

## BİLEŞİK KESİTLİ KANALLARDA İKİNCİL AKIMLARIN ETKİSİ<sup>1</sup>

**Burhan ÜNAL, Mustafa MAMAK**

*Çukurova Üniversitesi, Müh. Mim. Fakültesi, İnşaat Müh. Bölümü, Adana*

**Özet:** *Bu çalışmada, bileşik kesitli kanallarda debi hesaplamasında ikincil akımların etkisi Shiono-Knight Metodu (SKM) ile araştırılmıştır. Literatürde yayınlanmış ve laboratuvar ortamında ölçülmüş debiler SKM kullanılarak hesap edilmiştir. İkincil akımların etkisi, hesaplanan ve gözlenmiş debiler arasındaki ortalama mutlak rölatif hataya bakılarak belirlenmiştir. İkincil akımların debi hesaplamasında etkisinin olduğu ve rölatif derinlik arttıkça bu etkinin azaldığı görülmüştür.*

**Anahtar Kelimeler:** *Bileşik kesitli kanallar; Shiono-Knight Metodu; İkincil akımlar.*

## THE EFFECT OF SECONDARY FLOWS IN COMPOUND CHANNELS

**Abstract:** *In this study, the effect of secondary flows on the conveyance capacity of the compound channels was investigated by Shiono-Knight Method (SKM). Discharges, which were observed and published in the literature, were calculated using SKM. The effect of secondary flows was determined with the mean absolute relative error between observed and computed discharges. It was determined that the secondary flows have an effect on the calculation of the conveyance capacity, and this effect decreases with an increase in relative depth.*

**Key words:** *Compound channel; Shiono-Knight Method; Secondary flows.*

---

<sup>1</sup> Doktora Tezi-Ph.D. Thesis

## 1. GİRİŞ

Genel olarak bir ana kanal ve bir veya iki taşkın yatağından meydana gelen ve iki kademeli veya bileşik kesitli kanal olarak adlandırılan kanallarda taşkın yatakları çoğu zaman kuru olmalarına rağmen taşkın olayları süresince hayati bir öneme sahiptir. Bu taşkın yatakları genellikle ana kanalın kenarlarında uzanır ve taşkın olayları sırasında taşıma kapasitesini artırır.

Taşkın yatıştırma çalışmaları, çoğu mühendislik çalışmalarının önemli bir parçasını oluşturur ve bir taşkın durumunda sınır kayma gerilmesi dağılımı, hız dağılımı ve taşıma kapasitesinin tahminine ihtiyaç duyar. Bu parametreler seviye–debi eğrisinin (anahtar eğrisi) oluşturulmasında önemlidir. Bu anahtar eğrisi verilen akıma karşılık gelen su seviyesini hesaplamak için kullanılır. Ayrıca bu hesaplamalara; kıyı koruması, sediment taşınımı ve oyulma analizi ile ilgili mühendislik problemlerinde de gereksinim duyulmaktadır.

Taşkın modellemesi ile uğraşan hidrolik mühendisleri; nehir boyunca taşkın yayılması, taşkın alanlarının tespiti, boşaltım kanallarının tasarımı, seddelerin yıkılma riskleri, taşkınların morfolojik etkileri gibi konuları göz önünde bulundurmak zorundadır. Hemen hemen bütün durumlarda verilen bir enkesitteki seviye debi ilişkisi, çözümün temel bileşeninden biri olacaktır [1].

Tek kesitli kanallarda verilen debiye karşılık su seviyesinin hesaplanması basit bir problem olmasına karşın, suyun ana kanaldan taşkın yataklarına taşması ile problem gittikçe karmaşık hale gelmektedir. Taşkın yatakları sadece geciktirme havuzları olarak görev yapmazlar, aynı zamanda debi taşıdıklarından akımın karmaşıklığı bundan kaynaklanmaktadır.

