

بررسی آزمایشگاهی و عددی تاثیر شیب جانبی کانال اصلی بر الگوی جریان در تلاقی ۹۰ درجه کانال‌های باز

پیام خسروی نیا^{۱*}، علی حسین‌زاده دلیر^۲، محمود شفاعی بجستان^۳ و داود فرسادی‌زاده^۴

تاریخ دریافت: ۹۲/۰۴/۲۳ تاریخ پذیرش: ۹۲/۰۸/۰۵

^۱ دانشجوی دکتری، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

^۲ استاد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

^۳ استاد دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز

^۴ دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: p.khosravinia@tabrizu.ac.ir

چکیده

پیدایش حفره‌های فرسایشی و مناطق رسوب‌گذاری ارتباط مستقیمی به هیدرولیک جریان در محدوده تلاقی کانال‌ها و رودخانه‌ها دارد. الگوی جریان در محل اتصال کانال‌ها بسیار پیچیده و تابع متغیرهای مختلفی می‌باشد. در تحقیق حاضر تاثیر شیب جانبی ۴۵ درجه کانال اصلی بر توزیع سرعت، سطح آب و ابعاد ناحیه جداشدگی جریان در یک تلاقی با زاویه اتصال ۹۰ درجه بررسی و با حالت شیب جانبی ۹۰ درجه مقایسه شد. برای این منظور مولفه‌های سه بعدی جریان در آزمایشگاه اندازه‌گیری و به کمک این داده‌ها مدل عددی فلونت کالیبره گردید. در شبیه‌سازی عددی از مدل آشفتگی $k-\varepsilon$ از نوع RNG استفاده شد. بررسی نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که طول و پهنای ناحیه جداشدگی در شیب جانبی ۴۵ درجه نسبت به شیب جانبی ۹۰ درجه در کف بستر کوچکتر و در سطح آب بزرگتر است. در شیب جانبی ۴۵ درجه به دلیل پهنای بسیار کم ناحیه جداشدگی در نزدیکی کف، ناحیه با شتاب زیاد در پایین دست اتصال به وجود نمی‌آید و منجر به کاهش تنش برشی در این قسمت می‌شود. همچنین تغییرات عمق آب در ابتدا و انتهای کانال اصلی در شیب ۴۵ و ۹۰ درجه به ترتیب ۲/۱ و ۳/۳ درصد نسبت به عمق آب ابتدای کانال اصلی است.

واژه‌های کلیدی: الگوی جریان، تلاقی رودخانه‌ها، شیب جانبی کانال، مدل آشفتگی $k-\varepsilon$ ، ناحیه جداشدگی جریان

Experimental and Numerical Investigations of the Effect of Main Channel Side Slope on Flow Pattern in Right Angle Confluence of Channels

P Khosravinia^{*1}, A Hosseinzadeh Dalir², M Shafai Bajestan³ and D Farsadizadeh⁴

Received: 14 July 2013 Accepted: 27 October 2013

¹ Ph.D. Student, Dept. of water Engin., Faculty of Agric., Univ. of Tabriz, Iran

² Prof., Dept. of Water Engin., Faculty of Agric., Univ. of Tabriz, Iran

³ Prof., Faculty of Water Engin., Univ. of Shahid Chamran, Ahwaz, Iran

⁴ Assoc. Prof., Dept. of Water Engin., Faculty of Agric., Univ. of Tabriz, Iran

*Corresponding Author Email: P.khosravinia@tabrizu.ac.ir

Abstract

Existence of scour holes and depositional bar is directly related to flow pattern in river confluence zone. In channel junction zone, the flow pattern is very complex as a function of different parameters. In the current research, the effects of a 45- degree side slope in main channel on velocity distribution, water surface profile and dimension of separation zone at a 90- degree junction were investigated and compared with those at a 90- degree side slope. For this purpose, the experimental components of 3 dimensional (D) flows were measured and on the basis of them numerical Fluent model was calibrated. The $k - \varepsilon$ Turbulence model including RNG was applied for numerical simulation. The results indicated that for a 45-degree side slope the length and width of the separation zone in comparison with a 90- degree side slope were smaller in bed and larger in water surface. For a 45- degree side slope, due to very small width of the separation zone near the bed, a region with high acceleration in downstream of junction was not formed and the rate of shear stress was reduced in this region. Also, the results showed that the water depth variations at the beginning and end of main channel for 45 and 90- degree side slopes were 2.1 and 3.3 percent, respectively.

Keywords: Channel side slope, Flow pattern, Flow separation zone, $k - \varepsilon$ turbulence model, River confluence

بنابراین با توجه به الگوی جریان نزدیک محل تلاقی در اثر همگرایی جریان شاخه فرعی و کانال اصلی، همچنین تاثیر جریان شاخه فرعی بر پارامترهای هیدرولیکی کانال اصلی نظیر سطح آب، پروفیل سرعت و

مقدمه

جریان در تلاقی کانال‌ها و رودخانه‌ها در اثر برخورد دو جریان کانال اصلی و شاخه فرعی و اثر متقابل آنها با بستر به صورت سه بعدی می‌باشد.

برای زاویه اتصال ۹۰ درجه روابط زیر را برای نسبت طول و پهناي ناحیه جدشدگی ارائه کردند:

$$\frac{L}{B_3} = 2.587 + 1.025 \ln(Q_r) \quad [1]$$

$$\frac{H}{B_3} = 0.506 + 0.205 \ln(Q_r) \quad [2]$$

در این روابط L و H به ترتیب طول و حداکثر پهناي ناحیه جدشدگی جریان می‌باشند. Q_r نسبت دبی شاخه فرعی به دبی کل است.

بایرون و همکاران (۱۹۹۶) تحقیقاتی بر روی تلاقی کانال‌های غیر همکف انجام دادند. نتایج تحقیقات آنها نشان داد که الگوی جریان در تلاقی کانال‌های غیرهمکف به طور قابل ملاحظه‌ای متفاوت از تلاقی کانال‌های همکف است. همچنین سرعت‌های اندازه‌گیری شده در پایین‌دست گوشه اتصال نشان داد که در تلاقی‌های غیر همکف در نزدیک بستر اثری از ناحیه جدشدگی جریان وجود ندارد ولی در سطح آب این ناحیه به وجود می‌آید و حتی بردارهای سرعت معکوس نیز مشاهده شد.

گورام و همکاران (۱۹۹۷) با مطالعه هیدرولیک جریان بر روی یک اتصال با زوایای ۳۰، ۶۰ و ۹۰ درجه روابطی برای محاسبه ابعاد ناحیه جدشدگی در شرایط زیر بحرانی ارائه نمودند:

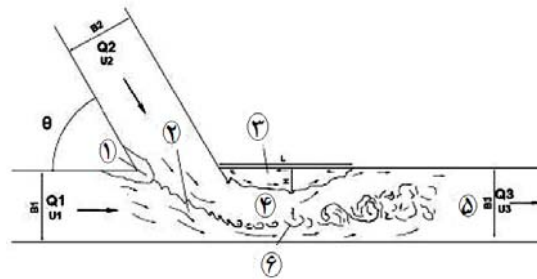
$$\frac{H}{B_3} = 0.5 \left(F_{rd} - \frac{2}{3} \right)^2 + 0.45 \left(\frac{Q_2}{Q_3} \right)^{1/2} \left(\frac{\theta}{90} \right) \quad [3]$$

$$\frac{L}{B_3} = 3.8 \sin^3 \theta \left(1 - \frac{1}{2} F_{rd} \right) \left(\frac{Q_2}{Q_3} \right)^{1/2} \quad [4]$$

در این روابط F_{rd} عدد فرود پایاب و θ زاویه اتصال کانال فرعی به کانال اصلی می‌باشد.

