

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**AÇIK TIPTEN RIHTIMLARDA ETKİLİ GEMİ PERVANE
JETLERİNİN HİDRODİNAMİĞİ**

SELAHATTİN KAYHAN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
HİDROLİK PROGRAMI**

**DANIŞMAN
PROF. DR. YALÇIN YÜKSEL**

İSTANBUL, 2013

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

AÇIK TİPTEN RIHTIMLARDA ETKİLİ GEMİ PERVANE
JETLERİNİN HİDRODİNAMİĞİ

Selahattin KAYHAN tarafından hazırlanan tez çalışması 18.02.2013 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Hidrolik Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Prof. Dr. Yalçın YÜKSEL

Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

ÖNSÖZ

Lisansüstü eğitimimin her aşamasında yaşadığım bütün zorluklara rağmen bilgi ve desteğini benden hiç esirgemeyen, hep yanımda hissettiğim değerli hocam Prof. Dr. Yalçın YÜKSEL'e vermiş olduğu emek, göstermiş olduğu sabır ve kıymetli zamanından bana da pay ayırdığı için candan teşekkür ederim.

Lisansüstü eğitim hayatımda bana göstermiş olduğu ilgi ve hoşgörü ve ayrıca kıymetli vaktinin neredeyse tamamını bana ayırarak her türlü sıkıntılarıımı çözmemde bütün içtenliğiyle göstermiş olduğu destek ve yardımları için çok kıymetli Hocam Doç. Dr. Yeşim ÇELİKOĞLU'na tüm samimiyetimle teşekkür ederim.

Deney sisteminin kuruluş aşamasında ve deney çalışmalarım sırasında göstermiş olduğu ilgi ve yardımları için Dr. Kubilay CİHAN'a, her türlü aksaklıkta çözüm için elinden geleni yapan Teknisyen Gazi KURT'a teşekkür ederim. Tez yazım aşamasında verdikleri manevi destek ve yardımlarından dolayı yüksek lisans arkadaşlarım R. İlayda TAN'a, Fatih GÜLER'e Erhan ŞENTÜRK'e ve Yasin BAYSAN'a çok teşekkür ederim.

Sevgili ve çok kıymetli Ailem; Annem Hayriye KAYHAN, Babam Cemalettin KAYHAN ve kardeşlerim Korhan, Tuğba ve Tülay KAYHAN'a lisansüstü eğitimim esnasında verdikleri maddi ve manevi desteklerinden dolayı minnettarım. Eğitim hayatım boyunca yaşadığım onca zorluğa rağmen sizlerin desteklerinizle üstesinden gelmeyi başarmama yardımcı olduğunuz için sizlere ayrı ayrı teşekkür ederim.

Şubat, 2013

Selahattin KAYHAN

İÇİNDEKİLER

SİMGE LİSTESİ	vi
KISALTMA LİSTESİ	viii
ŞEKİL LİSTESİ.....	ix
ÇİZELGE LİSTESİ	xv
ÖZET	xvi
ABSTRACT	xvii
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ	1
1.1 Literatür Özeti.....	1
1.2 Tezin Amacı.....	2
1.3 Hipotez.....	2
BÖLÜM 2	3
GEMİ PERVANELERİNİN HİDRODİNAMİĞİ İLE İLGİLİ YAPILMIŞ ÇALIŞMALAR	3
2.1 Giriş	3
2.2 Pervane Jeti Hidrodinamiği	11
2.3 Su Jeti Etkisinde Taban Stabilitesi.....	35
BÖLÜM 3	48
DENEYSEL ÇALIŞMA	48
3.1 Deney Sistemi	48
3.2 Ölçüm Sistemleri	49
3.2.1 ADV Hız Ölçer.....	49
3.2.2 Hot Film Kayma Gerilmesi Ölçüm Sistemi	51
3.2.3 Kalibrasyon Yöntemi	53
3.2.4 Elektronik Limnimetre	55
3.3 Deneysel Çalışma	55
3.3.1 Hareketli Taban Ölçümleri.....	55
3.3.2 Sabit Taban Halinde Ölçümler	60
3.3.2.1 Oyulma Geometrisinin Belirlenmesi.....	60
3.3.2.2 Şevli açık tip rıhtım hali için ölçümler.....	64

3.4	Pervane Modeli	67
3.5	Etkili Parametreler ve Boyut Analizi	70
BÖLÜM 4		75
DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRME		75
4.1	Pervane jeti etkisinde kazık etrafında oyulma derinlikleri değişimi.....	75
4.2	Oyulmanın zamanla gelişiminde taban kayma gerilmesi değişimi	76
4.3	Açık tip rıhtımlarda pervane jetinin hidrodinamiği	92
4.3.1	Hız profillerinin değişimi	93
4.3.2	Taban Kayma Gerilmesi Değişimi	107
BÖLÜM 5		127
SONUÇ VE ÖNERİLER		127
KAYNAKLAR		130
ÖZGEÇMİŞ		133

SİMGE LİSTESİ

a	Sabit
a	İki levha arasındaki açıklık
A	Katı madde için dikkate alınan kontrol alan
B	Römisch'in stabilite parametresi
C	Chezy Katsayısı
C_m	Sabit (Ducker and Miller)
c, c_1 , c_2	Sabit
c_{3H}	Sabit
c_f	Sürtünme katsayısı
D,Dp	Pervane ve/veya Disk çapı
d	Karakteristik malzeme çapı
D_h	Hub Çapı
d_0	Kazık Çapı
D_0	Daralan bölgedeki jet çapı
E	Rajaratnam'ın stabilite parametresi
F	Kuvvet
F_d	Sürüklenme kuvveti
F_f	Sürtünme kuvveti
F_l	Kaldırma kuvveti
F_p	Basınç kuvveti
Fr	Froude sayısı
F_s	Kayma kuvveti
g	Yerçekimi ivmesi
h_k	Deniz tabanı ile gemi alt kotu arasındaki mesafe
h	Su derinliği
I	Momentum
$K(\alpha)$	Düzeltilme faktörü
K_T	İtme katsayısı
$K_{T(disk)}$	Hub'lı pervane itme katsayısı
$K_{T(pervane)}$	Pervane itme katsayısı
L	Duvar dan olan uzaklık
L_d	Hub uzunluğu
L_m	Kanat alan oranına bağlı uzunluk
m	Eğim
n	Devir sayısı
N	Pervane kanat sayısı
P_d	Motor gücü
P	Hatve
Q	Debi

r, r_x, r_y, r_z	Türbülans şiddetleri
Re	Reynolds sayısı
S	Oyulma
S_{mak}	Denge konumunda kazık önündeki maksimum oyulma
T	İtme gücü
t	Zaman
$T_{(disk)}$	Diskli sistemin itme gücü
$T_{(pervane)}$	Pervane sisteminin itme gücü
u^*	Kayma hızı
U, U_x, U_y, U_z	Hız
U'	Çalkantı hızı
U_0	Pervane jet çıkış hızı
U_1	Diskten dolayı oluşan hız artışı
U_2	Sonuç hızdaki artış
U_A	Disk etrafındaki su hızı
U_{kr}	Kritik hız
U_{maks}	x ekseninde görülen maksimum hız
$U_{maks,tab}$	Tabandaki maksimum hız
V	Birim zamanda geçen akım hacmi
$V_{(disk)}$	Hub'lı diskte birim zamandaki akım hacmi
W	Ağırlık
w	Çökelme hızı
x	x ekseninde pervaneden olan yatay uzaklık
X	Pervane ile kazık arasındaki yatay mesafe
x_0	Gelişmekte olan akım uzunluğu
Y	Pervane ekseninden olan düşey mesafe
z	Tabandan olan yükseklik
Δ	Rölatif özgül kütle
α	Açı
β_{iz}	Izbash stabilite parametresi
ϕ	İçsel sürtünme açısı
ϕ'	Daralma katsayısı
λ	Sabit
ν	Akışkanın kinematik viskozitesi
ρ_s	Taban malzemesinin özgül kütlesi
ρ_w	Suyun özgül kütlesi
τ	Kayma gerilmesi
ψ	Shields stabilite parametresi
σ	Geometrik standart sapma
β	Kanat alan oranı

KISALTMA LİSTESİ

CNC Computer Numerical Control
CTA Constant temperature Anemometer
EMS Elektromagnetik Sistemler

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1 Yan pervanenin görünümü	4
Şekil 2.2 Yan pervanelerin rıhtım duvarı önünde çalışma prensibi [1]	5
Şekil 2.3 Schmidt ve Römisch [6] da belirlenmiş rıhtım duvarı önündeki beş bölge	7
Şekil 2.4 Yan ve baş pervanelerin üstten görünümü [4]	10
Şekil 2.5 Şev üzerinde hasar oluşumu [18]	11
Şekil 2.6 Rıhtım duvarının topuğunda hasar oluşumu [4]	11
Şekil 2.7 Pervane çıkışında ve gelişmiş akım bölgesindeki hız dağılımı [4]	12
Şekil 2.8 Hub'lı Disk [4]	13
Şekil 2.9 Gelişmekte olan ve tam gelişmiş akım bölgeleri [4]	16
Şekil 2.10 Ölçüm konumları [4]	18
Şekil 2.11 x eksenı boyunca çeşitli konumlarda eksenel hız dağılımı [4]	19
Şekil 2.12 Eksen üzerindeki teorik ve ölçülmüş hızlar [4]	20
Şekil 2.13 Teğetsel hız dağılımları [4]	21
Şekil 2.14 Pervaneden çeşitli uzaklıklarda teorik ve ölçülen hız dağılımlarının karşılaştırılması [4]	22
Şekil 2.15 Hub'lı ve serbest pervane için hız değerlerinin karşılaştırılması [4]	23
Şekil 2.16 Serbest jetin gelişimi (Garside, J.E, [15])	25
Şekil 2.17 Eksenel türbülans şiddetleri	25
Şekil 2.18 Eksene göre yarım jet tabakasındaki vorteksler (Flugel, G, [15])	26
Şekil 2.19 Teğetsel türbülans şiddeti	27
Şekil 2.20 4.5 s süresince herhangi bir noktada jetten dolayı çalkantı hız salınımları (Pik hız 4.3 s'de oluşmuştur.) [4]	27
Şekil 2.21 Serbest pervane, serbest su jeti ve hub'lı pervaneye ait türbülans şiddeti değerlerinin karşılaştırılması [4]	29
Şekil 2.22 Eksenel türbülans şiddetinin yükseklikle değişimi [4]	29
Şekil 2.23 $x/D = 6$ ve $x/D = 7$ için serbest ve hub'lı pervane jetinin türbülans değerlerinin karşılaştırılması [4]	30
Şekil 2.24 Farklı ölçüm tipleri [4]	31
Şekil 2.25 x'-y düzlemindeki ölçüm noktaları [4]	31
Şekil 2.26 Düşey doğrultudaki ölçüm noktaları [4]	32
Şekil 2.27 Yatay doğrultudaki ölçüm noktaları [4]	32
Şekil 2.28 $z'=0.025m$ ve $z'=0.050m$ konumlarındaki ortalama hız değerleri [4]	33
Şekil 2.29 $y=0$, $z'=0.025m$ konumunda şev boyunca türbülans [4]	33
Şekil 2.30 $y=0$, $z'=0.050m$ konumunda şev boyunca maksimum hızlar [4]	34

Şekil 2.31 Hub'lı pervane jeti için pervaneden farklı uzaklıklarda oluşan türbülans şiddeti dağılımı [18].....	34
Şekil 2.32 Oyulma derinliğinin Römisch stabilite parametresi ile değişimi [8].....	38
Şekil 2.33 Oyulma çukuru formları [25]	39
Şekil 2.34 Pervane dönüş hızına göre hasarların karşılaştırılması.....	42
Şekil 2.35 Maksimum hasarın konumu [4].....	42
Şekil 2.36 Sabit hızlı bir akım içerisinde bulunan taş üzerine etkili kuvvetler [4].....	43
Şekil 2.37 Şev üzerinde $y=0$ anında kayma kuvveti [4]	44
Şekil 2.38 İvmelenen akımdaki taş üzerindeki basınç farkı [4].....	44
Şekil 2.39 $y=0$ anında şev boyunca oluşan basınç kuvveti [4]	45
Şekil 2.40 Taş üzerindeki yukarı yönlü toplam kuvvet [4].....	46
Şekil 3.1 Deney sisteminin genel görünüşü.....	48
Şekil 3.2 Pervane sisteminin görünüşü	49
Şekil 3.3 Yan bakan ve aşağı bakan prob	50
Şekil 3.4 Vectrino Plus model ADV çalışma sayfası	50
Şekil 3.5 Explore V çalışma sayfası	51
Şekil 3.6 Mini CTA sistemi	51
Şekil 3.7 Hot-film prob.....	52
Şekil 3.8 Kalibrasyon deney sistemi [28]	53
Şekil 3.9 Deneyler için yapılan kalibrasyon eğrisi	55
Şekil 3.10 Elektronik limnimetre.....	55
Şekil 3.11 Taban malzemesine ait granülometri eğrisi [28]	56
Şekil 3.12 Oyulmanın şematik gösterimi.....	57
Şekil 3.13 $D_p=100$ mm çaplı pervanenin 560 rpm dönüş hızı için kazığa farklı uzaklıktaki oyulma derinliklerinin zamanla değişimi.....	58
Şekil 3.14 $D_p=100$ mm çaplı pervanenin farklı dönüş hızları için oyulma derinliğinin zamanla değişimi (Kazığın $2D_p$ mesafede bulunması hali)	58
Şekil 3.15 $D_p=130$ mm çaplı pervanenin farklı dönüş hızları için oyulma derinliğinin zamanla değişimi (Kazığın $2D_p$ mesafede bulunması hali)	59
Şekil 3.16 $D_p=100$ mm çaplı pervane için 625 rpm dönüş hızı için hublı ve hubsız pervanelerin neden olduğu oyulma derinliklerinin zamanla değişimi	59
Şekil 3.17 $D_p=100$ mm çaplı pervanenin 690 rpm dönüş hızı için hublı ve hubsız pervanelerin neden olduğu oyulma derinliklerinin zamanla değişimi	60
Şekil 3.18 $T=600$ s için oyulma profili	61
Şekil 3.19 $T=9000$ s için oyulma profili	61
Şekil 3.20 $T=0$ s için sabit taban modeli.....	62
Şekil 3.21 $T=600$ s için sabit oyulma modeli	62
Şekil 3.22 $T=9000$ s için sabit denge oyulma modeli.....	62
Şekil 3.23 $T=0$ s için ölçüm konumları.....	63
Şekil 3.24 $T=600$ s için ölçüm konumları.....	63
Şekil 3.25 $T=9000$ s için ölçüm konumları.....	63
Şekil 3.26 Taban kayma gerilmesi ölçüm noktaları	64
Şekil 3.27 Hız profili ölçüm noktaları	65
Şekil 3.28 Pervanelerinin görünümü	68
Şekil 4.1 690 rpm dönüş hızı için farklı pervane büyüklüklerinde yoğunluk Fr sayısına bağlı olarak oyulma derinlikleri	75
Şekil 4.2 $T=0$ anında eksen üzerinde taban kayma gerilmesi değişimi	81
Şekil 4.3 $T=0$ anında kazık etrafındaki taban kayma gerilmesi değişimi	81
Şekil 4.4 $T=0$ anında kazıktan $0.7d_0$ uzaklıkta taban kayma gerilmesi değişimi	82

Şekil 4.5 T=600 s anında eksen üzerinde taban kayma gerilmesi değişimi	82
Şekil 4.6 T=600 s anında kazık etrafındaki taban kayma gerilmesi değişimi	83
Şekil 4.7 T=600 s anında kazıktan $0.7d_0$ uzaklıkta taban kayma gerilmesi değişimi	83
Şekil 4.8 T=600 s için oyulma geometrisi ve kayma gerilmesi ölçüm konumları	84
Şekil 4.9 T=600 s oyulma geometrisi ve akım yapısı	84
Şekil 4.10 T=9000 s anında eksen üzerinde taban kayma gerilmesi değişimi	85
Şekil 4.11 T=9000 s anında kazık etrafındaki taban kayma gerilmesi değişimi	86
Şekil 4.12 T=9000 s anında kazıktan $0.63d_0$ uzaklıkta taban kayma gerilmesi değişimi ..	86
Şekil 4.13 T= 9000 s için oyulma geometrisi ve kayma gerilmesi ölçüm konumları	87
Şekil 4.14 T=9000 s için oyulma geometrisi ve akım yapısının şematik gösterimi	87
Şekil 4.15 T=0 için jet eksen boyuncası τ/τ_{kr} değişimi	88
Şekil 4.16 T=0 için kazık etrafında τ/τ_{kr} değişimi	89
Şekil 4.17 T=0 için kazıktan $0.7d_0$ uzaklıkta τ/τ_{kr} değişimi	89
Şekil 4.18 T=600 için jet eksen boyuncası τ/τ_{kr} değişimi	90
Şekil 4.19 T=600 için kazık etrafında τ/τ_{kr} değişimi	90
Şekil 4.20 T=600 için kazıktan $0.7d_0$ uzaklıkta τ/τ_{kr} değişimi	91
Şekil 4.21 T=9000 için jet eksen boyuncası τ/τ_{kr} değişimi	91
Şekil 4.22 T=9000 için kazık etrafında τ/τ_{kr} değişimi	92
Şekil 4.23 T=9000 için kazıktan $0.63d_0$ uzaklıkta τ/τ_{kr} değişimi	92
Şekil 4.24 Farklı şev eğimlerinde pervane jetine ait hız profilleri [29]	93
Şekil 4.25 $D_p=70$ mm çaplı pervane durumunda 560 rpm dönüş hızı için kazık mansabında hız dağılımları ($m_1=1:1.5$)	94
Şekil 4.26 $D_p=70$ mm çaplı pervane durumunda 560 rpm dönüş hızı için kazık mansabında hız dağılımları ($m_2=1:2$)	94
Şekil 4.27 $D_p=70$ mm çaplı pervane durumunda 560 rpm dönüş hızı için kazık mansabında hız dağılımları ($m_3=1:2.5$)	95
Şekil 4.28 $D_p=70$ mm çaplı pervane durumunda 625 rpm dönüş hızı için kazık mansabında hız dağılımları ($m_1=1:1.5$)	95
Şekil 4.29 $D_p=70$ mm çaplı pervane durumunda 625 rpm dönüş hızı için kazık mansabında hız dağılımları ($m_2=1:2$)	96
Şekil 4.30 $D_p=70$ mm çaplı pervane durumunda 625 rpm dönüş hızı için kazık mansabında hız dağılımları ($m_3=1:2.5$)	96
Şekil 4.31 $D_p=70$ mm çaplı pervane durumunda 690 rpm dönüş hızı için kazık mansabında hız dağılımları ($m_1=1:1.5$)	97
Şekil 4.32 $D_p=70$ mm çaplı pervane durumunda 690 rpm dönüş hızı için kazık mansabında hız dağılımları ($m_2=1:2$)	97
Şekil 4.33 $D_p=70$ mm çaplı pervane durumunda 690 rpm dönüş hızı için kazık mansabında hız dağılımları ($m_3=1:2.5$)	98
Şekil 4.34 $D_p=100$ mm çaplı pervane durumunda 560 rpm dönüş hızı için kazık mansabında hız dağılımları ($m_1=1:1.5$)	98
Şekil 4.35 $D_p=100$ mm çaplı pervane durumunda 560 rpm dönüş hızı için kazık mansabında hız dağılımları ($m_2=1:2$)	99
Şekil 4.36 $D_p=100$ mm çaplı pervane durumunda 560 rpm dönüş hızı için kazık mansabında hız dağılımları ($m_3=1:2.5$)	99
Şekil 4.37 $D_p=100$ mm çaplı pervane durumunda 625 rpm dönüş hızı için kazık mansabında hız dağılımları ($m_1=1:1.5$)	100
Şekil 4.38 $D_p=100$ mm çaplı pervane durumunda 625 rpm dönüş hızı için kazık mansabında hız dağılımları ($m_2=1:2$)	100

Şekil 4.39 Dp=100 mm çaplı pervane durumunda 625 rpm dönüş hızı için kazık mansabında hız dağılımları ($m_3=1:2.5$).....	101
Şekil 4.40 Dp=100 mm çaplı pervane durumunda 690 rpm dönüş hızı için kazık mansabında hız dağılımları ($m_1=1:1.5$).....	101
Şekil 4.41 Dp=100 mm çaplı pervane durumunda 690 rpm dönüş hızı için kazık mansabında hız dağılımları ($m_2=1:2$).....	102
Şekil 4.42 Dp=100 mm çaplı pervane durumunda 690 rpm dönüş hızı için kazık mansabında hız dağılımları ($m_3=1:2.5$).....	102
Şekil 4.43 Dp=130 mm çaplı pervane durumunda 560 rpm dönüş hızı için kazık mansabında hız dağılımları ($m_1=1:1.5$).....	103
Şekil 4.44 Dp=130 mm çaplı pervane durumunda 560 rpm dönüş hızı için kazık mansabında hız dağılımları ($m_2=1:2$).....	103
Şekil 4.45 Dp=130 mm çaplı pervane durumunda 560 rpm dönüş hızı için kazık mansabında hız dağılımları ($m_3=1:2.5$).....	104
Şekil 4.46 Dp=130 mm çaplı pervane durumunda 625 rpm dönüş hızı için kazık mansabında hız dağılımları ($m_1=1:1.5$).....	104
Şekil 4.47 Dp=130 mm çaplı pervane durumunda 625 rpm dönüş hızı için kazık mansabında hız dağılımları ($m_2=1:2$).....	105
Şekil 4.48 Dp=130 mm çaplı pervane durumunda 625 rpm dönüş hızı için kazık mansabında hız dağılımları ($m_2=1:2.5$).....	105
Şekil 4.49 Dp=130 mm çaplı pervane durumunda 690 rpm dönüş hızı için kazık mansabında hız dağılımları ($m_1=1:1.5$).....	106
Şekil 4.50 Dp=130 mm çaplı pervane durumunda 690 rpm dönüş hızı için kazık mansabında hız dağılımları ($m_2=1:2$).....	106
Şekil 4.51 Dp=130 mm çaplı pervane durumunda 690 rpm dönüş hızı için kazık mansabında hız dağılımları ($m_3=1:2.5$).....	107
Şekil 4.52 Deney sisteminin boyutsal genel görünümü.....	115
Şekil 4.53 Dp=70 mm çaplı pervane durumunda jet eksenı boyunca kazığın mansabında ve membasındaki kayma gerilmesi dağılımı ($m_1=1:1.5$)	116
Şekil 4.54 Dp=70 mm çaplı pervane durumunda kazığın jet eksenı boyunca mansabında ve membasındaki kayma gerilmesi dağılımı ($m_2=1:2$)	116
Şekil 4.55 Dp=70 mm çaplı pervane durumunda kazığın jet eksenı boyunca mansabında ve membasındaki kayma gerilmesi dağılımı ($m_3=1:2.5$)	117
Şekil 4.56 Dp=70 mm çaplı pervane durumunda kazığın jet eksenı boyunca mansabında ve membasındaki kayma gerilmesi dağılımı ($m_4=0$)	117
Şekil 4.57 Dp=100 mm çaplı pervane durumunda kazığın jet eksenı boyunca mansabında ve membasındaki kayma gerilmesi dağılımı ($m_1=1:1.5$)	118
Şekil 4.58 Dp=100 mm çaplı pervane durumunda kazığın jet eksenı boyunca mansabında ve membasındaki kayma gerilmesi dağılımı ($m_2=1:2$)	118
Şekil 4.59 Dp=100 mm çaplı pervane durumunda kazığın jet eksenı boyunca mansabında ve membasındaki kayma gerilmesi dağılımı ($m_3=1:2.5$)	119
Şekil 4.60 Dp=100 mm çaplı pervane durumunda kazığın jet eksenı boyunca mansabında ve membasındaki kayma gerilmesi dağılımı ($m_4=0$)	119
Şekil 4.61 Dp=130 mm çaplı pervane durumunda kazığın jet eksenı boyunca mansabında ve membasındaki kayma gerilmesi dağılımı ($m_1=1:1.5$)	120
Şekil 4.62 Dp=130 mm çaplı pervane durumunda jet eksenı boyunca kazığın mansabında ve membasındaki kayma gerilmesi dağılımı ($m_2=1:2$)	120
Şekil 4.63 Dp=130 mm çaplı pervane durumunda kazığın jet eksenı boyunca mansabında ve membasındaki kayma gerilmesi dağılımı ($m_3=1:2.5$)	121

Şekil 4.64 Dp=130 mm çaplı pervane durumunda kazığın jet eksenini boyunca mansabında ve membasındaki kayma gerilmesi dağılımı ($m_4=0$)	121
Şekil 4.65 Dp= 70 mm çaplı pervanenin 560 dönüş hızında ve pervane Re=8975.17 için taban kayma gerilmesi dağılımı	122
Şekil 4.66 Dp=70 mm çaplı pervanenin 625 dönüş hızında ve pervane Re=10016.93 için taban kayma gerilmesi dağılımı	123
Şekil 4.67 Dp=70 mm çaplı pervanenin 690 dönüş hızında ve pervane Re=11058.69 için taban kayma gerilmesi dağılımı	123
Şekil 4.68 Dp=100 mm çaplı pervanenin 560 dönüş hızında ve pervane Re=14653.33 için taban kayma gerilmesi dağılımı	124
Şekil 4.69 Dp=100 mm çaplı pervanenin 625 dönüş hızında ve Re=16354.17 için taban kayma gerilmesi dağılımı	124
Şekil 4.70 Dp=100 mm çaplı pervanenin 690 dönüş hızında ve pervane Re=18055 için taban kayma gerilmesi dağılımı	125
Şekil 4.71 Dp=130 mm çaplı pervanenin 560 dönüş hızında ve pervane Re=37146.2 için taban kayma gerilmesi dağılımı	125
Şekil 4.72 Dp=130 mm çaplı pervanenin 625 dönüş hızında ve pervane Re=41457.83 için taban kayma gerilmesi dağılımı	126
Şekil 4.73 Dp=130 mm çaplı pervanenin 690 dönüş hızında ve pervane Re=45769.43 için taban kayma gerilmesi dağılımı	126

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 2.1 Schokking tarafından [4] te seçilen konumda rıhtım duvarı önünde ölçülen farklı formüller ile hesaplanan maksimum oyulmaların karşılaştırılması ...	47
Çizelge 3.1 Deney koşulları.....	57
Çizelge 3.2 Açık rıhtım modeller için ölçüm koşulları	65
Çizelge 3.3 Pervane özellikleri	68
Çizelge 3.4 Deneylerde kullanılan pervane özellikleri ve oyulma derinlikleri	70
Çizelge 3.5 Etkili parametreler	70
Çizelge 3.6 Parametre boyutları.....	71
Çizelge 3.7 Boyutsuz parametrelerin üstel değerleri	72
Çizelge 4.1 Polietilen Tabanda elde edilen kayma gerilmeleri (Düzlem taban T=0 s)	78
Çizelge 4.2 Polietilen Tabanda elde edilen kayma gerilmeleri (Düzlem taban T=600 s)	79
Çizelge 4.3 Polietilen Tabanda elde edilen kayma gerilmeleri (Düzlem taban T=9000 s)	80
Çizelge 4.4 Dp= 70 mm çaplı pervane için kayma gerilmeleri	109
Çizelge 4.5 Dp= 100 mm çaplı pervane için kayma gerilmeleri	111
Çizelge 4.6 Dp=130 mm çaplı pervane için kayma gerilmeleri	113

AÇIK TIPTEN RIHTIMLARDA ETKİLİ GEMİ PERVANE JETLERİNİN HİDRODİNAMİĞİ

Selahattin KAYHAN

İnşaat Mühendisliği Hidrolik Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Yalçın YÜKSEL

Gelişen dünya şartları ile birlikte deniz taşımacılığı da uluslararası pazarın değişen taleplerini yerine getirmek amacıyla limanlarda da sürekli bir gelişim yaşanmaktadır. Son yıllarda taşımacılık sektöründeki öncelikli amaç taşıma kapasitesini artırmak olmuştur. Bunun için gemiler daha büyük boyutlarda tasarlanarak yüksek yük kapasitelerine ulaşmıştır. Bu durumlar limanlar üzerinde de etkili olmuş, liman içindeki derinlikler zamanla artmış, rıhtım duvarları uzatılmış ve ulaşım kanalları genişletilmiştir. Gemilerin boyut arttırımı ile beraber gemi pervanelerinden çıkan su jetleri deniz tabanında, seyir yollarında, limanların eğilimli kıyılarında ve rıhtım duvarları ile rıhtım kazıkları etrafında oyulmaya neden olarak ciddi hasarlara neden olmaktadır. Bu nedenle gemilerin, yanaşma yapılarına yanaşma ve ayrılmaları sırasında oluşturduğu su jetine ait hız dağılımlarının belirlenmesi tasarımcılar için önemli bir problem haline gelmiştir.

Bu çalışmada, serbest pervane jet akımının silindirik kazıklar etrafında meydana getirdiği oyulma etkisi ve hız dağılımının deney sistemi yardımıyla belirlenmesi amaçlanmış ve ADV hız ölçer, CTA yardımıyla farklı şev eğimleri etkisi altında kazıklı yapılar etrafında serbest pervane jet akımlarının etkisi altında hidrodinamik yapısı anlaşılmasına çalışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Serbest pervane Jeti, Hub'lı pervane jeti, ADV, Kazıklı yapılar, Pervane erozyonu

ABSTRACT

Hydrodynamics of Open Type Quay Walls under Ship Propeller Jets

Selahattin KAYHAN

Department of Hydraulic in Civil Engineering

MSc. Thesis

Advisor: Assoc. Prof. Dr. Yalçın YÜKSEL

As the world and the world sea transportation changes and develops, the ports too changes to fulfill the world demands. These last years goal was to increase the capacity of the transportation. To reach this goal, the ships got bigger with high capacities. This changes effects the ports too as the ports depth get deeper, quay walls get larger and canals get wider. With bigger ships there is bigger propeller and this means more damage on the quay walls, canals and narrow shores. For this reason it is really important to know and calculate the effects of the water jets for the designers

The purpose of this study is to find out the scouring around the cylindrical piles, distrubution of the velocity and determine the effect of free propellers on the cylindrical piles which has different slopes with help of ADV and CTA.

Key words: Free Propellers, ADV, Pile Structure, Propeller Erosion, Hub

YILDIZ TECHNICAL UNIVERSITY
GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

1.1 Literatür Özeti

Limanlarda çok farklı tipte taban koruması yapılmaktadır. En yaygın koruma şekli anroşman tabakası serilmesidir. Buradaki en önemli sorun bu taban korumasında kullanılan taş boyutlarının seçilmesidir. Anroşmanın stabil olmaması tabanda hasar oluşmasına neden olur. Bu hasar, çapı büyük taşlar kullanılarak sınırlandırılır. Günümüze kadar limanlardaki taş boyutu seçimindeki deneyimler, basit yaklaşımlara ve genel taş stabilite ifadelerine göre belirlenmiştir. Bu durum sıklıkla büyük hata paylarına ve koruma tabakası boyutlarında artışa neden olmaktadır.

Taban korumasında pervanelerden dolayı oluşan hasarlar son yıllarda uluslararası alanda dikkat çekmektedir. Örneğin, Hollanda'da yapılan çeşitli araştırmalar ile bu problem araştırılmıştır. Blokland [2] de yaptığı çalışmada, düşey rıhtım duvarlarında pervaneden dolayı oluşan erozyon problemini çeşitli deneylerle araştırmıştır. Romorkörlerin pervaneleride, büyük gemilerin pervaneleri ile benzer etkiler yaratmaktadır. Ayrıca bu problemin araştırılması için fiziksel modellerden yararlanılmaktadır. Blokland tarafından [2] de verilen çalışmada, rıhtım duvarındaki taş stabilitesini araştırmak için model deneylerinde basit su jeti benzeşimini kullanılmıştır.

Van Veldhoven [3] ve Schokking [4] te eğimli taş dolgu şev üzerinde pervanelerin oluşturduğu hasarı araştırmışlardır. Bu araştırmalarda jet akımıyla etkileşen küçük ölçekli model kullanılmıştır. De Jong [5] te verilen çalışmada, bilgisayar programı kullanarak düşey yüzlü bir rıhtım duvarı önündeki yan pervanenin sayısal modellemesini yapmıştır.

Izbash [19] ve Shields [20] kritik hız ile taban stabilite malzemesinin arasındaki ilişkiyi gösteren teorileri vermişlerdir. Her ikisi de kendi stabilite parametrelerini tanımlamışlardır. Şartlara bağlı olarak hangi yöntemin kullanılacağına karar verilmektedir.

1.2 Tezin Amacı

Kapalı ve açık tip rıhtımlardaki pervane jeti nedeniyle meydana gelen erozyona yönelik literatürde çalışma bulunmasına karşın açık tip rıhtımların şevli yapısı üzerinde jetin yarattığı akım yapısına ilişkin yeterli çalışma bulunmamaktadır. Bu amaçla yapılan çalışmada kazıklı rıhtımlarda belli şev eğimlerinde ve tabanda gemi pervanelerinden dolayı oluşan jet akımının kazıklı rıhtım yapısının akım alanı üzerindeki etkisi araştırılmıştır. Deneyler, temiz su oyulması koşulları altında, hub'lı ve hub'sız farklı çaplardaki serbest pervane jeti oluşturularak, bir su kanalında yapılmıştır. Deneylerde, kazığın mansabında tabanın yatay ve farklı şev eğimlerine sahip olması durumunda akımın kazık etrafındaki davranışı incelenmiştir. Düzlem taban sabit kalacak şekilde, kazık eksenini boyunca pervane jetinden kazığa ve kazıktan mansaba doğru farklı mesafelerde ve kazık etrafında hız dağılımı ile taban kayma gerilmeleri ölçülmüştür. Böylece açık tipten rıhtımlar için pervane jetinin yarattığı hidrodinamik koşulların belirlenmesi amaçlanmıştır.

1.3 Hipotez

Literatürdeki çalışmalar göz önüne alındığında açık tip rıhtımlarda kazık etrafındaki oyulma üzerinde pervane çapının değişiminin etkili olacağı düşünülmüştür. Bu amaç doğrultusunda kazık etrafında ve rıhtım şevinde oluşabilecek pervane jet akımına ait hız alanı, tabanda oluşacak kayma gerilmesi değişimi farklı senaryolar için denenmesi öngörülmüştür.

GEMİ PERVANELERİNİN HİDRODİNAMİĞİ İLE İLGİLİ YAPILMIŞ ÇALIŞMALAR

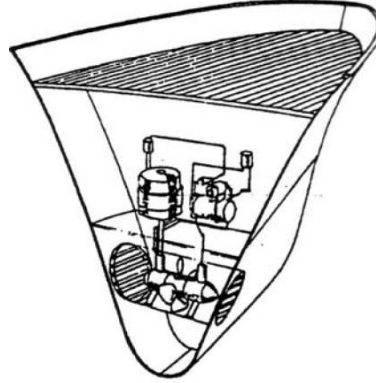
2.1 Giriş

Deniz taşımacılığı, uluslararası pazarın değişen taleplerini yerine getirmek amacıyla sürekli bir gelişim yaşamaktadır. Son on yılda taşımacılık endüstrisindeki öncelikli amaç taşıma kapasitesini artırmak olmuştur. Bu yüzden gemiler daha büyük boyutlarda tasarlanarak yüksek yük kapasitesine ulaşmıştır. Bu durumlar limanlar üzerinde de etkili olmuştur, liman içindeki derinlikler zamanla artmış, rıhtım duvarları uzatılmış ve ulaşım kanalları genişletilmiştir. Modern gemilerde gücün artması sonucunda limanlar taban korumasında problem yaşamaya başlamıştır.

Bu sorunu ağırlaştıran ek bir gelişme de modern gemilerin kıçında bulunan ana pervanelere ilave olarak ve gemi omurgasına dik olarak yan pervanelerin yapılandırılmasıdır. Bu pervaneler gemilerin yardım almadan rahatça manevra yapmasını sağlamaktadır. Bunlar özellikle yanaşma ve ayrılma esnasında kullanılmaktadır.

Feribotlar gibi büyük gemiler limanlarda manevra için kendi pervanelerini kullanırlar. Geminin kıç tarafında bulunan ana pervaneler ağırlıklı olarak ileri itme görevini sağlamak için kullanılmakta fakat dümen üzerinde yarattığı moment etkisiyle manevraya da yardımcı olabilmektedir. Bu ancak sınırlı bir manevraya olanak sağlamaktadır. Kıç pervaneleri geminin kıç kısmında ve yan pervaneler ise gemi eksenine dik olarak bulunurlar. İki farklı tipteki bu pervanelerin özellikleri birleştirilerek kendi ekseninde dönebilen bir pervane ile aynı görevi sağlayabilmektedir. Baş tarafta bulunan yan pervaneler de kıç tarafında bulunan yan pervaneler gibi gemi

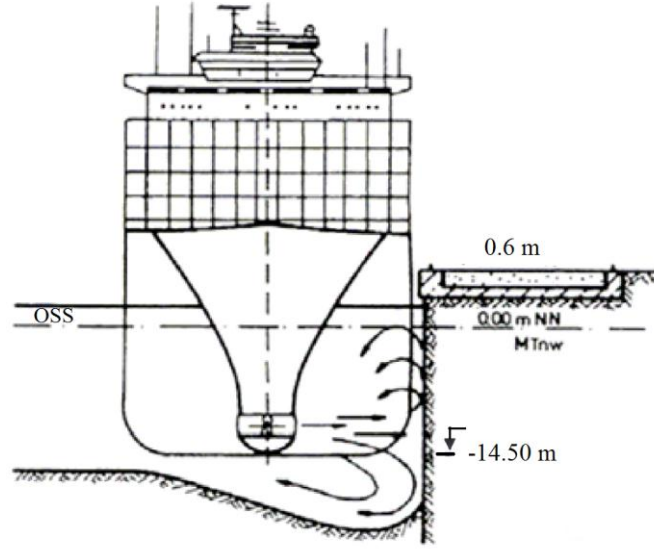
eksenine dik yerleştirilmektedirler. Şekil 2.1’de yan pervaneye ait bir kesit gösterilmiştir.



Şekil 2.1 Yan pervanenin görünümü

Baştaki pervanelerin geminin ağırlık merkezine olan uzaklığı ile oluşturduğu kuvvetler ile büyük moment etkileri oluştururlar. Bu nedenle geminin baş tarafının rıhtım duvarından uzaga dönüş yapmasını sağlar. Sonra da kış pervaneleri ileri doğru itiş için kullanılır. Sonuç olarak son yıllarda gemi boyutlarındaki artış ve pervanelerin motor gücü, rıhtım duvarları ve liman içi rıhtım duvarlarının önünde tabanda oluşan akım hızında bir artış meydana getirmektedir. Böylece bu yapıların oturduğu zeminler aşırı hızlar için uygun bir tasarıma sahip olmadıklarından taban erozyonunda artışa ve rıhtım duvarlarının yıkılmasına neden olabilmektedir. Bu oluşan erozyon taban koruması ile minimuma indirilebilmektedir.

Gemiler ayrılma esnasında baş pervanelerini kullanarak rıhtım duvarından uzaklaşırlar bunun sonucunda rıhtım duvarlarına doğru güçlü bir türbülans oluşur. Limanın tabanında, geminin alt ve ön kısmında rıhtım duvarlarının düşey olmasından dolayı güçlü bir yansıma ve yüksek akımlar oluşmaktadır. Bu da oyulmalara ve rıhtım duvarlarında hasara neden olmaktadır. Şekil 2.2’ de görüldüğü gibi limanın bilinçsiz bir şekilde korunmasıyla pervanenin çalışması esnasında oluşan oyulmalar görülmektedir.



Şekil 2.2 Yan pervanelerin rıhtım duvarı önünde çalışma prensibi [1]

Limanlarda çok farklı tipte taban koruması yapılmaktadır. En yaygın koruma şekli anroşman tabakası serilmesidir. Buradaki en önemli sorun bu taban korumasında kullanılan taş boyutlarının seçilmesidir. Anroşmanın stabil olmaması tabanda hasar oluşmasına neden olur. Bu hasar, çapı büyük taşlar kullanılarak sınırlandırılır. Günümüze kadar limanlardaki taş boyutu seçimindeki deneyimler, basit yaklaşımlara ve genel taş stabilite ifadelerine göre belirlenmiştir. Bu durum sıklıkla büyük hata paylarına ve koruma tabakası boyutlarında artışa neden olmaktadır.

Taban korumasında pervanelerden dolayı oluşan hasarlar son yıllarda uluslararası alanda dikkat çekmektedir. Örneğin, Hollanda'da yapılan çeşitli araştırmalar ile bu problem araştırılmıştır. Blokland [2] de yaptığı çalışmada, düşey rıhtım duvarlarında pervaneden dolayı oluşan erozyon problemini çeşitli deneylerle araştırmıştır. Romorkörlerin pervaneleride, büyük gemilerin pervaneleri ile benzer etkiler yaratmaktadır. Ayrıca bu problemin araştırılması için fiziksel modellerden yararlanılmaktadır. Blokland tarafından [2] de verilen çalışmada, rıhtım duvarındaki taş stabilitesini araştırmak için model deneylerinde basit su jeti benzeşimini kullanılmıştır.

Van Veldhoven [3] ve Schokking [4] te eğimli taş dolgu şev üzerinde pervanelerin oluşturduğu hasarı araştırmışlardır. Bu araştırmalarda jet akımıyla etkileşen küçük ölçekli model kullanılmıştır. De Jong [5] te verilen çalışmada, bilgisayar programı kullanarak düşey yüzölçümü bir rıhtım duvarı önündeki yan pervanenin sayısal modellemesini yapmıştır.

Pervane jet akımının düşey bir rıhtım duvarına etkisi üzerinde birçok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalarda pervanenin hemen önündeki hız profiline üniform bir dağılıma sahip olduğu kabul edilmektedir. Pervaneden çıkan akımın debisi aşağıdaki formülle ifade edilmektedir (Schokking [4]),

$$Q = U_0 \times \pi \times R^2 = U_0 \times \frac{\pi}{4} \times D_p^2 \quad (2.1)$$

burada U_0 pervane önünde oluşan üniform akımın hızı, R pervane yarıçapı, D_p pervane çapıdır.

Eğer akımı rahatsız eden bir durum yok ise enerji dengesinden pervane gücü için aşağıdaki ifade verilmiştir.

$$P_d = \frac{1}{2} \times \rho_w \times U_0^2 \times Q \quad (2.2)$$

burada P_d üretilen güç, ρ_w suyun özgül kütesidir.

(2.1) denklemi (2.2) denkleminde yerine konulursa;

$$P_d = \rho_w \times U_0^3 \times \frac{\pi}{8} \times D_p^2 \quad (2.3)$$

elde edilmektedir.

Buradan U_0 pervane jet hızı çekilirse;

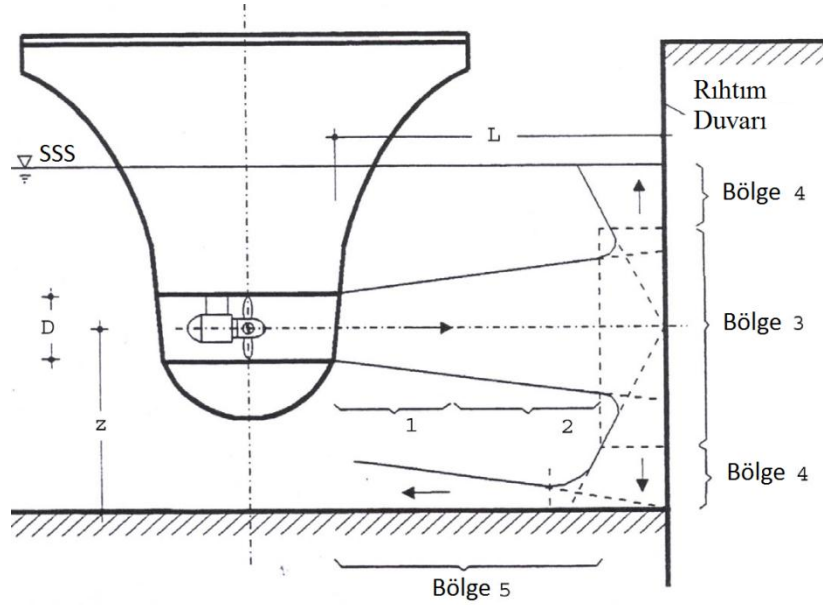
$$U_0 = 1.37 \times \left[\frac{P_d}{\rho_w \times D_p^2} \right]^{1/3} \quad (2.4)$$

elde edilmektedir. Üretilen güç ve pervane çapı kullanılarak (2.4)' te verilen eşitlik ile pervane önünde oluşan hız hesaplanabilmektedir.

Son yıllarda yan pervanelerin oluşturduğu hasarlar öne çıkan başlıca problemlerdendir. Birçok araştırma pervanelerin performansı hakkında bilgi edinmek için yapılmıştır ve çevresel etkileri için modelleme yolları araştırılmıştır.

Schmidt & Römisch [6] da verilen çalışmada yan pervanelerin (hub'lı) düşey rıhtım duvarındaki etkisini araştırmak için model deneyleri yapılmıştır. Bu araştırmalarda jet akımının gelişimi ve rıhtım duvarından yansımaları araştırılmıştır, rıhtım ve geminin tabandan olan açıklığının akım hızına etkisi çeşitli konumlarda belirlenmiştir. Ayrıca hız ve tabandaki hasar ölçümü yapılmıştır. Yan pervanelerin rıhtım duvarına doğrudan

etki etmesi söz konusu olduğunda, etki alanı olarak 5 farklı bölge belirlenmiştir (Şekil 2.3).



Şekil 2.3 Schmidt ve Römisch [6] da belirlenmiş rıhtım duvarı önündeki beş bölge

1 ve 2 no'lu Bölge: Gelişmekte olan ve tam gelişmiş akım bölgeleri

Römisch [6] da verilen çalışmada, hız alanı pervaneden olan uzaklığın (x) pervane çapına (D_p) oranına bağlıdır. Schmidt [7] deki çalışmada ise çözüm olarak yan pervaneler için geçerli olan aşağıdaki ifadeyi elde etmiştir.

$$\frac{U_{x,maks}}{U_0} = 2 \left[\frac{x}{D_p} \right]^{-1.0} \quad (2.5)$$

burada $U_{x,maks}$ pervaneden x kadar uzaklıktaki maksimum eksenel hızdır.

(2.5) denklemi sadece gelişmiş akımlar için ikinci bölgede geçerlidir. Birinci bölge olan gelişmekte olan akım bölgesi için $U_{x,maks} = U_0$ olarak kabul edilmiştir (yani üniform hız dağılımı). Bu bölgenin uzunluğu hub'lı pervane için $x_0 = 2.0D_p$ 'dir. Bu mesafe serbest pervaneden üretilen akımda $x_0 = 2.6D_p$ 'dir.

3. Bölge: Basınç bölgesi

Bu bölge jetin duvara çarptığı bölgedir. Kinetik enerji, hızın sıfır basıncın maksimum olduğu anda basınç enerjisine dönüşmektedir. Eksenel akım hızının basınca dönüşümü duvardan 0.3L uzaklıkta gerçekleşmektedir. Şekil 2.3'te görüldüğü gibi L uzunluğu rıhtım duvarı ile yan pervanenin başlangıcı arasındaki mesafedir.

4. Bölge: Radyal duvar Jeti Bölgesi

Dördüncü bölge kinetik enerjinin basınç enerjisine dönüşmesi ile karakterize edilmektedir. Basınç noktasından itibaren radyal olarak gelişen akım bölgesidir. Akım hızı $z=0.3L$ noktasında yeniden maksimuma ulaşmaktadır.

5. Bölge: Taban

Römisç'e göre [8] te duvardan dolayı hızın doğrultusunun değişmesi sonucunda oluşan hız azalması ihmal edilmektedir. Bu nedenle tabandaki hız, rıhtım duvarının hemen önündeki hıza eşit olur.

(2.5) denkleminde L yerine konulursa

$$\left(U_{x'maks} / U_0 \right) = 2.0 \left(L / D_p \right)^{-1.0} \quad (2.6)$$

ifadesi elde edilir. Burada L rıhtım duvarından alınan mesafeyi göstermektedir.

Römisç [8] te taban stabilite parametresini (B) aşağıdaki gibi tanımlamıştır.

$$B = \frac{U_{maks,taban}}{\sqrt[2]{\frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_w}}} \times \frac{1}{gd} \quad (2.7)$$

burada U_{maks} tabandaki maksimum hız, d taban malzemesinin çapı, ρ_s katı madde özgül kütlesi, ρ_w suyun özgül kütlesidir. Römisç'e göre erozyon başlangıcı için taban stabilite parametresinin kritik değeri 1.25'dir.

Van Veldhoven [3] de farklı yollar deneyerek hangi ana pervanenin fiziksel olarak modellenebileceğini araştırmıştır. Basit bir su jetinin hub'lı pervane yerine kullanılıp kullanılamayacağını belirlemeye çalışmıştır. Basit bir su jeti etkisinde taş dolgu şev stabilitesini ve pervane oyulmasını araştırmıştır. Fiziksel model kullanılarak, başlangıç akım hızı, akım alanı, şev yakınındaki akım hızları ve şev üzerindeki taşların stabilitesi araştırılmıştır. Van Veldhoven [3] te hub'lı pervane etkisi altındaki taşların stabilitesinin

basit bir su jeti kullanıldığı durumdaki stabiliteden oldukça farklı olduğunu ifade etmiştir. Yan pervanesinin basit su jeti benzeşimi ile fiziksel modeliyle modellenemeyeceğini belirtmiştir.

De Jong [5] da verilen araştırmasında yan pervanelerin düşey rıhtımların üzerinde oluşturduğu akım hızını hesaplamak için sayısal bir model elde etmiştir. CFD programı kullanılarak yapılan çalışmada, ilk önce yan pervaneyi nasıl modelleyeceğini araştırmıştır. Pervane akımındaki türbülans etkisini doğru modelleyebilmek için De Jong [5] te verilen çalışmada, basit bir su jetinde oluşan aksel hızlara vortekslerin de etkisinin olduğunu belirtmiştir. De Jong'un araştırmasının temeli Van Veldhoven'ın [3] ve Schokking'in [4] araştırmalarına dayanmaktadır. İlk başta serbest su jeti, hub'lı ve serbest pervane jetleri kıyaslaması yapmak için simülasyonlar yapılmıştır. Bu üç tip durumun standart k- ϵ türbülans modeli kullanılarak kolayca modellenebileceğini göstermiştir.

Bu model düşey rıhtım duvarıyla bir senaryoya dönüştürülmüş ve iki farklı durum için simülasyon elde edilmiştir. Birinci durumda geminin alt kotu ile deniz tabanı arasındaki mesafe dikkate alınmıştır, diğer durumda ise dikkate alınmamıştır. Van Veldhoven & Schokking [4] tarafından kullanılan model ölçeği üzerinde bazı değişiklikler yapılarak uygulanmıştır.

