

## بررسی تأثیر شعاع گردشگری لبه پایین دست کانال اتصال بر تغییرات تراز بستر رودخانه‌ها

صبح محمدی<sup>۱\*</sup>، محمود شفاعی بجزستان<sup>۲</sup>

### چکیده

در محل تلاقی رودخانه الگوی جریان ممکن است به گونه‌ای باشد که آبشستگی عمیق در بستر، فرسایش سواحل و رسوب‌گذاری به وجود آید باعث ایجاد خسارت به سازه‌های هیدرولیکی و تغییر مورفولوژی رودخانه در محل تلاقی می‌شود. از اینرو تاکنون مطالعات زیادی در این زمینه انجام شده است که عمده مطالعات صورت گرفته بر روی تلاقی‌های با اتصال لبه تیز صورت گرفته است. هدف اصلی این تحقیق بررسی تأثیر شعاع گردشگری لبه پایین دست محل اتصال بر روی عمق آبشستگی است. در این تحقیق ابتدا با آنالیز ابعادی روابط بی بعد کلی استخراج شد و سپس با ساخت مدل فیزیکی، آزمایش‌های شاهد با اتصال لبه تیز و همچنین آزمایش‌هایی با سه شعاع گردشگری لبه پایین دست، تحت شرایط هیدرولیکی مختلف اجرا شد. نتایج این مطالعه نشان داد با افزایش شعاع گردشگری لبه پایین دست اتصال، حداکثر عمق آبشستگی و ارتفاع پشته رسوبی تا اندازه زیادی کاهش می‌یابد. به طوری که در عدد فرود ذره  $2/76$  و نسبت دبی  $0/2$  مقدار عمق آبشستگی در مقایسه با اتصال لبه تیز برای نسبت‌های شعاع  $0/28$ ،  $0/5$  و  $1$  به ترتیب به مقدار  $40$ ،  $68$  و  $100$  درصد کاهش داشته است. همچنین ارتفاع پشته رسوبی برای نسبت‌های شعاع فوق به ترتیب  $23$ ،  $66$  و  $100$  درصد کاهش داشته است.

**واژه‌های کلیدی:** تلاقی رودخانه، عمق آبشستگی، پشته رسوبی و شعاع گردشگری اتصال

**ارجاع:** محمدی ص. و شفاعی بجزستانی م. ۱۳۹۰. بررسی تأثیر شعاع گردشگری لبه پایین دست کانال اتصال بر تغییرات تراز بستر رودخانه‌ها. مجله پژوهش آب ایران.

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد سازه‌های آبی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز.

۲- استاد گروه سازه‌های آبی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز.

\* نویسنده مسئول: [sabah.mohamadi@gmail.com](mailto:sabah.mohamadi@gmail.com)

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۰۳/۰۲

تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۰۲/۳۱

## بررسی تأثیر شعاع گردشگری لبه پایین دست کانال اتصال بر تغییرات تراز بستر رودخانه‌ها

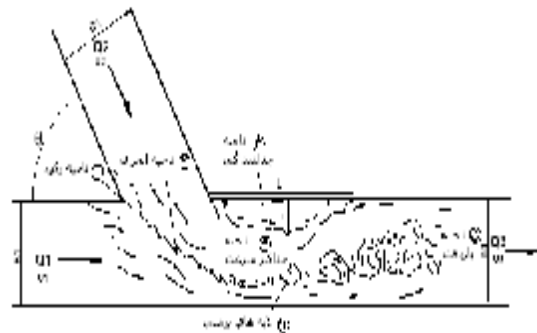
### مقدمه

کاهش می‌یابد. ایشان نشان دادند بیشترین عمق آبشستگی زمانی اتفاق می‌افتد که دبی کانال‌های بالادست تلاقی یکسان باشد. انتقال رسوب و رابطه آن با مورفولوژی بستر درمحل تلاقی رودخانه‌ها با استفاده از نتایج فلوم آزمایشگاهی و اندازه گیری صحرایی توسط بست (۱۹۸۸) بررسی شده است. در فلوم آزمایشگاهی هر دو کانال اصلی و فرعی دارای پهنای ۱۵ سانتیمتر می‌باشند که با زاویه ۱۵، ۴۵، ۷۵، ۹۰ و ۱۰۵ درجه به همدیگر متصل شدند. ایشان نشان دادند که با افزایش زاویه اتصال حداکثر عمق آبشستگی افزایش می‌یابد. در زاویه اتصال ۱۵ درجه آبشستگی مشاهده نشد. علاوه بر این برای هر زاویه اتصال، آبشستگی عمیق‌تر در نسبت‌های دبی بالاتر اتفاق می‌افتد.

