

TEKNİK NOT/TECHNICAL NOTE

TAŞKIN YATAKLI KESİTLERDE HIZ DAĞILIMININ DENEYSEL İRDELENMESİ

Galip SEÇKİN^{1,2}, Neslihan (Onal) SEÇKİN¹

ÖZ

Kompozit kesite sahip yataklarda enkesit düzeyinde ve yatay doğrultuda hız dağılımını incelemek amacıyla bir dizi deney yapılmıştır. Deneyler nehir rejiminde yapılmış olup Froude sayısı (Fr) 0.64 ve 0.76 arasında, derinlik oranı (Dr) ise 0.16 ve 0.48 arasında değişmiştir. Deneysel veriler kullanılarak maksimum hız (u_m) ve ortalama kesit hızı (U_v) ilişkisi irdelenmiş ve boyutsuz hız oranı $c = 0.7628$ ve entropy parametresi $M = 1.311$ olarak bulunmuştur. Enerji ve momentum düzeltme katsayıları (α ve β) herbir deney durumu için hesaplanarak derinlik oranı Dr ile ilişkisi irdelenmiştir. Ayrıca literatürde boru akımı ve açık kanal akımında hız dağılımının hesabı için geliştirilen modellerin bileşik kesitli yatak akımı için geçerliliği araştırılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Taşkın yataklı kesit, Hız dağılımı, Maksimum hız, Entropy parametresi.

AN EXPERIMENTAL INVESTIGATION OF VELOCITY DISTRIBUTION IN COMPOUND CHANNELS

ABSTRACT

A series of experiments was conducted to investigate vertical and lateral velocity distribution in compound channels. Experiments were carried out for subcritical flow conditions. Froude number (Fr) was varied between 0.64 and 0.76. Depth ratio (Dr) was varied between 0.16 and 0.48. The relationship between maximum local velocity (u_m) and cross-sectional mean velocity (U_v) was examined using the experimental data and it was determined that nondimensional velocity ratio (c) was equal to 0.7628 and entropy parameter (M) 1.311. Energy and momentum correction coefficients, α and β , were computed for each experimental condition, and the relationship between those coefficients and Dr was investigated. In addition, the validity and accuracy of common used laws in literature for computing velocity distribution in pipe and open channel flow was investigated for compound channels.

Key Words: Compound channel cross-section, Velocity distribution, Maximum velocity, Entropy parameter.

1. GİRİŞ

Hidrolik cilalı yüzeye sahip açık kanallarda ve borularda düşey doğrultudaki hız dağılımı türbülanslı akım için aşağıdaki eşitlikle verilmektedir (Chow, 1959):

$$\frac{u}{u_*} = C_1 \ln \left(\frac{u_* z}{\nu} \right) + C_2 \quad (1)$$

$$u_* = \sqrt{\frac{\tau_0}{\rho}} \quad (2)$$

Burada: u , yatak enkesitinin düşey doğrultusundaki noktasal hız, u_* , kayma gerilmesi hızı, ν , kinematik viskozite, z , yatak enkesitinde noktasal hızın ölçüldüğü düşey mesafe, ve C_1 ve C_2 sabit katsayılarıdır.

Yukarıdaki eşitlik "Prandtl-Von Karman Universal velocity-distribution law (logaritmik hız dağılımı prensibi)" olarak bilinmektedir. Logaritmik hız dağılımı prensibindeki C_1 ve C_2 sabit katsayılarının tesbiti için birçok araştırmacı çalışmalar yapmışlardır: Nikuradse (1933), Clauser (1954), Townsend (1976), Pao (1961),

¹ Çukurova Üniversitesi, Müh. Mim. Fak. İnş. Müh. Böl., 01330 Balçalı/ADANA.

² E-posta: gseckin@mail.cu.edu.tr.

Patel (1965), Rotta (1968), Clark (1962), Steffler vd. (1985), Nezu ve Rodi (1986), Kırkgöz (1989), Ardıçlıoğlu (1994).

Açık kanallarda düşey doğrultudaki hız dağılımının yanında maksimum hızın (u_m) yerinin tesbiti ve ortalama kesitsel hız (U_v) ile ilişkisinin bilinmesi de hidrolik problemleri açısından önem arz etmektedir. Bir açık kanal veya akarsu enkesitindeki maksimum hızın olduğu yer, kesit şekline ve kesit şeklinin oluşturduğu ikincil akımın yapısına bağlıdır. Boru akımında U_v ve u_m arasındaki ilişki aşağıdaki eşitlikle verilmektedir (Streeter ve Wylie, 1979):

$$\frac{U_v}{u_m} = c \quad (3)$$

Burada c boyutsuz hız sabiti olup, boru akımı için 0.8167 değerine eşittir. Prandtl (1934) boru akımında düşey hız dağılımı için aşağıdaki bağıntıyı vermiştir:

$$\frac{u}{u_m} = \left(\frac{z}{r_0}\right)^{1/7} \quad (4)$$

Burada; u , yatak enkesitinin düşey doğrultusunda ki noktasal hızı, z , yatak enkesitinde noktasal hızın ölçüldüğü düşey mesafeyi ve r_0 boru yarıçapını temsil etmektedir. Açık kanal akımında r_0 yerine su derinliği (H) kullanılmaktadır.

Chiu (1988 ve 1989), Chiu ve Murray (1992), Chiu vd. (1993), Chiu ve Said (1994 ve 1995) hem boru akımında hem de açık kanal akımında hız dağılımı üzerinde çalışarak, boyutsuz hız sabitinin hesabı için aşağıdaki bağıntıyı vermişlerdir:

$$\frac{U_v}{u_m} = \frac{eM}{eM_1 M} \cong \frac{1}{M} = c \quad (5)$$

Burada; M , entropy parametresini temsil etmektedir ve 1.2244 değerine eşittir.

