



شبیه‌سازی ناحیه جداشدگی در تقاطع چهار شاخه راست گوشه با Flow 3D

زینب طالبی^۱، خلیل اژدری^{۲*}، سید حسین حسینی^۳

تاریخ ارسال: ۱۴۰۰/۰۶/۲۴

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۰/۰۴

مقاله پژوهشی

چکیده

در تقاطع‌های راست گوشه سه شاخه یا چهار شاخه کانال‌های روباز، مطالعه جدایی جریان بسیار حائز اهمیت می‌باشد. برخی پارامترهای موثر در این زمینه نسبت دبی ورودی و عمق جریان می‌باشد که در این تحقیق تاثیر نسبت دبی ورودی و نسبت ارتفاع سرریزها (عمق جریان) در الگوی جریان و ابعاد ناحیه جداشدگی به صورت عددی شبیه‌سازی شده است. بررسی نتایج مدل عددی نشان داد که مدل $k-\omega$ بیشترین مطابقت را با نتایج آزمایشگاهی دارد، به طوری که میزان خطای شبیه‌سازی کمتر از ۲۰٪ بود. ابعاد ناحیه جداشدگی در کانال‌های اصلی و فرعی با نسبت دبی ورودی رابطه مستقیم داشت. همچنین با افزایش ارتفاع سرریزهای خروجی، عمق جریان افزایش یافت و منجر به کاهش ابعاد ناحیه جداشدگی شد. مطابق نتایج عددی، ابعاد ناحیه جداشدگی در راستای قائم از کف کانال به سطح آب افزایش یافت، به طوری که برای نسبت دبی ۰/۶ و نسبت ارتفاع سرریز ۰/۳۷۷، طول ناحیه جداشدگی در کف کانال، فاصله ۰/۱ متر از کف و در سطح آب به ترتیب در حدود ۶۰ سانتیمتر، ۷۵ سانتیمتر و ۸۵ سانتیمتر بود. بنابراین از سطح آب به سمت کف کانال طول ناحیه جداشدگی در حدود ۲۹٪ کاهش یافت.

واژه‌های کلیدی: تقاطع چهار شاخه، شبیه‌سازی عددی، ناحیه جداشدگی، نسبت ارتفاع سرریزهای خروجی، نسبت دبی ورودی.

^۱ - کارشناسی ارشد سازه‌های آبی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران Email: znb_talebi@yahoo.com

^۲ - * نویسنده مسئول ودانشیار گروه آب و خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران Email: azhdary2015@yahoo.com

^۳ - استادیار گروه آب و خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران Email: sayyedhossein.hosseini@gmail.com

مقدمه

یکی از بخش‌های مهم شبکه‌های انتقال آب، تقاطع کانال‌ها می‌باشد. از جمله مسائل مورد توجه در این محل‌ها، توسعه ناحیه جداسازی در پایین‌دست ورودی تقاطع می‌باشد که نقش تعیین‌کننده‌ای در روند رسوب‌گذاری و فرسایش دارد. بنابراین مطالعه این پدیده و شناسایی عوامل موثر بر ابعاد ناحیه جداسازی بسیار حائز اهمیت است. مطالعات موجود را می‌توان به دو دسته آزمایشگاهی و عددی تقسیم بندی نمود که در گذشته بیشتر مطالعات موجود به صورت آزمایشگاهی بود اما امروزه با توسعه کامپیوترهای پر سرعت و مدل‌های عددی مختلف و با توجه به قابلیت‌ها و مزیت‌های آن‌ها کاربرد آن‌ها در مطالعات پدیده‌های مهندسی هیدرولیک و هیدرولیک رسوب به‌طور چشمگیری افزایش یافته است. در ادامه به برخی از تحقیقات آزمایشگاهی و عددی انجام شده مربوط به ناحیه جداسازی اشاره شده است. Best and Ried (1984) تأثیر زوایای مختلف را بر روی ابعاد ناحیه جداسازی جریان در محل یک تقاطع سه‌شاخه بررسی کردند آن‌ها نتیجه گرفتند که با افزایش نسبت دبی شاخه فرعی به دبی کل و افزایش زاویه بین کانال فرعی و اصلی، ابعاد ناحیه جداسازی افزایش می‌یابد اما نسبت عرض به طول آن تقریباً ثابت می‌ماند. Biron et al. (1996) الگوی جریان در تلاقی کانال‌های غیر هم‌کف را با تلاقی کانال‌های هم‌کف بررسی کردند. نتایج آن‌ها در مورد ناحیه جداسازی نشان داد که برای تلاقی هم‌کف، سرعت متوسط u نزدیک بستر و سطح آب کاهش آشکاری را حین حرکت به گوشه‌ی پایین دست اتصال نشان می‌دهد در حالی که در کانال‌های غیر هم‌کف کاهش قابل توجهی در سرعت نزدیک کف وجود ندارد و خطوط جریان کف علائمی از ناحیه جداسازی را نشان نمی‌دهند. Gurram et al. (1997) بررسی جریان زیر بحرانی و انتقالی در یک تقاطع سه‌شاخه با زوایای ۳۰، ۶۰ و ۹۰ درجه پرداختند و روابطی را برای محاسبه ابعاد ناحیه جداسازی ارائه دادند. Weber et al. (2001) جریان سه‌بعدی در محل یک اتصال ۹۰ درجه را با اندازه‌گیری بردارهای سرعت در سه جهت، در نقاط مختلف توصیف کردند. نتایج حاصل از آزمایش‌های آن‌ها

نشان داد که ابعاد ناحیه جداسازی و همچنین چرخش جریان در سطح آب نسبت به کف بزرگتر و بیشتر است. Haung et al. (2002) به بررسی عددی جریان سه‌بعدی در محل تقاطع کانال‌های روباز پرداختند. آن‌ها مشاهده کردند که به ازای زاویای ۳۰ درجه و بیشتر در گوشه‌ی پایین دست تقاطع ناحیه جداسازی تشکیل شد و به ازای نسبت دبی‌های اصلی به فرعی کمتر، ابعاد این ناحیه بزرگتر بود. Ghobadian et al. (2006) به بررسی ناحیه جداسازی جریان در محل تقاطع سه‌شاخه رودخانه‌ها تحت شرایط جریان زیربحرانی پرداختند و روابطی را برای ابعاد ناحیه جداسازی ارائه دادند که نتایج آن‌ها نشان داد که با افزایش نسبت دبی ورودی، ابعاد ناحیه جداسازی افزایش می‌یابد و با افزایش عدد فرود پایاب و نسبت پهنا این ابعاد کاهش می‌یابد. Ramamurthy et al. (2007) به بررسی آزمایشگاهی و عددی تقسیم جریان در تقاطع کانال‌ها پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که با افزایش نسبت دبی شاخه فرعی خروجی به دبی کانال ورودی، طول و عرض ناحیه جداسازی کانال فرعی کاهش می‌یابد. Frizzel et al. (2008) به بررسی آزمایشگاهی و عددی الگوی جریان در تقاطع سه‌شاخه ۹۰ درجه پرداختند که در آن دو جریان ورودی در خلاف جهت یکدیگر با هم برخورد می‌کنند. نتایج آن‌ها نشان داد، طول ناحیه جداسازی به دست آمده از مدل عددی بیشتر از نتایج آزمایشگاهی بود به طوری که بیشترین خطای نسبی در حدود ۹/۳ درصد بود. Biswal et al. (2016) به بررسی جریان ترکیبی در یک تقاطع راست‌گوشه پرداختند. مشاهدات آن‌ها نشان داد که یک ناحیه جداسازی در سمت کانال فرعی در راستای طولی کانال اصلی تشکیل می‌شود که شکل آن تابع نسبت دبی بوده و بیشترین ابعاد آن در نزدیک سطح مشاهده شد. Riely and Rhoads (2012) ساختار جریان و مورفولوژی کانال را در یک تقاطع در یک خم طبیعی بررسی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد به دلیل ورود جریان فرعی، الگو و مورفولوژی جریان متقاطع در یک خم، با الگوی جریان در یک خم معمولی کاملاً متفاوت است. با تشکیل خور در گوشه پایین‌دست تقاطع، مساحت جریان کاهش یافته که منجر به افزایش سرعت جریان‌های ترکیبی می‌شود و از جداسازی جریان در ساحل بیرونی جلوگیری



خروجی، ابعاد ناحیه جداسازی را افزایش داد. همچنین افزایش تراز کف کانال فرعی، ابعاد ناحیه جداسازی را در کانال خروجی اصلی افزایش داد در حالی که ابعاد ناحیه جداسازی در کانال خروجی فرعی کاهش یافت. Nikpour and Khosravinia (2018) به شبیه‌سازی عددی تأثیر شیب جانبی دیوار کانال اصلی بر الگوی جریان در تلاقی کانال‌های روباز با استفاده از مدل Fluent پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که مدل عددی، قابلیت خوبی در شبیه‌سازی الگوی جریان دارد. طبق نتایج مدل عددی با ضعیف شدن جریان‌های چرخشی، طول و پهنای ناحیه جداسازی در نزدیک سطح جریان افزایش یافت. Ramos et al. (2019) تأثیر اختلاف تراز کف را بر روی الگوی جریان و افت هد در یک تقاطع سه‌شاخه به صورت عددی بررسی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که با افزایش تراز کف کانال فرعی، زاویه انحراف جریان نسبت به زاویه تقاطع کاهش یافته، ابعاد ناحیه جداسازی کوچکتر شده، نسبت عمق آب بالادست به پایین‌دست و تراز آب در مرکز ناحیه جداسازی کاهش یافت. Azma and Zhang (2020) با مطالعه عددی، تأثیر عرض کانال فرعی و شکل هندسی کانال اصلی را بر روی پارامترها و ساختمان جریان در یک تقاطع T شکل ۹۰ درجه بررسی کردند. مطابق نتایج آن‌ها، کاهش نسبت عرض کانال فرعی به کانال اصلی، به طور قابل ملاحظه‌ای بر روی شرایط جریان در تقاطع اثر می‌گذارد و عرض و طول ناحیه جداسازی را افزایش می‌دهد. بنابراین پدیده جداسازی در تقاطع کانال‌ها بسیار مهم بوده که تحقیقات انجام شده این مطلب را تایید می‌کند اما اکثر مطالعات مربوط به تقاطع سه شاخه بوده و مطالعات کمی در زمینه تقاطع چهار شاخه انجام شده است. از آنجا که الگوی جریان در تقاطع چهار شاخه با تقاطع سه شاخه متفاوت بوده و پیچیده‌تر می‌باشد، ارزیابی ابعاد ناحیه جداسازی در این شرایط ضروری است. در این تحقیق هدف مطالعه عددی پارامترهای موثر نظیر نسبت دبی ورودی و عمق جریان بر روی ابعاد ناحیه جداسازی در تقاطع چهار شاخه ۹۰ درجه با دو ورودی و دو خروجی با استفاده از نرم افزار Flow 3D می‌باشد. از اهداف دیگر بررسی تغییرات ابعاد ناحیه جداسازی در راستای عمق در