وبر و همکاران (۲۰۰۱) جریان سه بعدی در محل یک اتصال ۹۰ درجه را با اندازه‌گیری بردارهای سرعت در سه جهت در نقاط مختلف توصیف کردند. نتایج تحقیق آن‌ها نشان داد که ناحیه جدشدگی 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

مشخصات ناحیه جدشدگی جریان در پایین‌دست منطقه تلاقی، این پدیده پیچیده خواهد بود. بدین منظور در سال‌های اخیر مطالعات بسیاری در زمینه شناخت الگوی جریان در محل تلاقی رودخانه‌ها و کانال‌های باز صورت گرفته است. تیلور (۱۹۴۴) با مطالعه آزمایشگاهی بر روی یک تقاطع و با استفاده از روابط مومنوم و پیوستگی، اولین کسی بود که رابطه عمق نسبی در محل تلاقی را ارائه نمود (موسوی جهرمی و گودرزی‌زاده، ۱۳۹۰). بست و رید (۱۹۸۴) مدل کلی جریان در محل تلاقی رودخانه‌ها را به صورت شماتیک مطابق شکل ۱ نشان داد.



شکل ۱- الگوی جریان در تلاقی کانال‌ها (بست و رید ۱۹۸۴).

در محدوده تلاقی، شش ناحیه مختلف شناسایی شد که شامل: (۱) ناحیه رکود (۲) ناحیه انحراف جریان (۳) ناحیه جدشدگی (۴) ناحیه حداکثر سرعت (۵) ناحیه باز یافت جریان و (۶) ناحیه لایه‌های برشی می‌باشد (قبادیان و همکاران ۱۳۸۵). نتایج تحقیقات موسلی (۱۹۷۶)، آشمور و پارکر (۱۹۸۳) و بست (۱۹۸۸) در خصوص محل و اندازه این ناحیه‌ها، بویژه ابعاد ناحیه جدشدگی جریان و لایه برشی، نشان می‌دهد که پارامترهای مهم جریان در تلاقی کانال‌ها و رودخانه‌ها، نسبت دبی، زاویه تلاقی θ ، نسبت عرض دو کانال و عدد فرود جریان در پایین‌دست تلاقی می‌باشند.

مطالعات آزمایشگاهی بست و رید (۱۹۸۴) بر روی یک تلاقی با شیب جانبی ۹۰ درجه و چهار زاویه اتصال متفاوت ۱۵، ۴۵، ۷۰ و ۹۰ درجه نشان داد که با افزایش نسبت دبی شاخه فرعی به دبی کل، طول و پهناي ناحیه جدشدگی جریان افزایش می‌یابد. همچنین

دوردویچ (۲۰۱۲) با استفاده از نرم افزار SSIM2 و با کمک مدل حجم محدود سه بعدی با مدل آشفتگی $k - \varepsilon$ ، جریان در تلاقی کانال‌ها را شبیه‌سازی کرد. نتایج نشان می‌دهد که مونتوم انتقالی از شاخه فرعی به کانال اصلی، تغییرات منطقه جادشدگی جریان همچنین شکل پروفیل سرعت به طور رضایت بخشی مدل گردید. با این وجود مقادیر سرعت بویژه سرعت‌های عمودی کمتر از مقدار واقعی تخمین زده شد.

بررسی منابع وسیعی که در زمینه هیدرولیک جریان در محل تلاقی کانال‌ها انجام گرفته است، نشان می‌دهد که مطالعات آزمایشگاهی و عددی انجام شده، در فلوهای مستطیلی شکل بوده‌است درحالی که چنین شرایطی در طبیعت وجود ندارد و معمولاً سواحل رودخانه‌ها مایل هستند. از طرفی شیب سواحل باعث تغییر الگوی سه بعدی جریان در محل تلاقی نسبت به دیواره قائم می‌گردد. بررسی میزان این تغییرات در اثر مایل کردن ساحل با زاویه ۴۵ درجه نسبت به دیواره قائم هدف اصلی مطالعه حاضر می‌باشد.

مواد و روش‌ها

مدل آزمایشگاهی

آزمایشات هیدرولیکی تحقیق حاضر در آزمایشگاه هیدرولیک گروه مهندسی آب دانشگاه تبریز انجام گرفت. کانال اصلی به طول ۶ متر، عمق ۰/۵ متر و عرض ۰/۸ متر و در کنار آن یک 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. روش کار بدین صورت بود که ابتدا دبی کانال اصلی تنظیم و ثابت می‌شد، در این حالت کانال فرعی به عنوان یک آبگیر با دبی صفر عمل می‌کرد. بعد از آن دبی مورد نظر کانال فرعی با باز کردن شیر فلکه مربوطه به جریان اضافه می‌شد. برای تنظیم سطح آب در انتهای کانال اصلی از تیرک‌های آییند^۱ به ارتفاع ۱

جادشدگی کوچکتر می‌شود. نتیجه مشابهی را هوانگ و همکاران (۲۰۰۲)، کوینگ یوان و همکاران (۲۰۰۹)، بنکداری و همکاران (۲۰۱۱) و گوهری (۱۳۹۱) گزارش کردند.

قبادیان و همکاران (۱۳۸۵) تاثیر عوامل نسبت دبی شاخه فرعی به دبی کل، نسبت عرض کانال فرعی به اصلی و عدد فرود جریان در پایین دست را بر ابعاد ناحیه جادشدگی جریان در یک تلاقی ۹۰ درجه بررسی کردند و روابط زیر را به دست آوردند:

$$\frac{L}{B_3} = 1.713 Q_r^{0.846} - 0.265 \ln(F_{rd}) - 0.999 B_r \quad [5]$$

$$\frac{H}{B_3} = 0.429 Q_r^{0.354} e^{-0.457 F_{rd}} B_r^{-0.207} \quad [6]$$

نتایج تحقیقات آن‌ها همچنین نشان داد که افزایش نسبت دبی باعث افزایش طول و پهنای ناحیه جادشدگی جریان می‌گردد در حالی که افزایش عدد فرود پایاب و نسبت پهنای این ناحیه را کاهش می‌دهد.

شبیه‌سازی عددی مسایل مهندسی این امکان را می‌دهد که با کمترین هزینه و پرهیز از مشکلات روش‌های آزمایشگاهی به پاسخ مورد نظر دست یافت. به همین دلیل مطالعات عددی مختلفی در زمینه پدیده تلاقی کانال‌های باز توسط محققین انجام گرفته است که می‌توان به تحقیقات برادبروک و همکاران (۱۹۹۸)، برادبروک و همکاران (۲۰۰۰)، وانگ و چنگ (۲۰۰۰)، شابایک و همکاران (۲۰۰۲)، بایرون و همکاران (۲۰۰۴)، شکیبایی نیا و همکاران (۲۰۱۰) اشاره کرد.

موسوی جهرمی و گودرزی زاده (۱۳۹۰) با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی شوماته (۱۹۹۸) و با کمک مدل آشفتگی تنش رینولدز (RSM) به بررسی الگوی جریان سه بعدی در تلاقی کانال‌های باز پرداختند. نتایج نشان داد که مدل مزبور الگوی کلی جریان در محل تلاقی کانال‌ها را در حد مناسبی شبیه‌سازی کرده و متوسط خطای پیش‌بینی سرعت در طول کانال اصلی بین ۳/۵ تا ۱۰ درصد می‌باشد.

^۱ Stop log

در شکل ۵ نحوه نصب، داده برداری و نقاط برداشت سطح آب نشان داده شده است.



(الف)



(ب)

شکل ۲- مدل آزمایشگاهی تحقیق حاضر (الف) شیب جانبی ۴۵ درجه (ب) شیب جانبی ۹۰ درجه.

طول و پهنای ناحیه جداشدگی پس از برقراری جریان و تنظیم نسبت دبی و عدد فرود مورد نظر با استفاده از تزریق ماده رنگی از بالادست گوشه اتصال در کانال فرعی و توسط یک خط کش با دقت یک میلی-متر بدست می‌آید. بدین صورت که حداکثر طول و پهنای مشاهده شده در حین تزریق مواد رنگی مد نظر قرار می‌گیرد. شرایط آزمایشگاهی و مشخصات جریان در جدول ۱ آورده شده است. یکسان نبودن اعماق پایاب

سانتی‌متر استفاده شد. با توجه به اینکه آزمایشات در دو شیب جانبی ۹۰ و ۴۵ درجه کانال اصلی انجام می‌گرفت، لازم بود تا تغییراتی در کانال داده شود. بدین منظور با استفاده از صفحات پلکسی گلاس عرض کانال را به ۰/۵ متر کاهش داده و شیب ۴۵ و ۹۰ درجه اجرا گردید (شکل ۲). لازم به ذکر است که عرض کف کانال اصلی در دو شیب، ۰/۵ 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.