- Birinci senaryoda sadece pervane ile rıhtım duvarı arasındaki mesafe araştırılmıştır.
- Modelin çalışıldığı kanalın büyüklüğü arzu edilmeyen sirkülasyon etkilerinden kaçınılması amacıyla artırılmıştır.
- Sayısal modelin her iki sınır koşulu suyun hareketini kolaylaştırmak amacıyla akış sınır koşulları ile değiştirilmiştir.

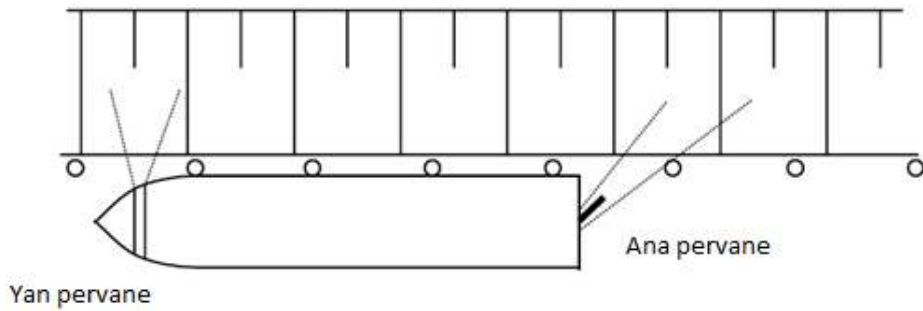
Sayısal modelle hesaplanan tabandaki maksimum hızlar mevcut hesaplama yöntemleriyle (Schmidt ve Römisch [6], Blokland [9]) karşılaştırılmıştır ancak sayısal modellemede maksimum hız kullanılırken, hesaplama metodunda ortalama hızlar kullanılmıştır.

Van der Laan [10] da yaptığı çalışmada belirttiği gemilerin yan pervanesinin oluşturduğu akım hızlarının farklı durumlar için hesaplanabileceği sayısal bir model kurmayı amaçlamıştır. Model sonuçları daha sonra fiziksel modeller ile doğrulanmıştır.

Araştırmada kullanılan geminin prototipi her birinin çapı 2.5 metre olan iki yan pervanesi olan PRIDE OF ROTTERDAM gemisidir. Geminin ana boyutları 1:25 ölçek oranında küçültülerek model boyutları elde edilmiştir. Tabandaki akım hızlarını belirlemek için sayısal modelleme yapılmıştır. Bu hızlar kullanılarak akım içindeki etkili alan belirlenmiştir. Böylece akım içindeki etkileşim olabildiğince sınırlandırılmıştır. Bu etkileşim hesap alanındaki sınırlardan olan yansımanın sonucudur. İlk olarak gemilerin yanaşacağı bölge için sayısal olarak bir çalışma alanı oluşturulmuştur. Modelde akımın giriş-çıkışına izin vermeyen kapalı sınır şartı ve akımın giriş-çıkışına izin veren açık sınır şartları kullanılmış ve sonuçları karşılaştırılmıştır. Van Der Laan [10] da belirtilen çalışmada yaptığı hesaplamalara dayanarak, kapalı çalışma alanının açık alana göre fiziksel olayı daha iyi temsil ettiğini belirtmiştir.

Pervane jeti etkisindeki taşların stabilitesini hesaplamak için kullanılan mevcut hesaplama yöntemlerinin yeterince doğru olmadığı düşünülmektedir. Aynı zamanda yan pervanelerin etkisi ana pervanelerin etkisiyle karşılaştırıldığında oldukça belirsiz olduğu belirtilmiştir (Schokking [4]).

Yan pervane esas olarak geminin baş tarafında olmak üzere bir hub'ın içine yerleştirilmektedir. Doğrultusu geminin boyuna eksenine yatay ve dik olacak şekilde yerleştirilmektedir. Bu pervaneler çalıştığında eksene dik kuvvet meydana getirerek geminin dönüş yapmasını sağlamaktadır. Ancak bu pervaneler şevlerde, tabanda, ve rıhtım yapısı üzerinde hasara neden olabilmektedir (Şekil 2.4).



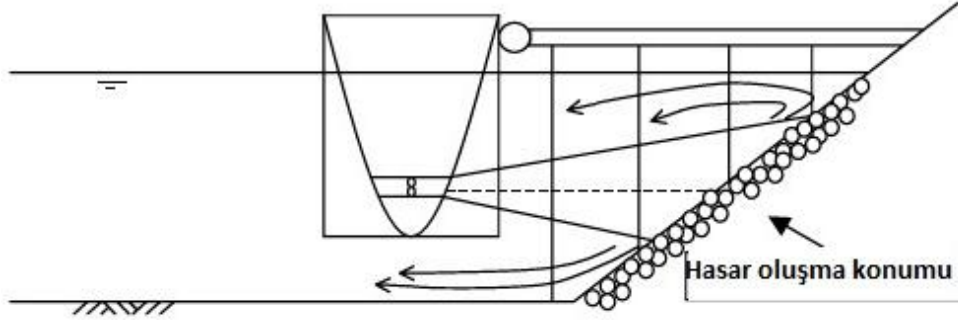
Şekil 2.4 Yan ve baş pervanelerin üstten görünümü [4]

Yan pervanelerden dolayı 3 farklı tipte jet oluşumu meydana gelmektedir;

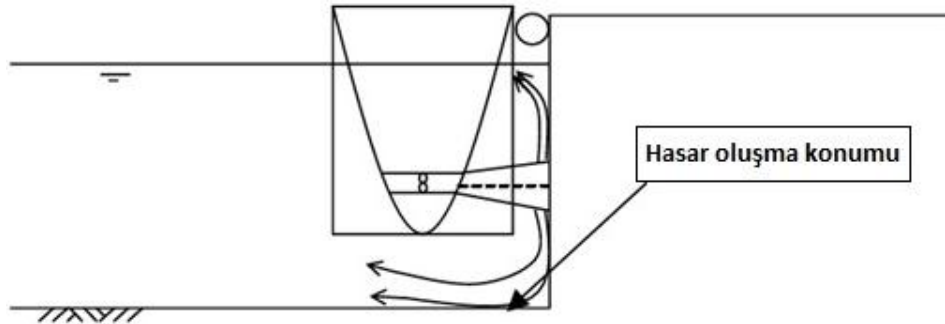
- 1- Su basıncının etkisiyle oluşan dairesel serbest su jeti

- 2- Hub içinde pervanenin dönmesiyle oluşan jet
- 3- Hub olmaksızın pervanenin dönmesiyle oluşan jet

Bir rıhtım yapısı üzerinde oluşan hasar şev üzerinde (Şekil 2.5) ve düşey rıhtım duvarının topuğunda (Şekil 2.6) olmak üzere genel olarak iki şekilde meydana gelmektedir.



Şekil 2.5 Şev üzerinde hasar oluşumu [18]



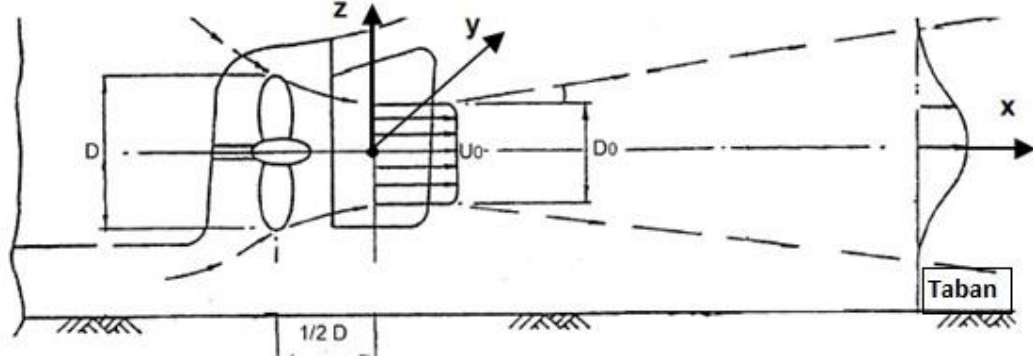
Şekil 2.6 Rıhtım duvarının topuğunda hasar oluşumu [4]

- Birinci durumda, yan pervane doğrudan koruma tabakasına etki etmektedir. Eğer malzeme yeterince stabil değilse, hasar oluşumu gözlenmektedir.
- İkinci durumda ise yan pervanelerin oluşturduğu jet, rıhtım duvarından yansıyarak tabana etki etmektedir. Böylece tabanda oyulma çukuru oluşmaktadır.

2.2 Pervane Jeti Hidrodinamiği

Schokking [4] pervane jeti akım yapısını detaylı olarak araştırmış ve aşağıdaki sonuçlara ulaşmıştır. Pervaneler çalışmaları esnasında su partiküllerini hareketlendirmektedir. Bu olay sırasında partiküller eksenel, radyal ve teğetsel yönde hızlara sahip olmaktadır. Jet daha düşük hıza sahip akım alanından geçerken ayrılmaktadır. Mevcut teoriye göre jetin hız dağılımının pervaneden çıkış anındaki hız

dağılımına üniform olduğu fikrine dayanmaktadır, daha ilerideki, bölgede hız dağılımının normal hız dağılımına benzer bir yapıya sahip olduğu kabul edilmiştir (Şekil 2.7).



Şekil 2.7 Pervane çıkışında ve gelişmiş akım bölgesindeki hız dağılımı [4]

Mevcut teorilerin çoğunda pervane arkasında oluşan başlangıç hızı (U_0) kullanılarak jetin herhangi bir noktasındaki hız hesaplanmaktadır. Başlangıç hızının hesaplanması için Blaauw & Van de Kaa [11]'de verilen momentum teorisi kullanılmıştır.

Bu teoride pervane şematik olarak aşağıdaki gibi tanımlanmıştır,

- Pervane kanat sayısı sonsuzdur.
- Pervane dönüş hızı sonsuz büyüklüktedir.
- Her bir kanattaki yük yarıçap boyunca sabittir.
- İletilen güç pervane itme gücü eşittir.

Bu teoride sadece ortalama aksenal hızlar dikkate alınmıştır. Gerçekte teğetsel ve radyal hızlar oluşmasına rağmen pervane hareketinde teğetsel hız dikkate alınmıştır. Bu yöntemde jet alanı bir dönen disk ile benzeştirilmiştir. Burada dönen disk (actuator disc) akışkanlar mekaniğinde bilinen ideal bir dönen pervane sistemidir.

Kütlenin korunumu prensibine göre,

$$\frac{1}{4} \pi D^2 \rho_w (U_A + U_1) = \frac{1}{4} \pi D_0^2 \rho_w (U_A + U_2) \quad (2.12)$$

ifadesi kullanılarak ϕ' daralma katsayısı elde edilir.

$$\phi' = \frac{D_0^2}{D^2} = \frac{(U_A + U_1)}{(U_A + U_2)} \quad (2.13)$$

burada, D_0 maksimum daralma bölgesindeki jet çapıdır. Bu daralma katsayısı, diskin oluşturduğu jet alanı ile maksimum daralma alanı arasındaki orandır. Pervane itme katsayısı ile karakterize edildiği için hız değeri kolayca elde edilebilmektedir. İtme katsayısı disk için aşağıdaki gibi ifade edilmiştir.

$$K_{T_{\text{disk}}} = \frac{T_{(\text{disk})}}{\rho_w n^2 D^4} \quad (2.14)$$

Hub'lı pervane için ise

$$K_{T(\text{pervane})} = \frac{T_{(\text{pervane})}}{\rho_w n^2 D^4} \quad (2.15)$$

şeklinde belirlenmiştir. Burada n saniyedeki devir sayısıdır. İtme katsayısı 0.25 ile 0.5 arasında değişebilmekte ve pervane verimliliğine göre kullanılmaktadır. (2.14) ve (2.15) denklemlerinde itme gücü değerleri yerine konulduğunda katsayılar aşağıdaki gibi elde edilir.

$$K_{T(\text{disk})} = \frac{\rho_w \frac{1}{4} \pi D^2 (U_A + U_1) U_2}{\rho_w n^2 D^4} \quad (2.16)$$

$$K_{T(\text{pervane})} = \frac{\rho_w \frac{1}{4} \pi D^2 \left(U_A + \frac{U_2}{2} \right) U_2}{\rho_w n^2 D^4} \quad (2.17)$$

Bu denklemlerde $U_A=0$ kabul edilerek hız değerleri aşağıdaki gibi belirlenir.

$$U_1 = \frac{K_{T(\text{disk})}}{U_2} \frac{4n^2 D^2}{\pi} \quad (2.18)$$

$$U_2 = \sqrt{\frac{8n^2 D^2}{\pi} K_{T(\text{pervane})}} \approx 1.60 n D \sqrt{K_{T(\text{pervane})}} \quad (2.19)$$

Römisch'e göre [8] de eğer K_T bilinmiyorsa, ortalama değer olarak 0.35 kullanılabilir. Bu durumda Blaauw ve Van de Kaa [11] ise farklı bir ifade vermiştir,

$$U_0 = 1.15 \left(\frac{P}{\rho_w D_0^2} \right)^{1/3} \quad (2.20)$$

burada P(watt) motorun gücüdür, bunun sonucunda

$$U_2 = 0.95 n D \quad (2.21)$$

olarak elde edilir, $U_A=0$ olduğundan, pervanenin hemen arkasındaki hız U_2 ye eşit olur. Bu hız başlangıç hızı U_0 olarak tanımlanır.

(2.18) ve (2.19) denklemleri (2.13) denkleminde yerine konulduğunda

$$\phi' = \frac{K_{t(\text{disk})}}{2K_{t(\text{pervane})}} = \frac{D_0^2}{D^2} \quad (2.22)$$

ifadesi elde edilir. Hub'sız pervane için

$$T_{(\text{pervane})} = T_{(\text{disk})} \text{ ve } U_1 = \frac{1}{2} U_2 \text{ ve } U_A = 0 \text{ olduğundan } \phi' = 0.5 \text{ ve hub'lı pervane için}$$

$$T_{(\text{pervane})} = \frac{1}{2} T_{(\text{disk})} \text{ olduğundan } \phi' = 1 \text{ olarak belirlenmiştir.}$$

$K_{T(\text{pervane})}$, $K_{T(\text{disk})}$, D ve n değerleri biliniyorsa, pervane arkasındaki jet hızını hesaplamak mümkündür. (2.22) denklemi ve bulunan değerler aynı zamanda hub'lı pervane durumunu göstermektedir.

$$D_0=D$$

Hubsız pervane için ise

$$D_0 = \sqrt{0.5} D = 0.71 D \text{ 'dir}$$

Blaauw ve Van de Kaa tarafından [11] de jetin içinde herhangi bir noktadaki hızın (u_{xz}) yaklaşık olarak hesaplandığı bir teori elde edilmiştir. Bu teoride

- 1- Basıncın akım boyunca hidrostatik olarak dağıldığı
- 2- Difüzyon işleminin bütün şartlar altında dinamik olarak benzer olduğu.

$$\left(\frac{U_{\text{maks}}}{U_0}\right) = \left(\frac{1}{2c_1}\right) \cdot \left(\frac{x}{D_0}\right)^{-1} \quad (2.25)$$

İkinci adımda ise x eksenine radyal uzaklıkta bulunan hız, o konumdaki maksimum hızın (U_{maks}) fonksiyonu olarak hesaplanmaktadır.

$$\frac{U_{x,z}}{U_{\text{maks}}} = \exp\left[-\frac{1}{2c_2^2} \cdot \frac{z^2}{x^2}\right] \quad (2.26)$$

Römisch ve Fuehrer [8] de verilen çalışmada c_1 değerini hub'sız pervane için ampirik bir ifadeyle belirlemişlerdir.

$$c_1 = 0.192$$

D_0 yerine D alındığında $c_2 = 0.15$ olarak elde edilmiştir. Bu değerler (2.25) ve (2.26) denklemlerinde yazılırsa aşağıdaki eşitliklere ulaşılmaktadır.

$$\frac{U_{\text{maks}}}{U_0} = 2.6 \left(\frac{x}{D}\right)^{-1} \quad (2.27)$$

$$\frac{U_{x,z}}{U_{\text{maks}}} = \exp\left[-22.2 \frac{z^2}{x^2}\right] \quad (2.28)$$

(2.27) ve (2.28) denklemleri tam gelişmiş akımda ve tedirgin edilmemiş pervane jeti için geçerlidir. Hub'lı pervane için hız dağılımı farklıdır.

Bu sabitler için diğer araştırmacılar tarafından farklı değerler bulunmuştur. Örneğin Blaauwve & Van de Kaa [11],

$$c_1 = c_2 = 0.18$$

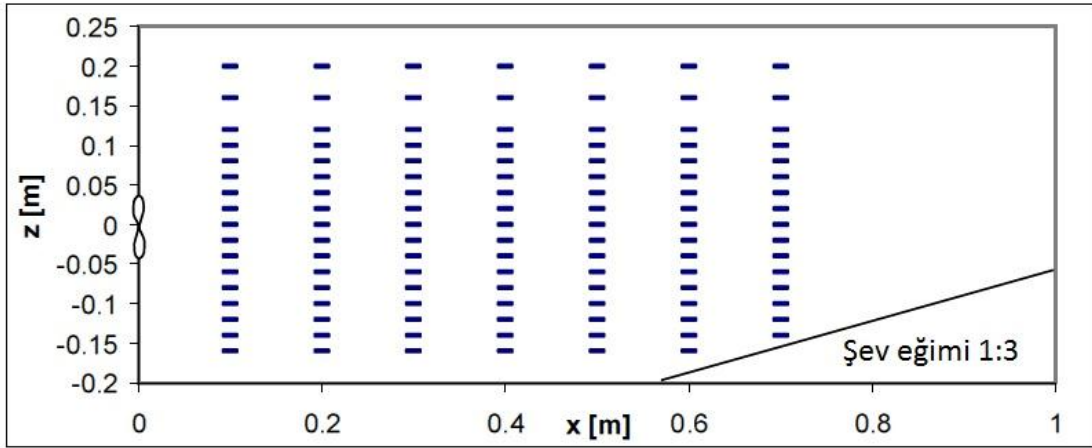
olarak elde etmişlerdir. Bunun sonucunda ise aşağıdaki ifadelerle ulaşılmaktadır,

$$\frac{U_{\text{maks}}}{U_0} = 2.8 \left(\frac{x}{D_0}\right)^{-1} \quad (2.29)$$

$$\frac{U_{x,z}}{U_{\text{maks}}} = \exp\left[-15.4 \cdot \frac{z^2}{x^2}\right] \quad (2.30)$$

Schokking [4] pervane jetleri üzerine yapmış olduğu çalışmada teorik olarak hız alanının pervane çıkış anında yüksek olduğunu ve eşit olarak dağıldığını ifade etmiştir. Ayrılma oluştuktan ve akım gelişmeye başladıktan sonra, hız profilinin normal hız dağılımına uyduğu belirlenmiştir (Şekil 2.7). Akım alanında gelişmekte olan ve tam gelişmiş akım bölgeleri oluşmaktadır. Gelişmekte olan akım bölgesinde, eksen üzerindeki hızın sabit olması beklenmektedir. Gelişmiş akım bölgesinde ise hız düşmeye başlamaktadır.

Şekil 2.10’da görüldüğü gibi hızlar yaklaşık olarak 100 noktada farklı x ve z konumlarında ölçülmüştür ($y=0$, $0.005\text{m}<x<0.7\text{m}$, $-0.16\text{ m}<z<0.2\text{m}$). Pervaneden belli bir uzaklığa bir şev yerleştirilmiştir ($m=1/3$). Bütün ölçümlerde pervane hızı 1100 rpm olarak alınmıştır.



Şekil 2.10 Ölçüm konumları [4]

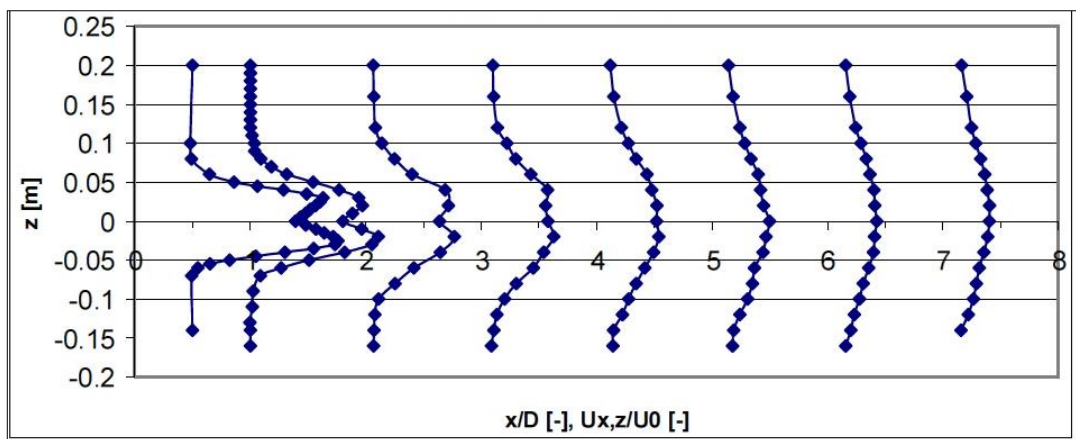
Ölçümler sırasında EMS cihazı kullanılmıştır. Bu alet hızı ölçmek için elektromanyetizmayı esas almaktadır. Bu işlem, çapı yaklaşık olarak 3 cm olan bir disk kullanılarak yapılmıştır ve bu nedenle akım fiziksel olarak etkilenmektedir. Ölçüm süresi her bir noktada 6 dakika olarak dikkate alınmıştır. Daha küçük sürelerde ölçüm yapıldığında akımın türbülans yapısından dolayı farklı ortalama değerler ortaya çıkmaktadır. 6 dakika veya daha fazla süre ölçüm yapıldığında ortalama hız değerlerinin sabit kaldığı belirlenmiştir. Her noktada teğetsel (U_y) ve eksenel (U_x) hız değerleri kaydedilmiştir. Yukarıda bahsedilen noktalardan farklı olarak, $x=0.05\text{ m}$ 'de radyal doğrultuda 0.005 m aralıklarla ($-0.1<z<0.1\text{ m}$) ölçüm yapılarak 1100 rpm pervane hızı için başlangıç akım hızı (U_0) belirlenmiştir. Bu konum Blaauw & Van Der Kaa [11]'e göre maksimum daralmanın olduğu konum olarak seçilmiş olup, o noktadaki U_0 değeri

alınmıştır. Başlangıç hızını belirlemek için $x=0.05$ m konumunda, her bir noktada ölçülen hızların yüzeyel integrali alınarak akımın toplam momentumu hesaplanmıştır. Daha sonra jet çapına bölünerek, ortalama hız değeri aşağıdaki gibi elde edilmiştir.

$$U_0 = \sqrt{\frac{I}{A \cdot \rho_w}} \quad (2.31)$$

burada, U_0 pervanenin önündeki başlangıç hızı, A etkili alan, ρ akışkanın özgül kütlesi, $I = (\int \rho_w u^2 dA)$ akımın momentumudur.

Pervane hızı 1100 rpm olduğunda I değeri 15'e eşit olmaktadır. Blaauw & Van Dee Kaa [11]'e göre maksimum daralma bölgesi pervaneden $0.5D$ uzaklıkta oluşmaktadır. Şekil 2.11'de görüldüğü gibi, jet $x/D = 0.5$ konumunda en küçük halindedir fakat jet çapı 0.07 m alındığında bunun doğru olmadığı anlaşılmaktadır. Maksimum hızlar $z=0.03$ m ve $z=-0.03$ m civarında oluşmaktadır fakat $z > 0.03$ m ya da $z < -0.03$ m konumlarında da oldukça büyük hızlar görülmektedir. Bu nedenle jeti sınırlandırmanın doğru olmadığı belirtilmiştir. Hızların $0.03 \text{ m} < z < 0.06 \text{ m} - 0.07 \text{ m}$ arasında hızla düştüğü görülmektedir. Eğer bu değerlerin ortalaması alınırsa, jet çapı 0.09-0.10 m olacaktır. Bu deney 0.1 m çaplı hub'lı pervane ile yapılmıştır. Ayrıca bu değer başlangıç hızını hesaplamak için kullanılmıştır. $U_0=1.35$ m/s ve itme katsayısı $K_T=0.23$ olarak belirlenmiştir. x eksenı boyunca $x=0.05$ m ve $x=0.7$ m ($D=0.10$ m) aralığında eksenel hızların yükseklikle değişimi Şekil 2.11'de çizilmiştir. Hızlar başlangıç hızı (U_0) ile boyutsuzlaştırılmıştır.



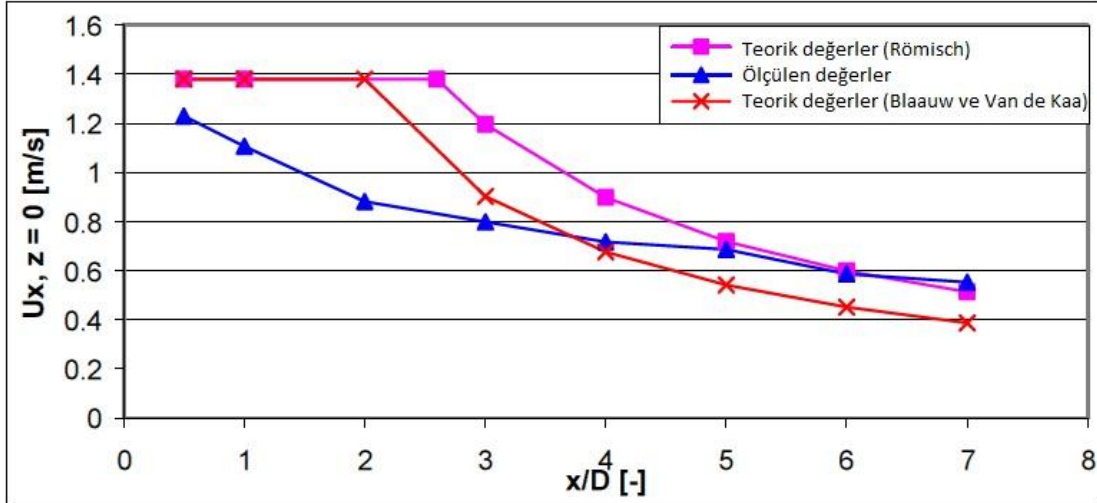
Şekil 2.11 x eksenı boyunca çeşitli konumlarda eksenel hız dağılımı [4]

Jetin ilk bölümünde pervane etkisi açıkça görülmektedir ve eksen civarında hızda sapmalar olmaktadır. $x= 0.3 - 0.4$ m konumlarına ulaşıldığında jetin etkisi tedricen

kaybolmaktadır ($D=0.1\text{m}$). Ayrıca Şekil 2.11’den görüldüğü gibi en yüksek hızlar profilin alt kısmında oluşmaktadır. Bunun nedeni bilinmemektedir.

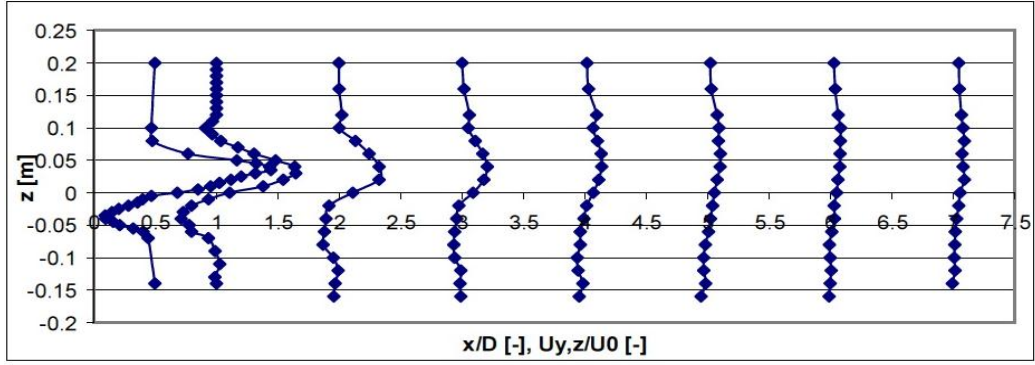
Çeşitli araştırmacılar (Fuehrer, Römisch ve Engelke [17], Rajaratnam [13], Blaauw & Van de Kaa [11]), x eksenindeki hızın başlangıç hızına eşit ve sabit olduğu gelişmekte olan akım bölgesinin mevcudiyetini kabul etmişlerdir.

Bununla birlikte yapılan ölçümler birbirinden farklı iki bölgenin varlığını göstermiştir (Şekil 2.12). $x=0$ ve $x=0.2\text{m}$ arasındaki birinci bölgede jet eksenindeki hızın ani ve hemen hemen lineer olarak azaldığı, bu konumdan sonra ise daha yavaş ve yine lineer olarak düştüğü görülmüştür. Pervanenin hemen önündeki ani hız düşüşü teoriyle çelişmektedir. Ancak pervane önünde hızların sabit kalması yerine ani düşmesi muhtelemen jetteki yüksek türbülans dolaydır.



Şekil 2.12 Eksen üzerindeki teorik ve ölçülmüş hızlar [4]

Römisch [6] da yapmış olduğu çalışmada, gelişmekte olan akım bölgesinin uzunluğunun $2.6D_0$ 'ye (0.26 m) eşit olduğunu, Blaauw & Van de Kaa ise [11] de $2.8D_0$ (0.2 m) olduğunu ifade etmiştir. Schokking tarafından yapılan çalışmada da Blaauw & Van de Kaa [11] de bulduğu değere eşit olduğu anlaşılmaktadır. Teğetsel hızlarda başlangıç hızı ile boyutsuzlaştırılarak Şekil 2.13'te verilmiştir.

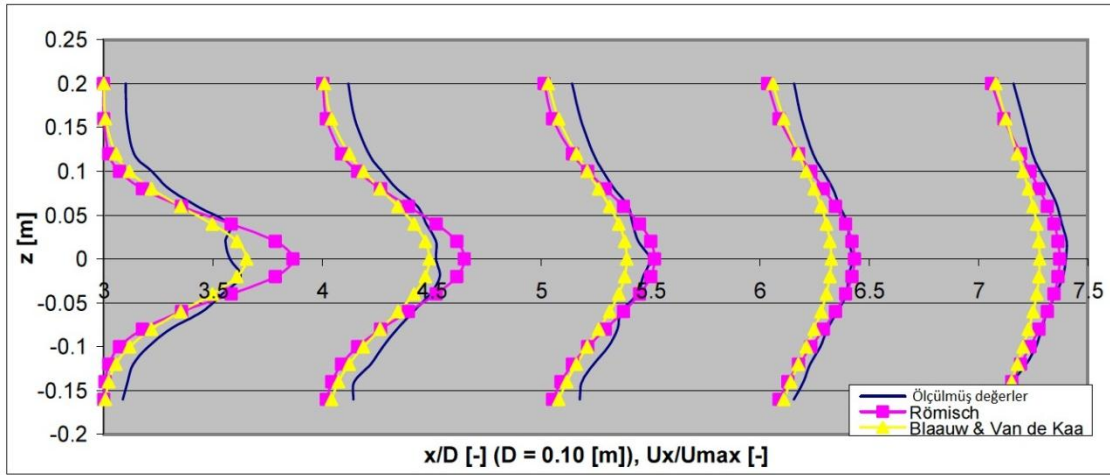


Şekil 2.13 Teğetsel hız dağılımları [4]

Eksenel hızların tersine teğetsel hızların profilin alt kısmında daha küçük olduğu görülmektedir. En yüksek hızlar ($x=0.05$ m'de) yaklaşık olarak eksenin 0.04 m üzerinde ve altında oluşmaktadır. Bu konum daha önce belirtilen jetin sınırları ile neredeyse aynıdır. Buradan açıkça görüldüğü gibi en büyük teğetsel hızlar jetin sınır tabakasında oluşmaktadır. Aynı zamanda teğetsel hızlardaki azalmanın aksel hızlardaki azalmadan daha hızlı olduğu görülmektedir. Örnek olarak $x/D=4$ konumunda aksel hızı başlangıç hızına göre %50 azalırken, teğetsel hız %90 azalmaktadır.

Jet ayrıldığında, belli bir noktada tabana ve serbest yüzeye ulaşmaktadır. Eksenel doğrultudaki yayılma açısı $1:6$ (Römisç [14]) veya yaklaşık 10 derecedir. Modeldeki yayılma açısı da yaklaşık $1:6.25$ 'dir. Modelde taban etki alanı $x=0.7$ m ile 0.8 m arasında görülmektedir. Bu etki alanı şevin üzerinde hissedildiğinden, şevin önündeki bölgede tabanın jetten etkilenmediği kabul edilmiştir.

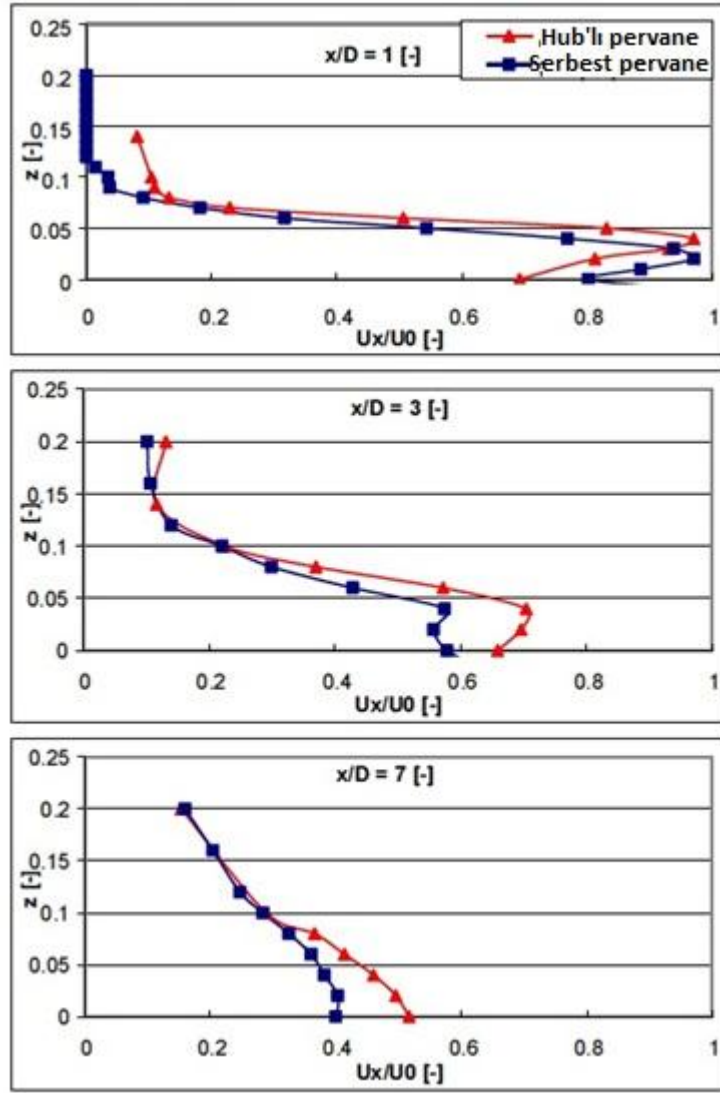
Römisç [6] ve Blaauw & Van de Kaa [11] de tam gelişmiş akım bölgesi için vermiş oldukları ifadeler $[11((2.27)), ((2.28)), ((2.29)), ((2.30))]$ kullanılarak tam gelişmiş akım bölgesinde ölçülen değerle karşılaştırılmıştır (Şekil 2.14).



Şekil 2.14 Pervaneden çeşitli uzaklıklarda teorik ve ölçülen hız dağılımlarının karşılaştırılması [4]

Ölçümler $x=0.3$ m ve $x=0.4$ m konumlarında Blaauw & Van de kaa'nın ifadeleriyle uyum sağlarken $x=0.5$, 0.6 ve 0.7 konumlarında Römisich [6] da verilen çalışmadaki ifadeleriyle uyum sağlamıştır. Hız alanının daha üst ve daha alt kısımlarında ($z>0.1$ m ve $z<-0.1$ m ise iki teori de ölçümlere göre daha düşük sonuçlar vermiştir. Bu muhtemelen pervaneden dolayı oluşan sirkülasyondan kaynaklanmaktadır. Ayrıca serbest pervane jeti ile hub'lı pervane jetine ait hız dağılımları arasında bir kıyaslama yapılmıştır. Pervaneden üç farklı uzaklıktaki konumlarda hız değerleri karşılaştırılmıştır.

Şekil 2.15'te görüldüğü gibi $x/D=1$ konumunda başlangıç hız profilleri oldukça benzemektedir. Serbest pervane jet çapı hublu pervane jeti çapına göre çok az küçüktür. Bunun nedeninin serbest pervane jetinde daralma katsayısının 0.5 , hub'lı pervanede ise 1 olmasından kaynaklanabilmektedir (Blaauw & Van de kaa, [11]).



Şekil 2.15 Hub'lı ve serbest pervane için hız değerlerinin karşılaştırılması [4]

Pervaneden uzaklaştıkça eksenel doğrultuda hub'lı pervaneye göre serbest pervanenin hızında daha fazla ani bir düşüş olduğu görülmektedir. $x=0.7m$ 'de hız farkı %25'e kadar çıkmaktadır. Ayrıca şekilden görüldüğü gibi her iki jet neredeyse eşit konumlarda ayrılmıştır.

Başlangıç profilleri benzer olduğundan her iki jetin de başlangıç debisi aynıdır. $x/D=7$ konumunda akımın etkili olduğu genişlikler pratikte aynı fakat hızlar aynı değildir. Serbest pervanenin debisi, hub'lı pervanenin debisiyle kıyaslandığında büyük ölçüde azalmaktadır. Serbest pervane jetinde daha büyük türbülans oluşması akımla daha çabuk karışmasına ve hızlardaki ani düşüşe neden olmaktadır.

Serbest pervane jeti ile oluşan hız alanı ile hub'lı pervane jeti ile oluşan hız alanı arasındaki farklılıklar aşağıdaki gibi özetlenmiştir.

- Jetler neredeyse aynı açıyla yayılmaktadır.
- Serbest pervane jetinden oluşan ortalama eksenel hızdaki düşüşü hub'lı pervanenin oluşturduğu ortalama eksenel hıza göre çok hızlı olmaktadır.

Türbülans zamana ve konuma göre rastgele değişen çeşitli niceliklere sahip düzensiz bir akıştır (Hinze [15]). Taylor ve Von Karman [16] da verilen çalışmalarında türbülansın sabit cidarda oluşan sürtünme kuvveti veya farklı hızlara sahip akışkan tabakalarının birbirine karışmasından dolayı meydana geldiğini belirtmişlerdir. Birinci durum duvar türbülansı, ikinci durum ise serbest türbülans olarak adlandırılmaktadır. Jetin iç kısmına sadece serbest türbülans yaklaşımı yapılmakta, rıhtım şevine yakın konumlarda ise her iki yaklaşım da kullanılmaktadır. Belli bir konum ve zamandaki toplam hız

$$U = \bar{U} + U' \quad (2.32)$$

olarak yazılabilmektedir.

$\bar{U}$ ortalama hız ve U' ise çalkantı bileşenini göstermektedir. Bu parametreler dikkate alınarak türbülans şiddeti (r) aşağıdaki gibi ifade edilmiştir.

$$r = \frac{\sqrt{U'^2}}{\bar{U}} \quad (2.33)$$

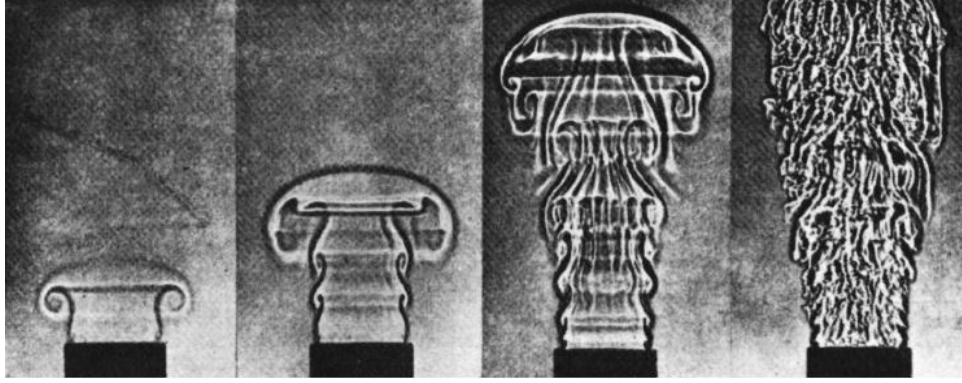
Ölçümler teğetsel ve eksenel doğrultuda yapılmıştır (x ve y). Böylece türbülans şiddeti belli konumlarda bu doğrultularda belirlenebilmektedir.

$$r_x = \frac{\sqrt{U_x'^2}}{\bar{U}_{x,z=0}} \quad (2.34)$$

$$r_y = \frac{\sqrt{U_y'^2}}{\bar{U}_{y,z=0}} \quad (2.35)$$

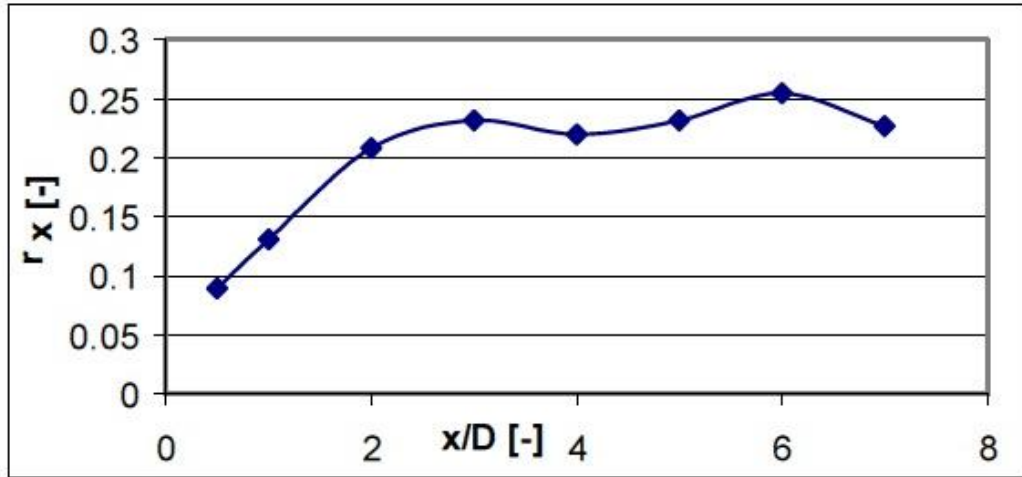
Tabanda ve yüzeyde hızlar çok düşük olduğundan x eksenindeki ortalama değerler dikkate alınmıştır. r 'nin fiziksel anlamı, içinde olduğu akım hızı ile karşılaştırıldığında türbülans çalkantılarının şiddetinin bir ölçüsüdür. Ortalama akım hızı x ekseninde oluşmaktadır [$\bar{U}_{x,z=0}$, $\bar{U}_{y,z=0}$].

Bundan dolayı yukarda verilen yöntemin kullanımı sınırlanmaktadır. Pervaneden dolayı oldukça büyük türbülans oluşmaktadır. Türbülans açısından bu yöntemin doğruluğu soru işareti olsa da çalkantı hız bileşenleri için doğru sonuç vermektedir. Hub'lı pervane kullanıldığında da bir problem çıkmamıştır. Schokking [4] te yapmış olduğu çalışmada yan pervanenin ne şekilde modellenebileceği de amaçlanmıştır. Şekil 2.16 jetin içindeki türbülans gelişimi hakkında fikir vermektedir.



Şekil 2.16 Serbest jetin gelişimi (Garside, J.E, [15]).

Şekil 2.17'de jet eksenini üzerindeki ölçüm noktalarında aksel türbülans şiddetinin değişimi görülmektedir.

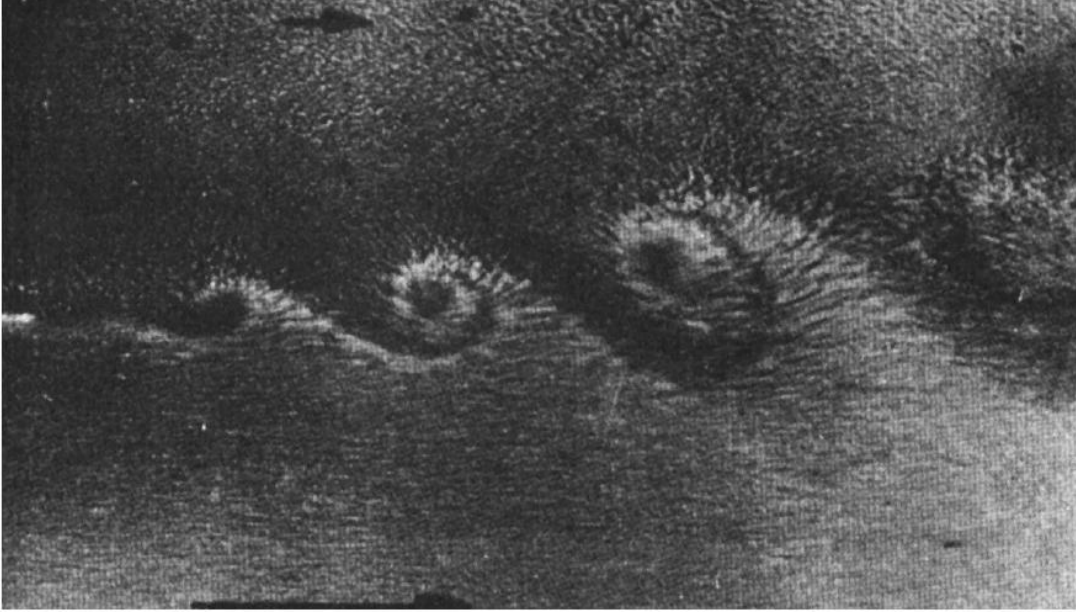


Şekil 2.17 Aksel türbülans şiddetleri

Şekil 2.17'de görüldüğü gibi aksel türbülans şiddeti pervane yakınında düşük değerlere sahiptir ve pervaneden uzaklaştıkça artmaktadır. Pervaneden 2-3D uzaklıkta türbülans şiddetinin sabit kaldığı (≈ 0.23) belirlenmiştir. Blaauw & Van De Kaa [11] de bu değeri 8D konumunda 0.28 olarak elde etmiştir. Türbülans şiddetinin Blaauw & Van

De Kaa [11] ile karşılaştırıldığında daha düşük değerlerde ve daha çabuk stabil olduğu belirlenmiştir.

Suyun içindeki etkili jet dikkate alındığında, jet eksenindeki akım, etrafındaki akımdan ilk etapta etkilenmemekte jetin sınırında vortekslerin neden olduğu bir kayma tabakası gelişmektedir (Şekil 2.18).



Şekil 2.18 Eksene göre yarım jet tabakasındaki vorteksler (Flugel, G, [15])

Bu türbülans içeriye ve dışarıya ayrılmaktadır. Jet eksenine ulaşması biraz zaman almaktadır ve bu nedenle belli bir hızda belli bir mesafe katetmektedir. Bu mesafe x_0 olarak tanımlanmıştır ve tam gelişmiş akım bölgesinin uzunluğunu göstermektedir. Şekil 2.17’den görüldüğü gibi pervaneden $x=0.05 - 0.2$ m uzaklığa kadar türbülanstaki artış en büyük değerlerini almaktadır. Bu da Şekil 2.17’de görülen aksenal hızdaki en hızlı azalmanın meydana geldiği bölgeye karşılık gelmektedir. Bu nedenle aksenal türbülanstaki hızlı artış akım hızında hızlı bir azalmaya yol açmaktadır.

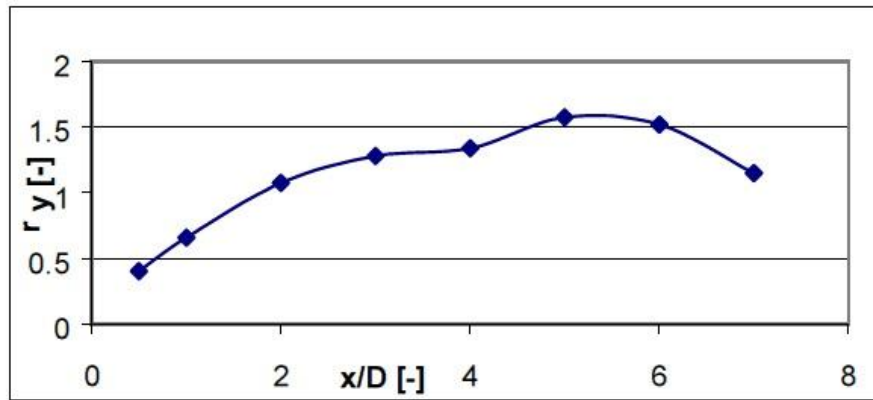
Daha önceden belirtildiği gibi, Römisch [6] ile Blaauw & Van De Kaa [11] deki çalışmalarında verilen teorilerin tam gelişmiş akım bölgesi için deney sonuçları ile iyi bir uyum sağlamamıştır. Bunun nedeni şu şekilde özetlenmiştir,

- Teoriler serbest jeti esas almış, pervane etkisi dikkate alınmamıştır. Bu modelde ise pervane etkisi dikkate alınmıştır. Pervane çok fazla türbülansa yol açmaktadır. Serbest jet sadece aksenal hıza sahiptir, pervane ise radyal ve teğetsel doğrultularda

da hız oluşturmaktadır. Pervane jeti doğrudan akıma karıştığı için büyük türbülansa neden olmaktadır.

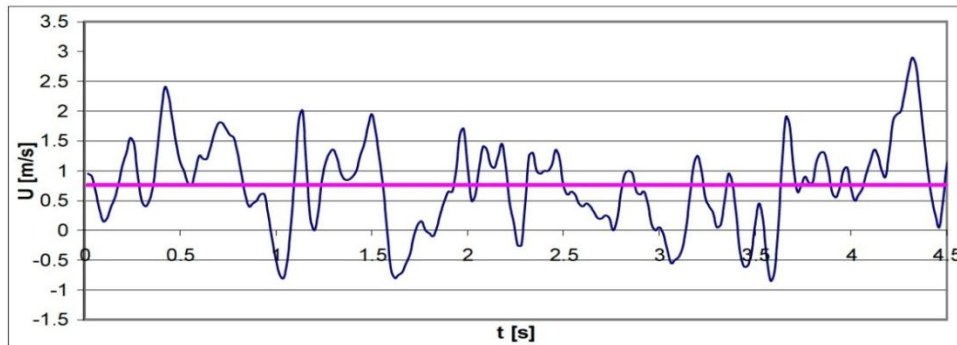
- Başka bir gerçek ise teorilerde pervane eksenini dikkate alınmamıştır. Şekil 2.11’de görüldüğü gibi sadece eksenin arkasında bir tanımlama yapılmıştır. Jetin içindeki hız farkı eksen sınırları içinde ekstra türbülans oluşumuna neden olmaktadır. Sonuçta bu nedenlerden dolayı eksende türbülans artmakta ve hızda ani bir düşüş yaşanmaktadır, bu da Römisch [6] ve Blaauw & Van de Kaa [11] deki teorilerinin serbest pervane jeti durumunda gelişmiş akım bölgesi için kullanılamayacağını açıkça göstermektedir.