Bileşik kesitli kanallarda debinin bir kısmının taşkın yatakları tarafından taşınması türbülansın oluşmasına neden olur. Bir taşkın olayı sırasında bileşik kesitlerde akım simülasyonu türbülansın üç boyutlu yapısından dolayı çok karmaşıktır. Taşkın yataklarındaki hız, genellikle bitki örtüsü ile kaplı olan taşkın yataklarının yüksek pürüzlülüğünden ve düşük su seviyelerinden dolayı ana kanaldaki hızdan daha düşüktür. Bu hız farkı, ana kanal ve taşkın yatakları arasında bir kayma tabakasının oluşmasına neden olmaktadır.

Sellin [2] ve Zheleznyakov [3], bileşik kesitli kanallarda ana kanal ile taşkın yatağı arasındaki momentum transferini araştıran ilk araştırmacılar. Momentum transferini hesaba katan bir boyutlu metotlar, bu araştırmacılar tarafından onerilmiştir.

Rajaratnam ve Ahmadi [4], pürüzsüz ve simetrik bir taşkın yatağına sahip bileşik kesitli bir kanalda, ana kanal ile taşkın yatağı akımları arasındaki etkileşimi deneysel olarak belirlemeye çalışmışlardır. Onların sonuçları, ana kanaldan taşkın yataklarına doğru boyuna momentum taşınımı olduğunu göstermektedir. Rahatsız edilmemiş taşkın yatağı hızına göre karşılaştırıldığında taşkın yatağı seviyesinin yukarısında, ana kanaldaki ve taşkın yataklarındaki hız profillerinin yaklaşık olarak benzer olduğunu bulmuşlardır. Hız ve uzunluk ölçükleri için deneysel ifadeler kurmuşlardır. Etkileşimden dolayı bileşik kesitli kanalların akım kapasitesindeki kaybı tahmin etmek için uygun bir metot vermişlerdir.

Wormleaton, Allen ve Hadjipanous [5], bileşik kesitli bir kanaldaki sınır kayma gerilmesini ölçmek için bir dizi laboratuvar testleri gerçekleştirmişlerdir. Bu sonuçlardan, varsayılan üç farklı ana kanal–taşkın yatağı ara yüzey düzlemi (düşey, yatay ve diyagonal) boyunca kayma gerilmelerini hesaplamışlardır. Çoklu lineer regresyon yaparak, kayma

## *BİLEŞİK KESİTLİ KANALLARDA İKİNCİL AKIMLARIN ETKİSİ*

gerilmesini, model kanalın geometrik ve hidrolik karakteristiklerinin bir fonksiyonu olarak ifade etmişlerdir.

Knight ve diğ. [6, 7], ana kanal/taşkın yatağı ara yüzeyinde oluşan kayma kuvveti ve taşkın yatağı sınır kayma kuvveti hesaplamaları için bir grup ampirik denklemler önermişlerdir. Sınır kayma gerilmesi verilerini kullanarak bileşik bir kanal üzerinde kabul ettikleri düzlemler üzerindeki kayma kuvvetini hesaplamışlardır. Aynı zamanda düşey, yatay, diyagonal olarak geçirdikleri bu düzlemler yardımı ile ana kanal ve taşkın yatağındaki debileri ayrı ayrı hesapladıktan sonra buradan toplam debiyi elde ederek sonuçlarla karşılaştırmışlardır.

Shiono ve Knight [8] bileşik kesitli kanallarda ortalama derinliğe bağlı yanal hız değişimini tahmin etmek için Navier–Stokes denklemleri için analitik bir çözüm geliştirmişlerdir. İkincil akımların katkısını ihmal ederek ve türbülans (eddy) viskozite yaklaşımına dayanan, hem sabit hem de değişken derinlikli bileşik kesitli kanallar için yanal hız dağılımlarını veren denklemler önermişlerdir. Daha sonra Shiono ve Knight [9], ikincil akımların etkisini de hesaba katarak daha önce önerdikleri denklemleri analitik olarak tekrar çözmüşlerdir.

Knight ve diğ. [10], geliştirmiş oldukları matematik modeli İngiltere’deki Severn nehrine uygulayarak bu akarsuyun debisini ve ortalama hızını bulmaya çalışmışlardır.

