

شبیه‌سازی عددی تأثیر شیب جانبی دیوار کانال اصلی بر الگوی جریان در تلاقی کانال‌های روباز

محمد رضا نیک‌پور^{۱*}، پیام خسروی‌نیا^۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۳/۳۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۵/۱۰

چکیده

پیدایش حفره‌های فرسایشی و مناطق رسوب‌گذاری ارتباط مستقیم به هیدرولیک جریان در محدوده تلاقی رودخانه‌ها دارد. در پژوهش حاضر با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی، الگوی جریان در تلاقی کانال‌ها در محیط Fluent در حالت سه‌بعدی شبیه‌سازی شد. در مطالعه آزمایشگاهی مذکور، تأثیر شیب جانبی ۴۵ درجه کانال اصلی بر خصوصیات هیدرولیکی جریان در مقایسه با دیوار قائم بررسی شد. در این پژوهش علاوه بر شیب‌های جانبی ۴۵ و ۹۰ درجه، در شیب‌های جانبی ۶۰ و ۷۵ درجه نیز الگوی جریان به ازای شرایط هیدرولیکی یکسان شبیه‌سازی شد. پیش‌بینی میدان جریان در امتداد کانال اصلی توسط مدل عددی قابل قبول بوده و حداکثر خطای شبیه‌سازی در محدوده تلاقی رویت شد. میانگین خطای محاسبه سرعت در شیب‌های جانبی ۴۵ و ۹۰ درجه به ترتیب ۷/۰۶ و ۹/۸۶ درصد به دست آمد. نتایج حاکی از آن بود که با کاهش زاویه شیب جانبی دیوار کانال اصلی، میزان افتادگی پروفیل سطح آب در سطح ریزش ملایم‌تر شد به طوری که مقدار آن به‌ازای شیب‌های جانبی ۹۰، ۷۵، ۶۰ و ۴۵ درجه به ترتیب ۱/۱۳، ۱/۹۰ و ۰/۶۸ درصد به دست آمد. علاوه بر آن با ضعیف شدن جریان‌های چرخشی، طول و پهناى ناحیه جداشدگی در نزدیکی سطح جریان افزایش یافت. همچنین در حالت دیواره مایل بر خلاف دیواره قائم، در نزدیکی بستر ناحیه جداشدگی مشخصی مشاهده نشد.

واژه‌های کلیدی: تلاقی کانال‌ها، سطح ریزش، شیب جانبی، ناحیه جداشدگی، Fluent

مقدمه

جریان بر روی یک اتصال با زوایای ۳۰، ۶۰ و ۹۰ درجه روابطی برای محاسبه ابعاد ناحیه جداشدگی در شرایط زیربحرانی بر اساس عدد فرود پایاب و زاویه اتصال کانال‌های اصلی و فرعی ارائه نمودند (Gurram et al., 1997). وبر و همکاران جریان سه‌بعدی در محل یک اتصال ۹۰ درجه را با اندازه‌گیری مولفه‌های سه‌بعدی سرعت در نقاط مختلف توصیف کردند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که ناحیه جداشدگی جریان از نظر طول و پهنا در نزدیک سطح آب نسبت به کف بزرگ‌تر است و چرخش جریان در نزدیک سطح نسبت به کف بیش‌تر است. علاوه بر این، هر چه نسبت دبی کانال اصلی به دبی کل بیش‌تر شود پهنا و طول ناحیه جداشدگی کوچک‌تر می‌شود (Weber et al., 2001). نتیجه مشابهی را هوانگ و همکاران، بنکداری و همکاران (۲۰۱۱) گزارش کردند (Huang et al., 2002; Bonakdari et al., 2011). قبادیان و همکاران (۱۳۸۵) تأثیر عوامل نسبت دبی شاخه فرعی به دبی کل، نسبت عرض کانال فرعی به اصلی و عدد فرود جریان در پایین‌دست را بر ابعاد ناحیه جداشدگی جریان در یک تلاقی ۹۰ درجه بررسی کردند و روابطی را برای محاسبه ابعاد ناحیه جداشدگی به دست آوردند. نتایج پژوهش آن‌ها همچنین نشان داد که افزایش نسبت دبی باعث افزایش طول و

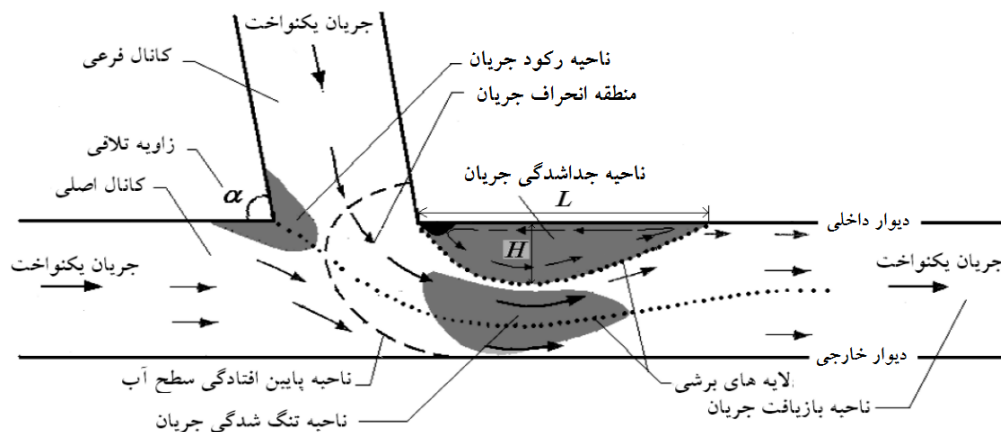
در محل اتصال کانال‌ها و رودخانه‌ها که جریان دو کانال اصلی و فرعی به هم می‌پیوندند، به وجود آمدن جریان‌های گردابه‌ای و افزایش سرعت در محل تنگ‌شدگی جریان سبب ایجاد پدیده‌های فرسایش و رسوب‌گذاری در این محل می‌شود. الگوی جریان در محل اتصال کانال‌ها بسیار پیچیده و تابع متغیرهای گوناگونی می‌باشد (Boyer et al., 2006). با تحلیل دقیق دینامیک جریان می‌توان نواحی با سرعت زیاد که سبب فرسایش عمیق و تخریب سواحل و همچنین نواحی با سرعت پایین که سبب رسوب‌گذاری می‌شود را شناسایی کرد. مطالعات بسیاری در زمینه شناخت الگوی جریان در محل تلاقی رودخانه‌ها و کانال‌های روباز صورت گرفته است. بست دینامیک جریان در محل تلاقی رودخانه‌ها را به صورت شماتیک براساس شکل ۱ نشان داد (Best., 1987). گورام و همکاران با مطالعه هیدرولیک

۱- استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی

۲- استادیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان
* - نویسنده مسئول: (m_nikpour@uma.ac.ir)

پهنای ناحیه جدشدگی جریان می‌گردد. در حالی که افزایش عدد فرود پایاب و نسبت پهنای این ناحیه را کاهش می‌دهد. برقی و جباری بر اساس مطالعه آزمایشگاهی، رابطه‌ای را برای تعیین حداکثر عمق حفره فرسایشی در دهانه تلاقی کانال روباز در ارتباط با پارامترهای بدون بعد زاویه تلاقی، نسبت دبی کانال اصلی به فرعی و نسبت سرعت جریان کانال پایین‌دست به سرعت آستانه آرایه نمودند (Borghai and Jabbari., 2010). کوهلو پروفیل سطح آب را در تلاقی کانال‌های روباز به‌زای زوایای ۳۰ و ۶۰ درجه و تحت شرایط جریان‌های زیربحرانی و فوق‌بحرانی به‌صورت آزمایشگاهی بررسی نمود. نتایج تحقیق ایشان حاکی از افزایش سطح آب در بالادست تلاقی در حالت برقراری جریان زیر بحرانی و بروز امواج ضربه‌ای مورب در کانال پایین‌دست در شرایط جریان فوق‌بحرانی بود (Cohelo., 2015). شبیه‌سازی عددی مسایل مهندسی این امکان را می‌دهد که با کم‌ترین هزینه و پرهیز از مشکلات روش‌های آزمایشگاهی به پاسخ مورد نظر دست یافت. برادبروک و همکاران، شایبک و همکاران، بایرون و همکاران، رامامورتی و همکاران، ژانگ و همکاران و شکیبایی‌نیا و همکاران از جمله محققانی بودند که با به-کارگیری روش‌های عددی، جریان در محل تلاقی کانال‌ها را در حالت سه‌بعدی شبیه‌سازی کردند. آن‌ها در تحقیقات خود، عوامل تأثیرگذار بر خصوصیات جریان در محل تلاقی شامل نسبت دبی، زاویه تلاقی و اختلاف تراز بستر در محل تلاقی را بررسی کردند (Bradbrook et al., 1998; Bradbrook et al., 2000;) Shabayek et al., 2002; Biron et al., 2004; Ramamurthy et al., 2006; Zhang et al., 2009; Shakibainia et al., 2010). موسوی و گودرزیزاده (۱۳۹۰) و گوهری (۱۳۹۱) با استفاده از مدل

