

EXTENDED ABSTRACT

Discharge Estimation in Compound Channels with the Use of Diagonal Dividing Lines

H. A. Yonesi^{1*}, A. Marashi² and H. Torabipodeh³

- 1* - Corresponding Author, Assistant Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Lorestan University. (yonesi.h@lu.ac.ir).
- 2- Ph.D. Student, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Lorestan University.
- 3- Associate professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Lorestan University.

Received: 15 June 2017

Revised: 12 December 2017

Accepted: 16 December 2017

Keywords: Compound Open Channel, DCM Method, Apparent Shear Stress, Diagonal Dividing Line.

DOI: 10.22055/jise.2017.22296.1594.

Introduction

Based on the previous research, the flow rate estimation by the DCM method has been widely used in compound channels and many computational models have been developed accordingly. Therefore, a compound channel dividing into sections according to the most accurate method is a requirement that all researchers agree. While vertical lines are used in models for dividing the compound channel into the main channel and floodplain, some researchers maintain that vertical lines have an inaccurate performance compared with horizontal and diagonal lines, especially for low discharge (Khatua et al., 2013, Mohaghegh and Kouchakzadeh, 2008, and Ozbek et al., 2004). However, the methods for discharge estimation based on the shear stress calculation uses vertical lines (Ackers, 1993, Shiono and Knight, 1991, and Bousmar and Zech, 1999). In this research, it has been attempted to present the best angle of the dividing line, which results in a 0% error rate calculated by comparing the effect of dividing lines with different angles on the calculation of the discharge of the compound channel.

Methodology

The research was carried out using published data from the large-scale channel. Flood Channel Facility (FCF) that has been constructed at Hydraulics Research Ltd at Wallingford with measures 56m in length by 10m in width. In this study, the first series of data was used that provided for the study of a straight compound channel with uniform roughness set at a longitudinal bed slope of approximately 0.001, and the cross-section of the compound channel is networked, and the velocity values for each node are measured for different flow rates. Using these data, the flow through the channel can be calculated and compared with the measured flow rate. For this purpose, the compound channel was divided into three sub-sections: a main channel and two floodplains on the sides of the main channel. The diagonal lines were used at different angles for dividing the cross-section. The first angle in each experiment was chosen so that the division line reaches the intersection of the flood plain and the water surface and the last hypothetical line to the intersection of the water surface and the central channel of the compound channel. According to the DCM methods, the discharge in sub-sections was calculated using the flow resistance equations, such as Manning and the sum of calculated discharge for sub-sections was considered as the total flow. In order to calculate the wetted perimeter, four methods were considered: including or excluding within the calculation of wetted perimeter of main channel or floodplains. In order to compare the performance of these different methods, the rate of error was calculated using the following equation that the Q_m and Q_c are the measured and calculated discharge, respectively (Khatua et al. 2011):

$$Error\% = \frac{Q_c - Q_m}{Q_m} \times 100 \tag{1}$$

Results and Discussion

In this study, the error of the estimated discharge using Manning's equation was calculated, and the effect of the angle of division line on the error was investigated for different flow rates. As shown in Fig.1, the application of two methods (I) and (III) can lead to satisfactory results due to the convergence on both sides of the curves and the decreasing error rate. The methods of the wetted perimeter calculation in subsections are different for figs. (a) to (d). Methods (I) and (II) are including the division line length in the main channel and floodplains respectively for the calculation of wetted perimeter and methods (III) and (IV) are including the division line length in both of the main channel and floodplains and none of them respectively. According to the Fig.1, in the upper discharge and angles in the range of 30 to 140 degrees, the error rate is less than 5 percent, so the application of the vertical line and diagonal in this range can be accurate, but in lower discharge, angles in this range results in an error up to 40 percent. So, very small or very large angles but not horizontal lines should be chosen for the low discharge. The study of the apparent shear stress distribution at interfaces of the compound channel with different angles confirmed these results, and the maximum of apparent shear stress is on the vertical interface for all discharges and reduced by decrease and increase of the angle. It is observed that 10 to 30% of the flow resistance is assigned to the apparent shear force, and it reached 50% by the decrease of the angle, and the horizontal division lines have the lowest percentage of shear force. This confirms the previous studies.

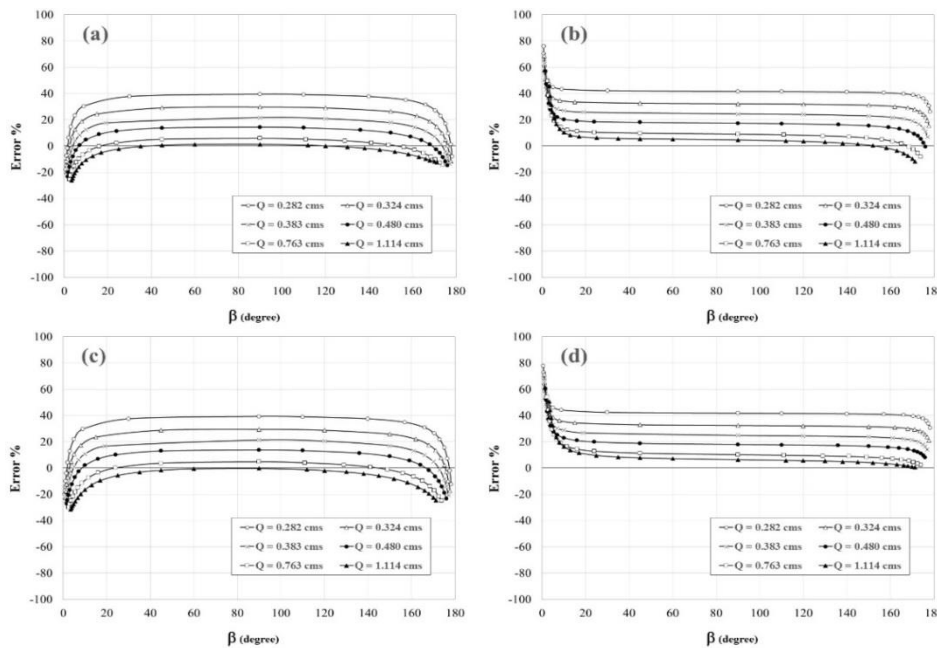


Fig. 1- The effect of the angle of the division line by the estimated discharge error for the methods of the wetted perimeter calculation:(a) method I, (b) method II, (c) method III, and (d) method IV

So based on the results of the application of the Manning equation, the optimal angle of the division line in the form of the following equations was obtained using the nonlinear regression method. (Fig.2)

$$\sin \beta^* = \text{Exp} \left(\frac{Dr - 0.506}{0.094} \right) \quad (\beta^* < 90^\circ) \tag{2}$$

$$\sin \beta^* = \text{Exp} \left(\frac{Dr - 0.506}{0.117} \right) \quad (\beta^* > 90^\circ) \tag{3}$$

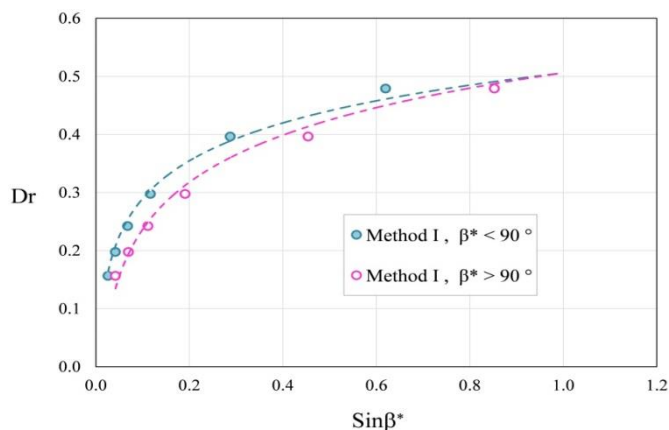


Figure 2- The curve of the best angle of the division line at different depth ratios

In these equations, Dr is the depth ratio and β^* is the best angle for the division line. β is 0 to 90 degree for Eq.2 and 90 to 180 degree for Eq.3. The apparent shear force is 10 to 25% of the flow resistance on the diagonal interfaces with the optimum angle according to the results of this study.

Conclusion

In this study, the best angle for the interface is determined in such a way that makes zero the discharge computational error by the Manning method compared with the data collected from the large channel facility (FCF) at Wallingford. Finally, equations and graphs are recommended to determine the optimum angle to depth ratio.

