $P_d$ 'nin daha fazla azalmasının ikincil akışa bir etkisi yoktur. Gözle görünür şekilde, sonuç, boğazı doldurana kadar kavitasyon "cephesi" boyundaki bir büyümedir.
- g) Bazı noktalarda, bu sarsılmış akış şartı, şüphesiz, iki fazlı sıkıştırılabilir akış olayından etkilenmektedir. Kabarcık karışımlarındaki ses hızı oldukça düşüktür ve iki fazlı lülelerin sarsılması oldukça belirgindir. Bu yüzden ikincil sıvının buharlaşma basıncının tesbiti, ikincil akış hacimsel debisi için limit teşkil eder; bu arada karışımın sarsılması boğaz çıkışında oluşur. Belirli lüle akış şartları altında, bu ikincil sınır tesbit edilemez, fakat değişken lüle akış pompaları için performans eğrileri etkilenir./6/.

#### 4. ENJEKTÖRLÜ POMPA SİSTEMİNİN İŞLETME NOKTASININ TESBİTİ

İşletme noktasının tesbitinde, enjektör pompa ve taşıyıcı borunun karakteristik eğrilerinden faydalanılır (Şekil 1.2). Her iki karakteristik eğrinin kesim noktası işletme noktasını belirler.



Şekil 4.1. Enjektörün şematik resmi./21/.

Tesisin karakteristik eğrisi, tüm sistemin basınç blançosu hesaplanarak bulunabilir. Enjektörde oluşturulacak basınç yükselmesi; emme odası ile difüzör çıkışı arasında bulunan giriş ağzında, daralma kesitinde, karışma borusunda ve difüzör içinde meydana gelen basınç

değişimleri toplamıyla hesaplanır (Şekil4.1). /19/. Yani;

$$\Delta P = P_4 - P_0 = (P_e - P_0) + (P_2 - P_e) + (P_3 - P_2) + (P_4 - P_3) \quad (4.1)$$

Giriş ağzı, daralma kesiti ve difüzördeki basınç değişimleri Bernoulli denklemi ile hesaplanabilir. Çünkü buralarda yalnızca dinamik ve statik basınçlar arasında değişimler oluşmaktadır. Lüle kayıp katsayısı  $\zeta_N$  ve difüzör verimi  $\eta_D$  bu bölgelerde Bernoulli denklemi yazıldığında göz önünde bulundurulmalıdır.  $\rho$  suyun yoğunluğunu göstermek üzere;

$$P_e - P_0 = (\rho_2/2) \cdot (C_0^2 - C_e^2) + (Z_0 - Z_e) \cdot \rho_2 \cdot g \quad (4.2)$$

$$P_2 - P_e = \frac{1}{\zeta_N} \cdot \frac{\rho_2}{2} \cdot (C_e^2 - C_2^2) + (Z_e - Z_2) \cdot \rho_2 \cdot g \quad (4.3)$$

$$P_4 - P_3 = \eta_D \cdot \frac{\rho_3}{2} \cdot (C_3^2 - C_4^2) + (Z_3 - Z_4) \cdot \rho_3 \cdot g \quad (4.4)$$

yazılabilir. Karışma borusu için impuls yasasından gidersek;

$$\dot{m}_1 \cdot C_1 + \dot{m}_2 \cdot C_2 - (\dot{m}_1 + \dot{m}_2) \cdot C_3 = A_3 \cdot (P_3 - P_2) + W - (Z_2 - Z_3) \cdot \rho_3 \cdot g \cdot A_3 \quad (4.5)$$

$$P_3 - P_2 = \frac{1}{A_3} \cdot (\dot{m}_1 \cdot C_1 + \dot{m}_2 \cdot C_2 - (\dot{m}_1 + \dot{m}_2) \cdot C_3) - \frac{W}{A_3} + (Z_2 - Z_3) \cdot \rho_3 \cdot g \cdot A_3 \quad (4.6)$$

(4.2), (4.3), (4.4) ve (4.6) denklemlerini (4.1) denkleminde yerlerine yazarsak ve aşağıdaki kabulleri yaparsak,

$$(Z_0 - Z_e + Z_e - Z_2 + Z_2 - Z_3 + Z_3 - Z_4) \cdot \rho \cdot g = (Z_0 - Z_4) \cdot \rho \cdot g$$

$(Z_0 - Z_4) \cdot \rho \cdot g$  'yi hesapları kolaylaştırmak için ihmal edelim.

Karışma borusunda sürtünmeden dolayı meydana gelen basınç kaybı;

$$\frac{W}{A_3} = 3K \cdot \frac{\rho_3}{2} \cdot C_3^2 \quad (4.7)$$

Kütleli debi oranları (Taşınan debi/İşleten debi)

$$m = \frac{\dot{m}_2}{\dot{m}_1} \quad (4.8)$$

Basınçların oranı (Taşıma yüksekliği/İşletme yüksekliği)

$$\frac{\Delta P}{q_1} = \frac{\Delta P}{\frac{\rho_1}{2} \cdot C_1^2} \quad (4.9)$$

Yoğunlukların oranı;

$$k = \frac{\rho_1}{\rho_2} \quad (4.10)$$

Yüzeylerin oranı;

$$\frac{A_3}{A_1} = \frac{(D_3)^2}{(D_1)^2} = f \quad (4.11)$$



Burada yapılan kabullerde,  $\mathfrak{F}_R$  boru direnç katsayısı ve  $q_1$  ise işletici lülenin dinamik basıncıdır.

Bu kabuller yapıldıktan sonra (4.1) denklemi,  $q_1$ 'e bölünür ve gerekli kısaltmalar yapılırsa,

$$\frac{\Delta P}{q_1} = \frac{C_0^2}{C_1^2} \cdot \frac{1}{k} + \frac{2}{f} + \frac{2 \cdot m \cdot k^2}{f \cdot (f-1)} - \frac{m \cdot k^2}{(f-1)} - \frac{(1+m) \cdot (1+m \cdot k)^2}{f}$$

$$(2 + \xi - \eta_D \cdot [1 - \frac{C_4^2}{C_3^2}]) \quad (4.12)$$

elde edilir. Bu denklemde,  $\xi$  düzeltme faktörüdür. Bu düzeltme faktörü, borunun direnç katsayısı  $\mathfrak{F}_R$ , daralma kesiti ve karışma borusu içerisindeki sürtünmeler, işletici lülenin ucundaki et kalınlığından dolayı ortaya çıkacak sürtünmeler ve benzeri sürtünmelerden doğan kayıpları kapsar.