Fluent خصوصیات هیدرولیکی جریان از جمله ابعاد ناحیه جدشدگی جریان و تنش برشی بستر را در محدوده تلاقی ۹۰ درجه، به‌زای نسبت‌های دبی مختلف بررسی نمودند. حبیبی و همکاران (۱۳۹۳) با به‌کارگیری مدل CCHE2D الگوی جریان، فرسایش و رسوب‌گذاری را در محل تلاقی کانال‌ها به‌زای دبی‌های مختلف شبیه‌سازی کردند. نتایج حاکی از دقت قابل‌قبول مدل عددی مذکور در شبیه‌سازی پروفیل سطح آب و محاسبه حداکثر عمق فرسایش و رسوب‌گذاری در محل تلاقی بود. دوردویچ با استفاده از مدل SSIIM2 جریان در تلاقی کانال‌ها را شبیه‌سازی کرد. نتایج تحقیق او نشان داد که مومنتم انتقالی از شاخه فرعی به کانال اصلی، تغییرات ناحیه جدشدگی جریان و همچنین پروفیل سرعت به‌طور رضایت‌بخشی مدل گردید. با این وجود مقادیر سرعت به‌ویژه سرعت‌های عمودی کم‌تر از مقدار واقعی تخمین زده شد (Dordevic., 2015). بررسی منابع در زمینه هیدرولیک جریان در محل تلاقی کانال‌ها نشان می‌دهد که مطالعات آزمایشگاهی و عددی انجام شده، در فلووم‌های مستطیلی بوده است درحالی‌که چنین شرایطی در طبیعت وجود ندارد و معمولاً سواحل رودخانه‌ها مایل هستند. از طرفی شیب سواحل باعث تغییر الگوی سه‌بعدی جریان در محل تلاقی نسبت به دیواره قائم می‌گردد. در مطالعه آزمایشگاهی خسروی‌نیا (۱۳۹۲)، بررسی میزان این تغییرات در اثر مایل کردن ساحل با زاویه ۴۵ درجه نسبت به دیواره قائم بررسی شد. در این پژوهش پس از واسنجی مدل عددی، به‌منظور بررسی دقیق و جامع تأثیر شیب جانبی دیواره کانال اصلی بر خصوصیات هیدرولیکی جریان در محدوده تلاقی کانال‌ها، شیب‌های جانبی ۶۰ و ۷۵ درجه نیز شبیه‌سازی شد.



شکل ۱- الگوی جریان در محل تلاقی کانال‌های باز (Best., 1987)

استوکس متوسط رینولدزی^۱ را نشان می‌دهد. رابطه ۳ نیز فرمول محاسبه چگالی جریان دو فاز آب و هوا را نشان می‌دهد.

مواد و روش‌ها

معادلات حاکم

روابط ۱ و ۲ به‌ترتیب معادلات پیوستگی و مومنتم ناویر-

1- Reynolds-Averaged Navier-Stokes equation

مدل k-ε RNG به واسطه داشتن ترم اضافی در معادله ε، جریان‌های همراه با کرنش‌های بزرگ و سریع را نسبت به مدل k-ε استاندارد بهتر مدل می‌کند (شجاعی‌فرد و نورپور، ۱۳۹۳). در تحقیق حاضر برای تحلیل آشفتگی جریان از مدل k-ε RNG^۴ استفاده شد. در مدل حجم سیال برای برآورد سطح آزاد جریان دو فازی آب و هوا از روش تعیین پارمتر جزو حجمی F که مقدار آن بین ۰ تا ۱ متغیر است، استفاده می‌شود. مقدار F با حل معادله پیوستگی برای جزو حجم سیال (رابطه ۸) محاسبه می‌شود.

$$\frac{\partial F}{\partial t} + u \frac{\partial F}{\partial x} + v \frac{\partial F}{\partial y} + w \frac{\partial F}{\partial z} = 0 \quad (۸)$$

با حل معادله ۸، در صورتی که سلول پر از سیال باشد مقدار F برابر ۱ و برای سلول خالی از سیال برابر صفر بدست می‌آید. در تحقیق حاضر برای حل معادله ۸ الگوی بازسازی هندسی^۵ که معمولاً بهترین سطح تماس را مدل می‌کند، به کار گرفته شد. همچنین برای تعیین سطح آزاد جریان، مقدار جزو حجمی برابر ۰/۵ در نظر گرفته شد.

مدل آزمایشگاهی

در پژوهش حاضر از داده‌های آزمایشگاهی خسروی‌نیا (۱۳۹۲) استفاده شد. مطالعه آزمایشگاهی در آزمایشگاه هیدرولیک گروه مهندسی آب دانشگاه تبریز انجام گرفت. شکل ۲ نمای کلی از فلوم‌ها و تجهیزات مورد استفاده را نشان می‌دهد. مطابق شکل ۲، کانال اصلی به طول ۶ متر، ارتفاع ۰/۵ متر و عرض ۰/۸ متر و کانال فرعی عمود بر کانال اصلی به طول ۵ متر، عمق ۰/۵ متر و عرض ۰/۲۴ متر بود. برای اندازه‌گیری دبی جریان از سرریز مستطیلی نصب شده در حوضچه انتهایی کانال اصلی استفاده شد. برای تنظیم سطح آب در انتهای کانال اصلی از تیرک‌های آب‌بند^۶ به ارتفاع ۱ سانتی‌متر استفاده شد. لازم به ذکر است که عرض کف کانال اصلی در دو شیب، ۰/۵ و ۰/۱ متر در نظر گرفته شد. بنابراین کانال اصلی در دو شیب جانبی ۴۵ و ۹۰ درجه و کانال فرعی دارای شیب جانبی ۹۰ درجه بود. به‌منظور اندازه‌گیری سرعت لحظه‌ای جریان از یک دستگاه سرعت‌سنج سه-بعدی ADV^۷ استفاده شد. مقادیر سرعت در ۱۲ مقطع عرضی اندازه‌گیری شد. در هر مقطع، اندازه‌گیری سرعت در راستاهای قائم و به فاصله ۵ سانتی‌متر انجام گرفت. در هر راستا نیز سه نقطه به فواصل ۱، ۵ و ۱۰ سانتی‌متر از بستر کانال به‌منظور اندازه‌گیری سرعت در نظر گرفته شد. شکل ۳ مقاطع و نقاط اندازه‌گیری سرعت را به‌عنوان

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho u_i) = 0 \quad (۱)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho u_i) + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho u_i u_j) = -\frac{\partial P}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} - \frac{2}{3} \delta_{ij} \frac{\partial u_k}{\partial x_k} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial x_j} (-\rho \overline{u'_i u'_j}) \quad (۲)$$

$$\rho = \alpha_A \rho_A + \alpha_W \rho_W \quad (۳)$$

در روابط فوق u_i نشان‌دهنده مولفه‌های سرعت جریان، α_A و α_W به ترتیب نسبت آب و هوا، ρ_A و ρ_W به ترتیب جرم مخصوص آب و هوا می‌باشد. δ_{ij} نیز دلتای کرونکر می‌باشد که برای $i = j$ مقدار آن برابر یک و در غیر این صورت برابر صفر می‌باشد. پارامتر $\overline{u'_i u'_j}$ را تنش رینولدز می‌نامند که اثر گرداب‌های آشفتگی در جریان سیال آشفته را نشان می‌دهد. یکی از روش‌های مرسوم برای حل معادلات متوسط‌گیری شده رینولدزی استفاده از فرضیه بوزینسک است که بر اساس آن و با به‌کارگیری رابطه ۴، گرادیان‌های سرعت متوسط را جایگزین تنش‌های رینولدز می‌کند.

$$-\rho \overline{u'_i u'_j} = \mu_t \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \quad (۴)$$

در رابطه ۴، μ_t لزجت گردابه‌ای^۱ بوده و مقدار آن با استفاده از رابطه ۵ محاسبه می‌شود.

$$\mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (۵)$$

در رابطه ۵ پارامترهای k و ε به ترتیب معرف انرژی جنبشی اغتشاش^۲ و نرخ استهلاک انرژی جنبشی اغتشاش^۳ می‌باشد. پارامتر C_μ ضریب ثابت و برابر ۰/۰۹ می‌باشد. مدل k-ε از جمله مدل‌های آشفتگی است که از فرضیه بوزینسک استفاده می‌کند. معادلات حاکم بر این مدل به شرح روابط ۶ و ۷ می‌باشند.

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k + G_b - \rho \varepsilon - Y_M \quad (۶)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho \varepsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho \varepsilon u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} (G_k + C_{3\varepsilon} G_b) - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} \quad (۷)$$

در روابط فوق، G_k و G_b چشمه‌های معادله k بوده که به ترتیب اثر گرادیان سرعت متوسط و اثر شناوری را در معادله اعمال می‌کند. پارامتر Y_M نیز معرف توزیع نوسانات تلاطم در جریان‌های تراکم‌پذیر می‌باشد. پارامترهای $C_{1\varepsilon}$ و $C_{2\varepsilon}$ ضرایب ثابت و σ_k و σ_ε اعداد پرانتل آشفته برای k و ε می‌باشند. در مدل k-ε RNG رابطه‌ای تحلیلی برای محاسبه اعداد پرانتل آشفته وجود دارد در حالی که در مدل k-ε استاندارد از مقادیر تعریف شده توسط کاربر استفاده می‌شود. همچنین

4- Volume of fluid (VOF)

5- Geometric reconstruction scheme

6- Stop log

7- Acoustic Doppler Velocity meter (ADV)

1- Eddy viscosity

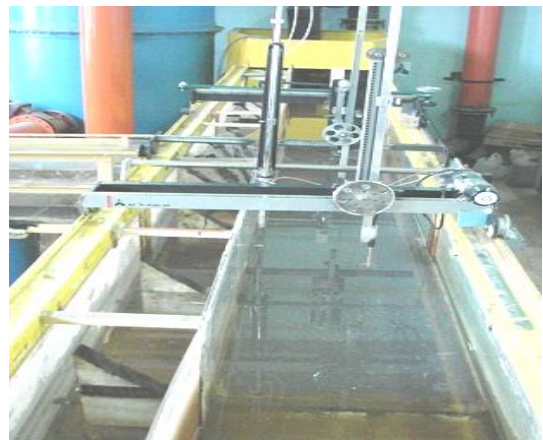
2- Turbulent kinetic energy

3- Dissipation rate of turbulent kinetic energy

نمونه برای شیب جانبی ۴۵ درجه نشان می‌دهد. همچنین در شکل ۳ مبدا و دستگاه مختصات در نظر گرفته شده در اندازه‌گیری‌ها، نمایش داده شده است.



