

با یک یا دو سیلابدشت با جریانی کم عمق و آرام احاطه شده است بایستی به منظور کاهش خطاهای طراحی مقادیر α و β بطور دقیق تعیین گردند.

روش‌های محاسبه α و β به سه روش تقریبی، ترسیمی و تئوری تقسیم‌بندی می‌گردد. در برخی از مطالعات α و β براساس رابطه‌ی بین نسبت سرعت حداکثر به سرعت متوسط در هر مقطع عرضی بیان شده است (Chow., 1951; Mazumder.,1971). با افزایش غیریکنواختی در توزیع سرعت جریان، مقادیر α و β افزایش یافته بطوری که ضریب α می‌تواند در آبراهه‌های طبیعی به بیش از ۲ نیز افزایش یابد (Henderon.,1966). چاه مقادیر α در یک کانال مرکب با مقطع نامنظم را بین ۱ و ۲ پیشنهاد داده است (Chow., 1951). موهانتی ضرایب α و β را کانال مرکب صاف مستقیم با سیلابدشت-های متقارن مورد بررسی قرار داد و مقادیر ۲/۰۹ و ۱/۳۹ را به ترتیب برای α و β ارائه نمود (Mohanty., 2013). کولوپایلا به طور متوسط مقادیر ۱/۷۵ و ۱/۲۵ را به ترتیب برای α و β در رودخانه و کانال‌های دارای سیلابدشت ارائه نموده است (Kolupaila.,1956). لی و هگر مقادیر α و β را به ترتیب ۱/۱۵ و ۱/۰۶ ارائه نمودند (Li and Hager.,1991). همچنین سکین و همکاران براساس داده‌های آزمایشگاهی یک کانال مرکب مستطیلی متقارن با نسبت عرض کانال اصلی به سیلاب دشت‌ها برابر ۳/۰۴۶ و با استفاده از نتایج آزمایش‌های بلالوک در کانال مرکب غیرمتقارن با نسبت عرض کانال اصلی به سیلابدشت برابر ۳/۶، برای α و β به ترتیب مقادیر متوسط ۱/۱۵۶ و ۱/۰۵۶ را ارائه نمود (Seekin et al.,2009; Blalock and Sturm.,1983). Sturm 1981; Blalock and Sturm.,1983) پارسای براساس مطالعات تئوری نشان داد که مقادیر α و β در کانال مرکب متقارن می‌تواند به ترتیب تا ۲/۲ و ۱/۴ افزایش یابد (Parsaie, A. 2016).

مواد و روش‌ها

نرم افزار CES

نرم افزار CES پس مشخص شدن ایراداتی که در روش‌های مورد استفاده در برآورد دبی در مدل‌های یک بعدی نظیر ISIS، HECRAS و MIKE11 وجود داشت، توسعه یافته است. به عنوان مثال نرم افزار ISIS، براساس روش DCM^۱ توسعه یافته است و روش DCM بر پایه غیرفیزیکی ارائه شده و برآوردهای کم دقتی برای جریان‌های خارج از کانال اصلی ارائه می‌دهد. همچنین نتایج تقریباً مشابهی توسط نرم افزار HEC-RAS، ارائه شده است. در این نرم افزار مقطع جریان با توجه به مقادیر یکسان سرعت تقسیم‌بندی گردیده که معمولاً این عملیات با توجه به شکل مقطع ورودی و

به منظور تعیین مقدار نیروی برشی ایجاد شده در چنین شرایطی افرادی از جمله نایت، نایت و حامد، نایت و شیانو، شیانو و نایت و دیگران تحقیقاتی انجام داده‌اند (Knight.,1983; Knight and Hamed.,1984; Knight and Shiono .,1996; Shiono and Knight.,1991).

نایت و همکاران براساس تعادل نیروها مقدار میانگین نیروی برشی ظاهری را روی صفحه عمودی، افقی و مایل بین کانال اصلی و سیلابدشت برآورد نمودند (French 1987 knight et al.,1984). از طرفی توزیع سرعت عرضی در کانال‌های مرکب برخلاف تئوری ساده کننده جریان در کانال‌های ساده منفرد، غیر یکنواخت بوده و نیاز به اندازه‌گیری انرژی جنبشی و تغییرات مومنوم در کانال دارد (Raju.,1981). هرگونه انحراف نسبت به تئوری توزیع یکنواخت سرعت با دو ضریب تصحیح انرژی جنبشی، α یا ضریب کوریولیس (Coriolis.,1836) و ضریب تصحیح مومنوم، β یا ضریب بوزینسک (Boussinesq.,1877) قابل محاسبه می‌باشد. ضریب تصحیح انرژی جنبشی یکی از مهم‌ترین ضرایب در محاسبه پروفیل سطح آب جریان در کانال‌های مرکب می‌باشد (Chow.,1951). اگر ضریب انرژی مورد غفلت واقع شود میزان انرژی محاسبه شده با خطای زیادی برآورد می‌گردد (Keshavarzi.,1993).

زمانی که توزیع عرضی و عمقی سرعت در مقطع کانال یکنواخت باشد مقادیر α و β واحد خواهند بود. البته توزیع سرعت تحت اثر عوامل مختلفی نظیر شکل مقطع عرضی، انحنا، عمق جریان، شیب کانال، زبری و غیره قرار دارد (Chow.,1951; French.,1987). توزیع سرعت در کانال‌های مرکب بسیار غیر یکنواخت بوده و یک غیریکنواختی در محل صفحه تقابل جریان کانال اصلی و سیلابدشت در شکل توزیع سرعت در عرض کانال در تحقیقات مختلف مشاهده شده است (Al-Khatib et al.,2013; Mohanty and Khatua, 2014; Fernandes et al.,2012; French.,1987; Shiono and Rameshwaran.,2015).

وجود دیواره‌های صلب در کانال‌ها ضرایب تصحیح انرژی جنبشی و مومنوم را تحت تاثیر قرار می‌دهد، بخصوص در کانال‌های مرکب که ضریب تصحیح انرژی جنبشی و مومنوم به شکل کانال وابسته است لذا تعیین دقیق این دو پارامتر بسیار با اهمیت بوده و عدم کاربرد مقادیر صحیح آن‌ها موجب خطا در بررسی رفتار جریان، برآورد منحنی دبی اشل، مطالعات خیزآب و غیره خواهد شد. نادیده گرفتن ضریب تصحیح انرژی جنبشی و مومنوم در مسائل کاربردی جریان می‌تواند موجب ۵-۱۰ درصد خطا حتی در محاسبات جریان یکنواخت گردد (Fenton., 2005). هرچند کاربرد مقادیر از پیش تعیین شده برای α و β که در منابع مختلف به آن اشاره شده در کارهای اجرایی مورد استفاده قرار می‌گیرد، در کانال‌هایی با مقطع ساده نتایج خوبی بدست می‌دهد ولی در مقاطع مرکب با کانال اصلی عمیق و جریان سریع که

تصحیح انرژی جنبشی و مومنتوم می‌پردازد. این مدل معادلات پیوستگی و مومنتوم را برای جریان دائمی حل می‌نماید. نتایج نشان می‌دهد که توزیع سرعت برآورد شده با مدل CES همخوانی بهتری با داده‌های واقعی در مقایسه با مدل دو بعدی SRH-2D داشته است. همچنین نتایج بهتری از مومنتوم بین کانال اصلی و سیلابدشت ارائه نموده است.

بعد از اولین کارهای تحقیقاتی انجام یافته سلین (Sellin., 1964) محققان زیادی رفتار هیدرولیکی جریان در کانال‌های مرکب را مورد مطالعه قرار داده‌اند و چندین روش محاسباتی نیز جهت مدل نمودن رابطه دبی- اشل پیشنهاد داده‌اند. از آن میان دو مدل اعتبار بیشتری کسب کرده‌اند: مدل آکرز (Ackers 1993) و فرم‌های مختلف روش توزیع جانبی (LDM).

