



## تحلیل عددی جریان در تلاقی کانال های روباز با تاثیر شیب جانبی کانال اصلی

پیام خسروی نیا<sup>۱</sup>، سید حسین حسینی<sup>۲</sup>، علی حسین زاده دلیر<sup>۳</sup>

مقاله برگرفته از کار تحقیقاتی نویسنده اول (دکتر پیام خسروی نیا)

تاریخ ارسال: ۱۳۹۷/۰۶/۰۲

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۷/۲۳

### چکیده

تقاطع کانال ها در شبکه های انتقال آب اهمیت ویژه ای دارند. به همین علت مطالعه ویژگی های جریان در این محل ها مورد توجه محققین قرار دارد. شبیه سازی عددی مسایل مهندسی این امکان را می دهد که با کمترین هزینه و پرهیز از مشکلات روش های آزمایشگاهی به پاسخ مورد نظر دست یافت. لذا هدف از این تحقیق ارائه یک مدل تحلیلی برای هیدرولیک جریان در تلاقی کانال های روباز بر اساس معادلات پیوستگی، انرژی و مومنتوم و تعدادی فرضیات ساده کننده و مقایسه با نتایج آزمایشگاهی به منظور صحت سنجی مدل تحلیلی می باشد. آزمایشات در دو شیب جانبی ۹۰ و ۴۵ درجه ی کانال اصلی انجام گرفت. متغیرهای مورد بررسی شامل نسبت اعماق در محل تلاقی می باشد. نتایج تحقیق نشان داد که افزایش عدد فرود و افزایش نسبت دبی ورودی سبب افزایش تلاطم شده که نتیجه آن کاهش دقت نتایج مدل تحلیلی بود. همچنین افزایش زاویه شیب جانبی کانال اصلی با راستای افق سبب افزایش سطح مقطع کانال اصلی و کاهش سرعت شده که نتیجه آن میزان تلاطم کمتر جریان و دقت بیشتر مدل تحلیلی بود. در مدل تحلیلی بیشترین خطا مربوط به زاویه ۹۰ درجه، نسبت دبی های بالا و عمق جریان در کانال ورودی اصلی بود که در حدود ۱۵٪ گزارش شد و کمترین میزان خطا مربوط به زاویه ۴۵ درجه، نسبت دبی پایین و عمق جریان در کانال خروجی اصلی بود که در حدود ۵٪ گزارش شد.

واژه های کلیدی: تقاطع سه شاخه، زاویه شیب جانبی کانال اصلی، عمق جریان، مدل تحلیلی یک بعدی، نسبت دبی ورودی.

<sup>۱</sup> استادیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران. ۰۹۱۲۰۹۷۷۸۷۵. [p.khosravinia@uok.ac.ir](mailto:p.khosravinia@uok.ac.ir) (نویسنده مسئول)

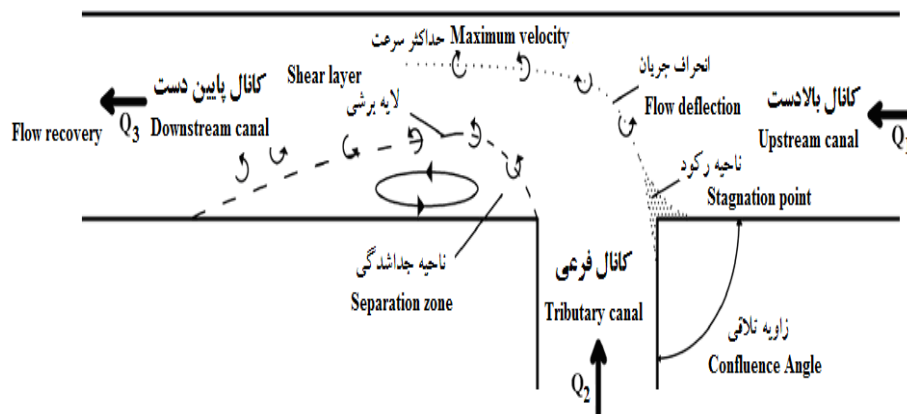
<sup>۲</sup> استادیار گروه آب و خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی شاهرود، سمنان، ایران. ۰۹۱۵۱۵۷۲۷۵۲. [sayyedhossein.hosseini@gmail.com](mailto:sayyedhossein.hosseini@gmail.com)

<sup>۳</sup> استاد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران. ۰۹۱۴۳۱۶۶۲۸۴. [ahdalir@tabrizu.ac.ir](mailto:ahdalir@tabrizu.ac.ir)

## مقدمه

هایی که به هم می‌رسند و شکل اتصال تلاقی می‌باشد. بست در سال ۱۹۸۷ با مطالعات آزمایشگاهی بر روی یک تلاقی نامتقارن کوچک، دینامیک جریان در محل تلاقی رودخانه‌ها را به صورت شماتیک مطابق شکل (۱) نشان داد.

تلاقی کانال‌ها و رودخانه‌ها از اهمیت زیادی در مطالعات کانال‌های روباز برخوردار می‌باشند. الگوهای پیچیده جریان که نتیجه‌ی برخورد دو جریان مجزا می‌باشد، تحلیل این پدیده را مشکل می‌کند. دینامیک تلاقی رودخانه‌ها تابعی از نسبت مومنوم میان جریان



شکل ۱: الگوی جریان در محل تلاقی کانال‌های باز (بست، ۱۹۸۷)

۲۰۰۰، ۲۰۰۱) و ویراکون (۱۹۹۱) اشاره نمود. اخیراً شبیه‌سازی سه بعدی جریان در محل تلاقی مستطیلی برای شرایط جریان بدون سطح آزاد مورد بررسی قرار گرفته است که می‌توان به تحقیقات بایرون (۲۰۰۴)، رامامورتی و همکاران (۲۰۰۶)، کسروانی و همکاران (۲۰۰۸)، تینگ و همکاران (۲۰۰۹)، لیو و همکاران (۲۰۰۹)، ژنگ و لی (۲۰۱۰)، شکیبایی نیا و همکاران (۲۰۱۰) و میگنوت و همکاران (۲۰۱۱) اشاره کرد.

اولین مطالعات در زمینه جریان در تلاقی کانال‌های روباز توسط تیلور در سال ۱۹۴۴ انجام گرفت. تیلور (۱۹۴۴) برای جریان زیر بحرانی عبوری از کانال‌ها در یک تلاقی با در نظر گرفتن فرضیاتی ساده‌کننده و با بکار بردن معادله مومنوم در تلاقی در جهت (۱) به (۳) توانست معادله زیر را برای پیش بینی نسبت اعماق بالادست تلاقی استخراج کند (۲۲):

در محدوده‌ی تلاقی شش ناحیه مختلف شناسایی کرد که شامل: (۱) ناحیه رکود (۲) ناحیه انحراف جریان (۳) ناحیه جداشدگی (۴) ناحیه حداکثر سرعت (۵) ناحیه باز یافت جریان و (۶) ناحیه لایه‌های برشی می‌باشد (۱). استفاده از مدل‌های فیزیکی-هیدرولیکی برای درک ماهیت پدیده‌های طبیعی همیشه مورد استفاده محققین هیدرولیک بوده است. با این وجود، پیشرفت‌های اخیر مدل‌های عددی در حل مسائل علمی پیچیده، این مدل‌ها را قابل اعتماد و معتبر ساخته است.

شبیه‌سازی عددی مسایل مهندسی این امکان را می‌دهد که با کمترین هزینه و پرهیز از مشکلات روش‌های آزمایشگاهی به پاسخ مورد نظر دست یافت. استفاده از مدل‌های ریاضی دو بعدی و سه بعدی برای شبیه‌سازی و تحلیل جریان در محل تلاقی کانال‌های صلب نیز مورد توجه قرار گرفته است که از آن جمله می‌توان به مطالعات برد بروک و همکاران (۱۹۹۸)،

در این رابطه  $R_q = \frac{Q_2}{Q_3}$ ،  $R_y = \frac{Y_1}{Y_3}$  و  $F_3 = \frac{V_3}{\sqrt{gY_3}} = \frac{Q_3}{bY_3^{1.5}\sqrt{g}}$  می باشد.