References

- 1- Ackers, P., 1993. Flow formula for straight two stage channels. *Journal of Hydraulic Research*, 31(4), pp.509-531
- 2- Bousmar, D. and Zech, Y., 1999. Momentum transfer for practical flow computation in compound channels. *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE*, 125(7), pp. 696–706.
- 3- Khatua, K.K., Patra, K.C., Mohanty, P.K. and Sahu, M., 2013. Selection of interface for discharge prediction in a compound channel flow. *International Journal of Sustainable Development and Planning*, 8(2), pp. 214–230.
- 4- Khatua, K.K., Patra, K.C., Behera, S. and Mohanty, P.K., 2011. Apparent shear stress and boundary shear distribution in a compound channel flow. *Computational Methods and Experimental Measurements XV*, 51, pp. 215-228.
- 5- Mohaghegh, A. and Kouchakzadeh, S., 2008. Evaluation of stage-discharge relationship in compound channels. *Journal of Hydrodynamics*, 20(1), pp. 81–87.
- 6- Ozbek, T., Kocyigit, M.B., Kocyigit, O. and Cebe, K., 2004. Comparison of methods for predicting discharge in straight compound channels using the apparent shear stress concept. *Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences*, 28(2), pp.101-109.
- 7- Shiono, K. and Knight, D.W., 1991. Turbulent open-channel flows with variable depth across the channel. *Journal of Fluid Mechanics*, 222, pp. 617–646.



برآورد دبی جریان در مقاطع مرکب با استفاده از خطوط تقسیم مورب

حجت الله یونسی^{۱*}، آوا مرعشی^۲ و حسن ترابی پوده^۳

*۱- نویسنده مسئول، استادیار گروه مهندسی آب دانشکده کشاورزی دانشگاه لرستان yonesi.h@lu.ac.ir

۲- دانشجوی دکتری سازه های آبی گروه مهندسی آب دانشکده کشاورزی دانشگاه لرستان

۳- دانشیار گروه مهندسی آب دانشکده کشاورزی دانشگاه لرستان

پذیرش: ۱۳۹۶/۹/۲۵

بازنگری: ۱۳۹۶/۹/۲۱

دریافت: ۱۳۹۶/۳/۲۵

چکیده

بر اساس تحقیقات پیشین، برآورد دبی در کانال‌های مرکب به روش خطوط تقسیم (DCM) کاربرد گسترده‌ای دارد و بسیاری از مدل‌های محاسباتی بر اساس این روش تهیه شده‌اند. بنابراین لزوم تجزیه مقطع مرکب به زیر مقاطع به دقیق‌ترین روش، نیازی است که همه محققین بر آن اتفاق نظر دارند. اما آنچه امروزه در مدل‌ها به کار می‌رود تجزیه مقطع مرکب با خطوط قائم است که برخی از محققین نشان داده‌اند که این روش عملکردی ضعیف‌تر از خطوط تقسیم افقی و مورب دارد و نتایج تحقیق حاضر نیز این امر را تأیید می‌کند. لذا در این تحقیق بهترین زاویه خط تقسیم به گونه‌ای تعیین شده است که خطای محاسبه دبی به روش مانینگ در مقایسه با داده‌های جمع‌آوری شده از کانال FCF در والینگفورد، صفر شود. در نهایت نمودار و معادله‌های پیشنهاد شده است که بتوان به کمک آن با داشتن عمق نسبی جریان، بهترین زاویه خط تقسیم را به دست آورد. خطای محاسباتی روابط پیشنهادی به کمک شاخص آماری RMSE تعیین شد. مقدار این شاخص برای این معادله‌ها به ترتیب 0.054 و 0.036 می‌باشد.

کلید واژه‌ها: کانال مرکب، روش DCM، تنش برشی ظاهری، خط تقسیم مورب.

مقدمه

با توجه به اینکه بیشتر آبراه‌های طبیعی دارای مقطع مرکب می‌باشند و اغلب در مجاورت مناطق مسکونی شهرها و روستاها و یا مناطق زراعی قرار دارند، دقت برآورد ظرفیت آب‌گذری در این آبراه‌ها، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. زیرا در هنگام سیلابی بودن رودخانه، ممکن است خطرات جانی و مالی به همراه داشته باشد. لذا در راستای این هدف، تحقیقات زیادی صورت گرفته است. اما با توجه به اینکه مقطع مرکب، دارای پیچیدگی هیدرولیکی بسیار می‌باشد، بنابراین ضرورت پژوهش و تلاش برای برآورد دبی در این مقاطع هنوز به قوت خود باقیست. به عنوان نمونه می‌توان به تحقیقات Parsaie et al. (2015) اشاره نمود که با استفاده از روش ماشین بردار پشتیبان، میزان دبی در کانال‌های مرکب را شبیه‌سازی نمودند و نشان دادند که با استفاده از تابع کرنل در این مدل می‌توان به نتایج قابل قبولی دست یافت. همچنین Maghrebi et al. (2017) به کمک ترسیم منحنی‌های هم‌سرعت در مقاطع عرضی کانال مرکب، منحنی دبی-اشل را ترسیم و روش خود را با روش‌های متداول مقایسه نمودند. ایشان اذعان داشتند که روش مذکور از دقت قابل قبولی برخوردار است. به منظور برآورد دبی کانال‌های مرکب، روش‌هایی که تاکنون مطرح شده و مورد بررسی و استفاده قرار گرفته‌اند عبارتند از:

روش SCM: روش مقطع واحد که در این روش کل مقطع مرکب به صورت یک مقطع واحد فرض می‌شود و از آن‌جا که زبری کانال اصلی و سیلاب دشت‌ها غالباً با هم متفاوت است، لذا به کمک روش‌هایی چون Horton-Einstein، Lotter، Pavlovski، زبری معادل محاسبه شده و به کمک معادله‌ها مقاومت جریان مانند معادله مانینگ مقدار دبی محاسبه می‌شود. استفاده از روش مقطع واحد در برآورد دبی مقاطع مرکب، همواره منجر به خطا شده و دبی را کمتر از مقدار واقعی تخمین می‌زند. زیرا در این روش پیچیدگی‌های مقطع مرکب دیده نشده است (Asgari et al., 2011).

روش DCM: روش تجزیه مقطع که در این روش مقطع کانال مرکب به تعدادی زیرمقطع تقسیم می‌شود و دبی عبوری از هر کدام از این زیر مقاطع به کمک معادله‌ها مقاومت جریان محاسبه شده و آب‌گذری کل مقطع مرکب از مجموع این مقادیر به دست می‌آید. در این روش، کانال مرکب با خطوط افقی، قائم و مورب تقسیم می‌شود. روش DCM در مقایسه با SCM میزان دبی را بهتر برآورد می‌کند (Weber and Menendez, 2004; Patra and Khatua, 2006). این روش به دلیل چشم‌پوشی از اثر انتقال مومنتوم جانبی در کانال مرکب، میزان دبی در کانال اصلی بیش‌برآورد نموده و در سیلاب‌دشت تخمینی کمتر از واقعیت دارد اما با این وجود به‌طور گسترده توسط مهندسين و در

خروجی پمپها نصب شده بودند، صورت گرفت. همچنین سرعت جریان به کمک تعدادی میکرومولینه و تنش برشی کف با استفاده از پرستون تیوب و از طریق یک مبدل اختلاف فشار اندازه گیری شد (Knight and Sellin, 1987). شکل (۱) نمایشی شماتیک از کانال FCF و شکل (۲) مقطع کانال مرکب و پارامترهای هندسی را نشان می‌دهد.

پارامترهای H و h: به ترتیب عمق کل و عمق لبریزی و پارامتر S: شیب دیواره‌ها (H:V) و Dr: عمق نسبی بوده که مطابق رابطه (۱) از تقسیم عمق جریان روی سیلاب‌دشت به عمق کل به دست می‌آید. 2b: عرض کف کانال اصلی و 2B: عرض کل کانال مرکب است.

$$Dr = \frac{H-h}{H} \quad (1)$$

در این آزمایش‌ها مقطع عرضی کانال مرکب شبکه‌بندی شده و مقادیر سرعت در هر گره برای دبی‌های مختلف اندازه‌گیری شده است. هندسه کانال و مقادیر دبی مورد استفاده در این تحقیق در جدول (۱) ارائه شده است.

