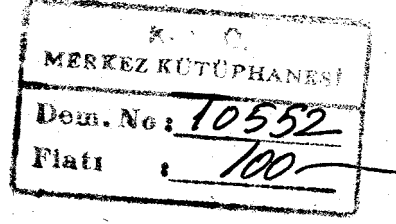


KARADENİZ ÜNİVERSİTESİ — MAKİNA BÖLÜMÜ



ENJEKTÖR VE AIR-LIFT KOMBİNE POMPALARININ İNCELENMESİ

(DOKTORA TEZİ)

Yük. Müh. Asaf VAROL

DOKTORA YÖNETİCİSİ: Doç. Dr. Tuncay YILMAZ

1983

Zusammenfassung

Das Strahlpumpverfahren (Jet-Lift, Hydro-Jet, Injektor) und das Lufthebeverfahren (Mammut-Pumpe, Löscher Pumpe, Air-Lift) sind bereits bekannte und bewährte Verfahren zur senkrechten Wasser- und Feststoffförderung.

Neben den zahlreichen strömungstechnischen Vorteilen dieser altbekannten Verfahren, zeigen das Strahlpumpverfahren und das Lufthebeverfahren bei ihrer Anwendung auch einige Nachteile.

Das kombinierte System Strahlpumpe - Air-liftpumpe werden deswegen überall dort verwendet, wo einzelne Verfahren entweder überhaupt nicht oder nur unwirtschaftlich eingesetzt werden können.

Hauptsächliche Nachteile für das Lufthebe- und Strahlpumpverfahren sind unten zusammengefaßt:

Bei der Lufthebeanlage muß ein Mindesteintauchverhältnis vorhanden sein; d.h., die Einblastiefe der Anlage darf gegenüber der Oberrohrlänge nicht sehr klein sein. Sonst wäre der Wirkungsgrad des Lufthebeverfahrens zu niedrig oder unter Umständen kann der Wert des Förderstroms null sein.

Die Kombination der Strahlpumpe mit der Lufthebepumpe

soll obengenannten Nachteile dieser einzelnen Verfahren beheben helfen (Bild 1.1 $\hat{=}$ \S ekil 1.1).

1. Es ist eine Einblastiefe (H_{EA}) vorhanden, die jedoch gegenüber der erforderlichen Förderhöhe zu klein ist, um eine befriedigende Förderung im Rohr zu erzielen (Bild 1.1a $\hat{=}$ \S ekil 1.1a).

2. Ein Air-Lift-Betrieb wird angestrebt, wobei es jedoch nicht möglich ist, die Luftdüse unterhalb des Wasserspiegels anzuordnen (Bild 1.1b $\hat{=}$ \S ekil 1.1b).

3. Es wird eine Jet-Lift-Förderung gewünscht, wobei die Förderhöhe so groß ist, daß

a) zu hohe Strahlgeschwindigkeiten erforderlich sind oder auch

b) Der Druck einer vorhandenen Pumpe nicht ausreicht (Bild 1.1c $\hat{=}$ \S ekil 1.1c).

In der Arbeit wird zunächst eine Literaturübersicht über die Lufthebepumpe und die Strahlpumpe gegeben. Gleichzeitig werden die bekannten Berechnungsverfahren für die Wasserförderung mittels dieser Pumpen dargestellt.

Danach werden die theoretische Berechnungsgleichungen für die Wasserförderung mit dem kombinierten Strahlpumpe-Lufthebepumpensystem hergeleitet.

Für den experimentellen Teil der Arbeit wurde eine Anlage gebaut.

In Bild 3.1 (Şekil 3.1) wird die Kombination von Jet-Lift und Air-Lift dargestellt. Die Anlage besteht aus dem Strahlapparat, dem Zwischenrohr, der Luftdüse und dem Oberrohr.

Wird nun mittels einer Kreiselpumpe Treibwasser in den Strahlapparat gepumpt, so wird im Förderrohr das Wasser-niveau erhöht. Sofern noch keine Förderung erzielt wird, fließt das Treibwasser nach unten ab (Bild 3.1a ≙ Şekil 3.1a).

Die Treibstrahlmenge wird so eingestellt, daß ein ausreichender Wasserstand im Oberrohr über der Luftdüse -Einblastiefe- erreicht wird.

Dann wird die Luft durch die Luftdüse ins Förderrohr eingeblasen (Bild 3.1b ≙ Şekil 3.1b).

Wieviel Treibwasser und wieviel Luft für den Beginn der Wasserförderung gebraucht werden, hängt von den geometrischen Abmessungen der jeweiligen Anlage ab.

Im Oberrohr der Anlage findet eine Zweiphasenströmung (Luft-Wassergemisch) statt.

Die Anlagenkennlinie des Kombinationsverfahrens setzt sich aus zwei Anlagenkennlinien zusammen, und zwar aus den Kennlinien der Lufthebepumpe und Wasserstrahlpumpe.

Die Kennlinien der einzelnen Anlagen sind in den Kapiteln 1. und 2. angegeben.

Es wird bei dem Kombinationsverfahren der Fall zu Grunde gelegt, daß das Fördermedium durch den Strahlapparat im Förderrohr zu einer bestimmten Höhe gehoben werden kann. Nämlich ist der Wirkungsgrad der Strahlpumpe null!

Die Zusammenstellung der Kombinationsanlagenkennlinie erfolgt zunächst durch die Bestimmung der Höhe $H_I = f(\dot{V}_T)$ aus der Kennlinie der Strahlpumpe. (H_I = Erhöhung des Wasserstands im Förderrohr durch die Strahlpumpe, \dot{V}_T = Treibwasservolumenstrom (m^3/h)).

Die damit erzielte Höhe H_E über der Lufteinblasdüse stellt für den Air-Lift-Teil der Kombinationsanlage die Einblastiefe dar.

Setzt jedoch eine echte Förderung ein ($\dot{V}_W > 0$), so ändert sich diese Höhe, entsprechend Gleichung (3.4) (s. Seite 36), die jedoch nicht mehr einer Längenmessung zugänglich ist.

Die geförderte Wassermenge wurde in Abhängigkeit vom Gasmengenstrom der Lufthebepumpe und vom Treibwassermengenstrom der Strahlpumpe dargestellt, wobei bei den durchgeführten Versuchen verschiedene Düsengeometrien für die Strahlpumpe verwendet wurden.

Die experimentell erhaltenen Ergebnisse bestätigen, daß die theoretischen Berechnungen richtig sind.

Es stellte sich heraus, daß sich der angesaugte Mengenstrom mit der kombinierten Förderung erheblich steigern läßt. Dies war umso beachtlicher, wenn die angestrebte Steigerung gerade im Bereich des optimalen Wirkungsgrades stattfand. Der Gesamtwirkungsgrad der kombinierten Förderung kann bei geeigneter Dimensionierung höhere Werte annehmen, als bei einem System mit nur einer Pumpenart.

İ Ç İ N D E K İ L E R

	<u>Sayfa</u>
BÖLÜM: BİLİNENLER	
GİRİŞ	1
I.1 Enjektör ve Air-lift Pompalarının Kullanım alanları	4
I.2 Enjektör ve Air-Lift Pompaları Sahala- rında Günümüze Kadar Yapılan Çalışmalar	6
1. Enjektör Pompasının Çalışma Prensibi	8
1.2 Enjektör Pompa Yöntemiyle Su Taşınımı İçin Hesaplama	11
1.2.1 Sistemin Tümünün Basınç Bilançosu	11
1.2.2 Dikey Hidrolik Taşıma İçin Basınç Gradyanının Hesabı	13
1.3 Enjektör Teorisi	18
1.4 Enjektör Pompa Yönteminde Verim	24
2. Air-Lift Pompasının Çalışma Prensibi	26
2.1 Air-Lift Pompa Yöntemiyle Su Taşınımı İçin Hesaplama	26
2.1.1 Alt Borudaki Güç Gereksinimi	28
2.1.2 Üst Borudaki Güç Gereksinimi	29
2.2 Güç Bilançosu	32
2.3 Air-Lift Yöntemiyle Su Taşımacılığında Verim	32

İ Ç İ N D E K İ L E R

	<u>Sayfa</u>
BÖLÜM: ENJEKTÖR POMPA ve AIR-LIFT KOMBİNASYONU	
3. Enjektör Pompa ve Air-Lift Kombine Pompa Sistemi	33
3.1 Enjektör + Air-Lift Kombinasyonu İle Su Taşımada Hesaplama Esasları	33
3.1.1 Su Taşınımında Basıncın Yere Bağlı Değişimi	36
3.1.1.1 Hava Basılma Yerine Kadar Meydana Gelen Basınç Düşüşlerinin İncelenmesi	40
3.1.1.2 Üst Borudaki Karışımda Su ve Havanın Bulunma Oranları	42
3.1.1.3 Üst Borudaki Ortalama Yoğunluk	43
3.1.1.4 Üst Borudaki Toplam Basınç Düşüşü	43
3.2 Enjektör + Air-Lift Kombinasyonu İle Su Taşınımında Güç Bilançosu	45
3.3 Enjektör + Air-Lift Kombinasyonu Yöntemiyle Su Taşınımında Verim	48
4. Deneysel Çalışmalar	49
4.1 Deney Düzenegi	49
4.2 Deneylerde Kullanılan Enjektör ve Lüleler	60
4.3 Ölçme Yöntemleri	64
4.3.1 Debi Ölçerler	64
4.3.2 Basınç Ölçerler	65
4.3.3 Sıcaklık Ölçerler	65
4.4 Deneylerin Yapılışı	67

İ Ç İ N D E K İ L E R

	<u>Sayfa</u>
BÖLÜM: SONUÇLAR	
5. Denev Sonuçları	70
5.1 Üst Boruda Taşınan Su Miktarı	71
5.2 Emilen Su Miktarı	74
5.3 Verim	94
6. Hesaplanan ve Ölçülen Değerlerin Karşılaştırılması	100
6.1 Üst Boruda Taşınan Su Miktarının (\dot{V}_W) Karşılaştırılması	100
6.2 Alt Borudan Emilen Su Miktarının (\dot{V}_A) Karşılaştırılması	100
6.3 Sonuçlar	107
SEMBOLLER	108
Faydalanılan Kaynaklar	113

Ö Z E T

Enjektör (Hidro-Jet, Jet-Lift) ve Air-Lift (Löscher Pompası, Mammut Pompası) Pompaları eskiden beri bilinen yöntemler olup, su ve katı taşınımlarında kullanılmaktadırlar.

Air-Lift dediğimiz taşıma sistemi, 1797 de Löscher C.J. /52/ tarafından bulunmuştur.

Enjektör konusunda tesbit edilebilen ilk çalışma Thomson, J. /96/ tarafından 1852 de yapılmıştır.

Her iki yöntemin, diğer mekanik taşıma yöntemleri karşısındaki en büyük özelliği, basit yapıya sahip oluşlarıdır. Bu her iki yöntem, özellikle katı taşınımlarının söz konusu olduğu yerlerde kullanılmaları yaygınlaşmıştır.

Yalnız bu her iki yöntemin kullanma sahaları sınırlıdır. Yöntemlerin kullanılacağı yerlerdeki su seviyesi çok düşük veya taşıma yüksekliği çok fazla ise, bu yöntemler ekonomik olmaktan çıkmaktadırlar.

Deniz diplerinden Air-Lift ile mineral çıkartılırken, derinlik çok fazla ise, sisteme üflenen hava üst boru içerisinde yukarı çıktıkça genişmekte, buna bağlı olarak da sürtünme ve ivmelenme kayıpları büyümektedir.

Aynı koşullarda enjektör pompanın kullanılması

düşünülürse, bu defa da çok büyük püskürtme hızları (100 - 200 m/s) gerekmektedir. Enjektörde, püskürtülen su ile emilen akışkan arasındaki yüksek hız farkları, karışma borusu içerisinde kavitasyona neden olmaktadır.

Bu iki pompa kombine edilerek, bu pompaların çalışma sahalarının çok daha genişletilebileceği, bu çalışmada kanıtlanmıştır.

Kombine sistemde enjektör pompa alta, Air-Lift pompası ise üste konulmuştur. Enjektör pompa ile boru içerisinde başlangıçta bulunan su seviyesi daha yükseğe çıkartılmakta, Air-Lift pompası çalıştırılarak taşıma gerçekleştirilmektedir.

Bu çalışmada her iki sistemin teorileri kısaca ele alınacak, ardından kombine sistem için geliştirilen hesaplama modeli tanıtılacak ve bu hesaplama modelinin deney neticeleriyle iyi bir uyum gösterdiği, kanıtlanacaktır.

BÖLÜM

BİLİNENLER

G İ R İ Ş

Enjektör ve air-lift pompaları kendi başlarına eskiden beri uygulanan taşıma sistemleridir. Taşıma hem sıvılar hem de katılar için uygulanır.

Her iki sistemin pratikte, normal pompalara göre hareketli parçalarının azlığı ve güvenilirlikleri açısından önemi büyüktür. Bu pompaların verimlerinin genelde düşük olması en önemli dezavantajlarından biridir.

Air-lift pompasının ekonomik olarak kullanılması için, hava basılan yerin su yüzeyine olan yüksekliği H_{EA} 'nin, üst boru uzunluğuna (H_0) göre çok küçük olmaması gerekir (Şekil 1.1).

Aynı durum enjektör pompa için de söylenebilir. Ayrıca enjektör pompada yüksek debilerin taşınmasında kavitasyon tehlikesi olup, bundan dolayı taşıma bölgesi sınırlıdır.

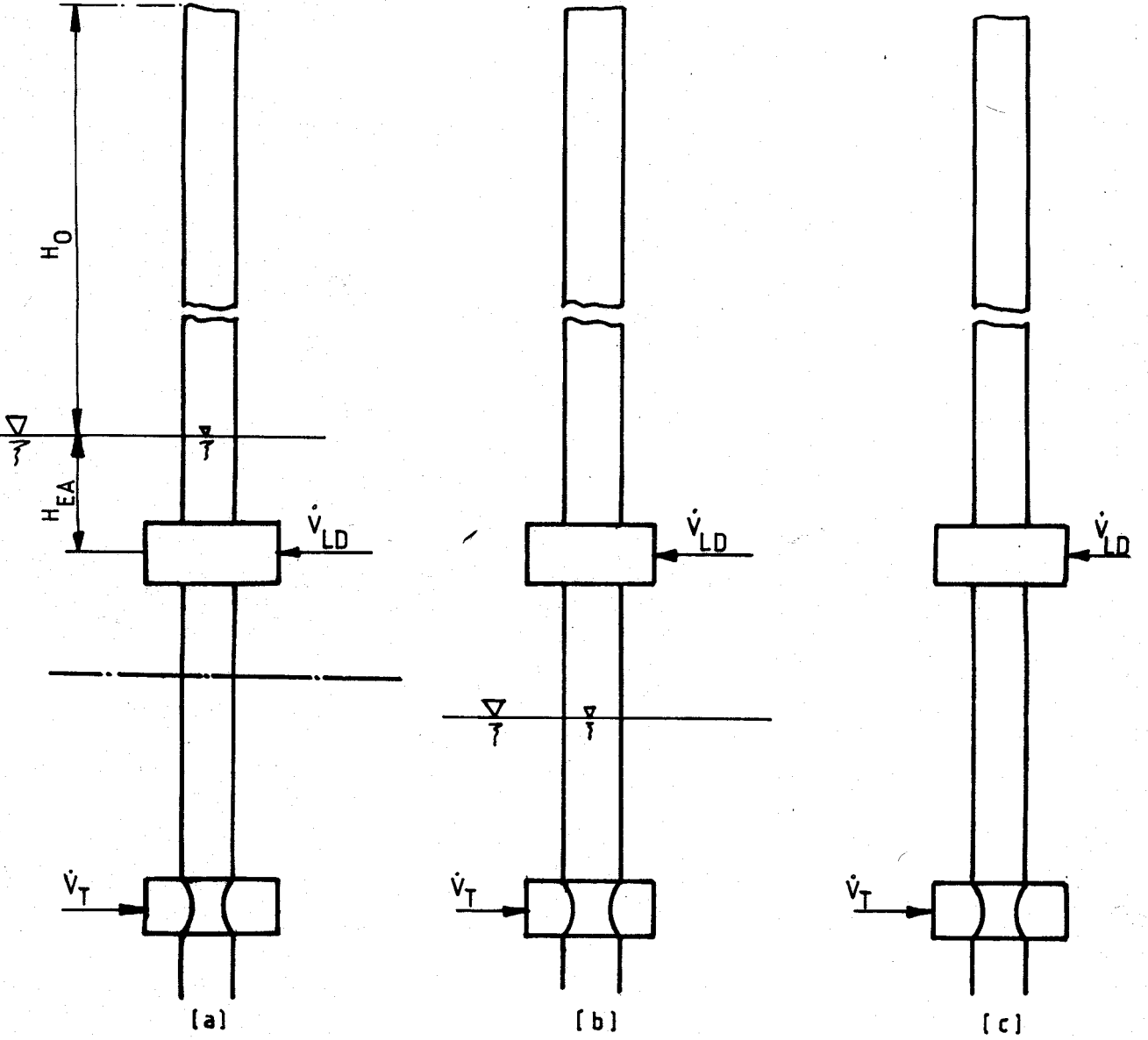
Bu çalışmada anılan enjektör ve air-lift (Basınçlı hava ile taşıma yöntemi) pompalarının beraberce çalışmaları incelenecektir. Böylece çalışma bölgelerinin, tek sistemlere göre önemli ölçüde genişletilebileceği düşünülmüştür. Örneğin:

a) Şekil 1.1a'daki gibi H_{EA} yüksekliği H_0 'ya göre çok küçük ve bundan dolayı ekonomik bir taşıma yapılamıyorsa, alt tarafa bir enjektör pompa konarak H_{EA} 'nin yükseltilmesiyle daha verimli bir taşıma sağlanabilir.

b) Şekil 1.1b'deki gibi su derinliği çok küçük, bu yüzden yalnız air-lift ile çalışmak mümkün değilse, sisteme enjektör pompa ilavesiyle taşıma gerçekleştirilebilir.

c) Şekil 1.1c'deki gibi taşıma yüksekliği çok fazla, onun için de yalnız enjektör pompa ile sistem çalıştırılamıyorsa, sisteme air-lift pompa eklenerek taşıma yapılabilir.

Bu çalışmada, önce teorik olarak enjektör ve air-lift pompalarının bilinen hesaplama yöntemleri tanıtılacaktır. Literatürde kombine enjektör pompa-air-lift sistemi için, ne teorik ne de deneysel bir çalışmaya rastlanmadığından, kombine sistem için bir hesaplama yöntemi geliştirilecek ve bu yöntem gerçekleştirilen bir deney düzeninde elde edilen sonuçlarla karşılaştırılacaktır.



Şekil 1.1 : Enjektör ve Air-Lift Kombinasyonunun
Kullanılabilecekleri Alanlar

I.1 Enjektör ve Air-Lift Pompalarının
Kullanım Alanları

Enjektör pompası su ve katı taşınımı için düşünülmüş bir yöntemdir. Islak olarak taşınabilecek tüm malzemelerin dikey naklinde kullanılabilir. Taşınabilecek malzemeler olarak; kömür, çakıl, kum, mineraller ve benzerleri sayılabilir.

Enjektör pompanın başlıca kullanım yerleri:

- Artezyen kuyuları açılırken, kazma işlemi esnasında kuyu içerisine düşecek katı malzemelerin taşınmasında /1,2/,
- Sulardan kum çıkarmada /3,4,5/,
- Kıyıların katı malzemelerle doldurulmasında /6/,
- Radyoaktif artıkların tuz yatakları içerisine saklanmasında,
- Denizlerden mineral çıkartılmasında /7,8,9/.

Air-lift pompası, genelde enjektör pompanın kullanıldığı sahalarda kullanılabilir. Bu güne kadar kirli sular, kum, çakıl, kömür, selüloz, kül ve hatta şeker pancarı bu yöntemle sevk edilmiştir.

Air-lift pompasının başlıca kullanım yerleri:

- Kuyu açarken, çıkartılması gereken taş ve toprağı yeryüzüne çıkartmakta /10,11/,
- Su içinde yapılacak baraj, köprü ayağı temelleri

- inşaasında, liman ve barajları zamanla dolduran sedimanların çıkartılmasında /12/,
- Pislik sularını sevketmekte /13,14/,
 - Savaş ve felâketlerde içme suyu çıkartmak için öngörülen kuyularda,
 - Maden ocaklarından kömürün dikey taşınımında.

UdSSR`in bir maden ocağından kömür çıkarmada buna benzer bir tesis çalışır durumdadır. 718 metre derinlikli diğer bir tesis deneme safhasındadır /15/.

Air-lift sistemi deniz diplerinden mangan cevherlerinin çıkartılmasında da kullanılmıştır. 1000 metre derinlikten yumruk büyüklüğündeki mangan cevherlerinin air-lift ile çıkartılması yapılmıştır /16, 17, 18, 19/.

Karadeniz ve Van Gölü`ndeki uranyumu çıkartmak için bir air-lift tesisi teorik olarak boyutlandırılmıştır /20/.

Gerek enjektör pompa, gerekse air-lift pompasının en çok kullanıldıkları yerlere bakılırsa, bu pompaların genelde katı taşımacılığında kullanıldığı gerçeği ortaya çıkar. Aynı şekilde bu iki ayrı pompanın kombinasyonu da katı taşımacılığı için önerilebilir. Bu çalışmada kombine sistem ile su taşınımı için gerekli teorik ve deneysel bilgiler verildiğinden, kombinasyon ile katı taşınımı üzerine yapılacak araştırmalara ışık tutacağı açıktır.

I.2 Enjektör ve Air-Lift Pompaları Sahalarında Günümüze Kadar Yapılan Çalışmalar

Enjektörler konusunda çok sayıda araştırmalar yapılmıştır /21-44/. Yapılan araştırmalarda en fazla su enjektörleri denenmiştir.

Enjektör konusunda tesbit edilebilen ilk çalışma THOMSON, J./96/ tarafından 1852`de yapılmıştır. GOSELINE, J.E. ve O`BRIEN, M.P. /97/ enjektörlü pompa ile su taşınımı üzerine yaptıkları araştırmalar, ZANDI, I. ve GOVATES, G. /46/ tarafından derinleştirilmiştir.

Enjektör pompalar ile katı taşınımı alanında son yıllarda araştırmalar sıklaşmıştır /45-51/.

FISH, G. /47/ katı taşımacılığı için bir enjektör pompa boyutlandırmıştır. WEBER, M. /50/ yatay bir enjektörde pneumatik katı taşınımı hesaplarına yenilikler getirmiştir. FELDLE, G. /45/ Enjektörlü pompa yöntemi ile katı taşınımı üzerine teorik ve deneysel çalışmıştır.

Air-Lift yöntemi ilk olarak 1797`de LÖSCHER, C.J /52/ tarafından bulunmuştur. Bu pompa uzun yıllar kullanılmamış, ama daha sonraları bilhassa katı taşınımındaki önemi farkedilince, bu konudaki çalışmalara ağırlık verilmiştir /52-84/.

RAUTENBERG, J. /88/ Air-Lift yöntemiyle su taşımacılığı üzerine bir hesaplama yöntemi geliştirmiştir.

DEDEGİL,M.Y. /84,92/ Air-Lift yöntemini katı taşımacılığına uygulamıştır.

Air-Lift (Mammut Pompa) ile sıvı ve katı taşınımı, nümerik olarak hesaplanması YILMAZ,T. /90/ tarafından yapılmış, en iyi çalışma noktalarının bulunması için pratik bağıntılar verilmiştir.

Kapalı devre air-lift sistemi YILMAZ,T. /91/ tarafından teorik ve deneysel olarak incelenmiştir.

1. Enjektör Pompasının Çalışma Prensibi

Şekil 1.2`de enjektör pompası gösterilmiştir.

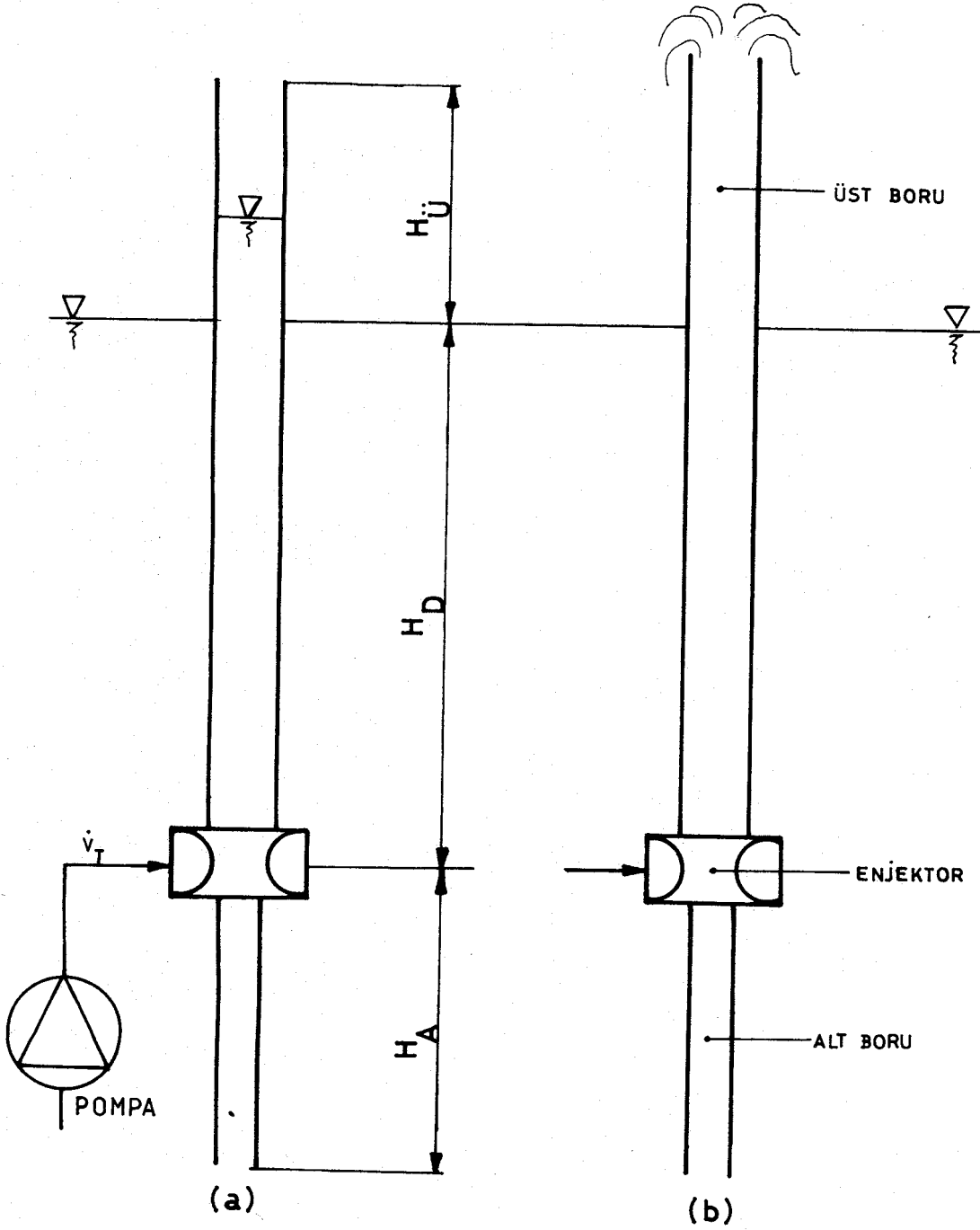
Sistem, genelde üç kısımdan oluşur; alt boru, enjektör ve üst boru.

Enjektörün üstünde üst boru olup, bu boru dış su seviyesi üzerinde arzu edilen yüksekliğe kadar uzanır. Enjektörün altında ise, emme borusu diye de adlandırılan alt boru bulunur.

Temiz suyu, enjektöre sevkeden bir su pompası vardır. Yüksek bir hızla karışma borusuna gönderilen işletici su; oradaki suyu ivmelendirir ve böylece enjektörün emiş ağzında bir alçak basınç oluşturulur. Bu alçak basınç sayesinde alttan su emilir ve karışma borusu içerisinde; emilen su ile işletici su türbülanslı impuls alış-verişi dolayısıyla ivmelenir. Difüzör içerisinde karışımın (İşletici su-emilen su) kinetik enerjisi kısmen basınç enerjisine dönüşür. Bu basınç enerjisi de üst boruda taşıma basıncı olarak kullanılır.

İşletici su taşımayı gerçekleştirecek miktarda değilse; borudaki su seviyesi, işletici suyun yaratacağı dinamik basınç ile üst boru içerisindeki suyun hidrostatik basıncının dengede duracağı noktaya kadar yükselebilecektir. Bu durumda işletici su alt borudan akıp gidecektir (Şekil 1.2a).

Eğer işletici su miktarı arttırılırsa, üst borudaki su gitgide yükselecek ve nihayet taşınım gerçekleşecektir. Bu noktadan itibaren alt boruda emiş olacaktır (Şekil 1.2b).



Şekil 1.2 : Enjektör pompa sistemi

1.2 Enjektör Pompa Yöntemiyle Su Taşınımı İçin Hesaplama

1.2.1 Sistemin Tümünün Basınç Bilançosu

Geometrisi bilinen bir enjektör pompa tesisinde, nasıl bir su pompasının lüzumlu olduğuna karar verebilmek için, bu su pompasının debisini ve basıncını saptamak gerekir. Bunun için, basınç bilançosundan gidilerek tesisin karakteristik çalışma noktası hesaplanır.

Şekil 1.3'te sistemin tümü üzerinde basıncın gidişatı gösterilmiştir. Taşıma borusunun dışında en alt noktadaki hidrostatik basınç, (1.1) eşitliği ile hesaplanır.

$$P_a = P_{atm} + (H_D + H_A) \cdot g \cdot \rho_s \quad (1.1)$$

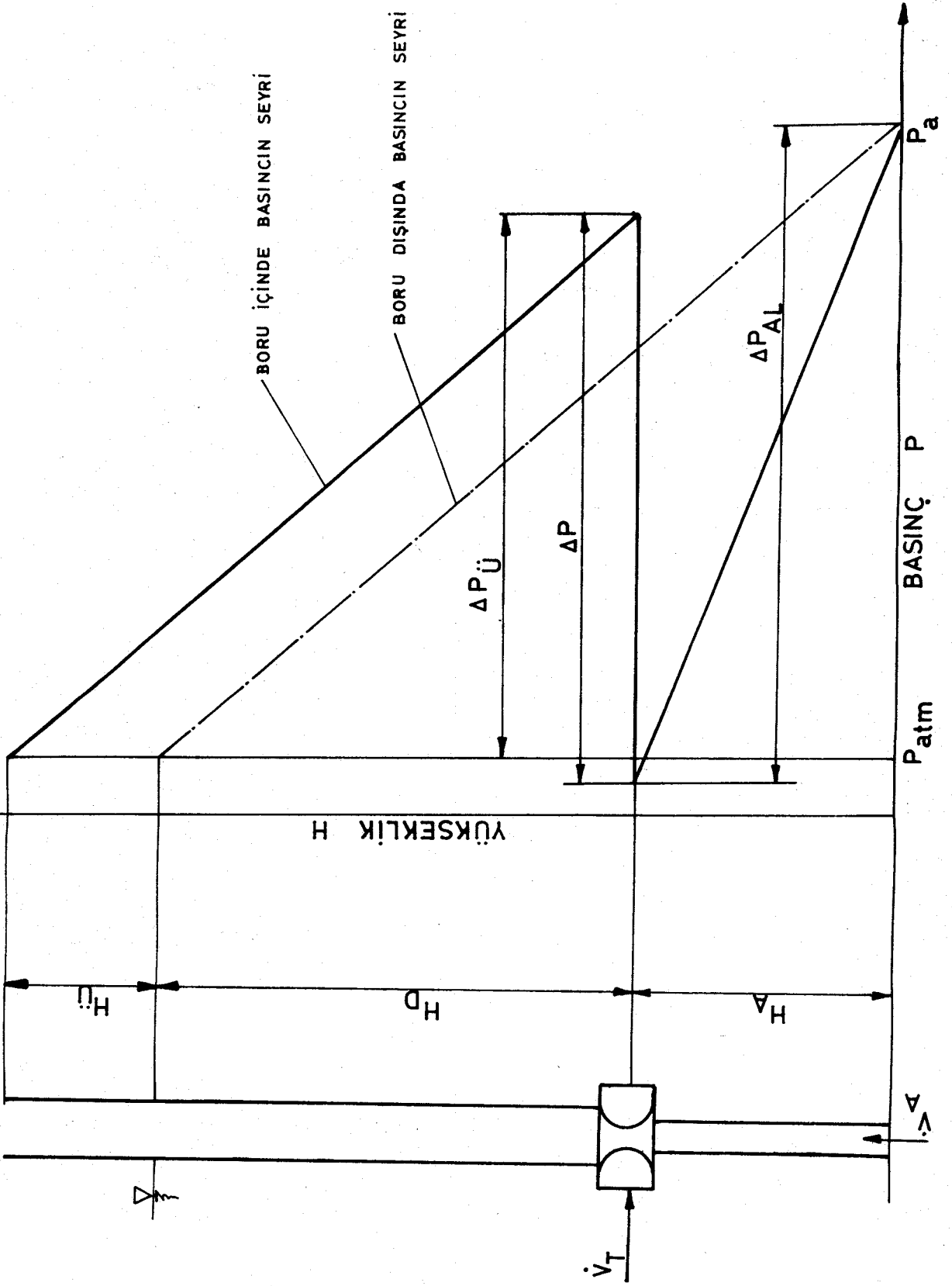
Alt borudaki basınç düşüşleri şunlardır:

- Giriş basınç kaybı ΔP_G
- Sürtünme basınç kaybı ΔP_S
- Ağırlık basınç düşüşü ΔP_A
- İvmelenme basınç kaybı ΔP_i

Alt boruda meydana gelen toplam basınç farkı ΔP_{AL} :

$$\Delta P_{AL} = \Delta P_G + \Delta P_S + \Delta P_A + \Delta P_i \quad (1.2)$$

Enjektör içerisinde, basınç ΔP kadar yükselir. Üst boru içerisinde sürtünme ve ağırlık etkisiyle, basınç



Şekil 1.3 : Enjektör pompa yönteminde basıncın seyri

lineer olarak atmosfer basıncına kadar düşer. Sabit boru kesitinde ivmelenmeden dolayı ayrıca bir basınç düşüşü meydana gelmez, çünkü; difüzör çıkışında su son hızına varmıştır ve su sıkıştırılamayan akışkan kabul edilir. Tüm taşıma yüksekliği boyunca basınç bilançosu alttaki şekilde yazılır:

$$P_a - \Delta P_{AL} + \Delta P - \Delta P_{\dot{U}} = P_{atm} \quad (1.3)$$

(1.1) denklemini yardımıyla;

$$\Delta P = \Delta P_{AL} + \Delta P_{\dot{U}} - (H_D + H_A) \cdot g \cdot \rho_s \quad (1.4)$$

neticesi bulunur.

1.2.2 Dikey Hidrolik Taşıma İçin Basınç Gradyanının Hesabı

Alt boruda meydana gelen basınç düşüşleri formüllerini şu şekilde sıralıyabiliriz.

a) Giriş basınç kaybı ΔP_G :

$$\Delta P_G = \xi_G \cdot \frac{\rho_s}{2} \cdot v_A^2 \quad (1.5)$$

b) Sürtünme basınç kaybı ΔP_S :

$$\Delta P_S = \lambda \cdot \frac{H_A}{D_A} \cdot \frac{\rho_s}{2} \cdot v_A^2 \quad (1.6)$$

c) Ağırlık basınç düşüsü ΔP_A :

$$\Delta P_A = g \cdot \rho_s \cdot H_A \quad (1.7)$$

d) İvmelenme basınç kaybı $\Delta P_{\dot{I}}$:

$$\Delta P_{\dot{I}} = \frac{\rho_s}{2} \cdot V_A^2 \quad (1.8)$$

(1.5) eşitliğindeki ξ_G ; giriş kayıp katsayısı, (1.6) eşitliğindeki λ ise boru sürtünme katsayısıdır. İvmelenmeden dolayı meydana gelen basınç kaybı $\Delta P_{\dot{I}}$ hesabında akış tam türbülanslı kabul edilmiştir. Giriş ve ivmelenme kaybı dikkate alınmazsa, (1.6) ve (1.7)'den, alt borudaki basınç gradyanı $(\Delta P/\Delta x)_A$:

$$(\Delta P/\Delta x)_A = g \cdot \rho_s + \frac{\lambda}{D_A} \cdot \frac{\rho_s}{2} \cdot V_A^2 \quad (1.9)$$

şeklinde bulunur. Alt borudaki toplam basınç kaybı, (1.2) ve (1.9) denklemleri yardımıyla;

$$\Delta P_{AL} = H_A \cdot (\Delta P/\Delta x)_A + (1 + \xi_G) \cdot \frac{\rho_s}{2} \cdot V_A^2 \quad (1.10)$$

şeklinde elde edilir.

Üst borudaki basınç kaybı aşağıdaki bağıntı ile hesaplanır.

$$\Delta P_{\ddot{U}} = (\Delta P/\Delta x)_{\ddot{U}} \cdot (H_D + H_{\ddot{U}}) \quad (1.11)$$

Üst borunun geometrisi nedeniyle denklemlerin çözümlerini zorlaştırmamak için, üst borudaki basınç gradyanının alt borudaki basınç gradyanına oranını N ile gösteriyoruz:

$$N = (\Delta P / \Delta x)_{\text{Ü}} / (\Delta P / \Delta x)_A \quad (1.12)$$

(1.12) denklemini, (1.11) denklemindeki yerine koyalırsak, üst borudaki basınç düşüşü için, alt borudaki basınç gradyanı cinsinden bir denklem bulunur.

$$\Delta P_{\text{Ü}} = N \cdot (\Delta P / \Delta x)_A \cdot (H_D + H_{\text{Ü}}) \quad (1.13)$$

(1.10) ve (1.11) denklemleri yardımıyla, (1.4) denklemi aşağıdaki şekilde yazılır:

$$\begin{aligned} \Delta P = H_A \left[g \cdot \rho_s + \frac{\lambda}{D_A} \cdot \frac{\rho_s}{2} \cdot V_A^2 \right] + \\ (1 + \xi_G) \cdot \frac{\rho_s}{2} \cdot V_A^2 + N \left[g \cdot \rho_s + \frac{\lambda}{D_A} \cdot \frac{\rho_s}{2} \cdot V_A^2 \right] \cdot (H_D + H_{\text{Ü}}) - \\ (H_D + H_A) \cdot g \cdot \rho_s \end{aligned} \quad (1.14)$$

Şekil 1.4'te görülen enjektör modeli için aşağıdaki tarifler yapılacaktır.

a) Karışma borusu alanının A_M , enjektör lüle alanına

(A_T) oranını f ile göstereceğiz, yani;

$$f = A_M / A_T \quad (1.15)$$

olacaktır.

b) Enjektör lülesinden fıskıran işletici suyun dinamik basıncı q :

$$q = \frac{\rho_s}{2} V_T^2 \quad (1.16)$$

c) Alt borudan emilen suyun kütleli debisi \dot{M}_A :

$$\dot{M}_A = \dot{M}_s - \dot{M}_T \quad (1.17)$$

d) Alt borudan emilen kütleli su debisinin \dot{M}_A , enjektöre gönderilen işletici kütleli su debisine \dot{M}_T oranını m ile göstereceğiz. O halde m :

$$m = \dot{M}_A / \dot{M}_T \quad (1.18)$$

e) Karışma borusunun alanı A_M , alt boru alanı A_A ve enjektör lüle alanının A_T toplamına eşdeğerdir.

$$A_M = A_A + A_T \quad (1.19)$$

(1.15)'ten (1.19)'a kadar yazılan denklemler, (1.14) denkleminde yerlerine konursa, taşıma borusunun karakteristik denklemi elde edilir.

$$\frac{\Delta P}{q} = \frac{m^2}{(f-1)^2} \left[1 + \xi_G + \left(\frac{\lambda}{D_A} + \frac{2g}{V_A^2} \right) \cdot \left(H_A + (H_D + H_U) \cdot N \right) - \frac{2g \cdot (H_D + H_A)}{V_A^2} \right] \quad (1.20)$$

(1.20) formülündeki en büyük parantez içindeki terimleri Y ile gösterirsek;

$$\frac{\Delta P}{q} = \frac{m^2}{(f-1)^2} Y \quad (1.21)$$

neticesi bulunur.