Yukarıdaki denklemde;

$$2 + \xi - \eta_D \cdot [1 - \frac{C_4^2}{C_3^2}] = \zeta \quad (4.13)$$

şeklinde gösterilebilir.

$\zeta$  sistem katsayısı diye isimlendirilir. (4.13) denklemi ve  $C_0/C_1 = 0$  alınarak  $(C_1 \gg C_0)$  olduğundan ve (4.12) denkleminde  $(C_0/C_1)^2$ 'si

alındığından  $(C_0/C_1) = 0$  kabul edildi.) (4.12) denklemi aşağıdaki şekilde kısaltılabilecektir.

$$\frac{\Delta P}{q_1} = \frac{2}{f} + \frac{2.m.k}{f.(f-1)} - \frac{m.k}{(f-1)} - \frac{(1+m).(1+m.k)}{f} \cdot \zeta \quad (4.14)$$

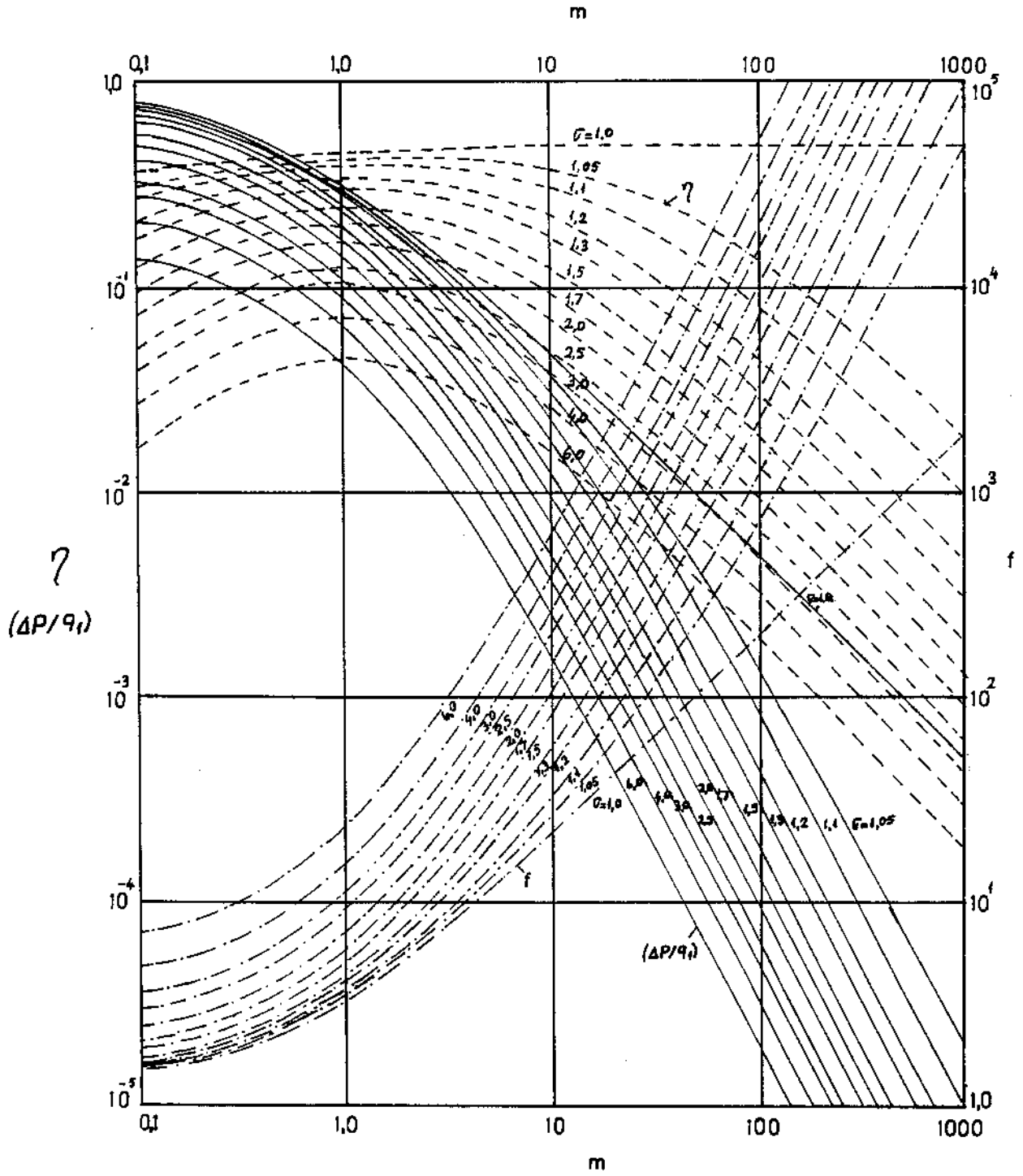
Enjektörlü pompanın verimi ise;

$$\eta = \frac{\dot{m}_2 \cdot \rho_1 \cdot \Delta P}{\dot{m}_1 \cdot \rho_2 \cdot (q_1 - \Delta P)} = m.k. \cdot \frac{\Delta P/q_1}{1 - (\Delta P/q_1)} \quad (4.15)$$

ifadesiyle hesaplanır./1/.

Şekil 4.2'de görülen diyagramdaki  $\zeta_A$  değerlerine bağlı olarak çizilen eğriler yardımıyla değişik basınç değerleri doğrultusundaki çalışma şartlarının önceden tesbit edilmesi mümkün olmaktadır. Ancak bunun belirlenebilmesi için sistem katsayısının ( $\zeta_A$ ) bilinmesi gerekmektedir. Doğru ölçüm için ( $\zeta_A$ ) değeri, (4.13) denkleminde bulunur.

Deneysel çalışmalarda, işletme noktası  $m$  ve  $\Delta p/q_1$ 'e bağlı olarak belirlenir ve buradan alınan değerler yardımıyla (4.14) ve (4.13) denklemlerinden  $\zeta$  ve  $\xi$  değerleri hesaplanabilir.



Şekil 4.2. Çalışma diyagramı./1/.