روی و روی (۱۹۸۸) برای بررسی تغییر اندازه کانال در محل اتصال رودخانه‌ها با بستر درشت دانه، اندازه گیری‌هایی بر روی ۳۰ محل اتصال در یک حوضه آبریز انجام دادند. داده‌های اندازه گیری شده توسط آنها همراه با داده‌های جمع آوری شده از تحقیقات قبلی نشان داد که ظرفیت کلی کانال (سطح مقطع عبور جریان) در پایین دست بیشتر اتصال‌ها کاهش می‌یابد که دلیل آن را افزایش سرعت جریان در محل اتصال دانستند. برقی و نظری (۱۳۸۲) برای بررسی الگوی رسوب و فرسایش در تقاطع کانال‌ها و اثر متغیرهایی چون قطر متوسط مصالح بستر، نسبت عرض کانال فرعی به اصلی و نسبت دبی کانال فرعی به دبی کل بر این الگو، آزمایش‌هایی را روی یک اتصال ۹۰ درجه انجام دادند. پهنای کانال اصلی در این اتصال ۲۰ سانتی متر و کانال فرعی دارای سه پهنای متفاوت ۱۰، ۱۵ و ۲۰ سانتی متر بود. آزمایش‌ها برای دو نسبت دبی متفاوت ۰/۲۵، ۰/۵ و ۰/۷۵ میلی متر اجرا شد. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که حداکثر عمق آبشستگی در ابتدای ناحیه جداشدگی جریان اتفاق می‌افتد و حداکثر عمق آبشستگی با کاهش قطر متوسط مصالح بستر، کاهش نسبت دبی کانال اصلی به دبی کل و همچنین کاهش عرض شاخه فرعی افزایش می‌یابد.

قبادیان و شفافی بجزستان (۲۰۰۷) به بررسی الگوهای فرسایش و رسوب گذاری درمحل تلاقی رودخانه‌ها با

محل تلاقی به محدوده‌ای گفته می‌شود که جریان آب دو رودخانه در آنجا به همدیگر می‌پیوندند. این محل به عنوان ناحیه‌ای با الگوهای پیچیده از حرکت جریان سه بعدی و همچنین مکان بیشترین اغتشاش جریان در سیستم‌های رودخانه‌ای شناخته شده است. دینامیک جریان در محل تلاقی رودخانه‌ها را می‌توان به صورت شماتیک مطابق شکل ۱ نشان داد.



شکل ۱- الگوی جریان در محل تلاقی دو رودخانه

در محدوده تلاقی شش ناحیه مختلف شامل: ۱- ناحیه رکود ۲- ناحیه انحراف جریان ۳- ناحیه جداشدگی ۴- ناحیه حداکثر سرعت ۵- ناحیه بازیافت جریان و ۶- ناحیه لایه‌های برشی قابل تشخیص است (بست، ۱۹۸۷). توسعه مناطق ۱ و ۳ باعث حجیم تر شدن رسوب انباشته شده و افزایش سرعت در منطقه ۴ باعث عمیق تر شدن چاله فرسایشی و فرسایش شدید سواحل می‌شود که بتدریج ایجاد پیچانورد و جابجایی موقعیت سه شاخه را در محل تلاقی به همراه دارد. تحقیقات در خصوص الگوی رسوب و فرسایش در محل تلاقی بسیار اندک است که از آن جمله می‌توان به موارد ذیل اشاره کرد.

موسلی (۱۹۷۶) با آزمایش بر روی یک فلوم بسیار کوچک آزمایشگاهی به شکل Y به بررسی عوامل موثر بر روی حداکثر عمق فرسایش در محل تلاقی پرداخت. نتایج آزمایش‌های وی نشان داد که با افزایش زاویه اتصال از ۱۵ تا ۷۵ درجه روند افزایشی عمق آبشستگی با شیب بیشتری و از ۷۵ تا ۱۸۰ درجه این روند به آهستگی و با شیب کمتری افزایش می‌یابد. از طرفی با افزایش بار رسوب بستر کانال‌های بالادست تلاقی، عمق آبشستگی

تلاقی‌های رودخانه بصورت لبه گرد می‌باشد. از اینرو در این تحقیق تأثیر شعاع گردشگی لبه پایین دست محل اتصال بر عمق آبستگي درمحل تلاقی بررسی شده است.

### مواد و روش‌ها

#### الف) تجزیه و تحلیل ابعادی

برای دستیابی به اهداف این تحقیق با توجه به اینکه پارامترهای زیادی برحداکثر عمق فرسایش (Ds) و ارتفاع پشته رسوبي (Hs) تأثیر دارند، ابتدا با شناخت این پارامترها و استفاده از آنالیز ابعادی و براساس روش باکینگهام، روابط بدون بعد استخراج شد. این معادلات عبارتند از:

$$\frac{D_s}{d_{50}} = f\left(\frac{Q_2}{Q_1}, \frac{Q_b}{Q_3}, \frac{R}{B_3}, \frac{B_2}{B_1}, \frac{Y_3}{d_{50}}, \theta, S_0, \frac{\rho_s}{\rho}, R_{e3}, W_{e3}, \frac{Z}{B_3}, Fr_3\right) \quad (1)$$

$$\frac{H_s}{d_{50}} = f\left(\frac{Q_2}{Q_1}, \frac{Q_b}{Q_3}, \frac{R}{B_3}, \frac{B_2}{B_1}, \frac{Y_3}{d_{50}}, \theta, S_0, \frac{\rho_s}{\rho}, R_{e3}, W_{e3}, \frac{Z}{B_3}, Fr_3\right) \quad (2)$$