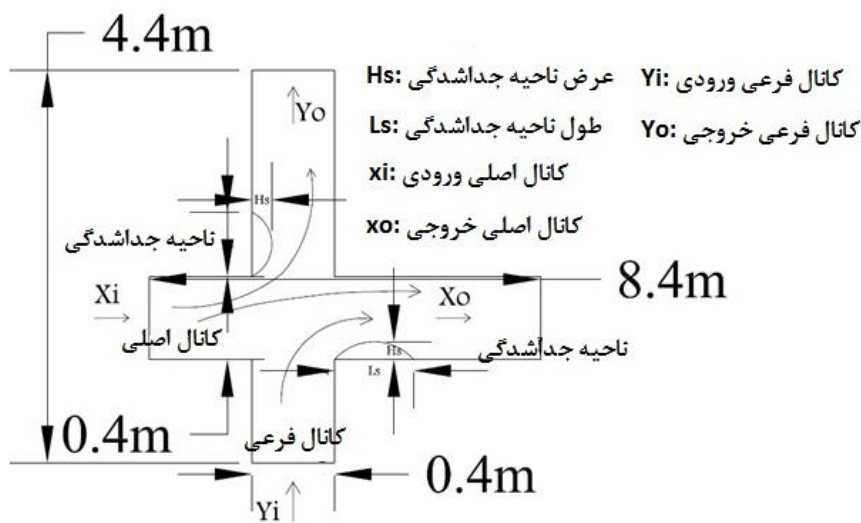
می‌کند. (Gohari (2015) به شبیه‌سازی عددی تأثیر زاویه تقاطع و نسبت دبی بر روی ابعاد ناحیه جداسازی پرداخت. نتایج ایشان نشان داد که با افزایش زاویه تقاطع ابعاد ناحیه جداسازی افزایش می‌یابد. همچنین با کاهش نسبت دبی، ابعاد ناحیه جداسازی کاهش می‌یابد. Gebermariam (2016) به مدل‌سازی شرایط جریان و ناحیه جداسازی در تقاطع کانال ۴۵ درجه و ۹۰ درجه با استفاده از روش عددی حجم محدود پرداختند. نتایج او نشان داد در یک تقاطع ۹۰ درجه مساحت ناحیه جداسازی و نسبت دبی به طور غیرمستقیم به هم وابسته هستند که ناشی از جریان چرخشی، فشار پایین و حداقل سرعت جریان نزدیک‌شونده است. برای یک تقاطع ۴۵ درجه، جداسازی جریان تابعی از زاویه همگرایی و سرعت جریان است. Mohammadiun et al. (2016) تأثیر دیواره جداکننده را بر روی الگوی جریان و فرآیند آبشستگی در یک تقاطع ۹۰ درجه به صورت عددی بررسی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که استفاده از دیواره جداکننده علاوه بر بهبود شرایط آبدی، ابعاد ناحیه چرخشی و میزان رسوب‌گذاری و فرسایش را کانال پایین‌دست کاهش داد. (Sui and Haung (2017) الگوی جریان در تقاطع واقع در خم یک کانال ماریچ را به صورت عددی شبیه‌سازی کردند. مقایسه نتایج عددی مطابقت خوبی با نتایج آزمایشگاهی نشان داد. براساس نتایج عددی، با افزایش نسبت دبی و زاویه تقاطع، طول و عرض ناحیه جداسازی افزایش یافت. همچنین در محدوده زاویه تقاطع ۶۰ تا ۹۰ درجه، عرض ناحیه جداسازی ثابت بود. (Aghazade soureh and Hemmati (2017) اختلاف ارتفاع رقوم بستر بر الگوی جریان در محل تلاقی دو کانال را با استفاده از مدل Flow 3D شبیه‌سازی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که تغییر در تراز بستر دو کانال، الگوی جریان را تغییر خواهد داد، به طوری که اندازه ناحیه جداسازی جریان در محل تلاقی‌های همکف و غیرهمکف متفاوت بود. ناحیه جداسازی جریان در نزدیک بستر فقط برای تلاقی همکف مشاهده گردید و در حالت غیرهمکف این ناحیه اتفاق نیفتاد. (Hosseini et al. (2017) بررسی آزمایشگاهی ابعاد ناحیه جداسازی در یک تقاطع ۹۰ درجه چهار شاخه پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که افزایش نسبت دبی ورودی و کاهش ارتفاع سرریزهای

کانال اصلی و فرعی به ترتیب ۸/۴ و ۴/۴ متر و ارتفاع و عرض کانال‌ها به ترتیب ۰/۵ و ۰/۴ متر بود. شیب کف کانال‌ها ثابت و برابر صفر است. در ابتدا و انتهای کانال اصلی و فرعی مخازن تخلیه و تغذیه قرار دارد. آب مورد نیاز آزمایش‌ها توسط یک پمپ با حداکثر ظرفیت ۱۰۰ لیتر بر ثانیه تأمین شده است. زاویه‌ی بین کانال‌ها نیز ۹۰ درجه بود. شکل ۱ پلان محل تقاطع را در مدل نشان می‌دهد.

این نوع تقاطع می‌باشد که در مطالعات هیدرولیک رسوب بسیار تعیین کننده است.

مواد و روش‌ها مدل آزمایشگاهی

در این تحقیق به منظور شبیه‌سازی از مدل آزمایشگاهی حسینی و همکاران (۱۳۹۶) استفاده شده که این مدل از دو کانال فلزی-شیشه‌ای تشکیل شده که طول



شکل(۱): پلان مدل آزمایشگاهی در محل تقاطع

معادله پیوستگی

معادله پیوستگی به فرم زیر است:

$$\frac{V_f}{\rho c^2} \frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial u A_x}{\partial x} + R \frac{\partial v A_y}{\partial y} + \frac{\partial w A_z}{\partial z} + \varepsilon \frac{u A_x}{x} \quad (1)$$

$$= \frac{R_{SOR}}{\rho}$$

در معادله‌ی ۱ v_f نسبت کسر حجمی فضای باز به جریان، ρ دانسیته سیال و R_{SOR} برابر مرجع جرم است. U, V, W بردارهای سرعت در جهات X, Y, Z هستند. A_x, A_y و A_z برابر مساحت کسری محیط به جریان در جهت-های x, y و z می‌باشند. ضریب R بسته به انتخاب سیستم مختصات، در مختصات کارتزین برابر ۱ و ε برابر صفر است. c^2 توان دوم سرعت موج و p فشار است (سعادتی و زین العابدین، ۱۳۹۴).

مدل عددی

FLOW3D نرم‌افزاری قوی در زمینه دینامیک سیالات محاسباتی (CFD) می‌باشد، که تولید، توسعه و پشتیبانی آن توسط Flow Science, Inc صورت گرفته است. این نرم‌افزار کاربرد زیادی در مدل‌سازی شرایط پیچیده سه‌بعدی دائمی و غیردائمی با شکل و هندسه نامنظم دارد. این نرم‌افزار از دو تکنیک عددی روش حجم سیال (VOF) و روش کسر مساحت-حجم مانع (FAVOR)، برای شبیه‌سازی استفاده می‌کند.

معادلات حاکم

معادلات حاکم بر مسئله، معادلات حرکت سیالات شامل معادلات پیوستگی و مومنتم هستند.



معادله مومنتم

کاملترین فرم معادلات حرکت از معادلات ناویر - استوکس به دست می‌آید. این معادلات به فرم زیر هستند.

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left\{ uA_x \frac{\partial u}{\partial x} + vA_y R \frac{\partial u}{\partial y} + wA_z \frac{\partial u}{\partial z} \right\} + \varepsilon \frac{A_y v^2}{xV_F} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} + G_x + f_x - b_x - \frac{R_{SOR}}{\rho V_F} (u - u_x - \delta u_s) \quad (2)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left\{ uA_x \frac{\partial v}{\partial x} + vA_y R \frac{\partial v}{\partial y} + wA_z \frac{\partial v}{\partial z} \right\} + \varepsilon = -\frac{1}{\rho} \left(R \frac{\partial P}{\partial y} \right) + G_y + f_y - b_y - \frac{R_{SOR}}{\rho V_F} (v - v_w - \delta v_s) \quad (3)$$

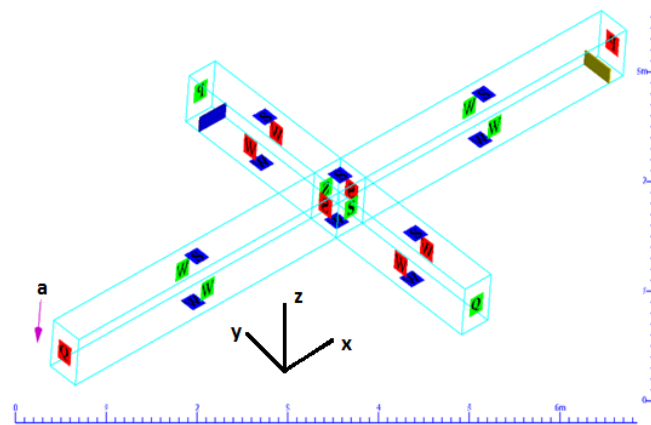
$$\frac{\partial w}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left\{ uA_x \frac{\partial w}{\partial x} + vA_y R \frac{\partial w}{\partial y} + wA_z \frac{\partial w}{\partial z} \right\} = -\frac{1}{\rho} \left(R \frac{\partial P}{\partial z} \right) + G_z + f_z - b_z - \frac{R_{SOR}}{\rho V_F} (w - w_w - \delta w_s) \quad (4)$$

شرایط مرزی معرفی شده به مدل بدین صورت است که، ورودی کانال اصلی (x_{min}) و ورودی کانال فرعی (y_{min}) دبی ورودی (flow rate) (مطابق با مقادیر دبی‌های ورودی مدل آزمایشگاهی)، دیواره‌های کانال و کف کانال را wall، بالاترین ارتفاع کانال (z_{max}) را شرایط مرزی symmetry، همچنین در قسمت‌هایی که بلوک‌های مش به هم متصل شده‌اند شرایط مرزی symmetry و در نهایت خروجی‌های کانال‌های اصلی و فرعی نیز با شرط مرزی specified pressure و وارد کردن ارتفاع خروجی مشخص شد (شکل ۲).

