

## بررسی مشخصات جریان زیربحرانی در تقاطع چهارشاخه ۹۰ درجه کانال‌های روباز

سید حسین حسینی<sup>۱\*</sup>، داود فرسادی زاده<sup>۲</sup>، علی حسین زاده دلیر<sup>۳</sup>، فرزین سلماسی<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت: ۹۲/۰۹/۱۶ تاریخ پذیرش: ۹۳/۰۲/۱۶

<sup>۱</sup> دانشجوی دکتری سازه‌های آبی، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز

<sup>۲</sup> استاد گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز

<sup>۳</sup> دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی دانشگاه تبریز

\*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: sayyedhossein.hosseini@gmail.com

### چکیده

یکی از بخش‌های مهم سیستم‌های انتقال آب شهری و کشاورزی تقاطع کانال‌ها می‌باشد. در این تحقیق تأثیر پارامترهای مختلفی نظیر نسبت دبی ورودی، ارتفاع کف کانال‌های فرعی و ارتفاع سرریزهای انتهای کانال‌های خروجی بر روی مشخصات جریان زیربحرانی در تقاطع چهارشاخه کانال‌های روباز ۹۰ درجه با دو ورودی و دو خروجی به صورت آزمایشگاهی بررسی شد. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که با افزایش نسبت دبی ورودی، بالا آمدن ارتفاع کف کانال‌های فرعی و افزایش ارتفاع سرریزهای انتهایی بر میزان دبی خروجی از کانال اصلی افزوده می‌شود. با افزایش نسبت دبی ورودی و کاهش ارتفاع سرریزهای انتهایی، نوسان پروفیل سطح آب در محل تقاطع بیشتر شد، درحالی‌که تغییر ارتفاع کف کانال‌های فرعی تأثیری در نوسانات سطح آب در محل تقاطع نداشت. همچنین برخورد دو جریان ورودی سبب تغییر شکل پروفیل سرعت در کانال‌های ورودی شد.

واژه‌های کلیدی: پروفیل سرعت، پروفیل سطح آب، تقاطع چهار شاخه، دبی خروجی، نسبت دبی ورودی

## Investigating of Characteristics of Subcritical Flow in 90 Degrees Four-Branch Open Channel Junctions

SH Hosseini<sup>1\*</sup>, D Farsadizadeh<sup>2</sup>, A Hosseinzadeh Dalir<sup>2</sup>, F Salmasi<sup>3</sup>

Received: 07 December 2013 Accepted: 06 May 2014

<sup>1</sup>PhD Student of Water Structures, Dept. of Water Engineering, Faculty of Agric. Univ. of Tabriz, Iran

<sup>2</sup>Prof., Dept. of Water Engineering, Faculty of Agric. Univ. of Tabriz, Iran

<sup>3</sup>Assoc. Prof., Dept. of Water Engineering, Faculty of Agric. Univ. of Tabriz, Iran

\*Corresponding Author, Email: sayyedhossein.hosseini@gmail.com

### Abstract

One of the important parts of the urban and agriculture water conveyance systems are channel junctions. In this research, the effects of different factors such as inlet discharge ratio, bed elevation of lateral channels and height of weirs at the end of outlet channels on characteristics of the subcritical flow in 90 degrees four-branch open channel junctions with two inlets and two outlets were investigated experimentally. The results showed that as the inlet discharge ratio, bed elevation of lateral channels and height of weirs at the end of outlet channels increased, the outlet discharge in the main channel also increased. Increasing the inlet discharge ratio and decreasing the height of weirs at the end of outlet channels caused more fluctuation in the water surface profile at the junction, but variation of the bed elevation of lateral channels had no effect on fluctuations of the water surface profile. Furthermore, conjunction of the two inlet flows caused changing the velocity profiles in the inlet channels.

**Keywords:** Four-branch junction, Inlet discharge ratio, Outlet discharge, Velocity profile, Water surface profile

### مقدمه

افت جریان ورودی از شاخه فرعی ارائه داد. رامامورتی و ساتیش (۱۹۸۷) توزیع جریان در تقاطع کانال‌ها را بررسی کردند که در مطالعات آن‌ها عدد فرود شاخه فرعی بزرگتر از ۰/۳۵ بود. بست و رید (۱۹۸۴) به بررسی توسعه ناحیه جاشدگی در تقاطع کانال‌ها پرداختند. مطالعات آن‌ها نشان داد که طول و عرض ناحیه جاشدگی با افزایش زاویه تقاطع کانال فرعی و اصلی و افزایش نسبت دبی کانال فرعی به دبی کل افزایش می‌یابد. اما شکل ناحیه جاشدگی تقریباً ثابت ماند. سوو همکاران (۲۰۰۲) با استفاده از معادله انرژی رابطه‌ای برای نسبت عمق و ضریب افت انرژی کل در یک تقاطع سه‌شاخه ۹۰ درجه با جریان زیربحرانی ارائه دادند و نتایج خود را با داده‌های آزمایشگاهی مقایسه

مطالعه توزیع جریان در تقاطع کانال‌های روباز اهمیت ویژه‌ای در طراحی سیستم‌های جمع‌آوری آب و فاضلاب و شبکه کانال‌های آبیاری و زهکشی دارد (رامامورتی و همکاران ۱۹۹۰). به دلیل مشکلاتی نظیر پیچیدگی جریان در محل تقاطع، زیاد بودن پارامترهای مؤثر بر روی الگوی جریان و نیاز به امکانات آزمایشگاهی مطالعات نسبتاً کمی در این زمینه انجام شده است. بیشتر مطالعات انجام شده در این زمینه محدود به تقاطع سه‌شاخه می‌باشد. تیلور (۱۹۴۴) اولین کسی بود که به بررسی تقسیم جریان در یک تقاطع سه‌شاخه پرداخت و با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی راه‌حلی گرافیکی برای تحلیل شرایط جریان ارائه داد. هگر (۱۹۸۳) یک روش ساده به‌منظور ارزیابی ضریب