Tesis karakteristik denklemi (1.21) ile işletme noktasını tesbit edebilmek için gerekli enjektör karakteristik denklemi Bölüm 1.3'te çıkarılacaktır.

1.3 Enjektör Teorisi

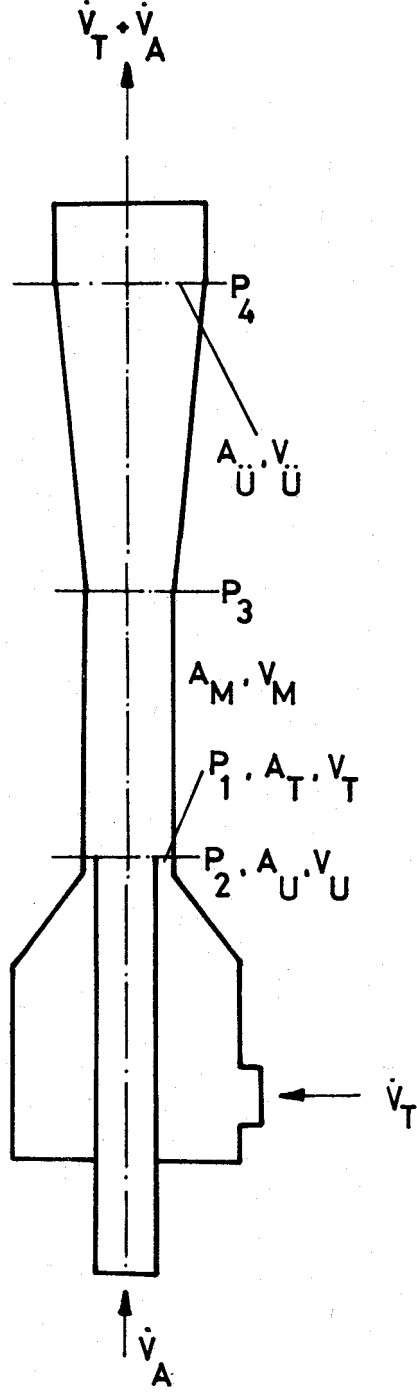
Enjektör için, erişilebilecek basınç yükselmesi ve taşıma miktarı önemli büyüklükler olmaktadır. Şekil 1.4'te enjektör (Şematik olarak) gösterilmiştir. Emme borusu, enjektör lülesi, karışma borusu ve difüzör enjektörün başlıca parçaları olmaktadır. Hesaplamalarda aşağıdaki kabuller yapılacaktır.

- Akış kesitleri sabit, değişimler yalnızca aksiyal yönde olsun.
- İşletici su ile alt borudan emilen su arasındaki impuls alış-verişi 3 nolu kesitte son bulsun.
- Enjektörde; yüksekliklerden meydana gelebilecek basınç düşüşleri, sistemin arta kalan kısımlarından meydana gelecek basınç kayıpları yanında ihmal edilecek derecede küçük olsun.

Karışım borusu ve difüzör içerisindeki basınç yükselmeleri aşağıdaki eşitlik yardımıyla bulunur (Şekil 1.4).

$$\Delta P = (P_4 - P_3) + (P_3 - P_2) = (P_4 - P_2) \quad (1.22)$$

Difüzör içerisinde kinetik enerji basınç enerjisine dönüşür. Bu yüzden difüzördeki basınç yükselmesi hesabı için Bernoulli Denklemi kullanılabilir. Difüzör içerisinde



Şekil 1.4 : Enjektör modeli (şematik)

ortaya çıkan kayıplar, difüzör verimiyle η_D dikkate alınacaktır. Difüzör verimi η_D ;

$$\eta_D = \frac{(P_4 - P_3)}{\frac{\rho_s}{2} (V_M^2 - V_{\dot{U}}^2)} \quad (1.23)$$

formülü ile hesaplanır.

Literatürde verilen alt difüzör verimi η_U ile difüzör verimi η_D arasında (1.24) eşitliği ile gösterilen ilişki vardır /85/.

$$\eta_U = \eta_D \cdot (1 - (v_{\dot{U}} / v_M)^2) \quad (1.24)$$

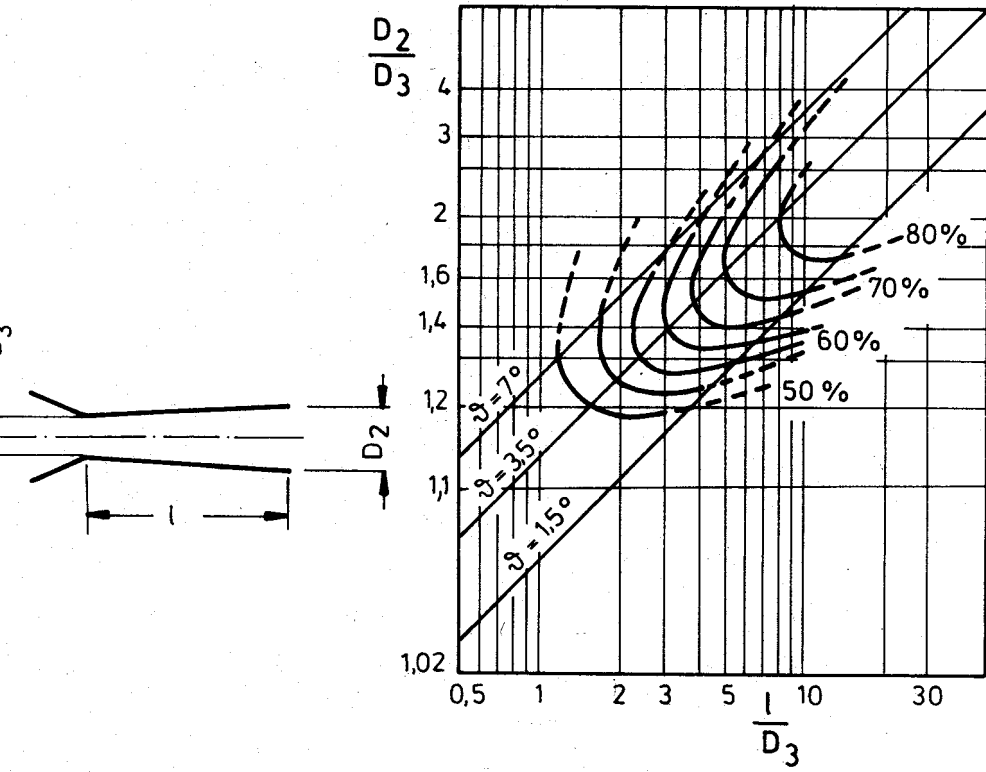
1.5 ve 1.6 numaralı Şekiller, alt difüzör veriminin η_U iki farklı difüzör şekli için, genişleme açısına θ ya bağımlı olarak değişimini göstermektedir. Bu çalışmanın deneysel kısmında 1.6b Şekline haiz difüzör tipi kullanılmıştır.

Karışma borusu içerisindeki basınç yükselmesi impuls yasası ile hesaplanabilir (Şekil 1.4).

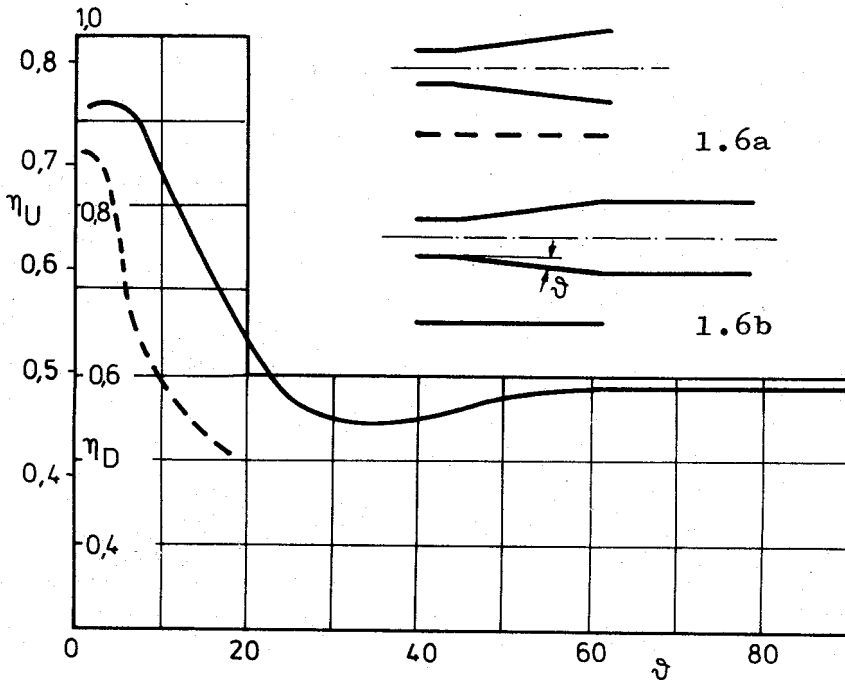
$$\dot{M}_T \cdot V_T + \dot{M}_A \cdot V_A - (\dot{M}_T + \dot{M}_A) \cdot V_M = A_M \cdot (P_3 - P_2) + K \quad (1.25)$$

Formüldeki K karışma borusu iç cidarlarına etki eden direnç kuvvetidir.

(1.23) ve (1.25) nolu denklemler (1.22) nolu denklemde yerlerine yazılırsa, enjektörde meydana gelecek toplam basınç yükselmesi için (1.26) neticesi bulunur:



Şekil 1.5 : Rippl'e göre /85/ geometrinin fonksiyonu olarak, konik difüzörlerin verimi (/45/'ten alınmıştır.)



Şekil 1.6 : Genişleme açısının konik difüzörlerin verimine etkisi (/45/'ten alınmıştır.)

$$\Delta P = P_4 - P_2 = \frac{1}{A_M} \left[\dot{M}_T \cdot V_T + \dot{M}_A \cdot V_A - (\dot{M}_T + \dot{M}_A) \cdot V_M \right] - \frac{K}{A_M} + \eta_D \frac{\rho_s}{2} \cdot (V_M^2 - V_U^2) \quad (1.26)$$

A_M alanı üzerine etki eden direç kuvveti K için;

$$\frac{K}{A_M} = \xi \cdot \frac{\rho_M}{2} \cdot V_M^2 = \lambda_M \cdot \frac{L_M}{D_M} \cdot \frac{\rho_M}{2} \cdot V_M^2 \quad (1.27)$$

ifadesi yazılabilir.

Karışma borusu sürtünme katsayısı λ_M için, Broecker /86/ $5 \cdot 10^4 < Re < 2 \cdot 10^5$ Reynolds -Sayıları sınırları arasında, ortalama $\lambda_M = 0,035$ değerini bulmuştur.

Jung /33/ kendine ait ölçmelerle uygun karışma borusu uzunluğu ve $Re = 10^5 - 3 \cdot 10^5$ sınırları için Broecker'in λ_M için bulduğu değeri ispatlamıştır.

Reddy ve Subir Kar /87/ karışma borusunda, $L_M/D_M = 7,03$ 'lük bir uzunluk/çap oranı için, $\lambda_M = 0,039$ olarak ölçmüşlerdir.

Diğer yazarların /36,40/ araştırmaları da bu sonuçları doğrulamıştır.

(1.15)'ten (1.19)'a kadar yazılan eşitlikleri, ayrıca (1.27) nolu bağıntıyı, Eşitlik (1.26)'da yerlerine yazar ve Eşitlik (1.26)'yı, enjektör lülesinden fıskıran suyun dinamik basıncına (q) bölersek, enjektörün boyutsuz

karakteristik eşitliği elde edilir.

$$\frac{\Delta P}{q} = \frac{2}{f} + \frac{2m^2}{f(f-1)} - \frac{(1-m)^2 \cdot Z}{f^2} \quad (1.28)$$

Z enjektörün kayıp katsayısı olup;

$$Z = 2 - \xi - \eta_D \cdot (1 - (V_{\dot{U}}/V_M)^2) \quad (1.29)$$

eşitliğine sahiptir.

Deneylerde kullanılan enjektör için boyutlar altta verilmiştir.

$$L_M / D_M = 8,46$$

$$D_4 / D_M = 1,6$$

$$\vartheta = 2,4^\circ$$

Bu verilerle $Z = 1,4$ olarak bulunur.

İşletme noktasında alt borudan emilen suyun kütle debisi, enjektöre gönderilen işletici suyun kütle debisine oranı olan m 'i bulmak için; enjektör karakteristiği için bulunan (1.28) nolu denklem ve tesisin karakteristik denklemi (1.21) eşitlenir ve m 'e göre çözüm yapılır. Neticte olarak;

$$m = \frac{-B - \sqrt{B^2 - 4AC}}{2A} \quad (1.30)$$

bulunur.

(1.30) denklemindeki Terimler aşağıda gösterilmiştir.

$$A = \left(\frac{Y}{(f-1)^2} - \frac{2}{f(f-1)} + \frac{Z}{f^2} \right) \quad (1.31)$$

$$B = \left(\frac{2Z}{f^2} \right) \quad (1.32)$$

$$C = \left(-\frac{2}{f} + \frac{Z}{f^2} \right) \quad (1.33)$$

1.4 Enjektör Pompa Yönteminde Verim

Taşımanın verimi; kazanılan gücün sarfedilen güce oranı olarak tarif edilir, yani:

$$\eta_E = \frac{\text{Sistemden alınan güç}}{\text{Sisteme sarfedilen güç}}$$

Sistemden alınan güç:

$$N_E = \dot{V}_A \cdot g \cdot \rho_s \cdot H_{\dot{U}} \quad (1.34)$$

Enjektör lülesi ile karışma borusu arasında meydana gelecek basınç düşüşü dikkate alınmadığında, temiz su pompası ile sisteme verilen güç, aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$N_P = \dot{V}_T \cdot \frac{\rho_s}{2} \cdot v_T^2 \quad (1.35)$$

0 halde verim;

$$\eta_E = \frac{\dot{V}_A \cdot g \cdot \rho_s \cdot H_{\dot{U}}}{\dot{V}_T \cdot \frac{\rho_s}{2} \cdot V_T^2} = 2 \cdot m \cdot g \cdot \frac{H_{\dot{U}}}{V_T^2} \quad (1.36)$$

olur.

Toplam verim için su pompasının verimi de η_P hesaplara katılmalıdır. Dolayısıyla sistemin genel verimi

η_G :

$$\eta_G = \eta_E \cdot \eta_P \quad (1.37)$$

2. Air-Lift Pompasının Çalışma Prensibi

Şekil 2.1`de bir air-lift pompasının şematik şekli görülmektedir. Sistem alt boru, hava girişi ve üst borudan oluşmaktadır. Air-Lift pompası bir kompresör yardımıyla işletilir.

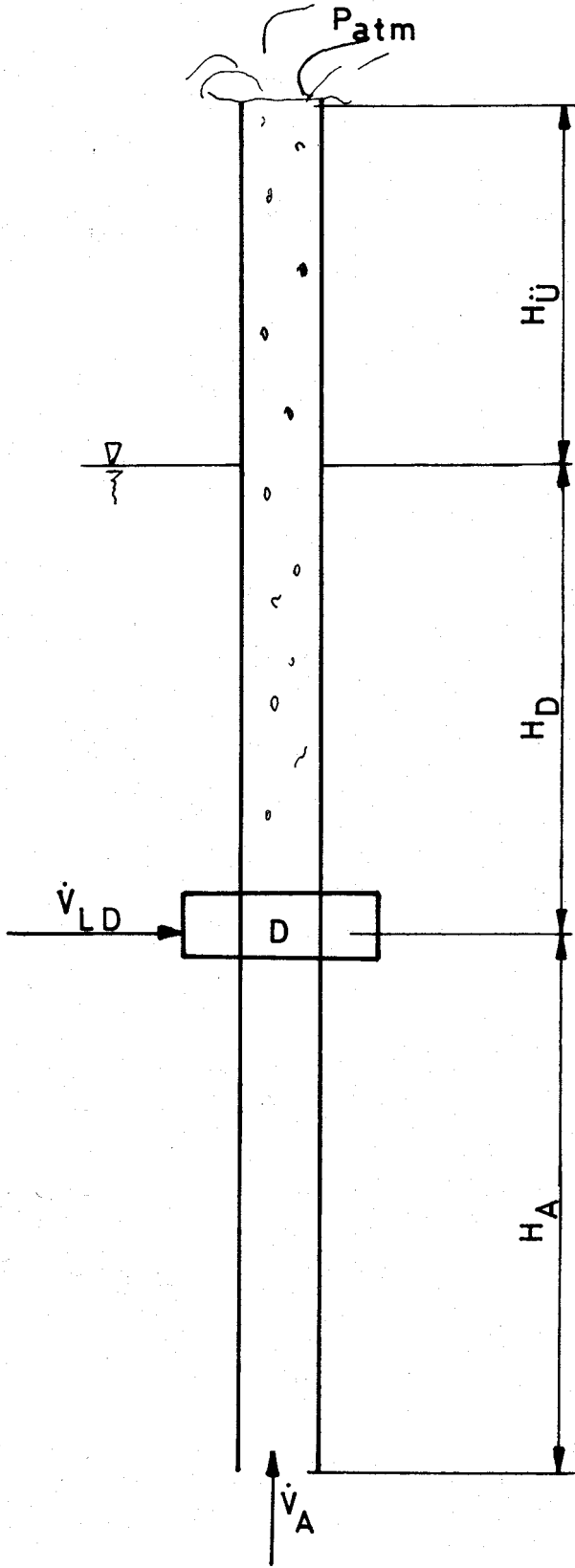
Taşıma borusuna, daldırma derinliği H_D seviyesinde hava basılırsa, boru içerisindeki su yükselecektir, çünkü: Üst boru içerisindeki hava-su karışımının yoğunluğu azaldığından, boru dışındaki hidrostatik basınç daha yüksek olacaktır /88,89/.

Boruya basılan havanın debisinin değiştirilmesi ve daldırma derinliğinin uygun seçimi sonucu, air-lift pompa yöntemi ile istenilen yere su taşınabilir. Sisteme hava basıldığı sürece, üst borudan taşan su miktarı kadar su, alt boru ağzından sisteme girecektir /90,91/.

2.1 Air-Lift Pompa Yöntemiyle Su Taşınımı

İçin Hesaplama

Bilinen bir geometri ($H_{\dot{u}}, H_D, H_A, D$) ve atmosferik şartlardaki hacimsel hava debisinde ($\dot{V}_{L,atm}$); taşınabilecek su miktarının tesbiti, güç bilançosu ile yapılır. Su taşınımı için gerekli güç, havanın izotermik genleşme esasına dayanır. $\dot{V}_{L,atm}$, normal şartlar için verilen debi $\dot{V}_{L,o}$ dan Eşitlik (2.13)`e göre hesaplanabilir.



Şekil 2.1 : Air-Lift pompa yönteminin çalışma prensibi

$$N_H = \dot{V}_{L,atm} \cdot P_{atm} \cdot \ln \frac{P_D}{P_{atm}} \quad (2.1)$$

Air-lift pompa yönteminde, hava lülesinin üzerinde iki fazlı, altında ise tek fazlı bir akış vardır. Bu yüzden alt boru ve üst boruda meydana gelen basınç kayıplarının ayrı ayrı hesap edilmesi gerekir /84/.

2.1.1 Alt Borudaki Güç Gereksinimi

Alt boruda taşınım için gerekli güç, alt boruda meydana gelecek basınç düşüşü ile, taşınan toplam hacimsel su debisinin çarpımına eşittir.

$$N_{AL} = \Delta P_A \cdot \dot{V}_A \quad (2.2)$$

Alt boruda toplam basınç düşüşü; giriş, sürtünme, ivmelenme ve ağırlıktan dolayı basınç düşüşlerinden meydana gelir. 1.2.2 başlığı altındaki hesaplama yöntemi izlenerek, air-lift pompasının alt borusundaki toplam basınç kaybı için;

$$\Delta P_{AL} = \frac{\rho_s}{2} \left((2 \cdot g + \frac{\lambda}{D_A} \cdot V_A^2) \cdot H_A + (1 + \xi_G) \cdot V_A^2 \right) \quad (2.3)$$

eşitliği bulunur.

(2.3) eşitliği, (2.2) eşitliğinde yerine yazılırsa, alt boru için gerekli güç elde edilir.

2.1.2 Üst Borudaki Güç Gereksinimi

Üst boruda iki fazlı karışımın (hava+su) düzenli olmayan bir akışı mevcuttur. Havanın genişmesi yüzünden toplam hacimsel hava debisi sürekli arttığından, üst boruda basınç kaybı hesabını adım adım yürütmek gerekir.

Denklemlerin zorluğu yüzünden, analitik bir çözüm yapmak mümkün değildir. Bu yüzden üst boru Δx boyu kadar küçük mesafelere bölünür. Basınç kaybı ve güç gereksinimi hesabı; bu çok küçük Δx mesafelerinin herbiri için zincirleme yapılarak elde edilecek değerlerin toplanmasıyla bulunur (Dedegil Yöntemi /84/).

Air-lift pompası yardımıyla su taşınımında üst boruda iki fazın oluşu yüzünden, basınç düşüşü hesabına geçmeden önce, her iki fazın ne oranda yer işgal ettiklerinin ve her bir faza ait hız bileşenlerinin tesbiti gerekir.

Akan su-hava karışımındaki hava oranı ϵ_h , alttaki denklem ile ifade edilir. Enjektör pompası+air-lift pompasının kombinasyonunda ϵ_h 'nin bulunuşu etraflıca anlatılacaktır /92/.

$$\epsilon_h = \frac{(\dot{V}_L / A)}{W_B + S \frac{\dot{V}_L}{A} + \frac{\dot{V}_A}{A}} \quad (2.4)$$

Formülde \dot{V}_L (m^3/s); hacimsel hava debisini, W_B (m/s); tek kabarcığın sabit yükselme hızını, A (m^2); boru kesit alanını, S (-); bir sabiti ve \dot{V}_A (m^3/s)

olarak hacimsel su debisini göstermektedir.

Üst boruda karışım içerisindeki hava ve suyun ortalama hızları ve hava ile suyun bulunma oranları için alttaki eşitlikler geçerlidir.

$$V_A = \frac{\dot{V}_A}{\epsilon_s \cdot A} \quad (2.5)$$

$$V_L = \frac{\dot{V}_L}{\epsilon_h \cdot A} \quad (2.6)$$

$$\epsilon_h + \epsilon_s = 1 \quad (2.7)$$

Üst boruda her x mesafesi boyunca meydana gelecek basınç düşüşü; sürtünme, ivmelenme ve ağırlıktan dolayı düşüşlerin neticesi olup, (2.8) eşitliği ile hesaplanır/84/.

$$\begin{aligned} \Delta P_{\Delta x} = & \frac{\Delta x \cdot \lambda}{2 \cdot D} (\epsilon_s \cdot \rho_s \cdot V_A^2 + \epsilon_h \cdot \rho_h \cdot V_L^2) + \\ & \frac{1}{2} \left(\epsilon_s \cdot \rho_s \cdot (V_{A2}^2 - V_{A1}^2) + \epsilon_h \cdot \rho_h \cdot (V_{L2}^2 - V_{L1}^2) \right) + \\ & g \cdot (\epsilon_s \cdot \rho_s + \epsilon_h \cdot \rho_h) \cdot \Delta x \end{aligned} \quad (2.8)$$

Herbir Δx mesafesi için gerekli güç gereksinimi $\Delta N_{\Delta x}$ ise, (2.8) denklemindeki $\Delta P_{\Delta x}$ 'in, toplam hacimsel debilerin $(\dot{V}_A + \dot{V}_L(x))$ çarpılmasından elde edilir.

$$\Delta N_{\Delta x} = \Delta P_{\Delta x} \cdot (\dot{V}_A + \dot{V}_L(x)) \quad (2.9)$$

Üst boru boyunca meydana gelen toplam basınç düşüşü $P_{\ddot{U}}$ ve toplam güç gereksinimi $N_{\ddot{U}}$; i adım üzerinden yapılacak integrasyon yardımıyla tesbit edilir.

$$\Delta P_{\ddot{U}} = \sum_1^i \Delta P_{\Delta x} \quad (2.10)$$

$$N_{\ddot{U}} = \sum_1^i \Delta P_{\Delta x} \cdot (\dot{V}_A + \dot{V}_L(x)) \quad (2.11)$$

Yukarıdaki eşitlikler içerisinde görünen i 'ler integrasyon adımlarının sayısıdır.

$$i = \frac{H_D - H_{\ddot{U}}}{\Delta x} \quad (2.12)$$

Bir i noktasındaki hava debisinin \dot{V}_L bulunması:

$$\dot{M} = \dot{V}_{Lo} \cdot \rho_{Lo} = \dot{V}_L \cdot \rho \quad \rho = P/RT$$

$$\dot{V}_L = \dot{V}_{Lo} \cdot \frac{\rho_{Lo}}{\rho} = \dot{V}_{Lo} \cdot \frac{P_o/RT_o}{P/RT} = \dot{V}_{Lo} \cdot \frac{P_o}{P} \cdot \frac{T}{T_o}$$

$$\dot{V}_L = \dot{V}_{Lo} \frac{P_o}{P} \cdot \frac{T}{T_o} \quad (2.13)$$

Hesapların ilk başlangıç yeri olan hava verme yerinde, basınç için P_D basıncı kullanılır. Yine bu yerde su hızı V_A , alt borudaki su hızına eşit kabul edilir.

\dot{V}_{Lo} normal şartlardaki hacimsel hava debisini, P_o ve T_o normal şartlardaki basınç ve sıcaklığı, P_D ise taşıma borusu içerisinde, daldırma derinliğindeki hidrostatik basıncı göstermektedir. P_D ; alttaki eşitlikle bulunur.

$$P_D = P_{atm} + g \cdot \rho_s \cdot (H_D + H_A) - \Delta P_{AL} \quad (2.14)$$

2.2 Güç Bilançosu

Air-lift sisteminin dışında bulunan dış su seviyesinin sabit kaldığı kabul edilsin. Sistem için hesapladığımız güç gereksinimi , sistemin tüm boyu için yapılmıştır. Oysa sistemin dışındaki su seviyesi kadar su, boru içerisinde de mevcuttur. Bu yüzden (2.15) denkleminde yazılı güç, kazanç sayılmalıdır.

$$N_K = \rho_s \cdot g \cdot (H_D + H_A) \cdot \dot{V}_A \quad (2.15)$$

Sisteme verilen ve sistemden alınan güçleri eşitlersek, güç bilançosu elde edilir.

$$N_H = N_{AL} + N_U - N_K \quad (2.16)$$

2.3 Air-Lift Yöntemiyle Su Taşımacılığında Verim

Hacimsel debisi \dot{V}_A olan su, H_U kadar yüksekliğe çıkartıldığında, faydalanılan güç;

$$N_F = \rho_s \cdot \dot{V}_A \cdot H_U \quad (2.17)$$

olacaktır. Faydalanılan gücü (N_F), sisteme sarfedilen güce (N_H) oranlarsak, air-lift yönteminin verimini buluruz:

$$\eta_A = \frac{N_F}{N_H} = \frac{\rho_s \cdot \dot{V}_A \cdot H_U}{\dot{V}_{Latm} \cdot P_{atm} \cdot \ln(P_D/P_{atm})} \quad (2.18)$$

BÖLÜM

ENJEKTÖR POMPA
ve
AIR-LIFT KOMBİNASYONU

3. Enjektör Pompa ve Air-lift Kombine Pompa Sistemi

Şekil 3.1`de enjektör + air-lift pompa kombinasyonunun şematik çizimi görülmektedir. Sistem; enjektör, ara boru, hava girişi (lülesi) ve üst borudan meydana gelmektedir.

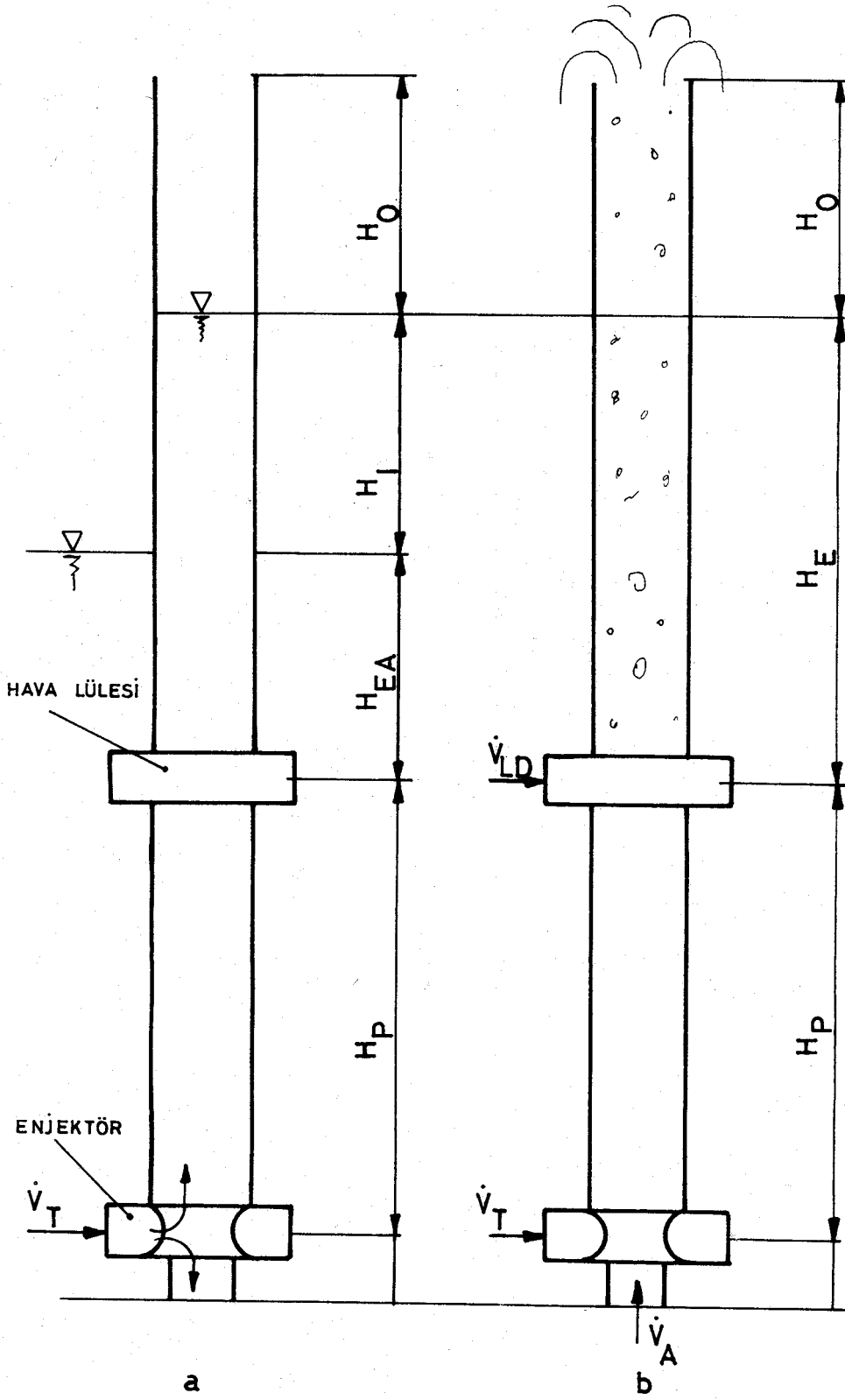
Bir santrifüj pompa vasıtasıyla enjektöre su basılırsa, taşıma borusu içerisindeki su seviyesi yükseltilmiş olur. Henüz bir taşıma olmuyorsa, sisteme sürekli pompalanan işletici su (V_T), alttan akıp gidecektir (Şekil 3.1a).

İşletici su miktarı uygun seçilerek üst borudaki su seviyesi, enjektör pompası ile elde edilebilecek maksimum yüksekliğe çıkartılır. Sonra hava lülesi içerisine hava gönderilir (Şekil 3.1b). Su taşınımına başlayabilmek için ne miktarda işletici su ve de hava gerektiği, tamamen kombine sistemin geometrik ölçülerine bağlıdır. Sistemin üst borusunda iki fazlı akış vardır (Hava+su karışımı).

Kombine sistem üzerine literatürde herhangi bir hesaplama yöntemine rastlanmamıştır. Bu kısımda, 1. ve 2. Bölümlerde açıklanan enjektör pompa ve air-lift (mammut pompa) hesaplama yöntemlerinden de faydalanılarak, kombine enjektör pompa+air-lift sisteminin hesaplaması yapılacaktır.

3.1 Enjektör + Air-lift Kombinasyonu İle Su Taşımada Hesaplama Esasları

Kombine sistemdeki enjektör pompanın tek başına taşıma yapamadığı, yalnız başlangıçtaki su seviyesini



Şekil 3.1 : Enjektör ve Air-Lift pompa kombinasyonunun çalışma prensibi

- a) Hava verilmemesi durumu
- b) Hava verilmesi durumu

H_I kadar yükselterek, hava lülesi üzerindeki daldırma derinliğini, H_E durumuna çıkartabildiği; deney setinden gelen bir şarttır. Enjektör taşıma yapamadığı durumda; alt borudan emiş olmayacağından, alt borudan taşınan su miktarının, sisteme basılan işletici suya oranı diye tarif ettiğimiz m , sıfır olacaktır ($m = 0$).

(1.28) denkleminde m yerine sıfır yazılırsa, basınç yükselmesindeki oran ($\Delta P/q$);

$$(\Delta P/q) = 2/f - Z/f^2 \quad (3.1)$$

olacaktır.

(1.16) denklemindeki q , (3.1) formülünde yerine konursa, enjektör sayesinde boru içerisinde bulunan su seviyesinin ne kadar yükseltilebileceği hesaplanır. Enjektör vasıtasıyla elde edilecek bu yükselmeyi H_I ile göstereceğiz:

$$H_I = \frac{\rho_s \cdot v_T^2}{2} \left(\frac{2}{f} - \frac{Z}{f^2} \right) \quad (3.2)$$

O halde sistemin air-lift bölümü için daldırma derinliği H_E 'yi;

$$H_E = H_{EA} + H_I \quad (3.3)$$

şeklinde formüle edebiliriz.

H_E daldırma derinliğine sahip air-lift yöntemiyle, işletici su miktarından daha fazla su taşıyabilmek, diğer bir deyimle alt borudan da yukarıya doğru su emebilmek için; sisteme gerektiği miktarda hava göndermekle mümkün olacaktır. Alt borudan su emilmesiyle m değişeceğinden, su seviyesi artık (3.2) formülü ile hesaplanmayacaktır. m 'i hesaplara katmak için, alttaki eşitlikten faydalanılacaktır.

$$H_I = \frac{\rho_s V_T^2}{2} \left(\frac{2}{f} + \frac{2m^2}{f(f-1)} - \frac{(1+m)^2 Z}{f^2} \right) \quad (3.4)$$

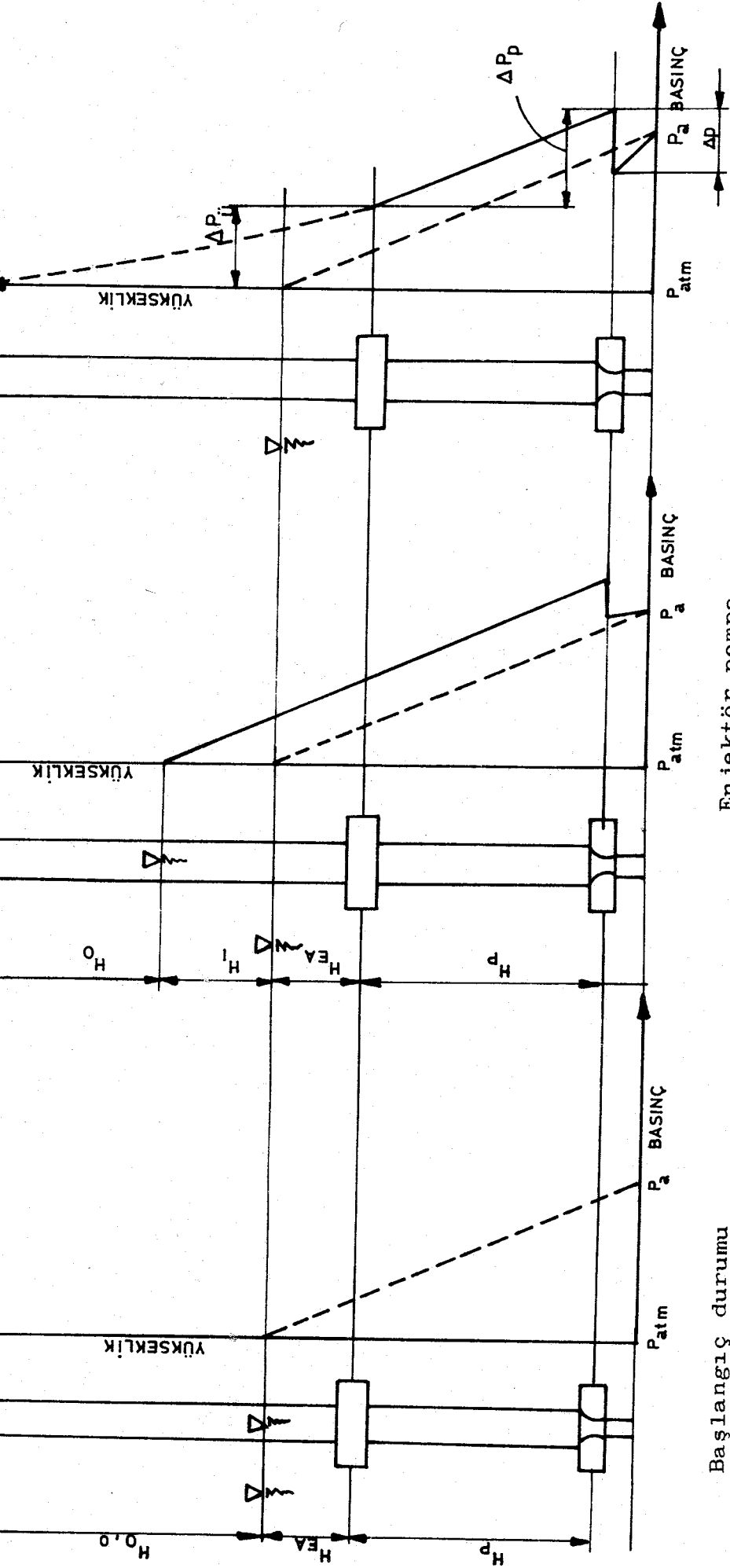
Enjektör sayesinde boru içerisinde oluşturulan su seviyesi m 'e bağlı olduğundan, kütleli debiler oranı m 'in her değişiminde, H_I yüksekliğinin yeniden tesbit edilmesi gerekir. Sistem çalıştığında bu H_I seviyesinin deneysel olarak ölçümü imkansızdır. Bu yükseklik ancak teorik olarak hesaplanabilir.

