

T.C.
NİĞDE ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

PÜRÜZSÜZ AÇIK KANAL AKIMLARINDA TÜRBÜLANSLI HIZ
DAĞILIMLARININ SÜRTÜNME FAKTÖRÜNE ETKİSİ

728953

A.ALPER ÖNER

YÜKSEK LİSANS TEZİ

DANIŞMAN: Yrd. Doç. Dr. Ahmet BİLGİL

128953

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM BAKANLIĞI
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

HAZİRAN 2002

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğüne

Bu çalışma jürimiz tarafından İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Başkan: Prof. Dr. Zarife HANMEHMED


(Niğde Üniversitesi)

Üye : Yrd. Doç Dr. Ahmet BİLGİL

(Niğde Üniversitesi)



Üye : Yrd. Doç Dr. Mehmet ARDIÇLIOĞLU

(Erciyes Üniversitesi)



ONAY:

Bu tez 20/06/2002 tarihinde, Fen Bilimleri Yönetim Kurulu'nca belirlenmiş olan yukarıdaki jüri üyeleri tarafından uygun görülmüş ve Enstitü Yönetim Kurulu'nun kararıyla kabul edilmiştir.


24/..7/2002

Doç. Dr. Aydın TOPÇU
Enstitü Müdürü

ÖZET

PÜRÜZSÜZ AÇIK KANAL AKIMLARINDA TÜRBÜLANSLI HIZ DAĞILIMLARININ SÜRTÜNME FAKTÖRÜNE ETKİSİ

ÖNER, A. Alper

Niğde Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
İnşaat Mühendisliği Ana Bilim Dalı

Danışman : Yrd. Doç. Dr. Ahmet Bilgil

Haziran 2002, 75 sayfa

Açık kanal akımlarında hız dağılımlarının bilinmesi, kanalların tasarımında, sediment hareketlerinde ve enerji kayıplarının belirlenmesinde oldukça önemlidir. Bu çalışmanın asıl amacı cilalı dikdörtgen açık kanalda lokal hız ölçüm değerlerinden yola çıkarak hız dağılımları yardımı ile cidar kayma gerilmesi dağılımının sürtünme katsayısına etkisini belirlemektedir.

Çalışmada 0,3x0,4x10,0 metre boyutlarındaki pürüzsüz açık kanal modeli üzerinde Laser Doppler Anemometresi kullanılarak, kanalın orta kesimde ve tam türbülanslı bölgede, 21 farklı durumda hız ölçümleri yapılmıştır. Bunun için, ıslak çevreye dik kesitlerde logaritmik hız dağılımlarının geçerliliği kabul edilmiş, düzgün hız dağılımındaki boyutsuz cidar kayma gerilmeleri $K(I)$ ve A, B sabitleri hesaplanmıştır. Lineer olmayan sistemlerin çözümünde ise yarı teorik bir metot kullanılmıştır. Sonuçta Manning denkleminde kullanılacak yeni bir sürtünme katsayısı önerilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Açık kanal, hız dağılımı, cidar kayma gerilmesi, pürüzlülük katsayısı

SUMMARY

THE EFFECTS OF TURBULANCED VELOCITY DISTRIBUTION OF SMOOTH OPEN CHANNEL FLOWS ON FRICTION FACTOR

ÖNER, A. Alper

Niğde University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Civil Engineering

Supervisor : Yrd. Doç. Dr. Ahmet Bilgil

June 2002, 75 pages

Knowing the velocity distribution in open channel is very important for designing channels, sediment actions and determination of energy loss in rectangular smooth open channels. The main purpose of this study is determine the effects of wall shear stress distribiton on friction coefficient, by measuring local velocity in rectangular open channels.

During the experimental studies, in a smooth open channel model which has dimensions of 0,3X0,4X10,0 m.,velocity measurements were made by using Laser Doppler Anemometer in the middle of channel and full turbulanced region at 21 different state. In orer to aschive this purpose, assuming the valdity of logaritmic velocity distribution along perpendeculars to the wetted perimeter, dimensionless shear stress $K(I)$, and single pair of constants A, B in the unified velocity distribution were obtained. A semi-theoritcal methad was applied for the solution of non-linear equations. As a result, a new friction coefficient which can be used in Manning equation is proposed.

Key Words: Open Channel, velocity distribution, wall shear stress, friction coefficient

TEŞEKKÜR

Çalıőmalarım boyunca değerli yardım ve katkılarıyla beni yönlendiren danıőmanım Sayın Yrd. Doç Dr. Amet BİLGİL'e , yardımlarını hiçbir zaman esirgemeyen ve yapmış olduğu deney sonuçlarımı veren Erciyes Üniversitesi'nden değerli hocam Yrd.Doç.Dr.Mehmet ARDIÇLIOğLU'na, ayrıca varlıkları ve sevgileri ile bana güç, kuvvet katan eőime ve tüm aileme minnet dolu teőekkürlerimi sunarım.



İÇİNDEKİLER DİZİNİ

ÖZET	iv
SUMMARY	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER DİZİNİ.....	vii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	ix
TABLOLAR DİZİNİ.....	x
SEMBOLLER	xi
BÖLÜM I GİRİŞ.....	1
1.1 Yapılan Çalışmanın Amaç ve Kapsamı.....	2
1.2 Literatür Çalışması	4
BÖLÜM II AÇIK KANALLAR VE BORULAR İÇERİSİNDE AKIM.....	8
2.1 Borular İçerisinde Akım	8
2.2 Türbülanslı Oluşturduğu Sürtünme	11
2.3 Borular İçerisindeki Enerji Kaybı	15
2.4 Açık Kanallar İçerisinde Akım	17
2.5 Bir Kesitteki Basınç Dağılımı	17
2.6 Açık Kanallarda Sekonder Akımlar	19
2.7 Düz Bir Tabanda Düzenli Üniform Türbülanslı Akım.....	19
2.8 Açık Kanalarda Kararlı Üniform Akımın Genel Denklemi.....	21
2.9 Açık Kanal Akımlarında Enerji Kaybı	24
BÖLÜM III YAPILAN ÇALIŞMALAR VE DENEY DÜZENEĞİ.....	29
3.1 Deney Düzeneği ve Yöntemi	29
3.1.1 Ultrasonic Debi Ölçer.....	30
3.2 Deney Yöntemi	33
3.3 Çalışan Denklemin Çözüm Metotları	38
3.4 Metodun Eldeki Mevcut Problem İçin Uygulanması	40
3.5 Noktasal Hız Ölçümlerinin Değerlendirilmesi.....	41
BÖLÜM IV BULGULAR.....	44
4.1 Deneysel Çalışmadan Elde Edilen Bulgular	44
4.2 Boyutsuz Cidar Kayma Gerilmeleri	48
4.3 Logaritmik Kanunların Sabitleri	50
4.4 Sürtünme Yük Kaybı İlişkileri	51

BÖLÜM V İRDELEME	53
5.1 Logaritmik Sabitler ve Cidar Kayma Gerilmesi Dağılımı	53
5.2 Logaritmik Hız Dağılımı ve Debi ilişkisi.....	55
5.3 Çalışma ile Sürtünme Yük Kaybı İlişkileri	56
BÖLÜM VI SONUÇ ve ÖNERİLER	59
KAYNAKLAR	61
EKLER	63



ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1 Reynolds Deneyi.....	8
Şekil 2.2 Laminer Ve Türbülanslı Akımlarda Hız-Zaman İlişkisi.....	9
Şekil 2.3 Hız-Derinlik Değişimi	10
Şekil 2.4 Hızın Zamanla Değişimi	12
Şekil 2.5 Boru İçerisinde Akım.....	13
Şekil 2.6 Boru Akımı.....	15
Şekil 2.7 Açık Kanal Akımı İçerisindeki Basınç Dağılımı.....	18
Şekil 2.8 Serbest Yüzeyle Türbülanslı Üniform Akımda Kayma Gerilmesi Dağılımı.....	20
Şekil 2.9 Serbest Yüzeyle Kanal Akımı.....	21
Şekil 2.10 Eş Hız Çizgileri	25
Şekil 2.11 Açık Kanal Akımının Boyuna Kesiti.....	26
Şekil 2.12 Açık Kanal Kesiti	26
Şekil 3.1 Ultrasonik Debi Ölçer (Ardıçlıoğlu,1994)	30
Şekil 3.2 Deney Kanalı (Ardıçlıoğlu, 1994).....	31
Şekil 3.3 Su Sirkülasyon Sistemi (Ardıçlıoğlu, 1994)	32
Şekil 3.4 Akım Enkesit Üzerinde Ölçüm Noktaları	34
Şekil 3.5 Tablo 3.2'deki S Değerlerinin Hesap Yöntemi	36
Şekil 4.1 Bütün Ölçümler İçin Boyutsuz Cidar Kayma Gerilmesi Dağılımı	49
Şekil 4.2 Farklı W/h Oranları İle Logaritmik Ortalama A ve B Sabitlerinin Değişimi	50
Şekil 5.1 Kanallardaki Boyutsuz Yatak Cidar Kayma Gerilmelerinin $(K(I)_T)$ Değişimi..	55
Şekil 5.2 Ölçülen Debi, 4.4 Bağıntısı ve Manning'in Pürüzsüz Yüzeyler İçin Verdiği $n=0,010$ Değeri İle Hesaplanan Debiler Arasındaki Değişim	56
Şekil 5.3 n_m , n_p , n Parametrelerinin Reynolds Sayıları İle Etkileşimi	58
Şekil 5.4 n_m ve n Parametrelerinin Farklı W/h Değerleri İle Etkileşimi	58

TABLÖLAR DİZİNİ

Tablo 2.1 Basınçlı ve Serbest Yüzeyli Akımlarda Enerji Kaybı	27
Tablo 3.1 Deney Verileri	33
Tablo 3.2 Deney Ölçüm Noktalarında Hesaplanan S değerleri	37
Tablo 3.3 Girdilerin Nümerik Değerleri.....	41
Tablo 3.4 Farklı Eğim ve İterasyonlara Göre Seçilen Minimum FI0 Değerleri	43
Tablo 4.1 Hesaplanan Cidar Kayma Gerilmeleri, A, B Sabitleri.....	45
Tablo 4.2 W/h Oranları İle Logaritmik Ortalama A ve B Sabitleri	50



SEMBOLLER

A	=	Kesit alanı
C	=	Chezy katsayısı
C_T	=	Kanal tabanı boyutsuz cidar kayma gerilmesi sabiti
D	=	Boru çapı
f	=	Sürekli yük kayıp katsayısı
g	=	Yer çekimi ivmesi
ρ	=	Sıvı özgül kütlesi
h	=	Kanal akım derinliği
J	=	Hidrolik eğim, Enerji kaybı
J_0	=	Kanal taban eğimi
k_s	=	Cidar pürüz yüksekliği
$K(I)$	=	Lokal cidar kayma gerilmesi
K_d	=	Kanal duvar cidarı kayma gerilmesi
K_T	=	Kanal tabanı cidar kayma gerilmesi
n	=	Açık kanallardaki Manning pürüzlülük katsayısı
n_T	=	Kanal tabanı boyutsuz cidar kayma gerilmesi sabiti üssel ifadesi
n_m	=	Çalışmada kanallar için enerji kaybı katsayısı
P	=	Basınç
P_0	=	Atmosfer basıncı
R	=	Hidrolik yarıçap
r	=	Boru yarıçapı
Re	=	Reynolds sayısı
U	=	Islak çevre
U_t	=	Kayma hızı

$u'v'$	=	Hız çalkantı bileşenleri
V	=	Kesitsel ortalama hız
τ	=	Ortalama kayma gerilmesi
τ_w	=	Lokal kayma gerilmesi
τ_0	=	Cidarda kayma gerilmesi
γ	=	Sıvı özgül ağırlığı
μ	=	Dinamik viskozite katsayısı
μ_t	=	Türbülans viskozitesi
ν	=	Kinematik viskozite
δ	=	Laminer film tabakası kalınlığı
Q	=	Debi
κ	=	Karman sabiti
Ω	=	z,y düzlemindeki vorteks
W	=	Açık kanallarda genişlik

BÖLÜM I

GİRİŞ

Dünya nüfusunun hızla artışı ve insan refahının yüksek değerlere ulaşması su tüketiminin artmasına sebep olmuş, suyun değeri daha iyi anlaşılmaya başlanmış ve konuyla ilgili araştırmalar yoğunlaşmıştır. Çünkü su canlılar için en önemli fizyolojik ihtiyaçtır ve susuz yaşam mümkün olmamaktadır. Su ayrıca endüstriyel ve tarımsal gelişmenin başlıca temel hammaddesidir. Böylece bilimsel anlamda çalışmalar son derece önem kazanmaktadır. 1995 ile 2005 yılları arasında yeryüzünde toplam su kullanımının en az %200-%300 oranında artacağı bilinmektedir. Sonuçta su kaynakları daha da düzensizleşecek ve enerji fiyatlarını ödeyemeyeceklerinden pek çok yoksul ülke su kaynaklarından yararlanamayacaktır. Olayın daha da ciddileşmesinden kaçınmak için suyun dünyada akılcı yöntemlerle dağıtılmasını sağlamaya çalışmak tek çare olarak görülmektedir.

Mevcut kıt kullanılabilir su kaynaklarını değerlendirmede sulama ve kullanma alanlarından oluşan bir sistemin optimizasyonunu amaçlayan bir çalışmanın yapılmasının gerekliliği düşünülmüştür. Bütün dünya ülkelerinde dinamik nüfus artışı ile sulamayı ve biyolojik ihtiyaçları karşılayacak yıllık su miktarları belirlenmiştir. Rezervlerin kullanım alanına iletilmesinde ise su kayıplarını minimumda tutmak zorunlu olmalıdır. Yapılacak bir hata, dönüşü olmayan sonuçlar doğuracağı için, iletimde seçilecek parametreler toplam su potansiyelinin fonksiyonu olarak belirlenmelidir. Mevcut verilere göre sulama suyu iletiminde kullanılan parametreler ile gerçek akım arasındaki farklılık hala mevcudiyetini korumaktadır.

Atmosferle temas halinde olan serbest yüzeyli akımlara açık kanal akımları denir. Açık kanal akımları değişik özellikleri ile sınıflandırılmaktadır. Eğer açık kanaldaki su derinliği zamanla değişmiyorsa veya ele alınan zaman aralığında sabit olarak kabul edilirse akım düzenli, kanaldaki akım derinliği zamanla değişiyorsa akım değişken olarak isimlendirilir. Düzenli ve değişken akımlar da akım derinliği kanal boyunca değişmiyorsa, üniform değişiyorsa üniform olmayan olarak sınıflandırılır. Ayrıca laboratuarda ve tabiatта yapılan çalışmalar neticesinde özellikleri birbirinden farklı iki akım türünün varlığı ortaya konmuştur. Bunlar laminer ve türbülanslı akımlardır. Pratikte görülen çoğu açık kanal akımı türbülanslı olup, nadiren düşük hızlarda laminer akım oluşur.

Bir açık kanal akımındaki akımın belirli olabilmesi akım yönünün, akış kesitinin ve kesit içerisindeki hız dağılımının bilinmesi ile mümkündür. Açık kanalların tasarımında enerji kaybının belirlenmesi, sediment hareketi ve kirlilik problemlerinin incelenmesinde kanal içerisindeki akım hız dağılımlarının bilinmesi gerekmektedir. Geniş kanallarda ($W/h \geq 5-10$) orta bölgedeki hız dağılımı kanal yan duvarlarından etkilenmediği için akım genelde iki boyutlu düşünülebilir. Bu tür kanallarda akım boyunca kesit orta düzeyindeki cidar kayma gerilmesinin sabite yakın olması borular için kullanılan hız ifadelerinin açık kanal akımları için de kullanılabilmesi ancak serbest su yüzünün etkileri göz önüne alınarak borular için verilen ifadelerdeki katsayıların açık kanallar için yeniden belirlenmesi gerektiği (Rajaratnam ve diğerleri, 1969) ve bir çok araştırmacı tarafından belirtilmiştir.

Dairesel borular ve düz yüzeyler üzerindeki türbülanslı akımların hız dağılımını veren ifadelerin belirlenmesi (Prandtl, 1925) ve (Von Karman, 1930)'ın boru akımları üzerindeki teorik araştırmaları ile başlamıştır. Yapılan çalışmalarda katı sınır yakınlarında yani viskoz kuvvetlerin etkisi altındaki alt tabakada doğrusal hız dağılımının geçerli olduğu ifade edilmiştir. Katı sınırdan uzaklaştıkça akımda türbülans etkisinin baskın olduğunu ve bu bölgedeki hız dağılımının Velocity-Defect-Law ve Law of the Wall dağılımları ile temsil edilebileceğini bildirmişlerdir.

Daha önce hız dağılımlarını belirlenmesi amacıyla bir çok çalışma yapılmış, hız dağılımlarının belirlenmesi için pitot tüpü yada hot film anemometresi kullanılmıştır. Fakat bu aletlerin akım özelliklerini bozucu etkisi olduğu bilinmektedir. Son dönemde yapılan çalışmalar Laser Doppler Anemometresi ile yapılmaktadır. Laser anemometresi ile katı sınır yakınlarında ve serbest su yüzüne çok yakın bölgelerde akıma müdahale etmeden daha hassas olarak hız ölçümleri yapmak mümkün olmaktadır.

Açık kanal akımlarında sınır tabakasının gelişimi boyunca ve gelişmiş bölgede enkesit hız dağılımının belirlenmesi amacıyla çok fazla çalışma yapılmadığı gözlenmektedir. Bu bölgelerdeki akım özelliklerinin örneğin hız dağılımı ve kayma gerilmesi dağılımının belirlenmesi önem arz etmektedir.

1.1 Yapılan Çalışmanın Amaç ve Kapsamı

Açık kanallardaki hidrolik problemler, borulardaki hidrolik problemlere göre çok daha karmaşıktır. Borulardaki su, geometrisi tamamen belli bir kesit içerisinde akmakta, verilen bir debi için boru ekseninde herhangi bir noktadaki hız tamamen bilinmektedir.

Akımlarda boru ekseninin eğiminin hiçbir rolü yoktur. Esas olan piyezometre eğimidir. Açık kanallardaki akımların incelenmesi ise kanal tabanının eğimine ve kesitin şekline bağlıdır. Ayrıca pürüzlülüğü ifade eden katsayılar, borularda hemen hemen hatasız olarak belirlenmektedir. Bu da genelde borulardaki pürüzlülüğün ve diğer parametrelerin daha önceden belirlenmesinden kaynaklanmaktadır. Bugüne kadar yapılan çalışmalarda basınçlı akımlarla ilgili birçok problem rahatlıkla analiz edilebilmektedir. Halbuki serbest yüzeyli akımlarda bu husus çok karışıktır. Kanalin bütün akım yüzeyleri farklı pürüzlülüğe sahip ve bir yüzeyi atmosfer ile temas halindedir. Buna bağlı olarak da açık kanal problemlerinin çözümlenmesinde teorik yaklaşımlar sınırlı kaldığı için kanal akımlarında bazı ampirik esaslardan faydalanma mecburiyeti vardır.

Basınçlı akımlar üzerinde yapılan çalışmalarda, pratik olarak elde edilen debi , teorik olarak ta çözümlenebilmekte ve aradaki fark çok önemsiz olmaktadır. Buradaki en önemli parametre sürtünme katsayısıdır ve bu katsayının belirlenmesinde etken olan nedenlerle etkileşimi deneysel olarak da belirlenebilmektedir.

Günümüzde borular için elde edilen pürüzlülük ve sürtünme faktörlerinin açık kanal akımları için de geçerli olabileceği ileri sürülmekte ve kurulan matematiksel denklemler bu doğrultuda olmaktadır. Ancak bilimin hızla ilerlemesi ve daha hassas deney ölçü aletlerinin gelişmesi neticesinde, açık kanallar üzerinde yapılan çalışmalar; bu iddiaların doğru olmadığını ve birçok araştırmacı tarafından borular için elde edilen denklemlerin kanallar için kullanılamayacağını ortaya koymaktadır. Borular için kullanılan sürtünme faktörü bağıntılarının, kanallar için kullanılan bağıntılardan farklı olması normal karşılanmalıdır. Çünkü, açık kanallarda serbest yüzey gerilimi, düzensiz kayma gerilmeleri, sekonder akımlar gibi birçok faktörler problemi daha kompleks duruma getirmektedir. Sonuç olarak, çalışmalarda bulunan gerçek; açık kanallar için bulunan sürtünme katsayılarının, borular içerisindeki akışlar için bulunan sürtünme katsayısından farklı olduğudur. Bu farkların tanımlanmasında oldukça güçlük çekilmektedir. Çünkü, açık kanal akımlarında karşılaşılan bazı problemler yeterince tanımlanamamış ve ölçüm eksikliklerinden dolayı fazla tespit yapılamamıştır. Mevcut her bir parametrenin temeli fiziki özellikler ölçülerek veya tahmin edilerek oluşturulmuştur. Bu konudaki karışıklığın diğer bir kaynağı ise enerji, momentum ve sürtünme arasındaki ilişkilerin tam olarak açıklanamamasıdır.

Günümüzdeki mevcut çalışmalarda, borularda kullanılan parametrelerin açık kanallarda da kullanılması halinde, gerçek debi ile hesaplanan debi arasında, kanal yapısının geometrik yapısına bağlı olarak, $\pm\%10$ civarında fark olduğu sonucuna varılmıştır. Sulama kanalları

için bu oran oldukça fazla bir değerdir. Özellikle ülkemizin su potansiyeli yönünden dünya ortalamasının altında olduğu düşünülürse mevcut kıt kaynaklarımızı optimum şekilde planlamamızın ne kadar önemli olduğu açığa çıkar.

Bu çalışmada, açık kanal akımları için temel verilerin elde edilebilmesi amacıyla deneysel veriler araştırılmıştır. Bu deneysel veriler arasında analizler yapılarak açık kanal akımlarını en iyi temsil edebilecek pürüzlülük katsayısı denklemleri belirlenmeye çalışılmıştır.

1.2 Literatür Çalışması

Serbest yüzeyli akımlarda küçük W/h (Kanal genişliğinin su derinliğine oranı) oranlarında serbest su yüzünün ve ikincil akımların varlığı akımı üç boyutlu yapar. Bu tür akımlarda duvar kayma gerilmesi ıslak çevre boyunca üniform olarak dağılmaz. Bu nedenle küçük W/h oranlarındaki akımlarda duvar kayma gerilmesinin hesaplanması dairesel kesitli boru akımlarından daha zor olmaktadır. Birçok araştırmacı deneysel olarak yada yarı analitik yaklaşımlarla açık kanallardaki kayma gerilmesi dağılımını belirlemeye çalışmışlardır.

Serbest yüzeyli akımlarda enerji kaybının tam olarak belirlenemeyişinin en önemli nedenlerinden biri de düzensiz cidar kayma gerilmelerinin oluşmasıdır. Cidar kayma gerilmelerinin hesaplanması; su yapılarının dizaynı, hız dağılımlarının hesaplanabilmesi, sediment hareketleri gibi mühendislik uygulamaları için oldukça önemlidir. Borular için kullanılan hız ifadelerinin, açık kanallar için de kullanılabilmesi belirtilse de, düzensiz kayma gerilmeleri nedeniyle bunların yeniden değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu yüzden akımların cidar kayma gerilmesi dağılımlarını hesaplayabilmek için bir çok yöntem geliştirilmiştir.

(Prandtl, L., 1925) yaptığı çalışma neticesinde iki boyutlu türbülanslı akımı, logaritmik hız dağılım formunda ifade etmiş ve aşağıdaki denklemi vermiştir.

$$V^+ = A + B \ln Y^+ \quad (1.1)$$

Formülde, boyutsuz hız $V^+ = \frac{u}{u_\tau}$, boyutsuz mesafe $Y^+ = \frac{y u_\tau}{\nu}$, kayma hızı $u_\tau = \sqrt{\frac{\tau}{\rho}}$, A ve B ise sabitlerdir.

(Çıray, C., 1970) yapmış olduğu çalışmada, Prandtl'in logaritmik hız dağılım denklemini modifiye ederek, dikdörtgen açık kanalda, türbülanslı akımda cidar kayma gerilmelerini

hız ölçümleri kullanarak belirlemiştir. Islak çevreye dik kesitlerde logaritmik hız dağılımının geçerliliğini varsaymış ve aşağıdaki bağıntıyı vermiştir:

$$\frac{V^+(I, J)}{K^{1/2}} = A + B \ln[K^{1/2}(I)Y^+(I, J)] \quad (1.2)$$

Bu bağıntıda, K boyutsuz cidar kayma gerilmelerini ifade etmektedir denklemdaki diğer parametreler ise Prandtl'in (1.1) nolu denklemindeki parametreler ile aynı şekilde ifade edilmektedir.

(Knight W.,D., 1981) dikdörtgen pürüzlü ve pürüzsüz kanallarda cidar kayma gerilmelerini hesaplayabilmek için analitik ifadeler geliştirmiştir. Geliştirdiği ifadeleri geniş W/h aralığında, pürüzlü ve pürüzsüz kanallarda pitot tüpü ile yapılan ölçümler ile karşılaştırmıştır. Knight duvar ve tabandaki ortalama kayma gerilmeleri için aşağıdaki ifadeleri vermiştir.

Düşey duvarda:

$$\frac{\overline{\tau_w}}{\gamma h S_b} = \left(\frac{\%SF_w}{100} \right) \left(\frac{W}{2h} \right) \quad (1.3)$$

ve tabanda:

$$\frac{\overline{\tau_b}}{\gamma h S_b} = \left(\frac{\%SF_w}{100} \right) = 1 - 0,01(\%SF_w) \quad (1.4)$$

Burada $\%SF_w = e^{\alpha} [(\tanh \pi \beta - 0,5(\tanh \pi \beta - \beta)^2)]$, $\alpha = -3,264 \log(W/h+3) + 6,211$, $\beta = 1 - (\gamma/s)$ ve $\gamma = \log(k_{sb}/k_{sw})$ 'dır. $\overline{\tau_w}$ düşey duvar da ortalama kayma gerilmesini, $\overline{\tau_b}$ tabandaki ortalama kayma gerilmesini, S_b taban eğimini, W ise kanal genişliğini ifade temektedir. β pürüzsüz yüzeyler için 1 olmaktadır. Knight pürüzsüz kanal tabanında elde edilen deneysel değerlerin verilen ifadeler ile uyumu her zaman iyi olmadığı ve α 'nın değişik deneysel bulgular ile yeniden araştırılması gerektiğini bildirmiştir.

Diğer bir çalışmada (Knight ve diğerleri, 1982) sınır kayma gerilmelerini $W/h=0,1-10$ arasında değişen pürüzsüz kanallarda akım kesitini farklı ikincil akımların olduğu bölümlere ayırarak incelemişler, enkesit üzerindeki bölge sayısını ve bu bölgelerdeki kayma gerilmesi dağılımının W/h oranı ile değiştiğini bildirmişlerdir. Tabandaki maksimum kayma gerilmesinin ortalama kayma gerilmesinden %13 fazla olduğunu, maksimum kayma gerilmesinin W/h oranının 0,5-2 arasındaki değerlerinde kanal orta

kesitinde oluşmadığını ve açık kanallardaki kayma gerilmesinin serbest su yüzeyinin etkisi ile kapalı kanallardan farklı olduğunu bildirmişlerdir.

(Racaranman ve diğerleri, 1969) cilalı dikdörtgen kanallarda süper kritik hızda kayma gerilmesi dağılımını ölçmüşlerdir. Çalışmalarında yatakta ve yanal kenarlardaki maksimum basınçları sınır tabaka teorisinin sonuçları ile ilişki kurmak suretiyle ölçmüşlerdir.