هاگر (۱۹۸۹) با فرض اینکه در محل حداکثر سرعت عمق بحرانی اتفاق بیفتد و با استفاده از سه معادله پیوستگی، مومنتم و انرژی معادلاتی را برای محاسبه عمق نسبی و ضریب انقباض جریان ارائه نمود (۸).  
گوارم و همکاران (۱۹۹۷) با مطالعه بر روی یک اتصال با زوایای ۳۰، ۶۰ و ۹۰ درجه و با کاربرد معادله مومنتم در محل سه شاخه رابطه ای را برای محاسبه نسبت عمق جریان در بالادست اتصال در کانال فرعی به عمق پایاب  $\left(\frac{Y_2}{Y_3}\right)$  به دست آورده اند. آنها همچنین گزارش کردند که این نسبت همواره بزرگتر از یک می باشد (۷).

$$\frac{Y_2}{Y_3} = 1 + \frac{\frac{Q_2}{Q_3} F_3^2 \left(2 - \frac{Q_2}{Q_3} - \cos \alpha\right)}{1 - F_3^2} \quad (۴)$$

که در آن  $\alpha$  میانگین زاویه ورود جریان شاخه فرعی به اصلی می باشد.

سو و همکاران (۱۹۹۸ الف) با کاربرد همزمان سه معادله پیوستگی، مومنتم و انرژی در محل یک اتصال ۹۰ درجه روابطی را برای محاسبه ضریب انقباض جریان ( $\mu$ ) در ناحیه حداکثر سرعت و همچنین نسبت عمق بالادست به عمق پایاب بدست آوردند. اندازه گیری های آزمایشگاهی نشان داد که ضرایب مومنتم  $\beta$  و انرژی  $\alpha$  در ناحیه حداکثر انقباض با عکس نسبت دبی شاخه اصلی به دبی کل رابطه مستقیم دارد و صورتیکه  $\cos \alpha$  (زاویه ورود جریان شاخه فرعی به اصلی) با نسبت دبی رابطه مستقیم دارد (۱۰). سو و همکاران (۱۹۹۸ ب) در تحقیقی دیگر، جریان زیر بحرانی در تلاقی با زوایای ۳۰، ۴۵ و ۶۰ درجه را در کف افقی بررسی کردند. ایشان در تحقیقشان با حذف

$$\frac{F_2^2}{2} = \frac{R_q^2 (R_y^2 - 1)}{4R_y^2 (2R_q - R_q^2 (1 + \cos \theta) + R_y - 1)} \quad (۱)$$

که در این رابطه  $R_q = \frac{Q_2}{Q_3}$ ،  $R_y = \frac{Y_1}{Y_3}$  و  $F_2$  عدد فرود در شاخه فرعی،  $Y_1$  عمق آب در بالادست تلاقی،  $Y_3$  عمق آب در پایین دست تلاقی و  $\theta$  زاویه بین دو کانال است. رابطه (۱) در تلاقی با زاویه ۴۵ درجه و ۱۳۵ درجه  $(\theta = 45^\circ, 135^\circ)$  مورد صحت سنجی قرار گرفت. نتایج آزمایشات نشان داد که تطابق خوبی بین نتایج تئوری و آزمایشگاهی در تلاقی با زاویه ۴۵ وجود داشت، در صورتیکه برای زاویه ۱۳۵ درجه این رابطه نتایج خوبی نداشت. ایشان علت این قضیه را به توزیع سرعت در پایین دست تلاقی و موازی نبودن جریان با دیواره کانال مرتبط دانستند.  
رامامورتی و همکاران (۱۹۸۸) به بررسی مومنتم انتقالی از شاخه ی فرعی جریان به جریان در کانال اصلی بر اساس اندازه گیری مستقیم نیروهای فشاری روی دیواره های کانال فرعی پرداختند. آن ها با به کار بردن معادله مومنتم در جهت محور کانال اصلی رابطه زیر را به دست آوردند (۱۵):

$$\frac{1}{2} \rho b Y_1^2 + \beta_1 \rho Q_1 V_1 + \rho Q_2 V_1 = \frac{1}{2} \rho b Y_3^2 + \beta_3 \rho Q_3 V_3 \quad (۲)$$

در این رابطه  $\rho Q_2 V_1$  مومنتم انتقالی از شاخه فرعی به کانال اصلی می باشد. آن ها همچنین با استفاده از معادله پیوستگی و فرض  $\beta_1 = \beta_3 = 1$  و ساده کردن آن، نهایتاً رابطه (۳) را به منظور محاسبه نسبت اعماق بالادست و پایین دست تلاقی به دست آوردند:

$$R_y^3 - (1 + 2F_3^2) R_y + 2F_3^2 (1 - R_q) = 0 \quad (۳)$$



بر مبنای معادلات پیوستگی، مومنتم و انرژی ارائه دادند. نتایج شبیه سازی آن ها نشان داد که مدل تحلیلی از دقت قابل قبولی در شبیه سازی مشخصات جریان در تقاطع کانال ها برخوردار بود به طوریکه حدکثر خطای آن کمتر از ۱۰٪ گزارش شد (۹).

شینفسل و همکاران (۲۰۱۵) با استفاده از شبیه سازی (LES<sup>۱</sup>) جریان سه بعدی در تلاقی کانال های روباز را بررسی کردند. نتایج تحقیقشان نشان داد که مدل مذکور از دقت قابل قبولی در شبیه سازی گردابه ها و پروفیل سرعت برخوردار بود (۱۸).

سوی و هوانگ (۲۰۱۷) تحلیل سه بعدی ناحیه جداشدگی جریان در یک تلاقی با کانال اصلی قوسی را با استفاده از مدل Openfoam انجام دادند. نتایج عددی تطابق مناسبی با نتایج آزمایشگاهی داشت. همچنین نتایج تحلیل عددی نشان داد که با افزایش نسبت دبی و زاویه تلاقی، طول و عرض ناحیه جداشدگی افزایش یافت (۲۱).

بررسی منابع وسیعی که از تحقیقات سال های گذشته انجام شده، نشان می دهد که مطالعات آزمایشگاهی در زمینه هیدرولیک جریان و رسوب در تلاقی کانال های روباز با مقطع مستطیلی انجام شده است. لذا مدلسازی عددی و تحلیلی این تلاقی ها، برای کانال های با مقطع ساده مستطیلی است. در خصوص تاثیر شیب جانبی کانال اصلی ذوزنقه ای در هیدرولیک جریان در تلاقی کانال ها مطالعه ای اعم از آزمایشگاهی، تحلیلی و عددی صورت نگرفته است. لذا در مدل تحلیلی تحقیق حاضر که بر اساس معادلات پیوستگی، انرژی و مومنتوم در تلاقی کانال های روباز نوشته شده، شیب جانبی کانال اصلی به عنوان یک پارامتر کلیدی آورده شده است. مقایسه نتایج مدل تحلیلی و مدل آزمایشگاهی به منظور صحت سنجی مدل تحلیلی از دیگر اهداف تحقیق حاضر است.

بعضی فرضیات تیلور از جمله، صرفنظر نکردن از افت انرژی؛ عدم توزیع یکنواخت سرعت؛ یکسان نبودن عمق جریان در کانالهای بالادست تلاقی و تمایز بین زاویه اتصال و زاویه ورود جریان از کانال فرعی به اصلی و با استفاده از معادلات پیوستگی، انرژی و مومنتوم روابطی را برای محاسبه ضریب افت انرژی و همچنین عمق نسبی بدست آورد. نتایج نشان می دهد عمق نسبی تابعی از نسبت دبی، عدد فرود پایاب، زاویه اتصال و ضریب انقباض جریان، و ضرایب تصحیح انرژی و مومنتوم می باشد (۱۱).