## 5. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

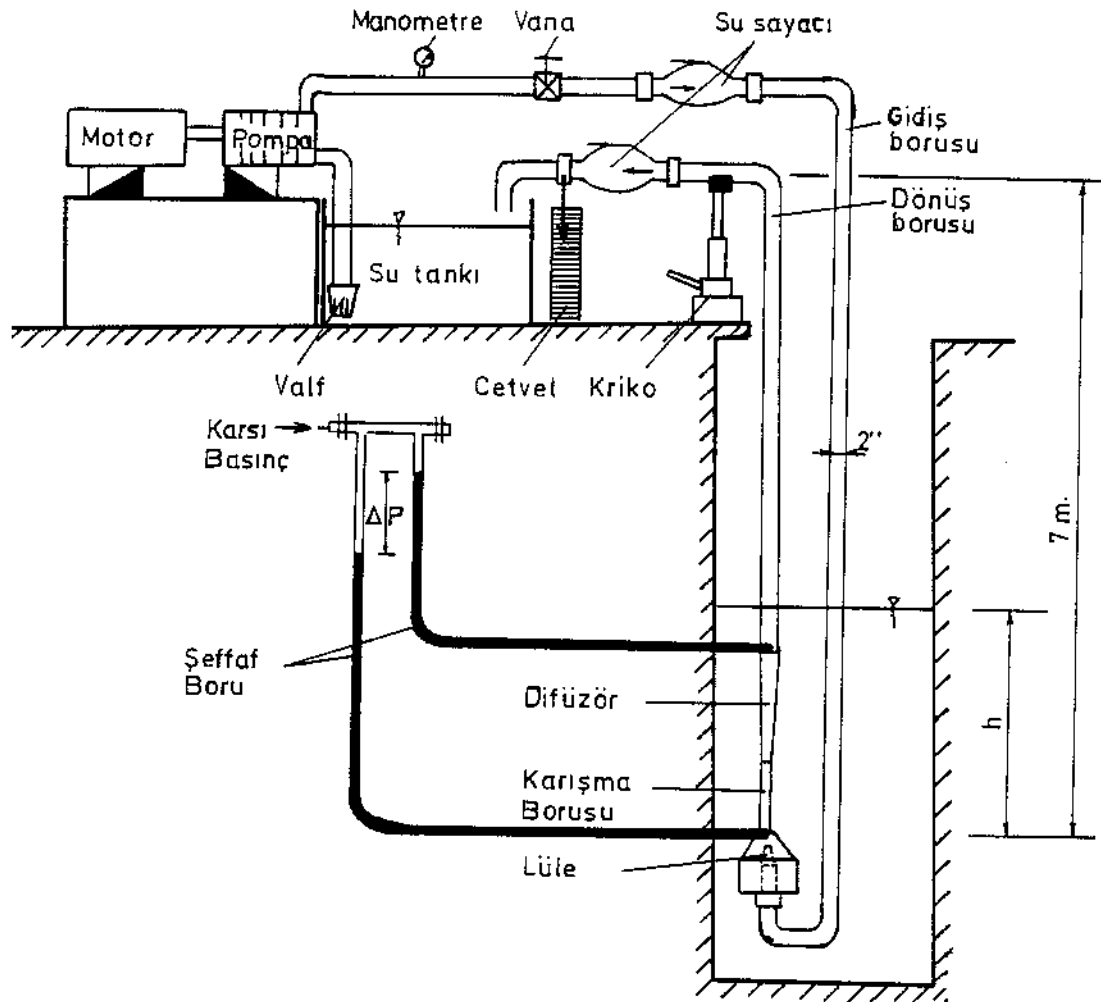
Bölüm 2.2'de açıklandığı gibi; "Lülenin boğazdan uzaklaştırılması halinde, kayma tabakasının dış kenarı boğazdan önce yerleştirilmiş funel şeklindeki kısımla temas ettiği taktirde akışa karşı aksenal direnç artar ve böylece pompa verimi düşer. Öte yandan bunun tersi olarak, kayma tabakasının dış kenarı boğaza doğru derinleşirse, lüle çıkışı ile boğaz girişi arasındaki mesafe kısalır. Böylece lülenin dış yüzeyi ve funel klavuzu tarafından oluşturulan ikinci sıvının geçiti daralır; ikinci sıvıya karşı direnç artar ve genel verim düşer." teorisinden hareketle, lüle-boğaz arasındaki mesafenin belirli bir optimum değer vereceği düşüncesiyle bir deney seti kurulmuştur. Dolayısıyla, sistemin dizaynı da bu düşünceye hizmet edecek şekilde tasarlanmıştır. Mevcut imkanlar ölçüsünde, taşıma yüksekliği olabildiğince yüksek (7 m.) seçilerek, lüle-boğaz mesafesinin, yüzeye taşınacak net su debisine etkisi araştırılmıştır.

Deneyler sırasında sistemin performansını etkileyebilecek, alanlar oranı  $R$ , işletici su debisi  $\dot{V}_1$  ve enjektörlü pompanın kuyu içerisinde suya dalma derinliği  $h$ , gibi faktörler değiştirilmek suretiyle, çekilebilecek maksimum net su debisini verecek lüle-boğaz mesafesindeki değişimler gözlenmiştir. Ayrıca lüle-boğaz mesafesindeki değişimin enjektörlü pompada oluşturulan basınç farkına etkisi de araştırılmıştır.

Şekil 11'de görüldüğü gibi, kavitasyonun sistemde yarattığı etkiyi minimum değerde ( $\sigma_L \approx 1$ ) tutabilmek amacıyla, lüle boğaz alanı oranı  $R=0,097$  ve  $R= 0,055$  gibi düşük oranlar seçilmiştir.

### 5.1. Deney setinin Kurulması ve Tanıtımı:

Deney setinin şematik resmi Şekil 5.1'de görülmektedir. Deney setinde, bölüm 1.2'de enjektörlü pompanın motoru olarak sözü edilen, lülede, gerekli potansiyel enerjiyi yaratabilmek amacıyla bir adet 5 kademeli santrifüj pompa kullanılmıştır. Giriş borusu üzerine montaj edilen bir manometre yardımıyla pompa çıkış basıncı tesbit edilebilmektedir. Şekil üzerinde görülen vana yardımıyla da işletici debiyi değiştirmek mümkün olmaktadır. Sistemde, işletici debi ve çekilen net debiyi tesbit etmek amacıyla iki adet su sayacı (hacim ölçer) kullanılmıştır. Çalışmanın hedefini teşkil eden, "Lüle-boğaz mesafesini değiştirmek" amacıyla dönüş borusu bir kriko aracılığıyla hareket ettirilmiş ve bu hareket miktarı zemin üzerine yerleştirilen bir cetvel yardımıyla kontrol edilmiştir. Yine deney seti üzerinde, enjektörlü pompa ve diğer bağlantı elemanlarının dışında 15.8 metre uzunluğunda 2" lik galvanizli boru kullanılmıştır. Ayrıca şekilde görülen şeffaf borular yardımıyla, boğaz girişi ve difüzör çıkışı arasındaki fark basıncı mSS cinsinden ölçebilecek bir piyezometre yapılmıştır. Kuyudan emilen su şekilde görülen su tankında toplanmış ve fazla su ise taşıma boruları vasıtasıyla tekrar kuyuya boşaltılmıştır.



