

T.C.  
SAKARYA ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

RADYAL POMPALARIN KATI-SU KARIŞIMI İLETİMİNDE  
KULLANILMASININ DENEYSEL İNCELEMESİ

DOKTORA TEZİ

Mak. Yük. Müh. Tahsin ENGİN

97766

TC. YATIRIM MENKUL DEĞERLER A.Ş. MERKEZİ

Enstitü Anabilim Dalı : MAKİNA MÜHENDİSLİĞİ

Enstitü Bilim Dalı : ENERJİ

Bu tez 31/03/2000 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oybirliği ile kabul edilmiştir.



Prof. Dr. İsmail ÇALLI

Jüri Başkanı

  
Prof. Dr. Recep YAMANKARADENİZ

Jüri Üyesi

Prof. Dr. Mesut GÜR

Tez Danışmanı

Doç. Dr. H. Rıza GÜVEN

Jüri Üyesi

Doç. Dr. İsmail EKMEKÇİ

Jüri Üyesi

## TEŞEKKÜR

Öncelikle beni böylesine güncel ve uygulamaya yönelik bir çalışmaya sevk eden ve bilimsel bilgi ve tecrübesinden sürekli olarak istifade ettiğim tez danışmanım Sn. Prof. Dr. Mesut Gür'e, çalışmalarım sırasında sürekli desteğini yanımda bulduğum değerli hocam ve rektörümüz Sn. Prof. Dr. İsmail Çallı'ya, araştırmayı finanse eden okulumuz Araştırma Fonu ile tüm çalışanlarına, deney tesisatının imalatında ve kurulmasında yardımlarını esirgemeyen Sn. Öğr. Gör. M. Kemal Cerrahoğlu'na, Sn. Öğr. Gör. Adem Çalışkan'a ve bölüm laboratuvarı teknisyeni Metin Günay'a, teknik resimlerin çiziminde katkıları bulunan Araş. Gör. Osman İyibilgin'e, araştırmayı teçhizat bakımından kısmen destekleyen MAS Pompa firması ile Ar-Ge birimi yetkililerine, araştırma konumuzu oldukça ilginç ve yeni bulduğunu ifade ederek bizleri cesaretlendiren ve teşvik eden, ayrıca internet üzerinden sürekli bilgisine müracaat ettiğim değerli bilim adamı Sn. Prof. Dr. Anders Sellgren'e (Lulea University of Technology/Sweden), konuyla ilgili literatüre geçen hemen hemen tüm dokümanlara ulaşmamda büyük emeği geçen Sn. Prof. Dr. Tuncer M. Kuzay'a (Argonne National Laboratory/USA), Sn. Prof. Dr. Feridun Hamdullahpur'a (Dalhousie University/Canada), Yük. Müh. Murat Köksal'a (Dalhousie University/Canada) ve Doç. Dr. K. Ersin Güngör'e (Avustralya), deney tesisatının elektrik ve elektronik sistemlerinin montajı, devreye alınması ve kalibrasyonunda büyük desteğini gördüğüm Elektronik Müh. Bilal Şaki'ye, deneylerin yapılmasında yardımcı olan Araş. Gör. Serpil Birkan'a, Almanca çevirilerde yardımcı olan Araş. Gör. M. Emre Kara'ya, her türlü katkısından ötürü Araş. Gör. Vedat Arı'ya, doğrudan veya dolaylı olarak bu çalışmaya desteğini veren tüm mesai arkadaşlarım ile çalışma süresince her türlü desteğini yanımda bulduğum sevgili eşim Gıda Müh. Sebahat Engin'e teşekkürlerimi sunmayı bir borç bilirim.

Tahsin ENGİN

## İÇİNDEKİLER

SİMGELER.....	v
ŞEKİLLER LİSTESİ .....	vii
TABLolar LİSTESİ .....	xiii
ÖZET .....	xiv
SUMMARY .....	xvi
<b>BÖLÜM 1. GİRİŞ .....</b>	<b>1</b>
1.1. Amaç ve Yöntem.....	3
1.2. Tezin İçeriği .....	3
<b>BÖLÜM 2. POMPA TEORİSİ .....</b>	<b>5</b>
2.1. Pompa Temel Denklemi.....	5
2.2. Kapalı Çarkların Kayıpları.....	10
2.3. Açık Çarkların Kayıpları .....	14
2.3.1. Niteliksel tanım .....	14
2.3.2. Verimler.....	14
2.3.3. Açık çarkların aralık kayıplarının hesaplanması -Pfleiderer Metodu .....	15
<b>BÖLÜM 3. LİTERATÜR.....</b>	<b>18</b>
<b>BÖLÜM 4. ÇİFT FAZLI AKIŞ POMPALAMA .....</b>	<b>24</b>
4.1. Katı-Sıvı Karışımlarının Özellikleri .....	24
4.2. Radyal Pompaların Kullanımı .....	26
4.3. Pompa Performansının Değerlendirilmesi.....	28
<b>BÖLÜM 5. DENEYSEL ÇALIŞMA.....</b>	<b>31</b>
5.1. Deney Düzenegi.....	31
5.2. Ölçü Aletlerinin Kalibrasyonu .....	42
5.3. Veri Toplama ve Kontrol Sistemi .....	45
5.4. Kullanılan Katı Maddeler.....	48
5.5. Deney Programı.....	55

<b>BÖLÜM 6. DENEYSEL SONUÇLAR .....</b>	<b>57</b>
<b>6.1. Kapalı Radyal Çark İle Yapılan Deneyler .....</b>	<b>57</b>
6.1.1. Temiz su pompalanması.....	57
6.1.2. Karışım pompalanması .....	58
6.1.2.1. Döküm kumu-su karışımı deneyleri .....	58
6.1.2.2. Perlit1-su karışımı deneyleri.....	60
6.1.2.3. Perlit3-su karışımı deneyleri.....	60
<b>6.2. Açık Radyal Çark İle Yapılan Deneyler.....</b>	<b>63</b>
6.2.1. Temiz su pompalanması.....	63
6.2.2. Karışım pompalanması .....	67
6.2.2.1. Sahil kumu-su karışımı deneyleri .....	67
6.2.2.2. Kömür tozu-su karışımı deneyleri .....	70
6.2.2.3. Döküm kumu-su karışımı deneyleri .....	72
6.2.2.4. Perlit1-su karışımı deneyleri.....	77
6.2.2.5. Perlit2-su karışımı deneyleri.....	82
6.2.2.6. Perlit3-su karışımı deneyleri.....	87
<b>BÖLÜM 7. DEĞERLENDİRME VE KARŞILAŞTIRMA .....</b>	<b>91</b>
<b>7.1. Kapalı Radyal Çark İçin Yük ve Verim Sayıları .....</b>	<b>91</b>
7.1.1. Tanecik konsantrasyonunun etkisi .....	91
7.1.2. Tanecik büyüklüğünün etkisi .....	91
7.1.3. Pompa devir sayısının etkisi .....	95
<b>7.2. Açık Radyal Çark İçin Yük ve Verim Sayıları.....</b>	<b>97</b>
7.2.1. Tanecik konsantrasyonunun etkisi .....	97
7.2.2. Tanecik büyüklüğünün etkisi .....	97
7.2.3. Tanecik bağıl yoğunluğunun etkisi .....	106
7.2.4. Aralık açıklığının etkisi.....	108
7.2.5. Aralık Kayıplarının Etki Faktörleri .....	111
7.2.5.1. Temiz su için aralık etki faktörleri .....	112
7.2.5.2. Karışımlar için aralık etki faktörleri.....	114
7.2.5.3. Aralık etki faktörlerinin literatürle karşılaştırılması.....	121
<b>7.3. Yük ve Verim Sayılarının Literatürle Karşılaştırılması.....</b>	<b>124</b>
<b>7.4. Önerilen Korelasyonun Geçerliliği .....</b>	<b>131</b>
<b>BÖLÜM 8. SONUÇLAR.....</b>	<b>134</b>
<b>KAYNAKLAR .....</b>	<b>138</b>
<b>ÖZGEÇMİŞ .....</b>	<b>143</b>

## SİMGELER

a	Bağıl aralık açıklığı, -
a*	Aralık etki sayısı
b	Kanat yüksekliği, mm
C	Hacimsel konsantrasyon, %
c	Mutlak hız, m/s
C <sub>j</sub>	Sellgren parametreleri, (j=1, 2)
d	Çap, m
g	Yerçekimi ivmesi, m/s <sup>2</sup>
H	Basma yüksekliği veya kayıp, m
h	Yükseklik farkı, m
H*	Aralık açıklığına göre yük sayısı
K	Performans düşüm faktörü, -
k <sub>j</sub>	sabit, (j=1, 2, 3, 4)
M	Hidrolik moment, Nm
n	Pompa devir sayısı, d/d; Elek sayısı, -
n <sub>q</sub>	Özgül devir sayısı, -
p	Basınç, N/m <sup>2</sup>
P	Güç, W; Tanecik miktarı, kg
r	Yarıçap, mm
S	Bağıl yoğunluk, -
u	Çevresel hız, m/s
V	Hacim, m <sup>3</sup> ; Gerilim, V
v <sub>f</sub>	Çökelme hızı, m/s
w	Bağıl hız, m/s
x	Mutlak aralık açıklığı, mm
Y	Özgül iş, J/kg
z	Kanat sayısı

## Yunanca Semboller

$\omega$	Açısal hız, rad/s
$\psi$	Basınç sayısı, -
$\kappa$	Burges parametresi
$\alpha$	c ile u arasındaki açı, Debi etki faktörü, -
$\varphi$	Debi sayısı, -
$\alpha$	Debi etki faktörü, -
$\lambda$	Güç sayısı, -
$\beta$	Kanat açısı, °; Basınç etki faktörü, -
$\mu$	Pfleiderer sayısı, -
$\gamma$	Verim etki faktörü, -
$\eta$	verim, -
$\eta_t^*$	Aralık açıklığına göre verim sayısı, -
$\rho$	Yoğunluk, kg/m <sup>3</sup>
Q	Debi, m <sup>3</sup> /s
$\Delta$	Fark

## Alt İndisler

1	Kanat çıkışı
2	Kanat girişi
3	Sonlu kanat sayısının etkisi
50	% 50 lik kütleli bölüm
a	Aralık
A	Tasarım noktası
b	Basma tarafı
d	disk
e	Emme tarafı
f	Serbest çökme
h	Hidrolik
i	İç veya i. boyut gurubu
k	Karışım
ka	Kanat
m	Meridyen bileşen, mekanik
max	Maksimum
mil	Mile ait
opt	Optimum
r	Sayı ya da Oran
s	Sürtünme veya katı
0	Sıfır aralık açıklığı
t	Gerçek durum
th	Kayıpsız durum (sonlu sayıda kanat)
th, $\infty$	Sonsuz sayıda kanat durumu için teorik
u	Çevresel izdüşüm
w	Suya ait, ağırlıkça katı miktarı
x	Aralık (x>0 durumu)

## ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 1.1 Açık ve kapalı çarkın kesit görünümü .....	2
Şekil 2.1 Bir pompa çarkında hız üçgenlerinin oluşumu.....	5
Şekil 2.2 Bir pompa çarkındaki hız üçgenleri ve kanat açıları .....	6
Şekil 2.3 Kanat çıkış açısına göre teorik basma yüksekliği ve güç tanım eğrileri.....	8
Şekil 2.4 Kanat sayısının sonlu olmasının hız üçgeni üzerindeki etkisi.....	9
Şekil 2.5 Kapalı radyal çarkta aralık akımlarının oluşması .....	11
Şekil 2.6 Sıfır aralık açıklığındaki pompa tanım özelliklerinin ekstrapolasyonla tespiti .....	17
Şekil 5.1 Deney düzeneğinin şematik görünümü .....	31
Şekil 5.2 Test pompası, MAS-TLH 80/200 .....	33
Şekil 5.3 Test edilen kapalı çark ve temel boyutları .....	34
Şekil 5.4 Test edilen açık çark ve temel boyutları .....	34
Şekil 5.5 Aralık açıklığının ayarlanması.....	35
Şekil 5.6 Deney setinin önden görünümü.....	38
Şekil 5.7 Elektriksel kontrol panosu ve sürücü (frekans değiştirici) .....	38
Şekil 5.8 Elektromanyetik debi-ölçer .....	39
Şekil 5.9 Servomotorlu kelebek vana (kısmi vana).....	39
Şekil 5.10 Basınç ölçerler ve tesisata bağlantı şekilleri.....	40
Şekil 5.11 Karışım tankındaki karıştırıcının görünümü.....	40
Şekil 5.12 Test edilen kapalı ve açık çark.....	41
Şekil 5.13 Test edilen kapalı ve açık çark ile karşılık diskleri.....	41
Şekil 5.14 Debi ölçerin kalibrasyon eğrisi.....	43
Şekil 5.15 Basınç ölçerler için kalibrasyon ünitesi.....	44
Şekil 5.16 Basma ve emme basınç transmitterinin kalibrasyon eğrileri.....	44
Şekil 5.17 Veri toplama ve kontrol sistemi.....	45
Şekil 5.18 Kullanılan katı maddelerin tanecik büyüklük dağılımları .....	53
Şekil 6.1 Kapalı çarkın temiz su için elde edilen tanım eğrileri, $n=1250$ d/d.....	58

Şekil 6.2a Döküm kumu için farklı konsantrasyonlarda $\psi_t$ - $\varphi$ tanım eğrileri, kapalı çark, $n=1250$ d/d .....	59
Şekil 6.2b Döküm kumu için farklı konsantrasyonlarda $\eta_t$ - $\varphi$ tanım eğrileri, kapalı çark, $n=1250$ d/d .....	59
Şekil 6.2c Döküm kumu için farklı konsantrasyonlarda $P_{mil}$ - $\varphi$ tanım eğrileri, kapalı çark, $n=1250$ d/d .....	60
Şekil 6.3a Perlit1 için farklı konsantrasyonlarda $\psi_t$ - $\varphi$ tanım eğrileri, kapalı çark, $n=1250$ d/d .....	61
Şekil 6.3b Perlit1 için farklı konsantrasyonlarda $\eta_t$ - $\varphi$ tanım eğrileri, kapalı çark, $n=1250$ d/d .....	61
Şekil 6.3c Perlit3 için farklı konsantrasyonlarda $\psi_t$ - $\varphi$ tanım eğrileri, kapalı çark, $n=1250$ d/d .....	62
Şekil 6.3d Perlit3 için farklı konsantrasyonlarda $\eta_t$ - $\varphi$ tanım eğrileri, kapalı çark, $n=1250$ d/d .....	62
Şekil 6.4a Açık çarkın $\psi_t$ - $\varphi$ tanım eğrileri, $n=1250$ d/d .....	64
Şekil 6.4b Açık çarkın $\eta_t$ - $\varphi$ tanım eğrileri, $n=1250$ d/d.....	65
Şekil 6.4c Açık çarkın $\eta_t$ - $\varphi$ tanım eğrileri, $n=1400$ d/d.....	65
Şekil 6.4d Açık çarkın $\lambda_{mil}$ - $\varphi$ tanım eğrileri, $n=1250$ d/d .....	66
Şekil 6.4e Açık çarkın $\lambda_{mil}$ - $\varphi$ tanım eğrileri, $n=1400$ d/d .....	66
Şekil 6.4f Devir sayısının verim üzerindeki etkisi, açık çark, $x=1.25$ mm.....	67
Şekil 6.5a Sahil kumu için farklı devir sayılarında $\psi_t$ - $\varphi$ tanım eğrileri.....	68
Şekil 6.5b Sahil kumu için farklı devir sayılarında $\eta_t$ - $\varphi$ tanım eğrileri.....	68
Şekil 6.5c Sahil kumu için farklı devir sayılarında $\lambda_{mil}$ - $\varphi$ tanım eğrileri.....	69
Şekil 6.5d Sahil kumu için farklı konsantrasyonlarda $\psi_t$ - $\varphi$ tanım eğrileri .....	69
Şekil 6.5e Sahil kumu için farklı konsantrasyonlarda $\eta_t$ - $\varphi$ tanım eğrileri.....	70
Şekil 6.6a Kömür tozu için farklı konsantrasyonlarda $\psi_t$ - $\varphi$ tanım eğrileri.....	71
Şekil 6.6b Kömür tozu için farklı konsantrasyonlar için $\eta_t$ - $\varphi$ tanım eğrileri.....	71
Şekil 6.6c Kömür tozu için farklı konsantrasyonlarda $P_{mil}$ - $\varphi$ tanım eğrileri .....	72
Şekil 6.7a Döküm kumu için farklı konsantrasyonlarda $\psi_t$ - $\varphi$ tanım eğrileri, açık çark, $x=1.25$ mm, $n=1250$ d/d.....	73
Şekil 6.7b Döküm kumu için farklı konsantrasyonlarda $\psi_t$ - $\varphi$ tanım eğrileri, açık çark, $x=5.5$ mm, $n=1250$ d/d.....	73
Şekil 6.7c Döküm kumu için farklı konsantrasyonlarda $\psi_t$ - $\varphi$ tanım eğrileri, açık çark, $x=8$ mm, $n=1250$ d/d.....	74



Şekil 6.7d Döküm kumu için farklı aralık açıklıklarında $\psi_t$ - $\phi$ tanım eğrileri, açık çark, $C_w = \% 5.54$ , $n=1250$ d/d .....	74
Şekil 6.7e Döküm kumu için farklı aralık açıklıklarında $\psi_t$ - $\phi$ tanım eğrileri, açık çark, $C_w = \% 28.5$ , $n=1250$ d/d.....	75
Şekil 6.7f Döküm kumu için farklı aralık açıklıklarında $\eta_t$ - $\phi$ tanım eğrileri, açık çark, $C_w = \% 5.54$ , $n=1250$ d/d.....	75
Şekil 6.7g Döküm kumu için farklı aralık açıklıklarında $\eta_t$ - $\phi$ tanım eğrileri, açık çark, $C_w = \% 28.5$ , $n=1250$ d/d.....	76
Şekil 6.7h Döküm kumu için farklı aralık açıklıklarında $P_{mil}$ - $\phi$ tanım eğrileri, açık çark, $C_w = \% 5.54$ , $n=1250$ d/d .....	76
Şekil 6.7i Döküm kumu için farklı aralık açıklıklarında $P_{mil}$ - $\phi$ tanım eğrileri, açık çark, $C_w = \% 28.5$ , $n=1250$ d/d.....	77
Şekil 6.8a Perlit1 için farklı konsantrasyonlarda $\psi_t$ - $\phi$ tanım eğrileri, açık çark, $x=1.25$ mm, $n=1250$ d/d .....	78
Şekil 6.8b Perlit1 için farklı konsantrasyonlarda $\psi_t$ - $\phi$ tanım eğrileri, açık çark, $x=5.5$ mm, $n=1250$ d/d .....	79
Şekil 6.8c Perlit1 için farklı konsantrasyonlarda $\psi_t$ - $\phi$ tanım eğrileri, açık çark, $x=8$ mm, $n=1250$ d/d .....	79
Şekil 6.8d Perlit1 için farklı aralık açıklıklarında $\psi_t$ - $\phi$ tanım eğrileri, açık çark, $C_w = \% 8.47$ , $n=1250$ d/d .....	80
Şekil 6.8e Perlit1 için farklı aralık açıklıklarında $\psi_t$ - $\phi$ tanım eğrileri, açık çark, $C_w = \% 20.42$ , $n=1250$ d/d .....	80
Şekil 6.8f Perlit1 için farklı aralık açıklıklarında $\eta_t$ - $\phi$ tanım eğrileri, açık çark, $C_w = \% 8.47$ , $n=1250$ d/d .....	81
Şekil 6.8g Perlit1 için farklı aralık açıklıklarında $\eta_t$ - $\phi$ tanım eğrileri, açık çark, $C_w = \% 20.42$ , $n=1250$ d/d .....	81
Şekil 6.9a Perlit2 için farklı konsantrasyonlarda $\psi_t$ - $\phi$ tanım eğrileri, açık çark, $x=1.25$ mm, $n=1250$ d/d .....	83
Şekil 6.9b Perlit2 için farklı konsantrasyonlarda $\psi_t$ - $\phi$ tanım eğrileri, açık çark, $x=5.5$ mm, $n=1250$ d/d .....	83
Şekil 6.9c Perlit2 için farklı konsantrasyonlarda $\psi_t$ - $\phi$ tanım eğrileri, açık çark, $x=8$ mm, $n=1250$ d/d .....	84
Şekil 6.9d Perlit2 için farklı aralık açıklıklarında $\psi_t$ - $\phi$ tanım eğrileri, açık çark, $C_w = \% 15.3$ , $n=1250$ d/d .....	84
Şekil 6.9e Perlit2 için farklı aralık açıklıklarında $\psi_t$ - $\phi$ tanım eğrileri, açık çark, $C_w = \% 33.51$ , $n=1250$ d/d .....	85
Şekil 6.9f Perlit2 için farklı aralık açıklıklarında $\eta_t$ - $\phi$ tanım eğrileri, açık çark, $C_w = \% 15.3$ , $n=1250$ d/d .....	85

Şekil 6.9g Perlit2 için farklı aralık açıklıklarında $\eta_t$ - $\phi$ tanım eğrileri, açık çark, Cw= % 33.51, n=1250 d/d .....	86
Şekil 6.9h Perlit2 için farklı aralık açıklıklarında $\lambda_{mil}$ - $\phi$ tanım eğrileri, açık çark, Cw= % 15.3, n=1250 d/d .....	86
Şekil 6.9i Perlit2 için farklı aralık açıklıklarında $\lambda_{mil}$ - $\phi$ tanım eğrileri, açık çark, Cw= % 33.51, n=1250 d/d .....	87
Şekil 6.10a Perlit3 için farklı konsantrasyonlarda $\psi_t$ - $\phi$ tanım eğrileri, açık çark, x=5.5 mm, n=1250 d/d .....	88
Şekil 6.10b Perlit3 için farklı konsantrasyonlarda $\psi_t$ - $\phi$ tanım eğrileri, açık çark, x=8 mm, n=1250 d/d .....	88
Şekil 6.10c Perlit3 için farklı aralık açıklıklarında $\psi_t$ - $\phi$ tanım eğrileri, açık çark, Cw= % 8.45, n=1250 d/d .....	89
Şekil 6.10d Perlit3 için farklı aralık açıklıklarında $\psi_t$ - $\phi$ tanım eğrileri, açık çark, Cw= % 23.39, n=1250 d/d .....	89
Şekil 6.10e Perlit3 için farklı aralık açıklıklarında $\eta_t$ - $\phi$ tanım eğrileri, açık çark, Cw= % 8.45, n=1250 d/d .....	90
Şekil 6.10f Perlit3 için farklı aralık açıklıklarında $\eta_t$ - $\phi$ tanım eğrileri, açık çark, Cw= % 23.39, n=1250 d/d .....	90
Şekil 7.1a Su-perlit1 karışımı için farklı konsantrasyonlarda yük ve verim sayılarının debi ile değişimi, kapalı çark, n=1250 d/d.....	92
Şekil 7.1b Su-perlit2 karışımı için farklı konsantrasyonlarda yük ve verim sayılarının debi ile değişimi, kapalı çark, n=1250 d/d.....	93
Şekil 7.1c Su-döküm kumu karışımı için farklı konsantrasyonlarda yük ve verim sayılarının debi ile değişimi, kapalı çark, n=1250 d/d .....	93
Şekil 7.1d Su-döküm kumu karışımı için farklı konsantrasyonlarda yük ve verim sayılarının debi ile değişimi, kapalı çark, n=1400 d/d.....	94
Şekil 7.1e Su-perlit1 ve su-perlit2 karışımı için farklı tanecik büyüklüklerinde $H_r$ -Cw değişimi, kapalı çark, n=1250 d/d .....	94
Şekil 7.1f Su-perlit1 ve su-perlit2 karışımı için farklı tanecik büyüklüklerinde $\eta_r$ -Cw değişimi, kapalı çark, n=1250 d/d.....	95
Şekil 7.1g Döküm kumu için farklı devir sayılarında $H_r$ -Cw eğrileri, kapalı çark.....	96
Şekil 7.1h Döküm kumu için farklı devir sayılarında $\eta_r$ -Cw eğrileri, kapalı çark .....	96
Şekil 7.2a Perlit1 için farklı konsantrasyonlarda $H_r$ -Q eğrileri açık çark, x=1.25 mm, n=1250 d/d .....	99
Şekil 7.2b Perlit1 için farklı konsantrasyonlarda $\eta_r$ -Q eğrileri açık çark, x=1.25 mm, n=1250 d/d .....	99
Şekil 7.2c Perlit1 için farklı konsantrasyonlarda $H_r$ -Q ve $\eta_r$ -Q eğrileri açık çark, x=5.5 mm, n=1250 d/d .....	100

Şekil 7.2d Perlit1 için farklı konsantrasyonlarda $H_r$ -Q ve $\eta_r$ -Q eğrileri açık çark, $x=8$ mm, $n=1250$ d/d .....	100
Şekil 7.3a Perlit2 için farklı konsantrasyonlarda $H_r$ -Q ve $\eta_r$ -Q eğrileri açık çark, $x=1.25$ mm, $n=1250$ d/d .....	101
Şekil 7.3b Perlit2 için farklı konsantrasyonlarda $H_r$ -Q ve $\eta_r$ -Q eğrileri açık çark, $x=5.5$ mm, $n=1250$ d/d .....	101
Şekil 7.3c Perlit2 için farklı konsantrasyonlarda $H_r$ -Q ve $\eta_r$ -Q eğrileri açık çark, $x=8$ mm, $n=1250$ d/d .....	102
Şekil 7.4a Perlit3 için farklı konsantrasyonlarda $H_r$ -Q ve $\eta_r$ -Q eğrileri açık çark, $x=1.25$ mm, $n=1250$ d/d .....	102
Şekil 7.4b Perlit3 için farklı konsantrasyonlarda $H_r$ -Q ve $\eta_r$ -Q eğrileri açık çark, $x= 5.5$ mm, $n=1250$ d/d .....	103
Şekil 7.4c Perlit3 için farklı konsantrasyonlarda $H_r$ -Q ve $\eta_r$ -Q eğrileri açık çark, $x= 8$ mm, $n=1250$ d/d .....	013
Şekil 7.5a Farklı tanecik büyüklüklerinde $H_r$ -Cw değişimi, açık çark, $x=1.25$ mm, $n=1250$ d/d.....	104
Şekil 7.5b Perlit için farklı tanecik büyüklüklerinde $H_r$ -Cw değişimi, açık çark, $x=1.25$ mm, $n=1250$ d/d.....	104
Şekil 7.5c Perlit için farklı tanecik büyüklüklerinde $H_r$ -Cw değişimi, açık çark, $x=5.5$ mm, $n=1250$ d/d.....	105
Şekil 7.5d Perlit için farklı tanecik büyüklüklerinde $H_r$ -Cw değişimi, açık çark, $x=8$ mm, $n=1250$ d/d.....	105
Şekil 7.6a Döküm kumu için farklı konsantrasyonlarda $H_r$ -Q eğrileri açık çark, $x= 1.25$ mm, $n=1250$ d/d .....	107
Şekil 7.6b Sahil kumu için farklı konsantrasyonlarda $H_r$ -Q eğrileri açık çark, $x= 1.25$ mm, $n=1250$ d/d .....	107
Şekil 7.6c Döküm kumu ve sahil kumu için farklı konsantrasyonlarda $H_r$ -Cw eğrileri açık çark, $x= 1.25$ mm, $n=1250$ d/d .....	108
Şekil 7.7a Döküm kumu için farklı konsantrasyonlarda $H_r$ -a, $\eta_r$ -a eğrileri, $n= 1250$ d/d .....	109
Şekil 7.7b Perlit1 için farklı konsantrasyonlarda $H_r$ -a, $\eta_r$ -a eğrileri, $n = 1250$ d/d...	110
Şekil 7.7c Perlit2 için farklı konsantrasyonlarda $H_r$ -a, $\eta_r$ -a eğrileri, $n = 1250$ d/d...	110
Şekil 7.7d Perlit3 için farklı konsantrasyonlarda $H_r$ -a, $\eta_r$ -a eğrileri, $n = 1250$ d/d...	111
Şekil 7.8a Su için basınç sayısı ve verimin aralık açıklığı ile değişimi.....	113
Şekil 7.8b Su için farklı devir sayılarında aralık etki faktörlerinin aralık açıklığı ile değişimi.....	113
Şekil 7.9a Döküm kumu için basınç sayısının aralık açıklığı ile değişimi, $n=1250$ d/d .....	115

Şekil 7.9b Döküm kumu için verim sayısının aralık açıklığı ile değişimi, n=1250 d/d .....	115
Şekil 7.10a Perlit1 için basınç sayısının aralık açıklığı ile değişimi, n=1250 d/d ....	116
Şekil 7.10b Perlit1 için verimin aralık açıklığı ile değişimi, n=1250 d/d .....	116
Şekil 7.11a Perlit2 için basınç sayısının aralık açıklığı ile değişimi, n=1250 d/d ....	117
Şekil 7.11b Perlit2 için verimin aralık açıklığı ile değişimi, n=1250 d/d .....	117
Şekil 7.12a Perlit3 için basınç sayısının aralık açıklığı ile değişimi, n=1250 d/d ....	118
Şekil 7.12b Perlit3 için verim sayısının aralık açıklığı ile değişimi, n=1250 d/d .....	118
Şekil 7.13a Döküm kumu için etki faktörlerinin aralık açıklığı ile değişimi .....	119
Şekil 7.13b Döküm kumu için farklı devir sayılarında basınç etki faktörünün aralık açıklığı ile değişimi.....	119
Şekil 7.14a Perlit1 için etki faktörlerinin aralık açıklığı ile değişimi .....	120
Şekil 7.14b Perlit2 için etki faktörlerinin aralık açıklığı ile değişimi.....	120
Şekil 7.14c Perlit3 için etki faktörlerinin aralık açıklığı ile değişimi .....	121
Şekil 7.15a Basınç etki faktörlerinin döküm kumu için literatürle karşılaştırılması	122
Şekil 7.15b Basınç etki faktörlerinin perlit1 için literatürle karşılaştırılması.....	123
Şekil 7.16 Verim etki faktörlerinin döküm kumu için literatürle karşılaştırılması...	123
Şekil 7.17 Yük ve verim sayılarının karşılaştırılması, kapalı ve açık çark, n=1250 d/d .....	125
Şekil 7.18a Deney sonuçlarının Vocadlo korelasyonu ile karşılaştırılması.....	128
Şekil 7.18b Deney sonuçlarının Burges korelasyonu ile karşılaştırılması.....	129
Şekil 7.18c Deney sonuçlarının Cave korelasyonu ile karşılaştırılması .....	129
Şekil 7.18d Deney sonuçlarının Sellgren korelasyonu ile karşılaştırılması.....	130
Şekil 7.18e Deney sonuçlarının Kazim korelasyonu ile karşılaştırılması.....	130
Şekil 7.19 Vocadlo ve Kazim korelasyonlarının karşılaştırılması.....	131
Şekil 7.20 $H_{r,x=0}$ değerlerinin Kazim [38] korelasyonu ile ilişkilendirilmesi .....	133
Şekil 7.21 Önerilen korelasyonun hata sınırları.....	133

## TABLolar LİSTESİ

Tablo 5.1 Kullanılan kapalı ve açık çarkın ortak özellikleri.....	33
Tablo 5.2 Deneylerde kullanılan katı maddeler.....	48
Tablo 5.3 Sahil kumu elek analizi sonuçları.....	49
Tablo 5.4 Döküm kumu elek analizi sonuçları.....	50
Tablo 5.5 Kömür tozu elek analizi sonuçları.....	50
Tablo 5.6 Perlit1 elek analiz sonuçları.....	51
Tablo 5.7 Perlit2 elek analizi sonuçları.....	51
Tablo 5.8 Perlit3 elek analizi sonuçları.....	52
Tablo 5.9 Katı maddelerin ortalama çap karşılaştırması .....	54
Tablo 7.1 Kullanılan katı maddeler için $\kappa$ ve C parametrelerinin değerleri .....	127

## ÖZET

Radyal pompa kullanılan bir karışım iletim sisteminin tasarımı için taşıyıcı akışkan içerisindeki katı madde etkilerinin bilinmesi gerekir. Bu konuda eğer gerekli duyarlılık gösterilmezse pompa ile tesis edildiği sistemin uyumsuz çalışması kaçınılmazdır ve bu durum sistemin aşınma hızıyla birlikte maliyet ve bakım masraflarının artmasına yol açar.

Radyal pompalar yüksek debi, düşük maliyet, kolay bakım ve tesis uyumu gibi avantajları sayesinde hidrolik taşıma sistemlerinde artarak kullanılmaya başlanmıştır. Basma yüksekliği gereksiniminin nispeten düşük olduğu kısa mesafeli tesislerde oldukça tercih edilmektedir. Bu öneminin yanında uygulamada genellikle pompa seçimi ya geçmiş tecrübelerle ya da su için verilen değerlere göre yapılmaktadır. Diğer taraftan suya katı maddenin katılmasıyla çift fazlı bir akış meydana gelir ve karışım performansı suyunkinden oldukça farklı değerler alır. Çünkü bu durumda pompa performansı karışımın Newtonian veya Bingham akışkan tarzında davranışına bağlı olarak artabilir veya bozulabilir. Yapılan araştırmalar sudan daha yoğun katı minerallerin pompalanması durumunda, genellikle, mil giriş gücünün artmasına karşın basma yüksekliği ve verimin düştüğünü göstermektedir. Böyle bir düşümün üzerinde katı mineralin yoğunluğu, şekli, boyutu ve boyut dağılımı ile konsantrasyonu önemli bir rol oynar.

Karışım pompalanması gibi proseslerde kapalı ve açık tip çarklar uzun süredir kullanılmaktadır. Açık çarkların temel tercih sebebi olarak kolay imal edilebilmeleri ile düşük disk sürtünme kaybına neden olmaları sayılabilir. Ayrıca süspansiyonların pompalanmasına çok iyi uyum sağlamaktadırlar. Bu tip çarklarda çarkın emme tarafındaki yanağı yoktur ve açık olan bu yüzeyle gövde arasında aksel bir boşluk meydana gelir. Açık çarkların en önemli performans kaybı bu boşluk üzerinde oluşan aralık kayıpları ile gerçekleşir. Bu konu üzerinde uzun süredir araştırmalar yapılmasına rağmen bu etkilerin kestiriminde kullanılabilecek geliştirilmiş güvenilir bir metot henüz mevcut değildir. Bu nedenle söz konusu etkilerin kestiriminde kullanılacak olan matematiksel modellerin geliştirilmesinde test verilerine ihtiyaç bulunmaktadır. Öte yandan literatürde aralık kayıpları sadece su için araştırılmıştır ve karışım pompalarındaki aralık kayıpları konusunda, problemin karmaşık yapısından dolayı, çok az çalışma bulunmaktadır.

Bu çalışmada, bir radyal pompanın tanım büyüklükleri üzerinde, karışım pompalanması durumunda, katı madde özellikleri (tanecik boyutu, yoğunluğu) ile % 33.51 e kadar ağırlık konsantrasyonunun etkisini ve aralık açıklığı etkilerini incelemek üzere deneyler yapılmıştır. Bunun için 6 değişik katı madde kullanılmıştır ve maksimum tanecik boyutu yaklaşık 2.4 mm dir. Testler esnasında aralık açıklığı 1.25 mm den 8 mm ye kadar kademeli olarak değiştirilmiştir. Elde edilen deneysel

sonuçlar kullanılarak literatürde mevcut korelasyonlar değerlendirilmiştir. Ayrıca aralık etki faktörleri hesaplanarak tek faz için elde edilen faktör değerleriyle karşılaştırılmıştır. Elde edilen sonuçlar pompa performansının, karışım özelliklerinden ve aralık açıklığından önemli ölçüde etkilendiğini ortaya koymuştur.





# EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF CENTRIFUGAL PUMPS WHEN HANDLING SOLID-LIQUID MIXTURES

## SUMMARY

In order to design a slurry transportation system based on centrifugal pumps, it is necessary to know the influence of solids on the performance of the pumps. If accurate corrections are not made, it is likely that pumps and the system will be mismatched, which will accelerate the rate of wear and increase operating and maintenance costs.

Centrifugal pumps, because of their inherent advantages of high and consistent flow rate, low cost, and ease of maintenance and better operational stability are being increasingly employed for pumping slurries in the pipeline transportation systems. In short distance, in plant, slurry pipelines where the head requirements are relatively low, therefore centrifugal pumps are best suited. The selections of pumps for any pipeline transportation system depend mainly on the past experience and/or based on the performance of pump, pumping clear water. On the other hand, the characteristic performance curve of a centrifugal pump differs from its clear water performance curve when solids included and the flow becomes two phase. The performance of the pump will improve or deteriorate depending upon whether the slurry behaves as Newtonian fluid or Bingham fluid. The general conclusions given by most investigators are that the head developed and efficiency of the pump decrease whereas the input power increases when mixture of solids (heavier than water) and water being pumped. The variables affecting the pump performance are the concentration of solids in the mixture, physical properties of solid like its density, shape, size and size distribution of particles and flow inside the pump.

Both closed and open impellers have long been used in centrifugal pumps handling slurries. Open impellers have some advantages when compared with closed ones. For instance, low manufacturing cost and low disc friction loss could be said. Furthermore, they are suited for pumping suspensions. In this types of impellers have only one shroud and are open on one side where a tip clearance takes place between open side of the impeller and the stationary casing. One of the most important loss in open impellers is the tip clearance loss. Although tip clearance effects on pump performance have been studied for many years, and the necessity for reliable information is ever increasing, an exact method of prediction of these effects currently does not exist and test data must be relied upon to aid in the development of models to estimate these effects. On the other hand, most publications in the field are either mainly focused on the tip clearance effects on pump performance handling clear water or on the slurry effects on pump performance. Due to complex nature of



the problem, only a limited number of studies on the tip clearance effects on conventional centrifugal pump performance handling slurries have been conducted.

In the present study, experiments were conducted to determine the individual effects of solid properties (particle size, solids specific gravity), and solids concentration by weight up to 33.51%, as well as tip clearance effects on an open impeller centrifugal pump characteristics. To do this, 6 different solid minerals were employed and maximum particle size was approximately 2.4 mm. Tip clearance was varied from 1.25 mm to 8 mm over the experiments. Utilizing these test data a comparative evaluation of the existing correlations in the literature was performed. Additionally the influence factors relating to tip clearance losses, for slurry pumping, have been computed and compared with single phase pumping. Test results have shown that slurry characteristics and running tip clearances have a considerable impact on the pump performance.



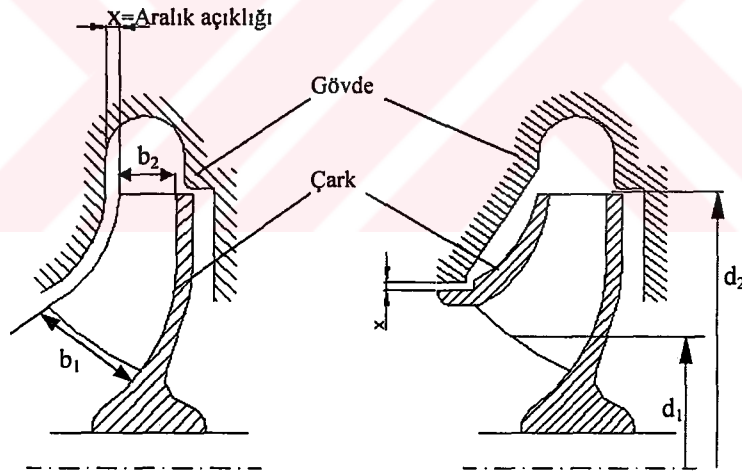
## BÖLÜM 1. GİRİŞ

Karışım iletiminde kullanılan bir radyal pompanın tasarımı için taşıyıcı akışkan içerisindeki katı madde etkilerinin bilinmesi gerekir. Bu konuda eğer gerekli duyarlılık gösterilmezse pompa ile tesis edildiği sistemin uyumsuz çalışması kaçınılmazdır ve bu durum sistemin aşınma hızıyla birlikte maliyet ve bakım masraflarının artmasına yol açar.

Radyal pompalar yüksek debi, düşük maliyet, kolay bakım ve tesis uyumu gibi avantajları sayesinde hidrolik taşıma sistemlerinde artarak kullanılmaya başlanmıştır, Çallı [1]. Bu yüzden basma yüksekliği gereksiniminin nispeten düşük olduğu kısa mesafeli tesislerde oldukça tercih edilmektedir. Bu öneminin yanında uygulamada genellikle pompa seçimi ya geçmiş tecrübelerle ya da üretici firmaların su için verdikleri bir takım verilere göre yapılmaktadır. Diğer taraftan suya katı maddenin katılmasıyla katı madde ve taşıyıcı akışkandan oluşan bir çift fazlı bir akış meydana gelir ve karışım performansı suyunkinden oldukça farklı değerler alır. Çünkü bu durumda pompa performansı karışımın Newtonien veya Bingham akışkanlığı şeklinde davranışına bağlı olarak artabilir veya bozulabilir. Yapılan araştırmalar sudan daha yoğun katı minerallerin pompalanması durumunda, genellikle, pompa mil giriş gücünün artmasına karşın basma yüksekliği ve veriminin düştüğünü göstermektedir. Böyle bir düşümün üzerinde katı mineralin yoğunluğu, şekli, büyüklüğü ve büyüklük dağılımı ile konsantrasyonu önemli bir rol oynar. Dolayısıyla pompa seçiminin doğru yapılabilmesi için bu tür etkilerin önceden bilinmesi gerekmektedir.

Kimya, maden, gıda ve kağıt sanayii gibi alanlarda karışım ve bulamaçların pompalanmasında kapalı ve açık tip radyal çarklar uzun süredir kullanılmaktadır. Açık çarkların temel tercih sebebi olarak kolay imal edilebilmeleri ile sürtünme kayıplarının düşük olması sayılabilir. Ayrıca süspansiyonların pompalanmasına çok iyi uyum sağlamaktadırlar. Bu tip çarklarda Şekil 1.1a da görüldüğü gibi çarkın

emme tarafındaki yanağı yoktur ve açık olan bu yüzeyle gövde arasında aksel bir boşluk meydana gelir. Açık çarkların en önemli performans kaybı bu boşluk üzerinde oluşan aralık kayıpları ile gerçekleşir. Açık çarklara özgü bu önemli kayıp nedeniyle bu çarkların verimleri genellikle kapalı çarklardan daha düşüktür. Bu konu üzerinde uzun süredir araştırmalar yapılmasına rağmen bu etkilerin önceden belirlenmesinde kullanılabilecek geliştirilmiş güvenilir bir metot henüz mevcut değildir. Bu nedenle söz konusu etkilerin tahmininde kullanılacak olan matematiksel modellerin geliştirilmesinde test verilerine ihtiyaç bulunmaktadır. Öte yandan literatürde aralık kayıpları sadece su için araştırılmıştır ve karışım pompalarındaki aralık kayıpları konusunda, problemin karmaşık yapısından dolayı, çok az çalışma bulunmaktadır. Şekil 1.1b de ise kapalı radyal çark görülmektedir. Açık ve kapalı çark için “aralık açıklığı” ve dolayısıyla aralık kayıpları oldukça farklı özelliklere sahiptir ve çoğu zaman kapalı çarklarda dikkate alınmayan aralık kayıpları açık çarklar için son derece önemlidir.



a- Açık radyal çarklı pompa

b- Kapalı radyal çarklı pompa

Şekil 1.1 Açık ve kapalı çarkın kesit görünümü

## 1.1. Amaç ve Yöntem

Bu çalışmada, bir taşıyıcı akışkan (su) ile katı madde iletiminde pompa davranışının deneysel olarak incelenmesi amaçlanmıştır. Burada katı madde yoğunluğu, tanecik büyüklüğü, kütleli katı madde konsantrasyonu ve açık radyal çarktaki aralık açıklığı incelenen parametreler olarak seçilmiştir.

Literatürde tek faz (su) hali için, aralık kayıplarının incelenmesi ile ilgili kısıtlı sayıda da olsa bazı çalışmalar bulunmasına rağmen, katı-sıvı akışında bu boşluğun etkileri henüz araştırılmamıştır. Bu nedenle çalışmada, hem tek faz (su) hem de katı-su karışımı durumlarında pompa aralık kayıplarının belirlenmesi amaçlanmıştır.

Sunulan çalışmada, farklı fiziksel özelliklere sahip maksimum tanecik büyüklüğü yaklaşık  $d_{max}=2.4$  mm olan katı maddelerle  $C_w=33.51\%$  kütleli konsantrasyona kadar performans deneyleri yapılmıştır. Araştırmada birbiri ile özdeş ancak biri kapalı diğeri açık olmak üzere iki radyal çark kullanılmıştır. Aralık kayıplarının incelenmesinde çarkın açık tarafındaki yanal boşluk  $x=1.25$  mm den  $x=8$  mm ye kadar kademeli olarak arttırılarak pompa performansı ile aralık artışı arasındaki ilişkinin incelenmesi hem temiz su hem de çeşitli karışımlar için yapılmıştır. Karışımlar için olan incelemede tek faz için mevcut olan metodolojiler kullanılmıştır. İncelemede ayrıca farklı devir sayıları seçilerek bu etkilerin pompa devir sayısı ile ilişkisi ortaya konulmaya çalışılmıştır.

## 1.2. Tezin İçeriği

Bu tez 8 bölümden oluşmaktadır. Birinci bölümde tezin amacı, inceleme metodu ve içeriği anlatılmıştır. İkinci bölümde pompa teorisi ele alınarak, akım makinaları ve özellikle radyal pompalarla ilgili bazı temel kavramlardan özet olarak bahsedilmiştir. Ardından pompa genel karakteristikleri ile çeşitli kayıp ve verim ifadelerine yer verilmiştir. Ayrıca bu bölümde açık çarkların aralık kaybı mekanizması üzerinde durulmuş, hesap yöntemi olarak Pflaiderer yöntemi anlatılmıştır. Üçüncü bölümde konunun literatürdeki yeri incelenmiştir. Ardından dördüncü bölümde çift fazın pompalanma esasları özetlenerek temel kavramların tarifleri üzerinde durulmuştur.

Beşinci bölümde temel olarak deney tesisatı, ölçü aletlerinin kalibre edilmesi, veri toplama ve kontrol sistemi ile test prosedürü gibi konular üzerinde durulmuştur. Altıncı bölümde ise yapılan deneysel çalışma sonuçlarına yer verilmiştir. Yedinci bölümde, elde edilen deneysel sonuçlar ile literatürden elde edilen sonuçların karşılaştırmalı olarak değerlendirilmesi yapılmıştır. Son olarak sekizinci bölümde tek ve çift faz pompalanması durumları için bu araştırmadan elde edilen sonuçlar verilmiştir.



## BÖLÜM 2. POMPA TEORİSİ

### 2.1. Pompa Temel Denklemi

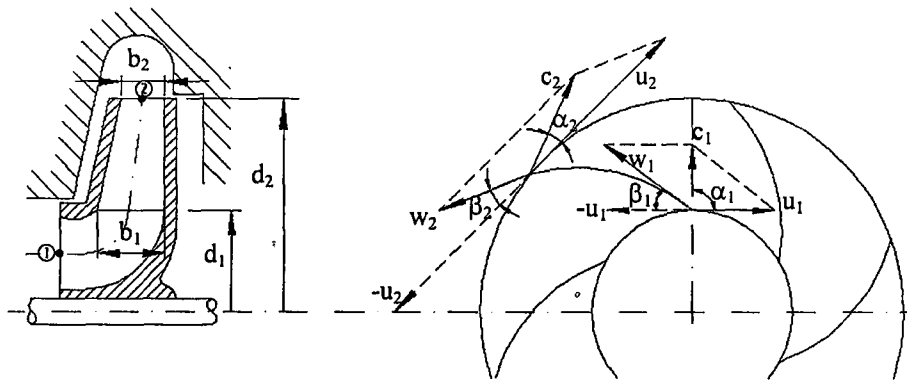
Pompa temel denklemi, kanatların toplam özgül enerjisi ( $Y_{th,\infty}$ ),

$$Y_{th,\infty} = u_2 c_{2u} - u_1 c_{1u} \quad (2.1)$$

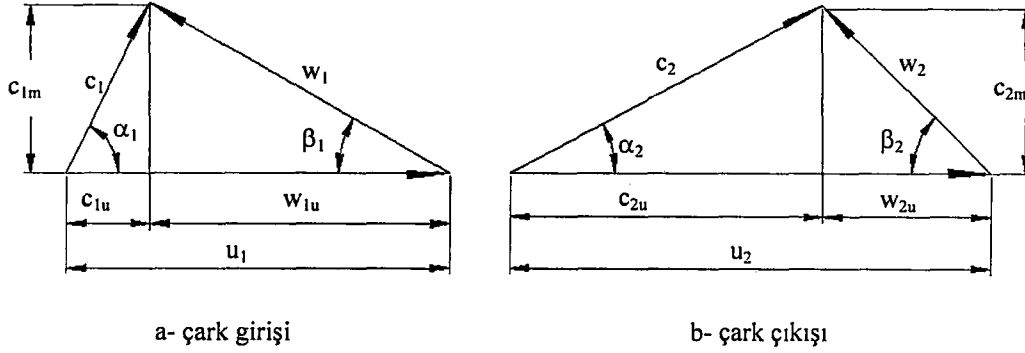
olarak ifade edilir. Buradaki  $u_1$  ve  $c_1$  sırasıyla çark girişindeki çevresel ve mutlak hızları göstermektedir. Benzer şekilde  $u_2$  ve  $c_2$  de çark çıkışındaki çevresel ve mutlak hızları ifade eder. Bu hızlar, Şekil 2.1 de gösterildiği gibi çark giriş ve çıkışında oluşan hız üçgenlerinden elde edilirler. Şekil üzerinde görülen  $w$  mutlak hızı ile bu hızlar ( $u, c$ ) arasındaki ilişki,

$$\vec{c} = \vec{u} + \vec{w} \quad (2.2)$$

ifadesi ile belirlidir. Şekil 2.2 de ise herhangi bir pompa çarkının giriş ve çıkışındaki bu hız üçgenleri ile kanat açılı gösterilmiştir.



Şekil 2.1 Bir pompa çarkında hız üçgenlerinin oluşumu



Şekil 2.2 Bir pompa çarkındaki hız üçgenleri ve kanat açıları

Uygulamada sıvı akışkanlarla çalışan pompa gibi akım makinaları için (2.1) ifadesi yerine **basma yüksekliği** kavramı daha yaygın şekilde kullanılmaktadır. Buna göre g yerçekimi ivmesini göstermek üzere kayıpsız durumda sonsuz sayıda kanata göre belirlenen teorik basma yüksekliği,

$$H_{th,\infty} = \frac{Y_{th,\infty}}{g} = \frac{u_2 c_{2u} - u_1 c_{1u}}{g} \quad (2.3)$$

olarak ifade edilir.

Pompa çarklarında genellikle girişten önce bir difüzör (yöneltici) konulmadığı için akışkanın çarka dönmesiz olarak  $\alpha_1 = 90^\circ$  lik bir açı altında girdiği kabul edilir. Buna göre (2.3) denklemi radyal akışlı pompalarda  $c_{1u} = 0$  olacağından,

$$H_{th,\infty} = \frac{u_2 c_{2u}}{g} \quad (2.4)$$

olarak elde edilecektir. Pompa debisi,

$$Q = c_{2m} \pi d_2 b_2 \quad (2.5)$$

ile belirlidir. Ayrıca çarkın çıkış hız üçgeninden (Şekil 2.2),

$$c_{2u} = u_2 - \frac{c_{2m}}{\tan \beta_2} \quad (2.6)$$

yazılarak,

$$H_{th,\infty} = \frac{u_2}{g} \left( u_2 - \frac{Q}{\pi d_2 b_2 \tan \beta_2} \right) \quad (2.7)$$

ifadesi elde edilir. Burada çarkın dış çevresel hızı,

$$u_2 = \frac{\pi d_2 n}{60} \quad (2.8)$$

ile hesaplanır. Buna göre (2.7) ifadesi, n sabit devir sayısı ile dönen bir çarkın teorik basma yüksekliğinin,

$$H_{th,\infty} = k_1 - k_2 Q \quad (2.9)$$

şeklinde bir doğru denklemi olduğunu göstermektedir. Çeşitli pompa tiplerinin karşılaştırılması için boyutsuz basınç sayısı  $\psi_{th,\infty}$ ,

$$\psi_{th,\infty} = \frac{2gH_{th,\infty}}{u_2^2} \quad (2.10)$$

şeklinde tarif edilir. (2.9) ifadesine benzer şekilde pompanın teorik hidrolik gücü,

$$P_{th,\infty} = \rho g Q H_{th,\infty} = \rho u_2 \left( u_2 Q - \frac{Q^2}{\pi d_2 b_2 \tan \beta_2} \right) \quad (2.11)$$

olarak elde edilebilir. Bu eşitlik,

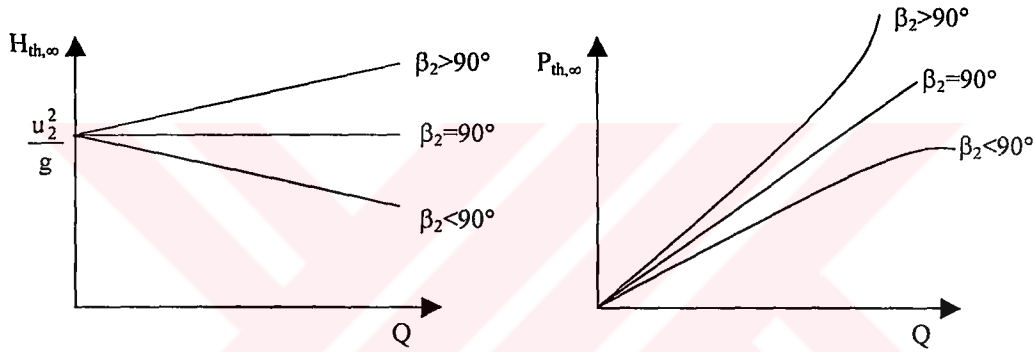
$$P_{th,\infty} = k_3 Q - k_4 Q^2 \quad (2.12)$$



şeklinde bir parabol denklemdir. Uygulamada boyutsuz güç sayısı  $\lambda_{th,\infty}$  kullanılır ve,

$$\lambda_{th,\infty} = \frac{8P_{th,\infty}}{\pi d_2^2 \rho u_2^3} \quad (2.13)$$

olarak ifade edilir. Diğer taraftan (2.7) ve (2.11) eşitlikleri ayrıca  $\beta_2$  kanat çıkış açısına bağımlıdır.  $\beta_2$  nin üç durumu için radyal bir pompanın tanım eğrileri Şekil 2.3 de gösterilmiştir.



Şekil 2.3 Kanat çıkış açısına göre teorik basma yüksekliği ve güç tanım eğrileri

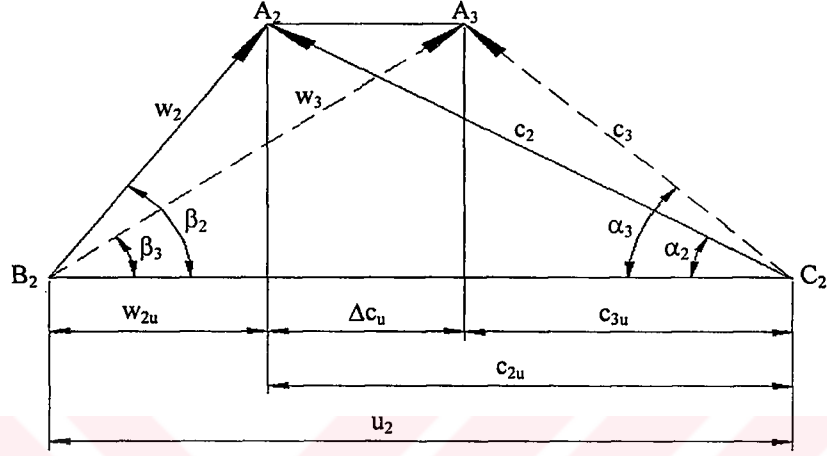
Pompa debisinin boyutsuz olarak ifade edilmesiyle debi sayısı  $\varphi_{th,\infty}$ ,

$$\varphi_{th,\infty} = \frac{Q}{\pi d_2 b_2 u_2} \quad (2.14)$$

elde edilir.