Şekil 2.19’da teğetsel türbülans şiddetinin değişimi görülmektedir. Teğetsel türbülans şiddeti değerleri aksenal türbülans şiddetine göre neredeyse 5 kat daha büyük olmaktadır. Fakat stabil olduğu konum çok net değildir.



Şekil 2.19 Teğetsel türbülans şiddeti

Pik hızlarda şevin üzerindeki anroşman tabakasının stabilitesinde oldukça önemlidir. Bu yüzden modelde elde edilen pik hızlarla, teorik hızlar karşılaştırılmıştır.



Şekil 2.20 4.5 s süresince herhangi bir noktada jetten dolayı çalkantı hız salınımları (Pik hız 4.3 s’de oluşmuştur.) [4]

Şekil 2.20 $0 < t < 4.5$ s aralığında herhangi bir noktadaki gerçek hız ile ortalama hızı göstermektedir. Herhangi bir noktadaki pik hızlar Schiereck [17] de verilen çalışmasında aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

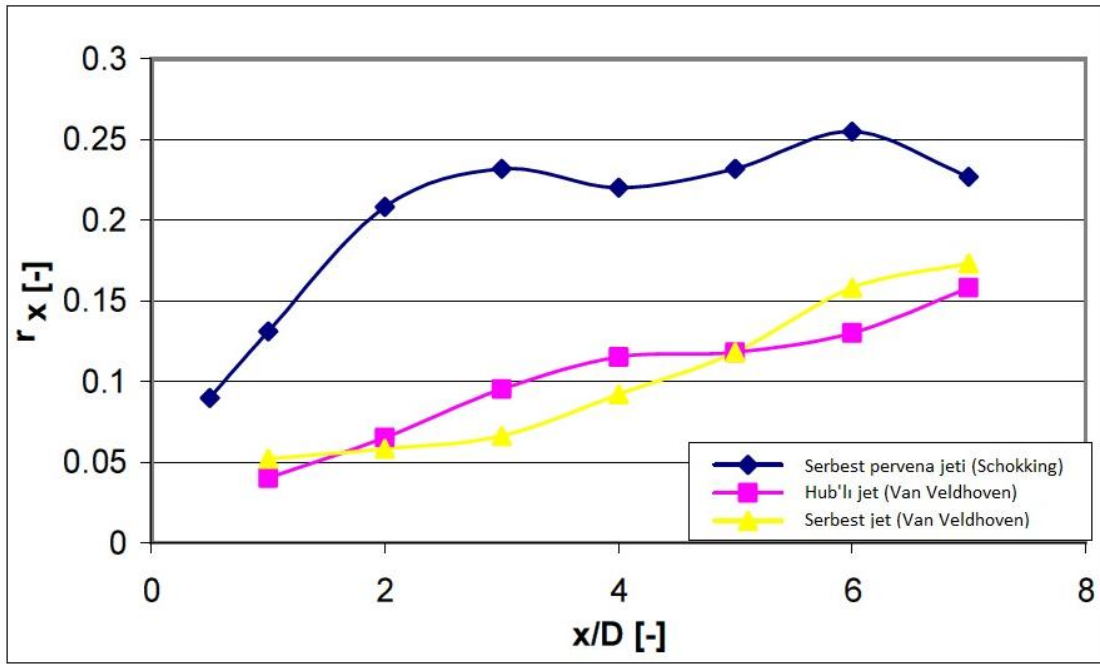
$$\tilde{U}_{maks} = \bar{U} + a \cdot \sqrt{U'^2} \quad (2.36)$$

Burada, $\tilde{U}_{maks}$ dikkate alınan noktadaki pik hız, $\bar{U}$ dikkate alınan noktadaki ortalama hız, $\sqrt{U'^2}$ dikkate alınan noktadaki türbülans şiddeti, a sabittir, serbest jet için 3 olarak belirlenmiştir. Bütün ölçüm noktalarında a_x ve a_y hesaplanarak a değeri aşağıdaki ifadeden elde edilmiştir.

$$a = \frac{a_x + a_y}{2} \quad (2.37)$$

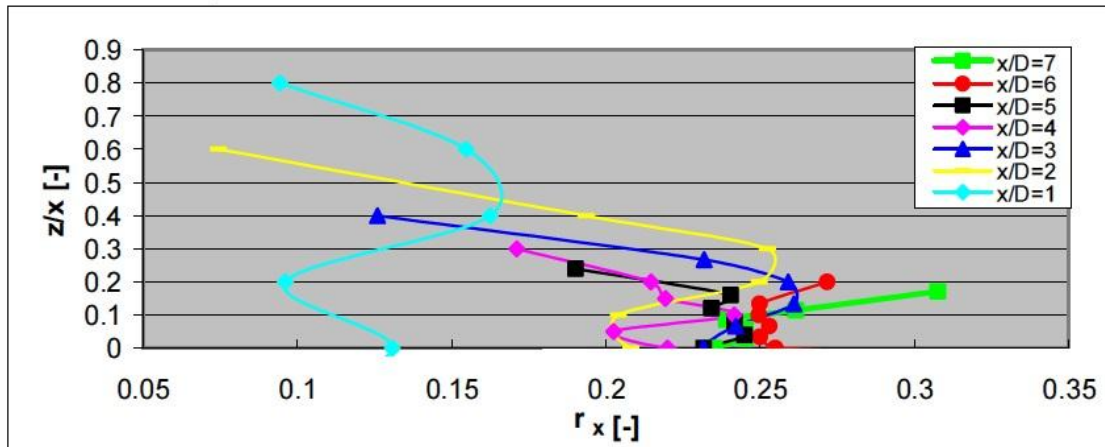
Şekil 2.21’de Schokking [4] te serbest pervane jeti ile elde ettiği aksenel türbülans şiddeti değerleri ile Van Veldhoven [18] de hub’lı pervane kullanarak bulduğu türbülans şiddeti değerleri karşılaştırılmıştır. Serbest pervaneden dolayı oluşan türbülans şiddetinin hub’lı pervaneye göre oldukça büyük olduğu görülmüştür. Bu türbülans kaplama malzemesinin stabilitesi için önemli olduğu gibi şev hasarında da önemli olabilir. Van Veldhoven [18] de serbest jet ve hub’lı pervane jeti için x doğrultusunda hemen hemen aynı türbülans şiddeti değerlerini bulmuştur. Serbest su jeti ve hub içindeki pervane jeti boru içinde başlamaktadır. Boru akışının türbülans gelişimi üzerindeki sınırlayıcı etkisinden dolayı serbest pervane jeti ile serbest su jeti ve hub içindeki pervane jeti etkisinde oluşan türbülans şiddetleri arasında Şekil 2.21’de görülen farklılıklar oluşmaktadır.

Daha önceden bahsedildiği gibi, hub’lı ve serbest pervane jetine ait hız alanları hemen hemen aynı açıyla yayılmaktadır. Bununla birlikte ortalama hız serbest pervane durumunda hub’lı pervane durumundan daha çabuk azalmaktadır. Serbest pervanenin yarattığı büyük türbülans debide değişime neden olmaktadır. Bu türbülansdan dolayı serbest pervane jeti akımla daha iyi karışacak ve daha hızlı enerji kaybı oluşacaktır.



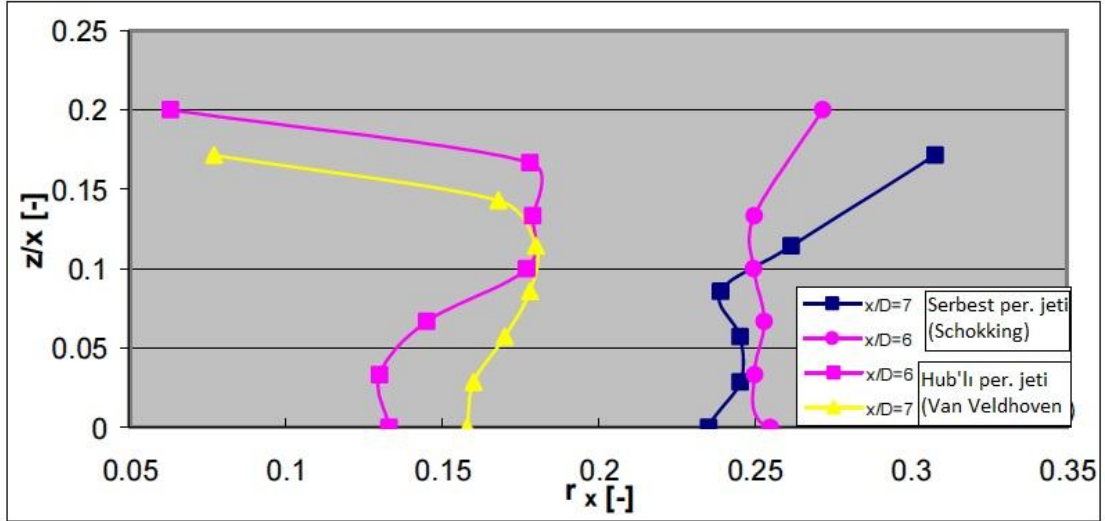
Şekil 2.21 Serbest pervane, serbest su jeti ve hub'lı pervaneye ait türbülans şiddeti değerlerinin karşılaştırılması [4]

Şekil 2.22'de ise derinlik boyunca serbest pervane jetinden dolayı oluşan eksenel türbülans şiddeti dağılımını göstermektedir. $z/x < 0.3$ iken türbülans şiddetinin 0.25 civarında olduğu görülmüştür. $z/x > 0.3$ için $x/D=6-7$ konumları dışında türbülansın hızla azaldığı belirlenmiştir. Bu muhtemelen geri dönen akımın ekstra türbülansa neden olmasından dolayı şev etkisinden kaynaklanmaktadır.



Şekil 2.22 Eksenel türbülans şiddetinin yükseklikle değişimi [4]

Şekil 2.23'te görüldüğü gibi Van Veldhoven [18] de hub'lı pervaneye ait sonuçları da serbest pervaneye ait sonuçlarla benzer bir profil göstermektedir ($x/D=6$ ile 7 konumlarındaki artış hariç).



Şekil 2.23 $x/D = 6$ ve $x/D = 7$ için serbest ve hub'lı pervane jetinin türbülans değerlerinin karşılaştırılması [4]

Van Veldhoven [18] de aksel türbülans şiddetinin maksimum değerini 0.18 olarak bulmuştur. Schokking [4] te bulduğu modelde 0.26 değeri ile kıyaslanabilir değerdir. ($x/D=6$ ile 7 olduğu andaki değerleri, şevin etkisinden dolayı dikkate alınmamıştır).

Schokking [4] teki çalışmada amacı

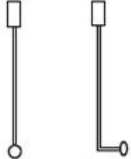
- Maksimum hasarın konumunu belirlemek.
- Van Veldhoven tarafından [18] de verilen çalışmasıyla karşılaştırmak ve şev üzerindeki hız alanı hakkında bilgi sahibi olmaktır. Bunun için, hızlar şeve yakın yerlerde ölçülmüştür.

Van Veldhoven [18] de bulduğu maksimum hasara ulaşabilmek için aynı başlangıç hızı kullanılmıştır. Şeve yakın hızlar 3 farklı şekilde ölçülmüştür.

Ölçümler,

- x-y düzleminde
- y-z düzleminde ve
- x-y düzlemine bağlı olarak x'-y düzleminde

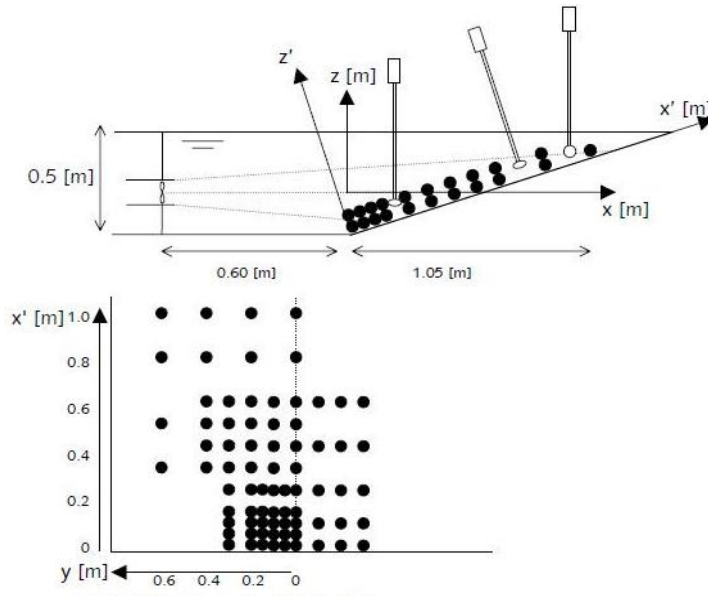
yapılmıştır. Araştırmacının ölçüm yöntemleri; Şekil 2.24'te açıklanmıştır.

	Tip 1 x-y düzleminde yatay ölçümler yapılmıştır.
	Tip 2 x'-y düzleminde şev paralel ölçümler yapılmıştır.
	Tip 3 x-z düzleminde düşey ve yatay ölçümler yapılmıştır.

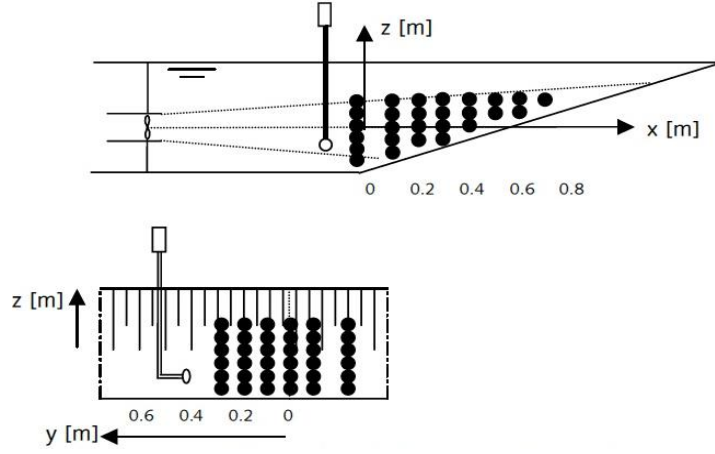
Şekil 2.24 Farklı ölçüm tipleri [4]

Hasar yerinin belirlenmesi için şev üzerindeki hız alanı detaylı bir şekilde incelenmiştir. Bunun için

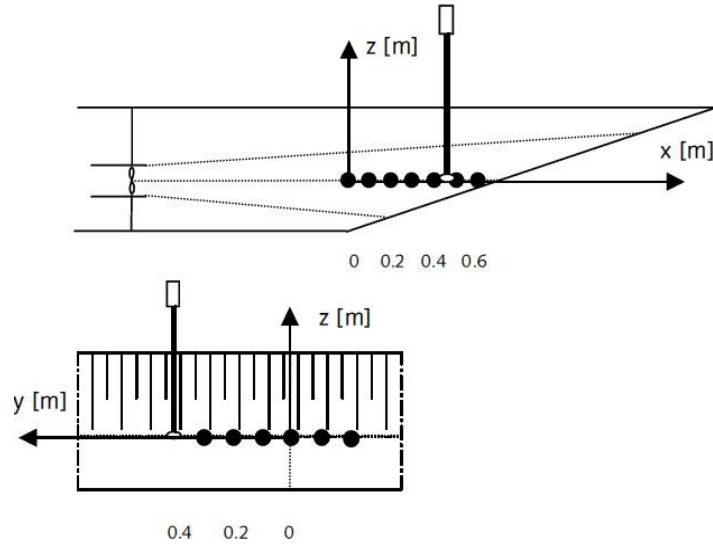
- Şev'e paralel hızlar (x'-y düzlemi), düşey hızlar (x-z düzlemi), yatay hızlar (x-y düzlemi) bir arada değerlendirilmiştir. Her bir ölçüm yöntemi için ölçüm noktaları Şekil 2.25, Şekil 2.26 ve Şekil 2.27'de verilmiştir.



Şekil 2.25 x'-y düzlemindeki ölçüm noktaları [4]



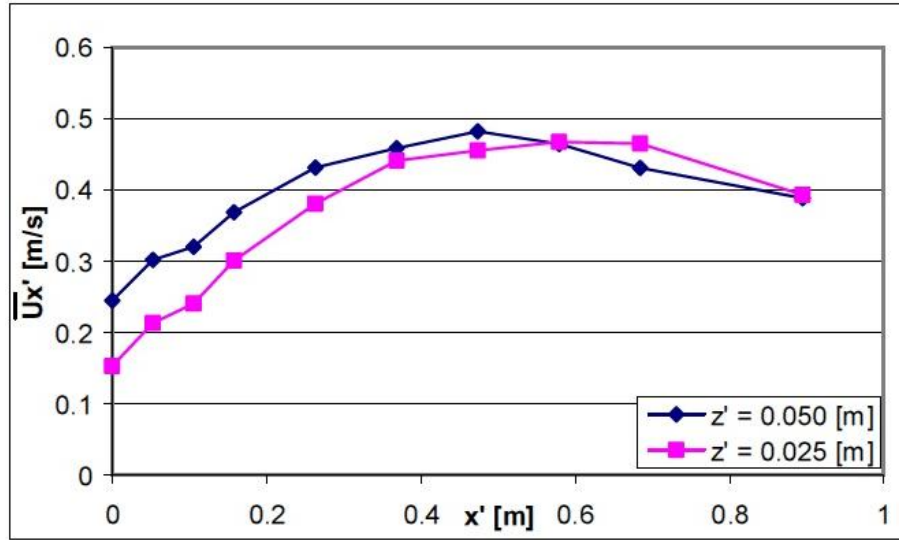
Şekil 2.26 Düşey doğrultudaki ölçüm noktaları [4]



Şekil 2.27 Yatay doğrultudaki ölçüm noktaları [4]

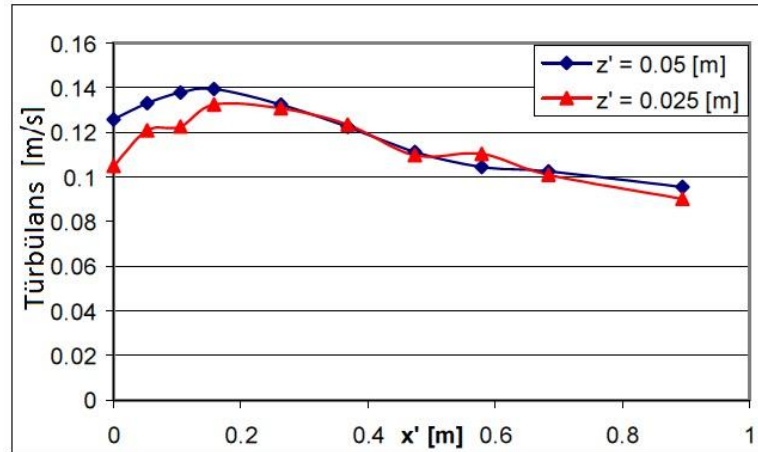
- Yapılan ölçümler sonucunda x ve x' doğrultusundaki bütün ortalama hızlar pozitif olarak bulunmuştur.
- Şevin yakın tarafındaki konumlar hariç, ortalama düşey hız değerleri sıfır olarak belirlenmiştir.
- Düşey hızların olduğu konumlardaki değerleri pozitif olarak elde edilmiştir.
- Akım çizgisinin şev ile kesiştiği konumdan önce ($0.2 \text{ m} - 0.3 \text{ m}$ arasında) eğim etkisi açıkça görülmüştür.

Van Veldhoven [18] de Hub'lı pervanenin etkisinde oluşan maksimum hasarın $0 < x' < 0.10 \text{ m}$, $y=0$ konumunda olduğunu belirtmiştir. Şekil 2.28'e bakıldığında ortalama hızın maksimum hasarın konumunu açıklayamadığı görülmektedir. Bundan dolayı ortalama hızların taşların hareketi üzerinde etkili olmadığı sonucuna ulaşılmıştır.



Şekil 2.28 $z'=0.025\text{m}$ ve $z'=0.050\text{m}$ konumlarındaki ortalama hız değerleri [4]

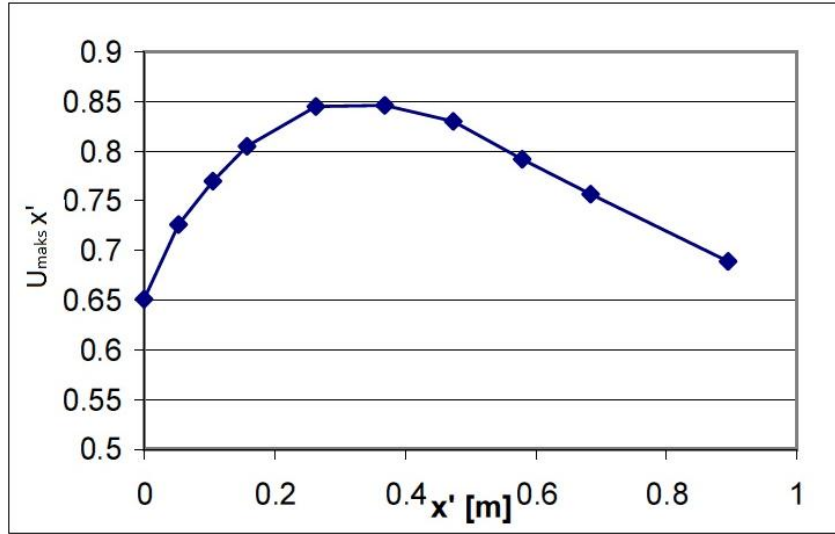
Maksimum hızların taşların yerlerinden oynamasına neden olan hızlar olduğu belirtilmiştir. Daha önce açıklandığı gibi maksimum hızlar, ortalama hız ve türbülans şiddetleri kullanılarak hesaplanmıştır. Türbülans şiddeti $0 < y < 0.10\text{ m}$, $0 < x' < 0.25\text{m}$ aralıklarında en yüksek değerlere sahip olmaktadır. Şekil 2.29'da x' eksenı boyunca $z'=0.025\text{m}$ ve $z'=0.050\text{m}$ konumları için türbülans şiddetleri gösterilmiştir.



Şekil 2.29 $y=0$, $z'=0.025\text{m}$ konumunda şev boyunda türbülans [4]

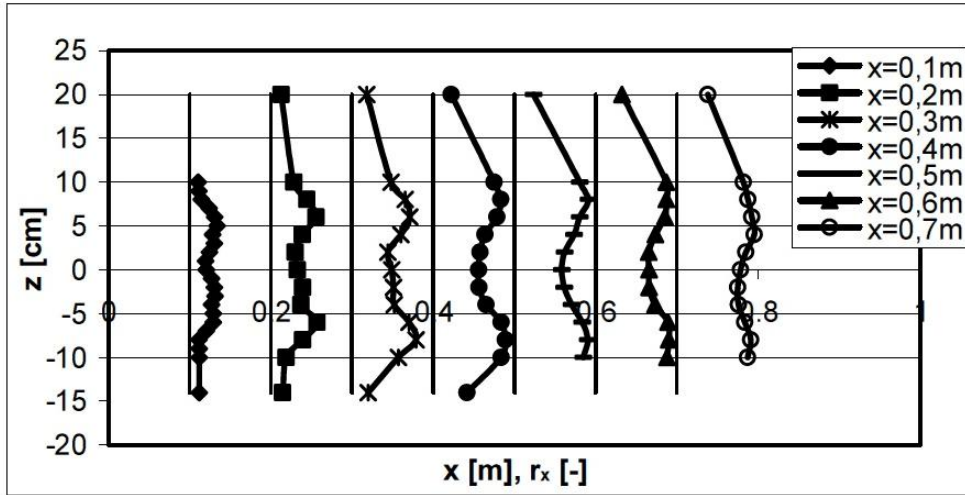
Şekil incelendiğinde x eksenı boyunca $z'=0.025\text{ m}$ konumunda türbülans şiddetinde bazı düzensizliklerin olduğu söylenmiştir. Maksimum hızlar hesaplanırken türbülans şiddeti etkin bir faktör olduğundan, taşlara yakın kısımlarda ölçülen değerlerin kullanılması sorgulanmıştır. Bu çalışmada maksimum hızlar hesaplanırken $z'=0.050\text{ m}$ değeri kullanılmıştır. Şekil 2.30'da ise $y=0$, $z'=0.05\text{ m}$ konumunda elde edilen

maksimum hızların değişimi verilmiştir. Şekil incelendiğinde maksimum hızların $x'=0.35$ m konumunda olduğu belirlenmiştir. Maksimum hızın hasar yerinin belirlenmesi için önemli olmadığı belirtilmiştir.



Şekil 2.30 $y=0$, $z'=0.050$ m konumunda şev boyunca maksimum hızlar [4]

Şekil 2.31'de pervaneden farklı x uzaklıklarında oluşan türbülans şiddetinin dağılımı verilmiştir [18]



Şekil 2.31 Hub'lı pervane jeti için pervaneden farklı uzaklıklarda oluşan türbülans şiddeti dağılımı [18]

$x=0.7$ m için maksimum türbülans şiddetinin $z=0.05$ m ve $z=-0.09$ m konumlarında olduğu görülmüştür. Bu değerler şev üzerinde bulunan türbülans şiddetleriyle (Şekil 2.29) karşılaştırılmıştır. Çünkü jet içindeki yüksek türbülans şiddetlerinin, şev üzerindeki yüksek türbülans şiddetlerinin sonucunda olduğu belirtilmiştir.

2.3 Su Jeti Etkisinde Taban Stabilitesi

Izbash [19] ve Shields [20] kritik hız ile taban stabilite malzemesinin arasındaki ilişkiyi gösteren teorileri vermişlerdir. Her ikisi de kendi stabilite parametrelerini tanımlamışlardır. Şartlara bağlı olarak hangi yöntemin kullanılacağına karar verilmektedir.

Bir katı madde tanesi ile buna etkiyen kayma gerilmesi arasında bir ilişki bulunmaktadır. Taneye etkiyen kuvvet, kritik hızın karesi ile, tanenin göstereceği direnç ise taşın batık ağırlığı ile ifade edilmektedir.

$$U_{kr}^2 \alpha \left(\frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_w} \right) g d$$

Izbash [19] da verilen bu bağıntıyı kendi parametresiyle aşağıdaki gibi tanımlamıştır.

$$\beta_{iz} = \frac{(2g\Delta d)}{U_{kr}^2} \quad (2.38)$$

Burada β_{iz} Izbash parametresi, U_{kr} kritik hız, Δ göreceli yoğunluk, g yerçekimi ivmesi, d tane çapı, ρ_s kumun özgül kütlesi, ρ_w suyun özgül kütlesidir.

Izbash ampirik olarak elde ettiği β_{iz} parametresinin stabil durum için sabit (0.7) olduğunu kabul etmiştir.

$$U_{kr} = 1.2 \sqrt{2\Delta g d} \quad (2.39)$$

Izbash [19] da verilen çalışmasında su derinliğini dikkate almamış ve kritik hızın yerini belirlememiştir. Shields [20] de stabilite analizi için iyi bilinen bir kriter tanımlamıştır. Shields tarafından [20] de verilen parametre kayma gerilmesi, taban pürüzlülüğü ve su derinliğini içermektedir. Shields'e göre [20] de tabandaki hareketin başlaması aşağıdaki ifadeyle belirlenebilmektedir.

$$\frac{\tau}{(\rho_s - \rho_w) g d} = f \left(\frac{u_* d}{\nu} \right) = f(Re_*) = \psi \quad (2.40)$$

Burada τ kayma gerilmesi, U_* kayma hızı ($= U \frac{\sqrt{g}}{C}$), C taban pürüzlülüğü için Chezy katsayısı, ψ Shields parametresi, ν kinematik viskozitedir. Bu ifade su jeti tarafından

oluşan katı madde hareketi için geçerli değildir. Anroşman kaplı bir şev durumunda stabilite şevin eğiminden etkilenmektedir. Bu yüzden bir düzeltme faktörü $K(\alpha)$ belirlenmiştir. Bu faktör aşağıdaki durumlar için verilmiştir.

Ters eğimli şev

$$K(\alpha) = \sqrt{\left(\frac{\sin(\phi + \alpha)}{\sin \phi} \right)} \quad (2.41)$$

Normal eğimli şev

$$K(\alpha) = \sqrt{\left(\frac{\sin(\phi - \alpha)}{\sin \phi} \right)} \quad (2.42)$$

Şev boyunca

$$K(\alpha) = \sqrt{\left(1 - \frac{\sin^2 \alpha}{\sin^2 \phi} \right)} \quad (2.43)$$

burada α şev açısı, ϕ taşın içsel sürtünme açısı (derece)'dir. Düzlem taban için bulunan kritik taş çapı (d_{50}) düzeltme faktörüne bölünerek eğimli taban için taş çapı elde edilmektedir. Rıhtım yapıları yakınında meydana gelen oyulma ve stabilite üzerine de çeşitli teoriler oluşturulmuştur (Blokland [9], Römisch [21], Rajaratnam [13]).

Rotterdam liman yönetimi iş birliği ile Blokland [2] de verilen çalışmada, bir römorkör pervanesinin Rotterdam limanının Benelux basenindeki rıhtım duvarında yarattığı oyulma için yerinde deneyler yapmıştır. Römorkörün ana pervanesi büyük konteyner gemilerinin ana pervanesi ile yaklaşık olarak aynı büyüklükte ve aynı güçtedir. Akım hızları, pervane jetinin rıhtım duvarına dik olarak ve 16 derece açı yapacak şekilde olduğu durumlarda düşey rıhtım duvarından 3.5 m mesafe için ölçümler yapılmıştır. Ayrıca jetin duvara dik olduğu durumda taşların hareketleri de ölçülmüştür. Ölçüm sonuçları teorik bağıntılarla karşılaştırılmıştır (Blaauw & Van der kaa, [11]).

Blokland tarafından [9] da verilen, duvara dik olarak etkiyen bir jetin tabanda neden olduğu maksimum hızı ($U_{\text{maks,taban}}$) aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

$$\frac{L}{z} \geq 1.8 \text{ için } U_{\text{mak, tab}} = 2.8 \frac{U_0 D_0}{L + z} \quad (2.44)$$

$$\frac{L}{z} < 1.8 \text{ için } U_{\text{mak, tab}} = 1.0 \frac{U_0 D_0}{z} \quad (2.45)$$

Burada, L rıhtım duvarının pervaneye olan uzaklığıdır.

Blokland tarafından [9] da verilen kritik hız için Shields [20] ve Izbash [19] da verilen parametrelerini kullanarak taban malzemesinin stabilitesini belirlemiştir.

$$\psi_{\text{cr}} = \frac{\tau}{(\rho_s - \rho_w)gd} \quad (2.46)$$

ve

$$\beta_{\text{iz}} = \frac{2gd\Delta}{U_{\text{mak, tab}}^2} \quad (2.47)$$

burada, Δ göreceli yoğunluktur.

$$\tau = c_f \frac{1}{2} \rho_w U_{\text{maks, tab}}^2 \quad (2.48)$$

ifadesi kullanılarak Shields [20] ve Izbash [19] daki çalışmalarında verilen parametreler arasındaki ilişki aşağıdaki gibi ifade edilmiştir.

$$\beta_{\text{iz}} = \frac{c_f}{\psi} \quad (2.49)$$

burada $c_f \left(= \frac{g}{C^2} \right)$ sürtünme katsayısıdır.

Kritik değerler için Blokland tarafından [9]'da verilen Izbash parametresini esas alan Römisch [21] dki çalışmasındaki bulgularını ya da Shields parametresini esas alan Verheij [22] dki sonuçlarını kullanmayı önermektedir.

$\beta_{\text{iz, kr}} \geq 2.5 - 1.3$ ise taban malzemesi stabildir (Römisch [21]) ya da $\psi_{\text{kr}} < 0.03$ (taban stabil ve 0.04 taban kısmen hareketlidir (Verheij [22])).

Römisch ve Fuehrer [8] de yaptığı çalışmada ise oyulma derinliğinin taş çapına oranını stabilite parametresinin bir fonksiyonu olarak vermiştir (Şekil 2.32).

$$\frac{S}{d} = f \left(\frac{U_{\text{maks, tab}}}{\sqrt{\frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_w} g d}} \right) = f(B) \quad (2.50)$$

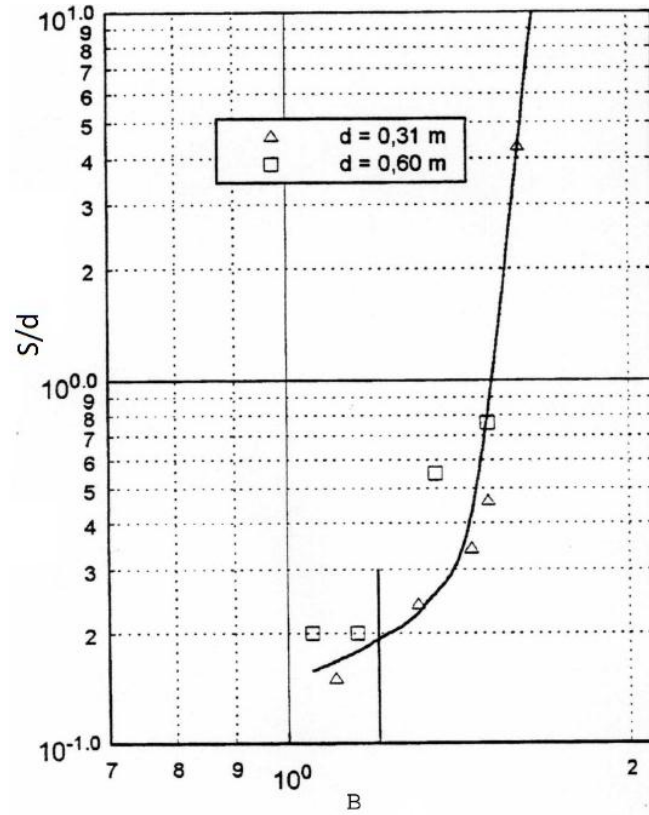
burada, S oyulma derinliği, d taban malzemesinin çapı'dır.

Römisch ve Fuehrer [8] de verilen çalışmada $\frac{S}{d} = 0.2$ olduğunda oyulma işleminin başladığını ifade etmişlerdir. (2.50) ifadesinin çözümü ampirik olarak aşağıdaki gibi verilmiştir.

$$\frac{S}{d} < 10 \text{ için } \frac{S}{d} = 0.025 B^{11} \quad (2.51)$$

ve

$$\frac{S}{d} > 10 \text{ için } \frac{S}{d} = 2.0 B^{2.8} \quad (2.52)$$



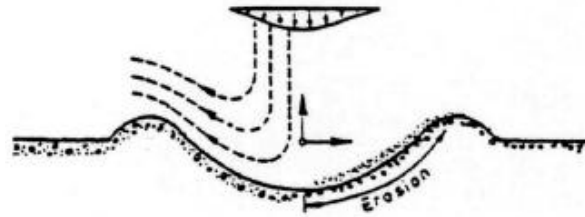
Şekil 2.32 Oyulma derinliğinin Römisch stabilite parametresi ile değişimi [8]

Bu ifadelerde zamanla ilgili herhangi bir parametre olmadığından oyulma derinliği daha üst limitlerde zamana bağımlı olarak kabul edilmiştir. Bu ifade daha sonra Ducker ve Miller tarafından [23] te verilen çalışmada aşağıdaki gibi değiştirilmiştir. Römisch [24] te taban stabilite parametresini B olarak tanımlamıştır.

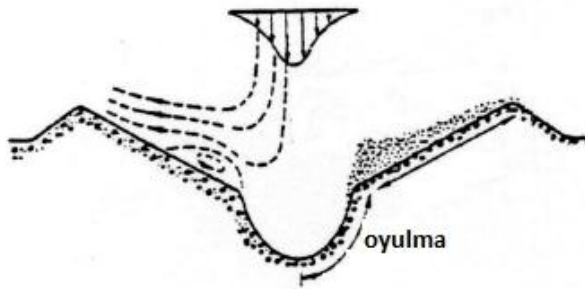
$$1.0 < \left(\frac{B}{B_{kr}} \right) < 1.4 \text{ için } \frac{S}{d_{85}} = C_m 0.1 \left(\frac{B}{B_{kr}} \right)^{13} \quad (2.53)$$

$$\left(\frac{B}{B_{kr}} \right) > 1.4 \text{ için } \frac{S}{d_{85}} = C_m 4.6 \left(\frac{B}{B_{kr}} \right)^{2.25} \quad (2.54)$$

burada, d_{85} malzemenin % 85'inin geçtiği elek çapıdır, C_m sabit (manevra yapabilen gemilerde 0.3, gemiler hareketsiz halde ise 1.0 dir. Westrich & Kobus [25] te gerçekleştirdikleri iki farklı oyulma çukuru formu tanımlamışlardır (Şekil 2.33).



a) Form 1



b) Form 2

Şekil 2.33 Oyulma çukuru formları [25]

Oyulma çukuru formunun ve boyutlarının akım hızının katı madde çökelme hızına oranına, göreceli mesafeye, impuls ve zaman parametresine bağlı olduğunu belirlemişlerdir.

Ayrıca

- Yapılan deneylerde $\frac{U_{x,l}}{w} = 1.5$ [-] olduğunda birinci formun oluştuğu, bu parametre 2.9'a ulaştığında ikinci formun oluştuğunu
- $\frac{U_{x,z}}{w} > 1.0$ ile 1.2 olması halinin erozyonun oluşumu için minimum değer olduğunu
- Göreceli mesafenin, hızdaki azalma miktarını ve etki alanını belirlediğini,
- Erozyon miktarının impuls etkisinin ve zaman parametresinin birer fonksiyonu olduğunu

ifade etmişlerdir.

Rajaratnam ve Beltaas [12] de yatay jetler için kendi teorilerini Kobus ve Westrich'in teorisine uygulamışlardır. Tabanla pervane arasındaki uzaklığa bağlı olarak oyulma derinliği ile yoğunluk Froude sayısı arasında bir bağıntı elde etmişlerdir.

$$\frac{S}{z} = f \left(\frac{Fr_0}{\frac{z}{D}} \right) \quad (2.55)$$

Ayrıca bu araştırmacılar pervanenin tabandan yüksekliği ve oyulma çukurunun yarıçapı arasında da bir bağıntı vermişlerdir.

$$\frac{r}{z} = f \left(\frac{Fr_0}{\frac{z}{D}} \right) \quad (2.56)$$

$$Fr_0 = \frac{U_0}{\sqrt{gd \left(\frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_w} \right)}} \quad (2.57)$$

burada $Fr_0 = \frac{U_0}{\sqrt{gd \frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_w}}}$ yoğunluk Froude sayısı, r oyulma çukurunun yarı çapı, z

pervanenin tabandan olan yüksekliği, d katı madde çapıdır. Rajaratnam ve Aderibigbe [14] te verilen çalışmasında, D ve z arasındaki bağıntıyı kullanarak bir erozyon parametresi tanımlamıştır.

$$E_{kr} = \frac{U_0 \left(\frac{D}{z} \right)}{\sqrt{gd \left(\frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_w} \right)}} \quad (2.58)$$

$0.35 \geq E_{kr} \geq 0.12$ durumunda birinci şekil oluşurken, $E_{kr} > 0.35$ için ikinci form meydana gelmektedir. Rajaratnam [12] de verilen çalışmasında, düşey jetin başlangıç hızı olarak U_0 parametresini kullanmıştır. Teorisi yan pervanelere uygulandığında rıhtım duvarında başlangıç hızı bilinmelidir. Hoffmans [26] da oyulma derinliğini sadece hızın ve debinin fonksiyonu olarak hesaplayan kullanım açısından kolay bir formül vermiştir.

$$S = C_{3H} \left(\frac{QU_{maks,tab}}{g} \right)^{1/3} \quad (2.59)$$

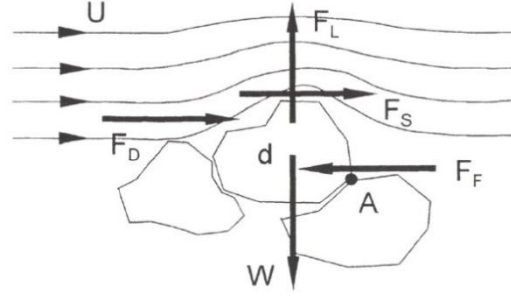
burada, $C_{3H} = 2$ sabit, Q debidir.

DWW, su kanalları içerisindeki rıhtım yapıları yakınında oluşan oyulmaları hesaplamak için bu formülü kullanmaktadır. Bu ifade kum taban üzerinde oluşan menfezlerden çıkan su jetleri için geliştirilmiştir, fakat pervane jetleri için de geçerli olabilmektedir.

Hoffman'ın vermiş olduğu ifade,

- Parametre sayısı az olduğundan kullanım kolaylığı sağlar fakat doğruluk oranı diğerlerine göre (Römisç ve Rajaratnam) daha düşüktür.
- Menfezden gelen yatay bir jet ile pervaneden dolayı oluşan düşey bir jet kıyaslaması yapıldığında soru işaretleri olabilir.
- Kum üzerindeki hesaplamalar sınırlıdır.

Schokking [4] te şev üzerindeki malzemenin stabilitesi üzerine de çalışmıştır. Serbest ve hub'lı pervane ile yapılan deneylerden elde edilen sonuçlar Şekil 2.34'te verilmiştir.



Şekil 2.36 Sabit hızlı bir akım içerisinde bulunan taş üzerine etkili kuvvetler [4]

Taş hareket etmediği sürece yerinde tutmaya çalışan ve hareket ettirmeye çalışan kuvvetler arasında bir denge söz konusudur.

Şekil 2.36’da bir tane yi hareket ettirmeye çalışan F_d : Sürüklenme kuvveti, F_s : Kayma kuvveti, F_l : Kaldırma kuvveti görülmektedir. Bu kuvvetler taşı yerinde tutmaya çalışan kuvvetler W : Ağırlık kuvveti ve F_F : Sürtünme kuvveti ile dengelenmektedir.

Taşı yerinde tutmaya çalışan kuvvetler doğrudan taşın batık ağırlığı ile ilgilidir. Hareket ettirmeye çalışan kuvvetler ise tane çapı, su özgül kütlesi ve akım hızına bağlıdır.

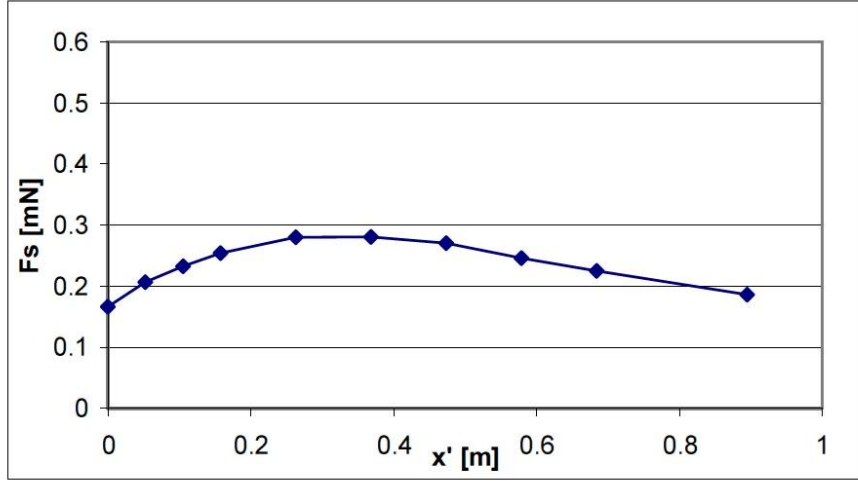
$$\rho_w u^2 d^2 \propto (\rho_s - \rho_w) g d^3 \quad (2.60)$$

Bununla beraber hareket ettirmeye çalışan kuvvetleri temsil eden kayma gerilmesi taban pürüzlülüğünün ve akım kayma hızının bir fonksiyonu olarak tanımlanmıştır.

$$\tau = \rho_w u_*^2 \quad (2.61)$$

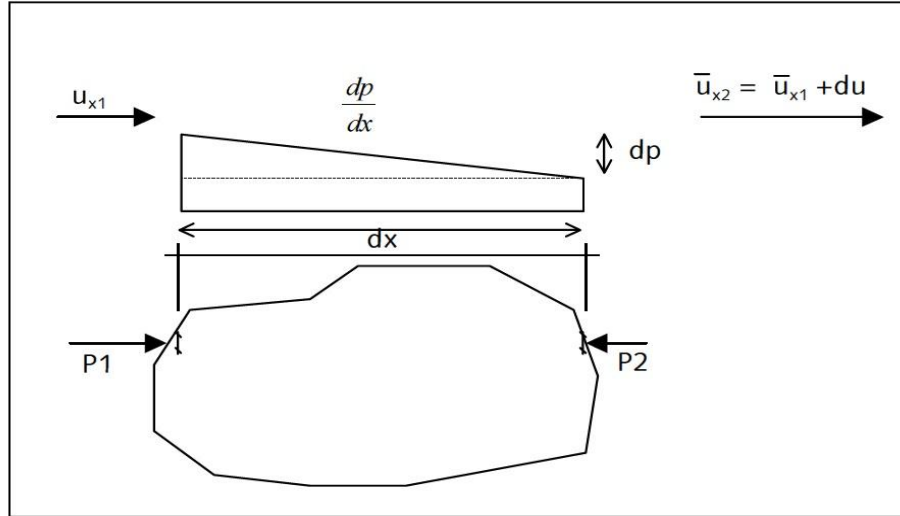
burada, τ kayma gerilmesi, $U_* = U\sqrt{g}/C$ kayma hızı, $C=18 \log(12h/k)$ Chezy katsayısı, h su derinliği, k taban pürüzlülüğüdür ($\approx 2-3d_{50}$). Kayma gerilmesi, tane alanıyla çarpılarak kayma kuvveti belirlenmektedir ($F_s = \tau A$).

Şekil 2.37’de şev üzerinde $y=0$ için her bir ölçüm noktasında elde edilmiş kayma kuvveti değerlerinin değişimi verilmiştir.



Şekil 2.37 Şev üzerinde $y=0$ anında kayma kuvveti [4]

Şekil 2.30 ve Şekil 2.26'dan görüldüğü gibi, şevin ilk kısmında akımın hızlanmasından dolayı taşımalsal bir ivme mevcuttur. Bu ivme akım çizgisi üzerindeki iki nokta arasında basınç farkı (dp) oluşturmaktadır. İvmelenen bir akım içerisindeki bir taşın durumu ise Şekil 2.38'de görülmektedir.



Şekil 2.38 İvmelenen akımdaki taş üzerindeki basınç farkı [4]

dx mesafesi boyunca akımın hızlanmasından dolayı basınç farkı oluşmaktadır.

$$dp = \frac{1}{2} \rho_w (u_{x2}^2 - u_{x1}^2) \quad (2.62)$$

Taş uzunluğu boyunca $\frac{dp}{dx} = \text{sabit}$ olduğu kabul edilmektedir. Taş üzerindeki iki konum arasında ($x_1y_1z_1$ ve $x_2y_1z_1$) basınç farkı,

$$dp = \frac{dp}{dx} dx \quad (2.63)$$

şeklinde ifade edilmektedir. Taş üzerinde $dydz$ alanı dikkate alındığında bileşke kuvvet

$$F = Adp = dydz \left(\frac{dp}{dx} \right) dx \quad (2.64)$$

olarak elde edilmektedir. Toplam kuvvet ise

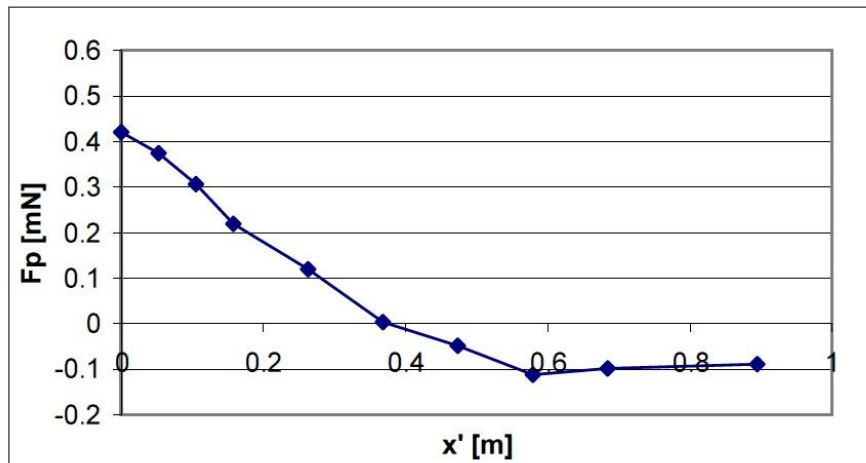
$$\iiint \left(\frac{dp}{dx} \right) dx dy dz \quad (2.65)$$

dir. $\left(\frac{dp}{dx} \right)$ sabit olmakla beraber burada $\iiint dx dy dz$ (V) taş hacmini göstermektedir.

Taşa etkiyen kuvvet

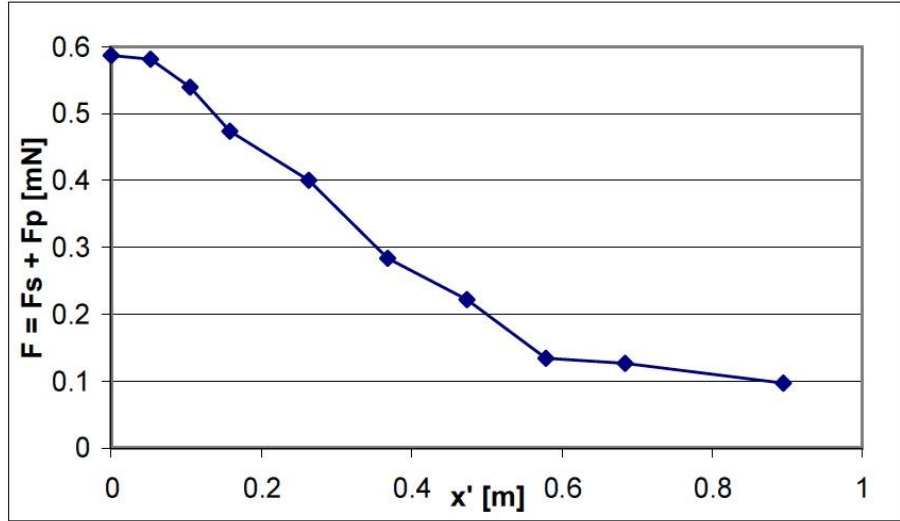
$$F_p = V \left(\frac{dp}{dx} \right) \quad (2.66)$$

olarak belirlenmiştir. Maksimum hız ve ivme $y=0$ konumunda olduğundan şevin geri kalanı ihmal edilmiştir. $y=0$ için basınç kuvveti (F_p) Şekil 2.39' da gösterilmiştir.



Şekil 2.39 $y=0$ anında şev boyunca oluşan basınç kuvveti [4]

Basınç kuvveti (F_p) ile taş üzerine etkiyen kayma kuvveti (F_s) bir arada düşünülerek ise Şekil 2.40 elde edilmiştir.



