



## بررسی ضرایب تصحیح انرژی جنبشی و مومنتم و تخمین دبی در کانال‌های مرکب

الهام قنبری عدبوی<sup>۱</sup>

تاریخ ارسال: ۱۳۹۸/۰۴/۲۰

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۹/۱۸

مقاله پژوهشی

### چکیده

عدم یکنواختی توزیع سرعت جریان در عرض، در کانال‌های مرکب و در ناحیه تقابل کانال اصلی و سیلابدشت موجب خطا در برآورد پروفیل سطح آب، روندیابی سیلاب و انتقال رسوب و آلودگی می‌گردد. برای لحاظ کردن این عدم یکنواختی و تاثیر آن در تعیین مقادیر انرژی جنبشی و مومنتم، به ترتیب از ضرایب تصحیح  $(\alpha)$  و  $(\beta)$  استفاده گردید. در این مطالعه با استفاده از داده‌های FCF برای کانال‌های مرکب، تاثیر عرض سیلابدشت ( $۴/۱$ ،  $۲/۲۵$  و  $۰/۷۵$  متر)، بر ضرایب  $\alpha$  و  $\beta$  در کانال‌های مرکب متقارن و نامتقارن بررسی گردید. طبق نتایج با افزایش عرض سیلابدشت بیشینه مقادیر  $\alpha$  و  $\beta$  افزایش یافت. در نهایت با لحاظ کردن مقادیر  $\alpha$  و  $\beta$  محاسباتی از نرم افزار CES مقدار دبی، تعیین و سپس این مقدار دبی با داده‌های آزمایشگاهی FCF مقایسه گردید. میزان متوسط جذر میانگین مربعات خطا نرمال شده معادل  $۱۵/۶$  و در محدوده مناسب برآورد گردید. این بررسی نشان دهنده قابلیت و دقت قابل قبول نرم‌افزار CES در تعیین پارامترهای هیدرولیکی جریان، از جمله دبی در کانال مرکب می‌باشد. اما به‌طور کلی این نرم‌افزار مقادیر دبی را بیش از واقعیت برآورد نموده است.

واژگان کلیدی: داده‌های FCF، ضریب تصحیح، کانال متقارن، نامتقارن، نرم افزار CES.

## مقدمه

مطالعه و مدل‌سازی رودخانه‌ها برای آگاهی از مقدار دبی انتقال‌داده شده و توزیع سرعت و تنش برشی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد (بهرام پور و همکاران، ۱۳۹۸). اطلاعات دقیق از توزیع سرعت در کانال‌ها نقش بسیار مهمی در مطالعات سیلاب، طراحی پل، زیرگذر جاده و تخمین منحنی دبی اشل در آبراهه‌های طبیعی دارد. ولی معمولاً در مهندسی رودخانه کاربردی، جهت ساده‌سازی، سرعت بصورت یکنواخت در نظر گرفته شده و تحلیل‌ها براساس معادلات انرژی یا اندازه حرکت انجام می‌گردد. به عنوان مثال جهت محاسبه دبی در یک کانال مرکب با استفاده از روش تقسیم کانال (DCM<sup>۱</sup>)، ابتدا کانال به چند زیرمقطع تقسیم شده که البته این تقسیم‌بندی با توجه به شکل مقطع عرضی صورت می‌گیرد و در هر زیرمقطع با استفاده از معادله مانینگ مقدار سرعت میانگین برآورد شده و سپس دبی کل محاسبه می‌گردد. طبق بررسی‌های صورت گرفته توسط برخی محققین مشخص گردید که مقدار دبی برآورد شده طبق این روش بیش از مقدار اندازه‌گیری شده بدست می‌آید. تفاوت در زبری جداره و عمق جریان بین کانال اصلی و سیلابدشت، باعث ایجاد گسستگی در توزیع سرعت در عرض می‌گردد (Sellin, 1964, Knight et al., 1984). این غیریکنواختی موجب ایجاد تلاطم و گردابه و ایجاد نیروی برشی در صفحه تقابل کانال اصلی و سیلابدشت شده و مقدار زیادی از انرژی جریان اتلاف گردیده و به همین علت ظرفیت انتقال جریان کاهش می‌یابد (Fernandes et al., 2015).

توزیع سرعت در عرض کانال‌های مرکب برخلاف تئوری ساده کننده جریان در کانال‌های ساده، غیر یکنواخت بوده و نیاز به اندازه‌گیری انرژی جنبشی و تغییرات مومنوم در کانال دارد. هرگونه انحراف نسبت به تئوری توزیع یکنواخت سرعت با دو ضریب تصحیح انرژی جنبشی،  $\alpha$  یا ضریب کوریولیس و ضریب تصحیح مومنوم  $\beta$ ، یا ضریب بوزینسک قابل محاسبه می‌باشد. ضریب

تصحیح انرژی جنبشی یکی از مهم‌ترین ضرایب در محاسبه پروفیل سطح آب جریان در کانال‌های مرکب می‌باشد (Chow, 1951). زمانی که توزیع عرضی و عمقی سرعت در مقطع کانال یکنواخت باشد مقادیر  $\alpha$  و  $\beta$  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). 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 مشاهده شده است (Mohanty and Knight and Demetriou (1983)). Khatua (2014).

وجود مرزها 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 ضریب 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 (Fenton, 2005). بایستی به منظور کاهش خطاهای طراحی مقادیر  $\alpha$  و  $\beta$  بطور دقیق تعیین گردند. در برخی از مطالعات  $\alpha$  و  $\beta$  براساس رابطه‌ی بین نسبت سرعت بیشینه به سرعت متوسط در هر مقطع عرضی بیان شده است (Chow, 1951)، با افزایش غیریکنواختی در توزیع سرعت جریان، مقادیر  $\alpha$  و  $\beta$  افزایش یافته بطوری که ضریب  $\alpha$  می‌تواند در آبراهه‌های طبیعی به بیش از ۲ نیز افزایش یابد (Mohanty and Khatua, 1966). Henderon, 2014). ضرایب  $\alpha$  و  $\beta$  را در کانال مرکب صاف مستقیم با سیلابدشت‌های متقارن مورد بررسی قرار دادند و مقادیر ۲/۰۹ و ۱/۳۹ را به ترتیب برای  $\alpha$  و  $\beta$  ارائه نمودند.