3.1.1 Su Taşınımında Basıncın Yere Bağlı Değişimi

Kombine sistemde basıncın seyri şematik olarak Şekil 3.2'de gösterilmiştir. Boruya hava gönderilmeden evvel, sistemin en alt kısmındaki basınç;

$$P_a = P_{atm} + g \cdot \rho_s \cdot (H_{EA} + H_p) \quad (3.5)$$

(3.5) formülü ile belirlenir.



Başlangıç durumu

Enjektör pompa

yalnız çalışıyor,

henüz taşıma yok

Enjektör pompa ve Air-Lift

pompası çalışıyor. Taşıma var.

Şekil 3.2 : Enjektör pompa - Air-Lift Kombinasyonu ile su taşınımında basınçların gidişatları

Ara boru içerisinde;

- Giriş basınç kaybı ΔP_G ,
- Ağırlık basınç düşüşü P_A ,
- Sürtünme basınç kaybı ΔP_S , ve
- İvmelenme basınç kaybı ΔP_I

yüzünden, bir toplam basınç farkı meydana gelir. Hava basılma yerine kadar meydana gelecek bu toplam basınç farkı;

$$\Delta P_P = \Delta P_G + \Delta P_A + \Delta P_S + \Delta P_I \quad (3.6)$$

olacaktır.

Hava lülesine giriş yerindeki statik basınç (P_D) aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$P_D = P_{atm} + g \cdot \rho_s \cdot (H_{EA} + H_P) - \Delta P_P \quad (3.7)$$

Düzenli akışta ara borudaki basınç lineer olarak değişecektir.

Hava basılma yerindeki P_D basıncı, üst boruda sürtünme ($\Delta P_{SÜ}$), ivmelenme ($\Delta P_{İÜ}$) ve iki fazlı karışımın ağırlığından ($\Delta P_{AÜ}$) ötürü, üst borunun çıkışında atmosfer basıncı (P_{atm}) seviyesine düşecektir.

Üst boruda havanın genleşmesi yüzünden, derinliğin azalmasıyla birlikte (yani; hava yukarı doğru ilerledikçe) havanın hacimsel debisi, yoğunluğun da sürekli düşmesinden dolayı, sürekli büyüyecektir.

Bu arada üst borudaki su ve hava hızları yukarıya çıkıldıkça artacaktır.

Üst borudaki basınç gradyanı; statik basınç, ortalama karışım yoğunluğu ve fazların hızlarının birbirlerine olan bağımlılıkları yüzünden, ancak hesaplamalarda basitleştirme yapılarak, hesaplanabilir. Yani, üst boruyu çok küçük Δx mesafelerine bölerek, her Δx uzunluğunda meydana gelecek basınç düşüşü adım adım hesaplanacaktır. Bir Δx mesafesinin sonundaki parametreler, bunu takip eden Δx mesafesinin başlangıç değerleri olarak alınacaktır. Δx mesafeleri mümkün mertebe küçük seçilerek, hesaplamalarda yapılacak hata oranı azaltılabilir.

Bir Δx mesafesinde meydana gelecek basınç kaybı;

$$\Delta P_{\Delta x} = (\Delta P/\Delta x)_{SÜ} \cdot \Delta x + (\Delta P)_{IÜ} + (\Delta P/\Delta x)_{AÜ} \cdot \Delta x \quad (3.7)$$

olacaktır.

Üst boru uzunluğunu ($H_E + H_O$), Δx mesafesine bölersek, üst boruda kaç tane (i) Δx mesafesinin olduğunu buluruz, yani;

$$i = (H_E + H_O) / \Delta x \quad (3.8)$$

yazılabilecektir.

Üst borunun tümü boyunca meydana gelecek basınç düşüşü ΔP_{ij} ,

$$\Delta P_{\ddot{U}} = \sum_1^i \Delta P_{\Delta x} \quad (3.9)$$

olacağı açıktır.

Üst boruda basınç, P_D değerinden P_{atm} seviyesine düştüğü için, aradaki fark üst boruda meydana gelen toplam basınç düşüşüdür.

$$P_D - \Delta P_{\ddot{U}} = P_{atm} \quad (3.10)$$

3.1.1.1 Hava Basılma Yerine Kadar Meydana Gelen Basınç Düşüşlerinin İncelenmesi

a) Giriş Basınç Kaybı

Sistemin en alt ucunda, $V_A = \dot{V}_A / A_A$ hızına sahip su akışı olduğundan, giriş basınç kaybı tek fazlı akışlardaki gibi hesaplanır.

$$\Delta P_G = \xi_G \cdot (\rho_s / 2) \cdot V_A^2 \quad (3.11)$$

ξ_G girişteki basınç kayıp katsayısı olup, keskin kenarlı girişlerde 3 alınabileceği KSB'nin el kitabında yazılmıştır. (KSB, Kreiselpumpen-Lexikon, Frankenthal, 1974, s.66).

b) Suyun Ağırlığından Ötürü Ara Boruda Meydana Gelen Basınç Düşüşü

Ağırlıktan dolayı meydana gelecek basınç düşüşü

aşağıdaki formülle hesaplanır.

$$\Delta P_A = g \cdot \rho_s \cdot H_P \quad (3.12)$$

c) Ara Boru İçerisinde Meydana Gelen
Sürtünme Basınç Kaybı

Sürtünme basınç kaybı,

$$\Delta P_S = \frac{\lambda}{D} \cdot \frac{\rho_s}{2} \cdot H_P \cdot (\dot{V}_W/A)^2 \quad (3.13)$$

formülü ile belirlenir. λ , boru sürtünme katsayısıdır.

d) Ara Boru İçerisinde Meydana Gelen
İvmelenme Basınç Kaybı

$$\Delta P_I = \frac{\rho_s}{2} \cdot (\dot{V}_W/A)^2 \quad (3.14)$$

(3.11)'den (3.14) nolu denkleme kadar yazılan eşitlikleri, (3.6) nolu denklemde yerlerine yazarsak, ara boru içerisinde meydana gelen toplam basınç kaybını buluruz.

$$\Delta P_P = \frac{\rho_s}{2} \left[\xi_G V_A^2 + \left(\frac{\dot{V}_W}{A} \right)^2 + H_P \left(2g + \frac{\lambda}{D} \left(\frac{\dot{V}_W}{A} \right)^2 \right) \right] \quad (3.15)$$

3.1.1.2 Üst Borudaki Karışımın Su ve Havanın
Bulunma Oranları

Boru içerisinde duran su içerisine hava basıldığında suya hava karışacak, artan hacim sonucu karışımın seviyesi ilk su seviyesinden daha yukarıya çıkacaktır. Çünkü; hava kabarcıklar şeklinde sonlu bir hızla yukarıya doğru genleşecek ve belli hacimde hava, karışım içerisinde daima bulunacaktır. Havanın ortalama yükselme hızı, henüz bir taşıma yokken (yani $\dot{V}_W=0$ iken)/92/;

$$V_L = W_B + S \cdot \frac{\dot{V}_L}{A} \quad (3.16)$$

olacaktır. W_B ; çapa bağlı kabarcık yükselme hızını, S ise boyutsuz bir sabiti göstermektedir. Dedegil'in /92/ yaptığı deneylerden, S sabitinin yaklaşık olarak boru çapından bağımsız ve 1,081'lik bir değere sahip olduğu anlaşılmaktadır. W_B değeri, 42 mm çaplı boruda 0,16 m/s, daha büyük çaplı borularda 0,41 m/s olmaktadır.

Su taşınımına başlanıldığında havanın ortalama yükselme hızı, (\dot{V}_W/A) hızı kadar artacaktır. Yani genel durum için /92/,

$$V_L = W_B + S \cdot \frac{\dot{V}_L}{A} + \frac{\dot{V}_W}{A} \quad (3.17)$$

formülü yazılabilir.

Su-hava karışımı içerisindeki hava oranı (ϵ_h),

hacimsel hava debisinin tarifinden ($\dot{V}_L = \epsilon_h \cdot A \cdot v_L$),
aşağıdaki ifade ile belirlenir.

$$\epsilon_h = \frac{\dot{V}_L / A}{W_B + S \cdot \frac{\dot{V}_L}{A} + \frac{\dot{V}_W}{A}} \quad (3.18)$$

3.1.1.3 Üst Borudaki Ortalama Yoğunluk

Burada iki fazlı kabarcık akımının yoğunluğu, bir fazlı akışkan yoğunluğu gibi ele alınacaktır.

$$\rho_o = (1 - \epsilon_h) \cdot \rho_s + \epsilon_h \cdot \rho_h \quad (3.19)$$

3.1.1.4 Üst Borudaki Toplam Basınç Düşüşü

a) Üst Boruda Sürtünmeden Ötürü Meydana Gelen Basınç Düşüşü

İki fazlı akışta sürtünmeden dolayı basınç kaybının hesaplanmasında Dedegil /84/ tarafından teklif edilen basit bir yöntem kullanılacaktır. Buna göre, iki fazlı akışta basınç kaybı; her iki fazın dinamik basınçlarının toplamıdır. Toplam alınırken her fazın boru içerisinde işgal ettikleri alanlar da göz önüne alınacaktır:

$$\left(\frac{\Delta P}{\Delta x} \right)_{SÜ} = \frac{\lambda}{D} \cdot \left(\frac{\rho_s}{2} (1 - \epsilon_h) v_W^2 + \frac{\rho_h}{2} \epsilon_h v_L^2 \right) \quad (3.20)$$

Gerçekte, sürtünmeden dolayı basınç kaybı, ağırlıktan dolayı meydana gelen basınç gradyanı yanında çok küçük olduğundan, literatürlerde verilen karmaşık bağıntılarla ve yukarıda verilen eşitliklerle yapılan hesaplar arasında tüm sistem için çok az bir fark olacağı aşikardır.

(3.20) formülü içerisindeki V_W üst borudaki suyun hızı, V_L ise havanın hızını göstermektedir. Her Δx mesafesindeki hızlar, aşağıdaki formüllerle belirlenirler.

$$V_W = \frac{\dot{V}_W}{A(1 - \epsilon_h)} \quad (3.21)$$

$$V_L = \frac{\dot{V}_L}{A\epsilon_h} \quad (3.22)$$

b) Üst Boruda İvmelenmeden Ötürü Meydana Gelen Basınç Kaybı

İvmelenme basınç kaybı da adım adım hesap edilecektir. Bir Δx mesafesine girişteki büyüklükleri 1 indeksi ile, çıkıştakilerini ise 2 indeksi ile gösterirsek, Δx yolu boyunca meydana gelen ivmelenme basınç kaybı, kinetik enerji değişimlerinden dolayı,

$$(\Delta P)_{\text{İÜ}} = \frac{\rho_s}{2}(1 - \epsilon_h)(v_{W2}^2 - v_{W1}^2) + \frac{\rho_h}{2}\epsilon_h(v_{L2}^2 - v_{L1}^2) \quad (3.23)$$

olacaktır.

c) Üst Boruda Ağırlıktan Ötürü Meydana
Gelen Basınç Düşüşü

Ağırlığın sebep olduğu basınç düşüşü gradyanı $(\Delta P/\Delta x)_{AÜ}$, aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$\left(\frac{\Delta P}{\Delta x}\right)_{AÜ} = (1-\epsilon_h) \rho_s g + \epsilon_h \rho_h g \quad (3.24)$$

Üst borudaki toplam basınç düşüşü hesaplarında ρ_h li terimler ortadan kaldırılabilir. Çünkü; havanın yoğunluğu, suyun yoğunluğunun yanında ihmal edilecek seviyede küçüktür.

Üst boruda basınç düşüşü hesaplarına girerken başlangıç değerleri olarak, hava basılma noktasındaki veriler kullanılır. Su için alt borudaki su hızı alınır. D noktasında, hava P_D basıncı altında boruya girdiğinden, başlangıç hava debisi (\dot{V}_{LD}) için (3.25) formülü geçerli olacaktır.

$$\dot{V}_{LD} = \dot{V}_{Lo} \cdot \frac{P_o}{P_D} \cdot \frac{T}{T_o} \quad (3.25)$$

3.2 Enjektör + Air-Lift Kombinasyonu İle
Su Taşınımında Güç Bilançosu

Bir akışta kullanılan güç; basınç kaybı ΔP ile, nakledilen hacimsel debinin (\dot{V}) çarpımıdır.

Su ile havanın iyice karışması ve suyun ısı kapasitesi, havanın ısı kapasitesinin yanında çok büyük olması nedeniyle, sistemin air-lift kısmı için sarfedilen güç hesabında, havanın izotermik genleştiği esas alınabilir.

$$N_H = P_{atm} \cdot \dot{V}_{L,atm} \cdot \ln \frac{P_D}{P_{atm}} \quad (3.27)$$

Sistemde enjektör pompanın çalıştırılması için sarfedilen güç ise, santrifüj pompadan enjektöre kadar olan borudaki basınç kaybı ihmal edilirse,

$$N_P = \dot{V}_T \cdot \frac{\rho_s}{2} \cdot V_T^2 \quad (3.28)$$

şeklinde hesap edilir. Kombinasyon için sarfedilecek toplam güç dolayısıyla,

$$N_G = N_H + N_P \quad (3.29)$$

olacaktır.

Ara borudaki hacimsel debi, suyun sıkıştırılmıyan akışkan olmasından ötürü, sabittir. Ara boruda havanın boruya gönderildiği yere kadar gerekli güç (N_A);

$$N_{AR} = \Delta P_P \cdot \dot{V}_W \quad (3.30)$$

formülü ile elde edilir.

Hava gönderilen yerin üzerindeki güç gereksinimi hesabı ise, havanın genişmesi yüzünden, karışımın hacimsel debisindeki ve basınç gradyanındaki değişim göz önüne alınarak yapılır. Bu yüzden hesap için alttaki eşitlik kullanılacaktır.

$$N_{\dot{U}} = \sum_I^i \Delta P_{\Delta x} \cdot (\dot{V}_W + \dot{V}_L(x)) \quad (3.31)$$

Boru dışındaki su seviyesi sabit olsun. 2.3 Güç Bilançosu adı altında (2.15) denklemi için yazılanlar burada da geçerli olacağından, (3.32) formülünde yazılı güç kazanç sayılacaktır:

$$N_K = \rho_s g (H_{EA} + H_P) \dot{V}_W \quad (3.32)$$

Kombine sisteme verilen ve alınan güçler aşağıdaki şekilde formüle edilir.

$$N_G = N_{AR} + N_{\dot{U}} - N_K \quad (3.33)$$

(3.33) denklemindeki terimlerin yerlerine karşılıklarını yazarsak, alttaki eşitliği elde ederiz.

$$P_{atm} \dot{V}_L \ln \frac{P_D}{P_{atm}} + \dot{V}_T \frac{\rho_s}{2} v_T^2 = \Delta P_P \dot{V}_W +$$

$$\sum_1^i \Delta P_{\Delta x} (\dot{V}_W + \dot{V}_L(x)) - \rho_s g (H_{EA} + H_P) \dot{V}_W \quad (3.34)$$

3.3 Enjektör + Air-lift Kombinasyonu
Yöntemiyle Su Taşınımında Verim

\dot{V}_A hacimsel debisine sahip su, kombine sistem sayesinde, $(H_O + H_I)$ seviyesine taşındığına göre, faydalanılan güç miktarı;

$$N_F = (H_O + H_I) \cdot g \cdot \rho_s \cdot \dot{V}_A \quad (3.35)$$

olacaktır.

Faydalanılan gücün (N_F), sisteme sarfedilen güce N_G oranı kombine sistemin verimini verecektir. Dolayısıyla verim;

$$\eta = \frac{N_F}{N_G} = \frac{(H_O + H_I) \cdot \rho_s \cdot \dot{V}_A \cdot g}{\dot{V}_L \cdot P_{atm} \cdot \ln \frac{P_D}{P_{atm}} + \dot{V}_T \cdot \frac{\rho_s}{2} \cdot V_T^2} \quad (3.36)$$

şeklinde ifade edilecektir.

4. Deneysel Çalışmalar

4.1 Deney Düzeneği

Enjektör pompa - air-lift kombinasyonu için bulunan teorinin geçerliliğini göstermek gayesiyle, Institut für Fördertechnik, Abt. Strömungsfördertechnik, Uni. Karlsruhe, Batı Almanya`da bu çalışma için yeni bir deney düzeneği kurulmuştur. Deney düzeneğinin şematik çizimi Şekil 4.1`de görülmektedir.

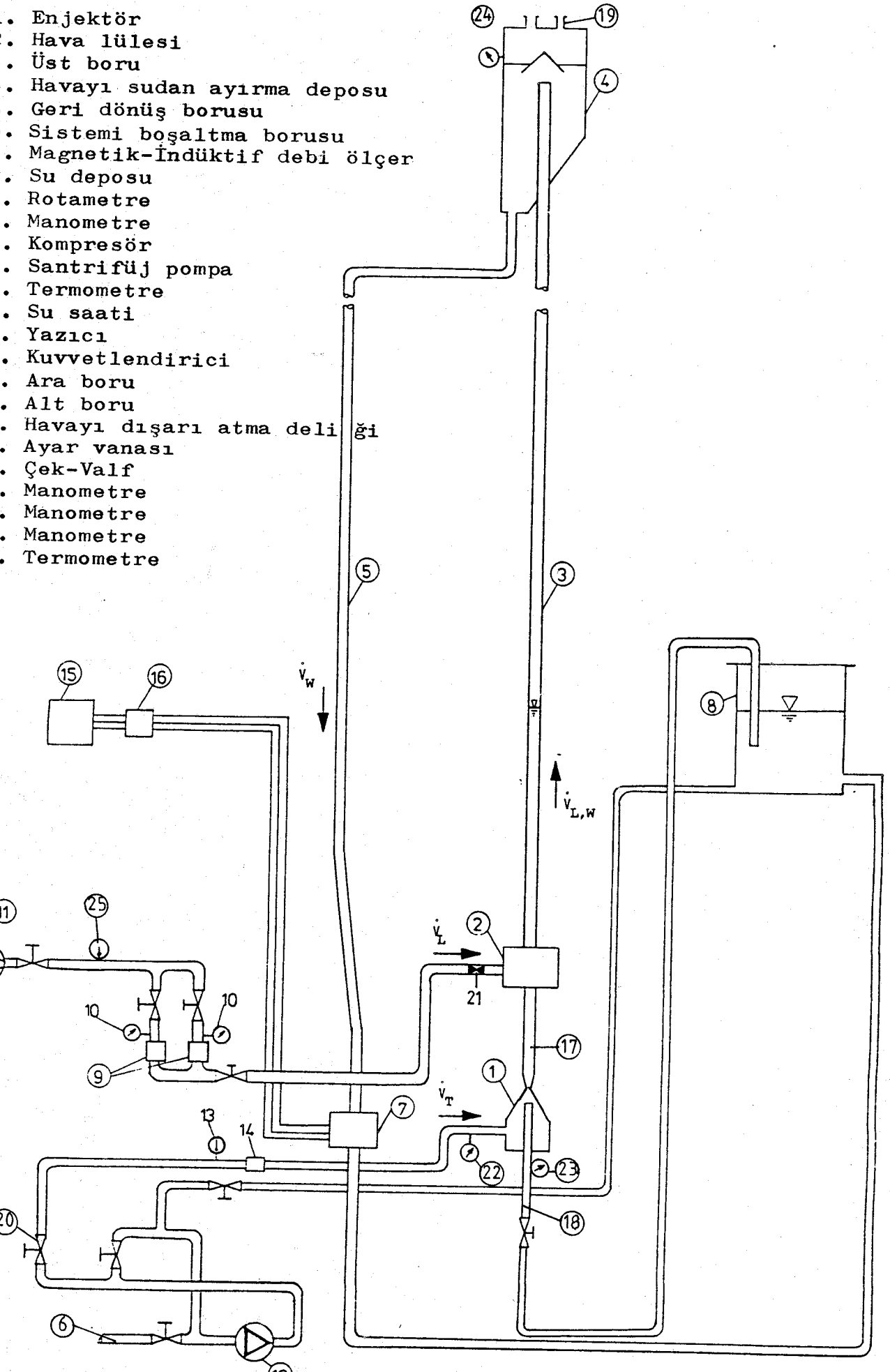
İşletici su (\dot{V}_T); $\dot{V}_{max} = 4 \text{ m}^3/\text{h}$ ve $P_{max} = 6 \text{ bar}$ olan bir santrifüj pompa (12) yardımıyla, (8) nolu depodan emilip, çapı 50 mm olan bir boru ile enjektöre (1) pompalanmaktadır. Santrifüj pompadan geçen su debisini ayar etmek için özel bir ayarlama imkanı bulunmadığından, işletici suyu (\dot{V}_T) ayarlıyabilmek için pompaya bir By-Pass hattı konulmuştur. Böylece pompanın basma ağzından bir kısım su, By-Pass hattı sayesinde tekrar pompa emiş ağzına verilebilmektedir.

İşletici suyun sıcaklığı (13) nolu termometre ile kontrol edilmekte, debisi ise (14) numarayla gösterilen su saati yardımıyla ölçülmektedir.

Enjektör (1) ve hava lülesini (2) biribirine bağlayan (17) nolu ara boru, şeffaf boru (plexiglas boru) olup, 50 mm iç çapa sahiptir. Bu boru çapı sonraki deneylerde 100 mm`ye çıkartılmıştır.

Şekil 4.1 : Deney düzeneği

- . Enjektör
- . Hava lülesi
- . Üst boru
- . Havayı sudan ayırma deposu
- . Geri dönüş borusu
- . Sistemi boşaltma borusu
- . Magnetik-İndüktif debi ölçer
- . Su deposu
- . Rotametre
- . Manometre
- . Kompresör
- . Santrifüj pompa
- . Termometre
- . Su saati
- . Yazıcı
- . Kuvvetlendirici
- . Ara boru
- . Alt boru
- . Havayı dışarı atma deliği
- . Ayar vanası
- . Çek-Valf
- . Manometre
- . Manometre
- . Manometre
- . Termometre



Kombinasyonda kullanılan hava; (11) nolu $P_{\max} = 13$ atü, gücü 60 PS olan pistonlu bir kompresörden sağlanmaktadır. Sisteme gönderilen havanın miktarı (\dot{M}_L) bir rotametre sistemi yardımıyla ölçülmektedir. Havanın basıncı (10) numaralı manometrelerden; sıcaklığı ise (25) numaralı termometreden okunmaktadır. Rotametre sisteminden çıkan hava, 50 mm'lik bir hortum sayesinde, bir çek valf (21) üzerinden hava lülesine (2) gönderilmektedir.

Taşıma borusu da plexiglas olup, 50 mm iç çapa sahiptir. Sonradan ikinci grup deneylerde bu boru çapı da 100 mm'ye çıkartılmıştır.

Alt boruya (18) su, (8) numaralı depodan, 30 mm iç çaplı şeffaf bir plastik boru sayesinde emilmektedir. (8) numaralı depodaki su seviyesi, süreklilik şartı sağlanıncaya değin, daima değişebilmektedir. Sistem kapalı devre çalıştığından, sisteme emilen su miktarı kadar (8) numaralı depoya su ilave olduğundan, depodaki su seviyesi sabit kalabilmektedir.

Üst boru içerisinde hava-su karışımı bulunduğundan, üstte havayı sudan uzaklaştırmak için (4) numaralı depo yapılmıştır. Hava (19) nolu deliklerden dışarı atılmaktadır.

Kombinasyon ile üst borudan taşınan toplam su miktarı (\dot{V}_W), (5) numaralı geri dönüş borusundan ve (7) numarayla gösterilen magnetik-indüktif debi ölçerden

geçerek, (8) numaralı depoya akmaktadır. Magnetik-indüktif debi ölçer içerisinde meydana gelen signaller, (16) nolu kuvvetlendiriciden geçerek, (15) nolu yazıcıda değerlendirilmektedir.

Deney düzeneğinin toplam yüksekliği 9,25 metredir. Üst boru ve ara boru sırasıyla 7,1 m ve 1,4 m boylarına sahiptirler.

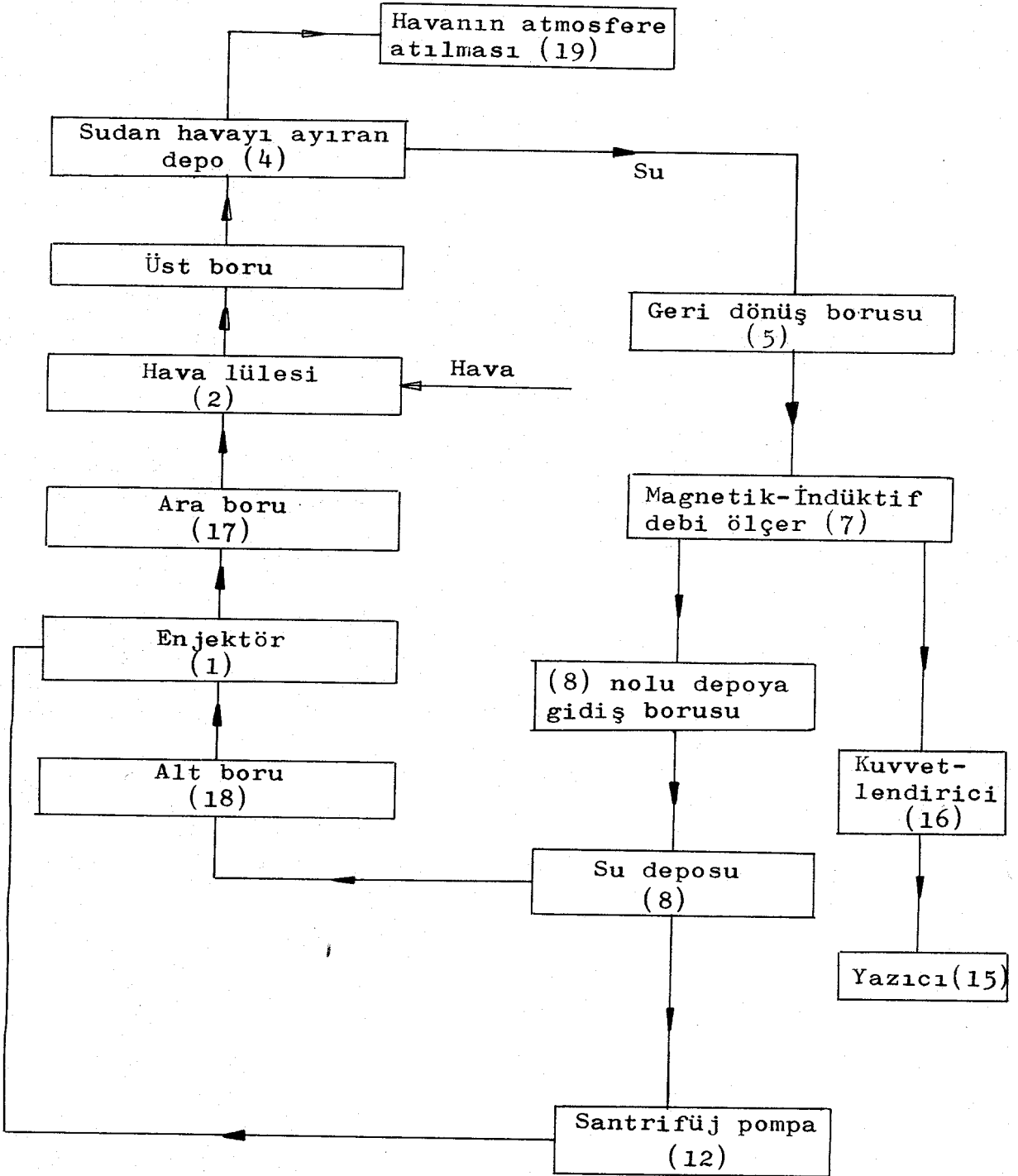
Deneyler yapılırken takip edilen akış sırası Şekil 4.2`de verilmiştir.

Kombine sistem 3 katlı bir bina içerisine monte edilmiştir. Resim 1`de enjektör pompa + air-lift kombinasyonunun binanın alt katındaki bölümü görülmektedir. Bu bölümde santrifüj pompa (12), su saati (14), enjektör (1), hava lülesi (2) ve magnetik-indüktif debi ölçer(7), sistemin belli başlı parçalarını oluşturmaktadır.

Resim 2`de sisteme hava gönderilen yer, yani hava lülesi (2) görülüyor. Hava lülesinin önünde; suyun, hava geliş borusu içerisine girmemesi için bir çek valf (21) bulunmaktadır.

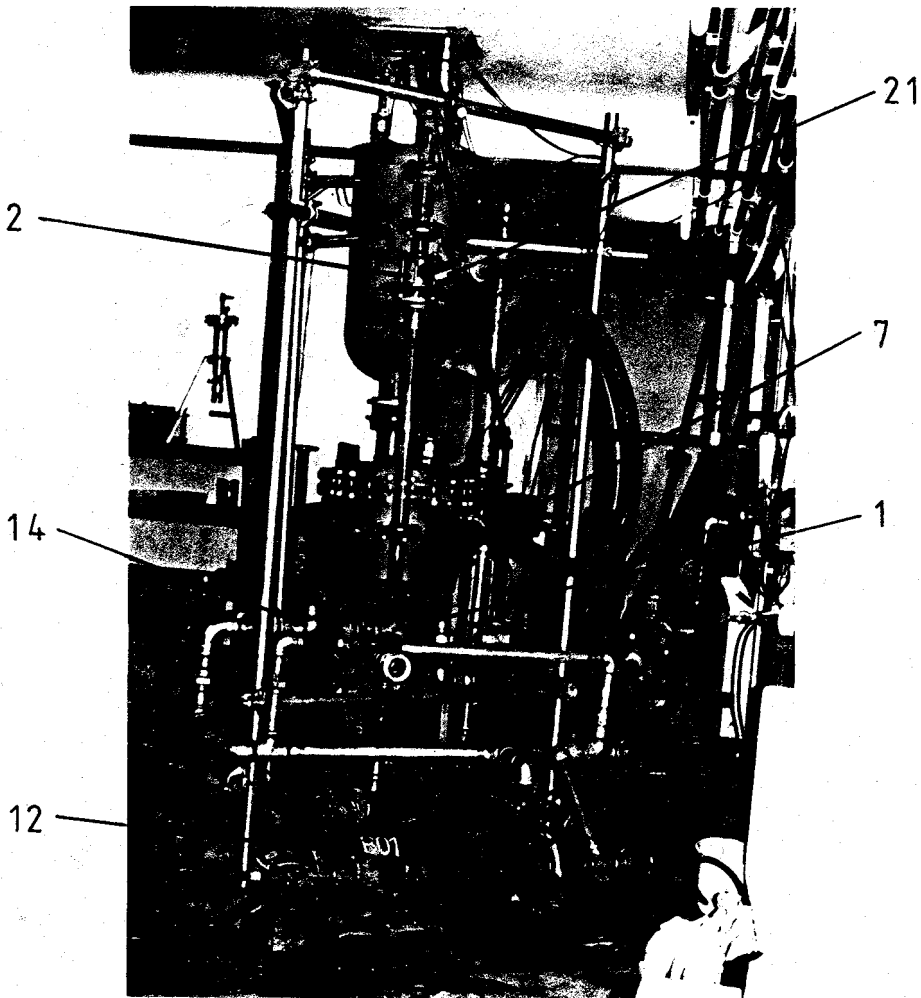
Resim 3`te Magnetik-indüktif debi ölçer (7), Resim 4`te santrifüj pompa (12), Resim 5`te enjektörün (1) komple resmi ve Resim 6`da da üç delikli enjektörün yakından çekilmiş fotoğrafları görülmektedir.

Resim 7`de kombine sistemin binanın ikinci katında

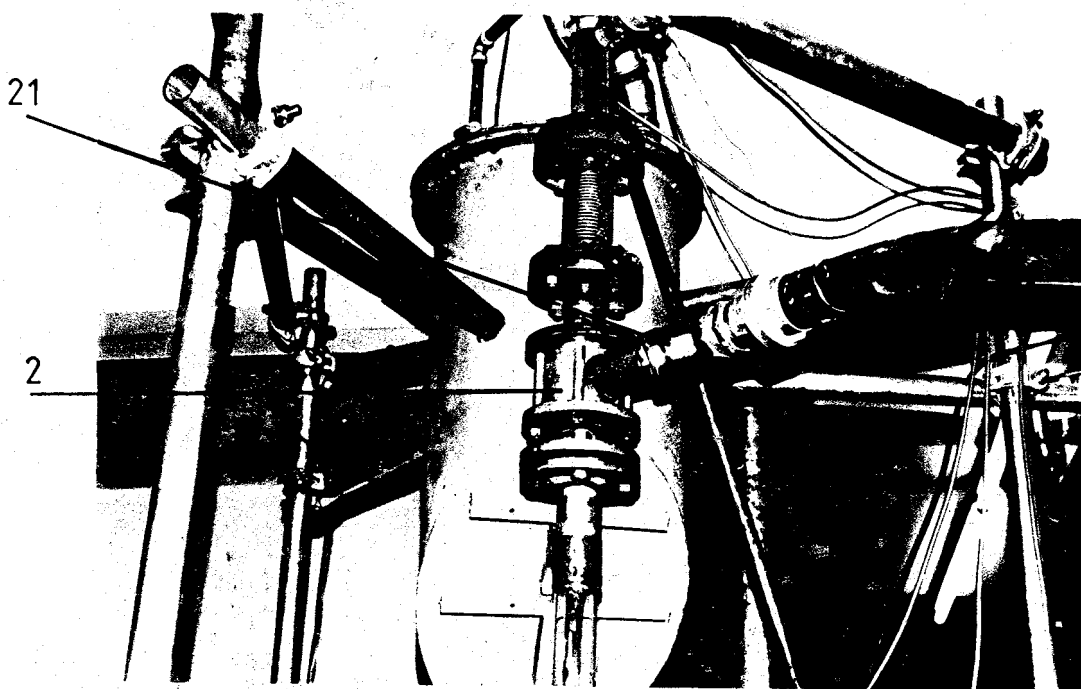


Şekil 4.2 : Deney düzeneğinin akış şeması

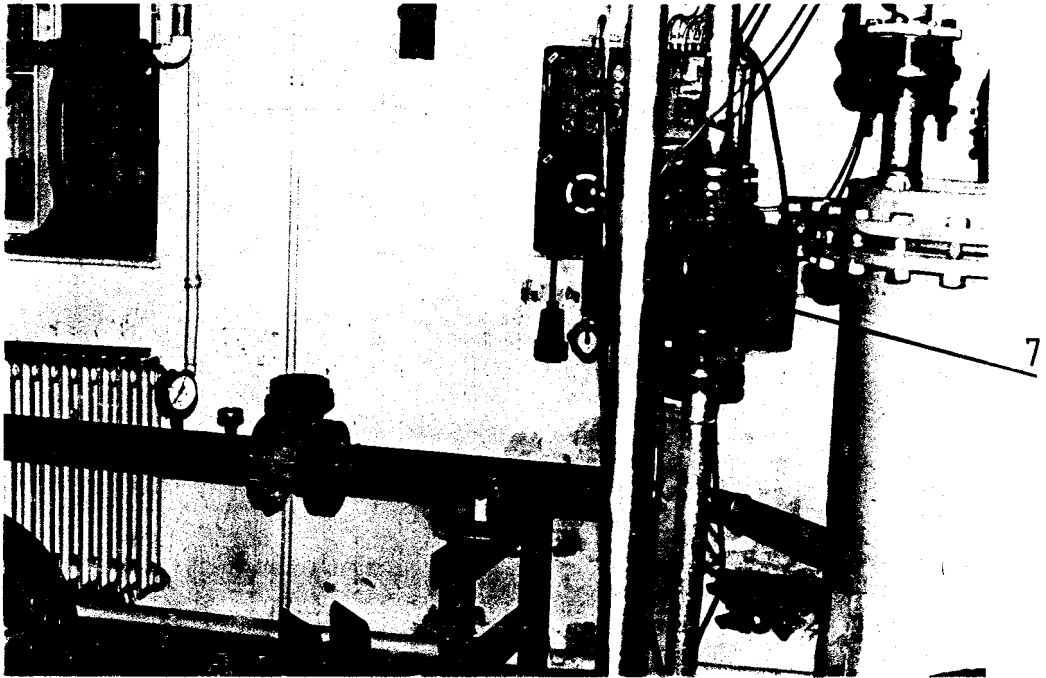
bulunan kısımları olan gidiş-geliş boruları (3,5); Resim 8`de deney neticelerinin değerlendirildiği kuvvetlendirici (16) ve yazıcı (15); Resim 9`da sistemin en üst bölümündeki parçaları olan su deposu (4) ve havanın dışarı atıldığı delikler (19); Resim 10`da da havanın sisteme gönderilmeden evvel ölçüldüğü rotametreler (9), manometreler (10) ve vanalar görülmektedir.



