



دانشگاه گواران و منابع طبیعی

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک
جلد بیست و چهارم، شماره سوم، ۱۳۹۶
<http://jwsc.gau.ac.ir>

مطالعه آزمایشگاهی مشخصات نواحی جداشدگی جریان در تقاطع چهارشاخه ۹۰ درجه کانال‌های روباز با جریان زیربحرانی

*سیدحسین حسینی^۱، داود فرسادی‌زاده^۲ و علی حسین‌زاده دلیر^۲

^۱استادیار گروه آب و خاک، دانشگاه صنعتی شاهرود، ^۲استاد گروه مهندسی آب، دانشگاه تبریز

تاریخ دریافت: ۹۵/۷/۱۳؛ تاریخ پذیرش: ۹۶/۵/۲۵

چکیده

مقدمه: یکی از مشکلات موجود در محل تقاطع کانال‌ها توسعه ناحیه جداشدگی در کانال‌های پایین‌دست محل تقاطع می‌باشد. ایجاد ناحیه جداشدگی نقش مهمی در تعیین محل سازه‌های هیدرولیکی پایین‌دست داشته و افزایش ابعاد آن، کاهش سطح مقطع جریان را به دنبال دارد. با توجه به اثرات توسعه ناحیه جداشدگی، مطالعه در این زمینه همواره مورد توجه پژوهشگران قرار داشته است. در این پژوهش تأثیر عواملی مانند نسبت دبی ورودی، ارتفاع سرریزهای خروجی و ارتفاع کف کانال‌های ورودی بر روی ابعاد ناحیه جداشدگی در تقاطع چهارشاخه ۹۰ درجه با جریان زیربحرانی مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها: آزمایش‌ها در آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه تبریز انجام شد. مدل آزمایشگاهی از یک کانال اصلی به طول ۸/۴ متر و کانال فرعی به طول ۴/۴ متر تشکیل شده که ارتفاع و عرض کانال‌ها به ترتیب ۵۰ و ۴۰ سانتی‌متر بود. زاویه بین دو کانال ۹۰ درجه و شیب کف آن‌ها صفر در نظر گرفته شد. در این پژوهش تأثیر پارامترهای هندسی و هیدرولیکی مختلف مانند ارتفاع سرریزهای کانال‌های خروجی، تراز کف کانال فرعی و نسبت دبی ورودی بر روی مشخصات ناحیه جداشدگی در کانال‌های خروجی در تقاطع ۹۰ درجه با دو کانال ورودی و دو کانال خروجی به صورت آزمایشگاهی بررسی شد. در آزمایش‌ها به منظور بررسی الگوی جریان و همچنین اندازه‌گیری ابعاد ناحیه جداشدگی از تزریق ماده رنگی، خاک اره، خط‌کش و متر استفاده شد.

نتایج و بحث: نتایج آزمایش‌ها نشان داد که با افزایش نسبت دبی ورودی ابعاد ناحیه جداشدگی در کانال‌های خروجی

افزایش می‌یابد به طوری که حداقل تغییرات (نسبت طول ناحیه جداشدگی در کانال اصلی به عرض کانال) $\frac{L_x}{b_{x0}}$ در

حدود ۴۵ درصد بود. کاهش ارتفاع سرریزهای خروجی نیز سبب افزایش ابعاد ناحیه جداشدگی در دو کانال خروجی شد. با افزایش ارتفاع کف کانال‌های فرعی، ابعاد ناحیه جداشدگی در کانال خروجی اصلی افزایش یافته که محدوده

تغییرات $\frac{L_x}{b_{x0}}$ بین ۰/۸ تا ۲/۷۵ بود در صورتی که ابعاد ناحیه جداشدگی در کانال خروجی فرعی کاهش یافته و

* مسئول مکاتبه: sayedhossein.hosseini@gmail.com

محدوده تغییرات (نسبت طول ناحیه جداشدگی در کانال فرعی به عرض کانال) $\frac{L_y}{b_{x0}}$ بین ۰/۲-۲ بود. همچنین نتایج نشان داد که با افزایش نسبت ارتفاع سرریزانت‌های کانال فرعی به ارتفاع سرریز انتهای کانال اصلی ابعاد ناحیه جداشدگی در هر دو کانال اصلی و فرعی خروجی افزایش می‌یابد به طوری که محدوده تغییرات (طول ناحیه جداشدگی به عرض کانال) $\frac{L_s}{b_{x0}}$ به ترتیب بین ۰/۲-۱/۴ و ۰/۲-۲ بود. با وجود تغییر ابعاد ناحیه جداشدگی به ازای شرایط جریان متفاوت نسبت عرض به طول ناحیه جداشدگی در دو کانال خروجی اصلی و فرعی ثابت و مقدار آن به ترتیب برابر با ۰/۱۶ و ۰/۲۵ بود. در نهایت معادلات رگرسیونی برای محاسبه ابعاد ناحیه جداشدگی ارائه شدند به طوری که نتایج آن‌ها مطابقت خوبی را با یکدیگر نشان داد.

نتیجه‌گیری: در این پژوهش تأثیر نسبت دبی ورودی، ارتفاع سرریزهای انتهای کانال‌ها و ارتفاع کف کانال‌های فرعی بر روی ابعاد ناحیه جداشدگی در تقاطع ۹۰ درجه کانال‌های روباز بررسی شد. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که با افزایش نسبت دبی ورودی و ارتفاع سرریزهای انتهایی، ابعاد ناحیه جداشدگی در کانال خروجی اصلی و فرعی افزایش می‌یابد. با افزایش ارتفاع کف کانال فرعی ابعاد ناحیه جداشدگی در کانال اصلی افزایش یافت اما این ابعاد در کانال خروجی فرعی با کاهش همراه بود. همچنین با افزایش نسبت (نسبت ارتفاع سرریزخروجی فرعی به اصلی) $\frac{C_y}{C_x}$ ابعاد ناحیه جداشدگی در دو کانال خروجی افزایش یافت.

واژه‌های کلیدی: تقاطع چهارشاخه، جریان زیربحرانی، کانال اصلی، کانال فرعی، نسبت عرض به طول ناحیه جداشدگی

مقدمه

یکی از مشکلات موجود در محل تقاطع کانال‌ها توسعه ناحیه جداشدگی در کانال‌های پایین‌دست محل تقاطع می‌باشد. تشکیل و توسعه آن بر روی الگوی جریان در محل تقاطع تأثیر دارد. ایجاد ناحیه جداشدگی نقش مهمی در تعیین محل سازه‌های هیدرولیکی پایین‌دست داشته و افزایش ابعاد آن سبب کاهش سطح مقطع جریان شده به طوری که فرسایش بیش‌تر بستر را به دنبال دارد. با ورود جریان از یک کانال به کانالی دیگر جریان از ناحیه دیواره جدا شده و منطقه‌ای با فشار کم و جریان چرخشی تشکیل خواهد شد که به آن ناحیه جداشدگی گفته می‌شود. عوامل مختلفی بر روی ابعاد آن تأثیر می‌گذارند که از

آن جمله می‌توان به نسبت دبی دو کانال متقاطع، عدد فرود کانال‌های خروجی، زاویه برخورد دو کانال، زبری اشاره کرد. با توجه به مطالب فوق و اهمیت مسأله پژوهشگران زیادی به بررسی شرایط جریان در محل تقاطع کانال‌ها پرداخته‌اند.