AL-Khatib (2013) در یک کانال مرکب با مشخصات هندسی قابل تغییر برای سه عرض ۱۰، ۱۵ و ۲۰ سانتیمتر و سه عمق کانال اصلی معادل ۲، ۴ و ۶ سانتیمتر آزمایش‌هایی انجام دادند. در این شرایط برای

<sup>۱</sup> Divided Channel Method

سرعت در مقطع آبراهه اثر گذاشته و موجب تغییر ضرایب  $\alpha$  و  $\beta$  شوند. در اینجا جهت محاسبه مقادیر  $\alpha$  و  $\beta$ ، 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 گردید. ضریب تصحیح انرژی جنبشی عرضی به صورت نسبت جمع انرژی‌های جنبشی محاسبه شده در زیرمقطع‌های مختلف به متوسط انرژی جنبشی کل مقطع، محاسبه گردیده و بصورت رابطه زیر نشان داده می‌شود (موهانتی ۲۰۱۳).

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

همچنین ضریب تصحیح مومنوم در کانال‌های مرکب از نسبت مجموع مومنوم در زیرمقطع‌ها به مومنوم کل مقطع حاصل می‌شود و به صورت رابطه ۲ ارائه شده است (موهانتی ۲۰۱۳).

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

که  $v_i$  سرعت متوسط در هر زیرمقطع،  $a_i$  سطح هر زیرمقطع،  $V$  متوسط سرعت در کل مقطع،  $A$  سطح کل مقطع،  $n$  تعداد زیر-مقطع‌ها است.

جهت تعیین مقادیر ضرایب  $\alpha$  و  $\beta$  و تعیین مقدار دبی با استفاده از مدل CES در اینجا از داده‌های FCF بدست آمده از کانالی به طول ۶۰ متر و عرض ۱۰ متر استفاده شده است. ابتدا با استفاده از داده‌های سری ۰۴ مقدار این ضرایب در یک کانال دوزنقه‌ای صاف و منفرد با شیب دیواره ۱:۱ محاسبه شده است. سپس با استفاده از داده‌های سری ۰۱، ۰۲، ۰۳ با عرض‌های مختلف سیلابدشت و ثابت بودن عرض کف و شیب دیواره کانال اصلی، تغییرات ضریب تصحیح انرژی جنبشی و مومنوم بررسی شده است. برای بررسی وضعیت جریان در یک کانال مرکب نامتقارن از کانال سری ۰۶ استفاده شده است. در نهایت نتایج آن با نتایج سایر محققان که بر روی کانال نامتقارن مطالعه کردند، مقایسه گردید.

با استفاده از نرم‌افزار CES و شبیه‌سازی حالت‌های بالا، مقادیر ضریب تصحیح انرژی جنبشی و مومنوم برآورد گردید که مقادیر آن در نهایت در تخمین دبی با کمک این

عمق نسبی بین ۰/۱۵۵ تا ۰/۸۲۵ میزان متوسط ضرایب  $\alpha$  و  $\beta$  را به ترتیب معادل ۱/۱۵۲۵ و ۱/۱۲۶۱ بدست آمد. Keshavarzi and Hamidifar (2018) در فلومی به عرض ۹۰ سانتیمتر و ارتفاع ۶۰ سانتیمتر با ایجاد یک کانال مستطیلی نامتقارن با ارتفاع کانال اصلی معادل ۱۴ سانتیمتر برای عمق نسبی بین ۰/۱ تا ۰/۴ آزمایش‌هایی به منظور تعیین ضرایب  $\alpha$  و  $\beta$  انجام دادند. آن‌ها در نهایت رابطه‌ای جهت تخمین ضرایب  $\alpha$  و  $\beta$  بر اساس عمق نسبی نیز ارائه نمودند. از جمله نرم‌افزارهای کاربردی در ساماندهی رودخانه‌ها می‌توان به مدل SMS، ISIS، HEC-2، HEC-6، HEC-RAS 11-MIKE اشاره کرد. (رحیمی نژاد و طیاری، ۱۳۹۴). علاوه بر نرم‌افزارهای ذکر شده بعضی از محققین از نرم‌افزار CES برای تعیین پارامترهای جریان و تعیین پهنه سیل استفاده نمودند. Mohanty (2013) توزیع عرضی متوسط سرعت عمقی را در یک کانال مئاندری 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.

Devi and Khatua (2019) مدلی جهت برآورد دبی در یک کانال مرکب ارائه نموده‌اند و نتایج را با نرم‌افزار CES مقایسه نمودند. طبق نتایج آن‌ها مدل پیشنهادی نسبت به نرم‌افزار CES توانایی بیشتری در برآورد دبی در کانال‌های نامتقارن دارد. آن‌ها به بررسی نرم‌افزار CES در برآورد متوسط سرعت عمقی در کانال‌های مرکب متقارن و نامتقارن پرداختند. ایشان جهت انجام مقایسه از داده‌های آزمایشگاهی کانال<sup>۱</sup> FCF انگلستان و NITR هند استفاده کرده‌اند و در نهایت به این نتیجه رسیدند که نرم‌افزار CES در نسبت‌های کم از 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.

