

T.C.
ERCIYES ÜNİVERSİTESİ
BİLİMSEL ARAŞTIRMA PROJELERİ
KOORDİNASYON BİRİMİ

**DOĞAL AKARSULARDA AKIM ÖZELLİKLERİNİN ENTROPİ
YÖNTEMİ İLE İNCELENMESİ**

Proje No: FBA-09-793

BİLİMSEL ARAŞTIRMA PROJESİ

SONUÇ RAPORU

Proje Yürütücüsü:
Prof. Dr. Mehmet ARDIÇLIOĞLU
Mühendislik Fakültesi / İnşaat Mühendisliği Bölümü

Serkan ÖZDİN
Mühendislik Fakültesi / İnşaat Mühendisliği Bölümü

Temmuz 2012

KAYSERİ

TEŞEKKÜR

“Doğal Akarsularda Akım Özelliklerinin Entropi Yöntemi ile İncelenmesi ” adlı bilimsel araştırma projesinin önerilmesi, yönlendirilmesi ve tamamlanmasında yoğun çalışma programına rağmen vakit ayırıp yardım ve ilgisini esirgemeyen, bilgi ve tecrübelerinden faydalandığım danışmanım ve bölüm başkanımız değerli hocam sayın Prof. Dr. Mehmet ARDIÇLIOĞLU’na teşekkürü bir borç bilirim. Bu çalışmanın gerçekleşebilmesi adına verdikleri destekler için Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi’ne teşekkür ederim.

Serkan ÖZDİN

Kayseri, Temmuz 2012

İÇİNDEKİLER

DOĞAL AKARSULARDA AKIMI ÖZELLİKLERİNİN ENTROPİ YÖNTEMİ İLE İNCELENMESİ

	<u>Sayfa</u>
TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER	ii
ÖZET.....	iv
ABSTRACT.....	vi

GİRİŞ	1
-------------	---

1. BÖLÜM GENEL BİLGİLER

1.1. Literatür Taraması	4
-------------------------------	---

2. BÖLÜM GEREÇ VE YÖNTEM

2.1. Debi Hesap Yöntemleri.....	20
2.1.1. Hız Alan İntegrasyon Yöntemi.....	20
2.1.2. Anahtar Eğrisi Yöntemi.....	22
2.1.3. Manning Denklemi	23
2.1.4. Su Yüzü Hızı ile Debi Hesabı	26
2.1.5. Entropi Yöntemi ile Debi Hesaplanması	26
2.2. Akarsularda Hız Dağılımı	27
2.2.1. Logaritmik Dağılım.....	27
2.2.1.1 Cilalı ve Pürüzlü Akım Şartları	29
2.2.1.2 Cilalı Akımlarda Hız Dağılımı	30
2.2.1.3. Viskoz Alt Tabakada Çözüm.....	31
2.2.1.4. Türbülanslı Bölgede Çözüm	32

2.2.1.5. Pürüzlü Açık Kanal Akımlarında Hız Profili.....	33
2.2.2. Üstel Dağılım.....	34
2.2.3. Entropi Dağılımı	35
2.3 Acoustic Doppler Velocimeter (ADV)	36

3. BÖLÜM BULGULAR

3.1. Arazi Çalışmaları	39
3.1.1. Bünyan Pınarbaşı İstasyonu (BP)	40
3.1.2. Sarımsaklı Baraj Girişi İstasyonu (SB)	44
3.1.3. Felahiye Özdere İstasyonu (OD)	48
3.1.4. Özvatan Kırıközü İstasyonu (KO)	51
3.2. Debi Hesabı.....	55
3.2.1 Dilim Yöntemi ile Debi Hesabı.....	56
3.2.2. Anahtar Eğrisi.....	59
3.2.3. Manning Denklemi.....	63
3.2.4. Su Yüzü Hızı ile Debi Hesabı	65
3.2.5. Entropi Yöntemi.....	66
3.2.6. Farklı Yöntemler ile Debi Hesabının Değerlendirilmesi	72
3.3. Akarsularda Hız Dağılımları	84
3.3.1. Logaritmik Dağılım	85
3.3.1.1. Bünyan Pınarbaşı İstasyonu Logaritmik Dağılım Hesap Örneği	85
3.3.1.2. Logaritmik Dağılımın Değerlendirilmesi	91
3.3.2. Entropi Dağılımı.....	99
3.3.3. Üstel Dağılım	108

4. BÖLÜM

SONUÇ, TARTIŞMA VE ÖNERİLER	118
KAYNAKLAR	122
EKLER.....	127

DOĞAL AKARSULARDA AKIM ÖZELLİKLERİNİN ENTROPİ YÖNTEMİ İLE İNCELENMESİ

Serkan ÖZDİN

Bilimsel Araştırma Projesi (FBA-09-793)

Temmuz 2012

Proje Yürütücüsü: Prof. Dr. Mehmet ARDIÇLIOĞLU

KISA ÖZET

Doğal akarsularda akım özelliklerinin incelenmesi konusunda günümüze kadar pek çok çalışma yapılmıştır. Akım özelliklerinin belirlenmesi, kanal boyutlandırılmasında, taşınan sediment miktarının belirlenebilmesinde ve akarsuyun taşıdığı su potansiyelinin bilinmesi bakımından önemlidir. Her geçen gün kullanılabilir su ihtiyacı daha da artan dünyamızda özellikle tatlı su kaynaklarından olan akarsular daha da önem kazanmıştır. Bu tatlı suların korunması, sürdürülebilir kullanımının sağlanabilmesi için akım özelliklerinin miktar ve kalite bakından takibi kaçınılmaz olmaktadır.

Bu tez kapsamında Kayseri ili sınırları içerisinde, Kızılıрмаğın yan kolları üzerinde dört farklı istasyonda akım ölçümleri yapılmıştır. Ele alınan istasyonlarda, kanal en kesiti ve boykesit profilleri belirlenmiştir. Dört istasyonda 32 farklı zamanda gerçekleştirilen bu ölçümlerde ADV(Acoustic Doppler Velocitimeter) hız ölçüm cihazı kullanılmıştır. Derinlik boyunca gerçekleştirilen hız ölçümleri düşey ortalama hızların bulunmasında kullanılmış ve hız-alan yöntemi ile debiler hesaplanmıştır. Hız alan yöntemi ile kesitlerden geçen gerçek debiler belirlenmiştir. Ele alınan ölçümlerde debi hesabı 6 farklı yöntem ile de kontrol edilmiştir. Dilim ortalama hızlarının bulunmasında $0.2-0.8H$ ve $0.6H$ derinliklerinde ölçülen hızlar kullanılarak debi hesabı yapılmıştır. Debi hesabında kullanılan diğer yöntemler ise anahtar eğrilerinin belirlenmesi ve Manning denklemi olmuştur. Bir diğer yöntemde ise ölçülen su yüzü hızları kullanılarak debiler hesaplanmıştır. Entropi yöntemi ile debi hesabı için her bir kesite ait entropi parametreleri M' ler hesaplanarak kesitte ölçülen u_{mak} yardımı ile debiler hesaplanmıştır. Bu debi değerleri hız- alan yöntemiyle belirlenen gerçek debiler ile karşılaştırılmıştır.

Ele alınan istasyon ve ölçümlerde hız dağılımlarının belirlenmesi amacıyla literatürde sıklıkla kullanılan logaritmik, üstel ve entropi dağılımları incelenmiştir. Bu dağılımlara ait parametreler belirlenerek, dağılımların ölçüm değerlerini ne derece temsil ettiği belirlenmiştir. Tüm akım durumlarında ölçüm değerleri ile yöntemlere ait hızlar arasındaki ortalama farklar belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Debi, Hız Dağılımı, Akım Özellikleri, Entropi.

INVESTIGATION OF FLOW PROPERTIES BY ENTROPY CONCEPT IN NATURAL RIVERS

Serkan Özdin

Scientific Research Project (FBA-09-793)

July 2012

Project Manager: Prof. Dr. Mehmet Ardiçhoğlu

ABSTRACT

Many research works have been performed to investigate the flow properties in natural rivers until now. Determination of flow properties is important for the canal design, the computation of sediment amount and the identification of water potential carried by the river. In a world where the need for usable water is ever increasing, rivers that are one of the fresh water resources have gained importance. In order to save these fresh waters and to ensure their sustainable use, the follow-up of flow properties in terms of amount and quality has become inevitable.

In this study, the river flow measurements have been carried out at four different stations on the side branches of Kızılırmak River within the city limits of Kayseri. For this purpose, the cross section and longitudinal section profile of canal of each station has been determined. In these measurements taken at four different stations and thirty-six different times, the velocity measuring device, Acoustic Doppler Velocimeter (ADV), has been used. The calculation of discharge in the measurements has been done by six different methods. The discharge passing from these segments has been calculated by using velocity-area method. To find the mean velocity, the velocities at the heights of 0.2-0.8H and 0.6H have been used. The other methods employed in discharge calculations were the determination of key curves and Manning equation. In another method, discharge is calculated by using surface water velocity. By the help of entropy, entropy parameters belonging to each station, discharges were calculated by u_{max} . These discharges are compared with velocity area method.

In order to obtain the velocity distributions in the mentioned stations and measurements, the logarithmic, exponential and entropy distributions that have been frequently used in the

literature have been investigated. Determining the parameters of these distributions, the ability of the distributions in representing the measurement values has been examined. Mean differences between measured and calculated velocities have been consequently determined for all flow conditions.

Keywords: Discharge, Velocity distribution, Flow properties, Entropy.

GİRİŞ

Canlı hayatının devam edebilmesi için gerekli olan suyun önemi her geçen gün daha da artmaktadır. Kısıtlı olan temiz su kaynakları ve bunların dağılımının ihtiyaçlarla örtüşmemesi suyun planlanmasını kaçınılmaz kılmaktadır. Artan nüfusla birlikte bilinçsiz kullanıma bağlı olarak kirlenen su kaynakları özellikle büyük yerleşim bölgelerinde problem olmaktadır. Temiz ve kullanılabilir su elde edilmesinde akarsular önemli bir yere sahiptir. Akarsular sadece yerleşim bölgelerinin su ihtiyaçları için değil, sulama suyu temininde, hidroelektrik santralleri aracılığıyla elektrik üretiminde, taşımacılıkta ve dünyadaki ekolojik dengenin korunmasında önemli bir role sahiptir. Bu bakımdan akarsulardaki akım özelliklerinin miktar ve kalite bakımından belirlenmesi önem arz etmektedir. Yüksek yatırım maliyetleri gerektiren barajların ekonomik ömürleri boyunca verimli bir şekilde işletilebilmesi için akım özelliklerinin yanı sıra taşınan sediment miktarının belirlenmesi de zorunlu olmaktadır.

Ülkemizde son 20 yılda kişi başına düşen su miktarı $4000 \text{ m}^3/\text{yıldan}$, $1430 \text{ m}^3/\text{yıla}$ düşmüştür. Dünya standartlarına göre bir ülkenin su zengini sayılabilmesi için kişi başına düşen su miktarının $8000\text{--}10000 \text{ m}^3/\text{yıl}$ olması gerektiği düşünüldüğünde ülkemizin su kaynağı bakımından zengin olmadığı, su stresi çeken ülkeler arasında yer aldığı görülmektedir. Türkiye’de suyun %72’si tarım, %18’i evsel kullanımlarda ve %10’u endüstride kullanılmaktadır. Önümüzdeki 20 yılda tarım için kullanılan su miktarının %75 artması beklenmektedir. Hâlihazırda sulanan alanların %94’ünde açık kanal sistemleri, %6’lık kısımda ise basınçlı sulama sistemleri bulunmaktadır. Bu sistemlerden geçen akım özelliklerinin bilinmesi su kullanımında verimliliği artırmak için gereklidir [1].

Akarsulardaki hız dağılımının belirlenmesi, kanal ıslah çalışmaları, sediment modelleme ve taşınım problemlerinde, kayma hızının belirlenmesi için gereklidir. Kanal kesiti içerisindeki hız dağılımı, akımın türbülanslı yapısı, katı sınırdaki pürüzlülük ve serbest su yüzüne bağlı etkilerle noktasal olarak değişim göstermektedir. Üç boyutlu ve oldukça karmaşık olan bu dağılımın belirlenmesi ve modellenmesi oldukça zordur [2].

Üstü hava veya başka bir gaz ile sınırlanmış olan sıvı akımlarına serbest yüzeyli akım denir ve bu serbest yüzeyli akımı geçiren su yollarına da açık kanal adı verilir. Doğal akarsular, sulama kanalları, drenaj kanalları evsel ve yağmur suyu kanalizasyon borularında meydana

gelen akımlar açık kanal akımları olarak tanımlanır. Açık kanal akımlarında serbest yüzeyin varlığı, en kesit geometrisinin ve özelliğinin değişmesi, kanal eğimindeki değişimler akımda, sıçrama, ani düşü, kabarma vb. etkilere sebep olur. Doğal akarsuların kesit özellikleri, düzgün geometriye sahip prizmatik kanallara göre çok daha değişken ve farklılık arz ettiğinden akım özelliklerinin belirlenmesi güç olmaktadır. Bu sebeplerle açık kanalların incelenmesi ve modellenmesi, boru akımlarından daha zor ve karmaşık olmaktadır [3].

Açık kanal akımları değişik özellikleri ile sınıflandırılmaktadır. Açık kanaldaki su derinliği zamana bağlı olarak değişmiyorsa veya ele alınan zaman aralığında sabit kabul edilirse akım düzenli-kararlı, kanaldaki akım derinliği zamanla değişiyorsa akım değişken-kararsız olarak isimlendirilmektedir. Düzenli ve değişken akımlarda akım derinliği kanal boyunca değişmiyorsa üniform, aksi durumlarda üniform olmayan akım olarak isimlendirilmektedir. Doğal akarsular ve laboratuarlarda açık kanal modellerinde yapılan çalışmalar özellikleri birbirinden farklı iki akım türünün varlığını göstermiştir. Bunlar laminar ve türbülanslı akımlardır. Açık kanal akımları genel olarak türbülanslı olup nadiren düşük hızlarda laminar olurlar. Açık kanal akımları Froude sayısına bağlı kritik akım ($Fr = V / \sqrt{gH} = 1$), kritik altı akım ($Fr < 1$, nehir rejimi) ve kritik üstü akım ($Fr > 1$ sel rejimi) olmak üzere sınıflandırılmaktadır. Burada H ; akım derinliği, g 'de yer çekimi ivmesidir.

Bu çalışmada Orta Kızılırmak Havzası'nda yer alan Kayseri ili sınırları içerisinde Kızılıрмаğın yan kollarında belirlenen dört farklı istasyonda akarsu ölçümleri gerçekleştirilmiştir. İstasyonlar sırası ile Bünyan Pınarbaşı (BP), Sarımsaklı Baraj Girişi (SB), Felahiye Özdere (OD) ve Özvatan Kırıközü' dür (KO). Bu istasyonlarda doğal akarsuların akım özelliklerini belirlemek için farklı tarihlerde ölçümler gerçekleştirilmiştir. Bu ölçümlerde en kesitler üzerinde belirlenen düşeylerde derinlik boyunca üç boyutlu hızlar belirlenmiştir. Hız ölçümlerinde ADV (Acoustic Doppler Velocimeter) kullanılmış olup topografik ölçüm aletleri yardımı ile de kesit özellikleri (geometri ve eğim) belirlenmiştir. İstasyonlardan elde edilen hız ölçüm değerleri kullanılarak debi ve hız dağılımları belirlenmiştir. Debi hesabı altı farklı yöntem ile yapılmış olup bu yöntemler arasındaki farklar ele alınmıştır. Ölçüm yapılan düşeylerde iki boyutlu hız dağılımları üç farklı model ile incelenmiştir. Bu yöntemler logaritmik dağılım, üstel dağılım ve entropi hız dağılım modelidir. Bu üç yöntemle ait parametreler belirlenerek, dağılımların ölçüm değerleri ile

farklılıkları hesaplanmıştır. Ele alınan dağılımların akım özelliklerini temsil ettiği bölgeler belirlenmiştir.

1. BÖLÜM

GENEL BİLGİLER

1.1. Literatür Taraması

Akarsuların ve sonradan inşa edilen açık kanalların akım özellikleri günümüze kadar birçok araştırmacı tarafından incelenmiş, çeşitli formüller geliştirilmiştir. Günümüzde yapılan çalışmalarda geçmişte yapılan çalışmalardaki tecrübeler dikkate alınarak daha ileri seviyelere ulaşmıştır. Günümüzde özellikle ölçüm teknolojilerindeki gelişmelere bağlı olarak çok daha hassas ölçümler yapılabilmektedir. Bu ölçümler yardımı ile akım özellikleri hakkında daha detaylı bilgilere ulaşılabilmekte ve bu veriler farklı yöntemler ile modellenebilmektedir. Akarsulardaki akım özelliklerinin belirlenmesi amacıyla yapılan bazı güncel çalışmalar aşağıda sunulmuştur.

Kırkgöz ve Ardıçlıoğlu [5] hız dağılımlarının belirlenmesi amacıyla deneysel çalışmalar yapmışlardır. Açık kanallarda sınır tabakası uzunluğunu (L), derinlik (H), Reynolds sayısı (Re) ve Froude (Fr) sayısına bağlı olarak vermişlerdir. Kesit oranı $B/H \geq 3$ olan akımlarda sınır tabakası yüksekliğinin su yüzüne kadar uzandığı belirlenmiştir. Ele alınan akım şartlarında ortalama hız ile su yüzü hızı arasındaki oranın 0.88 ile 1 arasında değiştiğini belirtmişlerdir. Dar ve geniş kanallarda kayma gerilmesi dağılımının yan duvarlara doğru azaldığını, kesit oranı $B/H=3$ civarlarında kayma gerilme dağılımının kanal orta kesiti ile duvar arasında dalgalı bir şekilde dağıldığını gözlemişlerdir. Sınır tabakasını gelişme bölgesinde kayma gerilmesinin sabit olduğunu bildirmişlerdir. Cilalı tabanlı akımların sınır tabakasının gelişmiş ve gelişmekte olan bölümünde türbülanslı iç bölgedeki hız dağılımlarının logaritmik dağılımdaki sabitlerin $A_L=2.44$ ve $B_L=5.5$ kullanılması ile iyi temsil edildiğini belirtmişlerdir.

Afzal [6], klasik iki tabaka olan iç ve dış bölgede geniş Reynolds sayısı aralığında tam gelişmiş boru akımlarında logaritmik dağılım ve üstel dağılım ile karşılaştırmıştır. Denklemin iç bölgede üstel dağılımla temsil edilen başka bir fonksiyonel çözümünden bahsetmiştir. Geniş Reynolds sayısı aralığında bu dağılımların ölçümleri iyi tahmin ettiği belirlenmiştir. Nikuradse'nin klasik verilerinde ve Zagarola'nın süper boru verilerinde

logaritmik dağılım ve üstel dağılım parametreleri olan a ve m parametrelerinin tutarlı ilişkiler sergilediğini vurgulamıştır.

Chiu ve Tung [7] entropi yöntemi ile akım özelliklerini incelemişlerdir. Bir kanaldaki maksimum hızın büyüklüğünün ve konumunun bilinmesinin, veri toplamada kolaylık sağlayacağını, akımın yapısını anlamamıza yardımcı olacağını ve hidrolik sistemlerin tasarımı ve kontrolünü kolaylaştıracağını belirtmişlerdir. Kesitte, farklı akım durumlarında ölçülen maksimum ve ortalama hızlar yardımıyla entropi parametresi olan M 'in belirlenebileceğini ve bu değerin kesit için sabit olduğunu belirtilmiştir. Bilinen M parametresi yardımıyla ortalama hızın ve herhangi bir düşeydeki hız dağılımlarının belirlenmesi kolay olmaktadır. En kesit üzerinde belirlenecek maksimum hız ile M parametresi kullanılarak ortalama hız dolayısıyla debi belirlenebilmektedir. Bu yöntemin özellikle üniform olmayan akımlarda büyük kolaylık sağlayacağı bildirilmiştir.

Chen ve Chiu [8] Taiwan'da Tanshui Nehri üzerinde ölçümler yapmışlardır. Bu ölçümleri Taipei Köprüsü, Guan-du Köprüsü ve Ho-kou'da gerçekleştirmişlerdir. Yapılan ölçümlerde ortalama düşey hızların belirlenmesi için her düşey eşit aralıklı olacak şekilde bölünmüş, 30 veya 60 dakikada bir ölçümler alınmıştır. Bu istasyonlar için Φ parametresinin sabit olduğu ve sırasıyla 0.62, 0.55 ve 0.64 olarak hesaplandıkları bildirilmiştir. Aynı istasyonlar için M parametreleri de sırasıyla 1.49, 0.6 ve 1.77 olarak hesaplanmıştır.

Ardıçlıoğlu vd. [9], Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Hidrolik laboratuvarında bulunan tabanı ve yan duvarları camdan $0.6 \times 0.6 \times 9.5$ m boyutlu kanalda hız dağılımını incelemişlerdir. Pürüzlü yüzey oluşturmak amacıyla kanal başından itibaren tabana $k=10$ mm olan plastik paspas serilmiştir. Pürüzlü açık kanal modelinde 24 farklı ölçüme ait kanal orta kesitinde ve duvara doğru 7 farklı düşeyde ölçülen hızların entropi yöntemi ile geliştirilen hız dağılım ifadesine uyumu araştırılmıştır. Söz konusu deneylere ait kesit oranı B/H 'ın 9'dan büyük olduğu akımlarda serbest su yüzündeki dalmanın kanal duvarına en yakın ölçüm yapılan $2y/B=0.9$ kesitinde olduğu, ölçüm değerlerinin entropi yöntemi ile hesaplanan hız dağılımları ile uyumunun iyi olduğu belirlenmiştir. $B/H < 9$ olan akımlarda en kesit üzerindeki tüm düşeylerde yapılan ölçümlerde dalma etkisi gözlenmiş bu etkinin kanal orta kesitinden duvara kadar gittikçe arttığı tespit edilmiştir. Entropi yöntemi ile hesaplanan hız dağılımlarının gerek kanal tabanına yakın bölgede gerekse serbest su yüzüne

yakın bölgede ölçüm değerleri ile farklılık gösterdiği ve bu farklara ait “RMS” değerlerinin ortalama %8 civarında olduğu belirlenmiştir.

Yang ve Tan [10] açık kanallarda dalma etkisinin mekanizmasını incelemişlerdir. Bölgesel su yüzü hızının boyutsuz u_{*z}/v ifadesi ile tanımlanması durumunda iç bölgede logaritmik dağılımın iyi sonuçlar verebileceğini belirtmişlerdir. Dış bölgede logaritmik dağılımın serbest su yüzünden biraz aşağılarda temsil edilebildiğini, logaritmik dağılımdan sapan miktarın ise $1-z/H$ ifadesiyle orantılı olduğunu bildirmişlerdir. Pürüzlü açık kanallarda dalma etkisini temsil eden logaritmik dağılımı geliştirmişlerdir. Bu yeni yöntemde u_{*z}/v ve $1-y/H$ ifadeleri yanında bir α düzeltme katsayısı kullanılmaktadır. Deneysel veriler kullanılarak düzgün dikdörtgen kanallarda dalma etkisini temsil eden logaritmik hız dağılımının, ölçülen hız dağılımlarını iyi temsil ettiğini belirtmişlerdir. Bu yaklaşımın pürüzlü açık kanal akımlarında kullanılabileceğini vurgulamışlardır.

Moramarco [11], Orta İtalya’da Tiber Nehri’nin havzasında ölçülen on iki akarsu kesiti üzerinde ortalama hız ile maksimum hız arasındaki lineer ilişki olan M parametresini incelemiştir. Her bir düşeyde üç adet ölçüm alarak çalışmaları gerçekleştirmiştir. Kesite ait ortalama hızın gerçeğe en yakın şekilde belirlenebilmesinde entropi yönteminin en iyi sonuç veren yöntem olduğu vurgulanmıştır. Ancak bu çalışmada aynı nehir üzerindeki kesitlerde entropi parametresi M ’i sabit kabul ederek hız dağılımlarını temsil eden nehre ait tek bir M parametresi belirlenmeye çalışılmıştır. Bu M parametresi ile hesaplanan dağılımların ölçülen hız dağılımlarını yeterli derecede temsil etmediği belirtilmiştir. Aynı nehir üzerinde ele alınacak çok sayıda kesit ile bu kesitlerde yapılacak ölçümler sayesinde nehre ait bir M parametresinin hassas bir şekilde belirlenebileceğini belirtmiştir.

Moramarco vd. [12], Orta İtalya’da, Tiber Nehri’nin havzasının üst kesiminde dört nehir üzerinde ortalama hız ile maksimum hız arasındaki doğrusal ilişkinin geçerliliğini göstermişlerdir. M parametresinin değeri iki nehirde sabit olarak belirlenmiştir. Bu çalışmada yapılan ortalama hız tahminlerinden sadece birkaçı %10’u aşan hatalar vermiştir. En kesit üzerinde ortalama hızın parabolik bir dağılım ile ifade edilebileceğini ve bu dağılım yardımı ile ortalama hızın tahmin edilebileceğini belirtmişlerdir. Geniş doğal akarsularda yöntemin geçerliliğinin kontrol edilmesi gerektiğini belirtmişlerdir. Ayrıca en kesit üzerinde farklı

pürüzlülüğe sahip taşkın yataklı bileşik-kompozit kesitlerde de yöntemin ölçüm verileri ile ele alınması gerektiği vurgulanmıştır.

Ardıçlıoğlu vd. [13], Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Hidrolik laboratuvarında bulunan açık kanal modelinde yapılan hız ölçümlerini Entropi yöntemi ile incelemişlerdir. Bu amaçla 17 farklı akım durumunda, kanal üzerinde sınır tabakasının geliştiği 6. m’de kanal orta kesitinden başlayarak duvara kadar 7 farklı düşeyde hız ölçümleri yapılmıştır. Hız ölçümleri pervaneli (muline) ölçüm aleti ile gerçekleştirilmiştir. Hız ölçümleri derinlik boyunca kanal tabanına yaklaşılacak en yakın mesafe olan 0.75 cm den başlayarak her 1 cm’de bir su yüzüne kadar alınmıştır. Hız ölçümleri kesit oranının $2.8 \leq B/H \leq 17.0$, Reynolds sayısının $22825 \leq Re \leq 180897$ ve Froude sayısının $0. \leq Fr \leq 1.23$ olduğu aralıkta gerçekleştirilmiştir. Ele alınan akım şartlarında kesit ortalama hızı (U) ölçülen noktasal hızların integrasyonu ile belirlenmiştir. Her bir akım durumunda ölçüm alınan kesit için U ve u_{mak} değerleri belirlenerek kesit için M parametresi hesaplanmıştır. Ele alınan kesite ait entropi parametresi $M=5.25$ olarak belirlenmiştir. Hesaplanan M parametresi kullanılarak Chiu [4] tarafından verilen entropi ifadesinin 17 farklı akım durumunda hız dağılımına uygunluğu incelenmiştir. $B/H \geq 5.0$ olan akım durumlarında en kesit boyunca tüm düşeylerde yapılan ölçümler entropi yöntemi ile oldukça iyi bir uyum göstermektedir. Kesit oranının $B/H < 5.0$ olması durumunda kanal orta kesitinde ve duvarlara doğru ölçüm alınan tüm düşeylerde su yüzüne yakın bölgede ölçülen hız dağılımındaki dalmaları, entropi ifadesiyle elde edilen sonuçların iyi temsil edemediği belirlenmiştir.

Moramarco vd. [14], Chiu’nun hız dağılım fonksiyonunu, ele alınan kesitin her bir düşeyi için belirlenebilecek şekilde yeniden düzenlemişlerdir. Lokal olarak belirlenen bu hız dağılımının taşkın durumları için oldukça iyi sonuçlar verdiğini yapılan arazi ölçümleri ile göstermişlerdir.

Ardıçlıoğlu vd. [15], açık kanal akımlarında hız dağılımının belirlenmesinde kullanılan klasik yöntemler (logaritmik ve üstel dağılım) ve entropi yöntemini incelemiştir. Bu amaçla iki farklı pürüzlülükte 24 farklı akım durumu ele alınmıştır. Türbülanslı, kritik altı akım durumlarında en kesit üzerinde noktasal hız ölçümleri yapılmıştır. Hız integrasyon yöntemi ile hesaplanan ortalama hızlar debi ölçer sonuçları ile karşılaştırılmıştır. Ortalama hızlar ayrıca

entropi yöntemi ile de belirlenerek karşılaştırma yapılmıştır. Her iki pürüzlülük şartı için entropi yönteminin hız integrasyon yöntemine yakın değerler verdiği görülmüş, rölatif farklar sırasıyla %2.0-%4.2 olarak hesaplanmıştır. Kanal en kesitinde entropi parametresi (M) bilindiğinde söz konusu kesite ait ortalama hızın kesitteki maksimum hız yardımıyla kolaylıkla ve hassas olarak belirlenebileceği ifade edilmiştir.

Ardıçlıoğlu vd. [16], dikdörtgen kesitli, pürüzlü, açık kanal akımında hız dağılımlarını incelemiştir. Maksimum dalma etkisinin kesit oranına (B/H) bağlı olarak değiştiği belirtilmiştir. $B/H < 5$ durumu için bütün en kesit boyunca dalma etkisinin olduğu, $5 \leq B/H \leq 10$ için sadece duvar kenarlarında dalma etkisinin gerçekleştiği, $B/H > 10$ için ise maksimum hızların daima serbest su yüzüne yakın noktalarda olduğu gözlemlenmiştir. İncelenen üç logaritmik dağılım denklemi içinden, ölçülen değerle en iyi uyum Coles denklemi kullanılarak yakalanmış ve ortalama hata %6.8 olarak hesaplanmıştır. Entropi tabanlı hız dağılım modelinde denklemin %4.0 ortalama hata değeri ile tabana yakın kısımlarda da diğer yöntemlerden daha iyi sonuçlar verdiği belirtilmiştir. Deneysel araştırmalara dayalı bu çalışmada, boyutsuz pürüzlülüğün (k_s/k) hem Froude sayısı hem de Darcy-Weisbach sürtünme katsayısı arasında ampirik bir ilişki belirlenmiştir. Chiu ve Tung [14] tarafından önerilen düşeyde maksimum hızın bulunduğu yüksekliğin belirlenmesinde kullanılan denklemin geçerliliği araştırılmıştır. Denklem yardımıyla hesaplanan değer ($h/H=0.17$) ile deneysel olarak bulunan değer ($h/H=0.21$) uyumlu olduğu belirtilmiştir.

Chiu vd. [17], ABD’de jeolojik araştırma birimince yeni yöntemlerin geliştirilebilmesi için 1986-2000 yılları arasında Washington-Skagit Nehri’nden alınan ölçüm verileri üzerinde çalışmalar yapmışlardır. Bu verilerin elde edilmesinde ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) kullanılmıştır. Yapılan çalışmalarda $M=1.8$ ve H/D oranı 0.51 bulunmuştur. $u_{mak}=1.41$ m/s kullanılarak $U=0.9$ m/s ve debi $Q=520$ m³/s olarak hesaplanmıştır. Kesit alanı ADCP ile 578 m² elde edilmiştir. ADCP yönteminde kanal en kesitindeki tüm hız örnekleri kullanılarak elde edilen debi 525 m³/s’dir. Hesaplanan debiler arasındaki farkın %1 civarında olduğu görülmüştür. Bu tür çalışmalara gerek hidroloji alanında gerekse taşkın kontrolü için inşa edilecek mühendislik yapılarının tasarımında ihtiyaç duyulduğu ve bu yöntemin geliştirilmesi gerektiği vurgulanmıştır.

Ardıçlıoğlu vd. [18], açık kanal akımında hız ölçümleri için yaygın olarak kullanılan üç farklı aletin (Acoustic Doppler Velocimeter -ADV, Pitot tüpü ve Propeller) özellikleri, ölçüm metotları ve ölçüm sonuçlarını incelemiştir. Açık kanal modelinde üç farklı aletle ölçülen hızlar ile kanala su veren boruya monte edilmiş debi ölçerin verdiği değer arasında $\pm\%2$ farklılık gözlenmiştir. Buradan her bir aletin ortalama hız dolayısıyla debi ölçümünde kullanılabileceği belirtilmiştir. ADV'nin açık kanallarda hız ve debi ölçümünde hızlı ve daha hassas sonuçlar verdiği belirlenmiş, Pitot tüpü ile yapılan ölçümlerde düşük hızlarda derinlik boyunca basınç değişiminin hassas olarak ölçülemediği gözlenmiştir. Propeller ile yapılan ölçümlerde ise serbest su yüzünün pervanenin dönmesinden etkilendiği ve bu bölgede hızda beklenenden fazla düşmenin olduğu (dalma etkisi) gözlenmiştir. Ölçüm aletlerinin okumaları arasında en büyük fark Propeller ile ADV arasında, en küçük fark ise ADV ile Pitot tüpü arasında gözlenmiştir.

Ardıçlıoğlu [19], açık kanal akımlarında hız ve debi ölçümünde kullanılan altı farklı yöntemi ele alarak, bu yöntemler arasındaki farklılıkları irdelemiştir. Dikdörtgen prizmatik bir kanalda 22 farklı akım koşulunda; kanala su veren sabit seviyeli haznenin girişindeki boruya yerleştirilen Altosonic debi ölçer yardımıyla akım debisi ölçülmüştür. Kanalin 6. metresinde 7 farklı düşeyde gerçekleştirilen hız ölçümleri kullanılarak; debiler, hız integrasyon yöntemiyle ve su yüzeyinden $0.5H$, $0.6H$ ve $0.2H-0.8H$ derinliklerinde yapılan ortalama hız ve kanal orta kesitinde derinlik boyunca ölçülen hızların integre edilmesiyle belirlenmiştir. Sonuç olarak, hız integrasyon yöntemi ile belirlenen debiler gerçek debi olarak kabul edildiğinde, debi ölçerle yapılan ölçümlerde 10 lt/s 'den küçük debilerde hatanın büyüdüğü belirlenmiştir. $0.5H$ derinlikte yapılan hız ölçümleriyle bulunan debi $\%8.9$, $0.6H$ derinlikte yapılan hız ölçümleriyle bulunan debi $\%7.1$, kanal orta kesitinde derinlik boyunca ölçülen hızların integrasyonu ile hesaplanan debi ise $\%5.2$ fark belirlenmiştir. Ele alınan 22 farklı akım durumunda, $0.2H-0.8H$ derinliklerinde ölçülen hızlar yardımıyla hesaplanan debilerin farkının ortalaması ise $\%4.1$ olarak hesaplanmıştır. Buradan, hız-alan integrasyonu yöntemi ile yapılacak debi ölçümlerinde, ele alınan her bir düşeyin $0.2H$ ve $0.8H$ derinliklerinde alınacak hızların ortalamasının, söz konusu düşeye ait ortalama hızı yeterince iyi temsil ettiği ve debi hesabında kullanılabileceği belirtilmiştir.

Chiu ve Hsu [20], bu güne kadar akışkan akımlarında geliştirilen iki boyutlu hız dağılımlarının modellemesinde kullanılan kütle, momentum korunumu, enerji yaklaşım

yöntemleri yerine entropi tabanlı olasılık yaklaşımların doğrudan ölçülen verilerle olan uyumunu incelemişlerdir. Olasılık yaklaşımı ve deterministik yaklaşımı kullanarak maksimum hızın konumu ve büyüklüğü, ortalama hızın maksimum hıza oranı gibi bilgileri elde etmeye çalışmışlardır. U/u_{mak} ve H/D oranlarını bilinen M parametresi ile hesaplayarak olasılık yönteminin akım modelleme çalışmalarında kullanılabilir bir yöntem olduğunu göstermişlerdir.

Maghrebi ve Rahimpour [21], düzensiz kesit yapısına sahip kanallarda eş hız eğrileri ile modelleme yapmak suretiyle çalışmalar gerçekleştirmişlerdir. Yapılan bu çalışmalarda, en kesitte elde edilen eş hız eğrilerini akım tahminlerinde kullanmışlardır. Ardından yapılan tahminlerden elde edilen sonuçları ölçülen değerlerle karşılaştırmışlardır. Modelden elde edilen değerlerin ölçülen değerlerle iyi uyum sergilediği belirtilmiştir. Model kullanılarak Japonya’da yer alan Unon Nehri’nde tahminlerde bulunmuşlar ve elde edilen su yüzü hızlarının ölçümler ile uyumlu olduğunu belirtmişlerdir. Modelde akım derinliği ile ortalama hız arasındaki ilişkide ele alınmış olup bu ilişki ABD’de Severn Nehri’nde yapılan çalışmada en iyi sonucu vermiştir.

Ardıçlıoğlu ve Öztürk [22], açık kanal akımlarındaki debinin belirlenmesi için gerekli ortalama hızın hesabında kullanılan üç farklı metodu ve entropi yöntemini incelemişlerdir. Bu amaçla çakıllı zemine sahip doğal nehir ve siltli–killi zemin üzerinde açılmış sulama kanalı üzerinde hız ölçümleri yapılmıştır. En kesit üzerinde ölçülen noktasal hızların integrasyonu ile hesaplanan ortalama hızlar yardımı ile belirlenen debilerin, su yüzeyinden $0.2H$ ve $0.8H$ derinliklerinde ve $0.6H$ ’da ölçülen hızlar kullanılarak hesaplanan debilere oldukça yakın olduğu belirlenmiştir. Ölçüm yapılan en kesitlere ait entropi parametreleri $M=1.81$, 0.55 olarak belirlenmiş olup bu değerler yardımı ile hesaplanan debiler integrasyon yöntemi ile hesaplanan debiden sırasıyla %7.8 ve % 20.2 daha küçük olmaktadır. Derinlik boyunca hesaplanan entropi hız dağılımlarının ölçüm değerlerinden daha büyük olduğu gözlenmiştir. Farklı akım durumlarında yapılan ölçümler ile belirlenecek U/u_{mak} ilişkisinden elde edilecek ortalama değerler ile entropi parametresinin daha hassas belirlenmesi gerektiği vurgulanmıştır.

Lee vd. [23], Kore’de yer alan akarsulara Chiu’nun hız dağılımı fonksiyonunu uygulamışlardır. Kore’nin 8 farklı bölgesinde 2004–2006 yılları arasında ADCP ile ölçülen 64

set veri ile çalışma yapılmıştır. Çalışma sonucunda entropi dağılımı kullanılarak elde edilen debi değeri ile ölçülen debi değerleri arasındaki hataların %-6.9 ile %4.3 aralığında olduğu belirlenmiştir. Bu hata değerleri entropi yöntemi ile elde edilen değerlerin ölçüm değerleri ile iyi uyum sağladığını göstermektedir. Akım modelleme çalışmalarında entropi yöntemindeki parametrelerin belirlenmesinin daha hassas çalışmalar gerektirdiği vurgulanmıştır.

Ardıçlıoğlu vd. [24], doğal akarsulardaki hız, kayma gerilmeleri ve debinin belirlenmesi amacıyla Kızılıрмаğın yan kollarından olan Sarımsaklı Nehri üzerinde ölçümler yapmışlardır. Yapılan çalışmalarda klasik hız alan yöntemleri ile akım debi hesabı yapılmıştır. Ölçülen kesitte entropi parametresi $M=1.6$ alınarak ölçüm verileri ile Chiu' nun 2 boyutlu hız dağılımının, logaritmik dağılımda olduğu gibi iyi sonuçlar verdiği gözlenmiştir. Kanal kesiti için belirlenmiş olan M parametresini kullanmanın akım özelliklerinin tahmininde oldukça işe yaradığı bildirilmiştir.

Guo ve Julien [25], türbülanslı sınır tabakasında boru akımları için geliştirilmiş logaritmik dağılımı açık kanallardaki türbülanslı akım için genelleştirmişlerdir. Yapılan çalışmada açık kalanlardaki türbülanslı akımları tanımlamada logaritmik dağılımın kullanılabileceği belirtilmiştir. von Karman sabiti $\chi = 0.41$ alınarak akım su yüzü hızı, çevrinti kuvveti, integrasyon sabiti gibi parametreleri belirlemişlerdir. Bunun yanında yöntemin su yüzeyine yakın bölgede yer alan dalma etkisini de iyi bir şekilde temsil ettiğini belirtmişlerdir. Yöntemin açık kanallardaki geçerliliğini göstermek için Mississippi Nehri'nde elde edilen akım verileri üzerinde çalışmalar yapmış ve iyi sonuçlar elde etmişlerdir.

Ardıçlıoğlu vd. [26], doğal akarsularda debi, hız ve kayma gerilmesi dağılımını incelemiştir. Bu amaçla Sarımsaklı Nehri üzerinde bulunan Barsama İstasyonu'nda iki farklı zamanda arazi ölçümü gerçekleştirilmiştir. Klasik yöntemlerden hız-alan yöntemiyle ve entropi yöntemi kullanılarak bulunan debiler karşılaştırılmış, her iki yöntemin birbirlerine yakın sonuçlar verdiği belirtilmiştir. Logaritmik ve entropi tabanlı Chiu'nun hız dağılım ifadeleri ölçümler ile hesaplanmıştır. İki ölçüm için ortalama hız ve maksimum hızlar arasındaki ilişkiden hesaplanan entropi parametresi $M=1.6$ olarak bulunmuştur. Chiu'nun iki boyutlu hız dağılım ifadesi, logaritmik dağılım gibi iyi sonuçlar vermiştir. Darcy'nin sürtünme katsayısı (f) ve ortalama hız, maksimum hız oranı (U/u_{mak}) kullanılarak oluşturulan ikinci derece polinomal bir ilişki içeren denklem yardımıyla yerel kayma gerilmesi kolayca hesaplanabilmektedir.

Bonakdari vd. [27], hız profilinin belirlenmesi güç olan türbülanslı dar açık kanal akımlarını incelemişlerdir. İç bölgeyi temsil edebilen fakat dar açık kanallarda dış bölge için geçerli olmayan logaritmik dağılımı ele almışlardır. Geliştirdikleri ampirik denklemlerle hız profilini tanımlamaya çalışmışlardır. Bu yeni yöntemi Navier-Stokes denklemlerinden türetmişlerdir. Bu yeni yöntemin su seviyesi, serbest su yüzü genişliği, kanal eğimi ve su yüzü hızı verilerine ihtiyaç duyduğunu belirtmişlerdir. Mevcut akım değerlerinde dar ve geniş dikdörtgen kanallarda yöntemin iyi sonuçlar verdiğini bildirmişlerdir. Yöntemin ele alınan düşey boyunca iç bölge, geçiş bölgesi ve dış bölgede akımı iyi temsil ettiği vurgulanmıştır.

Ağırlioğlu vd. [28], hız dağılımlarının integre edilmesi ile belirlenen debiler ile pratikte kullanılan dört farklı yöntemi karşılaştırmıştır. Bu amaçla Kızılıрмаğın yan kollarından Sarımsaklı Deresi üzerinde bulunan Şahsenem İstasyonu'nda 5 farklı tarihte enkesit üzerinde hız ölçümleri yapılarak yöntemlerin hassasiyetleri araştırılmıştır. Hız ölçümleri ADV ile en kesit üzerinde belirlenen düşeylerde derinlik boyunca yapılarak akım doğrultusundaki hız profilleri belirlenmiştir. Her bir dilimde su yüzeyinden $0.6H$ ve $0.2H-0.8H$ derinliklerinde okunan hızların integrasyonu ile hesaplanan debiler, Manning denklemi ve entropi yöntemi ile belirlenen debilerle, hız integrasyon yöntemi ile hesaplanan debilerin farkları belirlenmiştir. İntegrasyon yöntemi ile belirlenen debinin, su yüzeyinden $0.2H-0.8H$ ve $0.6H$ derinliklerinde ölçülen hızlar kullanılarak hesaplanan debilere oldukça yakın olduğu, literatürde kabul gören bu yaklaşımların debi hesabı için kullanımının uygun olduğu belirtilmiştir. En kesite ait entropi parametresi $M=1.23$ olarak belirlenmiş ve bu değer kullanılarak hesaplanan debi, integrasyon yöntemi ile hesaplanan debiden %16.3 farklılık göstermiştir. Ölçüm yapılan kesit için Manning pürüzlülük katsayısının $n=0.05$ alınması uygun görülmüştür. Manning denklemi kullanılarak hesaplanan debi integrasyon debisinden %8.5 farklılık göstermiştir.

Burnelli vd. [29], Güney İtalya' da Basento Nehri üzerinde ölçülen akımları dört farklı entropi yaklaşımı ile incelemişlerdir. Ele alınan üç yaklaşım yeniden düzenlenmiş entropi yöntemini kullanırken dördüncü yaklaşım ise en kesitteki parabolik hız dağılımını kullanmaktadır. Temel entropi ifadesi ve u_{mak} ile elde edilen parabolik entropi modelinin ele alınan düşeydeki ortalama hızı tatmin edici bir seviyede tahmin ettiğini bildirmişlerdir. Özellikle taşkın anlarında maksimum hızın belirlenmesinin güç olduğu durumlarda parabolik entropi dağılımının rahatlıkla kullanılabileceğini bildirmişlerdir.

Ardıçlıoğlu vd. [30], doğal akarsularda ölçülen akım hızlarıyla, farklı hız dağılım modellerini karşılaştırmıştır. Akım hızlarının ölçümünde Acoustic Doppler Velocimeter (ADV) kullanılmıştır. Ölçümler Kızılıрмаğın yan kollarından Sarımsaklı Deresi üzerinde bulunan Şahsenem ve Barsama istasyonlarında farklı akım durumlarında ikişer defa yapılmıştır. Ölçüm yapılan düşeyler için, hız profilleri logaritmik, Coles, üstel ve entropi yöntemleri ile hesaplanmış ve ölçüm değerleri ile karşılaştırılmıştır. Nikuradse'nin eşdeğer kum pürüzlülüğü (k_s) ve kayma hızları (u_*) ölçülen hız dağılımları yardımıyla belirlenmiştir. Sınır tabakasının iç bölge yüksekliğinin $10-40\% \leq z/\delta \leq 70-100\%$ aralığında değiştiği tespit edilmiştir. Sınır tabakasının iç ve dış bölgelerinde Coles'un hız dağılımı ölçülen değerlerle iyi uyum göstermiştir. Üstel dağılımdaki katsayıların $a=2.6$ ve $m=1/3$ olması durumunda hız dağılımlarını iyi temsil ettiği belirtilmiştir. Barsama ve Şahsenem istasyonları için entropi parametreleri (M) sırasıyla 1.61 ve 1.37 olarak hesaplanmıştır. Entropi yöntemiyle elde edilen hızların özellikle kıyıya yakın bölgelerde ölçülen değerlerden biraz daha büyük sonuçlar verdiği gözlenmiştir.

Ardıçlıoğlu ve Günaydın [31], açık kanal akımlarında hız dağılımını farklı alet ve yöntemler ile incelemiştir. Bu amaçla tabanı ve yan yüzeyleri cam olan laboratuvar kanalında türbülanslı, üniform, cilalı akım durumunda dört farklı debi için en kesit üzerinde hız ölçümleri yapılmıştır. Ölçümlerde mikromuline (propeller) ve Acoustic Doppler Velocimeter (ADV) cihazları kullanılmış ve iki aletin hassasiyetleri karşılaştırılmıştır. Micromuline ile en kesit boyunca yapılan hız ölçümleri, kanal orta kesitine göre simetri kontrolü için ele alınmış ve prizmatik kanallar için simetrinin varlığı incelenmiştir. En kesit üzerinde yapılan hız ölçümleri literatürde verilen logaritmik dağılım ile incelenerek, ele alınan düşeylerde logaritmik dağılımın geçerli olduğu bölge belirlenmiştir. Cilalı akım koşullarında ADV ve micromuline (Propeller) ile yapılan noktasal hız ölçümlerinde fark %1.32 olarak belirlenmiş olup her iki aletin birbirine yakın sonuçlar verdiği gözlenmiştir. Micromuline'nin özellikle katı sınır yakınlığında istenilen noktaya kolaylıkla yerleştirilerek sağlıklı ölçüm yapabilmesinin, laboratuvarlarda tercih sebebi olabileceği vurgulanmıştır. Micromuline ile yapılan simetri kontrolünde kanal orta kesitinden eş uzaklıklarda, derinlik boyunca yapılan hız ölçümlerine ait farkların genel ortalaması %3.6 olarak belirlenmiştir. Buradan literatürde belirtilen prizmatik kanallarda en kesit üzerinde simetrinin var olduğu, akım özellikleri incelenirken bu durumun dikkate alınabileceği ifade edilmiştir. Açık kanal akımlarında hız

dağılımını gösteren logaritmik ifadenin, iç bölgede daha doğru sonuçlar verdiği, su yüzüne yakın bölgelerde ise ölçüm değerlerinden büyük olduğu tespit edilmiştir. Artan Reynolds sayılarında logaritmik dağılımın ölçüm değerlerini temsil ettiği bölgenin daha geniş olduğu, ancak duvar yakınlarındaki dalma etkisini gösteremediği belirtilmiştir. Yapılan tüm hız ölçümleri ile hesaplanan logaritmik dağılım arasındaki fark %-5.9 olarak belirlenmiştir. Ölçüm yapılan en kesite ait entropi parametresi $M=5.75$ olarak hesaplanmıştır. Bu değer kullanılarak hesaplanan hız dağılımlarının ölçüm değerleri ile logaritmik ifadeye göre daha iyi uyum içerisinde olduğu gözlenmiştir. Yine ölçüm yapılan noktasal hızlar ile entropi dağılımındaki hız ölçümleri arasındaki fark %-2.9 olarak belirlenmiştir.

Ammari ve Remini [32], Cezayir’de 4 farklı nehire ait akım verilerini kullanarak çalışmalar yapmışlardır. Sırasıyla Chiffa, Sebaou, Mazafran ve Belah nehirleri üzerindeki; Amont Des Gorges, Baghlia, Fer a Cheval ve Pont RN11 istasyonları incelenmiştir. Bu istasyonlara ait Φ parametresi sırasıyla 0.6888, 0.6809, 0.6411 ve 0.6629 olarak hesaplanmıştır. Bu veriler ile hesaplanan M parametresi ise 2.49, 2.37, 2.02, 2.10 olarak bildirilmiştir. Yapılan çalışmada hesap değerlerinin standart sapması ortalama 0.97 olarak verilmiştir. Akım özelliklerinin belirlenmesinde entropi yönteminin kullanılması sayesinde sadece maksimum hızın belirlenmesiyle birçok akım özelliklerinin kolaylıkla tahmin edilebileceğini vurgulamışlardır. Maksimum hızın yerinin de birkaç ölçüm neticesinde belirlenebileceği ve daha sonraları belirlenen bu nokta yakınlarda yapılacak az sayıda hız ölçümü ile %90 doğruluk oranı ile maksimum hızın belirlenebileceğini ifade etmişlerdir.

Ardıçlıoğlu vd. [33], doğal akarsularda akım debisini Acoustic Doppler Velocimeter (ADV) ile ölçmüşlerdir. Kızılrmağın yan kollarından Sarımsaklı Deresi üzerinde, Şahsanem İstasyonu’nda, altı farklı zamanda arazi ölçümleri yapılmıştır. Debiler, Manning denklemiyle, su yüzeyinden $0.6H$ ve $0.2H-0.8H$ derinliklerinde yapılan ortalama hızların integrasyonu ve entropi yöntemiyle belirlenmiştir. Altı farklı ölçüm sonucunda, en yüksek bağıl hata değeri %9.4 ile Manning denkleminden bulunmuştur. $0.6H$ ve $0.2H-0.8H$ derinliklerinde yapılan ortalama hızların integrasyonu ile bulunan debilerin iyi sonuçlar verdiği belirlenmiş ve bağıl hata değerleri ise sırasıyla %2.9 ve %3.3 olarak hesaplanmıştır. Entropi parametresi (M) bilinen bir akarsu için debi maksimum hıza bağlı olarak hesaplanabilmektedir. Maksimum hızın yerinin belirlenmesi ve ölçümü nispeten kolay olmaktadır. Entropi yöntemiyle

hesaplanan debiler ile integrasyon yöntemiyle hesaplanan debiler karşılaştırıldığında ise altı farklı ölçüm için ortalama bağıl hata değeri %3.2 olarak belirlenmiştir.

Moramarco [34], akarsularda ortalama hız ile maksimum hız arasında lineer bir ilişki bulunduğunu ve bu ilişkinin de entropi parametresi M ile tanımlandığını bildirmiştir. Entropi parametresi M 'in akarsuların hidrolik ve geometrik özelliklerden nelere bağlı olduğunu araştırmıştır. Çalışmada İtalya'da Tiber Nehri üzerinde ele alınan iki en kesitten yirmi yılda elde edilmiş olan akım verileri incelenmiştir. Taşkın anlarında dahi M parametresinin değişmediğini bu sebeple de entropi parametresi M 'in enerji çizgisi ve su yüzü eğimine bağlı olmadığını bildirmiştir. Yeni bir yaklaşım olarak Manning pürüzlülük katsayısı tabanlı bir entropi modeli geliştirmiştir. Yöntemin gelecek çalışmalarda kullanılabilmesi için farklı düşeylerde derinlik boyunca analiz edilmesi gerektiğini bildirmiştir.

Ardıçlıoğlu vd. [35], doğal akarsularda debinin belirlenmesinde kullanılan dört farklı yöntem ile Acoustic Doppler Velocimeter (ADV) yardımıyla ölçülen değerler karşılaştırılmış ve debiler incelenmiştir. Arazi ölçümleri Orta Anadolu'da, Sarımsaklı Deresi üzerinde bulunan Bünyan Pınarbaşı (BP) İstasyonu'nda altı farklı zamanda gerçekleştirilmiştir. Klasik yöntemler olarak bilinen, Manning denklemi, hız-alan yöntemi ve yükseklik-debi ilişkisine dayalı anahtar eğrisi yöntemiyle entropi yöntemi karşılaştırılmıştır. Ortalama bağıl hatalar karşılaştırıldığında hız-alan yönteminde hata %3'den daha az bulunmuştur. Altı farklı ölçüm için Manning ve anahtar eğrisi yöntemleri oldukça yüksek hatalar vermiştir. Bu metotlar için hatalar sırasıyla %16.8 ve %9.4 olarak belirlenmiştir. Entropi parametresi (M) bilinen bir akarsu kesiti için uygulanması oldukça kolay olan entropi yöntemiyle, hız alan yöntemi ile belirlenen debiler arasındaki ortalama bağıl fark ise %8.4 olarak hesaplanmıştır. Entropi yönteminin, Manning ve anahtar eğrisi yöntemlerinden daha iyi sonuç verdiği ve uygulanmasının kolay olması sebepleriyle avantajlı olduğu belirtilmiştir.

Ardıçlıoğlu vd. [36], derin olmayan, sıkı açık kanal akımlarında hız dağılımını logaritmik, üstel ve entropi dağılımları ile incelemiştir. Arazi ölçümlerinde hız dağılımları Acoustic Doppler Velocimeter (ADV) ile belirlenmiştir. Hız ölçümleri Kızılıрмаğın yan kollarından Sarımsaklı Deresi üzerinde ele alınan Bünyan Pınarbaşı (BP) kesitinde altı farklı zamanda yapılmıştır. Nikuradse'nin eşdeğer kum pürüzlülüğü (k_s) ve kayma hızları (u_*) ölçülen hız dağılımları yardımıyla belirlenmiştir. Sınır tabakasının iç bölge yüksekliğinin $11-48 \leq z/\delta \leq$

%52–100 aralığında değiştiği belirtilmiştir. İ bölgede logaritmik dağılımın ölçüm hızlarını iyi temsil ettiği gözlenmiştir. Üstel dağılımdaki katsayıların $a=2.7$ ve $m=1/3$ olması durumunda hız dağılımlarını iyi temsil ettiği belirtilmiştir. Ele alınan kesitte entropi parametresi $M=0.85$ olarak hesaplanmıştır. Logaritmik, stel ve entropi yöntemleri ile hesaplanan değerler ve ölçülen değerler arasındaki ortalama mutlak hata sırasıyla %12.6, %13.1, %15.4 olarak bulunmuştur. Logaritmik dağılım yönteminin diğer iki yöntemden daha iyi sonuç verdiği belirtilmiştir.

Choo vd. [37], Chiu'nun 2 boyutlu olasılık tabanlı entropi hız formülünü kanal yapısal özellikleri ile birlikte ele almışlardır. Geliştirdikleri yeni hız formülünde akım karakteristiklerinden olan su yüksekliği, en kesit genişliği, hidrolik yarıçap ve kanal taban eğimi kullanılarak maksimum hıza ulaşılmaya çalışılmıştır. Hem laboratuvar ortamında hem de doğal akarsularda yöntem denenmiştir. Yöntem laboratuvar kanalında -0.02 ile 0.03, doğal akarsularda ise -0.015 ile 0.02 aralığında hata vermiştir. Değerlerin birbirine çok yakın ve iyi olduğu vurgulanmıştır. Formülün hem laboratuvarda yer alan kanalda hem de doğal akarsu üzerinde çok iyi sonuçlar verdiği ve akım tahminlerinde kolaylıkla kullanılabileceği bildirilmiştir.

Ardıçlıoğlu vd. [2], doğal akarsularda hız dağılımını logaritmik, üstel ve entropi dağılımları ile incelemiştir. Arazi ölçümlerinde hız dağılımları Acoustic Doppler Velocimeter (ADV) ile belirlenmiştir. Hız lmleri Kızılıрмаđın yan kollarından Sarımsaklı Deresi üzerinde ele alınan Sarımsaklı Baraj girişi (SB) kesitinde beş farklı zamanda yapılmıştır. Nikuradse'nin eşdeğer kum pürüzlülüğü (k_s) ve kayma hızları (u_*) llen hız dağılımları yardımıyla belirlenmiştir. Sınır tabakasının i bölge yüksekliğinin $20-50 \leq z/\delta \leq 40-100$ aralığında değiştiği tespit edilmiştir. Bu i bölgede logaritmik dağılımın ölçüm hızlarını iyi temsil ettiği gözlenmiştir. Üstel yöntemdeki katsayıların $a=4.0$ ve $m=1/5$ olması durumunda hız dağılımlarını iyi temsil ettiği belirtilmiştir. Ele alınan kesitte Entropi parametresi $M=3.07$ olarak hesaplanmıştır. Entropi yöntemi ile belirlenen dağılımların ölçülen hızlar ile uyum içerisinde olduğu gözlenmiştir. Logaritmik, stel ve entropi yöntemleri ile hesaplanan değerler ve ölçülen değerler arasındaki ortalama mutlak hataya bakıldığında sırasıyla %14.5, %8.0, %6.6 değerleri bulunmuştur. Entropi yönteminin diğer iki yöntemden daha yakın sonuç verdiği belirtilmiştir.

Ardıçlıoğlu vd. [1], akarsularda debinin belirlenmesi amacıyla sıklıkla kullanılan hız alan yöntemindeki dilim sayısının akım debisine etkisini sorgulamıştır. Bu amaçla Kızılıрмаğın yan kollarında bulunan dört farklı akarsu üzerinde, beş farklı istasyonda, değişik zamanlarda on adet ölçüm gerçekleştirilmiştir. En kesit alanları 1 ila 19 farklı dilime bölünerek her bir dilimde ölçülen ortalama hızlar ile debiler hesaplanmıştır. En fazla dilime bölünerek hesaplanan debiler gerçek debi olarak kabul edilerek, en kesit daha az sayıda dilimlere bölünmesi durumunda debilerin değişimi incelenmiştir. Sonuç olarak on farklı akım durumu için, dilim sayısı ve hız ölçümü yapılacak düşey sayısı beş alınması durumunda gerçek debi ile beş dilim için hesaplanan debi arasındaki farkın %5'in altında olduğu görülmüştür. On farklı akım durumu için, dilimler belirlenirken akarsu orta kesitindeki su yüzü genişliğinin %10'luk bölümü bir dilim, sağ ve sol sahillerde aynı oranda olmak üzere sırasıyla %20 ve %25'lik ikişer dilimin kullanılmasının uygun olacağı belirtilmiştir.

Ardıçlıoğlu ve Özdin [38], doğal akarsularda debi hesap yöntemlerini karşılaştırmıştır. Bu amaçla Orta Anadolu'da, Kızılırmak Havzası üzerinde bulunan Bünyan Pınarbaşı (BP), Sarımsaklı (SR), Kırıközü (KÖ) ve Özdere (ÖD) istasyonlarında altışar farklı zamanda Acoustic Doppler Velocimeter (ADV) ile hız ölçümleri yapmışlardır. Akarsu enkesiti üzerinde belirlenen düşeylerde tabandan 4 cm yükseklikte bulunan noktadan başlayarak belirli aralıklarla su yüzüne kadar hız ölçümleri alınarak integrasyon debileri belirlenmiştir. Su yüzünden $0.2H-0.8H$ derinlikteki iki noktada ölçülen hızların ortalaması ile hesaplanan debilerle, integrasyon yönteminden bulunan debiler karşılaştırılarak BP, SB, KO ve OD istasyonlarındaki ortalama bağıl hatalar sırasıyla %2.3, %8.2, %6.4 ve %6.7 olarak hesaplanmıştır. Dört istasyon için ortalama hız, maksimum hız oranından M entropi parametreleri belirlenmiştir. Bu değerler kullanılarak entropi debileri hesaplanmıştır. Entropi debileri ile integrasyon debileri arasındaki ortalama mutlak bağıl hatalar BP, SB, KO ve OD istasyonları için sırasıyla %8.4, %4.6, %9.6 ve %8.7 olarak belirlenmiştir. Entropi parametresi (M) bilindiğinde entropi yönteminin uygulanmasının oldukça kolay olduğu ve integrasyon debilerine yakın sonuçlar verdiği bildirilmiştir. Bu yöntemin kullanılabilmesi için sadece maksimum hız (u_{mak}) değerinin ölçülmesine ihtiyaç olduğu, maksimum hızın bulunduğu noktanın da kolayca tahmin edilebildiği vurgulanmıştır. Maksimum hızın genellikle en kesit üzerindeki en derin düşeyde olduğu ve maksimum hız, maksimum derinlik oranının (u_{mak}/H_{mak}) genellikle her istasyon için sabit olduğu belirtilmiştir. Her istasyon için bir kere bu sabit belirlendiğinde kolayca ölçülebilen maksimum derinlik değeriyle maksimum hızların

hesaplanabileceği ifade edilmiştir. Bu yöntemle dört istasyonda öngörülen u_{mak} değerleri ile debiler (Q_{umak}) hesaplanarak integrasyon debileri ile karşılaştırılmış ve ortalama bağıl hatalar BP, SB, KO ve OD istasyonları için sırasıyla %9.6, %2.4, %8.5 ve %9.0 olarak belirlenmiştir. Q_{umak} yönteminin yapay ve doğal kanallarda kullanılan mevcut metotlar arasında en basiti olduğu vurgulanmıştır.

Corato vd. [39], taşkın anlarında nehirlerin taşkın hidrografının tahmin edilmesi için yeni bir yöntem önermişlerdir. Yöntemin amacı basit akım özellikleri ve sınır değer koşulları kullanılarak hidrodinamik yayılma modeli yardımıyla hidrografın belirlenmesidir. Hidrografın belirlenmesinde ele alınan kanalın uzunluğu ve su yüzü hızı verileri kullanılmıştır. Çalışmada kısa kanal uzunluklarının da hidrograf oluşturmak için yeterli olduğu belirtilmiştir. Geliştirilen algoritmanın özellikle yüksek taşkınlarda başarısız olduğu bildirilmiştir. Bu yöntemle çok ilgi olmasına rağmen hidrolik kanunlar kullanılarak birçok akım örneği ile yöntemin ele alınması gerektiği belirtilmiştir.

Ardıçlıoğlu vd. [40], entropi yöntemini kullanarak, doğal açık kanallarda debi ve hız dağılımlarını incelemiştir. Kızılırmak Nehri'nin yan kolları üzerinde bulunan Bünyan, Şahsenem, Barsama ve Zamantı çayı üzerinde bulunan Sosun İstasyonu'nda olmak üzere toplam 22 farklı akım koşulunda ADV ile hız ölçümleri yapılmıştır. İstasyonlarda ölçülen ortalama hız ile maksimum hız arasındaki doğrusal ilişkiden faydalanarak her bir istasyon için M entropi parametresi belirlenmiştir. Bünyan, Şahsenem, Barsama ve Sosun istasyonları için M entropi parametreleri sırasıyla 1.40, 1.30, 0.85 ve 1.22 olarak hesaplanmıştır. Literatürde verilen, aynı havzadaki doğal akarsularda benzer bir doğrusal ilişki olduğundan bahsedilerek, bu ilişkinin olması için akarsuların aynı havzada olmasa bile benzer karakteristikler sergilemesinin yeterli olacağı belirtilmiştir. Ölçüm alınan dört istasyonun akım karakteristikleri birbirine benzer olduğundan bu istasyonlar için genel bir M entropi parametresi belirlenebileceği ifade edilerek, istasyonların ortalamasının alınmasıyla $M=1.31$ olarak hesaplanmıştır. Bu genel M değerinin hesaplanmasında 22 farklı akım durumu için ölçülen maksimum hız değerleri (u_{mak}) kullanılmıştır. Dört istasyon için, bu yöntemle hesaplanan debilerle, arazide ölçülen debiler arasındaki ortalama bağıl hata %5.4 olarak hesaplanmıştır. Ayrıca, u_{mak} maksimum akım hızı, H su derinliği, h su yüzünden maksimum hızın bulunduğu noktaya kadar olan düşey uzaklık, y kıyıdan ölçümün alındığı noktaya kadar olan yatay uzaklık, B enkesit su yüzü genişliği, R hidrolik yarıçap ve $z_{mak}=H-h$ olmak üzere

U_{mak}/H ve z_{mak}/H oranlarının y/B oranı 0.2 ile 0.8 arasında dört istasyon için sabit olduğu belirlenmiştir. Özellikle geniş nehirlerde ($B/R \geq 20$) bu yöntemin iyi sonuçlar verdiği vurgulanmıştır. Bütün istasyonlarda bu sabit oranlar yardımıyla, kolayca ölçülebilen su derinlikleri kullanılarak u_{mak} ve z_{mak} değerlerinin belirlenebileceği ifade edilmiştir.

Corato vd. [41], İtalya’da Po Nehri üzerinde Pontelagoscuro’nun elde ettiği akım verilerini incelemişlerdir. Yüksek taşkınlar sırasında oluşacak hız profillerinin belirlenmesi amacıyla üç farklı yöntem ele almışlardır. Bunlardan ilk ikisi klasik logaritmik dağılıma eklemeler yaparak dalma etkisini dikkate almak için kullanılmıştır. Üçüncü yöntem ise maksimum su hızını kullanan entropi yöntemidir. Altı adet akım durumunda yöntemler uygulanmıştır ve hata oranları karşılaştırılmıştır. Yöntemlerin genel olarak hassas sonuç verdiği bildirilmiştir. Ancak taşkın anlarında tahmin süresi çok önemli olduğundan diğerlerinden daha pratik olan entropi yönteminin daha kullanışlı olduğunu belirtmişlerdir.

Ardıçlıoğlu vd. laboratuvar kanalında yaptıkları deneysel çalışmalar ile pürüzlü yüzeylerde logaritmik ve entropi dağılımlarının geçerli olduğu bölgeleri incelemişlerdir. Coles’un kuyruk fonksiyonu eklenmiş logaritmik dağılımın derinlik boyunca hız dağılımını oldukça iyi temsil ettiğini belirtmişlerdir. Pürüzlü yüzeylerde entropi parametresi M için yeni bir yaklaşım önermişlerdir [16-30-33].

2. BÖLÜM

YÖNTEM

2.1. Debi Hesap Yöntemleri

Açık kanallarda debi hesabı genel olarak üç farklı yöntemle yapılmaktadır Bunlardan ilki ampirik yaklaşımlardır. Ampirik yaklaşımlar Manning Denklemi, Chezy Denklemi, Darcy Weisbach denklemidir. İkinci yöntem ise deneysel metotlardır. Bu amaçla hız alan integrasyon yöntemi ve anahtar eğrileri kullanılmaktadır. Üçüncü olarak da yarı deneysel yöntemler olup bu grupta da su yüzü hızı ile debi hesabı ve entropi yöntemi ele alınacaktır. Literatürde yer alan ampirik denklemler pratikte yaygın olarak kullanılmaktadır ancak bu yöntem sonuçlarının çok da hassas olmadığı bildirilmektedir [42]. Deneysel çalışmalar; kesit özelliklerini daha iyi temsil ettiği ve anlık hız ölçümlerine dayandığı için daha gerçekçi sonuçlar vermektedir. Bu çalışmada ele alınan akarsu enkesitlerinde yapılan hız ölçümleri, hız alan integrasyon yöntemi, anahtar eğrileri ve entropi yöntemiyle debi hesabı yapılmıştır. Burada ele alınan yöntemler hakkında bilgilere yer verilmiştir.

2.1.1. Hız Alan İntegrasyon Yöntemi

Açık kanal akımlarında en kesit üzerinde yapılacak olan hız ölçümleri yardımı ile debi hassas olarak belirlenebilmektedir. Bu amaçla ele alınan enkesit dilimlere bölünür. Dilimlere ait ortalama hızlar farklı yöntemler ile belirlenerek dilim debileri belirlenebilmektedir. Literatürde dilim debilerinin toplam debinin %10'unu geçmemesi kendi içerisinde bulunduğu alanı temsil edebilecek şekilde en kesitin parçalara bölünmesi gerektiği belirtilmektedir. Parçalanmış alanların her birinden geçen debi toplanarak kesitten geçen akımın debisi gerçeğe en yakın şekilde hesaplanabilir.

Doğal akarsularda kesitin geometrik yapısı, kanal tabanının fiziki özellikleri, kanalın eğimi vb. nedenlerle kanal en kesitinde çok farklı akım şartları oluşur. Bu nedenlerle açık kanallarda akım özelliklerinin ve akım hızının belirlenmesi güç olmaktadır. Akım modellemesi çalışmalarında kesitte yer alabilecek değişimleri de göz önüne alan, kendi içerisinde benzer özellikler gösteren dilimlere ayırmak gerçeğe daha yakın sonuç elde edilmesini sağlayacaktır.

Benzer özelliklere sahip alanların ayrı ayrı ortalama hız ve debi değerleri hesaplanarak tüm bu alanların debi değeri toplanıp kanaldan geçen toplam debi elde edilmektedir.