شاپایک و همکاران (۲۰۰۲) بر اساس قانون بقای مومنتوم در راستای جریان اصلی و بقای جرم برای کل سیستم، مدل تحلیلی یک بعدی برای جریان زیر بحرانی در یک تقاطع سه شاخه ارائه دادند. آن ها در مدل خود نیروی برشی بین دو حجم کنترل، نیروی اصطکاک مرزی و نیروی برشی ناحیه جداشدگی پایین دست کانال ورودی فرعی را در نظر گرفتند و معادلاتی را ارائه دادند (۱۹). ریویبره و همکاران (۲۰۱۱) جریان زیربحرانی در تقاطع چهارشاخه (دوکانال ورودی و دو کانال خروجی) را به صورت آزمایشگاهی بررسی کردند. همچنین با استفاده از فرضیات ساده کننده، همراه با معادلات پیوستگی و مومنتوم یک مدل تحلیلی هیدرولیکی برای توزیع جریان ارائه دادند. نتایج حاصل از آن مطابقت خوبی با نتایج آزمایشگاهی داشت به طوریکه در محدوده شرایط آزمایشگاهی مورد بررسی دارای خطای  $\pm 5\%$  بود (۱۷). قوستینه و همکاران (۲۰۱۰) مقایسه مدل یک و دو بعدی معادلات سنت ونانت برای شبیه سازی جریان در تلاقی کانال های باز را انجام دادند. نتایج تحقیق آن ها نشان داد که مدل یک بعدی برای جریان های زیر بحرانی و انتقالی در تلاقی با زوایای کم معتبر بوده و مدل دو بعدی برای همه انواع جریان و زوایای مختلف نتایج بهتری از خود نشان داد (۶).

حسینی و همکاران (۲۰۱۵) مدل تحلیلی یک بعدی جریان در تقاطع چهار شاخه کانال های روباز را

<sup>1</sup> - Large- eddy simulation



## مواد و روش ها

### مدل آزمایشگاهی

$$f(B_1, B_2, B_3, Q_1, Q_2, Q_3, Z, Y_1, Y_2, Y_3, \rho, g, \sigma, \mu, \theta, S_0) = 0 \quad (5)$$

در این رابطه  $Y_1$  عمق آب در کانال اصلی در بالادست تلاقی،  $Y_2$  عمق آب در کانال فرعی در بالادست تلاقی و  $Y_3$  عمق آب در پایین دست تلاقی و در کانال اصلی می باشد. زیر نویس های ۱، ۲ و ۳ به ترتیب مربوط به کانال اصلی در بالادست تلاقی، کانال فرعی در بالادست تلاقی و کانال اصلی در پایین دست تلاقی می باشند.

آزمایشات هیدرولیکی تحقیق حاضر در آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه تبریز انجام گرفت. کانال اصلی به طول ۶، عمق ۰/۵ و عرض ۰/۸ متر و در کنار آن یک کانال فرعی عمود بر کانال اصلی به طول ۵، عمق ۰/۵ و عرض ۰/۲۴ متر بود. جریان توسط دو دستگاه پمپ از دو مخزن آرام کننده جریان که در ابتدای هر کدام از کانال ها نصب شدند، وارد کانال های اصلی و فرعی شده و از انتهای کانال اصلی خارج می شود. برای اندازه گیری دبی جریان از سرریز مستطیلی نصب شده در حوضچه انتهایی کانال اصلی استفاده می شود. برای تنظیم سطح آب در انتهای کانال اصلی از تیرک های آبنده<sup>۱</sup> به ارتفاع ۱ سانتی متر استفاده می شود. آزمایشات در دو شیب جانبی ۹۰ و ۴۵ درجه ی کانال اصلی انجام گرفت. (شکل ۲). شکل ۳ طرح شماتیک کانال های آزمایشگاهی را نشان می دهد. متغیرهای مورد بررسی در این بخش شامل نسبت اعماق در محل تلاقی می باشد.

### نسبت اعماق در محل تلاقی

با توجه به روابط موجود در مورد نسبت اعماق بالادست تلاقی،  $Y_1$  و  $Y_2$  به دبی های جریان  $Q_1$ ،  $Q_2$  و  $Q_3$ ، پهنای کانال ها  $B_1$  و  $B_2$ ، زاویه اتصال  $\theta$ ، شتاب ثقل  $g$ ، لزجت  $\mu$ ، جرم حجمی آب  $\rho$ ، نیروهای کشش سطحی  $\sigma$ ، عمق جریان در پایین دست تلاقی  $Y_3$ ، پهنای کانال پایین دست  $B_3$ ،  $Z$  شیب جانبی کانال اصلی و شیب کف کانال در محل تلاقی بستگی دارد. روابط بین متغیرها به صورت زیر بیان می شود:

<sup>1</sup> -Stop log

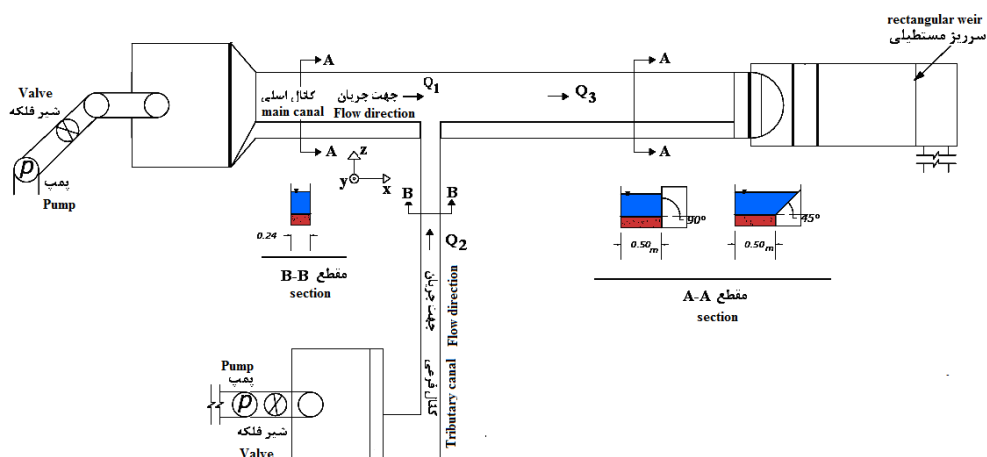


(الف)



(ب)

شکل ۲: مدل آزمایشگاهی تحقیق حاضر الف) شیب جانبی ۴۵ درجه ب) شیب ۹۰ درجه



شکل ۳: شماتیک کانال های تحقیق حاضر



رابطه (۷) و (۸) به ترتیب مربوط به نسبت اعماق کانال اصلی و فرعی در بالادست تلاقی به عمق پایین دست کانال اصلی می باشند.

### مدل تحلیلی یک بعدی برای کانال دوزنقه ای

در این مدل تقاطع کانال ها از نوع سه شاخه (دو ورودی و یک خروجی) می باشد که زاویه تقاطع کانال ها ۹۰ است. مقطع کانال اصلی دوزنقه ای و مقطع کانال فرعی مستطیلی بود. با توجه به شکل تقاطع و معادله پیوستگی با مشخص بودن دبی در کانال های ورودی مقدار دبی در کانال خروجی را می توان با کمک معادله ۹ محاسبه کرد.

$$Q_3 = Q_1 + Q_2 \quad (9)$$

مقادیر عمق جریان در هر سه کانال ورودی و خروجی مجهول است که برای محاسبه آن نیاز به سه معادله خواهیم داشت. بدین منظور از سه معادله مومنتم، انرژی و رابطه تجربی مربوط به جریان از زیر دریچه کشویی استفاده شد. در ادامه این معادلات ارائه خواهد شد.