Yukarıdaki eşitlik Xia (1997) tarafından Mississippi Nehri için ve Sterling (1997) tarafından boru akımı için yeniden irdelenmiştir. Xia (1997) ve Sterling (1997) U_v ve u_m arasında lineer bir ilişki olduğunu teyit etmişlerdir.

Açık kanal enkesiti üzerinde yatay olarak ölçülen noktasal hızların, tüm enkesit boyunca sabit olmamasından dolayı, enerji ve momentum hesaplarında, hız düzeltme katsayılarına ihtiyaç duyulmaktadır. Akımın sadece ana yatakta seyretmesi durumunda enerji düzeltme katsayısı α_s ve momentum düzeltme katsayısı β_s aşağıdaki eşitliklerle hesaplanmaktadır:

$$\alpha_s = 1 + 3\varepsilon^2 - 2\varepsilon^3 \quad (6)$$

ve

$$\beta_s = 1 + \varepsilon^2 \quad (7)$$

(6) ve (7) eşitliklerindeki ε terimi (8) bağıntısıyla hesaplanmaktadır:

$$\varepsilon = \frac{u_m}{U_v} - 1 \quad (8)$$

Akımın hem ana yatak hem de taşkın yatağında seyretmesi durumunda ise, bileşik yatak kesiti için (ana yatak ve taşkın yatakları), enerji düzeltme katsayısı, α_c , ve momentum düzeltme katsayısı, β_c , sırasıyla (9) ve (10) bağıntılarıyla hesaplanmaktadır:

$$\alpha_c = \frac{1}{\frac{\sum_{1}^N (\alpha_{sN} K_N^3 / \Delta A_N^2)}{\left(\sum_{1}^N K_N\right)^3 / A^2}} \quad (9)$$

$$\beta_c = \frac{1}{\frac{\sum_{1}^N (\beta_{sN} K_N^2 / \Delta A_N)}{\left(\sum_{1}^N K_N\right)^2 / A}} \quad (10)$$

Burada; N , alt kesit numaralarını (ana yatak ve sağ ve sol taşkın yatakları), K , konveyansı, ΔA , alt kesit alanını, A , toplam bileşik kesit alanını temsil etmektedir.

Bu çalışma bileşik kesitli bir yatakta yanal ve düşey doğrultudaki hız dağılımını incelemek amacıyla 8 farklı kritikaltı akım (nehir rejimi) durumu için yapılmıştır. Deneyle derinlik oranı, D_r , 0.16 ve 0.48 arasında, Froude sayısı ise, 0.6 ve 0.76 arasında değişmiştir. Yatak kesiti üzerinde her bir akım durumu için ortalama hız ve maksimum hız ve bunlar arasındaki ilişki irdelenmektedir. Herbir akım durumu için hız dağılımı prensipleri incelenmiş ve daha önceki çalışmalarla karşılaştırılmıştır.

2. SEMBOLLER

A : Toplam bileşik enkesit alanı

c : Boyutsuz hız oranı

D_r : Derinlik oranı

h : Ana yatak derinliği

H : Toplam derinlik

K : Konveyans

M : Entropi parametresi

Q : Debi

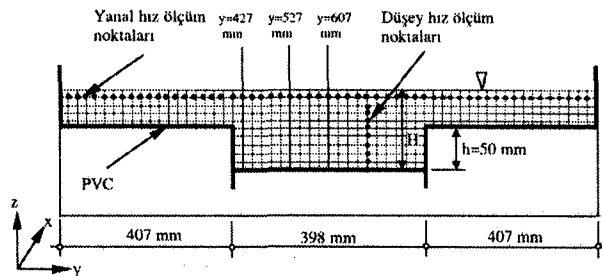
r_0 : Boru yarıçapı

u : Nokta hızı

- u_* : Kayma hızı
 u_m : Maksimum nokta hızı
 U_v : Kesitsel ortalama hız
 ν : Kinematik viskozite
 α : Enerji düzeltme katsayısı
 β : Momentum düzeltme katsayısı
 τ_0 : Cidar kayma gerilmesi
 r : Yoğunluk
 ΔA : Alt kesit alanı

3. DENEY DÜZENEGİ VE YÖNTEM

Deney düzeneği, 18000 mm uzunluğunda 407 mm genişliğinde taşkın yatakları ve 398 mm genişliğe sahip ana yataklardan oluşan kompozit kesitli bir düzendir. Yatak taban eğimi 2×10^{-3} tür. Hem ana yatak hem de taşkın yatakları hidrolik cilalı yüzeye sahip PVC malzemedir yapılmıştır. Üniform su yüzü profilleri 8 farklı deney durumu için seviye ölçerlerle ölçülmüştür. Debiler elektromanyetik akım ölçer ve venturimetreler yardımıyla ölçülmüştür. Hız ölçümleri mini bir muline yardımıyla yapılmıştır. Şekil 1'de görüldüğü gibi hız ölçümleri y doğrultusunda 20 mm aralıklarla, z doğrultusunda ise 10 mm aralıklarla tüm kompozit enkesit üzerinde ölçülmüştür. Kesitsel ortalama hız ölçümleri ise hem ana yatakta hem de taşkın yataklarında, yatak tabanından itibaren su derinliğinin 0.4 katı yükseklikte yapılmıştır. Hidrolik cilalı yüzey üzerindeki cidar kayma gerilmeleri ise 4.75 mm çaplı Preston tübüyle (Patel 1965 ve Preston 1954) ana yatak ve taşkın yatakları tabanında 20 mm aralıklarla, yatak yan duvarlarında ise 10 mm aralıklarla ölçülmüştür. Bütün deneyler nehir rejiminde gerçekleştirilmiştir. Kesitsel ortalama hız ölçümleri kullanılarak elde edilen ve ana yatak ve taşkın yatakları tarafından taşınan debiler ve bunların oranları Atabay vd. (2001) tarafından detaylı bir şekilde verilmektedir.



