

بررسی آزمایشگاهی تأثیر اختلاف رقوم بستر کانال‌های متقاطع

بر الگوی فرسایش و رسوب‌گذاری

(یادداشت تحقیقاتی)

سعید عباسی^۱، حنیف پورشهباز^{۲*} و حمیدرضا عابدی امینلوی^۳

۱ و ۳- به ترتیب: استادیار؛ و کارشناس ارشد مهندسی عمران، دانشکده عمران، دانشگاه زنجان، زنجان، ایران
۲- کارشناسی ارشد مهندسی عمران، باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، واحد زنجان، دانشگاه آزاد اسلامی، زنجان، ایران
تاریخ دریافت: ۹۶/۳/۱۹؛ تاریخ پذیرش: ۹۷/۲/۲۵

چکیده

در خلال بهره‌برداری از شبکه‌های کانال‌های روباز (شبکه‌های آبیاری، زهکشی، کشتی‌رانی و ...)، بعضاً کانال‌هایی به صورت جانبی به کانال اصلی برخورد می‌کنند. ممکن است در خلال اجرا و به دلایل طبیعی یا انسانی مانند اشتباه در پیاده‌سازی نقاط، اختلاف ترازهایی نیز در کف دو کانال ایجاد شود. در این مقاله تأثیر عواملی چون نسبت دبی کانال متقاطع به مستقیم، نسبت اختلاف رقوم بستر، فرسایش‌پذیر و فرسایش‌ناپذیر بودن بستر، و دانه‌بندی مصالح بستر بر میزان عمق آب‌شستگی در یک اتصال ۹۰ درجه به صورت آزمایشگاهی با استفاده از فلومی به طول ۵ متر و عرض ۳۰ سانتی‌متر و کانال متقاطع فلومی به طول ۲/۵ متر و عرض ۳۰ سانتی‌متر بررسی شده است. مقایسه نتایج به دست آمده در حالتی که کف دو کانال دارای اختلاف تراز است با حالت بدون اختلاف تراز آن، نشان می‌دهد که با افزایش اختلاف تراز کف دو کانال، فرسایش نیز تا ۷۸ درصد برای حالت هر دو کانال فرسایش‌پذیر افزایش می‌یابد که این میزان برای حالت کانال متقاطع فرسایش‌ناپذیر تا ۴۵ درصد کمتر است. دلیل این امر می‌تواند ایجاد جریان پرتابی در حالتی باشد که کانال متقاطع دارای بستر فرسایش‌ناپذیر است. افزایش سرعت جریان در شیب به وجود آمده در محل اتصال دو کانال، وقتی کف دو کانال فرسایش‌پذیر باشند، می‌تواند باعث افزایش عمق چاله فرسایشی گردد.

واژه‌های کلیدی

تلاقی کانال‌ها، حداکثر عمق آب‌شستگی، رسوب‌گذاری، فرسایش، نسبت دبی

مقدمه

رسوب‌گذاری در محل اتصال قطعی خواهد بود که این موضوع مورد توجه محققان بسیاری قرار گرفته و در سال‌های اخیر مطالعات تحلیلی، آزمایشگاهی و عددی بسیاری برای مدل‌سازی شرایط جریان در محل اتصال انجام گرفته است. از جمله این کارها می‌توان به مطالعات گویلن لودنا و همکاران در سال‌های مختلف (Guillén)-(Ludeña et al., 2015; 2017) و چوی و مو (Choi & Mo, 2015) و دوردویک و استوجنیک (Đorđević & Stojnić, 2016) اشاره کرد. در شکل ۱ نمونه‌ای از تقاطع دو کانال در واقعیت دیده می‌شود.

در طبیعت، اتصال عرضی رودخانه‌ها به وفور مشاهده می‌شود. در کانال‌های مصنوعی نیز اجرای دو کانال به صورت متقاطع به منظور تجمع آب‌های ناشی از زهکشی یا سایر موارد مهندسی، اجتناب‌ناپذیر است. در این بین بعضاً به دلایل مختلف امکان بروز اختلاف تراز در دو کانال محتمل است. گاهی رویداد برخی عوامل طبیعی یا انسانی نیز در بروز پدیده اختلاف تراز کف دو کانال متقاطع دخیل هستند. در صورت بروز اختلاف تراز بین کف دو کانال متقاطع، تغییر شرایط جریان و پدیده فرسایش و



شکل ۱- راست) تلاقی یک کانال زهکش با کانال هاینوک^۱
چپ) تلاقی یک کانال شهری (با بستر صلب و اختلاف تراز کف) با کانال طبیعی

خارجی باشد. وبر و همکاران (Weber *et al.*, 2001) با اندازه‌گیری سرعت در نقاط مختلف یک اتصال ۹۰ درجه در کانال‌ها در آزمایشگاه، مشخص کردند که کانتورهای سرعت طولی در نزدیکی بستر کاملاً متفاوت از الگوی سرعت سطح هستند. نظری (Nazari, 2003) و برقی و همکاران (Borghai *et al.*, 2004) در بررسی‌های آزمایشگاهی روی فرسایش رسوبات و ته‌نشینی آنها در محل تلاقی کانال‌ها، محل و اندازه چاله فرسایشی را در شرایط مختلف بررسی کردند. برقی و صاحب‌بری (Borghai & Sahebbari, 2010) به مطالعه الگوی فرسایش در محل اتصال دو کانال در شرایط آب زلال پرداختند. نتایج آزمایش آنها نشان می‌دهد که بیشترین عمق چاله آب‌شستگی به سمت دیواره بیرون و به سمت بالادست کانال اصلی حرکت می‌کند و این پدیده از نسبت دبی کانال متقاطع به مستقیم نتیجه می‌شود. ریبیرو و همکاران (Leite-Ribeiro *et al.*, 2010) با مطالعه آزمایشگاهی اثر عریض‌تر شدن کانال جانبی در برخورد ۹۰ درجه با کانال اصلی را بررسی کردند. رایلی و روهادس (Riley & Rohads, 2012) و