معادله مومنتم در راستای کانال اصلی (جهت X)

با در نظر گرفتن حجم کنترل در کانال اصلی و نوشتن معادله مومنتم خواهیم داشت:

$$\sum F_x = M_{out} - M_{in} \quad (10)$$

$$\gamma \times \bar{Y}_1 \times A_1 + \gamma \times \bar{Y}_2 \times A_2 \times \cos(\alpha) \times (B_3 + mY_3) / B_1 \quad (11)$$

$$- \gamma \times \bar{Y}_3 \times A_3 = \rho Q_3 \frac{Q_3}{(2B_3 + mY_3) \times \frac{Y_3}{2}} -$$

$$\rho Q_1 \frac{Q_1}{(2B_1 + mY_1) \times \frac{Y_1}{2}} - \rho Q_2 \frac{Q_2}{(B_2 \times Y_2)} \cos(\alpha)$$

برای محاسبه مقادیر نیروی فشاری وارده در معادله مومنتم با توجه به شکل دوزنقه ای مقطع کانال اصلی و

بعد از انتخاب متغیرهای تکراری و استفاده از روش باکینگهام، گروه های بدون بعد را تشکیل می دهیم. در نهایت رابطه گروه های بدون بعد، پس از ادغام، معکوس نمودن یا جذر گرفتن به شکل زیر در می آید:

$$h \left( \frac{Y_1}{Y_3}, \frac{Y_2}{Y_3}, \frac{Q_2}{Q_3}, \frac{B_1}{B_3}, \theta, S_0, Z, R_{e3}, W_{e3}, F_{r3} \right) = 0 \quad (6)$$

در این رابطه  $W_{e3}$  و  $R_{e3}$ ،  $F_{r3}$  به ترتیب اعداد فرود، رینولدز و وبر در مقطع پایین دست اتصال می باشند. از آن جائیکه در مدل کانال های باز ابعاد به گونه ای انتخاب می شوند که تاثیر نیروهای کشش سطحی و لزجت سیال بسیار کم است، بنابراین از تاثیر اعداد رینولدز و وبر صرف نظر می شود. در این تحقیق  $B_1 = B_3$  می باشد. با توجه به تحقیق گورام و همکاران (۱۹۹۷) شیب کف کانال در محل تلاقی  $S_0$  تاثیر قابل ملاحظه ای روی خصوصیات جریان برای شرایط جریان زیر بحرانی ندارد. بنابراین از این پارامتر هم صرف نظر می شود. همچنین زاویه تلاقی دو کانال در تمامی آزمایشات ۹۰ درجه بوده بنابراین از تاثیر پارامتر  $\theta$  نیز صرف نظر می شود. نهایتاً رابطه (۶) به صورت زیر ارائه می شود:

$$R_y = \frac{Y_1}{Y_3} = f \left( F_{r3}, \frac{Q_2}{Q_3}, Z \right) \quad (7)$$

(۸)

$$R_y = \frac{Y_2}{Y_3} = f \left( F_{r3}, \frac{Q_2}{Q_3}, Z \right)$$



(۱۴)

$$y^2 = \frac{\left[ \frac{Q_2}{Q_3} (B_3 + mY_3) \right]^2}{B_2} x \Rightarrow y = \pm \frac{\frac{Q_2}{Q_3} (B_3 + mY_3)}{\sqrt{B_2}} \sqrt{x}$$

با فرض اینکه زاویه انحنای جریان ورودی از کانال فرعی با شیب منحنی در نقطه  $b$  برابر است، خواهیم داشت:

$$b \left( \frac{B_2}{2}, \frac{\sqrt{2}}{2} \frac{Q_2}{Q_3} (B_3 + mY_3) \right)$$

$$\frac{dy}{dx} = \frac{\frac{Q_2}{Q_3} (B_3 + mY_3)}{\sqrt{B_2}} \times \frac{1}{2\sqrt{x}} = \tan \alpha$$

$$\Rightarrow \tan \alpha = \frac{\frac{Q_2}{Q_3} (B_3 + mY_3)}{B_2} \times \frac{\sqrt{2}}{2}$$

$$\alpha = \arctan \left( \frac{\sqrt{2}}{2} \frac{\frac{Q_2}{Q_3} (B_3 + mY_3)}{B_2} \right) \quad (۱۵)$$

با جایگذاری معادلات ۱۱ و ۱۲ و ۱۵ در معادله ۱۰ نهایتاً معادله مومنتم را می توان به صورت زیر

مطابق معادله فوق مقادیر  $\bar{Y}_1$  را به صورت زیر محاسبه می کنیم:

$$\gamma \frac{Y_1}{2} B_1 Y_1 + \gamma \frac{Y_1}{3} \times \frac{mY_1}{2} Y_1 \quad (۱۲)$$

$$= \gamma \times \bar{Y} \times \frac{(2B_1 + mY_1)}{2} \times Y_1$$

$$\Rightarrow B_1 Y_1 + \frac{1}{3} Y_1^2 = \bar{Y}_1 (2B_1 + mY_1)$$

$$\Rightarrow \bar{Y}_1 = \frac{B_1 Y_1 + \frac{1}{3} Y_1^2}{2B_1 + mY_1}$$

مقدار  $\bar{Y}_3$  را نیز مشابه فوق به صورت زیر محاسبه می کنیم:

$$\bar{Y}_3 = \frac{B_3 Y_3 + \frac{1}{3} Y_3^2}{2B_3 + mY_3}$$

مقدار  $\bar{Y}_2$  با توجه به شکل مستطیلی مقطع کانال فرعی برابر با  $\frac{Y_2}{2}$  خواهد بود.

مقدار زاویه جریان ورودی از کانال فرعی به کانال اصلی ( $\alpha$ ) را به صورت زیر می توان حساب کرد. فرض می کنیم جریان ورودی از کانال فرعی به اصلی سهمی شکل باشد، در این صورت خواهیم داشت:

(۱۳)

$$y^2 = 4px$$

چنانچه مختصات نقطه  $C$  را در معادله ۱۳ قرار دهیم، می توان معادله خط را به صورت زیر به دست آورد:

$$c \left( B_2, \frac{Q_2}{Q_3} (B_3 + mY_3) \right)$$

$$\left[ \frac{Q_2}{Q_3} (B_3 + mY_3) \right]^2 = 4pB_2 \Rightarrow p = \frac{\left[ \frac{Q_2}{Q_3} (B_3 + mY_3) \right]^2}{4B_2}$$





### نتایج و بحث

در این قسمت نتایج مربوط به شبیه سازی عمق جریان در کانال های ورودی و خروجی ارائه شده با نتایج آزمایشگاهی مقایسه می گردد و خطای ناشی از مدل تحلیلی و عددی نوشته شده بررسی می شود. نتایج برای دوشیب جانبی ۴۵ و ۹۰ درجه برای کانال اصلی ارائه شد.

#### تاثیر عدد فرود کانال پایین دست

بررسی نتایج نشان می دهد که برای یک شیب و نسبت دبی ورودی فرعی به ورودی اصلی ثابت با افزایش عدد فرود کانال پایین دست که تابعی از میزان بازشدگی دریاچه خروجی است، خطای مقادیر شبیه سازی عمق جریان برای هر سه کانال افزایش می یابد به طوریکه مقادیر این خطا برای کانال ورودی اصلی بیشترین و ماکزیمم در حدود ۱۵٪ و برای کانال خروجی فرعی کمترین و ماکزیمم در حدود ۸٪ بود. علت دقت کمتر مقادیر عمق در کانال ورودی اصلی را می توان جریان فرعی ورودی دانست که بر روی شرایط جریان در محل تقاطع اثر گذاشته که نتیجه آن به کانال ورودی اصلی منتقل شده و عمق جریان را تحت تاثیر قرار می دهد که تاثیر این عامل برای کانال فرعی ورودی کمتر بود، که البته این عامل (برخورد جریان) در مدل تحلیلی لحاظ نشده است. دقت خوب مقادیر عمق شبیه سازی شده در کانال خروجی اصلی نیز احتمالاً به دلیل رابطه تجربی استفاده شده برای عمق جریان و میزان بازشدگی دریاچه می باشد. جدول ۱ نتایج آزمایشگاهی، شبیه سازی و خطای ناشی از مدل تحلیلی را برای شیب جانبی ۹۰ درجه نشان می دهد.