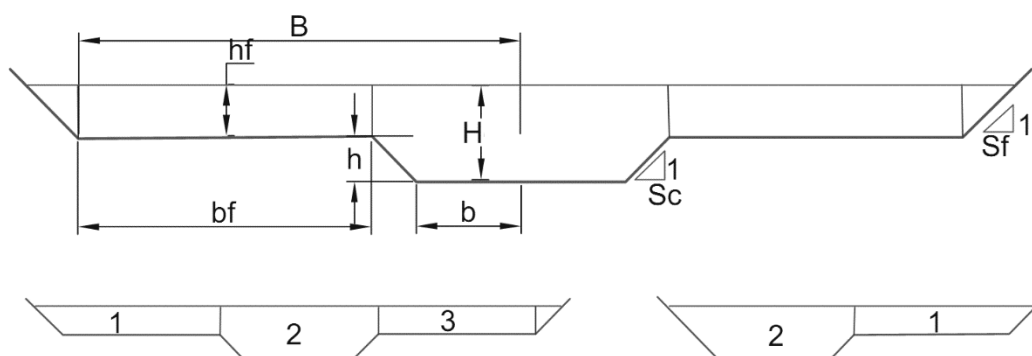
## مواد و روش‌ها:

عوامل زیادی مانند شکل مقطع، پارامترهای هیدرولیکی جریان، زبری و غیره می‌توانند بر توزیع عرضی

<sup>۱</sup> Flood channel facility, Wallingford, England

$h$ : عمق کانال اصلی،  $hf$ : عمق آب در سیلابدشت،  $b_f$ : عرض سیلابدشت،  $b$ : نصف عرض کف کانال اصلی،  $H$ : فاصله سطح آب تا کف کانال اصلی،  $S_f$ : نسبت افقی شیب دیواره سیلابدشت،  $S_c$ : نسبت افقی شیب دیواره کانال اصلی،  $B: b_f + b + h \times S_c$  قابل توجه است که مقدار ضریب زبری در این کانال در شرایط مختلف معادل  $0.1$  می باشد.

نرم افزار که هدف اصلی این تحقیق می باشد، مورد استفاده قرار گرفت. سپس نتایج دبی بدست آمده از مدل با مقادیر آزمایشگاهی مقایسه گردید. در شکل ۱ پارامترهای مشخص کننده ابعاد کانال و در جدول ۱ اطلاعات مربوط به مشخصات کانال ارائه شده است. پارامترهای ارائه شده در شکل ۱ به شرح ذیل می باشد.



شکل (۱): 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 کانال	شکل مقطع
۰۱	۰/۷۵	۴/۱	۵	۰	۱	مکعب	مستطیل
۰۲	۰/۷۵	۲/۲۵	۳/۱۵	۱	۱	مکعب	مستطیل
۰۳	۰/۷۵	۰/۷۵	۱/۶۵	۰	۱	مکعب	مستطیل
۰۶	۰/۷۵	۲/۲۵	۳	۱	۱	مکعب	نامستطیل
۰۴	۰/۷۵	-	-	-	۱	منفرد	-

مشاهداتی و  $O_{min}$  کمترین مقدار مشاهداتی می باشد. مقدار مجذور میانگین مربعات خطای نرمال هر چه به صفر نزدیک تر باشد نشانگر بالا بودن دقت پیش بینی است.

## نتایج و بحث

تغییرات ضریب تصحیح انرژی جنبشی در یک

### کانال منفرد

مقادیر  $\alpha$  و  $\beta$  به ازای یک کانال منفرد محاسبه شد. در شکل ۲، شکل مقطع کانال سری ۰۴ نشان داده شده است. نیمی از کانال، قسمت بندی شده و به ازای هر زیرمقطع پارامترهای مورد استفاده ارائه شده است. در شکل شماره

## تحلیل آماری مقادیر دبی محاسباتی نرم افزار CES با مقادیر آزمایشگاهی

به منظور مقایسه و ارزیابی نرم افزار در تخمین دبی از معیارهای آماری، نرمال سازی جذر میانگین مربعات خطا (NRMSE) و ضریب همبستگی ( $R^2$ )، به صورت معادلات (۳) و (۴) استفاده گردید:

$$NRMSE = \sqrt{\frac{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2}{O_{max} - O_{min}}} \quad (3)$$

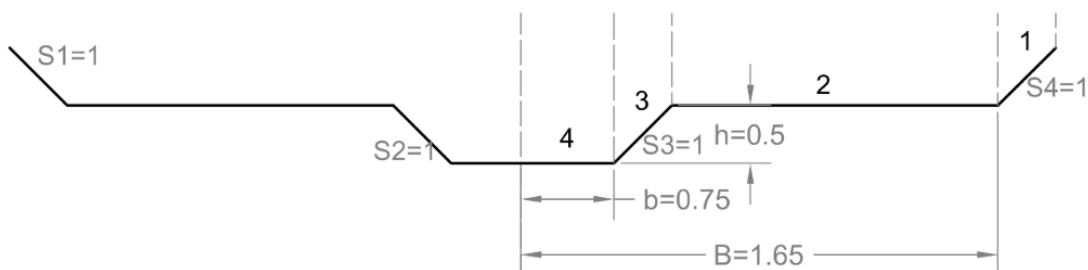
$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (O_i - \bar{O}_m)(P_i - \bar{P}_m)}{(\sum_{i=1}^N (O_i - \bar{O}_m)^2)^{0.5} (\sum_{i=1}^N (P_i - \bar{P}_m)^2)^{0.5}} \quad (4)$$

که  $O_i$  مقدار مشاهداتی،  $P_i$  مقدار پیش بینی شده،  $N$  تعداد داده های مشاهداتی،  $\bar{O}_m$  مقدار میانگین مشاهدات و  $\bar{P}_m$  مقدار میانگین پیش بینی شده،  $O_{max}$  بیشترین مقدار