در این معادلات G_x, G_y, G_z شتاب‌های بدنه، f_x, f_y, f_z شتاب‌های ناشی از لزجت، b_x, b_y, b_z افت جریان در محیط‌های دارای خلل و فرج و عبارت $\frac{R_{SOR}}{\rho V_F} (w - w_w - \delta w_s)$ مربوط به تزیق جرم در سرعت صفر است (سعادت و زین العابدین، ۱۳۹۴).

مشخصات مدل عددی

در مدل عددی کانال چهار شاخه به ۵ قسمت تقسیم شده که عبارت است از ورودی کانال اصلی تا تقاطع کانال-ها، تقاطع کانال‌ها، تقاطع تا خروجی کانال اصلی، ورودی کانال فرعی تا تقاطع و تقاطع تا خروجی کانال فرعی.



شکل (۲): تقاطع و شرایط مرزی مورد استفاده در مدل عددی

S_e طول مشخصه‌ی مربوط به ابعاد ناحیه‌ی جداشدگی است که زیرنویس آن طول و یا عرض ناحیه‌ی جداشدگی را مشخص می‌کند، دبی جریان کانال‌های ورودی Q_{xi}, Q_{yi} ، عرض کانال‌ها b ، شتاب ثقل g ، جرم مخصوص سیال ρ ،

آنالیز ابعادی

پارامترهای موثر در ابعاد ناحیه‌ی جداشدگی را می‌توان با تابع (۵) مشخص کرد.

$$F(S_e, Q_{xi}, Q_{yi}, b, c, g, \rho, \mu) = 0 \quad (5)$$

نظر گرفته شد. شبیه‌سازی با پنج بلوک مش در مقایسه با حالت‌های دیگر نتایج بهتری داشت. سپس قابلیت مدل‌های مختلف آشفتگی نظیر $k-\omega$ ، $k-\epsilon$ و RNG بررسی شد و نتایج مدل $k-\omega$ نسبت به مدل‌های دیگر بهتر بود (مدل $k-\omega$ برای مدلسازی جریان‌های مغشوش و جدایش جریان مناسب هستند) (سعادت و زین العابدین، ۱۳۹۴). در گام سوم با تعداد مش‌های متفاوت شبیه‌سازی انجام شد. که تعداد مش ۵۶۰۰۰۰ نتایج قابل قبولی را ارائه داد. تعداد مش بیشتر تفاوت زیادی را در نتایج نشان نداد و کمتر از آن نتایج رضایت‌بخشی نداشت. در نتیجه مدل $k-\omega$ با ۵ بلوک مش و تعداد مش ۵۶۰۰۰۰ انتخاب شد و در شبیه‌سازی مورد استفاده قرار گرفت. سلول‌های مش در نظر گرفته شده برای هر بلوک به ترتیب جدول ۱ ارائه شده است.

لزجت دینامیکی μ ، ارتفاع سرریزهای خروجی c . با تحلیل ابعادی در نهایت معادله ۶ را خواهیم داشت:

$$F\left(\frac{S_e}{b}, \frac{Q_{yi}}{Q_{xi}}, \frac{c}{b}, Fr_{xi}, Re_{xi}\right) = 0 \quad (6)$$

با توجه به مقادیر عدد رینولدز (حداقل ۱۱۰۰۰) و تاثیر ناچیز آن می‌توان از عدد رینولدز صرف‌نظر کرد. در نهایت معادلات فوق را می‌توان به صورت معادله ۷ نوشت:

$$\frac{S_e}{b} = F\left(\frac{Q_{yi}}{Q_{xi}}, \frac{c}{b}, Fr_{xi}\right) \quad (7)$$

در این مطالعه تاثیر دو پارامتر بدون بعد $\frac{Q_{yi}}{Q_{xi}}$ و $\frac{c}{b}$ بر روی ابعاد ناحیه جدانشدگی مطالعه شده است. جهت انتخاب مدل بهینه، در گام اول برای کانال چهار حالت، یک بلوک، دو بلوک، سه بلوک و پنج بلوک مش، در

جدول (۱): تعداد بلوک‌های مش در نرم‌افزار FLOW 3D

شماره بلوک	تعداد المان‌ها در راستای X	تعداد المان‌ها در راستای Y	تعداد المان‌ها در راستای Z	تعداد مش‌ها
۱	۱۰۰	۴۰	۴۰	۱۶۰۰۰۰
۲	۴۰	۴۰	۴۰	۶۴۰۰۰
۳	۱۰۰	۴۰	۴۰	۱۶۰۰۰۰
۴	۴۰	۵۰	۴۰	۸۰۰۰۰
۵	۴۰	۶۰	۴۰	۹۶۰۰۰
				۵۶۰۰۰۰

است، نتایج مدل عددی مربوط به ابعاد ناحیه جدانشدگی مطابقت خوبی با نتایج آزمایشگاهی دارد به طوری که مقدار خطای شبیه‌سازی برای اکثر مدل‌ها کمتر از ۲۰٪ بود. در محاسبه ابعاد ناحیه جدانشدگی در مدل عددی جهت اطمینان از اندازه‌گیری‌ها، در ۵ زمان مختلف در طول اجرای مدل، خروجی‌های مدل عددی گرفته شد و در نهایت داده‌های ارائه شده مربوط به ابعاد ناحیه جدانشدگی، میانگین مقادیر ۵ خروجی مدل عددی می‌باشد. در ارزیابی نتایج در متن مقاله، L_s (طول ناحیه جدانشدگی)، H_s

نتایج و بحث

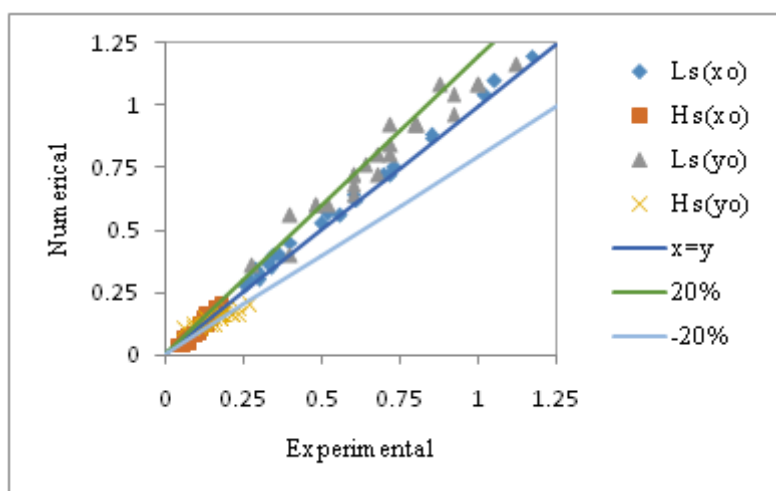
در این بخش ابتدا نتایج مربوط به ارزیابی مدل عددی با نتایج آزمایشگاهی و سپس نتایج شبیه‌سازی‌های مدل عددی ارائه گردید.

صحت‌سنجی نتایج مدل عددی

برای ارزیابی دقت مدل عددی در شبیه‌سازی ابعاد ناحیه جدانشدگی، نتایج عددی مربوط به ابعاد ناحیه جدانشدگی در کانال خروجی اصلی و فرعی با نتایج آزمایشگاهی مقایسه شد. همان‌طور که در شکل ۳ مشخص



(بیشترین عرض ناحیه جداشدگی)، Q_{yi}/Q_{xi} نسبت دبی ورودی، c/b نسبت ارتفاع سرریزهای انتهایی کانالهای خروجی به عرض کانال می‌باشد.



شکل (۳): مقایسه نتایج عددی و آزمایشگاهی ابعاد ناحیه جداشدگی

کارایی خوب، بازه‌ی ۲۰ تا ۳۰ درصد کارایی متوسط و بیشتر از ۳۰ درصد کارایی ضعیف و غیر قابل قبولی دارد.

$$NRMSE = \frac{RMSE}{\bar{x}} \quad (9)$$

* 10

برای ابعاد ناحیه جداشدگی در کانال اصلی و فرعی مقادیر RMSE و NRMSE در جدول ۲ نشان داده شده است.

مطابق نتایج مشاهده می‌شود که خطای شبیه‌سازی در کانال خروجی اصلی نسبت به کانال خروجی فرعی کمتر است. احتمالاً دلیل خطای بیشتر در کانال خروجی فرعی، طول کمتر کانال خروجی فرعی (۲ متر) نسبت به کانال خروجی اصلی (۴ متر) است که با توجه به زیر بحرانی بودن جریان در کانال‌ها، ارتفاع سرریزها در کانال خروجی فرعی، شرایط جریان را بیشتر تحت تأثیر قرار می‌دهد و سبب رفتار غیر قابل پیش‌بینی جریان می‌شود. همچنین برای هر دو کانال اصلی و فرعی خطای RMSE شبیه‌سازی ابعاد ناحیه جداشدگی کمتر از ۱۲٪ می‌باشد که قابل قبول

علاوه بر شکل ۳، برای ارزیابی دقت شبیه‌سازی‌ها از پارامترهای آماری خطای جذر میانگین مربعات یا RMSE¹ و خطای جذر میانگین مربعات نرمال‌شده NRMSE استفاده گردید که رابطه‌ی آن‌ها به صورت روابط ۸ و ۹ است. در رابطه ۸، مقدار x از داده‌های آزمایشگاهی در نقطه‌ی i ، مقدار $x_{s,i}$ از داده‌های عددی در نقطه‌ی i و n آخرین مقدار i می‌باشد. هرچه مقدار RMSE به صفر نزدیک‌تر باشد دقت شبیه‌سازی بیشتر است.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_{m,i} - x_{s,i})^2}{n}} \quad (8)$$

در این رابطه ۹، \bar{x} میانگین مقادیر (x_{mi}) می‌باشد. باتوجه به بررسی‌های (Jamieson et al., 1991) و (Bannaya et al., 2009)، خطای NRMSE اگر در بازه‌ی صفر تا ۱۰ درصد باشد کارایی عالی، بازه‌ی ۱۰ تا ۲۰ درصد

¹Root Mean Square Error

است. با توجه به مقادیر NRMSE نیز مدل‌های کانال اصلی کارایی عالی و خوب دارند و مدل‌های کانال فرعی کارایی خوب و متوسط دارند (جدول ۱).

