

شبیه‌سازی اثر اختلاف رقوم بستر بر الگوی جریان در محل تلاقی دو کانال با استفاده از مدل Flow-3D

توحید آقازاده سوره¹، محمد همتی^{2*}

تاریخ دریافت: 1396/1/27 تاریخ پذیرش: 1396/3/2

چکیده

دینامیک جریان در تلاقی رودخانه‌ها به دلیل ایجاد ناحیه جداشدگی جریان و الگوهای چرخشی ثانویه در پایین دست تلاقی پیچیده می‌باشد. هدف تحقیق حاضر بررسی سه بعدی اثر اختلاف رقوم بین دو شاخه و نسبت دبی بر دینامیک جریان در محل تلاقی آن‌ها با استفاده از مدل عددی Flow-3D می‌باشد. برای رسیدن به این هدف، چهار نسبت دبی (0/2، 0/33، 0/5 و 0/67) و چهار نسبت اختلاف رقوم (0، 0/1، 0/2 و 0/3) در یک تلاقی با زاویه 90 درجه مورد استفاده قرار گرفت. در این تحقیق پارامترهایی چون ابعاد ناحیه جداشدگی، الگوی جریان، تراز آب، لایه اختلاط و الگوی سرعت مورد مطالعه قرار گرفتند. نتایج تحقیق حاضر نشان داد که تغییر در تراز بستر دو کانال، الگوی جریان را تغییر خواهد داد؛ به طوری که اندازه ناحیه جداشدگی جریان در محل تلاقی‌های همکف و غیرهمکف متفاوت بود. ناحیه جداشدگی جریان در نزدیک بستر فقط برای تلاقی همکف مشاهده گردید و در حالت غیرهمکف این ناحیه اتفاق نیفتاد. با افزایش اختلاف رقوم نسبی، طول و عرض ناحیه جداشدگی به ترتیب افزایش و کاهش می‌یابد. همچنین با افزایش اختلاف رقوم، تراز آب در کانال اصلی (در بالادست تلاقی) افزایش و در شاخه فرعی کاهش می‌یابد. علاوه بر آن، افزایش اختلاف رقوم باعث افزایش انرژی تلاطمی جریان در تلاقی گردید که مقدار آن در تلاقی غیرهمکف (z/y₃=0.3) برابر همکف می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: انرژی تلاطم، تلاقی رودخانه، دینامیک جریان، لایه اختلاط

مقدمه

اتصال جریان در آبراهه‌ها، پدیده‌ای است که در رودخانه‌ها، کانال‌های زهکشی و سیستم‌های فاضلاب شهری بسیار اتفاق می‌افتد؛ به طوری که پیچیدگی این پدیده در رودخانه‌ها بیش‌تر از کانال‌ها می‌باشد (Rooney, 2014). محل تلاقی یکی از اجزای مهم ریخت‌شناسی سیستم‌های رودخانه‌ای می‌باشد که در آن به علت ورود جریان از شاخه فرعی به کانال اصلی، تغییرات سریع در سرعت و دبی جریان، دبی رسوب، شدت آشفتگی و در نهایت ریخت‌شناسی بستر اتفاق می‌افتد. ابعاد ناحیه جداشدگی جریان یکی از اصلی‌ترین مشخصه‌هایی است که در تلاقی رودخانه‌ها مورد توجه قرار می‌گیرد. زیرا ابعاد این ناحیه تاثیر مستقیمی بر روی ابعاد ناحیه رسوب‌گذاری در پایین دست تلاقی دارد. این ناحیه بلافاصله بعد از گوشه پایینی محل تلاقی در حین ورود جریان از شاخه فرعی به اصلی به وجود می‌آید (قبادیان، 1385). مطالعات صورت گرفته در زمینه تلاقی رودخانه‌ها

شامل مطالعات میدانی (Biron et al., 1993; Roy et al., 1988; Roy and Bergeron., 1990; Boyer et al., 2006 Best., 1988; Best and Roy., 1991; Biron et al., 1996; Guillén-Shafai-Bejestan and Hemmati., 2008 al., 1996; Ludeña et al., 2016; Nazari-Giglou et al., 2016; همکاران، 1385) و مطالعات مدل‌های ریاضی (Wang., 2007) می‌باشد. در ادامه به برخی مطالعات صورت گرفته در زمینه تلاقی رودخانه‌ها پرداخته می‌شود.

بایرون و همکاران با بررسی آزمایشگاهی تاثیر اختلاف رقوم کف روی دینامیک جریان با بستر صلب به این نتیجه رسیدند که الگوی خطوط جریان در اتصال‌های غیرهمکف به طور قابل ملاحظه‌ای با اتصال‌های همکف تفاوت دارد و جهت بردارهای سرعت در این اتصال‌ها بر خلاف تقاطع‌های همکف که موازی کف بوده به سمت سطح آب می‌باشد (Biron et al., 1996). مطالعات صحرائی بویر و همکاران در زمینه دینامیک اتصال رودخانه‌ها در تلاقی‌های غیرهمکف بر روی رودخانه‌های بایونه³ (شاخه اصلی) و

1- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد سازه‌های آبی دانشگاه ارومیه

2- استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه ارومیه

(Email: m.hemmati@urmia.ac.ir

*) نویسنده مسئول:

رودخانه‌های غیرهمکف ارایه دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که برای نسبت دبی‌های کم‌تر و بیش‌تر از 0/74، افزایش اختلاف رقوم به‌ترتیب باعث کاهش و افزایش عمق آبستتگی در محل تلاقی دو کانال گردید (Shafai-Bejestan and Hemmati, 2008).

محمدی و شفای بجهستان (1391) با بررسی اثر شعاع گردشگری لبه پایین‌دست کانال اتصال بر تغییرات تراز بستر گزارش دادند که با افزایش شعاع گردشگری، حداکثر عمق آبستتگی و ارتفاع پشته رسوبی به‌طور قابل ملاحظه‌ای کاهش یافت. نظری گیگلو و همکاران به بررسی آزمایشگاهی حمل رسوب در تلاقی رودخانه‌های همکف پرداختند. آن‌ها از سه زاویه ۵۰، ۷۰، ۹۰ درجه برای تلاقی دو کانال، سه نسبت عرض شاخه فرعی به اصلی برابر با 0/5، 0/75، و 1، چهار نسبت دبی شاخه فرعی به دبی کل برابر با 0/3، 0/4، 0/6 و 0/8 در بررسی‌های خود استفاده نمودند. نتایج آن‌ها نشان داد که با کاهش نسبت عرض، افزایش نسبت دبی و کاهش قطر رسوبات، عمق آبستتگی زیاد شد (Nazari-Giglou et al., 2016). قبادیان و بصیری با بررسی تأثیر انحنای لبه پایین‌دست تلاقی بر آبستتگی در تلاقی رودخانه‌های همکف با استفاده از مدل SSIIM گزارش دادند که عمق آبستتگی در انحنای ملایم ($\tau/\omega = 1$) شعاع قوس و w : عرض کانال فرعی) نسبت به انحنای تند ($\tau/\omega = 0.24$) در نسبت‌های دبی شاخه فرعی به دبی کل برابر با 0/5 و 0/66 به‌ترتیب 51 و 28 درصد کاهش یافت (Ghobadian and Basiri, 2015).

بررسی منابع مختلف حاکی از آن است که اینک مطالعات زیادی در زمینه الگوی جریان و رسوب در تلاقی رودخانه‌ها صورت گرفته است اما بیش‌تر آن‌ها در زمینه تلاقی‌های همکف بوده و تحقیقات صورت گرفته در تلاقی‌های غیرهمکف و شناخت هیدرودینامیک جریان در این نوع تلاقی‌ها کم‌تر مورد توجه محققان قرار گرفته است. مطالعه حاضر به بررسی تأثیر اختلاف رقوم بستر دو کانال بر الگوی جریان، ابعاد ناحیه جداشدگی جریان، تراز آب در شاخه‌های اصلی و فرعی در بالادست تلاقی، لایه اختلاط و توزیع سرعت در شرایط مختلف هیدرولیکی پرداخته است.