Şekil 5.1. Deney setinin şematik resmi.

### 5.1.1. Santrifūj Pompa

#### 5.1.1.1. Pompa Tahrik Motorunun Özellikleri:

Güç : 4 kW : 5,5 BG.

Çalışma Voltajı : 380 V

Devir Sayısı : 2880  $\text{dak}^{-1}$

Frekans : 50 Hz.

$\cos \varphi$  : 0,89

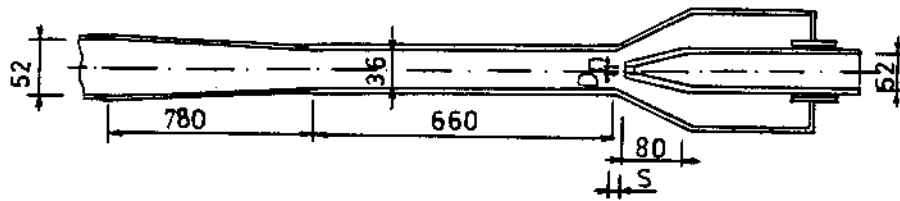
### 5.1.1.2. Pompa Özellikleri:

|               |                            |
|---------------|----------------------------|
| Model         | : GRV                      |
| Kademe Sayısı | : 5                        |
| Debi          | : $6 \text{ m}^3/\text{h}$ |
| Güç           | : 5,5 BG.                  |
| Devir Sayısı  | : $2800 \text{ dak}^{-1}$  |
| Verim         | : % 43                     |
| Hmp           | : 74 m.                    |
| Standart      | : TS 268                   |

### 5.1.2 Enjektörlü Pompa:

Enjektörlü pompanın komple resmi şematik olarak Şekil 5.2'de gösterilmiştir.

$R= 0,055$  alan oranlı deneysel çalışmalarda kullanılan lüle için daralma oranı  $n= 0,104$ ,  $R= 0,097$  alan oranlı çalışmalarda kullanılan lüle için daralma oranı ise  $n= 0,109$ 'dur.

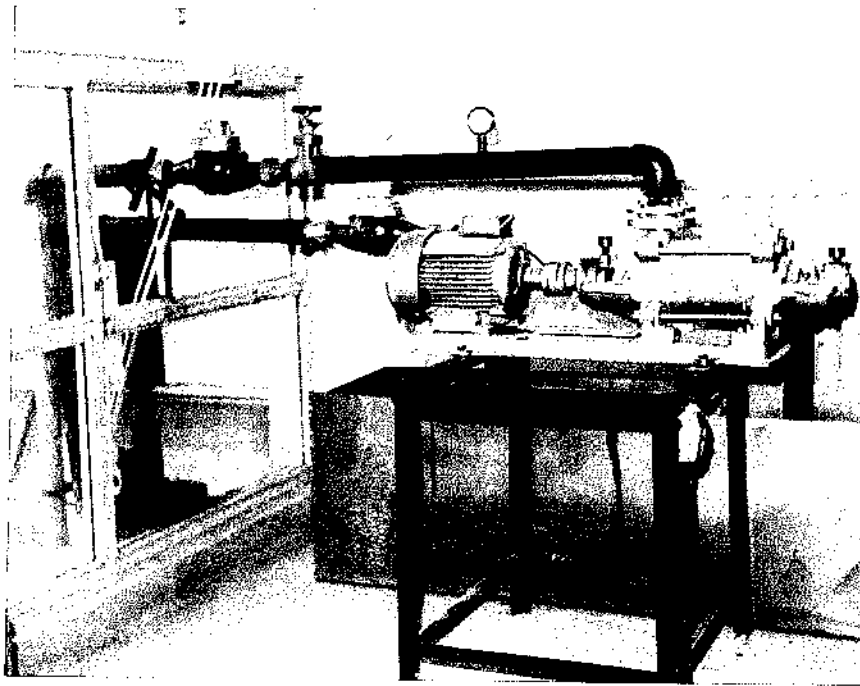


Şekil 5.2. Deney setinde kullanılan enjektörlü pompa ve boyutları.

Lüle ve karışma borusu şekilde görüldüğü gibi enjektörlü pompa düşey ekseninde serbest olarak hareket edebilecek şekilde dizayn edilmiştir.

### 5.1.3. Su Sayacı ve Manometre Özellikleri:

Deneyler esnasındaki işletici debi ve işletici debi+emilen su debisini ölçmek amacıyla kullanılan su sayaçları TS 824'e göre imal edilmişlerdir. Her iki su sayacı da saatte maksimum  $20 \text{ m}^3$ 'lük bir akışkan hacmi ölçebilecek kapasitededir. Bağlantı çapları 40 mm. olan bu sayaçlar, çok hüzmeli ve 0,0001 hassasiyettedirler.

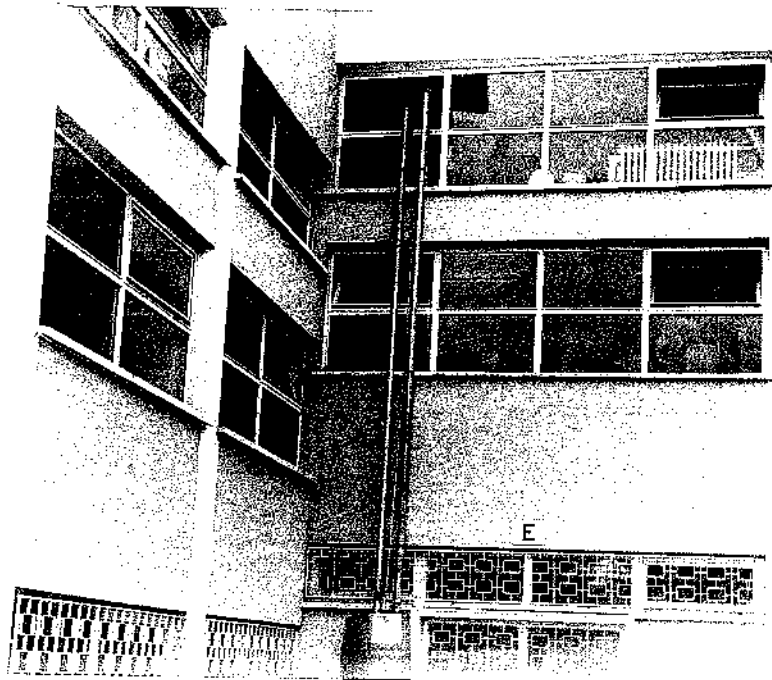


Resim 1. Ölçüm odasının komple resmi.