داده‌های سرعت جریان در مقطع عرضی کانال مرکب در شبکه‌ای به ابعاد یک سانتی‌متر در جهت عمق و ۱۰ سانتی‌متر در جهت عرض کانال برداشت شد که با استفاده از این داده‌ها می‌توان دبی عبوری از کانال را محاسبه نمود و با دبی مشاهده‌ای که توسط یک سرریز در انتهای پایین‌دست کانال اندازه‌گیری شد، مقایسه نمود. بدین منظور کانال مرکب به سه زیرمقطع تقسیم شد که عبارتند از مقطع کانال اصلی و دو سیلاب‌دشت در طرفین کانال اصلی. برای تجزیه مقطع مرکب به سه زیرمقطع، از خطوط مورب با زوایای مختلف استفاده شد. خطوط تقسیم از نقطه آغازین لبریزی شروع و تا سطح آب با زوایای مختلف امتداد یافت. اولین زاویه در هر آزمایش به گونه‌ای انتخاب شد که خط تقسیم مفروض به محل تقاطع ساحل سیلاب‌دشت و سطح آب و آخرین خط تقسیم فرضی به محل تقاطع سطح آب و خط مرکزی کانال مرکب برسد.

مدل‌سازی‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد و در عین حال محققین بسیاری با توجه به اثر انتقال مومنتوم جانبی، لزوم انتخاب درست خط تقسیم را در روش EDM برای ارزیابی دبی - اشل کانال مرکب ثابت کرده‌اند (Ackers, 1992; Wright and Carstens, 1970; Wormleaton et al, 1982; Mohaghegh and Kouchakzadeh, 2008; Prinos and Townsend, 1984; Patra and Khatua, 2006; Khatua et al., 2013). آنچه محققینی چون Khatua et al. (2013) و Ozbek et al (2008) Mohaghegh and Kouchakzadeh (2004) به آن دست یافته‌اند، دقت بالای روش DCM با کاربرد خطوط تقسیم افقی و مورب است حال آنکه روش‌های تخمین دبی که مبتنی بر محاسبه تنش برشی هستند بر پایه تجزیه مقطع مرکب با صفحات قائم استوار است که از آن میان می‌توان به روش کوهپرنس (Ackers, 1993)، روش SKM، Shiono و Knight (1991) و روش EDM Bousmar و Zech (1999) اشاره نمود. بنابر آنچه بیان شد، روش DCM به‌طور گسترده مورد مطالعه و کاربرد قرار گرفته است در این تحقیق نیز سعی شده است که با مقایسه اثر خطوط تقسیم با زوایای مختلف بر تخمین دبی کانال مرکب، بهترین زاویه خط تقسیم را که منجر به خطای صفر درصدی محاسبه دبی می‌شود، ارائه گردد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق با استفاده از داده‌های منتشر شده کانال بزرگ مقیاس آزمایشگاه FCF وابسته به مرکز تحقیقات هیدرولیک والینگفورد انگلستان به طول ۵۶ متر و عرض ۱۰ متر که کانالی منشوری و متقارن و با زبری یکنواخت است انجام شده است. چرخه جریان آب به‌وسیله تعدادی پمپ صورت گرفته و بیشترین دبی آن ۱/۰۸ متر مکعب بر ثانیه بود. شرایط جریان در کانال توسط رقوم پایاب و با استفاده از سرریز قابل تنظیم، کنترل شده است. رقوم سطح آب نیز به‌وسیله ۲۱ لوله پیزومتر در خط مرکزی کانال که به فاصله‌های مشخص از یکدیگر نصب شده بودند و همچنین به کمک ۶ سنسور اندازه‌گیری رقوم سطح آب، برداشت شد. اندازه‌گیری دبی به‌وسیله صفحات اریفیس که در ابتدای لوله‌های

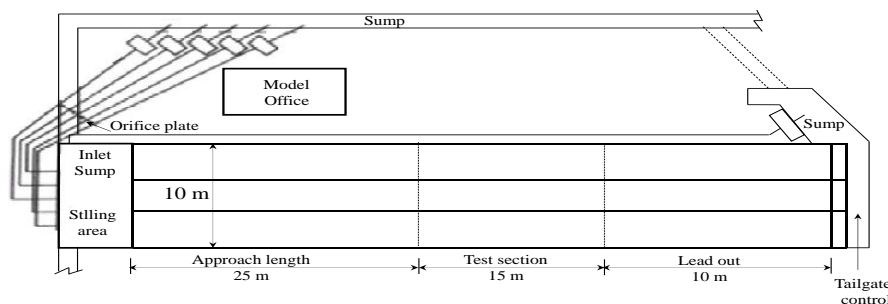


Fig. 1- Layout of SERC flood channel facility at Wallingford (Ackers, 1993)

شکل ۱- نقشه کانال مرکب FCF در والینگفورد (Ackers, 1993)

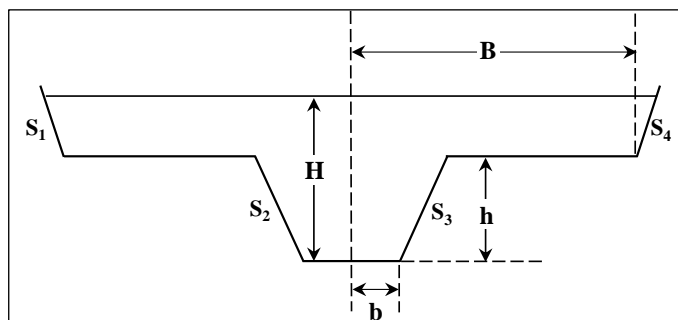


Fig. 2- Compound channel cross-section

شکل ۲- مقطع عرضی کانال مرکب

جدول ۱- مشخصات هندسی کانال و مقادیر دبی

Table 1- Channel geometry and discharge values

Test number	S1	S2	S3	S4	B (m)	b (m)	H (m)	h (m)	Dr	Q (cms)
020301	1	1	1	1	3.15	0.75	0.178	0.15	0.157	0.282
020401	1	1	1	1	3.15	0.75	0.187	0.15	0.198	0.324
020501	1	1	1	1	3.15	0.75	0.198	0.15	0.242	0.383
020601	1	1	1	1	3.15	0.75	0.214	0.15	0.299	0.480
020701	1	1	1	1	3.15	0.75	0.249	0.15	0.398	0.763
020801	1	1	1	1	3.15	0.75	0.288	0.15	0.479	1.114

محاسبه محیط خیس شده زیر مقطع، چهار حالت در نظر گرفته شد و نتایج حاصل از این چهار حالت مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت؛ (I) با در نظر گرفتن طول خط تقسیم در محاسبه محیط خیس شده کانال اصلی.

(II) با در نظر گرفتن طول خط تقسیم در محاسبه محیط خیس شده سیلاب دشت ها.

(III) با در نظر گرفتن طول خط تقسیم در محاسبه محیط خیس شده کانال اصلی و سیلاب دشت ها.

(IV) بدون در نظر گرفتن طول خط تقسیم در محاسبه محیط خیس شده کانال اصلی و سیلاب دشت ها.

برای مقایسه عملکرد روش های مختلف، میزان درصد خطای دبی به دست آمده نسبت به دبی مشاهده ای در هر آزمایش و برای زوایای مختلف خط تقسیم، به کمک رابطه (۳) محاسبه شد (Khatua et al. 2011).

$$Error\% = \frac{Q_c - Q_m}{Q_m} \times 100 \quad (3)$$

در این رابطه Q_c : دبی محاسباتی و Q_m : دبی مشاهده ای می باشد.

نمونه ای از وضعیت خطوط تقسیم فرضی در یک نیم مقطع عرضی کانال مرکب در شکل (۳) نشان داده شده است. زاویه خط تقسیم مورب با β نشان داده شده است که مقادیر آن از صفر تا ۱۸۰ درجه متغیر و مطابق با جهت مثلثاتی می باشد. در این شکل شبکه نقاط داده برداری سرعت مشخص شده اند.

برای محاسبه دبی در هر آزمایش، هر زیرمقطع به چندین جزء سطح تقسیم شد و برای محاسبه جزء دبی از داده های سرعت موجود در هر جزء سطح استفاده شد. بدین ترتیب مقدار دبی کل مقطع مرکب به ازای خط تقسیم فرضی با زوایای مختلف محاسبه و با دبی مشاهده ای مقایسه شد و میزان درصد خطا به دست آمد.

از طرف دیگر دبی در هر زیرمقطع را می توان طبق روش DCM به کمک معادله ها مقاومت جریان نظیر مانینگ، شزی و یا دارسی ویسیاخ محاسبه کرد در این تحقیق از معادله مانینگ (رابطه ۲) استفاده شده است.

