



Akarsularda Hız Dağılımının Modellenmesi ve ADV Ölçümleri

Mehmet ARDIÇLIOĞLU¹

Serkan ÖZDİN¹

Ercan GEMİCİ¹

¹Erciyes Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İnşaat Müh. Böl., KAYSERİ

*Sorumlu Yazar
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 gözlemlenmiştir.

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

GİRİŞ

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. Problemin pratikteki öneminden dolayı birçok teorik [12, 18] ve deneysel [1, 10, 11] 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 [16].

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.

AÇIK KANAL AKIMLARINDAKİ HIZ DENKLEMLERİ

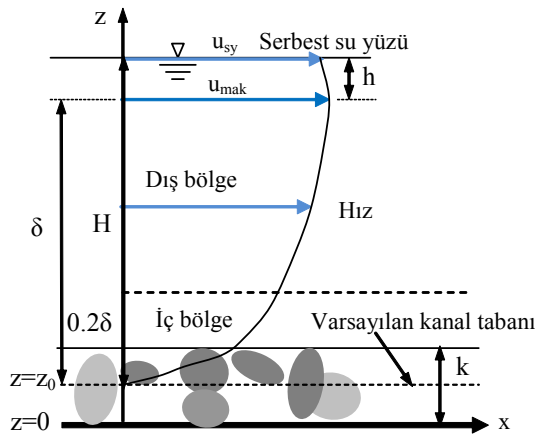
Doğal akarsularda hız dağılımının belirlenmesi için çeşitli yarı-ampirik modeller bulunmaktadır. Geniş kullanıma sahip olanların bazıları aşağıda verilmiştir.

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, $c=0.40$; 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 [15]. Bu sabit kullanılarak (1) nolu denklem aşağıdaki gibi düzenlenebilir.



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

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

Nezu ve Nakagava [14] logaritmik dağılımın duvar etkisinde kalan bölgelerde geçersiz olduğunu ileri sürmüşler ve hız dağılımında dış bölgedeki sapmanın Coles'un [8] 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.

Üstel dağılım

Üstel dağılım açık kanal akımlarında düşey hız dağılımının modellenmesinde alternatif bir dağılımdır. Chen [5] 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. [9], 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.

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 [7] 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 [6] iki boyutlu hız dağılımını şu şekilde elde etmiştir;

$$u = \frac{u_{mak}}{M} \ln \left[1 + (e^M - 1) \frac{\hat{r} - \hat{r}_0}{\hat{r}_{mak} - \hat{r}_0} \right] \quad (4)$$

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 x z 'nin fonksiyonu olarak (5) nolu denklemde verildiği gibi tanımlanmıştır [7];

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

(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.

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

(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.

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

Moramarco ve ark. [13], 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.

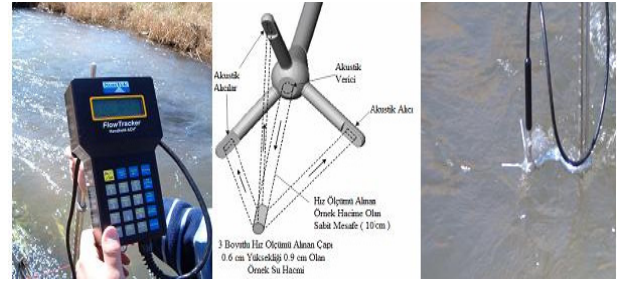
Ardıçlioğlu ve ark. [3], laboratuvar kanalında yaptıkları deneysel çalışmalar ile pürüzlü yüzeylerde logaritmik ve entropi dağılımlarının geçerli olduğu bölgeleri incelemişlerdir. Coles'un kuyruk fonksiyonu eklenmiş logaritmik dağılımın derinlik boyunca hız dağılımını oldukça iyi temsil ettiğini belirtmişlerdir. Pürüzlü yüzeylerde entropi parametresi M için yeni bir yaklaşım önermişlerdir. Ardiçlioğlu ve ark. [3-4] 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.