در روابط ۱ و ۲، Ds حداکثر عمق فرسایش، Hs ارتفاع پشته رسوبي، R شعاع گردشگی لبه پایین دست اتصال،  $d_{50}$  اندازه متوسط ذرات رسوب، Y عمق جریان، Q دبی جریان، B پهناي کانال،  $\theta$  زاویه اتصال،  $S_0$  شیب کف در محل اتصال، Re عدد رینولدز جریان، We عدد وبر، Fr عدد فرود جریان، Z اختلاف رقوم کف کانال اصلی و فرعی،  $Q_b$  بار بستر،  $\rho_s$  جرم مخصوص ذرات رسوب،  $\rho$  جرم حجمی آب است. زیرنویس‌های ۱، ۲ و ۳ به ترتیب مربوط به کانال اصلی بالادست، کانال فرعی بالادست و کانال اصلی در پایین دست تلاقی می‌باشد. مطالعات گورام و همکاران (۱۹۹۷) نشان داد در شرایط زیر بحرانی شیب کف در محل تلاقی تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر الگوی جریان در محل تلاقی ندارد لذا در این تحقیق از اثر شیب کف صرف نظر شده است. شرایط جریان به گونه‌ای است که عدد رینولدز که کمترین مقدار آن ۳۰۵۰۰ و همچنین عدد وبر از حد مجاز بیشتر می‌باشند، بنابراین در این تحقیق از اثر آنها نیز صرف نظر شده است. از آنجایی که در نظر گرفتن اثر همه پارامترها کاری مشکل است لذا در این تحقیق شرایط به گونه‌ای در نظر گرفته شده است که در کانال‌های بالا دست تلاقی حرکت بار بستر صورت نگیرد بنابراین می‌توان از تأثیر عبارت  $Q_b$  در دو معادله

استفاده از مدل فیزیکی پرداختند. ایشان با انجام ۷۳ آزمایش تأثیر عواملی چون نسبت دبی کانال فرعی به دبی کل، نسبت پهنای کانال فرعی به کانال اصلی، زاویه اتصال و عدد فرود ذره درپایین دست اتصال برروی فرسایش و رسوب گذاری را بررسی کردند. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که افزایش نسبت دبی، کاهش نسبت پهنا و افزایش زاویه اتصال باعث افزایش حداکثر عمق فرسایش بستر و ارتفاع نهایی پشته رسوبي می‌شود. درحالی که افزایش عدد فرود ذره در پایاب باعث افزایش حداکثر عمق فرسایش بستر و کاهش ارتفاع پشته رسوبي می‌شود. شفافی بجستان و همتی (۲۰۰۸) برای بررسی الگوی فرسایش در تلاقی رودخانه‌ها و تأثیر پارامترهایی چون نسبت اختلاف رقوم بستر دو کانال به عرض کانال اصلی، نسبت عرض کانال فرعی به کانال اصلی، نسبت دبی کانال فرعی به دبی کل آزمایش‌هایی را انجام دادند. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که با افزایش اختلاف رقوم بستر دو کانال در نسبت دبی‌های بیشتر از ۰/۷۴ حداکثر عمق فرسایش و تپه رسوب گذاری افزایش و همچنین با افزایش نسبت دبی حداکثر عمق فرسایش و پشته رسوبي افزایش می‌یابد.

برقی و جباری (۲۰۱۰) برای بررسی فرسایش موضعی در تقاطع کانال‌ها و تأثیر متغیرهایی چون زاویه تلاقی، نسبت عرض کانال فرعی به اصلی، نسبت دبی کانال فرعی به دبی کل و نسبت سرعت متوسط پایین دست تلاقی به سرعت آستانه پایین دست آزمایش‌هایی را انجام دادند. آزمایش‌ها برای سه زاویه تلاقی مختلف ۵۰، ۷۰ و ۹۰ درجه، دو نسبت عرض ۰/۵ و ۱، سه نسبت دبی ۰/۲۵، ۰/۵ و ۰/۸ و دونسبت سرعت ۰/۵ و ۰/۸ انجام شد. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که موقعیت حداکثر عمق فرسایشی با گذشت زمان به سمت دیواره بیرونی کانال و بالادست کانال اصلی پیشروی می‌کند. همچنین با کاهش عرض شاخه فرعی، افزایش نسبت دبی و افزایش زاویه تلاقی عمق چاله فرسایشی افزایش می‌یابد. با توجه به بررسی منابع موجود می‌توان استنباط کرد که مطالعه‌ای مبنی بر تأثیر شعاع گردشگی لبه پایین دست اتصال در محل تلاقی رودخانه‌ها صورت نگرفته است و عمده آزمایش‌های صورت گرفته بر روی تلاقی‌های با اتصال لبه تیز می‌باشد در حالی که در طبیعت و در اکثر موارد محل اتصال در