نوشت: (۱۶)

$$\begin{aligned} & \gamma \times \frac{B_1 \times Y_1 + \frac{1}{3} Y_1^2}{2B_1 + mY_1} \times (2B_1 + mY_1) \times \\ & \frac{Y_1}{2} + \gamma \frac{B_2}{2} B_2 Y_2 \cos(\arctan(\frac{\sqrt{2}}{2} \frac{Q_2}{B_2} (B_3 + mY_3))) \\ & - \gamma \times \frac{B_3 Y_3 + \frac{1}{3} Y_3^2}{2B_3 + mY_3} \times (2B_3 + mY_3) \\ & \times \frac{Y_3}{2} = \rho Q_3 \frac{Q_3}{(2B_3 + mY_3) \frac{Y_3}{2}} - \\ & \rho Q_1 \frac{Q_1}{(2B_1 + mY_1) \times \frac{Y_1}{2}} \\ & - \rho Q_2 \frac{Q_2}{(B_1 Y_1)} \cos(\arctan(\frac{\sqrt{2}}{2} \frac{Q_2}{B_2} (B_3 + mY_3))) \end{aligned}$$

معادله انرژی بین کانال ورودی اصلی و کانال خروجی اصلی (۱۷)

$$\begin{aligned} & Y_1 + z_1 + \frac{Q_1^2}{\left[ (2B_1 + mY_1) \times \frac{Y_1}{2} \right]^2} \times 2g \\ & = Y_3 + z_3 + \frac{Q_3^2}{\left[ (2B_3 + mY_3) \times \frac{Y_3}{2} \right]^2} \times 2g \end{aligned}$$

معادله تجربی مربوط به میزان بازشدگی دریاچه پایین دست و عمق در کانال خروجی

$$w = -0.053Y_3 + 0.051 \quad (18)$$

در نهایت با استفاده از سه معادله ۱۶، ۱۷ و ۱۸ و با استفاده از روش های عددی و کد نویسی در نرم افزار متلب ۲۰۱۱ مقادیر عمق جریان در سه کانال تعیین شد



جدول ۱- مقادیر آزمایشگاهی و تحلیلی عمق جریان برای شیب جانبی ۹۰ درجه

مدل آزمایشگاهی				مدل تحلیلی				درصد خطا					
Q3 (m3/s)	Q2 (m3/s)	Q1 (m3/s)	Qr (Q2/Q3)	Y1 (cm)	Y2 (cm)	Y3 (cm)	Fr3	Y1 (cm)	Y2 (cm)	Y3 (cm)	Y1	Y2	Y3
۰/۰۲۵	۰/۰۰۴۸۴	۰/۰۲۰۱۶	۰/۱۹۴	۲۳/۵	۲۳/۸۶	۲۴/۲	۰/۱۴	۲۳/۲۱	۲۳/۱۷	۲۳/۱۲	۴/۴۶۳	۲/۸۹۲	۱/۳۶
۰/۰۲۵	۰/۰۰۴۸۴	۰/۰۲۰۱۶	۰/۱۹۴	۲۱/۴۶	۲۱/۹	۲۲/۲۳	۰/۱۶۱	۲۱/۴۳	۲۱/۳۷	۲۱/۳۲	۴/۰۹۴	۲/۴۲۰	۰/۱۳۸
۰/۰۲۵	۰/۰۰۴۸۴	۰/۰۲۰۱۶	۰/۱۹۴	۱۹/۶۴	۲۰/۱۲	۲۰/۳	۰/۱۸۳	۱۹/۶۴	۱۹/۵۸	۱۹/۵۱	۳/۸۹۲	۲/۶۸۴	۰
۰/۰۲۵	۰/۰۰۴۸۴	۰/۰۲۰۱۶	۰/۱۹۴	۱۷/۲۱	۱۷/۹۲	۱۸/۲۲	۰/۲۲۴	۱۶/۰۷	۱۵/۹۷	۱۵/۸۷	۱۲/۸۹۸	۱۰/۸۸۲	۶/۶۲۴

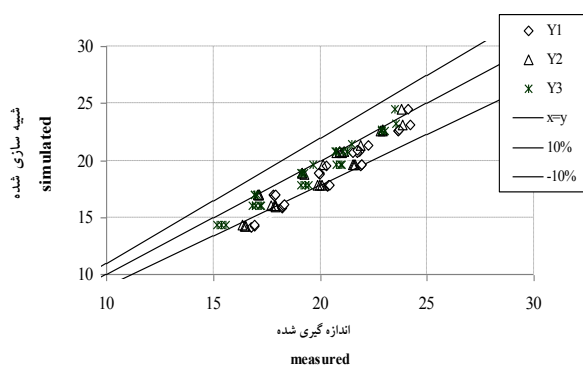
می یابد زیرا با کاهش شیب مقطع کانال اصلی از مستطیلی به دوزنقه تبدیل می شود که با افزایش سطح مقطع و کاهش سرعت کانال ورودی اصلی همراه است و نتیجه آن کاهش تلاطم ناشی از برخورد دو جریان ورودی با یکدیگر می باشد. برای زاویه ۹۰ درجه ماکزیمم خطا برای اکثر مدل ها کمتر از ۱۲٪ بود که مقدار آن برای زاویه ۴۵ درجه کمتر از ۵٪ به دست آمد. جدول ۲ نتایج مربوط به دو مدل ۹۰ درجه و ۴۵ را به ازای دبی های ورودی مختلف نشان می دهد.

### تاثیر نسبت دبی ورودی (دبی کانال فرعی به اصلی قبل از تلاقی)

نتایج شبیه سازی مدل تحلیلی نشان می دهد که با افزایش نسبت دبی ورودی از دقت مدل تحلیلی در شبیه سازی عمق جریان کاسته می شود. این نتیجه رابطه مستقیم با برخورد جریان و افزایش تلاطم ناشی از آن دارد که سبب تفاوت مقادیر عمق جریان در کانال اصلی و فرعی می گردد. در رابطه تحلیلی و نتایج حاصل از آن این تلاطم در نظر گرفته نشده است. مقدار خطای محاسباتی برای کانال ورودی اصلی که بیشترین تاثیر را می پذیرد ماکزیمم بوده و برای کانال خروجی اصلی که کمترین تاثیر ناشی از برخورد جریان را می پذیرد کمترین می باشد. شکل ۴ نتایج اندازه گیری شده و شبیه سازی شده عمق جریان را برای دبی های مختلف نشان می دهد. همان طور که در شکل مشخص است اکثر نقاط در زیر منحنی  $X=Y$  واقع شده اند که نشان دهنده مقادیر کمتر شبیه سازی شده نسبت به اندازه گیری شده است که صحت مطالب فوق را تأیید می کند.

### تاثیر شیب جانبی کانال اصلی

همان طور که اشاره شده است آزمایشات برای دو شیب جانبی ۴۵ و ۹۰ درجه انجام شده است. نتایج شبیه سازی نشان داد که با کاهش شیب جانبی از ۹۰ درجه به ۴۵ درجه دقت مدل تحلیلی در شبیه سازی افزایش