تیلور (۱۹۴۴) اولین کسی بود که به مطالعه جریان در تقاطع کانال‌ها پرداخت. او با یکسری فرضیات ساده‌کننده و با استفاده از معادله پیوستگی و مومتم رابطه‌ای را برای محاسبه عمق جریان ارائه داد (۱۱). رودی و ویس (۱۹۸۰) تأثیر زبری بستر را بر روی ابعاد ناحیه جداشدگی بررسی کردند. آن‌ها نتیجه گرفتند که با افزایش زبری بستر طول و عرض ناحیه جداشدگی کاهش می‌یابد (۱۰). بست و رید (۱۹۸۴)

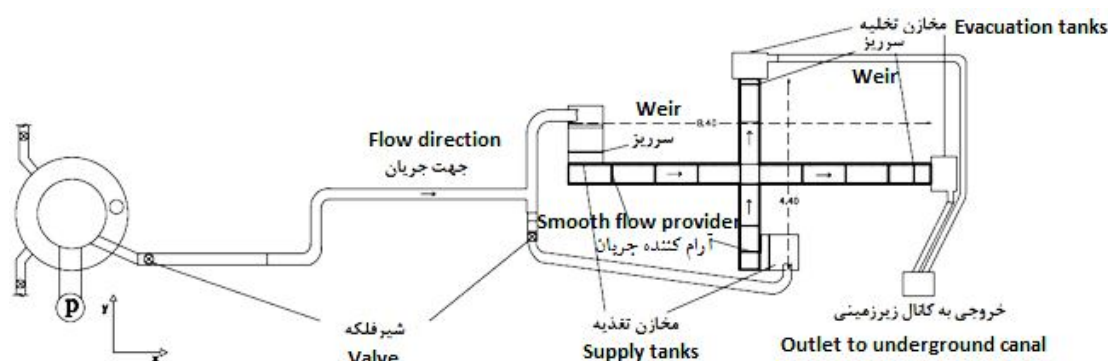
دبی کل، عدد فرود پایین دست و زاویه بین کانال‌ها می‌باشد (۳). سو و همکاران (۱۹۹۸) راه‌حلی تحلیلی به منظور محاسبه نسبت عمق جریان کانال پایین دست به بالادست و محاسبه ضریب افت انرژی در یک تقاطع سه شاخه با جریان زیربحرانی و زوایای ۳۰، ۴۵ و ۶۰ درجه ارائه دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که عمق جریان در حدفاصل دو برابر عرض بالادست تقاطع در داخل کانال اصلی و فرعی تقریباً برابر است. با افزایش عدد فرود پایین دست و زاویه بین کانال‌ها نسبت عمق جریان افزایش یافت. همچنین با افزایش زاویه بین کانال‌ها و به‌ازای یک محدوده خاص از عدد فرود پایین دست، ضریب افت انرژی افزایش نشان داد (۵). سو و همکاران (۲۰۰۲) با استفاده از معادله انرژی به ارائه روابطی برای محاسبه نسبت عمق پایین دست به بالادست و ضریب افت انرژی برای یک تقاطع سه شاخه با زاویه ۹۰ درجه پرداختند و نتایج حاصل از آن را با نتایج آزمایشگاهی مقایسه کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که با افزایش نسبت دبی پایین دست به بالادست و کاهش عدد فرود پایین دست، نسبت عمق پایین دست به بالادست افزایش می‌یابد و با افزایش نسبت دبی و عدد فرود ضریب افت انرژی نیز افزایش می‌یابد (۴). قبادیان و همکاران (۱۳۸۵) به بررسی جدادگی جریان در محل تقاطع سه شاخه رودخانه‌ها تحت شرایط جریان زیربحرانی پرداختند و روابطی را برای ابعاد ناحیه جدادگی ارائه دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که با افزایش نسبت دبی ورودی، ابعاد ناحیه جدادگی افزایش می‌یابد و با افزایش عدد فرود پایاب و نسبت عرض کانال این ابعاد کاهش می‌یابد (۲). رامامورتی و همکاران (۲۰۰۷) به بررسی آزمایشگاهی و عددی تقسیم جریان در تقاطع کانال‌ها پرداختند. نتایج آن‌ها

تأثیر زوایای مختلف را بر روی ابعاد ناحیه جدادگی جریان در محل یک تقاطع سه شاخه بررسی کردند. آن‌ها نتیجه گرفتند که با افزایش نسبت دبی شاخه فرعی به دبی کل و افزایش زاویه بین کانال فرعی و اصلی، طول و ابعاد ناحیه جدادگی افزایش می‌یابد. اما نسبت عرض به طول آن تقریباً ثابت می‌ماند. آن‌ها همچنین روابطی را برای محاسبه ابعاد ناحیه جدادگی برای اعداد فرود در محدوده ۰/۱ تا ۰/۳ ارائه دادند (۱). رامامورتی و همکاران (۱۹۸۸) به بررسی میزان انتقال مومتم از شاخه فرعی به شاخه اصلی از طریق اندازه‌گیری نیروی فشاری در نزدیک دیواره شاخه فرعی پرداختند. برای عدد فرود در محدوده ۰/۲۳ تا ۰/۶ و جریان بحرانی در شاخه پایین دست، میزان انتقال مومتم با دبی شاخه فرعی و سرعت متوسط رابطه خطی دارد (۶). رامامورتی و ساتیش (۱۹۸۸) مدلی تحلیلی برای تقسیم جریان در تقاطع کانال‌ها با استفاده از معادلات پیوستگی، مومتم و انرژی و برای مقادیر مختلف نسبت عرض کانال فرعی به اصلی ارائه دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که در طراحی کانال‌های فرعی، نسبت دبی کانال فرعی به بالادست تابعی از عدد فرود بالادست و پایین دست کانال اصلی می‌باشد. آن‌ها بیان کردند که مدل ارائه شده در یک محدوده مشخص از اعداد فرود معتبر می‌باشد (۸). گورام و همکاران (۱۹۹۷) به بررسی جریان زیربحرانی و انتقالی در یک تقاطع سه شاخه با زوایای ۳۰، ۶۰ و ۹۰ درجه پرداختند و روابطی را برای محاسبه نیروی فشاری در روی دیواره‌های فرعی، نسبت عمق در محل تقاطع، ضریب تصحیح مومتم، ابعاد ناحیه جدادگی و میزان مومتم ورودی از طریق شاخه فرعی ارائه دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که مشخصات فوق تابعی از نسبت دبی شاخه فرعی به

مواد و روش‌ها

آزمایش‌ها در آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه تبریز انجام شد. مدل آزمایشگاهی از یک کانال اصلی به طول ۸/۴ متر و کانال فرعی به طول ۴/۴ متر تشکیل شده که ارتفاع و عرض کانال‌ها به ترتیب ۵۰ و ۴۰ سانتی‌متر بود و این دو کانال با زاویه ۹۰ درجه به یکدیگر متصل بودند. کف و بدنه کانال‌ها از جنس شیشه و شیب کف آن‌ها صفر در نظر گرفته شد. محل تقاطع در فاصله تقریباً ۴ متری از ابتدای کانال اصلی و ۲ متری از ابتدای کانال فرعی قرار داشت. در ابتدای دو کانال اصلی و فرعی دو مخزن قرار داشت که آب قبل از ورود به کانال‌ها در داخل مخازن تخلیه می‌شد. در داخل مخزن ورودی اصلی سرریزی مستطیلی قرار داشت که از آن برای اندازه‌گیری دبی استفاده می‌شد. با کسر دبی کانال ورودی اصلی از دبی کل، دبی کانال فرعی ورودی تعیین شد. به منظور اندازه‌گیری دبی جریان خروجی از کانال‌ها از سرریزهایی در انتهای کانال‌ها استفاده شد که از جنس چوب بودند. در ورودی کانال‌ها نیز به منظور کنترل تلاطم جریان آرام کننده‌هایی نصب شد. شکل ۱ پلان مدل آزمایشگاهی را نشان می‌دهد.