Dilim debileri yönteminin uygulanma şekli, en kesiti, kesitten geçen akımı, yaklaşık eşit olacak şekilde temsil edebilecek dilimlere bölmektir (Şekil 2.1). Literatürde dilimlere ayırma işlemi gerçekleştirilirken, bölünen her bir dilimden geçen debinin akım toplam debisinin %10'unu geçmeyecek şekilde ayarlanması öngörülmektedir. Her bir dilime ait ortalama hızlar, o dilimi temsil edecek düşeyde yapılan noktasal hız ölçümleri yardımıyla belirlenir. Ele alınan düşeyde çok sayıda hız ölçümü olması durumunda bu düşeye ait ortalama hız, (2.1) denklemindeki gibi hesaplanabilir.

$$U_i = \frac{\sum a_j}{H_i} = \frac{\sum \frac{(u_j + u_{j+1})}{2} h_j}{H_i} \quad (2.1)$$

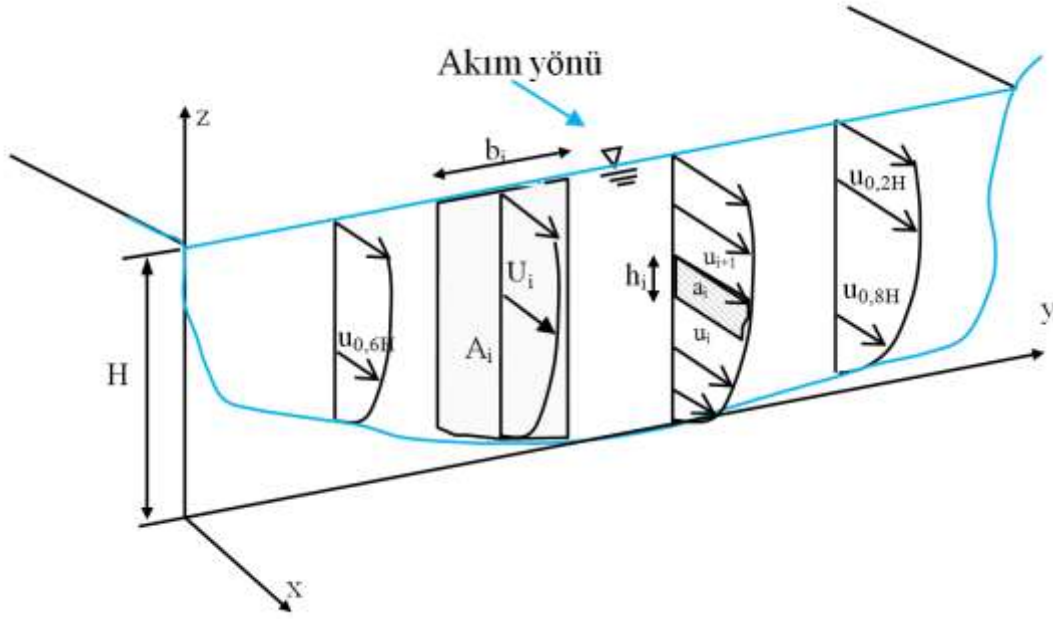
Burada U_i ; dilime ait ortalama hız, u_{j+1} ve u_j ; ele alınan düşeydeki ardışık hızlar, h_j ; bu iki hız ölçüm noktası arasındaki uzaklık, a_i ; ardışık iki hız eğrisi arasındaki alan ve H_i ; ölçüm yapılan düşeye ait akım derinliğidir.

(2.1) ifadesiyle hesaplanan düşeye ait hızın (2.2) ifadesiyle hesaplanan dilim alanı ile çarpılmasıyla o dilime ait debi belirlenebilir (q_i). Bu ifadede A_i dilime ait alan, b_i dilim genişliğidir. Kesitten geçen debi (2.4) ifadesinde verildiği üzere dilim debilerinin toplanmasıyla elde edilir. Burada n enkesitteki dilim sayısıdır.

$$A_i = b_i H_i \quad (2.2)$$

$$q_i = U_i A_i \quad (2.3)$$

$$Q = \sum_{i=1}^n q_i = \sum_{i=1}^n U_i A_i \quad (2.4)$$



Şekil 2.1. Ölçüm yapılan düşeyde ortalama hızın hesabı.

Pratikte dilim debileri belirlenirken ölçüm yapılan düşeyde, su yüzeyinden $0.2H$ ve $0.8H$ derinliğindeki hızların ortalamasının o dilime ait ortalama hızı temsil ettiği kabul edilir. Belirlenen bu dilim ortalama hızı yardımı ile (2.3) ve (2.4) ifadeleri kullanılarak kanal en kesitinden geçen debi hesaplanabilir. Literatürde bu yöntemin oldukça iyi sonuçlar verdiği bildirilmektedir. Akım derinliğinin az olduğu, sık sularda su yüzeyinden $0.6H$ derinlikteki hız ölçülerek bu hızın o dilime ait ortalama hız olarak kullanılması önerilmektedir [43].

2.1.2 Anahtar Eğrisi Yöntemi

Bir kesitte debi ve derinlik değerleri arasında çizilen eğriye Anahtar Eğrisi denir. Farklı akım koşullarında seviye ve debi ölçümleri yapılarak anahtar eğrileri oluşturulur. Kanal debisinde küçük bir artış sonucunda büyük bir seviye artışının olması, kesitin dar, derin ve taşkın yatağı içermediğinin bir göstergesi olabilmekte iken bunun tersi hali de mümkündür.

Anahtar eğrisinin çıkarıldığı kesitte seviye ve debi arasında belirli ve tek bir bağlantının bulunması gerekir, böyle bir kesite kontrol kesiti denir. Ancak bazı nedenlerle böyle bir kesitte anahtar eğrisi zamanla değişebilir. Bunun bir nedeni akarsu kesitinde zamanla değişiklikler olmasıdır (tabanın taranması, köprü yapımı ve bitkilerin yetişmesi gibi).

Alüvyonlu akarsularda tabanın hareketli olması nedeniyle oyulma ve yığılmalar sonucunda anahtar eğrisi değişebilir. Bu nedenlerle kesitin anahtar eğrisinin değişip değişmediğini arada bir (yılda birkaç defa) kontrol etmek gerekir. Kontrol sonucunda ölçülen debiye karşı gelen seviyenin anahtar eğrisindeki değerden farklı olduğu görülürse anahtar eğrisi aradaki fark kadar kendisine paralel olarak kaydırılır (şift uygulama). Özellikle taşkınlardan sonra bu kontrolü yapmak gerekir. Akarsuyun buz tutması da buz ile sürtünme ve su yüzeyi kotunun okunmasındaki zorluk yüzünde anahtar eğrisini değiştirir. Bu bakımdan buz örtüsünün bulunması hali için ayrıca bir anahtar eğrisi elde etmek gerekir [44].

Anahtar eğrisinin çıkarıldığı kesitin kontrol kesiti olmaması halinde debi-seviye bağlantısı tek değerli olmaz. Örneğin su yüzü eğiminin değişmesi halinde (barajların kabarma eğrisi içinde kalan kesitlerde, bir hareketli bağlamanın veya köprünün arkasında, bir gölün veya akarsuya bir kolun karıştığı yerin memba tarafında) anahtar eğrisi de eğime bağlı olarak değişir.

Yüksek sularda debi ölçümü çok güç olduğu için anahtar eğrisini yüksek debilere doğru uzatmak gerekir. Fakat anahtar eğrisinin ölçülmüş olan debilerin yukarısındaki bölgede ekstrapolasyonu her zaman iyi sonuç vermez. Bu iş için kullanılan yöntemlerden biri Q debisi ile H seviyesi arasında şöyle bir bağıntı kabul etmektedir.

$$Q = K(H - H_0)^n \quad (2.5)$$

Bu bağıntıdaki K , H_0 ve n sabit değerleri o istasyonda ölçülmüş değerlerden elde edilir. Bunun için (2.5) denkleminin logaritmik kağıt üzerinde bir doğru şeklinde görünmesinden faydalanılır. H_0 değeri $\log Q$ ile $\log (H - H_0)$ arasındaki bağıntıyı doğrusal bir bağıntıya yaklaştıracak şekilde deneme ile belirlenir. Seviyenin farklı bölgelerinde (alçak, orta ve yüksek sularda) sabitler farklı değerler alabilir. Ortalama hız için Chezy ya da Manning formülünün kabul edilmesiyle de buna benzer bir bağıntıya varılır [44].

2.1.3. Manning Denklemi

Akarsularda akım ölçümleri, çevresel etkenler, doğa şartları ve akım özellikleri gibi birçok nedene bağlı olarak yerinde yapılan çalışmalarla gerçekleştirilememektedir. Bu belirsizlik de araştırmacıları birçok ampirik formül geliştirmeye yönlendirmiştir. Bu formüllerin en bilineni

ifadenin kolay kullanımı ve çoğu zaman gerçeğe yakın sonuç vermesi nedeniyle yaygın olarak kullanılan Manning-Strickler eşitliğidir. Manning (1895) açık kanallardaki üniform akımların hesaplarında en çok kullanılan formül olarak (2.6) ifadesini önermiştir. Hidrolik yarıçap ve kanal eğiminin bilindiği durumlarda pürüzlülük şartlarına bağlı olarak debi hesabı Manning-Strickler eşitliği ile kolaylıkla yapılabilmektedir.

$$U = \frac{1}{n} R^{2/3} S^{1/2} \quad (2.6)$$

Burada U ; akımın en kesitteki ortalama hızı, n ; Manning pürüzlülük katsayısı, R ; hidrolik yarıçap olup $R=A/P$ ifadesi ile belirlenmektedir. Burada A ; ıslak en kesit alanı ve P ; ıslak çevreyi ifade etmektedir. S ; enerji çizgisinin eğimi olup, üniform akımlarda su yüzü ve kanal taban eğimine eşit alınabilir. Formülün kullanımındaki en büyük sıkıntı kanal şartlarına bağlı olarak pürüzlülük katsayısı n 'in gerçeğe yakın olarak belirlenebilmesidir. Manning pürüzlülük katsayısı n 'in belirlenmesine etki eden faktörler yüzey malzeme özelliği (n_0), kanal boy kesit düzensizliği (n_1), kanal en kesit düzensizliği (n_2), kanaldaki engeller (n_3), kanal tabanı bitki dokusu (n_4) ve kanalın yataydaki eğimi (m_5)' dir. Bütün bu faktörlerin etkisi göz önüne alınarak Manning pürüzlülük katsayısı $n=(n_0+n_1+n_2+n_3+n_4)m_5$ formülü ile hesaplanabileceği Chow tarafından önerilmiş ve farklı kesit özellikleri için tablolar verilmiştir. Bu değerler Tablo 2.1'de yer almaktadır. Ele alınan herhangi bir kesit için bu tabloda yer alan değerlerle Manning pürüzlülük katsayısı n belirlenebilmektedir. Ancak kesitin bu fiziki özelliklerinin doğru bir şekilde tespit edilmesi; pürüzlülüğün belirlenebilmesi ve buna bağlı olarak da kesitten geçen debinin belirlenebilmesi bakımından ciddi bir öneme sahiptir. Tablo 2.1'de belirtilen değerlerin yanı sıra aşağıdaki Tablo 2.2'de ise Manning pürüzlülük katsayısı için farklı yüzeylere ait alınabilecek minimum ve maksimum değerler verilmiştir [45]. Bu değerlere bakılarak hesaplanan pürüzlülük değerlerinin kesiti tam olarak temsil edip edemediği kontrol edilebilmektedir.

Tablo 2.1. Chow tarafından tavsiye edilen pürüzlülük değerleri.

Kanal Durumu		Değer	
Malzeme içeriği	Toprak	n ₀	0.02
	Kaya Parçaları		0.025
	Mıcır		0.024
	İri Mıcır		0.028
Düzensizlik derecesi	Pürüzsüz	n ₁	0
	Küçük		0.005
	Orta		0.01
	Şiddetli		0.02
Kanal kesitinin değişimi	Tedrici	n ₂	0
	Nadiren değişen		0.005
	Sık sık değişen		0.01-0.015
Engellemelerin nispi etkileri	İhmal edilebilir	n ₃	0
	Küçük		0.01-0.015
	Kayda değer		0.02-0.03
	Şiddetli		0.04-0.06
Bitki Örtüsü	Düşük	n ₄	0.005-0.01
	Orta		0.01-0.025
	Yüksek		0.025-0.050
	Çok yüksek		0.05-0.1
Kıvrım Derecesi	Küçük	m ₅	1
	Orta		1.15
	Şiddetli		1.3

Tablo 2.2. Zemin cinslerine göre kullanılacak minimum ve maksimum Manning pürüzlülük katsayıları.

Manning Katsayısı		
Zemin Cinsi	n	
	min	mak
Düzgün çimento yüzey	0.010	0.013
Pürüzsüz metal kanallar	0.011	0.015
Dökme beton	0.011	0.013
Çimento harçlı tuğla	0.012	0.017
Çok düzgün tabii akarsular	0.025	0.033
Çok pürüzlü akarsular	0.045	0.060
Çok yabani otlı akarsular	0.075	0.150

2.1.4. Su Yüzü Hızı ile Debi Hesabı

Akarsularda su yüzü hızı (u_{sy}) ile ortalama hız (U) arasında doğrusal bir ilişki olduğu bilinmektedir. Bu ilişki en kesit için doğru bir şekilde belirlendiğinde kesite ait ortalama hızın belirlenmesi mümkün olmaktadır. Belirlenen ortalama hız ile de kesite ait debi hesaplanabilmektedir. Yöntem pratikte kolay olarak gerçekleştirilebilmektedir. Dikkatli bir su yüzü hızı ölçümü ile debi hesabı kolay bir şekilde yapılabilir.

Bu yöntemde dikkat edilmesi gereken en önemli konu su yüzü hızının doğru bir şekilde tespit edilebilmesidir. Bu amaçla akarsu üzerinde su yüzü hızının ölçülmesi için başlangıç ve bitiş noktaları belirlenerek bu iki nokta arasındaki mesafe ölçülmelidir. Literatürde bu mesafenin kesit genişliğinin yaklaşık on katı olması tavsiye edilmektedir. Belirlenen bu bölgede su yüzü hızı ile eşit hızda hareket edebilen bir malzeme (ağaç parçası, yaprak vs.) ve bir zaman ölçme cihazı yardımıyla ele alınan parçacığın o mesafeyi ne kadar sürede aldığı belirlenerek su yüzü hızı (2.7) ifadesi yardımıyla bulunmaktadır. Bu ifadede L_{sy} ; alınan yol t ise bu yolun alındığı süredir.

$$u_{sy} = L_{sy} / t \quad (2.7)$$

Su yüzü hızı ortalama hızdan büyük olmaktadır. Yapılan çalışmalarda su yüzü hızı ile ortalama hızın hesabının (2.8) ifadesindeki gibi bir denklemle yapılacağı bildirilmiştir.

$$U = k_{sy} u_{sy} \quad (2.8)$$

Buradaki k_{sy} katsayısının derin sularda 0.8 ile 0.9 aralığında değiştiği ve genel olarak 0.85 alınabileceği bildirilmektedir. Sığ sularda ise bu katsayının 0.67 civarında hesaplandığı belirtilmiştir [46].

2.1.5. Entropi Yöntemi ile Debi Hesaplanması

Bu bölümde Chiu tarafından açık kanallarda hız dağılımını formüle etmek için olasılık dağılımını esas alan entropi yöntemi ile debi hesabı ele alınmıştır. Bu yöntem entropiyi maksimize etme temeline dayanılarak geliştirilen istatistiksel bir yöntemdir. Bu yöntemin esası akarsuda ele alınan kesite ait ortalama (U) ve maksimum hızların (u_{mak}) oranının değişmemesidir. Benzer bulgular Xia [47] tarafından da verilmiştir. Bu sabit oran (2.9) ifadesi ile verilen M entropi parametresi ile gösterilmiştir.

$$\Phi = \frac{U}{u_{mak}} = \frac{e^M}{e^M - 1} - \frac{1}{M} \quad (2.9)$$

Kesite ait bilinen M parametresi yardımı ile maksimum hızın ölçülmesi durumunda ortalama hız; dolayısıyla debi kolaylıkla belirlenebilmektedir. Maksimum hızın enkesit üzerindeki yeri ve konumu ortalama hıza göre daha kolay belirlenebilir. Literatürde bir enkesitte maksimum hızın, kesitin ortalarında ve en derin olan düşeyde oluşacağı vurgulanmaktadır [48]. Bu düşeyde yüzeye yakın yapılacak birkaç hız ölçümü neticesinde enkesitteki maksimum hızı belirlenebilir. Geometrik olarak kolayca belirlenebilen en kesit alanı ve ölçülen maksimum hız yardımı ile kesitten geçen debi (2.10) ifadesi kullanılarak hesaplanabilir.

$$Q = UA \quad (2.10)$$

Bu ifadede Q ; kesitten geçen debi, U ; ortalama hız ve A da kesit alanıdır.

2.2. Akarsularda Hız Dağılımı

2.2.1 Logaritmik Dağılım

Açık kanal akımlarında enkesit boyunca hız dağılımının bilinmesi kanalların boyutlandırılması ve akımın özelliklerinin belirlenmesi için gereklidir. Enkesit üzerinde kayma gerilmesinin belirlenmesi, enerji kayıplarının, sediment taşınımının ve türbülans yapısının incelenmesinde hız dağılımının tanımlanması gerekir. Geniş kanallarda ($B/H \geq 5-10$) kesit orta bölgesindeki hız dağılımı yan duvarlardan etkilenmediği için akım genelde iki boyutlu kabul edilir. Bu nedenle geniş kanallarda boru akımları için kullanılan hız ifadelerinin açık kanallar içinde kullanılacağı ancak serbest su yüzeyi etkilerinin göz önüne alınması amacıyla bu ifadelerdeki katsayıların açık kanalar için yeniden belirlenmesi gerektiği Rouse tarafından bildirilmiştir [49].

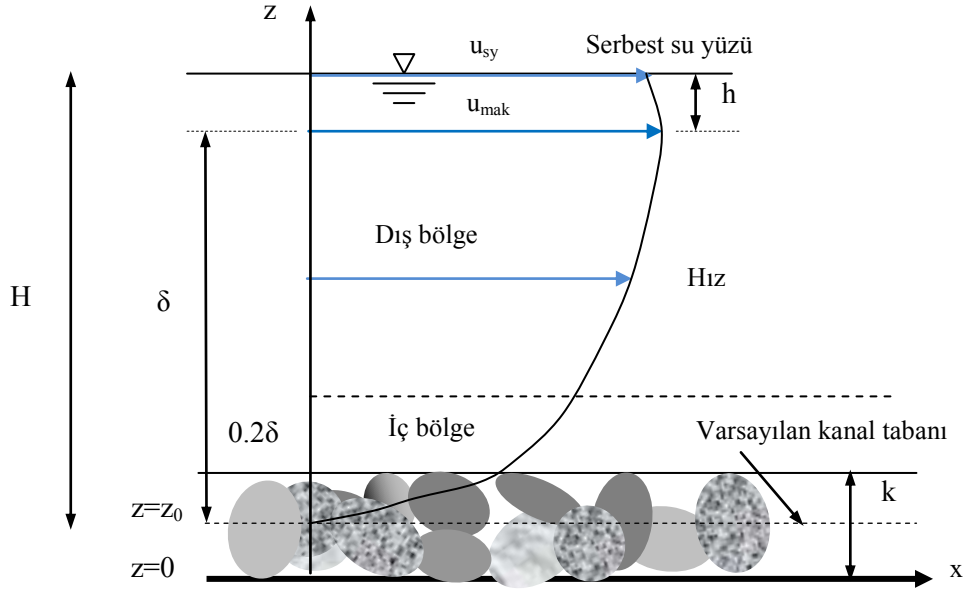
Dairesel borular ve düz yüzeyler üzerindeki türbülanslı akımların hız dağılımını veren ifadelerin belirlenmesi Prandtl [50] ve von Karman'ın [51] boru akımları üzerindeki teorik araştırmaları ile başlamıştır. Yapılan çalışmalarda katı sınır yakınlığında yani viskoz kuvvetlerin etkisi altındaki alt tabakada doğrusal hız dağılımının geçerli olduğu ifade edilmiştir. Katı sınırdan uzaklaştıkça akımda türbülans etkisinin baskın olduğunu ve bu

bölgedeki hız dağılımının Velocity Defect Law (noksan hız dağılımı) ve Law of the Wall (duvar kanunu) dağılımları ile temsil edilebileceğini bildirmişlerdir. Coles [52] duvar kanununa ampirik bir fonksiyon ilave ederek tüm sınır tabakası boyunca iç ve dış bölgede geçerli olan hız dağılım ifadesini önermiştir.

Doğal akarsularda akım genellikle pürüzlüdür ve birçok parametreye bağlı olan akım özelliklerini belirlemek zordur. Pürüzlü yüzeylerdeki malzeme özelliklerini gösteren en önemli parametre Nikuradse'nin eşdeğer kum yüksekliği olarak bilinen k_s parametresidir. Bu parametre malzemenin şekline, yüksekliğine ve dağılımına bağlı olup genellikle $k_s \approx (3-6)k$ aralığında değişir[53]. Burada k Şekil 2.1'de görüldüğü üzere kanal tabanındaki malzemenin çapıdır. Deneysel çalışmalara göre kanal tabanındaki malzemenin üniform ve düzenli olması durumunda Nikuradse'nin eşdeğer kum pürüzlülüğü, k_s , kanal malzemesi gerçek çapı olan k ya yakın değer almaktadır [54].

Deneysel çalışmalara bağlı, iki boyutlu açık kanal akımları türbülansın varlığı ve katı sınırın etkisi ile iç ve dış bölge olmak üzere ikiye ayrılır. Duvar kayma gerilmesinin etkin olduğu iç bölgenin yüksekliği sınır tabakası yüksekliğinin, δ , %10-20'si civarındadır. İç bölgedeki hız dağılımı logaritmik dağılım tarafından iyi bir şekilde tanımlanmaktadır. Diğer taraftan, dış bölge sınır tabakası kalınlığının büyük bir kısmını oluşturur. δ , sınır tabakası yüksekliği maksimum hızın meydana geldiği yükseklik olup Şekil 2.2'de gösterilmiştir. Şekilde u_{sy} ; su yüzü hızı, u_{mak} ; δ yüksekliğindeki en yüksek hız, H ; su derinliği, z_0 ; hızın sıfır olduğu yükseklik ve k ; malzeme pürüzlülük yüksekliğidir.

Doğal akarsularda katı sınır özellikleri rastgele ve geniş aralıklarda değişebilmektedir. Çoğu zaman pürüzlü özelliğe sahip olan bu yüzeylere ait pürüzlülük katsayıları k , literatürde detaylı olarak incelenmiştir [55]. Doğal akarsularda logaritmik dağılım incelendiğinde su yüzüne yakın bölgedeki dalma etkisi (deep-effect) klasik logaritmik dağılımla tam olarak temsil edilememektedir. Bu bölgenin temsil edilebilmesi için birçok çalışma yapılmaktadır. Bu çalışmalarda logaritmik dağılıma çeşitli değişiklikler uygulanarak dalma etkisini temsil edecek yeni logaritmik dağılımlar geliştirilmektedir (modifiye-logaritmik dağılım).



Şekil 2.2. Pürüzlü yüzey üzerindeki türbülans sınır tabakası ve hız profili.

2.2.1.1 Cilalı ve Pürüzlü Akım Şartları

Açık kanallarda akım hidrolik olarak cilalı veya pürüzlü olabilir. Cilalı akım taban düzensizliklerinin çok küçük olduğu durumlarda, örneğin pürüzlülük elemanlarının tamamen laminar alt tabakada kaldığı durumlarda ortaya çıkar. Bu yüzden cilalı akımlarda taban pürüzlülüğü hız dağılımına etki etmez [55]. Artan Reynolds sayısı ile viskoz alt tabaka küçülür ve pürüzlülük yüksekliği viskoz alt tabakayı aşarak akım geçiş durumuna girer. Daha büyük Reynolds sayılarında, viskoz alt tabaka daha fazla küçülerek, pürüzlülük yüksekliği akım davranışına daha çok etki eder.

Henderson tarafından yapılan sınıflandırmaya göre, akış hidrolik cilalı ise,

$$\frac{u_* k_s}{\nu} < 4 \quad (2.11)$$

Geçiş durumunda ise,

$$4 < \frac{u_* k_s}{\nu} < 100 \quad (2.12)$$

ve tam pürüzlü ise,

$$100 < \frac{u_* k_s}{\nu} \quad (2.13)$$

Burada, $\nu = \mu / \rho$ suyun kinematik viskozitesi ve u_* kayma hızı aşağıdaki gibi ifade edilir [56].

$$u_* = \sqrt{\frac{\tau_0}{\rho}} = \sqrt{gRS} \quad (2.14)$$

Bu ifade de R ; hidrolik yarıçap ve S ; enerji çizgisinin eğimi olup üniform akımlarda serbest su yüzü ve kanal taban eğimine eşittir.

2.2.1.2 Cilalı Akımlarda Hız Dağılımı

Açık kanal akımının tanımlanması için akışkanın hareket denklemini ele almak gerekir. Sürtünmeli sıkışmayan akışkanlarda hareket denklemleri Navier-Stokes denklemleri ile verilmiştir. Bu eşitlikler türbülanslı akımlar için Reynolds denklemleri olarak anılır ve analitik olarak çözümü bulunmamaktadır [54].

Şekil 2.3'te görüldüğü gibi düz bir tabanda bir boyutlu düzenli uniform akımda $u=u(z)$, $v=0$, $w=0$ ifadeleri tanımlı olduğuna göre Reynolds denklemlerinde verilen x doğrultusundaki kütleli kuvvet ve basınç gradyanının ihmal edilmesi ile:

$$\mu \left(\frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) - \frac{\partial}{\partial z} (\rho \overline{u'w'}) = 0 \quad (2.15)$$

Şeklinde yazılabilir. Bu ifade z doğrultusunda integre edildiğinde;

$$\mu \frac{du}{dz} - \rho \overline{u'w'} = C \quad (2.16)$$

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

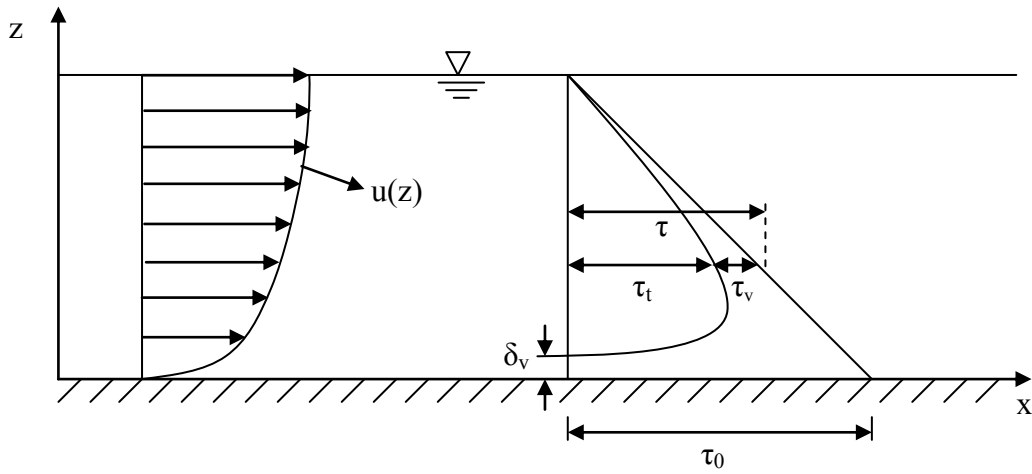
(2.16) ifadesinde C integrasyon sabitini bulmak için sınır şartı: $z=0$ da $u'w'=0$ ve $\mu du/dz=\tau_0$ dır. Buradan $C=\tau_0$ bulunur. Bu durumda (2.16) ifadesi aşağıdaki forma girer:

$$\mu \frac{du}{dz} - \rho \overline{u'w'} = \tau_0 \quad (2.17)$$

Görüldüğü gibi türbülanslı akımın herhangi bir noktasında iki tür gerilmekten bahsetmek gerekir. Bunlar viskoz gerilme (τ_v) ve türbülans gerilmesi (τ_t) dir. Yani toplam gerilme (2.18) ifadesindeki gibi verilebilir. :

$$\tau = \tau_v + \tau_t = \mu \frac{du}{dz} - \rho \overline{u' w'} \quad (2.18)$$

Şekil 2.3' de bu iki gerilme toplamının akım kesiti üzerinde nasıl değiştiği deneysel olarak gösterilmiştir.



Şekil 2.3. Türbülanslı üniform akımda kayma gerilmesi dağılımı.

2.2.1.3. Viskoz Alt Tabakada Çözüm

Katı sınır yakınlarda çok küçük bir bölgede viskoz kuvvetler hakimdir. Viskoz alt tabaka olarak adlandırılan bu bölgenin kalınlığı çok küçük olup toplam sınır tabakası kalınlığının (δ) yaklaşık olarak % 0.1-1.0'ını oluşturur. Hareket denklemi bu bölge için aşağıdaki şekle indirgenir:

$$m \frac{du}{dz} = t_0 \quad (2.19)$$

$z=0$ için $u=0$ sınır şartı kullanılarak (2.19) ifadesi integre edilirse:

$$u = \frac{t_0}{m} z \quad (2.20)$$

Bu ifade kayma hızı $u_* = \sqrt{\frac{t_0}{\rho}}$ ile boyutsuzlaştırılırsa:

$$\frac{u}{u_*} = \frac{u_* z}{u} \quad (2.21)$$

Doğrusal hız dağılım ifadesi elde edilir.

2.2.1.4. Türbülanslı Bölgede Çözüm

Sınırdan uzak bölgelerde çalkantı gerilmeleri hakimdir. Sınır tabakasının belli bir kesiminde

$m \frac{d\bar{u}}{dz}$ terimi ihmal edilebilir. Böylece türbülanslı bölge için Reynolds hareket denklemi

Prandtl'ın karışma boyu teoremi $[u' = v' = c z (du / dz)]$ kullanılarak;

$$r c^2 z^2 \frac{du}{dz} = t_0 \quad (2.22)$$

şeklinde yazılabilir. Buradan

$$\frac{du}{dz} = \frac{1}{c z} \sqrt{\frac{t_0}{r}} \quad (2.23)$$

elde edilir ve $u_* = \sqrt{\frac{t_0}{r}}$ yazılarak (2.23) ifadesi integre edildiğinde boyutsuz hız dağılımı için

$$\frac{u}{u_*} = \frac{1}{c} \ln z + C_0 \quad (2.24)$$

denklemi bulunur. Görüldüğü gibi türbülanslı bölgede akıma dik doğrultudaki hız logaritmik bir dağılım göstermektedir. $z=H$ için $u = u_{mak}$ sınır şartı kullanılarak (2.24) ifadesindeki hız dağılımı;

$$\frac{u}{u_*} - \frac{u_{mak}}{u_*} = \frac{1}{c} \ln \frac{z}{H} \quad (2.25)$$

Şeklinde elde edilir ki bu düz tabandaki türbülanslı üniform akımda Prandtl'ın universal hız dağılım ifadesidir ve literatürde “Velocity Defect - Noksan Hız” dağılımı olarak anılır.

Türbülanslı bölgede hız dağılımının ifadesi için geliştirilen diğer bir ifade de “Law of the Wall – Duvar Kanunu” dağılımıdır.

$$\frac{u}{u_*} = A_L \ln \frac{u_* z}{u} + B_L \quad (2.26)$$

Bu ifade de B katı sınır özelliklerine bağlı bir sabittir.

Logaritmik bölgedeki hız dağılımını gösteren (2.26) ifadesindeki A_L ve B_L sabitlerinin belirlenmesi için açık kanallarda birçok deneysel çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalarda A_L değerinin 2.43-2.86 ve B_L değerinin ise 3.8-7.0 arasında değiştiği görülmüştür [57].

2.2.1.5. Pürüzlü Açık Kanal Akımlarında Hız Profili

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

$$\frac{u}{u_*} = \frac{1}{c} \ln \frac{\chi z}{k_s} + B_p \quad (2.27)$$

Bu ifadede u ; düşey doğrultudaki noktasal hız, u_* ; kayma hızı, $\chi=0.40$; von Karman sabiti, z ; tabandan uzaklık, k_s ; Nikuradse'nin eşdeğer kum pürüzlülüğü, B_p ; integrasyon sabiti olup $B_p = 8.5 \pm \%15$ olarak Song ve Graf tarafından verilmiştir [58]. Bu sabit kullanılarak (2.27) denklemi aşağıdaki hali alır.

$$\frac{u}{u_*} = \frac{1}{c} \ln \frac{\chi z}{k_s / 30} \quad (2.28)$$

Nezu ve Nakagawa, logaritmik dağılımın sadece duvar bölgesinde geçerli olduğunu ve dış bölgedeki hız dağılımı sapmalarının Coles'un kuyruk fonksiyonu ile hesaplanabileceğini bildirmiştir [52-59].

Kırkgöz, tam gelişmiş pürüzlü sınır tabakası akımında iç bölgede ($100 < u_* z / \nu < 400$) hız dağılımının (2.29) ifadesi ile tanımlanabileceğini bildirmiştir [60-61].

$$\frac{u}{u_*} = 2.44 \ln \frac{u_* z}{\nu} - 0.8 \quad (2.29)$$

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

2.2.2. Üstel Dağılım

Nikuradse [62] cilalı boru akımlarda hız dağılımını Reynolds sayısının belli bir aralığında üstel ifade ile (Power law) gösterilebileceğini belirtmiş, daha sonra Kandula ve ark. [63] açık kanallarda yaptıkları deneysel çalışmalarda üstel ifadenin açık kanallardaki hız dağılımını göstermede kullanılabileceğini bildirmişlerdir. Üstel dağılım açık kanal akımlarında düşey hız dağılımının modellenmesinde kullanılmaktadır. Prandtl, katı sınıra çok yakın bölgeler hariç cilalı borulardaki türbülanslı akım için aşağıdaki üstel hız dağılımını vermiştir:

$$\frac{u}{u_{mak}} = \left(\frac{z}{D/2} \right)^{\frac{1}{m}} \quad (2.30)$$

Burada D ; boru çapı, m ; deney ile belirlenen bir katsayı olup Re sayısı ile aşağıdaki gibi değişmektedir [64]:

Re	4×10^3	$1,1 \times 10^5$	$\geq 2 \times 10^6$
m	6	7	10

Prandtl (1925), Blasius'un dairesel boru akımı için verdiği sürtünme denklemini ($\lambda = 0.3164/Re^{0.25}$) kullanarak Nikuradse tarafından verilen üstel hız dağılımını aşağıdaki gibi elde etmiştir: [50]

$$\frac{u}{u_*} = 8.74 \left(\frac{u_* z}{\nu} \right)^{\frac{1}{7}} \quad (2.31)$$

Bu ifade $Re \leq 10^5$ şartları için geçerli olup diğer Re sayıları için

$$\frac{u}{u_*} = a \left(\frac{u_* z}{\nu} \right)^{\frac{1}{m}} \quad (2.32)$$

şeklinde genelleştirilmiştir. Chen, üstel dağılımı (2.33) ifadesindeki gibi vermiştir.[65].

$$\frac{u}{u_*} = a \left(\frac{z}{z_0} \right)^m \quad (2.33)$$

burada z_0 ; kanal tabanında hızın sıfır kabul edildiği ($u=0$) derinliktir, a ve m de katsayı ve üstür. Pürüzlü açık kanal akımlarında z_0 ve k_s arasındaki ilişki logaritmik dağılımdan $z_0 = k_s/30$ şeklinde elde edilmektedir. Gonzales vd. ABD de doğal akarsularda Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP) kullanılarak yaptıkları ölçümlerde logaritmik ve üstel dağılımın ortalama hız dağılımını iyi temsil ettiğini, bu durumda üstel dağılımdaki $m = 1/6$ olarak alındığını bildirmişlerdir [66].

2.2.3. Entropi Dağılımı

Chiu, akım özelliklerini olasılık yaklaşımı ile incelemiş ve açık kanal akımları için entropi tabanlı 2 boyutlu hız dağılım fonksiyonu geliştirmiştir [67]. Chiu ve Said, ölçülen kanal kesitinde entropi parametresi M in sabit olduğunu ve bu sabitin ortalama hız, U , ile maksimum hız, u_{mak} , kullanılarak belirlenebileceğini göstermişlerdir [68]. Chiu iki boyutlu hız dağılımını şu şekilde elde etmiştir [67];

$$u = \frac{u_{mak}}{M} \ln \left[1 + (e^M - 1) \frac{\xi - \xi_0}{\xi_{mak} - \xi_0} \right] \quad (2.34)$$

Bu denklemde $(\xi - \xi_0)/(\xi_{mak} - \xi_0)$ toplam olasılık yoğunluk fonksiyonu, $\xi(y, z)$ eğrisel eksen takımı, $\xi = \xi_{mak}$, maksimum hızın olduğu eğri, $\xi = \xi_0$ kanal tabanındaki hızın sıfır olduğu eğri olup ξ , z 'nin fonksiyonu olarak (2.35) numaralı denklemde verildiği gibi tanımlanmıştır [65];

$$\xi = \frac{z}{H - h} \exp \left(1 - \frac{z}{H - h} \right) \quad (2.35)$$

(2.35) ifadesinde z ; kanal tabandan olan uzaklık, H ; akım derinliği ve h ; maksimum hızın olduğu derinliğin serbest su yüzünden olan mesafesini göstermektedir. Maksimum hız (u_{mak}) su yüzünün altında oluşması durumunda $h > 0$, aksi durumda $h \leq 0$ olacaktır. İki boyutlu hız dağılım denklemi de z ve h 'a bağlı olarak aşağıdaki gibi verilmiştir.

$$u = \frac{u_{mak}}{M} \ln \left[1 + (e^M - 1) \frac{z}{H - h} \exp \left(1 - \frac{z}{H - h} \right) \right] \quad (2.36)$$

(2.36) numaralı denklem 3 bilinmeyen parametreyi içermektedir. Bunlar; M , h ve u_{mak} olup, entropi parametresi M kesit ortalama hızı U ve maksimum hız u_{mak} 'a bağlı olarak (2.9) ifadesinde verildiği gibidir.

2.3. Acoustic Doppler Velocimeter (ADV)

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

- Doğal akarsularda ve sulama kanallarında,
- Fiziksel Modellerde,
- Dalga modellemelerinde,
- Sanat yapıları ve türbinler etrafındaki akımlarda,
- Gemi modellemelerinde,
- Çökelti (sediment) süspansiyon çalışmalarında,
- Göller, nehirler ve bataklıklarda kullanılmaktadır.

ADV aynı zamanda çok düşük hızlar içinde uygun tasarlanmış olup bu özelliğinden dolayı çökelti tanklarında yaygın olarak kullanılır. Özel uygulamalar için değişik başlık (probe) seçenekleri bulunmaktadır. Hız ölçümlerinde yatay ve dikey konumlandırılacak şekilde iki alternatif başlığı vardır. Başlıklar iki boyutlu ve üç boyutlu hız ölçümü yapabilecek özelliklerde üretilmektedir. Ölçümlerde kullanılan ADV üç doğrultuda (x , y ve z eksenleri doğrultusunda sırasıyla u , v ve w hızları) ölçüm yapabilmektedir. Doğrultular Şekil 2.1' de gösterilmiştir.

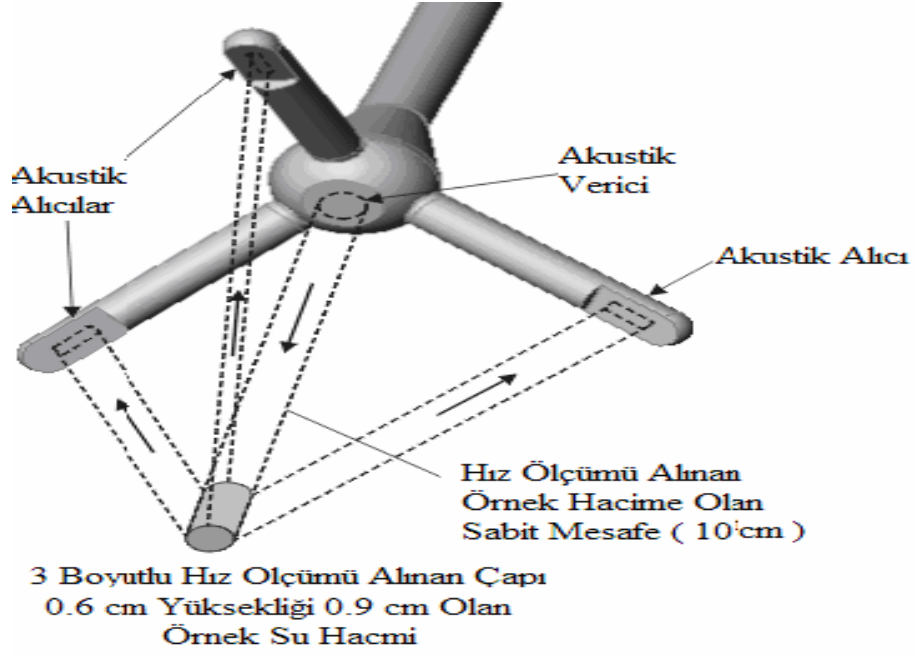
Akım hızları SonTek firmasına ait "Flow Tracker" isimli ADV ile ölçülmüştür (Şekil 2.4). Ultrasonik ses dalgalarının yayılma prensibini açıklayan Doppler prensibinden yararlanarak hız ölçmek için geliştirilen ADV cihazında; LCD ekran, bilgi girişi ve cihazın kontrolünde kullanılan düğmelerin bulunduğu kontrol ünitesi Şekil 2.4'de, veri aktarma bağlantısı ve 3

boyutlu ölçüm başlığı Şekil 2.5 ve 2.6’da görülmektedir. Cihaz 8 adet kalem pil ile çalışmaktadır.



Şekil 2.4. ADV kontrol paneli ve akustik ucu.

Hareketli bir akışkan içerisinde akışkan hızını tam olarak takip edebilen küçük gaz, duman, katı parçacıklar var ise bu taneciklerden saçılan dalganın frekansının ölçülmesi ile bu taneciklerin dolayısıyla akışkanın hızı ölçülebilir. Ölçüm başlığının 10 cm önündeki 6mm çap ve 10mm yüksekliğindeki silindir bir kontrol hacminin içerisindeki her bir doğrultudaki hız bileşenleri (u , v ve w), her bir saniyede ölçerek, 10sn ile 1000 sn arasında istenilen zaman aralığında ortalamasını belirlemektedir. Ölçüm hız aralığı $\pm 0.001\text{m/s}$ - 5m/s olup $\pm\%1$ hassasiyette ölçüm yapabilmektedir. Noktasal hız ve enkesit debi ölçme fonksiyonları bulunan aletin 4 MB’lık hafızası maksimum 64 data dosyasına ölçüm değerlerini kaydedebilmekte, RS-232 bağlantısı ile bilgisayara ölçüm değerlerinin aktarılması mümkün olmaktadır. Yine SonTek firmasına ait yazılım kullanılarak ölçümler verileri bilgisayara aktarılabilir. Bu dosyaların uzantısı *.wad* olup üretici firmaya ait yazılım ile 4 farklı dosya şeklinde genişletilmektedir. Bu dosyalardan akım ortalama hızları, ölçüm yükseklikleri, su sıcaklığı, ölçüm mesafesi, saniyede alınan anlık ve ortalama u , v , w değerleri, anlık SNR (Signal to Noise Ratio) değerleri belirlenebilmektedir.



Şekil 2.5. ADV'nin ölçüm aldığı su kütlesinin 3 boyutlu görünüşü.



(a)



(b)

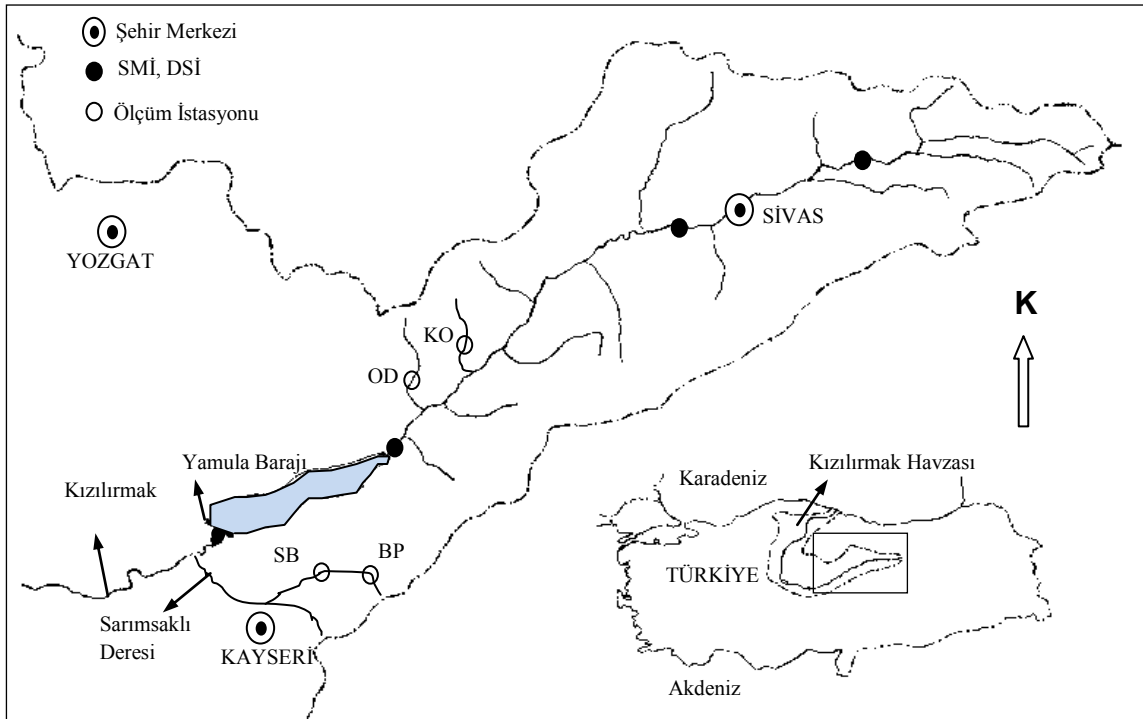
Şekil 2.6. (a) ve (b) ADV'nin ölçüm başlığı.

3. BÖLÜM

BULGULAR

3.1. Arazi Çalışmaları

Arazi çalışmaları Orta Kızılırmak Havzası'nda yer alan Kayseri ili yakınlarındaki derelerde gerçekleştirilmiştir. Bu çalışmada Bünyan ilçesinden geçmekte olan Sarımsaklı suyu üzerinde 2 adet, Felâhiye ilçesinden geçen ve aynı zamanda üzerinde DSI'nin de akım rasat istasyonu bulunan dereden 1 adet, Özvatan ilçesinden geçen derenin üzerinde 1 adet olmak üzere 4 farklı istasyon da hız ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Ölçümlerde Acoustic Doppler Velocitimeter (ADV) kullanılmıştır.



Şekil 3.1. Ölçüm istasyonlarının bölgedeki yerleri.

Ölçümlerde elde edilen hız ve derinlik değerleri kullanılarak integrasyon yöntemi ile debiler hesaplanmıştır. Bu yöntemle hesaplanan debiler kesitten geçen gerçek debi olarak kabul edilmiştir. Integrasyon yöntemi ile belirlenen bu debiler ile altı farklı yöntem ($0.2-0.8H$, $0.6H$, anahtar eğrisi, Manning denklemi, su yüzü hızı ve entropi) ile hesaplanan debiler arasındaki farklar irdelenmiştir. Her bir ölçüm durumunda ele alınan düşeylerdeki hız

dağılımları logaritmik, entropi ve üstel dağılım yöntemleri ile hesaplanmıştır. Ele alınan yöntemlere ait parametreler belirlenmiştir. Ölçüm değerleri ile hesap sonuçları arasındaki rölatif farklar hesaplanarak yöntemlerin geçerliliği irdelenmiştir.

3.1.1. Bünyan Pınarbaşı İstasyonu (BP)

Bu istasyon Bünyan ilçesinin yaklaşık 3.5 km doğusundan çıkan ve ilçe merkezinden geçerek Sarımsaklı Barajı'na dökülen Sarımsaklı Deresi üzerindedir. Derenin pınar ve kaynak şeklinde yüzeye çıktığı gözün yaklaşık 2.0 km mansabında belirlenen Bünyan Pınarbaşı (BP) İstasyonu'nda Tablo 3.1'de görüleceği üzere 2009–2010 yılları arasında 10 farklı zamanda ölçüm yapılmıştır. Şekil 3.2'de ölçüm yapılan istasyona ait resim verilmiştir. Şekilden görüleceği üzere ölçüm yapılan istasyonda derenin her iki kenarına kazık çakılarak akıma dik doğrultuda kılavuz ip çekilmiştir. Kılavuzun üzerinde sol kazıktan itibaren belirli aralıklarla derinlikler ölçülerek Şekil 3.3'de verilen enkesit belirlenmiştir. Ele alınan istasyonda her bir ölçüm durumunda benzer işlemler yapılarak enkesit geometrisi belirlenmiştir. Şekil 3.3'den görüleceği üzere BP_1 ölçümünde enkesit 7 dilime ayrılmıştır.

Ele alınan istasyonda kanal taban ve su yüzü eğiminin belirlenmesi amacıyla topografik ölçüm aletleri ile (nivo ve mira) boy kesit profili çıkartılmıştır. Bu amaçla ele alınan kesitin memba ve mansabında 20-30 m mesafe boyunca, belirli aralıklarda (2-3 m) kotlar ölçülmüştür. Şekil 3.4'te ölçüm yapılan istasyonda boykesit profilinin çıkartılmasında kullanılan nivo verilmiştir. Yine Şekil 3.5'te istasyona ait belirlenen boykesit profilleri ve bu profillere bağlı elde edilen kanal tabanı ve su yüzü eğimleri verilmiştir. Şekilden de görüleceği üzere kanal taban eğimi $S_0=0.0002$ eğimli ve su yüzü eğimi de $S_{sy}=0.002$ olarak hesaplanmıştır. Tablo 3.1'de ölçümlerde belirlenen su yüzü eğimleri (S_{sy}) verilmiştir.

İstasyondaki ölçümlerde ele alınan her bir dilimde kanal tabanına en yakın $z=4$ cm derinlikte ölçüm yapılmıştır. Derinlik boyunca 2cm arayla su yüzüne yakın ölçüm alınabilen noktaya kadar farklı derinliklerde hız ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Serbest su yüzü hızı yüzeye yakın son iki ölçüme bağlı olarak tahmin edilmiştir. Şekil 3.6 da BP_1 ölçümüne ait 1. Düşeyde (SI) elde edilen hız dağılımları verilmiştir. Şekil 3.6 (a) da akım doğrultusunda (x) elde edilen hız dağılımı (u), Şekil 3.6 (b) de ölçüm yapılan derinliklerdeki enkesit doğrultusundaki (y) hız dağılımı (v) ve Şekil 3.6 (c) de düşey doğrultudaki (z) hız bileşenlerinin dağılımı (w)

verilmiştir. Bu dağılımlardan görüleceği üzere akım doğrultusundaki hızlar diğer doğrultulara göre daha büyük olmaktadır.

Tablo 3.1’de Bünyan Pınarbaşı İstasyonu’nda gerçekleştirilen ölçümlere ait akım özellikleri verilmiştir. Bu tabloda Q ; kesitten geçen debi, H_{mak} ; kesitte ölçüm yapılan maksimum derinlik, A ; kesit ıslak alanı, $U (= Q/A)$; kesit ortalama akım hızı, u_{mak} ; kesitte ölçülen maksimum hız, S_{sy} ; serbest su yüzünün eğimi, $Re (=4UR/\nu)$ Reynolds sayısını göstermekte

olup burada R ; hidrolik yarıçap ve ν ; kinematik viskozitedir. $Fr \left(= \frac{U}{\sqrt{gH_{mak}}} \right)$; Froude

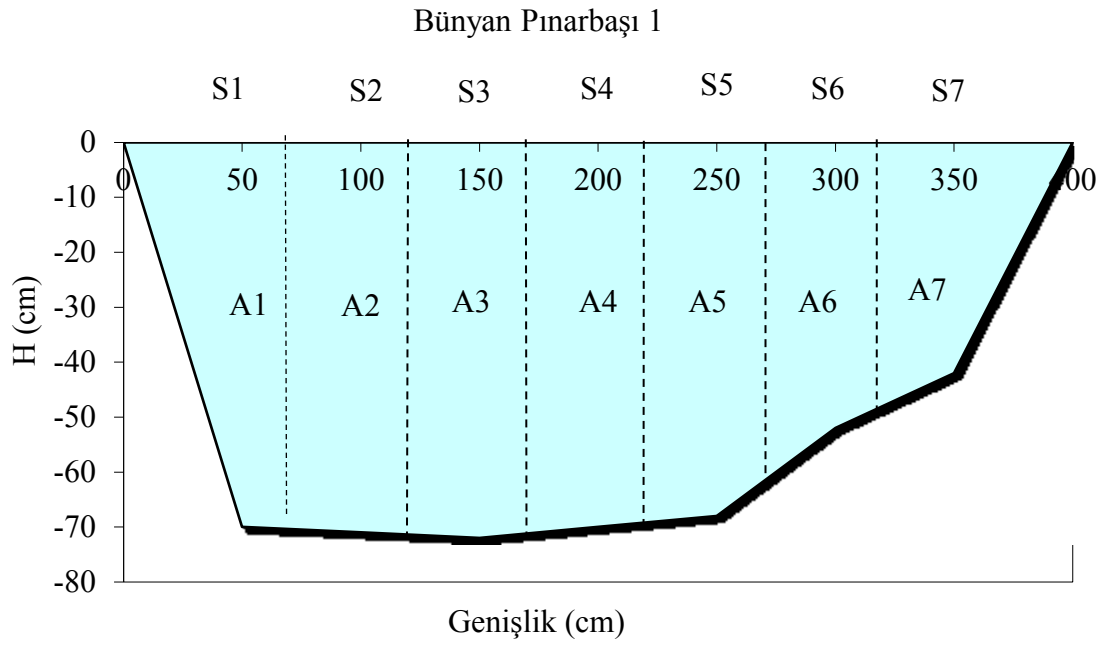
sayısını göstermektedir. Bu sayılardan görüleceği üzere ele alınan tüm ölçüm şartlarında akımlar türbülanslı ve kritik altı akım (Nehir Rejimi) durumundadır.

Tablo 3.1. Bünyan Pınarbaşı İstasyonu’na ait ölçümlerden elde edilen değerler.

	Tarihler	Q	H_{mak}	A	U	u_{mak}	S_{sy}	Re	Fr
Ölçüm	g/a/y	(m ³ /s)	(m)	(m ²)	(m/s)	(m/s)	-	-	-
BP_1	24.06.2009	0.788	0.72	2.225	0.354	0.595	0.00200	709345	0.13
BP_2	02.08.2009	0.434	0.66	2.030	0.214	0.412	0.00300	400581	0.08
BP_3	27.09.2009	0.636	0.72	2.110	0.301	0.593	0.00220	501312	0.11
BP_4	04.04.2010	1.082	0.85	2.670	0.405	0.687	0.00180	782049	0.14
BP_5	16.05.2010	1.188	0.86	2.793	0.426	0.671	0.00240	854129	0.15
BP_6	20.06.2010	0.708	0.79	2.475	0.286	0.557	0.00100	533980	0.10
BP_7	18.07.2010	0.467	0.74	2.308	0.202	0.489	0.00002	357112	0.07
BP_8	08.08.2010	0.458	0.82	2.344	0.195	0.428	0.00005	375016	0.07
BP_9	19.09.2010	0.612	0.88	2.751	0.222	0.491	0.00059	443368	0.08
BP_10	17.10.2010	0.865	0.91	3.084	0.280	0.726	0.00149	594421	0.09



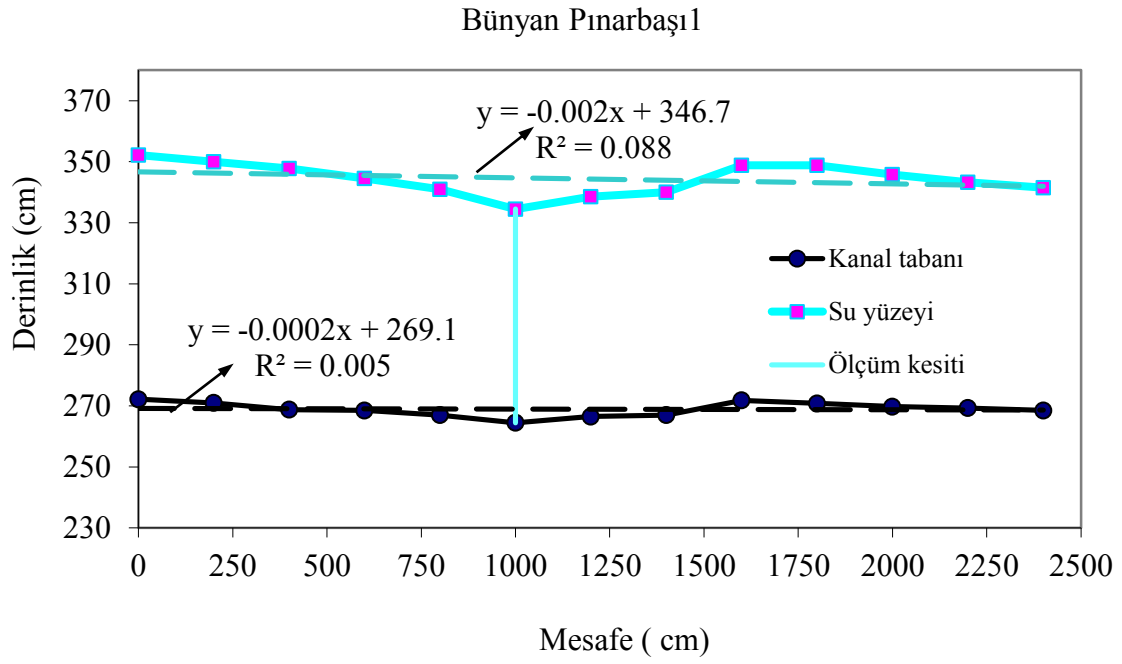
Şekil 3.2. Bünyan Pınarbaşı İstasyonu hız ölçümü çalışmaları.



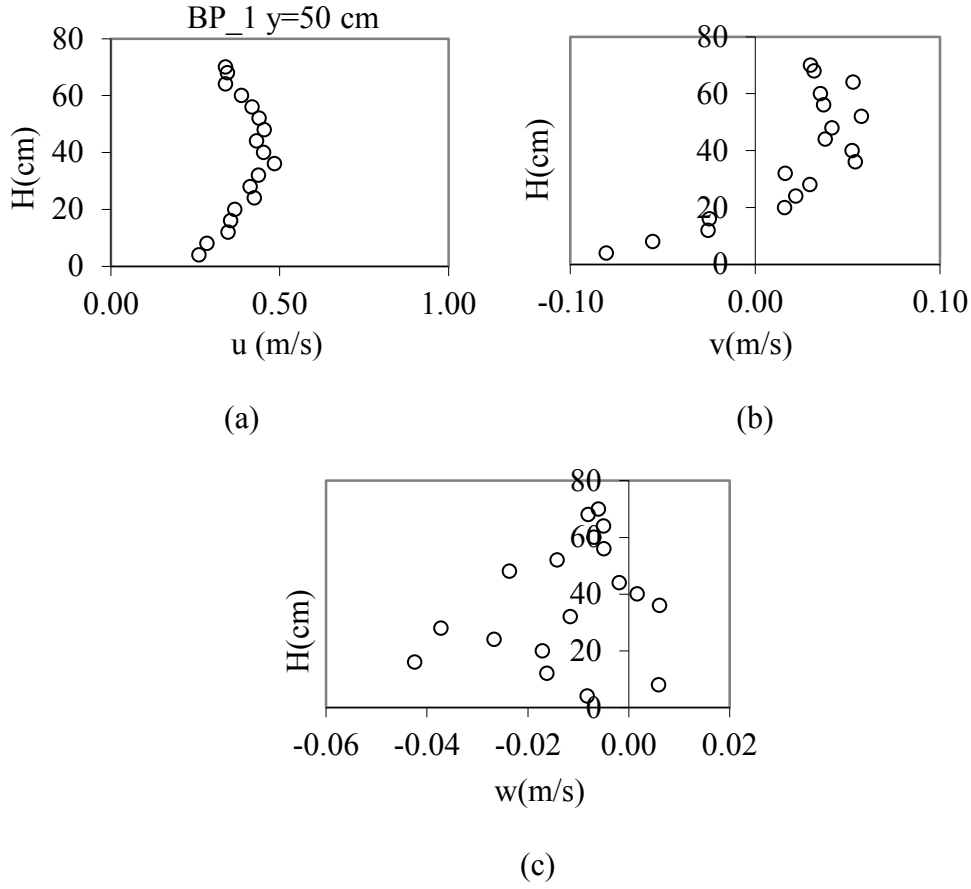
Şekil 3.3. Bünyan Pınarbaşı İstasyonu 1 numaralı ölçümde elde edilen en kesit.



Şekil 3.4. Bünyan Pınarbaşı İstasyonunda boykesit çalışmaları.



Şekil 3.5. Bünyan Pınarbaşı İstasyonu 1 numaralı ölçümde elde edilen boy kesit.



Şekil 3.6. (a),(b),(c) Bünyan Pınarbaşı İstasyonu 1 numaralı ölçümün 1. düşeyindeki x, y, z doğrultularındaki hız dağılımı grafikleri.

3.1.2. Sarımsaklı Baraj Girişi İstasyonu (SB)

Bu istasyon da (SB) Sarımsaklı Deresi üzerinde yer almaktadır. İstasyon Bünyan-Kayseri karayolu üzerindeki çimento fabrikası kavşağının 1.5 km kuzeyinde yer alan köprü ve aynı zamanda DSİ'nin eşelinin de bulunduğu bir kesittir. DSİ'nin bu akım rasat istasyonu aktif olarak halen kullanılmaktadır. Şekil 3.7'de ölçüm yapılan en kesit ve DSİ'nin eşeli görülmektedir. Şekilden de görüleceği üzere istasyon köprü girişinin hemen membasında beton kaplamalı bir kesittir. Sarımsaklı Baraj Girişi İstasyonu'nda (SB) Tablo 3.2'de görüleceği üzere 2009–2010 yılları arasında 7 adet ölçüm alınmıştır. Bahar aylarında ölçüm almak için kesite gidilmişse de debinin fazla olması nedeniyle ölçüm alınamamıştır. Ölçüm alınamayan tarihler 04.04.2010, 16.05.2010 ve 17.10.2010'dur.



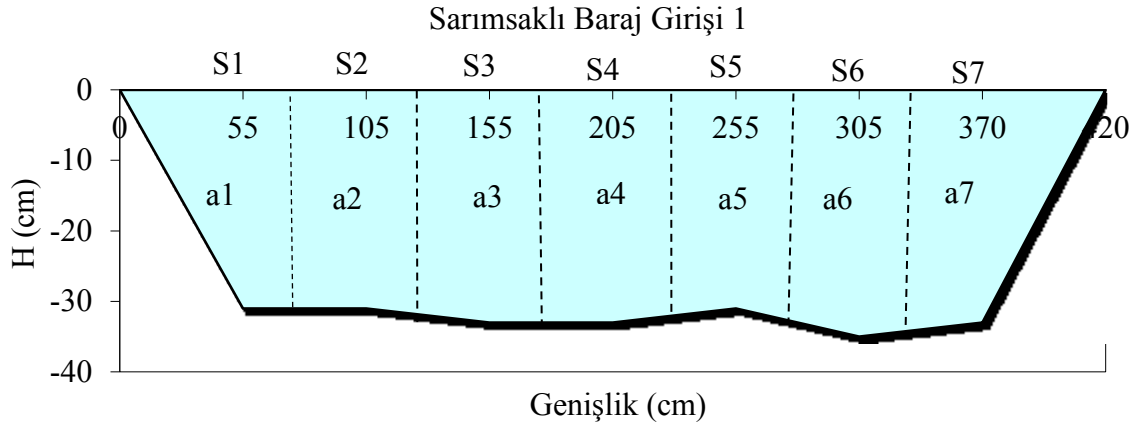
Şekil 3.7. Sarımsaklı Baraj Girişi İstasyonu.

Tablo 3.2. Sarımsaklı Baraj Girişi İstasyonu'na ait ölçümlerden elde edilen değerler.

	Tarihler	Q	H _{mak}	A	U	u _{mak}	S _{sy}	Re	Fr
Ölçümler	g/a/y	(m ³ /s)	(m)	(m ²)	(m/s)	(m/s)	-	-	-
SB_1	24.06.2009	1.178	0.35	1.194	0.987	1.393	0.002	1090452	0.53
SB_2	02.08.2009	1.021	0.32	1.146	0.891	1.192	0.006	803395	0.50
SB_3	27.09.2009	1.129	0.34	1.184	0.954	1.470	0.059	940566	0.52
SB_4	20.06.2010	1.657	0.41	1.5025	1.103	1.499	0.011	1265198	0.55
SB_5	18.07.2010	1.222	0.36	1.273	0.960	1.365	0.015	976778	0.51
SB_6	08.08.2010	1.053	0.32	1.159	0.909	1.193	0.016	1026493	0.51
SB_7	19.09.2010	1.322	0.36	1.300	1.017	1.451	0.052	1034764	0.54

Ele alanına kesit daha önce bahsedildiği gibi dilimlere ayrılmıştır. Şekil 3.8'de SB_1 ölçümünde elde edilen en kesite yer verilmiştir. Şekilde görüleceği üzere bu ölçüm için enkesit 7 dilime bölünmüştür. Topografik ölçüm aletleri ile ele alınan kesite ait kanal boy kesiti çıkartılmıştır. Şekil 3.9'da kanal boy kesitinin çıkartılması verilmiştir. Boy kesit çıkarılması çalışmalarında kesitin yaklaşık 10-15 m memba tarafında bir yatay kurbun (menderes) yer alması, doğal bir kanal tabanı üzerine beton bir kesitin inşa edilmiş olması sonucu köprü girişinde meydana gelen oyulmalar gibi etkenlerin kanal tabanında

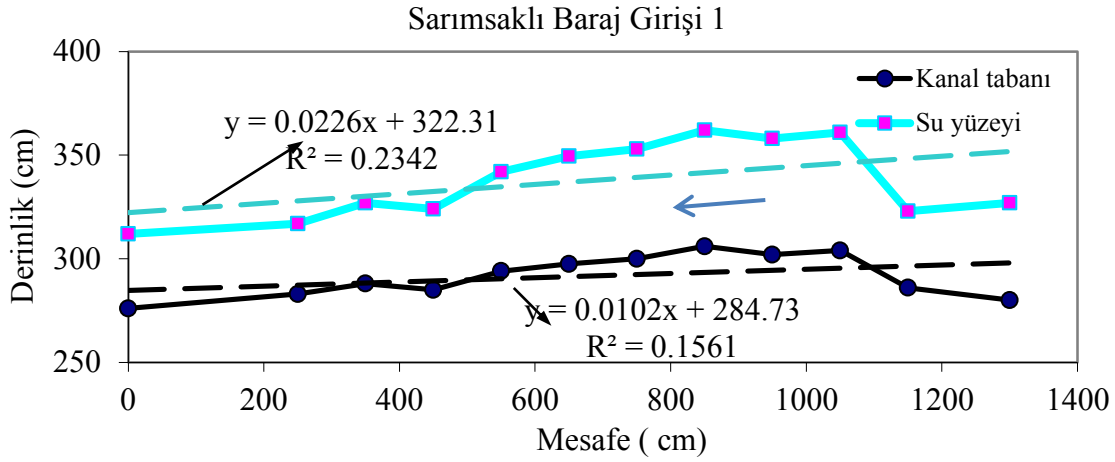
düzensizliklere yol açtığı görülmüştür. Ölçüm kesiti köprü içerisinde yer aldığından boykesit çıkarılırken kesitin olduğu yerden ölçüm alınamamıştır. Kesitin bu yapısı nedeniyle memba kısmından ölçümler alınarak boykesit çıkartılmıştır. Şekil 3.10'da yer alan SB_1 ölçümüne ait boykesit incelendiğinde bahsedilen bu düzensizlikler görülmektedir. Kanala ait su yüzü eğimi değerleri (S_{sy}) Tablo 3.2'de yer almaktadır.



Şekil 3.8. Sarımsaklı Baraj Girişi İstasyonu 1 numaralı ölçümde elde edilen en kesit.

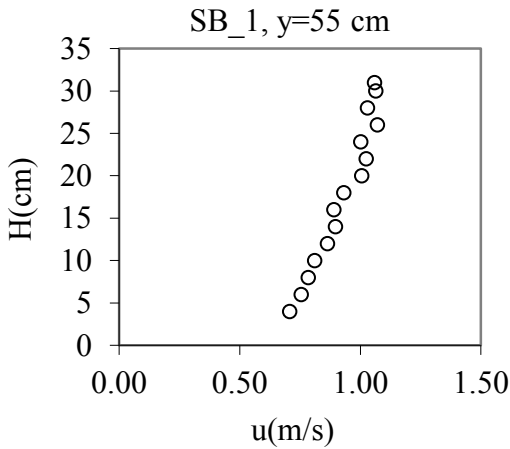


Şekil 3.9. Sarımsaklı Baraj Girişi İstasyonu hız ölçümü ve boy kesit çıkarılması.

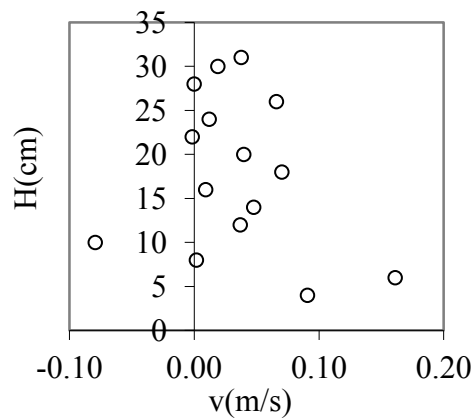


Şekil 3.10. Sarımsaklı Baraj Girişi İstasyonu 1 numaralı ölçümde elde edilen boy kesit.

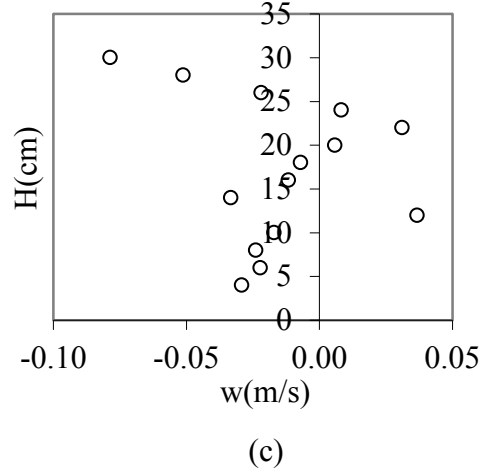
İstasyondaki ölçümlerde ele alınan her bir dilime ait düşeyde kanal tabanından yukarıya doğru belirli aralıklarda hız ölçümleri yapılmıştır. Şekil 3.11’de SB_1 ölçümü için kesit sol kenarından $y=55$ cm’de yer alan düşeyde (SI) elde edilen hız dağılımları (u,v,w) gösterilmiştir. Bu dağılımlardan akım doğrultusundaki hız değerlerinin (u), diğer doğrultulardaki hız (v,w) değerlerinden çok büyük olduğu anlaşılmaktadır. BP istasyonu için açıklandığı üzere, Sarımsaklı Baraj Girişi istasyonunda gerçekleştirilen ölçümlere ait akım özellikleri hesaplanarak Tablo 3.2’de verilmiştir. Bu tabloda ölçüm yapılan kesite ait debi değerleri, kesitte ölçüm yapılan maksimum derinlik gibi karakteristikler yer almaktadır. Reynolds ve Froude sayıları incelendiğinde ele alınan tüm ölçümlerde akımların türbülanslı ve kritik altı akım (nehir rejimi) durumunda olduğu anlaşılmaktadır.