(Chiu ve diğerleri, 1986) üç boyutlu açık kanal akımlarında hız ölçümlerine ihtiyaç duyulmadan parametre tahmin metodu ile bir matematiksel model geliştirmişlerdir. Açık kanallardaki akım doğrultusundaki hız, ikincil akımlar ve kayma gerilmesi dağılımı arasındaki etkileşimi değişik Manning katsayılarında, W/h oranlarında ve kanal eğimlerinde incelemişlerdir. Yapılan çalışma sonucu üç boyutlu akımlar için değişik parametrelere bağlı olarak kayma gerilmesi ve hız dağılımı ifadesi vermişlerdir.

(Tominaga ve diğerleri, 1989) açık kanallarda Hot Film Anemometresi ile yaptıkları hız ölçümlerinde kayma gerilmelerinin ikincil akımların duvara doğru yoğunlaştığı bölgelerde arttığını, duvardan uzaklaştıkça azaldığını tespit etmişlerdir. Bu özellik (Nezu ve diğerleri, 1984, 1986) tarafından yapılan çalışmalarda da gözlenmiştir.

(Tominaga ve diğerleri, 1989) pürüzsüz dikdörtgen açık kanal akımlarında $W/h > 2$ değerlerinde taban kayma gerilmesi dağılımının yan duvarda tabandan $0,8h$ mesafesine kadar olan bölgede ikincil akımlardan etkilendiğini ve duvar kayma gerilmelerinin $z/h = 0,6-0,7$ noktasında en yüksek değere ulaştığını ve serbest su yüzüne yaklaştıkça gerilmelerin azaldığını bildirmişlerdir.

(Nezu ve diğerleri, 1993) laboratuvar kanalı, tabii nehir ve sulama kanalında yaptıkları ölçümlerde taban kayma gerilmelerinin ikincil akımlardan oldukça etkilendiğini gözlemlemişlerdir. (Naot ve diğerleri, 1982), Nezu ve diğerlerinin çalışmalarına benzer sonuçlar elde etmişlerdir. Tabii nehirde yapılan ölçümlerde tabanda kayma gerilmesindeki dalgalanmanın genliğinin yaklaşık olarak $(0,2-0,3)\tau_b$ olduğunu ve duvardan uzaklaştıkça genliğin küçüldüğünü bildirmişlerdir. Tabandaki kayma gerilmesinin duvardan itibaren orta kesite doğru arttığını $y/(W/2)$ (su yüksekliğinin, kanal genişliğinin yarısına oranı) $\approx \pm 0,5$ noktasında biraz azalma gösterip kanal orta kesitinde maksimum değere ulaştığını gözlemişlerdir. Laboratuvar kanalında ise kayma gerilmesinin kanal orta kesitinde minimum olduğunu ve bunun nedeninin de ikincil akımlar olduğunu bildirmişlerdir.

(Ardıçlıoğlu, 1994) dikdörtgen cilalı açık kanal akımının gelişmiş sınır tabakasındaki hız dağılımlarını incelemiştir. Hız ölçümleri kesit oranının $1,5 \leq W/h \leq 12$ ve Reynolds sayısının $2,8 \cdot 10^4 \leq Re \leq 1,4 \cdot 10^5$ aralığında 24 farklı nehir rejimi akım durumunda ölçülen hız profillerini türbülanslı iç bölgede logaritmik ve üssel dağılım formunda ifade etmiştir. Mevcut deney şartlarına göre logaritmik hız dağılımlarındaki sabitler $B=2,45$ ($\kappa=0,41$) ve $A=5,43$ olarak elde edilmiştir.



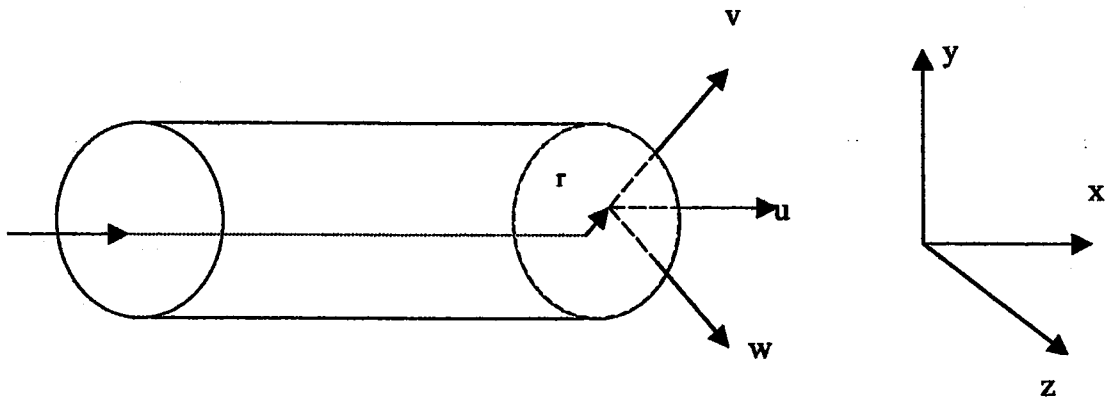
BÖLÜM II

AÇIK KANALLAR VE BORULAR İÇERİSİNDE AKIM

2.1 Borular İçerisinde Akım

En kesitin tamamen dolu olarak aktığı ve atmosferle temasta olan hiçbir akışkan parçacığının bulunmadığı akımlara “basınçlı akım” denir. Borular, galeriler, v.b. içerisindeki akımlar basınçlı akımlardır.

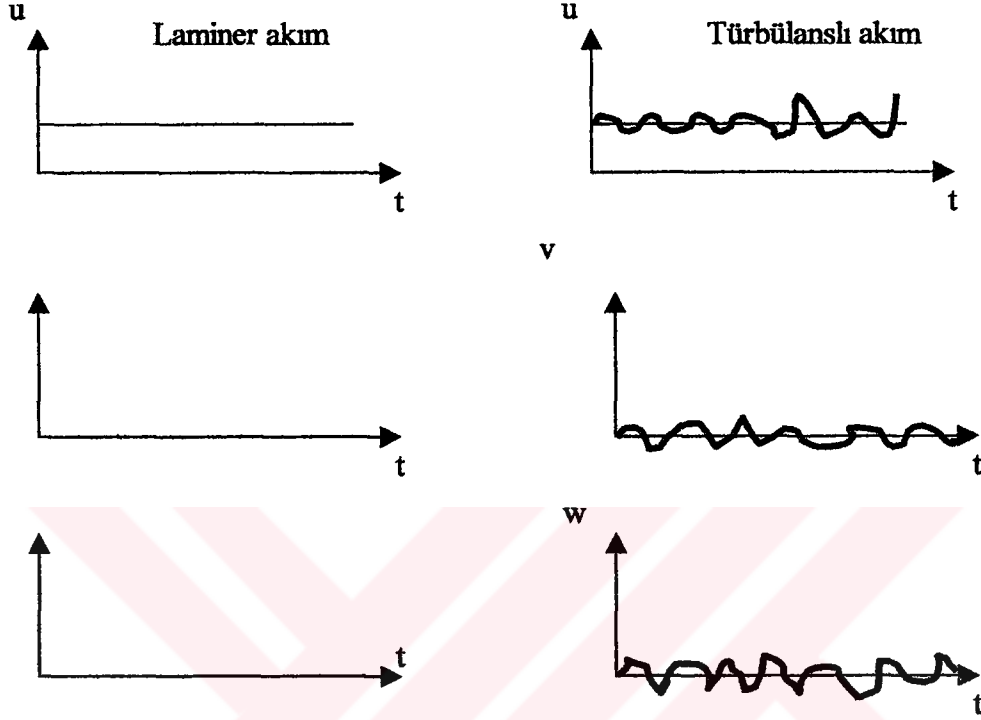
Tabiatta ve laboratuarda yapılan gözlemler, özellikleri birbirinden çok farklı iki akım çeşidinin varlığını göstermektedir. Bu akım çeşitleri laminer akım ve türbülanslı akım olarak isimlendirilir. Bu iki akımı daha iyi anlayabilmek için bir boru içerisindeki akımın içine, hız ölçmeye yarayan bir hız sayacının ucu yerleştirilsin ve bununla o noktadaki hızın üç bileşeni ayrı ayrı ölçülsün (Şekil 2.1). Yaptığımız bu deneyde, şayet akışkan laminer hareket yapıyor ise ibre bir noktaya gelecek ve o noktada kıpırdamadan duracaktır. İbrenin işaret ettiği rakam, ucun bulunduğu noktadaki hızdır. Öte yandan, şayet akışkan türbülanslı hareket yapıyorsa, ibre bir noktaya gelecek, fakat o nokta etrafında gelişigüzel titreşecektir. Yani hız bir ortalama etrafında gelişigüzel değerler almaktadır. Her iki halde de, ibrenin işaret ettiği rakamlar çok küçük zaman aralığında okunsa ve hız-zaman ekseninde işaretlense Şekil 2.2 deki grafikleri elde edeceğiz.



Şekil 2.1 Reynolds Deneyi

Elde edilen grafikler laminer ve türbülanslı akımların tanımlarında yardımcı olacaktır. Buna göre, laminer akımları düzgün akımlar olarak tanımlayabiliriz. Öte yandan,

türbülanslı akımlar düzgün olmayan akımlardır, türbülanslı akımlarda hız ve benzeri diğer özellikler bir ortalama etrafında gelişigüzel bir şekilde titreşirler.



Şekil 2.2 Laminer Ve Türbülanslı Akımlarda Hız-Zaman İlişkisi

Akımın türbülanslı ya da laminer olduğunu anlamak için Reynolds, yapmış olduğu deneyler sonucunda şu kriterleri vermiştir:

$Re \leq 2000$ ise akım laminer

$Re \geq 2000$ ise akım türbülanslıdır

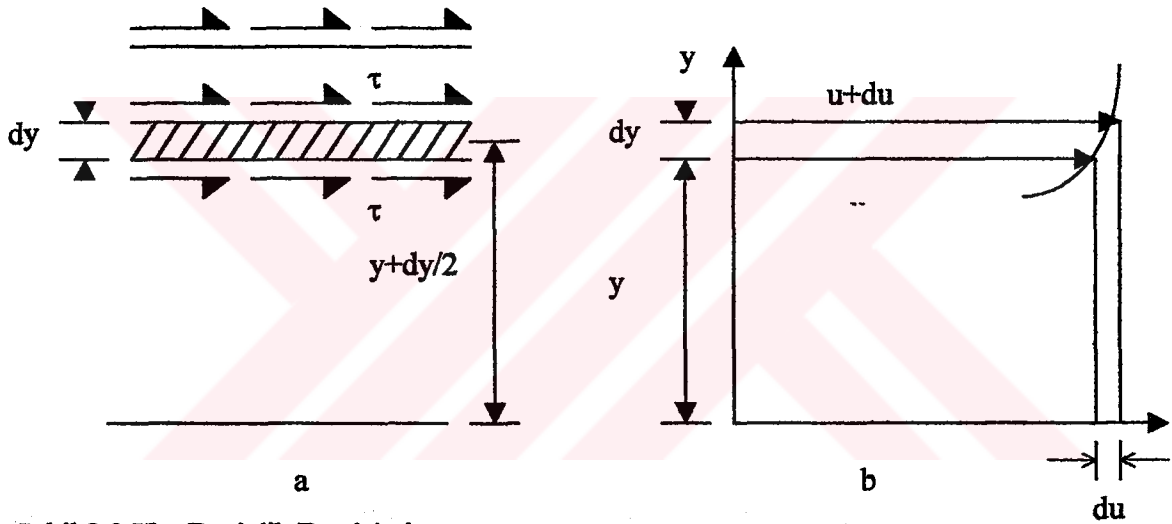
Burada Re ,

$$Re = \frac{VD\rho}{\mu} \quad \text{yada} \quad Re = \frac{VD}{\nu} \quad (2.1)$$

Şeklinde tanımlanan boyutsuz bir büyüklüktür. Bu büyüklük Reynolds sayısı ismini alır. Bağlıdaki V , ortalama kesitsel akım hızı, D boru çapı, ρ özgül kütle, μ dinamik viskozite katsayısı, ν ise kinematik viskozite katsayısını belirtmektedir. $Re_{kr}=2000$ 'e kritik Reynolds sayısı denir.

Katıların kayma gerilmesine karşı gösterdikleri direnç son derece büyüktür, buna karşın sıvılarınki ise çok azdır. En ufak kayma gerilmesinin etkisi altında dahi, akışkan sürekli olarak şekil değiştirir. Basit bir deneyle bunu şu şekilde gösterebiliriz; Bir su kütesinin üzerine elimizi gezdirirsek, elimizin arkasında derine doğru zayıflayan bir akım görürüz. Su yüzü üzerinde elimizi gezdirmekle suya kayma gerilmesi uygulamış oluruz. Su bu gerilmeye karşı direnç göstermeyip akar. Bununla birlikte derine doğru az da olsa yine de bir direncinin olduğu görülür.

Akışkanın kayma gerilmelerine karşı direnç gösterme özelliğine akışkanın viskozite özelliği denir. Akışkanın viskozite özelliğini daha iyi anlamak için aşağıdaki şekilde akım incelenirse;



Şekil 2.3 Hız-Derinlik Değişimi

Akım derine doğru zayıflayan bir akımdır. O halde hızın derinlikle değişimi Şekil 2.3.b'deki gibi olmalıdır. Bir y yüksekliğindeki hız u, dy kadar yukarıda hız u+du'dur. O halde dy mesafesinde hız du kadar artmıştır. Buna göre birim boyda hızdaki artma du/dy olacaktır.

Şekil 2.3'teki y+dy/2 konumunda bulunan taralı akışkan tabakası dikkate alındığında. Bu tabakanın alt ve üst yüzeyine etki eden kayma gerilmesi τ olsun. τ ne kadar büyük ise hızdaki du/dy artması da o nispette büyük olacaktır. Yani

$$\frac{du}{dy} \propto \tau \quad (2.2)$$

olur ve akışkan viskozitesi ne kadar büyük olursa, du/dy o kadar küçük olacaktır. Sonuçta

$$\frac{du}{dy} \propto \frac{1}{A.Viskozitesi} \quad (2.3)$$

olarak ifade edilir. Bu iki denklemden; $\frac{du}{dy} \propto \frac{\tau}{A.Viskozitesi}$ şeklinde bulunur. Akışkanın viskozitesine μ dersek;

$$\tau = \mu \frac{du}{dy} \quad (2.4)$$

denklemini elde edilir. Bu denkleme Newton'un elementer sürtünme kanunu denir. μ 'ye ise, dinamik viskozite katsayısı denir. μ büyük ise, akışkan çok viskoz, μ küçük ise akışkan az viskozdur. μ 'yu ρ 'ya bölersek;

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (2.5)$$

tanımlanır. ν 'ye akışkanın kinematik viskozitesi denir.

Sıvılarda moleküllerin serbestçe hareketi küçüktür, dolayısıyla kayma gerilmelerinin oluşturulmasında moleküllerin serbestçe hareketinin katkısı da küçük olur. Sıvılarda kayma gerilmesi oluşmasına asıl neden, molekülleri birbirine göre hep aynı konumda tutmaya çalışan moleküller arası kohezyon kuvvetidir. Bu kuvvet ne kadar büyük olursa akışkanın kayma gerilmelerine karşı gösterdiği direnç, yani akışkan viskozitesi, o kadar büyük olur. Sıcaklığın artması ile moleküller arasındaki kohezyon kuvveti azaldığına göre, sıvılarda viskozitenin sıcaklıkla azalması beklenir.

Doğada mevcut tüm akışkanlar Newton'un elementer sürtünme kanununa uymazlar. Böyle akışkanlara Newtonien olmayan akışkan denir. Örneğin çamur Newtonien olmayan akışkan özelliği gösterir.

2.2 Türbülansın Oluşturduğu Sürtünme

Akışkanın laminer hareketinde, akışkan viskozitesi, akım tabakaları arasında bir sürtünmenin doğmasına neden olacaktır. Bu sürtünmenin, birim yüzey alanına gelen değeri, yani kayma gerilmesi $\tau = \mu \frac{du}{dy}$ şeklinde ifade edilmişti. Akışkanın türbülanslı

hareketinde ise, her şeyden önce, akışkanın viskoz olması dolayısı ile, yine yukarıdaki

$\mu \frac{du}{dy}$ kayma gerilmeleri doğacaktır; bunun dışında, bizzat türbülanslı hareketin kendisi, akım tabakaları arasında bir sürtünme oluşturacaktır.

Hızın zamanla değişimi Şekil 2.4'de gösterilmektedir. Şekilden görüldüğü gibi hız, bir ortalama etrafında titreşmektedir. Hızın bu ortalama değerini, yani \bar{u} 'yi; T uzunca bir zaman olmak üzere,

$$\bar{u} = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T u dt \quad (2.6)$$

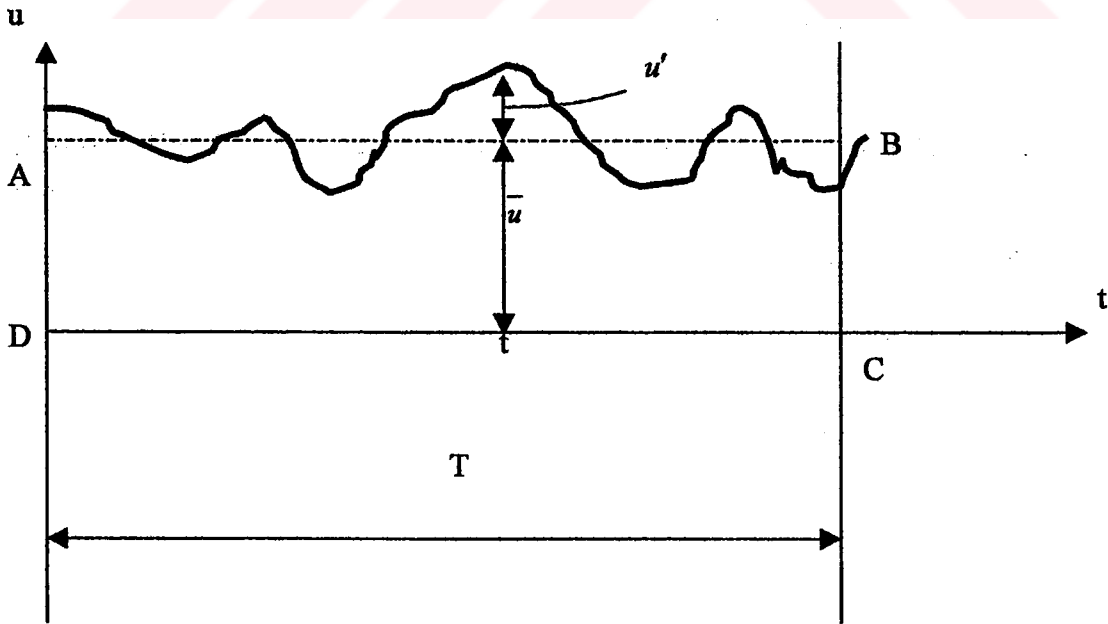
denklemleri ile tanımlanabilir.

$$\bar{u}T = \int_0^T u dt \quad (2.7)$$

A B

Denklemden B terimi Şekil 2.4'deki u(t) eğrisinin altında kalan alanı, A terimi ise ABCD dikdörtgeninin alanını göstermektedir.

Herhangi bir t anındaki u değerini $u = \bar{u} + u'$ şeklinde yazabiliriz. \bar{u} , u'nun ortalaması, u' ise çalkantı hızı ismini alır. Benzer şekilde, v radyal doğrultudaki hız bileşeni, $v = \bar{v} + v' = 0 + v' = v'$ şeklinde yazılabilir. Ayrıca $\bar{u}' = 0$, $\bar{v}' = 0$ bağıntılarının varlığı hemen görülebilir.



Şekil 2.4 Hızın Zamanla Değişimi

Şekil 2.5 de gösterilen boru içerisindeki akımı incelenirse; $dx.dz$, boru ile eş eksenli silindirik bir yüzeyin elemanter bir parçasıdır. v hızın, radyal doğrultuda fakat boru eksenine yönelmiş bileşenidir. $v dx dz$, birim zamanda $dx.dz$ yüzeyinden geçen akışkanın hacmidir. $\rho v dx dz$ ise bu yüzeyden geçen akışkanın kütlesidir. $(\rho v dx dz)u$ büyüklüğü ise, birim zamanda $dx dz$ yüzeyinden geçen akışkanın x -doğrultusundaki momentumudur.

$$\frac{dI_x}{dt} = \rho v dx dz \quad (2.8)$$

burada I_x , momentumun x -doğrultusundaki bileşenidir. Momentumdaki bu değişme bir kuvvet oluşturmaktadır:

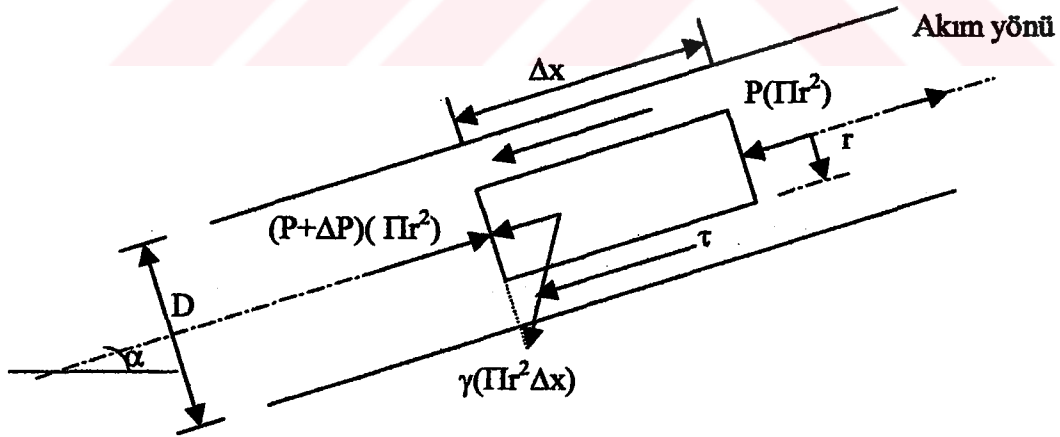
$$-K_x = \frac{dI_x}{dt} \quad (2.9)$$

K_x oluşturulan kuvvettir ve $dx.dz$ yüzeyine etkir. Eksi işareti, x eksenine ters yönde alındığı için konmuştur. Denklem (2.8) ve (2.9) den:

$$-K_x = \rho v dx dz \quad (2.10)$$

birim yüzey alınma gelen kuvvet, yani kayma gerilmesi aşağıdaki gibi yazılabilir;

$$\frac{K_x}{dz dx} = -\rho v \quad (2.11)$$



Şekil 2.5 Boru İçerisinde Akım

Biliyoruz ki u ve v her an değişmektedir; u , \bar{u} etrafında, v ise sıfır etrafında titreşmektedir. O halde bunların çarpımı olan uv büyüklüğü (ve aynı zamanda kayma gerilmesi) de bir ortalama etrafında titreşecektir. Bu ortalama kayma gerilmesi τ ile

gösterildiğinde (2.6) denklemini ile verilen ortalama tanımı, denklem (2.11)'e uygulandığı takdirde ortalama kayma gerilmesi τ :

$$\begin{aligned}\tau &= \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T (-\rho uv) dt \\ \tau &= \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T [-\rho(\bar{u} + u') + (0 + v')] dt \\ \tau &= \underbrace{-\rho \bar{u} \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T v' dt}_{\bar{v}' = 0} - \underbrace{\rho \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T u'v' dt}_{\overline{u'v'}} \\ \tau &= -\rho \overline{u'v'}\end{aligned}\quad (2.12)$$

şeklinde ifade edilebilir. Böylece, akışkanın türbülanslı hareket yapması sonucunda, akım tabakaları arasında bir sürtünme oluşmaktadır. Bu sürtünme kuvvetinin, birim alana düşen değeri $\tau = -\rho \overline{u'v'}$ 'dir. Buna Reynolds gerilmesi adı verilir.

Sonuç olarak, türbülanslı bir akımda oluşan toplam kayma gerilmesi:

$$\underbrace{\mu \frac{du}{dy}}_A + \underbrace{(-\rho \overline{u'v'})}_B \quad (2.13)$$

Olarak ifade edilir. Bağlıdaki A terimi, akışkanın viskozitesi dolayısıyla doğan sürtünmeyi, B terimi ise, akımın türbülanslı olması dolayısı ile doğan sürtünmeyi temsil etmektedir. Akışkanın laminar hareket yapması halinde $u' = 0$ ve $v' = 0$ olacağından B terimi düşecek, dolayısı ile akım tabakaları arasındaki sürtünme, sadece akışkanın viskozitesi sebebi ile doğan sürtünmeden ibaret olacaktır.

Türbülanslı akımlarda, akımı çevreleyen katı cidarın yakın civarı hariç hemen her yerde yukarıdaki A terimi, B terimi yanında çok küçük kalmaktadır.

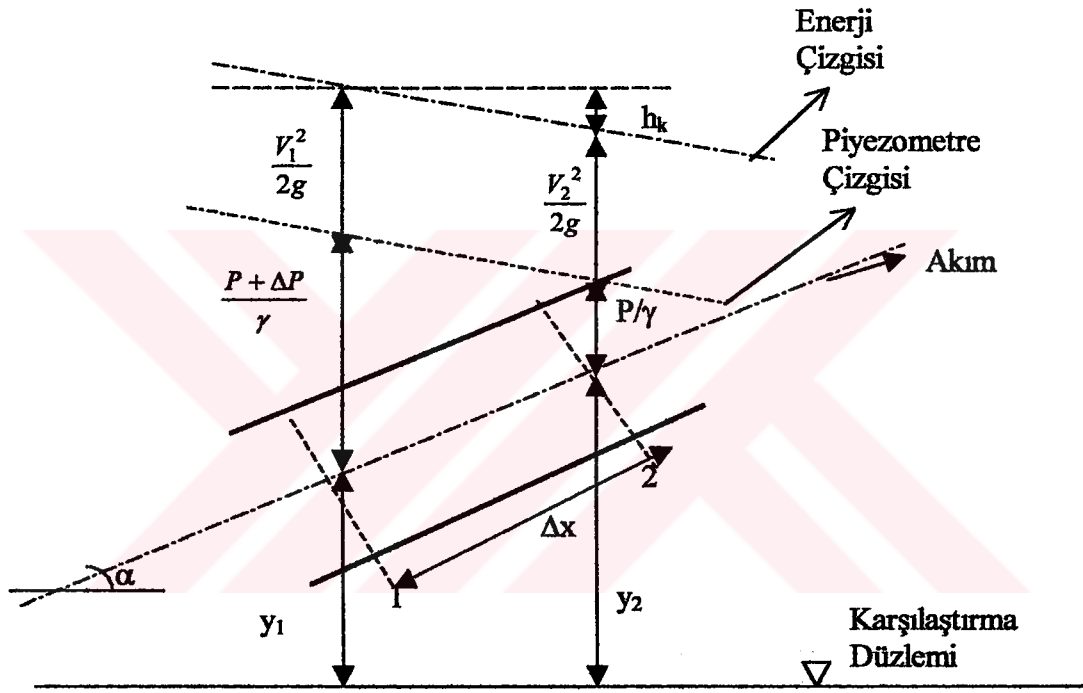
Türbülansın meydana getirdiği kayma gerilmesini (yani $-\rho \overline{u'v'}$ 'yi), akışkanın viskoz olması dolayısı ile oluşan sürtünme gerilmesine benzeterek aşağıdaki formda yazabiliriz,

$$-\rho \overline{u'v'} = \mu_T \frac{du}{dy} \quad (2.14)$$

Bu denklemdeki μ_T türbülans viskozitesi olarak isimlendirilir.