سینگ و همکاران به بررسی آزمایشگاهی و محاسباتی توزیع عرضی سرعت و تنش برشی مرزی در کانال با بستر شنی پرداختند. ایشان از دو نرم‌افزار CES و ANSYS Fluent جهت محاسبه مقادیر پارامترهای جریان استفاده نموده‌اند. نتایج نشان داده است که محاسبات عددی انجام شده با این دو نرم‌افزار در مقایسه با داده‌های واقعی نتایج قابل قبولی داشته است. توزیع تنش برشی برآورد شده بوسیله CES و ANSYS به ترتیب بیشتر و کمتر از مقادیر واقعی برآورد شده است. CES در بستر کانال مقادیر یکنواختی از تنش برشی مرزی را ارائه می‌دهند در حالی که مدل سه بعدی ANSYS الگویی نزدیک به داده‌های واقعی ارائه نموده است (Singh et al., 2018). دوی و خاتوا مدلی جهت برآورد دبی در یک کانال مرکب غیرمتقارن ارائه نموده‌اند و نتایج را با روش‌های قبلی نظیر^۳ EDM،^۴ EVDM، غیره و همچنین نرم افزار CES مقایسه نمودند. طبق نتایج آن‌ها مدل پیشنهادی نسبت به نرم افزار CES توانایی بیشتری در برآورد دبی در کانال‌های نامتقارن دارد (Devi and Khatua, 2019). دوی و همکاران به بررسی نرم‌افزار CES در برآورد متوسط سرعت عمقی در کانال‌های مرکب متقارن و نامتقارن پرداختند. ایشان جهت انجام مقایسه از داده‌های آزمایشگاهی کانال FCF انگلستان و NITR هند استفاده کرده‌اند و در نهایت به این نتیجه رسیدند که نرم افزار CES در نسبت‌های کم، عرض سیلابدشت به کانال اصلی نتایج قابل قبولی را ارائه می‌دهند و می‌تواند جهت برآورد دبی با دقت بالا در این شرایط مورد استفاده قرار بگیرد. البته در ناحیه تقابل جریان کانال اصلی و سیلابدشت به علت نیاز به کالیبراسیون ضرایب لزجت گردابه‌ای، فاکتور اصطکاک و جریان ثانویه بایستی در این ناحیه با احتیاط جهت برآورد سرعت متوسط عمقی مورد استفاده قرار بگیرد. و پیشنهاد داده‌اند که ضرایب

ضریب زبری مایننگ انجام می‌گردد. اساساً دو مدل ISIS و HEC-RAS بر پایه فیزیکی نامناسبی طرح ریزی شده‌اند و به همین دلیل میزان انتقال جریان را در سیلابدشت بیش از مقدار واقعی و در کانال اصلی کمتر از مقدار واقعی برآورد می‌نمایند. Mike 11 نیز مشابه نرم افزار ISIS براساس یک فرم اصلاح شده DCM میزان انتقال جریان را برآورد می‌نماید. همچنین در این نرم افزار اصطکاک و مقاومت ایجاد شده بستر در مقابل جریان با استفاده از ضریب مایننگ با شزی تعیین می‌گردد. بنابراین نرم‌افزار CES با هدف غلبه بر این کاستی‌ها با حل معادلات میانگین رینولدز و ناویر-استوکس جهت برآورد انتقال جریان، توسعه یافته است. در مقایسه با مدل‌های یک بعدی قبلی، نرم افزار CES خروجی‌های گوناگونی نظیر توزیع عرضی میانگین سرعت عمقی، توزیع عرضی لایه برشی، توزیع عرضی سرعت اصطکاک و همچنین داده‌های متداول دبی، انتقال، محیط خیس شده، سرعت متوسط، عدد فرود و رینولدز، ضریب تصحیح انرژی جنبشی و مومنتوم و غیره را ارائه می‌نماید (Mohanty., 2013). نرم‌افزار CES از سه قسمت تشکیل شده است. الف) راهنمای انتخاب زبری: در این قسمت براساس نمونه تصاویر و الگوهایی که در نرم افزار ذخیره شده است پارامترهایی نظیر مواد تشکیل دهنده بستر، نوع پوشش گیاهی، موانع موجود در مسیر جریان (تنه درختان، صخره‌ها، اجسام غیر طبیعی و غیره)، میزان مماندری بودن مسیر جریان و نیز میزان مقاومت در مقابل جریان تعیین می‌گردد. ب) توان انتقال جریان: اساس کار در این قسمت مشخص نمودن ظرفیت آبراهه جهت انتقال جریان بوده که براساس دو پارامتر مقاومت در مقابل جریان و نیز شکل مقطع تعیین می‌گردد. ج) تخمین خطا: در این قسمت برخی از دلایل و پارامترهای ایجاد خطا در محاسبات برآورد انتقال جریان ارائه می‌گردد (Mohanty., 2013). نگی و همکاران (۳۳) به منظور بررسی تأثیر پوشش سیلابدشت بر انتقال سیلاب از دو نرم‌افزار HEC-RAS و CES استفاده نمودند. مطالعات آن‌ها بر روی رودخانه تیزسا در کشور مجارستان انجام شده است. طبق مطالعات ایشان نتایج دو نرم افزار HEC-RAS و CES در برآورد ارتفاع سیلاب و سرعت عبوری مشابه یکدیگر بوده است. موهانتی توزیع عرضی متوسط سرعت عمقی را در یک کانال مماندری دوزنقه‌ای بررسی کرده و از مدل یک بعدی CES نیز جهت تحلیل سرعت‌های متوسط عمقی استفاده نموده است. نتایج نشان داده است که مقادیر برآورد شده توسط CES در اکثر موارد کمتر از مقادیر اندازه‌گیری شده است (Mohanty., 2013). مورتا و لوپز با استفاده از مدل‌های یک بعدی HEC-RAS و CES و مدل دو بعدی SRH-2D جریان سیلاب را در رودخانه اصلی ایرلند شمالی مورد بررسی قرار دادند (Moreta and Lopez., 2017). مدل CES براساس روش^۱ LDM به محاسبه پارامترهای جریان و ضرایب

2- Single Channel Method

3- Exchange Discharge Model

4- Exchange vertical interface Discharge Model

1- Lateral distribution method

انرژی جنبشی و مومنوم در دو حالت بررسی شده است. الف) اثر عرض سیلابدشت: به این صورت که با استفاده از داده‌های سری‌های ۰۳،۰۲،۰۱ داده‌های FCF (کانال متقارن) به ازای عرض‌های مختلف هر سیلابدشت (۴/۱، ۲/۲۵ و ۰/۷۵ متر) و ثابت بودن عرض کف و شیب دیواره کانال اصلی، تغییرات ضریب تصحیح انرژی جنبشی و مومنوم بررسی شده است. ب) اثر شیب دیواره کانال اصلی: براساس داده‌های سری‌های ۱۰،۰۸،۰۲ (کانال متقارن) اثر شیب‌های مختلف دیواره کانال اصلی (۱:۱، ۰:۱، ۲:۱) به ازای عرض سیلابدشت و کانال اصلی ثابت مقادیر ضرایب α و β اندازه‌گیری گردیده است. همچنین با استفاده از داده‌های سری ۰۴ مقدار این ضرایب در یک کانال دوزنقه‌ای منفرد با شیب دیواره ۱:۱ محاسبه شده است. داده‌های مورد استفاده از کانال FCF شامل مشخصات هیدرولیکی جریان (دبی، مساحت کل و سطح هر زیر مقطع، سرعت متوسط در هر زیر مقطع و سرعت متوسط مقطع، و ...) و کانال (عرض کف، شیب دیواره، شیب کف، عرض سیلابدشت و ...) می‌باشد که با استفاده از این اطلاعات و روابط ۱ و ۲ مقادیر ضریب تصحیح انرژی جنبشی و مومنوم در شرایط مختلف محاسبه شده است. همچنین با استفاده از نرم افزار CES و شبیه سازی حالت‌های بالا، مقادیر ضریب تصحیح انرژی جنبشی و مومنوم برآورد گردیده و نتایج با مقادیر آزمایشگاهی مقایسه شده است. در شکل ۱ پلان کانال FCF بصورت شماتیک و در شکل ۲ پارامترهای مشخص کننده ابعاد کانال و در جدول ۱ اطلاعات مربوط به مشخصات کانال ارائه شده است

کالیبراسیون استفاده شده در نرم افزار CES بخصوص در ناحیه لایه برشی سیلابدشت مورد اصلاح قرار بگیرد (Devi et al., 2018). همانطور که ذکر گردید عوامل مختلفی نظیر شکل مقطع، پارامترهای هیدرولیکی جریان، زبری و غیره می‌توانند بر توزیع عرضی سرعت در مقطع آبراهه اثر گذاشته و موجب تغییر ضرایب α و β شوند. جهت محاسبه مقادیر α و β ، کانال با مقطع مرکب، به چند زیرمقطع تقسیم گردیده و با استفاده از روابط ۱ و ۲ مقادیر ضرایب تصحیح انرژی جنبشی و مومنوم محاسبه می‌گردد. ضریب تصحیح انرژی جنبشی عرضی بصورت نسبت جمع انرژی‌های جنبشی محاسبه شده در زیرمقطع‌های مختلف به متوسط انرژی جنبشی کل مقطع، محاسبه گردیده و بصورت رابطه زیر نشان داده می‌شود (Mohanty., 2013).

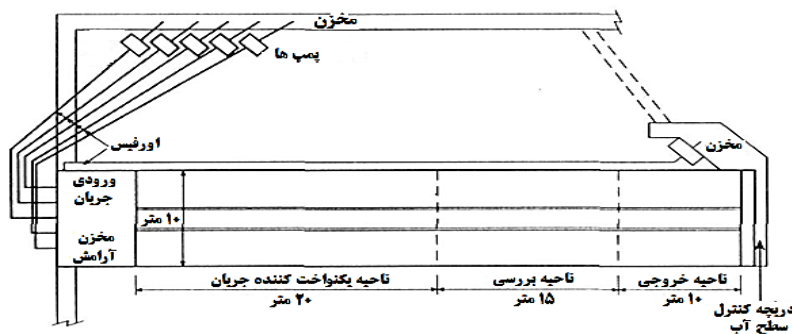
$$\alpha = \frac{\sum_{i=1}^n v_i^3 a_i}{V^3 A} \quad (1)$$

همچنین ضریب تصحیح مومنوم در کانال‌های مرکب از نسبت مجموع مومنوم در زیرمقطع‌ها به مومنوم کل مقطع حاصل می‌شود و بصورت رابطه ۲ ارائه شده است (Mohanty., 2013).