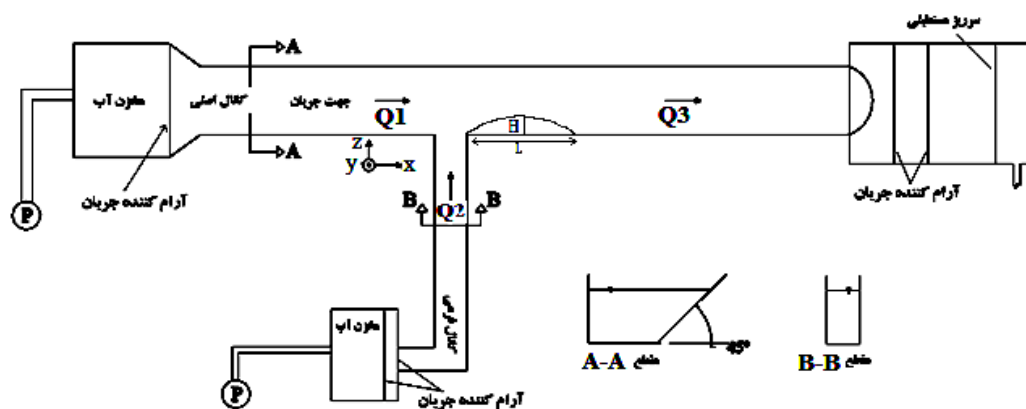
شکل ۳ طرح شماتیک کانال‌های آزمایشگاهی را نشان می‌دهد.

به منظور اندازه‌گیری سرعت لحظه‌ای جریان از یک دستگاه سرعت‌سنج سه بعدی^۱ استفاده شد. مقدار سرعت لحظه‌ای سیال در سه جهت عمود بر هم در تعداد زیادی نقطه از پیش تعیین شده اندازه‌گیری شد. وضعیت قرارگیری حسگر دستگاه اندازه‌گیری به صورتی تنظیم شد که مولفه X سرعت، در جهت جریان کانال اصلی و مولفه Y سرعت، از سطح سیال به سمت کف و مولفه Z سرعت، عمود بر آن‌ها و در جهت کانال فرعی قرار گرفت (شکل ۴). سرعت در ۱۱ مقطع متفاوت مطابق شکل ۴ (ب) اندازه‌گیری شد. در هر مقطع نیز سرعت سیال در ۸ نقطه که به فاصله یکسان ۵ سانتی-متری از یکدیگر قرار گرفته اند، اندازه‌گیری شد. اندازه‌گیری‌ها در هر نقطه مجموعاً برای سه ارتفاع متفاوت ۱، ۵ و ۱۰ سانتی‌متری از کف کانال انجام گرفت. برای اندازه‌گیری سطح آب از یک دستگاه سطح‌سنج التراسونیک^۲ استفاده گردید. این دستگاه شامل یک حسگر فرستنده و گیرنده امواج مافوق صوت است که با ساطع کردن موج صوتی و دریافت انعکاس آن (ناشی از برخورد موج صوتی به سطح آب) اطلاعات سطح آب را با کمک پردازشگر توسط نرم‌افزار مناسب به کامپیوتر منتقل می‌کند. در این تحقیق تنها مقادیر سطح آب مربوط به کانال اصلی برای مقایسه ارائه می‌شوند.

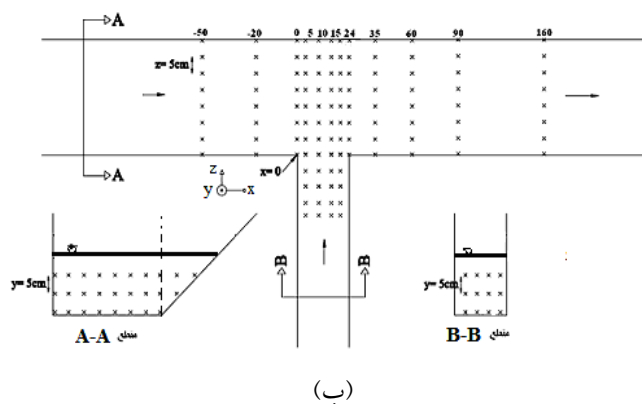
¹ Acoustic Doppler Velocimeter (ADV)

² Ultrasonic

در دو شیب ۴۵ و ۹۰ درجه به دلیل سطح مقطع متفاوت کانال اصلی در دو شیب مذکور می‌باشد.



شکل ۳- شماتیک کانال‌های آزمایشگاهی در تحقیق حاضر.



(الف)

شکل ۴- دستگاه سرعت سنج سه بعدی (الف) حسگر دستگاه در حال داده‌برداری (ب) محل اندازه‌گیری سرعت.

مدل عددی

شبیه‌سازی جریان‌های چرخشی در تلاقی کانال‌ها دارد (بایرون و همکاران ۲۰۰۴، برادبروک و همکاران ۲۰۰۰). به همین دلیل در تحقیق حاضر برای نشان دادن الگوهای جریان از این مدل استفاده گردید. روش حل معادلات مربوطه، روش حجم محدود^۲ می‌باشد. برای تحلیل جریان در کنار دیواره مدل تابع دیواره نامتعادل^۳ به کار گرفته شد.

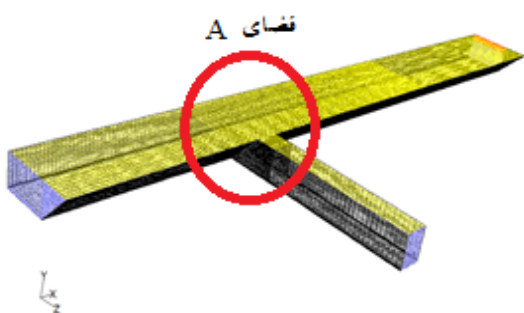
در این تحقیق برای شبیه‌سازی سه بعدی جریان در تلاقی کانال‌های باز از مدل FLUENT استفاده شده است. در این مدل معادلات پیوستگی و مومنتوم ناویر-استوکس به همراه معادلات آشفنگی و مدل شبیه‌سازی جریان چند فاز^۱ و الگوریتم‌های حل همزمان سرعت فشار (الگوریتم SIMPLE C و PISO) گسسته‌سازی و حل می‌شوند. از میان مدل‌های مختلف تلاطم مدل $\epsilon-k$ از نوع RNG یک مدل عمومی است و قابلیت بالایی در

^۲ Finite volume method

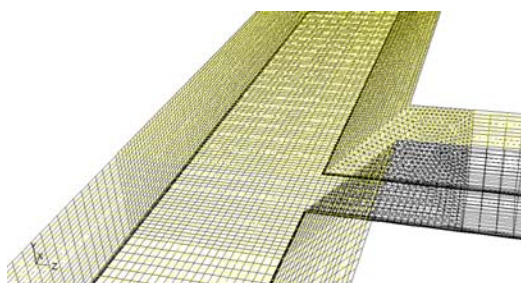
^۳ Non-equilibrium wall function

^۱ Multi phase flow

سرعت جریان در ابتدای کانال اصلی و B_3 عرض کف بستر کانال می‌باشد. در $x=0$ که مربوط به ابتدای تلاقی می‌باشد مشاهده می‌شود که سمت راست پروفیل سرعت از حالت یکنواختی خارج و مقادیر بی‌بعد سرعت کمتر شده است.