(a)



(b)



Şekil 3.11. (a), (b), (c) Sarımsaklı Baraj Girişi İstasyonu 1 numaralı ölçümün 1. düşeyindeki (S1) x, y, z doğrultularındaki hız dağılımı grafikleri.

3.1.3. Felahiye Özdere İstasyonu (OD)

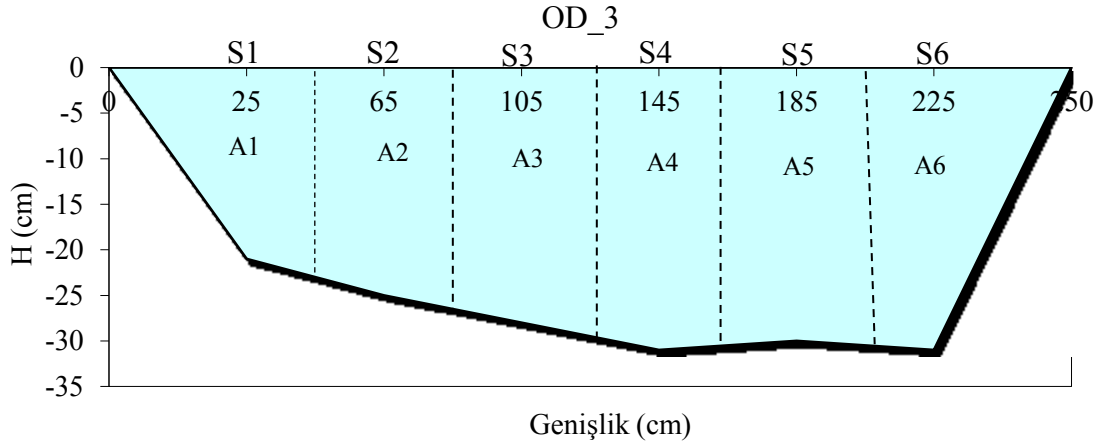
Bu istasyon Felahiye İlçesine bağlı Kayapınar beldesinin Tuğlaşah mevkiindedir. İstasyon Felahiye – Özvatan karayolu üzerinde, Kayapınar beldesini Özvatan ilçesine doğru 2.5 km geçince yolun yaklaşık 200 m kuzey doğusunda yer almaktadır. Felahiye Özdere İstasyonu'nun (OD) 15 m mansabında SB İstasyonu'nda olduğu gibi DSİ'nin aktif olarak kullandığı bir akım rasat istasyonu mevcuttur. Bu istasyonda Tablo 3.3'te görüleceği üzere 2009-2010 yılları arasında 8 adet ölçüm alınmıştır.

Tablo 3.3. Felahiye Özdere İstasyonu'na ait ölçümlerden elde edilen değerler.

	Tarihler	Q	H _{mak}	A	U	u _{mak}	S _{sy}	Re	Fr
Ölçümler	g/a/y	(m ³ /s)	(m)	(m ²)	(m/s)	(m/s)	-	-	-
OD_1	07.05.2009	0.072	0.33	0.607	0.119	0.263	0.009	89482	0.07
OD_2	16.08.2009	0.029	0.26	0.454	0.064	0.111	0.010	39447	0.04
OD_3	18.10.2009	0.055	0.31	0.568	0.097	0.236	0.001	70670	0.06
OD_4	25.04.2010	0.722	0.73	1.601	0.451	0.826	0.009	476286	0.17
OD_5	23.05.2010	0.330	0.63	1.310	0.252	0.570	0.008	340297	0.10
OD_6	27.06.2010	0.176	0.58	1.190	0.148	0.364	0.004	189415	0.06
OD_7	18.07.2010	0.098	0.55	1.108	0.088	0.166	0.005	108310	0.04
OD_8	08.08.2010	0.024	0.46	0.816	0.029	0.076	0.009	28586	0.01

Ele alınan enkesit Şekil 3.12'de yer alan örnekte görüldüğü gibi dilimlere ayrılarak bu dilimlerde kanal tabanından yukarı doğru hız ölçümleri belirlenen düşeylerde (S)

gerçekleştirilmiştir. Şekilde OD_3 ölçümünde elde edilen enkesit görünmektedir. Şekilden görüleceği üzere ele alınan en kesitin 6 dilime bölünmüştür. Kanalin boy kesiti yapılan topografik ölçümlerle çıkartılmıştır. Şekil 3.13 ve 3.14'te ele alınan enkesitte gerçekleştirilen hız ölçümleri ve kanalın boy kesit çıkartılma çalışmaları yer almaktadır. Şekil 3.15'te örnek olarak OD_3 ölçümünde elde edilen boykesit verilmiştir. Bu şekilde kırmızı çizgiyle belirtilen düşey ölçüm en kesitidir. Kanala ait su yüzü eğimi değerleri (S_{sy}) Tablo 3.3'te yer almaktadır.



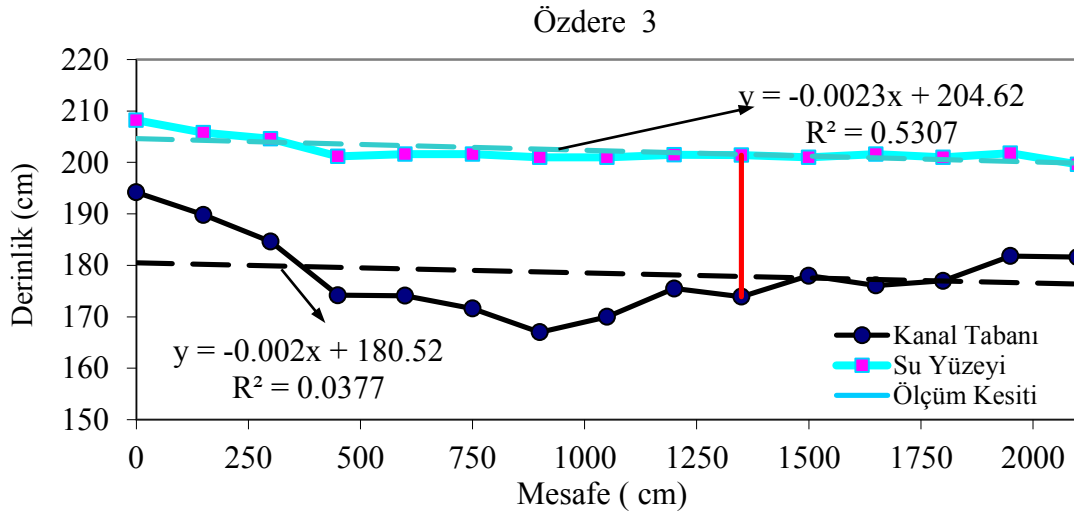
Şekil 3.12. Özdere İstasyonu 1 numaralı ölçümde elde edilen en kesit.



Şekil 3.13. Felahiye Özdere İstasyonu.



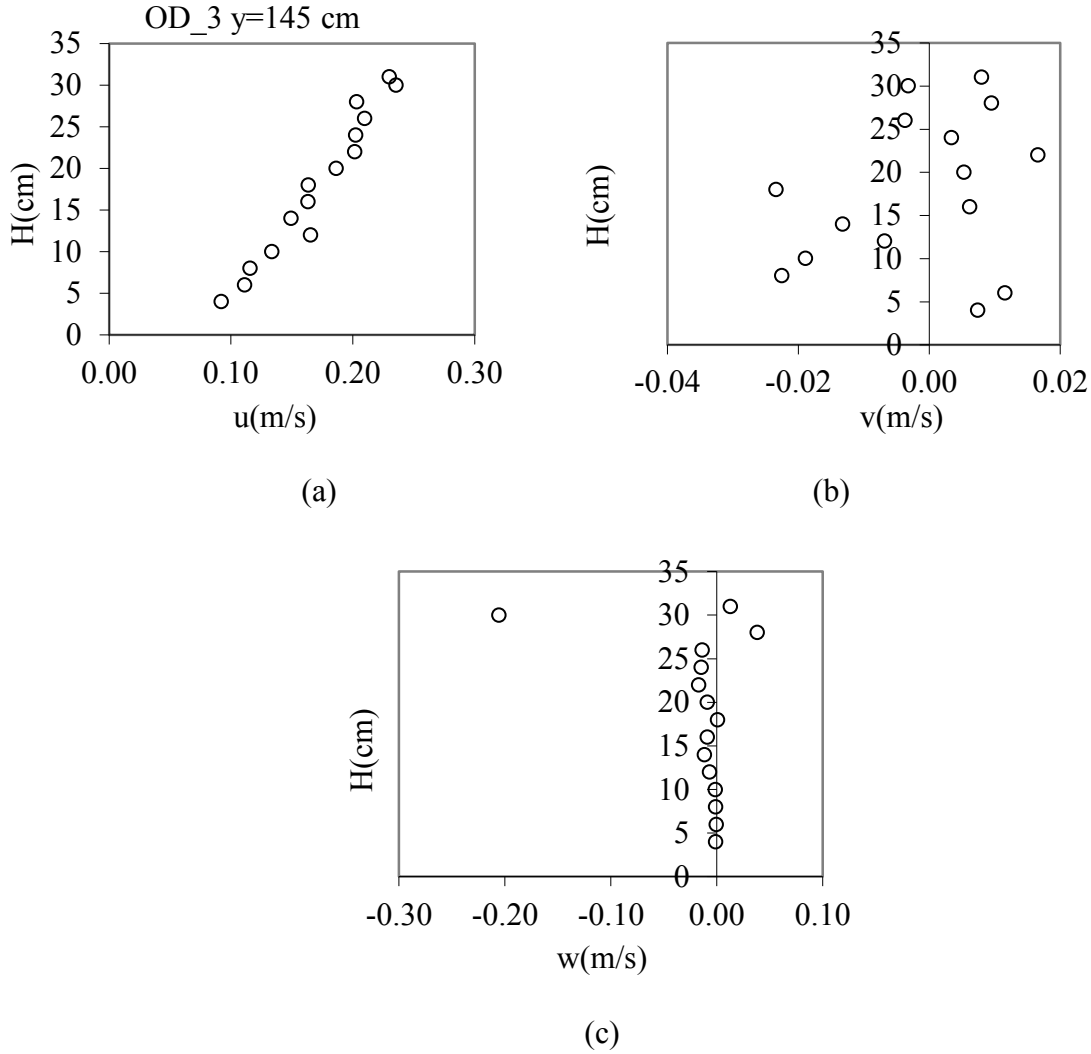
Şekil 3.14. Felahiye Özdere İstasyonu boy kesit çıkarılması.



Şekil 3.15. Özdere İstasyonu 3 numaralı ölçümde elde edilen boy kesit.

Kanal tabanı incelendiğinde kesitin soldan başlayarak belirli bir kısmı (~%25) kumlu-siltli bir yapıya sahiptir. Kesitin geriye kalan kısmı tane çapı 10 cm'yi bulan irili ufaklı çakıllarla kaplıdır. Kanal tabanının bu yapısı ölçüm alınması esnasında zorluklara neden olmuştur. Ele alınan istasyondaki hız ölçümlerinde kanalın bu karmaşık yapısı göz önüne alınarak her farklı bölgeyi en iyi şekilde temsil edecek şekilde enkesit dilimlere ayrılmıştır. Şekil 3.16'da ele alınan enkesitte OD_3 ölçümündeki $y=145$ cm'de gerçekleştirilen hız ölçümlerinde elde edilen hız dağılımları (u,v,w) yer almaktadır. Tablo 3.3'de Felahiye Özdere İstasyonu'nda

gerçekleştirilen ölçümlere ait akım özellikleri verilmiştir. Bu tabloda ölçüm yapılan kesite ait debi değerleri, kesitte ölçüm yapılan maksimum derinlik gibi karakteristikler yer almaktadır. Reynolds ve Froude sayıları incelendiğinde ele alınan tüm ölçümlerde akımların türbülanslı ve kritik altı akım (nehir rejimi) durumunda olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 3.16. (a), (b), (c) Felahiye Özdere İstasyonu 3 numaralı ölçümün 3. düşeyindeki x, y, z doğrultularındaki hız dağılımı grafikleri.

3.1.4. Özvatan Kırıközü İstasyonu (KO)

Bu istasyon Özvatan ilçesinin 10 km kuzey doğusunda, Taşlık mevkiinde yer almaktadır (Şekil 3.1). Ele alınan kesitin yaklaşık 100 m mansabında DSİ'nin kullanılmayan bir eşeli mevcuttur. Bu eşel daha önceden inşa edilmiş olup akım yetersiz olduğu için kullanıma kapatılmıştır. Özvatan Kırıközü İstasyonu'nda (KO) Tablo 3.4'de verilen tarihlerde 7 adet

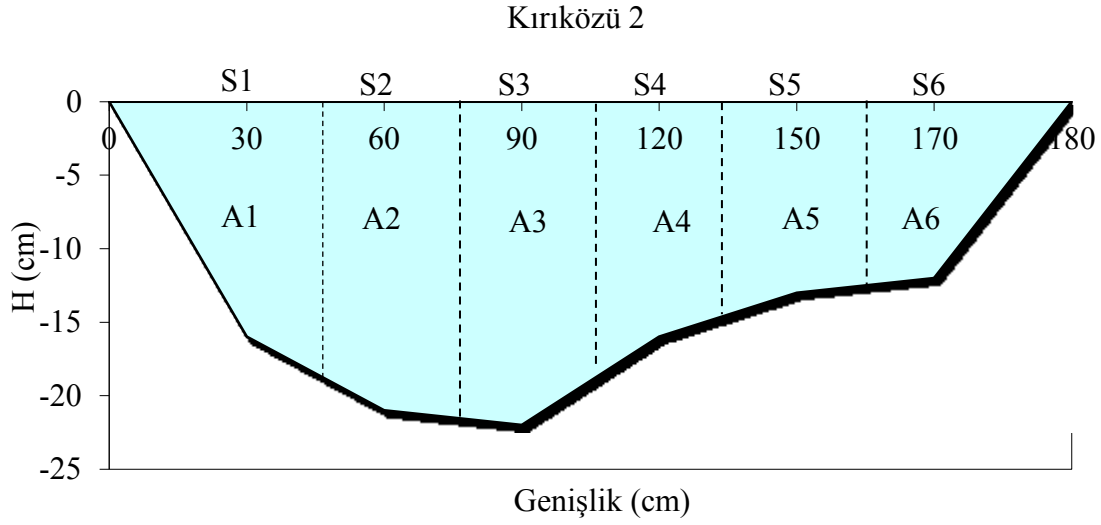
ölçüm alınabilmiştir. 08.08.2010 tarihinde ölçüm alınmak üzere kesite gidilmişse de enkesitte ölçüm alınabilmesi için yeterli miktarda akım olmadığından ölçüm alınamamıştır. İlkbahar aylarında ise yeterli miktarda akım olduğu Tablo 3.4’de yer alan debi değerlerinden anlaşılmaktadır. Buradan hareketle ele alınan akarsuyun mevsimsel etkenlerden (yağış, kuraklık vb.) direk olarak etkilendiği sonucuna varılabilmektedir.

Tablo 3.4. Özvatan Kırıközü İstasyonu’na ait ölçümlerden elde edilen değerler.

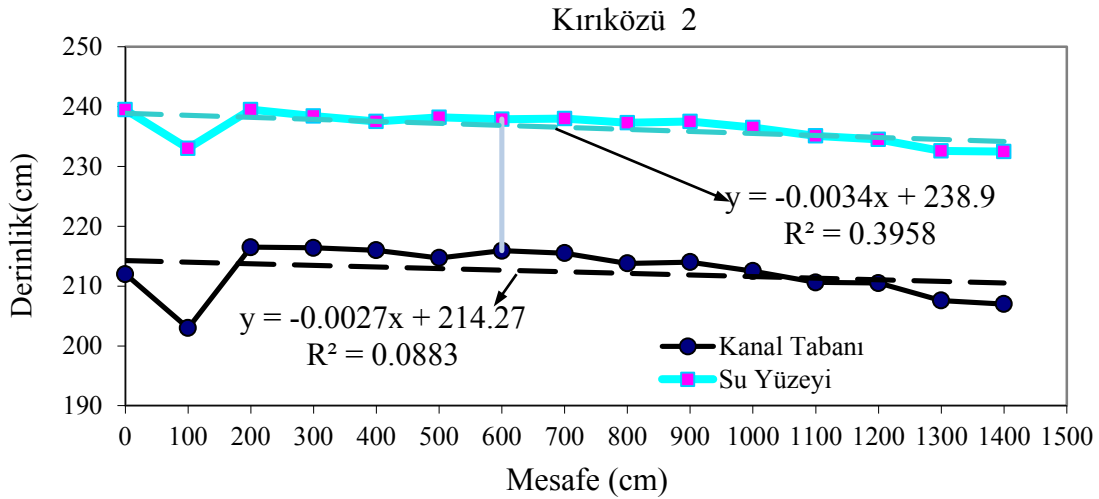
	Tarihler	Q	H _{mak}	A	U	u _{mak}	S _{sy}	Re	Fr
Ölçümler	g/a/y	(m ³ /s)	(m)	(m ²)	(m/s)	(m/s)	-	-	-
KO_1	05.07.2009	0.130	0.28	0.425	0.306	0.536	0.003	200702	0.185
KO_2	16.08.2009	0.042	0.22	0.276	0.152	0.298	0.003	76888	0.104
KO_3	18.10.2009	0.037	0.17	0.183	0.202	0.418	0.003	77327	0.157
KO_4	25.04.2010	0.467	0.42	0.754	0.619	0.955	0.006	643269	0.305
KO_5	23.05.2010	0.351	0.40	0.686	0.512	0.835	0.009	324950	0.258
KO_6	27.06.2010	0.235	0.34	0.550	0.427	0.872	0.008	220383	0.234
KO_7	18.07.2010	0.093	0.21	0.304	0.306	0.827	0.007	156717	0.021

Ele alınan enkesit Şekil 3.17’de yer alan örnekte görüldüğü gibi dilimlere ayrılarak bu dilimlerde kanal tabanından yukarı doğru hız ölçümleri belirlenen düşeylerde (S) gerçekleştirilmiştir. Şekilde KO_2 ölçümünde elde edilen enkesit verilmiştir. Kanal boy kesiti yapılan topografik ölçümlerle çıkartılmıştır. Şekil 3.18’de KO_2 ölçümünde elde edilen boykesit yer almaktadır. Tablo 3.4’te yapıları bu boy kesit çıkartılması çalışmaları sonucu tüm ölçümlerde elde edilen su yüzü eğimleri (S_{sy}) verilmiştir. Şekil 3.19 ve 3.20’de ele alınan enkesitte gerçekleştirilen hız ölçümleri ve boykesit çıkartılması çalışmaları görülmektedir.

Kanal tabanı incelendiğinde, killi-siltli yumuşak bir yapıya sahip olduğu, kesitin genel olarak normal yoğunlukta olan ufak boyutlu otlarla (<5cm) kaplı olduğu görülmüştür. Diğer istasyonlarla kıyaslandığında kesit genişliği az olduğu için duvar etkisi ve bu bölgedeki hız ölçümlerde daha belirgindir.



Şekil 3.17. Kırıközü İstasyonu 2 numaralı ölçümde elde edilen en kesit.



Şekil 3.18. Kırıközü İstasyonu 2 numaralı ölçümde elde edilen boy kesit.

Şekil 3.19’da Özvatan Kırıközü İstasyonunda gerçekleştirilen bir ölçüm verilmiştir. Şekil incelendiğinde kanalın iki kıyısına da çakılmış olan kazıkların ve üzerindeki ipin kılavuz olarak kullanıldığı görülmektedir. Kazıklardan metre ile mesafeler ölçülerek enkesit daha öncede bahsedildiği gibi en kesit dilimlere ayrılmıştır. Şekil 3.20’de ise yine KO istasyonunda gerçekleştirilen hız ölçüm çalışması ve nivo ile boy kesit çıkartılması çalışmaları yer almaktadır. İki şekilde incelendiğinde kanal kenarının bitki örtüsü anlaşılmaktadır. Görüleceği üzere kanal kenarında, su içine doğru sarkmış irili ufaklı otlar yer almaktadır. Şekil 3.20’de en kesitin mansabındaki kıvrım görülmektedir. Bu gibi kıvrımlar pürüzlülük katsayısının belirlenmesinde önemli bir etkiye sahiptir.

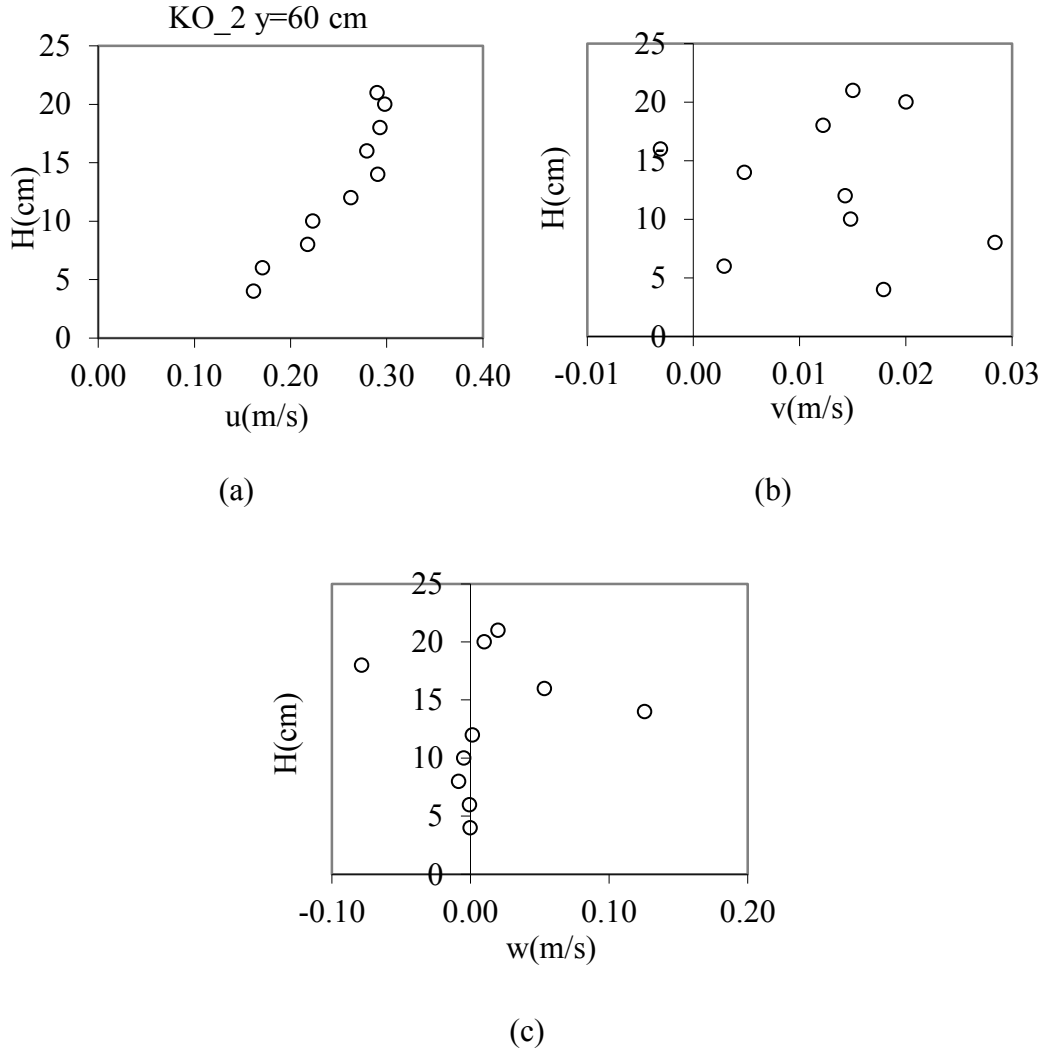


Şekil 3.19. Özvatan Kırıközü İstasyonu hız ölçümü.



Şekil 3.20. Özvatan Kırıközü İstasyonu hız ölçümü ve boy kesit çıkarılması.

Ele alınana enkesitte hız ölçümleri kanal tabanından yukarı doğru $z=4$ cm'den başlayarak her 2 cm'de bir gerçekleştirilmiştir. Şekil 3.21'de ele alınan kesitte gerçekleştirilen KO_2 ölçümünde $y=60$ cm'de yer alan düşeyde elde edilen hız dağılımları yer almaktadır. Tablo 3.4'te Özvatan Kırıközü İstasyonu'nda gerçekleştirilen ölçümlere ait akım özellikleri verilmiştir.



Şekil 3.21. (a), (b), (c) Felahiye Özdere İstasyonu 2 numaralı ölçümün 2. düşeyindeki x, y, z doğrultularındaki hız dağılımı grafikleri.

3.2. Debi Hesabı

Ele alınan akım durumlarında kesitten geçen debi yedi farklı yöntem ile belirlenmiştir. Bölüm 2.1.1'de açıklanan dilim yönteminde, dilim ortalama hızları derinlik boyunca ölçülen tüm hızlar yardımı ile belirlenerek hassas debi (Q) değerleri hesaplanmış ve Tablo 3.1-4' de

verilmiştir. İkinci ve üçüncü yöntemde dilim ortalama hızları, ele alınan düşeylerin $0.2-0.8H$ ve $0.6H$ ında belirlenen hızlar kabul edilerek debi hesabı benzer şekilde yapılmıştır. Bu debilerde sırasıyla $Q_{0.2-0.8}$ ve $Q_{0.6}$ olarak isimlendirilmiştir. Debi hesabında kullanılan diğer bir yöntemde Anahtar Eğrilerinin kullanılmasıdır. Anahtar eğrileri genellikle ele alınan istasyonda yapılan debi ölçümleri ile akım derinlikleri arasında üstel bir ilişkinin belirlenmesi ve bu ilişki yardımı ile kolaylıkla ölçülebilen akım derinliği kullanılarak debinin tahmin edilmesi esasına dayanır. Debi hesabında literatürde en çok kullanılan yöntemlerden biride Maning denklemidir. Kanalin fiziksel özellikleri bilinirken (akım alanı, ıslak çevre ve kanal eğimi) pürüzlülük katsayısı n belirlenerek kesite ait debi bu yöntemle hesaplanabilmektedir. Bir diğer debi hesap yöntemi ise su yüzü hızı kullanılarak debi hesabı yapılmasıdır. Bu yöntemde ölçülen su yüzü hızı ile ortalama hız arasındaki oran belirlenmekte ve bu oran yardımıyla debi hesabı yapılabilmektedir. Debi hesabında ele alınan yedinci yöntem de entropi yöntemidir. Yine bölüm 2.1.3'te açıklandığı üzere kesite ait bilinen entropi parametresi M , kullanılarak ölçülen u_{mak} yardımı ile kesitten geçen debi belirlenebilmektedir. Bu yöntemlerle yapılan çalışmalar aşağıda yer almaktadır.

3.2.1 Dilim Yöntemi ile Debi Hesabı

Bu yöntemde ADV ile arazide ölçülen noktasal hız değerleri kullanılarak debi hesabı yapılmıştır (Q). Tablo 3.5'te BP_1 ölçümünde elde edilen akım doğrultusundaki u , hız değerleri örnek olarak verilmiştir. Tablodan görüleceği üzere enkesitte yedi farklı düşeyde ($S1-S7$) derinlik boyunca hızlar ölçülmüştür. Her bir düşeyde kanal tabanına yaklaşılabilen $z=4$ cm'den başlayarak serbest su yüzüne en yakın ölçüm alınabilen derinliğe kadar ADV ile ölçüm alınmış, serbest su yüzü hızı yüzeye yakın yapılan son iki ölçüme bağlı olarak tahmin edilmiştir. Tahmin edilen hız değerleri tabloda koyu olarak gösterilmiştir. Her bir düşeyde dilim ortalama hızları denklem (2.1) yardımı ile hesaplanmıştır. Bu amaçla önce derinlik boyunca ölçülen hızlar arasında kalan alanlar (Şekil 2.1) hesaplanarak (a_i) Tablo 3.6'da verilmiştir. Bu alanların toplanması ($\sum a_j$) ile her bir ölçüm yapılan düşey için hız alanları hesaplanmış ve tabloda gösterilmiştir. Bu alanın o düşeye ait derinliğe (H_i) bölünmesi ile de dilim ortalama hızları (U_d) hesaplanmıştır. Her bir düşeye ait hesaplanan bu ortalama hızlarda Tablo 3.6'da verilmiştir. Şekil 2.1'den görüleceği üzere bu ortalama hızın temsil edildiği denklem (2.2) ile hesaplanan dilim alanları ile hesaplanan U_d hızları çarpılarak (denklem 2.3) dilim debileri (q_i) hesaplanmış ve tabloda gösterilmiştir. Denklem (2.4) kullanılarak dilim

debilerinin toplanması ile kesitten geçen akımın debisi hesaplanmış ve Tablo 3.6'nın son satırında verilmiştir. Tablodan da görüleceği üzere BP_1 ölçümüne ait akımın debisi $Q=0.788 \text{ m}^3/\text{s}$ 'dir.

Tablo 3.5. Bünyan Pınarbaşı İstasyonu ölçülen hız değerleri.

S1 y=50 cm		S2 y=100 cm		S3 y=150 cm		S4 y=200 cm		S5 y=250 cm		S6 y=300 cm		S7 y=350 cm	
z	u	z	u	z	u	z	u	z	u	z	u	z	u
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0.261	4	0.145	4	0.298	4	0.214	4	0.098	4	0.127	4	0.082
8	0.285	8	0.245	8	0.341	8	0.243	8	0.174	8	0.147	8	0.161
12	0.347	12	0.320	12	0.382	12	0.247	12	0.214	12	0.193	12	0.197
16	0.355	16	0.291	16	0.414	16	0.320	16	0.245	16	0.225	16	0.220
20	0.368	20	0.330	20	0.451	20	0.342	20	0.278	20	0.231	20	0.234
24	0.425	24	0.313	24	0.458	24	0.375	24	0.284	24	0.234	24	0.274
28	0.412	28	0.392	28	0.496	28	0.396	28	0.304	28	0.213	28	0.254
32	0.437	32	0.428	32	0.510	32	0.425	32	0.306	32	0.233	32	0.255
36	0.485	36	0.446	36	0.554	36	0.435	36	0.318	36	0.274	36	0.265
40	0.452	40	0.472	40	0.544	40	0.467	40	0.278	40	0.295	40	0.279
44	0.432	44	0.531	44	0.563	44	0.472	44	0.344	44	0.278	42	0.292
48	0.454	48	0.545	48	0.550	48	0.460	48	0.353	48	0.315		
52	0.440	52	0.593	52	0.576	52	0.452	52	0.364	52	0.343		
56	0.419	56	0.574	56	0.595	56	0.467	56	0.364				
60	0.387	60	0.571	60	0.562	60	0.447	60	0.385				
64	0.340	64	0.558	64	0.576	64	0.444	64	0.389				
68	0.345	68	0.516	68	0.567	68	0.444	68	0.403				
70	0.345	71	0.500	72	0.521	70	0.444						

Ele alınan 4 farklı istasyonda gerçekleştirilen tüm ölçümlere ait debiler yukarıda anlatıldığı gibi hesaplanarak Tablo 3.1-4'de 3. sütunda Q olarak verilmiştir. Bu debilerin hesaplanmasında bahsedilen işlemlerin her biri çok dikkatli bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Bahsi geçen hesaplamaların yapılabilmesi için Excell programında oluşturulan bir hesap şablonu kullanılmıştır. Bu şablonun, hesapların daha pratik ve doğru bir şekilde yapılmasında büyük katkısı olmuştur. Bu hesaplanan debiler tüm akım durumları için en hassas, gerçeğe yakın debiler olarak ele alınmıştır. Hesaplanan bu debiler ile ele alınan diğer 6 debi hesap yöntemi ile hesaplanan debiler karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırma sonucu ele alınan 6 debi hesap yönteminin doğal akarsulardaki kullanılabilirlikleri incelenmiştir.

Tablo 3.6. Bünyan Pınarbaşı İstasyonu 1. ölçüm, düşey ortalama hız hesabı.

	y=50 (cm)	y=100 (cm)	y=150 (cm)	y=200 (cm)	y=250 (cm)	y=300 (cm)	y=350 (cm)
	0.005	0.003	0.006	0.004	0.002	0.003	0.002
	0.011	0.008	0.013	0.009	0.005	0.005	0.005
	0.013	0.011	0.014	0.010	0.008	0.007	0.007
	0.014	0.012	0.016	0.011	0.009	0.008	0.008
	0.014	0.012	0.017	0.013	0.010	0.009	0.009
	0.016	0.013	0.018	0.014	0.011	0.009	0.010
	0.017	0.014	0.019	0.015	0.012	0.009	0.011
	0.017	0.016	0.020	0.016	0.012	0.009	0.010
	0.018	0.017	0.021	0.017	0.012	0.010	0.010
	0.019	0.018	0.022	0.018	0.012	0.011	0.011
	0.018	0.020	0.022	0.019	0.012	0.011	0.006
	0.018	0.022	0.022	0.019	0.014	0.012	
	0.018	0.023	0.023	0.018	0.014	0.013	
	0.017	0.023	0.023	0.018	0.015		
	0.016	0.023	0.023	0.018	0.015		
	0.015	0.023	0.023	0.018	0.015		
	0.014	0.021	0.023	0.018	0.016		
	0.007	0.015	0.022	0.009			
$\sum a_j =$	0.266	0.296	0.348	0.266	0.196	0.117	0.089
$U_d =$	0.380	0.416	0.483	0.380	0.288	0.226	0.212
$q_i =$	0.133	0.148	0.173	0.133	0.095	0.060	0.046
$Q =$	$\sum q_i = 0.788$						

Dilim ortalama hızlarının belirlenmesi amacıyla derin sularda ($H \geq 0.5-0.6$ m) ele alınan düşeyin su yüzeyinden $0.2H$ ve $0.8H$ derinliklerinde ölçülen hızlar pratikte yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu amaçla dilim ortalama hızları $U_d = \left(\frac{u_{0.2} + u_{0.8}}{2} \right)$ ifadesi yardımı ile hesaplanabilmektedir. Ele alınan düşeyde sadece iki ölçüm yaparak ortalama hızın belirlenmesi pratikte iş gücünü oldukça azaltmaktadır. Akım derinliğinin çok yüksek olmadığı kesitlerde ve derinliklerde, su yüzeyinden $0.6H$ derinlikte ölçülen hızın ortalama hızı temsil ettiği $U_d = u_{0.6}$ ve bu hızın kullanılabileceği bildirilmektedir. Belirlenen bu ortalama hızlar kullanılarak kesitten geçen debi yukarıda bahsedildiği üzere hesaplanabilmektedir. Bu iki ortalama hız kabulü ile yapılan debi hesabına örnek olarak Tablo 3.7’de yine BP_1 ölçümü ele alınmıştır. Tablodan görüleceği üzere her bir düşeyde $u_{0.2}$, $u_{0.8}$ ve $u_{0.6}$ hızları ölçümlere bağlı direk veya enterpolasyon (ara değer bulma) ile hesaplanmıştır. Bu hızlar kullanılarak dilim debileri (q_i) ve kesitten geçen toplam debiler hesaplanarak tabloda gösterilmiştir.

Tablodan da görüleceği üzere bu debiler sırasıyla $Q_{0.2-0.8}=0.803 \text{ m}^3/\text{s}$ ve $Q_{0.6}=0.810 \text{ m}^3/\text{s}$ olarak hesaplanmıştır. Bu değerler derinlik boyunca ölçülen hızların integrasyonu ile hesaplanan $Q=0.788 \text{ m}^3/\text{s}$ değerine yakın olduğu, rölatif farkın sırasıyla %1.9 ve %2.9 olduğu görülmektedir. Dilim yönteminde ortalama hızların belirlenmesinde bu iki yaklaşımın kullanılmasının çok fazla hataya sebep olmadığı anlaşılmaktadır.

Tablo 3.7. Bünyan Pınarbaşı İstasyonu 1. ölçüm $Q_{0.2-0.8}$ ve $Q_{0.6}$ debilerinin hesaplanması

	S1		S2		S3		S4		S5		S6		S7	
	z	u	z	u	z	u	z	u	z	u	z	u	z	u
$u_{0.2}$	56	0.419	56.8	0.573	57.6	0.582	56	0.467	54.4	0.364	41.6	0.288	33.6	0.259
$u_{0.8}$	14	0.351	14.2	0.304	14.4	0.401	14	0.283	13.6	0.227	10.4	0.175	8.4	0.165
$u_{(0.2+0.8)/2}$		0.385		0.439		0.491		0.375		0.295		0.231		0.212
$u_{0.6}$	28	0.412	28.4	0.396	28.8	0.498	28	0.396	27.2	0.300	20.8	0.232	16.8	0.223
A_i		0.351		0.355		0.358		0.350		0.331		0.264		0.216
$q_{0.2-0.8}$		0.135		0.156		0.176		0.131		0.098		0.061		0.046
$q_{0.6}$		0.145		0.140		0.179		0.138		0.099		0.061		0.048
$Q_{0.2-0.8} =$	$\Sigma q_i = 0.803$													
$Q_{0.6} =$	$\Sigma q_i = 0.810$													

3.2.2. Anahtar Eğrisi

Anahtar eğrisi yönteminde kesitlere ait debiler (Q) ile maksimum su yükseklikleri arasındaki (H_{mak}) ilişki üstel bir fonksiyon olarak belirlenmiştir. Tablo 3.8’de 4 istasyonda gerçekleştirilen ölçümlere ait belirlenen debi (Q) ve bu durumda kesitlerde ölçülen maksimum derinlik değerleri (H_{mak}) verilmiştir. Anahtar eğrilerinin belirlenmesi amacıyla her istasyon için $Q-H_{mak}$ arasındaki dağılım çizilerek Şekil 3.22 – 3.25’te verilmiştir. Grafiklerde anahtar eğrisini gösteren üstel dağılımlar ve bu dağılımlara ait R^2 değerleri de şekil üzerinde verilmiştir.

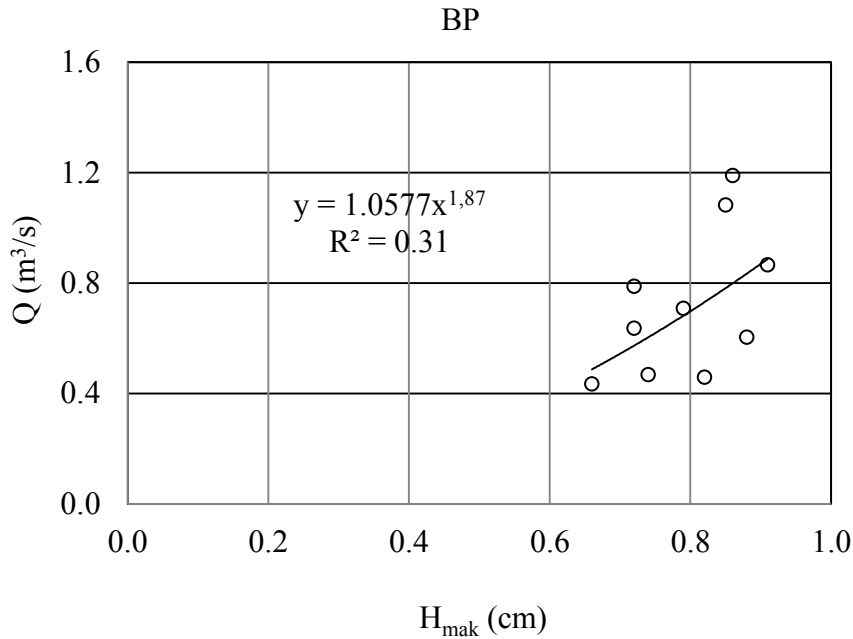
BP İstasyonu için bu dağılım denklem (3.1)’de gösterilmiştir. BP istasyonuna ait anahtar eğrisinin determinasyon katsayısı $R^2=0.31$ olarak belirlenmiştir. Bu değerden de anlaşılaacağı üzere elde edilen üstel dağılım istasyon için çok anlamlı görülmemektedir. Bu eğrinin gerçekçi tahminlerde bulunması için daha çok sayıda ve geniş debi aralığında ölçümlerin alınması gereklidir.

$$Q = 1,057(H_{mak})^{1.87} \quad (3.1)$$

BP istasyonunda yapılan 10 ölçüme ait dilim yöntemi ile belirlenen debiler (Q) ile istasyon için elde edilen anahtar eğrisi denklem (3.1)'den elde edilen debi değerleri (Q_{anh}) değerleri arasındaki rölatif farklar Tablo 3.13'te gösterilmiştir. Tablodan görüleceği üzere bu istasyondaki bazı ölçümlerde bu farklar %50 den büyük olmaktadır. Gerçekleştirilen 10 ölçüme ait ortalama fark ta %31.3 olarak belirlenmiştir.

Tablo 3.8. Tüm istasyonların anahtar eğrisi hesap tablosu.

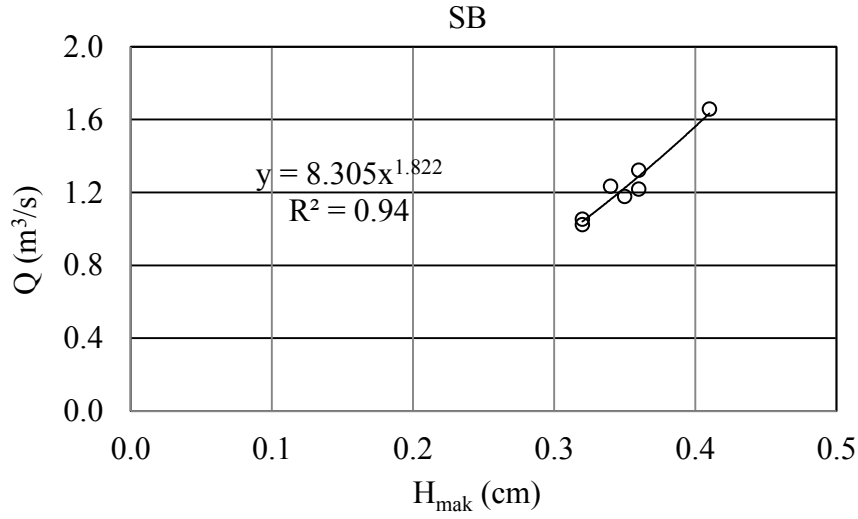
İst.	Ölçümler	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
BP	Q	0.788	0.434	0.636	1.082	1.188	0.708	0.467	0.458	0.603	0.865
	H _{mak}	0.72	0.66	0.72	0.85	0.86	0.79	0.74	0.82	0.88	0.91
SB	Q	1.178	1.023	1.234	1.658	1.218	1.053	1.322			
	H _{mak}	0.35	0.32	0.34	0.41	0.36	0.32	0.36			
ÖD	Q	0.075	0.029	0.055	0.722	0.330	0.176	0.098	0.024		
	H _{mak}	0.33	0.26	0.31	0.73	0.63	0.58	0.55	0.46		
KO	Q	0.130	0.042	0.037	0.467	0.351	0.241	0.093			
	H _{mak}	0.28	0.22	0.17	0.42	0.4	0.34	0.21			



Şekil 3.22. Bünyan Pınarbaşı İstasyonu anahtar eğrisi.

Sarımsaklı Baraj Giriş İstasyonu anahtar eğrisi Şekil 3.23'te verilmiştir. Bu istasyonun anahtar eğrisi denklemi (3.2) ifadesinde yer almaktadır. İstasyona ait determinasyon katsayısı $R^2=0.94$ olarak hesaplanmıştır. Bu değerden anlaşılabacağı üzere SB istasyona ait anahtar eğrisi yüksek determinasyona sahiptir.

$$Q = 8,30(H_{mak})^{1,822} \quad (3.2)$$



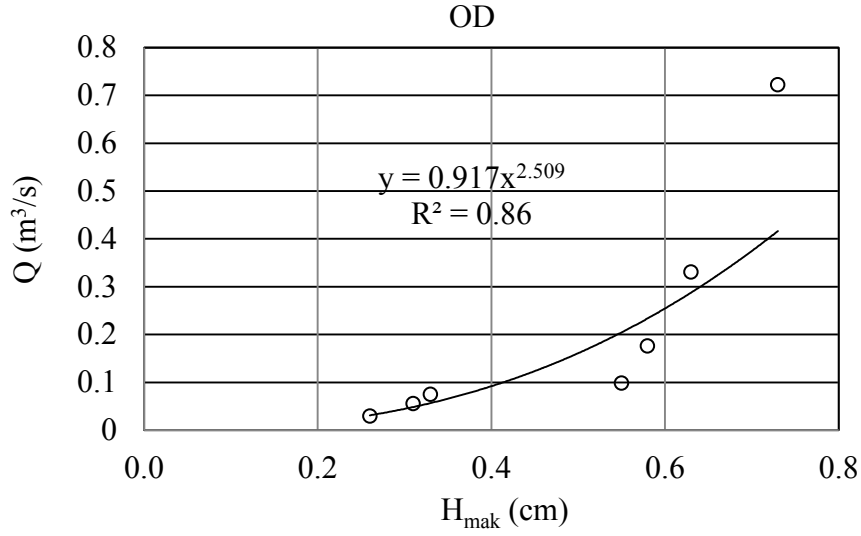
Şekil 3.23. Sarımsaklı Baraj Girişi İstasyonu anahtar eğrisi.

SB İstasyonu'na ait 7 ölçümde dilim yöntemi ile belirlenen debiler ile (Q) istasyon için elde edilen anahtar eğrisi denkleminde (3.2) elde edilen debi değerleri (Q_{anh}) arasındaki rölatif farklar Tablo 3.14'te gösterilmiştir. Tablodan görüleceği üzere ölçümlerde elde edilen en yüksek fark %5.9 olmuştur. 7 adet ölçüme ait ortalama fark ise %3.2 olarak belirlenmiştir.

Felahiye Özdere İstasyonu'nda ölçülen debi (Q) ve maksimum su yüksekliği (H_{mak}) arasındaki ilişki kullanılarak elde edilen anahtar eğrisi Şekil 3.24' de verilmiştir. OD istasyonunun anahtar eğrisi denkleminde (3.3) ifadesinde gösterilmiştir. Bu eğriye ait determinasyon katsayısı $R^2=0.86$ olarak hesaplanmıştır. Bu istasyonda 8. ölçümde sağlıklı değerler alınamadığından bu ölçüme ait değerler dikkate alınmamıştır. OD istasyonuna ait anahtar eğrisi SB İstasyonu'na göre daha düşük determinasyon katsayısına sahiptir. Ancak yine de ilişkinin anlamlı olduğu görülmektedir.

$$Q = 0,917(H_{mak})^{2,509} \quad (3.3)$$

OD istasyonuna ait 7 ölçümde dilim yöntemi ile belirlenen debiler ile (Q) istasyon için elde edilen anahtar eğrisi denkleminde (3.3) elde edilen debi değerleri (Q_{anh}) arasındaki rölatif farklar Tablo 3.15'te gösterilmiştir. Tablo incelendiğinde hata değerleri %7.7 – 108.8 aralığında değişmektedir. 7 ölçüme ait ortalama fark da %34.4 olarak belirlenmiştir.



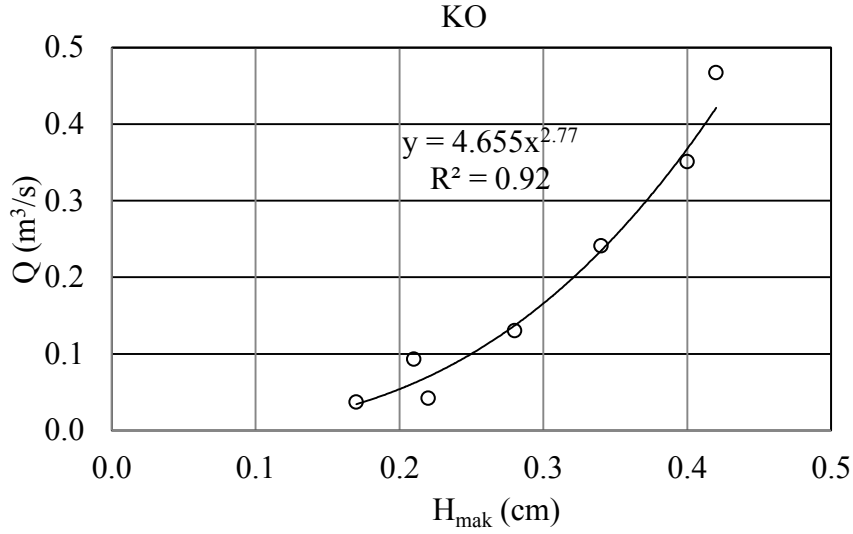
Şekil 3.24. Özdere İstasyonu anahtar eğrisi.

Özvatan Kırıközü istasyonu anahtar eğrisi Şekil 3.25'te verilmiştir. Bu istasyonun anahtar eğrisi denklemi (3.4) ifadesinde yer almaktadır. İstasyona ait anahtar eğrisinin determinasyon katsayısı $R^2=0.92$ olarak hesaplanmıştır. Bu değerden anlaşılabacağı üzere KO istasyona ait anahtar eğrisi ölçümleri çok iyi temsil etmektedir.

$$Q = 4,656(H_{mak})^{2.77} \quad (3.4)$$

KO istasyonuna ait 7 ölçümde dilim yöntemi ile belirlenen debiler ile (Q), istasyon için elde edilen anahtar eğrisi denkleminde, (3.4), elde edilen debi değerleri (Q_{anh}) arasındaki rölatif farklar Tablo 3.16'da gösterilmiştir. Tablo incelendiğinde 2. ölçümde %67.5 ve 7. ölçümde %33.5 hata ile debi hesaplandığı anlaşılmaktadır. Diğer 5 ölçümde hata oranı %10'dan azdır. Yüksek olan bu hata değerlerine rağmen 7 adet ölçümün hata ortalaması %18.7 olmuştur.

Genel olarak ele alınan 4 istasyona ait anahtar eğrilerinin hesap sonuçları incelendiğinde sadece SB istasyonunda yöntemin iyi sonuç verdiği, KO istasyonunda birkaç ölçümün dışında eğrinin iyi tahminde bulunduğu, BP ve OD istasyonlarında da anahtar eğrilerinin ölçüm değerlerini iyi tahmin edemediği anlaşılmaktadır. En kesite ait anahtar eğrisinin çok daha fazla ve geniş akım aralığında ölçülen değerler ile oluşturulması gerektiği bu istasyonlardan da görülmektedir.



Şekil 3.25. Kırıközü istasyonu anahtar eğrisi.

3.2.3. Manning Denklemi

Açık kanal akımlarında ortalama hız dolayısıyla debinin belirlenmesinde en yaygın olarak kullanılan ifade Manning denklemidir. Manning denklemi (2.6) ifadesinde hız için yazılmış olup bu denklem debi için düzenlenir ise, süreklilik ifadesinden

$$Q = \frac{A}{n} R^{2/3} S^{1/2} \quad (3.5)$$

yazılabilir. Burada A : akım enkesit alanıdır. Bölüm 2 de anlatıldığı üzere bu ifadede en önemli parametre kanala ait pürüzlülük katsayısının belirlenmesidir. Bölüm 2, Tablo 2.1’de verilen n katsayısı hesap tablosu yardımı ile ele alınan kesitlere ait pürüzlülük katsayısı belirlenerek debi hesapları daha önceden belirtilmiş olan kesit fiziksel özellikleri yardımı ile hesaplanmıştır. Kesitlere ait sürtünme katsayılarının hesapları sırasıyla aşağıdaki gibi yapılmıştır.

Bünyan Pınarbaşı İstasyonu’nda en kesitin fiziki yapısı incelenip pürüzlülük katsayısı hesabı n_0, n_1, n_2, n_3, n_4 , ve m_5 parametreleri belirlenerek yapılmıştır. Kanal tabanı genel olarak irili ufaklı çakıl parçacıklarıyla kaplı olduğu için her ne kadar az bir kısmı siltli bir yapıya sahip olsa da n_0 sayısı 0.24 olarak belirlenmiştir. Düzensizlik derecesi ele alındığında düzensizliklerin orta derecede olduğu düşünülerek $n_1=0.01$ olarak alınmıştır. Kanal kesitindeki düzensizlikler incelendiğinde kesit geometrisi sık sık değiştiğinden n_2 sayısı 0.01

olarak belirlenmiştir. Kanal boyunca engellerin etkisi azımsanmayarak $n_3=0.02$ alınmıştır. Kanaldaki bitki örtüsü normal seviyede olduğundan n_4 sayısı 0.02 olarak belirlenmiştir. Son olarak boy kesitte yer alan kıvrımlar az olduğu için $m_5=1.05$ alınıp pürüzlülük katsayısı $n=0.0882$ olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan bu pürüzlülük katsayısı ve daha önceden belirtilen kesitin geometrik özellikleri (3.5) ifadesinde kullanılarak BP İstasyonu'nda gerçekleştirilen on ölçüm için Manning debileri (Q_{Man}) hesaplanmıştır. Dilim yöntemi ile ve Manning denklemi ile elde edilen debiler ($Q-Q_{Man}$) ve bu debiler arasındaki rölatif farklar Tablo 3.13'te yer almaktadır. Tablo incelendiğinde bazı debilerin farkının %50' nin üzerinde olduğu, ölçümlere ait ortalama farkın ise %33 olduğu anlaşılmaktadır.

Sarımsaklı Baraj Girişi İstasyonu beton bir kesit olduğundan sürtünme katsayısının tespiti kolay olmuştur. Betonarme yüzey olduğu için malzeme içeriği sayısı $n_0=0.02$ alınmıştır. Kanal zamanla aşındığı için düzensizlik derecesi olan n_1 sayısı 0.005 olarak belirlenmiştir. Kanal kesiti ölçüm bölgesinde ani değişimler sergilediğinden n_2 sayısı 0.01 alınmıştır. Engelleme sayısı $n_3=0.02$ alınmıştır. Kesitte hiç bitki örtüsü bulunmadığından $n_4=0$ alınmıştır. Kıvrım orta seviyelerde olduğu için $m_5=1.15$ alınarak SB İstasyonu'na ait pürüzlülük katsayısı $n=0.0633$ olarak belirlenmiştir. Belirlenen bu pürüzlülük katsayısı ve bilinen kesit geometrik özellikleri (3.5) ifadesinde kullanılarak SB istasyonunda gerçekleştirilen yedi ölçüm için Manning debileri (Q_{Man}) hesaplanmıştır. Dilim yöntemi ile ve Manning denklemi ile elde edilen debiler ($Q-Q_{Man}$) ve bu debiler arasındaki rölatif farklar Tablo 3.14'te yer almaktadır. Tablodan da görüleceği üzere SB istasyonunda Manning denklemi genel olarak yüksek farklarla debi sonuçları vermiş, yedi ölçüme ait ortalama fark ise %38.3 olmuştur.

Felahiye Özdere İstasyonu genel olarak sıkıntılı bir kesit yapısına sahiptir. Kanalın yapısı nedeniyle karşılaşılan zorluklardan daha önce de bahsedilmiştir. Aynı şekilde sürtünme katsayısının belirlenmesi de zor olmaktadır. Kanal tabanında çok iri taşlar yer aldığından $n_0=0.028$ alınmıştır. Kesit düzensiz olduğundan n_1 sayısı 0.02 olarak belirlenmiştir. Kanal kesiti sık sık değiştiğinden $n_2=0.015$ alınmıştır. Engellemelerin etkisi göz önüne alındığında kanal tabanında yer alan iri taşların etkisinin fazla oluşundan n_3 sayısı 0.06 olarak belirlenmiştir. Kanalın kenarlarında ve tabanının ağaç kökleri ve bitkilerle yoğun bir şekilde kaplı olması sebebiyle $n_4=0.1$ alınmıştır. Kanalda menderesleşmenin olması nedeniyle m_5 sayısı 1.3 alınarak pürüzlülük parametresi $n=0.2899$ olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan bu pürüzlülük katsayısı ve bilinen kesit geometrik özellikleri (3.5) ifadesinde kullanılarak OD istasyonunda

gerçekleştirilen sekiz ölçüm için Manning debileri (Q_{Man}) hesaplanmıştır. Dilim yöntemi ile ve Manning denklemi ile elde edilen debiler ($Q-Q_{Man}$) ve bu debiler arasındaki rölatif farklar Tablo 3.15'te yer almaktadır. Tablodan da görüleceği üzere OD İstasyonu'nda gerçekleştirilen 8. ölçümde Manning denklemi akımı temsil edemediğinden hesaplara dahil edilmemiştir. Bu istasyonda Manning denklemi genel olarak yüksek farklarla debi sonuçları vermiştir. Yedi ölçüme ait ortalama fark ise %42.1 olmuştur.

Özvatan Kırközü İstasyonu'nda sürtünme katsayısı belirlenmesi şu şekilde gerçekleştirilmiştir: malzeme içeriği genel olarak toprak olduğundan $n_0=0.02$, kesit genel olarak düzenli olduğundan $n_1=0.00$, kanal kesiti nadiren değiştiği için $n_2=0.005$, akımın genel olarak engellenmesi söz konusu olmadığından $n_3=0.00$, bitki örtüsü oranı çok yüksek olduğundan $n_4=0.05$ ve son olarak da kesitin bulunduğu bölgede kıvrımların az oluşundan $m_5=1$ alınarak pürüzlülük parametresi $n=0.065$ olarak hesaplanmıştır. Hesaplanan bu pürüzlülük katsayısı ve bilinen kesit geometrik özellikleri (3.5) ifadesinde kullanılarak KO İstasyonu'nda gerçekleştirilen yedi ölçüm için Manning debileri (Q_{Man}) hesaplanmıştır. Dilim yöntemi ile ve Manning denklemi ile elde edilen debiler ($Q-Q_{Man}$) ve bu debiler arasındaki rölatif farklar Tablo 3.16'da yer almaktadır. Tablo incelendiğinde Manning denklemi ile hesaplanan debilerin %20 civarında farklarla debi hesabı yaptığı ve yedi ölçüme ait ortalama farkın ise %17.3 olduğu anlaşılmaktadır.

3.2.4. Su Yüzü Hızı ile Debi Hesabı

Ölçüm yapılan dört istasyonda gerçekleştirilen her ölçümde Bölüm 2.1.4'te belirtildiği gibi belirli mesafe aralıklarında su yüzü hızları ölçülmüştür. Ölçüm mesafesinin geçen zamana bölünmesi ile her bir ölçüme ait su yüzü hızı belirlenmiştir. Bünyan Pınarbaşı İstasyonunda ölçülen ortalama hızların yine ölçülen su yüzü hızlarına oranlarının (U/u_{sy}) ortalaması alınarak $k_{sy}=0.54$ hesaplanmıştır. Bu katsayı ile BP İstasyonu'nun su yüzü hızı ile ortalama hız ifadesi $U=0.54u_{sy}$ şeklinde olmuştur. Bu katsayı literatürde belirtilen 0.8-0.9 aralığına girmemektedir. Belirlenen bu k_{sy} katsayısı ile hesaplanan su yüzü debileri (Q_{sy}) ve bu debilerin dilim yöntemi ile hesaplanan debilerden farkları Tablo 3.13'te yer almaktadır. Tablo incelendiğinde her ne kadar fark değerleri yüksek görülse de literatüre uymayan bu k_{sy} katsayısıyla hesaplanan debilerin ortalama farkı %16.4 olmuştur.

Sarımsaklı Baraj Girişi İstasyonu'nda ölçülen ortalama hız değerleri ve su yüzü hız değerlerinin oranlarının ortalaması alındığında $k_{sy}=0.85$ bulunmuştur. Bu istasyonda k_{sy} katsayısı literatürle uyum göstermiştir. Bu uyumun düzgün kesit geometrisine ve dolayısıyla diğer kesitlere göre daha az çalkantının var oluşundan kaynaklandığı düşünülmektedir. Belirlenen bu k_{sy} katsayısı ile SB İstasyonu'nun su yüzü hızı ile ortalama hız ifadesi $U=0.85u_{sy}$ şeklinde olmuştur. Bu ifade ile hesaplanan su yüzü debileri ve bu debilerin dilim yöntemi ile hesaplanan debilere göre ortalama farkları Tablo 3.14'te verilmiştir. Tablodan da anlaşılabacağı üzere SB İstasyonu'nda su yüzü hızı ile debi hesabı yöntemi ortalama %9.1 hata oranı ile BP İstasyonu'na göre daha iyi sonuç vermiştir.

Ele alınan 3. İstasyon olan Felahiye Özdere İstasyonu'nda ölçülen ortalama hız değerleri ve su yüzü hız değerlerinin oranlarının ortalaması alındığında $k_{sy}=0.42$ olarak hesaplanmıştır. Bu katsayı ile OD İstasyonu'nun su yüzü hızı ile ortalama hız ifadesi $U=0.42u_{sy}$ şeklinde olmuştur. Bu istasyonda da k_{sy} katsayısı literatürle uyum göstermemiştir. Elde edilen su yüzü hızı ile ortalama hız ifadesi kullanılarak elde edilen su yüzü hızı debileri ve dilim yönteminden elde edilen debiler ile bu iki debi arasındaki farklar Tablo 3.15'te yer almaktadır. OD İstasyonu'na ait 8. ölçümde hesap debileri uyum göstermediğinde bu ölçüm tablodan görüleceği üzere hesaplara dahil edilmemiştir. Ele alınan yedi ölçümde su yüzü debilerinin ortalama farkı %20.6 olmuştur.

Özvatan Kırıközü İstasyonu'nda ölçülen ortalama hızların yine ölçülen su yüzü hızlarına oranlarının (U/u_{sy}) ortalaması alınarak $k_{sy}=0.45$ şeklinde hesaplanmıştır. Bu katsayı ile OD İstasyonu'nun su yüzü hızı ile ortalama hız ifadesi $U=0.45u_{sy}$ şeklinde olmuştur. Bu katsayı literatürde belirtilen 0.8-0.9 aralığına uymamaktadır. Belirlenen bu k_{sy} katsayısı ile hesaplanan su yüzü debileri (Q_{sy}) ve bu debilerin dilim yöntemi ile hesaplanan debilerden farkları Tablo 3.16'da yer almaktadır. Tablo incelendiğinde hesaplanan debilerin ortalama farkının %25.0 olduğu anlaşılmaktadır.

3.2.5. Entropi Yöntemi

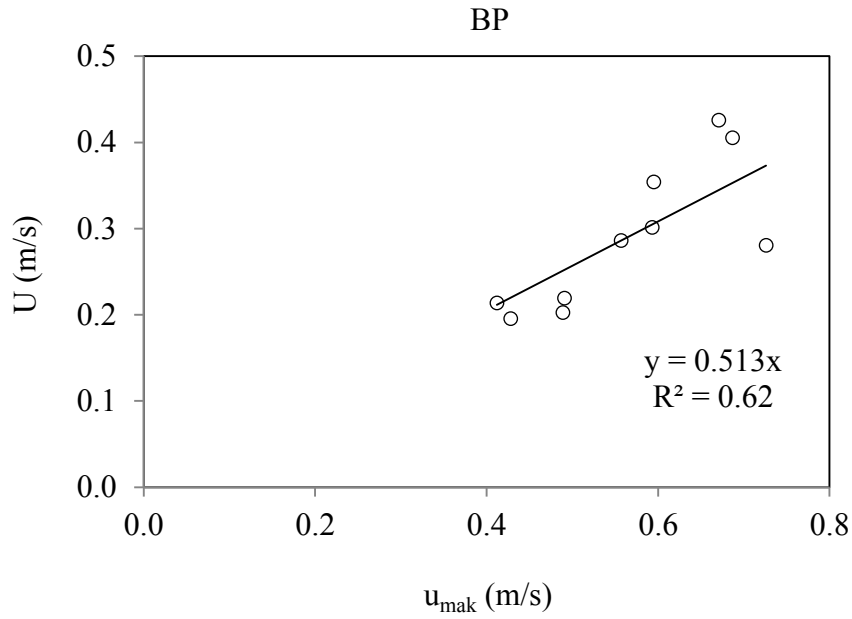
Entropi yöntemi ile debi hesaplanması için ele alınan 4 istasyona ait entropi parametresi, M 'in belirlenmesi gereklidir. Bu amaçla Bölüm 2.2.3'te verilen (2.37) ifadesinden yararlanılmıştır. Her bir istasyonda ele alınan ölçümlerde hesaplanan ve Tablo 3.1-4'te verilen ortalama hızlar

(U) ve kesite ait ölçülen maksimum hız (u_{mak}) değerleri kullanılmıştır. Literatürde belirtildiği üzere $U-u_{mak}$ arasında oluşan doğrusal ilişki ele alınan dört istasyonda da gözlenmiştir.

Bünyan Pınarbaşı İstasyonu'na ait ortalama hız ve maksimum hız değerleri Tablo 3.9'da yeniden gösterilmiştir. Verilen bu hız değerleri yardımı ile $U-u_{mak}$ ilişkisi grafik halinde Şekil 3.26'da çizilmiştir. Ele alınan en kesit için doğrusal ilişkinin belirlenmesi amacıyla orijinden (sıfırdan) geçen doğru denklemi belirlenerek grafik üstünde gösterilmiştir. Doğrunun eğimi olan $\phi=0,513$ değeri kullanılarak (2.34) ifadesi yardımı ile M değeri hesaplanmıştır. Bu istasyona ait belirlenen denklemin determinasyon katsayısı da $R^2=0.62$ 'dir. Bu değer daha geniş debi aralığında artacağı düşünülmektedir. BP İstasyonu için hesaplanan entropi parametresi $M=0.16$ olarak belirlenmiştir. Kesit için bilinen bu entropi parametresi sabit kabul edilerek herhangi bir akım durumunda u_{mak} yardımı ile debi hesaplanabilir. Kesitte maksimum hızın genellikle kesitin en derin olduğu düzeyde ve su yüzüne yakın bir bölgede olduğu [38], bu bölgede yapılacak bir veya birkaç ölçüm ile maksimum hızın değeri kolaylıkla belirlenebileceği bilinmektedir. Bu maksimum hız değeri, kesit için bilinen entropi parametresi (M) ve (2.34) ifadesi ile gösterilen denklem kullanılarak ortalama hız U hesaplanabilir. Kesite ait geometrik özelliklerin biliniyor olması (derinlik, genişlik, alan vb.) veya kolay belirlenmesi nedeniyle süreklilik denkleminde ($Q=U.A$) debi belirlenebilmektedir. Tablo 3.13'te BP İstasyonu'na ait bilinen M değeri ve her bir akımda ölçülen u_{mak} değerleri yardımı ile hesaplanan Q_M değerleri verilmiştir. Bu debilerin dilim yöntemi ile belirlenen Q debilerinden rölatif farkları da tabloda son sütunda gösterilmiştir. Bu değerlerden görüleceği üzere her bir akım için farklar %0.1–32.8 aralığında değişmektedir. İstasyona ait belirlenen ortalama hata da %13.2 olarak hesaplanmıştır. Bu değer entropi yönteminin anahtar eğrisinden daha iyi sonuç verdiğini göstermektedir.

Tablo 3.9. Bünyan Pınarbaşı İstasyonu M parametresi hesap tablosu.

	U	u_{mak}	U / u_{mak}
BP_1	0.354	0.595	0.595
BP_2	0.214	0.412	0.519
BP_3	0.301	0.593	0.508
BP_4	0.405	0.687	0.590
BP_5	0.426	0.671	0.634
BP_6	0.286	0.557	0.514
BP_7	0.202	0.489	0.414
BP_8	0.195	0.428	0.457
BP_9	0.219	0.491	0.446
BP_10	0.280	0.726	0.386
			0.513
		M=	0.16

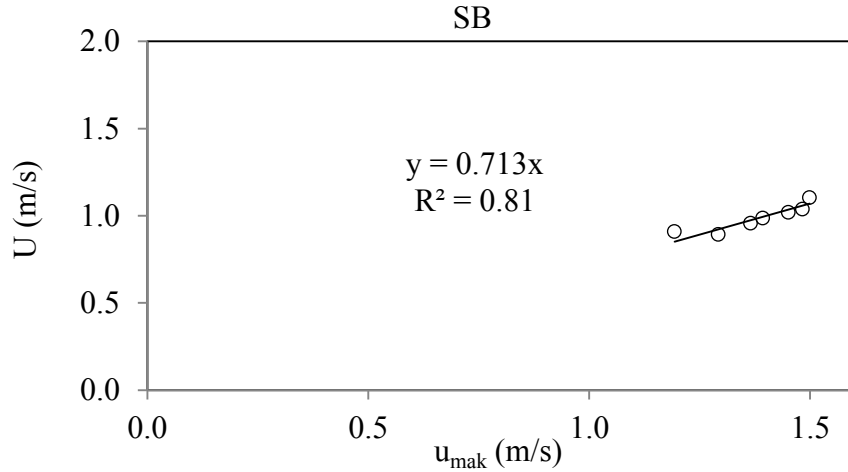
Şekil 3.26. Bünyan Pınarbaşı İstasyonu U - u_{mak} ilişkisi.

Sarımsaklı Baraj Girişi İstasyonu'na ait ortalama hız ve maksimum hız değerleri Tablo 3.10' da gösterilmiştir. Verilen bu hız değerleri yardımı ile U - u_{mak} ilişkisi grafik halinde Şekil 3.27'de çizilmiştir. Grafikte yer alan doğrunun eğimi olan $\phi=0.713$ değeri kullanılarak (2.34) ifadesi yardımıyla SB istasyonuna ait entropi parametresi $M=2.9$ olarak hesaplanmıştır. Bu istasyona ait belirlenen denklemin determinasyon katsayısı $R^2=0.81$ 'dir. Tablo 3.14'te SB

istasyonuna ait bilinen M değeri ve her bir akımda ölçülen u_{mak} değerleri ile hesaplanan debi değerleri Q_M verilmiştir. Hesaplanan bu debiler ile dilim yöntemiyle hesaplanan debiler (Q) arasındaki rölatif farklar aynı tabloda yer almaktadır. Bu değerler incelendiğinde tüm ölçümlerde hata aralığının %0.7–6.4 olduğu görülmektedir. Ele alınan tüm ölçümler için ortalama mutlak hata değeri ise %2.6 olarak hesaplanmıştır. Bu değerler dikkate alındığında entropi yönteminin SB İstasyonu’nda çok iyi sonuç verdiği söylenebilir.

Tablo 3.10. Sarımsaklı Baraj Girişi İstasyonu M parametresi hesap tablosu.