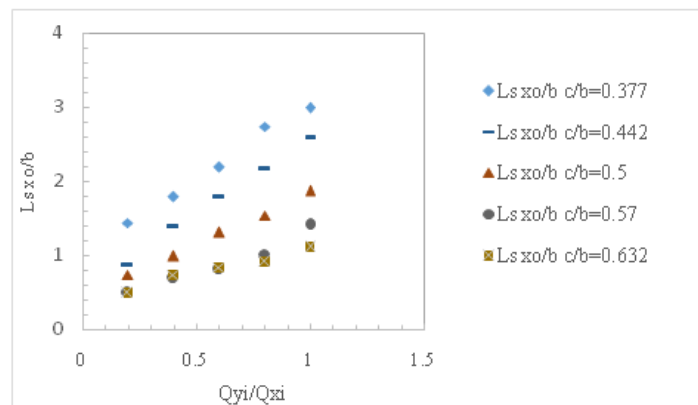
جدول (۲): خطای RMSE و NRMSE ابعاد ناحیه جدادگی

عنوان پارامتر ناحیه جدادگی	RMSE(m)	NRMSE (%)
Ls_{x0}	۰/۰۳۱۳	۵/۸
Hs_{x0}	۰/۰۱۵۷	۱۳/۴
Ls_{y0}	۰/۱۱۱	۱۶
Hs_{y0}	۰/۰۳۷	۲۰/۳

اصلی افزایش می‌یابد. دلیل آن انحراف بیشتر جریان به داخل کانال‌های خروجی اصلی است. همچنین در یک نسبت دبی برابر با افزایش ارتفاع سرریزهای خروجی از طول ناحیه جدادگی در کانال اصلی کاسته می‌شود، زیرا با افزایش ارتفاع سرریزها، عمق جریان افزایش یافته، سرعت کاهش خواهد یافت که نتیجه آن کاهش ابعاد ناحیه جدادگی است.

ابعاد ناحیه جدادگی در کانال خروجی اصلی و خروجی فرعی

در شکل ۴، تغییرات نسبت بی‌بعد طول ناحیه جدادگی در برابر نسبت دبی رسم شده، همان‌طور که مشاهده می‌شود، در یک نسبت ارتفاع سرریز برابر، با افزایش نسبت دبی ورودی، طول ناحیه جدادگی در کانال



شکل (۴): شبیه‌سازی تغییرات نسبت بی‌بعد طول ناحیه جدادگی در کانال اصلی خروجی

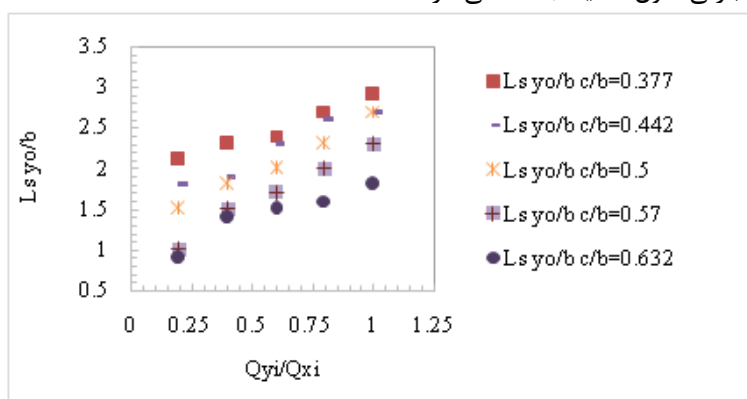
ورودی، طول ناحیه جدادگی افزایش می‌یابد. همچنین به ازای یک نسبت دبی ثابت، با افزایش نسبت ارتفاع سرریزها، با توجه به افزایش عمق جریان، سرعت جریان کاهش یافته

در کانال فرعی خروجی نیز روند تغییرات طول ناحیه جدادگی مشابه با کانال خروجی اصلی، بدین صورت که به ازای یک نسبت ارتفاع سرریز ثابت، با افزایش نسبت دبی



کانال خروجی اصلی نسبت به تغییرات نسبت دبی ورودی حساس تر است. شاید علت آن اتصال کانال فرعی ورودی به اصلی خروجی باشد که تغییر شرایط جریان در کانال ورودی فرعی، بیشتر در کانال خروجی اصلی تأثیر می‌گذارد.

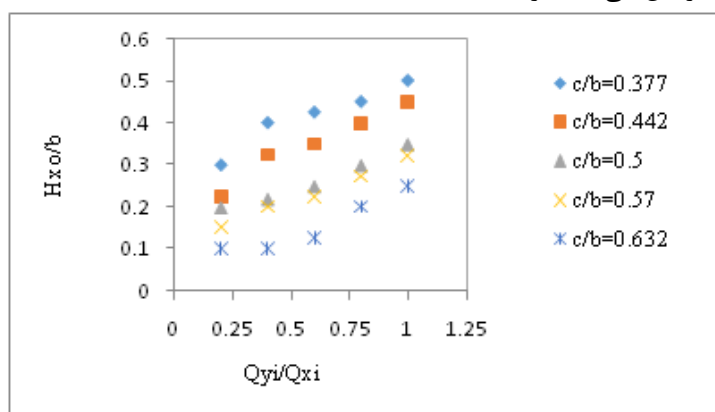
که منجر به کاهش طول ناحیه جداشدگی شد (شکل ۵). مقایسه شکل‌های ۴ و ۵ نشان می‌دهد که روند کلی تغییرات طول ناحیه جداشدگی در کانال خروجی اصلی و فرعی مشابه هم است اما شیب تغییرات در کانال اصلی خروجی بیشتر است به عبارتی طول ناحیه جداشدگی در



شکل (۵): شبیه‌سازی تغییرات نسبت بی بعد طول ناحیه جداشدگی در کانال خروجی فرعی

دبی ثابت، تغییر نسبت ارتفاع سرریزها تأثیر چندانی بر روی توزیع جریان نداشت اما افزایش ارتفاع سرریزها سبب کاهش سرعت جریان انحرافی شده که نتیجه‌ی آن کاهش ابعاد ناحیه‌ی جداشدگی در کانال اصلی خروجی است. (شکل ۶).

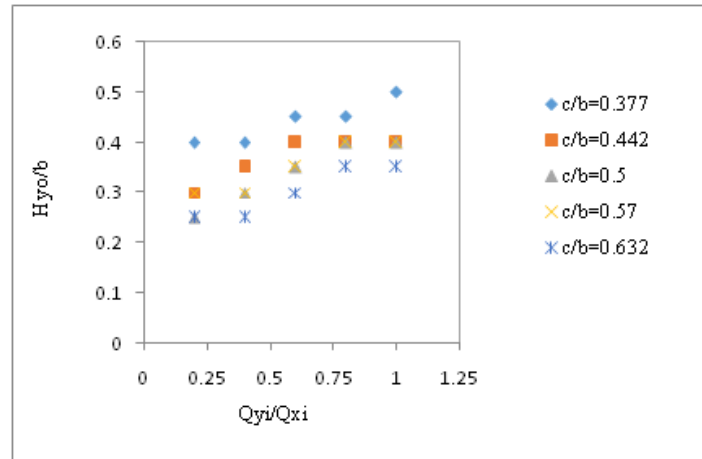
برای یک نسبت ارتفاع سرریزهای خروجی ثابت، با افزایش نسبت دبی ورودی، ماکسیمم عرض ناحیه جداشدگی در کانال اصلی خروجی افزایش یافت. زیرا برای یک ارتفاع سرریز ثابت، افزایش نسبت دبی ورودی سبب افزایش سرعت جریان انحرافی شده، عرض ناحیه‌ی جداشدگی در کانال اصلی افزایش می‌یابد. در یک نسبت



شکل (۶): شبیه‌سازی تغییرات نسبت بی بعد عرض ناحیه جداشدگی در کانال اصلی

برای یک نسبت دبی ثابت اگرچه با افزایش ارتفاع سرریزها توزیع جریان تفاوتی چندانی نمی‌کند اما با توجه به کاهش سرعت جریان، عرض ناحیه‌ی جداشدگی در کانال فرعی کاهش یافت.

مطابق شکل ۷، برای یک ارتفاع سرریز ثابت، با افزایش نسبت دبی ورودی با توجه به انحراف بیشتر جریان کانال ورودی اصلی به داخل کانال فرعی خروجی، عرض ناحیه‌ی جداشدگی در کانال فرعی خروجی افزایش یافت. همچنین

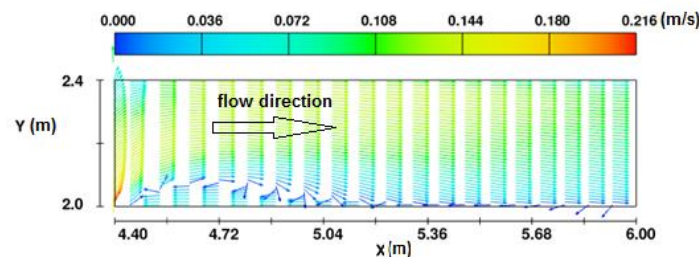


شکل (۷): شبیه‌سازی تغییرات نسبت بی‌بعد عرض ناحیه جداشدگی در کانال فرعی

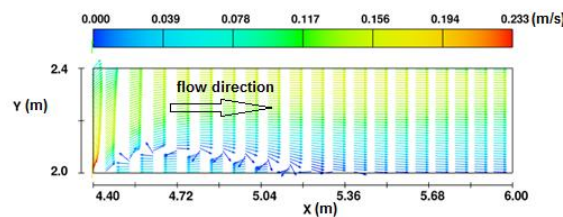
تغییرات ابعاد ناحیه جداشدگی در راستای قائم

یکی از خصوصیات مهم در مورد ابعاد ناحیه جداشدگی تغییرات ابعاد آن در راستای عمق می‌باشد. در این قسمت تأثیر دو پارامتر نسبت دبی ورودی و عمق جریان بر روی ابعاد ناحیه جداشدگی در راستای قائم بررسی شد. به منظور ارزیابی، سه تراز، کف کانال، ۰/۱ متر از کف و سطح آب در نظر گرفته شد. ارزیابی نتایج نشان داد در حالت کلی ابعاد ناحیه جداشدگی از سطح آب به سمت کف کانال کاهش می‌یابد به طوری‌که طول و عرض ناحیه جداشدگی در کف

کانال حداقل و در سطح آب حداکثر بود. شکل ۸ تغییرات ابعاد ناحیه جداشدگی در راستای قائم را برای نسبت ارتفاع سرریز ۰/۳۷۷ و نسبت دبی ۰/۶ نشان می‌دهد. مطابق شکل طول ناحیه جداشدگی در کف کانال در حدود ۶۰ سانتیمتر، در فاصله ۰/۱ متر از کف در حدود ۷۵ سانتیمتر و در سطح آب در حدود ۸۵ سانتیمتر است. در این شرایط، از سطح آب به سمت کف کانال طول ناحیه جداشدگی در حدود ۲۹٪ کاهش یافته است.

