

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

**PÜRÜZLÜ AÇIK KANAL AKIMLARINDA HIZ
DAĞILIMININ İNCELENMESİ**

**Tezi Hazırlayan
Özgür ÖZTÜRK**

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

**İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi**

**Haziran 2006
KAYSERİ**

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

**PÜRÜZLÜ AÇIK KANAL AKIMLARINDA HIZ
DAĞILIMININ İNCELENMESİ**

**Tezi Hazırlayan
Özgür ÖZTÜRK**

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

**İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı
Yüksek Lisans Tezi**

**Bu çalışma Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından
EÜBAP- FBT-05-26 kodlu proje ile desteklenmiştir.**

**Haziran 2006
KAYSERİ**

Doç. Dr. Mehmet ARDIÇLIOĞLU danışmanlığında **Özgür ÖZTÜRK** tarafından hazırlanan “**Pürüzlü Açık Kanal Akımlarında Hız Dağılımının İncelenmesi**” adlı bu çalışma, jürimiz tarafından Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Anabilim Dalında **Yüksek Lisans** tezi olarak kabul edilmiştir.

08.06.2006

JÜRİ:

Başkan: Doç. Dr. Mehmet ARDIÇLIOĞLU



Üye : Prof. Dr. Tefaruk HAKTANIR



Üye : Doç. Dr. Özgür KİŞİ



ONAY:

Bu tezin kabulü, Enstitü Yönetim Kurulunun **27/06/2006** tarih ve **2006/15..-09** sayılı kararı ile onaylanmıştır.

27/.06./2006..



N. Ayyıldız
Prof. Dr. Nusret AYYILDIZ
Enstitü Müdürü

TEŞEKKÜR

Çalışmalarım sırasında değerli bilgi ve yardımlarını esirgemeyen tez danışmanım sayın hocam Doç. Dr. Mehmet ARDIÇLIOĞLU'na, üstün düşünceleriyle çalışmalarımıza yön veren sayın hocam Prof. Dr. Tefaruk HAKTANIR'a, lisans ve yüksek lisans eğitimim süresince bana emeği geçen Erciyes Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümünde görev yapan değerli hocalarıma teşekkür ederim.

Hayatta desteklerini benden hiç esirgemeyen sevgili babam Halil ÖZTÜRK'e, sevgili annem Fatma ÖZTÜRK'e, tez süresince engin hoşgörüsüyle sürekli yanımda olan kıymetli eşim Ayşe ÖZTÜRK'e teşekkür etmeyi bir borç bilirim.

Haziran 2006

Özgür ÖZTÜRK

PÜRÜZLÜ AÇIK KANAL AKIMLARINDA HIZ DAĞILIMININ İNCELENMESİ

Özgür ÖZTÜRK
Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi, Haziran 2006
Tez Danışmanı: Doç. Dr. Mehmet ARDIÇLIOĞLU

ÖZET

Açık kanal akımlarında enkesit boyunca hız dağılımının bilinmesi; açık kanaldan geçen debinin belirlenmesi, kanalların boyutlandırılması ve akımın özelliklerinin belirlenmesi bakımından önemlidir. Bundan dolayı bu çalışmada laboratuvar şartlarında cilalı ve iki farklı pürüzlülükteki dikdörtgen açık kanalda ve arazi çalışması olarak tabii açık kanal şartlarında 3 farklı enkesit üzerinde derinlik boyunca hız ölçümleri yapılarak literatürde kullanılan hız dağılımları ile karşılaştırılmıştır.

Cilalı akım koşullarında deneyler, kesit oranının $5.4 \leq B/H \leq 13.5$ ve Reynolds sayısının $2.59 \times 10^4 \leq Re \leq 1.63 \times 10^5$ aralığında gerçekleştirilmiştir. Duvar kanunundaki sabitler $\chi=0.4$ ve $B=5.5$ alındığında bu kanunun 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 $M=5.53$ olarak hesaplanmış, entropi hız dağılım ifadesinin cilalı akımlar için oldukça iyi sonuç verdiği belirlenmiştir.

İki farklı pürüzlülük ($k=10$ mm, $k=7$ mm) akım koşullarında deneyler sırasıyla kesit oranının $3.41 \leq B/H \leq 9.9$, $3.01 \leq B/H \leq 4.7$ ve Reynolds sayısının $4.13 \times 10^4 \leq Re \leq 1.28 \times 10^5$, $2.22 \times 10^4 \leq Re \leq 1.19 \times 10^5$ olduğu aralıklarda gerçekleştirilmiştir. Pürüzlü akımlar için verilen logaritmik dağılımların deneysel ölçümler ile uyumlu olduğu belirlenmiştir. Pürüzlü akım durumlarında hesaplanan $M=5.94$, $M=3.31$ entropi parametrelerinin hız dağılımında kullanıldığında katı sınır yakınlığında ölçüm değerlerinden sapmakta olduğu gözlenmiştir. Katı sınır yakınlarındaki azalma etkisini yansıtabilmek için entropi parametresi hesap yöntemi olarak $M = u_{\max} / V$ formülü kullanılmış ve M değerleri sırasıyla $M=1.2$, $M=1.41$ şeklinde tanımlanarak hesaplanan hız dağılımlarının ölçüm değerlerini oldukça iyi temsil ettiği belirlenmiştir. Üç farklı

kesitte yapılan arazi ölçümlerinde de logaritmik dağılım ve entropi yöntemlerinin kullanılabilceği görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Açık Kanallar, Hız Dağılımı, Pürüzlülük, Entropi, Hız Ölçme

INVESTIGATION OF VELOCITY DISTRIBUTION IN ROUGH BED OPEN CHANNEL FLOWS

Özgür ÖZTÜRK

Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences

M. Sc. Thesis, June 2006

Thesis Supervisor: Assoc. Prof. Mehmet ARDIÇLIOĞLU

ABSTRACT

Determination of velocity distribution in open channel flows is crucially important in determining all relevant flow characteristics pertaining to open channel flows. In this study, experiments have been carried out in a rectangular open channel laboratory flume under smooth bed and two different rough channel bed conditions, and in three different conditions on a natural open channel in the field with the purpose of investigating velocity distributions and comparing the measured distributions with those suggested in the relevant literature.

The experiments have been performed over the ranges for the aspect ratios of: $5.4 \leq B/H \leq 13.5$ and Reynolds numbers of: $2.59 \times 10^4 \leq Re \leq 1.63 \times 10^5$ 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 useful in the inner region. For smooth channel bed conditions the entropy parameter is calculated as $M=5.53$. The Entropy velocity distribution is found to be useful for smooth channel flows.

For two different rough bed conditions ($k=10$ mm, $k=7$ mm) experiments have been performed over the ranges for the aspect ratios of $3.41 \leq B/H \leq 9.9$, $3.01 \leq B/H \leq 4.7$ and Reynolds numbers of: $4.13 \times 10^4 \leq Re \leq 1.28 \times 10^5$, $2.22 \times 10^4 \leq Re \leq 1.19 \times 10^5$. Experiments are compatible with logarithmic distributions given for rough open channel flows. When the calculated entropy parameters $M=5.94$, $M=3.31$ are used for two different rough channels, the velocity distribution for rough surfaces diverges from experimental data. To reflect the decreasing effect of the surface, entropy parameters are defined by the formula: $M = u_{\text{mak}} / V$. M was computed to be $M=1.2$, and $M=1.41$ for two different rough bed conditions, respectively. The calculated velocity distributions are better

represented by these M parameters. According to three different field measurements the results revealed that logarithmic distributions and entropy method are applicable for natural streams.

Key Words: Open Channels, Velocity Distribution, Roughness, Entropy, Velocity Measurement

İÇİNDEKİLER

KABUL ve ONAY SAYFASI	i
TEŞEKKÜR	ii
ÖZET	iii
ABSTRACT	v
İÇİNDEKİLER.....	vii
KISALTMALAR ve SİMGELER.....	x
TABLolar LİSTESİ.....	xii
ŞEKİLLER LİSTESİ	xiii
1. BÖLÜM	
GİRİŞ	1
2. BÖLÜM	
LİTERATÜR TARAMASI.....	4
2.1. Türbülanslı Açık Kanal Akımlarında Hız Dağılımı	4
2.1.1. Türbülanslı Akımda Sınır Tabakası	4
2.2. Türbülanslı Akım.....	5
2.3. Navier-Stokes Denklemleri	6
2.4. Düz Bir Tabanda Düzenli Üniform Akım.....	8
2.5. Türbülans Gerilmesinin İfade Edilmesi	10
2.5.1. Boussinesq'in Çalkantı Kinematik Viskozite Katsayısı	10
2.5.2. Prandtl'in Karışma Boyu Teorisi	10
2.6. Türbülanslı Üniform Akımda Hız Dağılımı.....	12
2.6.1. Viskoz Alt Tabakada Çözüm.....	12
2.6.2. Türbülanslı Bölgede Çözüm.....	13
2.6.3. Dış Bölgede Çözüm	16
2.7. Pürüzlü Akım Durumu	19
2.7.1. Cilalı ve Pürüzlü Akım Şartları	19
2.7.2. Sürtünme Katsayısının Hesaplanması.....	19
2.7.3. Pürüzlü Açık Kanal Akımlarında Hız Profili	21
2.8. Entropi Yöntemi ile Hız Dağılımlarının İncelenmesi	22
2.8.1. Hız Dağılımının Yapısı	24
2.8.2. Olasılık Yoğunluk Fonksiyonunun Türetilmesi	26

3. BÖLÜM

DENEYSEL ÇALIŞMALAR	30
3.1. Laboratuvar Çalışmaları.....	30
3.1.1. Deney Düzenegi.....	30
3.1.2. Debi Ölçer	31
3.1.3. Acoustic Doppler Velocimeter (ADV)	33
3.1.4. Cilalı ve Pürüzlü Deneylerdeki Akımlar.....	39
3.1.5 Hız Ölçümleri	42
3.2 Arazi Çalışmaları	43
3.2.1 Sarımsaklı Suyu	43
3.2.2 Barsama Suyu	46
3.2.2 Barsama Sulama Kanalı	48

4. BÖLÜM

DENEYSEL BULGULAR ve TARTIŞMA	51
4.1. Laboratuvar Ölçümleri.....	51
4.1.1. Cilalı Akım Durumları	51
4.1.1.1. Logaritmik Hız Dağılımları	51
4.1.1.2. Entropi Hız Dağılımı.....	56
4.1.2. Pürüzlü Akım Durumunda Hız Dağılımları	57
4.1.2.1. Birinci Pürüzlülük Durumu (k=10 mm).....	57
4.1.2.1.1. Logaritmik Hız Dağılımları	58
4.1.2.1.2. Pürüzlü Akımlarda (k=10 mm) Entropi Hız Dağılımı	62
4.1.2.2. İkinci Pürüzlülük Durumu (k=7 mm)	65
4.1.2.2.1. Logaritmik Hız Dağılımları	65
4.1.2.2.2. Pürüzlü Akımlarda (k=7 mm) Entropi Hız Dağılımı	69
4.2 Arazi Ölçümleri	72
4.2.1 Sarımsaklı Suyu	72
4.2.1.1 Logaritmik Dağılım.....	72
4.2.1.2 Entropi Dağılımı	75
4.2.2 Barsama Suyu	76
4.2.2.1 Logaritmik Dağılım.....	76
4.2.2.2 Entropi Dağılımı	78

4.2.3 Barsama Sulama Kanalı	79
4.2.3.1 Logaritmik Dağılım.....	79
4.2.3.2 Entropi Dağılımı	80
5. BÖLÜM	
SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	81
KAYNAKLAR.....	83
EKLER.....	86
ÖZGEÇMİŞ.....	97

KISALTMALAR ve SİMGELER

a	:	Akımın enkesit alanı
A_f, B_f	:	Pürüzlülük sabitleri
B	:	Kanal genişliği
B_L	:	Duvar (law of the wall) kanunu sabitler
B_p	:	Pürüzlü dağılım integrasyon sabiti
B/H	:	Kesit oranı
C	:	Chezy sürtünme faktörü
C_0	:	İntegrasyon 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
M_i	:	Bir düşeye ait 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

S_s	:	Su yüzeyi eğimi
S_t	:	Kanal taban Eğimi
u, v, w	:	Kesitteki anlık hızlar
$\bar{u}, \bar{v}, \bar{w}$:	Kesitteki ortalama hızlar
u', v', w'	:	Kesitteki anlık çalkantı hızları
$\bar{u}', \bar{v}', \bar{w}'$:	Çalkantı hızlarının 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)
ξ, η	:	Eğrisel entropi koordinatları
ξ_0, η_{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)

TABLOLAR LİSTESİ

2.1	Logaritmik Dağılımdaki Sabitler.....	16
3.1	Ölçüm Yapılan Bir Noktada Düşey Kesit Boyunca Noktaların Hızlarını ve Ölçüme Ait Birçok Bilgiyi Veren *.dis* Uzantılı Dosya.....	36
3.2	Ölçüm Yapılan Düşeydeki Bir Noktanın Anlık Hızlarını Gösteren *.dat* Dosyası.....	37
3.3	Ölçüm Yapılan Alete Ait Bilgilerin Verildiği *.ctl* Dosyası.....	38
3.4	Ortalama u,v ve w Değerlerini Veren *.sum* Dosyası.....	39
3.5	Pürüzsüz (Cilalı) Deney Akım Şartları.....	41
3.6	Birinci Pürüzlülükte Deney Akım Şartları.....	41
3.7	İkinci Pürüzlülükte Deney Akım Şartları.....	41
3.8	Sarımsaklı Suyu Hız Ölçüm Değerleri.....	44
3.9	Barsama Suyu Hız Ölçüm Değerleri.....	48
3.10	Barsama Sulama Kanalı Hız Ölçüm Değerleri.....	50
4.1	Cilalı Akımlarda Kayma Hızları.....	52
4.2	Pürüzlü Akımlarda Kayma Hızları k=10 mm.....	58
4.3	Pürüzlü Akımlarda Kayma Hızları k=7 mm.....	66
4.4	Sarımsaklı Suyu Ölçüm Kesitinde Hesaplanan Kayma Hız ve Gerilmeleri....	73
4.5	Barsama Suyu Ölçüm Kesitinde Hesaplanan Kayma Hız ve Gerilmeleri.....	76
4.6	Barsama Sulama Kanalı Ölçüm Kesitinde Hesaplanan Kayma Hız ve Gerilmeleri.....	79

ŞEKİLLER LİSTESİ

2.1.	Sınır Tabakasındaki Hız Dağılımı.....	5
2.2.	Türbülanslı Akımda Hız.....	5
2.3.	Türbülanslı Üniform Akımda Kayma Gerilmesi Dağılımı.....	9
2.4.	Laminer Alt Tabakanın Gösterimi.....	14
2.5.	ξ ve η Eğrilerinin Kullanıldığı Eş Hız Eğrileri.....	24
3.1.	Deney Kanalının Genel Görünümü.....	31
3.2.	(a) Savak Ayarlama Düzeneği (b) Eğim Ayarlama Sehpa.....	31
3.3.	(a) Ultrasonik Debi Ölçere ait Sensör (b) Sinyal Dönüştürücü.....	32
3.4.	ADV (Acoustic Doppler Velocimeter) ile Laboratuarda Ölçüm Yapılırken...	34
3.5.	(a) LCD Gösterge Paneli (b) 3 Boyutlu Hız Ölçen Başlıklar.....	34
3.6.	ADV nin Ölçüm Aldığı Su Kütlesinin 3 Boyutlu Görünüşü.....	35
3.7.	(a) $k=10$ mm (b) $k=7$ mm Olan Kanal Pürüzlendirme Malzemeleri.....	39
3.8.	Laboratuar Hız Ölçümlerinin Yapıldığı Kesit.....	40
3.9.	Sarımsaklı Suyu'nda Ölçüm Yapılan Enkesit.....	43
3.10.	Sarımsaklı Suyu'nun Hız Ölçümü Alınan Kesiti.....	44
3.11.	Barsama Suyu'nun Hız Ölçümü Alınan Kesiti.....	46
3.12.	(a) Barsama Suyu Arazi Eğimi, (b) Ölçüm Yapılan Enkesit.....	47
3.13.	Barsama Sulama Kanalının Hız Ölçümü Alınan Kesiti.....	49
3.14.	(a) Barsama Sulama Kanalı Arazi Eğimi, (b) Ölçüm Yapılan Enkesit.....	49
4.1.	Cilalı Yüzeyde Yapılan CQ25 Ölçümüne Ait Boyutsuz Hız Dağılımları.....	52
4.2.	Altı Farklı Cilalı Akım Durumunda Enkesit Hız Dağılımları.....	55
4.3.	Cilalı Akımlarda Ölçümler ile Logaritmik Hızların Karşılaştırılması.....	55
4.4.	Cilalı Akım Şartlarına Ait $V-u_{\max}$ İlişkisi.....	56
4.5.	Cilalı Akımlarda Ölçümler ile Entropi Hızlarının Karşılaştırılması.....	57
4.6.	P1Q25 Ölçümüne Ait Enkesit Üzerinde Ölçülen Boyutsuz Hız Dağılımları...	58
4.7.	Pürüzlü ($k=10$ mm) Akımlarda Ölçümler ile Logaritmik Hızlarının Karşılaştırılması.....	59
4.8.	Pürüzlü Akım Durumunda Enkesit Hız Dağılımları.....	61
4.9.	Pürüzlü Akım Şartlarına Ait $V - u_{\max}$ İlişkisi.....	62
4.10.	Pürüzlü Akımlarda Ölçümler ile Entropi Hızların Karşılaştırılması.....	64
4.11.	İkinci Pürüzlülük Durumunda P2Q25 Ölçümüne Ait Hız Dağılımları.....	65

4.12.	İkinci Pürüzlülük Akım Şartlarında Hız Dağılımları.....	68
4.13.	Pürüzlü ($k=7$ mm) Akımlarda Ölçümler ile Logaritmik Hızlarının Karşılaştırılması.....	69
4.14.	İkinci Pürüzlü Akım Şartlarına Ait $V-u_{\text{mak}}$ İlişkisi.....	70
4.15.	İkinci Pürüzlülük($k=7$ mm) Durumunda Ölçümler ile Logaritmik Hızların Karşılaştırılması.....	71
4.16.	S5 İstasyonundaki Hız Dağılımı ve $k_s/30$ un Belirlenmesi.....	72
4.17.	Sarımsaklı Suyunda Yapılan Hız Ölçümleri e Logaritmik Dağılımlar.....	75
4.18.	Barsama Suyunda Yapılan Hız Ölçümleri ve Logaritmik Dağılımlar.....	77
4.19.	Barsama Sulama Kanalında Yapılan Hız Ölçümleri ve Logaritmik Dağılımlar.....	80

1. BÖLÜM

GİRİŞ

Kullanılabilir su kaynaklarının giderek sınırlı hale geldiği günümüzde, artan nüfus, sanayileşme, ekonomik gelişmeler ve şehirlere göç nedeniyle mevcut su kaynaklarının en verimli şekilde kullanılmasının önemi daha artmıştır. Bu amaçla gerek tabii nehirlerde gerekse sulama kanallarında akan suyun debisinin sağlıklı olarak belirlenmesi kaçınılmaz olmaktadır. Açık kanallarda debinin belirlenmesinde en büyük etken akım hızının doğru ölçülmesi veya çeşitli yöntemlerle doğru olarak hesaplanmasıdır.

Üstü hava veya başka bir gaz ile sınırlanmış olan sıvı akımlarına serbest yüzeyli akım denir ve bu serbest yüzeyli akışı geçiren suyollarına da açık kanal denir. Açık kanallara, sulama kanalları, kanalizasyon boruları, dren boruları ve tabii akarsular örnek olarak verilebilir. Açık kanal akımlarını boru akımlarından ayıran serbest yüzeylerin şekil değiştirebilme özelliğidir. Bunlar sıçrama, kabarma, ani düşü v.b. gibi basınçlı borularda bulunmayan özelliklerdir. Dolayısıyla açık kanalların incelenmesi boru akımlarından çok farklıdır ve çözümleri daha karmaşıktır. Açık kanalların fiziksel özellikleri; kesit geometrisi, pürüzlülüğü, kanal taban eğimi borulara nazaran daha sık aralıklarda değişmektedir. Açık kanallarda serbest yüzeyin varlığı, kanalın dairesel olmayan kesit şekline bağlı iki ve üç boyutlu akış özelliği, ıslak çeper boyunca üniform olmayan kayma gerilmesi dağılımı gibi bazı faktörler açık kanal akımlarını boru akımlarından ayırır.[1]

Açık kanalların tasarımında enerji kaybının belirlenmesi, sediment hareketi ve kirlilik problemlerinin incelenmesinde kanaldaki akımın hız dağılımının bilinmesi gerekmektedir. Açık kanallarda hız dağılımı üniform değildir. Kesit içinde farklı her noktadaki hız çoğunlukla farklıdır. Hız dağılımı, kanalın geometrisine, pürüzlülüğüne, planda yaptığı kıvrıma bağlıdır [2]. 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 düşeyindeki sınır kayma gerilmesinin sabite yakın olması, borular için türetilen hız ifadelerinin açık kanallar için kullanılabilceği, ancak, serbest su yüzeyinin etkileri göz önüne alınarak borular için verilen ifadelerdeki katsayıların açık kanallar için yeniden belirlenmesi gerektiği Rause ve Goncharov tarafından belirtilmiştir [3,4].

Dairesel borular ve düz yüzeyler üzerindeki türbülanslı akımların hız dağılımını veren ifadelerin belirlenmesi Prandtl ve Von Karman'ın boru akımları üzerindeki teorik araştırmaları ile başlamıştır [5, 6]. Yapılan çalışmalarda katı sınır yakınlığında 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 tarafından geliştirilmiştir [7]. Entropi yöntemi olarak verilen bu model, ele alınan kesite ait bir entropi parametresinin (M) maksimum hız ve ortalama hız arasındaki ilişkiden belirlenebileceğini ve bu parametrenin o kesite ait özelliklerin belirlenmesinde oldukça önemli olduğunu bildirmiştir. Kanal kesitinde belirlenen M parametresinin düzenli ve değişken akımlarda, akımın debisini tahmin etmede, kinetik enerji yüksekliğini ve enerji çizgisinin eğimini belirlemede kullanılabilceğini bildirmiştir [7].

Bu çalışmada Erciyes Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Hidrolik laboratuvarında bulunan açık kanal modelinde ve 3 farklı arazi ölçümü ile hız dağılımları incelenmiştir. Laboratuvar ölçümleri kanal boyunca sınır tabakasının gelişmiş olduğu bölgede enkesit boyunca cilalı ve iki farklı pürüzlülük durumu için gerçekleştirilmiştir. Arazi ölçümleri ise Sarımsaklı deresi üzerinde bulunan üç farklı kesitte gerçekleştirilmiştir. Deneyleerde 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. Laboratuardaki 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.

Arazi ölçümleri Sarımsaklı deresi üzerinde, Barsama mevkiinde bulunan kesit ve hemen yakınındaki kaplamasız sulama kanalında ve söz konusu kesitlerin 500 m mansabında farklı bir kesit olmak üzere üç ayrı enkesit üzerinde gerçekleştirilmiştir. Sırasıyla Barsama suyunda, enkesit üzerinde 7 istasyon, sulama kanalında 3 istasyon ve Sarımsaklı suyunda ise 11 farklı istasyonda derinlik boyunca hız ölçümleri yapılmıştır. Ölçülen hızlara literatürde belirtilen logaritmik dağılım ve entropi yönteminin uygunluğu irdelenmiştir.

2. BÖLÜM

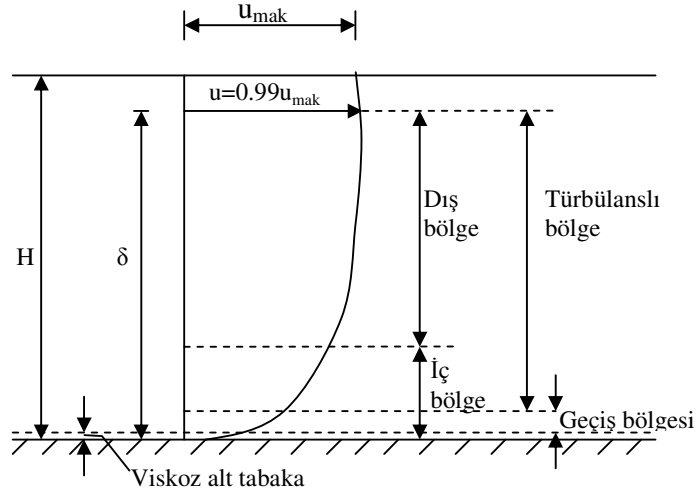
LİTERATÜR TARAMASI

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 ve 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.

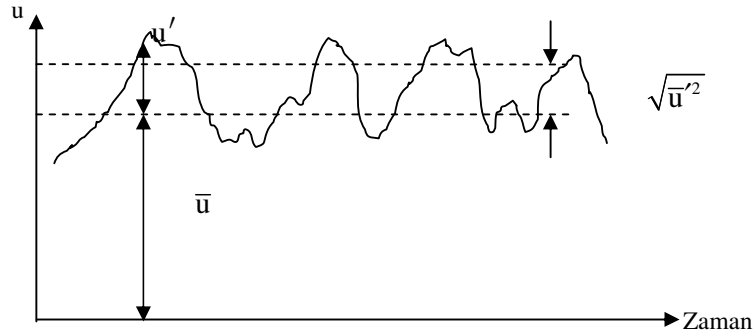
Deney verilerine göre tam gelişmiş türbülanslı sınır tabakası akımı iç ve dış olmak üzere iki farklı bölgeye ayrılabilir (Şekil 2.1). İç bölgenin kalınlığı toplam sınır tabakası kalınlığının yaklaşık %10–20 sini oluşturur. Bu bölgede hız dağılımı duvar kayma gerilmesi, akışkanın yoğunluğu, viskozitesi 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 hâkimdir [8].



Şekil 2.1. Sınır Tabakasındaki Hız Dağılımı

2.2. Türbülanslı Akım

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 çalkantı hızlarının (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. 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 çalkantı hızlarıdır. Çalkantı hızlarının 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 [8].

2.3. Navier-Stokes Denklemleri

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 [8].

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

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

Bu ifadeler doğrusal 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;

$$\begin{aligned} \overline{\rho(\bar{u} + u') \frac{\partial(\bar{u} + u')}{\partial x}} &= \rho \bar{u} \frac{\partial \bar{u}}{\partial x} + \overline{\rho u' \frac{\partial u'}{\partial x}} \\ \overline{\rho(\bar{v} + v') \frac{\partial(\bar{u} + u')}{\partial y}} &= \rho \bar{v} \frac{\partial \bar{u}}{\partial y} + \overline{\rho v' \frac{\partial u'}{\partial y}} \\ \overline{\rho(\bar{w} + w') \frac{\partial(\bar{u} + u')}{\partial z}} &= \rho \bar{w} \frac{\partial \bar{u}}{\partial z} + \overline{\rho w' \frac{\partial u'}{\partial z}} \end{aligned} \quad (2.8)$$

şeklinde. Bu ifadeler (2.7) denkleminde yerine konulursa;

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

ifadesi elde edilir. Çalkantı hızlarının 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;

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

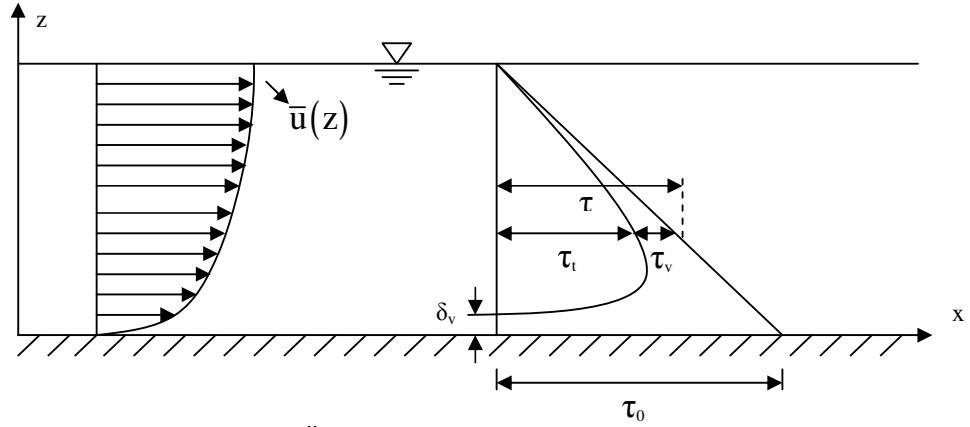
Burada ∇^2 , Laplace operatörüdür. Bu ifadeler Navier-Stokes denklemlerine ilave olarak Reynolds gerilmeleri veya çalkantı gerilmelerini içermektedir. (2.10) ifadeleri vektör notasyonu ile;

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

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 Üiform 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 gerilmekten bahsetmek gerekir; viskoz gerilme ve türbülans gerilmesi. Böylece toplam gerilme;

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

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. 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

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

şeklinde. Bu teori ϵ 'un basitçe ifade edilebildiği problemlerde başarı ile kullanılmıştır [9,10]. Boussinesq teorisi ile akımda toplam kayma gerilmesi aşağıdaki gibidir.