می‌کند. یک دریچه کشویی در انتهای کانال اصلی نصب شده است که با باز یا بسته کردن آن می‌توان عمق پایاب را تنظیم کرد به عبارتی از این دریچه برای بررسی تأثیر عمق پایاب یا عدد فرود ذره در پایین دست استفاده می‌شود. از دستگاه عمق سنج برای اندازه‌گیری سطح آب در نقاط موردنیاز استفاده شده است. مخازن فرعی شماره ۱ و ۲ در ابتدای کانال‌های اصلی و فرعی و همچنین صفحات آرام‌کننده در محل اتصال این مخازن به کانال‌های مذکور برای آرام نمودن جریان ورودی است. دو عدد شیر کشویی بر روی لوله‌های انتقال جریان به مخازن ثانویه نصب شده‌اند. وظیفه این شیرها تنظیم دبی ورودی به هریک از کانال‌های اصلی و فرعی می‌باشد که نهایتاً به نسبت‌های دبی موردنظر دسترسی حاصل شود. برای ساخت کمان‌ها با شعاع‌های مورد نظر از شیشه‌های ۵ میلیمتری استفاده شد. رسوب بکار گرفته شده در این آزمایش‌ها دارای دانه‌بندی یکنواخت است که در جدول ۱ مشخصات دانه‌بندی آن ارائه شده است.

جدول ۱- مشخصات دانه بندی رسوب بکار رفته در این تحقیق

مقدار	مشخصه
۱/۹۵(mm)	اندازه متوسط ذره ( $d_{50}$ )
۲/۲	ضریب یکنواختی (Cu)
۰/۹۸	ضریب انحنا (Cc)
۱/۶۸	انحراف استاندارد ذرات ( $\sigma$ )

جدول ۲ دامنه تغییرات پارامترهای مورد آزمایش در این تحقیق را برای اتصال لبه گرد نشان می‌دهد. در این تحقیق تعداد ۱۲ آزمایش نیز بعنوان آزمایش‌های شاهد در حالت اتصال لبه تیز برای مقایسه با مقدار آبشستگی در حالت اتصال لبه گرد اجرا شده است.

جدول ۲- دامنه تغییرات پارامترهای به کار رفته در این تحقیق

پارامتر	محدوده تغییرات
نسبت شعاع گردشگری به پهنا (Rb)	۱، ۰/۵، ۰/۲۸
نسبت دبی (Qr)	۰/۱۶۶، ۰/۱۵، ۰/۱۳۳، ۰/۱۲
عدد فرود ذره (Frg)	۰/۲۱۹، ۰/۲۵۲، ۰/۲۷۶
	۲/۹۲، ۳/۰۴

فوق نیز صرف نظر نمود. همچنین در این تحقیق زاویه تلاقی ثابت، عرض فلوم ثابت و اختلاف ارتفاع بین دو کف فلوم صفر است. با توجه به این نکته که می‌توان گروه‌های بدون بعد را در هم ادغام کرد، معکوس نمود یا جذر گرفت، در نهایت معادله‌های ۱ و ۲ به صورت معادله‌های ۳ و ۴ ساده می‌گردند.

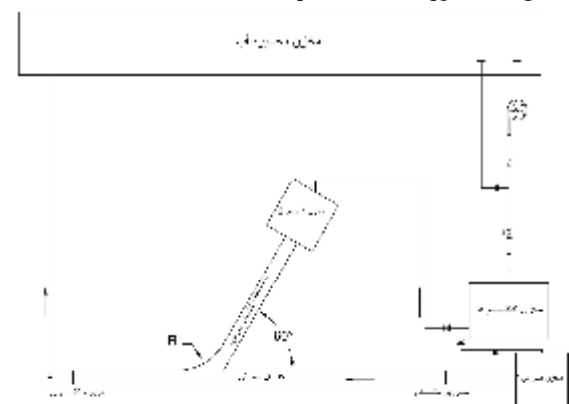
$$\frac{D_s}{B_3} = f\left(\frac{Q_2}{Q_3}, \frac{R}{B_3}, Fr_g\right) \quad (3)$$

$$\frac{H_s}{B_3} = f\left(\frac{Q_2}{Q_3}, \frac{R}{B_3}, Fr_g\right) \quad (4)$$

که در آنها  $Fr_g = \frac{V_3}{\sqrt{g(G_s - 1)d_{50}}}$  عدد فرود ذره ( $V_3$ ) سرعت جریان در پایین دست تلاقی،  $G_s$  چگالی ویژه ذرات رسوب برابر ۲/۶۵ می‌باشد. در این تحقیق تغییرات هر کدام از پارامترهای فوق بر حداکثر عمق آبشستگی در محل تلاقی و ارتفاع پشته رسوبی بررسی می‌شود.