و عددی الگوی سه‌بعدی جریان در محل تقاطع سه‌شاخه ۹۰ درجه پرداختند. نتایج آزمایش‌های آن‌ها نشان داد که طول و عرض ناحیه جدشدگی با افزایش نسبت دبی کاهش می‌یابد. ابعاد ناحیه جدشدگی در نزدیکی بستر در مقایسه با ابعاد آن در سطح آب کوچک‌تر بود. برای همه مقادیر نسبت دبی، بیشینه سرعت بلافاصله پایین‌دست تقاطع در شاخه فرعی اتفاق افتاد. مقایسه نتایج مدل عددی آن‌ها با نتایج آزمایشگاهی مطابقت خوبی را در شبیه‌سازی پروفیل سرعت، پروفیل سطح آب و الگوی جریان از خود نشان داد. میگنوتو همکاران (۲۰۰۸) به بررسی الگوی توزیع جریان فوق بحرانی در محل یک تقاطع چهار شاخه ۹۰ درجه پرداختند. بررسی‌های آن‌ها نشان داد که می‌توان سه نوع الگوی جریان در محل تقاطع چهار شاخه ۹۰ درجه تعریف کرد. الگوی نوع ۱ که در آن در هر دو کانال ورودی پرش نرمال تشکیل می‌شود. الگوی نوع ۲ که در کانال بالادست کوچک‌تر پرش نرمال و در محل تقاطع پرش مایل تشکیل می‌شود و الگوی نوع ۳ که در آن دو پرش مایل در محل تقاطع تشکیل می‌شود. میگنوت و همکاران (۲۰۱۱) به بررسی شرایط دو جریان فوق بحرانی برخوردکننده به یکدیگر در یک تقاطع چهار شاخه با دو ورودی و دو خروجی پرداختند. مطالعات آن‌ها نشان داد که الگو و نحوه توزیع جریان به خصوصیات و موقعیت پرش در محل تقاطع بستگی دارد. آن‌ها با ارائه یک مدل هیدرولیکی نشان دادند که زاویه پرش در محل تقاطع نقش مهمی در الگوی جریان تشکیل شونده دارد. هدف از این تحقیق بررسی تأثیر پارامترهای هیدرولیکی نظیر نسبت دبی ورودی کانال فرعی به اصلی و عدد فرود کانال ورودی اصلی و همچنین پارامترهای هندسی نظیر ارتفاع سرریزهای خروجی، تراز کف کانال‌های فرعی و نسبت ارتفاع سرریز خروجی کانال فرعی به سرریز خروجی کانال اصلی بر روی الگوی توزیع جریان زیربحرانی در یک تقاطع چهار شاخه ۹۰ درجه به صورت آزمایشگاهی می‌باشد.

نمودند که تطابق خوبی را نشان داد. نتایج آن‌ها نشان داد که نسبت عمق بالادست به پایین‌دست با افزایش نسبت عدد فرود پایین‌دست به بالادست و کاهش عدد فرود پایین‌دست افزایش می‌یابد و ضریب افت انرژی کل با افزایش عدد فرود بالادست و نسبت دبی پایین دست به بالادست افزایش می‌یابد. بایرون و همکاران (۲۰۰۴) به بررسی فرآیند اختلاط در محل تقاطع و بلافاصله بعد از تقاطع تحت شرایط تقاطع هم‌سطح و غیر هم‌سطح به صورت عددی پرداختند و نتایج خود را با داده‌های فیزیکی مقایسه کردند. نتایج مدل‌سازی عددی آن‌ها نشان داد که غیر هم‌سطح بودن تقاطع فرآیند اختلاط را تا حدود زیادی بهبود می‌بخشد. تأثیر غیر هم‌سطح بودن بستر در جریان‌های کم نسبت به جریان‌های زیاد بیشتر بود به طوری که میزان کاهش انحراف معیار در دو حالت ذکر شده به ترتیب ۳۰٪ و ۱۸٪ بود. فریزل و همکاران (۲۰۰۸) به بررسی آزمایشگاهی و عددی دو جریان زیربحرانی برخوردکننده به یکدیگر پرداختند. مدل عددی مورد استفاده آن‌ها مدل تلاطم  $k-\epsilon$  بود. نتایج مطالعات آن‌ها برای پروفیل سرعت و عمق جریان در بالادست کانال اصلی و پایین‌دست شاخه فرعی برای مقادیر عدد فرود و نسبت‌های مختلف عرض با یکدیگر مطابقت خوبی داشت، به طوری که مقادیر خطای نسبی محاسباتی و اندازه‌گیری شده برای اندازه ناحیه جدشدگی در حدود ۴/۷٪ بود. وبر و همکاران (۲۰۰۱) به بررسی الگوی سه‌بعدی جریان در محل تقاطع ۹۰ درجه سه‌شاخه پرداختند. بررسی‌های آن‌ها نشان داد که پروفیل طولی سرعت در نزدیک بستر با سطح آب تفاوت آشکاری دارد. طول و اندازه ناحیه جدشدگی در سطح آب نسبت به ابعاد آن در نزدیک بستر بیشتر است که دلیل آن زاویه جریان ورودی فرعی می‌باشد. بررسی نتایج مربوط به پروفیل سطح آب نشان می‌دهد که پروفیل سطح آب از قسمت بالادست تقاطع به سمت پایین‌دست به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد. رامامورتی و همکاران (۲۰۰۷) به بررسی آزمایشگاهی

## مواد و روش‌ها

با حذف پارامترهای وابسته نظیر عمق‌های آب و تحلیل ابعادی به‌روش باکینگهام درنهایت پارامترهای بدون بعد زیر به‌دست می‌آید:

$$f\left(\frac{q_{yi}}{q_{xi}}, \frac{q_{xo}}{q_{xi}}, \frac{c_x}{b}, \frac{c_y}{b}, \frac{z_{yo}}{b}, Fr_{xi}, Re_{xi}, \theta\right) = 0 \quad [۲]$$