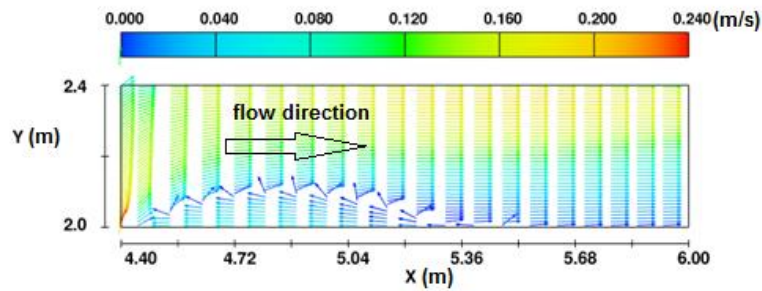


الف



ب

شکل (۸): ناحیه‌ی جداشدگی بعد از تقاطع در کانال اصلی در نسبت ارتفاع سرریز خروجی $\frac{c}{b} = 0.377$ و نسبت دبی ورودی $\frac{Q_{yi}}{Q_{xi}} = 0.6$
الف: کف کانال، ب: عمق ۰/۱ متر، ج: سطح آب



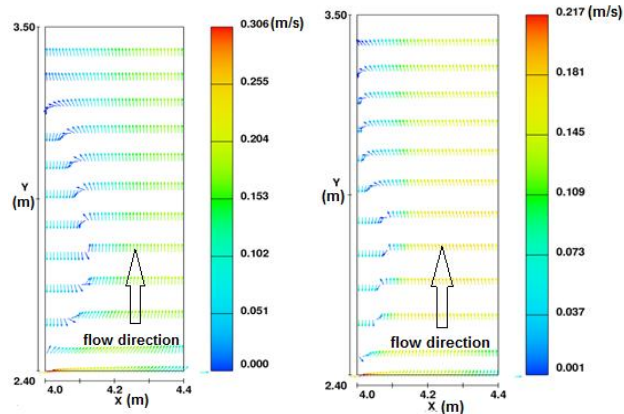
ج

ادامه شکل (۸): ناحیه‌ی جداشدگی بعد از تقاطع در کانال اصلی در نسبت ارتفاع سرریز خروجی $\frac{c}{b} = 1/377$ و نسبت دبی

ورودی $\frac{Q_{yi}}{Q_{xi}} = 0/6$. الف: کف کانال، ب: عمق ۰/۱ متر، ج: سطح آب

روی شکل ۹ دریافت. مطابق نتایج برای نسبت دبی ۰/۶ و نسبت ارتفاع سرریزهای خروجی $1/377$ ، طول ناحیه جداشدگی در سطح آب ۹۵ سانتیمتر و در کف کانال در حدود ۶۵ سانتیمتر بود که از سطح آب در راستای عمق طول ناحیه جداشدگی در حدود ۳۲٪ کاهش یافت.

در کانال فرعی خروجی نیز ابعاد ناحیه جداشدگی از سمت کف کانال به سمت سطح آب افزایش می‌یابد. با توجه به اینکه جریان انحرافی به داخل کانال فرعی کمتر می‌باشد، در نتیجه سرعت جریان کمتر می‌باشد و تلاطم‌ها و نوسانات در محل ناحیه چرخشی نسبت به کانال اصلی کمتر است. این نتیجه را می‌توان با توجه به اندازه بردارهای سرعت در

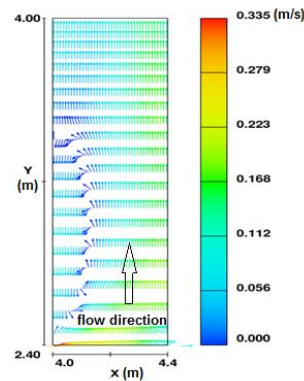


ب

الف

شکل (۹): ناحیه‌ی جداشدگی بعد از تقاطع در کانال فرعی در نسبت ارتفاع سرریز خروجی $\frac{c}{b} = 1/377$ و نسبت دبی ورودی $\frac{Q_{yi}}{Q_{xi}} = 0/6$

الف: کف کانال، ب: عمق ۰/۱ متر، ج: سطح آب



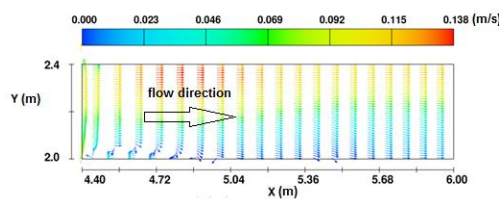
ج

ادامه شکل (۹): ناحیه‌ی جداشدگی بعد از تقاطع در کانال فرعی در نسبت ارتفاع سرریز خروجی $\frac{c}{b} = 0.277$ و نسبت دبی ورودی $\frac{Q_{yi}}{Q_{xi}} = 0.06$. الف: کف کانال، ب: عمق ۰/۱ متر، ج: سطح آب

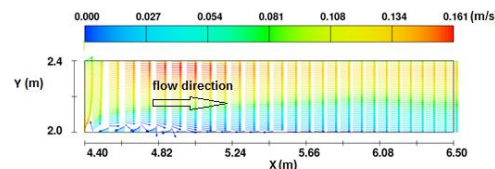
تلاطم جریان در ناحیه پایین دست تقاطع می‌باشد و در نتیجه افزایش ابعاد ناحیه جداشدگی را به دنبال داشت، به طوری که برای نسبت دبی ۱ در حدود ۱۰۰ سانتیمتر و برای نسبت دبی ۰/۲ طول ناحیه جداشدگی در حدود ۴۵ سانتیمتر بود که در حدود ۵۵٪ کاهش یافته است. همان‌طور که در شکل‌ها مشخص است در ناحیه جداشدگی و اطراف آن سرعت جریان حداقل است و در دیواره مقابل سرعت جریان ماکزیمم است.

تغییرات ناحیه جداشدگی در برابر نسبت دبی ورودی در کانال اصلی و فرعی

شکل ۱۰ تغییرات ابعاد ناحیه جداشدگی برای ارتفاع سرریز ۰/۴۴۲ و به ازای نسبت دبی‌های مختلف نشان داده می‌دهد. بررسی نتایج نشان داد، با افزایش نسبت دبی ورودی، میزان جریان انحرافی به داخل کانال خروجی اصلی افزایش یافته که نتیجه آن افزایش سرعت جریان و افزایش

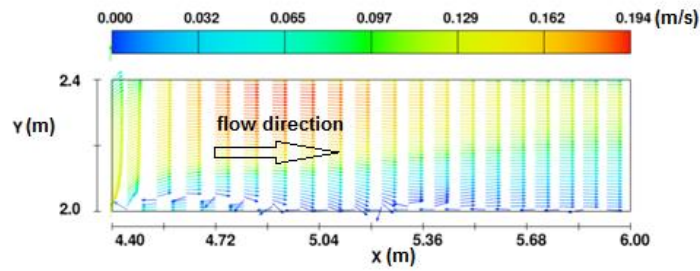


الف

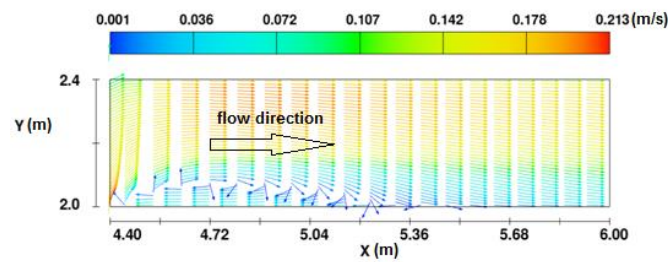


ب

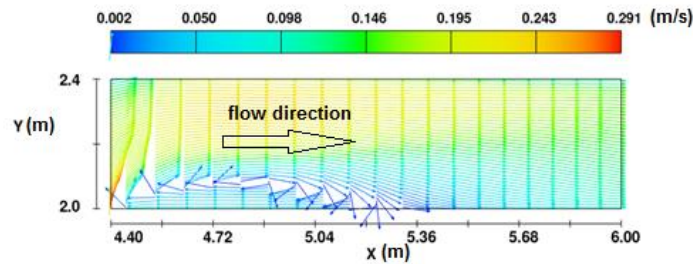
شکل (۱۰): ناحیه‌ی جداشدگی بعد از تقاطع در کانال اصلی برای نسبت ارتفاع سرریز خروجی $\frac{c}{b} = 0.442$ و سطح آب. الف: نسبت دبی ورودی $\frac{Q_{yi}}{Q_{xi}} = 0.02$ ، ب: نسبت دبی ورودی $\frac{Q_{yi}}{Q_{xi}} = 0.04$ ، ج: نسبت دبی ورودی $\frac{Q_{yi}}{Q_{xi}} = 0.06$ ، د: نسبت دبی ورودی $\frac{Q_{yi}}{Q_{xi}} = 0.08$ ، ه: نسبت دبی ورودی $\frac{Q_{yi}}{Q_{xi}} = 1$



ج



د



ه

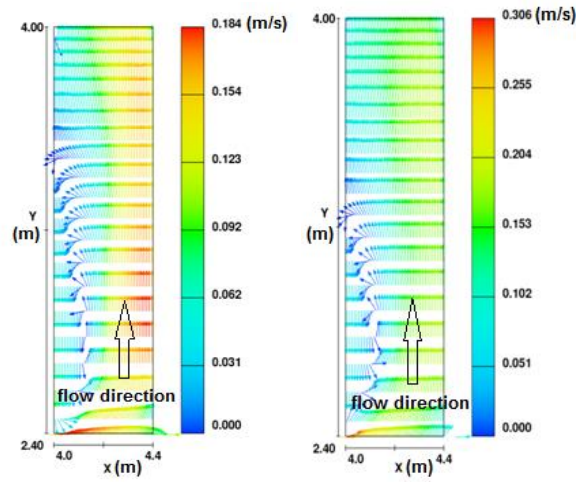
ادامه شکل (۱۰): ناحیه‌ی جداشدگی بعد از تقاطع در کانال اصلی برای نسبت ارتفاع سرریز خروجی $\frac{c}{b} = 0.442$ و سطح آب. الف: نسبت

دبی ورودی $\frac{Q_{yi}}{Q_{xi}} = 0.2$ ؛ ب: نسبت دبی ورودی $\frac{Q_{yi}}{Q_{xi}} = 0.4$ ؛ ج: نسبت دبی ورودی $\frac{Q_{yi}}{Q_{xi}} = 0.6$ ؛ د: نسبت دبی ورودی $\frac{Q_{yi}}{Q_{xi}} = 0.8$ ؛ ه: نسبت دبی