2.3 Borular İçerisindeki Enerji Kaybı

Akım içerisinde yer alan sürtünmeler dolayısıyla akışkanın enerjisinin bir kısmı ısıya dönüşmektedir. Dönüşen bu enerji kaybolan enerji sayılmaktadır. Borulardaki enerji kaybı Bernoulli denklemi ile analiz edilebilmektedir. Bernoulli denklemi Euler'in bir akım boyunca hareket denklemi entegre edilerek elde edilmektedir. Euler denklemi sonuç olarak $\frac{dP}{\rho} + gdy + vdv = 0$ şeklinde ifade edilmektedir. Enerji kaybını daha iyi anlayabilmek açısından Şekil 2.6'deki boru akımını inceleyelim:



Şekil 2.6 Boru Akımı

Akımın aralarındaki uzaklık Δx olan 1 ve 2 kesitlerini düşünelim. 1 kesitinden birim zamanda geçen birim ağırlıktaki akışkanın toplam enerjisi;

$$\frac{V^2}{2g} + \frac{P + \Delta P}{\gamma} + y_1 \quad (2.15)$$

2 kesitinden birim zamanda geçen birim ağırlıktaki akışkanın toplam enerjisi;

$$\frac{V^2}{2g} + \frac{P}{\gamma} + y_2 \quad (2.16)$$

1 ve 2 kesitleri arasındaki enerji kaybı;

$$h_k = \left(\frac{V^2}{2g} + \frac{p + \Delta p}{\gamma} + z_1 \right) - \left(\frac{V^2}{2g} + \frac{p}{\gamma} + z_2 \right) = \frac{\Delta p}{\gamma} - (z_2 - z_1) \quad (2.17)$$

şeklinde ifade edilir. Bu denklem Bernoulli denklemi olarak da bilinir.

Akışkanın, birim boru boyunda enerjisindeki azalmaya hidrolik eğim (enerji eğimi) denir. Hidrolik eğimi J ile gösterilirse;

$$J = \frac{h_k}{\Delta x} \quad (2.18)$$

olur. Denklem (2.17) ve (2.18) den:

$$J = \frac{\Delta p}{\gamma \Delta x} - \sin \alpha \quad (2.19)$$

olarak elde edilir.

Hidrolik eğimi;

$$J = \frac{4u_\tau^2}{gD} \quad (2.20)$$

şeklinde hız boyutunda ifade etmek mümkündür. Burada $u_\tau = \sqrt{\tau_0 / \rho}$ olarak verilir. u_τ kayma hızı olarak bilinen, hız boyutunda bir büyüklüktür.

Böylece enerji kaybı u_τ kayma hızı cinsinden ifade edilmiş olur. Fakat pratikte daha kolay olduğu için kayma hızı yerine ortalama akım hızı ile tanımlanır. J ortalama akım hızı cinsinden aşağıdaki formda ifade edilebilir.

$$J = f \frac{1}{D} \frac{V^2}{2g} \quad (2.21)$$

Bu denklem Darcy-Weisbach denklemi olarak bilinir, denklemdeki f ise sürtünme katsayısı olarak adlandırılır.

Bir akım borusu içerisinde, akım borusu kesit alanının akım borusunu çevreleyen katı cidarın uzunluğuna oranı hidrolik yarıçap olarak tanımlanır. Bu tanımlı dairesel kesitli boru akımına uygularsak, kesit alanı $A = \pi D^2 / 4$ ve akım borusunu çevreleyen katı cidarın

uzunluğu $\zeta = \pi D$ olacağından, hidrolik yarıçap $R = \frac{A}{\zeta} = \frac{\pi D^2 / 4}{\pi D} = \frac{D}{4}$ olur.

Buna göre, dairesel kesitli bir boru akımı için $u_\tau = \sqrt{\tau_0 / \rho}$ bağıntısını denklem (2.20)'de yerine koyduğumuzda

$$\tau_0 = \gamma \frac{D}{4} J \quad (2.22)$$

elde edilir. (2.21) ve (2.22) denklemlerinde D gördüğümüz yerlere 4R koyarak denklemleri R hidrolik yarıçap cinsinden de yazabiliriz.

Enerji kaybı denklemlerini hidrolik yarıçap cinsinden yazmak bize, formül ve diyagramları, dairesel kesitten farklı kesit halleri için de kullanabilme imkanı tanır.

2.4 Açık Kanallar İçerisinde Akım

Atmosferle temasta olan serbest yüzeyli akımlara açık kanal akımları denir. Sulama kanalları, kanalizasyon boruları, dren borularındaki akımlar ve tabii akarsular açık kanal akımlarına örnek olarak verilebilir. Açık kanallardaki akımlar boru akımlarına benzemesine rağmen akımın özelliklerinin belirlenmesi basınçlı boru akımlarından daha zordur. Açık kanalların fiziksel özellikleri: kesit şekli, pürüzlülüğü, kanal taban eğimi borulara nazaran daha geniş bir aralıkta 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 akımlarının boru akımlarından ayırır.

Bir boru içindeki akıma neden olan sebep neyse açık kanal içindeki akımı doğuran etken de aynıdır. Bu etken enerjidir. Akışkan enerjisi büyük olan noktadan küçük olan noktaya doğru akar. Açık kanal içerisindeki bu enerjiyi temin eden ise daima su seviyesidir.

Açık kanallarda, kanal başı ve sonundaki şartlara, taban eğimine ve cidarın cinsine bağlı olarak iki çeşit akım görülür: a) Üniform Akım, b) Üniform Olmayan Akım. Üniform akımda kanal içerisindeki su derinliği kanal boyunca sabittir. Üniform olmayan akımda ise, su derinliği kanal boyunca alınan x uzaklığının bir fonksiyonudur.

2.5 Bir Kesitteki Basınç Dağılımı

Şekil 2.7'de verilmiş olan kesitte basınç dağılımını bulmak için bu kesit üzerinde $dh \times 1 \times 1$ hacmindeki bir parçayı düşünelim. Bu parçanın n doğrultusundaki hareket denklemi;

$$\sum F_n = m.a_n \quad (2.23)$$

olarak yazılabilir.

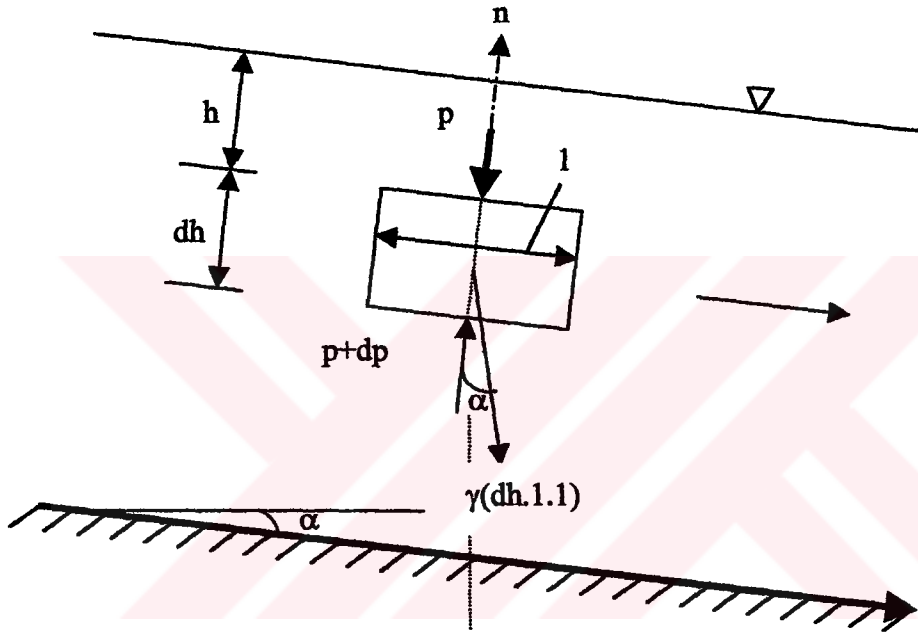
Açık kanal içinde üniform akım bulunduğuna göre, akım çizgileri düzgün ve birbirine paraleldir. Bu durumda a_n sıfır olur. Yani hızın zamana göre türevi olan ivme, hızın zamanla değişmemesi sebebiyle sıfırdır. O halde ;

$$\sum F_n = (p + dp).l - p.l - (\gamma dh.l.1) \cos \alpha = 0 \quad (2.24)$$

Buradan integrasyonla ve $h=0$ da $p=p_0$ sınır koşulunu kullanarak:

$$p = p_0 + \gamma.h.\cos\alpha \quad (2.25)$$

bulunur.



Şekil 2.7 Açık Kanal Akımı İçerisindeki Basınç Dağılımı

Şayet kanal eğimi çok büyük değilse (Pratikte %1'den büyük eğimli kanallara nadiren rastlanır), $\cos\alpha \approx 1$ olacağından;

$$p = p_0 + \gamma.h \quad (2.26)$$

bulunur. O halde üniform açık kanal akımında basınç kesit içerisinde, hidrostatik kanunlarına uygun şekilde değişir.

Eğer akım üniform değilse akım çizgileri paralel ve düzgün değildir, hız zamanla değişmektedir, yani $\sum F_n = m.a_n$ denklemindeki a_n ivmesi sıfır değildir. Bu ise farklı hidrostatik dağılımlara sebep olacaktır.

2.6 Açık Kanallarda Sekonder Akımlar

Sekonder akımların ilk çeşidine boru dirseklerinde karşılaşmış daha sonra bu akımların açık kanal akımlarında da oluştuğu kesin olarak belirlenebilmiştir. Bu akımlarda birçok enerji kayıpları oluşmaktadır. Sekonder akımların oluşmasına sebep olan yerlerde dış kısmın basıncı fazla iç kısmın da azdır. Ayrıca kanallarda sınır tabakasının teşekkülü dolayısı ile hızlar düşüktür. Onun için kenarlardaki su zerrelere bu fazla basıncın tesiri ile içeriye doğru itilir. Orta kısımda ise hız büyük, basınç küçüktür. Merkezkaç kuvvetinin etkisi ile V hızı, orta kısımlarda ortalama hızlardan daha büyük olduğundan sular dışarıya doğru savrulur. Bu akım aynı zamanda Reynolds sayısına da bağlıdır.

(Çıray 1970), sekonder akımların bazı iyi bilinen oluşumlarını tartışmaya açmıştır. Genelde açık kanallarda belirli yüzeyleri su ile temas halinde olduğu için duvar yüzeylerinin birleşme noktalarında sekonder akımlar oluşur. Bu durum üniform akımlarda bile oluşmaktadır. Fakat şu söylenebilir ki, dairesel kesitlerde genelde bu duruma rastlanmaz. Bu akımlar, ana akım yönüne dik olan düzlemlerdeki akım çizgileri olarak kabul edilir. Sekonder akımlar Reynolds sayısının yanı sıra türbülans çevrimlerinden ve kütlelerin titreşiminden oluşmaktadır. Sekonder akımları oluşturan etmenler için formül oluşturmak oldukça zordur. Vorteks formülündeki gibi ifade edilmesi şimdilik yeterli kabul edilmektedir. z, y formülleri birinin içinde birleştirilerek vorteks formülü,

$$U_z \frac{\partial \Omega}{\partial z} + U_y \frac{\partial \Omega}{\partial y} = \nu \nabla^2 \Omega + \frac{\partial^2}{\partial z \partial y} (\overline{u^2} - \overline{u_y^2}) + \left(\frac{\partial^2}{\partial z^2} - \frac{\partial^2}{\partial y^2} \right) \overline{u_y u_z} \quad (2.27)$$

şeklinde ifade edilir ve formüldeki $\Omega = -\frac{\partial U_y}{\partial z} + \frac{\partial U_z}{\partial y}$, z, y düzlemindeki vorteksi ifade eder. Fakat Kanal çok geniş ise sekonder akımlar görülmez. Teoriler göstermektedir ki, sekonder akımlar kanal köşelerinin açılı ortaylarının sağında ve solunda oluşmakta ve bisiktrist boyunca köşeye doğru bir hareket meydana getirmektedir.

2.7 Düz Bir Tabanda Düzenli Üniform Türbülanslı Akım

Reynolds denklemlerinin türbülanslı akım problemlerinde çözümü zor olmaktadır. Ancak Şekil 2.8'de görüldüğü gibi düz bir tabanda bir boyutlu düzenli üniform akımda $\overline{u} = \overline{u}(y)$, $\overline{v} = 0$, $\overline{w} = 0$ ifadeleri tanımlı olduğuna göre Navier-Stokes denklemlerinde

verilen x doğrultusundaki Reynolds hareket denkleminde kütlelesel kuvvet ve basınç gradyanının ihmal edilmesi ile:

$$\mu \left(\frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial y^2} \right) - \frac{\partial}{\partial y} (\overline{\rho u'w'}) = 0 \quad (2.28)$$

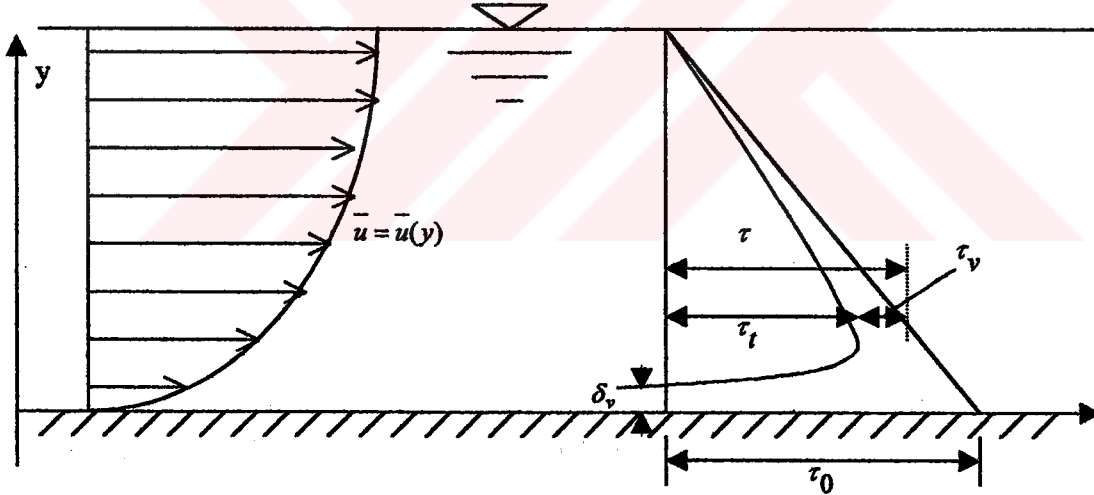
veya

$$\frac{\partial}{\partial y} \left(\mu \frac{\partial \bar{u}}{\partial y} - \overline{\rho u'w'} \right) = 0 \quad (2.29)$$

haline indirgenir ki bu ifade z doğrultusunda integre edildiğinde

$$\mu \frac{d\bar{u}}{dy} - \overline{\rho u'w'} = 0 \quad (2.30)$$

ifadesi elde edilir. Burada $\mu d\bar{u}/dy$ terimi akışkanın viskozitesinden doğan sürtünmeyi temsil eder ve τ ile gösterilir. $\overline{\rho u'w'}$ terimi ise akımın türbülanslı olması nedeni ile doğan sürtünmeyi gösterir.



Şekil 2.8 Serbest Yüzeyle Türbülanslı Üniform Akımda Kayma Gerilmesi Dağılımı

(2.29) ifadesinde C integrasyon sabitini bulmak için sınır şartı: $y=0, \overline{u'w'} = 0$ ve

$\mu \frac{d\bar{u}}{dy} = \tau_0$ 'dır. Buradan $C = \tau_0$ bulunur. Bu durumda (2.30) ifadesi aşağıdaki forma girer:

$$\mu \frac{d\bar{u}}{dy} - \overline{\rho u'w'} = \tau_0 \quad (2.31)$$

Görüldüğü gibi türbülanslı akımın herhangi bir noktasında iki tür gerilmeden bahsetmek gerekir. Viskoz ve türbülans gerilmesi yani toplam gerilme:

$$\tau = \tau_v + \tau_t = \mu \frac{d\bar{u}}{dy} - \overline{\rho u'w'} \quad (2.32)$$

Şekil 2.8'de bu iki gerilme toplamının akım kesiti üzerinde nasıl değiştiği deneysel olarak gösterilmektedir.

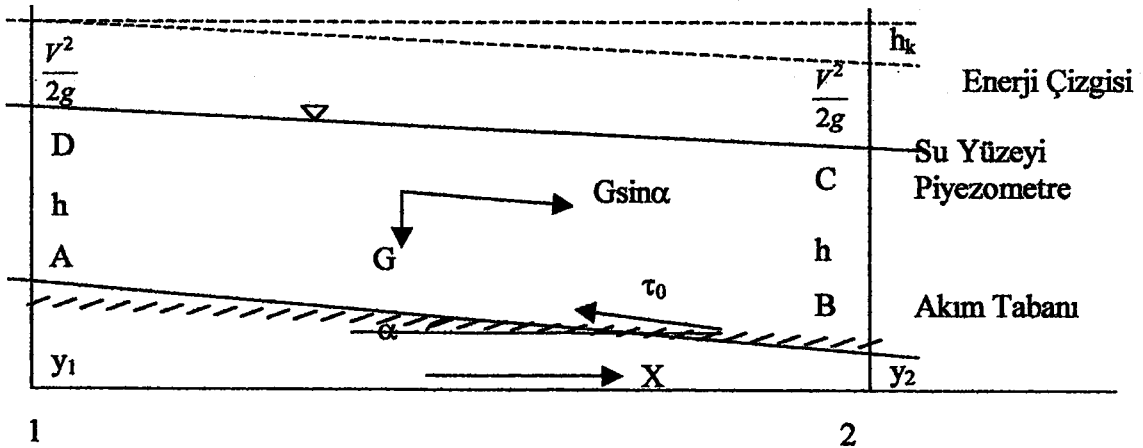
2.8 Açık Kanallarda Kararlı Üniform Akımın Genel Denklemleri

Şekil 2.9'da görüldüğü gibi üniform akımlarda, her kesitte; hız, derinlik, akış kesiti ve debi aynıdır. Enerji çizgisi, kanalın tabanı ve su yüzeyi birbirine paraleldir. Akış esnasında oluşan sürtünme kayıplarını hesaplamak suretiyle, enerji çizgisinin eğimi de hesaplanabilir.

Üniform akımın hesabında kullanılan formüller $V = C\sqrt{R.J_0}$ şeklindedir. Burada C akımın direncini ifade eden bir katsayıdır. Bu katsayı ortalama hıza, hidrolik yarıçapa, kanal pürüzlülüğüne, viskoziteye ve daha birçok faktörlere bağlıdır. Bu şekilde elde edilen formüle Chezy formülü denir. Chezy formülü matematiksel olarak iki hipotezi göz önüne almak suretiyle çıkartılabilir.

Birinci hipotez: Chezy tarafından kurulan bu hipotez cidar üzerindeki sürtünme kuvvetinin hızın karesi ile orantılı olduğunu ifade eder.

İkinci hipotez: Brahms tarafından ortaya atılan bu hipotez, üniform akımın esas prensibidir ve genel anlamda sıvının akmasını temin eden $G \cdot \sin \alpha$ ağırlık kuvvetinin toplam sürtünme kuvvetine eşit olduğunu ortaya koyar.



Şekil 2.9 Serbest Yüzeyle Kanal Akımı

Şekildeki A, B, C, D sıvısının hacmi, sabit A kesit alanı ile L uzunluğunun çarpımına eşittir. Akım zamanla değişmeyen ve üniform olduğundan hacim dengede sayılabilir. Basınç kuvvetleri eşit ve karşıt olduğuna göre, x doğrultusunda etkiyen kuvvetlerin toplamı,

$$P_1 - P_2 + \rho g A L \sin \alpha - \tau_0 U L = 0 \quad (2.33)$$

yazılabilir. $R = A/U$ ve $\sin \alpha = \text{Tang} \alpha = J$ olacağı için,

$$\rho g A L \sin \alpha = \tau_0 U L \quad (2.34)$$

$$\tau_0 = \rho g \frac{A}{U} J = \rho g R J \quad (2.35)$$

halini alır ve borular için elde edilen $\tau_0 = \frac{\rho \cdot g \cdot h_k}{2L} r$ ifadesinde $r = D/2$ yazılarak,

$$h_k = \frac{2\tau_0 L}{\rho \cdot g \cdot r} = \frac{4\tau_0 L}{\rho \cdot g \cdot D} \quad (2.36)$$

olur ve yukarıdaki denklem Darcy-Weisbach formülü ile eşitlendiğinde,

$$\begin{aligned} \frac{4\tau_0 L}{\rho \cdot g \cdot D} &= f \frac{L V^2}{D 2g} \\ \tau_0 &= \frac{\rho \cdot V^2 f}{8} \end{aligned} \quad (2.37)$$

elde edilir. Üstteki formül (2.35) denkleminde yerine koyulduğu takdirde;

$$\begin{aligned} \rho \cdot g \cdot R \cdot J &= \rho \cdot f \cdot \frac{V^2}{8} \\ V &= \sqrt{\left(\frac{8g}{f}\right) R J} \end{aligned} \quad (2.38)$$

şeklinde ortalama hız olarak belirlenir. $C = \sqrt{\left(\frac{8g}{f}\right)}$ olarak ifade edildiğinde,

$$V = C \sqrt{R J} \quad (2.39)$$

Chezy Formülü elde edilir.

Chezy formülü 19. yüzyılın son yarısından bu yana hidrolik mühendisliğinde kullanılan pür ampirik düşüncelerle elde edilmiş bir ifadedir. Onun için Chezy bağıntısında boyut homojenliği yoktur. Yani C boyutlu bir katsayıdır ve hesabı için bir çok ampirik ifadeler verilmiştir. En önemli olanları şunlardır (Çeçen, 1982):

Ganguillt-Kutter Formülü: 1869 yılında İsviçreli mühendisler tarafından verilen bu ifade :

$$C = \frac{\frac{1}{n_c} + 23 + \frac{0,00155}{J}}{1 + \frac{n_c}{\sqrt{R}} \left(23 + \frac{0,00155}{J} \right)} \quad (2.40)$$

şeklinde. n_c pürüzlülüğü ifade etmektedir. Bu formül, Amerika ve Avrupa'daki bir çok akarsuda yapılan ölçümler sonucunda elde edilmiştir. Bu ifade için tablo ve abaklar hazırlanmıştır. Bu yüzden bu uzun ifadeden C'yi hesaplamak ihtiyacı nadiren görülür. Asıl zorluk n_c değerini seçmektir.

Bazin: $C=f(R, \gamma)$ olduğunu ifade ederek eğimin tesirini hesaba katmıştır.

$$C = \frac{87\sqrt{R}}{\gamma + \sqrt{R}} \quad (2.41)$$

şeklinde yazılır. Bazin'in vermiş olduğu bu ifade küçük deney kanallarında yapılan çalışmalar ile elde edilmiştir. Buna rağmen, Ganguillet-Kutter formülünden daha fazla kullanılır.

Kutter formülü:

$$C = \frac{100\sqrt{R}}{m + \sqrt{R}} \quad (2.42)$$

şeklinde ifade edilir. Bu formül kanalizasyon hesaplarında çok kullanılır. Küçük kanal ve mecralarda iyi sonuçlar vermektedir.

Manning-Strickler formülü: Formül aşağıdaki gibi ifade edilir:

$$V = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} J^{\frac{1}{2}} \quad (\text{Manning}) \quad (2.43)$$

$$V = k.R^{\frac{2}{3}} J^{\frac{1}{2}} \quad (\text{Strickler}) \quad (2.44)$$

Bu formülü Chezy ile karşılaştırdığımızda,

$$C = \frac{1}{n} R^{1/6} \quad (2.45)$$

bulunur.

Colebrook-White formülü.

$$C = 18 \log_{10} \frac{6R}{k + \frac{\delta}{7}} \quad (2.46)$$

Burada $\delta = \frac{12\nu}{\sqrt{gRJ}}$ laminer film tabakası kalınlığıdır.

Powell formülleri: Cilalı cidar için;

$$C = 23 \log_{10} \frac{3,3 Re}{C} \quad (2.47)$$

Pürüzlü cidar için;

$$C = 23 \log_{10} \frac{R}{k_s} \quad (2.48)$$

Geçiş bölgesi için;

$$C = 23 \log_{10} \left(\frac{k_s}{R} + \frac{C}{3,3 Re} \right) \quad (2.49)$$

şeklinde verilmiştir.

Günümüzde bir çok hidrolik mühendisleri tarafından kullanılması en çok tavsiye edilen ve Ülkemizde D.S.İ. tarafından da kullanılan Manning formülüdür. Manning formülündeki C katsayısı borulardaki f katsayısı ile eşlenerek, enerji kaybı j, Darcy-Waisbach formülü sayesinde kanallar için de aşağıdaki şekilde hesaplanabilmektedir:

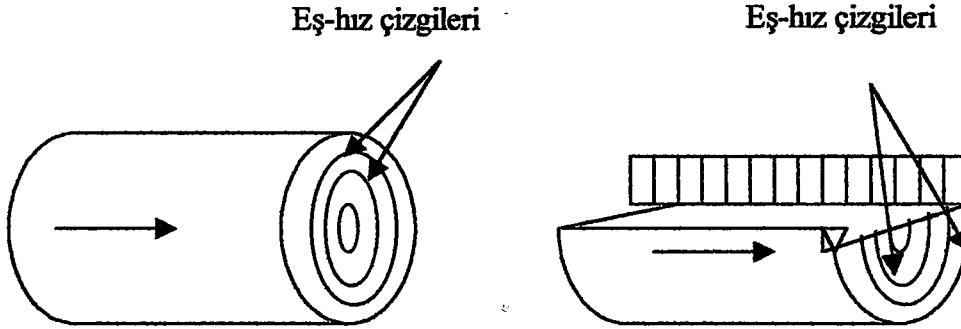
$$\frac{1}{f} = \frac{R^{1/6}}{n\sqrt{8g}} \Rightarrow f = \frac{8gn^2}{R^{1/3}} \quad (2.50)$$

2.9 Açık Kanal Akımlarında Enerji Kaybı

Açık kanal akımında enerji kaybının meydana gelme sebebi, borulardakinin aynıdır. Olayı daha iyi ifade etmek için borulardaki mekanizmaya göre, boru kesiti üzerinde hızları eşit olan noktalar şekil 2.10'daki gibi birleştirilir, böylece elde edilen çizgiye eş-hız çizgisi

denir. Eş-hız çizgilerinden boru eksenine paralel geçen yüzeyler dairesel kesitli boru halinde iç içe geçmiş silindirik yüzeylerdir. Bu yüzeyler arasında oluşan sürtünmeler sebebiyle akışkanın enerjisinin bir kısmı ısıya çevrilir, buna enerji kaybı denir.

Aynı şekilde bir açık kanal akımında eş-hız yüzeylerini çizersek, bunlar kanal yatağına hemen hemen paralel yüzeyler olarak görülecektir. Bu yüzeyler arasında oluşan sürtünmeler, açık kanal akımında borudakine benzer şekilde enerji kaybını doğuracaktır.