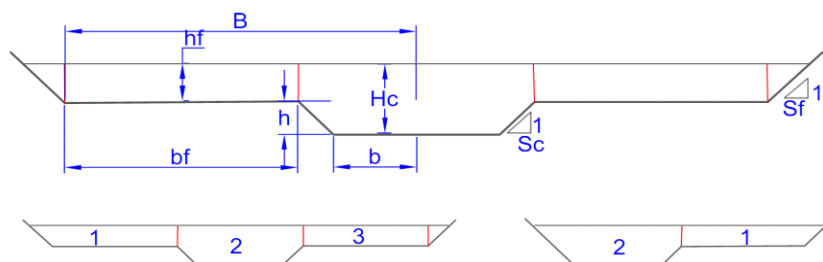
$$\beta = \frac{\sum_{i=1}^n v_i^2 a_i}{V^2 A} \quad (2)$$

که v_i سرعت متوسط در هر زیر مقطع، a_i سطح هر زیر مقطع، V متوسط سرعت در کل مقطع، A سطح کل مقطع، n تعداد زیرمقطع‌ها.

جهت بررسی تاثیر شکل مقطع بر این دو ضریب از داده‌های کانال موسسه تحقیقات هیدرولوژی والینگفورد به طول ۶۰ متر و عرض ۱۰ متر استفاده شده است. اثر شکل مقطع بر ضرایب تصحیح



شکل ۱- پلان شماتیک کانال FCF



شکل ۲- پارامترهای مشخص کننده ابعاد کانال

جدول ۱- مشخصات کانال FCF به ازای سری های مختلف

سری	b	b _f	B	S _f	S _c	نوع زبری جداره	مقدار زبری	شکل مقطع
01	0.75	4.1	5	0	1	صاف	n=0.01	متقارن
02	0.75	2.25	3.15	1	1	صاف	n=0.01	متقارن
03	0.75	0.75	1.65	1	1	صاف	n=0.01	متقارن
04	0.75	-	-	-	1	صاف	n=0.01	چند ضلعی
06	0.75	2.25	3	1	1	صاف	n=0.01	نامتقارن
08	0.75	2.25	3	1	0	صاف	n=0.01	متقارن
10	0.75	2.25	3.3	1	2	صاف	n=0.01	متقارن

و B محاسبه شده است. عرض هر سیلابدشت در سری های ۰۱ و ۰۳ به ترتیب برابر $4/1$ و $0/75$ متر بوده است. عرض کانال اصلی، عمق کانال اصلی و شیب دیواره کانال اصلی در این سری ها مشابه یکدیگر بوده و به ترتیب برابر $1/5$ متر، $0/15$ متر و $1:1$ می باشد. در شکل ۴ مشخصات فیزیکی کانال به ازای سری های ۰۱ و ۰۳ نشان داده شده است. در شکل شماره ۴ و ۵ تاثیر عرض سیلابدشت و عمق جریان به ترتیب بر مقادیر ضرایب α و B ارائه شده است. به این ترتیب که بر اساس اطلاعات اولیه استخراج شده در شرایط مختلف در کانال های مورد بحث و با کمک معادلات ضریب تصحیح انرژی جنبشی و ضریب تصحیح مومنتم مقادیر این ضرایب برای حالت های مختلف محاسبه گردید و در ادامه در شکل های شماره ۴ و ۵ آورده شده است.

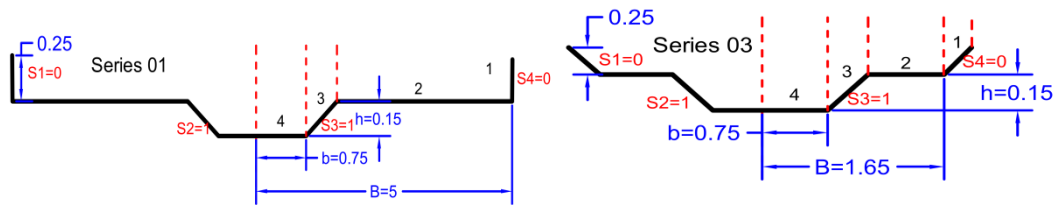
پارامترهای ارائه شده در شکل ۲ به شرح ذیل می باشند.

h : عمق کانال اصلی، h_f : عمق آب در سیلابدشت، b_f : عرض سیلابدشت، b : نصف عرض کف کانال اصلی، H_c : فاصله سطح آب تا کف کانال اصلی، S_f : نسبت افقی شیب دیواره سیلابدشت، S_c : نسبت افقی شیب دیواره کانال اصلی، $B: b_f + b + h \times S_c$

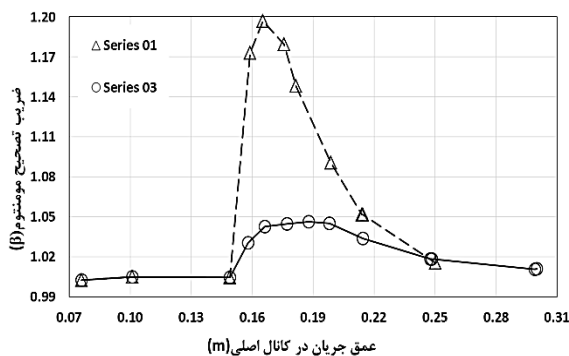
نتایج و بحث

اثر عرض سیلابدشت بر ضریب تصحیح انرژی جنبشی و مومنوم:

با استفاده از داده های سری ۰۱ و ۰۳ به ازای عرض های مختلف سیلابدشت و ثابت بودن عرض و شیب دیواره کانال اصلی، مقادیر α

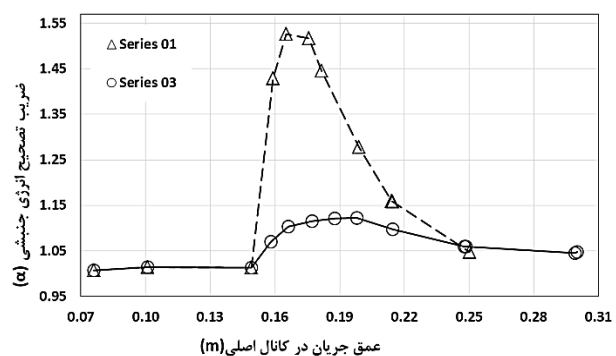


شکل ۳- مشخصات فیزیکی کانال های سری ۰۱ و ۰۳



شکل ۵- تاثیر عرض سیلابدشت بر مقادیر ضریب α

ولی با افزایش عمق جریان به حدود $15/8$ سانتی-متر، به طور ناگهانی مقدار این دو ضریب افزایش داشته است. مقدار افزایش ضریب α در سری ۰۱ و ۰۳ به ترتیب $0/41$ و $0/06$ واحد بوده است. به



شکل ۴- تاثیر عرض سیلابدشت بر مقادیر ضریب α

در سری های ۰۱ و ۰۳ عمق کانال اصلی 15 سانتی-متر بوده و همانطور که در شکل ۴ و ۵ مشاهده می شود تا قبل از رسیدن عمق جریان به 15 سانتی متر مقادیر ضریب α ، B تغییر محسوسی نداشته اند

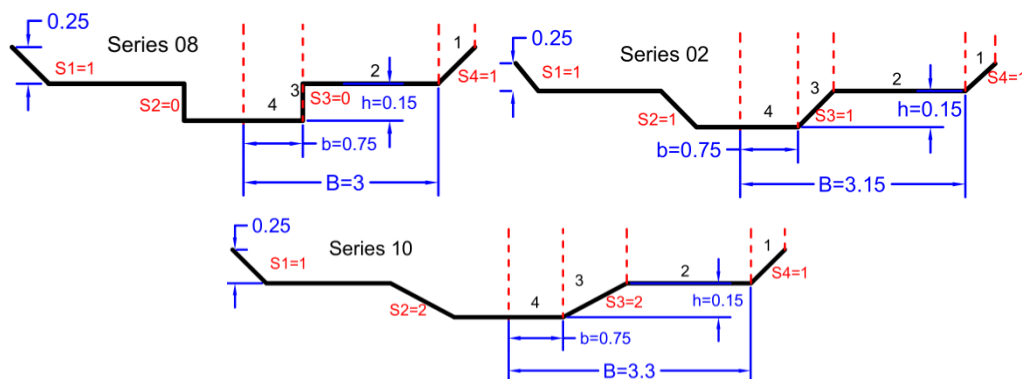
این موضوع به این صورت قابل بیان است که با افزایش عمق جریان، اثر زبری سیلابدشت بر جریان در این ناحیه کمتر شده و ضمن افزایش مشارکت سیلابدشت در انتقال جریان موجب کاهش اختلاف سرعت بین سیلابدشت و کانال اصلی شده که در نتیجه تنش‌ها و گردابه‌های ناحیه تقابل سیلابدشت و کانال اصلی کاهش یافته و این موضوع موجب کاهش مقادیر α و β گردیده است. روند کاهش تا رسیدن ضریب α و β به حدود یک ادامه داشته و در این حالت به علت کاهش اثر دیواره‌ها، خطوط جریان هم‌راستا شده و مقطع مرکب مشابه مقطع منفرد عمل می‌نماید. بیشترین مقدار α در سری‌های ۰۱ و ۰۳ به ترتیب برابر $۱/۵۳$ و $۱/۱۲$ و بیشترین مقدار β در سری‌های ۰۱ و ۰۳ به ترتیب $۱/۱۹$ و $۱/۰۵$ بوده است. مقایسه مقادیر α و β در سری‌های مختلف نشان دهنده اثرگذاری عرض سیلابدشت در مقادیر ضرایب تصحیح انرژی جنبشی و مومنتوم در کانال‌های مرکب خواهد بود.