نشان داد که با افزایش نسبت دبی شاخه فرعی خروجی به دبی کانال ورودی، طول و عرض ناحیه جدانشدگی کانال فرعی کاهش می‌یابد. همچنین ناحیه جدانشدگی در سطح نسبت به کف بزرگ‌تر بود. نتایج آن‌ها نشان داد که ممکن است در کانال اصلی بعد از محل تقاطع در نتیجه توسعه جریان ناحیه جدانشدگی تشکیل شود که با افزایش نسبت دبی شاخه فرعی خروجی به کانال اصلی بالادست ابعاد این ناحیه کاهش می‌یابد (۷). روییره و همکاران (۲۰۱۱) به بررسی آزمایشگاهی توزیع جریان زیربحرانی در یک تقاطع چهارشاخه با دو ورودی و زاویه ۹۰ درجه پرداختند و در نهایت با استفاده از داده‌های تجربی و یکسری فرضیات ساده‌کننده رابطه‌ای تجربی ارائه دادند (۹). با توجه به این‌که بیشتر مطالعات انجام‌شده در این زمینه مربوط به تقاطع سه‌شاخه می‌باشد، در این پژوهش هدف مطالعه آزمایشگاهی الگوی جریان زیربحرانی و ابعاد ناحیه جدانشدگی در دو کانال خروجی در یک تقاطع چهار شاخه ۹۰ درجه با دو ورودی به‌ازای نسبت دبی ورودی، ارتفاع کف و ارتفاع سرریزهای انتهایی متفاوت می‌باشد.



شکل ۱- پلان مدل آزمایشگاهی.

Figure 1. Plan of experimental model.

پارامتر $\frac{z_{yi}}{z_{yo}}, \frac{b_{yo}}{b_{xo}}$ و θ را حذف کرد. در نتیجه معادله نهایی به صورت زیر خواهد شد.

$$\frac{S_e}{b_{xo}} = F\left(\frac{q_{yi}}{q_{xi}}, \frac{q_{xo}}{q_{xi}}, \frac{z_{yo}}{b_{xo}}, \frac{c_x}{b_{xo}}, \frac{c_y}{c_x}, Fr_{xi}\right) \quad (4)$$

به منظور بررسی ابعاد ناحیه جداشدگی در کانال خروجی فرعی، نیز مشابه با قسمت قبل با جایگزینی Q_{yo} به جای Q_{xo} در نهایت با انجام آنالیز ابعادی می توان معادله زیر را ارائه داد.

$$\frac{S_e}{b_{xo}} = F\left(\frac{q_{yi}}{q_{xi}}, \frac{q_{yo}}{q_{xi}}, \frac{z_{yo}}{b_{xo}}, \frac{c_x}{b_{xo}}, \frac{c_y}{c_x}, Fr_{xi}\right) \quad (5)$$

پارامترهای فوق عبارتند از: طول ناحیه جداشدگی L_x ، عرض ناحیه جداشدگی H_x ، دبی در واحد عرض ورودی اصلی و فرعی q_{xi}, q_{yi} ، دبی در واحد عرض خروجی اصلی و فرعی q_{xo}, q_{yo} ، عرض کانال اصلی و فرعی خروجی b_{xo}, b_{yo} ، عمق جریان در کانالهای ورودی اصلی و فرعی y_{xi}, y_{yi} ، عمق جریان کانالهای خروجی اصلی و فرعی y_{xo}, y_{yo} ، ارتفاع کف کانال فرعی ورودی و خروجی z_{yi}, z_{yo} ، ارتفاع سرریزهای انتهای کانالهای خروجی c_x, c_y (شکل ۲)، شتاب ثقل g ، لزجت دینامیک μ ، لزجت سینماتیک ν ، جرم مخصوص آب ρ ، زاویه تقاطع کانالها θ و طول مشخصه ناحیه جداشدگی S_e که در هر بخش پارامتر موردنظر را (طول و یا عرض ناحیه جداشدگی) می توان جایگزین آن نمود. با توجه به ثابت بودن شیب کف کانالها، زبری کف و دیواره کانالها و زاویه بین کانالها تأثیر پارامترهای ذکر شده در این مطالعه در نظر گرفته نشد. پارامترهای متغیر در این پژوهش در جدول ۱ ارائه شده است.

به منظور اندازه گیری نیمرخ سطح آب از یک سطح سنج با دقت $\pm 0.1mm$ استفاده شد که در راستای طولی و عرضی کانال قابل حرکت بود. به منظور بالا آوردن کف کانالهای فرعی نیز از صفحات پلکسی گلاس استفاده شد که در ارتفاع موردنظر نصب می شدند.

پارامترهای مؤثر در این پدیده را می توان به صورت زیر مشخص کرد.

$$F(S_e, q_{xi}, q_{yi}, q_{xo}, q_{yo}, y_{xi}, y_{yi}, y_{xo}, y_{yo}, b_{xo}, b_{yo}, z_{yi}, z_{yo}, c_x, c_y, g, \rho, \mu, \theta) = 0 \quad (1)$$

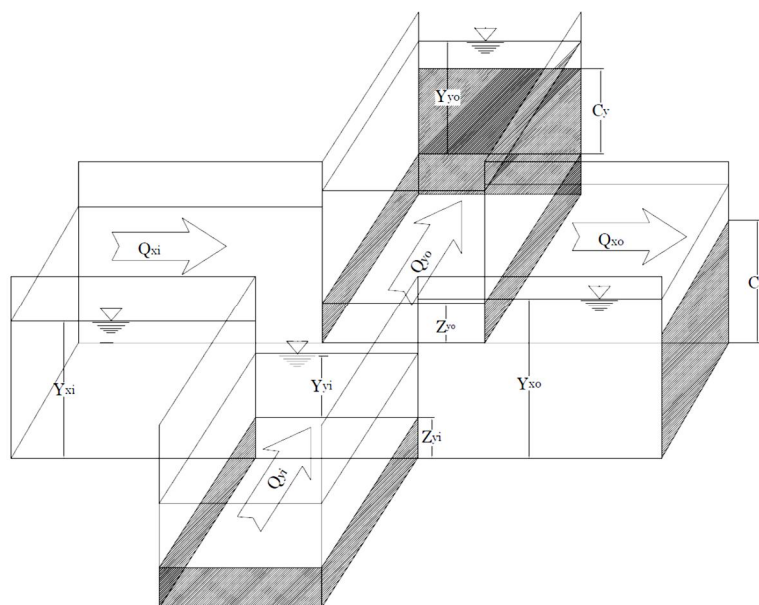
با توجه به این که برخی پارامترها مانند عمق در کانالها (طبق رابطه پیوستگی مرتبط با دبی جریان است) و دبی کانال فرعی خروجی (از کسر دبی کانال خروجی اصلی از مجموع دبی های ورودی به دست می آید) به یکدیگر مرتبط می باشند در نهایت می توان پارامترهای مستقل زیر را مشخص کرد.

$$F(S_e, q_{xi}, q_{yi}, q_{xo}, b_{xo}, b_{yo}, z_{yi}, z_{yo}, c_x, c_y, g, \rho, \mu, \theta) = 0 \quad (2)$$

با انجام تحلیل ابعادی در نهایت معادله زیر را خواهیم داشت:

$$F\left(\frac{S_e}{b_{xo}}, \frac{q_{yi}}{q_{xi}}, \frac{q_{xo}}{q_{xi}}, \frac{b_{yo}}{b_{xo}}, \frac{z_{yo}}{b_{xo}}, \frac{z_{yi}}{z_{yo}}, \frac{c_x}{b_{xo}}, \frac{c_y}{c_x}, Fr_{xi}, Re_{xi}, \theta\right) = 0 \quad (3)$$

با توجه به مقادیر عدد رینولدز (حداقل ۱۱۰۰۰) و تأثیر ناچیز آن می توان از عدد رینولدز صرف نظر کرد. همچنین با توجه به مقادیر ثابت عرض کانالها، ارتفاع کف کانالهای فرعی و زاویه تقاطع می توان سه



شکل ۲- پارامترهای هندسی در آزمایش‌ها.