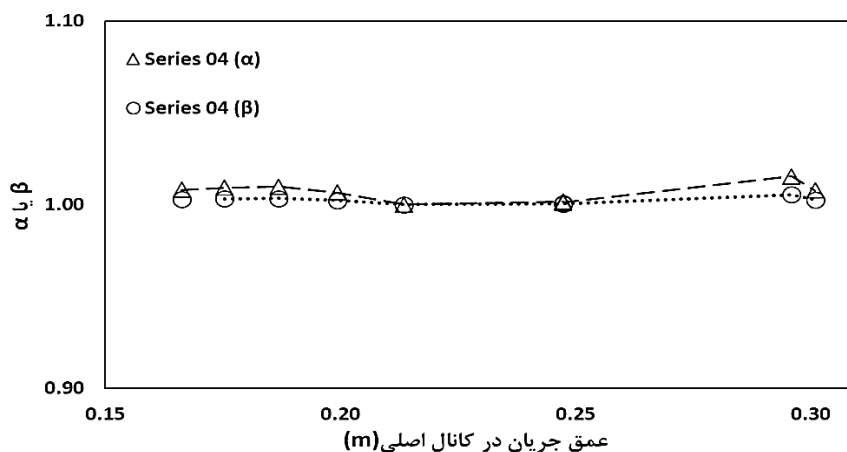
جریان در کانال اصلی تغییر محسوسی نداشته‌اند. به عبارت دیگر به علت شکل منظم مقطع بردارهای سرعت هم‌راستا بوده و جریان‌های گردابی تشکیل نشده است در نتیجه تنش‌های برشی و تبادل مومنتوم ناشی از آن ناچیز بوده است.

۳ تغییرات  $\alpha$  و  $\beta$  به ازای تغییرات عمق در این کانال ارائه شده است.

با توجه به اینکه عمق کانال اصلی در سری ۰۴ برابر ۰/۵ متر است و عمق جریان حداکثر به ۰/۳ متر رسیده است. طبق نتایج مشخص می‌شود که به ازای عمق‌های مختلف مقادیر  $\alpha$  و  $\beta$  تقریباً برابر یک بوده و با تغییر عمق



شکل (۲): مشخصات فیزیکی کانال FCF در سری ۰۴



شکل (۳): تغییرات ضریب تصحیح انرژی جنبشی و مومنتوم در کانال ذوزنقه‌ای منفرد (سری ۰۴)

عمق کل جریان بدست آمده است. همانطور که در شکل های ۴ و ۵ به ازای تغییر عرض سیلابدشت میزان ضرایب نیز تغییر کرده است. بطوریکه افزایش ضریب  $\alpha$  در سری ۰۱ تقریباً ۲/۴ برابر سری ۰۲ و ۶/۸ برابر سری ۰۳ بوده است. همچنین میزان افزایش ضریب  $\beta$  در سری‌هایی ۰۱، ۰۲ و ۰۳ به ترتیب ۰/۱۷، ۰/۰۸ و ۰/۰۳ واحد بوده است. 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

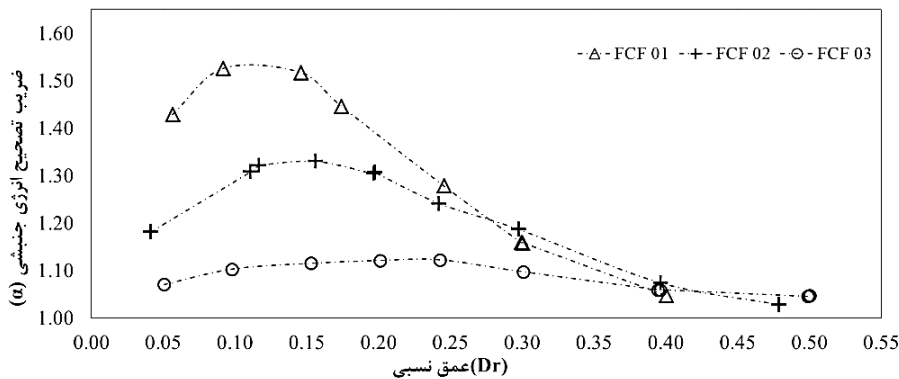
### اثر عرض سیلابدشت بر ضریب تصحیح انرژی جنبشی و مومنتوم در کانال متقارن

با استفاده از داده‌های موجود و به ازای عرض‌های مختلف سیلابدشت و ثابت بودن عرض و شیب دیواره کانال اصلی، مقادیر  $\alpha$  و  $\beta$  محاسبه شده است. عرض هر سیلابدشت در سری‌های ۰۱، ۰۲ و ۰۳ به ترتیب برابر ۴/۱، ۲/۲۵ و ۰/۷۵ متر بوده است. در شکل‌های ۵ و ۶ تاثیر عرض سیلابدشت و عمق نسبی جریان ( $Dr$ )، به ترتیب بر مقادیر ضرایب  $\alpha$  و  $\beta$  ارائه شده است. در اینجا عمق نسبی جریان از اختلاف عمق کل جریان با ارتفاع کانال اصلی، تقسیم بر

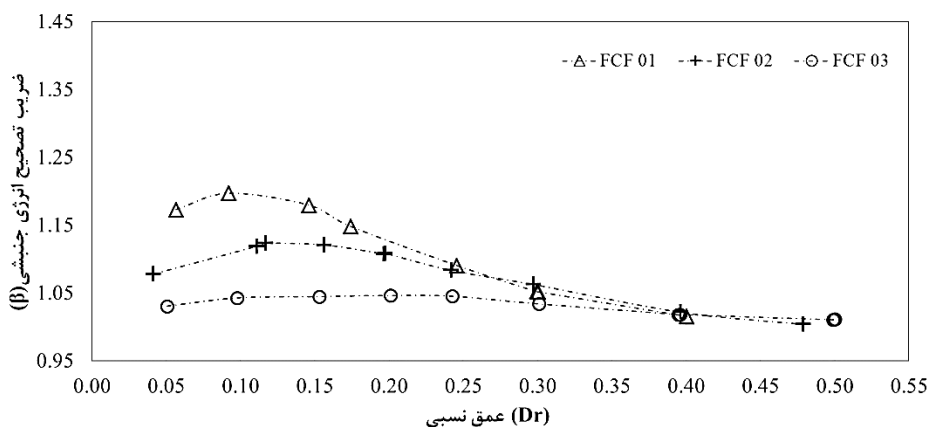
۰۲ و ۰۳ به ترتیب در عمق نسبی ۰/۱، ۰/۱۲ و ۰/۲ به وقوع پیوسته است.