مواد و روش‌ها

معرفی مدل FLOW-3D

نرم‌افزار FLOW-3D یک نرم‌افزار قوی در زمینه دینامیک سیالات است. این نرم‌افزار معادلات حاکم بر سیال را با تقریب‌های حجم محدود حل می‌کند. در این نرم‌افزار تولید شبکه به دو روش کارترین و استوانه‌ای صورت می‌گیرد. FLOW-3D از یک شبکه متشکل از سلول‌های مستطیلی استفاده می‌کند که دارای مزایایی برای تولید آسان و نظم مناسب برای بهبود بخشیدن به شبیه‌سازی عددی است که به کم‌ترین ذخیره حافظه احتیاج دارد.

بردیر¹ (شاخه فرعی) در شمال شرقی مونترال² نشان داد که بیشینه مقدار سرعت در لبه کناری لایه برشی اتفاق می‌افتد. منظور از لایه برشی در واقع همان منطقه اطراف ناحیه حداکثر سرعت است که جهت بردارهای سرعت به سمت کف بستر می‌باشد. آن‌ها گزارش دادند که جابجایی لایه برشی که در نتیجه تغییر در نسبت مومنتم است، خصوصیات جریان در نزدیک کف، شدت حمل رسوب و شکل نواحی فرسایش و رسوب‌گذاری را تغییر می‌دهد (Boyer et al., 2006). بست بیان کرد که لایه برشی بین دو جریان همگرا که در طول آن گردابه‌های عمودی قوی‌تری شکل می‌گیرد، ایجاد می‌شود (Best, 1987). یوان و همکاران گزارش دادند در صورتی که نسبت دبی شاخه فرعی به کل دبی جریان کم باشد، لایه برشی به‌صورت عمودی از سطح آب به طرف بستر گسترش دارد و مقدار آن در جهت پایین‌دست و نزدیک بستر کاهش می‌یابد، اما برای نسبت دبی بیش‌تر، لایه برشی به صورت مایل بوده و محل آن منطبق با بیش‌ترین گرادیان سرعت می‌باشد (Yuan et al., 2016). دسررس و همکاران شدت بسیار بالایی از تلاطم و انرژی جنبشی را در لایه برشی مشاهده نمودند (De Serres et al., 1999). وانگ به بررسی سه بعدی تأثیر اختلاف رقوم بر روی دینامیک جریان در تلاقی‌های Y شکل با استفاده از مدل آشفتگی RNG (K- ϵ) پرداختند و گزارش دادند که نسبت دبی شاخه فرعی به دبی کل، فاکتور کنترلی مهمی است که بر روی ابعاد ناحیه جداشدگی جریان تأثیر می‌گذارد (Wang, 2007). علاوه بر آن نتایج وانگ (Wang, 2007) نشان داد که ناحیه جداشدگی در نزدیک کف برای تلاقی‌های غیرهمکف دیده نشد که مشابه با نتایج بایرون و همکاران (Biron et al., 1996) می‌باشد. رونیان به بررسی تأثیر زاویه تلاقی بر الگوی جریان در تلاقی کانال‌های مستطیلی همکف پرداخت. در این تحقیق از سه زاویه 30، 45 و 60 درجه استفاده شده است که نتایج آن نشان داد تغییر زاویه تلاقی باعث تغییر الگوی جریان در کانال اصلی و ابعاد ناحیه جداشدگی جریان در محل تلاقی گردید؛ به‌طوری که با افزایش زاویه تلاقی و کاهش نسبت دبی، ابعاد ناحیه جدا شدگی جریان افزایش یافت (Rooniyan, 2014). گوین لودنا و همکاران به بررسی اثر نسبت دبی و زاویه تلاقی دو کانال بر هیدرودینامیک تلاقی رودخانه‌های کوهستانی پرداختند. آن‌ها از دو زاویه 70 و 90 درجه در سه نسبت دبی شاخه فرعی به دبی کل برابر با 0/11، 0/15 و 0/23 در تحقیق خود استفاده نمودند. نتایج آن‌ها نشان داد که دبی بار بستر شاخه فرعی تأثیر بیش‌تری بر دینامیک جریان در این گونه تلاقی‌ها دارد (Guillén-Ludeña et al., 2016). شفای بجهستان و همتی فرمولی را جهت تخمین بیشینه عمق آبستتگی در محل تلاقی

معادلات حاکم

معادلات حاکم بر جریان در این نرم‌افزار شامل معادله پیوستگی، معادله مومنتم و معادله پروفیل سطح آزاد می‌باشد.

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left\{ uA_x \frac{\partial v}{\partial x} + vA_y R \frac{\partial v}{\partial y} + wA_z \frac{\partial v}{\partial z} \right\} \quad (4)$$

$$+ \xi \frac{A_y uv}{xV_F} = -\frac{1}{\rho} \left(R \frac{\partial \rho}{\partial y} \right) + G_y + f_y - b_y - \frac{R_{SOR}}{\rho V_F}$$

$$\frac{\partial w}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left\{ uA_x \frac{\partial w}{\partial x} + vA_y R \frac{\partial w}{\partial y} + wA_z \frac{\partial w}{\partial z} \right\} \quad (5)$$

$$= -\frac{1}{\rho} \left(R \frac{\partial \rho}{\partial y} \right) + G_z + f_z - b_z - \frac{R_{SOR}}{\rho V_F}$$

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 متخلخل و عبارت آخر سمت راست مربوط به تزریق جرم در سرعت صفر است.

معادله نیم‌رخ سطح آزاد

ترکیب سیال به صورت ترم‌های یک تابع حجم سیال، $F(x, y, z, t)$ تعریف می‌شود. این تابع معرف حجم واحد سیال بر واحد حجم بوده و به صورت معادله 6 تعریف می‌شود.

$$\frac{\partial F}{\partial t} + \frac{1}{v_F} \left[\frac{\partial}{\partial x} (FA_x u) + R \frac{\partial}{\partial y} (FA_y v) + \frac{\partial}{\partial z} (FA_z w) \right] = 0 \quad (6)$$

که در آن F وابسته به نوع مسئله‌ای است که مدل می‌شود. مسایل غیرقابل تراکم شامل یک سیال منفرد با سطح آزاد یا دو سیال با سطح مشترک است. برای یک سیال منفرد، F بیانگر جمع حجم اشغال شده توسط سیال است، بنابراین وقتی $F=1$ است سیال و وقتی $F=0$ است بیانگر عدم وجود سیال می‌باشد.

واسنجی و صحت‌سنجی نرم‌افزار Flow 3D

برای واسنجی و صحت‌سنجی نتایج نرم‌افزار از نتایج آزمایشگاهی قبادیان (1385) که در آزمایشگاه هیدرولیک دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز انجام گرفته بود، استفاده گردید (شکل 1). تراز آب در بالادست تلاقی در هر دو شاخه و ابعاد ناحیه جداشتگی جریان از جمله پارامترهایی است که برای صحت‌سنجی و واسنجی نرم‌افزار مورد استفاده قرار گرفتند. عرض کانال اصلی 35 سانتی‌متر، عرض کانال فرعی 25 سانتی‌متر، جنس دیواره‌ها و بدنه از نوع پلگسی‌گلاس، شیب کف هر دو کانال برابر با 0/0008 و زاویه اتصال دو کانال 90 درجه بود (شکل 1). لازم به ذکر است مقطع B-B در فاصله 1 سانتی‌متری از دیواره ساحل راست کانال اصلی قرار دارد و مقاطع شماره 1 تا 5 به ترتیب در نسبت فواصل (x/Lm) که در

معادله پیوستگی جریان

معادله پیوستگی جریان به طور کلی به صورت رابطه 1 نوشته می‌شود:

$$V_F \frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} (\rho u A_x) + R \frac{\partial}{\partial y} (\rho v A_y) \quad (1)$$

$$+ \frac{\partial}{\partial z} (\rho w A_z) + \xi \frac{\rho u A_x}{x} = R_{DIF} + R_{SOR}$$

که V_F کسر حجمی فضای باز به جریان، ρ دانسیته سیال، u, v, w به ترتیب مربوط به سرعت جریان در راستای x, y, z و A_x, A_y, A_z به ترتیب مقادیر نسبت مساحت در راستای x, y, z و R و ξ مربوط به سیستم مختصات انتخابی، R_{SOR} یک ترم مربوط به دانسیته است که به عنوان مثال برای مدل‌سازی تزریق جرم از خلل و فرج یک دیواره استفاده می‌شود و R_{DIF} تابع دیفیوژن می‌باشد. در سیستم مختصاتی کارترین مقادیر R و ξ به ترتیب برابر با 1 و 0 در نظر گرفته می‌شود. ترم اول در طرف راست معادله پیوستگی جریان، برابر با ترم پخش آشفستگی است:

$$R_{DIF} = \frac{\partial}{\partial x} (v_F A_x \frac{\partial \rho}{\partial x}) + \quad (2)$$

$$R \frac{\partial}{\partial x} (v_F A_y \frac{\partial \rho}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z} (v_F A_z \frac{\partial \rho}{\partial z}) + \xi \frac{\rho v_F A_x}{x}$$

ضرایب پخش به صورت $v_F = \frac{\mu C_F}{\rho}$ بیان می‌شود که μ

برابر ضریب پخش مومنتم و C_F ضریبی است که معکوس آن عدد آشفستگی اشمیت نامیده می‌شود که این نوع پخش جرم تنها برای فرایندهای اختلاط آشفستگی در سیالاتی که دارای گرادیان غیریکنواخت چگالی هستند، کاربرد دارد.

