

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**AÇIK KANAL AKIMLARINDA HIZ DAĞILIMININ
FARKLI ALET VE YÖNTEMLER İLE İNCELENMESİ**

**Tezi Hazırlayan
Emre GÜNAYDIN**

**Tezi Yöneten
Doç. Dr. Mehmet ARDIÇLIOĞLU**

**İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi**

**Ağustos 2008
KAYSERİ**

**T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**AÇIK KANAL AKIMLARINDA HIZ DAĞILIMININ
FARKLI ALET VE YÖNTEMLER İLE İNCELENMESİ**

**Tezi Hazırlayan
Emre GÜNAYDIN**

**Tezi Yöneten
Doç. Dr. Mehmet ARDIÇLIOĞLU**

**İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi**

**Bu çalışma Erciyes Üniversitesi Araştırma Fonu tarafından EÜBAP-FBT-07-33
kodlu proje ile desteklenmiştir.**

**Ağustos 2008
KAYSERİ**

Doç. Dr. Mehmet ARDIÇLIOĞLU danışmanlığında Emre GÜNAYDIN tarafından hazırlanan “**Açık Kanal Akımlarında Hız Dağılımının Farklı Alet Ve Yöntemler İle İncelenmesi**” adlı bu çalışma, jürimiz tarafından Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında yüksek lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

27 / 08 / 2008

JÜRİ:

Üye : Prof. Dr. Tefaruk HAKTANIR

Üye : Doç. Dr. Mehmet ARDIÇLIOĞLU

Üye : Doç. Dr. Özgür KİŞİ

ONAY:

Bu tezin kabulü Enstitü Yönetim Kurulunun tarih ve
..... sayılı kararı ile onaylanmıştır.

..... / /

Enstitü Müdürü
Mühür ve İmza

TEŞEKKÜR

Bu tezi yöneten ve çalışmalarım sırasında değerli bilgi ve yardımlarını esirgemeyen sayın hocam Doç. Dr. Mehmet ARDIÇLIOĞLU'na, bölümümüze verdiği emeklerden dolayı sayın Prof. Dr. Tefaruk HAKTANIR'a, deneysel çalışmalarda yardımlarını esirgemeyen değerli dostum Aslan YAKUPOĞLU, Guvanch HYDROV, Zamirbek TAŞDEMİROV'a, Onur Yontar'a ve mesleki eğitimim süresince bana emeği geçen hocalarıma teşekkür ederim.

Öğrencilik hayatım ve çalışmalarım süresince bana gösterdikleri sonsuz destekleri için sevgili babam İsmet GÜNAYDIN, annem Fatma GÜNAYDIN ve kardeşim Kadir GÜNAYDIN'a, sonsuz teşekkürler.

AÇIK KANAL AKIMLARINDA HIZ DAĞILIMININ FARKLI ALET VE YÖNTEMLER İLE İNCELENMESİ

Emre GÜNAYDIN
Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi, Ağustos 2008
Tez Danışmanı: Doç. Dr. Mehmet Ardıçlıoğlu

ÖZET

Açık kanal akımlarında enkesit boyunca hız dağılımının bilinmesi kanalların boyutlandırılması ve akımın özelliklerinin belirlenmesi bakımından önemlidir. Bu nedenle cilalı ve pürüzlü dikdörtgen kesitli açık kanal akımlarında enkesit üzerinde derinlik boyunca hız ölçümleri yapılarak literatürde kullanılan hız dağılımları incelenmiştir.

Cilalı akım koşullarında deneyler kesit oranının $4.6 \leq B/H \leq 15.4$ ve Reynolds sayısının $4.65 \times 10^4 \leq Re \leq 1.42 \times 10^5$ aralığında gerçekleştirilmiştir. Duvar kanunundaki sabitler $\chi=0.4$ ve $B=5.5$ alındığında iç bölgedeki hız dağılımını temsil ettiği ve bu bölgenin geçerli olduğu aralığın artan Reynolds sayılarında genişlediği belirlenmiştir. Cilalı akım durumunda ölçümlerin yapıldığı enkesite ait entropi parametresi $M=5.75$ olarak hesaplanmıştır. Entropi hız dağılım ifadesinin cilalı akımlar için oldukça iyi sonuç verdiği belirlenmiştir.

Pürüzlü akım koşullarında deneyler kesit oranının $4.5 \leq B/H \leq 10.9$ ve Reynolds sayısının $4.35 \times 10^4 \leq Re \leq 1.41 \times 10^5$ aralığında gerçekleştirilmiştir. Pürüzlü akımlar için verilen logaritmik dağılımların deneysel ölçümler ile uyumlu olduğu belirlenerek rölatif pürüzlülük yükseklikleri (k_s) her bir akım için hesaplanmıştır. Tüm deneylere ait boyutsuz pürüzlülük yüksekliği (k_s/k) ve Froude sayısı (Fr) arasında logaritmik bir ilişki belirlenmiştir. (k_s/k) ile Darcy - Weisbach pürüzlülük katsayısı (f) arasında polinomial bir ilişki belirlenmiş olup bu ifade pürüzlülük katsayısının belirlenmesinde oldukça kullanışlıdır. Pürüzlü akım durumunda hesaplanan $M=4.2$ entropi parametresi hız dağılımında kullanıldığında katı sınır yakınlığında ölçüm değerlerinden sapmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Açık Kanal Akımları, Hız Dağılımı, Entropi Yöntemi, Kayma Gerilmesi

INVESTIGATION OF VELOCITY DISTRIBUTION IN OPEN CHANNEL FLOWS WITH DIFFERENT TOOLS AND METHODS

Emre GÜNAYDIN

Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences

M.Sc. Thesis, August 2008

Thesis Supervisor: Assoc. Prof. Mehmet ARDIÇLIOĞLU

ABSTRACT

Determination of velocity distribution in open channel flows is a highly important feature of designing the channel cross section and determining the flow properties. In this study, experiments have been carried out in a rectangular open channel under smooth and rough channel bed conditions to investigate velocity distributions presented in the relevant literature.

The experiments have been performed over the ranges for the aspect ratios of: $4.6 \leq B/H \leq 15.4$ and Reynolds numbers of: $4.65 \times 10^4 \leq Re \leq 1.42 \times 10^5$ under smooth conditions. When the coefficients of $\chi=0.4$ and $B=5.5$ are used, Law of the Wall distribution is found to be meaningful in the inner region. For smooth channel bed conditions the entropy parameter is calculated as $M=5.75$ for channel cross section. Entropy velocity distribution is found to be useful for smooth channel flows.

For rough conditions experiments have been performed over the ranges for the aspect ratios of: $4.5 \leq B/H \leq 10.9$ and Reynolds numbers of: $4.35 \times 10^4 \leq Re \leq 1.41 \times 10^5$. Experiments are compatible with logarithmic distributions given for rough open channel flows. The relative roughness height (k_s) is calculated for each experiment. A logarithmic relationship is determined between Froude number (Fr) and dimensionless roughness height (k_s/k) related to all experiments. A polynomial relationship is determined between (k_s/k) and Darcy – Weisbach's roughness coefficient (f). This expression is quite useful to acquire the roughness coefficient. When the calculated entropy parameter $M=4.2$ is used for rough channels, velocity distribution for rough surfaces diverges from experimental data.

Keywords: Open Channel Flows, Velocity Distribution, Entropy Concept, Shear Stress

İÇİNDEKİLER

KABUL VE ONAY.....	i
TEŞEKKÜR.....	ii
ÖZET.....	iii
ABSTRACT.....	iv
KISALTMALAR ve SİMGELER.....	vii
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	ix
TABLolar LİSTESİ.....	xi
1. BÖLÜM	
GİRİŞ.....	1
2. BÖLÜM	
LİTERATÜR TARAMASI.....	5
2.1. Türbülanslı Açık Kanal Akımlarında Hız Dağılımı.....	5
2.1.1. Türbülanslı Akımda Sınır Tabaksı.....	5
2.2. Türbülanslı Akım.....	6
2.3. Temel Denklemler.....	8
2.4. Düz Bir Tabanda Düzenli Üniform Akım.....	10
2.5. Türbülans Gerilmesinin İfade Edilmesi.....	11
2.5.1. Boussinesq'in Çalkantı Kinematik Viskozite Katsayısı.....	11
2.5.2. Prandtl'in Karışma Boyu Teorisi.....	12
2.6. Türbülanslı Üniform Akımda Hız Dağılımı.....	13
2.6.1. Viskoz Alt Tabakada Çözüm.....	14
2.6.2. Türbülanslı Bölgede Çözüm.....	14
2.6.3. Dış Bölgede Çözüm.....	19
2.7. Pürüzlü Akım Durumu.....	20
2.7.1. Cilalı ve Pürüzlü Akım Şartları.....	20
2.7.2. Sürtünme Katsayısının Hesaplanması.....	21
2.7.3. Pürüzlü Açık Kanal Akımlarında Hız Profili.....	22
2.8. Entropi Yöntemi ile Hız Dağılımlarının İncelenmesi.....	24
2.8.1. Hız Dağılımının Yapısı.....	25
2.8.2. Olasılık Yoğunluk Fonksiyonunun Türetilmesi.....	27

3. BÖLÜM

DENEY DÜZENEGİ ve YÖNTEMİ.....	35
3.1. Deney Düzenegi.....	35
3.1.1. Debi Ölçer.....	36
3.1.2. Stream Flo Velocity Meter 400 Tipi Propeller Meter (Muline).....	37
3.1.3. Acoustic Doppler Velocitimeter (ADV).....	41
3.2. Cilalı Ve Pürüzlü Deneylerdeki Akım Şartları.....	47
3.3. ADV Ve Propeller Ölçümlerinin Karşılaştırılması.....	51
3.4. Kanalda Simetri Kontrolü.....	56

4. BÖLÜM

DENEYSEL BULGULAR ve TARTIŞMA.....	59
4.1. Cilalı Akım Durumunda Hız Dağılımları.....	59
4.1.1. Logaritmik Hız Dağılımları.....	60
4.1.2. Cilalı Akımlarda Entropi Hız Dağılımı.....	66
4.2. Pürüzlü Akım Durumunda Hız Dağılımları.....	72
4.2.1. Logaritmik Hız Dağılımları.....	73
4.2.2. Pürüzlü Akımlarda Entropi Hız Dağılımı.....	80

5. BÖLÜM

SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	86
KAYNAKLAR.....	89
EK1.....	93
EK2.....	100
ÖZGEÇMİŞ.....	107

KISALTMALAR ve SİMGELER

a	=	akımın enkesit alanı
A_f, B_f	=	pürüzlülük sabitleri
B	=	kanal genişliği
B_L	=	Law of the Wall dağılımında katı sınır özelliklerine bağlı sabit
B_p	=	pürüzlü dağılım integrasyon sabiti
B/H	=	kesit oranı
C	=	Chezy sürtünme faktörü
C_0	=	integrasyon sabiti
D	=	boru çapı
d_v	=	dalma oranı
f	=	Darcy-Weisbach sürtünme faktörü
Fr	=	Froude sayısı
G	=	yerçekimi ivmesi
h	=	dalma derinliği
H	=	su yüksekliği
H_f	=	sürtünme kaybı
k	=	pürüzlülük yüksekliği
k_s	=	eşdeğer kum pürüzlülüğü
l	=	Prandtl karışma boyu
L	=	sınır tabakası gelişme boyu
L_B	=	boru boyu
M	=	entropi parametresi
n	=	Manning sürtünme faktörü
P	=	basınç
$p(u)$	=	olasılık yoğunluk fonksiyonu
$P(u)$	=	kümülatif dağılım fonksiyonu
Q	=	akımın debisi
R	=	hidrolik yarıçap
Re	=	Reynolds sayısı
S	=	enerji çizgisi eğimi

u, v, w	=	kesitteki anlık hızlar
$\bar{u}, \bar{v}, \bar{w}$	=	kesitteki ortalama hızlar
u', v', w'	=	kesitteki anlık hız sapınçları
$\bar{u}', \bar{v}', \bar{w}'$	=	hız sapınçlarının zamansal ortalamaları
u_{mak}	=	kesitteki maksimum hız
u_{vt}	=	viskoz alt tabaka ile türbülanslı bölge arasında hız
u_*	=	kayma hızı
V	=	debi ölçer yardımıyla hesaplanan enkesit ortalama hızı
V_{int}	=	alan integrasyonu sonucu hesaplanan enkesit ortalama hızı
$\vec{V}$	=	hız vektörü
x, y, z	=	kartezyen koordinatlar
X, Y, Z	=	Navier-Stokes denklemlerinde kütleli kuvvet bileşenleri
α	=	kinetik enerji katsayısı (Coriolis katsayısı)
β	=	momentum katsayısı (Boussinesq katsayısı)
δ	=	sınır tabakası yüksekliği
δ_v	=	viskoz alt tabaka kalınlığı
∇^2	=	Laplace operatörü
ε	=	kinematik çalkantı viskozite katsayısı (eddy viskozitesi)
$\xi - \eta$	=	eğrisel entropi koordinatları
ξ_0, ξ_{mak}	=	ξ 'nin minimum ve maksimum değerleri
λ_j	=	Lagrange çarpanları
μ	=	akışkanın dinamik viskozitesi
Π	=	Coles profil parametresi
ρ	=	akışkanın özkütlesi
ν	=	akışkanın kinematik viskozitesi
τ	=	kayma gerilmesi
τ_0	=	kanal tabanında kayma gerilmesi
τ_t, τ_v	=	türbülanslı bölge ve viskoz alt tabakada kayma gerilmeleri
χ	=	üniversal sabit (von Karman sabiti)

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	Sınır Tabakasındaki Hız Dağılımı	6
Şekil 2.2.	Türbülanslı Akımda Hız	7
Şekil 2.3.	Türbülanslı Üniform Akımda Kayma Gerilmesi Dağılımı	10
Şekil 2.4.	Laminer Alt Tabakanın Gösterimi	16
Şekil 2.5.	ξ ve η Eğrilerinin Kullanıldığı Eş Hız Eğrileri	26
Şekil 3.1.	Deney Kanalının Genel Görünümü	36
Şekil 3.2.	Ultrasonic Debi Ölçerin Sensör ve Sinyal Dönüştürücüsü	37
Şekil 3.3.	Ölçüm Sehpası ve Hız Ölçer	38
Şekil 3.4.	Pervanenin Görünümü	38
Şekil 3.5.	Dijital Gösterge.....	39
Şekil 3.6.	Hız Ölçümü Dönüşüm Abağı (a) 30-150cm/s (b) 5-30 cm/s arası	40
Şekil 3.7.	ADV nin ölçüm aldığı su kütleinin 3 boyutlu görünüşü.....	42
Şekil 3.8.	ADV başlık ve probu.	42
Şekil 3.9.	Kanal pürüzlendirme malzemeleri.....	48
Şekil 3.10.	Enkesit Ölçümlerinin Yapıldığı Kesit.....	49
Şekil 3.11.	Eğim Göstergesi Ve Alet Sehpası.....	49
Şekil 3.12.	Q35_C Cilalı akım durumunda ADV ve propellerin karşılaştırılması.....	55
Şekil 3.13.	Q35_C Cilalı Akım durumunda ölçüm yapılan düşeylerin simetri grafikleri	58
Şekil 4.1.	Cilalı Akım Durumlarında Dalma Etkisinin Enkesit Boyunca Değişimi....	61
Şekil 4.2.	Q35_C Ölçümüne Ait Enkesit Üzerinde Ölçülen Boyutsuz Hız Dağılımı.....	59
Şekil 4.3.	Q10_C Boyutsuz hız dağılımları ve logaritmik dağılımın geçerli olduğu Bölgeler.....	63
Şekil 4.4.	Q20_C Boyutsuz hız dağılımları ve logaritmik dağılımın geçerli olduğu bölgeler.....	63
Şekil 4.5.	Q30_C Boyutsuz hız dağılımları ve logaritmik dağılımın geçerli olduğu bölgeler.....	64
Şekil 4.6.	Q35_C Boyutsuz hız dağılımları ve logaritmik dağılımın geçerli olduğu bölgeler.....	64

Şekil 4.7. Cilalı akımlara ait boyutsuz kayma gerilmesi dağılımları.....	65
Şekil 4.8. Cilalı akımlara ait ortalama hız ve maksimum hız arasındaki ilişki.....	66
Şekil 4.9. Q10_C akımına ait hız ölçümleri ve hesaplanan dağılımlar.....	67
Şekil 4.10. Q20_C akımına ait hız ölçümleri ve hesaplanan dağılımlar.....	68
Şekil 4.11. Q30_C akımına ait hız ölçümleri ve hesaplanan dağılımlar.....	69
Şekil 4.12. Q35_C akımına ait hız ölçümleri ve hesaplanan dağılımlar.....	70
Şekil 4.13. Cilalı Akımlarda Ölçümler İle Entropi ve Logaritmik Hızların Karşılaştırılması.....	71
Şekil 4.14. Pürüzlü Akım Durumlarında Dalma Etkisinin Enkesit Boyunca Değişimi.....	72
Şekil 4.15. Q30_P Ölçümüne Ait Enkesit Üzerinde Ölçülen Boyutsuz Hız Dağılımı.....	74
Şekil 4.16. Q10_P Boyutsuz hız dağılımları ve logaritmik dağılımın geçerli olduğu bölgeler.....	75
Şekil 4.17. Q20_P Boyutsuz hız dağılımları ve logaritmik dağılımın geçerli olduğu bölgeler.....	75
Şekil 4.18. Q30_P Boyutsuz hız dağılımları ve logaritmik dağılımın geçerli olduğu bölgeler.....	76
Şekil 4.19. Q35_P Boyutsuz hız dağılımları ve logaritmik dağılımın geçerli olduğu bölgeler.....	76
Şekil 4.20. Pürüzlü akımlara ait boyutsuz kayma gerilmesi dağılımları.....	77
Şekil 4.21. Q35_P ölçümüne ait boyutsuz hızdağılımı.....	78
Şekil 4.22. Fr sayısı ile Boyutsuz Pürüzlülük Yüksekliği Arasındaki İlişki.....	79
Şekil 4.23. Boyutsuz Pürüzlülük Yüksekliği ile Pürüzlülük Katsayısı (f) İlişkisi.....	79
Şekil 4.24. Pürüzlü akımlara ait ortalama hız ve maksimum hız arasındaki ilişki.....	80
Şekil 4.25. Q10_P akımına ait hız ölçümleri ve hesaplanan dağılımlar.....	81
Şekil 4.26. Q20_P akımına ait hız ölçümleri ve hesaplanan dağılımlar.....	82
Şekil 4.27. Q30_P akımına ait hız ölçümleri ve hesaplanan dağılımlar.....	83
Şekil 4.28. Q35_P akımına ait hız ölçümleri ve hesaplanan dağılımlar.....	84
Şekil 4.29. Pürüzlü Akımlarda Ölçümler İle Logaritmik ve Entropi Hızların Karşılaştırılması.....	85

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 2.1.	Logaritmik Dağılımdaki Sabitler.....	18
Tablo 3.1.	Ölçüm yapılan bir noktada düşey kesit boyunca noktaların hızlarını ve ölçüme ait birçok bilgiyi veren *.dis* uzantılı dosya örneği.....	43
Tablo 3.2.	Ölçüm yapılan düşeydeki bir noktanın anlık hızlarını gösteren *.dat* dosyası	45
Tablo 3.3.	Ölçüm yapılan alete ait bilgilerin verildiği *.ctl* dosyası.....	46
Tablo 3.4.	Pürüzsüz (Cilalı) Deneylerin Akım Şartları, Propeller.....	50
Tablo 3.5.	Pürüzlü Deneylerin Akım Şartları, Propeller.....	50
Tablo 3.6.	Q35_C Cilalı Akım durumunda ölçüm yapılan düşeylerde ADV-Propeller farkları.....	53
Tablo 3.7.	Cilalı Akım durumunda ölçüm yapılan düşeylerde ADV-Propeller farkları.....	54
Tablo 3.8 .	Pürüzlü Akım durumunda ölçüm yapılan düşeylerde ADV-Propeller farkları.....	54
Tablo 3.9.	Q35_C Ölçümünde Simetri Kontrolü (Propeller).....	57
Tablo 3.10.	Cilalı akım durumunda Propeller ile yapılan ölçümlerin simetri kontrolü.....	57
Tablo 3.11.	Prüzlü akım durumunda Propeller ile yapılan ölçümlerin simetri kontrolü.....	57
Tablo 4.1.	Cilalı akımlarda kayma hızları ve gerilmeleri.....	65
Tablo 4.2.	Pürüzlü akımlarda kayma hızları ve gerilmeleri.....	77

GİRİŞ

Kullanılabilir su kaynaklarının azalması, artan nüfus, sanayileşme, ekonomik gelişmeler ve şehirlere göç nedeniyle mevcut su kaynaklarının verimli olarak kullanılmasının önemi daha da artmıştır. Bu nedenle su kaynaklarının planlanmasında, gerek doğal nehirlerde gerekse sulama kanallarında akan suyun debisinin sağlıklı olarak belirlenmesine ihtiyaç duyulur. Ayrıca açık kanal akımlarında enkesit boyunca hız ve kayma gerilmesi dağılımlarının bilinmesi, kanal tasarımı, şev koruma çalışmaları ve sediment hareket ve taşınım problemlerinin çözümünde gerekli olmaktadır. Açık kanal akımlarında yapılan hız ve debi ölçümlerindeki hassasiyet, kısıtlı olan su kaynaklarının doğru ve amacına uygun olarak kullanılması bakımından önemlidir.

Serbest yüzeyli akımlar olarak da adlandırılan açık kanal akımları, akım kesitinin katı sınırla tamamen çevrelenmediği ve atmosfer basıncına maruz serbest yüzey gösteren akımlardır. Bu akımlar tabii ortamlardaki deniz ve akarsu akımları ile her türlü yapay kesitteki kaplamasız veya kaplamalı kanallardaki akımları kapsamı içine alır. Açık kanal akımlarının hareketine neden olan kuvvet, ağırlığın kanal doğrultusundaki bileşenidir.

Açık kanal akımlarının basınçlı boru akımlarına göre analizindeki güçlükler kanal kesitinin ve yüzey pürüzlülüğünün çok düzensiz olabilmesinden kaynaklanmaktadır. İnşaat mühendisliği uygulamalarındaki açık kanal akımları çoğunlukla türbülanslıdır ve sıvı olarak su ile ilgilidir.

Açık kanallardaki akımlar boru akımlarına benzemesine rağmen akımın özelliklerinin belirlenmesi basınçlı boru akımlarından daha karmaşık ve zordur. Açık kanalların fiziksel özellikleri; kesit şekli, pürüzlülüğü, kanal taban eğimi borulara nazaran daha

geniş aralıklarda değişmektedir. Açık kanallarda serbest yüzeyin varlığı, kanalın dairesel olmayan kesit şekline bağlı iki ve üç boyutlu akış özelliği, ıslak çeper boyunca uniform olmayan kayma gerilmesi dağılımı gibi bazı faktörler açık kanal akımlarını boru akımlarından ayırır.

Açık kanal akımları da genel sınıflandırma tanımına uygun olarak düzenli veya değişken, uniform veya uniform olmayan şeklinde sınıflandırılır. Düzenli akımda bir noktadaki akım hızı ve derinlik zamandan bağımsızdır. Akım ortalama hızı ve derinlik bir kesitten diğerine değişmez ise akım düzenli uniform akımdır. Eğer akım ortalama hızı ve derinliği bir kesitten diğerine değişiyor ise akım düzenli uniform olmayan akımdır. Bu değişimler kanal kesiti, yüzey pürüzlülüğü ve taban eğimindeki değişimlerden olabileceği gibi akıma yapılan yerel müdahalelerden de kaynaklanabilir. Uniform olmayan akımı yavaş değişen ve hızlı değişen olarak sınıflandırmak mümkündür. Yavaş değişen düzenli uniform olmayan akımlar akım hızının ve derinliğin kanal boyunca yavaş değiştiği akımlardır. Hızlı değişen düzenli uniform olmayan akımlar ise akım hızının ve derinliğinin kanal boyunca hızlı bir şekilde değiştiği akımlardır. Değişken akım, akım hızının ve derinliğin yere ve zamana bağlı değiştiği akımlardır. Değişken akımlar ikiye ayrılır bunlar değişken uniform akım, değişken uniform olmayan akımdır. Değişken uniform akım hızın ve derinliğin sadece zamana bağlı değiştiği akımlardır. Açık kanallarda bu tür akımların oluşması mümkün değildir. Değişken uniform olmayan akım ise hızın ve derinliğin yere ve zamana bağlı olarak değiştiği akımlardır. Her türlü dalga hareketi bu tür akım sınıfındadır. Tabiatla ve laboratuvarla gerçek akışkan akımları üzerinde yapılan çalışmalar özellikleri birbirinden farklı iki akım türünün varlığını göstermektedir. Bunlar laminar ve türbülanslı akımlardır. Açık kanal akımları genelde türbülanslı olup nadir olarak düşük hızlarda laminar akım oluşur. Açık kanal akımlarının kritik altı ve üstü olarak sınıflandırılmasında Froude sayısı kullanılır.

Bir açık kanaldaki akımın belirli olabilmesi için akım yönünün, kanal kesitinin ve kesit içindeki hız dağılımının bilinmesi gerekir. Açık kanalların tasarımında enerji kaybının belirlenmesi, sediment hareketi ve kirlilik problemlerinin incelenmesinde kanaldaki akımın hız dağılımının bilinmesi gerekmektedir. Kanal genişliğinin derinliğe oranı (kesit oranı B/H) 5–10 dan büyük olan kanallarda orta bölgedeki hız dağılımı kanal yan duvarlarından etkilenmediği için akım genelde iki boyutlu olarak düşünülebilir. Bu tür

kanallarda akım boyunca kesit orta düzeyindeki sınır kayma gerilmesinin sabite yakın olması, borular için türetilen hız ifadelerinin açık kanallar için kullanılabileceğini ancak, serbest su yüzeyinin etkileri göz önüne alınarak borular için verilen ifadelerdeki katsayıların, açık kanallar için yeniden belirlenmesi gerektiği Rause [1], Goncharov [1] tarafından belirtilmiştir.

Dairesel borular ve düz yüzeyler üzerindeki türbülanslı akımların hız dağılımını veren ifadelerin belirlenmesi Prandtl [2] ve Von Karman'ın [3] boru akımları üzerindeki teorik araştırmaları ile başlamıştır. Yapılan çalışmalarda katı sınır yakınlarında yani viskoz kuvvetlerin etkisi altındaki alt tabakada doğrusal hız dağılımının geçerli olduğu ifade edilmiştir. Katı sınırdan uzaklaştıkça akımda türbülans etkisinin baskın olduğunu ve bu bölgedeki hız dağılımının Velocity Defect Law (Noksan hız dağılımı) ve Law of the Wall (Duvar kanunu) dağılımları ile temsil edilebileceğini bildirmişlerdir.

Açık kanal akımlarındaki iki boyutlu hız dağılımlarını tanımlayabilmek için ölçülmüş hız bilgilerine ihtiyaç duymayan, parametre tahmin yöntemine dayanan bir matematiksel model Chiu [4] tarafından geliştirilmiştir. Entropi yöntemi olarak isimlendirilen bu model, ele alınan kesite ait bir entropi parametresinin (M) maksimum hız ve ortalama hız arasındaki ilişkiden belirlenebileceğini ve bu parametrenin o kesite ait akım özelliklerinin belirlenmesinde oldukça önemli olduğunu bildirmiştir. Chiu kanal kesitinde belirlenen M parametresinin düzenli ve değişken akımlarda, akımın debisini tahmin etmede, kinetik enerji yüksekliğini ve enerji çizgisinin eğimini belirlemede kullanılabileceğini bildirmiştir [4].

Bu çalışmada açık kanal akımlarında sınır tabakasının gelişmiş olduğu bölgede enkesit boyunca hız dağılımları cilalı ve pürüzlü akımlar için deneysel olarak belirlenmiştir. Bu amaçla Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü Hidrolik Laboratuvarında bulunan 0.6x0.6x9.5 m boyutlarında açık kanal modeli kullanılmıştır. Deneyler pürüzlü ve cilalı olmak üzere dört farklı debide (10, 20, 30, 35 lt/sn) Pürüzlü akımda Reynolds sayısının $4.3 \times 10^4 \leq Re \leq 1.4 \times 10^5$, Froude sayısının $0.32 \leq Fr \leq 0.49$ ve kesit oranının $4.5 \leq B/H \leq 10.9$ aralığında kanal başlangıcından 6.0 m ilerde gerçekleştirilmiştir. Cilalı akımda ise Reynolds sayısının $4.6 \times 10^4 \leq Re \leq 1.42 \times 10^5$, Froude sayısının $0.37 \leq Fr \leq 0.49$ ve kesit oranının $4.6 \leq B/H \leq 15.4$ aralığında kanal başlangıcından 6.0 m ilerde gerçekleştirilmiştir. Yapılan deneylerde

kanal kesitinde simetri kontrolü yapılmış ve farklılıklar irdelenmiştir. Ayrıca 10, 20, 30, 35 lt/sn debideki kanal hızlarının ölçüldüğü propeller ve ADV cihazlarının ölçüm farkları da karşılaştırılmıştır. Ölçülen hızlar ile logaritmik dağılım ve entropi yöntemi ile bulunan hızlar arasındaki farklar araştırılmıştır. Deney sonuçları literatürde belirtilen logaritmik dağılım ve Entropi yöntemi ile incelenerek bu yöntemlerin karşılaştırılması yapılmıştır. Ayrıca ele alınan debilerde akım hızları ADV ve propeller ile ölçülerek farklı cihazların hassasiyeti belirlenmeye çalışılmıştır.

2.BÖLÜM

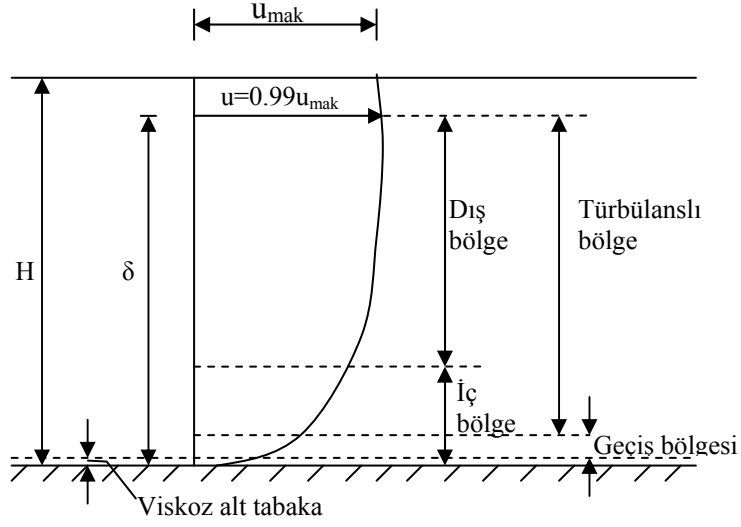
LİTERATÜR TARAMASI

2.1. Türbülanslı Açık Kanal Akımlarında Hız Dağılımı

2.1.1. Türbülanslı Akımda Sınır Tabakası

Gerçek akışkanlar katı bir yüzeyden geçtiğinde viskozitenin etkisi ile hızında bir azalma meydana gelir, katı sınırdaki akımın hızı sıfır olur. Katı sınıra yakın olup viskozitenin tesiriyle çeper sürtünmesinden etkilenen bölgeye “sınır tabakası” denir. Sınır tabakasının özellikle katı sınıra yakın bölgesinde Newton’un sürtünme kanununa göre yüksek hız gradyanı dolayısıyla kayma gerilmeleri büyük olur.

DeneySEL verilere göre tam gelişmiş türbülanslı sınır tabakası akımı iç ve dış olmak üzere iki farklı bölgeye ayrılabilir (Şekil 2.1). İç bölgenin kalınlığı toplam sınır tabakası kalınlığının yaklaşık %10–20 sini oluşturur. Bu bölgede hız dağılımı duvar kayma gerilmesi, akışkanın yoğunluğu, viskozitesi ve katı sınırdan uzaklık ile belirlenir. İç bölge viskoz alt tabaka, geçiş bölgesi ve türbülanslı bölge olmak üzere üç farklı tabakaya ayrılır. Katı sınıra yakın viskoz alt tabakada viskoz gerilmeler tamamen hakim olup çok ince bir bölgedir. Bu tabakanın üstünde viskoz gerilmelerin etkisinin kısmen görüldüğü geçiş zonu mevcuttur. İç bölgenin türbülanslı bölümünde akımda türbülans gerilmeleri tamamen hakim olup hız dağılımı logaritmik olmaktadır. Dış bölgede türbülanslı sınır tabakasının kalınlığı akım derinliğinin %80-90’ını oluşturur ve bu bölgede çalkantı gerilmeleri hakimdir.



Şekil 2.1. Sınır Tabakasındaki Hız Dağılımı.

2.2. Türbülanslı Akım

Gerçek akışkanların hareketinde iki farklı modun varlığı ilk kez Osborne Reynolds'un borulardaki su akımında yaptığı boya deneyleri sonucu ortaya çıkmıştır. Bunlar laminar akım ve türbülanslı akımdır. Reynolds'un deneylerinde laminar akım için boyanın bozulmadan ip gibi bir yörünge çizdiği, tümüyle türbülanslı akımda ise boyanın tamamen akım alanına dağıldığı gözlenmiştir. Böylece türbülanslı akımda akıma dik doğrultuda momentum transferinin, bir takım çalkantıların oluştuğu anlaşılmıştır. Akımın iki modunu ayırmada niceliksel bir ölçü olarak boyutsuz Reynolds sayısı kullanılır.

Bir çok mühendislik probleminde akım türbülanslıdır. Ancak çok karmaşık olan türbülanslı akımın yapısı matematiksel olarak henüz tam çözilememiştir. Bunun yerine deney bulgularıyla geniş ölçüde desteklenen yarı ampirik teoriler kullanılmaktadır.

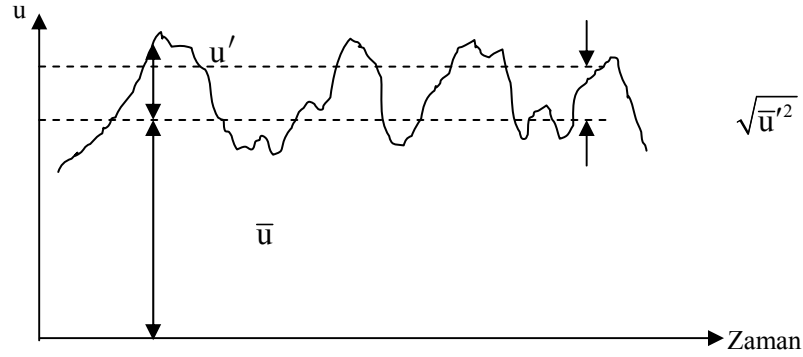
Türbülanslı akım alanında herhangi bir noktada hızın ve diğer akım özelliklerinin (basınç, sıcaklık, vb) şiddeti ve yönü zamana bağlı olarak geliştiği güzel bir biçimde değişir. Buna göre hızın herhangi bir andaki değeri;

$$\vec{V} = u\vec{i} + v\vec{j} + w\vec{k} \text{ ise}$$

$$u = \bar{u} + u'; \quad v = \bar{v} + v'; \quad w = \bar{w} + w'$$

şeklindedir. Burada $\bar{u}$, $\bar{v}$, $\bar{w}$ ortalama değerleri; u' , v' , w' ise anlık hız sapınçlarını temsil etmektedir.

Türbülanslı bir akımın herhangi bir noktasındaki hızı, akımla birlikte taşınan çevrintilerin tesiriyle ortalamadan devamlı sapmalar gösterir. Ayrıca akım yönünden başka yönlerde de hızın bileşenleri mevcuttur ve bunların değeri de zamanla değişmektedir (Şekil 2.2).



Şekil 2.2. Türbülanslı Akımda Hız.

Türbülanslı akımın en büyük özelliği akıma dik doğrultuda momentum transferinin oluşabilmesidir, bu da ortalama hıza ($\bar{u}$) ilaveten hız sapınçlarının (u' , v' , w') meydana gelmesine neden olur. Bu hızın zamansal ortalama değeri;

$$\bar{u} = \frac{1}{\Delta t} \int_{t_0}^{t_0 + \Delta t} u dt \quad (2.1)$$

ifadesi ile tanımlanır [5].