ورودی $\frac{Q_{yi}}{Q_{xi}} = 1$

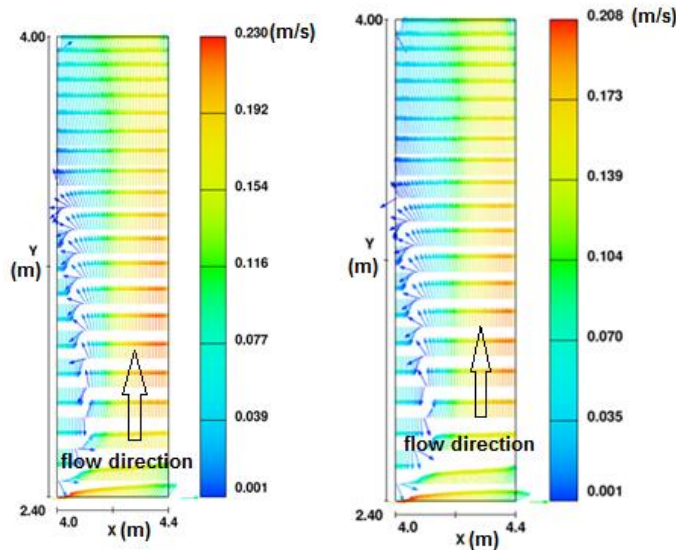
جریان در دیواره مقابل اتفاق افتاد (شکل ۱۱). مطابق نتایج، برای نسبت دبی ورودی 0.2 ماکزیمم سرعت در سمت دیواره مقابل در حدود 0.153 متر بر ثانیه و برای نسبت دبی ورودی 1 ، ماکزیمم سرعت در سمت دیواره مقابل در حدود 0.24 متر بر ثانیه بود که در حدود 36% افزایش نشان داد.

در کانال فرعی نیز روند تغییرات ابعاد ناحیه جداشدگی مشابه با کانال اصلی بود به طوریکه برای نسبت ارتفاع سرریز 0.442 ، با افزایش نسبت دبی ورودی، ابعاد ناحیه جداشدگی افزایش یافت. در این حالت نیز سرعت جریان در ناحیه جداشدگی و اطراف آن حداقل است و به سمت دیواره مقابل افزایش می‌یابد که ماکزیمم مقدار سرعت



ب

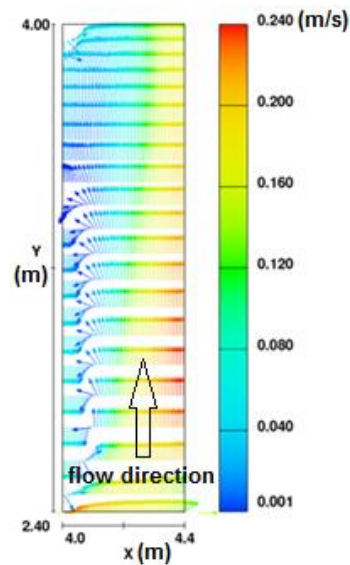
الف



د

ج

شکل (۱۱): ناحیه‌ی جداشدگی بعد از تقاطع در کانال فرعی در نسبت ارتفاع سرریز خروجی $\frac{c}{b} = 0.442$ و سطح آب. الف: نسبت دبی ورودی $\frac{Q_{yi}}{Q_{xi}} = 0.2$; ب: نسبت دبی ورودی $\frac{Q_{yi}}{Q_{xi}} = 0.4$; ج: نسبت دبی ورودی $\frac{Q_{yi}}{Q_{xi}} = 0.6$; د: نسبت دبی ورودی $\frac{Q_{yi}}{Q_{xi}} = 0.8$; ه: نسبت دبی ورودی $\frac{Q_{yi}}{Q_{xi}} = 1$



۵

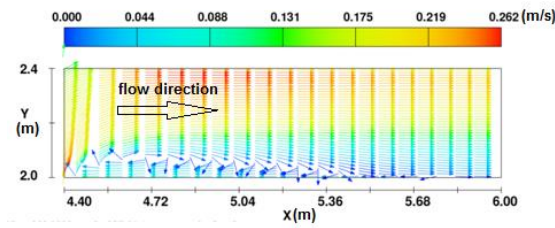
ادامه شکل (۱۱): ناحیه‌ی جداشدگی بعد از تقاطع در کانال فرعی در نسبت ارتفاع سرریز خروجی $\frac{c}{b} = 0.442$ و سطح آب. الف: نسبت دبی

ورودی $\frac{Q_{yi}}{Q_{xi}} = 0.2$: ب: نسبت دبی ورودی $\frac{Q_{yi}}{Q_{xi}} = 0.4$: ج: نسبت دبی ورودی $\frac{Q_{yi}}{Q_{xi}} = 0.6$: د: نسبت دبی ورودی $\frac{Q_{yi}}{Q_{xi}} = 0.8$ و نسبت دبی ورودی $\frac{Q_{yi}}{Q_{xi}} = 1$: ه

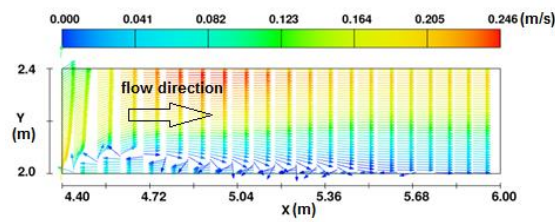
مشاهده شد و سرعت ماکزیمم در دیواره مقابل اتفاق افتاد که مقدار ماکزیمم سرعت نیز با افزایش ارتفاع سرریز کاهش یافت (شکل ۱۲).

تغییرات ناحیه جداشدگی در برابر نسبت ارتفاع سرریز در کانال اصلی و فرعی

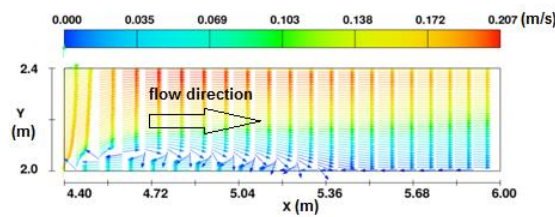
در یک نسبت دبی ثابت با افزایش نسبت ارتفاع سرریزهای خروجی، عمق جریان افزایش یافته که با کاهش سرعت جریان و تلاطم‌های ناشی از جریان چرخشی همراه بود و منجر به کاهش ابعاد ناحیه جداشدگی در کانال اصلی شد. برای نسبت ارتفاع سرریز 0.337 مقدار طول ناحیه جداشدگی در حدود 115 سانتیمتر بود که با افزایش ارتفاع سرریز به 0.632 طول ناحیه جداشدگی به 50 سانتیمتر رسید که در حدود 56% کاهش یافت. در این شرایط نیز حداقل سرعت جریان در ناحیه جداشدگی و اطراف آن



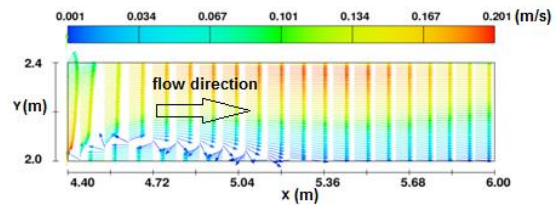
الف



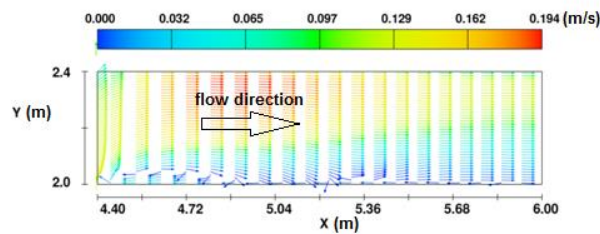
ب



ج



د



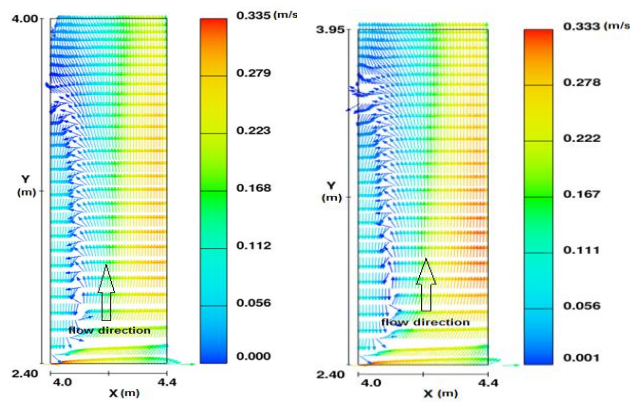
ه

شکل (۱۲): ناحیه‌ی جدانشدگی بعد از تقاطع در کانال اصلی در نسبت دبی ورودی $\frac{Q_{yi}}{Q_{xi}}=1$ و سطح آب. الف: ارتفاع سرریز خروجی $\frac{c}{b}=377$ ؛ ب: ارتفاع سرریز خروجی $\frac{c}{b}=442$ ؛ ج: ارتفاع سرریز خروجی $\frac{c}{b}=5$ ؛ د: ارتفاع سرریز خروجی $\frac{c}{b}=57$ ؛ ه: ارتفاع سرریز خروجی $\frac{c}{b}=632$.



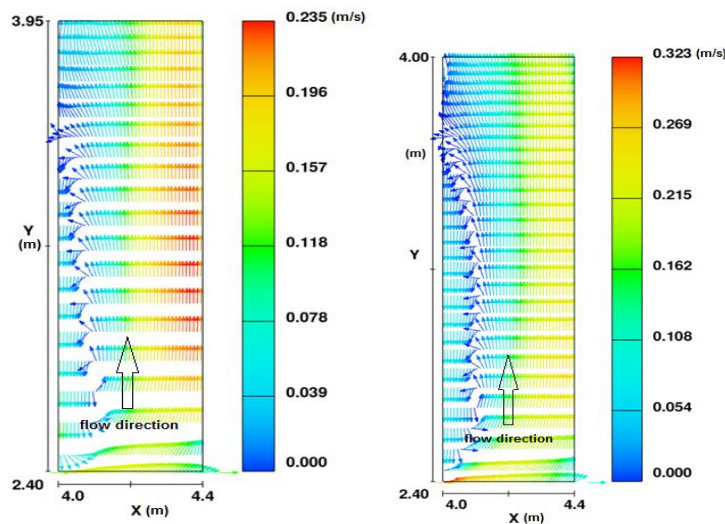
۰/۶۳۲ طول ناحیه جداسدگی در حدود ۱۰۰ سانتیمتر بود که در حدود ۱۷٪ کاهش نشان داد (شکل ۱۳). در کانال فرعی نیز ماکزیمم سرعت جریان در دیواره مقابل اتفاق افتاد که برای نسبت ارتفاع سرریز ۰/۳۷۷، در حدود ۰/۳۳ متر بر ثانیه و برای نسبت ارتفاع سرریز ۰/۶۳۲، در حدود ۰/۱۹ متر بر ثانیه بود که ۴۴٪ کاهش داشت.