معادلات مومنتم

معادلات حرکت از حل معادلات ناویر-استوکس حاصل می‌شوند (رابطه‌های 3-5)

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left\{ uA_x \frac{\partial u}{\partial x} + vA_y R \frac{\partial u}{\partial y} + wA_z \frac{\partial u}{\partial z} \right\} \quad (3)$$

$$- \xi \frac{A_y v^2}{xV_F} = -\frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial \rho}{\partial x} \right) + G_x + f_x - b_x - \frac{R_{SOR}}{\rho V_F}$$

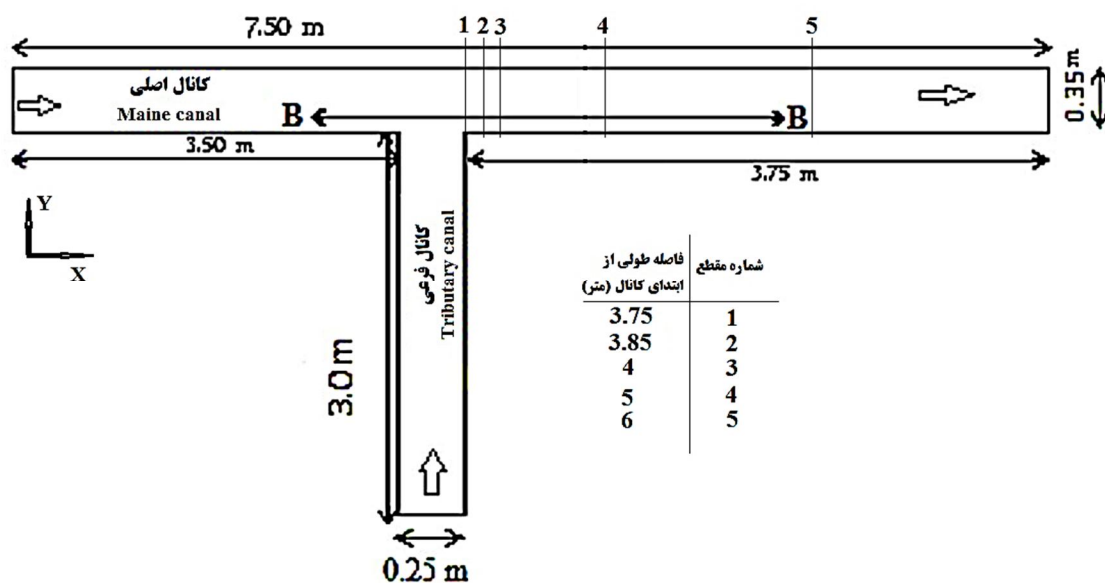
گرفتند. نتایج صحت‌سنجی نشان داد که اندازه شبکه مدل، زبری و نوع مدل تلاطمی به درستی انتخاب شده‌اند که نتایج آن در جدول 1 ارایه شده است. همان‌طور که در این جدول ملاحظه می‌گردد مقادیر درصد خطا بین نتایج آزمایشگاهی و شبیه‌سازی در محاسبه نسبت عمق آب در بالادست کانال اصلی به عمق آب در پایین‌دست تلاقی (H_u/H_3) ، نسبت عمق آب در کانال فرعی به عمق آب در پایین‌دست تلاقی (H_f/H_3) و نسبت طول ناحیه جدانشدگی جریان به عرض آبراهه اصلی (L/B_3) کم‌تر از 13 درصد و قابل قبول بود. واسنجی و صحت‌سنجی برای زاویه تلاقی 90 درجه و عدد فرود 0/26 انجام گرفته است. پارامترها و محدوده تغییرات تحقیق حاضر در جدول 2 ارایه شده است. اندازه‌گیری ابعاد ناحیه جدانشدگی جریان در پایین‌دست تلاقی در مدل فیزیکی با استفاده از تزریق ماده رنگی صورت گرفته است.

یکی از معیارهایی که با آن می‌توان شرایط آزمایشگاهی را با شرایط صحرایی در تلاقی رودخانه‌ها مقایسه نمود، نسبت اختلاف رقم بستر دو کانال بر عمق پایاب در کانال اصلی (z/y_3) و نسبت دبی (Q_f) می‌باشد (همتی، 1387). نسبت (z/y_3) برای آزمایش‌های آزمایشگاهی بایرون و همکاران (Biron et al., 1996) برابر با 0/19، آزمایش‌های صحرایی بایرون و همکاران (Biron et al., 1993) در محدوده 0/6 الی 0/7، در مطالعه آزمایشگاهی وانگ (Wang, 2007) برابر با 0/17 و 0/2، در تحقیق صحرایی بویر و همکاران (Boyer et al., 2006) در محدوده 0/36 الی 0/53 و در آزمایش‌های آزمایشگاهی همتی و شفافی بجزستان (1388) در محدوده 0/11 الی 0/46 قرار داشت.

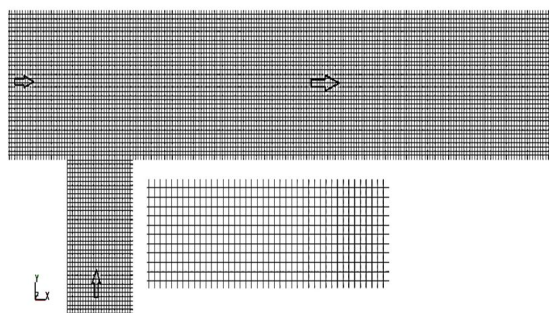
آن x فاصله طولی مقطع از ابتدای کانال و L_m طول کل کانال اصلی می‌باشد) برابر با 0/500، 0/513، 0/533، 0/667 و 0/800 از کانال اصلی قرار دارند که موقعیت آن‌ها به‌طور کامل در شکل 1 مشخص است.

شرایط مرزی در ورودی شاخه‌های اصلی و فرعی به‌صورت دبی حجمی و در پایین‌دست تلاقی در کانال اصلی، تراز سطح آب (عمق پایاب) به‌عنوان مرز خروجی در نظر گرفته شد. همچنین شرط مرزی دیواره به مرزهای صلب میدان اعمال شده و دیواره‌ها از لحاظ هیدرولیکی صاف در نظر گرفته شده‌اند و برای سطح آب از شرط مرزی تقارن استفاده شد. تولید شبکه محاسباتی بعد از ساخت سه‌بعدی هندسه مدل در نرم‌افزار اتوکد و انتقال آن به نرم‌افزار شبیه‌سازی، انجام گرفت. شبکه‌بندی بعد از اطمینان از صحت نتایج و آزمون استقلال حل عددی از شبکه محاسباتی صورت گرفت و در نهایت 410000 سلول محاسباتی انتخاب شد. در شکل 2 نمونه‌ای از شبکه محاسباتی ایجاد شده و تلاقی دو کانال با زاویه 90 درجه نشان داده شده است.