Şekil 1. Deney Düzeneği Üzerinde Noktasal Hız Ölçümünün Yapıldığı Aralıkların Şematik Gösterimi.

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Taşkın yataklı deney düzeneği enkesiti üzerinde y ve z doğrultusunda ölçülen nokta hızlara ait eş hız eğrileri Şekil 2a-h'ta görülmektedir. 8 farklı deney durumu için maksimum hızın y ve z yönleri üzerindeki yeri ise Şekil 3'te verilmektedir. Şekil 3'te de görüleceği üzere z yönünde maksimum hız her zaman ana yatak orta düşeyinde oluşmamaktadır. Knight ve Shiono (1996) ve Mohammadi (1998) benzer durumu trapez kesitli yataklarda da gözlemlenmişler ve bu durumu ikincil akım hücrelerinin yapısına bağlamışlardır. Benzer durum y doğrultusu için de geçerlidir. Mohammadi (1998) Froude sayısı küçüldükçe z yönündeki maksimum hızın oluştuğu derinliğin su yüzü seviyesine yaklaştığını söylemiştir.

Deney düzeneği enkesiti üzerinde, 8 farklı kritikaltı akım durumu için, yanal ve düşey doğrultudaki hız ölçümlerinden elde edilen kesitsel ortalama hız (U_v) ve maksimum hız (u_m) arasındaki ilişki Şekil 4'te görülmektedir.

Şekil 4'te de görüldüğü gibi ortalama hız (U_v) ve maksimum hız (u_m) arasında lineer bir ilişki sözkonusudur. Bu ilişki (10) eşitliğiyle verilmektedir:

$$u_m = 1.0669 \cdot U_v + 0.1497 \quad (10)$$

Yukarıdaki eşitliğin korelasyon katsayısı $R^2=0.9511$ 'dir. Yukarıdaki (10) eşitliği 8 adet deney sonucunda bulunmuştur.

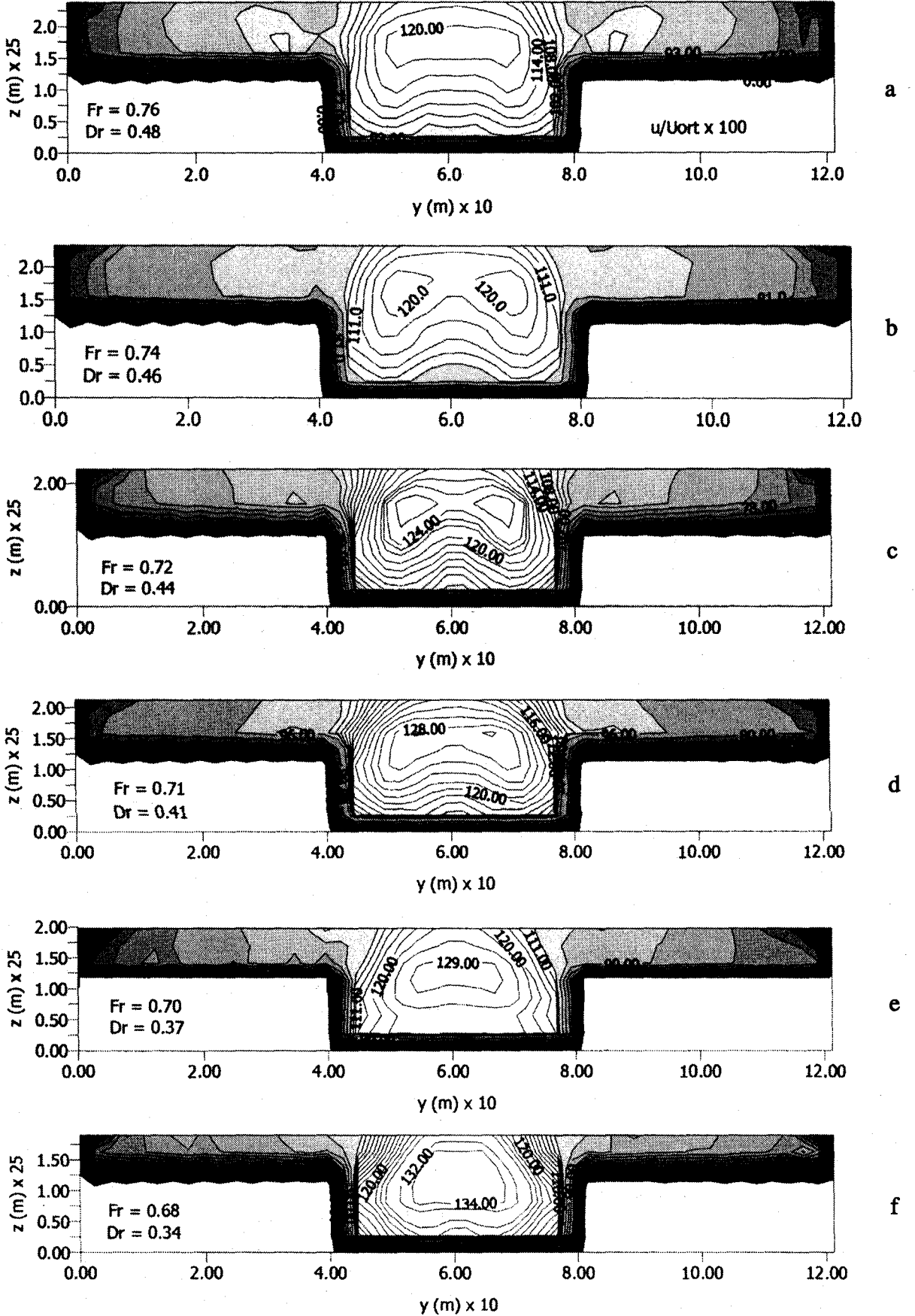
Ancak yatak tabanında $U_v=0$ iken $u_m=0$ olması gerekmektedir. Bu yüzden boyutsuz hız oranı c 'nin tesbiti için (10) ifadesinin $y=cx$ şeklinde düzenlenmesi gerekmektedir. Yukarıdaki ifadeyi $y=ax$ şeklinde düzenlenerek (10) ifadesi $u_m=cU_v$ şekline dönüştürülmüştür. c değerinin 1.311 olduğu bulunmuştur:

$$u_m = 1.311 \cdot U_v \quad (11)$$

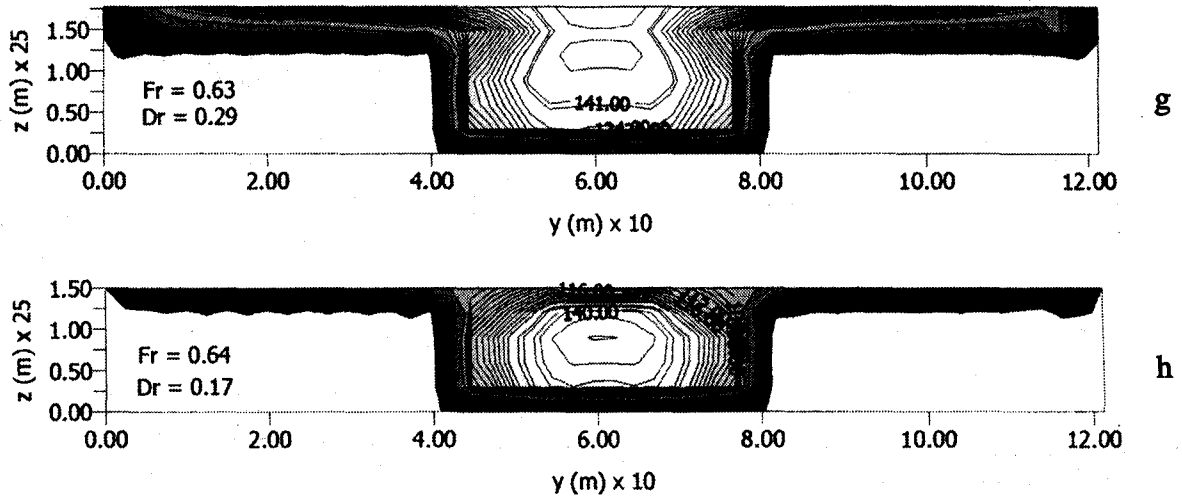
Bu durumda boyutsuz hız oranı c eşitlik (11) yardımıyla 0.7519 olarak hesaplanmıştır. Entropy parametresi M ise 1.33 e eşittir. Mohammadi (1998) trapez enkesitli sadece ana yataktan oluşan bir deney düzeneği üzerinde yaptığı çalışmada c ve M 'i sırasıyla 0.8367 ve 1.1934 olarak tesbit etmiştir.

Görülmektedir ki bu çalışmada bileşik kesitli yataкта elde edilen c değeri, hem boru akımı hem de sadece ana yatak akımı için literatürde verilen değerlerden (Streeter ve Wylie, 1979; Chiu, 1988; Chiu, 1989; Chiu ve Murray, 1992; Chiu vd. 1993; Chiu ve Said, 1994; Chiu ve Said, 1995; Xia, 1997; ve Mohammadi, 1998) yaklaşık %10 civarında daha düşük değerde hesaplanmıştır.

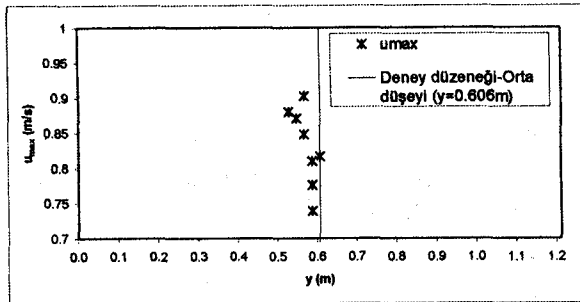
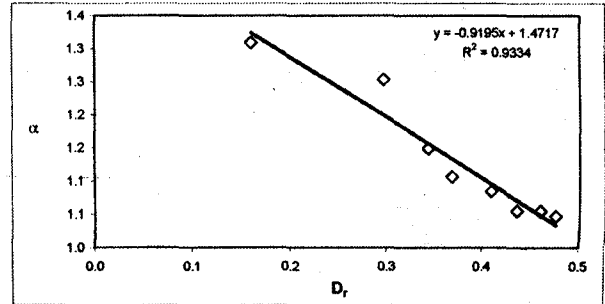
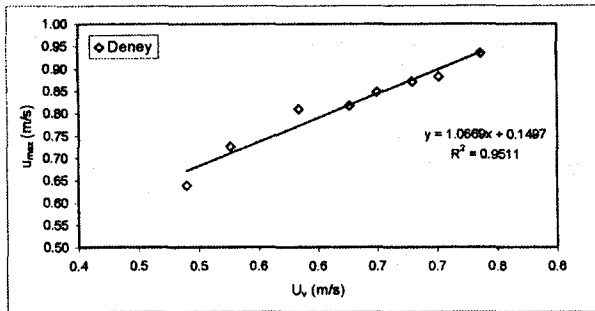
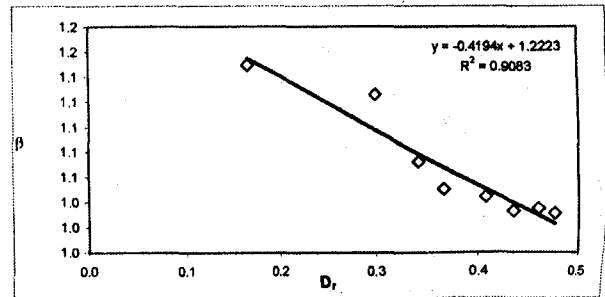
Bileşik kesitli yatak enkesiti üzerinde yapılan hız ölçümlerinden, α ve β katsayıları eşitlik (8) ve (9) yardımıyla her bir kritikaltı akım durumu için hesaplanmış ve derinlik oranı, Dr , ve birbirleriyle olan ilişkisi, sıra-