Sistemde kullanılan manometre ise 0,05 hassasiyetteki bölüntülere sahip olup maksimum kapasitesi 100 mSS'dur.

Bu ölçü aletleriyle, santrifüj pompanın deney seti üzerinde bağlantı şekli Resim 1'de görülmektedir.



Resim 2. Pompa sisteminin kuyu bağlantı resmi.



Resim 3. Enjektör Pompa.

### 5.2. Deneyin Yapılışı:

Deneye ilk olarak, sistemin çalıştırılıp kuyudan su çekilmesi gözlemlendikten sonra işletici debinin tesbit edilmesiyle başlanır. İşletici debi, sistemdeki gidiş borusu üzerinde yer alan sayaç üzerinden belirli bir zaman aralığındaki (deneyler esnasında 1 dakika olarak belirlenmiştir) hacimsel değişim okunarak belirlenir. Okunan değer ( $m^3/dak$ ) cinsinden hacimsel debi değeridir, ( $\dot{V}_1$ ). İşletici kütleli debiyi bulabilmek amacıyla;

$$\dot{m}_1 = \dot{V}_1 \cdot \rho$$

formülü kullanılır. Sistemde işletici akışkan ve çekilen akışkan olarak temiz su kullanıldığından  $\rho_1 = \rho_2 = 1000 \text{ kg/m}^3$ 'tür.

Kuyudan çekilen su miktarını bulabilmek için yine sistem üzerindeki ikinci saygaktan 1 dakikalık zaman sürecinde akan su hacmi okunur. Okunan bu değer  $\dot{V} = \dot{V}_1 + \dot{V}_2$  hacimsel debisidir. Kuyudan çekilen net debi ise  $\dot{V}_2 = \dot{V} - \dot{V}_1$ 'dir.

Deney sonuçları, R alan oranı, işletici debi ve kuyudaki su yüksekliği sabit tutularak; lüle-boğaz mesafesinin 0 ile 118 mm'lik değişimindeki hacimsel debilerin okunmasıyla elde edilmiştir. Bir deneyin tamamlanmasından sonra, bir sonraki deney için sabit tutulan değerlerden bir tanesi değiştirilerek, yukarıda yapılan işlemler tekrar yapılmıştır. Bulunan sonuçlar tablo ve grafik halinde aşağıda sunulmuştur.

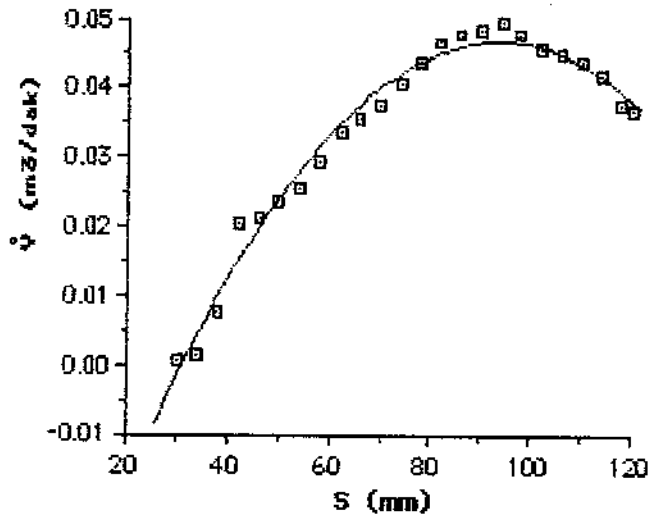
Tablo 3. Deney sonuçları.

| No | S (a) | $\dot{V}$ (b) | $\dot{V}$ (c) | $\dot{V}$ (d) | $\dot{V}$ (e) | $\dot{V}$ (f) |
|----|-------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 1  | 28    | -0.001        | -0.001        | 0.001         | 0.002         | -0.011        |
| 2  | 32    | 0             | 0.001         | 0.004         | 0.004         | -0.01         |
| 3  | 36    | 0.006         | 0.002         | 0.007         | 0.0045        | -0.005        |
| 4  | 40    | 0.019         | 0.004         | 0.009         | 0.006         | -0.002        |
| 5  | 44    | 0.02          | 0.006         | 0.01          | 0.01          | -0.001        |
| 6  | 48    | 0.022         | 0.01          | 0.011         | 0.013         | 0             |
| 7  | 52    | 0.024         | 0.013         | 0.013         | 0.014         | 0.001         |
| 8  | 56    | 0.028         | 0.017         | 0.014         | 0.015         | 0.003         |
| 9  | 60    | 0.032         | 0.028         | 0.016         | 0.016         | 0.005         |
| 10 | 64    | 0.034         | 0.030         | 0.017         | 0.018         | 0.007         |
| 11 | 68    | 0.036         | 0.035         | 0.0185        | 0.02          | 0.008         |
| 12 | 72    | 0.039         | 0.038         | 0.02          | 0.021         | 0.009         |
| 13 | 76    | 0.042         | 0.039         | 0.024         | 0.023         | 0.01          |
| 14 | 80    | 0.045         | 0.04          | 0.026         | 0.025         | 0.012         |
| 15 | 84    | 0.046         | 0.041         | 0.028         | 0.028         | 0.014         |
| 16 | 88    | 0.047         | 0.04          | 0.029         | 0.029         | 0.015         |
| 17 | 92    | 0.048         | 0.039         | 0.028         | 0.03          | 0.018         |
| 18 | 96    | 0.046         | 0.037         | 0.027         | 0.031         | 0.019         |
| 19 | 100   | 0.044         | 0.036         | 0.026         | 0.03          | 0.021         |
| 20 | 104   | 0.043         | 0.034         | 0.024         | 0.029         | 0.02          |
| 21 | 108   | 0.042         | 0.033         | 0.023         | 0.027         | 0.017         |
| 22 | 112   | 0.04          | 0.03          | 0.021         | 0.025         | 0.015         |
| 23 | 116   | 0.036         | 0.027         | 0.02          | 0.018         | 0.013         |
| 24 | 118   | 0.035         | 0.025         | 0.018         | 0.014         | 0.01          |