در این تحقیق از سه اندازه شبکه (1، 1/1 و 1/2) سانتی‌متر، از سه ضریب زبری مایننگ (0/0075، 0/0085 و 0/0095)، و دو مدل تلاطمی (RNG و K-ε استاندارد) که در مجموع 18 آزمایش مختلف برای واسنجی مدل عددی استفاده شد. نتایج بدست آمده نشان داد که اندازه شبکه 1 سانتی‌متری، زبری 0/0085 و مدل تلاطمی RNG با تعداد شبکه 410000 مناسب‌ترین اندازه شبکه بود که نتایج آن با نتایج آزمایشگاهی مطابقت بیشتری داشت. بنابراین مقادیر مذکور این پارامترها برای صحت‌سنجی مورد استفاده قرار



شکل 1 - موقعیت هندسی کانال‌های اصلی و فرعی در فلوم آزمایشگاهی



شکل 2- نمایی از شبکه محاسباتی

جدول 1- درصد خطاهای صحت‌سنجی

درصد خطا بین نتایج آزمایشگاهی و شبیه‌سازی شده*			نسبت دبی شاخه فرعی به دبی کل (Q_r)
L/B_3	H_p/H_d	H_1/H_d	
12	3/7	2/9	0/20
4/7	0/2	1/6	0/33
1/4	0/75	1/3	0/50

*: درصد خطای نسبی از رابطه $(E\%) = \frac{x_p - x_o}{x_o} \times 100$ که در آن اندیس‌های p و o به ترتیب مقادیر پیش‌بینی و مشاهده‌ای است، محاسبه شد.

جدول 2- پارامترها و محدوده تغییرات آنها

محدوده تغییرات	پارامتر
0/20, 0/33, 0/50, 0/67	نسبت دبی شاخه فرعی به دبی کل (Q_r)
0, 0/1, 0/2, 0/3	نسبت اختلاف رقوم (z/y_3)
90	زاویه تلاقی (درجه)

کند که به ناحیه جداشدگی جریان که اندازه آن در سطح آب بیش‌تر است وارد گردید. علاوه بر آن اختلاف رقوم تا حد زیادی شدت جریان ثانویه را در پایین‌دست تلاقی افزایش داده است. این نتایج مشابه نتایج بایرون و همکاران (Biron et al., 1996) و وانگ (Wang, 2007) است.

این پدیده در نزدیک سطح آب متفاوت از نزدیک بستر بود. در تلاقی‌های همکف، ناحیه جداشدگی جریان در نزدیک سطح آب (شکل 4 الف) با نزدیک بستر (شکل 3 الف) یکسان بود. اما در تلاقی‌های غیرهمکف، ناحیه جداشدگی جریان فقط در نزدیک سطح آب قابل مشاهده بود (شکل 4 ب - 4 د). همچنین کاملاً مشهود است که در تلاقی‌های غیرهمکف جریان بعد از برخورد به دیواره مقابل به سمت بالا و دیواره ساحل راست تلاقی در کانال اصلی منحرف شده که این امر موجب کاهش طول ناحیه جداشدگی جریان و افزایش عرض ناحیه جداشدگی جریان در نزدیک سطح آب شده است (شکل 4 ب - 4 د). با افزایش اختلاف رقوم، مومنتم شاخه فرعی زیاد گردید و جریان پس از برخورد به دیواره مقابل برگشت داده شد. این امر باعث تغییر در الگوهای فرسایش و رسوب‌گذاری در این نوع تلاقی‌ها خواهد

اما این نسبت در تحقیق حاضر در محدوده 0/1 الی 0/3 می‌باشد که مشابه و یا کم‌تر از آن چه که در شرایط صحرائی اتفاق می‌افتد. نسبت دبی در تحقیق حاضر نیز در محدوده گزارش شده برای رودخانه‌های طبیعی (0/27 تا 0/68) قرار دارد (Boyer et al., 2006; Rhoads and Sukhodolov., 2008).

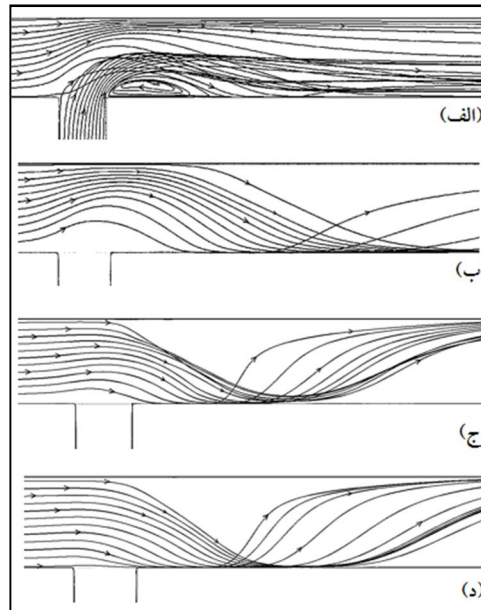
نتایج و بحث

اثر اختلاف رقوم دو کانال بر الگوی جریان

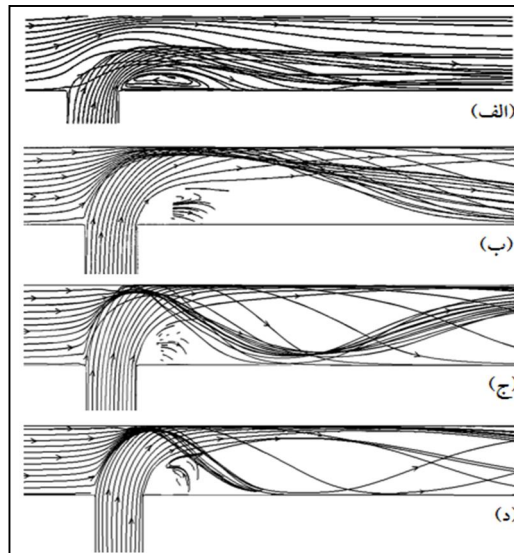
نتایج بررسی‌های تحقیق حاضر حاکی از وجود تفاوت در ابعاد ناحیه جداشدگی جریان در تلاقی‌های همکف و غیرهمکف در نزدیک بستر بود. شکل‌گیری ناحیه جداشدگی جریان در تلاقی همکف کاملاً مشهود بود (شکل 3 الف) اما این ناحیه در تلاقی‌های غیرهمکف مشاهده نشد (شکل‌های 3 ب تا 3 د). زیرا مومنتم کم جریان در نزدیک کف به‌وسیله وجود فشار کف به سمت کناره کشیده شده است؛ به عبارت دیگر ناحیه جداشدگی در بستر محدود گردید. به محض رسیدن جریان به کناره (دیواره)، سیال مجبور شد به سمت بالا حرکت

برخورد کرد. خطوط جریان رسم شده توسط نرم افزار Flow-3D در شکل های 3 و 4 به صورت الگوی سه بعدی در پلان رسم شده است و این خطوط به هیچ عنوان یکدیگر را قطع نکرده اند. بردارهای سرعت در مقطع طولی کانال اصلی در فاصله 1 سانتی متری از دیواره ساحل راست در شکل 5 نشان داده شده است.

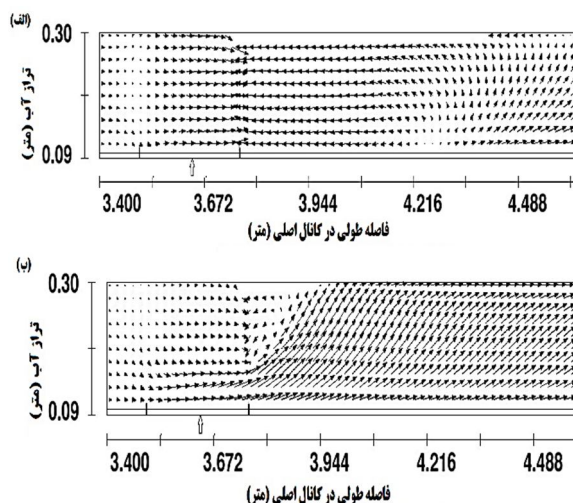
شد. در تلاقی های همکف، جریان ورودی از شاخه فرعی در نزدیکی سطح آب باعث انحراف کم جریان شاخه اصلی در بالادست تلاقی گردید که شدت آن در تلاقی های غیرهمکف شدیدتر بود (شکل 4). نتایج مطالعه شفاعی بجستان و همتی (Shafai-Bejestan and Hemmati., 2008) نشان داد که با افزایش اختلاف رقوم دو شاخه، چاله فرسایشی در سمت ساحل مقابل اتفاق افتاد و جریان به دیواره



شکل 3- تاثیر اختلاف رقوم دو کانال بر خطوط جریان در نزدیکی کف کانال در نسبت دبی 0/67 برای (الف): $z/y_3=0$ ، (ب): $z/y_3=0.1$ ، (ج): $z/y_3=0.2$ و (د): $z/y_3=0.3$



شکل 4- تاثیر اختلاف رقوم دو کانال بر خطوط جریان در نزدیکی سطح آب در نسبت دبی 0/67 برای (الف): $z/y_3=0$ ، (ب): $z/y_3=0.1$ ، (ج): $z/y_3=0.2$ و (د): $z/y_3=0.3$