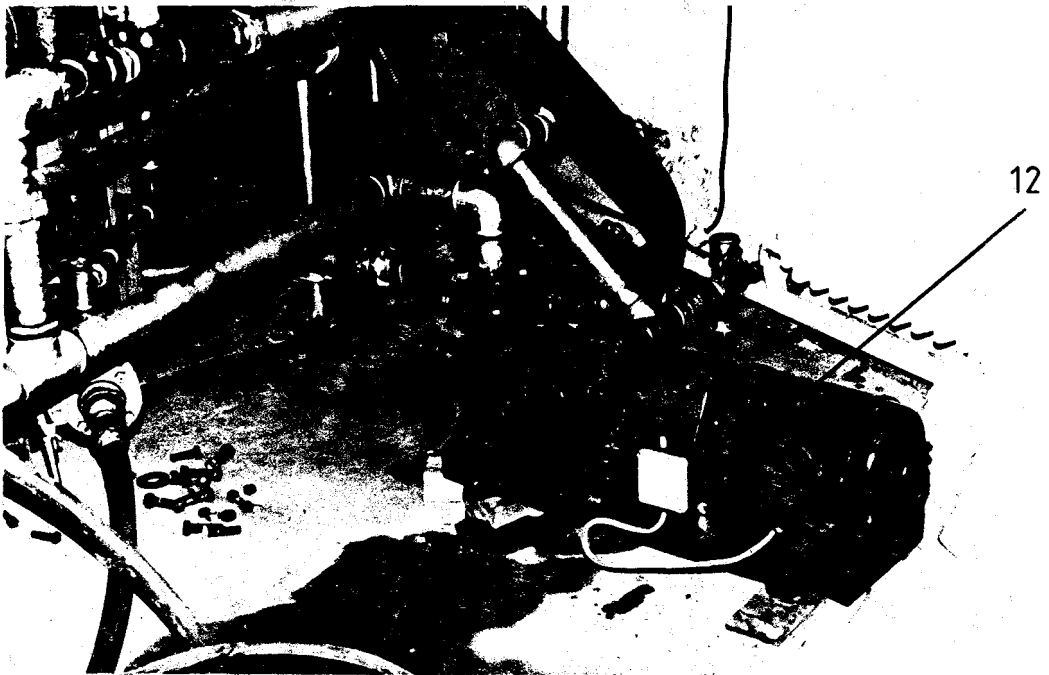
Resim 1



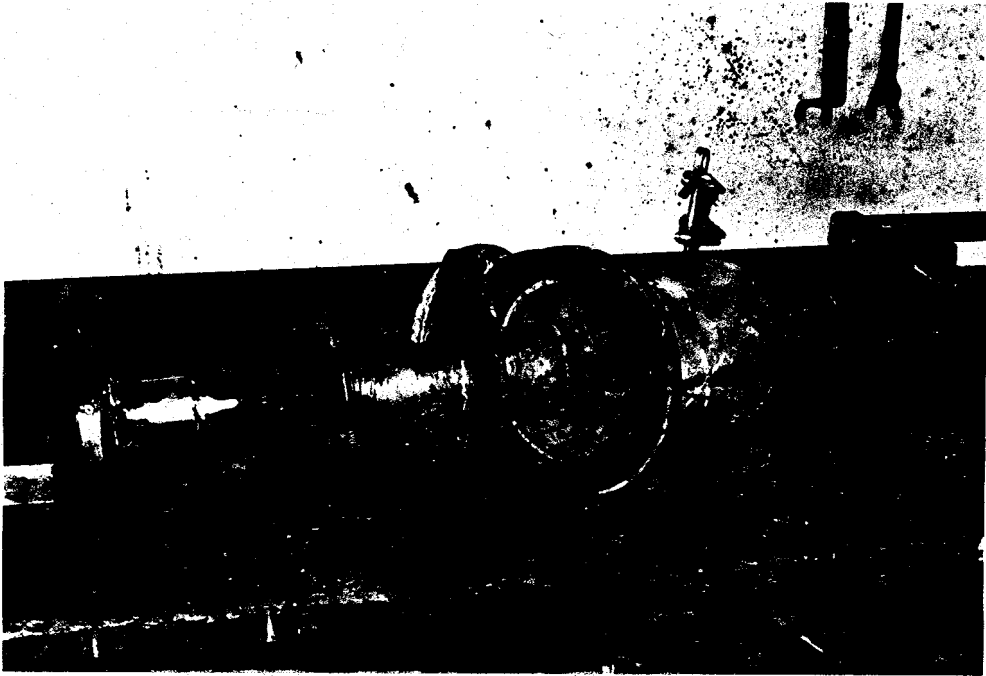
Resim 2



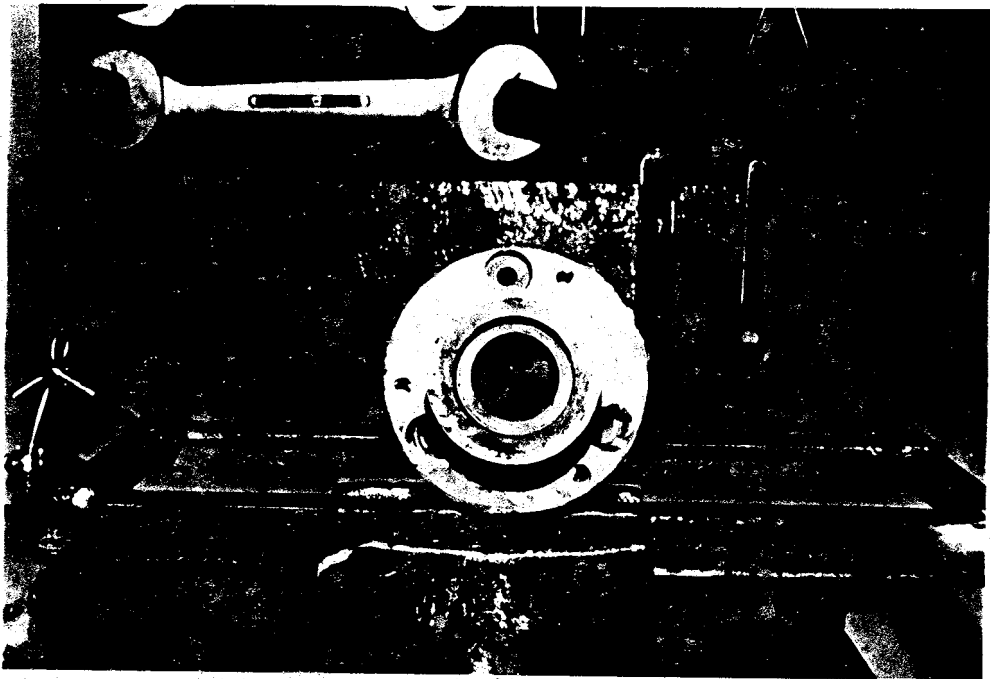
Resim 3



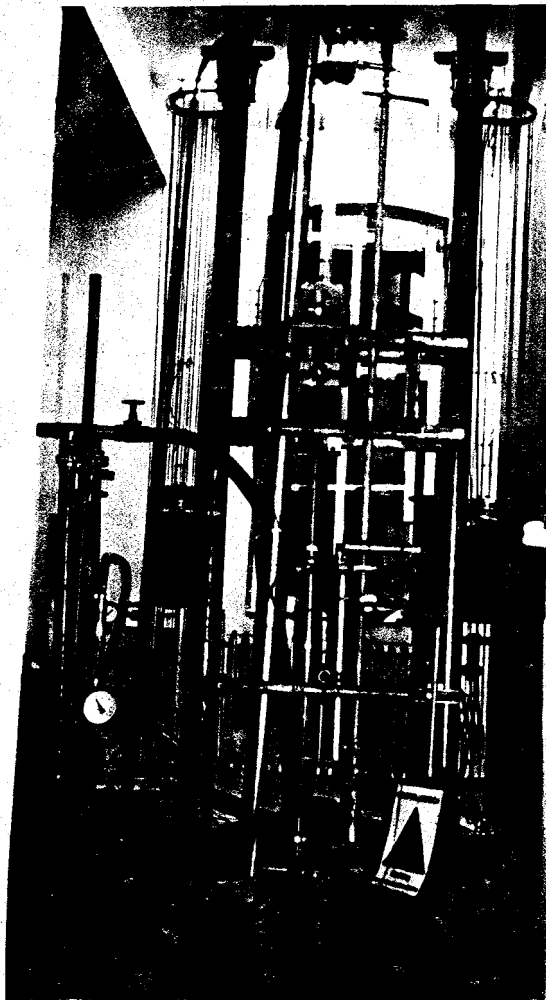
Resim 4



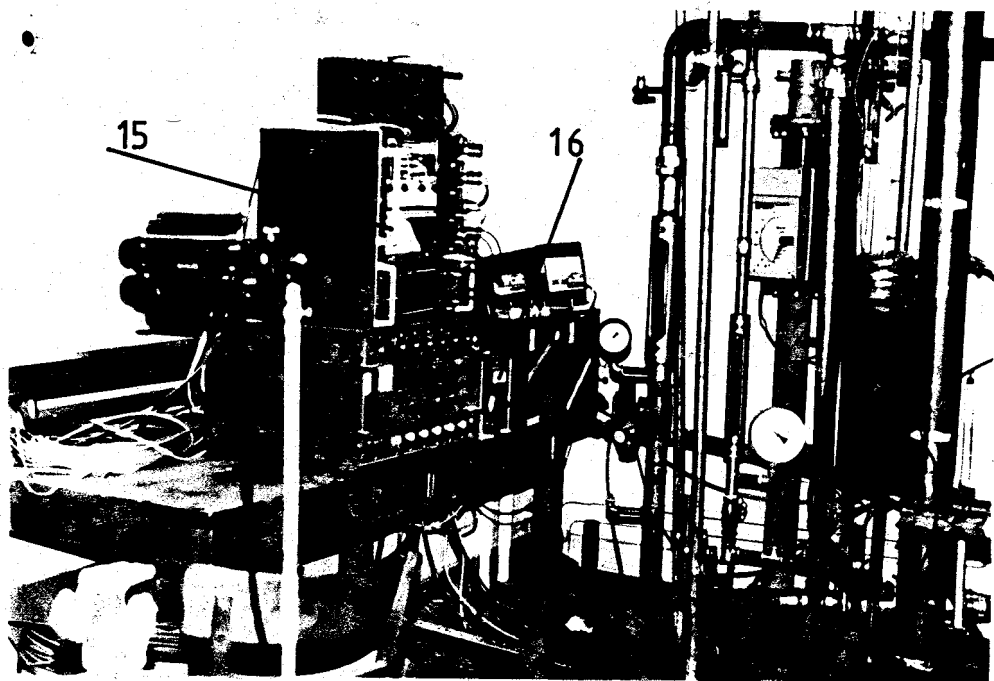
Resim 5



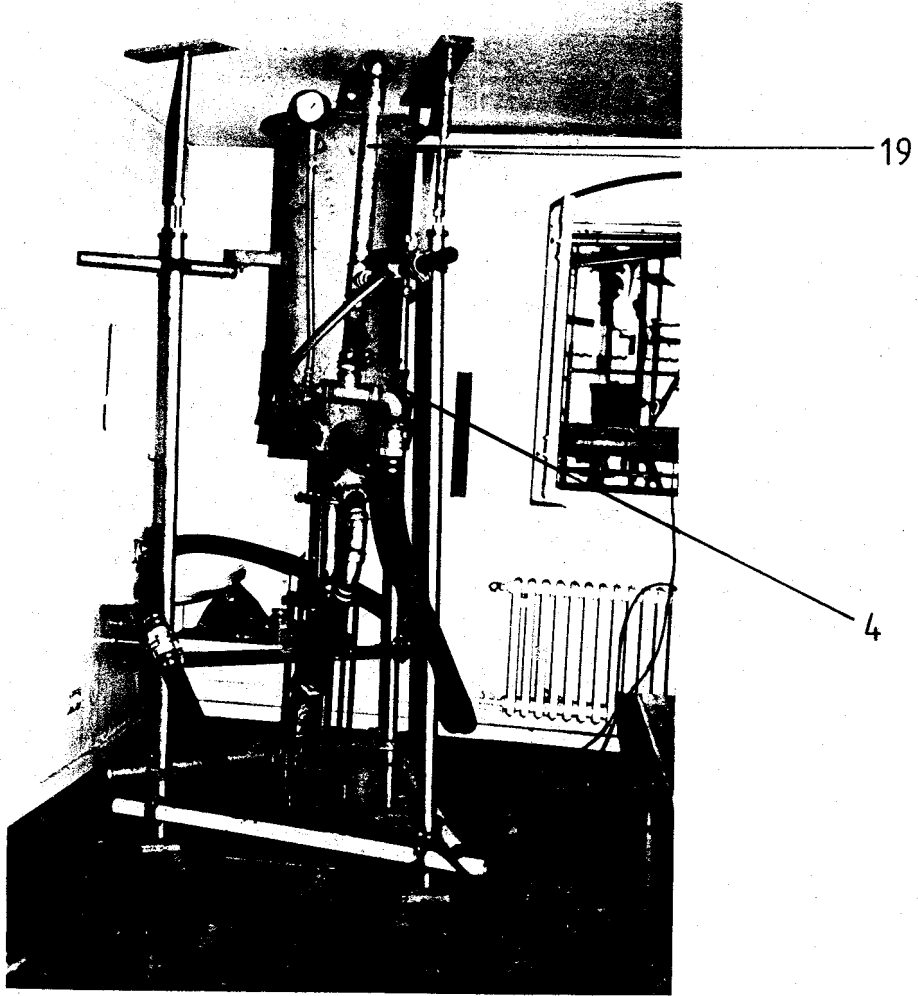
Resim 6



Resim 7

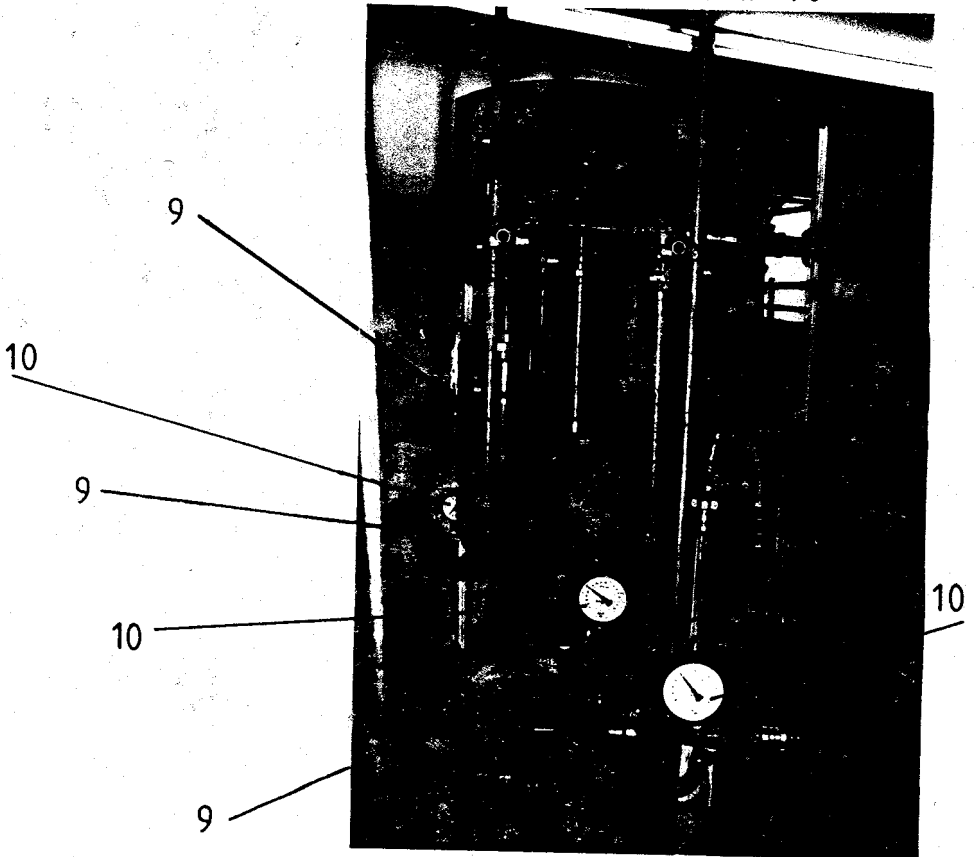


Resim 8



Resim 9

Resim 10

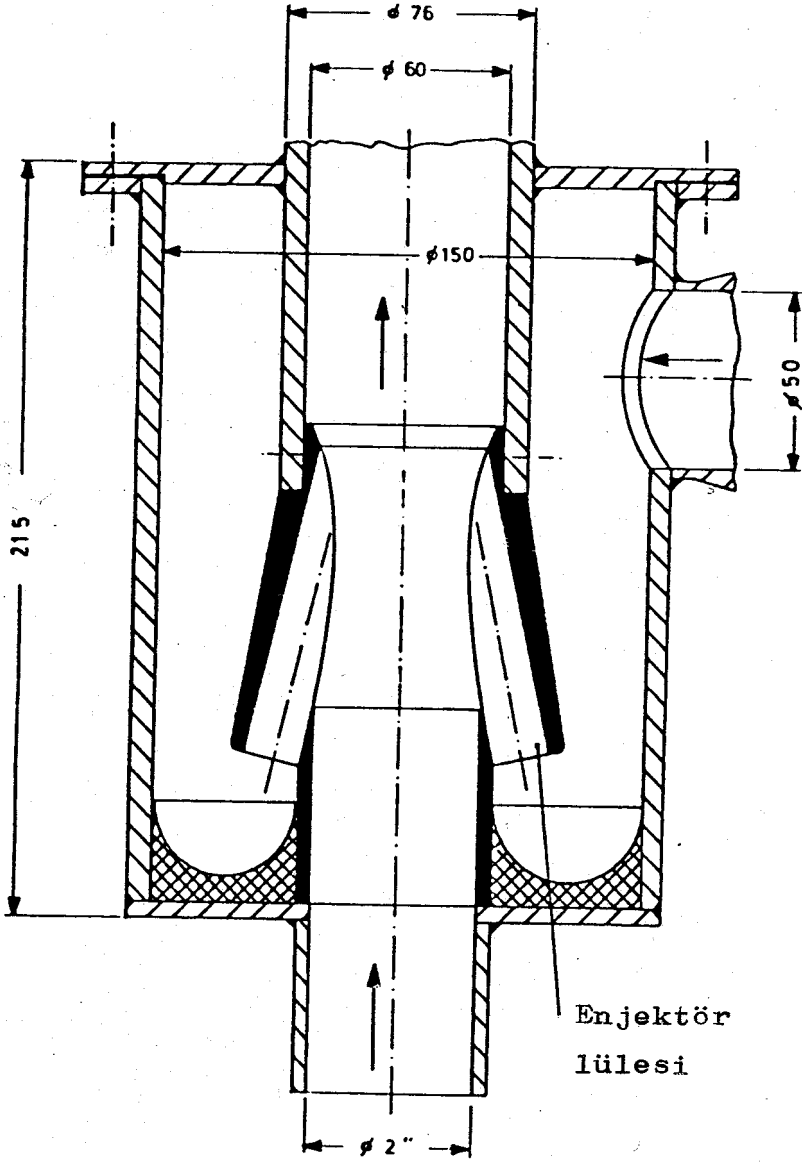


4.2 DeneYlerde Kullanılan Enjektör ve Lüleler

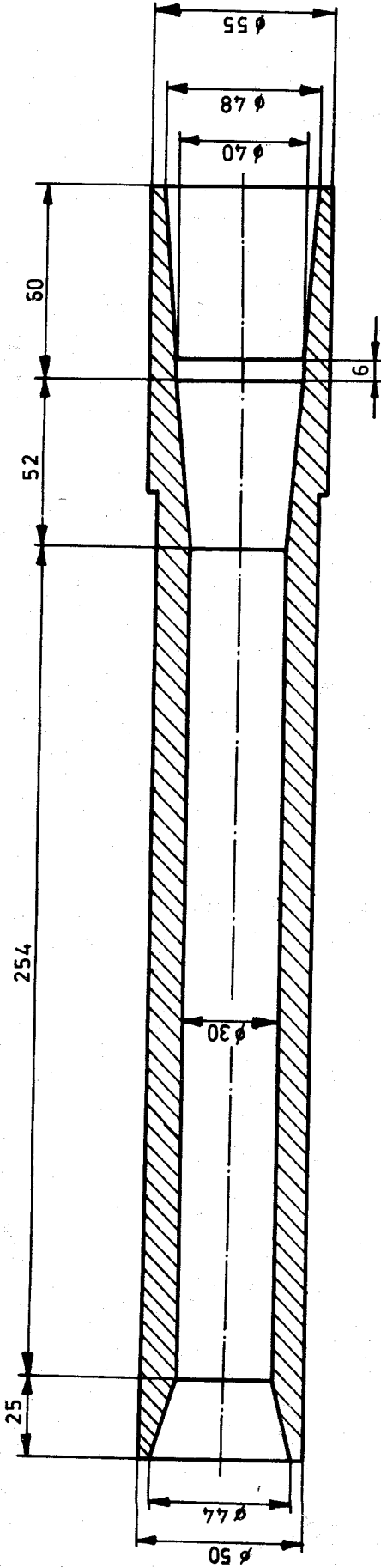
Deney düzeneginin yapılmasında yeni bir lüle konstrüksiyonu yerine FELDLLE, G. /45/ tarafından teklif edilen üç delikli lüleler kullanılmıştır. Lüle üzerindeki üç delikten fışkıran su, boru eksenine 15° lik açı yaparak, karışma borusuna girmektedir. Lüle üzerindeki bu üç delik içersine farklı çapta plastik borular yerleştirelerek ve karışma borusu çapı uygun şekilde değiştirilerek, değişik enjektör alan oranları elde edilmiştir (Şekil 4.3).

Şekil 4.4`te ise lüleyi çevreleyen tütün boyutları verilmiştir. Şekildeki tütün ve lüle 50 mm`lik boruda kullanılmıştır.

Lülenin çıkışına takılan karışma borusu ve difüzörün kesiti Şekil 4.5`te görölmektedir.



Şekil 4.4: Enjektör lülesini çevreleyen tüp



Şekil 4.5: Enjektörün karışma borusu ve difüzörünün kesit resmi

4.3 Ölçme Yöntemleri

4.3.1 Debi Ölçerler

Deney düzeneğinde üç ayrı yerde debi ölçümü yapılmaktadır. Bu yerler, Şekil 4.1`de (14), (7) ve (9) numaralarla kodlandırılmıştır. (14) numaralı yerde bulunan debi ölçer, hassas bir su saatidir ve enjektöre basılan işletici suyun debisini (\dot{V}_T) tesbite yarar. Bu su saatinin alçak debilerde yapabileceği maksimum hata % 1`in altındadır.

(7) numaralı yerde bulunan debi ölçer magnetik-indüktif debi ölçer olup, toplam taşınan su debisini (\dot{V}_W) ölçmede kullanılır. Ölçme, Faraday`ın indüklenme kanununa dayanmaktadır. Bu debi ölçer içerisinde sıvı akışkanın hareketi sonucu signaller oluşur. Bu signaller kuvvetlendiriciye, oradan da yazıcıya gönderilerek, debi ölçerden geçen akışkan miktarı orada kaydedilir. Magnetik-indüktif debi ölçerlerin en büyük özelliği, bu aletler içerisinde ayrıca bir basınç düşüşünün meydana gelmemesidir. Bu tür debi ölçerlerin yapabileceği maksimum hata toplamı % 0,7 dir. Bu konuda etraflıca bilgi /93/ nolu referansta verilmektedir.

(9) numaralı debi ölçerler rotametreler olup, hava lülesine gönderilen hava debisini tesbite yaramaktadır. Havanın sıkışabilir olması, ölçümlerde özel itinanın

gösterilmesini gerektirmektedir. Hesaplamaların tümünde normal şartlardaki hava debisi esas alınmıştır. Bu yüzden deney yerinde okunan hava debileri, aşağıdaki formül sayesinde normal şartlara uydurulmaktadır.

$$\dot{V}_{L_o} = \dot{V}_{L_{max}} \cdot \frac{\text{Skala}}{100} \sqrt{\frac{(P_{\text{ÖN}}/1,36 \cdot 10^{-3}) + P_{\text{atm}}}{760}}$$

Formüldeki sembollerin anlamları:

$\dot{V}_{L_{max}}$ = Rotametrenin normal şartlardaki maksimum hava geçirebilme kapasitesi (Nm³/h)

Skala = Rotametrenin üzerindeki taksimatlar (-)

$P_{\text{ÖN}}$ = Rotametre önünde okunan basınç (atü)

P_{atm} = Atmosfer basıncı (mm Hg)

İmalatçı firmaya göre, rotametrelerin yapabilecekleri maksimum hata % 1,5'un altındadır.

4.3.2 Basınç Ölçerler

Deney düzeneğinde yaylı manometreler kullanılmıştır. Şekil 4.1`de (10), (22), (23) ve (24) nolu yerlere yerleştirilen manometreler sayesinde, o noktalardaki basınçlar tesbit edilmiştir.

4.3.3 Sıcaklık Ölçerler

Deney düzeneğinin kapalı devre çalıştığı daha

önceden söylenmişti. Deney düzeneğinin kapalı devre olması, sistemdeki suyun zamanla ısınmasına neden olduğundan, suyun özelliklerinin değişmemesi için, deneyler boyunca su sıcaklığının 25°C 'tı aşmamasına özen gösterilmiştir. Suyun sıcaklığı (13) nolu termometre ile ölçülmüştür.

Havanın sıcaklığını da tesbit etmek gayesiyle, deney düzeneğine (25) nolu termometre konulmuştur. Tüm deneyler boyunca havanın ısınmaya maruz kalmadığı gözetlenmiştir.

4.4 DeneYlerin Yapılışı

DeneYlerden önce bir kontrol listesi yardımıyla sistemdeki bütün vanalar gözden geçirilerek, bulunmaları gerekli konuma getirilmektedir.

(6) nolu borudan sisteme su doldurulmaktadır. Su doldurma işlemini çabuklaştırmak için, (8) nolu su deposuna bir hortumla su takviyesi yapılır(Şekil 4.1). (8) nolu depoda su istenilen yüksekliğe çıkınca, sisteme dolan sular kesilir. Sistem içerisinde başlangıçtaki su seviyesi, hava lülesinden itibaren $H_{EA} = 1,5$ m yukarıda tutulur. (3) nolu plexiglas boru içerisinde su seviyesi izlenebilmekte ve yüksekliği boru üzerindeki skaladan tesbit edilebilmektedir.

Yazıcı (15) çalıştırılarak, sıfırlanır ve kuvvetlendirici (16) üzerindeki gösterge ile, 1 m/s için aynı değeri gösterip, göstermediği kontrol edilir.

Ortamın atmosfer basıncı ölçülür. Ardından kompresör çalıştırılır, fakat sisteme henüz hava gönderilmemektedir.

Bu ön hazırlıklardan sonra (12) nolu santrifüj pompa çalıştırılarak ve (20) nolu vana ayarlanarak, boru içerisinde başlangıçta H_{EA} seviyesindeki su, arzu edilen bir H_E yüksekliğine çıkartılır.

DeneY bu noktaya kadar yapılıncaya, H_E yüksekliği,

İşletici suyun sıcaklığı (T), İşletici su debisi (\dot{V}_T), su deposundaki su seviyesi ve çalışma ortamındaki atmosfer basıncı (P_{atm}), hazırlanmış standart tabloya yazılır. Bu ilk ölçmeler, deney başlangıç değerleridir.

Sonra kompresörden sisteme hava basılır. Sistemin sürekli rejime gelmesi için bir müddet beklenir. Sistem kapalı devre çalıştığından, sisteme emilen su miktarı kadar, (8) numaralı depoya su girdiğinden, depodaki su seviyesi sabit kalabilmektedir. Bu esnada depodaki su seviyesi, işletici su debisi (\dot{V}_T), işletici suyun sıcaklığı, taşınan toplam su debisi (\dot{V}_W), sisteme basılan hava debisi ($\dot{V}_{L,atm}$) ve rotametre önündeki basınç $P_{\text{ÖN}}$ tesbit edilerek, standart tabloya yazılır.

Ölçmede bu birinci nokta değerleri alındıktan sonra, ikinci nokta değerlerini elde etmek için, yalnız hava debisi değiştirilir. Hava miktarı, rotametre giriş ve çıkışındaki vanaların ayarlanmasıyla değiştirilir. Bir süre beklenerek, sistemin sürekli rejime girmesi sağlanır.

Yukarıda birinci nokta da olduğu gibi, şimdi de ikinci noktaya ait ölçme değerleri standart tabloya yazılır. Hava miktarı yaklaşık 20 defa değiştirilerek, ölçme değerleri tabloya aktarılır. Bu 20 nokta ile, emilen su miktarının (\dot{V}_A), sisteme basılan hava miktarına göre değişimi çizilir.

İşletici su miktarı (\dot{V}_T) yaklaşık 8-10 defa

değiştirilerek, yukarıdaki işlemler tekrarlanır. Bu değiştirmeler (20) nolu vana ile yapılır.

Daha sonra deney düzeneğinin geometrisinde değişiklikler yapılarak, yukarıdaki tüm ölçmeler yeniden yazılır.

Bu çalışma için 5 ana grup deney yapılmıştır. Bu ana gruplarda değişken, sistemin geometrisidir. Ana gruplar kendi aralarında 5-16 arasında değişen alt gruplar ihtiva ederler. Alt gruplardaki değişken, İşletici su miktarıdır. Bu alt gruplar da yaklaşık 20 ölçme noktasına tekabül etmektedir. Buradaki değişken ise, sisteme basılan hava miktarıdır.

Bu çalışma için yaklaşık 1000 ölçme yapılmıştır.

BÖLÜM

SONUÇLAR

5. Deney Sonuçları

Yapılan deneylerde, üst borudan taşınan su miktarı \dot{V}_W , sisteme normal şartlarda verilen hava debisinin (\dot{V}_{Lo}) fonksiyonu olarak ölçülmüştür. Bu ölçmeler taşıma borusunun iki farklı çapı için (50 ve 100 mm) gerçekleştirilmiştir. Her bir boru çapına uygun enjektörler yapılmış ve ayrıca her boru çapına ait enjektörlerde de, enjektör alan oranı f değiştirilmiştir.

50 mm'lik boru için yapılan enjektörde üç çeşit alan oranı ($f = 6,12$; $f = 18,75$ ve $f = 33,33$), 100 mm'lik boru için yapılan enjektörde de iki çeşit alan oranı ($f = 3,98$ ve $f = 7,52$) denenmiştir. Deneysel sonuçlar değiştirilen bu parametrelere göre açıklanacaktır. Düzenekteki diğer geometrik büyüklükler (H_{EA} , $H_E + H_O$, H_P) sabit bırakılmıştır. İşletici hacimsel debi \dot{V}_T , kombine sistemin daldırma derinliği olarak tarif edilen H_E 'nin de değiştirilmesi şeklinde anlaşılmalıdır.

Sistemde kullanılan enjektörler ve santrifüj pompalar öyle o şekilde seçilmişlerdir ki; air-lift kısmı olmadan, taşıma olamamaktadır. Enjektör pompasının görevi, başlangıçtaki H_{EA} yüksekliğini belirli bir H_E yüksekliğine ulaştırmaktır. Bu şekilde sistemin genelde air-lift karakteri belirgin olacağından, deneysel sonuç olarak net emilen su debisi \dot{V}_A değil de, üst borudan taşınan toplam su miktarı \dot{V}_W , çeşitli parametrelere bağlı olarak verilmiştir. Ancak verimin açıklanmasında, önemli büyüklük \dot{V}_A olacağından; bazı \dot{V}_A değerleri, anılan parametrelere bağlı olarak açıklanacaktır.

5.1 Üst Boruda Taşınan Su Miktarı

Şekil 5.1 ve 5.2`de 100 mm`lik boru ve $f = 3,98$ enjektör alan oranı için üst boruda taşınan su miktarı \dot{V}_W , hava debisinin fonksiyonu olarak altı ayrı \dot{V}_T için verilmiştir. Suyu taşımaya başlayabilmek için minimum miktarda bir hava debisine ihtiyaç duyulmaktadır. İşletici su miktarının arttırılması halinde, taşıma için gerekecek minimum hava miktarının daha az olacağı, şekillerden de açıkça görülmektedir. Sisteme basılan hava miktarının artmasına bağlı olarak, taşınan su miktarı yükselmekte, belli bir noktadan sonra havanın çoğaltılmasının fayda sağlamayacağı; şekillerdeki eğrilerin yataylaşması ve akabinde düşmeye başlamasından anlaşılmaktadır.

Şekil 5.3 ve 5.4`de yine 100 mm`lik boruda, ancak bu defa $f = 7,52$ oranlı enjektör için elde edilen deneysel sonuçlar gösterilmiştir. Bu iki şekilde de \dot{V}_W `nin önce \dot{V}_{Lo} ile arttığı, bir maximum noktadan sonra tekrar azaldığı görülmektedir. Her iki f oranları için geçerli şekillerde, \dot{V}_W `nin \dot{V}_T ile sürekli olarak arttığı tesbit edilmiştir. Ölçme bölgelerinin sınırlı olmasından dolayı, enjektörde kavitasyonun meydana gelebileceği çok yüksek \dot{V}_T debilerinde deneyler yapılmamıştır. Dolayısıyla \dot{V}_T `nin yükseltilmesi halinde \dot{V}_W `nin düşeceği bir bölge tesbit edilmemiştir.

Şekil 5.5`de, Şekil 5.1 - 5.4`deki deneysel değerlerden yararlanılarak \dot{V}_W debisi \dot{V}_T `nin fonksiyonu olarak çeşitli \dot{V}_{Lo} değerleri için çizilmiştir. Bu şekillerde de parametre olarak f

alan oranı seçilmiştir. Küçük hava debilerinde enjektör kısmı olmadan yalnız hava ile taşıma mümkün olmamaktadır (Şekil 5.5a). \dot{V}_T 'nin belirli bir değerinde taşıma başlamakta ve üst boruda taşınan debi \dot{V}_T ile doğru orantıdan daha yüksek olarak artmaktadır. Hava debisinin arttırılmasıyla çizilen Şekil 5.5b ve c'de, enjektörsüz de taşıma olabilmektedir. Enjektörde \dot{V}_T 'nin arttırılması, \dot{V}_T 'nin küçük değerlerinde üst boruda taşınan su miktarına çok az tesir etmektedir. Olumlu bir sonuç alınabilmesi için, örneğin Şekil 5.5c'de, $\dot{V}_{Lo} = 250 \text{ Nm}^3/\text{h}$ ve $f = 3,98$ değerlerinde $\dot{V}_T = 2,5 \text{ m}^3/\text{h}$ 'ın üzerine çıkarılması gerekmektedir.

Açıklanan şekillerde enjektör alan oranı f ile taşınan miktarın arttığı açık olarak gözükmektedir. Dolayısıyla yalnız enjektörün kullanıldığı sistemlerde gözlenen ve hesaplanan durumla, kombine sistemin yüksek \dot{V}_T 'de işletilmesi durumu arasında bir benzerlik söz konusudur (Bak Referans 45, S 44). Şekil 5.5c'den açıkca görüleceği gibi yüksek gaz debilerinde $\dot{V}_T=0$ 'da da taşıma yapılabildiğinden, eğriler yataya paralel doğrular şeklinde ordinata yaklaşmak mecburiyetindedirler ki; bu da bunların parabolik eğriler olması mecburiyetini göstermektedir.

50 mm'lik boruda elde edilen deneysel sonuçlar Şekil 5.6 ve 5.7'de $f = 6,12$; Şekil 5.8 ve 5.9'da $f = 18,75$; Şekil 5.10 ve 5.11'de $f = 33,33$ için verilmişlerdir. Şekillerin genel görünümü 100 mm'lik borular için verilenlere benzerdir. Ancak boru çapı daha küçük olduğundan, taşıma yapabilmek için gerekli minimum hava debisi 100 mm'lik boruya göre çok daha azalmaktadır.

Bundan başka 50 mm`lik boruda taşınabilen en yüksek su debisi 100 mm`lik borudakine göre daha düşüktür. Fakat taşınabilen bu en yüksek su debisi, 50 mm`lik boruda çok daha düşük hava debileriyle gerçekleştirilebilmektedir.

Yukarıda anılan deneysel neticelerden faydalanılarak hazırlanan Şekil 5.12`de, üst borudan taşınan su debisi, \dot{V}_T `nin fonksiyonu olarak belirli hava debileri için verilmiştir. Bu şekillerde parametre enjektör alan oranı f `dir. 100 mm`lik boruda olduğu gibi burada da eğriler parabol şeklindedir. f `in taşımayı arttırması \dot{V}_T `nin artmasıyla belirginleşmektedir. $\dot{V}_T=0$ iken, farklı f değerleri için verilen eğrilerin ordinatı aynı noktada kesmesi gereklidir. Çünkü; $\dot{V}_T = 0$ değerinde, f `in taşıma üzerinde herhangi bir etkisi söz konusu değildir. Enjektör kullanılmadığı zaman, hava debisi taşıma yapmaya kâfi gelmediği durumda, eğriler $\dot{V}_W = 0$ için ordinat yerine abzisi keseceklerdir (Şekil 5.12a).

Boru çaplarının farklı olması durumunda \dot{V}_W `nin \dot{V}_T ile değişimi Şekil 5.13`te gösterilmiştir. Her iki çap için $\dot{V}_{Lo} = 50$ Nm³/h ile sabit tutulmuştur. f alan oranları da 6,12 ve 7,52 olduklarından yaklaşık eşit olarak kabul edilebilirler (İmalat zorluklarından aynı alan oranları gerçekleştirilememiştir.). 50 mm`lik boruda taşınan su miktarı 100 mm`lik borudakinden daha yüksek olmaktadır. Ancak yüksek \dot{V}_T değerlerinde 100 mm`lik boruda taşınan su miktarı daha yüksek değerlere ulaşır.

Şekil 5.14`te bu defa $\dot{V}_T = 2,9$ m³/h debisinde \dot{V}_W `nin \dot{V}_{Lo}

ile değişimi yine 50 mm`lik boruda $f=6,12$ ve 100 mm`lik boruda $f=7,52$ için verilmiştir. Bu şekilden; boru çapının değiştirilmesinin taşıma üzerine etkisinin, air-lift sistemlerine benzer şekilde olduğu açıkca görölmektedir (Bak Referans 88, S 95).

5.2 Emilen Su Miktarı

Verim için alt borudan emilen su miktarı (\dot{V}_A) önemlidir. Alt borudan emilen su miktarı, normal şartlarda sisteme gönderilen havanın (\dot{V}_{Lo}) fonksiyonu olarak Şekil 5.15, 5.16 ve 5.17 de verilmiştir.

Şekil 5.15, 100 mm`lik boru için olup, enjektör alan oranı $f=3,98$ ve üç ayrı işletici su debisi (\dot{V}_T) için çizilmiştir. $\dot{V}_T=0$ olması halinde de (diğer bir deyimle enjektör pompası çalışmadığında da) bir taşıma mevcuttur. Taşınan net su miktarı* enjektörün devreye girmesiyle arttırılabildiği şekilden anlaşıl-maktadır. (* Taşınan net su miktarı= \dot{V}_A).

Şekil 5.16`da gene 100 mm çaplı boru ve üç ayrı işletici su debisi (\dot{V}_T) için, taşınan net su miktarının (\dot{V}_A), \dot{V}_{Lo} `a göre nasıl değiştii görölmektedir. Yalnız bu defa enjektör alan oranı $f=7,52$ `dir. Sadece air-lift ile taşıma halinde ($\dot{V}_T=0$ durumu), taşıma için gerekli minimum hava debisi, bu deney düzeneği için $\dot{V}_{Lo}=87 \text{ Nm}^3/\text{h}$ civarındayken, sisteme $\dot{V}_T=5,21 \text{ m}^3/\text{h}$ `lık işletici su basılarak hava debisini $\dot{V}_{Lo}=42 \text{ Nm}^3/\text{h}$ `a düşürmek ve ayrıca taşınabilen net su miktarını da maksimum $0,75 \text{ m}^3/\text{h}$ değerinden $2,35 \text{ m}^3/\text{h}$ `a çıkartmak mümkün olmuştur.