(ب)

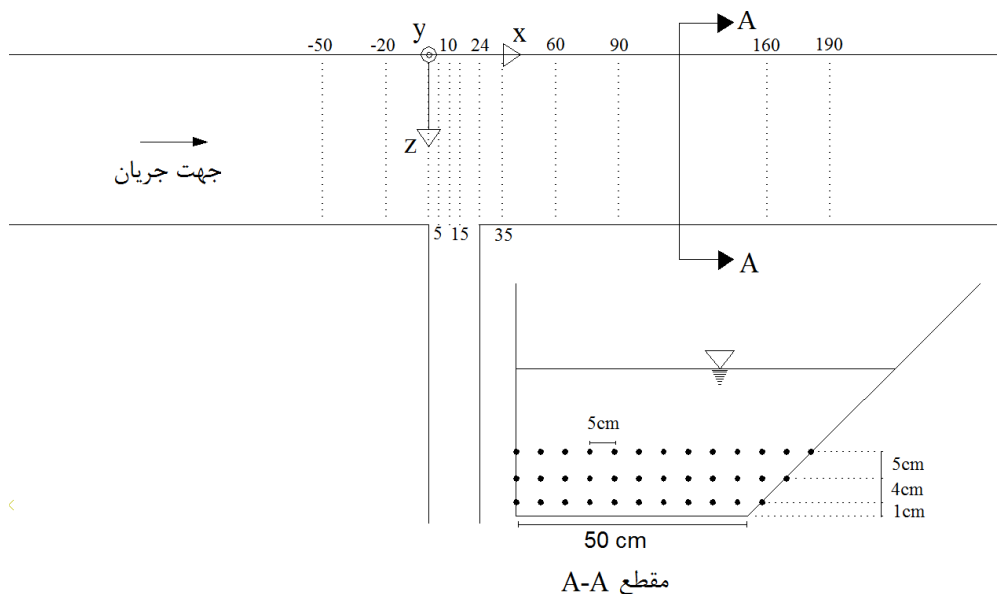


(الف)

شکل ۲- نمایی از فلوم آزمایشگاهی (الف): شیب جانبی ۹۰ درجه (ب): شیب جانبی ۴۵ درجه (خسروی‌نیا، ۱۳۹۲)

جدول ۱- خصوصیات هیدرولیکی آزمایش‌ها (خسروی‌نیا، ۱۳۹۲)

Fr _d	y ₃	y ₂	y ₁	شماره آزمایش	شیب جانبی
۰/۱۶۶	۰/۲۱۰	۰/۲۱۶	۰/۲۱۹	۱	۹۰
۰/۱۸۶	۰/۱۹۴	۰/۲۰۱	۰/۲۰۳	۲	
۰/۲۲۵	۰/۱۷۲	۰/۱۷۹	۰/۱۸۲	۳	
۰/۲۶۰	۰/۱۵۶	۰/۱۶۵	۰/۱۶۸	۴	
۰/۱۲۸	۰/۲۳۰	۰/۲۲۸	۰/۲۳۶	۵	۴۵
۰/۱۴۸	۰/۲۱۱	۰/۲۱۰	۰/۲۱۸	۶	
۰/۱۷۲	۰/۱۹۱	۰/۱۹۳	۰/۲۰۰	۷	
۰/۲۱۰	۰/۱۶۹	۰/۱۷۱	۰/۱۷۸	۸	



شکل ۳- مقاطع و نقاط اندازه‌گیری سرعت در مدل آزمایشگاهی (خسروی‌نیا، ۱۳۹۲)

منظور مستقل از شبکه شدن هندسه مدل طی پنج مرحله به‌ازای شرایط مرزی یکسان، شبکه مدل‌ها ریزتر و تعداد المان‌ها افزایش یافت. شکل ۴ نحوه تغییرات میانگین درصد خطای نسبی محاسبه سرعت جریان در محور مرکزی کانال اصلی با شیب جانبی ۹۰ درجه و در فاصله ۱۰ سانتی‌متری از بستر نمایش می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزایش تعداد المان‌ها به بیش از ۳۷۸۰۰۰ درصد خطای نسبی مدل عددی کاهش محسوسی ندارد و به بیان دیگر به ازای این تعداد المان، مدل عددی مستقل از شبکه عمل می‌کند. بنابراین، با بررسی رفتار خطای شبیه‌سازی مدل عددی، برای کانال‌های اصلی و فرعی به‌ترتیب (۱۷۴×۴۰×۴۵) و (۶۰×۲۴×۴۵) سلول محاسباتی در نظر گرفته شد. آرایش شبکه‌ها به گونه‌ای طراحی شد که بسته به میزان حساسیت نواحی حل از المان‌ها با اندازه‌های متفاوت استفاده گردید. لازم به ذکر است برای شبکه‌بندی مدل در نزدیکی دیواره (به منظور به‌کارگیری تابع دیواره) از پنج ردیف مش لایه مرزی با ضریب رشد ۱/۲ استفاده شد. همچنین فاصله اولین ردیف مش لایه مرزی تا کف ۰/۰۰۱ متر در نظر گرفته شد. پارامترهای مذکور با کنترل y^+ بین ۳۰ تا ۳۰۰ تعیین گردید. شرایط مرزی برای ورودی‌های کانال‌های اصلی و فرعی، سرعت ورودی^۴ و برای خروجی مدل نیز سرعت ورودی با علامت منفی در نظر گرفته شد. همچنین برای کناره‌ها و کف مدل از شرط مرزی دیواره^۵ و برای بخش بالایی آن از شرط مرزی تقارن^۶ استفاده شد.

نتایج و بحث

صحت‌سنجی مدل عددی

پس از واسنجی مدل عددی شامل مستقل از شبکه نمودن مدل و یافتن ضرایب و الگوهای مناسب حل برای به حداقل رساندن خطای شبیه‌سازی، دقت مدل عددی در برآورد سرعت در فاصله ۱۰ سانتی-متری از بستر در مقایسه با مقادیر اندازه‌گیری شده مورد ارزیابی قرار گرفت. در شکل‌های ۵ و ۶ پروفیل‌های طولی سرعت حاصل از مدل عددی در مقایسه با مقادیر آزمایشگاهی به‌ازای آزمایش‌های شماره ۱ و ۵ نمایش داده شده است. در شکل‌های مذکور پارامترهای U و U_0 نمایانگر مقادیر سرعت نقطه‌ای و سرعت جریان در بالادست کانال اصلی می‌باشد. همچنین X و b_1 نشان‌دهنده فاصله طولی و عرض کانال اصلی می‌باشد. در جدول ۲ نیز میانگین خطای نسبی مدل عددی در محاسبه (U/U_0) به‌ازای آزمایش‌های شماره ۱ و ۵ گزارش شد.

ملاحظه می‌شود که سیستم مختصات تعریف شده دارای جهت مثبت x در جهت جریان کانال اصلی، جهت مثبت z در خلاف جهت جریان کانال فرعی و جهت y به سمت بالا می‌باشد. برای اندازه‌گیری پروفیل سطح آب از یک دستگاه عمق‌سنج التراسونیک^۱ استفاده گردید. طول و پهناى ناحیه جداشدگی پس از برقراری جریان ماندگار و تنظیم نسبت دبی مورد نظر، با استفاده از تزریق ماده رنگی از بالادست گوشه اتصال در کانال فرعی به‌دست آمد. لازم به ذکر است که حداکثر طول و پهناى مشاهده شده در حین تزریق مواد رنگی، مدنظر قرار گرفت. در تمامی آزمایش‌ها، برای دبی جریان در بالادست کانال اصلی، کانال فرعی و پایین‌دست کانال اصلی به‌ترتیب مقادیر ثابت ۰/۰۱۸۱، ۰/۰۶۹ و ۰/۰۲۵ مترمکعب در ثانیه در نظر گرفته شد و بر این اساس نسبت دبی کانال فرعی به کانال پایین‌دست در کلیه حالت‌ها برابر ۰/۲۷۶ بود. در جدول ۱، سایر خصوصیات هیدرولیکی آزمایش‌ها گزارش شده است. در جدول مذکور، y_1 ، y_2 و y_3 به‌ترتیب عمق جریان در بالادست کانال اصلی، کانال فرعی و پایین‌دست کانال اصلی و Fr_d عدد فرود جریان در پایین‌دست کانال اصلی می‌باشد (خسروی‌نیا، ۱۳۹۲).