Hız vektörü , (x,y,z) koordinat sisteminde;

$$\vec{V} = \vec{V}(x, y, z, t); \quad \vec{V} = u\vec{i} + v\vec{j} + w\vec{k} \quad (2.2)$$

ve hız vektörünün bileşenleri;

$$u = u(x, y, z, t); \quad v = v(x, y, z, t); \quad w = w(x, y, z, t) \quad (2.3)$$

olmak üzere bu bileşenler de;

$$u = \bar{u} + u'; \quad v = \bar{v} + v'; \quad w = \bar{w} + w' \quad (2.4)$$

ifadeleri ile tanımlanır. (2.4) ifadesinde $\bar{u}, \bar{v}, \bar{w}$ hız bileşenlerinin ortalama değerleri ve u', v', w' anlık hız sapınçlarıdır. Hız sapınçlarının zamansal ortalamaları sıfırdır.

$$\bar{u}' = 0; \quad \bar{v}' = 0; \quad \bar{w}' = 0 \quad (2.5)$$

Buna karşın karelerinin ya da çarpımlarının ortalaması sıfırdan farklı olabilir [5].

2.3. Temel Denklemler

Sınır tabakasındaki akımın tanımlanması için akışkanın hareket denklemini ele almak gerekir. Sürtünmeli sıkışmayan akışkanlarda hareket denklemleri Navier-Stokes denklemleri ile verilmiştir. Bu eşitlikler üç doğrultu için aşağıdaki gibidir [5];

$$\begin{aligned} \rho \left(\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \right) &= X - \frac{\partial p}{\partial x} + \mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) \\ \rho \left(\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} \right) &= Y - \frac{\partial p}{\partial y} + \mu \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial z^2} \right) \\ \rho \left(\frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + v \frac{\partial w}{\partial y} + w \frac{\partial w}{\partial z} \right) &= Z - \frac{\partial p}{\partial z} + \mu \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) \end{aligned} \quad (2.6)$$

Burada ρ ; akışkanın özgül kütlesi, μ ; dinamik viskozite, p ; basınç, X, Y, Z ise kütlelesel kuvvet bileşenleridir.

Bu ifadeler lineer olmayan kısmi diferansiyel denklemler olduğundan analitik çözümleri kolay değildir. Çözüm sadece bazı özel problemler için mümkün olabilmektedir. Birçok akım probleminde eşitlikler daha basit formlara indirgenmek suretiyle çözümler elde edilebilmektedir.

Reynolds (2.6) ifadeleri ile verilen Navier-Stokes denklemlerinin (2.4) ifadesinde tanımlanan türbülans hız bileşenlerini kullanarak türbülanslı akımlar için de geçerli

olduğunu öne sürmüştür. Navier-Stokes denklemlerinin x yönündeki bileşenleri türbülans hızları kullanılarak aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$\rho \frac{\partial(\bar{u} + u')}{\partial t} + \rho(\bar{u} + u') \frac{\partial(\bar{u} + u')}{\partial x} + \rho(\bar{v} + v') \frac{\partial(\bar{u} + u')}{\partial y} + \rho(\bar{w} + w') \frac{\partial(\bar{u} + u')}{\partial z} = X - \frac{\partial p}{\partial x} + \mu \left(\frac{\partial^2(\bar{u} + u')}{\partial x^2} + \frac{\partial^2(\bar{u} + u')}{\partial y^2} + \frac{\partial^2(\bar{u} + u')}{\partial z^2} \right) \quad (2.7)$$

(2.7) ifadesinde terimlerin zamansal ortalaması;

$$\overline{\rho(\bar{u} + u') \frac{\partial(\bar{u} + u')}{\partial x}} = \rho \bar{u} \frac{\partial \bar{u}}{\partial x} + \overline{\rho u' \frac{\partial u'}{\partial x}}$$

$$\overline{\rho(\bar{v} + v') \frac{\partial(\bar{u} + u')}{\partial y}} = \rho \bar{v} \frac{\partial \bar{u}}{\partial y} + \overline{\rho v' \frac{\partial u'}{\partial y}} \quad (2.8)$$

$$\overline{\rho(\bar{w} + w') \frac{\partial(\bar{u} + u')}{\partial z}} = \rho \bar{w} \frac{\partial \bar{u}}{\partial z} + \overline{\rho w' \frac{\partial u'}{\partial z}}$$

şeklindedir. Bu ifadeler (2.7) denkleminde yerine konulursa;

$$\rho \left(\frac{\partial \bar{u}}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial \bar{u}}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial \bar{u}}{\partial y} + \bar{w} \frac{\partial \bar{u}}{\partial z} \right) = X - \frac{\partial p}{\partial x} + \mu \left(\frac{\partial^2(\bar{u} + u')}{\partial x^2} + \frac{\partial^2(\bar{u} + u')}{\partial y^2} + \frac{\partial^2(\bar{u} + u')}{\partial z^2} \right) - \left(\overline{\rho u' \frac{\partial u'}{\partial x}} + \overline{\rho v' \frac{\partial u'}{\partial y}} + \overline{\rho w' \frac{\partial u'}{\partial z}} \right) \quad (2.9)$$

ifadesi elde edilir. Hız sapıncılarının karelerinin ya da çarpımlarının zaman ortalaması sıfırdan farklı olduğundan (2.9) ifadesi ve benzer şekilde Navier-Stokes denklemlerinin y ve z yönündeki bileşenleri de Reynolds denklemleri adı altında şu şekilde yazılabilir;

$$\rho \left(\frac{\partial \bar{u}}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial \bar{u}}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial \bar{u}}{\partial y} + \bar{w} \frac{\partial \bar{u}}{\partial z} \right) = X - \frac{\partial p}{\partial x} + \mu \nabla^2 \bar{u} + \frac{\partial}{\partial x}(-\rho \overline{u'^2}) + \frac{\partial}{\partial y}(-\rho \overline{u'v'}) + \frac{\partial}{\partial z}(-\rho \overline{u'w'})$$

$$\rho \left(\frac{\partial \bar{v}}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial \bar{v}}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial \bar{v}}{\partial y} + \bar{w} \frac{\partial \bar{v}}{\partial z} \right) = Y - \frac{\partial p}{\partial y} + \mu \nabla^2 \bar{v} + \frac{\partial}{\partial x}(-\rho \overline{u'v'}) + \frac{\partial}{\partial y}(-\rho \overline{v'^2}) + \frac{\partial}{\partial z}(-\rho \overline{v'w'}) \quad (2.10)$$

$$\rho \left(\frac{\partial \bar{w}}{\partial t} + \bar{u} \frac{\partial \bar{w}}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial \bar{w}}{\partial y} + \bar{w} \frac{\partial \bar{w}}{\partial z} \right) = Z - \frac{\partial p}{\partial z} + \mu \nabla^2 \bar{w} + \frac{\partial}{\partial x}(-\rho \overline{u'w'}) + \frac{\partial}{\partial y}(-\rho \overline{v'w'}) + \frac{\partial}{\partial z}(-\rho \overline{w'^2})$$

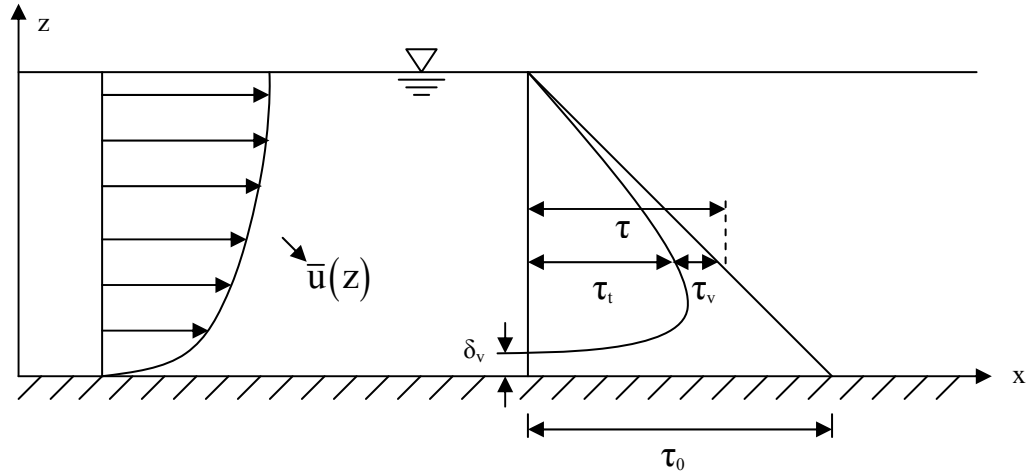
Burada ∇^2 , Laplace operatörüdür. Bu ifadeler Navier-Stokes denklemlerine ilave olarak Reynolds gerilmeleri veya çalkantı gerilmelerini içermektedir. (2.10) ifadeleri vektör notasyonu ile;

$$\rho \frac{d\vec{V}}{dt} = \vec{K} - \vec{\nabla} \bar{p} + \mu \nabla^2 \vec{V} + [\vec{\nabla} T^c] \quad (2.11)$$

şeklinde yazılabilir.

2.4. Düz Bir Tabanda Düzenli Üniform Akım

Reynolds denklemlerinin türbülanslı akım problemlerinde çözümü zor olmaktadır. Ancak Şekil 2.3’de görüldüğü gibi düz bir tabandaki tek boyutlu düzenli üniform akımda $\bar{u} = \bar{u}(z)$, $\bar{v} = 0$, $\bar{w} = 0$ ifadeleri tanımlı olduğuna göre (2.10) denklemlerinde verilen x doğrultusundaki Reynolds hareket denkleminde kütleli kuvvet ve basınç gradyanını ihmal ederek;



Şekil 2.3. Türbülanslı Üniform Akımda Kayma Gerilmesi Dağılımı.

$$\mu \left(\frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial z^2} \right) - \frac{\partial}{\partial z} (\rho \overline{u'w'}) = 0 \quad (2.12)$$

veya

$$\frac{\partial}{\partial z} \left(\mu \frac{\partial \bar{u}}{\partial z} - \rho \overline{u'w'} \right) = 0 \quad (2.13)$$

haline indirgenen bu ifade z doğrultusunda integre edilirse;

$$\mu \frac{\partial \bar{u}}{\partial z} - \rho \overline{u'w'} = C_0 \quad (2.14)$$

ifadesi elde edilir. Burada $\mu \frac{\partial \bar{u}}{\partial z}$ terimi akışkanın viskozitesinden doğan sürtünmeyi temsil eder ve τ ile gösterilir. $-\rho \overline{u'w'}$ terimi ise akımın türbülanslı olması nedeniyle doğan sürtünmeyi gösterir. (2.14) ifadesinde C_0 integrasyon sabitini bulmak için sınır şartı;

$z = 0$ da $\overline{u'w'} = 0$ ve $\mu \frac{\partial \bar{u}}{\partial z} = \tau_0$ dır. Buradan $C_0 = \tau_0$ bulunur. Bu durumda (2.14)

ifadesi aşağıdaki forma girer;

$$\mu \frac{\partial \bar{u}}{\partial z} - \rho \overline{u'w'} = \tau_0 \quad (2.15)$$

Görüldüğü gibi türbülanslı akımın herhangi bir noktasında iki tür gerilmeden bahsetmek gerekir; viskoz gerilme ve türbülans gerilmesi. Böylece toplam gerilme;

$$\tau = \tau_v + \tau_t = \mu \frac{\partial \bar{u}}{\partial z} - \rho \overline{u'w'} \quad (2.16)$$

İfadesi ile gösterilir.

2.5. Türbülans Gerilmesinin İfade Edilmesi

2.5.1. Boussinesq'in Çalkantı Kinematik Viskozite Katsayısı

Newton'un viskozite kanununa benzer şekilde Boussinesq'de çalkantı gerilmesini çalkantı viskozite katsayısı yardımı ile ifade etmiştir. Boussinesq [6] türbülans gerilmelerinin viskoz gerilmeler gibi hız gradyanı ile doğru orantılı olduğunu kabul etmiştir. Orantı katsayısı ϵ kinematik çalkantı viskozite katsayısı veya eddy viskozitesi olarak isimlendirilmiştir. ϵ un değerinin akışkana ve akım türüne bağlı olduğunu ve bir noktadan diğerine değiştiğini bildirmiştir. Boussinesq'e göre çalkantı gerilmesi;

$$-\overline{\rho u'w'} = \rho \varepsilon \frac{\partial \bar{u}}{\partial z} \quad (2.17)$$

Şeklindedir [6]. Bu teori ε 'un basitçe ifade edilebildiği problemlerde başarı ile kullanılmıştır [7]. Boussinesq teorisi ile akımda toplam kayma gerilmesi aşağıdaki gibidir [6].

$$\tau = \rho \nu \frac{\partial \bar{u}}{\partial z} + \rho \varepsilon \frac{\partial \bar{u}}{\partial z} \quad (2.18)$$

2.5.2. Prandtl'in Karışma Boyu Teorisi

τ_t türbülans gerilmesinin hesabı için verilen yarı deneysel teorilerden biri Prandtl'a aittir [2]. Bu teoride $-\overline{\rho u'w'}$ terimi ortalama akım parametreleri cinsinden ifade edilerek Reynolds denklemine çözüm aranmıştır. (2.16) ifadesinde u' ve w' bilinmemektedir.

Prandtl, bir akışkan parçacığının akım doğrultusundaki fazla momentumunu atabilmesi için akıma dik doğrultudaki hareket mesafesini karışma boyu “ l ” olarak tanımlamıştır [2]. Prandtl'ın teorisine göre tabakalar arasındaki hız farkı, x doğrultusundaki türbülans hız sapıncına eşit alınmalıdır [2].

$$u' = l \left| \frac{d\bar{u}}{dz} \right| \quad (2.19)$$

Burada $\frac{d\bar{u}}{dz}$ in işareti mutlak alınmaktadır çünkü u' nün işareti $\frac{d\bar{u}}{dz}$ ve w' ne bağlıdır.

Örneğin pozitif w' için akışkan düşük hız bölgesinden yüksek hız bölgesine sürüklenmekte ve u' negatif olmaktadır. İfadeyi ρ ile çarparsak;

$$\rho u' = l \left| \frac{d(\rho \bar{u})}{dz} \right| \quad (2.20)$$

elde edilir. Bu ifade akışkan parçasının x doğrultusunda türbülans hız sapının dolayısıyla sahip olduğu fazla momentumun, akışkanın akıma dik olarak l yolunu kat etmesiyle oluşan momentum alışverişine eşit olduğunu göstermektedir.

Prandtl'in ikinci varsayımı w' nün u' nün mertebesinde olduğudur;

$$u' = w' = l \left| \frac{d\bar{u}}{dz} \right| \quad (2.21)$$

Böylece çalkantı gerilmesi;

$$-\rho \overline{u'w'} = \rho l^2 \left| \frac{d\bar{u}}{dz} \right| \frac{d\bar{u}}{dz} \quad (2.22)$$

şeklini alır, bu ifade Prandtl'in türbülanslı akım için karışma boyu teorisi olarak bilinmektedir [8].

Katı sınırdaki $w' = 0$ olduğuna göre Prandtl, l nin sınırdaki uzaklıkla doğrusal değiştiğini kabul etmektedir. Karışma boyu;

$$l = \chi z \quad (2.23)$$

şeklinde ifade edilmiştir. Burada χ universal sabit (Karman sabiti) olup deneyler sonucu değerinin 0.4 civarında olduğu görülmüştür.

2.6. Türbülanslı Üniform Akımda Hız Dağılımı

Prandtl'in karışma boyu teorisi kullanılarak üniform akımda hız profili bulunur. Bir boyutlu düzenli üniform akımın hareket denkleminde türbülans gerilmesi için Prandtl denklemini kullanılırsa:

$$\mu \frac{d\bar{u}}{dz} + \rho \chi^2 z^2 \left(\frac{d\bar{u}}{dz} \right)^2 = \tau_0 \quad (2.24)$$

elde edilir [8]. Şekil 2.3'de görüleceği üzere toplam kayma gerilmesinin düşey dağılımında sınıra yakın bölgelerde (yani viskoz alt tabakada) viskoz gerilmeler, uzak

bölgelerde ise türbülans gerilmeleri hakimdir. Bu nedenle Reynolds hareket denkleminin çözümü iki ayrı bölge için yapılmalıdır.

2.6.1. Viskoz Alt Tabakada Çözüm

Viskoz alt tabaka kalınlığı çok küçük olup toplam sınır tabakası kalınlığının (δ) yaklaşık olarak % 0.1-1 ini oluşturur. Hareket denklemi bu bölge için aşağıdaki şekle indirgenir:

$$\mu \frac{d\bar{u}}{dz} = \tau_0 \quad (2.25)$$

$z=0$ için $u=0$ sınır şartı kullanılarak (2.25) ifadesi integre edilirse:

$$\bar{u} = \frac{\tau_0}{\mu} z \quad (2.26)$$

Bu ifade kayma hızı $u_* = \sqrt{\frac{\tau_0}{\rho}}$ ile boyutsuzlaştırılırsa:

$$\frac{\bar{u}}{u_*} = \frac{u_* z}{\nu} \quad (2.27)$$

ifadesi elde edilir. Görüldüğü gibi viskoz alt tabakada hız doğrusaldır. Viskoz alt tabaka kalınlığı için Schlichting $0 < \frac{u_* z}{\nu} < 5$ aralığının tanımlanabileceğini bildirmiştir [5].

2.6.2. Türbülanslı Bölgede Çözüm

Sınırdan uzak bölgelerde çalkantı gerilmeleri hakimdir. Dolayısıyla hareket denkleminde $\mu \frac{d\bar{u}}{dz}$ terimi ihmal edilebilir. Böylece türbülanslı bölge için Reynolds hareket denklemi;

$$\rho \chi^2 z^2 \left(\frac{d\bar{u}}{dz} \right)^2 = \tau_0 \quad (2.28)$$

şeklini alır. Buradan

$$\frac{d\bar{u}}{dz} = \frac{1}{\chi z} \sqrt{\frac{\tau_0}{\rho}} \quad (2.29)$$

elde edilir ve $u_* = \sqrt{\frac{\tau_0}{\rho}}$ yazılarak (2.29) ifadesi integre edildiğinde boyutsuz hız dağılımı için

$$\frac{\bar{u}}{u_*} = \frac{1}{\chi} \ln z + C_0 \quad (2.30)$$

denklemini bulunur. Görüldüğü gibi türbülanslı bölgede akıma dik doğrultudaki hız logaritmik bir dağılım göstermektedir. $z = H$ için $u = u_{\text{mak}}$ sınır şartı kullanılırsa integrasyon sabiti:

$$C_0 = \frac{u_{\text{mak}}}{u_*} - \frac{1}{\chi} \ln H \quad (2.31)$$

olur ve (2.30) ifadesindeki hız dağılımı

$$\frac{\bar{u}}{u_*} = \frac{u_{\text{mak}}}{u_*} + \frac{1}{\chi} \ln \frac{z}{H} \quad (2.32)$$

veya

$$\frac{\bar{u}}{u_*} - \frac{u_{\text{mak}}}{u_*} = \frac{1}{\chi} \ln \frac{z}{H} \quad (2.33)$$

ifadesi elde edilir ki bu düz tabandaki türbülanslı üniform akımda Prandtl'in hız dağılım ifadesidir [2].

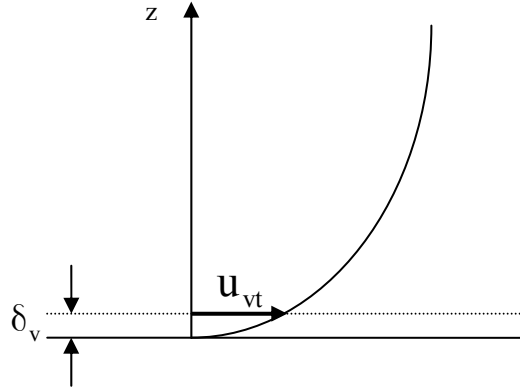
“Velocity Defect - Noksan Hız” dağılımı olarak anılan (2.33) ifadesi iki bakımdan gerçekte uyuşmamaktadır:

i) $z = H$ için $\frac{d\bar{u}}{dz}$ değeri sıfır olması beklenirken ifade sonlu bir değer vermektedir:

$$\frac{d\bar{u}}{dz} = \frac{u_*}{\chi z} = \frac{u_*}{\chi H}$$

ii) $z = 0$ da $\bar{u} = -\infty$ a gitmektedir, yani $z = 0$ için hız sıfır olmamaktadır.

Türbülanslı bölgede hız dağılımının ifadesi için geliştirilen diğer bir ifade de “Law of the Wall – Duvar Kanunu ” dağılımıdır. Şekil 2.4 de görüleceği gibi katı bir sınırdan geçen akımda $z = \delta_v$ kalınlığında, yani viskoz alt tabaka ile türbülanslı bölge ara kesitindeki hız u_{vt} , (2.6) ve (2.11) ifadeleri ile tanımlanabilir.



Şekil 2.4. Laminer Alt Tabakanın Gösterimi.

$$\frac{u_{vt}}{u_*} = \frac{u_* \delta_v}{\nu} \quad (2.34)$$

ve

$$\frac{u_{vt}}{u_*} = \frac{1}{\chi} \ln \frac{\delta_v}{H} + \frac{u_{mak}}{u_*} \quad (2.35)$$

(2.34) ve (2.35) denklemlerinde u_{vt} değerleri eşitlenirse

$$\frac{u_* \delta_v}{\nu} = \frac{1}{\chi} \ln \frac{\delta_v}{H} + \frac{u_{mak}}{u_*} \quad (2.36)$$

veya

$$\frac{u_{\max}}{u_*} = \frac{u_* \delta_v}{\nu} - \frac{1}{\chi} \ln \frac{\delta_v}{H} \quad (2.37)$$

elde edilir. (2.37) ifadesi (2.32) de verilen Velocity Defect dağılımında yerine konulursa:

$$\frac{\bar{u}}{u_*} = \frac{1}{\chi} \ln \frac{z}{H} - \frac{1}{\chi} \ln \frac{\delta_v}{H} + \frac{u_* \delta_v}{\nu} \quad (2.38)$$

ve $\frac{1}{\chi} = A$ yazılırsa

$$\frac{\bar{u}}{u_*} = A \ln \frac{z}{\delta_v} + \frac{u_* \delta_v}{\nu} \quad (2.39)$$

olur. (2.39) ifadesinde eşitliğin sağındaki ikinci terim logaritmik ifade ile birleştirildiğinde

$$\frac{\bar{u}}{u_*} = A \ln \frac{z}{\delta_v} \frac{u_* \delta_v}{\nu} + B_L \quad (2.40)$$

veya

$$\frac{\bar{u}}{u_*} = A \ln \frac{u_* z}{\nu} + B_L \quad (2.41)$$

elde edilir. “Law of the Wall” (Duvar Kanunu) dağılımı adı verilen bu ifade de B_L katı sınır özelliklerine bağlı bir sabittir.

Logaritmik bölgedeki hız dağılımını gösteren (2.41) ifadesindeki A ve B_L sabitlerinin belirlenmesi için açık kanallarda birçok deneysel çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalarda elde edilen sabitler ve (2.41) ifadesinin geçerli olduğu aralıklar Tablo 2.1 de verilmiştir. Tablodan da görüleceği gibi A değeri 2.43–2.86 ve B_L değeri ise 3.8–7.0 arasında değişmektedir.

Tablo 2.1. Logaritmik Dağılımdaki Sabitler.

Araştırmacı	$\frac{1}{\chi}$	B_L	Geçerli olduğu Aralık $z^+ = \frac{u_* z}{\nu}$
Klebanof (1954)	2.44	4.9	
Clauser (1956)	2.44	4.9	
Townsend (1956)	2.5	4.9-7.0	
Spalding (1961)	2.78	3.8	$z^+ > 26$
Pao (1961)	2.5	5.5	$z^+ \geq 27.5$
Rotta (1962)	2.44	5.2	$z^+ \geq 80$
Daily ve Harlemen (1966)	2.5	5.5	$z^+ \geq 30$
Clark (1968)	2.86	4.0-6.0	$30 < z^+ < 500$
Coles ve Hirst (1968)	2.44	5.0	$z^+ \geq 40$
Schlichting (1968)	2.5	5.5	$z^+ \geq 70$
Huffman ve Bradshaw (1972)	2.44	5.0	
Eckelman (1974)	2.65	5.9	$40 \leq z^+ \leq 300$
Johanson ve Alfredson (1983)	2.44	5.0	$30 \leq z^+ \leq 350$
Steffler ve Arkadaşları (1985)	2.5	5.5	$z^+ \geq 30$
Nezu ve Rodi (1986)	2.43	5.29	$z^+ \geq 30$
Kırkgöz (1989)	2.44	5.5	$50 - 80 \leq z^+ \leq 200 - 600$
Kırkgöz ve Ardıçlıoğlu (1997)	2.44	5.5	$20 - 40 \leq z^+ \leq 200$

2.6.3. Dış Bölgede Çözüm

Coles Law of the Wall ifadesine ampirik bir fonksiyon ilave ederek tüm sınır tabakası için yani iç ve dış bölgeler için geçerli olabilecek hız dağılımı ifadesini vermiştir [9].

$$\frac{\bar{u}}{u_*} = A \ln \frac{u_* z}{\nu} + B_L + \frac{\Pi}{\chi} W\left(\frac{z}{H}\right) \quad (2.42)$$

Burada Π profil parametresi olup değeri 0.55 olarak verilmiştir. Bu ifadenin son terimindeki kuyruk fonksiyonu aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

$$W\left(\frac{z}{H}\right) = 2 \sin^2\left(\frac{\pi z}{2H}\right) \quad (2.43)$$

Coles ifadesi sınır tabakasının üst sınırında yani $z = H$, $u = u_{\text{mak}}$ için

$$\frac{u_{\text{mak}}}{u_*} = A \ln \frac{u_* H}{\nu} + B_L + \frac{\Pi}{\chi} 2 \sin^2\left(\frac{\pi}{2}\right) \quad (2.44)$$

şeklinde yazılabilir. (2.44) ve (2.42) ifadeleri birbirinden çıkarıldığında

$$\frac{u_{\text{mak}} - \bar{u}}{u_*} = -\frac{1}{\chi} \ln \frac{z}{H} + \frac{\Pi}{\chi} 2 \cos^2\left(\frac{\pi z}{2H}\right) \quad (2.45)$$

şeklinde Coles'un velocity-defect formunda hız dağılımı ifadesi elde edilir.

Π parametresinin değeri Nezu ve Rodi tarafından açık kanaldaki akımlarda yapılan ölçümlerle araştırılmıştır [10]. Yapılan çalışmada Reynolds sayısı arttıkça dış bölgedeki logaritmik ifadede sapmanın ihmal edilemeyeceği ve bu sapmanın Coles'un kuyruk fonksiyonu ile gösterilebileceği ifade edilmiştir. Nezu ve Rodi Π parametresinin

$$Re = \frac{4R u_{\text{mak}}}{\nu} = 40000 \text{ e kadar sıfır olduğunu, artan Reynolds sayılarında } \Pi \text{ değerinin}$$

0.2 de sabitleştiğini belirtmişlerdir [10]. Bu değer Coles'un 0.55 olarak elde ettiği değerden küçüktür.

Steffler ve ark. Π için 0.08–0.15 arasında değişen daha küçük bir değer elde etmişlerdir [11]. Kırkgöz açık kanalda yaptığı çalışmalar sonucu Π nin 0.1 alınması ile (2.45) ifadesinin deney sonuçları ile daha iyi uyum sağladığını bildirmiştir [12].

Cordaso ve ark. yaptıkları deneysel çalışmada $0.2 < \frac{z}{H} < 0.7$ bölgesinde Coles'un Π parametresinin değerinin 0.08 olduğunu, su yüzeyine yakın yerlerde, $0.7 < \frac{z}{H} < 1.0$ için, ikincil akımlardan dolayı yavaşlama etkisinin görüldüğünü ve kuyruk fonksiyonu ile ifade edilen sapmayı azaltıcı yönde etkilediğini bildirmişlerdir [13].

Bisset ve Antonia yaptıkları çalışmada Π parametresi için Coles'un önerdiği 0.55 değerinin kullanılabileceğini belirtmişlerdir [14]. Kırkgöz ve Ardıçlıoğlu pürüzsüz açık kanal akımlarında gelişmiş sınır tabakasında hız ölçümleri yapmışlardır. Deneysel ölçümler sonucunda türbülanslı akımlarda iç ve dış bölgede hız dağılımlarının Coles'un ifadesindeki parametrenin $\Pi=0.1$ alınarak tanımlanabileceğini bildirmişlerdir [15].

2.7. Pürüzlü Akım Durumu

2.7.1. Cilalı ve Pürüzlü Akım Şartları

Açık kanal akımları hidrolik olarak cilalı veya pürüzlü olabilir. Cilalı akım taban düzensizliklerinin çok küçük olduğu durumlarda, örneğin pürüzlülük yüksekliğinin tamamen laminar alt tabakada kaldığı durumlarda ortaya çıkar [16]. Bu yüzden cilalı akımlarda taban pürüzlülüğü hız dağılımına etki etmez.. Schlichting ve Gersten'e göre akımın cilalı olma şartı [5];

$$0 < \frac{u_* k}{\nu} < 5 \quad (2.46)$$

şeklinde tanımlanmıştır.

burada k pürüzlülük yüksekliğidir. Pürüzlü akımın oluşması için tabana yakın bölgede çalkantılar oluşturacak kadar taban pürüzlülüğü bulunması gerekir. Bu durumda viskoz alt tabaka görülmez ve hız dağılımı sadece taban pürüzlülüğünden etkilenir. Akımın pürüzlü olma şartı aşağıdaki gibi verilmiştir.

$$70 < \frac{u_* k}{\nu} \quad (2.47)$$

Schlichting ve Gersten hidrolik pürüzlü terimi yerine tamamen pürüzlü terimini kullanmışlardır ve aşağıdaki durumda akımın geçiş bölgesinde olduğunu belirtmişlerdir [5].

$$5 < \frac{u_* k}{\nu} < 70 \quad (2.48)$$

Bu durumda akım hem taban pürüzlülüğünden hem de viskoziteden etkilenir.

2.7.2. Sürtünme Katsayısının Hesaplanması

Sürtünme katsayısı akımlarda kanal pürüzlülüğünün enerji kaybına etkisini temsil eder. Sürtünme katsayısının belirlenmesinde kullanılan en yaygın hesap yöntemleri aşağıda verilmiştir.

Chezy (1768) üniform akımlar için hız ifadesini aşağıdaki gibi vermiştir.

$$V = C\sqrt{RS} \quad (2.49)$$

Burada C sürtünme faktörü, R hidrolik yarıçap ve S enerji çizgisi eğimidir.

Darcy (1854), Weisbach (1845) yük kaybı ve akım direnci için aşağıdaki ifadeyi geliştirmiştir.

$$H_f = f \frac{L_B}{D} \frac{V^2}{2g} \text{ ve } V = \sqrt{\frac{8g}{f} RS} \quad (2.50)$$

Burada f sürtünme katsayısıdır. Colebrook-White yaptıkları çalışmalarla pürüzlülük yüksekliği ile f sürtünme katsayısı arasında bir ilişki geliştirmişleridir. Eşitlik yarı ampirik bir ifadedir ve türbülanslı ve hidrolik cilalı, ya da pürüzlü yüzeyler için geçerlidir.

$$\frac{1}{f} = -2 \log \left(\frac{k}{A R_h} + \frac{B_f}{4 Re \sqrt{f}} \right) \quad (2.51)$$

Farklı pürüzlülük şartları ve kanal kesitlerinde yapılan çalışmalar sonucu A_f ve B_f katsayılarının $12 < A_f < 15$ ve $0 < B_f < 6$ aralıklarında oluştukları bildirilmiştir [14]. Hidrolik pürüzlü akım şartlarında pürüzlülük katsayısı aşağıdaki gibi tanımlanmıştır [16].

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2 \log \left(12.27 \frac{R}{k} \right) \quad (252)$$

Manning (1895) açık kanallardaki üniform akımların hesabında en çok kullanılan formül olarak (2.53) ifadesini önermiştir. İfadenin kolay kullanımı ve gerçeğe yakın sonuçlar vermesi kullanımını artırmıştır.

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2} \quad (2.53)$$

Burada n Manning pürüzlülük katsayısı olup akım derinliğine, kanal tabanı ve şevlerin pürüzlülüğüne, bitki örtüsüne, kanal düzensizliğine ve eğrilğine, hareketli taban ve yatak özelliklerine, bağlı olarak değişmektedir.

2.7.3. Pürüzlü Açık Kanal Akımlarında Hız Profili

Pürüzlü açık kanal akımlarındaki hız dağılımına yüzeyin pürüzlülüğü etki etmektedir. Logaritmik hız ifadelerinin pürüzlü kanallarda da kullanılabileceği bildirilerek üniform ve düzenli üniform olmayan akımlarda, $z/H < 0.20$ iç bölgede logaritmik ifade aşağıdaki gibi tanımlanmıştır.

$$\frac{\bar{u}}{u_*} = \frac{1}{\chi} \ln \left(\frac{z}{k_s} \right) + B_p \quad (2.54)$$

Bu ifadede u' , düşey doğrultudaki noktasal hız, $\chi=0.40$ von Karman sabiti, u_* , kayma hızı, z tabandan uzaklık k_s , eşdeğer kum pürüzlülüğü, B_p integrasyon sabiti olup $B_p = 8.5 \pm 15\%$ olarak verilmiştir. Silberman (2.54) ifadesinin hem cıvalı hemde pürüzlü akım şartlarında kullanılabileceğini ve bu ifadedeki k_s eşdeğer kum pürüzlülüğünün aşağıdaki gibi tanımlanabileceğini bildirmişlerdir.

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \operatorname{Log} \left(\frac{k_s}{14.83 R} + \frac{2.52}{\operatorname{Re} \sqrt{f}} \right) \quad (2.55)$$

Bu ifade de $f = 8 \left(\frac{u_*}{V} \right)^2$ şeklinde tanımlanan Darcy-Weisbach sürtünme katsayısı, R

hidrolik yarıçap, Re, Reynolds sayısıdır.

Coles'un tüm sınır tabakası boyunca hız dağılımını tanımlamak için vermiş olduğu (2.42) ifadesi pürüzlü yüzeyler için aşağıdaki gibi yazılabilmektedir [9].

$$\frac{\bar{u}}{u_*} = \frac{1}{\chi} \ln \left(\frac{z}{k_s} \right) + B_p + \frac{2\Pi}{\chi} \sin^2 \left(\frac{\pi z}{2 z_{\max}} \right) \quad (2.56)$$

Kuyruk parametresi Π değişik araştırmacılar tarafından deneysel olarak araştırılmıştır [10-18]. Kırkgöz tam gelişmiş pürüzlü sınır tabakası akımında iç bölgede ($100 < u_* z / \nu < 400$) hız dağılımının (2.57) ifadesi ile tanımlanabileceğini bildirmiştir [18].

$$\frac{\bar{u}}{u_*} = 2.44 \ln \frac{u_* z}{\nu} - 0.8 \quad (2.57)$$

Bu son ifade cilalı yüzeyler için verilen dağılımdan farklı olup u/u_* değeri pürüzlü akım durumunda daha küçük olmakta ve ifadenin geçerli olduğu bölge daha da uzamaktadır.

2.8. Entropi Yöntemi ile Hız Dağılımlarının İncelenmesi

Bu bölümde açık kanallarda hız dağılımlarını formüle etmek için Chiu tarafından geliştirilen olasılık yöntemini kullanarak entropy'yi maksimize eden istatistiksel bir yöntem ele alınacaktır [4-19-20-21]. Açık kanal akımında bir kesitte rasgele değişken olarak u alınır, burada u ele alınan zaman aralığında ortalama hızı göstermektedir, $p(u)$ da olasılık yoğunluk fonksiyonu olmak üzere aşağıdaki ifade yazılabilir;

$$\int_0^{u_{\max}} p(u) du = 1 \quad (2.58)$$

Burada $u_{\max}$ ele alınan kesite ait maksimum hız olup $p(u)$ aşağıdaki koşulları sağlamalıdır.

