

بررسی اثر عمق نسبی بر الگوی جریان در کانال مرکب همگرا

پیمان محمدزاده^۱، میترا جوان^{۲*}، افشین اقبال زاده^۲، خسرو مروتی^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی هیدرولیک، دانشگاه رازی کرمانشاه

۲- استادیار گروه مهندسی عمران، دانشگاه رازی کرمانشاه

۳- دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی هیدرولیک، دانشگاه رازی کرمانشاه

Javanmi@gmail.com

تاریخ پذیرش: [۹۸/۴/۱۵]

تاریخ دریافت: [۹۷/۵/۳]

چکیده

کانال‌های مرکب، مقطع عرضی بسیاری از رودخانه‌ها به ویژه در بازه‌های مجاور مناطق مسکونی و زراعی را تشکیل می‌دهد. بررسی رفتار هیدرولیکی آن‌ها، در طرح‌های کنترل سیلاب و ساماندهی رودخانه‌ها اهمیت فراوانی دارد. در این پژوهش، الگوی جریان و سطح آزاد آب در یک کانال مرکب همگرا با بهره‌گیری از مدل آشفتگی RSM و روش VOF شبیه‌سازی شده است. مقایسه تغییرات طولی تراز سطح آب، سرعت متوسط‌گیری شده در عمق و ظرفیت انتقال دبی توسط سیلاب‌دشت‌ها با نتایج آزمایشگاهی نشان دهنده قابلیت مدل عددی در شبیه‌سازی الگوی جریان در کانال مرکب همگرا است. با مقایسه الگوی جریان در کانال مرکب همگرا برای عمق نسبی‌های مختلف مشخص شد، اختلاف سرعت ایجاد شده بین سیلاب‌دشت و کانال اصلی باعث بروز ساختار جریان پیچیده در عمق نسبی‌های کم می‌شود، این اختلاف سرعت باعث به وجود آمدن جریان‌های ثانویه در مقطع عرضی کانال شده و با افزایش عمق نسبی جریان‌های ثانویه حذف می‌شوند. جریان‌های ثانویه ایجاد شده باعث افت انرژی شدید در عمق نسبی‌های کم می‌شوند. همگرایی در کانال مرکب، ظرفیت انتقال دبی توسط سیلاب‌دشت‌ها را کاهش می‌دهد چنانچه در عمق نسبی ۰/۱، سیلاب‌دشت‌ها کمترین مقدار دبی را انتقال می‌دهند.

واژگان کلیدی: کانال مرکب، سیلاب‌دشت، همگرایی، شبیه‌سازی عددی، فلوننت.

۱- مقدمه

است که تراز کف آن نسبت به سیلاب‌دشت پایین‌تر است و رواناب‌های معمول و دبی پایه را در رودخانه‌ها منتقل می‌کند. برای یک رودخانه طبیعی در هنگام وقوع سیل ممکن است دبی

کانال‌های مرکب مقاطع هیدرولیکی است که از دو بخش کانال اصلی و سیلاب‌دشت تشکیل یافته‌اند. کانال اصلی بخشی

در شرایطی است که در جریان یکنواخت این افزایش تنش برشی فقط ناشی از اختلاف سرعت در بین زیر مقاطع بود [8-9]. بنابراین در شرایطی که جریان غیریکنواخت باشد تنش برشی بیشتر شده و در نتیجه آن جریان‌های ثانویه تشکیل می‌شود. شکل (۱) الگوی جریان در یک کانال مرکب همگرا را نشان می‌دهد.

شکل ۱. الگوی جریان در یک کانال مرکب همگرا

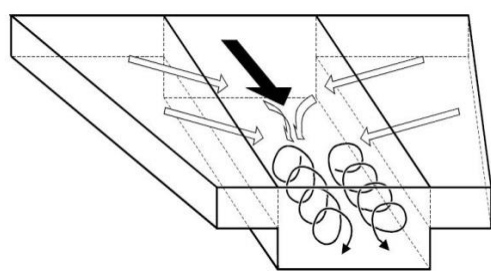


Fig. 1. Flow pattern in converging compound channel

راجاراتنام و احمد [11]، به بررسی اندرکنش کانال اصلی و سیلاب‌دشت که منجر به شکل‌گیری ساختار پیچیده جریان در کانال‌های مرکب می‌شود، پرداختند. آنها روابط مناسبی برای برآورد تنش برشی ظاهری ارائه دادند. تورنتن و همکاران [12]، به بررسی جریان یکنواخت در کانال‌های مرکب و برآورد ظرفیت انتقال پرداختند. نتایج آنها منجر به ارائه روش‌های اصلاحی در برآورد ظرفیت انتقال شد. هلمیو [13]، به بررسی و ارزیابی عملکرد روش‌های مختلف برای برآورد ظرفیت انتقال در کانال‌های مرکب در شرایط غیردائمی و حل عددی معادلات سنت و نانت پرداخت. جیمز و مایر [14] به بررسی ساختار جریان در کانال‌های مرکب قوسی پرداختند. بوسمار و همکاران [10] برای اولین بار با انجام آزمایش در کانال مرکب دارای دشت‌های سیلابی همگرا با ارائه روش EDM (مدل تبادل دبی) روابطی برای برآورد ضریب انتقال در کانال مرکب غیرمنشوری ارائه دادند. بوسمار و همکاران [10] ظرفیت انتقال دبی توسط سیلاب‌دشت‌ها برای کانال‌های مرکب همگرا در سه عمق نسبی و در دبی‌های مختلف ارائه دادند. رضایی و نایت [15] با استفاده از مدل آزمایشگاهی یک کانال مرکب همگرا، به اصلاح مدل SKM (شینو و نایت) پرداختند. آنها سرعت متوسط در عمق، تنش برشی متوسط و تنش برشی رینولدزی را مورد مطالعه

به سرعت افزایش پیدا کند که منجر به خروج آب از کانال اصلی و انتقال آن به سیلاب‌دشت‌ها می‌شود، در این حالت به دلیل انتقال ممتوم بین کانال اصلی و سیلاب‌دشت‌ها که موجب توزیع سرعت غیریکنواخت در این نواحی می‌شود، ساختار جریان پیچیده می‌شود [1]. مشخصه اصلی پیچیدگی در کانال مرکب، انتقال ممتوم بین کانال اصلی و سیلاب‌دشت‌ها است که در کل کانال تاثیر می‌گذارد. فرایند اصلی این انتقال ممتوم به دو صورت تبادل آشفتگی در مرز جدایی بین کانال اصلی و سیلاب‌دشت و انتقال ممتوم ناشی از تغییرات هندسی مقطع، تعریف می‌شود [2].