#### ب) تجهیزات آزمایشگاهی

تجهیزات استفاده شده برای اجرای آزمایش‌های لازم در شکل ۲ به صورت شماتیک ارائه شده است.

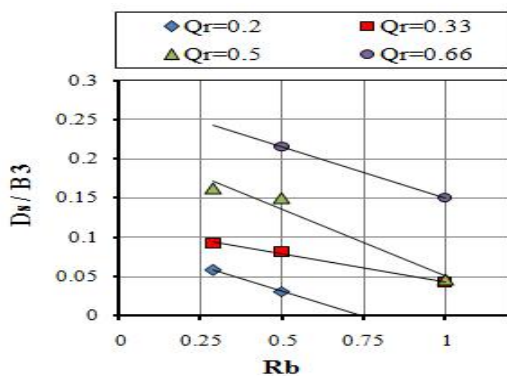


شکل ۲- شماتیک تجهیزات استفاده شده در آزمایشگاه

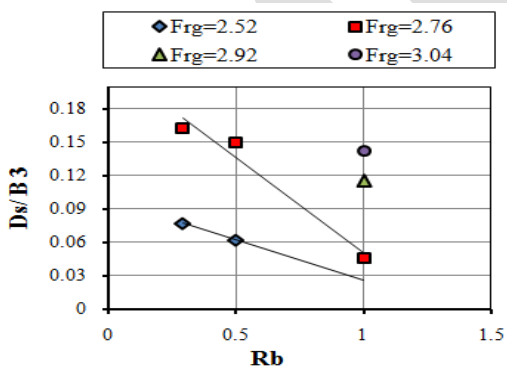
طول کانال اصلی ۹ متر و طول کانال فرعی ۳ متر است. پهناي کانال اصلی و فرعی ۲۶ سانتیمتر در نظر گرفته شده است. زاویه تلاقی کانال فرعی و اصلی ۶۰ درجه است. کف دیواره‌های کانال‌های اصلی و فرعی با پوشش پلکسی گلاس به ترتیب با ضخامت ۱۰ و ۶ میلیمتری پوشیده شده است. دبی کل ورودی به سیستم (۲۰ لیتر در ثانیه) توسط دستگاه فلومتر با دقت ۰/۰۱ لیتر در ثانیه اندازه‌گیری می‌شود. علاوه بر این سرریز مثلثی نصب شده در ابتدای کانال اصلی دبی ورودی به کانال اصلی را اندازه‌گیری

کاهش می‌یابد. شکل ۴ روند تغییرات حداکثر عمق آبشستگی را در مقابل تغییرات سه نسبت شعاع گردشگی به پهنای کانال نشان می‌دهد.

شکل ۴ نشان می‌دهد که با افزایش نسبت شعاع گردشگی به پهنای کانال بدون توجه به نسبت دبی و عدد فرود ذره مقدار حداکثر عمق آبشستگی بطور محسوسی کاهش می‌یابد. در حالت تلاقی با اتصال لبه تیز گردابه‌هایی در محل تلاقی به دلیل فاصله گرفتن خطوط جریان کانال فرعی از دیواره در زمان ورود به کانال اصلی، تشکیل می‌شوند که باعث ایجاد ناحیه جدادشدگی و نهایتاً آبشستگی شدیدی می‌شود.



(الف)



(ب)

شکل ۴- تغییرات عمق آبشستگی در مقابل شعاع گردشگی (الف) به ازای نسبت‌های دبی (ب) اعداد فرود ذره مختلف

شدت گردابه‌هایی که در سطح آب در تلاقی با اتصال لبه تیز به وجود می‌آیند آنقدر زیاد است که به سهولت و بدون نیاز به مواد رنگی قابل مشاهده است. در این تحقیق با گرد کردن لبه تلاقی و استفاده از ماده رنگی مشاهده شد که جریان ورودی از کانال فرعی به کانال اصلی به دلیل

برای اجرای آزمایش ابتدا به ضخامت ۱۱ سانتیمتر رسوب با اندازه ذره موردنظر در کف فلوم‌های اصلی و فرعی ریخته شد. پس از آن با بستن دریچه انتهایی فلوم اصلی، فلوم اصلی و فرعی با دبی اندک ۲ لیتر در ثانیه برای جلوگیری از آبشستگی رسوبات به آهستگی پر شد. نهایتاً با بازکردن شیرهای کنترل دبی در ابتدای مخازن فرعی شماره ۱ و ۲ و همچنین بازکردن دریچه انتهایی، نسبت دبی موردنظر و عدد فرود مطلوب قابل حصول می‌باشد. زمان اتمام آزمایش موقعی است که شرایط تعادل برای فرسایش ایجاد شده باشد. این زمان برای شرایط خاص هر آزمایش متغیر است و از حداقل ۲ ساعت تا ۵ ساعت متغیر است. پس از اتمام هر آزمایش فلوم به آهستگی تخلیه می‌شود و پروفیل بستر در محل تلاقی با استفاده از متر لیزری با دقت ۰/۰۱ میلیمتری و یک شبکه ۲/۵ در ۲/۵ سانتیمتری برداشت گردید. نمایی از فلوم مورد استفاده در این تحقیق در شکل ۳ آورده شده است.