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

که در این معادله Q : دبی، A : مساحت، n : ضریب زبری مانینگ، R : شعاع هیدرولیکی که برابر است با نسبت مساحت به محیط خیس شده و S : شیب طولی کانال می باشد. برای محاسبه دبی کانال مرکب، مجموع مقادیر دبی هر زیرمقطع محاسبه شد. برای

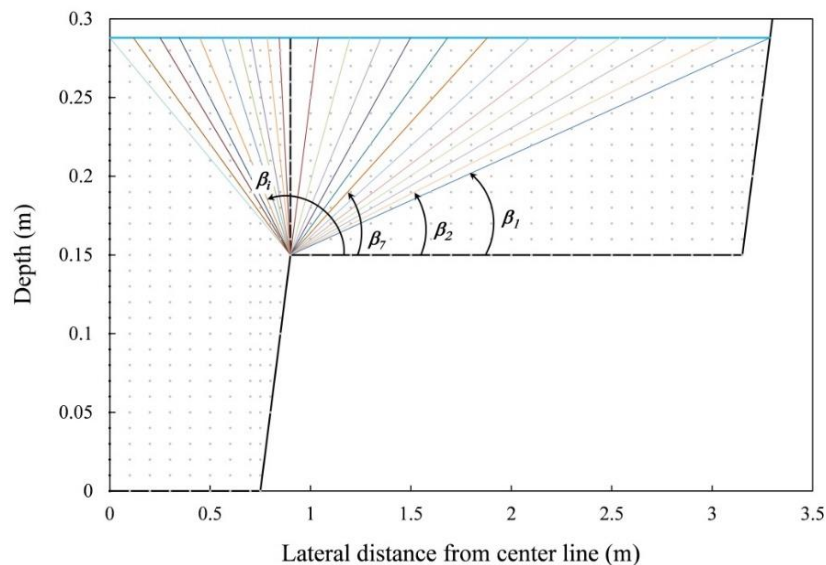


Fig. 3- Semi section of compound channel and the hypothetical division lines

شکل ۳- نیم مقطع کانال مرکب و خطوط تقسیم فرضی

اندازه‌گیری شده و مساحت زیرمقاطع برای محاسبه دبی استفاده می‌شود، می‌توان گفت که در این محدوده زاویه تقسیم (حدود دو و ۱۷۵ درجه)، برآورد متوسط سرعت در زیرمقاطع از دقت بالاتری نسبت به دیگر زوایا برخوردار است. زیرا در زاویه کم، مساحت سیلاب‌دشت کوچک شده و هر چه داده‌های سرعت یکنواخت‌تر باشند دقت محاسبه دبی افزایش می‌یابد. از طرفی در زاویه حدود ۱۷۵ درجه که نزدیک به خط افقی است، مساحت زیرمقطع سیلاب‌دشت افزایش چشمگیری یافته و غیر یکنواختی داده‌های سرعت اثر چندانی در کاهش دقت ندارد. به همین دلیل در زوایای مابین این دو حد مقدار خطای محاسبه دبی بیشتر می‌شود.

محاسبه دبی به این روش به دلیل در اختیار داشتن شبکه منظم و گسترده‌ای از داده‌های سرعت، به‌طور کلی و برای طیف وسیعی از زوایای انحراف خط تقسیم، دارای حداکثر خطای ۱/۵ درصد می‌باشد که قابل چشم‌پوشی است. اما با توجه به این‌که در شرایط واقعی امکان اندازه‌گیری سرعت به صورت شبکه‌بندی در یک مقطع مرکب که عمدتاً جریان به صورت سیلابی در آن اتفاق می‌افتد وجود ندارد، بنابراین لازم است که کارایی معادله‌ها مقاومت نظیر معادله‌ها مانینگ و سزی در کانال‌های مرکب مورد ارزیابی قرار گیرد.

نتایج و بحث

تحلیل نتایج محاسبه دبی با استفاده از داده‌های سرعت

برای محاسبه دبی در کانال مرکب، مقطع عرضی به سه زیرمقطع تقسیم شد. با تقسیم هر زیرمقطع به چندین جزء سطح و با در دست داشتن داده‌های سرعت، دبی در هر زیرمقطع و دبی کل، محاسبه و با داده مشاهده‌ای مقایسه شد. برای مقایسه اثر زاویه خط تقسیم بر دبی محاسباتی، در هر آزمایش چندین خط تقسیم با زوایای مختلف فرض و محاسبات دبی تکرار شد. با بررسی نتایج می‌توان تأثیر زاویه خط فرضی را بر دقت محاسبه دبی مورد تجزیه و تحلیل قرار داد. تغییرات درصد خطای محاسباتی دبی نسبت به زاویه و شیب خط تقسیم فرضی برای دبی‌های مختلف در شکل (۴) نشان داده شده است. این شکل نشان می‌دهد که بیشترین خطای محاسبه دبی مربوط به خط تقسیم قائم تا زاویه ۴۵ درجه می‌باشد و کمترین خطا مربوط به خطوط تقسیم متمایل به منته‌الیه ساحل سیلاب‌دشت یعنی زوایای حدود دو درجه و خطوط متمایل به خط مرکزی کانال مرکب یعنی زوایای حدود ۱۷۵ درجه می‌باشد. ملاحظه می‌شود ضمن این‌که به‌طور کلی، محاسبه دبی به روش مذکور برآوردی کمتر از واقعیت خواهد داشت، تغییرات دبی بر میزان خطای برآورد تأثیر مشخصی ندارد. با توجه به این‌که در این روش تنها از داده‌های سرعت

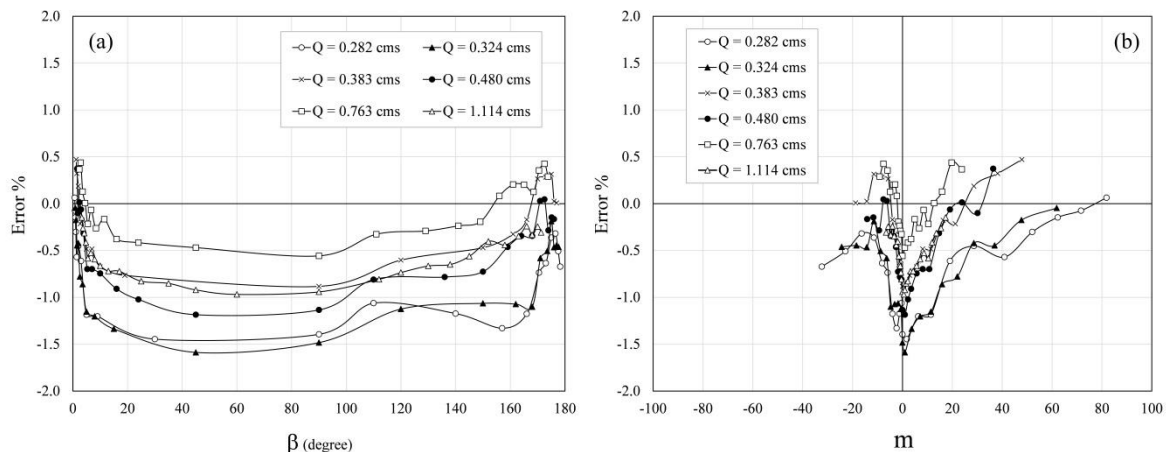


Fig. 4- Discharge computational error, (a) versus the angle of the hypothetical dividing lines (b) versus the slope of the hypothetical dividing lines

شکل ۴- تغییرات درصد خطای محاسباتی دبی، (a) نسبت به زاویه خط تقسیم فرضی و (b) نسبت به شیب خط تقسیم فرضی

هیدرولیکی گذاشته و دقت برآورد دبی را کاهش می‌دهند و خط قایم که طول کمتری دارد، خطای کمتری در محاسبات وارد می‌کند.

مقایسه نمودارهای شکل (۵) نشان می‌دهد که کاربرد دو روش (I) و (III) به دلیل وجود هم‌گرایی در دو سمت منحنی‌ها و روند کاهشی خطا، می‌توانند نتایج رضایت‌بخشی را به همراه داشته باشند. همان‌طور که مشاهده می‌شود با استفاده از این دو روش، در دبی‌های بالا و با انتخاب زاویه در دامنه ۳۰ تا ۱۴۰ درجه، برآورد دبی خطایی کمتر از پنج درصد داشته و در دبی‌های کم انتخاب زاویه در این دامنه منجر به خطایی تا حدود ۴۰ درصد می‌شود. بنابراین برای دبی‌های کم باید از زوایای خیلی کوچک و یا خیلی بزرگ استفاده نمود.