شکل 5- الگوی سرعت در مقطع طولی (B-B) کانال اصلی در نسبت دبی 0/67، برای (الف): $z/y_3=0$ ، (ب): $z/y_3=0.3$

بستر شکل گرفته است که در تلاقی همکف و غیرهمکف با اختلاف رقوم نسبی برابر با 0/3 این ناحیه مشاهده نشد. همچنین با افزایش اختلاف رقوم، ناحیه اختلاط به سمت ساحل مقابل شاخه فرعی گسترش و از نظر مقدار نیز انرژی جنبشی تلاطمی افزایش یافت. حداکثر مقدار انرژی تلاطمی در تلاقی همکف 0/0172 بوده و برای اختلاف رقوم‌های نسبی برابر با 0/1، 0/2 و 0/3 به ترتیب 0/0221، 0/0223 و 0/0232 می‌باشد. به عبارت دیگر مقدار انرژی جنبشی تلاطمی در اختلاف رقوم نسبی 0/3، 1/34 برابر مقدار آن در تلاقی همکف است. لایه اختلاط در تلاقی غیرهمکف در وسط کانال شکل گرفته و گرادیان انرژی جنبشی تلاطمی در اتصال‌های غیرهمکف بیش‌تر از همکف است (شکل 6). این امر بیانگر آن است که اختلاف رقوم دو شاخه باعث افزایش شدت اختلاط به‌ویژه در نزدیک سطح آب و در سمت شاخه فرعی شده است.

نتایج انرژی جنبشی تلاطمی برای تلاقی همکف در شکل 7 در مقاطع مختلف نشان دهنده آن است که درست در گوشه پایین‌دست تلاقی (مقطع شماره 1 در شکل 1)، مقدار انرژی جریان تلاطمی در نزدیک بستر و در سمت شاخه فرعی بیش‌تر است. در پایین‌دست آن (مقطع شماره 2) لایه اختلاط به‌صورت عمودی تا نزدیک بستر گسترش یافته و با حرکت به سمت پایین‌دست (مقاطع شماره 4 و 5)، ابعاد لایه اختلاط بزرگ و به سمت مرکز کانال توسعه یافته است (شکل 7). اما توزیع انرژی جنبشی تلاطمی در تلاقی غیرهمکف (0/3 $z/y_3=0$) متفاوت از تلاقی همکف است؛ به‌طوری‌که لایه اختلاط با حرکت به سمت پایین‌دست تلاقی به سمت ساحل چپ کانال اصلی گسترش یافت (شکل 8). همچنین الگوهای جریان ثانویه در این نوع تلاقی‌ها متفاوت از تلاقی‌های همکف است. در تلاقی همکف در مقاطع شماره 1 و 2 جهت جریان به سمت ساحل چپ کانال اصلی و در مقاطع شماره 4 و 5 دو نوع گردابه پاد ساعتگرد در سمت دیواره

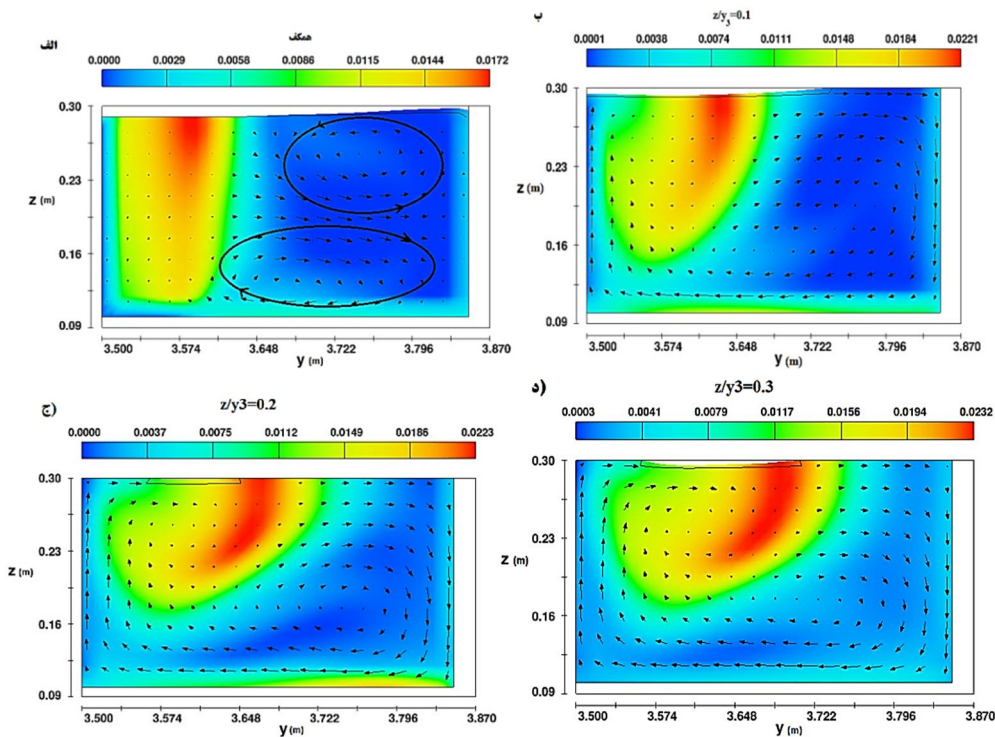
در تلاقی همکف (شکل 5 الف) بردارهای سرعت در پایین‌دست تلاقی در خلاف جهت جریان اصلی و موازی بستر بوده و این امر از بستر کانال تا سطح آب یکسان است. اما در تلاقی‌های غیرهمکف این الگو متفاوت بوده و جهت بردارهای سرعت به سمت سطح آب بود و ناحیه جداشدگی جریان (ناحیه چرخشی) از بالای بستر شروع و در نزدیک بستر ناحیه جداشدگی اتفاق نیفتاد (شکل 5 ب). در این شکل‌ها موقعیت طولی محل اتصال شاخه فرعی به اصلی در فاصله 3/4 الی 4/76 متری از ابتدای کانال اصلی که مربوط به مقطع B-B در شکل 1 است.

تأثیر اختلاف رقوم بر لایه اختلاط

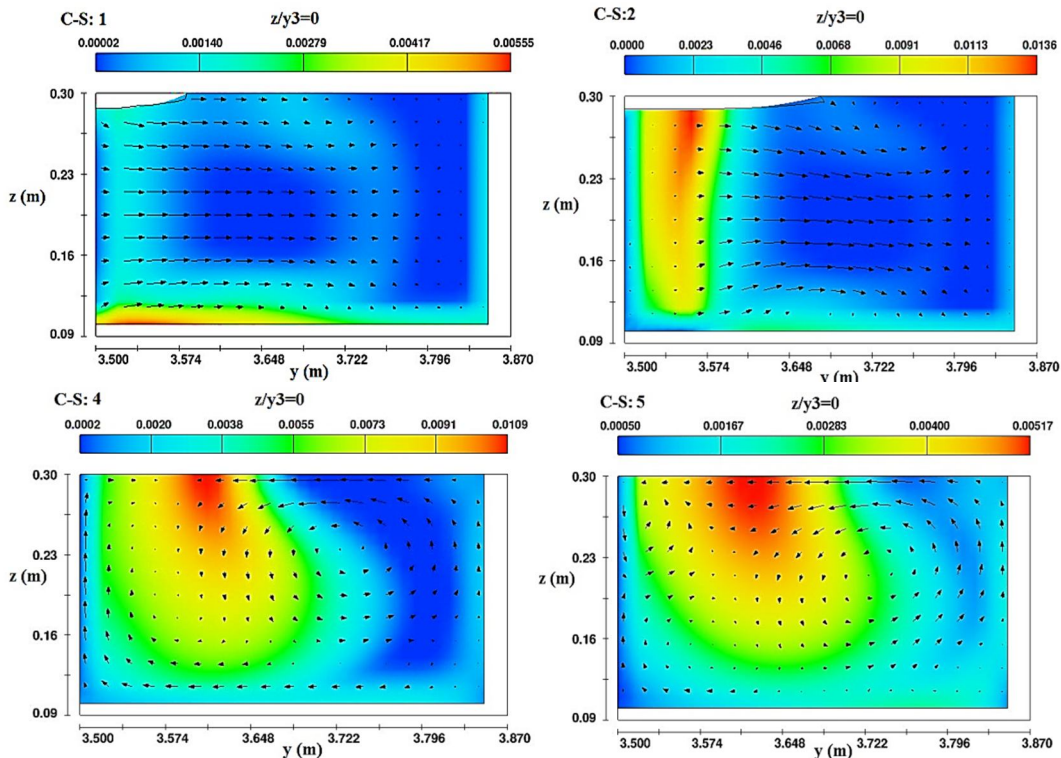
در مجاری روباز، افزایش انرژی جنبشی متلاطم نشان دهنده وجود لایه اختلاط است (Biron et al., 1996). محل لایه اختلاط در نواحی که مقدار انرژی تلاطمی بیش‌تر است، تعیین گردید (Sukhodolov and Rhoads, 2001). توزیع انرژی تلاطمی در مقاطع، بیانگر ساختار متوسط زمانی از تلاطم در تلاقی است. در تلاقی همکف ناحیه با انرژی جنبشی تلاطمی زیاد در سمت شاخه فرعی و در سطح آب بوده که به‌صورت عمودی تا نزدیک بستر ادامه یافته است (شکل 6 الف). این مورد در تلاقی غیرهمکف با وجود اینکه حداکثر مقدار آن در نزدیک سطح آب است اما گسترش این ناحیه تا نزدیکی بستر ادامه نیافته است و با افزایش اختلاف رقوم نسبی، علاوه بر اینکه ناحیه مذکور از بستر فاصله گرفته بلکه به صورت مایل گسترش یافته است (شکل 6). نتایج یوان و همکاران (Yuan et al., 2016) نشان داد که در تلاقی همکف برای نسبت دبی برابر با 0/4، گسترش لایه اختلاط (لایه برشی) به‌صورت عمودی و برای نسبت دبی 0/6 به‌صورت مایل اتفاق افتاده است. در دو اختلاف رقوم نسبی برابر با 0/1 و 0/2، یک ناحیه اختلاط نیز بر روی