Figure 2. Geometrical parameters in experiments.

جدول ۱- پارامترهای متغیر در آزمایش‌ها.

Table 1. Variable parameters in experiments.

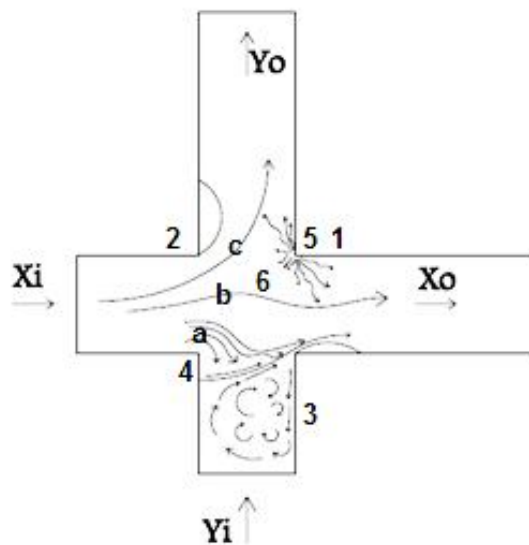
محدوده تغییرات Range of variations	پارامتر Parameters
۱، ۰/۸، ۰/۶، ۰/۴، ۰/۲ 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1	نسبت دبی ورودی Ratio of the inlet discharge
۲۵، ۲۲/۵، ۲۰، ۱۷/۵، ۱۵ 15, 17.5, 20, 22.5, 25	ارتفاع سرریزهای کانال‌های خروجی (cm) Height of the outlet weirs
۱۰، ۷/۵، ۵، ۲/۵، ۰ 0, 2.5, 5, 7.5, 10	ارتفاع کف کانال‌های فرعی (cm) Bed elevation of the lateral channels

در نهایت با توجه به جدول ۱ تعداد ۱۹۵ آزمایش انجام شد.

کانال‌های خروجی بررسی شد. در آزمایش‌ها به منظور بررسی الگوی جریان و همچنین اندازه‌گیری ابعاد ناحیه جداشدگی از تزریق ماده رنگی و خاک اره استفاده شد.

نتایج و بحث

در این قسمت ابتدا الگوی جریان و تغییرات سطح آب در محل تقاطع ارائه شده است و سپس تأثیر هر یک از پارامترهای ارائه شده در جدول ۱ به صورت جداگانه بر روی ابعاد ناحیه جداشدگی در



شکل ۳- الگوی جریان در محل تقاطع.

Figure 3. Flow pattern in junction.

از آن از قسمت دیواره به سمت بالادست کانال Y_i منحرف می‌شود که این جریان انحرافی سبب تشکیل گرداب‌هایی در سطح آب می‌شود (ناحیه ۳). در اثر برخورد دو جریان ورودی گرداب‌هایی تشکیل می‌شود که با تغییر ویژگی جریان در محل تقاطع محل تشکیل و قدرت گرداب‌های مذکور متغیر خواهد بود. همچنین در دو گوشه داخلی (بین کانال X_i و Y_i) (ناحیه ۴) و خارجی (بین کانال X_o و Y_o) (ناحیه ۵) تقاطع نقطه رکود تشکیل می‌شود که با افزایش شدت جریان و تلاطم در محل تقاطع، این نقطه در گوشه خارجی تشکیل نخواهد شد و به دلیل سرعت و تلاطم بالای جریان در این محل، موج‌های برگشتی در این محل تشکیل می‌شود که این امواج به سمت مرکز تقاطع (ناحیه ۶) و در داخل کانال‌های خروجی X_o و Y_o منتشر می‌شوند. در قسمت ورودی دو کانال خروجی X_o و Y_o به واسطه چرخش جریان ورودی از کانال‌های X_i و Y_i خطوط جریان نزدیک جدار از دیواره فاصل گرفته و ناحیه‌ای گردابی تشکیل می‌شود که ابعاد آن (طول و

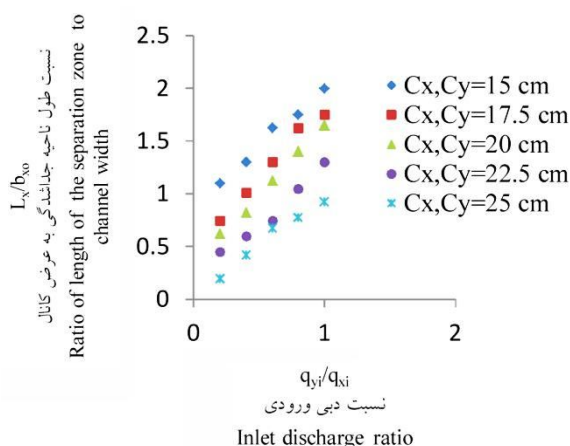
الگوی جریان در محل تقاطع تأثیر قابل توجهی بر روی مشخصات جریان در محل تقاطع دارد. همان‌طور که در شکل ۳ مشخص است جریان ورودی از کانال X_i به سه قسمت تقسیم می‌شود که بخش ناچیزی از آن ابتدا به قسمت (a, b, c) که بخش ناچیزی از آن مستقیماً به داخل کانال Y_i وارد شده سپس به داخل کانال X_o منحنی می‌شود (a). بخشی از آن مستقیماً به داخل کانال X_o تخلیه می‌شود (b) و در نهایت بقیه آن به داخل کانال Y_o تخلیه می‌شود (c). با ورود جریان از کانال Y_i به محل تقاطع، جریان ورودی از کانال X_i به سمت دیواره مقابل منحرف شده که افزایش عمق در این منطقه را به دنبال دارد (ناحیه ۱). داده‌های آزمایشی نیز نشان داد که در قسمت ورودی کانال X_i با حرکت از سمت دیواره سمت راست به سمت چپ عمق جریان افزایش می‌یابد (ناحیه ۲).

ورود جریان به داخل کانال‌های ورودی نیز سبب تغییرات بر روی الگوی جریان می‌شود. با ورود جریان ورودی از کانال X_i به داخل کانال Y_i و برخورد آن با دیواره سمت راست کانال Y_i مقداری

با افزایش ارتفاع سرریزهای انتهای کانال‌های خروجی، طول و عرض ناحیه جداسازی کاهش می‌یابد. همچنین با افزایش نسبت دبی ورودی، عمق آب در محل تقاطع افزایش می‌یابد که این افزایش عمق با توجه به ثابت بودن دبی کانال اصلی ورودی سبب کاهش عدد فرود کانال اصلی می‌شود. براساس مشاهدات انجام گرفته شرایط جریان کانال اصلی ورودی بر روی ابعاد ناحیه جداسازی کانال اصلی خروجی تأثیر گذاشته و با توجه به ثابت بودن دبی ورودی، افزایش عمق آب سبب کاهش سرعت می‌شود، که فشردگی کمتر ابعاد ناحیه جداسازی را به دنبال دارد.