Pompa çarkı, gerçekte sonlu sayıda ve kalınlıkta kanatlarla donatıldığından, doğal olarak Şekil 2.2 deki hız üçgenleri de değişecektir. Pompalardaki güççazlığının kural olarak yalnızca kanadın çıkış ucunda dikkate alınması gerekir. Buna göre bir pompanın basınç kenarında, kanat açıklığının bir sonucu olan güççazlığı nedeniyle  $A_2B_2C_2$  hız üçgeni, Şekil 2.4 de görüldüğü gibi, yerini  $A_3B_2C_2$  hız üçgenine bırakır.

Burada görülen,  $\Delta c_u = c_{2u} - c_{3u}$  mutlak hızdaki düşme ve  $\beta_2$  açısındaki daralma pompalardaki güççazlığını ifade eder. Diğer yandan kanatların sonlu kalınlıkta olmasının sebep olduğu kesit daralması sonucu  $c_{2m}$  meridyen hızında da bir miktar düşme olacaktır. Ancak bu etki, çevresel hızın büyüklüğünü etkilemeyecektir.



Şekil 2.4 Kanat sayısının sonlu olmasının hız üçgeni üzerindeki etkisi

Pompalarda emme kenarında uygulamada bir güççazlığı oluşmamakla birlikte giriş meridyen hızında bir miktar azalmaya neden olan sonlu kanat kalınlığının etkisi dikkate alınmalıdır.

Pfleiderer [2] e göre kanat sayısının sonlu bir değer olmasının sonucu olarak pompa kayıpsız halde,

$$H_{th} = \mu H_{th,\infty} \quad ; \quad \psi_{th} = \frac{2gH_{th}}{u_2^2} \quad (2.15)$$

basma yüksekliğini (veya basınç sayısını) gerçekleştirebilir. Buradaki  $\mu$  katsayısı literatürde Pfleiderer sayısı veya kayma faktörü (slip factor) olarak bilinir. Benzer bir ifade güçler cinsinden,

$$P_{th} = \mu P_{th,\infty} \quad ; \quad \lambda_{th} = \frac{8P_{th}}{\pi d_2^2 \rho u_2^3} \quad (2.16)$$

şeklinde yazılabilir.

## 2.2. Kapalı Çarkların Kayıpları

### Hidrolik kayıplar

Pompa içerisinde yüzey sürtünmeleri ile kesit ve yön değiştirmelerin yarattığı basınç düşürücü kayıplar, temel akış kayıplarının başında yer alırlar. Çoğu zaman **hidrolik kayıplar** olarak anılan bu kayıplar kanal kayıpları olarak da bilinir. Pompalarda, akışkana geçen basma yüksekliği  $H_t$  den başka bu kayıpları da karşılayacak bir ek enerjinin kanatlar tarafından akışkana verilmesi gerekir. Bu durumda kanatlar tarafından sağlanan kayıpsız durumdaki basma yüksekliği,

$$H_{th} = H_t + H_h \quad (2.17)$$

şeklinde olacaktır. Böylece akışkana geçen toplam basma yüksekliği,

$$H_t = H_{th} - H_h \quad ; \quad \psi_t = \frac{2gH_t}{u_2^2} \quad (2.18)$$

olarak gerçekleşir. Teorik pompa gücü (2.17) ifadesine göre,

$$P_{th} = P_t + P_h \quad (2.19)$$

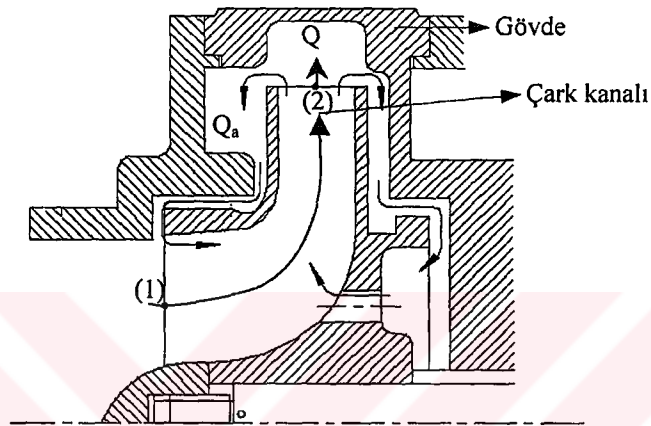
Benzer şekilde pompa çıkışında akışkana geçen toplam güç,

$$P_t = P_{th} - P_h \quad ; \quad \lambda_t = \frac{8P_t}{\pi d_2^2 \rho u_2^3} \quad (2.20)$$

olarak elde edilir. Burada  $P_t = \rho g Q H_t$ ,  $P_{th} = \rho g Q H_{th}$ ,  $P_h = \rho g Q H_h$  şeklinde verilmiştir.

### Aralık kayıpları

Kapalı çarklarda bu kayıplar basıncı ya hiç etkilemez ya da basınç üzerinde ikinci dereceden bir etki yapar, Pflaiderer [2]. Şekil 2.5 de görüldüğü gibi çark ile gövde arasındaki sızdırmazlık yerlerinde bırakılması, çalışma bakımından, zorunlu olan aralıklardan akışkanın bir miktarının ( $Q_a$ ) çark etrafından tekrar emme tarafına geçmesi ile ortaya çıkan aralık kayıpları, kaçak kayıpların esasını oluştururlar.



Şekil 2.5 Kapalı radyal çarkta aralık akımlarının oluşması

Aralık debisi  $Q_a$  olduğuna göre,

$$P_a = \rho g Q_a H_{th} \quad (2.21)$$

kadar bir aralık kayıp gücü gerçekleşir. Böylece çark kanatlarına verilmesi gereken  $P_{ka}$  kanat gücü,

$$P_{ka} = P_{th} + P_a \quad (2.22)$$

olmalıdır.

Akışkanın çark içerisindeki kayıpları ifade eden  $\eta_h$  hidrolik verim tarifi,

$$\eta_h = \frac{H_t}{H_{th}} = \frac{P_t}{P_{th}} \quad (2.23)$$

şeklinde verilir.

Kapalı çarklarda aralık debisinden ( $Q_a$ ) kaynaklanan performans düşümü,  $\eta_a$  aralık verimi,

$$\eta_a = \frac{Q}{Q + Q_a} \quad (2.24)$$

ile verilir. Bu ifadenin pay ve paydası ( $\rho g H_{th}$ ) ile çarpılırsa,

$$\eta_a = \frac{P_{th}}{P_{th} + P_a} \quad (2.25)$$

elde edilir. Diğer yandan açık çarkların aralık verimleri (2.24) ifadesi ile belirlenebilirse de,  $Q_a$  debisinin aralık açıklığının da içerisinde yer aldığı bir çok değişkenin fonksiyonu olmasından ötürü bu yaklaşım geçerliliğini kaybeder. Dolayısıyla açık çarklarda aralık veriminden çok, bu verimin pompa toplam verim üzerindeki etkisi üzerinde durulur. Gerçekten de pratik anlamda açık çarkların aralık akımının bilinmesine göre bu akımın toplam verime etkisinin bilinmesi daha anlamlıdır. Bu etkinin hesaplanmasında debi aralık etki faktörünün ( $\alpha$ ) bilinmesi gerekir.

### **Disk kayıpları**

Çark içerisindeki akış kayıpları, çark yüzeylerinde meydana gelen sürtünme kayıpları ve aralık kayıpları ile sınırlı değildir. Bunlardan başka ayrıca çarkın dış yüzeylerindeki sürtünmeler nedeni ile kaybedilen  $P_d$  disk sürtünme gücü vardır. Bir

pompanın hidrolik, aralık ve disk sürtme kayıpları onun iç kayıplarını meydana getirir. Böylece çark iç gücü,

$$P_i = P_{ka} + P_d \quad (2.26)$$

olacaktır. Buna göre disk sürtünme verimi  $\eta_d$ , kanat gücünün iç güce oranı olarak verilebilir:

$$\eta_d = \frac{P_{ka}}{P_i} \quad (2.27)$$

Bütün iç kayıpları temsil eden  $\eta_i$  iç verim,

$$\eta_i = \frac{\rho g Q H_t}{P_i} = \frac{P_t}{P_i} \quad (2.28)$$

olarak tarif edilir. İç verim, daha önce verilen verimlerin çarpımı olmaktadır:

$$\eta_i = \eta_h \eta_a \eta_d \quad (2.29)$$

### Mekanik kayıplar

Yukarıda bahsedilenlerin dışında, esas bakımından birbiri üzerinde kayan yüzeylerin oluşturduğu dış kayıplar pompa verimi üzerinde önemli rol oynar. Bu kayıplar yatak ve salmastra sürtünmeleri ile kavramadaki hava sürtünmelerinden oluşur. Mekanik kayıpların sebep olduğu mekanik güç kaybı  $P_m$  ile gösterilirse, bu durumda kavramadaki mil gücü,

$$P_{mil} = P_i + P_m = P_{ka} + P_d + P_m \quad (2.30)$$

olur. Mekanik verim  $\eta_m$ , iç gücün  $P_i$ , mil gücüne  $P_{mil}$ , oranı şeklinde tarif edilir:

$$\eta_m = \frac{P_i}{P_{mil}} \quad (2.31)$$

## Toplam kayıplar

Pompa toplam verimi  $\eta_t$ , pompa çıkışında akışkana aktarılan gücün  $P_t$ , pompa miline verilen güce  $P_{mil}$  oranıdır:

$$\eta_t = \frac{P_t}{P_{mil}} = \eta_h \eta_a \eta_d \eta_m \quad (2.32)$$

Burada  $P_{mil} = M_{mil} \cdot \omega$  olarak pompa miline verilen mekanik güçtür ( $M_{mil}$ ; mil momenti,  $\omega$ ; açısal mil hızı). Dolayısıyla pompa toplam kayıpları  $P_{mil} - P_t$  olacaktır.

## 2.3. Açık Çarkların Kayıpları

### 2.3.1. Niteliksel tanım

Radyal çarkların açık tiplerinde emme borusu tarafındaki yanak (arka kapak) bulunmamaktadır. Bu yüzden kanatların açık olan tarafıyla salyangoz gövde arasında kapalı tip çarktan farklı olarak, yanal bir boşluk ( $x$ ) oluşur (Şekil 1.1a). Böylece ortadan kalkan sürtünme yüzeyi önemli bir enerji tasarrufu sağlar. Bununla birlikte pompanın çalışması esnasında kanat önü ile arkası arasında bir basınç farkı meydana gelmesinden dolayı söz konusu aralık üzerinde bir aralık akışı oluşur. Bu aralık akışı kapalı çarklarınkinden farklıdır. Bunun sonucunda genellikle çark ana akışı bozulur ve ikincil akışlar meydana gelerek pompa performansı önemli ölçüde düşer. Bu nedenle oluşan aralık kayıpları açık çarkların kanat işi kayıplarında birinci dereceden rol oynar. Açık çarkların en önemli enerji kayıplarından birini bu aralık kayıpları teşkil eder, De Kovats [4].

### 2.3.2. Verimler

Hidrolik verim ifadesi burada aynı şekilde tanımlanır:

$$\eta_h = \frac{H_t}{H_{th}} = \frac{P_t}{P_{th}} \quad (2.33)$$

Ancak aralık kayıplarının kapalı çarklarda olduğu gibi belirlenmesi mümkün olmadığından aralık verimi kullanılmaz. İç verim kapalı çarklara benzer şekilde,

$$\eta_i = \frac{\rho g Q H_t}{P_i} \quad (2.34)$$

olarak verilebilir.

Kapalı çarklarda olduğu gibi benzer şekilde mekanik ve toplam verim ifadeleri;

$$\eta_m = \frac{P_i}{P_m} \quad (2.35)$$

$$\eta_t = \frac{P_t}{P_{mil}} \quad (2.36)$$

şeklinde verilir.

### 2.3.3. Açık çarkların aralık kayıplarının hesaplanması -Pfleiderer Metodu

Gerek radyal gerekse aksenal makinalarda aralık açıklığının makina üzerindeki etkileri bir çok araştırmacıya konu olmuşsa da, bu etkilerin önceden kestirimi için genelleştirilmiş güvenilir bir metot henüz mevcut değildir. Dolayısıyla bu durum aralık açıklığından kaynaklanan kayıp mekanizmalarının tam anlamıyla aydınlatılamamış olmasının bir sonucudur. Bununla birlikte aralık kayıplarının hesabı için Pfleiderer [2] metodu literatürde geniş kabul görmektedir. Pfleiderer'in deneysel sonuçlarla desteklediği ampirik metoduna göre aralık kayıplarının pompa genel verimi, basma yüksekliği ve debisi üzerindeki etkileri aralık mesafesi ile orantılı olarak değişmektedir. Metodun uygulanabilmesi için verilen çalışma şartlarında aralık etki faktörlerinin ve pompa çarkının aralığın sıfır ( $x=0$ ) olduğu durumdaki performans büyüklüklerinin ( $H_{t,0}$ ,  $Q_0$ ,  $\eta_{t,0}$ ) bilinmesi gereklidir. Yöntemde, sıfır aralık açıklığındaki bu değerler Şekil 2.6 da gösterildiği gibi ekstrapolasyon yoluyla bulunur. Aralık kayıplarının hesabında burada tasarım



noktasındaki pompa debisi ( $Q_A$ ) dikkate alınmaktadır. Yöntemin bu zayıf yönü Gür [17] tarafından değiştirilerek ortadan kaldırılmıştır. Gür tarafından önerilen yaklaşımda pompanın sıfır aralık açıklığındaki  $\eta_{h,0}$  hidrolik veriminin bilinmesi aralık açıklığından kaynaklanan basınç kaybının hesabı için yeterli olmaktadır. Ancak verim ve debi kayıpları için Pflaiderer metoduna başvurulmalıdır. Pflaiderer [2] açık çarklı bir pompadaki aralık kayıplarının hesaplanması için,

$$\Delta H_t = \frac{H_{t,0} - H_t}{H_{t,0}} = \beta \cdot a \quad ; \quad \frac{H_t}{H_{t,0}} = 1 - \beta \cdot a \quad (2.37)$$

$$\Delta Q = \frac{Q_0 - Q}{Q_0} = \alpha \cdot a \quad ; \quad \frac{Q}{Q_0} = 1 - \alpha \cdot a \quad (2.38)$$

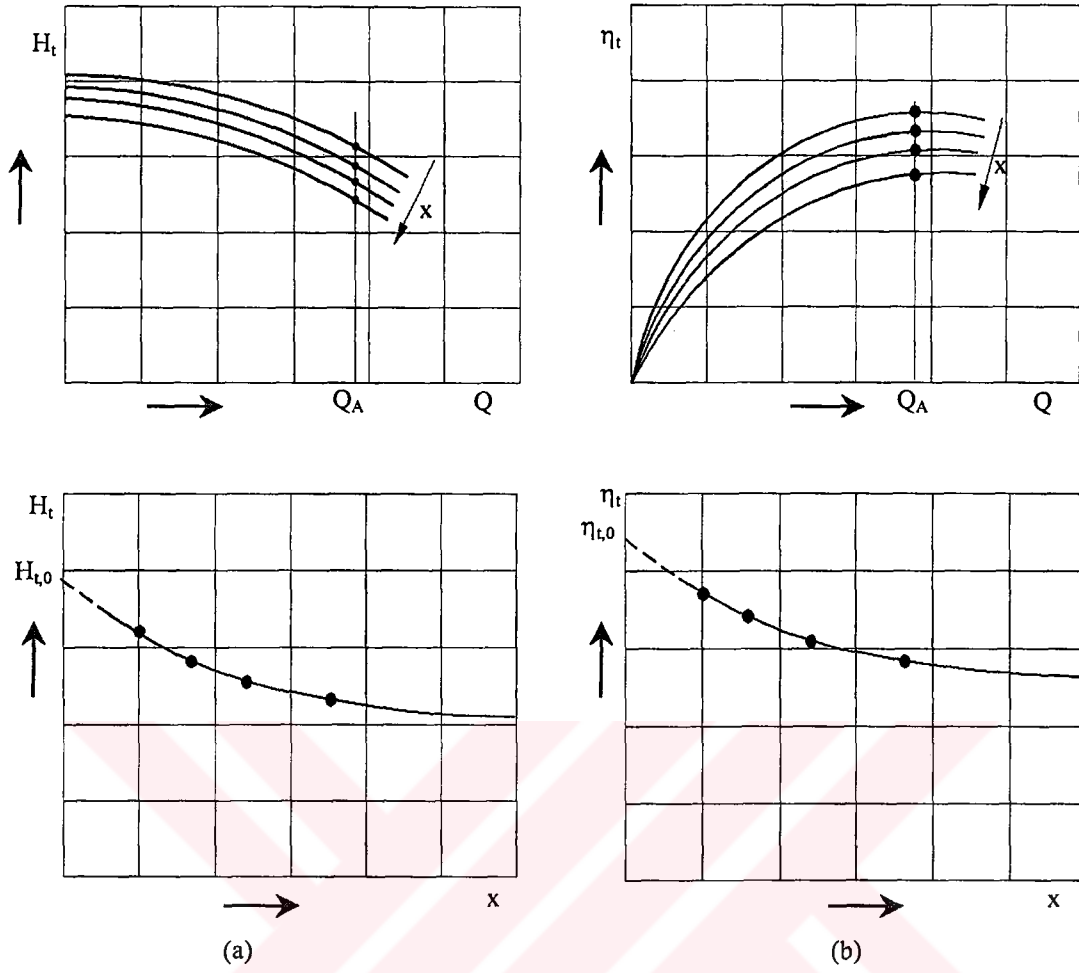
$$\Delta \eta_t = \frac{\eta_{t,0} - \eta_t}{\eta_{t,0}} = \gamma \cdot a \quad ; \quad \frac{\eta_t}{\eta_{t,0}} = 1 - \gamma \cdot a \quad (2.39)$$

eşitliklerini vermektedir. Bu denklemlerde  $\Delta H_t$ ,  $\Delta Q$  ve  $\Delta \eta_t$  sırasıyla aralık kayıplarından kaynaklanan basma yüksekliği, debi ve verim kayıplarıdır.

Denklemlerde görülen  $a$  katsayısı ise aralık açıklığının boyutsuz hale dönüştürülmüş şeklidir:

$$a = \frac{x}{(b_1 + b_2)/2} \quad (2.40)$$

Burada  $x$ , aralık açıklığı,  $b_1$  ve  $b_2$  ise kanat giriş ve çıkış yükseklikleridir.



Şekil 2.6 Sıfır aralık açıklığındaki pompa tanım özelliklerinin ekstrapolasyonla tespiti

Yukarıdaki eşitlikler (2.37-2.39) ayrıca,

$$\frac{\psi_t}{\psi_{t,0}} = 1 - \beta \cdot a \quad (2.41)$$

$$\frac{\varphi_t}{\varphi_{t,0}} = 1 - \alpha \cdot a \quad (2.42)$$

$$\frac{\eta_t}{\eta_{t,0}} = 1 - \gamma \cdot a \quad (2.43)$$

tarif edilebilirler. Pflaiderer bu yöntemi geliştirirken, pompa parametreleri ile aralık genişliği arasında doğrusal bir ilişki olduğu kabulünü yapmıştır. Pflaiderer metodu özellikle dar aralık açıklıklarında deneysel verilerle iyi bir uyum sergilemektedir.

### BÖLÜM 3. LİTERATÜR

Türbomakinaların performansı üzerinde aralık açıklığının etkileri uzun süredir araştırmacılara konu olmuşsa da, henüz bu etkileri tatminkar bir güven düzeyinde hesaplamaya yarayan geliştirilmiş bir yöntem mevcut değildir.

Aralık kayıplarını belirlemek için kullanılan yaygın bir model Pfeleiderer [2] tarafından verilmiştir. Bu model özellikle dar aralık açıklıklarında deneysel verilerle iyi bir uyum sağlamaktadır.

Engeda [6], farklı özgül hıza sahip beş radyal çarkla yaptığı deneylerinde aralık açıklığının kademe performansı üzerindeki etkilerini inceleyerek,  $n_s=0.83$  özgül hızlı test pompasının aralık kayıplarına en fazla duyarlılık gösterdiği sonucuna varmıştır. Ancak çalışmada aralık kayıpları ile özgül hız arasında belirli bir ilişkinin varlığı ispatlanamamıştır.

Yazarın konuyla ilgili diğer bir çalışmasında, aralık kayıplarının belirlenebilmesi için basit ve genel bir korelasyon önerilmiştir, Engeda [7]. Ayrıca korelasyonun geçerliliği test edilerek özgül hıza bağımlı bir aralık duyarlılık faktörü tanımlamıştır.

Aralık akışlarını modellemek amacıyla literatürde çeşitli metotlar önerilmektedir. Bunlardan en yaygın olan Rains modelidir, Engeda [7].

Senoo [9], radyal kompresör çarkı içerisindeki akım çizgileri ile ilgili çalışmasında, aralık akışından ötürü Howard [10] ın öne sürdüğü akım modelinden daha karmaşık bir akım çizgisi ağının oluştuğunu gözlemlemiştir.

Ganter [11], açık radyal çarklı pompaların aralık kayıpları ile ilgili deneysel araştırmasında, aralık etki faktörlerinin aralık açıklığına ve özgül devir sayısına bağımlı olduğunu ortaya koymuştur.

Kurian [12], çark ile gövde arasındaki açıklığın açık çarklı bir radyal pompa performansı üzerindeki etkilerini deneysel olarak inceleyerek, belirli bir aralık açıklığına kadar pompa performansının önemli ölçüde düştüğünü, bu kritik değer aşıldıktan sonra pompanın aralık açıklığına duyarsız hale geldiğini gözlemlemiştir.

Wood [13], kullandığı çark modellerinin hidrodinamik performanslarını karşılaştırmak için bir dizi deneysel çalışma ile önemli sonuçlar elde ederek bunları literatür verileriyle karşılaştırmıştır.

Lakshminarayana [14], aralık kayıplarından kaynaklanan aerodinamik verim kaybını önceden hesaplamaya yarayan teorik bir model önermiştir.

Senoo [15], radyal ve eksenel çarklarda aralık açıklığından kaynaklanan basınç kaybını matematiksel olarak modelleyerek elde ettiği sonuçları iki farklı radyal çark kullandığı deneysel çalışma sonuçları ile karşılaştırmıştır. Eksenel makinalara da kolayca uygulanabilen bu model literatürdeki deneysel sonuçlarla iyi bir uyum sergilemektedir.

Lauer [16], ondört adet açık radyal çarklı pompa üzerinden alınan deneysel verilerden yararlanarak pompa aralık açıklığı hassasiyetini ifade eden bir model geliştirmiştir.

Gür [17], açık radyal çarklı vantilatörlerin aralık kayıplarını 1200°C'ye kadar sıcak gazlarla deneysel olarak inceleyerek, Pfleiderer'in modeline benzer bir model geliştirmiştir. Belirli bir debide makinalara ait hidrolik verimin bilinmesi durumunda, bu model kullanılarak sıfır aralık açıklığındaki basma yüksekliği veya basınç artışı kolayca hesaplanabilmektedir.

Murakami [18], Pfeleiderer'in modeline benzer bir model önermiştir. Bu modele göre basınç sayısı debi sayısının karesi ile orantılı olarak değişmektedir. Ancak literatürdeki diğer deneysel bulgular bu sonucu yeterince desteklememektedir.

Hesselgreaves [19], Rains'in analizini geliştirerek başka bir şekilde ifade etmiştir. Sunduğu model verim ile aralık açıklığı arasındaki ilişkiyi oldukça iyi belirlemektedir. Bu model karışık ve aksenel akışlı makinalar için uygulanabilme özelliğine sahiptir.

Aralık akışının anlaşılmasına önemli bir katkı, radyal çarklardaki akışı üç boyutlu viskoz bir akış modeliyle çözümlenmeyi konu alan Moore [20] nin çalışmasıdır.

Aralık kayıpları ile ilgili üzerinde fikir birliği sağlanamamış diğer bir konu ise aralık akışını da kapsayan en doğru parametrenin ne olacağıdır. Aralık açıklığının klasikleşen boyutsuz gösterimi için ya kanat ortalama yüksekliği  $(b_1+b_2)/2$  ya da sadece kanat çıkış yüksekliği ( $b_2$ ) referans yükseklik olarak alınmaktadır. Bunlardan farklı olarak Koch [21],  $\psi/\psi_{max}$  büyüklüğünü esas almıştır. Engeda [7] ise söz konusu parametre olarak  $\Delta\eta/\lambda$  büyüklüğünü almıştır.

Johnson [22], aralık akışı ile ana kanal ve ikincil akışlar arasındaki etkileşimlerin tarif edilmesinde önemli katkılarda bulunmuştur.

Wright [23], giriş açıklığının (inlet clearance) radyal bir fan performansı üzerindeki etkisini incelemiştir.

Harada [24], özdeş ancak biri açık diğeri kapalı olarak imal edilen iki radyal kompresör çarkının performanslarını inceleyerek karşılaştırmıştır.

Plutecki [25], aralık açıklığını 0.5-2 mm arasında değiştirmek suretiyle dört açık çark üzerinde deneyler yaparak, aksenel açıklığın pompa basma yüksekliği, verimi ve emme kabiliyeti üzerindeki etkilerini incelemiştir.

Hofmann [26], açık radyal çarkların aralık kayıplarını deneysel olarak incelediği çalışmasında, aralık akışı için farklı bir akış modeli kullanmıştır.

Yiğit [27], otomobil motorlarındaki soğutma suyu pompalarında kullanılan açık radyal çarkların aralık kayıplarını inceleyerek aralık etki faktörlerini belirlemiştir.

Katı-su karışımı pompalanması ile ilgili literatürde bazı çalışmalar mevcut olmakla birlikte çift faz akışı için aralık kayıpları incelenmemiştir. Fairbank (1942) modeli bu konuda ilk olma özelliğini taşımaktadır ve karışım pompalarının sağladığı basma yüksekliğini hesaplamaya yönelik teorik bir modeldir. Bu modelde, önce katı taneciklerin ve suyun çark çıkışındaki hızları hesaplanır ardından bu değerler karışımın basma yüksekliğini bulmada kullanılır, Gahlot [28].

Gahlot [28], radyal pompaların hidrolik karakteristikleri üzerinde karışım özelliklerinin etkilerini incelemiştir. Biri metal diğeri kauçuk iki çarkın kullanıldığı araştırmada tanecik özgül ağırlığına, konsantrasyona ve tanecik boyut dağılımına bağlı bir korelasyon geliştirilmiştir.

Vocadlo [29] yaptığı teorik analizde katı tanecik nedeniyle oluşan ek basınç kaybının, temelde tanecik/tanecik ve tanecik/su etkileşimlerinden ve süspansiyondaki katıyı dengelemek için harcanan enerjiden kaynaklandığı kabulünü yapmıştır.

Burges [30], Cave [31], Sellgren [32], performans düşüm faktörünün hesabı için değişik metotlar teklif etmişlerdir. Elde edilen ilişkilerde, genellikle, pompa verimindeki azalmanın aynı oranda basma yüksekliğinde de olduğu görülmüştür. Bu denklemlerin deneysel sonuçlarla karşılaştırması Holzenberger [33] ve Mez [34] tarafından yapılarak, elde edilen formüllerin bazı hallerde fazlaca hatalı ve farklı karışımlar için tatminkar düzeyde güvenilir olmadıkları ifade edilmiştir.

Walker [35], radyal karışım pompaları için bir bilgisayar programı geliştirerek pompa için gerekli olan basma yüksekliğini, verimi ve net pozitif emme yüksekliğini polinom formunda ifade etmiştir.

Walker [36], bu çalışmasında karışım pompalayan radyal pompaların performansı üzerinde, kanat sayısının, kanat açılarının, kanat çıkış yüksekliği ile kanat formunun etkisini incelemiştir. İncelemede dokuz çark tipi test eden araştırmacı, performans üzerinde en önemli etkiyi kanat formunun yaptığını ve kanat sayısı ile açılarının önemli bir etkisinin bulunmadığını ifade etmiştir.

Stepanoff [37], yaptığı deneylerinde pompanın yük ve verim oranlarının karışım davranışına bağımlı olduğunu gözlemlemiştir.

Hunt (1971), üç farklı radyal pompa performansını, hacimsel olarak en fazla % 20 konsantrasyona kadar, bağıl yoğunluğu 1.02 olan plastik malzeme kullanarak incelemiştir. Bunun sonucunda %4-6 arası konsantrasyonlarda pompa basma yüksekliğinin arttığını ancak verimin ve çıkış hidrolik gücünün azaldığını gözlemlemiştir, Kazim [38].

Gillies [39], yaptığı çalışmada radyal pompa veriminin su içerisinde katı madde bulunması sonucunda kesinlikle azaldığını göstermiştir.

Cader [40], bir karışım pompasındaki çift fazlı akışı incelemek üzere LDV kullanarak, çark etrafında ölçülen katı ve sıvı hız dağılımı ile, pompa giriş ve çıkışından elde edilen ölçümler yardımıyla bulunan pompa performansı arasındaki bağıl ilişkiyi incelemiştir.

Minemura [41], düşük özgül hızlı bir pompa çarkında sıvıyla hareket eden katı taneciklerin hareket denklemlerini sanki-3 boyutlu akım modeliyle sayısal olarak çözerek, yaptığı deney sonuçları ile karşılaştırmıştır. Bu çalışma bir katı taneciğin pompa içerisindeki davranışını teorik olarak ele alan önemli bir çalışmadır. Elde edilen sonuçlara göre, bir radyal pompada katı tanecik hareketi, taneciğe etkiyen atalet kuvveti, basınç gradyanının doğurduğu basınç kuvveti ve direnç kuvveti altında gerçekleşmektedir.

Wilson [42], çeşitli katı maddeleri kullandığı test sonuçlarıyla Sellgren [32] tarafından verilen korelasyonu karşılaştırarak, bu korelasyonun  $\pm\%10$  hata ile performans kaybının hesabında kullanılabileceğini ifade etmiştir.

Sellgren [43], bu çalışmasında çeşitli çapta çarkları yüksek konsantrasyonlarda test etmiş, ayrıca yeni tasarım 3 kanatlı bir çarkı deneyerek tanecik boyut dağılımının performans üzerindeki etkisini incelemiştir.

Sellgren [44]'nin yüksek katı konsantrasyonlarının pompa üzerindeki etkilerini incelediği bu çalışmasına göre, basma yüksekliğindeki azalma oranı %15 ile sınırlanmakta ve konsantrasyon değeri %40'ı aştığında verimdeki azalma oranı basma yüksekliği azalma oranından fazla olmaktadır.

Roco [45], laboratuvar ortamında yüksek kapasiteli (500-10000 m<sup>3</sup>/h) karışım pompalarının performansını deneysel olarak incelemiştir.

Akhtar [46] ve Clark [47] karışım pompalarının seçimi ve ömürlerinin uzatılması konularını işlemişlerdir.

Grabow [48], radyal bir pompa çarkı içerisindeki katı-su akışını teorik ve deneysel olarak incelemiş ve çark üzerinde gelişen bağıl hız dağılımını elde etmiştir.

Walker [49], Weidenroth [50], benzer şekilde radyal çarklar üzerinde katı madde özelliklerinin etkilerini incelemiştir.



## BÖLÜM 4. ÇİFT FAZLI AKIŞ POMPALAMA

### 4.1. Katı-Sıvı Karışımlarının Özellikleri

Son yıllarda katı malzemelerin boru hatlarıyla hidrolik taşınmasının yaygınlaşmasına paralel olarak bu konu araştırmacıların ilgisini daha fazla çekmeye başlamıştır. Taşıma maliyetini düşürmesi bu sistemlerin en önemli avantajlarından yalnızca birini teşkil eder. Bazı örnekler vermek gerekirse, Polonya'da Polish Central Mining Enstitüsü tarafından, tanecik büyüklüğü 5 cm ye kadar iri taneli kömür madenini taşımak üzere 250 mm çapında 200 km uzunluğunda bir boru hattı döşenmiştir. Yine Almanya'da Doğu Rhur dan Bavaria ya kadar yılda 3000 ton kömürü taşımak üzere 400 mm çapında bir boru hattı kurulmuştur. ABD'de  $C_w = \%60$  konsantrasyonluk kömür, madeninden bir fabrika tesisine 250 mm çapında 170 km uzunluğunda bir hat ile taşınmaktadır. Bunun gibi örnekleri çoğaltmak mümkündür. Düşük konsantrasyonlu kum-su karışımı pompalanmasına özellikle drenaj işlemlerinde rastlanmaktadır. Bunun yanı sıra su kanallarının, nehir ve göl yataklarının temizlenmesinde çift faz pompalanması söz konusudur. Bunlardan başka bazı endüstriyel tesislerde uçucu külün uzaklaştırılması, kağıt sanayinde kağıt hamurunun nakledilmesi, gıda sektöründe balık ve meyve taşınması gibi işlemlerde katı-su karışım akışına rastlanmaktadır.

Katı maddelerin hidrolik taşınması işlemlerinde taşıyıcı akışkan olarak genellikle su kullanılır. Karışımın bileşimi, karışım içerisindeki katı madde miktarının karışımın ağırlıkça veya hacimce bir oranı şeklinde ifade edilir. Pompa performansından söz ederken, mil gücünün ve çıkış basıncının doğrudan karışımın yoğunluğu ( $P = \rho g Q H \approx \Delta p Q$ ) ile ilgili olmasından ötürü, karışım yoğunluğunu ya da özgül ağırlığı kullanmak daha doğrudur. Uygulamada yoğunluğun boyutsuz biçimi olan bağıl yoğunluk (S) daha yaygın şekilde kullanılır ve söz konusu madde yoğunluğunun  $+4$  °C deki suyun yoğunluğuna ( $1000 \text{ kg/m}^3$ ) bölünmesiyle bulunur.

$$S = \frac{\rho}{\rho_{w(+4^{\circ}C)}} = \frac{\rho}{1000} \quad (4.1)$$

Diğer taraftan hidrolik performans ve kayıplar pompadan geçen katı miktarıyla ilgilidir. Buna göre basma yüksekliği ve verim, karışımın hacimsel bileşimine bağlıdır. Karışım bileşimini ifade etmek üzere karışım içerisindeki katı madde kütlesinin  $m_s$ , karışımın kütlesine  $m_k$  oranı olan kütleli konsantrasyon  $C_w$  kullanılır. Kütleli konsantrasyon,

$$C_w = \frac{m_s}{m_k} = \frac{\rho_s V_s}{\rho_k V_k} = \frac{\rho_s}{\rho_k} C \quad (4.2)$$

olarak ifade edilebilir. Eşitlikte  $s$  ve  $k$  alt indisleri sırasıyla katı maddeyi ve karışımı ifade etmektedir. Burada  $C = V_s/V_k$ , karışımındaki katı hacminin karışım hacmine oranı olduğundan **hacimsel konsantrasyon** adını alır. Ayrıca (4.1) eşitliğine göre,

$\rho_s = \rho_w S_s$  ve  $\rho_k = \rho_w S_k$  olduğundan (4.2) denklemi,

$$C_w = \frac{S_s}{S_k} \frac{V_s}{V_k} = \frac{S_s}{S_k} C \quad (4.3)$$

olarak da ifade edilebilir. Ancak pompa uygulamalarında genellikle karışımın  $S_k$  bağıl yoğunluğunun bilinmesine ihtiyaç vardır. Eğer katı maddenin kütleli konsantrasyonu biliniyorsa, bu durumda karışımın bağıl yoğunluğu,

$$S_k = \frac{S_s S_w}{S_s + C_w (S_w - S_s)} \quad (4.4)$$

eşitliği kullanılarak hesaplanabilir, Akhtar [46]. Burada taşıyıcı ortam olarak su kullanıldığında  $S_w=1.0$  alınacağı açıktır.

Katı minerallerin pompalarla taşınmaya başlamasıyla bu konuda çalışan mühendis ve araştırmacılar, karışım davranışını tanımlamak üzere bazı ortak kavram ve terimler kullanmışlardır. Örneğin çözelti (solüsyon), asıltı (süspansiyon) ve akışkan terimleri katı-sıvı karışımları için eşanlamlıdır. Benzer şekilde, aksi belirtilmediği sürece, su taşıyıcı akışkandır. Katı maddelerin hidrolik taşınmasındaki hidrolik problemler; boru hattındaki yük kayıplarının, bu kayıp için gerekli pompa basma yüksekliğinin belirlenmesi ve boru çapının veya minimum güç gereksinimi ile istenen debideki karışımı güvenli bir şekilde nakleden ortalama hızın seçimini kapsar.

#### 4.2. Radyal Pompaların Kullanımı

Radyal pompalar, kendilerine özgü yüksek ve uyumlu akış debileri, düşük maliyetleri, kolay bakım ve tamir ile üstün işletme kararlılığı gibi avantajları sayesinde, boru hatlarıyla katı madde taşınması gibi işlemlerde artarak kullanılmaya başlanmıştır. Özellikle düşük basma yüksekliği gerektiren kısa mesafeli taşıma sistemlerinde radyal pompalar son derece kullanışlıdır.

Genellikle bir boru hattı taşıma sisteminin pompa elemanının seçimi son derece önemli olmakla birlikte bunu yaparken, ya geçmiş tecrübeler ya da temiz suya göre verilen değerler esas alınır. Diğer yandan yapılan araştırmalar, sadece su basan bir pompa ile karışım basan bir pompanın aynı debide oldukça farklı çalışma özelliği gösterdiğini ortaya koymuştur. Çünkü pompa çalışma özellikleri, karışımın Newtonian bir akışkan veya Bingham akışkanı tarzında davranışına göre artabilir veya düşebilir. Konuyla ilgili literatür, pompa basma yüksekliği ile veriminin, katı-su karışımı esnasında, mil gücü artmasına rağmen, azaldığı sonucunda birleşmektedir. Bu azalmanın miktarı ve pompaya ait yeni tanım eğrilerinin şekli, genel olarak, katı maddenin büyüklüğüne, büyüklük dağılımına, geometrisine, yoğunluğuna ve konsantrasyonuna bağlıdır.

Bir sıvı içerisindeki katı tanecikler, sıvıya ait olan basınç enerjisini absorbe etmek, depolamak veya iletmek gibi özelliklere sahip değildir. Ayrıca sıvı partikülleri genellikle daha hızlı hareket ettiklerinden katı taneciklerin kendi kinetik enerjilerini sıvıya transfer etmeleri de mümkün olmaz. Katının pompa içerisindeki akışı ilave

hidrolik kayıplara neden olur. Bunun nedeni, katı maddelerin yüksek ataletle sahip olmaları ve sıvı kadar ivme kazanamamalarının yanında bir de tanecikler arasında meydana gelen bağıl harekettir. Bu durum daha fazla sürtünme kaybı demektir. Diğer yandan küçük tanecikli katıların yüksek konsantrasyonları viskozite etkilerinin ortaya çıkmasına neden olur.

İmalatçılar tarafından verilen performans eğrileri çoğunlukla temiz suya göre verilen değerleri esas alır ve böyle bir pompa, karışım basılması için seçilecekse bu eğrilerin karışım durumu dikkate alınarak düzeltilmesi gerekir. Eğer bu yapılmazsa pompa, kurulan sistemin ihtiyacını karşılayamayacağı gibi aşınma hızı artar ve tahrik motoru aşırı yüklenmiş olur. Diğer taraftan karışım içerisindeki katı taneciklerin çökme eğilimleri pompalama performansı açısından önemlidir. Çünkü çökme eğilimi gösteren karışımlar ile çökelmeyen karışımların pompalama esnasındaki davranışları farklılık gösterir.

Çok küçük tanecikli (ortalama 100 mikronun altı), dar boyut dağılımlı karışımlar çökme eğilimi göstermezler ve bunlar Newtonien akışkan olarak ele alınabilirler. Bu tür karışımlarda viskoz etkiler son derece önemli olup pompa performansının belirlenmesinde önemli yer tutar. Diğer taraftan çökelen karışımlarda taşıyıcı akışkan yoğunluğu ile taşınan katı madde yoğunluğu arasında önemli bir fark vardır. Genellikle geniş boyut dağılımlı katılar çökme eğilimi gösterir. Katı taneciğin üzerinden geçen sıvı onu sürüklemek için bir kısım enerjisini harcamak zorundadır. Bu durum pompa basma yüksekliğinde ve veriminde bir düşüş meydana getirir. Uygulamada karşılaşılan tüm mineral ve maden cevherleri genellikle çökelen karışım tanımlaması içerisinde yer alırlar, Wilson [42], Walker [50].

Doğal olarak katı tanecik geometrisi limit çökme hızının büyüklüğünü önemli ölçüde etkiler. Aynı hacme sahip küresel tanecikler, küresel olmayanlardan % 10-20 daha hızlı bir çökme hızı gösterir, Wilson [42]. Bunun yanında çökmesi diğer tanecikler tarafından engellenen tanecikler daha düşük bir hızla çöklerler.

### 4.3. Pompa Performansının Değerlendirilmesi

Karışım pompalanması durumunda performans değerlendirmesi, sadece su pompalanması durumuna göre yapılır.

#### Kapalı çarklar

Taşıyıcı akışkan (su) içerisinde askıda bulunan katı parçacığı hareket ettirmek için gerekli olan enerji, enerjisini pompa çarkından alan suyun enerjisinden sağlanır. Su içerisinde katı madde bulunmasının en açık etkisi ortalama karışım yoğunluğundaki artış olarak kendini gösterir. Ancak pompa çarkı suya enerjisini, homojen yoğunluklu bir akışkanmış gibi aktarır. Kolayca gösterilebilir ki mükemmel homojen bir karışımın boru sürtünme kaybı, karışım yoğunluğuna sahip saf bir akışkanın kaybına eşittir. Bu şartlar altında çarkın hidrolik performansı bozulmaz. Dolayısıyla verilen bir dönme hızında, temiz su ile sağlanan tanım özellikleri çark tarafından aynı şekilde sağlanır. Buna göre, en iyi verim noktası (best efficiency point) civarında verilen bir debi değeri için, karışım basma yüksekliği suyunkine eşit olmalıdır. Ancak katı yoğunluğu suyunkinden yüksek olduğu takdirde, su-katı karışımı için verim ve basma yüksekliği suya göre azalacaktır. Bu azalma literatürde genellikle boyutsuz olarak, basma yüksekliğindeki düşmeyi ifade eden “yük sayısı,  $H_r$ ” ve verimdeki düşmeyi ifade eden “verim sayısı,  $\eta_r$ ” ile belirtilir.

$$H_r = \frac{H_{t,k}}{H_{t,w}} \quad (4.5)$$

$$\eta_r = \frac{\eta_{t,k}}{\eta_{t,w}} \quad (4.6)$$

Buradaki k indisi karışımı w indisi suyu ifade etmektedir. Yapılan araştırmalar  $H_r \cong \eta_r$  alınabileceğini göstermiştir. Bununla birlikte Karassik [3], Gahlot [28], Sellgren [32], Kazim [38] tarafından yapılan araştırmalardan, bazı durumlarda % 10

mertebesinde farklılık bulunabileceği anlaşılmaktadır. Uygulamada  $H_r$  veya  $\eta_r$  yerine genellikle  $K$  ile ifade edilen,

$$K = 1 - H_r \quad (4.7)$$

“performans düşüm faktörü” büyüklüğü kullanılmaktadır.

Pompanın karışıma ait basma yüksekliğinin, çıkışındaki hidrolik gücün ve genel veriminin hesaplanmasında kullanılan ifadeler sadece su için kullanılan ifadelerle aynıdır. Ancak karışımlarla ilgili hesaplamalarda karışıma ait yoğunluğun kullanılması gerekir. Karışımın bağıl yoğunluğu daha önce verilen (4.4) ifadesinden hesaplanır. Ancak genellikle konsantrasyonlar bilinmediği için testler sırasında alınan karışım örneklerinin kütle/hacim oranlarının belirlenmesi yoluna gidilir.

### Açık çarklar

Aralık kayıplarının belirlenmesinde kullanılan ve daha önce (2.37) ve (2.39) ifadeleri ile verilen Pfeleiderer eşitlikleri yalnızca su pompalanması için,

$$\frac{H_{t,w,x}}{H_{t,w,x=0}} = 1 - \beta_w \cdot a \quad (4.8)$$

$$\frac{\eta_{t,w,x}}{\eta_{t,w,x=0}} = 1 - \gamma_w \cdot a \quad (4.9)$$

olarak ifade edilebilir. Benzer şekilde aynı ifadeler karışım pompalanması için,

$$\frac{H_{t,k,x}}{H_{t,k,x=0}} = 1 - \beta_k \cdot a \quad (4.10)$$

$$\frac{\eta_{t,k,x}}{\eta_{t,k,x=0}} = 1 - \gamma_k \cdot a \quad (4.11)$$

şeklinde dir. Aralık açıklığının dikkate alınması durumunda yük ve verim sayıları,

$$H_{r,x} = \frac{H_{t,k,x}}{H_{t,w,x}} \quad (4.12)$$

$$\eta_{r,x} = \frac{\eta_{t,k,x}}{\eta_{t,w,x}} \quad (4.13)$$

olacaktır. (4.8) ve (4.10) ifadelerinden sırasıyla  $H_{t,w,x}$  ve  $H_{t,k,x}$  çekilerek (4.12) eşitliğinde yerine konursa,

$$H_{r,x} = \frac{H_{t,k,x=0}(1-\beta_k \cdot a)}{H_{t,w,x=0}(1-\beta_w \cdot a)} = H_{r,x=0} \frac{(1-\beta_k \cdot a)}{(1-\beta_w \cdot a)} \quad (4.14)$$

ya da,

$$H_r^* = \frac{H_{r,x}}{H_{r,x=0}} = \frac{1-\beta_k \cdot a}{1-\beta_w \cdot a} \quad (4.15)$$

elde edilir. Diğer taraftan benzer yolla verim sayısı,

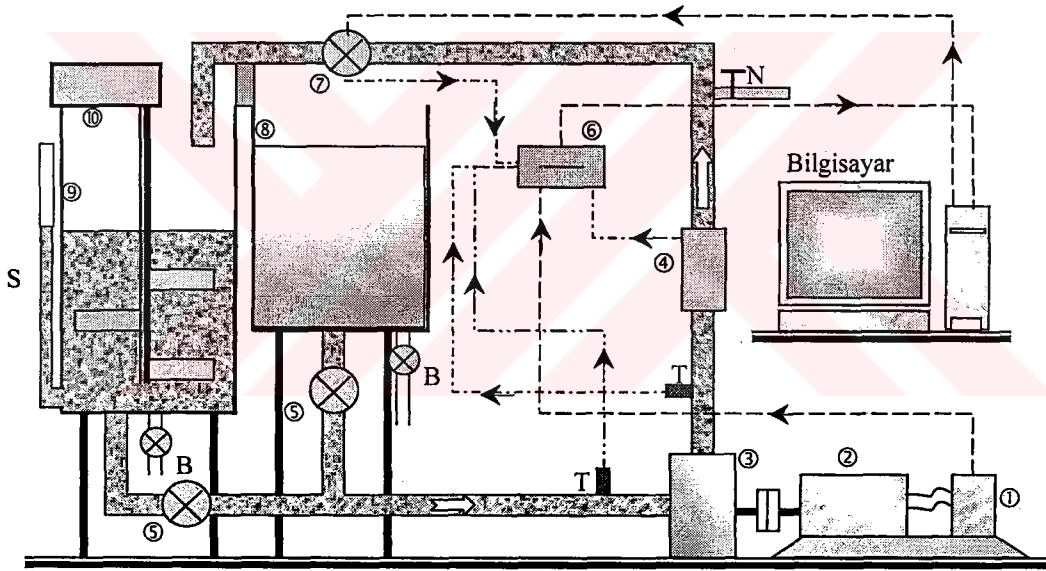
$$\eta_r^* = \frac{\eta_{r,x}}{\eta_{r,x=0}} = \frac{1-\gamma_k \cdot a}{1-\gamma_w \cdot a} \quad (4.16)$$

olarak bulunur. Böylece aralık kayıplarının da dikkate alındığı yük ve verim sayıları elde edilmiş olur. İfadelerde yer alan  $\beta$  ve  $\gamma$  aralık etki faktörleri literatürden veya bu çalışmadan (Bölüm 7) elde edilebilir. Diğer taraftan  $H_r$  ve  $\eta_r$  yine literatürde verilen korelasyonlardan (Bölüm 7) hesaplanabilir. Bu durumda belirli bir aralık açıklığında çalışacak olan bir karışım pompasının seçiminde kullanılacak iki yeni ifade (4.15-4.16) elde edilmiş olmaktadır.

## BÖLÜM 5. DENEYSEL ÇALIŞMA

### 5.1. Deney Düzeneği

Bir karışım pompasının performansı üzerinde katı madde özelliklerinin etkisini ve çift faz pompalanması durumunda açık çarkın aralık kayıplarını incelemek üzere bir deney düzeneği tasarlanmış ve imal edilmiştir. Deney düzeneğinin şematik görünümü Şekil 5.1 de verilmiştir.



Şekil 5.1 Deney düzeneğinin şematik görünümü

- 1- sürücü (frekans invertörü)
- 2- elektrik motoru
- 3- test pompası
- 4- elektromanyetik debi ölçer
- 5- sürgülü vana
- 6- veri toplama kartı
- 7- servomotorlu kelebek vana
- 8- temizleme tankı
- 9- karışım hazırlama tankı
- 10- karıştırıcı

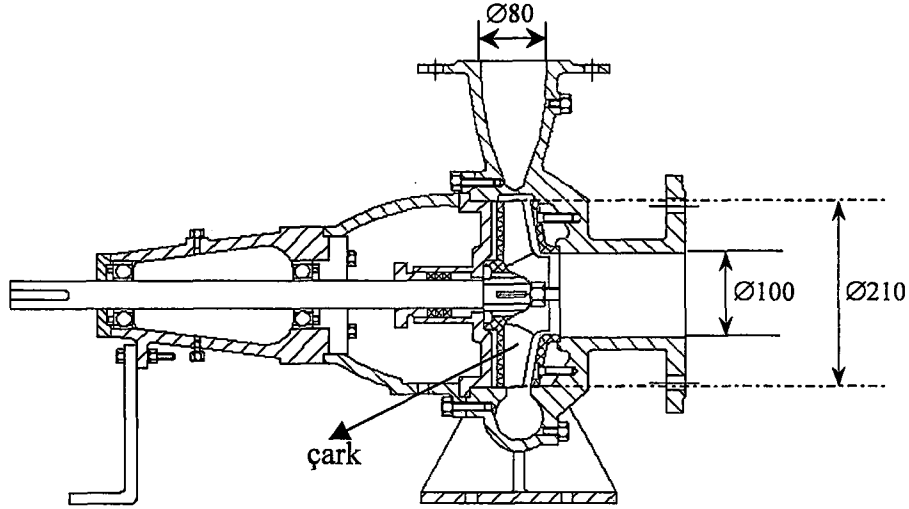
- B- boşaltma (küresel) vanası  
T- basınç transmitteri  
N- numune alma borusu  
S- ölçülü seviye göstergesi



Deney düzeneğinde test edilecek karışım, bir karışım hazırlama tankında (9), hesaplanan miktarda katı maddenin, karıştırıcı (10) devrede iken, tanka daha önce doldurulan belirli miktardaki suya azar azar katılmasıyla elde edilir. Karışım testi sonunda sistemi temizlemek üzere temiz suyla dolu olan bir temizleme tankı (8) kullanılmaktadır. Pompa emme hattında 2 adet sürgülü (5) vana kullanılmıştır. Karışım tankından sonraki vana sadece temizleme işlemi sırasında tamamen kapalı olup diğer vana sadece test bölgesi temizlenirken açık tutulur. Basma hattı üzerine yerleştirilen bir kelebek vana (7) yardımıyla debi ayarı sağlanır. Debi elektromanyetik bir debi ölçer (4) ile belirlenir. Manometrik basma yüksekliğinin bulunmasında kullanılmak üzere emme ve basınç hattına ISO 2548'e uygun olarak 2 adet basınç transmitteri (T) yerleştirilmiştir. Bir frekans invertörü (1) ile yol verilen pompa motoru (2) 5.5 kW-AC olup mile aktardığı moment sürücü tarafından ölçülmektedir. Basma hattına yerleştirilen bir numune alma borusu (N) ile karışımdan çeşitli karışım özelliklerini belirlemek üzere numuneler alınmaktadır.

### **Deney pompası**

Deneylerde kullanılan pompa, MAS Pompa tarafından imal edilen norm tipi TLH 80/200 pompasıdır. Bu pompanın genel şematik görünümü Şekil 5.2 de verilmiştir. Pompa salyangozuna maksimum 210 mm çapında açık veya kapalı çark monte edilebilmektedir. Pompanın testlerdeki kullanım şekli, piyasaya sürüldüğü orijinal haliyledir. Uygulamada genellikle düşük konsantrasyonlu katı madde içeren karışımların pompalanması durumlarında açık tip çarklar, diğer saf akışkanların pompalanması gibi işlemlerde ise kapalı çarklar tercih edilmektedir.



Şekil 5.2 Test pompası, MAS-TLH 80/200

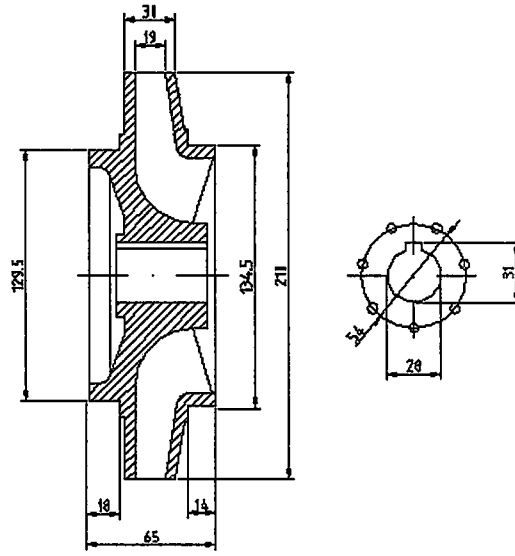
Şekil 5.2 de açık tipte çarkın montajı yapılmış hali gösterilmiştir. Deney pompası DIN 1944'e uygun olarak tasarlanmış ve imal edilmiştir.

### Test edilen çarklar

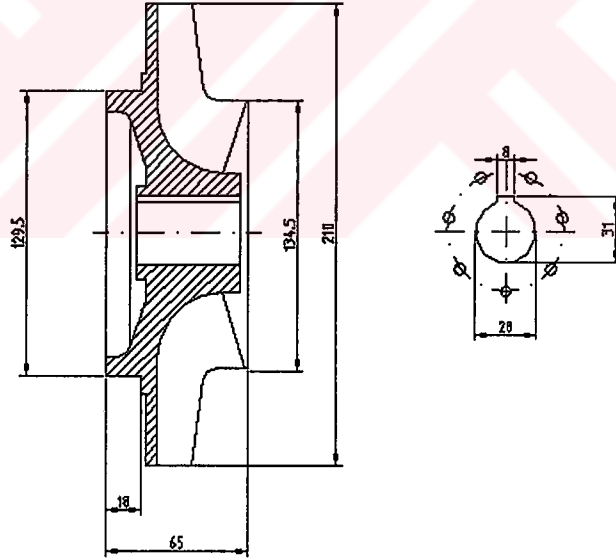
Deneylerde test edilen çarklar dış çapı 210 mm olan 7 adet geriye eğimli kanatlı radyal çarklardır. Test edilen açık ve kapalı çarkların ortak özellikleri Tablo 5.1 de, kesit görüntüleri Şekil 5.3 ve Şekil 5.4 de görülmektedir.