وجود تبدیل چه به صورت تبدیل همگرا و واگرا یا تغییرات هندسی در مقطع عرضی کانال مرکب باعث به وجود آمدن جریان غیریکنواخت در کانال مرکب شده و ساختار پیچیده‌ای در این وضعیت به وجود می‌آید [3-4]. همان‌گونه که در شکل (۱) نشان داده شده است، تبادل جرم و اندازه حرکت ما بین کانال اصلی و سیلاب‌دشت‌ها در حالت کلی و در یک جریان غیریکنواخت، دوائر دو عامل انتقال ناشی از تغییرات هندسی در ناحیه تبدیل و تبادل ناشی از توربولنس ایجاد می‌شود. بنابراین جرم انتقالی مابین کانال اصلی و سیلاب‌دشت‌ها که بصورت دبی جانبی در واحد طول معرفی می‌شود، در جریان یکنواخت که تغییرات هندسی مقطع جریان در طول کانال صفر است، تنها ناشی از اثرات توربولنس در مرز جدای یک کانال اصلی و سیلاب‌دشت است. در جریان غیریکنواخت، شدت جریان جانبی ناشی از تغییرات هندسی مقطع عرضی جریان (تغییرات ناشی از عمق یا تغییرات ناشی از هندسه کانال و یا هر دو) و شدت جریان جانبی ناشی از آثار توربولنس به مجموع دبی جانبی افزوده می‌شود [5-7]. بنابراین در حالت کلی، دبی جانبی در واحد طول را می‌توان مجموع دبی جانبی ناشی از آثار توربولنس و دبی جانبی ناشی از تغییرات هندسی دانست.

در شرایط یکسان تبادل جرم جانبی، ناشی از تغییرات هندسی مقطع جریان، مشاهدات تجربی مؤید آن است که جریان‌های ثانویه اضافی در کانال مرکب بوجود می‌آید که موجب افزایش تنش برشی در شرایط ورود جریان به کانال اصلی می‌شود. این

همگرا مورد بررسی قرار خواهد گرفت. بدین منظور ابتدا میدان جریان در این کانال با استفاده از نرم افزار فلونت شبیه‌سازی عددی شده و نتایج آزمایشگاهی با مدل عددی مقایسه می‌شود. در ادامه تاثیر عمق نسبی بر الگوی جریان (توزیع پروفیل سرعت طولی در کانال اصلی و سیلاب‌دشت، سرعت متوسط-گیری شده در عمق، جریان ثانویه، ظرفیت انتقال دبی توسط سیلاب‌دشت‌ها، تنش برشی بستر و افت انرژی) بررسی می‌شود.

۲- معادلات حاکم بر جریان

معادلات حاکم بر حرکت یک سیال تراکم‌ناپذیر لزج در حالت آشفتنه، توسط معادلات ناویر-استوکس متوسط‌گیری شده هستند:

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + \frac{\partial u_i u_i}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x_i} + g_i + \frac{\partial}{\partial x_j} (\tau_{ij}) \quad (2)$$

در معادلات فوق u_i مولفه سرعت در جهت x_i ، فشار کل، ρ چگالی سیال، g_i شتاب ثقل در جهت x_i و τ_{ij} تانسور تنش بوده که در جریان آشفتنه به صورت ریز بیان می‌شود:

$$\tau_{ij} = \left[[P(V + V_t)] \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_i} \right) \right) \right] - \left[\frac{2}{3} P(K + V_t) \frac{\partial u_i}{\partial x_i} \right] \delta_{ij} \quad (3)$$

در این مطالعه برای شبیه‌سازی سطح آب از روش VOF استفاده شده است. روش فوق از جمله روش‌های قوی در شبیه‌سازی جریان‌های پیچیده بوده که در شبیه‌سازی جریان‌های یک یا دو سیال کاربرد فراوان دارد [19-20]. در این مطالعه، مدل آشفتگی RSM با تابع دیواره استاندارد برای شبیه‌سازی عددی جریان آشفتنه مورد استفاده قرار گرفته است. در این مدل آشفتگی، شکل تانسوری معادله انتقال بصورت زیر است [20-21].

$$U_k \frac{\partial \overline{u_i' u_j'}}{\partial x_k} = P_{ij} + \Phi_{ij} + D_{ij} - \epsilon_{ij} \quad (4)$$

که در این رابطه، P_{ij} تانسور تولید، Φ_{ij} تانسور فشار-کرنش، D_{ij} تانسور پخش شدگی و ϵ_{ij} تانسور اتلاف می‌باشند. معادلات انتقال تنش‌های رینولدز در مدل آشفتگی RSM می‌-

قرار دادند. مطالعه آنها نشان داد که تنش برشی رینولدزی در حد فاصل کانال اصلی و سیلاب‌دشت قابل توجه است. پروست و همکاران [16] افت انرژی در کانال مرکب غیرمنشوری را بررسی کردند. بررسی افت انرژی در شرایط هیدرولیکی مشابه نشان دهنده افت بیشتر انرژی در کانال مرکب و اگر نسبت به کانال مرکب اریب و همگرا است. یکی دیگر از نتایج این پژوهش این بود که کمترین افت انرژی در کانال همگرا و اگر در عمق نسبی ۰/۵ اتفاق می‌افتد. چالبک و همکاران [2] به بررسی جریان غیریکنواخت در کانال مرکب همگرا، و اگر اریب پرداختند. آنها با بررسی توزیع سرعت متوسط در عمق و همچنین ظرفیت انتقال در همه این کانال‌ها به این نتیجه رسیدند که توزیع سرعت متوسط در عمق و ظرفیت انتقال در کانال مرکب اریب با کانال مرکب همگرا بسیار مشابه است. امروزه شبیه‌سازی عددی به‌عنوان یکی از ابزارهای قدرتمند برای بررسی الگوی جریان بخاطر نامحدود بودن سطح جزئیات نتایج، کاهش اساسی در زمان و قیمت، توانایی مطالعه سیستم‌ها تحت شرایط تصادفی و سیستم‌هایی که انجام آزمایش‌های کنترل شده روی آن‌ها مشکل و یا غیرممکن است مطرح شده است [17]. ماهانتا [18] به شبیه‌سازی عددی جریان در کانال مرکب همگرا با استفاده از نرم‌افزار فلونت و مدل آشفتگی LES پرداختند. آنها با بررسی توزیع سرعت متوسط در مقطع عرضی تبدیل به این نتیجه رسیدند که در کانال مرکب با زاویه همگرایی یکسان، کاهش نسبت عرض، منجر به افزایش اختلاف سرعت بین کانال اصلی و سیلاب‌دشت می‌شود. ماهانتا [18] با بررسی تغییرات سرعت در ناحیه همگرایی به این نتیجه رسید که تغییرات سرعت در کانال مرکب همگرا بسیار بیشتر از کانال منشوری است.

مطالعه پژوهش‌های انجام شده در زمینه کانال مرکب همگرا نشان می‌دهد که در شرایط هیدرولیکی و هندسی کاملاً مشابه و عمق نسبی متغییر پارامترهای جریان در کانال مرکب همگرا بررسی نشده است. و تنها پارامترهای همچون ظرفیت انتقال دبی و افت انرژی در کانال مرکب همگرا در دبی متغییر و عمق نسبی متغییر بررسی شده است با توجه به پیچیدگی جریان در کانال مرکب همگرا و تاثیر پارامتر عمق نسبی بر الگوی جریان، در این مطالعه اثر عمق نسبی بر میدان جریان در کانال مرکب

compound channel, b) cross-section of converging compound channel

به منظور شبیه‌سازی مدل آزمایشگاهی بوسمار و همکاران [10] و حل معادلات حاکم بر جریان با استفاده از نرم‌افزار گمیت اقدام به مش‌بندی میدان محاسباتی شده است. بدین‌منظور از یک شبکه غیریکنواخت که در اطراف دیواره‌ها و در طول همگرایی ریزتر، استفاده شده است. تعداد سلول‌های محاسباتی در راستای x، y و z به ترتیب ۲۰۸، ۲۵ و ۱۳۵ است. در شکل (۳) مش‌بندی استفاده شده در شبیه‌سازی کانال مرکب نشان داده شده است. برای اینکه از محاسبات در زیر ناحیه لزج اجتناب شود اولین گره در محلی قرار داده شد که پارامتر بدون بعد y^+ ($\frac{u_* x y_p}{\nu}$) در محدوده ۳۰ قرار گیرد. در این رابطه y_p فاصله اولین گره از دیواره در جهت عمود بر آن، u_* سرعت برشی دیواره و ν ویسکوزیته سینماتیکی است.