Şekil 2. Simetrik Bileşik Kesitli Yatakta, Farklı Rölatif Derinliklerde Oluşan Boyutsuz Hız Dağılımı ($0.15 < Dr < 0.5$).



Şekil 2. Devamı.

Şekil 3. Maksimum Hızın (u_{max}) Yanal Mesafe (y , m) Üzerindeki Yeri.Şekil 5. Kinetik Enerji Düzeltme Katsayısı (α) ile Derinlik Oranı (D_r) İlişkisi.Şekil 4. Maksimum Hızın (u_{max}) Ortalama Hız (U_v) ile Değişimi.Şekil 6. Momentum Düzeltme Katsayısı (β) ile Derinlik Oranı (D_r) İlişkisi.

şıyla Şekil 5, 6 ve 7'de verilmiştir. α ve β katsayılarının birbirleri ile ve D_r arasında aşağıdaki gibi ilişkiler bulunmuştur:

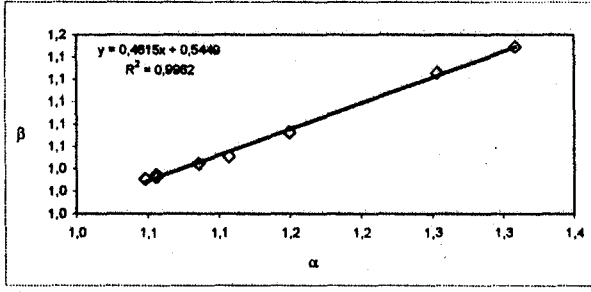
$$\alpha = -0.92 \left(\frac{H-h}{H} \right) + 1.47 \quad (12)$$

$$\beta = -0.42 \left(\frac{H-h}{H} \right) + 1.22 \quad (13)$$

$$\beta = 0.46\alpha + 0.55 \quad (14)$$

Yukarıdaki eşitliklerde determinasyon katsayısı, R^2 , (12), (13) ve (14) eşitliği için sırasıyla, 0.93, 0.91 ve 0.996'dır. Şekil 5 ve 6'dan da görüleceği üzere α ve β ile D_r arasında zıt bir ilişki bulunmaktadır. Yani D_r artarken α ve β değeri azalmaktadır. Öte yandan, Şekil 7'de görüleceği üzere, α ve β arasında doğrusal bir ilişki mevcuttur.

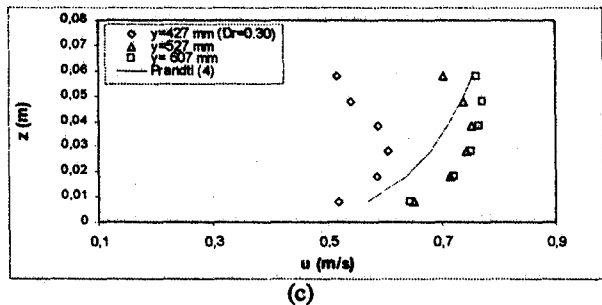
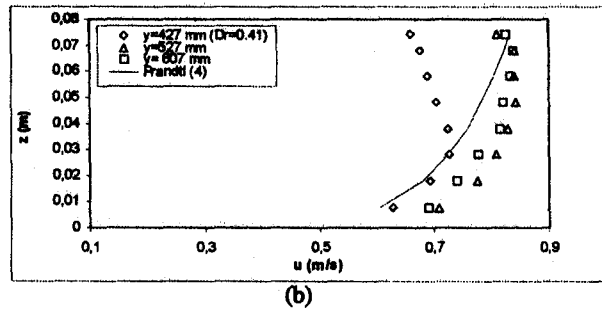
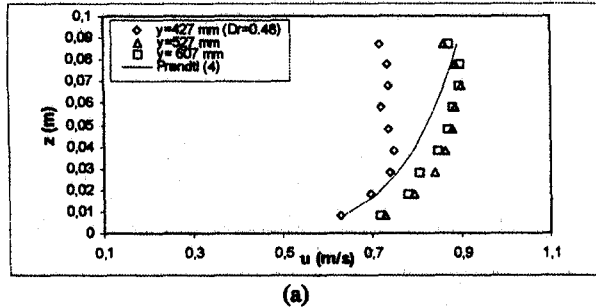
Prandtl'ın (1934) borular için geliştirdiği (4) eşitliği, ana yatağın taşkın yatağına 2cm lik yatay mesafesinde ($y=427$ mm), bileşik enkesit orta mesafesinde