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

2.5.2. Prandtl'in Karışma Boyu Teorisi

τ_t türbülans gerilmesinin hesabı için verilen yarı deneysel teorilerden biri Prandtl'a aittir. Bu teoride $-\overline{\rho u'w'}$ terimi ortalama akım parametreleri cinsinden ifade edilerek Reynolds denkleminde çözüm aranmıştır. (2.16) ifadesinde u' ve w' bilinmemektedir [5].

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

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

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 çalkantı hızının 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 ve bu ifade türbülanslı akım için karışma boyu teorisi olarak bilinmektedir.

Katı sınırdaki $w' = 0$ olduğuna göre Prandtl, karışma boyu l 'nin sınırdan uzaklıkla doğrusal değiştiğini kabul etmektedir [11]. 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 [6].

2.6. Türbülanslı Üniform Akımda Hız Dağılımı

Bir boyutlu düzenli üniform akımın hareket denkleminde türbülans gerilmesi için Prandtl denklemi 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. Şekil 2.3'te 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 [8].

2.6.2. Türbülanslı Bölgede Çözüm

Sınırdan uzak bölgelerde çalkantı gerilmeleri hakimdir. Sınır tabakasının belli bir kesiminde $\mu \frac{d\bar{u}}{dz}$ 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

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

denklemi 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'ın Üniversal hız dağılım ifadesidir.

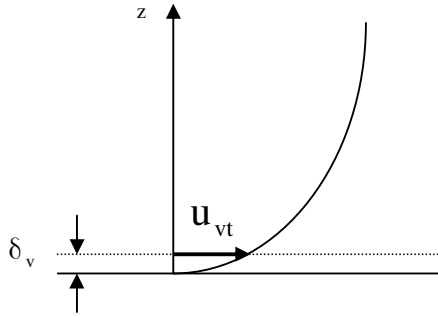
“velocity defect - noksan hız” dağılımı olarak anılan (2.33) ifadesi iki bakımdan gerçeğe uyuşmamaktadır:

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 [12]. 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

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

veya

$$\frac{u_{\text{mak}}}{u_*} = \frac{u_* \delta_v}{v} - \frac{1}{\chi} \ln \frac{\delta_v}{H} \quad (2.37)$$

elde edilir. (2.37) ifadesi (2.32) de verilen noksan hız dağılımında yerine konulursa:

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

ve $\frac{1}{\chi} = A$ yazılırsa

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

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

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

veya

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

elde edilir. “law of the wall” 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 [13]

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 Ark. (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 Ardiçhoğlu (1997)	2.44	5.5	$20 - 40 \leq z^+ \leq 200$

2.6.3. Dış Bölgede Çözüm

Coles duvar kanunu ifadesine ampirik bir fonksiyon ilave ederek tüm sınır tabakası için yani iç ve dış bölgeler için geçerli olabilecek hız dağılımı ifadesini vermiştir [12].

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

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 noksan hız formunda hız dağılımı ifadesi elde edilir [12].

Π Parametresinin değeri Nezu ve Rodi tarafından açık kanaldaki akımlarda yapılan ölçümlerle araştırılmıştır. Yapılan çalışmada Reynolds sayısı arttıkça dış bölgedeki logaritmik ifadeden sapmanın ihmal edilemeyeceği ve bu sapmanın Coles'un kuyruk fonksiyonu ile gösterilebileceği ifade edilmiştir. Nezu ve Rodi Π parametresinin $Re = \frac{4R u_{\text{mak}}}{\nu} = 40000$ 'e kadar sıfır olduğunu, artan Reynolds sayılarında Π değerinin 0.2'de sabitleştğini belirtmişlerdir. Bu değer Coles'un 0.55 olarak elde ettiği değerden küçüktür [14,12].

Steffler ve ark. Π için 0.08–0.15 arasında değişen daha küçük bir değer elde etmişlerdir [15]. Kırkgöz açık kanalda yaptığı çalışmalar sonucu Π nin 0.1 alınması ile (2.45) ifadesinin deney sonuçları ile daha iyi uyum sağladığını bildirmiştir [16].

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 [17].

Bisset ve Antonia yaptıkları çalışmada Π parametresi için Coles'un önerdiği 0.55 değerinin kullanılabileceğini belirtmişlerdir [18]. 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 [19].

Ardıçlıoğlu, Coles'un hız dağılım ifadesini incelemiş ve $b/h > 3$ olan akımlarda Π parametresinin değerini 0.15 olarak bulmuştur [20].

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 laminer alt tabakada kaldığı durumlarda ortaya çıkar [21]. Bu yüzden cilalı akımlarda taban pürüzlülüğü hız dağılımına etki etmez. Akımın cilalı olma şartı;

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

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.

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

Hidrolik pürüzlü terim yerine tamamen pürüzlü terimini kullanılarak aşağıdaki durumda akımın geçiş bölgesinde olduğunu belirtilmiştir.

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

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 [21] üniform akımlar için hız ifadesini aşağıdaki gibi vermiştir.

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

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

Darcy-Weisbach yük kaybı ve akım direnci için aşağıdaki ifadeyi geliştirmiştir [21].

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

Burada f sürtünme katsayısıdır. Yapılan çalışmalarla pürüzlülük yüksekliği ile f sürtünme katsayısı arasında bir ilişki geliştirilmiştir. 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 oluştuğu bildirilmiştir. Hidrolik pürüzlü akım şartlarında pürüzlülük katsayısı aşağıdaki gibi tanımlanmıştır [21].

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 2 \log \left(12.27 \frac{R}{k} \right) \quad (2.52)$$

Manning [21] açık kanallardaki üniform akımların hesaplarında en çok kullanılan formül olarak (2.53) ifadesini önermiştir. İfadenin kolay kullanımı ve gerçeğe yakın sonuçlar vermesi kullanımını artırmıştır.

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

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.

Bilgil ve Ardıçlıoğlu [22], LDA ile yapılan ölçümlerde kayma gerilmesini elde etmişler ve buradan pürüzlülük katsayısını ifade eden yeni bir formül (2.54) düzenlemişlerdir.

$$n_m^{-1} = \frac{3.467}{R^{1/6}} \{A + B \ln(0.460h^+)\}, \quad h^+ = \left(\frac{hu^*}{\nu} \right) \quad (2.54)$$

Ardıçlıoğlu ve ark.[23] cilalı ve pürüzlü akımlarda sürtünme katsayısının Froude (Fr) sayısı, kesit oranı (B/H) ve Reynolds (Re) sayısı ile değişimlerini incelemişlerdir. Pürüzlülük katsayısı ile Froude sayısı arasında Prandtl'ın logaritmik ifadesine benzer ifadeler elde etmişler ve bu ifadeler ait korelasyon katsayılarını n, f ve C sırasıyla 0.68, 0.87 ve 0.89 olarak belirlemişlerdir.

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 [13].

$$\frac{\bar{u}}{u_*} = \frac{1}{\chi} \ln \left(\frac{z}{k_s} \right) + B_p \quad (2.55)$$

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. (2.55) ifadesinin hem cilalı hemde pürüzlü akım şartlarında kullanılabileceği ve bu ifadedeki k_s eşdeğer kum pürüzlülüğünün aşağıdaki gibi tanımlanabileceği belirtilmiştir[13].

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \text{Log} \left(\frac{k_s}{14.83 R} + \frac{2.52}{\text{Re} \sqrt{f}} \right) \quad (2.56)$$

Bu ifadede $f = 8 \left(\frac{u_*}{V} \right)^2$ şeklinde tanımlanan Darcy-Weisbach sürtünme katsayısı, R hidrolik yarıçap, Re Reynolds sayısıdır.

Coles'un [12] tüm sınır tabakası boyunca hız dağılımını tanımlamak için vermiş olduğu (2.42) ifadesi pürüzlü yüzeyler için aşağıdaki gibi yazılabilmektedir.

$$\frac{\bar{u}}{u_*} = \frac{1}{\chi} \ln \left(\frac{z}{k_s} \right) + B_p + \frac{2\Pi}{\chi} \sin^2 \left(\frac{\pi z}{2 z_{\text{mak}}} \right) \quad (2.57)$$

Kuyruk parametresi Π değişik araştırmacılar tarafından deneysel olarak araştırılmıştır [14,16]. Kırkgöz tam gelişmiş pürüzlü sınır tabakası akımında iç bölgede ($100 < u_* z / \nu < 400$) hız dağılımının (2.58) ifadesi ile tanımlanabileceğini bildirmiştir [16].

$$\frac{\bar{u}}{u_*} = 2.44 \ln \frac{u_* z}{\nu} - 0.8 \quad (2.58)$$

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 entropiyi maksimize eden istatistiksel bir yöntem ele alınacaktır [7, 24, 25, 26]. Açık kanal akımında bir kesitte rasgele değişken olarak u alınır, burada u ele alınan zaman aralığındaki ortalama hızı göstermektedir, $p(u)$ da olasılık yoğunluk fonksiyonu olmak üzere aşağıdaki ifade yazılabilir;

$$\int_0^{u_{\max}} p(u) du = 1 \quad (2.59)$$

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

$$Q = \int u da = a\bar{u} = a \int_0^{u_{\max}} up(u) du \quad (2.60)$$

Burada Q : debi, a : enkesit alanı ve \bar{u} : enkesit ortalama hızıdır. (2.60) no'lu denklem aşağıdaki gibi yazılabilir;

$$\int_0^{u_{\max}} up(u) du = \bar{u} = \frac{Q}{a} \quad (2.61)$$

2) $p(u)$ aşağıdaki gibi tanımlanır

$$\int_0^{u_{\max}} u^2 p(u) du = \bar{u}^2 = \beta \bar{u}^2 \quad (2.62)$$

çünkü ele alınan kesitten birim zamanda geçen akımın momentumu;

$$\rho \int u^2 da = \rho a \int_0^{u_{\max}} u^2 p(u) du \quad (2.63)$$

(2.62) ve (2.63) nolu eşitliklerde ρ : akışkanın yoğunluğunu, \bar{u}^2 : u 'nun karesinin ortalaması ve β : momentum katsayısıdır [9].

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

$$\int_0^{u_{\max}} u^3 p(u) du = \bar{u}^3 = \alpha \bar{u}^3 \quad (2.64)$$

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

$$\frac{\rho}{2} \int u^3 da = \frac{\rho}{2} a \bar{u}^3 = \frac{\rho}{2} a \int_0^{u_{\max}} u^3 p(u) du \quad (2.65)$$

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

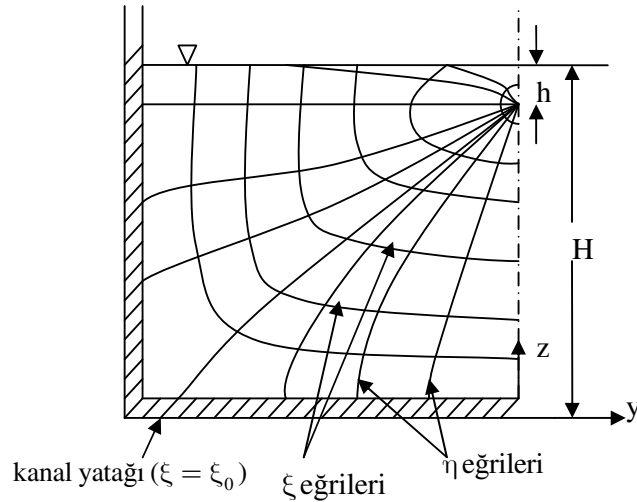
(2.61), (2.62), ve (2.64) no'lu eşitlikler bağımsız değişken u nun birinci derece, ikinci derece ve üçüncü derece momentleridir. Bunlar söz konusu kesite ait akımdaki kütle taşınımı, momentum ve enerji ifadeleridir. (2.60), (2.63) ve (2.65) no'lu eşitlikler ise temel hidrodinamik prensiplerini açıklayan istatistiksel ifadelerdir.

Ardıçlıoğlu ve ark. entropi yöntemiyle elde edilen hız dağılımını ve ölçülen hız dağılımını karşılaştırmıştır. Entropi hız dağılımının % 8'lik farkla akımı temsil ettiğini gözlemlemiştir [27].

Ardıçlıoğlu ve ark. pürüzlü açık kanallarda entropi yöntemi ile debi hesaplanmasını irdelemişler ve integrasyon yöntemiyle elde edilen debiden % 2.0-4.2 rölatif farka sahip değer elde etmişlerdir [28].

2.8.1. Hız Dağılıminın 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 dağılıminın 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 aldığu iki boyutlu hız dağılımını 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 türetilir. ξ ve η koordinatları, dairesel boru akımı problemlerinde kullanılan silindirik koordinatlarla yaklaşık aynıdır. u ($0 \leq u \leq u_{\text{mak}}$) zamansal ortalama olarak alınırsa bir eş hız eğrisinde zamanla değişmeyecek hız ξ de görülür ($\xi_0 \leq \xi \leq \xi_{\text{mak}}$). u değeri ξ nin ξ_0 olduğu durumlarda yani kanal tabanı ya da kenarında her zaman sıfırdır. Ayrıca ξ

nin ξ_{\max} olduğu yüzey veya yüzeyin hemen altında u 'nun maksimum değeri görülür. u hız değeri ξ_{\max} koordinatından ξ_0 a doğru düzenli olarak azalır, fakat y eksenine bağlı kalınırsa azalma düzenli olmayabilir. Buradan anlaşılacağı 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.

$$u = G(\xi) \quad (2.66)$$

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

$$q(\xi) = \frac{1}{\xi_{\max} - \xi_0} \quad (2.67)$$

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

$$P(u) = \int_0^u p(u) du = \int_0^u p[G(\xi)] du = \int_{\xi_0}^{G^{-1}(u)} q(\xi) d\xi = \frac{\xi - \xi_0}{\xi_{\max} - \xi_0} \quad (2.68)$$

Bunun anlamı; eğer ξ ξ_0 ve ξ_{\max} arasında rasgele bir değer alınır 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; (2.68) eşitliğindeki $\frac{\xi - \xi_0}{\xi_{\max} - \xi_0}$ değeri ξ eş hız eğrisi ile kanal yatağı arasındaki alanın kanal kesitinin tüm alanına oranıdır. (2.68) eşitliği ve olasılık yoğunluk fonksiyonundan;

$$p(u) = \frac{dP(u)}{du} = \frac{dP(u)}{d\xi} \frac{d\xi}{du} = \left[(\xi_{\max} - \xi_0) \frac{du}{d\xi} \right]^{-1} \quad (2.69)$$

elde edilir. (2.68) ve (2.69) ifadelerinden anlaşılacağı üzere, y ve z koordinatlarındaki u 'nun değişimini gösteren hız dağılımı ξ 'ye bağlı olarak ifade edilebilir [29].

2.8.2. Olasılık Yoğunluk Fonksiyonunun Türetilmesi

Olasılık yoğunluk fonksiyonu $p(u)$ 'nin türetilmesinde, daha önce bilinen istatistikte [30], istatistiksel mekanikte ve bilgi teorisinde kullanılmış olan “entropi–maksimizasyon” metodu kullanılabilir. Bu durumda entropiyi maksimize eden $p(u)$ aşağıdaki gibi belirlenir [31].

$$H(u) = - \int_0^{u_{\max}} p(u) \ln p(u) du \quad (2.70)$$

Metot düzenli denge durumundaki sistemin entropiyi maksimize etmesi şartına göre türetilmiştir. Literatürde entropi ile ilgili bilgilere [24, 32, 33]'den ulaşılabilir. Hidrolojide de entropi yöntemi ile ilgili uygulamalar son yıllarda oldukça artmıştır [34]. Eşitliklerdeki $p(u)$ 'nin belirlenmesi için değişkenlerin hesabı yöntemi kullanılabilir.

$$\frac{\partial}{\partial p} \left(-p \ln p + \sum_{i=0}^3 \lambda_{i+1} u^i p \right) = 0 \quad (2.71)$$

(2.71) eşitliğinden;

$$p(u) = e^{\left(\sum_{i=0}^3 a_{i+1} u^i \right)} \quad (2.72)$$

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 $H(u)$ 'nin maksimize edilmesinde sadece (2.70) ve (2.72) ifadeleri kullanılırsa olasılık fonksiyonu aşağıdaki hali alır;

$$e^{a_1} = a_2 (e^{a_2 u_{\max}} - 1)^{-1} \quad (2.73)$$

ve

$$\bar{u} = u_{\max} e^{a_2 u_{\max}} (e^{a_2 u_{\max}} - 1)^{-1} - \frac{1}{a_2} \quad (2.74)$$

(2.69) ve (2.72) eşitliklerinden elde edilen diferansiyel denklem $\xi = \xi_0$ da $u = 0$ sınır şartı kullanılarak çözülürse;

$$u = \frac{1}{\lambda_2} \ln \left(\frac{\lambda_2}{e^{\lambda_1 - 1}} \frac{\xi - \xi_0}{\xi_{\max} - \xi_0} \right) \quad (2.75)$$

elde edilir. Eğer \bar{u} ve u_{\max} biliniyorsa (ölçülmüşse), λ_1 ve λ_2 parametreleri (2.73) ve (2.74) eşitliklerinden bulunabilir. Eğer ölçülmemişse hız dağılımı verisi kullanılarak en küçük kareler yöntemi 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 (2.75) eşitliği aşağıdaki formda yazılabilir.

$$\frac{u}{u_{\max}} = \frac{1}{M} \ln \left[1 + (e^M - 1) \frac{\xi - \xi_0}{\xi_{\max} - \xi_0} \right] \quad (2.76)$$

burada; $M = \lambda_2 u_{\max}$ boyutsuz bir parametredir, (2.69) ve (2.72) eşitliklerinden;

$$M = \ln \frac{p(u_{\max})}{p(0)} = \ln \frac{\left(\frac{du}{d\xi} \right)_{\xi=\xi_0}}{\left(\frac{du}{d\xi} \right)_{\xi=\xi_{\max}}} \quad (2.77)$$

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

üniformluğunun ölçümüdür. (2.76) 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_{\max} . Geniş kanallarda $\frac{\xi - \xi_0}{\xi_{\max} - \xi_0}$ yerine $\frac{z}{H}$ kullanılabilir;

burada H su derinliğidir. (2.76) eşitliğinde $\frac{\xi - \xi_0}{\xi_{\max} - \xi_0}$ yerine $\frac{z}{H}$ kullanılırsa, Prandtl von

Karman hız dağılım ifadelerine göre daha kullanışlı ifadeler elde edilir [24].

Ayrıca (2.74) eşitliğinin her iki tarafı da u_{\max} 'a bölünürse;

$$\frac{\bar{u}}{u_{\max}} = \frac{e^M}{e^M - 1} - \frac{1}{M} \quad (2.78)$$

eşitliği elde edilir. Bu ifade entropi 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 [34].

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;

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

Durum 2;

u_{max} maksimum hızının yüzeyde olduğu durumdur, böylece $h = 0$ ve $\xi_{\text{mak}} = 1$ olur ve (2.74) eşitliği aşağıdaki hali alır;

$$\frac{\xi}{\xi_{\text{mak}}} = \frac{z}{H} e^{\left(1-\frac{z}{H}\right)} \quad (2.80)$$

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} 'ın oluşma yeri) hız dağılımı eğrisini ayarlama için kullanılan bir katsayı haline dönüşür, (2.74) eşitliği aşağıdaki hali alır;

$$\frac{\xi}{\xi_{\text{mak}}} = \frac{z}{H} \quad (2.81)$$

Moramarco ve ark. açık kanallardaki herhangi bir düzeydeki hız dağılımını göstermek üzere (2.76) nolu eşitliği aşağıdaki gibi düzenlemişlerdir [35].

$$u_i = \frac{u_{\text{mak}_i}}{M} \ln \left[1 + (e^M - 1) \frac{z}{H_i - h_i} \exp \left(1 - \frac{z}{H_i - h_i} \right) \right] \quad i = 1, 2, \dots, N_v \quad (2.82)$$

Bu ifadede u_i ele alınan düzeydeki noktasal hızı, u_{mak_i} maksimum hızı, M (2.78) ifadesi ile hesaplanan kesite ait entropi parametresini, z noktasal hızın koordinatını, H_i akım derinliğini, h_i maksimum hızın serbest su yüzeyinden uzaklığını göstermektedir.

3. BÖLÜM

DENEYSEL ÇALIŞMALAR

3.1. Laboratuvar Çalışmaları

3.1.1. Deney Düzenegi

Laboratuvar deneyleri Erciyes Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Hidrolik Laboratuvarında bulunan açık kanal modelinde yapılmıştır. Kanalın başlangıcında 5 m^3 hacimli silindirik bir fiber besleme tankı bulunmaktadır. Su bu depodan kanala boru yardımıyla kendi cazibesıyla verilmektedir. Kanala ulaşan su öncelikle kanal başındaki hazneye girmektedir. Hazneden kanala geçecek olan suyun mümkün olduğu kadar çalkantisız ilerlemesi için hazneye delikli bir ızgara yerleştirilmiştir. Bu ızgaradan geçen su 9.5 m uzunluğundaki kanala girerek kanal sonundaki 4 m^3 hacimli dikdörtgen metal toplama tankına boşalmaktadır. Kanal dikdörtgen kesitli (60x60x60cm) olup taban ve yan yüzeyler camdan imal edilmiştir (Şekil 3.1).

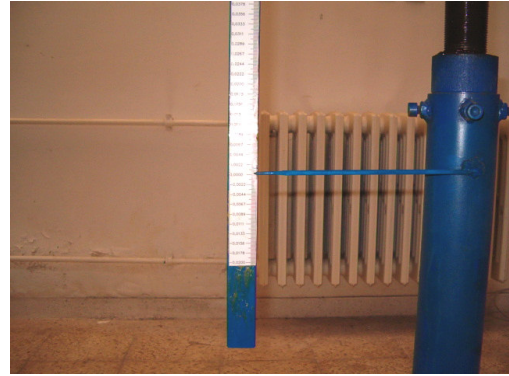
Kanal sonuna yerleştirilen depodan su pompa vasıtası ile 15 cm çapında çelik boru yardımıyla memba deposuna pompalanarak devir daim sağlanmaktadır. Kanalda düzenli akımın sağlanması için pompa çıkışında ve kanal girişinde bulunan kelebek vanalar yardımı ile memba deposundaki su seviyesi sabit kalacak şekilde ayarlanmıştır. Bu boru üzerine ultrasonik debi ölçer yerleştirilmiştir. Kanalın sonuna üniform akım derinliğini elde edebilmek için dikdörtgen kesitli savak yerleştirilmiştir (Şekil 3.2 (a)). Kanal taban eğimi elle ayarlanabilmekte ve değişme aralığı ± 0.01 dir (Şekil 3.2. (b)).



Şekil 3.1. Deney Kanalının Genel Görünümü



(a)



(b)

Şekil 3.2. (a) Savak Ayarlama Düzeneği (b) Eğim Ayarlama Sehпасı

3.1.2. Debi Ölçer

Debi ölçümü Krohne firmasının Altosonic UL 600 R markalı debi ölçeri ile yapılmıştır. Debi ölçer kanala su veren çelik boru üzerine monte edilen iki adet sensör ve dijital göstergesi olan sinyal dönüştürücüden oluşmaktadır (Şekil 3.3. (a),(b)). Altosonic debi ölçer iç çapı 50-1000 mm ve boru et kalınlığı 20 mm'ye kadar olan basınçlı borularda ölçüm yapabilmektedir. Aletin kullanıldığı yerin sıcaklığının 25~50°C aralığını aşmaması gerekmektedir



(a)



(b)

Şekil 3.3. (a) Ultrasonik Debi Ölçere ait Sensör (b) Sinyal Dönüştürücü

Sensörlerin oturduğu bariyerlerin boru üzerine yerleştirileceği yerler temiz olmalı ve sensörlerin boru yüzeyine tamamen temasını sağlayabilmek için boru yüzeyine 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 [mm], D_i boru iç çapı [mm], t boru kabuk (et) kalınlığı [mm] .

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 10 adet debi okuması yapılarak bunların ortalaması kullanılmıştır.

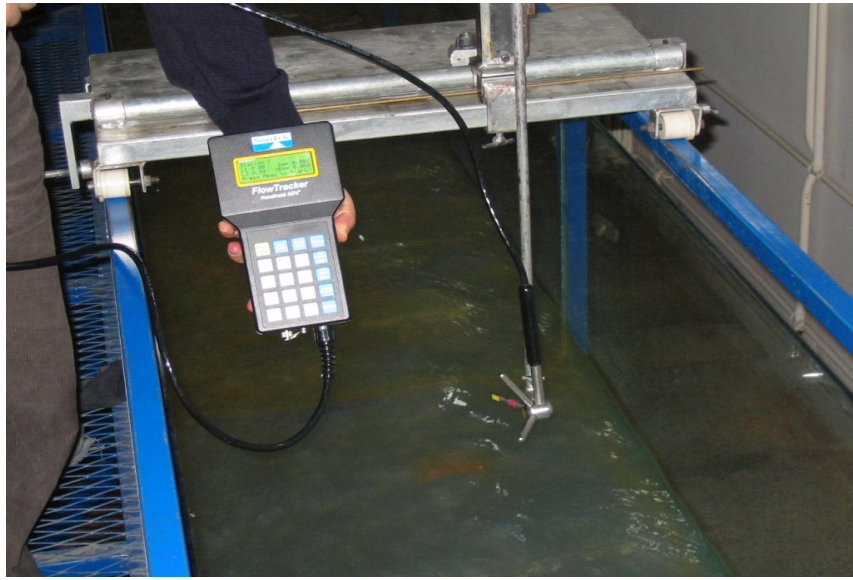
3.1.3. Akustik Dopler Hızölçer (ADV)

Akustik hız ölçer ADV (Acoustic Doppler Velocimeter), arazide ve laboratuarlarda debi, 3 boyutlu hız ve türbülans ölçümleri gibi hidrolik ölçümleri yapabilen gelişmiş bir alettir. Kullanım yerleri literatürde aşağıdaki gibi belirtilmektedir [36].

- Dalga modelleri ve su kanalları
- Fiziksel modeller
- Sanat yapıları ve türbinler etrafındaki akımlar
- Gemi modellemeleri
- Çökelti (sediment) süspansiyon çalışmaları
- Göller, nehirler ve bataklıklar

ADV aynı zamanda çok düşük hızlar için de uygun tasarlanmış olup bu özelliğinden dolayı çökelti tanklarında yaygın olarak kullanılır. Spesifik uygulamalar için değişik başlık (probe) seçenekleri sunar.

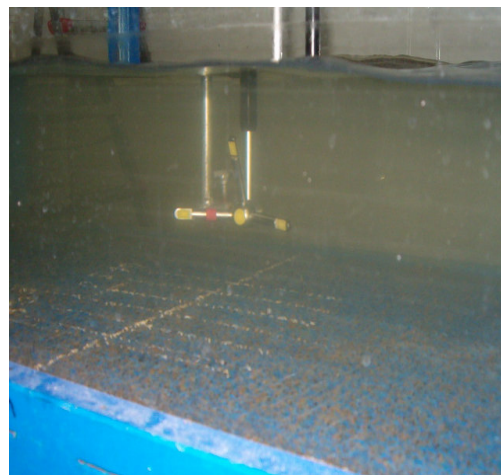
Akım hızları kanal üzerinde 3 doğrultuda hareket edebilen sehpaye yerleştirilen SonTek firmasına ait “Flow Tracker” isimli ADV ile ölçülmüştür (Şekil 3.4). Ultrasonik ses dalgalarının yayılma prensibini açıklayan doppler prensibinden yararlanarak hız ölçmek için geliştirilen ADV cihazında; LCD ekran, bilgi girişi ve cihazın kontrolünde kullanılan düğmelerin bulunduğu kontrol ünitesi (Şekil 3.5 (a)), veri aktarma bağlantısı ve 3 boyutlu ölçüm başlığı bulunmaktadır (Şekil 3.5 (b)). Cihaz 8 adet kalem pil ile çalışmaktadır.