شکل ۳. شبکه‌بندی کانال مرکب همگرا: الف) نمای ۳ بعدی؛ ب) پلان؛ ج) مقطع عرضی

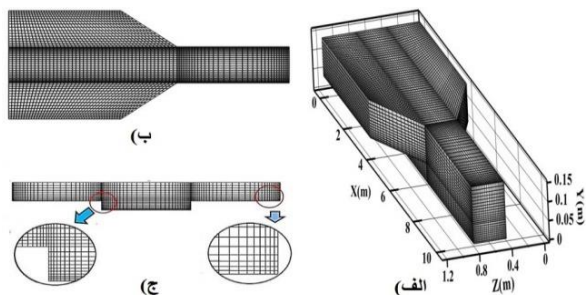


Fig. 3. Meshing domain of converging compound channel; a) 3-dimensional perspective, b) plan view, c) cross-sectional view

۳- نتایج و بحث

برای درستی آزمایشی مدل عددی از نتایج آزمایشگاهی چهار مدل با شرایط هیدرولیکی و هندسی ارائه شده در جدول (۱) استفاده شده است. به منظور بررسی میزان دقت مدل عددی در شبیه‌سازی پروفیل سطح آب، سرعت متوسط در عمق و ظرفیت انتقال از درصد خطای متوسط (APE) و خطای ریشه میانگین مربعات (RMSE) طبق روابط زیر استفاده شده است.

$$RMSE = \sqrt{\sum_{i=1}^N (R_{(EXP)} - R_{(NUM)})^2} \quad (6)$$

تواند به صورت زیر نوشته شود [22-23]:

$$\frac{\partial}{\partial x_k} (\rho u_k \overline{u_i u_j}) = \frac{\partial}{\partial x_k} \left(\frac{\mu}{\sigma_k} \frac{\partial \overline{u_i u_j}}{\partial x_k} \right) + \frac{\partial}{\partial x_k} \left(\mu \frac{\partial}{\partial x_k} (\overline{u_i u_j}) \right) - \rho \left(\overline{u_i u_k} \frac{\partial u_j}{\partial x_k} + \overline{u_i u_k} \frac{\partial u_i}{\partial x_k} \right) + \Phi_{ij} - \frac{2}{3} \delta_{ij} \rho \varepsilon \quad (5)$$

که در این رابطه، σ_k عدد یک، δ_{ij} دلتای کرونکر، μ_t ویسکوزیته آشفتگی، Φ_{ij} تانسور فشار- کرنش و ε نرخ لزجت آشفتگی است.

۳- مشخصات هندسی مدل عددی

در این پژوهش برای درستی آزمایشی مدل عددی، از نتایج آزمایشگاهی بوسمار و همکاران [10] استفاده می‌شود. در شکل (۲) پلان و مقطع عرضی کانال مرکب در مدل آزمایشگاهی بوسمار و همکاران [10] نشان داده شده است. در این شکل CV طول همگرایی، L_1 و L_2 طول قبل و بعد از تبدیل که باهم برابرند، b عرض کانال اصلی، b_f عرض سیلاب‌دشت، B عرض کل کانال، y_f ارتفاع سیلاب‌دشت، y_m ارتفاع کانال اصلی و y ارتفاع کل کانال است، لازم به ذکر است که در آزمایش‌های فوق عمق نسبی برابر با نسبت ارتفاع آب در سیلاب‌دشت به ارتفاع آب در کل کانال ($h^* = y_f/y$) است. بوسمار و همکاران [10] آزمایش‌های خود را در یک فلوم آزمایشگاهی به شیب ۰/۰۰۱، طول ۱۰ متر، ارتفاع ۰/۱۵ متر (ارتفاع کانال اصلی ۰/۰۵ متر و ارتفاع سیلاب‌دشت ۰/۱ متر)، عرض ۱/۲ متر (دو سیلاب‌دشت و یک کانال اصلی که هرکدام به عرض ۰/۴ متر) انجام دادند. این آزمایش‌ها در دو کانال با طول همگرایی ۲ متر و ۶ متر که یک کانال مرکب را به وسیله تبدیل همگرا به یک کانال مستطیلی تبدیل شده است.

شکل ۲. الف) پلان کانال مرکب همگرا؛ ب) مقطع عرضی کانال مرکب

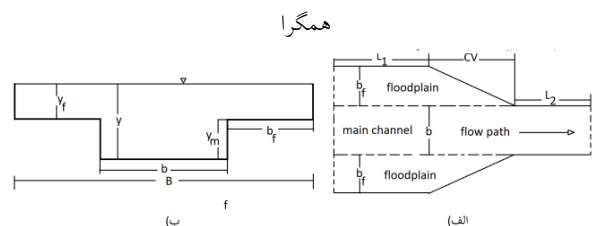


Fig. 2. a) schematic view of converging

آزمایشگاهی و عددی وجود دارد. به طوری که بیشترین خطای مطلق و نسبی نسبت ظرفیت انتقال دبی توسط سیلابدشت‌ها به دبی کل، مربوط به مدل d با خطای نسبی ۹/۷۲ و خطای مطلق ۲/۴۷ است. پس از انجام درستی‌آزمایی و اطمینان از عملکرد مناسب مدل عددی در شبیه‌سازی جریان در کانال مرکب همگرا، در ادامه پژوهش اثر عمق نسبی‌های مختلف در یک کانال مرکب با همگرایی به طول ۶ متر و دبی یکسان ۱۰ لیتر بر ثانیه بر الگوی جریان بررسی شده است. به دلیل متقارن بودن مقطع عرضی کانال نسبت به محور مرکزی متغیرهای جریان، همچون کانتورهای سرعت، سرعت متوسط‌گیری شده در عمق و جریان ثانویه، برای نصف مقطع عرضی ارائه می‌شود. شکل (۷) کانتورهای سرعت طولی واقع شده در وسط همگرایی (۵ متری از بالادست) برای عمق نسبی‌های مختلف را نشان می‌دهد. باتوجه به این شکل سرعت طولی در کانال اصلی با افزایش عمق نسبی کاهش می‌یابد و از طرفی محل تشکیل سرعت‌های ماکزیمم با افزایش عمق نسبی از سطح آب فاصله گرفته و به طرف کف کانال نزدیک‌تر می‌شود. همچنین با بررسی کانتورهای سرعت طولی در سیلابدشت‌ها می‌توان به این نتیجه رسید که توزیع سرعت این قسمت کاملاً متفاوت با کانال اصلی است، به طوری که با افزایش عمق نسبی تا ۰/۳ مقدار سرعت طولی بیشتر می‌شود و برای عمق نسبی‌های بیشتر از ۰/۳، با افزایش عمق نسبی تغییرات سرعت بسیار ناچیز است، همچنین در سیلابدشت‌ها با افزایش عمق نسبی سرعت ماکزیمم از سطح آب فاصله گرفته و به کف کانال نزدیک‌تر می‌شود.

شکل ۴. مقایسه پروفیل سطح آب شبیه‌سازی شده با نتایج آزمایشگاهی بوسمار و زیک [۱۰].