مدل عددی

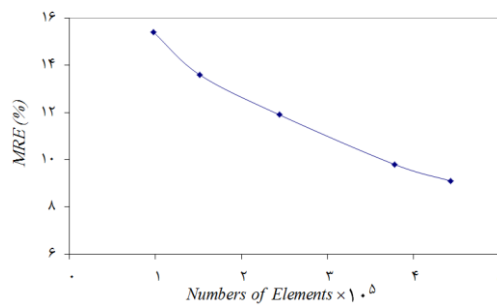
در تحقیق حاضر به‌منظور شبیه‌سازی سه‌بعدی جریان از نرم‌افزار Fluent استفاده گردید. در محیط این نرم‌افزار جهت شبیه‌سازی حرکت سیال معادلات ناویر-استوکس در حالت کامل به همراه معادلات آشفتگی و مدل شبیه‌سازی جریان چندفازی با استفاده از تکنیک حجم محدود، گسسته‌سازی و حل می‌شوند. در تحقیق حاضر روش PRESTO برای گسسته‌سازی معادلات فشار، طرح QUICK برای انفصال جملات معادلات مومنتم، طرح Upwind مرتبه دوم برای انفصال جملات معادلات آشفتگی و الگوریتم PISO برای کوپل سرعت و فشار مورد استفاده قرار گرفت. برای شبیه‌سازی جریان در نزدیکی دیواره، تابع دیواره غیرمتعادل^۲ به‌کار گرفته شد. روش حل، غیرماندگار و ملاک همگرایی برای هر متغیر بر اساس مقدار باقی-مانده خطای نسبی برابر ۰/۰۰۱ انتخاب شد. لازم به ذکر است که به منظور تسریع روند همگرایی حل معادلات، ضرایب زیرتخفیف^۳ برای فشار، مومنتم و تنش‌های رینولدز کوچک‌تر از یک منظور شد.

مشخصات میدان حل و شرایط مرزی

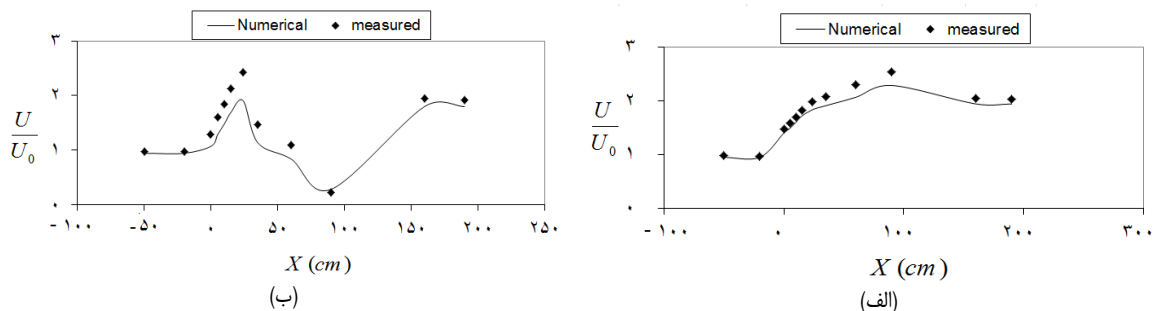
قبل از ورود به محیط Fluent هندسه مدل در محیط AutoCAD ترسیم و توسط نرم‌افزار Gambit شبکه‌بندی شد. به-

4- Velocity inlet
5- Wall
6- Symmetry

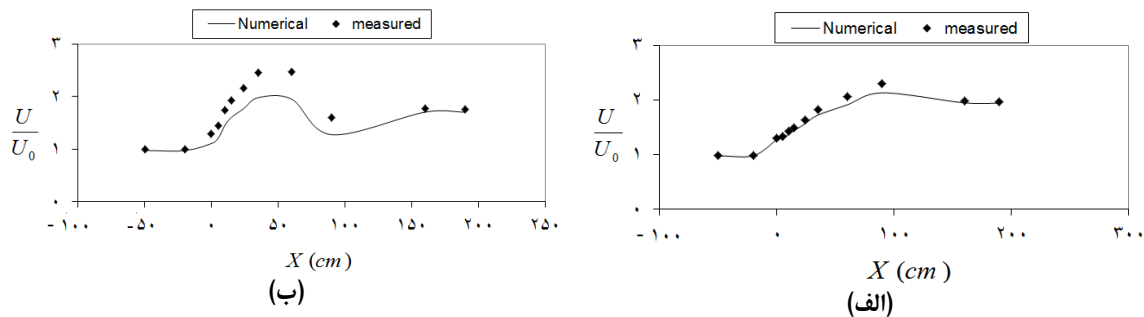
1- Ultrasonic
2- Non-equilibrium wall function
3- Under-relaxation factors



شکل ۴- روند تغییرات میانگین خطای نسبی محاسبه سرعت جریان نسبت به تعداد المان‌ها



شکل ۵- پروفیل طولی سرعت حاصل از مدل‌های آزمایشگاهی و عددی در کانال اصلی با شیب جانبی ۹۰ درجه (الف): $z/b_1=0.2$; (ب): $z/b_1=0.8$



شکل ۶- پروفیل طولی سرعت حاصل از مدل‌های آزمایشگاهی و عددی در کانال اصلی با شیب جانبی ۴۵ درجه (الف): $z/b_1=0.2$; (ب): $z/b_1=0.8$

جدول ۲- میانگین درصد خطای نسبی مدل در محاسبه (U/U_0) در فاصله ۱۰ سانتی‌متری از بستر

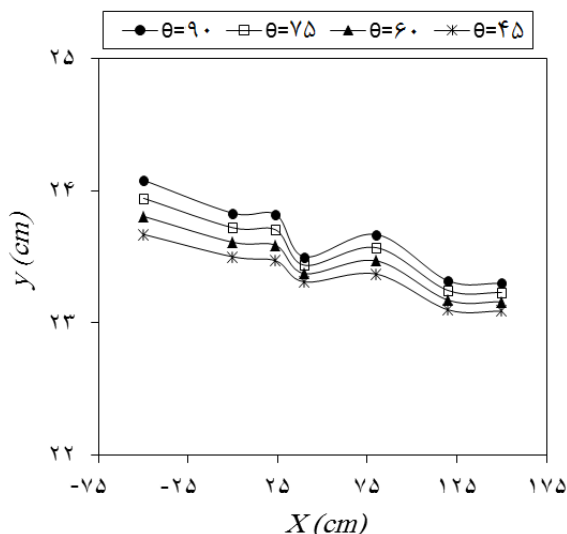
شیب جانبی	$\frac{z}{b_1} = 0.2$	$\frac{z}{b_1} = 0.4$	$\frac{z}{b_1} = 0.6$	$\frac{z}{b_1} = 0.8$	میانگین (%)
۹۰ درجه	۶/۰۶	۶/۹۸	۱۰/۴۹	۱۵/۸۹	۹/۸۶
۴۵ درجه	۳/۴۴	۴/۳۶	۷/۴۷	۱۲/۸۷	۷/۰۴

شد.

نتایج نشان می‌دهد که:

میانگین خطای مدل عددی در شبه‌سازی جریان به‌ازای شیب جانبی ۴۵ درجه با خطای به‌نسبت کم‌تری همراه بود، به‌طوری‌که میانگین خطای محاسبه سرعت در شیب‌های جانبی ۴۵ و ۹۰ درجه به‌ترتیب ۷/۰۴ و ۹/۸۶ درصد به‌دست آمد.

با نزدیک شدن جریان به محل تلاقی در اثر پیوند دو جریان و افزایش تلاطم، خطای مدل عددی افزایش می‌یابد. با فاصله گرفتن از دیوار خارجی کانال اصلی (افزایش z/b_1) و نزدیک شدن به محدوده تلاقی از دقت شبه‌سازی مدل عددی کاسته



شکل ۷- پروفیل سطح آب در امتداد محور مرکزی کانال اصلی به ازای زوایای مختلف شیب جانبی

شاخه فرعی به اصلی به وجود می‌آید (شکل ۱). شکل ۸ تغییرات ابعاد ناحیه جداشدگی جریان را به ازای اعداد فرود پایاب و زوایای مختلف شیب جانبی نشان می‌دهد. در شکل مذکور، H و L به ترتیب نمایانگر طول و عرض ناحیه جداشدگی جریان می‌باشد. شکل ۹ نیز میدان-های سرعت طولی را در صفحه‌ای موازی بستر و نزدیک سطح آب برای زوایای مختلف شیب جانبی نمایش می‌دهد. با توجه به شکل-های مذکور، با تغییر دیوار جانبی کانال اصلی از حالت قائم به مایل و به عبارت دیگر با کاهش زاویه شیب جانبی، طول و پهنای ناحیه جداشدگی افزایش می‌یابد. در واقع به دلیل اینکه سطح مقطع جریان در کانال‌های اصلی با دیواره مایل در شرایط هیدرولیکی یکسان نسبت به دیواره قائم بزرگ‌تر است، جریان ورودی از کانال فرعی در این حالت فرصت بیشتری برای ورود به کانال اصلی دارد بنابراین مسافت بیشتری باید طی شود تا جریان به حالت باز یافت درآید. البته این مسئله برای بحث فرسایش و رسوب‌گذاری در رودخانه حایز اهمیت است. زمانی که طول ناحیه جداشدگی افزایش می‌یابد رسوباتی که از محل تلاقی فرسایش یافته و به پایین دست می‌روند در فاصله طولانی‌تری نشست کرده و تغییرات ریخت‌شناسی محسوسی در پایین دست تلاقی به وجود نمی‌آید.