	U	u_{mak}	U / u_{mak}
SB_1	0.986	1.393	0.708
SB_2	0.93	1.292	0.691
SB_3	1.038	1.483	0.700
SB_4	1.103	1.499	0.736
SB_5	0.957	1.365	0.701
SB_6	0.909	1.193	0.762
SB_7	1.020	1.451	0.703
			0.713
		M=	2.9



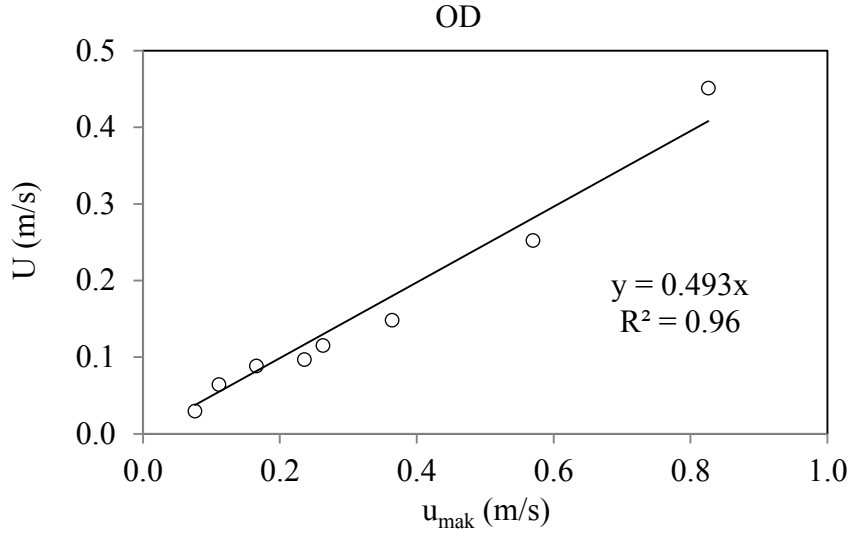
Şekil 3.27. Sarımsaklı Baraj Girişi İstasyonu $U-u_{mak}$ ilişkisi.

Felahiye Özdere İstasyonu’na ait ortalama hız ve maksimum hız değerleri Tablo 3.11’de gösterilmiştir. Verilen bu hız değerleri yardımı ile $U-u_{mak}$ ilişkisi grafik halinde Şekil 3.28’de çizilmiştir. Grafikte yer alan doğrunun eğimi olan $\phi=0.493$ değeri kullanılarak (2.34) ifadesi yardımıyla OD İstasyonu’na ait entropi parametresi M belirlenmeye çalışılmıştır. Ancak (2.34) ifadesinde U/u_{mak} değeri 0.5’ten küçük olduğundan M değeri tam yakınsayamamaktadır. Bu yüzden $U/u_{mak}=0.508$ değerini veren $M=0.1$ entropi parametresi

olarak kabul edilmiştir. Bu istasyona ait belirlenen denklemin determinasyon katsayısı $R^2=0.96$ olarak hesaplanmıştır. Tablo 3.15'te OD İstasyonu'na ait bilinen M değeri ve her bir akımda ölçülen u_{mak} değerleri ile hesaplanan Q_M değerleri verilmiştir. Hesaplanan bu debiler ile dilim yöntemiyle hesaplanan debiler (Q) arasındaki rölatif farklar aynı tabloda yer almaktadır. Tablo incelendiğinde 8. ölçümün çok yüksek hata verdiği için hesaplara dahil edilmediği, tüm ölçümlerde hata aralığının %7.3–21.6 olduğu görülmektedir. Ele alınan tüm ölçümler için ortalama mutlak hata değeri ise %13.9 olarak hesaplanmıştır. Bu değerler ele alınarak entropi yönteminin OD İstasyonu'nda anahtar eğrisine göre iyi sonuç verdiği söylenebilir. Benzer şekilde yine aynı tablodan OD İstasyonu'nda entropi yönteminin Manning denkleminde daha düzenli bir sonuç sergilediği anlaşılmaktadır. Her ne kadar belirlenen M parametresi yüksek determinasyon katsayısına sahip olsada $0.2-0.8H$ ve $0.6H$ yöntemlerinin tahmin yüzdelere yakalayamamıştır. Bu durumun M parametresi hesabındaki yakınsamama probleminden kaynaklandığı düşünülmektedir. Buradan hareketle OD İstasyonu gibi düşük debili sığ sularda entropi parametresinin belirlenmesinde karşılaşılan sıkıntılardan dolayı tam manasıyla yöntemin nasıl sonuç verdiğinin anlaşılamayacağı düşünülmektedir.

Tablo 3.11. Felahiye Özdere İstasyonu M parametresi hesap tablosu.

	U	u_{mak}	U / u_{mak}
OD_1	0.115	0.263	0.438
OD_2	0.064	0.111	0.575
OD_3	0.097	0.236	0.410
OD_4	0.451	0.826	0.546
OD_5	0.252	0.57	0.442
OD_6	0.148	0.364	0.406
OD_7	0.088	0.166	0.533
OD_8	0.029	0.076	0.387
			0.508
		M=	0.1

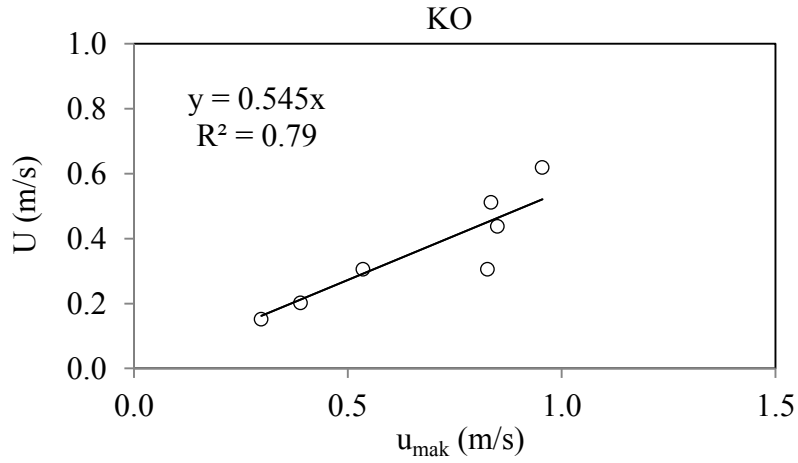


Şekil 3.28. Felahiye Özdere İstasyonu $U-u_{\max}$ ilişkisi.

Özvatan Kırıközü İstasyonu'na ait ortalama hız ve maksimum hız değerleri Tablo 3.12'de gösterilmiştir. Verilen bu hız değerleri yardımı ile $U-u_{\max}$ ilişkisi grafik halinde Şekil 3.29'da çizilmiştir. Grafikte yer alan doğrunun eğimi olan $\phi=0.545$ değeri kullanılarak (2.34) ifadesi yardımıyla KO İstasyonu'na ait entropi parametresi tahmin edilerek $M= 0.54$ olarak hesaplanmıştır. Bu istasyona ait belirlenen denklemin determinasyon katsayısı $R^2=0.80$ 'dir. Tablo 3.16'da KO İstasyonu'na ait bilinen M değeri ve her bir akımda ölçülen $u_{\max}$ değerleri ile hesaplanan Q_M değerleri verilmiştir. Hesaplanan bu debiler ile dilim yöntemiyle hesaplanan debiler (Q) arasındaki rölatif farklar aynı tabloda yer almaktadır. Bu değerler incelendiğinde tüm ölçümlerde en düşük hata oranının %4.5 ve en yüksek hata oranının 7. ölçümde %47.3 olduğu anlaşılmaktadır. Diğer ölçümler için entropi yöntemi iyi sonuç vermektedir. Ele alınan 7 adet ölçüm için ortalama mutlak hata değeri ise %13.8 olarak hesaplanmıştır. Bu hata değeri, entropi yönteminin KO İstasyonu'nda anahtar eğrisine göre daha iyi sonuçlar verdiğini göstermektedir. Benzer şekilde diğer debi hesap yöntemlerinden Mannig denklemi ve su yüzü hızı ile debi hesabı değerlerinden de yöntemin iyi sonuçlar verdiğini anlaşılmaktadır. Ancak Felahiye Özdere İstasyonu'nda olduğu gibi Özvatan Kırıközü İstasyonu'nda da entropi yöntemi $0.2-0.8H$ ve $0.6H$ yöntemlerinin tahmin yüzdelelerini yakalayamamıştır. Bu bakımdan entropi parametresinin hesaplanmasında önemli bir unsur olan ortalama hızın belirlenmesinde çok dikkatli çalışılması gerektiğini bu iki istasyonda elde edilen sonuçlar göstermektedir.

Tablo 3.12. Özvatan Kırıközü İstasyonu M parametresi hesap tablosu.

	U	$u_{\max}$	$U / u_{\max}$
KO_1	0.306	0.536	0.571
KO_2	0.152	0.298	0.511
KO_3	0.202	0.390	0.518
KO_4	0.619	0.955	0.649
KO_5	0.512	0.835	0.613
KO_6	0.438	0.850	0.516
KO_7	0.306	0.827	0.370
			0.545
		M=	0.54

Şekil 3.29. Özvatan Kırıközü İstasyonu U - $u_{\max}$ ilişkisi.

3.2.6. Farklı Yöntemler ile Debi Hesabının Değerlendirilmesi

Bu bölümde ele alınan istasyonlara ait dilim debi değerleri ile altı farklı yöntem ile hesaplanan debiler ($Q_{0.2-0.8}$, $Q_{0.6}$, Q_{anh} , Q_{Man} , Q_{sy} ve Q_M) her istasyon için farklı tablolarda verilmiştir (Tablo 3.13-16). Bu tablolarda debi yöntemleri arasındaki rölatif farklarda gösterilmiştir. Tablolardanda görüleceği üzere, dilim yöntemi ile diğer yöntemler arasındaki hata değerleri sırasıyla 8, 9, 10, 11, 12 ve 13. sütunlarda gösterilmiştir. Tablonun en son satırında ise bu yöntemlere ait ortalama hatalar verilmiştir.

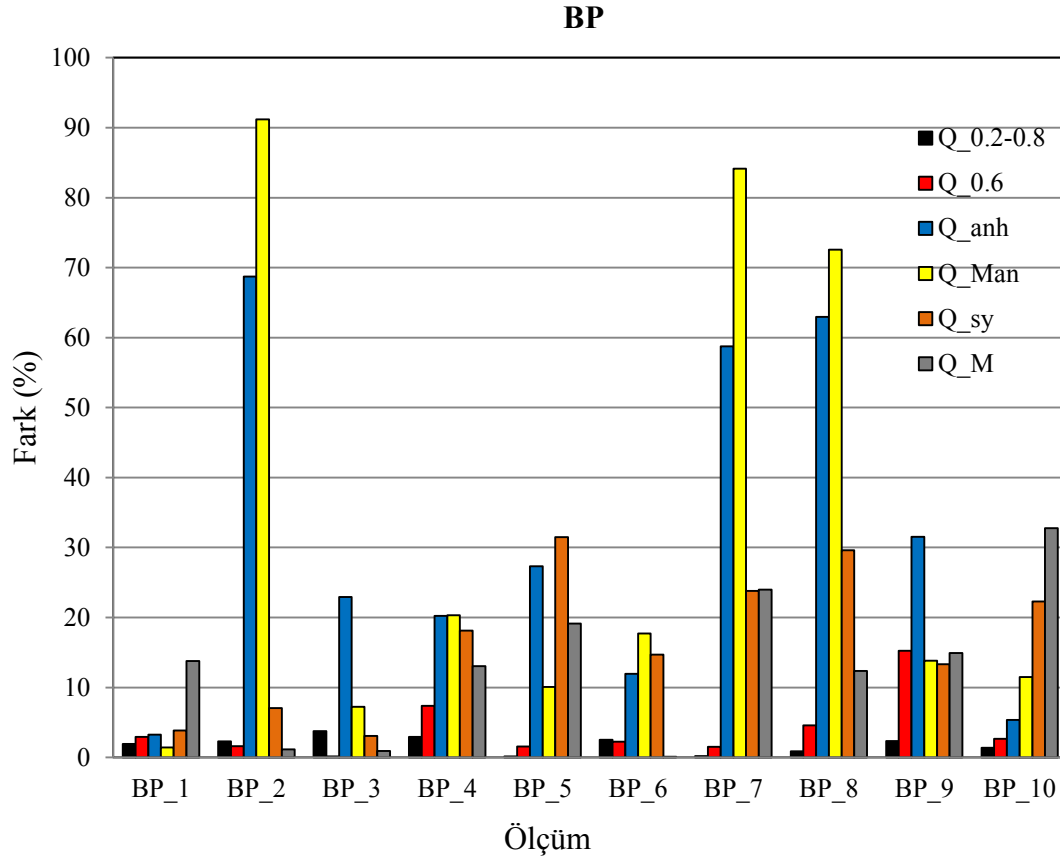
Bünyan Pınarbaşı İstasyonu debi hesap sonuçları Tablo 3.13’de yer almaktadır. Bu tablo incelendiğinde $0.2-0.8H$ debilerinin %1.8 ortalama fark ile en iyi sonucu verdiği ve onu %4 fark ile $0.6H$ debilerinin izlediği ve iki yöntemin gayet iyi sonuçlar verdiği görülmektedir.

Dolayısıyla dilim debileri hesabında ortalama hız için her iki yöntemin kullanılması yeterli olacaktır. Literatürde de benzer sonuçlar vurgulanmıştır [35]. Anahtar eğrisi debileri incelendiğinde bazı ölçümler hatayı artırmış ve bu değerler hesaba katıldığında %31.3' lük ortalama fark ile debiler hesaplanmıştır. Şekil 3.22' de yer alan Bünyan Pınarbaşı İstasyonu'na ait anahtar eğrisi grafiği incelendiğinde denklemin determinasyon katsayısı $R^2=0.31$, yani düşük olduğu görülmektedir. Dolayısıyla mevcut ölçümler ile belirlenen anahtar eğrisinin iyi tahminlerde bulunulamayacağı anlaşılmaktadır. Bu sonuçtan yola çıkılarak, doğal bir akarsuda anahtar eğrisinin daha sağlıklı oluşturulması için eğri oluşturmada kullanılacak veri sayısının çok daha fazla ve geniş debi aralığında olması gerektiği görülmektedir. BP istasyonu için Manning debileri incelendiğinde bazı ölçümlerde %85 civarı farkların olduğu ve bu farklarda hesaplara dahil edilerek ortalama farkın %33.0 olduğu tablodan anlaşılmaktadır. Bu sonuçlardan yola çıkarak BP İstasyonu'nda Manning denklemin anahtar eğrisi yöntemi gibi düzenli sonuçlar vermediği görülmektedir. İstasyona ait su yüzü hızları ile hesaplanan debilerin ortalama farkının %16.4 olduğu ve genel olarak düzenli sonuçlar verdiği anlaşılmaktadır.

Su yüzü hızı ile debi hesabının anahtar eğrisi yöntemi ve Manning denklemine göre iyi sonuç verdiği görülmektedir. Yine bu istasyon için entropi yöntemi ile hesaplanan debilere ait ortalama fark % 13.2 olarak hesaplanmıştır. Bu değer yüksek oluşunun özellikle bazı ölçümlerden kaynaklandığı tablodan anlaşılmaktadır. Yöntem anahtar eğrisi ve Manning yöntemi ile karşılaştırıldığında daha doğru sonuçlar vermektedir. Dolayısıyla entropi yöntemi uygulamada daha çok başvurulan anahtar eğrisi yöntemine göre tercih edilebilir. Entropi yöntemi ile su yüzü hızı ile debi hesabı yöntemi yakın sonuçlar vermiştir. Şekil 3.30'da Bünyan Pınarbaşı İstasyonu'nda gerçekleştirilen 10 farklı ölçümde elde edilen ve Tablo 3.13'de verilen debi hata değerlerinin grafiği yer almaktadır. Grafik incelendiğinde Manning yöntemi ve anahtar eğrisi yönteminin bazı ölçümlerde yüksek farklar verdiği görülmektedir. Entropi yönteminde bu farkların yüksek olmasının sebebinin ele alınan düşeylere ait maksimum hızın (u_{mak}) doğru olarak belirlenememesi olduğu düşünülmektedir. Manning yönteminin ise bu kesite uyumlu sonuçlar vermediği anlaşılmıştır.

Tablo 3.13. Bünyan Pınarbaşı İstasyonu'na ait debi analizleri.

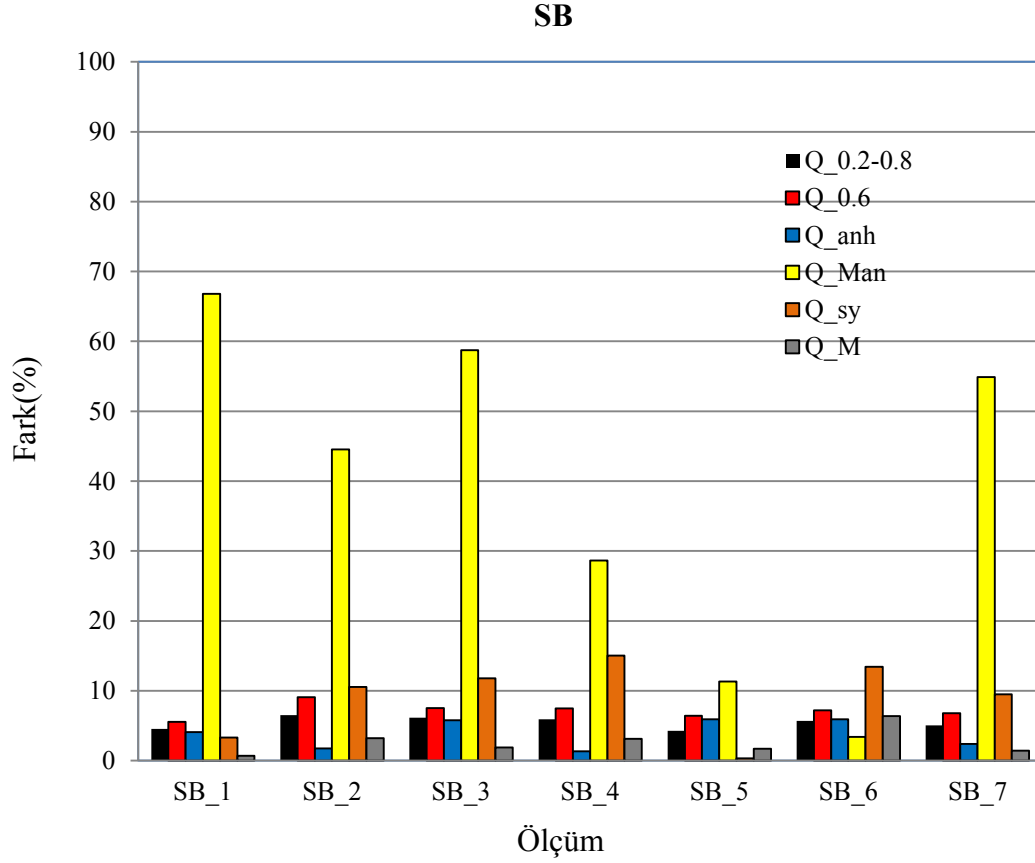
	Q	Q _{0.2-0.8}	Q _{0.6}	Q _{anh}	Q _{Man}	Q _{sy}	Q _M	Mutlak Fark (%)					
	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	Q-Q _{0.2-0.8}	Q-Q _{0.6}	Q-Q _{anh}	Q-Q _{Man}	Q-Q _{sy}	Q-Q _M
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
BP_1	0.788	0.803	0.811	0.814	0.776	0.758	0.679	1.9	2.9	3.3	1.4	3.8	13.8
BP_2	0.434	0.444	0.427	0.732	0.830	0.403	0.429	2.3	1.6	68.7	91.2	7.1	1.1
BP_3	0.636	0.660	0.637	0.782	0.682	0.616	0.642	3.8	0.2	23.0	7.3	3.1	0.9
BP_4	1.082	1.114	1.162	0.863	0.862	0.886	0.941	3.0	7.4	20.2	20.3	18.1	13.0
BP_5	1.188	1.190	1.170	0.864	1.069	0.814	0.961	0.1	1.5	27.3	10.1	31.5	19.1
BP_6	0.708	0.726	0.692	0.793	0.583	0.812	0.707	2.5	2.3	12.0	17.7	14.7	0.1
BP_7	0.467	0.466	0.460	0.741	0.074	0.574	0.579	0.2	1.5	58.7	84.2	22.9	24.0
BP_8	0.458	0.462	0.479	0.746	0.126	0.589	0.515	0.9	4.6	62.9	72.6	28.6	12.4
BP_9	0.603	0.617	0.695	0.793	0.520	0.678	0.693	2.3	15.3	31.5	13.8	12.5	14.9
BP_10	0.865	0.853	0.842	0.819	0.964	1.050	1.149	1.4	2.7	5.4	11.5	21.4	32.8
Ortalama Mutlak Fark								1.8	4.0	31.3	33.0	16.4	13.2



Şekil 3.30. Bünyan Pınarbaşı İstasyonu debi hesap farkları grafiği.

Sarımsaklı Baraj Girişi İstasyonu'na ait debi değerlerinin yer aldığı Tablo 3.14 incelendiğinde Bünyan Pınarbaşı İstasyonu'ndan farklı olduğu görülmektedir. Entropi debileri %2.6 hata oranıyla en iyi tahminde bulunurken %3.2 hata oranıyla anahtar eğrisi yöntemi ikinci iyi tahminde bulunmuştur. $0.2-0.8H$ debileri %5.5 ve $0.6H$ debileri de %7.2 hata oranıyla tahminlerde bulunmuştur. Tablonun 12. sütunu incelendiğinde su yüzü hızı ile hesaplanan debilerin %9.1 ortalama fark oranıyla belirlendiği ve yöntemin SB İstasyonu'nda kabul edilebilir sonuçlar verdiği düşünülmektedir. Bu sonuçlardan belirtilen beş yöntemde debi hesabında kullanılabileceği anlaşılmaktadır. Yöntemlerin birbirine yakın ve iyi sonuç vermesinin en önemli sebebi kesit geometrisinin ve özelliklerinin düzenli olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir. Ancak yukarda bahsedilenin aksine SB istasyonunda Manning yönteminde tablodan da anlaşılabileceği üzere %38.3 ortalama fark hesaplanmıştır. Kesitin betonarme oluşu pürüzlülük katsayısının belirlenmesini kolaylaştırmış olmasına karşın yöntem bu istasyonda beklenen sonuçları verememiştir. Önceki bölümlerde de bahsedildiği üzere SB İstasyonu'nda kesit betonarme ve kanal geometrisi düzenlidir. Kesit geometrisinin düzenli ve malzeme özelliklerinin homojen olmasının Manning yöntemi

haricindeki yöntemlerde debi tahminlerinin daha sağlıklı gerçekleştirilmesine neden olduğu görülmektedir. Bu farkın su yüzü eğimini belirlerken oluşan hatalara bağlı olduğu düşünülmektedir.



Şekil 3.31. Sarımsaklı Baraj Girişi İstasyonu debi hesap farkları grafiği.

Şekil 3.31’de Sarımsaklı Baraj Girişi İstasyonu’nda gerçekleştirilen 7 farklı ölçümde elde edilen ve Tablo 3.14’de verilen debi hata değerlerinin görsel şekli yer almaktadır. Şekilde Manning yönteminin 5 ölçümde aşırı yüksek sonuçlar verdiği anlaşılmaktadır. diğer iki ölçümde ise kabul edilebilir farklar vermiştir. Sarımsaklı Baraj Girişi istasyonunda su yüzü hızı ile debi hesabı yöntemi Manning Denkleminde sonraki en yüksek farkı veren debi hesap yöntemi olmuştur. Su yüzü hızı ile debi hesabı yönteminden sonra en yüksek farkı $0.6H$ yönteminin verdiği yine aynı tablodan anlaşılmaktadır. Diğer üç yöntemde 7 ölçümde iyi sonuçlar verdiği görülmektedir. Anahtar eğrisi ve entropi debilerinin diğer iki yöntemle göre ($0.2-0.8H$ ve $0.6H$) daha iyi oldu anlaşılmaktadır.

Tablo 3.14. Sarımsaklı Baraj Girişi İstasyonu'na ait debi analizleri.

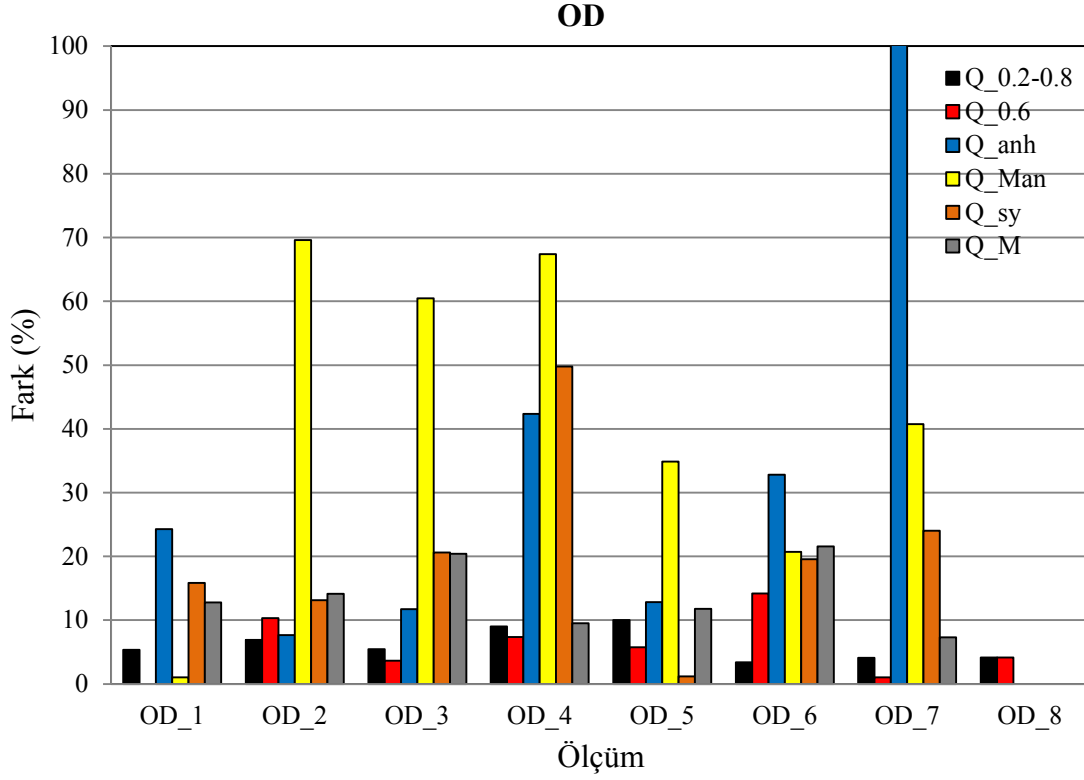
	Q	Q _{0.2-0.8}	Q _{0.6}	Q _{anh}	Q _{Man}	Q _{sy}	Q _M	Mutlak Fark (%)					
	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	Q-Q _{0.2-0.8}	Q-Q _{0.6}	Q-Q _{anh}	Q-Q _{Man}	Q-Q _{sy}	Q-Q _M
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
SB_1	1.178	1.231	1.243	1.226	0.391	1.138	1.186	4.5	5.6	4.1	66.8	3.3	0.7
SB_2	1.023	1.090	1.116	1.041	0.567	1.131	1.056	6.5	9.1	1.8	44.5	10.6	3.2
SB_3	1.234	1.310	1.327	1.163	1.959	1.380	1.257	6.1	7.5	5.8	58.7	11.8	1.9
SB_4	1.658	1.756	1.782	1.635	1.183	1.409	1.606	5.9	7.5	1.4	28.7	15.0	3.1
SB_5	1.218	1.270	1.297	1.290	1.080	1.214	1.239	4.3	6.4	5.9	11.3	0.3	1.7
SB_6	1.053	1.113	1.129	1.041	1.089	1.194	0.986	5.7	7.2	1.1	3.4	13.4	6.4
SB_7	1.322	1.389	1.412	1.290	2.048	1.196	1.341	5.1	6.8	2.4	54.9	9.5	1.5
Ortalama Mutlak Fark								5.5	7.2	3.2	38.3	9.1	2.6

Özdere İstasyonunu debi değerleri Tablo 3.15'ten incelendiğinde $0.2-0.8H$ ve $0.6H$ debilerinin % 6.0 ve %5.8 oranında ortalama hatalarla tahminlerde bulunduğu ve bu iki yöntemin iyi sonuçlar verdiği söylenebilir. Anahtar eğrisi yöntemi istasyona ait 8. ölçümde yüksek fark vermiştir. Bu ölçümde debinin çok küçük olması buna rağmen kesit malzeme özelliğine bağlı kabarma gözlenerek akımın yapısının bozulduğu anlaşılmaktadır. Dolayısıyla hata hesaplamalarında bu ölçüm değerleri dikkate alınmamıştır. Bu istasyona ait Şekil 3.24'te yer alan anahtar eğrisi grafiği incelendiğinde $R^2=0.86$ olduğu görülmektedir. Bu yönteme ait istasyondaki ortalama fark da %34.4 olarak bulunmuştur. Manning yönteminin anahtar eğrisi yöntemine göre daha fazla oranda hata ile (%42.1) sonuç verdiği tablodan anlaşılmaktadır. Bu sonuçtan yola çıkarak OD İstasyonu'nda Manning yöntemine başvurmanın iyi sonuçlar vermediği söylenebilir. Çünkü bu değer diğer yöntemlerin sonuçlarına göre oldukça yüksektir. Su yüzü hızı ile yapılan debi hesapları %20.6 ortalama fark vererek düzenli bir sonuç elde edilmemiştir. Entropi debilerinin ortalama hata değeri %13.9' dur. Bu hata oranıyla entropi yönteminin bu kesit için anahtar eğrisi, Manning ve su yüzü hızı yöntemlerine göre daha iyi sonuçlar verdiği söylenebilir.

Şekil 3.32'de Felahiye Özdere İstasyonu'nda gerçekleştirilen 8 farklı ölçümde elde edilen ve Tablo 3.15'te verilen debi hata değerlerinin grafiği yer almaktadır. Şekilde anahtar eğrisi yönteminin OD istasyonunda son ölçümde çok yüksek fark verdiği için hesaba dahil edilmediği, 7. ölçümde aşırı yüksek bir fark verdiği ve buna bağlı olarak diğer ölçülmedeki genel olarak yüksek seyreden fark değerleri ile birlikte ele alınan istasyonda yüksek fark verdiği anlaşılmaktadır. Anahtar eğrisi yöntemi yüksek farklar vermiş olsada Manning debilerinin genel olarak yüksek farklar verdiği ve yöntemin mutlak farkının anahtar eğrisi yönteminden yüksek olduğu anlaşılmaktadır. Su yüzü debileri incelendiğinde bazı ölçümlerde %50 civarında farklar görülse de bu iki yöntemlere nispeten daha düzenlidir. Entropi yönteminin fark aralığının %10-20 olduğu ve entropi debilerinin bu üç yönteme göre daha iyi olduğu anlaşılmaktadır. Diğer istasyonlarda olduğu gibi bu istasyonda da $0.2-0.8H$ ve $0.6H$ yöntemlerinin istikrarlı sonuçları göze çarpmaktadır. Tablo 3.15 ve Şekil 3.32 incelendiğinde bahsedilen iki yöntemde Felahiye Özdere İstasyonu'nda gayet düzenli sonuçlar verdiği, yöntemlerin en yüksek %10 dolaylarında farklar verdiği, bu iki yöntemin diğer yöntemlerden daha iyi sonuçlar verdiği anlaşılmaktadır.

Tablo 3.15. Felahiye Özdere İstasyonu'na ait debi analizleri.

	Q	Q _{0.2-0.8}	Q _{0.6}	Q _{anh}	Q _{Man}	Q _{sy}	Q _M	Mutlak Fark (%)					
	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	Q-Q _{0.2-0.8}	Q-Q _{0.6}	Q-Q _{anh}	Q-Q _{Man}	Q-Q _{sy}	Q-Q _M
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
OD_1	0.075	0.071	0.075	0.057	0.076	0.087	0.085	5.3	0.0	24.3	1.0	15.9	12.8
OD_2	0.029	0.031	0.032	0.031	0.049	0.025	0.025	6.9	10.3	7.7	69.6	13.2	14.2
OD_3	0.055	0.058	0.057	0.049	0.022	0.066	0.066	5.5	3.6	11.7	60.5	20.6	20.4
OD_4	0.722	0.787	0.775	0.416	0.235	0.363	0.653	9.0	7.3	42.3	67.4	49.8	9.5
OD_5	0.330	0.363	0.311	0.288	0.215	0.334	0.369	10.0	5.8	12.8	34.9	1.2	11.8
OD_6	0.176	0.182	0.151	0.234	0.140	0.210	0.214	3.4	14.2	32.8	20.7	19.6	21.6
OD_7	0.098	0.102	0.099	0.205	0.138	0.122	0.091	4.1	1.0	108.8	40.7	24.0	7.3
OD_8	0.024	0.023	0.025	0.131	0.113	0.045	0.000	4.2	4.2				
Ortalama Mutlak Fark								6.0	5.8	34.4	42.1	20.6	13.9



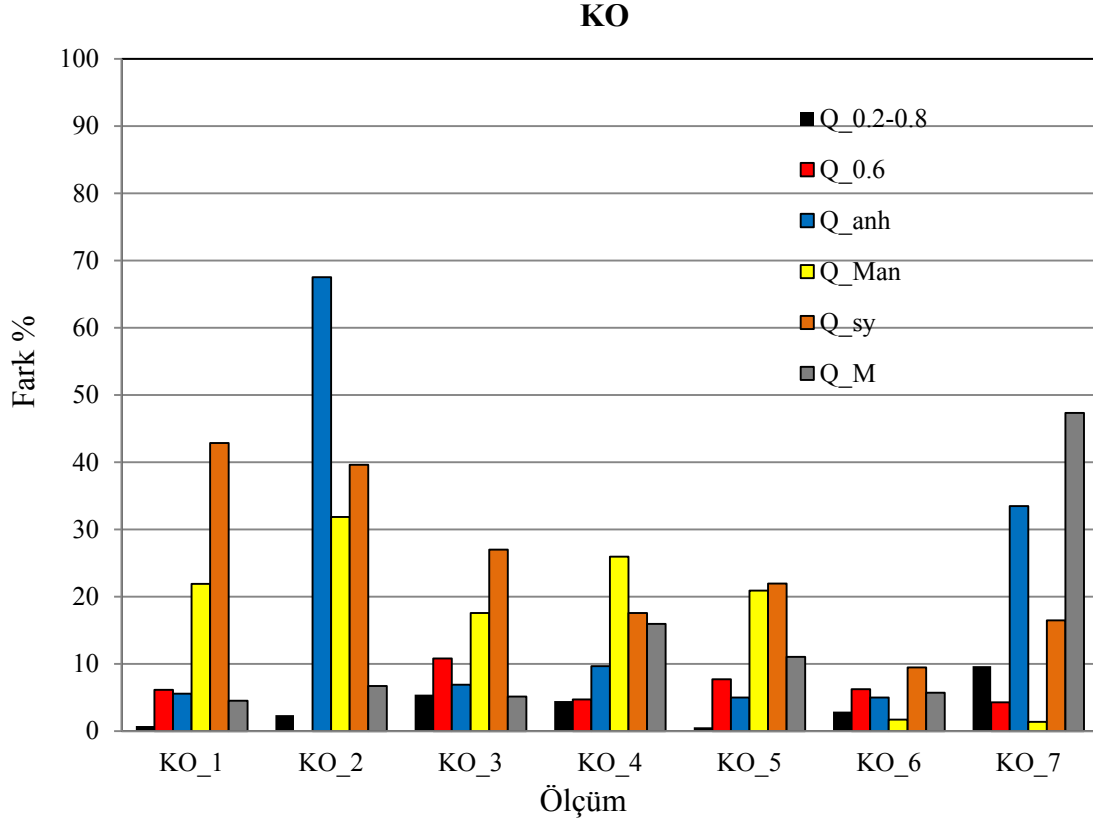
Şekil 3.32. Felahiye Özdere İstasyonu debi hesap farkları grafiği.

Kırıközü İstasyonuna ait debi ve hata değerleri Tablo 3.16’da yer almaktadır. Tablo incelendiğinde $0.2-0.8H$ debisinin %3.7 ortalama hata ile, $0.6H$ debilerinin de %5.7 ortalama hata ile debi değerlerini hesapladığı görülmektedir. Her iki yönteminde Özvatan Kırıközü İstasyonu için kullanılabileceği anlaşılmaktadır. İstasyonda anahtar eğrisi 2. ve 7. ölçümdeki yüksek fark oranlarına rağmen % 18.7 ortalama farkla tahminde bulunmuştur. Manning yönteminin ise %17.3’ lük farkla debi hesapladığı belirlenmiştir. Bu iki yöntem yakın sonuçlar vermiştir. Su yüzü hızı ile debi hesabı yöntemi %25.0 ortalama fark oranı ile KO İstasyonu’nda en yüksek farkı veren yöntem olmuştur. Entropi yöntemi de %13.8 ortalama fark oranı ile anahtar eğrisi, Manning ve su yüzü hızı yöntemlerini göre daha iyi sonuç vermiştir.

Şekil 3.33’te Özvatan Kırıközü İstasyonu’nda gerçekleştirilen 7 farklı ölçümde elde edilen ve Tablo 3.16’da verilen debi hata değerlerinin grafiği yer almaktadır. Şekilden entropi yöntemi ve anahtar eğrisi yöntemi ile hesaplanan debilerin bazı ölçümlerde yüksek fark verdiği, Manning ve su yüzü hız debilerinin ise genel olarak yüksek oranda farklarla debi hesabı yaptığı anlaşılmaktadır. $0.2-0.8H$ ve $0.6H$ debilerinin ise genel olarak iyi olduğu görülmektedir.

Tablo 3.16. Özvatan Kırıközü İstasyonu'na ait debi analizleri.

	Q	Q _{0.2-0.8}	Q _{0.6}	Q _{anh}	Q _{Man}	Q _{sy}	Q _M	Mutlak Fark (%)					
	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	(m ³ /s)	Q-Q _{0.2-0.8}	Q-Q _{0.6}	Q-Q _{anh}	Q-Q _{Man}	Q-Q _{sy}	Q-Q _M
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
KO_1	0.130	0.129	0.122	0.137	0.101	0.186	0.124	0.8	6.2	5.6	21.9	42.9	4.5
KO_2	0.042	0.043	0.042	0.070	0.055	0.059	0.045	2.4	0.0	67.5	31.8	39.6	6.7
KO_3	0.037	0.035	0.041	0.034	0.030	0.047	0.039	5.4	10.8	6.9	17.6	27.0	5.1
KO_4	0.467	0.488	0.489	0.422	0.346	0.385	0.392	4.5	4.7	9.6	25.9	17.6	16.0
KO_5	0.351	0.353	0.378	0.369	0.278	0.274	0.312	0.6	7.7	5.0	20.9	21.9	11.1
KO_6	0.241	0.234	0.256	0.235	0.237	0.218	0.255	2.9	6.2	2.5	1.7	9.5	5.7
KO_7	0.093	0.102	0.097	0.062	0.094	0.078	0.137	9.7	4.3	33.5	1.4	16.5	47.3
Ortalama Mutlak Fark								3.7	5.7	18.7	17.3	25.0	13.8



Şekil 3.33. Özvatan Kırıközü İstasyonu debi hesap farkları grafiği.

Tablo 3.17 İstasyonlara ait ortalama debi farkları.

	Q _{0.2-0.8}	Q _{0.6}	Q _{anh}	Q _{Man}	Q _{sy}	Q _M
BP	1.8	4.0	31.3	33.0	16.4	13.2
SB	5.5	7.2	3.2	38.3	9.1	2.6
OD	6.0	5.8	34.4	42.1	20.6	13.9
KO	3.7	5.7	18.7	17.3	25.0	13.8

Genel olarak değerlendirme yapıldığında $0.2-0.8H$ debilerinin ortalama hata oranlarının %1.8–6.0 aralığında olduğu görülmektedir. Tüm ölçümler dikkate alındığında bu hata oranları da %0.00–10.8 aralığında değişmektedir. Bu değerlerden yola çıkarak $0.2-0.8H$ yönteminin doğal akarsularda debi hesaplarında kullanılabilir en iyi sonuç veren yöntem olduğu söylenebilir. Dolayısıyla dilim debileri hesaplanırken derinlik boyunca hız ölçümünün yapılmasına gerek yoktur.

$0.6H$ debilerinin hata oranları incelendiğinde tahminlerin ortalama hatalarının %4.0–7.2 aralığında olduğu görülmektedir. Ölçümler bazında incelendiğinde bu aralığın %0.00–15.3 olduğu görülmektedir. Benzer şekilde $0.2-0.8H$ yönteminde olduğu gibi bu yöntemde iyi

tahminlerde bulunduğu söylenebilir. Literatürde bu tek ölçümün sığ sularda kullanılabileceği belirtilmektedir.

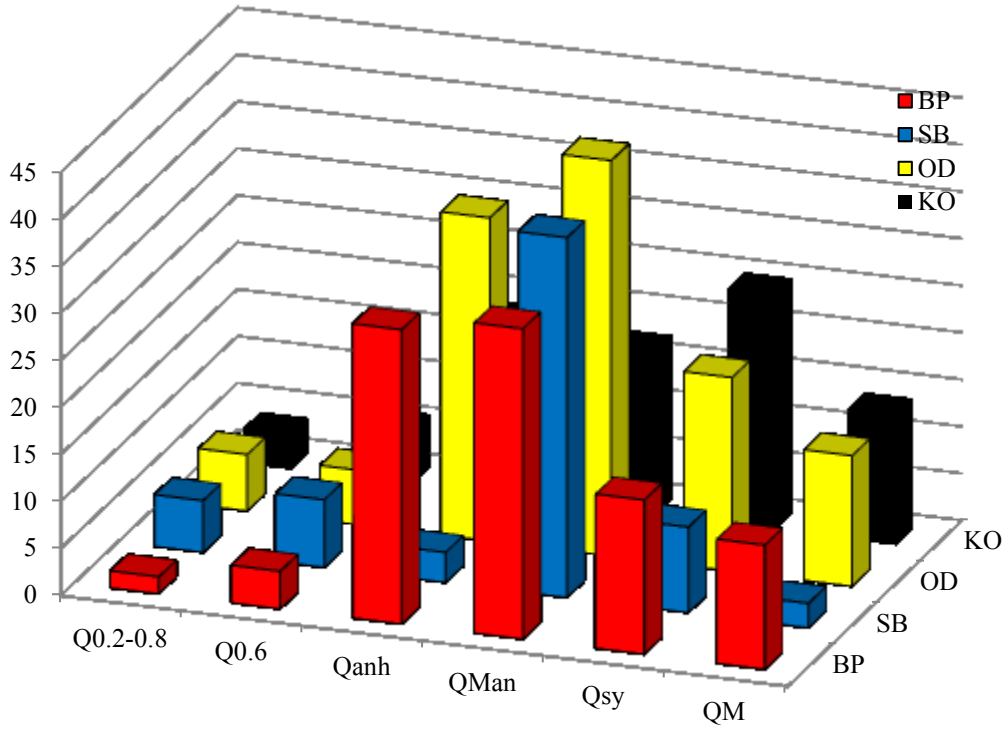
Anahtar eğrisi yöntemiyle elde edilen sonuçlar incelendiğinde Sarımaklı Baraj Girişi İstasyonu'nu dahil edilerek bir ortalama hata aralığı belirlenirse bu aralık %3.2–34.4 olmuştur. Gözlenen yüksek hatalar önceden de belirtildiği gibi anahtar eğrisinin oluşturulmasında kullanılan veri sayısının az oluşundan kaynaklanmıştır. Çok sayıda ölçüm sonuçları ile oluşturulacak anahtar eğrilerinin daha doğru debi tahmini yapılabileceği bilinmektedir.

Manning denklemi ile hesaplanan debilerin vermiş olduğu sonuçlara bakıldığında ortalama fark aralığının %17.3–42.1 olduğu görülmektedir. Ele alınan dört istasyon için Manning denkleminin uygun olmadığı anlaşılmaktadır. Pürüzlülük katsayısı n 'in belirlenmesinde çok hassasiyet gösterilse bile sağlıklı sonuçlar elde edilememiştir. Buradan hareketle doğal akarsularda Manning yöntemi kullanılırken dikkatli olunması gerektiği sonucuna ulaşılmıştır.

Su yüzü hızı ile debi hesabı sonuçları ele alındığında %9.1–25.0 aralığında ortalama farklarla debi tahminlerinde bulunulduğu görülmektedir. Diğer istasyonlara göre daha düzenli bir kesit yapısına sahip olan SB İstasyonu'nda sonuçlar gayet iyidir. Diğer istasyonlarda her ne kadar literatürde bahsedilen değerlere uymayan k_{sy} katsayıları belirlenmiş olsa da sonuçların iyi olmadığı görülmektedir. Aksine, kanalın su yüzü hızı ölçümü yapılan kısmının akımın daha düzenli olduğu, türbülansın olmadığı bir kesimde belirlenerek çok daha hassas su yüzü hızı ölçümleriyle yöntemin daha gerçekçi sonuçlar vereceği düşünülmektedir. Bu yönüyle su yüzü hız ile debi hesabı yöntemini doğal akarsularda daha detaylı incelenmesi gerektiği sonucuna varılmıştır.

Entropi yöntemi ile hesaplanan debi değerleri incelendiğinde hata aralığının ilk iki yöntemle göre geniş olduğu görülmektedir. Ele alınan BP, SB, OD ve KO istasyonlarda rölatif farklar sırasıyla %13.2 - %2.6 - %13.9 ve %13.8 olarak belirlenmiştir. Ele alınan istasyonlarda bu yöntem anahtar eğrisine göre daha iyi sonuçlar vermektedir. İstasyonlara ait entropi parametresinin daha çok veri ile hesaplanması durumunda bu farkların azalacağı öngörülmektedir.

Şekil 3.34'te ele alınan dört istasyonda yapılan debi hesaplarının ortalama farklarının grafiği verilmiştir. Grafik üzerinden genel bir değerlendirme yaparak, $0.2-0.8H$ ve $0.6H$ debilerinin tüm istasyonlarda iyi sonuç verdiği, anahtar eğrisi ve Manning denklemi yöntemlerinin yüksek farklar verdiği ve su yüzü hızı debilerinin de normal sonuçlar verdiği söylenebilir. Entropi yönteminin farkları incelendiğinde ise $0.2-0.8H$ ve $0.6H$ debileri kadar iyi sonuçlar veremediği ancak diğer üç yöntemden de daha iyi sonuç verdiği anlaşılmaktadır.



Şekil 3.34. Debi hesabı genel fark grafiği.

3.3. Akarsularda Hız Dağılımları

Dört farklı istasyonda gerçekleştirilen ölçümlerde ele alınan düşeylerdeki hız dağılımlarının, logaritmik, entropi ve üstel dağılım modelleri ile uyumu araştırılmıştır. Bu amaçla her bir modele ait parametreler belirlenmeye çalışılmıştır. Ölçüm değerleri kullanılarak logaritmik dağılımdaki kayma hızları (u_*), rölatif pürüzlülük katsayıları (k_s), entropi modeline ait M entropi parametresi ve üstel dağılımdaki katsayılar a ve m katsayıları belirlenmiştir. Belirlenen bu parametreler ile hesaplanan dağılımların ölçüm değerlerini ne derecede ve hangi

bölgede temsil ettiği belirlenmeye çalışılmıştır. Buna göre 3 modelin avantaj ve dezavantajları ortaya konulmuştur.

3.3.1. Logaritmik Dağılım

Akarsularda iki boyutlu hız dağılımını gösteren logaritmik dağılım literatürde en çok ele alınan dağılımdır. Bu dağılımda kesitte ele alınan düşeye ait kayma hızı (u_*) ve rölatif pürüzlülüğün (k_s) bilinmesi gerekmektedir. 4 farklı istasyonda, farklı akım durumlarında yapılan enkesit hız ölçümleri ele alınarak logaritmik dağılımdaki bu parametreler belirlenmiştir. Bünyan Pınarbaşı İstasyonunun 1. ölçümünde (BP_1) parametrelerin hesabı detaylı olarak açıklanmıştır. Bu istasyonda dağılımın geçerli olduğu aralık her bir düşey için belirlenmiş ve grafik olarak gösterilmiştir. Diğer ölçümler ve istasyonlar için dağılım sonuçları ölçüm değerleri ile grafiksel olarak saçılım diyagramlarında gösterilmiştir.

3.3.1.1. Bünyan Pınarbaşı İstasyonu Logaritmik Dağılım Hesap Örneği

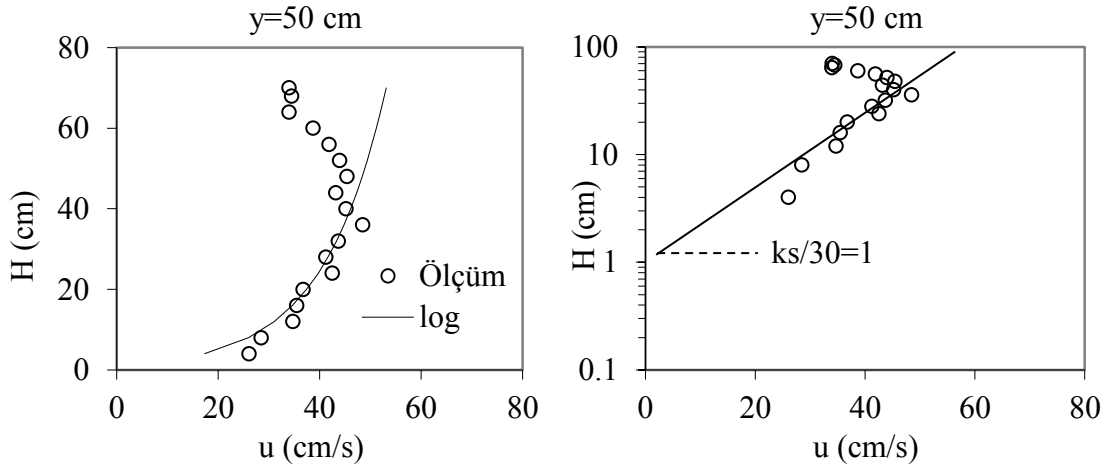
Sümer [69], ele alınan düşeyde ölçülen hız dağılımları, $u(z)$, yardımı ile $1/\chi = 2.5$ alınarak, u_* ve k_s değerlerinin (2.25) denkleminde elde edilebileceğini bildirmiştir. Derinlik boyunca ölçülen noktasal hız değerleri düşey eksen (z) logaritmik olacak şekilde grafiği çizildiğinde, logaritmik hız dağılım bölgesinin yaklaşık $0.1H \leq z \leq (0.2-0.3)H$ aralığında kalacağını, bu bölgeden geçen doğrunun z eksenini kestiği noktanın $k_s/30$ değerini gösterdiğini belirtmiştir. Belirlenen bu $k_s/30$ değeri yardımı ile ölçülen hız değerlerini logaritmik bölgede en iyi temsil eden kayma hızı, u_* , (2.25) denklemi yardımı ile belirlenebilir.

Bu amaçla BP_1 ölçümüne ait ölçüm değerleri Tablo 3.5'te verilmiştir. Şekil 3.35(a-g)'te bu ölçüme ait en kesit üzerinde ölçüm yapılan düşeylerdeki derinlik boyunca hız dağılımları da grafiksel olarak gösterilmiştir. Bu düşeylere ait yarı logaritmik ölçekte çizilen hız dağılımı da yan tarafta ayrıca çizilmiştir. Ele alınan tüm düşeylere ait logaritmik bölgeden ($0.1H \leq z \leq (0.2-0.3)H$) geçen doğrunun z eksenini kestiği noktalar belirlenmiştir. Kesite ait kanal malzeme özelliği homojen olduğundan tüm ölçüm yapılan düşeyde $k_s/30=1.0$ olarak belirlenmiştir. Bu pürüzlülük yükseklikleri kullanılarak (2.25) ifadesi yardımı ile ölçülen hızlara logaritmik bölgede en iyi uyum gösteren kayma hızları u_* her bir düşey için

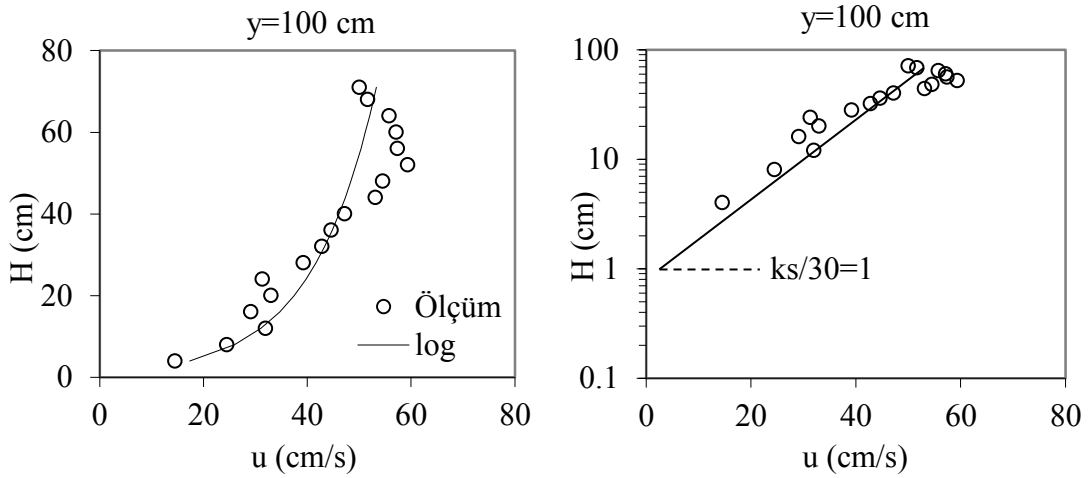
belirlenmiştir. BP_1 ölçümüne ait belirlenen kayma hızları ve rölatif pürüzlülük değerleri Tablo 3.18’de verilmiştir. Her bir düşeyde yapılan ölçümler üzerinde belirlenen parametreler yardımı ile hesaplanan logaritmik dağılımlar gösterilmiştir. Şekillerden görüleceği üzere logaritmik dağılım katı sınır ve serbest su yüzüne yakın bölgelerde ölçüm hızlarını temsil edememektedir.

Tablo 3.18. Bünyan Pınarbaşı İstasyonu 1. ölçüm logaritmik dağılım hesap tablosu.

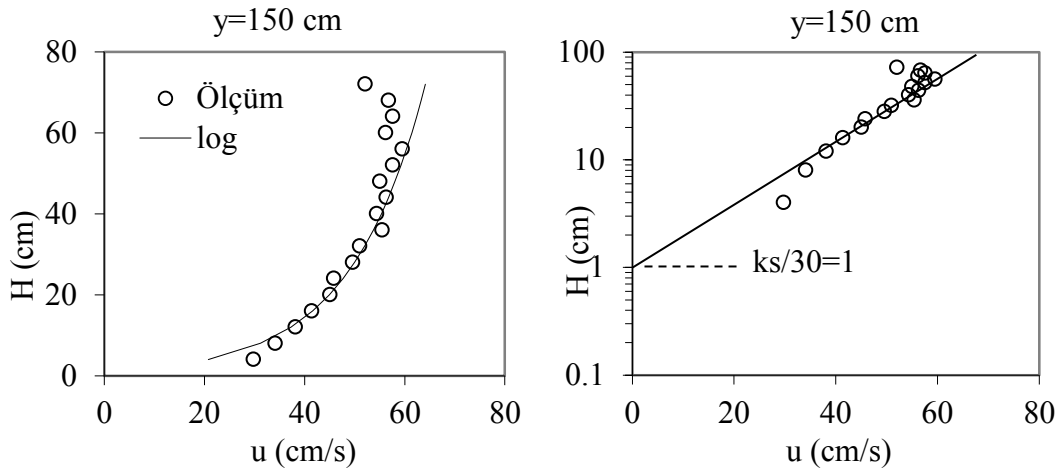
y (cm)	50	100	150	200	250	300	350
$k_s/30=$	1	1	1	1	1	1	1
$k_s=$	30	30	30	30	30	30	30
u^* (cm/s)=	5.0	5.0	6.0	4.8	3.6	3.0	3.2



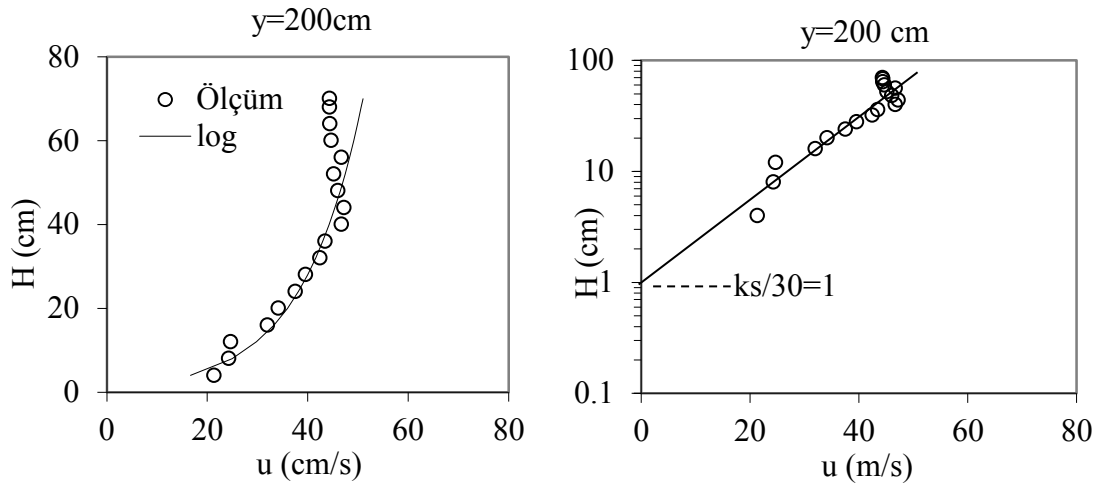
(a)



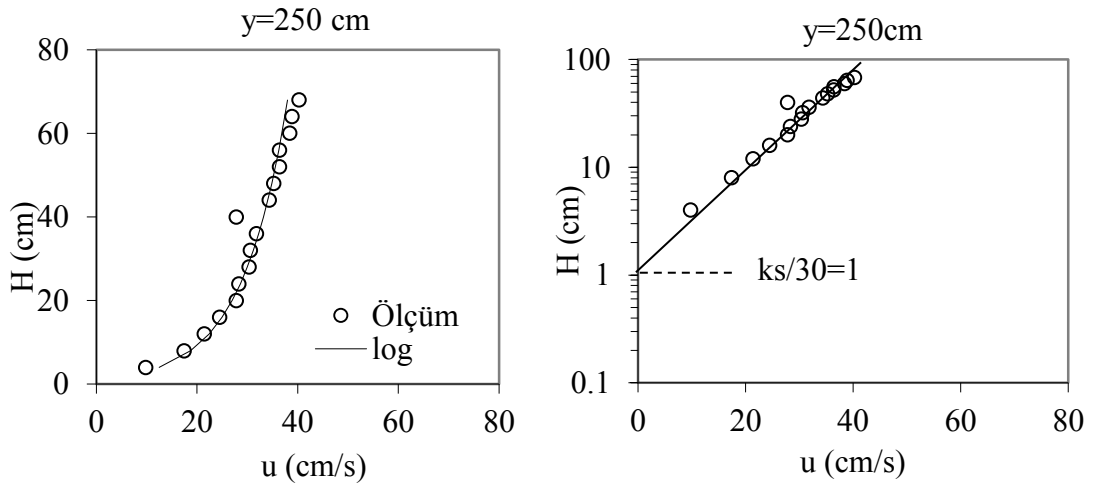
(b)



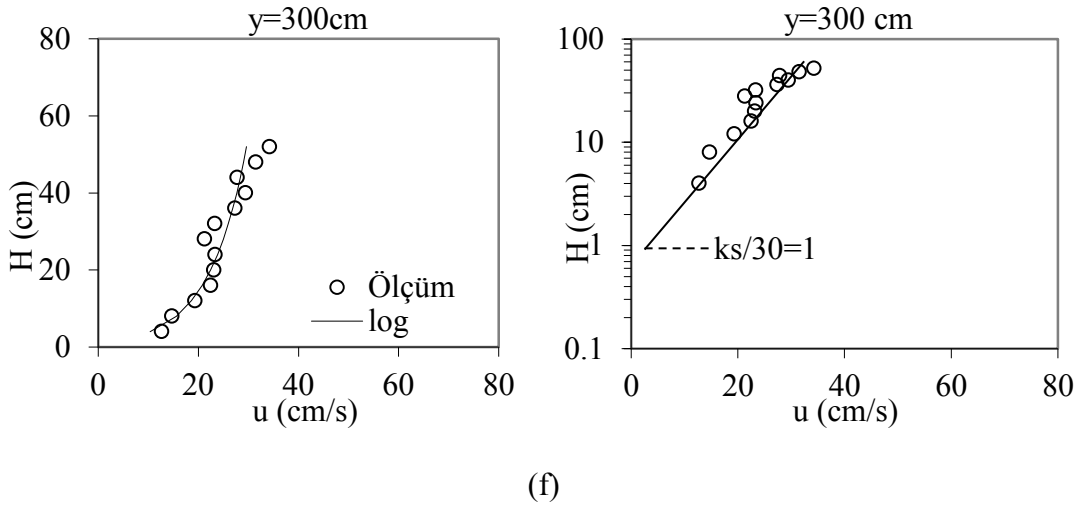
(c)



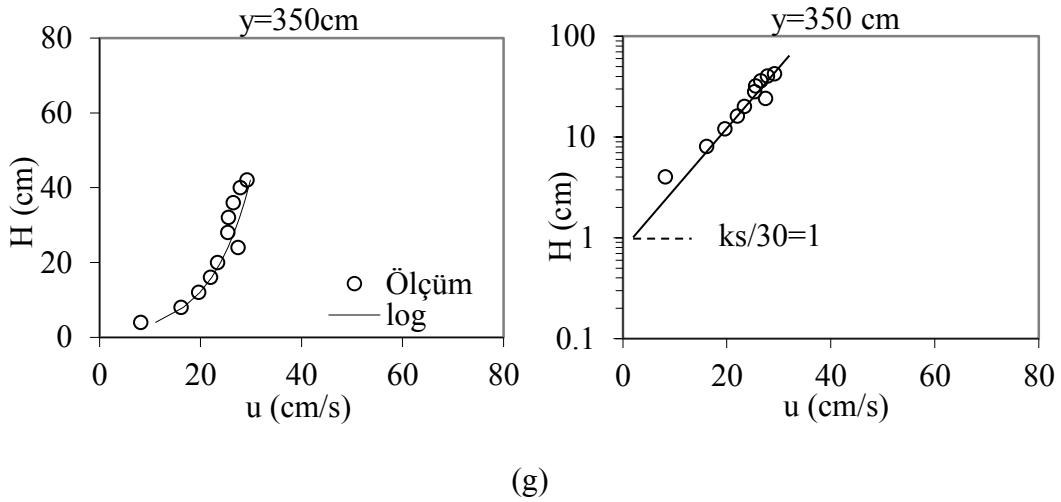
(d)



(e)



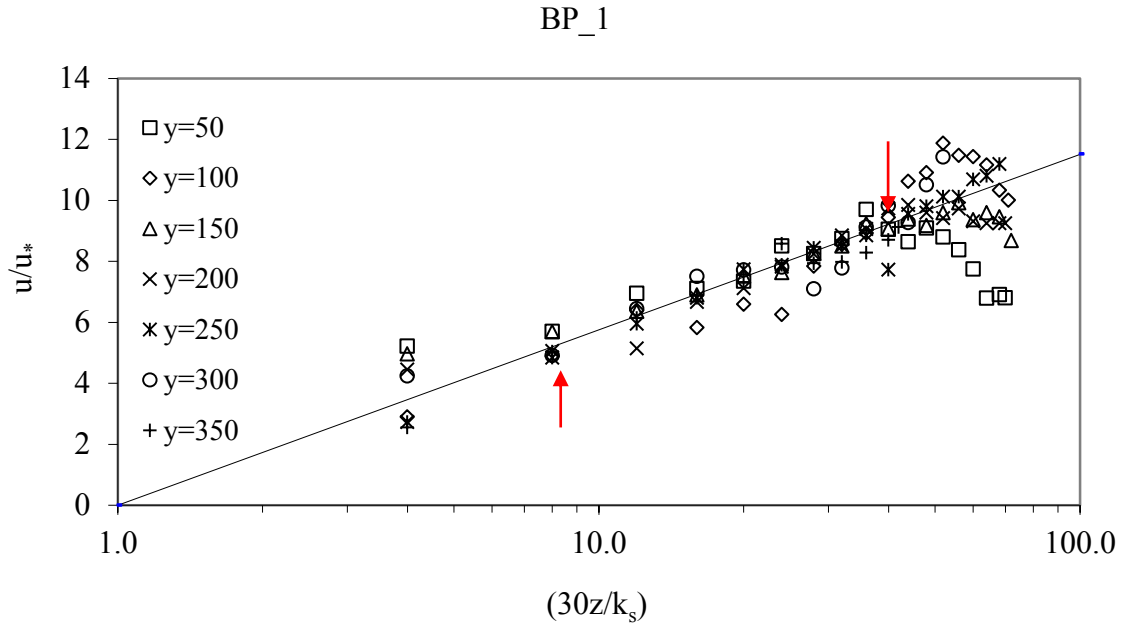
(f)



(g)

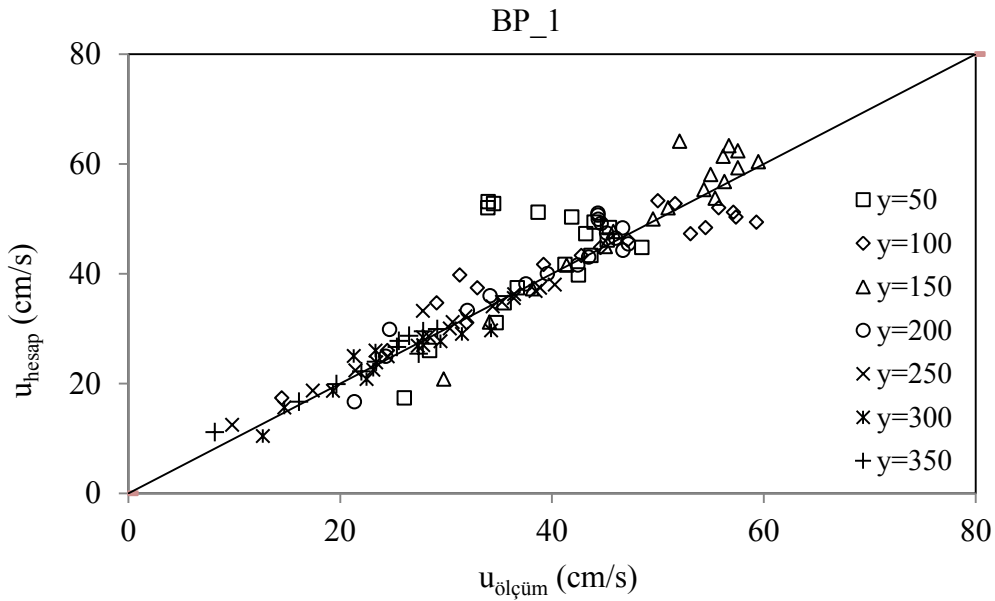
Şekil 3.35. (a) - (g) Bünyan Pınarbaşı İstasyonu 1. ölçüme ait ölçüm düşeylerinde logaritmik dağılım parametrelerinin belirlenmesi.

BP_1 ölçümüne ait tüm düşeylerdeki boyutsuz hız dağılımı, $(u/u^*) - (30z/k_s)$ Şekil 3.36'da verilmiştir. Şekilde ele alınan 7 farklı düşeydeki kaydırılmış boyutsuz hız dağılımları ve logaritmik dağılımın geçerli olduğu bölgeler oklar ile gösterilmiştir. Bu şekilden görüleceği üzere kesitin ölçüm yapılan orta kısmındaki düşeylerde ($y=150, 200$ ve 250 cm) logaritmik dağılım daha geniş bir aralıkta geçerli olmaktadır. Katı sınırlara yaklaştıkça bu bölge biraz küçülmekte, sürtünme tesirlerine bağlı logaritmik dağılımdan uzaklaşmaktadır. Şekil 3.38'de BP_1 ölçümü için tüm düşeylerde logaritmik bölgenin görüldüğü boyutsuz hız dağılımları (2.25) ifadesi ile verilen logaritmik dağılım ile birlikte gösterilmiştir. Tüm düşeyler için logaritmik dağılımın geçerli olduğu ortak bölgenin alt ve üst sınırı oklar ile gösterilmiştir. Bu sınır $8 \leq 30z/k_s \leq 70$ aralığında değişmektedir.

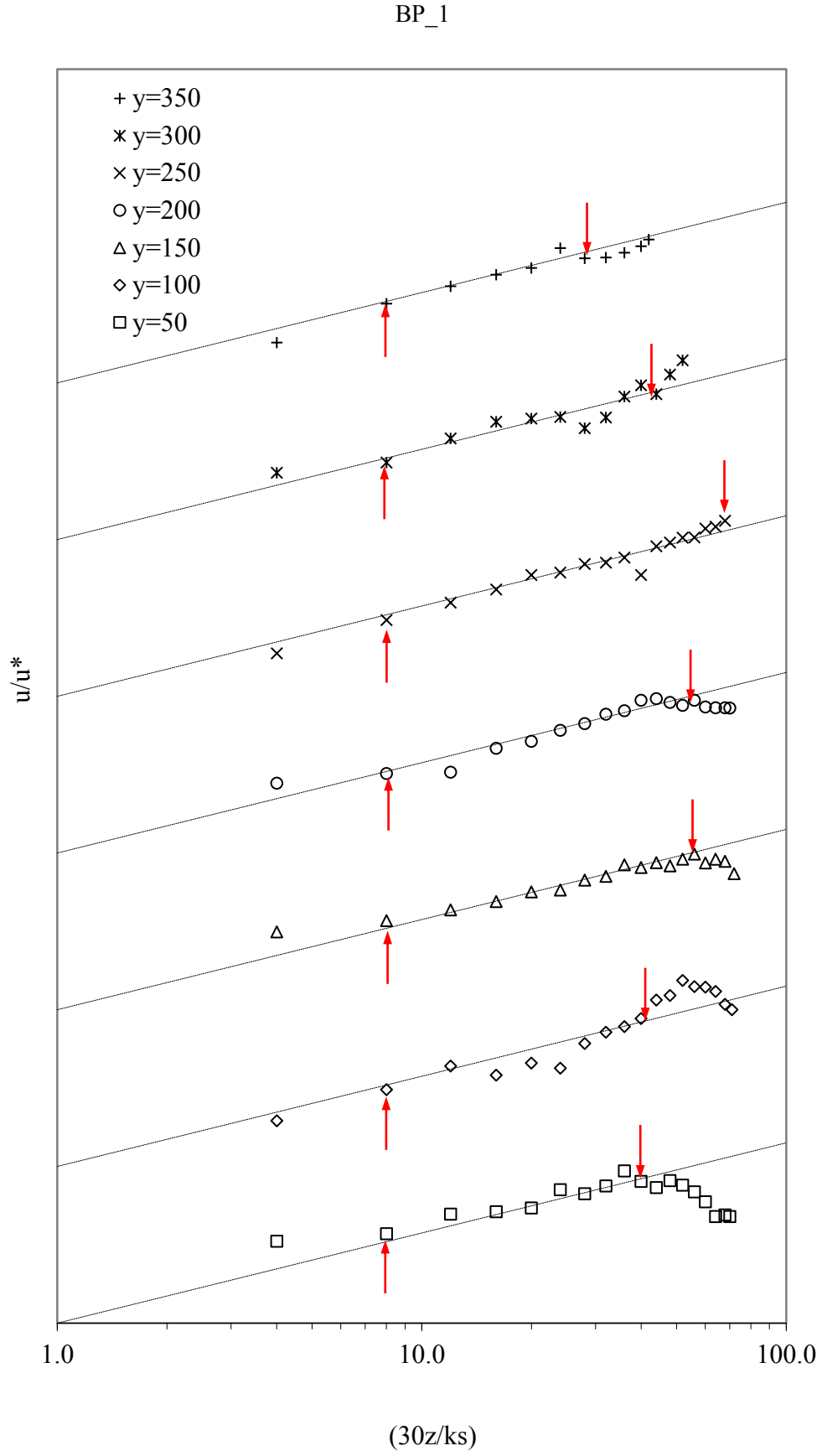


Şekil 3.36. Bünyan Pınarbaşı İstasyonu 1. ölçüm logaritmik dağılım toplu grafiği.