ARAZİ ÖLÇÜMLERİ

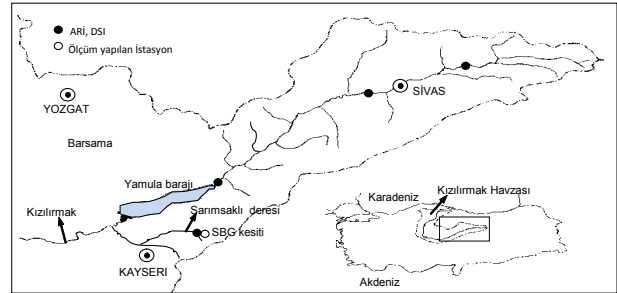
Acoustic Doppler Velocimeters (ADV) akım özelliklerinin belirlenmesi amacıyla son yıllarda yaygın olarak ticari ve bilimsel araştırma amaçlı kullanılmaktadır. ADV ile 2 veya 3 boyutlu noktasal hız ölçümleri, debi hesabı, türbülans hızları ve akıdaki sediment miktarının belirlenmesi yapılabilmektedir. 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 dalganın frekansının ölçülmesi ile bu taneciklerin dolayısıyla akışkanın hızı ölçülebilmektedir. Ölçüm başlığının 10cm önündeki 6mm çap ve 9mm yüksekliğindeki silindirik 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 $\pm 0.001\text{m/s} - 5\text{ m/s}$ olup, $\pm 1\%$ hassasiyette nehirlerde, sulama kanallarında, atık su kanallarında ve laboratuvarlarda kullanılabilir.

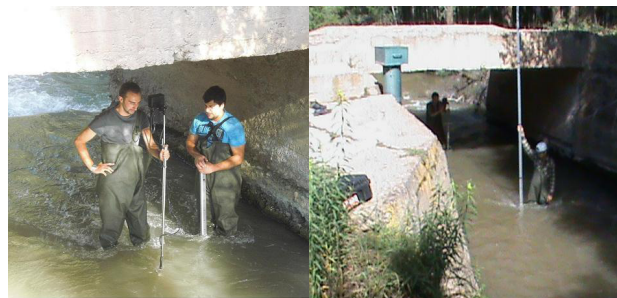
Çalışma alanı Orta Kızılıрмаğın Havzasında, Kayseri ili sınırları içerisinde ve Kızılıрмаğın nehrinin yan kollarından olan Sarımsaklı deresi üzerinde yer almaktadır Şekil 3. Sarımsaklı Baraj girişinin hemen memba tarafında bulunan istasyon halen DSİ tarafından Akım Rasat İstasyonu (ARI) olarak kullanılmaktadır. 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, $Re (=4U_m R/\nu)$; Reynolds sayısı olup burada ν ; dinamik viskozitedir, $Fr (=U_m/(gH_{\text{mak}})^{1/2})$; Froude sayısı olup burada g ; yerçekimi ivmesidir. Tablodan görüleceği üzere yapılan ölçümlerde kanaldaki akım türbülanslı kritik altı-nehir rejimindedir.



Şekil 2. ADV cihazı kontrol ünitesi ve ölçüm başlığı



Şekil 3. Ölçüm yapılan akarsu ve istasyon'un yeri



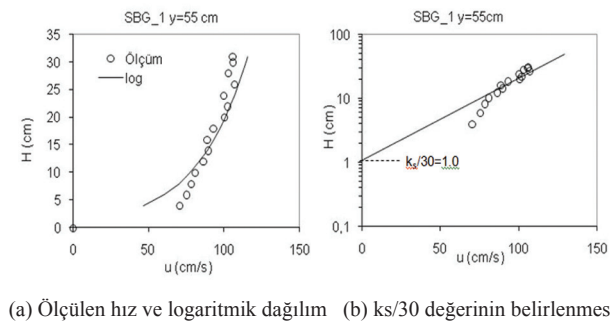
Şekil 4. Kesitte yapılan hız ve topoğrafik ölçümler