تأثیر زاویه شیب جانبی بر پروفیل‌های سرعت جریان در کانال اصلی

در شکل ۱۰ پروفیل‌های بدون بعد سرعت حاصل از مدل عددی به ازای زوایای مختلف شیب جانبی، در مقاطع عرضی مختلف کانال اصلی و در ارتفاع‌های ۱، ۵ و ۱۰ سانتی‌متری از بستر نشان داده شده است. در $X=0$ که مربوط به ابتدای تلاقی می‌باشد مشاهده می‌شود

نتایج مدل عددی از نظر ظاهری تطابق قابل قبولی با مقادیر اندازه‌گیری شده داشت و چگونگی تغییرات سرعت در طول کانال اصلی به‌طور مناسبی شبیه‌سازی شده است.

تأثیر زاویه شیب جانبی بر پروفیل سطح آب

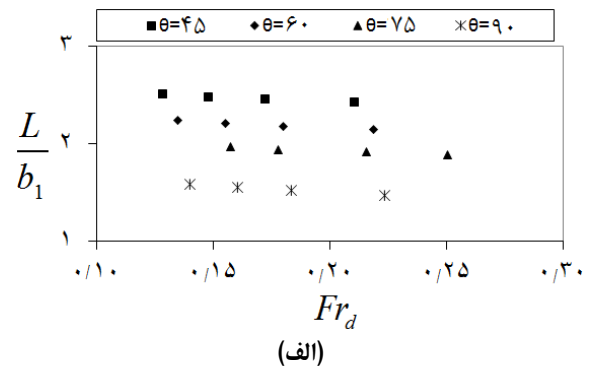
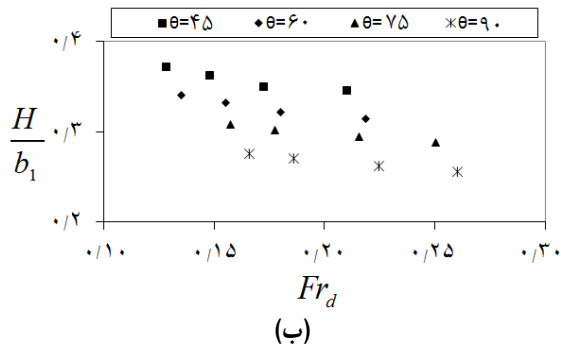
در شکل ۷ پروفیل طولی سطح آب در کانال اصلی را به ازای زوایای مختلف شیب جانبی نشان می‌دهد. لازم به ذکر است مقادیر عمق جریان مربوط به محور مرکزی کانال اصلی ($z/b_1=0.5$) و نتایج حاصل از مدل عددی می‌باشد. با توجه به شکل ۸، تأثیر شیب جانبی بر تعدیل سطح ریزش^۱ در محل تلاقی کاملاً محسوس است. در واقع در اثر شیب جانبی دیواره کانال اصلی، زمانی که جریان از کانال فرعی وارد کانال اصلی می‌شود، به دلیل افزایش سطح مقطع جریان و عرض سطح آب، پروفیل سطح آب پایین افتادگی ملایم‌تری خواهد داشت. بر اساس نتایج، میزان افتادگی پروفیل سطح آب در سطح ریزش به ازای زاویه‌های ۴۵، ۶۰، ۷۵ و ۹۰ درجه به ترتیب ۰/۶۸، ۰/۹۰، ۱/۱۳ و ۱/۳۴ درصد به دست آمد. علاوه بر آن، درصد تغییرات عمق جریان در ابتدا و انتهای کانال اصلی به ازای زوایای مذکور به-ترتیب ۲/۴۵، ۲/۷۲، ۲/۹۸ و ۳/۲۴ درصد حاصل شد.

تأثیر زاویه شیب جانبی بر ابعاد ناحیه جداشدگی جریان

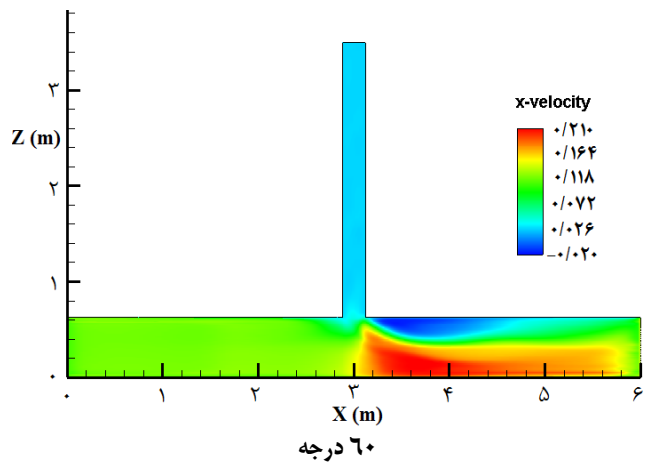
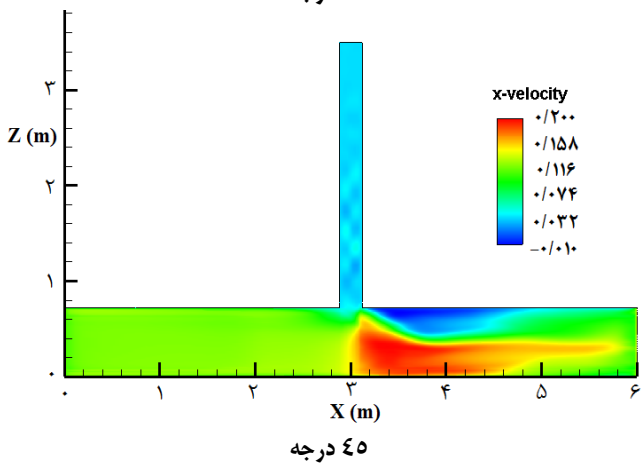
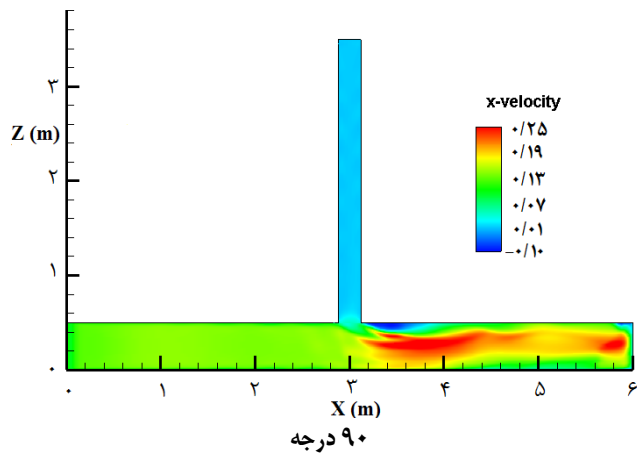
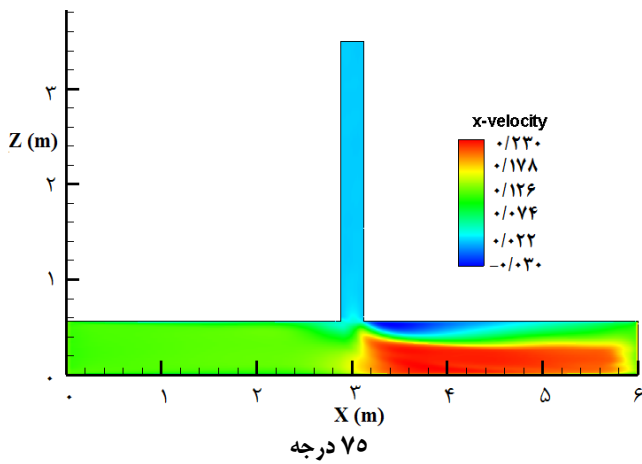
یکی از مهم‌ترین مشخصات مورد توجه در تلاقی رودخانه‌ها و کانال‌های روباز ابعاد ناحیه جداشدگی جریان می‌باشد. این ناحیه بلافاصله بعد از گوشه پایینی محل تلاقی در حین ورود جریان از

می‌شود. این سرعت‌های منفی به دلیل چرخش بالای جریان و وجود گردابه‌های قوی در خلاف جهت جریان در ناحیه جداشدگی می‌باشد. در صورتی که برای سایر زوایای شیب جانبی به دلیل تلاطم کم در ناحیه جداشدگی، مقادیر منفی سرعت در جهت طولی کانال اصلی ایجاد نمی‌شود.