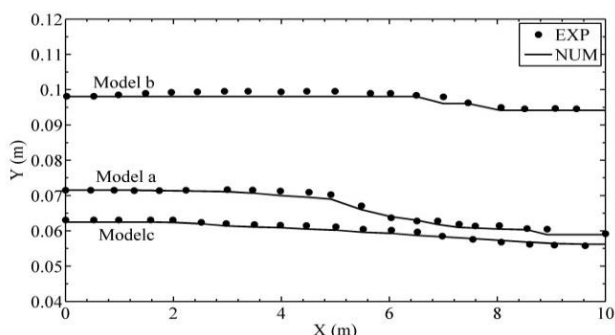


Fig. 4. Comparison of simulated water surface profile with data reported by Bousmar et al [10]

$$APE = \frac{100}{N} \sum_{i=1}^N \left| \frac{R(EXP) - R(NUM)}{R(NUM)} \right| \quad (7)$$

که در آن‌ها $R_{(measured)}$ و $R_{(simulated)}$ به ترتیب داده‌های آزمایشگاهی و نتایج شبیه‌سازی عددی است.

جدول ۱. مشخصات هندسی و هیدرولیکی مدل‌های آزمایشگاهی شبیه‌سازی شده در مطالعه حاضر

model	a	b	c	d
CV (m)	2	6	6	6
Q (l/s)	12	16	10	10
h*	0/3	0/5	0/2	0/3

Table 1. Geometric and hydraulic characteristics of experimental models numerically simulated in present study

شکل (۴) پروفیل سطح آب شبیه‌سازی شده مدل‌های a, b, c را در مقایسه با نتایج آزمایشگاهی نشان می‌دهد. بیشترین خطای نسبی و مطلق پروفیل سطح آب شبیه‌سازی شده در مدل c می‌باشد، که به ترتیب برابر با ۳/۲۴ درصد و ۲/۲۳ میلی‌متر است. مدل عددی افت سطح آب ایجاد شده در ناحیه همگرایی در شرایط آزمایشگاهی را به خوبی شبیه‌سازی می‌کند (شکل ۴). بررسی مقادیر خطاها و الگوی جریان مشخص می‌کند که پروفیل سطح آب شبیه‌سازی شده در هماهنگی بسیار خوبی با نتایج آزمایشگاهی است. در ادامه برای درستی‌آزمایی میدان جریان، سرعت متوسط طولی شبیه‌سازی شده در مدل a برای سه مقطع عرضی واقع شده در فواصل ۴، ۵ و ۶ متری از بالادست (ابتدا، وسط و انتهای همگرایی) با نتایج آزمایشگاهی مقایسه شده است (شکل ۵). طبق شاخص‌های آماری بیشترین خطا در برآورد این پارامتر مربوط به مقطع ۶ متری با خطای نسبی ۴/۶۶ درصد و خطای مطلق ۲/۴۸ سانتی‌متر برثانیه است. از آنجای که وجه تمایز بین کانال مرکب و کانال منظم اختلاف سرعت بین کانال اصلی و سیلابدشت است [11] باید مدل عددی شبیه‌سازی شده بتواند این اختلاف سرعت را شبیه‌سازی کند، همانطوری که در شکل (۵) مشاهده می‌شود مدل عددی به خوبی مشابه مدل آزمایشگاهی اختلاف سرعت را شبیه‌سازی می‌نماید. شکل (۶) مقدار شبیه‌سازی شده نسبت ظرفیت انتقال دبی توسط سیلابدشت به دبی کل را در سه مدل d, c و b در مقایسه با نتایج آزمایشگاهی نشان می‌دهد. همان‌گونه که در این شکل مشاهده می‌شود هماهنگی بسیار خوبی میان نتایج

مرکب را همین موضوع دانست [11].

شکل ۷. کانتورهای سرعت طولی در مقطع عرضی واقع شده در وسط

کانال برای عمق نسبی های مختلف

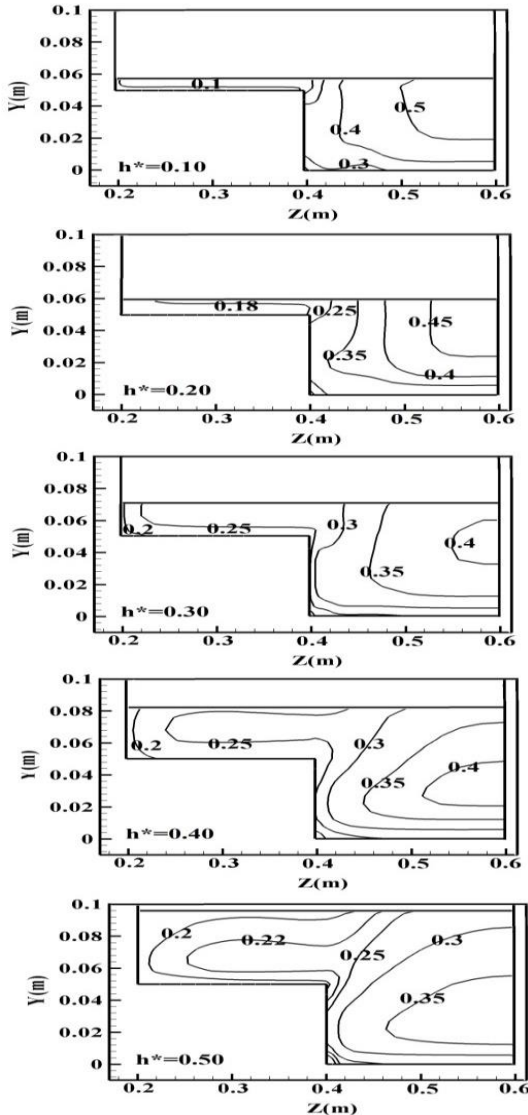


Fig. 7. Longitudinal velocity contours in the cross-section located at the middle of the channel for various relative depths

با توجه به شکل (۸)، اختلاف سرعت طولی متوسط گیری شده در عمق بین کانال اصلی و سیلاب دشت در عمق نسبی کمتر (عمق نسبی ۰/۱)، افزایش می یابد و با بیشتر شدن عمق نسبی رفته رفته این اختلاف کمتر می شود به طوری که در عمق نسبی ۰/۵ این اختلاف به کمترین مقدار خود رسیده که در این حالت رفتار کانال مرکب شباهت زیادی به کانال منظم دارد. عمده ترین دلیل به وجود آمدن جریان های ثانویه در کانال های مرکب می شود و می توان وجه تمایز کانال های منظم و کانال

شکل ۵ مقایسه سرعت متوسط گیری شده در عمق شبیه سازی شده واقع در مقطع ۴، ۵ و ۶ متری از بالادست با نتایج آزمایشگاهی بوسمار و زیک

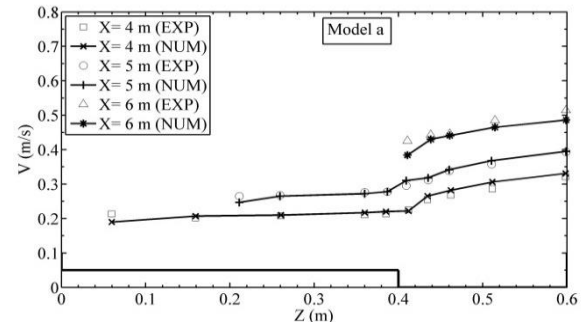


Fig. 5. Comparison of simulated depth-averaged velocity in cross-sections 4, 5, and 6 m from the upstream with experimental data of Bousmar [10]