Şekil 2.40 Taş üzerindeki yukarı yönlü toplam kuvvet [4]

Şekilde görüldüğü gibi akımın hızlanmasıyla oluşan basınç farkı dikkate alındığında maksimum hareket alanına uygun olarak taşlara etkiyen yukarı yöndeki kuvvet $x'=0-0.1\text{m}$ arasında maksimum değerine ulaşmaktadır. Hızlanan akım içindeki bir taşın harekete başlaması için iki mekanizma söz konusudur. Bunlardan biri akım tarafından taşa uygulanan kayma gerilmesi, diğeri ise taş üzerindeki hız farkından dolayı oluşan basınç farkıdır. Maksimum hızlar dikkate alındığında bu iki mekanizma bir arada şevin topuğunda oluşmaktadır. Ortalama hızlar dikkate alındığında aynı mekanizmalar şevin daha üst kısımlarında oluşmaktadır.

Sonuç olarak, taş hareketinden sadece yerel ortalama hızlar veya yerel maksimum hızların neden olmadığı belirtilmiştir. Taş hareketinin başlaması için basınç farkının da önemli olduğu anlaşılmıştır. Taşların hareketi ister doğrudan kayma gerilmesiyle başlasın, ister dolaylı olarak taş üzerindeki basınç farkıyla başlasın türbülans şiddetleri taş hareketi üzerinde oldukça etkilidir. Şevin topuğunda ve üzerinde jetten dolayı oluşan maksimum hızın yön değiştirmesine dair bir kanıt bulunamamıştır. Bu Schokking tarafından yapılan ölçümlere ve kısmen Van Veldhoven'in yapmış olduğu ölçümlere dayanmaktadır. Şevin üzerindeki en yüksek hızlar jet ekseninde oluşmaktadır. Bu eksen pervaneden itibaren yatay bir hat üzerinde devam etmektedir. Bu nedenle şevde maksimum hasarın oluştuğu konumdakinden daha yüksek değerlere ulaşmaktadır. Van Veldhoven'e göre üstündeki hızların pozitif altındaki hızların negatif olduğu basınç noktası bulunamamıştır. Aynı zamanda Schokking tarafından [4] te verilen çalışmada

Hollanda'daki su kanallarında pervane etkisiyle oluşan oyulma olayı da incelemiştir. Schokking [4] te rıhtım yakınında oluşan oyulmanın yan pervanelerden kaynaklanıp kaynaklanmadığını araştırmıştır. Gemilerin yanaşma ve ayrılmaları sırasında başlıca yan pervaneler kullanıldığında yanaşma yapıları etrafında oluşan oyulmaların yan pervanelerle ilişkisi olduğu söylenmiştir. Genelde yanaşma yapılarında taban koruması bulunmamaktadır. Schokking [4] te yapmış olduğu araştırmada yanaşma yapıları yakınında oluşan oyulma problemine neyin yol açtığını saptayarak, yan pervanelerin, rıhtımların bakımı ve korunması ile yakından ilişkili olduğunu belirlemiştir. Schokking (2002) Amsterdam-Rijnkanaal kanalı boyunca konumlanan birçok yanaşma yerinde taban batimetrisini ölçerek gemilerin yanaşmaları ve ayrılmaları sırasında meydana gelen oyulmayı incelemiş ve bir konum seçerek, bu konumda elde ettiği bulguları Hoffmans [26] ve Römisch [8] de verilen çalışmasındaki teorik değerleriyle karşılaştırılmıştır. Sonuçlar aşağıdaki çizelgede özetlenmiştir.

Çizelge 2.1 Schokking tarafından [4] te seçilen konumda rıhtım duvarı önünde ölçülen farklı formüller ile hesaplanan maksimum oyulmaların karşılaştırılması

Konum	Hoffmans[26] (m)	Römisch [8] C=1.0 (m)	Römisch [8] C=0.3 (m)	Schokking [4] (m)
Yan pervane	2.1	4.6	1.4	1.3
Ana pervane	3.7	7.3	2.2	1.7

Çizelge 2.1 incelendiğinde Schokking tarafından [4] te ölçülen oyulma derinliği ile diğer araştırmacılar tarafından verilen ifadelerle hesaplanan oyulma derinlikleri birarada değerlendirildiğinde ana pervanelerin yan pervanelere göre daha büyük oyulma derinliğine yol açtığı görülmüştür. Maksimum oyulma derinliği 1.7 m olarak ölçülmüştür. Mevcut teoriler dikkate alındığında yan pervanelerin ana pervanelerden daha fazla oyulmaya neden olması beklenmemektedir. Kullanılan denklemler (Hoffmans [26], Römisch [8] hareketsiz duran gemiler için doğru sonuç vermemektedir. Manevra yapabilen gemiler içinde kullanımı uygundur.

DENEYSEL ÇALIŞMA

3.1 Deney Sistemi

Deneyisel çalışmalar, Yıldız Teknik Üniversitesi Hidrolik ve Kıyı-Liman Mühendisliği Laboratuvarında bulunan Şekil 3.1 ve Şekil 3.2’de görülmekte olan 1.00 x12.00x1.00 m (genişlik x uzunluk x yükseklik) boyutlarındaki su tankında yapılmıştır.



Şekil 3.1 Deney sisteminin genel görünüşü



Şekil 3.2 Pervane sisteminin görünüşü

3.2 Ölçüm Sistemleri

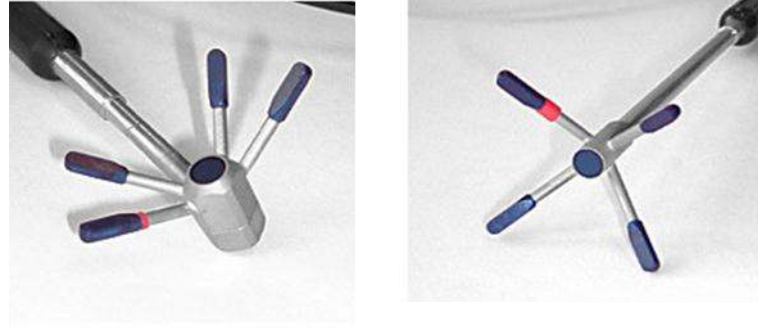
Bu çalışmadaki amaç, tabanda bir pervaneden çıkan jet akımının açık tip rıhtımlardaki bir kazık etrafında meydana getirdiği akım alanı ile rıhtım şevi üzerindeki akım yapısına ait karakteristiklerin belirlenmesidir. Bundan dolayı akım alanında hız profilleri ve taban kayma gerilmeleri ölçümleri yapılmıştır.

3.2.1 ADV Hız Ölçer

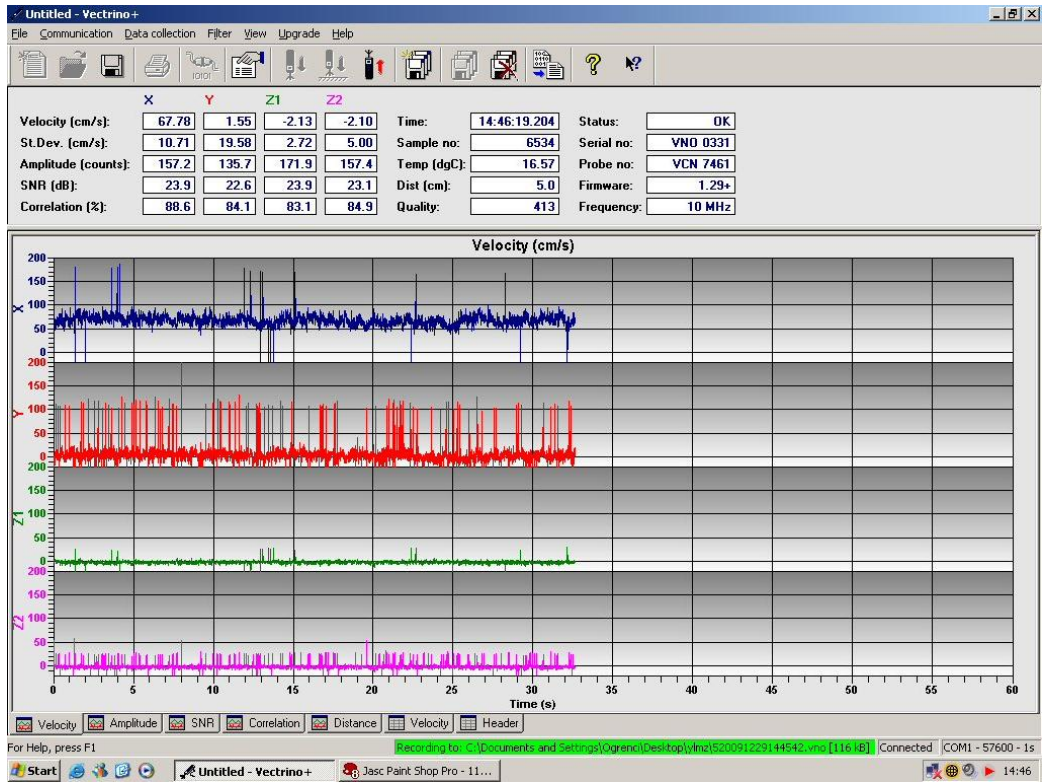
Deneylerde hız ölçümleri için, Nortek Vectrino Plus model Akustik Dopler Hızölçer kullanılmıştır. ADV hızı, akustik dopler prensibine dayanarak sesin iletimiyle üç boyutta ölçmektedir. ADV’de bir iletilici ve dört alıcı transdüser bulunmaktadır. İletici merkezde, dört alıcı da onun etrafında yer almaktadır (Şekil 3.3). Akustik sinyaller, alıcı ve iletilici sinyallerin algılayıcıdan 5 cm aşağıda kesişmesini sağlayacak şekilde yönlendirilmişlerdir. Bu sinyallerin kesiştiği noktaya örnekleme hacmi denir. İletici transdüser düşey olarak 3-15 mm’yi kapsayan kısa bir sinyal gönderir ve alıcı transdüserler örnekleme hacmi tarafından karşılanan yansımayı alır. Örnekleme hacmi 6 mm’lik bir çapa sahiptir. ADV’de ki dört alıcının hepsi, üç hız bileşenini elde etmek için, örnekleme hacmine odaklanmıştır.

ADV, z yönündeki hızı (iletilici transdüserine paralel), x ve y yönündeki hızlara göre daha hassas ölçmektedir. Probun kırmızı kolu, x yönündeki pozitif hızı göstermektedir ve akım doğrultusunda yerleştirilmelidir. Bu çalışmada, jet ekseninde yapılan deneylerde

yan bakan prob, kazık çevresinde yapılan deneylerde aşağı bakan prob kullanılmıştır (Şekil 3.3). Şekil 3.4'te ise ADV ile kayıt alınan andaki çalışma sayfası görülmektedir.

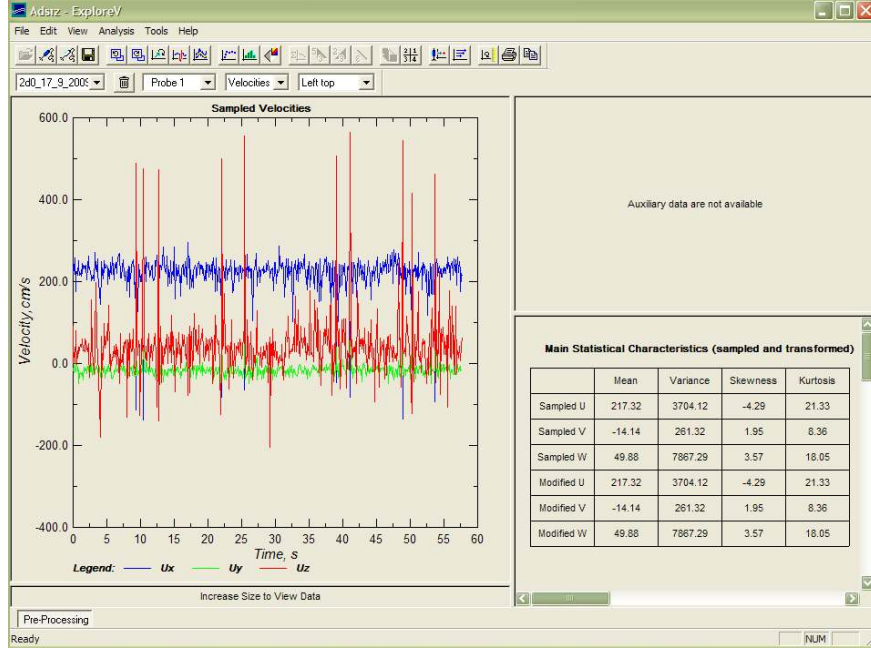


Şekil 3.3 Yan bakan ve aşağı bakan prob



Şekil 3.4 Vectrino Plus model ADV çalışma sayfası

Explore V, ADV ile alınan verileri işleme programıdır. ADV ölçümleriyle elde edilen veriler Explore V programına uygun hale dönüştürülmektedir. Explore V, ölçüm çalışmalarından elde edilen sonuçları hızlı ve etkili bir şekilde kapsamlı bir rapor haline getirmek için, geniş veri setlerini görmeye, yönetmeye ve incelemeye olanak sağlamaktadır (Şekil 3.5).



Şekil 3.5 Explore V çalışma sayfası

3.2.2 Hot Film Kayma Gerilmesi Ölçüm Sistemi

Cidar kayma gerilmesi ölçümleri için, Dantec Dynamics Hot-film Anemometers kullanılmıştır. Hot-film Anemometreler genellikle, CTA (Constant Temperature Anemometers) olarak adlandırılmaktadır. Dantec Dynamics Mini CTA 54T30 sistemi standart CTA problemlerinin de kullanabileceği mobil ve küçük CTA sistemleridir. (Şekil 3.6)



Şekil 3.6 Mini CTA sistemi

CTA sistemlerinde, sıcaklığı sabit bir tel bulunur. Telin üzerinden geçen akış telde ısı kaybına yol açar ve telin sıcaklığını dengeleyen whitestone köprüsündeki güç tüketiminin ölçüsü, telin üzerinden geçen akışın hızını verir. CTA, yüksek frekanslı bir

hız ölçüm tekniğidir. Tek noktadan hızın üç bileşeni de ölçülebilir. Birden çok prob içeren konfigürasyonlar ile bir alan ya da hacimde türbülans ölçümleri yapılabilir. Ayrıca, yapıştırma ve gömme prob tipleriyle cidar kayma gerilmesi ölçümlerinde kullanılabilir. Bu çalışmada, sıvılarda kullanılan, tek boyutta ölçüm alan flush-mounting hot-film prob kullanılmıştır (Şekil 3.7).



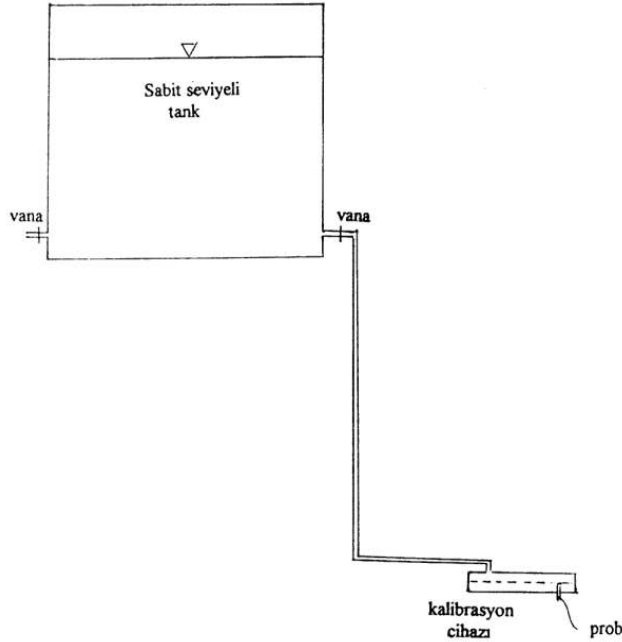
Şekil 3.7 Hot-film prob

Flush-mounting hot-film prob, akışkan akımını algılamak, sınır tabakasındaki akışların laminar mı türbülanslı mı olduğunu ortaya çıkarmak ve cidardaki kayma gerilmesi ölçümleri için kullanılır. Hot-film sensörler, seramik ya da kuvars yüzey üzerine serilir. Sensörün kuvars kolu platinyum film ile kaplanmış olabilir. Metal filmin tipik bir film sensördeki kalınlığı $0.1 \mu\text{m}$ 'den daha azdır. Böylece, mekanik kuvvet ve sensörün etkili termal iletimi tamamen yüzey materyallerle saptanır. Çoğu film, yanma direncinden ve uzun dönem stabiliteden dolayı platinyumdan yapılmaktadır. Film sensörlerin bu dayanıklılığı ve stabilitesi, daha kırılgan ve daha dayanıksız olan hot-wire'larla zor yapılan ölçümler için tercih edilmelerine neden olmaktadır. Film sensörlerin pek çok avantajı olmasına rağmen hot-wire sensörler pek çok uygulamada üstün performans göstermektedir. Silindirik film sensörlerin çapı 0.025 mm ya da daha büyüktür. Hot-wire ile karşılaştırıldığında bu oldukça fazladır. Ek olarak, film sensör genellikle daha düşük hassasiyete sahiptir. Üreticiler, havada ve suda kullanılan film probalar için farklı kaplama teknikleri kullanmaktadırlar. Hot-film sensörler, su ve iletken akımlar için yapılan, tamamen elektriksel yalıtımı sağlanmış, eritilmiş kuvarsla kaplanmıştır (Olivari ve Carbonaro, 2001). Şekil 3.7'de görüldüğü gibi film probaların dış yüzü, elektrikten izole edilmiştir. CTA ve prob arasındaki uzaklık mümkün olduğunca kısa olmalıdır. Film probalar bir sıvının içine yerleştirildiğinde, film sensörle sıvı arasında, akımdaki elektrik yükleri tarafından bir voltaj farkı oluşturulursa hasar meydana gelebilir. Eğer bu

tür yükler oluşursa, ayırıcı kuvars dağılabilir ve ince film elektrolizden dolayı aşınabilir [27].

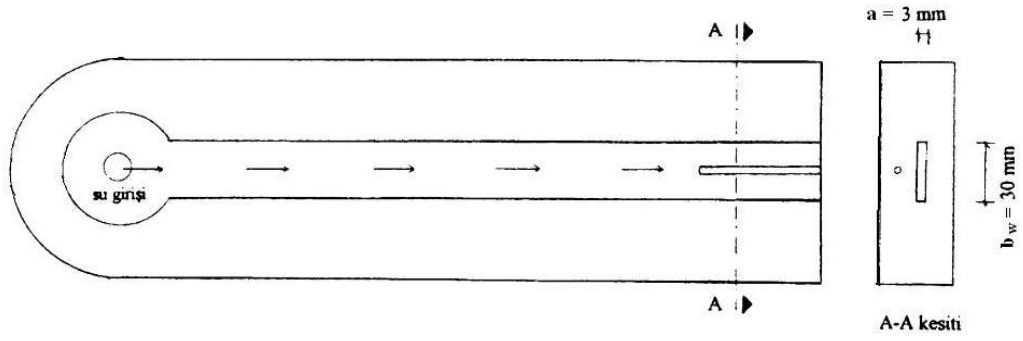
3.2.3 Kalibrasyon Yöntemi

Hot Film prob yardımıyla kayma gerilmesi ölçümlerine başlamadan önce CTA sisteminin kalibrasyonu gereklidir. Bunun nedeni, CTA ölçümleriyle elde edilen çıkış voltajlarının, hangi kayma gerilmesi değerine karşılık geldiğinin ancak, yapılacak olan kalibrasyonla belirlenebilecek olmasıdır. Kalibrasyon işlemi, Şekil 3.8’de gösterilen kalibrasyon sistemiyle gerçekleştirilmiştir. Şekilde görülen kalibrasyon cihazında suyun geçtiği kesit, 30 mm x 3 mm’lik bir alana sahiptir. Ayrıca, kesitin cidarında probun yerleştirilebileceği boyutlarda bir delik yer almaktadır.



(a) Kalibrasyon sistemi

Şekil 3.8 Kalibrasyon deney sistemi [28]



(b) Laminer akım koşulları için kalibrasyon cihazı

(c) Kalibrasyon sistemi

Şekil 3.8 Devamı

Kayma gerilmesinin belirlenmesini sağlayan flush-mounting tip prob için tasarlanan kalibrasyon sisteminde, laminer akım şartlarında analitik çözümün gerçekleştirilebilme kolaylığının söz konusu olması dolayısıyla, laminer akım koşulunda akışın sağlanabileceği şartlar dikkate alınmıştır. Suyun geçtiği kesitte yer alan deliğe prob yerleştirilmiş ve etrafından suyun sızması engellenerek probun üzerinden laminar akım koşullarında akış gerçekleştirilmiştir. Sistemden geçen suyun debisi zamana bağlı olarak, sabit seviyeli bir hazne sistemi kullanılarak belirlenmiştir. Buradan da (3.2) eşitliği kullanılarak kayma gerilmesine geçilmiştir.

Laminer akımda kayma gerilmesi için geçerli bağıntı;

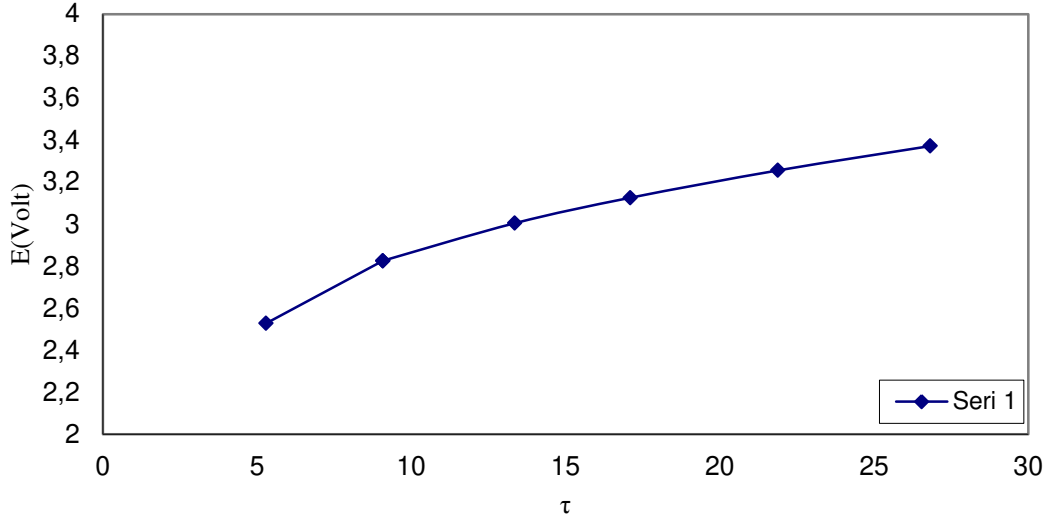
$$\tau = \mu \frac{du}{dy} \quad (3.1)$$

olduğuna göre, bu denklemin integrasyonu ile cidardaki kayma gerilmesi sistemden geçen debiye bağlı olarak bulunur.

$$\tau_0 = \frac{6Q\mu}{a^2 b_w} \quad (3.2)$$

Burada Q debi, a iki paralel plak arasındaki açıklık, b_w suyun geçtiği kesitin boyu, μ akışkanın dinamik viskozitesidir [28].

Bu ifadeden elde edilen kayma gerilmeleri, programdaki Velocity Calibration çalışma sayfasında yerine konmuş ve deneylerde dikkate alınan on nokta için kalibrasyon işlemi ayrı ayrı gerçekleştirilmiştir. Her deney başlangıcında da kalibrasyon tekrarlanmıştır.



Şekil 3.9 Deneyler için yapılan kalibrasyon eğrisi

3.2.4 Elektronik Limnimetre

Hareketli taban üzerinde kullanılan ve kazık etrafında oluşan oyulma derinliklerini belirlemek amacı ile kanal içine yerleştirilen 0 ile 575 mm arasında 0.02 mm hassasiyetinde ölçüm yapabilen elektronik limnimetre kullanılarak Pervane etkisiyle oluşan oyulma geometrisi belirlenmiştir (Şekil 3.10).



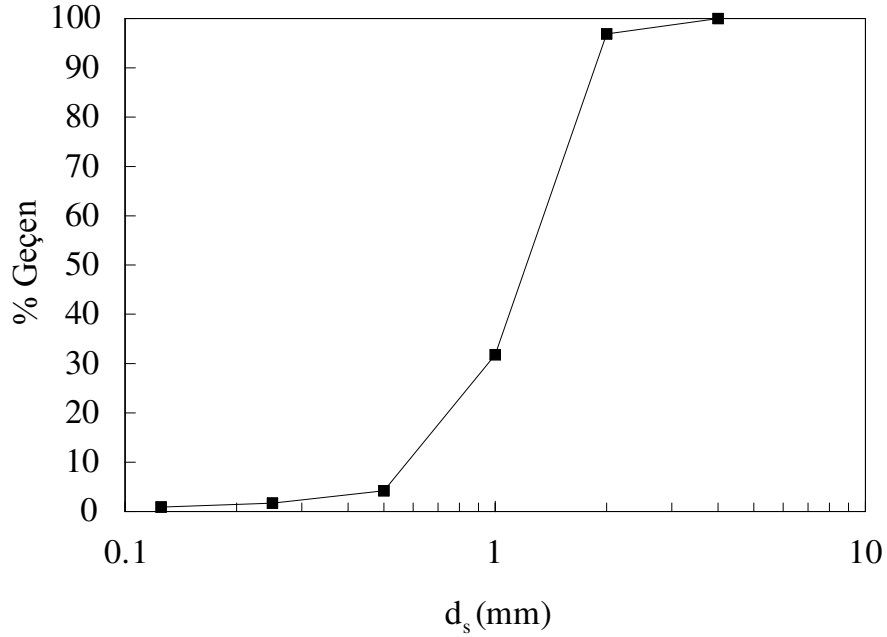
Şekil 3.10 Elektronik limnimetre

3.3 Deneysel Çalışma

3.3.1 Hareketli Taban Ölçümleri

Hareketli tabanda kullanılan ve kazık etrafında oluşan taban profili su tankı üzerine yerleştirilen elektronik limnimetre kullanılarak oyulma geometrisi belirlenmeye

alışılmıştır. Tank tabanına ortalama tane çapı $d_{50}=1.28$ mm olan 200 mm yuksekliğinde serilen kum malzemenin üzerinde pervaneden çıkan jet akımın etkisi altında oluşan oyulma profilleri elde edilmeye çalışılmıştır. şekil 3.11'de tabana serilen kum malzemenin granülometri eğrisi verilmiştir. Deneylerde kullanılan taban malzemesinin granülometrik özellikleri şekil 3.11'den görüldüğü gibi $d_{50}=1.28$ mm , $d_{90}=1.89$ mm, $d_{60}=1.43$ mm ve $\sigma=1.57$ olarak bulunmuştur.



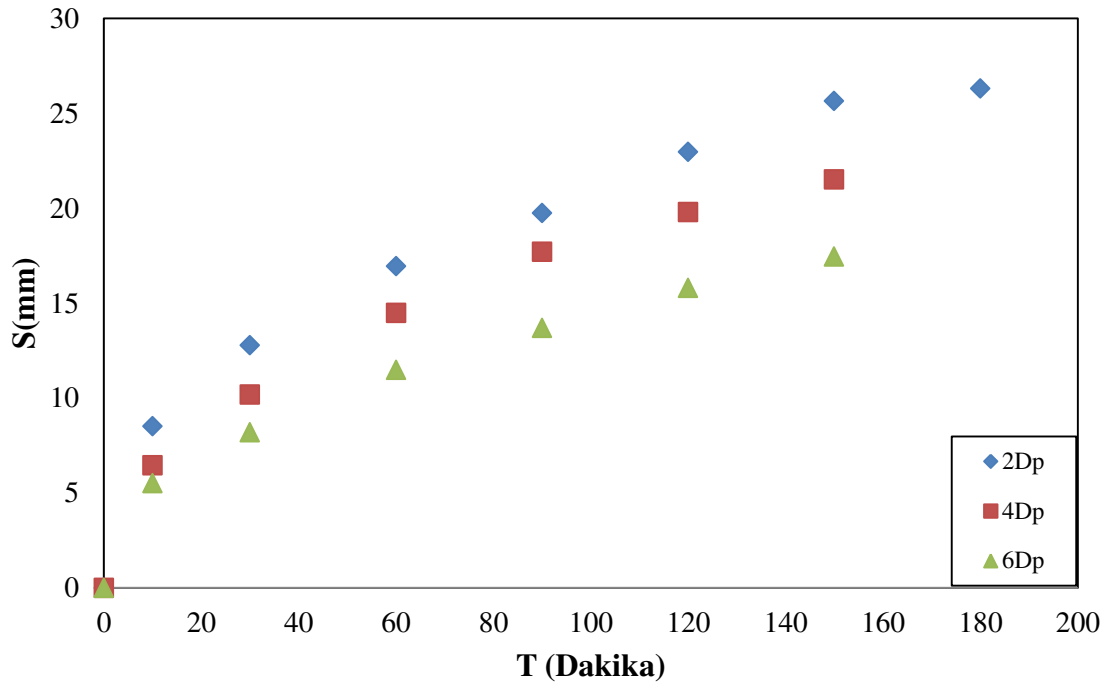
şekil 3.11 Taban malzemesine ait granülometri eğrisi [28]

Maksimum oyulma derinliklerinin belirlenmesi amacıyla, oyulma derinliğinin denge haline ulaşması anı n n deneyler yapılarak bulunmuştur. Deneylerin her başlangıç ($t=0$) anında, 600 saniye sonunda ve ölçülen oyulma derinliğindeki değişimin 1 mm altına düştüğü ana kadar (denge hali) olan derinlikler elde edilmiştir. Ölçülen oyulma derinliği değişimi 1 mm altında olduğu anda okuma işlemi bittiğinde, diğer ölçüm için kum taban düzleştirilerek yeni deney için hazır hale getirilmiştir. Pervanenin kazığa göre olan konumunun belirlenmesi amacıyla, farklı pervane konumları için oyulma deneyleri gerçekleştirilmiştir. Oyulma deneyleri pervane kazığa 2Dp, 4Dp ve 6Dp mesafelere yerleştirilerek yapılmıştır. Bu deneylerde $D_p=100$ mm çaplı iki nolu pervane kullanılmıştır. Pervane ve kazığın konumu ile oyulma profilinin şematik görünümü şekil 3.12'de verilmiştir. Çizelge 3.1'de farklı pervane çaplarını ve farklı pervane hızlarındaki jet hızlarını gösteren deney koşulları özetlenmiştir. Deneylerde farklı

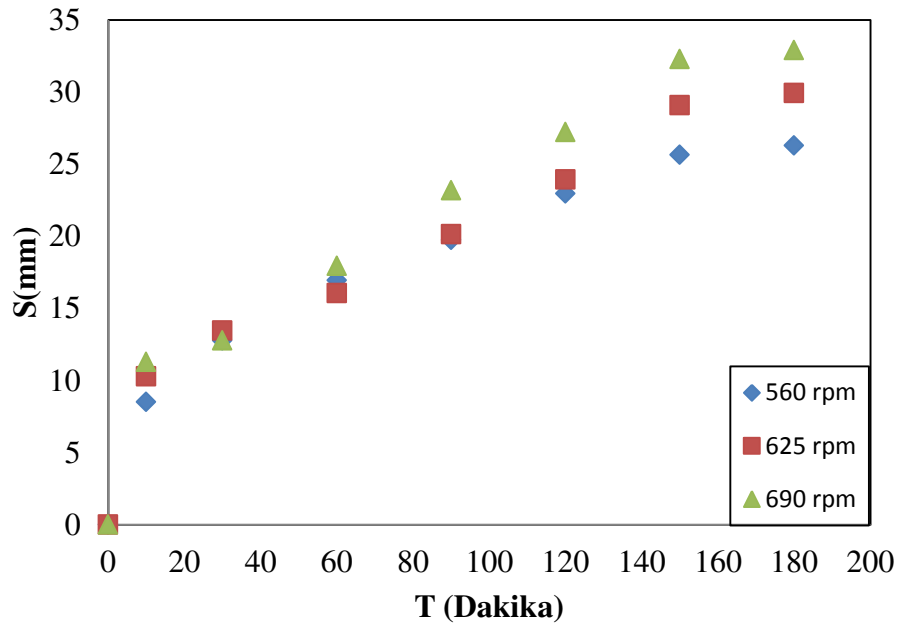
pervane konumları için oyulma miktarları ölçülerek zamanla değişimleri, Şekil 3.13’de $D_p=100$ mm çaplı pervanenin 560 rpm dönüş hızı için gösterilmiştir. Oyulmanın 150 dakika sonra değişmediği sabit kaldığı gözlemlenmiştir. Oyulma miktarının pervanenin kazığa en yakın olduğu $2D_p$ mesafede en fazla olduğu belirlenmiştir. Deneyler $D_p=100$ mm çaplı pervane için farklı hızlarda da gerçekleştirilmiştir ve pervane hızı arttıkça oyulma miktarının arttığı görülmüştür (Şekil 3.14, Şekil 3.15).

Şekil 3.12 Oyulmanın şematik gösterimi

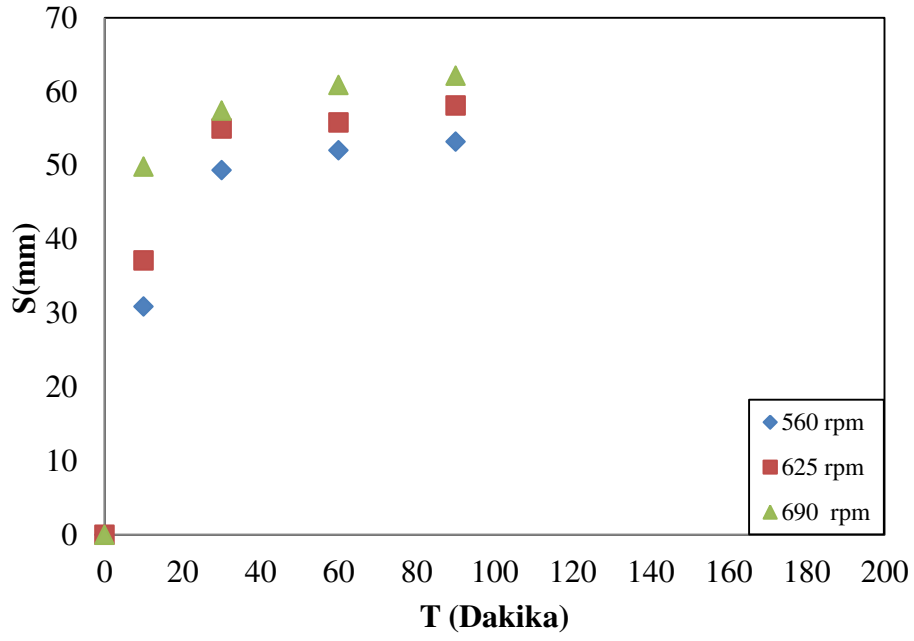
Çizelge 3.1 Deney koşulları



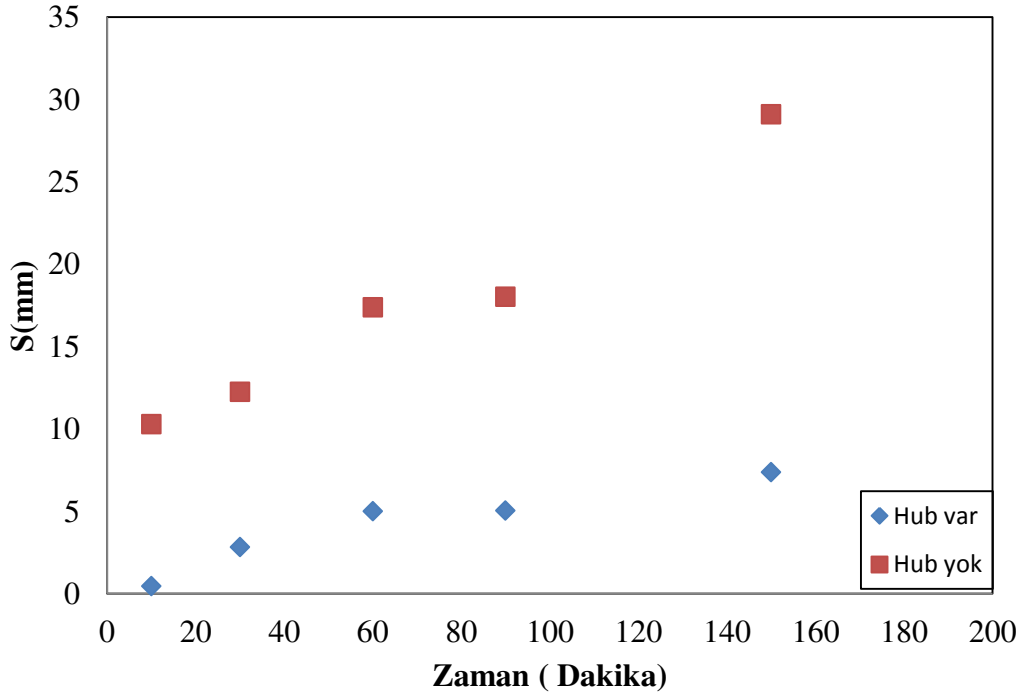
Şekil 3.13 $D_p = 100$ mm çaplı pervanenin 560 rpm dönüş hızı için kazığa farklı uzaklıktaki oyulma derinliklerinin zamanla değişimi



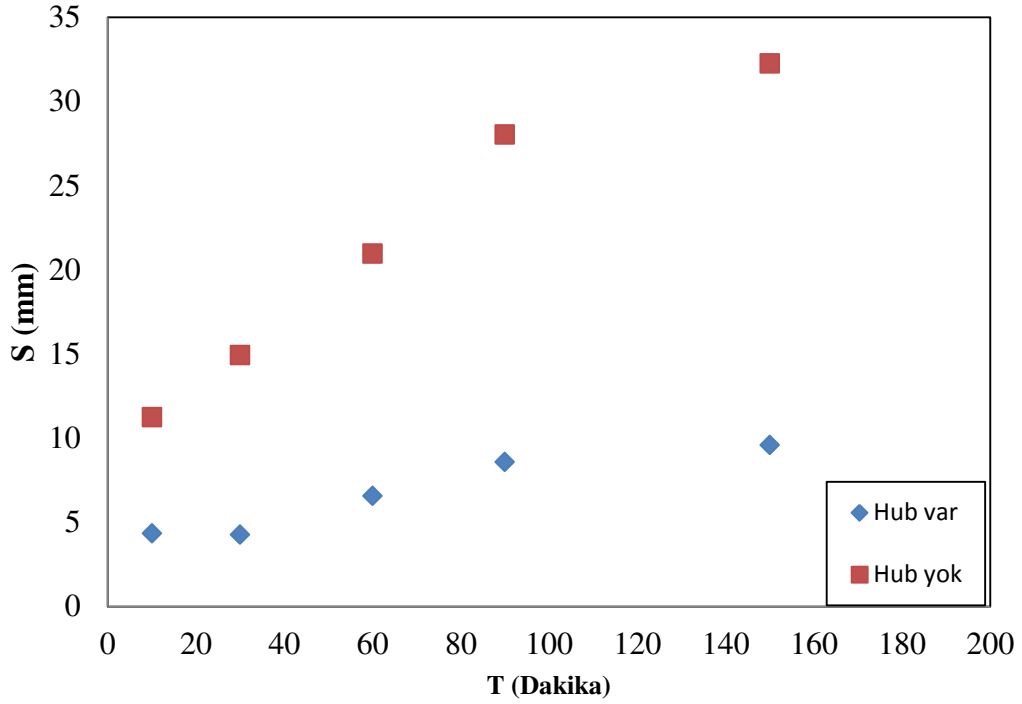
Şekil 3.14 $D_p = 100$ mm çaplı pervanenin farklı dönüş hızları için oyulma derinliğinin zamanla değişimi (Kazığın $2D_p$ mesafede bulunması hali)



Şekil 3.15 $D_p = 130$ mm çaplı pervanenin farklı dönüş hızları için oyulma derinliğinin zamanla değişimi (Kazıgın $2D_p$ mesafede bulunması hali)



Şekil 3.16 $D_p = 100$ mm çaplı pervane için 625 rpm dönüş hızı için hublu ve hubsız pervanelerin neden olduğu oyulma derinliklerinin zamanla değişimi

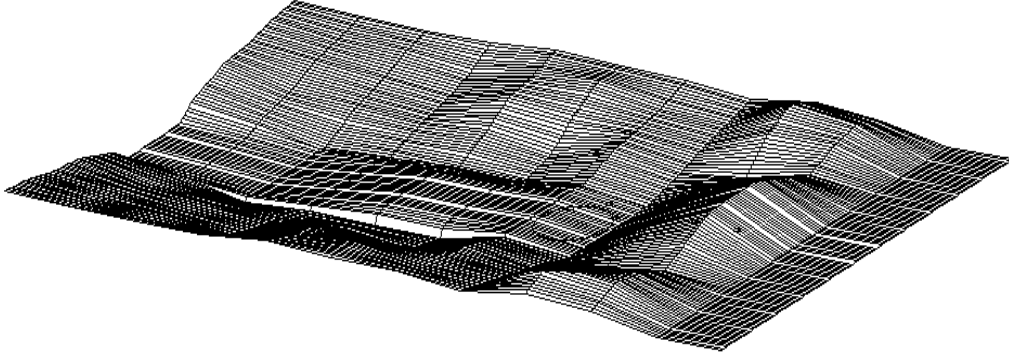


Şekil 3.17 $D_p=100$ mm çaplı pervanenin 690 rpm dönüş hızı için hublu ve hubsız pervanelerin neden olduğu oyulma derinliklerinin zamanla değişimi

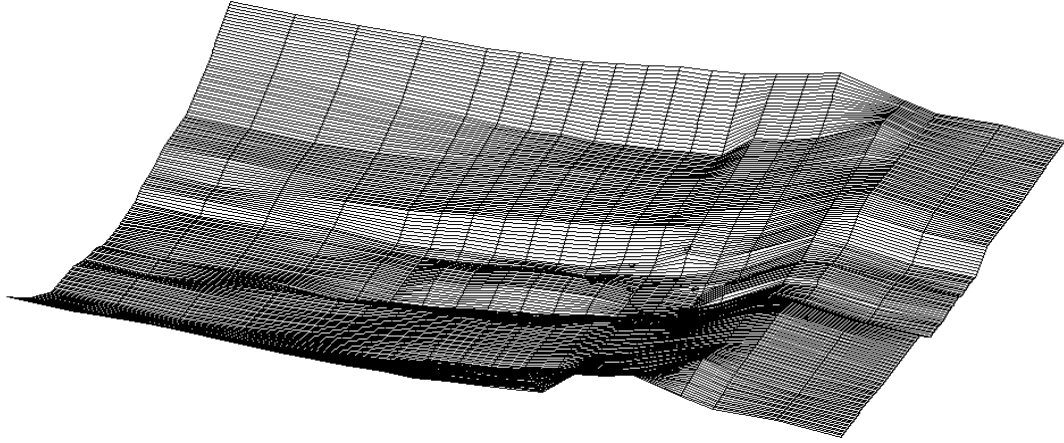
3.3.2 Sabit Taban Halinde Ölçümler

3.3.2.1 Oyulma Geometrisinin Belirlenmesi

Kum taban ölçümleri sırasında pervane jeti etkisi altında kazık etrafında oluşan akım yapısından dolayı oluşan oyulmanın 600 s ve 9000 s sonunda zamana bağlı geometrisi belirlenmiştir. Elektronik limnimetre ile ölçülen üç boyutlu oyulma geometrisi polietilen malzeme kullanılarak CNC tezgahında modellenmiştir. Elde edilen modeller kazık yeri belirlenerek tabana yerleştirmeye hazır hale getirilmiştir. 40 mm çaplı kazığa $2D_p$ mesafede yerleştirilen $D_p=100$ mm çaplı pervane ve 690 rpm dönüş hızı için üç boyutlu oyulma geometrilerinin zamana bağlı değişimi Şekil 3.18 ve Şekil 3.19'da verilmiştir. Oyulmanın başlamadığı düzlem taban ve oyulma profilinin geliştiği sabit tabanlı polietilen'den üretilen modeller sırasıyla Şekil 3.20, Şekil 3.21, Şekil 3.22'de gösterilmiştir.



Şekil 3.18 $T=600$ s için oyulma profili



Şekil 3.19 $T=9000$ s için oyulma profili



Şekil 3.20 $T=0$ s için sabit taban modeli

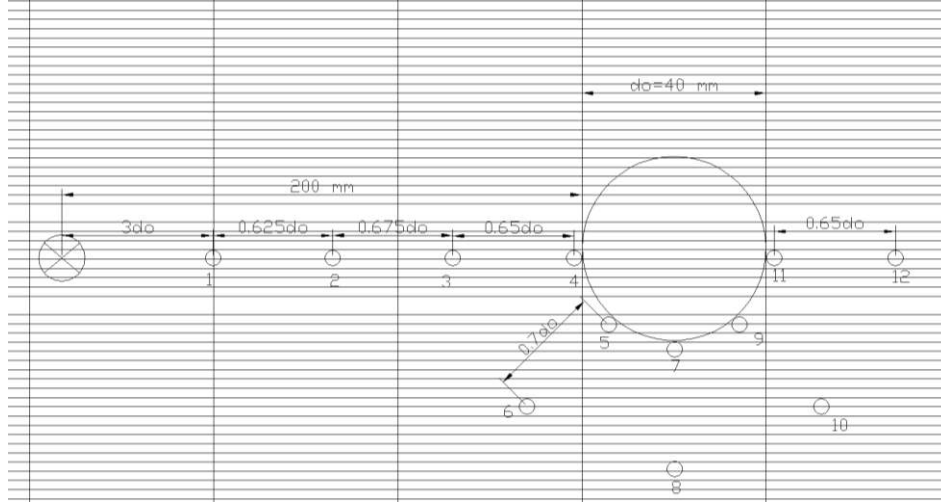


Şekil 3.21 $T=600$ s için sabit oyulma modeli

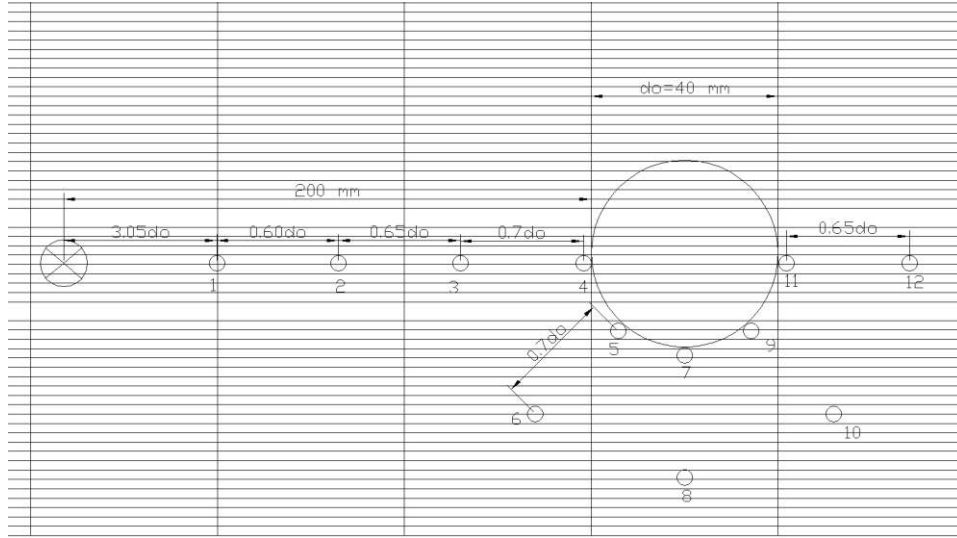


Şekil 3.22 $T=9000$ s için sabit denge oyulma modeli

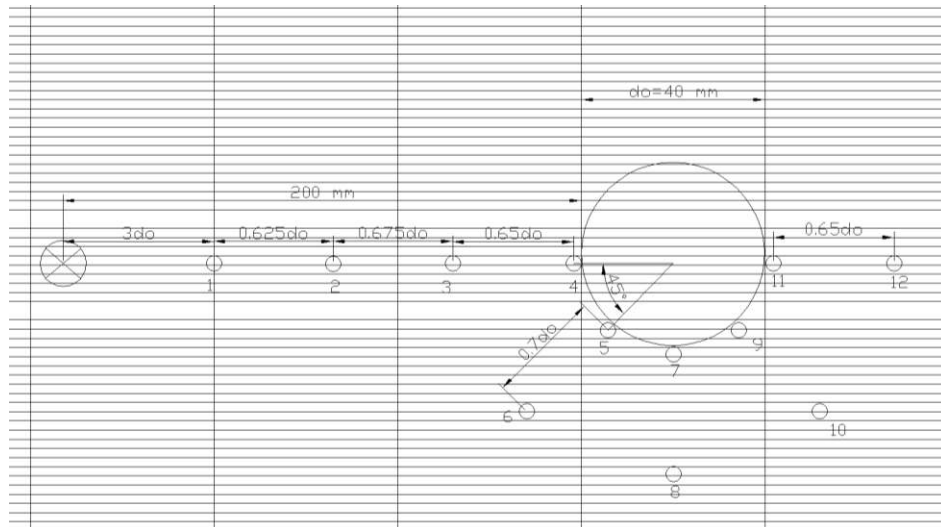
Jetin kazık etrafında yarattığı akım alanını belirlemek amacıyla tabanda oyulmanın zamanla değişimini karakterize edecek olan taban kayma gerilmeleri hot film anemometre ile ölçülmüştür. Kayma gerilmesi ölçüm konumları ise Şekil 3.23, Şekil 3.24 ve Şekil 3.25'te gösterilmiştir.