Tablo 5.1 Kullanılan kapalı ve açık çarkın ortak özellikleri

Çark çapları, $d_1 \sim d_2$	134.5~210 [mm], $d_1/d_2=0.64$
Kanat yükseklikleri, $b_1 \sim b_2$	31~19 [mm], $b_1/b_2=1.63$
Kanat açıları, $\beta_1 \sim \beta_2$	40 ~ 34 [°]
Kanat sayısı, $z$	7 [adet]
Özgül devir sayısı, $n_q$	21 [-]



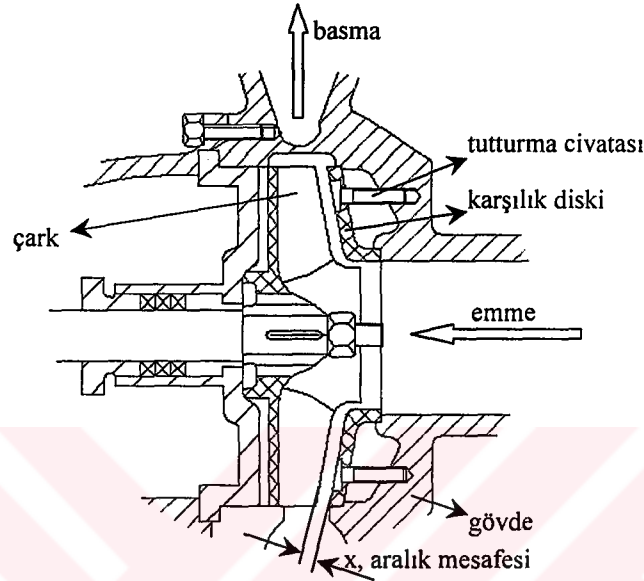
Şekil 5.3 Test edilen kapalı çark ve temel boyutları



Şekil 5.4 Test edilen açık çark ve temel boyutları

### Aralık açıklığının ayarlanması

Çarkın açık olan tarafıyla gövde arasında kalan yanal boşluğun değiştirilebilmesi için Şekil 5.5 de görülen çark karşı diskinin ya aksenal yönde hareket ettirilmesi ya da bu diskin kalınlığının değiştirilmesi gerekir.



Şekil 5.5 Aralık açıklığının ayarlanması

Pompanın piyasaya sunulduğu halini bozmamak üzere burada disk kalınlığının değiştirilmesi yoluna gidilmiştir. Gövdeye, her bir aralık değeri için farklı kalınlıkta disk monte edilerek bu değişim sağlanmıştır. Diskler firma desteği çerçevesinde aralık mesafesi 1.25 mm, 5.5 mm ve 8 mm olacak şekilde özel olarak imal edilmiştir. Genellikle 3 ayrı aralık açıklığının seçilmesi, aralık kayıplarının incelenmesinde yeterli olmaktadır, Wood [13], Plutecki [25].

### Elektrik motoru

Test pompası, doğrudan miline bağlanan üç fazlı asenkron AC motoru ile tahrik edilmiştir. Motor nominal gücü 5.5 kW ve nominal devir sayısı 1500 d/d dir. (Bu değer deneysel olarak 50 Hz frekansta 1497 d/d olarak tespit edilmiştir). Bu değerlerden motor nominal momenti 35 Nm olarak elde edilmiştir.

### **Sürücü (frekans invertörü)**

Elektrik motoruna SIEMENS MICROMASTER serisi 5.5 kW'lık bir 380V-AC sürücü ile yol verilmektedir. Son derece gelişmiş bir cihaz olan bu sürücü ile P000-P971 olarak bir çok elektriksel parametrenin kontrolü sağlanabilmektedir. Motora adapte edildikten sonra çalışma esnasında motora ait çalışma akımı, gerilimi, frekansı gibi bir çok özelliklerin yanında, motor devri ve nominal momentin yüzdesi olarak motor mili momenti bilgilerini hem analog değer (4-20mA) olarak hem de dijital ekranından kullanıcıya sunmaktadır.

### **Debi-ölçer**

Pompanın bastığı debi % 1.0 hassasiyetle KRONE marka DN50 tipi bir elektromanyetik debi ölçer ile ölçülmektedir. Debi ölçer geçen debiyi hem analog sinyal olarak (4-20mA) hem de dijital olarak kullanıcıya bildirmektedir. Ayrıca isteğe bağlı olarak anlık debi veya belirli bir sürede geçen toplam debi bilgilerine ulaşmak mümkün olmaktadır. Maksimum lineer ölçme  $85 \text{ m}^3/\text{h}$  olarak verilmiştir.

### **Debi ayar vanası**

Sistemden geçen debi, basma hattı üzerine yerleştirilen ARIS-DN50 tipi bir servomotorlu kelebek vana ile ayarlanmaktadır. Bu ayarlama tamamen bilgisayar üzerinden gerçekleştirilmektedir. Ancak isteğe bağlı olarak elle kumanda kolu da mevcuttur. Diğer ölçüm aletlerine benzer şekilde vana açıklık kontrolü servomotoruna gönderilen 0-5V luk analog gerilimle sağlanmaktadır.

### **Basınç-ölçerler**

Pompanın girişindeki ve çıkışındaki basınçlar sırasıyla (-1)-(+5) bar ve (0)-(+6) bar aralıklarında ölçüm yapabilen BOURDON marka 2 adet elektronik basınç transmitteri ile ölçülmüştür. Basınç transmitterleri % 0.5 hassasiyetle ölçüm yaparak bunu 4-20mA analog sinyale dönüştürmektedirler. Transmitterler, tanecik yüklü akışkan basıncını ölçmeye uygun olarak diyaframlı olarak imal edilmişlerdir.

Böylece sensör ağızlarının tıkanması problemi ortadan kalkmış olmaktadır. Basınç ölçerlerin yerleri ISO 2548 e uygun olarak seçilmiştir.

### **Akışkan tankları**

Akışkan tankları olarak pompanın kapalı çevrim çalıştığı 560 litrelik silindirik karışım tankı ile 200 litrelik temizleme tankı kullanılmıştır. Her iki tankın altına ayrıca tahliye vanaları konulmuştur.

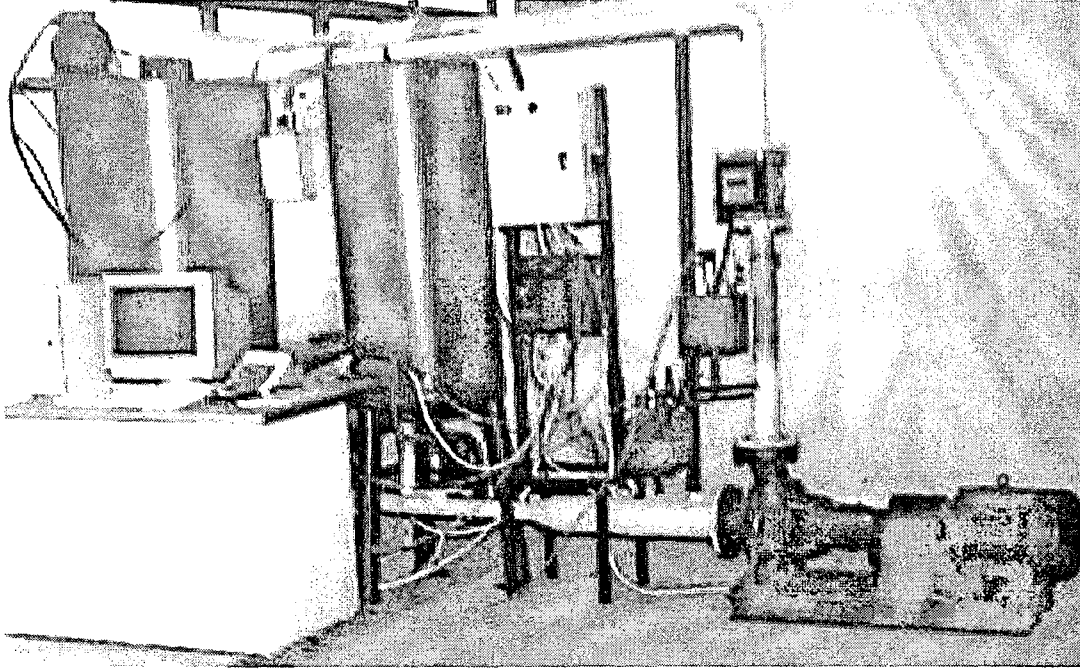
### **Karıştırıcı**

Karışım tankı içerisinde homojen bir konsantrasyon temin etmek üzere bu tankın üzerine bir karıştırıcı tasarlanıp imal edilmiştir. Üç kanatlı olarak imal edilen karıştırıcı bir redüktöre bağlı olarak 2.2 kW'lık bir motorla tahrik edilmiştir. Ortalama karıştırıcı devri 100 d/d dir.

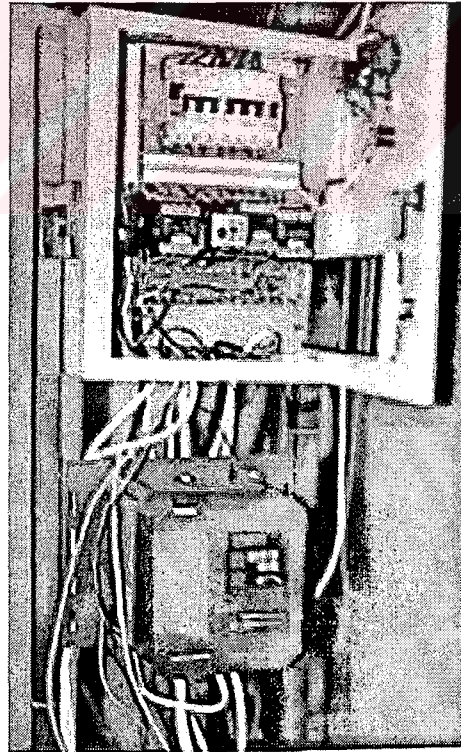
### **Emme ve basma hatları**

Pompa emme hattı 100 mm çapında normal tesisat borusudur. Basma borusunun debi ölçere kadar olan kısmı 80 mm, buradan sonraki kısmı ise 50 mm dir. Akımın debi ölçere girmeden önce tedirgin edilmemesi için bu daralma, esnek bir parça ile daralma kaybı en az olacak şekilde yapılmıştır.

Deney düzeneğinin ve bazı kısımlarının resimleri Şekil 5.6-5.13 de toplu halde verilmiştir.

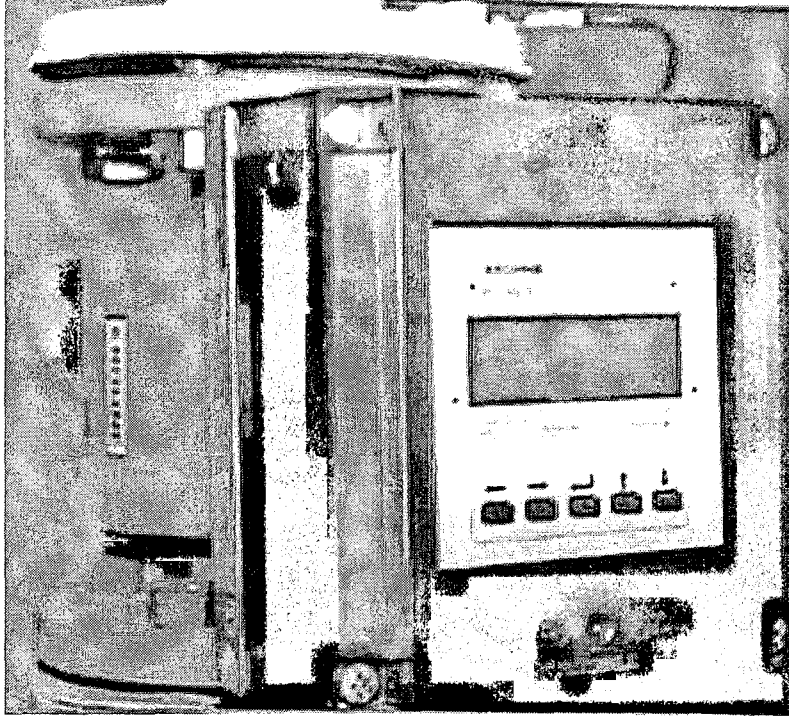


Şekil 5.6 Deney setinin önden görünümü

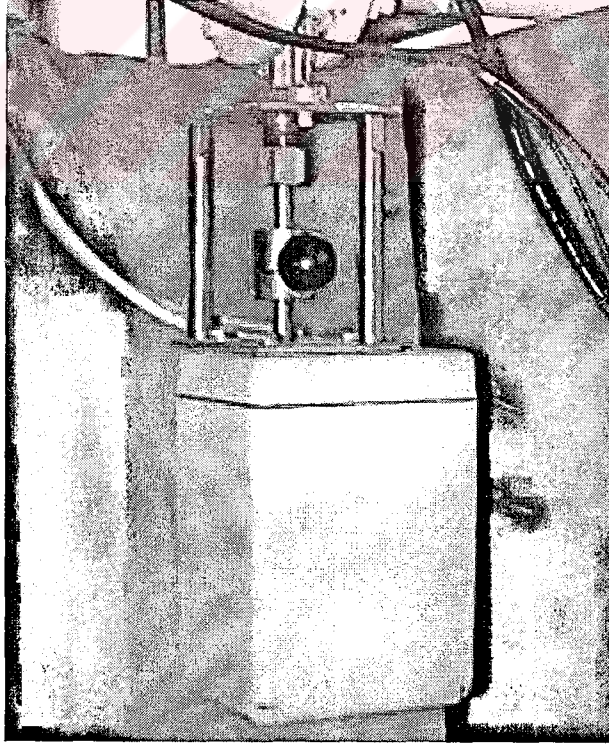


Şekil 5.7 Elektriksel kontrol panosu ve sürücü (frekans değıştirici)



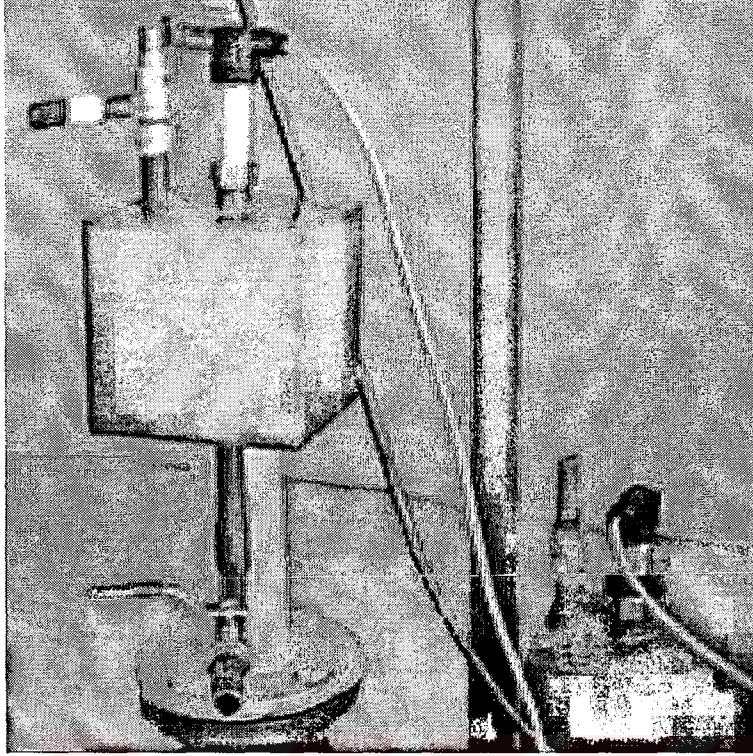


Şekil 5.8 Elektromanyetik debi-ölçer

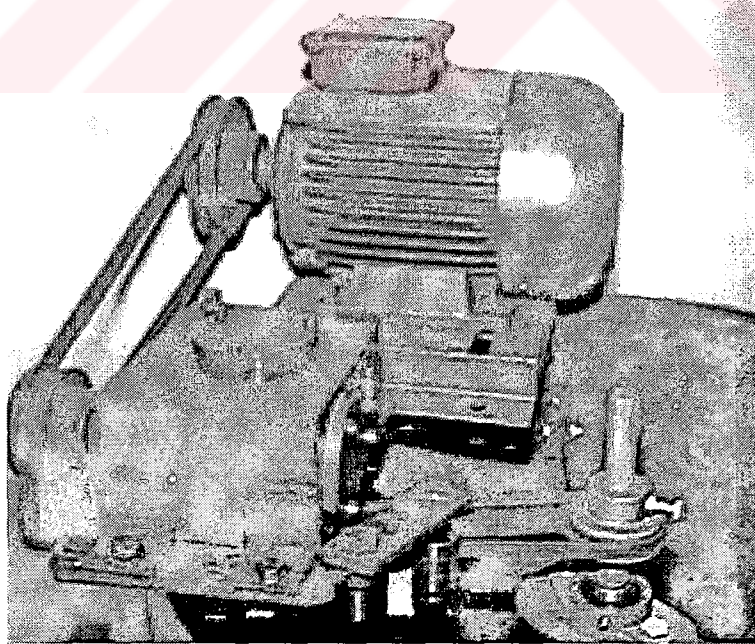


Şekil 5.9 Servomotorlu kelebek vana (kısmı vanası)



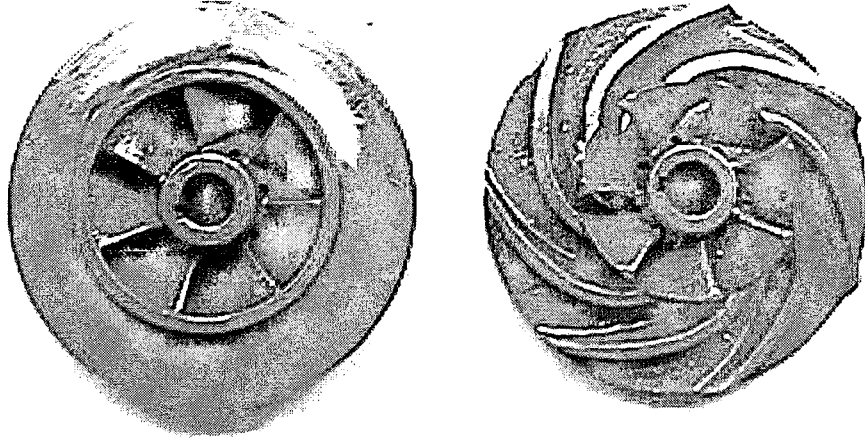


Şekil 5.10 Basınç ölçerler ve tesisata bağlantı Şekilleri

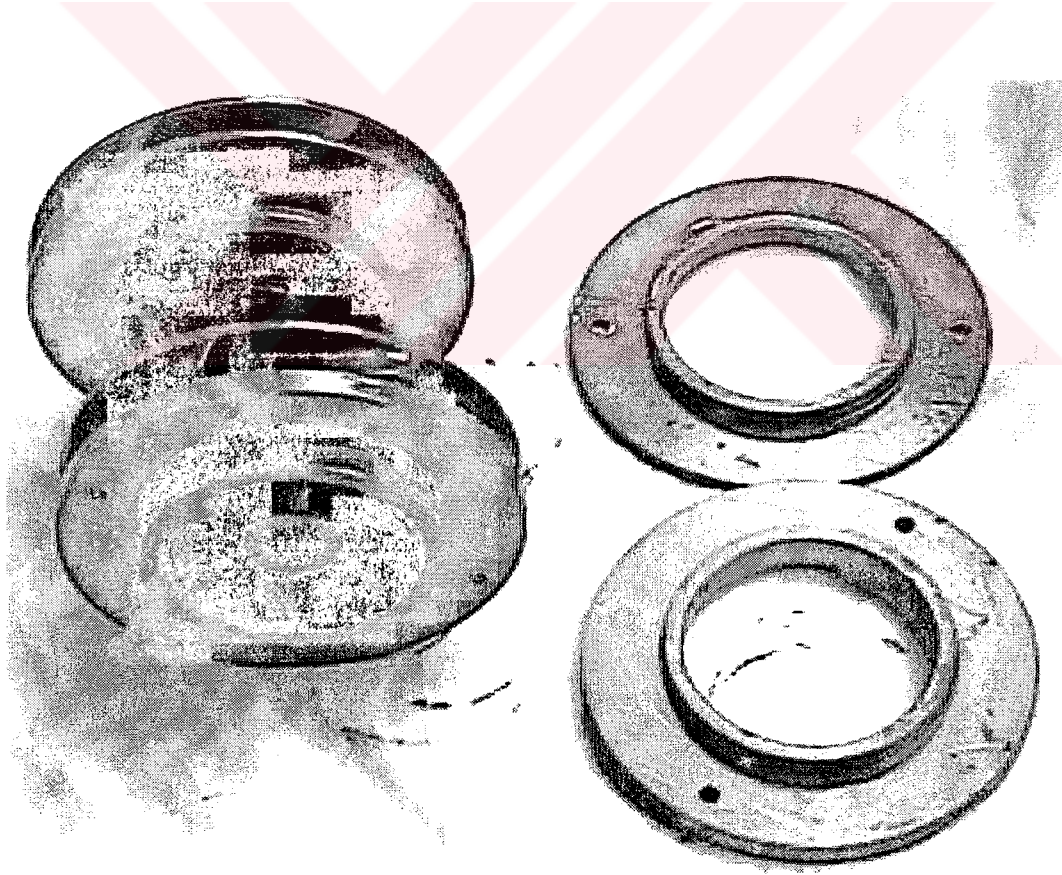


Şekil 5.11 Karışım tankındaki karıştırıcının görünümü





Şekil 5.12 Test edilen kapalı ve açık çark



Şekil 5.13 Test edilen kapalı ve açık çark ile karşılık diskleri

## 5.2. Ölçü Aletlerinin Kalibrasyonu

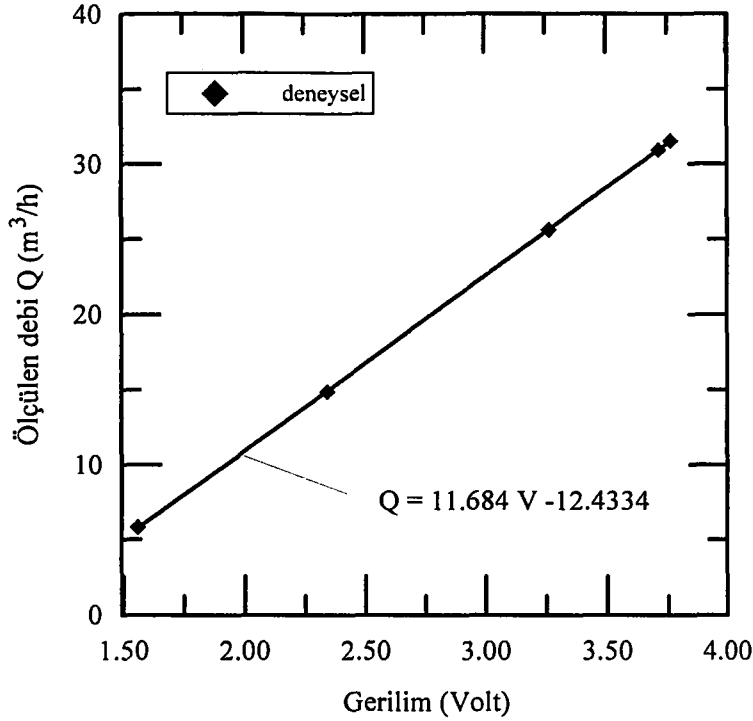
Bilindiği gibi ölçü aletlerinin imalatçılar tarafından yapılan kalibrasyonları zamanla veya kullanıma dayalı olarak bozulabilmektedir. Bu da ölçülecek olan fiziksel büyüklüğün hatalı ölçülmesi sonucunu doğurmaktadır. Bu yüzden belirli periyotlarla basınç ölçerlerin ve debi ölçerinin kalibrasyonu yapılmıştır.

### Sürücünün motora adaptasyonu

Sürücü maksimum 5.5 kW güce kadar her güçteki motora yol verebilecek özellikte olduğundan kendisine bağlanan motor(lar)a ait bilgilerin tanıtılması gerekir. Bunun için P081-P085 arasındaki 5 parametreye motorun bilgileri yazılır. Kullanılan motor için bu bilgiler; P081=50 Hz, P082=1497 d/d, P083=11.6 A, P084=380 V, P085=5.5 kW olarak verilmiştir.

### Debi-ölçerinin kalibrasyonu

Debi ölçerinin kalibrasyonu bilinen en basit yöntem olan, belirli bir sürede geçen akışkan miktarının geçen toplam zamana bölünmesi suretiyle yapılmıştır. Karışım tankına yerleştirilen (S) seviye göstergesi ile, hangi yükseklikteki akışkanın kütlelerinin ne olduğu, daha önce tanka kütlesi bilinen miktarlarda su konularak belirlenmiştir. Daha sonra sistem belirli bir pompa devrinde değişik vana açıklıklarında çalıştırılmıştır. Her bir vana açıklığında rejim sağlandıktan sonra tank dibindeki boşaltma vanası kapatılarak süre tutulmuş ve bu süre zarfında geçen debiye göre debi ölçerinin sağladığı analog sinyaller dijital bir Multimetre ile ölçülmüştür. Ardından tanka boşalan su aniden temiz su tankına yönlendirilerek süre durdurulmuştur. Böylece belirli bir vana açıklığındaki ortalama debi belirlenmiştir. Buna karşılık gelen sinyal değeri ile birlikte bu iki değer kalibrasyon deneyinin bir verisini oluşturmuş olur. Bu şekilde elde edilen kalibrasyon eğrisi ve ölçüm noktaları Şekil 5.14 de gösterilmiştir.



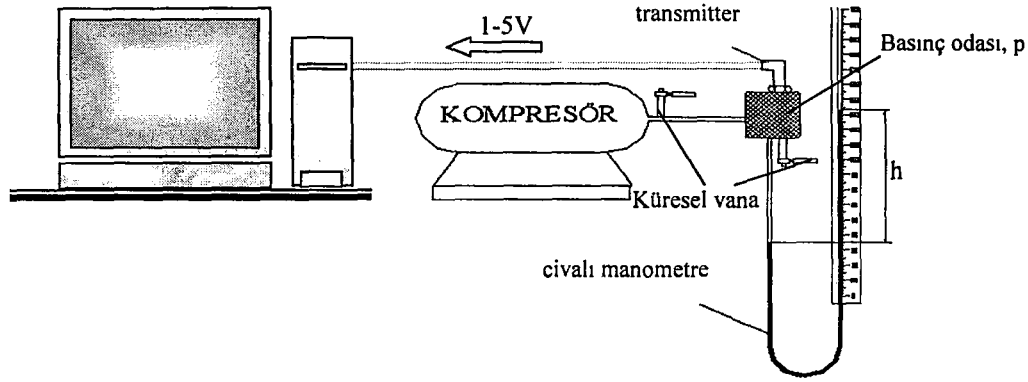
Şekil 5.14 Debi ölçerin kalibrasyon eğrisi

### Basınç ölçerlerin kalibrasyonu

Kalibrasyon deneylerinin önemli bir bölümünü basınç ölçerlerin kalibrasyonu oluşturmuştur. Basınç ölçerlerin belirli periyotlarla kalibre edilmeleri zorunludur. Çünkü çift faz akışına maruz kalan sensör ağızları son derece hassastır ve bu tür elektronik ölçüm yapan cihazların kalibrasyonu kısa sürede bozulabilmektedir. Bu işlem için Şekil 5.15 de görülen kalibrasyon birimi tasarlanmış ve imal edilmiştir. Kalibre edilecek basınç ölçer, basınç odasına bağlandıktan ve sızdırmazlık sağlandıktan sonra kompresör ile içerisine belirli bir basınçta hava gönderilir. Bu esnada civa seviyeleri arasında bir h sapması meydana gelir. Havanın hidrostatik basınç etkisi ihmal edilirse, basınç odasındaki basınç,

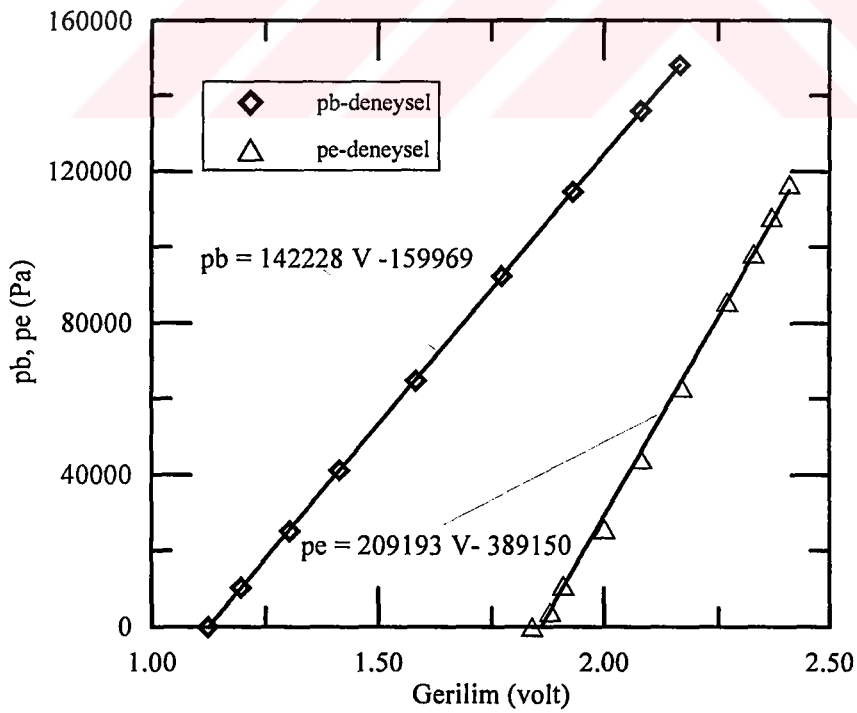
$$p = (\rho g)_{civa} h \quad (5.1)$$

ile hesaplanır. Böylece odadaki basınç belirlenmiş olur.



Şekil 5.15 Basınç ölçerler için kalibrasyon ünitesi

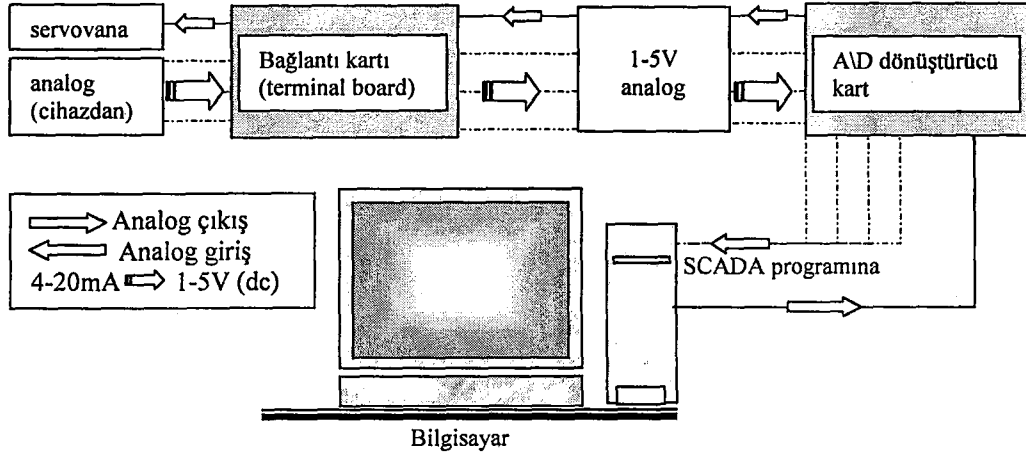
Diğer taraftan bu koşullar altında transmitterin sağladığı analog sinyal (V olarak) dijital multimetre yardımıyla veya SCADA programı üzerinden kaydedilir. Elde edilen  $p(\text{Pa})$ - $V(\text{volt})$  değerleri ve kalibrasyon eğrileri Şekil 5.16 da gösterilmiştir. Basınç odasında negatif basınç elde edilemediğinden emme transmitterinin -1-0 bar arasındaki kalibrasyonu ekstrapolasyon ile elde edilmiştir.



Şekil 5.16 Basma ve emme basınç transmitterinin kalibrasyon eğrileri

### 5.3. Veri Toplama ve Kontrol Sistemi

Veri toplama ve kontrol sistemi şematik olarak Şekil 5.17 de gösterilmiştir.



Şekil 5.17 Veri toplama ve kontrol sistemi

Şekil 5.17 den de görüldüğü gibi veri toplama ve kontrol sistemi 2 ana kısımdan oluşmaktadır. Bunlar veri toplama kartı (A/D dönüştürücü) ile SCADA programıdır.

#### Veri toplama kartı (A/D dönüştürücü)

Deneylerde ölçüm cihazlarından gelen 4-20mA değerindeki analog sinyaller öncelikle birincil kart olan bağlantı kartı (terminal wiring board) üzerinde toplanır ve burada  $250 \pm 1 \Omega$  luk paralel dirençler yardımıyla  $V=I \cdot R$  bağıntısına göre 1-5 V (dc) gerilime dönüştürülür. Kullanılan SCADA programı sadece gerilim olarak değerlendirme yaptığından bu dönüşüm yapılmak durumundadır. Bununla beraber ölçüm sonuçlarını doğrudan gerilim cinsinden veren cihazlar da vardır.

İkincil olarak kullanılan ve bilgisayarın içerisine monte edilen (internal) Analog\Dijital dönüştürücü kart Advantech marka PCL-818HG yüksek kazanımlı (high gain) bir karttır. Kart 16 adet tek uç (single ended) veya 8 adet farksal (differential) analog giriş ile 1 adet analog çıkış özelliğine sahiptir. Deneylerde

farksal bağlantı daha hassas ölçüm sağladığından tercih edilmiştir. Benzer şekilde bağlantı kartı da aynı marka olup PCLD-8115 modelidir.

Ölçüm cihazlarından gelen çok düşük seviyelerdeki (4-20mA) akımlar çevreden ve çalışan cihazlardan yüksek oranda etkilenebilmektedir. Bunun en önemli nedeni sürücünün yaydığı elektromanyetik dalgalardır. Bu dalgaların etkilerini minimize etmek için pompa motorunun güç kablosu dahil olmak üzere tüm kablo tesisatı ekranlı kablodan çekilmiştir. Bu sayede sinyallerde oluşan pik noktaları büyük oranda giderilmiştir. Ayrıca sürücünün P077=8.0 parametre ayarı yapılarak motor gürültüsü mümkün olduğu kadar filtrelenmiştir.

Kart üzerine sürücüden bir, basınç ölçerlerden iki, debi ölçerden bir olmak üzere toplam dört analog giriş farksal olarak bağlanmıştır. Bunlardan başka bilgisayar üzerinden servomotorlu vanaya 1-5V luk analog çıkış yapılarak debi ayarı sağlanmıştır.



## SCADA programı

Deneylet sırasında ölçüm cihazlarından gelen sinyallerin fiziksel büyüklüklere dönüşümü ve bunlar arasında çeşitli matematiksel işlemlerin yapılması için bir yazılıma ihtiyaç vardır. Bu tür sistemlerde kullanılan programlar genel olarak SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) yazılımı olarak bilinirler.

Kullanılan SCADA yazılımı PC-Lab ürünü GENIE 3.02 versiyonudur. Bu yazılım 3 ana kısımdan oluşur.

- Görev tasarımcısı (Task Designer)

Bu kısım temel bilgisayar dilleri bazında bir veri akışı programlama modeli kullanır. Halen kullanılmakta olan bilgisayar dillerinin ayrıntılarında kaybolmadan kullanıcının problemine uygun blok diyagramını oluşturmasına yarar. Tüm veri alma işlemleri bu tasarımcıda yapılandırılır. Görev tasarımcısı kullanıcının proses kontrol ve/veya veri toplama stratejisini basitçe oluşturabilmesi için ikon bloklarından oluşan bir araç çubuğu kullanmaktadır. Her bir ikon, problemi çözmek için kullanılan belirli bir fonksiyonu temsil eder.

- Görüntü tasarımcısı (Display Designer)

Operatör görüntü paneli oluşturmada kullanılan ve prosesin temsili görüntüsünü oluşturan kısımdır. Bu kısım ile görev tasarımcısı arasında çalışma esnasında sürekli olarak dinamik veri transferi gerçekleşerek, görüntü üzerinde kullanıcıya bilgi aktarılır. Bu sayede, örneğin belirli bir sınır değeri aşan sıcaklık durumunda görüntü tasarımcısında alarm vermesi gibi fonksiyonlar yerine getirilmektedir. Burada, test ekipmanı veya endüstriyel proses görüntüleri oluşturulabilmekte ayrıca başka bir editörde tasarlanmış olan şemalar buraya aktarılabilmektedir. Böylece süreci görüntülemenin yanı sıra çalışma esnasında kontrol etme imkanı da sağlanmış olur.



- Rapor tasarımcısı (Report Designer)

Rapor tasarımcısı, rapor içeriklerinin tanımlanabildiği ve kullanıcı tarafından konfigürasyonu değiştirilebilen bir ortam sağlar. Bu sayede veri kanallarından aktarılan bilgileri daha önceden belirlenen bir zaman aralığında kullanıcının istediği formatta elde etme imkanı sağlanmış olur.

#### 5.4. Kullanılan Katı Maddeler

Katı-su karışımı elde etmek üzere 6 değişik özellikte katı madde kullanılmıştır. Bunlar Tablo 5.2 de gösterilmiştir.

Tablo 5.2 Deneylerde kullanılan katı maddeler

Katı Madde	S <sub>s</sub> (-)
Sahil kumu	2.65
Döküm Kumu	2.10
Kömür tozu	1.35
Perlit1	2.34
Perlit2	2.34
Perlit3	2.34

Perlit türlerinin yalnızca boyut dağılımları farklıdır. Örneğin perlit1 için maksimum tanecik boyutu yaklaşık 1.5 mm olduğu halde perlit3 için bu değer 2.4 mm dir.

#### Tanecik boyut dağılımının belirlenmesi

Her bir katı madde gurubunun boyut dağılımını belirlemek için elek analizi yöntemi kullanılmıştır. Kullanılan ASTM elek standart ölçüleri sırasıyla 3.350 mm, 2.360 mm, 2.000 mm, 1.400 mm, 0.850 mm, 0.630 mm, 0.500 mm, 0.315 mm, 0.250 mm, 0.100 mm ve 0.038 mm dir.

Elek analizi için her bir katı madde gurubundan elenmek üzere belirli miktarlarda 3 er örnek alınarak, standart eleme sarsağının en üstündeki eleğe konulan katı madde numunesi 30 dakika süreyle elenmiştir. Eleme işleminden sonra en küçük elek

bakiyesinden en büyük elek bakiyesine kadar tüm elek bakiyeleri % 0.01 hassasiyete sahip elektronik hassas terazide tartılmıştır. Böylece her bir elek grubundaki tanecik miktarları belirlenmiş oldu. Elde edilen sonuçlar Tablo 5.3-5.8 de verilmiştir.

Tablo 5.3 Sahil kumu elek analizi sonuçları

<b>Sahil kumu</b>				
Elek açıklığı (mm)	Elek üzeri (g)	% Elek üzeri	Elek altı (g)	% Kümülatif (ağırlıkça)
2.360			323.119	100.000
2.000	0.738	0.228	322.381	99.771
1.400	8.203	2.538	314.178	97.232
0.850	31.108	9.627	283.07	87.605
0.630	43.784	13.55	239.286	74.055
0.500	43.345	13.414	195.941	60.64
0.315	104.345	32.293	91.596	28.347
0.250	24.449	7.566	67.147	20.78
0.100	55.574	17.199	11.573	3.581
0.038	11.573	3.581		
<b>Toplam (g)</b>	<b>323.119</b>			

Tablo 5.4 Döküm kumu elek analizi sonuçları

<b>Döküm kumu</b>				
Elek açıklığı (mm)	Elek üzeri (g)	% Elek üzeri	Elek altı (g)	% Kümülatif (ağırlıkça)
2.000			401.776	100.000
1.400	0.253	0.063	401.523	99.937
0.850	4.553	1.133	396.97	98.803
0.630	25.142	6.257	371.828	92.546
0.500	60.415	15.036	311.413	77.509
0.315	218.815	54.461	92.598	23.047
0.250	53.296	13.265	39.302	9.782
0.100	38.557	9.596	0.745	0.185
0.038	0.745	0.185		
<b>Toplam (g)</b>	<b>401.776</b>			

Tablo 5.5 Kömür tozu elek analizi sonuçları

<b>Kömür tozu</b>				
Elek açıklığı (mm)	Elek üzeri (g)	% Elek üzeri	Elek altı (g)	% Kümülatif (ağırlıkça)
3.350			398.903	100.000
2.360	17.939	5.497	380.964	95.502
2.000	19.461	4.878	361.503	90.624
1.400	45.641	11.441	315.862	79.182
0.850	73.029	18.307	242.833	60.875
0.630	47.882	12.003	194.951	48.871
0.500	32.705	8.198	162.246	40.673
0.315	55.485	13.909	106.761	26.763
0.250	15.845	3.972	90.916	22.791
0.100	57.346	14.375	33.57	8.415
0.038	33.57	8.415		
<b>Toplam (g)</b>	<b>398.903</b>			

Tablo 5.6 Perlit1 elek analiz sonuçları

<b>Perlit1</b>				
Elek açıklığı (mm)	Elek üzeri (g)	% Elek üzeri	Elek altı (g)	% Kümülatif (ağırlıkça)
2.000			397.085	100.000
1.400	0.613	0.154	396.472	99.845
0.850	0.831	0.209	395.641	99.636
0.630	1.043	0.262	394.598	99.373
0.500	18.755	4.723	375.843	94.650
0.315	142.055	35.774	233.788	58.876
0.250	47.739	12.022	186.049	46.853
0.100	139.642	35.166	46.407	11.686
0.038	46.407	11.686		
<b>Toplam (g)</b>	<b>397.085</b>			

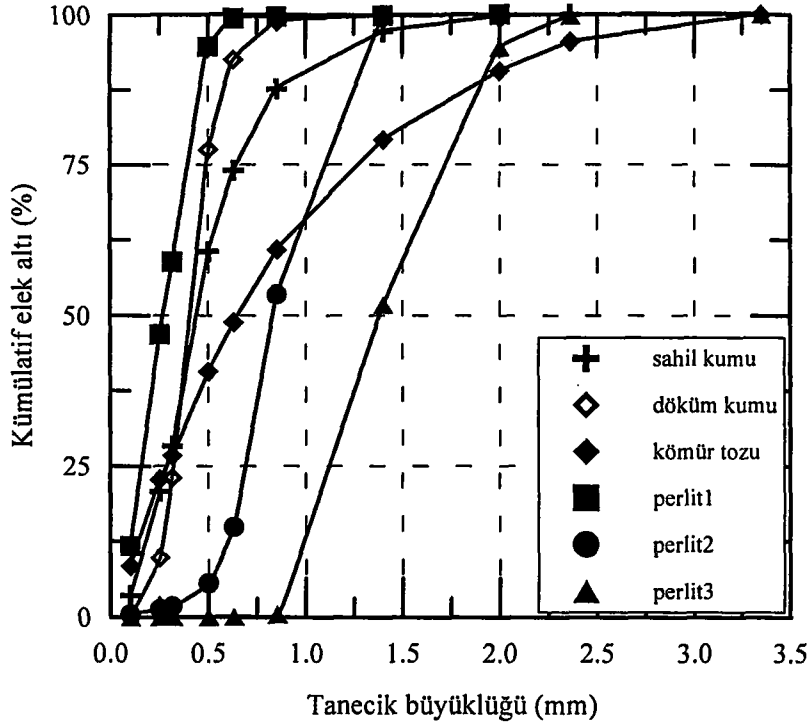
Tablo 5.7 Perlit2 elek analizi sonuçları

<b>Perlit2</b>				
Elek açıklığı (mm)	Elek üzeri (g)	% Elek üzeri	Elek altı (g)	% Kümülatif (ağırlıkça)
1.400			390.445	100.000
0.850	181.563	46.501	208.882	53.498
0.630	150.822	38.628	58.060	14.87
0.500	36.050	9.233	22.010	5.637
0.315	15.142	3.878	6.868	1.759
0.250	1.457	0.373	5.411	1.385
0.100	3.866	0.990	1.545	0.395
0.038	1.545	0.395		
<b>Toplam (g)</b>	<b>390.445</b>			

Tablo 5.8 Perlit3 elek analizi sonuçları

<b>Perlit3</b>				
Elek açıklığı (mm)	Elek üzeri (g)	% Elek üzeri	Elek altı (g)	% Kümülatif (ağırlıkça)
3.350			398.757	100
2.360	0.833	0.208	397.924	99.791
2.000	21.025	5.272	376.899	94.518
1.400	170.424	42.738	206.475	51.779
0.850	204.583	51.305	1.892	0.474
0.630	1.392	0.349	0.5	0.125
0.500	0.185	0.0463	0.315	0.078
0.315	0.103	0.025	0.212	0.0531
0.250	0.023	0.0057	0.189	0.047
0.100	0.07	0.0175	0.119	0.029
0.038	0.119	0.0298		
<b>Toplam (g)</b>	<b>398.757</b>			

Tablo 5.3-5.8 de elde edilen değerlere göre, kullanılan katı maddelerin kümülatif boyut dağılımı Şekil 5.18 de görülmektedir.



Şekil 5.18 Kullanılan katı maddelerin tanecik büyüklük dağılımları

### Tanecik ortalama çapının belirlenmesi

Karışım pompalayan bir pompanın performansı üzerinde katı madde tanecik boyutunun önemli bir etkisi vardır. Eğer pompalanan katı madde geniş bir boyut dağılımına sahipse, diğer bir ifadeyle içerisinde çok farklı boyutta tanecik bulunduruyorsa, bu durumda sistem için tek bir karakteristik boyut tanımlaması yapılmalıdır. Bununla ilgili olarak literatüre geçen iki tür tanımlama mevcuttur, Gahlot [28], Kazim [38]. Bunlar  $d_w$  ve  $d_{50}$  ile gösterilir.  $d_w$ , ağırlıklı ortalama tanecik çapıdır ve,

$$d_w = \sum_{i=1}^n P_i d_i \quad (5.2)$$

eşitliği ile hesaplanır. Burada,

$n$  toplam numunenin bölüdüğü elek sayısı,

$P_i$   $i$ . boyut gurubuna düşen ağırlıkça tanecik miktarı,

$d_i$  ardışık iki elek açıklıklarının ortalaması olarak verilmiştir.

$d_{50}$  ile ifade edilen kütle ortalama çapı olup numunenin ağırlıkça % 50 sinin geçebildiği elek açıklığıdır. Eğer tanecik boyut dağılımı dar bir aralıkta kalıyorsa bu iki boyut değeri de ortalama çap olarak kullanılabilir. Çünkü bu halde  $d_w=d_{50}$  alınabilir. Bunun yanında, geniş boyut dağılımı söz konusu ise ortalama çap konusunda daha titiz davranılmalıdır. Yapılan araştırmalar geniş boyut dağılımına sahip katı madde örneklerinin  $d_{50}$  değerlerinin aynı olması durumunda bile performans üzerindeki etkilerin oldukça farklı olduğunu, diğer taraftan  $d_w$  değerleri eşit iki katı örneğinin performans üzerinde yaklaşık olarak aynı etkiyi yaptığını göstermiştir, Kazim [38]. Buna göre katı taneciklerin ağırlıklı ortalama çap ile temsil edilmesinin  $d_{50}$  tercihine göre daha tutarlı olduğu söylenebilir. Geniş boyut dağılımlı bir örnekte  $d_{50}$  nin kitleyi tam temsil edememesi, kitlenin sadece iki guruba ayrılması (% 50 nin altındakiler ve üzerindeki) gibi kaba bir yaklaşımın bulunması ile açıklanabilir. Buna ek olarak, ayrılan iki gurubun içerisindeki boyut dağılımı hiç dikkate alınmamaktadır. Bu çalışmada tanecik boyut dağılımının etkileri söz konusu olduğunda ağırlıklı ortalama çap değerleri ( $d_w$ ) kullanılacaktır.

Şekil 5.18 den elde edilen  $d_{50}$  değerleri ile (5.2) eşitliğine göre hesaplanan  $d_w$  değerleri Tablo 5.9 da verilmiştir.

Tablo 5.9 Katı maddelerin ortalama çap karşılaştırması

Katı madde cinsi	$d_w$ [mm]	$d_{50}$ [mm]
Sahil kumu	0.440	0.413
Döküm kumu	0.400	0.400
Kömür tozu	0.707	0.650
Perlit1	0.211	0.270
Perlit2	0.700	0.830
Perlit3	1.147	1.390

### 5.5. Deney Programı

Deneylere başlamadan önce, deneylerde kullanılacak olan katı maddelerin pompa performansı üzerinde etkisi bulunan özellikleri (eğer bilinmiyorsa) belirlenir. Testler öncelikle sadece suyla yapılır. Bu durumda test edilen çark gövdeye belirli bir aralık açıklığı sağlayacak şekilde monte edilmiştir. Pompa devreye alınır ve istenen devir sayısı sürücü üzerinden ayarlanır. Buradaki testler 1100, 1250, 1400 d/d devir sayılarında yapılmıştır. Debi ayar vanası kullanılarak kısma eğrisini oluşturmak için kullanılacak olan ölçümler alınmaya başlanır. Her bir ölçüm noktasında, pompa giriş ve çıkışındaki basınçlar, debi değeri ve motor momenti SCADA üzerinden kaydedilir. Belirli bir noktadaki veri alma sıklığı program üzerinden ayarlanabilmektedir. Bu şekilde her bir noktanın değerleri kaydedilir. Diğer devir sayılarında da benzer işlemler yapılarak belirli bir aralık açıklığındaki performans değerleri pompa devir sayısına göre elde edilmiş olur. Bu işlemler bittikten sonra karışım tankında bulunan belirli miktardaki suya yine belirli bir miktar katı madde eklenir. Bu işlem sırasında karıştırıcı devrede olup katı maddenin suya eklenmesi yavaş yavaş olmalıdır. Yükleme işlemi tamamlandıktan sonra 10-15 dakika kadar sistem çalıştırılır ve herhangi bir ölçüm alınmaz. Daha sonra temiz suda yapıldığı gibi 3 ayrı pompa devrinde performans değerleri kaydedilir. Daha sonra diğer bir konsantrasyon değerine ulaşmak için suya tekrar belirli miktarda katı madde ilave edilir ve testler yine 3 pompa devrinde tekrarlanır. Bu işleme, çıkılacak konsantrasyona ulaşınca kadar devam edilir. Bunun sonucunda belirli bir aralık açıklığında, farklı konsantrasyonlarda 3 ayrı pompa devrinde performans karakteristikleri için veriler elde edilmiş olur. Testler esnasında karışım bağıl yoğunluğunu belirlemek üzere numune alma borusundan, bir konsantrasyon için 4 numune alınır ve bunların ortalama kütleleri ile ortalama hacimleri hesaplanır. Elde edilen bu bilgilerden yararlanarak test esnasındaki konsantrasyon belirlenir. Çünkü karışım tankına konulan su ve katı miktarlarına göre hesaplanan konsantrasyon değeri ile borular içerisindeki konsantrasyon farklı olabilmektedir.

Yukarıdaki işlemler bittikten sonra sistem temizleme tankı vasıtasıyla temizlenerek tamamen boşaltılır. Bundan sonra temiz su testi tekrarlanır ve testlerde kullanılacak olan diğer bir katı maddeye geçilir. Seçilen aralık açıklığı için tüm katı maddelerle ve



suyla yapılan testler tamamlandıktan ve sistem temizlendikten sonra pompa gövdesi sökülerek ikinci bir aralık açıklığını oluşturacak olan diğer bir karşılık diski monte edilir. Elde edilen ikinci aralık açıklığı için yukarıda anlatılan testlerin tamamı yine aynı devir sayılarında tekrarlanır.

Testlerde aralık açıklığı 1.25 mm, 5.5 mm ve 8 mm olarak elde edilmiştir. Aralık açıklığının sıfıra çok yakın olduğu noktalardaki performans özellikleri Pfeiderer yöntemine göre ekstrapolasyon ile bulunur. Bir kıyaslama yapmak üzere testlerde ayrıca açık çarkın açılmamış hali olan kapalı modeli de test edilmiştir.



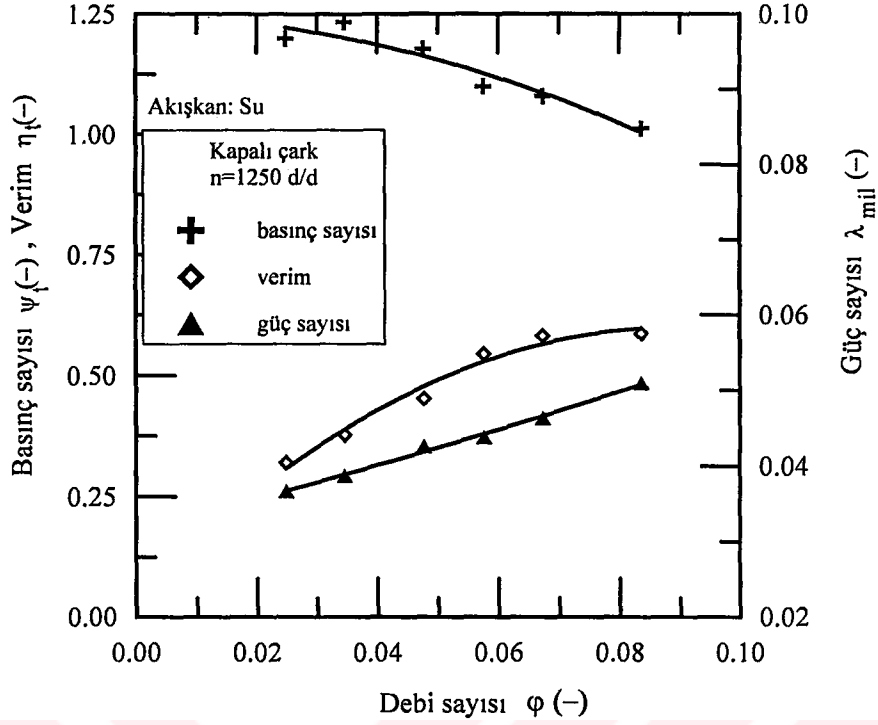
## **BÖLÜM 6. DENEYSEL SONUÇLAR**

### **6.1. Kapalı Radyal Çark İle Yapılan Deneyler**

Kapalı radyal çark ile temiz suyun yanında döküm kumu, perlit1 ve perlit3 katı maddeleriyle oluşturulan karışımlar kullanılarak performans testleri yapılmıştır. Deneyler her ne kadar 1250 ve 1400 d/d olmak üzere iki ayrı devir sayısında yapılmış olmakla birlikte, burada ağırlıklı olarak 1250 d/d için elde edilen sonuçlar verilmiştir. Çünkü ileride görüleceği gibi temiz su için geçerli olan akım makinalarının temel benzerlik yasaları karışımlar için de geçerlidir.

#### **6.1.1. Temiz su pompalanması**

Herhangi bir katı madde ile test yapmadan önce ve yaptıktan sonra pompanın belirlenen işletme şartları için temiz su deneyleri yapılmıştır. Elde edilen deneysel veriler kullanılarak pompanın belirli bir devir sayısına göre çalışma özellikleri elde edilmiştir. Temiz su deneyleri ile elde edilen sonuçlar Bölüm 4 de tanımı yapılan yük ve verim sayılarının hesabında kullanılmıştır. Kapalı çarkın  $n=1250$  d/d için çizilen tanım eğrileri Şekil 6.1 de görülmektedir.