با توجه به ثابت بودن زاویه تقاطع، پارامتر بدون بعد زاویه، حذف می‌شود. همچنین با توجه به متلاطم بودن جریان از تأثیر عدد رینولدز صرف‌نظر می‌شود (کمینه عدد رینولدز محاسبه‌شده در آزمایش‌ها در حدود ۱۱۰۰۰ بود). تابع بی‌بعد فوق با حذف این پارامترها به‌صورت زیر نوشته می‌شود.

$$f\left(\frac{q_{xo}}{q_{xi}}, \frac{q_{yi}}{q_{xi}}, \frac{c_x}{b}, \frac{c_y}{b}, \frac{z_{yo}}{b}, Fr_{xi}\right) = 0 \quad [۳]$$

با ترکیب برخی پارامترهای فوق، درنهایت نسبت توزیع دبی را می‌توان به‌صورت زیر نشان داد:

$$\frac{q_{xo}}{q_{xi}} = f\left(\frac{q_{yi}}{q_{xi}}, \frac{c_x}{b}, \frac{c_y}{c_x}, \frac{z_{yo}}{b}, Fr_{xi}\right) \quad [۴]$$

آزمایش‌ها در آزمایشگاه هیدرولیک گروه مهندسی آب دانشگاه تبریز انجام شد. مدل آزمایشگاهی از دو کانال فلزی - شیشه‌ای متقاطع با مقطع مستطیلی به‌عرض ۴۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۵۰ سانتی‌متر تشکیل شده که طول کانال اصلی و فرعی به‌ترتیب ۸/۴ و ۴/۴ متر بود و با زاویه ۹۰ درجه یکدیگر را قطع می‌کنند. آب موردنیاز آزمایش‌ها توسط یک پمپ با قدرت ۱۰۰ اسب بخار تأمین می‌شود که آب را به داخل برج اصلی آزمایشگاه هدایت کرده و دبی کل موردنیاز توسط شیرفلکه نصب‌شده در ابتدای لوله متصل به برج تنظیم می‌شود. آب موردنیاز ابتدا به داخل مخزن ورودی کانال اصلی هدایت‌شده و توسط سرریز مستطیلی نصب‌شده در خروجی مخزن دبی کل اندازه‌گیری می‌شود (شکل ۲). پس از تنظیم دبی کل، دبی کانال فرعی توسط شیرفلکه نصب‌شده بر روی لوله انتقال آب به داخل مخزن ورودی اصلی تنظیم می‌-

با توجه به اینکه در این تحقیق تقاطع موردبررسی از نوع چهار شاخه با دو ورودی و دو خروجی می‌باشد، پارامترهای مؤثر بر روی الگوی توزیع جریان عبارت‌اند از: دبی جریان در واحد عرض کانال ورودی اصلی  $q_{xi}$ ، دبی جریان در واحد عرض کانال ورودی فرعی  $q_{yi}$ ، دبی جریان در واحد عرض کانال خروجی اصلی  $q_{xo}$ ، دبی جریان در واحد عرض کانال خروجی فرعی  $q_{yo}$ ، عمق آب در کانال ورودی اصلی  $y_{xi}$ ، عمق آب در کانال ورودی فرعی  $y_{yi}$ ، عرض کانال ورودی اصلی  $b_{xi}$ ، عرض کانال ورودی فرعی  $b_{yi}$ ، زاویه تقاطع کانال‌ها  $\theta$ ، عمق آب در کانال خروجی اصلی  $y_{xo}$ ، عمق آب در کانال خروجی فرعی  $y_{yo}$ ، عرض کانال خروجی اصلی  $b_{xo}$ ، عرض کانال خروجی فرعی  $b_{yo}$ ، شتاب ثقل  $g$ ، جرم مخصوص سیال  $\rho$ ، لزجت دینامیکی  $\mu$ ، ارتفاع سرریزهای انتهایی کانال‌های خروجی  $c_x, c_y$ ، تراز کف کانال فرعی ورودی  $z_{yi}$ ، تراز کف کانال فرعی خروجی  $z_{yo}$ . تراز کف کانال‌های فرعی درواقع فاصله کف کانال اصلی در محل تقاطع با کف کانال‌های فرعی می‌باشد و تراز کف کانال فرعی در طول کانال‌های فرعی ثابت بود (شکل ۱). با توجه به برابر بودن عرض کانال‌ها، عرض کانال‌ها با پارامتر  $b$  در معادله نهایی نشان داده شد. با مشخص شدن پارامتر  $q_{xo}$  با توجه به معلوم بودن  $q_{yi}, q_{xi}$  در معادله نهایی  $q_{yo}$  حذف می‌شود. با توجه به برابر بودن عرض کانال ورودی و خروجی اصلی و کانال ورودی و خروجی فرعی در معادله نهایی فقط عرض کانال‌های خروجی در نظر گرفته شد. همچنین به‌دلیل تغییرات یکسان ارتفاع کف کانال‌های فرعی فقط ارتفاع کف کانال فرعی خروجی در نظر گرفته شد. درنهایت برای تحقیق حاضر تابع زیر تشکیل شد:

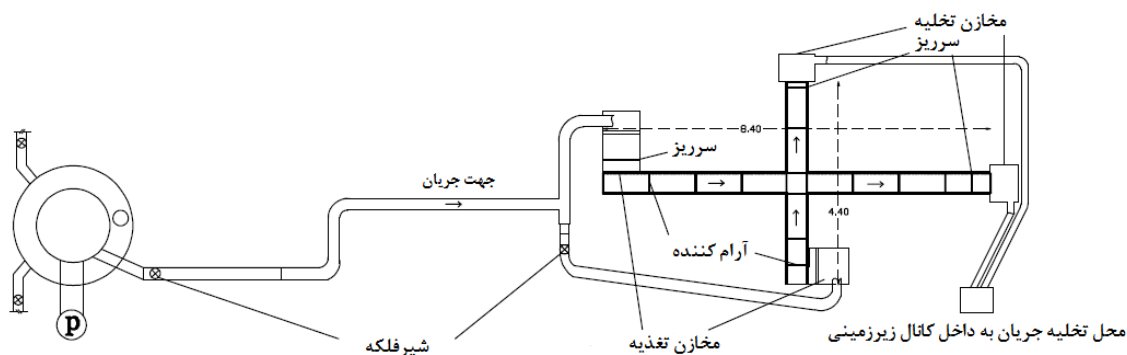
$$F(q_{xi}, q_{yi}, q_{xo}, y_{xi}, y_{yi}, y_{xo}, y_{yo}, c_x, c_y, z_{yo}, b, \rho, \mu, g, \theta) = 0 \quad [۱]$$

قائم سرعت در کانال‌های ورودی و خروجی نیز توسط میکروپروپیلر با دقت ۰/۱ سانتی‌متر بر ثانیه اندازه‌گیری شد. شکل ۲ پلان مدل آزمایشگاهی را نشان می‌دهد.



شکل ۱- اختلاف تراز بین کانال اصلی و فرعی خروجی.

شود و در نهایت توسط لوله انتقال دیگر، آب به داخل مخزن ورودی کانال فرعی هدایت می‌شود. تلاطم جریان‌های ورودی نیز توسط آرام‌کننده‌های نصب‌شده در ابتدای کانال‌ها گرفته‌شده و جریان به صورت آرام و یکنواخت به داخل کانال‌ها هدایت می‌شود. دبی خروجی نیز توسط سرریزهای چوبی نصب‌شده در انتهای کانال که قبل از انجام آزمایش‌ها واسنجی شده‌اند اندازه‌گیری شد. بیشینه خطای اندازه‌گیری مربوط به دبی جریان ۰/۵ لیتر بر ثانیه بود. جریان خروجی از کانال‌ها به داخل دو مخزن تعبیه‌شده در انتهای آن هدایت‌شده که لوله‌های خروجی منشعب شده از این مخازن کار تخلیه آب به کانال زیرزمینی آزمایشگاه را بر عهده دارند. برای اندازه‌گیری عمق جریان و پروفیل سطح آب از یک سطح سنج با دقت ۰/۱ میلی‌متر استفاده شد. پروفیل



شکل ۲- پلان مدل آزمایشگاهی.

دبی ورودی، نسبت دبی خروجی به دبی ورودی کانال اصلی افزایش می‌یابد. با توجه به زاویه ۹۰ درجه بین کانال‌ها و بیشتر بودن دبی کانال ورودی اصلی نسبت به کانال ورودی فرعی بیشتر جریان‌های ورودی به کانال خروجی اصلی تخلیه‌شده، بنابراین با افزایش دبی کانال فرعی ورودی، دبی خروجی از کانال اصلی افزایش‌یافته و روندی خطی را نشان می‌دهد. شکل ۳ تغییرات نسبت دبی خروجی به دبی ورودی کانال اصلی به ازای نسبت دبی ورودی کانال فرعی به دبی ورودی کانال اصلی با ارتفاع کف ثابت را نشان می‌دهد.

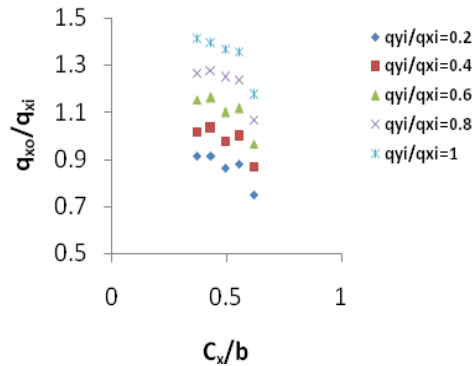
## نتایج و بحث

### دبی خروجی از کانال اصلی

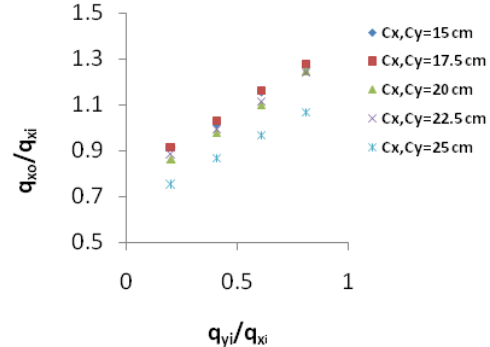
با توجه به تحلیل ابعادی انجام‌شده، در این قسمت تأثیر هر یک از پارامترهای استخراج‌شده بر روی نسبت دبی کانال خروجی به ورودی اصلی به صورت جداگانه بررسی می‌شود.

### تأثیر نسبت دبی ورودی بر روی دبی خروجی از کانال اصلی

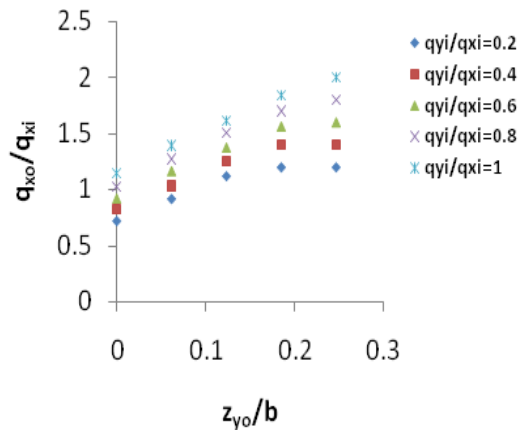
در آزمایش‌ها ۵ نسبت دبی ورودی در نظر گرفته شد که برابر با ۰/۲، ۰/۴، ۰/۶، ۰/۸ و ۱ بودند. بررسی آزمایش‌ها نشان می‌دهد که با افزایش نسبت