Şekil 3.23 $T=0$ s için ölçüm konumları



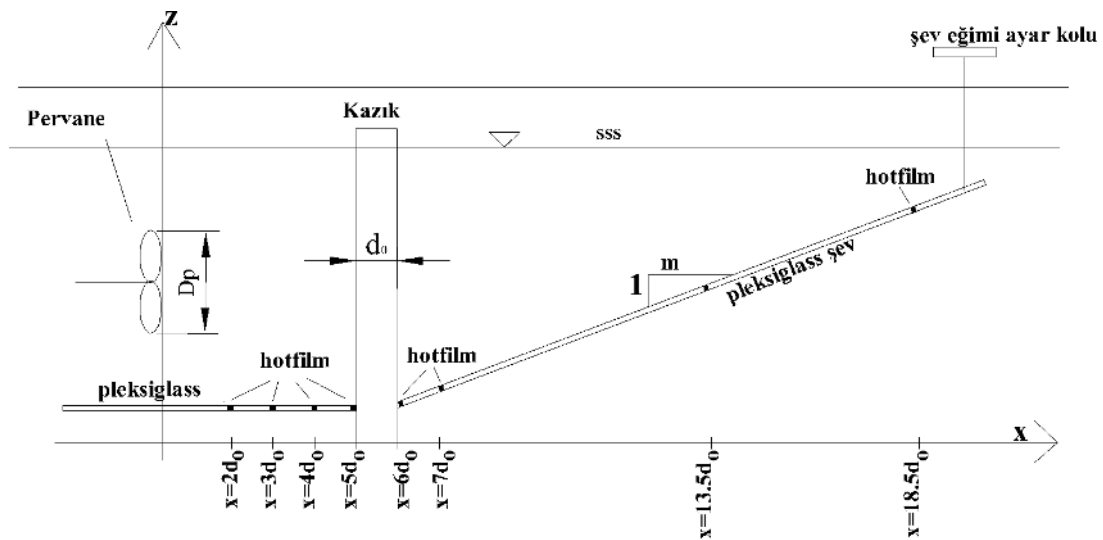
Şekil 3.24 $T=600$ s için ölçüm konumları



Şekil 3.25 $T=9000$ s için ölçüm konumları

3.3.2.2 Şevli açık tip rıhtım hali için ölçümler

Deneysel çalışmanın bu aşamasında çapı 40 mm olan tek bir kazık etrafındaki ve pervane çapı 70 mm, 100 mm, 130 mm olan 3 farklı pervanenin 560, 625 ve 690 rpm dönüş hızları altında oluşturduğu akım alanının düzlem taban ($m=0$) ve şevli rıhtım durumları ($m=1.5, 2.0$ ve 2.5) için pleksiglass malzemeden imal edilen rıhtım modeli tank içine yerleştirilmiştir. Taban kayma gerilmeleri için ölçüm konumları pervane jetinden kazığın menbasına olan uzaklık ile kazıktan mansaba doğru olan uzaklık dikkate alınarak kazık çapının (d_0) katları şeklinde seçilerek pervane eksenini boyunca Şekil 3.26'da görüldüğü gibi belirlenmiştir. Ölçüm işlemleri sırasında hız profilleri ADV hız ölçer yardımıyla Şekil 3.27'de görülen konumlarda ölçülmüştür. Hız profilleri ve taban kayma gerilmesi ölçüm koşulları Çizelge 3.2'de verilmiştir. Hız ölçümleri vectrino plus model ADV çalışma sayfası kullanılarak kayıt edilmiştir. Taban kayma gerilmesi ölçümleri ise hot-film anemometre yardımı ile yapılmıştır. Elde edilen veriler explore V programı yardımıyla bilgisayara kayıt edilmiştir.



Şekil 3.26 Taban kayma gerilmesi ölçüm noktaları

Çizelge 3.2 Devam

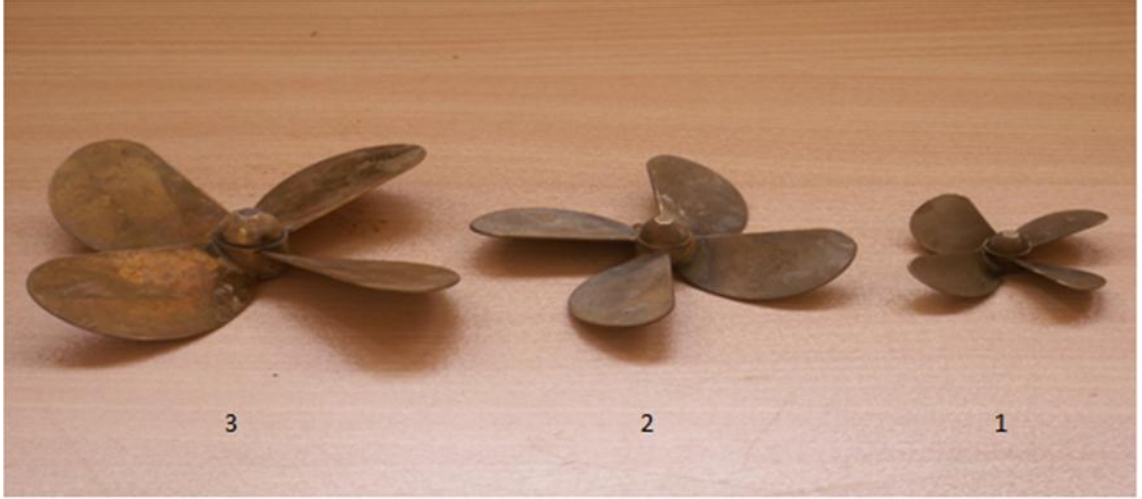
m=1.5	70	40	560	0.618	43289.93	Kazık mansabında toplamda üç konumda ölçüldü	Menba ve mansapta toplamda sekiz konumda ölçüldü.
		45	625	0.690	48314.67		
		50	690	0.762	53339.38		
	100	40	560	1.066	106645.33		
		45	625	1.190	119023.85		
		50	690	1.314	131402.28		
	130	40	560	1.149	149306.07		
		45	625	1.282	166636.30		
		50	690	1.415	183966.42		
m=2.0	70	40	560	0.618	43289.93	Kazık mansabında toplamda üç konumda ölçüldü	Menba ve mansapta toplamda sekiz konumda ölçüldü.
		45	625	0.690	48314.68		
		50	690	0.762	53339.38		
	100	40	560	1.066	106645.33		
		45	625	1.190	119023.85		
		50	690	1.314	131402.28		
	130	40	560	1.149	149306.07		
		45	625	1.282	166636.30		
		50	690	1.415	183966.42		

Çizelge 3.2 Devam

m=2.5	70	40	560	0.618	43289.93	Kazık mansabında toplamda üç konumda ölçüldü	Menba ve mansapta toplamda sekiz konumda ölçüldü.
		45	625	0.690	48314.67		
		50	690	0.762	53339.38		
	100	40	560	1.066	106645.33		
		45	625	1.190	119023.85		
		50	690	1.314	131402.28		
	130	40	560	1.149	149306.07		
		45	625	1.282	166636.30		
		50	690	1.415	183966.42		

3.4 Pervane Modeli

Deneylerde 70 mm, 100 mm ve 130 mm çapa sahip üç pervane modeli kullanılmıştır. Her pervane modeli 560, 625 ve 690 rpm olmak üzere üç farklı dönüş hızında çalıştırılmıştır. Pervaneler 4 kanatlıdır ve pirinçten üretilmiştir. Pervanelerin iki tanesi sağa (70 mm ve 130 mm) bir tanesi sola (100 mm) dönebilen pervanelerdir. DeneySEL çalışmada kullanılan pervaneler Şekil 3.28'de gösterilmiştir. Pervane özellikleri Çizelge 3.3'te verilmiştir.



Şekil 3.28 Pervanelerinin görünümü

Çizelge 3.3 Pervane özellikleri

Pervane Çapı (Propeller Diameter) D_p	70 mm	100 mm	130 mm
Kanat Sayısı (Blade Number) N	4	4	4
Hatve, P	1.4	1.4	1.4
Kanat Alan Oranı (Blade Area Ratio) β	0.4	0.4	0.6
İtme Kuvveti Katsayısı (Thrust Coefficient) C_t	0.35	0.51	0.35

Pervaneden çıkan jetin hızı

$$U_0 = 1.6 n D_p \sqrt{C_t} \quad (3.3)$$

denklemleri ile hesaplanmıştır, burada D_p pervane çapı, C_t pervane itme kuvveti katsayısı, n (rpm) devir sayısıdır. Hesaplanan pervane jeti hızına göre akım Re sayısı

$$Re_{(akım)} = \frac{U_o D_p}{\nu} \quad (3.4)$$

ifadesi ile bulunmuştur, burada D_p pervane çapı, ν kinematik viskozitedir.

Pervane Re sayısı

$$Re_{pervane} = \frac{n D_p L_m}{\nu} \quad (3.5)$$

eşitliği ile hesaplanmaktadır, burada L_m kanat alan oranına bağlı olarak tanımlanan bir uzunluktur,

$$L_m = \beta D_p \pi \left(2N \left(1 - \frac{D_h}{D_p} \right) \right)^{-1} \quad (3.6)$$

ifadesiyle hesaplanır. Burada,

β kanat alan oranı, N pervane kanat sayısı, D_h hub çapı ve D_p pervane çapını tanımlamaktadır. Burada D_h / D_p oranı sistemde hub olmaması halinde 0 olarak kabul edilmektedir.

Hatve (P) ise vida benzeşiminden gelme bir terimdir. Bir vidada olduğu gibi, pervane de her bir dönüşünde sabit bir miktar ilerleyecektir. Pervanenin tam bir dönüşü sırasında ilerlediği mesafeye pervanenin hatvesi (P) denir.

Hareketli taban halinde pervane özelliklerine bağlı olarak yoğunluk Fr sayısı ise aşağıdaki gibi hesaplanmaktadır.

$$Fr_d = U_o / \sqrt{\left(g d_{50} \frac{\rho_s - \rho}{\rho} \right)} \quad (3.7)$$

Burada U_o pervane jet hızı, g yerçekimi ivmesi, d_{50} taban malzemesinin medyan çapı, ρ_s taban malzemenin özgül kütlesi (kg/m^3), ρ suyun özgül kütlesidir (kg/m^3). Bu çalışmada $\rho_s = 2650 \text{ kg/m}^3$ olarak dikkate alınmıştır. Deneylerde kullanılan pervanelere ait dönüş ve akım hızları ile oyulma derinlikleri (S) Çizelge 3.4 'de özetlenmiştir.

Çizelge 3.4 Deneylerde kullanılan pervane özellikleri ve oyulma derinlikleri

Dp (mm)	rpm (Dönüş hızı)	Re (Pervane Re sayısı)	U ₀ (m/s)	Re _{akım} (Akım Re sayısı)	Fr _d (Yoğunluk Fr Sayısı)	S (mm) Hub yok	S (mm) Hub var
70	560	8975.17	0.62	43289.93	4.29	-	-
	625	10016.93	0.69	48314.67	4.80	-	-
	690	11058.69	0.76	53339.38	5.29	-	-
100	560	14653.33	1.07	106645.33	7.41	26.3	-
	625	16354.17	1.19	119023.85	8.27	29.1	7.37
	690	18055.00	1.31	131402.28	9.13	32.25	9.59
130	560	37146.20	1.15	149306.07	7.98	53.2	-
	625	41457.83	1.28	166636.30	8.91	55.8	-
	690	45769.43	1.42	183966.42	9.83	62.13	-

3.5 Etkili Parametreler ve Boyut Analizi

Kazık etrafındaki erozyonun tanımlanabilmesi için öncelikle etkili parametrelerin belirlenmesi gerekmektedir. Tabandaki erozyon oluşumu Çizelge 3.5’deki parametreler dikkate alındığında aşağıdaki fonksiyon ile verilebilir. Bu etkili parametreler esas alınarak ve Çizelge 3.6’da ifade edildiği gibi Langhaar Metodu yardımıyla boyutsuz büyüklükler bulunmuştur.

$$f(D_p, v, u_0, x, Y, d_0, h, m, \rho_w, d_{50}, g, S) = 0 \quad (3.8)$$

Çizelge 3.5 Etkili parametreler

	Parametreler	Sembol	Birim	Boyut
Akışkan Karakterize Eden Parametreler	Akışkanın özgül kütlesi	ρ	kg/m ³	ML ⁻³
	Akışkanın kinematik viskozitesi	ν	m ² /s	L ² T ⁻¹

Akımı Karakterize Eden Parametreler	Jet akımının hızı	u_0	m/s	LT^{-1}
	Su derinliği	h	m	L
Taban Malzemesini Karakterize Eden Parametreler	Taban malzemesinin boyutu	d_{50}	m	L
	Taban malzemesinin oyulması	S	m	L
Geometriyi Karakterize Eden Parametreler	Kazık çapı	d_0	m	L
	Pervanenin kazığa olan yatay uzaklığı	x	m	L
	Pervane çapı	D_p	m	L
	Pervane ekseninin tabana olan yatay uzaklığı	Y	m	L
	Rıhtım dolgusu şev eğimi	m	-	-
Diğer Parametreler	Yerçekimi ivmesi	g	m/sn^2	LT^{-2}

Çizelge 3.6 Parametre boyutları

	k_1	k_2	k_3	k_4	k_5	k_6	k_7	k_8	k_9	k_{10}	k_{11}	k_{12}
Sembol	D_p	x	g	S	v	d_{50}	h	y	m	ρ_w	d_0	U_0
M	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
L	1	1	1	1	2	1	1	1	0	-3	1	1
T	0	0	-2	0	-1	0	0	0	0	0	0	-1

$$k_{10} = 0 \quad (3.9)$$

$$k_{12} = -(2k_3 + k_5) \quad (3.10)$$

$$k_{11} = -(k_1 + k_2 + k_3 + k_4 + 2k_5 + k_6 + k_7 + k_8 - 3k_{10} + k_{12}) \quad (3.11)$$

Çizelge 3.7’de boyutsuz parametrelerin üstel değerleri verilmiştir.

Çizelge 3.7 Boyutsuz parametrelerin üstel değerleri

	k_1	k_2	k_3	k_4	k_5	k_6	k_7	k_8	k_9	k_{10}	k_{11}	k_{12}
π_1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0
π_2	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0
π_3	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	-2
π_4	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	-1	0
π_5	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	-1	-1
π_6	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	-1	0
π_7	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	-1	0
π_8	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	-1	0
π_9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Çizelge 3.7'den 9 boyutsuz büyüklük aşağıdaki gibi elde edilmiştir;

$$\left. \begin{aligned}
\pi_1 &= \frac{D_p}{d_0} \\
\pi_2 &= \frac{X}{d_0} \\
\pi_3 &= \frac{d_0 g}{u_0^2} \\
\pi_4 &= \frac{S}{d_0} \\
\pi_5 &= \frac{v}{u_0 d_0} \\
\pi_6 &= \frac{d_{50}}{d_0} \\
\pi_7 &= \frac{h}{d_0} \\
\pi_8 &= \frac{Y}{d_0} \\
\pi_9 &= m
\end{aligned} \right\} \quad (3.12)$$

O halde boyutsuz fonksiyon

$$f\left(\frac{D_p}{d_0}, \frac{X}{d_0}, fr^2, \frac{S}{d_0}, Re, \frac{d_{50}}{d_0}, \frac{h}{d_0}, \frac{Y}{d_0}, m\right) = 0 \quad (3.13)$$

Şeklindedir. Burada;

$\frac{D_p}{d_0}$: Göreceli pervane çapı

$\frac{X}{d_0}$: Göreceli mesafe

fr_d : Yoğunluk Fr_d sayısı

$\frac{S}{d_0}$: Göreceli oyulma derinliği

Re: Akım Reynolds sayısı

$\frac{d_{50}}{d_0}$:Göreceli tane çapı

$\frac{h}{d_0}$: Göreceli su derinliği

$\frac{Y}{d_0}$: Göreceli pervane açıklığı

m : Şev eğimi

$\frac{d_{50}}{d_0}$, sadece tek granülometriye sahip kum tabanla çalışıldığından etkisi ihmal edilmiştir.

$\frac{h}{d_0}$, rölatif su derinliğinin etkisi su derinliğinin sabit tutulması ve yine sabit tutulan jet

açıklık etkisinin $\frac{Y}{d_0}$ ile temsil edilmesi nedeniyle ihmal edilmiştir. Böylece bu çalışma

için boyutsuz fonksiyon aşağıdaki formda yazılabilir.

$\pi_5 = \frac{U_0 d_0}{v}$ ile $\pi_1 = \frac{D_p}{d_0}$ çarpımında pervane Re sayısı elde edilir.

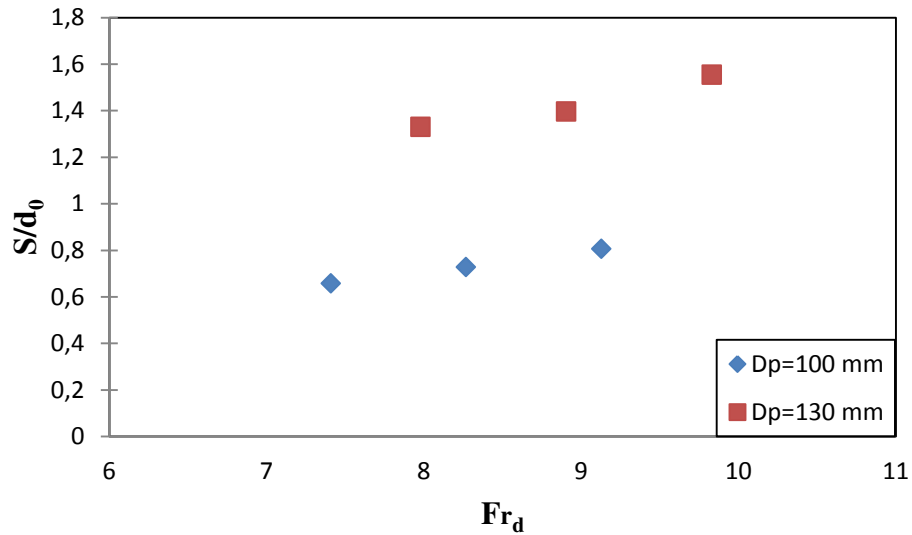
$\frac{U_0 d_0}{v} \frac{D_p}{d_0} = \frac{U_0 D_p}{v}$ böylece boyutsuz fonksiyon

$$f\left(\text{Re}_p, \frac{S}{d_0}, \text{fr}_d^2, \frac{X}{d_0}, \frac{D_p}{d_0}, m\right) = 0 \quad (3.14)$$

ile ifade edilebilir.

DENEY SONUÇLARI VE DEĞERLENDİRME**4.1 Pervane jeti etkisinde kazık etrafında oyulma derinlikleri değişimi**

Granülometri eğrisi Şekil 3.11’de verilen kum malzemeye sahip tabana yerleştirilmiş 40 mm çaplı kazık etrafında iki farklı çapa sahip pervane jetinin meydana getirdiği boyutsuz oyulma derinliğinin yoğunluk Froude sayısı ile değişimi Şekil 4.1’de verilmiştir. Şekilde görüldüğü gibi oyulma derinliği yoğunluk Froude sayısı ile artmaktadır. Ancak pervane çapının oyulma mekanizmasına etkisi de açıkça görülmektedir. Pervane çapı arttıkça oyulma derinliği artmaktadır. Elde edilen sonuçlar literatür ile uyumludur.



Şekil 4.1 690 rpm dönüş hızı için farklı pervane büyüklüklerinde yoğunluk Fr sayısına bağlı olarak oyulma derinlikleri

4.2 Oyulmanın zamanla gelişiminde taban kayma gerilmesi değişimi

Tek bir kazık etrafındaki oyulma mekanizmasının anlaşılması amacıyla farklı zamandaki oyulma profilleri ve taban kayma gerilmelerinin değişimleri incelenmiştir.

Kazık etrafında oyulmanın gelişiminin anlaşılması amacıyla CTA hot film prob yardımıyla taban kayma gerilmeleri ölçülmüştür. Ölçümler $T=0$, 600 ve 9000 s zamanlarında dondurulmuş taban modelleri üzerinde yapılmıştır. Oyulma modeli için $D_p=100$ mm çaplı pervane kullanılmıştır. Bu durumda pervane jet hızı $U_0=1.07$ m/s (560 rpm) ve akım Re sayısı 106645'dir. Kayma gerilmelerinin zamana ve konuma göre değişimleri Çizelge 4.1'de verilmiştir.

$T=0$ için pervane jet eksenini ve kazık etrafındaki kayma gerilmeleri jet çıkışında ($x/d_0 = 2$) bulunan kayma gerilmesine ($\tau_0 = 5.39 \text{ N/m}^2$) oranlararak (τ/τ_0) boyutsuz hale getirilmiştir. Ayrıca kazık etrafında boyutsuz kayma gerilmesinin değişimleri belirlenmiştir. Bu durumda tabanda henüz değişim yoktur ve düzlemdir. Şekil 4.2'de jet eksenini boyunca (τ/τ_0)'ın x/d_0 ile değişimi verilmiştir. $x/d_0 = 5$ kazığın tam menbasıdır (Şekil 3.23). Şekilden görüldüğü gibi tam kazığın önünde kayma gerilmesi 1.22 kat büyümektedir. Jet çıkışından kazığa doğru artan kayma gerilmesi, kazığın mansabında azalma eğilimi göstermiştir. Kazığın mansap tarafında yaklaşık $x/d_0 = 6.8$ kadar mesafede $\tau/\tau_0 = 0.53$ olmaktadır.

Şekil 4.3'te kazığın tam etrafında kayma gerilmesi değişimi verilmiştir, kayma gerilmesi 90° 'de en büyük değerine sahip olmakta, yaklaşık olarak 1.42 katına ulaşmaktadır ve daha sonra tekrar azalmaktadır.

Şekil 4.4'te kazığın etrafında $0.7d_0$ uzaklıkta kayma gerilmesi değişimleri verilmiştir. Bu durumda kayma gerilmesinin en büyük değeri 45° ile kazığın mansabına kaymakta ve sonra tekrar azalmaktadır. 90° 'de ise bu bölgede kayma gerilmesi tam kazık etrafına göre aniden azalmıştır. Ölçümler oyulmanın kazığın (90°) kenarlarında başlayarak menbaya doğru ilerlediğini göstermektedir. Bunun nedeni kazık önünde gelişen at nalı vorteks sistemidir.

Şekil 4.5, Şekil 4.6, Şekil 4.7'de oyulma çukurunun başlamasından 600 s sonrasında dondurulmuş oyulma geometrisinde kayma gerilmesi dağılımları verilmiştir. 600 s

sonunda jet eksenini boyunca kayma gerilmesi halen kazık önünde ($x/d_0 = 5$) göreceli en büyük değere sahiptir (Şekil 4.5). Ancak kayma gerilmesi başlangıç durumuna göre şiddetçe azalmıştır çünkü oyulma çukuru büyüdükçe vorteks şiddeti azalmaktadır. Kazık etrafındaki kayma gerilmesi başlangıç anındaki gibi 90° 'de artmasına karşın başlangıç anından daha düşük bir şiddete sahiptir (Şekil 4.6). Bu durumda kayma gerilmeleri başlangıç anına göre oyulmanın gelişmesiyle birlikte düşüş göstermiştir. Şekil 4.7'de kazık etrafında $0.7d_0$ kadar uzaktaki kayma gerilmesinin 600 s'deki değişimi görülmektedir. Bu durumdaki kayma gerilmeleri başlangıç anına göre aynı eğilime sahip ancak kayma gerilmesi şiddeti azalma göstermektedir. Bu durumda en büyük kayma gerilmesi 45° 'ye kaymıştır. $T=600$ s sonunda oyulmanın genel formu ve jet eksenini boyunca kayma gerilmesi ölçüm konumları Şekil 4.8'de verilmiştir. Pervane jeti eksenini boyunca ile $x/d_0 = 4-5$ arasında kazık etrafında oyulma oluşmuştur. Ancak pervane jetinin tabanla etkileşimi sonucu meydana gelen duvar jeti pervaneden sonra tabanda erozyona neden olmuştur. Erozyonla taşınan kum ve kazık önünde oluşan at nalı vorteks sistemi $x/d_0 = 2-4$ arasında bir eşik oluşumuna neden olmuştur. Pervane jetinin bir boyutlu akımlarda olduğu gibi kazıkla etkileşerek, kazık üzerinden saparak aşağı yönelmesi ve kazık önünde at nalı vorteks sistemini meydana getirmesiyle oyulma çukuru oluşmuştur. Böylece kazık etrafında oyulma meydana gelmiştir. Kazığın arkasında oluşan art-iz vorteks sistemi kazığın mansabında asimetric oyulma çukurunun gelişmesine neden olmuştur, bu bölgede halen duvar jeti etkisi devam etmektedir. Mansap erozyonunun uzun mesafede etkin olduğu gözlemlenmektedir.

Oyulmanın gelişiminde etkili olan akım yapısı ve vorteks sistemler şematik olarak Şekil 4.9'da gösterilmiştir. Şekil 4.9'dan görüldüğü gibi kazık menbasında kum eşiği önünde tabandan ayrılan akım ile bir vorteks oluşumu, kazıktan dolayı at nalı vorteks sistemi, kazık mansabında ise duvar jetine ilaveten menbadaki kum tabanı mansaba süpüren art-iz vorteks sistemi gelişmiştir.

Çizelge 4.1 Polietilen Tabanda elde edilen kayma gerilmeleri (Düzlem taban T=0 s)

x/d_0	D₀	D₁	D₂	D₃	D₄ (0°)	D₅ (45°)	D₆ (45°)*	D₇ (90°)	D₈ (90°)*	D₉ (135°)	D₁₀ (135°)*	D₁₁ (180°)	D₁₂ (180°)
Deney No	2	3	3.625	4.3	4.95	-	-	-	-	-	-	6.05	6.7
1	5.28	2.725	5.771	5.485	7.329	6.128	5.46	8.313	3.037	5.889	5.502	5.094	2.775
2	5.491	2.702	5.227	6.288	7.042	7.763	5.542	7.399	2.981	6.341	5.543	5.748	2.849
3	-	2.651	5.387	5.524	6.299	6.665	5.446	8.068	2.906	6.308	5.4	5.08	2.888
4	-	2.752	5.338	5.34	6.255	7.625	5.45	7.341	2.805	6.308	5.746	5.292	2.97
5	-	-	5.313	5.439	6.889	-	-	7.061	-	6.289	5.634	-	-
6	-	-	-	-	6.204	-	-	-	-	-	-	-	-
7	-	-	-	-	6.06	-	-	-	-	-	-	-	-
τ_{ort}	5.3855	2.71	5.41	5.62	6.58	7.045	5.47	7.64	2.93	6.23	5.56	5.3	2.87
τ/τ_0	1	0.503	1.00	1.04	1.22	1.31	1.02	1.42	0.54	1.16	1.03	0.98	0.53
τ/τ_{kr}	7.28	3.66	7.31	7.59	8.89	9.52	7.39	10.32	3.96	8.42	7.51	7.16	3.88

Not: Burada τ : N/m², Dp: 100 mm, U₀=560 rpm (1.07 m/s), Re_{akım}: 106645, τ_0 =5.385 N/m², τ_{kr} =0.74 N/m² olarak alınmıştır.

* Kazığa göre 0.7d₀ mesafedeki ölçüm noktası

Çizelge 4.2 Polietilen Tabanda elde edilen kayma gerilmeleri (Düzlem taban T=600 s)

x/d_0	D₀	D₁	D₂	D₃	D₄ (0°)	D₅ (45°)	D₆ (45°)*	D₇ (90°)	D₈ (90°)*	D₉ (135°)	D₁₀ (135°)*	D₁₁ (180°)	D₁₂ (180°)*
Deney No	2	3.05	3.65	4.3	5	-	-	-	-	-	-	6.05	6.70
1	5.28	2.728	3.864	5.206	5.00	6.443	5.243	7.009	3.184	6.047	5.126	4.691	2.914
2	5.491	2.823	3.863	5.026	4.997	8	5.315	7.602	3.225	6.178	5.452	4.67	2.904
3	-	2.801	3.864	5.591	4.991	7.021	5.378	6.493	2.736	8.016	5.295	4.807	2.905
4	-	2.699	-	5.072	5.117	6.579	5.686	8.503	2.782	-	4.97	4.654	2.904
5	-	-	-	-	5.076	6.685	-	-	-	-	5.399	4.731	2.765
τ_{ort}	5.3855	2.76	3.86	5.22	5.0362	6.95	5.4	7.4	2.98	6.11	5.25	4.71	2.88
τ / τ_0	1	0.51	0.72	0.97	0.94	1.29	1.00	1.37	0.55	1.13	0.97	0.87	0.53
τ / τ_{kr}	7.28	3.73	5.22	7.05	6.81	9.39	7.30	10.00	4.03	8.26	7.09	6.37	3.89

Not: Burada τ : N/m², Dp: 100 mm, U₀=560 rpm (1.07 m/s), Re_{akım}: 106645, τ_0 =5.385 N/m², τ_{kr} =0.74 N/m² olarak alınmıştır.

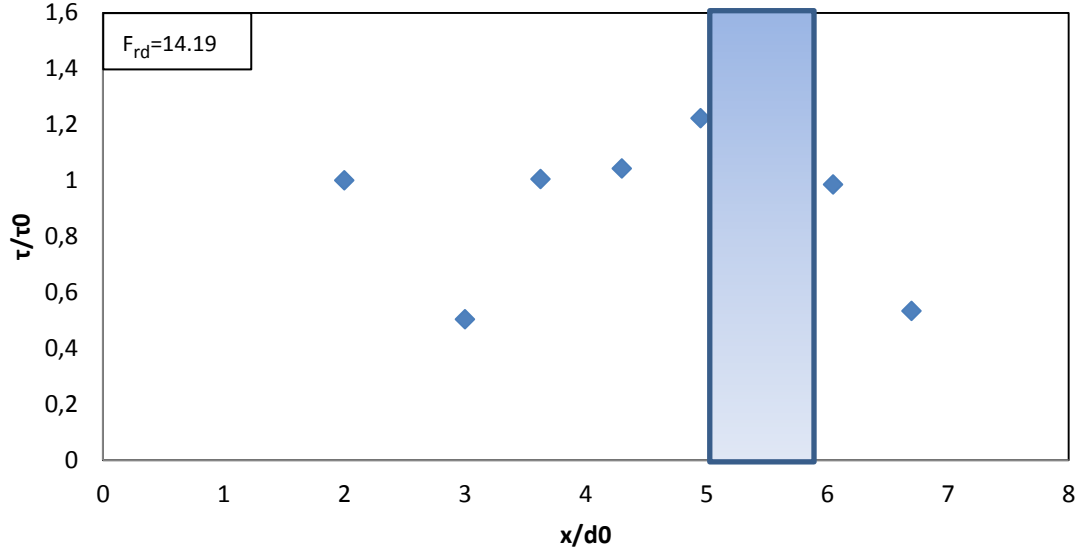
* Kazığa göre 0.7d₀ mesafedeki ölçüm noktası

Çizelge 4.3 Polietilen Tabanda elde edilen kayma gerilmeleri (Düzlem taban T=9000 s)

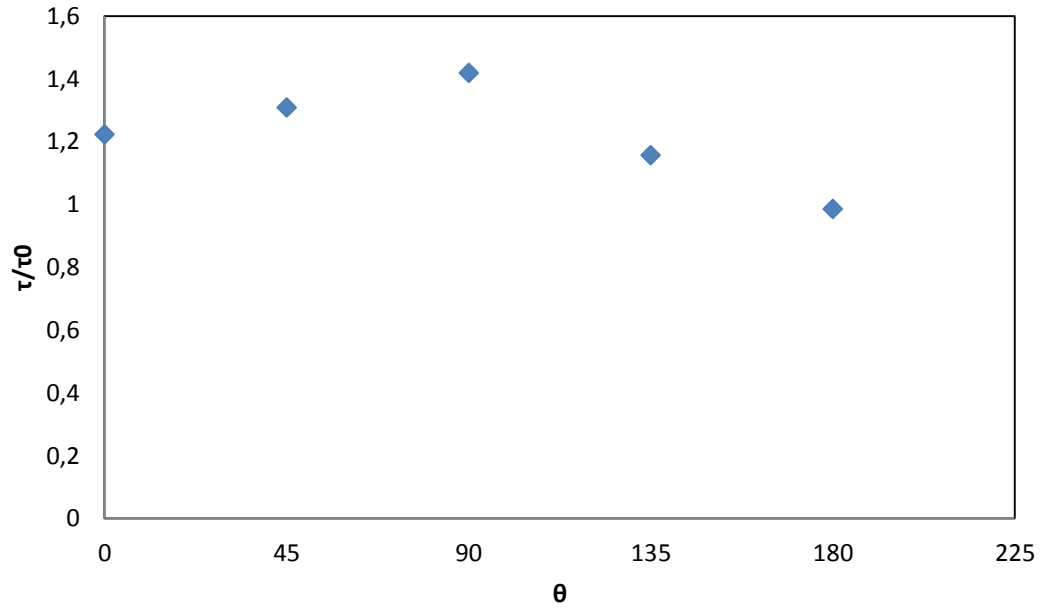
x/d_0	D₀	D₁	D₂	D₃	D₄ (0°)	D₅ (45°)	D₆ (45°)*	D₇ (90°)	D₈ (90°)*	D₉ (135°)	D₁₀ (135°)*	D₁₁ (180°)	D₁₂ (180°)
Deney No	2	3.3	3.85	4.35	4.95	-	-	-	-	-	-	6.10	6.625
1	5.28	2.715	6.51	5.747	3.391	5.719	6.099	6.351	2.973	5.606	5.465	6.428	2.851
2	5.491	2.742	5.973	5.526	3.389	5.896	6.434	5.751	3.015	5.565	5.313	7.203	2.949
3	-	2.738	6.207	5.776	3.392	5.947	5.554	6.841	2.825	5.579	5.122	-	2.9
4	-	2.712	6.397	5.362	3.408	6.217	5.538	6.073	3.026	5.56	5.142	-	-
5	-	2.718	-	5.255	3.395	5.679	6.247	-	3.013	-	5.292	-	-
τ_{ort}	5.3855	2.72	6.27	5.53	3.4	5.89	5.97	6.25	2.97	5.58	5.27	6.81	2.9
τ/τ_0	1	0.51	1.16	1.03	0.63	1.09	1.11	1.16	0.55	1.04	0.98	1.26	0.54
τ/τ_{kr}	7.28	3.68	8.47	7.47	4.59	7.96	8.07	8.45	4.01	7.54	7.12	9.20	3.92

Not: Burada τ : N/m², Dp: 100 mm, U₀=560 rpm (1.07 m/s), Re_{akım}: 106645, τ_0 =5.385 N/m², τ_{kr} =0.74 N/m² olarak alınmıştır.

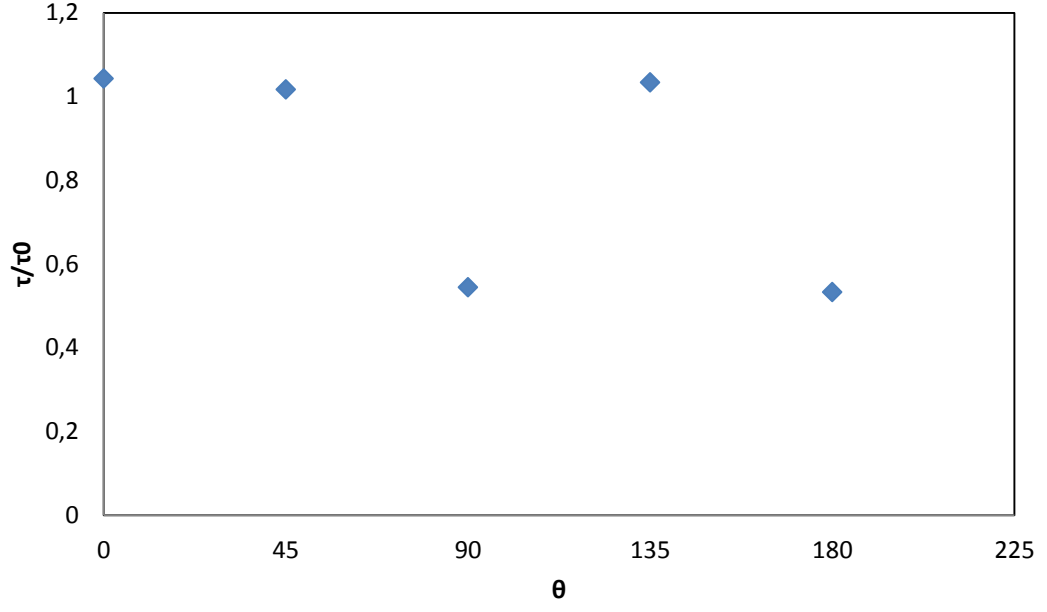
* Kazığa göre 0.63d₀ mesafedeki ölçüm noktası



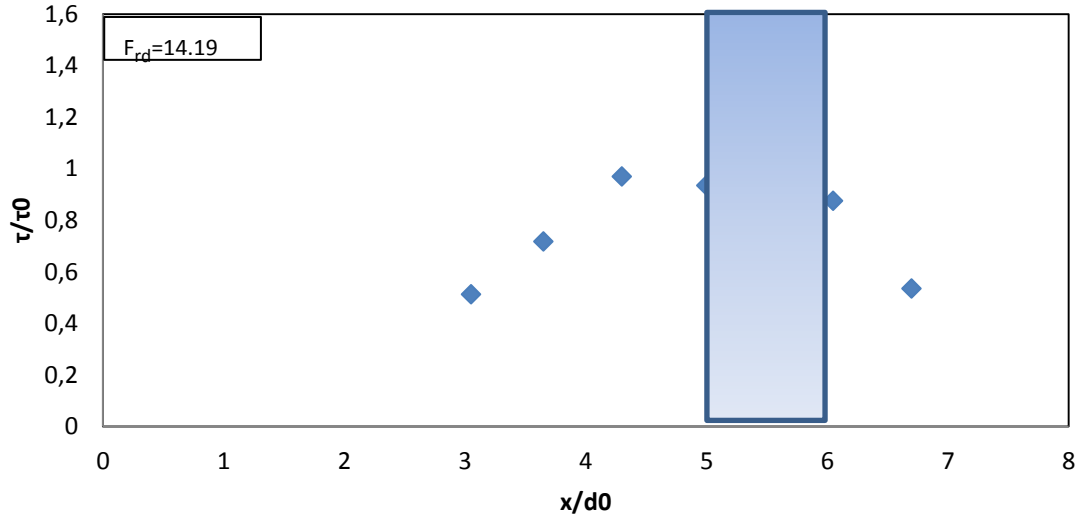
Şekil 4.2 T=0 anında eksen üzerinde taban kayma gerilmesi değişimi



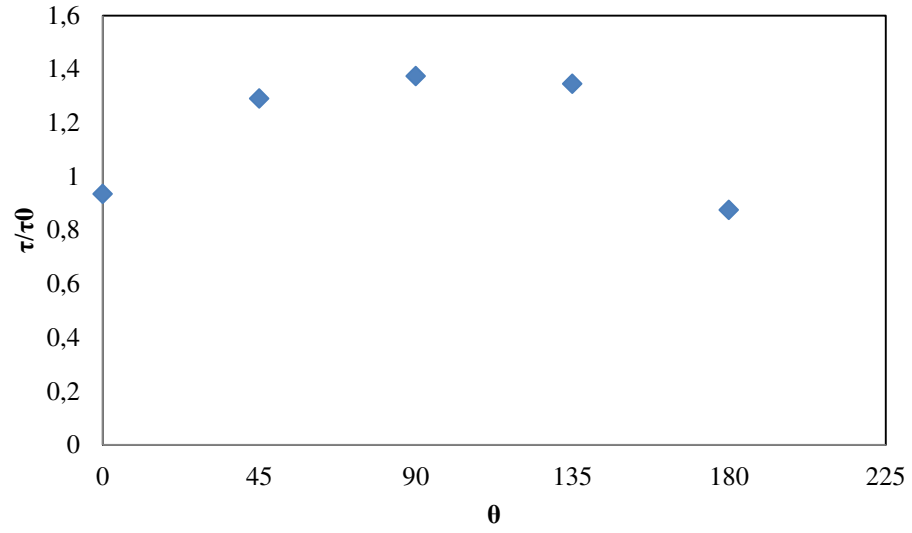
Şekil 4.3 T=0 anında kazık etrafındaki taban kayma gerilmesi değişimi



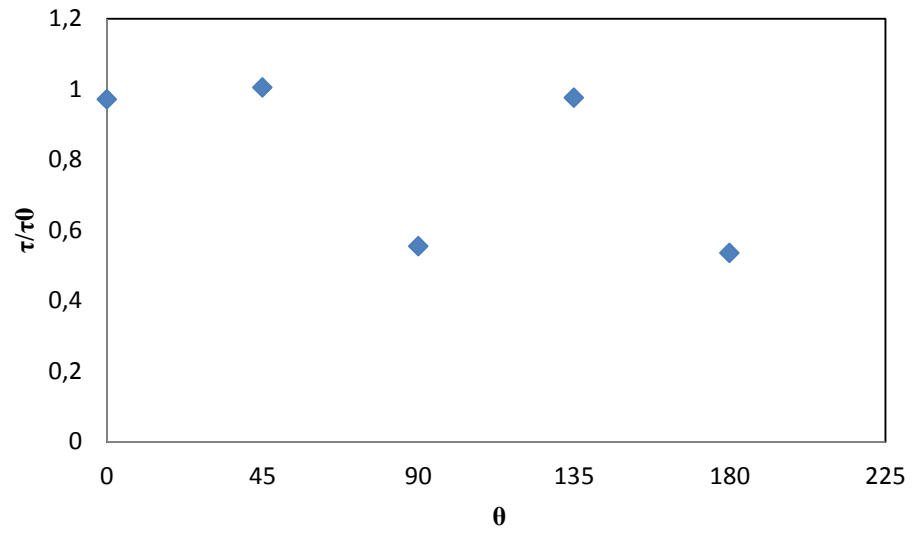
Şekil 4.4 T=0 anında kazıktan 0.7d₀ uzaklıkta taban kayma gerilmesi değişimi



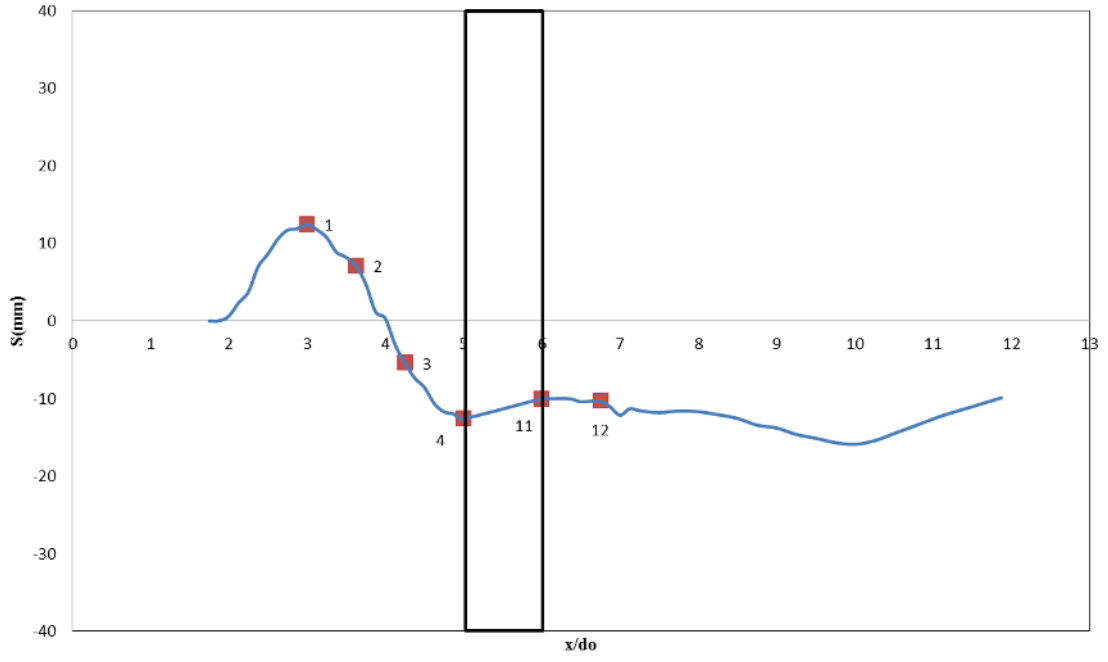
Şekil 4.5 T=600 s anında eksen üzerinde taban kayma gerilmesi değişimi



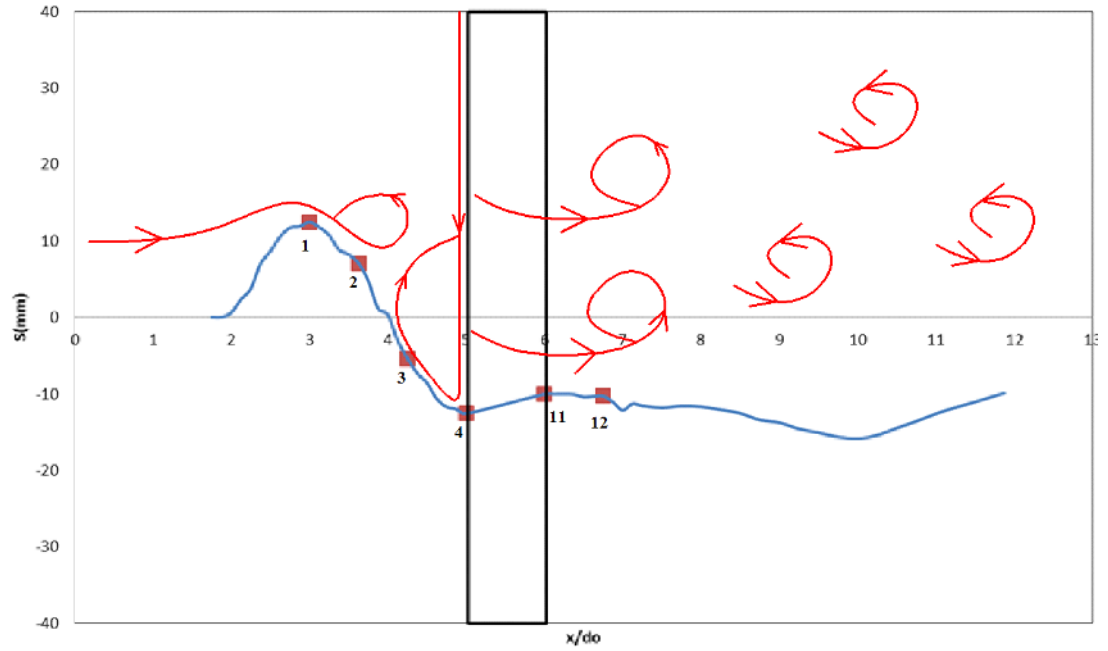
Şekil 4.6 T=600 s anında kazık etrafındaki taban kayma gerilmesi değişimi



Şekil 4.7 T=600 s anında kazıktan $0.7d_0$ uzaklıkta taban kayma gerilmesi değişimi

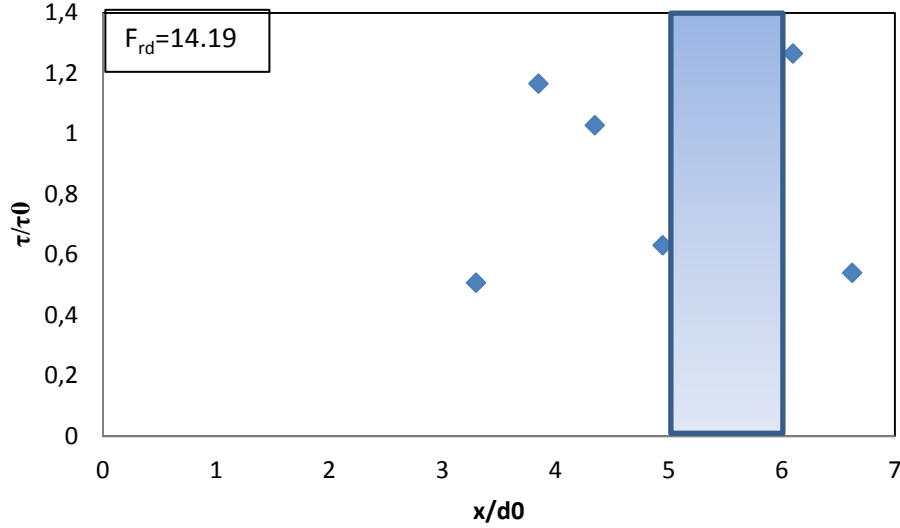


Şekil 4.8 $T=600$ s için oyulma geometrisi ve kayma gerilmesi ölçüm konumları



Şekil 4.9 $T=600$ s oyulma geometrisi ve akım yapısı

Oyulmanın denge haline ulaştığı 9000s sonunda dondurulmuş oyulma çukuru üzerindeki kayma gerilmesi değişimleri Şekil 4.10, Şekil 4.11 ve Şekil 4.12’de verilmiştir. Jet eksenini boyunca kayma gerilmesi değişimi Şekil 4.10’da gösterilmiştir.



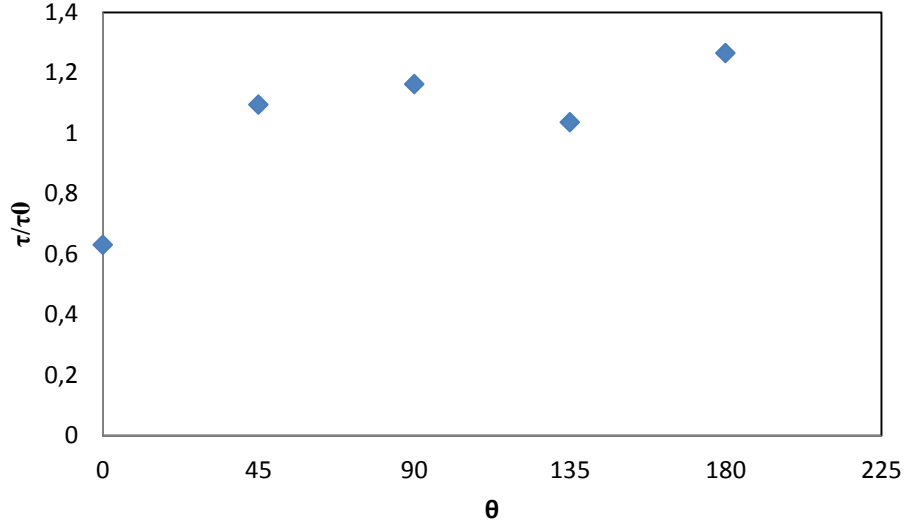
Şekil 4.10 T=9000 s anında eksen üzerinde taban kayma gerilmesi değişimi

Bu durumda jet eksenini boyunca kazığın menba tarafında kayma gerilmesi $x/d_0 = 3.8$ 'de en büyük değere sahiptir. Bunun nedeni oyulma geometrisi ile kayma gerilmesi ölçüm konumlarının gösterildiği Şekil 4.13 ve akım yapısının şematik olarak gösterildiği Şekil 4.14 yardımıyla açıklanabilir. $x/d_0 = 3.8$ 'de Şekil 4.14'den görüldüğü gibi kazığın menbasındaki kum eşiğinin tepesinin arka tarafında vorteks çifti etkin olmaktadır. Bu vorteks çiftleri kayma gerilmesini arttırmaktadır. T=9000 s'de kazığın menbasındaki kum eşiği daha fazla gelişmiştir. Bu konumdan kazığa doğru kayma gerilmesi ani olarak düşmektedir. Kazığın hemen menbasındaki ($x/d_0 = 5$) kayma gerilmesi T=0 ve T=600 s'e göre daha da azalmıştır ve başlangıç değerinin altına inmiştir ($\tau = 0.6\tau_0$). Bu durum oyulma mekanizmasının artık denge koşullarına ulaştığını göstermektedir. Oyulma çukurunda büyüyen vortekslerin şiddetleri azalmıştır.