که با افزایش Z/b_1 و با نزدیک شدن به ناحیه رکود جریان (مطابق شکل ۱) سمت راست پروفیل سرعت از حالت یکنواختی خارج و مقادیر بی‌بعد سرعت کم‌تر شده است. در پایین‌دست تلاقی، در $X=90\text{cm}$ برای زاویه 90° درجه (دیوار قائم) سرعت‌های بدون بعد منفی در طرف دیوار داخلی مشاهده



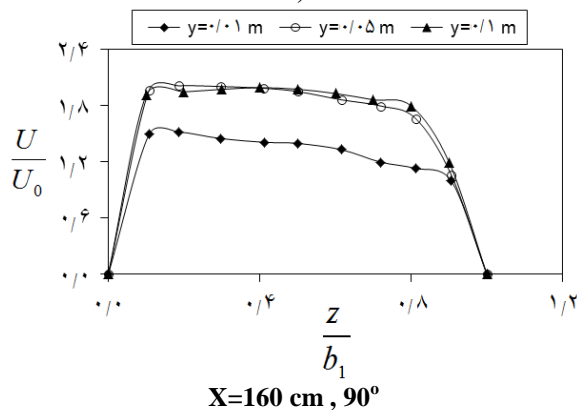
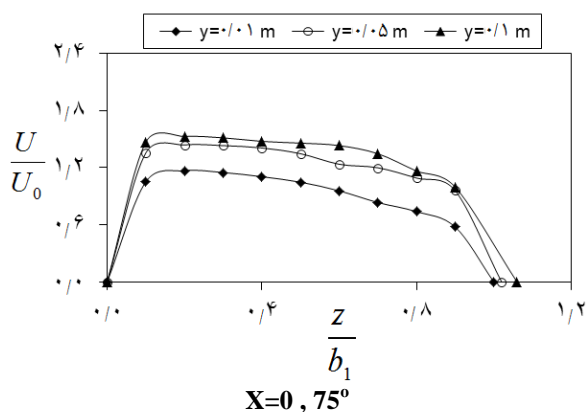
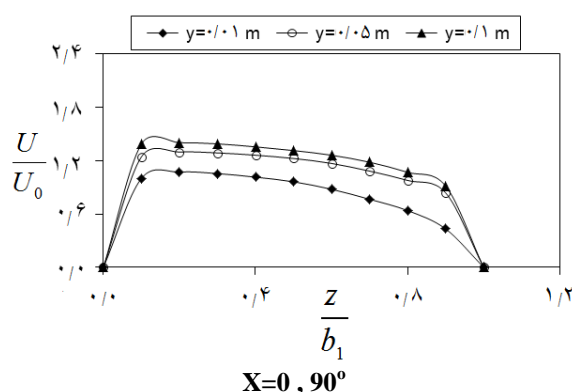
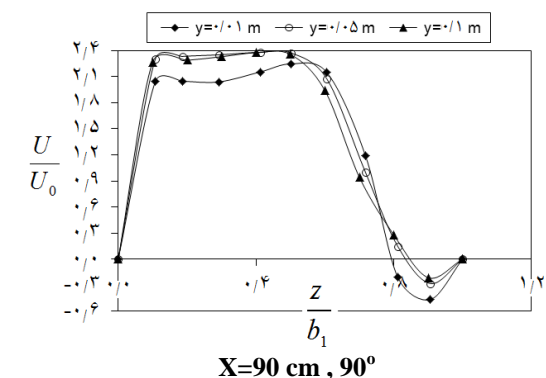
شکل ۸- تغییرات بدون بعد ابعاد ناحیه جداشدگی جریان به‌ازای اعداد فرود و زوایای مختلف شیب جانبی (الف): طول ناحیه جداشدگی جریان (ب): عرض ناحیه جداشدگی جریان

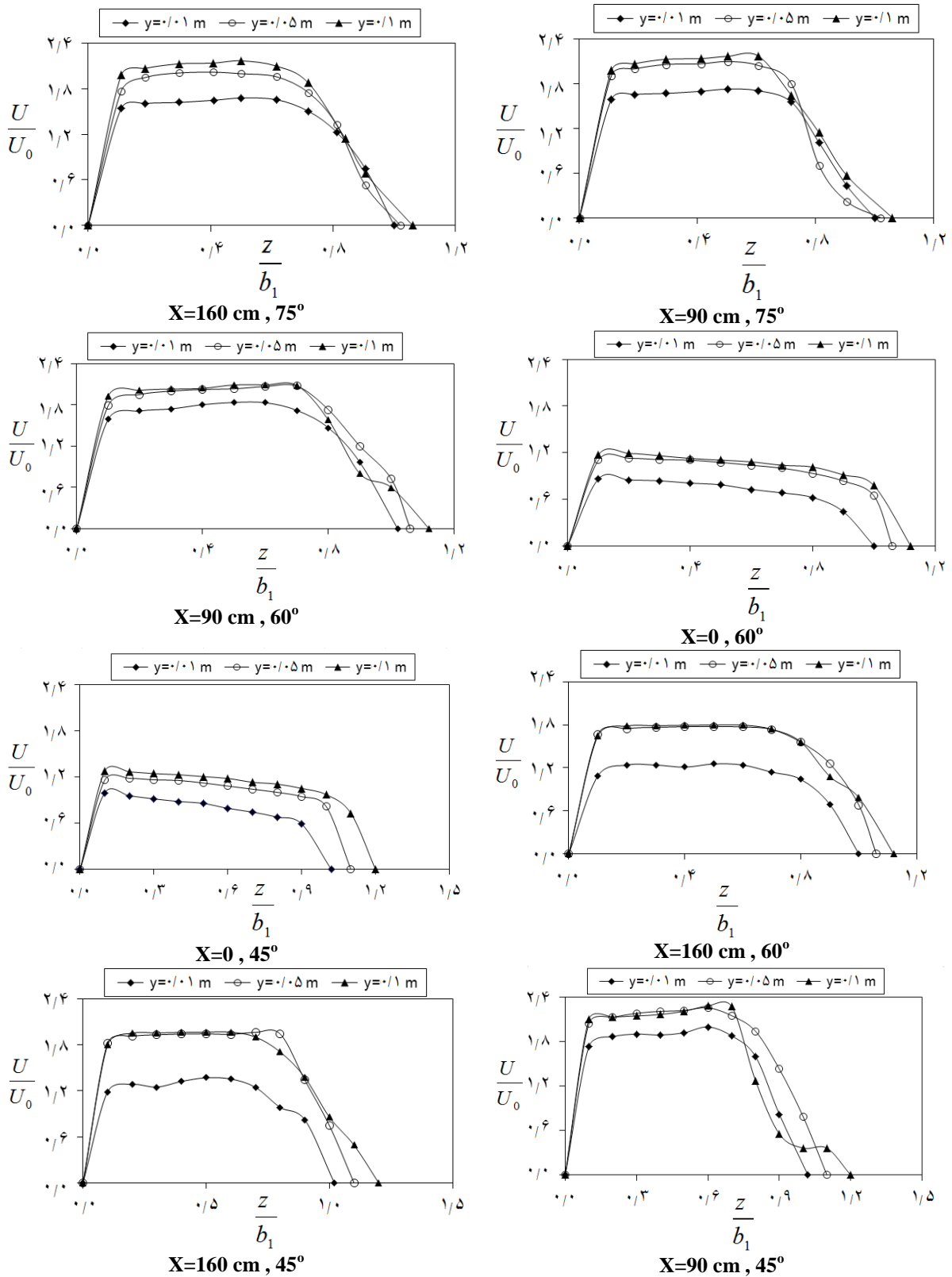


شکل ۹- میدان‌های سرعت شبیه‌سازی شده در جهت جریان در صفحه‌ای موازی بستر و نزدیک سطح آب

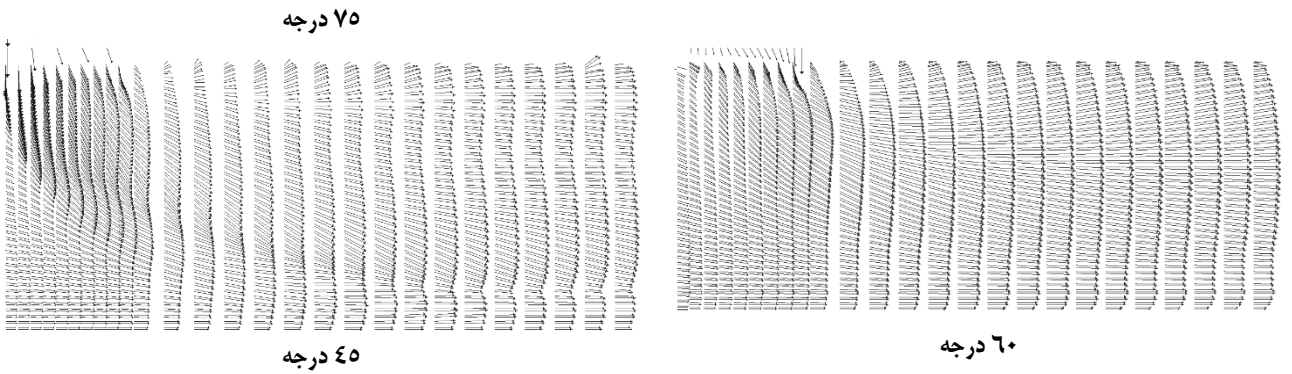
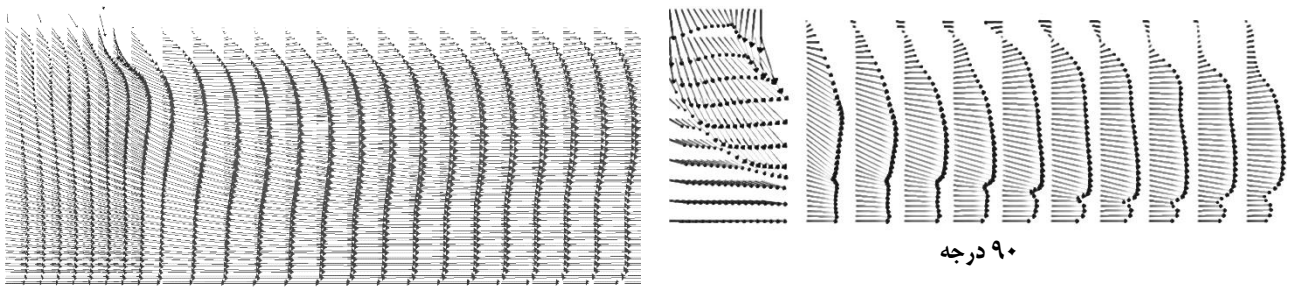
بودن و یا عدم وجود ناحیه جداشدگی جریان در نزدیک بستر می‌باشد. ولی برای شیب جانبی ۹۰ درجه این ناحیه با طول و پهنای مشخصی در نزدیک بستر وجود دارد. همان‌گونه که در شکل ۱۲ مشاهده می‌شود در ناحیه جداشدگی کانال‌های اصلی با دیواره مایل گردابه‌های ضعیف‌تری نسبت به دیواره قائم تشکیل شده است. هرچه زاویه بردارهای سرعت ورودی به کانال اصلی نسبت به محور اصلی کانال بزرگ‌تر باشد، متعاقب آن انسداد بیش‌تری در مقابل جریان کانال اصلی به وجود آمده و تورفتگی بیش‌تر پروفیل سرعت در ناحیه تنگ‌شدگی جریان را به دنبال دارد (مطابق شکل ۱). در کانال‌های با دیواره مایل به دلیل شیب‌دار بودن دیوار کانال اصلی، مومنوم ورودی از کانال فرعی تمایل بیش‌تری به سمت پایین‌دست دارد و به عبارت دیگر زاویه بردارهای سرعت نسبت به محور اصل کانال کاهش می‌یابد. بنابراین انسداد کم‌تری در مقابل جریان کانال اصلی به وجود آمده و جریان‌های چرخشی و گردابه‌های ضعیف‌تری در ناحیه جداشدگی جریان ایجاد می‌شود.