غیرهمکف متفاوت است؛ بطوریکه در کلیه مقاطع گردابه‌های ساعتگرد شکل گرفته است (شکل 8).

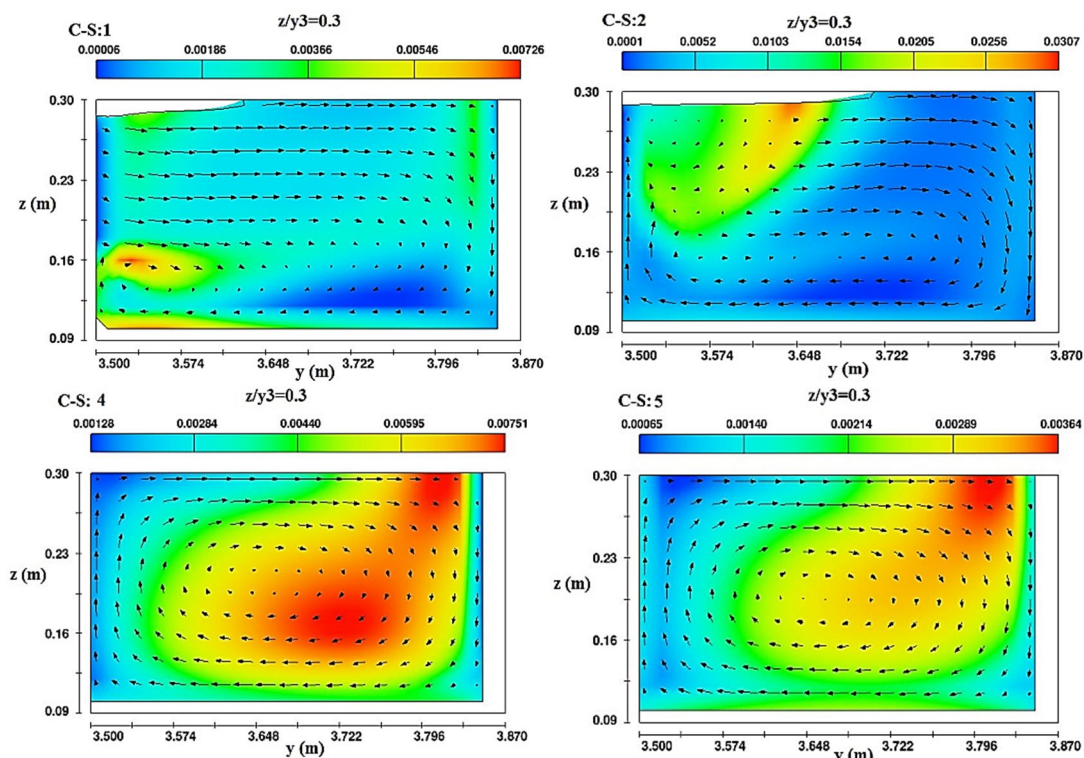
چپ کانال اصلی و گردابه ساعتگرد در سمت ساحل راست کانال اصلی شکل گرفت (شکل 7). اما الگوهای جریان ثانویه در تلاقی



شکل 6- انرژی جنبشی تلاطمی در نسبت دبی 0/67 در مقطع شماره (4) برای الف): تلاقی همکف، ب): $z/y_3=0.1$ ، ج): $z/y_3=0.2$ و د): $z/y_3=0.3$



شکل 7- انرژی جنبشی تلاطمی در نسبت دبی 0/67 برای تلاقی همکف در مقاطع مختلف



شکل 8- انرژی جنبشی تلاطمی در نسبت دبی 0/67 برای تلاقی غیرهمکف ($z/y_3=0.3$) در مقاطع مختلف

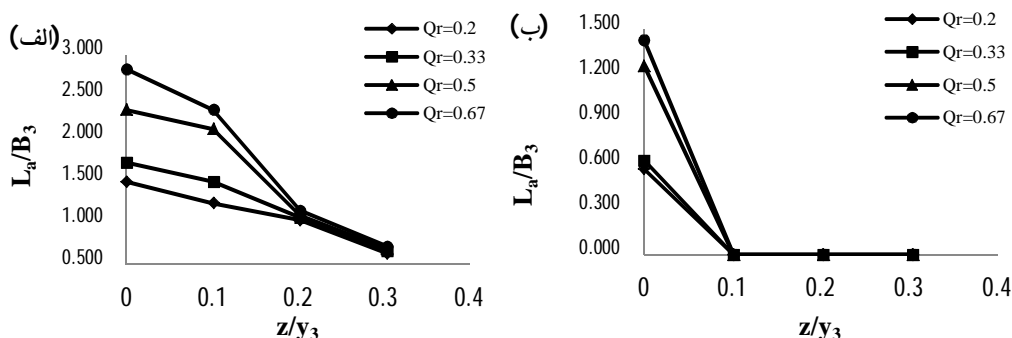
غیرهمکف در نزدیکی کف کانال ناحیه جداشدگی مشاهده نشد و عرض ناحیه جداشدگی در نزدیکی بستر برابر با صفر بود (شکل 10-ب).

نسبت عرض به طول ناحیه جداشدگی جریان (H/L) به عنوان شاخص شکل جدایی جریان تعریف شد که نتایج آن در شکل 11 نشان داده شده است. با افزایش اختلاف رقوم، مقدار شاخص شکل جدایی به صورت توانی افزایش یافت. زیرا با افزایش اختلاف رقوم، مومنتم شاخه فرعی افزایش و جریان به صورت یک جت به سمت ساحل روبرو (ساحل چپ کانال اصلی) برخورد کرد که در نتیجه آن عرض ناحیه جداشدگی جریان افزایش یافت. علاوه بر آن جریان شاخه فرعی پس از برخورد به دیواره مقابل به سمت ساحل راست کانال اصلی در پایین دست تلاقی برگشت داده شد و این امر باعث کاهش طول ناحیه جداشدگی جریان گردید. مقدار شاخص شکل جدایی جریان در تلاقی‌های همکف برای مطالعات قبادیان (1385) 0/19، موسوی و گودرزی‌زاده (1390) 0/18، بست و رید (Best and Reid., 1984) 0/20 و در تحقیق حاضر برای تلاقی همکف در حدود 0/14 و برای تلاقی‌های غیرهمکف با اختلاف رقوم‌های نسبی 0/1، 0/2 و 0/3 به ترتیب برابر با 0/12، 0/20 و 0/37 تعیین شدند. علت وجود اختلاف بین داده‌های تحقیق حاضر و محققان دیگر در تلاقی همکف به مواردی چون نسبت عرض شاخه فرعی به اصلی، عدد فرود جریان و شرایط دیگر ارتباط دارد.