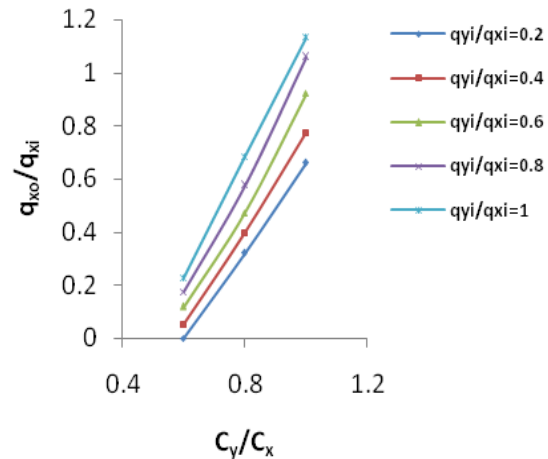
شکل ۴- تغییرات دبی خروجی از کانال اصلی در برابر ارتفاع سرریزهای انتهایی.



شکل ۳- تغییرات خطی دبی خروجی از کانال اصلی در برابر نسبت دبی ورودی به کانال فرعی.



شکل ۶- تغییرات دبی خروجی از کانال اصلی در برابر ارتفاع کف کانال فرعی.



شکل ۵- تغییرات خطی دبی خروجی از کانال اصلی به ازای

$$\frac{C_y}{C_x}$$

ارتفاع بیشتر، میزان دبی خروجی از کانال اصلی برای همه نسبت دبی‌های ورودی روندی کاهشی داشته که احتمالاً دلیل آن این است که با افزایش ارتفاع سرریزها عمق آب در کانال خروجی اصلی افزایش یافته و در نتیجه سرعت جریان کاهش می‌یابد به طوری که جریان کانال خروجی اصلی همانند یک مانع عمل کرده و بر روی دبی دو کانال ورودی اثر می‌گذارد که انحراف بیشتر جریان به داخل کانال خروجی فرعی را به دنبال دارد.

تأثیر ارتفاع سرریزهای انتهایی کانالها بر روی دبی خروجی از کانال اصلی

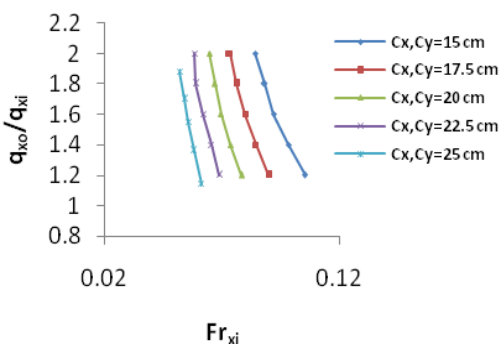
شکل ۴ تغییرات  $\frac{q_{xo}}{q_{xi}}$  را برای مقادیر مختلف  $\frac{C_x}{b}$  و به ازای  $z_{yi}, z_{yo} = 7.5 \text{ cm}$  نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل مشخص است برای همه نسبت دبی‌های ورودی و ارتفاع کم سرریزها (۱۵ و ۱۷/۵ سانتی‌متر) دبی کانال خروجی اصلی تقریباً ثابت می‌باشد که دلیل آن خروج همه جریان‌های ورودی از کانال خروجی اصلی می‌باشد. درحالی‌که برای ارتفاع سرریزهای با

می‌شود اما افزایش دبی کانال فرعی سبب انحراف مقداری از جریان به داخل کانال فرعی خروجی شد.

### تأثیر عدد فرود کانال ورودی اصلی بر روی

#### دبی خروجی از کانال اصلی

بررسی تغییرات نسبت دبی خروجی به دبی ورودی کانال اصلی در برابر عدد فرود کانال ورودی اصلی به ازای مقادیر مختلف ارتفاع سرریزهای انتهای کانال‌ها براساس شکل ۷ نشان می‌دهد که با افزایش عدد فرود کانال اصلی ورودی، نسبت دبی کاهش پیدا می‌کند. با توجه به ثابت بودن ارتفاع سرریزها، با افزایش نسبت دبی ورودی (ورودی فرعی به اصلی) عمق آب در کانال‌ها و ازجمله کانال ورودی اصلی افزایش می‌یابد. افزایش عمق، کاهش عدد فرود کانال اصلی را به دنبال دارد، درحالی‌که همان‌طور که قبلاً اشاره شد، افزایش نسبت دبی ورودی سبب افزایش دبی خروجی از کانال خروجی اصلی می‌شود، بنابراین با کاهش عدد فرود در کانال ورودی اصلی، میزان دبی خروجی از کانال اصلی افزایش می‌یابد (شکل ۷).



شکل ۷- تغییرات دبی خروجی از کانال اصلی به ازای عدد فرود کانال ورودی اصلی با سرریزهای انتهایی مختلف.

#### پروفیل سطح آب در محل تقاطع

یکی دیگر از پارامترهای مهم در محل تقاطع کانال‌ها تغییرات سطح آب می‌باشد که عوامل مختلفی

### تأثیر اختلاف ارتفاع سرریزهای انتهای کانال-

#### ها بر روی دبی خروجی از کانال اصلی

با افزایش نسبت  $\frac{c_y}{c_x}$  مقادیر  $\frac{q_{xo}}{q_{xi}}$  به ازای نسبت-