عرض) و قدرت گرداب‌های آن تابعی از مشخصات جریان در محل تقاطع می‌باشد.

الف- ابعاد ناحیه جداسازی در کانال خروجی اصلی
تأثیر نسبت دبی کانال فرعی به اصلی ورودی بر روی طول ناحیه جداسازی: همان‌طور که در شکل ۴ مشخص است با افزایش دبی ورودی کانال فرعی (نسبت دبی ورودی) با توجه به افزایش میزان انحراف جریان از طریق کانال فرعی به داخل کانال اصلی خروجی ابعاد ناحیه جداسازی افزایش می‌یابد که این افزایش طول و عرض ناحیه جداسازی با نسبت دبی ورودی رابطه خطی دارد. به‌ازای یک نسبت دبی ثابت

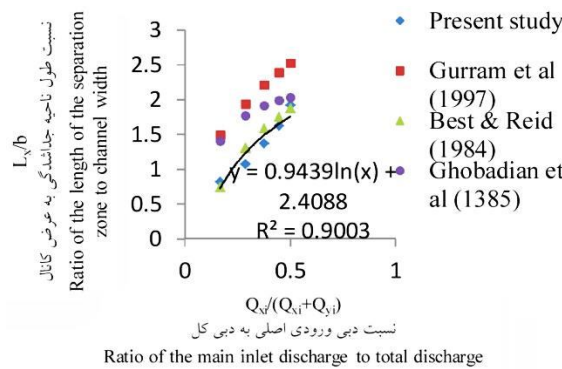


شکل ۴- تغییرات نسبت طول ناحیه جداسازی به عرض کانال در برابر نسبت دبی ورودی.

Figure 4. Variations of ratio of length of separation zone to channel width against ratio of inlet discharge.

گورام و همکاران و قبادیان و همکاران می‌باشد. در پژوهش حاضر عدد فرود کم‌تر از ۰/۲ بود در حالی‌که در پژوهش گورام و همکاران کم‌تر از ۱ و در پژوهش قبادیان و همکاران در محدوده ۰/۵-۰/۱ بود. با توجه به مقایسه صورت گرفته در شکل ۵ و قابل قبول بودن نتایج، از داده‌های به‌دست آمده معادله‌ای برازش داده شد که از آن می‌توان برای پیش‌بینی در شرایط مشابه استفاده کرده و نتایج حاصل را به‌کار برد.

نتایج پژوهش حاضر در رابطه با تغییرات طول ناحیه جداسازی در برابر نسبت دبی ورودی به دبی کل با نتایج سایر پژوهشگران مقایسه شد به‌طوری‌که نتایج پژوهش حاضر با نتایج بست و رید (۱۹۸۴) مطابقت خوبی را نشان داد، اما با نتایج گورام و همکاران (۱۹۹۷) و قبادیان و همکاران (۱۳۸۵) اختلاف داشت (شکل ۵). این اختلاف احتمالاً به‌دلیل متفاوت بودن عدد فرود در پژوهش حاضر، مطالعه

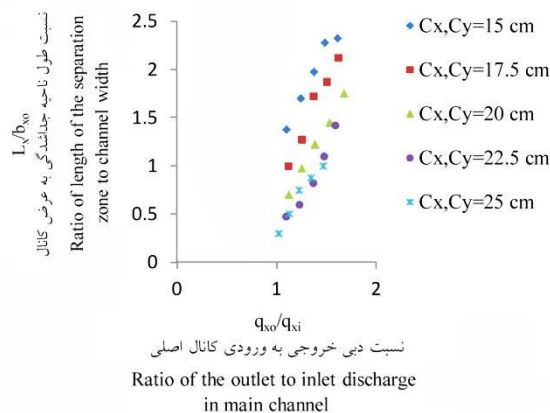


شکل ۵- مقایسه نتایج پژوهش حاضر با نتایج سایر پژوهشگران.

Figure 5. Comparison of the present study with results of the other researchers.

و سرعت جریان در کانال فرعی ورودی تأثیر مستقیم دارد. در یک ارتفاع سرریز خروجی ثابت، عمق آب در محل تقاطع و کانال‌های ورودی افزایش می‌یابد. با افزایش نسبت دبی ورودی که سبب افزایش دبی خروجی از کانال اصلی خروجی می‌شود، سرعت جریان ورودی افزایش یافته و افزایش عمق آب در برابر افزایش سرعت ناچیز بود، به همین دلیل طول و عرض ناحیه جدانشدگی افزایش یافت، به طوری که برای حداقل ارتفاع سرریز (۱۵ سانتی‌متر)، با افزایش نسبت دبی خروجی، نسبت طول ناحیه جدانشدگی در کانال خروجی اصلی از ۱/۴ تا ۲/۳ تغییر می‌کند که چیزی در حدود ۶۵ درصد افزایش را نشان می‌دهد (شکل ۶)، در این شرایط میزان تغییر نسبت دبی ورودی در محدوده ۰/۲ تا ۱ قرار داشت.

تأثیر نسبت دبی خروجی به ورودی کانال اصلی بر روی ابعاد ناحیه جدانشدگی: با ثابت ماندن سایر پارامترهای هندسی و افزایش نسبت دبی ورودی، دبی خروجی از کانال اصلی افزایش یافت. افزایش دبی ورودی در یک ارتفاع سرریز ثابت، افزایش سرعت جریان را به دنبال دارد و سبب افزایش طول و عرض ناحیه جدانشدگی در کانال اصلی خروجی می‌شود (شکل ۶). همان‌طور که در شکل مشخص است در یک نسبت دبی خروجی ثابت با افزایش ارتفاع سرریز انتهای کانال‌های خروجی ابعاد ناحیه جدانشدگی کاهش می‌یابد که نتیجه کاهش سرعت جریان در کانال فرعی ورودی می‌باشد. در تغییر ابعاد ناحیه جدانشدگی در واقع دو عامل عمق و سرعت جریان در کانال ورودی فرعی نقش تعیین‌کننده دارند که عمق آب تأثیر عکس

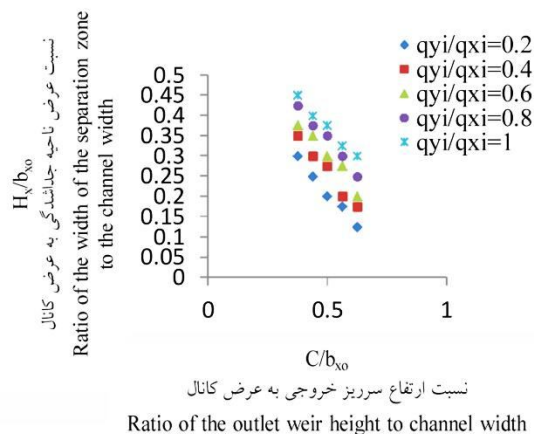


شکل ۶- تغییرات نسبت طول ناحیه جدانشدگی به عرض کانال در برابر نسبت دبی خروجی به ورودی کانال اصلی.

Figure 6. Variations of ratio of length of separation zone to channel width against ratio of outlet discharge to main inlet channel discharge.