Şekil 3.4. ADV (Acoustic Doppler Velocimeter) ile Laboratuarda Ölçüm Yapılırken



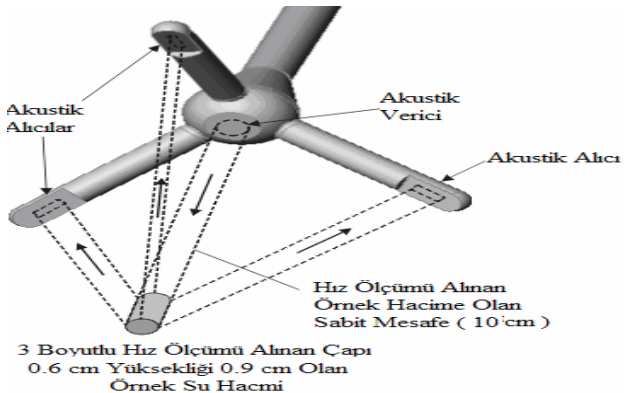
a)



(b)

Şekil 3.5. (a) Lcd Gösterge Paneli (b) 3 Boyutlu Hız Ölçen Başlıklar

Hareketli bir akışkan içerisinde akışkan hızını tam olarak takip edebilen küçük gaz, duman, katı parçacıklar var ise bu taneciklerden saçılan dalganın frekansının ölçülmesi ile bu taneciklerin dolayısıyla akışkanın hızı ölçülebilir. ADV 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 3.6.). Hız aralığı: ± 0.001 m/s'den 5 m/s'ye olup $\pm 1\%$ hassasiyette, tabii nehirlerde, sulama kanallarında, atıksu kanallarında ve laboratuarda ölçüm yapılabilmektedir. Ardıçlıoğlu ve ark. [37], açık kanallarda hız ölçüm cihazlarını; Propeller, Pitot tüpü ve ADV'i karşılaştırmış ve ADV cihazı ile debi ölçer arasında % 2'lik ortalama bir fark tespit etmiştir. Noktasal hız ve enkesit debi ölçme fonksiyonları bulunan aletin 4 MB'lık hafızası maksimum 64 data dosyasına ölçüm değerlerini kaydedebilmekte, RS-232 bağlantısı ile bilgisayara ölçüm değerlerinin aktarılması mümkün olmaktadır. Yine SonTek firmasına ait yazılım kullanılarak ölçüm yapıp hafıza kısmına kaydedilen dosyalar bilgisayara aktarılabilir. *.wad* uzantılı olup ham halde bulunan dosyalar SonTek yazılımı sayesinde bilgisayara aktarılarak, 4 farklı dosya elde edilmektedir. Birinci dosya, bizim kullandığımız, akımın ortalama hızlarını, ölçüm yüksekliklerini, suyun sıcaklığı, ölçüm mesafesinin başlangıç mesafesine olan uzaklığını, v.b. bilgileri bulunduran *.dis* uzantılı dosyadır (Tablo 3.1). *.dat* uzantılı olan bir diğer dosya her saniyede alınan anlık u , v ve w değerlerini, anlık SNR (Signal to Noise Ratio) değerlerini ve ölçüm yapılan zamanı kaydeder (Tablo 3.2). Diğer dosya, ölçüm yapılan cihazda kullanılan seçeneklerin verildiği *.ctl* uzantılı olandır (Tablo 3.3). Bunlardan sonuncusu da sadece ortalama u , v ve w değerlerini veren *.sum* uzantılı özet dosyadır (Tablo 3.4). Bu dosyaların birer örneği aşağıda verilmiştir



Şekil 3.6. ADV nin Ölçüm Aldığı Su Kütleinin 3 Boyutlu Görünüşü

Tablo 3.1 Ölçüm Yapılan Bir Noktada Düşey Kesit Boyunca Noktaların Hızlarını ve Ölçüme Ait Birçok Bilgiyi Veren *.dis* Uzantılı Dosya

Start Date andTime			2005/May/28	10:00	08:20													
Sensor Type			ADV															
Serial Number			0															
Averaging Time			40 sec															
Unit S system		-----																
Number of stations			11															
Mean velocity		(Vx/Vy)	98.06	cm/s														
Mean SNR ---		-----	33.1	dB														
Mean std. error of vel.			4.1	Cm/s														
Mean boundary conditions			0	(BEST)														
Boundary condition			(Bnd) -	0:	(BEST)													
			1:	GOOD														
			2:	FAIR														
			3:	POOR														
ST.	Loc 1	Loc 2	WaterD	MeasD	Clock	Npts	Spike	Vx	Vy	Vz	SNR1	SNR2	SNR3	VxErr	VyErr	VzErr	Bnd	Temp
	(m)	(m)	(m)	(m)				(cm/s)	(cm/s)	(cm/s)	(dB)	(dB)	(dB)	(cm/s)	(cm/s)	(cm/s)		(degC)
1	0	0	0.32	0.02	10:08	40	1	70.06	-0.57	5.88	35.2	36.9	35.2	3	1.9	2.4	0	11.71
2	0	0	0.32	0.04	10:09	40	0	72.94	-9.1	-4.61	34.8	36.1	35.2	2.8	1.5	2.3	0	11.71
3	0	0	0.32	0.06	10:10	40	0	82.83	-1.74	-6.43	35.2	36.5	36.1	3.1	1.7	2.8	0	11.72
4	0	0	0.32	0.08	10:12	40	0	94.8	5.11	3.07	35.6	36.9	35.6	3.1	1.9	2.8	0	11.73
5	0	0	0.32	0.1	10:13	40	0	100.88	-3.45	-3.34	35.6	36.9	35.6	3	1.6	3	0	11.74
6	0	0	0.32	0.12	10:14	40	1	111.4	-2.03	-3.97	35.6	36.9	36.1	2.6	1.5	2.1	0	11.75
7	0	0	0.32	0.16	10:15	40	0	116.08	0.09	-1.57	35.6	36.9	36.1	2.9	1.8	2.7	0	11.77
8	0	0	0.32	0.2	10:16	40	0	125.17	6.61	2.07	35.6	37.4	36.1	2.3	1.3	2.7	0	11.78
9	0	0	0.32	0.24	10:18	40	1	127.9	4.06	-19.53	36.1	37.8	5.1	2	1.2	23.6	0	11.8
10	0	0	0.32	0.28	10:19	40	0	133.74	-6.97	-39.66	36.1	35.2	7.3	3.1	1.3	19.9	1	11.81
11	0	0	0.32	0.3	10:22	40	0	40.33	-10.28	-57.85	31.8	27	13.3	12.5	2.8	14.9	2	11.83

Tablo 3.2 Ölçüm Yapılan Düşeydeki Bir Noktanın Anlık Hızlarını Gösteren *.Dat* Dosyası

	Y	M	D	H	M	S	u error	v error	w error	u cm/s	v cm/s	w cm/s
1	2005	5	28	9	3	4	0.17	-0.09	3.37	32.7	39.6	40.8
1	2005	5	28	9	3	5	0.01	0.08	-0.34	37	53.3	49
1	2005	5	28	9	3	6	-1	-0.09	-0.01	37.4	51.2	46.4
1	2005	5	28	9	3	7	0.56	0.11	1.66	37	53.8	48.6
1	2005	5	28	9	3	8	1.05	-0.24	-0.84	34.8	52.9	50.7
1	2005	5	28	9	3	9	-0.55	-0.04	-0.06	34.8	53.3	52.5
1	2005	5	28	9	3	10	-0.39	-0.09	-0.83	34.8	53.3	51.6
1	2005	5	28	9	3	11	0.21	-0.22	-0.88	34	54.2	52.5
1	2005	5	28	9	3	12	-0.69	-0.05	-0.82	35.3	54.6	54.2
1	2005	5	28	9	3	13	-0.14	0.05	0.21	34.8	54.6	53.8
1	2005	5	28	9	3	14	-0.39	0.02	1.04	36.1	55.5	54.2
1	2005	5	28	9	3	15	-0.36	-0.05	-0.17	33.1	53.3	53.3
1	2005	5	28	9	3	16	-0.69	0.04	0.66	34	55	52.9
1	2005	5	28	9	3	17	-0.63	0.04	-0.14	34	54.2	53.3
1	2005	5	28	9	3	18	-0.39	0.05	0.06	35.3	55.5	54.6
1	2005	5	28	9	3	19	0.27	-0.01	1.09	32.3	53.8	53.8
1	2005	5	28	9	3	20	-0.72	0.17	0.35	35.3	53.3	54.2
1	2005	5	28	9	3	21	0.19	0.16	-0.04	34.4	54.6	54.2
1	2005	5	28	9	3	22	-0.34	0.08	0.67	34	54.6	54.2
1	2005	5	28	9	3	23	0.42	-0.05	0.59	35.7	53.8	52.9
1	2005	5	28	9	3	24	0.4	-0.08	-0.01	34	52.9	50.7
1	2005	5	28	9	3	25	-0.37	0.19	1.37	37	55.5	51.6
1	2005	5	28	9	3	26	0.35	-0.04	0.28	41.3	59.8	51.2
1	2005	5	28	9	3	27	-0.45	-0.01	-1.01	41.7	58.9	50.7
1	2005	5	28	9	3	28	-0.16	0.04	0.3	44.7	69.7	74
1	2005	5	28	9	3	29	-0.02	0	-0.02	60.6	74.4	71.4
1	2005	5	28	9	3	30	0.29	0.33	-0.02	59.8	74	71.8
1	2005	5	28	9	3	31	0.07	-0.02	-0.12	53.8	73.1	72.2
1	2005	5	28	9	3	32	0.05	-0.01	0.09	55.9	72.2	70.5
1	2005	5	28	9	3	33	-0.12	0.03	-0.01	53.8	72.7	70.1
1	2005	5	28	9	3	34	-0.06	0	-0.03	48.6	72.7	72.2
1	2005	5	28	9	3	35	-0.04	0	0.07	50.3	72.2	71.4
1	2005	5	28	9	3	36	0.01	-0.03	-0.22	46.4	70.1	73.5
1	2005	5	28	9	3	37	-0.01	-0.02	-0.04	45.2	70.9	73.1
1	2005	5	28	9	3	38	0.17	-0.06	-0.25	46	70.5	73.1
1	2005	5	28	9	3	39	0.21	0.01	0.1	46.4	70.1	73.5
1	2005	5	28	9	3	40	0.25	-0.07	-0.33	46	70.1	73.5
1	2005	5	28	9	3	41	-0.22	0.03	0.13	45.2	70.5	73.5
1	2005	5	28	9	3	42	-0.14	0.05	0.24	44.3	71.4	71.8
1	2005	5	28	9	3	43	0.13	-0.04	-0.18	44.3	70.9	72.2

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

```

File -----
File size (bytes) ----- 22760
Number of bursts ----- 14
Time of first burst ----- 2005/05/28 09:47:08
Time of last burst ----- 2005/05/28 10:05:12
Flow Tracker 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
Flow Tracker 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

```

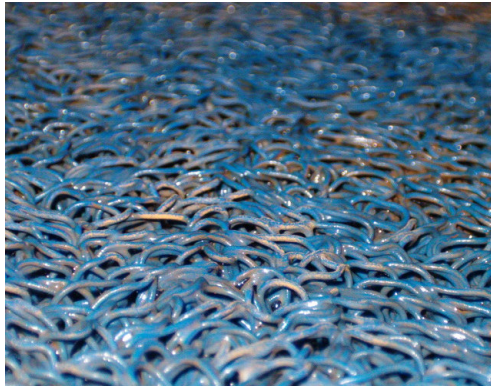
Tablo 3.4 Ortalama u,v ve w değerlerini veren

.sum dosyası (cm/s)

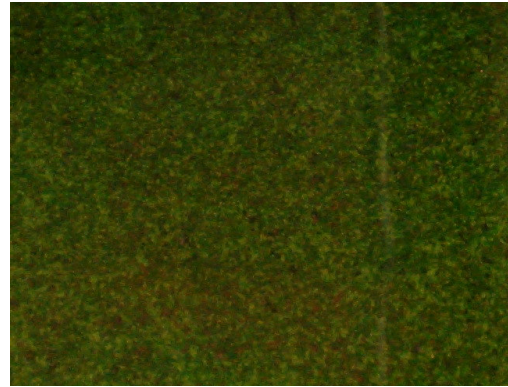
u	v	w
(cm/s)	(cm/s)	(cm/s)
19.7129	12.0786	28.684
22.5034	11.4573	27.8911
21.3920	12.3271	20.7537
18.8180	13.8581	19.7984
21.4957	13.0984	23.2874
21.3161	13.6912	23.2056
23.2359	13.0767	20.7146
23.6716	12.9245	20.7659
18.4471	14.4037	17.5911
17.0167	9.1362	71.5805
16.5888	9.7685	189.0058

3.1.4. Cilalı ve Pürüzlü Deneylerdeki Akımlar

Açık kanal modelinde cilalı ve pürüzlü akım şartlarında deneyler yapılmıştır. Pürüzsüz (Cilalı) akım şartı olarak taban ve yan duvarları cam olan kanal yüzeyi kullanılmıştır. Pürüzlü yüzey oluşturmak amacıyla kanal başından itibaren tabana birinci pürüzlükte $k=10$ mm olan plastik mavi paspas, ikinci pürüzlülük için $k=7$ mm olan plastik yeşil paspas serilmiştir. Şekil 3.7 (a) ve (b)'de kanal tabanına serilen iki farklı pürüzlülük malzemesi görülmektedir.



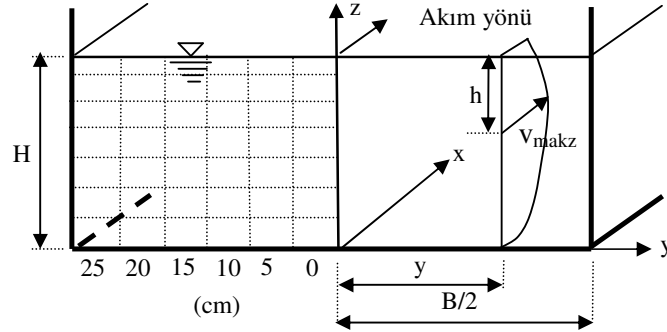
(a)



(b)

Şekil 3.7. (a) $k=10$ mm (b) $k=7$ mm Olan Kanal Pürüzlendirme Malzemeleri

Tüm akım şartları için sınır tabakasının gelişmiş olduğu bölgede kanal orta kesitinden başlayarak ($y=0$) duvara doğru 5'er cm arayla 6 farklı düşeyde enkesit hız ölçümleri yapılmıştır (Şekil 3.8).



Şekil 3.8. Laboratuvar Hız Ölçümlerinin Yapıldığı Kesit

Cilalı ve pürüzlü akım şartlarında pompa çıkışındaki vana aracılığı 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. 3 farklı pürüzlü yüzey durumunda (Cilalı, 1. Pürüzlülük ve 2. Pürüzlülük) 6'şar farklı akım şartında toplam 18 deney yapılmıştır. Tablo 3.5'te ele alınan cilalı akım şartları, Tablo 3.6 da birinci pürüzlülük akım şartları ve Tablo 3.7'de ikinci pürüzlülük 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, u_{mak} (m/s): enkesitteki maksimum hız, $Re\left(=\frac{4VR}{\nu}\right)$

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

Tablo 3.5 Pürüzsüz (Cilalı) Deney Akım Şartları

Test	Q (lt/s)	H (cm)	S	B/H	V=Q/A (m/s)	u _{mak} (m/s)	Re	Fr	L (m)
CQ10	10.10	4.4	0.0002	13.51	0.379	0.344	25858	0.29	2.95
CQ15	14.92	6.5	0.0002	9.23	0.383	0.437	55646	0.37	3.97
CQ20	20.00	8.0	0.0002	7.50	0.417	0.490	82441	0.42	4.51
CQ25	25.40	8.3	0.0002	7.23	0.510	0.566	98253	0.48	4.60
CQ30	29.83	9.5	0.0002	6.32	0.523	0.587	121781	0.50	4.90
CQ40	39.94	11.0	0.0002	5.45	0.605	0.699	162619	0.55	5.13

Tablo 3.6 Birinci Pürüzlülükte Deney Akım Şartları (k=10 mm)

Test	Q (lt/s)	H (cm)	S	B/H	V=Q/A (m/s)	u _{mak} (m/s)	Re	Fr	L (m)
P1Q10	10.15	6.6	0.0002	9.09	0.256	0.301	41378	0.27	4.01
P1Q15	14.97	8.4	0.0002	7.14	0.297	0.369	54198	0.26	4.63
P1Q20	20.01	10.9	0.0002	5.50	0.306	0.390	76101	0.26	5.12
P1Q25	24.94	12.7	0.0002	4.72	0.327	0.410	98813	0.28	5.21
P1Q30	30.28	14.5	0.0002	4.14	0.348	0.400	101996	0.25	5.09
P1Q40	39.96	17.6	0.0002	3.41	0.378	0.424	128107	0.25	4.38

Tablo 3.7 İkinci Pürüzlülükte Deney Akım Şartları (k=7 mm)

Test	Q (lt/s)	H (cm)	S	B/H	V=Q/A (m/s)	u _{mak} (m/s)	Re	Fr	L (m)
P2Q10	10.32	12.9	0.0002	4.7	0.133	0.235	22157	0.06	5.21
P2Q15	15.15	14.1	0.0002	4.3	0.179	0.218	46007	0.12	5.13
P2Q20	20.10	15.8	0.0002	3.8	0.212	0.267	54942	0.12	4.86
P2Q25	25.16	17.1	0.0002	3.5	0.245	0.293	86828	0.18	4.53
P2Q30	30.18	17.7	0.0002	3.4	0.284	0.523	86127	0.17	4.34
P2Q40	40.43	20.1	0.0002	3.0	0.335	0.394	118839	0.20	3.36

Sınır tabakasının gelişme bölgesinin belirlenmesi amacıyla Kırkgöz ve Ardıçlıoğlu tarafından önerilen (3.2) ifadesi kullanılmıştır [19]. Bu ifade aşağıdaki gibi tanımlanmış olup tüm akım şartlarında hesaplanan sınır tabakası gelişme bölgesi Tablo 3.5, 3.6 ve 3.7’de onuncu sütunda verilmiştir.

$$\frac{L}{H} = 76 - 0.0001 \frac{Re}{Fr} \quad (3.2)$$

Tablodan görüleceği üzere ele alınan akım şartlarında sınır tabakasının gelişme boyu sırasıyla cilalı yüzeyler için $L=2.95-5.13$ m, 1. pürüzlü akım şartlarında $L=4.01-5.21$ m ve 2. pürüzlü akım şartlarında $L=3.36-5.21$ m olmaktadır. Kanal kesitinin enkesit hız ölçümlerinin yapıldığı 6. metrede tüm akım şartları için sınır tabakasının gelişmiş olduğu belirlenmiştir.

Ayrıca Ardıçlıoğlu ve Öztürk tarafından pürüzsüz akımlar için sınır tabakasının gelişme bölgesi incelenmiş ve sınır tabakasının $30 H$ ile $65 H$ arasında geliştiği ifade edilmiştir [38]. Buradaki pürüzsüz akım için sınır tabasının $46 H$ ile $67 H$ arasında olduğu hesaplanmıştır.

3.1.5 Hız Ölçümleri

Laboratuar kanalında hız ölçümleri kanal taban eğimi 0.0002 için gerçekleştirilmiştir. Tüm akım durumlarında kanal sonunda bulunan keskin kenarlı dikdörtgen savak yardımı ile üniform akım şartları elde edilmiştir. Kanalda istenilen debinin elde edilmesi amacıyla devridaim pompası çıkışındaki vana açılarak akımın debisi ayarlanmıştır. Kanala su veren depodaki seviye sabitlenecek şekilde memba vanası ayarlanarak düzenli akım elde edilmiştir. Sınır tabakasının geliştiği bölge olan kanal başından itibaren $x=6.0$ m’de enkesit hız ölçümleri yapılmıştır. Prizmatik kanallarda akım simetrik kabul edilebilmektedir [39]. Bu nedenle hız ölçümleri kanal 6. m, enkesiti üzerinde kanal ortasından itibaren duvara yaklaşılabilen en son kesit olan $y=25$ cm’ye kadar 6 farklı düşeyde yapılmıştır. Noktasal hız ölçümleri her bir düşeyde hız ölçen aletin (ADV) tabana temas ettiği durumda ölçüm başlığının orta ekseninin katı sınırdan uzaklığı olan $z=0.9$ cm’den başlayarak 0.6 cm arayla ölçülebilen su yüzeyine en yakın mesafeye kadar gerçekleştirilmiştir. Datalar ADV tarafından kaydedilen *.dis* dosyalarından elde edilmiştir.

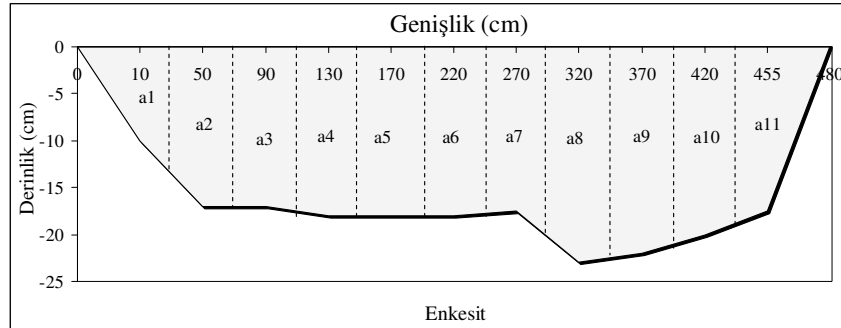
3.2 Arazi Çalışmaları

Çalışma alanı Kayseri ili sınırları içerisinde Orta Kızılırmak Havzası'nda ve Kızılırmak Nehri'nin yan kollarından olan Sarımsaklı Suyu üzerinde yer almaktadır. Sarımsaklı Suyu üzerinde sulama ve taşkın amaçlı Sarımsaklı Barajı 1968 yılında işletmeye açılmıştır. Yılda ortalama $63 \times 10^6 \text{ m}^3$ akımı düzenleyerek yaklaşık $45 \times 10^6 \text{ m}^3$ lük su ile Sarımsaklı ovasında sulama yapmaktadır. Drenaj alanı içerisinde Bünyan ilçesi yakınında Paleozoik yaşlı kireçtaşlarından çıkararak ovayı kuzey doğudan güney doğuya doğru boydan boya kat eden sarımsaklı suyu Kızılırmak'a dökülmektedir [40].

Arazi ölçümleri 2 farklı tarihte ve 3 farklı kesitte sarımsaklı suyu üzerinde, Sarımsaklı barajının mansabında gerçekleştirilmiştir. Barsama mevkiinde Sarımsaklı suyu üzerindeki kesit "Barsama suyu" ve hemen yakınında bulunan kaplamasız sulama kanalında "Barsama sulama kanalı" olarak isimlendirilmiştir. Bu kesitlerin 500 m mansabında seçilen 3 kesit ise "Sarımsaklı suyu" olarak adlandırılmıştır.

3.2.1 Sarımsaklı Suyu

Sarımsaklı baraj mansabının yaklaşık 2 km güneyinde, Şekil 3.9 ve 3.10'da gösterilen Sarımsaklı Suyu üzerinde ölçümler 16/06/2004 tarihinde yapılmıştır. Ölçüm yapılan kesit geometrisi belirlenerek, enkesit üzerinde Şekil 3.9'da gösterilen 11 istasyonda (S1-S11) derinlik boyunca hız ölçümleri gerçekleştirilmiştir. 11 istasyonda yapılan hız ölçümleri Tablo 3.8'de verilmiştir



Şekil 3.9. Sarımsaklı Suyu'nda Ölçüm Yapılan Enkesit



Şekil 3.10. Sarımsaklı Suyu'nun Hız Ölçümü Alınan Kesiti

Tablo 3.8 Sarımsaklı Suyu Hız Ölçüm Değerleri

u (cm/s)											
h(cm)	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11
2.0	30.87	40.71	21.91	59.95	58.55	36.27	61.47	44.64	64.04	14.07	48.41
4.0	24.82	42.19	65.96	62.44	73.13	42.55	68.26	58.10	72.48	37.54	46.91
6.0	19.95	66.26	80.38	71.85	73.54	60.70	73.35	78.89	71.90	58.96	56.13
8.0	20.90	69.45	86.94	99.69	89.12	65.68	80.60	89.62	87.31	62.03	56.26
10.0	23.27	73.00	91.69	105.56	94.40	72.74	89.57	109.15	92.00	66.48	54.85
12.0		74.09	99.10	105.18	101.79	80.96	97.89			77.75	52.09
14.0		75.62	105.77	106.00	105.72	85.56	101.41	118.93	107.70	84.46	42.51
16.0		77.18	108.00	107.00	106.74	92.92	103.85				
17.0		78.00	110.00	108.00							
17.5							105.00				40.00
18.0					108.00	98.00		119.84	122.19	91.22	
20.0								121.00	124.70	97.00	
22.0									126.00		
23.0								122.00			

Akarsularda debi ölçümleri; doğrudan debi ölçümleri veya hız-alan ölçümüne dayanan yöntemler kullanılarak iki farklı şekilde yapılmaktadır. Doğrudan debi ölçüm yöntemlerinde debi, kolayca ölçülebilen bir veya iki değişken yardımıyla belirlenir. Doğrudan debi ölçüm yöntemlerinden bazıları; ağırlık ölçümü, manyetik akımölçerler, ventüri savakları şeklinde sıralanabilir. Hız-alan ölçüm yönteminde ise belirli bir kesitte akıtılan kütlelin o kesitteki hızı ile kesit alanı çarpılarak hesap yolu ile debi belirlenmesi esastır. Bu yüzden bu yöntemin en önemli yanı, hız ölçümüdür

Hız integrasyon yöntemi ile debi belirlenirken, kanal enkesiti düşey dilimlere bölünür. Her bir dilime ait ortalama hız derinlik boyunca ölçülen hızlardan;

$$\bar{v}_i = \frac{\sum a_i}{H} = \frac{\sum \frac{(v_{i-1} + v_i)}{2} H}{H} \quad (3.3)$$

ifadesi ile hesaplanabilir. Bu dilime ait debi; dilim genişliği (b_i), akım derinliği (H) ve dilime ait ortalama hız (\bar{v}_i) olmak üzere aşağıdaki gibi belirlenir.

$$q_i = b_i H \bar{v}_i \quad (3.4)$$

Kanal enkesiti üzerinden geçen debi; tüm dilimlerden geçen debilerin toplamından (3.5) ifadesi yardımı ile hesaplanabilir.

$$Q = \sum_{i=1}^n q_i = \sum_{i=1}^n b_i H \bar{v}_i \quad (3.5)$$

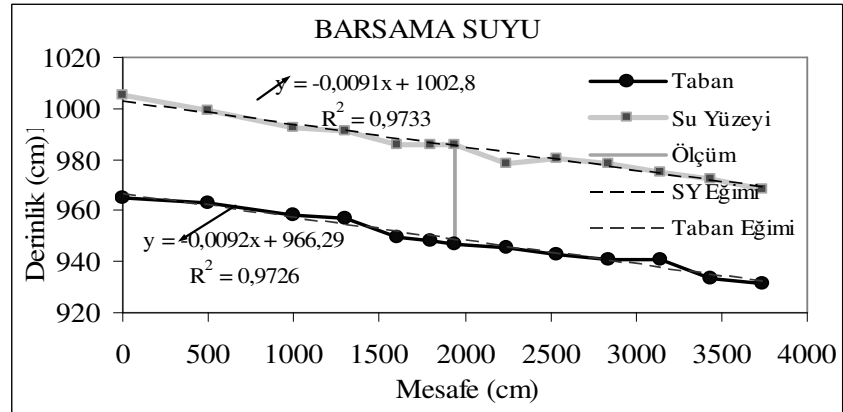
Ele alınan kesit Şekil 3.9'da gösterildiği gibi dilimlere bölünerek bu dilimlerin toplam alanı $A=0.854 \text{ m}^2$ olarak hesaplanmıştır. (3.3) ifadesi yardımı ile her bir dilimden geçen akımın ortalama hızı belirlenerek (3.4) ifadesi yardımı ile dilim debileri ve (3.5) ifadesi ile de enkesitten geçen debi $Q=0.648 \text{ m}^3/\text{s}$ olarak hesaplanmıştır. Söz konusu akıma ait Froude sayısı $Fr=0.163$ ve Reynolds sayısı $Re=119806$ olarak belirlenmiştir. Görüleceği üzere akım kritik altı-nehir rejiminde ve türbülanslı akım durumundadır.