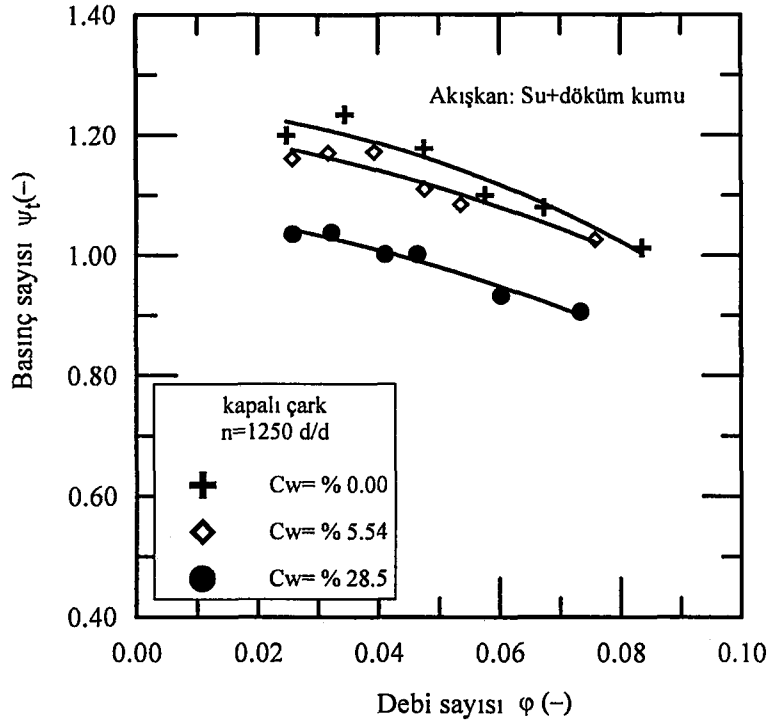
Şekil 6.1 Kapalı çarkın temiz su için elde edilen tanım eğrileri,  $n=1250$  d/d

### 6.1.2. Karışım pompalanması

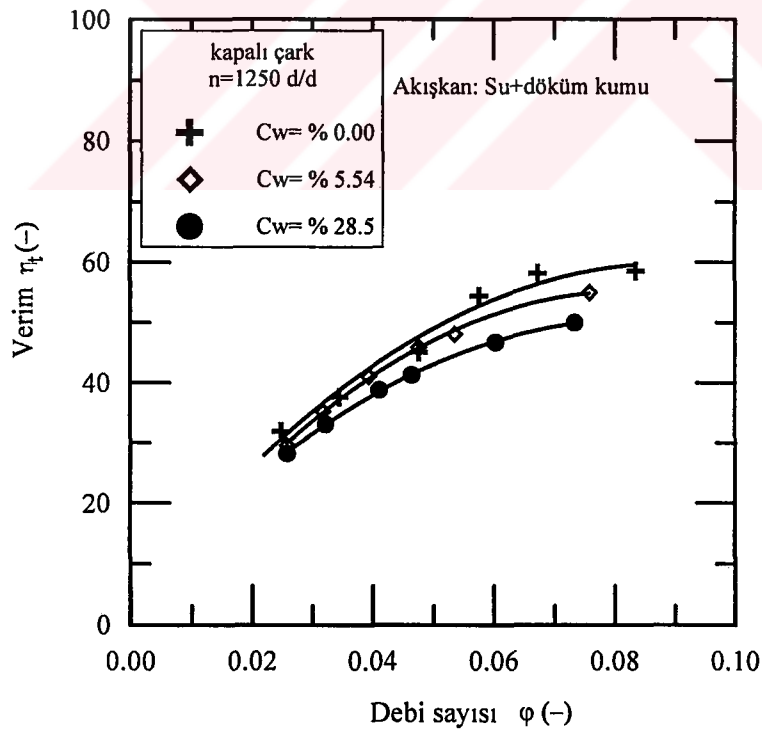
Sadece su ile deneyler yapıldıktan sonra deneylerde kullanılmak üzere seçilen her bir katı madde ile karışım deneyleri yapılmıştır. Kapalı çark ile yapılan karışım testlerinde sadece döküm kumu, perlit1 ve perlit3 mineralleri kullanılmıştır.

#### 6.1.2.1. Döküm kumu-su karışımı deneyleri

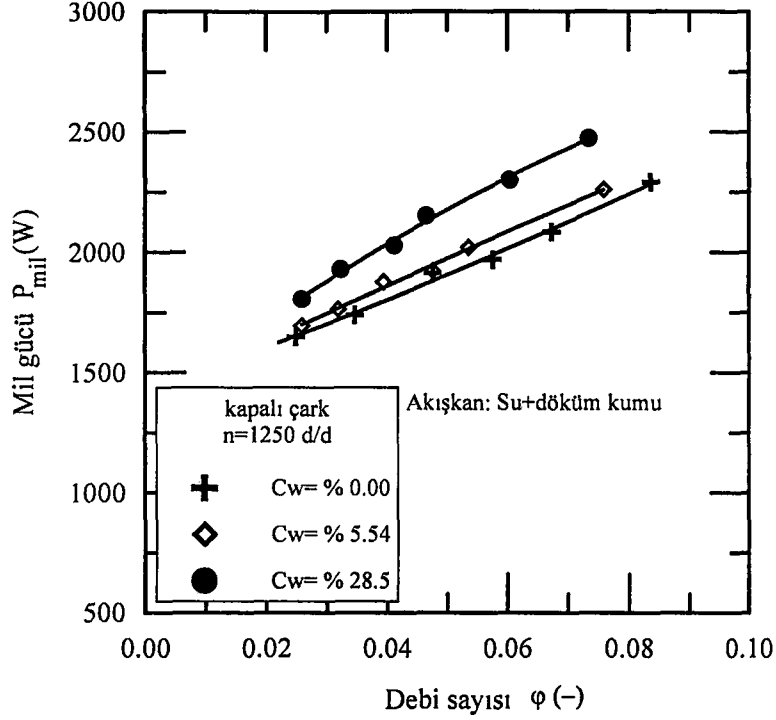
Döküm kumu ile yapılan karışım deneylerinde  $C_w = \% 5.54$  ve  $\% 28.5$  olmak üzere iki kütleli konsantrasyon elde edilmiştir. Elde edilen tanım eğrileri Şekil 6.2a-c de verilmiştir. Şekillerde karışımın özel bir durumunu gösteren sıfır konsantrasyon  $C_w = \% 0$  (temiz su) hali, artan konsantrasyonun pompa performansı üzerindeki etkisini belirtmek için ayrıca çizilmiştir. Şekil 6.2a-c incelendiğinde; artan konsantrasyona paralel olarak basınç sayısı ve verimde azalma, buna karşılık mil giriş gücünde artış meydana geldiği anlaşılmaktadır.



Şekil 6.2a Döküm kumu için farklı konsantrasyonlarda  $\psi_i$ - $\phi$  tanım eğrileri, kapalı çark, n=1250 d/d



Şekil 6.2b Döküm kumu için farklı konsantrasyonlarda  $\eta_t$ - $\phi$  tanım eğrileri, kapalı çark, n=1250 d/d



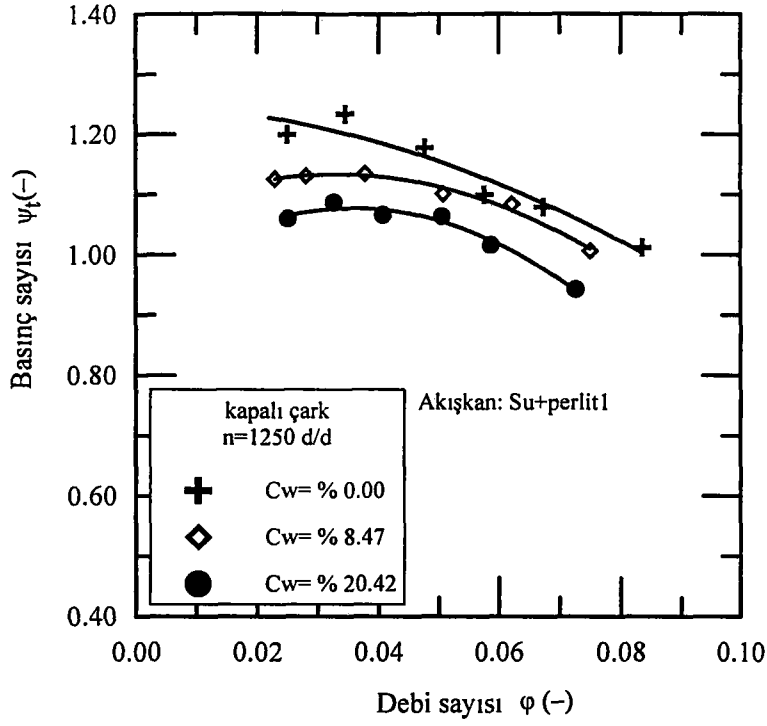
Şekil 6.2c Döküm kumu için farklı konsantrasyonlarda  $P_{mil}$ - $\phi$  tanım eğrileri, kapalı çark,  $n=1250$  d/d

### 6.1.2.2. Perlit1-su karışımı deneyleri

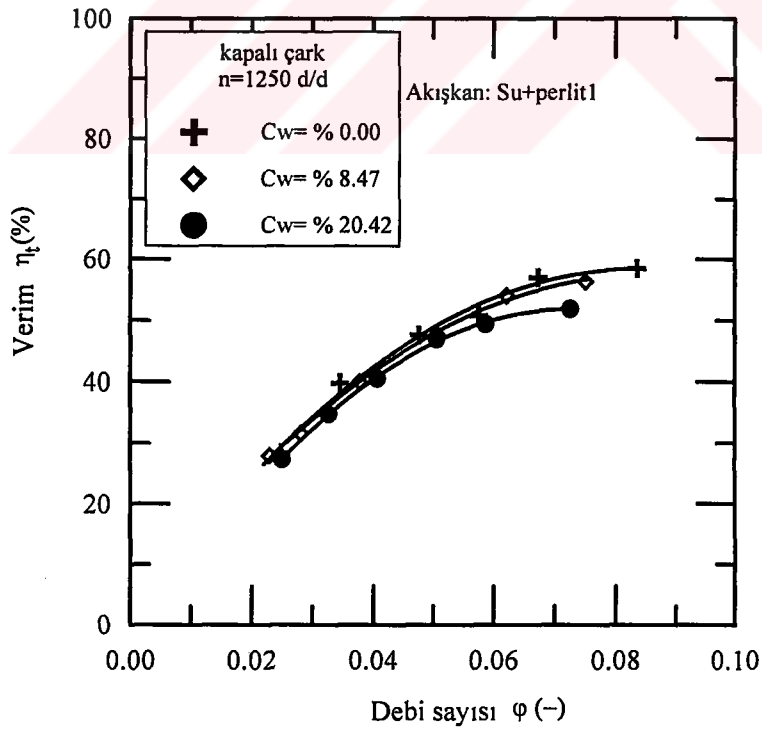
Kapalı çarkın perlit1-su karışımı deneylerinde % 8.47 ve % 20.42 olmak üzere iki konsantrasyon elde edilmiştir. Döküm kumu karışımında olduğu gibi burada da genel eğilimi ve konsantrasyonun etkisini belirlemek üzere temiz suya ait olan % 0 lık konsantrasyon ayrıca gösterilmiştir. Elde edilen tanım eğrileri Şekil 6.3a, b de verilmiştir.

### 6.1.2.3. Perlit3-su karışımı deneyleri

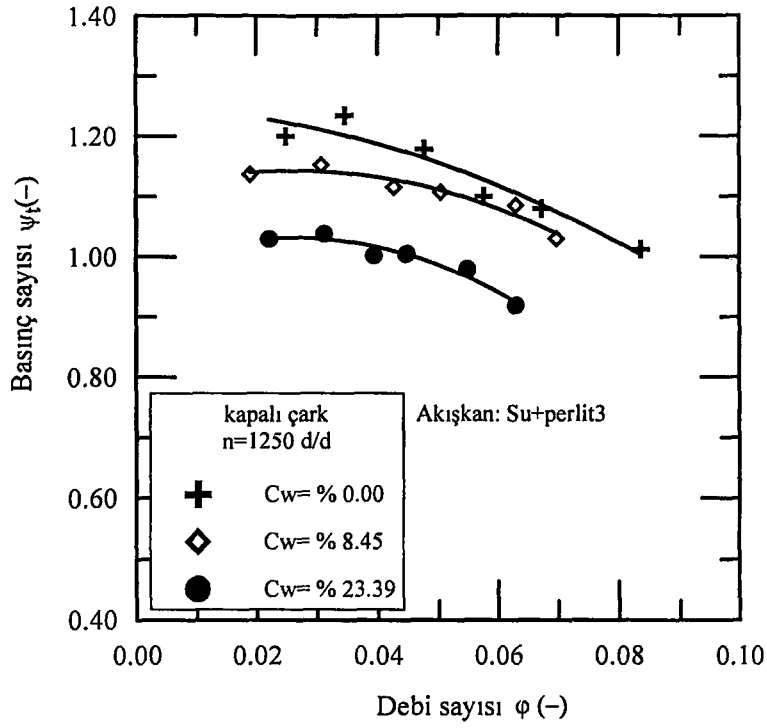
Kapalı çarkın perlit3-su karışımı deneylerinde % 8.45 ve % 23.39 olmak üzere iki konsantrasyon elde edilmiştir. Döküm kumu ve perlit1 karışımlarında olduğu gibi, burada da genel eğilimi ve konsantrasyonun etkisini belirlemek üzere temiz suya ait olan % 0 lık konsantrasyon ayrıca gösterilmiştir. Elde edilen tanım eğrileri Şekil 6.3c, d de verilmiştir.



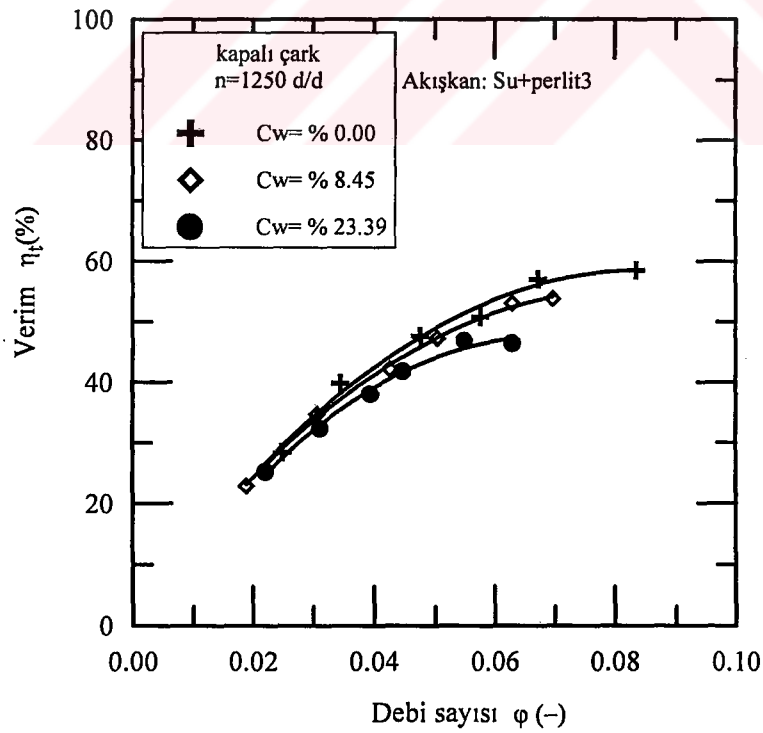
Şekil 6.3a Perlitli için farklı konsantrasyonlarda  $\psi_t$ - $\phi$  tanım eğrileri, kapalı çark,  $n=1250$  d/d



Şekil 6.3b Perlitli için farklı konsantrasyonlarda  $\eta_t$ - $\phi$  tanım eğrileri, kapalı çark,  $n=1250$  d/d



Şekil 6.3c Perlit3 için farklı konsantrasyonlarda  $\psi_f$ - $\phi$  tanım eğrileri, kapalı çark, n=1250 d/d



Şekil 6.3d Perlit3 için farklı konsantrasyonlarda  $\eta_f$ - $\phi$  tanım eğrileri, kapalı çark, n=1250 d/d

## 6.2. Açık Radyal Çark İle Yapılan Deneyler

Açık radyal çark ile temiz suyun yanında sahil kumu, kömür tozu, döküm kumu, perlit1, perlit2 ve perlit3 mineralleriyle oluşturulan karışımlar kullanılarak performans testleri yapılmıştır.

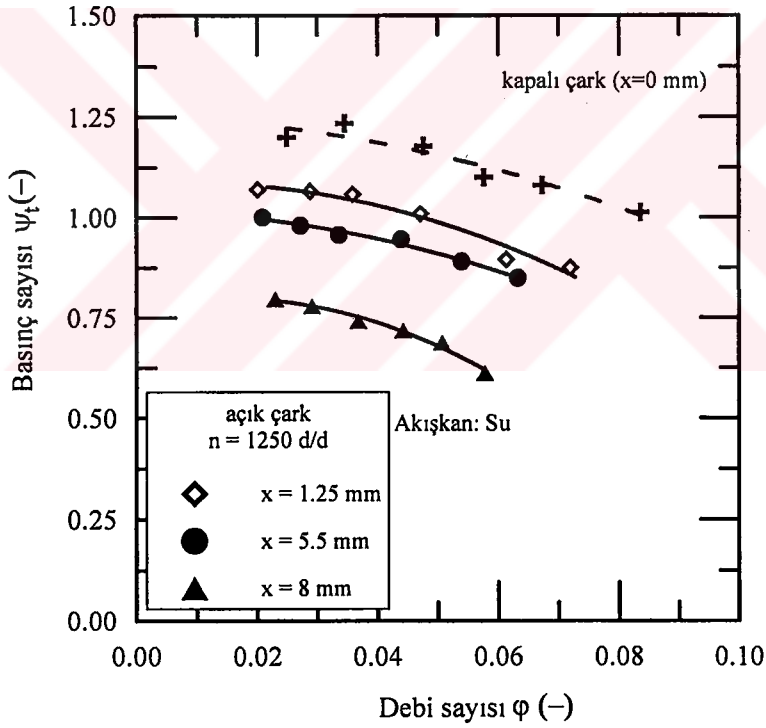
### 6.2.1. Temiz su pompalanması

Açık çark kullanımı durumunda aralık mesafesi 1.25 mm'den 8.0 mm'ye kadar değiştirilerek pompa performansının aralık açıklığı ile, diğer bir ifadeyle aralık kayıpları ile ilişkisi incelenmiştir. Performans testleri 1100, 1250 ve 1400 d/d pompa devir sayılarında yapılmıştır. Elde edilen pompa tanım eğrileri Şekil 6.4a-e de gösterilmiştir. Söz konusu şekiller incelendiğinde, kapalı çarkın aynı debi ve devir sayısında daha yüksek basma yüksekliği sağladığı söylenebilir (Şekil 6.4a). Bununla beraber mil gücü eğrilerinden de (Şekil 6.4d, e) görüldüğü gibi verilen şartlar için pompa milinden çekilen güç fazladır. Dolayısıyla verim bakımından değerlendirme yapıldığında, açık çarkın veriminin sadece su pompalanması durumunda  $x=5.5$  mm civarına kadar aralık mesafesi ile orantılı olarak arttığı görülmektedir (Şekil 6.4b, c). Ancak bu aralık açıklığından sonra, özellikle  $x=8$  mm durumunda, verim aniden kapalı çark veriminin de altına düşmektedir. Bu durum,  $x=5.5$  mm'ye kadar aralık kayıplarındaki artış hızının disk sürtünme kaybındaki azalma hızından daha düşük kaldığı, bu mesafeden sonra disk sürtünme kayıplarının hemen hemen sabit kaldığı ve genişleyen aralık mesafesinden ötürü aralık kayıplarında ani bir artış meydana geldiği düşüncesiyle açıklanabilir.

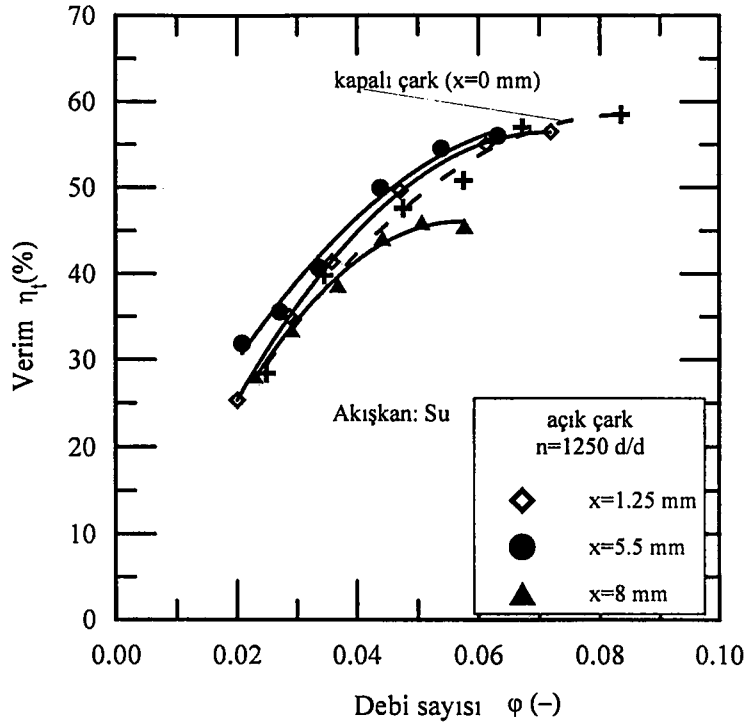
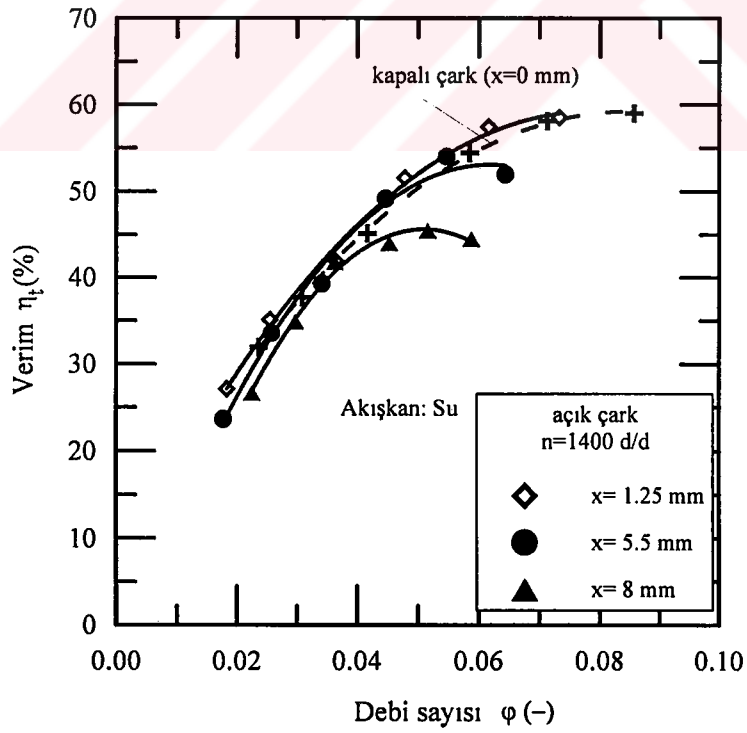
Deneylerden elde edilen sonuçlara göre, pompa performansının aralık açıklığına karşı gösterdiği bağımlılık genellikle beklenen şekilde olmakla birlikte, burada elde edildiği gibi, belirli bir pompa sisteminde optimum bir aralık mesafesinin varlığı konusunda araştırmacılar bir fikir birliği sağlayamamışlardır. Genellikle aralık açıklığının artmasına paralel olarak performans kaybı meydana geldiği görüşü benimsenmiştir, Engeda [6,7].

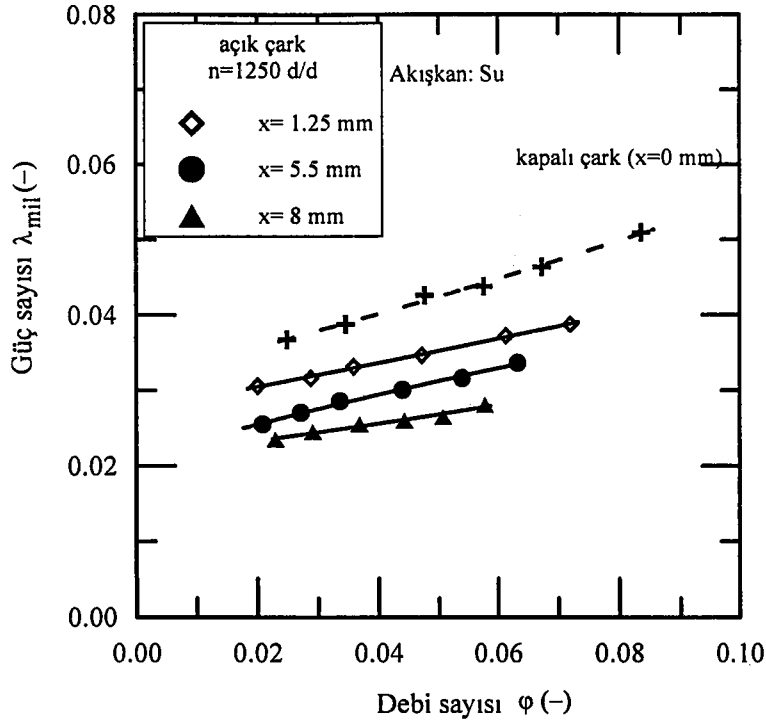


Diğer taraftan devir sayısının pompa performansı üzerindeki etkisini göstermek üzere Şekil 6.4f de verim karakteristiğinin çeşitli devir sayılarında debiye göre değişimi verilmiştir. Bununla birlikte devir sayısının pompa performansı üzerindeki etkileri tek faz (su) durumu için benzerlik kanunlarından belirlidir. Cave [31] ve Stepanoff [37], tek faz (sıvı ya da gaz) pompalanmasında geçerli olan benzerlik yasalarının karışımlar için de geçerli olduğunu bildirmişlerdir. Dolayısıyla ileride verilecek olan karışımlara ait tanım eğrileri de bu benzerlik yasalarına göre değerlendirilecektir. Boyutsuz debi sayısına göre çizilmiş performans karakteristikleri bu kanunlara göre üst üste çakışacaktır. Bu durum 3 farklı devir sayısı için çizilen Şekil 6.4f den de görülmektedir.

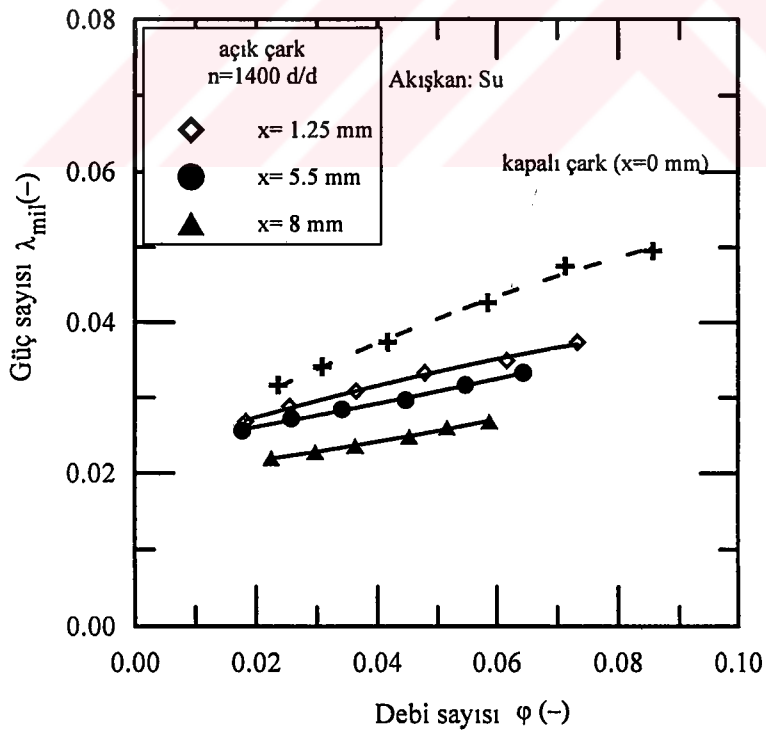


Şekil 6.4a Açık çarkın  $\psi_t$ - $\phi$  tanım eğrileri,  $n=1250$  d/d

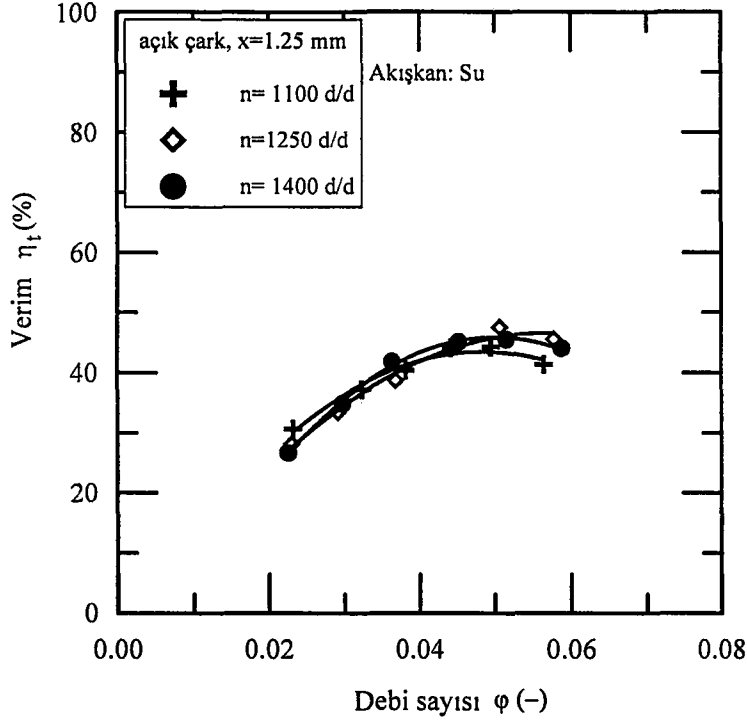
Şekil 6.4b Açık çarkın  $\eta_t$ - $\phi$  tanım eğrileri,  $n=1250$  d/dŞekil 6.4c Açık çarkın  $\eta_t$ - $\phi$  tanım eğrileri,  $n=1400$  d/d



Şekil 6.4d Açık çarkın  $\lambda_{mil}$ - $\phi$  tanım eğrileri,  $n=1250$  d/d



Şekil 6.4e Açık çarkın  $\lambda_{mil}$ - $\phi$  tanım eğrileri,  $n=1400$  d/d



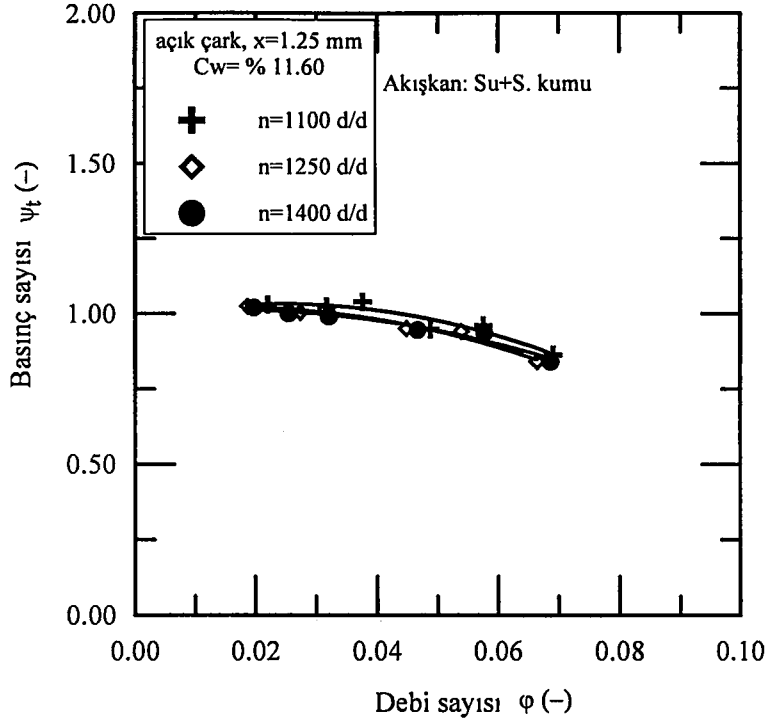
Şekil 6.4f Devir sayısının verim üzerindeki etkisi, açık çark,  $x=1.25$  mm.

## 6.2.2. Karışım pompalanması

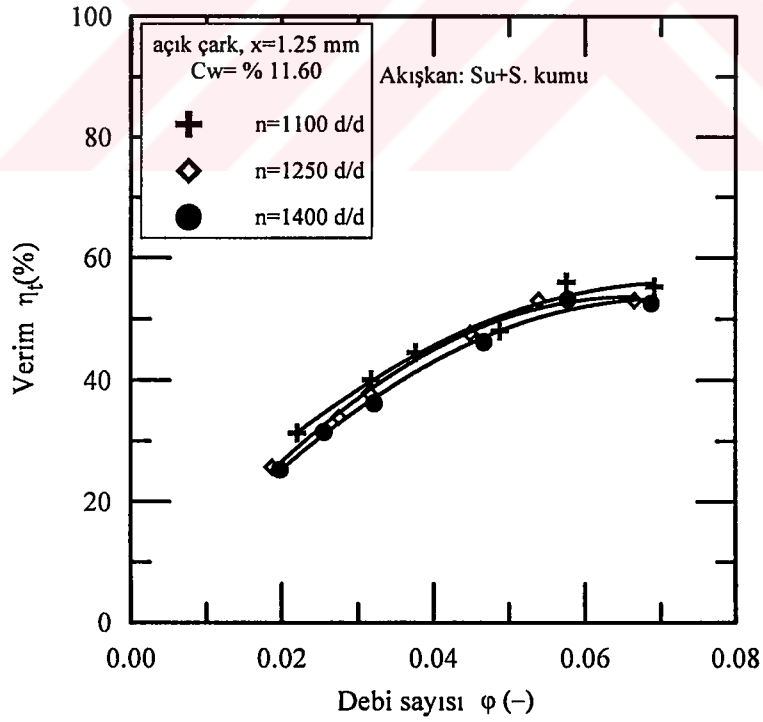
Temiz su deneyleri tamamlandıktan sonra seçilen her bir katı türü ile karışım deneyleri yapılmıştır.

### 6.2.2.1. Su-sahil kumu karışımı deneyleri

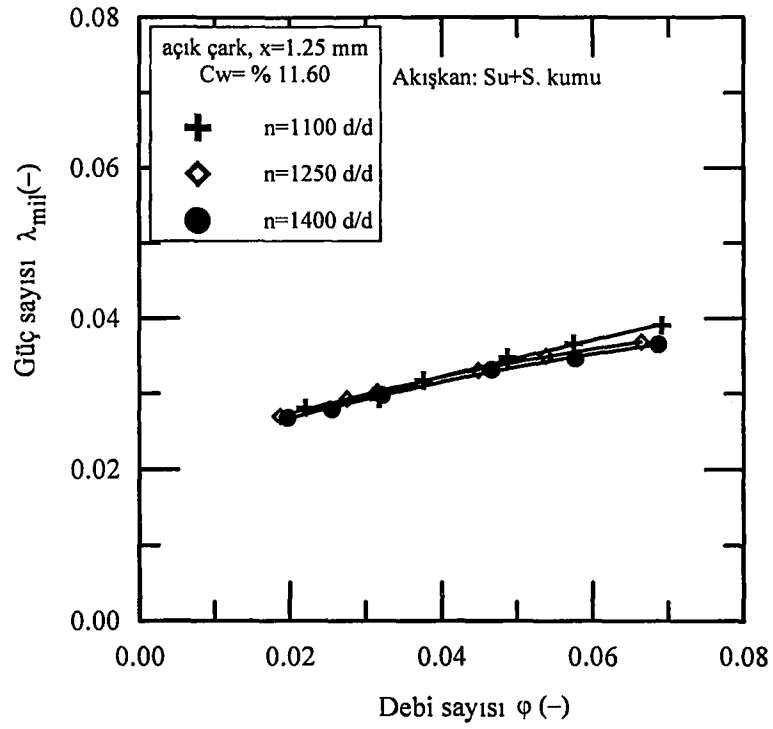
Sahil kumu karışımı için yapılan deneyler 1100, 1250 ve 1400 d/d devir sayılarında açık çark kullanılarak yapılmıştır. Pompa çalışma özelliklerinin farklı devir sayılarında benzerlik kanunlarına uygun şekilde değiştiği Şekil 6.5a-c de görülmektedir. Bu yüzden verilen deneysel sonuçlar genellikle 1250 d/d devir sayısı için elde edilen sonuçlardır. Bu karışım için yapılan deneyler  $x=1.25$  mm sabit aralık açıklığı içindir. Elde edilen sonuçlar Şekil 6.2a-e de verilmiştir. Diğer taraftan Şekil 6.2d, e de görüldüğü gibi katı madde konsantrasyonu, pompa performansı üzerinde önemli etki yapmakta ve özellikle basma yüksekliği  $C_w=0$  ile gösterilen temiz su basma yüksekliğine göre düşmektedir.



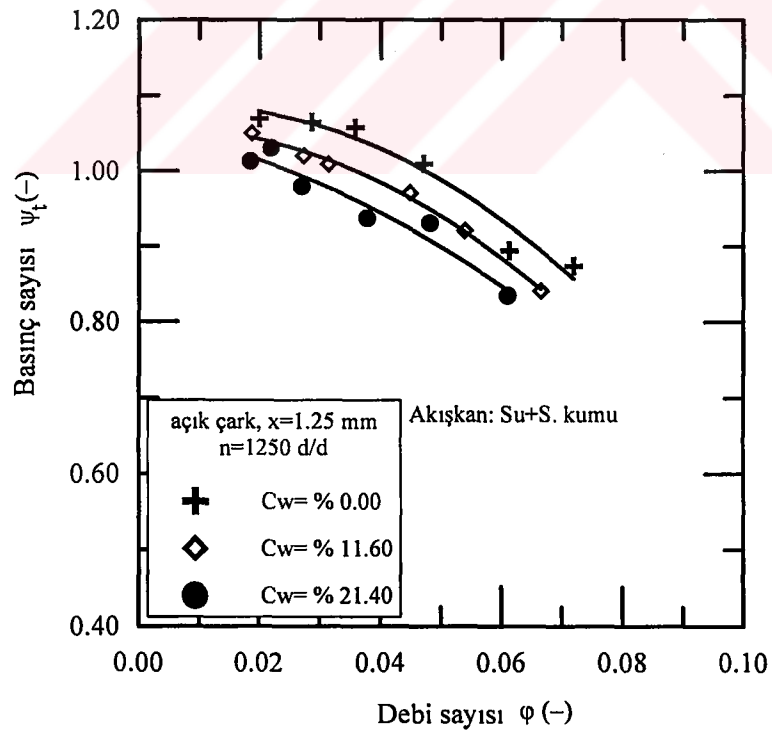
Şekil 6.5a Sahil kumu için farklı devir sayılarında  $\psi_t$ - $\phi$  tanım eğrileri



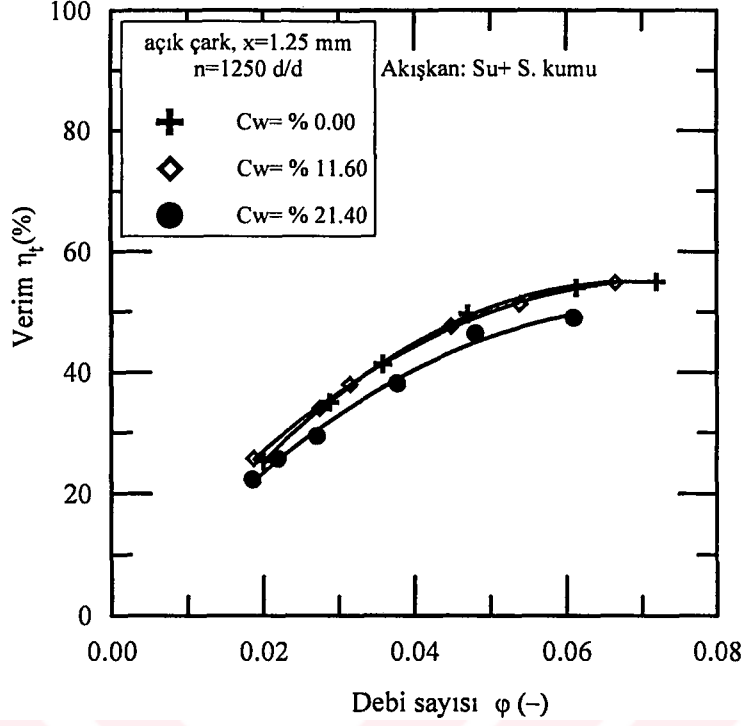
Şekil 6.5b Sahil kumu için farklı devir sayılarında  $\eta_t$ - $\phi$  tanım eğrileri



Şekil 6.5c Sahil kumu için farklı devir sayılarında  $\lambda_{mil}$ - $\phi$  tanım eğrileri



Şekil 6.5d Sahil kumu için farklı konsantrasyonlarda  $\psi_t$ - $\phi$  tanım eğrileri

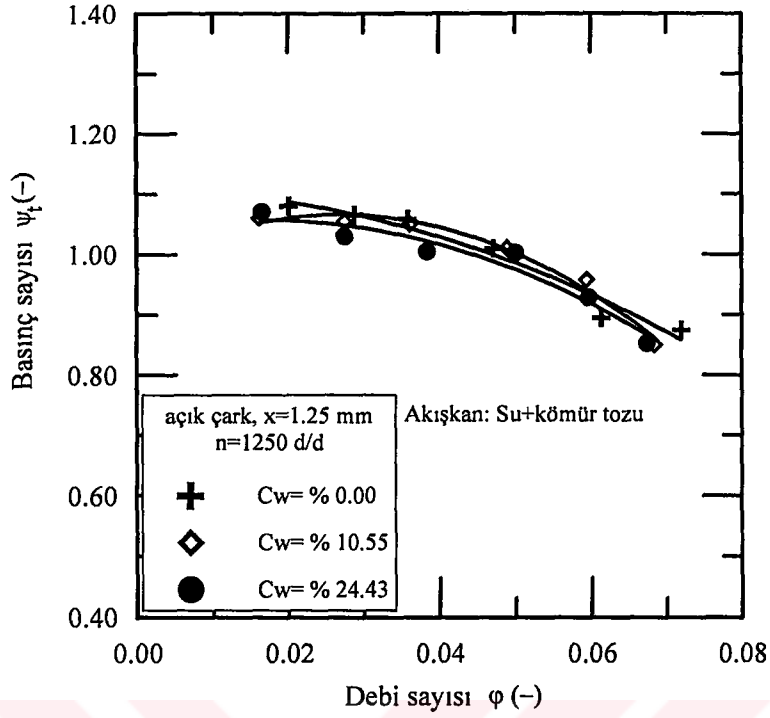


Şekil 6.5e Sahil kumu için farklı konsantrasyonlarda  $\eta_t$ - $\phi$  tanım eğrileri

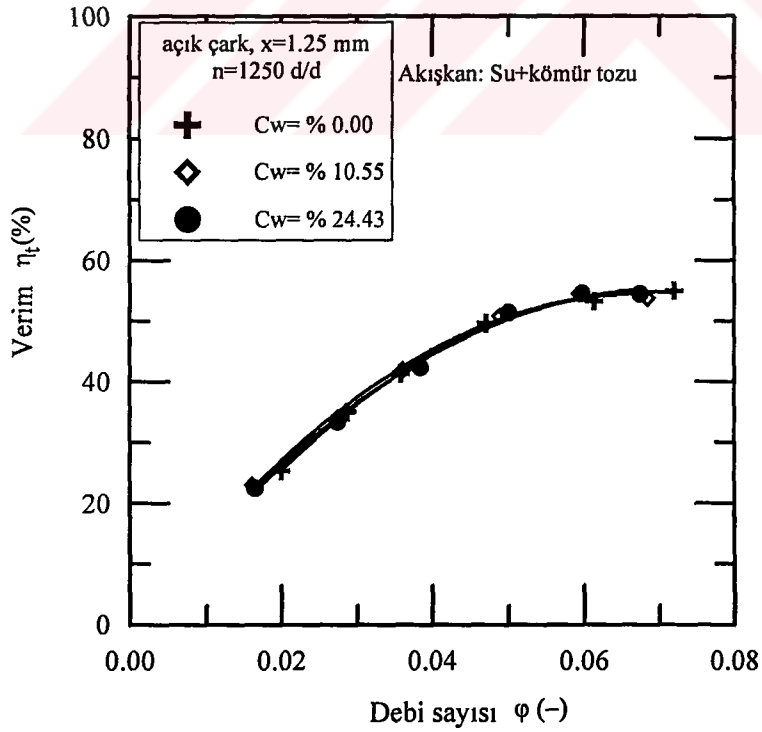
### 6.2.2.2. Kömür tozu-su karışımı deneyleri

Kömür tozu ile yapılan deneyler de sahil kumunda olduğu gibi  $x=1.25$  mm aralık açıklığı için yapılmıştır. Deneylerde % 10.55 ve % 24.43 olmak üzere iki farklı kütleli konsantrasyon elde edilmiştir. Elde edilen bu sonuçlar Şekil 6.3a-c de görülmektedir.

Elde edilen şekillerden görüldüğü gibi, kömür tozunun çeşitli konsantrasyonları için elde edilen tanım eğrileri suyunkilere oldukça yakındır. Bunun nedeni kömür tozunun bağıl yoğunluğunun suyun bağıl yoğunluğuna oldukça yakın olmasıdır. Çünkü bu durumda karışımın bağıl yoğunluğu ancak çok yüksek konsantrasyonlarda baskın hale gelebilmektedir. Örneğin % 24.43 lük kütleli konsantrasyonunda karışım bağıl yoğunluğu suya göre sadece % 6.76 oranında artmıştır.

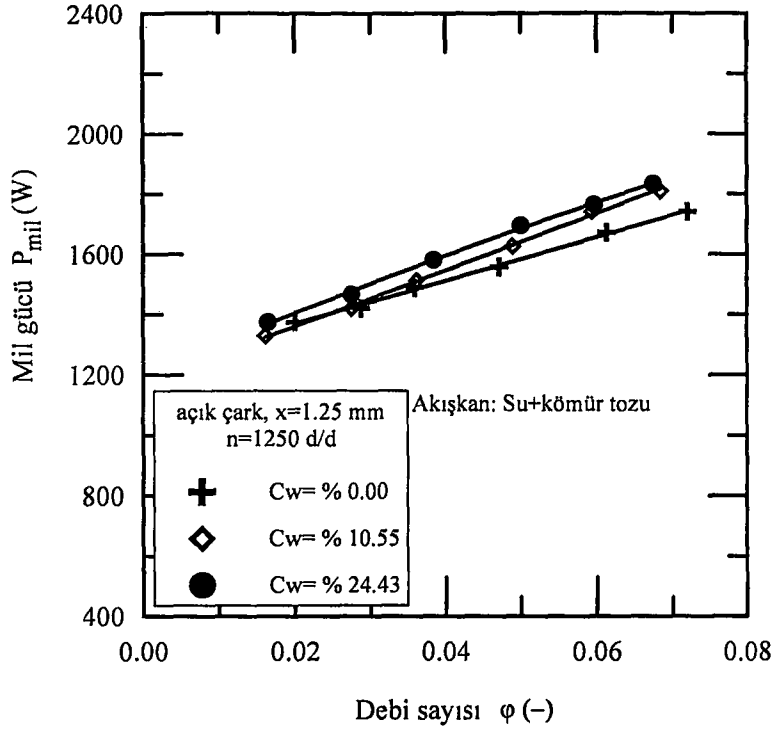


Şekil 6.6a Kömür tozu için farklı konsantrasyonlarda  $\psi_t$ - $\phi$  tanım eğrileri



Şekil 6.6b Kömür tozu için farklı konsantrasyonlar için  $\eta_t$ - $\phi$  tanım eğrileri



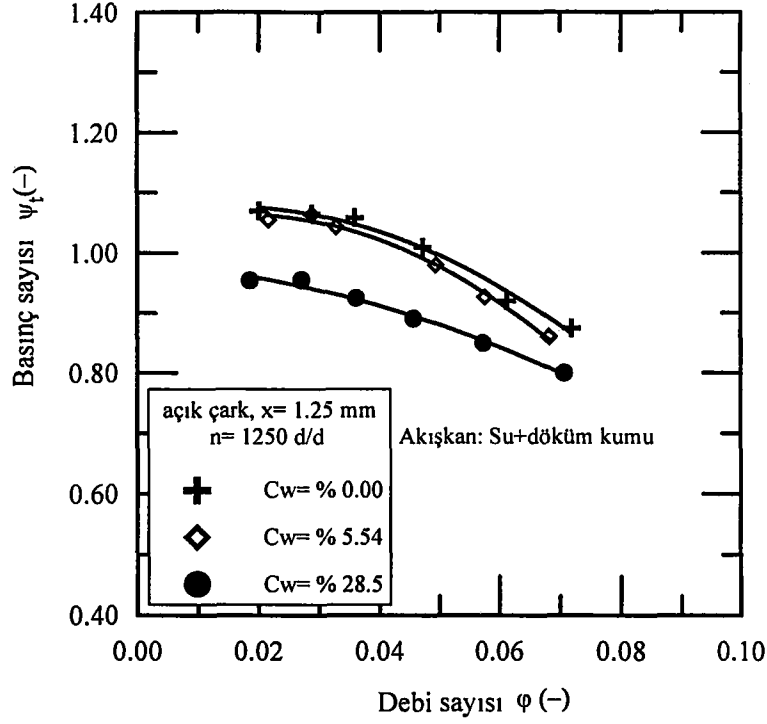


Şekil 6.6c Kömür tozu için farklı konsantrasyonlarda  $P_{mil}$ - $\phi$  tanım eğrileri

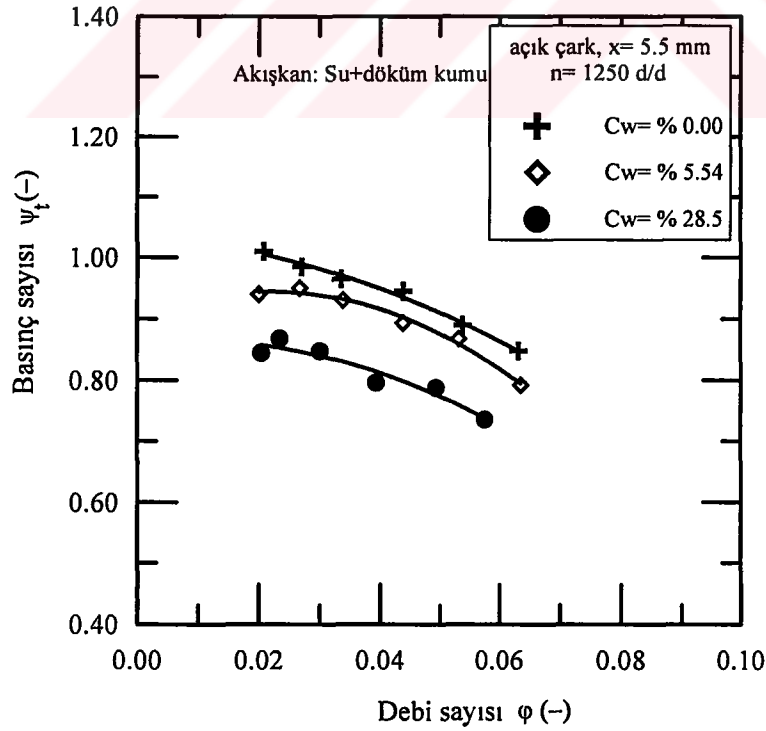
### 6.2.2.3. Döküm kumu-su karışımı deneyleri

Döküm kumu kullanılarak yapılan deneyler 2 farklı konsantrasyon değeri için yapılmıştır. Bu deneylerde hem kapalı çark hem de açık çark kullanılmış olup aralık açıklığı  $x=1.25$  mm den  $x=8.0$  mm kadar kademeli olarak değiştirilmiştir. Elde edilen sonuçlar Şekil 6.7a-i de verilmiştir. Şekil 6.7a-c de, kapalı çark ve değişik aralık açıklıklarında açık çark kullanılarak elde edilen döküm kumu konsantrasyonunun etkisi görülmektedir. Artan konsantrasyonla birlikte suya ait tanım eğrilerinden itibaren karışım tanım eğrilerinde meydana gelen düşme genel beklentilere uygundur.

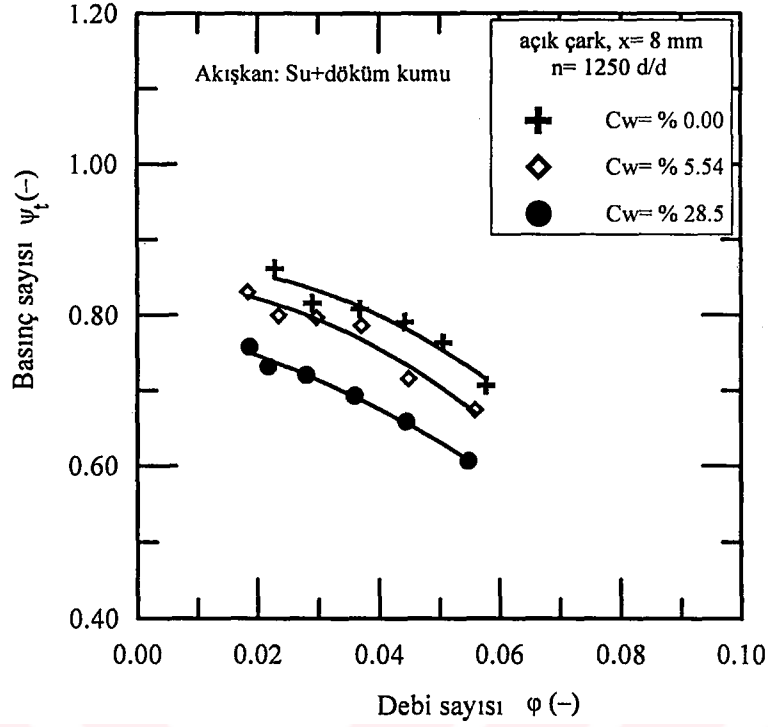
Şekil 6.7d-i de ise belirli konsantrasyonlarda aralık açıklığının performans üzerindeki etkisi gösterilmiştir. Eğrilerin genel eğilimleri tek faz durumundaki pompa davranışına, diğer bir ifadeyle aralık açıklığına karşı gösterdiği hassasiyete oldukça benzemektedir. Dolayısıyla bu durum aralık kayıplarının oluşum mekanizmalarının çift faz durumuna benzer bir metodoloji ile ele alınabileceğini göstermektedir.