اثر شیب دیواره کانال اصلی بر میزان دبی و مقادیر ضریب تصحیح انرژی جنبشی و مومنتوم:

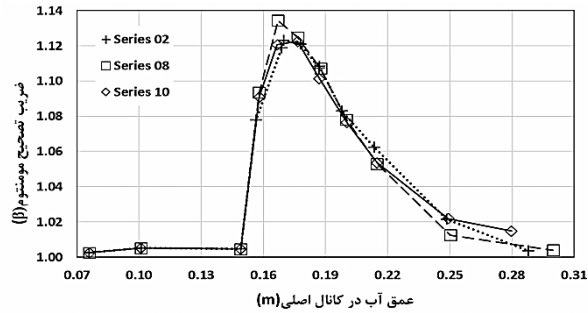
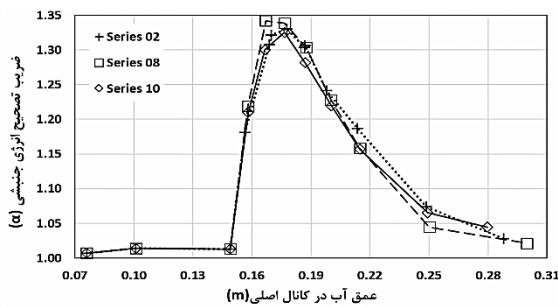
با استفاده از داده‌های سری ۰۲، ۰۸ و ۱۰ به ازای عرض هر سیلابدشت مطابق شکل‌های زیر نسبت به محور کانال، عرض کانال اصلی ($۱/۵$ متر)، عمق کانال اصلی (۱۵ سانتی‌متر) و شیب‌های مختلف دیواره کانال اصلی ($۱:۱$ ، $۰:۱$ و $۲:۱$) مقادیر ضریب تصحیح انرژی جنبشی و مومنتوم محاسبه شده است. در شکل ۶ بصورت شماتیک مشخصات این سری‌ها نشان داده شده است. مقادیر بدست آمده ضرایب در شکل ۷ و ۸ ارائه شده است.

بر اساس شکل ۷، در هر سه سری با افزایش عمق جریان به بیشتر از ۱۵ سانتی‌متر (عمق کانال اصلی) مقادیر ضریب تصحیح انرژی جنبشی و مومنتوم بطور ناگهانی افزایش داشته و در هر سری به بیشترین مقدار خود رسیده و سپس با افزایش بیشتر عمق مقدار ضرایب α و β روندی کاهشی داشته تا در نهایت به حدود ۱ می‌رسد.

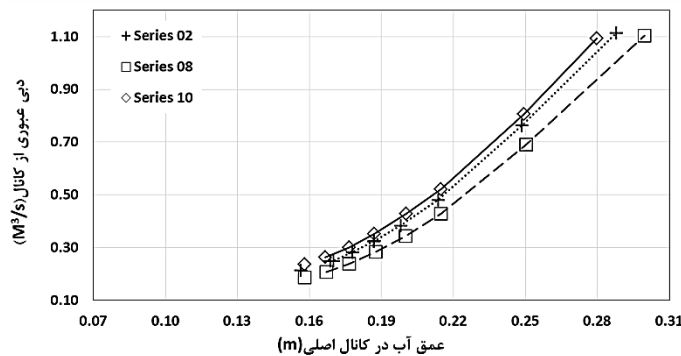
عبارت دیگر افزایش ضریب α در سری ۰۱ حدوداً $۶/۸$ برابر سری ۰۳ بوده است. همچنین میزان افزایش ضریب β در سری‌های ۰۱ و ۰۳ به ترتیب $۰/۱۷$ و $۰/۰۳$ واحد بوده است. به عبارت دیگر افزایش ضریب β در سری ۰۱ حدوداً $۵/۶$ برابر سری ۰۳ بوده است. علت این موضوع ناشی از پخش جریان در سیلابدشت بوده و بدلیل عریض تر بودن سیلابدشت در سری ۰۱، به ازای عمق یکسان جریان در سطح بیشتری نسبت به سری ۰۳ پخش شده و سرعت جریان سیلابدشت در سری ۰۱ نسبت به سری ۰۳ کمتر می‌گردد. بنابراین اختلاف سرعت بین کانال اصلی و سیلابدشت در سری ۰۱ بیشتر بوده که این موضوع موجب افزایش تنش‌های برشی و افزایش اتلاف انرژی جنبشی جریان گردیده و بنابراین مقدار ضریب تصحیح انرژی جنبشی در سری ۰۱ در مقایسه با سری ۰۳ افزایش بیشتری داشته است. از طرفی در سری ۰۱ در مقایسه با سری ۰۳ به علت تنش‌های برشی بیشتر جریان‌های گردابی قویتری در صفحه بین سیلابدشت و کانال اصلی بوجود آمده و در نتیجه تبادل مومنتوم بیشتری بین کانال اصلی و سیلابدشت در مقایسه با سری ۰۳ ایجاد شده و مقادیر ضریب تصحیح مومنتوم افزایش بیشتری داشته است. البته با افزایش عمق جریان، شیب افزایش ضرایب α و β در تمامی شکل‌ها کاسته شده تا اینکه هر کدام از سری‌ها در عمق مشخصی به بیشترین میزان ضریب α (یا β) رسیده‌اند. مقدار بیشینه α در سری ۰۱ و ۰۳ به ترتیب در عمق نسبی $۰/۱$ و $۰/۲۴$ رخ داده است. همچنین مقدار بیشینه β در سری ۰۱ و ۰۳ به ترتیب در عمق نسبی $۰/۱$ و $۰/۲$ به وقوع پیوسته است و مشاهده می‌گردد که در همه سری‌ها مقادیر بیشینه β در مقایسه با مقادیر بیشینه α در عمق نسبی کمتری اتفاق افتاده است. پارسایی نشان داده است که بیشترین مقادیر ضرایب α و β در محدوده عمق جریان بین $۰/۱۵$ تا $۰/۲$ حاصل شده است (Parsaie., 2016). با افزایش بیشتر عمق جریان، مقدار ضرایب α و β کاهش یافته تا در نهایت به حدود ۱ نزدیک می‌گردند. پارسایی و موهانتی نیز مشاهده نمود که بعد از مقدار بیشینه با افزایش بیشتر عمق مقادیر α و β کاهش یافته‌اند (Mohanty., 2013; Parsaie., 2016). علت



شکل ۶- مشخصات فیزیکی کانال‌های سری ۰۲، ۰۸ و ۱۰



شکل ۷- تغییرات ضریب α به ازای تغییرات شیب دیواره کانال اصلی شکل ۸- تغییرات ضریب β به ازای تغییر شیب دیواره کانال اصلی



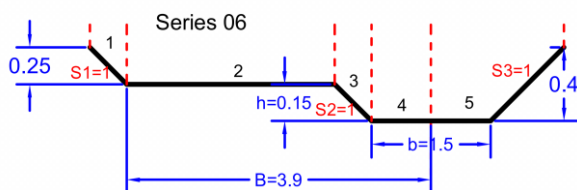
شکل ۹- تغییرات میزان دبی عبوری به ازای تغییر شیب دیواره کانال اصلی

ناچیز بوده است. همچنین در شکل ۱۰ مشاهده می‌گردد که مقدار بیشینه این ضریب در سری ۰۸، ۰۲ و ۱۰ تقریباً برابر یکدیگر و به ترتیب ۱/۱۲، ۱/۱۳ و ۱/۱۲ بوده است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که اثر شیب دیواره کانال اصلی بر مقادیر ضریب α و β در کانال مرکب در شرایط نسبتاً مشابه قابل صرف نظر کردن خواهد بود. که علت آن را به سطح مقطع موثر جریان در این سه سری کانال می‌توان نسبت داد. همان‌طور که در شکل شماره ۱۱ مشاهده می‌شود تأثیر تغییر شیب دیواره کانال اصلی بر سطح مقطع موثر جریان در نتیجه بر میزان دبی بسیار جزئی می‌باشد.