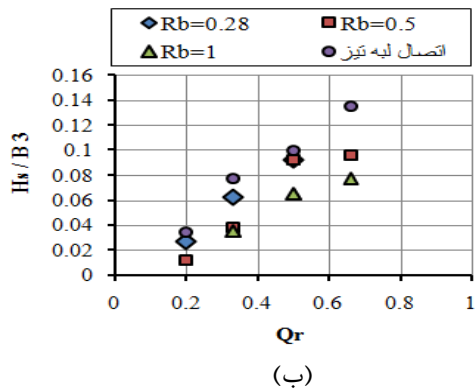
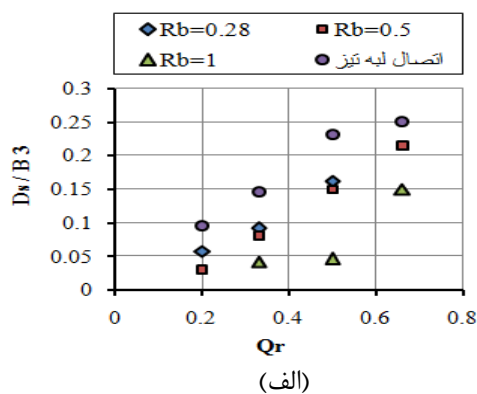


شکل ۳- نمایی از فلوم مورد استفاده در این تحقیق

## نتایج و بحث

در این تحقیق ابتدا آزمایش‌های شاهد بر روی اتصال لبه تیز و سپس آزمایش‌ها بر روی اتصال لبه گرد با سه نسبت شعاع گردشگی به پهنای کانال اجرا شد. نتایج آزمایش‌ها صرفنظر از لبه گرد یا لبه تیز بودن تلاقی همچون نتایج تحقیقات قبلی بر روی اتصال لبه تیز (برقعی و نظری، ۱۳۸۲؛ قبادیان و شفاعی، ۲۰۰۷؛ شفاعی و همتی، ۲۰۰۸ و برقعی و جباری، ۲۰۱۰) نشان داد که با افزایش نسبت دبی و عدد فرود ذره مقدار حداکثر عمق آبشستگی افزایش می‌یابد. همچنین با افزایش نسبت دبی و عدد فرود ذره به ترتیب ارتفاع پشته رسوبی افزایش و

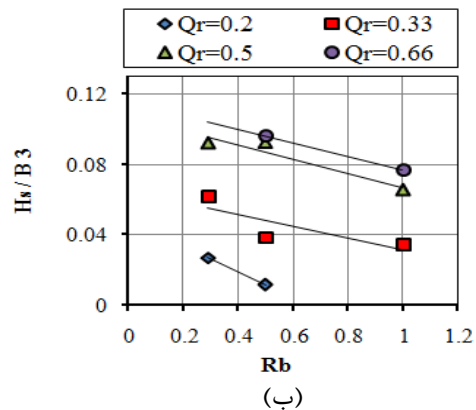
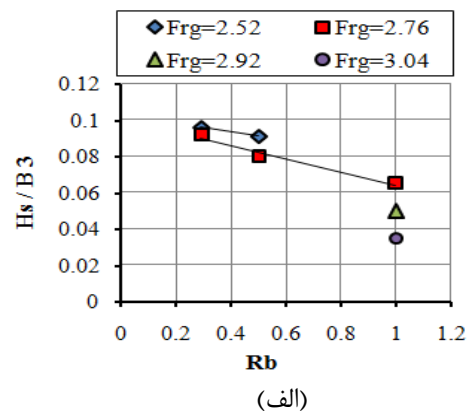
مقدار رسوبات حمل شده به پایین دست و ایجاد پشته رسوبی کوچکتر می‌باشد. شکل ۶ روند تغییرات حداکثر عمق آبشستگی و ارتفاع پشته رسوبی را در مقابل نسبت-های دبی برای دو حالت آزمایشگاهی تلاقی لبه گرد و لبه تیز نشان می‌دهد. همانطوریکه قبلا اشاره شد و در شکل ۶ نیز مشاهده می‌شود مقدار حداکثر عمق آبشستگی و ارتفاع پشته رسوبی در حالت اتصال لبه تیز خیلی بیشتر از اتصال لبه گرد می‌باشد.