شکل ۶. مقایسه نسبت ظرفیت انتقال دبی سیلاب دشت ها به دبی کل با

نتایج آزمایشگاهی بوسمار و زیک

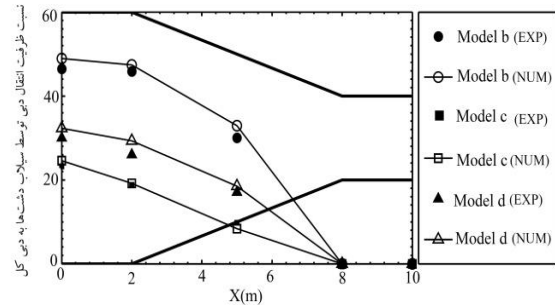


Fig. 6 Comparison of the ratio of transmission discharge capacity of floodplain to the main channel with Busmar and Zech experimental data

شکل (۸) سرعت طولی متوسط گیری شده در عمق برای سه مقطع عرضی واقع در ابتدا، وسط و انتهای همگرایی (۲، ۵ و ۸ متری از بالادست) در عمق نسبی های مختلف را نشان می دهد. همان گونه که انتظار می رود سرعت طولی متوسط گیری شده در عمق در کانال اصلی با تنگ تر شدن مقطع برای عمق نسبی های مختلف افزایش می یابد. اما در سیلاب دشت ها در عمق نسبی ۰/۱ و ۰/۲ با تنگ تر شدن سیلاب دشت ها مقدار سرعت طولی متوسط گیری شده در عمق کاهش می یابد عامل این رفتار در عمق نسبی های کم می تواند نسبت پهنای زیاد به ارتفاع کم جریان در سیلاب دشت ها باشد. در حالی که با افزایش عمق نسبی به ۰/۳ با تنگ تر شدن سیلاب دشت ها مقدار این سرعت افزایش می یابد. اختلاف سرعت در کانال اصلی و سیلاب دشت باعث به وجود آمدن رفتار پیچیده در کانال مرکب می شود و می توان وجه تمایز کانال های منظم و کانال

افزایش بیشتر عمق نسبی، در عمق نسبی ۰/۴ و ۰/۵، سلول‌های جریان ثانویه به دلیل عدم اختلاف سرعت بین کانال اصلی و سیلاب‌دشت، کاملاً حذف شده‌اند. مقایسه نتایج ارائه شده با تحقیقات گذشتگان [19] نشان می‌دهد که اولاً نتایج حاصله در تطابق بسیار خوبی از نظر محل وقوع این نوع جریان‌ها بوده و همچنین شدت جریان‌های ثانویه در کانال غیر منشوری بیشتر از کانال‌های منشوری می‌باشد.

شکل ۹. جریان‌های ثانویه تشکیل شده در مقطع عرضی برای عمق نسبی-

های مختلف

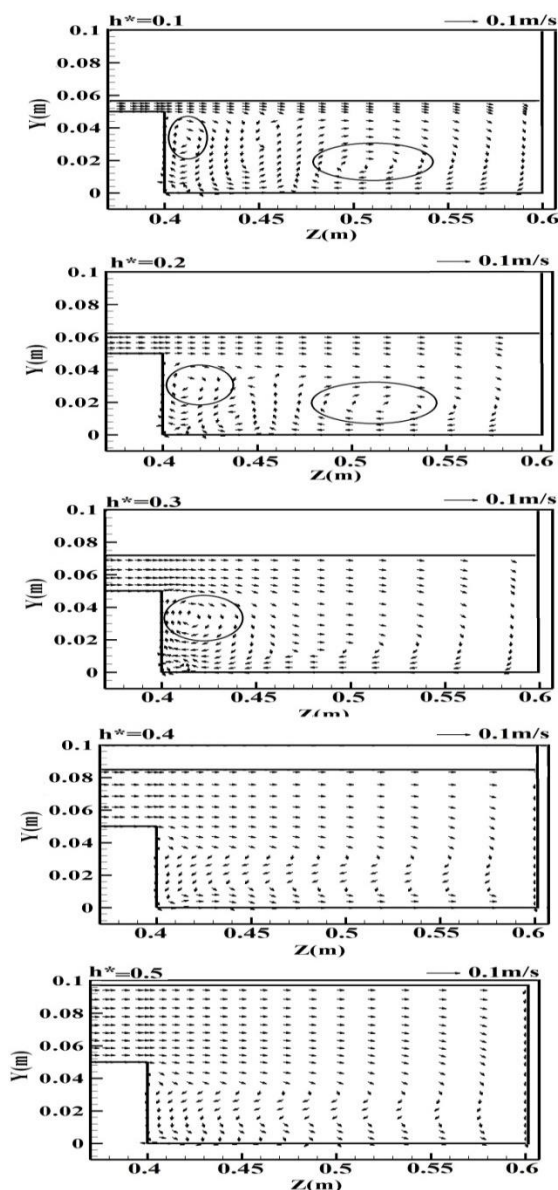


Fig. 9. Formed secondary flows in the cross-section of the channel for different relative depths

یکی از پارامترهای مهم در مطالعات مربوط به کانال مرکب و

[10]. این نتایج برای اولین بار به طور اساسی توسط فلونویچ و همکاران [19] در کانال مرکب منشوری ارائه شد.

شکل ۸. سرعت طولی متوسط‌گیری شده در عمق برای عمق نسبی‌های

مختلف

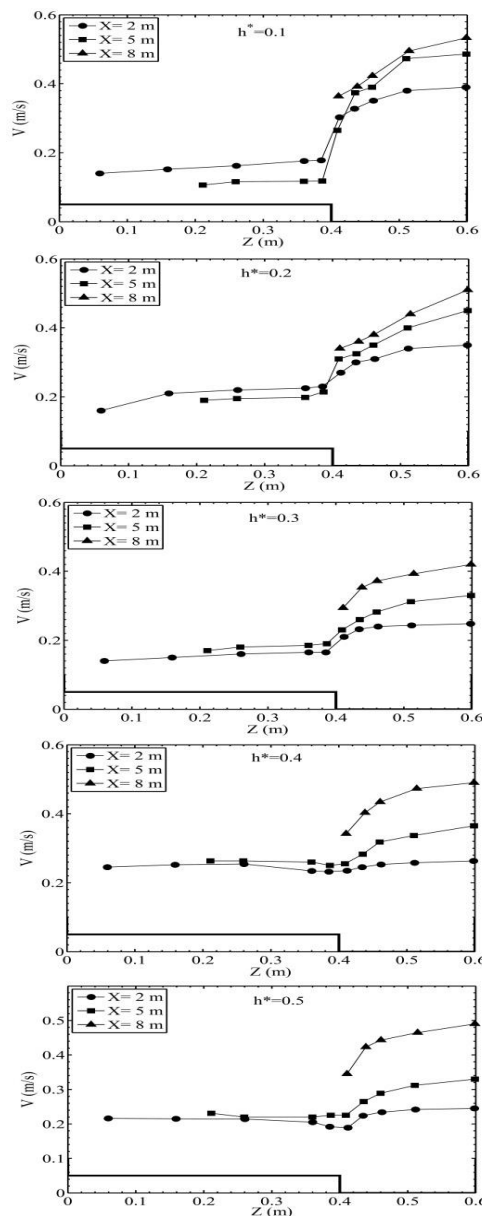


Fig. 8. Depth- averaged velocity for different relative depths

شکل (۹) جریان‌های ثانویه در مقطع عرضی کانال در وسط همگرایی را نشان می‌دهد. با توجه به شکل (۹)، چهار سلول جریان ثانویه در عمق نسبی ۰/۱ و ۰/۲ (دو سلول در نصف کانال) تشکیل می‌شود. با افزایش عمق نسبی به ۰/۳، تعداد سلول‌های جریان ثانویه به دو عدد کاهش یافته (یک سلول در نصف کانال) و فقط در نزدیکی دیواره‌ها تشکیل می‌شود. با

عمق نسبی ۰/۱ و ۰/۲ در امتداد سیلاب دشت کاهش می یابد و از عمق نسبی ۰/۲۵ به بعد این رفتار عکس شده و تنش برشی بستر سیلاب دشت ها در این امتداد افزایش می یابد.