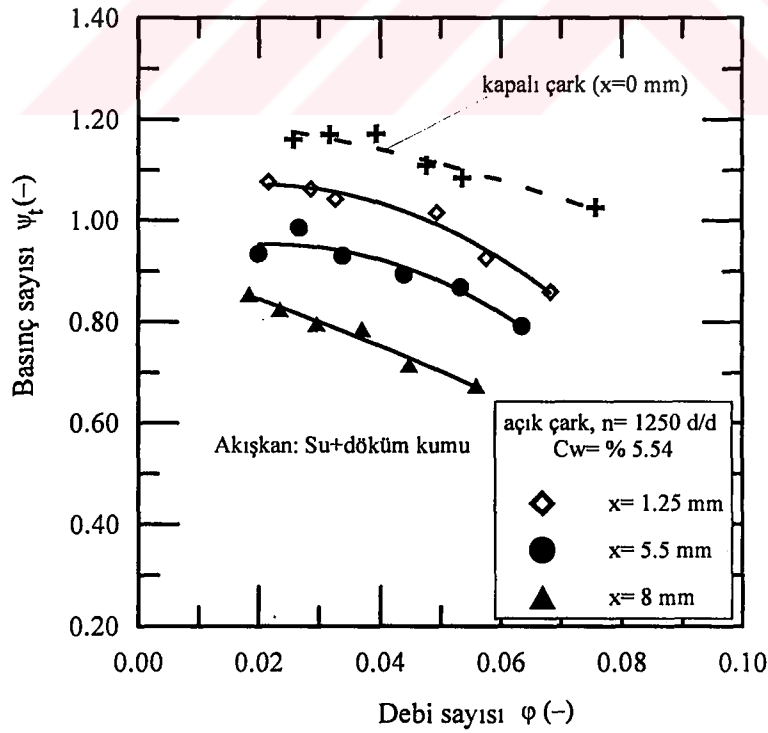
Şekil 6.7a Döküm kumu için farklı konsantrasyonlarda  $\psi_t$ - $\phi$  tanım eğrileri, açık çark,  $x=1.25$  mm,  $n=1250$  d/d



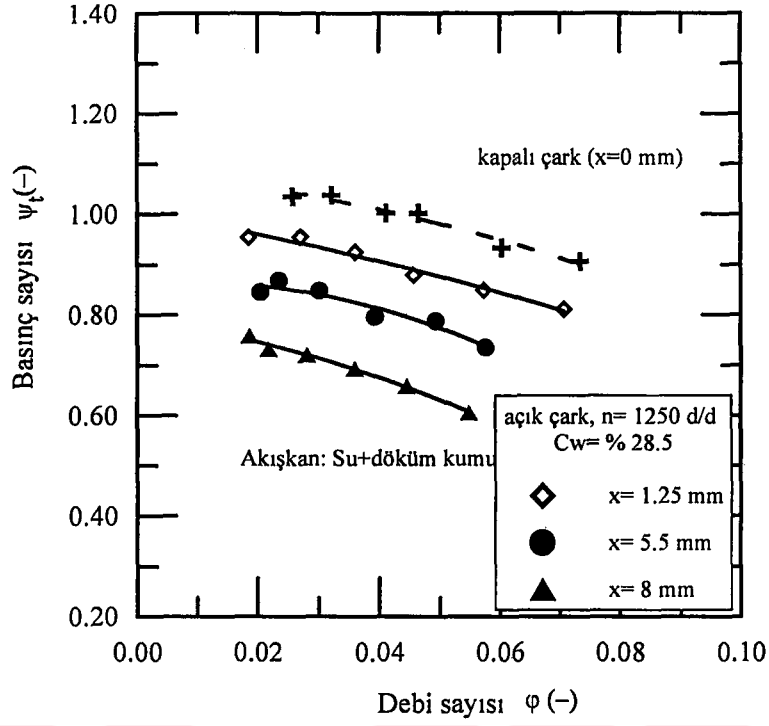
Şekil 6.7b Döküm kumu için farklı konsantrasyonlarda  $\psi_t$ - $\phi$  tanım eğrileri, açık çark,  $x=5.5$  mm,  $n=1250$  d/d



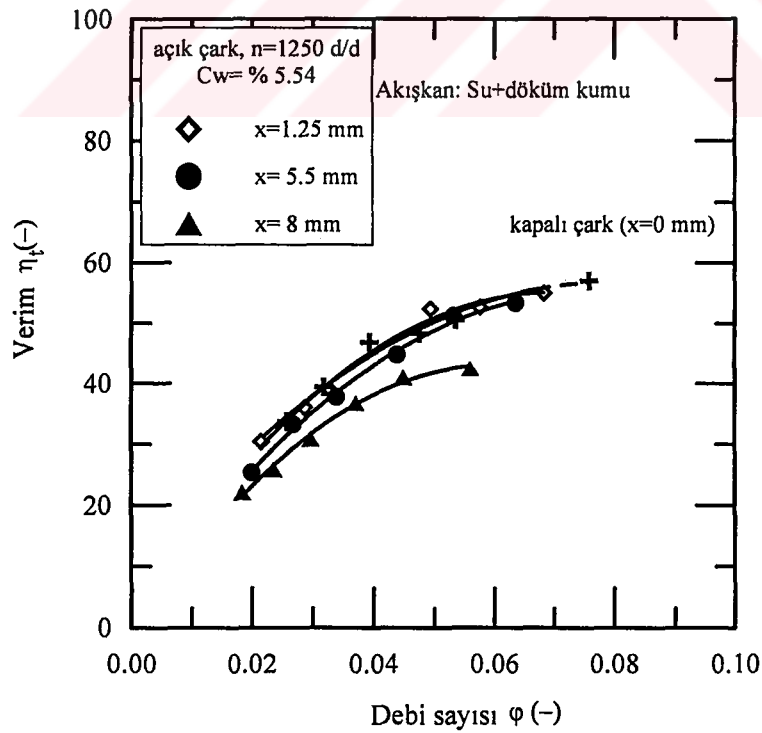
Şekil 6.7c Döküm kumu için farklı konsantrasyonlarda  $\psi_t$ - $\phi$  tanım eğrileri, açık çark,  $x=8$  mm,  $n=1250$  d/d



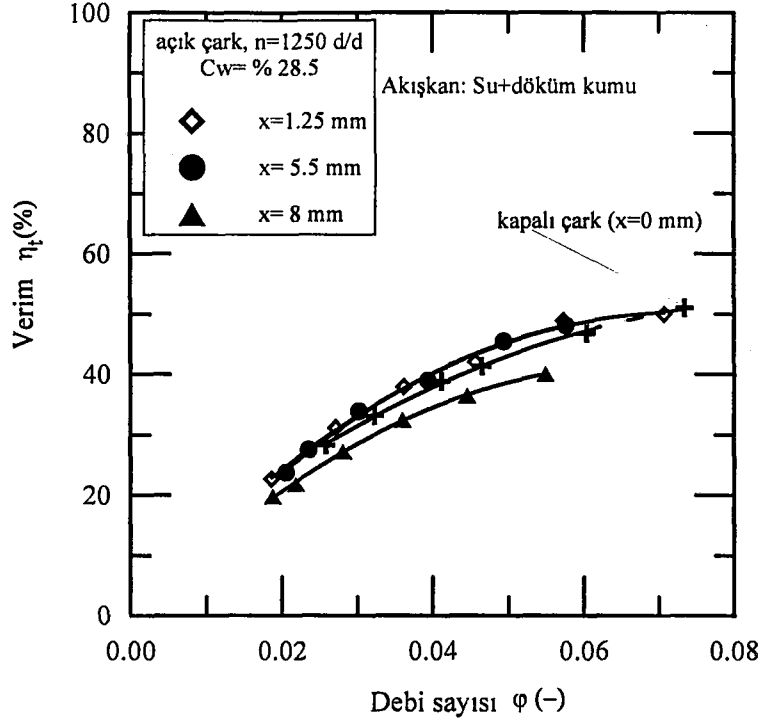
Şekil 6.7d Döküm kumu için farklı aralık açıklıklarında  $\psi_t$ - $\phi$  tanım eğrileri, açık çark,  $C_w = \% 5.54$ ,  $n=1250$  d/d



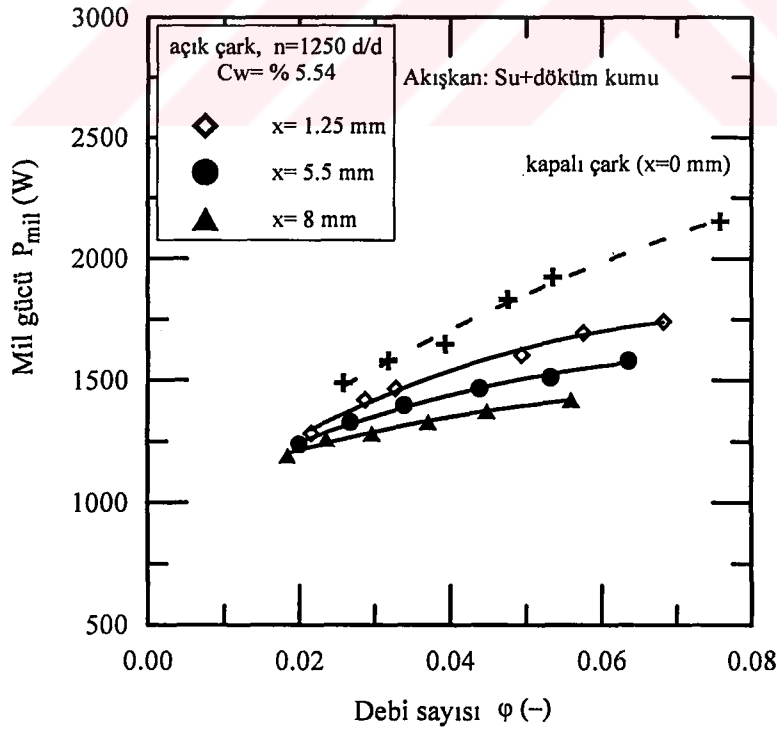
Şekil 6.7e Döküm kumu için farklı aralık açıklıklarında  $\psi_f$ - $\phi$  tanım eğrileri, açık çark,  $C_w = \% 28.5$ ,  $n=1250$  d/d



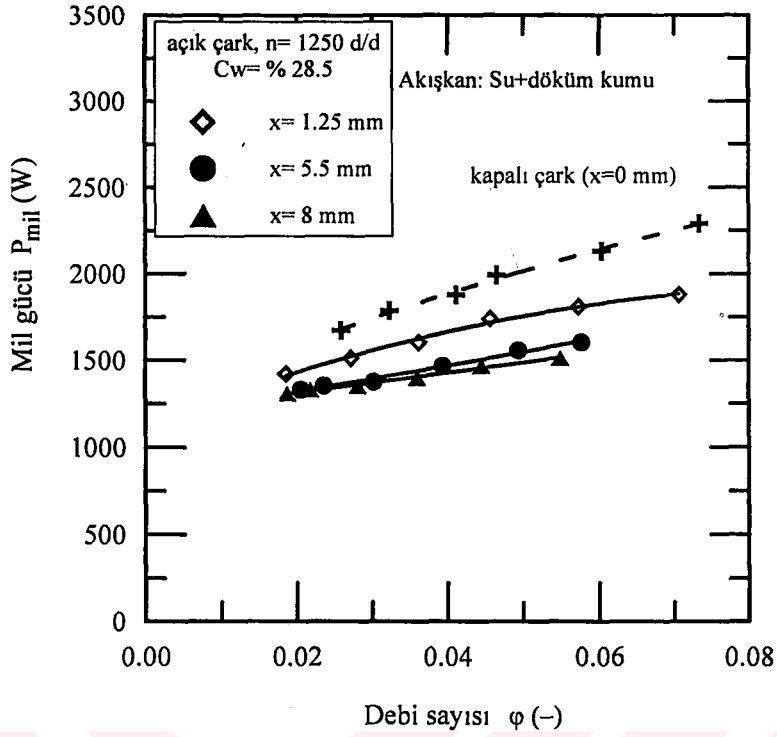
Şekil 6.7f Döküm kumu için farklı aralık açıklıklarında  $\eta_f$ - $\phi$  tanım eğrileri, açık çark,  $C_w = \% 5.54$ ,  $n=1250$  d/d



Şekil 6.7g Döküm kumu için farklı aralık açıklıklarında  $\eta_t$ - $\phi$  tanım eğrileri, açık çark,  $C_w = \% 28.5$ ,  $n=1250$  d/d



Şekil 6.7h Döküm kumu için farklı aralık açıklıklarında  $P_{mil}$ - $\phi$  tanım eğrileri, açık çark,  $C_w = \% 5.54$ ,  $n=1250$  d/d



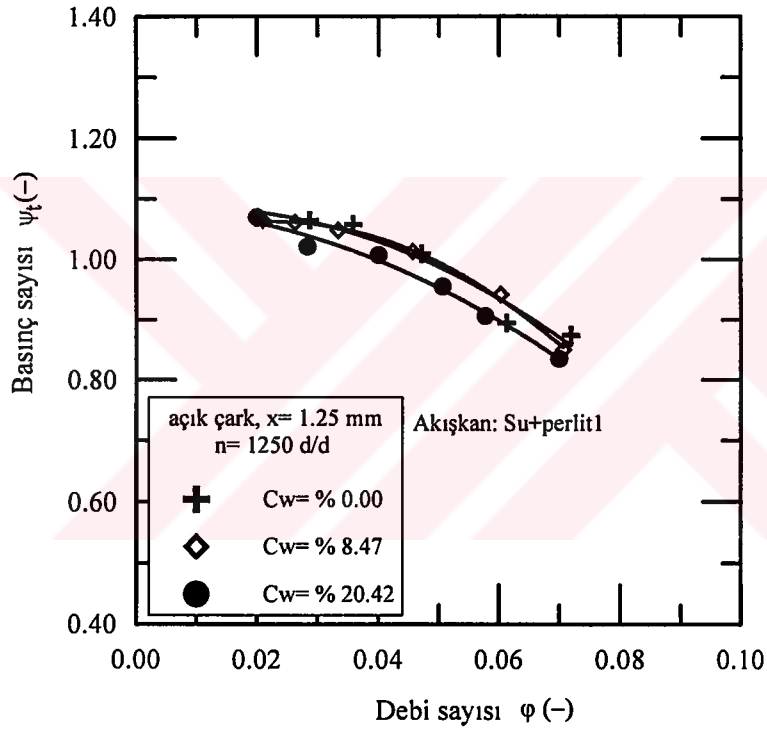
Şekil 6.7i Döküm kumu için farklı aralık açıklıklarında  $P_{mil}$ - $\phi$  tanım eğrileri, açık çark,  $C_w = \% 28.5$ ,  $n=1250$  d/d

#### 6.2.2.4. Perlit1-su karışımı deneyleri

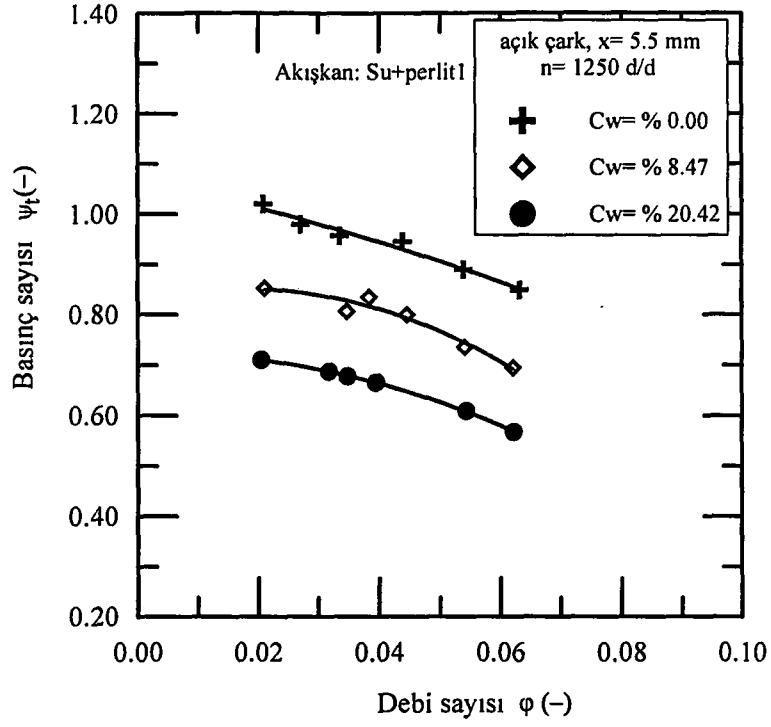
Perlit1, deneylerde kullanılan perlit sınıfının en ince tanecikli olanıdır ve kütleli ortalama çapı 0.211 mm dir, (Tablo 5.9). Perlit1 ile yapılan tüm deneylerde temel parametreler olarak pompa devir sayısı, kütleli konsantrasyon ve aralık açıklığı incelenmiştir. Açık çark kullanılarak elde edilen deneysel sonuçlar Şekil 6.8a-g de verilmiştir.

Şekil 6.8a-c de farklı aralık açıklıklarında açık çarkın performansı üzerinde konsantrasyonun etkisi gösterilmiştir. Burada,  $x=1.25$  mm ve  $x=8$  mm için pompanın konsantrasyon artışına karşı önemli bir duyarlılık göstermediği, diğer taraftan  $x=5.5$  mm aralık açıklığında konsantrasyonun etkisinin oldukça arttığı anlaşılmaktadır. Bu durum, artan aralık açıklığı etkisiyle pompa hidrolik ve aralık kayıpları arasındaki dengelerin değişmesinden kaynaklanmaktadır. Diğer yandan aralık artışıyla birlikte basınç sayılarında önemli düşüşler meydana gelmiştir.

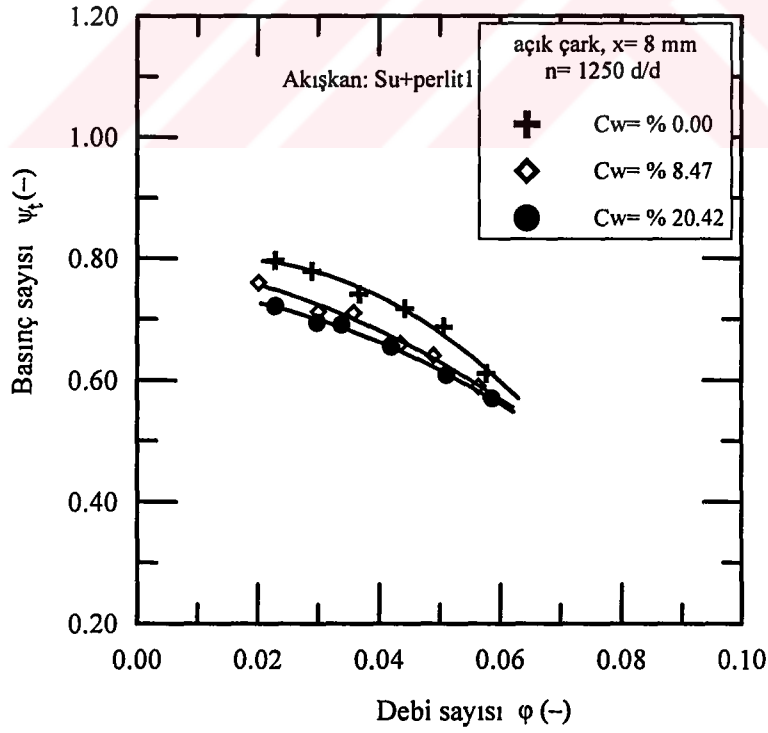
Şekil 6.8d, g de farklı konsantrasyonlarda aralık açıklığının etkisi gösterilmiştir. Şekil 6.8e de görüldüğü gibi  $C_w = \% 20.42$  için  $x=5.5$  ve  $8$  mm aralık açıklıklarında hemen hemen aynı eğriler elde edilmiştir. Şekil 6.8f, g de  $x=1.25$  mm aralık açıklığındaki açık çarkın kapalı çarktan daha verimli çalıştığı anlaşılmaktadır. Öte yandan  $x=8$  mm lik aralık açıklığı  $x=5.5$  mm den daha yüksek bir verim sağlamıştır (Şekil 6.8g).



Şekil 6.8a Perlit1 için farklı konsantrasyonlarda  $\psi_i$ - $\phi$  tanım eğrileri, açık çark,  $x=1.25$  mm,  $n=1250/d$

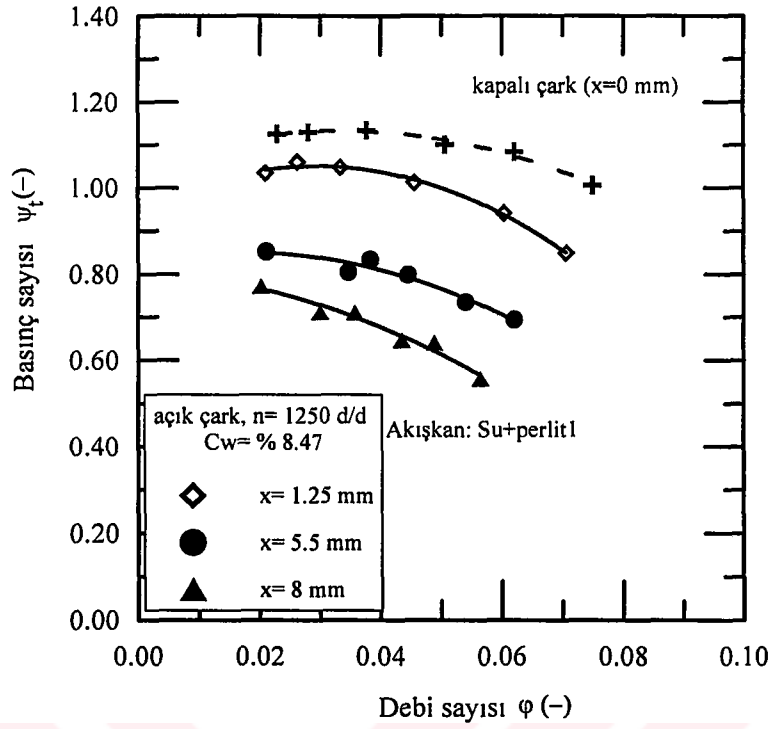


Şekil 6.8b Perlit1 için farklı konsantrasyonlarda  $\psi_t$ - $\phi$  tanım eğrileri, açık çark,  $x=5.5$  mm,  $n=1250$  d/d

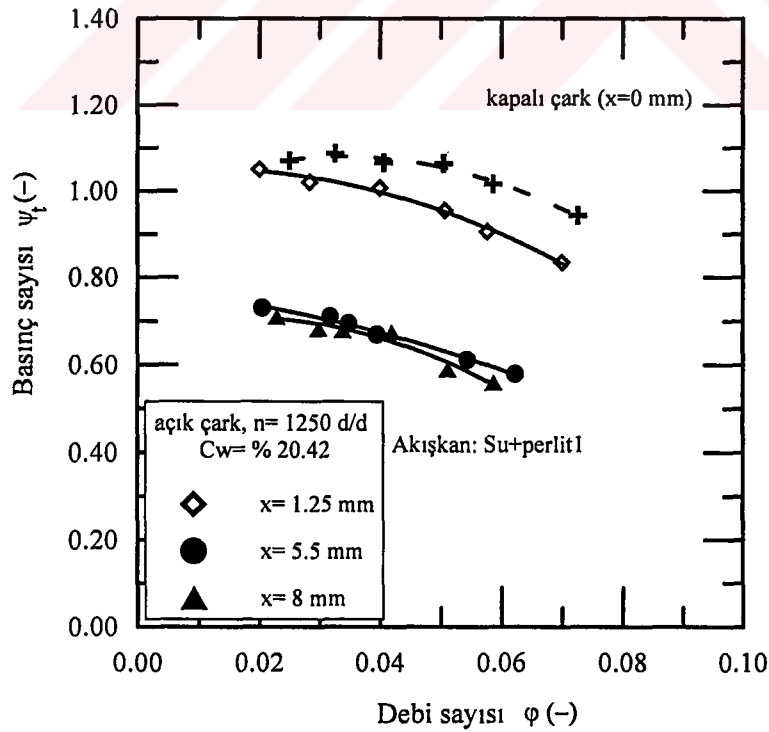


Şekil 6.8c Perlit1 için farklı konsantrasyonlarda  $\psi_t$ - $\phi$  tanım eğrileri, açık çark,  $x=8$  mm,  $n=1250$  d/d

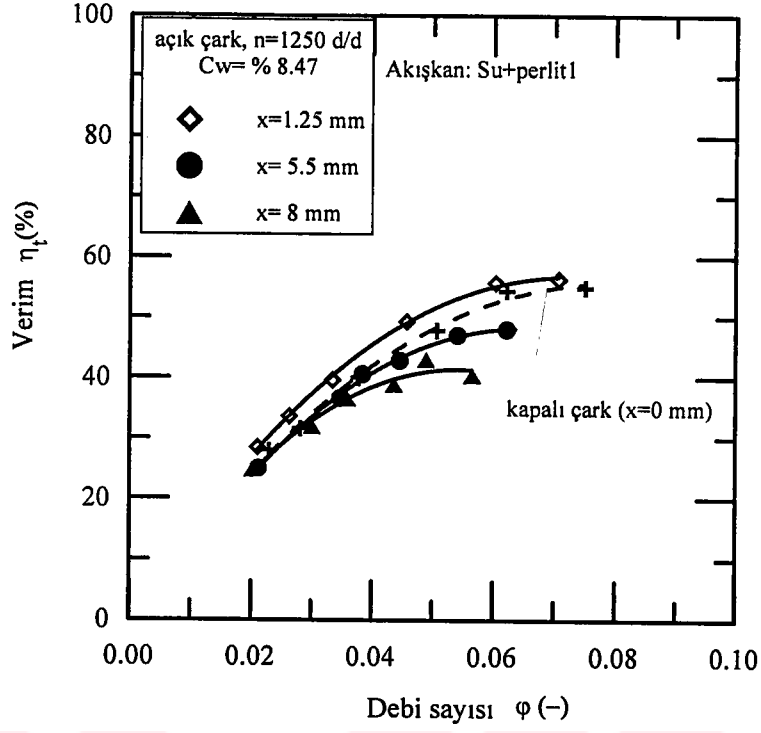




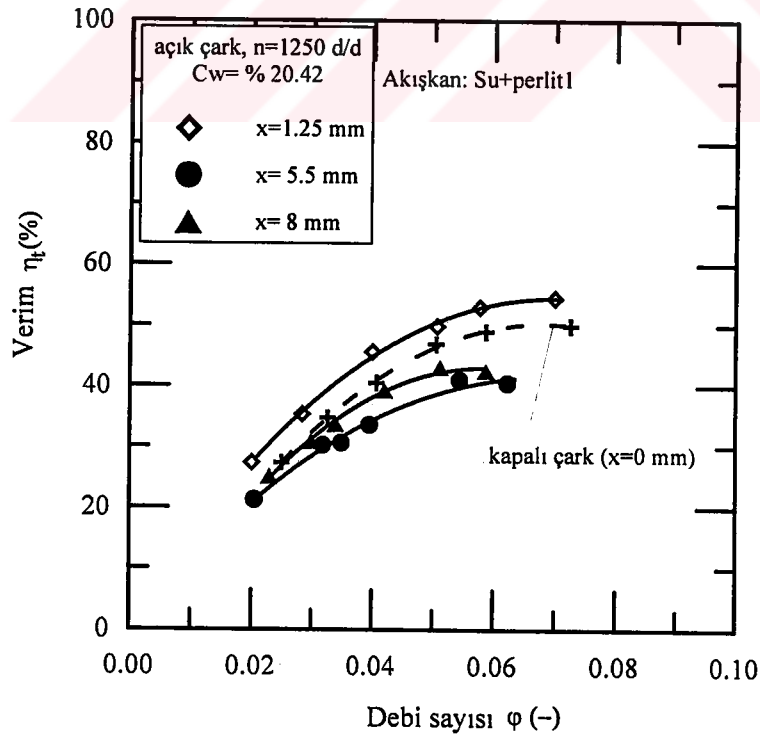
Şekil 6.8d Perlit1 için farklı aralık açıklıklarında  $\psi_t$ - $\phi$  tanım eğrileri, açık çark,  $C_w=8.47$ ,  $n=1250$  d/d



Şekil 6.8e Perlit1 için farklı aralık açıklıklarında  $\psi_t$ - $\phi$  tanım eğrileri, açık çark,  $C_w=20.42$ ,  $n=1250$  d/d



Şekil 6.8f Perlit1 için farklı aralık açıklıklarında  $\eta_t$ - $\phi$  tanım eğrileri, açık çark,  $C_w = \% 8.47$ ,  $n=1250$  d/d



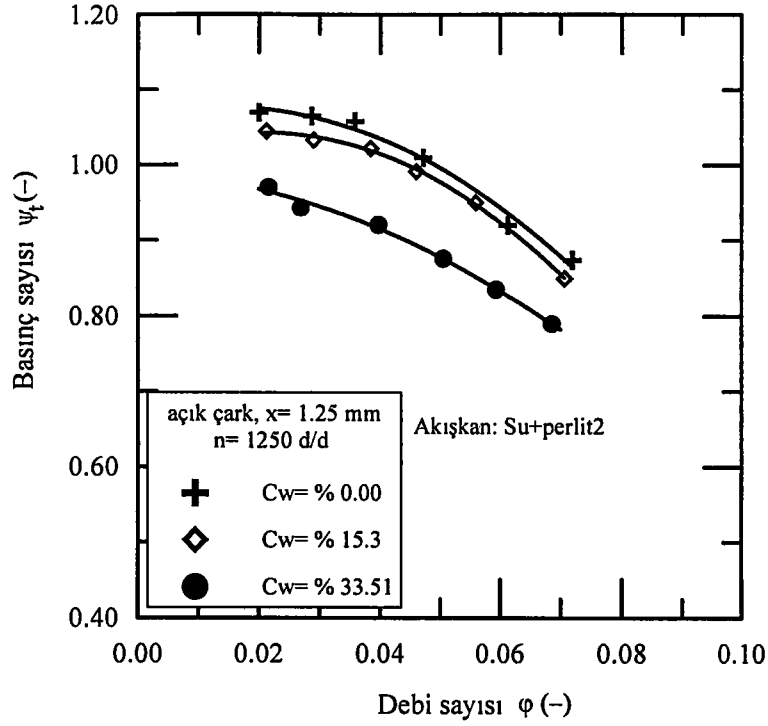
Şekil 6.8g Perlit1 için farklı aralık açıklıklarında  $\eta_t$ - $\phi$  tanım eğrileri, açık çark,  $C_w = \% 20.42$ ,  $n=1250$  d/d

### 6.2.2.5. Perlit2-su karışımı deneyleri

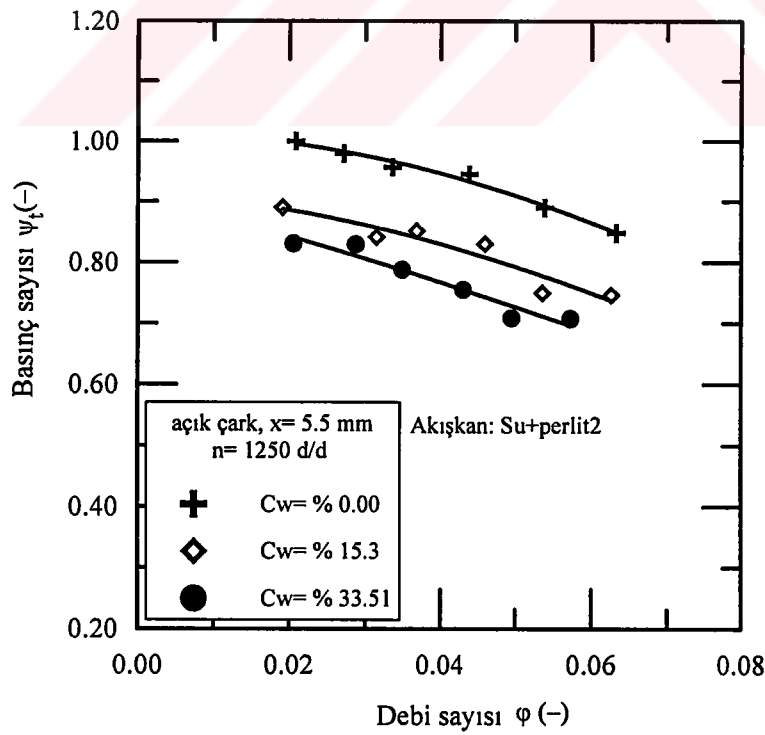
Perlit2, deneylerde kullanılan perlit sınıfının orta büyüklükte olanıdır ve kütleli ortalama çapı 0.70 mm dir, (Tablo 5.9). Perlit2 ile yapılan deneylerde % 33.51 ile en yüksek kütleli konsantrasyona çıkılmıştır. Bunun yanında deneylerde sadece açık çark kullanılmış ve aralık açıklığı, konsantrasyon ve devir sayısı incelenen temel parametrelerdir. Ancak, daha önceki bölümlerde belirtilen nedenlerden dolayı, burada yalnız 1250 d/d için elde edilen deneysel sonuçlar Şekil 6.9a-i de gösterilmiştir.

Şekil 6.9a-c de değişik aralık açıklıklarında konsantrasyonun etkisi incelenmiştir. Burada  $x= 1.25$  mm değerinde birincil konsantrasyonun performans üzerinde önemli bir etki yapmadığı, bu etkinin ancak  $C_w=\% 33.51$  değerinde hissedildiği anlaşılmaktadır.

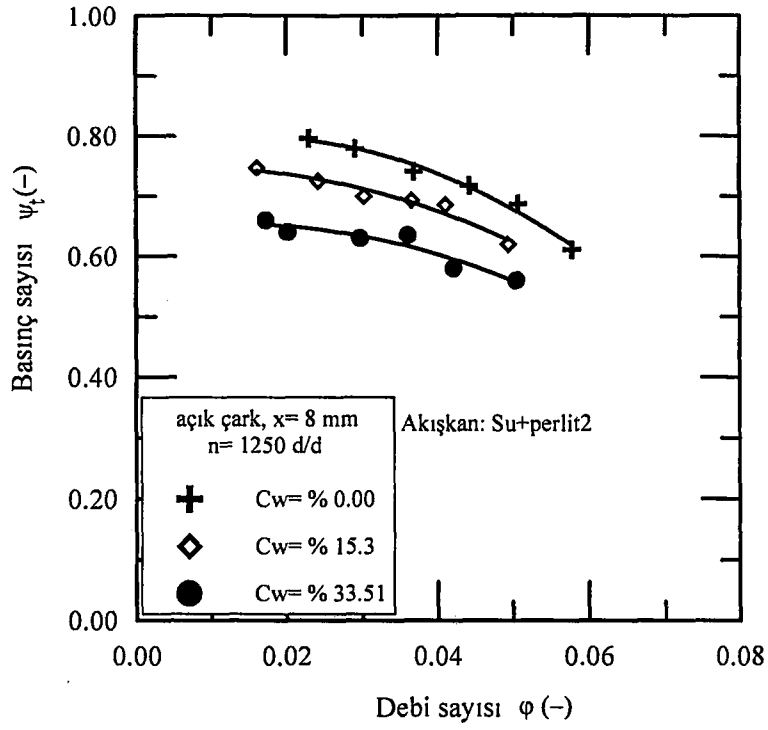
Şekil 6.9d-i de ise aralık açıklığının, incelenen konsantrasyonlarda, tanım büyüklüklerinin üzerindeki etkisi gösterilmiştir. Şekil 6.9f, g de  $x=1.25$  ve  $x=5.5$  mm değerlerindeki verim eğrileri birbirlerine oldukça yakındır. Diğer taraftan Şekil 6.9h de  $x=8$  mm için elde edilen güç karakteristiği daha yüksektir. Şekil 6.9i de ise  $x= 5.5$  ve 8 mm değerleri için bu eğriler üst üste gelmiştir. Bu durum, karışımların, aralık açıklığından tek fazdan farklı şekilde etkilenebileceğini, diğer bir ifadeyle karışım özelliklerinin aralık kayıpları üzerinde önemli bir etkisinin bulunduğunu göstermektedir. Bu özellikler arasında tanecik boyut dağılımının, konsantrasyonun, tanecik yoğunluğunun ve viskoz etkilerin önemli bir yeri vardır.



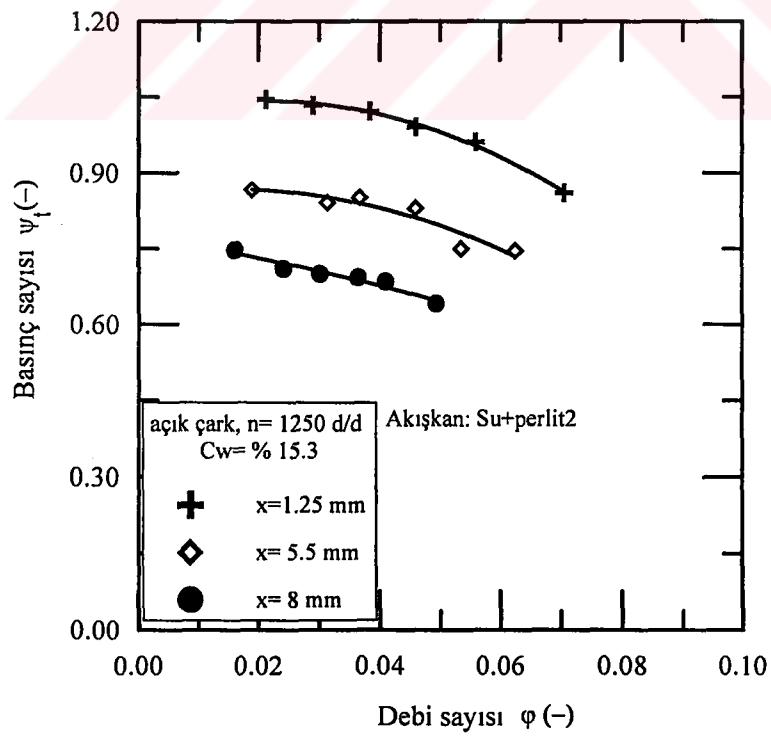
Şekil 6.9a Perlit2 için farklı konsantrasyonlarda  $\psi_t$ - $\phi$  tanım eğrileri, açık çark,  $x=1.25$  mm,  $n=1250$  d/d



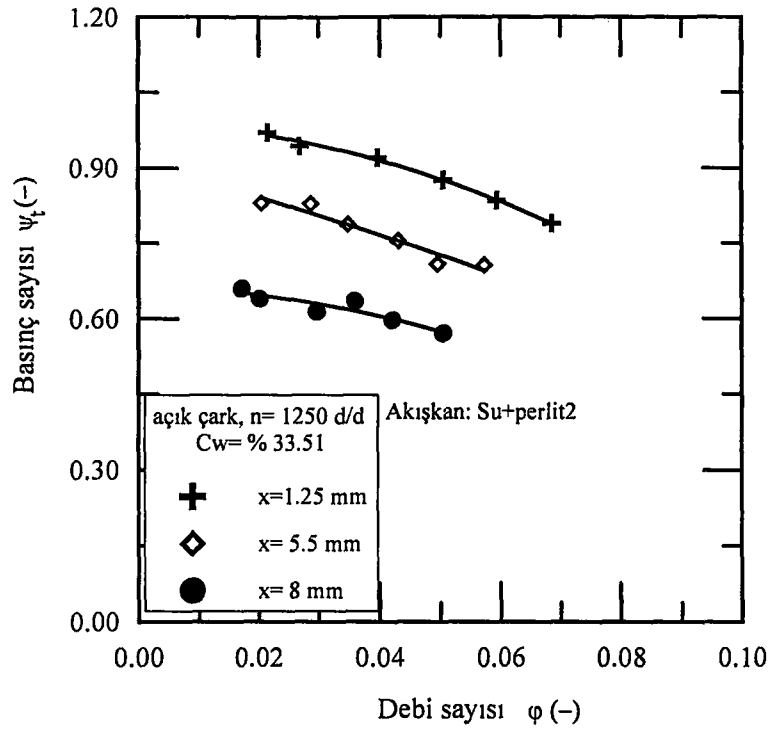
Şekil 6.9b Perlit2 için farklı konsantrasyonlarda  $\psi_t$ - $\phi$  tanım eğrileri, açık çark,  $x=5.5$  mm,  $n=1250$  d/d



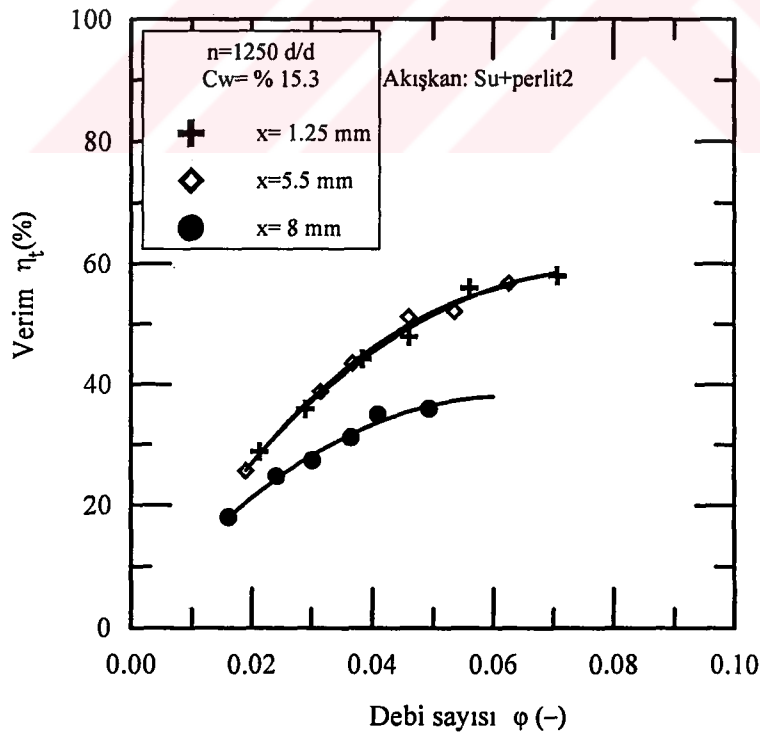
Şekil 6.9c Perlit2 için farklı konsantrasyonlarda  $\psi_t$ - $\phi$  tanım eğrileri, açık çark,  $x=8$  mm,  $n=1250$  d/d



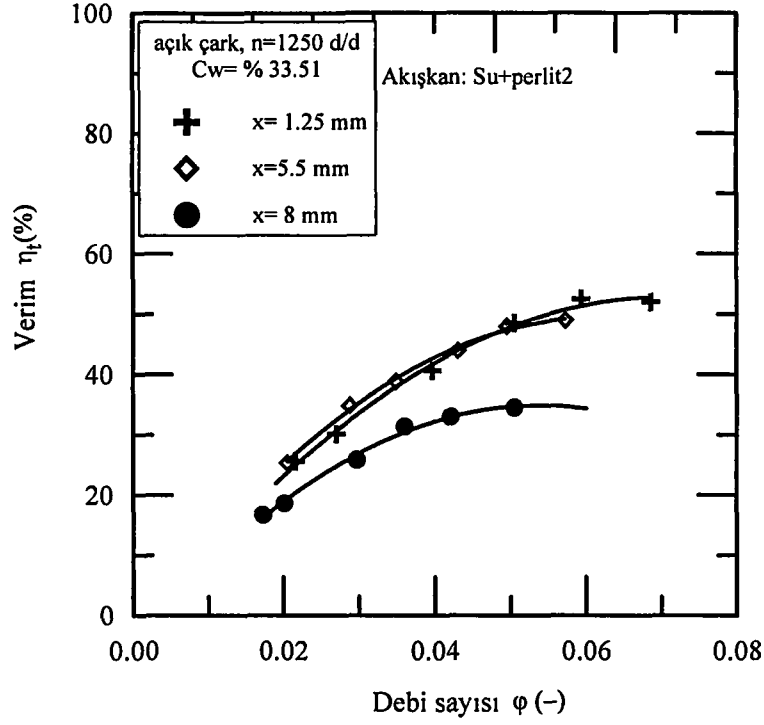
Şekil 6.9d Perlit2 için farklı aralık açıklıklarında  $\psi_t$ - $\phi$  tanım eğrileri, açık çark,  $C_w = \% 15.3$ ,  $n=1250$  d/d



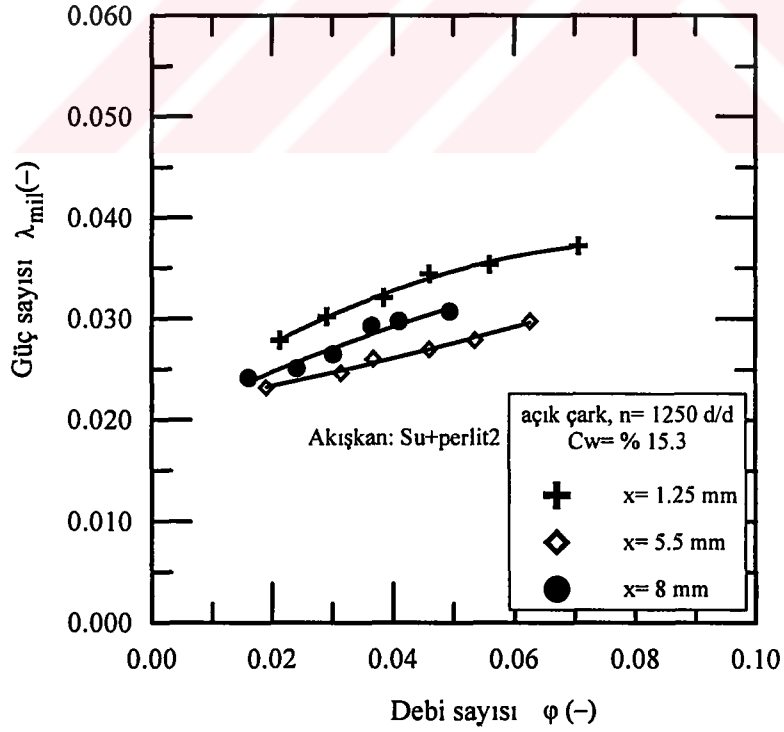
Şekil 6.9e Perlit2 için farklı aralık açıklıklarında  $\psi_t$ - $\phi$  tanım eğrileri, açık çark,  $C_w = \% 33.51$ ,  $n=1250$  d/d



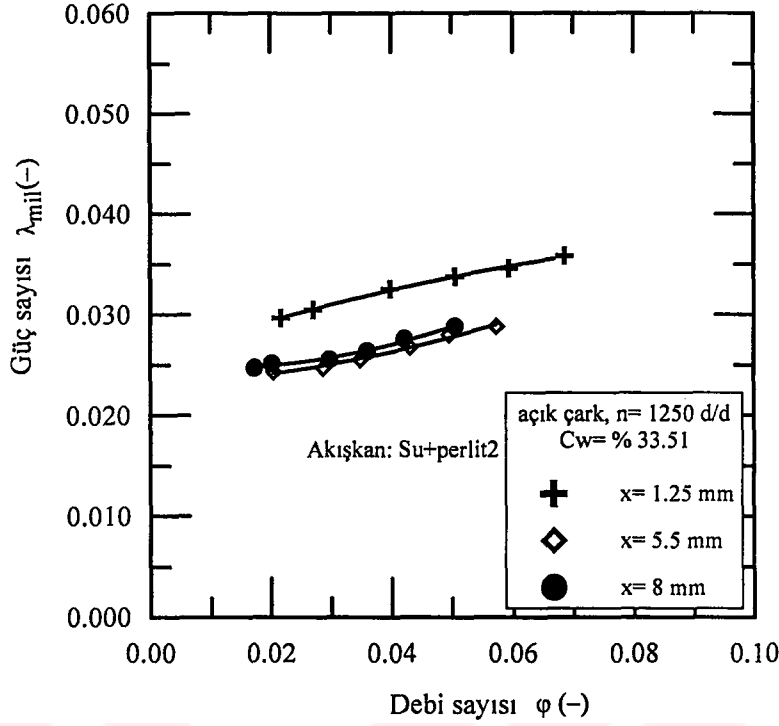
Şekil 6.9f Perlit2 için farklı aralık açıklıklarında  $\eta_t$ - $\phi$  tanım eğrileri, açık çark,  $C_w = \% 15.3$ ,  $n=1250$  d/d



Şekil 6.9g Perlit2 için farklı aralık açıklıklarında  $\eta_t$ - $\phi$  tanım eğrileri, açık çark,  $C_w = \% 33.51$ ,  $n = 1250$  d/d



Şekil 6.9h Perlit2 için farklı aralık açıklıklarında  $\lambda_{mil}$ - $\phi$  tanım eğrileri, açık çark,  $C_w = \% 15.3$ ,  $n = 1250$  d/d



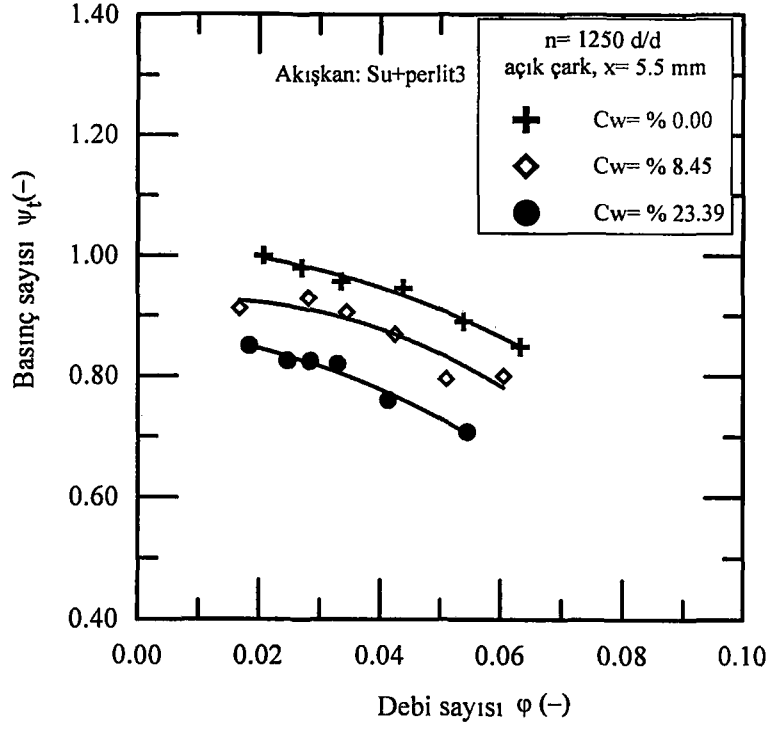
Şekil 6.9i Perlit2 için farklı aralık açıklıklarında  $\lambda_{mil}$ - $\phi$  tanım eğrileri, açık çark,  $C_w = \% 33.51$ ,  $n=1250$  d/d

#### 6.2.2.6. Perlit3-su karışımı deneyleri

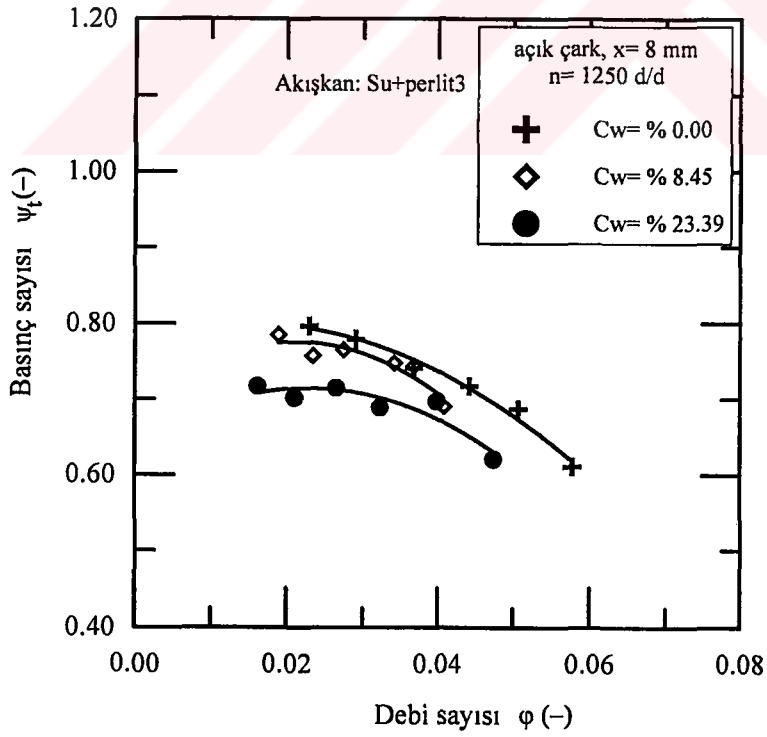
Perlit3, kütleli ortalama çapı 1.147 mm (Tablo 5.9) ile en kalın perlit grubudur. Burada da kütleli perlit konsantrasyonu ve aralık açıklığı temel parametreler olarak incelenmiştir. Deneylerde hem açık hem de kapalı tip çark denenmiştir. Elde edilen deney sonuçları Şekil 6.10a-f de verilmiştir.

Burada verilen tanım eğrilerinin genellikle karışım ve aralık kayıpları bakımından beklenen eğilimleri gösterdikleri söylenebilir. Artan aralık açıklığına paralel olarak aralık kayıplarında artış gözlenmektedir (Şekil 6.10c-f). Diğer incelenen karışım tiplerinde olduğu gibi perlit3 ile oluşturulan karışım konsantrasyonunun pompa performansı üzerinde önemli bir etkisinin bulunduğu burada verilen tanım eğrilerinden de anlaşılmaktadır (Şekil 6.10a, b).