Ackers [11, 12], ana kanal ile taşkın yatağı arasındaki etkileşim etkilerini hesaba katarak düz bileşik kesitli kanallar için bir tasarım formülü vermiştir. Ana kanal ile taşkın yatağı hidrolik koşulları arasındaki koheransı temsil eden bir parametre önermiştir. Önermiş olduğu metodu, değişik kesitli geometriler içeren geniş ölçekli laboratuvar çalışmalarında test etmiştir.

Seçkin [13], laboratuvarındaki geniş ve küçük ölçekli kanallardan ve prototip bir bileşik nehir kanalından (Main River) elde edilen geniş kapsamlı datalara bir boyutlu Tek Kanal Metodu (SCM), Bölünmüş Kanal Metodu (DCM), Ackers Metodu (COHM) ve Debi Değişim Metodu (EDM) metodlarını uygulamıştır. Bu datalar, taşkın yatakları için düz veya pürüzlü yüzeyler ve ana kanal için rijit veya hareketli yüzeyler içermektedir. Seçkin (2004), EDM ve COHM’nin diğer metodlar SCM ve DCM’den daha iyi sonuçlar verdiği sonucuna varmıştır.

Omran ve diğ. [14], taşkın yataklı dikdörtgen kesitli bir kanaldaki akım özelliklerini ortalama derinlik akım modeliyle sınır şartlarını incelemişlerdir. Bu özelliklerin düşey duvar üzerindeki kayma gerilmesinin bir fonksiyonu ve taşkın yatağı boyunca etkili olduğunu belirtmişlerdir. SKM metodu ve önerilen modelle cilalı ve pürüzlü taşkın yataklı kanallarda hız ve kayma gerilmesi dağılımının elde edilebileceğini belirtmişlerdir.

Chlebek [15], heterojen pürüzlü basit kanallarda akımın sayısal olarak modellenmesini ve eğri taşkın yataklı bileşik kanalların fiziksel olarak modellenmesini çalışmıştır. Çalışmasında, Shiono–Knight Metodunu (SKM), homojen ve heterojen olarak pürüzlendirilmiş kanallara uygulamıştır. SKM’nin, her iki pürüzlülük durumları için ortalama derinliğe bağlı yanal hız ve yanal sınır kayma gerilmesi dağılımlarını doğru olarak tahmin edebileceğini göstermiştir. Ayrıca, bir kanal duvarındaki kayma kuvveti oranının her iki pürüzlülük durumu için doğru olarak elde edildiğini belirtmiştir.

Bileşik kesitli kanallarda debi hesaplamasında ikincil akımların etkisi Abril ve Knight [16] tarafından önerilen denklemler gözönüne alınarak değerlendirilmiştir.

## 2. SHIONO-KNIGHT METODU

Shiono ve Knight [8], Navier-Stokes denklemlerinin ortalama derinliğe bağlı olarak integre ederek iki boyutlu bir metot önermişlerdir. Shiono-Knight Metodu olarak adlandırılan bu metot aşağıdaki denklem ile verilmektedir:

$$\rho g H S_0 + \frac{\partial}{\partial y} \left[ \rho \lambda H^2 \left( \frac{f}{8} \right)^{1/2} U_d \frac{\partial U_d}{\partial y} \right] - \frac{f}{8} \rho U_d^2 \sqrt{1+s^2} = \Gamma \quad (1)$$

Burada,  $\rho$  su yoğunluğu,  $S_0$ , boyuna taban eğimi,  $g$  yerçekimi ivmesi,  $H$  akım derinliği,  $f$  Darcy-Weisbach sürtünme katsayısı,  $U_d$  derinliğe bağlı ortalama hız,  $s$  yanal eğim (1 :  $s$ , düşey: yatay),  $y$  yanal doğrultu ve  $\lambda$  boyutsuz eddy viskozitesidir.