- 1) Ele alınan enkesitteki u ' nun integrasyonu debiye eşit olmalı

$$Q = \int u da = aV = a \int_0^{u_{\max}} up(u) du \quad (2.59)$$

Burada Q : debi, a :enkesit alanı ve $\bar{u}$: enkesit ortalama hızıdır. (2.59) nolu denklem aşağıdaki gibi yazılabilir;

$$\int_0^{u_{\max}} up(u) du = V = \frac{Q}{a} \quad (2.60)$$

- 2) $p(u)$ aşağıdaki gibi tanımlanır

$$\int_0^{u_{\max}} u^2 p(u) du = \bar{u}^2 = \beta \bar{u}^2 \quad (2.61)$$

çünkü ele alınan kesitten birim zamanda geçen akımın momentumu;

$$\rho \int u^2 da = \rho a \int_0^{u_{\max}} u^2 p(u) du \quad (2.62)$$

(2.61) ve (2.62) nolu eşitliklerde ρ : akışkanın yoğunluğunu, $\bar{u}^2$: u 'nun karesinin ortalaması ve β : momentum katsayısı (Boussinesq katsayısı) dır [6].

3) $p(u)$ aşağıda verilen koşulu da sağlamalıdır.

$$\int_0^{u_{\max}} u^3 p(u) du = \bar{u}^3 = \alpha \bar{u}^3 \quad (2.63)$$

çünkü ele alınan kesitten geçen akımın kinetik enerjisi alan integrali ile aşağıdaki gibi tanımlanabilir.

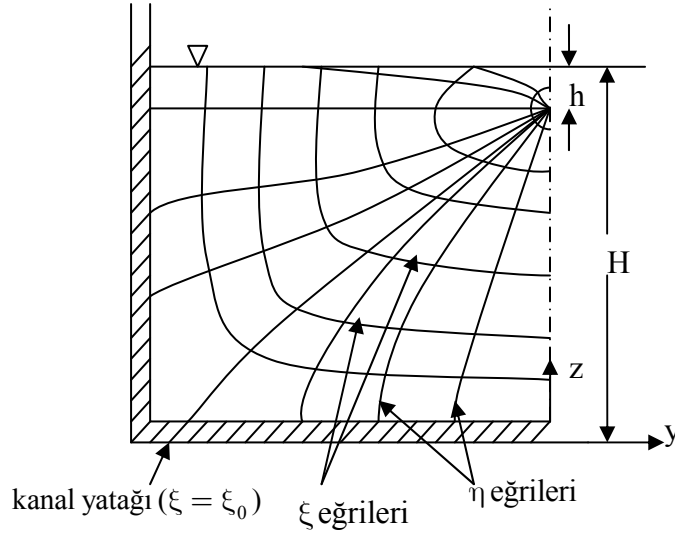
$$\frac{\rho}{2} \int u^3 da = \frac{\rho}{2} a \bar{u}^3 = \frac{\rho}{2} a \int_0^{u_{\max}} u^3 p(u) du \quad (2.64)$$

(2.63) no lu eşitlikte α : kinetik enerji katsayısı (Coriolis katsayısı) dır.

(2.60), (2.61), ve (2.63) nolu eşitlikler bağımsız değişken u nun birinci derece, ikinci derece ve üçüncü derece momentleridir. Bunlar söz konusu kesite ait akımdaki kütle taşınımı, momentum ve enerji ifadeleridir. (2.59), (2.62) ve (2.64) no lu eşitlikler temel hidrodinamik prensiplerini açıklayan istatistiksel ifadelerdir.

2.8.1. Hız Dağılımının Yapısı

Geniş olmayan açık kanallarda hız, zamanla hem düşey hem de yatay yönde değişir. Eş hız eğrileri su yüzeyine doğru eğrileşir. Maksimum hız su yüzeyinin hemen altında görülebilir, yani hız düşeydeki iki farklı noktada eşit değerler alabilir. Bu yüzden hız dağılımının modellenmesinde kartezyen y ve z koordinatlarını başka bir koordinat sistemine dönüştürmek gerekir. Bu amaçla seçilen ξ 'koordinatının hız değeri ile bire bir ilişki içinde olduğu $\xi - \eta$ koordinat sistemi ele alınabilir. Bu amaçla, eş hız eğrilerinin yerini ξ koordinat eğrileri ve η düşey eğrilerinin aldığı iki boyutlu hız dağılımı Şekil 2.5 de verilmiştir.



Şekil 2.5. ξ ve η eğrilerinin kullanıldığı eş hız eğrileri.

ξ eğri ailesini y ve z ye bağlı bir fonksiyon olarak ele alırsak, η buradan türetilebilir. ξ ve η koordinatları, dairesel boru akımı problemlerinde kullanılan silindirik koordinatlarla yaklaşık aynıdır. u ($0 \leq u \leq u_{\max}$) zamansal ortalama olarak alınırsa bir eş hız eğrisinde zamanla değişmeyecek hız ξ de görülür ($\xi_0 \leq \xi \leq \xi_{\max}$). u değeri ξ nin ξ_0 olduğu durumlarda yani kanal tabanı ya da kenarında her zaman sıfırdır. Ayrıca ξ nin $\xi_{\max}$ olduğu yüzey veya yüzeyin hemen altında u nun maksimum değeri görülür. u hız değeri $\xi_{\max}$ koordinatından ξ_0 a doğru düzenli olarak azalır, fakat y eksenine bağlı kalınırsa azalma düzenli olmayabilir. Buradan anlaşılabileceği gibi uzaysal koordinat değeri ξ den küçük olan bir yerde hız da u dan küçük olur ve u yu ξ ye bağlayan deterministik bir G fonksiyonu aşağıdaki gibi belirtilebilir.

$$u = G(\xi) \quad (2.65)$$

Olasılık formülünde sırasıyla ξ ve u , olasılık yoğunluk fonksiyonundaki q ve p gibi rasgele değişkenler olsun. ξ_0 ve $\xi_{\max}$ arasındaki ξ uzaysal değişkeninin bütün değerlerinin eşit olduğunu varsayalım, öyleyse ξ nin olasılık yoğunluk fonksiyonu $\xi_0 - \xi_{\max}$ aralığında üniform dur.

$$q(\xi) = \frac{1}{\xi_{\max} - \xi_0} \quad (2.66)$$

Hızın olasılığı u dan küçük veya u ya eşittir ve p nin u ya bağlı kümülatif dağılım fonksiyonu ;

$$P(u) = \int_0^u p(u) du = \int_0^u p[G(\xi)] du = \int_{\xi_0}^{G(u)^{-1}} q(\xi) d\xi = \frac{\xi - \xi_0}{\xi_{\max} - \xi_0} \quad (2.67)$$

Bunun anlamı; eğer ξ ξ_0 ve $\xi_{\max}$ arasında rasgele bir değer alırsa ve buna uygun $u = G(\xi)$ elde edilirse, hızın olasılığı $p(u)du$ dur ve $u - u + du$ aralığında oluşur. Bu Chiu ve Chiou tarafından geliştirilen metotla ampirik olarak gösterilirse; (2.67) eşitliğindeki $\frac{\xi - \xi_0}{\xi_{\max} - \xi_0}$ değeri ξ eş hız eğrisi ile kanal yatağı arasındaki alanın kanal kesitinin tüm alanına oranıdır [13]. (2.67) eşitliği ve olasılık yoğunluk fonksiyonundan;

$$p(u) = \frac{dP(u)}{du} = \frac{dP(u)}{d\xi} \frac{d\xi}{du} = \left[(\xi_{\max} - \xi_0) \frac{du}{d\xi} \right]^{-1} \quad (2.68)$$

elde edilir. (2.67) ve (2.68) ifadelerinden anlaşılaacağı üzere, y ve z koordinatlarındaki u nun değişimini gösteren hız dağılımı ξ ye bağlı olarak ifade edilebilir.

2.8.2. Olasılık Yoğunluk Fonksiyonunun Türetilmesi

Olasılık yoğunluk fonksiyonu $p(u)$ nun türetilmesinde, daha önce bilinen istatistikte [22], istatistiksel mekanikte ve bilgi teorisinde [23] kullanılmış olan “Entropi – maksimizasyon” metodu kullanılabilir. Bu durumda entropi’yi maksimize eden $p(u)$ aşağıdaki gibi belirlenir.

$$H(u) = - \int_0^{u_{\max}} p(u) \ln p(u) du \quad (2.69)$$

Metot düzenli denge durumundaki sistemin entropy yi maksimize etmesi şartına göre türetilmiştir. Literatürde entropy ile ilgili bilgilere ulaşılabilir [4-24-25]. Hidrolojide de entropy yöntemi ile ilgili uygulamalar son yıllarda oldukça artmıştır [26]. Eşitliklerdeki

$p(u)$ nun belirlenmesi için değişkenlerin hesabı yöntemi (calculus of variations) kullanılabilir.

$$\frac{\partial}{\partial p} \left(-p \ln p + \sum_{i=0}^3 \lambda_{i+1} u^i p \right) = 0 \quad (2.70)$$

(2.58) eşitliğinden;

$$p(u) = e^{\left(\sum_{i=0}^3 a_{i+1} u^i \right)} \quad (2.71)$$

burada λ_j Lagrange çarpanları, $a_1 = \lambda_1 - 1$ ve $a_j = \lambda_j$ ($j \neq 1$ için) dir. a_1, a_2, a_3 ve a_4 parametreleri $u_{\max}$ dan, u nun ilk üç momentinden ya da $u_{\max}$, $\bar{u}$, α ve β dan bulunabilir. Eğer $H(u)$ nun maksimize edilmesinde sadece (2.69) ve (2.71) ifadeleri kullanılırsa olasılık fonksiyonu aşağıdaki hali alır;

$$e^{a_1} = a_2 (e^{a_2 u_{\max}} - 1)^{-1} \quad (2.72)$$

ve

$$\bar{u} = u_{\max} e^{a_2 u_{\max}} (e^{a_2 u_{\max}} - 1)^{-1} - \frac{1}{a_2} \quad (2.73)$$

(2.68) ve (2.71) eşitliklerinden elde edilen diferansiyel denklem $\xi = \xi_0$ da $u = 0$ sınır şartı kullanılarak çözülürse;

$$u = \frac{1}{\lambda_2} \ln \left(\frac{\lambda_2}{e^{\lambda_1 - 1}} \frac{\xi - \xi_0}{\xi_{\max} - \xi_0} \right) \quad (2.74)$$

elde edilir. Eğer $\bar{u}$ ve $u_{\max}$ biliniyorsa (ölçülmüşse), λ_1 ve λ_2 parametreleri (2.72) ve (2.73) eşitliklerinden bulunabilir, eğer ölçülmemişse hız dağılımı verisi kullanılarak en küçük kareler yöntemi (least squares method) ile bulunabilir.

$e^{\lambda_1 - 1}$ terimi $p(u)$ olasılık yoğunluk fonksiyonunun $u = 0$ daki değeridir, ve λ_2 ve $u_{\max}$ a bağlıdır. Bu yüzden (2.74) eşitliği aşağıdaki formda yazılabilir.

$$\frac{u}{u_{\text{mak}}} = \frac{1}{M} \ln \left[1 + (e^M - 1) \frac{\xi - \xi_0}{\xi_{\text{mak}} - \xi_0} \right] \quad (2.75)$$

burada; $M = \lambda_2 u_{\text{mak}}$ boyutsuz bir parametredir, (2.67) ve (2.70) eşitliklerinden;

$$M = \ln \frac{p(u_{\text{mak}})}{p(0)} = \ln \frac{\left(\frac{du}{d\xi} \right)_{\xi=\xi_0}}{\left(\frac{du}{d\xi} \right)_{\xi=\xi_{\text{mak}}}} \quad (2.76)$$

Burada; $\left(\frac{du}{d\xi} \right)_{\xi}$, ξ de ki $\frac{du}{d\xi}$ dir. Buradan anlaşıldığı gibi M, olasılık ve hız dağılımının

üniformluğunun ölçümüdür. (2.75) eşitliği maksimum hızın su yüzeyinin hemen altında oluşması durumunda açık kanallardaki iki boyutlu hız dağılımını ifade eder. M'in iki

parametresi vardır; λ_2 ve u_{mak} . Geniş kanallarda $\frac{\xi - \xi_0}{\xi_{\text{mak}} - \xi_0}$ yerine $\frac{z}{H}$ kullanılabilir;

burada H su derinliğidir. (2.75) eşitliğinde $\frac{\xi - \xi_0}{\xi_{\text{mak}} - \xi_0}$ yerine $\frac{z}{H}$ kullanılırsa, Prandtl von

Karman hız dağılım ifadelerine göre daha kullanışlı ifadeler elde edilir [4].

Ayrıca (2.73) eşitliğinin her iki tarafı da u_{mak} a bölünürse;

$$\frac{\bar{u}}{u_{\text{mak}}} = \frac{e^M}{e^M - 1} - \frac{1}{M} \quad (2.77)$$

eşitliği elde edilir. Bu ifade Entropy parametresi M in belirlenmesinde kullanılabilir.

Chiu ve Tung, (2.75) eşitliğindeki $\frac{\xi}{\xi_{\text{mak}}}$ oranını, maksimum hızın oluşma yerine göre üç farklı şekilde tanımlamıştır [27].

Durum 1;

u_{mak} maksimum hızının yüzeyden h mesafe aşağıda olduğu durumdur, yani $z = H - h$. Bu noktadan itibaren su yüzüne kadar hız azalırken z su yüksekliği

artmaktadır, bu yüzden su yüzeyinde $\frac{du}{dz} < 0$ olur. Bu durumda $h > 0$ olur ve ξ_{mak} ile u_{mak} $z = H - h$ noktasında oluşur. O halde;

$$\frac{\xi}{\xi_{mak}} = \frac{z}{H - h} e^{\left(1 - \frac{z}{H-h}\right)} \quad (2.78)$$

Durum2;

u_{max} maksimum hızının yüzeyde olduğu durumdur, böylece $h = 0$ ve $\xi_{mak} = 1$ olur ve (2.61) eşitliği aşağıdaki hali alır;

$$\frac{\xi}{\xi_{mak}} = \frac{z}{H} e^{\left(1 - \frac{z}{H}\right)} \quad (2.79)$$

su yüzeyinde $\frac{du}{dz} = 0$ olur ve bundan dolayı hız dağılımı su yüzeyini pozitif açıyla keser.

Durum 3;

u_{mak} maksimum hız su yüzeyinde oluşur ve su yüzeyinde $\frac{du}{dz} > 0$ olur. Bu durumda $h < 0$ olur, h 1 ve 2 durumlarındaki fiziksel anlamını yitirerek (u_{mak} in oluşma yeri) hız dağılımı eğrisini ayarlama da kullanılan bir katsayı haline dönüşür, (2.72) eşitliği aşağıdaki hali alır;

$$\frac{\xi}{\xi_{mak}} = \frac{z}{H} \quad (2.80)$$

Moramarco ve arkadaşları açık kanallardaki herhangi bir düşeydeki hız dağılımını göstermek üzere (2.75) nolu eşitliği aşağıdaki gibi düzenlemiştir [28].

$$u_i = \frac{u_{mak_i}}{M} \ln \left[1 + (e^M - 1) \frac{z}{H_i - h_i} \exp \left(1 - \frac{z}{H_i - h_i} \right) \right] \quad i = 1, 2, \dots, N_v, \quad (2.81)$$

Bu ifadede u_i ele alınan düşeydeki noktasal hızı, u_{maki} maksimum hızı, M (2.77) ifadesi ile hesaplanan kesite ait entropi parametresini, z noktasal hızın koordinatını, H_i akım derinliğini, h_i maksimum hızın serbest su yüzeyinden uzaklığını göstermektedir.

Ardıçlıoğlu ve ark. pürüzlü açık kanal modelinde 24 farklı ölçüme ait kanal orta kesitinde ve duvara doğru 7 farklı düşeyde ölçülen hızların entropi yöntemi ile geliştirilen hız dağılım ifadesine uyumu araştırmışlardır. Söz konusu deneylere ait kesit oranı B/H ın 9 dan büyük olduğu akımlarda serbest su yüzündeki dalmanın kanal duvarına en yakın ölçüm yapılan $2y/B=0.9$ kesitinde olduğu, ölçüm değerlerinin entropi yöntemi ile hesaplanan hız dağılımları ile uyumun iyi olduğu belirlenmiştir. $B/H < 9$ olan akımlarda enkesit üzerindeki tüm düşeylerde yapılan ölçümlerde dalma etkisi gözlenmiş bu etkinin kanal orta kesitinden duvara kadar gittikçe arttığı gözlenmiştir. Entropi yöntemi ile hesaplanan hız dağılımlarının gerek kanal tabanına yakın bölgede gerekse serbest su yüzüne yakın bölgede ölçüm değerleri ile farklılık gösterdiğini ve bu farklara ait “rms” değerlerin ortalama %8 civarında olduğunu belirlemişlerdir [29].

Ardıçlıoğlu ve ark pürüzlü açık kanal modelinde logaritmik dağılım ve entropi yöntemini incelemişler, her iki yöntemin de katı sınır yakınlarında ve serbest su yüzüne yakın bölgede hız dağılımını iyi temsil etmediğini belirlemişlerdir. Serbest su yüzü yakınlarında oluşan dalma etkisini Coles’un kuyruk fonksiyonu ile daha iyi temsil edildiğini belirtmişlerdir. Pürüzlü katı yüzey yakınlarında ise entropi parametresi M için yeni bir yaklaşım önermişlerdir [30].

Şentürk cilalı akım koşullarında deneyleri kesit oranının $4.4 \leq B/H \leq 21.6$ ve Reynolds sayısının $2.3 \times 10^4 \leq Re \leq 2.1 \times 10^5$ aralığında gerçekleştirmiştir. Duvar kanunundaki sabitler $\chi=0.4$ ve $B=5.5$ alındığında iç bölgedeki hız dağılımını temsil ettiği ve bu bölgenin geçerli olduğu aralığın artan Reynolds sayılarında genişlediği belirlenmiştir. Cilalı akım durumunda ölçümlerin yapıldığı enkesite ait entropi parametresi $M=5.8$ olarak hesaplanmıştır. Entropi hız dağılım ifadesinin cilalı akımlar için oldukça iyi sonuç verdiği belirlenmiştir [31].

Pürüzlü akım koşullarında deneyler kesit oranının $4.2 \leq B/H \leq 12.0$ ve Reynolds sayısının $3.37 \times 10^4 \leq Re \leq 1.65 \times 10^5$ aralığında gerçekleştirilmiştir. Pürüzlü akımlar için verilen logaritmik dağılımların deneysel ölçümler ile uyumlu olduğu belirlenerek rölatif

pürüzlülük yükseklikleri (k_s) her bir akım için hesaplanmıştır. Tüm deneylere ait boyutsuz pürüzlülük yüksekliği (k_s/k) ve Froude sayısı (Fr) arasında logaritmik bir ilişki belirlenmiştir. (k_s/k) ile Darcy - Weisbach pürüzlülük katsayısı (f) arasında polinomial bir ilişki belirlenmiş olup bu ifade pürüzlülük katsayısının belirlenmesinde oldukça kullanışlıdır. Pürüzlü akım durumunda hesaplanan $M=4.5$ entropi parametresi hız dağılımında kullanıldığında katı sınır yakınlarında ölçüm değerlerinden sapmaktadır. Katı sınır yakınlardaki azalma etkisini yansıtabilmek için entropi parametresi $M = u_{\max} / V_{\text{int}} = 1.3$ şeklinde tanımlanarak hesaplanan hız dağılımlarının ölçüm değerlerini oldukça iyi temsil ettiği belirlenmiştir [31].

Öztürk çalışmasında Erciyes Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Hidrolik laboratuvarında bulunan açık kanal modelinde ve 3 farklı arazi ölçümü ile hız dağılımları incelenmiştir. Bulunan açık kanal modelinde ve 3 farklı arazi ölçümü ile hız dağılımları incelenmiştir. Laboratuvar ölçümleri kanal boyunca sınır tabakasının gelişmiş olduğu bölgede enkesit boyunca cıvalı ve iki farklı pürüzlülük durumu için gerçekleştirilmiştir. Arazi ölçümleri ise Sarımsaklı deresi üzerinde bulunan üç farklı kesitte gerçekleştirilmiştir. Deneyler de üç boyutlu hız ölçümü yapabilen akustik dopler hızölçer ADV, (Acoustic Doppler Velocimeter) kullanılmıştır. Laboratuvar deneyleri kanal modelinin 0.0002 eğiminde ve her bir pürüzlülük durumu için 6 farklı debi ($Q \approx 10, 15, 20, 25, 30$ ve 40 lt/s) için gerçekleştirilmiştir [32].

Laboratuvardaki 18 farklı akım durumunda Reynolds sayısının $2.2 \times 10^4 \leq Re \leq 1.6 \times 10^5$, Froude sayısının $0.06 \leq Fr \leq 0.55$ ve kesit oranının $3.0 \leq B/H \leq 13.5$ aralığında deneyler yapılmıştır. Ölçümler Sınır tabakasının gelişmiş olduğu belirlenen kanal başlangıcından 6.0 m ileride, prizmatik kanallardaki simetri göz önüne alınarak kanal ortasından itibaren yarı enkesit üzerinde 6 farklı düşeyde derinlik boyunca gerçekleştirilmiştir. Deney sonuçları literatürde belirtilen logaritmik dağılım ve entropi yöntemi ile incelenerek bu yöntemlerin karşılaştırılması yapılmıştır [32].

Ardıçlıoğlu ve Öztürk, tabii nehirlerde debi ve hız dağılımının belirlenmesi amacıyla Kızılırmak havzasında, Sarımsaklı deresi üzerinde ve yan sulama kanalında hız ölçümleri yapmışlardır. Ölçüm yapılan enkesitlere ait entropi parametreleri $M=1.81, 0.55$ olarak belirlenmiş olup bu değerler yardımı ile hesaplanan debiler integrasyon

yöntemi ile hesaplanan debiden sırasıyla %7.8 ve % 20.2 daha küçük olarak belirlemişlerdir [33].

Ardıçlıoğlu ve ark. açık kanal akımlarındaki debinin belirlenmesi için gerekli ortalama hızın hesabında 4 farklı metot ve entropi yöntemini incelenmişlerdir. Bu amaçla iki farklı pürüzlülükteki kanal tabanında 24 er farklı akım ele alınmıştır. En kesit üzerinde ölçülen noktasal hızların integrasyonu ile hesaplanan ortalama hızlar esas alınarak diğer yöntemler ile bağlı farkları belirlenmiştir. Her iki pürüzlülük şartı için Entropi yöntemi hız integrasyon yöntemine yakın değerler vermekte bu durumda rölatif farklar sırasıyla %2.0 - %4.2 olarak hesaplanmıştır [34].

Ardıçlıoğlu ve ark. Sarımsaklı deresi üzerinde belirlenen bir enkesitte iki farklı zamanda yapmış oldukları hız ölçümlerinde hız dağılımlarını logaritmik ve entropi yöntemleri ile incelemişlerdir. Kesite ait belirlenen $M=1.6$, entropi parametresi ile (11) ifadesinde verilen dağılımın gerek kanal tabanı yakınlarında gerekse serbest su yüzü yakınlarında ölçüm değerlerini daha iyi temsil ettiğini belirlemişlerdir. Ele alınan kesit üzerinde her bir düşeyde hesaplanan ortalama hız ($\bar{u}_i$) ve maksimum hız (u_{mak}) oranları ile f sürtünme katsayısı arasında ikinci dereceden polinomial bir ilişki belirlenmiştir. Bu ilişki kullanılarak enkesit boyunca kayma gerilmesi dağılımının belirlenebileceği bildirilmiştir [35].

Ardıçlıoğlu, dikdörtgen kesitli cilalı açık kanalda yaptığı hız ölçümlerinde, kesit oranına (B/H) bağlı olarak dalma etkisini incelemiştir. Kesit oranının 5 den küçük olması halinde dalma etkisinin tüm kesit boyunca gözleendiği, bu oranın 10 dan büyük olması halinde ise maksimum hızın tüm kesitlerde serbest su yüzeyinde oluştuğunu belirlemiştir. Entropi yönteminin ölçüm değerlerini logaritmik hız dağılımlarına göre daha iyi temsil ettiği vurgulanmıştır [36].

Genç ve ark. Kızılrımağın yan kollarından birisi olan sarımsaklı suyu üzerinde 3 boyutlu hız ölçümü yapmışlardır. 5 farklı akım durumunda ölçülen hızlar klasik yöntemler ve Entropi yöntemi ile incelenmiştir. Kesite ait belirlenen entropi parametresi $M= 1.23$ kullanılarak hesaplanan entropi yönteminde hız dağılımlarının $0.06-0.21 \leq z/h \leq 0.8-1.0$ aralığında ölçüm değerleri ile uyumlu olduğu belirlenmiştir. Ele alınan düşeylerde Darcy sürtünme faktörü (f) ile (U_d/u_{maki}) arasında ikinci dereceden polinomial bir ilişki

tespit edilmiş, enkesit üzerinde kayma gerilme dağılımlarının bu ifade yardımı ile hesaplanabileceği belirlenmiştir [37].

3. BÖLÜM

DENEY DÜZENİĞİ VE YÖNTEMİ

3.1. Deney Düzenİğı

Deneyler Erciyes Üniversitesi İnşaat Mühendisliğı Bölümü, Hidrolik Laboratuvarında bulunan 9.5x0.6x0.6 m boyutlarındaki açık kanal modelinde (Şekil 3.1) yapılmıştır . Kanalın başında bulunan 5 m³ hacminde plastik depodan kanala su verilmekte olup kanal başlangıcında ve sonunda kapak mevcuttur. Kanaldaki su mansapta yapılmış 4 m³ lük bir hazneye boşalmakta, buradan pompa yardımıyla başlangıç deposuna pompalanmaktadır. Hazneden kanala geçecek olan suyun mümkün olduğu kadar çalkantısız ilerlemesi için kanal başındaki hazneye delikli bir ızgara yerleştirilmiştir. Kanal sonuna yerleştirilen depodan su pompa vasıtası ile 15 cm çapında çelik boru yardımıyla memba deposuna pompalanarak devir daim sağlanmaktadır. Kanalda düzenli akımın sağlanması için pompa çıkışında ve kanal girişinde bulunan kelebek vanalar yardımı ile memba deposundaki su seviyesi sabit kalacak şekilde ayarlanmaktadır. Depolar arasındaki iletimi sağlayan boru üzerine ultrasonic debi ölçer yerleştirilmiştir. Kanalın sonuna üniform akım derinliğini elde edebilmek için dikdörtgen kesitli savak yerleştirilmiştir. Kanal taban eğimi elle ayarlanabilmekte ve değişme aralığı ± 0.01 dir. Ölçümler kanal taban eğiminin 0.001 değerinde gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.1. Deney kanalının genel görünümü.

3.1.1. Debi Ölçer

Kanala su veren 15 cm çaplı çelik boru üzerine monte edilmiş ultrasonic Krohne marka debi ölçer (Altosonic UL 600 R) kanaldaki akımın debisini belirlemek amacıyla kullanılmaktadır. Debi ölçer kanala su veren çelik boru üzerine monte edilen iki adet sensör ve dijital göstergesi olan sinyal dönüştürücüden oluşmaktadır (Şekil 3.2 a-b). Altosonic debi ölçer iç çapı 50-1000mm ve boru et kalınlığı 20mm ye kadar olan basınçlı borularda ölçüm yapabilmektedir.

Sensörlerin oturduğu bariyerlerin boru üzerine yerleştirileceği yerler temiz olmalı ve sensörlerin boru yüzeyine tamamen temasını sağlayabilmek için boru yüzeyi ince bir tabaka halinde gres yağı sürülmektedir. Sensörleri taşıyan bariyerler boru üzerine paralel olarak karşılıklı yerleştirilerek sensörler arası mesafe (S) boru iç çapı ve et kalınlığına bağlı olarak aşağıdaki gibi hesaplanır.

$$S = 0.33D_i + 1.74t + 10 \text{ [mm]} \quad (3.1)$$

Burada; S; sensör aralığı, D_i ; boru iç çapı (mm), t; boru kabuk (et) kalınlığı (mm) .



(a)



(b)

Şekil 3.2. a)Ultrasonic debi ölçerin sensör. b)Sinyal dönüştürücüsü.

Sensörler debisi belirlenecek boru üzerine monte edildikten sonra sensör kabloları sinyal dönüştürücüye takılır ve topraklama kablosu bir metale temas ettirilir. Bağlantılar tamamlandıktan sonra debi ölçer açılarak sinyal dönüştürücüye gerekli sistem ayarları girilir. Bu bilgiler; metrik birimin türü, boru iç çapı, kalibrasyon sabiti (su için 38600), ölçüm yapılacak minimum debinin maksimum debiye oranı, zaman sabitidir. Göstergeden akımın debisi maksimum girilen debinin oranı olarak okunur. Daha sonra debi okumaları lt/s ye dönüştürülür. Her bir deneyde 20 adet debi okuması yapılarak bunların ortalaması kullanılmıştır.

3.1.2. Stream Flo Velocity Meter 400 Tipi Propeller Meter (Muline)

Akım hızları kanal üzerinde 3 doğrultuda hareket edebilen sehpaye yerleştirilen HR Wallingford firmasına ait Streamflo Velocity Meter 400 tipi “Low Speed Propeller Probe” ile ölçülmüştür (Şekil 3.3). Streamflo hızölçer sistemi iletken sıvıların, özellikle açık kanal akımlarında suyun düşük hızlarını ölçmek için tasarlanmıştır. Sistemin ölçüm aralığı 2.5 -150 cm/s dir. Ölçme başlığı; sert paslanmaz çelik üzerine monte edilmiş 5 kanatlı bir pervaneden oluşmuştur (Şekil 3.4). Mil ince cilalanmış konik pivotların içinde son bulur. Bu pivotlar açık bir çerçeveye monte edilmiş taş mil yatakları içinde çalışır. Böylece, sürtünme kuvveti gayet düşüktür ve geniş bir hız yelpazesi üzerinde

lineer bir sonuç verir. Pivotlar ve taşlar akım kanalının kirlenmesi ihtimaline karşı gizlenmişlerdir. Başlık paslanmaz çelik bir tüpün ucuna eklenmiştir. Bu tüpün içinde pervaneden 1.0 mm uzakta sonlanan, izole edilmiş bir altın tel bulunmakta ve bu tel eş eksenel bir kablo ile elektronik bir ölçüm ünitesine bağlanmaktadır.



Şekil 3.3. Ölçüm sehpası ve hız ölçer.



Şekil 3.4. Pervanenin görünümü.

Pervane suya daldırıldığında, kanatların dönüşü altın telin ucu ile tüp arasındaki empedansı değiştirir. Bu değişim göstergeç içerisinde, elektronik devrelere de sıra ile uygulanan, 15 KHz lik bir taşıyıcı sinyalin algılanmasında kullanılır. Sıvı iletkenliğindeki değişimler ve taşıyıcı frekansının azalması ya da artmasından kaynaklanan sorunları gidermek için otomatik dengeleme işlemi yapılır ve açık bir dalga sinyali elde edilir. Dijital göstergelerde dijital okumayı almak için belirli bir süre üzerinden darbe sayısı sayılır. Göstergeden istenilen zaman aralığında ($t=10\text{sn}$) ortalama hız Hz cinsinden okunabilir (Şekil 3.5).



Şekil 3.5. Dijital gösterge.

Bu hız değerleri üretici firma tarafından geliştirilen abaklar yardımı ile cm/s hız birimine dönüştürülür. Kullanılan düşük hız probuna ait verilen abaktan ölçüm aralığına bağlı olarak iki adet doğrusal denklem excel programı ile elde edilerek hız dönüşümleri yapılmıştır. Bu hız abakları Şekil 3.6 a-b de verilmiş olup söz konusu doğru denklemleri aşağıdaki gibi elde edilmiştir:

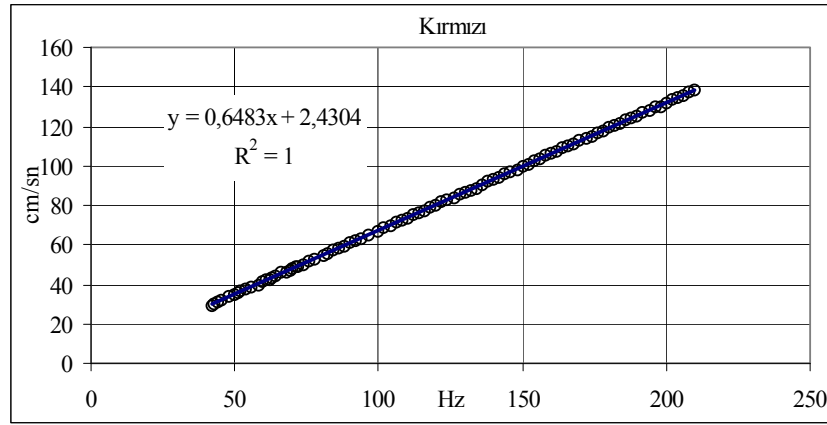
Kırmızı hat, ölçüm aralığı 30-150 cm/s

$$u(\text{cm/s}) = 0.6483 u(\text{Hz}) + 2.4304 \quad (3.2)$$

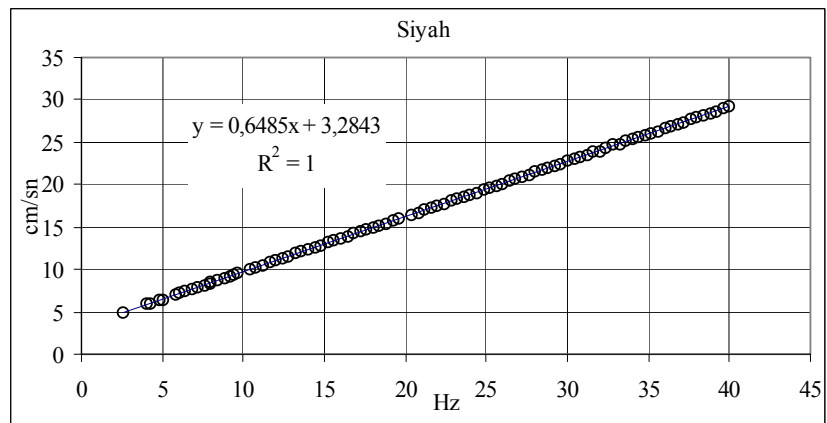
Siyah hat, ölçüm aralığı 5-29 cm/s

$$u(\text{cm/s}) = 0.6485 u(\text{Hz}) + 3.2843 \quad (3.3)$$

Ölçümlerde noktasal hızın hassas olarak belirlenmesi amacıyla dijital gösterge üzerinde her 10 sn de ortalama frekans belirlenerek her bir nokta için bu işlem 5 defa tekrar edilip, bu 5 frekansın ortalaması yardımı ile noktasal hızlar belirlenmiştir. Düşük hız probunun hız ölçüm aralığı 2.5- 150 cm/s, ve güven aralıkları: $\pm 5\%$ (2.5-7.5 cm/s), $\pm 2\%$ (7.5-15 cm/s), $\pm 1\%$ (15-150 cm/s) olarak üretici firma tarafından verilmektedir.