ورودی ثابت سبب افزایش عمق آب شده که این افزایش عمق کاهش سرعت در کانال فرعی ورودی را به دنبال دارد و نتیجه آن انحراف کم‌تر جریان ورودی به کانال اصلی خروجی و کاهش طول و عرض ناحیه جدانشدگی است (شکل ۷).

تأثیر نسبت ارتفاع سرریز انتهایی کانال خروجی به عرض کانال بر روی ابعاد ناحیه جدانشدگی: بررسی‌ها نشان می‌دهد که در نسبت دبی‌های مختلف با افزایش ارتفاع سرریزها، میزان انحراف جریان به کانال اصلی خروجی کاهش می‌یابد که البته مقدار آن ناچیز بود. افزایش ارتفاع سرریزها در یک نسبت دبی

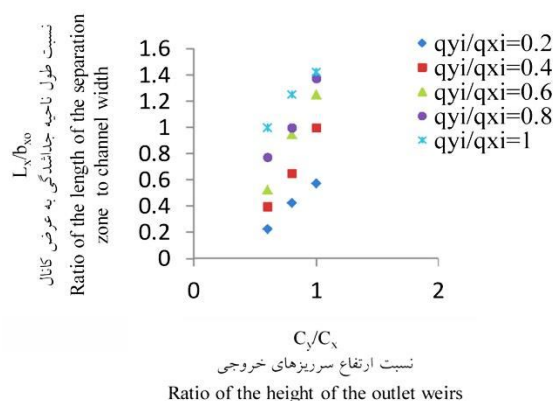


شکل ۷- تغییرات عرض ناحیه جدانشدگی در برابر ارتفاع سرریزهای انتهایی کانال‌ها.

Figure 7. Variations of the width of the separation zone against height of the outlet weirs.

کم‌تر جریان به داخل کانال خروجی اصلی را به دنبال دارد، به همین دلیل ابعاد ناحیه جدانشدگی در این کانال کاهش می‌یابد. به عبارت دیگر با افزایش ارتفاع سرریز انتهایی کانال فرعی خروجی، دبی خروجی از کانال اصلی افزایش یافته که افزایش طول و عرض ناحیه جدانشدگی را به دنبال دارد (شکل ۸).

همچنین در شرایطی که ارتفاع سرریزهای خروجی کانال‌ها متفاوت باشد، با کاهش ارتفاع سرریز انتهایی کانال خروجی فرعی عمق جریان در کانال خروجی فرعی کاهش یافته و سرعت جریان افزایش می‌یابد، این افزایش سرعت سبب افزایش انحراف بیش‌تر جریان کانال اصلی و فرعی ورودی به داخل کانال فرعی خروجی شده که در نهایت انحراف

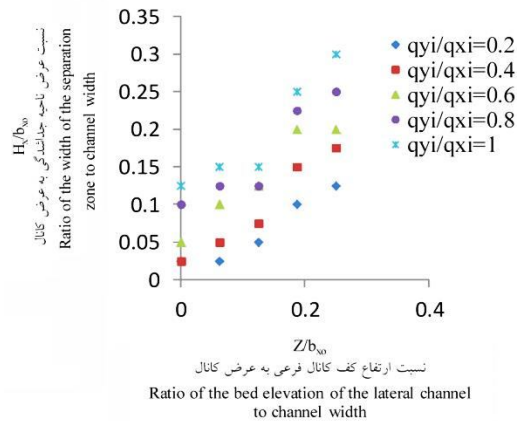


شکل ۸- تغییرات طول ناحیه جدانشدگی در برابر ارتفاع متفاوت سرریزهای انتهایی کانال‌ها.

Figure 8. Variations of the length of the separation zone against height of the different outlet weirs.

فرعی ورودی به کانال خروجی اصلی شده که این افزایش سرعت، موجب افزایش زاویه انحراف جریان ورودی شده که افزایش ابعاد ناحیه جداشدگی را به دنبال دارد (شکل ۹). با توجه این که دبی کانال ورودی اصلی ثابت است، جریان ورودی از طریق کانال اصلی تأثیری بر روی فشردگی ابعاد ناحیه جداشدگی نداشت.

تأثیر ارتفاع کف کانال فرعی بر روی طول ناحیه جداشدگی: با توجه به ثابت بودن ارتفاع سرریزهای انتهایی کانالها، با افزایش ارتفاع کف کانالهای فرعی عمق جریان در این کانالها کاهش یافته، کاهش عمق جریان در کانال فرعی به ازای یک دبی ثابت ورودی سبب افزایش سرعت جریان ورودی از طریق کانال



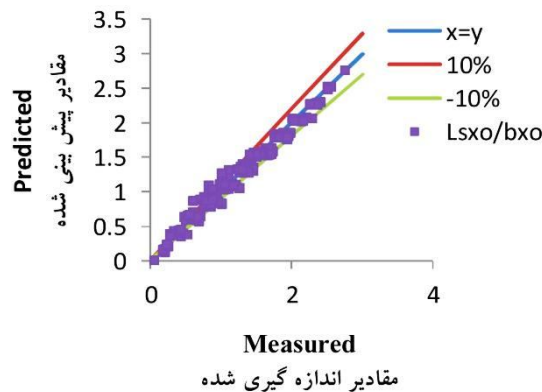
شکل ۹- تغییرات عرض ناحیه جداشدگی در برابر تغییرات کف کانالهای فرعی.

Figure 9. Variations of the width of the separation zone against bed elevation of the lateral channels.

نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل مشخص است خطای رابطه ۶ کم‌تر از ۱۰ درصد می‌باشد.

$$\frac{L_{sxo}}{b_{xo}} = 0.617 + 0.973\left(\frac{q_{yi}}{q_{xi}}\right) + 0.539\left(\frac{C_y}{C_x}\right) - 3.139\left(\frac{C_x}{b_{xo}}\right) + 2.997\left(\frac{Z_{yo}}{b_{xo}}\right) + 0.319\left(\frac{q_{xo}}{q_{xi}}\right) + 4.772(Fr_{xi}) \quad (6)$$

رابطه رگرسیون چندمتغیره برای ابعاد ناحیه جداشدگی: با انجام آنالیز آماری در نهایت معادله رگرسیونی ۶ برای محاسبه ابعاد ناحیه جداشدگی براساس پارامترهای بدون بعد ارائه شد که مقدار $R^2 = 0.97$ بود. شکل ۱۰ مقایسه مقادیر پیش‌بینی شده و اندازه‌گیری شده طول ناحیه جداشدگی را



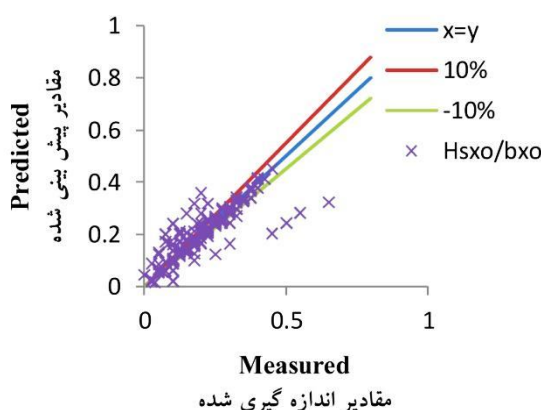
شکل ۱۰- مقایسه مقادیر اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده طول ناحیه جداشدگی.

Figure 10. Comparison of measured and predicted of length of the separation zone.

مقایسه نتایج اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده عرض ناحیه جداسازی در کانال فرعی در شکل ۱۱ نشان داده شده است که همان‌طور که مشخص است مقدار خطا برای اکثر نقاط کمتر از ۱۰ درصد می‌باشد.