(الف)

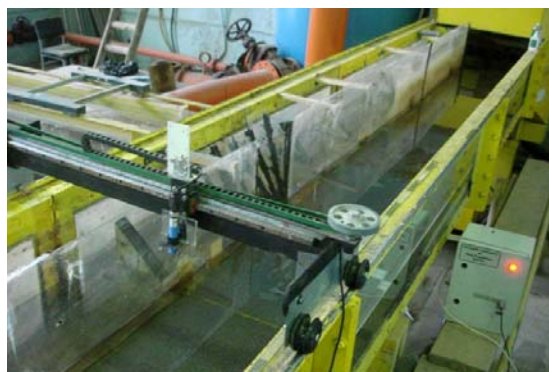


(ب)

شکل ۶- الف) شبکه بندی میدان حل (ب) هندسه شبکه بندی مدل (فضای A).

در $x=24$ سانتی‌متر که انتهای تلاقی نیز می‌باشد، همانگونه که مشاهده می‌شود پروفیل سرعت در قسمت نزدیک دیوار تلاقی به دلیل جریان ورودی از کانال فرعی مقداری بزرگتر بوده و با فاصله گرفتن از تلاقی تقریباً حالت یکنواخت خود را حفظ کرده است. در $x=35$ سانتی‌متر همانگونه که در شکل مشاهده می‌شود، در شیب ۴۵ درجه با فاصله گرفتن از کف بستر سرعت‌های منفی به وجود می‌آیند که نشان‌دهنده این موضوع است که ناحیه جداشدگی در سطح آب بزرگتر از کف بستر می‌باشد.

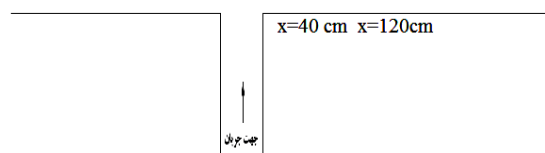
شبکه محاسباتی مورد نیاز توسط نرم افزار Gambit ساخته شد. برای مستقل از شبکه کردن مدل، برای هر کدام از تلاقی‌های با شیب جانبی ۹۰ و ۴۵ درجه، تعداد شش مدل اجرا شد که در نهایت با توجه به مقدار خطا نسبت به مدل فیزیکی برای مدل‌های با شیب ۹۰ و ۴۵ درجه به ترتیب از شبکه یکسان با تعداد تقریبی ۲۱۶۳۶۰ و ۳۹۷۹۶۰ المان محاسباتی استفاده شد. شکل ۶ هندسه شبکه‌بندی شده مدل با شیب ۴۵ درجه را در محیط Gambit نشان می‌دهد.



(الف)

$x=50\text{ cm}$ $x=0$ $x=24\text{cm}$ $x=80\text{cm}$ $x=150\text{cm}$

جهت جریان \rightarrow x x x x x x x \rightarrow جهت جریان



(ب)

شکل ۵- دستگاه سطح‌سنج التراسونیک- الف) نحوه نصب و داده‌برداری (ب) محل اندازه‌گیری سطح آب.

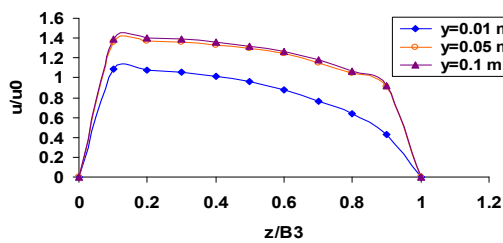
نتایج و بحث

نتایج آزمایشگاهی

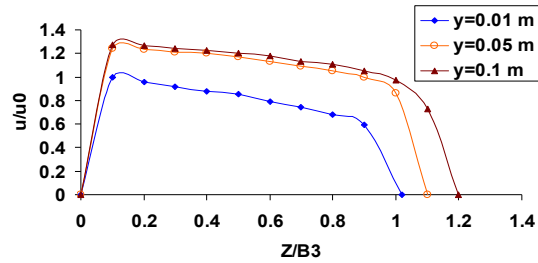
در شکل ۷ پروفیل بدون بعد سرعت‌های اندازه‌گیری شده در جهت محور طولی کانال اصلی و برای دو شیب جانبی ۴۵ و ۹۰ درجه در فواصل مختلف از ابتدای کانال اصلی و در ارتفاع ۱، ۵ و ۱۰ سانتی‌متری از کف بستر نشان داده شده است. در این نمودارها u_0

جدول ۱- شرایط آزمایشگاهی جریان.

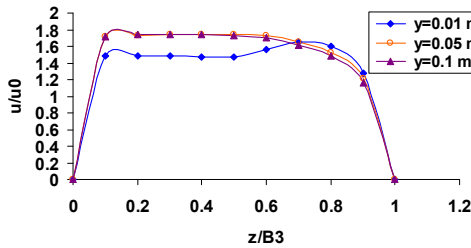
R_{ed}	F_{rd}	$Y_d(\text{cm})$	$Q_r=Q_2/Q_3$	$Q_3(\text{L/s})$	$Q_2(\text{L/s})$	$Q_1(\text{L/s})$	شیب جانبی کانال اصلی
۲۳۵۵۵	-/۱۳	۲۳/۰۴	-/۲۷۶	۲۵	۶/۹	۱۸/۱	شیب ۴۵ درجه
۲۵۹۹۸	-/۱۴	۲۲/۸۵	-/۲۷۶	۲۵	۶/۹	۱۸/۱	شیب ۹۰ درجه