3.2.2 Barsama Suyu

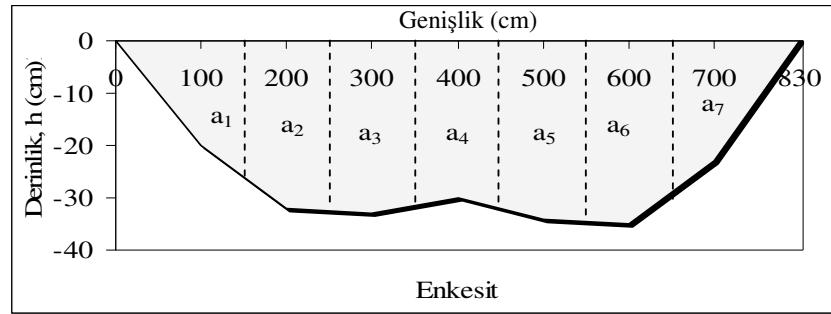
Barsama kesitine ait ölçümler 28/05/2005 tarihinde yapılmıştır. Seçilen kesite ait resim Şekil 3.11’de görülmektedir. Kanal taban eğiminin belirlenmesi amacıyla ölçüm yapılan kesitin menba ve mansap taraflarında kanal taban ve su yüzü kotları belirlenerek Şekil 3.12’de gösterilmiştir. Şekilden görüleceği üzere ele alınan kesite ait ortalama derinlik $H=39$ cm olarak ölçülmüştür. Söz konusu kesite ait kanal taban ve su yüzü eğimleri doğrusal regresyon ile belirlenerek sırasıyla $St=0.0092$ ve $Ss=0.0091$ olarak belirlenmiştir. Görüleceği üzere kesitteki akım üniform olmaktadır. Enkesit 7 dilime bölünerek her bir dilimde belirlenen istasyonlarda derinlik boyunca hızlar ölçülmüştür. Şekil 3.12’de enkesit ve dilimler verilmiş olup Tablo 3.9’da hız ölçüm değerleri verilmiştir.



Şekil 3.11. Barsama Suyu'nun Hız Ölçümü Alınan Kesiti



(a)



(b)

Şekil 3.12. (a) Barsama Suyu Arazi Eğimi (b) Ölçüm Yapılan Enkesit

Ele alınan kesite ait toplam alan $A=1.970 \text{ m}^2$ olarak hesaplanmıştır. Benzer şekilde (3.5) ifadesi ile de enkesitten geçen debi $Q=1.790 \text{ m}^3/\text{s}$ olarak hesaplanmıştır. Söz konusu akıma ait Froude sayısı $Fr=0.465$ ve Reynolds sayısı $Re=751806$ olarak belirlenmiştir. Görüldüğü gibi bu kesitte de akım kritik altı-nehir rejiminde ve türbülanslı durumundadır.

Tablo 3.9 Barsama Suyu Hız Ölçüm Değerleri

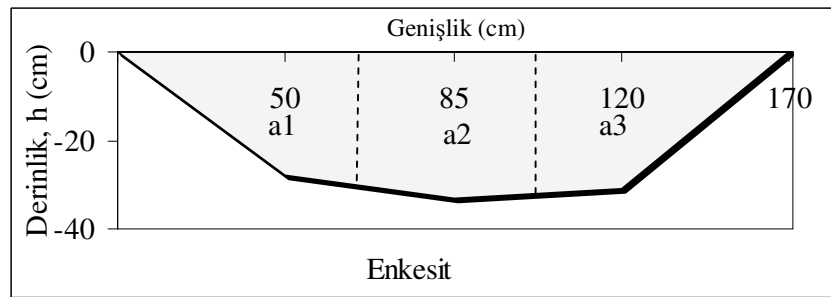
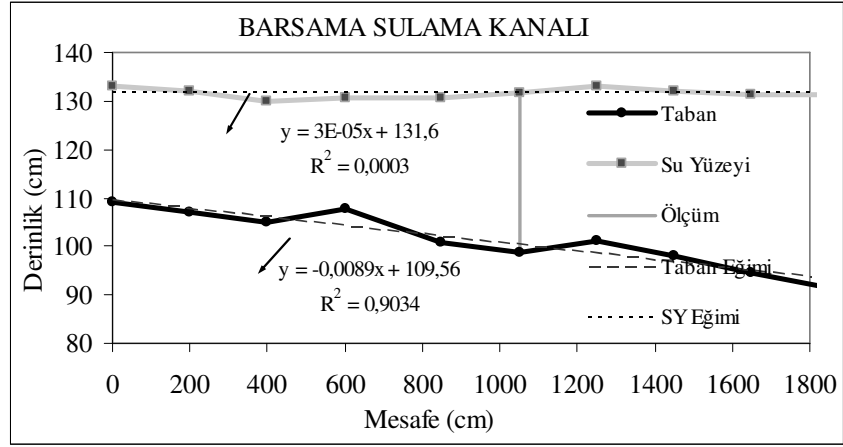
h (cm)	u (cm/s)						
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
2		50.1	37.3	70.1	25.1	32.9	
4	11.5	51.6	23.1	72.9	33.2	46.6	
6	13.9	60.5	50.9	82.8	44.2	58.0	45.2
8	44.7	80.8	67.2	94.8	55.1	62.7	61.4
10	65.1	98.0	77.5	100.8	62.1	73.8	76.7
12	78.9	106.1	91.6	111.4	72.3	87.2	77.6
16	95.2	120.1	95.6	116.1	87.1	100.6	94.9
20	99.9	133.6	103.7	125.2	113.2	114.2	106.1
22							106.6
23	99.2						107.0
24		131.8	112.1	127.9	122.3	118.8	
28		138.0	128.7	133.7	128.2	130.6	
30		128.7		130.0			
32			141.4		127.7	133.4	
33			139.1				
34					125.0	133.5	
35						135.9	

3.2.2 Barsama Sulama Kanalı

Barsama sulama kanalındaki ölçümler 28/05/2005 tarihinde gerçekleştirilmiştir. Seçilen kesite ait resim Şekil 3.13'te görülmektedir. Kanal taban eğiminin belirlenmesi amacıyla ölçüm yapılan kesitin menba ve mansap taraflarında kanal taban ve su yüzü kotları belirlenerek Şekil 3.14 (a) da gösterilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi ele alınan kesite ait ortalama derinlik $H=33$ cm olarak ölçülmüştür. Söz konusu kesite ait kanal taban ve su yüzü eğimleri doğrusal regresyon ile belirlenerek sırasıyla $St=0.0089$ ve $Ss=0.00005$ olarak belirlenmiştir. Enkesit 3 dilime bölünerek her bir dilimde belirlenen istasyonlarda derinlik boyunca hızlar ölçülmüştür. Şekil 3.14 (b)'de enkesit ve dilimler verilmiş olup Tablo 3.10'da hız ölçüm değerleri verilmiştir.



Şekil 3.13. Barsama Sulama Kanalı'nın Hız Ölçümü Alınan Kesiti



Şekil 3.14. (a) Barsama Sulama Kanalı Arazi Eğimi, (b) Ölçüm Yapılan Enkesit

Tablo 3.10 Barsama Sulama Kanalı Hız Ölçüm Değerleri

u (cm/s)			
h (cm)	S1	S2	S3
2	0.95	2.10	
4	11.33	23.24	26.74
6	11.35	32.23	34.99
8	12.61	35.62	40.41
10	13.28	38.62	41.18
12		42.42	
14	19.71		51.10
16		45.53	
18	24.83		60.53
20		48.29	
22	30.35		64.79
24		53.37	
26	34.41		68.40
28	37.65	55.64	
30		56.17	67.84
31			67.00
32		54.78	
33		54.00	

Ele alınan kesite ait toplam alan $A=0.366 \text{ m}^2$ olarak hesaplanmıştır. Benzer şekilde (3.5) ifadesi ile de enkesitten geçen debi $Q=0.137 \text{ m}^3/\text{s}$ olarak hesaplanmıştır. Söz konusu akıma ait Froude sayısı $Fr=0.207$ ve Reynolds sayısı $Re=134520$ olarak belirlenmiştir. Görüldüğü gibi bu kesitte de akım kritik altı-nehir rejiminde ve türbülanslı durumundadır

4. BÖLÜM

DENEYSEL BULGULAR ve TARTIŞMA

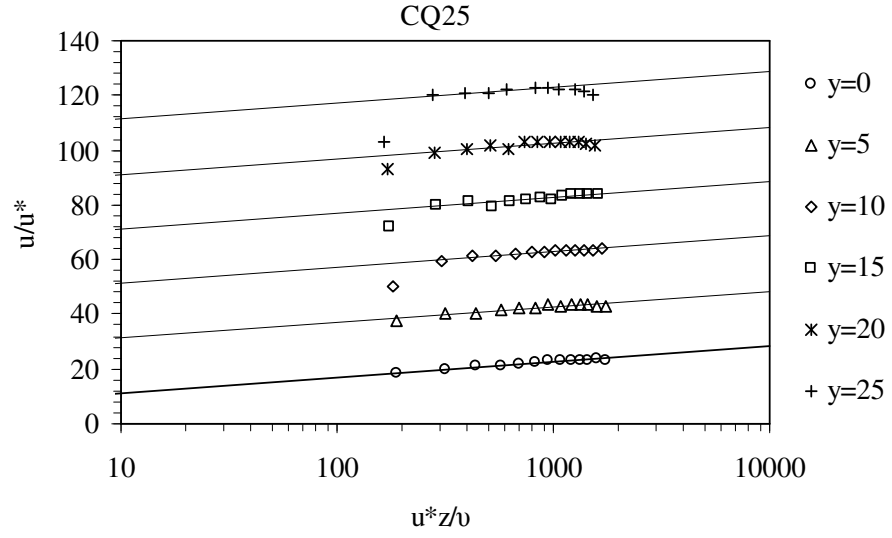
4.1. Laboratuvar Ölçümleri

4.1.1. Cilalı Akım Durumları

Bölüm 3, Tablo 3.5'te görüldüğü gibi cilalı akım durumlarına ait 6 farklı debide, sınır tabakasının gelişmiş olduğu belirlenen kanalın 6.m'de, enkesit hız ölçümleri yapılmıştır. Cilalı akımlara ait hız ölçümleri Ek-1'de verilmiştir. Ele alınan akımlara ait ölçümlerin literatürde verilen logaritmik dağılıma ve entropi yöntemi ile belirlenen hız dağılımı ifadelerine uygunluğu incelenecektir.

4.1.1.1. Logaritmik Hız Dağılımları

Ölçülen hız değerlerine ait logaritmik dağılımların belirlenmesi amacıyla (2.41) ifadesi ile verilen duvar dağılımındaki sabitler $A = 2.5$ ve $B_L = 5.5$ alınarak kayma hızları (u_*) her bir düşey için belirlenmiştir. Bu amaçla ele alınan CQ25 ölçümüne ait 6 farklı düşeye ait boyutsuz hızların grafiği çizilerek Şekil 4.1 de gösterilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi logaritmik ölçekte boyutsuz hız dağılımları $(u/u_*)-(u_*z/v)$ çizilerek iç bölgeye en iyi uyum sağlayan kayma hızları belirlenmiştir. Bütün cilalı akım şartlarına ait belirlenen kayma hızları Tablo 4.1'de verilmiştir.



Şekil 4.1. Cilalı Yüzeyde Yapılan CQ25 Ölçümüne Ait Boyutsuz Hız Dağılımları

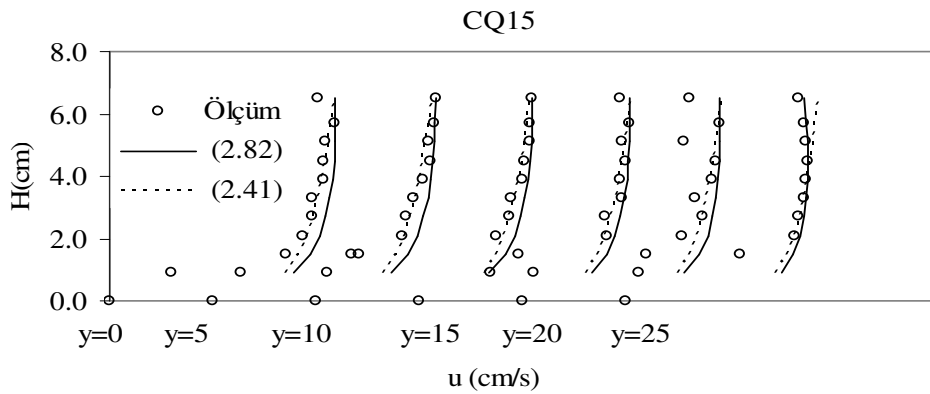
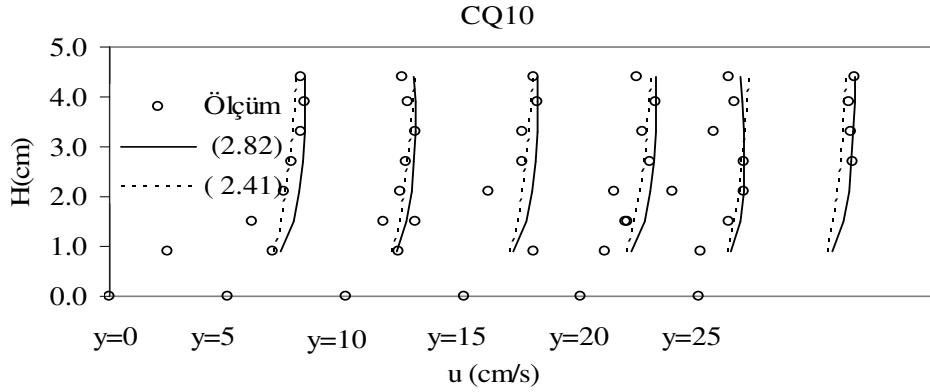
Tablo 4.1 Cilalı Akımlarda Kayma Hızları

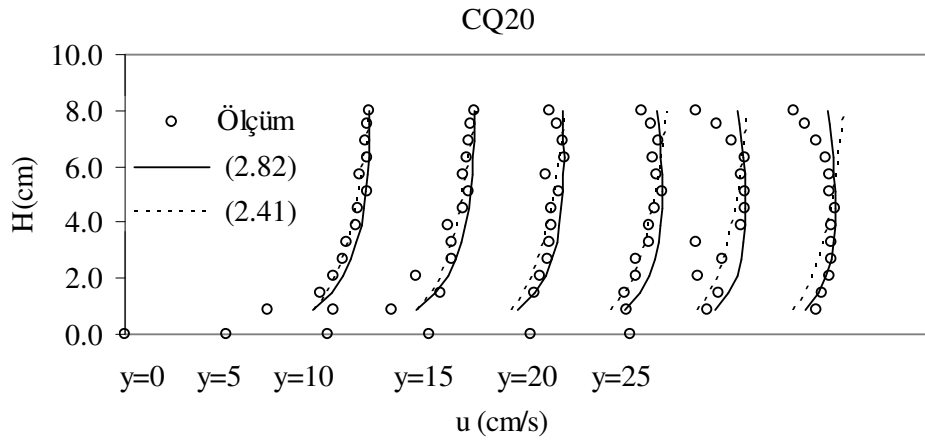
Ölçüm	u_* (m/s)					
	y=0	y=5	y=10	y=15	y=20	y=25
C10	0.0150	0.0150	0.0145	0.0145	0.0130	0.0125
C15	0.0190	0.0185	0.0182	0.0180	0.0170	0.0165
C20	0.0205	0.0208	0.0200	0.0200	0.0185	0.0180
C25	0.0240	0.0240	0.0230	0.0220	0.0215	0.0210
C30	0.0245	0.0245	0.024	0.0235	0.023	0.0217
C40	0.0275	0.0280	0.0270	0.0265	0.0262	0.0260

Ele alınan 6 pürüzsüz (cilalı) akım şartında logaritmik dağılımın geçerli olduğu bölgenin alt ve üst sınırı $146-383 < u_*z/v < 487-2432$ aralığında olmaktadır. Duvara yaklaştıkça iç bölgenin uzunluğu azalmakta duvara en yakın ölçüm yapılan $y=25$ cm kesitinde $205 < u_*z/v < 1437$ aralığında tanımlanabilmektedir.

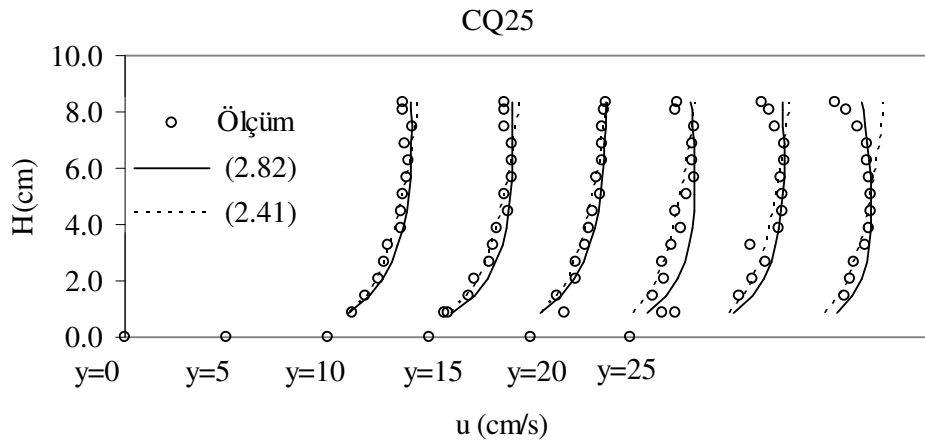
Cilalı akım şartlarında belirlenen kayma hızları (u_*) kullanılarak (2.41) ifadesinde verilen duvar kanunu yardımı ile enkesit hız dağılımları hesaplanmıştır. Şekil 4.2. (a)-(f) da 6 farklı cilalı akım durumunda derinlik boyunca ölçülen hızların dağılımı ve logaritmik yöntemle hesaplanan hız dağılımları gösterilmiştir. Kesit oranının (B/H) 13.5 olduğu CQ10 debisinde logaritmik dağılımın enkesit boyunca hızları daha iyi temsil ettiği belirlenmiştir. Kesit oranının $5.0 \leq B/H \leq 10.0$ aralığında son iki kesitte ($y=20, 25$ cm) dalmanın etkisi gözlenmiş olup, logaritmik dağılım bu dalmayı temsil etmediği gözlenmiştir. Benzer bulgular Ardiçlıoğlu'nun çalışmasında da belirlenmiştir [41].

Cilalı akımlar için (2.41) ifadesi yardımı ile hesaplanan tüm hız değerlerinin ölçüm değerleri ile ilişkisi Şekil 4.3. de gösterilmiştir. Şekil 4.3. de verilen ölçüm değerleri ile logaritmik dağılıma ait hesaplanan hızların birbirine yakın olduğu, $(u_{\text{ölçüm}} - u_{\text{log}}) / u_{\text{ölçüm}}$ ifadesi ile hesaplanan rölatif farkın % -3.4 olduğu belirlenmiştir.

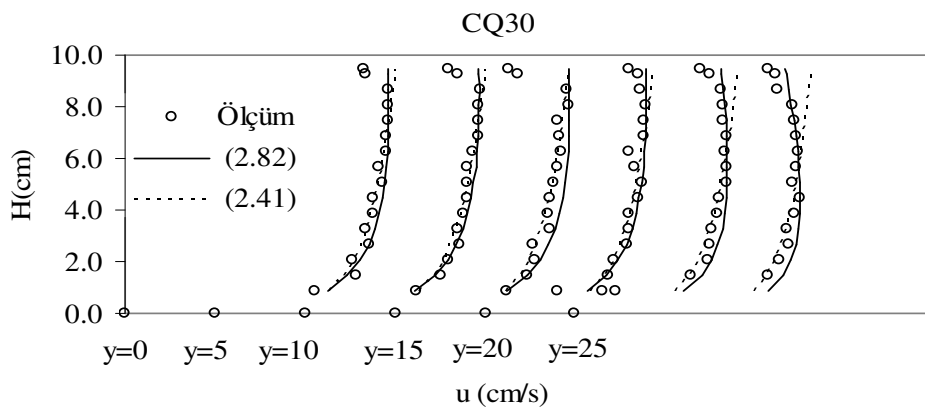




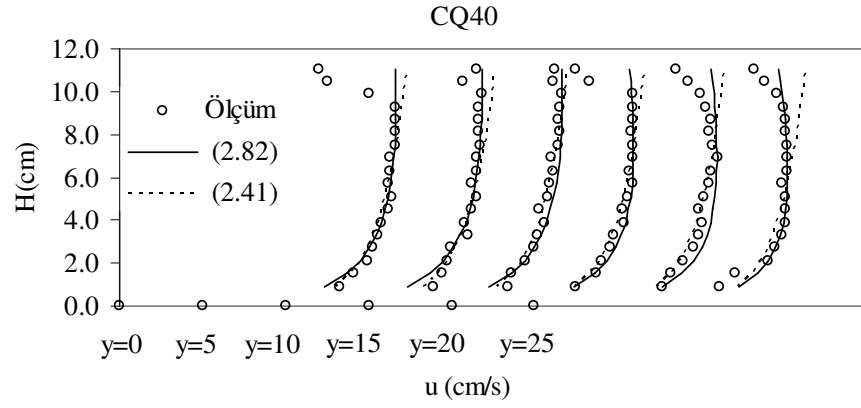
(c)



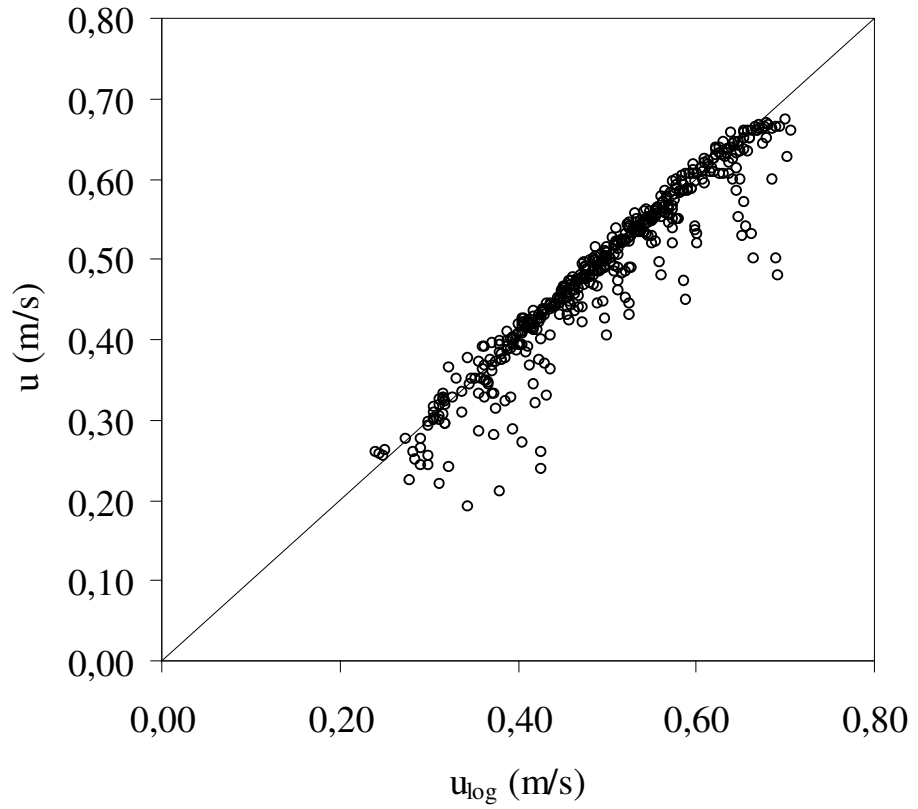
(d)



(e)



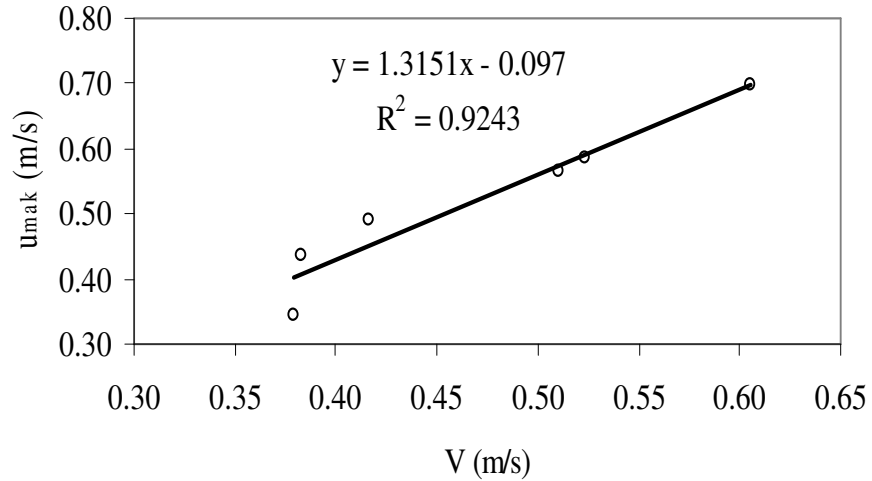
Şekil 4.2. Altı Farklı Cilalı Akım Durumunda Enkesit Hız Dağılımları



Şekil 4.3. Cilalı Akımlarda Ölçümler ile Logaritmik Hızların Karşılaştırılması

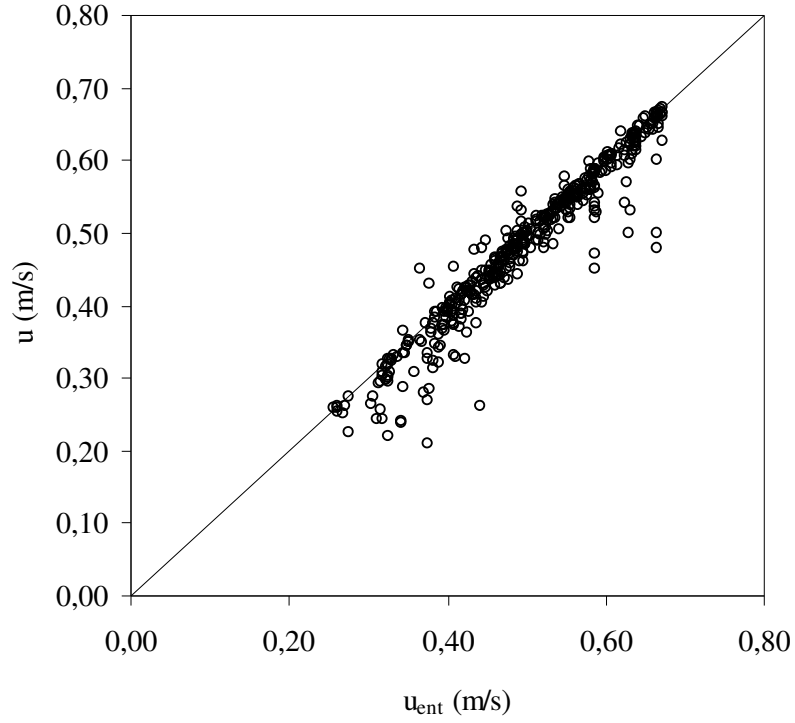
4.1.1.2. Entropi Hız Dağılımı

Chiu tarafından geliştirilen, Moramarco ve ark. [35] tarafından modifiye edilen (2.82) ifadesi kullanılarak entropi yöntemi incelenmiştir. Ele alınan pürüzsüz (Cilalı) 6 farklı akım şartına ait Tablo 3.5'te verilen $V - u_{\text{mak}}$ değerlerine bağlı olarak söz konusu kesit için entropi parametresi M , (2.78) ifadesi yardımı ile hesaplanmıştır. Tablo 3.1'de verilen her bir akıma ait ortalama hız ve maksimum hız arasındaki ilişki Şekil 4.4'te gösterilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi ele alınan kesit için $V - u_{\text{mak}}$ ilişkisi doğrusal olmakta ve $M=5.53$ olarak hesaplanmıştır. Her bir akım durumunda enkesit üzerinde ele alınan düşeyler için u_{mak} değerleri kullanılarak (2.82) ifadesi yardımı ile derinlik boyunca ölçüm noktalarındaki hızlar hesaplanmıştır. Şekil 4.2 (a)-(f)'de tüm ölçümlere ait hesaplanan entropi dağılımları görülmektedir. Entropi ifadesi ölçüm değerlerini iyi temsil edebilmektedir. Kesit oranının (B/H) 10.0'dan küçük olduğu akım durumlarında duvara yakın son iki kesit $y=20-25$ cm olan düşeylerde duvar katı sınırından etkilenen dalmanın daha iyi temsil edildiği gözlenmiştir.



Şekil 4.4. Cilalı Akım Şartlarına Ait $V - u_{\text{mak}}$ İlişkisi

Cilalı akımlar için (2.82) ifadesi yardımı ile hesaplanan tüm hız değerlerinin ölçüm değerleri ile ilişkisi Şekil 4.5'te gösterilmiştir. Şekil 4.5'te verilen ölçüm değerleri ile entropi yöntemiyle hesaplanan dağılıma ait hızların birbirine yakın olduğu, $(u_{\text{ölçüm}} - u_{\text{ent}}) / u_{\text{ölçüm}}$ ifadesi ile hesaplanan rölatif farkın % -3.9 olduğu belirlenmiştir.