بعد از مقدار بیشینه با افزایش بیشتر عمق مقادیر  $\alpha$  و  $\beta$  کاهش یافته‌اند. با افزایش عمق جریان، اثر زبری سیلابدشت بر جریان در این ناحیه کمتر شده و باعث کاهش اختلاف سرعت بین سیلابدشت و کانال اصلی شده که در نتیجه تنش‌ها و گردابه‌های ناحیه تقابلی سیلابدشت و کانال اصلی نیز کاهش یافته و موجب کاهش مقادیر  $\alpha$  و  $\beta$  گردیده است.

با سری‌های ۰۲ و ۰۳ افزایش بیشتری داشته است. از طرفی در سری ۰۱ در مقایسه با سری ۰۲ و ۰۳ به علت تنش‌های برشی بیشتر جریان‌های گردابی قویتری در صفحه بین سیلابدشت و کانال اصلی بوجود آمده و در نتیجه تبادل مومنوم بیشتری بین کانال اصلی و سیلابدشت در مقایسه با سری‌هایی ۰۲ و ۰۳ ایجاد شده و مقادیر ضریب تصحیح مومنوم افزایش بیشتری داشته است. مقدار بیشینه  $\alpha$  در سری ۰۱، ۰۲ و ۰۳ به ترتیب در عمق نسبی ۰/۱، ۰/۱۶ و ۰/۲۴ رخ داده است. همچنین مقدار بیشینه  $\beta$  در سری ۰۱



شکل (۴): تاثیر عرض سیلابدشت بر مقادیر ضریب  $\alpha$  در کانال متقارن



شکل (۵): تاثیر عرض سیلابدشت بر مقادیر ضریب  $\beta$  در کانال متقارن

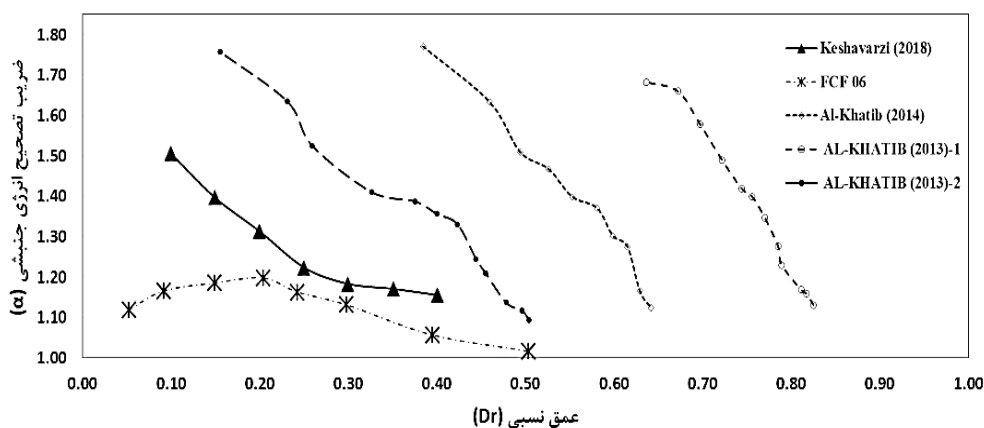
کانال سری ۰۶ با داده‌های (AL-Khatib(2013) و Keshavarzi and Hamidifar (2018) جهت مقایسه در شکل شماره ۶ و ۷ آورده شده است.

اثر عرض سیلابدشت بر ضریب تصحیح انرژی جنبشی و مومنوم در کانال نامتقارن

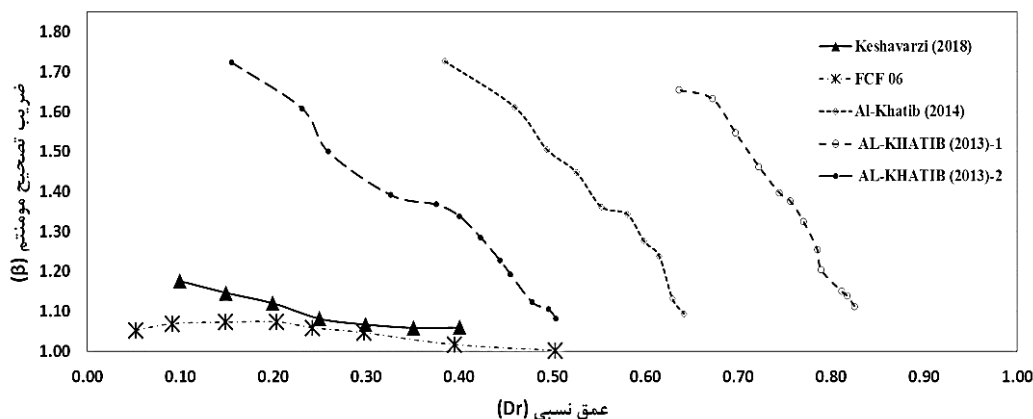
با استفاده از داده‌های موجود مقادیر  $\alpha$  و  $\beta$  برای کانال سری ۰۶ محاسبه شده است. روند تغییرات مقادیر  $\alpha$  و  $\beta$  در

کاهش یافته است. به طوری که میزان ضریب  $\alpha$  از ۱/۷۷ در بیشترین حالت تا ۱/۱ کاهش یافته است. بدلیل نامتقارن بودن کانال، در هر کانال با مشخصات مختلف نحوه تغییرات این ضرایب متفاوت است و نمی توان عمق نسبی مشخصی را تعیین نمود که در آن، مستقل از سایر شرایط کانال، میزان  $\alpha$  و  $\beta$  مقدار ثابتی داشته باشد و این میزان ثابت کاملاً وابسته به شرایط هندسی کانال و عمق نسبی توامان می باشد.