روند تغییرات خطای محاسبه دبی نسبت به شیب خط تقسیم در شکل (۶) نشان داده شده است. در این شکل مشاهده می‌شود که دو روش (I) و (III) روند منطقی و قابل استنتاجی دارند. نمودارهای مربوط به این دو روش وجود حداکثر میزان خطا را در خط تقسیم با شیب صفر که مربوط به خط قایم است برای دبی‌های کم نشان می‌دهد و مشاهده می‌شود که این نقطه عطف با افزایش دبی به سمت صفر میل می‌کند.

با استفاده از دو روش مذکور و با توجه به منحنی‌های (I) و (III) شکل (۵) می‌توان منحنی صفر درصد خطا را استخراج نمود. تغییرات زاویه خط تقسیم در دبی‌های مختلف به‌منظور برآورد دقیق دبی (خطای صفر درصد) در شکل (۷) نشان داده شده است. همان‌طور که این شکل نشان می‌دهد برای هر دبی دو زاویه بهینه می‌توان یافت که یکی از این زوایا برای خطوط تقسیم متمایل به سمت سیلاب‌دشت و دیگری برای خطوط تقسیم متمایل به کانال اصلی است. هر چه دبی افزایش می‌یابد، زاویه بهینه به سمت زاویه ۹۰ درجه یعنی خط تقسیم قایم میل می‌کند و در دبی‌های کم، از این مقدار فاصله می‌گیرد.

تحلیل نتایج محاسبه دبی با استفاده از معادله مانینگ

همان‌گونه که ذکر شد محاسبات دبی در هر زیرمقطع با استفاده از معادله پرکاربرد مانینگ برای هر آزمایش در چهار حالت محاسبه محیط خیس‌شده، برای خطوط تقسیم مورب با زوایای مختلف انجام و نتایج به‌دست‌آمده با دبی مشاهده‌ای مقایسه شد. به‌منظور رسیدن به این هدف محاسبات دبی به روش مانینگ در چهار حالت برای خطوط تقسیم متعدد با زوایای مختلف انجام شد تا بتوان روند تغییرات خطای محاسبه دبی نسبت به زوایای خطوط مورب را به‌دست آورد. تغییرات خطای برآورد دبی به کمک معادله مانینگ، نسبت به زاویه خطوط تقسیم برای دبی‌های مختلف در شکل (۵) نشان داده شده است. نمودارهای این شکل نشان می‌دهند که عملکرد روش‌های (I) و (III) مشابه هم و روش‌های (II) و (IV) نیز مشابه هم است.

همچنین از این شکل می‌توان دریافت که به‌طور کلی با افزایش دبی میزان خطای برآورد کاهش می‌یابد و در دبی‌های بالا یعنی عمق نسبی بیش از ۰/۴، زاویه خط تقسیم در دامنه ۲۰ تا ۱۶۰ درجه و کاربرد هر کدام از چهار حالت محاسبه محیط خیس‌شده در معادله مانینگ می‌تواند خطای کمتر از ۱۰ درصد را نتیجه دهد. بنابراین کاربرد خط تقسیم قایم در دبی‌های بالا می‌تواند موجه باشد. به‌طوری‌که در عمق نسبی بیش از ۰/۴، کاربرد دو حالت (I) و (III) و خط تقسیم قایم، برآورد نسبتاً دقیقی را نتیجه خواهد داد.

به‌طور کلی محققین بر این نکته اتفاق نظر دارند که با افزایش دبی و در نتیجه افزایش عمق نسبی، هیدرولیک کانال مرکب مشابه مقطع واحد می‌شود. به‌طوری‌که در عمق‌های نسبی حدود ۰/۵ به بالا می‌توان کانال مرکب را یک مقطع واحد در نظر گرفت و اثرات متقابل کانال اصلی و سیلاب‌دشت بسیار ناچیز خواهد بود. به همین دلیل در حالت‌های (I) و (III) خطوط مایل خط تقسیم که طول بلندتری نسبت به خط قایم دارند، تأثیر زیادی بر شعاع

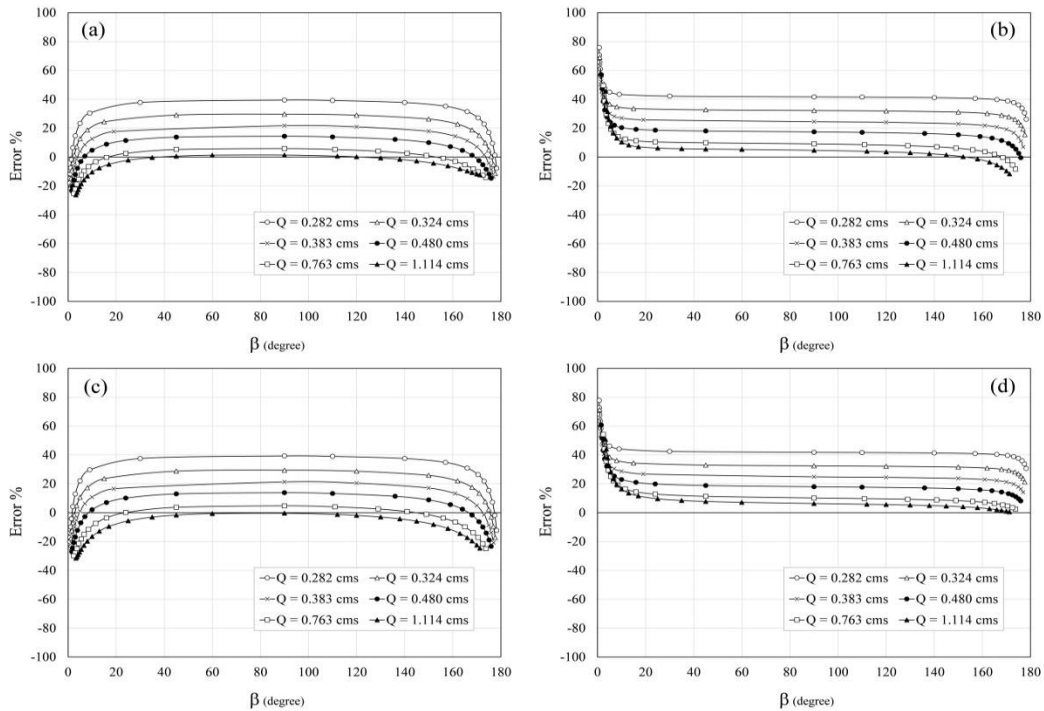


Fig 5- Changes of the discharge computational error versus the angle of the hypothetical dividing lines for the methods of the wetted perimeter calculation : (a) method I, (b) method II, (c) method III and (d) method IV

شکل ۵- تغییرات خطای برآورد دبی نسبت به زاویه خطوط تقسیم در حالت‌های مختلف محاسبه محیط خیس شده: (a) حالت I, (b) حالت II, (c) حالت III (d) حالت IV

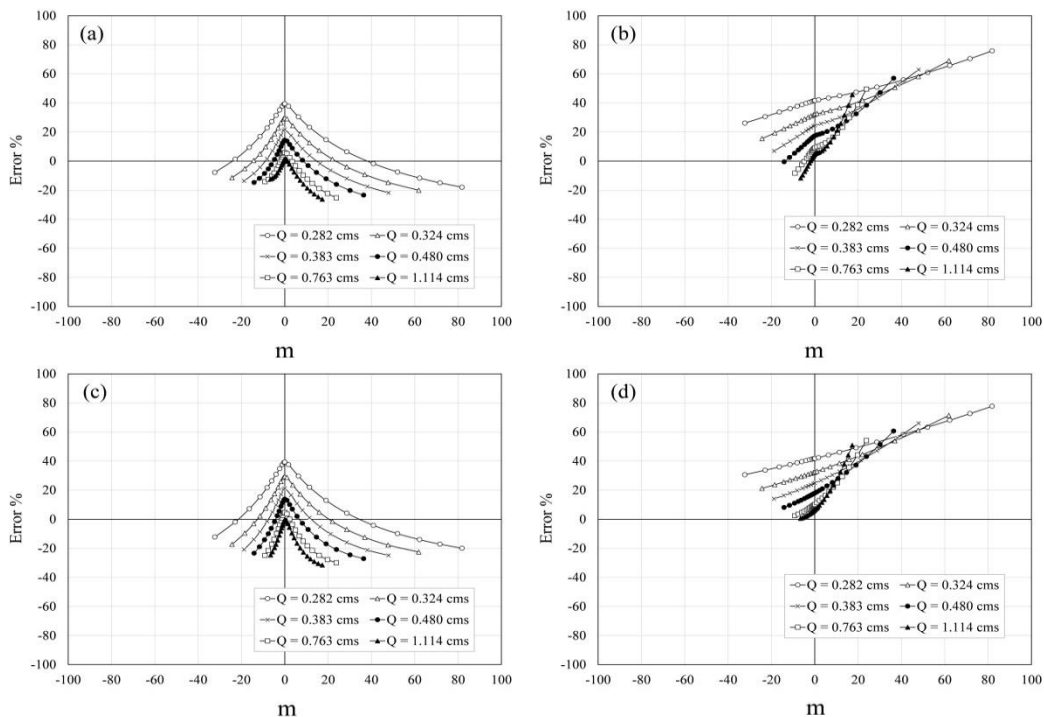


Fig 6- Changes of the discharge computational error versus the slope of the hypothetical dividing for methods of the wetted perimeter calculation : (a) method I, (b) method II, (c) method III and (d) method IV