شکل ۴ - نتایج اندازه گیری شده و شبیه سازی شده عمق جریان

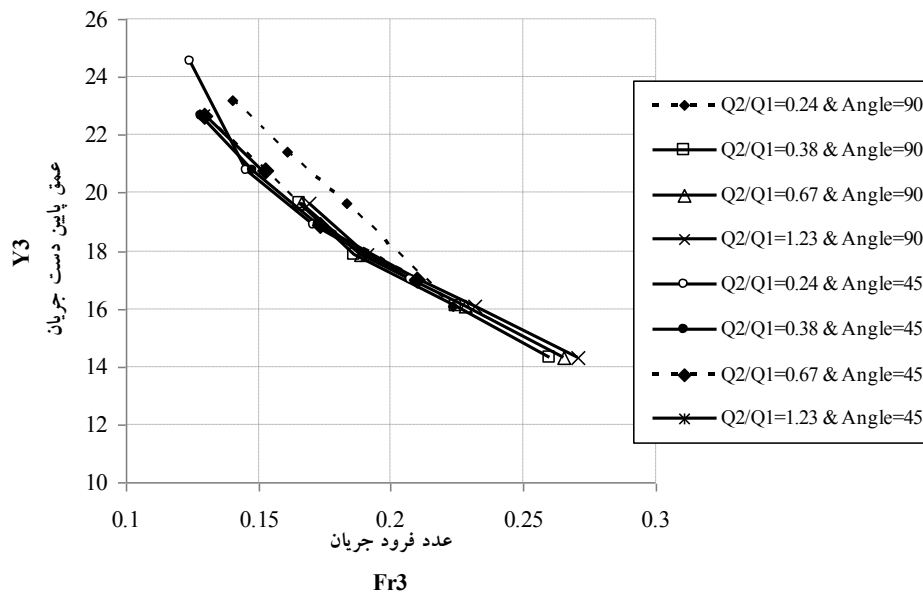


جدول ۲ - نتایج آزمایشگاهی و شبیه سازی عمق جریان برای دو شیب ۴۵ و ۹۰ درجه

Angle	آزمایشگاهی			تحلیلی			درصد خطا		
	Y1 (cm)	Y2 (cm)	Y3 (cm)	Y1 (cm)	Y2 (cm)	Y3 (cm)	Y1 (cm)	Y2 (cm)	Y3 (cm)
۹۰	۲۴/۲	۲۳/۸۶	۲۲/۵۳	۲۳/۱۲	۲۳/۱۷	۲۳/۲۱	۴/۴۶	۲/۸۹	۱/۳۶
	۲۲/۲۳	۲۱/۹	۲۱/۴۶	۲۱/۳۲	۲۱/۳۷	۲۱/۴۳	۴/۰۹	۲/۴۲	۰/۱۴
	۲۰/۳	۲۰/۱۲	۱۹/۶۴	۱۹/۵۱	۱۹/۵۸	۱۹/۶۴	۳/۸۹	۲/۶۸	۰
	۱۸/۲۲	۱۷/۹۲	۱۷/۲۱	۱۵/۸۷	۱۵/۹۷	۱۶/۰۷	۱۲/۹۰	۱۰/۸۸	۶/۶۲
	۲۱/۸۷	۲۱/۶۳	۲۱/۰۱	۱۹/۵۵	۱۹/۶	۱۹/۶۴	۱۰/۶۱	۹/۳۹	۶/۵۲
	۲۰/۳۴	۲۰/۰۹	۱۹/۴۴	۱۷/۷۴	۱۷/۸	۱۷/۸۶	۱۲/۷۸	۱۱/۴۰	۸/۱۳
	۱۸/۲۳	۱۷/۹۱	۱۷/۱۶	۱۵/۹۳	۱۶	۱۶/۰۷	۱۲/۶۲	۱۰/۶۶	۶/۳۵
	۱۶/۷۸	۱۶/۵۱	۱۵/۵۶	۱۴/۱۱	۱۴/۲	۱۴/۲۹	۱۵/۹۱	۱۳/۹۹	۸/۱۶
	۲۱/۹۳	۲۱/۵۹	۲۰/۹۸	۱۹/۶۱	۱۹/۶۲	۱۹/۶۴	۱۰/۵۸	۹/۱۲	۶/۳۹
	۲۰/۳۷	۱۹/۹۷	۱۹/۲۸	۱۷/۸۱	۱۷/۸۳	۱۷/۸۶	۱۲/۵۷	۱۰/۷۲	۷/۳۷
	۱۸/۲۸	۱۷/۸۷	۱۷	۱۶/۰۲	۱۶/۰۴	۱۶/۰۷	۱۲/۳۶	۱۰/۲۴	۵/۴۷
	۱۶/۹۴	۱۶/۴۷	۱۵/۳۶	۱۴/۲۱	۱۴/۲۵	۱۴/۲۹	۱۶/۱۲	۱۳/۴۸	۶/۹۷
	۲۱/۹۶	۲۱/۵	۲۰/۷۶	۱۹/۶۶	۱۹/۶۵	۱۹/۶۴	۱۰/۴۷	۸/۶۰	۵/۳۹
	۲۰/۴۲	۱۹/۸۷	۱۹/۱۱	۱۷/۸۸	۱۷/۸۷	۱۷/۸۶	۱۲/۴۴	۱۰/۰۷	۶/۵۴
	۱۸/۳	۱۷/۷۱	۱۶/۸۱	۱۶/۱	۱۶/۰۸	۱۶/۰۷	۱۲/۰۲	۹/۲۰	۴/۴۰
۱۶/۹۵	۱۶/۳۶	۱۵/۱۶	۱۴/۳۲	۱۴/۳	۱۴/۲۹	۱۵/۵۲	۱۲/۵۹	۵/۷۴	
۴۵	۲۴/۱۲	۲۳/۸۱	۲۳/۴۷	۲۴/۵۲	۲۴/۵۳	۲۴/۵۳	۱/۶۶	۳/۰۲۶	۴/۵۲
	۲۱/۸۶	۲۱/۱۳	۲۱/۲۷	۲۰/۷۵	۲۰/۷۵	۲۰/۷۶	۵/۰۸	۱/۸۰	۲/۴۰
	۱۹/۹۵	۱۹/۱۴	۱۹/۲۴	۱۸/۸۶	۱۸/۸۷	۱۸/۸۷	۵/۴۶	۱/۴۱	۱/۹۲
	۱۷/۸۱	۱۷/۱۵	۱۷/۰۵	۱۶/۹۷	۱۶/۹۸	۱۶/۹۸	۴/۷۲	۰/۹۹	۰/۴۱
	۲۳/۶۴	۲۲/۸۱	۲۳	۲۲/۶	۲۲/۶۲	۲۲/۶۴	۴/۴۰	۰/۸۳	۱/۵۷
	۲۱/۷۵	۲۱/۰۱	۲۱/۰۵	۲۰/۷	۲۰/۷۳	۲۰/۷۵	۴/۸۳	۱/۳۳	۱/۴۳
	۱۹/۹۶	۱۹/۲۶	۱۹/۱۴	۱۸/۸	۱۸/۸۳	۱۸/۸۷	۵/۸۱	۲/۲۳	۱/۴۱
	۱۷/۸۳	۱۷/۱۱	۱۶/۹	۱۶/۸۹	۱۶/۹۴	۱۶/۹۸	۵/۲۷	۰/۹۹	۰/۴۷
	۲۳/۶۵	۲۲/۹۱	۲۲/۸۸	۲۲/۶۲	۲۲/۶۳	۲۲/۶۴	۴/۳۶	۱/۲۲	۱/۰۵
	۲۱/۵۴	۲۰/۷۴	۲۰/۶۸	۲۰/۷۳	۲۰/۷۴	۲۰/۷۵	۳/۷۶	۰	۰/۳۴
	۱۹/۹۱	۱۹/۱۵	۱۹/۰۷	۱۸/۸۴	۱۸/۸۵	۱۸/۸۷	۵/۳۷	۱/۵۷	۱/۰۵
	۱۷/۹	۱۷/۰۶	۱۶/۹۳	۱۶/۹۵	۱۶/۹۶	۱۶/۹۸	۵/۳۱	۰/۵۹	۰/۳۰
	۲۳/۷	۲۲/۹۴	۲۲/۸۶	۲۲/۷۵	۲۲/۷۵	۲۲/۷۴	۴/۰۱	۰/۸۳	۰/۵۲
	۲۱/۷۳	۲۰/۹۲	۲۰/۷۶	۲۰/۸۷	۲۰/۸۱	۲۰/۷۶	۳/۹۶	۰/۵۳	۰
	۲۰/۱۸	۱۹/۲۹	۱۸/۹۶	۱۹/۵۷	۱۹/۱۵	۱۸/۹۲	۳/۰۱	۰/۷	۰/۲
۱۸/۱۲	۱۷/۲۶	۱۶/۷۹	۱۷/۵۵	۱۷/۱۵	۱۶/۷۷	۳/۱	۰/۶	۰/۱	

است. همچنین از روی شکل مشخص است که نسبت دبی ورودی و زاویه شیب جانبی تأثیری بر روی روند تغییرات عمق جریان ندارد به طوری که برای نسبت دبی ها و زوایای متفاوت روند تغییرات عمق جریان تقریباً منطبق بر هم است.