شکل ۱۱. تنش برشی بستر برای عمق نسبی های مختلف

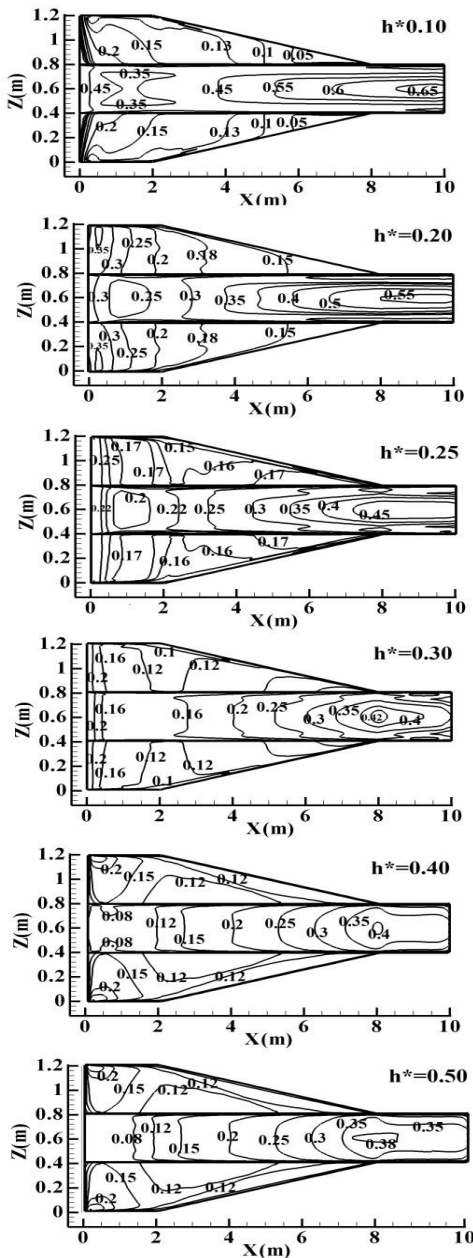


Fig. 11. Bed shear stress for various relative depths

کاهش تنش برشی در طول تبدیل برای عمق نسبی های کوچکتر می تواند ناشی از نسبت پهنای زیاد به ارتفاع آب کم باشد. و اما تنش برشی در بستر کانال اصلی در همه عمق نسبی ها در امتداد کانال در حال افزایش است. مقدار تنش برشی در بستر کانال مرکب همگرا در کانال اصلی با افزایش

مهندسی رودخانه ظرفیت انتقال دبی توسط سیلاب دشت ها است، زیرا با برآورد دقیق این پارامتر می توان رفتار رودخانه ها و کانال مرکب را در مواقع سیلابی پیش بینی کرد. شکل (۱۰) نشان می دهد که ظرفیت انتقال در سهم قطع ورودی کانال، ابتدا و وسط همگرایی (۲،۰ و ۵ متری از بالادست) با افزایش عمق نسبی افزایش می یابد و بیشترین ظرفیت انتقال در ورودی کانال و کمترین ظرفیت انتقال در وسط همگرایی است به طوری که بیشترین ظرفیت انتقال مربوط به عمق نسبی ۰/۵ در ورودی کانال با نسبت ظرفیت انتقال دبی سیلاب دشت به دبی کل ۴۸ درصد و کمترین مقدار این پارامتر در وسط همگرایی (درفاصله ۵ متری از بالادست کانال) مربوط به عمق نسبی ۰/۱ با مقدار ۲/۵۲ درصد است، که ناتوانی سیلاب دشت ها در عمق نسبی کمتر را برای انتقال دبی توسط سیلاب دشت ها نشان می دهد.

شکل ۱۰. نسبت ظرفیت انتقال دبی توسط سیلاب دشت ها به دبی کل در عمق نسبی های مختلف

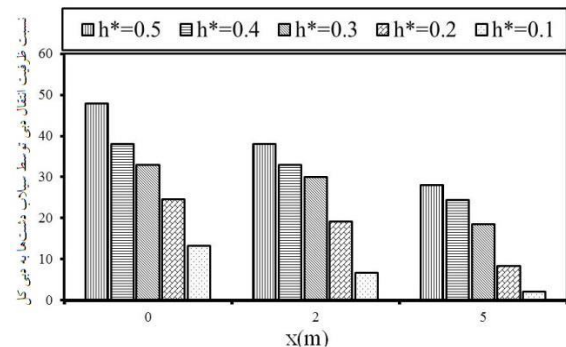


Fig. 10. The ratio of the discharge transmission capacity between main channel and floodplain in various relative depths

شکل (۱۱) تنش برشی بستر کانال مرکب همگرا را برای عمق نسبی های مختلف نشان می دهد. با مقایسه شکل های (۸ و ۱۱) مشخص می شود که تنش برشی بستر کانال مرکب همگرا از لحاظ چگونگی تغییرات در طول کانال مرکب همگرا رفتار بسیار مشابه با رفتار سرعت متوسط گیری شده در عمق دارد. برای بررسی تنش برشی بستر، کانال مرکب را می توان به سه ناحیه مختلف به صورت ناحیه قبل از همگرایی، ناحیه همگرایی و ناحیه بعد از همگرایی تقسیم نمود. در ناحیه قبل از همگرایی، تنش برشی بستر در کانال اصلی و سیلاب دشت تحت تاثیر همگرایی قرار گرفته و در امتداد کانال کاهش می یابد. در ناحیه همگرایی تنش برشی بستر در سیلاب دشت ها در

شکل (۱۲) افت انرژی در کانال اصلی و سیلاب‌دشت را برای عمق نسبی مختلف نشان می‌دهد. این شکل نشان می‌دهد که مقدار انرژی در کانال اصلی در مقایسه با سیلاب‌دشت‌ها برای همه مدل‌ها بیشتر است. بیشترین اختلاف انرژی در بین کانال اصلی و سیلاب‌دشت در انتهای همگرایی رخ می‌دهد. در عمق نسبی ۰/۱ این اختلاف بیشینه و در عمق نسبی ۰/۵ این اختلاف کمینه است. با بیشتر شدن عمق نسبی، افت انرژی هم در کانال اصلی و هم در سیلاب‌دشت کاهش می‌یابد به طوری که در عمق نسبی ۰/۴ و ۰/۵ افت انرژی در کانال اصلی به مقدار ناچیزی می‌رسد. بیشترین نسبت افت انرژی ورودی کانال نسبت به انتهای همگرایی در کانال اصلی، در عمق نسبی‌های مختلف مربوط به عمق نسبی ۰/۱ با ۲۶/۵۱ درصد و کمترین این مقدار مربوط به عمق نسبی ۰/۵ با ۳/۸۲ درصد است