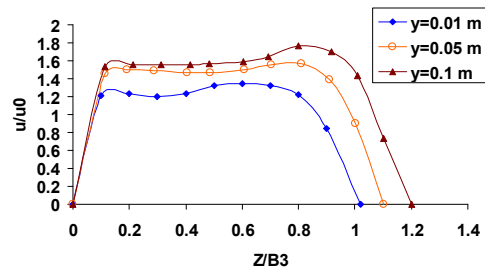
(الف) - $X=0$ cm و شیب جانبی ۹۰ درجه



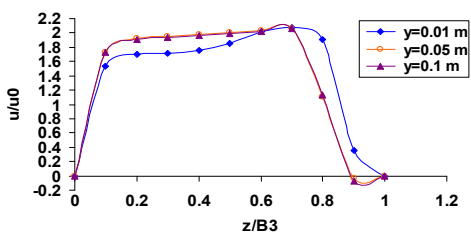
(الف) - $X=0$ cm و شیب جانبی ۴۵ درجه



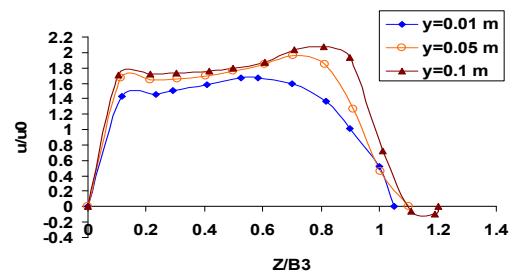
(ب) - $X=24$ cm و شیب جانبی ۹۰ درجه



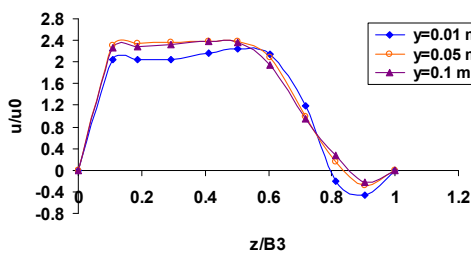
(ب) - $X=24$ cm و شیب جانبی ۴۵ درجه



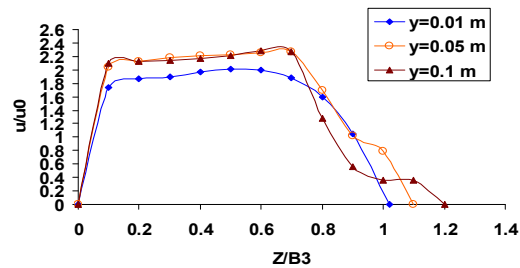
(ج) - $X=35$ cm و شیب جانبی ۹۰ درجه



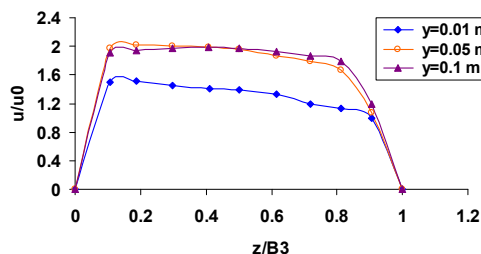
(ج) - $X=35$ cm و شیب جانبی ۴۵ درجه



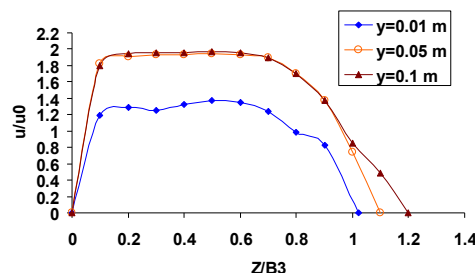
(د) - $X=90$ cm و شیب جانبی ۹۰ درجه



(د) - $X=90$ cm و شیب جانبی ۴۵ درجه



شکل ۶- (ه) و شیب جانبی ۹۰ درجه $X = 160 \text{ cm}$

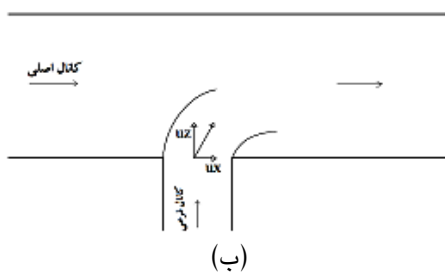


شکل ۷- (ه) و شیب جانبی ۴۵ درجه $X = 160 \text{ cm}$

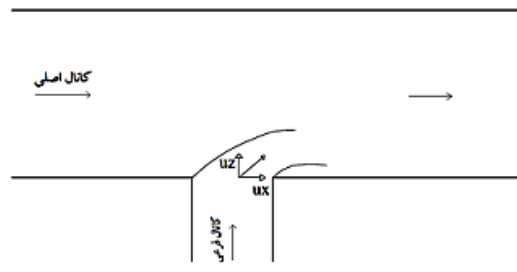
شکل ۷- پروفیل سرعت‌های اندازه‌گیری شده در جهت محور طولی برای فواصل الف) $x = 0 \text{ cm}$ ب) $x = 24 \text{ cm}$ ج) $x = 35 \text{ cm}$ د) $x = 90 \text{ cm}$ ه) $x = 160 \text{ cm}$ (ستون راست مربوط به شیب ۴۵ درجه و ستون چپ شیب ۹۰ درجه است).

مطابق شکل ۸ مونتوم ورودی از کانال فرعی به دو مولفه در جهت X و Z تجزیه می‌شود. همانگونه که مشاهده می‌شود هر چه زاویه بردارهای سرعت ورودی به کانال اصلی نسبت به محور اصلی کانال بزرگتر باشند، متعاقب آن سرعت در جهت Z افزایش یافته و انسداد بیشتری در مقابل جریان کانال اصلی به وجود می‌آورد و باعث تورفتگی پروفیل سرعت در مقطع ابتدای تلاقی می‌شود. این مسئله در هر دو شیب جانبی ۴۵ و ۹۰ درجه وجود دارد با این تفاوت که در شیب ۴۵ درجه به دلیل شیب‌دار بودن کانال اصلی، زاویه مونتوم ورودی از کانال فرعی بیشتر به سمت پایین‌دست است و به همین دلیل انسداد کمتری در جلوی جریان کانال اصلی به وجود می‌آید.

در پایین‌دست تلاقی در $x = 90$ سانتی‌متری از ابتدای تلاقی، برای شیب جانبی ۹۰ درجه سرعت‌های بدون بعد منفی در دیواره سمت تلاقی مشاهده 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 شیب جانبی ۴۵ درجه به دلیل تلاطم کم در ناحیه جداشدگی مقادیر منفی سرعت در جهت طولی کانال اصلی ایجاد نمی‌شود. در فاصله ۱۶۰ سانتی‌متری از ابتدای تلاقی ($x = 160 \text{ cm}$) با فاصله گرفتن از ناحیه جداشدگی جریان، پروفیل سرعت در تلاقی با شیب ۹۰ درجه به حالت یکنواخت خود نزدیک می‌شود در صورتی که در شیب جانبی ۴۵ درجه پروفیل سرعت هنوز به حالت یکنواخت خود نرسیده است.



(ب)



(الف)

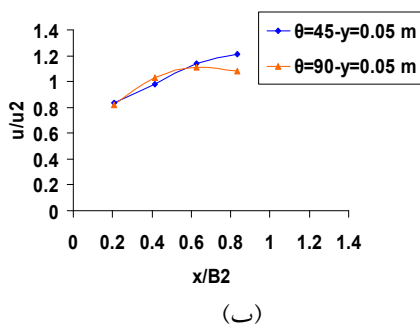
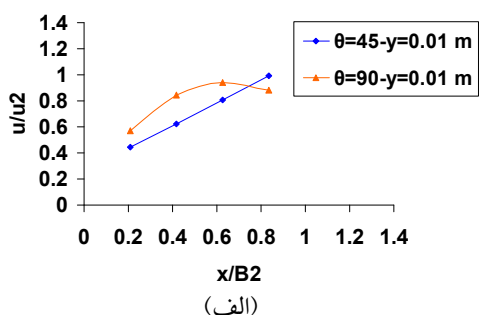
شکل ۸- طرح شماتیک مونتوم جریان ورودی از کانال فرعی الف) ۴۵ درجه ب) ۹۰ درجه.

پروفیل سرعت در کانال فرعی
شکل ۹ پروفیل سرعت در جهت محور Z را در کانال فرعی و در فاصله ۲۰ سانتی‌متری از ابتدای تلاقی

به طور نمونه برای دو حالت کانال اصلی با شیب ۴۵ درجه و کانال اصلی با شیب ۹۰ درجه نشان می‌دهد. در این نمودارها u_2 معرف سرعت در کانال

پروفیل سرعت در کانال فرعی
شکل ۹ پروفیل سرعت در جهت محور Z را در کانال فرعی و در فاصله ۲۰ سانتی‌متری از ابتدای تلاقی

بنابراین با توجه به دلایل مذکور تغییرات پروفیل سطح آب در شیب ۴۵ درجه نسبت به شیب ۹۰ درجه کمتر است. درصد تغییرات عمق آب در ابتدا و انتهای کانال اصلی در شیب ۴۵ و ۹۰ درجه به ترتیب ۲/۱ و ۳/۳ درصد نسبت به عمق ورودی جریان در کانال اصلی، همچنین درصد تغییرات عمق آب در مقطع بعد از تلاقی در شیب ۴۵ و ۹۰ درجه به ترتیب ۰/۶ و ۱/۵ درصد می‌باشد. این مسئله مطمئناً با افزایش عدد فرود و یا نسبت دبی نمود بیشتری پیدا می‌کند.



شکل ۹- پروفیل سرعت در کانال فرعی در فاصله $z = -20$ cm و ارتفاع از کف بستر الف) ۱ سانتی‌متر ب) ۵ سانتی-متر.

نسبت عمق آب بالادست تلاقی به عمق پایاب $\left(\frac{y_1}{y_d}\right)$ در شیب ۴۵ و ۹۰ درجه به ترتیب ۱/۰۳۳ و ۱/۰۱۹ می‌باشد. در شیب ۹۰ درجه بردارهای جریان با زاویه بزرگتری وارد کانال اصلی شده، به همین دلیل پهنای ناحیه جداسازی جریان افزایش می‌یابد و سطح مقطع جریان در محل تلاقی کاهش می‌یابد. کاهش بیشتر مقطع جریان باعث برگشت آب در بالادست تلاقی شده

فرعی و B_2 عرض کف کانال فرعی می‌باشد. در شکل الف) مقادیر سرعت در فاصله ۱ سانتی‌متری از کف کانال و در شکل ب) در فاصله ۵ سانتی‌متری از کف کانال نشان داده شده است. همانگونه که در شکل الف) مشاهده می‌شود پروفیل سرعت کانال فرعی در شیب جانبی ۴۵ درجه کانال اصلی، گرایش بیشتری به سمت راست دیواره کانال فرعی و خروج از آن دارد. این مسئله به دلیل شیب دیواره جانبی کانال اصلی می‌باشد. مقایسه دو شکل الف) و ب) نشان می‌دهد که در فاصله نزدیک کف بستر، گرایش جریان شاخه فرعی به سمت گوشه پایین‌دست اتصال در تلاقی با شیب ۴۵ درجه بیشتر از ۹۰ درجه است و با فاصله گرفتن از کف بستر این تفاوت کمتر می‌شود. به همین دلیل در شیب جانبی ۴۵ درجه در نزدیک بستر در کانال اصلی و بلافاصله بعد از تلاقی ابعاد ناحیه جداسازی بطور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد.