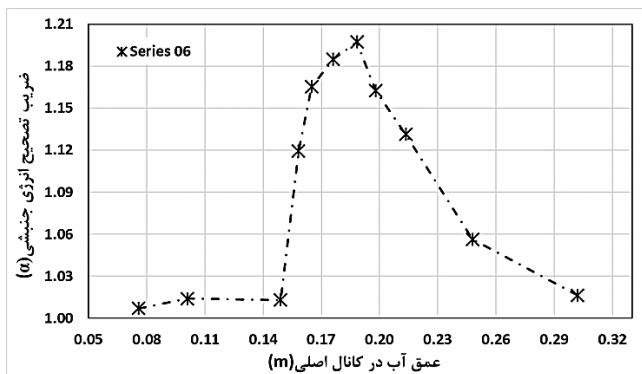
اثر نامتقارن بودن کانال مرکب بر ضریب تصحیح انرژی جنبشی

داده‌های سری ۰۶ مربوط به یک کانال نامتقارن با یک سیلابدشت می‌باشد. عرض سیلابدشت در این سری برابر ۳ متر، عرض و عمق کانال اصلی به ترتیب برابر ۱/۵ متر و ۰/۱۵ متر و شیب دیواره کانال اصلی ۱:۱ می‌باشد. در شکل ۱۰ شماتیک کانال سری ۰۶ نشان داده شده است. مقادیر ضریب تصحیح انرژی جنبشی و مومنوم در شکل ۱۱ و ۱۲ ارائه شده است.

پارسی‌ای مشاهده نموده که با افزایش عمق جریان به بیش از عمق کانال اصلی مقادیر α و β بطور ناگهانی به ترتیب ۱/۲ و ۰/۴ واحد افزایش داشته‌اند. (Parsaie., 2016) همان‌طور که قبلاً ذکر شد این افزایش ناگهانی به علت سرریز شدن کانال اصلی و ورود جریان به سیلابدشت بوده است که با توجه به اختلاف سرعت زیاد بین جریان در سیلابدشت و کانال اصلی، تنش‌های برشی زیادی در ناحیه تقابل سیلابدشت و کانال اصلی ایجاد شده است. این تنش‌ها سبب استهلاک انرژی جریان و افزایش ضریب تصحیح انرژی جنبشی گردیده است. همچنین به علت اختلاف سرعت‌های ناحیه تقابلی، گردابه‌هایی در این ناحیه تشکیل شده و موجب افزایش تبادل مومنوم گردیده است و موجب افزایش ضریب تصحیح مومنوم خواهد شد. در شاخه صعودی شکل α (یا β) با افزایش عمق از شیب شکل کاسته شده تا به یک مقدار بیشینه برسد. این مقدار بیشینه برای ضریب α در سری ۰۸، ۰۲ و ۱۰ به ترتیب برابر ۱/۳۳، ۱/۳۴ و ۱/۳۲ بوده است. با افزایش شیب دیواره کانال اصلی از ۲:۱ در کانال سری ۱۰ به ۱:۱ در کانال سری ۰۲ و سپس ۰:۱ در کانال سری ۰۸، فاصله بین ناحیه جریان در کانال اصلی و جریان در سیلابدشت کاهش یافته و بنابراین گردایان سرعت در ناحیه تقابلی افزایش می‌یابد و بنابراین همان‌طور که انتظار می‌رود مقدار بیشینه ضریب α روندی افزایشی خواهد داشت، منتهی همان‌طور که طبق نتایج مشخص گردیده، این افزایش بسیار



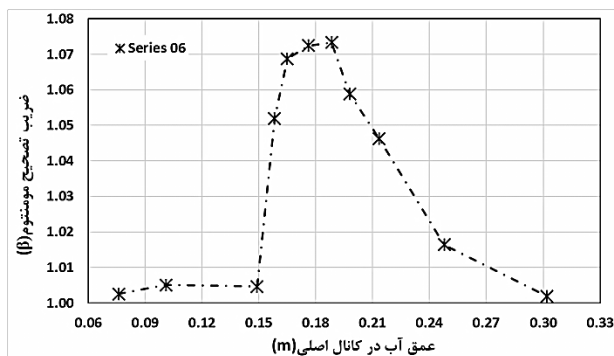
شکل ۱۰- مشخصات فیزیکی کانال سری ۰۶



شکل ۱۱- تغییرات ضریب α و B در کانال مرکب نامتقارن

مشاهده می‌شود که در حالت نامتقارن، ضریب α مقادیر کمتری نسبت به حالت‌های متقارن در سری ۰۱، ۰۲ و ۰۳ داشته است. علت این موضوع را می‌توان به نقش سیلابدشت‌ها نسبت داد به این صورت که در حالت متقارن، انتقال مومنوم از کانال اصلی به دو سیلابدشت صورت گرفته که موجب افزایش تنش‌های برشی و اتلاف انرژی جنبشی می‌گردد ولی در کانال نامتقارن تبادل مومنوم فقط با یک سیلابدشت بوده لذا تنش‌های برشی کمتر و افت انرژی جنبشی کمتری بوجود می‌آید. بنابراین مقادیر ضریب تصحیح انرژی جنبشی در حالت نامتقارن نسبت به متقارن کمتر شده است. با افزایش عمق نسبت به عمق معادل α بیشینه، مقادیر ضریب α روندی نزولی داشته و مجدداً به مقدار یک نزدیک خواهد شد.

در شکل ۱۱ با افزایش عمق جریان به بیش از ارتفاع کانال اصلی (۱۵ سانتی‌متر) مشابه آنچه در کانال‌های متقارن دیده شد مقادیر ضریب α بطور ناگهانی افزایش پیدا می‌نماید. با ورود جریان به سیلابدشت به علت عرض زیاد، جریان با عمق و سرعت کم در این ناحیه حرکت می‌نماید علاوه بر این به علت عمق کم جریان، زبری بستر سیلابدشت موجب کاهش سرعت بیشتر جریان در این ناحیه می‌گردد. این اختلاف سرعت بین سیلابدشت و کانال اصلی، تنش‌های برشی را بخصوص در صفحه مشترک سیلابدشت و کانال اصلی ایجاد کرده و موجب اتلاف انرژی جریان و عدم توزیع یکنواخت سرعت و در نتیجه افزایش ضریب تصحیح انرژی جنبشی خواهد شد. با مقایسه حداکثر مقدار α در حالت نامتقارن با حالت‌های متقارن،



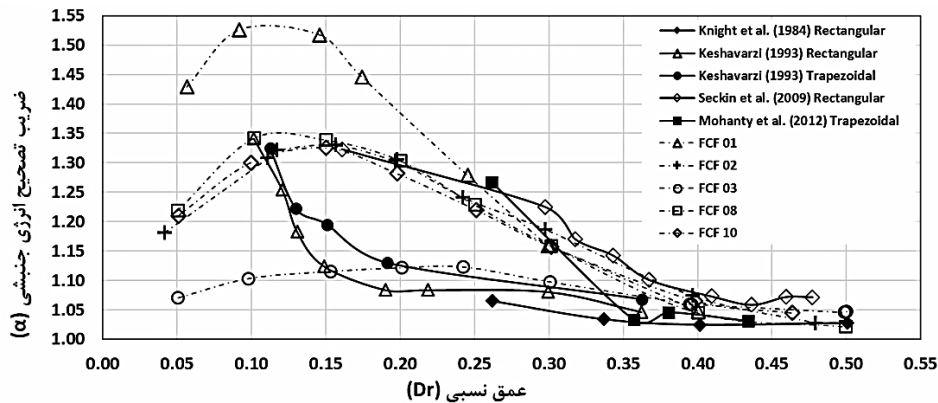
شکل ۱۲- تغییرات ضریب β در کانال مرکب نامتقارن

جریان افزایش یافته و سرعت در این ناحیه افزایش می‌یابد علاوه بر این با افزایش عمق جریان در سیلابدشت تاثیر زبری بستر این ناحیه

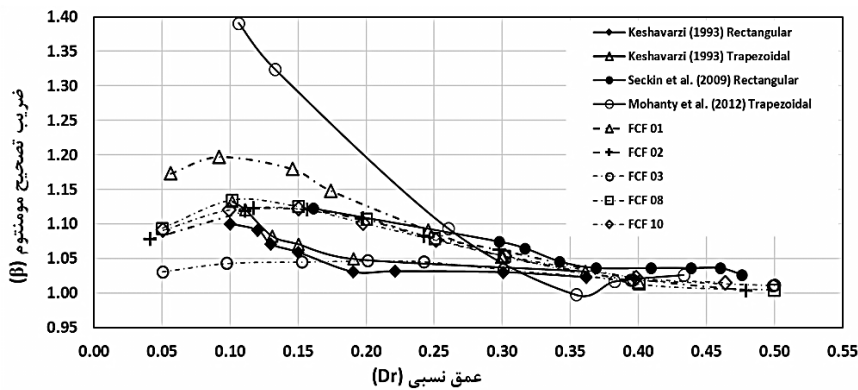
در این حالت مقطع مرکب بصورت یک کانال منفرد عمل می‌نماید زیرا با افزایش عمق جریان سهم سیلابدشت در انتقال