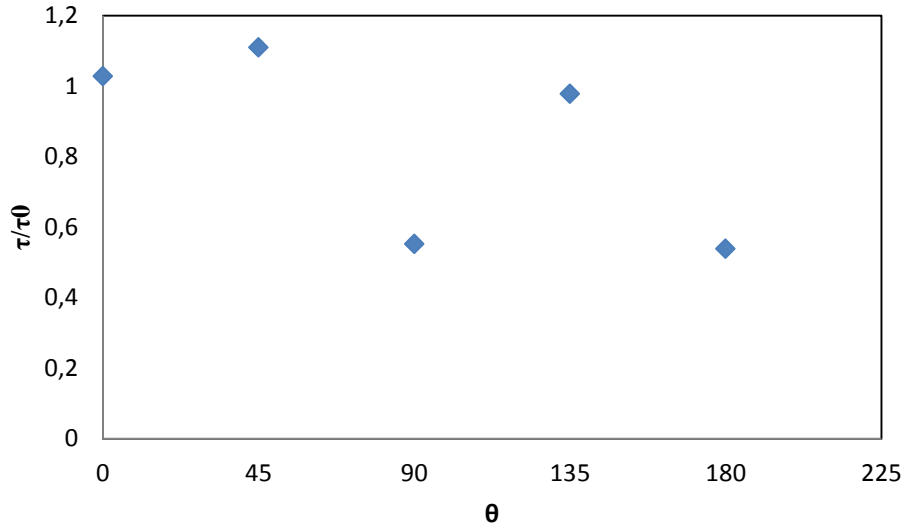
Şekil 4.11'de ise T=9000 s için kazık etrafındaki kayma gerilmesinin değişimi gösterilmiştir. Bu durumda T=0 ve 600 s'e göre benzer değişim göstermesi ile birlikte kayma gerilmeleri azalmıştır ancak kazığın hemen mansabında kayma gerilmesinde ($\theta = 180^\circ$) artış söz konusudur. Bunun nedeni gelişen art-iz vorteks sistemi ile mansaptaki duvar jeti akımıdır.

Şekil 4.12'de ise kazık etrafından $0.63d_0$ kadar uzaktaki kayma gerilmelerinin değişimi gösterilmiştir. Bu durumda kayma gerilmeleri kazık etrafına göre azalmakla birlikte

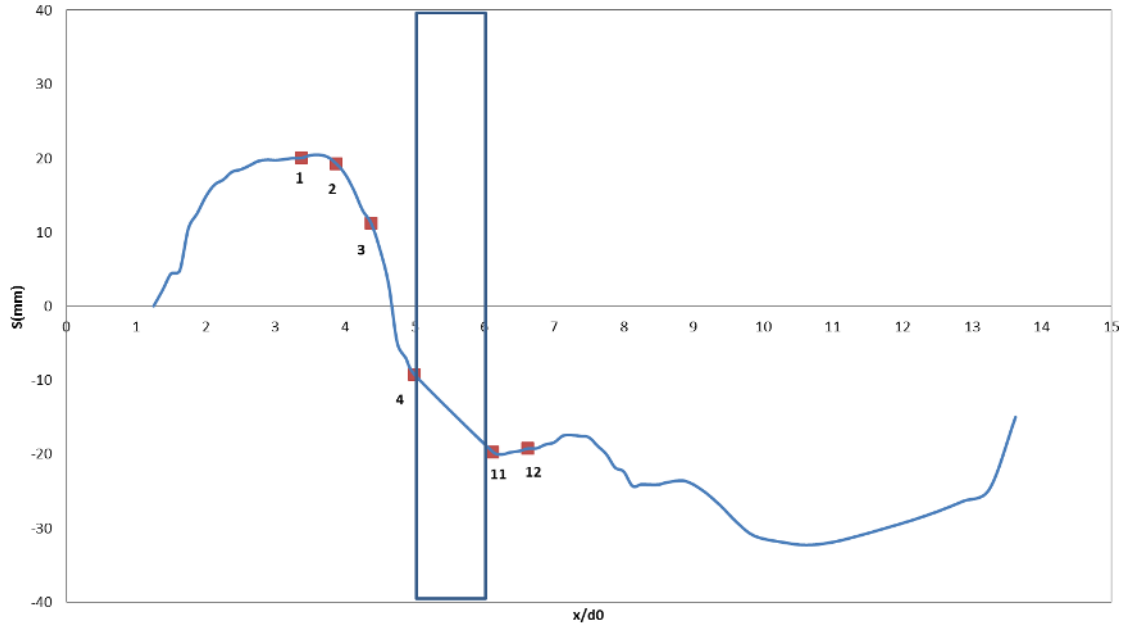
$T=0$ ve 600 's de olduğu gibi en büyük kayma gerilmesi bu mesafede 45° 'ye kaymıştır. Oyulma geometrisi ise mansapta giderek artmıştır.



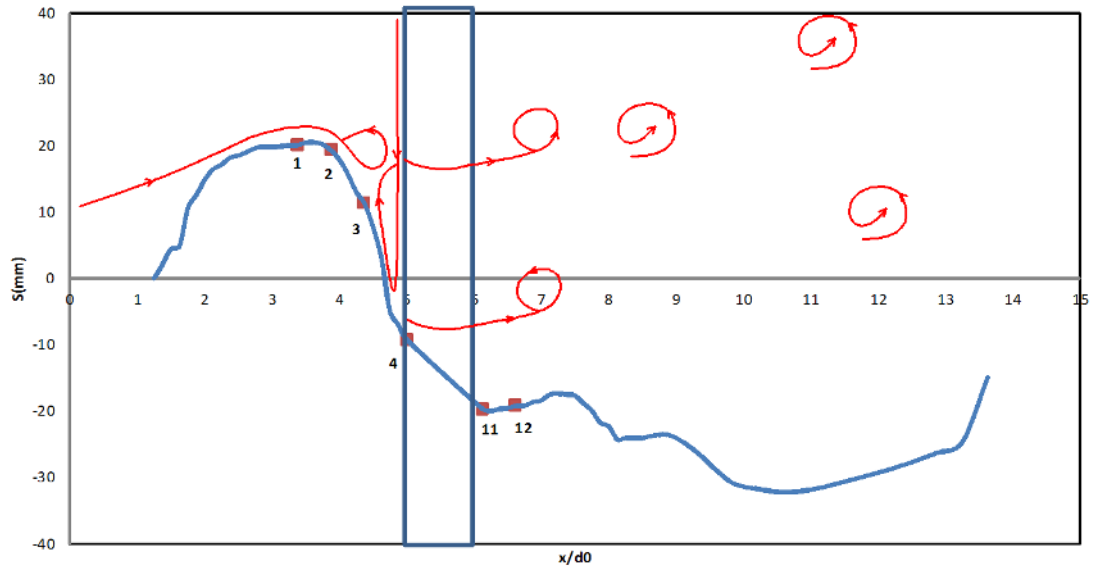
Şekil 4.11 $T=9000$ s anında kazık etrafındaki taban kayma gerilmesi değişimi



Şekil 4.12 $T=9000$ s anında kazıktan $0.63d_0$ uzaklıkta taban kayma gerilmesi değişimi



Şekil 4.13 $T=9000$ s için oyulma geometrisi ve kayma gerilmesi ölçüm konumları



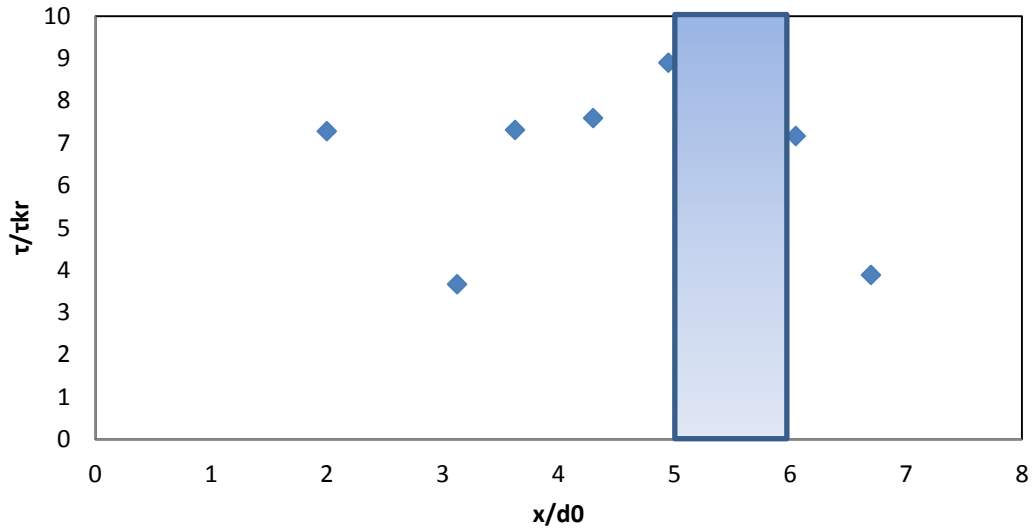
Şekil 4.14 $T=9000$ s için oyulma geometrisi ve akım yapısının şematik gösterimi

Ayrıca memba ve mansaptaki ölçümler, Van Rijn (1993) tarafından düzlem taban için önerilen aşağıdaki ifade kullanılarak elde edilen kritik taban kayma gerilmesi ($\tau_{kr}=0.74 \text{ N/m}^2$) ile boyutsuzlaştırılmıştır.

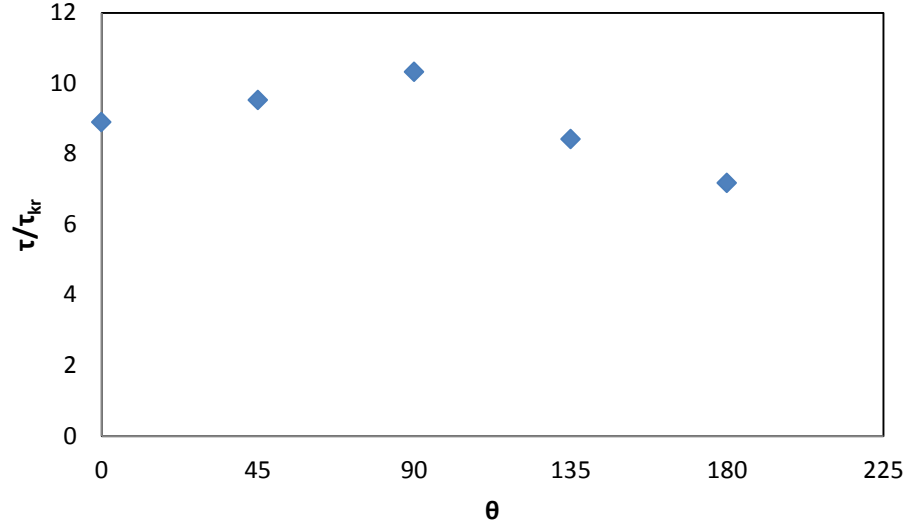
$$\tau_{kr} = 0.013 \left[(\rho_s - \rho) g d_{50} \right] \left\{ \left[(\rho_s / \rho - 1) g / \nu^2 \right]^{1/3} d_{50} \right\}^{0.29} \quad (4.1)$$

Kayma gerilmesi hesaplanırken $\rho_s = 2650 \text{ kg/m}^3$, $\rho = 1650 \text{ kg/m}^3$, $\nu = 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$, $d_{50} = 1.28 \text{ mm}$ olarak dikkate alınmıştır.

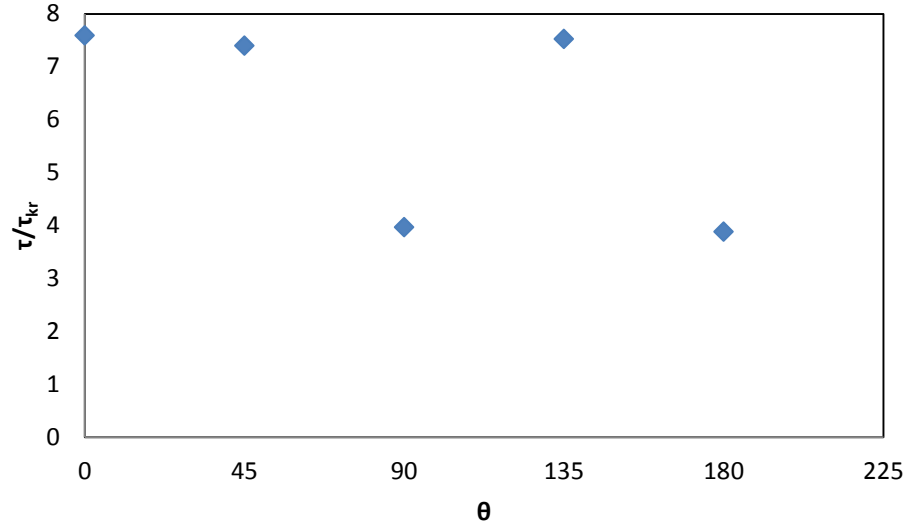
Çizelge 4.1, Çizelge 4.2 ve Çizelge 4.3'te $T=0$, 600 ve 9000 s için elde edilen τ/τ_{kr} değerleri özetlenmiştir. $T=0$ s'de kazığın hemen menbasında ($x=5d_0$) $\tau=8.89\tau_{kr}$ değerine ulaşmıştır. Kazıktan uzaklaştıkça kayma gerilmesi değeri azalmaktadır. Kazık etrafında ise 90° 'de 10.32 katına ulaşmıştır. 9000 s'de kayma gerilmesi değerleri azalmakla birlikte halen kritik kayma gerilmesinin üstünde değerler almaktadır. $T=0$, 600 ve 9000 s için sırasıyla τ/τ_{kr} değişimi Şekil 4.15 - Şekil 4.23'te verilmiştir.



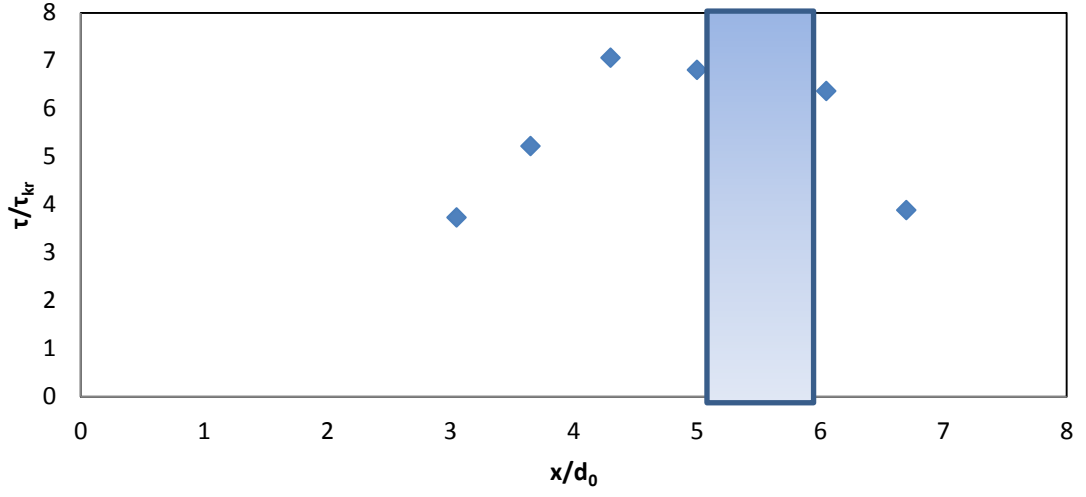
Şekil 4.15 $T=0$ için jet eksenı boyunca τ/τ_{kr} değışimi



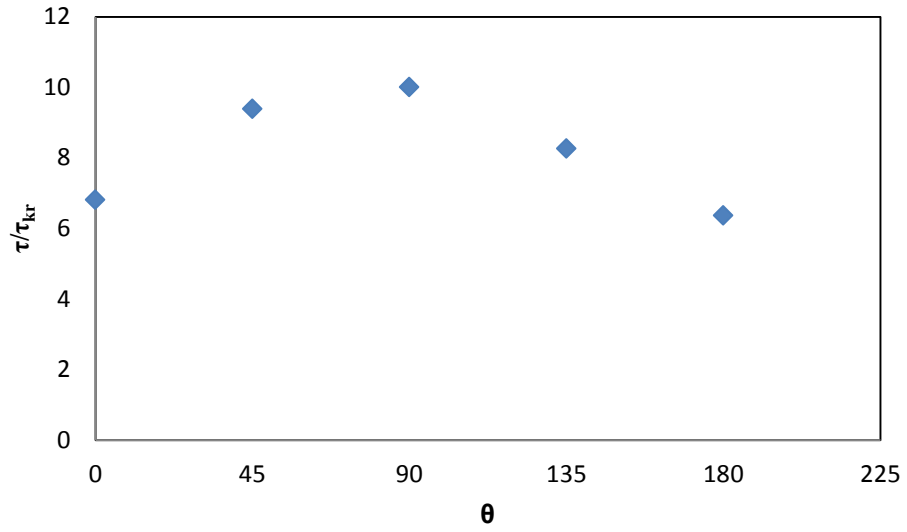
Şekil 4.16 $T=0$ için kazık etrafında τ/τ_{kr} değişimi



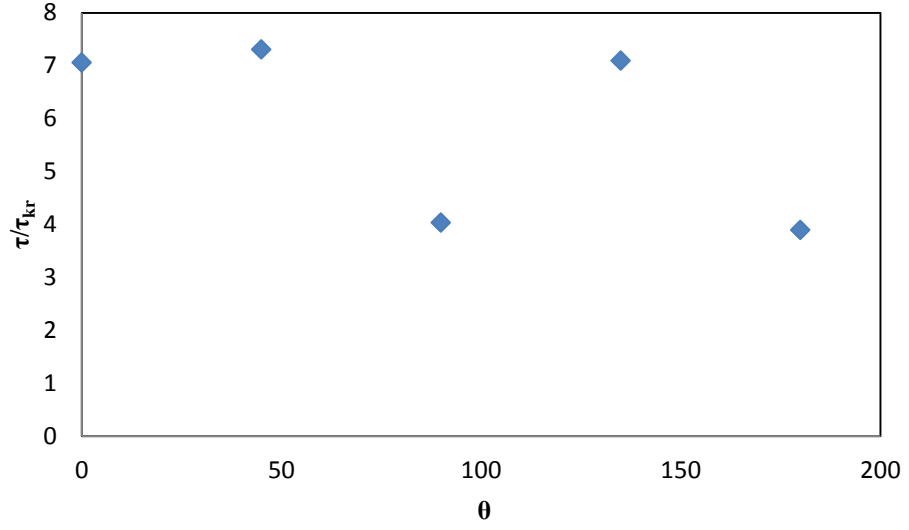
Şekil 4.17 $T=0$ için kazıktan $0.7d_0$ uzaklıkta τ/τ_{kr} değişimi



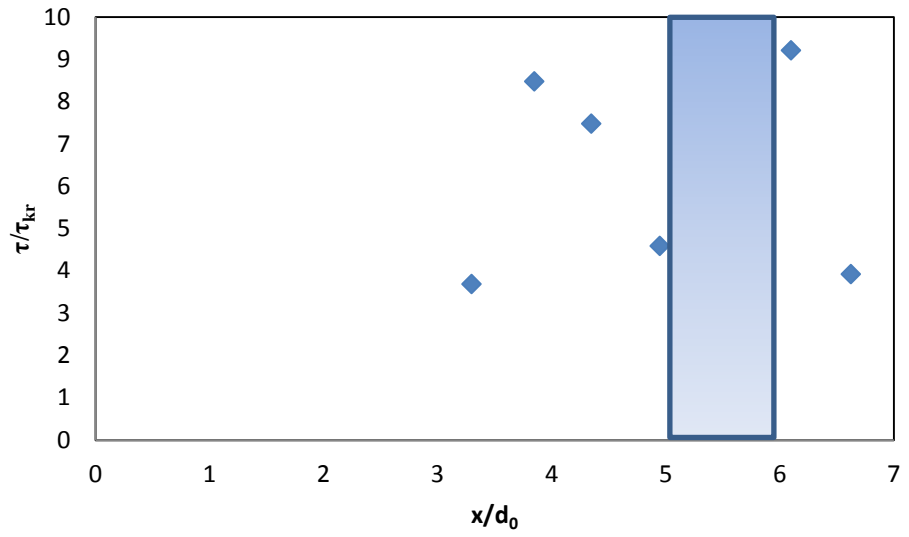
Şekil 4.18 $T=600$ için jet eksenı boyunca τ/τ_{kr} değışimi



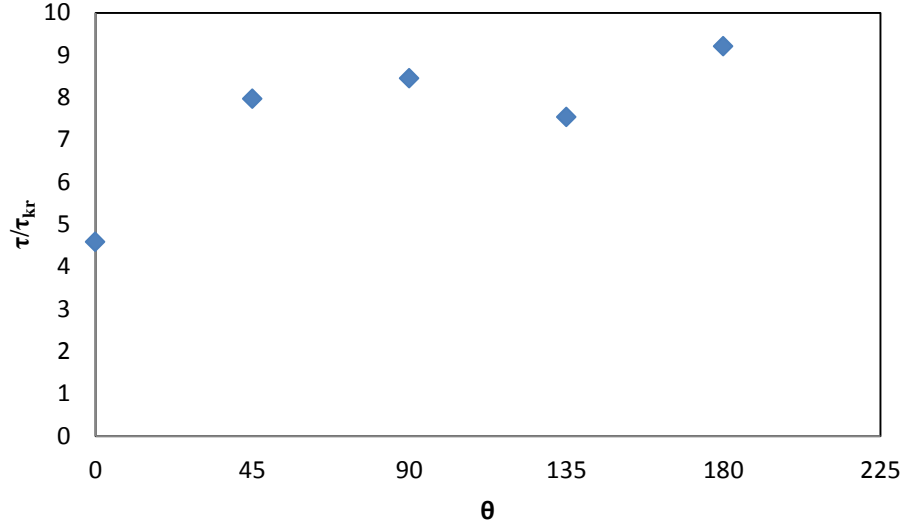
Şekil 4.19 $T=600$ için kazık etrafında τ/τ_{kr} değışimi



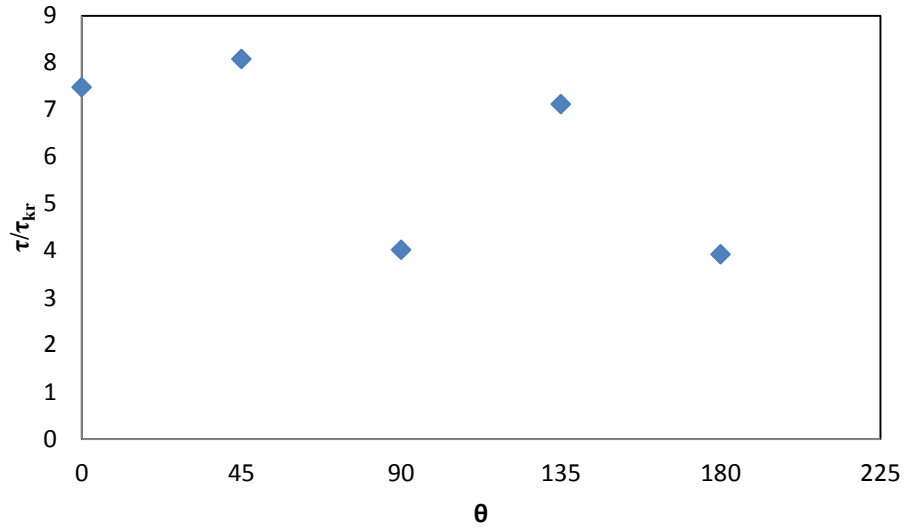
Şekil 4.20 T=600 için kazıktan $0.7d_0$ uzaklıkta τ/τ_{kr} değişimi



Şekil 4.21 T=9000 için jet eksenı boyunca τ/τ_{kr} değişimi



Şekil 4.22 T=9000 için kazık etrafında τ/τ_{kr} değişimi



Şekil 4.23 T=9000 için kazıktan $0.63d_0$ uzaklıkta τ/τ_{kr} değişimi

4.3 Açık tip rıhtımlarda pervane jetinin hidrodinamiği

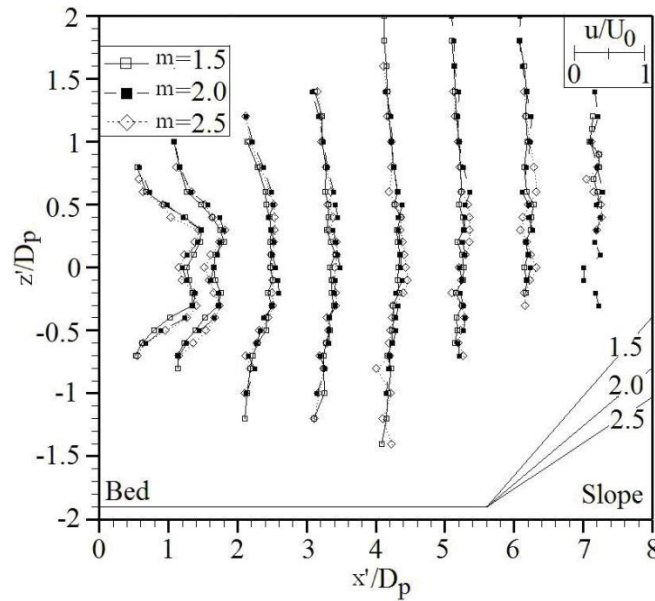
Çalışmanın bu bölümünde açık tipten rıhtım inşaatlarında olduğu gibi şevli yapılarda kazık etrafındaki akım yapısı araştırılmıştır. İskele gibi yapılarda bölüm 4.1 ve 4.2’de açıklanan kazık etrafındaki akım, kazık etrafında “oyulma” problemi yaratırken şevli açık tipten rıhtımlarda kazık etrafında ve şevde “stabilite” problemi yaratmaktadır. Bu amaçla şevli açık tip rıhtımı benzeştiren, şev topuğunda kazığın bulunduğu modelde

pervane jetinin yarattığı hız dağılımı ve taban kayma gerilmeleri ölçülerek hidrodinamik yapı incelenmiştir.

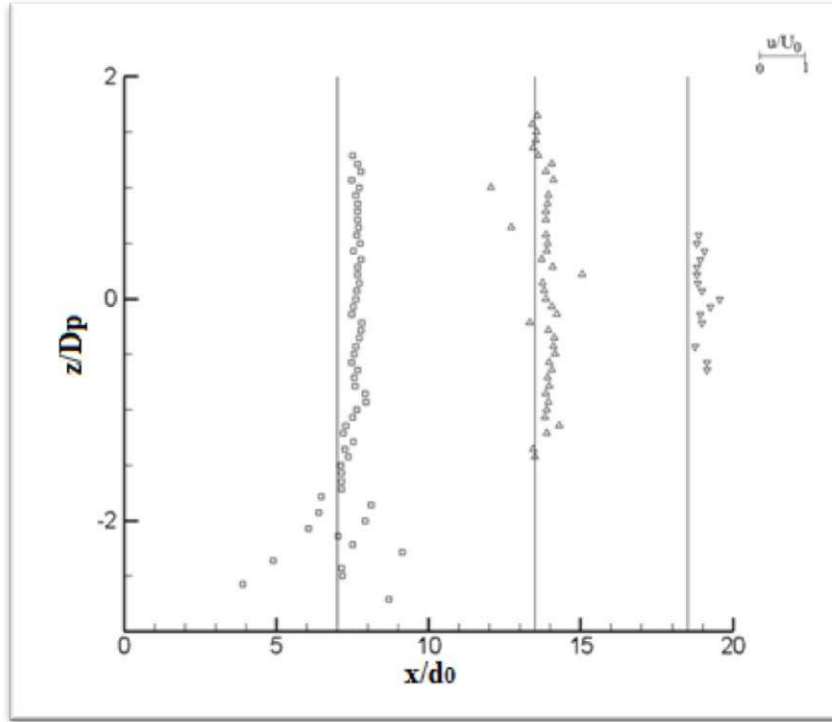
4.3.1 Hız profillerinin değişimi

Öncelikle pervane önündeki hız dağılımı ADV yardımıyla ölçülmüştür. Şekil 4.24'te görüldüğü gibi hız dağılımı çift tepelidir ve bu hali ile literatürde tanımlanan hız dağılımı ile uyumludur. Pervaneden uzaklaştıkça hız dağılımındaki bu çift tepelilik ortadan kalkmaktadır ve önce gauss dağılımına daha sonra tabanla etkileşimle birlikte bir duvar jetine dönüşmektedir.

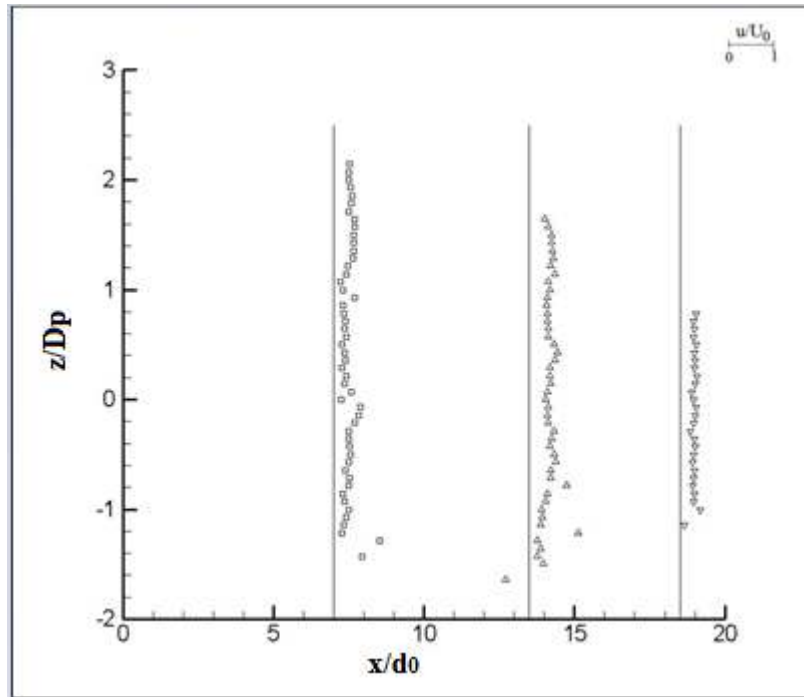
Bu çalışmada kazığın mansabında ve şevli yapıdaki düşey hız dağılımları ölçülerek belirlenmiştir. Şekil 4.25'den Şekil 4.51'e kadar farklı pervane çapı, pervane hızı ve şev eğimlerindeki düşey hız dağılımları farklı konumlarda verilmiştir. Mansap hız dağılımları oldukça üniform bir karakterdir. Küçük pervane çapında x/d_0 konumunda $z/D_p < -1.5$ 'de geri dönüş akımları gözlenmesine karşın büyüyen pervane çapı ve hızı ile bu görünüm ortadan kalkmaktadır ve hız dağılımı üniform karaktere sahip olmaktadır. Bunun nedeni bu bölgede şevden geri dönen akım ve yarattığı hayli gelişmiş türbülanstır.



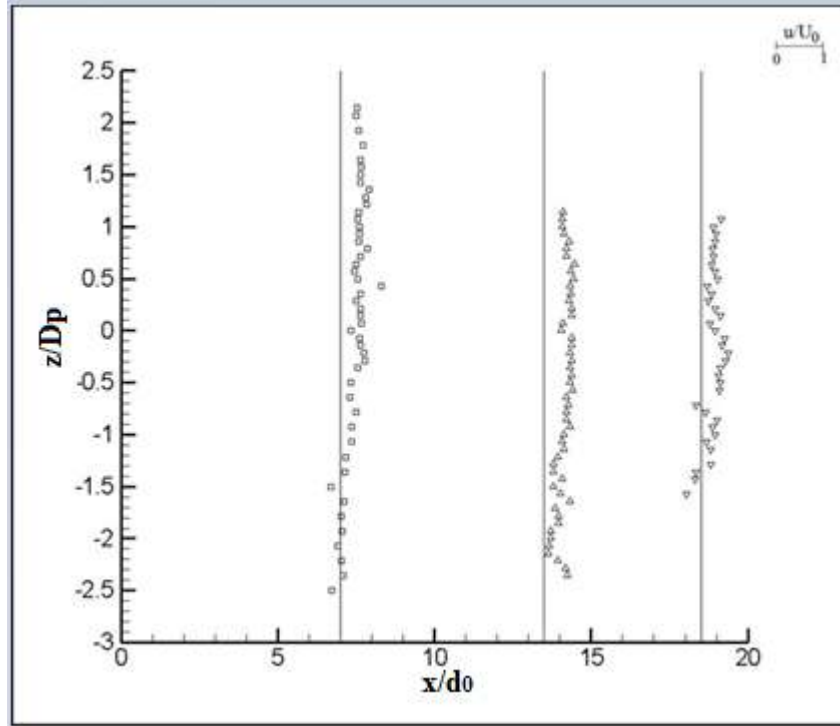
Şekil 4.24 Farklı şev eğimlerinde pervane jetine ait hız profilleri [29]



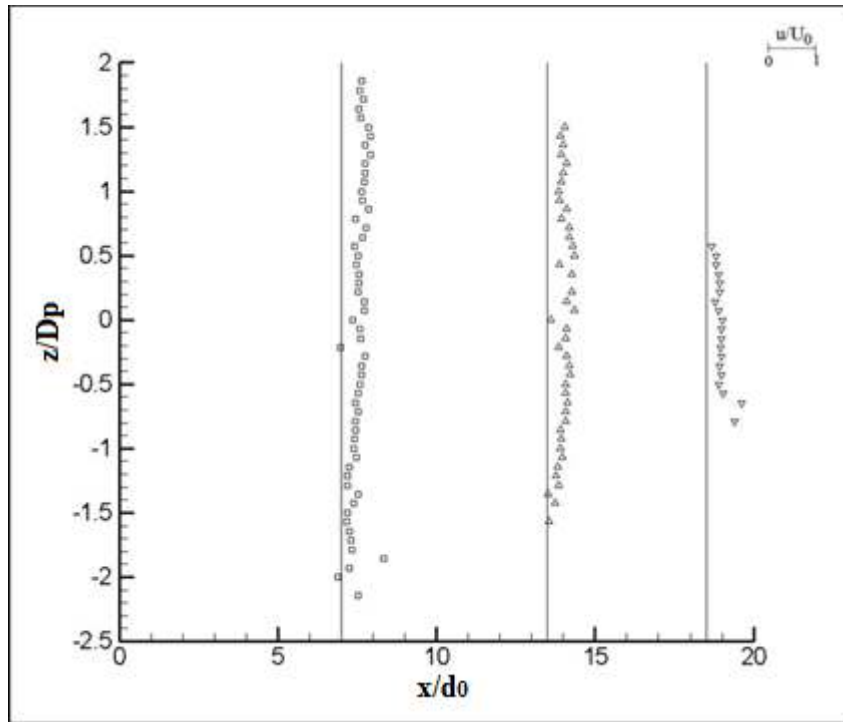
Şekil 4.25 $D_p=70$ mm çaplı pervane durumunda 560 rpm dönüş hızı için kazık mansabında hız dağılımları ($m_1=1:1.5$)



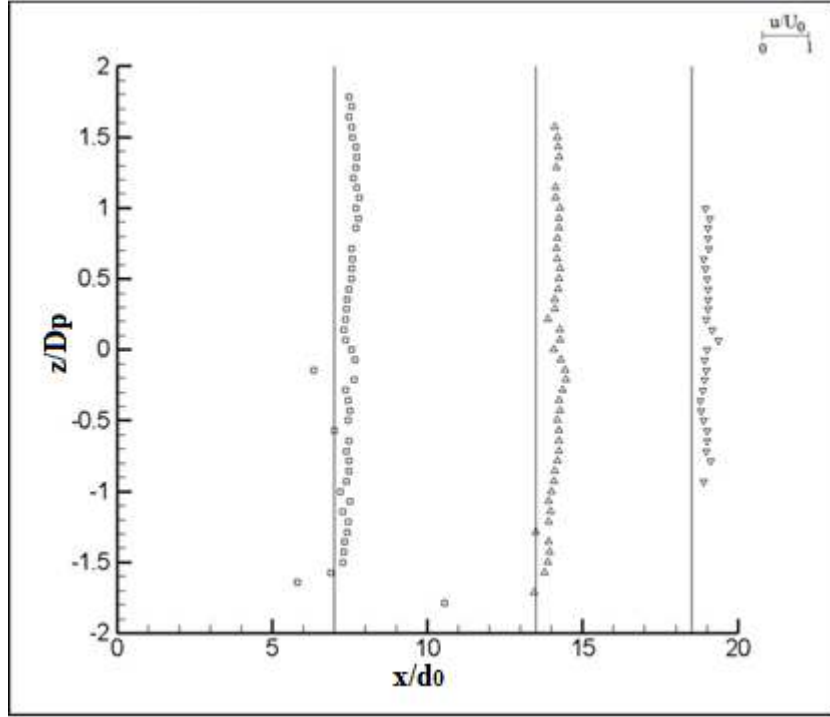
Şekil 4.26 $D_p=70$ mm çaplı pervane durumunda 560 rpm dönüş hızı için kazık mansabında hız dağılımları ($m_2=1:2$)



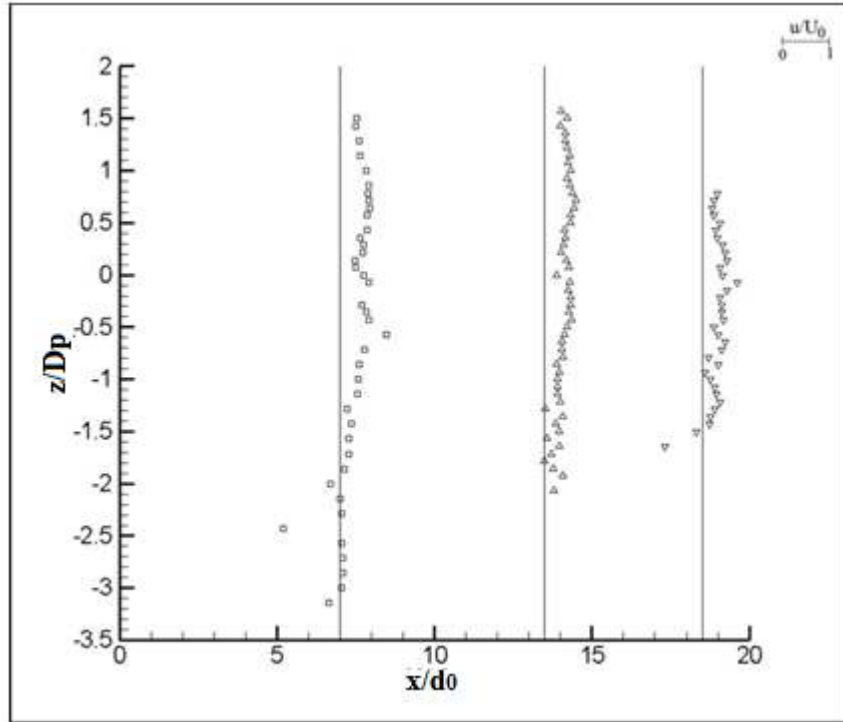
Şekil 4.27 $D_p=70$ mm çaplı pervane durumunda 560 rpm dönüş hızı için kazık mansabında hız dağılımları ($m_3=1:2.5$)



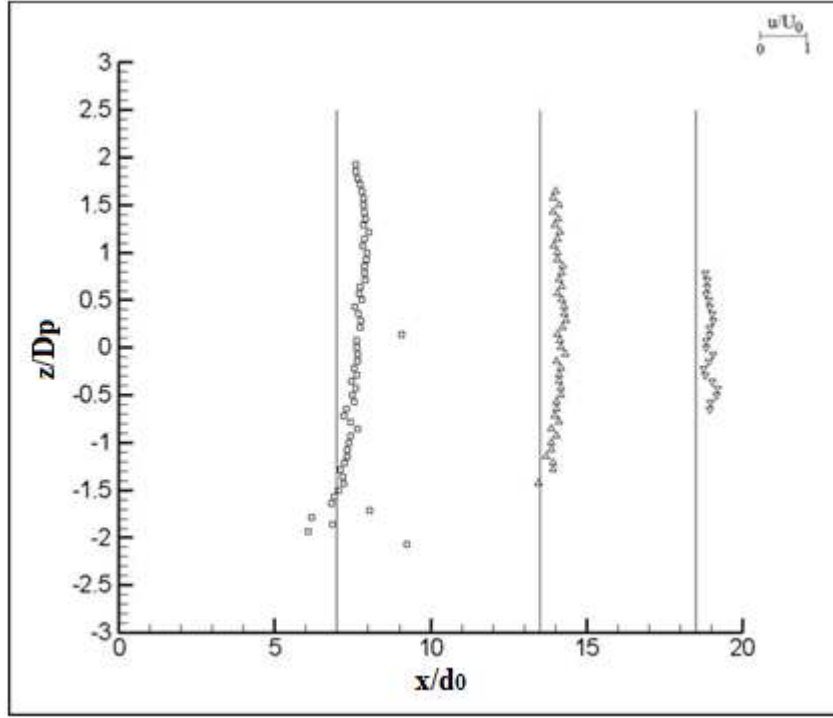
Şekil 4.28 $D_p=70$ mm çaplı pervane durumunda 625 rpm dönüş hızı için kazık mansabında hız dağılımları ($m_1=1:1.5$)



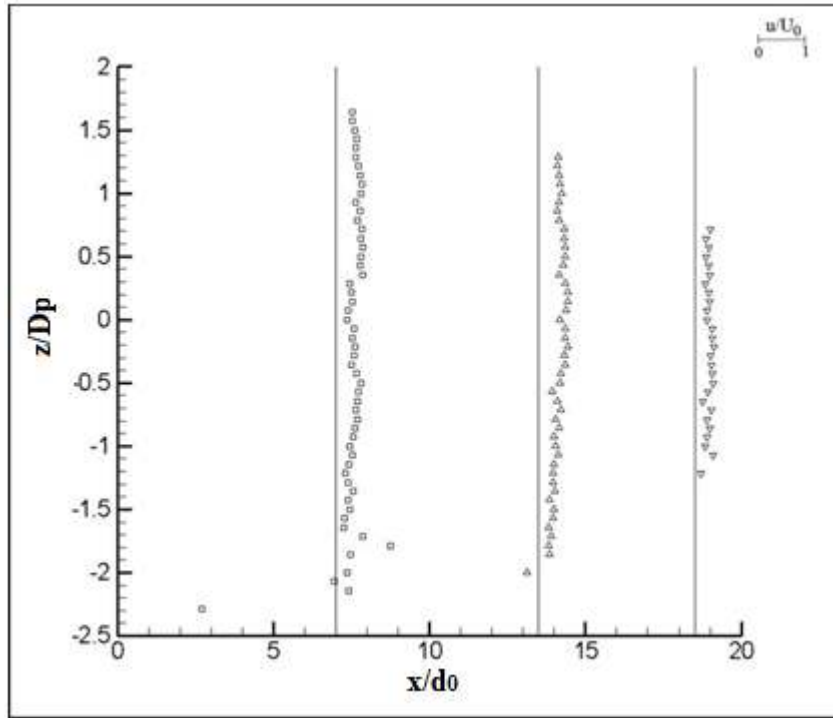
Şekil 4.29 $D_p=70$ mm çaplı pervane durumunda 625 rpm dönüş hızı için kazık mansabında hız dağılımları ($m_2=1:2$)



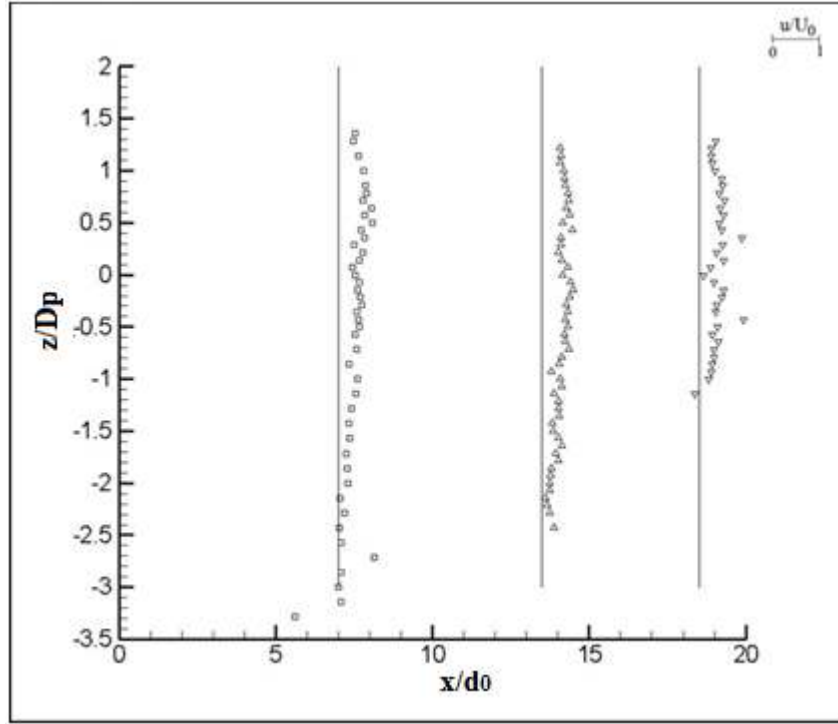
Şekil 4.30 $D_p=70$ mm çaplı pervane durumunda 625 rpm dönüş hızı için kazık mansabında hız dağılımları ($m_3=1:2.5$)



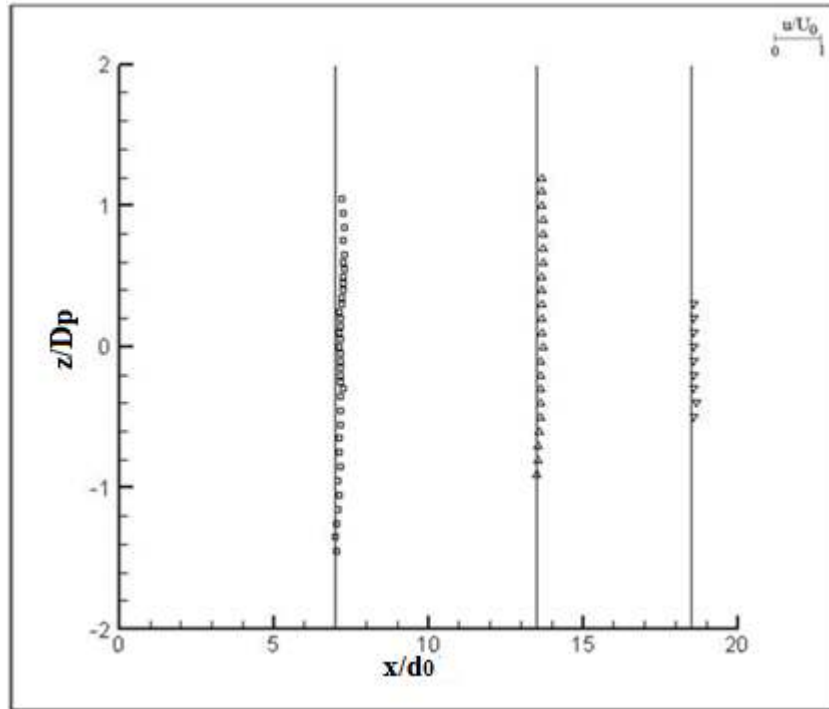
Şekil 4.31 $D_p=70$ mm çaplı pervane durumunda 690 rpm dönüş hızı için kazık mansabında hız dağılımları ($m_1=1:1.5$)



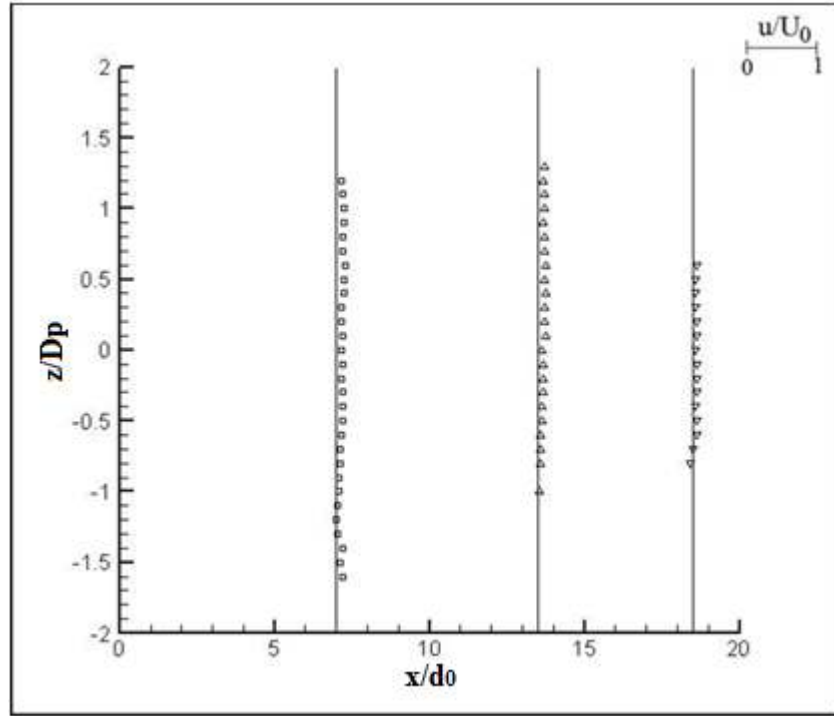
Şekil 4.32 $D_p=70$ mm çaplı pervane durumunda 690 rpm dönüş hızı için kazık mansabında hız dağılımları ($m_2=1:2$)



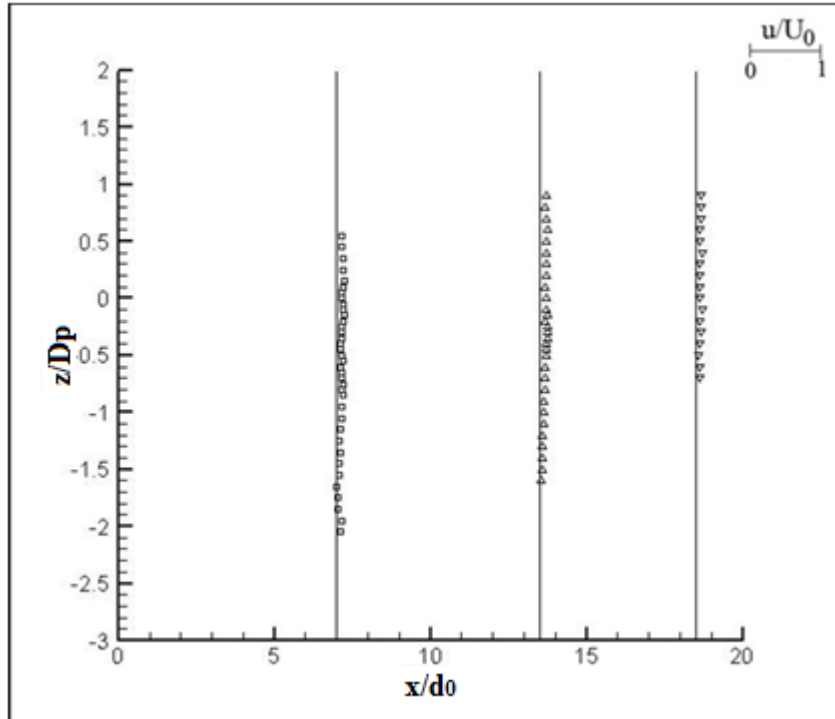
Şekil 4.33 $D_p=70$ mm çaplı pervane durumunda 690 rpm dönüş hızı için kazık mansabında hız dağılımları ($m_3=1:2.5$)