Şekil 4.5. Cilalı Akımlarda Ölçümler ile Entropi Hızlarının Karşılaştırılması

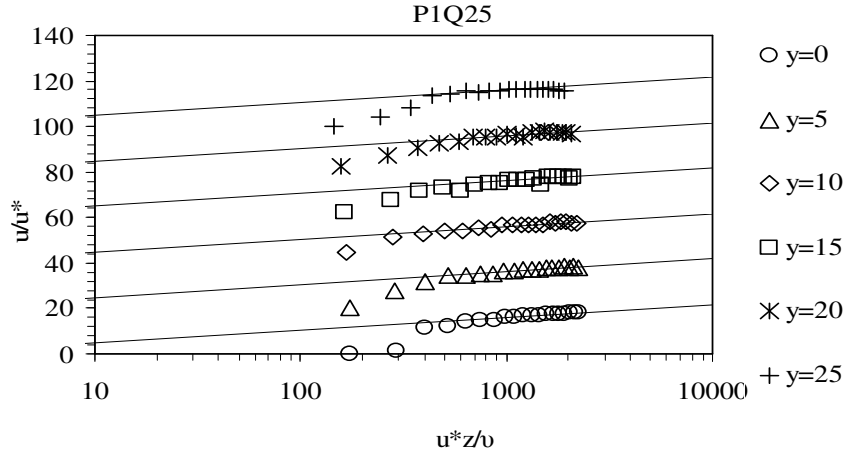
4.1.2. Pürüzlü Akım Durumunda Hız Dağılımları

4.1.2.1. Birinci Pürüzlülük Durumu ($k=10$ mm)

Pürüzlü akım şartını oluşturmak amacıyla kanal başından sonuna kadar pürüzlülük yüksekliği $k=10$ mm olan plastik paspas tabana serilmiştir (Şekil 3.6 (a)). Gerçekleştirilen akım şartlarına ait bilgiler Tablo 3.6'da verilmiştir. Sınır tabakasının gelişmiş olduğu bölge $x=6.0$ m'de 6 farklı düzeyde enkesit hız ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Birinci pürüzlü akım durumuna ait hız ölçümleri Ek-2'de verilmiştir. Ele alınan akımlara ait ölçümlerin literatürde verilen logaritmik dağılıma ve entropi yöntemi ile belirlenen hız dağılımı ifadelerine uygunluğu incelenecektir.

4.1.2.1.1. Logaritmik Hız Dağılımları

Her bir akım şartı ve enkesit üzerinde kayma hızlarının (u_*) belirlenmesi amacıyla Kırkgöz [19] da verilen logaritmik dağılım olan (2.58) ifadesi kullanılmıştır. Bu amaçla ele alınan P1Q25 ölçümünde 6 farklı düşeye ait boyutsuz hızların grafikleri çizilerek Şekil 4.6'da gösterilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi logaritmik ölçekte boyutsuz hız dağılımları $(u/u_*)-(u_*z/v)$ çizilerek iç bölgeye en iyi uyum sağlayan kayma hızları belirlenmiştir. Birinci pürüzlülükte P1Q25 ölçümüne ait kayma hızları Tablo 4.2'de verilmiştir. Diğer ölçümlere ait kayma hızları da benzer şekilde belirlenmiştir.



Şekil 4.6. P1Q25 Ölçümüne Ait Enkesit Üzerinde Ölçülen Boyutsuz Hız Dağılımları

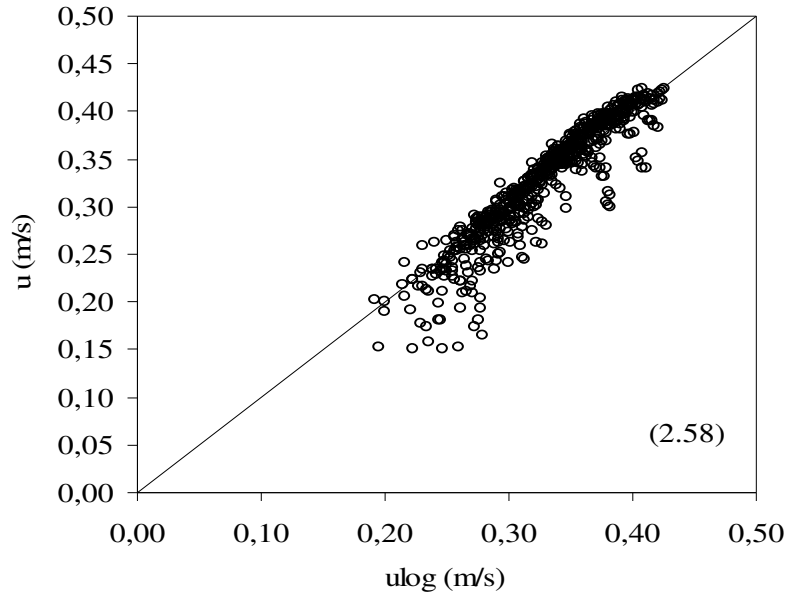
Tablo 4.2 Pürüzlü Akımlarda Kayma Hızları $k=10$ mm

Ölçüm	u_* (m/s)					
	y=0	y=5	y=10	y=15	y=20	y=25
P1Q10	0.0178	0.0181	0.0176	0.0173	0.0178	0.0171
P1Q15	0.0209	0.0206	0.0207	0.0180	0.0183	0.0179
P1Q20	0.0219	0.0216	0.0208	0.0203	0.0198	0.0187
P1Q25	0.0220	0.0218	0.0212	0.0207	0.0201	0.0185
P1Q30	0.0221	0.0218	0.0216	0.0208	0.0210	0.0172
P1Q40	0.0220	0.0228	0.0227	0.0225	0.0220	0.0205

Ele alınan $k=10$ mm olan, 6 pürüzlü akım şartında logaritmik dağılımın geçerli olduğu bölgenin alt ve üst sınırı $135-495 < u_*z/\nu < 495-2695$ aralığında olmaktadır. Duvara yaklaştıkça iç bölgenin uzunluğu azalmakta duvara en yakın ölçüm yapılan $y=25$ cm kesitinde $135 < u_*z/\nu < 2212$ aralığında tanımlanabilmektedir.

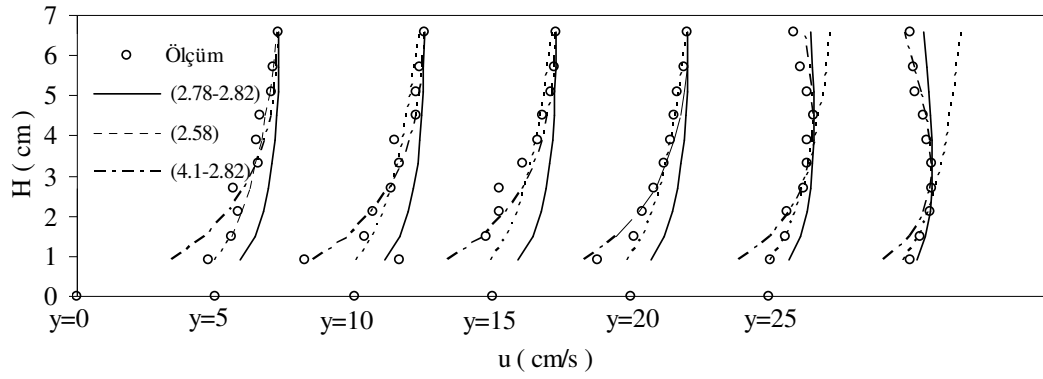
Pürüzlü akım şartlarında belirlenen kayma hızları (u_*) kullanılarak (2.58) ifadesinde Kırkgöz de verilen ifade yardımı ile enkesit hız dağılımları hesaplanmıştır [17]. Şekil 4.8 (a)-(f) da 6 farklı pürüzlü akım durumunda derinlik boyunca ölçülen hızların dağılımı ve logaritmik yöntemle hesaplanan hız dağılımları gösterilmiştir. Duvar yakınlarında cilalı akıma benzer dalma etkisi gözlenmiştir. Yüksek Reynolds sayılarında ($Re > 1 \times 10^6$) Kırkgöz'ün ifadesinin özellikle daha iyi sonuç verdiği belirlenmiştir.

Pürüzlü akımlar için (2.58) ifadesi yardımı ile hesaplanan tüm hız değerlerinin ölçüm değerleri ile ilişkisi Şekil 4.7 de gösterilmiştir. Şekil 4.7 de verilen ölçüm değerleri ile logaritmik dağılıma ait hesaplanan hızların birbirine yakın olduğu, $(u_{\text{ölçüm}} - u_{\text{log}}) / u_{\text{ölçüm}}$ ifadesi ile hesaplanan rölatif farkın % -1.9 olduğu belirlenmiştir. Logaritmik değerlerin ölçülen değerlerden daha büyük olduğu görülmüştür.



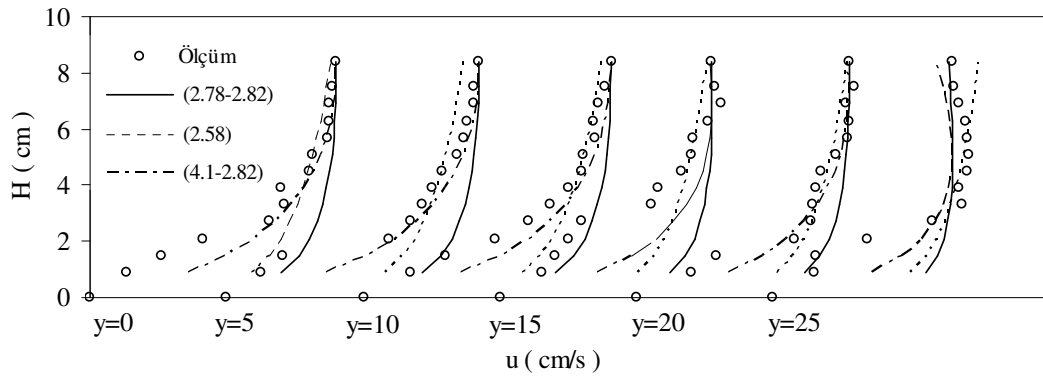
Şekil 4.7. Pürüzlü ($k=10$ mm) Akımlarda Ölçümler ile Logaritmik Hızlarının Karşılaştırılması

PIQ10



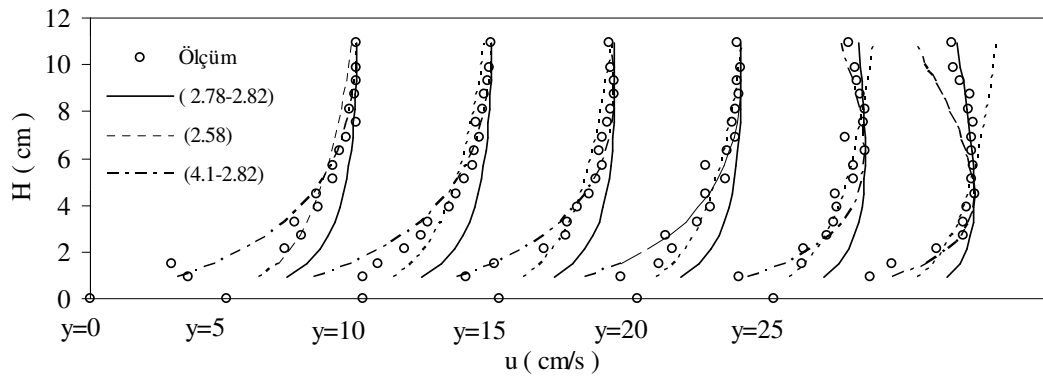
(a)

PIQ15

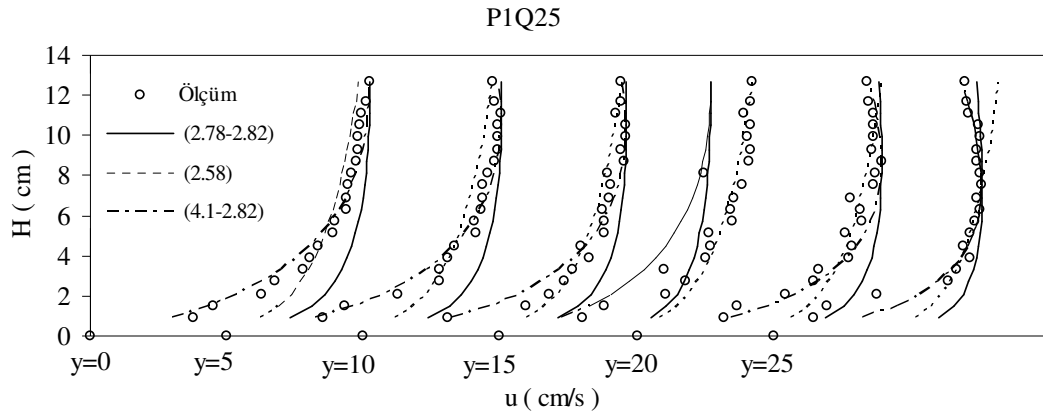


(b)

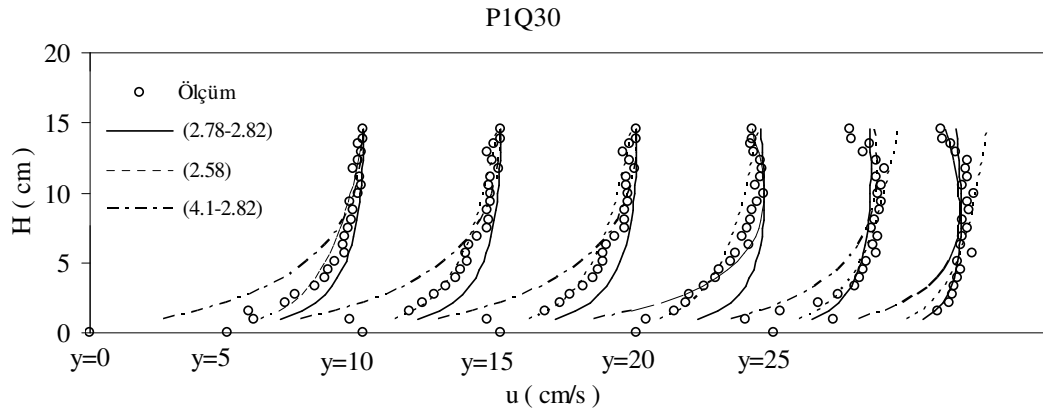
PIQ20



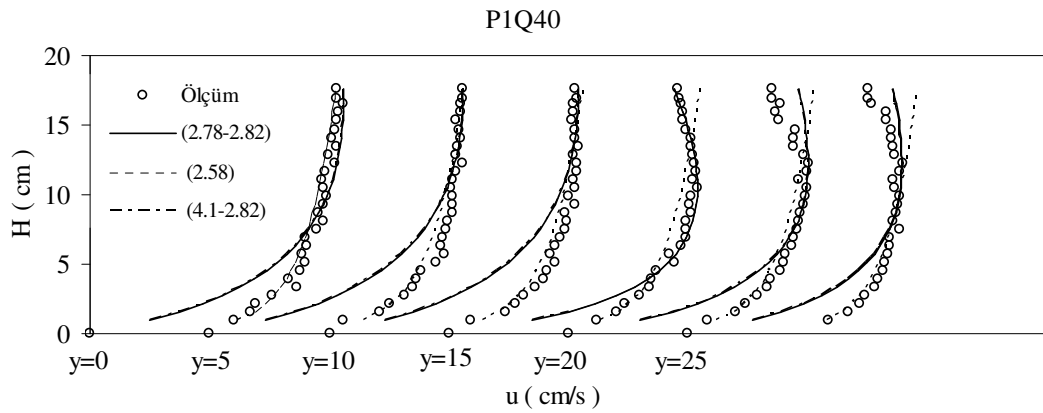
(c)



(d)



(e)

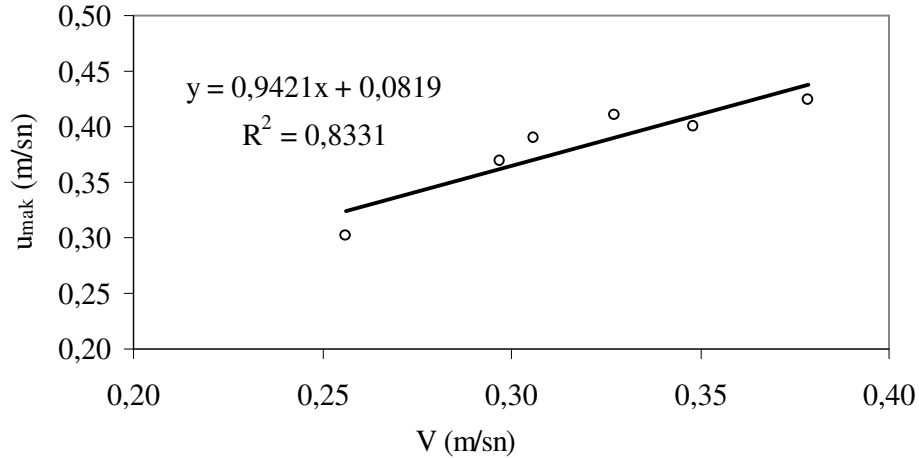


(f)

Şekil 4.8. Pürüzlü Akım Durumunda Enkesit Hız Dağılımları

4.1.2.1.2. Pürüzlü Akımlarda ($k=10$ mm) Entropi Hız Dağılımı

Chiu'nun geliştirmiş olduğu hız dağılım ifadesi pürüzlü akım durumlarında ele alınmıştır. Ele alınan birinci 6 farklı pürüzlü akım şartına ait Tablo 3.6'da verilen $V-u_{\text{mak}}$ değerlerine bağlı olarak söz konusu kesit için entropi parametresi M , (2.78) ifadesi yardımı ile hesaplanmıştır. Tablo 3.6'da verilen her bir akıma ait ortalama hız ve maksimum hız arasındaki ilişki Şekil 4.'da gösterilmiştir. Şekilden de görüldüğü gibi ele alınan kesit için $V-u_{\text{mak}}$ ilişkisi doğrusal olmakta ve $M=5.94$ olarak hesaplanmıştır. Her bir akım durumunda enkesit üzerinde ele alınan düşeyler için u_{mak} değerleri kullanılarak (2.82) ifadesi yardımı ile derinlik boyunca ölçüm noktalarındaki hızlar hesaplanmıştır. Şekil 4.8'de verilen dağılımlardan görüldüğü gibi entropi ifadesi katı sınır yakınlarında $z/H \approx 0.5$ yüksekliğine kadar ölçüm değerlerinden sapmaktadır. Katı sınırdan gelen yavaşlatma etkisi bu bölgede (2.78) denklemini yardımı ile bulunan entropi parametresi $M=5.9$ 'ün (2.82)'de kullanılması durumunda iyi sonuç vermemektedir. $z/H > 0.5$ bölgesinde ise oldukça iyi bir şekilde ölçüm hızlarını temsil edebilmektedir.



Şekil 4.9. Pürüzlü Akım Şartlarına Ait $V - u_{\text{mak}}$ İlişkisi

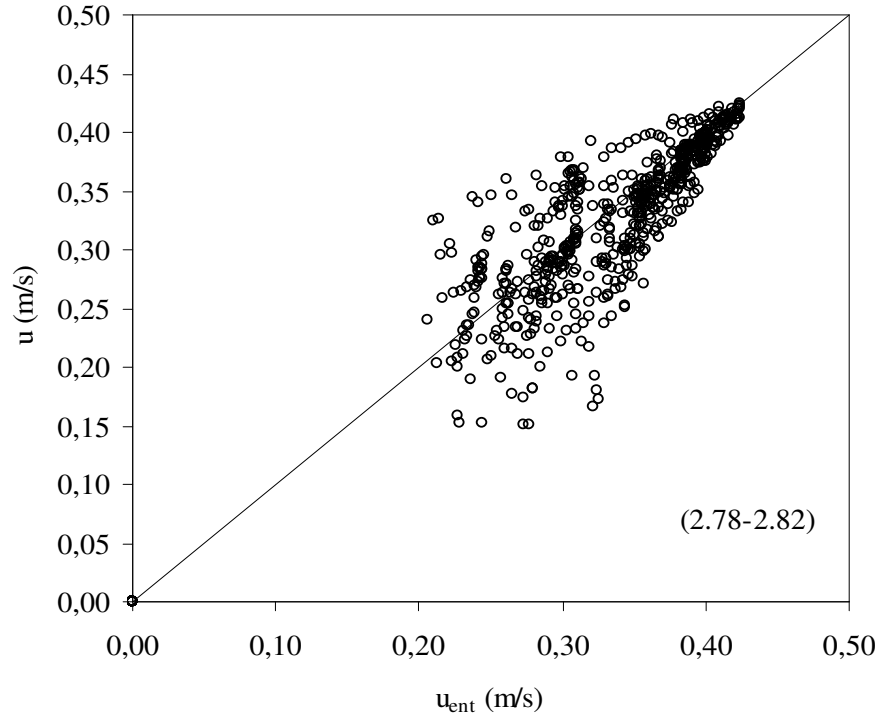
Katı sınır yakınındaki azalma etkisini yansıtabilmek için entropi parametresi M , (4.1) ifadesindeki gibi ele alınmıştır. Bu ifade tüm pürüzlü akımlar için belirlenen maksimum hızların ortalamasının enkesit ortalama hızlarına oranını göstermekte olup $M=1.2$ olarak belirlenmiştir. $M=1.2$ yardımı ile (2.82) ifadesinin kullanılması durumunda elde edilen hız dağılımları Şekil 4.8'de verilen örnek akımlara ait dağılımlar üzerinde gösterilmiştir.

Şekillerden görüldüğü gibi tüm akım derinliği boyunca hesaplanan hız dağılımları ölçüm değerlerini oldukça iyi temsil etmektedir.

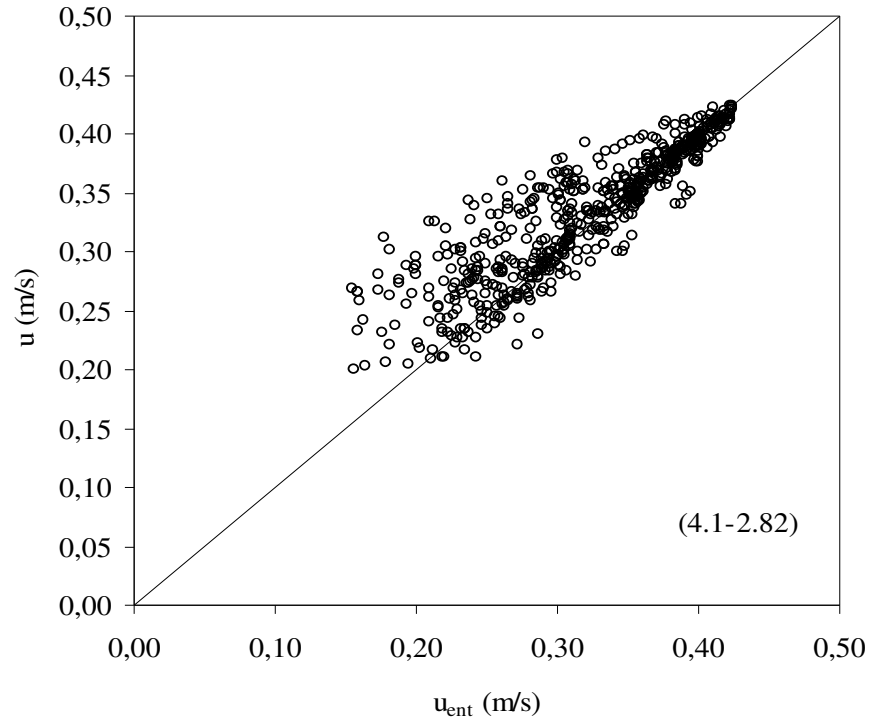
$$M = \frac{u_{\text{mak}}}{V} \quad (4.1)$$

Pürüzlü akımlar için (4.1)-(2.82), (2.78)-(2.82) ifadeleri yardımı ile hesaplanan tüm hız değerlerinin ölçüm değerleri ile ilişkisi Şekil 4.10 (a) (b) de gösterilmiştir.

Şekil 4.10 (a)' da verilen entropi yöntemi ile hesaplanan hızların, logaritmik dağılıma göre ölçüm hızlarından daha fazla saptığı belirlenmiştir. Entropi yönteminin ölçülen hızlardan yüksek değerler verdiği görülmektedir, Şekil 4.10 (b) ise (4.1) ifadesi yardımı ile hesaplanan M parametresinin (2.82) ifadesinde kullanılması durumunda ölçüm hızlarından daha küçük değerler verdiği belirlenmiştir. (4.1) ifadesi kullanılarak hesaplanan M parametresinin katı sınırlara yakın bölgedeki hızları daha iyi temsil ettiği ve (2.78) yardımı ile hesaplanan M parametresine göre daha iyi sonuçlar verdiği gözlenmiştir. Şekil 4.10 (a), (b)'de verilen ölçüm değerleri ile entropi hızlarının rölâtif farkları sırasıyla % -4.9 ve % -3.7 olduğu belirlenmiştir.



(a)



(b)

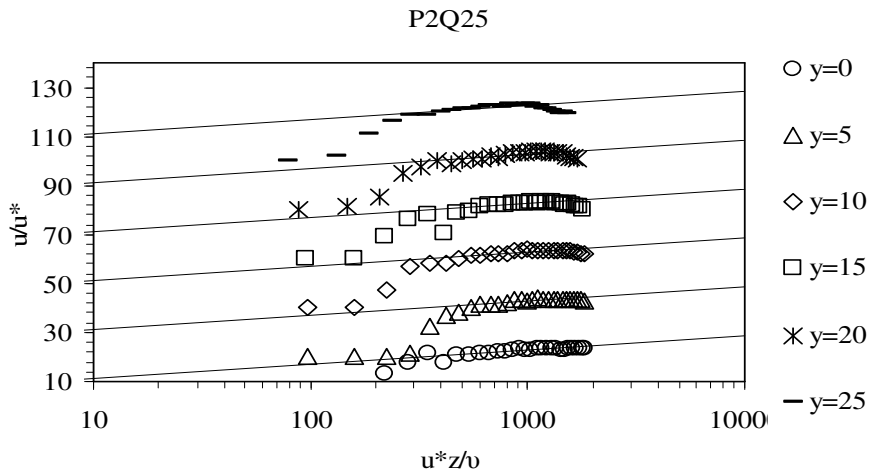
Şekil 4.10. Pürüzlü Akımlarda Ölçümler ile Entropi Hızların Karşılaştırılması

4.1.2.2. İkinci Pürüzlülük Durumu ($k=7$ mm)

İkinci pürüzlü akım şartını oluşturmak amacıyla kanal başından sonuna kadar pürüzlülük yüksekliği $k=7$ mm olan plastik paspas tabana serilmiştir (Şekil 3.7 (b)). Gerçekleştirilen akım şartlarına ait bilgiler Tablo 3,7'de verilmiştir. Sınır tabakasının gelişmiş olduğu bölge $x=6.0$ m'de 6 farklı düşeyde enkesit hız ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Bu pürüzlülüğe ait ölçülen hız değerleri Ek-3'de verilmiştir. Ele alınan akımlara ait ölçümlerin literatürde verilen logaritmik dağılıma ve entropi yöntemi ile belirlenen hız dağılımı ifadelerine uygunluğu incelenecektir.

4.1.2.2.1. Logaritmik Hız Dağılımları

Her bir akım şartı ve enkesit üzerinde kayma hızlarının (u_*) belirlenmesi amacıyla Kırkgöz [19]'da verilen logaritmik dağılım (2.58) kullanılmıştır. Bu amaçla ele alınan P2Q25 ölçümüne ait boyutsuz hızların grafiği çizilerek Şekil 4.11'de gösterilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi logaritmik ölçekte boyutsuz hız dağılımları $(u/u_*)-(u_*z/v)$ çizilerek iç bölgeye en iyi uyum sağlayan kayma hızları belirlenmiştir. İkinci pürüzlülükte ölçümlere ait kayma hızları benzer şekilde belirlenerek Tablo 4.3'te verilmiştir.