کانال متقارن ۰۳ بیشتر است. با مقایسه مجموع عرض سیلابدشت‌ها مشخص می‌گردد که سری ۰۱ و ۰۲ مجموع عرض سیلابدشت بیشتر و سری ۰۳ مجموع عرض سیلابدشت کمتری نسبت به سری ۰۶ داشته‌اند. بنابراین شاید بتوان اینگونه برداشت نمود که ضریب تصحیح مومنتوم کمتر تحت اثر تعداد سیلابدشت بوده و بیشتر تحت اثر مجموع عرض سیلابدشت‌ها می‌باشد. همان‌طور که در قسمت‌های قبلی ذکر گردید روند تغییرات ضرایب α و β بصورت زنگوله‌ای بوده به این صورت که دارای یک مقدار بیشینه و دو شاخه صعودی و نزولی می‌باشد. با بررسی شاخه نزولی شکل‌ها مشاهده می‌گردد که مقادیر این دو ضریب بخصوص در سری کانال‌های متقارن به ازای عمق جریان کانال اصلی حدوداً برابر ۲۵ سانتی‌متر (عمق نسبی ۰/۴) تقریباً برابر یک شده‌اند. موهانتی مشاهده نمود که به ازای عمق‌های نسبی بیشتر از ۰/۳۵ مقادیر α و β تقریباً برابر ۱ می‌شوند (Mohanty., 2013). به منظور مقایسه روند تغییرات ضرایب α و β به ازای عمق‌های نسبی متفاوت در این مطالعه با نتایج دیگر محققان (کانال‌های متقارن) مورد بررسی قرار گرفته و در شکل‌های ۱۵ و ۱۶ ارائه شده است.

بر جریان کاهش خواهد یافت. این دو عامل موجب کاهش اختلاف سرعت بین سیلابدشت و کانال اصلی گردیده و به همین علت تنش‌های برشی و ضریب تصحیح انرژی جنبشی کاهش خواهد یافت. در شکل ۱۲ نیز روند تغییرات ضریب تصحیح مومنتوم مشابه شکل ۴ می‌باشد. حداکثر مقدار ضریب تصحیح مومنتوم در کانال نامتقارن برابر ۱/۰۷ و در کانال متقارن سری ۰۱، ۰۲ و ۰۳ به ترتیب ۱/۱۲، ۱/۱۴ و ۱/۰۴ بوده است. برخلاف حداکثر مقادیر α که در کانال نامتقارن کمتر از کانال‌های متقارن (سری‌های ۰۱، ۰۲ و ۰۳) بود، حداکثر مقادیر β در کانال نامتقارن فقط از سری ۰۱ و ۰۲ کمتر بوده است. همان‌طور که در شکل ۴ نشان داده شده است تلفات انرژی جنبشی در کانال نامتقارن در مقایسه با کانال‌های متقارن با عرض‌های سیلابدشت کمتر (سری ۰۳) و عرض‌های سیلابدشت بیشتر (سری ۰۱ و ۰۲)، همواره کمتر بوده است. علت آن را می‌توان به این صورت توضیح داد که تلفات انرژی جنبشی کمتر تحت تأثیر عرض‌های سیلابدشت بوده و بیشتر تحت اثر تنش‌های برشی ایجاد شده در محل تقابل بین سیلابدشت و کانال اصلی می‌باشد. از طرفی همان‌طور که ذکر شد مقادیر ضریب تصحیح مومنتوم در کانال نامتقارن نسبت به کانال‌های متقارن سری ۰۱ و ۰۲ کمتر و نسبت به



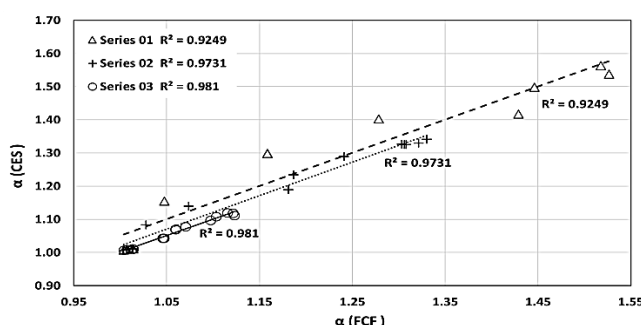
شکل ۱۳- مقایسه نتایج تغییرات ضریب α به ازای عمق‌های نسبی متفاوت در این مطالعه با نتایج دیگر محققان



شکل ۱۴- مقایسه نتایج تغییرات ضریب β به ازای عمق‌های نسبی متفاوت در این مطالعه با نتایج دیگر محققان

مقایسه نتایج CES با داده‌های آزمایشگاهی

جهت ارزیابی میزان کارایی نرم افزار CES در برآورد مقادیر ضریب تصحیح انرژی جنبشی، ضریب تصحیح مومنوم و دبی عبوری، مشخصات کانال‌های سری ۰۱، ۰۲، ۰۳، ۰۶، ۰۸ و ۱۰ در این نرم‌افزار شبیه‌سازی شده و سپس به ازای اعماق موجود آزمایشگاهی مقدار پارامترهای مورد بررسی استخراج شده است. در شکل ۱۵ و ۱۶ مقادیر آزمایشگاهی (FCF) و برآوردی (CES) ضریب α و β به ازای سری ۰۱، ۰۲، ۰۳ مقایسه شده‌اند.



شکل ۱۵- مقایسه مقادیر α آزمایشگاهی (FCF) با مقادیر محاسباتی (CES)

می‌دهد که بین مقادیر برآورد شده و آزمایشگاهی همبستگی خوبی برقرار است. البته مقادیر ضریب α و β برآورد شده با نرم افزار CES در کانال نامتقارن نسبت به کانال‌های متقارن (۰۲ و ۰۳) از دقت کمتری برخوردار می‌باشد.

به‌منظور بررسی بیشتر نرم افزار CES، اختلاف مقادیر برآورد شده و آزمایشگاهی ضرایب α و β به ترتیب در شکل‌های ۱۸ و ۱۹ ارائه شده است. در شکل ۱۸ مشاهده می‌گردد که تا قبل از رسیدن عمق جریان به آستانه سرریزی (۱۵ سانتی‌متر) اختلاف بین داده‌های آزمایشگاهی و برآورد شده تقریباً صفر بوده است. با افزایش ورود جریان به سیلابدشت تقریباً در تمامی سری کانال‌ها اختلاف مقادیر آزمایشگاهی و برآورد شده، افزایش یافته و تا یک مقدار بیشینه رسیده است. این مقدار بیشینه حدوداً در عمق جریان کانال اصلی برابر با ۲۵ سانتی‌متر (عمق نسبی ۰/۴) در تمامی سری‌ها (به جز سری ۰۱) ثبت شده است. در ادامه با افزایش بیشتر عمق، اختلاف مقادیر برآورد شده و آزمایشگاهی روندی نزولی داشته است. طبق داده‌های شکل ۱۸ مشاهده می‌گردد که تقریباً مقادیر ضریب α برآورد شده با CES بیشتر از مقادیر آزمایشگاهی بوده است.

روند تغییرات اختلاف بین ضریب β آزمایشگاهی و برآوردی مشابه شکل ۱۹ است. به این صورت که تا قبل از سرریز شدن جریان در سیلابدشت اختلاف‌ها تقریباً برابر با صفر بوده و با ورود جریان به

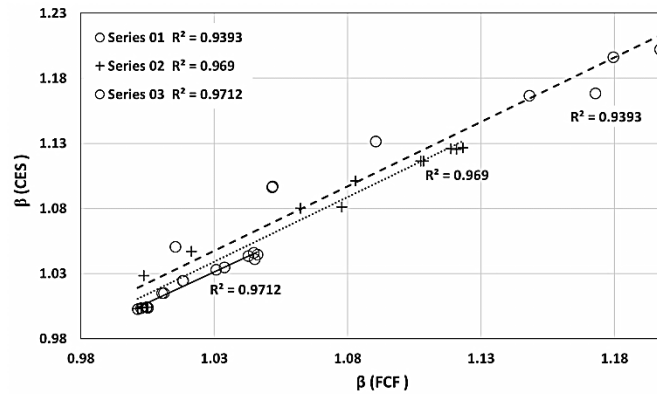
همانطور که در شکل ۱۳ مشاهده می‌گردد بعد از ضریب α بیشینه، با افزایش بیشتر عمق نسبی، روند شکل نزولی بوده است که با افزایش عمق نسبی به بیش از ۰/۴ مقادیر ضریب تصحیح انرژی جنبشی نزدیک به یک گردیده است.

مطابق شکل ۱۴ روند تغییرات ضریب β مشابه ضریب α می‌باشد به این صورت که بعد از یک مقدار بیشینه دارای روند مشخصی می‌باشد و حدوداً در عمق نسبی ۰/۴ مقدار β به یک نزدیک می‌گردند.