Denklem (1), sabit derinlik için analitik çözümü Shiono ve Knight [8] tarafından aşağıdaki gibi verilmiştir:

$$U_d = [A_1 e^{\gamma y} + A_2 e^{-\gamma y} + k]^{1/2} \quad (2)$$

ile ifade edilir. Burada,

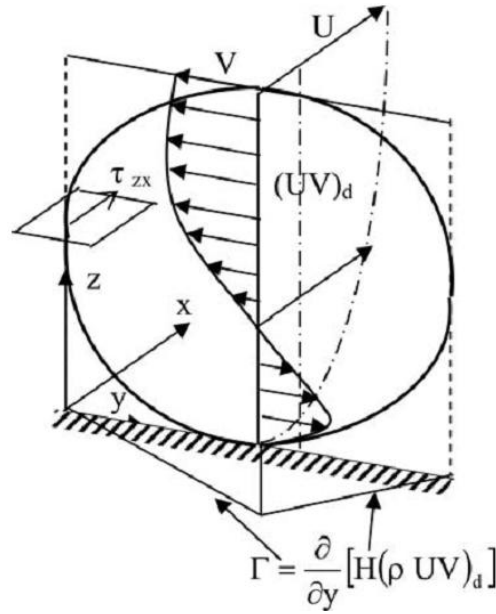
$$k = \frac{8gS_0H}{f} (1 - \beta) \quad (3)$$

$$\gamma = \sqrt{\frac{2}{\lambda}} \left( \frac{f}{8} \right)^{1/4} \frac{1}{H} \quad (4)$$

$$\beta = \frac{\Gamma}{\rho g H S_0} \quad (5)$$

Elde edilen  $U_d$  değeri yanal olarak integre edilerek bileşik kesitli kanal debisi elde edilir.

## BİLEŞİK KESİTLİ KANALLARDA İKİNCİL AKIMLARIN ETKİSİ



Şekil 1. Ortalama derinliğe bağlı ikincil akım terimi [17]

İkincil akımların etkisini de hesaba katan bu metotta, ikincil akımlar Abril ve Knight [16] tarafından ana kanal ve taşkın yatağı için ampirik iki denklem önermişlerdir (Şekil 1):

$$\Gamma_{mc} = 0.15H\rho g S_o \quad (6)$$

$$\Gamma_{fp} = -0.25(H - h)\rho g S_o \quad (7)$$

Burada  $h$ , taşkın yatağı ile ana kanal tabanı arasındaki derinliği göstermektedir.

### 3. ANALİZ

Yukarıda verilen iki boyutlu SKM literatürde yayınlanmış deney verilerine uygulanmıştır. Wormleaton ve diğ. [5]  $b = 0.29$  m,  $B = 0.75$  m ve  $h = 0.12$  m boyutlarına sahip bileşik kesitli laboratuvar kanalında dört seri (Seri  $A$ ,  $B$ ,  $C$ ,  $D$ ) deney gerçekleştirmişlerdir.  $A$ ,  $B$ ,  $C$  ve  $D$  serileri için farklı Manning  $n$  değerleri kullanılmışlar ve bu değerler sırasıyla 0.011, 0.014, 0.017 ve 0.021'dir. Tablo 1 ve Tablo 2'de serilere ait farklı taban eğimleri ve  $H$  derinlikleri için gözlenmiş debi değerleri verilmiştir. SKM'de eddy vizkositesi  $\lambda$  değeri Shiono ve Knight [8] tarafından önerilen  $\lambda = 0.07$  alınmıştır.