شکل ۶- تغییرات خطای برآورد دبی نسبت به شیب خطوط تقسیم در حالت‌های مختلف محاسبه محیط خیس شده: (a) حالت I, (b) حالت II, (c) حالت III (d) حالت IV

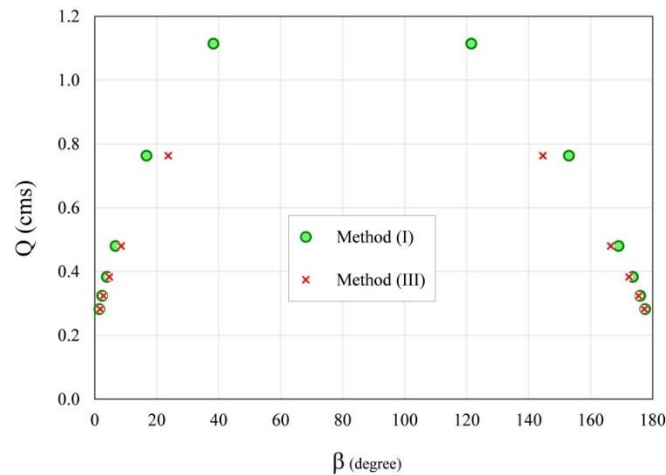


Fig. 7- Values of the best angle of the dividing lines in different discharges

شکل ۷- مقادیر بهترین زاویه خط تجزیه مقطع مرکب در دبی‌های مختلف

$$Fp_1 - Fp_2 + F_g - F_b - F_a = \rho Q(V_2 - V_1) \quad (5)$$

در این معادله Fp_1 و Fp_2 : نیروهای فشاری به ترتیب در مقطع بالادست و پایین دست می‌باشند. از آنجا که جریان یکنواخت فرض می‌شود لذا مقادیر عمق جریان در دو مقطع بالادست و پایین دست برابر و این دو نیرو نیز برابرند لذا از معادله حذف می‌شوند. F_a : نیروی برشی ظاهری می‌باشد. F_g : نیروی وزن سیال در حجم مشخص به طول واحد (یک متر) بوده و برابر است با:

$$F_g = \gamma AS_0 \quad (6)$$

A: مساحت زیرمقطع کانال اصلی و S_0 : شیب طولی کانال است. F_b : نیروی تنش برشی کف بوده و مقدار آن در طول واحد برابر است با:

$$F_b = \tau_b \times P \quad (7)$$

τ_b : تنش برشی کف و P: محیط خیس شده و برابر است با مجموع عرض و دیواره‌های کانال اصلی و طول خطوط تقسیم. برای محاسبه F_b از داده‌های تنش برشی کف که به وسیله پرستون تیوب اندازه‌گیری شده است، استفاده شد. به دلیل این که مقطع این کانال مرکب یک مقطع منشوری است، لذا تبادل دبی از سیلاب‌دشت به کانال اصلی و بالعکس صفر فرض می‌شود. بنابراین معادله مومنتوم به صورت رابطه ۸ نوشته می‌شود:

$$F_g - F_b = F_a \quad (8)$$

با استفاده از این رابطه مقدار تنش برشی ظاهری روی خطوط تقسیم قابل محاسبه است.

بررسی تنش برشی ظاهری

در ادامه به منظور میزان تطابق نتایج حاصله با مقادیر تنش برشی ظاهری محاسبات مربوط انجام شد. همان‌طور که شکل (۸) نشان می‌دهد به دلیل وجود اختلاف چشمگیر مقادیر سرعت در کانال اصلی و سیلاب‌دشت، در حد فاصل این دو زیرمقطع تنش برشی قابل توجهی رخ می‌دهد که به آن تنش برشی ظاهری گفته می‌شود (Mohaghegh and Kouchakzadeh, 2008). این تنش برشی سبب ایجاد جریان‌های چرخشی در راستای عمق شده مقاومت جریان را افزایش می‌دهد. به همین دلیل وجود این نیروهای مقاوم سبب کاهش دبی خواهند شد. لذا در این تحقیق سعی می‌شود که با یافتن فصل مشترک مناسب برای دو مقطع اصلی و سیلاب‌دشت، تنش برشی ظاهری به حداقل ممکن برسد که در نتیجه آن خطای محاسبه دبی به روش مانینگ تا حد ممکن کاهش یابد.

به منظور محاسبه تنش برشی ظاهری از معادله مومنتوم استفاده می‌شود از آنجا که کانال مرکب در این تحقیق منشوری است و جریان یکنواخت و ماندگار در آن برقرار است لذا می‌توان از معادله مومنتوم ساده‌شده استفاده نمود:

$$\sum F = \rho Q \Delta V \quad (4)$$

این معادله برای یک حجم مشخص باید نوشته شود. زیرمقطع کانال اصلی به طول یک متر در امتداد جریان، به عنوان حجم مشخص فرض شده است. در این معادله $\sum F$: مجموع نیروهای وارد بر حجم کنترل، p: جرم مخصوص آب، Q: دبی جریان و ΔV : اختلاف سرعت جریان در مقاطع بالادست و پایین دست حجم کنترل می‌باشند. موقعیت حجم کنترل در شکل (۸) نشان داده شده است. معادله مومنتوم برای این حجم کنترل به صورت رابطه ۵ می‌باشد:

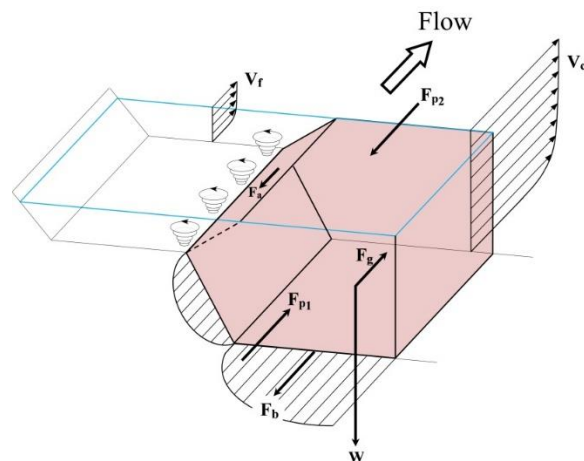


Fig. 8- 3D view of the Semi section of compound channel and forces acting on the control volume

شکل ۸- نمایشی از نیم‌مقطع کانال مرکب و نیروهای وارد بر حجم کنترل

۲۵ درصد و خط قایم ۲۰ درصد نیروی برشی ظاهری خواهند داشت.

براساس تطابق نتایج حاصل از کاربرد معادله مانینگ و بررسی تنش برشی ظاهری، می‌توان زوایای بهینه خط تقسیم را در قالب معادله‌های زیر که با استفاده از روش رگرسیون غیرخطی به دست آمده‌اند، توصیه نمود:

$$\sin \beta^* = \text{Exp} \left(\frac{Dr - 0.506}{0.094} \right) \quad (\beta^* < 90^\circ) \quad (10)$$

$$\sin \beta^* = \text{Exp} \left(\frac{Dr - 0.506}{0.117} \right) \quad (\beta^* > 90^\circ) \quad (11)$$

که در آن‌ها β^* : بهترین زاویه خط تقسیم می‌باشد. این معادله‌ها با استفاده از روند تغییرات زوایای بهینه خط تقسیم، نسبت به عمق نسبی جریان در کانال مرکب که در شکل (۱۲) ارایه شده است، به دست آمده‌اند. لازم به ذکر است که این معادله‌ها براساس کاربرد معادله مانینگ به روش (I) یافت شده‌اند. معادله‌های (۱۰) و (۱۱) به ترتیب مربوط به خطوط تقسیم متمایل به سیلاب‌دشت ($\beta^* < 90^\circ$) و متمایل به کانال اصلی ($\beta^* > 90^\circ$) می‌باشند.