شکل ۶- تغییرات الف) حداکثر عمق آبشستگی و ب) ارتفاع پشته رسوبی در مقابل نسبت دبی برای دو حالت لبه تیز و لبه گرد

در جدول ۳ نتایج آزمایش‌ها در دو حالت اتصال لبه تیز و لبه گرد بطور مثال در عدد فرود ذره  $2/76$  مقایسه شده است. همانطوری که از جدول ۳ می‌توان مشاهده کرد در تمامی نسبت‌های شعاع گردشگری به پهنای کانال ( $R_b$ ) مقادیر عمق آبشستگی نسبت به حالت لبه تیز کاهش زیادی داشته است. همچنین می‌توان مشاهده کرد که با افزایش شعاع گردشگری لبه پایین دست اتصال حداکثر عمق آبشستگی تا اندازه زیادی کاهش می‌یابد. به طوری

ملازم شدن خطوط جریان، خود را به دیواره داخلی کانال نزدیک می‌کند و بدون ایجاد ناحیه جداشدگی به مسیر خود ادامه می‌دهد. با افزایش شعاع گردشگری، خطوط جریان بصورت ملایم‌تر و چسبیده‌تر به دیواره کانال وارد کانال اصلی می‌شوند و به همان نسبت نیز مقدار آبشستگی کاهش می‌یابد. دلیل آبشستگی ایجاد شده در حالت اتصال لبه گرد را می‌توان ایجاد گردابه‌های ایجاد شده در بستر و تشکیل جریان‌های ثانویه در محل تلاقی ذکر کرد. شکل ۵ روند تغییرات ارتفاع پشته رسوبی در مقابل تغییرات سه نسبت شعاع گردشگری به پهنای کانال اصلی را نشان می‌دهد.



شکل ۵- تغییرات ارتفاع پشته رسوبی در مقابل شعاع گردشگری الف) به ازای اعداد فرود ذره مختلف ب) نسبت‌های دبی

این شکل نشان می‌دهد که با افزایش نسبت شعاع گردشگری به پهنای کانال بدون توجه به نسبت دبی و عدد فرود ذره مقدار ارتفاع پشته رسوبی بطور قابل توجهی کاهش می‌یابد. دلیل این امر کاهش مقدار حداکثر عمق آبشستگی در اثر افزایش شعاع گردشگری و نهایتاً کاهش

## نتیجه گیری

در این تحقیق با اجرای ۶۰ آزمایش بر روی تلاقی رودخانه با سه شعاع گردشگری در محل اتصال، به مطالعه الگوی فرسایش و رسوب در محل تلاقی پرداخته شد. نتایج آزمایش‌ها بطور کلی نشان داد که مقدار حداکثر عمق آبشستگی و ارتفاع پشته رسوبی در اتصال لبه گرد در مقایسه با اتصال لبه تیز بطور محسوسی کاهش می‌یابد. نتایج آزمایش‌ها به تفکیک برای سه شعاع گردشگری به صورت زیر است:

۱- در  $R_b=0.28$  بیشترین مقدار کاهش عمق آبشستگی و ارتفاع پشته رسوبی در مقایسه با اتصال لبه تیز، در عدد فرود ذره  $2/19$  و سه نسبت دبی  $0/2$ ،  $0/33$  و  $0/5$  به مقدار  $100$  درصد اتفاق افتاد و کمترین کاهش عمق آبشستگی و ارتفاع پشته رسوبی به مقدار  $30$  درصد در عدد فرود ذره  $2/76$  و نسبت دبی  $0/5$  روی داد.

۲- در  $R_b=0.5$  بیشترین مقدار کاهش عمق آبشستگی و ارتفاع پشته رسوبی در عدد فرود ذره  $2/19$  و تمامی نسبت‌های دبی به مقدار  $100$  درصد اتفاق افتاد و کمترین کاهش عمق آبشستگی به مقدار  $14$  درصد در عدد فرود ذره  $2/76$  و نسبت دبی  $0/66$  و کمترین کاهش ارتفاع پشته رسوبی به مقدار  $6$  درصد در عدد فرود ذره  $2/52$  و نسبت دبی  $0/5$  روی داد.

۳- در  $R_b=1$  در عدد فرود ذره  $2/19$  و تمامی نسبت‌های دبی و در عدد فرود ذره  $2/52$  و سه نسبت دبی  $0/2$ ،  $0/33$  و  $0/5$  کاهش عمق آبشستگی و ارتفاع پشته رسوبی به مقدار  $100$  درصد روی داد. کمترین کاهش عمق آبشستگی به مقدار  $40$  درصد در عدد فرود ذره  $2/76$  و نسبت دبی  $0/66$  و کمترین کاهش ارتفاع پشته رسوبی به مقدار  $35$  درصد در همین فرود ذره و نسبت دبی  $0/5$  روی داد.

علاوه بر نتایج فوق با استفاده از رگرسیون‌گیری چند متغیره روابطی نیز برای محاسبه حداکثر عمق آبشستگی و ارتفاع پشته رسوبی ارائه شد.