های مختلف  $\frac{q_{yi}}{q_{xi}}$  براساس شکل ۵ به صورت خطی

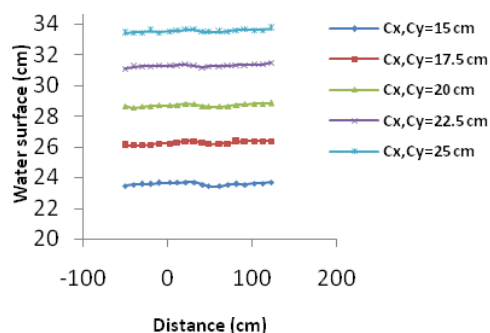
افزایش می‌یابد و دلیل آن افزایش ارتفاع سرریز انتهای کانال فرعی می‌باشد که سبب انحراف بیشتر جریان به سمت کانال خروجی اصلی می‌شود. با توجه به نمودار شکل ۵ مشخص است که به ازای نسبت دبی ورودی ۰/۲ و ارتفاع سرریز کمینه (۱۵ سانتی‌متر) در انتهای کانال فرعی، جریان خروجی از کانال اصلی صفر می‌باشد. با افزایش نسبت دبی ورودی، میزان دبی خروجی از کانال اصلی افزایش می‌یابد که در بالاترین نسبت دبی ورودی، دبی خروجی از کانال اصلی در حدود ۰/۲۵ دبی کانال ورودی اصلی (۳/۵ لیتر بر ثانیه) می‌باشد که درمقایسه با دبی کل بسیار ناچیز است. این موضوع درواقع نقش کنترل پایین‌دست در توزیع دبی جریان در تقاطع کانال‌ها رانشان می‌دهد که می‌توان از آن به منظور کنترل توزیع دبی در این محل‌ها استفاده کرد.

### تأثیر ارتفاع کف کانال فرعی بر روی دبی خروجی از کانال اصلی

همان‌طور که در شکل ۶ نشان داده شده با افزایش  $\frac{z_{yo}}{b}$ ، روند تغییرات دبی خروجی به ازای نسبت دبی‌های مختلف، ابتدا خطی بوده و در نسبت دبی‌های ورودی پایین (۰/۲ و ۰/۴) برای دو ارتفاع کف ۷/۵ و ۱۰ سانتی‌متر تقریباً همه جریان ورودی، از کانال اصلی خارج شد، اما در نسبت دبی‌های بیشتر فقط برای ارتفاع کف ۱۰ سانتی‌متر همه جریان ورودی از کانال اصلی خارج شد و برای ارتفاع کف ۷/۵ سانتی‌متر مقداری از جریان به داخل کانال فرعی تخلیه شد. افزایش ارتفاع کف مانع از انحراف جریان به داخل کانال فرعی

### تأثیر ارتفاع سرریز انتهای کانال‌های خروجی بر روی پروفیل سطح آب

نتایج آزمایش‌ها نشان داد که به ازای یک نسبت دبی ورودی ثابت و ارتفاع کف ثابت، با افزایش ارتفاع سرریزها عمق آب افزایش یافته و سرعت جریان کاهش می‌یابد که کاهش نوسانات سطح آب را به دنبال دارد. با افزایش ارتفاع سرریزهای خروجی عمق آب در پایین‌دست افزایش یافته که با توجه به زیربحرانی بودن جریان، این تغییر به بالادست و محل تقاطع منتقل شده و افزایش عمق آب در محل تقاطع را به دنبال دارد (شکل ۹).



شکل ۹- تغییرات سطح آب در کانال اصلی برای مقادیر مختلف ارتفاع سرریز به ازای نسبت دبی ورودی ۰/۸ و ارتفاع کف ۲/۵ سانتی‌متر.

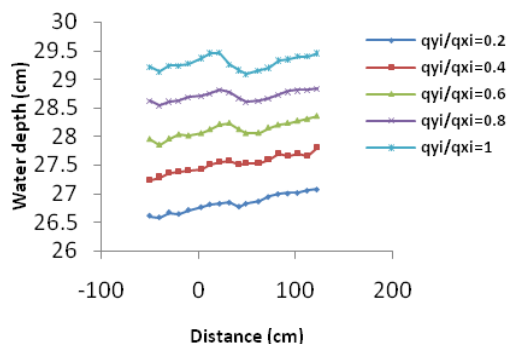
### تأثیر ارتفاع کف کانال‌های خروجی بر روی پروفیل سطح آب

بررسی نتایج نشان داد که تغییر ارتفاع کف کانال فرعی تأثیر زیادی بر روی پروفیل سطح آب کانال اصلی در محل تقاطع نداشت. با افزایش ارتفاع کانال‌های فرعی به ازای نسبت دبی ورودی و ارتفاع سرریزهای خروجی ثابت عمق آب در کانال اصلی افزایش یافت (شکل ۱۰). دلیل عدم تغییرات قابل توجه پروفیل طولی سطح آب در کانال اصلی نوع جریان و بالابودن عمق آب (پایین بودن عدد فرود) می‌باشد.

از جمله نسبت دبی جریان ورودی، ارتفاع سرریزهای انتهای کانال‌های خروجی و ارتفاع کف کانال‌های فرعی بر روی آن تأثیر می‌گذارند. در این قسمت تأثیر پارامترهای فوق بر روی پروفیل سطح آب بررسی و نتایج آن ارائه می‌شود.

### تأثیر نسبت دبی جریان ورودی بر روی پروفیل سطح آب

بررسی نتایج نشان داد که افزایش نسبت دبی ورودی و برخورد جریان‌های ورودی سبب نوسان بیشتر سطح آب شده و تغییرات بیشتر سطح آب را به دنبال دارد. همچنین نتایج نشان داد که اصولاً نزدیک شدن جریان به محل تقاطع سبب افزایش سطح آب شده و این افزایش تا قسمت انتهای تقاطع ادامه داشته است. با تخلیه جریان، سطح آب در کانال‌های خروجی افت کرده و کمی بعد از محل تقاطع در کانال‌های خروجی روند افزایشی اولیه را دوباره طی می‌کند. شکل ۸ تغییرات پروفیل سطح آب در طول کانال اصلی برای ارتفاع کف ۲/۵ سانتی‌متر و ارتفاع سرریز انتهایی ۲۰ سانتی‌متر در حد فاصل ۰-۴۰ سانتی‌متر محل تقاطع را نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل مشخص است میزان پایین افتادگی سطح آب در محل تقاطع در نسبت دبی‌های ورودی کوچک کمتر است.