Şekil 3.37’de BP_1 ölçümüne ait saçılım diyagramı verilmiştir. Grafikten görüleceği üzere x ekseninde ölçülen hızlar ve y ekseninde logaritmik dağılımla hesaplanan hız değerleri verilmiştir. Şevlere yakın $y=50\text{cm}$ düşeyde hesaplanan hızların ölçüm sonuçlarından büyük olduğu görülmektedir. Genel olarak ölçüm değerleri ile hesap sonuçları birbirine yakın gözlenmiştir.



Şekil 3.37. Bünyan Pınarbaşı İstasyonu 1. ölçüm logaritmik dağılım genel saçılım grafiği.



Şekil 3.38. Bünyan Pınarbaşı İstasyonu 1. ölçüm logaritmik dağılımı.

Ölçülen hızlar ile logaritmik dağılım yardımı ile hesaplanan hızlar arasındaki mutlak farklar (3.5) ifadesi yardımı ile hesaplanmıştır. Her bir düşeyde hesaplanan bu farklar Tablo 3.19’da gösterilmiştir. Tablodan da görüleceği üzere farklar %19.1-8.8 arasında değişmektedir. Ele alınan ölçüme ait (BP_1) ortalama hata da %8.8 olarak hesaplanmıştır. Bu değerlerden de anlaşılacağı üzere logaritmik dağılım özellikle kesitin orta kısımlarında ölçüm değerlerine oldukça yaklaşılmaktadır.

$$\varepsilon(\%) = \left| \frac{u_{ölçüm} - u_{hesap}}{u_{ölçüm}} \right| 100 \quad (3.5)$$

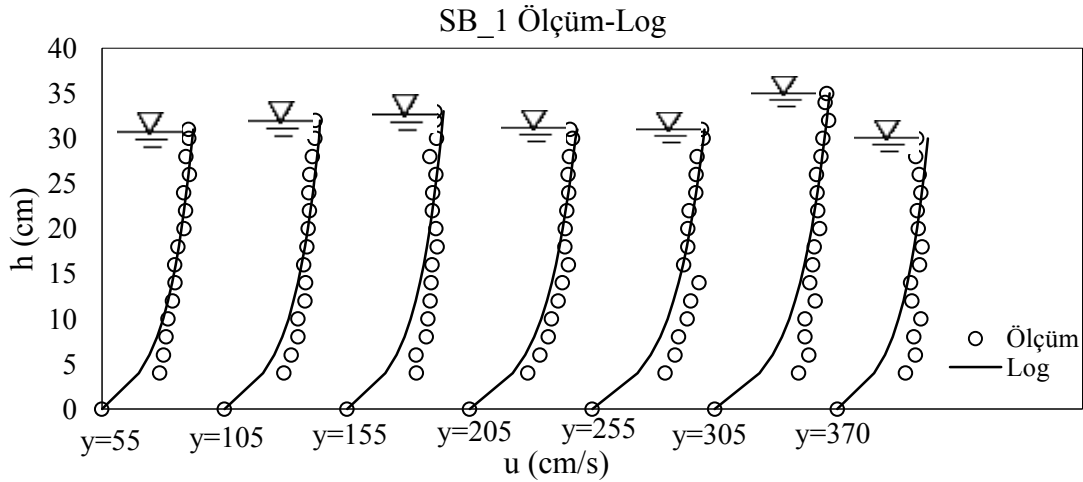
3.3.1.2. Logaritmik Dağılımın Değerlendirilmesi

Logaritmik dağılım ölçüm yapılan düşeyin belirli bir kısmında geçerli olmaktadır. Kanal tabanı ve serbest su yüzüne yakın bölgede hız dağılımı logaritmik dağılımdan uzaklaşmaktadır. Özellikle duvara yakın bazı düşeylerde ölçülen hız dağılımı logaritmik dağılım göstermediği belirlenmiştir. Bu bölgede yüksek bitki örtüsü ve zemin pürüzlülüğüne bağlı akım oldukça yavaşlamaktadır. Genellikle S tipi bir dağılım gözlenmektedir. Logaritmik dağılımın geçerli olmadığı bu düşeyler hesaplara dahil edilmemiştir. Hesaplara dahil edilmeyen ölçümler hata tablolarında (Tablo 3.19-3.22) dikkate alınmayarak (-----) şeklinde gösterilmiştir.

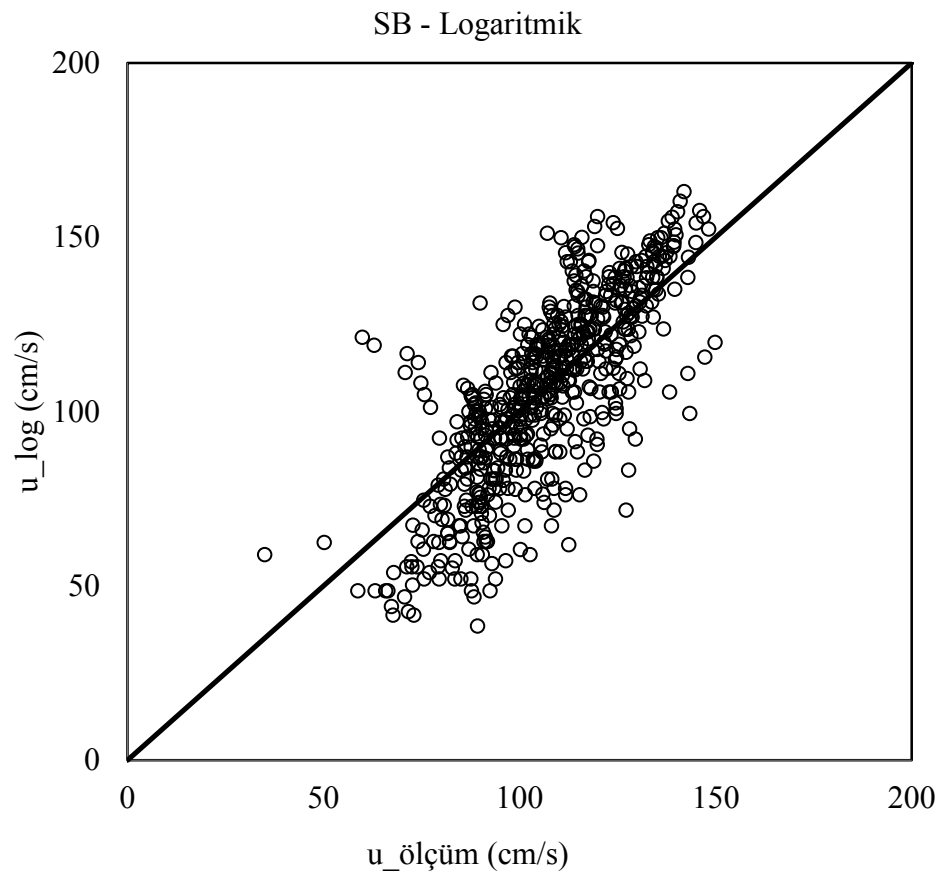
Yukarda BP_1 ölçümünde detaylı olarak vurgulandığı üzere logaritmik dağılımdan sapmalar diğer tüm ölçüm ve ele alınan düşeylerde de gözlenmiştir. Şekil 3.39’da BP İstasyonu’nda 10 farklı akım durumunda ölçülen hızlar ile logaritmik dağılımla hesaplanan hızlara ait saçılım grafikleri verilmiştir. Bu grafikten görüleceği üzere ele alınan istasyonda logaritmik dağılım ölçüm değerleri ile genelde uyum içerisinde olmaktadır. Tablo 3.19’da BP İstasyonu’nda gerçekleştirilen ölçüm ve hesaplara ait (3.5) ifadesi ile hesaplanan farklar verilmiştir. Tablodan görüleceği üzere bu farklar her bir ölçüm ve düşey için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Ölçümlere ait ortalamalar tablonun son sütununda gösterilmiştir. Örneğin BP_1 ölçümünde ele alınan tüm düşeylerde logaritmik dağılım ve ölçümler arasındaki mutlak fark %8.8 olarak hesaplanmıştır.

BP istasyonunda gerçekleştirilen 10 farklı akım ve tüm düşeylere ait ölçüm sonuçları ile logaritmik dağılım arasındaki farklar Tablo 3.23'te belirtildiği üzere %13.0 olarak hesaplanmıştır.

Ölçüm yapılan 2. istasyon olan Sarımsaklı Baraj Girişi İstasyonu'nda (SB) gerçekleştirilen 7 ölçüme ait logaritmik dağılımdaki parametreler (k_s ve u_*) her bir düşey için belirlenmiştir. Bu parametreler kullanılarak hesaplanan logaritmik dağılımdaki hızlar hesaplanmıştır. Örnek olarak SB_1 ölçümüne ait en kesit boyunca ele alınan tüm düşeylerde ölçülen ve logaritmik dağılım ile hesaplanan hızların derinlik boyunca değişimi Şekil 3.40'da gösterilmiştir. Şekilden de görüleceği üzere en kesit boyunca özellikle kanal tabanına yakın bölgede hesaplanan hızlar ölçüm değerlerinden düşük olmaktadır. Şekil 3.41'de SB İstasyonu'nda 7 farklı akım durumunda ölçülen hızlar ile logaritmik dağılımla hesaplanan hızlara ait saçılım grafikleri verilmiştir. Bu grafikten görüleceği üzere ele alınan istasyonda logaritmik dağılım ölçüm değerleri ile genelde uyum içerisinde olmaktadır. Tablo 3.20'de SB İstasyonu'nda gerçekleştirilen ölçüm ve hesaplara ait (3.5) ifadesi ile hesaplanan farklar verilmiştir. Tablodan görüleceği üzere bu farklar her bir ölçüm ve düşey için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Ölçümlere ait ortalamalar tablonun son sütununda gösterilmiştir. Örneğin SB_1 ölçümünde ele alınan tüm düşeylerde logaritmik dağılım ve ölçümler arasındaki mutlak fark %10.6 olarak hesaplanmıştır. SB İstasyonu'nda gerçekleştirilen 7 farklı akım ve tüm düşeylere ait ölçüm sonuçları ile logaritmik dağılım arasındaki farklar Tablo 3.20'de belirtildiği üzere %12.7 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 3.40. SB_1 ölçümü, ölçülen ve logaritmik ötelenmiş hız dağılımları.

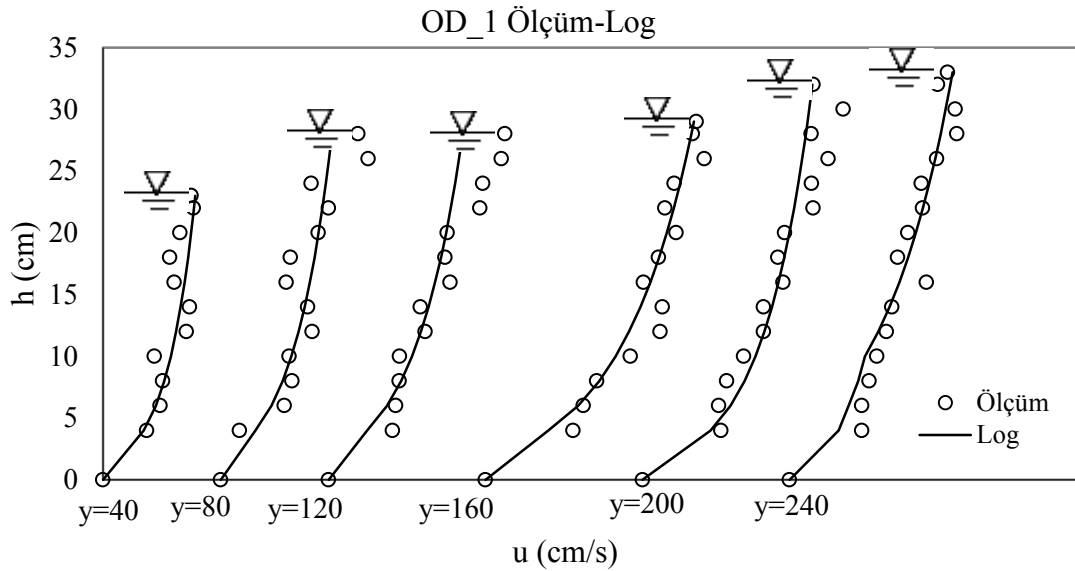


Şekil 3.41. Sarımsaklı Baraj Girişi İstasyonu ölçümleri logaritmik dağılım saçılım diyagramı.

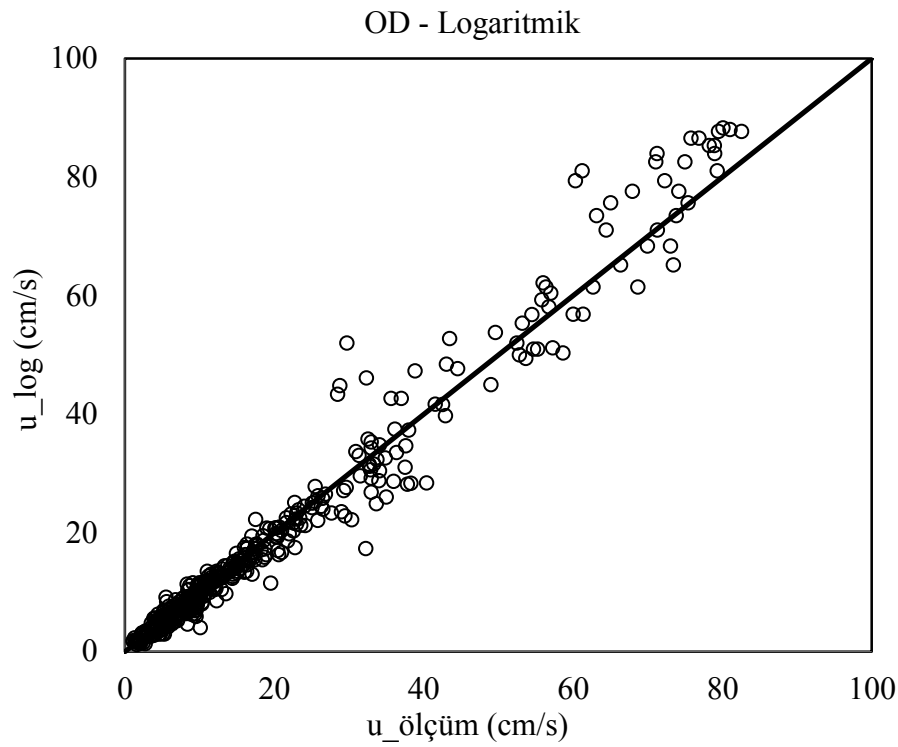
Tablo 3.20. Sarımsaklı Baraj Girişi İstasyonu ölçüm ve logaritmik dağılımlar arasındaki farklar (%).

Ölçüm		Ölçüm-Logaritmik Dağılım Fark ε (%)							
1	y/T	0.1	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.9	Ortalama
	Log	7.9	10.1	13.7	9.4	10.9	11.7	10.7	10.6
2	y/T	0.1	0.2	0.4	0.5	0.6	0.7		
	Log	12.2	13.3	13.3	14.8	18.8	28.0		16.7
3	y/T	0.1	0.3	0.4	0.6	0.7	0.9		
	Log	5.5	6.6	15.1	11.3	10.4	18.4		11.2
4	y/T	0.3	0.5	0.7	0.8				
	Log	9.5	10.7	16.0	14.7				12.7
5	y/T	0.1	0.3	0.5	0.7	0.9			
	Log	12.3	15.8	14.1	11.7	16.4			14.1
6	y/T	0.2	0.3	0.5	0.7	0.8			
	Log	11.4	7.0	12.4	13.3	14.2			11.7
7	y/T	0.1	0.4	0.5	0.7	0.9			
	Log	12.4	12.3	13.2	9.8	12.4			12.0
Ortalama Fark=									12.7

Felahiye Özdere İstasyonu'nda gerçekleştirilen 8 ölçüme ait logaritmik dağılımdaki parametreler (k_s ve u_*) her bir düşey için belirlenmiştir. Bu parametreler kullanılarak hesaplanan logaritmik dağılımdaki hızlar hesaplanmıştır. Örnek olarak OD_1 ölçümüne ait en kesit boyunca ele alınan tüm düşeylerde ölçülen ve logaritmik dağılım ile hesaplanan hızların derinlik boyunca değişimi Şekil 3.42'de gösterilmiştir. Şekilden de görüleceği üzere en kesit boyunca genelde logaritmik dağılım ölçüm değerlerini iyi temsil etmektedir. Şekil 3.43'te OD İstasyonu'nda 8 farklı akım durumunda ölçülen hızlar ile logaritmik dağılımla hesaplanan hızlara ait saçılım grafikleri verilmiştir. Bu grafikten görüleceği üzere ele alınan istasyonda logaritmik dağılım ölçüm değerleri ile genelde uyum içerisinde olmaktadır. Tablo 3.21'de OD İstasyonu'nda gerçekleştirilen ölçüm ve hesaplara ait (3.5) ifadesi ile hesaplanan farklar verilmiştir. Tablodan görüleceği üzere bu farklar her bir ölçüm ve düşey için ayrı ayrı hesaplanmıştır. Ölçümlere ait ortalamalar tablonun son sütununda gösterilmiştir. Örneğin OD_1 ölçümünde ele alınan tüm düşeylerde logaritmik dağılım ve ölçümler arasındaki mutlak fark %11.0 olarak hesaplanmıştır. OD İstasyonu'nda gerçekleştirilen 8 farklı akım ve tüm düşeylere ait ölçüm sonuçları ile logaritmik dağılım arasındaki farklar Tablo 3.21'de belirtildiği üzere %12.4 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 3.42. OD_1 ölçümü, ölçülen ve logaritmik ötelenmiş hız dağılımları.

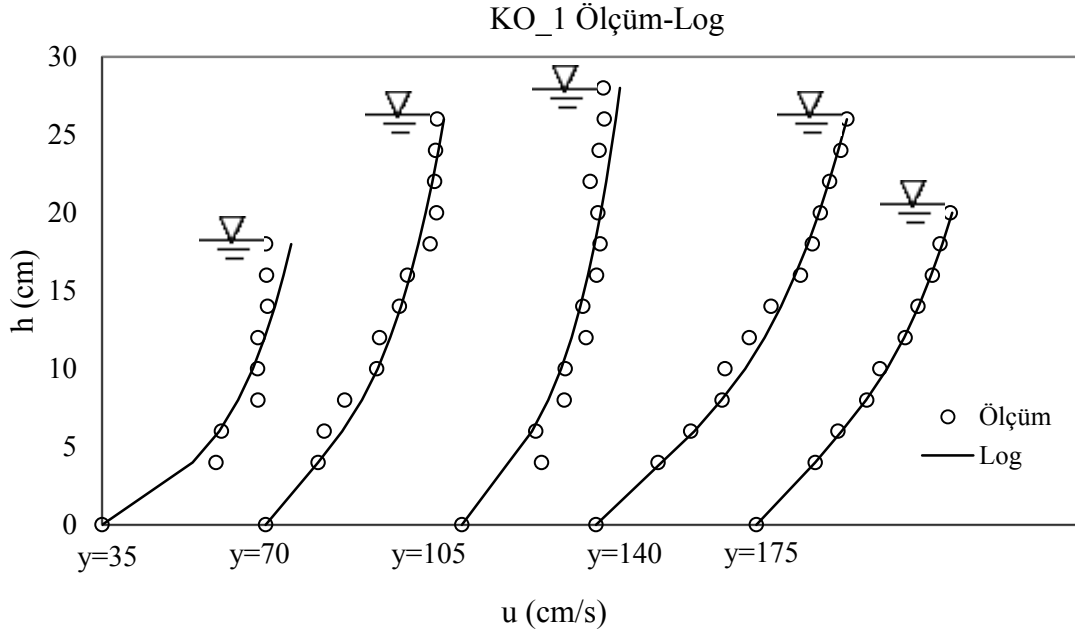


Şekil 3.43. Felahiye Özdere İstasyonu ölçümleri logaritmik dağılım saçılım diyagramı.

Tablo 3.21. Felahiye Özdere İstasyonu ölçüm ve logaritmik dağılımlar arasındaki farklar (%).

Ölçüm		Ölçüm-Logaritmik Dağılım Fark ε (%)						
1	y/T	0.2	0.3	0.5	0.6	0.8	0.9	Ortalama
	Log	12.1	15.3	11.3	5.8	8.9	12.6	11.0
2	y/T	0.1	0.3	0.5	0.6	0.8	0.9	
	Log	12.6	8.6	5.6	7.9	7.1	15.2	9.5
3	y/T	0.1	0.3	0.4	0.6	0.7	0.9	
	Log	18.7	13.0	6.6	5.9	6.5	18.9	11.6
4	y/T	0.3	0.5	0.6	0.7			
	Log	11.4	24.8	13.6	7.5			14.3
5	y/T	0.4	0.5	0.6	0.8			
	Log	16.3	----	11.9	5.7			11.3
6	y/T	0.1	0.4	0.6	0.7	0.9		
	Log	----	8.7	9.7	14.9	----		11.1
7	y/T	0.2	0.4	0.6	0.7	0.9		
	Log	12.2	11.5	12.2	11.0	10.5		11.5
8	y/T	0.1	0.3	0.5	0.7	0.9		
	Log	----	15.2	13.0	21.8	26.1		19.1
Ortalama Fark=								12.4

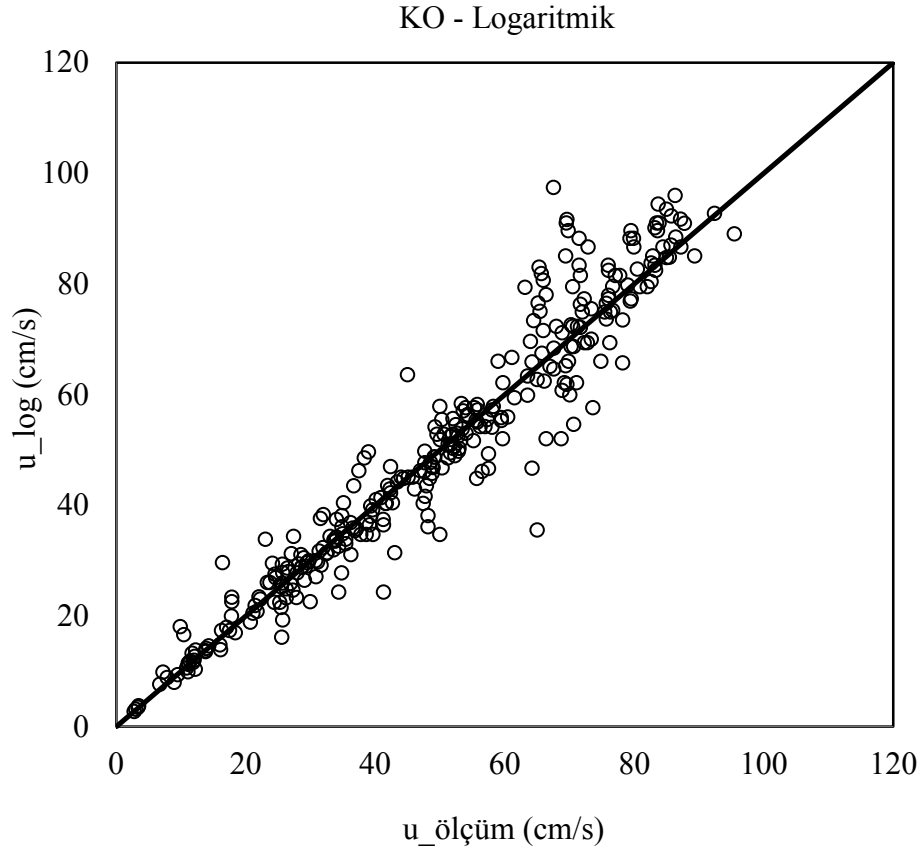
Özvatan Kırıközü İstasyonu'nda gerçekleştirilen 7 ölçüme ait logaritmik dağılımdaki parametreler (k_s ve u_*) her bir düşey için belirlenmiştir. Bu parametreler kullanılarak hesaplanan logaritmik dağılımdaki hızlar hesaplanmıştır. Örnek olarak KO_1 ölçümüne ait en kesit boyunca ele alınan tüm düşeylerde ölçülen ve logaritmik dağılım ile hesaplanan hızların derinlik boyunca değişimi Şekil 3.44'te gösterilmiştir. Şekilden de görüleceği üzere en kesit boyunca bazı düşeylerin kanal tabanına yakın kısımları hariç düşeylerde hız dağılımları uyumlu olmuştur. Şekil 3.45'te KO İstasyonu'nda 7 farklı akım durumunda ölçülen hızlar ile logaritmik dağılımla hesaplanan hızlara ait saçılım grafikleri verilmiştir. Bu grafikten görüleceği üzere ele alınan istasyonda logaritmik dağılım ölçüm değerleri ile genelde uyum içerisinde olmaktadır. Tablo 3.22'de KO İstasyonu'nda gerçekleştirilen ölçüm ve hesaplara ait (3.5) ifadesi ile hesaplanan farklar verilmiştir. Ölçümlere ait ortalamalar tablonun son sütununda gösterilmiştir. Örneğin KO_1 ölçümünde ele alınan tüm düşeylerde logaritmik dağılım ve ölçümler arasındaki mutlak fark %7.8 olarak hesaplanmıştır. OD İstasyonu'nda gerçekleştirilen 7 farklı akım ve tüm düşeylere ait ölçüm sonuçları ile logaritmik dağılım arasındaki farklar Tablo 3.22'de belirtildiği üzere %8.7 olarak hesaplanmıştır.



Şekil 3.44. KO_1 ölçümü, ölçülen ve logaritmik ötelenmiş hız dağılımları.

Tablo 3.22. Özvatan Kırıközü İstasyonu ölçüm ve logaritmik dağılımlar arasındaki farklar (%).

Ölçüm		Ölçüm-Logaritmik Dağılım Fark ε (%)						
1	y/T	0.2	0.3	0.5	0.7	0.8	1.0	Ortalama
	Log	9.1	7.8	7.8	11.1	2.9		7.8
2	y/T	0.2	0.3	0.5	0.7	0.8	0.9	
	Log	10.7	4.9	14.2	4.5	5.5	3.5	7.3
3	y/T	0.2	0.4	0.6	0.8	0.9		
	Log	----	7.8	21.8	7.2	----		12.2
4	y/T	0.2	0.4	0.5	0.7			
	Log	12.1	7.0	17.7	6.0			10.7
5	y/T	0.2	0.4	0.5	0.8			
	Log	3.2	6.3	12.6	4.3			6.6
6	y/T	0.3	0.4	0.6	0.8			
	Log	11.7	5.7	8.3	3.4			7.3
7	y/T	0.2	0.4	0.6	0.9			
	Log	3.0	6.1	17.9	10.5			9.4
Ortalama Fark=								8.7

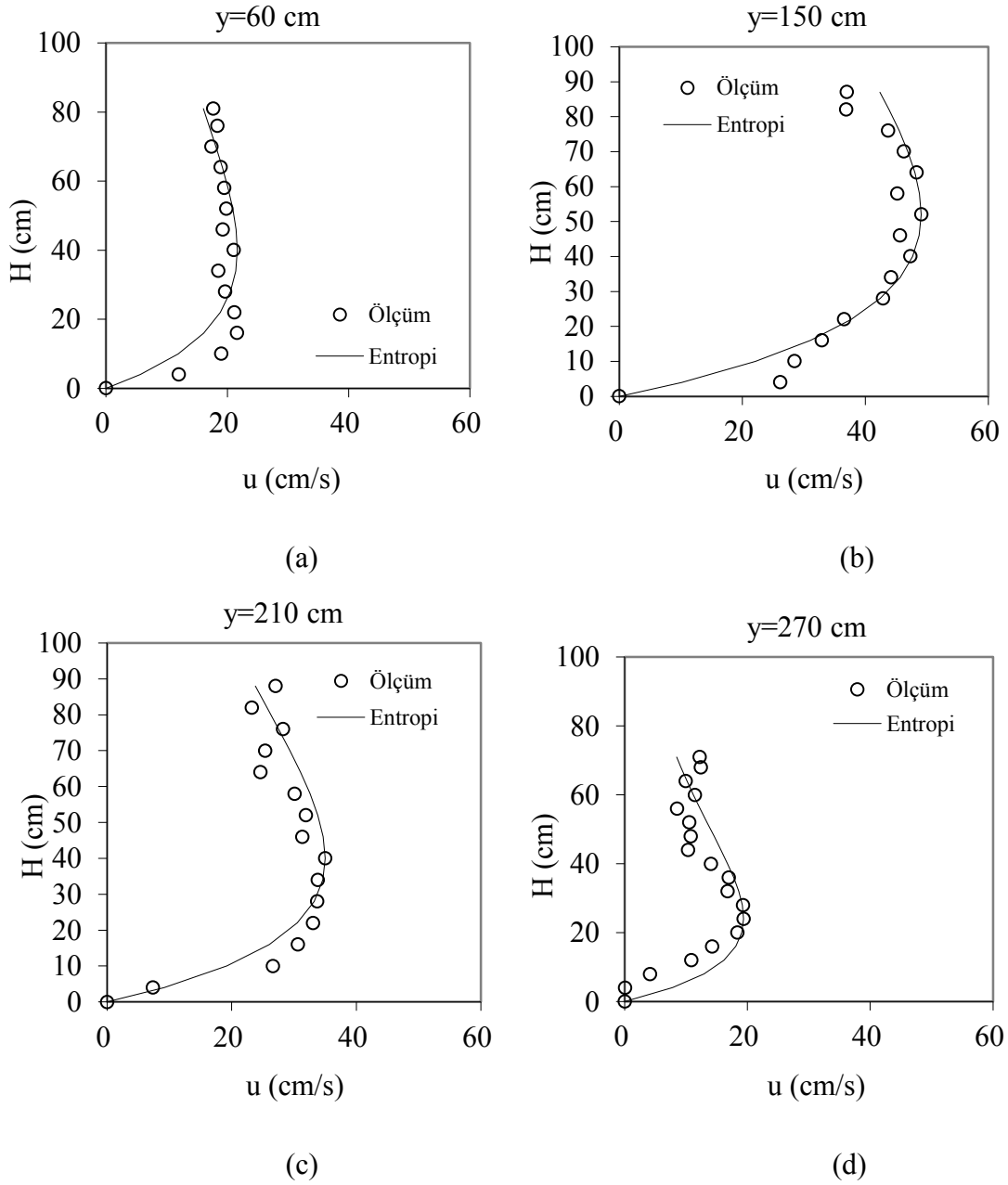


Şekil 3.45. Özvatan Kırıközü İstasyonu ölçümleri logaritmik dağılım saçılım diyagramı.

3.3.2. Entropi Dağılımı

Ele alınan dört farklı istasyonda gerçekleştirilen hız ölçümlerine ait dağılımlar, entropi yöntemi ile incelenmiştir. Bu amaçla Bölüm 2’de entropi hız dağılımı için verilen (2.33) ifadesi kullanılmıştır. (2.33) ifadesinde yer alan entropi parametresi (M) Bölüm 3.2.5’te izah edildiği üzere her bir istasyon için belirlenmiştir. Her bir düşeyde ölçülen u_{mak} hızları ve bunların ele alınan düşeydeki bilinen konum yardımı ile entropi dağılımları hesaplanabilmektedir. Bu amaçla Excel programı kullanılarak her bir akım durumunda ve düşeyde entropi hız dağılımları hesaplanmış ve hız dağılımları grafik olarak gösterilmiştir.

Ölçümlerin yapıldığı 1. istasyon olan Bünyan Pınarbaşı İstasyonu’na ait entropi parametresi $M=0.16$ olarak belirlenmiştir. Bu entropi parametresi ele alınan 10 farklı akım ve her bir düşey de kullanılmıştır. Ölçüm yapılan düşeylere ait bilinen maksimum hızlar (u_{mak}) ve konumları (h) yardımı ile entropi hız dağılımları hesaplanmıştır. Şekil 3.46’da BP_9 akım durumunda ölçülen ve entropi yöntemi ile hesaplanan hız dağılımları verilmiştir. Bu ölçümde 4 farklı düşeyde hız ölçümü yapılmış olup bu düşeylerdeki hesaplanan entropi hız dağılımları sürekli çizgi ile gösterilmiştir. Şekillerden görüleceği üzere entropi dağılımı ölçüm değerleri ile derinlik boyunca logaritmik dağılıma göre daha iyi uyum sağlamaktadır. Tablo 3.23’te BP İstasyonu’nda gerçekleştirilen ölçüm ve entropi dağılımına ait (3.5) ifadesi ile hesaplanan farklar verilmiştir. Tabloda her bir ölçüm ve düşeye ait farklar ve ortalamaları hesaplanmıştır. Ele alınan 9. ölçüme ait ortalama fark %11.7 olarak belirlenmiştir. Bu ölçüme ait logaritmik dağılımın ortalama hatası ise %19.1 olarak Tablo 3.19’da verilmiştir. Bu değerlerden de görüleceği üzere 9. ölçümde entropi yöntemi logaritmik dağılımdan daha iyi sonuç vermektedir. BP İstasyonu’nda gerçekleştirilen 10 farklı akım ve tüm düşeylere ait ölçüm sonuçları ile entropi dağılımı arasındaki farklar Tablo 3.23’te belirtildiği üzere %17.3 olarak hesaplanmıştır. Şekil 3.47’de BP İstasyonu’nda 10 farklı akım durumunda ölçülen hızlar ile entropi dağılımı ile hesaplanan hızlara ait saçılım grafikleri verilmiştir. Bu grafikten görüleceği üzere ele alınan istasyonda entropi dağılımı ölçüm değerlerinden biraz büyük değerler vermektedir. Bunun yanında dağılıma genel olarak bakıldığında iyi bir uyum sergilediği söylenebilir.

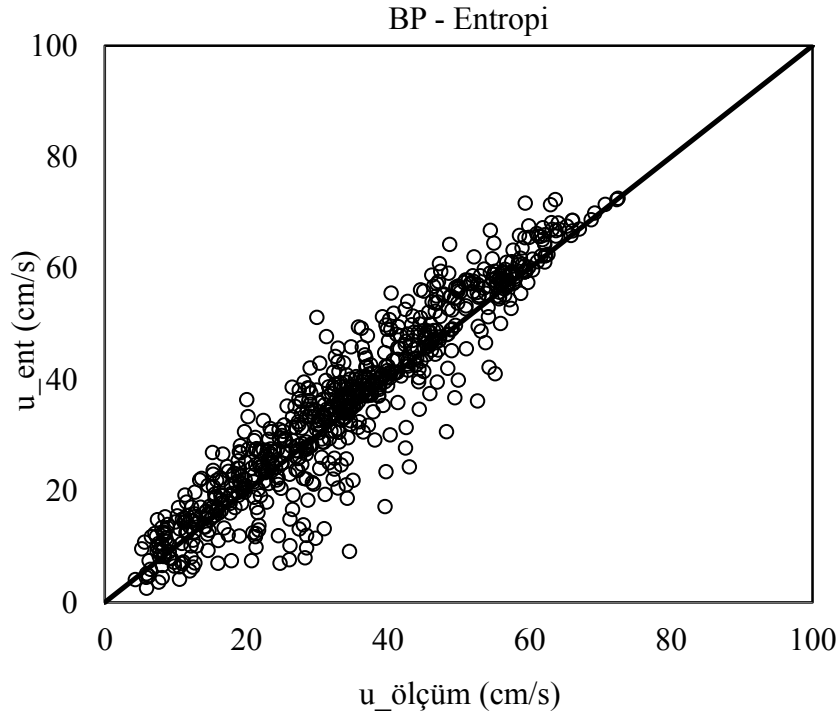


Şekil 3.46. (a) - (d) Bünyan Pınarbaşı İstasyonu 9. ölçüm düşeylerinde entropi dağılımının gösterimi.

Şekil 3.46 incelendiğinde ele alınan BP_9 ölçümünde ölçüm yapılan düşeylerdeki ölçülen ve entropi dağılımıyla hesaplanan hız değerlerinin dağılımı görülmektedir. Şekil incelendiğinde ilk dağılım olan $y=60$ cm'deki dağılımın bu ölçümde en kesitte elde edilen en düzenli dağılım olduğu görülmektedir. En kesit üzerinde soldan sağa doğru ilerledikçe diğer üç hız dağılımı grafiğinden ölçülen ve hesaplanan hız dağılımlarının düzensizleştiği anlaşılmaktadır. Bu düzensizliğe en kesitin sağ kısmında yer alan yükseltiye bağlı olarak akımda meydana gelen türbülansın yol açtığı düşünülmektedir.

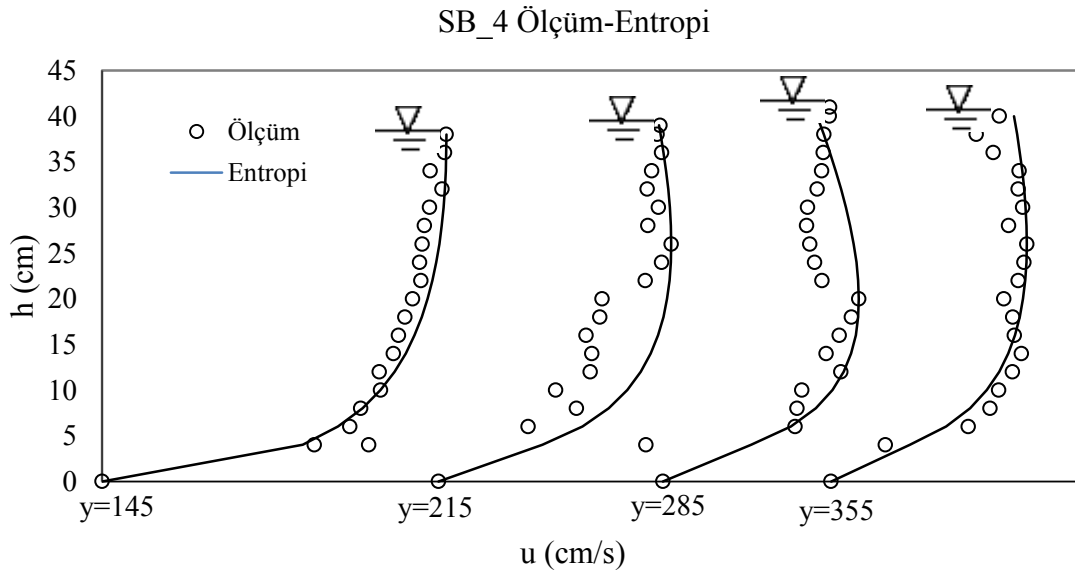
Tablo 3.23. Bünyan Pınarbaşı İstasyonu ölçüm ve entropi dağılımları arasındaki farklar (%).

Ölçüm		Ölçüm-Entropi Dağılımı Fark ε (%)							
1	y/T	0.1	0.3	0.4	0.5	0.6	0.8	0.9	Ortalama
	Ent	10.1	16.6	10.5	9.8	11.6	17.5	8.4	12.1
2	y/T	0.1	0.3	0.4	0.5	0.6	0.8	0.9	
	Ent	----	14.3	13.1	5.1	16.0	23.3	8.8	13.4
3	y/T	0.1	0.3	0.4	0.6	0.7	0.9		
	Ent	----	16.3	8.4	20.5	36.4	24.5		21.2
4	y/T	0.2	0.4	0.5	0.7				
	Ent	18.0	11.6	15.8	13.8				14.8
5	y/T	0.2	0.4	0.5	0.6				
	Ent	14.4	11.5	16.8	13.2				14.0
6	y/T	0.2	0.3	0.5	0.6				
	Ent	19.9	15.2	22.7	18.1				19.0
7	y/T	0.1	0.3	0.5	0.7	0.9			
	Ent	----	24.0	13.3	27.7	----			21.7
8	y/T	0.1	0.3	0.4	0.6	0.8			
	Ent	51.1	28.8	10.7	----	32.7			27.8
9	y/T	0.2	0.4	0.5	0.7	0.8			
	Ent	13.7	10.1	11.3	----	----			11.7
10	y/T	0.1	0.3	0.4	0.6	0.9			
	Ent	33.6	7.7	10.1	17.6	----			17.3
Ortalama Fark =									17.3



Şekil 3.47. Bünyan Pınarbaşı İstasyonu ölçümleri entropi dağılımı saçılım diyagramı.

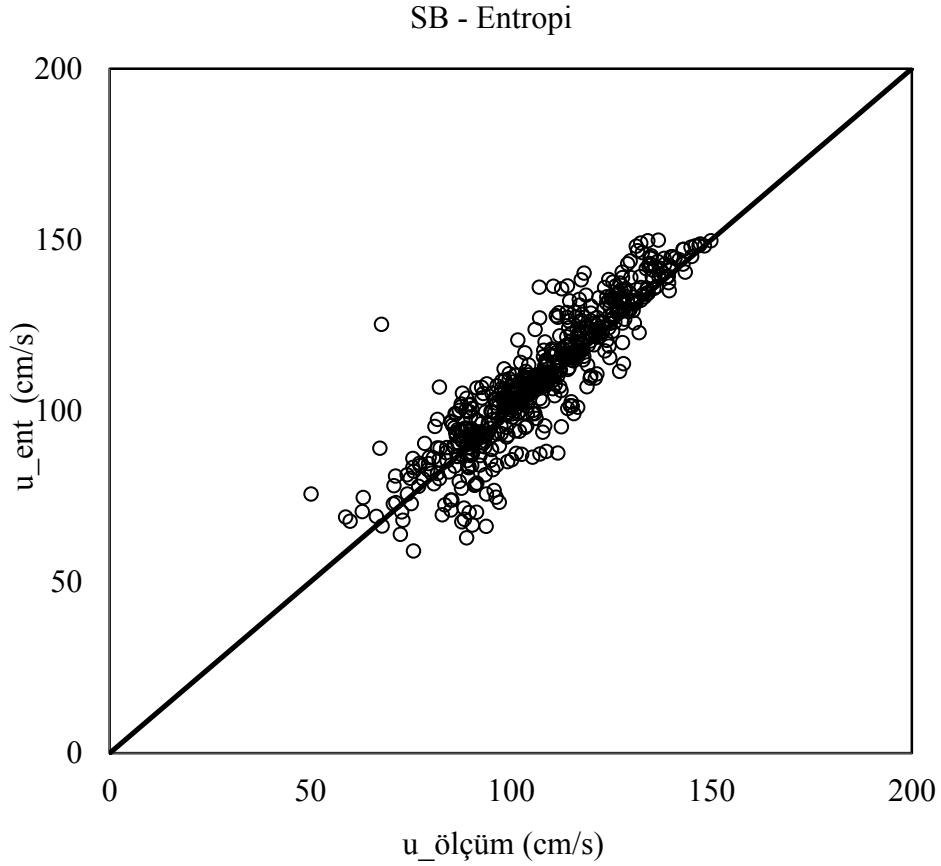
Ele alınan 2. istasyon olan Sarımsaklı Baraj Girişi İstasyonu'na ait entropi parametresi $M=2,9$ olarak belirlenmiştir. Bu entropi parametresi ele alınan 7 farklı akım ve her bir düşeyde kullanılmıştır. Ölçüm yapılan düşeylere ait bilinen maksimum hızlar (u_{mak}) ve konumları (h) yardımı ile entropi hız dağılımları hesaplanmıştır. Şekil 3.48'de SB_4 akım durumunda ölçülen ve entropi yöntemi ile hesaplanan ötelenmiş hız dağılımları verilmiştir. Bu ölçümde 4 farklı düşeyde hız ölçümü yapılmış olup bu düşeylerdeki hesaplanan entropi hız dağılımları sürekli çizgi ile gösterilmiştir. Şekillerden görüleceği üzere entropi dağılımı ölçüm değerleri ile derinlik boyunca logaritmik dağılıma göre daha iyi uyum sağlamaktadır. Tablo 3.24'te SB İstasyonu'nda gerçekleştirilen ölçüm ve entropi dağılımına ait (3.5) ifadesi ile hesaplanan farklara yer verilmiştir. Tabloda her bir ölçüm ve düşeye ait farklar ve ortalamaları hesaplanmıştır. Ele alınan 4. ölçüme ait ortalama fark %6.4 olarak belirlenmiştir. Bu ölçüme ait logaritmik dağılımın ortalama hatası ise %12.7 olarak Tablo 3.20'de verilmiştir. Bu değerlerden de görüleceği üzere 4. ölçümde entropi yöntemi logaritmik dağılımdan daha iyi sonuç vermektedir. SB istasyonunda gerçekleştirilen 7 farklı akım ve tüm düşeylere ait ölçüm sonuçları ile entropi dağılımı arasındaki farklar Tablo 3.24'te belirtildiği üzere %5.7 olarak hesaplanmıştır. Şekil 3.49'da SB istasyonunda 7 farklı akım durumunda ölçülen hızlar ile entropi dağılımı ile hesaplanan hızlara ait saçılım grafikleri verilmiştir. Bu grafikten görüleceği üzere ele alınan istasyonda entropi dağılımı ölçüm değerlerinden biraz büyük değerler vermekle birlikte gayet düzenli bir dağılım sergilemiştir.



Şekil 3.48. SB_4 ölçümü, ölçülen ve entropi ötelenmiş hız dağılımları.

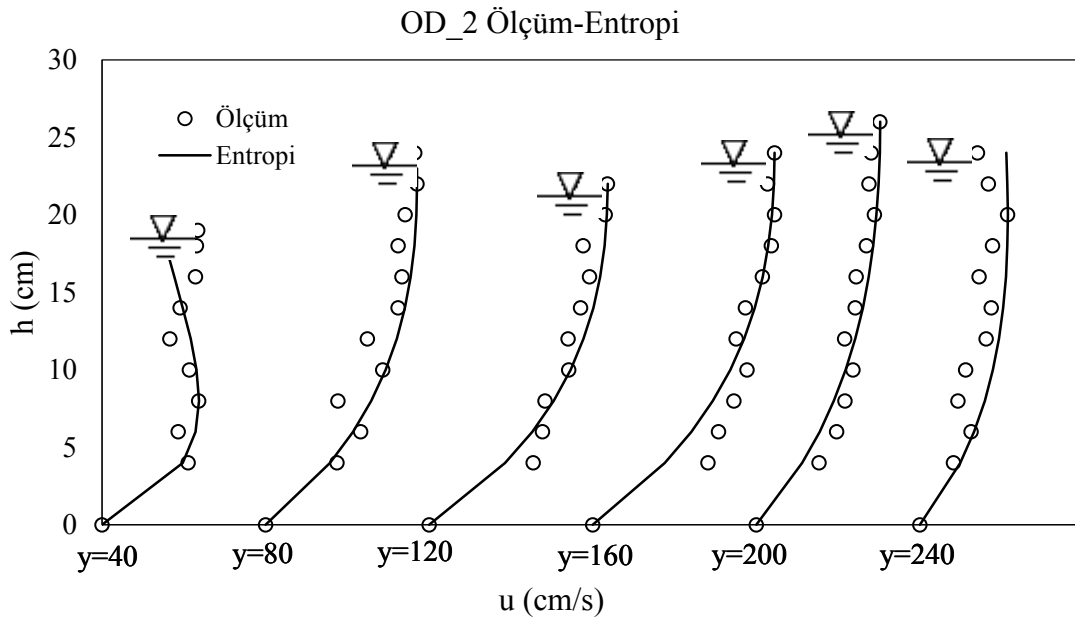
Tablo 3.24. Sarımsaklı Baraj Girişi istasyonu ölçüm ve entropi dağılımları arasındaki farklar (%).

Ölçüm		Ölçüm-Entropi Dağılımı Fark ε (%)							
1	y/T	0.13	0.25	0.37	0.49	0.61	0.73	0.88	Ortalama
	Ent	8.3	3.4	4.0	4.5	5.6	6.7	6.3	5.5
2	y/T	0.1	0.2	0.4	0.5	0.6	0.7		
	Ent	8.9	5.1	7.4	7.4	10.5	7.9		7.8
3	y/T	0.1	0.3	0.4	0.6	0.7	0.9		
	Ent	2.8	3.8	5.0	6.1	2.6	10.2		5.1
4	y/T	0.3	0.5	0.7	0.8				
	Ent	3.7	10.1	7.6	4.2				6.4
5	y/T	0.1	0.3	0.5	0.7	0.9			
	Ent	6.5	6.3	4.2	5.1	2.8			5.0
6	y/T	0.2	0.3	0.5	0.7	0.8			
	Ent	3.4	4.6	2.8	2.7	7.2			4.1
7	y/T	0.1	0.4	0.5	0.7	0.9			
	Ent	8.5	3.7	5.3	6.0	5.0			5.7
Ortalama Fark=									5.7



Şekil 3.49. Sarımsaklı Baraj Girişi İstasyonu ölçümleri entropi dağılımı saçılım diyagramı.

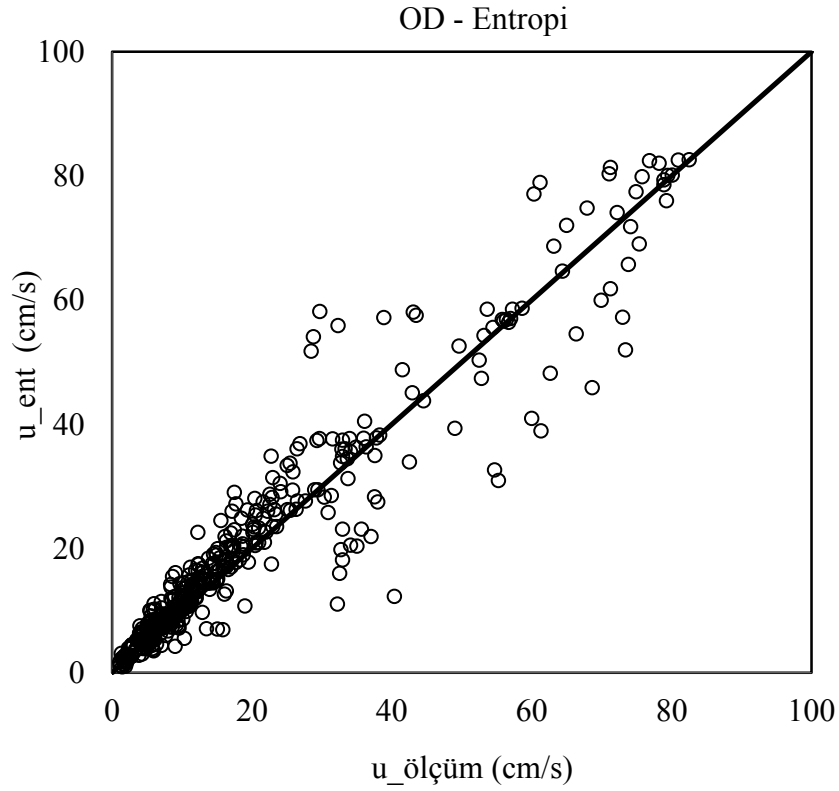
Ölçüm yapılan 3. istasyon olan Felahiye Özdere İstasyonu'na ait entropi parametresi $M=0,1$ olarak belirlenmiştir. Bu entropi parametresi ele alınan 8 farklı akım ve her bir düşeyde kullanılmıştır. Şekil 3.50'de OD_2 akım durumunda ölçülen ve entropi yöntemi ile hesaplanan ötelenmiş hız dağılımları verilmiştir. Bu ölçümde 6 farklı düşeyde hız ölçümü yapılmış olup bu düşeylerdeki hesaplanan entropi hız dağılımları sürekli çizgi ile gösterilmiştir. Şekillerden görüleceği üzere entropi dağılımı ölçüm değerleri ile derinlik boyunca iyi uyum sağlamaktadır. Tablo 3.25'te OD istasyonunda gerçekleştirilen ölçüm ve entropi dağılımına ait (3.5) ifadesi ile hesaplanan farklara yer verilmiştir. Tabloda her bir ölçüm ve düşeye ait farklar ve ortalamaları hesaplanmıştır. Ele alınan 2. ölçüme ait ortalama fark %14.7 olarak belirlenmiştir. Bu ölçüme ait logaritmik dağılımın ortalama hatası ise %9.5 olarak Tablo 3.21'de verilmiştir. Bu değerlerden de görüleceği üzere 2. ölçümde logaritmik dağılım entropi yönteminden daha iyi sonuç vermektedir. OD İstasyonu'nda gerçekleştirilen 8 farklı akım ve tüm düşeylere ait ölçüm sonuçları ile entropi dağılımı arasındaki farklar Tablo 3.25'te belirtildiği üzere %22.0 olarak hesaplanmıştır. Şekil 3.51'de OD istasyonunda 8 farklı akım durumunda ölçülen hızlar ile entropi dağılımı ile hesaplanan hızlara ait saçılım grafikleri verilmiştir. Bu grafikten görüleceği üzere ele alınan istasyonda entropi dağılımı yüksek hız değerlerinde ölçüm değerlerinden biraz uzaklaşırken düşük hız değerlerinde ölçüm hızlarını daha iyi temsil etmektedir.



Şekil 3.50. OD_2 ölçümü, ölçülen ve entropi ötelenmiş hız dağılımları.

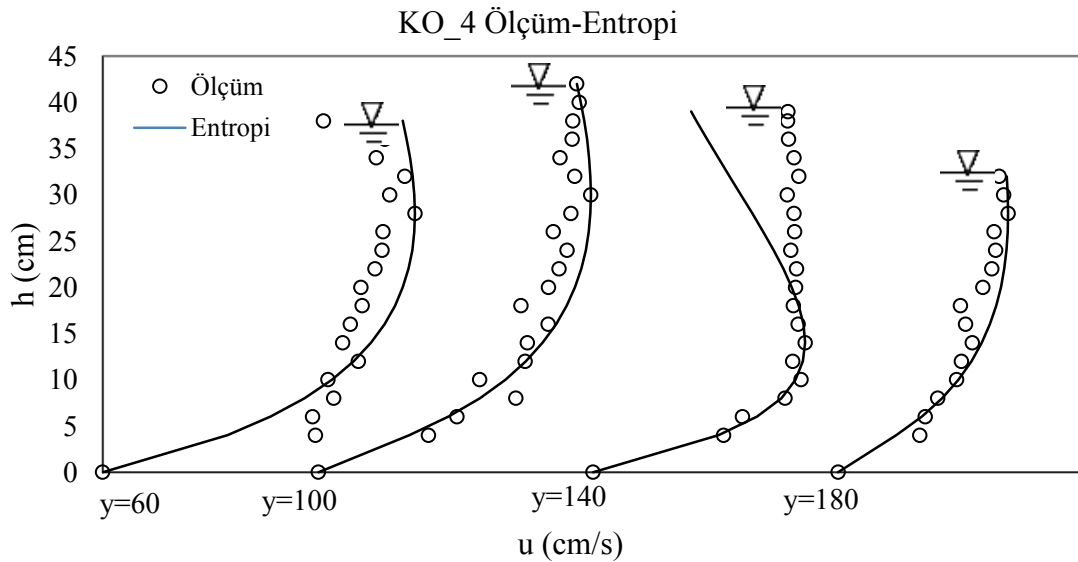
Tablo 3.25. Felahiye Özdere İstasyonu ölçüm ve entropi dağılımları arasındaki farklar (%).

Ölçüm		Ölçüm-Entropi Dağılımı Fark ε (%)						
1	y/T	0.2	0.3	0.5	0.6	0.8	0.9	Ortalama
	Ent	13.7	32.6	20.2	8.8	21.2	34.2	21.8
2	y/T	0.1	0.3	0.5	0.6	0.8	0.9	
	Ent	18.2	11.6	8.5	9.4	10.4	30.0	14.7
3	y/T	0.1	0.3	0.4	0.6	0.7	0.9	
	Ent	15.4	15.1	14.2	14.0	12.3	34.1	17.5
4	y/T	0.3	0.5	0.6	0.7			
	Ent	29.4	37.5	18.9	14.0			24.9
5	y/T	0.4	0.5	0.6	0.8			
	Ent	20.7	----	18.4	11.3			16.8
6	y/T	0.1	0.4	0.6	0.7	0.9		
	Ent	----	22.9	20.1	40.8	----		27.9
7	y/T	0.2	0.4	0.6	0.7	0.9		
	Ent	18.2	19.2	27.1	16.7	----		20.3
8	y/T	0.1	0.3	0.5	0.7	0.9		
	Ent	----	23.1	38.9	41.6	24.6		32.1
Ortalama Fark=								22.0



Şekil 3.51. Felahiye Özdere İstasyonu ölçümleri entropi dağılımı saçılım diyagramı.

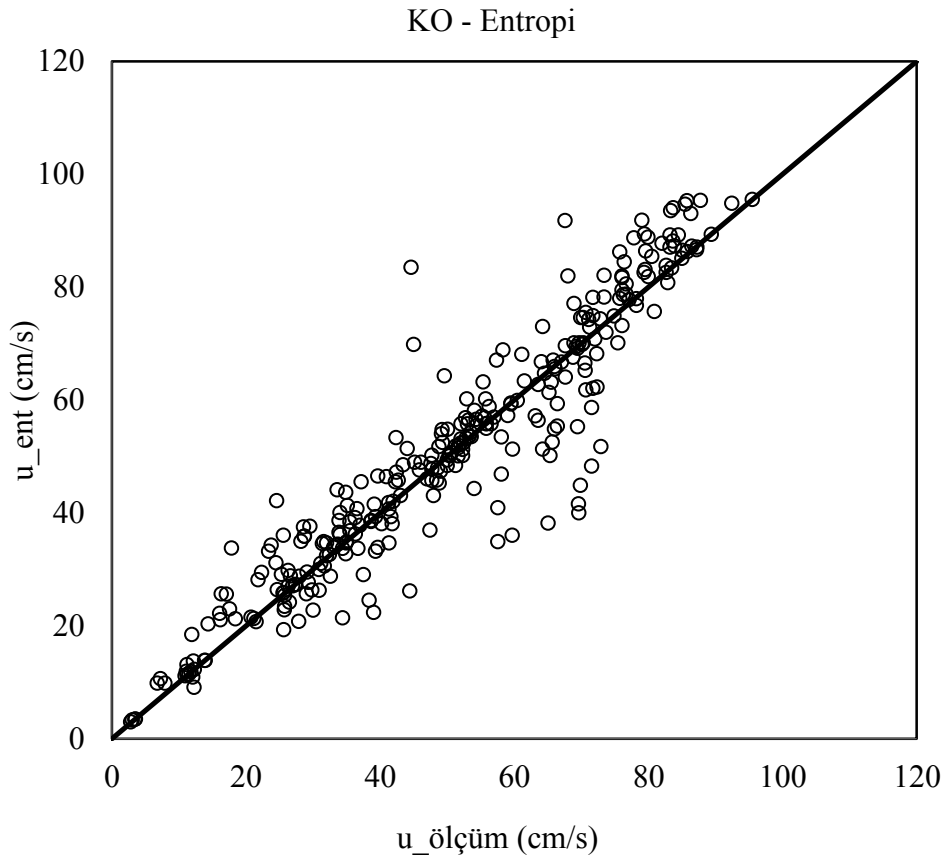
Ele alınan son istasyon olan Özvatan Kırıközü İstasyonu'na ait entropi parametresi $M=0,54$ olarak belirlenmiştir. Bu entropi parametresi ele alınan 7 farklı akım ve her bir düşeyde kullanılmıştır. Şekil 3.52'de KO_4 akım durumunda ölçülen ve entropi yöntemi ile hesaplanan ötelenmiş hız dağılımları verilmiştir. Bu ölçümde 4 farklı düşeyde hız ölçümü yapılmış olup bu düşeylerdeki hesaplanan entropi hız dağılımları sürekli çizgi ile gösterilmiştir. Şekillerden görüleceği üzere entropi dağılımı ölçüm değerleri ile derinlik boyunca genelde iyi uyum sağlamaktadır. Tablo 3.26'da KO İstasyonunda gerçekleştirilen ölçüm ve entropi dağılımına ait (3.5) ifadesi ile hesaplanan farklara yer verilmiştir. Tabloda her bir ölçüm ve düşeye ait farklar ve ortalamaları hesaplanmıştır. Ele alınan 4. ölçüme ait ortalama fark %10.9 olarak belirlenmiştir. Bu ölçüme ait logaritmik dağılımın ortalama hatası ise %10.7 olarak Tablo 3.22'de verilmiştir. Bu değerlerden de görüleceği üzere 4. ölçümde logaritmik dağılım ile entropi yöntemi yaklaşık olarak aynı oranda sonuç vermektedir. KO İstasyonu'nda gerçekleştirilen 7 farklı akım ve tüm düşeylere ait ölçüm sonuçları ile entropi dağılımı arasındaki farklar Tablo 3.26'da belirtildiği üzere %12.6 olarak hesaplanmıştır. Şekil 3.53'te KO İstasyonu'nda 7 farklı akım durumunda ölçülen hızlar ile entropi dağılımı ile hesaplanan hızlara ait saçılım grafikleri verilmiştir. Bu grafikten görüleceği üzere ele alınan istasyonda entropi dağılımı ölçüm değerlerini düzenli bir şekilde orantılı olarak temsil etmiştir.



Şekil 3.52. KO_4 ölçümü, ölçülen ve entropi ötelenmiş hız dağılımları.

Tablo 3.26. Özvatan Kırıközü İstasyonu ölçüm ve entropi dağılımları arasındaki farklar (%).

Ölçüm		Ölçüm-Entropi Dağılımı Fark ε (%)						
1	y/T	0.2	0.3	0.5	0.7	0.8	1.0	Ortalama
	Ent	3.8	11.0	7.9	22.6	30.0		15.1
2	y/T	0.2	0.3	0.5	0.7	0.8	0.9	
	Ent	15.3	18.8	6.6	20.0	14.1	4.3	13.2
3	y/T	0.2	0.4	0.6	0.8	0.9		
	Ent	----	30.9	15.7	21.9	----		22.8
4	y/T	0.2	0.4	0.5	0.7			
	Ent	13.0	7.8	14.3	8.5			10.9
5	y/T	0.2	0.4	0.5	0.8			
	Ent	8.7	7.2	10.6	3.9			7.6
6	y/T	0.3	0.4	0.6	0.8			
	Ent	16.8	6.6	14.6	7.4			11.4
7	y/T	0.2	0.4	0.6	0.9			
	Ent	11.0	8.9	5.3	3.5			7.2
Ortalama Fark=								12.6



Şekil 3.53. Özvatan Kırıközü İstasyonu ölçümleri entropi dağılımı saçılım diyagramı.

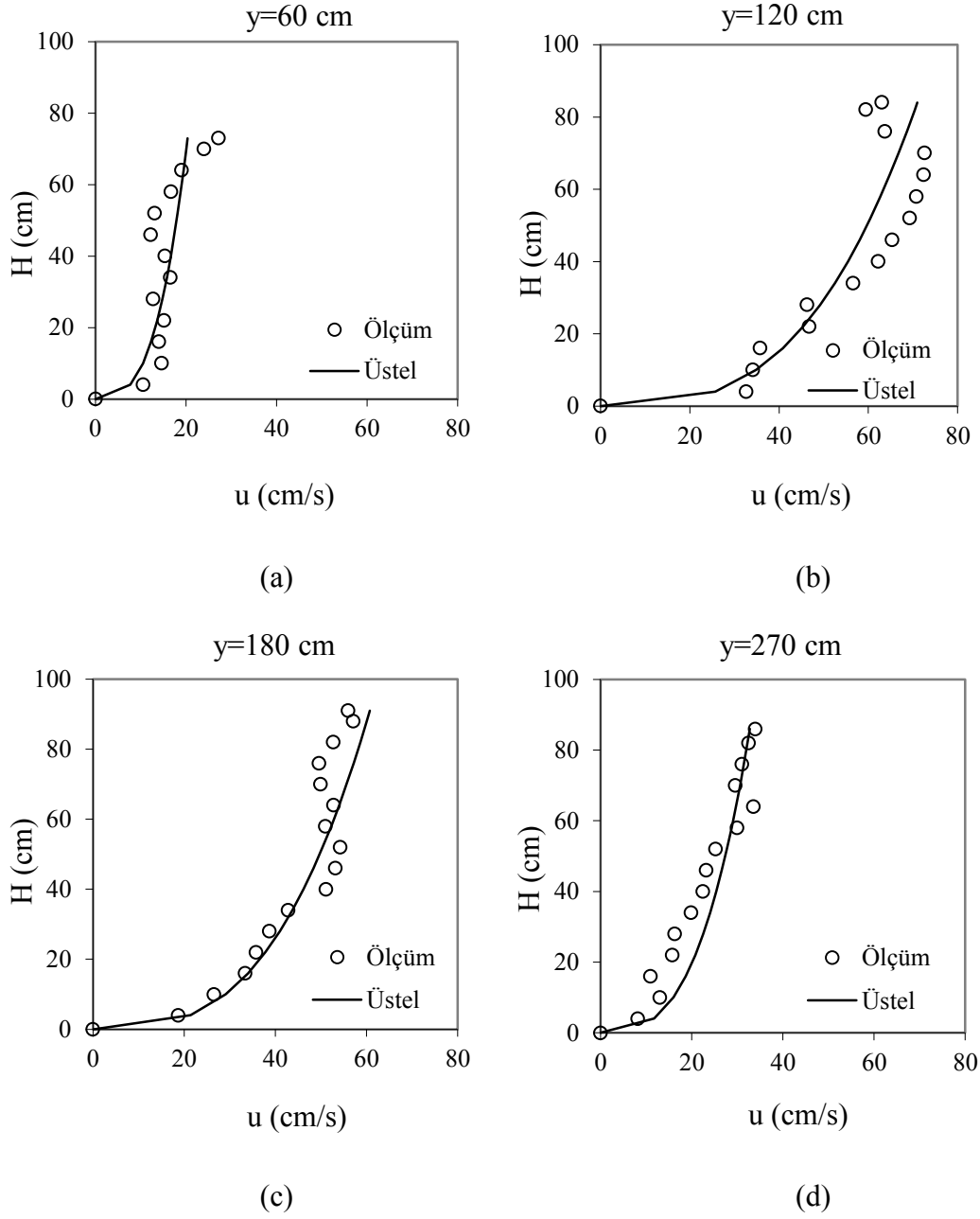
3.3.3. Üstel Dağılım

Bölüm 2.2.2’de anlatılan üstel dağılım (2.30) ifadesinde yer alan parametrelerin belirlenmesi amacıyla ölçüm değerleri kullanılmıştır. Bu amaçla 4 farklı istasyonda gerçekleştirilen ölçümlere ait logaritmik dağılımda belirlenen kayma hızları (u_*) ve rölatif pürüzlülük katsayıları (k_s) ele alınmıştır. Her istasyonda üstel dağılım parametreleri a ve m belirlenmesi amacıyla ölçüm değerlerini en iyi temsil eden sabitler istasyon bazında hesaplanmıştır. Her bir istasyon için belirlenen bu katsayılar yardımı ile o istasyonda gerçekleştirilen ölçümlere ait düşeylerde hız dağılımları belirlenmiştir. Ölçüm değerleri ile üstel dağılımlar arasındaki rölatif farklar hesaplanarak dağılımın geçerli olduğu bölgeler belirlenmeye çalışılmıştır.

Yukarda bahsedildiği üzere hesaplanan BP istasyonuna ait üstel dağılım parametreleri $a=2.7$ ve $m=3$ olarak belirlenmiştir. Belirlenen bu parametreler ile istasyona ait üstel dağılım ifadesi (3.6)’da verilmiştir.

$$\frac{u}{u_*} = 2,7 \left(\frac{30z}{k_s} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (3.6)$$

Bu ifade kullanılarak 1. istasyon olan Bünyan Pınarbaşı İstasyonu’na ait BP_10 ölçümündeki hız dağılımları Şekil 3.53’te gösterilmiştir. Şekilden görüleceği üzere bu ölçümde 4 farklı düşeyde hız dağılımı ölçülmüş olup, ele alınan düşeylerdeki hesaplanan üstel hız dağılımları sürekli çizgi ile gösterilmiştir. Tablo 3.27’de BP İstasyonu’nda gerçekleştirilen ölçüm ve üstel dağılıma ait (3.6) ifadesi ile hesaplanan hız dağılımı değerleri arasındaki farklar verilmiştir. Tabloda her bir ölçüm ve düşeye ait farklar ve ortalamaları gösterilmiştir. Ele alınan 10. ölçüme ait ortalama fark %14.1 olarak belirlenmiştir. Bu değer logaritmik dağılımdaki farka (%11.7) göre biraz yüksek entropi yöntemine göre (%17.3) daha düşük olmaktadır. BP İstasyonu’nda gerçekleştirilen 10 farklı akım ve tüm düşeylere ait ölçüm sonuçları ile üstel dağılım arasındaki farkların ortalaması Tablo 3.27’de belirtildiği üzere %15.4 olarak hesaplanmıştır. Şekil 3.55’te BP İstasyonu’nda 10 farklı akım durumunda ölçülen hızlar ile entropi dağılımı ile hesaplanan hızlara ait saçılım grafikleri verilmiştir. Bu grafikten görüleceği üzere ele alınan istasyonda üstel dağılımı ölçüm değerlerine göre dağınık bir görünüm vermektedir.

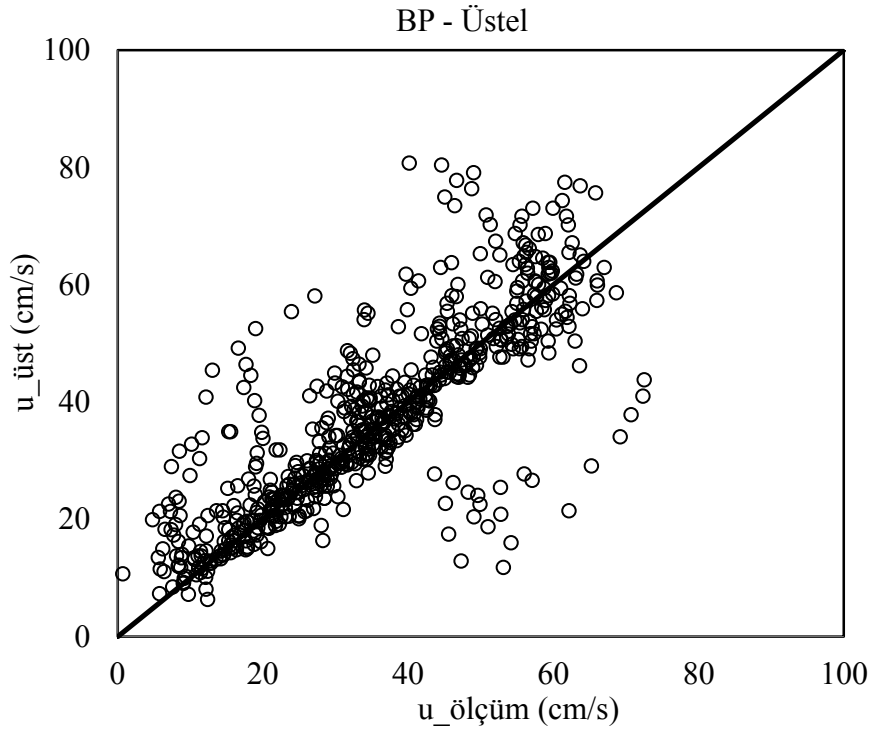


Şekil 3.54. (a) – (d) Bünyan Pınarbaşı İstasyonu 10. ölçümde üstel dağılımın gösterimi.