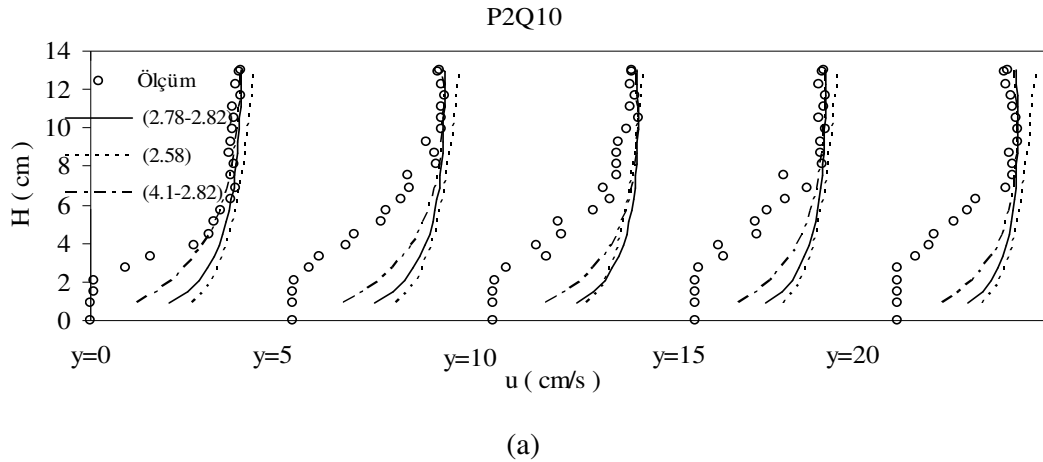
Şekil 4.11. İkinci Pürüzlülük Durumunda P2Q25 Ölçümüne Ait Hız Dağılımları

Tablo 4.3 Pürüzlü Akımlarda Kayma Hızları $k=7$ mm

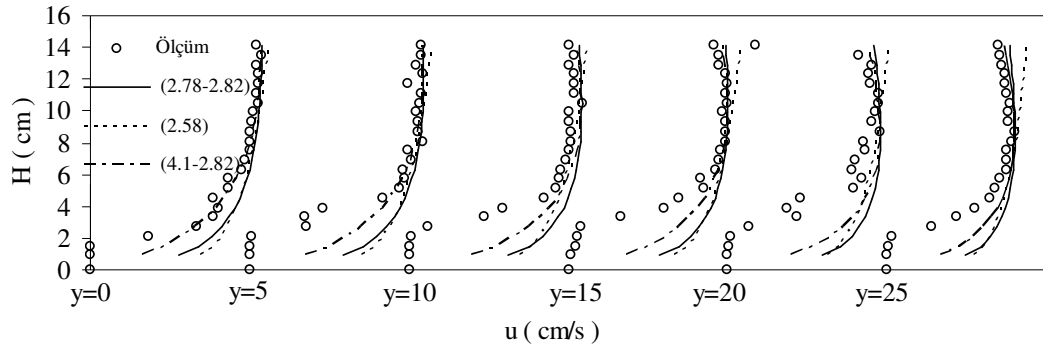
Ölçüm	u_* (m/s)					
	y=0	y=5	y=10	y=15	y=20	y=25
P2Q10	0.0055	0.0055	0.0051	0.0049	0.0048	0.0044
P2Q15	0.0092	0.0093	0.0109	0.0088	0.0097	0.0084
P2Q20	0.0104	0.0103	0.0101	0.0099	0.0095	0.0083
P2Q25	0.0120	0.0122	0.0122	0.0120	0.0112	0.0100
P2Q30	0.0127	0.0130	0.0131	0.0131	0.0129	0.0116
P2Q40	0.0150	0.0150	0.0150	0.0155	0.0151	0.0140

Ele alınan $k=7$ mm olan, 6 pürüzlü akım şartında logaritmik dağılımın geçerli olduğu bölgenin alt ve üst sınırı $188-718 < u_*z/\nu < 493-2645$ aralığında olmaktadır. Duvara yaklaştıkça iç bölgenin uzunluğu azalmakta ve duvara en yakın ölçüm yapılan $y=25$ cm kesitinde $209 < u_*z/\nu < 2100$ aralığında tanımlanabilmektedir.

Pürüzlü akım şartlarında belirlenen kayma hızları (u_*) kullanılarak (2.58) ifadesinde Kırkgöz'ün bulduğu ifade yardımı ile enkesit hız dağılımları hesaplanmıştır [17]. Şekil 4.12 (a)-(f)'de 6 farklı pürüzlü akım durumunda derinlik boyunca ölçülen hızların dağılımı ve logaritmik yöntemle hesaplanan hız dağılımları gösterilmiştir. Duvar yakınlarda cilalı akıma benzer dalma etkisi gözlenmiştir. Yüksek Reynolds sayılarında ($Re > 1 \times 10^6$) özellikle Kırkgöz'ün ifadesinin daha iyi sonuç verdiği belirlenmiştir [20].

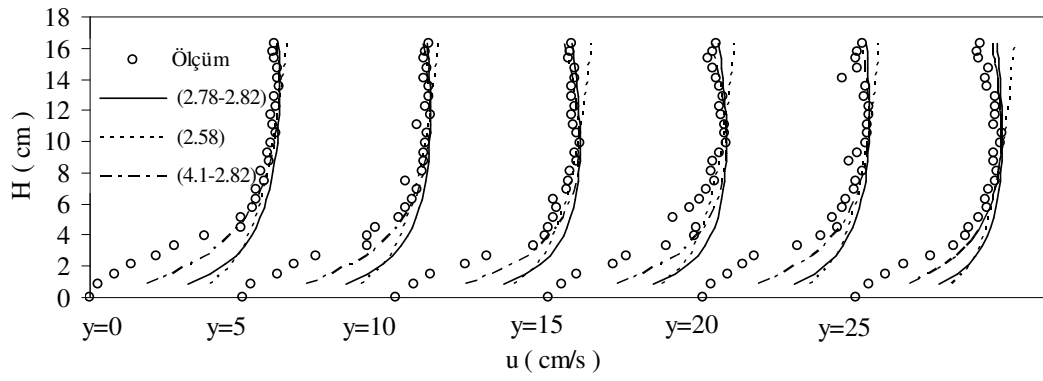


P2Q15



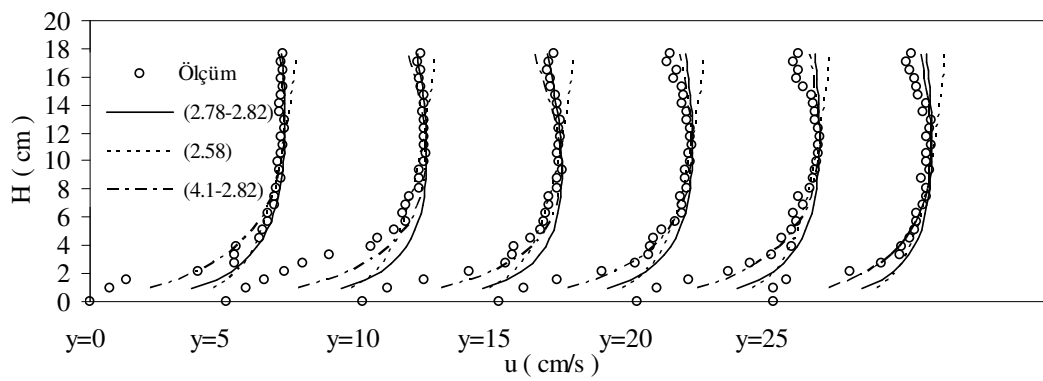
(b)

P2Q20

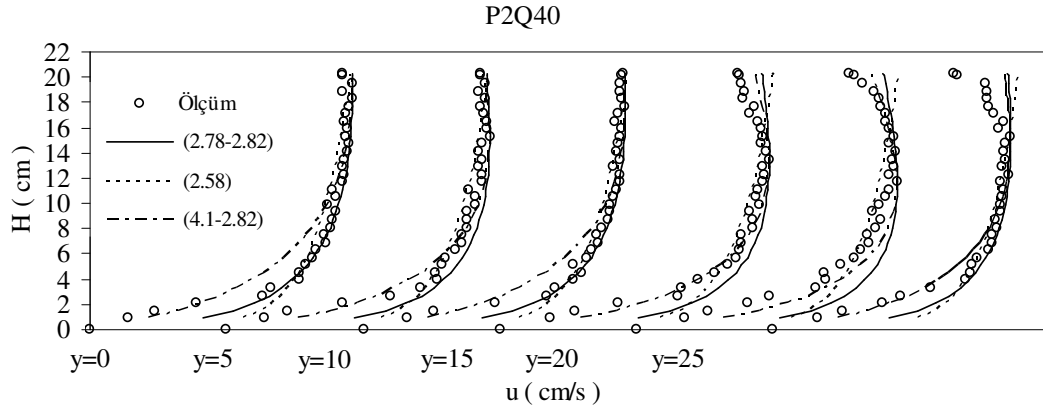
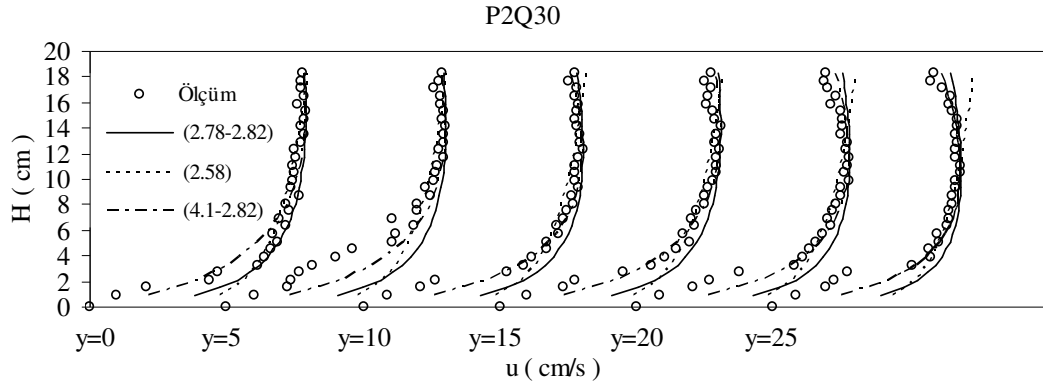


(c)

P2Q25

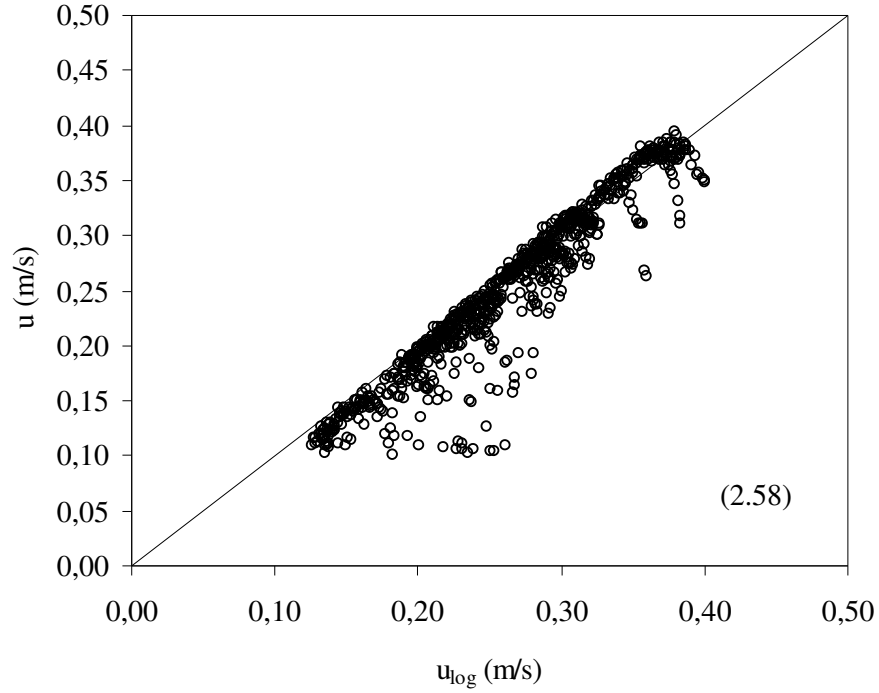


(d)



Şekil 4.12. İkinci Pürüzlülük Akım Şartlarında Hız Dağılımları

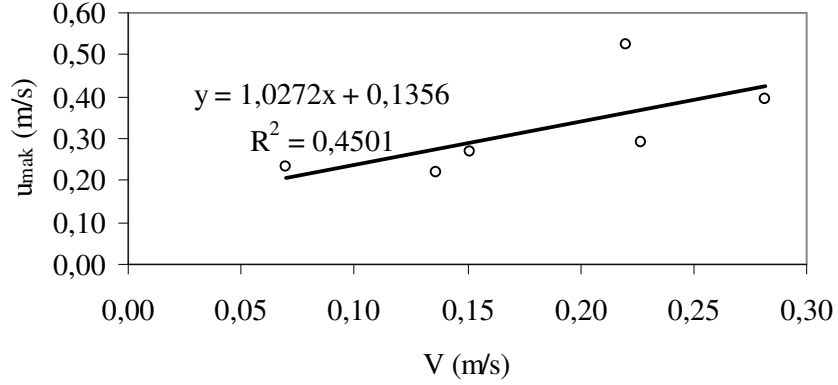
Pürüzlü akımlar için (2.58) ifadesi yardımı ile hesaplanan tüm hız değerlerinin ölçüm değerleri ile ilişkisi Şekil 4.13'te gösterilmiştir. Şekil 4.12'de verilen ölçüm değerleri ile logaritmik dağılıma ait hesaplanan hızların birbirine yakın olduğu, $(u_{\text{ölçüm}} - u_{\text{log}})/u_{\text{ölçüm}}$ ifadesi ile hesaplanan rölatif farkın % -5,9 olduğu belirlenmiştir. Logaritmik değerlerin ölçülen değerlerden daha büyük olduğu görülmüştür.



Şekil 4.13. Pürüzlü ($k=7$ mm) Akımlarda Ölçümler ile Logaritmik Hızlarının Karşılaştırılması

4.1.2.2.2. Pürüzlü Akımlarda ($k=7$ mm) Entropi Hız Dağılımı

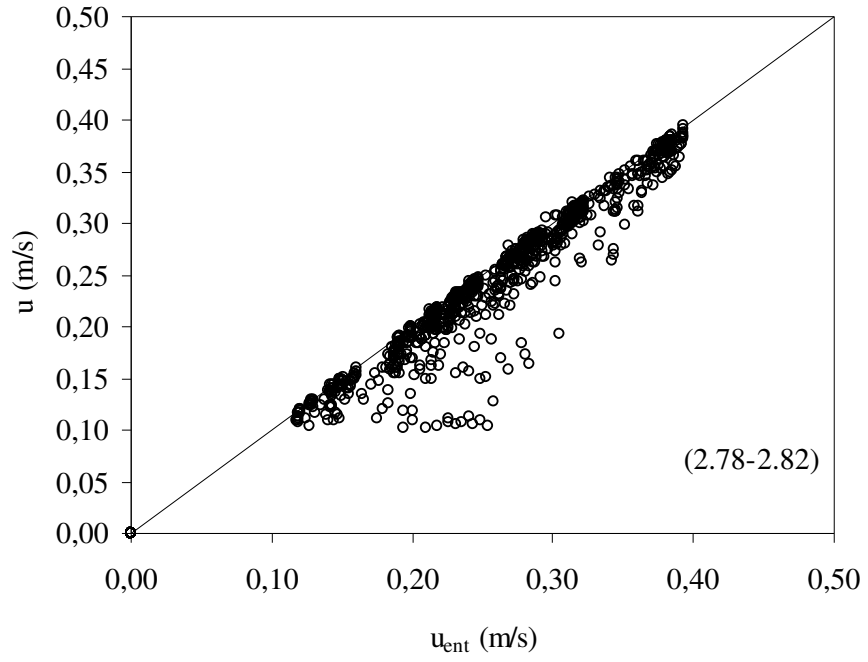
Chiu'nun geliştirmiş olduğu hız dağılım ifadesi $k=7$ mm pürüzlülük durumunda ele alınmıştır. Ele alınan ikinci 6 farklı pürüzlü akım şartına ait Tablo 3.7'de verilen $V-u_{\text{mak}}$ değerlerine bağlı olarak söz konusu kesit için entropi parametresi M , (2.78) ifadesi yardımı ile hesaplanmıştır. Tablo 3.7'de verilen her bir akıma ait ortalama hız ve maksimum hız arasındaki ilişki Şekil 4.14'te gösterilmiştir. Şekilden de görüleceği üzere ele alınan kesit için $V-u_{\text{mak}}$ ilişkisi doğrusal olmakta ve $M=3.31$ olarak hesaplanmıştır. Her bir akım durumunda enkesit üzerinde ele alınan düşeyler için u_{mak} değerleri kullanılarak (2.82) ifadesi yardımı ile derinlik boyunca ölçüm noktalarındaki hızlar hesaplanmıştır. Şekil 4.12'de verilen dağılımlardan görüleceği üzere entropi ifadesi katı sınır yakınlığında $z/H \approx 0.5$ yüksekliğine kadar ölçüm değerlerinden sapmaktadır. Katı sınırdan gelen yavaşlatma etkisi bu bölgede (2.78) denklemleri yardımı ile bulunan entropi parametresi $M=3.31$ 'in (2.82)'de kullanılması durumunda iyi sonuç vermemektedir. $z/H > 0.5$ bölgesinde ise oldukça iyi bir şekilde ölçüm hızlarını temsil edebilmektedir.



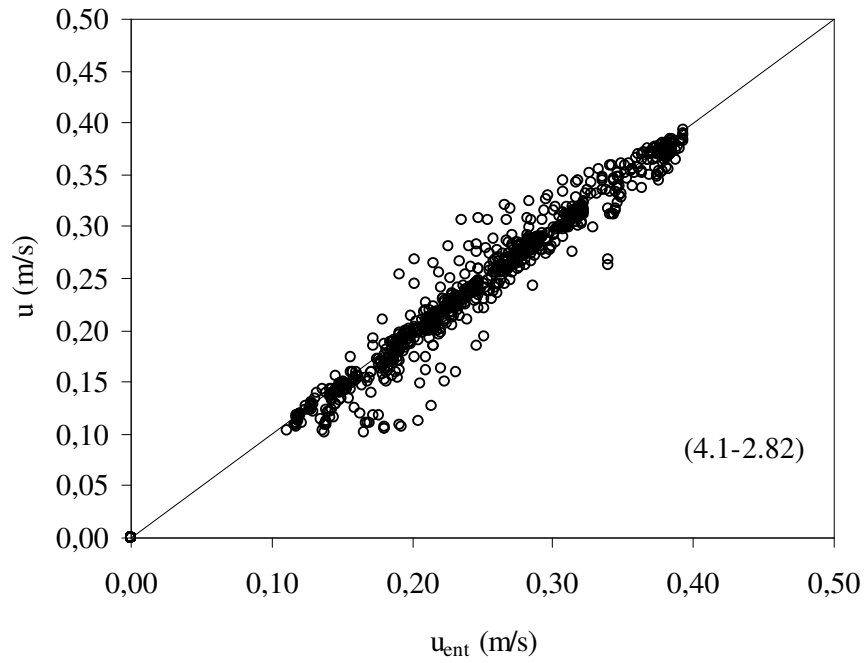
Şekil 4.14. İkinci Pürüzlü Akım Şartlarına Ait V-u_{mak} İlişkisi

Katı sınır yakınlarındaki azalma etkisini yansıtabilmek için entropi parametresi M, (4.1) ifadesindeki gibi ele alınmıştır. Bu ifade tüm pürüzlü akımlar için belirlenen maksimum hızların ortalamasının enkesit ortalama hızlarına oranını göstermekte olup $M=1.41$ olarak belirlenmiştir. $M=1.41$ yardımı ile (2.82) ifadesinin kullanılması durumunda elde edilen hız dağılımları Şekil 4.12'de verilen akımlara ait dağılımlar üzerinde gösterilmiştir. Şekillerden görüldüğü gibi tüm akım derinliği boyunca hesaplanan hız dağılımları ölçüm değerlerini oldukça iyi temsil etmektedir.

Pürüzlü akımlar için (4.1)-(2.82), (2.78)-(2.82) ifadeleri yardımı ile hesaplanan tüm hız değerlerinin ölçüm değerleri ile ilişkisi Şekil 4.15 (a) (b)'de gösterilmiştir. Şekil 4.15 (a) da verilen ölçüm değerleri ile entropi yöntemi ile hesaplanan hızların logaritmik dağılımdan daha iyi olduğu belirlenmiştir. Entropi yönteminin ölçülen hızlardan bir miktar yüksek değerler verdiği görülmektedir. Şekil 4.15 (b) ise (4.1) ifadesi yardımı ile hesaplanan M parametresinin (2.82) ifadesinde kullanılması durumunda ölçüm hızlarına daha uyumlu olduğu belirlenmiştir. (4.1) ifadesi kullanılarak hesaplanan M parametresinin katı sınırlara yakın bölgedeki hızları daha iyi temsil ettiği ve (2.78) yardımı ile hesaplanan M parametresine göre daha iyi sonuçlar verdiği gözlenmiştir. Şekil 4.15 (a), (b)'de verilen ölçüm değerleri ile entropi hızlarının rölatif farkları sırasıyla % 4.2 ve % 3.7 olduğu belirlenmiştir.



(a)



(b)

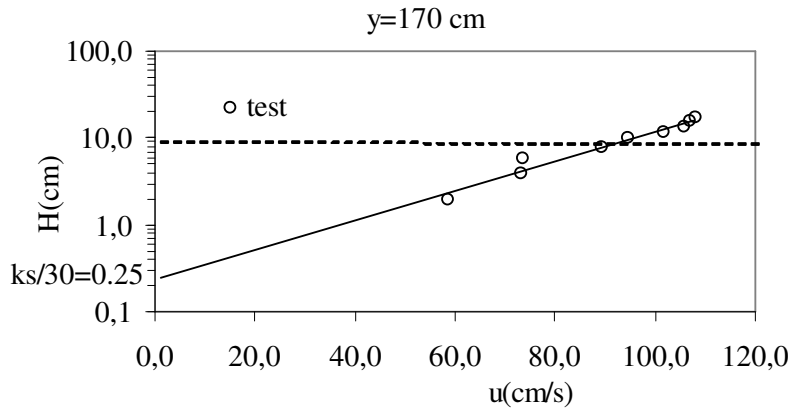
Şekil 4.15. İkinci Pürüzlülük($k=7$ mm) Durumunda Ölçümler ile Logaritmik Hızların Karşılaştırılması

4.2 Arazi Ölçümleri

4.2.1 Sarımsaklı Suyu

4.2.1.1 Logaritmik Dağılım

Sarımsaklı baraj mansabının yaklaşık 2 km güneyinde, Sarımsaklı Suyu üzerinde 11 istasyonda (S1-S11) derinlik boyunca yapılan hız ölçümleri Tablo 3.8’de verilmiştir. Arazide ölçülen bu hızların logaritmik dağılıma uygunluğunun belirlenmesi amacıyla nehir tabanının çakıllı olması nedeniyle (2.55) ifadesi kullanılmıştır. Log-H’a karşılık u ölçümleri çizilerek iç bölgeye en iyi uyumun gösteren doğrunun z eksenini kestiği nokta ks/30 değerini vermektedir. Buna göre ele alınan kesitte y=170 cm’de (S5) ölçülen logaritmik düşey eksenli-hız dağılımı ve ks/30 değeri Şekil 4.16’da gösterilmiştir. Tablo 3.8’den görüleceği üzere S5 istasyonundaki akım derinliği H=18 cm olup, logaritmik dağılımın 0.3H-0.6H aralığında değiştiği öngörülerek iç bölgenin kalınlığı: 0.5H=9.0 cm alınmıştır. Bu derinliğin altındaki ölçümlere en iyi uyum gösteren doğrunun y eksenini kestiği nokta ks/30 değeri olmakta bu ölçüme ait belirlenen ks/30 değeri 0.25 ve ks değeri ise 7.5 cm olarak belirlenmiştir.



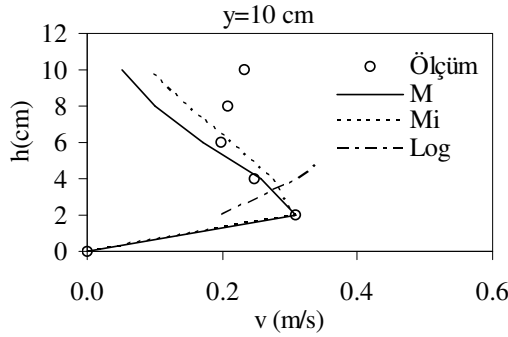
Şekil 4.16. S5 İstasyonundaki Hız Dağılımı ve ks/30'un Belirlenmesi

Ele alınan istasyonda belirlenen ks ile iç bölgede (2.55) ifadesi yardımı ile belirlenen kayma hızı da $u^*=10.4$ cm/s olarak belirlenmiştir. Enkesit üzerinde ölçüm yapılan tüm kesitlere ait kayma hızları Tablo 4.4'te verilmiştir. Kayma hızları kullanılarak söz konusu düşeylerin taban kayma gerilmesi $u_* = \sqrt{\frac{\tau_0}{\rho}} \Rightarrow \tau_0 = u_*^2 \rho$ ifadesi kullanılarak hesaplanmış ve tabloda gösterilmiştir.

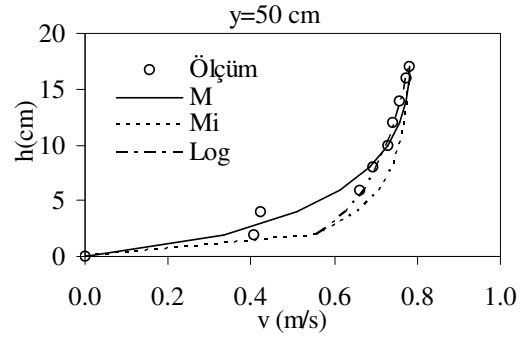
Tablo 4.4 Sarımsaklı Suyu ölçüm kesitinde hesaplanan kayma hızı ve gerilmeleri

	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11
Ks (cm)=	1.5	0.3	12.0	9.0	7.5	30.0	6.0	24.0	45.0	39.0	1.2
u* (m/s)=	0.100	0.042	0.118	0.110	0.104	0.132	0.095	0.155	0.193	0.138	0.290
τ_0 (N/m²)=	10.0	1.8	13.9	12.1	10.8	17.4	9.0	24.0	37.2	19.0	84.1
u_{mak} (m/s)	0.308	0.780	1.100	1.080	1.080	0.980	1.050	1.220	1.26	0.970	0.560
u_{ort} (m/s)	0.216	0.610	0.777	0.857	0.841	0.652	0.803	0.952	0.927	0.629	0.466
M_i	2.690	4.320	2.770	4.640	4.250	2.130	3.920	4.300	3.320	1.880	5.750

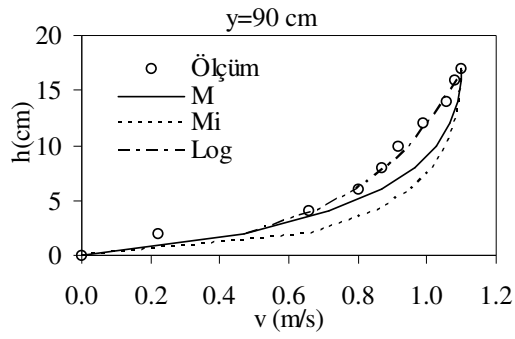
Hesaplanan kayma hızları ile çizilen hız dağılımları da Şekil 4.17'de verilmiştir. Şekillerden görüleceği üzere sağ ve sol sahile en yakın yapılan ölçümler logaritmik dağılıma uymamaktadır.