(a)



(b)

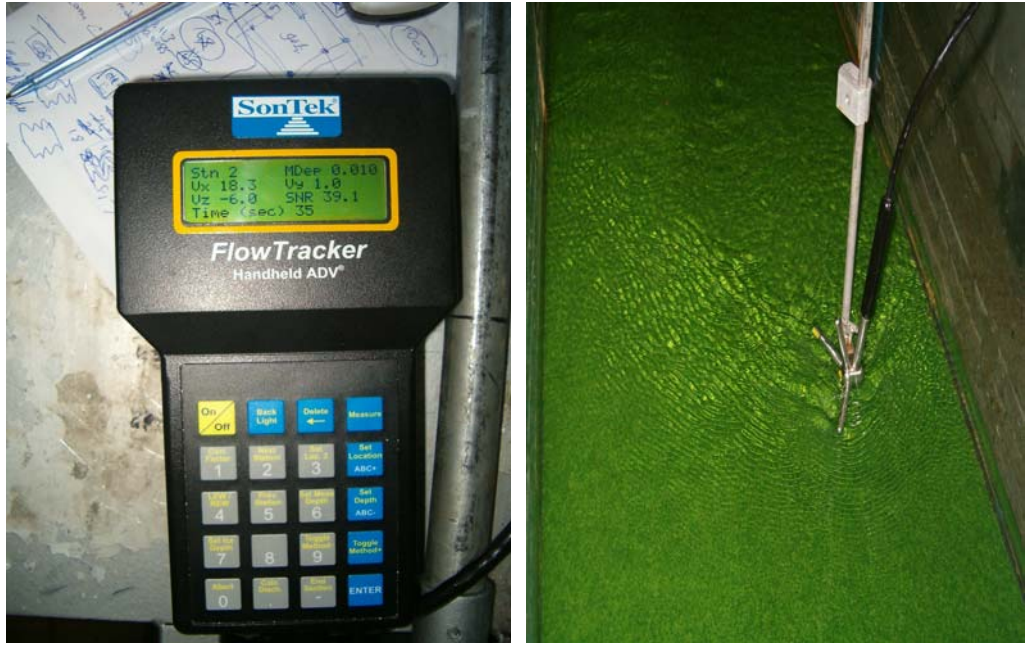
3.6. Hız ölçümü dönüşüm abacı (a) 30-150cm/s (b) 5-30 cm/s arası.

3.1.3 Acoustic Doppler Velocimeter (ADV)

Akustik hız ölçer ADV arazide ve laboratuarda 3 boyutlu hız ve türbülans bileşenleri gibi hidrolik ölçümleri yapabilen gelişmiş bir alettir. Kullanım yerleri; dalga modelleri ve su kanalları, fiziksel modeller, sanat yapıları ve türbünler etrafındaki akımlar, gemi modellemeleri, sediment süspansiyon çalışmaları, göller nehirler ve bataklıklar olarak sıralanabilir. ADV aynı zamanda çok düşük hızlar içinde uygun tasarlanmış olup bu özelliğinden dolayı çökelti tanklarında yaygın olarak kullanılmaktadır. Spesifik uygulamalar için değişik başlıkları mevcuttur.

Ultrasonic ses dalgalarının yayılma prensibini açıklayan doppler prensibinden yararlanılarak hız ölçmek için geliştirilen ADV cihazında LCD ekran, bilgi girişi ve cihaz kontrolünde kullanılan düğmelerin bulunduğu kontrol ünitesi (Şekil 3.7 a), veri aktarma bağlantısı ve üç boyutlu ölçüm başlığı bulunmaktadır (Şekil 3.7 b). Cihaz 8 adet kalem pille çalışmaktadır. Hareketli bir akışkan içerisine akışkan hızını tam olarak takip edebilen gaz, duman, küçük katı parçacıklar var ise bu taneciklerden saçılan dalganın frekansının ölçülmesi ile bu taneciklerin dolayısıyla akışkanın hızı ölçülebilir. Ölçüm başlığının 10 cm önündeki 6 mm çap ve 10 mm yüksekliğindeki silindir bir kontrol hacminin içerisindeki u , v ve w yi her bir saniyede ölçerek 10 sn ile 1000 sn arasında istenilen zaman aralığında ortalamasını belirlemektedir (Şekil 3.8). 0.001 m/sn - 5 m/sn aralığında ve %1 hassasiyette, hız ölçümü yapılabilmektedir.

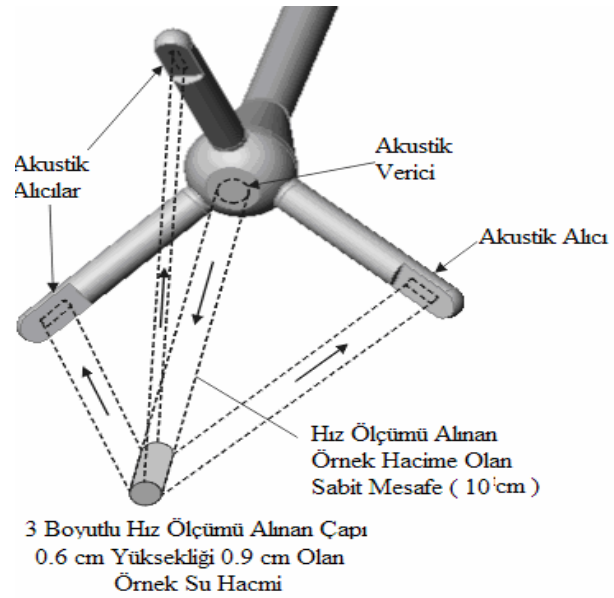
Noktasal hız ve enkesit debi ölçme fonksiyonları bulunan alet 4 MB lık hafızası ile maksimum 64 data dosyasını kaydedebilmektedir. RS-232 bağlantısı ile de bilgisayara ölçüm değerlerinin aktarılması mümkün olmaktadır. Bilgisayara aktarılan dosyalar *.wad uzantılı olup Son Tek firmasının geliştirdiği v2.20 sürümlü yazılım ile dönüştürülerek, 4 farklı dosya elde edilmektedir. Birinci dosya, akımın ortalama hızlarını, ölçüm yüksekliklerini, suyun sıcaklığını, ölçüm mesafesinin başlangıç mesafesine olan uzaklığını, v.b. bilgileri bulunduran *.dis uzantılı dosyadır (Tablo3.1). Tablo3.2 de verilen *.dat uzantılı diğer bir dosyada saniyede alınan anlık u , v ve w değerleri ve anlık SNR (Signal to Noise Ratio) değerleri kaydedilmektedir. Ölçüm yapılan cihaza bilgilerin verildiği *.ctl uzantılı dosya Tablo 3.3.'de gösterilmiştir. Son dosya ise türbülans hızlarının hesaplanmasında kullanılan u , v ve w değerlerini veren *.sum uzantılı özet dosyadır.



a) LCD gösterge paneli.

b) 3 boyutlu hız ölçen başlıklar.

Şekil 3.7. ADV kontrol ünitesi ve başlığı.



Şekil 3.8. ADV' nin ölçüm aldığı su kütlesinin 3 boyutlu görünüşü.

Tablo 3.1. Ölçüm yapılan bir noktada düşey kesit boyunca noktaların hızlarını ve ölçüme ait birçok bilgiyi veren *.dis uzantılı dosya örneği.

File -----
 Start Date and Time ----- 2007/03/14 17:25:27
 Sensor Type ----- FlowTracker Handheld ADV
 SerialNumber ----- P390
 Averaging Time ----- 40 sec
 Units system ----- METRIC
 Number of stations ----- 13
 Mean velocity (V_x/V_y) ----- 45.35 cm/s
 Mean SNR ----- 28.8 dB
 Mean std. error of vel. --- 0.6 cm/s

ST.	Loc1	Loc2	WaterD	MeasD	Clock	Npts	Spik	e Vx	Vy	Vz	SNR1	SNR2	SNR3	VxErr	VyErr	VzErr	Bn	Temp
	(m)	(m)	(m)	(m)				(cm/s)	(cm/s)	(cm/s)	(dB)	(dB)	(dB)	(cm/s)	(cm/s)	(cm/s)		(degC)
---	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
1	0	0	0.13	0.009	17:25	40	1	40.59	-6.2	-0.73	30.5	32.6	31.3	0.6	0.2	0.4	1	24.8
2	0	0	0.13	0.01	17:26	40	0	41.97	-6.1	0.79	31.3	32.2	31.3	0.5	0.3	0.3	0	24.8
3	0	0	0.13	0.02	17:27	40	0	43.22	-6.5	1	31.8	33.1	33.1	0.5	0.3	0.3	0	24.81
4	0	0	0.13	0.03	17:28	40	0	42.22	-7.1	0.39	31.3	32.6	31.8	0.5	0.3	0.3	0	24.81
5	0	0	0.13	0.04	17:29	40	1	43.55	-8.4	-0.09	31.8	33.5	32.2	0.4	0.3	0.3	0	24.81
6	0	0	0.13	0.05	17:29	40	1	45.13	-8.1	0.07	32.6	33.5	33.1	0.4	0.3	0.4	0	24.81
7	0	0	0.13	0.06	17:30	40	0	46.01	-8.5	0.44	32.6	34.8	33.9	0.5	0.2	0.3	0	24.82
8	0	0	0.13	0.07	17:31	40	0	46.51	-9	0.14	33.5	34.3	30.5	0.4	0.2	0.3	0	24.82
9	0	0	0.13	0.08	17:32	40	0	46.23	-8.1	-23.12	33.9	34.8	3.4	0.4	0.2	12.9	1	24.82
10	0	0	0.13	0.09	17:33	40	0	46.72	-7.9	-1.54	34.3	35.6	0	0.4	0.3	25.5	0	24.82
11	0	0	0.13	0.1	17:34	40	0	46.76	-8.8	-99.72	33.9	34.8	0.4	0.4	0.3	25.5	0	24.82
12	0	0	0.13	0.11	17:35	40	0	46.96	-7.6	-58.33	34.8	35.6	0	0.6	0.5	25.5	0	24.82
13	0	0	0.13	0.12	17:36	40	1	45.72	-1.4	4.76	30.9	31.3	-0.4	1.2	0.5	25.5	0	24.81

Tablo 3.2 Ölçüm yapılan düzeydeki bir noktanın anlık hızlarını gösteren *.dat dosyası

	Yıl	Ay	Gün	Saat	Dakika	Saniye	u error	v error	w error	u	v	w
1	2007	3	14	17	25	31	39.91	-5.18	0.06	31	34	30.5
1	2007	3	14	17	25	32	40.14	-6.8	-3.17	27.1	29.7	29.2
1	2007	3	14	17	25	33	37.2	-6.51	0.91	28.8	30.1	28.4
1	2007	3	14	17	25	34	35.67	-3.9	0.47	28.8	30.1	29.7
1	2007	3	14	17	25	35	45.95	-5.72	-5.17	31	33.5	33.1
1	2007	3	14	17	25	36	39	-5.46	-6.06	25.8	24.5	24.9
1	2007	3	14	17	25	37	36.68	-6.52	4	28.4	29.2	28.8
1	2007	3	14	17	25	38	39.4	-6.07	0.63	31	32.3	33.1
1	2007	3	14	17	25	39	36.63	-4.37	3.16	28.8	28.8	28.4
1	2007	3	14	17	25	40	42.43	-5.35	-2.35	28.8	31.8	32.7
1	2007	3	14	17	25	41	42.39	-4.18	-0.02	33.5	34.8	35.3
1	2007	3	14	17	25	42	32.18	-5.91	5.08	33.1	33.5	32.3
1	2007	3	14	17	25	43	36.69	-7.71	0.82	31.8	33.5	32.7
1	2007	3	14	17	25	44	44.95	-6.4	-1.01	33.1	36.1	34.4
1	2007	3	14	17	25	45	43.51	-6.22	0.05	35.7	38.3	34.8
1	2007	3	14	17	25	46	39.73	-7.6	4.87	29.2	30.5	29.2
1	2007	3	14	17	25	47	35.74	-6.9	-3.15	30.5	33.5	31.8
1	2007	3	14	17	25	48	39.29	-6.38	-4.24	28.4	29.7	28.4
1	2007	3	14	17	25	49	39.33	-5.66	-3.07	28.4	30.1	30.1
1	2007	3	14	17	25	50	45.16	-8.32	-0.05	32.3	34.4	33.1
1	2007	3	14	17	25	51	36.54	-6.17	-1.05	26.2	28.8	28
1	2007	3	14	17	25	52	42.26	-8.48	3.83	31	32.7	31.8
1	2007	3	14	17	25	53	34.81	-4.67	-2.67	29.7	31.4	29.7
1	2007	3	14	17	25	54	39.49	-8.8	-3.05	29.7	32.7	31.4
1	2007	3	14	17	25	55	40.03	-5.56	0.76	33.1	34.4	31.4
1	2007	3	14	17	25	56	40.18	-6.16	-2.85	31	34.4	32.3
1	2007	3	14	17	25	57	44.3	-4.5	-2.43	30.5	33.1	31
1	2007	3	14	17	25	58	43.89	-4.3	0.19	34.4	35.3	33.1
1	2007	3	14	17	25	59	45.84	-4.22	-1.4	30.1	32.3	32.3
1	2007	3	14	17	26	0	41.18	-6.51	-1.33	34	35.7	33.1
1	2007	3	14	17	26	1	37.94	-6.04	-5.11	27.5	29.7	28
1	2007	3	14	17	26	2	44.37	-6.25	-0.2	28.4	30.5	28
1	2007	3	14	17	26	3	39.14	-4.63	-1.63	28.4	27.5	27.5
1	2007	3	14	17	26	4	45.97	11.28	1.68	32.7	34	32.3
1	2007	3	14	17	26	5	46.77	-9.31	-0.23	35.3	37.4	36.5
1	2007	3	14	17	26	6	43.09	-5.76	-2.61	34.8	35.7	34.8
1	2007	3	14	17	26	7	37.94	-6.85	-0.04	28	30.1	28.8
1	2007	3	14	17	26	8	38.99	-8.24	-2.63	30.5	33.1	31.8
1	2007	3	14	17	26	9	47.41	-6.2	3.41	33.5	35.7	34
1	2007	3	14	17	26	10	46.86	-6.84	-1.16	35.3	36.5	36.1

Tablo 3.3. Ölçüm yapılan alete ait bilgilerin verildiği *.ctl dosyası.

```

File -----
File size (bytes) ----- 18000
Number of bursts ----- 14
Time of first burst ----- 2007/03/14 17:25:27
Time of last burst ----- 2007/03/14 17:36:41

FlowTracker Handheld ADV Hardware Configuration
-----
System Type ----- ADV
Serial Number ----- P390
Frequency ----- (kHz) ----- 10000
CPU Firmware Version ----- 2.4
CPU Board Revision ----- G
Recorder Installed ----- YES
Temperature Installed ----- YES

FlowTracker Handheld ADV User Setup
-----
Default Temperature (deg C) -- 20.00
Default Salinity (ppt) ----- 0.00
Temperature Mode ----- MEASURED
Default Sound Speed (m/s) ---- 1482.30
Averaging Interval (sec) ----- 1
Sample Interval (sec) ----- 1
Velocity Range (cm/s) ----- AUTO
Samples Per Burst ----- 40
Coordinate System ----- XYZ
Output Format ----- METRIC
Keypad Mode ----- KEYPAD GENERAL

Adv Probe Configuration
-----
Serial Number ----- P390
Probe Type ----- SIDE XYZ 10cm
Number of Beams ----- 3

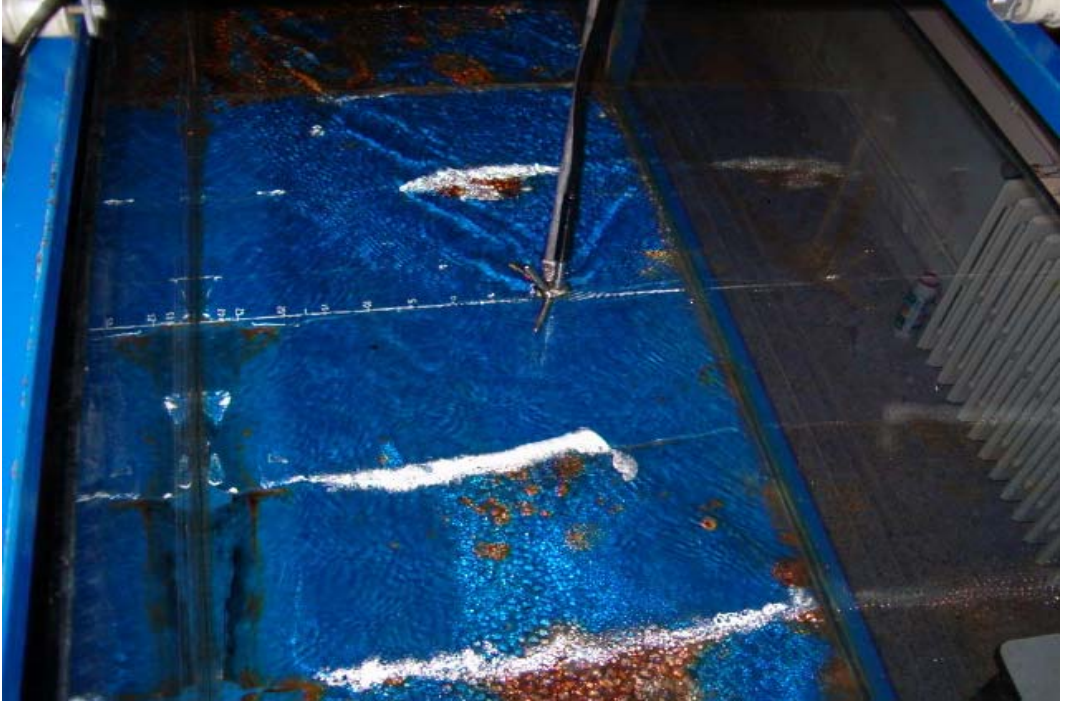
```

3.2. Cilalı ve Pürüzlü Deneylerdeki Akım Şartları

Açık kanal modelinde pürüzlü ve cilalı akım şartlarında hız ölçümleri yapılmıştır. Cilalı akım şartı olarak taban ve yan duvarları cam olan yüzey kullanılmıştır (Şekil 3.9 a). Pürüzlü yüzey oluşturmak amacıyla kanal başından itibaren tabana $k=7$ mm olan plastik paspas serilmiştir (Şekil 3.9 b). Tüm akım şartlarında sınır tabakasının gelişmiş olduğu bölge olan $x=6.0$ m de hız ölçümleri yapılmıştır. Sınır tabakasının geliştiği kesitte [32], kanal sağ yan duvardan ($y=0$), başlayarak sol duvara doğru 3'er cm arayla 19 farklı düşeylerde ölçüm gerçekleştirilmiştir. Ele alınan akım şartında kanal tabanına en yakın ölçüm olan $z=0.75$ cm den başlayarak 1.0 cm ve su yüzüne 1 cm ara ile yaklaşılarak ölçümler alınmıştır. Su yüzüne en yakın yapılan son iki ölçüm değerine bağlı olarak su yüzü hızı tahmin edilmiştir. Şekil 3.10 da kanal en kesiti ve ölçüm aralıkları gösterilmiştir.

Akım hızları kanal üzerine yerleştirilen her üç doğrultuda hareket kabiliyetine sahip sehpa yardımı ile ölçülmüştür (Şekil 3.11 a). Sehpanın ucundaki ölçüm çubuğuna yerleştirilen her iki cihaz kanalı yatayda ve dikeyde de tarayabilmektedir (Şekil 3.8 a).

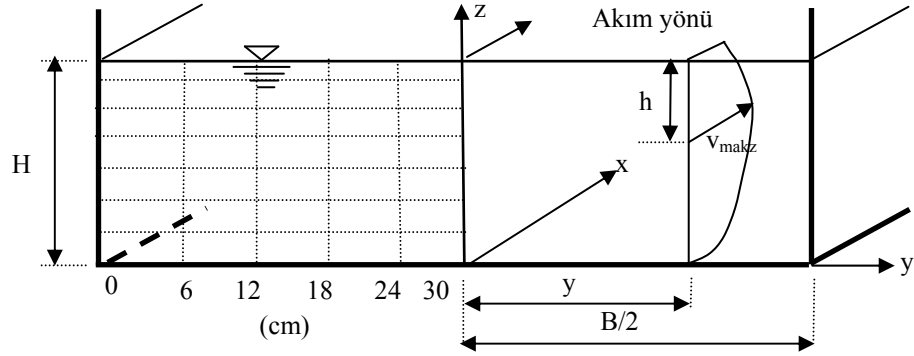
Kanal taban eğimi mansaba yakın kısımda bulunan vida ile ± 0.01 aralığında ayarlanabilmektedir. Tüm akım şartlarında (cilalı ve pürüzlü) kanal taban eğimi Şekil 3.8 b de gösterildiği gibi 0.001 iken ölçümler gerçekleştirilmiştir.



(a) Cilalı yüzey



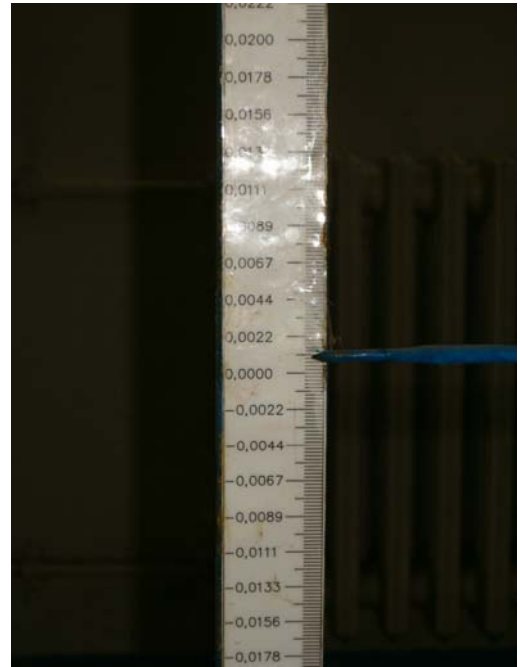
b) $k=0.7$ cm olan pürüzlü yüzey.
Şekil 3.9 Ölçüm yapılan yüzeyler.



Şekil 3.10. Enkesit ölçümlerinin yapıldığı kesit.



a) Ölçüm aleti sehpası.



b) Eğim göstergesi.

Şekil 3.11. Alet sehpası ve eğim göstergesi .

Cilalı ve pürüzlü akım şartlarında pompa çıkışındaki vana yardımı ile farklı debiler elde edilmiştir. Ayarlanan debi için kanal başında bulunan depodaki su seviyesi sabit kaldığında kararlı akım şartı olduğu kabul edilmiştir. Kanal sonunda bulunan dikdörtgen kesitli savak yardımı ile üniform akım derinliği sağlanmıştır. Her iki yüzey durumunda (cilalı-pürüzlü) 4 er farklı akım şartı elde edilmiştir. Tablo 3.4’de ele alınan cilalı akım şartları ve özellikleri, Tablo 3.5’de pürüzlü akım şartlarındaki özellikler verilmiştir. Tablolarda Q (lt/s): debi ölçerden okunan debi, H (cm): üniform akım derinliği, S: kanal taban eğimi, (B/H): kesit oranı, V (m/s): debi ölçer yardımıyla hesaplanan enkesit ortalama hızı, V_{int} (m/s): hız alan integrasyonu sonucu hesaplanan enkesit ortalama hızları, u_{mak} (m/s): enkesitteki ölçülen maksimum hız, $Re \left(= \frac{4V_{int}R}{\nu} \right)$

Reynolds sayısı ve $Fr \left(= \frac{V_{int}}{\sqrt{gH}} \right)$ Froude sayısıdır.

Tablo 3.4. Pürüzsüz (cilalı) deneylerin akım şartları, (propeller).

ÖLÇÜM	Q	H	S	B/H	V=Q/A	V int	u_{max}	Re	Fr
-	(lt/sn)	(cm)	-	-	m/sn	m/sn	(m/sn)	-	-
Q10_C	8.98	3.9	0.001	15.385	0.384	0.305	0.381	46473	0.493
Q20_C	17.57	7.2	0.001	8.333	0.407	0.359	0.437	82862	0.427
Q30_C	28.78	10.5	0.001	5.714	0.457	0.408	0.492	124648	0.402
Q35_C	34.72	13	0.001	4.615	0.445	0.419	0.483	141656	0.371

Tablo 3.5. Pürüzlü deneylerin akım şartları, (propeller).

ÖLÇÜM	Q)	H	S	B/H	V=Q/A	V int	u_{max}	Re	Fr
-	(lt/sn	(cm)	-	-	m/sn	m/sn	(m/sn)	-	-
Q10_P	8.82	5.5	0.001	10.909	0.267	0.240	0.312	43563	0.326
Q20_P	17.59	9.3	0.001	6.452	0.315	0.288	0.373	78523	0.302
Q30_P	30.40	11.3	0.001	5.310	0.448	0.442	0.559	129136	0.420
Q35_P	34.74	13.3	0.001	4.511	0.435	0.419	0.538	140756	0.366

3.3. ADV ve Propeller Ölçümlerinin Karşılaştırılması

Açık kanal modelinde akımın geliştiği bölge olan $x=6.0$ m de ADV ve Propeller ile en kesit boyunca hız ölçümleri yapılmıştır. Ölçümler kanal yan duvarına en yakın ölçüm alınabilen $z=3$ cm den başlayarak 3'er cm aralıklardan $y=57$ cm ye kadar 19 farklı düşeyde gerçekleştirilmiştir. Tablo 3.4 ve 3.5 de özellikleri verilen akım şartlarında 2 farklı yüzey için

(cılalı-pürüzlü), 2 farklı ölçüm aleti ile (Propeller ve ADV) elde edilen hız değerleri EK-1 ve EK-2 de verilmiştir. Her iki ölçüm aleti ile gerçekleştirilen noktasal hız ölçümleri arasındaki fark denklem 3.4 de verilen ifade yardımı ile belirlenmiştir.

$$\text{Fark}\%(\varepsilon) = \frac{|U_{\text{prop}} - U_{\text{ADV}}|}{U_{\text{prop}}} * 100 \quad (3.4)$$

Tablo 3.8 de Q35_C akım durumunda ADV ve Propeller ile ölçülen hızlar arasındaki 3.2 ifadesi ile hesaplanan farklar verilmiştir. Tablodan görüleceği üzere ölçümler kanal tabanına yakın $z=1.0$ cm den başlayarak serbest su yüzüne yakın ölçüm alınan $z=12$ cm de karşılaştırılmıştır. Ölçüm yapılan bu düşeylerde kanal tabanına yakın $z=1$ ve 2 cm de ortalama rölatif farklar sırasıyla %12.4 ve %6.5 olmaktadır. Bu büyük farkın nedeni olarak ADV'nin kanal tabanına yakın yerlerde istenilen noktaya odaklanmasında karşılaşılan sorunlar olduğu ayrıca ADV'nin yaklaşık 0.3 cm³ lük bir hacim içerisindeki akım hızını ölçmesinden kaynaklandığı düşünülmektedir. Benzer durum serbest su yüzeyine yakın ölçüm alınan $z=11$ ve 12 cm lerde de gözlenmiş olup bu noktalara ait ölçüm aletleri arasındaki fark sırası ile % 6.6 ve % 8.2 olmaktadır. Ölçüm yapılan orta kesitlerde ise bu fark oldukça küçük olmaktadır (% 3). Benzer durum yan duvarlara yakın ölçüm yapılan $y=3$ ve 57 cm lerdeki hızlar arasındaki farklarda da gözlenmiştir. Bu değerler sırasıyla %10.5 ve % 24.8 olarak hesaplanmıştır. Yine her iki duvarda da farkların ADV'nin istenilen noktaya odaklanamamasından kaynaklanılan ve duvara bağlı nedenler olduğu düşünülmektedir. Bu akıma ait tüm ölçüm noktalarında aletler arasındaki ortalama fark ise % 5.4 olarak hesaplanmıştır. Q35_C ölçümüne ait ADV ve Propeller ile ölçülen hız dağılımları Şekil 3.12'de gösterilmiştir. Diğer 3 farklı akım şartları için ölçülen hızlara ait ortalama farklarda Tablo 3.9 ve Tablo 3.10 da gösterilmiştir. Tablo 3.9'da görüleceği üzere duvara yakın ölçüm yapılan $y=3$ ve $y=57$

cm lerde ADV ve Propeller arasındaki fark büyük olmaktadır. Cilalı akım şartlarına ait yapılan ölçümlerde iki alet arasındaki genel ortalama (G.O) farklar ise % 9.48 olarak hesaplanmıştır.

Tablo 3.10’da pürüzlü akım şartlarında yapılan ölçümlere ait farklar verilmiştir. Cilalı akım şartlarına benzer özellikler gösteren bu farklara ait genel ortalama % 9.88 olarak hesaplanmıştır. ADV’nin istenilen noktaya odaklanamamasındaki zorluklara bağlı kaynaklandığı düşünülen bu farklar yüksek olduğu görülmektedir. Propellerin ölçüm yapılacak istenen noktaya sabitlenmesi ve bu noktanın kolaylıkla ayarlanmasına bağlı olarak hız dağılımlarında Propeller ölçümleri kullanılacaktır.

Tablo 3.6. Q35_C Cilalı akım durumunda ölçüm yapılan düşeylerde ADV-Propeller farkları.

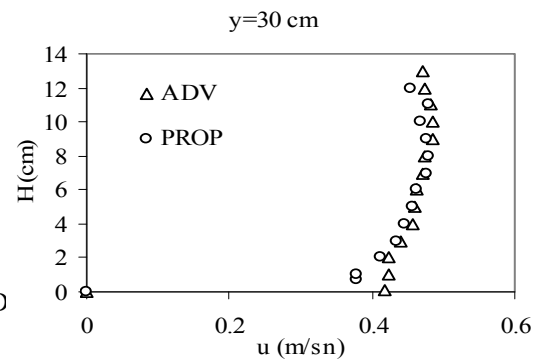
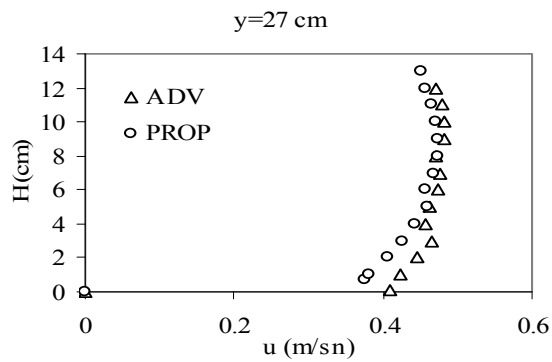
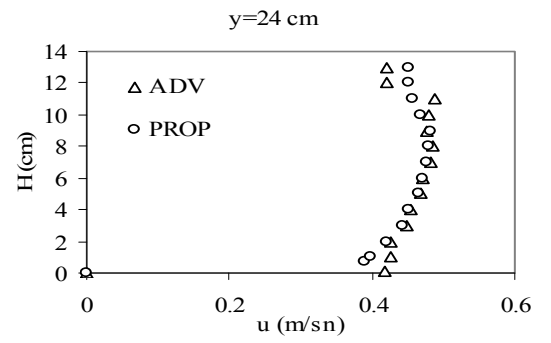
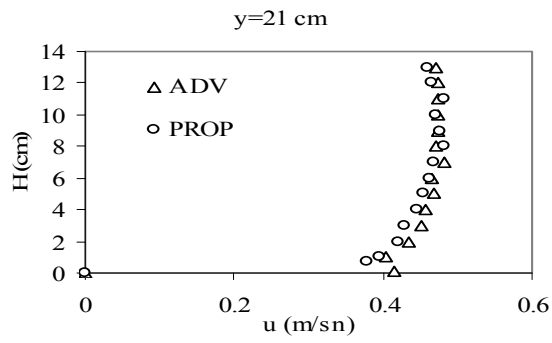
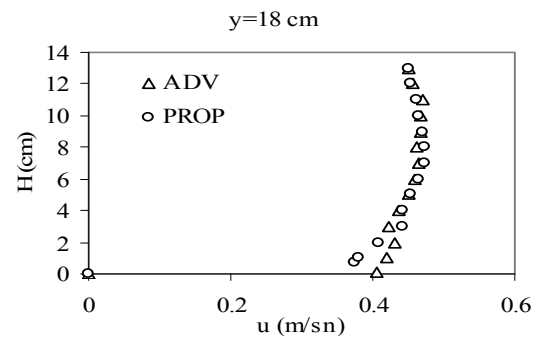
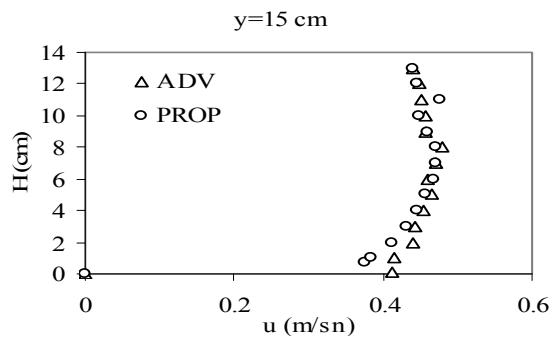
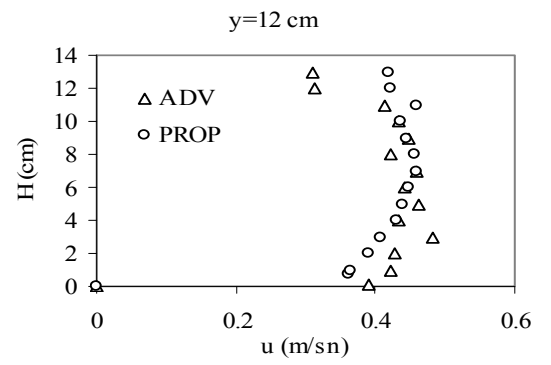
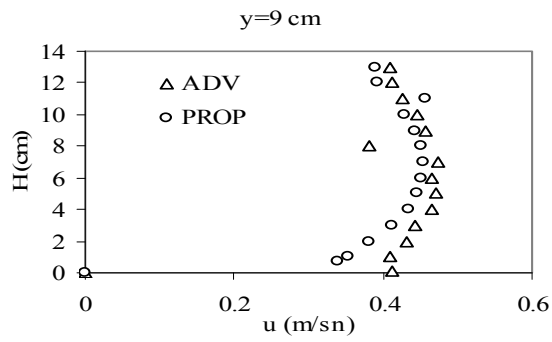
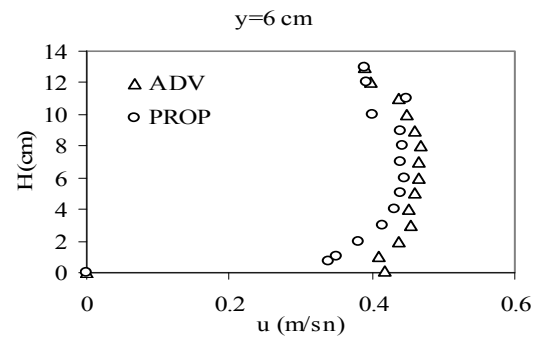
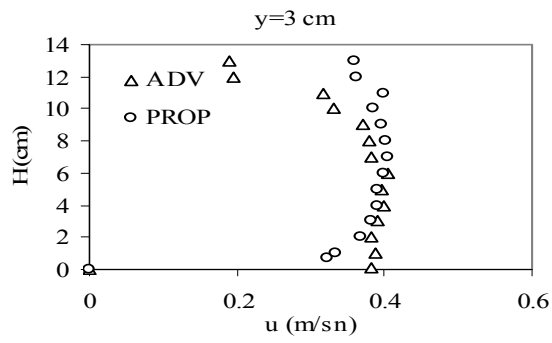
[illegible]

Tablo 3.7. Cilalı akım durumunda ölçüm yapılan düşeylerde ADV-Propeller farkları.

[illegible]

Tablo 3.8. Pürüzlü akım durumunda ölçüm yapılan düşeylerde ADV-Propeller farkları.