**Tablo 1.** Deney verileri

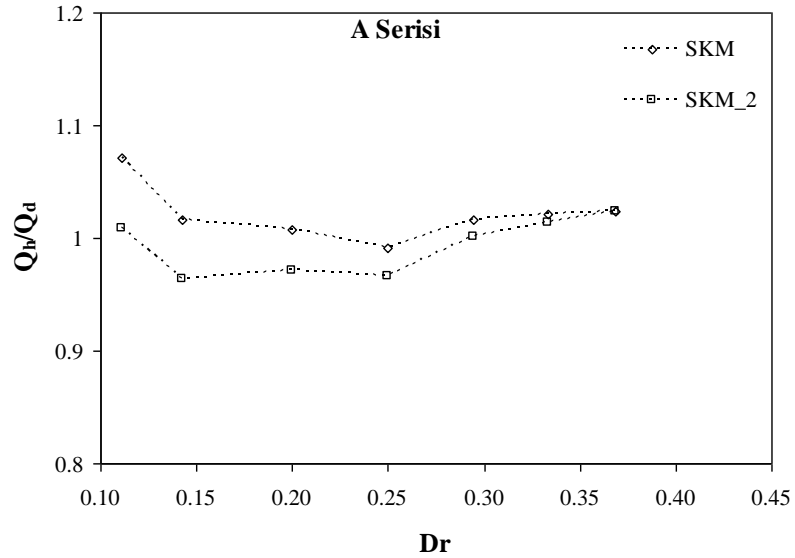
Seri No	Q (m <sup>3</sup> /s)	H (m)	h (m)	B/b	b (m)	n <sub>mc</sub>	n <sub>fp</sub>	S <sub>0</sub> (x10 <sup>-4</sup> )
A1	0.0134	0.135	0.120	4.17	0.145	0.0099	0.011	4.3
A2	0.0160	0.140	0.120	4.17	0.145	0.0099	0.011	4.3
A3	0.0205	0.150	0.120	4.17	0.145	0.0099	0.011	4.3
A4	0.0260	0.160	0.120	4.17	0.145	0.0099	0.011	4.3
A5	0.0310	0.170	0.120	4.17	0.145	0.0099	0.011	4.3
A6	0.0370	0.180	0.120	4.17	0.145	0.0099	0.011	4.3
A7	0.0435	0.190	0.120	4.17	0.145	0.0099	0.011	4.3
A8	0.0172	0.135	0.120	4.17	0.145	0.0099	0.011	9.4
A9	0.0257	0.140	0.120	4.17	0.145	0.0099	0.011	9.4
A10	0.0292	0.145	0.120	4.17	0.145	0.0099	0.011	9.4
A11	0.0352	0.160	0.120	4.17	0.145	0.0099	0.011	10.1
A12	0.0310	0.140	0.120	4.17	0.145	0.0099	0.011	18.0
B1	0.0170	0.151	0.120	4.17	0.145	0.0099	0.014	4.3
B2	0.0205	0.160	0.120	4.17	0.145	0.0099	0.014	4.3
B3	0.0260	0.170	0.120	4.17	0.145	0.0099	0.014	4.3
B4	0.0310	0.180	0.120	4.17	0.145	0.0099	0.014	4.3
B5	0.0380	0.190	0.120	4.17	0.145	0.0099	0.014	4.3
B6	0.0480	0.210	0.120	4.17	0.145	0.0099	0.014	4.3

SKM metodunun Tablo 1 ve Tablo 2’de verilen deney verilerine uygulanarak ikincil akımların etkisi araştırılmıştır. İkincil akımların etkisinin hesaba dâhil edildiği değerler SKM\_2 ile dâhil edilmediği değerler ise SKM ile gösterilmiştir. Hesaplanan debilere  $Q_h$  ile gözlenen debilerin  $Q_d$  oranına ( $Q_h/Q_d$ ) karşılık rölatif derinlik oranı bütün deney serileri için Şekil 2-5’de verilmiştir.