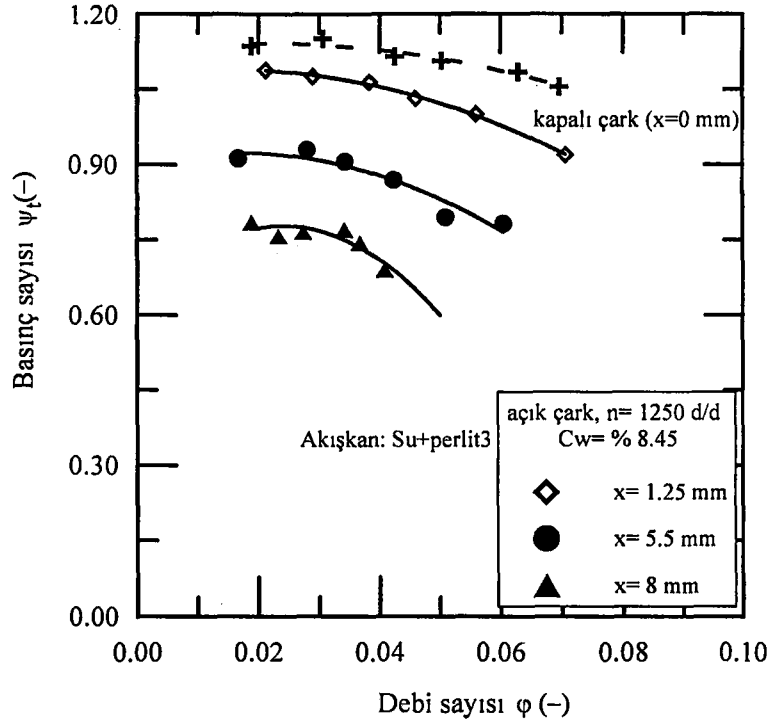




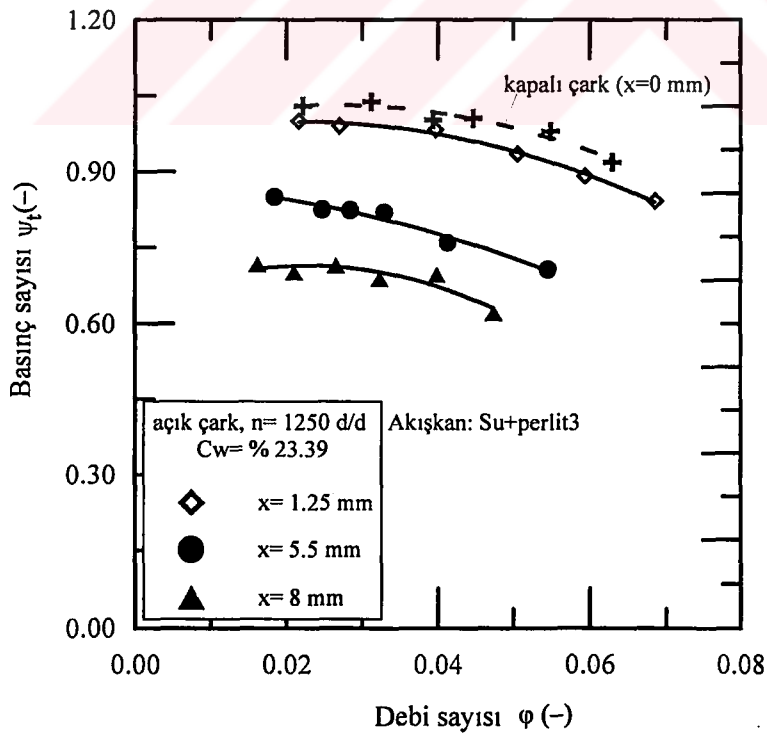
Şekil 6.10a Perlit3 için farklı konsantrasyonlarda  $\psi_f$ - $\phi$  tanım eğrileri, açık çark,  $x=5.5$  mm,  $n=1250$  d/d



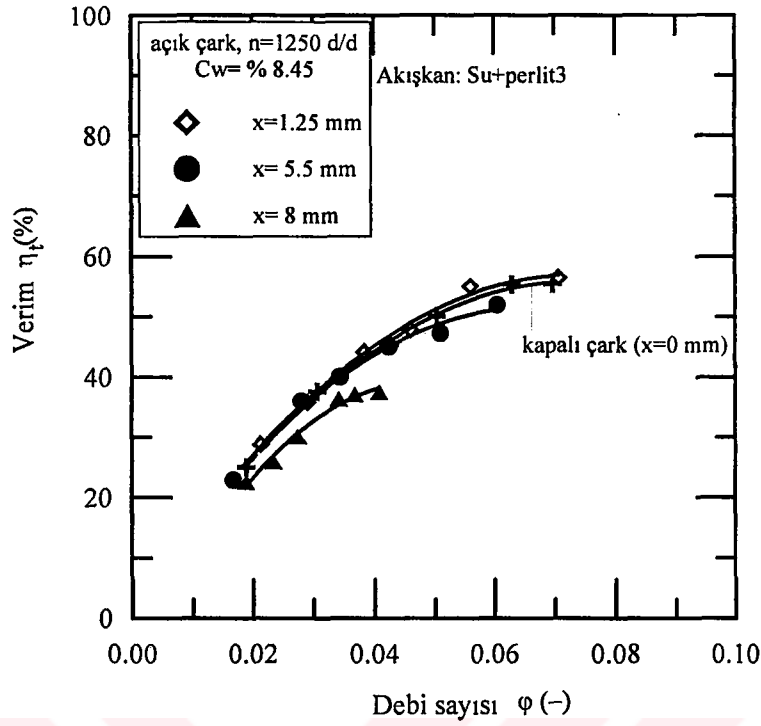
Şekil 6.10b Perlit3 için farklı konsantrasyonlarda  $\psi_f$ - $\phi$  tanım eğrileri, açık çark,  $x=8$  mm,  $n=1250$  d/d



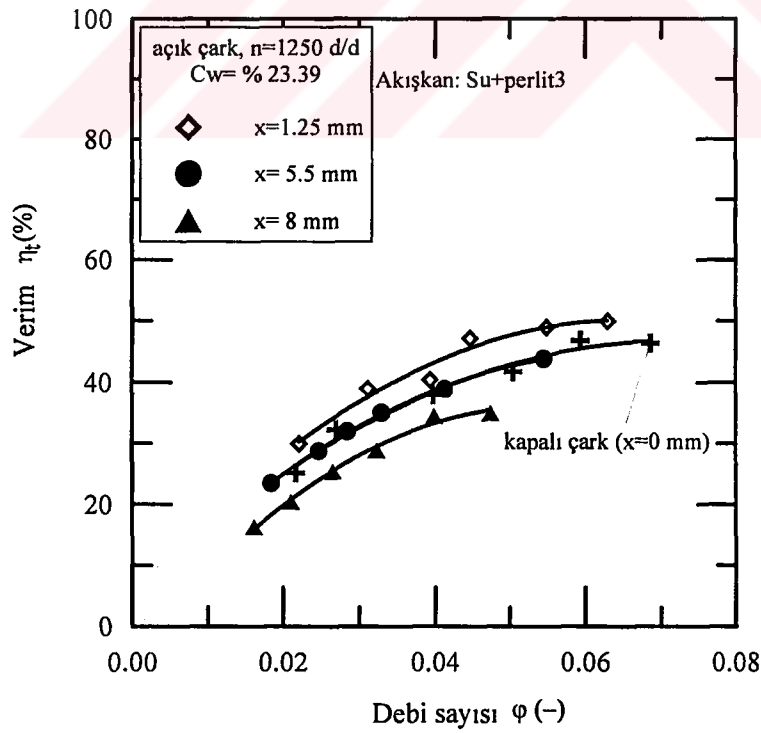
Şekil 6.10c Perlit3 için farklı aralık açıklıklarında  $\psi_t$ - $\phi$  tanım eğrileri, açık çark,  $C_w=8.45\%$ ,  $n=1250$  d/d



Şekil 6.10d Perlit3 için farklı aralık açıklıklarında  $\psi_t$ - $\phi$  tanım eğrileri, açık çark,  $C_w=23.39\%$ ,  $n=1250$  d/d



Şekil 6.10e Perlit3 için farklı aralık açıklıklarında  $\eta_t$ - $\phi$  tanım eğrileri, açık çark,  $C_w = \% 8.45$ ,  $n=1250$  d/d



Şekil 6.10f Perlit3 için farklı aralık açıklıklarında  $\eta_t$ - $\phi$  tanım eğrileri, açık çark,  $C_w = \% 23.39$ ,  $n=1250$  d/d

## BÖLÜM 7. DEĞERLENDİRME ve KARŞILAŞTIRMA

### 7.1. Kapalı Radyal Çark İçin Yük ve Verim Sayıları

Kapalı radyal çarkın kullanıldığı deneylerde katı madde olarak döküm kumu, perlit1 ve perlit3 seçilmiştir. Bölüm 6 da bu maddeler için elde edilen  $\psi=f(\varphi, C_w)$  ve  $\eta=f(\varphi, C_w)$  eğrilerinden yük ve verim sayıları hesaplanmıştır. Buradan bulunan  $H_r=f(Q, C_w)$  ve  $\eta_r=f(Q, C_w)$  eğrileri Şekil 7.1a-d de verilmiştir.

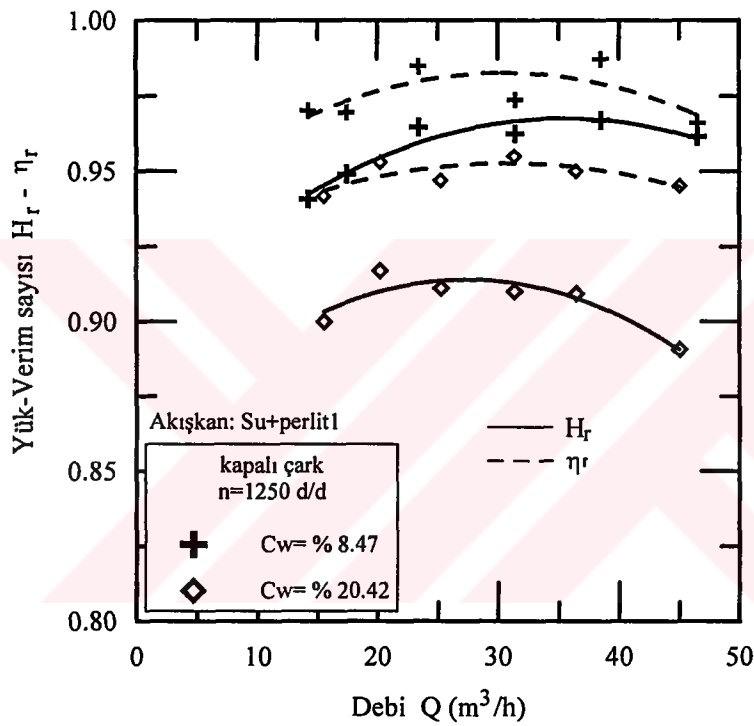
#### 7.1.1. Tanecik konsantrasyonunun etkisi

Artan katı tanecik konsantrasyonuna bağlı olarak, Bölüm 6 de ifade edildiği gibi, boyutsuz olarak elde edilen yük ve verim sayılarında düşme meydana geldiği Şekil 7.1a-d de görülmektedir. Bu düşüşün üzerinde konsantrasyonun artmasıyla, basılan akışkanın (karışımın) bağlı yoğunluğunun artmasının önemli bir etkisi vardır. Diğer taraftan tanecik özelliklerinin de bu düşüşe ikinci dereceden katkıları vardır. Daha net bir ilişki Şekil 7.1e ve f de görülmekte ve testlerde ulaşılan konsantrasyon aralıklarında ( $H_r, \eta_r$ )  $\propto C_w$  olduğu anlaşılmaktadır.

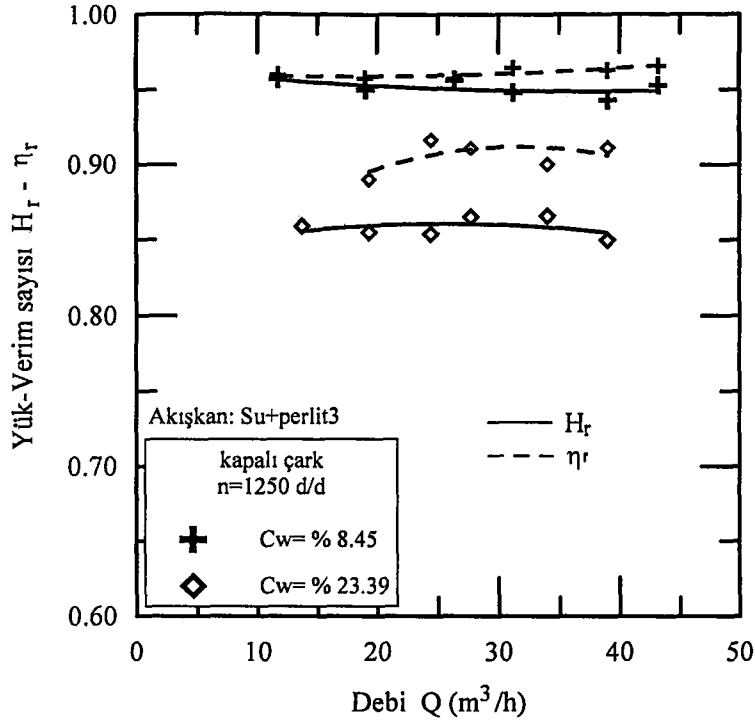
#### 7.1.2. Tanecik büyüklüğünün etkisi

Kapalı çarkta tanecik büyüklüğünün pompaya ait yük ve verim sayılarının üzerindeki etkisini belirlemek için perlit1 ve perlit3 katılarıyla oluşturulan karışımlara ait Şekil 7-1a, b yi incelemek gerekir. Bu şekillerden görüldüğü gibi yük ve verim sayıları debiye karşı önemli bir bağımlılık göstermemektedir. Bu durumda yük ve verim sayılarının debiden bağımsız olduğu kabul edilebilir. Böylece belirli bir konsantrasyondaki ortalama yük ve verim sayıları hesaplanır ve bunların konsantrasyona göre değişimi çizilirse, Şekil 7.1e, f de verilen değişimler elde edilir. Burada  $C_w=0$  için  $H_r$  ve  $\eta_r$  değerleri 1.0 dir, çünkü sıfır konsantrasyon temiz suya

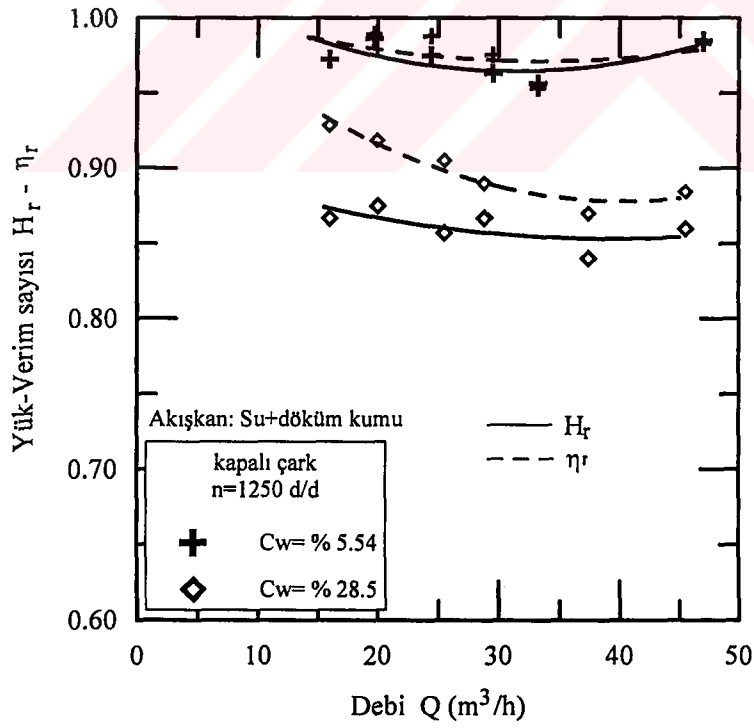
karşılık gelmektedir ve bu iki oranın tanımları gereği bu nokta elde edilir. Şekiller incelendiğinde hem yük hem de verim sayılarının konsantrasyonun artmasıyla lineer bir azalma gösterdiği anlaşılmaktadır. Ancak belirli bir konsantrasyon değeri için perlit3 e ait  $H_r$  ve  $\eta_r$  değerleri perlit1 e ait olanlardan daha düşüktür. Bu durum tanecik büyüklüğünün artmasıyla katıyı pompa içerisinde askıda tutmak ve hareket ettirmek için gerekli olan enerjinin artmasından kaynaklanmaktadır.



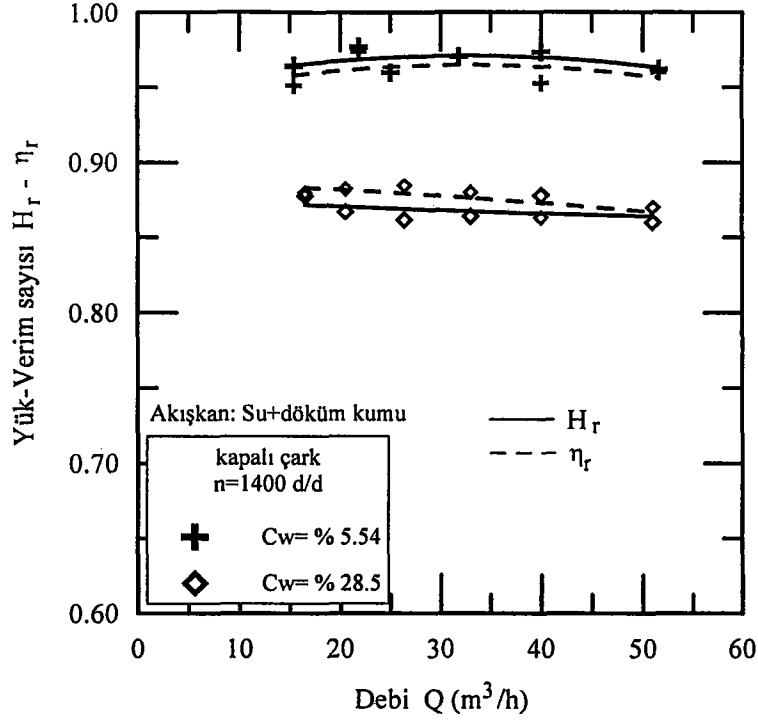
Şekil 7.1a Su-perlit1 karışımı için farklı konsantrasyonlarda yük ve verim sayılarının debi ile değişimi, kapalı çark,  $n=1250$  d/d



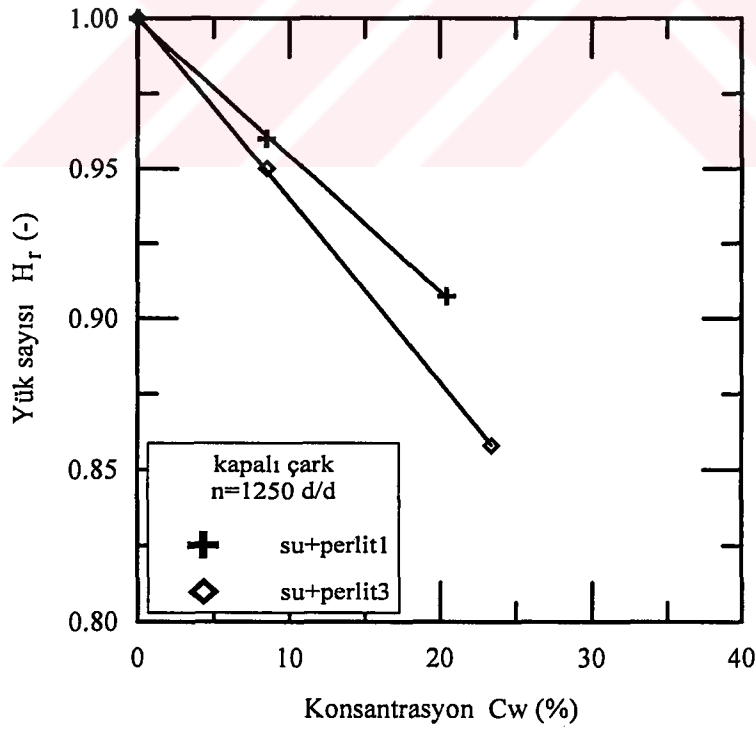
Şekil 7.1b Su-perlit2 karışımı için farklı konsantrasyonlarda yük ve verim sayılarının debi ile değişimi, kapalı çark, n=1250 d/d



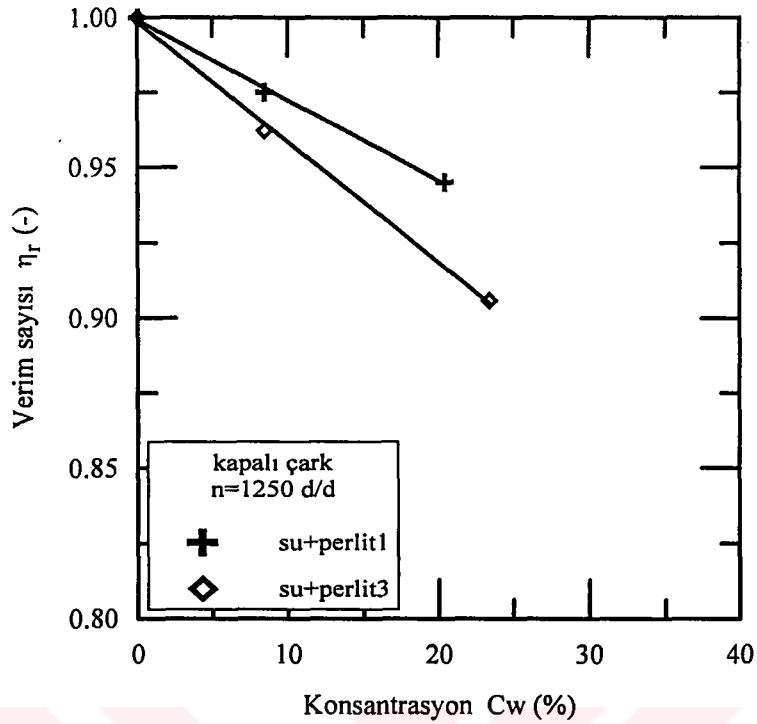
Şekil 7.1c Su-döküm kumu karışımı için farklı konsantrasyonlarda yük ve verim sayılarının debi ile değişimi, kapalı çark, n=1250 d/d



Şekil 7.1d Su-döküm kumu karışımı için farklı konsantrasyonlarda yük ve verim sayılarının debi ile değişimi, kapalı çark,  $n=1400$  d/d



Şekil 7.1e Su-perlit1 ve su-perlit2 karışımı için farklı tanecek büyüklüklerinde  $H_r$ - $C_w$  değişimi, kapalı çark,  $n=1250$  d/d

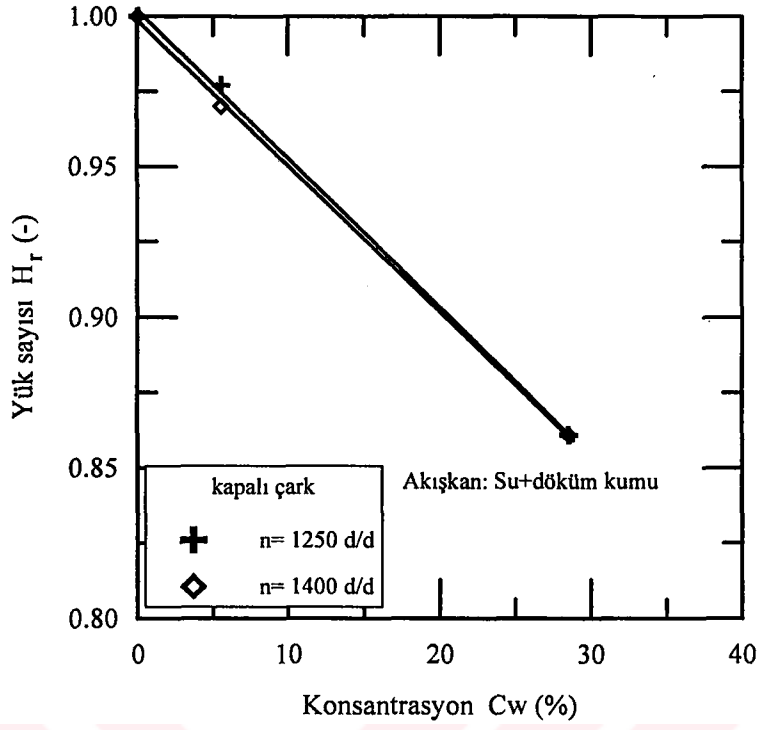


Şekil 7.1f Su-perlit1 ve su-perlit2 karışımı için farklı tanecik büyüklüklerinde  $\eta_r$ -Cw değişimi kapalı çark,  $n=1250$  d/d

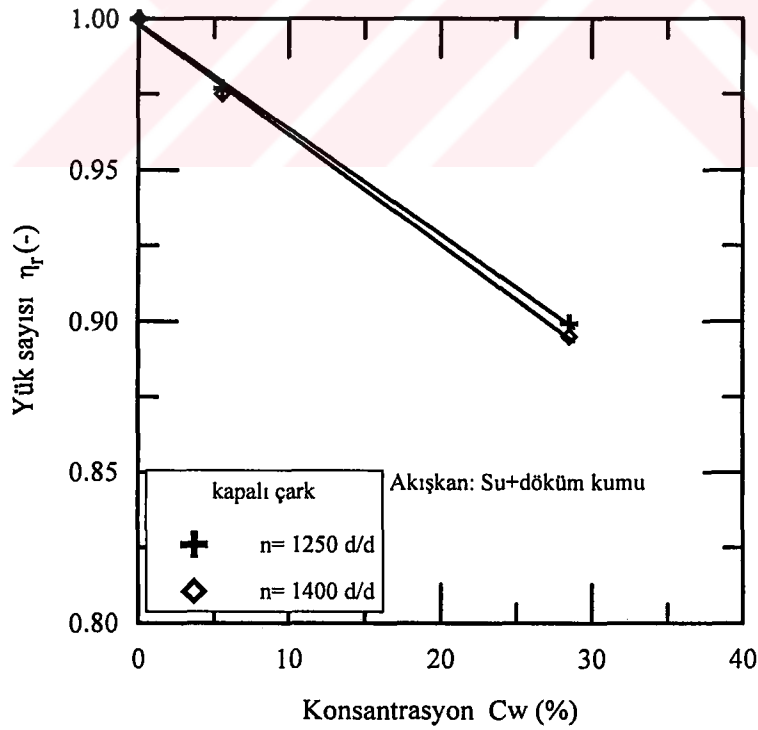
### 7.1.3. Pompa devir sayısının etkisi

Pompa performansı üzerinde, diğer bir ifadeyle  $H_r$  ve  $\eta_r$  üzerinde pompa dönme hızının etkisini belirlemek üzere döküm kumu 1250 ve 1400 d/d devir sayılarında kapalı çark kullanılarak test edilmiştir. Böylece her bir döküm kumu konsantrasyonu için Şekil 7.1c ve d de gösterilen  $H_r$ -Q ve  $\eta_r$ -Q eğrileri elde edilmiştir. Diğer karışım testlerinde olduğu gibi burada da basma yüksekliği ve verim artan konsantrasyonun etkisiyle azalmıştır. Bu eğrilerden hesaplanan ortalama  $H_r$  ve  $\eta_r$  değerlerinin konsantrasyona bağlı olarak değişimi sırasıyla Şekil 7.1g, h de gösterilmiştir. Görüldüğü gibi pompa devir sayısının değişmesi yük ve verim sayıları üzerinde önemli bir değişiklik yapmamaktadır. Dolayısıyla yük verim sayıları pompa devir sayısından bağımsızdır.





Şekil 7.1g Döküm kumu için farklı devir sayılarında  $H_r$ - $C_w$  eğrileri, kapalı çark



Şekil 7.1h Döküm kumu için farklı devir sayılarında  $\eta_r$ - $C_w$  eğrileri, kapalı çark

## 7.2. Açık Radyal Çark İçin Yük ve Verim Sayıları

Açık radyal çarkın kullanıldığı karışım deneylerinde katı madde olarak sahil kumu, kömür tozu, döküm kumu, perlit1, perlit2 ve perlit3 seçilmiştir. Bölüm 6 da bu maddeler için elde edilen  $\psi=f(\varphi, C_w)$  ve  $\eta=f(\varphi, C_w)$  eğrilerinden yük ve verim sayıları hesaplanmıştır. Buradan bulunan  $H_r=f(Q, C_w)$  ve  $\eta_r=f(Q, C_w)$  eğrileri Şekil 7.2-7.4 de verilmiştir.

### 7.2.1. Tanecik konsantrasyonunun etkisi

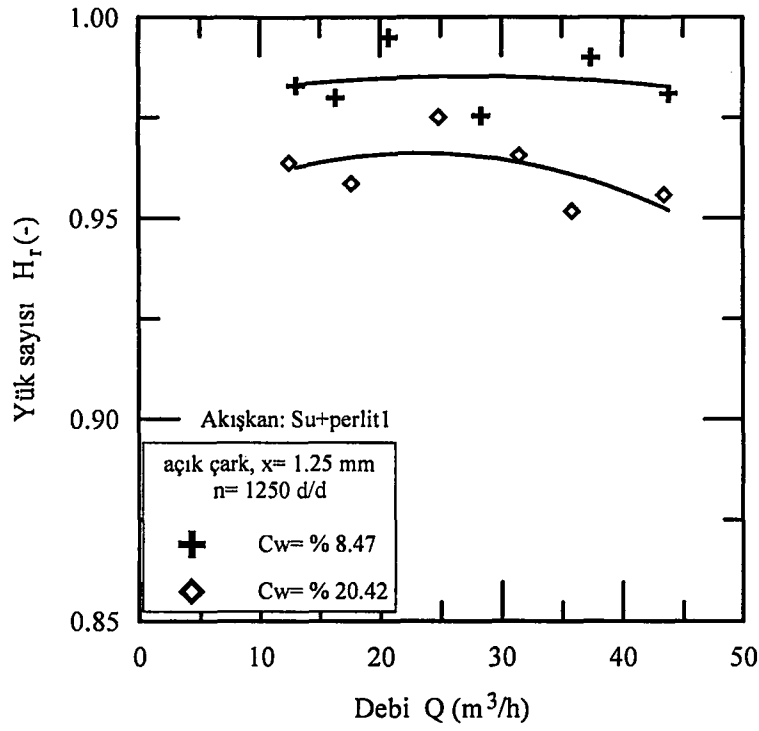
Kapalı çarkın kullanıldığı testlerde olduğu gibi burada da artan katı tanecik konsantrasyonuna bağlı olarak, Bölüm 6 da ifade edildiği gibi, yük ve verim sayılarında düşme meydana geldiği Şekil 7.2-7.4 den anlaşılmaktadır. Bu düşüşün üzerinde konsantrasyonun artmasıyla, basılan akışkanın (karışımın) bağlı yoğunluğunun artmasının önemli bir etkisi vardır. Diğer taraftan tanecik özelliklerinin de bu düşüşe ikinci dereceden katkıları vardır. Daha net bir ilişki Şekil 7.5a-d de görülmekte ve  $(H_r, \eta_r) \propto C_w$  olduğu anlaşılmaktadır.

### 7.2.2. Tanecik büyüklüğünün etkisi

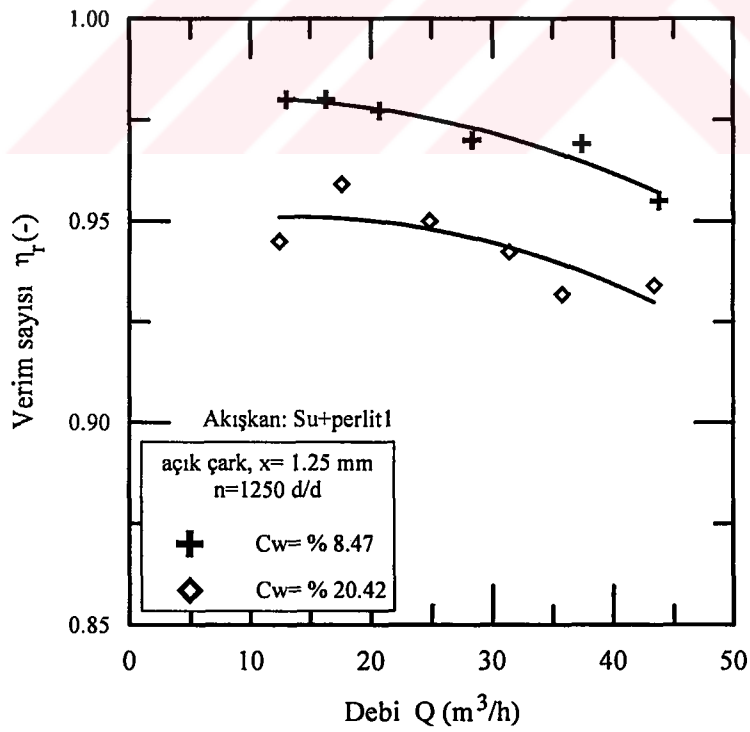
Pompa performansı üzerinde tanecik büyüklüğünün etkisini incelemek üzere bağlı yoğunlukları aynı, kütleli ortalama çapları farklı olan perlit1, perlit2 ve perlit3 katı örnekleri seçilmiştir. Testlerdeki pompa devrinin de aynı olması (1250 d/d) durumunda test değişkeni olarak sadece kütleli ortalama çapı kalmakta ve bu sayede tanecik ortalama çapının pompa performansı üzerindeki etkisini incelemek imkanı sağlanmış olur. Değişik aralık açıklıklarında yapılan pompa performans testleri her perlit örneği için benzer eğilim göstermiştir (Bölüm 6). Bölüm 6 da her bir katı madde konsantrasyonu için elde edilen pompa tanım eğrileri verilmiştir. Kapalı ve açık çark durumunda, basma yüksekliği ve verim eğrilerinde, çok küçük debi değerlerinden itibaren, beklenen şekilde yavaş bir azalma görülmesi, kapalı vana basma yüksekliği için kararsız bir işletme koşulunun meydana gelmediğini göstermektedir. Bunun yanında, herhangi bir noktadaki basma yüksekliği tanecik konsantrasyonunun artmasıyla azalmakta, buna karşılık pompa giriş gücü

artmaktadır. Bu değerlendirme konuyla ilgili literatür tarafından da desteklenmektedir; Gahlot [28], Vocadlo [29], Sellgren [32], Stepanoff [37], Kazim [38], Wilson [42]. Testler esnasında sirkülasyon halindeki karışımlardan her bir test konsantrasyonu için, belirli aralıklarda alınan karışım örnekleri, sirkülasyonun tanecik boyut dağılımı üzerindeki etkilerini incelemek için kullanılmıştır. Bu örnekler kurutularak tekrar elek analizini yapılmış ve bunun sonucunda kömür tozu hariç olmak üzere testlerde kullanılan katı madde örneklerinin boyut dağılımlarının kapalı çevrim sirkülasyondan önemli ölçüde etkilenmediği, bunun yanında kömür tozunun test süresine paralel olarak sürekli bir incelmeye uğradığı tespit edilmiştir.

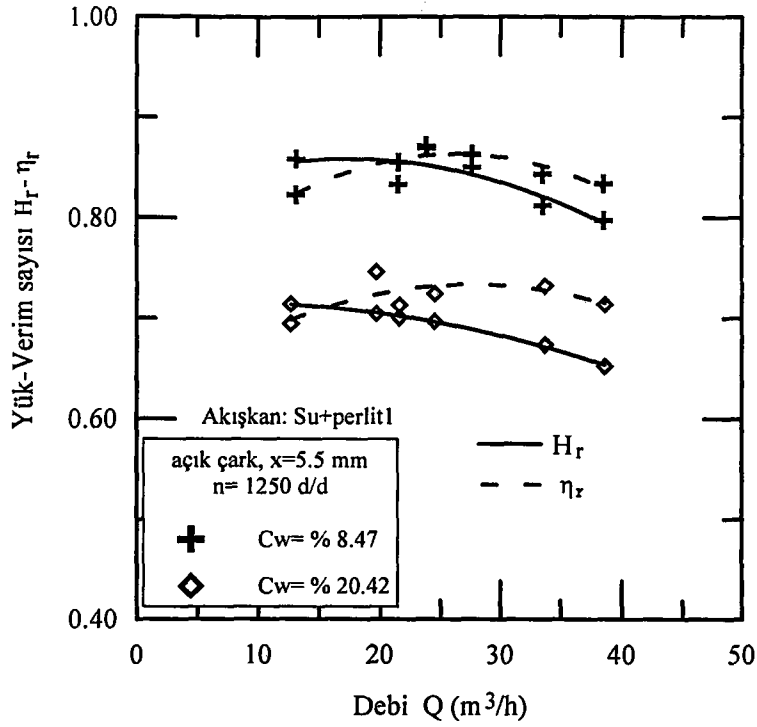
Pompa performansı test sonuçlarını tanecik büyüklüğünün etkisini incelemek üzere analiz etmek için basma yüksekliği ve genel verimdeki bağıl düşme;  $H_r$  ve  $\eta_r$ , her bir perlit örneğinin farklı konsantrasyonları için, sırasıyla (4.5) ve (4.6) eşitliklerinden hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlar Şekil 7.2-7.4 de gösterilmiştir. Burada verilen şekiller incelendiğinde hem  $H_r$  hem de  $\eta_r$  değerlerinin belirli bir konsantrasyon için debi ile dar bir aralıkta değiştikleri görülmektedir. Bu durum, sadece su için elde edilen pompa tanım eğrisinden, artan konsantrasyona bağlı olarak paralel düşme gösteren karışım tanım eğrilerinin oluşumu ile açıklanabilir. Diğer bir ifadeyle, artan debi değerleri ile kısma eğrisinde hem temiz su hem de karışım için aynı oranda düşme meydana gelmesinden dolayı,  $H_r$  ve  $\eta_r$  değerleri hemen hemen debiden bağımsız gibi davranmaktadır. Benzer sonuçlar Stepanoff [37] tarafından da bildirilmiştir. Katı tanecik büyüklüğünün pompa performansı üzerindeki etkisini belirlemek için, belirli bir aralık açıklığı ve konsantrasyon değeri için çizilen  $H_r$ - $Q$  tanım eğrisi üzerinden söz konusu olan konsantrasyona karşılık gelen ortalama  $H_r$  ve  $\eta_r$  değerleri hesaplanarak ortalama  $H_r$ - $C_w$  değişimleri elde edilmiştir (Şekil 7.5a-d). Böylece belirli bir aralık açıklığı için katı tanecik büyüklüğünün etkisi belirlenmiştir. Elde edilen yük/verim sayısı-konsantrasyon değişimi 3 adet perlit örneği için Şekil 7.5a-d de gösterilmiştir. Şekil 7.5 incelendiğinde değişimlerin lineer bir eğilim sergiledikleri görülür. Ayrıca tanecik büyüklüğünün artmasıyla  $x=1.25$  mm aralık açıklığında  $H_r$  ve  $\eta_r$  değerleri belirli bir konsantrasyon değeri için azalmaktadır. Bu durum tanecik büyüklüğünün artmasıyla, katı maddeyi pompa içerisinde askıda tutmak ve hareket ettirmek için gerekli enerjinin artmasından kaynaklanmaktadır.



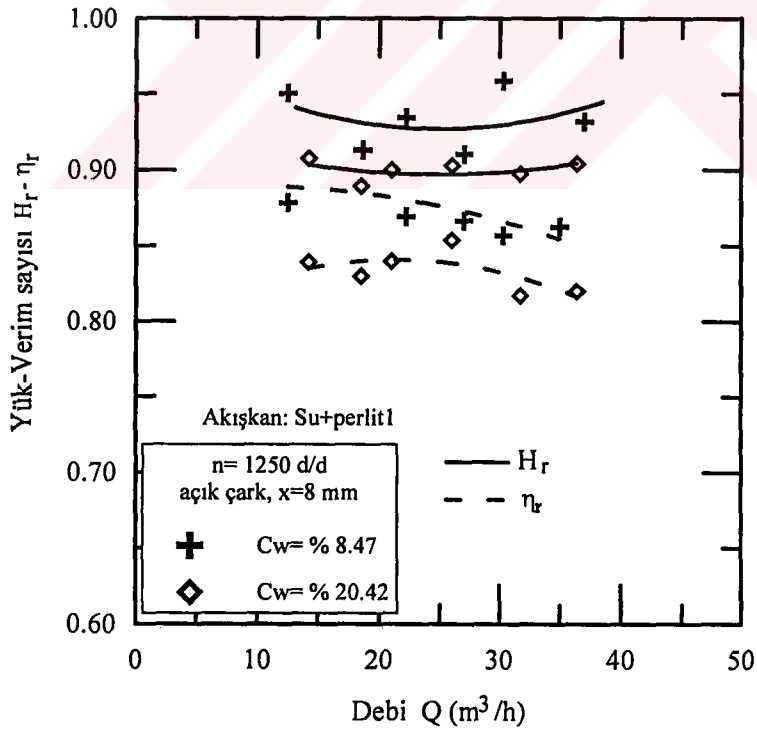
Şekil 7.2a Perlit1 için farklı konsantrasyonlarda  $H_r$ - $Q$  eğrileri açık çark,  $x=1.25$  mm,  $n=1250$  d/d



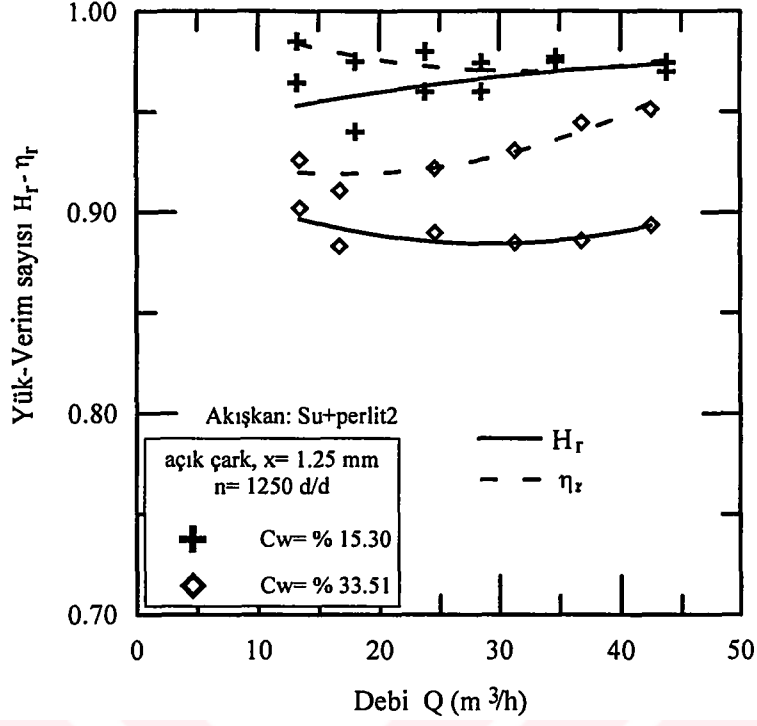
Şekil 7.2b Perlit1 için farklı konsantrasyonlarda  $\eta_r$ - $Q$  eğrileri açık çark,  $x=1.25$  mm,  $n=1250$  d/d



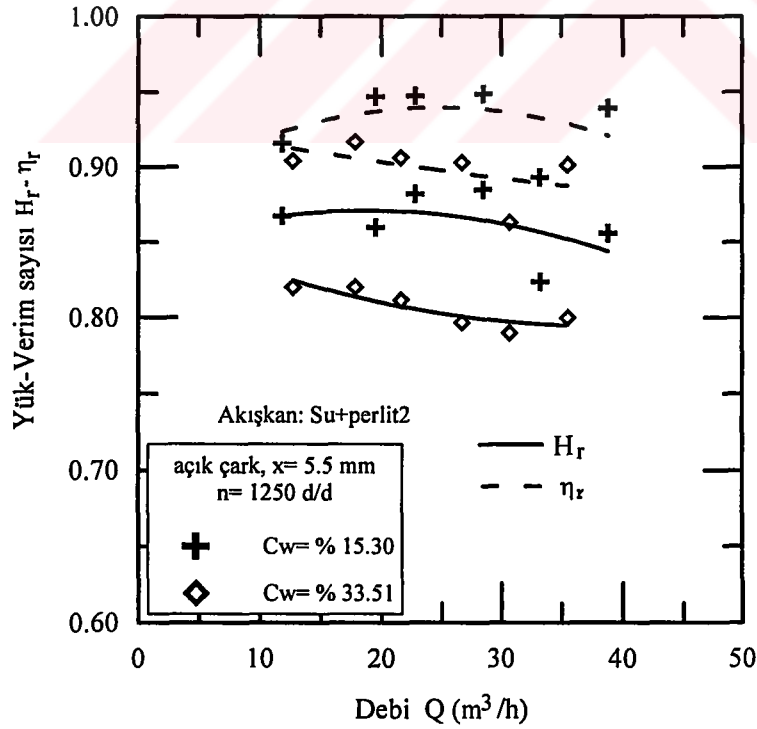
Şekil 7.2c Perlit1 için farklı konsantrasyonlarda  $H_r$ - $Q$  ve  $\eta_r$ - $Q$  eğrileri açık çark,  $x=5.5$  mm,  $n=1250$  d/d



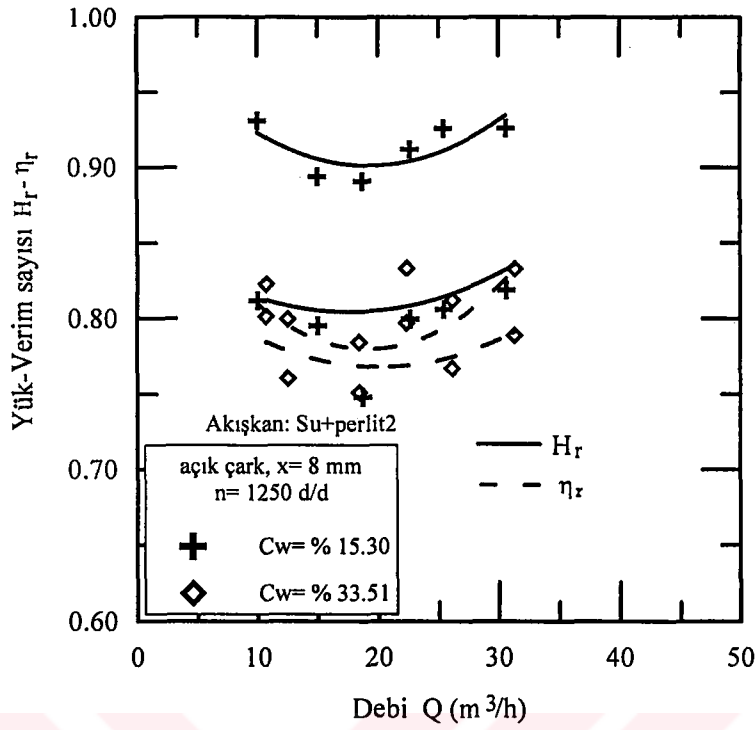
Şekil 7.2d Perlit1 için farklı konsantrasyonlarda  $H_r$ - $Q$  ve  $\eta_r$ - $Q$  eğrileri açık çark,  $x=8$  mm,  $n=1250$  d/d



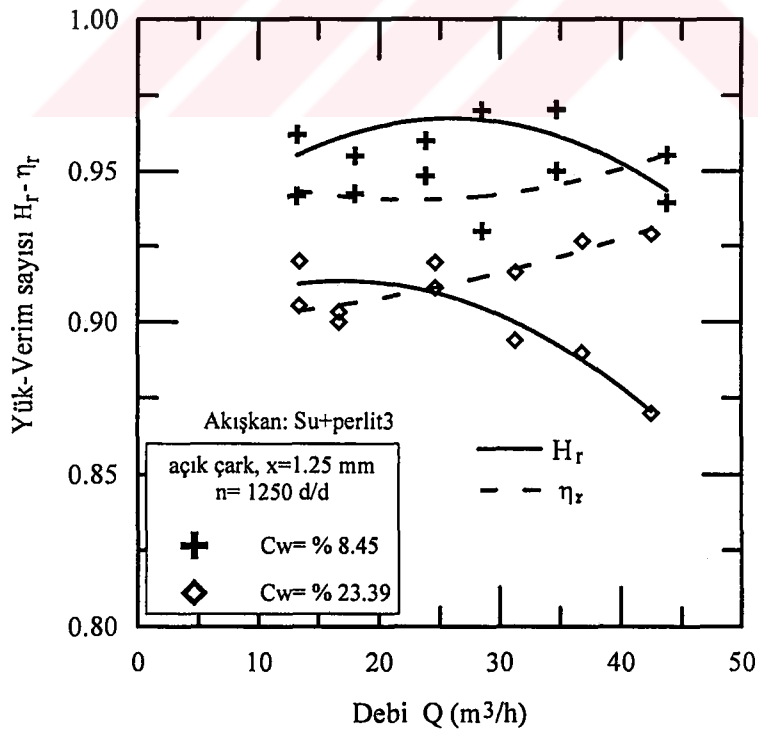
Şekil 7.3a Perlit2 için farklı konsantrasyonlarda  $H_r$ - $Q$  ve  $\eta_r$ - $Q$  eğrileri açık çark,  $x=1.25$  mm,  $n=1250$  d/d



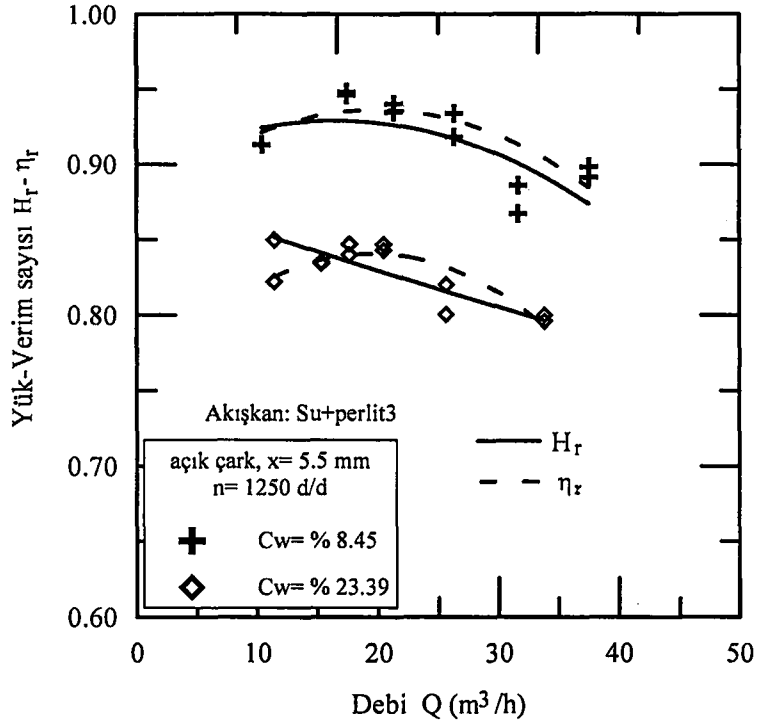
Şekil 7.3b Perlit2 için farklı konsantrasyonlarda  $H_r$ - $Q$  ve  $\eta_r$ - $Q$  eğrileri açık çark,  $x=5.5$  mm,  $n=1250$  d/d



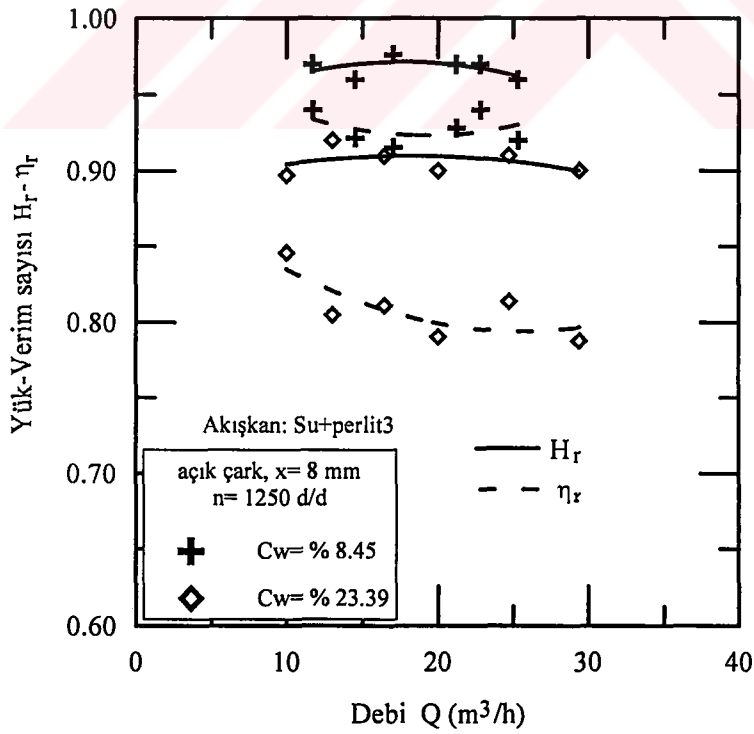
Şekil 7.3c Perlit2 için farklı konsantrasyonlarda  $H_r$ - $Q$  ve  $\eta_r$ - $Q$  eğrileri açık çark,  $x=8$  mm,  $n=1250$  d/d



Şekil 7.4a Perlit3 için farklı konsantrasyonlarda  $H_r$ - $Q$  ve  $\eta_r$ - $Q$  eğrileri açık çark,  $x=1.25$  mm,  $n=1250$  d/d

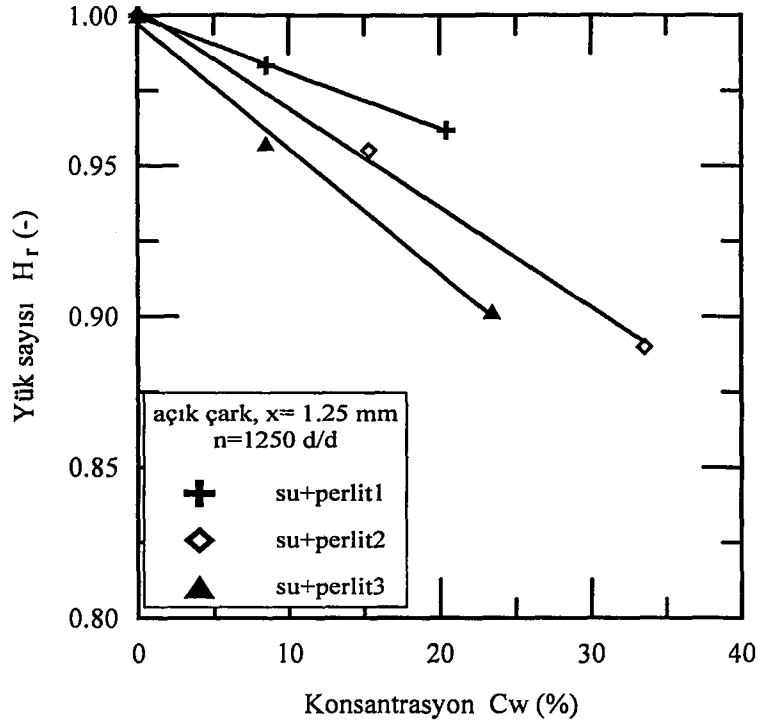


Şekil 7.4b Perlit3 için farklı konsantrasyonlarda  $H_r$ - $Q$  ve  $\eta_r$ - $Q$  eğrileri açık çark,  $x=5.5$  mm,  $n=1250$  d/d

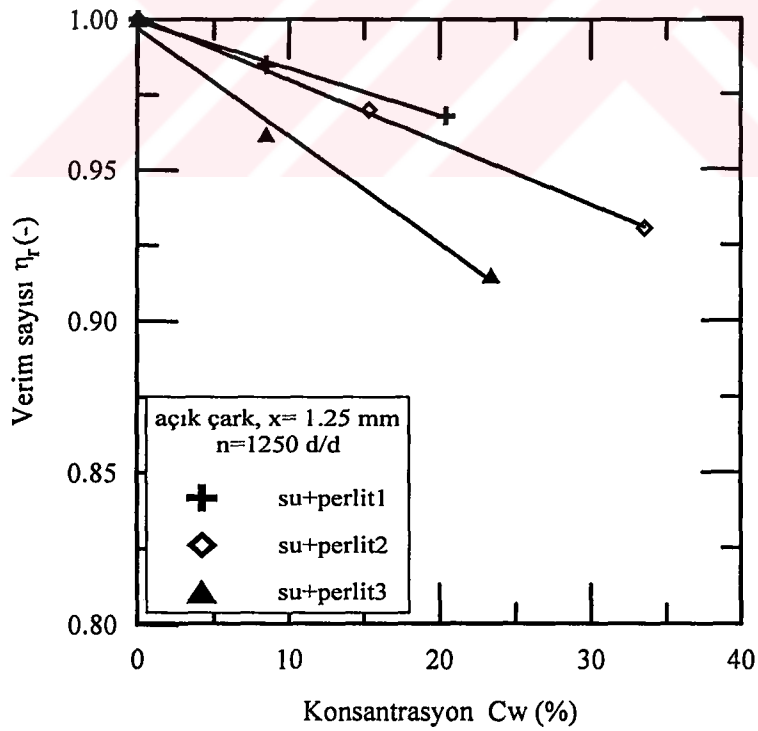


Şekil 7.4c Perlit3 için farklı konsantrasyonlarda  $H_r$ - $Q$  ve  $\eta_r$ - $Q$  eğrileri açık çark,  $x=8$  mm,  $n=1250$  d/d

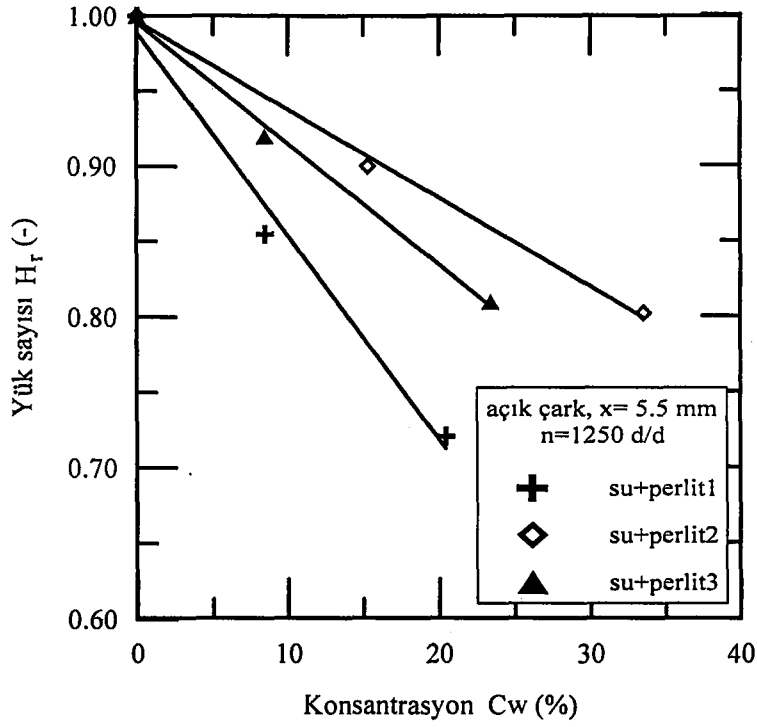




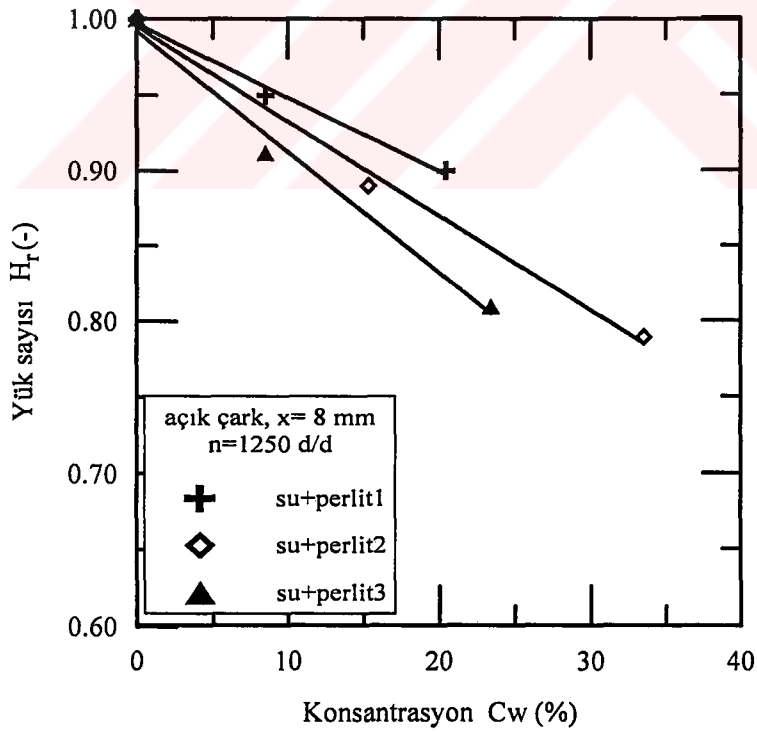
Şekil 7.5a Farklı tanecek büyüklüklerinde  $H_r$ - $C_w$  değişimi, açık çark,  $x=1.25$  mm,  $n=1250$  d/d



Şekil 7.5b Perlit için farklı tanecek büyüklüklerinde  $\eta_r$ - $C_w$  değişimi, açık çark,  $x=1.25$  mm,  $n=1250$  d/d



Şekil 7.5c Perlite için farklı tanecik büyüklüklerinde  $H_r$ - $C_w$  değişimi, açık çark,  $x=5.5$  mm,  $n=1250$  d/d



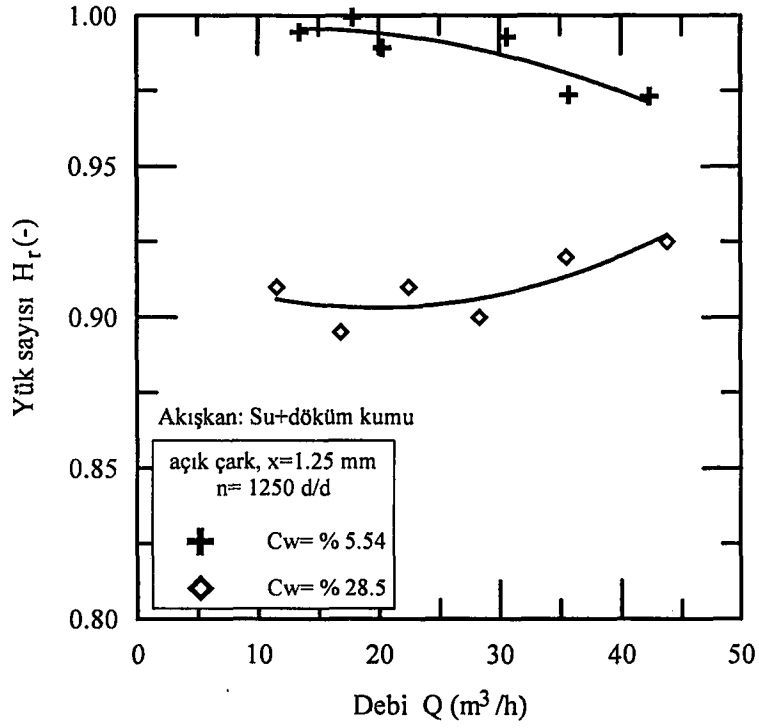
Şekil 7.5d Perlite için farklı tanecik büyüklüklerinde  $H_r$ - $C_w$  değişimi, açık çark,  $x=8$  mm,  $n=1250$  d/d

### 7.2.3. Tanecik bağıl yoğunluğunun etkisi

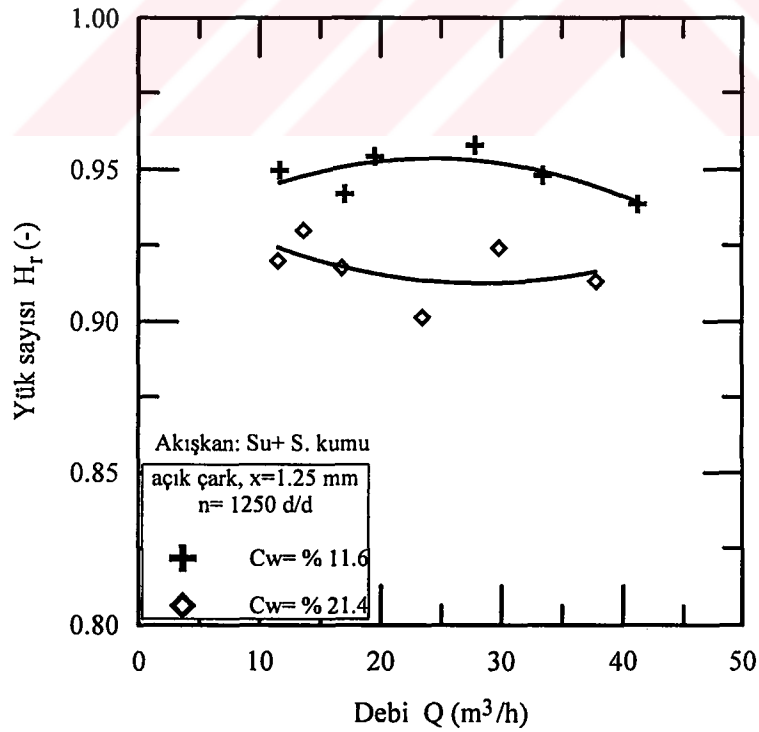
Su ile pompalanan tanecik bağıl yoğunluğunun pompa performans karakteristiklerine etkisini belirlemek için sahil kumu ( $S_s=2.64$ ) ile döküm kumu ( $S_s=2.1$ ) kullanılmıştır. Karşılaştırma testi 1250 d/d pompa devrinde ve  $x=1.25$  mm alınarak yapılmıştır. Tanecik bağıl yoğunluğunun etkisini incelemek için bu iki maddenin seçilmesinin nedeni boyut dağılımlarının birbirlerine yakın olması ve  $d_{50}$  çaplarının yaklaşık eşit olmasıdır (bkz. Şekil 5.18 ve Tablo 5.9). Diğer taraftan kütle ortalama çapları da sırasıyla 0.44 mm ve 0.40 mm olarak birbirlerine oldukça yakındır.