همچنین رابطه رگرسیونی ۷ برای محاسبه عرض ناحیه جداسازی مطابق با پارامترهای بدون بعد ارائه شد. مقدار $R^2 = 0.71$ بود.

$$\frac{Hs_{xo}}{b_{xo}} = 0.709 + 0.195\left(\frac{q_{yi}}{q_{xi}}\right) - 0.197\left(\frac{C_y}{C_x}\right) - 0.812\left(\frac{C_x}{b_{xo}}\right) + 0.568\left(\frac{Z_{yo}}{b_{xo}}\right) - 0.013\left(\frac{q_{xo}}{q_{xi}}\right) - 0.787(Fr_{xi}) \quad (7)$$

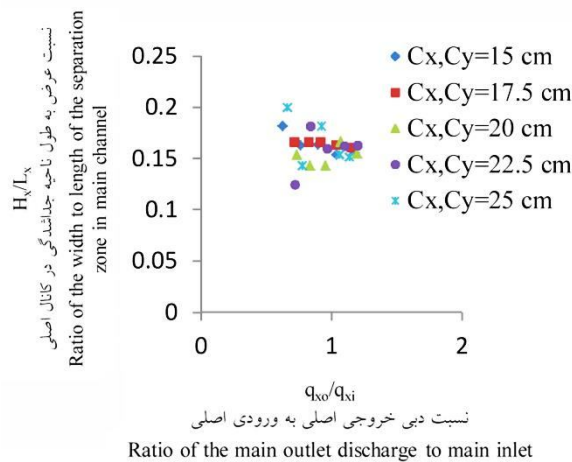


شکل ۱۱- مقایسه مقادیر اندازه‌گیری شده و پیش‌بینی شده عرض ناحیه جداسازی.

Figure 11. Comparison of measured and predicted of width of the separation zone.

جداسازی با یکدیگر رابطه مستقیم دارد و به‌ازای تغییر پارامترهای مختلف مطابق شکل ۹ تغییرات طول و عرض ناحیه جداسازی تقریباً با یکدیگر متناسب بوده و همان‌طور که مشخص است بازه تغییرات آن ناچیز است. بررسی نتایج در مورد نسبت عرض به طول ناحیه جداسازی برای فاکتورهای مختلف نشان داد که روند تغییرات نسبت عرض به طول ناحیه جداسازی تقریباً برابر ۰/۱۶ است (شکل ۱۲).

در نهایت با انجام آنالیز حساسیت مشخص شد که پارامترهای بدون بعد ارائه شده بر روی ابعاد ناحیه جداسازی تأثیر زیادی داشته، به‌طوری‌که خطای معادلات به مقدار زیادی افزایش یافت. اما می‌توان برای هر دو رابطه ۶ و ۷ توجه داشت که تأثیر نسبت دبی خروجی به ورودی $\left(\frac{q_{xo}}{q_{xi}}\right)$ نسبت به سایر پارامترها کم‌تر بود اما حذف آن سبب افزایش خطا می‌شد. نسبت عرض به طول ناحیه جداسازی: همان‌طور که قبلاً اشاره شد تغییرات طول و عرض ناحیه



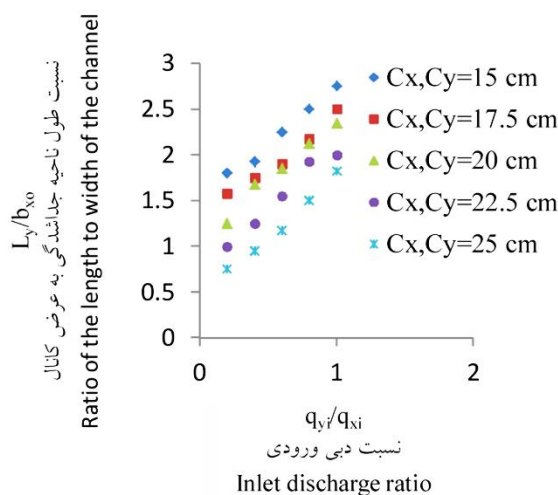
شکل ۱۲- تغییرات نسبت عرض به طول ناحیه جدشدگی در برابر نسبت دبی خروجی از کانال اصلی به دبی ورودی.

Figure 12. Variations of the ratio of the width to length of the separation zone against ratio of the outlet to inlet discharge in main channel.

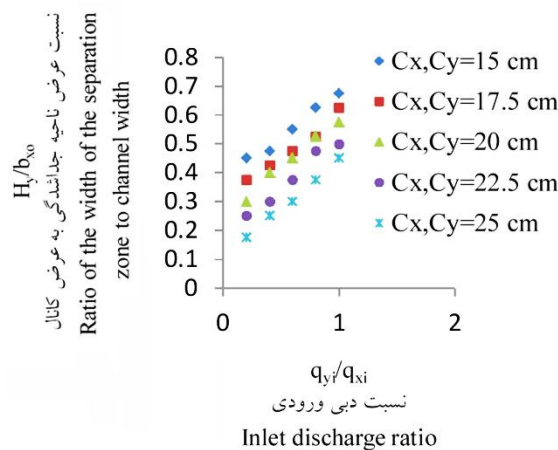
در کانال‌های بالادست می‌شود، با توجه به این که دبی کانال ورودی اصلی ثابت بوده و جریان منحرف شده به داخل کانال فرعی خروجی از کانال ورودی اصلی می‌باشد، سرعت جریان ورودی کاهش یافته و در نهایت سبب کاهش ابعاد ناحیه جدشدگی در کانال فرعی خروجی می‌شود. علاوه بر این با افزایش تراز کف کانال فرعی ورودی میزان دبی جریان منحرف شده کاهش یافته که برای سایر شرایط یکسان ابعاد ناحیه جدشدگی را کاهش خواهد داد. برای نمونه شکل ۱۳ تغییرات ابعاد ناحیه جدشدگی را در برابر نسبت دبی ورودی در کانال فرعی خروجی نشان می‌دهد.

ب- بررسی ابعاد ناحیه جدشدگی در کانال خروجی فرعی: با توجه به زیاد شدن تعداد شکل‌ها و تفسیرهای مشابه، به منظور جلوگیری از تشابه قسمت‌های مختلف و کاهش صفحات مقاله در این قسمت نتایج به صورت خلاصه ارائه شد.

بررسی نتایج نشان داد که افزایش نسبت دبی ورودی، دبی خروجی از کانال فرعی، عدد فرود ورودی و نسبت $\frac{c_y}{c_x}$ سبب افزایش ابعاد ناحیه جدشدگی (طول و عرض) در کانال فرعی می‌شود، در صورتی که با افزایش ارتفاع کف کانال‌های فرعی و ارتفاع سرریزها ابعاد ناحیه جدشدگی در کانال فرعی کاهش یافت. در واقع افزایش ارتفاع سرریزهای خروجی و تراز کف کانال سبب افزایش عمق جریان



a



b

شکل ۱۳- تغییرات ابعاد ناحیه جداسدگی در برابر نسبت دبی ورودی در کانال فرعی خروجی، الف) طول ناحیه جداسدگی و ب) عرض ناحیه جداسدگی.

Figure 13. Variations of dimension of the separation zone in outlet lateral channel against inlet discharge ratio, a) length of the separation zone and b) width of the separation zone.