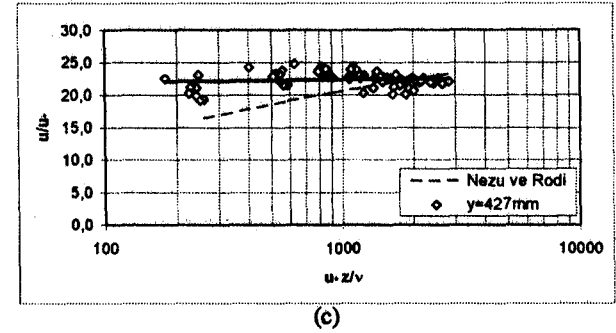
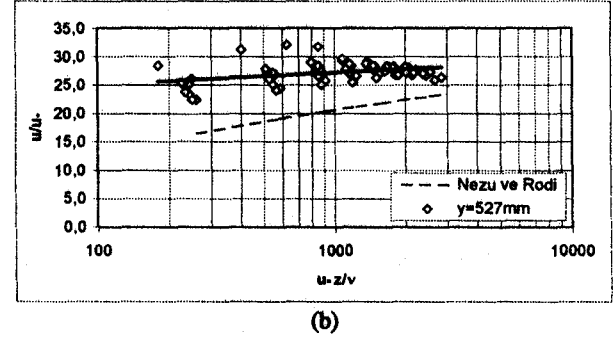
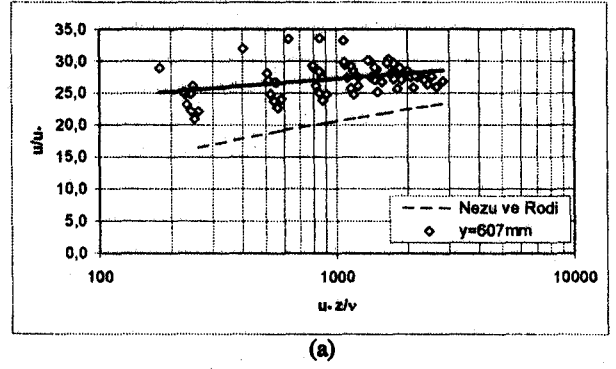
Şekil 7. Momentum Düzeltme Katsayısı (β) ile Kinetik Enerji Düzeltme Katsayısı (α) Arasındaki İlişkisi.

Tablo 1. (4) Eşitliği Deneysel Verilere Uygulandığında Hesaplanan Ortalama Hata Miktarları.

Q(m ³ /s)	Dr= (H-h)/H	Düşey yönde hız ölçümü yapılan nokta sayısı	% Ortalama hata [(4) eşitliği]		
			y= 427 mm	y= 527 mm	y= 607 mm
0.055	0.48	9	11.0	7.0	5.7
0.050	0.46	9	9.8	7.6	4.0
0.045	0.44	8	11.4	7.5	4.2
0.040	0.41	8	10.8	7.8	5.7
0.034	0.37	7	15.7	8.8	9.0
0.030	0.34	7	17.5	7.4	7.2
0.024	0.30	6	22.1	7.6	7.8
0.015	0.16	6	33.7	10.3	9.7



Şekil 8. Prandtl'in (4) Eşitliğinin Deneysel Verilerle Karşılaştırılması.



Şekil 9. Logaritmik Hız Dağılımı Prensibinin (1) Deneysel Verilerle Karşılaştırılması.

(y=607 mm), ve y= 527 mm'de ölçülen hızlara uygulanmıştır (Şekil 8a, b, c). Şekil 8a, b ve c'de görüldüğü üzere ölçülen noktasal hızlar, farklı derinlik oranları (Dr) için, y=527 mm ve y=607 mm mesafelerinde birbirlerine yakın değerler vermektedir. Öte yandan, ana yatağın taşkın yatağına uzaklığı 2 cm olan yerde, y= 427 mm de, hız değerlerinde büyük bir azalma görülmektedir. Bunu sayısal olarak izah etmek amacıyla (4) eşitliği farklı derinlik oranlarında yapılan deneysel ölçümlere uygulanmış ve (4) eşitliğinin verdiği sonuçlar ile deneysel ölçümler arasındaki ortalama hatalar (yüzde cinsinden) Tablo 1'de verilmiştir. Tablo 1'de de görüleceği üzere y=527 ve 607 mm yatay mesafelerinde düşey doğrultuda (z yönü) ölçülen hızları (4) eşitliği %10'un altındaki ortalama hata miktarlarıyla yaklaşık olarak vermektedir. Oysa y=427 mm de hata oranları % 34' ulaşmaktadır. Bunun sebebi ana yataktan taşkın yatağına doğru bir momentum transferinin olması, hız vektörlerinin yön değiştirerek x doğrultusundaki ölçülen değerlerde bir azalmaya sebep olmasıdır (Sellin 1964 ve Zheleznyakov, 1965).

Logaritmik hız dağılımı bağıntısının (Chow, 1959) tek kesitli (ana yatak) açık kanallarda düşey doğrultuda oldukça yaklaşık sonuçlar verdiği bilinmektedir. Bileşik kesitli yataklarda ise, Sellin'in (1964) ilk olarak momentum transferini fotoğraflamasından sonra, yanal doğrultuda hız dağılımı bağıntıları geliştirilmiştir (Myers ve Elsayy, 1975; Myers, 1978; Wormleaton vd. 1982; Ervine ve Baird, 1982; Knight ve Demetriou, 1983; Knight ve Hamed, 1984; Wormleaton ve Hadjipanos, 1985; Wormleaton ve Merrett, 1990; Ackers, 1993a-1993b; Bousmar ve Zech, 1999; Stephenson ve Kolovopoulos, 1990; Myers, 1987; Wark vd. 1990; Shiono ve Knight, 1991; Ervine vd. 2000). Ancak bu çalışmada bileşik kesitli yatağın ana yatak bölgesinde, tek kesitli yataklarda geçerli olan logaritmik hız dağılımının nasıl sonuç vereceğini incelemek amacıyla, logaritmik hız dağılımı ifadesi (1) bütün $y=427, 527$ ve 607 mm'lerde ölçülen tüm ölçümlere uygulanmıştır. Sonuçlar Şekil 9a, b ve c'de verilmektedir. Şekillerde görülmektedir ki, logaritmik hız dağılımı ifadesi bu çalışmada ölçülen u/u_* değerlerine uygulandığında yaklaşık %20 civarında daha düşük değerler vermektedir.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu çalışmada bileşik kesitli yatak enkesiti üzerinde yanal (y) ve düşey (z) doğrultudaki hız dağılımı deneysel olarak irdelenmiştir. Prandtl (13) tarafından, borularda düşey doğrultudaki hız dağılımı hesabı için geliştirilen prensipler, bu çalışmada bileşik kesitli açık kanalda ölçülen hız dağılımına uygulanarak, bulgular sunulmuştur. Sonuçlar göstermiştir ki logaritmik hız dağılımı bağıntısı (Chow, 1959), bileşik kesitli yatağın ana yatağındaki hız dağılımına uygulandığında yaklaşık %20 civarında daha düşük değerler vermektedir. Borular için geliştirilen düşey hız dağılımı bağıntısı ise ana yatak orta düşeyinde ölçülen hızları %10'un altında ortalama hata değerleriyle hesaplayabilmektedir.