Şekil 3.54’ de BP_10 ölçümünde ele alınan en kesitte 4 düşeyde gerçekleştirilen hız ölçümleri ve yapılan hesaplamalar sonucu elde edilen ölçülen ve üstel dağılımla hesaplanana hız dağılımı grafikleri verilmiştir. Grafikler incelendiğinde ölçüm değerlerindeki dalgalanmaları üstel dağılımın yeterli derecede iyi temsil edemediği görülmüştür. Ancak şekil incelendiğinde ölçüm değerlerinde türbülansa bağlı olarak dalgalı bir dağılımın olduğu anlaşılmaktadır. Bu dalgalı dağılımı da üstel dağılımın orantılı bir şekilde farkları dengeleyerek yakalamaya çalıştığı anlaşılmaktadır.

Tablo 3.27. Bünyan Pınarbaşı İstasyonu ölçüm ve üstel dağılım arasındaki farklar (%).

Ölçüm		Ölçüm-Üstel Dağılımı Fark ε (%)							
1	y/T	0.1	0.3	0.4	0.5	0.6	0.8	0.9	Ortalama
	Üstel	18.6	10.8	6.9	7.5	6.4	6.5	10.3	9.6
2	y/T	0.1	0.3	0.4	0.5	0.6	0.8	0.9	
	Üstel	----	9.5	11.0	13.7	11.6	9.9	5.6	10.2
3	y/T	0.1	0.3	0.4	0.6	0.7	0.9		
	Üstel	----	7.2	11.7	11.8	36.7	8.6		15.2
4	y/T	0.2	0.4	0.5	0.7				
	Üstel	12.0	9.3	31.2	8.4				15.2
5	y/T	0.2	0.4	0.5	0.6				
	Üstel	10.9	5.0	15.6	16.9				12.1
6	y/T	0.2	0.3	0.5	0.6				
	Üstel	14.8	19.0	18.4	10.2				15.7
7	y/T	0.1	0.3	0.5	0.7	0.9			
	Üstel	----	19.3	18.7	18.3	----			18.8
8	y/T	0.1	0.3	0.4	0.6	0.8			
	Üstel	22.1	21.2	22.8	----	20.9			21.8
9	y/T	0.2	0.4	0.5	0.7	0.8			
	Üstel	19.5	14.3	28.7	----	----			20.8
10	y/T	0.1	0.3	0.4	0.6	0.9			
	Üstel	18.9	10.5	7.6	19.6	----			14.1
Ortalama Fark=									15.4

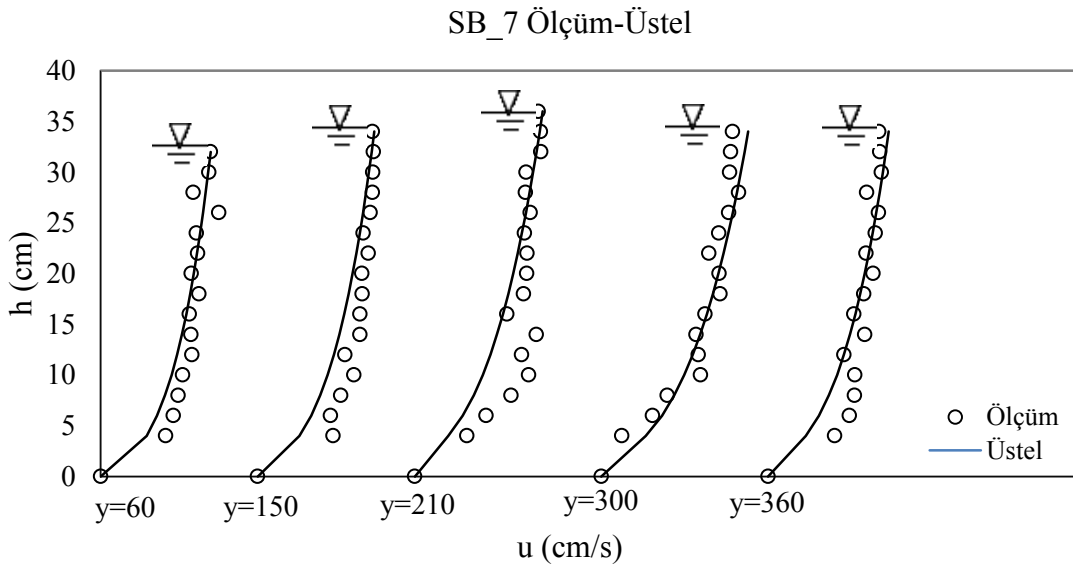


Şekil 3.55. Bünyan Pınarbaşı İstasyonu ölçümleri üstel dağılım saçılım diyagramı.

Ele alınan 2. istasyon olan SB İstasyonu'na ait üstel dağılım parametreleri $a=4.0$ ve $m=5.0$ olarak belirlenmiştir. Belirlenen bu parametreler ile istasyona ait üstel dağılım ifadesi (3.7)'de verilmiştir.

$$\frac{u}{u^*} = 4 \left(\frac{30z}{k_s} \right)^{\frac{1}{5}} \quad (3.7)$$

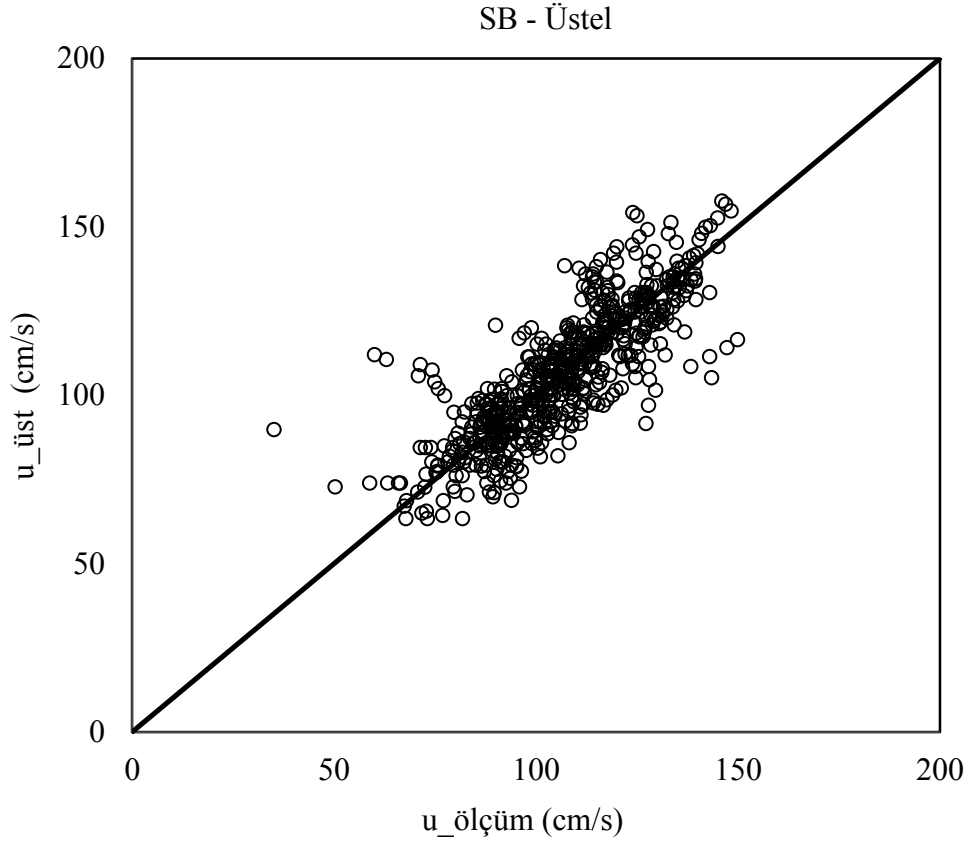
Bu ifade kullanılarak Sarımsaklı Baraj Girişi İstasyonuna ait SB_7 ölçümdeki ötelenmiş hız dağılımları Şekil 3.56'da gösterilmiştir. Şekilden görüleceği üzere bu ölçümde 5 farklı düşeyde hız dağılımı belirlenmiş olup bu düşeylerdeki hesaplanan üstel hız dağılımları sürekli çizgi ile gösterilmiştir. Tablo 3.28'de SB İstasyonu'nda gerçekleştirilen ölçüm ve üstel dağılıma ait (3.5) ifadesi ile hesaplanan farklara verilmiştir. Tabloda her bir ölçüm ve düşeye ait farklar ve ortalamaları gösterilmiştir. Ele alınan 7. ölçüme ait ortalama fark %5.6 olarak belirlenmiştir. Bu değer logaritmik dağılımdaki farktan (%12.0) daha az, entropi yönteminin farkıyla (%5.7) yaklaşık aynı olmaktadır. SB istasyonunda gerçekleştirilen 7 farklı akım ve tüm düşeylere ait ölçüm sonuçları ile üstel dağılım arasındaki ortalama fark Tablo 3.28'de belirtildiği üzere %8.4 olarak hesaplanmıştır. Şekil 3.57'de SB İstasyonu'nda 7 farklı akım durumunda ölçülen hızlar ile entropi dağılımı ile hesaplanan hızlara ait saçılım grafikleri verilmiştir. Bu grafikten görüleceği üzere ele alınan istasyonda üstel dağılım, ölçüm değerlerini iyi bir şekilde temsil etmektedir.



Şekil 3.56. SB_7 ölçümü, ölçülen ve üstel ötelenmiş hız dağılımları.

Tablo 3.28. Sarımsaklı Baraj Girişi İstasyonu ölçüm ve üstel dağılım arasındaki farklar (%).

Ölçüm		Ölçüm-Üstel Dağılımı Fark ε (%)							
1	y/T	0.1	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.9	Ortalama
	Üstel	2.7	3.8	8.1	5.4	6.2	9.3	9.0	6.4
2	y/T	0.1	0.2	0.4	0.5	0.6	0.7		
	Üstel	7.5	5.4	7.1	7.3	13.0	33.1		12.2
3	y/T	0.1	0.3	0.4	0.6	0.7	0.9		
	Üstel	12.7	11.4	14.1	6.0	8.0	9.7		10.3
4	y/T	0.3	0.5	0.7	0.8				
	Üstel	1.8	12.2	14.5	9.0				9.4
5	y/T	0.1	0.3	0.5	0.7	0.9			
	Üstel	7.8	9.0	6.6	5.1	8.9			7.5
6	y/T	0.2	0.3	0.5	0.7	0.8			
	Üstel	4.1	14.6	6.2	6.1	5.9			7.4
7	y/T	0.1	0.4	0.5	0.7	0.9			
	Üstel	5.4	6.8	6.6	3.9	5.2			5.6
Ortalama Fark=									8.4

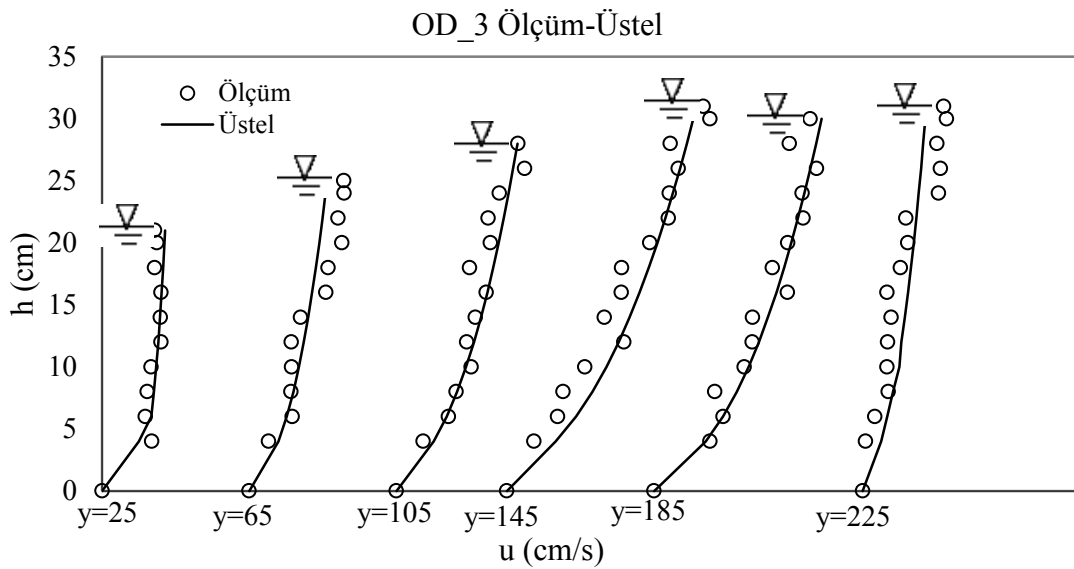


Şekil 3.57. Sarımsaklı Baraj Girişi İstasyonu ölçümleri üstel dağılım saçılım diyagramı.

Ele alınan 3. istasyon olan OD İstasyonu'na ait üstel dağılım parametreleri $a=2.7$ ve $m=2.9$ olarak belirlenmiştir. Belirlenen bu parametreler ile istasyona ait üstel dağılım ifadesi (3.8)'de verilmiştir.

$$\frac{u}{u_*} = 2,7 \left(\frac{30z}{k_s} \right)^{\frac{1}{2,9}} \quad (3.8)$$

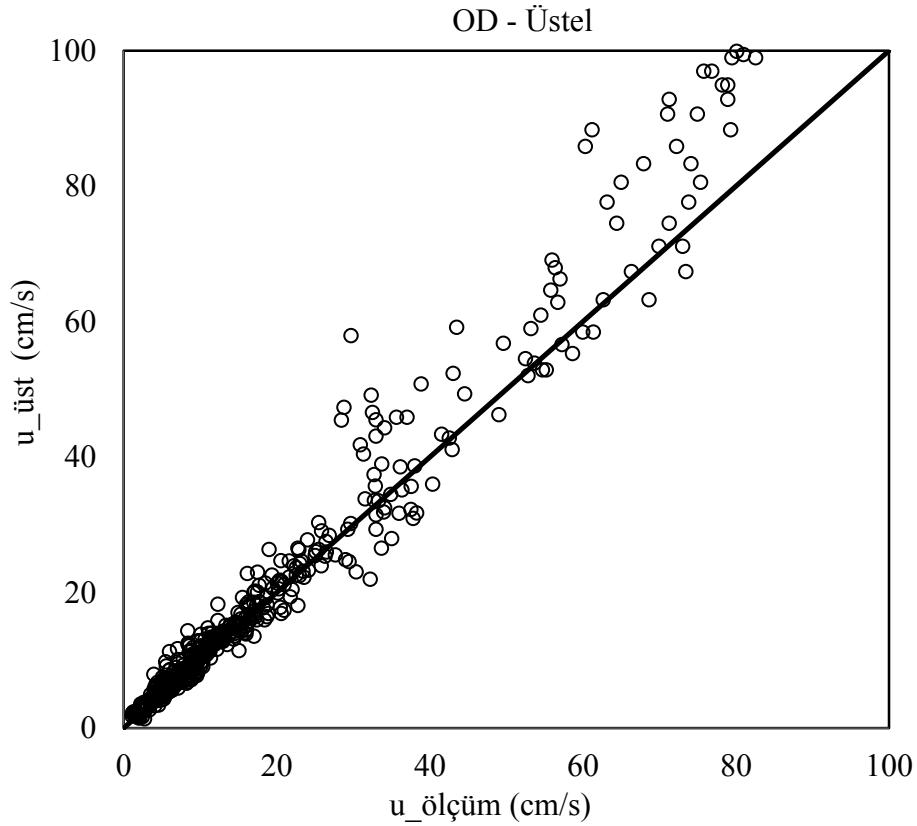
Bu ifade kullanılarak Felahiye Özdere İstasyonu'na ait OD_3 ölçümündeki ötelenmiş hız dağılımları Şekil 3.58'de gösterilmiştir. Şekilden görüleceği üzere bu ölçümde 6 farklı düşeyde hız dağılımı belirlenmiş olup bu düşeylerdeki hesaplanan üstel hız dağılımları sürekli çizgi ile gösterilmiştir. Tablo 3.29'da KO İstasyonu'nda gerçekleştirilen ölçüm ve üstel dağılıma ait (3.5) ifadesi ile hesaplanan farklara verilmiştir. Tabloda her bir ölçüm ve düşeye ait farklar ve ortalamaları gösterilmiştir. Ele alınan 3. ölçüme ait ortalama fark %12.7 olarak belirlenmiştir. Bu değer logaritmik dağılımdaki fark ile (%11.6) yaklaşık aynı, entropi yönteminin farkından (%17.5) daha az olmaktadır. OD İstasyonu'nda gerçekleştirilen 8 farklı akım ve tüm düşeylere ait ölçüm sonuçları ile üstel dağılım arasındaki ortalama fark Tablo 3.29'da belirtildiği üzere %16.1 olarak hesaplanmıştır. Şekil 3.59'da OD İstasyonu'nda 8 farklı akım durumunda ölçülen hızlar ile entropi dağılımı ile hesaplanan hızlara ait saçılım grafikleri verilmiştir. Bu grafikten görüleceği üzere ele alınan istasyonda üstel dağılım, ölçüm değerlerini iyi bir şekilde temsil etmektedir.



Şekil 3.58. OD_3 ölçümü, ölçülen ve üstel ötelenmiş hız dağılımları.

Tablo 3.29. Felahiye Özdere istasyonu ölçüm ve üstel dağılım arasındaki farklar (%).

Ölçüm		Ölçüm-Üstel Dağılımı Fark ε (%)						
1	y/T	0.2	0.3	0.5	0.6	0.8	0.9	Ortalama
	Üstel	15.0	11.9	9.2	5.5	10.5	37.6	14.9
2	y/T	0.1	0.3	0.5	0.6	0.8	0.9	
	Üstel	22.0	11.9	4.0	6.0	6.6	18.1	11.4
3	y/T	0.1	0.3	0.4	0.6	0.7	0.9	
	Üstel	20.0	13.5	6.2	8.4	5.5	22.4	12.7
4	y/T	0.3	0.5	0.6	0.7			
	Üstel	9.3	26.6	19.4	13.7			17.2
5	y/T	0.4	0.5	0.6	0.8			
	Üstel	26.1	----	23.0	11.7			20.3
6	y/T	0.1	0.4	0.6	0.7	0.9		
	Üstel	----	10.9	11.9	20.2	----		14.3
7	y/T	0.2	0.4	0.6	0.7	0.9		
	Üstel	12.1	11.1	21.6	16.6	----		15.3
8	y/T	0.1	0.3	0.5	0.7	0.9		
	Üstel	----	15.8	21.3	23.9	30.7		22.9
Ortalama Fark=								16.1

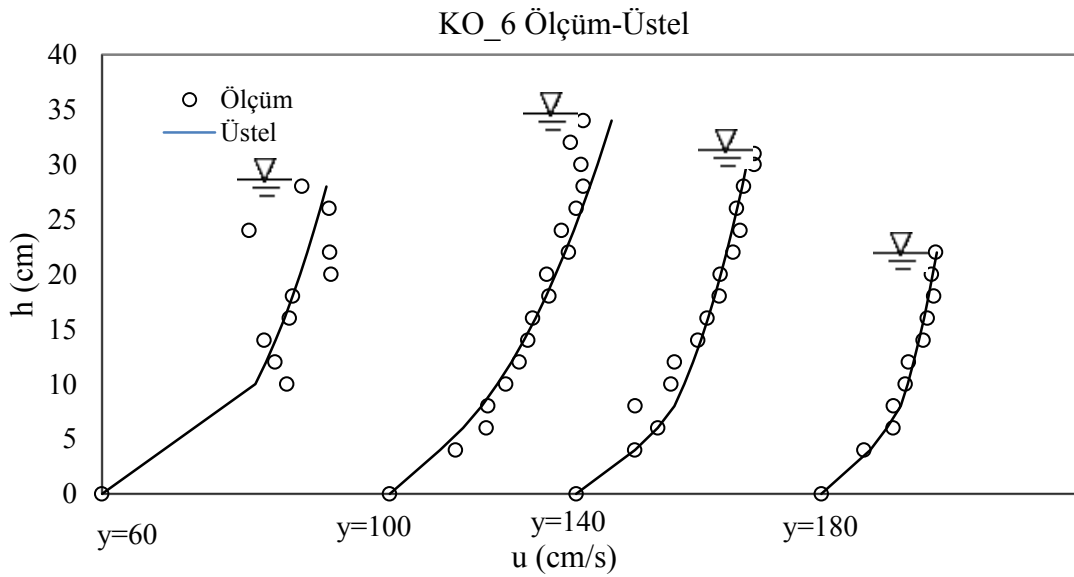


Şekil 3.59. Felahiye Özdere İstasyonu ölçümleri üstel dağılım saçılım diyagramı.

Ölçüm yapılan 4. ve son istasyon olan KO İstasyonu'na ait üstel dağılım parametreleri $a=2.5$ ve $m=2.7$ olarak belirlenmiştir. Belirlenen bu parametrelerle ile istasyona ait üstel dağılım ifadesi (3.9)'da verilmiştir.

$$\frac{u}{u^*} = 2,5 \left(\frac{30z}{k_s} \right)^{\frac{1}{2,7}} \quad (3.9)$$

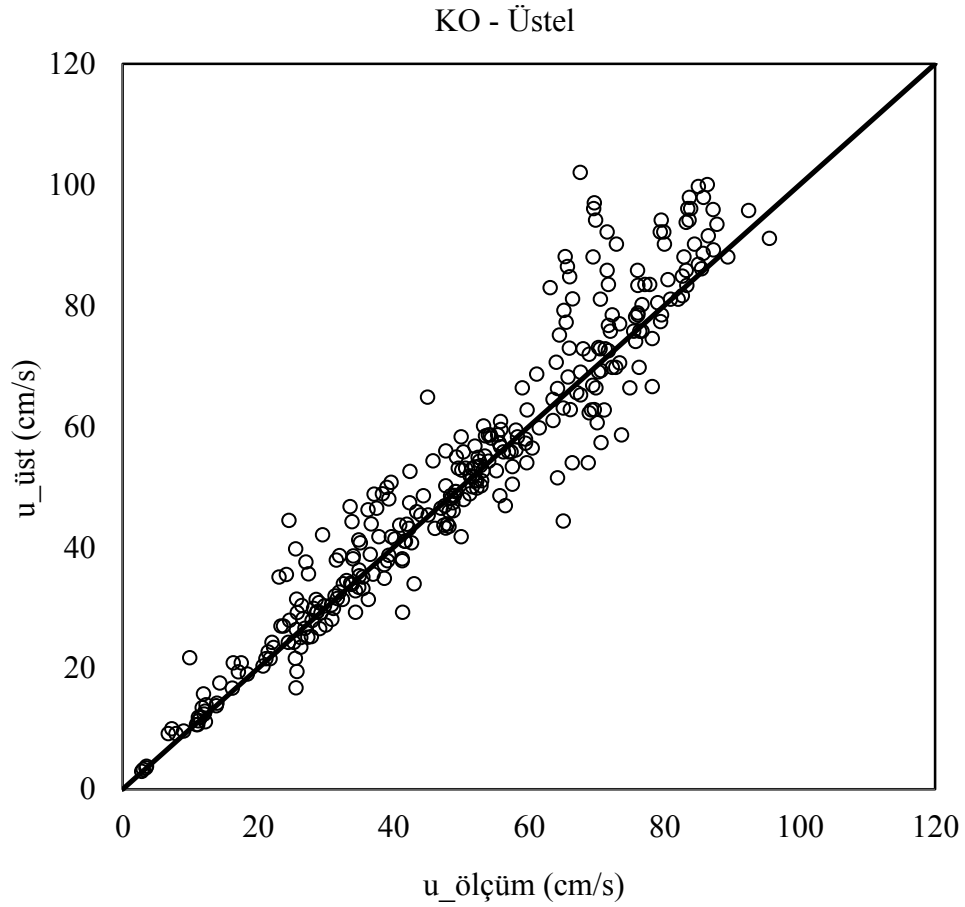
Bu ifade kullanılarak Özvatan Kırıközü İstasyonu'na ait KO_6 ölçümündeki ötelenmiş hız dağılımları Şekil 3.60'da gösterilmiştir. Şekilden görüleceği üzere bu ölçümde 4 farklı düşeyde hız dağılımı belirlenmiş olup bu düşeylerdeki hesaplanan üstel hız dağılımları sürekli çizgi ile gösterilmiştir. Tablo 3.30'da KO İstasyonu'nda gerçekleştirilen ölçüm ve üstel dağılıma ait (3.5) ifadesi ile hesaplanan farklar verilmiştir. Tabloda her bir ölçüm ve düşeye ait farklar ve ortalamaları gösterilmiştir. Ele alınan 6. ölçüme ait ortalama fark %7.1 olarak belirlenmiştir. Bu değer logaritmik dağılımdaki fark ile (%7.3) yaklaşık aynı, entropi yönteminin farkından (%11.4) daha az olmaktadır. KO İstasyonu'nda gerçekleştirilen 7 farklı akım ve tüm düşeylere ait ölçüm sonuçları ile üstel dağılım arasındaki ortalama fark Tablo 3.30'da belirtildiği üzere %11.1 olarak hesaplanmıştır. Şekil 3.61'de KO İstasyonu'nda 7 farklı akım durumunda ölçülen hızlar ile entropi dağılımı ile hesaplanan hızlara ait saçılım grafikleri verilmiştir. Bu grafikten görüleceği üzere ele alınan istasyonda üstel dağılım, düzenli bir dağılım sergileyerek ölçüm değerlerini iyi bir şekilde temsil etmektedir.



Şekil 3.60. KO_6 ölçümü, ölçülen ve üstel ötelenmiş hız dağılımları.

Tablo 3.30. Özvatan Kırıközü İstasyonu ölçüm ve üstel dağılım arasındaki farklar (%).

Ölçüm		Ölçüm-Üstel Dağılımı Fark ε (%)						
1	y/T	0.2	0.3	0.5	0.7	0.8		Ortalama
	Üstel	7.3	10.6	7.0	34.2	35.7		19.0
2	y/T	0.2	0.3	0.5	0.7	0.8	0.9	
	Üstel	12.1	4.5	15.8	11.2	9.1	5.2	9.7
3	y/T	0.2	0.4	0.6	0.8	0.9		
	Üstel	----	11.6	19.3	9.5	----		13.5
4	y/T	0.2	0.4	0.5	0.7			
	Üstel	11.6	7.3	18.8	4.2			10.5
5	y/T	0.2	0.4	0.5	0.8			
	Üstel	3.6	8.6	15.7	5.6			8.4
6	y/T	0.3	0.4	0.6	0.8			
	Üstel	11.6	5.0	7.8	4.2			7.1
7	y/T	0.2	0.4	0.6	0.9			
	Üstel	3.1	4.5	21.1	9.4			9.5
Ortalama Fark=								11.1

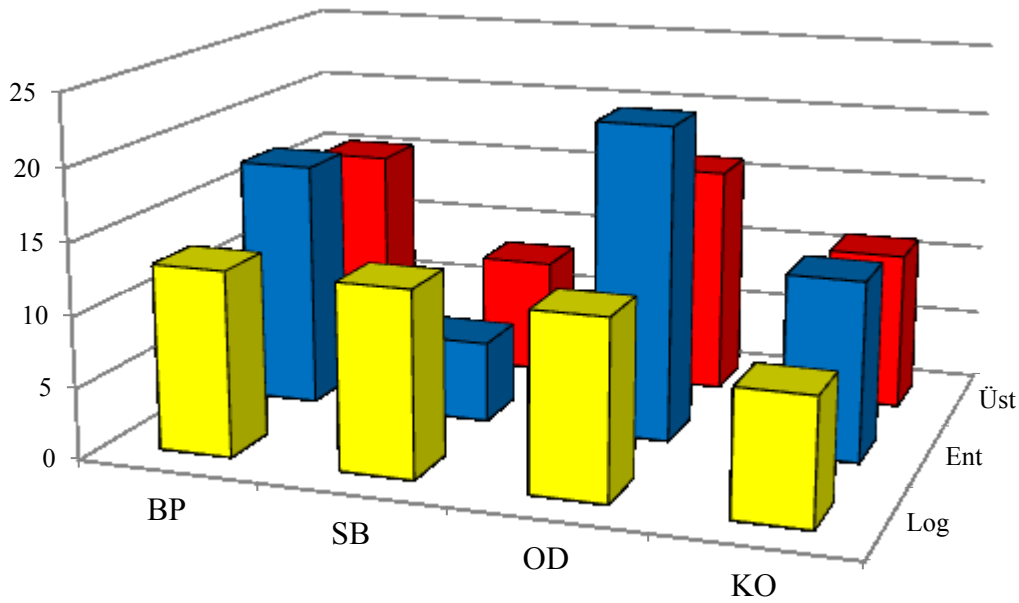


Şekil 3.61. Özvatan Kırıközü İstasyonu ölçümleri üstel dağılım saçılım diyagramı.

Ele alınan dört istasyon için yapılan hesaplarda incelenen üç hız dağılımının ortalama hata değerleri Tablo 3.31’de verilmiştir. Logaritmik dağılım kesit geometrisinin daha düzenli ve betonarme olan SB İstasyonu’nda diğer iki dağılıma göre büyük fark vermiştir. Bunun dışında logaritmik dağılım diğer üç istasyonda en iyi sonuç veren dağılım olmuştur. SB istasyonunda ölçüm değerlerine en iyi uyum gösteren dağılım entropi dağılımı olmuştur. Ele alınan 4 istasyon için entropi ve üstel dağılımlar karşılaştırıldığında üstel dağılımın entropi dağılımına göre biraz daha iyi sonuçlar verdiği söylenebilir. Hata değerlerinin görselleştirildiği hız dağılımları genel hata grafiği Şekil 3.62’de verilmiştir.

Tablo 3.31. Hız dağılımları ortalama farkları.

İstasyon	BP	SB	OD	KO	Ortalama
Logaritmik	13.0	12.7	12.4	8.7	11.7
Entropi	17.3	5.7	22.0	12.6	14.4
Üstel	15.4	8.4	16.1	11.1	12.7



Şekil 3.62. Hız dağılımları genel fark grafiği.

4. BÖLÜM

SONUÇ, TARTIŞMA VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, Kızılırmak Havzası'nda bulunan üç farklı dere üzerinde, dört farklı istasyonda ADV ile yapılan hız ölçümleri ile debiler ve hız dağılımları incelenmiştir. Ele alınan dört istasyonda toplam 32 farklı zaman ve akım durumunda ölçümler gerçekleştirilmiştir. Her bir akım durumunda enkesit üzerinde yapılan hız ölçümleri kullanılarak hız-alan yöntemi ile gerçek debiler (Q) hesaplanmıştır. Bu debiler pratikte yaygın olarak kullanılan beş farklı yöntem ve entropi yöntemi ile hesaplanan debiler ile karşılaştırılarak yöntemlerin farkları belirlenmiştir.

Ele alınan ilk istasyon olan Bünyan Pınarbaşı (BP) İstasyonu'nda hız alan yöntemi ile hesaplanan debiler ile $0.2-0.8H$ ve $0.6H$ hızları ile hesaplanan debiler arasında ortalama farklar sırasıyla %1.8 ve %4.0 olarak belirlenmiştir. Bu yöntemlerin debi hesabında oldukça iyi sonuçlar verdiği gözlenmiştir. Anahtar eğrisi ve Manning denklemi ile hesaplanan debiler sırasıyla %31.3 ve %33.0 ortalama fark ile hız alan yönteminden sapmışlardır. Su yüzü hız ile debi hesabında %16.4 ortalama fark belirlenmiş olup bu yöntemin anahtar eğrisi ve Manning denkleminde daha iyi sonuç verdiği gözlenmiştir. Entropi yöntemi ile belirlenen debilerin hız alan yönteminden ortalama %13.2 farklılık gösterdiği belirlenmiştir.

Sarımsaklı Baraj Girişi (SB) İstasyonu'nda %2.6 ortalama fark ile entropi yöntemi en iyi sonuç veren yöntem olmuştur. Bu istasyona ait anahtar eğrisinin determinasyon katsayısı oldukça yüksek olup ($R^2=0.94$) bu yöntemin debi hesabında kullanılabileceği ve ortalama farkında %3.2 olduğu belirlenmiştir. $0.2-0.8H$ ve $0.6H$ 'daki hızlarla hesaplanan debilere ait ortalama farklar da sırasıyla %5.5 ve %7.2 olarak hesaplanmıştır. Su yüzü hızı ile hesaplanan debilere ait ortalama fark %9.1 iken Manning denklemi kullanılarak hesaplanan debilerde diğer yöntemlere göre oldukça yüksek, %38.3 ortalama fark değeri belirlenmiştir.

Özdere İstasyonu'nda (OD) ilk istasyon olan BP'de olduğu gibi en iyi sonuçlar $0.2-0.8H$ ve $0.6H$ yöntemlerinde gözlenmiştir. Bu yöntemlere ait ortalama farklar sırasıyla %6.0 ve %5.8 olarak hesaplanmıştır. Bu istasyonda entropi yöntemi ve su yüzü hızı ile hesaplanan debilere ait ortalama farklarda sırasıyla %13.9 ve %20.6 olarak belirlenmiştir. Diğer iki yöntem olan

anahtar eğrisi ve Manning denklemine ait ortalama farklarda sırasıyla %34.4 ve %42.1 olarak hesaplanmıştır. Entropi yönteminin bu istasyonda da diğer 3 yöntemden daha iyi sonuçlar verdiği gözlenmiştir.

Kırıközü (KO) İstasyonu'nda, OD ve BP istasyonlarına benzer sonuçlar elde edilmiştir. %3,7 ve %5,7 ortalama fark değerleri ile $0.2-0.8H$ ve $0.6H$ yöntemleri bu kesitte de en iyi sonucu veren yöntemler olmuştur. KO İstasyonu'nda entropi yöntemi %13.8 ortalama fark ile bu iki yöntemden sonraki en iyi sonucu veren yöntem olmuştur. Diğer üç yöntem olan Manning, anahtar eğrisi ve su yüzü hızlarına bağlı hesaplanan debilere ait ortalama farklar ise sırasıyla %17.3, %18.7 ve %25.0 olarak hesaplanmıştır.

İstasyonlara ait yapılan bu değerlendirmelere bağlı olarak yöntemlerin kullanılabilirliği hakkında aşağıdaki ifadeler söylenebilir.

- $0.2-0.8H$ ve $0.6H$ hızları ile belirlenen debilerin doğal akarsularda debi hesabında kullanılabilecek en iyi yöntemler olduğu,
- Entropi yönteminin doğal akarsularda debinin belirlenmesinde iyi sonuçlar verdiği ve yöntem için sadece kesite ait entropi parametresi M ve ölçüm yapılan akım durumunda maksimum hızın (u_{mak}) belirlenmesinin yeterli olacağı,
- Anahtar eğrisi yönteminin gerçekçi sonuçlar vermesi için geniş debi aralığında ölçüm yapılarak denklem determinasyonunun yüksek olması gerektiği,
- Su yüzü hızı ile debi hesabı için istasyona ait U/u_{sy} oranlarını gösteren katsayının (k_{sy}) hassas olarak belirlenmesi gerektiği,
- Manning denklemine ait pürüzlülük katsayısının belirlenmesinin güç olduğu ve bu ifadenin genellikle yüksek sonuçlar verdiği belirlenmiştir.

Dört farklı istasyonda, 32 farklı akım durumunda, enkesit boyunca belirlenen düşeylerde gerçekleştirilen hız ölçümleri logaritmik, üstel ve entropi dağılımları ile karşılaştırılmıştır. Her bir istasyona ait belirlenen dağılımlara ait özellikler aşağıda açıklanmıştır;

BP İstasyonu'nda logaritmik ifade ile belirlenen hızlar ölçüm değerleri ile uyumlu bir dağılım göstermektedir. Hız dağılımları özellikle en kesitin orta bölgelerinde $0.3 \leq y/B \leq 0.8$ ve ele alınan düşeyin $8.0 \leq 30z/k_s \leq 70$ aralığında ölçüm değerlerine yakın olmaktadır. Bu istasyona ait ölçüm hız değerleri ile logaritmik dağılımla hesaplanan hızlara ait ortalama mutlak fark

%13.0 olarak belirlenmiştir. BP İstasyonu'nda 10 farklı akım durumunda yapılan hız ölçümleri ile belirlenen entropi parametresi $M=0.16$ olarak hesaplanmıştır. Bilinen M ve her bir düşeyde ölçülen u_{mak} hızları ile hesaplanan dağılımlar derinlik boyunca ölçülen hızlardan biraz yüksek olmaktadır. Ele alınan tüm akım ve düşeylerdeki yöntemin ortalama mutlak hatası da %17.3 olarak hesaplanmıştır. BP İstasyonu'nda üstel dağılıma ait sabitler $a=2.7$ ve $m=3$ olarak belirlenmiştir. Bu sabitler ile hesaplanan dağılımların ölçüm değerlerinden %15.4 farklılık gösterdiği görülmüştür. Bu istasyondaki ölçümleri en iyi logaritmik dağılım temsil etmektedir.

Ölçüm yapılan ikinci istasyon olan SB'de ölçüm değerleri enkesit boyunca kesitin geometrisi ve pürüzlülüğünün düzenli olması nedeniyle benzer dağılım göstermektedir. Ele alınan düşeylerde belirlenen logaritmik dağılım ve ölçüm değerleri arasındaki ortalama mutlak fark BP İstasyonu'na yakın ve %12.7 olarak hesaplanmıştır. SB İstasyonu'nda 7 farklı akım durumunda yapılan hız ölçümleri ile belirlenen entropi parametresi $M=2.9$ olarak hesaplanmıştır. Entropi yöntemi ile hesaplanan dağılımlar derinlik boyunca ölçülen hızlar ile BP İstasyonu'na göre daha iyi uyum göstermektedir. Ele alınan tüm akım ve düşeylerdeki yöntemin ortalama mutlak hatası da %5.7 olarak hesaplanmıştır. SB İstasyonu'nda üstel dağılıma ait sabitler $a=4.0$ ve $m=5$ olarak belirlenmiştir. Bu sabitler ile hesaplanan dağılımların ölçüm değerlerinden %8.4 farklılık göstermektedir. Bu değerlere göre SB İstasyonu'nda üstel dağılım logaritmik dağılıma göre daha iyi sonuç vermekte entropi dağılımı da en iyi olmaktadır.

OD İstasyonu'nda logaritmik dağılım ile ölçüm değerleri enkesit boyunca uyumlu bir dağılım göstermektedir. BP İstasyonu'nda olduğu gibi kanalın orta bölgelerinde logaritmik dağılım ölçüm değerlerini daha iyi temsil etmektedir. Bu istasyona ait ölçüm ve logaritmik dağılım arasındaki ortalama mutlak fark BP İstasyonu ile benzer şekilde %12.4 olarak hesaplanmıştır. OD İstasyonu'nda 8 farklı akım durumunda yapılan hız ölçümleri ile belirlenen entropi parametresi $M=0.1$ olarak hesaplanmıştır. Entropi yöntemi ile hesaplanan dağılımlar derinlik boyunca ölçülen hızlar ile BP ve SB istasyonlarına göre biraz daha yüksek farklar vermiştir. Ele alınan tüm akım ve düşeylerdeki yöntemin ortalama mutlak hatası da %22.0 olarak hesaplanmıştır. OD İstasyonu'nda üstel dağılıma ait sabitler $a=2.7$ ve $m=2.9$ olarak hesaplanmıştır. Bu sabitler ile hesaplanan dağılımların ölçüm değerlerinden %16.1 farklılık

gösterdiği belirlenmiştir. Bu değerlere göre OD İstasyonu'nda üstel dağılım entropi dağılımına göre daha iyi sonuç vermekte, logaritmik dağılım ise en iyi olmaktadır.

KO İstasyonu'nda logaritmik dağılım ile ölçüm değerleri enkesit boyunca uyumlu bir dağılım göstermektedir. Bu istasyonda logaritmik dağılım ile ölçüm değerleri arasındaki ortalama mutlak fark %8.7 olarak hesaplanmıştır. Buna göre ele alınan dört istasyonda logaritmik dağılımın ölçüm değerlerine en iyi uyum gösterdiği istasyon KO'dur. KO İstasyonu'nda 7 farklı akım durumunda yapılan hız ölçümleri ile belirlenen entropi parametresi $M=0.54$ olarak hesaplanmıştır. Entropi yöntemi ile hesaplanan dağılımlar derinlik boyunca ölçülen hızlar ile BP ve OD istasyonlarına göre daha düşük farklar vermiştir. Ele alınan tüm akım ve düşeylerdeki yöntemin ortalama mutlak hatası da %12.6 olarak hesaplanmıştır. KO İstasyonu'nda üstel dağılıma ait sabitler $a=2.5$ ve $m=2.7$ olarak hesaplanmıştır. Bu sabitler ile hesaplanan dağılımların ölçüm değerlerinden %11.1 farklılık gösterdiği belirlenmiştir. Bu değerlere göre OD İstasyonu'nda üstel dağılım entropi dağılımına göre daha iyi sonuç verirken logaritmik dağılıma göre yüksek fark sergilemiştir.

Ele alınan istasyonlarda kesit kenar bölgelerinde ölçülen hız dağılımları ele alınan yöntemler ile modellenememektedir. Kesit orta bölgelerinde ise bu dağılımlar daha iyi sonuç vermektedir. Dört farklı istasyonda logaritmik, üstel ve entropi dağılımlar ölçülen hız dağılımlarını birbirine yakın farkla temsil etmiştir. Bu değerleri sırasıyla %11.7, %12.7 ve %14.4' dür.

KAYNAKLAR

1. Ardiçlioğlu, M., Gemici, E., Özdin, S., 2011. Doğal akarsularda debinin belirlenmesi. **Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi**, 4 (2): 73-77.
2. Ardiçlioğlu, M., Özdin, S., Gemici, E., 2010. Akarsularda hız dağılımının modellenmesi ve ADV ölçümleri. **Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi**, 3 (1): 53-58.
3. Yüksel Y., 2005. Teori ve Çözümlü Problemler İle Bilgisayar Uygulamalı Akışkanlar Mekaniği ve Hidrolik. Arıkan Basım Yayın Dağıtım, İstanbul, 1009 s.
4. Chiu, C.L., 1989. Velocity Distribution in open channel flow, **Journal of Hydraulic Engineering, ASCE**, 128 (4):390-398.
5. Kırkgöz, M. S., Ardiçlioğlu, M., 1997. Velocity profiles of developing and developed open channel flow, **Journal of Hydraulic Engineering, ASCE**, 123 (12):1099-1105.
6. Afzal N., 2001. Power law and log law velocity profiles in fully developed turbulent pipe flow: equivalent relations at large Reynolds number, **Acta Mechanica**, 151: 171-183
7. Chiu, C.-L., M., Tung, N.-C., 2002. Maximum velocity and regularities in open-channel flow, **Journal of Hydraulic Engineering, ASCE**, 128 (4): 390-398.
8. Chen, Y.-C., Chiu, C.-L., 2002. An efficient method of discharge measurement in tidal streams, **Journal of Hydraulic Engineering, ELSEVIER**, 265 : 212-224.
9. Ardiçlioğlu, M., Şentürk, A.İ., Seçilir, S., 2004. Pürüzlü açık kanal akımlarında hız dağılımının entropy yöntemi ile incelenmesi, *6th International Congress on Advances in Civil Engineering, 6-8 October Bogazici University, Istanbul, Turkey*.
10. Yang, S-Q., Tan, S-K., 2004. Velocity Distribution and Dip-Phenomenon in Smooth Uniform Open Channel Flows, **Journal of Hydrology**, 130 (12): 1179-1186.
11. Moramarco, T., 2004. Entropic Characterization of the Mean Flow Velocity in Natural Channels, *Environmental Modeling and Simulation Conference, November 22-24, St. Thomas, US Virgin Island, Page: 175-179*.
12. Moramarco, T., Saltalippi, C., Singh, V. P., 2004. Estimation of mean velocity in natural channel based on Chiu's velocity distribution equation, **Journal of Hydraulic Engineering, ASCE**, 9 (1): 42-50.
13. Ardiçlioğlu, M., Şentürk, A.İ., Seçkin, G., 2004. Açık kanal akımlarında hız dağılımının entropi yöntemi ile incelenmesi, *XVII. Teknik Kongre ve Sergisi , 15-17 Nisan*
14. Moramarco, T., Saltalippi C., Singh V.P., 2004. Estimation of mean velocity in naturel channels based on Ghiu's velocity distribution equation, **Journal of Hydraulic Engineering**, 9 (1): 42-50.

15. Ardiçlioğlu, M., Seçkin, G., Öztürk, Ö., 2005. Pürüzlü açık kanal akımlarında debi hesabı için entropy yönteminin kullanılması, 34-41, *Antalya Yöresinin İnşaat Mühendisliği Sorunları Kongresi, 22-24 Eylül, 2005, Antalya.*
16. Ardiçlioğlu, M. Araujo, J. D., Şentürk, A. İ., 2005. Applicability of velocity distribution equations in rough-bed open-channel flow. **La Houille Blanche**, **4**: 73-79.
17. Chiu, C. – L., Hsu, S.-M., Tung, N.-C., 2005. Efficient methods of discharge measurements in rivers and streams based on the probability concept, **Hydrological Processes**, **19**: 3935-3946.
18. Ardiçlioğlu, M., Öztürk, Ö., Yakupoğlu A., 2005. Açık kanallarda hız ölçüm cihazlarının kullanımı ve karşılaştırılması, *TMMOB Makine Mühendisleri Odası, VI. Ulusal Ölçümbilim Kongresi, 17-18 Kasım, 2005, Eskişehir.*
19. Ardiçlioğlu, M., 2006. Açık kanal akımı hız-debi ölçümleri. **İMO Teknik Dergi, Sayı 250**: 3805-3808.
20. Chiu, C-L., Hsu, S-M., 2006. Probabilistic Approach to modeling of Velocity Distribution in fluid Flows, **Journal of Hydrology**, **316 (1)**: 28-42.
21. Maghrebi, M. F., Rahimpour, M., 2006. Streamwise Velocity Distribution in Irregular Shaped Channels Having Composite Bed Roughness, **Flow Measurement and Instrumentation**, **17(4)**: 237-245.
22. Ardiçlioğlu, M., Öztürk, Ö., 2006. Tabii nehirlerde hız dağılımı ve debinin belirlenmesinde entropy yönteminin kullanılması, *Yedinci Uluslar arası İnşaat Mühendisliğinde Gelişmeler Kongresi, 11-13 Ekim Yıldız Teknik Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.*
23. Lee, C., Kim, C., Kim, W., 2007. Application of Chiu's velocity distribution function to natural rivers in Korea, Proceedings of The Congress, Spain - **International Association for Hydraulic Research**, **32 (1)**: 198-207.
24. Ardiçlioğlu, M., Atabay, S., Omran, M., 2007. Estimation of Discharge and Shear Stress Distribution in Natural Channels Based on Entropy Concept, 32nd IAHR Congress, Venice, Italy, 1-6 July.
25. Guo, J., Julien, P. Y., 2008. Application of the Modified Log-Wake Law in Open-Channels. **Journal of Applied Fluid Mechanics**, **1, (2)**: 17-23.
26. Ardiçlioğlu, M., Atabay, S., Omran, M., 2008. Determination of flow resistance and shear stress distribution in natural channels, *International Conference on Fluvial Hydraulics, September 3-5, 2008, Çeşme, İzmir.*

27. Bonakdari, H., Larrarte, F., Lassabatere, L., Joannis, C., 2008. Turbulent Velocity Profile in Fully-developed Open Channel Flows. **Springer 8(1):** 1-17.
28. Ağırlioğlu, N., Ardiçlioğlu, M., Genç, O., 2008. Akarsulardaki akım karakteristiklerinin entropi yöntemi ile incelenmesi, *Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi 30. Yıl Sempozyumu, 16-17 Ekim, 2008, Adana.*
29. Burnelli, A., Mirauda, D. Moramarco, T., Pascale, V., 2008. Application of Entropic Velocity Distribution in Natural Channels, River Flow Congress, İzmir, Turkey.
30. Ardiçlioğlu, M., Genç, O., Girayhan, A., Kırkgöz, M. S., 2008. ADV measurement of velocity distributions in natural rivers, *International Conference on Fluvial Hydraulics, September 3-5, 2008, Çeşme, İzmir.*
31. Ardiçlioğlu, M., Günaydın, E., 2009. Açık kanal akımlarında hız dağılımının farklı alet ve yöntemler ile incelenmesi, *IV. Ulusal Su Mühendisliği Sempozyumu, 06-10 Temmuz, 2009, İstanbul.*
32. Ammari, A., Remeni, B., 2009. Estimation of Algerian rivers discharges based one Chiu's equation, **Arabian Journal of Geosciences, Springer, 9** : 1007-1014
33. Ardiçlioğlu, M., Bilgin, H., Genç, O., Ağırlioğlu, N., 2010. Determination of discharge by entropy concept in natural river, *Fourth International Conference on Water Observation and Information System for Decision Support, BALWOIS, May 25-29, 2010, Ohrid, Macedonia.*
34. Moramarco, T., 2010. Formulation of the Entropy Parameter Based Hydraulic and Geometric Characteristic of River Cross Sections, **Journal of Hydrologic Engineering, 15:** 852-858.
35. Ardiçlioğlu, M., Özdin, S., Gemici, E., Kalin, L., 2010. Determination of flow properties in shallow flow river, *Dryland Hydrology: Global Changes and Local Solution, Arizona Hydrological Society Symposium, September 1-4, 2010, Tucson, AZ, USA.*
36. Ardiçlioğlu, M., Ozdin, S., Gemici, E., Kalin, L., Isik, S., 2010. Investigation of velocity distribution in shallow streams, *Dryland Hydrology: Global Changes and Local Solution, Arizona Hydrological Society Symposium, September 1-4, 2010, Tucson, AZ, USA*
37. Choo, T.H., Jeong, I.J., Yoon, H.C., Son, H.S., 2011. A Study on the Derivation of a Mean Velocity Formula From Chiu's Velocity Formula and Bottom Shear Stress, **Hydrology and Earth System Sciences Discussions: 8:** 6419-6442.

38. Ardiçlioğlu, M., Özdin, S., 2011. Determining agricultural water demand from natural streams using the entropy concept. **African Journal of Agricultural Research, AJAR**, **24** (2): 147-158.
39. Corato, G., Moramarco, T., Tucciarelli, T., 2011. Combining Flow Routing Modelling and Direct Velocity Measurement for Optimal Discharge Estimation, **Hydrology and Earth System Sciences Discussions**, **8**: 2699-2738
40. Ardiçlioğlu, M., Genç, O., Kalin, L., Ağırlioğlu, N., 2011. Investigation of flow properties in natural streams by entropy concept, **Water and Environment Journal**, Accepted for publication
41. Corato, G., Moramarco, T., Tucciarelli, T., 2011. Discharge Estimation Combining Flow routing and Occasional Measurements of Velocity, **Hydrology and Earth System Sciences Discussions**, **15**: 2979-2994.
42. Girayhan A., “Trapez Kesitli Kompozit Kanallarda Akım Özelliklerinin Deneysel olarak İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Kayseri, 2009.
43. Genç, O., Ardiçlioğlu, M., Ağırlioğlu, N. Akarsulardaki Akım Karakteristiklerinin Entropi Yöntemi İle İncelenmesi, *Ç.Ü. Mühendislik - Mimarlık Fakültesi 30. Yıl Sempozyumu, 16-17 Ekim, Adana 2008*.
44. Bayazıt, M., Hidroloji, Birsen Yayınevi, İstanbul, 1974.
45. Chow, V. T., 1959. Open Channel Hydraulics, Mc Graw – Hill Book Company, Tokyo, 680 s.
46. Water Measurement Manual, 2001. A Water Resource Technical Publication, U.S. Department of the Interior, Washington, DC 20402.
47. Xia, R., 1997. Relation between mean and maximum velocities in a natural river. **Journal of Hydraulic Engineering**, **123** (8): 720-723.
48. Seçkin, G., Ardiçlioğlu, M., Seçkin, N., Atabay, S. 2004. Bileşik kesitlerde enerji ve momentum düzeltme katsayılarının deneysel İrdelenmesi. **İMO Teknik Dergi**, **1** : 3323-3334.
49. Rouse, H., 1970. Elementary mechanics of fluids. Wiley Eastern Reprint, New Delhi.
50. Prandtl, L., 1925. Über die ausgebildete turbulenz, Z. Angew Math. Mech. Bd. 5.
51. Karman, T. V., 1930. Mechanische Ähnlichkeit und turbulenz, Göttinger Nachrichten, Math. Phys. Klasse: 58-60
52. Coles, D., 1956. The law of the wake in the turbulent boundary layer, **J. of Fluid Mechanics**, **1**: 191-226.

53. Bayazit, M., 1976. Free Surface Flow in a Channel of Large Relative Roughness, **Journal of Hydraulic Research**, **14**(2): 116-126.
54. Schlichting, H., 1979. Boundary layer theory, Mc Graw-Hill Book Company, 812 s.
55. Chow, V. T., 1959. Open channel hydraulics, Mc Graw – Hill Book Company, 680 s.
56. Henderson, F. M., 1966. Open channel flow, Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ., 522 s.
57. Öztürk, Ö., “Pürüzlü Açık Kanal Akımlarında Hız Dağılımının İncelenmesi”, Yüksek Lisans Tezi, Erciyes Üniversitesi, Kayseri, 2006.
58. Song, T., Graf, H. Velocity and turbulence distribution in unsteady open-channel flows, **Journal of Hydraulic Engineering, ASCE**, **122** (3): 141-154
59. Nezu, I., Nakagawa, H., 1993. Turbulence in open-channel flows, Balkema Publishers, Rotterdam – Netrherlands.
60. Nezu, I., Rodi, W., 1986. Open channel flow measurements with a laser doppler anemometer, **Journal of Hydraulic Engineering**, **112** (5): 335-355
61. Kırkgöz, M.S., 1989. Turbulent velocity profiles for smooth and rough open channel flow, **Journal of Hydraulic Engineering, ASCE**, **115** (11): 1543-1561.
62. Nikuradse, J. 1932. Gesetzmässigkeiten der turbulent Strömung in glatten Rohren, Forsch. Geb. Ing.-Wes., 356 s.
63. Kandula, V.N.S., Lakshminarayana, P., Lakshmana, Rao N. S. 1983. “Velocity Distribution in Smooth Rectangular Open Channel”, **Journal of Hydraulic Engineering**, **2**: 109
64. Kırkgöz, S., 2009. Akışkanlar Mekaniği. Kare Yayınları, 373 s.
65. Chen, C.L., 1991. Unified theory on power laws for flow resistance, **Journal of Hydraulic Engineering, ASCE**, **117** (3): 371-389.
66. Gonzalez, J.A., Melching, C.S., Oberg, K.A., 1996. Analysis of open-channel velocity measurements collected with an acoustic doppler current profiler. *Proc. from the 1st Int. Conf. On New/Emerging Concepts for Rivers, Chicago, Illinois, USA.*
67. Chiu, C.L., 1989. Velocity distribution in open channel flow, **Journal of Hydraulic Engineering, ASCE**, **115** (5): 576-594.
68. Chiu, C.L., Said, C.A., 1995. Modeling of maximum velocity in open-channel flow, **Journal of Hydraulic Engineering, ASCE**, **121** (1):26-35.
69. Sumer, B. M., 2004. Lecture Notes on Turbulence, Technical University of Denmark.

EKLER

Proje kapsamında yapılan yayınların listesi:

1. Ardiçlioğlu, M., Özdin, S., Gemici, E., 2010. Akarsularda hız dağılımının modellenmesi ve ADV ölçümleri. **Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi**, **3** (1): 53-58.
2. Ardiçlioğlu, M., Özdin, S., Gemici, E., Kalin, L., 2010. Determination of flow properties in shallow flow river, *Dryland Hydrology: Global Changes and Local Solution, Arizona Hydrological Society Symposium, September 1-4, Tucson, AZ, USA*.
3. Ardiçlioğlu, M., Ozdin, S., Gemici, E., Kalin, L., Isik, S., 2010. Investigation of velocity distribution in shallow streams, *Dryland Hydrology: Global Changes and Local Solution, Arizona Hydrological Society Symposium, September 1-4, 2010, Tucson, AZ, USA*
4. Ardiçlioğlu, M., Özdin, S., 2011. Determining agricultural water demand from natural streams using the entropy concept. **African Journal of Agricultural Research, AJAR**, **24** (2): 147-158.
5. Ardiçlioğlu, M., Gemici, E., Özdin, S., 2011. Doğal akarsularda debinin belirlenmesi. **Tarım Bilimleri Araştırma Dergisi**, **4** (2): 73-77.

AKARSULARDA HIZ DAĞILIMININ MODELLENMESİ VE ADV ÖLÇÜMLERİ

Doç. Dr. Mehmet Ardıçlıoğlu, Serkan Özdin, Ercan Gemici

Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Müh. Böl. 38039, Kayseri,
mardic@erciyes.edu.tr

ÖZET

Bu çalışmada doğal akarsulardaki hız dağılımı üç farklı yöntem ile incelenmiştir. Arazi ölçümlerinde hız dağılımları Acoustic Doppler Velocimeter (ADV) ile belirlenmiştir. Hız ölçümleri Kızılıрмаğın yan kollarından olan Sarımsaklı deresi üzerinde ele alınan Sarımsaklı Baraj Girişi (SBG) kesitinde beş farklı zamanda gerçekleştirilmiştir. Kesitte ele alınan düşeylerde ölçülen hız dağılımları logaritmik, üstel ve entropi dağılımları ile incelenmiştir. Nikuradse'nin eşdeğer kum pürüzlülüğü (k_s), ve kayma hızı (u_*) değerleri ölçülen hız dağılımları yardımı ile belirlenmiştir. Sınır tabakasının iç bölge yüksekliğinin $20-50\% \leq z/\delta \leq 40-100\%$ aralığında değiştiği tespit edilmiştir. Bu iç bölgede logaritmik dağılımın ölçüm hızlarını iyi temsil ettiği gözlemlenmiştir. Üstel yöntemdeki katsayıların $a=4.0$ ve $m=1/5$ olması durumunda hız dağılımlarını iyi temsil ettiği belirlenmiştir. Ele alınan kesitte Entropi parametresi $M=3.07$ olarak hesaplanmıştır. Entropi yöntemi ile belirlenen dağılımların ölçülen hızlar ile uyum içerisinde olduğu gözlenmiştir.

Anahtar sözcükler: Açık kanal, logaritmik, üstel, entropi dağılımları, ADV

VELOCITY DISTRIBUTION MODELING IN RIVER AND ADV MEASUREMENTS

ABSTRACT

This paper examines velocity profiles with three different method in turbulent open channel flows. Field measurements of flow velocities are conducted using Acoustic Doppler Velocimeter (ADV). Velocity measurements at the SBG station were carried out during five site visits. For the measured verticals, velocity profiles are predicted using the logarithmic velocity distribution, power law and entropy equation, and results are compared with measurements. The Nikuradse's equivalent sand roughness coefficients (k_s) and shear velocities (u_*) are determined by using measured velocity distributions. The thickness of the inner region of the boundary layer was found to be varying in the range $20-50\% \leq z/\delta \leq 40-100\%$ under the measured flow conditions. The flow velocities predicted with the logarithmic distribution equation were in good agreement with the measured flow velocities in the inner region. The power law constants were determined as $a=4.0$ and $m=1/5$ under the measured flow conditions. Entropy parameter found as $M=3.07$. The velocity distribution obtained using entropy equation were in good agreement with the measured flow velocities for all flow conditions and verticals.

Key words: Open channel, logarithmic, power, entropy distributions, ADV

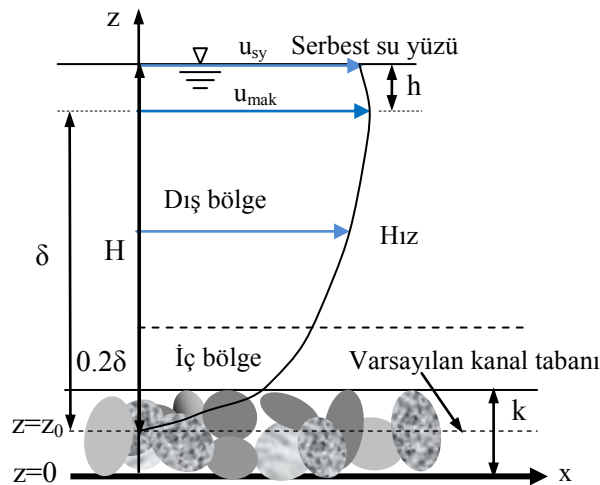
1. GİRİŞ

Akarsulardaki hız dağılımının belirlenmesi, kanal ıslah çalışmaları, sediment modelleme ve taşıma problemlerinde kayma hızının belirlenmesi için gereklidir. Kanal kesiti içerisindeki hız dağılımı, akımın türbülanslı yapısı, katı sınırdaki pürüzlülük ve serbest su yüzüne bağlı etkilerle noktasal olarak değişim göstermektedir. Üç boyutlu ve oldukça karmaşık olan bu dağılımın belirlenmesi ve modellenmesi oldukça zordur. Problemin pratikteki öneminden dolayı birçok teorik (Vedula & Achanta, 1985, Kra & Merkley, 2004) ve deneysel (Kırkgöz 1989, Araujo & Chaudhry 1996, Ferro 2003,) araştırmalar, hem laboratuvar kanallarında hem de doğal akarsularda gerçekleştirilmiştir.

Doğal akarsularda akım genellikle pürüzlüdür ve bir çok parametreye bağlı olan akım özelliklerini belirlemek zordur. Pürüzlü yüzeylerdeki malzeme özelliklerini gösteren en önemli parametre Nikuradse'nin eşdeğer kum yüksekliği olarak bilinen k_s parametresidir. Bu parametre malzemenin şekline, yüksekliğine ve dağılımına bağlı olup genellikle $k_s \approx (3-6)k$ aralığında değişir. Burada k Şekil 1'de görüldüğü üzere kanal tabanındaki malzemenin çapıdır. Deneysel çalışmalara göre kanal tabanındaki malzemenin üniform ve düzenli olması durumunda Nikuradse'nin eşdeğer kum pürüzlülüğü, k_s , kanal malzemesi gerçek çapı olan k ya yakın değer almaktadır (Schlichting, 1955).

Deneysel çalışmalara bağlı, iki boyutlu açık kanal akımları türbülansın varlığı ve katı sınırın etkisi ile iç ve dış bölge olmak üzere ikiye ayrılır. Duvar kayma gerilmesinin etkin olduğu iç bölgenin yüksekliği sınır tabakası yüksekliğinin, δ , %10-20'si civarındadır. İç bölgedeki hız dağılımı logaritmik dağılım tarafından iyi bir şekilde tanımlanmaktadır. Diğer taraftan, dış bölge sınır tabakası kalınlığının büyük bir kısmını oluşturur. δ , sınır tabakası yüksekliği maksimum hızın meydana geldiği yükseklik olup Şekil 1'de gösterilmiştir. Şekilde u_{sy} ; su yüzü hızı, u_{mak} ; δ yüksekliğindeki en yüksek hız, H ; su derinliği, z_0 ; hızın sıfır olduğu yükseklik ve k ; malzeme pürüzlülük yüksekliğidir.

Bu çalışmada akarsu enkesitinde yapılan hız ölçümlerinin literatürde çoğunlukla kullanılan logaritmik, üstel ve entropi kanunları ile ne derece uyumlu olduğu araştırılmıştır. Bu dağılımlardaki parametreler belirlenerek modellerin geçerli olduğu bölgeler belirlenmiştir.



Şekil 1. Pürüzlü yüzey üzerindeki türbülans sınır tabakası ve hız profili

2. AÇIK KANAL AKIMLARINDAKİ HIZ DENKLEMLERİ

Doğal akarsularda hız dağılımının belirlenmesi için çeşitli yarı-ampirik modeller bulunmaktadır. Geniş kullanıma sahip olanların bazıları aşağıda verilmiştir.

2.1 Logaritmik dağılım

Kanal tabanındaki malzemenin boyutları, şekli ve dağılımı pürüzlü açık kanallardaki hız dağılımını etkilemektedir. Pürüzlü tabana sahip türbülanslı akımlarda Reynolds hareket denklemlerinin hız için çözümü ile derinlik boyunca hız dağılımı logaritmik olarak elde edilmektedir. Düzenli üniform ve üniform olmayan akımlarda iç bölgedeki hız dağılımı için denklem (1) de verilen logaritmik dağılım kullanılmaktadır.

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

Burada u ; akım hızı, u_* ; kayma hızı, $\chi=0.40$; von-Karman sabiti, z ; kanal tabanından olan mesafe, k_s ; Nikuradse'nin eşdeğer kum pürüzlülüğü ve B_c ; katsayı olup bu katsayı $B_c=8.5\pm\%15$ aralığında değişmektedir (Song ve Graf, 1996). Bu sabit kullanılarak (1) nolu denklem aşağıdaki gibi düzenlenebilir.

$$\frac{u}{u_*} = \frac{1}{\chi} \ln \left(\frac{z}{k_s / 30} \right) \quad (2)$$

Nezu ve Nakagava (1993) logaritmik dağılımın duvar etkisinde kalan bölgelerde geçersiz olduğunu ileri sürmüşler ve hız dağılımında dış bölgedeki sapmanın Coles'un (1956) geliştirdiği kuyruk fonksiyonu gibi bir ifade ile düzenlenmesi gerektiği belirtilmişlerdir. Pratikte düzenli üniform açık kanal akımlarında logaritmik dağılımın derinlik boyuca hız dağılımını temsil ettiği kabul edilmektedir.

2.2 Üstel dağılım

Üstel dağılım açık kanal akımlarında düşey hız dağılımının modellenmesinde alternatif bir dağılımdır. Chen (1991) üstel dağılımı (3) ifadesindeki gibi genelleştirmiştir.

$$\frac{u}{u_*} = a \left(\frac{z}{z_0} \right)^m \quad (3)$$

burada z_0 ; kanal tabanında hızın sıfır kabul edildiği ($u=0$) derinliktir, a ve m de katsayı ve üstür. Pürüzlü açık kanal akımlarında z_0 ve k_s arasındaki ilişki logaritmik dağılımdan $z_0=k_s/30$ şeklinde elde edilmektedir. Gonzales ve ark. (1996), ABD de doğal akarsularda Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP) kullanılarak yaptıkları ölçümlerde logaritmik ve üstel dağılımın ortalama hız dağılımını iyi temsil ettiğini, bu durumda üstel dağılımdaki $m= 1/6$ olarak alındığını bildirmişlerdir.

2.3 Entropi yöntemi

Chiu (1989) akım özelliklerini olasılık yaklaşımı ile incelemiş ve açık kanal akımları için entropi tabanlı 2 boyutlu hız dağılım fonksiyonu geliştirmiştir. Chiu ve Said (1995) ölçülen kanal kesitinde entropi parametresi M in sabit olduğunu ve bu sabitin ortalama hız, U_m , ile maksimum hız, u_{mak} , kullanılarak belirlenebileceğini göstermişlerdir. Chiu (1989) iki boyutlu hız dağılımını şu şekilde elde etmiştir;

$$u = \frac{u_{mak}}{M} \ln \left[1 + (e^M - 1) \frac{\xi - \xi_0}{\xi_{mak} - \xi_0} \right] \quad (4)$$

Bu denklemde $(\xi - \xi_0)/(\xi_{mak} - \xi_0)$ toplam olasılık yoğunluk fonksiyonu, $\xi(y, z)$ eğrisel eksen takımı, $\xi = \xi_{mak}$, maksimum hızın olduğu eğri, $\xi = \xi_0$ kanal tabanındaki hızın sıfır olduğu eğri olup ξ z'nin fonksiyonu olarak (5) nolu denklemde verildiği gibi tanımlanmıştır (Chiu and Said, 1995);

$$\xi = \frac{z}{H-h} \exp \left(1 - \frac{z}{H-h} \right) \quad (5)$$

(5) ifadesinde z; kanal tabandan olan uzaklık, H; akım derinliği ve h; maksimum hızın olduğu derinliğin serbest su yüzünden olan mesafesini göstermektedir. Maksimum hız (u_{mak}) su yüzünün altında oluşması durumunda $h > 0$, aksi durumda $h \leq 0$ olacaktır. İki boyutlu hız dağılım denklemi de z ve h'a bağlı olarak aşağıdaki gibi verilmiştir.

$$u = \frac{u_{mak}}{M} \ln \left[1 + (e^M - 1) \frac{z}{H-h} \exp \left(1 - \frac{z}{H-h} \right) \right] \quad (6)$$

(6) nolu denklem 3 bilinmeyen parametreyi içermektedir. Bunlar; M, h ve u_{mak} olup, entropi parametresi M kesit ortalama hızı U_m ve maksimum hız u_{mak} a bağlı olarak (7) ifadesi ile belirlenebilmektedir.

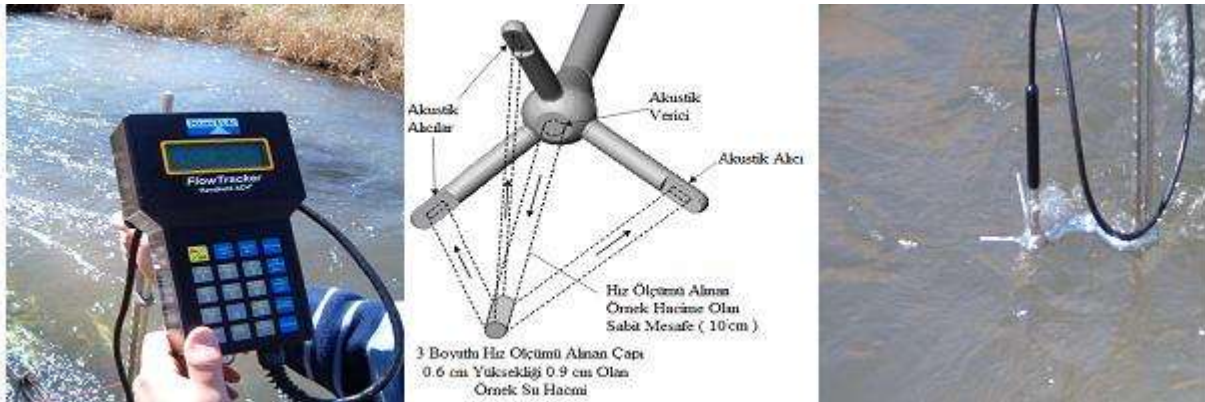
$$\Phi(M) = \frac{U_m}{u_{mak}} = \frac{e^M}{e^M - 1} - \frac{1}{M} \quad (7)$$

Moramarco ve ark. (2004), Chiu'nun hız dağılım fonksiyonunu, ele alınan kesitin her bir düşeyi için belirlenebilecek şekilde yeniden düzenlemişlerdir. Lokal olarak belirlenen bu hız dağılımının taşkın durumları için oldukça iyi sonuçlar verdiğini yapılan arazi ölçümleri ile göstermişlerdir.