در $X=160\text{cm}$ و با فاصله گرفتن از ناحیه جداشدگی جریان، پروفیل سرعت مربوط به زاویه ۹۰ درجه به حالت یکنواخت نزدیک می‌شود. در صورتی که در سایر زوایای شیب جانبی، پروفیل سرعت هنوز به حالت یکنواخت نرسیده است که این مسئله نشان از بزرگ‌تر بودن طول ناحیه جداشدگی جریان به علت مایل بودن دیواره کانال اصلی دارد. شکل‌های ۱۱ و ۱۲ بردارهای سرعت جریان را در فواصل ۱ و ۱۰ سانتی‌متری از بستر برای زوایای مختلف شیب جانبی در محدوده ابتدای تلاقی ($X=0$) و کانال پایین‌دست ($X=135\text{cm}$) نشان می‌دهد. با توجه به شکل ۱۱ در صفحه بردارهای سرعت کانال‌های اصلی با دیواره مایل، ناحیه جداشدگی مشخصی در ارتفاع ۱ سانتی‌متری از بستر وجود ندارد. در واقع، مایل بودن دیواره موجب می‌شود تا جریان کانال فرعی به محض رسیدن به کانال اصلی، از روی شیب دیواره عبور کند. به همین دلیل، زاویه بردارهای سرعت ورودی کانال فرعی نزدیک کف در مقایسه با سطح آب، بیش‌تر به سمت پایین‌دست انحراف دارند. این موضوع نشان می‌دهد که جریان جانبی در کف دارای مومنوم کم‌تری است که خود گواه باریک‌تر

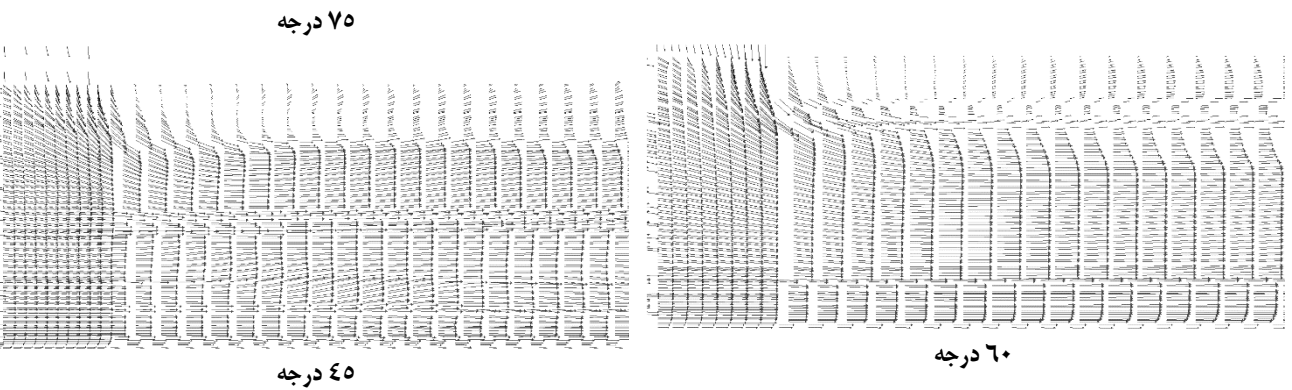
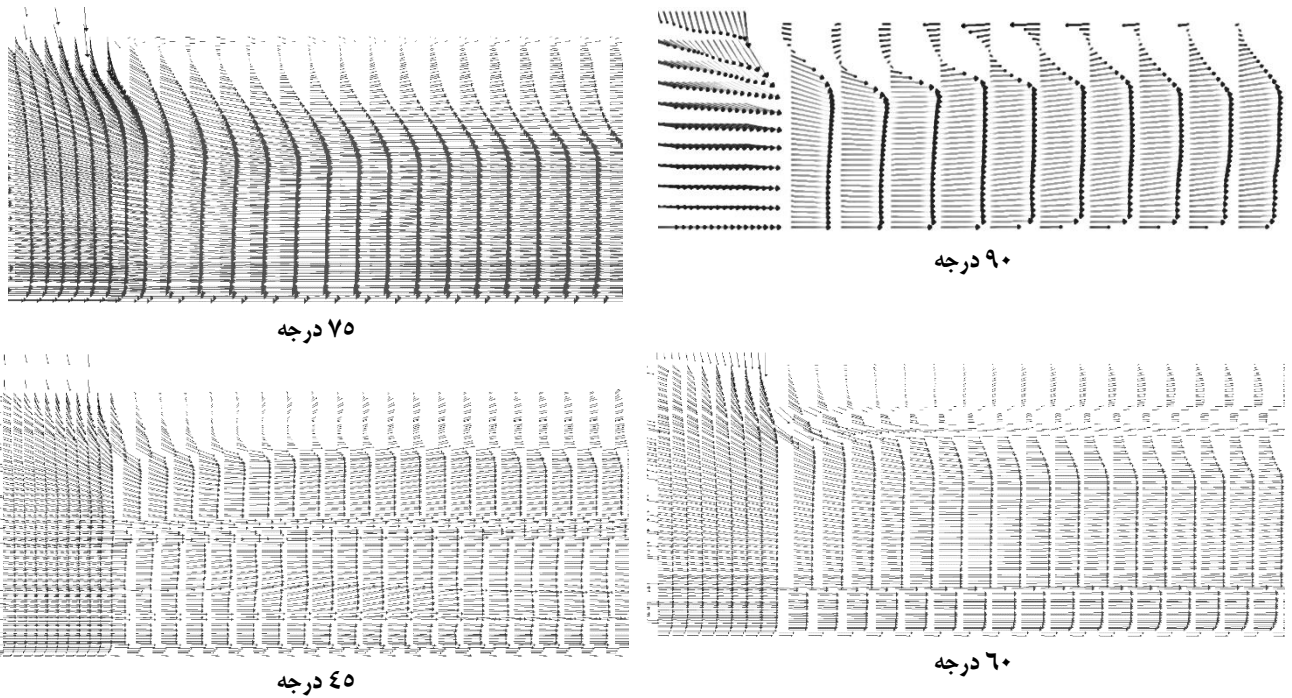




شکل ۱۰- پروفیل‌های سرعت محاسباتی در مقاطع عرضی مختلف کانال اصلی و به‌ازای زوایای مختلف شیب جانبی



شکل ۱۱- نمایش بردارهای سرعت و گردابه‌های جریان در پایین‌دست کانال اصلی برای زوایای مختلف شیب جانبی در صفحه‌ای به فاصله ۱ سانتی‌متر از بستر



شکل ۱۲- نمایش بردارهای سرعت و گردابه‌های جریان در پایین‌دست کانال اصلی برای زوایای مختلف شیب جانبی در صفحه‌ای به فاصله ۱۰ سانتی‌متر از بستر

نتیجه‌گیری

یکنواخت نزدیک می‌شود. اما به‌ازای زاویه‌های ۴۵، ۶۰ و ۷۵ درجه به علت وسیع‌تر بودن ناحیه جداشدگی، در فاصله مذکور پروفیل‌های سرعت به حالت یکنواخت نرسیدند.

در کانال‌های با دیواره مایل ناحیه جداشدگی مشخصی در نزدیکی بستر مشاهده نشد. اما برای دیواره قائم در فاصله ۱ سانتی‌متری از بستر ناحیه جداشدگی جریان رویت شد. ضمن این‌که با فاصله گرفتن از بستر ابعاد ناحیه جداشدگی افزایش یافت.

منابع

حبیبی، س.، رستمی، م. و موسوی، ع. ۱۳۹۳. بررسی عددی الگوی جریان و رسوب در محل تلاقی رودخانه‌ها. نشریه علوم و مهندسی آبخیزداری ایران. ۲۴.۸: ۲۴-۱۹.