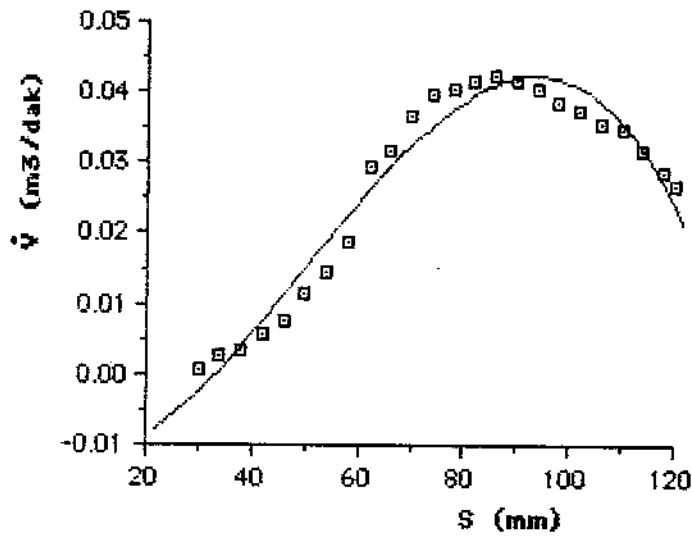
- a) Lüle-boğaz arasındaki mesafe.
- b) 1,40 m. su yüksekliğinde;  $R = 0,055$ 'te ve  $0,09 \text{ m}^3/\text{dak}$  işletici debi ile çekilen net debi.
- c) 1,10 m. su yüksekliğinde;  $R = 0,055$ 'te ve  $0,09 \text{ m}^3/\text{dak}$  işletici debi ile çekilen net debi.
- d) 0,75 m. su yüksekliğinde;  $R = 0,055$ 'te ve  $0,09 \text{ m}^3/\text{dak}$  işletici debi ile çekilen net debi.
- e) 0,75 m. su yüksekliğinde;  $R = 0,097$ 'de ve  $0,15 \text{ m}^3/\text{dak}$  işletici debi ile çekilen net debi.
- f) 0,10 m. su yüksekliğinde;  $R = 0,097$ 'de ve  $0,15 \text{ m}^3/\text{dak}$  işletici debi ile çekilen net debi.

Tablo 4. Enjektör pompadaki basınç farkının lüle-boğaz mesafesine göre değişim tablosu.

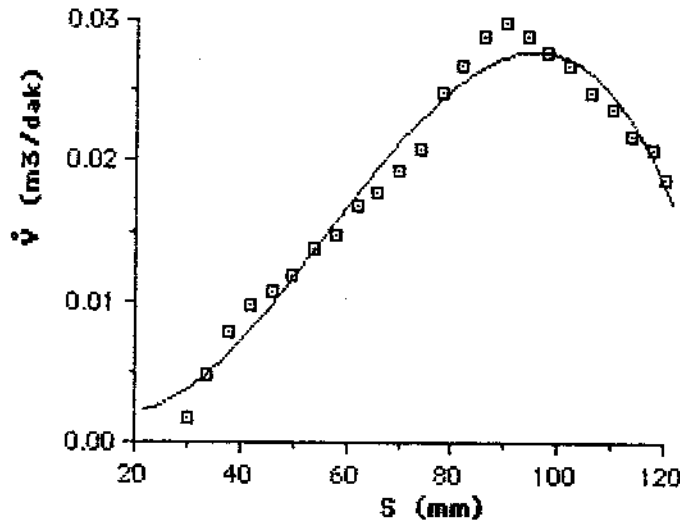
| Sıra No                                                 | 1   | 2     | 3    | 4    | 5    |
|---------------------------------------------------------|-----|-------|------|------|------|
| Boğaz girişi ile difüzör çıkışı ara. basınç farkı (mSS) | 1.5 | 0.775 | 0.46 | 0.21 | 0.12 |
| Lüle-Boğaz mesafesi (mm)                                | 52  | 68    | 84   | 104  | 118  |



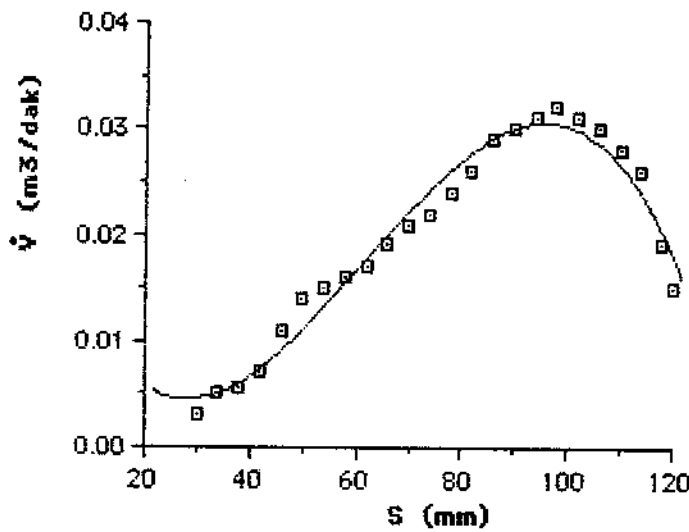
Şekil 5.3. 1.40 m. su yüksekliğinde,  $R = 0,055$  alan oranı ve  $\dot{V}_1 = 0,09 \text{ m}^3/\text{dak}$ 'da, çekilen net debi ile lüle-boğaz mesafesi arasındaki ilişki.



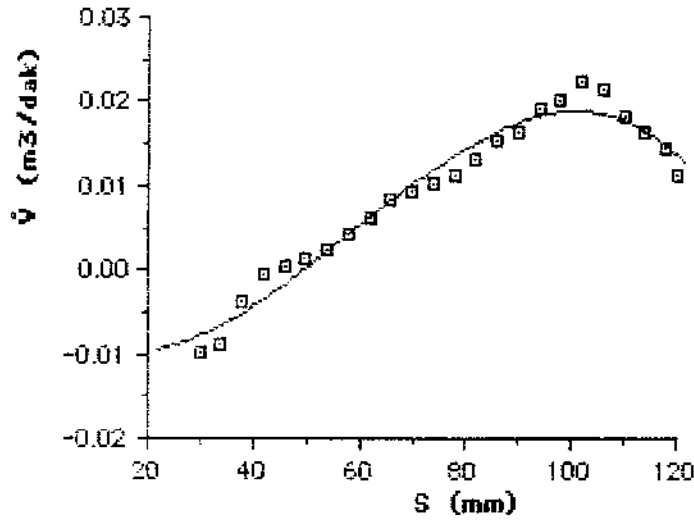
Şekil 5.4. 1.10 m. su yüksekliğinde,  $R = 0,055$  alan oranı ve  $\dot{V}_1 = 0,09 \text{ m}^3/\text{dak}$ 'da, çekilen net debi ile lüle-boğaz mesafesi arasındaki ilişki.