Tanecik yoğunluğunun pompa performansı üzerindeki etkisini incelemek üzere Şekil 7.6a da döküm kumuna ait  $H_r$ -Q değişimi farklı konsantrasyon değerleri için çizilmiştir. Diğer taraftan benzer eğriler Şekil 7.6b de sahil kumu için verilmiştir. Değişimler incelendiğinde her iki tanecik için de yük oranlarının debiye karşı önemli bir bağımlılık göstermediği görülmektedir. Ortalama  $H_r$  değerinden döküm kumu için % 28.5 lik kütle konsantrasyonunda meydana gelen en yüksek sapma % 1.67 olurken bu değer sahil kumu için % 21.4 lük konsantrasyon değeri için sadece % 1.8 dir. Bu saçılma ihmal edilebilir düzeydedir ve dolayısıyla döküm kumu ve sahil kumu için, deneyler  $H_r$  yük sayılarının debiden bağımsız olduğunu ortaya koymuştur.

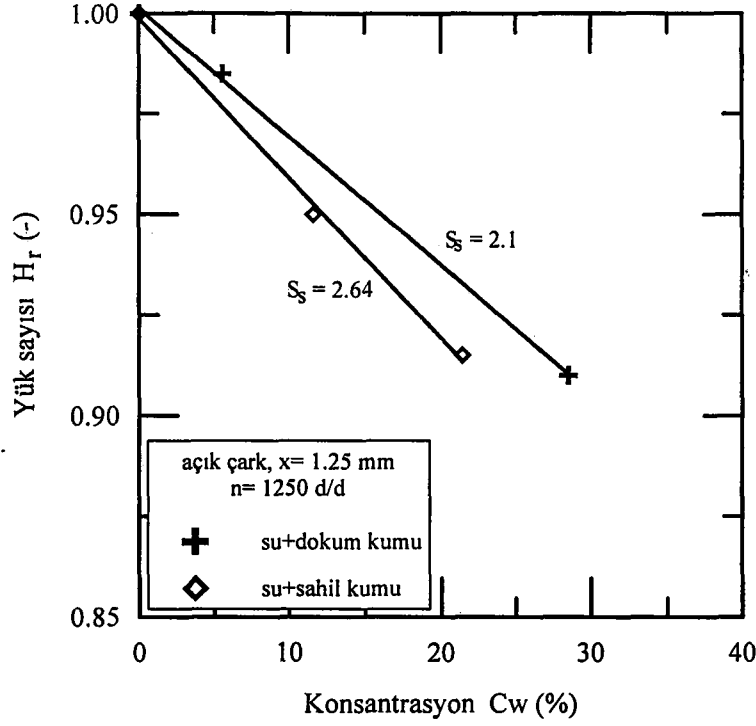
Şekil 7.6c de döküm kumu ve sahil kumu için ortalama  $H_r$  değerlerinin konsantrasyona bağlı olarak değişimi, katı yoğunluğunun etkisini incelemek üzere çizilmiştir. Bu karşılaştırmadan hem döküm kumu hem de sahil kumu için yük sayılarının konsantrasyonun artmasına paralel olarak lineer bir azalma gösterdiği anlaşılmaktadır. Diğer yandan verilen bir konsantrasyon değeri için sahil kumuna ait yük sayısının değeri döküm kumuna ait olandan daha düşüktür. Bu durum yoğunluğu yüksek olan katıyı pompalamak için gerekli enerjinin daha yüksek olmasından kaynaklanmaktadır. Dolayısıyla basma yüksekliğinde daha fazla bir azalma meydana gelmektedir.



Şekil 7.6a Döküm kumu için farklı konsantrasyonlarda  $H_r$ - $Q$  eğrileri açık çark,  $x=1.25$  mm,  $n=1250$  d/d



Şekil 7.6b Sahil kumu için farklı konsantrasyonlarda  $H_r$ - $Q$  eğrileri açık çark,  $x=1.25$  mm,  $n=1250$  d/d

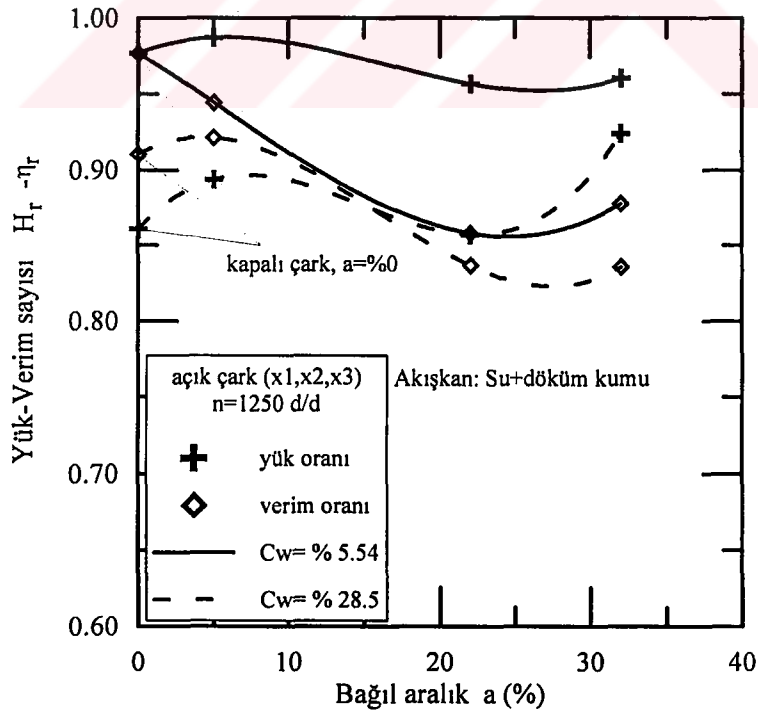


Şekil 7.6c Döküm kumu ve sahil kumu için farklı konsantrasyonlarda  $H_r$ - $C_w$  eğrileri, açık çark,  $x=1.25$  mm,  $n=1250$  d/d

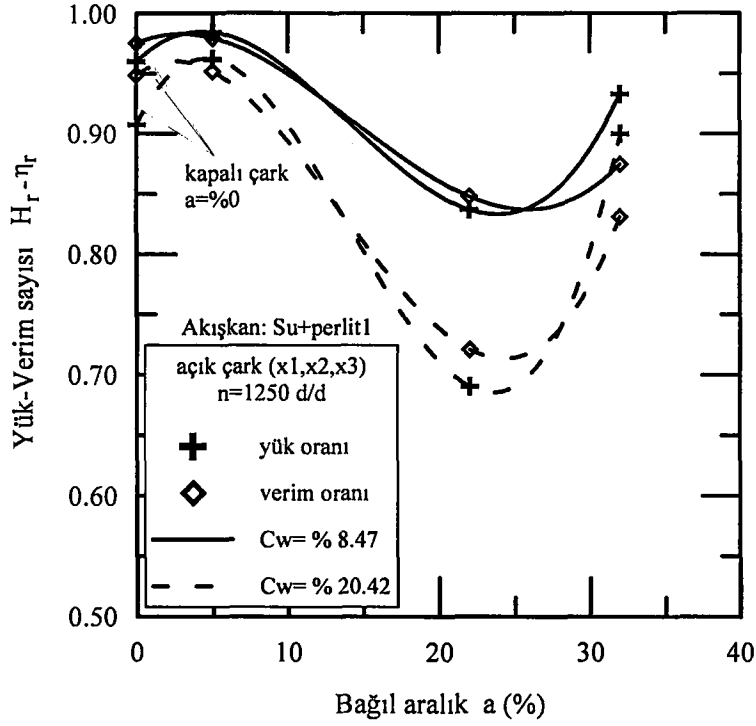
#### 7.2.4. Aralık açıklığının etkisi

Yük sayısı,  $H_r$  ve verim sayısı  $\eta_r$  üzerinde değişen aralık açıklığının etkisini incelemek için döküm kumu ve 3 adet perlit malzemesi kullanılmıştır. Testler 1250 d/d pompa devrinde kapalı ve açık çark kullanılarak yapılmıştır. Elde edilen sonuçlar Şekil 7.7a-d de gösterilmiştir. Şekiller üzerinde sıfır bağıl aralık genişliğinde elde edilen deneysel veri noktaları kapalı çark testlerinden elde edilmiştir. Şekil 7.7 incelendiğinde yük ve verim sayılarının bağıl aralık açıklığının artmasıyla, genel olarak, önce bir miktar arttığı, ardından azalarak % 22 bağıl aralık açıklığı civarında bir minimumdan geçtikten sonra tekrar arttığı görülmektedir. Ancak veri noktalarının az olması nedeniyle böyle bir eğilimin kesin bir değişim olarak öne sürülmesi için yeterli kanıt bulunmamaktadır. Böyle bir değişimin gerçekleşmesinde doğal olarak aralık kayıplarının, disk sürtme kayıplarının ve katı tanecik özellikleriyle konsantrasyonun önemli bir etkisi bulunmaktadır. Genel anlamda konsantrasyonun artmasıyla beklenen yük ve verim sayılarındaki düşüş burada da kendini göstermiştir. Kapalı çarkın disk sürtünme kaybı yüksek olduğundan  $x=1.25$  mm ( $a=\% 5$ ) aralık

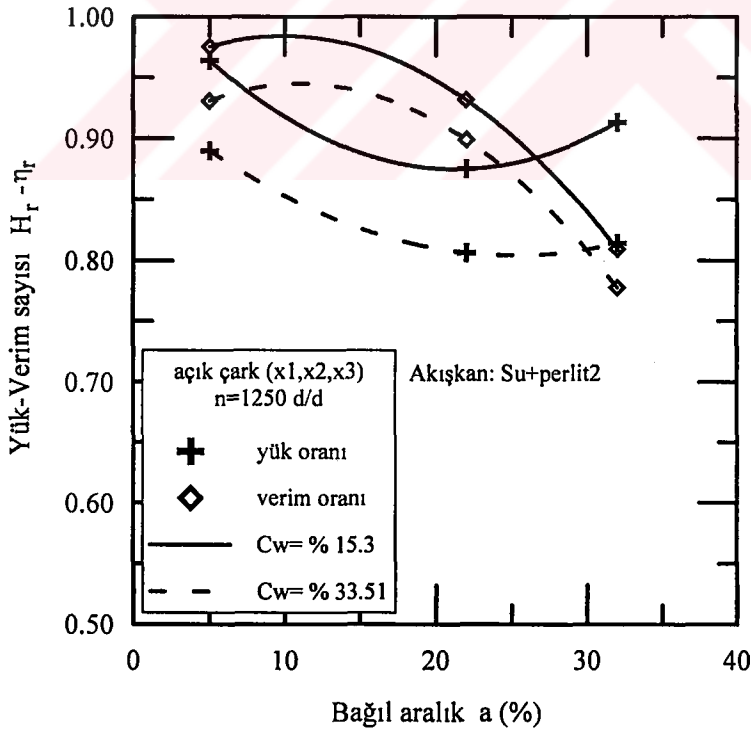
açıklığına kadar azalan bu kaybın etkisiyle performansta bir miktar iyileşme görülmektedir. Bu oluşumda suya göre viskozitesi yüksek olan karışım viskozitesinin payı yüksektir. Çünkü dar bir aralıktan geçen aralık akışı, artan viskozite nedeniyle azalmış, dolayısıyla aralık kaybı düşük bir mertebededir. Diğer taraftan sabit diskin (yan kapak) alınmasıyla disk sürtünmesi azalarak pompa iç kayıplarında azalmaya neden olmuştur. Böylece kapalı çarka göre daha yüksek performans sayıları elde edilmiştir. Ancak aralık açıklığı  $x= 5.5$  mm ( $a= \% 22$ ) olduğunda katı tanecik çaplarının aralık açıklığının yarısından daha fazla olmasının da etkisiyle disk sürtünme kaybı aralık kayıplarıyla beraber artış göstererek yük ve verim sayılarının düşmesine neden olmuştur. Ancak  $x= 8$  mm ( $a= \% 32$ ) olduğunda disk sürtünme kaybı oldukça azalmış, aralık kayıpları ise karışımın viskozite artış özelliğine bağlı olarak önemli bir artış göstermemiştir. Bu durum yük verim sayılarının tekrar artmasını sağlamıştır. Ayrıca konsantrasyonun artmasıyla, Şekil 7.7b ve c den de görüldüğü gibi, özellikle perlit1 ve perlit2 için yük ve verim sayıları aralık açıklığının artmasına karşı daha duyarlı hale gelmektedir. Ancak tam bir analizin yapılabilmesi için daha geniş bir aralık açıklığında daha sık bir tarama yapılması gerekmektedir.



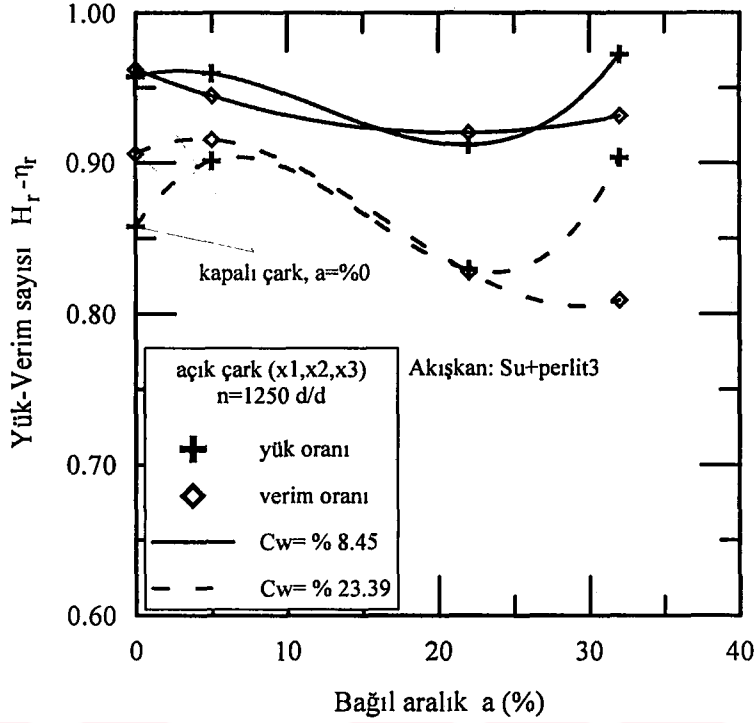
Şekil 7.7a Döküm kumu için farklı konsantrasyonlarda  $H_r$ -a,  $\eta_r$ -a eğrileri,  $n= 1250$  d/d



Şekil 7.7b Perlit1 için farklı konsantrasyonlarda  $H_r$ -a,  $\eta_r$ -a eğrileri,  $n = 1250$  d/d



Şekil 7.7c Perlit2 için farklı konsantrasyonlarda  $H_r$ -a,  $\eta_r$ -a eğrileri,  $n = 1250$  d/d



Şekil 7.7d Perlit3 için farklı konsantrasyonlarda  $H_r$ -a,  $\eta_r$ -a eğrileri,  $n = 1250$  d/d

### 7.2.5. Aralık kayıplarının etki faktörleri

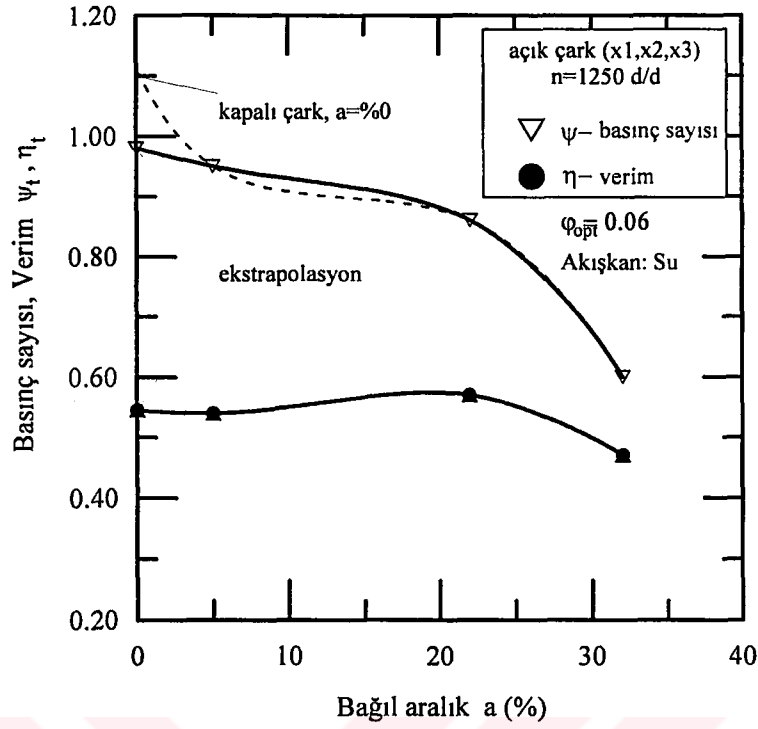
Açık çarkların en önemli performans kaybının aralık kayıpları ile gerçekleştiği bilinmektedir. Bu kayıplar genellikle pompa çıkış basıncında, basma yüksekliğinde ve debisinde azalma şeklinde kendini göstermektedir. Aralık kayıplarına ait boyutsuz aralık etki faktörlerinin kullanımı oldukça yaygındır. Bölüm 2 de belirtildiği gibi bu faktörler (2.37-2.39) veya (2.41-2.43) denklemleriyle hesaplanır. Aralık kayıplarının tanımlanması bakımından hangi debi değerindeki aralık etki faktörlerinin kullanılması gerektiği yönünde literatürde bir fikir birliği bulunmamaktadır. Bununla beraber çark tasarım debisinin veya maksimum verim debilerinin kullanımı benimsenmiştir. Ancak tasarımı tamamlanan bir pompa çarkında, çeşitli nedenlerden ötürü genellikle tasarım debisi tam olarak tutturulamaz ve tespit edilmesi zordur. Diğer taraftan pompa performans testleri yardımıyla maksimum verim noktasını bulmak son derece kolay ve güvenilirdir. Bu çalışmada söz konusu nedenden dolayı maksimum verim noktasındaki aralık etki faktörleri dikkate alınmıştır.



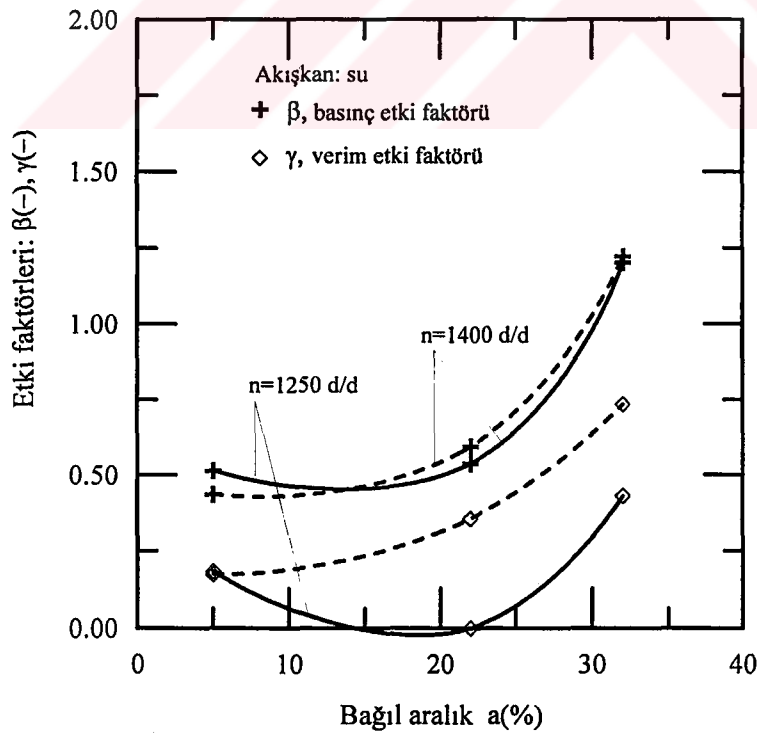
$\alpha$ ,  $\beta$  ve  $\gamma$  ile gösterilen aralık etki faktörleri sırasıyla debi, basınç ve verim etki faktörleridir. Yapılan araştırmalar debi etki faktörlerinin genellikle diğer iki faktörün yarısından daha küçük değerler aldığını göstermiştir, Yiğit [27]. Diğer bir ifadeyle maksimum verim için pompa debisi, özgül kademe işi ve genel verime göre daha az bir duyarlılık göstermektedir. Tanım eğrilerinde bu durum, düşen verimle beraber yeni verim karakteristiğinin tepe noktasının aynı debi değerinde oluşması olarak görülür (Şekil 2.6b). Karışım pompalanması durumunda da artan konsantrasyona paralel olarak tanım eğrileri düşme göstermektedir. Bu durum yapılan test sonuçlarında da gözlenmiştir. Gahlot [28], Cave [31], Sellgren [32] ve Kazim [38] tarafından yapılan araştırmalar en iyi verim noktasındaki (best efficiency point=bep) debi büyüklüğünün ( $\varphi_{opt}$ ) karışım tipinden ve konsantrasyonundan bağımsız olduğunu göstermiştir. Bu çalışmada elde edilen test sonuçları dikkate alınarak  $\varphi_{opt} = 0.06$  alınmıştır. Diğer taraftan debi etki faktörü ( $\alpha$ ) dikkate alınmayacaktır.

#### 7.2.5.1. Temiz su için aralık etki faktörleri

Temiz su pompalanması durumunda aralık etki faktörlerini hesaplamak üzere Şekil 6.4a ve b den  $\varphi_{opt} = 0.06$  için her bir aralığa karşılık gelen basınç sayısı ve verim değerleri okunmuştur. Bu değerler kullanılarak Şekil 7.8a da gösterilen ( $\psi, \eta$ )- $\varphi$  değişimleri elde edilmiştir. Burada kesik çizgilerle verilen eğri, kapalı çarkın  $a=0$  kabul edilmesi durumunda oluşacak olan eğriyi göstermektedir. Bu eğrinin çizilmesinde ekstrapolasyon yapılmayıp sadece kapalı çark özelliği ile sıfır aralık açıklığına sahip açık çarkın çalışmasını karşılaştırmak için çizilmiştir. Görüldüğü gibi kapalı çark durumu sıfıra yakın aralık açıklıklarını temsil etmekten uzaktır. Çünkü yaklaşık % 10 daha yüksek basınç sayısı vermektedir. Sürekli çizgiyle çizilen eğri için  $a=0$  noktası, ekstrapolasyonla, Pfeleiderer [2] yöntemine göre bulunmuştur. Buradan elde edilen sonuçlardan su için hesaplanan aralık etki faktörlerinin değişimi 1250 ve 1400 d/d için Şekil 7.8b de görülmektedir. Burada basınç etki faktörü  $\beta$ 'nin devir sayısından çok az etkilendiği anlaşılmaktadır. Diğer taraftan verim etki faktörü  $\gamma$ , devir sayısının artmasıyla artış göstermektedir. Bu durum Gür [17] tarafından elde edilen sonuçlarla uyum göstermektedir.



Şekil 7.8a Su için basınç sayısı ve verimin aralık açıklığı ile değişimi



Şekil 7.8b Su için farklı devir sayılarında aralık etki faktörlerinin aralık açıklığı ile değişimi

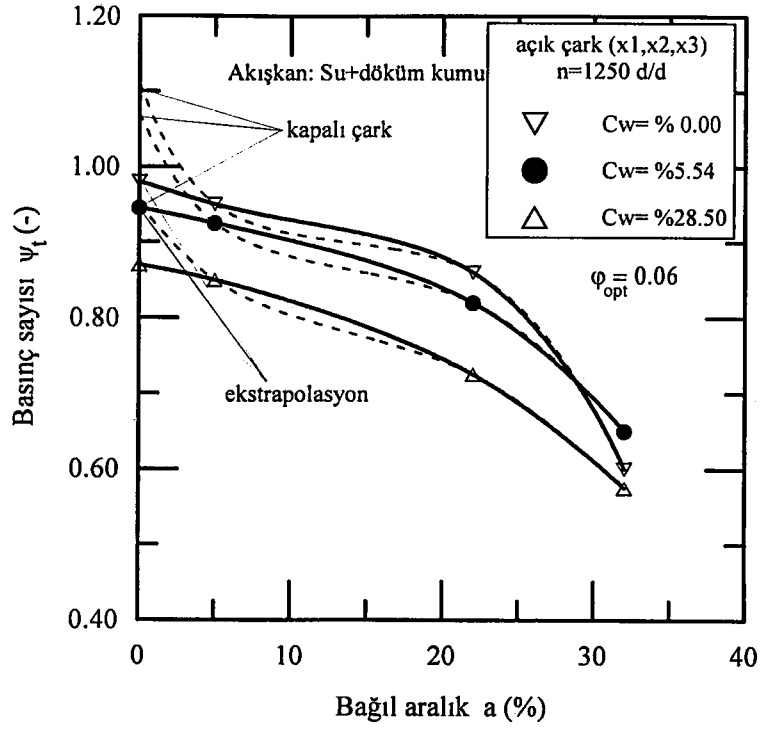
### 7.2.5.2. Karışımlar için aralık etki faktörleri

Karışımlar için etki faktörlerinin hesaplanmasında döküm kumu ve perlit grubu ile yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar kullanılmıştır. Temiz suda olduğu gibi burada da öncelikle Bölüm 6 da çeşitli karışımlar için elde edilen  $\psi$ - $\phi$  ve  $\eta$ - $\phi$  tanım eğrilerinden yararlanarak  $\psi$ -a ve  $\eta$ -a değişimleri elde edilmiştir.

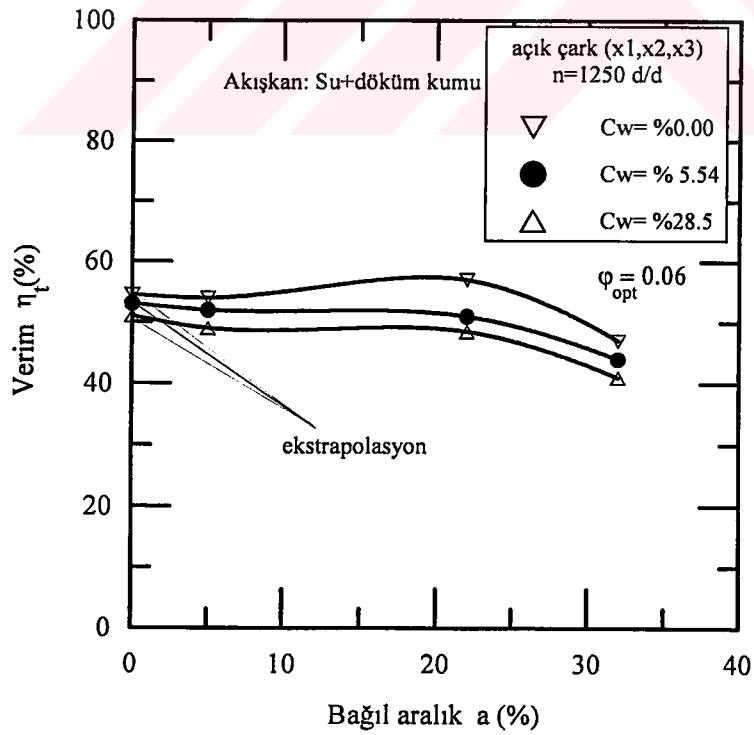
Su-döküm kumu karışımı için çizilen Şekil 7.9a ve b incelendiğinde, artan konsantrasyona bağlı olarak basınç ve verim sayılarının da düştüğü görülmektedir. Dolayısıyla konsantrasyonun karışım performansı üzerinde önemli bir etkisinin bulunduğu buradan da anlaşılmaktadır.

Perlit grubu için elde edilen Şekil 7.10-7.12 de de benzer eğilimler görülmüştür. Şekil 7.11b ve 7.12b de birincil konsantrasyonlarda verim değerlerinin küçük aralık açıklıklarında,  $C_w = 0$  ile gösterilen su tanım eğrisinin de üzerine çıktığı görülmektedir. Bu beklenmeyen durum, Pfeleiderer metodunda sıfır aralık açıklıklarındaki değerlerin ekstrapolasyonla bulunmasından kaynaklanmaktadır. Çünkü çok dar aralık açıklıklarında pompanın davranışı tam olarak kestirilemez ve ekstrapolasyon yoluyla bulunan bu noktalar yanıltıcı olabilmektedir.

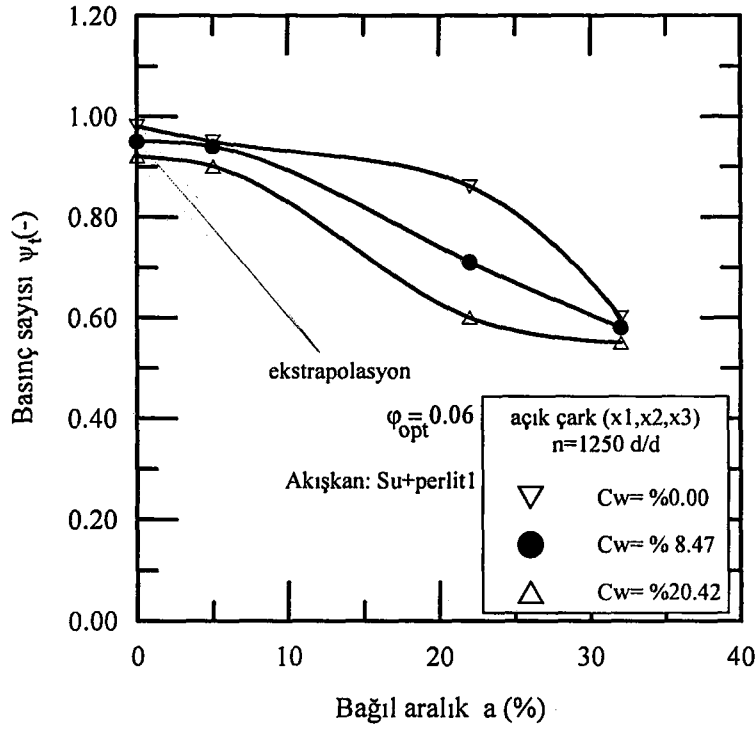
Şekil 7.13a ve b de döküm kumu için etki faktörleri değişik konsantrasyonlarda elde edilmiştir. Burada etki faktörlerinin, söz konusu karışım için, konsantrasyondan fazla etkilenmediği görülmektedir. Aynı durum perlit2 için çizilen Şekil 7.14b de elde edilmiştir. Diğer yandan Şekil 7.14a ve c de perlit1 ve perlit3 için konsantrasyon artışıyla beraber etki faktörlerinin de arttığı görülmektedir. Ancak genel bir sonuca varabilmek için daha fazla konsantrasyon ile deney yapma zorunluluğu vardır.



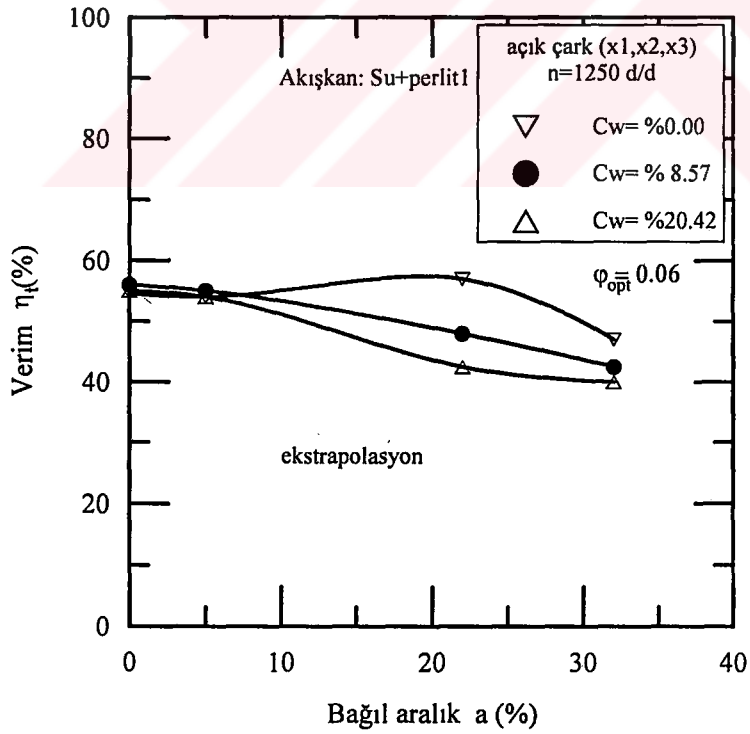
Şekil 7.9a Döküm kumu için basınç sayısının aralık açıklığı ile değişimi, n=1250 d/d



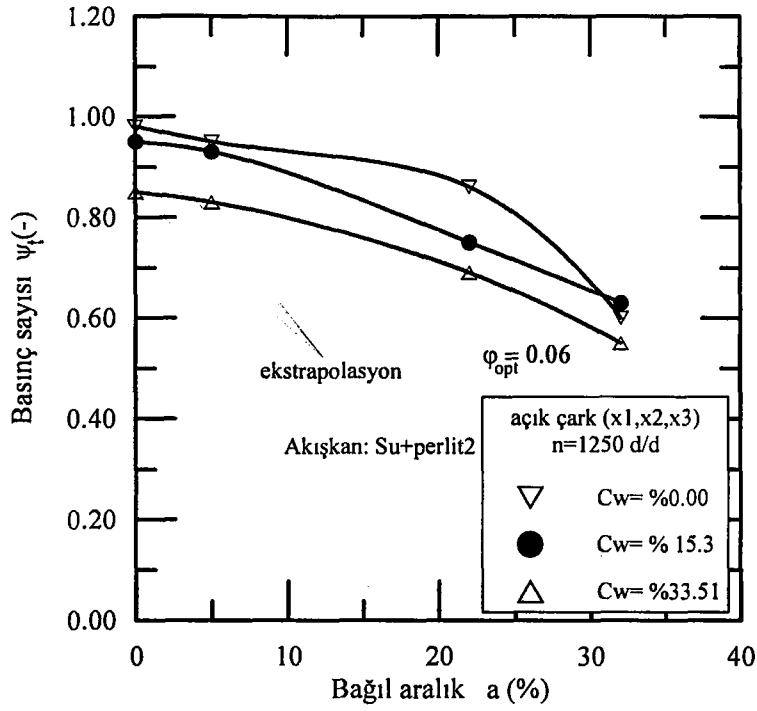
Şekil 7.9b Döküm kumu için verim sayısının aralık açıklığı ile değişimi, n=1250 d/d



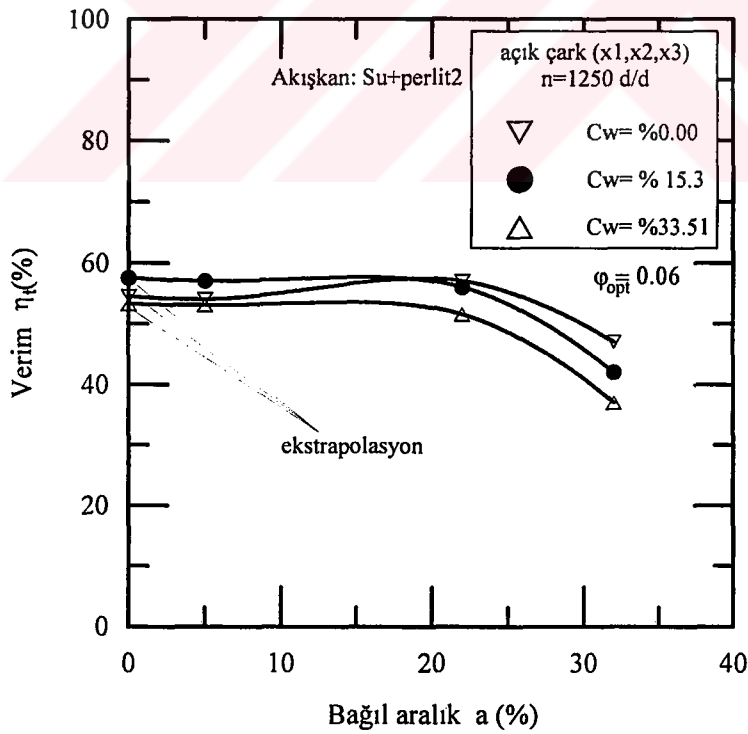
Şekil 7.10a Perlitli için basınç sayısının aralık açıklığı ile değişimi,  $n=1250$  d/d



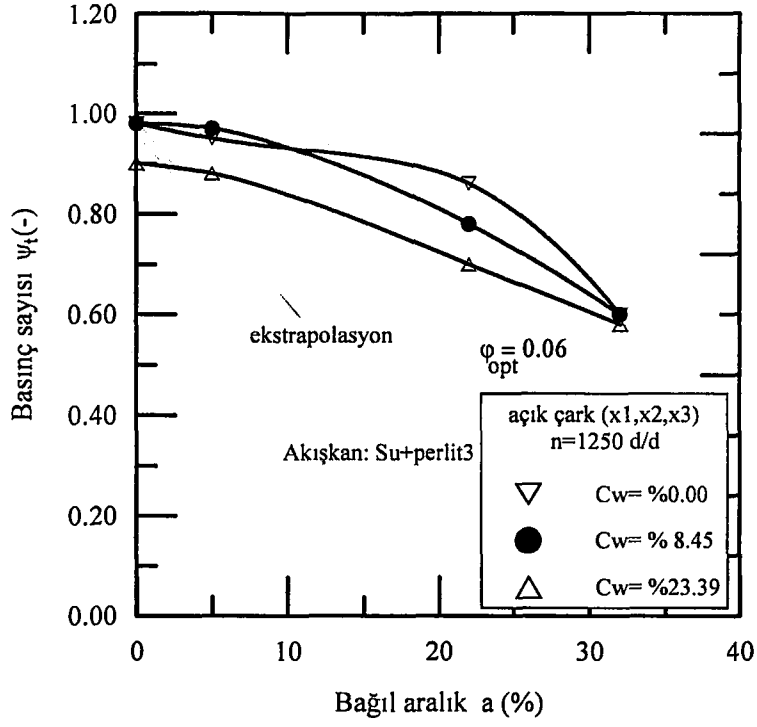
Şekil 7.10b Perlitli için verimin aralık açıklığı ile değişimi,  $n=1250$  d/d



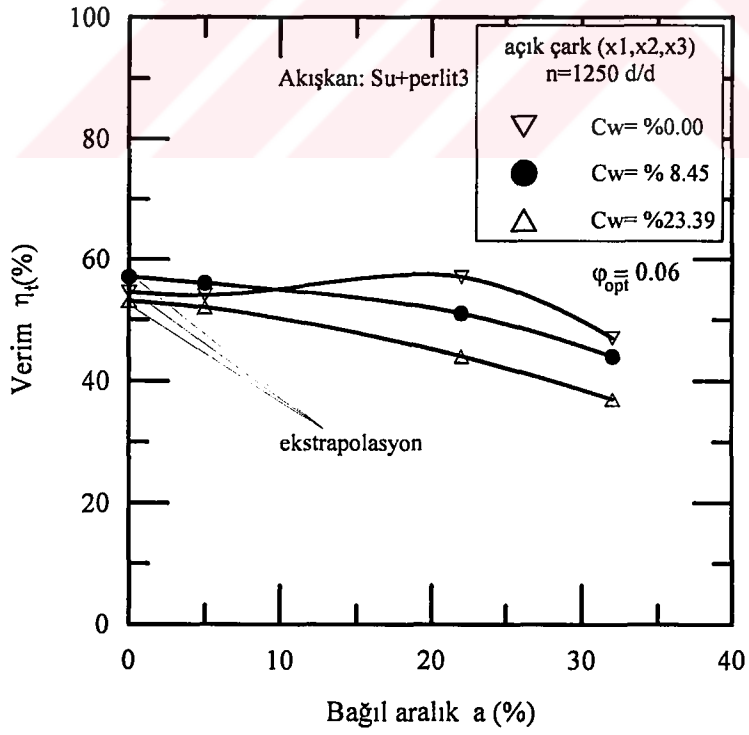
Şekil 7.11a Perlit2 için basınç sayısının aralık açıklığı ile değişimi,  $n=1250$  d/d



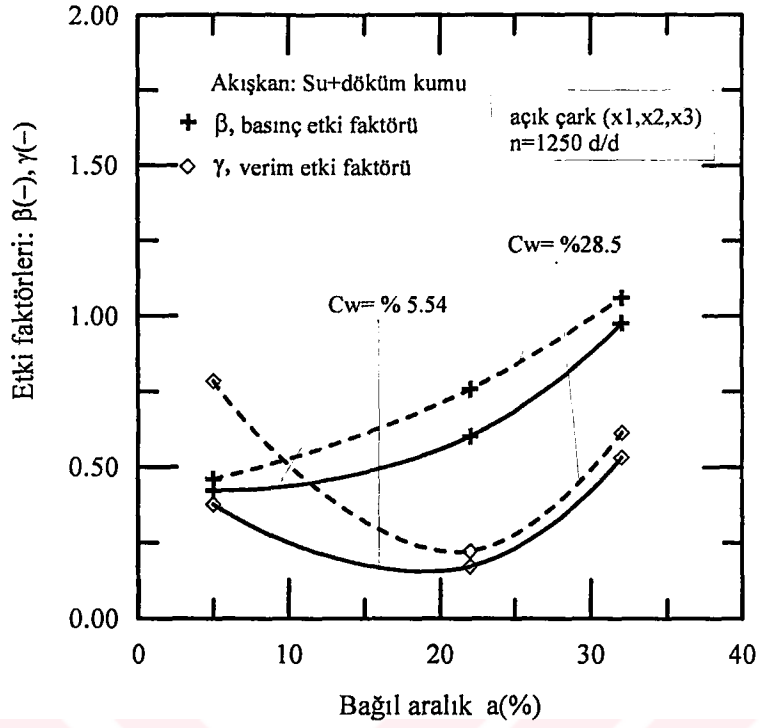
Şekil 7.11b Perlit2 için verimin aralık açıklığı ile değişimi,  $n=1250$  d/d



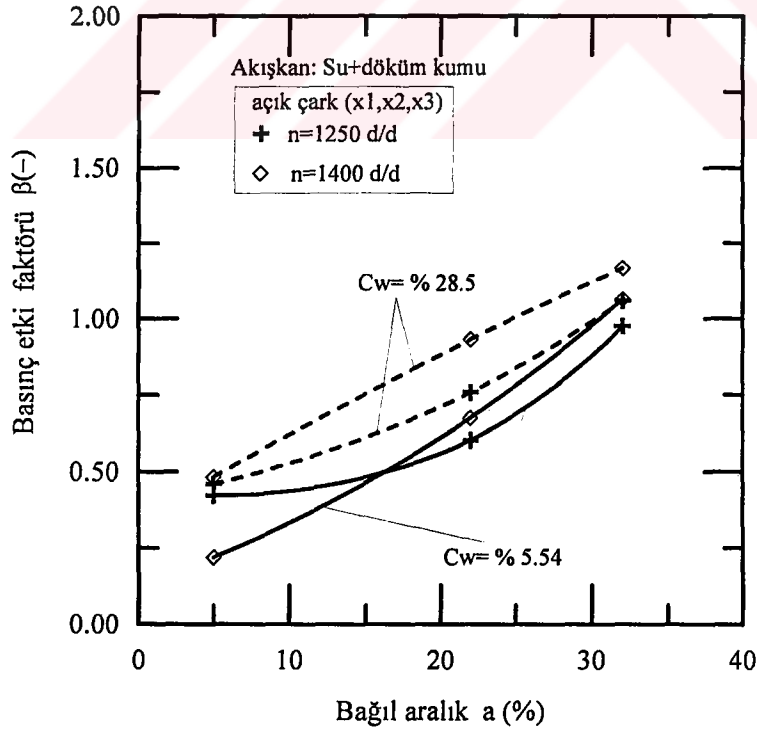
Şekil 7.12a Perlit3 için basınç sayısının aralık açıklığı ile değişimi,  $n=1250$  d/d



Şekil 7.12b Perlit3 için verim sayısının aralık açıklığı ile değişimi,  $n=1250$  d/d

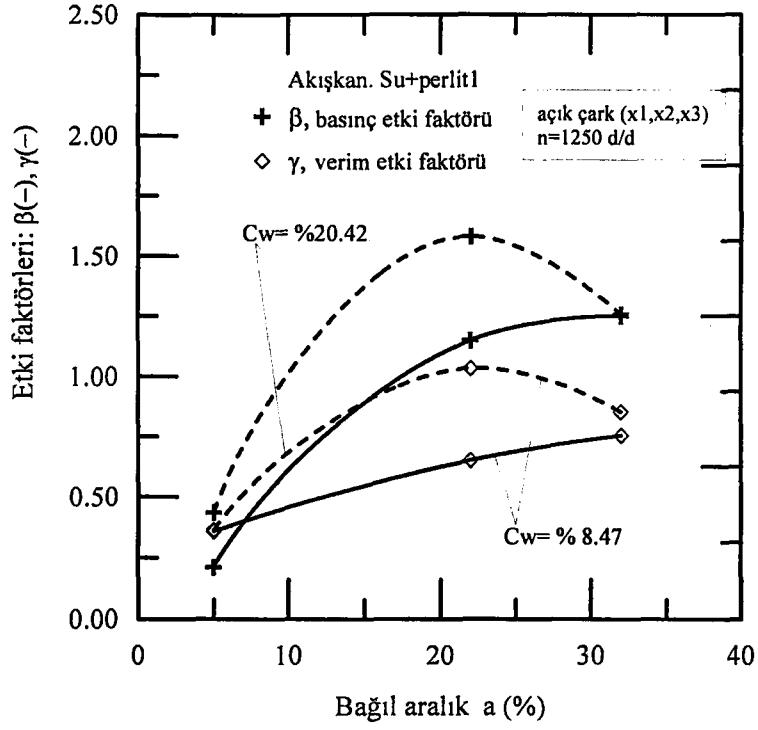


Şekil 7.13a Döküm kumu için etki faktörlerinin aralık açıklığı ile değişimi

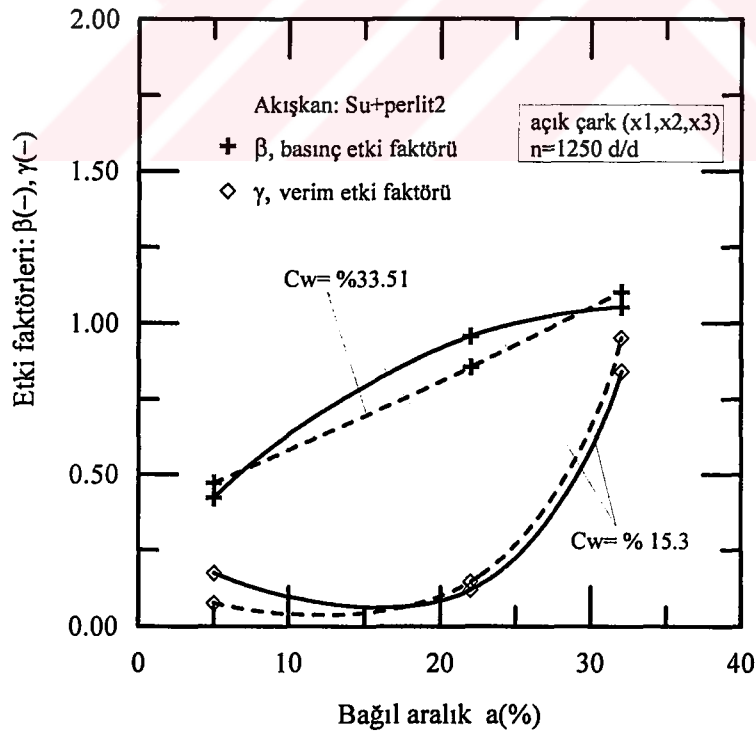


Şekil 7.13b Döküm kumu için farklı devir sayılarında basınç etki faktörünün aralık açıklığı ile değişimi

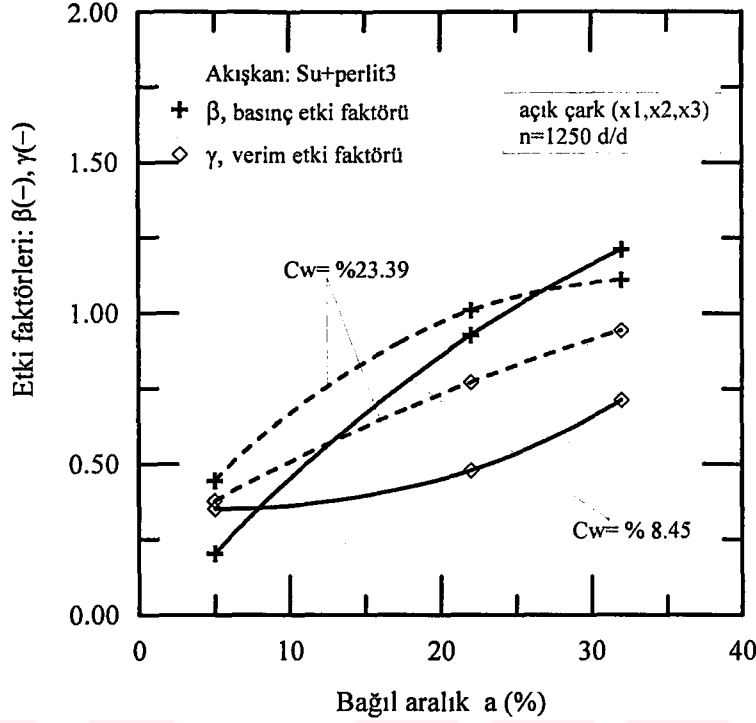




Şekil 7.14a Perlit1 için etki faktörlerinin aralık açıklığı ile değişimi



Şekil 7.14b Perlit2 için etki faktörlerinin aralık açıklığı ile değişimi

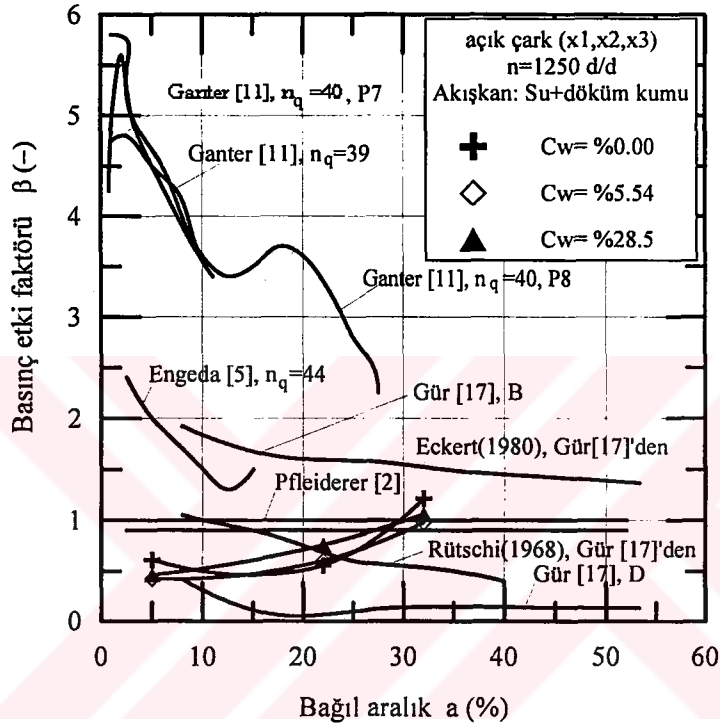


Şekil 7.14c Perlit3 için etki faktörlerinin aralık açıklığı ile değişimi

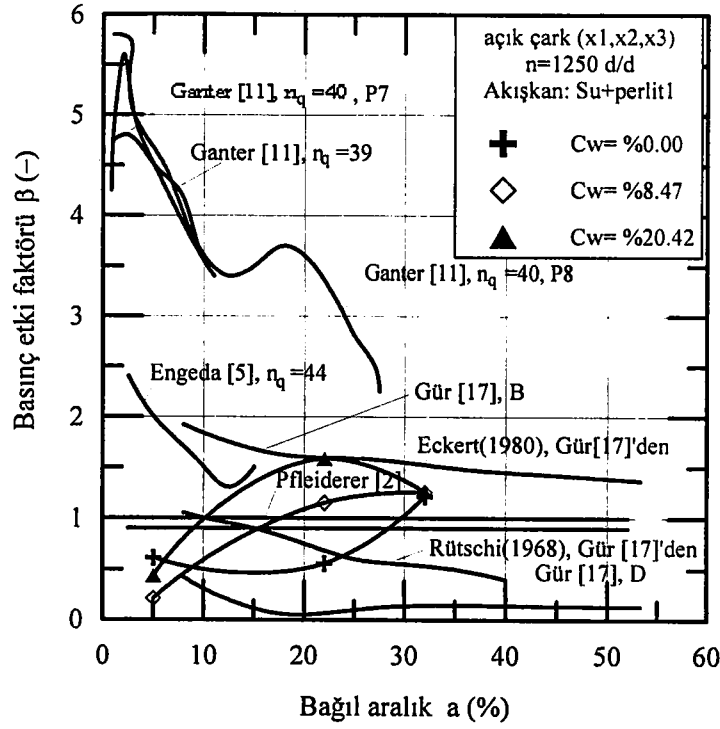
### 7.2.5.3. Aralık etki faktörlerinin literatürle karşılaştırılması

Etki faktörlerinin literatür ile karşılaştırılması için Pflaiderer [2], Engeda [5], Ganter [11], Gür [17] ile Rüttschi (1968)-(Gür [17]'den) ve Eckert (1980) (Gür [17]'den) tarafından elde edilen etki faktörleri kullanılmıştır. Şekil 7.15a ve b de basınç etki faktörleri literatürde mevcut değerlerle karşılaştırılmıştır. Şekil 7.15a, b incelendiğinde, konu üzerinde çalışan tüm araştırmacıların elde ettikleri etki faktörlerinin değişimlerinin birbirlerinden oldukça farklı eğilimler sergiledikleri anlaşılmaktadır. Bu durum söz konusu araştırmacıların kullandıkları çark özelliklerinin, çalışma koşullarının (sıcaklık, akışkan cinsi gibi) farklılık göstermesinden ve "aralık" kavramının değişik yorumlanmasından kaynaklanmaktadır. Ancak bu çalışmada elde edilen aralık etki faktörlerinin, çoğu araştırmacı tarafından elde edilen  $\beta = 0 \div 1.5$  ve  $\gamma = 0 \div 1.0$  aralıklarında değerler aldıkları görülmektedir (Şekil 7.15-7.16). Etki faktörlerinin bu sınırları literatürde geniş kabul görmektedir. Dolayısıyla katı madde ve sudan oluşan karışımların pompalanması esnasında da, tek faz pompalamada olduğu gibi, açık çark aralık

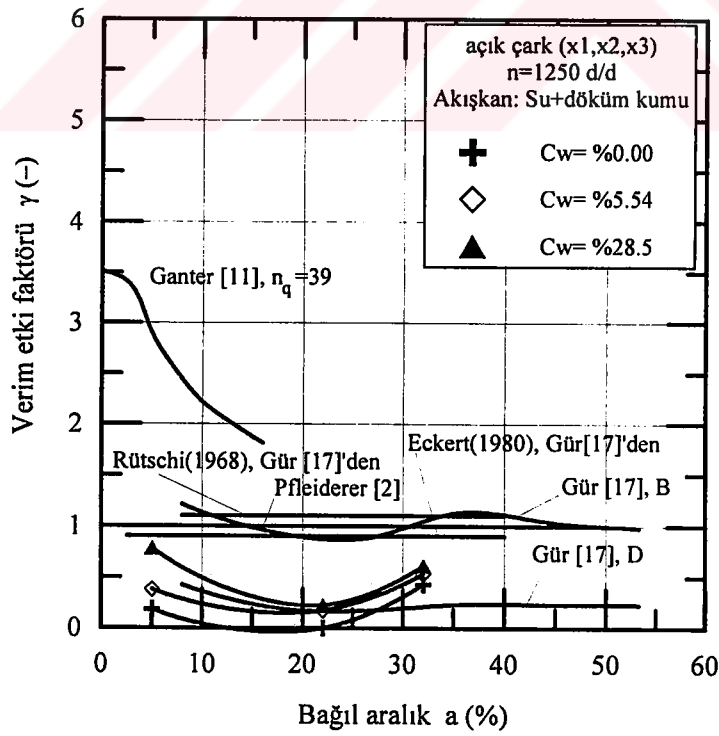
kayıpları önemli bir rol oynamaktadır ve tasarım aşamalarında dikkate alınması gerekir. Şekil 7.13 ve Şekil 7.14 incelendiğinde yukarıda verilen sınır değerlerinin diğer katı madde türleri için de geçerli olduğu görülmektedir.