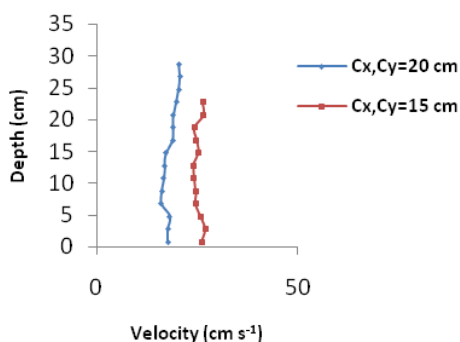


شکل ۸- تغییرات پروفیل طولی سطح آب در کانال اصلی برای ارتفاع کف ۲/۵ سانتی‌متر و ارتفاع سرریز ۲۰ سانتی‌متر.



سرعت تغییر کرده و با نزدیک شدن به سطح آب از مقدار سرعت کاسته می‌شود که احتمالاً دلیل آن می‌تواند شدیدتر بودن برخورد دو جریان ورودی در نزدیک سطح آب در محل تقاطع باشد که به درون کانال ورودی اصلی منتقل شده و کاهش سرعت را در به دنبال داشت. شکل ۱۱ پروفیل سرعت در کانال ورودی اصلی را به‌ازای نسبت دبی ورودی و ارتفاع کف کانال فرعی ثابت برای ارتفاع سرریزهای متفاوت نشان می‌دهد.

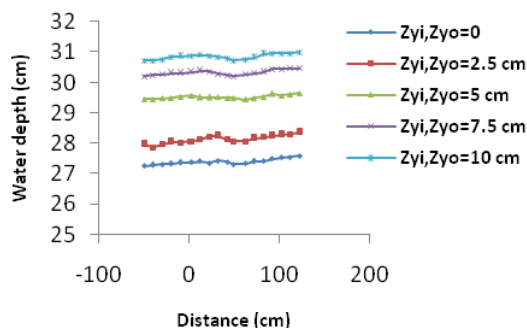
شکل ۱۲ نیز پروفیل سرعت را در فاصله ۲۰ سانتی‌متر پایین‌تر از محل تقاطع در کانال خروجی اصلی برای نسبت دبی ورودی ۰/۶ و ارتفاع کف کانال فرعی ۵ سانتی‌متر نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل ۱۲ مشخص است تا فاصله ۵ سانتی‌متر از کف به دلیل عدم برخورد دو جریان ورودی با یکدیگر پروفیل سرعت افزایشی بوده و در فاصله بیشتر از ۵ سانتی‌متر در نتیجه برخورد جریان‌های ورودی مقادیر سرعت کاهش‌یافته و پروفیل سرعت روندی کاهشی را طی می‌کند.



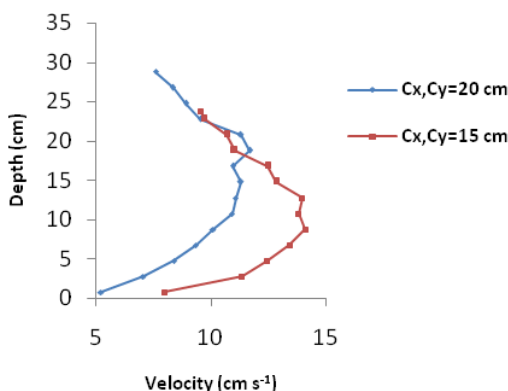
شکل ۱۲- پروفیل سرعت در ابتدای کانال خروجی اصلی به ازای نسبت دبی ۰/۶ و ارتفاع کف ۵ سانتی‌متر.

#### تأثیر ارتفاع کف کانال فرعی بر روی پروفیل سرعت کانال اصلی

با افزایش ارتفاع کف کانال فرعی به ازای نسبت دبی ورودی و ارتفاع سرریز خروجی ثابت، عمق جریان در کانال فرعی ورودی کاهش‌یافته که با افزایش سرعت



شکل ۱۰- تغییرات سطح آب در کانال اصلی برای مقادیر مختلف ارتفاع کف کانال فرعی با ارتفاع سرریز ۲۰ سانتی‌متر و نسبت دبی ورودی ۰/۶.



شکل ۱۱- پروفیل سرعت در کانال ورودی اصلی به ازای نسبت دبی ورودی ۰/۶، ارتفاع کف ۵ سانتی‌متر.

#### پروفیل سرعت

یکی دیگر از پارامترهای مهم در محل تقاطع کانال‌ها، پروفیل سرعت می‌باشد به طوری که با تغییر عوامل مختلف، پروفیل سرعت نیز تحت تأثیر قرار می‌گیرد.

#### تأثیر ارتفاع سرریزهای خروجی بر روی پروفیل سرعت کانال اصلی

بررسی نتایج نشان داد که با تغییر ارتفاع سرریزها شکل کلی پروفیل سرعت در فاصله نزدیک کف تغییر چندانی نمی‌کند و فقط با افزایش ارتفاع سرریز مقادیر سرعت کاهش می‌یابد (شکل ۱۱). اما همان‌طور که در شکل ۱۱ مشخص است با نزدیک شدن به سطح آب از مقدار سرعت کاسته می‌شود و شکل لگاریتمی پروفیل

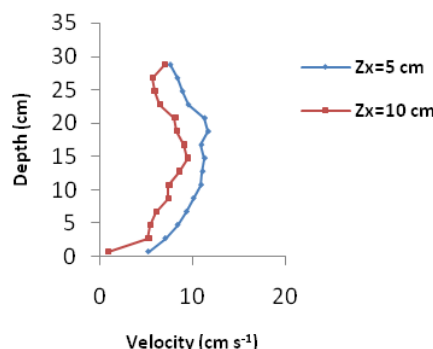
شکل ۱۴ مقایسه شد که نتایج تقریباً مطابقت خوبی داشت. اختلاف موجود در نتیجه متفاوت بودن عدد فرود و نسبت ارتفاع سرریزهای انتهایی در مطالعه روییره و همکاران (۲۰۱۱) و تحقیق حاضر می‌باشد که مقادیر این پارامترها به ترتیب در مطالعه آن‌ها ۰ تا ۰/۳۴ و ۰/۶۵ بوده در حالی که در تحقیق حاضر عدد فرود و نسبت ارتفاع سرریزها برابر ۰/۰۶ تا ۰/۱۳ و ۱ بود.