Şekil 2.10 Eş Hız Çizgileri

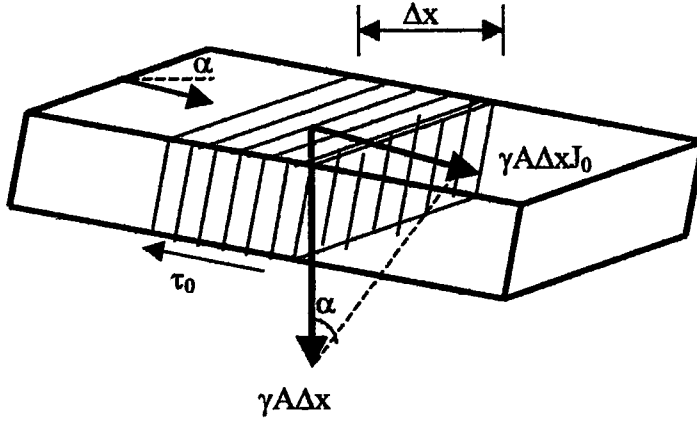
Böyle bir açık kanal akımında, Şekil 2.11'de gösterilen Δx kalınlığındaki akışkan dilimi için hareket denklemi yazılabilir. Bu parçanın hareketini sağlayan kuvvet, parçanın ağırlığının tabana paralel olan bileşenidir. Bu bileşen, $\gamma A \Delta x \sin \alpha$ 'dır. Taban eğimi daima çok küçüktür ve $\sin \alpha \approx$ taban eğimi ($=J_0$) alınabilir. O halde bu bileşen $\gamma \cdot A \cdot \Delta x \cdot J_0$ 'dur. harekete engel olmaya çalışan kuvvet ise cidar boyunca etkiyen sürtünme kuvvetidir, yani $\tau_0 \cdot U \cdot \Delta x$. Burada U akımın temasta olduğu kesit cidar uzunluğudur ve ıslak çevre olarak tarif edilir. Bu iki kuvvetin haricinde, bir de, parçanın her iki yüzüne etkiyen birer basınç kuvveti vardır. Basıncın en kesit içinde hidrostatik basınç kurallarına göre değiştiği bilinmektedir, yani basınç su yüzünde atmosfer basıncına eşit olup tabana doğru doğrusal olarak artar.

Akım derinliği değişmediğine göre (üniform akımlar için), parçanın bir yüzündeki basınç dağılımı diğer yüzüne gelenin aynıdır. Yani bu dağılımların bileşkesi olan basınç kuvvetleri birbirini götürür. O halde hareket denklemi: $\gamma \cdot A \cdot \Delta x \cdot J_0 - \tau_0 \cdot U \cdot \Delta x =$ Kütle x İvme şeklindedir.

Akım üniform olduğundan kesit alanı A, akım boyunca değişmemektedir; dolayısı ile süreklilik denkleminde, hız değişmez. Yani parçanın ivmesi sıfırdır. O halde yukarıdaki denklemden, $R=A/U$ hidrolik yarıçap tanımı da göz önüne alınarak;

$$\tau_0 = \gamma R J_0 \quad (2.51)$$

ortalama cidar kayma gerilmesi bulunur.



Şekil 2.11 Açık Kanal Akımının Boyuna Kesiti

Şekil 2.11'deki açık kanalın boyuna kesiti alınarak ve Şekil 2.12'de gösterilirse; 1 kesitinden birim zamanda geçen birim ağırlıktaki akışkanın enerjisi:

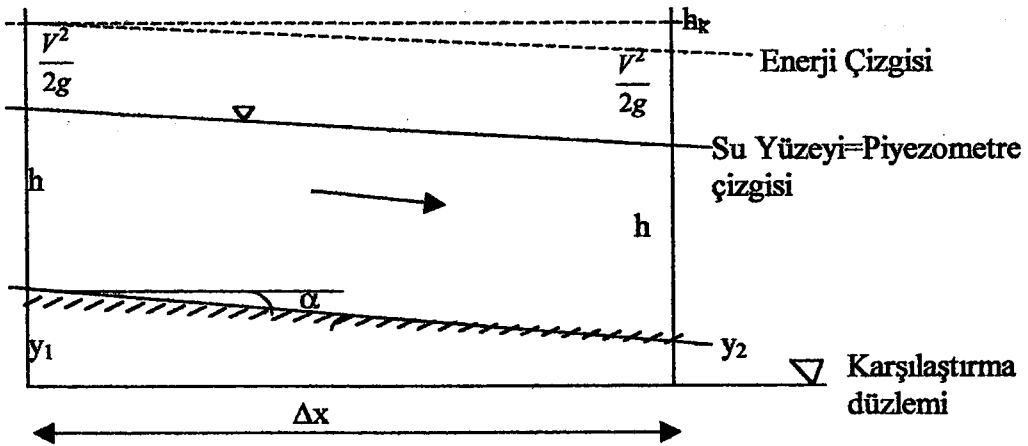
$$\frac{V^2}{2g} + \frac{Atm.basncı}{\gamma} + (h + y_1) \quad (2.52)$$

2 kesitinden birim zamanda geçen birim ağırlıktaki akışkan enerjisi:

$$\frac{V^2}{2g} + \frac{Atm.basncı}{\gamma} + (h + y_2) \quad (2.53)$$

olarak ifade edilebilir. O halde açık kanal içerisinde üniform akım bulunması halinde 1 ve 2 kesitleri arasında enerji kaybı:

$$h_k = y_1 - y_2 \quad (2.54)$$



Şekil 2.12 Açık Kanal Kesiti

Birim kanal boyundaki kayıp, yani hidrolik eğim:

$$J = \frac{h_k}{\Delta x} = \frac{y_1 - y_2}{\Delta x} \quad (2.55)$$

denklemdaki $\frac{y_1 - y_2}{\Delta x} = \sin\alpha$ 'dır. α açısı çok küçük olduğundan $\sin\alpha = J_0$ (taban eğimi) =J yazılabilir.

Diğer taraftan, akımın üniform olması dolayısıyla şekil 2.12'de, enerji çizgisinin tabana paralel olduğu görülür. Enerji çizgisinin eğimi de yine Şekil 2.12'den, su yüzü eğimi birbirine eşittir. Enerji çizgisinin eğimini de J_e ile gösterilirse:

$$J = J_0 = J_e \quad (2.56)$$

şeklindedir. Yani, bir açık kanal içerisindeki üniform akımda enerji eğimi, taban eğimi, enerji çizgisi eğimi ve yine Şekil 2.12'den, su yüzü eğimi birbirine eşit olur.

Denklem (2.51)'deki J_0 'ın aynı zamanda hidrolik eğim olduğu göz önüne alınarak açık kanal akımı için elde edilen (2.55) denkleminin, boru akımı için elde edilen denklemle aynı olduğu görülür. O halde (2.51) denkleminde hareketle Tablo 2.1'deki denklemler elde edilir:

Tablo 2.1 Basınçlı ve Serbest Yüzeyle Akımlarda Enerji Kaybı

Boruda	Açık kanal akımında
$\tau_0 = \gamma \frac{D}{4} J$	$\tau_0 = \gamma R J$
$J = f \frac{1}{D} \frac{V^2}{2g}$	$J = f \frac{1}{4R} \frac{V^2}{2g}$
$f = f\left(\text{Re}, \frac{D}{k_s}\right)$	$f = f\left(\text{Re}, \frac{4R}{k_s}\right)$
$\text{Re} = \frac{V(D)}{\nu}$	$\text{Re} = \frac{V(4R)}{\nu}$

Denklemlerdeki f sürtünme katsayısı Moody diyagramından hesaplanabilir.

Bir çok hidrolik mühendisi borular için elde edilen f sürtünme katsayısının ve formüllerinin açık kanal akımları içinde kullanılabileceğini kabul etmektedirler. Şayet

borular için elde edilen enerji kaybı denklemleri, açık kanallar için de kullanılacaksa formüllerdeki 'D' boru çapı yerine hidrolik çapın dört katı '4R' kullanılmalıdır. Buna göre elde edilen f sürtünme katsayısı, hidrolik yünden cilalı bölge, geçiş bölgesi ve pürüzlü bölge bağıntıları ile bulunmalı veya Moody diyagramı kullanılarak belirlenmelidir.



BÖLÜM III

YAPILAN ÇALIŞMALAR VE DENEY DÜZENEĞİ

3.1 DeneY Düzeneği ve Yöntemi

Akım sistemlerinde cidar kayma gerilmelerinin hesaplanması, su yapılarının dizaynı, hız dağılımının hesaplanabilmesi ve enerji kaybının doğru olarak hesaplanabilmesi gibi mühendislik uygulamaları için oldukça önemli olduğu literatürde sık sık belirtilmektedir.

İki boyutlu veya aksel simetrik akışkanlarda cidar kayma gerilmesi dağılımı üniformdur ve ortalama kayma gerilmesi değeri kuvvet denge denkleminde bulunabilir. Fakat bütün uygulamalar bu iki durumla uyuşmayabilir. Belirli W/h oranı durumlarındaki açık kanalda serbest yüzey ve sekonder akımların varlığından dolayı, akım üç boyutludur ve cidar kayma gerilmesi kanalın ıslak yüzeyine düzgün dağılımlı değildir. Bundan dolayı farklı W/h durumundaki açık kanallar için duvar kayma gerilmesi dağılımının hesabı, kapalı dairesel akım yolu kesitlerine göre daha karışıktır. Birçok araştırmacılar kayma gerilmesi dağılımını ya, deneysel metotları veya yarı analitik yaklaşımları kullanarak elde etmeyi tercih etmişlerdir.

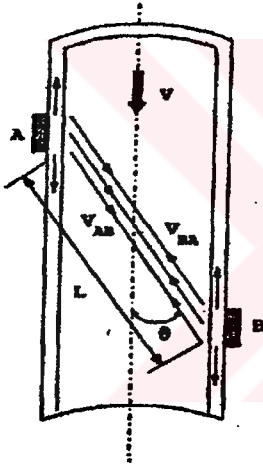
Çalışmamızda Ardıçhoğlu M. (1994)'nin, Çukurova Üniversitesi Mühendislik Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü Hidrolik Laboratuvarında yapmış olduğu deney verileri kullanılmış, kullanım izni ikili görüşmeler ile sağlanmıştır. DeneYde; Şekil 3.2'de görülen kanal üzerinde eğim %0.28(+) ve %0.21(-) yani ters eğim arasında ayarlanabilmektedir. Ölçümler 0,0005 ve 0,002 eğimlerinde üniform akım elde edilerek gerçekleştirilmiştir. Laboratuar kanalı dikdörtgen olup 0.3mx0.4m boyutlarındadır. Kanalın boyu ise 10m'dir. Kanalın yan duvarı ve tabanı camdan yapılmış böylece ölçümler için pürüzsüz bir yüzey elde edildiği kabul edilmiştir. Kanalın başlangıcında 1m uzunluğunda bir hazne yapılmış ve depodan gelen su bu hazneye bağlanmıştır. Haznenin kanal kesitine ulaştığı bölgeye delikli ızgaralar ve bu ızgaralar arasında geçiren bir malzeme yerleştirilerek kanala girişte suyun mümkün olduğu kadar çalkantisız ve düzenli olarak girmesi sağlanmaya çalışılmıştır.

Ölçüm sırasında kanala su hidrolik laboratuvarına yerden 2,5m yükseklikte saçtan yapılmış olan 1.8x1.0x3.5m ebatlarındaki su haznesinden temin edilmektedir. Hazneye su, şekil 3.3'te görüldüğü gibi haznenin hemen altında zemine gömülü olarak inşaa edilen depodan

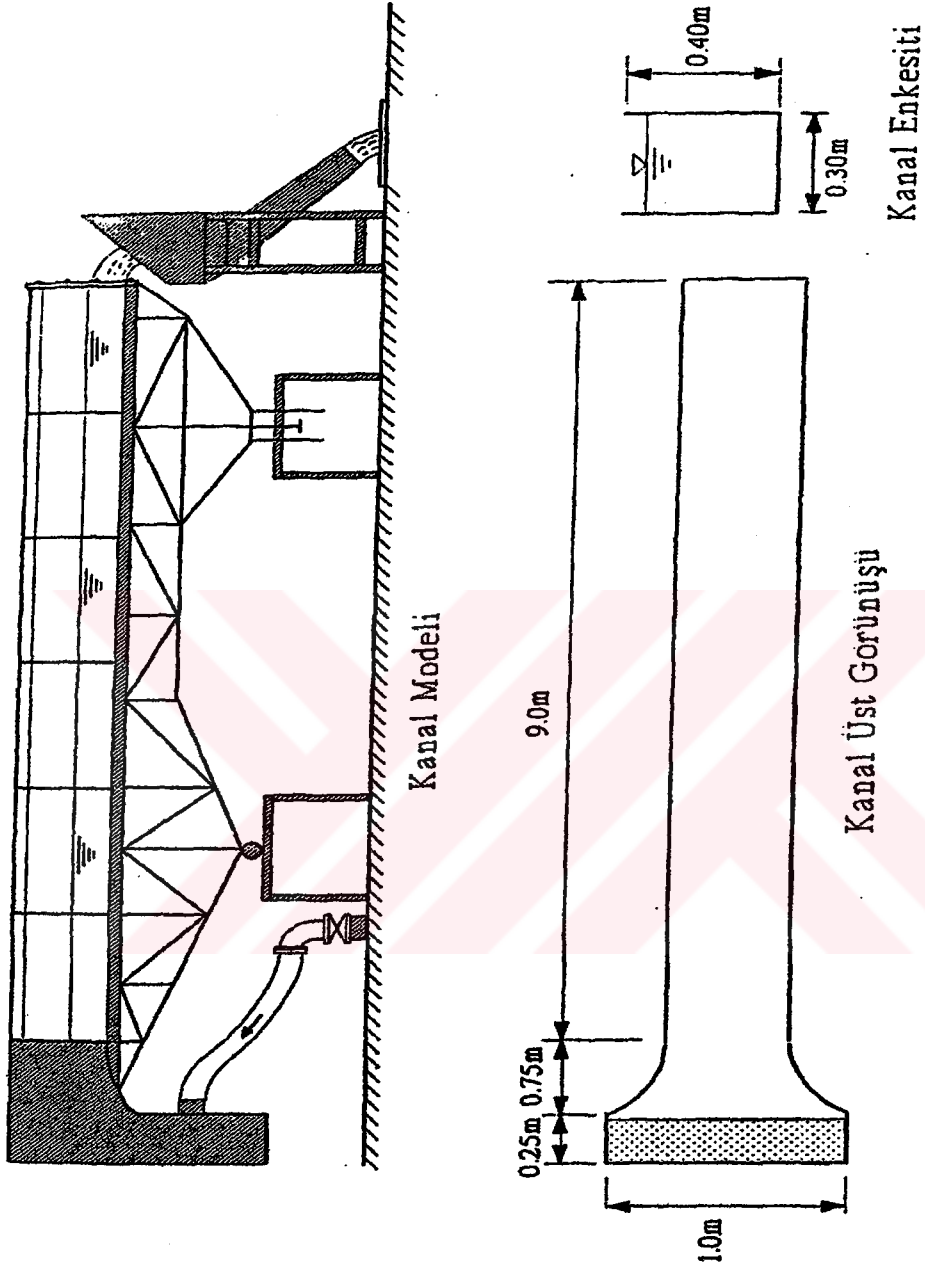
pompalar yardımı ile verilmektedir. Pompaların çıkış vanaları yardımı ile haznedeki su seviyesi sabit kalacak şekilde ayarlanabilmektedir. Kanal sonunda akımın derinliğini ayarlayabilmek için sürgülü bir kapak yerleştirilmiştir. Bu kapak yardımı ile kanalda istenilen derinlikte üniform akım elde edilebilmektedir.

3.1.1 Ultrasonic Debi Ölçer

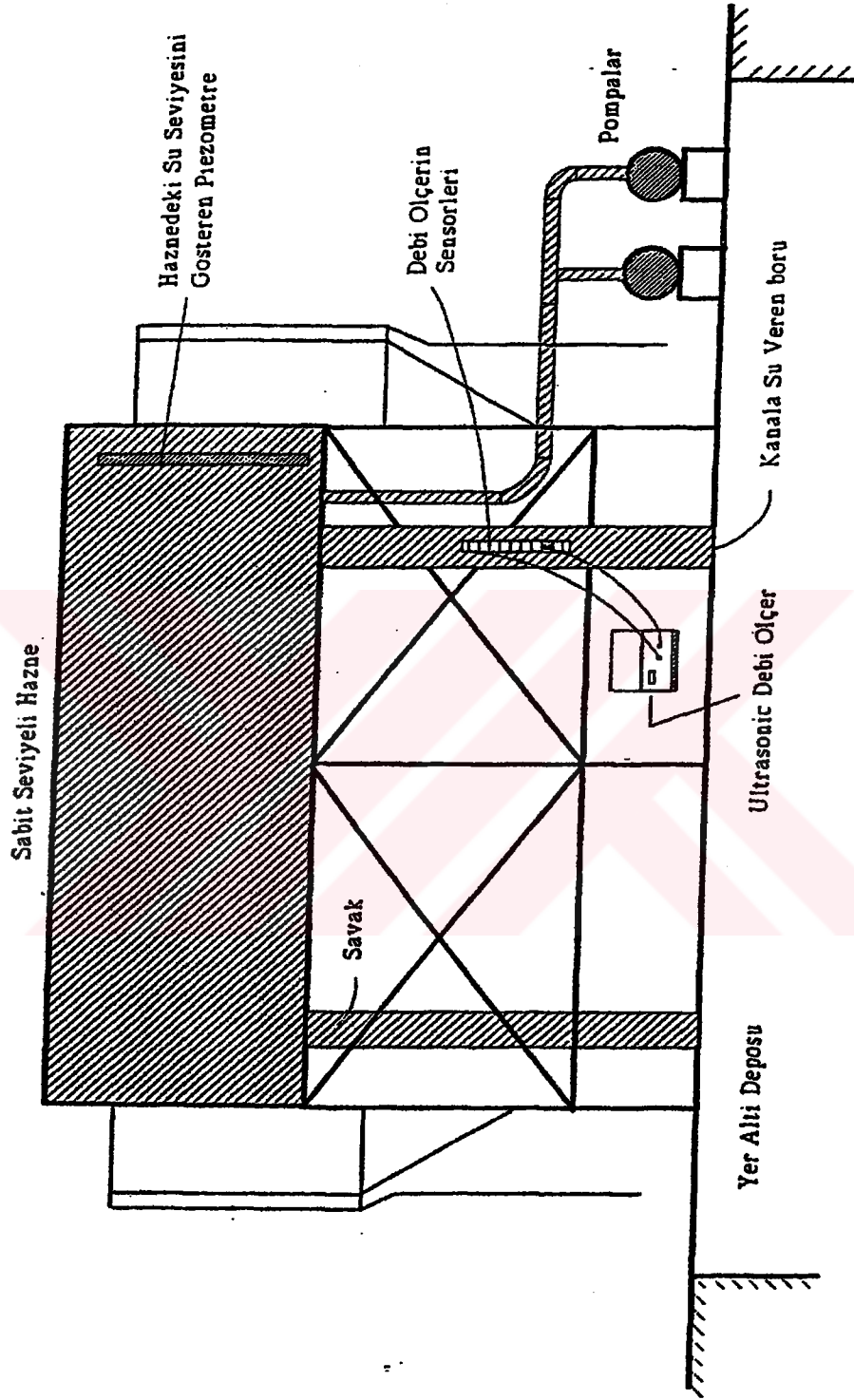
Kanaldaki akımın debisi sabit seviyeli haznenin çıkış borusuna yerleştirilen Şekil 3.1'deki ultrasonic prensibe göre çalışan Altosonic UFM 600P tipi debi ölçer ile belirlenmiş. Ultrasonic debi ölçer, çapı 50mm ile 1000mm arasında ve et kalınlığı 20mm ye kadar olan borularda akımın debisini %1-3 hassasiyetle ölçebilmiştir.



Şekil 3.1 Ultrasonik Debi Ölçer (Ardıçoğlu,1994)



Şekil 3.2 Deney Kanalı (Ardıçoğlu, 1994)



Şekil 3.3 Su Sirkülasyon Sistemi (Ardıçlıoğlu, 1994)

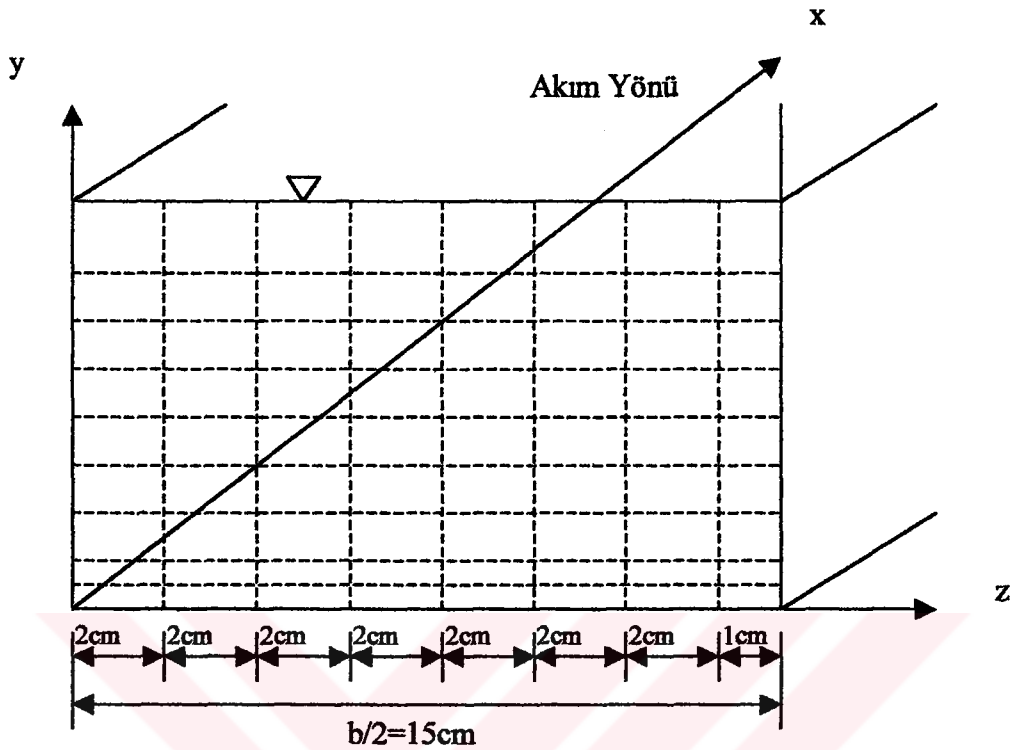
3.2 Deney Yöntemi

Açık kanalda ölçümler, kanalın iki farklı eğimde, 5 farklı debi için 21 farklı durumda üniform akım elde edilerek yapılmıştır. Deneylerin yapıldığı akımlarla ilgili bilgiler Tablo 3.1'de özetlenmiştir. Tabloda J kanal tabanının eğimini, Q kanaldaki akımın debisini, h su yüksekliğini, W/h kesit oranını, Fr Froude sayısını, Re Reynolds sayısını, τ ise ortalama kayma gerilmesini göstermektedir.

Tablo 3.1 Deney Verileri

ÖLÇÜM NO:	J(Eğim)	Q(L/s)	h(mm)	W/h	Fr	Re	$\tau(N/m^2)$
1. Ölçüm	0,0005	19,50	200	1,5	0,232	97740	0,420
2. Ölçüm	0,0005	19,50	150	2,0	0,357	114035	0,368
3. Ölçüm	0,0005	19,50	120	2,5	0,499	126705	0,327
4. Ölçüm	0,0020	19,50	100	3,0	0,656	136840	1,177
5. Ölçüm	0,0005	14,50	200	1,5	0,173	72680	0,420
6. Ölçüm	0,0005	14,50	150	2,0	0,266	84796	0,368
7. Ölçüm	0,0005	14,50	120	2,5	0,371	94217	0,327
8. Ölçüm	0,0005	14,50	100	3,0	0,488	101755	0,294
9. Ölçüm	0,0020	14,50	80	3,8	0,682	110600	1,024
10. Ölçüm	0,0005	10,00	200	1,5	0,119	50125	0,420
11. Ölçüm	0,0005	10,00	150	2,0	0,183	58480	0,368
12. Ölçüm	0,0005	10,00	120	2,5	0,256	64978	0,327
13. Ölçüm	0,0005	10,00	100	3,0	0,336	70175	0,294
14. Ölçüm	0,0005	10,00	75	4,0	0,518	77973	0,245
15. Ölçüm	0,0020	10,00	60	5,0	0,724	83542	0,842
16. Ölçüm	0,0005	6,0	75	4,0	0,311	46783	0,245
17. Ölçüm	0,0005	6,0	60	5,0	0,434	50125	0,210
18. Ölçüm	0,0020	6,0	45	6,7	0,669	53981	0,679
19. Ölçüm	0,0005	3,0	40	7,5	0,416	29085	0,155
20. Ölçüm	0,0005	3,0	30	10,0	0,645	30702	0,123
21. Ölçüm	0,0020	3,0	25	12,0	0,848	31580	0,420

Akımın herhangi bir yerdeki derinliği y , bahis konusu yerin keyfi olarak seçilen bir sisteme göre koordinatları x ve z ile gösterilmiştir.



Şekil 3.4 Akım Enkesit Üzerinde Ölçüm Noktaları

(Ardıçhoğlu, 1994) tarafından, kanalda elde edilen her bir akım durumunda kanal başındaki $x=1,1m$ den $x=7,0m$ uzaklığa kadar 10 farklı kesitte kanalın ortasında ($z=0$) ölçümler yapılmıştır. Her kesitte laser ışını ile kanal tabanına yaklaşılabilen en yakın mesafe olan $0,3mm$ den başlayarak su yüzüne kadar hız ölçümleri alınmıştır. Laser ışını su yüzündeki ufak salınımlarla kırıldığından yüzeyin $0,5$ cm. altına kadar ölçüm alınabilmiştir.

Orta kesit boyunca yapılan bu ölçümler yardımı ile kanal boyunca akımda sınır tabakasının gelişimi gözlenmiş, sınır tabakasının geliştiği gözlenen $x=6,5m$ deki kesitte kanal ortasından başlayarak duvara doğru 2 cm aralıkla 7 farklı düşeyde hız ölçümleri yapılmıştır. Her bir düşeyde derinlik boyunca su yüzüne doğru düğüm noktalarında hızlar belirlenmiştir. Laser Doppler Anemometresi ile yan duvara en yakın $1cm$ uzaklıkta ölçüm alınabilmiştir.

Elde edilen verilerin nihai amacı kanal boyunca cidar kayma gerilmesinin hesaplanmasıdır. Ölçümler; Prandtl'in (1.1) nolu $V^+ = A + B \ln Y^+$ şeklindeki, logaritmik hız dağılımı iki boyutlu türbülanslı akımı için vermiş olduğu denklem için kullanılmıştır.

Bu bağıntı verilen düşeydeki hız dağılımı için kullanılabilir. Aynı zamanda düşeydeki cidar kayma gerilmesinin değeri de bu bağıntıda kullanılabilir. Aynı şeyler yataydaki hız dağılımı için de geçerlidir. Normalde A ve B sabitlerinin iki boyutlu akımlarda sabit olması beklenmemelidir. Sonuçta üç boyutlu durumdaki A ve B sabitlerine ilave olarak duvar boyunca belirlenen noktalarda τ_w lokal kayma gerilmesi değerleri bulunmalıdır.

Elde edilen verilerle Çıray tarafından modifiye edilen Prandtl denkleminin çözüm metoduna girmeden önce ortalama kayma gerilmesi ve gerçek kayma dağılımının açıklanması uygun olacaktır.