Bileşik kesitli yatakta maksimum hız (u_m) ile kesitsel ortalama hız (U_v) arasındaki bulgular tek kesitli yataklar için elde edilen bulgularla karşılaştırılmış ve boyutsuz hız oranı $c=U_v/u_m=0.7628$ ve entropy parametresi $M=1.311$ olarak hesaplanmıştır.

Kinetik enerji ve momentum düzeltme katsayısı ile (sırasıyla α ve β) derinlik oranı ($Dr=(H-h)/H$) ilişkisi irdelenmiş ve basit regresyon bağıntıları önerilmiştir. Sonuçlar göstermiştir ki, bileşik kesitli yatak için $Dr=0.16$ ve $Dr=0.48$ arasındaki nehir rejiminde, a 1.05 ve 1.31 arasında, ve b 1.03 ile 1.15 arasında derinlik oranı Dr ile ters orantılı olarak değişmektedir. α ve β arasında ise lineer doğrusal bir ilişki bulunmuştur.

Bu çalışma hidrolik cilalı yatak tabanına sahip bir deneysel düzenek üzerinde kritikaltı akım şartlarında,

sabit eğim, sabit ana yatak genişliği, sabit taşkın yatağı genişliklerinde gerçekleştirilmiştir. Bundan dolayı bu çalışmada elde edilen bulgular, kritiküstü akım şartlarında, pürüzlü tabana sahip deneysel düzeneklerde, farklı ana yatak genişliği ve farklı taşkın yatağı denişliklerinde, farklı enkesit şekillerinde yapılacak çalışmalarla karşılaştırılmalıdır.

KAYNAKÇA

- Ackers, P. (1992). Hydraulic Design of two-stage channels. *Water, Maritime and Energy*, Thomas Telford, London, 96(4), 247-257.
- Ackers, P. (1993a). Stage-discharge functions for two-stage channels: The impact of new research. *Journal of Institution Of Water and Environmental Management* 7(1), 52-61.
- Ackers, P. (1993b). Flow formulae for straight two-stage channels. *Journal of Hydraulic Research, Delft (The Netherlands)* 31(4), 509-531.
- Ardıçlıoğlu, M. (1994). *Pürüzsüz açık kanal akımlarında türbülanslı hız dağılımının Laser Doppler Anemometresi ile incelenmesi*. Doktora Tezi, Çukurova Üniversitesi, Adana, Türkiye.
- Atabay, S., Seçkin, G. ve Yurtal, R. (1999). Asimetrik bileşik kanallar için seviye-debi ilişkisinin laboratuvar deneyleriyle incelenmesi. *İnşaat Mühendisleri Odası, Teknik Dergi*, 12(1), 2261-2272.
- Atabay, S., Seçkin, G. ve Yurtal, R. (2001). Simetrik ve asimetrik bileşik kesitli düz akarsu yataklarında seviye-debi ilişkisi. *Anadolu Üniversitesi, Bilim ve Teknoloji Dergisi* 2(2), 331-337.
- Bousmar, D. ve Zech, Y. (1999). Momentum transfer for practical flow computation in compound channels. *Journal of Hydraulic Engineering, American Society of Civil Engineers* 125(7), 696-706.
- Chiu, C.L. (1988). Entropy and 2-D velocity distribution in open channels. *Journal of Hydraulic Engineering, American Society of Civil Engineers* 114(7), 738-756.
- Chiu, C.L. (1989). Velocity distribution in open channel flow. *Journal of Hydraulic Engineering, American Society of Civil Engineers* 115(5), 576-594.
- Chiu, C.L. ve Murray, D.W. (1992). Variation of velocity distribution in along nonuniform open channel flow. *Journal of Hydraulic Engineering, American Society of Civil Engineers* 118(7), 989-1001.
- Chiu, C.L., Lin, G.F. ve Lu, J.M. (1993). Application of probability and entropy concept in pipe flow