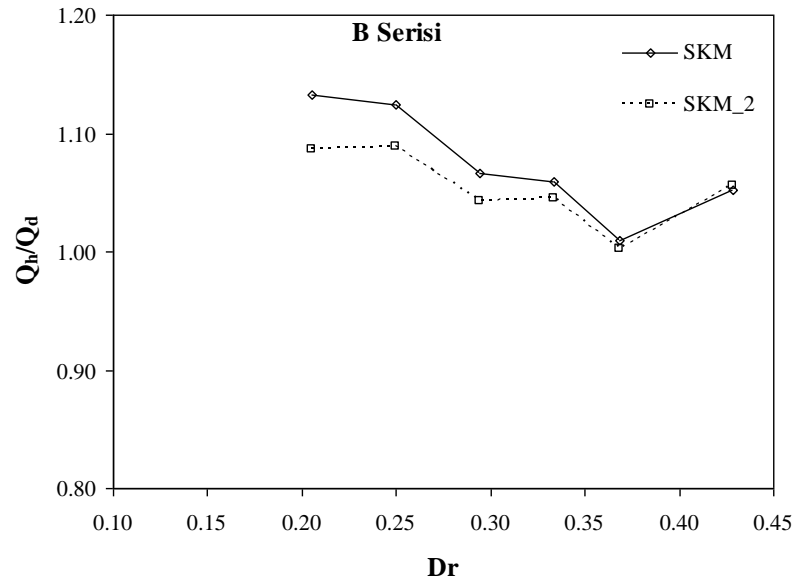
*BİLEŞİK KESİTLİ KANALLARDA İKİNCİL AKIMLARIN ETKİSİ*

**Tablo 2.** Deney verileri (devamı)

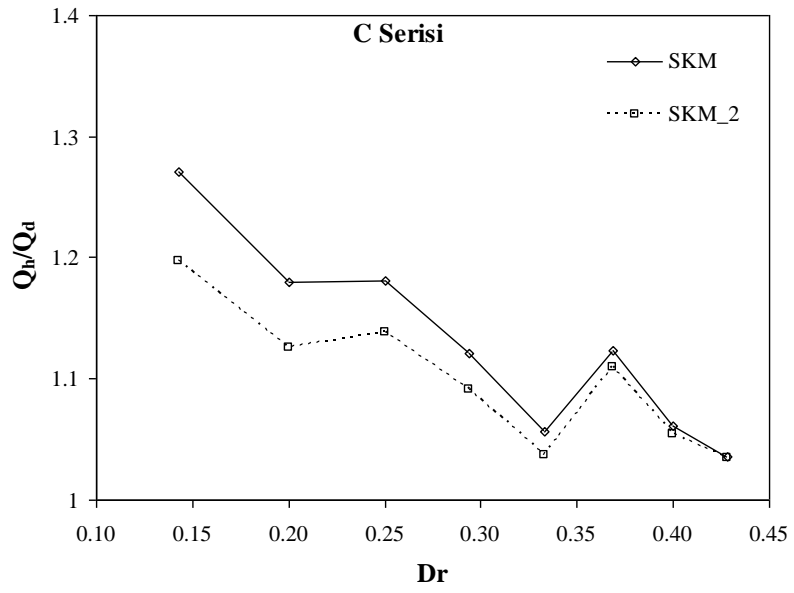
Seri No	Q (m <sup>3</sup> /s)	H (m)	h (m)	B/b	b (m)	n <sub>mc</sub>	n <sub>fp</sub>	S <sub>0</sub> (x10 <sup>-4</sup> )
C1	0.0115	0.140	0.120	4.17	0.145	0.0099	0.017	4.3
C2	0.0150	0.150	0.120	4.17	0.145	0.0099	0.017	4.3
C3	0.0180	0.160	0.120	4.17	0.145	0.0099	0.017	4.3
C4	0.0225	0.170	0.120	4.17	0.145	0.0099	0.017	4.3
C5	0.0280	0.180	0.120	4.17	0.145	0.0099	0.017	4.3
C6	0.0305	0.190	0.120	4.17	0.145	0.0099	0.017	4.3
C7	0.0370	0.200	0.120	4.17	0.145	0.0099	0.017	4.3
C8	0.0430	0.210	0.120	4.17	0.145	0.0099	0.017	4.3
D1	0.0090	0.140	0.120	4.17	0.145	0.0099	0.021	4.3
D2	0.0120	0.150	0.120	4.17	0.145	0.0099	0.021	4.3
D3	0.0150	0.160	0.120	4.17	0.145	0.0099	0.021	4.3
D4	0.0175	0.170	0.120	4.17	0.145	0.0099	0.021	4.3
D5	0.0240	0.180	0.120	4.17	0.145	0.0099	0.021	4.3
D6	0.0275	0.190	0.120	4.17	0.145	0.0099	0.021	4.3
D7	0.0330	0.200	0.120	4.17	0.145	0.0099	0.021	4.3
D8	0.0380	0.210	0.120	4.17	0.145	0.0099	0.021	4.3
D9	0.0125	0.140	0.120	4.17	0.145	0.0099	0.021	9.4
D10	0.0215	0.160	0.120	4.17	0.145	0.0099	0.021	9.4
D11	0.0355	0.180	0.120	4.17	0.145	0.0099	0.021	9.4
D12	0.0150	0.140	0.120	4.17	0.145	0.0099	0.021	13.2
D13	0.0255	0.160	0.120	4.17	0.145	0.0099	0.021	13.2
D14	0.0420	0.180	0.120	4.17	0.145	0.0099	0.021	13.2