[illegible]



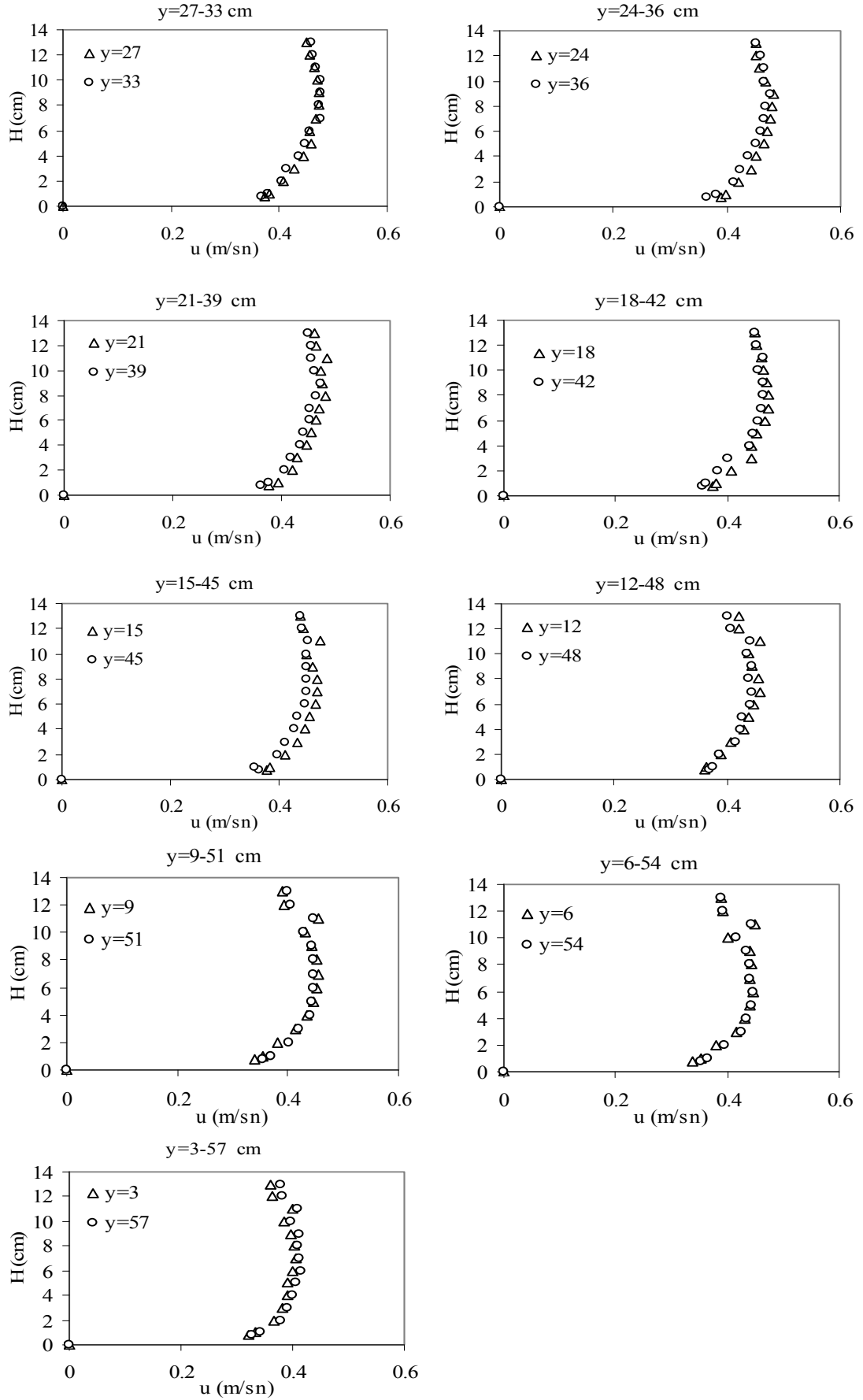
da AD

3.4. Kanalda Simetri Kontrolü

Bu bölümde cilalı ve pürüzlü akım şartları için Propeller ile yapılan hız ölçümlerinin simetri kontrolü ele alınacaktır. Örnek olarak Q35_C akım durumunda EK 1 de verilen hızların kanal orta kesitine göre eşit uzaklıklardaki ($y=27-33$, $24-36$, $21-39$, $18-42$, $15-45$, $12-48$, $9-51$, $6-54$, $3-57$) düşeylerde yapılan ölçümler arasındaki rölatif farklar Tablo 3.11’de gösterilmiştir. Tablodan görüleceği üzere derinlik boyunca ve orta kesite göre hesaplanan rölatif farklar küçük olmaktadır. Benzer durum. Ardıçlıoğlu [34] tarafından yapılan deneylerde de gözlenmiş olup prizmatik kanallarda akım simetrik kabul edilebileceği bildirilmektedir.

Q35_C akım durumunda ölçüm yapılan düşeylerin simetri grafikleri Şekil 3.13’de gösterilmiştir. Şekillerden de görüleceği üzere sağ ve sol sahillerde eş uzaklıklardaki hız dağılımları birbiriyle uyum içerisinde olmaktadır.

Cilalı ve pürüzlü akımlara ait simetri kontrolleri yukarıda açıklanan Q35_C akımına benzer şekilde yapılarak Tablo 3.12 ve 3.13 ‘de gösterilmiştir. Tablodan da görüleceği üzere cilalı akımlara ait ortalama hata %3.6 pürüzlü akıma ait ortalama hata da % 4.8 olarak hesaplanmıştır. Buradan da anlaşılabacağı üzere prizmatik kanallarda simetrisinin varlığı söz konusu olup ele alınacak olan hız dağılımları incelenirken yarı enkesitte 10 farklı düşeydeki hız dağılımları incelenecektir.



Şekil 3.13. Q35_C Cilalı akım durumunda ölçüm yapılan düşeylerin simetri grafikleri.

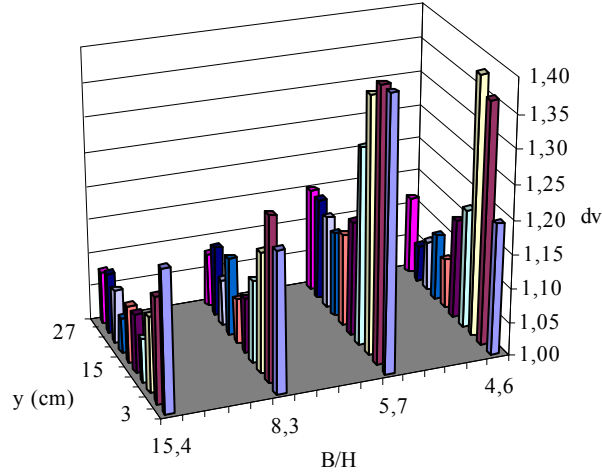
4. BÖLÜM

DENEYSEL BULGULAR ve TARTIŞMA

4.1. Cilalı Akım Durumunda Hız Dağılımları

Prizmatik kanallarda simetrisinin varlığının belirlenmesi, ele alınan cilalı ve pürüzlü akımlarda kanal yarı kesitinde akım özelliklerinin incelenmesine imkân vermektedir. Bu nedenle cilalı akımlarda kanal yan duvarlarından itibaren orta kesite kadar ($y=3, 6, 9, 12, 15, 18, 21, 24, 27$ ve 30 cm) ölçüm yapılan düşeylerdeki hız dağılımları ele alınacaktır.

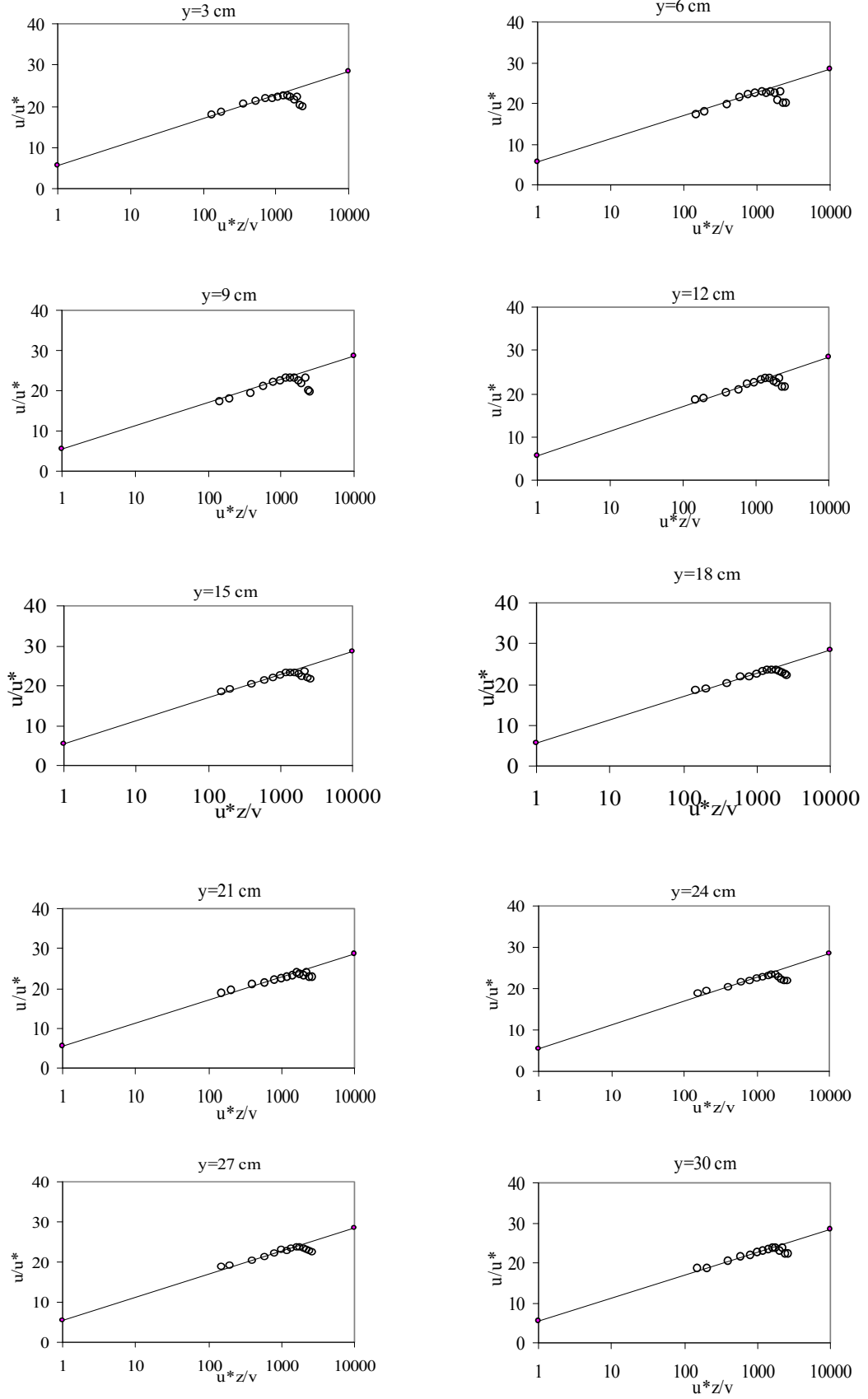
Açık kanallarda serbest su yüzeyinin varlığı, yan duvarların ve ikincil akımların etkisi ile maksimum hız çoğu zaman su yüzeyinde oluşmaz. Nezu & Rodi dalma derinliğini d_v şeklinde bir oran tanımlamışlardır [10]. d_v ifadesi ele alınan düşey için maksimum hızın su yüzü hızına oranını $u_{\text{mak}} / u_{\text{sy}}$ göstermektedir. Dalma oranının $1 < d_v < 1.05$ değerlerinde dalma etkisinin ihmal edilebileceğini bildirmişlerdir. Ele alınan cilalı akım şartlarında d_v oranı belirlenerek enkesit boyunca değişimleri Şekil 4.1 de verilmiştir. Şekilden görüleceği üzere kesit oranı $(B/H) > 10.0$ olduğu durumlarda yan duvarlara yakın ilk üç kesitte de dalma etkisi görülmekte orta kesitlerde ise bu etki ihmal edilebilecek boyutta olmaktadır. Kesit oranının $B/H < 10.0$ olduğu akımlarda dalma etkisi kanal orta kesitine kadar görülmektedir.



Şekil 4.1. Cilalı akım durumlarında dalma etkisinin enkesit boyunca değişimi.

4.1.1. Logaritmik Hız Dağılımları

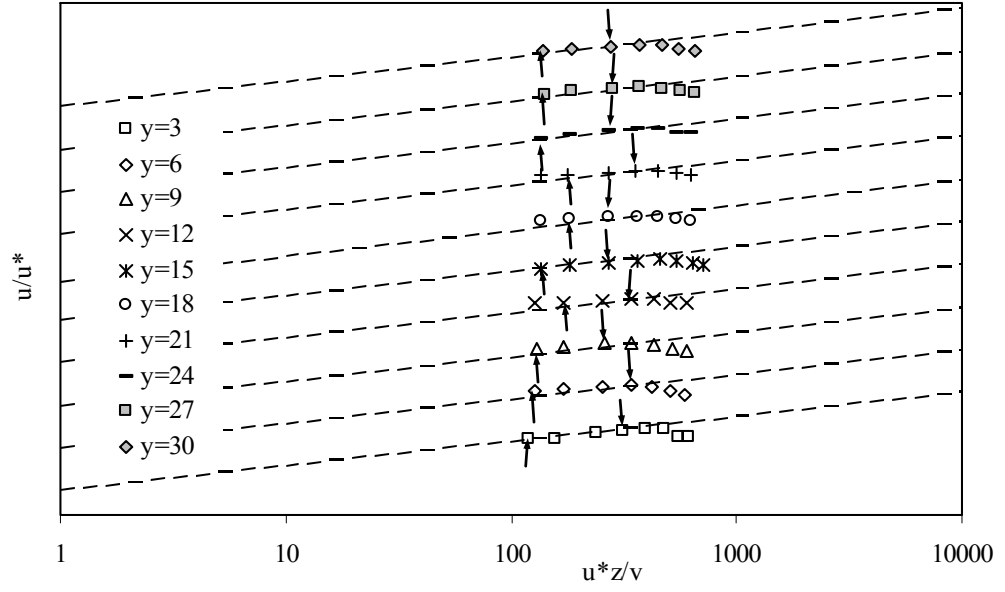
Sınır tabakasının gelişmiş olduğu bölge olarak bildirilen Şentürk kanal başından itibaren 6. metrede propeller ile yapılan cilalı enkesit hız ölçümleri Ek-1 de verilmiştir [32]. Ölçülen hız değerlerine ait logaritmik dağılımların belirlenmesi amacıyla (2.41) ifadesi ile verilen duvar dağılımındaki (Law of the wall) sabitler $A=2.5$ ve $B=5.5$ alınarak kayma hızları (u_*) her bir düşey için belirlenmiştir. Logaritmik hız dağılımının geçerli olduğu bölgede ölçüm değerleri ile en iyi uyum gösteren kayma hızları belirlenmiş ve örnek olarak Q35_C ölçümüne ait boyutsuz hız dağılımları Şekil 4.2 de verilmiştir. Şekil 4.2 den görüleceği üzere yarı logaritmik ölçekte boyutsuz hız dağılımları $(u/u_*)-(u_*z/v)$ çizilerek iç bölgeye en iyi uyum sağlayan kayma hızları tespit edilmiştir. Akımda simetrinin varlığı nedeniyle en kesit üzerinde duvardan başlayarak kanal orta kesitine kadar olan ($y=3, 6, 9, 12, 15, 18, 21, 24, 27$ ve 30 cm) kesitlerdeki hız dağılımları ele alınmıştır. Tablo 4.1 de Q35_C ölçümüne ait belirlenen kayma hızları verilmiştir. En kesit boyunca belirlenen kayma hızları (u_*) kullanılarak ölçüm yapılan düşeylerdeki kayma gerilmeleri hesaplanmıştır. Tablo 4.1 de gösterilen bu kayma gerilmeleri kesit ortalama kayma gerilmesi τ_{ort} ile boyutsuzlaştırılarak en kesit boyunca dağılımları da şekil 4.7 de verilmiştir.



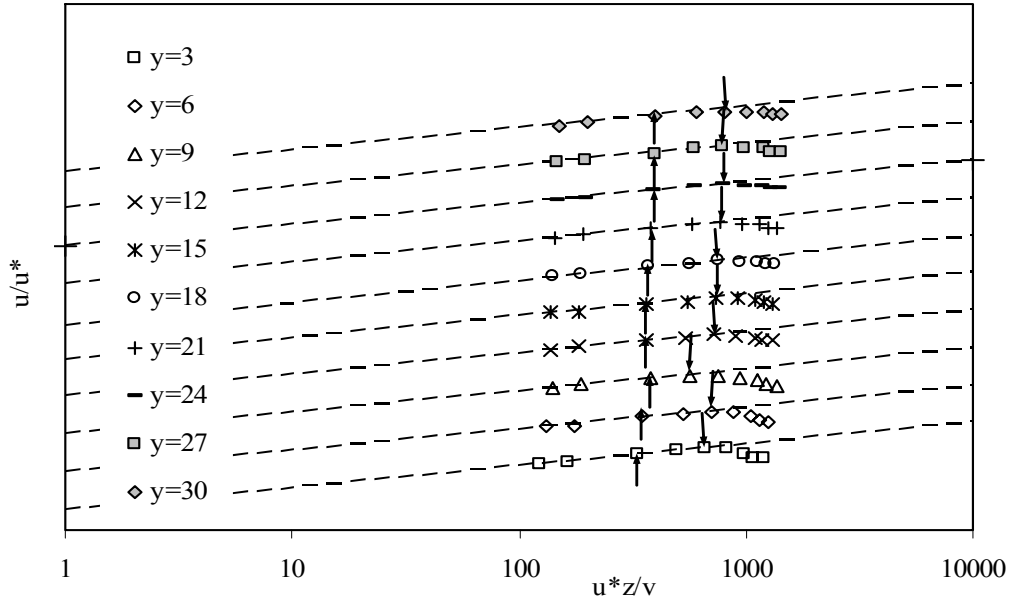
Şekil 4.2. Q35_C ölçümüne ait enkesit üzerinde ölçülen boyutsuz hız dağılımı.

Q10_C, Q20_C, Q30_C, Q35_C akımlarına ait belirlenen boyutsuz hız dağılımlarının enkesit boyunca değişimi Şekil 4.3, 4.4, 4.5, 4.6 da gösterilmiştir. Duvara yaklaştıkça iç bölgenin uzunluğu azalmaktadır. Duvara yaklaştıkça bölgenin daraldığı belirlenmiştir. İç bölgenin genişliği Re sayısı arttıkça daha da büyümektedir. Q10_C, Q20_C, Q30_C, Q35_C pürüzsüz akım şartında kanal orta kesitinde logaritmik dağılımın geçerli olduğu bölgenin alt ve üst sınırları $118.5 < u_*z/\nu < 338$, $330 < u_*z/\nu < 800$, $376 < u_*z/\nu < 1470$, $352 < u_*z/\nu < 1624$ aralığında olmaktadır. Duvara yaklaştıkça iç bölgenin uzunluğu azalmakta duvara en yakın ölçüm yapılan $y=3$ kesitinde $118.5 < u_*z/\nu < 316$, $330 < u_*z/\nu < 660$, $376 < u_*z/\nu < 752$, $352 < u_*z/\nu < 1232$ aralığında tanımlanabilmektedir.

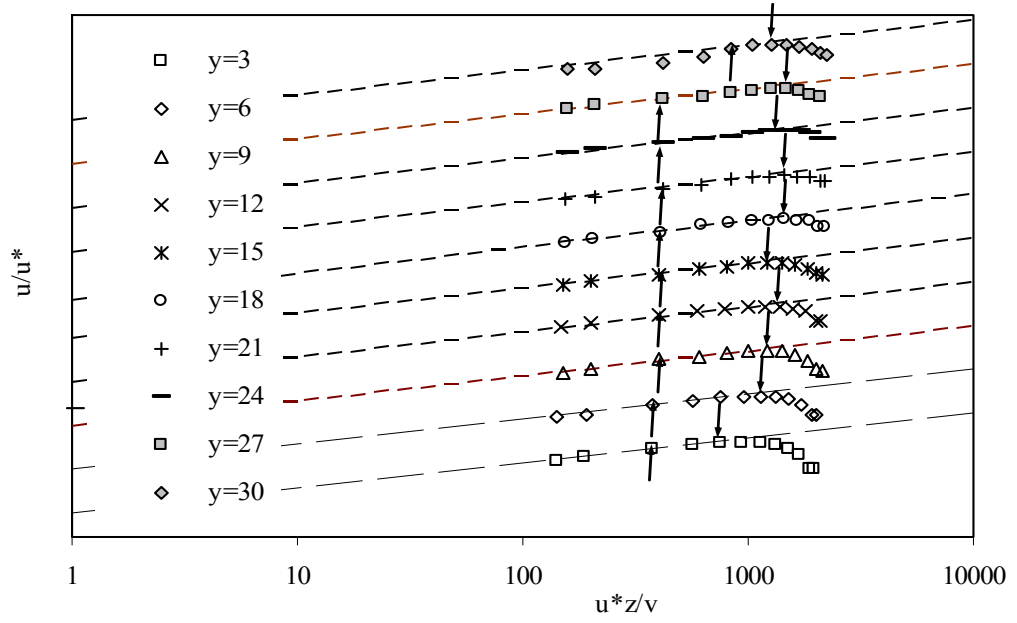
Cilalı akım şartlarında belirlenen kayma hızları (u_*) kullanılarak (2.41) ifadesinde verilen duvar kanunu (law of the wall) yardımı ile enkesit hız dağılımları hesaplanmıştır. Şekil 4.9- 4.10–4.11-4.12’de 4 farklı akım durumunda hesaplanan hız dağılımları ile ölçümler gösterilmiştir. Kesit oranının (B/H) 6.0 den küçük olduğu akımlarda logaritmik dağılımın iç bölgede akımı iyi temsil ettiği ancak serbest su yüzüne yakın bölgedeki dalmayı temsil edemediği gözlenmiştir. Kesit oranı arttıkça (2.41) ifadesinin derinlik boyunca hızları daha iyi temsil ettiği belirlenmiştir.



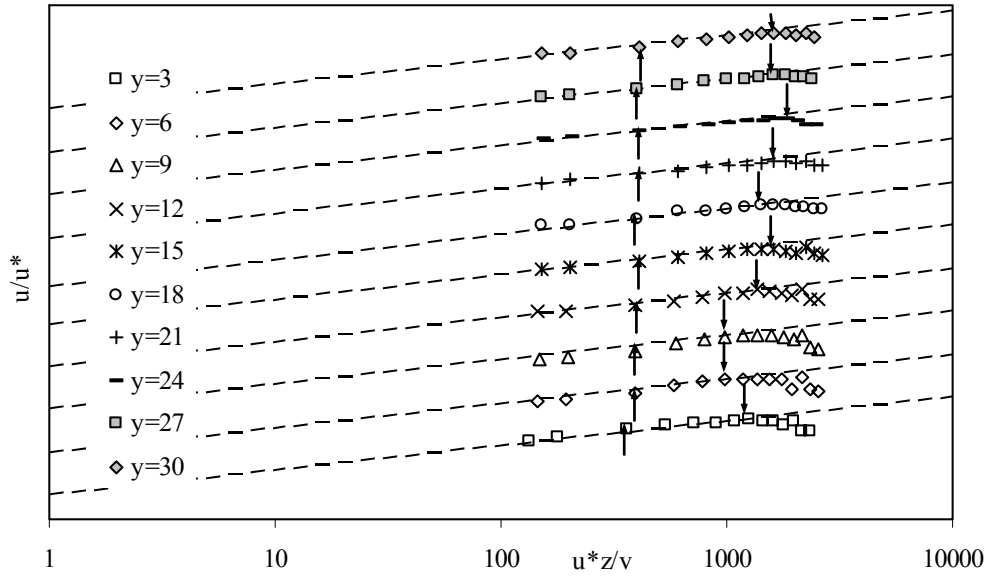
Şekil 4.3. Q10_C Boyutsuz hız dağılımları ve logaritmik dağılımın geçerli olduğu bölgeler.



Şekil 4.4. Q20_C Boyutsuz hız dağılımları ve logaritmik dağılımın geçerli olduğu bölgeler.



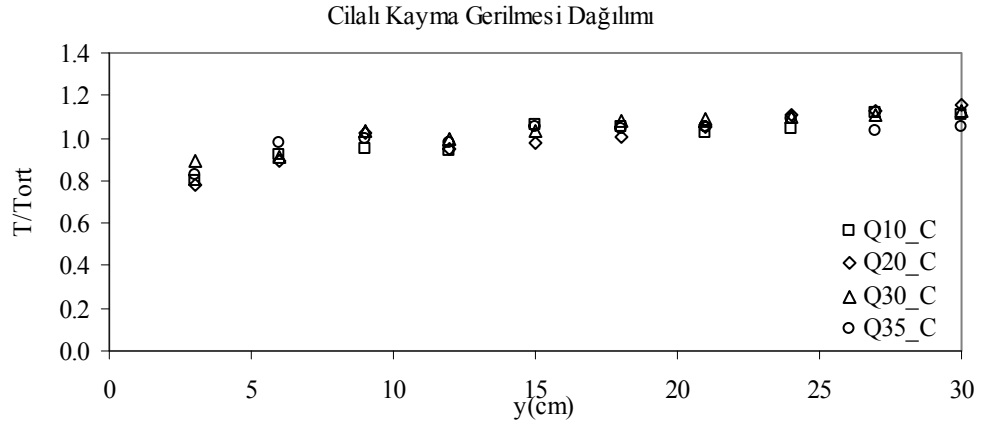
Şekil 4.5. Q30_C Boyutsuz hız dağılımları ve logaritmik dağılımın geçerli olduğu bölgeler.



Şekil 4.6. Q35_C Boyutsuz hız dağılımları ve logaritmik dağılımın geçerli olduğu bölgeler.

Tablo 4.1. Cilalı akımlarda kayma hızları ve gerilmeleri.

Q10_C										
y(cm)	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30
u_* (m/s)	0.016	0.017	0.017	0.017	0.018	0.018	0.018	0.018	0.019	0.019
τ (N/m ²)	0.250	0.286	0.296	0.292	0.331	0.328	0.320	0.324	0.350	0.346
τ/τ_{ort}	0.801	0.917	0.949	0.938	1.063	1.051	1.028	1.040	1.122	1.110
Q20_C										
u_* (m/s)	0.017	0.018	0.019	0.018	0.018	0.019	0.019	0.020	0.020	0.020
τ (N/m ²)	0.272	0.310	0.357	0.331	0.339	0.350	0.365	0.384	0.392	0.400
τ/τ_{ort}	0.784	0.892	1.028	0.953	0.975	1.007	1.050	1.106	1.128	1.151
Q30_C										
u_* (m/s)	0.019	0.019	0.020	0.020	0.020	0.021	0.021	0.021	0.021	0.021
τ (N/m ²)	0.353	0.361	0.408	0.396	0.408	0.428	0.433	0.437	0.441	0.445
τ/τ_{ort}	0.892	0.911	1.030	1.000	1.030	1.081	1.092	1.102	1.113	1.124
Q35_C										
u_* (m/s)	0.018	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020	0.021	0.020	0.020
τ (N/m ²)	0.310	0.380	0.388	0.380	0.412	0.408	0.412	0.424	0.404	0.412
τ/τ_{ort}	0.796	0.977	0.997	0.977	1.058	1.048	1.058	1.090	1.038	1.058

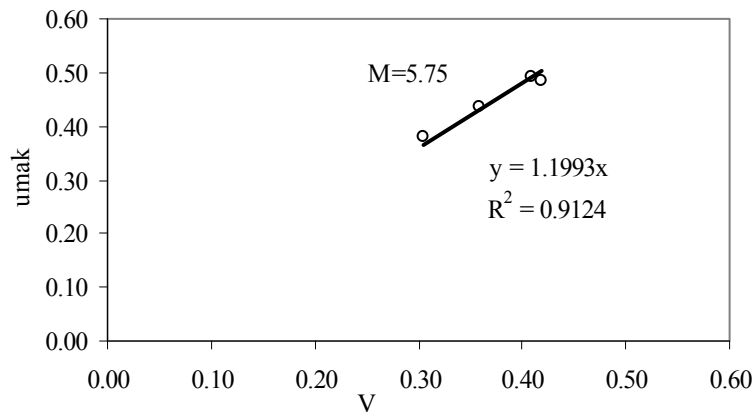


Şekil 4.7. Cilalı akımlara ait boyutsuz kayma gerilmesi dağılımları.

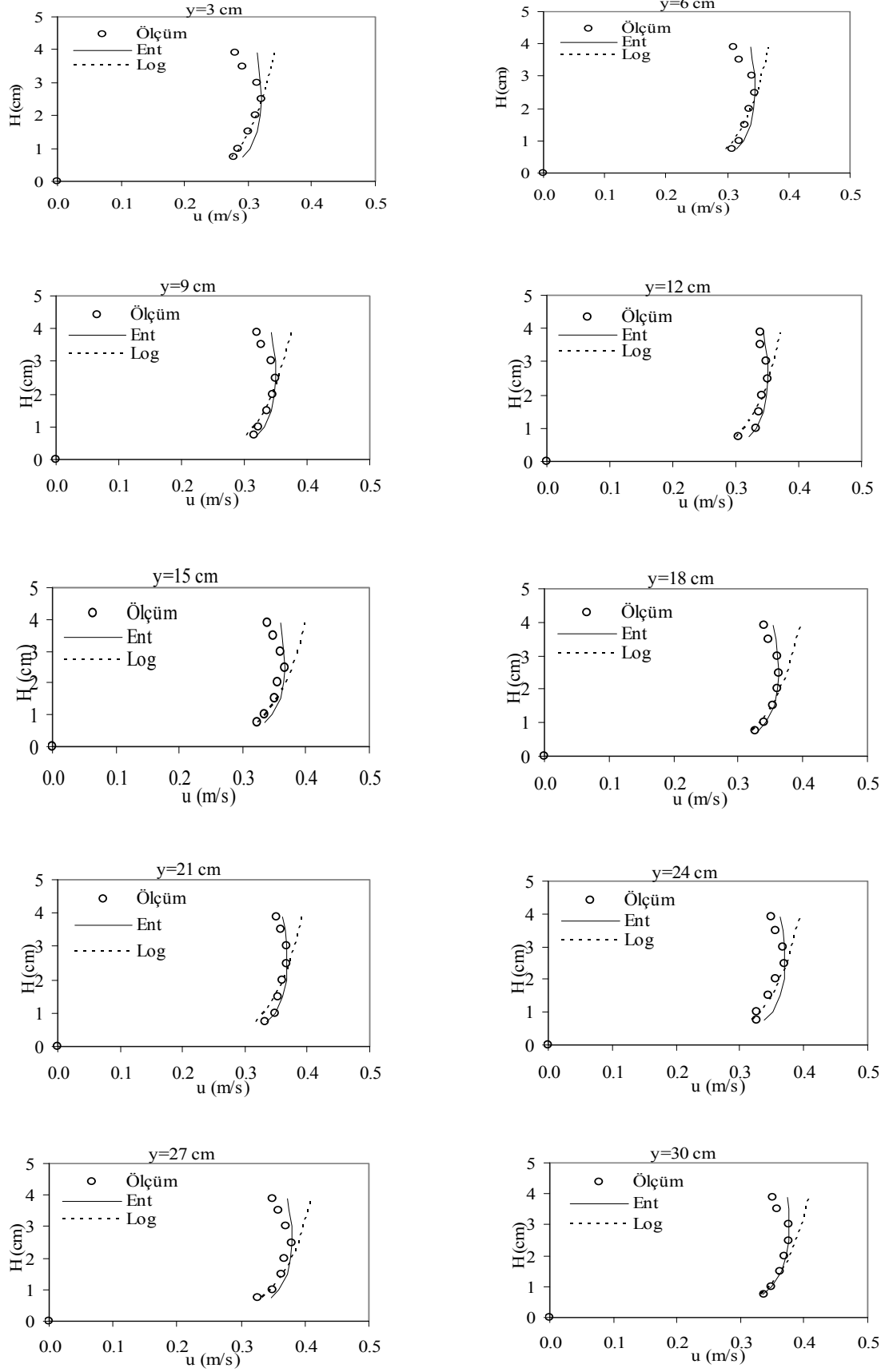
4.1.2. Cilalı Akımlarda Entropi Hız Dağılımı

Chiu [4] tarafından verilen ve Moramarco ve arkadaşları tarafından geliştirilen (2.81) ifadesi kullanılarak entropi yöntemi incelenmiştir [28]. Tablo 3.4’de verilen her bir akıma ait ortalama hız ve maksimum hız arasındaki ilişki Şekil 4.8 de gösterilmiştir. Şekilden de görüleceği üzere ele alınan kesit için $V - u_{\text{mak}}$ ilişkisi doğrusal olmakta ve $M=5.75$ olarak hesaplanmıştır. Herbir akım durumunda enkesit üzerinde ele alınan düşeyler için u_{mak} değerleri kullanılarak (2.81) ifadesi yardımı ile derinlik boyunca hızlar hesaplanmıştır. Şekil 4.9, 4.10, 4.11, 4.12 de verilen tüm ölçümlere ait hesaplanan dağılımlardan görüleceği üzere Entropi ifadesi ölçüm değerlerini iyi temsil edebilmektedir. Ancak gerek $B/H < 6.0$ olan akımlarda gerekse duvar yakınlarında oluşan dalmayı temsil edememektedir.

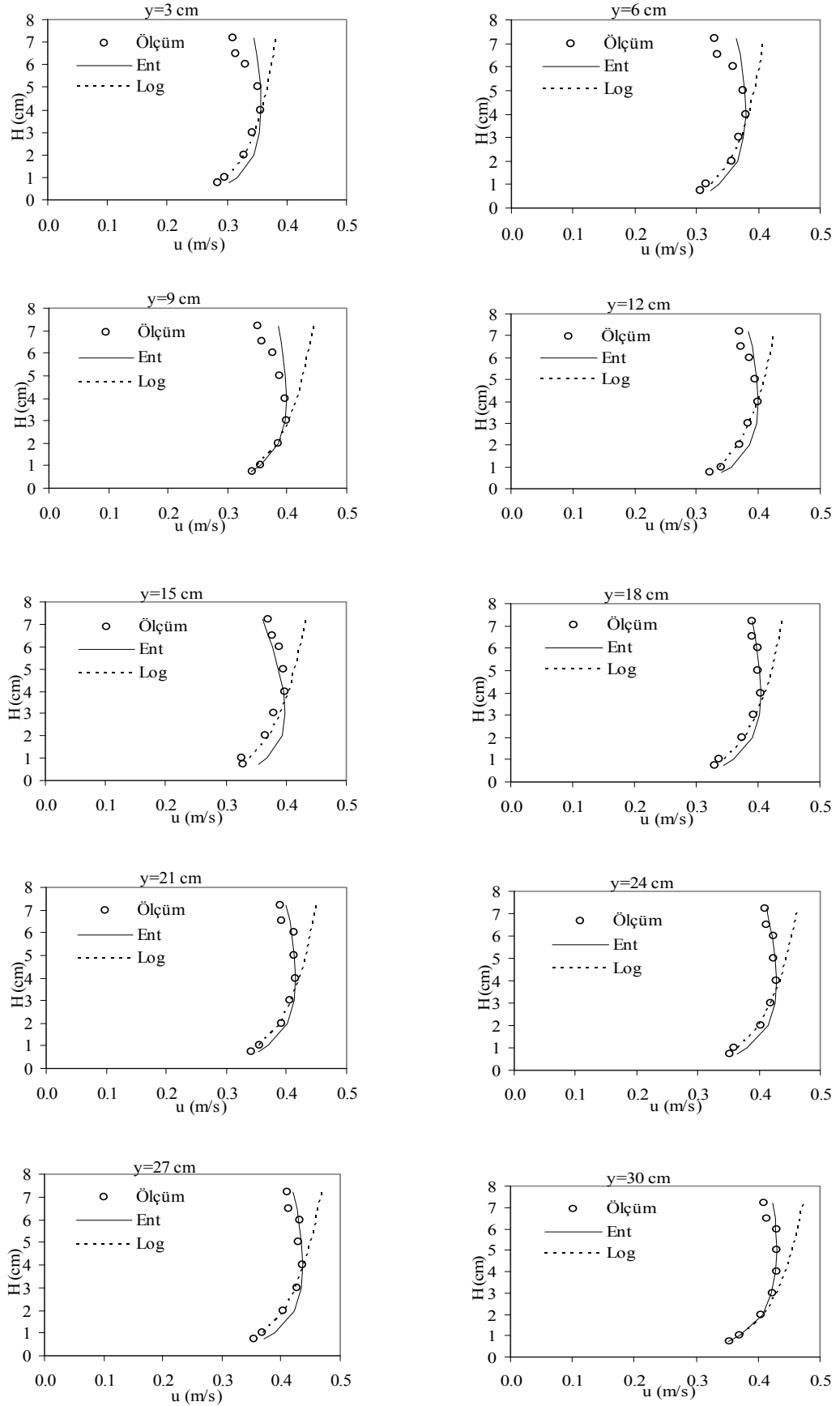
Cilalı akımlar için (2.41) ve (2.77) ifadeleri yardımı ile hesaplanan tüm hız değerlerinin ölçüm değerleri ile ilişkisi Şekil 4.9, 4.10, 4.11, 4.12 de gösterilmiştir. Şekillerden ölçüm değerleri ile entropi yöntemi ile hesaplanan hızlar arasındaki ilişkiden, entropi değerlerinin ölçüm değerlerinden bir miktar büyük olduğu ancak yakın değerler verdiği görülmektedir. Logaritmik dağılımın ölçüm değerlerinden daha büyük olduğu ve entropi değerlerine göre daha büyük dağılım gösterdiği belirlenmiştir.