Şekil 2.9'dan serbest yüzeyli üniform akımdaki kayma gerilmesi, akım yönünde kartezyen koordinat sisteminde aşağıdaki gibi elde edilir.

$$\tau = \gamma R J \quad (3.1)$$

Türbülans etkisinin yoğunluğunun ölçüsü ve dalgalanmanın neden olduğu moment transferinin ölçüsü olan sürtünme hızı $u_\tau = \sqrt{\tau / \rho}$ formülü ile belirlenir. Herhangi bir noktadaki lokal cidar kayma gerilmesi $\tau_w = \tau K$ ile verilir. Burada K boyutsuz cidar kayma gerilmesidir. Eğer S sınır boyunca verilen bir orijinden başlayıp mesafe olarak kabul edilirse, örneğin su seviyesi düşünülürse, $\tau = \tau(S)$ ve $K = K(S)$ olacağından denklem aşağıdaki gibi ifade edilir;

$$\tau_w L = \int_0^L \tau ds \dots\dots\dots \tau_w = K \tau \quad (3.2)$$

$$L = \int_0^L K(S) ds \quad (3.3)$$

$$L = \sum_{I=1}^{IS} K(I) \Delta L(I) \quad (3.4)$$

Kayma gerilmesinin L'den IS'ye kadar değiştiği düşünülür ve I duvar üzerindeki yerleşimi gösteren bir tamsayı ise,

$$\frac{\Delta L}{\zeta} = S(I) \quad (3.5)$$

takip eden ilişki aşağıdaki gibi olur;

$$\sum_{I=1}^{JS} K(I)S(I) = 1 \quad (3.6)$$

J'nin farklı değerleri ve gelişi güzel seçilen bir I değeri için Prantdl'm logaritmik hız dağılımının geçerli olduğu varsayılırsa bu eşitlik (Çıray, 1994) tarafından verilen (1.2)

$$\text{nolu denklemi } \frac{V^+(I,J)}{K^2(I)} = A + B \ln[K^{1/2}(I)Y^+(I,J)] \text{ şeklinde olduğunu belirtmiştik.}$$

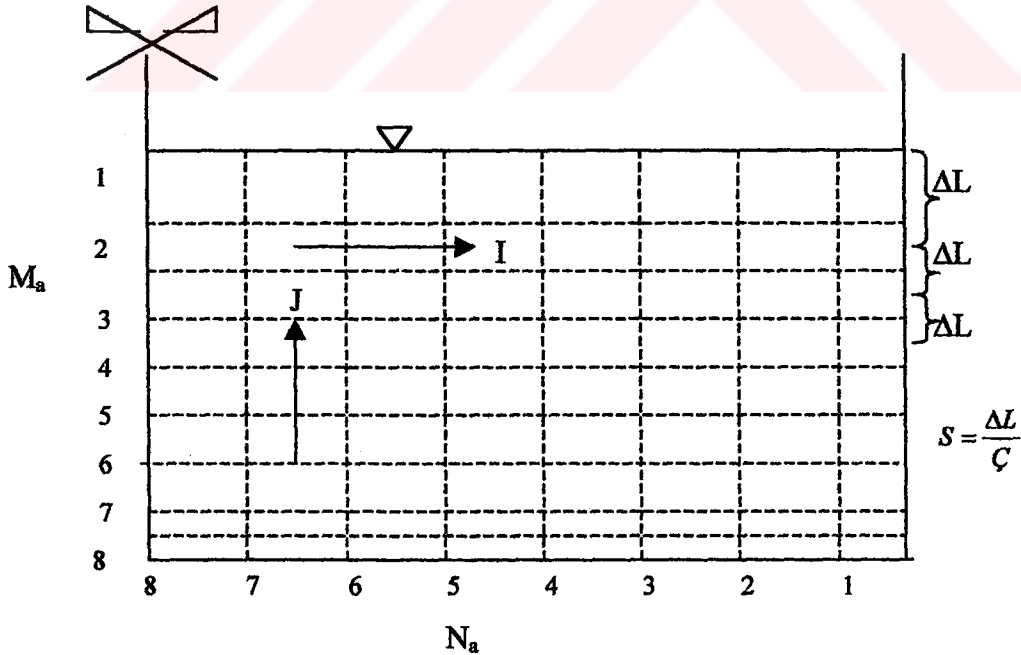
J, 1 den JS(I) ya gider ve verilen bir I daki y nin değerini belirler. Şekil 3.5'de I ve J nin yönleri gösterilmiştir. (3.6) eşitliği, verilen bir (I) için JS(I) olarak yazılabilir.

(JS(I)=verilen (I) noktasında ölçülen lokal hız sayısına karşılık gelmektedir.) Sonuç olarak

toplam denklem sayısı N olacaktır. $N = \sum_{I=1}^{JS} JS(I)$ denklem (3.6) göz önüne alındığında

(N+1) adet denklem ve (IS+2) bilinmeyen vardır. Buradan (IS+2), K(I), A ve değerleri belirlenir. Bunlar doğrusal olmayan cebirsel denklemlerdir.

h= su derinliğine göre deney ölçümleri için hesaplanan S değerleri Tablo 3.2'de, hesaplama yöntemi de Şekil 3.5'de verilmiştir.



Şekil 3.5 Tablo 3.2'deki S Değerlerinin Hesap Yöntemi

Tablo 3.2 Deneç Ölçüm Noktalarında Hesaplanan S değeri

Ma+Na=	Farklı Üniform Su Derinliklerine Göre $S=AL/Ç$ Değeri					
	h=200mm	h=150mm	h=120mm	h=100mm	h=80mm	h=75mm
1	0,00357	0,00417	0,00460	0,00500	0,01630	0,00560
2	0,00714	0,00830	0,00920	0,01000	0,01090	0,01750
3	0,01070	0,01670	0,01380	0,01500	0,01630	0,02200
4	0,01420	0,01670	0,01840	0,02000	0,02170	0,02200
5	0,01420	0,01670	0,01840	0,02000	0,02170	0,02200
6	0,01420	0,01670	0,01840	0,02000	0,02170	0,01670
7	0,01420	0,01670	0,01840	0,02000	0,01630	0,01100
8	0,01420	0,01670	0,01840	0,02000	0,01090	0,00780
9	0,01420	0,01670	0,01840	0,01500	0,00760	0,00440
10	0,01420	0,01670	0,01840	0,01000	0,00430	0,00440
11	0,01420	0,01670	0,01380	0,00700	0,00430	0,00440
12	0,01420	0,01670	0,00920	0,00400	0,00430	0,00440
13	0,01420	0,01670	0,00640	0,00400	0,00430	0,00330
14	0,01420	0,01250	0,00370	0,00400	0,00330	0,00220
15	0,01420	0,00830	0,00370	0,00400	0,00220	0,00220
16	0,01420	0,00583	0,00370	0,00300	0,00220	0,00220
17	0,01420	0,00330	0,00370	0,00200	0,00220	0,00220
18	0,01420	0,00330	0,00278	0,00200	0,00220	0,00167
19	0,01420	0,00330	0,00185	0,00200	0,00160	0,00110
20	0,00714	0,00330	0,00185	0,00200	0,00110	0,00110
21	0,00500	0,00250	0,00185	0,00150	0,00110	0,00110
22	0,00285	0,00167	0,00185	0,00100	0,00110	0,00720
23	0,00285	0,00167	0,00138	0,00100	0,00706	0,04400
24	0,00285	0,00167	0,00092	0,00100	0,04340	0,04400
25	0,00285	0,00167	0,00092	0,00650	0,04340	0,04400
26	0,00214	0,00125	0,00092	0,04000	0,04340	0,04400
27	0,00143	0,00083	0,00602	0,04000	0,04340	0,04400
28	0,00143	0,00083	0,03700	0,04000	0,04340	0,04400
29	0,00143	0,00083	0,03700	0,04000	0,04340	0,04400
30	0,00143	0,00542	0,03700	0,04000	0,04340	0,04400
31	0,00107	0,03333	0,03700	0,04000	0,04340	
32	0,00071	0,03333	0,03700	0,04000		
33	0,00071	0,03333	0,03700	0,04000		
34	0,00071	0,03333	0,03700			
35	0,00500	0,03333	0,03700			
36	0,02860	0,03333				
37	0,02860	0,03333				
38	0,02860	0,03333				
39	0,02860					
40	0,02860					
41	0,02860					
42	0,02860					
43	0,02860					

Tablo 3.2 Devamı

Ma+Na= KK	Farklı Üniform Su Derinliklerine Göre Hesaplanan S=AL/Ç Değerleri				
	h=60mm	h=45mm	h=40mm	h=30mm	h=25mm
1	0,00595	0,06400	0,01300	0,00690	0,00714
2	0,01190	0,01920	0,01300	0,01390	0,01000
3	0,01790	0,01920	0,01300	0,00970	0,00570
4	0,02380	0,01280	0,01300	0,00560	0,00570
5	0,01790	0,00897	0,00920	0,00560	0,00570
6	0,01190	0,00518	0,00530	0,00560	0,00570
7	0,00833	0,00518	0,00530	0,00560	0,00430
8	0,00476	0,00518	0,00530	0,00417	0,00290
9	0,00476	0,00518	0,00530	0,00278	0,00290
10	0,00476	0,00384	0,00395	0,00278	0,00290
11	0,00476	0,00256	0,00263	0,00278	0,00290
12	0,00357	0,00256	0,00263	0,00278	0,00210
13	0,00238	0,00256	0,00263	0,00210	0,00140
14	0,00238	0,00256	0,00263	0,00139	0,00140
15	0,00238	0,00192	0,00197	0,00139	0,00140
16	0,00238	0,00128	0,00132	0,00903	0,00930
17	0,00179	0,00128	0,00132	0,05600	0,05700
18	0,00119	0,00128	0,00132	0,05600	0,05700
19	0,00119	0,00830	0,00132	0,05600	0,05700
20	0,00119	0,05120	0,00902	0,05600	0,05700
21	0,00770	0,05120	0,05260	0,05600	0,05700
22	0,04760	0,05120	0,05260	0,05600	0,05700
23	0,04760	0,05120	0,05260	0,05600	0,05700
24	0,04760	0,05120	0,05260	0,05600	0,05700
25	0,04760	0,05120	0,05260		
26	0,04760	0,05120	0,05260		
27	0,04760	0,05120	0,05260		
28	0,04760				
29	0,04760				

3.3 Çalışan Denklemin Çözüm Metotları

Çözüm metodu bir iterasyon işlemidir. Verilen bir iterasyonda parametrelerin karelerinin toplamının minimize olduğu durumlarda temel fikir, gerileme (geriye dönüş) analizleridir. Bu tekniğin uygulanabilmesi için denklemlerin sayısı en az bilinmeyene eşit yada daha fazla olmalıdır. Temel çözüm şekli doğrudan Çıray'ın 1970 yılında yapmış olduğu çalışmadan alınarak aşağıda verilmiştir.

Doğrusal olmayan denklem takımlarının çözümü:

$$\underline{F}(X) = 0 \text{ veya } F_i(X_j)=0 \quad (3.7)$$

F bu gösterimde İ'inci (3., 5., gibi) denklemin doğrusal olmayan formunu gösterir, N ise eşitlik sayısıdır. X_j ise X vektörünün M boyutlu uzaydaki J. parçasını gösterir. X_j nin tüm

λ 'ler için yukarıdaki denklemini sağlayan özel değeri ise, sistemin kökleridir. Bu kökler M-D kök vektörünün (ana vektör) parçalarından oluşur. Çözüm sisteminde kök vektörünün parçalarının sayısının skaler değişken X_j nin sayısına eşit olduğu kabul edilir. M-D vektörünün elemanları aşağıdaki gibi yazılır.

$$X_i = X_j + \varepsilon_j \quad (3.8)$$

ε_j kökleri bulmaya yardımcı olacaktır. $\overline{X_j}$ bilinen olarak alınabilir. Eğer bunlar kök vektörünün doğru parçalarıysa denklemde verilen X_j , denklem (3.7)'de yerine konursa F_i sıfır olur eğer onlar doğru değilse,

$$(Y_j = \overline{X_j} + \varepsilon_j) \neq X_j \rightarrow F_i(\overline{X_j} + \varepsilon_j) = 0 \text{ olur.}$$

Bazı durumlarda oluşan fark Δ_i , aşağıdaki gibi tanımlanır.

$$\Delta_i = F_i(\overline{X_j} + \varepsilon_j) - F_i(X_j) = F_i(\overline{X_j} + \varepsilon_j)$$

Belirlenen $\Phi = \sum_{i=1}^N \Delta_i^2$, Δ_i^2 değeri sıfır olduğunda, minimum değeri için Φ elde edilebilecektir. X_j bilinen değer olarak alınrsa, ε_j değeri hesaplanması gereken bilinmeyenlerdir.

$$\Phi = \sum_{i=1}^N F_i^2(\overline{X_j} + \varepsilon_j) \rightarrow \min$$

extremum noktaları için kabul edilebilen Φ , aşağıdaki gibi ifade edilebilir:

$$\frac{\partial \Phi}{\partial \varepsilon_k} = 0 \rightarrow 1 < k < M \quad (3.9)$$

Eğer $F_i(X_j)$ nin gerekli dizilişte ve sonlu bir türevinin olduğu varsayılırsa, $F_i(\overline{X_j} + \varepsilon_j)$ denklemini $\overline{X_j}$ ye yakınsayarak Taylor serisine açtıktan sonra denklem (3.8), ε_j içerisinde artan üssü ile yeni bir form oluşturacaktır. $\varepsilon_j \rightarrow (1 < j < M) X_j$ değerinin kökleri yakın olduğu durumlarda değerlerin sıfıra yaklaşacağı görülmektedir. Tanımlanan ifade ε_j deki doğrusal terimler dikkate alınrsa aşağıdaki gibi lineer denklemler sistemi elde edilir.

$$C_{ki} \varepsilon_i + D_k = 0, \quad 1 \leq k \leq M \quad (3.10)$$

Bu C_{k1} elemanın ilişkisi $F_i(\overline{X}_j)$ nin bir fonksiyonudur. Doğrusal denklemler sistemi (3.10) denklemini çözülerek ε_j elde edilir. Daha sonra $\overline{X}_1 + \varepsilon_1$ oluşturulur ve yeni bir \overline{X}_1 olarak kullanılır. Bu yeni denklem takımı C_{k1} ve D_k hesaplanır, yeni bir ε_1 takımı bulunur ve iterasyon işlemine devam edilir:

$$\overline{X}_j(t) = \overline{X}_j(t-1) + \varepsilon_j(t) \quad (3.11)$$

Şeklindeki iterasyon işleminde (t) iterasyon sırasını gösterir. Eğer iterasyon işlemi birbirine yaklaşan ve bir (mutlak) sonsuz minimuma yaklaşırsa, $(\varepsilon_i \rightarrow 0; \phi \rightarrow 0)$ olduğu zaman aşağıdaki kök vektörü elde edilir:

$$\overline{X}_j = \overline{X}_j(t-1) + \varepsilon_j = Y_j \quad (3.12)$$

Diğer bir deyişle kök vektörünün elemanları elde edilir.

Bazı önemli özellikler:

*Bağıntıdaki metrik katsayı simetriktir.

*Bu bağıntıda iterasyon işleminde terimlerin genel formları korunmuştur. Sadece nümerik değerler değişmiştir.

3.4 Metodun Eldeki Mevcut Problem İçin Uygulanması

(Çıray, 1970) tarafından daha önce geliştirilen bağıntılar,

$$\frac{V^+(I,J)}{K^{1/2}(I)} = A + B \ln[K^{1/2}(I)Y^+(I,J)] , \quad \text{ve} \quad \sum_{I=1}^{IS} K(I).S(I) = 1 \text{ idi.}$$

Denklemlerde bilinmeyenler, cidar kayma gerilmeleri $K(I)$ ($I=1$ den IS 'ye kadar), A ve B sabitleridir. Denklemlerdeki bilinmeyenleri çözebilmek için, $K(I)$, A ve B değerlerine başlangıç olarak bilinen $K_0(I)$, A_0 ve B_0 değerleri verilir. Bu değerlere, deney sonuçlarından elde edilen veriler doğrultusunda $\varepsilon_{(I)}, \varepsilon_A, \varepsilon_B$ ilave edilir. Böylece, denklemlerin çözümü olan yeni lokal cidar kayma gerilmeleri $K(I)$, A ve B sabitleri bulunmuş olur.

Bu çalışma için alınan lokal ölçüm hız değerleri Ek-2'de verilmiştir. Kanalın IS ve $JS(I)$ 'in nümerik değerleri, değişen boşalım debisi veya su derinliğine bağlı olarak değişmektedir. Çözümlerde kullanılan değerlerin tamamı Tablo 3.3'te verilmiştir. Denklemlerin her bir setinin kökleri kısa bir bilgisayar programı yardımı ile belirlenmiştir. Akış diyagramı ve

program, Ek-1'de verilmiştir. Çözüm metodu ve bilgisayar programı Çıray (1970)'dan alınmıştır. Ayrıca denklemin çözüm metodu ayrıntılı olarak Ek-1'de verilmiştir.

Deneylerden elde edilen verilere göre çözümlenmesi gereken lineer olmayan denklem sayısı Tablo 3.3'te belirtilmiştir. Örneğin; $h=200\text{mm}$ su derinliği için çözümlenecek lineer olmayan denklem sayısı $N+1$ kadardır ve $N+1=689$ 'tir. Burada, deneyde ölçülen yataydaki nokta sayısı ile düşeydeki nokta sayısının çarpımı 344'tür. $344 \times 2=688$ adet deney verilerine göre çözülmesi gereken denklem vardır. Buna ilave olarak (3.7) nolu denklemin de çözülmesi gerekir. Böylece $688+1=689$ adet çözülmesi gereken denklem sayısı bulunur. Ayrıca Tablo 3.3'teki $(IS+2)=45$ değeri, çözümlerdeki denklemlerin 45 bilinmeyişi olduğunu ifade eder.

Tablo 3.3 Girdilerin Nümerik Değerleri

$h=\text{mm}$	200	150	120	100	80	75	60	45	40	30	25
IS	43	30	27	25	23	22	21	19	19	17	17
JS(I)	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
IS+2	45	32	29	27	25	24	23	21	21	19	19
N+1	689	481	433	401	369	353	337	305	305	273	273

3.5 Noktasal Hız Ölçümlerinin Değerlendirilmesi

Bu çalışmada önceki bölümlerde izah edilen denklem kümelerinin çözümleri üzerinde durulmuştur. $C(I, J)$ ve $D(I)$ elemanlarının hesaplanması için $K_0(I)$, A_0 ve B_0 başlangıç değerleri olarak kabul edilmiş, bu değerler iterasyon ile bulunan yeni sonuçlarla değiştirilmiştir. Fakat aynı ifade içinde görülen $Y^+(I, J)$ ve $V^+(I, J)$ değerleri iterasyon işlemi boyunca değiştirilmemiştir. $Y^+(I, J)$ değerleri önceden seçilen y değerleri için hesaplanmıştır. Her bir data gurubu için 25 iterasyon yapılmış ve 25 iterasyonun yeterli yakınlığı sağlayabileceği kabul edilmiştir. Boyutsuz cidar kayma gerilmeleri için $K(I)=0.20$ den başlayarak $K(I)=0.65$ 'e kadar 0.05 artırılarak değişik iterasyon işlemleri denenmiştir. Böylece her bir grup data 10 kez denenmiş ve her deneme için, $A=5$ ve $B=2$ değerleri iterasyona başlangıç değeri olarak kullanılmıştır. Bu değerler mümkün olduğu kadar teorik sonuçlara yakın olarak verilmiştir. Çözümlerde, A ve B değerleri için değişik başka iterasyon başlangıç değerleri kullanılsa dahi sonuçlarda fark olmadığı belirlenmiştir.

Bilgisayar programında denklemlerin hataları da bulunur. FI ve FIO gösterimleri denklemdaki toplam hatayı verir. Denklem (3.6)'nın dışındaki eşitlikler deney şartlarına bağlıdır. Bundan dolayı doğrusal olmayan denklemin doğru kökünü seçmek için denklem

(3.6)'daki hatanın minimum değeri temel olarak kabul edilir. Değişik iterasyon başlangıç değeri denendiğinden dolayı minimum FIO değerlerini verecek farklı ölçümler vardır. Suyun uygun boşaltımındaki farklı başlangıç iterasyonları için FIO değerleri Tablo 3.4'te verilen değerler arsından minimum olanı seçilir ve uygun $K(I)$, A ve B değerleri arzu edilen sonuç olarak kabul edilir. Tablo 3.4'ten minimum FIO değerlerine göre $K(I)$, A ve B değerleri belirlenirken bazı durumlarda minimum FIO değerlerinin sabitlerinde sapmalar olduğu gözlenmiştir. Bu nedenle seçimde diğer FIO değerleri tercih edilmiştir. Çünkü, minimum FIO değerinde A ve B sabitleri negatif değerlere doğru gitmiş veya anormal derecede büyük pozitif değerler almıştır. Bu değerler, beklenen değerden oldukça uzak değerlerdir. Bu nedenle bütün çözümler için sonuçlar gözden geçirilmiş ve uygun A, B sabitleri aranmıştır. Tablo 3.4'teki $a=0.20$, $b=0.25$ gibi değerler, iterasyon başlangıç değerleridir.

Tablo 3.4 Farklı Eğitim, Debi ve İterasyonlara Göre Seçilen Minimum FIO Değerleri

Ölçüm No:	İterasyon Başlangıç Değerine Göre Seçilen Minimum FIO değeri													
	a=0,20	b=0,25	c=0,30	d=0,35	e=0,40	f=0,45	g=0,50	h=0,55	i=0,60	j=0,65				
1. Ölçüm	0,000001	0,0032188	0,0028147	0,0001127*	0,0150064	0,0079387	0,0343635	0,0018989	0,1265011	0,0146297				
2. Ölçüm	0,0036732	0,0000277	0,000888*	X	0,0060457	0,0000531	0,0036052	0,0031272	0,0000714	0,0066620				
3. Ölçüm	0,0115130	0,0023581	0,0000016*	0,0032541	0,0042488	0,0022170	0,0069045	0,0005530	0,0047170	0,0006979				
4. Ölçüm	0,0232652	0,0008205	0,0095241	0,0180733	0,0047187	0,0005825*	0,0083242	0,0155608	0,0064811	0,0023173				
5. Ölçüm	0,001991*	0,0011144	0,0034571	0,0001873	0,0006289	0,0000490	0,0041088	0,0060142	X	0,0045949				
6. Ölçüm	0,0009462	0,0128668	0,0047748	0,0040373*	0,0073999	0,0084692	0,1589595	0,0000241	0,0035889	0,0220747				
7. Ölçüm	0,0036250	0,0499632	0,0093122	0,0048290	0,0001064	0,0001324	0,0163428	0,0028729	0,0003474	0,0002471*				
8. Ölçüm	0,0000353	0,0019353	0,0001157*	0,0037892	0,0014065	0,0095975	0,0017953	0,0069839	0,0067124	0,1563741				
9. Ölçüm	0,0043563	0,0008806	0,0011009	0,0074327	0,0035624	0,0086363	0,0056177	0,0116796	0,0022775	0,0019378*				
10. Ölçüm"	0,0085034	0,0036115	0,0712943	0,0145773	X	0,0028554	0,0161859	0,0018271	0,0019607	0,0010013				
11. Ölçüm	0,1131988	0,0513474*	0,5545533	0,0045117	0,1064100	0,0070546	0,0165057	0,0022542	0,0003120	0,1298211				
12. Ölçüm	0,0002893	0,0004831	0,0180238	0,0001487*	0,0041257	0,0076015	0,0073010	0,0019662	0,0050680	0,0027355				
13. Ölçüm	X	X	0,0020753	0,0042951	0,0002779	0,0000569	0,0043385	0,0035839	0,0000356	0,0000001*				
14. Ölçüm	0,0020372	0,0079178	0,0015380	0,0014856	0,0020020	0,0008779	0,0064347	0,0037317	0,0060777	0,000247*				
15. Ölçüm	0,0196801	0,0021217	0,0000397	0,0007939	0,0000453	0,0011638	0,0076729	0,0000000*	0,0012469	0,0041807				
16. Ölçüm	0,0000182	0,0037754	0,0004842*	0,0864942	0,0156118	0,0001200	0,1087533	0,0031868	0,0122900	0,0095468				
17. Ölçüm	0,0119113	0,0027197	0,0009023	0,0069479	0,0029054	0,0000004	0,0079352	0,0000001*	0,0000021	0,0004181				
18. Ölçüm	0,0026277	0,0005712	0,0095478	0,0107037	0,0174300	0,0022253	0,0012879*	0,0033754	0,0042860	0,0076883				
19. Ölçüm	0,0551495	0,0331208	0,0001888	0,0001205	0,0001373	X	0,0009842	0,0000104*	0,0000960	0,0006775				
20. Ölçüm	0,0032199	0,0053295	0,0050790	0,0000260	0,0105694	0,0002932	0,0036802	0,0063257	0,0000004*	0,0026313				
21. Ölçüm	0,0000358	0,0013708	0,0050121	0,0000178*	0,0008525	0,0048953	0,0029431	0,0098182	0,0070379	0,0032075				

1- 10. Ölçümde Minimum FIO Değeri İterasyona 0,15 İle Başlandıında Sağlanmıştır ve Değeri de 0,0057306'tır

2- X İgisiz çözümleri gösterir

BÖLÜM IV

BULGULAR

4.1 Deneysel Çalışmadan Elde Edilen Bulgular

Daha önceki bölümlerde açıklandığı gibi sonuçlar, Prandtl'ın logaritmik ortalama hız kanununun adaptasyonu ile elde edilmiştir. (1.2) denkleminin $K(I)$, A ve B değerleri daha önce yöntemi açıklanan bilgisayar yazılımı yardımıyla lineer olmayan denklemler analiz edilerek bulunmuş ve Tablo 4.1'de özetlenmiştir. Bu Tablodaki I değerleri uygun deşarjdaki su derinliğine bağılı olarak değışir. Kullanılan bilgisayar programı Fortran dilinde yazılmış olup, program ve akış şeması Ek-1'de verilmiştir.

Tablo 4.1'deki değerlerin seğıilmesinde teorik olarak doğruluğu bilinen (3.6) denkleminin sifira en yakın değerleri kabul edilmiştir. Elde edilen sonuçlardan A ve B sabitleri seğıilmiş ve bu değerler ıslak çevreye dik çizgiler boyunca kullanılmıştır. A ve B sabitinin her ikisi de boyutsuz kayma gerilmeleri olarak hesaplanmış, hesaplanan bütün değerler Tablo 4.1'de özetlenmiştir.