Şekil 5.17`de ise $D=50$ mm ve $f=18,75$ `tir. Buradaki eğri-lerin gidişatları, 100 mm`lik borudakilerine benzerdirler. 5.15, 5.16 ve 5.17 nolu Şekiller dikkatlice incelendiğinde, taşımaya başlama noktası; boru çapı azaldıkça sola kaymaktadır.

Tüm boyutları sabit olan bir tesiste, boru çapı genişletilerek taşıma gücü arttırılabilir. Boru çapı genişledikçe, taşımaya başlama noktası sağa kaymaktadır, yani; daha fazla bir hava miktarı ile su taşınabilmektedir. Burada;

$$\frac{\dot{V}_{Lo \text{ min, dar boru}}}{\dot{V}_{Lo \text{ min, geniş boru}}} = \frac{D^2_{\text{dar boru}}}{D^2_{\text{geniş boru}}}$$

bağıntısı geçerli olmaktadır.

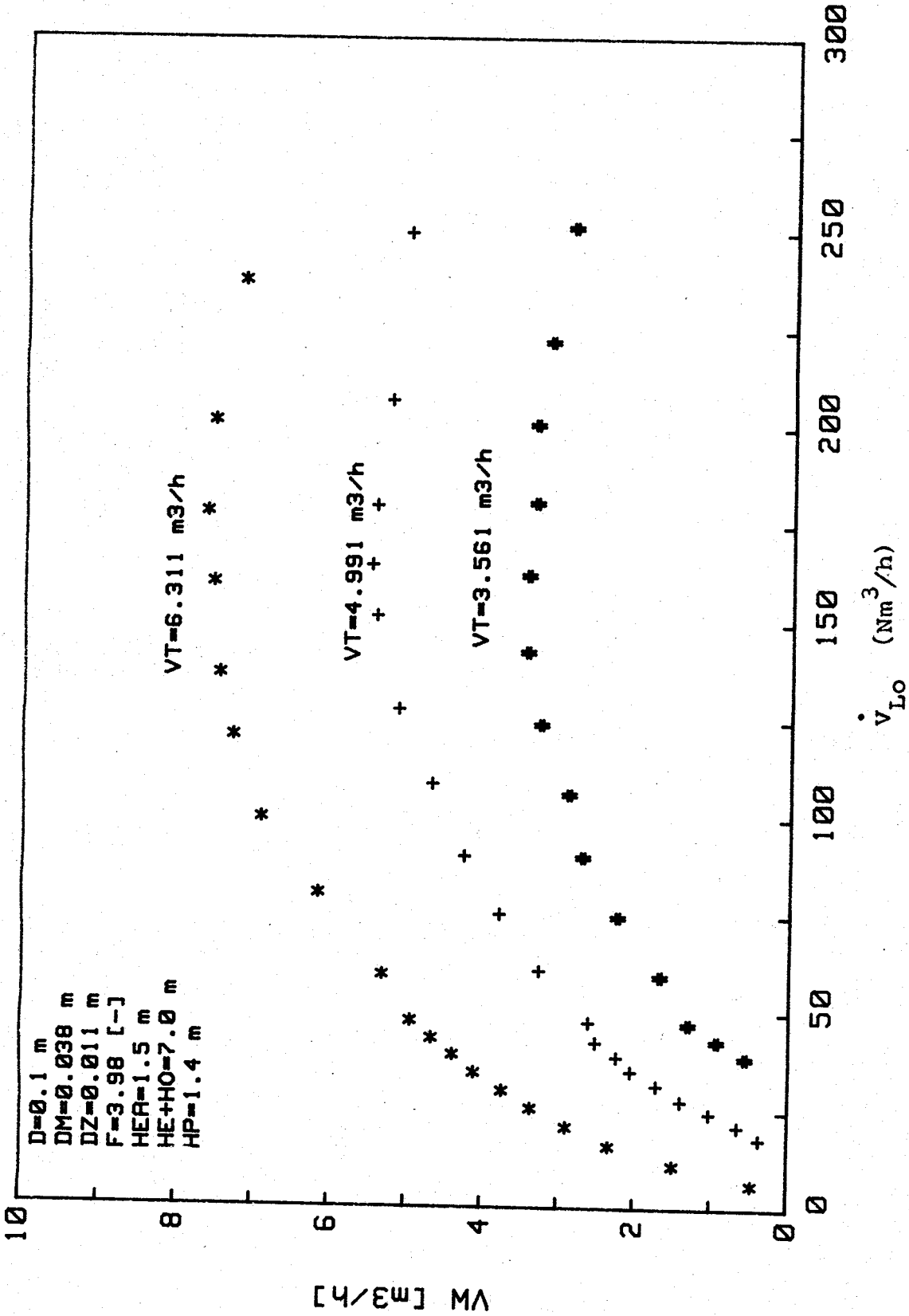
Dar borudaki sürtünme kayıpları, geniş borudaki sürtünme kayıplarından daha fazla olduklarından, boru çapı arttıkça eğriler dikleşmektedir.

Şekil 5.18`de 100 mm`lik boruda alt borudan emilen su miktarı (\dot{V}_A); $\dot{V}_{Lo}=100 \text{ Nm}^3/\text{h}$ ve $\dot{V}_{Lo}=210 \text{ Nm}^3/\text{h}$ `lik sabit hava miktarları için, işletici suyun (\dot{V}_T) fonksiyonu olarak çizilmiştir. Şekiller üzerinde iki farklı f değerinin ($f=3,98$ ve $f=7,52$) mukayesesi yapılmıştır. $\dot{V}_T=0$ iken, yani yalnız air-lift devredeyken taşınabilen net su miktarı $\dot{V}_{Lo}=100 \text{ Nm}^3/\text{h}$ için $\dot{V}_A=0,28 \text{ m}^3/\text{h}$ `tir. Enjektör devreye girdiğinde, diğer bir

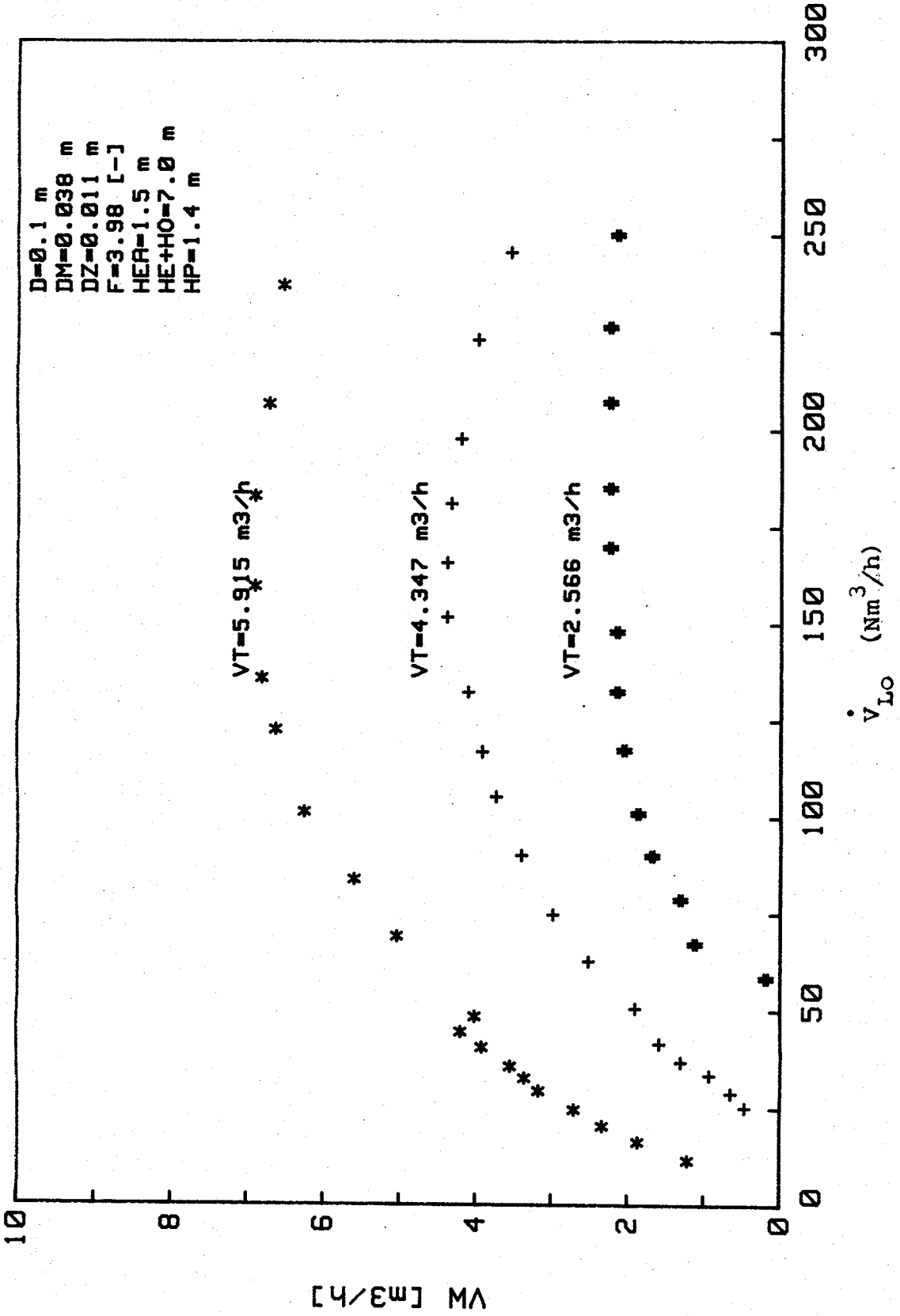
deyimle \dot{V}_T biraz artarken taşınan net su miktarının azaldığı ilginçtir. Hatta öyle ki; bir noktada eğri apzisi kesip, \dot{V}_A negatif değerler almakta, arttan \dot{V}_T ile sonra tekrar apzisi kesip dik bir şekilde yükselmektedir. $f=3,98$ için bu durum daha belirgindir (Şekil 5.18a). $\dot{V}_A=f(\dot{V}_T)$ eğrisinin negatif değer alması, alt borudan emilme yerine, taşıma yönüne zıt yönde suyun alttan akması demektir. Konuyu biraz daha derinden inceliyelim. $\dot{V}_{Lo}=100 \text{ Nm}^3/\text{h}$ lık hava sisteme gönderilerek yalnız air-lift ile bir miktar su taşınabilirken, daha sonra enjektör çalıştırılmaktadır. Enjektöre işletici suyun basılmasıyla, boru içerisindeki su miktarı fazlalaşmaktadır. Suyun fazlalaşması sürtünme basınç kaybını arttıracaktır. İşletici su debisinin küçük değerlerinde (örneğin Şekil 5.18'de $f=7,52$ için $\dot{V}_T=1,5 \text{ m}^3/\text{h}$ iken) $\dot{V}_{Lo}=100 \text{ Nm}^3/\text{h}$ lık hava debisi suyu taşımaya yetmemektedir. Dolayısıyla bu noktada işletici su alt borudan aşağıya akıp gitmektedir. \dot{V}_T daha da arttırılırsa (örneğin Şekil 5.18'de $\dot{V}_T=2 \text{ m}^3/\text{h}$ olduğunda), kombine sistem yalnızca enjektöre gönderilen suyu taşıyabilmektedir. Bu durumda alttan artık aşağıya su akmamaktadır. Bu noktadan itibaren \dot{V}_T 'nin artmasına bağlı olarak, alt borudan su emilmektedir.

Şekil 5.18b'de de aynı durum incelenmiştir. Yalnız bu defa $\dot{V}_{Lo}=210 \text{ Nm}^3/\text{h}$ tır. $f=7,52$ eğrisinin negatif bölgeye düşmediği dikkati çekmektedir. Demek ki; boru içerisine gönderilen hava, sisteme ilave edilen suyun boru

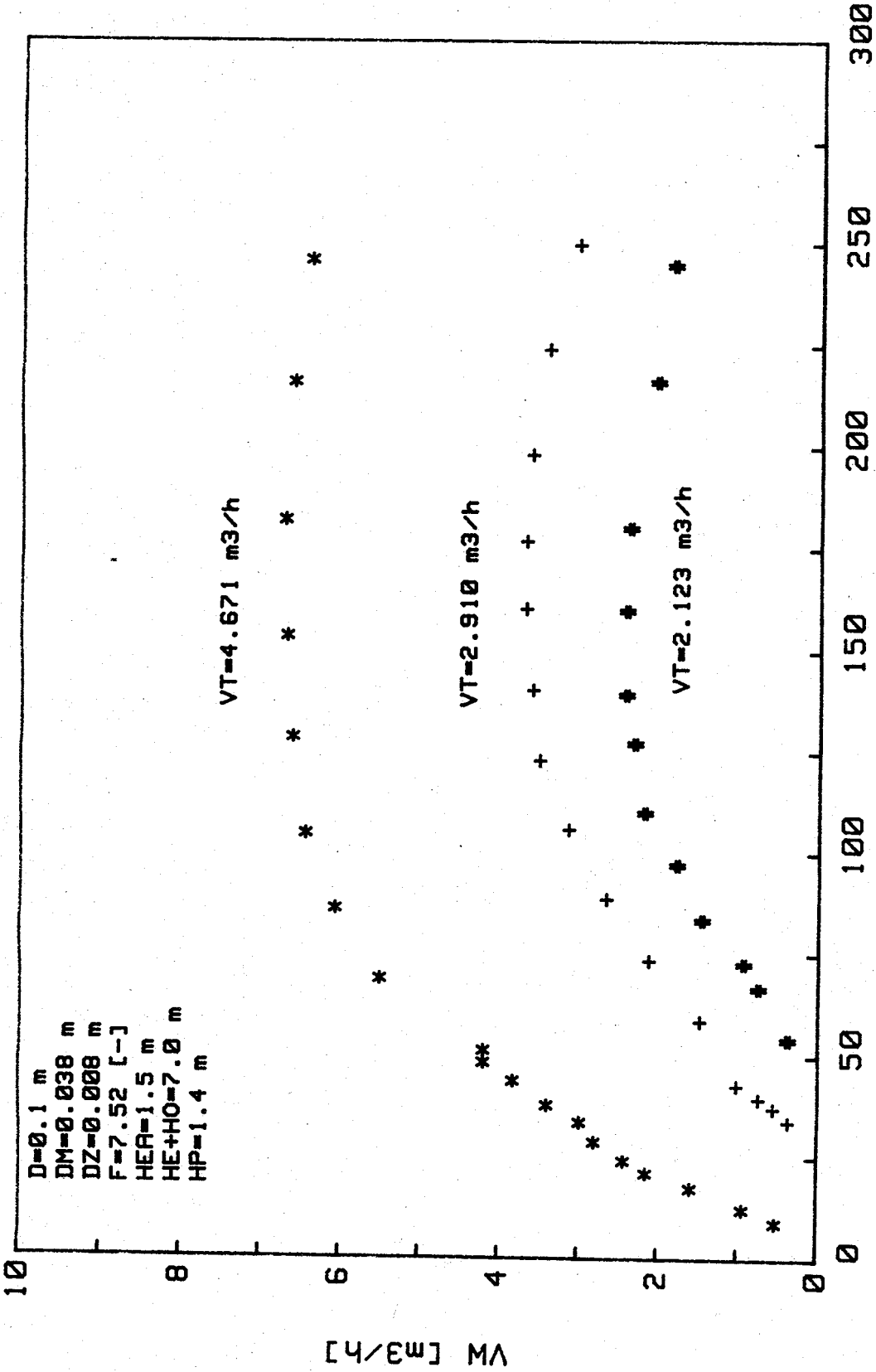
içerisinde meydana getireceği basınç kaybını yenebilmektedir. Şekildeki f=3,98 için aynı şey söylenemez. Burada f'in uygun seçiminin önemi, kendini bir daha ortaya koymaktadır.



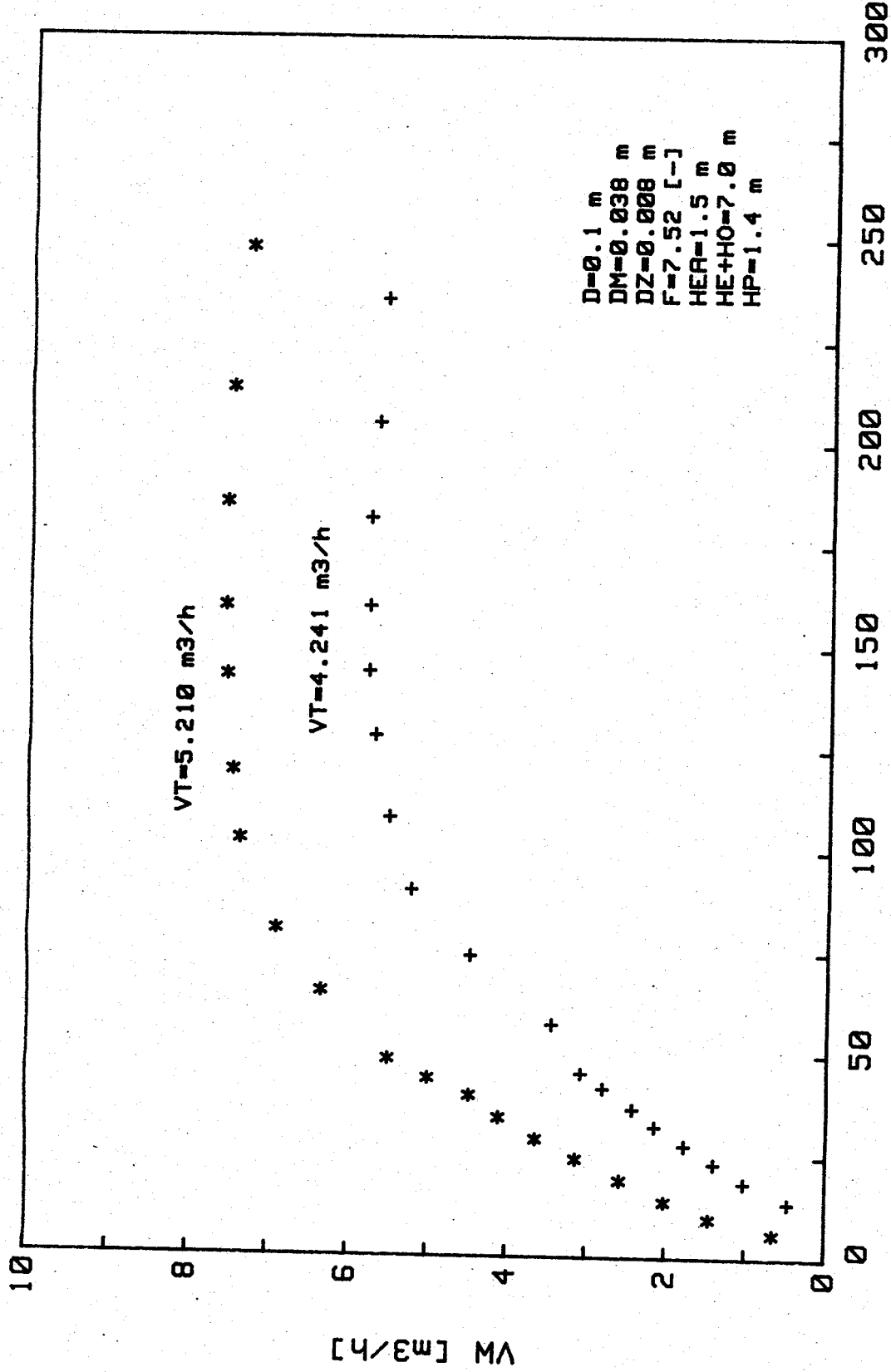
Şekil 5.1 : Üst boruda taşınan su miktarının (\dot{V}_W), sisteme basılan hava debisine (\dot{V}_{Lo}) göre değişimi



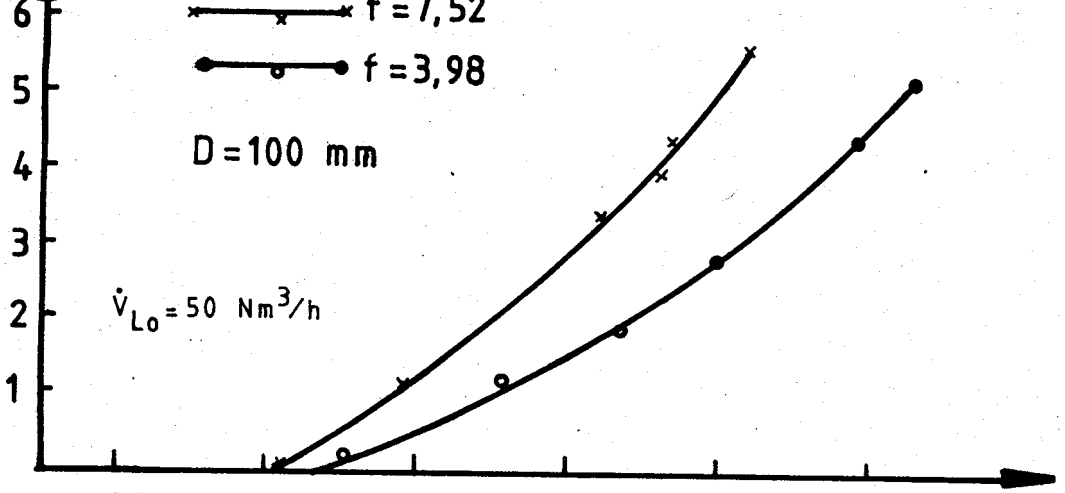
Şekil 5.2 : Üst boruda taşınan su miktarının (\dot{V}_W), sisteme basılan hava debisine (\dot{V}_{Lo}) göre değişimi



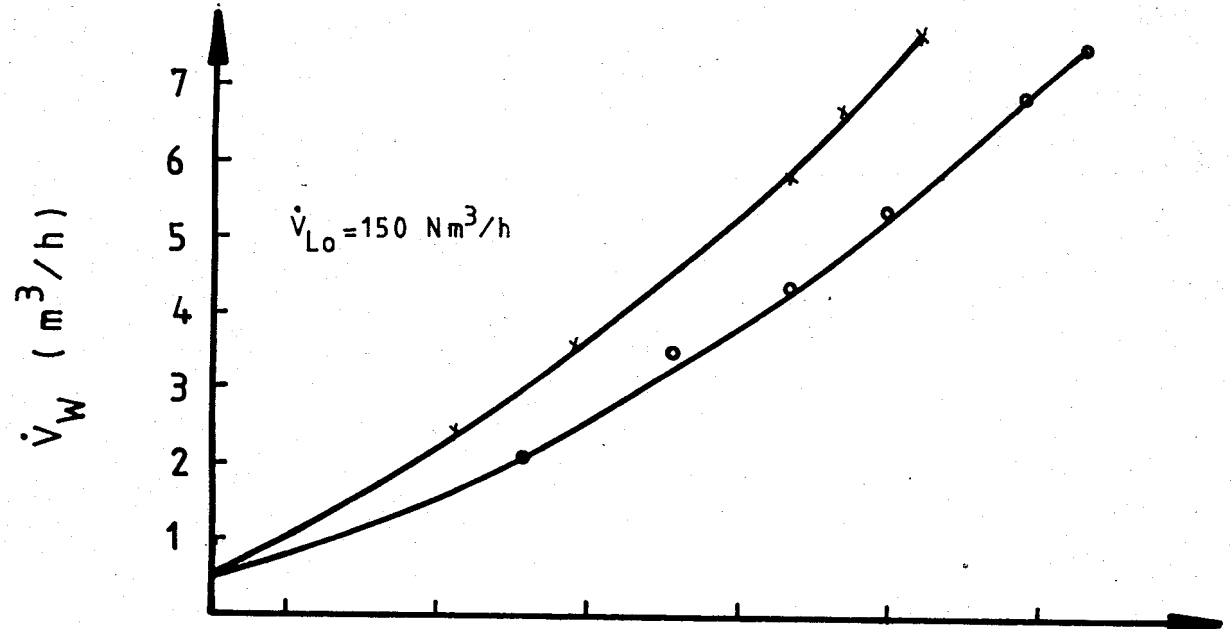
Şekil 5.3 : Üst boruda taşınan su miktarı (\dot{V}_W), sisteme basılan hava debisine (\dot{V}_{Lo}) göre değişimi



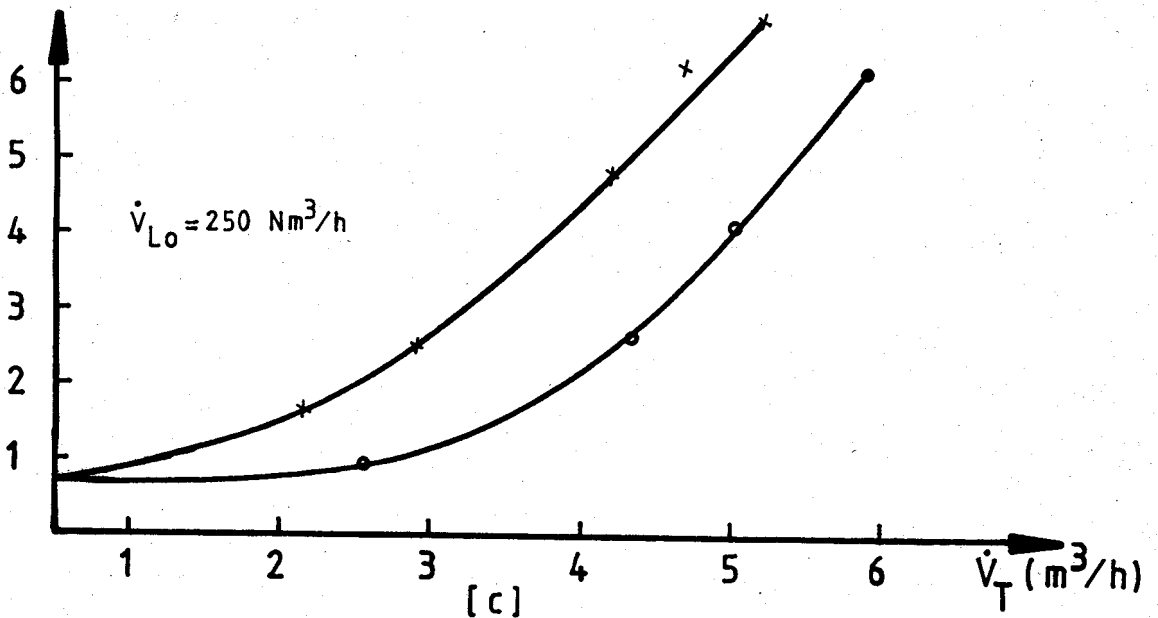
Şekil 5.4 : Üst boruda taşınan su miktarının (\dot{V}_w), sisteme basılan hava debisine (\dot{V}_{Lo}) göre değişimi



[a]

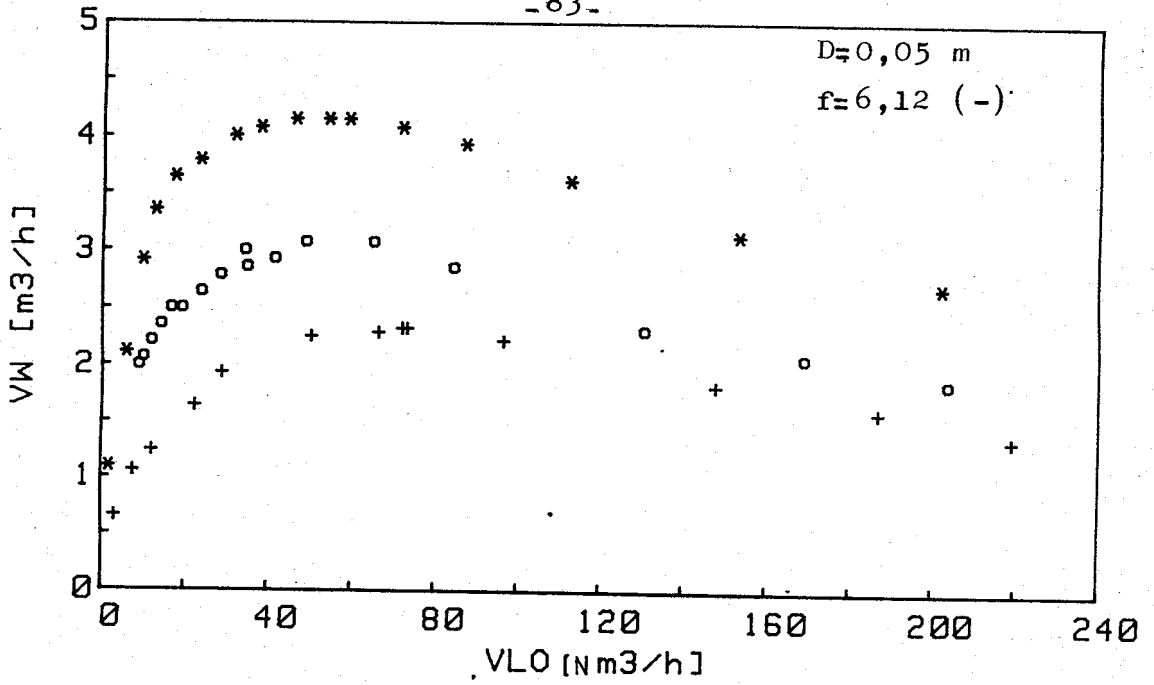


[b]

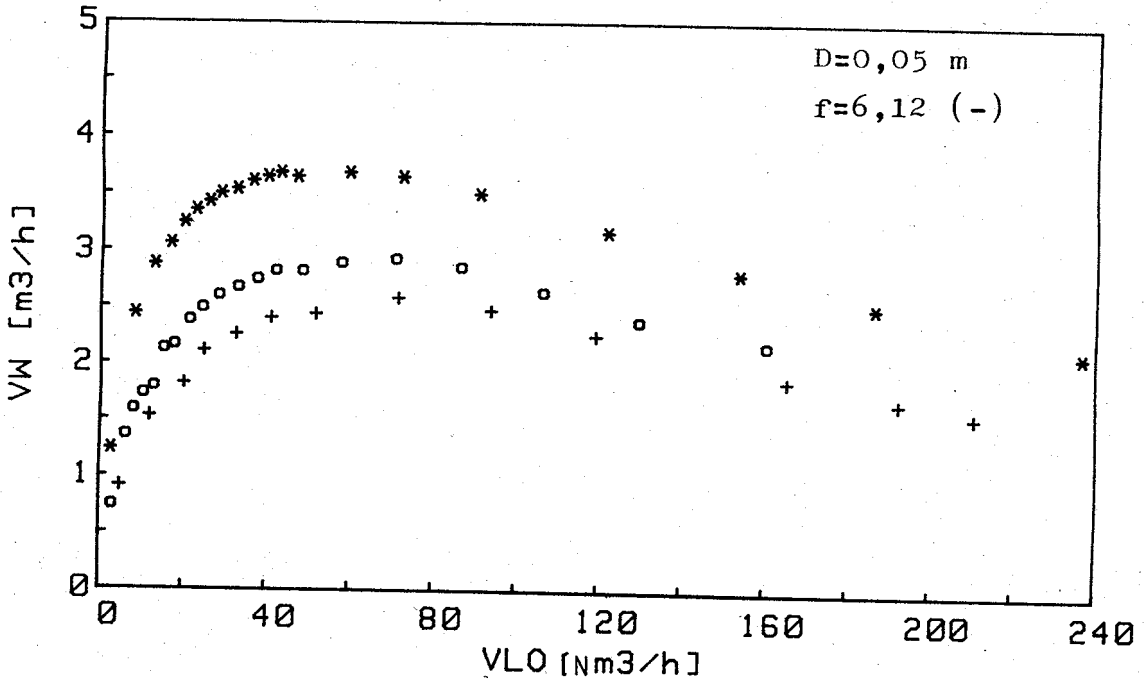


[c]

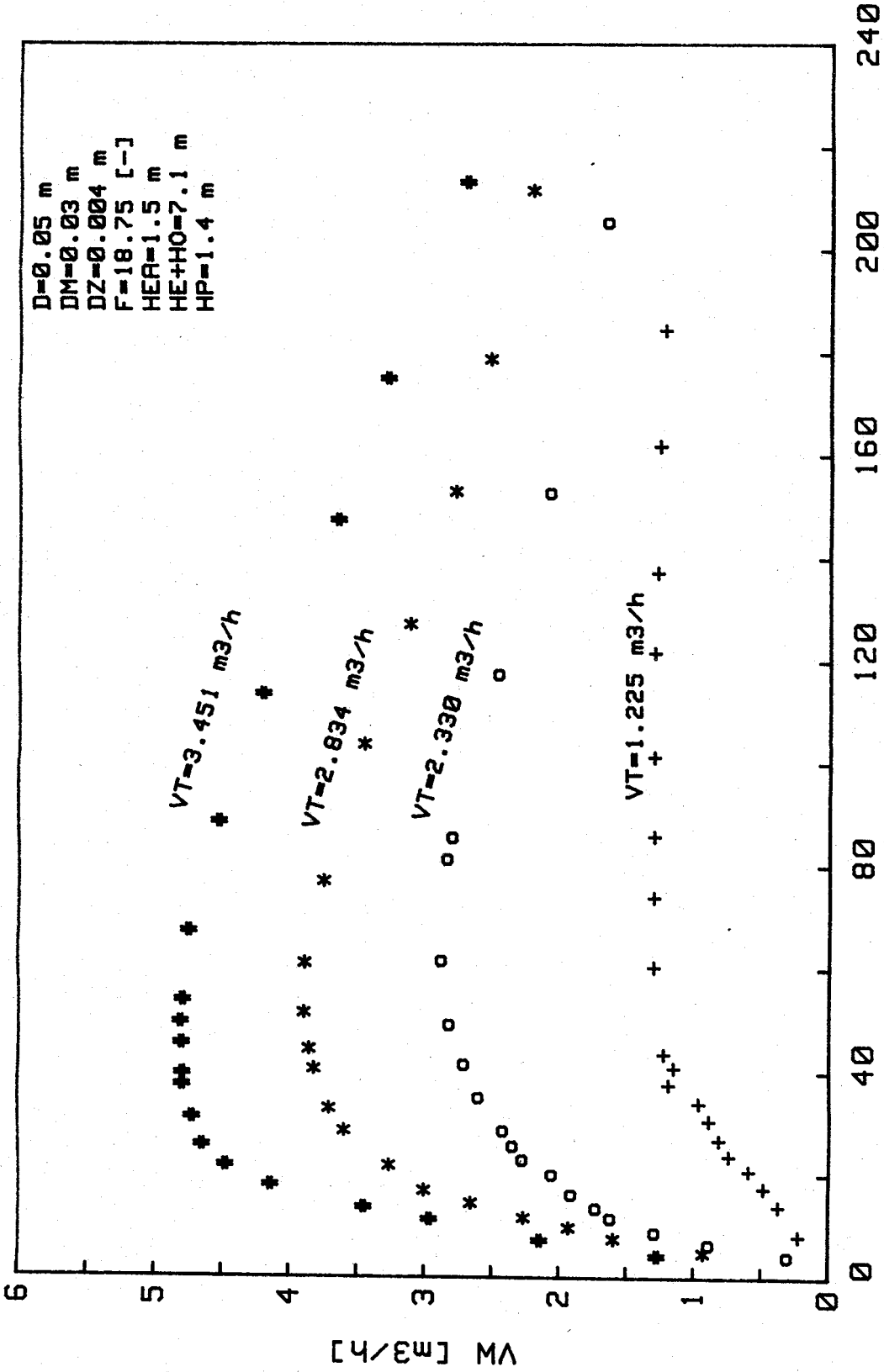
Şekil 5.5 : Üst boruda taşınan su miktarının (\dot{V}_W), işletici su debisine (\dot{V}_T) göre değişimi



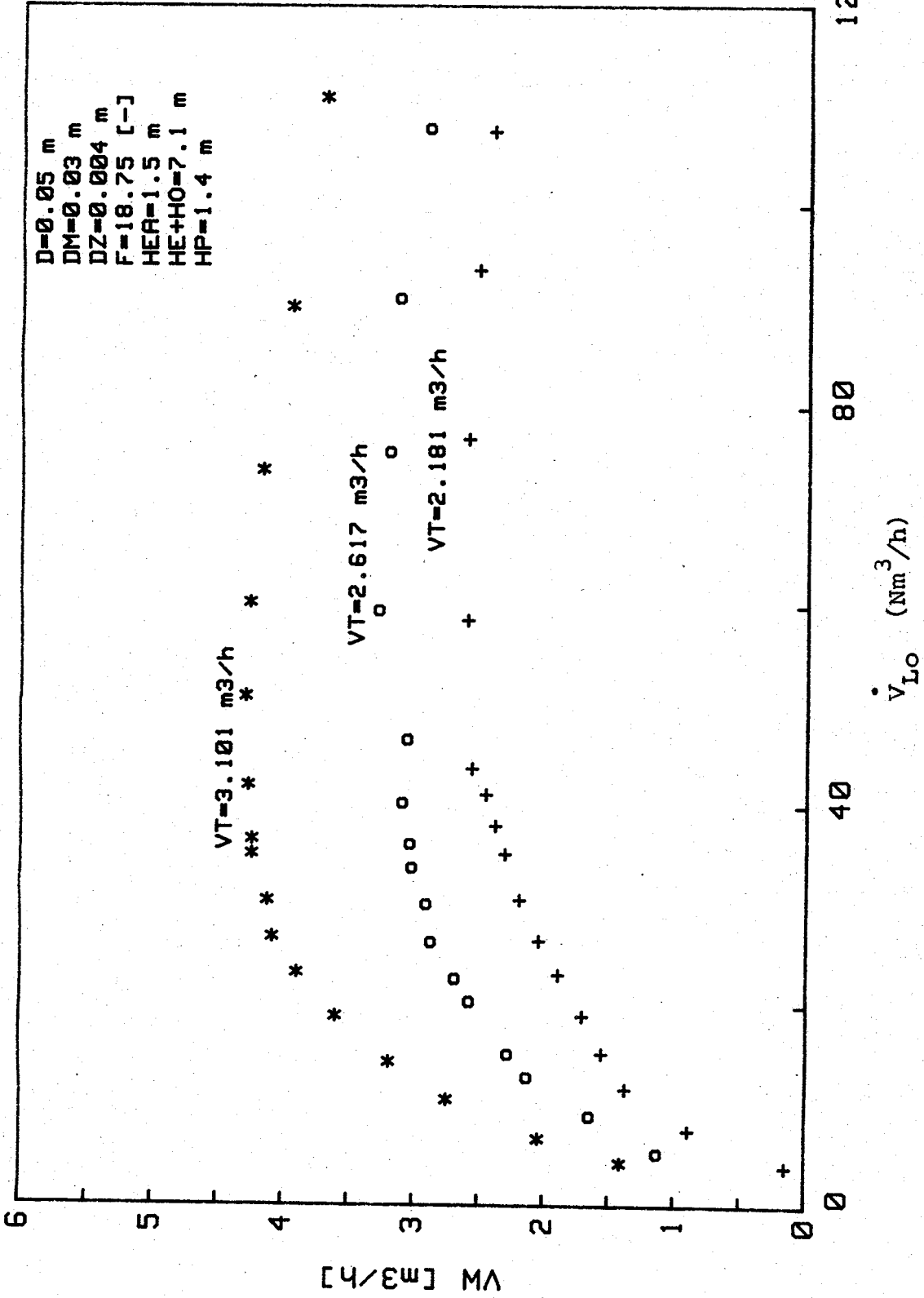
Şekil 5.6 : Üst boruda taşınan su miktarının (\dot{V}_W), sisteme basılan hava debisine (\dot{V}_{Lo}) göre değişimi. $D_Z=0,007 \text{ m}$, $D_M=0,03 \text{ m}$, $H_{EA}=1,5 \text{ m}$, $H_P=1,4 \text{ m}$, $H_E+H_O=7,1 \text{ m}$



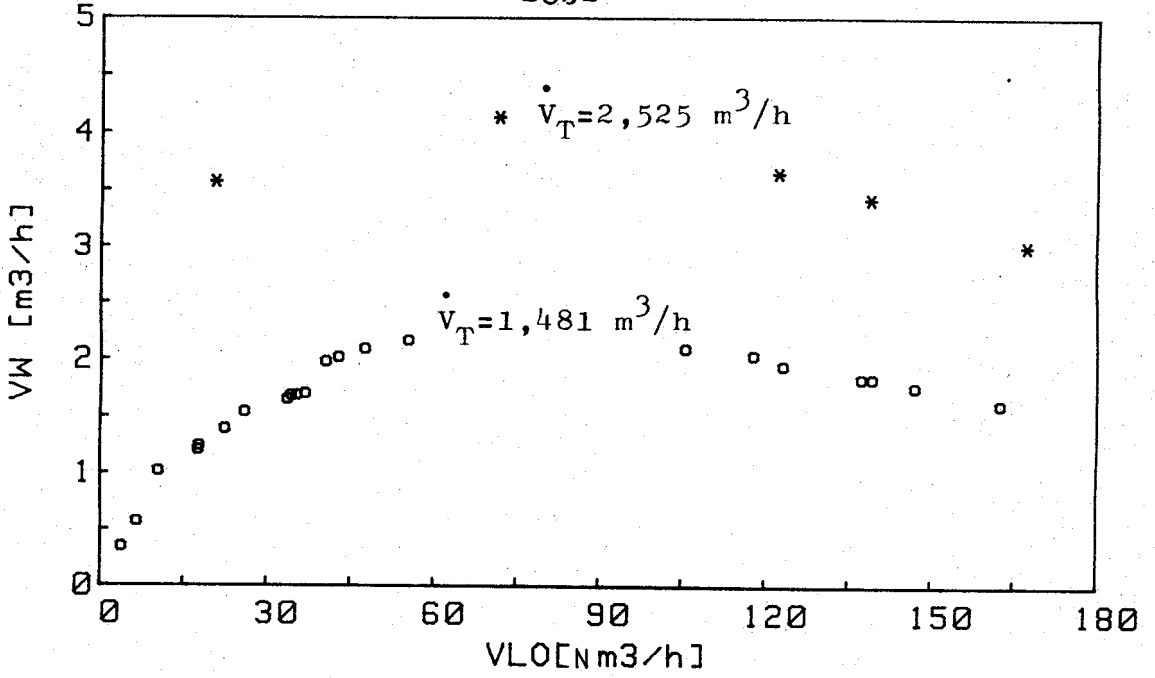
Şekil 5.7 : Üst boruda taşınan su miktarının (\dot{V}_W), sisteme basılan hava debisine (\dot{V}_{Lo}) göre değişimi. Diğer geometrik büyüklükler Şekil 5.6'dakinin aynısı.