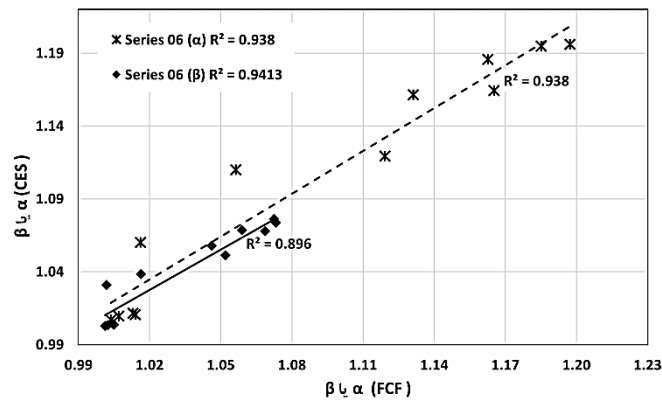
طبق شکل ۱۵ مشاهده می‌شود که نتایج برآورد شده ضریب α با نرم‌افزار CES از همبستگی بالایی با داده‌های آزمایشگاهی (بیش از ۹۲ درصد) برخوردار است، که در بیشترین میزان اختلاف در تخمین ضرایب معادل ۹ درصد خطا می‌باشد. با افزایش عرض سیلابدشت میزان همبستگی کاهش یافته است زیرا با افزایش عرض سیلابدشت مقادیر تنش‌های برشی افزایش یافته و موجب شده است که نتایج برآوردی با نرم افزار CES تحت تاثیر این موضوع قرار گیرند ولی با این حال همچنان از همبستگی بالایی برخوردارند. همچنین طبق شکل ۱۸ مشخص می‌گردد که مقادیر برآوردی ضریب β با نرم افزار CES از همبستگی بالایی با مقادیر آزمایشگاهی برخوردار بوده است. همچنین مشاهده می‌گردد که مشابه شکل ۱۸ با افزایش عرض سیلابدشت‌ها مقادیر همبستگی کاهش یافته است که علت این موضوع را می‌توان به افزایش تبادل مومنوم به ازای افزایش عرض سیلابدشت و تاثیر آن بر افزایش خطا در نتایج نرم افزار CES اشاره نمود ولی بیشترین میزان اختلاف در تخمین ضرایب معادل ۴ درصد خطا می‌باشد. به‌منظور بررسی توانایی نرم افزار CES در برآورد ضرایب α و β در مقاطع مرکب غیر متقارن نیز از داده‌های سری ۰۶ استفاده شده است که نتایج این مقایسه در شکل ۱۹ ارائه شده است. در شکل ۱۶ با استفاده از نرم افزار CES و داده‌های آزمایشگاهی مقادیر α و β در یک کانال نامتقارن مقایسه شده است. نتایج نشان

شده است. البته در سری ۰۱ این بیشینه در عمق ۲۱ سانتی‌متر رخ داده است و در سری ۰۶ همواره مقدار اختلاف‌ها روندی افزایشی داشته است. از آن‌جا که نتیجه رقابت بین نیروهای موافق و مقاوم جریان وابسته به میزان دبی عبوری می‌باشد.

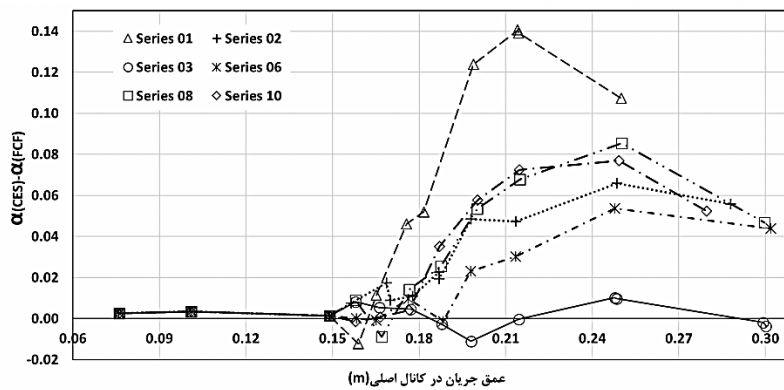
سیلابدشت و افزایش عمق جریان، اختلاف‌ها افزایش یافته تا به یک مقدار بیشینه برسد سپس با افزایش بیشتر عمق میزان اختلاف‌ها کاهش یافته است. مشاهده می‌گردد که تقریباً در عمق جریان ۲۵ سانتی‌متر (عمق نسبی ۰/۴) حداکثر میزان اختلاف در هر سری ثبت



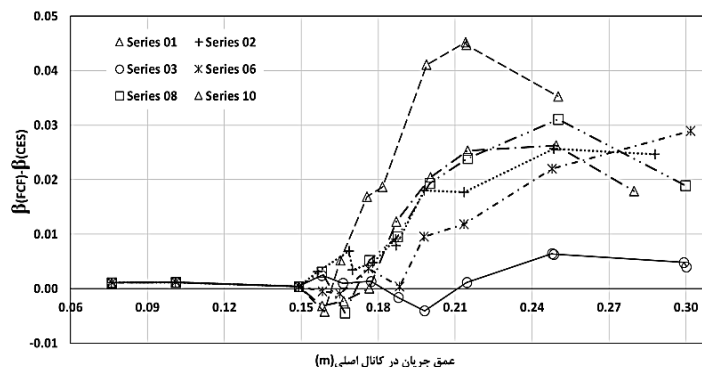
شکل ۱۶- مقایسه مقادیر β آزمایشگاهی (FCF) با مقادیر محاسباتی (CES)



شکل ۱۷- مقایسه مقادیر β و α آزمایشگاهی (FCF) با محاسباتی (CES)



شکل ۱۸- اختلاف مقادیر برآورد شده و آزمایشگاهی ضریب α



شکل ۱۹- اختلاف مقادیر برآورد شده و آزمایشگاهی ضریب β

نتیجه گیری

در کانال‌های مرکب با ورود جریان به سیلابدشت مقادیر α و β بطور ناگهانی افزایش می‌یابند و این مقادیر به یک میزان بیشینه می‌رسند. بیشترین مقدار α در سری‌های ۰۲ و ۰۳ به ترتیب برابر $۱/۵۳$ ، $۱/۳۳$ و $۱/۱۲$ و بیشترین مقدار β در سری‌های ۰۱ و ۰۳ به ترتیب $۱/۱۹$ و $۱/۰۵$ بوده است. مقایسه مقادیر α و β در سری‌های مختلف نشان دهنده اثر گذاری عرض سیلابدشت در مقادیر ضرایب تصحیح انرژی جنبشی و مومنتوم در کانال‌های مرکب خواهد بود. با افزایش شیب دیواره کانال اصلی از ۲:۱ به ۰:۱ مقادیر ضریب α و β به میزان ناچیز افزایش داشته‌اند بطوری که ضریب α از $۱/۳۲$ به $۱/۳۴$ و ضریب β از $۱/۱۲$ به $۱/۱۳$ افزایش یافته است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که اثر شیب دیواره کانال اصلی بر مقادیر ضریب α و β در کانال مرکب قابل صرف نظر کردن خواهد بود. بیشینه مقادیر ضریب α در کانال نامتقارن همواره کمتر از کانال‌های متقارن بوده است و بیشینه مقادیر ضریب β در کانال نامتقارن از کانال‌های متقارن با عرض سیلابدشت بیشتر، کمتر و از کانال‌های متقارن با عرض سیلابدشت کمتر، بیشتر بوده است. بطور کلی مشاهده شده است روند کلی ضرایب α و β با عمق جریان بصورت زنگوله‌ای بوده است که دارای یک مقدار بیشینه و دو شاخه صعودی و نزولی می‌باشد. در شاخه نزولی با افزایش عمق نسبی به بیش از $۰/۴$ مقادیر ضرایب α و β به یک نزدیک می‌گردند. بررسی نتایج نرم افزار CES در برآورد ضرایب α ، β و دبی نشان دهنده توانایی بالای این نرم افزار در تخمین پارامترهای هیدرولیکی جریان در مقاطع مرکب می‌باشد. البته مقایسه مقادیر برآورد شده ضرایب α و β با داده‌های آزمایشگاهی نشان می‌دهد که تقریباً همواره مقدار برآورد شده توسط نرم افزار CES بیشتر از مقادیر آزمایشگاهی بوده است. این اختلاف با افزایش عمق جریان تا حدود عمق نسبی $۰/۴$ روند افزایشی و در این عمق به بیشترین میزان اختلاف رسیده و پس از آن روندی کاهش‌ی داشته است.