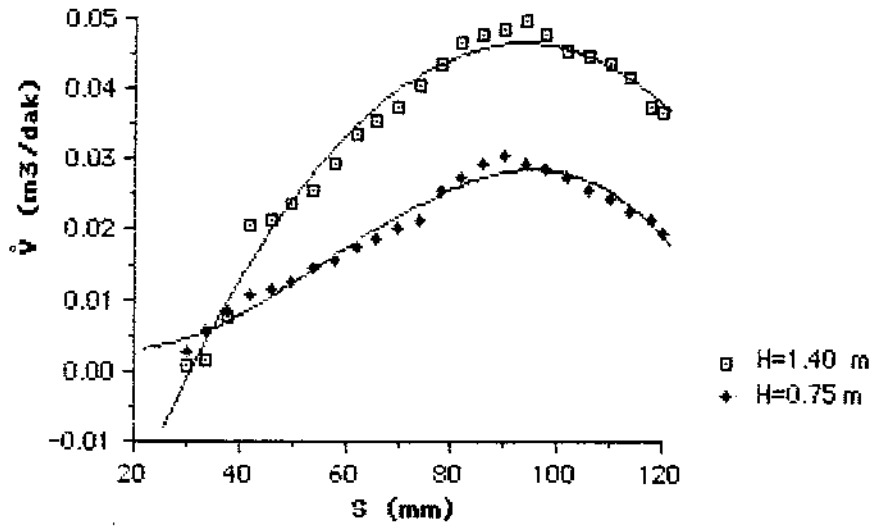
Şekil 5.5. 0.75 m. su yüksekliğinde,  $R=0,055$  alan oranı ve  $\dot{V}_1=0,09$  m<sup>3</sup>/dak'da, çekilen net debi ile lüle-boğaz mesafesi arasındaki ilişki.



Şekil 5.6. 0.75 m. su yüksekliğinde,  $R=0,097$  alan oranı ve  $\dot{V}_1=0,15$  m<sup>3</sup>/dak'da, çekilen net debi ile lüle-boğaz mesafesi arasındaki ilişki.

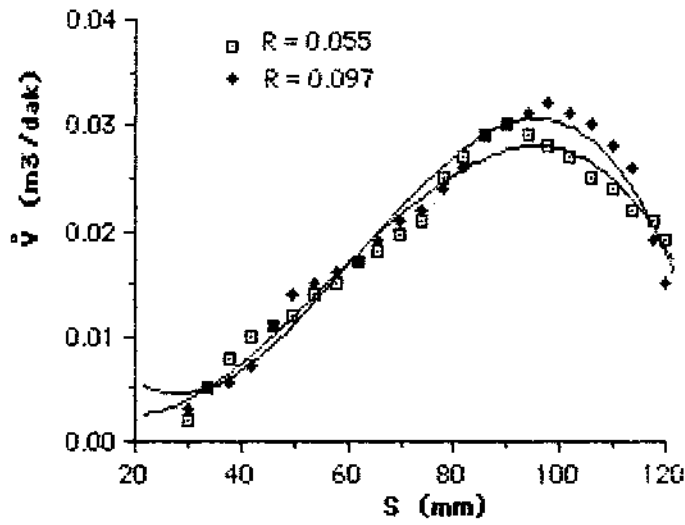


Şekil 5.7. 0.10 m. su yüksekliğinde,  $R=0,097$  alan oranı ve  $\dot{Q}_1=0,15 \text{ m}^3/\text{dak}$ 'da, çekilen net debi ile lüle-boğaz mesafesi arasındaki ilişki.

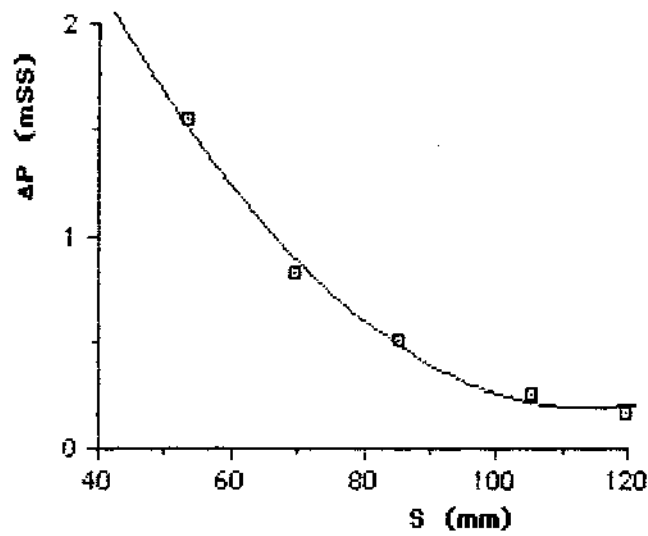


Şekil 5.8. Aynı alan oranı ( $R=0,055$ ) ve işletici debiye ( $\dot{Q}_1=0,09 \text{ m}^3/\text{dak}$ ) göre, değişen su yüksekliğindeki debi ile lüle-boğaz mesafesi arasındaki ilişki.





Şekil 5.9. Sabit su yüksekliğinde (0,75 m.) değişen işletici debi ve  $R$  alan oranında çalışan enjektörlü pompa sistemindeki  $\dot{V}_2$ - $S$  ilişkisi.



Şekil 5.10. Enjektör pompada boğaz girişi ve difüzör çıkışı arasındaki basınç farkıyla lüle-boğaz mesafesi arasındaki ilişki.