خطای محاسباتی روابط مذکور به کمک شاخص آماری RMSE تعیین شد. مقدار این شاخص برای روابط (۱۰) و (۱۱) به ترتیب ۰/۰۵۴ و ۰/۰۳۶ بوده، که نشان دهنده دقت مناسب روابط پیشنهادی می‌باشد.

موقعیت بهترین خط تقسیم، برای برخی از دبی‌ها در شکل (۱۳) آمده است. در این شکل منحنی‌های هم‌سرعت جریان در کانال اصلی و سیلاب‌دشت ترسیم شده‌است. مقادیر سرعت متوسط زیرمقاطع سیلاب‌دشت و کانال اصلی نشان داده شده‌اند.

تغییرات تنش برشی ظاهری نسبت به عمق نسبی جریان در کانال مرکب در شکل (۹) نشان داده شده است. ملاحظه می‌شود که بیشترین تنش برشی ظاهری روی صفحه تقسیم قایم رخ می‌دهد و مقدار تنش برشی ظاهری، روی صفحات مورب کاهش می‌یابد. تغییرات تنش برشی ظاهری نسبت به زاویه، برای دبی‌های مختلف در شکل (۱۰) نشان داده شده است. ملاحظه می‌شود که در همه دبی‌ها بیشترین تنش برشی ظاهری مربوط به زوایای حدود ۹۰ درجه است. بنابراین بهترین زاویه را باید در زوایای خیلی کوچک و خیلی بزرگ جستجو نمود. زیرا در این دو ناحیه، تنش برشی ظاهری بر روی صفحه تقسیم، کمتر است. مقدار تنش برشی ظاهری برای زوایای با خطای محاسباتی صفر، روی منحنی‌های شکل (۱۰) نشان داده شده‌اند. پس از محاسبه درصد نیروی برشی ظاهری به کمک معادله (۹)، تغییرات این پارامتر نسبت به زوایای خط تقسیم در شکل (۱۱) نشان داده شده است.

$$ASF\% = \frac{F_a}{F_a + F_b} \times 100 \quad (9)$$

ملاحظه می‌شود که عمدتاً ۱۰ تا ۳۰ درصد نیروی مقاومت جریان به نیروی برشی ظاهری اختصاص می‌یابد و با کاهش زاویه به ۵۰ درصد نیز می‌رسد و خطوط تقسیم افقی کمترین درصد نیروی برشی ظاهری را دارا هستند. همان‌طور که مشاهده می‌شود با فرض خط تقسیم در دامنه زاویه ۱۷۰ تا ۱۸۰ درجه، نیروی برشی ظاهری کمتر از ۱۰ درصد خواهد بود. بنابراین با این دیدگاه کاربرد خط تقسیم افقی توجیه پذیر است. اما کاربرد معادله مانینگ با خط تقسیم افقی دقت مناسبی را ارائه نمی‌دهد. شکل (۱۱) نشان می‌دهد که تمایل خطوط تقسیم به سمت سیلاب‌دشت (زوایای کوچکتر از ۹۰ درجه) سبب افزایش سهم نیروی برشی ظاهری نسبت به کل نیروی مقاومت جریان می‌گردد. در عین حال خطوط تقسیم مورب با زوایای بهینه حاصل از این تحقیق به‌طور کلی ۱۰ تا

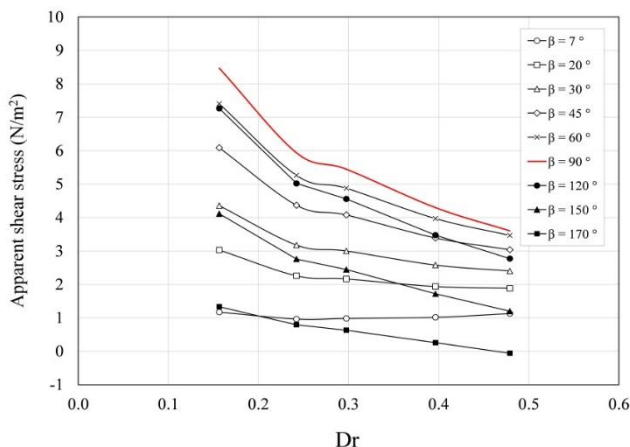


Fig. 9- Apparent shear stress changes versus depth ratio
 شکل ۹- تغییرات تنش برشی ظاهری نسبت به عمق نسبی

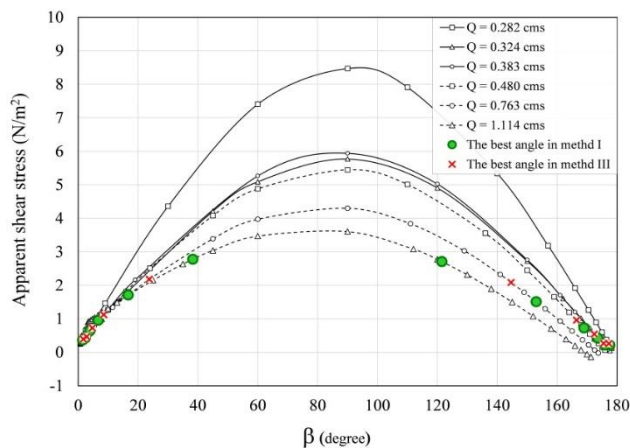


Fig. 10- Apparent shear stress changes versus the angle of dividing line
 شکل ۱۰- تغییرات تنش برشی ظاهری نسبت به زاویه خط تقسیم

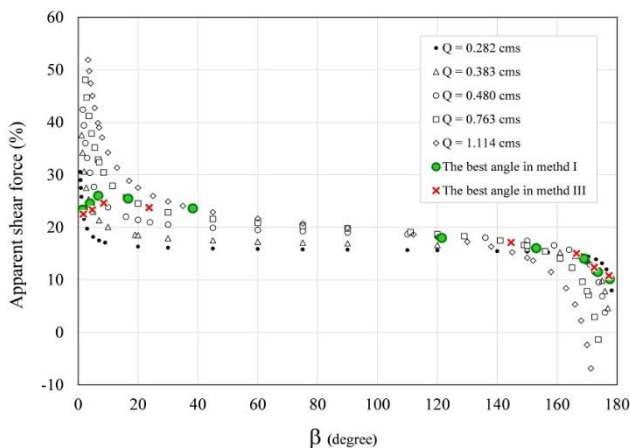


Fig. 11- Percentage of apparent shear force changes versus the angle of dividing line
 شکل ۱۱- تغییرات درصد نیروی برشی ظاهری نسبت به زاویه خط تقسیم

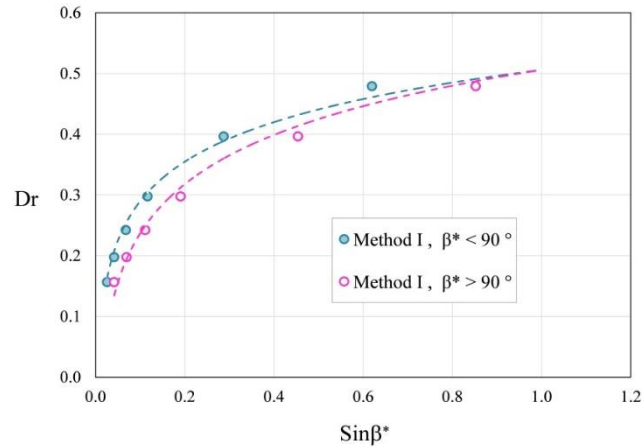


Fig. 12- Values of the best angle of the compound section dividing lines in different depth ratio
 شکل ۱۲- مقادیر بهترین زاویه خط تجزیه مقطع مرکب در اعماق نسبی مختلف