- study. *Journal of Hydraulic Engineering, American Society of Civil Engineers* 119(6), 742-756.
- Chiu, C.L. ve Said, A. (1994). Modelling of maximum velocity in open-channel flow. *Proceedings of Hydraulic Division Conference* Vol. 1, 381-385.
- Chiu, C.L. ve Said, A. (1995). Maximum and mean velocities and entropy in open channel flow. *Journal of Hydraulic Engineering, American Society of Civil Engineers* 121(1), 26-35.
- Chow, V.T. (1959). *Open-Channel Hydraulics*. McGraw-Hill, New York.
- Clark, J.A. (1962). Turbulent boundary layers in incompressible flow. *Progress in Aeronautical Science* Vol. 2, 63-74.
- Clauser, F. (1954). Turbulent boundary layer in Advance Pressure Gradient. *Journal of Aerodynamic Science* 21, 91-108.
- Ervine, D.A. ve Baird, J.I. (1982). Rating curves for rivers with overbank flow. *Water, Maritime and Energy (Part II)* 73, 465-472.
- Ervine, D.A., Babaeyan-Koopaei, K. ve Sellin, R.H.J. (2000). Two-dimensional solution for straight and meandering overbank flows. *Journal of Hydraulic Engineering, American Society of Civil Engineers* 126(9), 653-669.
- Kırkgöz, M.S. (1989). Turbulent velocity profiles for smooth and rough open channel flow. *Journal of Hydraulic Engineering, American Society of Civil Engineers* 115 (11), 1543-1561.
- Knight, D.W. ve Shiono, K. (1996). River channel and flood plain hydraulics. *Flood plain processes*, Eds: M. Anderson, D. Walling, and P. Bates, Wiley, U.K., ss.139-181.
- Knight, D.W. ve Demetriou, J.D. (1984). Floodplain and main channel flow interaction. *Journal of Hydraulic Engineering, American Society of Civil Engineers* 109(8), 1073-1092.
- Knight, D.W. ve Hamed, M.E. (1984). Boundary shear in symmetrical compound channel. *Journal of Hydraulic Engineering, American Society of Civil Engineers* 110(10), 1412-1430.
- Mohammadi, M. (1998). *Resistance to flow and the influence of boundary shear stress on sediment transport in smooth rigid boundary channels*. PhD Thesis, University of Birmingham, Birmingham, England.
- Myers, W.R.C. (1978). Momentum transfer in a compound channel. *Journal of Hydraulic Research, Delft*, (The Netherlands) 16(2), 139-150.
- Myers, W.R.C. (1987). Velocity and discharge in compound channels. *Journal of Hydraulic Engineering, American Society of Civil Engineers* 113(6), 753-766.
- Myers, W.R.C. ve Elsayy, E.M. (1975). Boundary shear in channel with flood plain. *Journal of Hydraulic Engineering, American Society of Civil Engineers* 101(7), 933-946.
- Nezu, I. ve Rodi, W. (1986). Open channel flow measurement with a Laser Duppler Anemometer. *Journal of Hydraulic Engineering, American Society of Civil Engineers* 112(5), 335-354.
- Nikuradse, J. (1933). Stromungsgesetze in rauhen Rohren. Forschungsheft, No. 361, Verein Deutscher Ingenieure, Berlin, (Translated into English as NACA TM 1292, Nov. 1950).
- Patel, V.C. (1965). Calibration of the Preston tube and limitations on its use in pressure gradients. *Journal of Fluid Mechanics* 23, 185-208.
- Pao, R.H.F. (1961). *Fluid Mechanics*. 1st Ed., John Wiley and Sons, Inc., New York.
- Preston, J.H. (1954). The determination of turbulent skin friction by means of pitot tube. *Journal of Royal Aeronautical Society* 58, 109-121.
- Rotta, J.C. (1968). A study of incompressible turbulent boundary layers in channel flow. *Transactions of ASME, Journal of Basic Engineering* 11, 455-468.
- Seçkin, G., Atabay, S. ve Yurtal, R. (2001). Pürüzsüz dikdörtgen kesitli yataklarda cidar kayma gerilmesinin deneysel analizi. *İnşaat Mühendisleri Odası, Teknik Dergi* 3(2), 2627-2643.
- Sellin, R.H.J. (1964). A laboratory investigation into the interaction between flow in the channel of a river and that of its floodplain. *La Houille Blanche* 7, 793-801.
- Shiono, K. ve Knight, D.W. (1991). Turbulent open channel flows with variable depth across the channel. *Journal of Fluid Mechanics, (Cambridge)* 222, 617-646.
- Steffler, P.M., Rajaratnam, N. ve Peterson, A.W. (1985). LDA measurements in open channel. *Journal of Hydraulic Engineering, American Society of Civil Engineers* 112(5), 119-130.
- Stephenson, D. ve Kolovopoulos, P. (1990). Effects of momentum transfer in compound channels. *Journal of Hydraulic Engineering, American Society of Civil Engineers* 116(12), 1512-1522.
- Streeter, V.L. ve Wylie, E.B. (1979). *Fluid Mechanics*. McGraw-Hill, New York.

- Sterling, M. (1997). *The distribution of boundary shear stress in an open channel circular conduit running part-full*. PhD Thesis, University of Birmingham, Birmingham, England.
- Townsend, A.A. (1976). *The structure of turbulent shear flow*. 2nd Edition, Cambridge University Press, Cambridge, England, 627-643.
- Xia, R. (1997). Relation between mean and maximum velocities in a natural river. *Journal of Hydraulic Engineering, American Society of Civil Engineers* 123(8), 720-723.
- Wark, J.B., Samuels, P.G. ve Ervine, D.A. (1990). A practical method of estimating velocity and discharge in compound channels. *Proceedings of International Conference on River Flood Hydraulics, Wiley, U.K.*, 163-172.
- Wormleaton, P.R., Allen, J. ve Hadjipanos, P. (1982). Discharge assessment in compound channel flow. *Journal of Hydraulic Division, American Society of Civil Engineers* 108(9), 975-994.
- Wormleaton, P.R. ve Hadjipanos, P. (1985). Flow distribution in compound channels. *Journal of Hydraulic Engineering, American Society of Civil Engineers* 111(2), 357-361.
- Wormleaton, P.R. ve Merrett, D.J. (1990). An improved method of the calculation for study uniform flow in prismatic main channel/flood plain sections. *Journal of Hydraulic Research, Delft, (The Netherlands)* 28(2), 157-174.