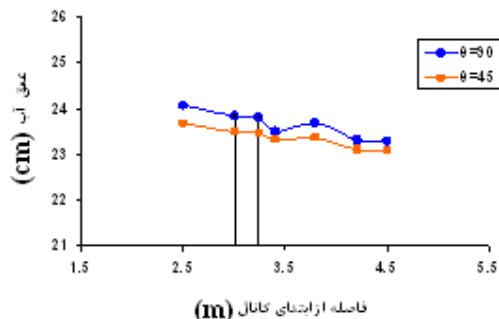
پروفیل سطح آب

شکل ۱۰ پروفیل سطح آب را برای دو شیب جانبی ۴۵ و ۹۰ درجه در طول کانال اصلی و برای نقاط مشخص شده در شکل ۵) نشان می‌دهد. همان‌طور که از نمودار مشخص است شیب ۴۵ درجه دو مزیت مهم نسبت به شیب ۹۰ درجه به همراه دارد. اولین مزیت مربوط به شیب ملایم سطح آب بلافاصله بعد از تلاقی است. 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 ناچیزی خواهد داشت. به عبارت دیگر سطح ریزش^۱ در محل تلاقی کمتر است. دومین مزیت شیب ۴۵ درجه مربوط به نسبت اعماق بالادست و پایین‌دست تلاقی است. همان‌طور که گفته شد، در شیب ۴۵ درجه مقداری از جریان از روی شیب عبور کرده به همین دلیل جریان کانال فرعی به عنوان مانع بزرگی در مقابل جریان کانال اصلی عمل نمی‌کند و لذا برگشت آب کمتری نسبت به شیب ۹۰ درجه به سمت بالادست خواهد داشت.

^۱ Avalanche face

همانگونه که از جدول ۲ مشخص است طول و پهناي ناحیه جداولگی در شیب جانبی ۴۵ درجه نسبت به شیب جانبی ۹۰ درجه در سطح جریان آب بزرگتر است. سطح مقطع جریان در کانال اصلی در شیب ۴۵ درجه در شرایط یکسان هیدرولیکی نسبت به شیب ۹۰ درجه بزرگتر است ولی کانال فرعی در هر دو شیب اندازه‌ای برابر دارند، به همین دلیل جریان ورودی از کانال فرعی در شیب ۴۵ درجه فرصت بیشتری برای ورود به کانال اصلی دارد و لذا مسافت بیشتری باید طی شود تا جریان به حالت بازیافت درآید. البته این مسئله برای بحث فرسایش و رسوبگذاری در رودخانه حایز اهمیت است. زمانی که طول ناحیه جداولگی افزایش می‌یابد رسوباتی که از محل تلاقی فرسایش یافته و به پایین دست می‌روند در فاصله طولانی‌تری نشست کرده و لذا تغییرات ریخت‌شناسی محسوسی در پایین دست تلاقی به وجود نمی‌آید. در صورتی که در شیب جانبی ۹۰ درجه، طول ناحیه جداولگی کمتر است، به دلیل اینکه ناحیه رسوبگذاری عموماً بلافاصله بعد از تلاقی ایجاد می‌شود، حجم رسوبات انباشته شده زیادی به همراه دارد. این مسئله باعث می‌شود سطح مقطع جریان به مرور کاهش یافته، سرعت جریان افزایش یافته، ناحیه حداکثر سرعت و لایه برشی به سمت دیوار مقابل تلاقی پیشروی کند که در نهایت و اثر گذر زمان باعث آسیب رساندن به ساحل مقابل تلاقی خواهد شد.

و در نتیجه نسبت $\left(\frac{y_1}{y_d}\right)$ افزایش بیشتری نسبت به شیب جانبی ۴۵ پیدا می‌کند. مقدار این نسبت برای هر دو شیب بزرگتر از یک و نزدیک یک می‌باشد. گورام و همکاران (۱۹۹۷) و قبادیان و همکاران (۱۳۸۵) در تحقیقات خود در مورد شیب جانبی ۹۰ درجه به چنین مسئله ای اشاره کرده‌اند.



شکل ۱۰- پروفیل سطح آب در طول کانال اصلی.

ابعاد ناحیه جداولگی جریان

یکی از مهمترین مشخصات مورد توجه در تلاقی رودخانه ها و کانال‌های باز ابعاد ناحیه جداولگی جریان می‌باشد. این ناحیه بلافاصله بعد از گوشه پایینی محل تلاقی در حین ورود جریان از شاخه فرعی به اصلی بوجود می‌آید. ابعاد ناحیه جداولگی جریان در دو شیب جانبی ۴۵ و ۹۰ درجه و مقایسه با روابط محققین دیگر در جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۲- ابعاد ناحیه جداولگی جریان و مقایسه با محققین دیگر.