خروجی اصلی و فرعی افزایش می‌یابد. با افزایش ارتفاع کف کانال فرعی ابعاد ناحیه جداسدگی در کانال اصلی افزایش یافت که محدوده تغییرات $\frac{L_x}{b_{x0}}$ بین $\frac{0}{8}$ تا $\frac{2}{75}$ بود اما این ابعاد در کانال خروجی فرعی با کاهش همراه بود به طوری که محدوده تغییرات $\frac{L_y}{b_{x0}}$ بین $\frac{0}{2}$ تا $\frac{2}{0}$ قرار داشت. همچنین با

نتیجه گیری

در این پژوهش تأثیر نسبت دبی ورودی، ارتفاع سرریزهای انتهایی کانال‌ها و ارتفاع کف کانال‌های فرعی بر روی ابعاد ناحیه جداسدگی در تقاطع ۹۰ درجه کانال‌های روباز بررسی شد. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که با افزایش نسبت دبی ورودی و ارتفاع سرریزهای انتهایی، ابعاد ناحیه جداسدگی در کانال

رگرسیون چندمتغیره ارائه شد که نتایج آن‌ها مطابقت خوبی با نتایج اندازه‌گیری شده داشت. مقدار R^2 محاسبه برای طول و عرض ناحیه جدانشدگی به ترتیب ۰/۹۷ و ۰/۷۱ بود.

افزایش نسبت $\frac{c_y}{c_x}$ ابعاد ناحیه جدانشدگی در دو کانال خروجی افزایش یافت. تغییرات عرض به طول ناحیه جدانشدگی در دو کانال خروجی اصلی و فرعی ثابت و مقدار آن به ترتیب برابر با ۰/۱۶ و ۰/۲۵ بود. در نهایت برای محاسبه ابعاد ناحیه جدانشدگی معادلات

منابع

1. Best, J.L., and Reid, I. 1984. Separation zone at open-channel junctions. *J. Hydraul Eng. ASCE*. 110: 11. 1588-1594.
2. Ghobadian, R., Shafai-Bajestan, M., and Mousavi Jahromi, S.H. 2006. Experimental Investigation of Flow Separation Zone in River Confluence in Subcritical Flow Conditions. *J. Iran-Water Resour. Res.* 2: 2. 67-77.
3. Gurram, S.K., Karki, K.S., and Hager, W.H. 1997. Subcritical junction flow. *J. Hydraul Eng. ASCE*. 123: 5. 447-455.
4. Hsu, C.C., Tang, C.J., Lee, W.J., and Shieh, M.Y. 2002. Subcritical 90° equal-width open-channel dividing flow. *J. Hydraul. Eng. ASCE*. 128: 7. 716-720.
5. Hsu, C.C., Wu, F.S., and Lee, W.J. 1998. Flow at 90° equal-width open-channel junction. *J. Hydraul. Eng. ASCE*. 124: 2. 186-191.
6. Ramamurthy, A.S., Carballada, L.B., and Tran, D.M. 1988. Combining open channel flow at right angled junctions. *J. Hydraul. Eng. ASCE*. 114: 12. 1449-1460.
7. Ramamurthy, A.S., Qu, J., and Vo, D. 2007. Numerical and experimental study of dividing open-channel flows. *J. Hydraul. Eng. ASCE*. 133: 10. 1135-1144.
8. Ramamurthy, A.S., and Satish, M.G. 1988. Division of flow in short open channel branches. *J. Hydraul. Eng. ASCE*. 114: 4. 428-438.
9. Riviere, N., Travin, G., and Perkins R.J. 2011. Subcritical open channel flows in four branch intersections. *Water Resources Research*. 47: 10517. 1-10.
10. Rodi, W., and Weiss, K. 1980. Laboruntersuchungen des Nahfelds von warmwassereinleitungen in rechteckgerinne. Research Report No. 574. Institute for Hydromechanics, University of Karlsruhe, W. Germany.
11. Taylor, E.H. 1944. Flow characteristics at rectangular open-channel junctions. *Trans. ASCE*. 109: 893-912.



Gorgan University of Agricultural
Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 24(3), 2017
<http://jwsc.gau.ac.ir>

Experimental study of separation zone characteristics of flow in 90 degrees four-branch open channel junction with subcritical flow

***S.H. Hosseini¹, D. Farsadizadeh² and A. Hosseinzadeh Dalir²**

¹Assistant Prof., Dept of Water and Soil, Shahrood University of Technology,

²Professor, Dept. of Water Engineering, University of Tabriz

Received: 10/04/2016; Accepted: 08/16/2017

Abstract

Background and Objectives: In open channel junctions development of separation zone at the downstream channels is one of the engineering challenges. Development of separation zone has important role on determination of position of hydraulic structures and also increase of its dimensions caused decreasing of flow area so that leads to more erosion of the bed. As the flow is entered to the channel, flow separated from the wall and a zone with low pressure and vortex is created that is called separation zone. As regards of destructive effects of development of the separation zone, researchers always have focused on this case. The aim of this study is to investigate the effects of factors such as inlet discharge ratio, height of outlets weirs and bed elevation of inlet channels on dimensions of the separation zone in 90 degrees four-branch junction with subcritical flow.

Materials and Methods: Experiments were carried out in hydraulic Lab of Tabriz University. The setup consists of an intersection of four identical channels which intersect at right angles. Each channel is made from glass with a width 0.4 m and height 0.5 m. Junction was right-angled and bed of the channels was considered horizontal. In this study effects of different geometric and hydraulic parameters such as height of the outlet weirs, bed elevation of the lateral channel and inlet discharge ratio on characteristics of the separation zone in outlet channels in 90 degrees four-branch junction with two inlet flows and two outlet flows was investigated experimentally. In order to investigate the flow pattern were used pigment and sawdust and dimensions of the separation zone were measured by ruler and meter.

Results and Discussion: The results revealed that decreasing height of outlet weirs increases dimensions of the separation zone so that minimum variations of (ratio of length of the separation zone in main outlet channel to channel width) $\frac{L_x}{b_{xo}}$ was about 45 percents. As the bed elevation of lateral channels increases dimensions of the separation zone at the main outlet channel increase which variations of $\frac{L_x}{b_{xo}}$ was between 0.8 to 2.75 but dimensions of the separation zone at the lateral outlet channel decrease and variations of (ratio of length of the separation zone in lateral outlet channel to channel width) $\frac{L_y}{b_{xo}}$ was at the range of 0.2-2. The results also indicated that as the ratio of outlet weir height of the lateral channel to outlet weir height of the main channel increases, dimensions of the separation zone in both lateral and main outlet channels increase so that variations of $\frac{L_s}{b_{xo}}$ for both main and lateral channels were at

* Corresponding Author; Email: sayyedhossein.hosseini@gmail.com

0.2-1.4 and 0.2-2, respectively. Although the dimensions of the separation zone change with respect to different conditions but width to length ratios in lateral and main outlet channels were 0.16 and 0.25, respectively. Finally in order to calculate the dimension of the separation zone, regression equations were presented so that experimental and analytical results had good agreement.

Conclusion: In this research effect of the inlet discharge ratio, height of the outlet weirs and bed elevation of the lateral channels on dimensions of the separation zone in 90 degrees open channel junctions was investigated. Results showed that as increase of the inlet discharge ratio and height of the outlet weirs, dimensions of the separation zone increased. Increase of the bed elevation of the lateral channel increased dimensions of the separation zone in main outlet channel while decreased dimensions of the separation zone in lateral outlet channel. As increased of $\frac{c_y}{c_x}$ dimensions of the separation zone in both outlet channels increased.

Keywords: Four-branch junction, Lateral channel, Main channel, Subcritical flow, Width to length ratio of the separation zone