منابع

- Ackers, P. 1993. Flow formulae for straight two-stage channels, Journal of Hydraulic Research, IAHR, 31(4):509-531
- Al-Khatib I.A., ABu-hasan, H.M. and ABaza K.A. 2013. Development of empirical regression Based models for predicting mean velocities in asymmetric compound channels. Flow Measurement and Instrumentation 33: 77-87
- Blalock M.A., and Sturm T.W. 1981. Minimum specific energy in compound open channel. ASCE J. Hydraulics Div. 107: 699-717
- Blalock M.A., Sturm T.W. 1983. Closure for "Minimum specific energy in compound open channel". ASCE J. Hydraulics Div. 109: 483-486
- Boussinesq, J. 1877. On the theory of flowing waters. Paris
- Cao Z., Meng J., Pender G., and Wallis S. 2006. Flow resistance and momentum flux in compound open channels. Journal of Hydraulic Engineering, 132(12):1272-1282
- Chow V.T. 1951. Open-Channel Hydraulics. McGraw-Hill, New York
- Coriolis, G. 1836. On the Backwater-curve equation and the corrections to Be introduced to account for the difference of the velocities at different points on the same cross section, Annales des Ponts et Chaussées vol. 11, ser. 1, pp. 314-335
- Devi, K., Khuntia, J. R., and Khatua, K. K. 2018. Depth-Averaged Velocity Distribution for Symmetric and Asymmetric Compound Channels. In Proceedings of the International Conference on Microelectronics, Computing & Communication Systems (pp. 281-292). Springer, Singapore
- Devi, K., and Khatua, K. K. 2019. Discharge prediction in asymmetric compound channels. Journal of Hydro-environment Research, 23, 25-39
- Fenton J.D. 2005. On the energy and momentum

- Li D. and Hager W.H. 1991. Correction coefficients for uniform channel flow. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 18: 156–158.
- Mazumder S.K. 1971. Variation of energy and momentum correction factors with velocity distribution in open-channel subcritical flow. *Journal Institution of Engineers (India)*, 51: 209-212.
- Mohanty, P. K. 2013. *Flow Analysis of Compound Channels with Wide Flood Plains PraBir* (Doctoral dissertation).
- Mohanty P.K. and Khatua, K.K. 2014. Estimation of discharge and its distribution in compound channels. *Journal of Hydrodynamics, Ser. B*, 26(1): 144–154
- Moreta, P. J. M., & Lopez-Querol, M. S. (2017). Numerical Modeling in Flood Risk Assessment: UK Case Study. *Civil Engineering Research Journal*, 3(1).
- Nagy, J., Kiss, T., Fehérváry, I., and Vaszkó, C. 2018. Changes in Floodplain Vegetation Density and the Impact of Invasive *Amorpha fruticosa* on Flood Conveyance, *Journal of Environmental Geography*, 11(3-4), 3-12.
- Parsaie, A. 2016. Analyzing the distribution of momentum and energy coefficients in compound open channel. *Modeling Earth Systems and Environment*, 2(1), 15.
- Posey, C. J. 1967. Computation of discharge including over-Bank flow. *Civil engineering, ASCE*, 37(4): 62-63
- Raju K.R., 1981. *Flow through open channels*. Tata McGraw-Hill, New Delhi
- Seckin G., Ardiclioglu M., Atabay S. 2004. An experimental investigation of kinetic energy and momentum correction coefficients in compound channels. *Tech J Turk Chamb Civil Engineering*, 15(4):3323–3334
- RehBock T. 1922. The determination of the position of the energy line in flowing water using the velocity correction coefficient (Die Bestimmung der Lage der Energielinie Bei fliessenden Gewässern mit Hilfe des Geschwindigkeits-Ausgleichwertes). *Der Bauingenieur*, 3(15): 453 -455.
- Seckin G., Ardiclioglu M., Cagatay H., CoBaner, M. and Yurtal, R. 2009. Experimental investigation of kinetic energy and momentum correction coefficients in open channels *Scientific Research and Essays Vol. 4 (5) pp. 473–478*
- 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
- Shiono, K. and Knight, D. W. 1991. Turbulent open-channel flows with variable depth across the principles in hydraulics. XXXI IAHRCONGRESS, SeptemBer 11-16, 2005, Seoul, Korea
- Fernandes J.N., Leal J.B. and Cardoso A.H. 2012. Flow structure in a compound channel with smooth and rough floodplains. *European Water*, 38: 3-12
- Fernandes J.N., Leal J.B., and Cardoso A.H. 2015. Assessment of stage–discharge predictors for compound openchannels. *Flow Meas Instrum* 45:62–67
- Filonovich MS, Leal JB., and Rojas-Solo´rzano LR 2015. Prediction of compound channel secondary flows using an isotropic turbulence models. In: *Informatics, networking and intelligent computing: proceedings of the 2014 international conference on informatics, networking and intelligent computing (INIC 2014)*, 16–17 NovemBer 2014, Shenzhen, China (p 163). CRC Press, Boca Raton
- French R.H. 1987. *Open-Channel Hydraulics*. McGraw-Hill, Singapore. 2nd edition
- Henderon F.M. 1966. *Open channel flow*. Macmilan PuBlishing Co, New York, United Sates of America
- Jiang B, Yang K., and Cao S. 2015. An analytical model for the distributions of velocity and discharge in compound channels with submerged vegetation. *PLoS ONE* 10(7):e0130841
- Keller, R. J. and Rodi, W. 1988. Prediction of flow characteristics in main channel/flood plain flows. *Journal of Hydraulics Research, IAHR*, 26(4): 425-1441
- Keshavarzi A. 1993. Investigation of energy and momentum coefficients in compound channels, M.Sc. thesis, University of New South Wales, Australia
- Knight, D. W. 1983. Flood plain and main channel flow interaction, *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE*, 109(8): 1074-092.
- Knight, D. W., and Demetriou, J. D. 1983. Flood plain and main channel flow interaction. *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE*, 109(8): 1073-1092.
- Knight D.W., Demetriou J.D., and Hamed M.E. 1984. Stage discharge relationships for compound channels. In: Smith KVH (ed) *Channels and channel control structures*. Springer, Berlin, p.p. 445–459
- Knight, D. W. and Hamed, M. E. 1984. Boundary shear in symmetrical compound channels, *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE*, 110(10): 1412-1430
- Knight, D. W., and Shiono, K. 1996. River channel and flood plain hydraulics, Chapter 5, *Floodplain processes*, edited By Anderson, Walling and Bates: 139-181
- Kolupaila S. 1956. Methods of determination of the kinetic energy factor. *The Port Engineer, Calcutta, India* 5: 12–18

- Khatua, K. K. 2018. Lateral distribution of depth average velocity & Boundary shear stress in a gravel Bed open channel flow. *ISH Journal of Hydraulic Engineering*, 1-15.
- Wormleaton, P. R., Allen, J. and Hadjipanous, P. 1982. Discharge assessment in compound channel flow, *Journal of Hydraulic Division, ASCE*, 113(9): 975-994
- channel, *Journal of Fluid Mechanics*, 222: 617-646.
- Shiono K. and Rameshwaran P. 2015. Mathematical modeling of Bed shear stress and depth averaged velocity for emergent vegetation on floodplain in compound channel. *E-Proceedings of the 36th IAHR World Congress 28 June –3 July, 2015, The Hague, the Netherlands*.
- Singh, P. K., Banerjee, S., Naik, B., Kumar, A., and

The Effect of Cross-section Shape on Kinetic Energy and Momentum Correction Coefficients and Compare with CES Model

J. Kermanezhad¹, E. Ghanbari Adivi^{*2}, H. A. yonesi³

Recived: May.29, 2019

Accepted: Jul.02, 2019

Abstract

Momentum exchange and tensions at the main channel–flood plain interface in a compound channel will losses the energy flow, reduce conveyance and makes error in estimating the water surface profile, flood routing and sediment and pollutant transport. So, determining the kinetic energy correction coefficients (α or Coriolis coefficient) and momentum coefficients (B or Boussinesq coefficient) is very important in estimating kinetic energy loss and momentum exchange. In this study, using FCF (Flood Channel Facility) channel data, the effects of floodplain width (4.1, 2.25 and 0.75 m), main channel bank slop (0:1, 1:1 and 2:1) and asymmetric cross section on the coefficients α and B are investigated. According to the results, with increasing floodplain width, the maximum values of α and B increased, so that the values of α and B in the floodplain with the highest width are 1.36 and 1.13 times the values of α and B in the floodplain with the lowest width respectively. Of course, the effect of increasing the main channel bank slope on the values of these coefficients can be discarded. Because with increasing slope from 2:1 to 0:1, the maximum coefficients α and B were 1.015 and 1.01 respectively. The maximum values of the coefficient α in the asymmetric channel are always less than symmetric channels (with less or more total width in the floodplain). The maximum value of the B coefficient in the asymmetric channel is lower than the symmetrical channels with wider floodplain, and it is higher than the symmetrical channels with narrower floodplain. Also, using the CES (Conveyance Estimation System) software, the coefficients a, b and discharge are estimated and compared with actual FCF channel data. The results show that the high performance of the CES in determining the hydraulic parameters of flow in symmetric and asymmetric composite sections.

Keywords: Compound channel, CES, Floodplain, Kinetic energy correction coefficients, momentum correction coefficients

1- Ph.D. Student, Department of Water Science Engineering, Lorestan University

2- Assistant Professor, Department of Water Science Engineering, Shahrekord University

3- Associate Professor, Department of Water Science Engineering, Lorestan University

(*-Corresponding Author: Email:GhanbariAdivi@sku.ac.ir)