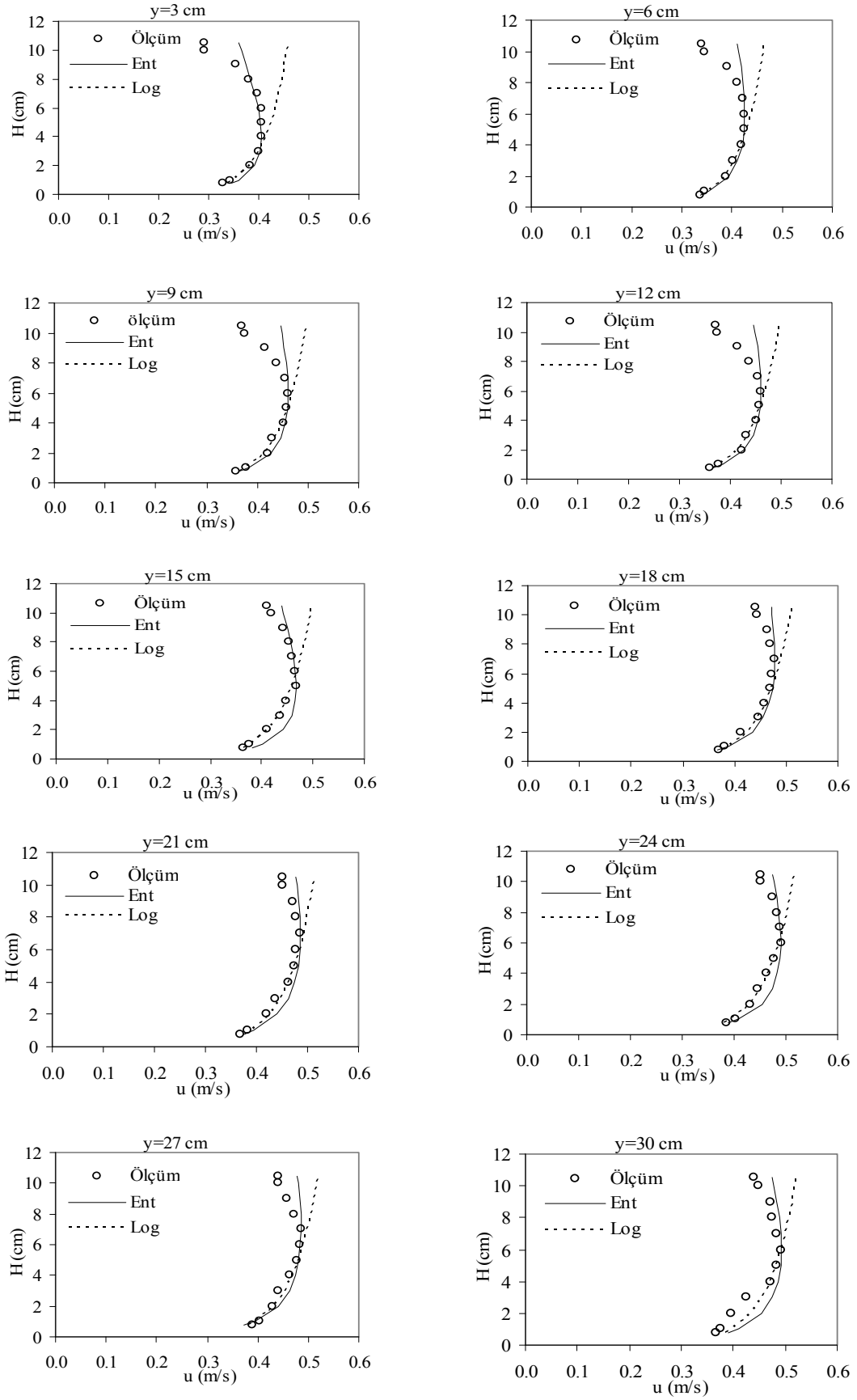
Şekil 4.8. Cilalı akımlara ait ortalama hız ve maksimum hız arasındaki ilişki.



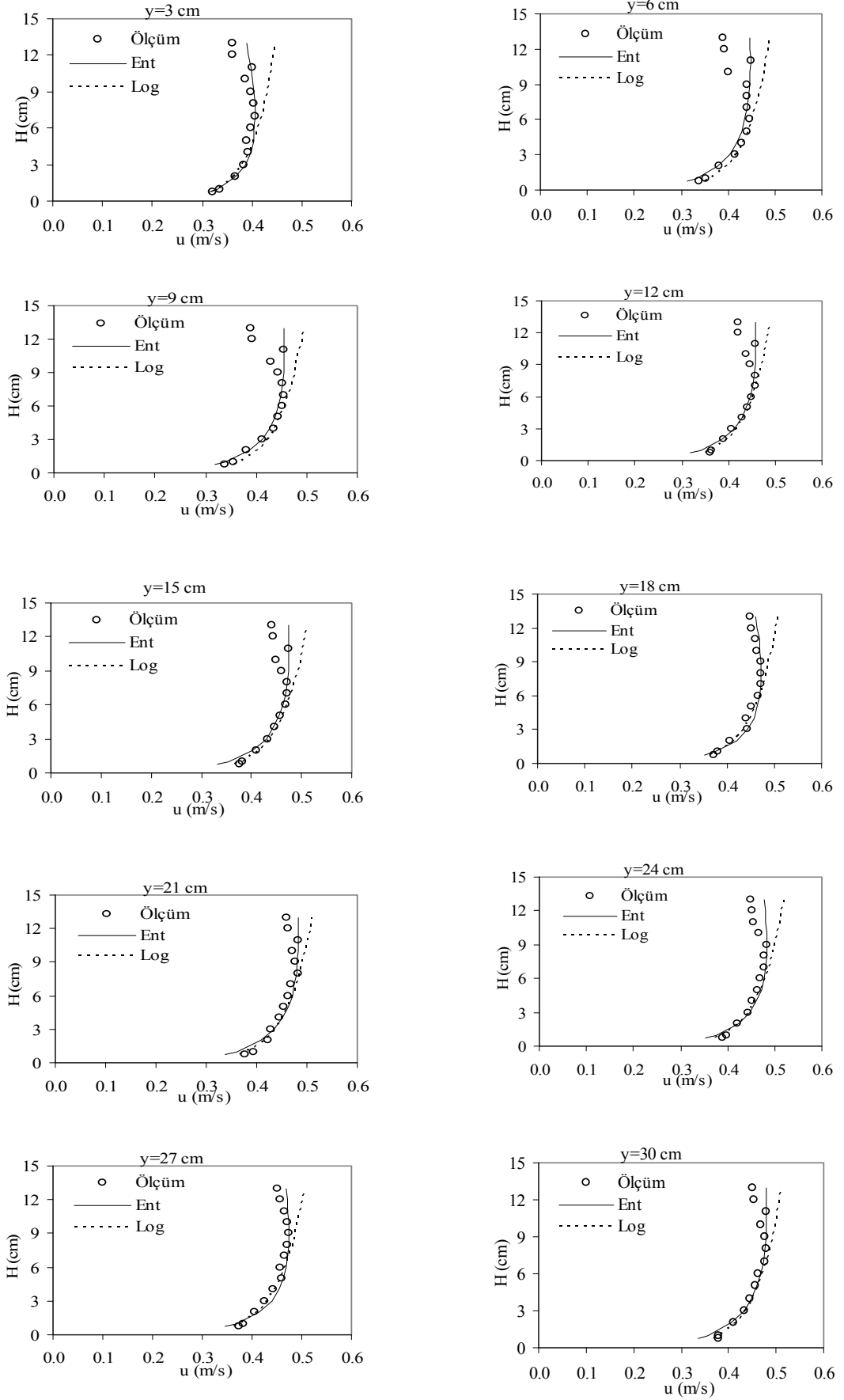
Şekil 4.9. Q10_C akımına ait hız ölçümleri ve hesaplanan dağılımlar.



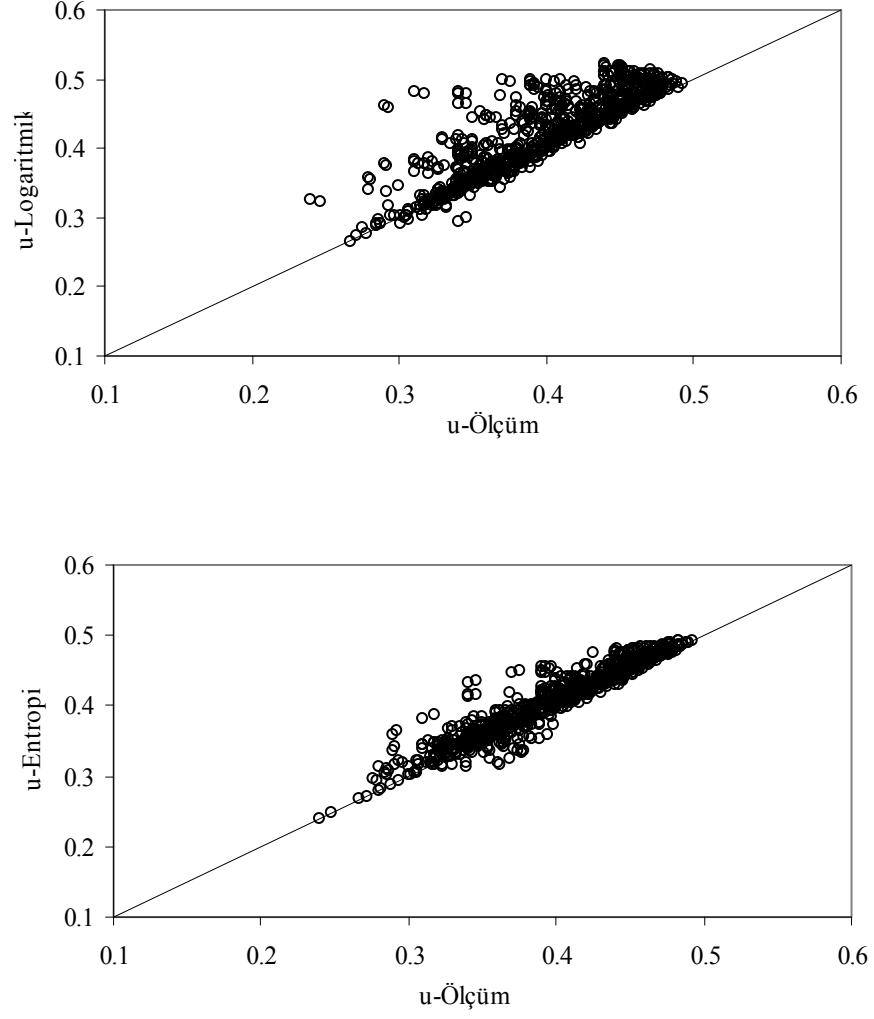
Şekil 4.10. Q20_C akımına ait hız ölçümleri ve hesaplanan dağılımlar.



Şekil 4.11. Q30_C akımına ait hız ölçümleri ve hesaplanan dağılımlar.



Şekil 4.12. Q35_C akımına ait hız ölçümleri ve hesaplanan dağılımlar.

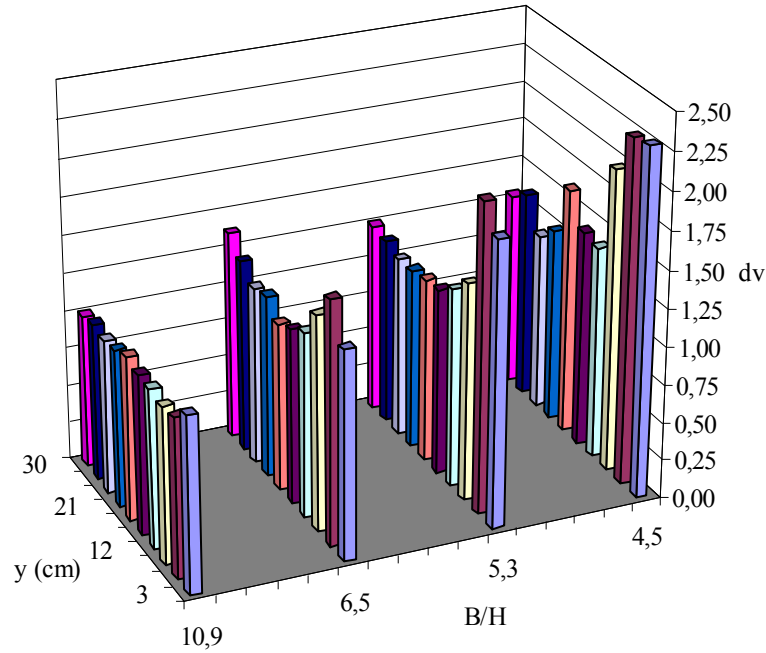


Şekil 4.13. Cilalı akımlarda ölçümler ile logaritmik ve entropi hızların karşılaştırılması.

Logaritmik dağılımlar özellikle 0.3 m/s den yüksek hızlarda ölçüm değerlerinden daha büyük olmaktadır. Fakat entropi yöntemi ile bulunan hızlar ölçüm hızlarına logaritmik yöntemle nazaran uygunluğu dikkat çekmektedir.

4.2. Pürüzlü Akım Durumunda Hız Dağılımları

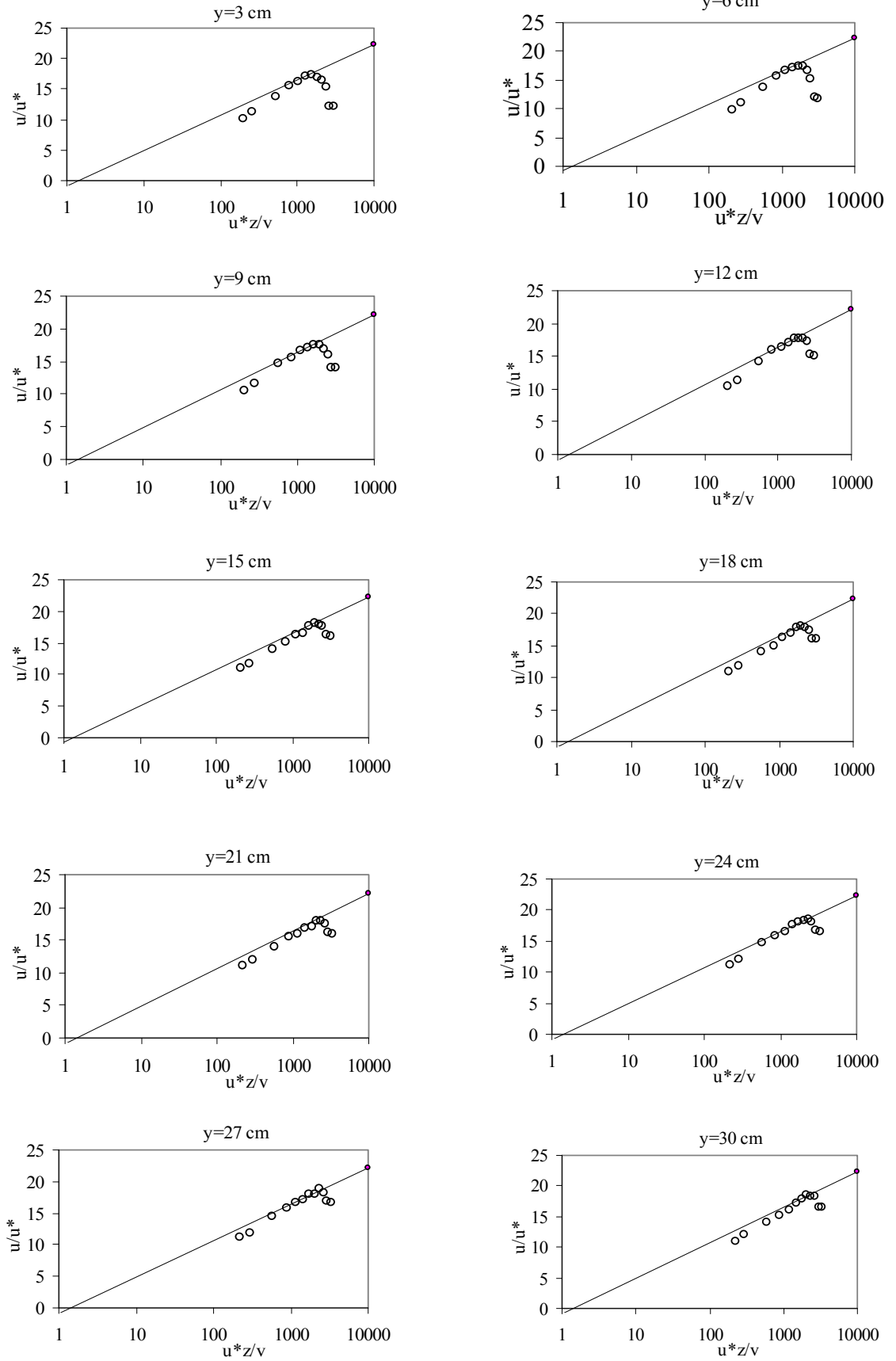
Pürüzlü akım şartını oluşturmak amacıyla kanal başından sonuna kadar pürüzlülük yüksekliği $k=7$ mm olan plastik paspas tabana serilmiştir. Sınır tabakasının gelişmiş olduğu bölge $x=6.0$ m de enkesit hız ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Enkesit hız ölçümleri cilalı akım şartlarına benzer şekilde 4 farklı debide yapılmıştır. Pürüzlü akım şartlarında dalma derinliği Nezu & Rodi'nin yaklaşımı ile incelenmiştir [10]. Ele alınan pürüzlü akım şartlarında dv oranı belirlenerek enkesit boyunca değişimleri Şekil 4.14'de verilmiştir. Pürüzlü akım şartlarında deneyler B/H in 4.5–10.9 arasındaki değerlerinde gerçekleştirilmiş olup cilalı akım şartlarına benzer bir etki gözlenmiştir. Şekilden görüleceği üzere kesit oranı $(B/H) > 10$ olduğu durumlarda dalma etkisi ihmal edilebilecek boyuta olmakta sadece duvara en yakın ölçüm yapılan $y=3$ cm de bu etki gözlenmektedir. Kesit oranının özellikle 10.9'dan küçük olduğu akımlarda ise dalma etkisine tüm kesit boyunca rastlanmakta bu etki duvara yakın kesitlerde ise daha da artmaktadır.



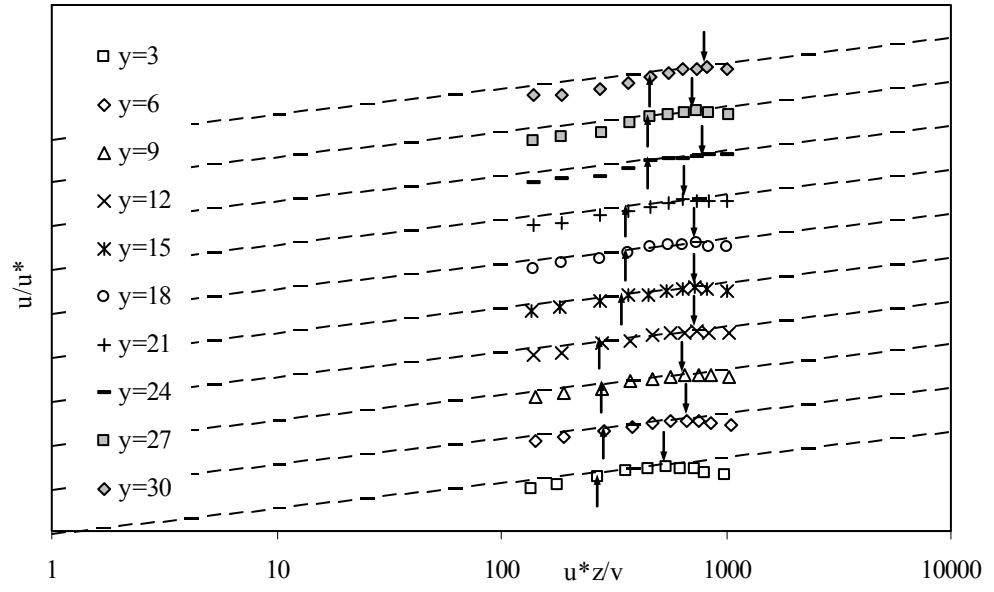
Şekil 4.14. Pürüzlü akım durumlarında dalma etkisinin enkesit boyunca değişimi.

4.2.1. Logaritmik Hız Dağılımları

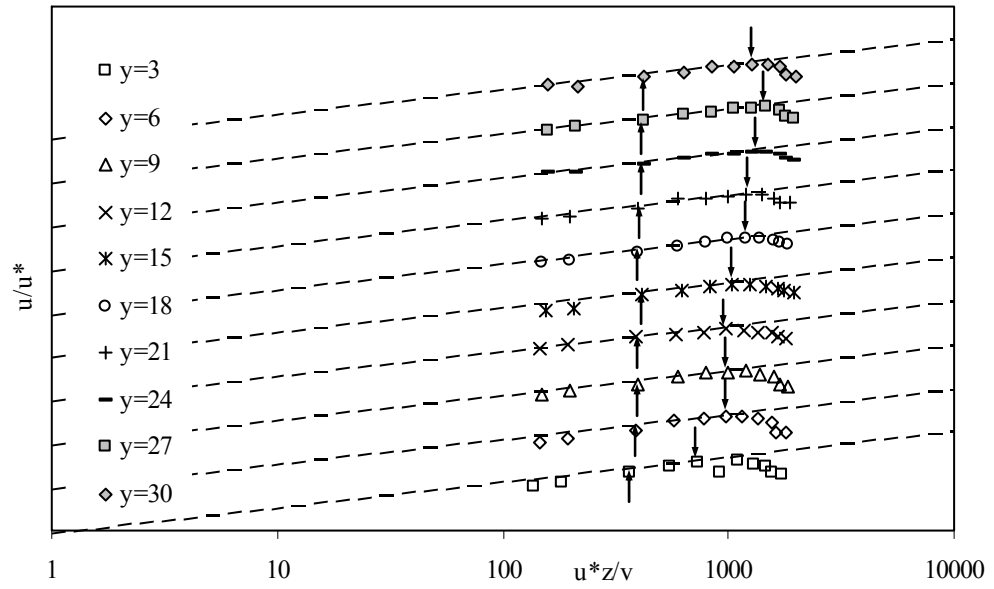
Sınır tabakasının gelişmiş olduğu bölge olarak belirlenen kanal başından itibaren 6. metrede Propeller ile yapılan pürüzlü enkesit hız ölçümleri Ek-1 de verilmiştir. Her bir akım şartı ve enkesit üzerinde kayma hızlarının (u_*) belirlenmesi amacıyla Kırgöz tarafından verilen logaritmik dağılım (2.57) kullanılmıştır [18]. Bu amaçla Q30_P ölçümüne ait boyutsuz hız dağılımı Şekil 4.15 de gösterilmiştir. Şekil den görüleceği üzere yarı logaritmik ölçekte boyutsuz hız dağılımları $(u/u_*)-(u_*z/v)$ çizilerek iç bölgeye en iyi uyum sağlayan kayma hızları belirlenmiştir. Tüm pürüzlü akım şartları için kayma hızları benzer şekilde belirlenerek Şekil 4.16, 4.17, 4.18, 4.19 da verilmiştir. Ele alınan akım şartlarında her bir düşeyde belirlenen kayma hızları (u_*) Tablo 4.2 de gösterilmiştir. Yine aynı tabloda, belirlenen kayma hızları ile hesaplanan kayma gerilmeleri (τ) ve en kesit ortalama hızları ile elde edilen boyutsuz kayma gerilmeleri de (τ/τ_{ort}) gösterilmiştir. Hesaplanan bu boyutsuz kayma gerilmelerinin dağılımı Şekil 4.2'de gösterilmiştir. Şekilden görüleceği üzere boyutsuz hız dağılımı cıvalı akım durumuna benzer bir dağılım göstermektedir.



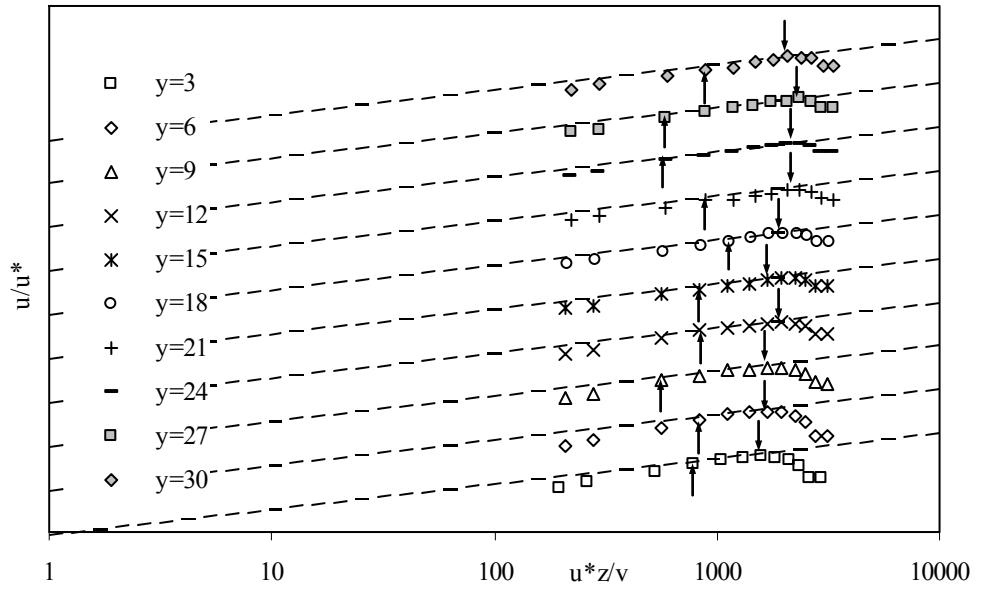
Şekil 4.15. Q30_P ölçümüne ait enkesit üzerinde ölçülen boyutsuz hız dağılımı.



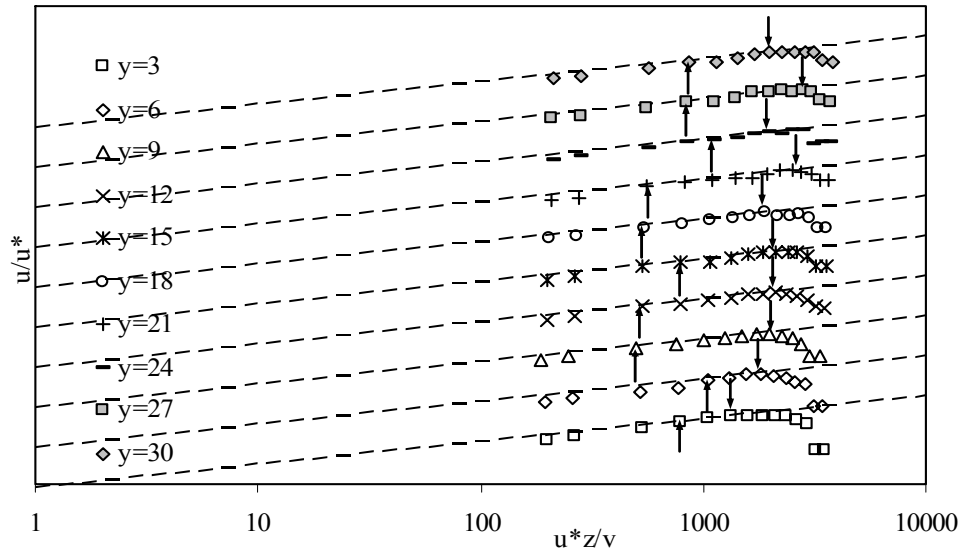
Şekil 4.16. Q10_P Boyutsuz hız dağılımları ve logaritmik dağılımın geçerli olduğu bölgeler.



Şekil 4.17. Q20_P Boyutsuz hız dağılımları ve logaritmik dağılımın geçerli olduğu bölgeler.



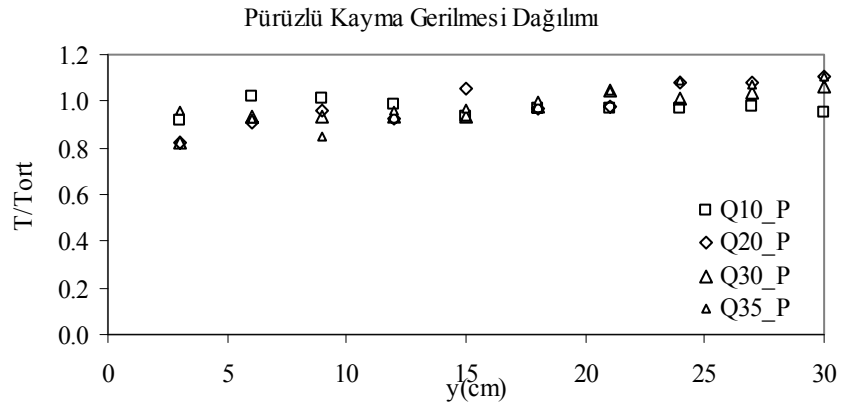
Şekil 4.18. Q30_P Boyutsuz hız dağılımları ve logaritmik dağılımın geçerli olduğu bölgeler.



Şekil 4.19. Q35_P Boyutsuz hız dağılımları ve logaritmik dağılımın geçerli olduğu bölgeler.

Tablo 4.2. Pürüzlü akımlarda kayma hızları ve gerilmeleri.

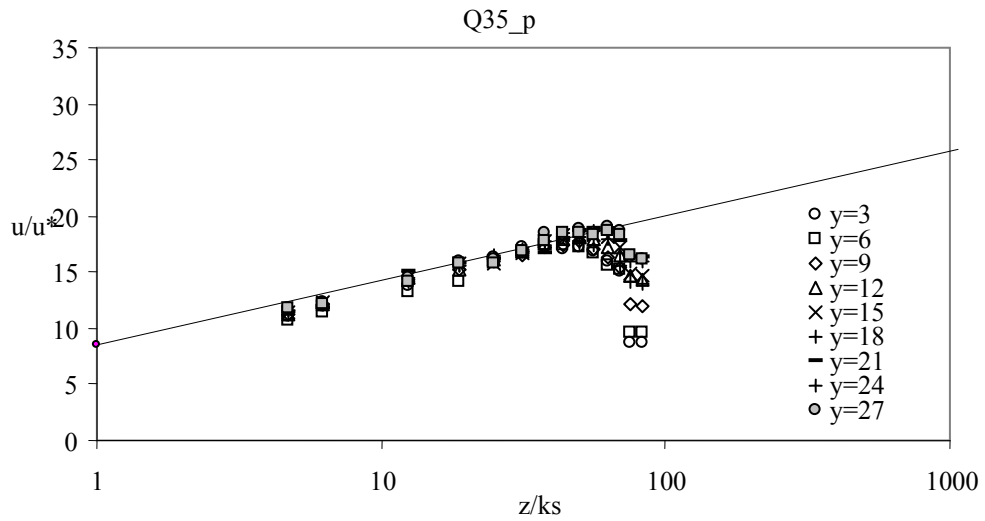
Q10_P										
y(cm)	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30
u_* (m/s)	0.018	0.019	0.019	0.019	0.018	0.019	0.019	0.019	0.019	0.018
τ (N/m ²)	0.324	0.361	0.357	0.350	0.331	0.342	0.342	0.342	0.346	0.339
τ/τ_{ort}	0.914	1.019	1.008	0.987	0.935	0.966	0.966	0.966	0.976	0.956
Q20_P										
u_* (m/s)	0.0184	0.0193	0.0198	0.0195	0.0208	0.0199	0.02	0.021	0.021	0.0213
τ (N/m ²)	0.339	0.372	0.392	0.380	0.433	0.396	0.400	0.441	0.441	0.454
τ/τ_{ort}	0.827	0.910	0.957	0.929	1.057	0.967	0.977	1.077	1.077	1.108
Q30_P										
u_* (m/s)	0.0262	0.0279	0.0279	0.0279	0.0279	0.0285	0.0295	0.0291	0.0294	0.0298
τ (N/m ²)	0.686	0.778	0.778	0.778	0.778	0.812	0.870	0.847	0.864	0.888
τ/τ_{ort}	0.823	0.933	0.933	0.933	0.933	0.974	1.043	1.015	1.036	1.064
Q35_P										
u_* (m/s)	0.0265	0.026	0.025	0.0265	0.0266	0.0271	0.0277	0.0283	0.028	0.0285
τ (N/m ²)	0.702	0.676	0.625	0.702	0.708	0.734	0.767	0.801	0.784	0.812
τ/τ_{ort}	0.958	0.922	0.853	0.958	0.965	1.002	1.047	1.092	1.069	1.108



Şekil 4.20. Pürüzlü akımlara ait boyutsuz kayma gerilmesi dağılımları.

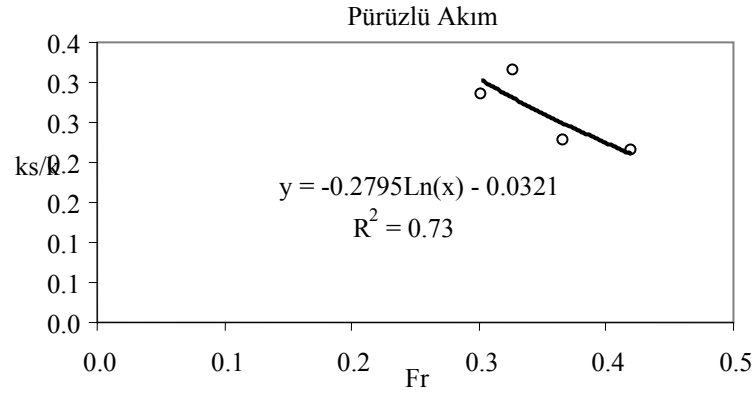
Pürüzlü akım şartlarında belirlenen kayma hızları (u_*) kullanılarak (2.54) ifadesinde verilen logaritmik dağılım yardımı ile enkesit hız dağılımları hesaplanmıştır. Kesit oranının (B/H) 5.0 den küçük olduğu akımlarda logaritmik dağılımın iç bölgede akımı iyi temsil ettiği ancak serbest su yüzüne yakın bölgedeki dalmayı temsil edemediği gözlenmiştir. Kesit oranı arttıkça (2.54) ifadesinin derinlik boyunca hızları daha iyi temsil ettiği belirlenmiştir.

Kayma hızları belirlenen akımlara ait rölatif pürüzlülük yüksekliğini (k_s) belirlemek amacıyla (2.54) ifadesi kullanılmıştır. Burada $\chi=0.40$, ve $B=8.5$ alınarak belirlenen kayma hızları yardımı ile iç bölgede (2.54) ifadesine en iyi uyum gösteren k_s ler belirlenmiştir. Şekil 4.21 de Q35_P ölçümüne ait çizilen boyutsuz hız dağılımları verilmiştir. Bu akım için (2.54) ifadesinde $k_s=0.16$ alınarak Şekil 4.21 de verilen boyutsuz hız dağılımları elde edilmiştir.



Şekil 4.21. Q35_P ölçümüne ait boyutsuz hız dağılımı.