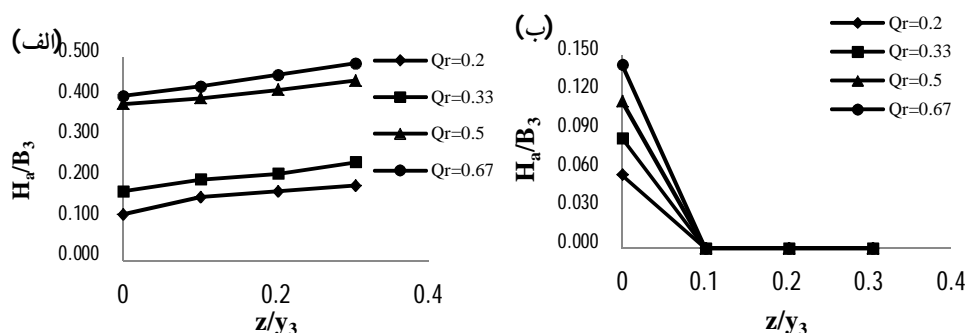
تأثیر اختلاف رقوم بر ابعاد ناحیه جداشدگی جریان

نتایج مربوط به تأثیر اختلاف رقوم دو کانال بر طول نسبی ناحیه جداشدگی جریان در نزدیک سطح آب در شکل 9 نشان داده شده است. در تلاقی‌های همکف، طول ناحیه جداشدگی جریان بیش‌تر از تلاقی‌های غیرهمکف مشاهده شد که با افزایش اختلاف رقوم کانال فرعی نسبت به کانال اصلی (z/y_3)، طول ناحیه جداشدگی کاهش یافت. به‌طوریکه طول نسبی ناحیه جداشدگی جریان در نزدیک سطح آب و در نسبت دبی 0/67 برای تلاقی‌های همکف در حدود 3 برابر آن در تلاقی غیرهمکف با z/y_3 برابر با 0/3 اتفاق افتاد (شکل 9 الف). این روند در نزدیک بستر بسیار متفاوت از نزدیک سطح آب بود. مقدار طول نسبی ناحیه جداشدگی جریان در نزدیک بستر در تلاقی‌های غیرهمکف صفر بود؛ به بیان دیگر ناحیه جداشدگی جریان در تلاقی‌های غیرهمکف رخ نداد (شکل 9-ب).

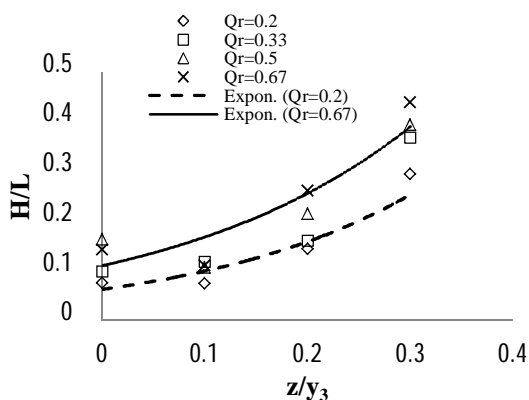
نتایج مربوط به تأثیر اختلاف رقوم دو کانال بر عرض ناحیه جداشدگی جریان در نزدیک سطح آب در شکل (10-الف) بیانگر افزایش آن با افزایش اختلاف رقوم نسبی بود. با افزایش اختلاف رقوم، عرض ناحیه جداشدگی زیاد شد. زیرا با افزایش اختلاف رقوم مومنتم شاخه فرعی زیاد و جریان از گوشه پایین دست تلاقی فاصله گرفت که این امر باعث افزایش عرض ناحیه جداشدگی جریان گردید. در نتیجه سطح مقطع عبوری جریان کاهش یافت که این امر باعث افزایش سرعت جریان در این ناحیه خواهد شد. در تلاقی‌های



شکل 9- تاثیر اختلاف رقوم نسبی دو کانال بر طول نسبی ناحیه جدشدگی جریان، (الف): در نزدیکی سطح آب، (ب): در نزدیکی بستر.



شکل 10- تاثیر اختلاف رقوم نسبی دو کانال بر عرض نسبی ناحیه جدشدگی جریان در نزدیکی سطح آب (الف) و در نزدیکی بستر (ب).



شکل 11- تاثیر اختلاف رقوم نسبی دو کانال بر شاخص شکل ناحیه جدشدگی جریان در نزدیکی سطح آب

فرعی ناشی از افزایش مومنتم و اختلاف رقوم می‌باشد.

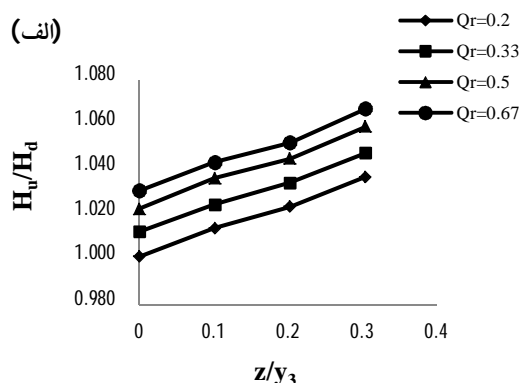
نتیجه‌گیری

در این مقاله به بررسی عددی تاثیر اختلاف رقوم کانال فرعی و کانال اصلی بر الگوی جریان در یک اتصال 90 درجه در شرایط مختلف هیدرولیکی پرداخته شد. نتایج تحقیق حاضر نشان داد که: الگوی جریان در تلاقی‌های همکف و غیرهمکف به‌ویژه در نزدیک بستر بسیار متفاوت مشاهده شد.

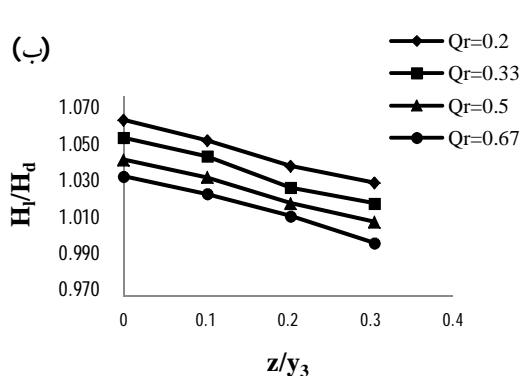
تاثیر اختلاف رقوم دو کانال بر بالا آمدگی تراز آب

نتایج مربوط به تاثیر اختلاف رقوم دو کانال بر بالا آمدگی نسبی تراز آب در بالادست کانال‌های اصلی و فرعی بیانگر آن است که با افزایش اختلاف رقوم، تراز آب در بالادست کانال فرعی کاهش (شکل 12-ب) و در بالادست کانال اصلی افزایش (شکل 12-الف) یافت. علت این امر آن است که با افزایش رقوم، مومنتم شاخه فرعی زیاد شده و عرض ناحیه جدشدگی جریان زیاد می‌گردد و جریان مجبور است از سطح مقطع کوچک‌تری عبور نماید که این امر باعث پس‌زدگی آب در کانال اصلی می‌شود. پایین افتادگی تراز آب در کانال

در تلاقی‌های همکف ناحیه جداشدگی جریان با اندازه یکسان در نزدیک بستر و نزدیک سطح آب مشاهده شد.



در تلاقی‌های غیرهمکف ناحیه جداشدگی جریان در نزدیک بستر مشاهده نگردید اما در سطح آب این ناحیه قابل ملاحظه بود.



شکل 12 - تاثیر اختلاف رقوم نسبی دو کانال بر تراز نسبی سطح آب در شاخه اصلی در بالادست تلاقی (الف) و در شاخه فرعی (ب).

شرایط جریان زیر بحرانی. مجله تحقیقات منابع آب ایران. 2.2: 67-77.

محمدی، س. و شفافی بجستان، م. 1391. بررسی تاثیر شعاع گردشگی لبه پایین دست کانال اتصال بر تغییرات تراز بستر. مجله پژوهش آب ایران. 10.6: 123-130.

موسوی جهرمی، س. ح. و گودرزی زاده، ر. 1390. شبیه‌سازی عددی الگوی جریان در تلاقی کانال‌های باز. مجله علوم و مهندسی آبیاری. 34: 61-70.