Şekil 7.15a Basınç etki faktörlerinin döküm kumu için literatürle karşılaştırılması



Şekil 7.15b Basınç etki faktörlerinin perlitli için literatürle karşılaştırılması

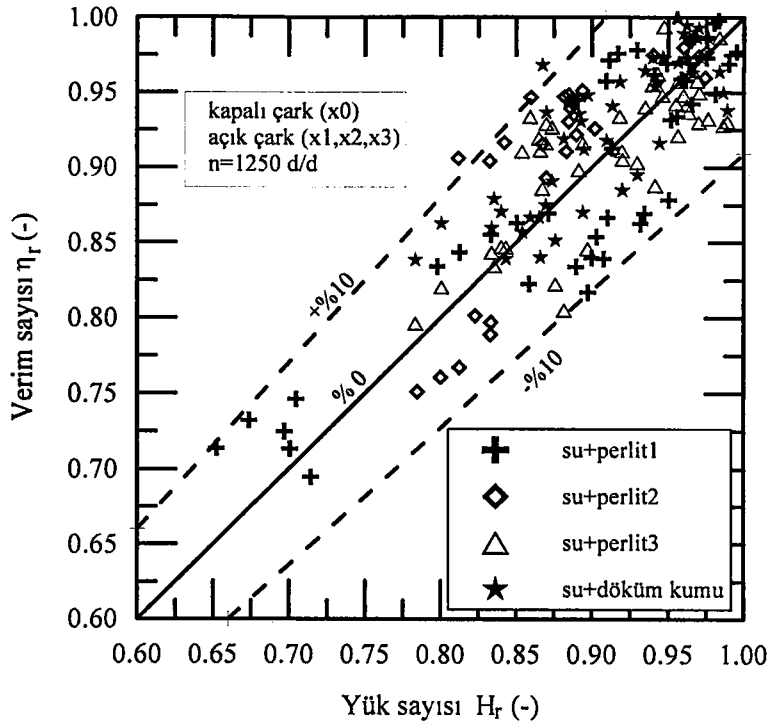


Şekil 7.16 Verim etki faktörlerinin döküm kumu için literatürle karşılaştırılması

### 7.3. Yük ve Verim Sayılarının Literatürle Karşılaştırılması

Yapılan deneysel çalışma sonuçları pompa basma yüksekliği ve veriminin basılan suya katı madde eklenmesinden önemli ölçüde etkilendiğini ortaya koymaktadır. Stepanoff [37] ve Vocadlo [29], yük sayısının verim sayısına eşit alınabileceğini bildirmiştir. Sellgren [32], kütleli olarak % 20-25 konsantrasyona kadar bu iki sayının eşit olduğunu ileri sürmüştür. Gahlot [28] ise verim sayısının kendisine karşılık gelen yük sayısından % 2-9 daha yüksek olduğunu göstermiştir. Kazim [38], yük ve verim sayıları arasında ideal 45°'lik hattın etrafında  $\pm\%$  5 bir saçılmanın bulunduğunu ifade etmiştir. Walker [49], verim sayılarının sürekli olarak yük sayılarından düşük kaldığını, ancak aynı özgül devir sayısına sahip biri açık-3 diğeri kapalı-5 kanatlı çarklarla yaptığı testlerde bu iki sayı arasında çok az bir fark olduğunu göstermiştir. Görüldüğü gibi yük ve verim sayıları arasındaki ilişki için, yapılan araştırmalar farklı sonuçlar ortaya koymuştur.

Yük ve verim sayıları arasındaki ilişkiyi incelemek üzere bu çalışmada perlit1, perlit2, perlit3 ve döküm kumu için elde edilen test sonuçları kullanılmıştır. Elde edilen  $\eta_r - H_r$  değişimi Şekil 7.17 de gösterilmiştir. Burada verilen test sonuçları 1250 d/d için olan değerlerdir. Ayrıca hem açık hem de kapalı çark kullanılarak elde edilen sonuçlar karışık olarak verilmiştir. Şekil 7.17 incelendiğinde yük ve verim sayılarının 45° ideal hat etrafında  $\pm\%$  10 mertebesinde bir dağılım gösterdiği anlaşılmaktadır. Diğer araştırmacıların sonuçlarına göre dağılımın bir miktar fazla olması, yapılan çalışmanın değişen aralık açıklıkları ile kapalı çark test sonuçlarını bir arada bulundurması ile açıklanabilir. Çünkü diğer araştırmacılar aralık etkisini incelemeyip sadece belirli bir imalat boşluğu için deneyler yapmışlardır.



Şekil 7.17 Yük ve verim sayılarının karşılaştırılması, kapalı ve açık çark,  $n=1250$  d/d

Katı maddelerin hidrolik ortamlarda taşınmasının önemi arttıktan sonra hidrolik ve akışkanlar mekaniği dalındaki bir çok araştırmacı da hidrolik taşıma sistemlerinin temel birimlerinden biri olan pompalar üzerinde yoğunlaştı. Katı madde+taşıyıcı sıvı karışımının sudan farklı olarak pompa performansı üzerindeki etkilerinin önceden bilinmesi ve bu yolla doğru sistem seçimi için pek çok araştırmacı değişik ampirik ifadeler önermiştir. Burada Vocadlo [29], Burges [30], Cave [31], Sellgren [32] ve Kazim [38] tarafından önerilen korelasyonlar elde edilen test sonuçları için değerlendirilip karşılaştırılmıştır. İncelenen korelasyonlar aşağıda verilmiştir.

- Vocadlo Korelasyonu:

$$K = 1 - H_r = \frac{C_w(S_s - 1)}{S_s} \cdot \left\{ 0.167 + 6.02 \sqrt{\frac{d_{50}(S_s - 1)}{d_2}} \right\} \quad (7.1)$$

- Burges Korelasyonu:

$$K = 1 - H_r = 1 - (1 - C_W)^\kappa, \quad \kappa = f(S_s, d_{50}) \quad (7.2)$$

- Cave Korelasyonu:

$$K = 1 - H_r = 0.0385(S_s - 1) \left(1 + \frac{4}{S_s}\right) C_W \ln\left(\frac{d_{50}}{22.7}\right) \quad (7.3)$$

- Sellgren Korelasyonu:

$$K = 1 - H_r = 0.32 C_W^{0.7} (S_s - 1)^{0.7} C_d^{-0.25} \quad (7.4a)$$

veya diğer bir formda,

$$H_r = 1 - 0.075 C_1 C_2 \quad (7.4b)$$

$$C_1 = C_W^{0.7} (S_s - 1)^{0.45}$$

$$C_2 = v_f^{0.5} d_{50}^{-0.25}$$

olarak verilmiştir. Burada  $v_f$  serbest çökme hızıdır, Sellgren [32]. Wilson [42], Sellgren korelasyonundaki  $C_1$  ve  $C_2$  parametrelerini diyagram halinde vermiştir. Karşılaştırmada bu diyagramlardan okunan değerler kullanılmıştır.

- Kazim Korelasyonu:

$$K = 1 - H_r = 0.13 C_W \sqrt{S_s - 1} \ln\left(\frac{d_W}{20}\right) \quad (7.4c)$$

Deneylerde kullanılan tanecik türleri için Burges [30] korelasyonundaki  $\kappa$  değerleri ile Sellgren [32] korelasyonundaki  $C$  parametreleri Tablo 7.1 de verilmiştir, Burges [30], Wilson [42].

Tablo 7.1 Kullanılan katı maddeler için  $\kappa$  ve C parametrelerinin değerleri

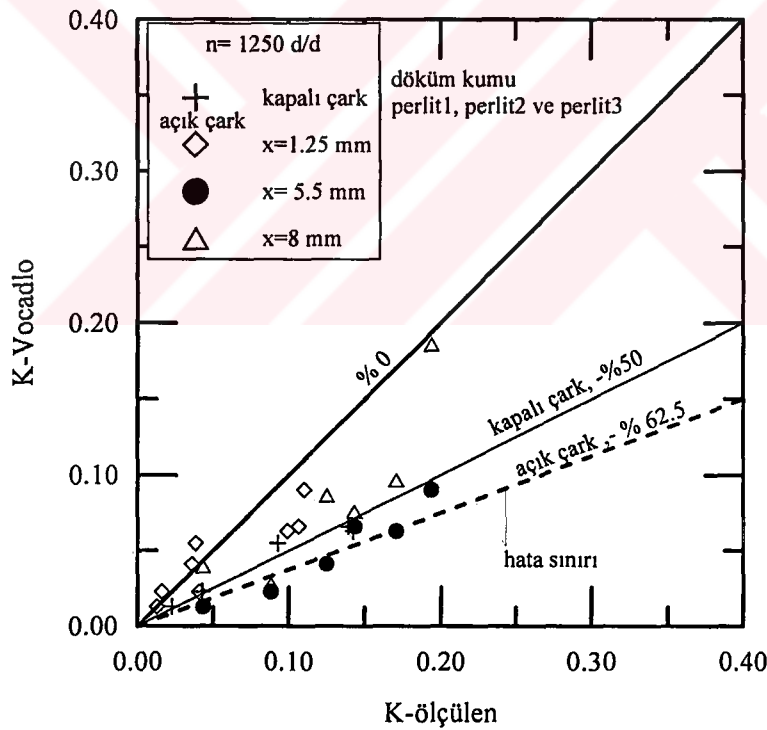
Katı madde türü	$d_w$ (mm)	$\kappa$	$C_1$	$C_2$
Döküm kumu	0.400	0.3150	0.16, $C_w$ =% 5.54 için 0.45, $C_w$ =% 28.5 için	2.75
Perlit1	0.211	0.2574	0.21, $C_w$ =% 8.47 için 0.38, $C_w$ =% 20.42 için	2.25
Perlit2	0.700	0.4446	0.32, $C_w$ =% 15.3 için 0.55, $C_w$ =% 33.51 için	3.50
Perlit3	1.147	0.5148	0.21, $C_w$ =% 8.45 için 0.45, $C_w$ =% 23.39 için	3.80

DeneySEL sonuçları literatürde mevcut çeşitli korelasyonlarla karşılaştırmak üzere döküm kumu, perlit1, perlit3 ve perlit3 maddeleri kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar Şekil 7.18 de gösterilmiştir. Şekil 7.18a-e incelendiğinde mevcut korelasyonların deneysel olarak elde edilen sonuçlara göre genellikle % 50 oranında bir sapma meydana getirdiği görülmektedir. Kazim [38], araştırmacıların daha çok kendi deneysel sonuçlarına göre elde ettikleri literatürdeki korelasyonların, bazı durumlarda +%20 ile -%50 oranlarında saptmaya neden olduğunu bildirmiştir. Bunun olası nedenleri şöyle sıralanabilir:

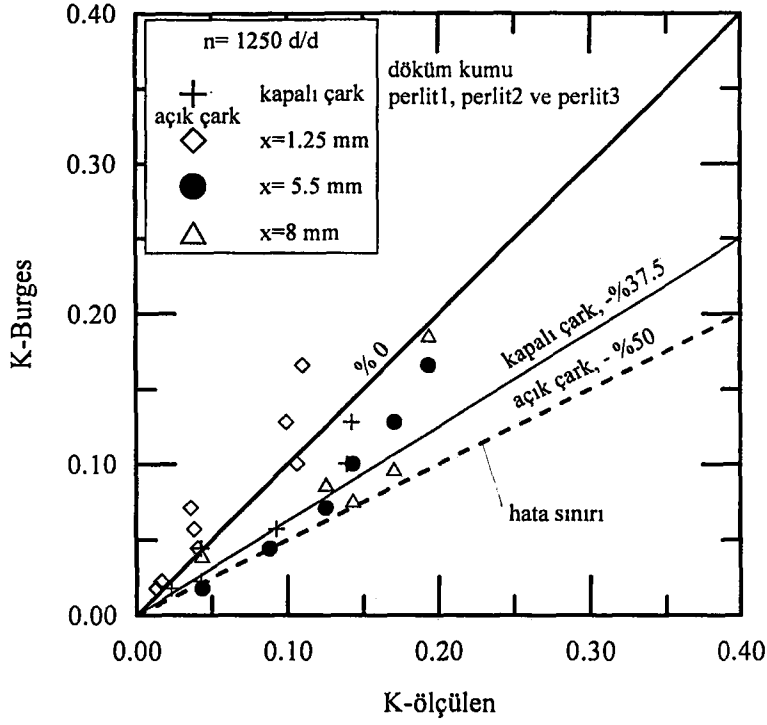
- Kullanılan pompa özelliklerinin farklılık göstermesi. Sellgren [43], pompa boyutunun (temelde çark dış çapı) karışım performansı üzerinde önemli bir etkisinin bulunduğunu ve küçük pompaların performanslarının daha fazla hassasiyet gösterdiğini bildirmiştir. Buradaki testlerde kullanılan 210 mm'lik çark bir karışım pompası için küçük sayılabilecek bir dış çaptır. Ayrıca geçmişte yapılan araştırmalarda karışımlar için özel imal edilmiş karışım pompalarının (slurry pump) kullanılmış olması ve mevcut korelasyonların bu tür pompalar için geçerli olması.



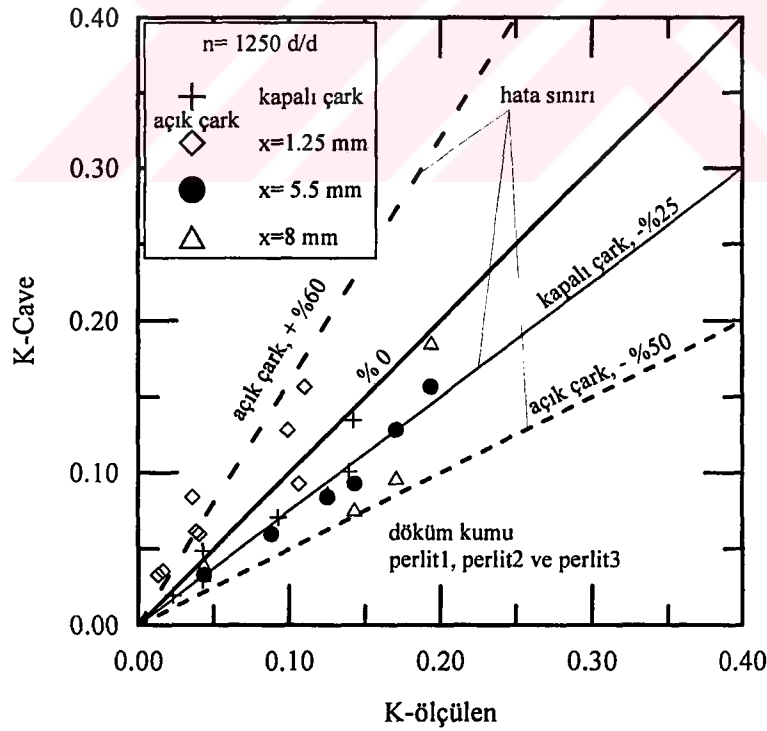
- Deneysel malzemesi olarak değişik katı maddelerin seçilmiş olması ve aynı katı maddeler kullanılmış olsa bile boyut dağılımlarının oldukça farklılık göstermesi (bkz. Şekil 5.18, sahil kumu ve döküm kumu boyut dağılımları).
- Şimdiye kadar yapılan araştırmalarda, genellikle açık çark kullanılmasına rağmen, aralık etkilerinin dikkate alınmamış olması.
- Mevcut korelasyonların yukarıda sayılan nedenlere ek olarak aynı katı madde verileri ile oldukça farklı sonuçlar vermesidir. Bu durum Şekil 7.19 da gösterilmiştir. Şekil 7.19 da Kazim [38] tarafından kullanılan katı madde verileri Vocadlo [29] korelasyonu ile karşılaştırılmıştır. Burada da -% 50 mertebesinde bir saçılımın olduğu görülmektedir.



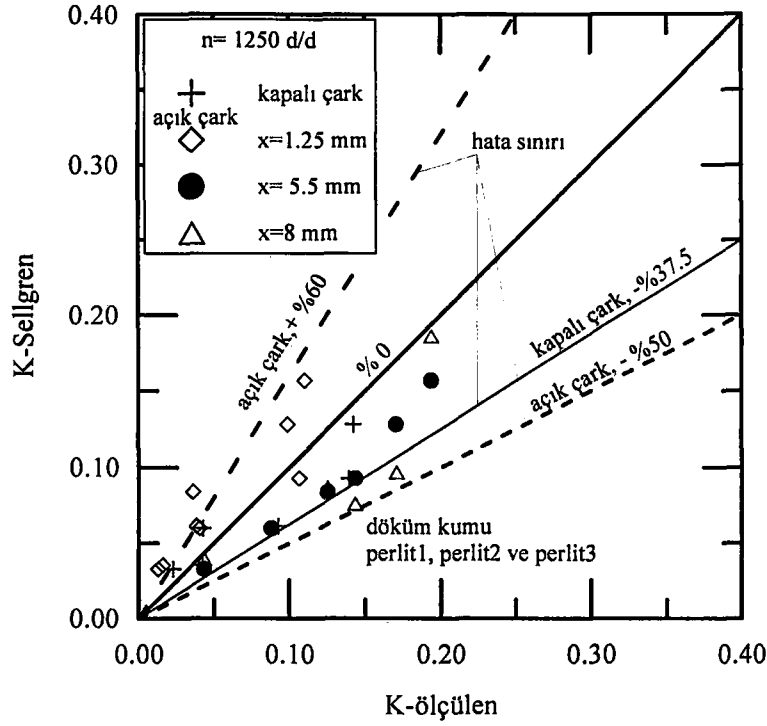
Şekil 7.18a Deneysel sonuçlarının Vocadlo korelasyonu ile karşılaştırılması



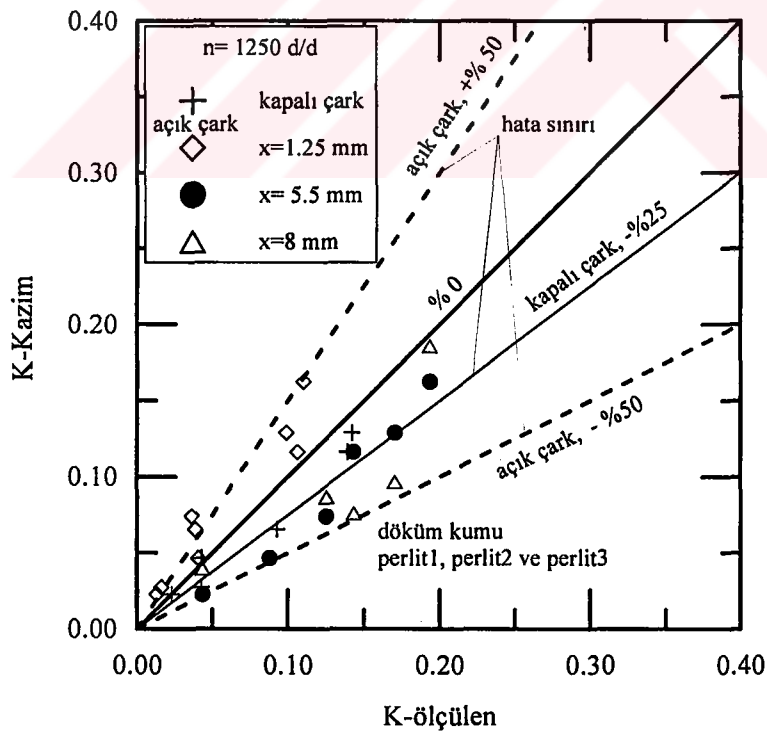
Şekil 7.18b Deneysel sonuçlarının Burges korelasyonu ile karşılaştırılması



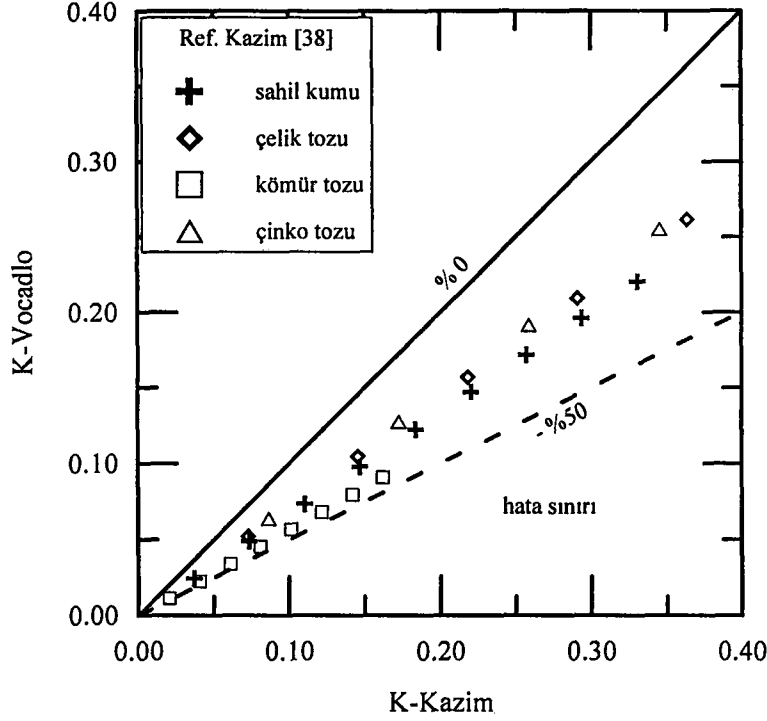
Şekil 7.18c Deneysel sonuçlarının Cave korelasyonu ile karşılaştırılması



Şekil 7.18d Deney sonuçlarının Sellgren korelasyonu ile karşılaştırılması



Şekil 7.18e Deney sonuçlarının Kazım korelasyonu ile karşılaştırılması



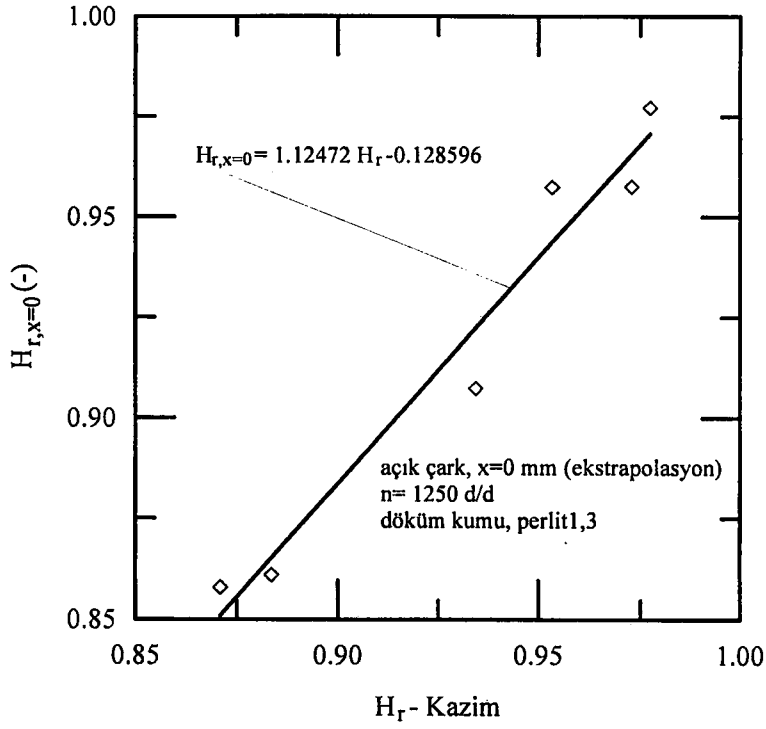
Şekil 7.19 Vocadlo ve Kazim korelasyonlarının karşılaştırılması

#### 7.4. Önerilen Korelasyonun Geçerliliği

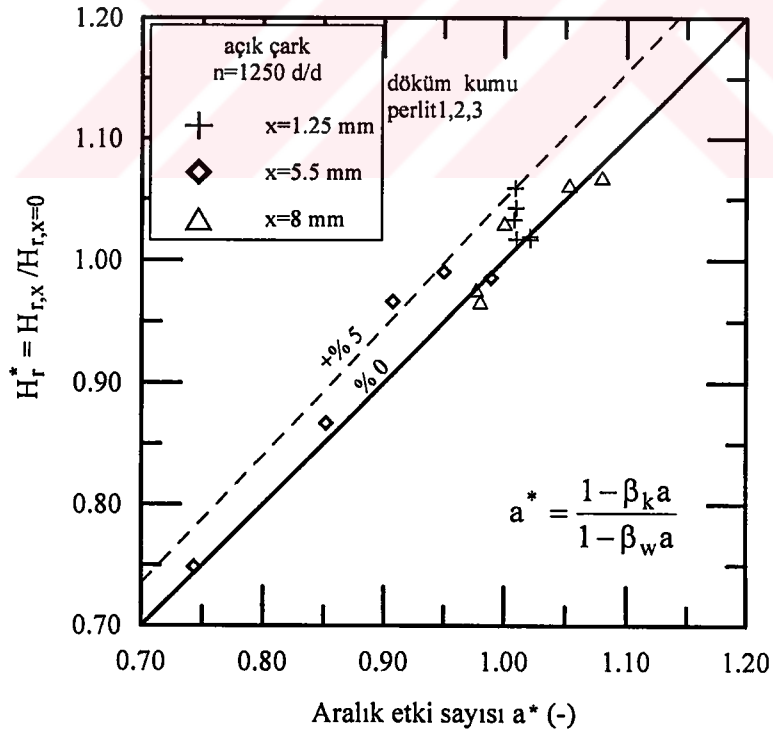
Literatürde yük sayısının hesabı için verilen korelasyonların açık çarklara özgü olan aralık açıklığını dikkate almamalarının bir sonucu olarak, Şekil 7.18 den de görüldüğü gibi, bu tür çarklar için hata sınırları oldukça yüksektir. Ayrıca bu korelasyonların daha çok dar aralık açıklıklarında iyi sonuçlar verdiği görülmektedir. Bu çalışmada, aralık açıklığının da dikkate alındığı durum için önerilen (4.15) eşitliğinin kullanılabilmesi için sıfır aralık açıklığındaki karışıma ait pompa tanım özelliklerinin bilinmesine ihtiyaç vardır. Literatürde mevcut korelasyonlardan Cave [31] ve Kazim [38] eşitlikleri  $x=1.25$  mm için en az hatalı sonuç vermektedir (Şekil 7.18c ve e). Buradan hareketle deneysel olarak bulunan  $H_{r,x=0}$  değerleri ile Kazim korelasyonundan elde edilen değerler arasındaki ilişki incelenmiştir. Söz konusu ilişki Şekil 7.20 de görülmektedir. Şekil 7.20 den bu iki değişken arasındaki ilişkinin lineer kabul edilebileceği anlaşılmaktadır. Dolayısıyla karışım transferinde

kullanılması düşünölen açık çarklı bir radyal pompanın seçiminde bilinmeyen  $H_{r,x=0}$  yerine bu lineer ilişkiden yararlanmak mümkündür. (4.15) eşitliğindeki suya ve karışıma ait aralık etki faktörlerinin literatürden ve bu çalışmadan elde edilebileceği düşünülürse bu durumda bilinmeyen olarak sadece istenen aralık açıklığındaki karışım basma yüksekliği olan  $H_{r,x}$  kolayca hesaplanabilecektir. (4.15) eşitliğinin aralık etki sayısı ( $a^*$ ) ile değişimi Şekil 7.21 de verilmiştir. Görüldüğü gibi yukarıda anlatılan yaklaşımın uygulanmasıyla  $H_{r,x}$  in hesabında +% 5 lik düşük bir hata ile sonuca gitmek mümkündür.





Şekil 7.20  $H_{r,x=0}$  değerlerinin Kazim [38] korelasyonu ile ilişkilendirilmesi



Şekil 7.21 Önerilen korelasyonun hata sınırları

## BÖLÜM 8. SONUÇLAR

Bir radyal pompanın farklı karışımlar kullanılarak  $C_w = 33.51$  lik kütleli konsantrasyona kadar performans testleri yapılmıştır. Bu testlerde ayrıca aralık kayıpları tek ve çift faz durumları için incelenmiştir.

Karışım pompalanan bir hidrolik taşıma sisteminin tasarımında ve pompasının seçiminde taşıyıcı akışkan ile hareket eden katı maddenin pompa performansı üzerinde önemli etkileri vardır ve sistem seçimi mutlaka karışım özellikleri dikkate alınarak yapılmalıdır.

Performans düşüm faktörü (K), bir çok halde konsantrasyonla doğrusal olarak azalma göstermiştir. Ancak çok düşük ve yüksek debilerde bu doğrusallık bir miktar kaybolmaktadır.

Tüm karışım tipleri için incelenen aralık açıklıklarında yük sayısı  $H_r$  ile verim sayısı  $\eta_r$  arasında  $\pm 10$  luk bir sapma meydana gelmiştir. Dolayısıyla verim sayısının belirlenmesi yerine uygulamada yük sayısının kullanımı önemli bir hataya yol açmayacaktır.

Suya yakın bağıl yoğunluğa sahip (kömür tozu gibi) katı maddelerin pompalanmasında pompa performansı bu durumdan olumsuz yönde önemli ölçüde etkilenmemektedir.

Tanecik büyüklüğünün ve yoğunluğunun performans üzerinde etkisi vardır. Tanecik büyüklüğü arttıkça hem  $H_r$  hem de  $\eta_r$  verilen bir konsantrasyon değeri için azalmıştır. Tanecik yoğunluğunun artmasıyla da benzer bir eğilim gözlenmiştir.

Elde edilen sonuçlardan ve literatür verilerinden, yük ve verim sayılarının pompalanan karışım debisinden, çoğu hallerde, bağımsız olduğu ya da çok az bir bağımlılık gösterdiği anlaşılmıştır.

Tek faz için geçerli olan akım makinalarının genel benzerlik yasaları karışım pompalanmasında da geçerliliğini korumuştur.

Pompa devir sayısının yük ve verim sayıları üzerinde önemli bir etkisi gözlenmemiştir.

Pompalanan katı madde konsantrasyonu performans azalmasında önemli bir rol oynamaktadır.

Taşıyıcı akışkana katı madde eklenmesiyle birlikte, genellikle, pompa mil gücü artmasına rağmen basma yüksekliği ve verimde düşüş gözlenmiştir.

Pompanın en iyi verim noktası ( $\eta_{opt}$ ) hem tek faz hem de çift faz pompalanmasında yaklaşık olarak aynı kalmıştır.

Kömür tozu dışındaki katı maddelerde kapalı çevrim sirkülasyondan kaynaklanan önemli bir boyut küçülmesi gözlenmemiştir. Kömür tozunda ise test süresine bağlı olarak sürekli bir incelme meydana gelmiştir.

Sadece su ile yapılan deneylerde aralık mesafesinin artmasıyla birlikte  $x=5.5$  mm civarına kadar pompa genel veriminde yükselme gözlenmiş ve bu değerden sonra ise verim tekrar düşmüştür. Bu durum optimum bir aralık açıklığının bulunabileceğini göstermekteyse de bu çıkarımı destekleyecek literatürde yeterli kanıt bulunmamaktadır.

Tek faz durumunda olduğu gibi çeşitli karışımlarla yapılan testler, karışım pompalarında da aralık kayıplarının çok önemli performans kaybına yol açtığını göstermiştir. Ancak burada aralık kayıpları üzerinde etkili olan parametrelere tanecik



yoğunluğu, büyüklüğü, konsantrasyonu ile artan viskozite eklendiğinden problemin analitik yollardan modellenmesi oldukça zor görünmektedir.

Aralık kayıplarının genel eğilimleri tek faz durumuna oldukça yakın olmakla birlikte, pompanın verim karakteristiği üzerinde disk sürtünme ve aralık kaybı arasındaki dengenin önemli bir rol oynadığı gözlenmiştir. Bu durum özellikle perlit1 için elde edilen verim karakteristiklerinde açıkça görülmektedir (Şekil 5.8f, g)

Bir çok durumda kapalı çark daha yüksek basınç sayısı vermesine rağmen çektiği fazla mil gücü nedeniyle açık çarktan daha düşük verim özelliği göstermiştir.

Testlerde kullanılan tüm katı maddeler için yük ve verim sayıları, her bir konsantrasyon değeri için, % 22 lik bağıl aralık açıklığı civarında minimum olmuştur. Bu durum tek fazdan farklı olarak bu aralık açıklığı civarında karışım performansının bozulduğunu göstermektedir. Dolayısıyla belirli bir aralık mesafesi su için iyi bir performans sağlarken karışım için bunu söylemek mümkün görülmemektedir. Buna göre karışımların aralık duyarlılıklarının sudan oldukça farklı olduğu anlaşılmaktadır.

Karışım özelliklerinin pompa performansı üzerindeki etkisini belirlemede kullanılan literatürde mevcut ampirik ifadeleri kullanarak aralık mesafesinin önem kazandığı uygulamalarda güvenilir sonuçlara ulaşmak mümkün görülmemektedir. Çünkü bu tür korelasyonlar % 60 ları aşan oranlarda hatalı sonuçlar vermektedir. Diğer yandan aynı problem şartlarında bile iki korelasyon arasında % 50 oranında fark bulunabilmektedir (Şekil 7.19).

Genellikle literatürde verilen K-korelasyonları açık çark kullanımının meydana getirdiği aralık kayıplarını dikkate almamaktadır ve bu tür pompalar için kullanımları doğru değildir. Diğer yandan bu çalışmada geliştirilen (4.15) ve (4.16) ifadeleri kullanılmak suretiyle bu tür pompa seçimleri daha hassas bir şekilde yapılabilme olanağı sağlanmıştır.

Aralık kayıplarının etüdünde kapalı çarkın, sıfır aralıklı açık çarkı temsil edemediği gözlenmiştir, dolayısıyla bu noktalardaki performans değerleri ekstrapolasyonla bulunmalıdır (Şekil 7.9a).

Elde edilen sonuçlardan  $\beta$  basınç etki faktörünün pompa devir sayısından etkilenmemesine karşın  $\gamma$  verim etki faktörünün devir sayısının artmasıyla arttığı gözlenmiştir.

Aralık etki faktörlerinin bağıl aralık açıklığı ile değişimleri her karışım tipi için farklılık göstermiştir. Bununla birlikte konu üzerinde çalışan tüm araştırmacıların elde ettikleri etki faktörlerinin değişimlerinin birbirlerinden oldukça farklı eğilimler sergiledikleri gözlenmiştir. Bu çalışmada hesaplanan aralık etki faktörlerinin, çoğu araştırmacı tarafından elde edilen  $\beta = 0\div 1.5$  ve  $\gamma = 0\div 1.0$  aralıklarında değerler aldıkları görülmektedir (Şekil 7.15-7.16). Ayrıca verilen bu sınır değerlerinin diğer katı madde türleri için de geçerli olduğu gözlenmiştir (Şekil 7.13-7.14).

## KAYNAKLAR

- [1] ÇALLI, İ., “Santrifüj Pompa Hesabı ve Çizimi”, KOÜ Yayınları, Kocaeli, 1991.
- [2] PFLEIDERER, C., and PETERMAN, H., “Strömungsmaschinen”, çev: Kaan Edis ve Yavuz Tekin, Matbaa Teknisyenleri Basımevi, İstanbul, 1978.
- [3] KARASSIK, I.J., KRUTZSCH, W.C., FRASER, W.H., and MESSINA, J.P., “Pump Handbook”, 2<sup>nd</sup> Edition, McGraw-Hill Int. Ed., Singapore, 1986.
- [4] DE KOVATS, A., and DESMUR, G., “Pumps, Fans and Compressors”, çev: Cahit Özgür ve H. Fehmi Yazıcı, İTÜ Makine Fak., İstanbul, 1994.
- [5] ENGEDA, A., “Untersuchungen an Kreiselpumpen mit Offenen und Geschlossenen Laufrädern in Pumpen- und Turbinenbetrieb, Dissertation, TU-Hannover, 1987.
- [6] ENGEDA, A., and RAUTENBERG, M., “Comparisons of the Relative Effects of Tip Clearance on Centrifugal Impellers”, Journal of Turbomachinery, Vol.109, pp. 545-549, October, 1987.
- [7] ENGEDA, A., STRATE, W.P. and RAUTENBERG, M., “Correlation of Tip Clearance Effects to Impeller Geometry and Fluid Dynamics”, Gas Turbine and Aeroengine Congress, pp. 1-7, Amsterdam, 1988., ASME Paper 88-GT-92.
- [8] HOSHIDE, R.K., and NIELSON, C.B., “Study of Blade Clearance Effects on Centrifugal Pumps”, NASA CR 120815, November, 1972.
- [9] SENOO, Y., YAMAGUCHI, M., and NISHI, M., “A Photographic Study of the Three-Dimensional Flow in a Radial Compressor”, ASME Journal of Engineering for Power, Vol.90, 1968.
- [10] HOWARD, J.H.G., and KITTNER, C.W., “Measured Passage Velocities in a Radial Impeller with Shrouded and Unshrouded Configuration”, ASME Journal of Engineering for Power, Vol.97, 1975.
- [11] GANTER, M., “Experimentelle Untersuchungen des Spaltverlustes Radialer Kreiselpumpen mit Offenem Laufrad”, Dissertation, TU-Braunschweig, 1985.

- [12] KURIAN, T., and RADHA KRISHNA, H.C., "An Experimental Investigation on the Clearance Effects of Semi-Open Radial Flow Impellers", 5<sup>th</sup> Australasian Conf. on Hydraulic and Fluid Mechanics, Canterbury Univ., Christchurch, New Zealand, Vol. 1, pp. 44-51, December, 1974.
- [13] WOOD, G.M., WELNA, H., and LAMERS, R.P., "Tip Clearance Effects in Centrifugal Pumps", Trans. ASME, J. of Fluid Engn., Vol. 87, pp. 932-940, December, 1965.
- [14] LAKSHMINARAYANA, B., "Methods of Predicting the Tip Clearance Effects in Axial Flow Machinery", ASME Journal of Basic Engineering, Vol. 92, 1970.
- [15] SENOO, Y., and ISHIDA, M., "Pressure Loss Due to the Tip Clearance of Impeller Blades in Centrifugal and Axial Blowers", ASME Journal of Engineering for Gas Turbines and Power, Vol. 108, 1986.
- [16] LAUER, J., JAEGER, R., LUDWIG, G., and STOFFEL, B., "Tip Clearance Sensitivity of Centrifugal Pumps with Semi-Open Impellers", ASME Fluids Engn. Division Summer Meeting, FEDSM'97, pp. 1-8, June 22-25, 1997.
- [17] GÜR, M., "Untersuchungen zum Förderverhalten von Radialventilatoren für Temperaturen oberhalb 900 °C", Dissertation, Technischen Universität Clausthal, 1992.
- [18] MURAKAMI, M., and MINEMURA, K., "Effects of Running Clearance of Semi-Open Impeller Pumps under Air Admitting Conditions", Bulletin of JSME, Vol. 19, No. 136, October, 1976.
- [19] HESSELGREAves, J.E., "A Correlation of Tip Clearance/Efficiency Measurements on Mixed-Flow and Axial-Flow Turbomachines", NEL Report, No. 423, July 1969.
- [20] MOORE, J., MOORE, J.G., and TIMMIS, P.H., "Performance Evaluation of Centrifugal Compressor Impellers Using 3-D Viscous Flow Conditions", ASME J. of Engineering for Power, Vol. 106, No. 2, pp. 475-481, 1983.
- [21] KOCH, C.C., and SMITH, L.H., "Loss Sources and Magnitudes in Axial-Flow Compressors", ASME J. of Engineering for Power, Vol. 98, No. 3, pp. 411-424, July 1976.
- [22] JOHNSON, M.W., and MOORE, J., "Secondary Flow Mixing Losses in a Centrifugal Impeller", ASME J. of Engineering for Power, Vol. 105, pp. 24-32, January 1983.
- [23] WRIGHT, T., "Centrifugal Fan Performance with Inlet Clearance", ASME J. of Engineering for Gas Turbines and Power, Vol. 106, pp. 906-911, October 1984.

- [24] HARADA, H., "Performance Characteristics of Shrouded and Unshrouded Impellers of a Centrifugal Compressor", ASME J. of Engineering for Gas Turbines and Power, Vol. 107, pp. 528-533, April 1985.
- [25] PLUTECKI, J., and WAJDA, A., "The Influence of an Axial Clearance Between a Semi-Open Impeller and a Casing on a Pump Parameters, By Example of H1-150 Pump", Vorträge der Konferenz für Strömungsmaschinen, Budapest, 5, pp. 833-845, 1975.
- [26] HOFMANN, V., "Untersuchung der Strömung in Kreiselpumpen mit Offenen Laufrädern Einfluß der Spaltweite auf das Kennlinienverhalten", Konstruktion 44, S. 167-172, Springer Verlag 1992.
- [27] YİĞİT, K.S., "Taşıt Motorlarında Kullanılan Açık Kanatlı Pompaların Aralık Kayıplarının Teorik ve Deneysel İncelenmesi", Doktora Tezi, KOÜ, Nisan 1994.
- [28] GAHLOT, V.K., SESHADRI, V., and MALHOTRA, R.C., "Effect of Density, Size Distribution, and Concentration of Solids on the Characteristics of Centrifugal Pumps", Trans. of the ASME, Journal of Fluids Engineering, Vol. 114, pp. 386-389, September, 1992.
- [29] VOCADLO, J.J., KOO, J.K., and PRANG, A.J., "Performance of Centrifugal Pumps in Slurry Services", Proc. Hydro Transport-3, paper J2, BHRA Fluid Engineering, 1974.
- [30] BURGESS, K.E., and REIZES, A., "The Effect of Sizing, Specific Gravity and Concentration on the Performance of Centrifugal Pumps", Proc. Inst. Mechanical Engineering, Vol. 190-36/76, p. 391, 1976.
- [31] CAVE, I., "Effects of Suspended Solids on the Performance of Centrifugal Pumps", Proc. Hydro Transport-4, paper H3, BHRA Fluid Engineering, 1976.
- [32] SELLGREN, A., "Performance of Centrifugal Pumps When Pumping Ores and Industrial Minerals", Proc. Hydro Transport-6, paper G1, BHRA Fluid Engineering, 1979.
- [33] HOLZENBERGER, K., "Working Behaviour of Centrifugal Pumps on Hydraulic Transport of Solids", Conf. Trans. Rohn 80, VDI Berichte 371, 1980.
- [34] MEZ, W., "The Influence of Solid Concentration, Solid Density and Grain Size Distribution on the Working Behaviour of Centrifugal Pumps", Proc. Hydro Transport-9, paper H1, BHRA Fluid Engineering, 1984.
- [35] WALKER, C.I., and GOULAS, A., "Computer Aided Slurry Pump Selection", In 7<sup>th</sup> Technical Conference of BMAP, paper 15, pp. 211-228, 1981.

- [36] WALKER, C.I., WELLS, P.J., and POMAT, C., "The Effect of Impeller Geometry on the Performance of Centrifugal Slurry Pumps", Int. Conf. on Bulk Materials Handling and Transportation; Symposium on Freight Pipelines, pp. 97-101, Wollongong-Australia, 6-8 July 1992.
- [37] STEPANOFF, A.J., "Pumps and Blowers, Two Phase Flow-Flow and Pumping of Solids in Suspension and Fluid Mixtures, John Willey, London, 1965.
- [38] KAZIM, K.A., MAITI, B., and CHAND, P., "Effect of Particle Size, Particle Size Distribution, Specific Gravity and Solids Concentration on Centrifugal Pump Performance", Powder Handling and Processing, Vol. 9, No. 1, pp. 27-32, Jan./Mar. 1997.
- [39] GILLIES, R., HAAS, D.B., HUSBAND, M., SMALL, M., and SHOOK, C.A., "A System to Determine Single Pass Particle Degradation by Pumps", Proc. 8<sup>th</sup> Tech. Conf. of the BMPA, paper No. 2, pp 13-22, March, 1983.
- [40] CADER, T., MASBERNAT, O., and ROCO, M.C., "Two Phase Velocity Distribution and Overall Performance of a Centrifugal Slurry Pump", Trans. of the ASME, Journal of Fluids Engineering, Vol. 116, pp. 316-323, June, 1994.
- [41] MINEMURA, K., MURAKAMI, M., "Behavior of Solids Particles in a Radial Flow Impeller", Bulletin of JSME, Vol. 29, No. 253, pp.2101-2108, July, 1986.
- [42] WILSON, G., "The Effects of Slurries on Centrifugal Pump Performance", Proc. of the 4<sup>th</sup> International Pump Symposium, pp. 19-25, Houston, TX, 1989.
- [43] SELLGREN, A., and ADDIE, G.R., "Solids Effect on the Characteristics of Centrifugal Slurry Pumps", 12<sup>th</sup> Int. Conf. on Slurry Handling and Pipeline Transport, Hydro Transport-12, pp. 3-18, Belgium, 28-30 September, 1993.
- [44] SELLGREN, A., and VAPPLING, L., "Effects of Highly Concentrated Slurries on the Performance of Centrifugal Pumps", ASME-Fluids Engineering Div. FED. V 38, Publ. by ASME, New York, USA, pp. 143-148, 1989.
- [45] ROCO, M.C., MAFFET, J.R., and ADDIE, G.R., "Experimental Study on Centrifugal Slurry Pump Performance", ASME-Fluids Engineering Div. FED. V 38, Publ. by ASME, New York, USA, pp. 157-160, 1989.
- [46] AKHTAR, S.Z., "Sizing Pumps for Slurries", Hydrocarbon Processing, pp. 161-170, November, 1996.
- [47] CLARK, D., and ABBOTT, C., "Improve Slurry Pump Life", Hydrocarbon Processing, pp. 53-55, November, 1992.
- [48] GRABOW, G., and TUONG, P.N., und SUONG, N.D., "Betrachtungen zu Flüssigkeits/Feststoff-Strömungen im Laufrad von Radialkreiselpumpen", Chem. Ing.-Tech. V. 65, Nr. 11, S. 1367-1371, 1993.

- [49] WALKER, C.I. and GOULAS, A., "Performance Characteristics of Centrifugal Pumps When Handling non Newtonian Homogeneous Slurries", Proc. Instn. Mech. Engrs., Vol. 198A, No.1, 1984.
- [50] WEIDENROTH, W., "The Influence of Sand and Gravel on the Characteristics of Centrifugal Pumps", Proc. Hydrotransport 1 Conf., BHRA, Cranfield, UK, paper 1, pp 1-28, 1970.
- [51] 3. POMPA KONGRESİ ve Sergisi-Bildiriler Kitabı, Askeri Müze Kültür Sitesi, Harbiye, 24-26 Eylül, İstanbul 1998.
- [52] GUR, M., ENGIN, T., YILMAZ, M., and BIRKAN, S., "Theoretical Modelling of Clearance Losses in Open Radial Impeller and Comparison with Experimental Study", TIEES'98, pp. 549-551, KTÜ, Trabzon 1998.
- [53] GUR, M., ENGIN, T., YILMAZ, M., and BIRKAN, S., "Experimental Investigation of Clearance Losses with Hot Gases in Open Radial Fans", ECOS'98, 8-10 July, Nancy France, 1998.
- [54] WILSON, K.C., ADDIE, G.R., and CLIFT, R., "Slurry Transport Using Centrifugal Pumps", Blackie A & P, ISBN 0-7514-0408-X, 1992.
- [55] BERRY, R., "Focus on Slurry Pumping", GIW Industries Publ., World Pumps, 1999.
- [56] BAYSAL, B.K., "Tam Santrifüj Pompalar; Hesap, Çizim ve Konstrüksiyon Özellikleri", İTÜ Makina Fak., Gümüşsuyu, 1975.
- [57] HOLLMAN, J.P., and GAJDA, W.J., "Experimental Methods for Engineers", 5<sup>th</sup> Edition, McGraw-Hill, 1989.



## ÖZGEÇMİŞ

Tahsin Engin 1968 yılında Samsun'da doğdu. İlk, orta ve lise öğrenimini aynı ilde tamamladı. 1988 yılında H.Ü. Mühendislik Fakültesi Makina Mühendisliği Bölümünden 3.44/4.00 dereceyle mezun olduktan sonra 1.5 yıl süreyle zorunlu hizmeti gereği Van Çimento Fab. T.A.Ş. de proses mühendisi olarak çalıştı. 1993-1995 yılları arasında Karaelmas Üniversitesi Müh. Fak. Makina Müh. Bölümünde yüksek lisans öğrenimi gördü. 1994 yılında bu birime araştırma görevlisi olarak naklen atandı. 1996 yılında Sakarya Üniversitesi Müh. Fak. Makine Müh. Bölümünde doktora eğitimine başladı ve 1997 de bu bölümün Termodinamik ve Isı Tekniği Anabilim Dalına araştırma görevlisi statüsünde atandı ve halen bu görevini sürdürmektedir. Isı değiştiricileri, çimento üretim prosesi, pompa ve vantilatörlerle ilgili ulusal ve uluslararası dergi ve sempozyumlarda yayımlanmış 10 adet makale ve bildiri çalışması vardır. Tahsin Engin evli ve bir çocuk babasıdır.