۴- نتیجه‌گیری

کانال‌های مرکب، مقطع عرضی بسیاری از رودخانه‌ها، به ویژه در بازه‌های مجاور مناطق مسکونی و زراعی را تشکیل می‌دهد. بنابراین بررسی رفتار هیدرولیکی آنها، در طرح‌های کنترل سیلاب و ساماندهی رودخانه‌ها اهمیت فراوانی دارد. در این پژوهش، میدان جریان در کانال مرکب همگرا با بهره‌گیری از مدل آشفتگی RSM شبیه‌سازی شده است. همچنین برای شبیه‌سازی سطح آزاد از روش VOF استفاده گردیده است. هماهنگی مناسب نتایج شبیه‌سازی عددی با نتایج آزمایشگاهی موجود، ضمن تأیید درستی نتایج شبیه‌سازی، کمک شایانی به تحلیل الگوی جریان نموده است. با توجه به نتایج شبیه‌سازی عددی می‌توان بیان نمود که سرعت متوسط طولی در کانال اصلی با تنگ‌تر شدن مقطع برای عمق نسبی‌های مختلف افزایش می‌یابد. اما این رفتار برای سیلاب‌دشت‌ها صادق نیست به طوری که در عمق نسبی ۰/۱ و ۰/۲ با تنگ‌تر شدن سیلاب‌دشت‌ها مقدار سرعت متوسط در طول تبدیل کاهش می‌یابد. با افزایش عمق نسبی به ۰/۳ با تنگ‌تر شدن سیلاب‌دشت‌ها سرعت متوسط در طول تبدیل افزایش می‌یابد. اختلاف سرعت زیاد بین کانال اصلی و سیلاب‌دشت‌ها در عمق نسبی ۰/۱ به وجود آمده و در مقابل در عمق نسبی ۰/۵ اختلاف سرعت به کمترین مقدار خود می‌رسد. این اختلاف سرعت باعث به

عمق نسبی کاهش می‌یابد. به طوری که بیشترین تنش برشی در بستر مربوط به عمق نسبی ۰/۱ و کمترین مقدار تنش برشی در عمق نسبی ۰/۵ می‌باشد، لازم به ذکر است بیشترین تنش برشی ایجاد شده در همه عمق نسبی‌ها دقیقاً در خروجی همگرایی (در فاصله ۸ متری از بالادست) است. رفتار تنش برشی بستر در ناحیه بعد از همگرایی، در همه عمق نسبی‌ها بسیار مشابه است به طوری که در همه عمق نسبی‌ها، تنش برشی بعد از تبدیل در امتداد کانال اصلی دارای تغییرات ناچیزی است.

شکل ۱۲. افت انرژی در کانال اصلی و سیلاب‌دشت برای عمق نسبی‌های مختلف

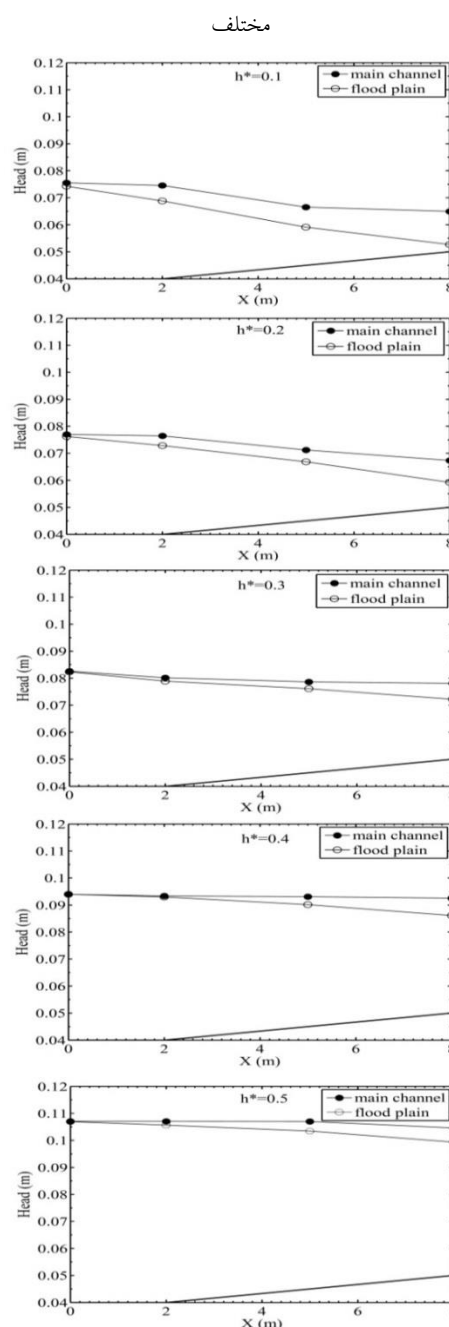


Fig. 12. Energy loss in main channel and floodplains for different relative depths

prismatic or non-prismatic floodplains", Ph.D Thesis, Universite catholique de Louvain.

[6] Bousmar. D., Riviere. N., Proust. S., Paquier. A., Morel. R., and Zech. Y. 2005. "Upstream discharge distribution in compound-channel flumes." *Journal of Hydraulic Engineering*, 131(5), 408-412.

[7] Ghoshal. S., James. L. A., Singer. M. B., and Aalto. R. 2010. "Channel and floodplain change analysis over a 100-year period: Lower Yuba River." *California. Remote Sensing*, 2(7), 1797-1825.

[8] Hosseini. S. M. 2004. "Equations for discharge calculation in compound channels having homogeneous roughness." *Iranian Journal of Science and Technology Transaction B-Engineering*, 28.

[9] Ikeda. T. Sano, M. Fukumoto and K. Kawamura. 2000. "Organized horizontal vortices and lateral sediment transport in compound open channel flows." *Journal of Hydraulic, Coastal and Environmental Engineering*, 65, 56, 135-144.

[10] Bousmar. D., Wilkin. N., Jacquemart. J. H., and Zech. Y.; 2004. Overbank flow in symmetrically narrowing floodplains. *Journal of hydraulic engineering*; 130(4), 305-312.

[11] Rajaratnam. M. N., and Ahmadi. R. M. 1978. "Interaction between main channel and flood-plain flows." *J. Hyd. Div.*; ASCE; 105(HY5), 573-588.

[12] Thornton. C. I. 2000. "Calculating shear stress at channel overbank interfaces in straight channels with vegetated floodplains." *Journal of Hydraulic Engineering*; 126(12), 929-936.

[13] Helmio. T. 2002. Unsteady 1D flow model of compound channel with vegetated floodplains. *Journal of Hydrology*; 269(1), 89-99.

[14] James. C. S., and Myers. W. R. 2002. Conveyance of one-and two-stage meandering channels." *Proceedings of the ICE-Water and Maritime Engineering*; 154(4), 265-274.

[15] Rezaei. B., and Knight. D. W. 2009. Application of the Shiono and Knight Method in compound channels with non-prismatic floodplains." *Journal of Hydraulic Research*; 47(6), 716-726.

[16] Proust. S., Bousmar. D., Rivière. N., Paquier. A., and Zech. Y. 2010. Energy losses in compound open channels." *Advances in water Resources*; 33(1), 1-16.