Şekil 5.8 : Üst boruda taşınan su miktarının (\dot{V}_w), sisteme basılan hava debisine (\dot{V}_{Lo}) göre değişimi



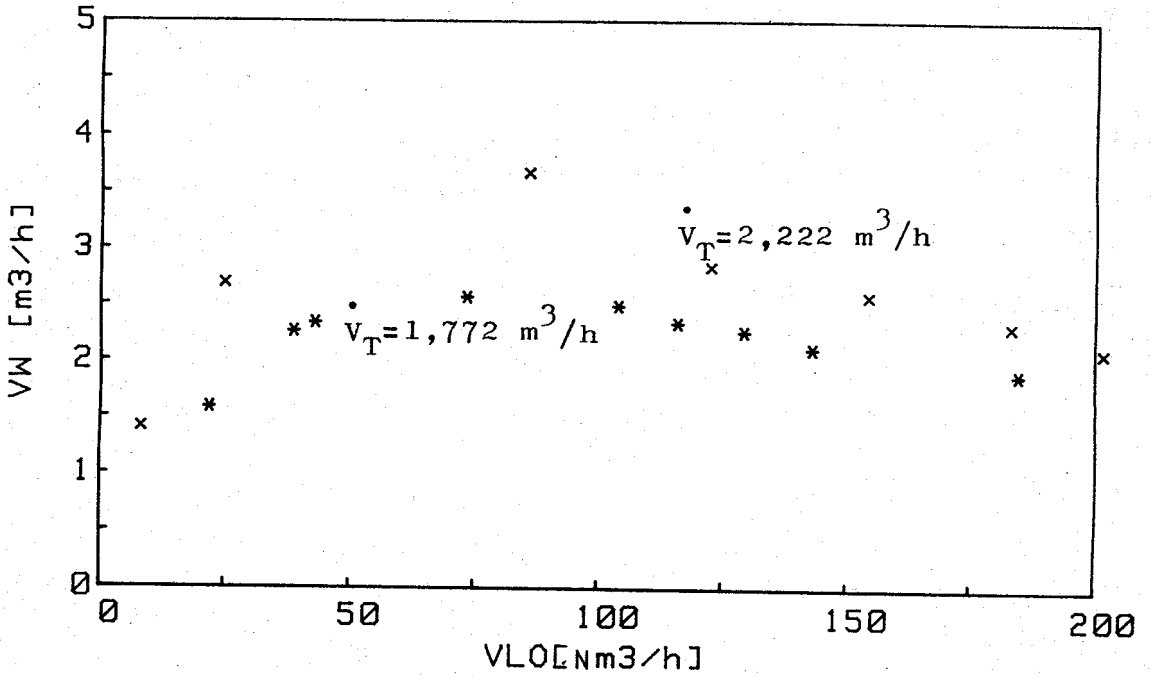
Şekil 5.9 : Üst boruda taşınan su miktarının (\dot{V}_w), sisteme basılan hava debisine (\dot{V}_{Lo}) göre değişimi



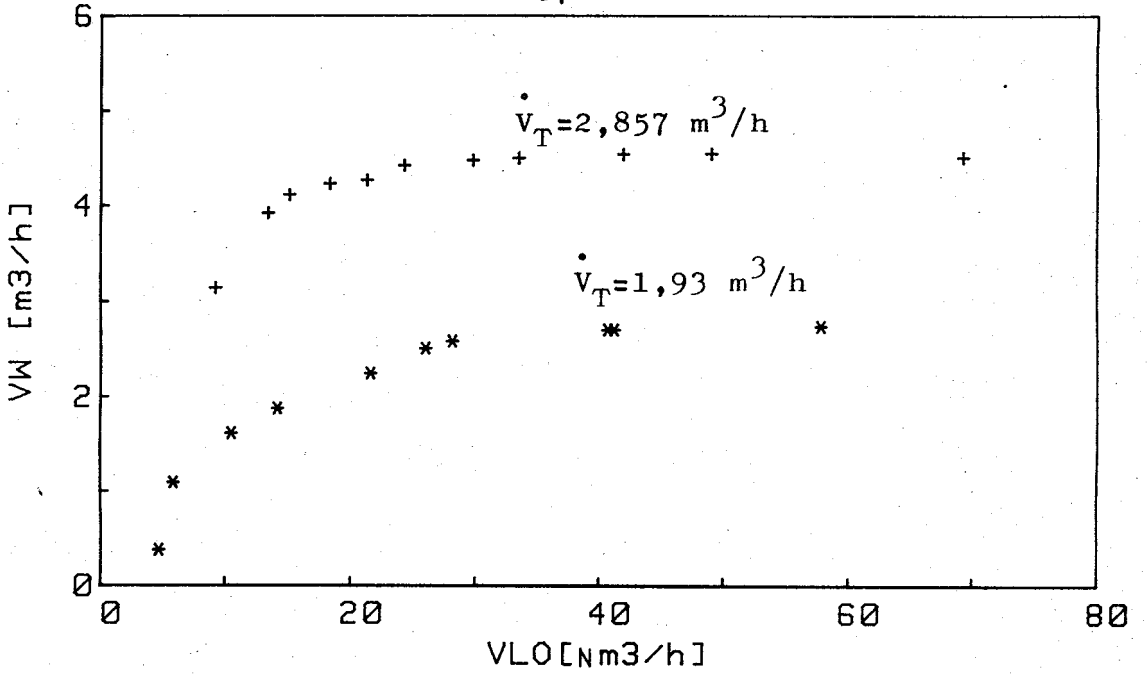
Her iki şekilde sabit olan büyüklükler:

$D=0,05 \text{ m}$, $D_M=0,03 \text{ m}$, $D_Z=0,007 \text{ m}$, $f=33,33 (-)$,

$H_{EA}=1,5 \text{ m}$, $H_P=1,4 \text{ m}$, $H_E+H_O=7,1 \text{ m}$



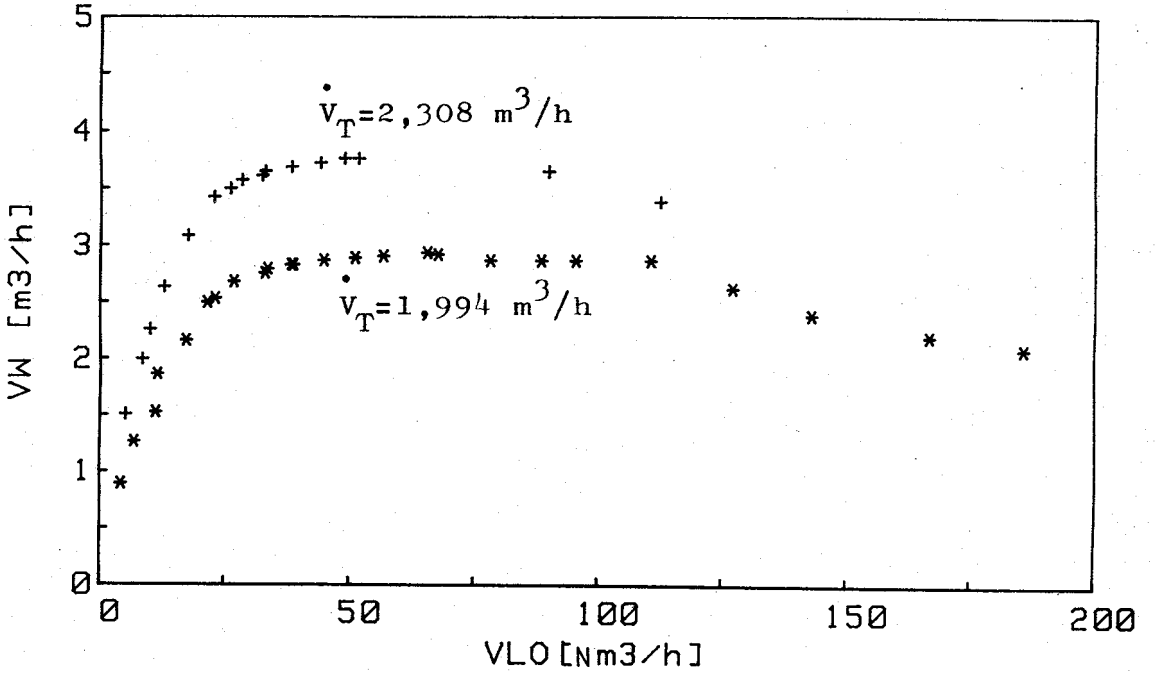
Şekil 5.10 : Üst borudan taşınan su miktarının (\dot{V}_W), sisteme basılan hava debisine (\dot{V}_{Lo}) göre değişimi.



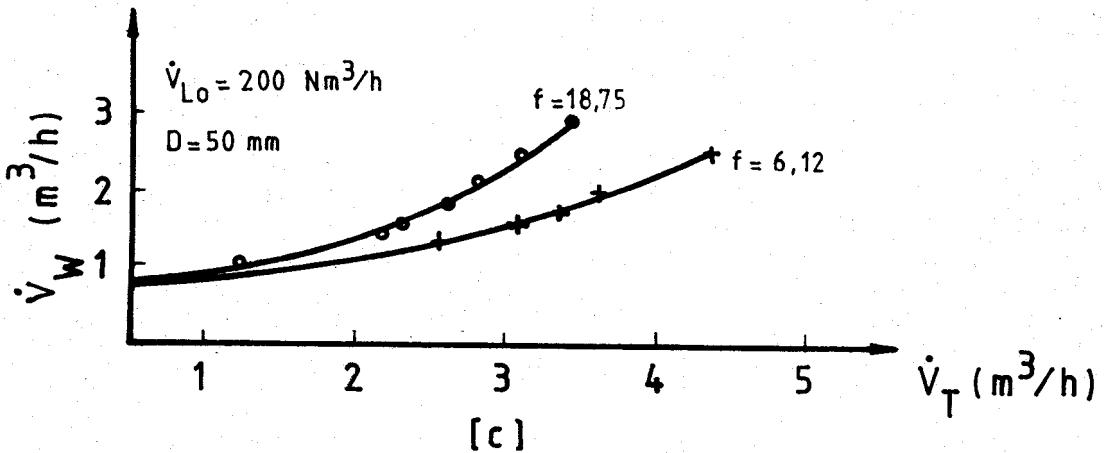
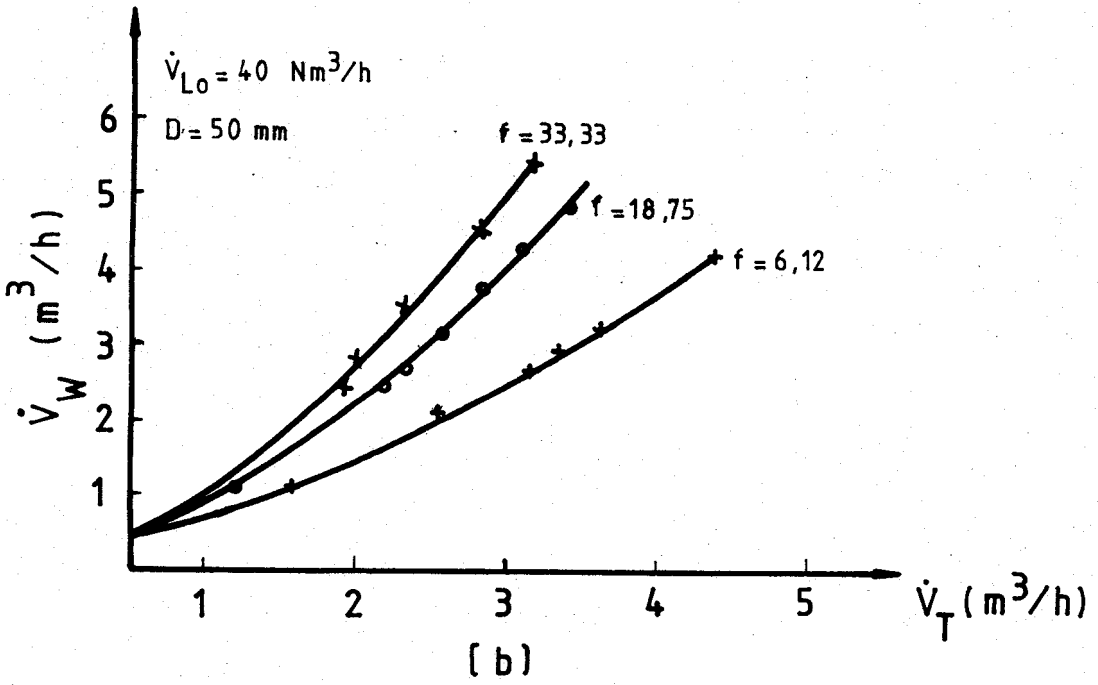
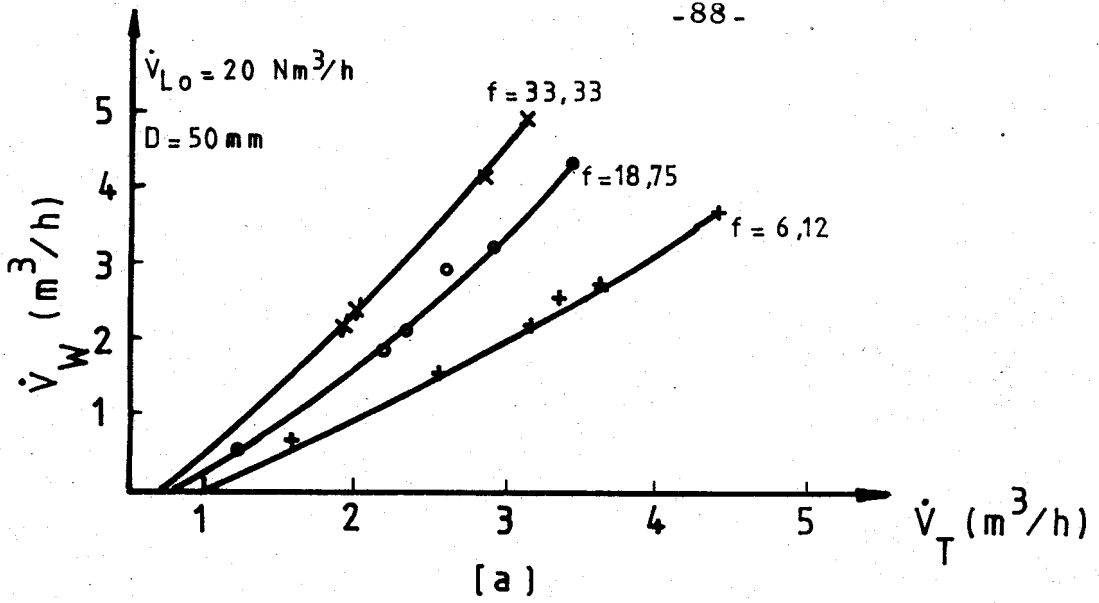
Her iki şekilde sabit olan büyüklükler:

$D=0,05 \text{ m}$, $D_M=0,03 \text{ m}$, $D_Z=0,007 \text{ m}$, $f=33,33 (-)$,

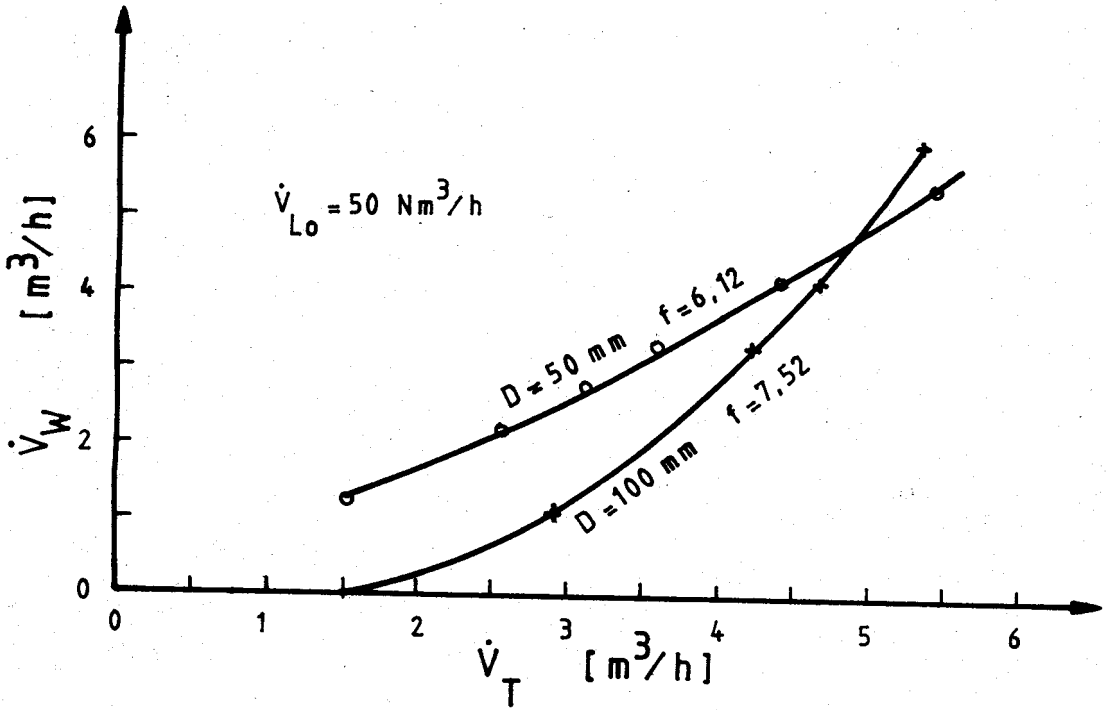
$H_{EA}=1,5 \text{ m}$, $H_P=1,4 \text{ m}$, $H_E+H_O=7,1 \text{ m}$



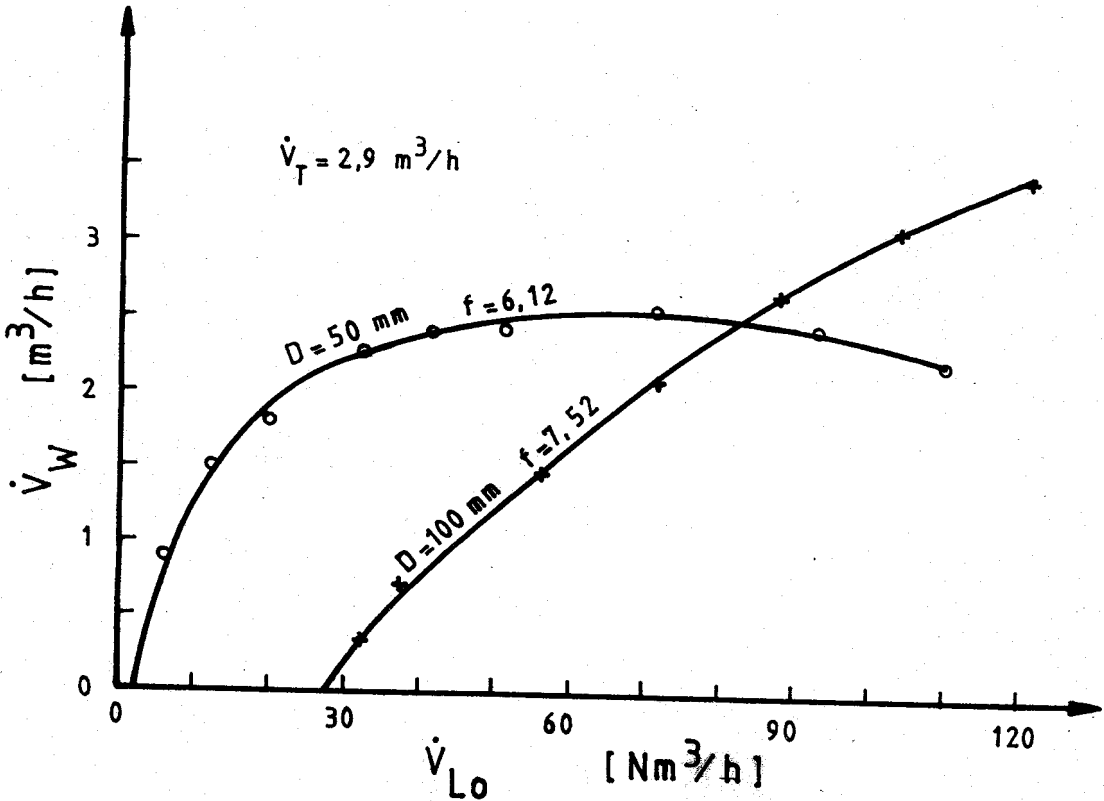
Şekil 5.11 : Üst borudan taşınan su miktarının (\dot{V}_W), sisteme basılan hava debisine (\dot{V}_{Lo}) göre değişimi.



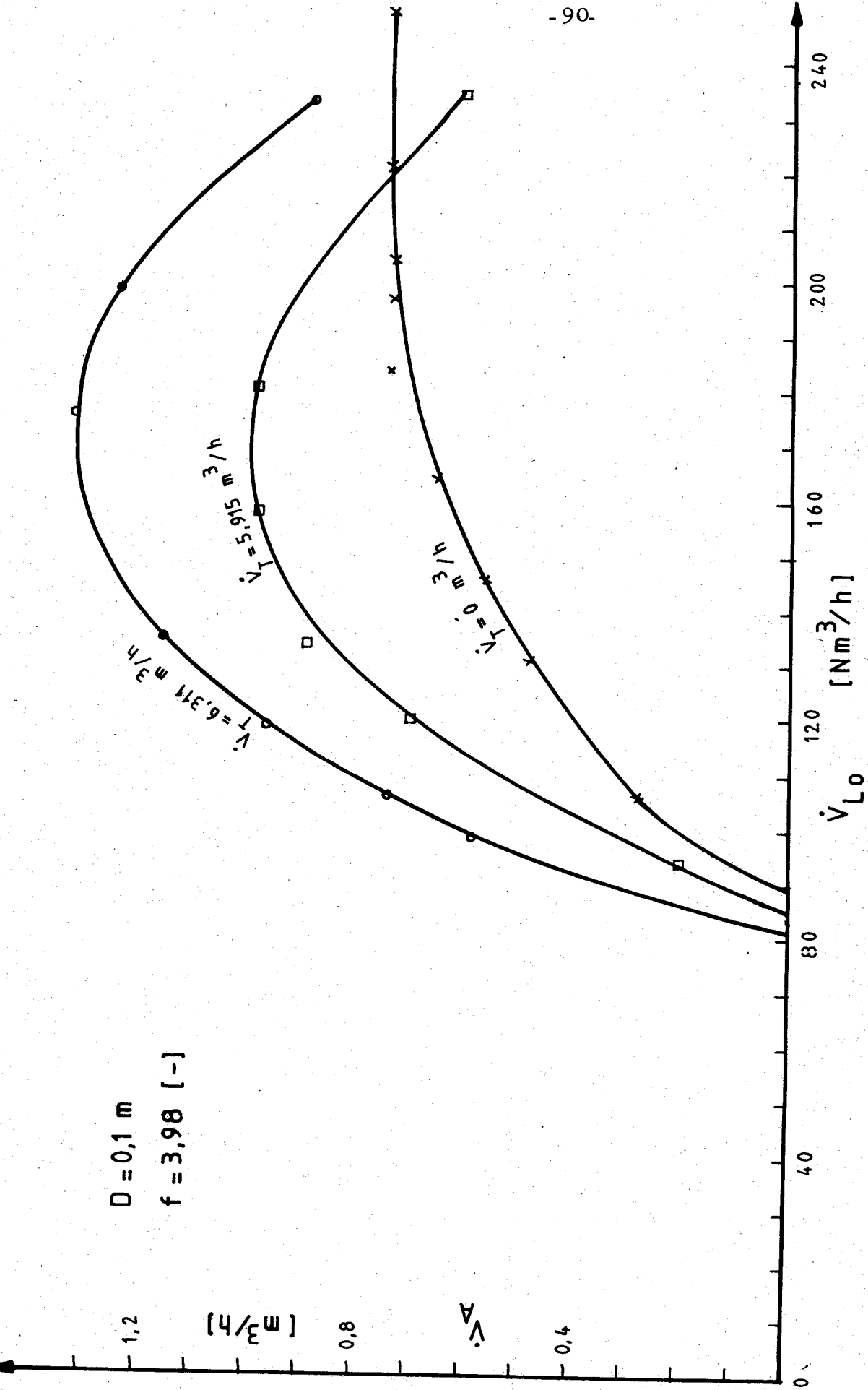
Şekil 5.12 : Enjektör alan oranının, üst borudan taşınan suya etkisi



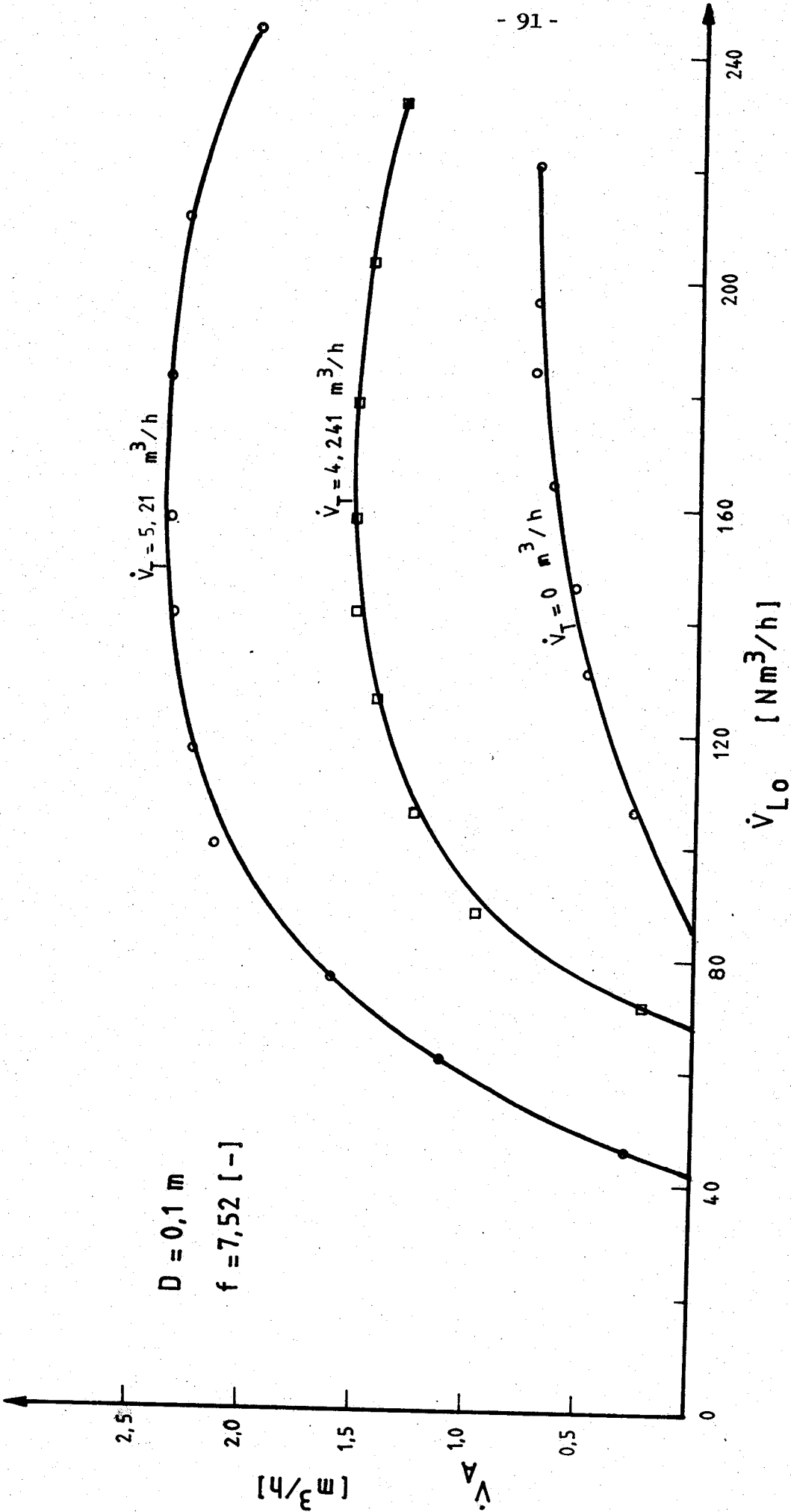
Şekil 5.13 : Boru çapının taşımaya etkisi



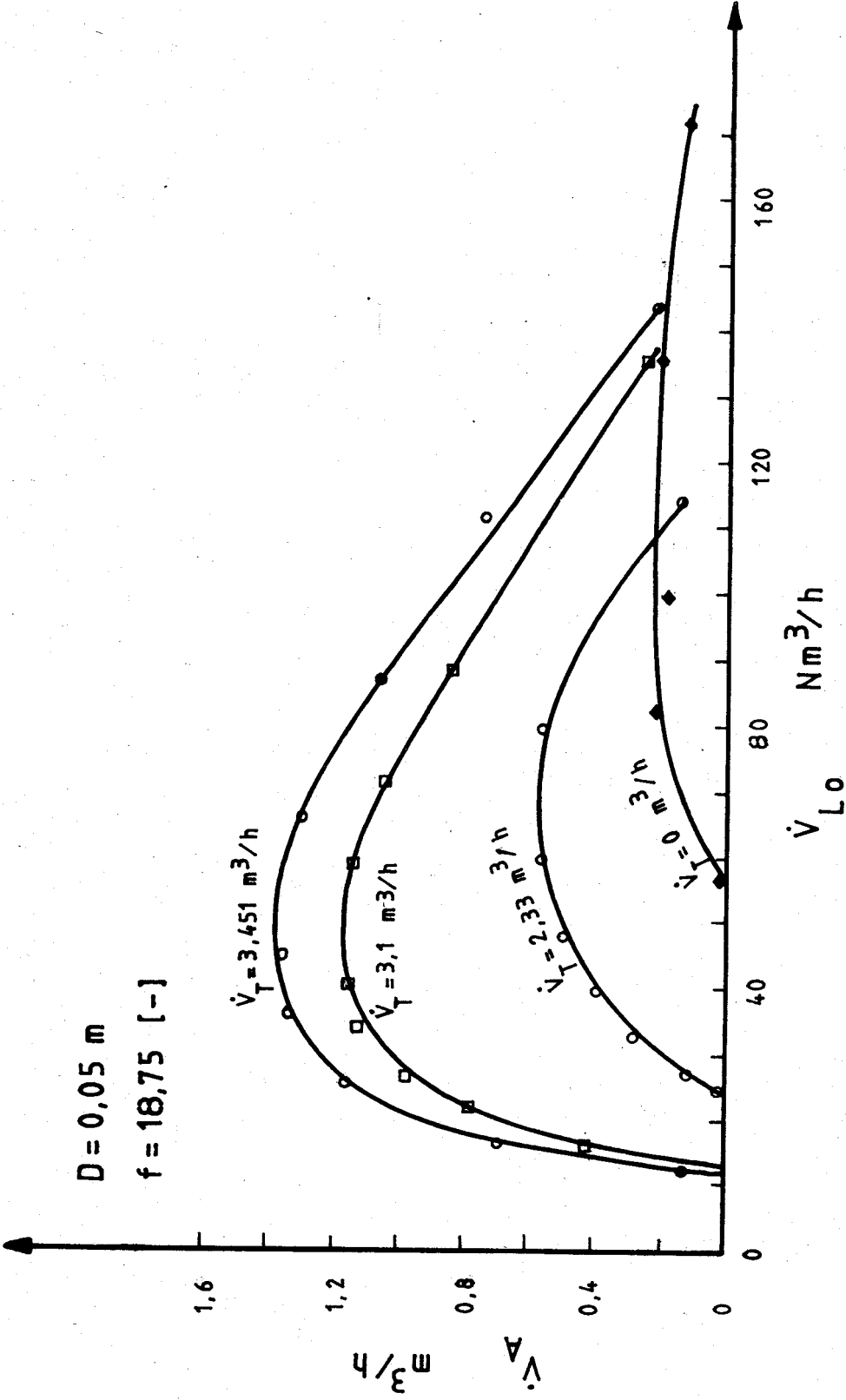
Şekil 5.14 : Boru çapının taşımaya etkisi



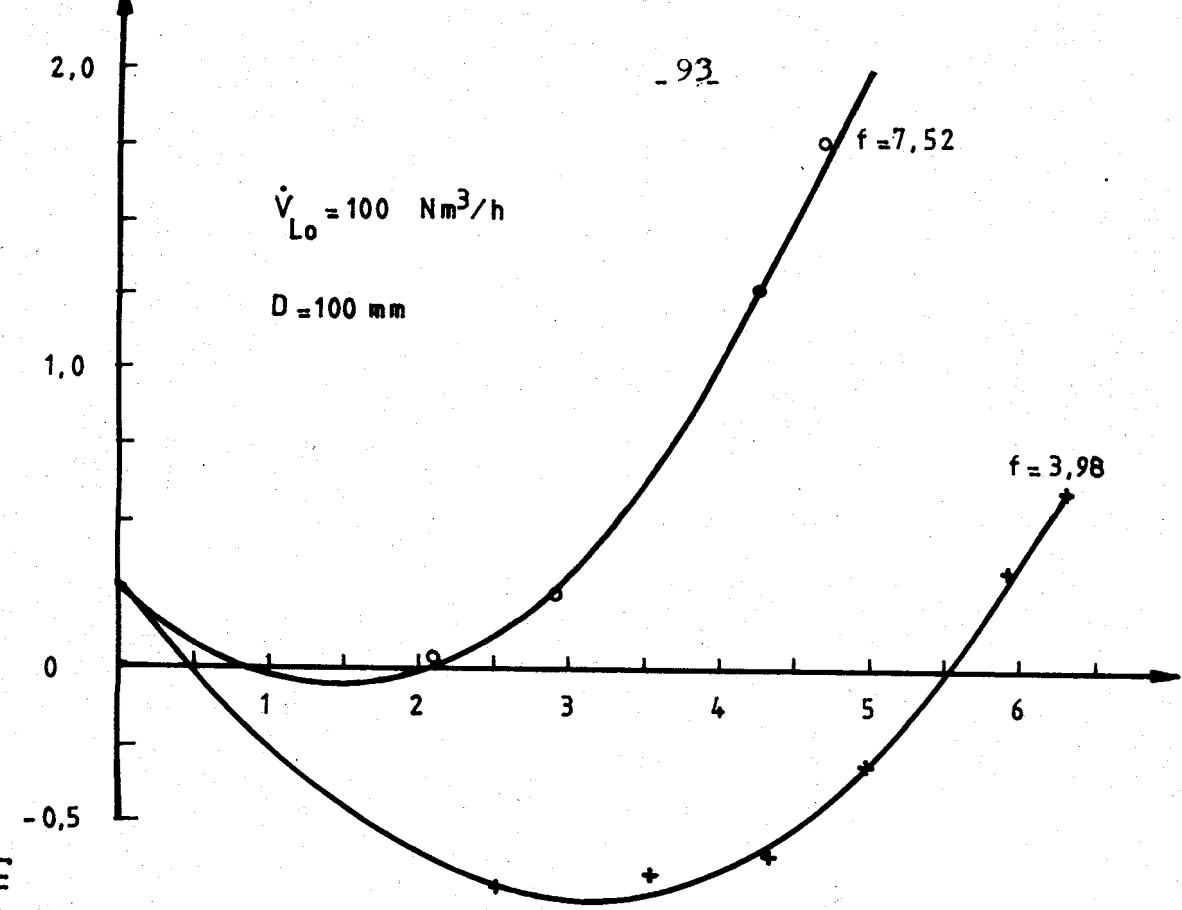
Şekil 5.15 : Alt borudan emilen suyun, sisteme basılan hava miktarına göre değişimi