در کانال فرعی نیز روند تغییرات ابعاد ناحیه جداسدگی برای یک نسبت دبی ثابت، مشابه با کانال اصلی بود به طوریکه با افزایش نسبت ارتفاع سرریزها ابعاد ناحیه جداسدگی کاهش یافت. مطابق نتایج، به ازای نسبت دبی ورودی ۱، برای نسبت ارتفاع سرریز ۰/۳۳۷ طول ناحیه جداسدگی ۱۲۰ سانتیمتر و برای نسبت ارتفاع سرریز



ب

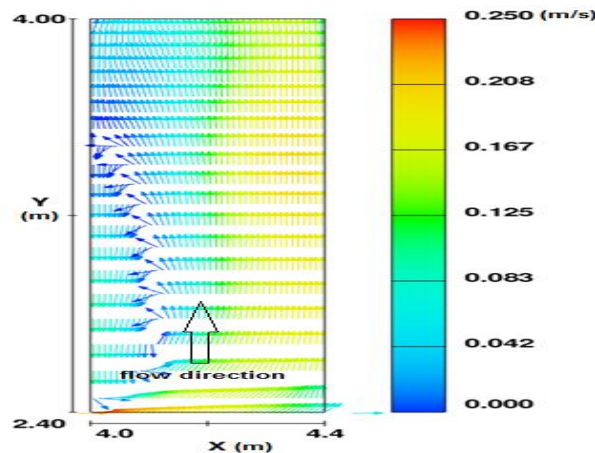
الف



د

ج

شکل (۱۳): ناحیه جداسدگی بعد از تقاطع در کانال فرعی در نسبت دبی ورودی $\frac{Q_{yi}}{Q_{xi}}=1$ و سطح آب. الف: ارتفاع سرریز خروجی $\frac{c}{b}=0.377$ ب: ارتفاع سرریز خروجی $\frac{c}{b}=0.337$ ج: ارتفاع سرریز خروجی $\frac{c}{b}=0.57$ د: ارتفاع سرریز خروجی $\frac{c}{b}=0.632$



۵

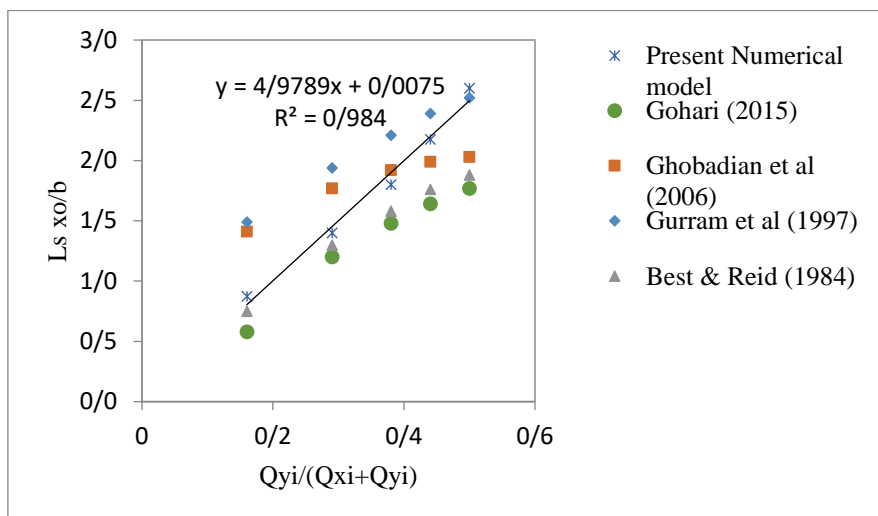
ادامه شکل (۱۳): ناحیه‌ی جداسازی بعد از تقاطع در کانال فرعی در نسبت دبی ورودی $\frac{Q_{yi}}{Q_{xi}}=1$ و سطح آب. الف: ارتفاع سرریز خروجی $\frac{c}{b}=1/377$ ؛ ب: ارتفاع سرریز خروجی $\frac{c}{b}=1/442$ ؛ ج: ارتفاع سرریز خروجی $\frac{c}{b}=1/5$ ؛ د: ارتفاع سرریز خروجی $\frac{c}{b}=1/57$ ؛ ه: ارتفاع سرریز خروجی $\frac{c}{b}=1/632$.

نتایج (1997) و Gurrām et al. و Ghobadian et al. (2006) اختلاف دارد. دلیل این اختلاف متفاوت بودن عدد فرود می‌باشد که در مدل عددی کمتر از ۰/۲ بوده در حالی - که در تحقیق گورام و همکاران کمتر از ۱ و در تحقیق قبادیان و همکاران در محدوده ۰/۵ - ۰/۱ بود. در نسبت دبی‌های بالاتر (۰/۴۴ و ۰/۵) اختلاف نتایج افزایش یافت. تحقیق حاضر مربوطه به تقاطع چهارشاخه می‌باشد در حالی که سایر تحقیقات اشاره شده مربوط به تقاطع سه-شاخه می‌باشد. در تقاطع‌های سه‌شاخه جریان کانال ورودی اصلی بر روی ابعاد ناحیه جداسازی در قسمت پایین دست تقاطع اثر می‌گذارند و روند افزایش ابعاد را تحت تاثیر قرار داده، آن را کند می‌کند، اما در تقاطع چهارشاخه با توجه به انحراف بخشی از جریان کانال ورودی اصلی، اثر این جریان بر روی ابعاد ناحیه جداسازی در پایین دست تقاطع کمتر می‌باشد و با افزایش نسبت دبی ورودی، مقدار افزایش ابعاد ناحیه جداسازی بیشتر است.

مطابق نتایج، نکته‌ای که در رابطه با وقوع ناحیه جداسازی باید توجه داشت این است که در داخل ناحیه جداسازی جریان‌های چرخشی اتفاق می‌افتد و همچنین سرعت جریان حداقل است که در کانال‌هایی که بحث انتقال رسوب در آن‌ها مطرح است، امکان رسوب‌گذاری و مشکلات ناشی از آن وجود خواهد داشت. علاوه بر این، در منطقه‌ای که ناحیه جداسازی اتفاق می‌افتد پروفیل عرضی سرعت جریان از حالت متقارن (جریان یکنواخت) تغییر کرده و ماکزیمم سرعت به سمت دیواره مقابل جابجا می‌شود. این اتفاق نیز در شرایطی که احتمال فرسایش کناره‌ها وجود داشته باشد، دیواره جانبی کانال دچار فرسایش می‌شود که در طولانی مدت مشکلات زیادی را به همراه دارد.

مقایسه با نتایج سایر محققین

همان‌طور که در شکل ۱۴ مشخص است، نتایج تحقیق حاضر در نسبت دبی‌های کمتر مطابقت خوبی با داده‌های Best and Ried (1984) و Gohari (2015) دارد، اما با



شکل (۱۴): مقایسه نتایج مدل عددی با سایر محققین

بررسی ابعاد ناحیه‌ی جداشدگی در راستای قائم نشان داد که از کف بستر به سمت سطح آب ابعاد ناحیه‌ی جداشدگی افزایش می‌یابد. در یک تراز مشخص و نسبت ارتفاع سرریز ثابت، با افزایش نسبت دبی، سرعت جریان افزایش یافته و در نتیجه ابعاد ناحیه جداشدگی افزایش یافت. همچنین برای یک تراز مشخص و یک نسبت دبی ثابت، با افزایش ارتفاع سرریزها، عمق جریان افزایش یافته سبب کاهش سرعت جریان شد که کاهش ابعاد ناحیه جداشدگی را به دنبال داشت. مقایسه نتایج تحقیق حاضر با سایر محققین نیز مطابقت خوبی را نشان داد، اما تغییر شرایط جریان، روند تغییرات ابعاد ناحیه جداشدگی را تحت تأثیر قرار می‌دهد

نتیجه‌گیری

در این تحقیق شبیه‌سازی ابعاد ناحیه جداشدگی در یک تقاطع چهارشاخه ۹۰ درجه با نرم‌افزار Flow 3D انجام شد. با انجام شبیه‌سازی‌های مختلف و مقایسه با نتایج آزمایشگاهی در نهایت مدل $k-\omega$ با تعداد مش ۵۶۰۰۰۰ و ۵ بلوک مش به عنوان مدل بهینه انتخاب شد. بررسی نتایج مربوط به ابعاد ناحیه‌ی جداشدگی در کانال اصلی و فرعی نشان داد که مدل Flow 3D از قابلیت خوبی در شبیه‌سازی برخورد دار است. با افزایش نسبت دبی ورودی ابعاد ناحیه‌ی جداشدگی افزایش یافت درحالی‌که با افزایش سرریزهای خروجی ابعاد ناحیه‌ی جداشدگی کاهش یافت.

منابع

- آقازاده‌سوره، ت. و م. همتی. ۱۳۹۶. شبیه‌سازی اثر اختلاف رقوم بستر بر الگوی جریان در محل تلاقی دو کانال با استفاده از مدل Flow-3D. نشریه آبیاری و زهکشی ایران، سال یازدهم، شماره ۵، ص ۷۹۷-۷۸۵.
- حسینی، س. ح.، د. فرسادیزاده، و ع. حسین زاده دلیر. ۱۳۹۶. بررسی آزمایشگاهی و تحلیلی مشخصات جریان زیربحرانی در تقاطع چهار شاخه‌ی کانال‌های روباز. مجله حفاظت آب و خاک. سال بیست و چهارم شماره ۳ ص ۱۸۳-۱۶۵
- سعادت، ا. و م. زین‌العابدینی. ۱۳۹۴. اصول شبیه‌سازی مقدماتی و پیشرفته دینامیک سیالات محاسباتی با استفاده از نرم‌افزارهای FLUENT و CFX. به سفارش شرکت مهندسی پرداد پترو دانش، تهران.
- قاسم‌زاده، ف. ۱۳۹۴. شبیه‌سازی مسائل هیدرولیکی در FLOW 3D. انتشارات نوآور، تهران.



قبادیان، ر.، م. شفافی بجستان، و ح. موسوی جهرمی. ۱۳۸۵. بررسی آزمایشگاهی جدانشدگی جریان در محل تلاقی رودخانه‌ها برای شرایط جریان زیر بحرانی، نشریه تحقیقات منابع آب ایران. سال دوم، شماره ۲، ص ۷۷-۶۷.