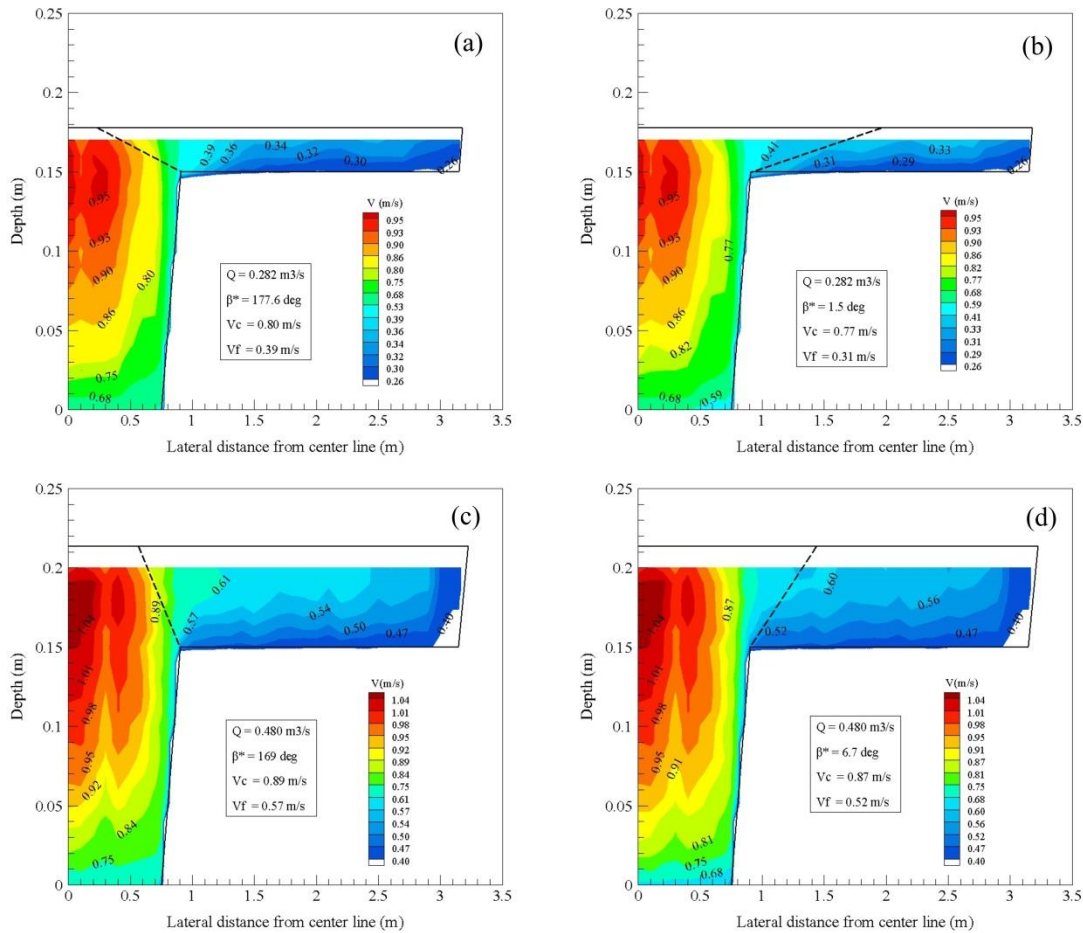


Fig. 13- Status of the best angle of the dividing lines at iso velocity planes:(a) $Q=0.282$ cms and $\beta^*=177.6$, (b) $Q=0.282$ cms and $\beta^*=1.5$, (c) $Q=0.48$ cms and $\beta^*=169$, (d) $Q=0.48$ cms and $\beta^*=6.7$
 شکل ۱۳- موقعیت خطوط تقسیم بهینه در صفحه منحنی های هم سرعت: (a) دبی ۰/۲۸۲ مترمکعب بر ثانیه و زاویه ۱۷۷/۶ درجه، (b) دبی ۰/۲۸۲ مترمکعب بر ثانیه و زاویه ۱/۵ درجه، (c) دبی ۰/۴۸ مترمکعب بر ثانیه و زاویه ۱۶۹ درجه و (d) دبی ۰/۴۸ مترمکعب بر ثانیه و زاویه ۶/۷ درجه

نتیجه گیری

داده‌های مشاهداتی کانال FCF استفاده شد. محاسبات معادله مانینگ از یک طرف و محاسبات تنش برشی از طرف دیگر نشان داد که بیشترین خطا مخصوصاً در دبی‌های کم مربوط به خط تقسیم قائم است و با تمایل آن به دو سو یعنی به سمت سیلاب‌دشت و به سمت کانال اصلی میزان این خطا کاهش می‌یابد و البته این بدین معنا نیست که کاربرد خطوط افقی بهترین نتیجه را در پی خواهد داشت، بلکه با استفاده از روند تغییرات خطا، مقادیر بهینه زاویه خط تقسیم برای هر دبی به دست آمد و در نهایت نمودار و معادله‌هایی پیشنهاد شد که بتوان به کمک آن با داشتن عمق نسبی جریان، بهترین زاویه خط تقسیم را به دست آورد.

در این تحقیق دقت استفاده از معادله مانینگ به منظور برآورد دبی در کانال‌های مرکب به روش DCM برای زوایای مختلف خط تقسیم مورد بررسی قرار گرفت. در استفاده از این معادله، چهار حالت نحوه محاسبه محیط خیس‌شده در زیرمقاطع در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد که منحنی‌های ترسیم‌شده به کمک دو روش (I) و (III) که در آنها طول خط تقسیم در محاسبه محیط خیس‌شده کانال اصلی در نظر گرفته می‌شود، محور خطای صفر درصد را قطع می‌کنند. با استفاده از این نقاط تقاطع، روابطی برای محاسبه زاویه بهینه استخراج شد. به منظور یافتن درصد خطای محاسباتی از

References

- 1- Asgari, A., Mohammadi, M. and Manafpur, M., 2011. Flow Discharge and Energy Grade-line in Compound Channels. *Water and Soil Science*, 21(1), pp.85-96. (In Persian).
- 2- Ackers, P., 1992. Hydraulic design of two stage channels. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers, Water Maritime and Energy*, 96(4), pp.247-257.
- 3- Ackers, P., 1993. Flow formula for straight two stage channels. *Journal of Hydraulic Research*, 31(4), pp.509-531
- 4- Bousmar, D. and Zech, Y., 1999. Momentum transfer for practical flow computation in compound channels. *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE*, 125(7), pp. 696-706.
- 5- Khatua, K.K., Patra, K.C., Mohanty, P.K. and Sahu, M., 2013. Selection of interface for discharge prediction in a compound channel flow. *International Journal of Sustainable Development and Planning*, 8(2), pp. 214-230.
- 6- Khatua, K.K., Patra, K.C., Behera, S. and Mohanty, P.K., 2011. Apparent shear stress and boundary shear distribution in a compound channel flow. *Computational Methods and Experimental Measurements XV*, 51, pp. 215-228.
- 7- Knight, D.W. and Sellin, R.H.J., 1987. The SERC Flood Channel Facility. *Journal of the Institution of Water and Environmental Management*, 1(2), pp.198-204.
- 8- Maghrebi, M.F., Kavousizadeh, A., Faghfour Maghrebi, R. and Ahmadi, A., 2017. Stage-discharge estimation in straight compound channels using isovel contours. *Hydrological processes*, 31(22), pp.3859-3870.
- 9- Mohaghegh, A. and Kouchakzadeh, S., 2008. Evaluation of stage-discharge relationship in compound channels. *Journal of Hydrodynamics*, 20(1), pp. 81-87.
- 10- Ozbek, T., Kocyigit, M.B., Kocyigit, O. and Cebe, K., 2004. Comparison of methods for predicting discharge in straight compound channels using the apparent shear stress concept. *Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences*, 28(2), pp.101-109.
- 11- Parsaie, A., Yonesi, H.A. and Najafian, S., 2015. Predictive modeling of discharge in compound open channel by support vector machine technique. *Modeling Earth System Environment*, 1(1)
- 12- Patra, K.C. and Khatua, K.K., 2006. Selection of interface plane in the assessment of discharge in two stage meandering and straight compound channels. *Proceeding of the International Conference on Fluvial Hydraulics (IAHR), River Flow 2006, Lisbon*, pp.379-387.

-
- 13- Prinos, P. and Townsend, R.D., 1984. Comparison of methods of predicting discharge in compound open channels. *Advances in Water Resources*, 7(4), pp.180–187.
 - 14- Shiono, K. and Knight, D.W., 1991. Turbulent open-channel flows with variable depth across the channel. *Journal of Fluid Mechanics*. 222, pp. 617–646.
 - 15- Weber, J.F. and Menendez, A.N., 2004. Performance of lateral velocity distribution models for compound channel sections. *Proceedings of the International Conference on Fluvial Hydraulics (IAHR), River Flow2004, Balkema, Rotterdam, the Netherlands*, pp.449–457.
 - 16- Wright, R.R. and Carstens, M.R., 1970. Linear momentum flux to overbank sections. *Journal of the Hydraulics Division, ASCE*, 96(9), pp.1781–1793.
 - 17- Wormleaton, P.R., Allen, J. and Hadjipanous, P., 1982. Discharge assessment in compound channel flow. *Journal of the Hydraulic Division, ASCE*, 108(9): 975–994.