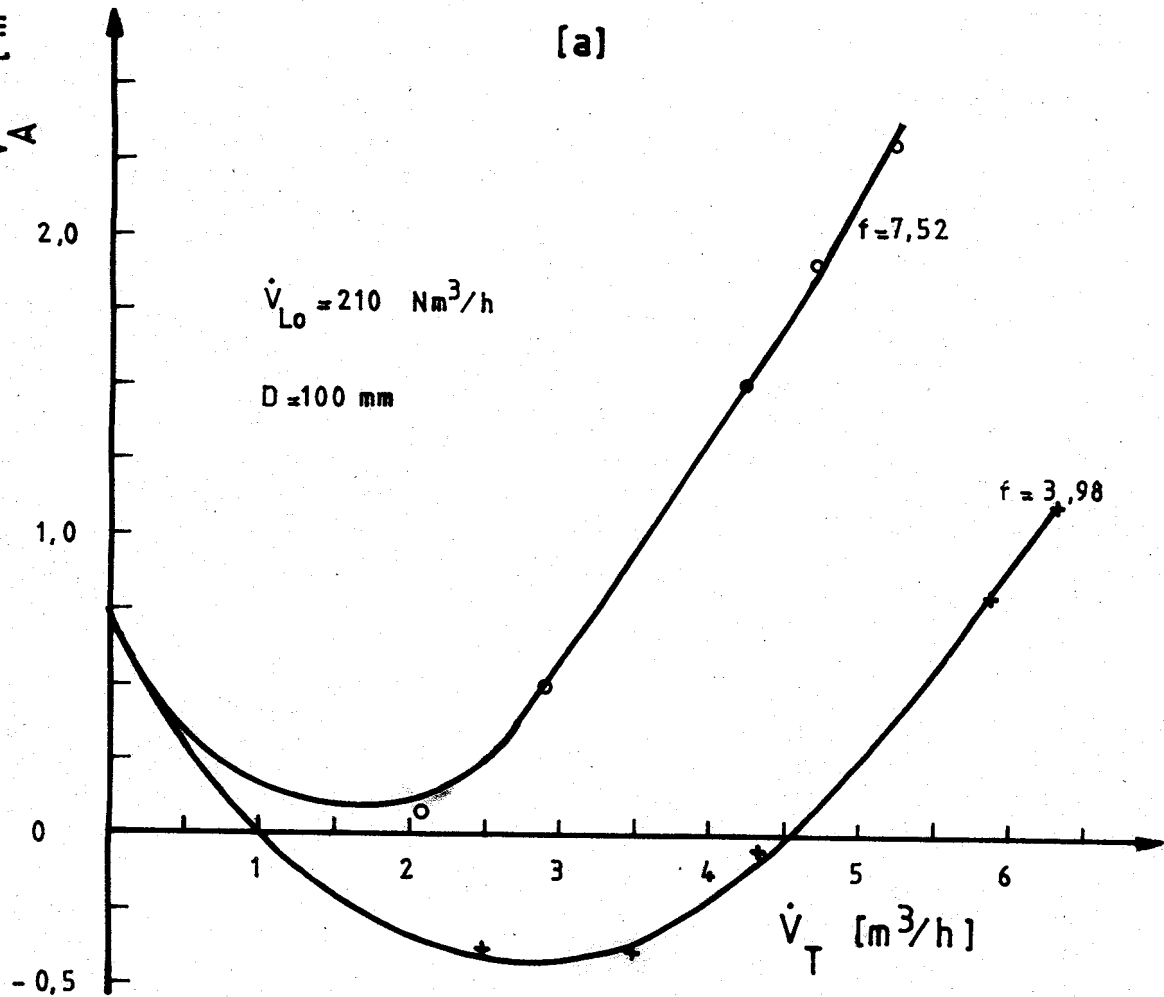
Şekil 5.16 : Alt borudan emilen suyun, sisteme basılan hava miktarına göre değişimi



Şekil 5.17 : Alt borudan emilen suyun, sisteme basılan hava miktarına göre değişimi



[a]



[b]

Şekil 5.18 : Enjektör alan oranının, emilen net suya etkisi

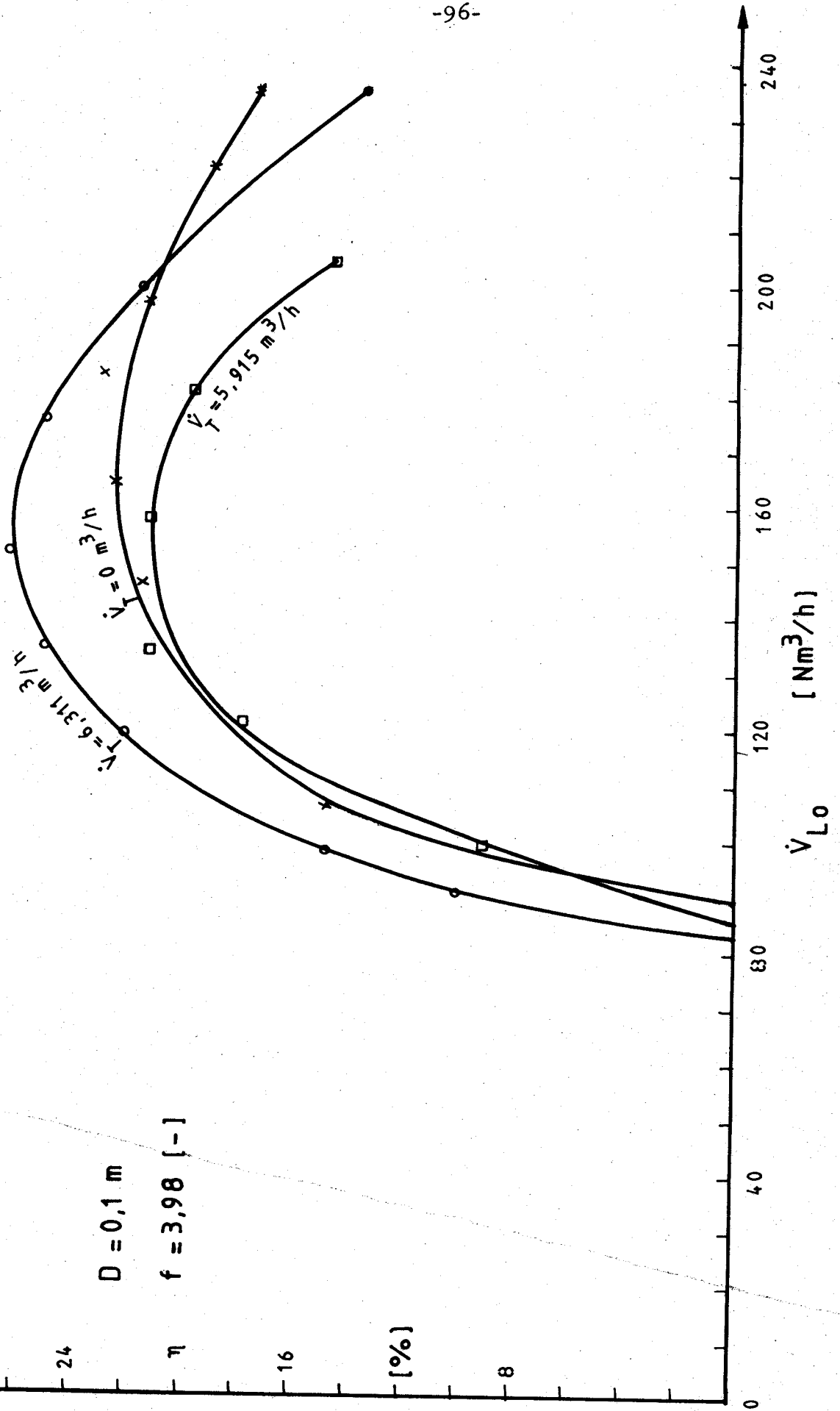
5.3 Verim

Sistem, genelde yalnız air-lift ile çalışması durumunda da çok küçük verime haizdir. Daha önce de belirtildiği gibi, yalnız enjektör pompa ile çalışmada su emilmesi (\dot{V}_A) mümkün olmadığından, enjektör pompanın verimi sıfırdır. Dolayısıyla kombine sistemin veriminin de düşük olacağı aşikardır.

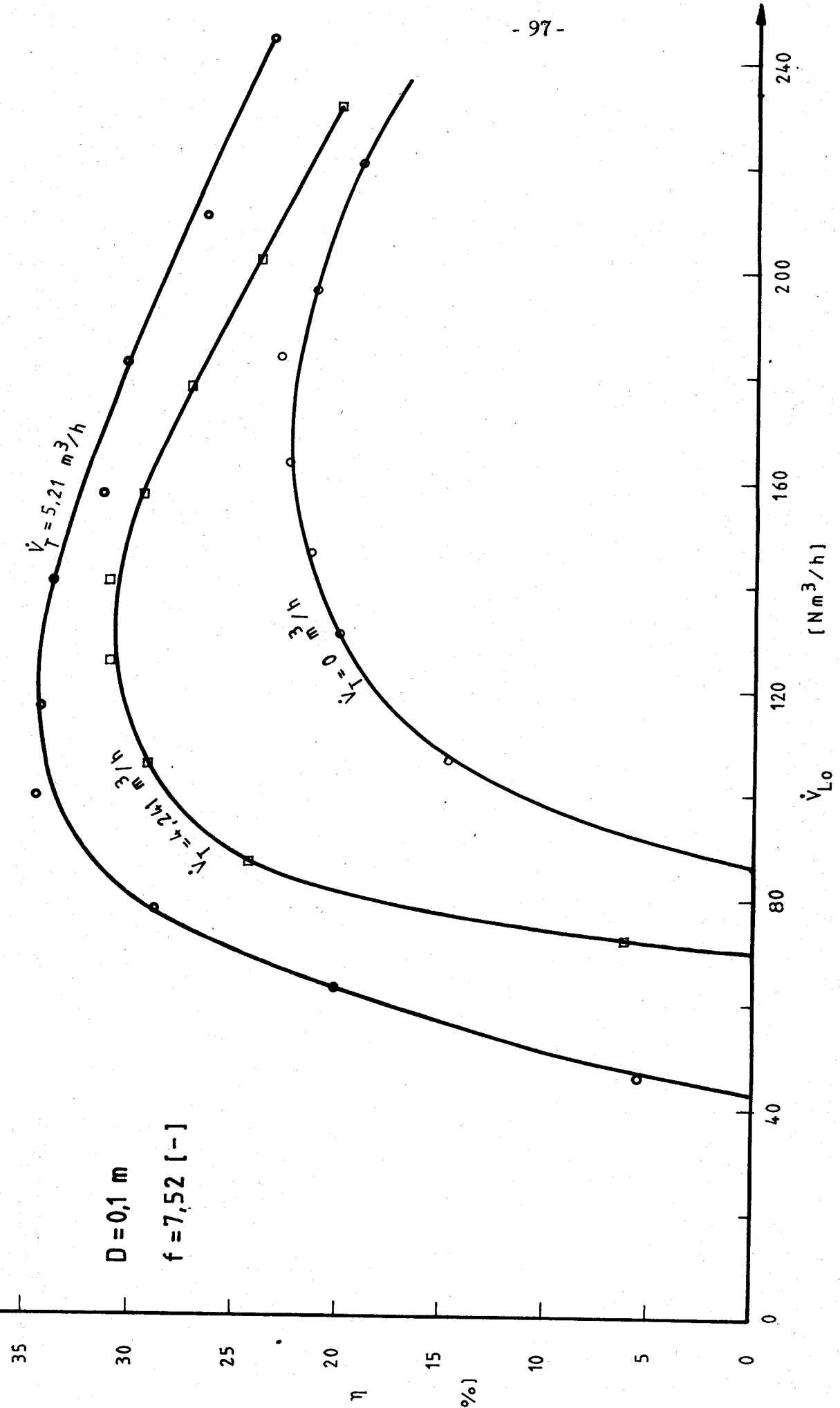
Şekil 5.19, 5.20 ve 5.21'de verimin, sisteme basılan havaya (\dot{V}_{Lo}) göre nasıl değiştiği izlenebilir. Şekil 5.19'da $D=0,1$ m ve $f=3,98$ değerlerinde üç ayrı işletici su miktarı için verim eğrileri incelendiğinde; kombine sistemin $\dot{V}_T=6,311$ m³/h'deki veriminin, air-lift sistemine göre daha iyi olduğu göze çarpmaktadır. Kombine sistemin $\dot{V}_T=5,915$ m³/h'deki verimi ise, $\dot{V}_T=0$ (enjektörün devre dışı olması) durumundaki verimden düşük değere sahip olduğu görülmüyor. Buradan şu netice çıkartılır. Enjektöre gönderilen işletici su debisi (\dot{V}_T) arttırılarak, kombine sistemin verimi arttırılabilir. Uygun bir enjektör alan oranı (f) seçimi ile verimin çok daha iyileştirilebileceği gerçektir. Nitekim Şekil 5.20 incelenirse, yalnız air-lift sisteminin devrede olması durumunda ($\dot{V}_T=0$) verim maksimum % 22 civarında seyrederken, kombine sistem ile verimin değeri % 34 civarına çıkartılmıştır. Şekil 5.20'de $D=0,1$ m ve $f=7,52$ olup, üç ayrı işletici su debisi ($\dot{V}_T=0$, $\dot{V}_T=4,241$ ve $\dot{V}_T=5,21$ m³/h) için çizilmiştir.

50 mm`lik boruda verim enteresan durumlar arzemiş-
tir. Bu defa $f=18,75$ olup, gene üç ayrı işletici su mik-
tarı için çizilen bu eğrilerde göze batan, verimin \dot{V}_T ile
sürekli artış göstermemesidir. $\dot{V}_T=2,3 \text{ m}^3/\text{h}$ için verimin
maksimum seyri, $\dot{V}_T=2,18 \text{ m}^3/\text{h}$ `a göre daha fazladır. Bu so-
nuca bakarak $\dot{V}_T=3,451 \text{ m}^3/\text{h}$ için verimin daha da artması
gerekir diye beklemenin hata olacağı Şekil 5.21`den gö-
rülmemektedir. Verim belli bir \dot{V}_T değerinden sonra düşmek-
tedir. Bunun nedeni, artan işletici su debisi sonucu, ta-
şıma borusu içerisinde sürtünme basınç kayıplarının yük-
selmesidir.

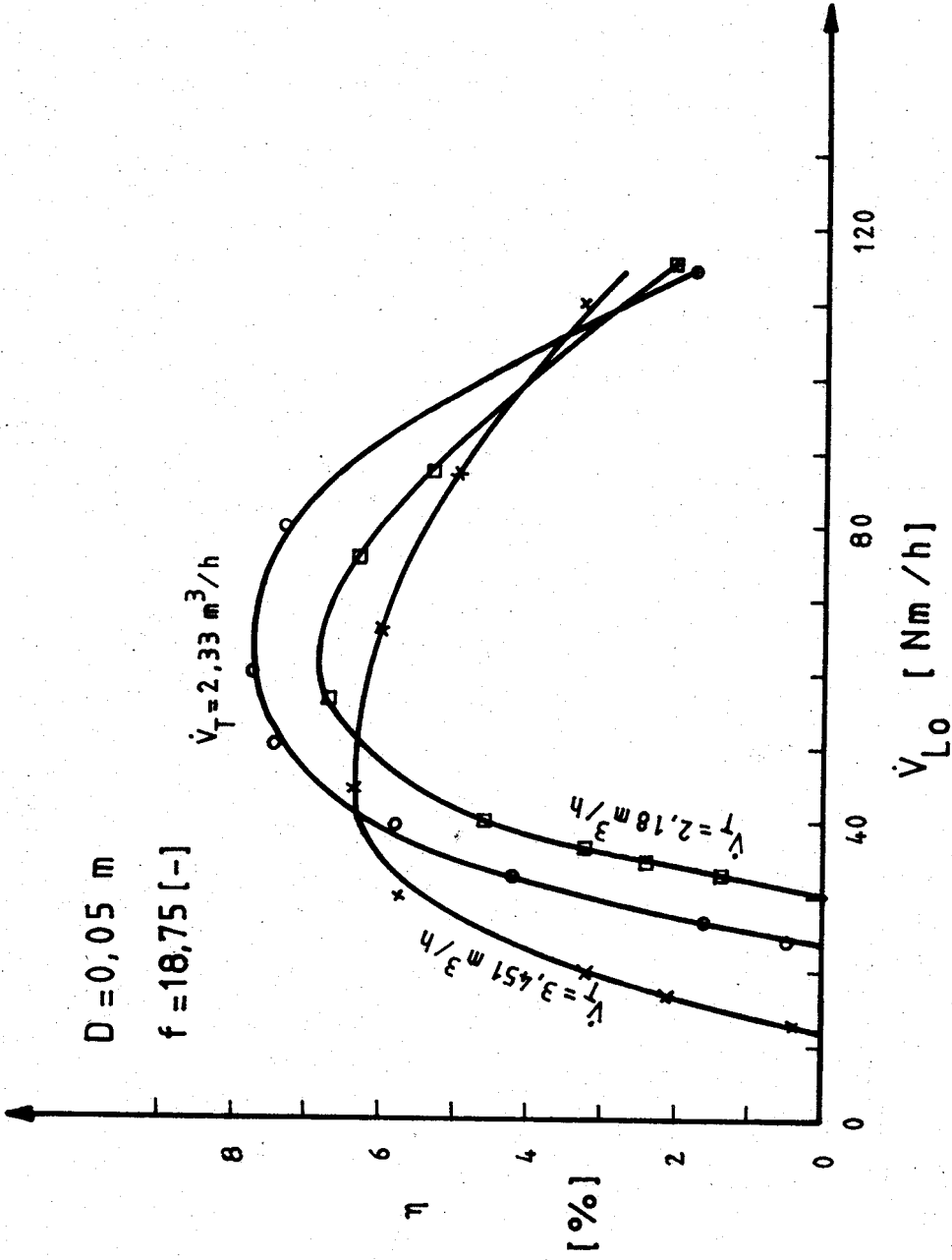
Enjektör pompa + air-lift kombinasyonunda net emi-
len su miktarı (\dot{V}_A), \dot{V}_{Lo} `ın fonksiyonu olarak çizilmesi-
le elde edilecek eğride; verimin maksimum olacağı yer,
orjinden geçen ve eğriye teğet olan doğrunun bu eğriye
değdiği nokta olmaktadır (Şekil 5.22).



Şekil 5.19 : Kombine sistemin verimi

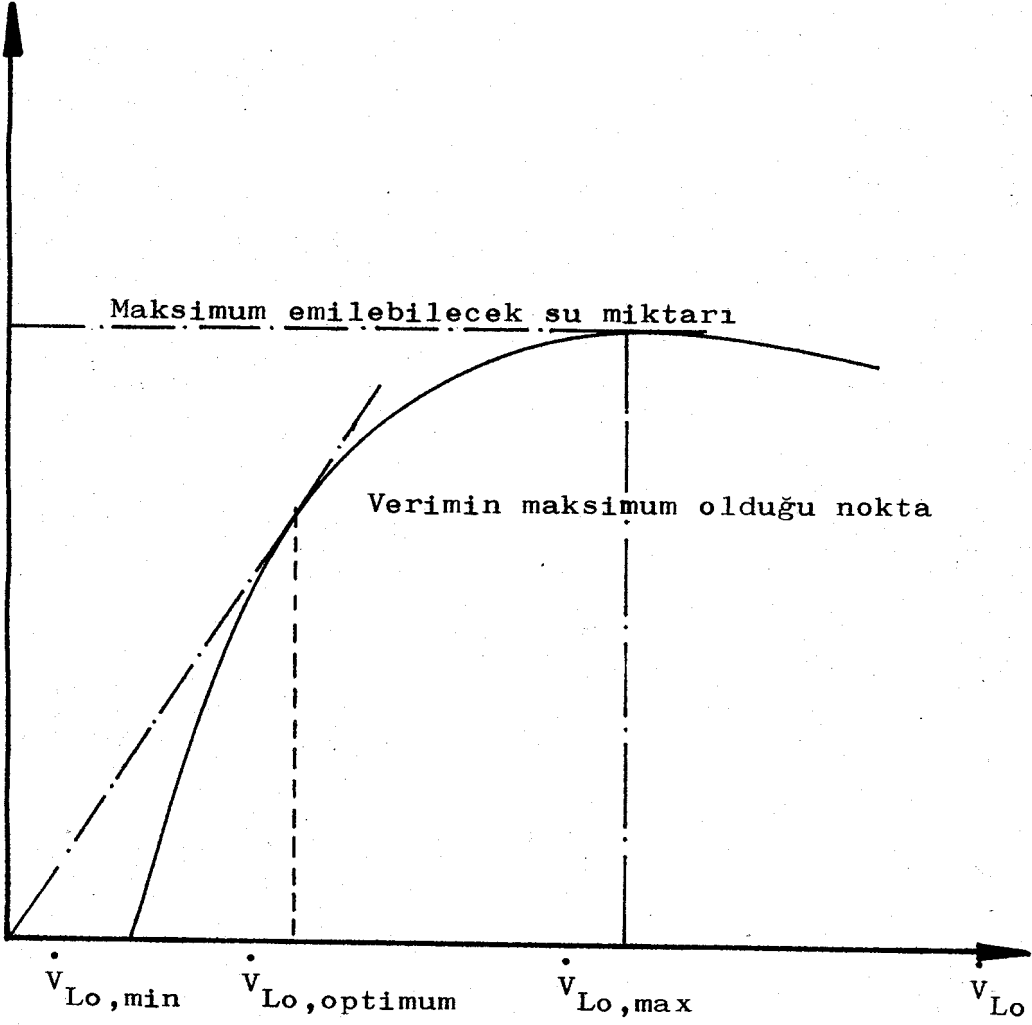


Şekil 5.20 : Kombine sistemin verimi



Şekil 5.21 : Kombine sistemin verimi

\dot{V}_A (Kombine sistemden emilen net su miktarı)



Şekil 5.22 : Verimin maksimum olduğu noktanın tesbiti

6. Hesaplanan ve Ölçülen Değerlerin Karşılaştırılması

6.1 Üst Borudan Taşınan Su Miktarının (\dot{V}_W) Karşılaştırılması

Şekil 6.1, 6.2 ve 6.3`te; üst borudan taşınan su miktarları (\dot{V}_W), sisteme basılan hava miktarlarının (\dot{V}_{Lo}) fonksiyonu olarak çizilmiş olup, hem teoriksel hem de deneysel neticelerin mukayesesini göstermektedir.

Şekil 6.1`de $D=50$ mm, $f=18,75$; Şekil 6.2`de $D=50$ mm, $f=33,33$ ve Şekil 6.3`de $D=100$ mm, $f=7,12`dir$. Üç ayrı şekilden de görüldüğü gibi deney sonuçları, kombine sistem için kurulan teori ile iyi bir uyum göstermiştir. Özellikle alt borudan su emilmeye başlanıldığı noktadan itibaren elde edilen teori sonuçları, deney sonuçları ile çok iyi bir uyum göstermiştir. Deneyle teori arasındaki maksimum hata \pm % 15 civarındadır.

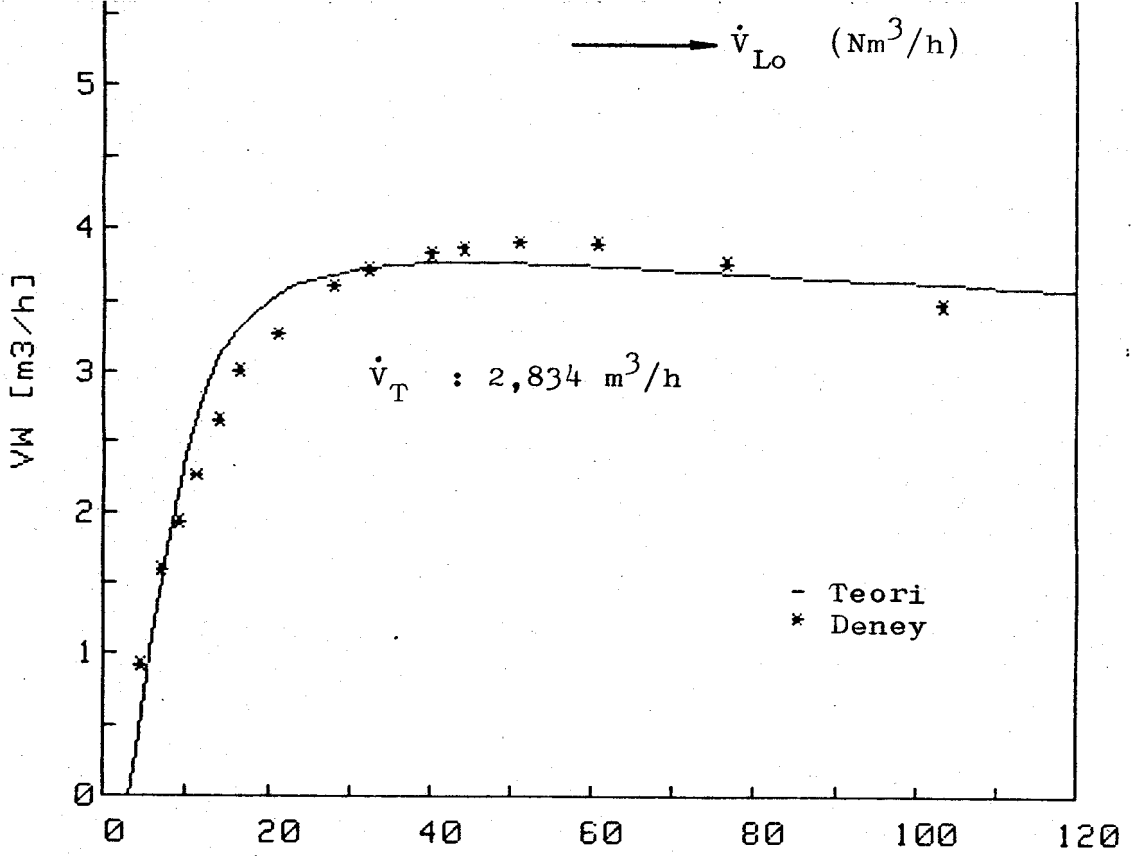
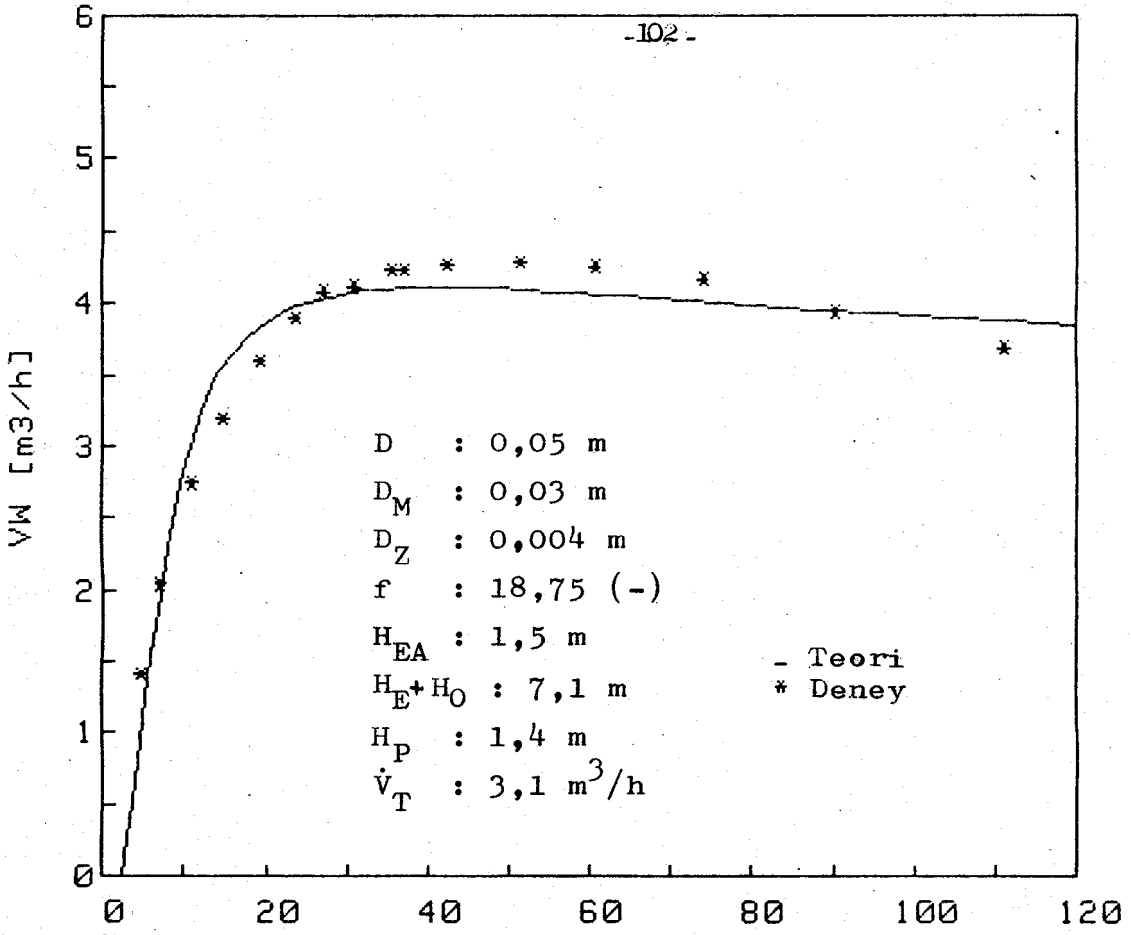
6.2 Alt Borudan Emilen Su Miktarının (\dot{V}_A) Karşılaştırılması

Şekil 6.4`te 50 mm`lik borularda fakat ayrı enjektör alan oranları ($f=18,75$ ve $f=33,33$) ve işletici debi miktarları ($\dot{V}_T=3,1$ m³/h ve $\dot{V}_T=2,857$ m³/h) için teori ile deney sonuçları mukayese edilmiştir. Apzis, sisteme basılan

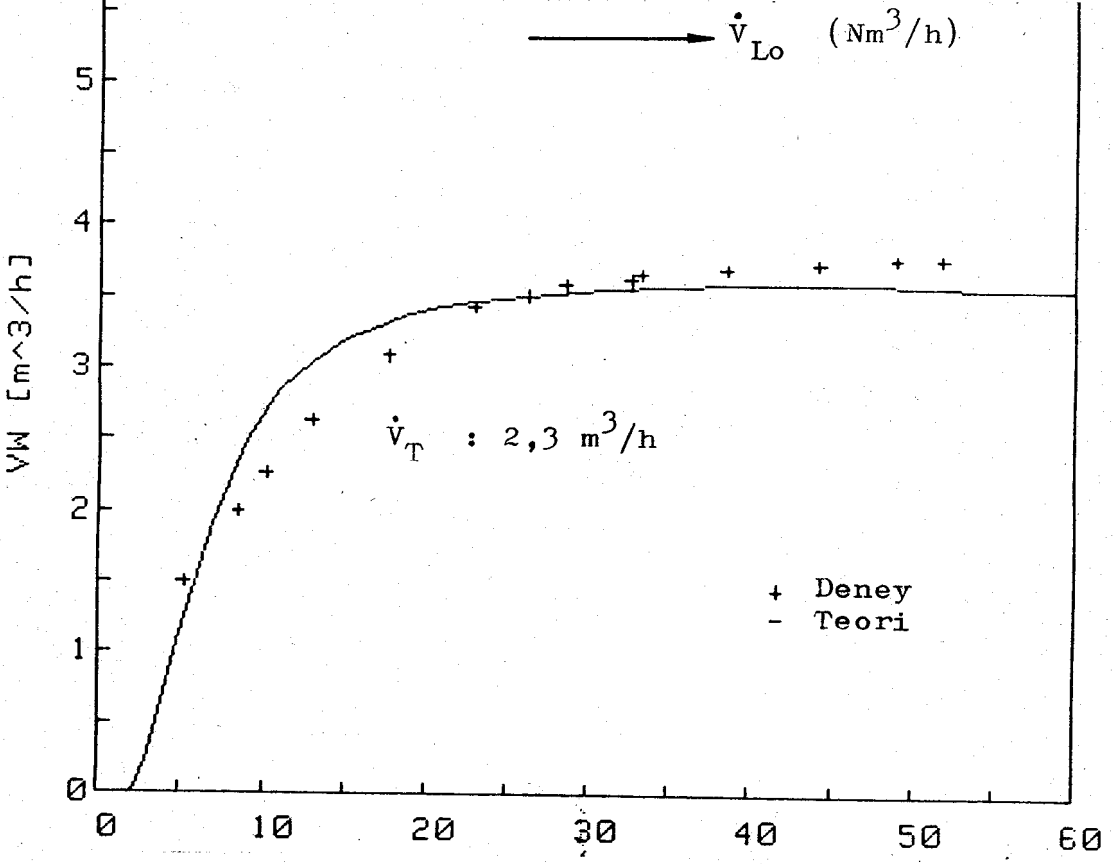
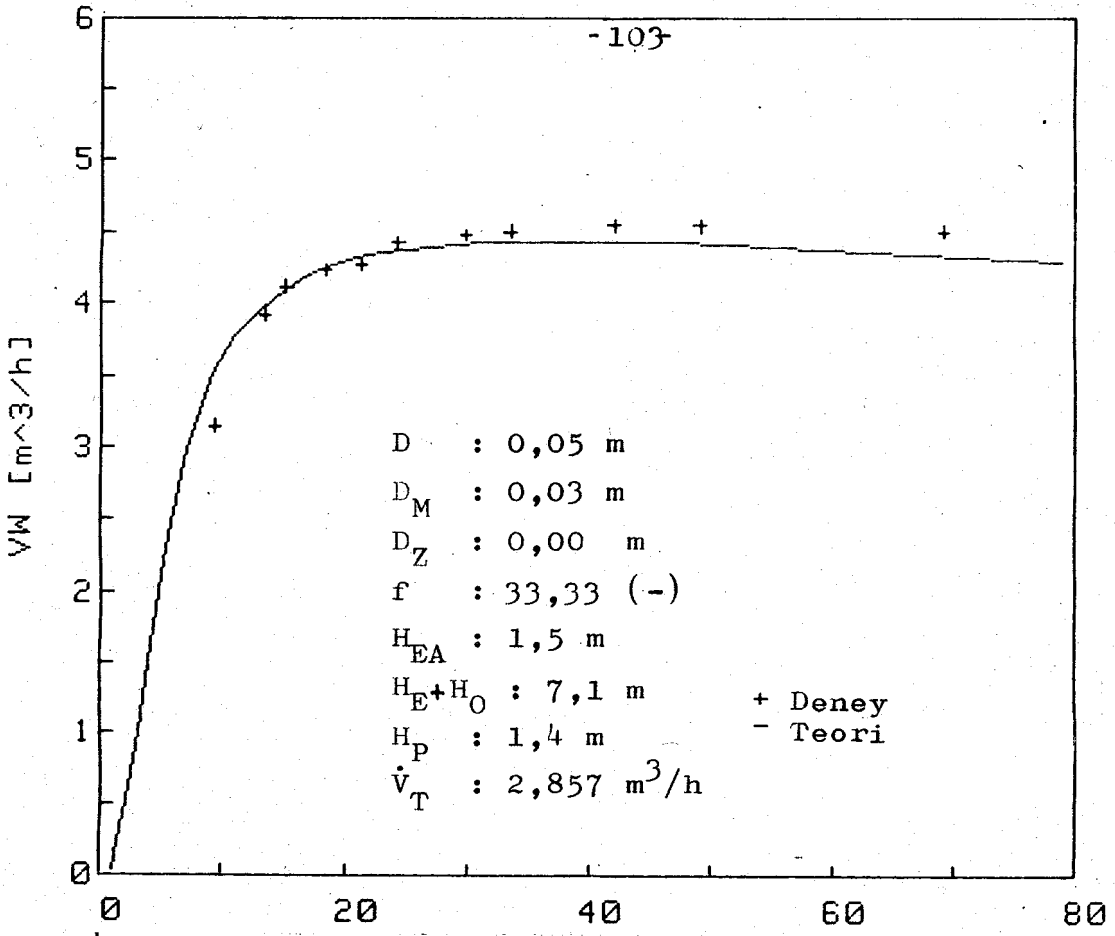
hava miktarlarının (\dot{V}_{Lo}) normal şartlardaki değerlerini, ordinat ise; kombine sistem yardımıyla emilebilen net su miktarlarını (\dot{V}_A) simgelemektedir. Deney ile teori arasında, eğrilerden de hesaplanabileceği gibi maksimum \pm % 15-16 civarında sapma olabilmektedir.

Şekil 6.5`te ise 100 mm`lik boruda $f=7,52$ ve $\dot{V}_T=5,21 \text{ m}^3/\text{h}$ olması durumu için teori ile deney sonuçları kıyaslanmıştır.