همتی، م. 1387. بررسی تاثیر اختلاف رقوم بستر دو کانال بر میزان آبستنگی در محل تلاقی رودخانه‌ها. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز.

همتی، م. و شفافی بجستان، م. 1388. بررسی آزمایشگاهی الگوی فرسایش و رسوب‌گذاری در محل تلاقی رودخانه‌های غیرهمکف. مجله تحقیقات منابع آب ایران. 1.5: 69-77.

Best, J.L. 1987. Flow dynamics at river channel confluences: implications for sediment transport and bed morphology. In: Ethridge, F.G., Flores, R.M., Harvey, M.D. (Eds.), Recent Developments in Fluvial Sedimentology. Special Publications of the Society of Economic Paleontologists and Mineralogists (SEPM). 39: 27-35.

Best, J.L. 1988. Sediment transport and bed morphology at river channel confluences. Sedimentology. 35.3: 481-498.

Best, J.L. and Reid, I. 1984. Separation zone at open-channel junctions. Journal of Hydraulic Engineering. 110.11: 1588-1594.

Best, J.L. and Roy, A.G. 1991. Mixing-layer distortion at the confluence of channels of different depth.

با افزایش اختلاف رقوم نسبی، طول ناحیه جداشدگی جریان کاهش و عرض ناحیه جداشدگی جریان افزایش یافت. به‌عنوان نمونه طول نسبی ناحیه جداشدگی جریان در نزدیک سطح آب و در نسبت دبی 0/67 برای تلاقی‌های همکف در حدود 3 برابر آن در تلاقی غیرهمکف با z/y_3 برابر با 0/3 اتفاق افتاد.

با افزایش اختلاف رقوم نسبی، تراز آب در بالادست کانال اصلی افزایش و در کانال فرعی کاهش یافت.

با افزایش اختلاف رقوم نسبی، مومنتم شاخه فرعی زیاد شد و جریان به دیواره مقابل برخورد کرد که این امر فرسایش دیواره مقابل و جابجایی تلاقی را در پی خواهد داشت.

جهت بردارهای سرعت در ناحیه جداشدگی جریان در تلاقی‌های همکف موازی بستر و در تلاقی‌های غیرهمکف به سمت سطح آب مشاهده شد.

متوسط شاخص شکل جدایی جریان در تلاقی همکف در حدود 0/14 و برای تلاقی‌های غیرهمکف با اختلاف رقوم‌های نسبی 0/1، 0/2 و 0/3 به ترتیب برابر با 0/12، 0/20 و 0/37 تعیین شد.

با افزایش اختلاف رقوم دو کانال میزان انرژی تلاطمی افزایش یافت؛ به‌طوری‌که مقدار آن از 0/0172 برای تلاقی همکف تا 0/0232 در تلاقی غیرهمکف ($z/y_3=0/3$) افزایش یافت.

منابع

قبادیان، ر. 1385. بررسی الگوی جریان، فرسایش و رسوب‌گذاری در تلاقی رودخانه‌ها. رساله دکتری سازه‌های آبی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز.

قبادیان، ر.، شفافی بجستان، م. و موسوی جهرمی، س. ح. 1385. بررسی آزمایشگاهی جداشدگی جریان در محل تلاقی رودخانه‌ها برای

- different hydrological conditions. *Earth Surface Process and Landforms*. 40:2.252-271.
- Rhoads, B.L. and Sukhodolov, A.N. 2008. Lateral momentum flux and the spatial evolution of flow with in a confluence mixing interface. *Water Resource Research*. 44:8.1-17.
- Rooniyan, F. 2014. The Effect of confluence angle on the flow pattern at a rectangular open-channel. *Journal of Engineering, Technology and Applied Science Research*. 4:1.576-580.
- Roy, A.G., Roy, R., Bergeron, N. 1988. Hydraulic geometry and changes in flow velocity at a river confluence with coarse bed material. *Earth surface Processes and Landforms*. 13:7.583 – 598.
- Roy, A.G. and Bergeron, N. 1990. Flow and particle paths at a natural river confluence with coarse bed material. *Geomorphology*. 3:2.99-112.
- Shafai-Bejestan, M. and Hemmati, M. 2008. Scour depth at river confluence of unequal bed level. *Journal of applied sciences*. 8:9.1766-1770.
- Wang, X. G. and Yan, Z.M. 2007. Three-dimensional simulation for effects of bed discordance on flow dynamics at y-shaped open channel confluences. *Journal of hydrodynamics*. 19:5.587-593.
- Yuan, S., Tang, H., Xiao, Y., Qiu, X., Zhang, H. and Yu, D. 2016. Turbulent flow structure at a 90-degree open channel confluence: Accounting for the distortion of the shear layer. *Journal of Hydro-environment Research*. 12: 130-147.
- Sukhodolov, A.N. and Rhoads, B.L. 2001. Field investigation of three-dimensional flow structure at stream confluences: 2. Turbulence. *Water Resource Research*. 37: 2411–2424.
- Nature. 350: 411-413.
- Biron, P.M., Roy, A.G., Best, J.L. and Boyer, C.J. 1993. Bed morphology and sedimentology at the confluence of unequal depth channels. *Geomorphology*. 8:2-3. 115-129.
- Biron, P.M., Best, J. and Roy, A.G. 1996. Effect of bed discordance on flow dynamics at open channel confluences. *Journal of Hydraulic Engineering*. 122:12. 676 - 682.
- Boyer, C., Roy, A.G. and Best, J.L. 2006. Dynamics of a river channel confluence with discordant beds: Flow turbulence, bed load sediment transport, and bed morphology. *Journal of Geophysical Research-Earth*. 111.F4:1-22.
- De Serres, B., Roy, A.G., Biron, P. and Best, J.L. 1999. Three-dimensional flow structure at a river channel confluence with discordant beds. *Geomorphology* 26.4: 313–335.
- Ghobadian, R. and Basiri, M. 2015. The effect of downstream curved edge on local scouring at 60 degree open channel junction using SSIIM1 model. *Ain Shams Engineering Journal*. 7:2. 543-552.
- Guillén-Ludeña, S., Franca, M.J., Cardoso, A.H. and Schleiss, A.J. 2016. Evolution of the hydro morphodynamics of mountain river confluences for varying discharge ratios and junction angles. *Geomorphology*. 255: 1-15.
- Nazari-Giglou, A., Jabbari- Sahebari, A., Shakibaeinia, A. and Borghei, S. M. 2016. An Experimental Study of Sediment Transport in Channel Confluences. *International Journal of Sediment Research*. 31:1.87-96.
- Riley, J.D., Rhoads, B.L., Parsons, D.R. and Johnson, K.K. 2015. Influence of junction angle on three-dimensional flow structure and bed morphology at confluent meander bends during

Simulation of the Effect of Bed Discordance on Flow Pattern at the River Confluence by Flow-3D Model

T. Aghazade-Soureh¹, M. Hemmati^{2*}

Received: April 16, 2017

Accepted: May 23, 2017

Abstract

The dynamics of flow in river confluences are complex; in particular, immediately at the downstream of the junction, the flow creates a separation zone with secondary re-circulation patterns. This study aims at examining the influence of the relative bed discordance (z/y_3) and discharge ratio ($Q_1=Q_2/Q_3$) on flow dynamics in river confluence by Flow-3D model. To achieve this goal four discharge ratios ($Q_1=0.2, 0.33, 0.5, 0.67$) and four bed discordance ratios ($z/y_3=0, 0.1, 0.2, 0.3$) were considered in a 90 degree junction. In this research, the parameters such as separation zone dimension, flow pattern, mixing layer, water level and velocity pattern were studied. The results showed that changing bed level affects the flow pattern in the junction; so that the dimensions of the created separation zone was different for concordance and discordance bed level. The separation zone near the bed observed only for same bed level junction and it was not occurring at the unequal bed level. By increasing the bed discordance, the width and length of separation zone increases and decreases, respectively. Also, the water level in the main channel increased (at the upstream of the junction) and in the tributary flume decreased with increasing the bed level. In addition, the energy turbulence at the confluence increases by increasing the bed level that its amount in unequal bed level junction ($z/y_3=0.3$) is 1.34 times of equal bed level.

Keywords: Turbulence energy, River junction, Flow dynamic, Mixing layer

1 - Graduate M.Sc. of Water Structures, Department of Water Engineering, Urmia University, Urmia

2- Assistant professor of water engineering, Urmia University

(*-Corresponding Author Email: m.hemmati@urmia.ac.ir)