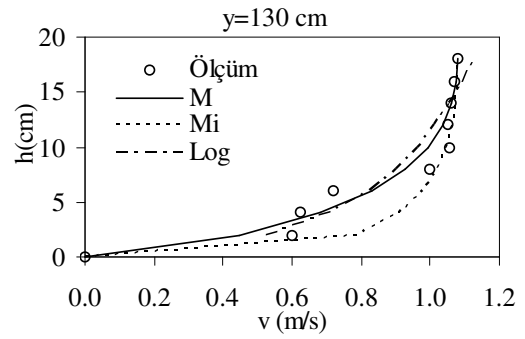
(a)



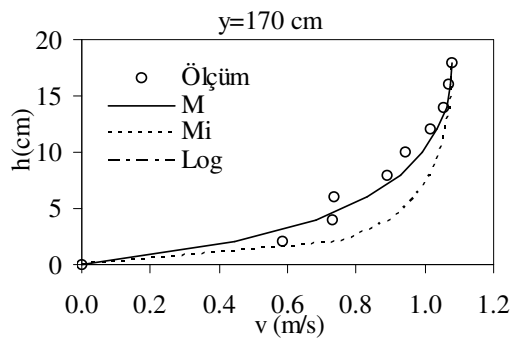
(b)



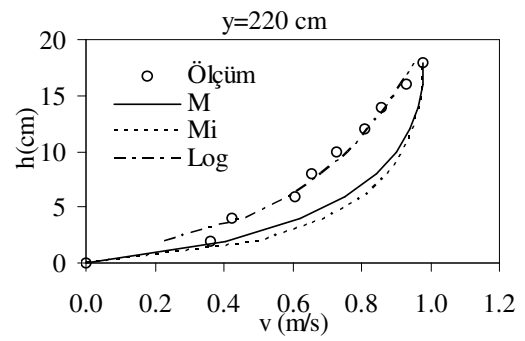
(c)



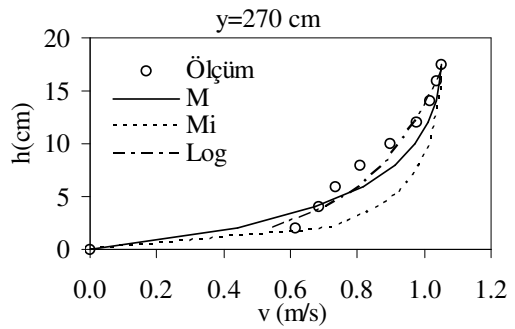
(d)



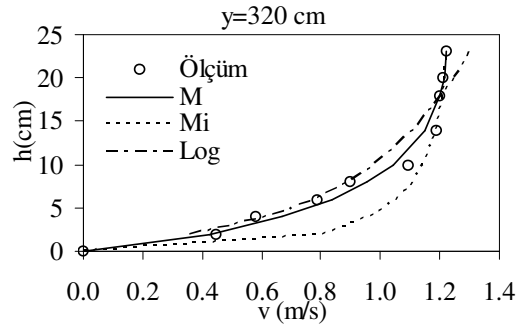
(e)



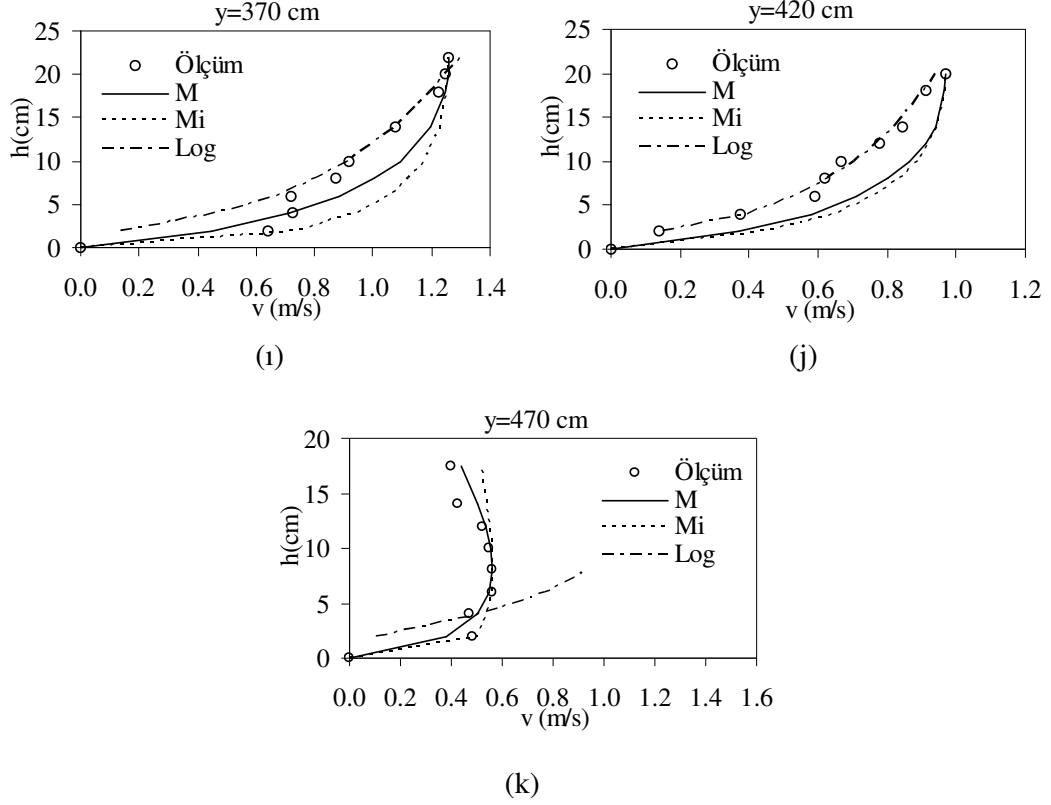
(f)



(g)



(h)



Şekil 4.17. Sarımsaklı Suyu'nda Yapılan Hız Ölçümleri ve Logaritmik Dağılımlar.

4.2.1.2 Entropi Dağılımı

Chiu'nun geliştirmiş olduğu hız dağılım ifadesinin tabii nehirlerde kullanılabilmesi için kesit entropi parametresi M 'in belirlenmesi gerekir. Ele alınan kesitte sadece bir ölçüm yapıldığından $V-u_{\max}$ ilişkisi belirlenememiştir. Söz konusu ölçüme ait Bölüm 3'te hesaplanan $Q=0.648$ m³/s debisi ve kesitte belirlenen maksimum $u_{\max}=1.260$ m/s'lik hızlar ile Chiu'nun vermiş olduğu (2.78) ifadesi kullanılarak kesite ait $M=1.25$ olarak belirlenmiştir. Her bir dilimde ölçülen maksimum hız ve kesite ait belirlenen $M=1.25$ ile hesaplanan hız dağılımı Şekil 4.16'da gösterilmiştir. Şekillerden görüldüğü gibi hesaplanan hız dağılımları ölçüm değerlerini iyi temsil etmektedir. Moramarco ve ark. tarafından önerilen enkesitte her bir düzeyde M parametresinin ayrı ayrı hesaplanması yönteminin kullanılması durumunda Tablo 4.4'te verilen istasyonlardaki maksimum hızlar ile her bir istasyonda hesaplanan u_{ort} arasındaki ilişkiden M_i ler hesaplanmış ve tabloda gösterilmiştir[24, 35]. Her bir düzeyde hesaplanan M_i 'ler kullanılarak belirlenen dağılımlar Şekil 4.17'de gösterilmiştir. Şekillerden görüldüğü gibi kesite ait belirlenen $M=1.25$ sabitinin hız dağılımlarını göstermede yeterli olduğu anlaşılmaktadır.

4.2.2 Barsama Suyu

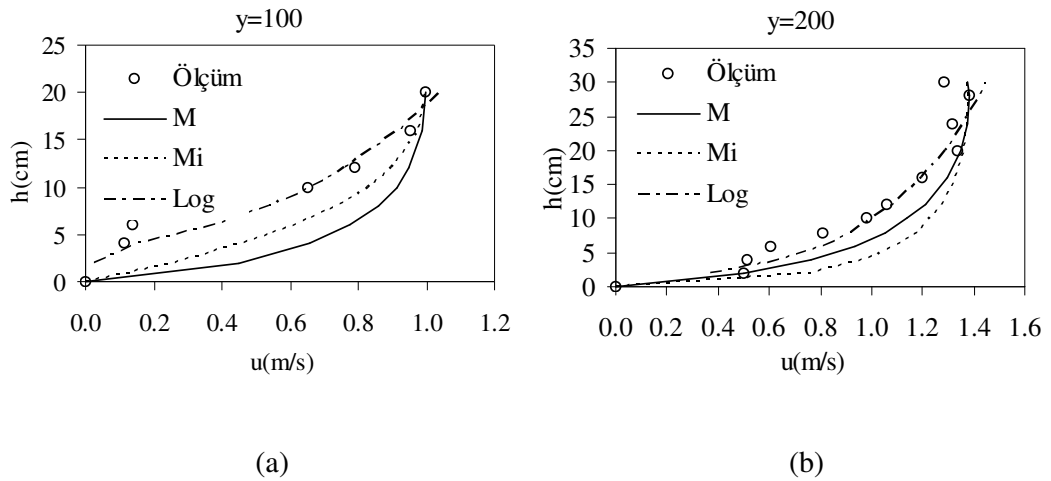
4.2.2.1 Logaritmik Dağılım

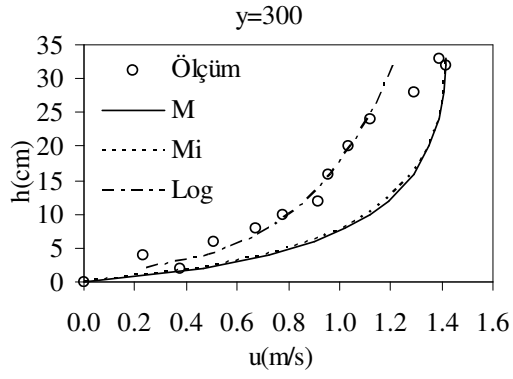
Bölüm 3'te verilen Barsama Suyu'na ait hız ölçümlerinden, her bir istasyonda ks değerleri ve iç bölgede (2.55) ifadesi yardımı ile belirlenen kayma hızları hesaplanarak Tablo 4.5'te verilmiştir. Kayma hızları kullanılarak söz konusu düşeylerin taban kayma gerilmesi hesaplanmış ve tabloda gösterilmiştir.

Tablo 4.5 Barsama Suyu ölçüm kesitinde hesaplanan kayma hız ve gerilmeleri

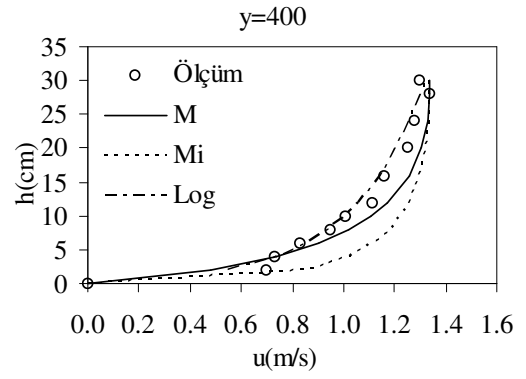
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
Ks (cm)=	90	24	30	9	45	30	36
u^* (m/s)=	0.220	0.160	0.140	0.115	0.132	0.145	0.145
τ_0 (N/m²)=	20.0	28.0	32.0	28.0	28.0	35.0	23.0
u_{mak} (m/s)	0.999	1.380	1.414	1.337	1.282	1.359	1.070
u_{ort} (m/s)	0.554	1.028	0.900	1.062	0.873	0.953	0.696
Mi	0.10	3.50	1.71	4.62	2.36	2.69	1.92

Hesaplanan bu kayma hızları ile çizilen logaritmik hız dağılımları da Şekil 4.18'de verilmiştir.

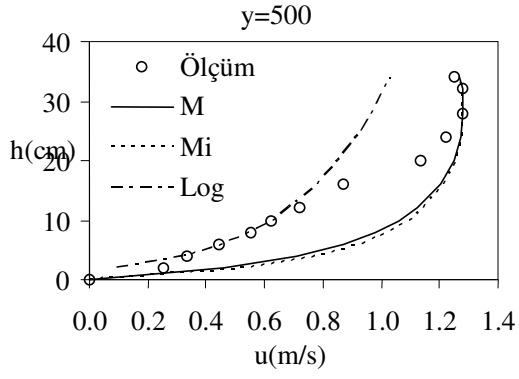




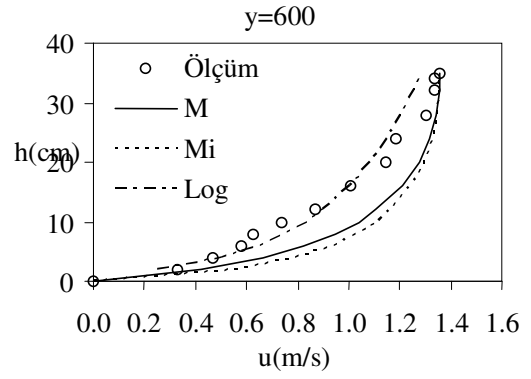
(c)



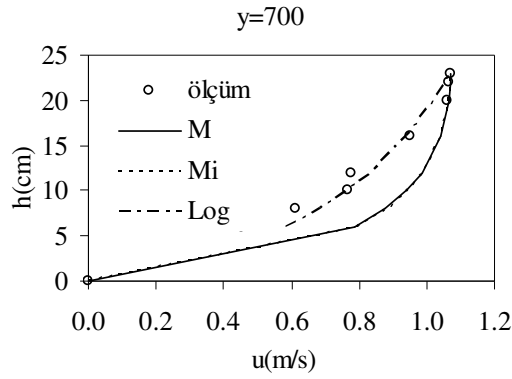
(d)



(e)



(f)



(g)

Şekil 4.18. Barsama Suyu'nda Yapılan Hız Ölçümleri ve Logaritmik Dağılımlar.

4.2.2.2 Entropi Dağılımı

Bu kesitte sadece bir ölçüm yapıldığından $V-u_{\text{mak}}$ ilişkisi belirlenememiştir. Söz konusu ölçüme ait Bölüm 3'te hesaplanan $Q=1.79 \text{ m}^3/\text{s}$ debisi ve kesitte belirlenen maksimum $u_{\text{mak}} = 1.414 \text{ m/s}$ 'lik hızlar ile Chiu'nun vermiş olduğu (2.78) ifadesi kullanılarak kesite ait $M=1.81$ olarak belirlenmiştir. Her bir dilimde ölçülen maksimum hız ve kesite ait belirlenen $M=1.81$ ile hesaplanan hız dağılımı Şekil 4.18 (a) (g)'de gösterilmiştir. Şekillerden görüldüğü gibi hesaplanan hız dağılımları $y=400 \text{ cm}$ hariç ölçüm değerlerini iyi temsil etmemektedir. Moramarco ve ark tarafından önerilen enkesitte her bir düşeyde M parametresinin ayrı ayrı hesaplanması yönteminin kullanılması durumunda Tablo 4.5'te verilen istasyonlardaki maksimum hızlar ile her bir istasyonda hesaplanan u_{ort} arasındaki ilişkiden M_i 'ler hesaplanmış ve tabloda gösterilmiştir. Her bir düşeyde hesaplanan M_i 'ler kullanılarak belirlenen dağılımlar Şekil 4.18'de gösterilmiştir. Şekillerden görüleceği üzere kesite ait belirlenen $M=1.81$ sabitinin hız dağılımlarını göstermede yetersiz olduğu belirlenmiştir. Logaritmik dağılımın akımı bu kesitte daha iyi temsil ettiği belirlenmiştir.

4.2.3 Barsama Sulama Kanalı

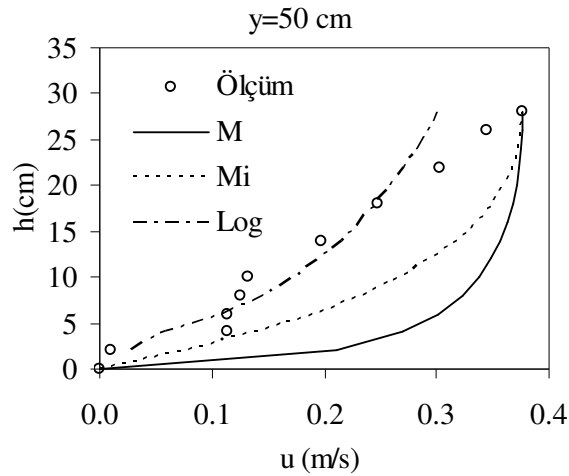
4.2.3.1 Logaritmik Dağılım

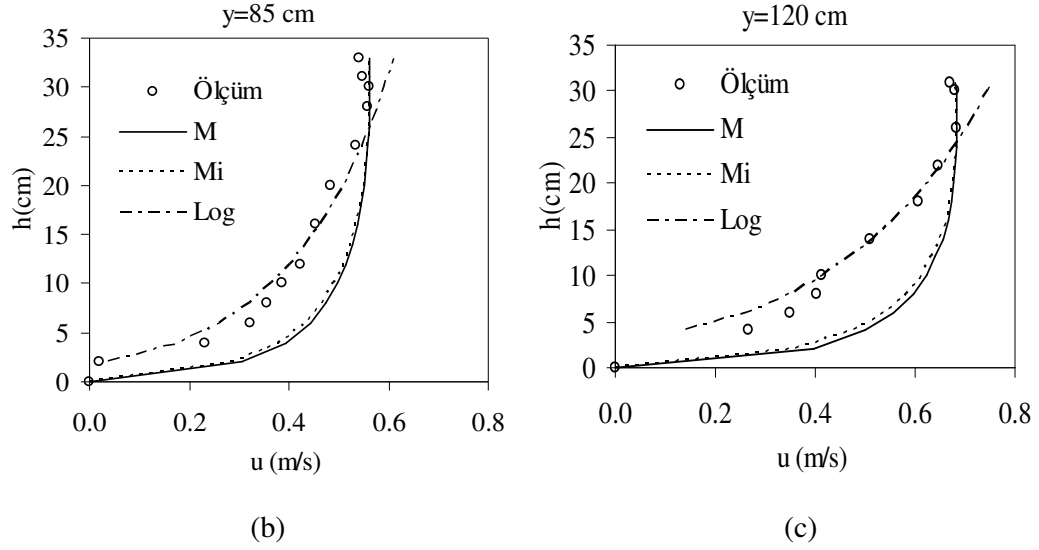
Bölüm 3'te verilen Barsama Sulama Kanalı'na ait hız ölçümlerinden, her bir istasyonda k_s değerleri ve iç bölgede (2.55) ifadesi yardımı ile belirlenen kayma hızları hesaplanarak Tablo 4.6'da verilmiştir. Kayma hızları kullanılarak söz konusu düşeylerin taban kayma gerilmesi hesaplanmış ve tabloda gösterilmiştir.

Tablo 4.6 Barsama Sulama Kanalı Ölçüm Kesitinde Hesaplanan Kayma Hız ve Gerilmeleri

	S1	S2	S3
K_s (cm)=	12	18	12
U^* (m/s)=	0.050	0.082	0.120
τ_0 (N/m ²)=	28	30	26
u_{mak} (m/s)	0.377	0.562	0.684
u_{ort}	0.197	0.415	0.496
M_i	0.29	3.35	3.11

Hesaplanan bu kayma hızları ile çizilen logaritmik hız dağılımları da Şekil 4.19'da verilmiştir.





Şekil 4.19. Barsama Sulama Kanalı'nda Yapılan Hız Ölçümleri ve Logaritmik Dağılımlar

4.2.3.2 Entropi Dağılımı

Ele alınan kesitte sadece bir ölçüm yapıldığından $V-u_{\text{mak}}$ ilişkisi belirlenememiştir. Söz konusu ölçüme ait Bölüm 3'te hesaplanan $Q=0.137 \text{ m}^3/\text{s}$ debisi ve kesitte belirlenen maksimum $u_{\text{mak}}=0.496 \text{ m/s}$ 'lik hızlar ile Chiu' nun vermiş olduğu (2.78) ifadesi kullanılarak kesite ait $M=3.65$ olarak belirlenmiştir. Her bir dilimde ölçülen maksimum hız ve kesite ait belirlenen $M=3.65$ ile hesaplanan hız dağılımı Şekil 4.19 (a) (c)'de gösterilmiştir. Şekillerden görüleceği üzere hesaplanan hız dağılımları ölçüm değerlerini iyi temsil edememektedir. Moramarco ve ark. tarafından önerilen enkesitte her bir düşeyde M parametresinin ayrı ayrı hesaplanması yönteminin kullanılması durumunda Tablo 4.6'da verilen istasyonlardaki maksimum hızlar ile her bir istasyonda hesaplanan u_{ort} arasındaki ilişkiden M_i ler hesaplanmış ve tabloda gösterilmiştir [35]. Her bir düşeyde hesaplanan M_i ler kullanılarak belirlenen dağılımlar Şekil 4.19 (a) (c)'de gösterilmiştir. Şekillerden görüleceği üzere kesite ait belirlenen $M=3.65$ sabitinin hız dağılımlarını göstermede yeterli olmadığı belirlenmiştir. Logaritmik dağılımın entropi dağılımına nazaran daha iyi sonuç verdiği gözlenmiştir.

5. BÖLÜM

SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Açık kanal akımlarında hız dağılımının belirlenmesi amacıyla Erciyes Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Hidrolik Laboratuvarında ve tabii akarsularda, cilalı ve pürüzlü akım koşullarında enkesit üzerinde noktasal hız ölçümleri yapılmıştır. Deneysel olarak elde edilen hız dağılımlarının logaritmik dağılımlara ve entropi yaklaşımı ile Chiu tarafından geliştirilen hız dağılım ifadesine uyumu incelenerek aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir [26].

- 1- Kesit oranının (B/H) 13.5 olduğu CQ10 debisinde logaritmik dağılımın enkesit boyunca hızları daha iyi temsil ettiği belirlenmiştir. Kesit oranının $5.0 \leq B/H \leq 10.0$ aralığında son iki kesitte ($y=20, 25$ cm) dalmanın etkisi gözlenmiş olup, logaritmik dağılımın bu dalmayı temsil etmediği gözlenmiştir.
- 2- Artan Reynolds sayılarında logaritmik dağılımın geçerli olduğu iç bölgenin alt ve üst sınırlarının arttığı belirlenmiştir. Enkesit üzerinde duvara yaklaştıkça iç bölgenin daraldığı gözlenmiştir. 6 farklı cilalı akım durumunda logaritmik dağılımın geçerli olduğu bölgenin alt ve üst sınırı $146-383 < u_*z/\nu < 487-2432$ aralığında olmaktadır.
- 3- Logaritmik dağılımlar özellikle 0.2 m/s'den yüksek hızlarda ölçüm değerlerinden daha büyük olmaktadır.
- 4- Cilalı akım durumunda ölçümlerin yapıldığı enkesite ait entropi parametresi $M=5.53$ olarak belirlenmiştir.
- 5- Dalmanın gözlendiği kesitlerde entropi hız dağılımı bu etkiyi temsil edememektedir.

- 6- Laboratuvar koşullarında, açık kanallarda hız dağılımı için Chiu tarafından geliştirilen ve Moramarco ve ark. tarafından modifiye edilen hız dağılım ifadesi cilalı akımlar için oldukça iyi sonuç vermektedir. Enkesit üzerinde ele alınan her bir düşey için, o düşeye ait ölçülen u_{mak} değerleri kullanılarak hızlar hesaplanabilmektedir [35].
- 7- Laboratuvar şartlarında tüm akımlara ait entropi yöntemi ile hesaplanan hız dağılımlarının, ölçüm değerlerine yakın sonuçlar verdiği belirlenmiştir.
- 8- Pürüzlü akım şartlarında deneyler kesit oranının (B/H) 4.2-12.0 arasındaki değerlerinde gerçekleştirilmiş olup dalma etkisi cilalı akım şartlarına benzer şekilde bir özellik göstermiştir.
- 9- (2.55) ifadesi ile verilen logaritmik dağılım pürüzlü akımlarda hız dağılımını belirlemede kullanılmakta olup buradaki kayma hızı (2.58) ifadesi yardımı ile hesaplanmıştır.
- 10- Laboratuvarında, iki farklı pürüzlü akım durumunda ölçümlerin yapıldığı enkesite ait entropi parametreleri sırasıyla, $M=5.94$, $M=3.31$ olarak hesaplanmıştır.
- 11- Laboratuvar koşullarında 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.
- 12- Katı sınır yakınlarındaki azalma etkisini yansıtabilmek için entropi parametreleri $M = u_{\text{mak}} / V_{\text{int}}$ şeklinde tanımlanmış olup $M=1.2$, $M=1.41$ olarak belirlenmiştir. $M=1.2$, $M=1.41$ yardımı ile hesaplanan hız dağılımları ölçüm değerlerini oldukça iyi temsil etmektedir.
- 13- Tüm akımlara ait logaritmik ifade ile hesaplanan hız dağılımlarının, 0.1-0.8 değerlerinde ölçüm sonuçlarından yüksek, 0.8'den büyük ölçümlerde ise düşük sonuçlar verdiği gözlenmiştir.
- 14- Arazi şartlarında yapılan deneylerde logaritmik hız dağılımın akımı daha iyi temsil ettiği, iki farklı M parametresi kullanılarak bulunan entropi hız dağılımının ise akımı temsilde yeterli olmadığı gözlenmiştir.
- Genel olarak logaritmik ve entropi dağılımlarının akımı temsil ettiği belirlenmiştir.

KAYNAKLAR

1. Yüksel, Y., Teori ve Çözümlü Problemler ile Bilgisayar Uygulamalı Akışkanlar Mekaniği ve Hidrolik, s. 586-588, İstanbul, 2000.
2. Çeçen, K., Hidrolik 1 ve 2, İTÜ İnşaat Fakültesi ,1973.
3. Rouse, H., Elementary Mechanics of Fluids, Wiley Eastern Reprint, Wiley Eastern Private Limited, New Deplhi, 1970.
4. Goncharov, V.N., Dynamics of Cahnnel Flow , 2 nd. Ed., Israel Program for Scientific Translations, Jerusalem, 1970.
5. Prandtl, L., Über die Ausgebildate Turbulenz, Z. Angew Math. Mech. Bd. 5.,1925.
6. Karman, T. Von, Meshanische Ahnlichkeit und Turbulenz, Göttinger Nachrichten, Math, Phys, Klasse,1930.
7. 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.
8. Schlichting, H., Boundary Layer Theory, s. 812, Mc Graw-Hill Book Company, New York, 1979.
9. Boussinesq, J., Theorie de l' Ecoulemenet Tourbillant, Mem. Pres. Acad. Sci XXIII 46, Paris, 1877.
10. Cebeci, T. and Smith, A .M. O., Analysis of Turbulent Boundary Layers, Academic Press, New York,1974.
11. Prandtl, L., Zür Turbulenten Strömung in Rohren und Löngs Platten, Ergebnisse der Aerodynamischen Versuchsansalt zu Göttingen, 1932.
12. Coles, D. The law of the wake in the turbulent boundary layer. J. of Fluid Mechanics, 1, 191-226, 1956.
13. Ardiçhoğlu, M., Pürüzsüz Açık Kanal Akımlarında Türbülanslı Hız Dağılımının Laser Doppler Anemometresi ile İncelenmesi, Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana, 1994.
14. Nezu, I., & Rodi, W. Open Channel Flow Measurements with a Laser Doppler Anemometer, Journal of Hydraulic Engineering, 112(5), 335-355, 1986.
15. Steffler, P.M., et al., LDA Measurements in Open Channel Flows, J. Hydr. Res., Vol.27, No 1,1985.
16. Kırkgoz, M. S., Turbulent Velocity Profiles for Smooth and Rough Open Channel Flow, Journal of Hydraulic Engineering. ASCE, 115 (11), 1989.

17. Cordaso, A. H., et al.. Uniform flow in a smooth open channel. *J. of Hydraulic Research*, 27(5), 603-616, 1989.
18. 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.
19. Kırkgöz M. S. and Ardiclioğlu M. Velocity Profiles of Developing and Developed Open Channel Flow, *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, 123 (12), 1997.
20. Ardiçlıoğlu, M. , “Açık Kanal Akımında Gelişmiş Sınır Tabakası Bölgesinde Coles'un Hız Dağılım İfadesinin İncelenmesi”, *İnşaat Mühendisliğinde Gelişmeler III. Teknik Kongre*, ODTÜ Kültür ve Kongre Merkezi, ANKARA, 15-16 Eylül 1997.
21. Chow, V. T., *Open Channel Hydraulics*, Mc Graw – Hill Book Company, s. 680, Tokyo, 1959.
22. Bilgil, A., Ardiçlıoğlu, M., “Investigation of Flow Resistance in Open Channel Flow With LDA Data”, *6th International Congress on Advances in Civil Engineering*, Bogazici University, Istanbul, Turkey, 6-8 October 2004.
23. Ardiçlıoğlu M., Bilgil, A., Öztürk, Ö., “Cilalı ve Pürüzlü Açık Kanal Akımlarında Sürtünme Katsayılarının İncelenmesi”, *Antalya Yöresinin İnşaat Mühendisliği Sorunları Kongresi*, 22-24 Eylül 2005, Antalya.
24. Chiu, C. L., *Entropy and Probability Concepts in Hydraulics*, *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, 113 (5), 1987.
25. Chiu, C. L., *Entropy and 2-D Velocity Distribution in Open Channels*, *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, 114 (7), 738-756, 1988.
26. Chiu, C. L., *Velocity Distribution in Open Channel Flow*, *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, 115 (5), 1989.
27. 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.
28. Ardiçlıoğlu M., Seçkin, G., Öztürk, Ö., “Pürüzlü Açık Kanal Akımlarında Debi Hesabı için Entropy Yönteminin Kullanılması”, *Antalya Yöresinin İnşaatMühendisliği Sorunları Kongresi*, 22-24 Eylül 2005, Antalya.
29. Rao, C. R., *Linear Statistical Inference and Its Applications*, John Wley & Sons, Inc., New York., 1965.