شکل ۵ روند تغییرات عمق کانال را در برابر عدد فرود کانال پایین دست به ازای نسبت دبی و زوایای جانبی متفاوت نشان می دهد. همان طور که در شکل مشخص است با افزایش عدد فرود عمق جریان در کانال خروجی افزایش می یابد. افزایش عدد فرود نتیجه بازشدگی بیشتر دریچه است که با کاهش عمق جریان همراه

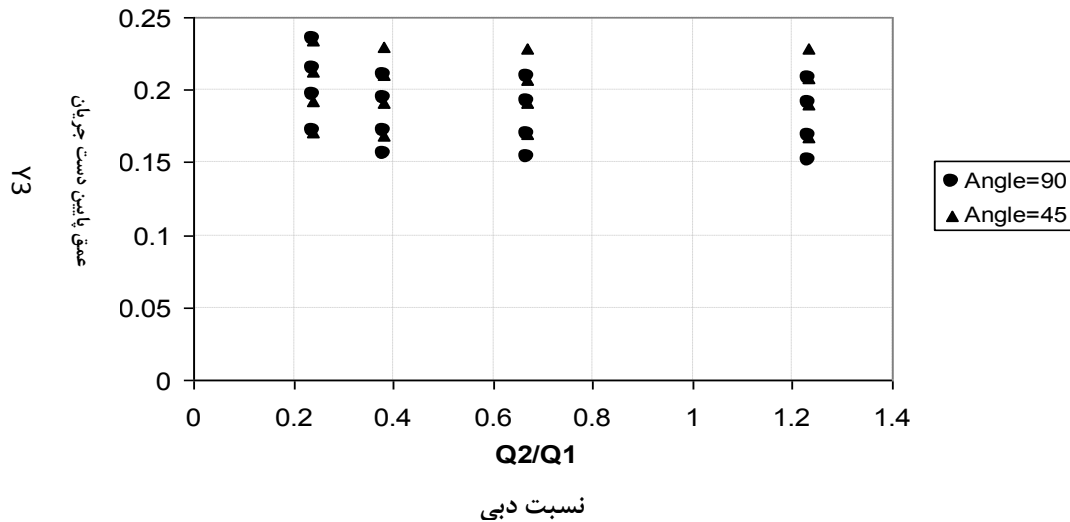


شکل ۵- تغییرات عمق جریان در برابر عدد فرود در مدل تحلیلی

عمق جریان را به دنبال دارد. برای زاویه ۴۵ درجه نیز با توجه به افزایش سطح مقطع که با کاهش سرعت همراه است، افزایش عمق را به دنبال خواهیم داشت (شکل ۶). بیشترین اختلاف بین مقادیر عمق جریان برای اعداد فرود بالا در نسبت دبی های مختلف مشاهده شد که در حدود ۳ سانتی متر بود و کمترین اختلاف برای پایین ترین عدد فرود و در حدود ۱ سانتی متر به دست آمد.

### تأثیر زاویه جریان بر روی عمق جریان

در این قسمت مقادیر عمق جریان در کانال خروجی برای دو زاویه ۴۵ و ۹۰ درجه ارائه شد. بررسی ها نشان می دهد که شیب جانبی کانال اصلی از ۴۵ به ۹۰ درجه مقادیر عمق جریان به ازای نسبت دبی های مختلف کاهش می یابد. با توجه به اینکه دبی خروجی ثابت است با افزایش زاویه جانبی سطح مقطع کاهش یافته که نتیجه آن افزایش سرعت است که کاهش

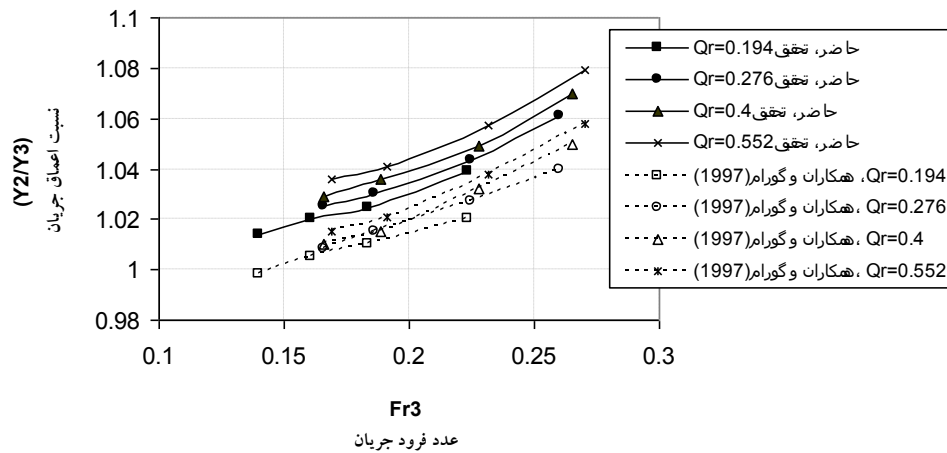


شکل ۶ - تغییرات عمق جریان در کانال خروجی در برابر نسبت دبی ورودی برای زوایای ۹۰ و ۴۵ درجه

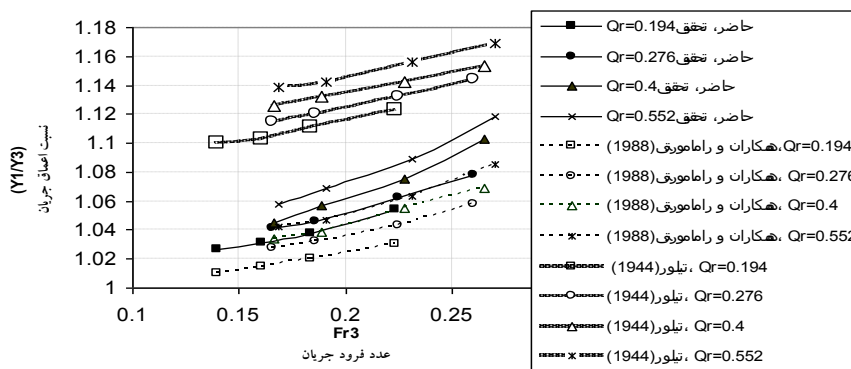
(۱۹۴۴) نشان می دهد. مقایسه عمق بالادست تلاقی در کانال فرعی ( $Y_2$ ) به عمق پایین دست تلاقی ( $Y_3$ ) با رابطه گورام و همکاران (۱۹۹۷) اختلافی بین ۱ تا ۳ درصد را نشان می دهد که این مساله می تواند به دلیل شرایط آزمایشگاهی دو تحقیق باشد. مقایسه پارامتر ( $Y_1/Y_3$ ) تحقیق حاضر در شکل ۷ (ب) نشان می دهد که این پارامتر با رابطه رامامورتی و همکاران (۱۹۸۸) تطابق بهتری نسبت به رابطه تیلور (۱۹۴۴) دارد.

#### مقایسه تحقیق حاضر با سایر محققین

با توجه به اینکه در زمینه شیب جانبی تلاقی کانال ها تحقیقی انجام نشده است، لذا در این قسمت فقط داده های آزمایشگاهی مربوط به زاویه ۹۰ درجه کانال اصلی این تحقیق با تحقیقات دیگر مقایسه خواهد شد. شکل (۷- الف و ب) مقایسه پارامترهای  $Y_1/Y_3$  و  $Y_2/Y_3$  در تحقیق حاضر را با تحقیقات گورام و همکاران (۱۹۹۷)، رامامورتی و همکاران (۱۹۸۸) و تیلور



(الف)



(ب)

شکل ۷: مقایسه نتایج تحقیق حاضر با نتایج سایر محققین (الف)  $Y_2/Y_3$  (ب)  $Y_1/Y_3$

### نتیجه گیری

در این تحقیق مدل تحلیلی یک بعدی مربوط به عمق جریان در یک تقاطع سه شاخه با دو ورودی و یک خروجی ارائه شد و نتایج حاصل با نتایج آزمایشگاهی مقایسه گردید. بررسی نتایج نشان داد که با افزایش عدد فرود خروجی با توجه به اینکه بر میزان تلاطم در محل تقاطع اضافه می گردد که نتیجه آن تحت تاثیر قرار دادن عمق در کانال هاست از میزان دقت مدل تحلیلی کاسته می شود. همچنین با افزایش نسبت دبی ورودی فرعی به اصلی از دقت مدل تحلیلی کاسته شد که علت آن نیز افزایش تلاطم در محل تقاطع می باشد. با افزایش زاویه جانبی کانال اصلی با

رامامورتی برای اثبات رابطه تحقیقشان همه پارامترهای تاثیر گذار در تلاقی را در معادله مومنوم در نظر گرفته اند و لذا رابطه آنها تطابق بهتری با داده های آزمایشگاهی تحقیق حاضر از خود نشان داد. در صورتیکه رابطه تیلور برای طیف وسیعی از زاویه های تلاقی دو کانال فرعی و اصلی به دست آمده، به همین در بحث پروفیل سطح آب و تغییرات آن تطابق کمتری با تحقیق حاضر نشان می دهد. اختلاف پارامتر تحقیق حاضر با رابطه رامامورتی و همکاران (۱۹۸۸) بین ۱ تا ۳ درصد و با رابطه تیلور (۱۹۴۴) بین ۵ تا ۱۰ درصد می باشد.