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

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

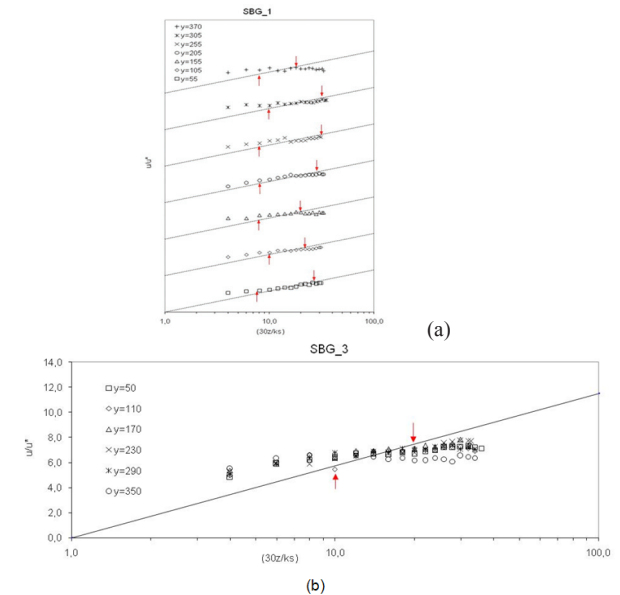
	y/T	0.13	0.25	0.37	0.49	0.61	0.73	0.88
SBG_1	u _* (cm/s)	13.50	14.50	15.00	16.00	17.00	17.00	15.00
	δ/H=	0.84	1.00	0.91	0.91	0.97	0.91	0.73
	(z/δ) _{min}	0.31	0.26	0.20	0.27	0.27	0.31	0.33
	(z/δ) _{mak}	0.92	0.65	0.40	0.93	0.93	0.94	0.75
SBG_2	y/T	0.14	0.30	0.44	0.58	0.72	0.86	
	u _* (cm/s)	14.00	14.00	14.00	15.00	16.00	14.00	
	δ/H=	1.00	0.94	0.97	0.39	0.44	0.38	
	(z/δ) _{min}	0.31	0.27	0.27	0.27	0.43	0.50	
	(z/δ) _{mak}	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	
	δ/H=	0.83	0.88	0.91	0.91	0.82	0.29	
	(z/δ) _{min}	0.33	0.33	0.27	0.27	0.36	0.36	
	(z/δ) _{mak}	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			
	δ/H=	1.00	0.67	0.49	0.65			
	(z/δ) _{min}	0.32	0.38	0.40	0.46			
	(z/δ) _{mak}	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		
	δ/H=	0.75	0.86	0.67	0.63	0.61		
	(z/δ) _{min}	0.50	0.40	0.42	0.45	0.50		
	(z/δ) _{mak}	1.00	0.67	0.83	1.00	1.00		

**Şekil 5.** SBG_1 ölçümünde ks/30 ve u* değerlerinin belirlenmesi

ÖLÇÜMLERİN DEĞERLENDİRMESİ

Sümer (2004), ele alınan düzeyde 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. $k_s/30$ değer 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 konumda 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.

**Şekil 6.** SBG İstasyonunda boyutsuz hız dağılımına ait iki örnek

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.

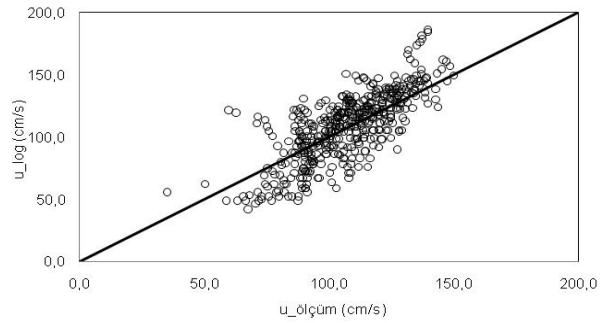
Şekil 7(a) da ölçülen akım hızları ve logaritmik dağılım ile hesaplanan hızları arasındaki ilişki verilmiştir. Şekilden de görüleceği üzere logaritmik dağılım modeli ölçülen hızlara göre bazen yüksek bazen de düşük kalmaktadır. Özellikle kanal tabanına yakın yerlerde logaritmik dağılım düşük sonuçlar vermektedir. Serbest yüzey yakınlarında ise hesaplanan değerler ölçümlerden yüksek olmaktadır. Ölçülen ve hesaplanan hızlar arasındaki mutlak fark $\varepsilon(\%) = \left(\frac{|u_o - u_h|}{u_o} \right) * 100$ 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. Yukarıda 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 hesaplanan 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.

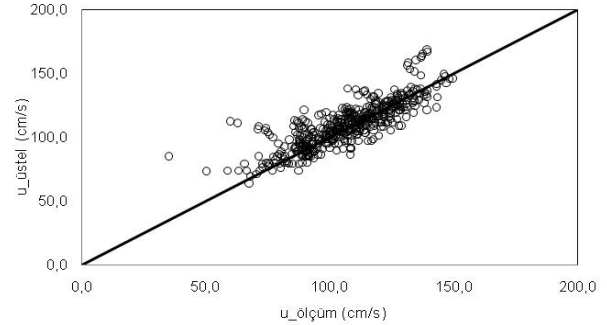
(6) nolu denklem ile verilen entropi tabanlı hız dağılım modeli, ele alınan kesitteki tüm akım durumları ve düşeyler için hesaplanmıştır. Bu amaçla SBG istasyonu için entropi parametresi, M , belirlenmiştir.

5 ölçüm durumunda hesaplanan ve Tablo 1 de verilen kesit ortalama hızları (U_m) ve maksimum hızlar (u_{\max}) 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 ölçümü ve belirlenmesi çok daha kolay olabilmektedir.