30. Jaynes, E. T., Information Theory and Statistical Mechanics 1, Physics Review, 106,620-630, 1957.
31. Goldman, S., Information Theory, Prentice-Hall, Inc., New York, 1953.
32. 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.
33. 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
34. 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.
35. 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
36. SonTek Flow Tracker Handheld ADV Technical Documentation, San Diego, USA, 2002
37. Ardiçloğlu M., Öztürk, Ö, Yakupoğlu, A., "Açık Kanallarda Hız Ölçüm Cihazlarının Kullanımı Ve Karşılaştırılması", TMMOB Makina Mühendisleri Odası, VI. Ulusal Ölçüm bilim Kongresi 17-18 Kasım 2005 Eskişehir-Türkiye
38. Ardiçloğlu, M., Öztürk O., "Numerical and Experimental Determination of Boundary Layer Thickness", WSEAS Transactions on Systems, Vol. , No: 5, 1186-1189 (2006).
39. Ardiçloğlu, M., "Açık Kanal Akımı Hız-Debi Ölçümleri", İMO Teknik Dergi, Ocak (2006).
40. Haktanır, T., Ardiçloğlu, 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
41. Ardiçlođlu, M., Araújo, J.D., Şentürk, A.İ., "Applicability of Velocity Distribution Equations in Rough-Bed Open-Channel Flow", La Houille Blanche , 4, (2005)

EKLER

Ek-1 Cilalı Akım Durumunda Elde Edilen Hız Ölçüm Değerleri u (cm/s)

CQ10

h(cm)	y=0	y=5	y=10	y=15	y=20	y=25
0.9	10.00	7.54	9.01	11.75	3.94	0.31
1.5	24.28	26.49	11.86	27.49	7.67	5.00
2.1	29.67	29.30	24.25	25.52	15.58	7.56
2.7	30.93	30.25	29.87	31.54	27.55	26.00
3.3	32.56	31.80	30.03	30.36	22.45	25.83
3.9	33.16	30.73	32.66	32.55	26.03	25.45
4.4	34.38	29.59	31.90	29.55	25.14	26.23

CQ15

h(cm)	y=0	y=5	y=10	y=15	y=20	y=25
0.9	11.82	5.60	2.35	13.81	2.18	2.49
1.5	34.29	28.51	7.04	19.15	24.10	22.00
2.1	37.33	36.63	34.75	36.19	30.79	32.83
2.7	39.28	37.53	37.28	36.11	35.05	33.52
3.3	39.21	38.93	37.73	39.19	33.28	34.39
3.9	41.32	40.59	40.10	39.00	36.64	35.02
4.5	41.50	42.06	40.54	40.01	37.47	35.20
5.1	41.99	41.79	41.55	39.38	31.31	34.85
5.7	43.66	42.82	41.37	40.66	38.36	34.54
6.5	40.36	43.13	41.94	39.08	32.27	33.33

CQ20

h(cm)	y=0	y=5	y=10	y=15	y=20	y=25
0.9	28.08	21.10	32.67	39.08	35.17	36.60
1.5	38.65	42.50	40.99	38.71	37.19	37.58
2.1	41.34	37.53	42.01	40.84	33.13	39.13
2.7	43.00	44.48	43.41	41.15	38.11	39.50
3.3	43.90	44.55	43.83	43.51	32.70	39.71
3.9	45.55	43.87	44.31	43.72	41.82	39.74
4.5	45.98	46.81	44.12	44.55	42.65	40.29
5.1	47.72	48.00	45.74	46.11	42.36	39.21
5.7	46.29	46.87	43.09	45.12	41.88	39.23
6.3	47.80	47.62	46.69	44.27	42.43	38.38
6.9	47.54	47.98	46.49	45.61	40.00	36.71
7.5	47.97	48.39	45.34	43.94	36.98	34.46
8.0	48.40	49.00	44.00	42.00	33.00	32.00

CQ25

h(cm)	y=0	y=5	y=10	y=15	y=20	y=25
0.9	45.06	43.10	23.88	27.03	28.68	6.06
1.5	47.59	47.93	45.37	44.35	41.24	42.19
2.1	50.29	49.09	48.93	46.65	43.98	43.39
2.7	51.16	52.18	49.18	46.01	46.47	44.20
3.3	52.07	52.66	50.80	47.89	43.56	46.21
3.9	54.58	53.67	51.74	50.00	49.35	47.16
4.5	54.73	55.82	52.37	48.74	49.82	47.54
5.1	54.83	55.10	53.97	50.82	49.90	47.38
5.7	55.58	56.32	53.22	52.60	49.56	47.01
6.3	55.90	56.45	54.32	52.13	50.17	46.70
6.9	55.42	56.64	54.16	52.24	50.14	46.58
7.5	56.63	55.02	54.39	52.40	48.44	44.77
8.1	55.06	55.00	54.80	48.93	47.26	42.60
8.3	55.00	54.90	55.00	49.00	46.00	40.50

CQ30

h(cm)	y=0	y=5	y=10	y=15	y=20	y=25
0.9	42.35	44.79	44.86	36.26	26.04	8.86
1.5	51.44	50.22	49.19	47.38	45.70	42.63
2.1	50.58	51.65	51.09	48.64	49.55	45.22
2.7	54.21	54.21	50.46	51.41	49.70	47.29
3.3	53.38	54.07	54.59	51.86	50.34	47.18
3.9	55.28	55.29	53.96	52.06	51.76	48.71
4.5	55.31	55.94	54.27	53.89	51.92	49.93
5.1	57.18	55.81	55.07	54.65	53.82	48.36
5.7	56.54	56.04	56.07	53.00	53.84	49.00
6.3	58.01	57.27	56.98	52.03	53.38	49.67
6.9	58.23	58.38	56.48	55.45	53.44	49.12
7.5	58.47	58.54	56.15	55.25	52.89	48.82
8.1	58.67	58.38	58.70	55.65	52.79	48.09
8.7	58.65	58.74	58.17	54.58	52.20	45.12
9.3	53.51	54.00	47.22	53.87	49.68	44.44
9.5	53.00	52.00	45.00	52.00	48.00	43.00

CQ40

h(cm)	y=0	y=5	y=10	y=15	y=20	y=25
0.9	53.13	55.77	53.72	49.94	50.52	44.37
1.5	56.42	57.84	54.45	54.89	52.94	48.31
2.1	59.88	58.76	57.55	56.15	55.85	56.06
2.7	61.03	59.96	59.69	58.25	58.39	57.74
3.3	62.03	63.96	60.70	59.11	59.29	59.60
3.9	62.95	63.24	62.48	61.70	60.47	60.40
4.5	64.61	64.64	61.26	61.30	59.63	60.56
5.1	65.70	65.94	63.06	62.19	60.86	60.55
5.7	64.54	64.94	63.64	63.58	61.84	59.49
6.3	65.11	65.85	64.32	62.82	62.37	60.86

6.9	64.97	66.11	64.16	63.66	63.91	60.80
7.5	66.43	66.98	65.66	63.81	62.70	60.60
8.1	66.23	66.30	66.00	63.25	61.98	60.50
8.7	66.43	66.49	65.87	63.50	62.51	60.49
9.3	66.56	66.43	65.91	63.64	61.34	60.00
9.9	60.00	67.29	66.68	63.44	60.00	58.43
10.5	50.00	62.69	64.41	53.03	57.06	55.30
11.0	48.00	66.00	65.00	50.00	54.00	52.80

**Ek-2 Birinci Pürüzlü Akım Şartlarında(k=10mm) Elde Edilen
Hız Ölçüm Değerleri u (cm/s)**

P1Q10

h(cm)	y=0	y=5	y=10	y=15	y=20	y=25
0.9	18.95	12.87	6.55	15.16	20.07	20.25
1.5	22.31	21.61	19.09	20.55	22.26	21.80
2.1	23.38	22.80	21.06	21.58	22.64	23.08
2.7	22.62	25.41	21.07	23.42	24.89	23.48
3.3	26.24	26.63	24.33	24.76	25.32	23.48
3.9	25.96	25.81	26.42	25.63	25.45	22.68
4.5	26.47	28.89	27.20	26.18	26.33	22.24
5.1	28.14	28.92	28.39	26.72	25.34	21.10
5.7	28.44	29.48	28.86	27.70	24.48	20.84
6.6	29.10	30.12	29.16	28.20	23.40	20.40

P1Q15

h(cm)	y=0	y=5	y=10	y=15	y=20	y=25
0.9	5.46	5.00	7.00	6.00	8.00	6.00
1.5	10.45	8.12	12.00	8.00	11.56	6.28
2.1	16.55	23.66	19.26	10.00	23.17	13.78
2.7	26.20	26.84	24.26	11.95	25.43	23.14
3.3	28.37	28.62	27.31	22.11	25.81	27.51
3.9	27.90	30.10	30.00	23.03	26.10	27.04
4.5	32.12	31.63	31.96	26.58	26.91	28.28
5.1	32.65	33.79	32.09	28.03	29.05	28.55
5.7	34.78	34.61	33.85	28.34	30.76	28.36
6.3	34.97	35.10	33.72	30.50	31.00	28.14
6.9	35.09	36.04	34.32	32.44	30.64	27.15
7.5	35.37	36.26	35.43	31.40	31.74	26.38
8.4	36.02	36.90	36.20	31.00	31.00	26.20

P1Q20

h(cm)	y=0	y=5	y=10	y=15	y=20	y=25
0.9	14.47	19.93	14.95	17.66	15.01	14.26
1.5	12.00	22.14	19.26	23.16	24.29	17.44
2.1	28.46	25.99	26.35	25.33	24.45	23.90
2.7	30.95	28.57	29.57	24.33	27.74	27.89
3.3	29.89	29.34	29.82	28.94	28.87	27.74
3.9	33.46	32.63	31.25	30.85	29.29	28.38
4.5	33.23	33.50	33.07	30.19	29.16	29.41
5.1	35.49	34.71	33.97	33.03	31.78	29.10

5.7	35.66	36.08	34.99	30.11	31.74	29.40
6.3	36.61	36.20	34.56	33.22	33.41	28.96
6.9	37.54	36.91	34.99	34.51	30.60	28.95
7.5	38.86	36.44	35.72	34.06	33.29	29.24
8.1	37.90	37.40	36.13	34.42	33.40	28.62
8.7	38.65	37.75	36.69	35.03	32.64	28.92
9.3	38.90	38.19	36.81	34.69	32.24	27.42
9.9	38.94	38.41	36.29	35.32	31.94	26.27
10.9	38.98	38.67	36.00	34.80	30.94	26.12

P1Q25

h(cm)	y=0	y=5	y=10	y=15	y=20	y=25
0.9	15.00	14.00	12.31	12.03	12.84	6.00
1.5	18.00	17.29	23.68	15.24	14.83	7.90
2.1	25.18	25.08	27.31	24.14	21.70	15.10
2.7	27.13	31.15	29.27	27.25	25.90	25.71
3.3	31.11	31.05	30.49	24.08	26.54	26.92
3.9	32.25	32.41	32.96	30.10	30.95	28.72
4.5	33.36	33.28	31.81	30.76	31.41	27.90
5.1	35.45	36.43	35.25	30.59	30.53	28.68
5.7	35.75	36.16	35.35	34.00	33.07	29.51
6.3	37.60	37.19	35.08	33.65	32.82	30.25
6.9	37.57	37.44	36.05	34.22	31.32	29.77
7.5	37.82	37.41	36.23	35.33	34.74	30.56
8.1	38.17	38.29	35.68	29.80	34.95	30.16
8.7	38.93	39.28	38.04	36.52	35.83	29.84
9.3	39.24	39.69	37.65	36.68	34.34	29.69
9.9	39.10	39.76	38.34	36.14	34.65	30.24
10.5	39.49	39.57	38.46	36.78	34.76	29.93
11.1	39.67	40.13	36.98	35.80	34.59	28.67
11.7	40.48	39.21	37.65	36.64	33.87	28.39
12.7	40.96	39.00	37.70	36.82	33.60	28.10

P1Q30

h(cm)	y=0	y=5	y=10	y=15	y=20	y=25
0.9	24.03	18.13	18.13	21.27	15.86	8.79
1.5	23.22	26.63	26.63	25.52	20.93	24.03
2.1	28.54	28.75	28.75	27.26	26.66	25.83
2.7	30.02	30.34	30.34	27.76	29.54	26.30
3.3	33.06	32.07	32.07	29.93	31.97	26.45
3.9	34.34	33.55	33.55	31.60	32.64	26.84
4.5	34.90	34.26	34.26	32.10	33.19	27.44

5.1	35.92	35.18	35.18	33.80	33.57	26.89
5.7	37.35	35.01	35.01	34.40	35.15	29.03
6.3	36.96	35.52	35.52	36.48	34.50	27.29
6.9	37.40	36.73	36.73	35.52	35.39	27.55
7.5	37.86	38.22	38.22	36.06	34.42	28.36
8.1	38.32	38.33	38.33	36.75	34.75	27.56
8.7	38.54	38.24	38.24	36.86	35.57	28.71
9.3	37.93	38.64	38.64	37.58	35.75	28.37
9.9	39.28	38.71	38.71	38.61	35.29	29.33
10.5	39.64	38.49	38.49	37.34	35.68	27.70
11.1	39.54	38.52	38.52	38.09	35.08	28.47
11.7	38.63	39.77	39.77	38.23	36.19	28.13
12.3	39.14	38.95	38.95	38.11	35.13	28.41
12.9	39.65	38.11	38.11	37.02	35.64	26.79
13.5	39.35	39.00	39.00	36.57	33.97	25.87
13.9	39.86	38.41	38.41	36.86	31.52	24.67
14.5	39.90	40.02	40.02	36.90	31.22	24.40

P1Q40

h(cm)	u (cm/s)					
	y=0	y=5	y=10	y=15	y=20	y=25
0.9	24.11	22.40	23.57	24.58	23.36	23.47
1.5	26.72	28.32	29.37	28.07	28.08	26.88
2.1	27.63	30.12	31.16	29.54	29.49	28.75
2.7	30.44	32.57	32.47	32.01	31.48	29.64
3.3	34.54	33.93	34.39	33.62	33.31	31.08
3.9	33.20	34.62	35.93	33.78	33.74	31.78
4.5	35.27	35.35	36.36	34.54	35.39	32.55
5.1	35.97	37.87	37.78	37.64	35.86	32.91
5.7	35.43	39.24	36.87	36.83	36.29	33.31
6.3	36.27	38.57	37.91	38.71	37.44	33.69
6.9	36.06	39.10	38.59	39.55	37.58	33.83
7.5	37.95	39.62	39.39	39.52	38.12	35.26
8.1	39.03	39.70	39.79	39.73	38.44	34.12
8.7	38.13	40.69	39.48	40.45	38.74	34.87
9.3	38.94	40.75	41.04	40.31	39.38	35.09
9.9	39.57	40.73	39.94	40.62	39.69	35.28
10.5	38.95	40.34	41.12	41.46	39.78	34.58
11.1	38.77	40.66	40.94	40.83	38.58	34.37
11.7	39.30	41.19	41.29	41.34	39.98	35.45
12.3	41.07	42.18	41.48	41.17	40.12	35.80
12.9	39.75	41.18	40.85	40.82	39.33	34.57

13.5	41.18	41.50	41.67	40.56	37.58	34.23
14.1	40.55	41.93	41.02	40.42	37.65	33.99
14.7	41.07	41.63	41.24	39.57	37.81	34.07
15.3	41.14	41.13	40.66	39.05	35.14	33.11
15.9	41.57	41.93	40.75	39.00	34.71	33.13
16.5	42.33	42.05	40.92	38.94	35.56	30.52
16.9	41.30	42.22	41.25	38.41	34.04	30.06
17.6	41.20	42.40	41.12	38.30	34.02	30.00

**Ek-3 İkinci Pürüzlü Akım Şartlarında(k=7mm) Elde Edilen
Hız Ölçüm Değerleri u (cm/s)**

P2Q10

h(cm)	y=0	y=5	y=10	y=15	y=20
0.9	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
1.5	0.33	0.01	0.01	0.02	0.01
2.1	0.33	0.27	0.09	0.03	0.01
2.7	3.43	1.73	1.28	0.38	0.16
3.3	5.98	2.71	5.31	2.82	1.95
3.9	10.30	5.36	4.27	2.27	3.24
4.5	11.71	6.16	6.78	6.09	3.72
5.1	12.35	8.81	6.50	5.99	5.67
5.7	12.96	9.42	9.96	7.15	7.08
6.3	13.88	10.92	11.49	9.05	7.89
6.9	14.40	11.60	10.93	11.08	10.84
7.5	13.98	11.51	12.29	8.81	11.59
8.1	14.30	14.34	12.22	12.60	11.59
8.7	13.69	14.19	12.16	12.37	11.25
9.3	13.96	13.29	12.35	12.52	11.94
9.9	14.13	14.86	13.23	12.91	11.99
10.5	14.26	14.75	14.32	12.30	11.78
11.1	14.13	14.80	13.48	12.77	11.59
11.7	14.84	15.09	14.02	12.91	11.34
12.3	14.36	14.81	13.60	12.22	10.90
12.9	14.74	14.42	13.70	12.69	10.73

P2Q15

h(cm)	y=0	y=5	y=10	y=15	y=20	y=25
0.9	0.09	0.02	0.01	0.30	0.01	0.01
1.5	0.10	0.03	0.02	0.90	0.20	0.13
2.1	7.20	0.33	0.26	1.20	0.38	0.66
2.7	13.45	7.03	2.35	1.60	2.69	5.57
3.3	15.49	6.91	9.46	6.57	8.79	8.77
3.9	15.99	9.27	11.83	11.95	7.36	11.11
4.5	15.40	16.65	16.94	13.89	9.11	12.88
5.1	17.26	18.84	18.41	17.07	15.76	13.47
5.7	17.26	19.54	18.80	16.53	16.93	14.23
6.3	18.89	19.15	19.06	18.42	15.54	14.94
6.9	19.49	20.3	19.79	18.90	15.90	15.01
7.5	20.11	19.9	20.01	19.04	17.30	15.02
8.1	20.05	21.65	20.40	19.81	16.94	15.63
8.7	20.08	21.20	20.40	19.63	19.11	16.01
9.3	20.30	21.10	20.08	19.67	18.11	15.28
9.9	20.37	20.88	20.02	19.38	18.51	15.16
10.5	21.15	21.25	21.67	19.97	18.88	15.37
11.1	20.77	21.63	20.80	19.81	18.95	14.99
11.7	21.04	19.88	20.78	19.91	17.80	14.86
12.3	20.98	21.79	20.83	19.76	17.64	14.73

12.9	20.96	20.99	20.02	18.82	18.03	14.38
13.5	21.43	21.51	20.79	18.96	16.43	14.08
14.1	20.88	21.49	20.06	18.29	3.38	13.97

P2Q20

h(cm)	y=0	y=5	y=10	y=15	y=20	y=25
0.9	1.14	1.02	2.31	1.57	1.23	1.74
1.5	3.34	4.48	4.59	3.68	3.26	4.01
2.1	5.37	6.79	8.98	8.46	5.38	6.24
2.7	8.78	9.41	11.81	10.11	6.91	9.88
3.3	10.97	16.23	17.95	15.21	12.48	12.88
3.9	15.00	16.19	19.55	19.02	15.42	14.40
4.5	19.64	17.32	19.89	19.19	17.59	14.75
5.1	19.77	20.46	20.63	16.18	16.94	16.02
5.7	21.27	21.33	20.95	18.42	18.39	17.28
6.3	21.73	22.05	20.48	19.68	18.76	17.05
6.9	21.76	22.69	22.24	20.60	19.78	17.46
7.5	22.75	21.29	22.52	21.69	20.04	18.18
8.1	22.45	23.44	22.73	21.23	20.85	18.41
8.7	23.42	23.55	23.65	21.42	19.22	17.98
9.3	23.22	23.53	23.36	22.35	20.34	17.99
9.9	23.71	23.91	24.01	23.12	21.27	18.98
10.5	24.32	24.03	23.56	22.94	21.65	19.13
11.1	23.87	22.82	23.17	22.88	21.54	18.09
11.7	23.76	24.46	22.98	22.49	21.78	18.30
12.3	24.23	23.74	23.41	22.28	21.72	18.38
12.9	24.09	24.27	22.94	22.71	21.15	18.23
13.5	24.74	24.34	23.01	22.35	21.24	17.21
14.1	24.45	23.56	23.35	21.78	18.40	17.07
14.7	24.58	24.16	23.34	21.47	20.18	17.48
15.3	24.06	23.72	22.59	20.78	19.95	16.10
15.8	23.97	23.84	22.64	21.33	20.16	15.96
16.3	24.10	24.35	22.98	21.89	20.91	16.32

P2Q25

h(cm)	y=0	y=5	y=10	y=15	y=20	y=25
0.9	2.83	2.78	3.64	3.45	3.05	0.07
1.5	5.36	5.63	8.96	8.48	7.68	1.94
2.1	15.86	8.56	15.43	14.99	13.42	11.15
2.7	21.10	11.27	20.93	19.81	16.76	16.00
3.3	21.29	15.02	21.91	21.86	19.80	18.53
3.9	21.38	21.05	22.16	22.05	22.71	18.82
4.5	24.95	22.05	24.52	22.43	21.22	20.01
5.1	25.33	24.44	25.97	23.72	22.85	20.80
5.7	25.98	26.15	26.42	25.77	23.58	21.07
6.3	26.00	25.89	26.77	26.62	23.07	21.06
6.9	26.91	26.27	27.27	26.70	24.45	21.91
7.5	27.00	26.71	27.26	26.43	23.68	22.39
8.1	27.18	28.24	28.31	27.30	25.52	22.58

8.7	28.03	28.26	28.46	27.22	26.00	21.80
9.3	27.71	28.13	29.07	27.23	26.08	23.06
9.9	27.44	29.00	28.55	27.96	26.33	22.55
10.5	28.10	29.28	28.44	27.58	26.75	22.59
11.1	28.34	28.91	28.69	28.22	26.65	23.23
11.7	27.97	28.96	28.86	27.99	26.80	22.59
12.3	28.38	28.88	28.75	27.90	26.70	23.02
12.9	28.56	28.97	28.82	27.50	26.13	23.19
13.5	27.71	28.80	28.30	27.52	26.26	22.07
14.1	27.68	28.84	28.53	26.62	25.81	22.53
14.7	27.95	28.91	28.27	26.90	25.79	21.32
15.3	28.19	28.34	27.44	26.59	24.45	21.08
15.9	28.03	28.27	27.41	25.54	23.60	20.88
16.5	28.25	28.44	27.03	25.98	23.73	20.03
17.1	28.11	28.06	27.27	24.47	23.02	19.58
17.6	28.18	28.39	27.88	24.89	23.78	20.38

P2Q30

h(cm)	y=0	y=5	y=10	y=15	y=20	y=25
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.9	3.83	3.97	3.58	3.86	3.46	3.31
1.5	8.38	8.95	8.43	9.39	8.23	7.78
2.1	17.46	9.35	10.65	11.05	10.56	8.87
2.7	18.71	10.62	21.06	17.98	14.93	10.80
3.3	24.54	12.67	23.48	22.27	23.02	20.22
3.9	25.54	15.88	24.59	24.18	24.34	22.88
4.5	26.56	18.44	26.89	25.89	25.19	22.80
5.1	27.48	24.18	26.73	27.79	26.16	24.19
5.7	26.67	24.74	28.62	26.67	27.19	24.03
6.3	28.63	27.46	28.34	28.41	28.31	25.46
6.9	27.77	24.33	29.26	28.01	28.02	25.63
7.5	29.17	27.78	29.83	28.82	28.59	25.64
8.1	28.76	27.99	30.70	29.86	29.11	26.06
8.7	30.64	29.81	30.45	30.04	29.82	26.26
9.3	29.33	29.00	31.38	30.46	29.83	26.64
9.9	29.77	30.25	30.88	31.13	31.09	26.65
10.5	29.90	30.55	30.95	31.53	30.42	27.47
11.1	29.64	30.77	30.93	31.69	30.93	27.38
11.7	30.05	31.80	31.45	31.60	31.13	26.55
12.3	29.92	31.09	32.08	32.04	30.70	26.67
12.9	30.78	31.77	31.62	31.46	30.86	26.94
13.5	31.42	31.82	31.69	31.70	29.92	26.52
14.1	30.80	32.07	31.26	32.27	30.05	26.84
14.7	31.29	31.64	31.06	31.33	30.07	26.84
15.3	31.55	31.71	31.26	31.10	29.85	26.19
15.9	30.45	31.17	31.57	30.27	28.49	25.73
16.5	31.43	31.35	30.87	30.51	29.23	25.96
17.1	30.98	30.41	31.19	30.99	27.98	24.74
17.7	30.83	31.10	30.06	30.04	27.34	22.93
18.3	30.99	31.56	30.99	30.89	27.78	23.46

P2Q40						
h(cm)	y=0	y=5	y=10	y=15	y=20	y=25
0.9	5.67	5.46	6.49	7.32	6.97	6.57
1.5	9.36	8.98	10.36	10.98	10.43	10.22
2.1	15.63	16.99	19.20	17.35	16.37	15.98
2.7	25.29	24.03	26.82	26.13	19.34	18.67
3.3	26.39	28.27	28.12	26.55	26.15	23.03
3.9	30.63	30.70	30.74	29.05	27.76	28.08
4.5	30.56	30.64	31.98	31.31	27.45	28.88
5.1	31.69	31.56	30.72	33.23	29.89	29.12
5.7	32.51	31.97	32.60	34.66	31.69	29.91
6.3	33.03	33.55	33.39	35.08	32.84	31.44
6.9	34.44	34.50	34.33	35.39	33.88	31.93
7.5	34.16	34.56	34.16	35.21	33.67	31.90
8.1	35.18	35.12	34.81	37.07	34.93	32.81
8.7	35.47	35.19	35.92	36.87	35.72	32.42
9.3	35.91	35.25	36.01	36.58	34.44	33.15
9.9	34.85	36.49	35.98	37.98	35.41	33.08
10.5	35.91	36.43	36.51	37.39	36.43	33.45
11.1	35.59	35.38	36.96	37.59	36.89	33.58
11.7	36.92	37.26	37.57	38.43	38.07	33.27
12.3	37.14	37.44	37.56	38.74	36.90	34.42
12.9	37.06	36.82	36.67	38.46	37.69	33.36
13.5	37.17	37.44	37.53	39.37	37.49	33.84
14.1	37.64	36.97	36.94	39.03	37.90	33.74
14.7	37.87	37.44	37.27	38.22	36.96	33.93
15.3	37.51	38.48	37.58	38.34	37.71	34.72
15.9	37.60	38.08	37.88	38.21	36.91	32.95
16.5	37.27	38.03	36.70	37.66	36.38	33.68
17.1	37.33	37.71	37.24	36.38	36.37	32.33
17.7	37.95	37.03	38.31	37.19	35.76	31.44
18.3	38.36	37.79	37.72	35.45	35.45	31.14
18.9	36.97	36.81	37.42	35.70	34.63	31.14
19.5	38.39	37.96	37.63	35.17	33.14	31.11
20.1	37.03	37.22	37.78	34.99	31.69	26.83
20.3	36.92	37.18	37.99	34.77	31.12	26.34

ÖZGEÇMİŞ

1981'de Kayseri'de doğdu. İlk ve orta okulu Kayseri'de bitirdi. Liseye Mersin Fen Lisesi'nde başladı ve Mersin Dumlupınar Lisesi'nden mezun oldu. 1999 yılında ÖSS imtihanı ile Erciyes Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü'nde okumaya hak kazandı. Okulu 4 yılda bitirerek 2003 yılında buradan mezun oldu ve inşaat mühendisi unvanı aldı. Aynı yıl Erciyes Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Anabilim dalı'nda yüksek lisans yapmayı birincilikle hak etti. 2005 yılında Karayolları Genel Müdürlüğü Sivas bölgesinde kısa süre ile çalıştı. Aynı yıl Erciyes Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Hidrolik Anabilim Dalında araştırma görevlisi olarak göreve başladı. Halen bu kurumda görevine devam etmektedir.

Uzmanlık Alanları

Hidrolik, Açık Kanal Akımları, Hız Ölçüm Teknikleri, ADV

Aldığı Ödüller

The Best Student Paper Award for AEE'06 Prague WSEAS 2006

Yayımları

Mehmet Ardiclioglu, Ozgur Ozturk, "Numerical and Experimental Determination of Boundary Layer Thickness", WSEAS TRANSACTIONS on SYSTEMS, Issue 5, Volume 5, May 2006

Ardiclioglu M., Ozturk, O., "Numerical and Experimental Determination of Boundary Layer Thickness", The 5th WSEAS International Conference on APPLICATIONS of ELECTRICAL ENGINEERING (AEE '06), 12-14 March 2006, Prague-Czech Republic

Ardıçlıoğlu M., Öztürk, Ö., Yakupoğlu, A., "Açık Kanallarda Hız Ölçüm Cihazlarının Kullanımı Ve Karşılaştırılması", TMMOB Makina Mühendisleri Odası, VI.Ulusal Ölçüm bilim Kongresi 17-18 Kasım 2005 Eskişehir-Türkiye

Ardıçlıoğlu M., Seçkin, G., Öztürk, Ö., "Pürüzlü Açık Kanal Akımlarında Debi Hesabı için Entropi Yönteminin Kullanılması", Antalya Yöresinin İnşaat Mühendisliği Sorunları Kongresi, 22-24 Eylül 2005, Antalya

Ardıçlıoğlu M., Bilgil, A., Öztürk, Ö., "Cilalı ve Pürüzlü Açık Kanal Akımlarında Sürtünme Katsayılarının İncelenmesi", Antalya Yöresinin İnşaat Mühendisliği Sorunları Kongresi, 22-24 Eylül 2005, Antalya.

Adres : Erciyes Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü 38039
Kayseri/Türkiye

Telefon: 352-4374901/32329
536-4633633(GSM)

Faks: 352-4375784

e-posta: ozturko@erciyes.edu.tr