این مقایسه در محدوده وسیعی از اعماق نسبی صورت گرفته است و همان طور که از شکل شماره ۶ و ۷ مشخص است، روند تغییرات مقادیر  $\alpha$  و  $\beta$  در کانال های نامتقارن در هر عمق نسبی ادامه دارد. با افزایش عمق نسبی میزان بیشینه این ضرایب نسبت به داده های سری دیگر افزایش یافته است و از طرفی در هر سری به جز داده های کانال FCF بقیه داده ها از مقدار بیشینه شروع شده و با افزایش عمق نسبی در کانال مقدار  $\alpha$  و  $\beta$  با شیب نسبتاً زیادی



شکل (۶): تاثیر عرض سیلابدشت بر مقادیر ضریب  $\alpha$  در کانال نامتقارن



شکل (۷): تاثیر عرض سیلابدشت بر مقادیر ضریب  $\beta$  در کانال نامتقارن

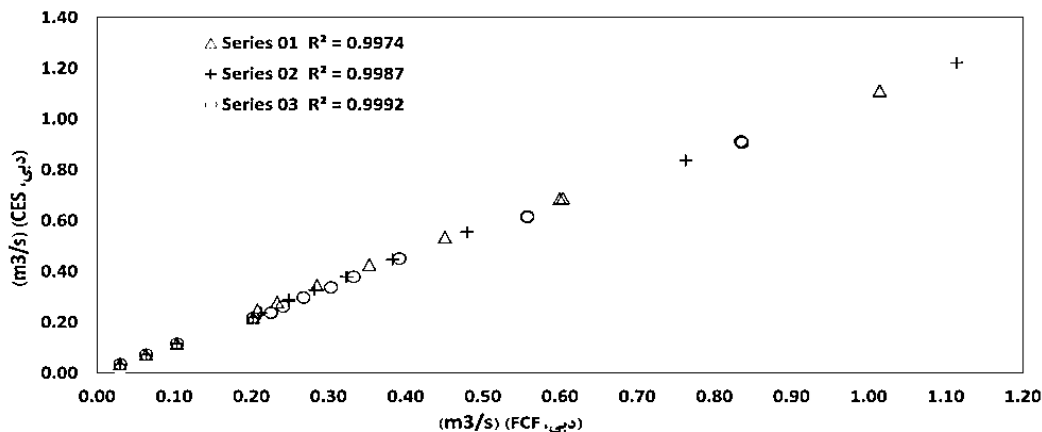
توانایی مدل های موجود در پیش بینی دقیق جریان از نرم افزار CES، استفاده گردید. مقادیر دبی به ازای کانال های سری ۱، ۲ و ۳ با نرم افزار CES، با مقادیر اندازه گیری شده دبی در این سری های مقایسه گردید. نتایج این مقایسه در شکل ۸ نشان داده شده است.

### تحلیل نتایج با کمک نرم افزار CES:

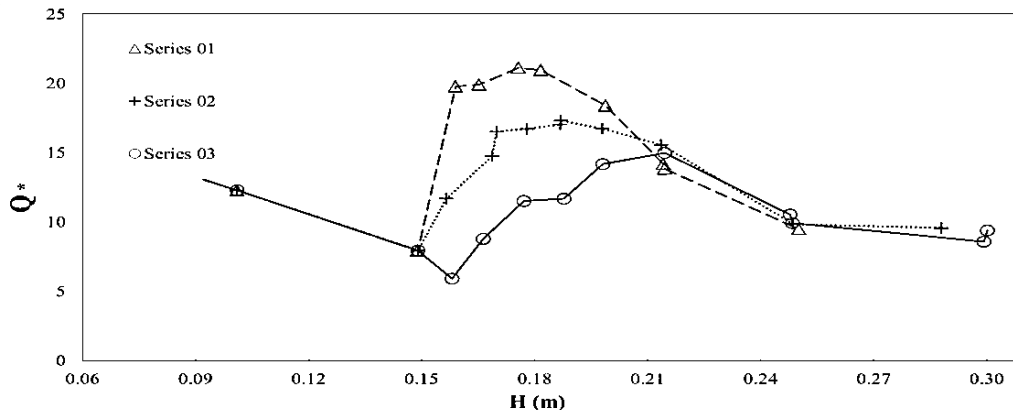
نتیجه رقابت بین نیروهای محرک و مقاوم جریان در مقدار دبی عبوری خلاصه می گردد لذا به منظور بررسی

تقسیم بر دبی دبی آزمایشگاهی بر حسب درصد بصورت پارامتر  $Q^*$  استفاده شده است. در شکل شماره ۹ میزان خطای برآورد دبی بر حسب درصد نسبت به اعماق مختلف جریان ترسیم شده است

طبق شکل ۸ مشخص می‌گردد که مقادیر دبی برآورد شده توسط نرم افزار CES به ازای کانال متقارن از همبستگی بالایی با مقادیر آزمایشگاهی برخوردار است. جهت محاسبه میزان خطای دبی برآوردی از نرم افزار CES از تعیین اختلاف بین دبی برآوردی با دبی آزمایشگاهی



شکل (۸): مقایسه دبی برآورد شده با CES و مقادیر اندازه گیری شده در کانال FCF



شکل (۹): اختلاف مقادیر برآورد شده و آزمایشگاهی دبی

این عمق، کانال مرکب مشابه یک کانال منفرد رفتار می‌کند)، اختلاف بین مقادیر تخمینی و تجربی کاهش یافته و پس از آن، مقادیر اختلاف تقریباً ثابت گردید. در ادامه مقادیر خطا و ضریب تبیین دبی محاسباتی توسط مدل CES نسبت به مقادیر آزمایشگاهی در جدول شماره ۲ آورده شده است. از بررسی این مقادیر، دقت نسبی این نرم-افزار در برآورد مقدار دبی جریان قابل ملاحظه می‌باشد.