[17] Versteeg. H. K., Malalsekara. W. 1995. "An introduction to computational fluid dynamics: The finite volume method." *Longman Group Limited*; Essex; London.

[18] Mohanta. A. 2014. "Flow Modelling of a Non Prismatic compound channel By Using CFD." *Doctoral dissertation; NATIONAL INSTITUTE OF*

وجود آمدن جریان ثانویه در عمق نسبی ۰/۱، ۰/۲، و ۰/۳ در مقطع عرضی در وسط تبدیل همگرا شده است به طوری که در عمق نسبی ۰/۱ و ۰/۲ چهار سلول چرخشی و در عمق نسبی ۰/۳ دو سلول چرخشی به وجود می‌آید و در عمق نسبی ۰/۴ و ۰/۵ سلول‌های چرخشی جریان ثانویه که ناشی از اختلاف سرعت بین کانال اصلی و سیلاب‌دشت می‌باشد به طور کامل حذف می‌شود. همگرایی در طول کانال اصلی باعث کاهش ظرفیت انتقال دبی توسط سیلاب‌دشت می‌شود و با کاهش عمق نسبی توانایی سیلاب‌دشت‌ها در انتقال دبی به شدت کاهش می‌یابد به طوری که در عمق نسبی ۰/۱ سیلاب‌دشت‌ها فقط قادر به انتقال ۲/۵۲ درصد از دبی کل کانال است. تنش برشی در بستر کانال اصلی با افزایش عمق نسبی افزایش یافته و بیشترین مقدار تنش برشی بستر در کانال اصلی در خروجی تبدیل رخ می‌دهد. تنش برشی بستر در سیلاب‌دشت‌ها برای عمق نسبی پایین (۰/۱ و ۰/۲) در طول تبدیل کاهش یافته و برای سایر عمق نسبی‌ها در طول تبدیل روند افزایشی دارد. بیشترین نسبت افت انرژی ورودی نسبت به خروجی کانال در عمق نسبی‌های مختلف مربوط به عمق نسبی ۰/۱ با ۲۶/۵۱ درصد و کمترین این مقدار مربوط به عمق نسبی ۰/۵ با ۳/۸۲ درصد است. افت انرژی در عمق نسبی کم می‌تواند ناشی از جریان‌های ثانویه باشد.

References

۶- مراجع

- [1] Seckin. G; Mamak. M; Atabay. S; and Omran. M; 2009. "Discharge estimation in compound channels with fixed and mobile bed." *Sadhana*; 34(6), 923-945.
- [2] Chlebek. J; Bousmar. D; Knight. D.W; and Sterling. M. 2010. A comparison of overbank flow conditions in skewed and converging/diverging channels." *In Riverflow 2010; Proceedings of the international conference on fluvial hydraulics*; Vol. 1, 503-511.
- [3] Azamathulla, H. M., and Zahiri, A. 2012. "Flow discharge prediction in compound channels using linear genetic programming." *Journal of Hydrology*, 454, 203-207.
- [4] Bousmar. D., and Zech. Y. (1999). "Momentum transfer for practical flow computation in compound channels." *Journal of hydraulic engineering*, 125(7), 696-706
- [5] Bousmar. D. 2002. "Flow modeling in compound channels, momentum transfer between main channel and

[22] Asnaashari. A., Akhtari. A., Dehghani. A., and Bonakdari. H. 2016. "Experimental and numerical investigation of the flow field in the gradual transition of rectangular to trapezoidal open channels ", Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics, 10:1, 273-283.

[23] Fluent User's Guide, Fluent 6.3.26. Copyright 2006 Fluent Inc.

TECHNOLOGY; ROURKELA.

[19] Filonovich. M., Azevedo. R., Rojas-Solorzano. L. R., and Leal. J. B. 2010. "Simulation of the velocity field in compound channel flow using different closure models." In Proceedings 1st European IAHR Congress, Edinburgh (pp. 6-4).

[21] Hirt. C. W., and Nichols. B. D. 1981. "Volume of fluid VOF Method for the dynamics of free boundaries." J. Comput. Phys., 39,201-225. Launder, B. E., and Spalding, D. B. Lectures in mathematical models of turbulence, Academic, London.

Investigation of the Effect of relative flow depth on Flow Patterns in Converging Compound Channel

Peyman Mohammadzadeh¹, Mitra Javan^{2*}, Afshin Eghbalzadeh², Khosro Morovati³

1- MS Student of Hydraulic Engineering, Department of Civil Engineering, Razi University, Kermanshah, Iran

2- Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Razi University, Kermanshah, Iran

3- Graduate Student of Hydraulic Engineering, Department of Civil Engineering, Razi University, Kermanshah, Iran

javanmi@gmail.com

Abstract

Flooding of rivers is accompanied with a threat on the population living on their floodplains and on the neighboring settlements. Accurate modeling of such flows is thus imperative to assess flood risks, perform real-time flood routing, or estimate the impact of a mitigation schema. The converging of the compound channel causing the flow become even more complicated. The flow patterns in converging compound channel and free-surface profile has been simulated by using RSM turbulence model and VOF method, respectively. The comparison of the experimental results including longitudinal free surface profiles, depth-averaged velocity distribution and the ratio between floodplains and total discharge confirmed that the numerical simulation can be used to model the flow pattern in converging compound channel. Furthermore, Absolute Percentage Error (APE) for each of these parameters was amounted to 3.25%, 4.66% and 9.72%, respectively. Respecto the numerical simulation capability in anticipating the flow field parameters, we investigated the effect of relative depth on the flow patterns in a converging compound channel. Moreover, the flow parameters including velocity distribution, depth-average velocity, secondary flows, ratio between floodplain and total discharge, bed sheer stress and energy dissipation were investigated in different relative depths h^* (0.1, 0.2, 0.3, 0.4 and 0.5). By evaluating and comparing the flow results in the different relative depths, we came to conclusion that the longitudinal-average velocity in the main channel increased as the cross section was narrowed. However, the longitudinal-average velocity in the floodplains decreased in the relative depths of 0.1 and 0.2 as the cross section was narrowed. In contrast, this parameter increased in the relative depths of 0.3, 0.4 as well as 0.5 the floodplains narrowed. Velocity gradient between the main channel and floodplains in the relative depth of 0.1 was strong and in the relative depth of 0.5 was insignificant. In the smaller shallow depth, this velocity gradient has been resulted in secondary flow in the cross section of converging compound channel. Accordingly, in the relative depth of 0.1 and 0.2 four cells of secondary flows were formed and in the relative depth of 0.3 just two cells of secondary flows were formed. The secondary flows in the relative depths of 0.4 and 0.5 was eliminated. Convergence in the length of main channel get the discharge conveyance capacity of floodpland to decrease. Furthermore by decreasing the relative depth the capability of floodplains to conveyance the discharge was significantly decreased. This decrease was evident in the depth of 0.1 in which the ratio between floodplain and total discharge was amounted to 2.52%. Sheer stress in channel bed increased when the relative depth of the main channel increased and the maximum amount of bed sheer stress was happened at end of the channel. On the other hand, in the floodplains, this parameter decreased along with the converging in the lower relative depths (0.1, 0.2) and for the other relative depths the bed sheer stress increased along with converging. In channel inlet the maximum and minimum amount of energy dissipation was resulted at the relative depth of 0.1 and 0.5 respectively.

Keywords: Converge, Numerical simulation, Relative depth, Floodplain