## 6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Deney sonuçları kısaca aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

1. Deneyler sonucunda, enjektörlü pompa sisteminde lüle-boğaz mesafesinin değiştirilmesiyle maksimum verimin elde edildiği optimum bir değerin olduğu ortaya çıkmıştır.
2. Elde edilen bu maksimum noktanın, enjektörlü pompanın performansını etkileyebilecek farklı şartlar altındaki değişim durumu ise şu şekilde özetlenebilir:
  - a) Şekil 5.3, 5.4, 5.5'teki R alan oranı sabit tutularak, kuyu içerisindeki su yüksekliğine bağlı olarak elde edilmiş eğrilere dikkat edilecek olursa; maksimum debinin elde edildiği optimum lüle-boğaz mesafesinin 84-92 mm. arasında olduğu görülmektedir. Burada, kuyudaki su yüksekliğinin artırılması çekilen su debisini artırdığı halde, optimum lüle-boğaz mesafesinde fazla bir değişiklik yaratmamıştır. Bu durum Şekil 5.8'de açık olarak görülmektedir.
  - b)  $R=0,097$  ve  $R=0,055$  alan oranlarında yapılan çalışmalar sonucunda ise maksimum debiye karşılık gelen lüle-boğaz mesafesinin 96-100 mm. arasında olduğu gözlenmiştir. Aynı su yüksekliğine sahip iki farklı alan oranıyla elde edilmiş eğriler karşılaştırılırsa (Şekil 5.9) yine maksimum debiyi veren lüle-boğaz mesafesinde fazla bir kaymanın olmadığı gözlenmektedir.
3. Çizilmiş olan tüm eğrilere dikkat edilecek olursa, 30-40 mm.'lik lüle-boğaz mesafesinde bir sıçramanın olduğu görülmektedir. Bu olay deneyler esnasında da kuyu içerisindeki su yüzeyine, kabarcık çıkması şeklinde gözlenmiştir. Eğrilerdeki bu sıçramanın nedeni ise; lülenin boğaza fazla yaklaşması ve lüle kesiti tesiriyle ikinci

akışa karşı bir direnç oluşturmaları sonucunda, bu noktalarda kavitasyon oluştuğu şeklinde açıklanabilir. Grafiklerdeki sıçrama bölgesi kavitasyonlu akıştan kavitasyonsuz akışa geçiş bölgesi olarak ifade edilebilir.

4. Deneyler göstermiştir ki; lüle-boğaz mesafesi küçüldükçe, enjektör pompada oluşturulan basınç farkı artmaktadır. Maksimum debinin elde edildiği lüle-boğaz mesafesindeki basınç farkı 0,20 mSS. civarındadır. 50 mm.'den daha düşük lüle-boğaz mesafelerinde (kavitasyonlu akış bölgelerinde) ise enjektördeki basınç farkı ölçülemeyecek kadar büyük değerlere çıkmıştır.

Bütün bu sonuçların ışığında; bir enjektörlü pompa sistemi kurulurken, yapılacak lüle-boğaz mesafesi ayarı sistem verimini büyük ölçüde etkileyecektir. Buna göre lüle-boğaz arasındaki mesafe, maksimum verimle çalışabilmek için,  $2,62.D_t - 3,12.D_t$  arasında seçilmelidir. Bu değer 32 mm'lik boğaz çapına sahip bir enjektör pompa sistemi için 84-100 mm arasında olmalıdır. Yine kavitasyonsuz çalışma için, lüle-boğaz mesafesinin en az  $1,5.D_t$  kadar seçilmesi gerekir.

Deneyler sonucunda kuyudaki su yüksekliğinin artırılmasıyla, çekilen net debi miktarında gözle görülebilir bir artış gözlemlendiğine göre; enjektörlü pompanın, su yüksekliğinin maksimum olduğu noktaya, yani; kuyu dibine kurulması uygun olacaktır.

### KAYNAKLAR

1. Blenke, N. , Bohner, K. "Untersuchungen zur Berechnung des Betriebsverhaltens von Treibstrahlförderern", Chemie-Ing-Techn. 35. Jahrg. Nr. 3, 1963.
2. Bonnington, S.T. "The Cavitation Limits of a Liquid-Liquid Jet Pump", B.H.R.A. RR605, British Hydromechanics Research Association, 1958.
3. Buran, D. "Jet Deneyi", F.Ü. Teknik Eğitim Fakültesi Makina Eğitimi Bölümü, (Bitirme Ödevi). Elazığ, 1987.
4. Chirist, F.C. "Obtaining Low Bottomhole Pressures in Deep Wells Using Hydraulic Jet Pumps", Society of Petroleum Engineers (SPE), May 1986.
5. Cunningham, R.G. "The Jet Pump as a Lubrication Oil Scavenge Pump For Aircraft Engines", W.A.D.C. July 1954.
6. Cunningham, R.G., Hansen, A.G. "Jet Pump Cavitation", Journal of Basic Engineering, September 1970.
7. Eren, H. "Hava Tüneli Boyutlandırılması", F.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü (Yüksek Lisans Tezi), Elazığ 1990.
8. Gosline, J.E., O'Brien, M.P. "The Water Jet Pump", University of California Publication in Engineering, Vol. 3, 1937.
9. Hansen, A.G., Na, T.Y. "A Jet Pump Cavitation Parameter Based on NPSH", ASME Winter Annual Meeting, New York City, 1968.
10. Hill, B.J. "Two-Dimensional Analysis of Flow in Jet Pumps" Journal of the Hydraulics Division, Vol. 99, No: HY7, July 1973.
11. La Verne, M.E. "A New Similarity Parameter for Correlation of Jet Pump Cavitation", Cavitation in Fluid Machinery, ASME Winter

- Annual Meeting, Chicago 1965.
12. Lewis, R.A. "An Experimental Analysis of a Jet Inducer With Multiple Nozzles", Symposium on Cavitation in Fluid Machinery, The ASME Annual Meeting, November 1965.
  13. Maslin, A.B. "Jet Pumps", Asso. of Eng. and Shipbuilding Draught-men, Onslow Hall, Richmond 1959.
  14. Narui, H., Harada, S. "Cavitation in Water Jet Pumps", Bulletin of the JSME, Vol. 22, No: 166, April 1979.
  15. Özgür, C. Deneysel Hidromekanik , İTÜ Yayınları, Sayı: 660, Şirketi Mürettibiye Basımevi, İstanbul 1966.
  16. Sanger, N.L. "Cavitating Performance of Two-Low-Area Ratio Water Jet Pumps Having Throat Lengths of 7.25 Diameters". NASATN-1592, 1966.
  17. Schulz, F., Fasol, K.H. "Water Jet Pumps", Springer, Vienna 1958.
  18. Varol, A. "Enjektör Pompa Boyutlarının Bilgisayarla Tesbiti", 2. Ulusal Bilgisayar Destekli Tasarım Sempozyumu, Cilt: 2, Nisan 1986.
  19. Varol, A. "Enjektörlü Pompa Yöntemiyle Dikey Hidrolik Katı Taşımacılığı", E.D.M.M.A. Makina Bölümü, Şubat 1980.
  20. Vogel, R. "Theoretical and Experimental Investigation of Jet Pumps", Machinenbautechnik Vol. 5, Berlin 1956.
  21. Weber, M., Dedegil, Y. "New Experimental Results Regarding Extreme...", Hydrotransport 5, Paper F7, May 1978.