**Şekil 2.** Seri A için hesaplanan ve gözlenen debi değerleri



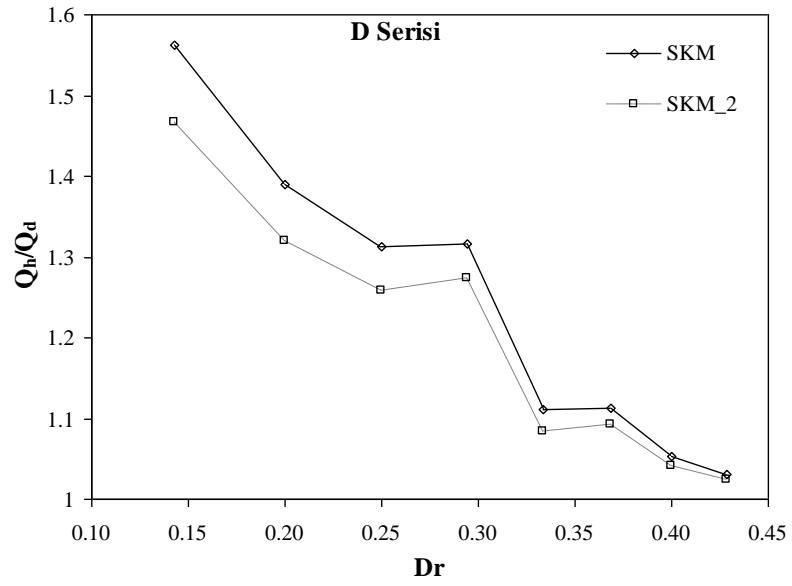
Şekil 3. Seri B için hesaplanan ve gözlenen debi değerleri



Şekil 4. Seri C için hesaplanan ve gözlenen debi değerleri



*BİLEŞİK KESİTLİ KANALLARDA İKİNCİL AKIMLARIN ETKİSİ*



**Şekil 5.** Seri D için hesaplanan ve gözlenen debi değerleri

Şekil 2-5’de görüldüğü gibi Abril ve Knight [16] tarafından önerilen ampirik denklemler uygulanmış ve rölatif derinliğin artışıyla  $Q_h/Q_d$  oranında azalma olduğu görülmektedir.

Kanal taban eğiminin 0.00043 olduğu deneyler için hesaplanan ve gözlenen debiler arasındaki hata değerleri Tablo 2’de verilmiştir. Hata değeri aşağıdaki denklemlerle belirlenmiştir.

$$Hata (\%) = \left| \frac{Q_h - Q_d}{Q_d} \right| \times 100 \quad (8)$$

Burada  $Q_h$  hesaplanan debiyi,  $Q_d$  gözlenen debiyi göstermektedir.

**Tablo 2.**  $S_0 = 0.00043$  için hata değerleri

Seri No	Hata (%)	
	SKM	SKM_2
A1-A7	2.35	2.07
B1-B6	7.36	5.34
C1-C8	12.88	9.85
D1-D8	23.61	19.48
<b>Ortalama</b>	<b>11.55</b>	<b>9.19</b>

Tablo 2'den de görüldüğü gibi ikincil akımların etkisinin en fazla D serisinde olduğu görülmüş ve % 4.13 hata oranında azalma olmuştur. Genel ortalama olarak ikincil akımların etkisinin hesaba dâhil edilmesi durumunda % 2.37'lik bir azalma görülmüştür.