مطابق شکل ۹، قبل از رسیدن جریان به آستانه سرریزی (۱۵ سانتی متر)، اختلاف بین مقدار تجربی و تخمین زده شده کاهش می‌یابد. با افزایش عمق جریان، مقدار اختلاف بین ضرایب برآورد شده و تجربی در هر سه سری کانال افزایش یافته و به حداکثر مقدار رسیده است. سپس با افزایش بیشتر در عمق جریان تا ۲۵ سانتی متر (در

جدول (۲): مقادیر خطا و ضریب تبیین دبی محاسباتی توسط مدل CES



پارامتر آماری	کانال		
	۰۱	۰۲	۰۳
<i>NRMSE</i> %	۱۷/۴۸	۱۶/۹۳	۱۲/۴
<i>MAPE</i> %	۱۶/۰۴	۱۴/۳۳	۱۱/۴۶
<i>R</i> <sup>۲</sup> %	۹۹/۷۴	۹۹/۸۷	۹۹/۹۲

### نتیجه گیری:

در کانال منفرد میزان انتقال مومنوم و تلفات انرژی جنبشی ناشی از جریان‌های عرضی ناچیز است. لذا مقادیر ضریب  $\alpha$  و  $\beta$  همواره نزدیک به یک می‌باشند. مقایسه مقادیر  $\alpha$  و  $\beta$  در سری‌های مختلف از کانال مرکب متقارن نشان دهنده اثر گذاری عرض سیلابدشت در مقادیر ضرایب تصحیح انرژی جنبشی و مومنوم در کانال‌های مرکب خواهد بود. روند کلی ضرایب  $\alpha$  و  $\beta$  با عمق جریان 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  $\alpha$  و  $\beta$  به یک نزدیک می‌گردند. همچنین از مقایسه مقادیر  $\alpha$  و  $\beta$  در سری‌هایی مختلف از کانال مرکب نامتقارن تاثیر عرض بر مقادیر  $\alpha$  و  $\beta$  قابل مشاهده است. اما در مورد کانال مرکب نامتقارن نمی‌توان حد مشخصی برای تغییر رفتار کانال مرکب به یک کانال منفرد تعیین نمود. برای هر کانال با مشخصات هندسه و هیدرولیک متفاوت این حد متفاوت خواهد بود. اما رفتاری که قابل انتظار است، یعنی

کاهش میزان این ضرایب با افزایش میزان عمق نسبی در هر دونوع کانال متقارن و نامتقارن قابل مشاهده است. با استفاده از نرم‌افزار CES و با لحاظ نمودن ضریب اصلاحی بر میزان دبی و مقایسه دبی برآورده شده با دبی آزمایشگاهی قابل بررسی می‌باشد. نتایج نرم‌افزار CES در برآورد دبی نشان دهنده توانایی بالای این نرم‌افزار در تخمین پارامترهای هیدرولیکی جریان (دبی) در کانال مرکب می‌باشد. به‌طور متوسط میزان ضریب همبستگی نتایج ۹۹/۸ و میزان متوسط جذر میانگین مربعات خطا نرمال شده معادل ۱۵/۶ برآورد گردید. قبل از رسیدن جریان به آستانه سرریزی (۱۵ سانتی‌متر)، اختلاف بین مقدار آزمایشگاهی و محاسباتی کاهش می‌یابد. با افزایش عمق جریان، مقدار اختلاف بین مقادیر برآورد شده توسط نرم‌افزار CES و آزمایشگاهی در هر سه سری کانال افزایش یافته و به حداکثر مقدار رسیده است. این مقایسه مقادیر نشان می‌دهد که تقریباً همواره مقدار دبی برآورد شده بیشتر از مقادیر آزمایشگاهی بوده است.

### تقدیر و تشکر:

بدینوسیله از دانشکده مهندسی عمران دانشگاه بیرمنگام انگلستان و موسسه والینگفورد انگلستان به عنوان مجری پروژه، بدلیل عمومی کردن داده‌های آزمایشگاهی FCF تشکر می‌نمایم.

### منابع:

بهرام پور، م. غ.ع. بارانی و م. ذونعت کرمانی. ۱۳۹۸. پیش بینی دبی جریان در مقاطع مرکب، مقایسه روش‌های داده محور و تجربی. نشریه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران، سال نهم، شماره ۳۶، ص ۲۴-۳۸.  
رحیمی نژاد، ز و ا. طیار. (۱۳۹۴). اصلاح و ساماندهی رودخانه خبر بافت با استفاده از مدل HEC-RAS. نشریه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران، شماره ۱۹، ص ۱۷-۲۹.

AL-Khatib, I.A., 2013. Investigation of momentum and kinetic energy correction coefficients in asymmetric compound cross-section flumes. Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences, 37(1), pp.69-78.

Chow V.T.1951. Open-Channel Hydraulics. McGraw-Hill, New York



- 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 principles in hydraulics. XXXI IAHRCONGRESS, SeptemBer 11-16, 2005, Seoul, Korea
- 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
- Henderon F.M. 1966. *Open channel flow*. Macmilan PuBlishing Co, New York, United Sates of America
- Keshavarzi, A. and Hamidifar, H., 2018. Kinetic energy and momentum correction coefficients in compound open channels. *Natural Hazards*, 92(3), pp.1859-1869.
- 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
- Mohanty, P. K. (2013). *Flow Analysis of Compound Channels with Wide Flood Plains* (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
- Posey, C. J. (1967). Computation of discharge including over-Bank flow. *Civil engineering*, ASCE, 37(4): 62-63
- 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



## Investigation of Kinetic and Momentum Correction Coefficients and Flow Rate Estimation in Compound Channels

Elham Ghanbari-Adivi<sup>1</sup>

### Abstract

Non uniform flow Transverse velocity distribution in the main channel's interface zone with floodplain in compound channels cause uncertainty to estimate in following parameters: the water surface profile, flood routing and sediment and pollution transport.