گوهری، س. ۱۳۹۴. شبیه سازی عددی اثر زاویهی برخورد و نسبت بده بر ابعاد ناحیهی جدایی جریان در تقاطع نهرهای روباز. مجله‌ی مهندسی منابع آب، سال هشتم، شماره ۲۴، ص ۷۸-۶۹.

محمدیون، س. ع.، ا. صالحی نیشابوری، ح. پرهیزکار، و ح. وهابی. ۱۳۹۵. اثر هندسه دیوار جدا کننده کانال فرعی بر الگوی جریان یک کانال باز بزرگ مقیاس با تقاطع 90° . مجله علمی - پژوهشی عمران مدرس. سال شانزدهم، شماره ۳، ص ۱۷۵-۱۶۵.

نیکپور، ر. و پ. خسروی‌نیا. ۱۳۹۶. شبیه‌سازی عددی تاثیر شیب جانبی دیوار کانال اصلی بر الگوی جریان در تلاقی کانال‌های روباز. نشریه آبیاری و زهکشی ایران. سال یازدهم، شماره ۶، ص ۱۰۳۷ - ۱۰۲۴.

Azma, A. A. and Y. Zhang. 2020. Tributary channel width Effect on the flow behavior in trapezoidal and rectangular channel confluences. *Journal of Processes*, 8(11): 1344.

Bannaya, M and Hoogenboom, G. (2009). Using pattern recognition for estimation cultivar Coefficients of a crop simulation model. *Journal of Field Crops Research*. 111(3):290-302.

Best, J. L. and I. Reid. 1984. Separation zone at open-channel junctions. *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE*, 110(11): 1588-1594.

Crop simulation model. *Journal of Field Crops Research*. 111(3), 290-303.

Biron, P., A. G. Roy and J. L. Best. 1996. The turbulent flow structure at concordant and discordant open channel confluences. *Journal of Experiments in Fluids*, 21: 437-446.

Biswal, S., P. Mohapatra and K. Muralidhar. 2016. Hydraulics of combining flow in a right-angled compound open channel junction. *Journal of Sadhana (Indian academy of Sciences)*, 41(1): 97-110.

Frizzell, C. S., A. A. Khan and D. E. Werth. 2008. Numerical simulation of equal and opposing subcritical flow junctions. *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE*, 134(2): 267-273.

Geberemariam, T. K. 2016. Numerical analysis of storm water flow conditions and separation zone at open-channel junctions. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 143(1): 1-9.

Gurram, S. K., K. S. Karki and W. H. Hager. 1997. Subcritical junction flow. *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE*, 123(5): 447-455.

Huang, j., L. Weber and Y. Lia. 2002. Three-dimensional numerical study of flows in open-Channel junctions. *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE*, 128(3): 268-280.

Jamieson, P. D. Porter, D. R and Wilson, D. R. (1991). A test of the computer simulation model ARCWHEATI on wheat crops grown in New Zealand. *Journal of Field Crops Research*. 27(4): 337-350.

Ramamurthy, A.S., J. Qu and D. Vo. 2007. Numerical and experimental study of dividing open-channel flows. *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE*, 133(10): 1135-1144.

Ramos, P. X., L. Schindfessel, J. P. Pego and T. De Mudler. 2019. Influence of bed elevation discordance on flow patterns and head losses in an open-channel confluence. *Journal of Water Science and Engineering*, 12(3):235-243.

Riely, J. D. and B. L. Rhoads. 2012. Flow structure and channel morphology at a natural confluent meander bend. *Journal of Geomorphology*, 163-164: 84-98.

Sui, b. and Sh. Huang. 2017. Numerical analysis of flow separation zone in a confluent meander bend channel. *Journal of Hydrodynamics*, 29(4): 716-723.

Weber, L., D. Schumate and N. Mawer. 2001. Experiments on flow at a 90° open-channel junction, *Journal of Hydraulic Engineering*, 127(5): 340-350.



Simulation of Separation zone in Right-angled Four-branch Junction with Flow 3D

Zeynab Talebi¹, Khalil Azhdary^{2*}, Seyyed Hossein Hosseini³

Abstract

Study of separation zone is so important in right-angled three-branch or four-branch open channel junctions. Some effective parameters in this case are inlet discharge ratio and flow depth which in this research the effect of inlet discharge ratio and weir height ratios (flow depth) on flow pattern and dimensions of separation zone has been simulated numerically. Investigation of numerical results showed that k- ω model well validated with experimental results and had good agreement, so that simulation error was less than 20%. Dimensions of separation zone in main and side channels were directly proportional with the inlet discharge ratio. Also as increases of height ratio of outlet weirs, flow depth increases and separation zone dimensions decreased. According to the analysis of numerical results, dimensions of separation zone in vertical direction, of the channel bed to water surface increased, so that for discharge ratio 0.6 and height ratio of outlet weirs 0.377, length of separation zone at the channel bed, 0.1 m up the bed and water surface was about 60 cm, 75 cm and 85 cm, respectively. So of the water surface towards the channel bed, length of separation zone decreased about %29.

Keywords: Four-branch junction, Height ratio of outlet weirs, Inlet discharge ratio, Numerical simulation, Separation zone.

¹.Graduate of Water Structures, Department of Water & Soil, Faculty of Agriculture, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran

². * Associate Professor, Department of Water & Soil, Faculty of Agriculture, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran

³.Assistant Professor, Department of Water & Soil, Faculty of Agriculture, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran.

Research Paper

Simulation of Separation Zone in Right-Angled Four-branch Junction with Flow 3D

Zeynab Talebi¹,Khalil Azhdary^{2*},Seyyed Hossein Hosseini³¹Graduate of Water Structures, Faculty of Agriculture, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran²Associate Professor, Department of Water & Soil, Faculty of Agriculture, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran³Assistant Professor, Department of Water & Soil, Faculty of Agriculture, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran

10.22125/IWE.2022.304978.1551

Received:

September .15.2021

Accepted:

. December .25.2021

Available online:

June.01.2022**Keywords:**

Four-branch junction, Height ratio of outlet weirs, Inlet discharge ratio, Numerical simulation, Separation zone

Abstract

Study of separation zone is so important in right-angled three-branch or four-branch open channel junctions. Some effective parameters in this case are inlet discharge ratio and flow depth which in this research the effect of inlet discharge ratio and height ratio of weirs on flow pattern and dimensions of separation zone has been simulated numerically. Investigation of numerical results showed that k- ω model well validated with experimental results, so that simulation error was less than 20%. Dimensions of separation zone in main and lateral channels were directly related to inlet discharge ratio. Also as increasing of height ratio of outlet weirs, flow depth increased and separation zone dimensions decreased. According to numerical results, dimensions of separation zone in vertical direction, of the channel bed to water surface increased, so that for discharge ratio 0.6 and height ratio of outlet weirs 0.377, length of separation zone at the channel bed, 0.1 m up the bed and water surface obtained about 60 cm, 75 cm and 85 cm, respectively. So of the water surface towards the channel bed, length of separation zone decreased about %29.

1. Introduction

One of the most important parts of water conveyance networks are open channel junctions. Development of separation zone downstream the junction is considerable in studying process of erosion and sedimentation. There is a lot of numerical and experimental research about effective parameters on dimension of separation zone. Best and Ried (1984) investigated effect of different angle on dimension of separation zone in a three-branch junction. Gurram et al (1997) studied subcritical and transient flow in a three-branch junction and provided a relation for dimension of separation zone. Haung et al (2002), Gebermariam (2016), Ramos et al (2019), Azma and Zhang (2020) investigated flow in open channel junctions numerically. There is few studies about right-angled four-branch channels, so in this research,

* **Corresponding Author:** Khalil Azhdary

Address: Department Water & Soil, Faculty of Agriculture, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran

Email: Email:azhdary2013@shahroodut.ac.ir**Tel:**02332544016

effect of inlet discharge ratio and height of outlet weir ratio on dimension of separation zone in an open channel junction simulated with flow 3D.

2. Materials and Methods

In this study, in order to simulation, Hosseini et al (2017) 'junction model was used which was made of two metal-glass channel with 0.4 m width and 0.5 cm height. Main and lateral channels had 8.4 m and 4.4 m length, respectively. Bed slope of channels was zero and a pump with flow rate of 100 lit/s supplied required water to the model. simulation carried out with flow 3D which use two methods of VOF and FAVOR for simulation. Governing equations in this research are continuity and momentum equations, which are solved by Finite Volume Method in Flow 3D.

3. Results

In order to evaluation of Flow 3D model, numerical results of separation zone dimensions were compared with experimental results which for most models, error rate was less than %20. Results showed that, increase of inlet flow ratio, led to increase of dimension of separation zone in both main and lateral channels. Investigation of separation zone dimension in vertical direction showed, from the water surface to bed of the channel, dimension of separation zone decreased. As increase of height of outlet weirs ratio, dimension of the separation zone decreased. According to results, in separation zone secondary flow formed and velocity is minimum, so sedimentation will happened? Also velocity profile is not symmetry and maximum velocity is moved toward the opposite wall.

4. Discussion and Conclusion

Comparison of the results with other researchers showed that in the low discharge ratios, results had a good agreement with results of Best and Ried (1984), Gohari (2015) but was disagreed with results of Gurram et al (1997) and Gobadian et al (2006), because the Froude number was different. of course, in three-branch junction, main channel flow affects the separation zone, but in four-branch junction, deviation of the part of main channel flow to outlet lateral channel, tends to lessen these effects.

5. Six important references

1. Best, J. L. and I. Reid. 1984. Separation zone at open-channel junctions. *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, 110(11): 1588-1594.
2. Geberemariam, T. K. 2016. Numerical analysis of storm water flow conditions and separation zone at open-channel junctions. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 143(1): 1-9.
3. Gurram, S. K., K. S. Karki and W. H. Hager. 1997. Subcritical junction flow. *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, 123(5): 447-455.
4. Hosseini, S. H., D. Farsadzadeh and A. Hosseinzadeh Dalir, 2017. Experimental study of separation zone characteristics of flow in 90 degrees four-branch open channel junction with subcritical flow. *Journal of Water and Soil Conservation*, 24(3):167-183.
5. Ramamurthy, A.S., J. Qu and D. Vo. 2007. Numerical and experimental study of dividing open-channel flows. *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, 133(10): 1135-1144.
6. Ramos, P. X., L. Schindfessel, J. P. Pego and T. De Mudler. 2019. Influence of bed elevation discordance on flow patterns and head losses in an open-channel confluence. *Journal of Water Science and Engineering*, 12(3):235-243.