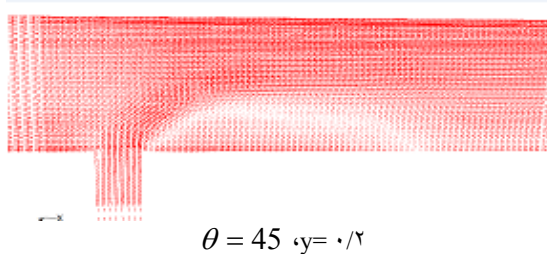
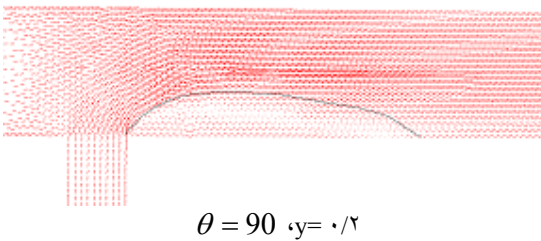
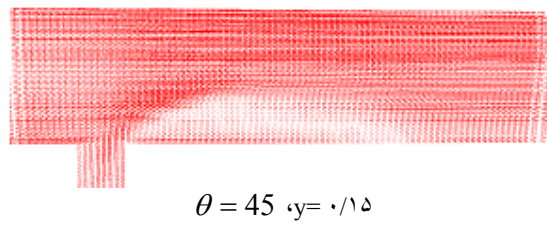
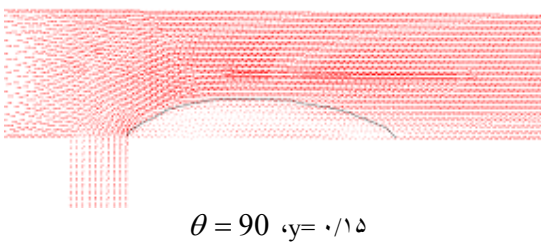
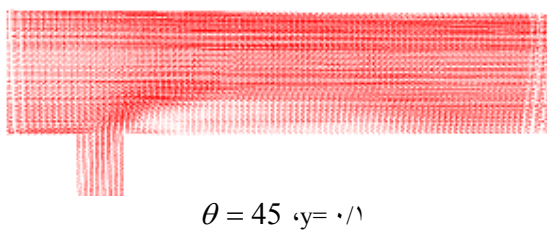
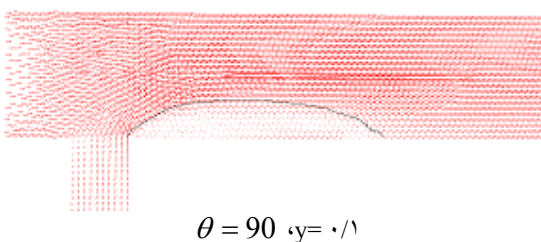
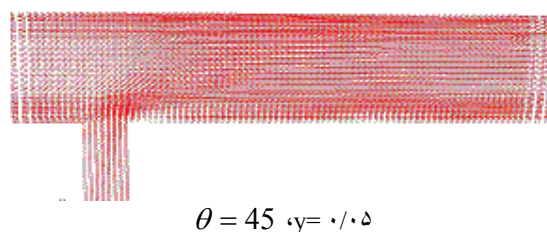
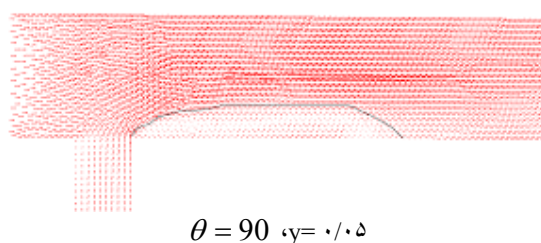
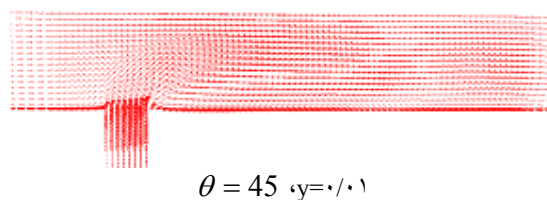
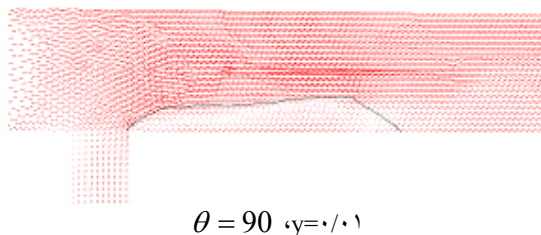
شیب جانبی	ابعاد ناحیه جداولگی جریان							
	تحقیق حاضر		بست و رید (۱۹۸۴)		گورام و همکاران (۱۹۹۷)		قبادیان و همکاران (۱۳۸۵)	
	H(cm)	L(cm)	H(cm)	L(cm)	H(cm)	L(cm)	H(cm)	L(cm)
۹۰ درجه	۱۶	۱۰۹	۱۳/۱	۷۳	۱۸/۷	۹۲	۱۷/۷	۱۰۴
۴۵ درجه	۲۱	۱۵۱	---	---	---	---	---	---

جداولگی برای شیب جانبی ۹۰ درجه با روابط محققین دیگر مقایسه شده است که نتیجه آن تطابق مناسب با رابطه قبادیان و همکاران (۱۳۸۵) می‌باشد.

با توجه به اینکه تحقیقات گذشته فقط برای شیب جانبی ۹۰ درجه انجام شده و شیب جانبی ۴۵ درجه نوآوری تحقیق حاضر می‌باشد، لذا ابعاد ناحیه

ناحیه جداشدگی در نزدیک سطح هم از نظر طول و هم از نظر پهنا بزرگتر است و چرخش جریان در ناحیه جداشدگی در نزدیک سطح نسبت به کف بیشتر است.

در شیب جانبی ۴۵ درجه به دلیل پهنای بسیار کم ناحیه جداشدگی در نزدیکی کف، ناحیه با شتاب زیاد در پایین دست اتصال به وجود نمی‌آید و کاهش تنش-های برشی را در این قسمت خواهیم داشت. همچنین



شکل ۱۱- بردارهای سرعت در صفحات افقی جریان (ستون راست: شیب ۴۵ درجه، ستون چپ: شیب ۹۰ درجه).

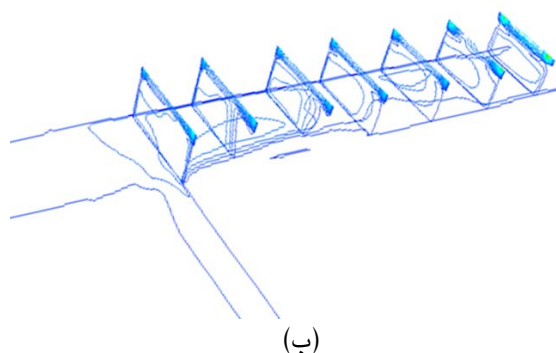
۱۵ و ۲۰ سانتی‌متری از کف بستر نشان می‌دهد. ستون سمت راست مربوط به شیب ۴۵ درجه و ستون سمت چپ مربوط به شیب ۹۰ درجه است.

نتایج مدل عددی

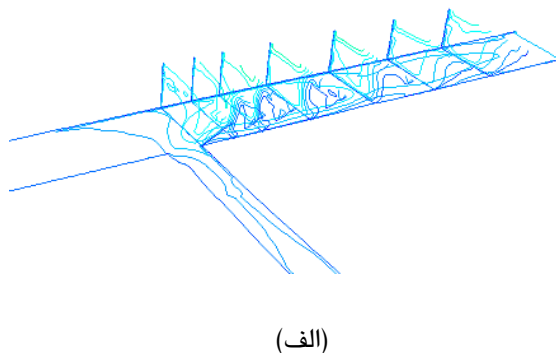
شکل ۱۱ بردارهای سرعت را در دو شیب جانبی ۴۵ و ۹۰ درجه و در صفحات افقی با فواصل ۱، ۵، ۱۰،

کند. در شیب جانبی ۴۵ درجه پهنای ناحیه جداسازی عموماً روی شیب و تا ابتدای بستر کانال اتفاق می‌افتد. در مقطع انقباض بلافاصله پایین‌دست اتصال، سرعت‌های بالاتر نزدیک بستر اتفاق می‌افتد.

شکل ۱۲ خطوط سرعت را در صفحه افقی کف بستر و صفحات جریان عمود بر آن در فواصل مختلف و در دو شیب جانبی ۴۵ و ۹۰ درجه نشان می‌دهد. همانگونه که در شکل‌ها مشخص است و قبلاً نیز توضیح داده شد، ناحیه جداسازی در بستر در شیب جانبی ۹۰ درجه بوضوح مشخص است ولی در شیب جانبی ۴۵ درجه به دلیل مومنتوم بسیار کم در لایه‌های پایینی جریان، این ناحیه بسیار باریک و کوچک است. به همین دلیل در منطقه حداکثر سرعت انقباض کمتری در کف بستر بوجود می‌آید و لذا در این منطقه تنش‌های برشی کمتر و در نهایت فرسایش کمتری نیز نسبت به شیب ۹۰ درجه خواهد داشت.



(ب)



(الف)

شکل ۱۲- خطوط سرعت در صفحه افقی بستر و صفحات عمود بر جریان: (الف) شیب ۴۵ درجه (ب) شیب ۹۰ درجه.

وارد منطقه بازیافت شده و پروفیل‌های سرعت به حالت پروفیل‌های قبل از تلاقی در می‌آیند.