The correction coefficients, ( $\alpha$ ) and ( $\beta$ ) were used respectively, to employ the impact of this uniformity on the kinetic energy and momentum values.

In this study, via FCF data for compound channels, the influence of floodplain width (4.1, 2.25 and 0.75 m) on  $\alpha$  and  $\beta$  coefficient was investigated in symmetric and asymmetric compound channels. According to the results, the maximum value of  $\alpha$  and  $\beta$  was increased, due to increasing the width of the floodplain.

Finally, the flow discharge was determined, with  $\alpha$  and  $\beta$  calculating values via CES software. Afterward, these values were compared with FCF laboratory data.

The normalized root mean square error (NRMSE) was estimated in appropriate range, it equal to %15.6. This investigation showed that the high performance of the CES in determining the hydraulic parameters of flow such as discharge, in symmetric and asymmetric compound channels. But in general, this software overestimated the value of discharge.

**Keywords:** Asymmetric, FCF data, CES software, Correction coefficient, Symmetric channel.

---

<sup>1</sup> Assistant Professor, Water Engineering Department, Agriculture Faculty, Shahrekord University, Shahrekord, Iran.  
Elhamgh44@gmail.com - Corresponding author



## Investigation of Kinetic and Momentum Correction Coefficients and Flow Rate Estimation in Compound Channels

Elham Ghanbari-Adivi<sup>1</sup>

### Introduction

Non uniform flow Transverse velocity distribution in the main channel's interface zone with floodplain in compound channels cause uncertainty to estimate in following parameters: the water surface profile, flood routing and sediment and pollution transport. Any deviation from the theoretical uniformity of velocity distribution is calculated by presentation of kinetic energy correction coefficient ( $\alpha$ ) and momentum correction coefficient ( $\beta$ ). If at a river, the velocity difference between the main channel and floodplain is much, the value of  $\alpha$  coefficient can increase more than 2 (Henderson, 1966).

In arrears to the existence of some weaknesses like unphysical basis, boundary resistance coefficient, overestimating floodplain and underestimating main channel in the available 1D model such as ISIS, HEC-RAS and MIKE 11, Conveyance Estimation System (CES) was developed. CES estimated the conveyance by Reynolds-averaged Navier-Stokes. Singh et al (2018) applied CES and ANSYS fluent models to calculate flow parameters. They studied lateral distribution of the velocity and shear stress in a gravel-bed channel experimentally and computationally and showed that both models gave acceptable numerical results. The CES-/ANSYS-estimated shear stress distributions were, respectively, higher and lower than the experimental results; while CES delivered uniform boundary shear stress at the channel bed, ANSYS 3D gave values close to the real data. This study uses the FCF data to study the effects of the flow depth, in the compound channel on  $\alpha$  and  $\beta$  coefficients, and investigates the CES ability to estimate these coefficients and discharge in different settings.

### Methodology

Using the data from Series 01, 02 and 03, each floodplain width was found to be equal to 5, 3.5 and 1.65 meters, respectively, while the main channel bed width and wall slope were constant. For this purpose,  $\alpha$  and  $\beta$  coefficients were studied. Also Using data from Series 06 (asymmetric) of the FCF, the effect of the asymmetry on  $\alpha$  and  $\beta$  coefficients was studied. Two types of errors as well as the mean absolute percentage error (MAPE) and normalized root mean square error (NRMSE), were considered to evaluate the efficiency of the CES model for estimation of  $\alpha$  and  $\beta$  coefficients and flow discharge. Eq. 1 shows the kinetic energy correction coefficient as followed: (Mohanty, 2013).

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

Also in compound channels, the momentum correction coefficient is obtained by dividing the sum of momentum in each subsection into the momentum of entire section, as presented in Eq. 2 (Mohanty, 2013).

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

where  $v_i$ ,  $a_i$ ,  $V$ ,  $A$  and  $n$  are the average velocity at each subsection, the area of each subsection, the average velocity in entire section, the area of the entire section and the number of subsections, respectively.

<sup>1</sup> Assistant Professor, Water Engineering Department, Agriculture Faculty, Shahrekord University, Shahrekord, Iran.  
Elhamgh44@gmail.com - Corresponding author



### Discussion and Conclusion

In this study, via FCF data for compound channels, the influence of floodplain width (4.1, 2.25 and 0.75 m) on  $\alpha$  and  $\beta$  coefficient was investigated in symmetric and asymmetric compound channels. According to the results, the maximum value of  $\alpha$  and  $\beta$  was increased, due to increasing the width of the floodplain.

Finally, the flow discharge was determined, with  $\alpha$  and  $\beta$  calculating values via CES software. Afterward, these values were compared with FCF laboratory data.

The normalized root mean square error was estimated in appropriate range, it equal to %15.6. This investigation showed that the high performance of the CES in determining the hydraulic parameters of flow such as discharge, in symmetric and asymmetric compound channels. But in general, this software overestimated the value of discharge.

### The most important references

AL-Khatib, I.A., 2013. Investigation of momentum and kinetic energy correction coefficients in asymmetric compound cross-section flumes. *Turkish Journal of Engineering and Environmental Sciences*, 37(1), pp.69-78.

Mohanty, P. K. (2013). *Flow Analysis of Compound Channels with Wide Flood Plains* (Doctoral dissertation).

Singh P. K. Banerjee S. Naik B., Kumar A., 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