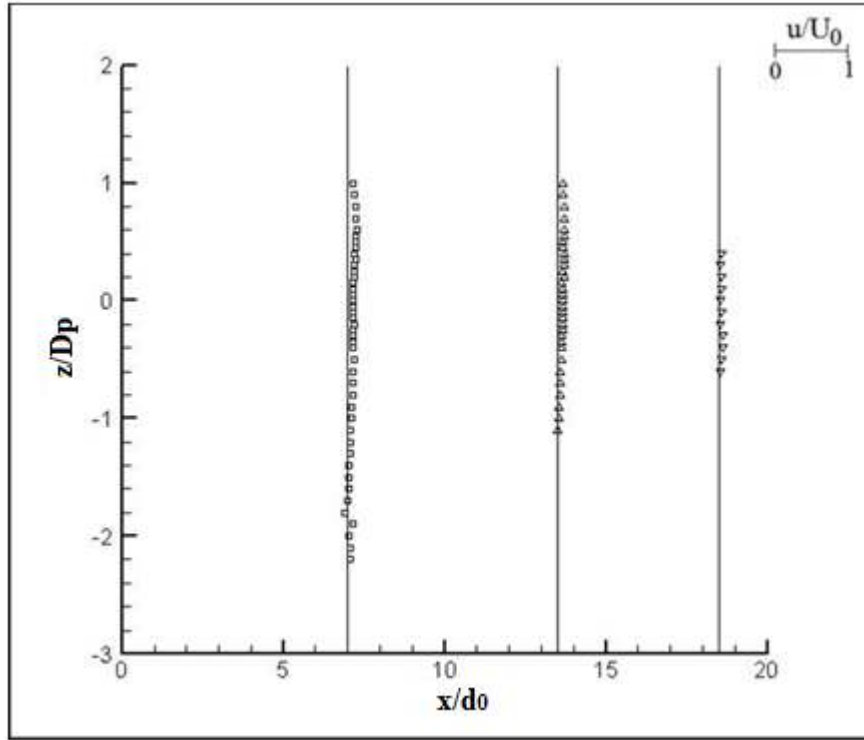
Şekil 4.34 $D_p=100$ mm çaplı pervane durumunda 560 rpm dönüş hızı için kazık mansabında hız dağılımları ($m_1=1:1.5$)



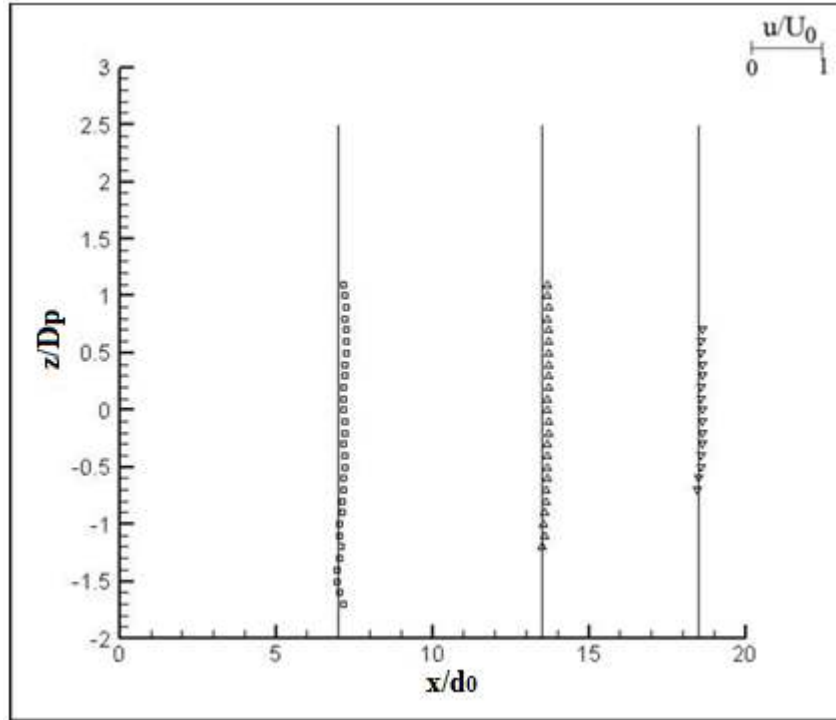
Şekil 4.35 $D_p=100$ mm çaplı pervane durumunda 560 rpm dönüş hızı için kazık mansabında hız dağılımları ($m_2=1:2$)



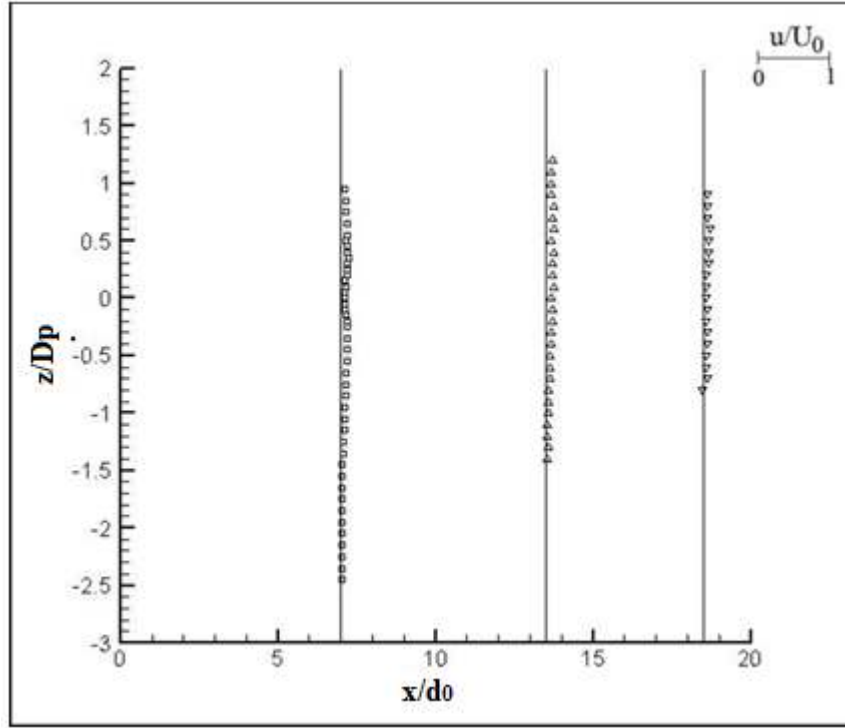
Şekil 4.36 $D_p=100$ mm çaplı pervane durumunda 560 rpm dönüş hızı için kazık mansabında hız dağılımları ($m_3=1:2.5$)



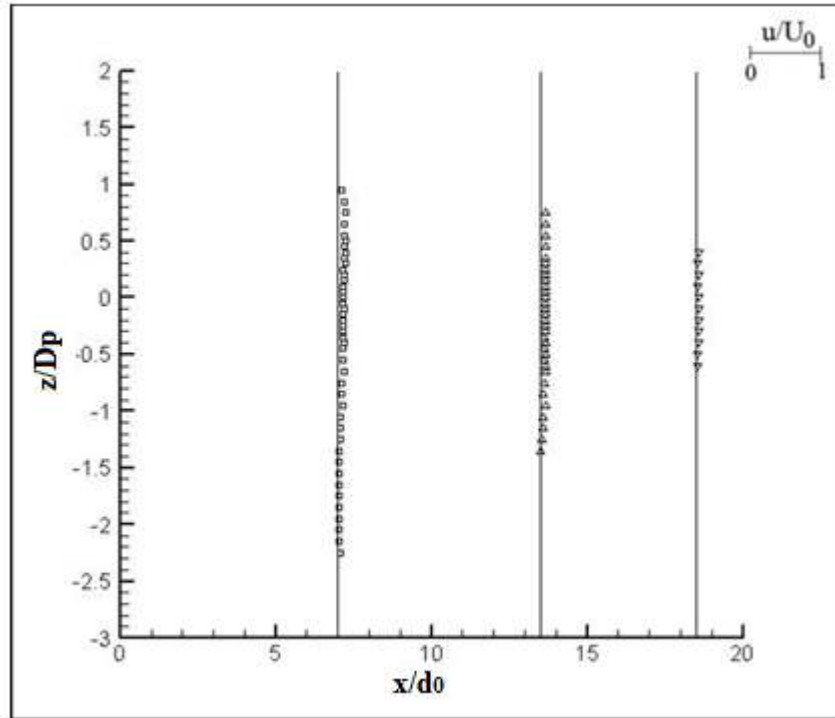
Şekil 4.37 $D_p=100$ mm çaplı pervane durumunda 625 rpm dönüş hızı için kazık mansabında hız dağılımları ($m_1=1:1.5$)



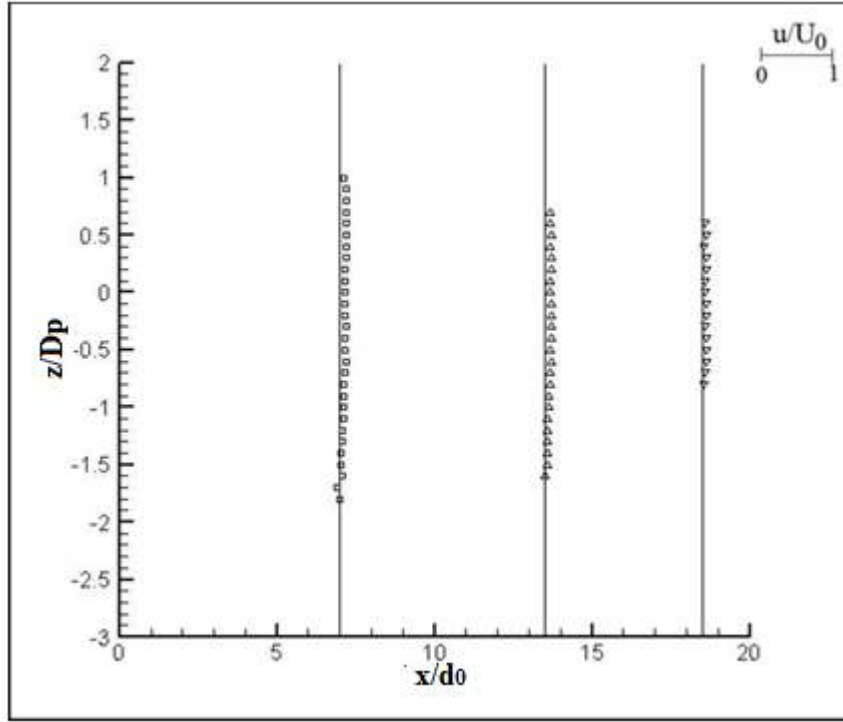
Şekil 4.38 $D_p=100$ mm çaplı pervane durumunda 625 rpm dönüş hızı için kazık mansabında hız dağılımları ($m_2=1:2$)



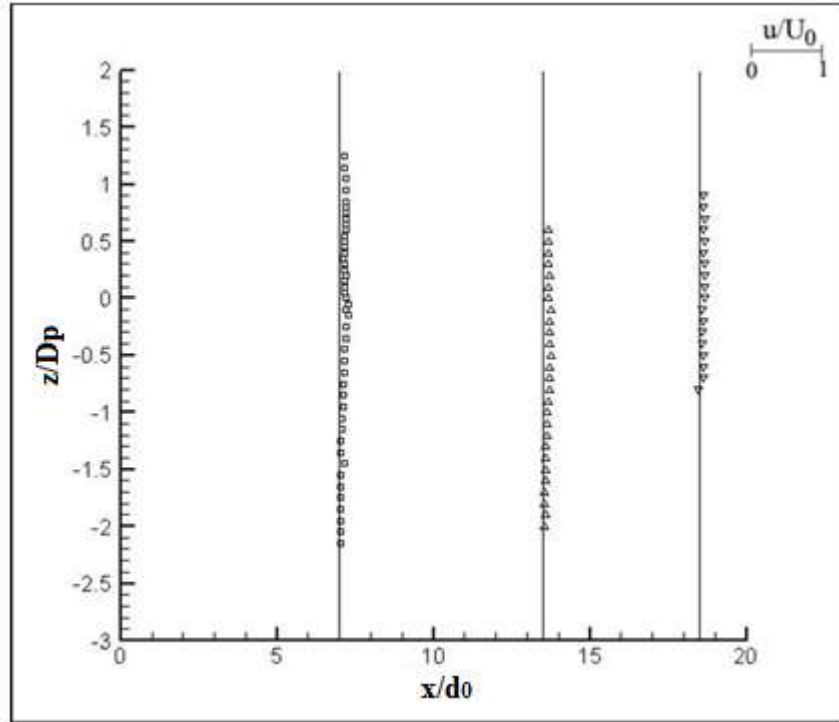
Şekil 4.39 $D_p=100$ mm çaplı pervane durumunda 625 rpm dönüş hızı için kazık mansabında hız dağılımları ($m_3=1:2.5$)



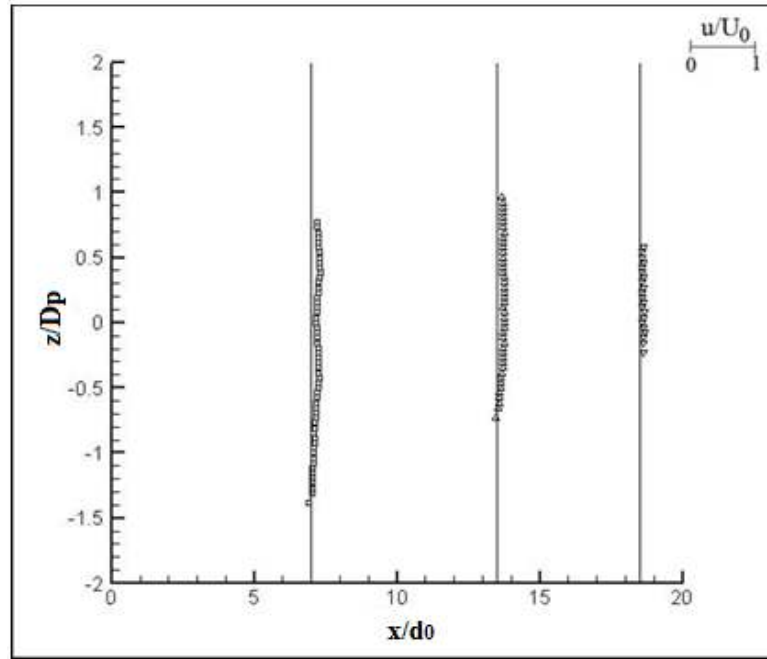
Şekil 4.40 $D_p=100$ mm çaplı pervane durumunda 690 rpm dönüş hızı için kazık mansabında hız dağılımları ($m_1=1:1.5$)



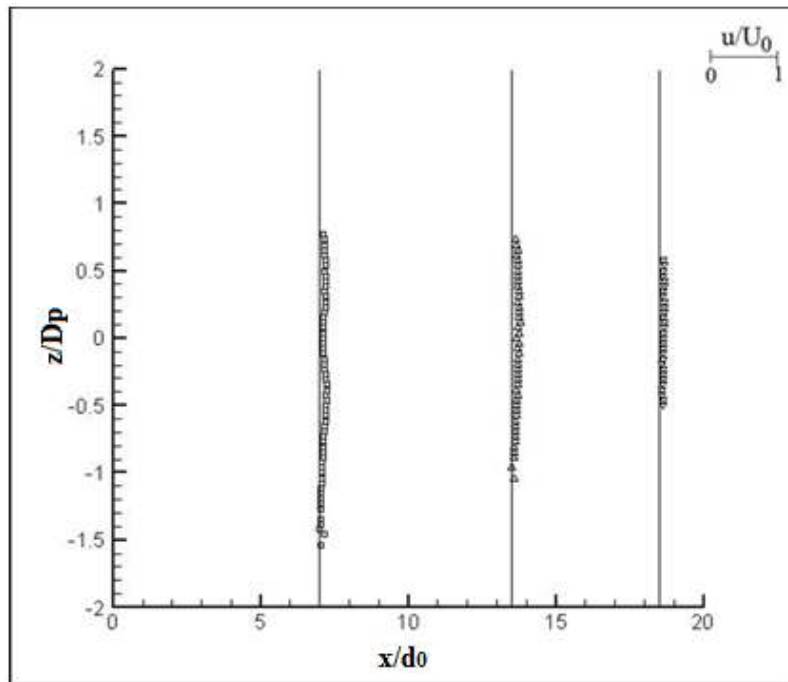
Şekil 4.41 $D_p=100$ mm çaplı pervane durumunda 690 rpm dönüş hızı için kazık mansabında hız dağılımları ($m_2=1:2$)



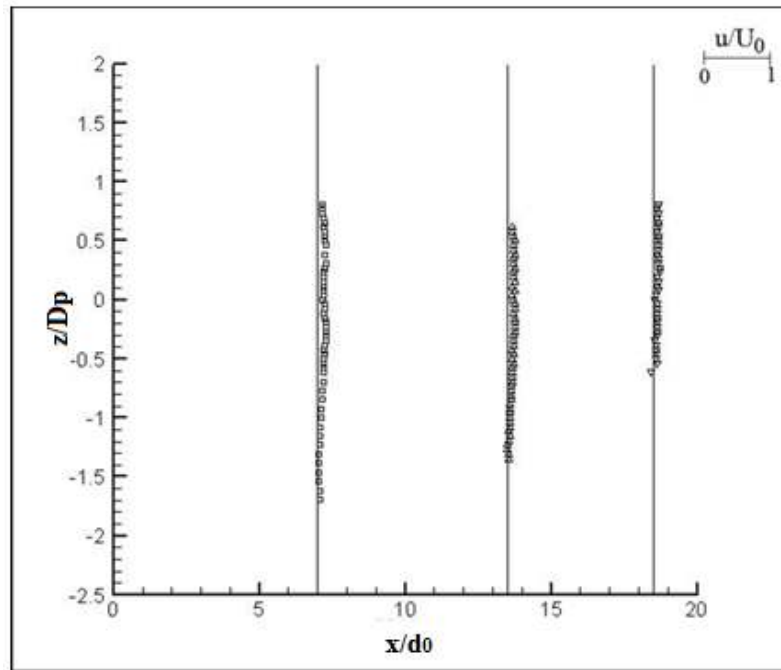
Şekil 4.42 $D_p=100$ mm çaplı pervane durumunda 690 rpm dönüş hızı için kazık mansabında hız dağılımları ($m_3=1:2.5$)

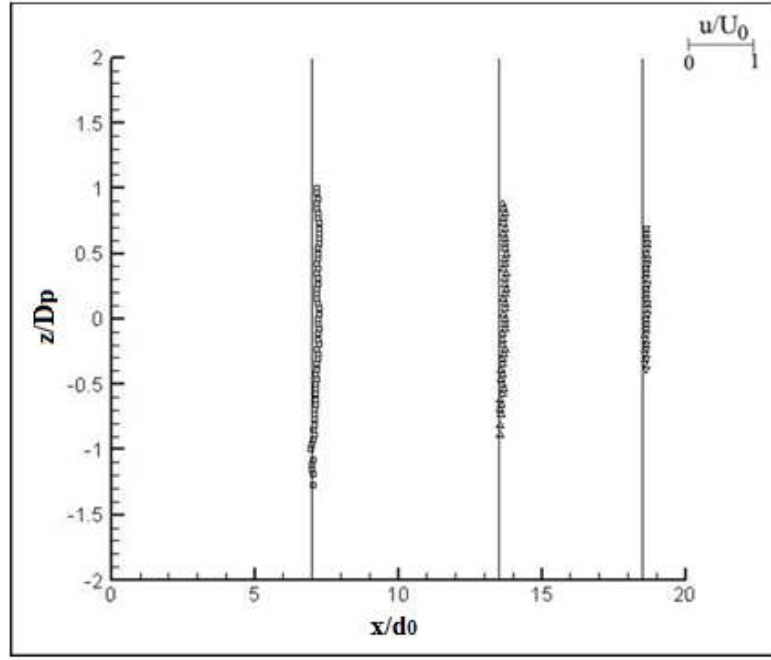


Şekil 4.43 $D_p=130$ mm çaplı pervane durumunda 560 rpm dönüş hızı için kazık mansabında hız dağılımları ($m_1=1:1.5$)

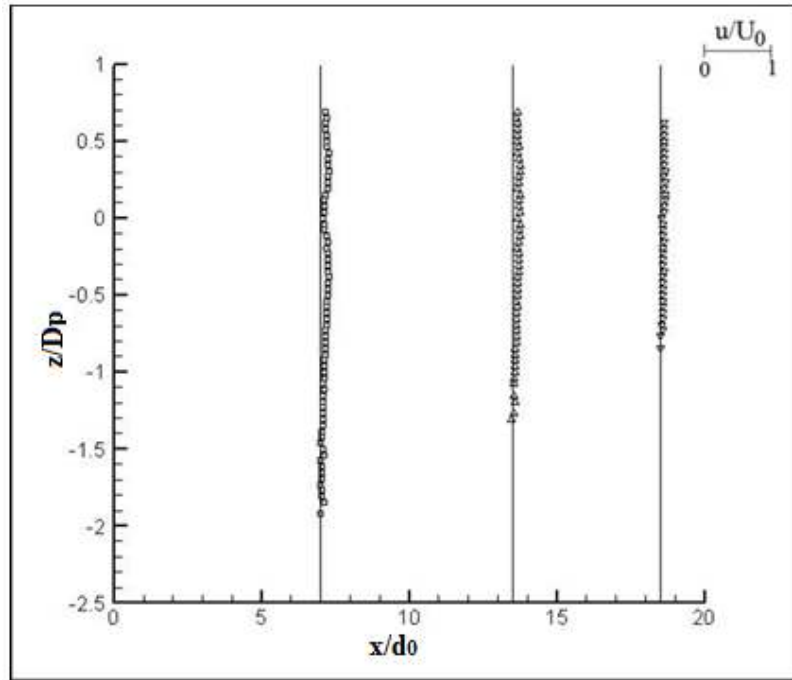


Şekil 4.44 $D_p=130$ mm çaplı pervane durumunda 560 rpm dönüş hızı için kazık mansabında hız dağılımları ($m_2=1:2$)

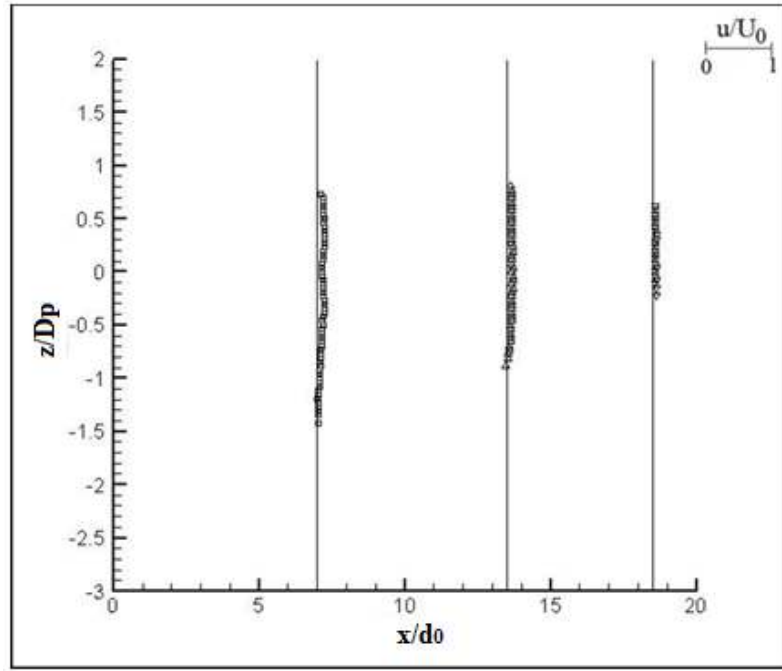




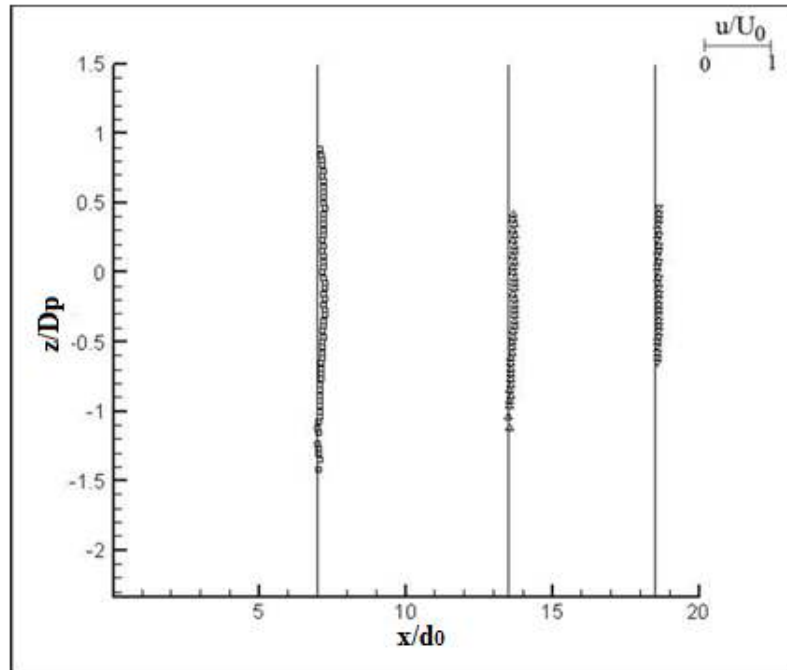
Şekil 4.47 $D_p=130$ mm çaplı pervane durumunda 625 rpm dönüş hızı için kazık mansabında hız dağılımları ($m_2=1:2$)



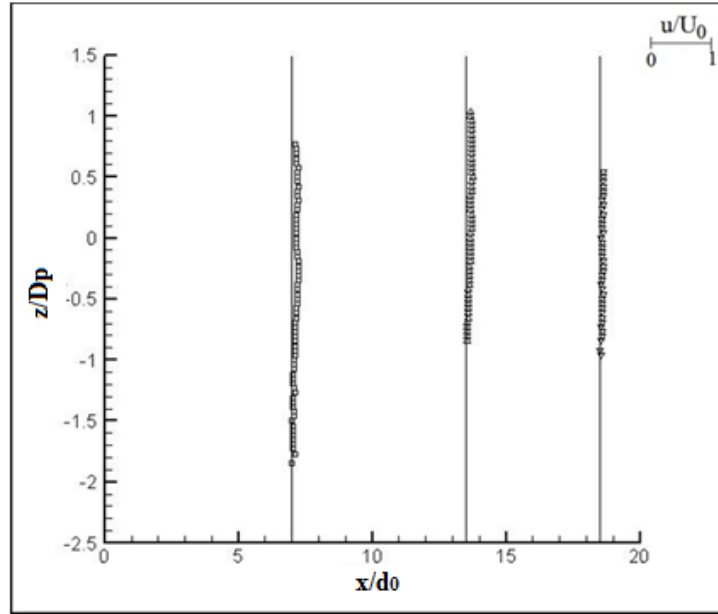
Şekil 4.48 $D_p=130$ mm çaplı pervane durumunda 625 rpm dönüş hızı için kazık mansabında hız dağılımları ($m_2=1:2.5$)



Şekil 4.49 $D_p=130$ mm çaplı pervane durumunda 690 rpm dönüş hızı için kazık mansabında hız dağılımları ($m_1=1:1.5$)



Şekil 4.50 $D_p=130$ mm çaplı pervane durumunda 690 rpm dönüş hızı için kazık mansabında hız dağılımları ($m_2=1:2$)



Şekil 4.51 $D_p=130$ mm çaplı pervane durumunda 690 rpm dönüş hızı için kazık mansabında hız dağılımları ($m_3=1:2.5$)

4.3.2 Taban Kayma Gerilmesi Değişimi

Açık tipten rıhtımda kazık etrafındaki akım alanı sabit taban durumu için incelenmiştir. Bu amaçla Bölüm 3'te açıklandığı gibi pleksiglass malzeme kullanılmıştır. Kazık şev topuğuna yerleştirilmiştir. Kazığın mansabındaki şev eğimi 1:1.5, 1:2.0 ve 1:2.5 olacak şekilde ayarlanabilmektedir (Şekil 3.26). Şekil 3.26'da kayma gerilmelerinin ölçüm konumları gösterilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi kazığın menbasında ve mansabında 4 farklı konumda kazığın çapı kadar mesafelerde CTA hot-film (flush-mounting tipi) proba ölçümler yapılmıştır. Şev etkisini görmek amacıyla aynı konumlarda düzlem tabanda da ölçümler yapılmıştır. Ölçümler üç farklı pervane çapında ($D_p=70$ mm, 100 mm, 130 mm) ve farklı hızlarda (560 rpm, 625 rpm, 690 rpm) gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.52'de jet eksenini ile şev eğimlerinin etkileşim konumları gösterilmiştir.

Şekil 4.53, Şekil 4.54, Şekil 4.55, Şekil 4.56'da $D_p=70$ mm çaplı pervane kullanılarak sırasıyla $m=1.5$, 2.0, 2.5 ve 0.0 farklı şev eğimleri için farklı pervane hızlarında kayma gerilmesi dağılımları verilmiştir. Kayma gerilmelerinin değerleri Çizelge 4.4'te verilmiştir. Kayma gerilmesi değişimleri incelendiğinde, kayma gerilmesi değişiminde pervane akım hızı ve eğimlerin etkisi az da olsa gözlemlenmiştir. Bu deneylerde en küçük pervane çapı kullanmıştır. Jet eksenini boyunca $x/d_0=2$ konumunda ölçülen

taban kayma gerilmesi ile boyutsuzlaştırılan kayma gerilmesi $x/d_0 = 3$ konumunda düşüş göstermesinden sonra artarak kazığın hemen menbasında ($x/d_0 = 5$) en büyük değerine ulaşmıştır. Kazığın menbasında pervane hızının artmasıyla $x/d_0 = 2$ konumundaki değerine göre 1.14 katından 1.26 katına kadar artışlar göstermiştir. Kayma gerilmesi pervane hızı ile artmasıyla birlikte şev eğiminin artmasıyla da az da olsa artış göstermiştir. Bunun nedeni şev yüzeyinden dönen akımın şev eğimi ile artması ve artan türbülansdır. Jet eksen boyunca $x/d_0 = 3$ konumunda meydana gelen düşüşün tekrar artması kazığın yarattığı engel etkisidir. Kazığın mansabında da şev üzerinde kayma gerilmesi değişimleri belirlenmiştir. Kazığın mansabında kayma gerilmeleri menba tarafında düşüş göstermiş ve daha kararlı bir hal almıştır. Bu pervane çapında kayma gerilmelerinde belirgin bir farklılık gözlemlenmiştir. Ancak kazığın mansabında şevin olmaması durumunda kayma gerilmeleri şevli duruma göre belirgin bir düşüş göstermiştir. Bu durum şevden kaynaklanan geri dönüş akımının oldukça etkili olduğunu göstermektedir. Bu hal için kazığın hemen menbasında kayma gerilmesindeki artış 1.04 civarındadır.

Pervane çapının 100 mm olması halinde kayma gerilmesi değişimleri Şekil 4.57, Şekil 4.58, Şekil 4.59 ve Şekil 4.60'ta verilmiştir. Kayma gerilmesi değerleri ise Çizelge 4.5'te özetlenmiştir. Kayma gerilmesi değişimi $D_p=70$ mm çaplı pervane halindeki benzerdir. Kazığın hemen menbasında kayma gerilmeleri 1.17 civarındadır. Bu durumda şev etkisi belirgin olarak ortaya çıkmaktadır. Özellikle kazığın mansabında şev üzerinde kayma gerilmeleri artış göstermektedir. Şev eğiminin artmasıyla $x/d_0 = 13.5$ konumunda $m=1.5$ şev eğiminde kayma gerilmesi 1.67 kat artmaktadır. Şekiller incelendiğinde şev eğiminin artmasıyla kayma gerilmesindeki artışın, şevin daha yüksek konumlarına doğru arttığı anlaşılmaktadır. Bu pervane çapında da şevin olmaması durumunda kayma gerilmeleri daha düşüktür.

Pervane çapının 130 mm olması halinde kayma gerilmesi değişimleri Şekil 4.61, Şekil 4.62, Şekil 4.63 ve Şekil 4.64'te verilmiştir. Bu durum için kayma gerilmeleri Çizelge 4.6'da özetlenmiştir. Kayma gerilmesi değişimleri daha önceki pervane çaplarına benzer görünümündedir. Ancak kayma gerilmelerinde belirgin artış vardır. Kazığın hemen menbasında kayma gerilmesi 1.14 ile 1.20 katı kadardır. Ancak şevdeki kayma gerilmelerinde önemli miktarda artış kayıt edilmiştir. Şev eğiminin $m=1.5$ olması

durumunda $x/d_0 = 13.5$ konumunda kayma gerilmesi 1.93 katına kadar çıkmıştır. Bu haldede şevin olmaması kayma gerilmelerinde düşüş göstermiştir.

Çizelge 4.4 $D_p = 70$ mm çaplı pervane için kayma gerilmeleri

m	x/d ₀	U ₀ (rpm)					
		560		625		690	
		τ (N/m ²)	τ/τ_0	τ (N/m ²)	τ/τ_0	τ (N/m ²)	τ/τ_0
1.5	2	4.6435	1.00	4.62	1.00	4.69	1.00
	3	4.084	0.88	4.16	0.90	4.15	0.88
	4	4.309	0.93	4.26	0.92	4.27	0.91
	5	5.307	1.14	5.24	1.14	5.70	1.22
	6	4.277	0.92	4.29	0.93	4.43	0.94
	7	4.189	0.90	4.24	0.92	4.32	0.92
	13.5	4.7545	1.02	4.73	1.03	4.56	0.97
	18.5	4.462	0.96	4.89	1.06	4.63	0.99
1:2	2	4.44	1.00	4.57	1.00	4.41	1.00
	3	3.99	0.89	4.02	0.88	4.12	0.94
	4	4.13	0.93	4.20	0.92	4.19	0.95
	5	5.31	1.19	5.38	1.18	5.41	1.23
	6	4.35	0.98	4.26	0.93	4.44	1.01
	7	4.22	0.95	4.19	0.92	4.22	0.96
	13.5	4.46	1.01	4.53	0.99	4.62	1.05
	18.5	4.42	0.99	4.62	1.01	4.62	1.05

Çizelge 4.4 Devam

1:2.5	2	4.46	1.00	4.41	1.00	4.41	1.00
	3	3.96	0.89	4.01	0.91	3.28	0.74
	4	4.13	0.93	4.05	0.92	4.21	0.96
	5	5.23	1.17	5.28	1.20	5.53	1.26
	6	4.19	0.94	4.29	0.97	4.21	0.95
	7	4.24	0.95	4.21	0.95	4.29	0.97
	13.5	4.22	0.95	4.26	0.97	4.39	1.00
	18.5	4.45	1.00	4.42	1.00	4.54	1.03
0	2	4.99	1.00	5.06	1.00	5.07	1.00
	3	4.16	0.83	3.94	0.78	3.89	0.77
	4	4.51	0.90	4.64	0.92	4.63	0.91
	5	5.20	1.04	5.14	1.02	5.24	1.03
	6	4.05	0.81	4.15	0.82	4.13	0.81
	7	4.04	0.81	4.22	0.83	4.16	0.82
	13.5	4.18	0.84	4.28	0.84	4.39	0.87
	18.5	4.19	0.84	4.10	0.81	4.22	0.83

Çizelge 4.5 $D_p = 100$ mm çaplı pervane için kayma gerilmeleri

m		U_0 (rpm)					
		560		625		690	
	x/d_0	τ (N/m ²)	τ/τ_0	τ (N/m ²)	τ/τ_0	τ (N/m ²)	τ/τ_0
1:1.5	2	4.978	1.000	5.090	1.000	5.088	1.000
	3	4.301	0.864	4.319	0.849	4.414	0.868
	4	4.609	0.926	4.667	0.917	4.708	0.925
	5	5.859	1.177	5.947	1.168	5.956	1.171
	6	4.805	0.965	4.790	0.941	4.883	0.960
	7	4.610	0.926	4.524	0.889	4.750	0.934
	13.5	7.159	1.438	7.300	1.434	8.486	1.668
	18.5	5.408	1.086	5.329	1.047	7.338	1.442
1:2	2	4.90	1.00	5.07	1.00	5.10	1.00
	3	4.30	0.88	4.22	0.83	4.24	0.83
	4	4.71	0.96	4.63	0.91	4.62	0.91
	5	5.94	1.21	5.91	1.17	5.72	1.12
	6	4.61	0.94	4.91	0.97	4.76	0.93
	7	4.59	0.94	4.58	0.90	4.82	0.95
	13.5	4.57	0.93	4.58	0.90	5.45	1.07
	18.5	5.23	1.07	5.71	1.13	6.44	1.26

Çizelge 4.5 Devam

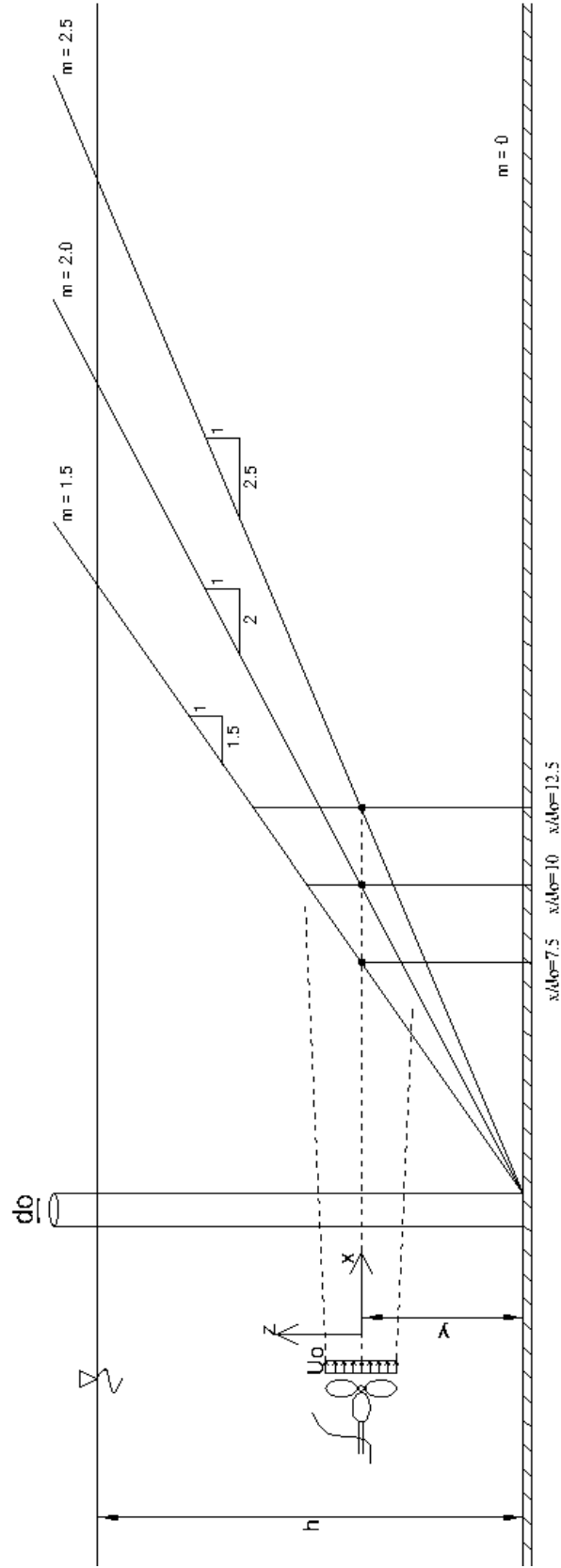
1:2.5	2	4.83	1.00	4.92	1.00	4.93	1.00
	3	4.26	0.88	4.24	0.86	4.36	0.88
	4	4.39	0.91	4.50	0.91	4.83	0.98
	5	5.66	1.17	5.62	1.14	5.79	1.17
	6	4.69	0.97	4.72	0.96	4.99	1.01
	7	4.49	0.93	4.50	0.92	4.69	0.95
	13.5	4.84	1.00	4.85	0.99	5.53	1.12
	18.5	5.01	1.04	4.89	0.99	5.44	1.10
0	2	5.39	1.00	5.65	1.00	5.54	1.00
	3	4.02	0.75	4.07	0.72	4.21	0.76
	4	4.69	0.87	4.79	0.85	4.79	0.86
	5	5.41	1.01	5.28	0.94	5.24	0.95
	6	4.52	0.84	4.36	0.77	4.44	0.80
	7	4.27	0.79	4.33	0.77	4.44	0.80
	13.5	4.38	0.81	4.52	0.80	4.52	0.82
	18.5	4.44	0.82	4.43	0.78	4.77	0.86

Çizelge 4.6 $D_p=130$ mm çaplı pervane için kayma gerilmeleri

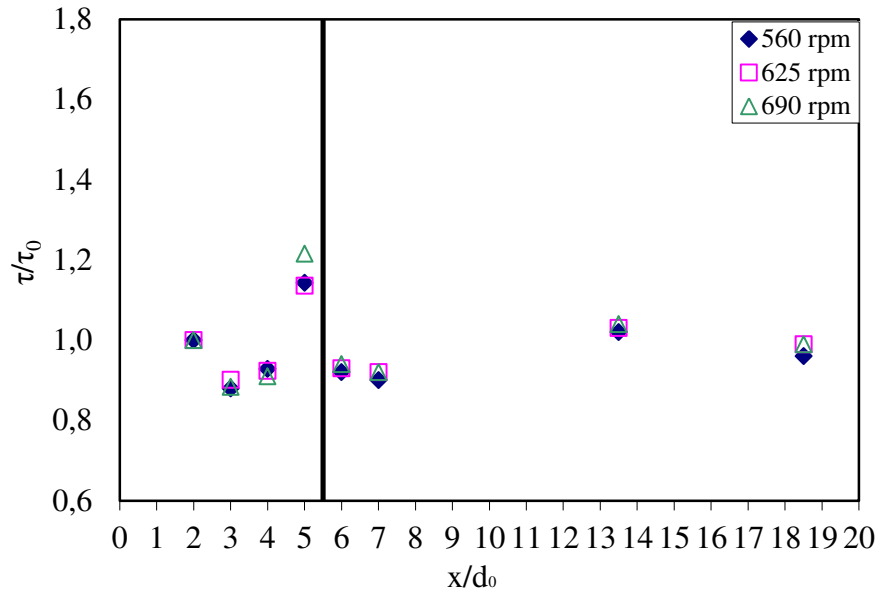
m		U_0 (rpm)					
		560		625		690	
	x/d_0	τ (N/m ²)	τ/τ_0	τ (N/m ²)	τ/τ_0	τ (N/m ²)	τ/τ_0
1:1.5	2	5.29	1.00	5.35	1.00	5.18	1.00
	3	4.71	0.89	4.90	0.92	5.23	1.01
	4	4.82	0.91	4.97	0.93	4.89	0.94
	5	6.03	1.14	6.26	1.17	6.26	1.21
	6	5.40	1.02	6.06	1.13	5.75	1.11
	7	4.91	0.93	4.85	0.91	5.23	1.01
	13.5	8.46	1.60	9.20	1.72	10.03	1.93
	18.5	6.64	1.25	6.68	1.25	6.55	1.26
1:2	2	5.137	1.000	5.271	1.0000	5.328	1.00
	3	4.894	0.953	4.705	0.8926	4.868	0.91
	4	4.793	0.933	4.902	0.9299	4.905	0.92
	5	6.129	1.193	5.995	1.1373	6.400	1.20
	6	5.166	1.006	5.443	1.0326	5.718	1.07
	7	4.925	0.959	4.975	0.9438	5.480	1.03
	13.5	6.056	1.179	5.948	1.1283	7.457	1.40
	18.5	5.123	0.997	5.271	1.0000	6.707	1.26

Çizelge 4.6 Devam

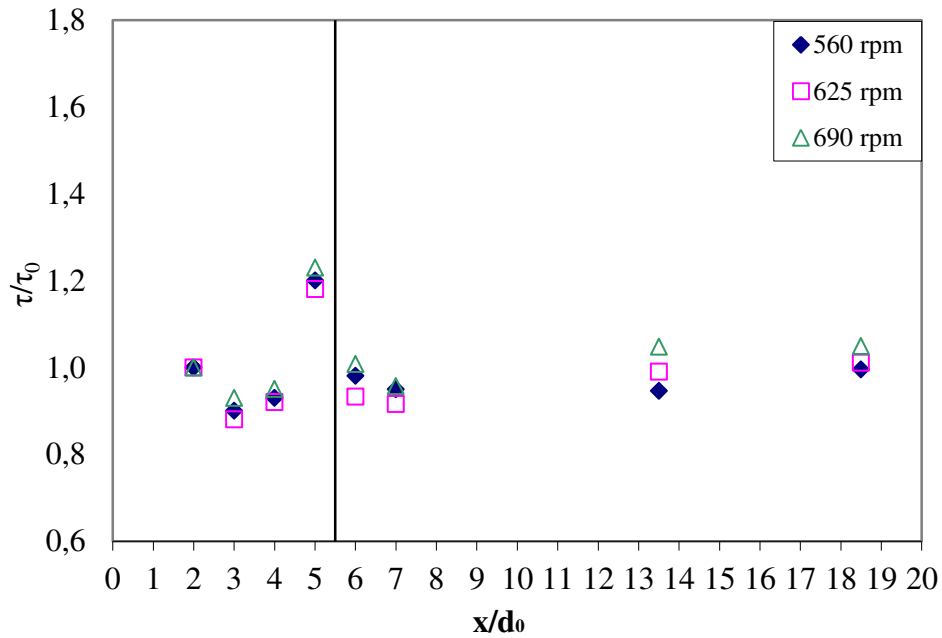
1:2.5	2	5.130	1.000	5.193	1.000	5.371	1.000
	3	4.586	0.894	4.779	0.920	4.940	0.920
	4	4.493	0.876	4.756	0.916	4.944	0.920
	5	6.145	1.198	6.026	1.160	6.225	1.159
	6	5.386	1.050	5.377	1.035	5.452	1.015
	7	4.867	0.949	4.744	0.913	4.964	0.924
	13.5	5.386	1.050	7.300	1.406	6.321	1.177
	18.5	5.678	1.107	6.235	1.201	6.140	1.143
0	2	5.98	1.00	5.71	1.00	5.90	1.00
	3	4.58	0.77	4.60	0.81	4.44	0.75
	4	5.26	0.88	5.17	0.91	4.97	0.84
	5	5.71	0.96	5.52	0.97	5.74	0.97
	6	4.66	0.78	4.76	0.83	4.52	0.77
	7	4.90	0.82	4.56	0.80	4.65	0.79
	13.5	4.55	0.76	4.73	0.83	5.11	0.87
	18.5	5.03	0.84	4.83	0.85	5.41	0.92



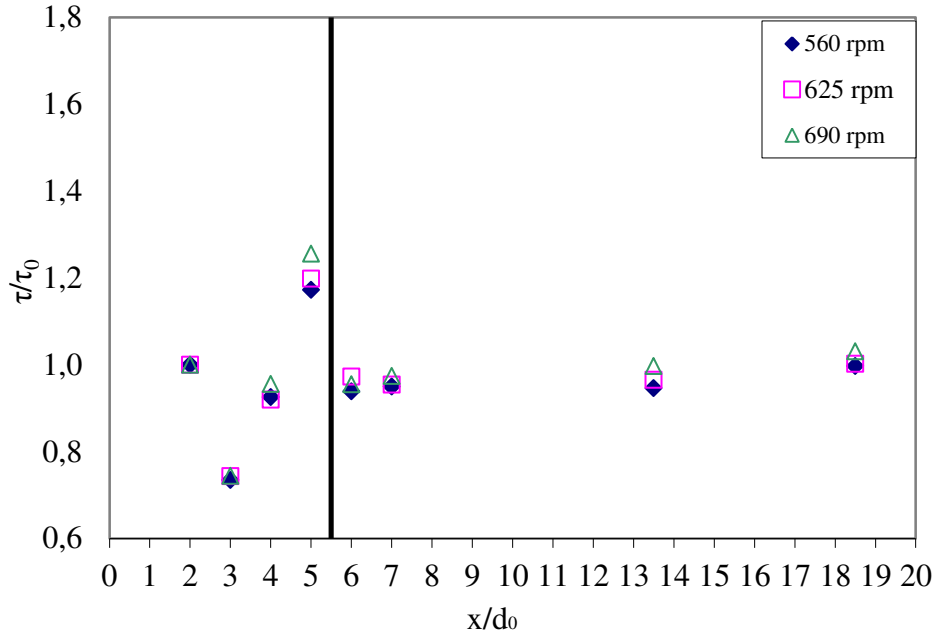
Şekil 4.52 Deney sisteminin boyutsal genel görünümü



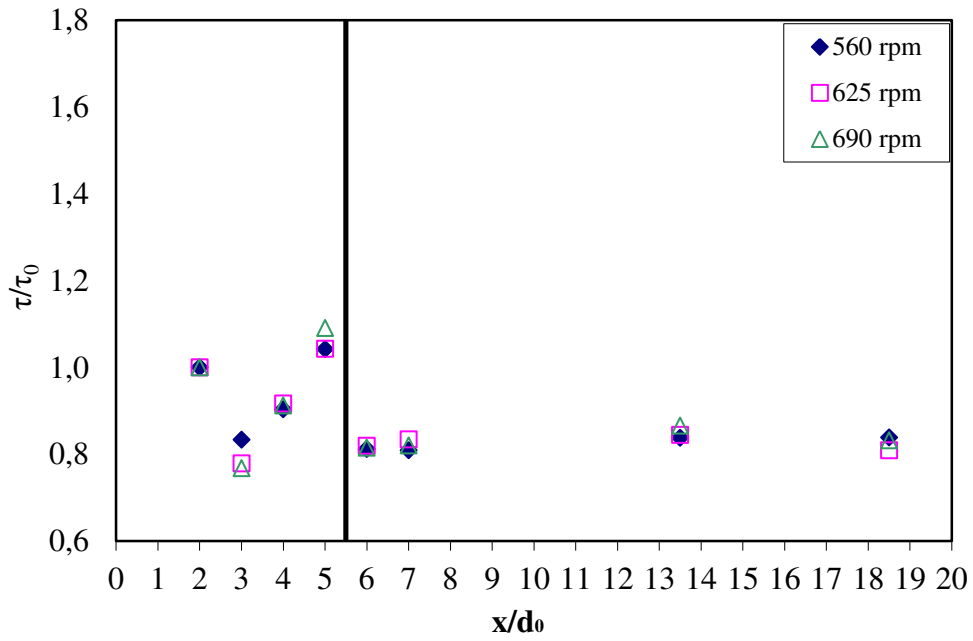
Şekil 4.53 $D_p=70$ mm çaplı pervane durumunda jet eksenı boyunca kazıĝın mansabında ve membasındaki kayma gerilmesi daĝılımı ($m_1=1:1.5$)