نتیجه‌گیری کلی

در تحقیق حاضر تاثیر شیب جانبی ۴۵ درجه کانال اصلی بر توزیع سرعت، سطح آب و ابعاد ناحیه جداسازی جریان در یک تلاقی با زاویه اتصال ۹۰ درجه بررسی و با حالت شیب جانبی ۹۰ درجه مقایسه شد. برای شبیه‌سازی الگوی جریان نیز از مدل آشفتگی

همانگونه که در شکل ۱۱ مشاهده می‌شود در شیب جانبی ۴۵ درجه و برای صفحه بردارهای سرعت در ارتفاع ۱ و ۵ سانتی‌متری از کف ناحیه جداسازی مشخصی وجود ندارد که این مسئله به این دلیل است که با توجه به اینکه مقدار زیادی از جریان کانال فرعی به محض رسیدن به سطح شیب دار از روی شیب عبور می‌کند 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 مومنتوم کمتری است که خود گواه باریک‌تر بودن و یا عدم وجود ناحیه جداسازی جریان در نزدیک بستر می‌باشد. ولی برای شیب جانبی ۹۰ درجه این ناحیه با طول و پهنای مشخصی در نزدیک بستر وجود دارد. با فاصله گرفتن از کف بستر و نزدیک‌شدن به سطح آب، طول و پهنای ناحیه جداسازی در هر دو شیب جانبی افزایش پیدا می‌-

صفحات عمود بر جریان در شیب جانبی ۴۵ نشان می‌دهد قسمت اعظم پهنای ناحیه جداسازی روی شیب جانبی اتفاق افتاده و سطح مقطع مستطیلی جریان حالت خود را حفظ کرده و الگوی جریان تغییر محسوسی در قسمت مقطع مستطیلی ندارد. ولی در شیب جانبی ۹۰ درجه، پهنای ناحیه جداسازی باعث انقباض مقطع جریان و در منطقه حداکثر سرعت، سرعت‌های بالاتر و در نتیجه تنش‌های بیشتری در کف بستر مشاهده می‌شود. همچنین در هر دو شیب جانبی، بعد از گذشت مسافتی و در پایین‌دست تلاقی، جریان

دیواره سمت چپ کانال فرعی نسبت به شرایط مشابه در شیب جانبی ۹۰ درجه از خود نشان می‌دهد.

تغییرات پروفیل سطح آب در شیب ۴۵ درجه نسبت به شیب ۹۰ درجه کمتر است. درصد تغییرات عمق آب در ابتدا و انتهای کانال اصلی در شیب ۴۵ و ۹۰ درجه به ترتیب ۲/۱ و ۳/۳ درصد، همچنین درصد تغییرات عمق آب در مقطع بعد از تلاقی در شیب ۴۵ و ۹۰ درجه به ترتیب ۰/۶ و ۱/۵ درصد می‌باشد. نسبت عمق آب بالادست تلاقی به عمق پایاب $\left(\frac{y_1}{y_d}\right)$ در شیب ۴۵ و ۹۰ درجه به ترتیب ۱/۰۱۹ و ۱/۰۳۳ می‌باشد.

طول و پهنای ناحیه جداشدگی در شیب جانبی ۴۵ درجه نسبت به شیب جانبی ۹۰ درجه در سطح آب بزرگتر و در کف بستر کوچک‌تر است. در شیب جانبی ۴۵ درجه به دلیل پهنای بسیار کم ناحیه جداشدگی نزدیکی کف، ناحیه با شتاب زیاد در پایین‌دست اتصال به وجود نمی‌آید و تنش‌های برشی در این قسمت کاهش می‌یابد.

$k - \varepsilon$ از نوع RNG استفاده شد. نتایج حاصل از تحقیق در زیر آمده است:

در شیب ۴۵ درجه به دلیل شیب‌دار بودن کانال اصلی، زاویه مومنوم ورودی از کانال فرعی در کف بیشتر به سمت پایین‌دست است و به همین دلیل انسداد قابل ملاحظه‌ای در جلوی جریان کانال اصلی به وجود نمی‌آید.

در پایین‌دست تلاقی و در ناحیه جداشدگی، برای شیب جانبی ۹۰ درجه به دلیل چرخش بالای جریان و وجود گردابه‌های قوی در خلاف جهت جریان در ناحیه جداشدگی سرعت‌های بدون بعد منفی (u/u_0) در دیواره سمت مشاهده می‌شود. در صورتی که برای شیب جانبی ۴۵ درجه به دلیل تلاطم کم در ناحیه جداشدگی مقادیر منفی سرعت در جهت طولی کانال اصلی ایجاد نمی‌شود.

شیب‌دار بودن کانال اصلی باعث افزایش گرایش جریان شاخه فرعی برای عبور از روی شیب می‌شود، به همین دلیل جریانی که در شاخه فرعی وجود دارد با نزدیک شدن به محل تلاقی انحراف بیشتری به سمت

منابع مورد استفاده

- قبادیان ر، شفاعی بجستان م و موسوی جهرمی ح، ۱۳۸۵. بررسی آزمایشگاهی جدایی جریان در محل تلاقی رودخانه‌ها برای شرایط جریان زیر بحرانی. مجله تحقیقات منابع آب ایران. جلد ۲، شماره ۲، صفحه‌های ۶۷ تا ۷۷.
- گوهری س، ۱۳۹۱. بررسی عددی و آزمایشگاهی الگوی جریان در تقاطع ۹۰ درجه کانال‌های مستطیلی. مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک. جلد ۱۹، شماره ۴، صفحه‌های ۱۲۱ تا ۱۳۹.
- موسوی جهرمی ح و گودرزی زاده ر، ۱۳۹۰. شبیه‌سازی عددی الگوی جریان سه بعدی در تلاقی کانال‌های باز. مجله علوم و مهندسی آبیاری. جلد ۳۴، شماره ۲، صفحه‌های ۶۱ تا ۷۰.

- Ashmore P and Parker G, 1983. Confluence scour in coarse braided stream. *Water Resour Res* 19: 392-402.
- Best JL and Reid I, 1984. Separation zone at open channel junctions. *J Hydr Engrg* 110(11): 1588-1594.
- Best JL, 1988. Sediment transport and bed morphology at river channel confluence. *Sedimentology* 35: 481-498.
- Biron P, Best JL and Roy AG, 1996. Effects of bed discordance on flow dynamics at open-channel confluences. *J Hydr Engrg ASCE* 122(12): 676-682.
- Biron PM, Ramamurthy AS and Han S, 2004. Three-dimensional numerical modeling of mixing at river confluences. *J Hydr Engrg ASCE* 130(3): 243-253.
- Bonakdari H, Lipeme- Kouyi G and Wang X, 2011. Experiment validation of CFD modeling of multiphase flow trough open channel confluence. Pp. 2176-2183. World Environmental and Water Resources Congress May 22-26, California.
- Bradbrook KF, Biron P, Lane SN, Richards KS and Roy AG, 1998. Investigation of controls on secondary circulation in a simple confluence geometry using a three-dimensional numerical model. *Hydrological Processes*. 12: 1371-1396.

- Bradbrook KF, Lane SN and Richards KS, 2000. Numerical simulation of the three-dimensional, timeaveraged flow structure at river channel confluences. *Water Resour Res* 36(9): 2731-2746.
- Dordević D, 2012. Application of 3D numerical models in confluence hydrodynamics modelling. XIX International Conference on Water Resources. University of Illinois at Urbana-Champaign. USA
- Gurram SK, Karki KS and Hager WH, 1997. Subcritical junction flow. *J Hydr Engrg* 123(5): 447-455.
- Huang JC, Weber LJ and Lai YG, 2002. Three dimensional numerical study of flows in open channel junctions. *J Hydr Engrg ASCE* 128(3): 268-280.
- Mosley MP, 1976. An experimental study of channel confluence. *J Geol* 84: 535-562.
- Quing-Yuan Y, Xian-YeW, Wei-Zhen L and Xie-Kang W, 2009. Experimental study on characteristics of separation zone in confluence zones in rivers. *J Hydr Engrg ASCE* 14(2): 166-171.
- Shabayek S, Steffler P and Hicks F, 2002. Dynamic model for subcritical combining flows in channel junctions. *J Hydr Engrg ASCE* 128(9): 821-828.
- Shakibainia A, Tabatabai MRM and Zarrati AR, 2010. Three dimensional numerical study of flow structure in channel confluences. *Can J Civ Engrg* 37: 772-781.
- Shumate ED, 1998. Experimental description of flow at an open-channel junction. Master thesis, Univ. of Iowa, Iowa, 150 p.
- Wang X, and Cheng, L, 2000. Three- dimensional simulation of a side discharge into a cross channel flow. *J Computer& Fluids* 29(4): 415-433.
- Weber L, Schumate E and Mawer N, 2001. Experiments on flow at a 90° open-channel junction. *J Hydr Engrg, ASCE* 127(5): 340-350.