Ardıçlıoğlu ve ark. (2005), laboratuvar kanalında yaptıkları deneysel çalışmalar ile pürüzlü yüzeylerde logaritmik ve entropi dağılımlarının geçerli olduğu bölgeleri incelemişlerdir. Coles'un kuyruk fonksiyonu eklenmiş logaritmik dağılımın derinlik boyunca hız dağılımını oldukça iyi temsil ettiğini belirtmişlerdir. Pürüzlü yüzeylerde entropi parametresi M için yeni bir yaklaşım önermişlerdir. Ardiçlıoğlu ve ark. (2008, 2010) tarafından doğal akarsulardaki hız ve kayma gerilmesi dağılımı ve debi hesabı için entropi tabanlı bir çok çalışma da yapılmıştır. Bu çalışmalarda Kızılıрмаğın yan kollarında belirlenen 10 farklı akım kesiti kullanılmıştır.

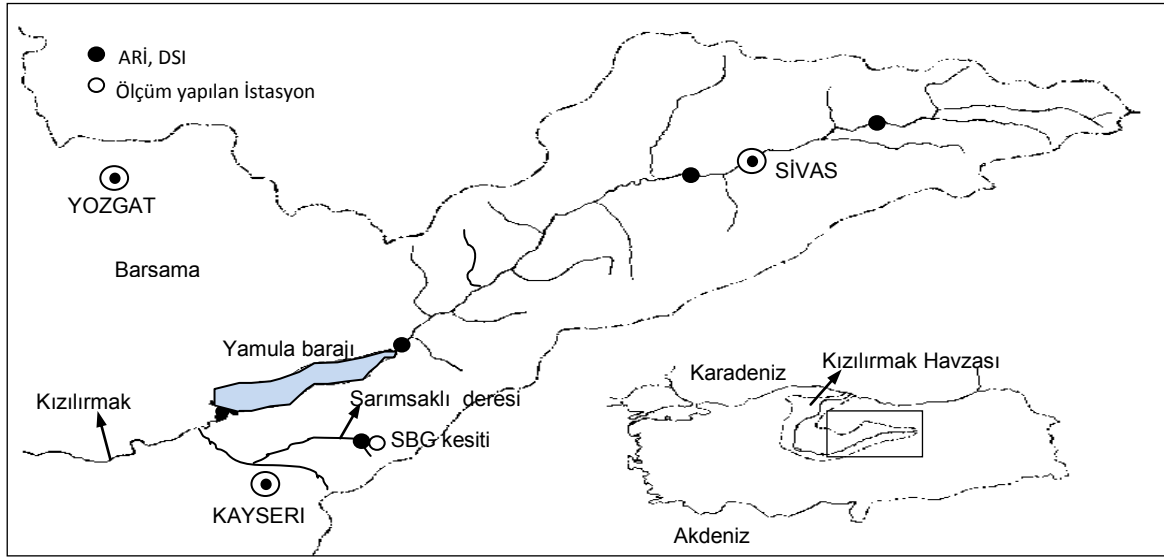
3. ARAZİ ÖLÇÜMLERİ

Acoustic Doppler Velocimeters (ADV) akım özelliklerinin belirlenmesi amacıyla son yıllarda yaygın olarak ticari ve bilimsel araştırma amaçlı kullanılmaktadır. ADV ile 2 veya 3 boyutlu noktasal hız ölçümleri, debi hesabı, türbülans hızları ve askıdaki sediment miktarının belirlenmesi yapılabilmektedir. Bu çalışmada ele alınan akarsu enkesitindeki hız ölçümleri SonTek marka ADV (2002, Acoustic Doppler Velocimeter) cihazı ile yapılmıştır. ADV ultrasonik ses dalgalarının yayılma prensibini açıklayan doppler prensibinden yararlanarak hız ölçmek için geliştirilmiştir. “Flow Tracker” olarak isimlendirilen SonTek marka ADV cihazında LCD ekran, bilgi girişi kontrol ünitesi, veri aktarma bağlantısı ve 3 boyutlu ölçüm başlığı bulunmaktadır Şekil 2. Hareketli bir akışkan içerisinde akışkan hızını tam olarak takip edebilen gaz, duman, küçük katı parçacıklar var ise bu taneciklerden saçılan dalga'nın frekansının ölçülmesi ile bu taneciklerin dolayısıyla akışkanın hızı ölçülebilmektedir. Ölçüm başlığının 10cm önündeki 6mm çap ve 9mm yüksekliğindeki silindir bir kontrol hacminin içerisindeki 3 doğrultudaki (x, y, z) hızlar olan u, v, ve w her bir saniyede ölçülerek, 10sn ile 1000sn arasında istenilen zaman aralığında ortalaması belirlenebilmektedir. Ölçüm hız aralığı $\pm 0.001\text{m/s}$ - 5 m/s olup, $\pm 1\%$ hassasiyetle nehirlerde, sulama kanallarında, atık su kanallarında ve laboratuvarlarda kullanılabilmektedir.

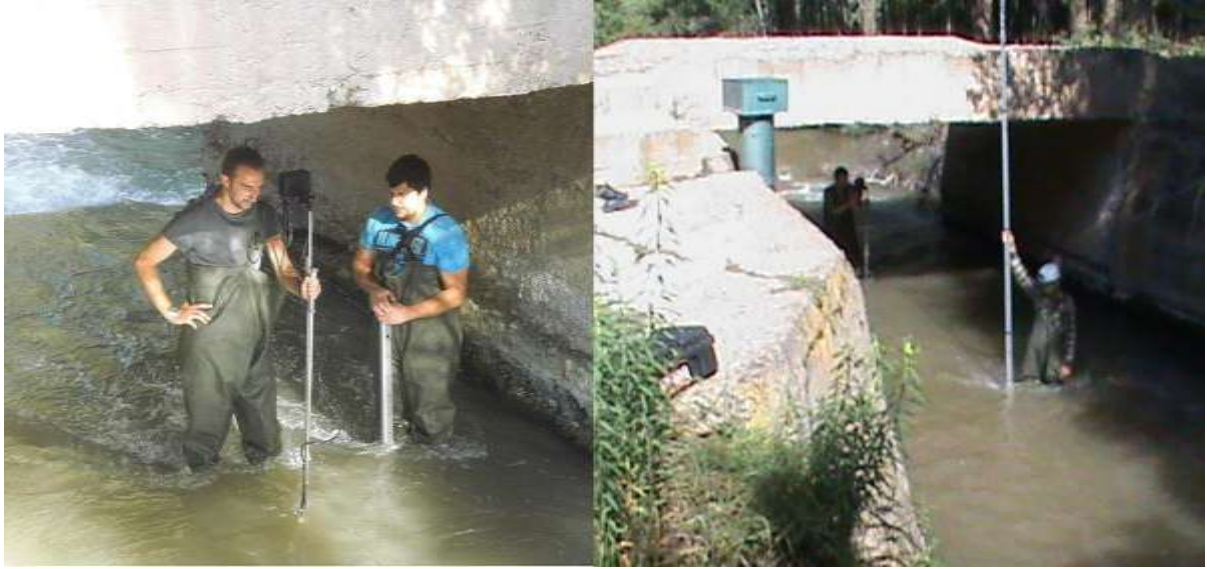


Şekil 2 ADV cihazı kontrol ünitesi ve ölçüm başlığı

Çalışma alanı Orta Kızılırmak Havzasında, Kayseri ili sınırları içerisinde ve Kızılırmak nehrinin yan kollarından olan Sarımsaklı deresi üzerinde yer almaktadır Şekil 3. Sarımsaklı Baraj girişinin hemen memba tarafında bulunan istasyon halen DSİ tarafından Akım Rasat İstasyonu (ARİ) olarak kullanılmaktadır. Köprü girişinde bulunan betonarme kutu kesit şeklindeki ölçüm yerine ait resim Şekil 4 de verilmiştir. Ölçümler 5 farklı tarihte yapılmış olup bu akımlara ait bazı özellikleri Tablo 1 de gösterilmiştir. Tabloda verilen büyüklükler sırasıyla; Q ; integrasyon yöntemiyle hesaplanan debiler, H_{mak} , kesitteki maksimum su yüksekliği, A ; kesit ıslak alanı, U_m ; ortalama akım hızı, u_{mak} ; kesitte ölçülen maksimum hız, $R (=A/P)$; hidrolik yarıçap olup burada P ; ıslak çevredir, S_{sy} ; su yüzü eğimi, $Re (=4U_mR/u)$; Reynolds sayısı olup burada u ; dinamik viskozitedir, $Fr (=U_m/(gH_{mak})^{1/2})$; Froude sayısı olup burada g ; yerçekimi ivmesidir. Tablodan görüleceği üzere yapılan ölçümlerde kanaldaki akım türbülanslı kritik altı-nehir rejimindedir.



Şekil 3. Ölçüm yapılan akarsu ve istasyon'un yeri



Şekil 4. Kesitte yapılan hız ve topoğrafik ölçümler

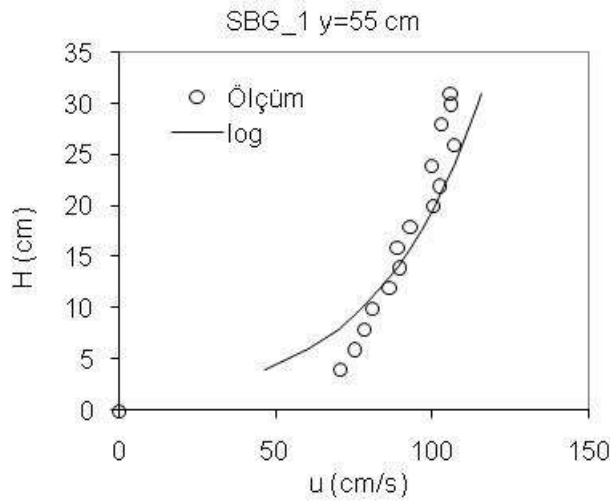
Tablo 1. Akım karakteristiklikleri

Ölçümler	Tarih	Q	H _{mak}	A	U _m	u _{mak}	R	S _{sy}	Re	Fr
	gün/ay/yıl	(m ³ /s)	(m)	(m ²)	(m/s)	(m/s)	(m)	-	x10 ⁶	-
SBG_1	24.06.2009	1.299	0.350	1.194	1.088	1.393	0.315	0.0226	1.20	0.587
SBG_2	02.08.2009	1.023	0.320	1.146	0.893	1.292	0.257	0.0220	0.81	0.504
SBG_3	27.09.2009	1.234	0.360	1.189	1.038	1.483	0.282	0.0595	1.03	0.552
SBG_4	20.06.2010	1.658	0.400	1.503	1.103	1.499	0.327	0.0111	1.26	0.557
SBG_5	18.07.2010	1.218	0.360	1.269	0.960	1.365	0.289	0.0226	0.97	0.511

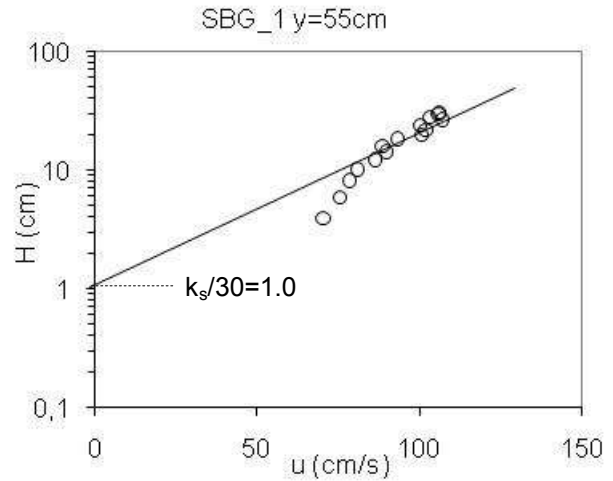
4. ÖLÇÜMLERİN DEĞERLENDİRMESİ

Sümer (2004), ele alınan düşeyde ölçülen hız dağılımları, $u(z)$, yardımı ile $1/\chi = 2.5$ alınarak, u^* ve k_s değerlerinin (2) denkleminde elde edilebileceğini bildirmiştir. Derinlik boyunca ölçülen noktasal hız değerleri düşey eksen (z) logaritmik olacak şekilde grafiği çizildiğinde, logaritmik hız dağılım bölgesi yaklaşık $0.1H \leq z \leq (0.2-0.3)H$ aralığında kalacağını, bu bölgeden geçen doğrunun z eksenini kestiği noktanın $k_s/30$ değerini gösterdiğini belirtmiştir. Belirlenen bu $k_s/30$ değeri yardımı ile ölçülen hız değerlerini logaritmik bölgede en iyi temsil eden kayma hızı, u^* , (2) denklemi yardımı ile belirlenebilir.

Şekil 5 (a) da SBG_1 ölçümüne ait $y=55$ cm deki derinlik boyunca ölçülen hız dağılımı verilmiştir. Bu düşeye ait yarı logaritmik ölçekte çizilen hız dağılımı da Şekil 5 (b) de gösterilmiştir. Bu şekilde, logaritmik bölgeden geçen doğrunun z eksenini kestiği nokta $k_s/30=1.0$ olarak belirlenmiştir. $k_s/30$ değeri tüm ölçüm durumlarında ve ele alınan düşeylerde benzer şekilde tespit edilmiştir. Bu pürüzlülük yükseklikleri kullanılarak (2) ifadesi yardımı ile ölçülen hızlara logaritmik bölgede en iyi uyum gösteren kayma hızları u^* her bir düşey için belirlenmiş ve Tablo 2 de verilmiştir. Tablo 2 de ele alınan düşeyin enkesit üzerindeki y/T ile verilen boyutsuz konumunda verilmiştir. Burada y kesitin sol sahilinden olan uzaklığı ve T de serbest su yüzü genişliğidir. Kayma hızlarının kanal ortalarında kenarlara göre bir miktar yüksek olduğu görülmektedir. Şekil 5(a) da bu kayma hızı ile hesaplanan logaritmik dağılım düz çizgi olarak gösterilmiştir. Şekilden görüleceği üzere logaritmik dağılım katı sınır ve serbest su yüzüne yakın bölgelerde ölçüm hızlarını temsil edememektedir. Tablo 2 de ele alınan istasyondaki 5 ölçüme ait düşeylerde maksimum hızın oluştuğu boyutsuz derinlik δ/H olarak verilmiştir. Bu değerlerden görüleceği üzere maksimum hız çoğu zaman serbest su yüzünün altında oluşmaktadır.



(a) Ölçülen hız ve logaritmik dağılım belirlenmesi



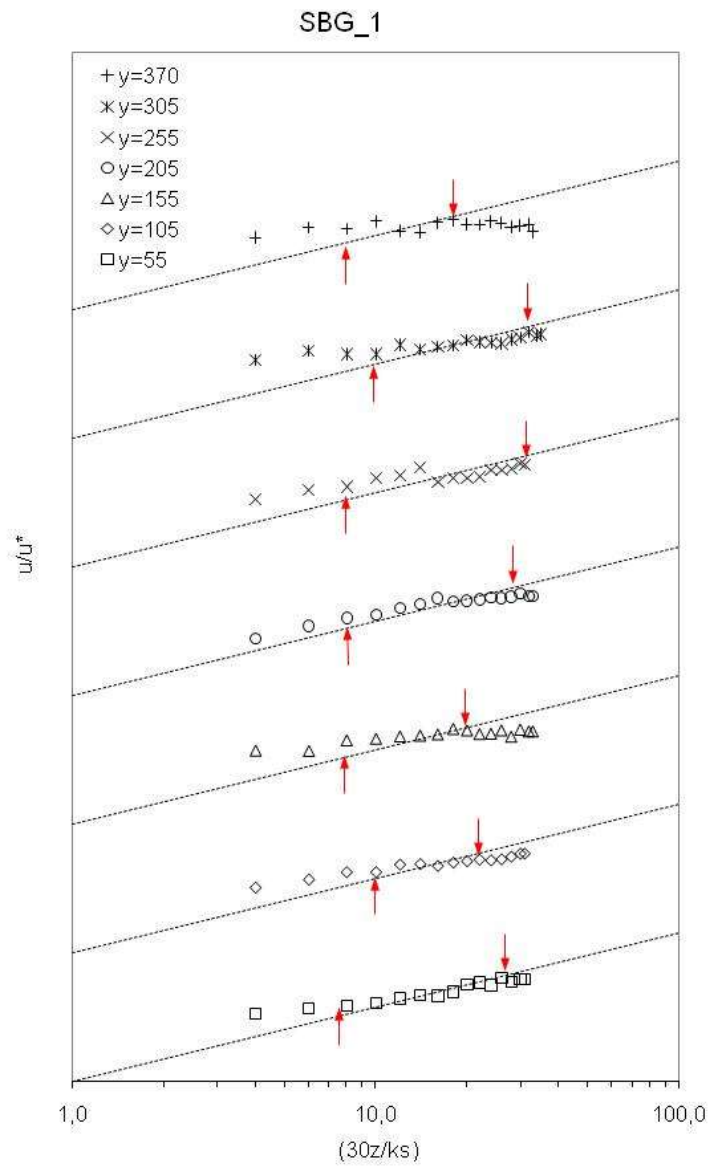
(b) $k_s/30$ değerinin belirlenmesi

Şekil 5. SBG_1 ölçümünde $k_s/30$ ve u^* değerlerinin belirlenmesi

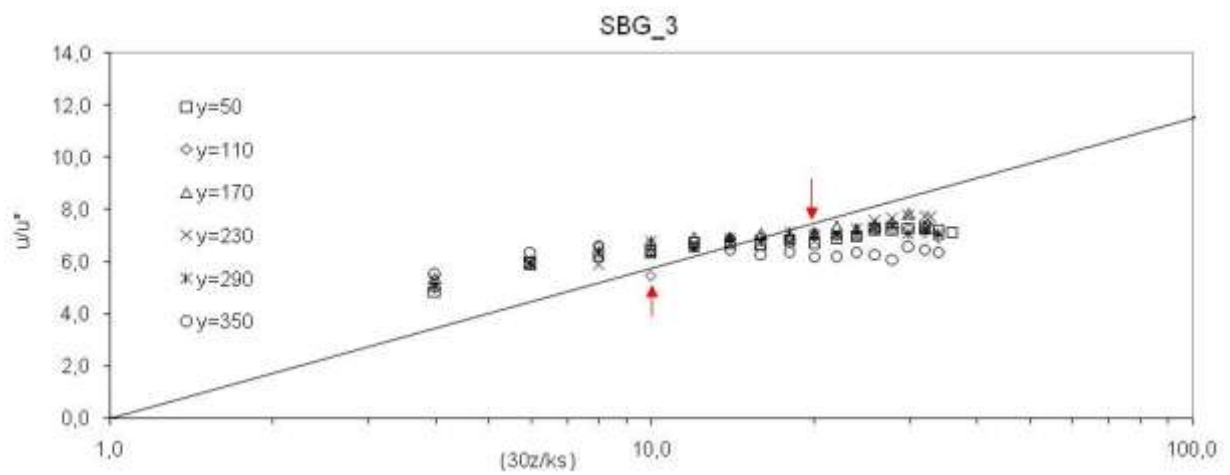
Şekil 6 da, boyutsuz hız dağılımı, $(u/u^*) - (30z/k_s)$ için örnek iki farklı ölçüm verilmiştir. Şekil 6 (a) da SBG_1 ölçümü için ele alınan 7 farklı düşeydeki kaydırılmış boyutsuz hız dağılımları ve logaritmik dağılımın geçerli olduğu bölgeler oklar ile gösterilmiştir. Şekil 6 (b) de de SBG_2 ölçümü için tüm düşeylerde logaritmik bölgenin görüldüğü boyutsuz hız dağılımları (2) ifadesi ile verilen logaritmik dağılım ile birlikte gösterilmiştir. Tüm düşeyler için logaritmik dağılımın geçerli olduğu ortak bölgenin alt ve üst sınırı oklar ile gösterilmiştir. Şekillerden görüldüğü üzere logaritmik dağılımın geçerli olduğu iç bölgede alt ve üst sınırların genişliği enkesit boyunca çok fazla değişmemektedir. Bunun nedeni kesit malzeme özelliğinin çok fazla değişmemesi, aynı özellikte, beton malzeme olmasından kaynaklanmaktadır. Belirlenen bu bölgelerin (z/δ) şeklinde gösterilen boyutsuz alt ve üst sınırları da Tablo 2 de $(z/\delta)_{\min}$ ve $(z/\delta)_{\max}$ olarak verilmiştir. Tablodan görüleceği üzere tüm ölçümlere ait alt ve üst sınır $0.20-0.50 \leq z/\delta \leq 0.40-1.00$ olmaktadır. Bu aralık literatürde verilen logaritmik dağılımın geçerli olduğu bölge ile uyumludur.

Tablo 2 SBG İstasyonunda hesaplanan kayma hızları ve logaritmik dağılımın geçerli olduğu bölgeler

SBG_1	y/T	0.13	0.25	0.37	0.49	0.61	0.73	0.88
	u^* (cm/s)	13.50	14.50	15.00	16.00	17.00	17.00	15.00
	$\delta/H=$	0.84	1.00	0.91	0.91	0.97	0.91	0.73
	$(z/\delta)_{\min}$	0.31	0.26	0.20	0.27	0.27	0.31	0.33
	$(z/\delta)_{\max}$	0.92	0.65	0.40	0.93	0.93	0.94	0.75
SBG_2	y/T	0.14	0.30	0.44	0.58	0.72	0.86	
	u^* (cm/s)	14.00	14.00	14.00	15.00	16.00	14.00	
	$\delta/H=$	1.00	0.94	0.97	0.39	0.44	0.38	
	$(z/\delta)_{\min}$	0.31	0.27	0.27	0.27	0.43	0.50	
	$(z/\delta)_{\max}$	0.56	0.60	0.60	1.00	1.00	1.00	
SBG_3	y/T	0.13	0.28	0.43	0.58	0.73	0.88	
	u^* (cm/s)	15.00	16.00	17.00	19.00	18.00	14.00	
	$\delta/H=$	0.83	0.88	0.91	0.91	0.82	0.29	
	$(z/\delta)_{\min}$	0.33	0.33	0.27	0.27	0.36	0.36	
	$(z/\delta)_{\max}$	0.73	0.73	0.67	0.73	0.64	1.00	
SBG_4	y/T	0.34	0.50	0.66	0.83			
	u^* (cm/s)	15.00	17.00	20.00	16.00			
	$\delta/H=$	1.00	0.67	0.49	0.65			
	$(z/\delta)_{\min}$	0.32	0.38	0.40	0.46			
	$(z/\delta)_{\max}$	0.63	1.00	0.80	0.92			
SBG_5	y/T	0.12	0.31	0.50	0.69	0.88		
	u^* (cm/s)	12.00	18.00	16.50	15.00	14.00		
	$\delta/H=$	0.75	0.86	0.67	0.63	0.61		
	$(z/\delta)_{\min}$	0.50	0.40	0.42	0.45	0.50		
	$(z/\delta)_{\max}$	1.00	0.67	0.83	1.00	1.00		



(a)



(b)

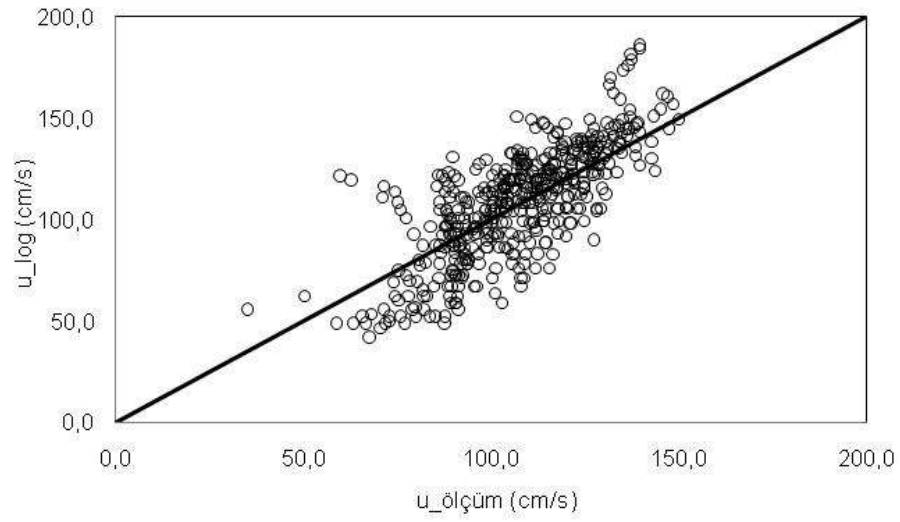
Şekil 6 SBG İstasyonunda boyutsuz hız dağılımına ait iki örnek

Şekil 7(a) da ölçülen akım hızları ve logaritmik dağılım ile hesaplanan hızları arasındaki ilişki verilmiştir. Şekilden de görüleceği üzere logaritmik dağılım modeli ölçülen hızlara göre bazen yüksek bazen de düşük kalmaktadır. Özellikle kanal tabanına yakın yerlerde logaritmik dağılım düşük sonuçlar vermektedir. Serbest yüzey yakınlarında ise hesaplanan değerler ölçümlerden yüksek olmaktadır. Ölçülen ve hesaplanan hızlar arasındaki mutlak fark $\varepsilon(\%) = (|u_o - u_h| / u_o) * 100$ formülü ile hesaplanmıştır. Burada ölçülen hızlar u_o ve hesaplanan hızlar u_h ile gösterilmiştir. SBG istasyonunda ele alınan tüm ölçüm ve düşeylere ait ortalama hata %14.5 olarak bulunmuştur.

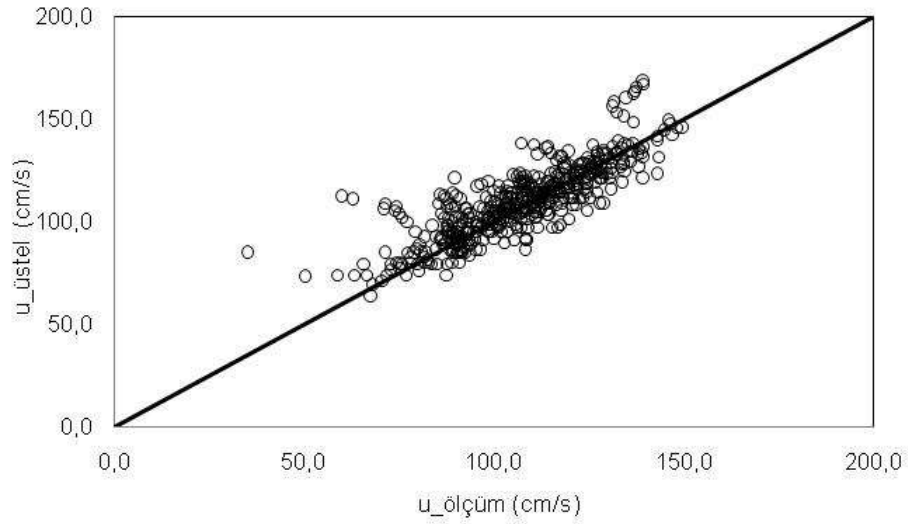
SBG istasyonu beton kaplamalı kanal olduğundan enkesit boyunca $k_s/30$ değeri değişmemektedir. Yukarda izah edildiği üzere kanal üzerinde $k_s/30 = 1.0$ olarak elde edilmiştir. Yine bu değer kullanılarak (2) ifadesi yardımı ile hesaplanan kayma hızları (u_*), üstel dağılımdaki katsayıların belirlenmesi amacıyla kullanılmıştır. (3) ifadesindeki katsayı ve üst, ölçüm değerlerine en iyi uyum gösteren bu sabitlerin lineer olmayan regresyon analizi ile belirlenmiştir. Ele alınan 5 farklı ölçüm ve düşeylere ait “a” ve “m” değerleri sırasıyla 4.0 ve 1/5 olarak tespit edilmiştir. Chen (1991) yaptığı çalışmada $ma \sim 0.92$ olduğunda, üstel dağılımın ve logaritmik dağılımın iyi sonuç verdiğini belirtmiştir. Bu çalışmada ma değeri 0.8 olmaktadır. $a=4.0$ ve $m=1/5$ sabitleri ile hesaplan üstel dağılıma ait hesaplanan hızlar ile ölçüm değerleri arasındaki ilişki Şekil 7 (b) de gösterilmiştir. Şekilden de görüleceği üzere üstel dağılım logaritmik dağılıma göre daha iyi sonuç vermektedir. SBG istasyonunda ele alınan tüm hız ölçümlerine ait ortalama hata %8.0 olarak bulunmuştur.

(6) nolu denklem ile verilen entropi tabanlı hız dağılım modeli, ele alınan kesitteki tüm akım durumları ve düşeyler için hesaplanmıştır. Bu amaçla SBG istasyonu için entropi parametresi, M , belirlenmiştir. 5 ölçüm durumunda hesaplanan ve Tablo 1 de verilen kesit ortalama hızları (U_m) ve maksimum hızlar (u_{mak}) arasındaki ilişkiden denklem (7) yardımı ile entropi parametresi, $M=3.07$ olarak belirlenmiştir. Denklem (6) da hız dağılımını hesaplamak için bütün düşeylerde $M=3.07$ ve ölçülen maksimum hızlar kullanılarak hız dağılımları belirlenmiştir. Şekil 7(c) de görüldüğü gibi entropi yöntemi ile hesaplanan hızlar ile ölçüm değerleri oldukça birbirine yakın olmaktadır. Entropi denklemi kullanılarak hesaplanan hızlar ile ölçülen hızlar arasında ortalama hata ele alınan tüm ölçümler için %6.6 olarak bulunmuştur. Entropi parametresi (M) bilinen kesitlerde sadece istenilen düşeyde maksimum hızın belirlenmesi ile o düşeye ait hız dağılımı, dolayısıyla kayma gerilmesi kolaylıkla hesaplanabilir. Maksimum hız da yüzeyin yakınlarında olacağı için bu değer in ölçümü ve belirlenmesi çok daha kolay olabilmektedir.

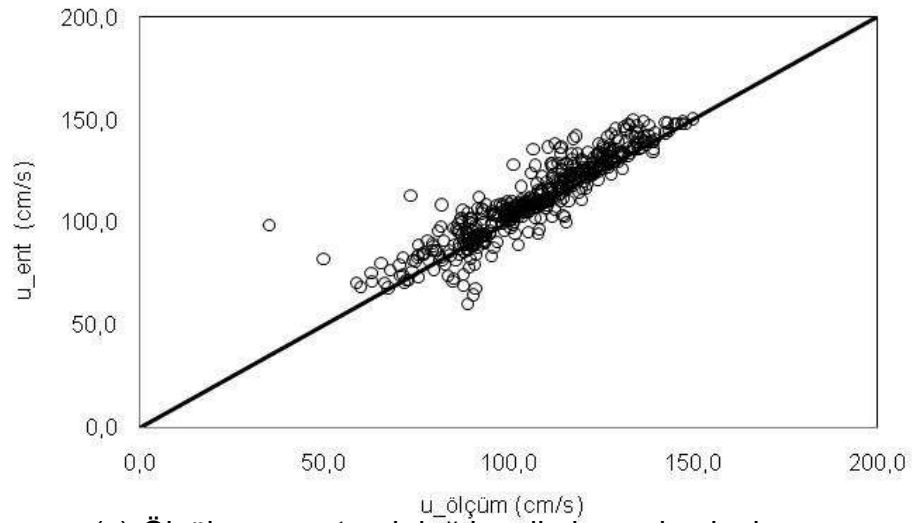
SBG istasyonunda 5 farklı zamanda yapılan hız ölçümleri ile ele alınan üç farklı hız dağılım modeli ile hesaplanan hızlar arasındaki ortalama mutlak hatalar hesaplanarak Şekil 7 de gösterilmiştir. Şekilden de görüleceği üzere tüm ölçüm durumlarında logaritmik dağılımdaki hatalar yüksek olmakta ve 5 farklı ölçüm için bu hatalar %11.7 ila %17.6 arasında değişmektedir. Üstel dağılımdaki hata oranları %4.1 ila 11.8 arasında değişmekte bu değerlere göre de logaritmik dağılımdan daha iyi sonuç vermektedir. Entropi dağılımı için hatalar %4.9 ile %8.8 arasında değişmektedir. Buradan da anlaşılabacağı üzere entropi modeli doğal akarsulardaki hız dağılımını temsil etmede klasik dağılımlara göre daha iyi sonuç vermektedir.



(a) Ölçülen ve logaritmik dağılımla hesaplan hızlar

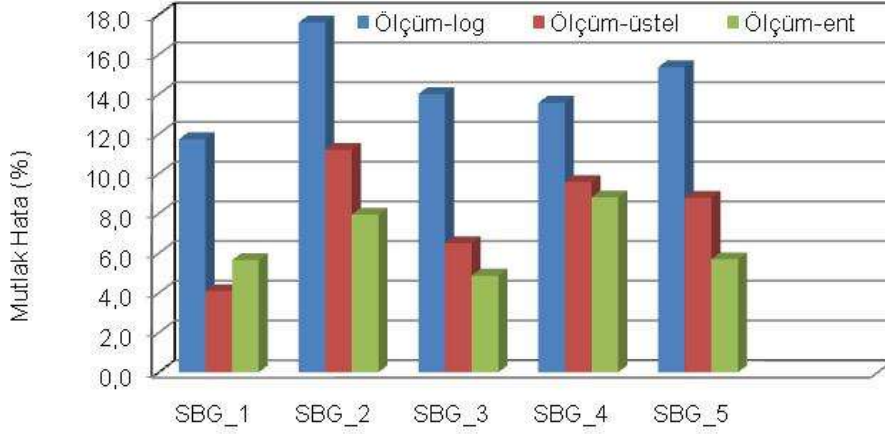


(b) Ölçülen ve üstel dağılımla hesaplan hızlar



(c) Ölçülen ve entropi dağılımı ile hesaplan hızlar

Şekil 7. Ölçülen ve 3 farklı yöntemle hesaplanan hızların ilişkisi



Şekil 8. SBG istasyonunda ölçülen hızlar ile 3 farklı yöntemdeki hızlar arasındaki mutlak hatalar

5. SONUÇ

Ölçüm yapılan SBG kesitindeki 5 farklı akım durumunda, enkesit boyunca belirlenen hız dağılımlarının literatürde sıklıkla kullanılan üç farklı model ile ne derece uyumlu olduğu incelenmiştir. Ele alınan logaritmik, üstel ve entropi dağılımlarının ADV ile yapılan hız ölçümlerini hangi bölgede ne oranda temsil ettiği belirlenerek aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- Ölçüm hız değerleri yardımı ile logaritmik dağılımdaki k_s ve u_* değerleri kolaylıkla belirlenebilmektedir.
- Belirlenen bu parametreler ile ele alınan düşeylerdeki logaritmik dağılımın geçerli olduğu bölgeler tüm akım durumlarında sınır tabakası kalınlığının $20-50\% \leq z/\delta \leq 40-100\%$ aralığı olarak tespit edilmiştir.
- SBG istasyonunda logaritmik dağılım ile ölçüm değerleri arasındaki ortalama mutlak hata %14.5 olarak hesaplanmıştır.
- SBG istasyonunda üstel dağılımdaki sabitler $a=4.0$ ve $m=1/5$ olarak belirlenmiş, bu sabitler kullanılarak hesaplanan hızlar ile ölçüm değerleri arasındaki ortalama mutlak hata %8.0 olmaktadır. Bu değer logaritmik dağılıma göre daha küçük olduğu görülmektedir.
- Ele alınan ölçümler yardımı ile kesite ait entropi parametresi $M=3.07$ olarak belirlenmiştir. Bu parametre yardımı ile entropi hız dağılımına başvurulduğunda ölçülen değerlerin oldukça iyi temsil edildiği, ölçülen ve hesaplanan değerler arasındaki ortalama mutlak hatanın %6.6 olduğu belirlenmiştir.

KAYNAKLAR

- Araujo J.C. & Chaudhry F.H. 1996. Experimental evaluation of 2-D entropy model for open channel flow, J. Hydraulic Engrg., ASCE, 124(10), 1064-1067.
- Ardıçlıoğlu M. Araujo J.C. & Şentürk A. I. 2005. Applicability of velocity distribution equations in rough-bed open-channel flow, La .H. Blanche, (4), 73 -79.
- Ardıçlıoğlu M. Genç O. Girayhan, A. & Kırgöz M.S. 2008. ADV Measurements of velocity distributions in natural rivers, International Conference on Fluvial Hydraulics, Çeşme, İzmir.
- Ardıçlıoğlu M. Bilgin H. Genc O. & Agiralıoğlu N. 2010. Determination of discharge by entropy concept in natural river. Fourth Int. Con. on Water Observation and Information System for Decision Support, BALWOIS, Ohrid, Makedonya.
- Chen C.L. 1991. Unified theory on power laws for flow resistance, J. Hydraulic Engrg., ASCE, Vol. 117(3), 371-389.
- Chiu C. L. 1989. Velocity distribution in open channel flow, J. Hydraulic Engrg., ASCE, 115(5), 576-594.
- Chiu C. L. & Said C. A. 1995. Modeling of maximum velocity in open-channel flow, J. Hydraulic Engrg., ASCE, 121(1), 26-35.
- Coles D. 1956. The law of the wake in the turbulent boundary layer, J. of Fluid Mechanics, 1, 191-226.
- González J.A. Melching C.S. & Oberg K.A. 1996. Analysis of open-channel velocity measurements collected with an acoustic Doppler current profiler, Proc. from the 1st Int. Conf. On New/Emerging Concepts for Rivers, Chicago, Illinois, USA.
- Ferro V. 2003. ADV Measurements of velocity distributions in a gravel bed flume, Earth Surface and Landforms, 28, 707-722.
- Kırgöz M.S. 1989. Turbulent velocity profiles for smooth and rough open channel flow, J. Hydraulic Engrg., ASCE, 115(11), 1543-1561.
- Kra E.Y. & Merkley G.P. 2004. Mathematical modeling of open-channel velocity profiles for float method calibration, Agricultural Water Management 70(3) , 229-244.
- Moramarco T. Saltalippi C. & Singh V.P. 2004. Estimation of mean velocity in natural channels based on Chiu's velocity distribution equation, J. of Hydrologic Eng., 9(1), 42-50.
- Nezu I. & Nakagawa H. 1993. Turbulence in open-channel flows, Netherlands, Balkema Publishers, Rotterdam.
- Song T. and Graf W.H. 1996. Velocity and turbulence distribution in unsteady open channel flows, J. of Hydraulic Eng., 122(3), 141-154.
- Schlichting H. Boundary-layer theory. New York: McGraw-Hill, 1955. 535 p.
- Sumer B. M. 2004. Lecture Notes on Turbulence, Technical University of Denmark, 2800 Lyngby, Denmark.
- Vedula S. & Achanta R.R. 1985. Bed shear from velocity profiles: A new aproach, J. Hydraulic Engrg., ASCE,, 111(1), 131-143.

Determination of Flow Properties in Shallow Flow River

Mehmet Ardiclioglu¹, Serkan Ozdin², Ercan Gemici², Latif Kalin³

¹Assoc. Prof. Department of Civil Engineering, Erciyes University, Kayseri, TURKEY, Tel: +90 (352) 437-4901, E-mail: mardic@erciyes.edu.tr

²Department of Civil Engineering, Erciyes University, Kayseri, TURKEY, Master student

³Assist. Prof. School of Forestry and Wildlife Sciences, Auburn, AL, USA, Tel: +1 (334) 844-4671, E-mail: latif@auburn.edu

Abstract

Determination of flow discharge is very important for various purposes, such as water management, water supply, irrigation, flood control, etc. Commonly used classical methods; velocity measurement, stage-discharge curve and empirical formulas, require a great amount of time and effort and include much elusiveness. The introduction of the entropy concept in hydraulics by Chiu provided the possibility of developing a simple method to accurately estimate flow discharges in natural streams. In this study, flow discharges in a natural stream have been investigated by using four different methods and compared to measured data by Acoustic Doppler Velocimeter (ADV). Flow was measured at different times and periods during six site visits on the Sarımsaklı stream, which flows through central Anatolia in Turkey. The discharge estimates from the classical and entropy methods were compared to ADV measurements. The entropy-based method estimated flow discharge better than the two classical methods. Due to its easy implementation its use is recommended in natural streams.

Keywords: Discharge, Natural stream, entropy, ADV

Introduction

Surface water is important for various demands such as domestic, commercial, and industrial use; irrigation water for crops; dilution and transport for removal of wastes; energy for hydroelectric

power generation; transport channels for commerce; and a medium for recreation. For all these occasions, past recorded streamflow data are the basic data used in developing reliable surface-water supplies, because these records provide information on the availability of streamflow and its variability in time and space.

Discharge is the volume of water flowing through a cross-section of a stream in a given amount of time and it drives various hydrological processes. Knowing or predicting flow discharge is a necessity for water resources management, design of hydraulic structures, flood forecasting, hydrologic analysis and water quality monitoring. Owing to the high flow velocities, flood discharge cannot be measured accurately by conventional methods. However, since a large portion of the water and sediment are transported during floods, it is especially important to make discharge measurements when stream stages are high. Such measurements form the basis for flood warning, flood forecasting, reservoir operation and estimates of annual flow volumes. For this reason, records of flood discharge are scarce or do not exist for the watersheds (Chen and Chiu, 2004).

Many discharge prediction methods have been developed for natural streams. The velocity-area method for discharge determination is commonly used at stream gaging stations in rivers. Measurements of stream discharge at stream gaging stations require information about the mean velocity in a number of sub-sections across the river, and knowledge of the geometry of the cross-section of the river at the measuring locations. Multiple depth and velocity measurements are taken by current meter across the channel and the discharge from these sub-areas are summed to calculate the total stream discharge at a given moment. These discharge values are used to define a relationship between the stage (depth) and rate of flow (discharge), referred to as a rating curve, which is usually a power function determined by the use of the least squares method. The velocity-area method and the stage–discharge rating curve are generally used under uniform flow conditions. During flood events, direct measurement of flow with a current meter or any other instrument that must be placed in the water could introduce high measurement errors, and safety hazards. When discharge measurements are not available, the stage-discharge relation is developed by indirect methods, which are less accurate than direct measurements. Sauer and Meyer (1992) defined the accuracy ratings for such indirect methods: excellent within 2 percent of the actual discharge, good within 5 percent, fair within 8 percent, and poor for measured discharge 8 percent greater or less than the true discharge.

For the purpose of determining the mean velocity and discharge in rivers and streams, available methods include the use of empirical formulas, commonly named as slope-area method. Originally derived for uniform flows, Manning's equation is a well-known empirical formula. But its application under unsteady, non-uniform flow conditions is difficult, because both the energy slope and the Manning's roughness coefficient "n" tend to vary with time and with the water depth from cross section to cross section along the flow direction.

Chiu and Said (1995) developed a technique for determining discharge by utilizing the entropy parameter M of a channel section and a velocity profile at a single vertical where the maximum velocity occurs in a channel cross section. The M value of a channel cross section can be determined from the relation between the maximum and mean velocities. The value of M tends to remain constant as the velocity distribution fluctuates. The fact that M is time invariant for a channel section can simplify the discharge calculations.

In this study, velocity measurements were taken using Acoustic Doppler Velocimeter (ADV) throughout the entire cross-section in a natural stream in central Turkey at six different times. The four different methods; the velocity-area with three different aspect, the Manning's equation, the stage/discharge curve and the entropy method, were used for discharge calculations. Relative errors between these methods are investigated and the potential reasons along with their implications are discussed.

Discharge Calculation

The discharge of a stream usually is calculated from a series of measurements of width, depth and velocity along a cross section of the stream. Theoretically, the true discharge would be an integration of the velocity and area throughout the cross section. Discharge is expressed in volume of water per unit time, usually liter per second or cubic meters per second in the metric system. Discharge measurements may be conducted by several methods given in the literature (Rantz et al., 1982, a, b), however the conventional current-meter method is most commonly used in natural streams. In this method cross section is divided into slices according to the width of the section as shown in Figure 1.

Mean velocity $\bar{v}_i$, in a vertical is obtained from velocity observations at many points in that vertical, but it can be approximated by making a few velocity observations and using a known relationship between those velocities and the mean velocity in that vertical. The more commonly used approaches for determining mean vertical velocity are the vertical velocity curve, the two-point, the six-tenths-depth and the average of these measurements methods.

In the vertical-velocity curve method, a series of velocity observations at points well distributed between the water surface and the streambed are made at each of the verticals as shown in Figure 1. The mean velocity in the vertical is obtained by measuring the area between the curve and the ordinate axis and dividing the area by the flow depth in this vertical by using Equation (1). In this equation a_j is area of the between two different consecutive velocities, v_j and v_{j+1} are velocities measured at two points on the same vertical separated by the distance h_j . H_i is mean flow depth for slice i .

$$\bar{v}_i = \frac{\sum a_j}{H_i} = \frac{\sum \frac{(v_j + v_{j+1})}{2} h_j}{H_i} \quad (1)$$

In the two-point method of measuring velocities, observations are made in each vertical at 0.2 and 0.8 of the depth below the surface. The average of those two observations is taken as the mean velocity in the vertical. This method is based on many studies involving actual observation (Ardiclioglu et al., 2007) and mathematical theory (Gupta 1989, Chapra and Canale 1988). Similarly, in the six-tenths-depth method, an observation of velocity made in the vertical at 0.6 of the depth below the surface is used as the mean velocity in the vertical. This method is usually applied when the stage in a stream is changing rapidly and a measurement must be made quickly. From a practical standpoint, however, when it is necessary to measure velocities where water depths are as shallow as 10 cm, the 0.6-depth method is used (Rantz et al., 1982).

The discharge (q_i) through the slice can be calculated by equation (2), which is simply the slice area multiplied by mean velocity. Flow discharge (Q) for the cross-section can be determined by equation (3). In this equation n is the number of slices,

$$q_i = A_i \bar{v}_i \quad (2)$$

$$Q = \sum_{i=1}^n q_i = \sum_{i=1}^n A_i \bar{v}_i = \quad (3)$$

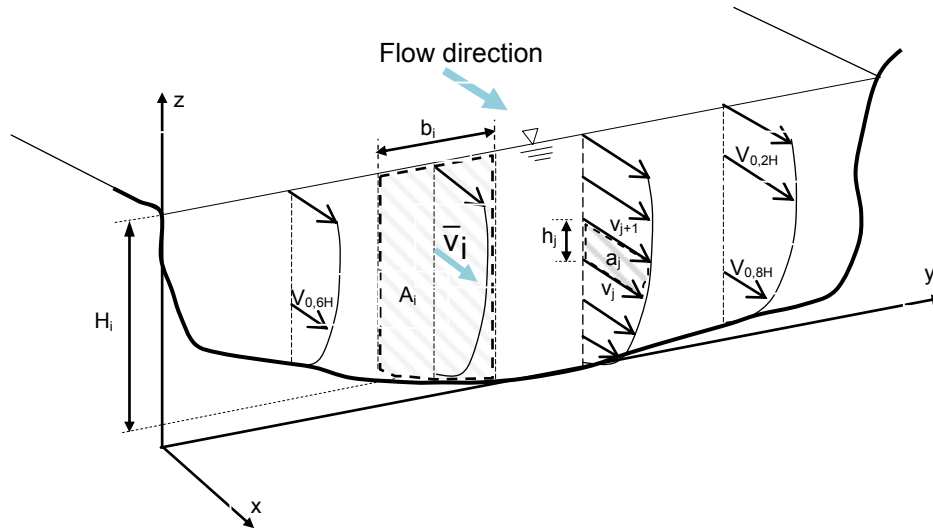


Figure 1 Velocity distribution in measuring cross-section.

During high flows velocity cannot be measured directly using conventional devices. The indirect discharge measurement is therefore designed to estimate the missing peak discharge during floods. This technique is called the slope-area method in which peak discharge can be estimated by utilizing

the well-known Manning's equation. Manning's equation (Eq. 4) is commonly used to compute discharge in natural streams

$$Q = \frac{1}{n} R^{2/3} S_{ws}^{1/2} A \quad (4)$$

where Q is stream discharge, n is Manning's roughness coefficient, A is channel cross-sectional area, R is hydraulic radius (cross-sectional area/wetted perimeter), and S_{ws} is water surface slope. Wetted perimeter is the perpendicular length across the channel where the stream water is in contact with the bed and the banks. The value of n is highly variable and several primary factors affect the roughness coefficient n . Chow (1959) presents information based on the work of Cowan (1956) that can be used for determination of n . The description of the procedure that follows is obtained from Chow (1959). The value of Manning's n is:

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4)m_5 \quad (5)$$

where n_0 is the value of n for a straight, uniform, smooth channel in natural materials, n_1 is a value added to n_0 to correct for the effect of surface irregularities, n_2 is a value for variations in shape and size of the channel cross-section, n_3 is a value for obstructions, n_4 is a value for vegetation and flow conditions, and m_5 is a correction factor for meandering of the channel. Chow also presented a table for proper values of n_0 to n_4 and m_5 for various conditions. Several researchers have investigated the variations of Manning "n" in natural rivers and proposed that the value of "n" varies with the stage of the water. They usually used water depth (H), Hydraulic radius (R), size of channel materials (d_{84}) etc. as the independent parameters (Wu et al., 1999).

Chiu (1989, 1991) proposed an entropy-based two dimensional probabilistic velocity distribution function for simulation of velocity distributions in river cross-sections. Considering the probabilistic formulation, the mean velocity V can be expressed as a linear function of the maximum velocity v_{max} , through a dimensionless entropy parameter M (Chiu & Said, 1995) as:

$$\phi(M) = \frac{V}{v_{\max}} = \frac{e^M}{e^M - 1} - \frac{1}{M} \quad (6)$$

Eq. (6) shows that, if a sample of pairs $(V, v_{\max})$ is given, first $\phi(M)$ can be estimated and then the entropy parameter, M . Chiu and Tung (2002) developed a relationship between M and the location of maximum velocity when the maximum velocity occurs below water surface. This relationship provided a more efficient procedure for estimating discharge. Ammari & Remini, (2009) showed that when the M parameter is known for a stream cross-section, mean velocity V can be determined from $v_{\max}$, which can be measured directly. They showed that for more than 90% of the cases maximum velocity appears at the deepest vertical, at the same place and in the vicinity of the water surface. For determination of velocity distribution and discharge in streams, many theoretical and experimental studies have been carried out based on the entropy concept (Moramarco at all, 2002, 2004 Ardiclioglu at all 2008, 2009, 2010).

Field Measurements

The study site was the Bünyan Pınarbaşı Station (BPB) on the Sarımsaklı Stream, which is a tributary of the Kizilirmak River (Figure 2). Kizilirmak is the longest flowing river within the boundaries of the Republic of Turkey. The study region is characterized by semi-arid climate with some extremities in temperature. Central Anatolia has a Steppe climate with low annual precipitation. Most precipitation occurs in spring and winter months. Ambient air temperature show strong diurnal and seasonal variations. Velocity measurements at the BPB station were carried out during six site visits over a one year period. Water level was below the bankfull stage at each time.

The velocity measurements were made with SonTek/YSI FlowTracker Handheld Acoustic Doppler Velocimeter (ADV). ADV measures three-dimensional flow velocities (u, v, w) in a sampling volume using the Doppler shift principle and consists, basically, of a sound emitter, three sound receivers and a signal conditioning electronic module. The ADV sampling volume is located 10 cm in front of the probe head. Therefore, the probe head itself has a minimal impact on the flow field surrounding the measurement volume. The velocity range

that ADV can accurately measure is ± 0.001 m/s to 4.5 m/s with a $\pm 1\%$ accuracy (SonTek, 2002).

On the BPB station, six measurements were conducted at different times and the flow characteristics are summarized in Table 1. In this table, Q_{int} is the integrated discharge, V is the mean velocities, v_{max} measured maximum velocity at the cross-section, S_{ws} is the water surface slope, A is the cross-sectional area, R is the hydraulic radius, $Re (= 4VR / \nu)$ is the Reynolds number, ν is the kinematic viscosity, $Fr (= V / \sqrt{gH_{max}})$ is the Froude number, g is the gravitational acceleration and H_{max} is the maximum flow depth at the cross-section. As shown in this table all flow measurements were made under sub-critical and turbulent flow conditions.

Result and Discussions

Cross-section was divided into slices for each flow conditions according to the water surface width. Point velocity measurements were made at different positions in the vertical direction starting 4 cm from the bed for each vertical. Free surface velocity was then estimated by extrapolating the upper two measurements. Mean vertical velocities, $\bar{v}_i$, were calculated using Eq. (1) for each verticals. Then slice discharges (q_i) were calculated by equation (2). Stream flows (Q_{int}) for each measurement were calculated by equation (3) and are given in Table 2 on 2th column. Mean velocities (V) were calculated using the integrated discharge and cross-sectional area ($V=Q_{int}/A$) for each flow condition. v_{max} is the maximum measured velocity at the cross-section, given in column (5) in the Table 1.

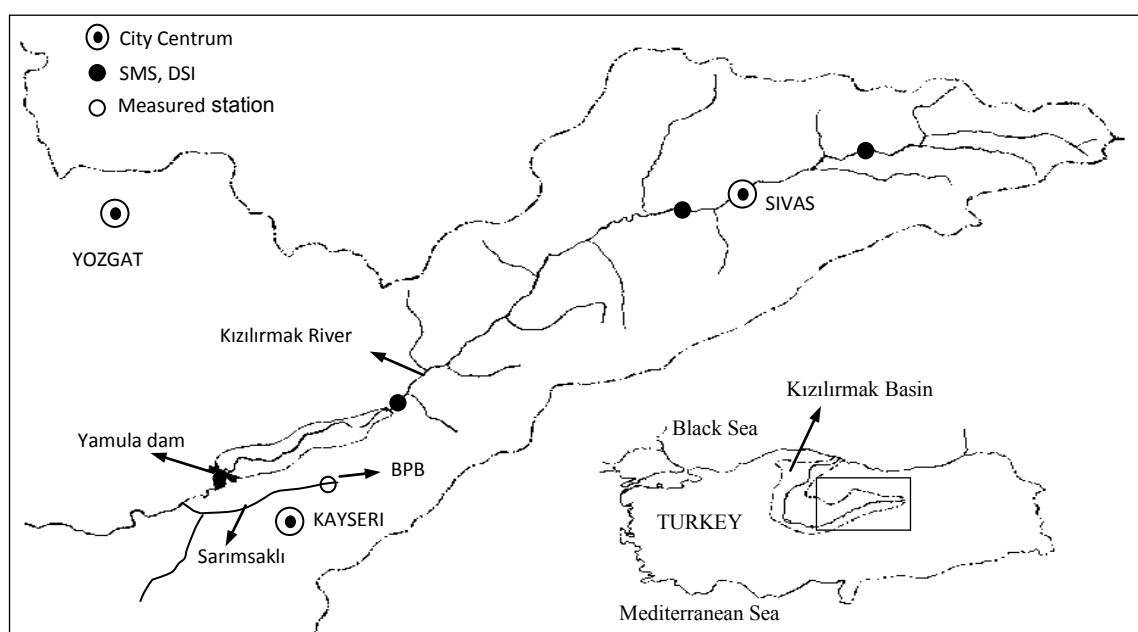


Figure 2 Kızılırmak river basin with location of measuring station Bünyan Pınarbaşı

Table 1 Flow characteristics

Meas. No	Date	Q_{int}	V	v_{max}	S_{ws}	H_{max}	A	R	Re	Fr
-	-	(m^3/s)	(m/s)	(m/s)	-	(m)	(m^2)	(m)	-	-
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
BPB_1	06/24/2009	0.788	0.354	0.595	0.0020	0.720	2.225	0.571	709345	0.133
BPB_2	08/02/2009	0.434	0.214	0.412	0.0035	0.660	2.030	0.534	400581	0.084
BPB_3	09/27/2009	0.636	0.301	0.593	0.0022	0.720	2.110	0.474	501312	0.113
BPB_4	04/04/2010	1.082	0.405	0.687	0.0018	0.850	2.670	0.550	782049	0.140
BPB_5	05/16/2010	1.188	0.426	0.671	0.0024	0.860	2.793	0.572	854129	0.147
BPB_6	06/20/2010	0.708	0.286	0.557	0.0010	0.790	2.475	0.532	533980	0.103

Simple procedure for vertical mean velocity using two point velocities, at 0.2 and 0.8 times the flow depth from the water surface, for each vertical were calculated. Point velocities at 0.2H and 0.8H were interpolated with closed measured depth velocities. Using these velocities total flow rates were determined using the same procedure mentioned above and given in Table 2, at 3th column. Relative errors (ϵ) between the two methods were calculated using Equation (7) and are given in Table 2 at column (9). As shown in this column relative errors are very small for all measurements. Average absolute relative error (ϵ) between the two methods was calculated as 2.3%.

$$\varepsilon = \left| \frac{Q_{\text{int}} - Q_{0.2+0.8}}{Q_{\text{int}}} \right| \times 100 \quad (7)$$

Total flow rate was also determined similarly using the velocity at 0.6 times the flow depth from the water surface and is given in Table 2 at 4th column. Relative errors (ε) between columns (2) and (4) were calculated using Equation (7) and are also given in Table 2 at column (10). As shown in the table, relative errors are very small for all measurements and this procedure is applicable for mean vertical velocities for shallow water flows. An average absolute relative error (ε) between the two methods was calculated as 2.6 %.

Average of these two discharges (two point and six-tenths-depth discharges) were also calculated and are given Table 2 at 5th column. Relative errors (ε) between columns (2) and (5) were calculated using Equation (7) and are also given in Table 2 at column (11). As shown in the table, relative errors are smaller than the other two. An average absolute relative error (ε) between the two methods was calculated as 1.8 %. This shows that the procedure is very sensitive for integrated discharges.

Manning equation (Eq. 4) was also used for discharge calculation at the BPB station. For all flow conditions bed slope and water surface slopes (S_{ws}) were determined with 20m upstream and downstream elevations from the measuring station and are given in Table 1, column (6). For each flow measurement the corresponding cross-sectional area (A) and hydraulics radius (R) were calculated and are given in Table 1 columns (8) and (9) respectively. Manning roughness coefficients (n) were predicted using different procedures for each flow conditions and are given in Table 3. These procedures are briefly outlined below.

i. **First method:** Manning coefficients were calculated using the discharges calculated by the integration method, Q_{int} (equation 4). Average of these n values was found as $n=0.098$ for the six different flow conditions. Using this average value ($n=0.098$) discharges for all flow conditions were also calculated and are given in Table 3 as Q_{av} . Relative errors were also calculated and are given at same table in column (6). As shown this column relative errors are very high for all measurements.

ii. **Second method:** Manning n was also calculated by Cowan (1956) method, which is directly related to cross-section properties explained above. An illustrative photo of site surveying and flow measurement at the station is shown in Figure 3. In this method equation (5) was used for roughness coefficient (n), with material involved $n_0 = 0.025$ (earth), degree of irregularity $n_1 = 0.010$ (moderate), variation of channel cross-section $n_2 = 0.005$ (alternating occasionally), relative effect of obstruction $n_3 = 0.015$ (minor), vegetation; $n_4 = 0.020$ (medium) and degree of meandering; $m_5 = 1.15$ (appreciable). These parameters are chosen based on the cross-sectional properties at the measured BPB station and Manning's roughness coefficient was determined as $n = (0.025 + 0.010 + 0.005 + 0.015 + 0.02)1.15 = 0.086$. Using this coefficient ($n = 0.086$) flow discharges were calculated for all flow conditions and are given in Table 3, column (4). Relative errors were again calculated between integrated and calculated discharges by Chow's method and are given in column (7). Absolute relative errors are very high for five flows condition.

iii. **Third method:** The relationship between Manning's n, which was calculated with the integrated discharges (Q_{int}) using equation (4), and the maximum flow depth (H_{max}) for each measurements was given in Figure 4. An empirical equation was determined between Manning's n and maximum water depth (H_{max}) for BPB cross-section. Different forms of regression relationships were investigated between these parameters such as logarithmic, power and polynomial. Although a 2nd order polynomial provided a better fit (higher R^2), the power form was found to be most realistic considering the physically constraints (Equation 8).

$$n = 0.044(H_{max})^{-2.77} \quad (8)$$

The coefficient of determination of this equation is $R^2 = 0.68$. Using the relationship given in (8) Manning's n and discharges (Q_{eq}) were calculated for all flow conditions and are given in Table 3, column (5). Relative errors were also calculated and are given in the same table at column (8). As shown in this column average absolute relative error (16.8%) is smaller than the other methods. Therefore, equation (8) was used for determining Manning's roughness coefficient, and Manning's discharges for six different flow conditions were calculated using these estimated n values. Manning's discharges are also given in Table 2 column (6) for comparing to other methods.

Table 2 Discharges and Errors for different methods

Meas. No	Q_{int}	$Q_{0.2+0.8}$	$Q_{0.6}$	$Q_{(3+4)/2}$	Q_{Man}	Q_{Ent}	Q_{sd}	ε_{2-3}	ε_{2-4}	ε_{2-5}	ε_{2-6}	ε_{2-7}	ε_{2-8}
-	(m ³ /s)							%					
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)
BPB_1	0.788	0.803	0.811	0.807	0.633	0.755	0.631	1.9	2.9	2.4	19.7	4.2	19.9
BPB_2	0.434	0.444	0.427	0.436	0.574	0.477	0.470	2.3	1.6	0.3	32.2	9.8	8.2
BPB_3	0.636	0.660	0.637	0.649	0.556	0.713	0.631	3.8	0.2	2.0	12.6	12.1	0.8
BPB_4	1.082	1.114	1.162	1.138	1.114	1.046	1.110	3.0	7.4	5.2	2.9	3.4	2.5
BPB_5	1.188	1.190	1.170	1.180	1.426	1.068	1.155	0.1	1.5	0.7	20.0	10.1	2.8
BPB_6	0.708	0.726	0.692	0.709	0.614	0.786	0.865	2.5	2.3	0.1	13.2	11.0	22.2
							Av=	2.3	2.6	1.8	16.8	8.4	9.4

Table 3 Discharge calculated three different Manning's n and relative errors

Meas. No	Q_{int}	Q_{av}	Q_{Chow}	Q_{eq}	ε_{1-2}	ε_{1-3}	ε_{1-4}
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
BPB_1	0.788	0.701	0.794	0.633	11.0	0.8	19.7
BPB_2	0.434	0.810	0.916	0.574	86.5	111.2	32.2
BPB_3	0.636	0.616	0.698	0.556	3.1	9.7	12.6
BPB_4	1.082	0.779	0.882	1.114	28.0	18.5	2.9
BPB_5	1.188	0.965	1.093	1.426	18.8	8.0	20.0
BPB_6	0.708	0.526	0.596	0.614	25.7	15.8	13.2

Average=	29.0	27.3	16.8
----------	------	------	------



Figure 3 Velocity measurements at BPB station

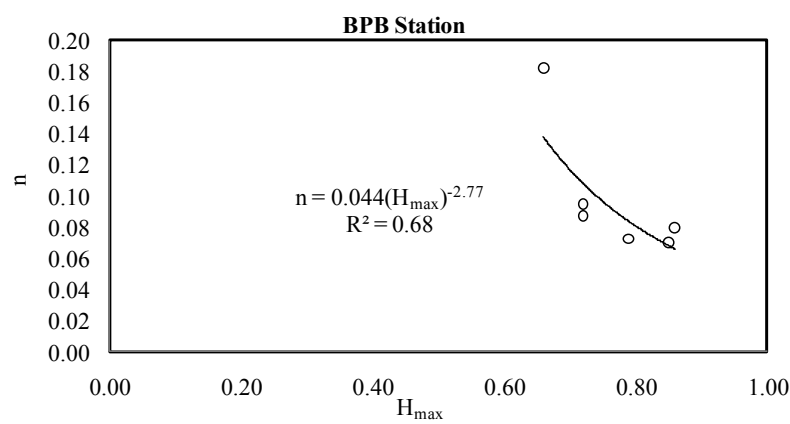


Figure 4 Relation between Manning' n and maximum flow depth at cross-section

Figure 5 shows the relationship between the maximum velocity ($v_{\max}$) and the cross-sectional mean velocity (V) obtained from BPB station given in Table 1. As shown in Fig. 5, $v_{\max}$ and V exhibit a linear relationship, in which $(1/\phi)$ is the slope of the linear regression line. The parameter ϕ is monotonically related to M by means of Eq. (6). This means that M is accepted as constant for this channel cross-section and is independent of both discharge and flow depth (Chiu and Said, 1995). The M value for the BPB station was calculated by Eq. (6) as 1.0. Since M is known, the cross-sectional mean velocity (V) can be estimated using the maximum cross-sectional velocity ($v_{\max}$) with Equation (6). As the maximum velocities occur at or near the surface, their measurement is much easier. This is a big advantage during high flows, where getting in the water could be dangerous. Using the constant proportion of measured cross-section and $v_{\max}$ values for each measurements, mean velocities and also discharges (Q_{ent}) were calculated and are given in Table 2, column (7). Relative errors were also calculated and are given in column (13). Average absolute relative error is found to be 8.4% and it is smaller than the error found the Manning's n method.

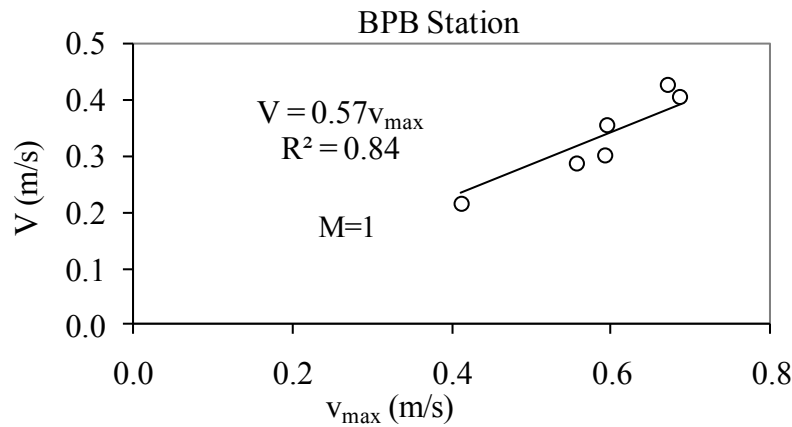


Figure 5 Relation between V and $v_{\max}$ based on measured data

Another commonly utilized method for discharge estimation is the stage-discharge curve. Using integrated discharges (Q_{int}) and $H_{\max}$, stage discharge (SD) curve was drawn and is given in Figure 6.

As Shown in Figure 6, power law was determined for the BPB station with an R^2 value of 0.86 and is given in Equation (9).

$$Q = 1.93(H_{\max})^{3.40} \quad (9)$$

Using this equation discharges and relative errors were also calculated and are given in Table 2, at column (8) and (14) respectively. Average relative error is found to be 9.4% and it is smaller than the Manning's n method error, but higher than the entropy method's error.

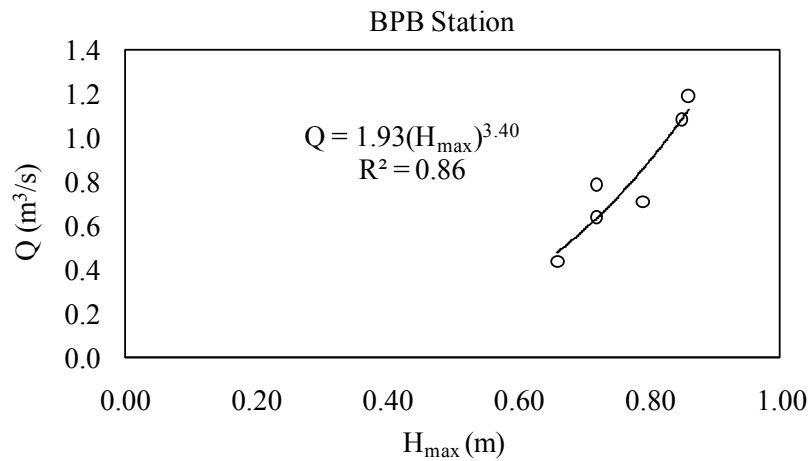


Figure 6 Relationship between Q and $H_{\max}$ based on measured data

The absolute relative errors for six different measurements are given in Figure 7. As can be seen from this figure, classical depth area methods (two point, six-tenths-depth and average of these) are shown to produce very accurate predictions. However, implementations of these methods need more effort for velocity measurements and geometric properties of cross-section. Manning's equation, which is originally developed for uniform flow, showed highest errors for discharge calculations and it is difficult to make a good prediction of the roughness parameter n under

changing flow conditions. Stage discharge curve also showed high error and its application for high flow conditions are unknown. On the other hand the entropy model gave acceptable results for discharge calculations and its application is easier than the other methods. It needs measurement of only one parameter $v_{\max}$ and its position can be estimated easily.

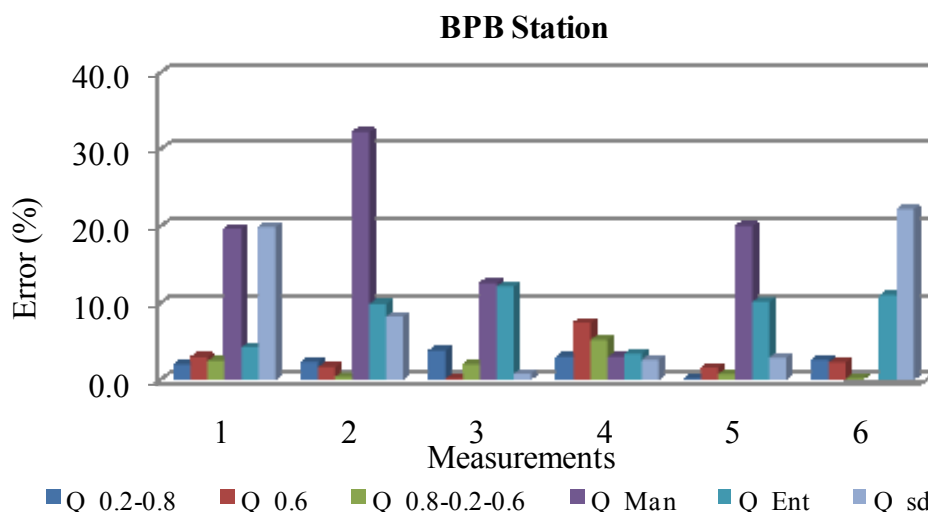


Figure 7 Relative errors for different methods for discharge calculations

Conclusion

In this study four different methods that can be used for estimating flow discharge in natural streams are investigated. Velocity-area method, commonly used for discharge determination requires a great amount of time and effort. In the mean time sampling procedure of velocity measurements in a river cross-section during high flows can be difficult and particularly dangerous. Slope-area methods, such as the Manning's equation, include indefinite parameters such as the roughness coefficient, n . The ratio of the mean and maximum velocities of a cross-section, which characterize the flow pattern, approaches a constant. Therefore, the mean velocity can be obtained by the constant ratio and the maximum velocity. The maximum velocity can be determined quickly by measuring only a few velocities from a single vertical axis.