در حدود ۱۵٪ گزارش شد و کمترین میزان خطا مربوط به زاویه ۴۵ درجه، نسبت دبی پایین و عمق جریان در کانال خروجی فرعی بود که در حدود ۵٪ گزارش شد. حداکثر و حداقل اختلاف بین مقادیر عمق جریان برای زوایای ۴۵ و ۹۰ درجه، به ترتیب در حدود ۳ سانتی متر و ۱ سانتی متر به دست آمد.

راستای قائم با توجه به افزایش سطح مقطع کانال اصلی و کاهش سرعت، در نتیجه برخورد جریان های ورودی میزان تلاطم کمتر خواهد بود که نتیجه آن خطای کمتر مدل تحلیلی خواهد بود. در مدل تحلیلی بیشترین خطا مربوط به زاویه ۹۰ درجه، نسبت دبی های بالا و عمق جریان در کانال ورودی اصلی بود که

### منابع

- Best, J. L. 1987. Flow dynamics at river channel confluences: Implications for sediment transport and bed morphology, *Recent Developments in Fluvial Sedimentology*, Spec. Publ. SEPM Soc. Sediment. Geol., 39, 27-35.
- . Biron, P. M., A. Ramamurthy, S., and S. Han .2004. Three-Dimensional Numerical Modeling of Mixing at River Confluences, *Journal of Hydraulic Engineering*, 130, 243- 253.
- Bradbrook, K. F., P. M. Biron, S. N. Lane, K. S. Richards, and A. G. Roy .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., S. N. Lane, and K. S. Richards .2000. Numerical simulation of threedimensional, time-averaged flow structure at river channel confluences, *Water Resources Research*, 36, 2731-2746.
- .Bradbrook, K. F., S. N. Lane, K. S. Richards, P. M. Biron, and A. G. Roy .2001. Role of bed discordance at asymmetrical river confluences, *Journal of Hydraulic Engineering*, 127, 351-368.
- Ghostine, R., Mosé, R., Vazquez, J., Ghenaim, A., and Gregoire, C.2010. Two-Dimensional Simulation of Subcritical Flow at a Combining Junction: Luxury or Necessity? *Journal of Hydraulic Engineering*, 136(10):799-805.
- . Gurram, S. K., K. Karki, S. , and W. H. Hager .1997. Subcritical Junction Flow. *Journal of Hydraulic Engineering*, 123, 447-455.
- Hager, W. H. 1989. Transitional flow in channel junctions, *Journal of Hydraulic Engineering*, 115, 243-259.
- Hosseini, S. H, Farsadzadeh D, Hosseinzadeh Dalir A and Salmasi F.2015. 1D Analytical Model of the Subcritical Flow Distribution in Four- Branch Junctions of Open Channels. *Water and soil journal*. 25:1. 235-246. (in Persian).
- Hsu, C.C. wu, F.S. and Lee. W.J. 1998a. Flow at 90 Equal-Width open-channel junction. *Journal of Hydraulic Engineerin*.124:2.186-191
- Hsu, C.C. Lee. W. J. and change. C.H. 1998b. Subcritical open channel junction flow. *Journal of Hydraulic Engineerin*.124 :8.847-855.
- Kesserwani, G., Ghostine, R., Vazquez, J., Mose, R., Maher, A, and Ghenaim, A.2008. Simulation of subcritical flow at open- channel junction. *Advances in water resources*. Elsevier. 31:287-297. Liu, H., Zhou, J, G., Burrows, R. 2009.Multi- block lattice Boltzmann simulations of subcritical flow in open channel junction. *J computer& Fluids*. Elsevier. 38: 1108-1117.
- Mignot, E., N. Rivière, A. Paquier, and R. J. Perkins .2011. Hydraulic models of the flow distribution in a four branch open channel junction with supercritical flow, *J. Hydraul. Eng.*, 137:3. 289–299.



- Ramamurthy, A. S., L. B. Carballada, and D. M. Tran .1988. Combining open channel flow at right angled junctions, *Journal of Hydraulic Engineering*, 114, 1449-1460.
- Ramamurthy, A.S., Qu, J., and Zhai, C. 2006. 3D simulation of combining flows in 90 rectangular closed conduits. *J. Hydr. Engrg.* 132:2.214-218.
- Rivie`re N, Travin G and Perkins RJ. 2011. Subcritical open channel flows in four branch intersections. *W Resources Research* 147. W10517. 1-10.
- Schindfessel, L., Creëlle, S., & De Mulder, T. 2015. Flow patterns in an open channel confluence with increasingly dominant tributary inflow. *Water*, 7(9), 4724-4751.
- Shabayek, S., P. Steffler, and F. Hicks (2002), Dynamic Model for Subcritical Combining Flows in Channel Junctions, *Journal of Hydraulic Engineering*, 128, 821-828.
- Shakibainia, A., M. R. M. Tabatabai, and A. R. Zarrati .2010. Three-dimensional numerical study of flow structure in channel confluences, *Canadian Journal of Civil Engineering*, 37, 772-781.
- Sui, B., & Huang, S. H. (2017). Numerical analysis of flow separation zone in a confluent meander bend channel. *Journal of Hydrodynamics, Ser. B*, 29(4), 716-723.
- Taylor, E. H. (1944), Flow characteristics at rectangular open-channel junctions, *American Society of Civil Engineers -- Proceedings*, 70, 119-121.
- Weerakoon, S.B., Kawahara, Y., and Tamia, N. 1991. Three dimensional flow structure in channel confluences of rectangular section. *Proc., 25th IAHR.Madrid.* 373- 380.
- Xhang Ting, XU Wei-lin, WU Ping. 2009. Numerical simulation of three-dimensional characteristics of flow at 90o open-channel junction. *Journal of Hydraulic Engineering.* 40:1.52-59.
- Zeng, C., Li, C.W. 2010. A hybrid RANS-LES model for combining flows in open-channel T-junctions. *9th international conf Hydrodynamic.China.* 154:159





## Numerical analyzing of flow in open channel junction with effect of side slope of channel

Payam Khosravi nia<sup>1\*</sup>, Seyed Hassan Hosseini<sup>2</sup>, Ali Hosseinzadeh Dalir<sup>3</sup>

\* Corresponding Author

### Abstract

Open channel junctions are so important in water conveyance networks. As a result, the researchers have been focusing on study of flow characteristics in these parts of water systems. Numerical simulation allows us to achieve the answer for engineering problems without encountering the experimental difficulty and with minimum cost. The aim of this study was, developing a 1D analytical model for simulating open channel junctions base on continuity, energy and momentum equations and some simple assumptions and comparing the experimental results in order to validation of analytical results. In experiments, side slope of main channel was 45 and 90 degrees. The studied variables were the ratio of depth at the junction. Investigation of results showed that increase of Froude number and inlet discharge ratio would lead to increase of turbulence which would decrease precision of analytical model. Also the increase of side slope of main channel caused less turbulence and more precision of the analytical model. In analytical model maximum reported error was about 15% for angle of 90 degrees, with relatively high discharge and depth in main inlet channel and minimum reported error was about 5% for angle of 45 degrees, with relatively low discharge and depth in main outlet channel

**Keywords:** three-branch junction, slope angle of main channel, Water depth, one dimensional analytical model, inlet discharge ratio.

<sup>1</sup> Assistant Professor, Dept of Water Sciences and Eng, Faculty of Agri, University of Kurdistan. [p.khosravinia@uok.ac.ir](mailto:p.khosravinia@uok.ac.ir)

<sup>2</sup> Assistant Professor, Dept of Water & Soil, Faculty of Agri, Shahrood University of Technology [sayyedhossein.hosseini@gmail.com](mailto:sayyedhossein.hosseini@gmail.com)

<sup>3</sup> Professor, Dept of Water Engineering, Faculty of Agri, University of Tabriz. [ahdalir@tabrizu.ac.ir](mailto:ahdalir@tabrizu.ac.ir)