### نتیجه‌گیری کلی

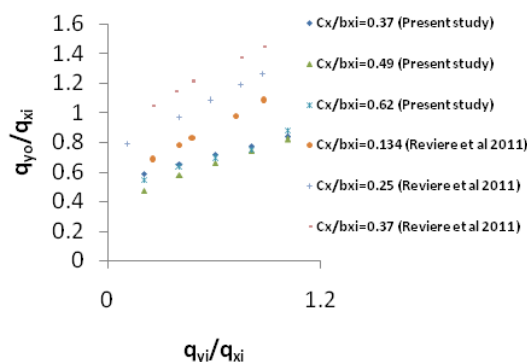
در این تحقیق تأثیر پارامترهای مختلفی بر روی مشخصات جریان در محل تقاطع چهارشاخه ۹۰ درجه کانال‌های روباز بررسی شد. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که با افزایش نسبت دبی ورودی بر میزان دبی خروجی از کانال اصلی افزوده می‌شود. دلیل آن انحراف همه جریان ورودی از کانال فرعی به داخل کانال اصلی خروجی می‌باشد.

همچنین با افزایش ارتفاع کف کانال فرعی خروجی، دبی خروجی از کانال اصلی افزایش می‌یابد. با کاهش ارتفاع سرریز انتهایی کانال‌ها نیز عدد فرود جریان خروجی افزوده شده و سرعت جریان افزایش می‌یابد که این شرایط افزایش تلاطم جریان در محل تقاطع را به دنبال دارد. در شرایط عدم برابری سرریزهای انتهایی کانال‌ها نیز با کاهش ارتفاع سرریز انتهایی کانال فرعی بر سرعت جریان خروجی از این کانال افزوده شده و توزیع دبی در محل تقاطع دچار تغییر می‌شود به طوری که جریان بیشتری در این حالت از طریق کانال فرعی خارج می‌شود. کاهش ارتفاع سرریز اگرچه سبب افزایش سرعت و در نهایت افزایش تلاطم می‌شود اما کاهش عمق آب را به دنبال دارد.

کانال ورودی فرعی همراه است، از طرفی این افزایش ارتفاع کف سبب افزایش عمق کانال ورودی اصلی شده که با توجه به ثابت بودن دبی ورودی کاهش سرعت در این کانال را به دنبال داشت، مجموع عوامل فوق کاهش سرعت جریان کانال ورودی اصلی را به دنبال داشته است که با افزایش ارتفاع کف کانال‌های فرعی مقدار کاهش سرعت بیشتر بود (شکل ۱۳).



شکل ۱۳- پروفیل سرعت کانال ورودی اصلی به‌ازای نسبت دبی ۰/۶ و ارتفاع سرریز ۲۰ سانتی‌متر.



شکل ۱۴- مقایسه نتایج تحقیق حاضر با نتایج روییره و همکاران (۲۰۱۱).

### مقایسه با نتایج سایر محققین

با توجه به کمبود مطالعات در زمینه تقاطع چهار شاخه، نتایج تحقیق حاضر تنها در زمینه تأثیر نسبت دبی ورودی بر دبی خروجی از کانال فرعی به دبی ورودی از کانال اصلی با نتایج روییره و همکاران (۲۰۱۱) در

**منابع مورد استفاده**

- Best JL and Reid I, 1984. Separation zone at open-channel junctions. *J Hydraul Eng, ASCE* 110(11): 1588-1594.
- Biron PM, Ramamurthy AS and Han S, 2004. Threedimensional numerical modeling of mixing at river confluences. *J Hydraul Eng, ASCE* 130(3): 243-253.
- Frizell CS, Khan AA and Werth DE, 2008. Numerical simulation of equal and opposing subcritical flow junctions. *J Hydraul Eng, ASCE* 134(2):267-273.
- Hager WH, 1983. Approximate treatment of flow in branches and bends. *Proc Inst Mech Eng, Part C*, 198(4): 63-69.
- Hsu CC, Tang CJ, Lee WJ and Shieh MY, 2002. Subcritical 90° equal-width open-channel dividing flow. *J Hydraul Eng, ASCE* 128(7): 716-720.
- Mignot E, Rivie`re N, Perkins, RJ and Paquier A, 2008. Flow patterns in a four branches junction with supercritical flow. *J Hydraul Eng, ASCE* 134(6): 701-713.
- Mignot E, Rivie`re N, Paquier A and Perkins RJ, 2011. Hydraulic models of the flow distribution in a four branch open channel junction with supercritical flow. *J Hydraul Eng, ASCE* 137(3): 289-299.
- Ramamurthy AS and Satish MG, 1987. Division of flow in short open channel branches. *J Hydraul Eng, ASCE* 114(4): 428-438.
- Ramamurthy AS, Tran DM and Carballada LB, 1990. Dividing flow in open channels. *J Hydraul Eng, ASCE* 116(3): 449-455.
- Ramamurthy AS, Qu J and Vo D, 2007. Numerical and experimental study of dividing open-channel flows. *J Hydraul Eng, ASCE* 133(10): 1135-1144.
- Rivie`re N, Travin, G and Perkins RJ, 2011. Subcritical open channel flows in four branch intersections. *Water Resources Res.* 47, W10517: 1-10.
- Taylor EH, 1944. Flow characteristics at rectangular open-channel junctions. *ASCE Trans*, 109: 893-902.
- Weber LJ, Schumate ED and Mawer N, 2001. Experiments on flow at a 90° open-channel junction. *J Hydraul Eng, ASCE* 127(5): 340-350.