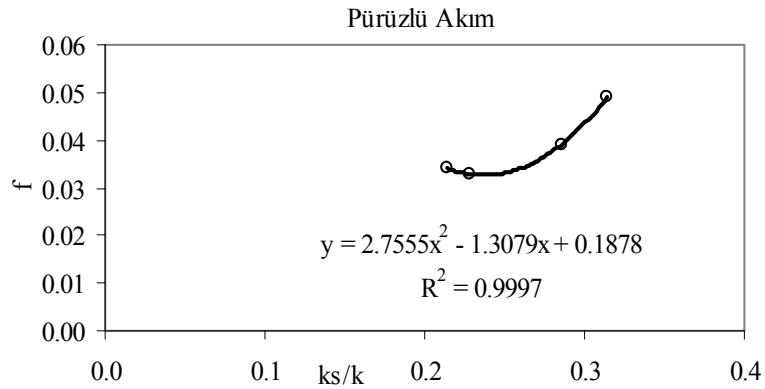
4 farklı akıma ait hesaplan rölatif pürüzlülük yükseklikleri (k_s) değerleri pürüzlülük yüksekliği $k=7$ mm ile boyutsuzlaştırılarak Fr sayıları arasındaki ilişki Şekil 4.22 de gösterilmiştir. Şekilden görüleceği üzere $k_s/k - Fr$ arasında logaritmik bir ilişki gözlenmiş olup bu ilişki aşağıdaki gibi belirlenmiştir.



Şekil 4.22. Fr sayısı ile boyutsuz pürüzlülük yüksekliği arasındaki ilişki.

$$\frac{k_s}{k} = -0.2795\ln(Fr) - 0.0321 \quad (4.1)$$

(4.1) ifadesinin korelasyon katsayısı $R^2=0.73$ olarak belirlenmiştir. Deneylere ait belirlenen boyutsuz pürüzlülük yüksekliği ile Darcy - Weisbach pürüzlülük katsayısı (f) arasında polinomial bir ilişki belirlenmiş olup bu ilişki (4.2) de verilmiştir.



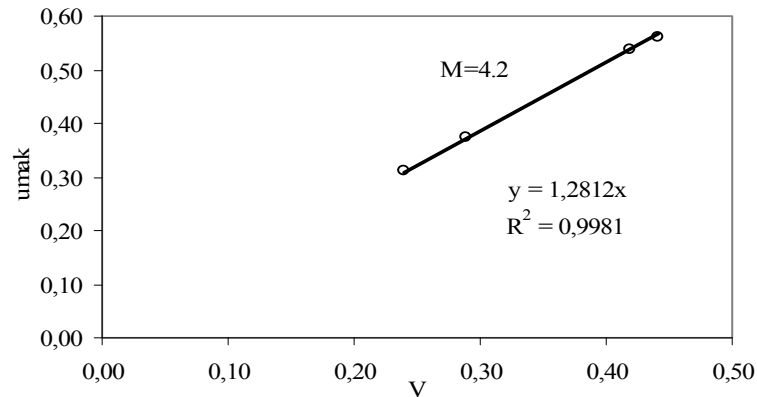
Şekil 4.23. Boyutsuz pürüzlülük yüksekliği ile pürüzlülük katsayısı (f) ilişkisi.

$$f = 2.7555 \left(\frac{k_s}{k} \right)^2 - 1.3079 \left(\frac{k_s}{k} \right) + 0.1878 \quad (4.2)$$

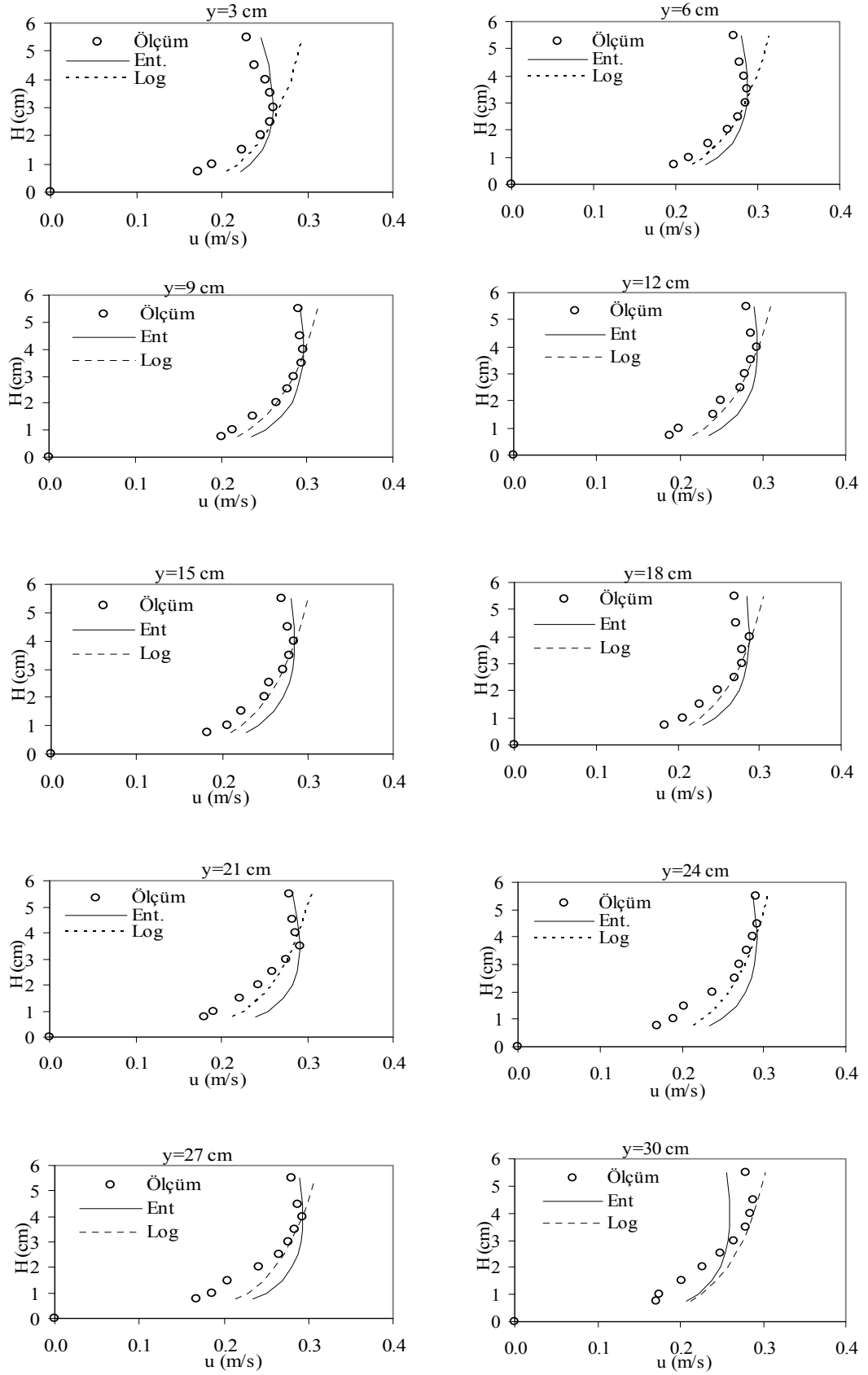
Bu ifadeye ait korelasyon katsayısı $R^2=0.99$ olarak belirlenmiştir. (4.2) ifadesi pürüzlülük katsayısının belirlenmesinde oldukça basit ve kullanışlı bir ifade olduğu elde edilmiştir.

4.2.2. Pürüzlü Akımlarda Entropi Hız Dağılımı

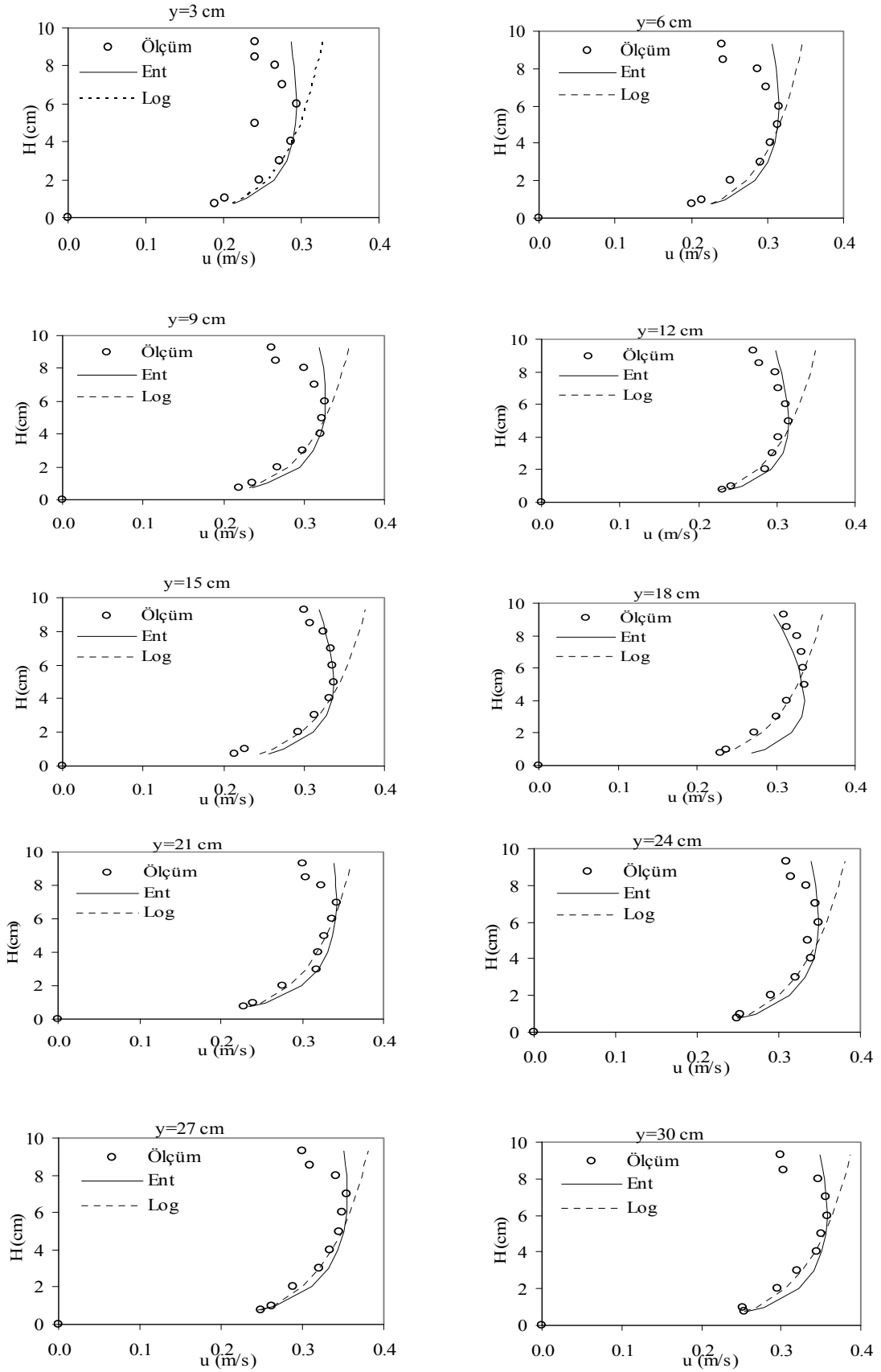
Chiu [4] tarafından önerilen ve Moramarco ve arkadaşları tarafından geliştirilen (2.81) ifadesi kullanılarak entropi yöntemi incelenmiştir [28]. Ele alınan pürüzlü 4 farklı akım şartına ait Tablo 3.5’de verilen $V - u_{\text{mak}}$ değerlerine bağlı olarak söz konusu kesit için entropi parametresi M , (2.77) ifadesi yardımı ile hesaplanmıştır. Tablo 3.5’de verilen her bir akıma ait ortalama hız ve maksimum hız arasındaki ilişki Şekil 4.24’de gösterilmiştir. Şekilden de görüleceği üzere ele alınan kesit için $V - u_{\text{mak}}$ ilişkisi doğrusal olmakta ve $M=4.2$ olarak belirlenmiştir. Her bir akım durumunda enkesit üzerinde ele alınan düşeyler için u_{mak} değerleri kullanılarak (2.81) ifadesi yardımı ile derinlik boyunca ölçüm noktalarındaki hızlar hesaplanmıştır. Pürüzlü akımlar için (2.77) ve (2.81) ifadeleri yardımı ile hesaplanan tüm hız değerlerinin ölçüm değerleri ile ilişkisi Şekil 4.25, 4.26, 4.27, 4.28 de gösterilmiştir. Şekillerde verilen ölçüm değerleri ile entropi yöntemi ile hesaplanan hızlar arasındaki ilişkiden entropi değerlerinin ölçüm değerlerinden bir miktar büyük olduğu ancak yakın değerler verdiği görülmektedir. Logaritmik dağılımın ölçüm değerlerinden daha büyük olduğu ve entropi değerlerine göre daha büyük dağılım gösterdiği belirlenmiştir.



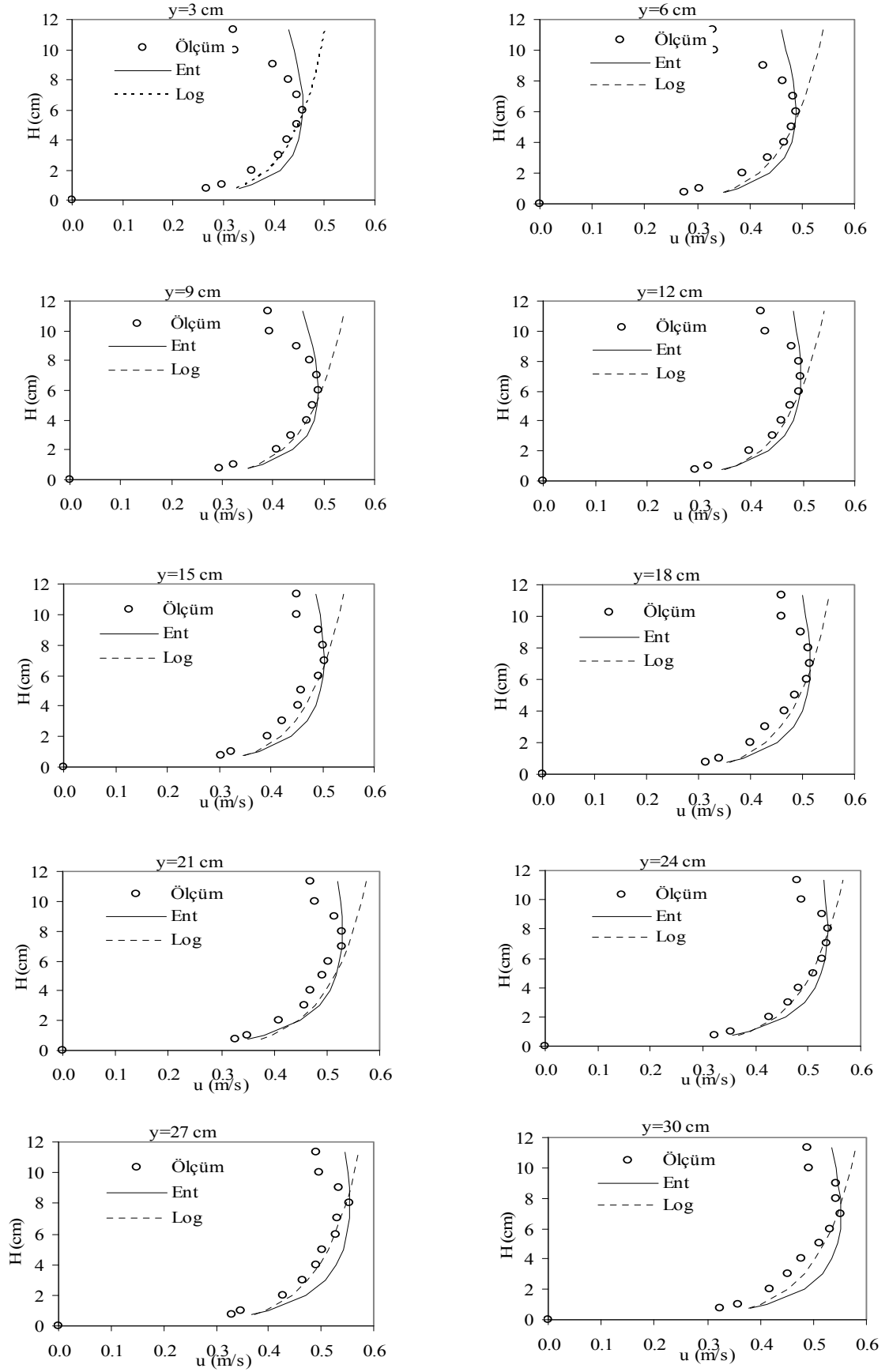
Şekil 4.24. Pürüzlü akımlara ait ortalama hız ve maksimum hız arasındaki ilişki.



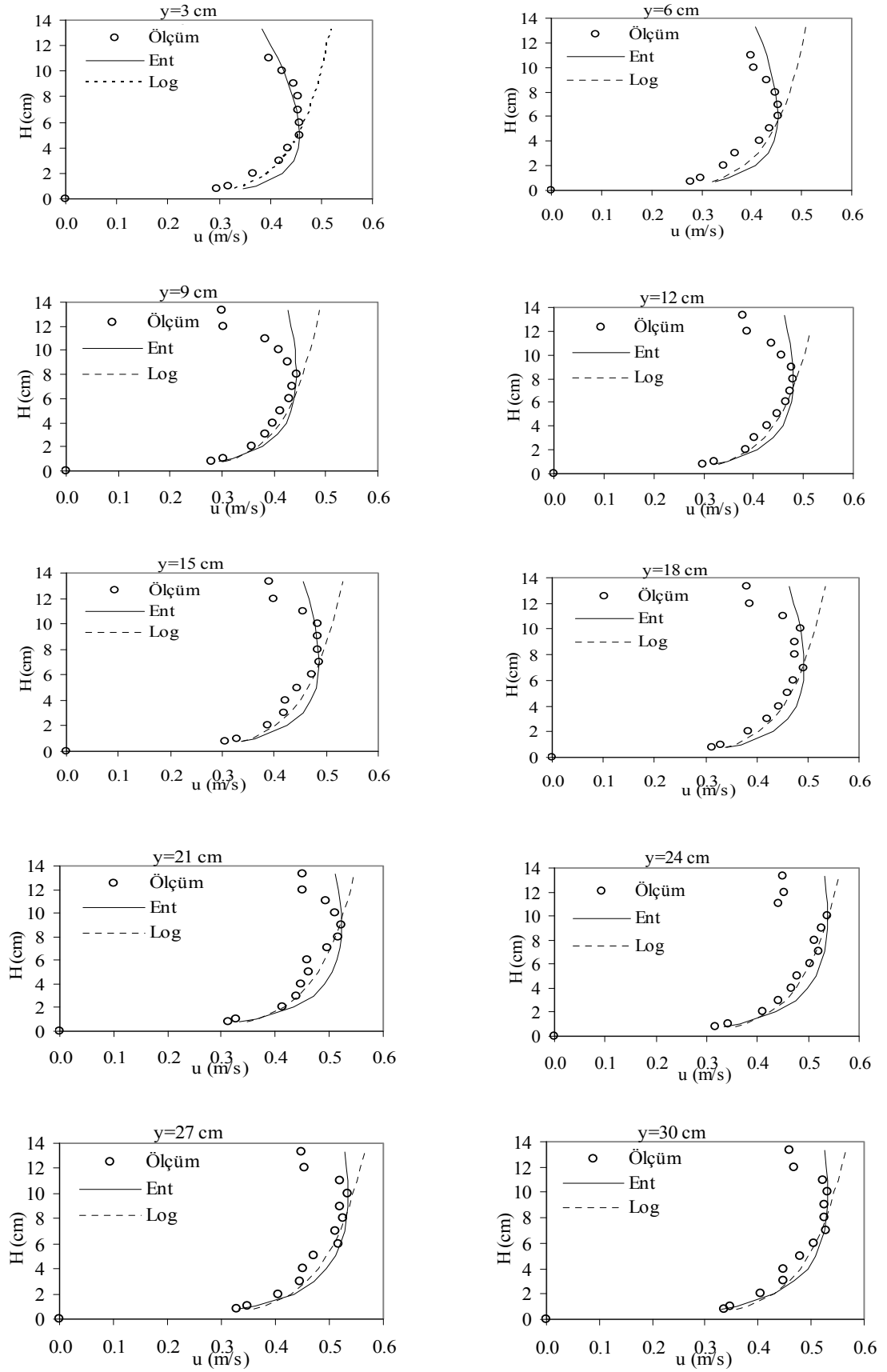
Şekil 4.25. Q10_P akımına ait hız ölçümleri ve hesaplanan dağılımlar.



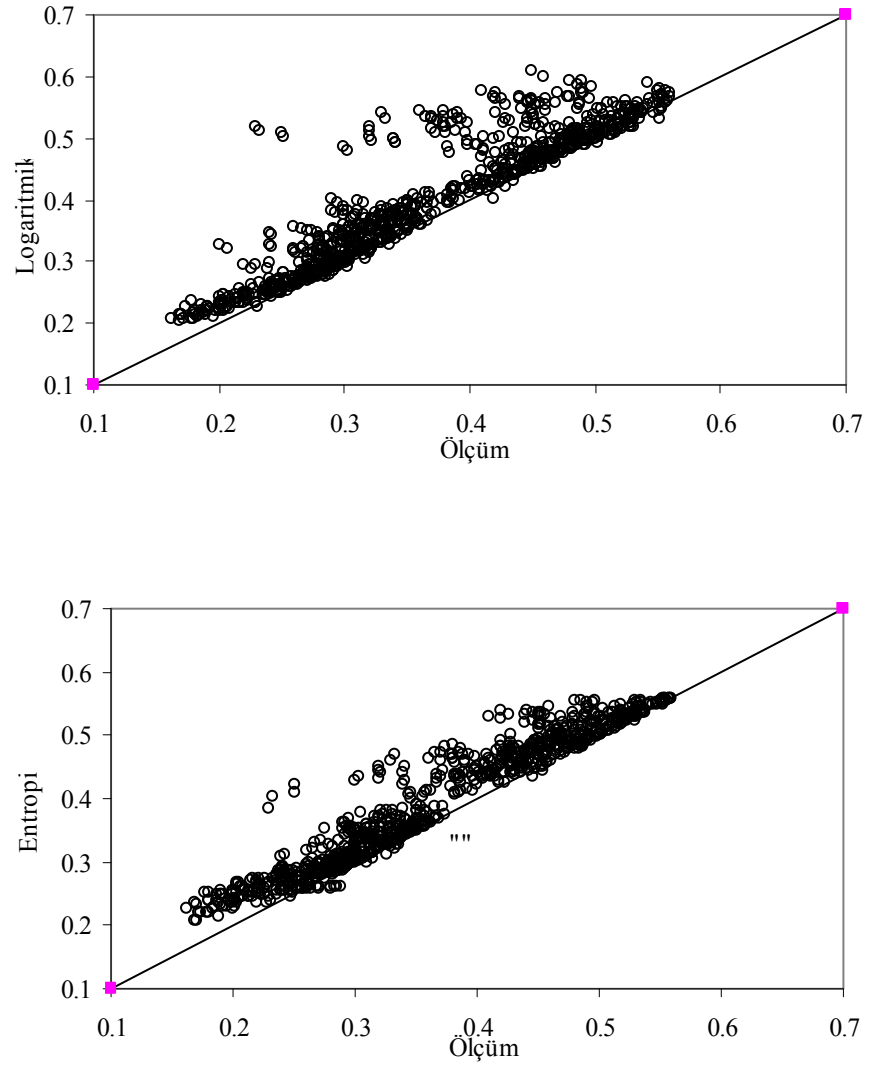
Şekil 4.26. Q20_P akımına ait hız ölçümleri ve hesaplanan dağılımlar.



Şekil 4.27. Q30_P akımına ait hız ölçümleri ve hesaplanan dağılımlar.



Şekil 4.28. Q35_P akımına ait hız ölçümleri ve hesaplanan dağılımlar.



Şekil 4.29. Pürüzlü akımlarda ölçümler ile logaritmik ve entropi hızların karşılaştırılması.

5. BÖLÜM

SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Açık kanal akımlarında cilalı ve pürüzlü akım koşullarında hız dağılımının belirlenmesi amacıyla enkesit üzerinde noktasal hız ölçümleri yapılmıştır. İki farklı alet kullanılarak yapılan ölçümlerde aletlerin hassasiyeti kontrol edilmiştir. Ölçümler tüm enkesit boyunca 3cm aralıklar ile gerçekleştirilmiş olup simetri kontrolü de yapılmıştır. Deneysel olarak elde edilen hız dağılımlarının logaritmik dağılımlara ve Entropi yöntemi ile elde edilen hız dağılım ifadesine uyumu incelenerek aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- 1- İki farklı alet (Propeller, ADV) ile aynı akım şartlarında enkesit boyunca noktasal olarak yapılan ölçümler arasındaki fark cilalı akım şartlarında %10.8, pürüzlü akım şartlarında ise %11.1 olarak belirlenmiştir.
- 2- Daha hassas ölçüm yapılabilen propeller ile enkesit boyunca belirlenen ölçümler için simetri kontrolü yapılmıştır. Cilalı akım durumunda 4 farklı akım için kanal orta kesitine göre yapılan simetri kontrolünde fark %3.6 olarak hesaplanmıştır. Pürüzlü akım şartlarında ise tüm akımlara ait ortalama fark %5.1 olarak belirlenmiştir. Dolayısıyla prizmatik kanallarda simetrinin varlığı belirlenmiştir.
- 3- Ele alınan 4 farklı cilalı akım durumunda kesit oranı $4.6 \leq B/H \leq 15.4$ aralığında değişmekte olup maksimum hızın su yüzü hızına oranı şeklinde tanımlanan (d_v) dalma etkisi kesit oranına bağlı olarak değişim göstermiştir. Kesit oranı $(B/H) > 10.0$ olduğu durumda duvar yakınındaki ilk iki kesit hariç enkesit boyunca maksimum hız serbest su yüzeyinde oluşmaktadır. Kesit oranının $B/H < 10.0$ arasında olduğu akımlarda dalma etkisi tüm kesit boyunca gözlenmiştir.

- 4- Cilalı akımlar için artan Reynolds sayılarında Logaritmik dağılımın geçerli olduğu iç bölgenin alt ve üst sınırlarının arttığı belirlenmiştir. Enkesit üzerinde duvara yaklaştıkça iç bölgenin daraldığı gözlenmiştir. 4 farklı cilalı akım durumunda logaritmik dağılımın geçerli olduğu bölgenin alt ve üst sınırı $118.5-350 \leq u \cdot z/\nu \leq 358-1854$ aralığında olmaktadır.
- 5- Logaritmik dağılımlar yüksek hızlarda ölçüm değerlerinden daha büyük olmaktadır.
- 6- Cilalı akım durumunda ölçümlerin yapıldığı enkesite ait entropi parametresi $M=5.75$ olarak belirlenmiştir.
- 7- Açık kanallarda hız dağılımı için Chiu tarafından geliştirilen ve Moramarco ve arkadaşları tarafından modifiye edilen hız dağılım ifadesi cilalı akımlar için oldukça iyi sonuç vermektedir. Enkesit üzerinde ele alınan her bir düşeyler için, o düşeye ait ölçülen u_{mak} değerleri kullanılarak hızlar hesaplanabilmektedir.
- 8- Dalmanın gözlemlendiği kesitlerde entropi hız dağılımı bu etkiyi temsil edememektedir.
- 9- Tüm akımlara ait entropi yöntemi ile hesaplanan hız dağılımlarının, ölçüm değerlerine yakın sonuçlar verdiği belirlenmiştir.
- 10- Pürüzlü akım şartlarında deneyler B/H ın 4.5-10.9 arasındaki değerlerinde gerçekleştirilmiş olup dalma etkisi cilalı akım şartlarına benzer bir özellik göstermiştir.
- 11- (2.54) ifadesi ile verilen logaritmik dağılım pürüzlü akımlarda hız dağılımını belirlemede kullanılmakta olup buradaki kayma hızı (2.57) ifadesi yardımı ile hesaplanmıştır.

- 12- Boyutsuz pürüzlülük yüksekliği ve Fr sayısı ($k_s/k - Fr$) arasında logaritmik bir ilişki gözlenmiş olup $R^2=0.72$ olarak belirlenmiştir.
- 13- Deneylere ait belirlenen boyutsuz pürüzlülük yüksekliği ile Darcy - Weisbach pürüzlülük katsayısı (f) arasında polinomial bir ilişki belirlenmiş olup bu ilişkiye ait korelasyon katsayısı $R^2=0.99$ olarak elde edilmiştir. (4.2) ifadesi pürüzlülük katsayısının belirlenmesinde oldukça kullanışlı bir ifade olarak belirlenmiştir.
- 14- Pürüzlü akım durumunda ölçümlerin yapıldığı enkesite ait entropi parametresi $M=4.2$ olarak hesaplanmıştır.
- 15- Entropi hız ifadesi katı sınır yakınlarında $z/h \approx 0.5$ yüksekliğine kadar ölçüm değerlerinden sapmaktadır. $z/h > 0.5$ bölgesinde ise oldukça iyi bir şekilde ölçüm hızlarını temsil edebilmektedir.

KAYNAKLAR

1. Rouse, H., Elementary Mechanics of Fluids, Wiley Eastern Reprint, Wiley Eastern Private Limited, New Deplhi, 1970. Goncharov, V.N., Dynamics of Cahnnel Flow , 2 nd. Ed., Israel Program for Scientific Translations, Jerusalem, 1970.
2. Prandtl, L., Über die Ausgebildate Turbulenz, Z. Angew Math. Mech. Bd. 5., 1925.
3. Karman, T. Von, Meshanische Ahnlichkeit und Turbulenz, Göttinger Nachrichten, Math, Phys, Klasse, 1930.
4. Chiu, C. L., Entropy and Probability Concepts in Hydraulics, Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 113 (5), 1987.
5. Schlichting, H., Boundary Layer Theory, s. 812, Mc Graw-Hill Book Company, New York, 1979.
6. Nezu, I., & Rodi, W. Open Channel Flow Measurements with a Laser Doppler Anemometer, Journal of Hydraulic Engineering, 112(5), 335-355, 1986.
7. Cebeci, T. and Smith, A .M. O., Analysis of Turbulent Boundary Layers, Academic Press, New York, 1974.
8. Prandtl, L., Zür Turbulenten Strömung in Rohren und Löngs Platten, Ergebnisse der Aerodynamischen Versuchsansalt zu Göttingen, 1932.
9. Coles, D. The law of the wake in the turbulent boundary layer. J. of Fluid Mechanics, 1, 191-226, 1956.
10. Nezu, I., & Rodi, W. Open Channel Flow Measurements with a Laser Doppler Anemometer, Journal of Hydraulic Engineering, 112(5), 335-355, 1986.

11. Steffler, P.M., et al., LDA Measurements in Open Channel Flows, J. Hydr. Res., Vol.27, No 1,1985.
12. Kirkgoz, M. S., Turbulent Velocity Profiles for Smooth and Rough Open ChannelFlow, Journal of Hydraulic Engineering. ASCE, 115 (11), 1989.104.
13. Cordaso, A. H., et al.. Uniform flow in a smooth open channel. J. of Hydraulic Research, 27(5), 603-616, 1989.
14. Bisset, D. K. and Antonia, R. A., Technical Note Mean Velocity and Reynolds Shear Stres in a Turbulent Boundary Layer at Low Reynolds Numbers, Aeornautical Journal, No 1826, 1981.
15. Nezu, I., & Rodi, W. Open Channel Flow Measurements with a Laser Doppler Anemometer, Journal of Hydraulic Engineering, 112(5), 335-355, 1986.
16. Chow, V. T., Open Channel Hydraulics, Mc Graw – Hill Book Company, s.680,Tokyo, 1959.
17. Schlichting, H., Boundary Layer Theory, s. 812, Mc Graw-Hill Book Company, New York, 1979.
18. Kirkgoz, M. S., Turbulent Velocity Profiles for Smooth and Rough Open ChannelFlow, Journal of Hydraulic Engineering. ASCE, 115 (11), 1989.104.
19. Chiu, C. L., Entropy and Probability Concepts in Hydraulics, Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 113 (5), 1987.
20. Chiu, C. L., Entropy and 2-D Velocity Distribution in Open Channels, Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 114 (7), 738-756, 1988.
21. Chiu, C. L., ve Chiou, J. –D., Structure of 3-D Flow in Rectangular Open Channels,Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 112 (11), 1050-1068, 1986.
22. Rao, C. R., Linear Statistical Inference and Its Applications, John Wley & Sons, Inc., New York., 1965.

23. Jaynes, E. T., Information Theory and Statistical Mechanics 1, Physics Review, 106,620-630, 1957.
24. Goldman, S., Information Theory, Prentice-Hall, Inc., New York, 1953.
25. Leopold, L. B., ve Langbein, W. B., The Concept of Entropy in Landscape Evolution, Geological Survey Professional Paper 500-A, U.S. Govt. Printing Ofc., Washington, D. C., 1972.
26. Rao, A. R., ve Hsieh, C.-H., Maximum Entropy Probability Distributions for Flood Frequency Analysis, Civ. Engrg. Systems, Butterworth & Co., Surrey, U. K., 4(2), 67- 76, 1987.
27. Chiu, C. L., ve Tung, N.-C., Maximum Velocity and Regularities in Open Channel Flow, Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 128 (4), 390-398, 2002.
28. Moramarco, T., et al., Estimation of Mean Velocity in Natural Channels Based on Chiu's Velocity Distribution Equation. Journal of Hydraulic Engineering, 9(1), 42- 50, 2004.
29. Ardiçlıoğlu, M., Şentürk A. İ., Seçilir, S., "Pürüzlü Açık Kanal Akımlarında Hız Dağılımının Entropy Yöntemi ile İncelenmesi", 6th International Congress on Advances in Civil. Engineering, Bogazici University, Istanbul, Turkey, 6-8 October 2004.
30. Ardiçlıoğlu, M., Sekin, G., Öztürk, Ö., "Pürüzlü Açık Kanal Akımlarında Debi Hesabı için Entropi Yönteminin Kullanılması", Antalya Yöresinin İnşaat Mühendisliği Sorunları Kongresi, 2005, Antalya.
31. Şentürk, A., "Pürüzlü Açık Kanal Akımlarında Hız Dağılımının İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Kayseri, 2005.
32. Öztürk, Ö., "Pürüzlü Açık Kanal Akımlarında Hız Dağılımının İncelenmesi", Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Kayseri, 2006.

33. Ardiçlioğlu M. Öztürk Ö., “Tabii Nehirlerde Hız Dağılımı ve Debinin Belirlenmesinde Entropy Yönteminin Kullanılması”, Yedinci Uluslararası İnşaat Mühendisliğinde Gelişmeler Kongresi, 11-13 Ekim 2006, Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.
34. Ardiçlioğlu, M., “Açık Kanal Akımı Hız-Debi Ölçümleri”, İMO Teknik Dergi, Ocak 2006.
35. Ardiçlioğlu, M, Atabay S., Omran, M., “Estimation of Discharge and Shear Stress Distribution in Natural Channels Based on Entropy Concept”, 32nd IAHR Congress, Venice, Italy on July 2007.
36. Genç, O., Ardiçlioğlu, M., Ağırlioğlu, N. “Akarsulardaki Akım Karakteristiklerinin Entropi Yöntemi İle İncelenmesi “, Ç.Ü. Mühendislik - Mimarlık Fakültesi 30. Yıl Sempozyumu, 16-17 Ekim, 2008 Adana.
37. Haktanır, T., Ardiçlioğlu, M., Çobaner, M. , “Sulama Amaçlı Sarımsaklı Barajının Dip Savağı Çıkış Ucuna Hidroelektrik Santral İlavesi Mühendislik Uygulamaları”, Türkiye İnşaat Mühendisliği XVI. Teknik Kongre ve Sergisi, ODTÜ Kültür ve Kongre Merkezi, Ankara, 1-3 Kasım 2001.

Ek-1 Cilalı akımlara ait propeller (muline) ölçüm hızları.