Tablo 4.1 Hesaplanan Cidar Kayma Gerilmeleri, A, B Sabitleri

ÖLÇÜM NO	1	2	3	4	5	6	7	8
A	4,9552	7,3453	7,82	6,456	3,25	5,06	6,6	9,92
B	0,8585	1,3657	2,16	0,9937	0,7586	1,072	1,3	1,6
İter. Başl. Değ.	0,35	0,25	0,30	0,45	0,20	0,30	0,65	0,30
K(I)	K(I)	K(I)	K(I)	K(I)	K(I)	K(I)	K(I)	K(I)
K(I)	1,8547				1,8069			
K(I)	1,8591				1,8224			
K(I)	1,9609				1,8373			
K(I)	2,0135				1,9399			
K(I)	2,0777				2,0193			
K(I)	2,1400	2,1311			2,0513	1,9655		
K(I)	2,1958	2,1352			2,1057	1,9601		
K(I)	2,2197	2,1358			2,1016	1,9751		
K(I)	2,2317	2,1760	2,0705		2,0770	1,9770	2,0775	
K(I)	2,2199	2,2011	2,0667		2,0624	2,0319	2,0953	
K(I)	2,2084	2,2078	2,0994	1,9803	2,0774	1,9803	2,1180	1,9890
K(I)	2,1549	2,1720	2,1609	1,9765	2,1144	1,9882	2,1679	1,9928
K(I)	2,1305	2,1248	2,1683	1,9845	2,0801	1,9277	2,1750	2,0344
K(I)	2,0934	2,0953	2,1667	2,0260	2,0513	1,9053	2,1866	2,0908
K(I)	2,0437	2,0428	2,1434	2,0187	2,0090	1,8792	2,1505	2,0992
K(I)	1,9766	1,9730	2,0993	2,0210	1,9443	1,8264	2,1274	2,0967
K(I)	1,9582	1,9251	2,0262	2,0149	1,8860	1,7086	2,0687	2,0882
K(I)	1,8674	1,8355	1,9658	1,9350	1,8480	1,6194	1,9466	2,0439
K(I)	1,7338	1,6689	1,8736	1,8492	1,6895	1,5613	1,8553	1,9386
K(I)	1,6406	1,6491	1,7814	1,7806	1,6216	1,5508	1,7904	1,7910
K(I)	1,6013	1,5957	1,7076	1,7082	1,4750	1,4413	1,7231	1,7628
K(I)	1,5556	1,5361	1,6495	1,6309	1,4744	1,4432	1,6528	1,7332
K(I)	1,4919	1,4929	1,6273	1,5815	1,4161	1,3431	1,5746	1,6727
K(I)	1,4389	1,4552	1,5558	1,5388	1,3400	1,3043	1,5627	1,6019
K(I)	1,3382	1,3968	1,5163	1,4784	1,2932	1,2609	1,4732	1,5566
K(I)	1,2988	1,3305	1,4392	1,3955	1,2983	1,1905	1,4067	1,4890
K(I)	1,2357	1,2935	1,4039	1,3581	1,2367	1,1490	1,3561	1,4384
K(I)	1,2078	1,2754	1,3496	1,3112	1,1452	1,1001	1,3159	1,3686
K(I)	1,1840	1,2208	1,2874	1,2620	1,1433	1,0607	1,2882	1,3391
K(I)	1,1637	1,1616	1,2367	1,2027	1,0855	1,0304	1,2272	1,2774
K(I)	1,0996	1,1238	1,1815	1,1770	1,0434	1,0053	1,1854	1,2034
K(I)	1,0268	1,0760	1,1463	1,1482	1,0197	0,9535	1,1358	1,1610
K(I)	0,9899	1,0405	1,1122	1,1140	1,0089	0,9366	1,0995	1,1097
K(I)	0,9765	0,9915	1,0584	1,0658	0,9709	0,9205	1,0443	1,0335
K(I)	0,9593	0,9594	1,0024	0,9760	0,9298	0,8505	0,9590	0,9905
K(I)	1,4000	1,4429	1,4802	1,4287	1,2244	1,2351	1,4226	1,3783
K(I)	1,6358	1,8575	2,0958	1,9398	1,5870	1,6848	2,0333	2,0335
K(I)	1,7739	1,9888	2,2475	2,1039	1,7104	1,8497	2,2393	2,2441
K(I)	1,8586	1,9857	2,2549	2,1326	1,8108	1,8093	2,2462	2,2614
K(I)	1,9207	1,9503	2,1244	2,1015	1,8822	1,7424	2,1599	2,1935
K(I)	1,9972	1,8880	2,0197	1,9356	1,9405	1,7038	2,0195	2,0476
K(I)	2,0585	1,9077	1,8847	1,7131	2,0528	1,7513	1,8328	1,8583
K(I)	2,1137	2,0356	1,9419	1,6949	2,1072	1,9008	1,8492	1,7219

Tablo 4.1 Devamı

ÖLÇÜM NO	9	10	11	12	13	14	15	16
A	6,05	2,81	4,67	6,42	6,37	6,35	5,63	6,414
B	1,32	0,55	0,87	0,84	1,14	2,27	1,245	1,276
İter. Başl. Değ.	0,65	0,15	0,25	0,30	0,65	0,65	0,55	0,30
K(I)	K(I)	K(I)	K(I)	K(I)	K(I)	K(I)	K(I)	K(I)
K(I)		1,6248						
K(I)		1,6537						
K(I)		1,7219						
K(I)		1,7343						
K(I)		1,7352						
K(I)		1,8136	1,6554					
K(I)		1,8303	1,6781					
K(I)		1,8872	1,6742					
K(I)		1,8845	1,7207	2,1323				
K(I)		1,9224	1,7088	2,1712				
K(I)		1,9585	1,6980	2,2403	1,9681			
K(I)		1,9733	1,7171	2,2240	1,9942			
K(I)	1,7397	1,9938	1,6846	2,2216	2,0409			
K(I)	1,7468	2,0398	1,6311	2,1739	2,0575	1,7112		1,9594
K(I)	1,7849	1,9706	1,6009	2,1219	2,1093	1,7182	1,9939	1,9581
K(I)	1,8088	1,9582	1,5486	2,1003	2,0717	1,7699	1,9901	1,9784
K(I)	1,7703	1,9597	1,4784	1,9874	2,0355	1,7763	2,0091	2,0150
K(I)	1,7137	1,8683	1,4074	1,9283	1,9588	1,7575	1,9975	1,9502
K(I)	1,6499	1,8326	1,3376	1,7904	1,8729	1,7215	1,8912	1,8601
K(I)	1,5780	1,6998	1,2420	1,6980	1,8094	1,6529	1,8122	1,7687
K(I)	1,5173	1,6307	1,1703	1,6378	1,6988	1,5915	1,7187	1,6772
K(I)	1,4682	1,5638	1,1615	1,6209	1,6613	1,5551	1,6727	1,6473
K(I)	1,4289	1,5663	1,1228	1,5426	1,6328	1,5163	1,6180	1,5970
K(I)	1,3671	1,5317	1,1025	1,5176	1,5762	1,4549	1,5719	1,5330
K(I)	1,3313	1,4409	1,0686	1,4436	1,4981	1,4248	1,5074	1,4816
K(I)	1,2770	1,3417	1,0197	1,3828	1,4278	1,3709	1,4271	1,4260
K(I)	1,2431	1,2907	1,0067	1,3346	1,3947	1,2935	1,3630	1,3769
K(I)	1,1988	1,2681	0,9513	1,2931	1,3497	1,2557	1,3189	1,3006
K(I)	1,1644	1,2464	0,9454	1,2424	1,2922	1,1935	1,2801	1,2719
K(I)	1,1318	1,1642	0,8939	1,1584	1,2340	1,1761	1,2625	1,2289
K(I)	1,1038	1,1267	0,8392	1,1105	1,2040	1,1169	1,2195	1,1856
K(I)	1,0579	1,1040	0,8308	1,0728	1,1529	1,0588	1,1590	1,1444
K(I)	1,0064	1,0495	0,8336	1,0556	1,1005	1,0344	1,1074	1,1061
K(I)	0,9605	1,0220	0,7674	0,9978	1,0708	0,9888	1,0507	1,0193
K(I)	0,9258	0,9253	0,7402	0,9579	0,9893	0,9387	1,0250	1,0100
K(I)	1,3207	1,0288	1,0448	1,3920	1,4543	1,4690	1,4627	1,4351
K(I)	1,6831	1,4202	1,3933	1,9656	2,0195	1,8117	1,8641	1,8424
K(I)	1,8020	1,5788	1,4626	2,1180	2,2145	1,8994	2,0026	2,0200
K(I)	1,8758	1,7771	1,4664	2,1082	2,2633	1,9324	2,0461	2,1384
K(I)	1,8847	1,9571	1,4573	1,9797	2,2115	1,9259	1,9907	2,1706
K(I)	1,8990	2,0464	1,5065	1,8236	1,9976	1,8859	1,9837	2,0403
K(I)	1,8980	2,0796	1,6106	1,7931	1,7634	1,7910	2,1271	1,9034
K(I)	1,9055	2,1576	1,7392	1,9220	1,6955	1,6580	2,2672	1,9477

Tablo 4.1 Devamı

ÖLÇÜM NO	17	18	19	20	21	ortalamalar
A	6,75	5,23	5,18	5,9	5,78	5,9505
B	2,33	1,48	1,14	2,61	1,18	1,3504
İter. Başl. Değ.	0,55	0,50	0,55	0,60	0,35	
K(I)	K(I)	K(I)	K(I)	K(I)	K(I)	K(I)ort
K(I)						1,7621
K(I)						1,7784
K(I)						1,8400
K(I)						1,8959
K(I)						1,9441
K(I)						1,9595
K(I)						1,9842
K(I)						1,9989
K(I)						2,0325
K(I)						2,0449
K(I)						2,0336
K(I)						2,0483
K(I)						2,0199
K(I)						1,9965
K(I)	1,8646					1,9728
K(I)	1,8810					1,9529
K(I)	1,9304	1,3347	1,9200			1,8934
K(I)	1,9278	1,3467	1,9429			1,8357
K(I)	1,8374	1,3520	1,9553			1,7545
K(I)	1,7491	1,2969	1,8993	1,5882	1,6273	1,6724
K(I)	1,6592	1,2248	1,7934	1,5985	1,6337	1,6025
K(I)	1,6050	1,1660	1,7396	1,5625	1,6090	1,5591
K(I)	1,5414	1,1378	1,6956	1,5268	1,5773	1,5112
K(I)	1,4868	1,1016	1,6034	1,4831	1,5358	1,4623
K(I)	1,4330	1,0582	1,5554	1,4249	1,4517	1,4030
K(I)	1,3628	1,0121	1,4866	1,3757	1,4049	1,3423
K(I)	1,3388	0,9890	1,4449	1,3152	1,3623	1,2974
K(I)	1,2925	0,9471	1,3985	1,2772	1,3266	1,2512
K(I)	1,2487	0,9214	1,3434	1,2315	1,2615	1,2131
K(I)	1,1850	0,8880	1,3182	1,1903	1,2153	1,1667
K(I)	1,1267	0,8648	1,2671	1,1567	1,1674	1,1230
K(I)	1,0983	0,8366	1,2334	1,1022	1,1456	1,0822
K(I)	1,0530	0,8194	1,1926	1,0600	1,1279	1,0477
K(I)	1,0194	0,7934	1,1686	1,0232	1,1050	1,0045
K(I)	0,9855	0,7510	1,1017	1,0046	1,0768	0,9552
K(I)	1,4914	0,9253	1,3465	1,3787	1,2064	1,3318
K(I)	1,8680	1,1842	1,7342	1,7217	1,7005	1,7655
K(I)	2,0096	1,4245	2,0295	2,0288	1,9732	1,9391
K(I)	2,1869	1,5628	2,2191	2,0816	1,9859	2,0002
K(I)	2,2027	1,5922	2,2735	2,1141	2,0661	1,9953
K(I)	2,1454	1,5920	2,3083	2,1463	2,0876	1,9531
K(I)	2,0224	1,5905	2,3398	2,1696	2,1078	1,9169
K(I)	2,0323	1,5996	2,3773	2,1663	2,1258	1,9504

4.2 Boyutsuz Cidar Kayma Gerilmeleri

Farklı ölçümler için boyutsuz cidar kayma gerilmeleri Şekil 4.1'de verilmiştir. Çıray'ın(1971) tanımlamasına göre köşelerde ve su yüzeyinde cidar kayma gerilmesi sıfır olur. Bundan dolayı dağılım hemen hemen bu noktalara birleştirilir. Ortalama cidar kayma gerilmesinin maksimum değerleri kanal aksında farklı W/h oranlarında 1,5996~2,3773 kg/m² arasında değişen değerler olarak bulunmuştur. Kanal düşey cidarında yine farklı W/h oranlarında maksimum cidar kayma gerilmesi 1,352~2,2403 kg/m² arasında değişmektedir.

Deneylelerdeki düşey duvarlarda elde edilen maksimum cidar kayma gerilmeleri farklı debi ve W/h oranlarında su yüzeyinin %15~%60 kadar derinliklerde elde edilmiştir. Bütün değerler ayrıntılı olarak Tablo 4.1'de verilmiştir.

Boyutsuz cidar kayma gerilmelerinin ortalama değeri için denklemler kanalın yanıl duvarlarına ve tabanına uydurulmuştur. Deney verilerinin sonuçlarına elde edilen boyutsuz cidar kayma gerilmelerinin üssel ifadeleri aşağıdaki gibidir:

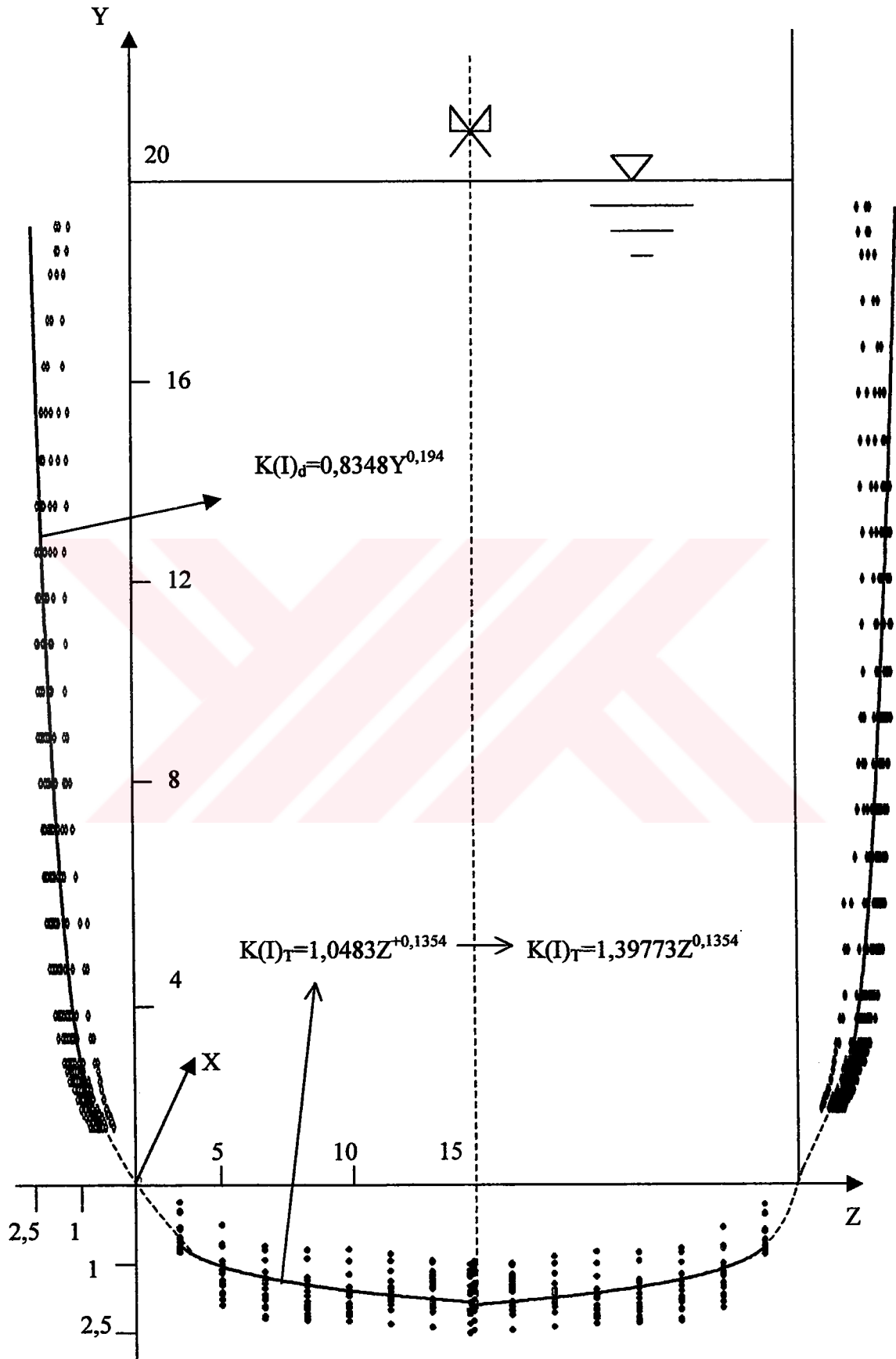
$$\text{Yanal duvarlar için; } K(I)_d = 0,8348 Y^{0,194} \quad (4.1)$$

$$\text{Kanal tabanı için; } K(I)_T = 1,0483 Z^{0,1354} \quad (4.2)$$

Burada $K(I)_d$ yanıl duvar, $K(I)_T$ kanal yatağını ifade etmektedir ve bulunan bu değler boyutlu değlerlerdir. $K(I)_T = C_T Z^{+n}$ şeklinde verilmiş olan kanal tabanındaki üssel ifadeyi, $Z^+ = \frac{Z}{W/2}$ kabulü ile boyutsuz cidar kayma dağılımı olarak ifade edebiliriz.

Böylece kanal tabanındaki cidar kayma gerilmesinin üssel ifadesi aşağıdaki gibi ifade edilmiş olur;

$$K(I)_T = 1,39773 Z^{0,1354} \quad (4.3)$$



Şekil 4.1 Bütün Ölçümler İçin Boyutsuz Cidar Kayma Gerilmesi Dağılımı

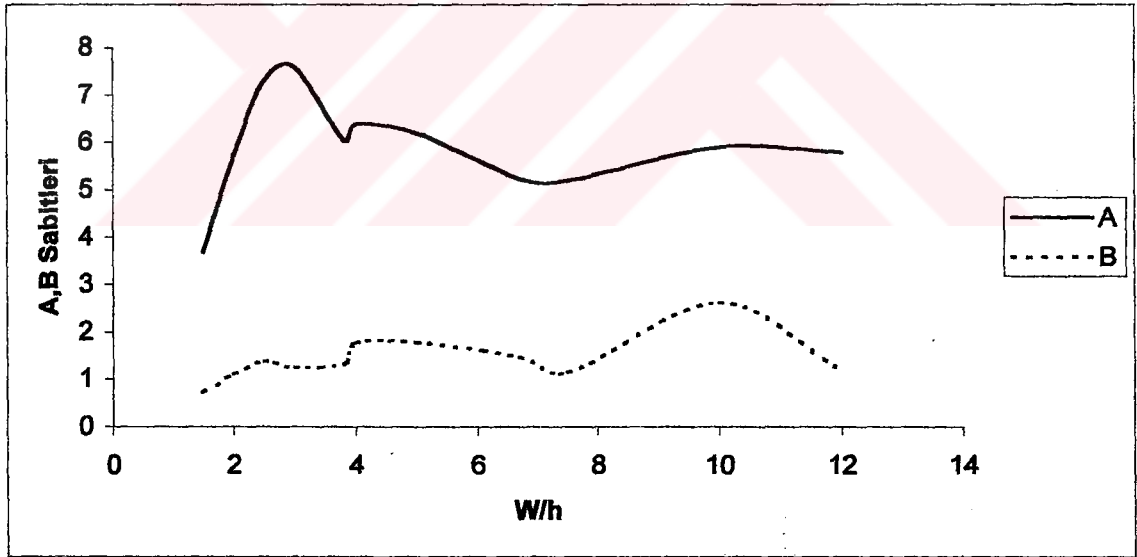
4.3 Logaritmik Kanunların Sabitleri

Tüm kesit için geçerli olduğu kabul edilen bileşik hız dağılımı sabitleri olan A ve B değerlerinin kanal duvarları boyunca dik olduğu daha önce açıklanmıştır. Ölçümler tam türbülanslı bölgede yapılmış, Prandtl'in logaritmik hız dağılım denklemi baz kabul edilerek hesaplanan A ve B sabitleri belirlenmiştir.

Tablo 4.2 W/h Oranları İle Logaritmik Ortalama A ve B Sabitleri

W/h	1,5	2	2,5	3	3,8	4	5	6,7	7,5	10	12
h(cm)	20	15	12	10	8	7,5	6	4,5	4	3	2,5
A	3,672	5,692	7,27	7,582	6,05	6,38	6,19	5,23	5,18	5,9	5,78
B	0,72	1,102	1,38	1,245	1,32	1,77	1,7875	1,48	1,14	2,61	1,18

Farklı W/h oranına göre, A ve B sabitleri bütün debiler için belirlenen sabitlerin ortalamasıdır. Tablo 4.2'ye göre A ve B sabitlerinin dağılımı Şekil 4.2'de grafik haline getirilmiştir.



Şekil 4.2 Farklı W/h Oranları İle Logaritmik Ortalama A ve B Sabitlerinin Değişimi

Farklı W/h oranları ile logaritmik ortalama A ve B sabitleri arasındaki değişim Tablo 4.2'ye göre Şekil 4.2'de görüldüğü gibi tespit edilmiştir. W/h oranlarına göre ortalama A değerleri 3,672 ile 7,692, B değerleri ise 0,72 ile 2,61 arasında değişen değerler olmuştur. Şekil 4.2'de görüldüğü gibi B sabitinde önemli bir değişikliğin olmadığı kabul edilebilir. Böylece üzerinde çalışılan logaritmik hız kanununun B değerinin ortalaması alınabilir ve B

değeri 1,43 olarak bulunur. Bu da Prandtl'in karışım uzunluğu teorisinin doğruluğunu gösterir. A değerinde böyle bir kabul oldukça zordur. Şekil 4.2'de görüldüğü gibi A sabitindeki değişimin W/h oranının 4 değerine kadar yaklaşık doğrusal olarak değiştiği gözlenmiştir. W/h oranı 4'ten sıfıra doğru yaklaştıkça A sabitindeki dalgalanmalarla belirsizliğin boyutları açık şekilde görülmüştür. B sabitine ise W/h oranının etkisinin çok fazla olmadığı belirlenmiştir.

4.4 Sürtünme Yük Kaybı İlişkileri

Sürtünmeli serbest yüzeyle akımlarda, özellikle dar dikdörtgen kesitli akımlarda sürtünme faktörünün W/h oranının bir fonksiyonu olduğu bir çok araştırmacı tarafından belirtilmiştir. Çok geniş serbest yüzeyle kanal akımlarında sekonder akımlar oluşmamaktadır. W/h oranının küçülmesi ile sekonder akım hücreleri oluşmaya başlayacağı için akım direnci etkilenecektir. Çalışmada bu görüşün doğruluğunu destekler nitelikte veriler elde edilmiştir. Ayrıca daha önce bahsedildiği gibi düzensiz cidar kayma gerilmelerinin serbest yüzeyle akımlarda etkisi büyüktür. Bütün bu faktörler toplandığı zaman W/h oranı küçüldükçe sürtünme kaybı ifadesinin kompleksleştiği tespit edilmiştir.

Bilindiği gibi ülkemizde açık kanal akımı hesapları için en fazla uygulama alanı bulunan ve D.S.İ tarafından da önerilen, bağıntı Manning formülüdür ve bu formüldeki n parametresinin homojenliği hala tartışma konusudur. Bu sebeple debi hesaplarında sekonder akımlar, düzensiz cidar kayma gerilmeleri, W/h oranı gibi bir çok faktörleri kapsayan (Çıray, 1999)'ın önerdiği debi formülünün kullanılması uygun görülmüştür. Ayrıca Çıray'ın formülü aşağıdaki gibi logaritmik hız dağılımlarına göre düzensiz cidar kayma dağılımlarını da ifade edebilmektedir:

$$\frac{Q}{Wv} = h^+ \frac{2}{n_T + 2} C_T^{1/2} \left\{ A + B \ln h^+ + \frac{B}{2} [\ln C_T - (n_T + 2)] \right\} \quad (4.4)$$

Burada, W kanal genişliği, h su derinliği, v kinematik viskozite, $h^+ = \frac{hU_\tau}{\nu}$, C_T ve n_T ise daha önceki bölümde ifade ettiğimiz kanal tabanındaki cidar kayma gerilmesi için $K(I)_T = C_T Z^{n_T}$ şeklinde verilen üssel ifade içindeki sabitlerdir. Denklemden Z^+ ise $Z^+ = \frac{Z}{W/2}$ şeklinde boyutsuzlaştırılmıştır

Daha sonra Çıray'ın Q formülü birbirine eşitlenerek, Manning formülündeki n parametresi aşağıdaki şekilde düzenlenmiştir:

$$n_m^{-1} = \frac{g^{1/2} 2C_T^{1/2}}{R^{1/6} n_T + 2} \left\{ A + B \ln \left[\left(\frac{C_T}{\exp(n_T + 2)} \right)^{1/2} h^+ \right] \right\} \quad (4.5)$$

Denklemdaki n_m Manning formülündeki n katsayısına karşılık gelmektedir.



BÖLÜM V

İRDELEME

5.1 Logaritmik Sabitler ve Cidar Kayma gerilmesi Dağılımı

Kanal en kesitinin muhtelif noktalarında Ardıçhoğlu (1994)'nın Laser Doppler Anemometresi ile elde ettiği hız ölçümleri kullanılmıştır. Bu ölçümler; geniş çevrelerde kabul edilen Prandtl'in karışım uzunluğu teorisi ile kurulan logaritmik hız dağılımı cidar kanunu olarak bilinen, benzerlik hipotezi kullanılarak, Karman tarafından türetilen ve kayma gerilmelerinin akım boyunca sabit olduğunun kabulü ile Çıray tarafından modifiye edilen denklemde kullanılmak üzere yapılmıştır. Bulunan değerler ıslak çevreye dik çizgiler boyunca kullanılmıştır. Noktalarda ölçülen lokal hızlar boyutsuzlaştırılarak Çıray'ın hazırlanmış olduğu bilgisayar programı ile bir kesitte yaklaşık 45 bilinmeyenli ve 689 doğrusal olmayan denklem çözülmüş, A, B değeri ve $K(I)$ boyutsuz kayma gerilmeleri olarak hesaplanmıştır.

Türbülanslı basınçlı akımlar için logaritmik hız dağılımının y ile değişimine göre elde edilen $V^+ = A + B \ln Y^+$ şeklindeki bağıntının sabitleri Prandtl (1925) tarafından $A=5,5$ ve $B=2,5$ olarak belirlenmiş ve daha sonra yapılan çalışmalar da bu değerlerin doğruluğunu göstermiştir. Deneyler, bu sabitlere göre basınçlı akımda hız dağılımının tüm kesit içerisinde geçerli olduğunun kabul edilebileceğini ve kayma gerilmelerinin akım ekseninden cidara doğru doğrusal gelişerek, tüm cidar boyunca dağılımının sabit kaldığını göstermektedir. Bu da problemin analizlerinde oldukça kolaylık sağlamaktadır.

Bilindiği gibi serbest yüzeyli akımlarda, akımın bir yüzeyi atmosferle temas etmektedir. Haliyle bu tür akımlarda cidar kayma gerilmesinin düzenli bir şekilde olması beklenemez. Su yüzeyinin atmosfer ile temas ettiği noktada ve cidarların birleştiği köşe noktalarında cidar kayma gerilmelerinin sıfıra yaklaştığı görülmektedir. Su yüzeyinde de sıfır kabul edildiği için cidar kayma gerilmelerinin düzensiz olacağı bilinen bir gerçektir. Özellikle A sabitinin değeri diğer parametrelerin yanı sıra cidar pürüzlülüğü ile doğrudan ilgilidir. Ayrıca W/h oranının küçük olduğu akımlarda çok etkili olan sekonder akım hücrelerinin oluşması da A sabitini etkilemektedir. Bu yüzden serbest yüzeyli akımların analizleri basınçlı akımlara nazaran daha komplekstir. Bu durum Tablo 4.1'de belirginleşmiş ve logaritmik sabitlerde büyük değişimler olmuştur.

Şekil 4.2’de görüldüğü gibi A sabitinin değişimi ile W/h arasında bir ilişki kurmak oldukça zordur. (Rao, 1962) ve (Myers, 1992) değişik W/h oranı ile Reynolds sayıları arasındaki değişimi incelemiş, her iki araştırmacıda kararsızlığın boyutsuzluklarını tam olarak belirlememiştir. W/h oranı Roa’ya göre 6 dan, Myers’e göre 4’ten, Bilgil’e (1998) göre 2’den, bu çalışmada ise 4’ten küçük olduğu zaman belirsizlik artmaktadır.