خسروی‌نیا، پ. ۱۳۹۲. بررسی آزمایشگاهی تأثیر شیب جانبی کانال اصلی دوزنقه‌ای بر الگوی جریان، فرسایش و رسوب‌گذاری در تلاقی کانال‌های باز. رساله دکتری، رشته سازه‌های آبی، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز.

شجاعی فرد، م. ح. و نورپور هشترودی، ا. ۱۳۹۳. مقدمه‌ای بر دینامیک سیالات محاسباتی. دانشگاه علم و صنعت ایران. ۴۸۵ صفحه.

قبادیان، ر.، شفاعی بجستان، م. و موسوی جهرمی، ح. ۱۳۸۵. بررسی آزمایشگاهی جدایی جریان در محل تلاقی رودخانه‌ها برای شرایط جریان زیربحرانی. مجله تحقیقات منابع آب ایران. ۲۰: ۶۷-۷۷.

گوهری، س. ۱۳۹۱. بررسی عددی و آزمایشگاهی الگوی جریان در تقاطع ۹۰ درجه کانال‌های مستطیلی. مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک. ۴.۱۹: ۱۳۹-۱۲۱.

موسوی جهرمی، ح. و گودرزی‌زاده، ر. ۱۳۹۰. شبیه‌سازی عددی الگوی جریان سه‌بعدی در تلاقی کانال‌های باز. مجله علوم و مهندسی آبیاری. ۲۰: ۶۱-۷۰.

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

Biron, P., Ramamurthy, M.A.S and Han, S. 2004. Three-Dimensional Numerical Modeling of Mixing at River Confluences. Journal of Hydraulic Engineering. 130: 243- 253.

Bonakdari, H., Lipeme- Kouyi, G and Wang, X. 2011. Experiment validation of CFD modeling of

در پژوهش حاضر تأثیر شیب جانبی دیواره کانال اصلی بر خصوصیات هیدرولیکی جریان در تلاقی کانال‌ها به‌ازای زاویه‌های ۹۰، ۷۵، ۶۰ و ۴۵ درجه با استفاده از مدل عددی بررسی شد و نتایج زیر بدست آمد:

پیش‌بینی میدان جریان در امتداد کانال اصلی توسط مدل عددی قابل قبول بوده و حداکثر خطای شبیه‌سازی در محدوده تلاقی و ناحیه جداشدگی جریان رویت شد. به‌طوری‌که بیشینه خطای محاسبه سرعت در شیب‌های جانبی ۴۵ و ۹۰ درجه به ترتیب ۱۵/۸۹ و ۱۲/۸۷ درصد به دست آمد.

خطای مدل عددی در محاسبه سرعت جریان، به‌ازای شیب جانبی ۴۵ درجه تا حدودی کمتر از زاویه ۹۰ درجه به دست آمد. در ناحیه جداشدگی زاویه شیب جانبی ۴۵ درجه، جریان‌های چرخشی و گردابه‌های ضعیف‌تری نسبت به زاویه ۹۰ درجه تشکیل شد و همین عامل باعث کاهش خطای مدل آشفته‌گی در شبیه‌سازی جریان به‌ازای شیب جانبی ۴۵ درجه گردید.

مایل بودن دیوار کانال اصلی موجب می‌شود تا سطح ریزش در محل تلاقی کمتر باشد و هر چقدر زاویه شیب جانبی دیواره کمتر باشد، شیب سطح آب بلافاصله بعد از تلاقی ملایم‌تر خواهد بود. همچنین متناسب با کاهش زاویه شیب جانبی، تغییرات عمق جریان در ابتدا و انتهای کانال اصلی کاهش یافت.

به‌ازای نسبت دبی یکسان، سطح مقطع جریان در کانال اصلی با دیواره مایل نسبت به دیواره قائم بزرگ‌تر بوده و چون جریان ورودی از کانال فرعی در این حالت فرصت بیش‌تری برای ورود به کانال اصلی دارد بنابراین مسافت بیش‌تری باید طی شود تا جریان به حالت بازیافت برسد. همین عامل باعث می‌شود تا متناسب با کاهش زاویه شیب جانبی دیوار کانال اصلی، طول و پهنای ناحیه جداشدگی جریان در پایین دست تلاقی نیز افزایش یابد.

در ابتدای تلاقی ($X=0$)، به‌ازای تمامی شیب‌های جانبی پروفیل‌های عرضی سرعت غیریکنواخت بود. به‌طوری‌که با نزدیک شدن به ناحیه رکود جریان (واقع در گوشه بالادست تلاقی) مقادیر سرعت کاهش یافت.

در پایین دست تلاقی ($X=90\text{cm}$) و با حرکت عرضی به سمت دیوار داخلی کانال اصلی، مقادیر سرعت به‌طور ناگهانی کاهش یافت. علت کاهش سرعت، وجود جریان‌های چرخشی در ناحیه جداشدگی جریان بود. همچنین برای زاویه ۹۰ درجه به دلیل وجود گردابه‌های قوی در خلاف جهت جریان سرعت‌های منفی مشاهده شد.

با فاصله گرفتن از ناحیه جداشدگی ($X=160\text{cm}$) در حالت دیوار قائم، جریان وارد ناحیه بازیافت شده و پروفیل سرعت به حالت

- Gurram, S.K., Karki, K.S and Hager, W.H. 1997. Subcritical junction flow. *Journal of Hydraulic Engineering*. 123: 447-455.
- Huang, J., Weber, L.J and Lai, Y.G. 2002. Three-dimensional numerical study of flows in open-channel junctions. *Journal of Hydraulic Engineering*. 128: 268-280.
- Ramamurthy, A.S., Qu, J.Y and Zhai, C. 2006. 3D simulation of combining flows in 90° rectangular closed conduits. *Journal of Hydraulic Engineering*. 132.2: 214-218.
- Shabayek, S., Steffler, P and Hicks, F. 2002. Dynamic model for subcritical combining flows in channel junctions. *Journal of Hydraulic Engineering*. 128.9: 821-828.
- Shakibainia, A., Majdzadeh Tabatabai, M.R and Zarrati, A.R. 2010. Three-dimensional numerical study of flow structure in channel confluences. *Canadian Journal of Civil Engineering*. 37: 772-781.
- Weber, L.J., Shumate, E.D and Mawer, N. 2001. Experiments on flow at a 90° open-channel junction. *Journal of Hydraulic Engineering*. 127.5: 340-350.
- Zhang, T., Wei-lin, X.U., Ping, W.U. 2009. Numerical simulation of three-dimensional characteristics of flow at 90° open-channel junction. *Journal of Hydraulic Engineering*. 40.1: 52-59.
- multi-phase flow through open channel confluence. *World Environmental and Water Resources Congress*. California, May 22-26: 2176-2183.
- Borghei, S.M and Jabbari, A. 2010. Local scour at open-channel junctions. *Journal of Hydraulic Research*. 48.4: 538-542.
- 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*. 111: 1-22.
- Bradbrook, K.F., Biron, P., Lane, S.N., Richards, K.S and Roy, A.G. 1998. Investigation of controls on secondary circulation in a simple confluence geometry using a three-dimensional numerical model. *Hydrological Processes*. 12: 1371-1396.
- Bradbrook, K.F., Lane, S.N., Richards, K.S., Biron, P.M and Roy, A.G. 2000. Large eddy simulation of periodic flow characteristics at river channel confluences. *Journal of Hydraulic Research*. 38.3: 207-215.
- Cohelo, M.P. 2015. Experimental determination of free surface levels at open-channel junctions. *Journal of Hydraulic Research*. 53.3: 394-399.
- Dordevic, D. 2012. Application of 3D numerical models in confluence hydrodynamics modeling. 19th International Conference on Water Resources. 1-8.

Numerical Simulation of Side Slope Effect of Main Channel Wall on Flow Behavior in Open Channels Junction

M. R. Nikpour^{1*}, P. Khosravinia²

Received: Jun.20, 2017

Accepted: Agus.01, 2017

Abstract

Appearance of erosion hole and depositional bar has is directly related to hydraulic condition around the rivers confluences zone. In this research, flow pattern in open channel junction was 3D simulated by Fluent and using experimental data. In the experimental study, effects of a 45° side slope in main channel on hydraulic characteristics of flow were investigated and compared with those at a 90° side slope. In this research, furthermore 90° and 45° side slopes, flow patterns of 60° and 75° side slopes were simulated for the same hydraulic conditions. Prediction accuracy of flow field by the numerical model was acceptable and maximum error of simulation was seen around the junction area. Computational error average of velocity for 45° and 90° side slopes were achieved 7.06% and 9.86%, respectively. Results showed falling of water profile surface at avalanche face became milder by decreasing of side slope angle of the main channel wall. The falling values of water profile surface at avalanche face for 90°, 75°, 60° and 45° side slopes were achieved 1.34%, 1.13%, 0.90% and 0.68%. Moreover, by weaken of circular flows, length and width of the separation zone became larger near the water surface. Also, unlike the perpendicular wall, near the bed was not seen a specified separation zone for the inclined walls.

Keywords: Fluent, Junction, Separation zone, Side slope

1- Assistant Professor of Water Engineering. Department of Water Engineering. Faculty of Agriculture and Natural Resources. University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.

2- Assistant Professor of Water Engineering. Department of Water Sciences and Engineering. Faculty of Agriculture. University of Kurdistan, Sanandaj, Iran.

(*-Corresponding Author Email: m_nikpour@uma.ac.ir)