### 3. SONUÇLAR

Farklı pürüzlülüğe sahip bileşik kesitli kanallarda debi hesaplamasında kullanılan iki boyutlu metotlardan SKM için ikincil akımların etkisi araştırılmıştır. SKM ile elde edilen değerler literatürde yayınlanan debi değerleri ile karşılaştırılmıştır. Bileşik kesitli kanallarda ikincil akımların etkisinin olduğu ve rölatif derinliğin artması ile ikincil akımların etkisinin azaldığı görülmüştür.

### 4. KAYNAKLAR

1. Bousmar, D. 2002. Flow modelling in compound channels–Momentum transfer between main channel and prismatic or non–prismatic floodplains. PhD Thesis, Universite Catholique de Louvain.
2. Sellin, R.H.J. 1964. A laboratory investigation into the interaction between the flow in the channel of a river and that over its flood plain. *La Houille Blanche*, 7, 793–802.
3. Zheleznyakov, G.V. 1965. Interaction of Channel and Floodplain Streams. *Proceeding 14<sup>th</sup> Congress of IAHR*, 5, Paris, France, 144–148.
4. Rajaratnam, N. and Ahmadi, R. 1979. Interaction between Main Channel and Floodplain Flows. *Journal of Hydraulics Division*, 105, No. HY5, 573–588.
5. Wormleaton, P.R., Allen, J. and Hadjipanous, P. 1982. Discharge Assessment in Compound Channel Flow. *Journal of the Hydraulics Division–ASCE*, 108, 975–994.
6. Knight, D.W. and Demetriou, J.D. 1983. Flood–Plain and Main Channel Flow Interaction. *Journal of Hydraulic Engineering–ASCE*, 109, 1073–1092.
7. Knight, D.W. and Hamed, M.E. 1984. Boundary Shear in Symmetrical Compound Channels. *Journal of Hydraulic Engineering–ASCE*, 110, 1412–1430.
8. Shiono, K. and Knight, D.W. 1989. Two dimensional analytical solution compound channel. *Proceeding of 3<sup>rd</sup> International Symposium on refined flow modeling and turbulence measurements*, Universal Academy Press, 591–599.
9. Shiono, K. and Knight, D.W. 1991. Turbulent Open–Channel Flows with Variable Depth across the Channel. *Journal of Fluid Mechanics*, 222, 617–646.
10. Knight, D.W., Shiono, K. and PIRT, J. 1989. Prediction of depth mean velocity and discharge in natural rivers with overbank flow. *Proceedings of the Conference on Hydraulics and Environmental Modelling of Coastal, Estuarine and River Waters*, eds. Falconer, R.A., Goodwin, P. and Matthew, R.G.S., Gower Publishing, 419–428.
11. Ackers, P. 1992. Hydraulic Design of 2–Stage Channels. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers–Water Maritime and Energy*, 96, 247–257.
12. Ackers, P. 1993. Flow Formulas for Straight 2–Stage Channels. *Journal of Hydraulic Research*, 31, 509–531.
13. Seçkin, G. 2004. A comparison of one–dimensional methods for estimating discharge capacity of straight compound channels. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 31, 619–631.

*BİLEŞİK KESİTLİ KANALLARDA İKİNCİL AKIMLARIN ETKİSİ*

14. Omran, M. 2008. New developments in predicting stage–discharge curves, velocity and boundary shear stress distributions in open channel flow. *Water and Environment Journal*, 22, 131–136.
15. Chlebek, J. 2009. Modelling of Simple Prismatic Channels with Varying Roughness Using The SKM and a Study of Flows in Smooth Non–Prismatic Channels with Skewed Floodplains. PhD thesis, University of Birmingham, Birmingham, UK.
16. Abril, J.B. and Knight, D.W. 2004. Stabilising the Paute River in Ecuador. *Civil Engineers*, Institute of Civil Engineers, London, 157, 32–38.
17. Chlebek, J. and Knight, D.W. 2006. A new perspective on sidewall correction procedures, based on SKM modelling. *River Flow 2006*, Vols 1 and 2, 135–144 2247.