Çalışmada A ve B sabitlerinin W/h oranına değişiminin simetrik olduğu görülmüştür. Ancak A sabitindeki dalgalanmaların oranı B sabitine göre çok daha büyük orandadır. Bu da daha önceki çalışmaları destekler nitelikte bir sonuçtur. (Bilgil, 1998) yaptığı çalışmada B’deki küçük dalgalanmaları gözönüne alarak B sabitini 1,7559 olarak kabul etmiştir. Bu çalışmada B sabitindeki dalgalanmalar Bilgil’in yaptığı çalışmaya göre daha fazla olmasına karşın yine de ortalama bir B değeri alınabileceği görülmüş ve B=1,43 olarak kabul edilmiştir.

Düzensiz cidar kayma gerilmeleri ile ilgili olarak (Sarı, 1987) teorik olarak pürüzsüz kabul edilen dikdörtgen kesitli açık kanalda yaptığı çalışmada boyutsuz cidar kayma dağılımlarının üssel ifadelerini aşağıdaki gibi önermiştir:

$$\text{Yanal duvarlar için; } K(I)_d = 1,10Y^{0,14} \quad (5.1)$$

$$\text{Kanal tabanı için; } K(I)_T = 1,24Z^{0,16} \quad (5.2)$$

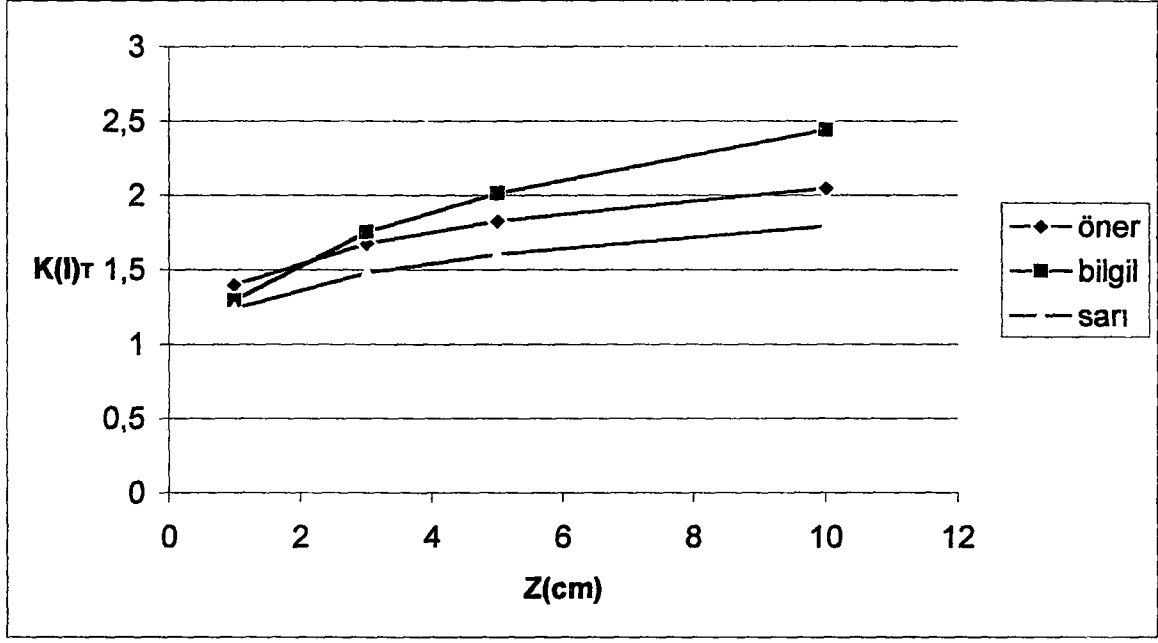
Sarı’nın önerdiği $K(I)_T$ değerinin üssel ifadesi ile çalışmadan elde edilen üssel ifade arasında Yaklaşık %15 kadar fark oluşmaktadır. Bu fark cidarların cilalı ve pürüzlü oluşundan kaynaklanabilir.

Bilgil ise cilalı serbest yüzeyli akımlarda yapmış olduğu çalışmada boyutsuz cidar kayma gerilmesi dağılımlarının üssel ifadesini aşağıdaki gibi önermiştir.

$$\text{Yanal duvarlar için; } K(I)_d = 0,7175Y^{0,1617} \quad (5.3)$$

$$\text{Kanal tabanı için; } K(I)_T = 1,2958Z^{0,2744} \quad (5.4)$$

Önerilen $K(I)_T$ değerinin üssel ifadesi ile yaptığımız çalışmanın üssel ifadesi arasında %10 kadar fark oluşmuştur. %10’luk farkın sebebi Bilgil’in yaptığı çalışmayı pitot tüpü ile yapmış olması ve pitot tüpünün akım özelliklerini bozucu etkisi olmasından kaynaklanabilir. Bu iki araştırma ile yaptığımız çalışmada bulunan $K(I)_T$ denklemlerinin Z mesafeleri ile olan değişimleri Şekil 5.1’de gösterilmiştir:

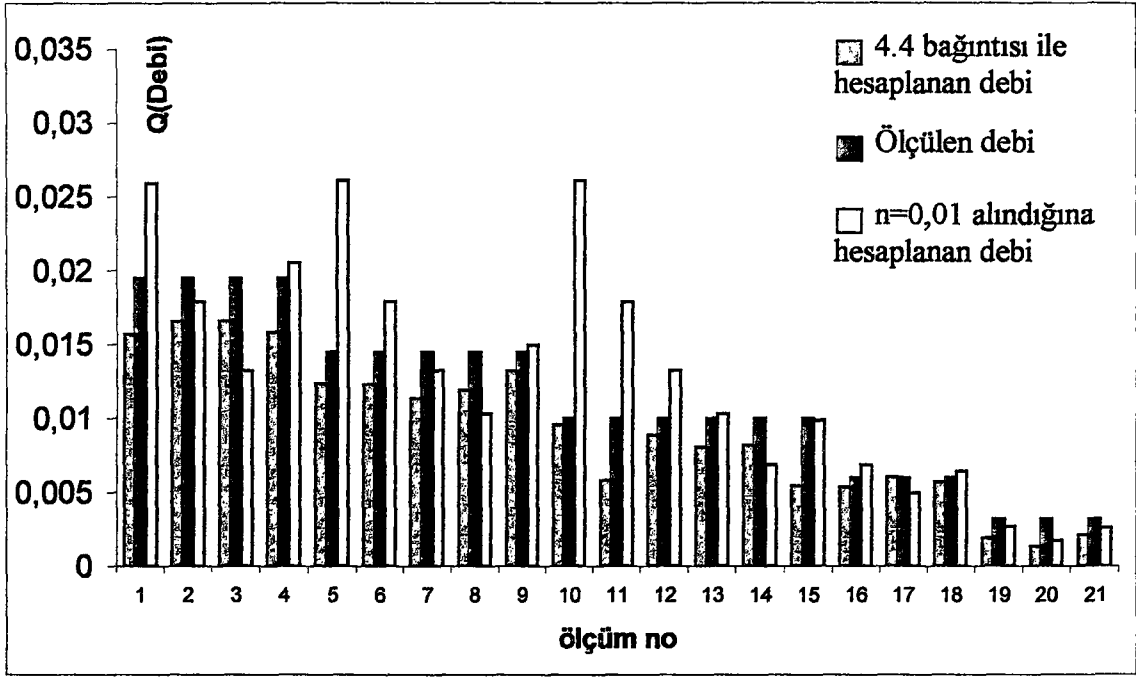


Şekil 5.1 Kanallardaki Boyutsuz Yatak Cidar Kayma Gerilmelerinin ($K(I)\tau$) Değişimi

Yine Bilgil yapmış olduğu çalışmada duvar cidarında oluşan maksimum ortalama kayma gerilmesini W/h oranına göre, su yüzeyinden itibaren %10 ile %60 arasında değişen değerler olarak bulmuştur. Yaptığımız çalışmada ise maksimum ortalama kayma gerilmesi su yüzeyinden itibaren derinliğin %15 ile %60'ında meydana gelmiştir. Kanal tabanında ise Bilgil, maksimum kayma gerilmesinin tabanın orta noktasında olduğunu bildirmiştir. Çalışmamızda ise bu değer kanal duvarı ile kanal orta noktasının tam ortasında meydana gelmiştir.

5.2 Logaritmik Hız Dağılımı ile Debi İlişkisi

Hız ölçümlerinin değerlendirilmesinde ve sabitlerin tespitinde Çıray tarafından güncelleştirilen logaritmik hız dağılımı formülü esas alınmıştır. Bulunan değerler Çıray'ın logaritmik hız dağılımı kanununa göre geliştirdiği (4.4) nolu debi formülünde kullanılmıştır. Ayrıca bütün değişimlere göre bu formül ile elde edilen, ölçülen ve Manning'in cam yüzeyler için vermiş olduğu n pürüzlülük katsayısı ile elde edilen debilerin genel durum grafiği Şekil 5.2'de verilmiştir.



Şekil 5.2 Ölçülen Debi, 4.4 Bağıntısı ve Manning'in Pürüzsüz Yüzeyler İçin Verdiği n=0,010 Değeri İle Hesaplanan Debiler Arasındaki Değişim

5.3 Çalışma İle Sürtünme Yük Kaybı İlişkileri

Bilindiği gibi sekonder akım hücrelerinin çokluğu, yüksek enerji kaybına neden olur. Buna göre sürtünme katsayısının sabit olduğu durumlarda; sürtünme faktörünün sırasıyla dikdörtgen, üçgen, yamuk ve dairesel kanallar şeklinde azaldığı kabul edilir. Sürtünme kaybının dairesel kanallarda az olmasının nedeni sekonder akım hücrelerinin oluşmamasına bağlanabilir.

Serbest yüzeyli akımlarda elde edilen Chezy formülü teorik olarak doğru bir bağıntıdır. Ancak bağıntıdaki C katsayısı üzerinde önemli tartışmalar olmuştur. Manning, C katsayısını $C = \frac{1}{n} R^{1/6}$ şeklinde ifade etmiş, bu ifade oldukça itibar görmüştür.

(Myers, 1982), (Kazemipour ,1982) gibi birçok araştırmacı türbülanslı akım durumunda kesit alanı şeklinin etkisi ile direnç faktörleri arasındaki ilişki çok az bilindiği için, şekil faktörü etkisi olarak hidrolik yarı çapı kabulüne endişe ile yaklaşmışlardır. Hidrolik yarıçap sadece lineer bir parametre ve aynı değerlerle karakterize edilen kanal biçiminin boyutlu sayısıdır. Hidrolik yarıçap kavramı uygun olmadığı için onun yerine geliştirilen rasyonel parametreler kullanılması gerektiğini bildirmişlerdir. (Myers, 1982), açık kanallardaki ortalama sürtünme faktörünün aynı eş değerdeki borular için hesaplanan

sürtünme faktöründen %8,3 daha büyük olduğunu belirtmiş, sürtünme faktörünü hesaplamak için boru akış denklemleri kullanılır ise tartışılabilir büyüklükte hata olacağına dikkat çekmiştir.

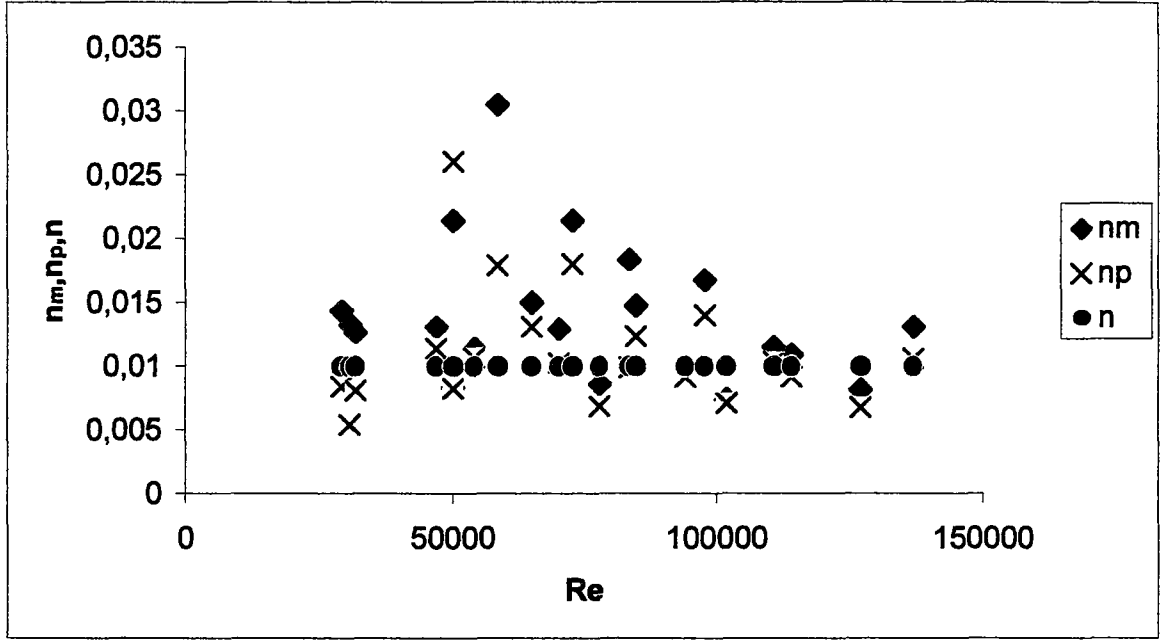
Açık kanal akımlarının bir eşdeğer boru akımı olarak işlem görmesinin uygunluğu, hidrolik yarıçapın kullanımı ile açık kanallara boru direnç kanunlarının uygulanması, hala tartışmaya açıktır ve ampirik yaklaşımlarla çözümlenmelidir.

Açık kanallarda kullanılan Manning denklemi çok geçerli olmasına rağmen, n parametresi bir çok kez incelemeye tabi tutulmuştur. Manning dahi sonraki çalışmalarında n katsayısının kanal özelliklerine göre değişebileceğini belirtmiştir. Bu konuda yapılan çalışmaların en önemlileri (Bilgil, 2000), (Chow, 1959), (Yen, 1991), (Yen ve diğerleri, 1999), (King, 1918), (Barners, 1901) ve (Handerson, 1966) tarafından yapılan çalışmalardır. Fakat kanalın bütün özelliklerini yansıtan direnç katsayısını belirlemede ortak fikir oluşmamıştır. Bu çalışmada ise logaritmik kanunların doğrultusunda Manning denklemindeki n parametresi irdelenmiştir.

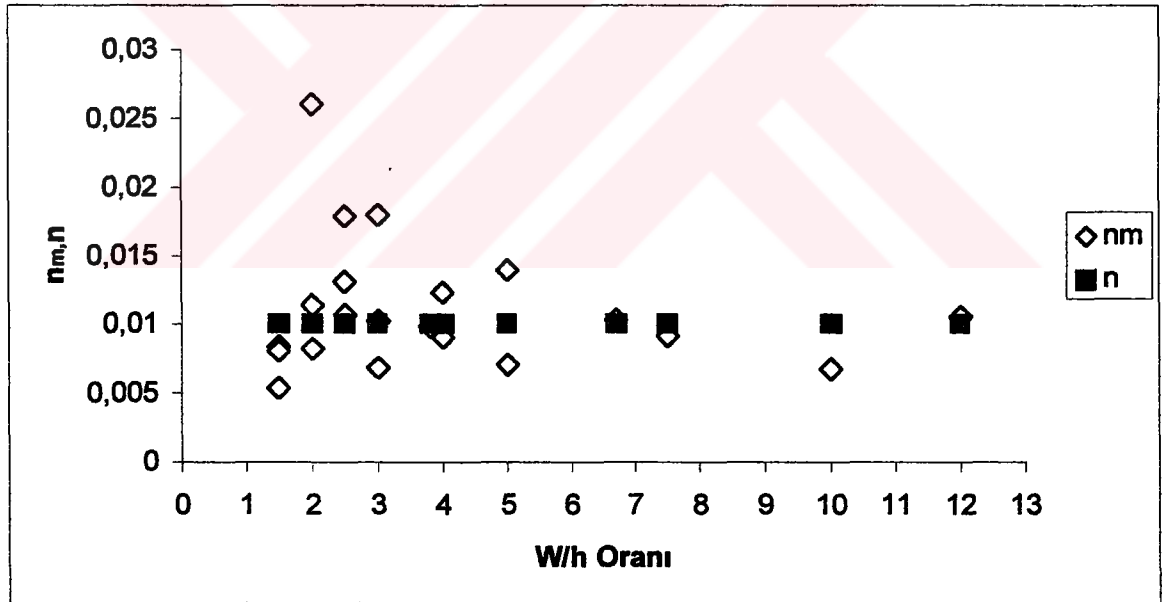
Cilalı yüzeyler için Manning formülündeki n katsayısı 0,010 olarak kabul edilmiştir. Buna

göre deney kanalından ölçülen türbülanslı hızı değerlerinin ortalamasından $n_p = \frac{R^{2/3} J^{1/2}}{V}$

bağıntısı ile bulunan ve (4.5) nolu formülden elde edilen n_m katsayısının değişimi incelenmiştir. Elde edilen değerlerin Reynolds sayılarına göre ilişkisi Şekil 5.3'de grafik halinde özetlenmiştir. Ayrıca (4.5) nolu bağıntıdan elde edilen sonuçlara göre n_m ve n'in W/h oranları ile değişimi Şekil 5.4'de belirtilmiştir.



Şekil 5.3 n_m , n_p , n Parametrelerinin Reynolds Sayıları İle Etkileşimi



Şekil 5.4 n_m ve n Parametrelerinin Farklı W/h Değerleri İle Etkileşimi

BÖLÜM VI

SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Bu çalışmada pür ampirik yaklaşımlarla cidar kayma gerilmelerinin dağılımları belirlenmeye çalışılmıştır. Dikdörtgen açık kanallardaki türbülanslı akım bölgelerinde, ortalama akım ölçümleri farklı W/h oranlarına göre logaritmik hız kanunları kullanılarak, debiler ile enerji kaybı parametreleri belirlenmiştir. Elde edilen verilere göre aşağıdaki sonuçlar çıkarılmıştır:

1- Boyutsuz cidar kayma gerilmesi dağılımları 5 farklı debi, 2 farklı eğim, 11 farklı su derinliği ve $1 < W/h < 12$ aralığında incelenmiştir. Tabanda maksimum kayma gerilmesi kanal yan duvarından %25'lik mesafede oluşmuştur. Duvar cidarında ise maksimum ortalama kayma gerilmesi farklı W/h durumlarında, su yüzeyinden itibaren %15 ile %60 arasında meydana gelmiştir. Değerlendirmede cidar türbülansı ve sekonder akımlar dahil edilmiştir. Elde edilen sonuçlar, cidar kayma gerilmeleri ile logaritmik hız dağılımını analitik bir modelle kanal akımlarında temsil etmek için kullanılmıştır. Kanalın köşe noktalarında cidar kayma gerilmesi dağılımının sıfıra yaklaştığı belirlenmiştir.

2- Çalışmadaki Prandtl denklemindeki hız dağılımının A ve B sabitleri W/h oranı ile değişmektedir. B sabitindeki değişim diğer araştırmacıların yaptığı çalışmalara oranla daha fazla olmasına karşın kabul edilebilir oranda olduğu görülmüş ve ortalaması alınarak $B=1,3504$ olarak bulunmuştur. Bu değere göre Prandtl'in hipotezine uygun olduğu kabul edilmiştir. Fakat A sabitindeki değişim çok daha büyüktür, bu sebepten çalışmamızda da sabit bir A sayısını elde etmek mümkün olmamıştır.

3- Bir çok araştırmacı, kanal ile eşdeğer boru akımı direnç katsayıları arasındaki yaklaşık %10 luk farkı düzenlemek için bazı yöntemler geliştirilmiştir. Çalışmalarda sadece şekil faktörü dikkate alındığı için yalnız düzensiz kayma gerilmelerinin dağılımları modifiye edilmiştir. Bu çalışmada, türbülanslı akım bölgelerindeki hız dağılımına göre çözüm aranmış, dar kanallarda kompleks yapıyı daha iyi ifade edebilecek, Manning formülünde kullanılmak üzere, kanallar için (4.5) nolu denklem önerilmiştir.

4- Çalışmada, logaritmik hız dağılımları ile hızın bütün karakteristik özelliklerinin ele alınması, açık kanal akımlarının çözümlenmesinde daha mantıklı bir yaklaşım olacaktır. Logaritmik hız kanunlarına göre elde edilen modifiye Çıray debi denkleminin (4.4)

deneyde ölçülen debi ile karşılaştırılmasında Manning debi formülüne göre daha uygun değerlere sahip olduğu görülmüştür.

5- Bu çalışmada elde edilen formüllerin, diğer açık kanal akımları için uygulanması tartışmaya açıktır. Bu sebeple farklı geometriye sahip kesitlerdeki cilalı açık kanal akımları üzerinde de çalışmalar yapılabilir ve pürüzlü cidarlar için de bağıntıların geçerliliği araştırılabilir.



KAYNAKLAR

- Ardıçlıoğlu, M., Pürüzsüz Açık Kanal Akımlarının Türbülanslı Hız Dağılımlarının Laser Doppler Anemometresi ile İncelenmesi, Çukurova Üniversitesi, Adana , 1994
- Barnes,H.T., Treatise on Hydraulics, 2nd Ed., John Wiley and Sons., New York, 1901
- Bilgil A., Cilalı Serbest Yüzeyle Akımlarda Cidar Kayma Gerilmelerinin Sürtünme Faktörüne Etkisi, Trabzon, 1998
- Bilgil A., “Investigation Of The Friction Coefficient İn Smooth Open Channel Flow”, Turkish J. Of Eng. Evv. Sci., Tübitak, Vol 24, 297-304, 2000
- Chow, V. T., Open Channel Hydraulics, Mc. Graw-Hill Book Co., New York, 1959
- Çeçen K., Hidrolik, İ.T.Ü. Matbaası, İstanbul, 1982
- Çıray C., “On Wall-Shear Stress Determination”, Journal Of Pure Applied Sciences, Vol.3, 41-54, METU , Ankara, 1970
- Çıray C., “ A numerical Process For The Solution Of Systems Of Non-Linear Algebraic Equations”, İTÜ, İstanbul, 1971
- Çıray C., “ On Some Special Corner Flows”, Memorial Volume of Late Prof. Dr. Kazım Çeçen, Faculty of Civil Engineering İTÜ, 1999
- Henderson, F. M., Open Channel Flow, The Macmillan Co., New York, 1966
- Jayaraman, V. V., Resistance Studies on Smooth Open Channels, Journal of Hydraulic Division, ASCE, Vol. 96, , P.P. 1129-114, 1970
- Kazemipour, A. K. and Apelt, C. J., New Data on Shape Effects in Smooth Rectangular Channels, Journal of Hydraulic Research, Vol. 20, , P.P. 225-233, 1982
- Keulegan, G. H., Laws of Turbulent Flow in Open Channels, J. Nat. Bureau of Standards, Vol. 21, P.P. 707-741, 1938
- Kırkgöz, M.S., Turbulent Velocity Profiles for Smooth and Rough Open Channel Flow, Journal of Hydraulic Engineering ASCE, Vol. 115, , No:11, 1989
- King, H. W., Handbook of Hydraulics, 1st. Edition, Mc. Graw-Hill Book Co., New York, 1918
- Knight, W.D., Patel, H.S., Demetriou, J.D., and Hamed, M.E. “ Boundary Shear Stress Distributions İn Open Channel And Closed Duct Flows.” Rotterdam, 1982
- Knight, W.D., Boundary Shear in Smooth and Rough Channels, Journal of Hydraulic Division, ASCE, Vol.107, 1981

- Moore, E. and Desmond, F., Concept of Mean Hydraulic Radius, Journal of Hydraulic Division, ASCE, Vol. 95, (1969), P.P. 1305-131
- Myers, W. R. C., Flow Resistance in Wide Rectangular Channels, Journal of Hydraulic Division, ASCE, Vol. 108, , P.P. 471-482, 1982
- Nezu, I., and Nakagawa, H., Cellular Secondary Currents in Straight Conduit, Journal of Hydraulic Engineering ASCE, Vol. 110, No:2, 1984
- Örs, H., Akışkanlar Mekaniği, Boğaziçi Üniversitesi Yayinevi, İstanbul, 1980
- Prandtl, L., The Mechanics of Viscous Fluids, Berlin, 1935
- Racaranmant, N., and Muralidher, D., Boundary Shear Stress Distribution in Rectangular Open Channels, La Haille Blanche, No:6, 1969
- Rao, K. K., Effect of Shape on the Mean-Flow Characteristics of Turbulent Flow Through Smooth Rectangular Open Channel, Thesis Presented to the University of Iowa at Iowa City, Iowa in Partial Fulfilment of the Requirements for the Degree of Doctor of Philosophy
- Reinus, E., Steady Uniform Flow in Open Channels Transactions, Royal Institute Technology, Stockholm, Sweden, No:179, 1961
- Sarı, A., Determination of Wall Shear Stress in a Rectangular Open Channel M.S. In Civil Engineering METU, December 1987
- Sümer M., Ünsal İ., Bayazıt M., Hidrolik, Birsen Yayinevi, İstanbul
- Shih, C. C. and Grigg, N. S., A Reconsideration of Hydraulic Radius as a Geometric Quality in Op Channel Hydraulics, Proceedings 12th. Congress International Association of Hydraulics Research, Vol. 1, P.P. 288-296, 1967
- Tracy, H. J. and Lester, C. M., Resistance Coefficients and Velocity Distribution-Smooth Rectangular Channel, Water Supply Paper U.S. Geological Survey, 1961
- Tominaga, A., Nezu, I., Ezalci, K., Nakagawa, H., Three Dimensional Turbulent Structure in Straight Open Channels Flows, Journal Of Hydraulic Research, Vol. 27, 1989
- Yen, B. C., Hydraulic Resistance in Open Channels Channel Flow Resistance; Centennial of Manning's Formula, Water Resources Publications, Littleton, Colo, P.P. 1-135, 1991
- Yen, B. C., and Akan, A. O., Chapter 14: Hydroulic Design of Urban Drainage Systems. “Hydroulic Design Handbook, L. W. Mays. Ed., Mcgraw-Hill, New York, 1999

EKLER

Ek-1: Lineer Olmayan Denklemlerin Çözümünde Kullanılan Bilgisayar Yazılımı ve Yazılım İle İlgili Gerekli Bilgiler