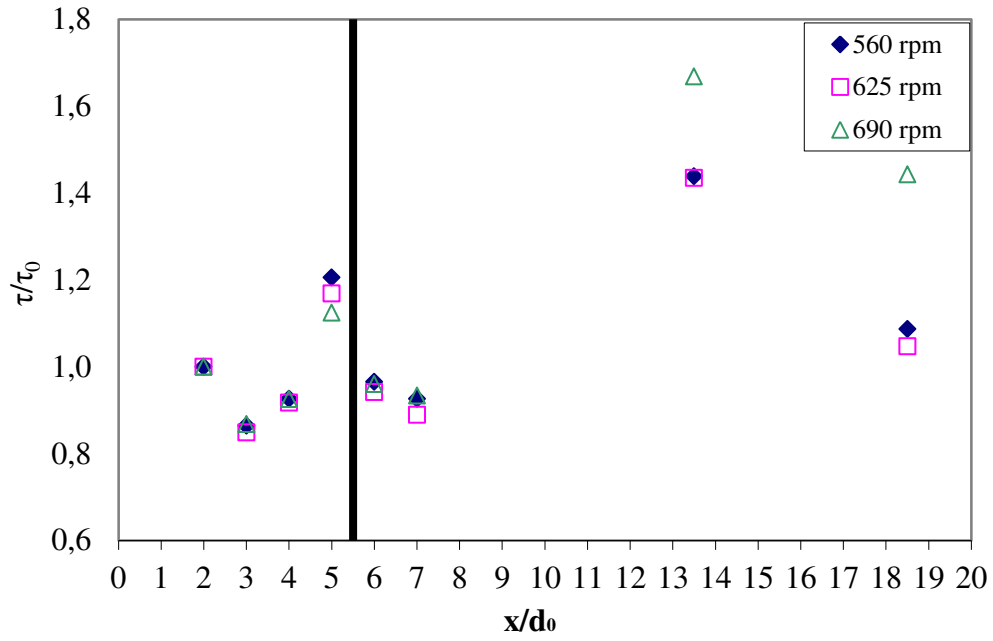
Şekil 4.54 $D_p=70$ mm çaplı pervane durumunda kazıĝın jet eksenı boyunca mansabında ve membasındaki kayma gerilmesi daĝılımı ($m_2=1:2$)



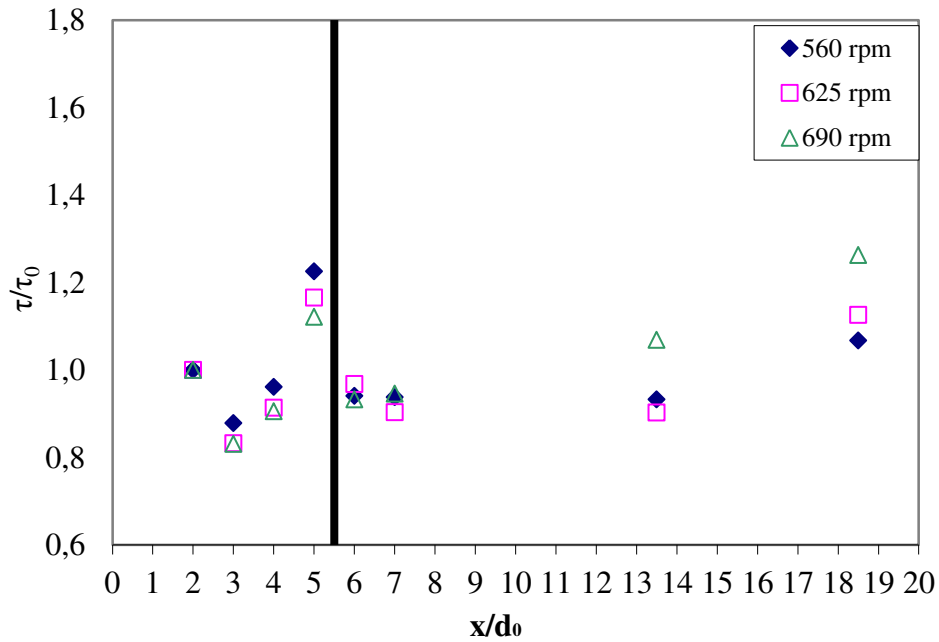
Şekil 4.55 $D_p=70$ mm çaplı pervane durumunda kazığın jet eksenine boyunca mansabında ve membasındaki kayma gerilmesi dağılımı ($m_3=1:2.5$)



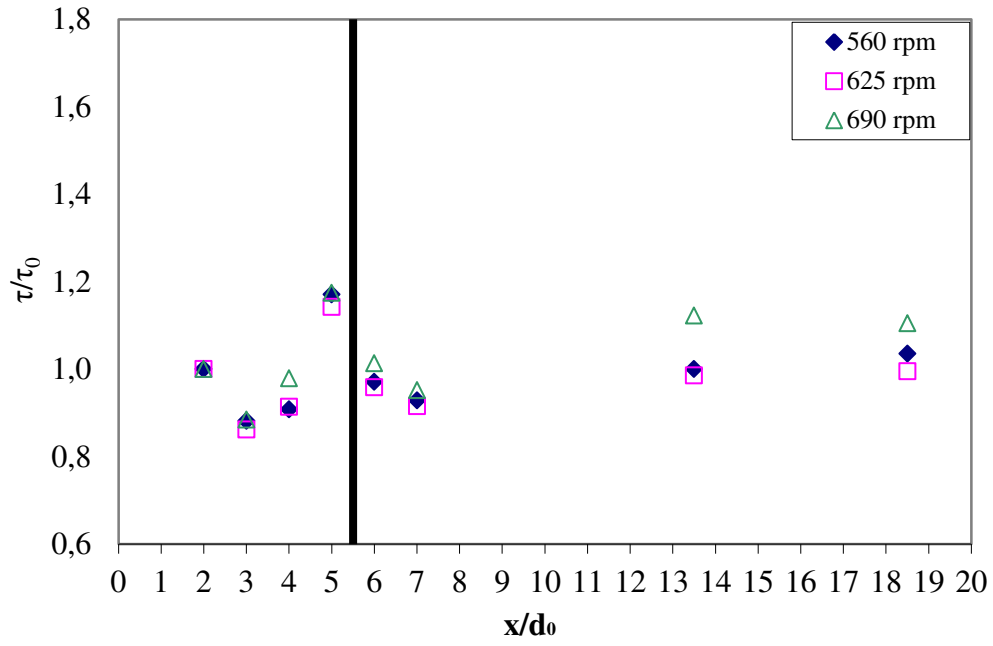
Şekil 4.56 $D_p=70$ mm çaplı pervane durumunda kazığın jet eksenine boyunca mansabında ve membasındaki kayma gerilmesi dağılımı ($m_4=0$)



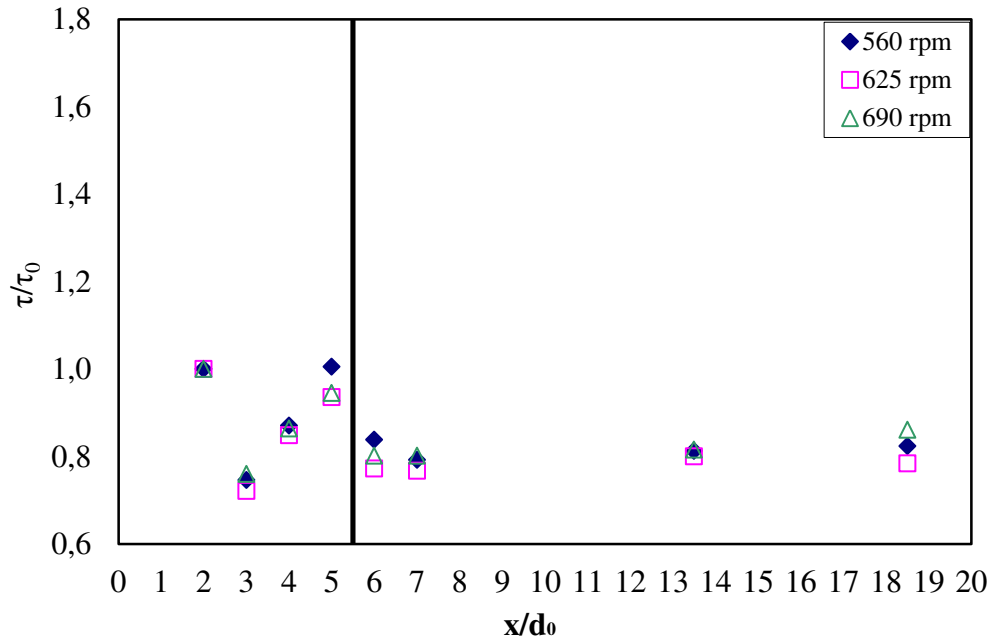
Şekil 4.57 D_p=100 mm çaplı pervane durumunda kazığın jet eksenı boyunca mansabında ve membasındaki kayma gerilmesi dağılımı (m₁=1:1.5)



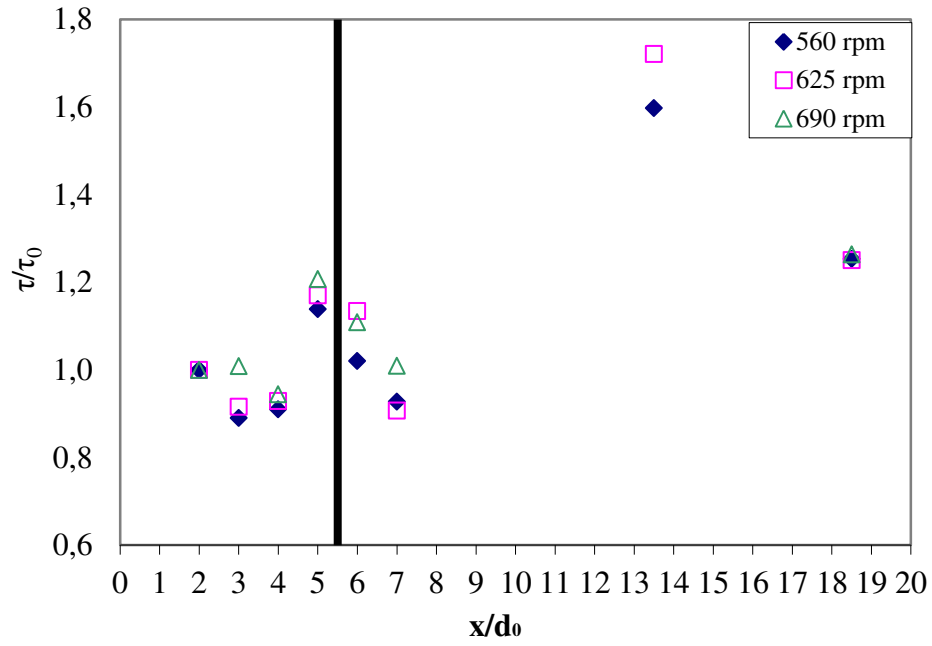
Şekil 4.58 D_p=100 mm çaplı pervane durumunda kazığın jet eksenı boyunca mansabında ve membasındaki kayma gerilmesi dağılımı (m₂=1:2)



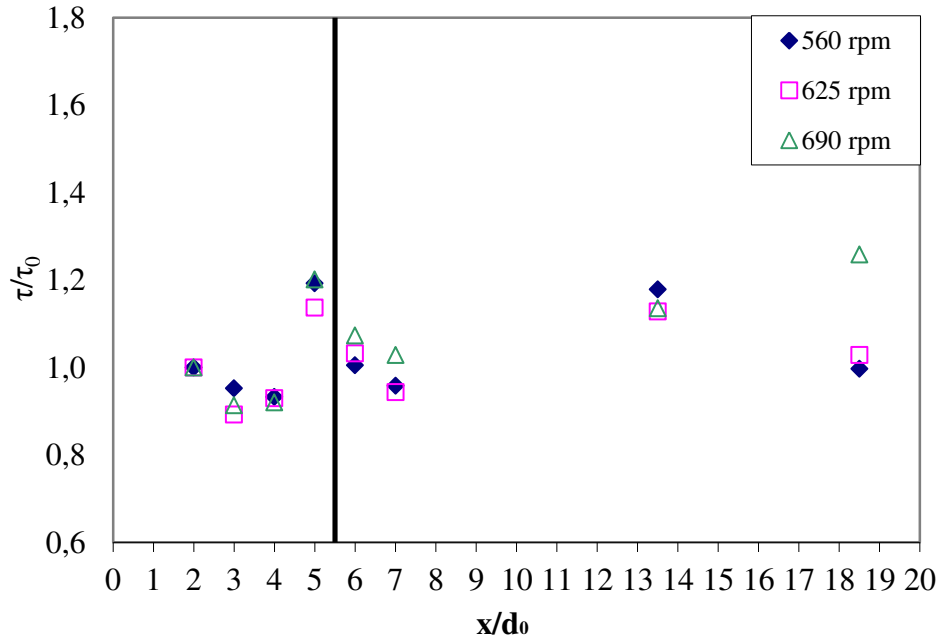
Şekil 4.59 $D_p=100$ mm çaplı pervane durumunda kazığın jet eksenine boyunca mansabında ve membasındaki kayma gerilmesi dağılımı ($m_3=1:2.5$)



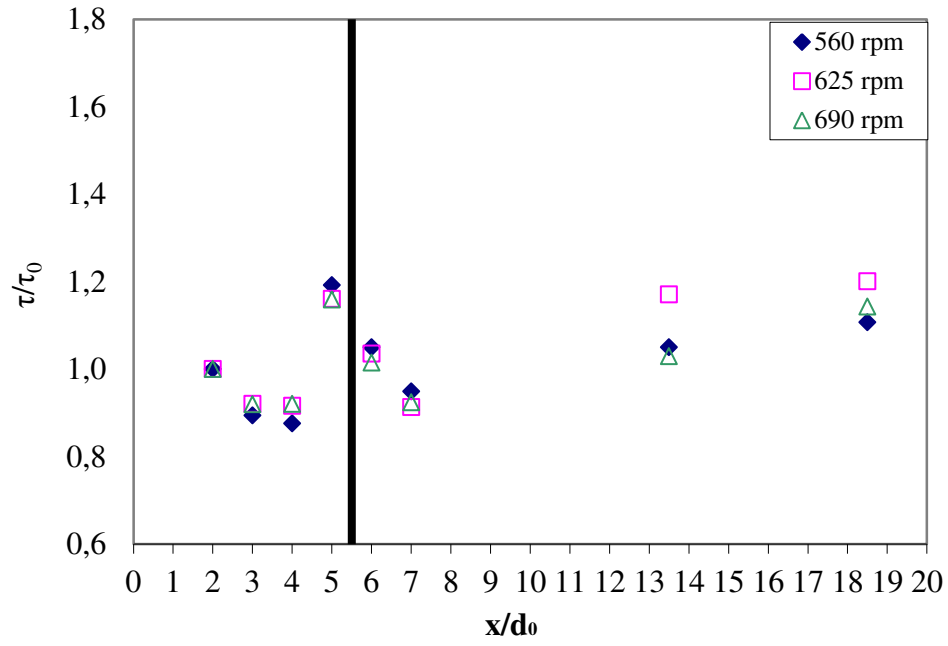
Şekil 4.60 $D_p=100$ mm çaplı pervane durumunda kazığın jet eksenine boyunca mansabında ve membasındaki kayma gerilmesi dağılımı ($m_4=0$)



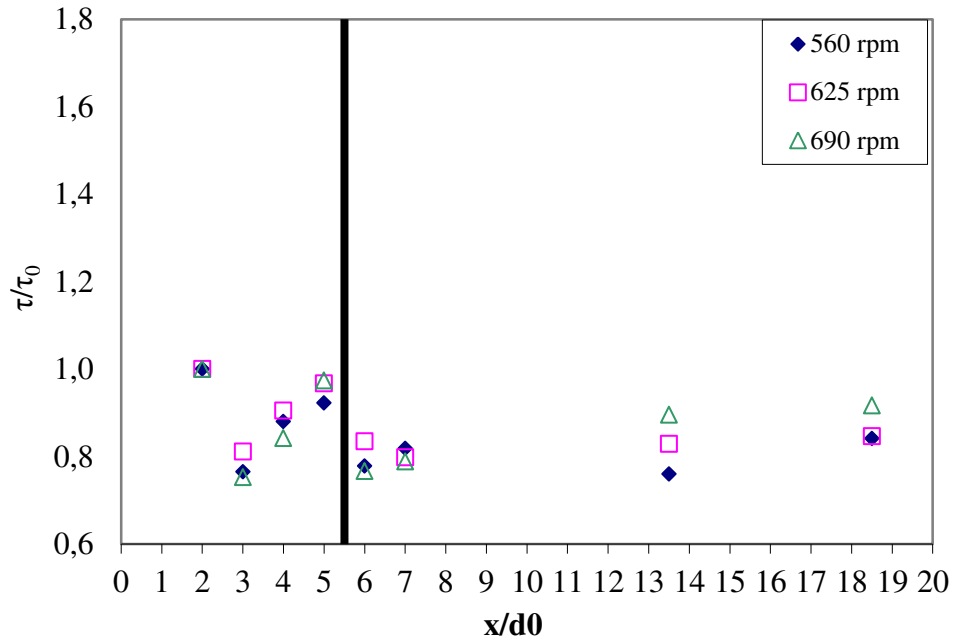
Şekil 4.61 D_p=130 mm çaplı pervane durumunda kazığın jet eksenine boyunca mansabında ve membasındaki kayma gerilmesi dağılımı (m₁=1:1.5)



Şekil 4.62 D_p=130 mm çaplı pervane durumunda jet eksenine boyunca kazığın mansabında ve membasındaki kayma gerilmesi dağılımı (m₂=1:2)

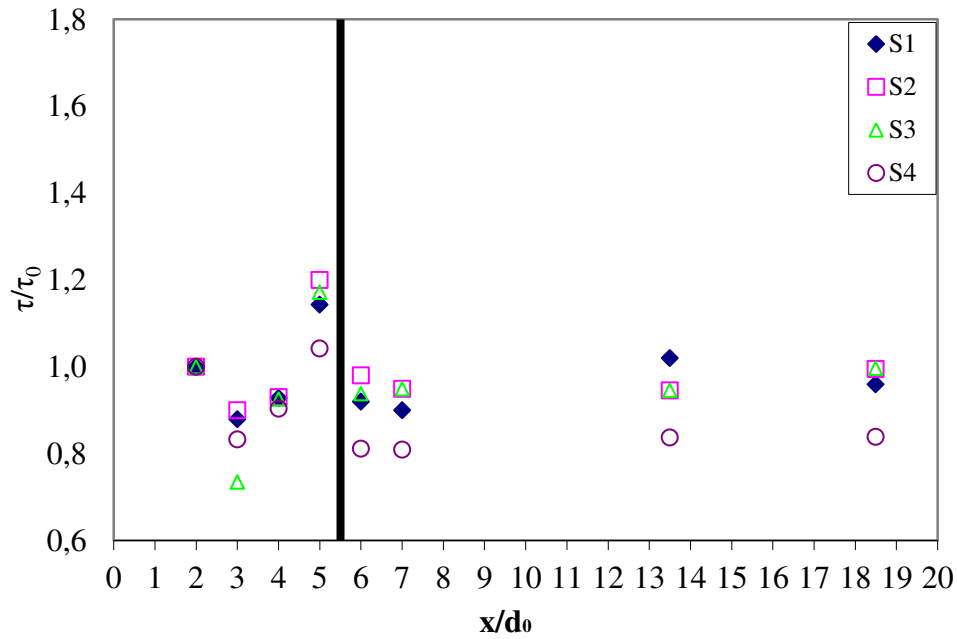


Şekil 4.63 $D_p=130$ mm çaplı pervane durumunda kazığın jet eksenı boyunca mansabında ve membasındaki kayma gerilmesi dağılımı ($m_3=1:2.5$)

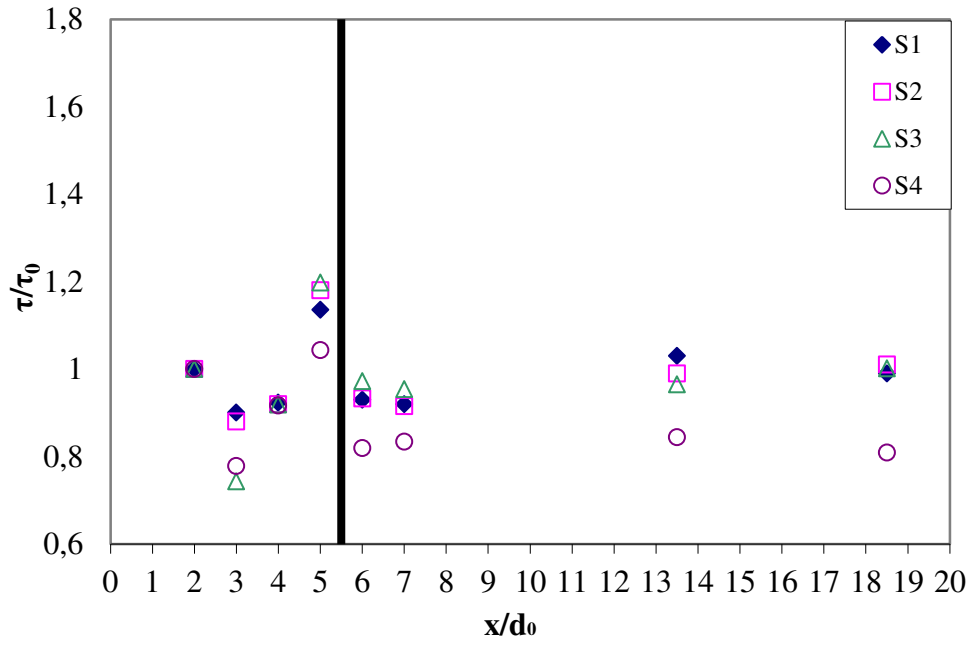


Şekil 4.64 $D_p=130$ mm çaplı pervane durumunda kazığın jet eksenı boyunca mansabında ve membasındaki kayma gerilmesi dağılımı ($m_4=0$)

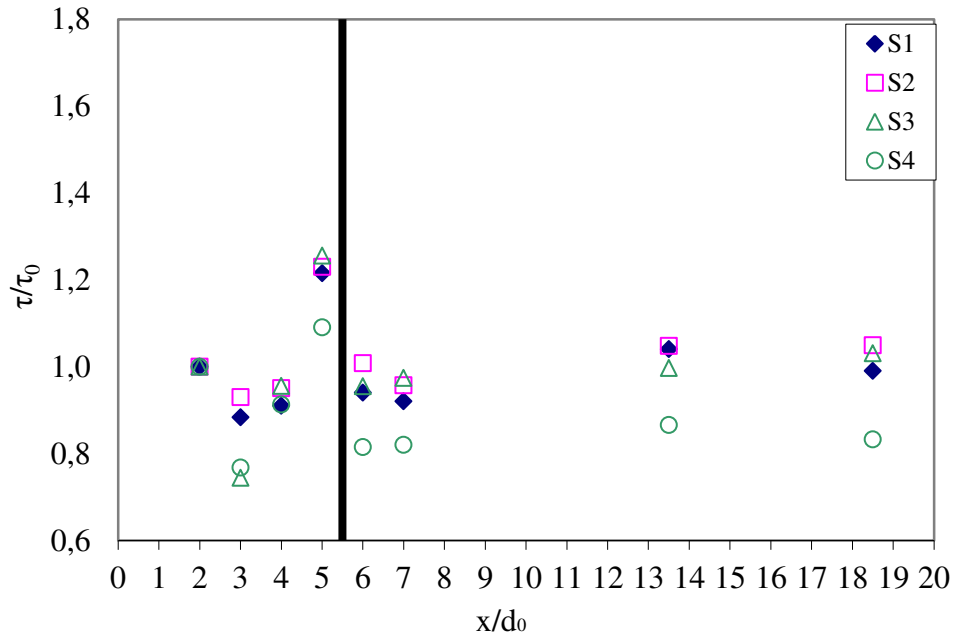
Şekil 4.65'ten Şekil 4.73'e kayma gerilmesi değişimleri farklı pervane çapı, hızı için şev eğimlerine bağlı olarak verilmiştir. Bu şekillerde kazığın menbasında kayma gerilmesi artmıştır. Her ne kadar şev eğimi değişiminin etkisi az da olsa görülmekteyse de, şevin olması durumunda düzlem tabana göre kayma gerilmesi artmaktadır. Ancak kazığın mansabında şev etkisi oldukça belirgin olarak ortaya çıkmaktadır. Özellikle şev eğimi arttıkça mansapta kayma gerilmesi artmaktadır, en dik eğimde (1.5) kayma gerilmesi en büyük değerine ulaşmıştır. Elde edilen sonuçlar şevin topuğunun daha yukarısında pervane jet etkisinin üzerinde artan kayma gerilmesi bu bölgedeki şev stabilitesinde etkin olmaktadır. Bu durum açık tipten rıhtımlardaki şev stabilitesi problemini ortaya çıkarmaktadır. Büyük eğimli şevlerde stabilitenin bozulmasının daha belirgin olduğu görülmektedir.



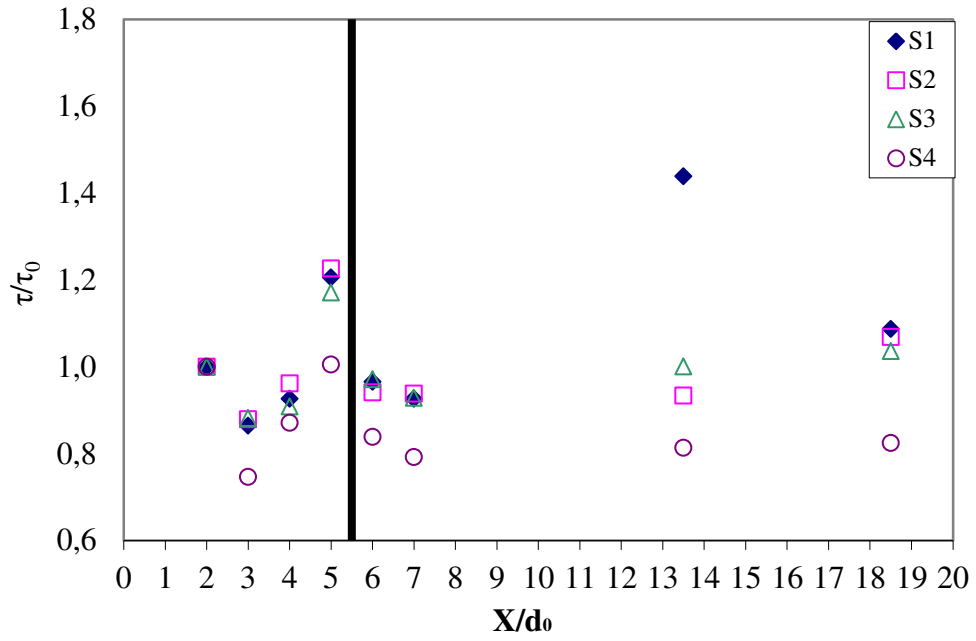
Şekil 4.65 D_p= 70 mm çaplı pervanenin 560 dönüş hızında ve pervane Re=8975.17 için taban kayma gerilmesi dağılımı



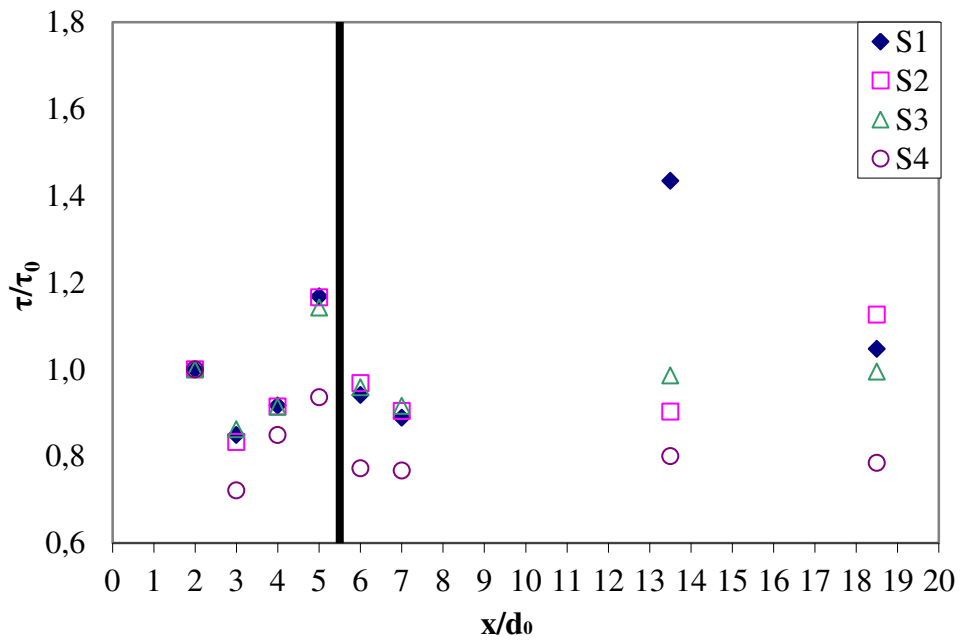
Şekil 4.66 D_p=70 mm çaplı pervanenin 625 dönüş hızında ve pervane Re=10016.93 için taban kayma gerilmesi dağılımı



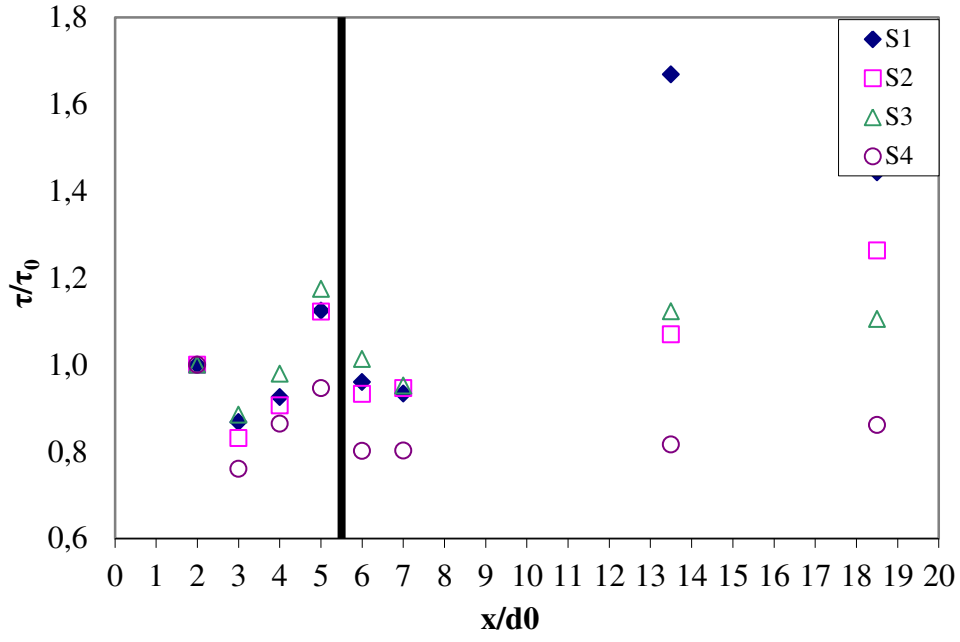
Şekil 4.67 D_p=70 mm çaplı pervanenin 690 dönüş hızında ve pervane Re=11058.69 için taban kayma gerilmesi dağılımı



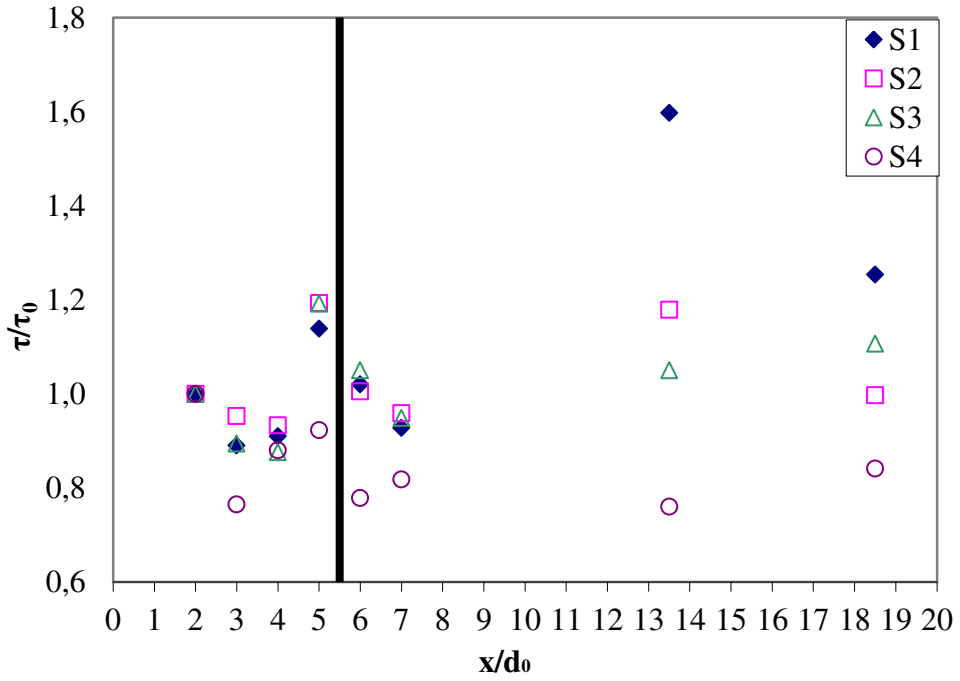
Şekil 4.68 D_p=100 mm çaplı pervanenin 560 dönüş hızında ve pervane Re=14653.33 için taban kayma gerilmesi dağılımı



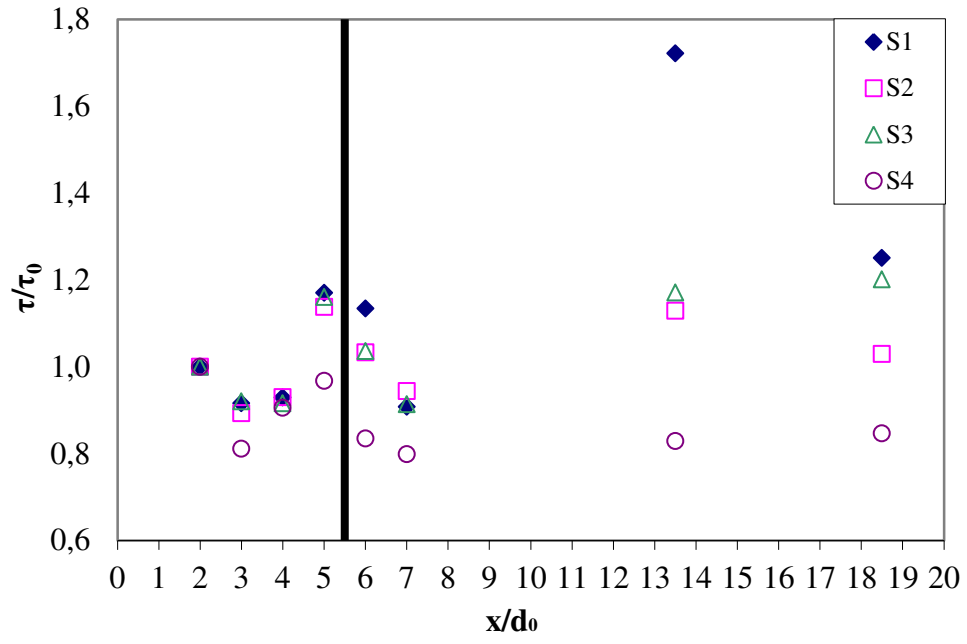
Şekil 4.69 D_p=100 mm çaplı pervanenin 625 dönüş hızında ve Re=16354.17 için taban kayma gerilmesi dağılımı



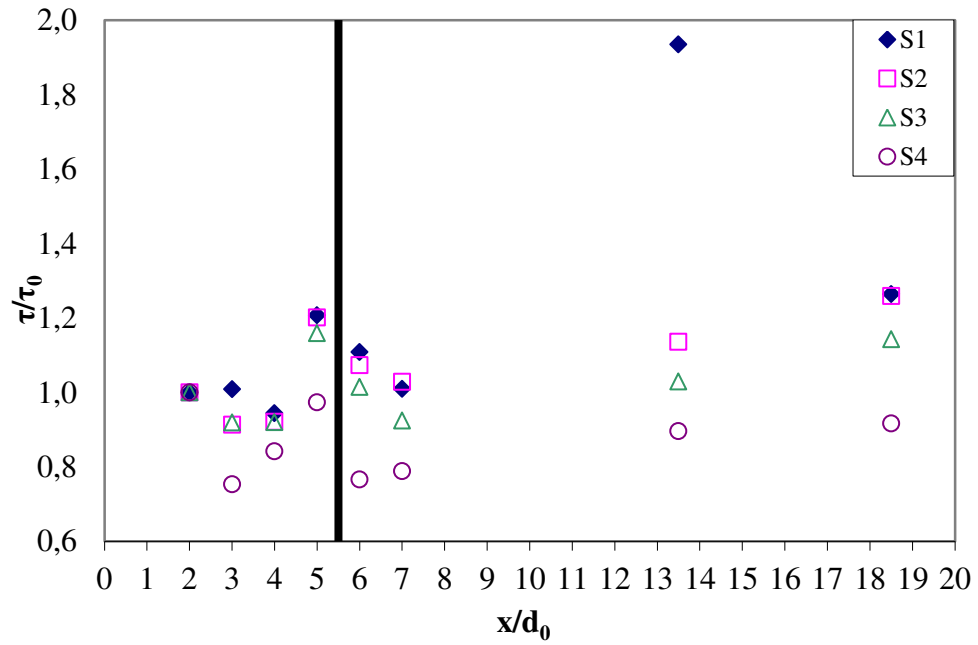
Şekil 4.70 D_p=100 mm çaplı pervanenin 690 dönüş hızında ve pervane Re=18055 için taban kayma gerilmesi dağılımı



Şekil 4.71 D_p=130 mm çaplı pervanenin 560 dönüş hızında ve pervane Re=37146.2 için taban kayma gerilmesi dağılımı



Şekil 4.72 $D_p=130$ mm çaplı pervanenin 625 dönüş hızında ve pervane $Re=41457.83$ için taban kayma gerilmesi dağılımı



Şekil 4.73 $D_p=130$ mm çaplı pervanenin 690 dönüş hızında ve pervane $Re=45769.43$ için taban kayma gerilmesi dağılımı

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada açık tipten rıhtımlarda gemi pervane jetinin yarattığı akım yapısı ve sonucunda oluşan oyulma ve/veya stabilite problemleri deneysel olarak incelenmiştir. Farklı çaplardaki pervaneler (70 mm, 100 mm, 130 mm), çapı (d_0) 40 mm olan kazıktan 200 mm ($x=5d_0$) uzaklıkta olacak şekilde yerleştirilerek farklı şev eğimleri ($m=1.5, 2.0, 2.5$ ve 0.0) üzerindeki etkisi incelenmiştir. Deneyler sonucunda elde edilen veriler aşağıdaki gibi özetlenmiştir;

1. Yoğunluk Froude sayısı (F_{rd}) arttıkça oyulma derinliği artmaktadır.
2. Pervane çapının oyulma mekanizmasındaki etkisinden dolayı pervane çapı arttıkça tabanda oluşan oyulma derinliğinin de arttığı belirlenmiştir.

Kazık etrafındaki oyulma mekanizmasının anlaşılması açısından farklı zamanlarda ($T=0$, $T=600$ s ve $T=9000$ s) dondurulmuş oyulma profilleri üzerindeki taban kayma gerilmeleri incelendiğinde;

3. $T=0$ anında dondurulmuş taban modeli üzerinde pervane jet çıkışından kazığa doğru kayma gerilmesinin arttığı, kazık mansabında ise azaldığı görülmektedir. Kazığın tam menbasında kayma gerilmesi başlangıç değerine göre 1.22 kat artarak maksimum değerine ulaşmıştır.
4. Kazık etrafında en büyük değerine başlangıç değerine göre 1.42 kat artarak $\theta=90^\circ$ 'de ulaştığı, yine kazık etrafında kazığa $0.7d_0$ uzaklıktaki konumlar dikkate alındığında $\theta=45^\circ$ 'de ulaştığı belirlenmiştir.
5. $T=600$ s anında dondurulmuş taban modeli üzerinde pervane jet eksenini boyunca jetten kazığa doğru kayma gerilmesinin arttığı, kazık mansabında ise azaldığı

görülmektedir. Kayma gerilmesi kazığın menbasında göreceli olarak en büyük değerini almıştır.

6. Kazık etrafında başlangıç durumuna benzer bir eğilim göstererek $\theta=90^\circ$ 'de en büyük değerine ulaştığı ancak şiddetinde bir azalma olduğu belirlenmiştir.
7. Kazık etrafında kazığa $0.7d_0$ uzaklıktaki konumlarda yapılan ölçümlerden anlaşıldığı üzere kayma gerilmesi şiddetinde bir azalma görülmüştür. Bunun nedeninin oyulmanın çukurunun gelişmesinden kaynaklandığı söylenebilmektedir. En büyük kayma gerilmesi değerinin ise $\theta=45^\circ$ 'ye kaydığı gözlenmiştir.
8. $T=9000$ s anında dondurulmuş oyulma çukuru üzerinde kazığın menbasında meydana gelen kum eşiğinden dolayı eşiğin arkasında oluşan vorteks çifti kayma gerilmesinin artmasına neden olmuştur. Bu nedenle maksimum kayma gerilmesi kazığın menbasındaki kum eşiğinin tepesinin hemen arka tarafında oluşmuştur. Kazığın hemen menbasında ise oyulma çukuru denge konumuna ulaşmış olduğundan ve oyulma çukurundaki vortekslerin şiddeti azaldığından $T=0$ ve $T=600$ s durumlarına göre kayma gerilmesinin azaldığı görülmüştür.
9. Kazık etrafında kayma gerilmesi ölçümlerinden kazık menbasında $T=0$ ve $T=600$ s durumlarına göre kayma gerilmesinin benzer eğilim gösterdiği ancak şiddetçe azaldığı görülmüştür. Kazığın hemen mansabında ise kayma gerilmesinde art-iz vorteks sisteminin neden olduğu bir artış belirlenmiştir.
10. Kazık etrafında kazığa $0.63d_0$ uzaklıktaki konumlarda yapılan ölçümlerden $T=600$ s durumuna benzer şekilde kazık etrafına göre kayma gerilmesi şiddetinde bir azalma görülmüştür. En büyük kayma gerilmesi değerinin $\theta=45^\circ$ 'de olduğu gözlenmiştir.

Farklı şev eğimleri ($m=1.5, 2.0, 2.5$ ve 0.0) dikkate alınarak kazık menba ve mansabındaki hız ve kayma gerilmesi değişimleri incelendiğinde;

11. Literatüre uyumlu olarak pervane yakınında çift tepeli bir hız dağılımı elde edilmiştir. Pervaneden uzaklaştıkça çift tepelilik ortadan kalkmakta ve tabanla etkileşerek duvar jeti hız dağılımı ile benzeşmektedir.
12. En küçük pervane çapında (70 mm) gözlemlenen geri dönüş akımları, pervane çapı ve hızının büyümesiyle, şev üzerinden dönen akımların yarattığı gelişmiş

türbülans etkisinden dolayı ortadan kalkmakta ve hız dağılımları daha üniform bir hal almaktadır.

13. Her üç pervane çapı için kayma gerilmesi dağılımları benzer davranış göstermiştir. Pervane akım hızı ve şev etkisinin en küçük pervane çapında az olduğu ancak pervane çapı büyüdükçe şev etkisinin oldukça belirgin olduğu görülmüştür.
14. Kazığın menbasında kazık etkisiyle artış gösteren kayma gerilmeleri, mansapta şev olmaması durumunda, olması durumuna göre belirgin bir düşüş yaşamaktadır. Bu da şev üzerinden dönen akımların etkisinden kaynaklanmaktadır.
15. Kazık mansabında da her üç pervane çapı için benzer eğilimler gözlenmiştir. Şev eğimi arttıkça ölçülen kayma gerilmesi değerlerinde belirgin bir artış söz konusudur, kayma gerilmesi en dik eğimde (1:1.5) maksimum değere ulaşmıştır.
16. Şev topuğunun yukarısında oluşan kayma gerilmesi artışları şev stabilitesinin bozulmasına neden olmaktadır. Büyük eğimli şevlerde bu bozulma daha belirgin bir hal almaktadır.

Gerçekleştirilen çalışmada elde edilen sonuçlar dikkate alınarak ileride yapılabilecek çalışmalar için aşağıdaki öneriler tavsiye edilmektedir;

1. Çalışmada tek kazık çapı dikkate alınmıştır. Farklı kazık çapları içinde ölçümler yapılmalıdır.
2. Yapılan çalışmada pervane konumu sabit tutulmuştur. Pervanenin taban olan yüksekliğinin etkisi araştırılmalıdır.

KAYNAKLAR

- [1] Nielsen B.C., (2005). A physical model study on bowthruster-induced flow TU Delft, M.Sc. Thesis, Delft.
- [2] Blokland, T. ve Smedes, R.H. (1996). In situ tests of current velocities and stone movements caused by a propeller jet against a vertical quay wall, Rotterdam public works, Delft.
- [3] Veldhoven, V.J.C.G.L. van, (2002). Vooronderzoek schroefstraal op een talud met breuksteen, stroomsnelheden en steenstabiliteit, TU Delft, M.Sc. Thesis, Delft.
- [4] Schokking, L.A., (2002). Bowthruster-induced Damage, TU Delft, M.Sc. Thesis, Delft.
- [5] Jong, M. De., (2003). Schade veroorzaakt door boegschroeven van manoeuvrerende schepen bij verticale kademuren, TU Delft M.Sc. Thesis, Delft.
- [6] Römisch, K., ve Fuehrer, M. (1981). "Criteria for dimensioning the bottom and slope protections and for applying the new methods of protecting navigation channels". PIANC's 25th Int. Navigation Congress, 10-16 may 1981, Edinburgh.
- [7] Schmidt, E., (1998). Ausbreitungsverhalten und Erosionswirkung eines Bugpropellerstrahles vor einer Kaiwand, Leightweiss-Institut für Wasserbau der Technischen Universität Braunschweig, Braunschweig.
- [8] Römisch, K., ve Fuehrer, M. (1977). "Effects of modern ship traffic on inland- and ocean waterways and their structures", 24 th Int. Navigation Congress, September 1977, Leningrad.
- [9] Blokland, T. ve Smedes, G. (1994). In situ tests of current velocities and stone movements caused by a propeller jet against a vertical quay Wall", Rotterdam public works, Rotterdam.

- [10] Laan, T.J. van der., (2005). Het ontwikkelen van een model voor boegschroefstralen bij verticale kademuren, TU Delft, M.Sc. Thesis, Delft.
- [11] Blaauw, H.G., ve Kaa, E.J. van de (1978). Erosion of bottom and sloping banks caused by the screw race of manoeuvring ships, WL publication, Delft.
- [12] Rajaratnam, N. ve Beltaos, S. (1977). "Erosion by impinging circular turbulent jets", Journal of Hydraulics Division, 15: 277-289.
- [13] Rajaratnam, N., (1976). Turbulent jets, 5, Elsevier scientific publishing Company, Amsterdam
- [14] Rajaratnam, N. ve Aderibigbe, O. (1996)., "Erosion of loose beds by submerged circular impinging vertical turbulent jets", Journal of Hydraulic Research, 34: 19-33.
- [15] Hinze, J.O., (1975). Turbulence, 2nd edition, McGraw-Hill, Newyork.
- [16] Von Karman, T. "The Fundamentals of the Statistical Theory of Turbulance" J. Aero Sci., 4,131-138.
- [17] Schiereck, G.J., Introduction to bed, bank and shore protection, DUT lecture notes, 2000.
- [18] Veldhoven, V., (2001). van, Vooronderzoek schroefstraal op een talud met breuksteen, DUT M.Sc. thesis, Delft.
- [19] Izbash, S.V. ve Khaldre, K.Y. (1970), Hydraulics of River Channel closure, Butterworths, London
- [20] Shields, A., (1936). Anwendung der Ähnlichkeitsmechanik un der Turbulenzforschung auf die Geschiebebewegung, Mitteilungen der Preussischen Versuchanstalt für Wasserbau und Schiffbau, Berlin.
- [21] Römisch, K., (1993). Propellerstrahlinduzierte Erosionserscheinungen in Häfen, Hansa.
- [22] Verheij, H.J., (1983). "The stability of bottom and banks subjected to the velocities in the propeller jet behind ships", 8th Int. Harbour Congress, 13-17.6.1983, Antwerp.
- [23] Ducker, H.P. ve Miller, C. (1996). Harbour bottom erosion at berths due to propeller jets, Proceedings 11 th Int. Harbour Congress, Atnwerpen.
- [24] Römisch, K. (1975). Der Propellerstrahl als erodierendes Element bei An-und Ablegmanövern im Hafenbecken, 7th edition, Seewirtschaft.

- [25] Westrich, B., ve Kobus, H. (1974). Einfluss stationärer und pulsierender Strahlen auf die Erosion eines Sandbettes, Universität Karlsruhe, Bericht des Sonderforschungsbereiches 80, Karlsruhe.
- [26] Hoffmans, G.J.C.M. (1995). Scour due to Submerged jets. Report W-DWW-94-303 [11in Dutch] Min. of Public works, Rijkswaterstaat, Delft
- [27] Jørgensen, F.E., (2002)., “ How to Measure Turbulance with Hot-Wire Anemometers” , A practical Guide, Dantec Dynamics.
- [28] Çevik, Özkan, E., (1997). “Dalga Etkisinde Denizaltı Boru Hatları ve Deniz Taban Etkileşiminin Modellenmesi”,Doktora Tezi, YTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [29] Yalcin Yuksel, Selahattin Kayhan, Yesim Celikoglu ve Kubilay Cihan “Opentype quay structures under propeller jets (66)”, ICCE 2012, 30.06 – 07.07 2012, Santander

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Selahattin KAYHAN
Doğum Tarihi ve Yeri : 22.02.1986 Siirt
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : selahattin_kayhan@hotmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lisans	İnşaat Mühendisliği	Doğu Akdeniz Üniversitesi	2009
Lise	Fen Bilimleri	Cemile Hamdi Ogun Süper Lisesi	2003

YAYINLARI

Bildiri

1. “OPEN TYPE QUAY STRUCTURES UNDER PROPELLER JETS (66)” Yalcin Yuksel, Selahattin Kayhan, Yeşim Çelikoğlu, Kubilay Cihan, ICCE 2012 Santander
2. “AÇIK TIPTEN RIHTIMLARDA ETKİLİ GEMİ PERVANE JETLERİNİN HİDRODİNAMİĞİ” Yalcin Yuksel, Yeşim Çelikoğlu, Selahattin Kayhan, Kubilay Cihan, Berna Ayat, Kıyı Sempozyumu Trabzon 2011