## سپاس‌گزاری

که در عدد فرود ذره  $2/76$  و نسبت دبی  $0/2$  مقدار عمق آبشستگی در مقایسه با اتصال لبه تیز برای نسبت‌های شعاع  $0/28$ ،  $0/5$  و  $1$  به ترتیب به مقدار  $40$ ،  $68$  و  $100$  درصد کاهش داشته است.

پیش بینی رابطه محاسبه حداکثر عمق آبشستگی و ارتفاع پشته رسوبی

برای بررسی اثر متقابل نسبت دبی، عدد فرود ذره و نسبت شعاع گردشگری به پهنای کانال بر روی حداکثر عمق آبشستگی و ارتفاع پشته رسوبی و ارائه یک رابطه ریاضی برای پیش بینی این مقادیر از رگرسیون‌گیری چند متغیره با نرم افزار SPSS18 استفاده شد. لازم به ذکر است که در این تحقیق از  $70\%$  داده‌ها برای استخراج روابط و از  $30\%$  داده‌ها برای صحت‌سنجی روابط استفاده گردید که نهایتاً روابط  $5$  و  $6$  پس از تحلیل‌های متعدد به ترتیب با ضریب همبستگی  $82\%$  و  $89\%$  استخراج شد.

$$\frac{D_s}{B_3} = -0.059 \ln(R_b) + 0.119 \ln(Q_r) + 0.002 Fr_g^{4.529} \quad (5)$$

$$\frac{H_s}{B_3} = 0.26 Q_r^{0.322} - 0.088 Fr_g^{0.503} - 0.019 \ln(R_b) \quad (6)$$

جدول ۳- مقایسه مقدار عمق آبشستگی در دو حالت اتصال

کاهش عمق آبشستگی (درصد)	$D_s / B_3$		$Q_r$	$R_b$
	لبه گرد	لبه تیز		
	۴۰	۰/۰۵۸		
۳۷	۰/۰۹۲	۰/۱۴۶	۰/۳۳	
۳۰	۰/۱۶۲	۰/۲۳۱	۰/۵	
۶۸	۰/۰۳۱	۰/۰۹۶	۰/۲	۰/۵
۴۵	۰/۰۸۱	۰/۱۴۶	۰/۳۳	
۳۵	۰/۱۵	۰/۲۳۱	۰/۵	
۱۴	۰/۲۱۵	۰/۲۵	۰/۶۶	
۱۰۰	۰	۰/۰۹۶	۰/۲	۱
۷۱	۰/۰۴۲	۰/۱۴۶	۰/۳۳	
۸۰	۰/۰۴۶	۰/۲۳۱	۰/۵	
۴۰	۰/۱۵	۰/۲۵	۰/۶۶	

پارامترها قبلاً در روابط ۳ و ۴ معرفی شده‌اند.

- SEPM Spec. Publ. F.G. Etheridge, R.M. Floers and M.D. Harvey, eds. 39(8):27-35.
- 4- Borghei S.M. and Sahebari Jabbari A. 2010. Local scour at open-channel junctions. *Journal of Hydraulic Research*, 48(4):538-542.
  - 5- Ghobadian R. and Shafai Bejestan M. 2007. Investigation of sediment patterns at river confluence. *J. Applied Sci.*, 7(10):1372-1380.
  - 6- Gurram S.K. Karki K.S. and Hager W.H. 1997. Subcritical junction flow. *J. Hydr. Engrg., ASCE*, 123(5), 447-455.
  - 7- Mosley M.P. 1976. An experimental study of channel confluences. *J. Geol.*, 84:535-562.
  - 8- Roy G.A. and Roy R. 1988. Changes in channel Size at river Confluences with coarse bed material. *Earth surface processes and Land forms*, 13(10):77 – 84.
  - 9- Shafai Bejestan M. and Hemmati M. 2008. Scour depth at river confluence of unequal bed level. *Journal of Applied Sciences* 8(9): 1766-1770.

نویسندگان از سه داور محترمی که مقاله را با دقت مطالعه و نظرات با ارزشی ارائه کرده بودند تشکر می‌کنند. هزینة- های این تحقیق از محل پژوهانه نویسنده دوم پرداخت شده است.

#### فهرست منابع

- ۱- برقی س.م. و نظری ا. ۱۳۸۲. بررسی آزمایشگاهی الگوی رسوب در تقاطع کانال‌ها. مجموع مقالات ششمین کنفرانس بین‌المللی مهندسی عمران. اصفهان. ۲۴۷-۲۵۵.
- 2- Best J.L. 1988. Sediment transport and bed morphology at river channel confluences. *Sedimentology*, 35(5):481-498.
- 3- Best J.L. 1987. Flow dynamics at river channel confluences: Implications for sediment transport and bed morphology. *Recent Devel. In Fluvial Sedimentology*,