The velocity-area method showed very precise results for all the six different measurements and three different procedures. Average values of errors for this method are smaller than 3.0%. Six different measurements showed that Manning equation and stage discharge relation gives relatively high errors for some flow conditions and average relative errors were found to be 16.8% and 9.4%, respectively, at the BPB station. On the other hand, application of the entropy method is very easy for a known entropy parameter, M , and this concept gives much closer discharge results to integrated ones. Average relative error for six different measurements was found to be 8.4% between the integrated discharge method and the entropy concept.

Acknowledgement

This study is funded by Erciyes University Scientific Research Projects Unit, Kayseri, Turkey, under the project number FBA-09-793.

References

- Ammari A., Remini B. 2009. Estimation of Algerian rivers discharges based on Chiu's equation, *Arabian Journal of Geosciences*, Vol 3, Number 1, 59-65.
- Ardıçlıoğlu, M., Atabay, S., Omran, M. 2007. Estimation of Discharge and Shear Stress Distribution in Natural Channels Based on Entropy Concept, 32nd IAHR Congress, Venice, Italy.
- Ardıçlıoğlu, M., Genç, O., Girayhan, A., Kırkgöz, M.S. 2008. ADV Measurements of Velocity Distributions in Natural Rivers, International Conference on Fluvial Hydraulics, Çeşme, İzmir.
- Ardıçlıoğlu, M. 2009. Application of Entropy Concept for Discharges and Velocity Distribution Coefficients in Open-Channel Flow. AquaTerra Final Conference, Tübingen, Germany.
- Ardıçlıoğlu, M., Bilgin H, Genc O, Agiralioglu N. 2010. Determination of Discharge by Entropy Concept in Natural River. Fourth International Conference on Water Observation and Information System for Decision Support, BALWOIS, Ohrid, Makedonya.
- Chapra, S.C., and Canale R.P. 1988. *Numerical Methods for Engineers*. 2d ed. Mc-Graw Hill, New York.
- Chen Y.C. and Chiu C.L. 2004. A fast method of flood discharge estimation, *Hydrological Processes*, 18, 1671-1684.
- Chiu C.L. 1989: Velocity distribution in open channel flow, *Journal of Hydraulic Engineering*, 115(5), 576-594.
- Chiu C.L. 1991. Application of entropy concept in open channel flow study, *Journal of Hydraulic Engineering*, 117(5), 615-627.

- Chiu C.L. and Said C.A. 1995. Modeling of maximum velocity in open-channel flow, *Journal of Hydraulic Engineering*, 121(1), 26-35.
- Chiu C.L. and Tung N.C. 2002. Maximum velocity and regularities in open-channel flow, *Journal of Hydraulic Engineering*, 128(4), 390-398.
- Chow, V. T. 1959. *Open Channel Hydraulics*. McGraw-Hill Book Co., New York, NY, USA.
- Cowan W.L. 1956. Estimating hydraulic roughness coefficients, *Agricultural Engineering*, vol. 37, No. 7, pp 473-475.
- Gupta R. S. 1989. *Hydrology and Hydraulic Systems*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ.
- Moramarco, T., Saltalippi, C., and Singh, V.P. 2002. Estimating the cross-sectional mean velocity in natural channels by entropy approach, *Surface Water Hydrology, Proceedings of the Int. Con. on Water Resources Management in Arid Regions*, Kuwait.
- Moramarco, T., Saltalippi, C., and Singh, V.P. 2004. Estimation of mean velocity in natural channels based on Chiu's velocity distribution equation, *J. of Hydrologic Eng.*, 9(1), 42-50.
- Rantz SE. 1982a. *Measurement and Computation of Streamflow, Vol. 1, Measurement of Stage and Discharge*. Geological Survey Water-Supply Paper 2175, U.S. Government Printing Office: Washington, DC.
- Rantz SE. 1982b. *Measurement and Computation of Streamflow, Vol. 2, Computation of Discharge*. Geological Survey Water-Supply Paper 2175, U.S. Government Printing Office: Washington, DC.
- Sauer, V.B. and Meyer R.W. 1992. Determination of error in individual discharge measurements, *USGS Open File Report 92-144*, Norcross, Georgia.
- SonTek, 2002: *Flow Tracker Handheld ADV, Technical Document*.
- Wu FC, Shen HW and Chou YJ. 1999. Variation of roughness coefficients for unsubmerged and submerged vegetation, *Journal of Hydraulic Engineering*, 125(9), 934-942.

INVESTIGATION OF VELOCITY DISTRIBUTION IN SHALLOW RIVERS

Mehmet Ardiclioglu¹

Serkan Ozdin²

Ercan Gemici²

Latif Kalin³

CATEGORY: River hydraulics (new session)

ABSTRACT:

The distribution of flow velocity, one of the basic properties of river flow is directly related to other flow properties, such as the shear stress distribution, secondary flow, as well as sediment and contaminant transport. Due to the practical importance of the problem, a number of analytical and experimental researches have been carried out in both natural and laboratory open channel flows.

There are well known velocity distribution equations for open channel flows, such as the power law and the velocity defect law or the law of the wall. Coles (1956) extended the law of the wall by introducing a purely empirical correction function, which can be used to predict velocities in the fully turbulent part of inner region as well as in outer region. The velocity distribution has also been investigated using probabilistic approaches and developed a two dimensional mathematical model of flow in open channels which named entropy based velocity distribution equation. This method allows an easy employment in the field of applied hydraulic engineering due to the use of simply-derivable parameters instead of difficult and hardly measurable ones. Using the probabilistic formulation, the mean velocity can be expressed as a linear function of the maximum velocity through a dimensionless entropy parameter M . The M value is a fundamental measure of information about the characteristics of the channel section.

In this study, flow in natural streams has been investigated by using analytical modeling together with field data. Field measurements were undertaken on Kızılırmak basin in Turkey and velocity measurements were taken by using an Acoustic Doppler Velocimeter (ADV). The applicability of logarithmic velocity distribution equation and entropy equation is investigated.

From the comparisons of the predicted and measured velocities the following conclusions are drawn; the logarithmic velocity distribution law gives good harmony with measured data for the inner region of the boundary flow in the range of $10-40\% \leq z/H \leq 70-100\%$. Coles's law of the wake equation, with $\Pi=0.1$, predicts the river flow velocity distributions which show good agreement with measured data in the inner and outer regions of the boundary layer. Depending on the value of the parameter M , the velocities predicted using the entropy based equation is somewhat greater than the measured velocities for some cases.

Keywords; River flow, Velocity distribution, Log law, Entropy,

Affiliations

¹Assoc Prof. Dr., Department of Civil Engineering Erciyes University, Kayseri, TURKEY, Phone: (90) 352 4374901, Fax: (90) 352 4375784, E-mail: mardic@erciyes.edu.tr

²Department of Civil Engineering Erciyes University, Kayseri, TURKEY, Master students.

³Assistant Professor Dr. [School of Forestry and Wildlife Sciences](#), Auburn, AL 36849-5418, USA, Phone: (334) 844-4671, Fax: (334) 844-1084, E-mail: latif@auburn.edu

Full Length Research Paper

Determining agricultural water demand from natural streams using the entropy concept

Mehmet Ardiçlioğlu* and Serkan Özdin

Department of Civil Engineering, Erciyes University, Kayseri, Turkey.

Accepted 21 February, 2011

Determining water flow discharge in open channels is a very important task for agricultural water management, but current methods are labor-intensive and difficult. The entropy method suggested by Chiu and Said (1995) promises to simplify the task of measuring water flow rates. This paper offers a further simplification of ongoing discharge measurements by showing that the $u_{\max}$ and $H_{\max}$ values form a constant in a specific water channel cross section. Once the $u_{\max}/H_{\max}$ constant is determined, $u_{\max}$, and therefore discharge, can easily be calculated from $H_{\max}$ measurements. This method, which we call $Q_{u_{\max}}$ method in this paper, was compared against the integrated discharge method for accuracy and was found to have an accuracy similar to that of two other common methods, the integrated $Q_{0.2 \text{ to } 0.8}$ and the entropy methods (Q_{Mi}). Comparisons were carried out at four sites along the tributaries of the Kizilirmak river in central Anatolia, Turkey.

Key words: Agricultural water, discharge, natural stream, entropy.

INTRODUCTION

Water management becomes more difficult day by day because of the increasing competition between power, irrigation, municipal, industrial and other uses. Public concepts of how to share and manage the finite supplies of water are changing depending on economic and social requirements. The steadily increasing demand for water and the increasing needs for better river management require special efforts in order to better understand the phenomenology of water courses. Best management, measures and practices without exception depend upon conservation of water. Good water management and conservation require accurate water measurement techniques. Agriculture is the dominant user of fresh water compared to the other categories of users, especially in arid and semi-arid regions of the world. Lacking adequate precipitation during the growing season, agriculture in these areas is dependent on a large amount of surface water and groundwater storage. The cheapest source for irrigational usage is surface water. For this purpose, water from rivers, streams or reservoirs can be used directly. Good water management requires accurate water measurement.

There are many benefits of upgrading water measurement programs and systems. Although some of the benefits are intangible, they should be considered during system design or when planning water system upgrade. Some benefits of water measurement for agricultural purposes include: (U.S. Bureau of Reclamation, 2001).

- i) Equitable shares of water for different users,
- ii) Accurate and equitable distribution of water within a district or farm,
- iii) Minimizing negative environmental impacts,
- iv) Determining seepage losses during water flow,
- v) Future planning for agricultural purposes,
- vi) Preventing ground water pollution with chemicals and pesticides and
- vii) Preventing redundant water usage.

Discharge is the volume of water flowing through a cross-section of a stream in a given amount of time and it drives various hydrological processes. Many discharge prediction methods have been developed for open channels. The velocity-area method for discharge determination is commonly used at stream gaging stations in rivers. Measurements of stream discharge require information about the mean velocity and geometry of the river cross-section at the measuring

*Corresponding author. E-mail: mardic@erciyes.edu.tr. Tel: +90 352 4374901/32326 Fax: +90 352 4375784.

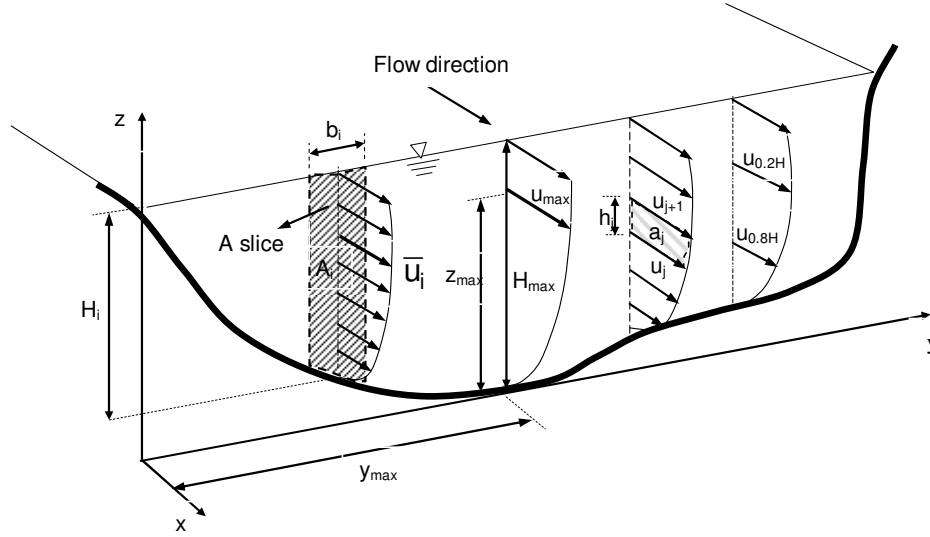


Figure 1. Velocity distribution in measuring cross-section.

station. Multiple depth and velocity measurements are taken by a current meter across the channel and the discharge. These sub-areas are summed to calculate the total stream discharge at a given moment.

Weirs are one of the oldest structures used in measuring flow of water in open channels. As water flows over the weir, the depth or "head" of the water is measured. The water head is entered into a discharge formula specific to the geometry of the weir. Several rating equations were developed for different types of weirs (Ackers et al., 1978; Kaya, 2010). The introduction of the entropy concept in hydraulics by Chiu (1989, 1991) provided an opportunity for developing a simple method to estimate discharges in natural streams. Considering the probabilistic formulation, the mean velocity (U_m) can be expressed as a linear function of the maximum velocity (u_{max}), through a dimensionless entropy parameter M , (Chiu and Said, 1995). The M value of a channel section contains information about its overall hydraulic characteristics. These analyses allow an easy employment in the field of applied hydraulic engineering due to the use of simply-derivable parameters instead of difficult and hardly measurable ones. In this study, velocity measurements were taken using acoustic doppler velocimeter (ADV) at four different stations on the Kizilirmak river tributaries and their branches in central Anatolia, Turkey. Each site was visited six times for velocity and discharge measurements. Velocity area and entropy methods were used for discharge calculations.

The region where maximum velocity occurs on cross-section was determined and u_{max}/H_{max} relations were investigated for each station.

DISCHARGE CALCULATION

The discharge of a stream usually is calculated from a series of

measurements of width, depth and velocity along a cross section of the stream. Theoretically, the true discharge would be an integration of the velocity and area throughout the cross section. Discharge is expressed in volume of water per unit of time, usually liter per second or cubic meters per second in the metric system. Discharge measurements may be conducted by several methods given in the literature (Rantz et al., 1982a, b). However, the conventional integrated method is most commonly used in natural streams. In this method cross section is divided into slices according to the width of the section as shown in Figure 1. Mean velocity $\bar{U}_i$, in a vertical obtained from velocity observations at many points in that vertical, but it can be approximated by making a few velocity observations and using a known relationship between those velocities and the mean velocity in that vertical. The more commonly used approaches for determining mean vertical velocity are the vertical velocity curve, the two-point, the six-tenths-depth and the average of these measurements methods. In the vertical-velocity curve method, a series of velocity observations at points well distributed between the water surface and the streambed are made at each of the verticals as shown in Figure 1.

The mean velocity in the vertical is obtained by measuring the area between the curve and the ordinate axis and dividing the area by the flow depth in this vertical by using Equation 1. In this equation a_j is the area between two successive velocity measurements, u_j and u_{j+1} are velocities measured at two points on the same vertical separated by the distance h_j . H_i is mean flow depth for slice i :

$$\bar{U}_i = \frac{\sum a_j}{H_i} = \frac{\sum \frac{(u_j + u_{j+1})}{2} h_j}{H_i} \quad (1)$$

In the two-point method of measuring velocities, observations are made in each vertical at 0.2 and 0.8 of the depth below the surface. The average of those two observations is taken as the mean velocity in the vertical. This method is based on many studies involving actual observation (Ardiçlioğlu et al., 2007, 2010) and mathematical theory (Gupta, 1989; Chapra and Canale, 1988). Similarly, in the six-tenths-depth method, an observation of velocity made in the vertical at 0.6 of the depth below the surface is used as

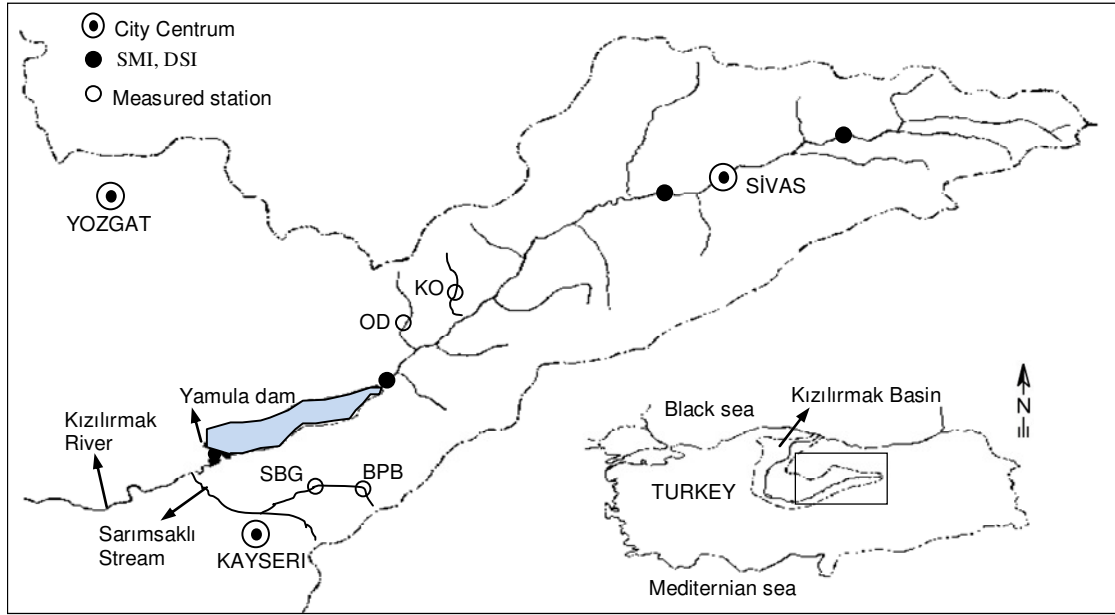


Figure 2. Kizilirmak River Basin with location of measuring stations.

the mean velocity in the vertical. This method is usually applied when the stage in a stream is changing rapidly and a measurement must be made quickly. From a practical standpoint, however, when it is necessary to measure velocities where water depths are as shallow as 10 cm, the 0.6-depth method is used.

The discharge (q_i) through the slice can be calculated by Equation 2, which is simply the slice area (A_i) multiplied by mean velocity ($\bar{u}_i$). Flow discharge (Q) for the cross-section can be determined by Equation 3. In this equation “ n ” is the number of slices:

$$q_i = A_i \bar{u}_i \quad (2)$$

$$Q_{\text{int}} = \sum_{i=1}^n q_i = \sum_{i=1}^n A_i \bar{u}_i = \quad (3)$$

Chiu (1989, 1991) proposed an entropy-based two dimensional probabilistic velocity distribution function for simulation of velocity distributions in river cross-sections. Considering the probabilistic formulation, the mean velocity U_m can be expressed as a linear function of the maximum velocity u_{max} , through a dimensionless entropy parameter M (Chiu and Said, 1995) as:

$$\phi(M) = \frac{U_m}{u_{\text{max}}} = \frac{e^M}{e^M - 1} - \frac{1}{M} \quad (4)$$

Equation 4 shows that, if a sample of pairs (U_m , u_{max}) is given, first $\phi(M)$ can be calculated to estimate the entropy parameter, M . Chiu and Tung (2002) developed a relationship between M and the location of maximum velocity when the maximum velocity occurs below water surface. This relationship provided a more efficient procedure for estimating discharge. Ammari and Remini (2009) showed that when the M parameter is known for a stream cross-

section, mean velocity U_m can be determined from u_{max} , which can be measured directly. They showed that for more than 90% of the cases maximum velocity appears at the deepest vertical, at the same place and in the vicinity of the water surface.

For determination of velocity distribution and discharge in streams, many theoretical and experimental studies have been carried out based on the entropy concept (Moramarco et al. 2002, 2004; Ardiçioğlu et al., 2008, 2009, 2010).

FIELD MEASUREMENTS

Field measurements were undertaken in the Kizilirmak basin, which is in central Anatolia, Turkey (Figure 2). The study region is characterized by semi-arid climate with some extremities in temperature. Central Anatolia has a Steppe climate with low annual precipitation. Most precipitation occurs in spring and winter months. Ambient air temperature show strong diurnal and seasonal variations. Kizilirmak is the longest flowing river within the boundaries of the Republic of Turkey. Several dams were constructed over the Kizilirmak river for electricity, irrigation and domestic water supply, and flood control purposes. There are also many diversion weirs for irrigation purposes on the tributaries of the Kizilirmak River and their branches. Four different stations which are on three different tributaries of the Kizilirmak River were identified for discharge determination: Bünyan Pınarbası (BP), Sarımsaklı (SR), Kiriközü (KÖ) and Özdere (ÖD). Velocity measurements were carried out during six site visits to each site, between 2009 and 2010. The water level was below the bank (below full stage) at each time. The velocity measurements were made with SonTek/YSI FlowTracker Handheld acoustic doppler velocimeter (ADV). ADV measures three-dimensional flow velocities (u , v and w) in a sampling volume. The ADV sampling volume is located 10 cm in front of the probe head. Therefore, the probe head itself has a minimal impact on the flow field surrounding the measurement volume. The velocity range that ADV can accurately measure is 0.001 to 4.5 m/s with $\pm 1\%$ accuracy (SonTek, 2002).

Flow characteristics at each site are summarized in Table 1. In

Table 1. Flow characteristics and discharges.

	Dates	Q_{int}	H_{max}	U_m	u_{max}	T/R	$Q_{0.2-0.8}$	Q_{Mi}	Q_{umax}
	m/d/y	(m^3/s)	(m)	(m/s)	(m/s)	-	(m^3/s)	(m^3/s)	(m^3/s)
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
BP_1	06.24.2009	0.788	0.72	0.354	0.595	7.0	0.803	0.755	0.713
BP_2	08.02.2009	0.434	0.65	0.214	0.412	7.5	0.444	0.477	0.587
BP_3	09.27.2009	0.636	0.72	0.301	0.593	8.2	0.660	0.713	0.676
BP_4	04.04.2010	1.082	0.80	0.405	0.687	7.3	1.114	1.046	0.950
BP_5	05.16.2010	1.188	0.84	0.426	0.671	7.0	1.190	1.068	1.044
BP_6	06.20.2010	0.708	0.75	0.286	0.557	7.3	0.726	0.786	0.826
SR_1	06.24.2009	1.178	0.35	0.987	1.393	13.3	1.231	1.186	1.152
SR_2	08.02.2009	1.021	0.32	0.891	1.192	16.7	1.090	0.974	1.011
SR_3	09.27.2009	1.129	0.34	0.954	1.470	14.2	1.306	1.241	1.110
SR_4	06.20.2010	1.657	0.41	1.103	1.499	13.1	1.756	1.606	1.699
SR_5	07.18.2010	1.222	0.36	0.960	1.365	14.5	1.275	1.239	1.264
SR_6	08.08.2010	1.053	0.32	0.909	1.193	13.0	1.113	0.986	1.023
KÖ_1	07.05.2009	0.132	0.26	0.306	0.536	11.3	0.130	0.134	0.138
KÖ_2	08.16.2009	0.041	0.21	0.150	0.295	12.6	0.043	0.045	0.048
KÖ_3	10.18.2009	0.036	0.17	0.197	0.418	14.7	0.035	0.040	0.038
KÖ_4	04.25.2010	1.019	0.38	0.616	0.894	9.2	1.086	0.916	0.863
KÖ_5	05.23.2010	0.351	0.40	0.512	0.835	13.3	0.422	0.332	0.336
KÖ_6	06.27.2010	0.235	0.34	0.427	0.872	16.3	0.229	0.262	0.229
ÖD_1	05.07.2009	0.072	0.29	0.119	0.263	11.9	0.071	0.072	0.067
ÖD_2	08.16.2009	0.029	0.24	0.064	0.111	13.6	0.031	0.031	0.031
ÖD_3	10.18.2009	0.055	0.31	0.097	0.236	12.0	0.058	0.060	0.051
ÖD_4	04.25.2010	0.720	0.73	0.450	0.826	10.3	0.783	0.684	0.612
ÖD_5	05.23.2010	0.330	0.63	0.252	0.570	7.5	0.363	0.336	0.315
ÖD_6	06.27.2010	0.163	0.58	0.137	0.364	7.7	0.176	0.182	0.187

See text for definition of terms.

this table, first column shows measurement dates, Q_{int} is the integrated discharge, H_{max} is the maximum flow depth at a given cross-section, $U_m (= Q_{int}/A)$ is the mean velocity, A is the wetted area of the cross-section and u_{max} is the measured maximum velocity at the cross-section. T/R is the aspect ratio with T being the surface water width and R is the hydraulic radius. Flow measurements were made under turbulent flow conditions ($3.95 \times 10^3 \leq Re = 4U_m R/\nu \leq 1.27 \times 10^6$), where Re is the Reynolds number, ν is the kinematic viscosity, under sub-critical flow conditions ($0.04 \leq Fr = U_m / \sqrt{gH_{max}} \leq 0.55$), where Fr is the Froude number and g is the gravitational acceleration.

RESULTS AND DISCUSSIONS

The cross-section was divided into slices for each flow condition according to the water surface width. Point velocity measurements were made at different positions in the vertical direction starting 4 cm from the bed for each vertical. Free surface velocity was then estimated by extrapolating the upper two measurements. Mean vertical velocities, $\bar{u}_i$, were calculated using Equation 1 for each verticals. Then slice discharges (q_i) were

calculated by Equation 2. Stream flows (Q_{int}) for each measurement were calculated by Equation 3 and are given in Table 1 on 2th column. Mean velocities (U_m) were calculated using the integrated discharge and cross-sectional area ($U_m = Q_{int}/A$) for each flow condition. A simple procedure using two point velocities, at 0.2 and 0.8 times the flow depth from the water surface was used to calculate the vertical mean velocity at each vertical. Point velocities at 0.2 and 0.8 H were interpolated with closed measured depth velocities. Using these velocities total flow rates were determined using the same procedure aforementioned and given in the 7th column of Table 1.

Relative errors (ϵ) between the two methods were calculated for each measurements and stations using Equation 5. Average absolute relative errors (ϵ) between the two methods were calculated as 2.3, 8.2, 6.4 and 6.7% for BP, SR, KÖ and ÖD stations respectively:

$$\epsilon = \left| \frac{Q_{int} - Q_{0.2-0.8}}{Q_{int}} \right| \times 100 \quad (5)$$

As shown in these values, relative errors are very small

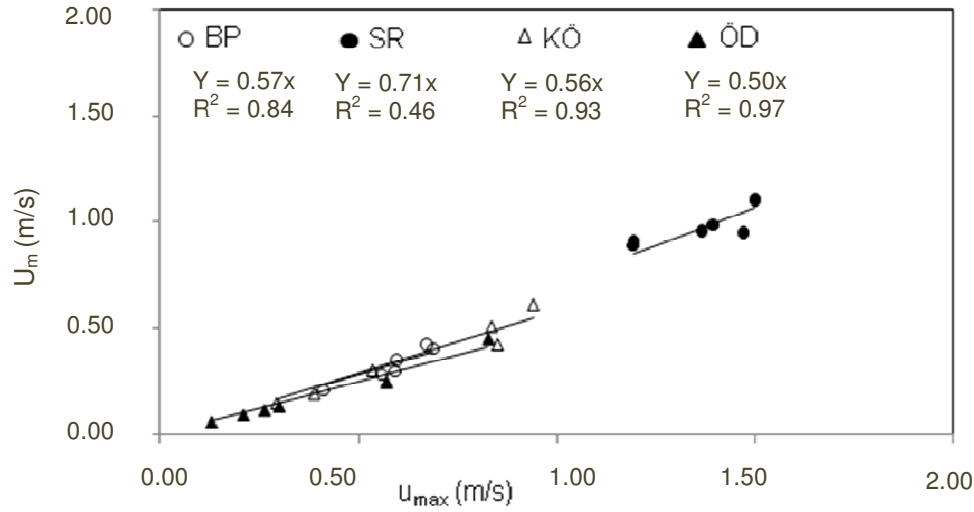


Figure 3. Relation between U_m and u_{max} based on measured data for four station.

for all stations and this procedure is applicable for discharge calculation. For this reason two point velocity method is commonly used in practices for discharge calculation by General Directorate of State Hydraulic Works of Turkey. Chiu and Said (1995) suggested a technique for determining discharge from the entropy parameter M of a river cross-section. The value of M being constant for a river cross-section can greatly simplify discharge determination. For this purpose, equation (4), the entropy parameters, M_i ($i = 1, \dots, 4$) were calculated for each measurement station. Figure 3 shows the relationship between the maximum velocities (u_{max}) versus the cross-sectional mean velocity (U_m) for six different flow conditions at four different stations. As shown in the figure u_{max} and U_m present a linear relationship and the M_i values for four station were calculated by Equation 4.

The entropy parameters, M_i , were determined to be 0.85, 2.9, 0.73 and 0.1 for BP, SR, KÖ and ÖD stations, respectively. Since M is known, the cross-sectional mean velocity (U_m) can be estimated using the maximum cross-sectional velocity (u_{max}) with Equation 4. As the maximum velocities occur at or near the surface, their measurement is much easier. This is a big advantage during high flows, where getting in the water could be dangerous. Using the constant proportion of measured cross-section and u_{max} values for each measurements, mean velocities and also discharges (Q_{Mi}) were calculated and were given in Table 1, column (8). Relative errors (ϵ) between the integrated (Q_{int}) and entropy discharges (Q_{Mi}) were calculated for each measurements and stations using Equation 5. Average absolute relative errors (ϵ) between the these two methods were calculated as 8.4, 4.6, 9.6 and 8.7% for BP, SR, KÖ and ÖD stations respectively. Application of entropy methods is very easy for known entropy

parameter M and this concept gives discharge results that are closer to integrated ones. This method needs measurement of only one parameter u_{max} and its position can be estimated easily. Maximum velocity must be known in order to calculate the discharge in natural streams using the entropy concept. Maximum velocity usually occurs in the center of the cross-section at a uniform depth and below the water surface. Its exact location is defined by the free surface and side wall effects.

The region where maximum velocity occurs on cross-section were investigated for 24 measurements. Maximum velocities, u_{max} , were observed at deepest vertical for 17 measurements and others, it was observed at second deepest depth of cross-section. Similar result was observed at Ammari and Remini's (2009) study. Determination of the deepest depth of a cross-section is easy with a gauge stick. Therefore maximum velocity can be found at or near the deepest vertical along the cross-section. The challenge here is finding u_{max} . It is not easy to measure the maximum velocity which is observed in the vicinity of the deepest place, especially during flood periods. Finding u_{max} requires time and effort. Hence, a simple relation was sought for u_{max} at each station. In Figure 4, distribution of u_{max}/H_{max} with respect to aspect ratio (T/R) were given for four stations. As shown in this figure u_{max}/H_{max} ratios are almost constant for each stations and average $c = u_{max}/H_{max}$ values were found as $c_{BP} = 0.78$, $c_{SR} = 3.83$, $c_{KÖ} = 2.15$ and $c_{ÖD} = 0.79$ for BP, SR, KÖ and ÖD stations respectively. Using these constant values and measured H_{max} which can be measured easily for any flow conditions, u_{max} can be calculated. With known u_{max} value discharge can be calculated by Equation 4 with entropy concept. Using the constant proportion of measured cross-section and u_{max}

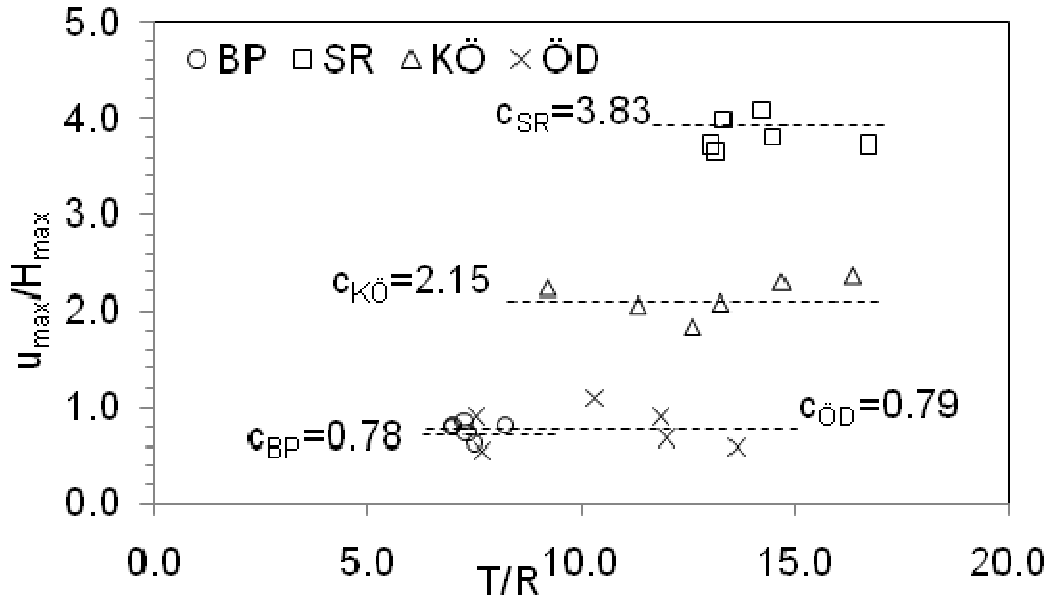


Figure 4. $u_{\max}/H_{\max}$ ratio depends on aspect ratio (T/R).

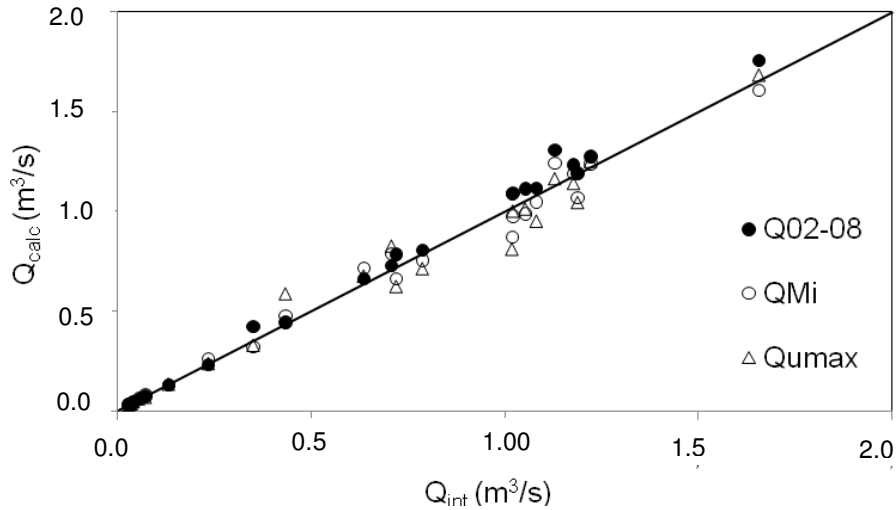


Figure 5. Integrated and calculated discharges.

values for each measurement's, mean velocity and also discharge ($Q_{\max}$) were calculated and are given in Table 1, column (9).

Relative errors (ϵ) between the integrated (Q_{int}) and Q_{umax} discharges were calculated for each measurements and stations using equation (5). Average absolute relative errors (ϵ) between these two methods were calculated as 9.6, 2.4, 8.5 and 9.0% for BP, SR, KÖ and ÖD stations respectively. The application of the entropy method with suggested $u_{\max}$, which can be calculated from the constant $u_{\max}/H_{\max}$ ratio for each station, is very easy for known entropy parameter M . This method gives closer

discharge results compared to integrated ones. It needs measurement of only one parameter $H_{\max}$ along the cross-section for different flow conditions. In Figure 5, the relationships between integrated discharges (Q_{int}) and calculated discharges as predicted by three different methods were given. As shown in the figure, the integrated and calculated discharges show good agreement. $Q_{02 \text{ to } 08}$ discharges showed overestimation for $Q > 1.0 \text{ m}^3/\text{s}$. In Figure 5, Q_{Mi} discharges showed the best agreements with integrated discharges.

When suggested, $u_{\max}$ are used with entropy concept for discharge calculation no relevant trend was observed,

except for a slight trend of underestimation for discharge between 0.7 and 1.2 m³/s.

CONCLUSION

In this study different methods that can be used for estimating flow discharge in natural streams are investigated. For the velocity-area method, discharge (Q_{int}) could be calculated with integration of the velocity and area throughout the cross section but this method requires a great amount of time and effort. The simple procedure that uses two point velocities, at 0.2 and 0.8 times the flow depth from the water surface was used to calculate the vertical mean velocity for each vertical. Using these velocities total flow rates were determined ($Q_{0.2 \text{ to } 0.8}$) and relative errors (ϵ) between the Q_{int} and the $Q_{0.2 \text{ to } 0.8}$ discharges were calculated for each measurement and station. Average absolute relative errors (ϵ) between the two methods were calculated as 2.3, 8.2, 6.4 and 6.7% for BP, SR, KÖ and ÖD stations respectively. Two point velocity method gives very accurate results in comparison with integrated discharges. Mean and maximum velocities at the four stations exhibited linear distribution and the entropy parameters M_i were calculated. Using these values, discharges for all flow conditions were calculated (Q_{Mi}) as a function of the measured maximum velocities' u_{max} . Average absolute relative errors (ϵ) between this two methods (Q_{int} and Q_{Mi}) were calculated as 8.4, 4.6, 9.6 and 8.7% for BP, SR, KÖ and ÖD stations respectively.

Application of the entropy method is very easy for each known entropy parameter M and this concept gives discharge results that are close to the integrated results. It needs the measurement of only one parameter, u_{max} , and its position can be estimated easily. Maximum velocities, u_{max} , were observed mostly at the deepest vertical and u_{max}/H_{max} ratios are almost constant for each station. Once these constant proportions are determined for each station, the u_{max} value can easily be calculated based on a simple reading of the H_{max} value. Discharges using the suggested u_{max} Q_{umax} were calculated and these values are reasonably close to the integrated discharge values. Average absolute relative errors (ϵ) between these two methods were calculated as 9.6, 2.4, 8.5 and 9.0% for BP, SR, KÖ and ÖD stations respectively. The Q_{umax} method is the simplest method to implement in agricultural water management because once the u_{max}/H_{max} constant is determined for a specific cross-section in any artificial or natural channel, u_{max} can easily be calculated from H_{max} measurements.

ACKNOWLEDGEMENT

This study is funded by Erciyes University Scientific Research Projects Unit, Kayseri, Turkey, under the

project number FBA-09-793.

REFERENCES

- Ackers WR, Perkins JA, Harrison AJM (1978). Weirs and flumes for flow measurement, John Wiley & Sons, New York.
- Ammari A, Remini B (2009). Estimation of Algerian rivers discharges based on Chiu's equation, *Arabian J. Geosciences*, 3: 59-65.
- Ardıçlıoğlu M, Atabay S, Omran M (2007). Estimation of discharge and shear stress distribution in natural channels based on entropy concept, 32nd IAHR Congress, Venice, Italy.
- Ardıçlıoğlu M, Genç O, Girayhan A, Kirkgöz MS (2008). ADV measurements of velocity distributions in natural rivers, International Conference on Fluvial Hydraulics, Çeşme, İzmir.
- Ardıçlıoğlu M (2009). Application of entropy concept for discharges and velocity distribution coefficients in open-channel flow. AquaTerra Final Conference, Tübingen, Germany.
- Ardıçlıoğlu M, Bilgin H, Genc O, Agiralioğlu N (2010). Determination of discharge by entropy concept in natural river. Fourth International Conference on Water Observation and Information System for Decision Support, BALWOIS, Ohrid, Macedonia.
- Chapra SC, Canale RP (1988). Numerical methods for engineers. 2d ed. Mc-Graw Hill, New York.
- Chiu CL (1989). Velocity distribution in open channel flow, *Journal of Hydraulic Engineering*, 115(5), 576-594.
- Chiu CL (1991). Application of entropy concept in open channel flow study, *Journal of Hydraulic Engineering*, 117(5): 615-627.
- Chiu CL, Said CA (1995). Modeling of maximum velocity in open-channel flow, *J. Hydraulic Engine.*, 121(1), 26-35.
- Chiu CL, Tung NC (2002). Maximum velocity and regularities in open-channel flow, *J. Hydraulic Engine.*, 128(4) 390-398.
- Gupta RS (1989). Hydrology and hydraulic systems. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ.
- Kaya N (2010). Effect of upstream crest length on flow characteristics and discharge capacity of triangular labyrinth side weirs. *Scientific Research and Essays*, 5(13): 1702-1712
- Moramarco T, Saltalippi C, Singh VP (2002). Estimating the cross-sectional mean velocity in natural channels by entropy approach, *Surface Water Hydrology, Proceedings of the Int. Con. on Water Resources Management in Arid Regions*, Kuwait.
- Moramarco T, Saltalippi C, Singh VP (2004). Estimation of mean velocity in natural channels based on Chiu's velocity distribution equation, *J. Hydrolo. Eng.*, 9(1): 42-50.
- Rantz SE (1982), a-b. Measurement and computation of streamflow, Vol. 1-2, Measurement of Stage and Discharge. Geological Survey Water-Supply Paper 2175, U.S. Government Printing Office: Washington, DC.
- SonTek (2002). Flow Tracker Handheld ADV, Technical Document.
- U.S Department of the Interior Bureau of Reclamation (2001). Water Measurement Manual, Washington, DC 20402

Doğal Akarsularda Debinin Belirlenmesi

Mehmet Ardiçlıoğlu^{1*}, Ercan Gemici², Serkan Özdin²

¹Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kayseri-TÜRKİYE

²Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kayseri-TÜRKİYE

*Sorumlu Yazar

e-posta: mardic@erciyes.edu.tr

Özet

Günümüzde artan nüfus, sanayileşme ve tarımsal ihtiyaçlara bağlı su talebi suyun önemini daha da artırmıştır. Bununla birlikte iklimsel ve çevresel faktörler ile yağış akış ilişkisindeki değişimler su kaynaklarının kontrolünü ve kullanımını zorlaştırmaktadır. Bu nedenle su kaynaklarının, en akılcı şekilde sürdürülebilir kullanımını gerçekleştirebilmek için hem kalite hem de miktar (debi) bakımından akım özelliklerinin belirlenmesi gerekmektedir. Açık kanal akımlarında debinin belirlenmesinde en sağlıklı yöntem olan hız ölçüm metodu, yoğun emek ve masraf isteyen zahmetli bir iştir. Bu nedenle ölçümlerde kullanılacak dilim sayısına doğru karar vermek iş yükünü azaltacaktır. Ayrıca debi hesabında gerekli olan akımın ortalama hızını belirlemek için, su yüzü hızı gibi daha kolay ölçülebilir parametreler ile arasındaki ilişkinin tespiti gereklidir. Bu amaçla Kızılırmak nehrinin yan kollarında seçilen 5 farklı istasyonda, 10 farklı akım şartlarında gerçekleştirilen ölçüm sonuçları ele alınmıştır. Enkesit alanları 1 ila 19 farklı dilime bölünerek her bir dilimde ölçülen ortalama hızlar ile debiler hesaplanmıştır. Dilim sayısının akımın debisine etkisi irdelenmiştir. Debinin sağlıklı olarak bulunmasında zaman tasarrufu da göz önüne alınarak enkesiti beş dilime ayırmanın yeterli olduğu belirlenmiştir. Ayrıca Su yüzü hız ile ortalama hız arasındaki ilişki sorgulanmıştır. Literatürde belirtilen Ortalama hız/su yüzü hızı =0,85–0,90 katsayılarının yüksek olduğu belirlenmiştir.

Anahtar sözcükler: Akarsu, debi, su yüzü hızı, ADV

Discharge Determination in Natural River

Abstract

In recent years, the importance of water has been increasing due to rising water demands which is related to higher population, industrialization and agricultural developments. However, the changes in the relation between rain fall and run off along with climatic and environmental parameters complicate the control and usage of water resources. For this reason, the flow properties must be determined in order to carry out wisely sustainable usage of water resources in terms of both quantity and quality. The velocity measurement, which is the best correct method to calculate discharge in open channel flow, is a duty requiring high effort and expense. Hence, correctly deciding on the slice number to be used in the measurements will decrease workload. Additionally, to compute the mean velocities which are needed to calculate flow discharge, a relationship between mean velocities and water surface velocity that can be measured easily must be determined. For this purpose, the measurement results obtained in the Kızılırmak River side branches and at five different stations and at 10 different flow conditions are considered. Dividing the cross sections into 1 to 19 different slices, discharge is computed through the mean velocities measured at each slice. The effect of number of slice on the flow discharge is examined. It is determined that dividing the cross section into five slices is enough for healthy determination of discharge taking into account time. Further, the relationship between water surface velocity and mean velocity is examined. The ratio of 0.85–0.90 for water surface velocity and mean velocity stated in the literature has been found high.

Keywords: River, Discharge, water surface velocity, ADV

GİRİŞ

Canlı hayatının devamı için ana gereksinimlerin başında gelen su, günümüzde giderek daha da önemli bir hale gelmiştir. Nüfus artışına paralel olarak gelişen sanayileşme ve tarımsal faaliyetler su ihtiyacının artmasına sebep olmuştur. Gelişen sanayi ve buna bağlı çevresel etkiler, düzensiz kentleşme, küresel ısınma ve benzeri faktörler su kaynaklarının kontrolünü ve kullanımını oldukça zorlaştırmıştır. Bu nedenle su kaynaklarının sürdürülebilir kullanımını sağlamak için hem kalite hem de miktar olarak suyun özelliklerinin belirlenmesi ve takip edilmesi gerekmektedir.

Ülkemizde son 20 yılda kişi başına düşen su miktarı 4000 m³/yıldan, 1430 m³/yıla düşmüştür. Dünya standartlarına göre bir ülkenin su zengini sayılabilmesi için kişi başına düşen su miktarının 8000-10000 m³/yıl olması gerektiği düşünüldüğünde ülkemizin su bakımından zengin olmadığı, su stresi çeken ülkeler arasında yer aldığı görülmektedir. Türkiye’de suyun %72’si tarım, %18’i evsel kullanımlarda ve %10’u endüstride kullanılmaktadır. Önümüzdeki 20 yılda tarım için kullanılan su miktarının %75 artması beklenmektedir. Hâlihazırda sulanan alanların %94’ünde açık kanal sistemleri, %6’lık kısım ise basınçlı sulama sistemleri bulunmaktadır. Bu sistemlerden geçen suyun düzenli ve güvenilir ölçümlerle kayıt altına alınması, su kullanımında verimliliği artırmak için gereklidir [1].

Açık kanal akımlarında, özellikle de doğal akarsularda kanal kesitinin düzensiz olması, taban pürüzlülüğünün ani değişiklikler göstermesi, akımın türbülanslı olması gibi etkenler Manning denklemi gibi ampirik ifadelerin kullanılmasında güçlükler oluşturarak hassas sonuçlar elde edilmesini engellemektedir. Akarsularda debi ölçümleri; doğrudan debi ölçümleri veya hız-alan ölçümüne dayanan yöntemler kullanılarak iki farklı şekilde yapılmaktadır. Doğrudan debi ölçüm yöntemlerinde debi, kolayca ölçülebilen bir veya iki değişken yardımıyla belirlenir. Doğrudan debi ölçüm yöntemlerinden bazıları; ağırlık ölçümü, manyetik akımölçerler, ventüri sa-

vakları şeklinde sıralanabilir. Hız-alan ölçüm yönteminde ise akarsuyun belirli bir kesitten geçen debi; ele alınan kesitteki ortalama hız ile kesit alanı çarpılarak belirlenir. Kesite ait ortalama hızın belirlenmesi için farklı alet ve metotlar kullanılmaktadır [2]. Bu aletlerden günümüzde en yaygın kullanılanları, pervaneli (muline) ve ultrasonic (ADV, ADCP) ölçüm cihazlarıdır. Yoğun emek ve zaman gerektiren bu yöntemde debinin belirlenmesi için kesit dilimlere ayrılarak her bir dilim için ortalama hız ve debi hesaplanır. Dilimler için hesaplanan debiler toplanarak kesitten birim zamanda geçen debi m³/s veya lt/s cinsinden belirlenir.

Literatürde hız alan yöntemi ile debi belirlenirken, en kesitin her bir dilimden toplam debinin %10’unu geçmeyecek şekilde bölünmesi gerektiği tavsiye edilmektedir [2]. Bu da enkesitin en az 10 dilime ayrılması ve her bir dilim için de ortalama hızın ölçülmesi demektir. ABD de 1950 li yıllarda o zamanın mekanik aletleri ile yapılan bu değerlendirmenin günümüzde daha hassas ve hızlı ölçüm yapabilen elektronik aletler ile ülkemizdeki nehirler için sorgulanmasına literatürde rastlanılmamıştır. Ele alınan düzeydeki ortalama hızın belirlenmesi için sığ sularda (derinliği 50-60cm yi geçmeyen) en az bir ölçüm (yüzeyin 0.6H derinliğinde), derin sularda ise iki ölçüm (yüzeyin 0.2H ve 0.8H derinliğinde yapılan ölçümlerin ortalaması) yapılması gerekmektedir. Bu hız ölçümleri ise yoğun emek ve zaman gereksinimi demektir. Sunulan çalışmada akarsu kesitinden geçen debinin belirlenmesi için enkesitte ele alınacak dilim sayısı optimize edilmiştir. Dilim sayısı ile kesit oranı T/H_{mak} arasındaki ilişki belirlenmiştir. Burada T:serbest su yüzü genişliği, H_{mak} ; kesit en derin su yüksekliğini göstermektedir. Ayrıca serbest su yüzü hızı (U_{sy}) yüzen cisim metoduyla ölçülerek, ortalama hız ile ilişkisi yine kesit oranına (T/H_{mak}) bağlı incelenmiştir.

$$Q = \sum_{i=1}^n q_i = \sum_{i=1}^n b_i H_i \bar{U}_i \quad (3)$$

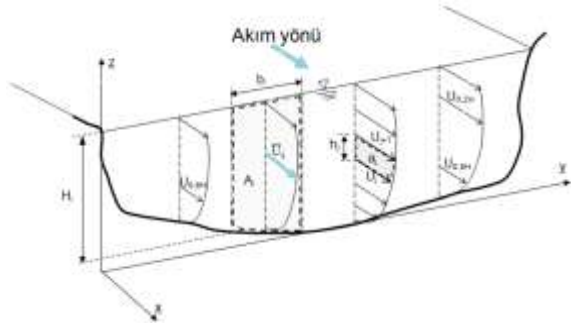
MATERYAL VE YÖNTEM

Hız Alan Yöntemiyle Debi Hesabı

Hız alan yöntemi ile debi belirlenirken, kanal enkesiti düşey dilimlere bölünür. Her bir dilime ait ortalama hız, $\bar{U}_i$, derinlik boyunca ölçülen hızlardan Şekil 1 den görüleceği üzere (1) ifadesi yardımı ile hesaplanabilir. Burada U_{j+1} ve U_j ele alınan düşeydeki ardışık hızlar, h_j bu iki hız ölçüm noktası arasındaki uzaklık, a_i ardışık iki hız eğrisi arasındaki alan, ve H_i ölçüm yapılan düşeye ait akım derinliğidir.

$$\bar{U}_i = \frac{\sum a_j}{H_i} = \frac{\sum \frac{(U_j + U_{j+1})}{2} h_j}{H_i} \quad (1)$$

Bu dilime ait debi (q_i); dilim genişliği (b_i), akım derinliği (H_i) ve dilime ait ortalama hız ($\bar{U}_i$) olmak üzere aşağıdaki gibi belirlenir.



Şekil 1. Akarsu enkesitinde ölçüm yapılan düşeylerde ortalama hızın hesabı

$$q_i = b_i H_i \bar{U}_i \quad (2)$$

Kanal enkesiti üzerinden geçen debi Q , tüm dilimlerden geçen debilerin, q_i , toplamından (3) ifadesi yardımı ile hesaplanabilir. Burada n , enkesitte belirlenen dilim sayısıdır.

Ele alınan düşeyde (1) ifadesi ile hesaplanan derinlik boyunca ölçülen hızların ortalamasının, su yüzeyinden $0.2H$ ve $0.8H$ derinliklerde ölçülen (Şekil 1) iki hızın ortalamasına yakınsadığı bilinmektedir. Ölçüm yapılan düşeyde belirlenen bu iki derinlikteki hızların ortalaması ile (2) ve (3) ifadeleri kullanılarak kanal enkesitinden geçen debi hesaplanabilmektedir. Literatürde bu yöntemin oldukça iyi sonuçlar verdiği bildirilmektedir [3]. Derinliği az olduğu sığ sularda ($H < 50-60$ cm) su yüzünden $0.6H$ derinlikte ölçülen hızın ele alınan düşeydeki ortalama hızı temsil etmekte ve yine (2) ve (3) ifadeleri kullanılarak kesitten geçen debi belirlenebilmektedir.

Akarsularda serbest su yüzü hızının belirlenmesi ortalama hıza göre çok daha kolaydır. Su yüzeyinde çok ağır olmayan ve yüzey hızı ile yaklaşık aynı hızda hareket edebilen yaprak, dal parçası vb. cisimlerin belirli bir mesafeyi ($10-15m$) alma süreleri (s_n) kolaylıkla belirlenebilir. Bu işlem $5-10$ kez tekrar edilerek yüzen cismin birim zamandaki kat ettiği yol yani serbest su yüzü hızı, U_{sy} , (m/s) ortalama alınarak hesaplanabilir. USGS tarafından bu amaçla yapılan çalışmalarda doğal akarsularda ortalama hız/su yüzü hızı ($\bar{U} / U_{sy}$) oranının $k = 0.85-0.86$, yapay kanallarda $k = 0.90$ olarak alınabileceğini vurgulamıştır [2]. Dolayısıyla kolaylıkla ölçülebilen serbest su yüzü hızı (U_{sy}) ile yine kolaylıkla belirlenebilen ıslak enkesit alanı (A) verilen bu düzeltme katsayıları ile çarpılarak akarsu enkesitinden geçen debi (4) formülü ile kolaylıkla hesaplanabilmektedir.

$$Q = k A U_{sy} \quad (4)$$

Literatürde doğal akarsularda, k =ortalama hız/su yüzü hızı ($= \bar{U} / U_{sy}$) oranı ülkemiz akarsuları için sorgulanmamıştır. Yine akarsularımızdaki k katsayısının akım derinliği, H , Kanal kesit oranı (T/H_{mak}), eğimi (S_{sy}), Froude sayısı (Fr) gibi akım

özelliklerini gösteren parametreler ile değişip değişmediği incelenmemiştir.

Arazi Ölçümleri

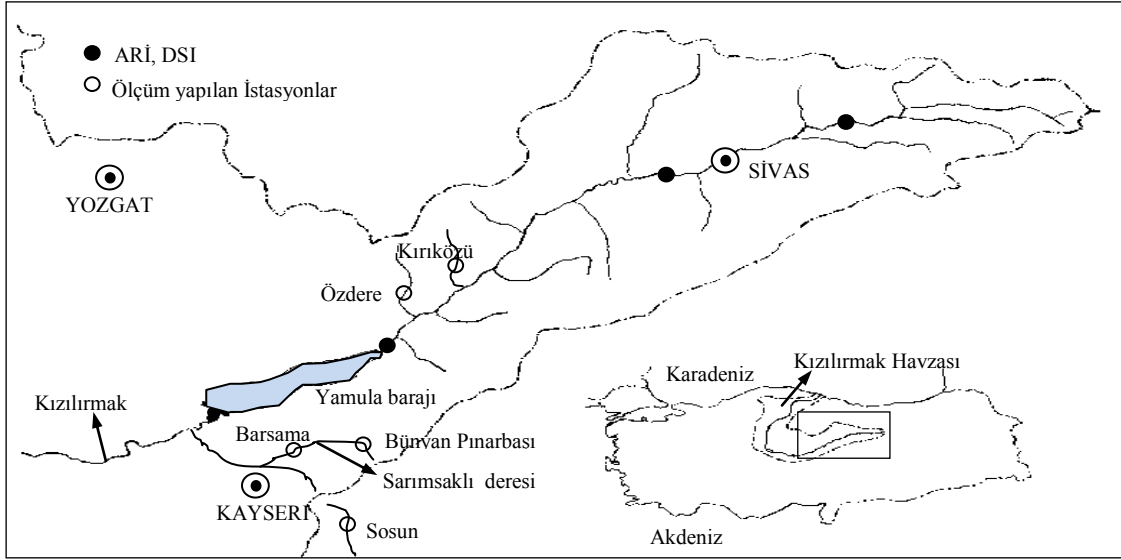
Akım ölçümleri Kayseri ili sınırları içerisinde Kızılırmak ve Seyhan Havzalarında, 4 farklı dere üzerinde 5 farklı istasyonda gerçekleştirilmiştir: Kızılırmak havzasında bulunan Sarımsaklı deresi üzerinde iki adet istasyonda (Bünyan Pınarbaşı ve Barsama istasyonları) ikişer farklı zamanda hız ölçümleri yapılmıştır (Şekil 3.) Yine Kızılırmak havzasında bulunan Özdere üzerindeki istasyonda iki ve taşlık deresi üzerinde bulunan Kırıközü istasyonunda iki farklı zamanda ölçümler gerçekleştirilmiştir. Seyhan havzası üzerinde, Kayseri'nin güney doğusunda bulunan Sosun deresi üzerindeki istasyonda da iki kez ölçüm yapılmıştır. Bu ölçümlere ait akım özellikleri Tablo 1 de sunulmuştur. Tabloda istasyonların ismi ve ölçüm yapıldığı tarihler verilmiştir. Tablodaki MDS; enkesit maksimum dilim sayısı, Q; maksimum dilim sayısı ile hesaplanan kesitten geçen debi, $\bar{U}(=Q/A)$; ortalama akım hızı ve A; kesit ıslak alanı, U_{sy} ; serbest su yüzü hızını T; kesitteki su yüzü genişliği, H_{mak} ; kesitteki maksimum su derinliği, S_{sy} ; su yüzü eğimi, $Re (=4\bar{U}R/\nu)$ Reynolds sayısı, buradaki R $(=A/P)$ hidrolik yarıçap, P ıslak çevre, ν ; kinematik viskozite, $Fr (= \bar{U}/\sqrt{gH_{mak}})$ Froude sayısı, g; yerçekimi ivmesini göstermektedir. Tablodan görüleceği üzere tüm ölçümlerde akım kritik altı – nehir rejiminde ve türbülanslıdır.

Ölçümlerde Sontek, USA, tarafından üretilmiş Flowtracker Handheld ADV (Acoustic Doppler Velocimeter) kullanılmıştır. Alet Ultrasonik ses dalgalarının yayılma prensibini açıklayan doppler prensibinden yararlanarak hız ölçmektedir. ADV cihazının, LCD ekranı, bilgi girişi ve cihazın kontrolünde kullanılan düğmelerin bulunduğu

kontrol ünitesi, veri aktarma bağlantısı ve 3 boyutlu ölçüm başlığı bulunmaktadır. Ölçüm başlığının 10 cm önündeki 6mm çap ve 10mm yüksekliğindeki silindir bir kontrol hacminin içerisindeki u_x , u_y ve u_z yi her bir saniyede ölçerek, 10sn ile 1000sn arasında istenilen zaman aralığında ortalamasını belirlemektedir. Burada u_x , u_y ve u_z ölçüm yapılan noktadaki sırasıyla; akım yönünde, yanal doğrultuda ve düşey doğrultulardaki hız bileşenleridir Şekil 1. Ölçüm hız aralığı $\pm 0.001-5m/s$ olup $\pm 1\%$ hassasiyette, tabii nehirlerde, sulama kanallarında, atık su kanallarında ve laboratuvarlarda ölçüm yapabilmektedir. Şekil 2 de ölçüm yapılan istasyonda ADV ile hız ve kesit geometrik özelliklerinin belirlenmesine ait örnek resim verilmiştir.



Şekil 2. Bünyan Pınarbaşı istasyonunda yapılan 2. ölçüme ait resim



Şekil 3. Ölçüm yapılan akarsular ve istasyon yerleri

Çizelge 1. Ölçüm yapılan istasyonlardaki akım özellikleri

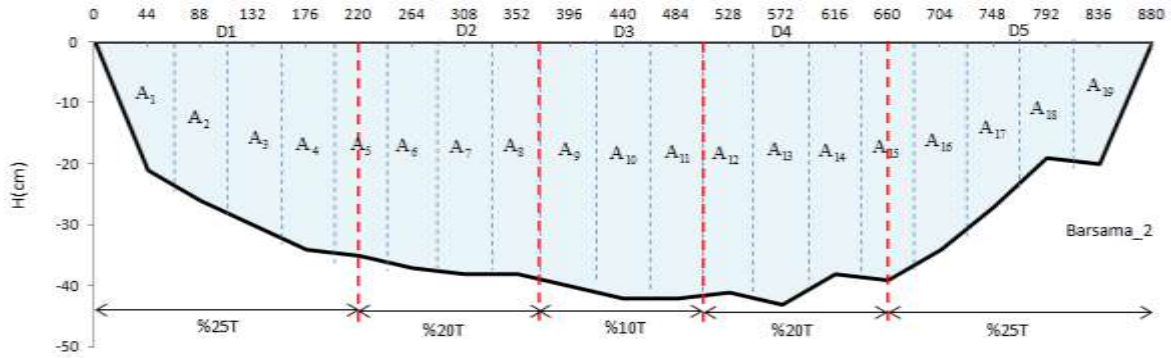
İstasyon	Tarih	MDS	Q	$\bar{U}$	U_{sy}	T	H_{mak}	S_{sy}	Re	Fr	$\bar{U} / U_{sy}$
-	gün/ay/yıl	-	m ³ /s	m/s	m/s	cm	cm	-	-	-	-
Bün. Pb_1	16.05.2010	15	0.978	0.344	0.611	400	86	0.0024	677137	0.384	0.563
Bün. Pb_2	20.06.2010	12	0.636	0.252	0.540	390	79	0.0010	466863	0.387	0.467
Barsama_1	24.03.2010	19	1.807	0.742	1.516	860	38	0.0146	728982	0.118	0.490
Barsama_2	18.04.2010	19	2.247	0.794	1.880	880	43	0.0122	883151	0.091	0.422
Özdere_1	25.04.2010	14	0.676	0.405	0.975	310	74	0.0093	575298	0.304	0.415
Özdere_2	23.05.2010	13	0.301	0.226	0.611	290	63	0.0087	317193	0.279	0.370
Kırıközü_1	25.04.2010	12	0.479	0.617	1.043	260	42	0.0078	567207	0.141	0.592
Kırıközü_2	23.05.2010	11	0.398	0.560	0.834	240	41	0.0085	506947	0.220	0.672
Sosun_1	24.03.2010	11	0.345	0.306	0.630	288	48	0.0026	404779	0.150	0.485
Sosun_2	18.04.2010	10	0.513	0.506	0.927	230	54	0.0074	745684	0.091	0.546

Ele alınan 5 istasyonda yapılan 10 farklı ölçümde, enkesit maksimum 10 ila 19 dilime bölünmüştür. Şekil 4 de Barsama_2 ölçümüne ait enkesitin 19 dilime bölünmüş şekli ve hız ölçümü yapılan düşeyler gösterilmiştir. Her bir dilimdeki ortalama hızlar düşeyin

0,2H–0,8H'ında yapılan noktasal hızların ortalaması alınarak hesaplanmıştır. Her bir düşeyde belirlenen bu ortalama hızlar ile (2) ifadesi yardımı ile belirlenen dilim debileri ve yine (3) ifadesi ile hesaplanan kesitten geçen debiler (Q) Tablo 1 de verilmiştir.

Tablo 1 de yine belirlenen bu debiler yardımı ile hesaplanan kesit ortalama hızları

$\bar{U} (= Q/A)$, verilmiştir.



Şekil 4. Barsama_2 ölçümüne ait enkesitin dilimlere bölünme şekli

Su yüzü hızının belirlenebilmesi amacıyla suyla aynı hızda hareket eden yüzen dal parçacıklarının ölçüm kesitinin 5m memba ve 5m mansap tarafından toplamda 10m mesafeyi kat edebilmesi için geçen süreler kronometre ile belirlenmiştir. Bu işlem her ölçümde 10 ar kez tekrarlanarak ortalama su yüzü hızları U_{sy} belirlenmiş ve Tablo 1 de verilmiştir.

edildiği üzere hesaplanmıştır. Enkesitin bir dilime düşürülmesi durumunda kesit ortasındaki düşeyde yapılan hız ölçümleri ile $(0,2H-0,8H)$ daki belirlenen ortalama hız kesit alanı ile çarpılarak Q_{hes} debisi belirlenmiştir. Burada dikkate alınan A kesit alanı en büyük dilimde belirlenen kesit alanıdır.

$$Hata = \frac{Q_{ger} - Q_{hes}}{Q_{ger}} 100 \quad (5)$$

BULGULAR

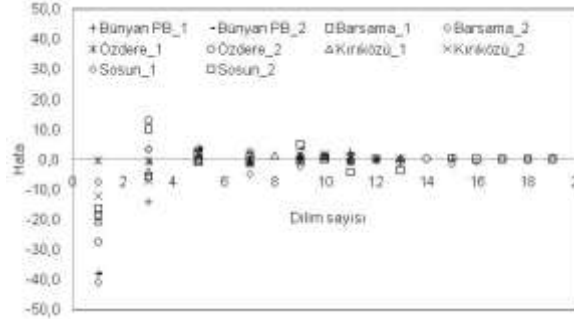
Debi-dilim sayısı ilişkisi

Literatürde debi hesabında gerçek debi (Q_{ger}) ile ele alınan yöntem sonucu belirlenen debi (Q_{hes}) arasındaki fark %5 e kadar olması durumunda yöntem uygulanabilir kabul edilmektedir [4]. Ele alınan kesitlerde her bir ölçümdeki dilim sayıları dolayısıyla düşeylerde yapılan hız ölçümleri azaltılarak debi dilim sayısı ilişkisi incelenmiştir. Maksimum dilim sayıları ile hesaplanan debi (Q_{ger}) ve azaltılmış dilimler yardımı ile hesaplanan debiler (Q_{hes}) arasındaki rölatif farklar belirlenmiştir. Aşağıdaki (5) formülü yardımı ile hesaplanan bu farklar ele alınan tüm ölçümler ve farklı dilim sayıları için Tablo 2 de verilmiştir. Barsama istasyonunda yapılan iki ölçümde de enkesit 19 dilime bölünerek en doğru-gerçekçi (Q_{ger}) debi bu değer kabul edilmiştir. Dilim sayıları kenarlardan itibaren Tablo 2 de görüleceği üzere azaltılarak her bir dilimdeki (Q_{hes}) debileri yukarıda izah

Tablodan görüleceği üzere dilim sayısı azaldıkça genellikle hesaplanan hata oranları artmaktadır. Ele alınan 5 farklı istasyondaki 10 ölçüme ait bu hata oranları, enkesitin 5 dilime bölünmesi durumunda (yani 5 düşeyde hız ölçümü yapılması hali) %5 den küçük olmaktadır. Dolayısıyla debi hesabında enkesitin 10 dilime bölünmesi ve bu dilimlere ait ortalama hızların belirlenmesi fazladan en az %50 emek ve zamanın kaybı anlamına gelmektedir. Kanal enkesiti dilimlere bölünürken, kanal ortasındaki düşey esas alınarak Şekil 4 de gösterildiği üzere, ortada %10 luk dilim, sağ ve sola sahillerde de sırasıyla %20 ve %25 lik dilimlerin dikkate alınması uygun olacaktır.

Kesit alanları belirlenirken ölçüm yapılan 5 düşey ve buna bağlı 5 dilimde derinlik ölçümü yapılarak enkesit alanının belirlenmesi yeterli olmamaktadır. Dolayısıyla hız ölçümlerine başlanmadan önce enkesit alanının mümkün olduğunca hassas (bu çalışmada en az 10 düşeyde derinlik ölçülmüştür) olarak

Şekil 5 de ölçüm yapılan istasyonlardaki debi hesabında kullanılan dilim sayıları ile (5) formülü yardımı ile hesaplanan hata oranları grafik olarak verilmiştir. Grafikten de anlaşılacağı üzere 10 farklı akım durumunda enkesitin 5 dilime bölünmesi halinde farklar %5 den küçük olmaktadır.



Şekil 5. Ele alınan ölçümler için dilim sayısı hata dağılımı

Su yüzü hızı-ortalama hız ilişkisi

Bölüm 3 de bahsedildiği üzere 10 farklı akım durumunda su yüzü hızları akım ile beraber hareket eden küçük dal parçacıklarının 10m mesafeyi alması için gereken sürelerin belirlenmesi ile hesaplanmıştır. Her bir kesit ve akım durumunda bu işlem 10 ar kez yapılarak ortalama değerler (U_{sy}) Tablo 1 de verilmiştir. Tabloda ortalama hız/su yüzü hız oranları da ($\bar{U}/U_{sy}$) son sütunda verilmiştir. Bu değerler incelendiğinde istasyonlardaki ortalamalar sırasıyla 0.51, 0.46, 0.39, 0.63 ve 0.52 olmakta, tüm istasyonlar için ise ortalama değer $k=0.50$ olmaktadır. Hesaplanan bu değerlerin literatürdeki 0.85–0.90 değerlerine göre küçük olduğu görülmektedir. Hesaplanan k oranlarının; derinlik (H_{mak}), eğim (S_{sy}), kesit oranı (T/H_{mak}) ve Froude sayısı (Fr) gibi akım özellikleri ile bir ilişkisine rastlanmamıştır.

SONUÇ

Akarsularda debinin belirlenmesi amacıyla doğru sonuçlar veren ve sıklıkla başvurulmuş hız alan yöntemleri yoğun emek ve zaman istemektedir. Bu çalışmada debinin belirlenmesinde daha az emek ve zaman kaybının azaltılması için ölçümlerdeki dilim sayısı sorgulanmıştır. Dört farklı akarsu üzerinde, beş farklı istasyonda, değişik zamanlarda gerçekleştirilen on ölçüm için ideal dilim sayısı ve hız ölçümü yapılacak düşey sayısı beş olarak belirlenmiştir. Dilimler belirlenirken akarsu orta kesitindeki su yüzü genişliğinin %10 luk bölümü bir dilim, sağ ve sol sahillerde aynı oranda olmak üzere ise sırasıyla %20 ve %25 lik iki şer dilimin kullanılmasının uygun olacağı görülmüştür. Tüm akım durumlarında yüzen cisim yöntemi ile su yüzü hızları belirlenerek, ortalama hız/su yüzü hız oranları ($k=\bar{U}/U_{sy}$) hesaplanmış ve ortalama değer 0.50 olarak hesaplanmıştır. Bu değer literatürde belirtilen 0.85–0.90 değerinin altında olduğu görülmüştür.

TEŞEKKÜR

Bu Çalışma Erciyes Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinasyon Birimi tarafından FBA-09-793 kodlu ve “Doğal akarsularda akım özelliklerinin entropi yöntemi ile belirlenmesi” başlıklı proje kapsamında desteklenmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] Uzunlu V., Türkiyede Sulama Politikaları ve Tarımda Suyun Kullanılması, 2003, Suyumuzun Geleceği ve Türkiye Su Politikaları Paneli, Su Vakfı, İstanbul.
- [2] Rantz SE. 1982a-b. Measurement and Computation of Streamflow, Vol. 1-2, Measurement of Stage and Discharge. Geological Survey Water-Supply Paper 2175, U.S. GPO, Washington, DC.
- [3] Ardıçlıoğlu, M., Ozdin S. Gemici E. Kalin L., “Determination of Flow Properties in Shallow Flow River”, Dryland Hydrology: Global Changes and Local Solution, Arizona Hydrological Society Symposium, 1-4 September 2010, Tucson, AZ, USA.
- [4] Sauer, V. B. and Meyer, R. W., 1992: Determination of error individual discharge measurements, U.S. Geol. Surv. Open-File Rpt., 92-14.