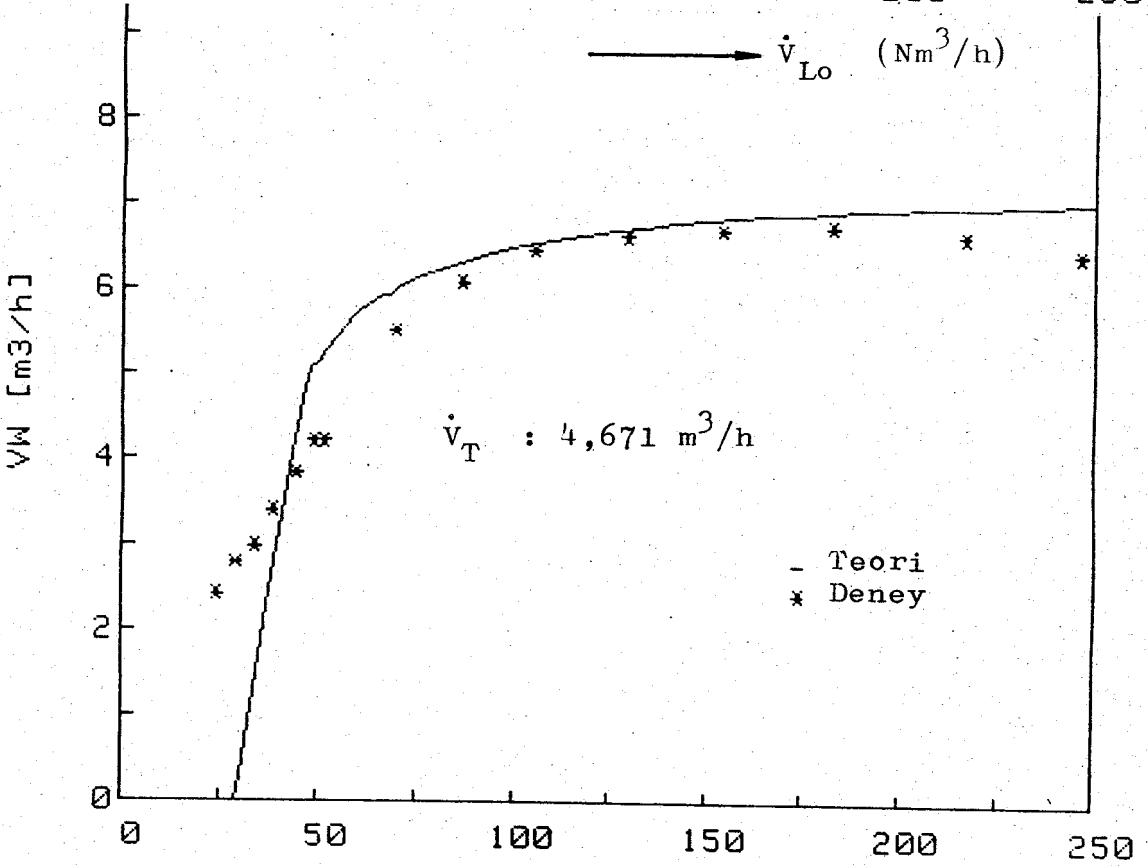
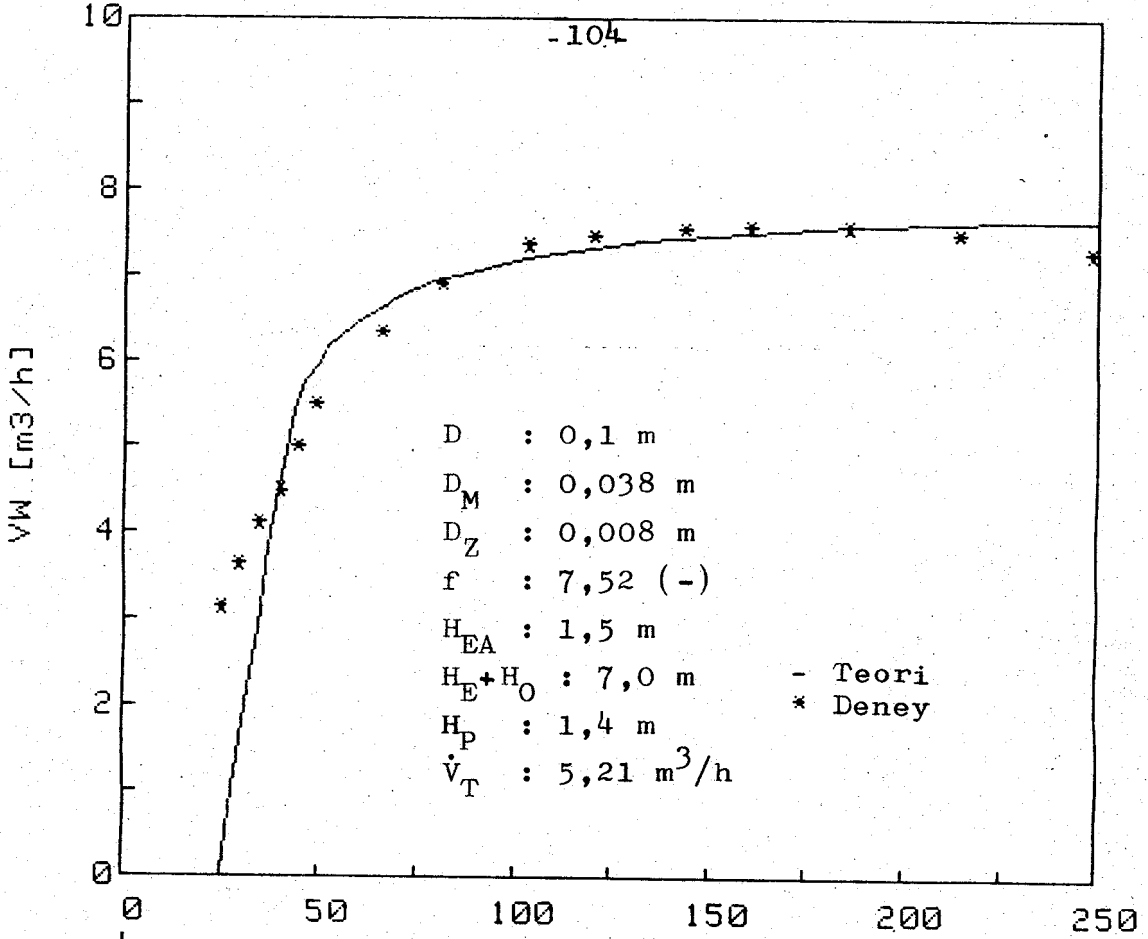
Netice olarak; kombine sistem için kurulan teori modelinin geçerliliği, deney sonuçlarıyla ispatlanmış olmaktadır.



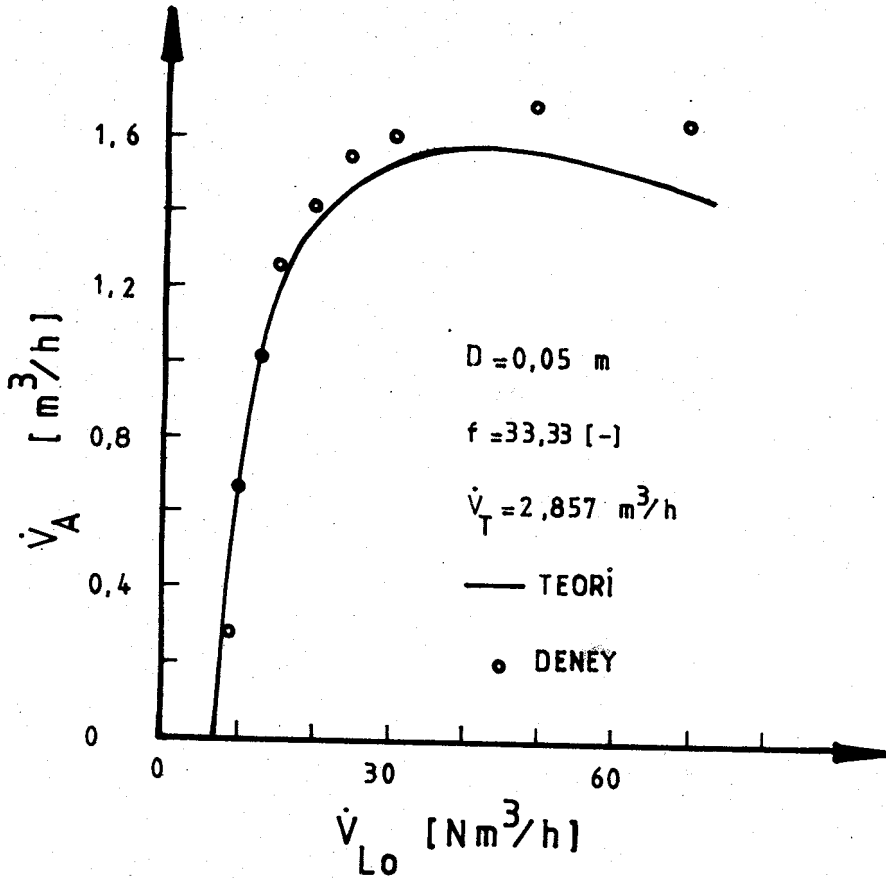
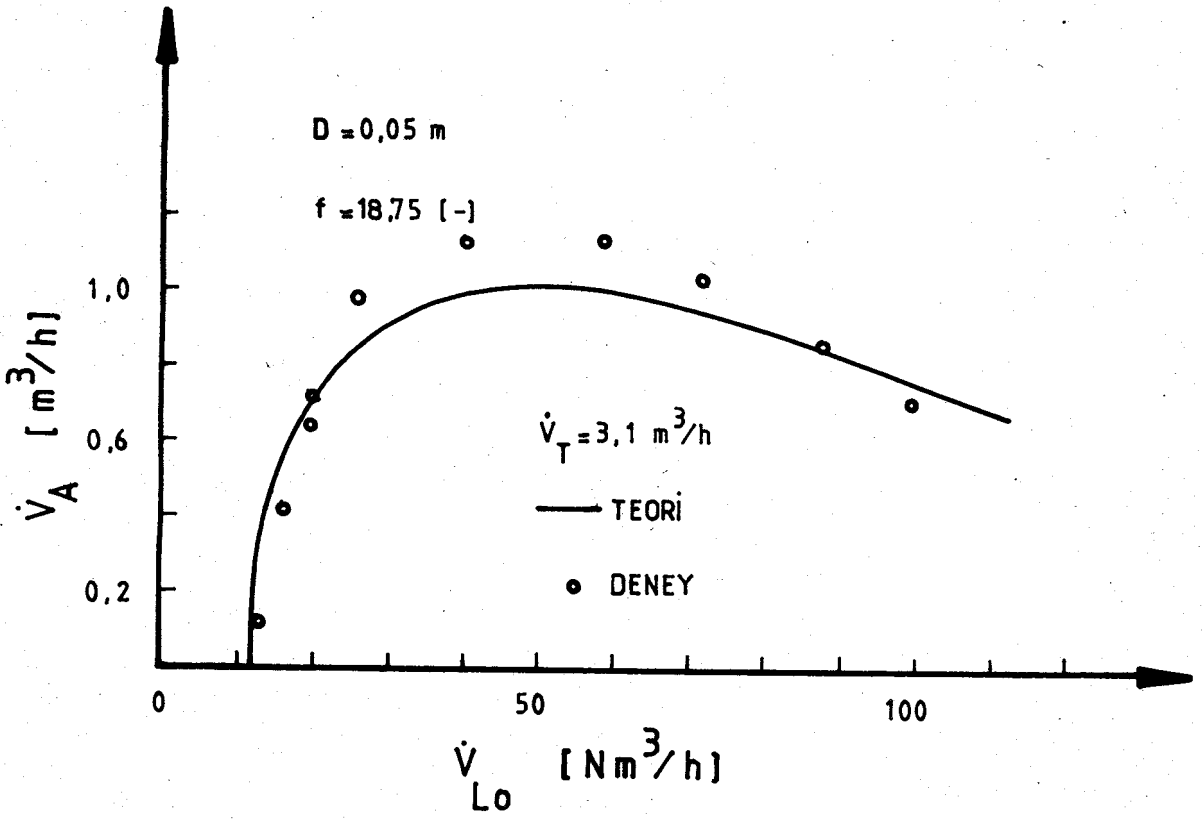
Şekil 6.1 : Deneý ile teori sonuçlarının karşılaştırılması



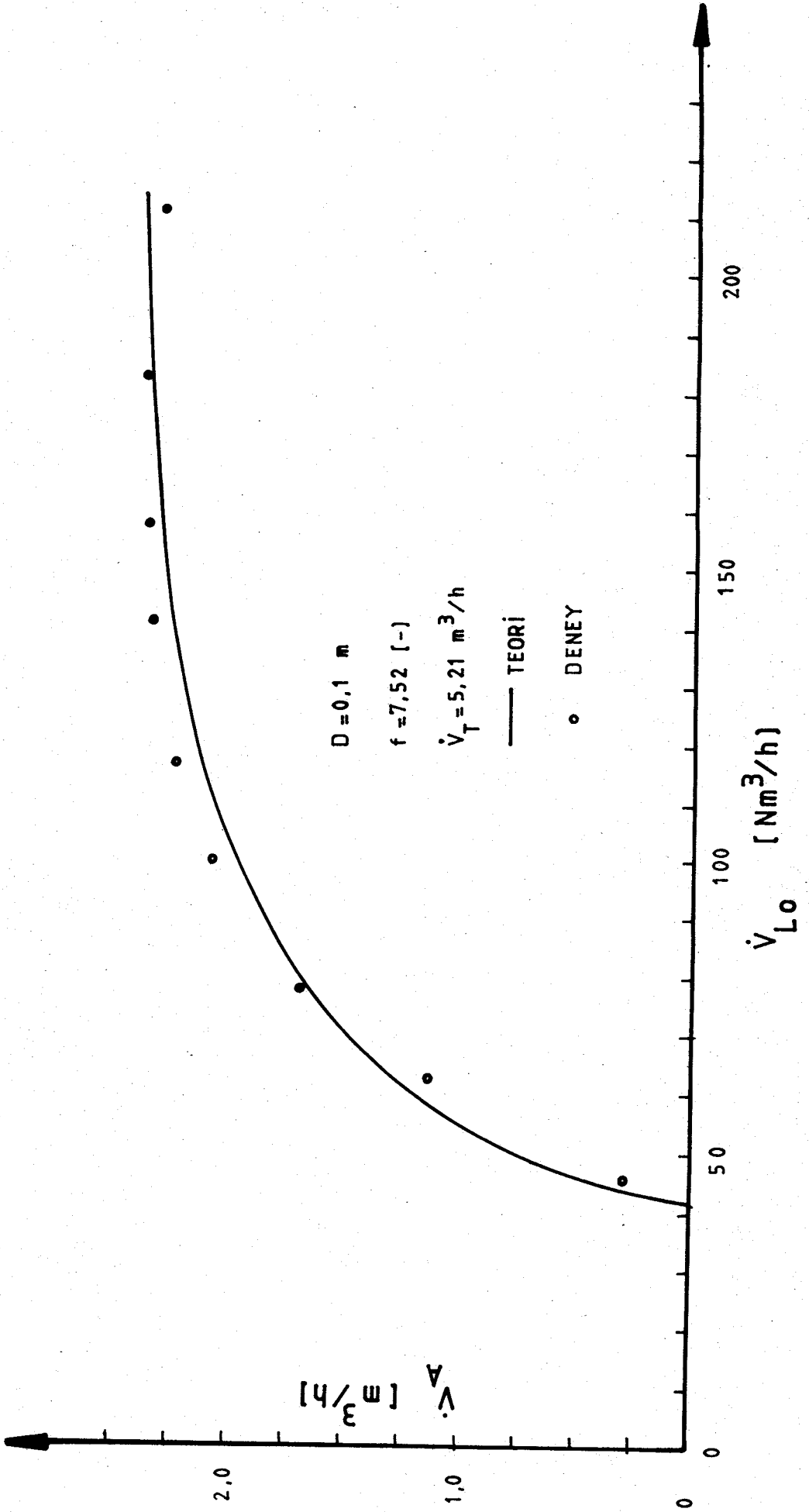
Şekil 6.2 : Deneysel sonuçların teorik sonuçlarıyla karşılaştırılması



Şekil 6.3 : Deney ile teori sonuçlarının karşılaştırılması



Şekil 6.4 : Deneysel sonuçların teorik sonuçlarla karşılaştırılması



Şekil 6.5 : Deneysel sonuçların teori sonuçlarıyla karşılaştırılması

6.3 Sonuçlar

Bu çalışmada kombine enjektör pompa-mammut pompa sistemi için geliştirilen teori ve kurulan deney düzeneğinden elde edilen değerlerden aşağıdaki sonuçlar bulunmuştur:

a) Kombine sistemler geliştirilen teoriye göre hesaplanabilirler.

b) Emilen su miktarı, kombine sistemle önemli ölçüde ve elverişli olarak da optimum çalışma bölgesi civarında arttırılabilmektedir. Kombine sistem verimin zaten uygun olmadığı bölgede yarar yerine zarar getirmektedir (Şekil 5.15-5.17).

c) Kombine sistemde verim, uygun bir dizaynda, tekli sisteme göre daha yüksek olabilmektedir(Şekil 5.19-5.20).

Bu çalışmada, kombine sistem için deney düzeneği bilhassa kötü çalışma bölgesi için yapılmıştır (Enjektör pompanın tek çalışması halinde verim sıfır). Pratikte çalışma şartları daha uygun olabileceğinden, taşıma sistemleri hakkında karar vermeden önce kombine sistemin de dikate alınması, gerek taşıma miktarı, gerek verim açısından önem taşımaktadır.

S E M B O L L E R

		<u>Birimi</u>
A	Kısaltma (Denklem 1.31)	*
A _A	Alt boru alanı	m ²
A _M	Karışma borusu alanı	m ²
A _T	Enjektör lüle alanı	m ²
B	Kısaltma (Denklem 1.32)	-
C	Kısaltma (Denklem 1.33)	-
D	Boru çapı	m
D _A	Alt boru çapı	m
D _M	Karışma borusu çapı	m
D _T	Enjektörde tek lülenin çapı	m
f	Enjektör alan oranı	-
g	Yerçekimi ivmesi	m/s ²
H	Yükseklik	m
H _A	Alt boru uzunluğu	m
H _D	Daldırma derinliği	m
H _E	Kombine sistemin daldırma derinliği	m
H _{EA}	Kombine sistemde ilk su seviyesi	m
H _I	Enjektör yardımıyla su seviyesindeki yükselme	m
H _O	Kombine sistemde üst boru uzunluğu	m
H _P	Ara boru uzunluğu	m
H _Ü	Üst boru uzunluğu	m
i	Adım sayısı	-
K	Karışma borusu iç cidarına etki eden direnç kuvveti	N

S E M B O L L E R

		<u>Birimi</u>
L_M	Karışma borusu uzunluğu	m
m	Kütlesel debiler oranı	-
M_A	Alt borudan emilen suyun kütlesel debisi	kg/s
M_S	Üst borudan taşınan suyun kütlesel debisi	kg/s
M_T	İşletici suyun kütlesel debisi	kg/s
N	Enjektör sisteminde üst borudaki basınç gradyanının alt borudaki basınç gradyanına oranı	-
N_{AL}	Alt boru için gerekli güç	W
N_{AR}	Ara boru için gerekli güç	W
N_E	Enjektör pompasında sistemden faydalanılan güç	W
N_F	Air-Lift ve Kombine sistemden faydalanılan güç	W
N_G	Kombine sisteme sarfedilen güç	W
N_H	Havanın izotermik genişmesi durumunda sisteme harcanan güç	W
N_K	Geri kazanılan güç	W
N_P	Su pompasıyla sisteme harcanan güç	W
$N_{\bar{U}}$	Üst boru için gerekli güç	W
P	Basınç	bar
$P_{1,2,3,4}$	Enjektörde ilgili noktalardaki basınçlar	bar
P_a	Sistemin en alt noktasındaki basınç	bar

S E M B O L L E R

Birimi

P_{atm}	Atmosfer basıncı	bar
P_D	Daldırma derinliğindeki basınç	bar
ΔP_A	Ağırlık basınç düşüşü	bar
ΔP_{AL}	Alt borudaki basınç kaybı (toplam)	bar
ΔP_G	Giriş basınç kaybı	bar
ΔP_i	İvmelenme basınç kaybı	bar
$\Delta P_{i\ddot{U}}$	Üst borudaki ivmelenme basınç kaybı	bar
ΔP_P	Ara borudaki toplam basınç kaybı	bar
ΔP_S	Sürtünme basınç kaybı	bar
$\Delta P_{S\ddot{U}}$	Üst borudaki sürtünme basınç kaybı	bar
$\Delta P_{\ddot{U}}$	Üst borudaki toplam basınç kaybı	bar
q	Enjektör lülesinden fışkıran işletici suyun dinamik basıncı	bar
S	Sabit sayı	-
V_A	Alt borudaki suyun ortalama hızı	m/s
V_L	hava hızı	m/s
V_M	Karışımın ortalama hızı	m/s
V_T	İşletici suyun fışkırma hızı	m/s
$V_{\ddot{U}}$	Enjektörlü pompa sisteminde üst borudaki suyun hızı	m/s
V_W	Kombine sistemde üst borudaki suyun hızı	m/s
\dot{V}_A	Alt borudan geçen hacimsel su debisi	m^3/s
\dot{V}_L	Hacimsel hava debisi	m^3/s
\dot{V}_{LD}	D noktasındaki hacimsel hava debisi	m^3/s

S E M B O L L E R

Birimi

$V_{L,atm}$	Atmosferik şartlarda hacimsel hava debisi	m^3/s
V_{Lo}	Normal şartlar altında sisteme basılan hacimsel hava debisi	Nm^3/s
V_M	Karışımın hacimsel debisi	m^3/s
V_T	İşletici suyun hacimsel debisi	m^3/s
$V_{Ü}$	Enjektör pompada üst borudan taşınan hacimsel su debisi	m^3/s
V_W	Kombine sistemde üst boruda taşınan hacimsel su debisi	m^3/s
W_B	Kabarcık yükselme hızı	m/s
Δx	Çok küçük mesafe	m
Z	Enjektör kayıp katsayısı	-
Y	(1.20 nolu denklemdeki kısaltma)	-
ϵ_h	Üst boruda hava bulunma oranı	-
ϵ_s	Üst boruda su bulunma oranı	-
η	Kombine sistemin verimi	-
η_A	Air-Lift sisteminin verimi	-
η_D	Difüzör verimi	-
η_E	Enjektör pompasının verimi	-
η_G	Enjektör pompasının toplam verimi	-
η_P	Santrifüj pompanın verimi	-
η_U	Alt difüzör verimi	-
ϑ	Difüzörde genişleme açısı	o
λ	Boru sürtünme katsayısı	-
λ_M	Karışma borusu sürtünme katsayısı	-

S E M B O L L E R

		<u>Birimi</u>
ξ	Kayıp katsayısı	-
ξ_G	Giriş kayıp katsayısı	-
ρ_h	Havanın yoğunluğu	kg/m ³
$\rho_{m,o}$	Karışımın yoğunluğu	kg/m ³
ρ_s	Suyun yoğunluğu	kg/m ³

Faydalanılan Kaynaklar

1. Herbold, M.: Entwicklungsbestrebungen in der Spülbohrtechnik im Rheinischen Braunkohlenbergbau. Bohrtechnik, Brunnenbau 9 (1958), S.10
2. Herbold, M.: Entwicklungsbestrebungen in der Spülbohrtechnik im Rheinischen Braunkohlenbergbau. Braunkohle, Waerme und Energie 3/4 (1958), S. 65
3. Wakefield, A. W.: Jet Pumps for Dreging and Transportation. Cement, Lime-Gravel, 46 (Nov. 1971) 11 ve (Dez. 1971) 12
4. Wakefield, A. W.: Sand dreging by jet pump. Cement, Lime-Gravel, 49 (Mai 1974) 5
5. Hill, J. C. C.: Pumping Solids by Jet Venturi. Pumps and Applications-7, Pumping (Nov. 1965)
6. Zandi, I., ve Govates, G.: Beach nourishment from offshore sources. J. ASBPA, 37, M2 (Okt. 1969)
7. Feldle, G.: Feststoffeinfluss auf Wasserstrahlpumpen beim Einsatz zur hydraulischen Förderung und Folgerungen für die Treibwasserpumpen. Forschungsvorhaben der KSB-Stiftung Nr. 1052, Maerz 1977
8. Dedegil, M. Y.: Hydraulische und hydropneumatische Feststoff-Förderung für die Meerestechnik. Transmatik-Report II, Karlsruhe 1976
9. Claus, G.: Rohstoffgewinnung aus grossen Meerestiefen. f-h 25 (1975) Nr. 6
10. Herbold, M.: Entwicklungsbestrebungen in der Spülbohrtechnik im Rheinischen Braunkohlenbergbau. III Teil: Bohrtechnik-Brunnenbau Bd.9 (1958) Nr.2, S.45/51.

11. Standke, S.: Beitrag zur Theorie des Mischluftantriebes für die Förderung in der Brunnen- und Schachtbohrtechnik. Neue Bergbautechn. Bd. 1 (1971) Nr. 9, S. 685/91.
12. Steen, Th.: Mammutpumpen zur Untertunnelung der Spree. Zentralblatt der Bauverwaltung 1911, S. 524.
13. Schneider, B.: Mammutpumpen zur Hebung solehaltiger Mineralwasser in Salsomaggiore. Dingler's Polytechnisches Journal 1913, S. 568
14. Maltry, W.: Zur Dimensionierung von Mammutpumpen. Dt. Agrartechn. Bd. 18 (1968) Nr. 5.
15. Gejer, V. G., ve W. S. Kostanda : Hydraulische Förderung der Kohlenrührbe mit Hilfe von Mammutpumpen und Kohlen-saug-Druckförderanlagen. Mehan. i avtomat. Proizvodstva Bd. 13 (1959) Nr. 9, S. 52/56.
16. Parsons, J. S.: A Preliminary Investigation of Deep Sea Dredging. University of California, 1965.
17. Ball, J.: A light media pump for dredging minerals from the sea floor. Bulletin of CIM, Nov. 1968, S. 1319/25.
18. Herbich, J. B.: How the deep ocean floor can be mined. Ocean Industry (1969), January.
19. Clauss, G.: Untersuchung der Kenngrößen des Air Lifts beim Einsatz im Ozeanbergbau. Erdöl-Erdgas-Z. Bd. 87, 1971
20. Varol, A.: Karadeniz ve Van Gölü'ndeki Uranyumu Çı-kartma Yöntemleri, Master Tezi, 1979, İ.T.Ü.N.E.E.
21. Rankine, J. M.: On the mathematical theory of combined streams Royal Society, London, Vol. 19, 1870, p. 90
22. Schulz, F.: Modellversuche für Wasserstrahl-Wasser-pumpen. Abhandlungen des Dokument.zentrums d. Technik Wien 1951

23. Flügel, G.: Berechnung von Strahlapparaten. VDI-Forschungsheft 395, 1939
24. Flügel, G.: Berechnung von Strahlapparaten. Z. VDI 83 (1939), Nr. 38, S.1065/69
25. Schulz, F. ve Fasol, K. H.: Wasserstrahlpumpen zur Förderung von Flüssigkeiten, Wien 1958
26. Varol, A.: Akışkanlar Mekaniği ve Akım Makinaları Alanlarında Bazı Çalışmalar, Elazığ DMMA, 1979
27. Schulz, F. ve Fasol, K. H.: Zur Frage der Anwendung von Wasserstrahlpumpen. Östr. Was. wirt, 9, 6, 1957
28. Vogel, R.: Über die Auslegung von Strahlpumpen. Maschinenbautechnik, 4, 525, 1955
29. Vogel, R.: Anwendungsmöglichkeiten von Strahlapparaten Maschinenbautechnik, 5, 247, 1956
30. Vogel, R.: Theoretische und experimentelle Untersuchungen an Strahlapparaten. Maschinenbautechnik, 5, 519, 1956
31. Steinwender, A.: Die Bedeutung der Wasserstrahl-Wasserpumpe im Betrieb der Wiener Wasserwerke. Der Aufbau, Wien, 10, 228, 1955.
32. Wiegand, J.: Bemessung von Dampfstrahlverdichtern VDI-Forschungsheft 401, 1940
33. Jung, R.: Die Berechnung und Anwendung der Strahlgebläsen VDI-Forschungsheft 479, 1960
34. Rotta, R.: Ejektorpumpen mit extrem hohem Durchsatzverhältnis. Forschungs-Ingenieur-Wesen 23, 1957, Nr. 4
35. Kroll, E.: The design of jet pumps. Chemical Engineering Progress, Vol. 1, No. 2, 1947, S. 21
36. Müller, N.H.G.: Water Jet Pump, Journal of the Hydraulic Division, ASCE, VOL. 90, No. HY3, May, 1964, S. 83

37. Reddy, Y. R.: Theory of Jet Pump. Indian Institute of Technology at Bombay, 1966.
38. Koch, R.: Ermittlung des Belüftungsgrades von belüfteter Venturidüse und Wasserstrahl-Luftpumpe. Wiss. Z. Techn. Universitaet Dresden, 23, 1974, Heft 2, S. 499.
39. Rakoczy, T.: Theoretische und experimentelle Untersuchungen an Wasserstrahl-Luftpumpen. VDI-Z, Nr. 11, 1971, S. 854
40. Blenke, H., Bohner, K. ve Vollmerhaus, E.: Untersuchungen zur Berechnung des Betriebsverhaltens von Treibstrahlförderern. Chemie-Ing.-Techn. 3, (1963) S. 201
41. Weydanz, F.: Die Vorgaenge in Strahlapparaten. Beiheft 8 z. Z. ges. Kaelteindustrie, Reihe 2, Berlin 1939
42. Van Derlingen, J. W.: A Jet Pump Design Theory. Trans. -ASME 82, 4 Serie D, 82, 4, S. 947/60, 1960
43. Wilman, J. T.: Jet Pumps. European Atomic Energy Community Euratom, 1966, Eur 3253.e
44. Silvester, R.: Water Jet Pump-Its use in Hydro-Electric Schemes Water Power, Vol. 12, 1960, p. 176
45. Feldle, G.: Theoretische und experimentelle Untersuchungen über die vertikale hydraulische Feststoffförderung nach dem Strahlpumpverfahren. Diss. Uni. Karlsruhe, 1978
46. Zandi, I. ve Govates, G.: Jet Pumps in Slurry Transport BHRA, Paper L2 (Sept. 1970)
47. Fish, G.: The solid handling jet pump. BHRA, Paper L1, (Sept. 1970)
48. Fish, G.: The Hydraulic Lifting of Heavy Solid Materils by Jet Pumps. BHRA, Research Report 1009, May 1969
49. Weber, M.: Injektor-Schleusen für Feststofftransport Maschinenmarkt, 75(1969)95, S 2075-2077

50. Weber, M.: Feststoffinjektoren genauer berechnet
Maschinenmarkt, 78(1972)13, S.236-37
51. Fish, G.: The solid-handling jet pump. Brit. Chem. Eng-
Proc. Techn. 17,5(mai,1972), pp.423-7
52. Löscher, C. J.: Erfindung eines aerostatischen Kunst-
gezeuges. Leipzig 1797, Verlag S.L. Crusius.
53. Karbe, W.: Die Arbeitsweise und Berechnung der Mammut-
pumpen. Diss. Berlin 1910
54. Pickert, F.: Wirkungsgrad und Berechnungsgrundlagen
von Drucklufthebern. Diss. Berlin 1929
55. Schmid, W.L.H.: Over de Werking van de Luchtlichten
voor Water. Diss. Delft 1930
56. Richardson, J.F. ve Higson, D.J.: A study of the energy
losses associated with the operation of an Air-Lift
Pump. Trans. Instn. Chem. Engrs Vol. 40 1962
57. Nicklin, D.J.: The Air-Lift Pump. Theory and optimisa-
tion. Trans. Instn. Chem. Engrs. Vol. 41 1963
58. Behringer, H.: Die Flüssigkeitsförderung nach dem
Prinzip der Mammutpumpe. Diss. TH.-Karlsruhe 1930
59. Stenning, A.H. ve Martin, C.B.: Analytical and exper-
imentel Study of Air-Lift Pump Performance.
Transactions of the ASME April 1968
60. Pickert, F.: Hydraulischer Vertical-Transport durch
Rohrleitungen. Fördern und Heben 1956 Heft 11
61. Grassmann, P.; Büttiger, E.; Cathrein, E.: Messung und
Theorie Wandschubspannungen bei Zweiphasenströmung im
Rohr; Forsch. Ing.-Wes. 1964 Nr. 4
62. Grassmann, P: Zweiphasenströmungen in Rohrleitungen.
Kaeltetechn. 1965, Heft 2

63. Kriegel, E.: Berechnung von Zweiphasenströmungen von Gas-Flüssigkeits-Systemen in Rohren. Chem.Ing.Techn. 39.Jahrg. 1967 Heft 22
64. Anderson, R.J.; Russel, T.W.: Designing for Two-Phase Flow Part I-III Chem.Eng.Dez.6/1965, Dez.20/1965
65. Govier, G.W.; Short, W.L.: The upward flow of air-water mixtures. The Canad.Journ.of Chem.Eng. Okt. 1958
66. Chawla, J.M.: Reibungsdruckabfall bei der Strömung von Gas-Flüssigkeits-Gemischen in waagerechten Rohren, Ing.-Wes. 34 1968 Nr.2
67. Hughmark, G.A.: Pressure drop in horizontal and vertical cocurrent flow of Gas-Liquid-Flow, I-EC Fundamentals Vol 2 Nr.4 Nov. 1963
68. Lockhart, R.W.; Martinelli, R.C.: Proposed correlation of data for isothermal Two-Phase-Flow, Two-Component Flow in Pipes, Chem.Eng. Progress Vol. 45, Nr. Jan. 1949
69. Siemens, W.: Gasblasen in Flüssigkeiten, Teil II Aufstieg von Gasblasen in Flüssigkeiten Chem.Ing.Techn. 26, Jahrg. 1954 Nr. 11
70. Aybers, N.M.; Tapucu, A.: The motion of Gas Bubbles rising through Stagnant Liquid, Wärme- Und Stoffübertragung Band 2 1969 S. 118-128
71. Erfahrungen mit Mammutpumpen beim Schachtabteufen z.d.VI I 1904, S. 1008.
72. Boes, Chr.; Düring, R.; Wassertoth, E.: Airlift als Antrieb für Einrohr- und Doppelrohr-Förderanlagen Fördern und Heben 22 (1972) 7, S.367-378
73. Newitt, D.M.; Richardson, J.F. and Gliddon, B.J.: Hydraulic conveying of solids in vertical pipes Trans.Instn.Chem.Engrs. 39 (1961), S.93-100

74. Mero, J.L. Elsevier oceanography series 1: The mineral resources of the sea. Elsevier publishing Company, Amsterdam-London-New York 1965
75. Bergmaemische Studienreise in die Sowjetunion. Ruhrbergbau. Juli 1970
76. Struve, D.L.; Lapidus, L.; Elgin, J.C.: The mechanics of moving verticals fluidised systems. Part. III. Application to cocurrent countergravity flow. The Canadian Journal of Chem. Eng. August 1958, S. 141-152
77. Clauss, G.: Wirtschaftliche Aspekte der Manganknollengewinnung. Fördern und Heben 22(1972)14, S. 795-804
78. Steinert, H.: Der erste Grossversuch des Tiefseebergbaus gelang. Erdöl-Erdgas-Z. 86(1970)Nov. S. 447-457
79. Schurig, W.: Wasserumlauf in Dampfkesseln und Bewegung von Flüssigkeitgasgemischen in Rohren. VDI-365, 1934
80. Worster, R.C. and Denny, D.F.: Proc. Instn. mech. Engrs. 169 (1955) S. 563
81. Durand, R.M.: Ecoulements de mixture en conduites verticales-Influence de la densité des matériaux sur les caractéristiques de refoulement en conduite horizontale. La Houille blanche no. Special A/ 1953, S. 124-130
82. Barth, W.: Theoretische Untersuchungen über die Zusammenhänge zwischen Fördermenge, Förderhöhe und eingeblasener Luftmenge bei senkrechter hydraulischer Förderung nach dem Lufthebeverfahren, Unveröff. Bericht, 1963
83. Weber, M.: Lufthebeverfahren. Unveröffentlichte Experimente über Wasser-Luft-Wirbelschichten. Karlsruhe 1963
84. Dedegil, M.Y.: Theoretische und experimentelle Untersuchungen zur Förderung von Schüttgütern nach dem Lufthebeverfahren. Diss. Karlsruhe 1974

85. Rippl, E.: Experimentelle Untersuchungen über Wirkungsgrade und Abreissverhalten von schlanken Kegeldiffusoren, Maschinenbautechnik 5, 241/46 (1956)
86. Bröcker, E.: Vermischung von Flüssigkeits- oder Gasströmen bei kleiner Gesamtdruckänderung, Forsch.Ing.-Wes.24(1958) Nr.6 ve 25(1959) Nr.1
87. Reddy, Y.R. ve Kar, S.: Theory and Performance of Water Jet Pump. Journal of the Hydraulic Division ASCE Vol.90,Nr.HY 5, Sept.1968, S.1261
88. Rautenberg, J.: Theoretische und experimentelle Untersuchungen zur Wasserförderung nach dem Lufthebeverfahren. Diss. Karlsruhe 1972
89. Weber, M.: Strömungsfördertechnik, Krauskopfverlag 1975
90. Yılmaz, T.: Basınçlı Gaz İle Düşey Doğrultuda Sıvı ve Katı Taşınımı. Isı Bilimi ve Tekniği 2. Ulusal Kongresi S. 491/516, 1979
91. Yılmaz, T.: Termik Enerjiden Elektrik Enerjisi Elde Edilmesinde Yeni Bir Yöntemin Basitleştirilmiş Modelinin İncelenmesi, TÜBİTAK Proj.No:553, Trabzon 1982
92. Dedegil, M.Y.: Neuere Untersuchungen zum Lufthebeverfahren. Verfahrenstechnik 16(1982)Nr.4, S.229/232
93. Varol, A.: Enjektör Pompa ve Mammüt Pompalarının Karakteristikleri ve Gaz-Sıvı Akışların İncelenmesinde Gerekli Ölçme Teknikleri, Karlsruhe 1982
94. Yılmaz, T.: Enjektör Pompaları, Elazığ DMMA, Konferans Notları, Mayıs 1980
95. Yılmaz, T.; Varol, A.: Kuyulardan Enjektör Pompa Yöntemi İle Su Taşınımı, Aralık 1980.

96. Thomson, J.: On a jet pump or apparatus for drawing up water by the power of a jet; Report, British Assn., London, England, 1852, p.130
97. Goseline, J.E. ve O'Brien, M. P.: The water jet pump; University of California, Publication in Engineering, Vol.3, No.3, pp.167-190 (1937).

ÖZGEÇMİŞ

- 08.09.1954 : Doğum tarihi, Bâdempınarı Köyü (Elazığ)
- 1961 - 1966 : İlkokul (Elazığ)
- 1966 - 1972 : Ortaokul ve Lise (Elazığ)
- 08.01.1973 - 29.06.1973 : Goethe-Enstitüsü lisan okulu Arolsen (Batı Almanya)
- 26.11.1973 : Elazığ D.M.M. Akademisi Makina Bölümüne kayıt
- 09.01.1975 - 25.05.1975 : Elazığ Sanat Okulu'ndaki Motor Tamirciliği kursuna katılış
- 28.07.1975 - 27.10.1975 : Alman Demiryolları'nda Kassel'de (Batı Almanya) staj
- 12.07.1976 - 21.08.1976 : Kayseri Askeri Tank Fabrikası'nda staj
- 06.04.1977 - 09.10.1977 : Elazığ SUN-OVA Ayçiçeği Yağ Fabrikasında stajyer Montör Mühendis olarak çalışma
- 13.10.1977 : Elazığ D.M.M. Akademisi'nden Makina mühendisi olarak mezuniyet
- 14.10.1977 - 09.11.1977 : Elazığ SUN-OVA Ayçiçeği Yağ Fabrikasında Montör Mühendis olarak çalışma
- Kasım 1977 : İstanbul Teknik Üniversitesi Nükleer Enerji Enstitüsü'nde Mastır öğrenimine başlama
- 27.05.1978 : Nurhayat Yıldırım'la evlilik
- 26.06.1978 - 26.06.1979 : İstanbul Teknik Üniversitesi'ndeki Araştırma Reaktöründe Makina Mühendisi olarak çalışma
- 16.05.1979 : İstanbul Teknik Üniversitesi Nükleer Enerji Enstitüsü'nden Yüksek Mühendis olarak mezuniyet
- 27.06.1979'dan beri : Fırat Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Makina Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak çalışma
- 05.08.1980 - 30.09.1980 : Goethe Enstitüsü lisan okulu Freiburg (Batı Almanya)
- 01.10.1980 - 15.05.1982 : Batı Almanya'daki Karlsruhe Üniversitesi, Transport Tekniği Enstitüsü'nde Bilimsel Araştırmacı olarak çalışma
- 01.07.1982 - 01.11.1982 : Kısa Dönem Askerlik görevini tamamlama