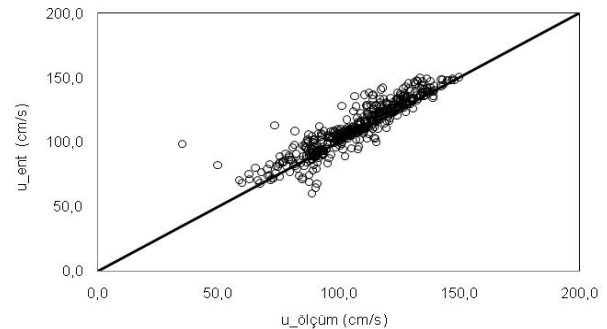
SBG istasyonunda 5 farklı zamanda yapılan hız ölçümleri ile ele alınan üç farklı hız dağılım modeli ile hesaplanan hızlar arasındaki ortalama mutlak hatalar hesaplanarak Şekil 7 de gösterilmiştir. Şekilden de görüleceği üzere tüm ölçüm durumlarında logaritmik



(a) Ölçülen ve logaritmik dağılımla hesaplan hızlar



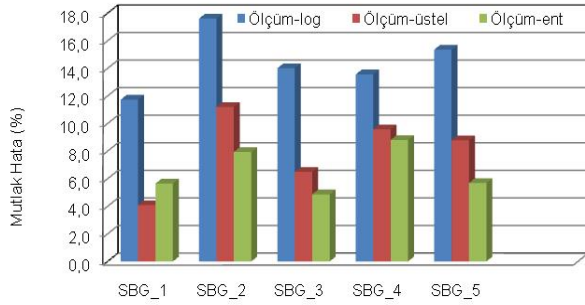
(b) Ölçülen ve üstel dağılımla hesaplan hızlar



(c) Ölçülen ve entropi dağılımı ile hesaplan hızlar

Şekil 7. Ölçülen ve 3 farklı yöntemle hesaplanan hızların ilişkisi

dağılımdaki hatalar yüksek olmakta ve 5 farklı ölçüm için bu hatalar %11.7 ile %17.6 arasında değişmektedir. Üstel dağılımdaki hata oranları %4.1 ile 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 anlaşılacağı üzere entropi modeli doğal akarsulardaki hız dağılımını temsil etmede klasik dağılımlara göre daha iyi sonuç vermektedir.



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

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 baş vurulduğunda ölçülen değerlerin oldukça iyi temsil edildiği, ölçülen ve hesaplanan değerler arasındaki ortalama mutlak hatanın %6.6 olduğu belirlenmiştir.

KAYNAKLAR

- [1] 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.
- [2] Ardiçhoğlu 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.
- [3] Ardiçhoğlu M. Genç O. Girayhan, A. & Kırkgöz M.S. 2008. ADV Measurements of velocity distributions in natural rivers, International Conference on Fluvial Hydraulics, Çeşme, İzmir.
- [4] Ardiçhoğlu M. Bilgin H. Genç O. & Agralioglu 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.
- [5] Chen C.L. 1991. Unified theory on power laws for flow resistance, J. Hydraulic Engrg., ASCE, Vol. 117(3), 371-389.
- [6] Chiu C. L. 1989. Velocity distribution in open channel flow, J. Hydraulic Engrg., ASCE, 115(5), 576-594.
- [7] Chiu C. L. & Said C.A. 1995. Modeling of maximum velocity in open-channel flow, J. Hydraulic Engrg., ASCE, 121(1), 26-35.
- [8] Coles D. 1956. The law of the wake in the turbulent boundary layer, J. of Fluid Mechanics, 1, 191-226.
- [9] 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.
- [10] Ferro V. 2003. ADV Measurements of velocity distributions in a gravel bed flume, Earth Surface and Landforms, 28, 707-722.
- [11] Kırkgöz M.S. 1989. Turbulent velocity profiles for smooth and rough open channel flow, J. Hydraulic Engrg., ASCE, 115(11), 1543-1561.
- [12] 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.
- [13] 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.
- [14] Nezu I. & Nakagawa H. 1993. Turbulence in open-channel flows, Netherlands, Balkema Publishers, Rotterdam.
- [15] Song T. and Graf W.H. 1996. Velocity and turbulence distribution in unsteady open channel flows, J. of Hydraulic Eng., 122(3), 141-154.
- [16] Schlichting H. Boundary-layer theory. New York: McGraw-Hill, 1955. 535 p.
- [17] Sumer B. M. 2004. Lecture Notes on Turbulence, Technical University of Denmark, 2800 Lyngby, Denmark.
- [18] Vedula S. & Achanta R.R. 1985. Bed shear from velocity profiles: A new approach, J. Hydraulic Engrg., ASCE, 111(1), 131-143.