Q10_C																			
	u(m/s)																		
y (cm)	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57
H(cm)																			
0.75	0.278	0.307	0.317	0.305	0.324	0.326	0.332	0.327	0.326	0.338	0.337	0.339	0.325	0.317	0.323	0.317	0.315	0.301	0.267
1.00	0.285	0.319	0.323	0.333	0.335	0.340	0.349	0.326	0.349	0.348	0.341	0.353	0.333	0.331	0.333	0.328	0.318	0.305	0.272
1.50	0.301	0.328	0.335	0.336	0.351	0.354	0.354	0.345	0.363	0.361	0.359	0.367	0.345	0.344	0.348	0.343	0.336	0.317	0.288
2.00	0.312	0.336	0.346	0.341	0.356	0.361	0.360	0.356	0.369	0.370	0.368	0.377	0.359	0.350	0.352	0.352	0.348	0.326	0.304
2.50	0.320	0.345	0.350	0.351	0.367	0.362	0.368	0.371	0.380	0.376	0.375	0.381	0.364	0.355	0.363	0.356	0.350	0.327	0.306
3.00	0.315	0.341	0.342	0.350	0.359	0.360	0.368	0.368	0.369	0.377	0.370	0.368	0.357	0.352	0.352	0.349	0.339	0.300	0.293
3.50	0.291	0.320	0.327	0.340	0.348	0.347	0.359	0.356	0.359	0.358	0.350	0.343	0.344	0.342	0.345	0.342	0.318	0.281	0.247
3.90	0,265	0,299	0,315	0,330	0,338	0,334	0,350	0,344	0,349	0,339	0,330	0,318	0,331	0,332	0,338	0,335	0,297	0,262	0,201

Q20_C																			
	u(m/s)																		
y (cm)	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57
H(cm)																			
0.75	0.284	0.307	0.341	0.322	0.328	0.329	0.341	0.352	0.353	0.355	0.356	0.352	0.343	0.340	0.346	0.341	0.315	0.287	0.276
1.00	0.297	0.316	0.356	0.341	0.327	0.336	0.354	0.359	0.369	0.370	0.364	0.365	0.354	0.356	0.359	0.356	0.324	0.294	0.286
2.00	0.328	0.356	0.385	0.370	0.366	0.374	0.392	0.404	0.403	0.405	0.393	0.397	0.393	0.394	0.384	0.382	0.363	0.317	0.320
3.00	0.342	0.369	0.399	0.384	0.379	0.393	0.407	0.419	0.428	0.423	0.419	0.416	0.413	0.408	0.408	0.405	0.374	0.346	0.337
4.00	0.357	0.379	0.398	0.399	0.398	0.405	0.415	0.428	0.437	0.429	0.431	0.424	0.420	0.418	0.415	0.408	0.385	0.360	0.349
5.00	0.351	0.375	0.387	0.395	0.396	0.400	0.413	0.425	0.430	0.430	0.427	0.424	0.418	0.415	0.409	0.402	0.380	0.359	0.344
6.00	0.332	0.360	0.376	0.385	0.389	0.400	0.412	0.423	0.431	0.430	0.425	0.421	0.421	0.411	0.404	0.385	0.363	0.346	0.326
6.50	0.314	0.335	0.359	0.371	0.378	0.390	0.393	0.412	0.412	0.414	0.412	0.409	0.404	0.397	0.388	0.367	0.339	0.323	0.291
7.20	0,296	0,305	0,339	0,356	0,368	0,380	0,373	0,401	0,396	0,398	0,399	0,397	0,385	0,383	0,372	0,349	0,312	0,300	0,255

Q30_C																			
	u(m/s)																		
y (cm)	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57
H(cm)																			
0.75	0.330	0.338	0.360	0.366	0.365	0.369	0.369	0.386	0.389	0.368	0.379	0.366	0.371	0.332	0.331	0.329	0.347	0.363	0.340
1.00	0.342	0.347	0.378	0.384	0.376	0.380	0.382	0.402	0.404	0.374	0.394	0.392	0.367	0.351	0.341	0.341	0.356	0.357	0.345
2.00	0.384	0.388	0.422	0.423	0.410	0.413	0.419	0.432	0.430	0.397	0.429	0.414	0.398	0.370	0.362	0.387	0.399	0.400	0.391
3.00	0.399	0.403	0.431	0.434	0.436	0.446	0.437	0.445	0.442	0.425	0.447	0.438	0.425	0.398	0.380	0.406	0.419	0.422	0.414
4.00	0.406	0.420	0.452	0.444	0.448	0.459	0.464	0.462	0.463	0.472	0.458	0.448	0.435	0.411	0.403	0.420	0.423	0.446	0.432
5.00	0.405	0.424	0.457	0.451	0.467	0.469	0.473	0.478	0.476	0.483	0.468	0.471	0.431	0.411	0.409	0.425	0.428	0.447	0.428
6.00	0.405	0.426	0.461	0.455	0.464	0.472	0.477	0.490	0.484	0.492	0.477	0.475	0.429	0.421	0.417	0.435	0.430	0.447	0.429
7.00	0.398	0.423	0.455	0.458	0.460	0.478	0.486	0.488	0.486	0.483	0.476	0.472	0.442	0.433	0.421	0.432	0.423	0.437	0.424
8.00	0.380	0.409	0.438	0.450	0.455	0.470	0.477	0.483	0.473	0.476	0.471	0.461	0.432	0.428	0.424	0.430	0.414	0.420	0.408
9.00	0.355	0.391	0.414	0.433	0.441	0.465	0.470	0.473	0.458	0.471	0.468	0.461	0.429	0.424	0.415	0.415	0.398	0.403	0.379
10.00	0.293	0.346	0.375	0.395	0.419	0.443	0.452	0.452	0.441	0.449	0.443	0.442	0.410	0.398	0.391	0.402	0.369	0.346	0.318
10.50	0,233	0,301	0,335	0,355	0,400	0,421	0,432	0,431	0,422	0,427	0,418	0,421	0,391	0,366	0,365	0,388	0,339	0,280	0,250

Q35_C																			
	u(m/s)																		
y (cm)	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57
H(cm)																			
0.75	0.323	0.339	0.339	0.360	0.376	0.374	0.377	0.389	0.375	0.379	0.366	0.365	0.363	0.355	0.363	0.369	0.354	0.352	0.329
1.00	0.335	0.352	0.354	0.365	0.384	0.380	0.394	0.398	0.382	0.378	0.380	0.381	0.376	0.362	0.355	0.376	0.370	0.365	0.341
2.00	0.368	0.380	0.381	0.390	0.411	0.407	0.422	0.421	0.406	0.411	0.406	0.411	0.405	0.382	0.397	0.387	0.401	0.394	0.379
3.00	0.383	0.416	0.412	0.407	0.433	0.444	0.429	0.444	0.426	0.434	0.414	0.424	0.417	0.401	0.411	0.414	0.418	0.424	0.391
4.00	0.391	0.431	0.435	0.430	0.447	0.442	0.446	0.451	0.444	0.445	0.436	0.436	0.434	0.439	0.429	0.425	0.440	0.436	0.400
5.00	0.391	0.440	0.445	0.440	0.458	0.453	0.456	0.464	0.461	0.457	0.448	0.450	0.441	0.447	0.435	0.426	0.443	0.443	0.405
6.00	0.399	0.445	0.453	0.448	0.468	0.466	0.463	0.470	0.458	0.463	0.458	0.459	0.452	0.456	0.447	0.441	0.445	0.447	0.415
7.00	0.406	0.441	0.456	0.458	0.472	0.473	0.469	0.477	0.467	0.476	0.475	0.465	0.453	0.462	0.452	0.445	0.447	0.440	0.413
8.00	0.402	0.442	0.452	0.457	0.471	0.473	0.482	0.479	0.473	0.479	0.473	0.469	0.463	0.464	0.451	0.438	0.446	0.440	0.408
9.00	0.397	0.440	0.444	0.445	0.461	0.471	0.476	0.483	0.475	0.476	0.478	0.477	0.472	0.464	0.452	0.445	0.443	0.434	0.412
10.00	0.386	0.401	0.430	0.438	0.450	0.465	0.472	0.467	0.470	0.469	0.475	0.467	0.460	0.454	0.452	0.435	0.428	0.415	0.397
11.00	0.400	0.448	0.456	0.458	0.476	0.462	0.483	0.456	0.465	0.480	0.467	0.466	0.456	0.465	0.454	0.443	0.446	0.443	0.408
12.00	0.362	0.393	0.393	0.421	0.445	0.453	0.464	0.452	0.456	0.453	0.462	0.460	0.456	0.453	0.441	0.408	0.406	0.393	0.382
13.00	0,340	0,330	0,330	0,390	0,415	0,440	0,440	0,450	0,450	0,430	0,458	0,454	0,456	0,441	0,430	0,360	0,360	0,343	0,356

Ek-2 Pürüzlü akımlara ait propeller (muline) ölçüm hızları.

Q10_P																			
	u(m/s)																		
y (cm)	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57
H(cm)																			
0.75	0.172	0.198	0.201	0.188	0.184	0.185	0.181	0.170	0.168	0.171	0.169	0.180	0.193	0.202	0.204	0.210	0.200	0.190	0.162
1.00	0.189	0.216	0.214	0.200	0.206	0.207	0.190	0.190	0.187	0.174	0.180	0.181	0.202	0.221	0.220	0.220	0.224	0.208	0.186
1.50	0.224	0.239	0.237	0.241	0.223	0.227	0.221	0.203	0.204	0.201	0.201	0.214	0.239	0.242	0.249	0.253	0.245	0.245	0.178
2.00	0.246	0.263	0.264	0.249	0.249	0.249	0.242	0.237	0.241	0.227	0.236	0.235	0.262	0.266	0.271	0.271	0.271	0.275	0.241
2.50	0.257	0.277	0.278	0.274	0.255	0.270	0.259	0.265	0.265	0.249	0.242	0.260	0.277	0.285	0.294	0.286	0.288	0.291	0.259
3.00	0.260	0.285	0.284	0.280	0.272	0.278	0.276	0.271	0.276	0.265	0.261	0.267	0.285	0.297	0.303	0.298	0.299	0.297	0.264
3.50	0.257	0.288	0.294	0.285	0.278	0.278	0.291	0.279	0.284	0.280	0.270	0.289	0.301	0.302	0.307	0.310	0.303	0.300	0.262
4.00	0.252	0.283	0.296	0.294	0.284	0.288	0.286	0.286	0.293	0.285	0.283	0.287	0.299	0.304	0.306	0.307	0.312	0.297	0.252
4.50	0.239	0.279	0.293	0.287	0.277	0.272	0.283	0.291	0.288	0.288	0.271	0.270	0.281	0.286	0.289	0.283	0.304	0.292	0.226
5.50	0.230	0.270	0.290	0.280	0.270	0.270	0.280	0.290	0.280	0.280	0.270	0.265	0.280	0.280	0.280	0.280	0.300	0.290	0.220

Q20_P																			
	u(m/s)																		
y (cm)	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57
H(cm)																			
0.75	0.189	0.200	0.220	0.231	0.214	0.229	0.229	0.250	0.248	0.255	0.249	0.248	0.263	0.217	0.221	0.213	0.192	0.179	0.196
1.00	0.202	0.213	0.236	0.242	0.226	0.237	0.240	0.253	0.262	0.252	0.261	0.272	0.270	0.241	0.233	0.224	0.217	0.203	0.208
2.00	0.246	0.252	0.267	0.285	0.293	0.274	0.277	0.290	0.289	0.296	0.300	0.307	0.307	0.287	0.295	0.265	0.242	0.240	0.243
3.00	0.273	0.292	0.299	0.294	0.313	0.301	0.318	0.320	0.321	0.320	0.319	0.328	0.335	0.317	0.322	0.300	0.274	0.265	0.268
4.00	0.288	0.304	0.320	0.302	0.332	0.314	0.320	0.340	0.334	0.345	0.335	0.292	0.352	0.337	0.332	0.301	0.297	0.284	0.287
5.00	0.240	0.314	0.323	0.315	0.337	0.336	0.329	0.335	0.345	0.350	0.350	0.366	0.357	0.361	0.342	0.329	0.315	0.302	0.286
6.00	0.294	0.315	0.327	0.312	0.335	0.334	0.338	0.349	0.348	0.357	0.362	0.369	0.373	0.357	0.351	0.338	0.317	0.304	0.282
7.00	0.276	0.298	0.313	0.302	0.333	0.333	0.342	0.346	0.355	0.357	0.359	0.366	0.366	0.356	0.342	0.328	0.313	0.298	0.276
8.00	0.267	0.287	0.301	0.299	0.324	0.327	0.324	0.334	0.342	0.347	0.351	0.357	0.351	0.347	0.342	0.320	0.307	0.285	0.260
8.50	0.241	0.242	0.266	0.279	0.308	0.315	0.304	0.315	0.310	0.303	0.293	0.316	0.295	0.345	0.330	0.304	0.285	0.262	0.207
9.30	0.240	0.240	0.260	0.270	0.300	0.310	0.300	0.310	0.300	0.300	0.290	0.310	0.290	0.340	0.330	0.300	0.280	0.260	0.200

Q30_P																			
	u(m/s)																		
y (cm)	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57
H(cm)																			
0.75	0.267	0.275	0.296	0.292	0.306	0.314	0.328	0.322	0.330	0.325	0.337	0.334	0.329	0.351	0.354	0.345	0.339	0.316	0.273
1.00	0.297	0.306	0.322	0.317	0.323	0.339	0.350	0.354	0.347	0.359	0.350	0.356	0.365	0.387	0.382	0.372	0.357	0.331	0.310
2.00	0.357	0.386	0.409	0.397	0.393	0.400	0.409	0.427	0.427	0.419	0.421	0.416	0.433	0.435	0.428	0.430	0.398	0.388	0.392
3.00	0.408	0.435	0.435	0.443	0.423	0.429	0.458	0.464	0.465	0.453	0.463	0.464	0.466	0.478	0.468	0.448	0.440	0.426	0.423
4.00	0.427	0.468	0.467	0.460	0.454	0.465	0.469	0.484	0.490	0.478	0.493	0.496	0.504	0.509	0.500	0.496	0.475	0.461	0.439
5.00	0.447	0.481	0.479	0.476	0.459	0.485	0.493	0.511	0.503	0.513	0.519	0.518	0.529	0.534	0.519	0.514	0.501	0.484	0.450
6.00	0.457	0.488	0.488	0.492	0.492	0.508	0.503	0.528	0.528	0.531	0.552	0.534	0.539	0.547	0.531	0.529	0.502	0.491	0.461
7.00	0.445	0.484	0.487	0.496	0.503	0.515	0.528	0.535	0.531	0.552	0.529	0.552	0.556	0.553	0.547	0.531	0.508	0.482	0.436
8.00	0.429	0.464	0.472	0.492	0.500	0.511	0.529	0.537	0.554	0.542	0.553	0.559	0.550	0.552	0.533	0.536	0.507	0.381	0.442
9.00	0.399	0.427	0.446	0.479	0.493	0.498	0.515	0.526	0.535	0.543	0.558	0.559	0.557	0.541	0.525	0.511	0.487	0.432	0.418
10.00	0.321	0.333	0.393	0.428	0.451	0.461	0.479	0.488	0.495	0.491	0.554	0.497	0.486	0.459	0.419	0.426	0.428	0.366	0.373
11.30	0.320	0.330	0.390	0.420	0.450	0.460	0.470	0.480	0.490	0.490	0.550	0.490	0.480	0.450	0.410	0.420	0.420	0.360	0.370

Q35_P																			
	u(m/s)																		
y (cm)	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57
H(cm)																			
0.75	0.294	0.278	0.281	0.299	0.304	0.313	0.314	0.316	0.328	0.337	0.330	0.321	0.313	0.309	0.309	0.309	0.290	0.281	0.292
1.00	0.319	0.299	0.304	0.321	0.329	0.329	0.326	0.343	0.348	0.348	0.346	0.338	0.341	0.320	0.332	0.337	0.318	0.297	0.310
2.00	0.367	0.344	0.359	0.384	0.387	0.385	0.415	0.411	0.406	0.406	0.418	0.411	0.412	0.418	0.382	0.387	0.351	0.346	0.362
3.00	0.417	0.368	0.383	0.402	0.419	0.420	0.438	0.442	0.445	0.449	0.443	0.449	0.444	0.436	0.408	0.424	0.378	0.367	0.429
4.00	0.435	0.415	0.399	0.428	0.421	0.442	0.448	0.468	0.451	0.449	0.453	0.470	0.470	0.446	0.445	0.426	0.404	0.407	0.437
5.00	0.458	0.435	0.411	0.449	0.444	0.461	0.463	0.479	0.472	0.480	0.474	0.474	0.488	0.460	0.464	0.460	0.421	0.430	0.456
6.00	0.457	0.453	0.431	0.465	0.472	0.473	0.460	0.504	0.517	0.507	0.513	0.504	0.499	0.453	0.472	0.475	0.438	0.451	0.464
7.00	0.454	0.452	0.437	0.474	0.486	0.493	0.497	0.522	0.513	0.529	0.517	0.531	0.520	0.491	0.502	0.499	0.448	0.469	0.471
8.00	0.455	0.448	0.443	0.480	0.485	0.475	0.516	0.512	0.526	0.525	0.520	0.497	0.518	0.483	0.485	0.486	0.441	0.456	0.454
9.00	0.446	0.432	0.428	0.476	0.485	0.474	0.522	0.527	0.520	0.525	0.514	0.528	0.530	0.480	0.482	0.469	0.431	0.421	0.439
10.00	0.424	0.404	0.410	0.458	0.484	0.487	0.511	0.538	0.534	0.532	0.523	0.538	0.501	0.487	0.483	0.458	0.411	0.411	0.410
11.00	0.397	0.398	0.384	0.435	0.457	0.452	0.495	0.441	0.521	0.524	0.505	0.518	0.488	0.444	0.453	0.446	0.382	0.406	0.382
12.00	0.232	0.252	0.303	0.388	0.398	0.386	0.451	0.452	0.455	0.468	0.453	0.446	0.446	0.379	0.374	0.387	0.341	0.340	0.320
13.30	0.230	0.250	0.300	0.380	0.390	0.380	0.450	0.450	0.450	0.460	0.450	0.440	0.440	0.370	0.370	0.380	0.340	0.340	0.320

Ek-2 Cilalı akımlara ait ADV ölçüm hızları.

Q10_C																			
	u(m/s)																		
y (cm)	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57
H(cm)																			
0.09	0.106	0.302	0.251	0.241	0.189	0.202	0.169	0.325	0.326	0.205	0.232	0.089	0.169	0.202	0.146	0.022	0.156	0.155	0.061
1	0.204	0.324	0.272	0.253	0.202	0.224	0.313	0.356	0.348	0.254	0.237	0.302	0.313	0.261	0.256	0.246	0.202	0.202	0.192
1.5	0.232	0.339	0.305	0.264	0.220	0.246	0.373	0.376	0.372	0.369	0.355	0.313	0.373	0.287	0.321	0.265	0.217	0.216	0.207
2	0.271	0.373	0.357	0.381	0.340	0.305	0.389	0.384	0.387	0.388	0.401	0.365	0.389	0.348	0.371	0.304	0.299	0.322	0.222
2.5	0.264	0.375	0.346	0.393	0.377	0.322	0.373	0.398	0.389	0.395	0.400	0.380	0.373	0.398	0.377	0.330	0.340	0.333	0.215
3	0.256	0.345	0.344	0.344	0.370	0.366	0.377	0.408	0.406	0.380	0.394	0.368	0.377	0.320	0.327	0.296	0.303	0.303	0.185
3.5	0.250	0.340	0.340	0.340	0.370	0.360	0.370	0.400	0.400	0.370	0.390	0.360	0.370	0.310	0.320	0.290	0.300	0.300	0.180
3.9	0.250	0.340	0.340	0.340	0.370	0.360	0.370	0.40	0.40	0.370	0.38	0.36	0.37	0.31	0.32	0.29	0.3	0.3	0.18

Q20_C																			
	u(m/s)																		
y (cm)	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57
H(cm)																			
0.09	0.077	0.362	0.381	0.165	0.317	0.407	0.413	0.436	0.422	0.421	0.400	0.392	0.395	0.372	0.362	0.370	0.334	0.331	0.077
1	0.295	0.358	0.378	0.378	0.346	0.399	0.417	0.426	0.435	0.410	0.414	0.403	0.408	0.393	0.385	0.341	0.338	0.338	0.295
2	0.315	0.350	0.401	0.406	0.392	0.415	0.421	0.443	0.439	0.426	0.423	0.428	0.394	0.409	0.401	0.335	0.379	0.360	0.315
3	0.287	0.406	0.416	0.418	0.410	0.441	0.380	0.456	0.458	0.441	0.441	0.417	0.435	0.407	0.413	0.387	0.361	0.355	0.287
4	0.304	0.421	0.412	0.421	0.423	0.444	0.455	0.464	0.462	0.459	0.456	0.454	0.452	0.436	0.416	0.228	0.364	0.352	0.304
5	0.295	0.368	0.403	0.424	0.437	0.454	0.431	0.470	0.472	0.476	0.474	0.464	0.454	0.445	0.410	0.393	0.306	0.329	0.295
6	0.206	0.305	0.386	0.423	0.443	0.422	0.452	0.440	0.453	0.472	0.471	0.472	0.453	0.381	0.399	0.354	0.296	0.189	0.206
6.3	0.051	0.278	0.330	0.375	0.427	0.302	0.294	0.305	0.270	0.478	0.453	0.387	0.352	0.423	0.224	0.343	0.285	0.173	0.051
7.2	0.050	0.270	0.330	0.370	0.420	0.300	0.290	0.300	0.270	0.480	0.450	0.380	0.350	0.420	0.220	0.340	0.280	0.170	0.050

Q30_C																			
	u(m/s)																		
y (cm)	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57
H(cm)																			
0.09	0.368	0.384	0.398	0.403	0.281	0.396	0.419	0.427	0.411	0.441	0.421	0.373	0.381	0.396	0.389	0.395	0.401	0.392	0.154
1	0.306	0.389	0.399	0.419	0.256	0.377	0.413	0.439	0.435	0.449	0.445	0.432	0.405	0.377	0.384	0.410	0.404	0.392	0.221
2	0.265	0.330	0.421	0.431	0.425	0.411	0.457	0.454	0.468	0.467	0.459	0.435	0.417	0.411	0.376	0.434	0.395	0.427	0.380
3	0.383	0.406	0.456	0.438	0.450	0.428	0.459	0.470	0.476	0.474	0.466	0.457	0.437	0.428	0.420	0.439	0.448	0.435	0.134
4	0.392	0.428	0.464	0.462	0.453	0.422	0.478	0.491	0.490	0.493	0.479	0.465	0.448	0.422	0.435	0.438	0.452	0.448	0.387
5	0.156	0.135	0.468	0.469	0.470	0.443	0.490	0.499	0.499	0.503	0.496	0.471	0.469	0.443	0.455	0.444	0.450	0.445	0.300

6	0.385	0.454	0.480	0.478	0.476	0.464	0.490	0.500	0.509	0.496	0.501	0.478	0.463	0.464	0.453	0.454	0.445	0.437	0.258
7	0.377	0.453	0.483	0.190	0.484	0.4723	0.499	0.503	0.507	0.509	0.497	0.482	0.471	0.472	0.457	0.451	0.442	0.426	0.316
8	0.383	0.449	0.444	0.468	0.483	0.461	0.511	0.507	0.505	0.507	0.515	0.487	0.476	0.461	0.457	0.440	0.419	0.416	0.287
9	0.379	0.358	0.444	0.464	0.482	0.459	0.498	0.506	0.508	0.518	0.503	0.490	0.479	0.459	0.100	0.428	0.410	0.381	0.227
10	0.285	0.349	0.374	0.407	0.486	0.4719	0.497	0.513	0.524	0.510	0.504	0.493	0.487	0.472	0.447	0.422	0.370	0.362	0.243
10.5	0.280	0.340	0.370	0.400	0.480	0.470	0.490	0.510	0.520	0.510	0.500	0.490	0.480	0.470	0.440	0.420	0.370	0.360	0.240

Q35_C																			
	u(m/s)																		
y (cm)	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57
H(cm)																			
0.09	0.382	0.417	0.412	0.391	0.411	0.406	0.414	0.416	0.411	0.418	0.403	0.396	0.382	0.385	0.387	0.410	0.410	0.390	0.357
1	0.388	0.410	0.410	0.423	0.416	0.420	0.405	0.427	0.423	0.425	0.410	0.386	0.376	0.387	0.414	0.410	0.382	0.402	0.123
2	0.381	0.439	0.430	0.427	0.441	0.432	0.435	0.426	0.446	0.424	0.406	0.423	0.394	0.398	0.423	0.430	0.435	0.427	0.350
3	0.391	0.453	0.443	0.483	0.443	0.422	0.453	0.449	0.465	0.440	0.427	0.412	0.420	0.412	0.433	0.432	0.440	0.424	0.126
4	0.400	0.451	0.464	0.433	0.455	0.436	0.458	0.454	0.457	0.457	0.447	0.431	0.433	0.424	0.432	0.448	0.459	0.439	0.338
5	0.397	0.460	0.472	0.462	0.467	0.451	0.467	0.469	0.463	0.459	0.444	0.440	0.428	0.427	0.444	0.450	0.451	0.421	0.302
6	0.405	0.464	0.465	0.442	0.459	0.460	0.466	0.472	0.473	0.464	0.450	0.448	0.444	0.438	0.446	0.450	0.457	0.444	0.372
7	0.383	0.466	0.474	0.460	0.471	0.465	0.481	0.483	0.478	0.472	0.450	0.467	0.458	0.457	0.449	0.448	0.447	0.430	0.381
8	0.378	0.467	0.383	0.423	0.479	0.462	0.471	0.486	0.471	0.475	0.460	0.444	0.461	0.460	0.436	0.445	0.433	0.000	0.368
9	0.372	0.459	0.458	0.447	0.457	0.467	0.474	0.476	0.483	0.484	0.469	0.469	0.458	0.460	0.444	0.434	0.435	0.425	0.322
10	0.331	0.449	0.447	0.434	0.458	0.468	0.473	0.480	0.481	0.485	0.474	0.467	0.467	0.456	0.445	0.430	0.417	0.399	0.332
11	0.317	0.438	0.426	0.414	0.451	0.470	0.474	0.488	0.478	0.482	0.473	0.468	0.466	0.470	0.451	0.412	0.390	0.380	0.292
12	0.195	0.398	0.414	0.312	0.448	0.457	0.473	0.420	0.470	0.473	0.476	0.468	0.449	0.433	0.442	0.392	0.370	0.345	0.296
13	0.190	0.390	0.410	0.310	0.440	0.450	0.470	0.420	0.650	0.470	0.470	0.460	0.440	0.430	0.440	0.390	0.370	0.340	0.290

Ek-2 Pürüzlü akımlara ait ADV ölçüm hızları.

Q10_P																			
	u(m/s)																		
y (cm)	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57
H(cm)																			
0.09	0.182	0.108	0.172	0.182	0.222	0.232	0.220	0.183	0.218	0.234	0.148	0.191	0.254	0.235	0.182	0.262	0.232	0.207	0.146
1	0.192	0.145	0.202	0.213	0.236	0.251	0.232	0.238	0.176	0.255	0.159	0.201	0.236	0.227	0.238	0.261	0.263	0.255	0.232
1.5	0.202	0.239	0.220	0.223	0.240	0.232	0.259	0.263	0.262	0.256	0.210	0.235	0.264	0.285	0.250	0.310	0.284	0.249	0.246
2	0.255	0.275	0.232	0.233	0.268	0.261	0.269	0.276	0.284	0.271	0.243	0.269	0.298	0.309	0.274	0.302	0.282	0.276	0.258
2.5	0.276	0.297	0.288	0.254	0.275	0.283	0.291	0.281	0.276	0.292	0.247	0.258	0.283	0.303	0.321	0.326	0.302	0.282	0.281
3	0.284	0.298	0.281	0.269	0.290	0.251	0.295	0.279	0.282	0.278	0.284	0.295	0.315	0.312	0.309	0.304	0.294	0.278	0.271
3.5	0.288	0.300	0.292	0.316	0.281	0.293	0.297	0.286	0.281	0.302	0.280	0.303	0.317	0.324	0.309	0.321	0.276	0.258	0.224
4	0.275	0.289	0.287	0.299	0.268	0.301	0.304	0.291	0.226	0.201	0.270	0.310	0.323	0.302	0.260	0.275	0.263	0.228	0.213
4.5	0.142	0.165	0.186	0.237	0.173	0.218	0.186	0.300	0.264	0.230	0.180	0.257	0.261	0.162	0.171	0.138	0.162	0.141	0.186
5.5	0.130	0.270	0.290	0.280	0.270	0.270	0.200	0.310	0.280	0.240	0.200	0.265	0.280	0.170	0.160	0.150	0.200	0.150	0.121

Q20_P																			
	u(m/s)																		
y (cm)	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57
H(cm)																			
0.09	0.123	0.167	0.197	0.199	0.191	0.229	0.245	0.246	0.282	0.227	0.217	0.256	0.224	0.153	0.182	0.223	0.158	0.233	0.122
1	0.188	0.203	0.198	0.210	0.161	0.242	0.262	0.272	0.264	0.224	0.217	0.257	0.241	0.285	0.258	0.257	0.161	0.256	0.163
2	0.251	0.239	0.287	0.293	0.264	0.258	0.293	0.303	0.298	0.307	0.309	0.311	0.321	0.338	0.296	0.281	0.264	0.280	0.212
3	0.253	0.275	0.309	0.284	0.312	0.309	0.330	0.344	0.307	0.335	0.315	0.332	0.342	0.342	0.315	0.297	0.268	0.300	0.257
4	0.254	0.297	0.309	0.322	0.322	0.322	0.346	0.334	0.360	0.361	0.368	0.360	0.351	0.357	0.326	0.305	0.270	0.305	0.268
5	0.267	0.298	0.320	0.334	0.346	0.335	0.337	0.359	0.361	0.368	0.371	0.368	0.376	0.360	0.338	0.336	0.320	0.313	0.255
6	0.268	0.300	0.319	0.332	0.348	0.340	0.360	0.370	0.363	0.386	0.394	0.373	0.377	0.378	0.343	0.329	0.320	0.312	0.261
7	0.186	0.289	0.319	0.328	0.344	0.355	0.375	0.376	0.383	0.390	0.386	0.393	0.385	0.366	0.363	0.334	0.293	0.289	0.248
8	0.250	0.165	0.233	0.320	0.365	0.357	0.369	0.382	0.397	0.397	0.404	0.392	0.392	0.373	0.357	0.332	0.322	0.281	0.228
8.5	0.229	0.152	0.221	0.305	0.362	0.352	0.380	0.385	0.384	0.374	0.386	0.395	0.386	0.335	0.217	0.200	0.289	0.256	0.186
9.3	0.220	0.150	0.220	0.300	0.355	0.350	0.370	0.380	0.380	0.370	0.380	0.390	0.380	0.330	0.210	0.190	0.280	0.250	0.180

Q30_P																			
	u(m/s)																		
y (cm)	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57
H(cm)																			
0.09	0.287	0.224	0.248	0.219	0.304	0.231	0.320	0.126	0.292	0.226	0.200	0.271	0.369	0.274	0.360	0.301	0.338	0.288	0.327
1	0.295	0.303	0.251	0.325	0.334	0.298	0.334	0.273	0.346	0.324	0.320	0.289	0.370	0.255	0.363	0.341	0.348	0.279	0.352
2	0.373	0.392	0.417	0.443	0.389	0.396	0.391	0.430	0.418	0.408	0.405	0.439	0.448	0.438	0.436	0.440	0.414	0.389	0.401
3	0.421	0.439	0.448	0.462	0.445	0.450	0.436	0.452	0.463	0.458	0.452	0.461	0.460	0.484	0.480	0.484	0.461	0.441	0.409
4	0.426	0.461	0.490	0.483	0.469	0.481	0.479	0.479	0.491	0.474	0.477	0.502	0.509	0.506	0.495	0.498	0.495	0.481	0.435
5	0.128	0.457	0.485	0.500	0.481	0.472	0.494	0.498	0.496	0.511	0.520	0.516	0.538	0.537	0.511	0.531	0.509	0.491	0.438
6	0.441	0.444	0.449	0.495	0.496	0.501	0.511	0.525	0.532	0.525	0.536	0.532	0.554	0.550	0.544	0.523	0.528	0.492	0.437
7	0.285	0.459	0.487	0.501	0.514	0.505	0.516	0.529	0.457	0.561	0.563	0.562	0.555	0.563	0.554	0.549	0.494	0.505	0.442
8	0.422	0.446	0.479	0.495	0.520	0.523	0.531	0.566	0.556	0.568	0.588	0.559	0.581	0.586	0.566	0.543	0.511	0.496	0.441
9	0.390	0.424	0.473	0.489	0.527	0.547	0.567	0.564	0.584	0.579	0.588	0.600	0.586	0.594	0.566	0.567	0.528	0.475	0.433
10	0.154	0.137	0.228	0.120	0.388	0.460	0.491	0.322	0.543	0.587	0.573	0.475	0.589	0.564	0.541	0.488	0.394	0.418	0.413
11.3	0.150	0.340	0.370	0.400	0.370	0.450	0.490	0.320	0.530	0.570	0.560	0.460	0.570	0.560	0.530	0.480	0.390	0.400	0.410

Q35_P																			
	u(m/s)																		
y (cm)	3	6	9	12	15	18	21	24	27	30	33	36	39	42	45	48	51	54	57
H(cm)																			
0.09	0.221	0.257	0.217	0.250	0.358	0.364	0.385	0.396	0.392	0.366	0.378	0.382	0.389	0.403	0.398	0.411	0.395	0.387	0.299
1	0.242	0.306	0.242	0.294	0.354	0.375	0.381	0.400	0.393	0.370	0.390	0.399	0.408	0.404	0.455	0.416	0.367	0.373	0.295
2	0.369	0.385	0.412	0.405	0.400	0.426	0.443	0.428	0.444	0.409	0.444	0.429	0.469	0.461	0.467	0.453	0.420	0.423	0.422
3	0.401	0.439	0.395	0.410	0.444	0.455	0.474	0.476	0.462	0.447	0.464	0.481	0.478	0.485	0.465	0.507	0.459	0.455	0.422
4	0.410	0.440	0.435	0.450	0.465	0.469	0.472	0.493	0.474	0.461	0.511	0.497	0.506	0.515	0.526	0.514	0.486	0.487	0.429
5	0.417	0.459	0.454	0.459	0.488	0.478	0.488	0.502	0.506	0.489	0.512	0.517	0.529	0.529	0.528	0.528	0.501	0.518	0.433
6	0.427	0.455	0.474	0.468	0.495	0.493	0.521	0.523	0.525	0.521	0.535	0.529	0.527	0.550	0.556	0.555	0.521	0.527	0.434
7	0.418	0.464	0.485	0.470	0.509	0.496	0.527	0.530	0.530	0.532	0.549	0.531	0.552	0.562	0.552	0.540	0.542	0.533	0.457
8	0.429	0.357	0.352	0.482	0.520	0.248	0.533	0.538	0.545	0.546	0.547	0.549	0.338	0.558	0.561	0.542	0.513	0.529	0.214
9	0.418	0.428	0.469	0.478	0.514	0.528	0.528	0.553	0.557	0.564	0.581	0.583	0.554	0.572	0.553	0.537	0.522	0.516	0.453
10	0.406	0.455	0.473	0.479	0.514	0.531	0.530	0.558	0.560	0.279	0.581	0.581	0.574	0.580	0.548	0.519	0.471	0.491	0.426
11	0.390	0.425	0.444	0.470	0.522	0.527	0.566	0.552	0.561	0.587	0.578	0.595	0.571	0.556	0.531	0.506	0.489	0.479	0.417
12	0.129	0.175	0.127	0.220	0.334	0.446	0.423	0.427	0.499	0.467	0.420	0.548	0.544	0.519	0.465	0.414	0.309	0.398	0.354
13.3	0.120	0.170	0.120	0.200	0.320	0.440	0.420	0.420	0.490	0.460	0.420	0.540	0.540	0.510	0.460	0.410	0.30	0.390	0.350

ÖZGEÇMİŞ

Emre GÜNEYDİN 1982 yılında Niğde’de doğdu. İlk ve orta öğrenimini Niğde’de tamamladı. 2000’de kazandığı Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümünden 2005 yılında mezun oldu. Aynı yıl Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalında Yüksek Lisansa başladı.

Adres : Künkbaşı Mah. Haydar Özalp Cad. Selamoğlu Sit. Kat:3 no:8
51700 - NİĞDE

Telefon : 0 388 311 2644

0 505 527 4368

E-posta : emregunaydin@gmail.com