Bilgisayar Programında Kullanılan Notasyonlar

$$\frac{U(I,J)}{U_\tau} \rightarrow U^+(I,J)$$

$$\frac{y(I,J)U_\tau}{\nu} \rightarrow Y^+(I,J)$$

$$KO(I) \rightarrow AKO(I)$$

$$K(I) \rightarrow AK1(I)$$

$$\Delta1(I,J) \rightarrow DEVBİR(I,J)$$

$$\Delta2 \rightarrow DEVİKİ$$

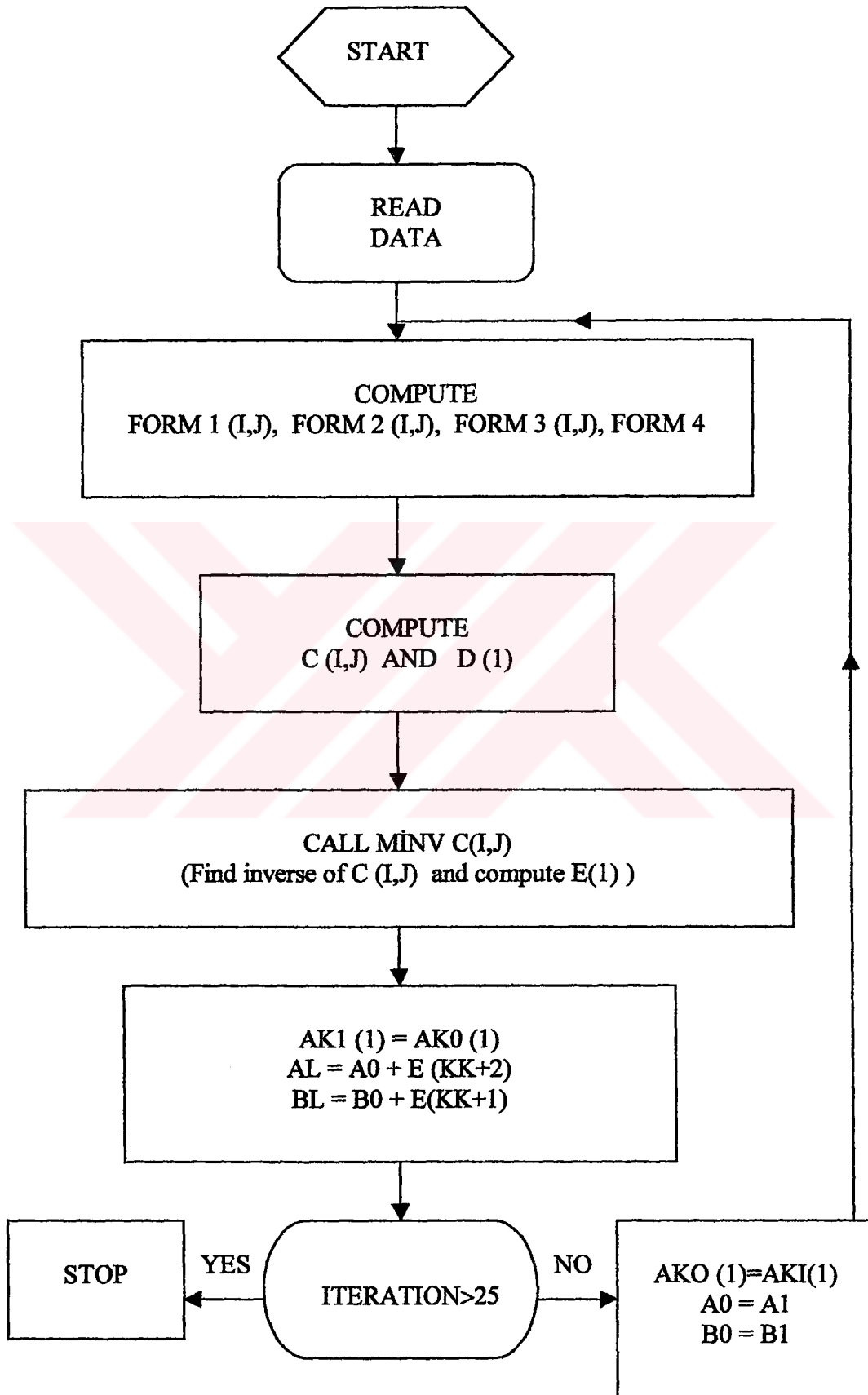
$$\varepsilon1 \rightarrow E(I)$$

$$\phi \rightarrow F(I)$$

$$\phi_1 \rightarrow FIBİR$$

$$\phi_2 \rightarrow FİO$$

Bilgisayar Programı Akış Diyagramı



Program Yazılım Listesi

```
C $RESET FREE
C $SET AUTOBIND
C $BIND=FROM SSP/=
C FILE 5(KIND=DISK,TITLE='DATA85',FILETYPE=7)
C FILE6(KIND=DISK,TITLE='OUT85',PROTECTION=SAVE,NEVFILE,
MYUSE=OUT)
C
C WALL SHEAR STRESS DISTRIBUTION IN A RECTANGULAR OPEN
CHANNEL
C
C DIMENSION V(600,600)
C INTEGER NEQNS
C DIMENSION L1(24),M1(24)
C DIMENSION AKO(60),U(600,600),FORM1(60,60),FORM2(60,60),
&FORM3(60,60),Y(600,600),C(60,60),D(60),E(60),AK1(60),S(60)
C COMMON/COF/A(700+1,700+11),NEQNS
C OPEN(5,FILE='21.txt',STATUS='OLD')
C OPEN(6,FILE='s1.OUT',STATUS='NEW')
C OPEN(3,FILE='En.OUT',STATUS='NEW')
C
C INPUTS
C
C M=9
C N=16
C M=16
C N=8
C KK=N+M
C READ(5,*) AO,BO
C READ(5,*) (S(I),I=1,KK)
C READ(5,*) (AKO(I),I=1,KK)
C READ(5,*) ((U(I,J),J=1,N),I=1,M)
C READ(5,*) ((U(I,J),J=1,M),I=M+1,KK)
C READ(5,*) ((Y(I,J),J=1,N),I=1,M)
C READ(5,*) ((Y(I,J),J=1,M),I=M+1,KK)
C II=0.0
C 230 II=II+1
C
C CALCULATION OF FORM1(I,J),FORM2(I,J),FORM3(I,J),FORM4
C
C DO 5 I=1,M
C DO 5 J=1,N
C FORM3(I,J)=ALOG(SQRT(AKO(I))*Y(I,J))
C FORM1(I,J)=U(I,J)/(SQRT(AKO(I)))-AO-BO*FORM3(I,J)
C FORM2(I,J)=(1./2.)*(BO+(U(I,J)/(SQRT(AKO(I)))))/(AKO(I))
C WRITE(6,200) FORM1(I,J),FORM2(I,J),FORM3(I,J)
C 5 CONTINUE
C DO 6 I=M+1,KK
C DO 6 J=1,M
```

```

FORM3(I,J)=ALOG(SQRT(AKO(I))*Y(I,J))
FORM1(I,J)=U(I,J)/(SQRT(AKO(I)))-AO-BO*FORM3(I,J)
FORM2(I,J)=(1./2.)*(BO+(U(I,J)/(SQRT(AKO(I)))))/(AKO(I))
C WRITE(6,200) FORM1(I,J),FORM2(I,J),FORM3(I,J)
6 CONTINUE

C
C CALCULATIONS OF THE ELEMENTS OF C(I,J) AND D(I)
C
SUM=0.0
DO 12 I=1,KK
SUM=SUM+(AKO(I))*S(I)
12 CONTINUE
FORM4=1.-SUM
C WRITE(6,200) FORM4

SUM=0.0
DO 7 I=1,M
SUM=0.0
DO 8 J=1,N
SUM=SUM+(FORM2(I,J)**2+(1./2.)*FORM1(I,J)*(BO+(1.5*U(I,J))/(
*SQRT(AKO(I))))/(AKO(I)**2)
8 CONTINUE
C(I,I)=S(I)*S(I)+SUM
7 CONTINUE
DO 9 I=M+1,KK
SUM=0.0
DO 10 J=1,M
SUM=SUM+(FORM2(I,J)**2+(1./2.)*FORM1(I,J)*(BO+(1.5*U(I,J))/(
*SQRT(AKO(I))))/(AKO(I)**2)
10 CONTINUE
C(I,I)=S(I)*S(I)+SUM
9 CONTINUE
SUM1=0.0
DO 11 I=1,M
DO 11 J=1,N
SUM1=SUM1+FORM3(I,J)**2
11 CONTINUE
SUM2=0.0
DO 13 I=M+1,KK
DO 13 J=1,M
SUM2=SUM2+FORM3(I,J)**2
13 CONTINUE
C(KK+1,KK+1)=SUM1+SUM2
SUM3=0.0
DO 14 I=1,M
DO 14 J=1,N
SUM3=SUM3+FORM3(I,J)
14 CONTINUE
SUM4=0.0

```

```

DO 15 I=M+1, KK
DO 15 J=1, M
SUM4=SUM4+FORM3(I, J)
15 CONTINUE
C(KK+1, KK+2)=SUM3+SUM4
C(KK+2, KK+1)=SUM3+SUM4
  C(KK+2, KK+2)=624
DO 31 I=1, M
C(KK+2, I)=0.0
DO 31 J=1, N
C(KK+2, I)=C(KK+2, I)+FORM2(I, J)
C(I, KK+2)=C(KK+2, I)
31 CONTINUE
DO 33 I=M+1, KK
C(KK+2, I)=0.0
DO 33 J=1, M
C(KK+2, I)=C(KK+2, I)+FORM2(I, J)
C(I, KK+2)=C(KK+2, I)
33 CONTINUE
DO 37 I=1, M
C(KK+1, I)=0.0
DO 37 J=1, N
C(KK+1, I)=C(KK+1, I)+(FORM2(I, J)*FORM3(I, J)-FORM1(I, J))
C(I, KK+1)=C(KK+1, I)
37 CONTINUE
DO 36 I=M+1, KK
C(KK+1, I)=0.0
DO 36 J=1, M
C(KK+1, I)=C(KK+1, I)+(FORM2(I, J)*FORM3(I, J)-FORM1(I, J))
C(I, KK+1)=C(KK+1, I)
36 CONTINUE
DO 17 K=1, KK
DO 17 L=1, KK
IF(K.EQ.L) GOTO 17
C(K, L)=S(K)*S(L)
17 CONTINUE
DO 22 I=1, M
SUM=0.0
DO 23 J=1, N
SUM=SUM+FORM1(I, J)*FORM2(I, J)
23 CONTINUE
D(I)=S(I)*FORM4+SUM
22 CONTINUE
DO 25 I=M+1, KK
SUM=0.0
DO 27 J=1, M
SUM=SUM+FORM1(I, J)*FORM2(I, J)
27 CONTINUE
D(I)=S(I)*FORM4+SUM
25 CONTINUE
SUM=0.0

```

```

DO 29 I=1,M
DO 29 J=1,N
SUM=SUM+FORM1(I,J)*FORM3(I,J)
29 CONTINUE
SUM1=0.0
DO 49 I=M+1,KK
DO 49 J=1,M
SUM1=SUM1+FORM1(I,J)*FORM3(I,J)
49 CONTINUE
D(KK+1)=SUM+SUM1
SUM2=0.0
DO 53 I=1,M
DO 53 J=1,N
SUM2=SUM2+FORM1(I,J)
53 CONTINUE
SUM3=0.0
DO 35 I=M+1,KK
DO 35 J=1,M
SUM3=SUM3+FORM1(I,J)
35 CONTINUE
D(KK+2)=SUM2+SUM3
C WRITE(6,150)
C WRITE(6,200) (D(I),I=1,KK+2)
C WRITE(6,155)
C
C WRITE(6,200) ((C(I,J),J=1,KK+2),I=1,KK+2)

C INVERS OF THE MATRIX C(I,J) AND CALCULATION OF E(I) VALUES
C CALL MINV(C,KK+2,DET,L1,M1)
C COMMON/COF/A(730+1,730+11),NEQNS
C ENTER THE NUMBER OF EQUATIONS
NEQNS=KK+2
C ENTER THE NUMBER OF RIGHT HAND SIDES
NRHS=1
DO 250 I=1,NEQNS
A(I,NEQNS+1)=D(I)
DO 250 J=1,NEQNS
A(I,J)=C(I,J)
250 CONTINUE
CALL GAUSS(NRHS)
DO 260 I=1,NEQNS
E(I)=A(I,NEQNS+1)
260 CONTINUE
C DO 57 I=1,KK+2
C SUM=0.0
C DO 18 J=1,KK+2
C SUM=SUM+C(I,J)*D(J)
C 18 CONTINUE
C E(I)=SUM
57 CONTINUE
C WRITE(6,175)

```

```

C  WRITE(6,300) (E(I),I=1,KK+2)
C  WRITE(6,165)
  DO 19 I=1,KK
    AK1(I)=AKO(I)+E(I)
C  WRITE(6,200) AK1(I),AKO(I),E(I)
19 CONTINUE
C  WRITE(6,500) BO,AO,E(KK+1),E(KK+2)
  A1=AO+E(KK+2)
  B1=BO+E(KK+1)
C  DEVIATIONS
C
  DO 100 I=1,M
  DO 100 J=1,N
    V(I,J)=U(I,J)/(SQRT(ABS(AK1(I))))-A1-B1*ALOG(SQRT(ABS(AK1(I))
    **Y(I,J)))
100 CONTINUE
  DO 110 I=M+1,KK
  DO 110 J=1,M
    V(I,J)=U(I,J)/(SQRT(ABS(AK1(I))))-A1-B1*ALOG(SQRT(ABS(AK1(I))
    **Y(I,J)))
110 CONTINUE
  SUM=0.0
  DO 130 I=1,KK
    SUM=SUM+AK1(I)*S(I)
130 CONTINUE
  DEVIKI=1.-SUM
C  SUM OF THE SQUARES OF THE DEVIATIONS
C
  FIBIR1=0.0
  DO 140 I=1,M
  DO 140 J=1,N
    FIBIR1=FIBIR1+(V(I,J)**2)
140 CONTINUE
  FIBIR2=0.0
  DO 153 I=M+1,KK
  DO 153 J=1,M
    FIBIR2=FIBIR2+(V(I,J)**2)
153 CONTINUE
  FIBIR=FIBIR1+FIBIR2
  FI=FIBIR+DEVIKI**2
  FIO=DEVIKI**2
C  tusa basm
C  READ(*,*) CC

  WRITE(6,299) II
C  WRITE(6,222) AO,BO
C  WRITE(6,300) (AKO(I),I=1,KK)
  WRITE(6,302) A1,B1,FI,FIO
C  WRITE(6,300) (E(I),I=1,KK+2)
  WRITE(6,300) (AK1(I),I=1,KK)
  IF(IL.EQ.25) GOTO 1005

```



```

C NEW VALUES OF AO,BO AND AKO(I)
C
  AO=A1
  BO=B1
  DO 311 I=1,KK
311 AKO(I)=ABS(AK1(I))
  GOTO 230
1005 STOP
  20 FORMAT(F4.2,2X,F4.2)
  30 FORMAT(15F10.6)
  32 FORMAT(11F10.4)
  330 FORMAT (4F10.4)
  200 FORMAT(/9F14.4)
  222 FORMAT(/,5X,'AO=',F10.4,2X,'BO=',F10.4,/)
  500 FORMAT(/,5X,'BO=',F10.4,2X,'AO=',F10.4,2X,'E(KK+1)=',F10.4,2X
    *'E(KK+2)=',F10.4,/)
  299 FORMAT(/,2X,'ITERATION=',I2)
  300 FORMAT(8F14.4)
  302 FORMAT(/,'A1=',F10.4,2X,'B1=',F10.4,2X,'FI=',F16.4,2X,
    *'FIO=',F16.7,/)
  150 FORMAT(/,5X,'VECTOR D(I)',/)
  155 FORMAT(/,5X,'MATRIX C(I,J)',/)
  165 FORMAT(/,5X,'AK1(I)',10X,'AKO(I)',10X,'E(I)',/)
  175 FORMAT(/,5X,'SOLUTION VECTOR E(I)',/)
  END

```

SUBROUTINE GAUSS(NRHS)

```

C
C SOLUTUON OF LINEAR ALGEBRAIC SYSTEM BY
C GAUSS ELIMINATION WITH PARTIAL PIVOTING
C
C (A) = COEFFICENT MATRIX
C NEQNS = NUMBER OF EQUATIONS
C NRHS = NUMBER OF RIGHT-HAND SIDES
C
COMMON/COF/A(700+1,700+11),NEQNS
NP=NEQNS+1
NTOT=NEQNS+NRHS
C
C GAUSS REDUCTION
C
DO 150 I=2,NEQNS
C
C SEARCH FOR LARGEST ENTRY IN (I-1)TH COLUMN
C ON OR BELOW MAIN DIAGONAL
C
IM=I-1
IMAX=IM
AMAX=ABS(A(IM,IM))
DO 110 J=I,NEQNS
IF(AMAX.GE.ABS(A(J,IM))) GO TO 110

```

```

    IMAX=J
    AMAX=ABS(A(J,IM))
110 CONTINUE
C    --SWITCH (I-1)TH AND IMAXTH EQUATIONS
C
    IF(IMAX.NE.IM) GO TO 140
    DO 130 J=IM,NTOT
    TEMP=A(IM,J)
    A(IM,J)=A(IMAX,J)
    A(IMAX,J)=TEMP
130 CONTINUE
C
C    ELIMINATE (I-1)TH UNKNOWN FROM ITH THRU (NEQNS)TH EQUATIONS
C
140 DO 150 J=I,NEQNS
    R=A(J,IM)/A(IM,IM)
    DO 150 K=I,NTOT
150 A(J,K)=A(J,K)-R*A(IM,K)
C
C    BACK SUBSTITUTIONS
C
    DO 220 K=NP,NTOT
    A(NEQNS,K)=A(NEQNS,K)/A(NEQNS,NEQNS)
    DO 210 L=2,NEQNS
    I=NEQNS+1-L
    IP=I+1
    DO 200 J=IP,NEQNS
200 A(I,K)=A(I,K)-A(I,J)*A(J,K)
210 A(I,K)=A(I,K)/A(I,I)
220 CONTINUE
    RETURN
    END

```

Ek-2: Deneylerde Alınan Lokal Hız Ölçümler

1. Ölçüm $x=6.5$ m Enkesit Hızları (m/s)

h	y=0	y=2	y=4	y=6	y=8	y=10	y=12	y=14
(mm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)
0.3	0.090	0.098	0.100	0.097	0.098	0.099	0.100	0.100
0.5	0.130	0.170	0.156	0.146	0.150	0.150	0.153	0.110
0.8	0.160	0.209	0.208	0.204	0.176	0.180	0.176	0.115
1.0	0.200	0.228	0.215	0.211	0.195	0.189	0.184	0.138
1.3	0.226	0.230	0.223	0.212	0.207	0.203	0.190	0.144
1.5	0.230	0.232	0.225	0.214	0.210	0.209	0.205	0.159
1.8	0.234	0.232	0.229	0.220	0.216	0.220	0.211	0.170
2.0	0.240	0.238	0.230	0.222	0.222	0.223	0.217	0.189
2.5	0.247	0.242	0.234	0.232	0.226	0.227	0.224	0.190
3.0	0.251	0.247	0.235	0.232	0.226	0.227	0.212	0.210
3.5	0.252	0.252	0.245	0.233	0.232	0.233	0.208	0.201
4.0	0.255	0.253	0.246	0.245	0.234	0.237	0.207	0.190
4.5	0.259	0.260	0.250	0.250	0.236	0.240	0.215	0.195
5.0	0.275	0.263	0.253	0.252	0.249	0.240	0.230	0.218
6.0	0.277	0.275	0.260	0.259	0.257	0.250	0.243	0.221
7.0	0.280	0.276	0.265	0.259	0.257	0.252	0.251	0.221
8.0	0.285	0.284	0.273	0.260	0.259	0.253	0.245	0.223
9.0	0.292	0.284	0.274	0.267	0.259	0.257	0.238	0.237
10.0	0.296	0.285	0.279	0.279	0.271	0.257	0.252	0.248
12.0	0.305	0.291	0.290	0.280	0.270	0.258	0.257	0.250
14.0	0.322	0.310	0.300	0.287	0.280	0.267	0.266	0.255
16.0	0.325	0.320	0.308	0.296	0.289	0.280	0.262	0.251
18.0	0.328	0.320	0.318	0.296	0.290	0.290	0.283	0.262
20.0	0.331	0.323	0.323	0.305	0.290	0.293	0.290	0.270
25.0	0.305	0.336	0.329	0.309	0.310	0.293	0.300	0.275
30.0	0.347	0.340	0.330	0.321	0.316	0.296	0.301	0.280
40.0	0.353	0.350	0.350	0.337	0.328	0.324	0.306	0.287
50.0	0.362	0.359	0.360	0.338	0.330	0.326	0.319	0.310
60.0	0.362	0.362	0.360	0.341	0.334	0.329	0.320	0.310
70.0	0.371	0.365	0.360	0.355	0.347	0.337	0.332	0.300
80.0	0.382	0.371	0.362	0.359	0.351	0.343	0.334	0.300
90.0	0.382	0.373	0.364	0.362	0.354	0.347	0.338	0.310

100.0	0.385	0.374	0.370	0.366	0.356	0.356	0.336	0.303
110.0	0.386	0.376	0.373	0.371	0.367	0.359	0.340	0.313
120.0	0.376	0.376	0.371	0.370	0.368	0.359	0.347	0.328
130.0	0.380	0.377	0.369	0.370	0.372	0.359	0.341	0.335
140.0	0.377	0.377	0.370	0.368	0.377	0.359	0.344	0.322
150.0	0.374	0.378	0.372	0.372	0.368	0.365	0.332	0.315
160.0	0.374	0.369	0.369	0.365	0.368	0.360	0.330	0.300
170.0	0.375	0.364	0.364	0.360	0.358	0.347	0.330	0.292
180.0	0.374	0.366	0.364	0.364	0.347	0.345	0.319	0.253
190.0	0.371	0.362	0.367	0.355	0.343	0.331	0.317	0.245
195.0	0.362	0.355	0.351	0.348	0.342	0.320	0.300	0.234
200.0	0.362	0.355	0.350	0.350	0.340	0.320	0.300	0.230

2. Ölçüm $x=6.5$ m Enkesit Hızları (m/s)

h	y=0	y=2	y=4	y=6	y=8	y=10	y=12	y=14
(mm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)
0.3	0.145	0.144	0.142	0.138	0.125	0.126	0.110	0.100
0.5	0.250	0.230	0.220	0.224	0.280	0.220	0.211	0.110
0.8	0.282	0.251	0.250	0.280	0.280	0.263	0.243	0.125
1.0	0.290	0.280	0.280	0.280	0.308	0.290	0.280	0.215
1.3	0.308	0.281	0.280	0.301	0.310	0.300	0.284	0.219
1.5	0.310	0.285	0.282	0.300	0.314	0.310	0.300	0.223
1.8	0.320	0.286	0.287	0.297	0.320	0.310	0.302	0.240
2.0	0.320	0.296	0.289	0.307	0.320	0.312	0.302	0.250
2.5	0.327	0.303	0.310	0.309	0.324	0.324	0.300	0.263
3.0	0.340	0.307	0.310	0.320	0.327	0.330	0.315	0.280
3.5	0.340	0.318	0.310	0.322	0.340	0.340	0.317	0.287
4.0	0.341	0.325	0.311	0.338	0.354	0.347	0.334	0.290
4.5	0.349	0.326	0.323	0.345	0.356	0.355	0.340	0.295
5.0	0.358	0.332	0.335	0.351	0.361	0.356	0.347	0.315
6.0	0.362	0.336	0.350	0.358	0.369	0.356	0.356	0.318
7.0	0.380	0.360	0.357	0.370	0.370	0.370	0.356	0.320
8.0	0.385	0.367	0.360	0.378	0.380	0.380	0.373	0.328
9.0	0.386	0.367	0.369	0.378	0.383	0.382	0.377	0.332
10.0	0.387	0.375	0.379	0.383	0.383	0.390	0.384	0.339
12.0	0.401	0.392	0.395	0.395	0.395	0.395	0.388	0.340

14.0	0.419	0.395	0.396	0.398	0.405	0.420	0.392	0.343
16.0	0.420	0.419	0.396	0.398	0.410	0.420	0.404	0.345
18.0	0.430	0.420	0.397	0.405	0.420	0.425	0.410	0.355
20.0	0.458	0.420	0.406	0.420	0.424	0.434	0.410	0.356
25.0	0.458	0.442	0.411	0.422	0.434	0.436	0.420	0.366
30.0	0.469	0.440	0.413	0.432	0.434	0.437	0.420	0.365
40.0	0.481	0.448	0.456	0.467	0.467	0.457	0.437	0.377
50.0	0.484	0.466	0.462	0.475	0.471	0.485	0.450	0.391
60.0	0.492	0.469	0.466	0.477	0.480	0.484	0.473	0.391
70.0	0.499	0.483	0.478	0.493	0.488	0.485	0.474	0.405
80.0	0.498	0.484	0.483	0.497	0.497	0.497	0.482	0.420
90.0	0.498	0.480	0.490	0.495	0.499	0.501	0.494	0.430
100.0	0.497	0.496	0.500	0.496	0.503	0.510	0.496	0.436
110.0	0.498	0.498	0.500	0.497	0.510	0.514	0.501	0.451
120.0	0.506	0.490	0.500	0.497	0.512	0.516	0.508	0.431
130.0	0.506	0.506	0.510	0.510	0.508	0.500	0.480	0.417
140.0	0.505	0.501	0.507	0.508	0.500	0.499	0.466	0.411
145.0	0.508	0.508	0.510	0.510	0.506	0.490	0.462	0.400
150.0	0.510	0.505	0.510	0.510	0.505	0.490	0.460	0.400

3. Ölçüm $x=6.5$ m Enkesit Hızları (m/s)

h	y=0	y=2	y=4	y=6	y=8	y=10	y=12	y=14
(mm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)

0.3	0.140	0.146	0.145	0.143	0.160	0.160	0.150	0.160
0.5	0.241	0.259	0.245	0.234	0.220	0.230	0.280	0.170
0.8	0.317	0.320	0.261	0.303	0.270	0.248	0.320	0.180
1.0	0.348	0.325	0.322	0.325	0.280	0.370	0.366	0.280
1.3	0.350	0.338	0.350	0.335	0.331	0.390	0.370	0.293
1.5	0.361	0.367	0.376	0.369	0.373	0.400	0.380	0.340
1.8	0.381	0.378	0.388	0.379	0.380	0.413	0.403	0.340
2.0	0.384	0.381	0.390	0.404	0.407	0.418	0.417	0.340
2.5	0.390	0.394	0.408	0.409	0.407	0.421	0.425	0.348
3.0	0.413	0.405	0.408	0.425	0.440	0.439	0.440	0.348
3.5	0.418	0.406	0.430	0.436	0.460	0.460	0.444	0.363
4.0	0.427	0.416	0.450	0.445	0.470	0.468	0.460	0.375
4.5	0.430	0.424	0.450	0.458	0.480	0.480	0.461	0.386

5.0 0.434 0.427 0.464 0.462 0.485 0.490 0.465 0.401
6.0 0.457 0.444 0.464 0.485 0.490 0.499 0.477 0.406
7.0 0.460 0.445 0.468 0.487 0.510 0.515 0.500 0.413
8.0 0.472 0.452 0.481 0.518 0.520 0.520 0.515 0.418
9.0 0.470 0.468 0.514 0.519 0.540 0.536 0.515 0.418
10.0 0.483 0.469 0.516 0.533 0.550 0.537 0.527 0.418
12.0 0.503 0.491 0.515 0.540 0.560 0.560 0.536 0.450
14.0 0.504 0.498 0.521 0.545 0.574 0.579 0.539 0.450
16.0 0.520 0.504 0.535 0.560 0.590 0.596 0.564 0.440
18.0 0.520 0.516 0.539 0.567 0.592 0.598 0.570 0.440
20.0 0.537 0.518 0.543 0.584 0.608 0.608 0.570 0.459
25.0 0.559 0.540 0.544 0.590 0.626 0.625 0.593 0.450
30.0 0.566 0.542 0.588 0.610 0.643 0.640 0.591 0.480
40.0 0.587 0.570 0.607 0.620 0.659 0.650 0.613 0.482
50.0 0.587 0.576 0.614 0.634 0.655 0.655 0.630 0.524
60.0 0.605 0.603 0.620 0.640 0.650 0.660 0.648 0.553
70.0 0.620 0.613 0.625 0.647 0.667 0.660 0.660 0.545
80.0 0.621 0.618 0.630 0.642 0.668 0.672 0.650 0.569
90.0 0.635 0.632 0.635 0.647 0.655 0.655 0.655 0.563
100.0 0.635 0.631 0.636 0.649 0.655 0.655 0.646 0.561
110.0 0.638 0.636 0.638 0.646 0.650 0.643 0.620 0.514
115.0 0.645 0.648 0.651 0.640 0.650 0.635 0.586 0.480
120.0 0.650 0.648 0.651 0.640 0.650 0.635 0.586 0.480