در مورد بررسی الگوی فرسایش و رسوب‌گذاری در تقاطع‌های غیر هم‌سطح و نحوه تغییر توپوگرافی بستر، تحقیقات آزمایشگاهی زیادی صورت پذیرفته است. تیلور (Taylor, 1942) از نخستین کسانی است که موضوع جریان در کانال‌های متقاطع را بررسی کرده است. وی با بررسی معادله اندازه حرکت، معادله‌ای برای برآورد نسبت عمق جریان در کانال‌های بالادست و پایین‌دست ارائه کرد گورام و همکاران (Gurram *et al.*, 1997) معادله‌ای را برای به‌دست آوردن نسبت عمق جریان با حل هم‌زمان معادلات انرژی و اندازه حرکت ارائه دادند و کانال‌های متقاطع با زاویه‌های ۳۰، ۴۵ و ۶۰ درجه را بررسی کردند. وبر و گریته (Webber & Greated, 1996) روابطی برای تعیین نقطه سکون^۲ و نقاط جدایی جریان^۳ در کانال‌های متقاطع استخراج و رابطه‌ای برای محاسبه مقدار افت انرژی در تقاطع کانال‌ها ارائه دادند. رایلی و روهادس (Riley & Rohads, 2012) با مطالعه جریان متقاطع در کانال‌های قوسی نشان دادند که جریان در کانال اصلی با ترکیب جریان فرعی شتاب می‌گیرد و حداکثر شتاب جریان هنگامی رخ می‌دهد که کانال جانبی در رأس قوس

1- Highknock Channel

2- Stagnation Point

بررسی آزمایشگاهی تأثیر اختلاف رقوم بستر...

با کف غیر هم‌سطح و در شرایط کانال جانبی فرسایش‌پذیر و فرسایش‌ناپذیر به‌صورت آزمایشگاهی بررسی شده است.

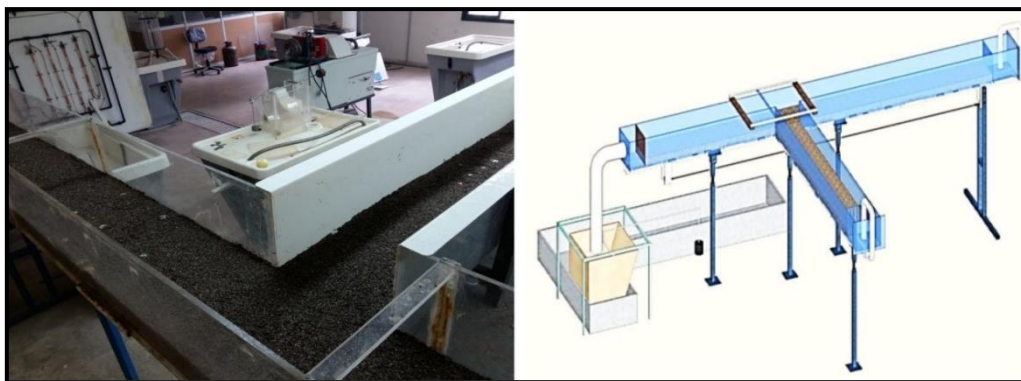
مواد و روش‌ها

تجهیزات آزمایشگاهی^۱

آزمایش‌ها در آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه زنجان و در دو کانال متقاطع با تراز بسترهای مختلف اجرا و در هر مرحله، فرسایش و رسوب‌گذاری در کف کانال در شرایط هیدرولیکی مختلف اندازه‌گیری و بررسی شد (شکل ۲). در جدول ۱، شرایط هندسی و جریان در حالت‌های مختلف به‌طور خلاصه آورده شده است.

رایلی و همکاران (Riley et al., 2015) به بررسی خصوصیت‌های جریان، مورفولوژی بستر، تأثیر انحنای کانال و زاویه تلاقی دو کانال بر خصوصیت‌های مورفودینامیک محل تلاقی پرداختند.

بیشتر بررسی‌ها در زمینه اتصال کانال‌ها برای تقاطع‌های همکف است در حالی‌که در عمل امکان ایجاد تقاطع‌های با کف غیر هم‌تراز نیز وجود دارد و تاکنون مطالعات روی تقاطع کانال‌های غیرهمسطح اندک بوده است که بخش عمده آنها نیز به‌صورت میدانی و برای کانال‌های فرسایش‌پذیر بوده است. در این مقاله، خصوصیت‌های فرسایش و رسوب‌گذاری در محل تلاقی کانال‌ها در تقاطع‌های



شکل ۲- مدل آزمایشگاهی بررسی شده

جدول ۱- مشخصات مدل‌های آزمایشگاهی

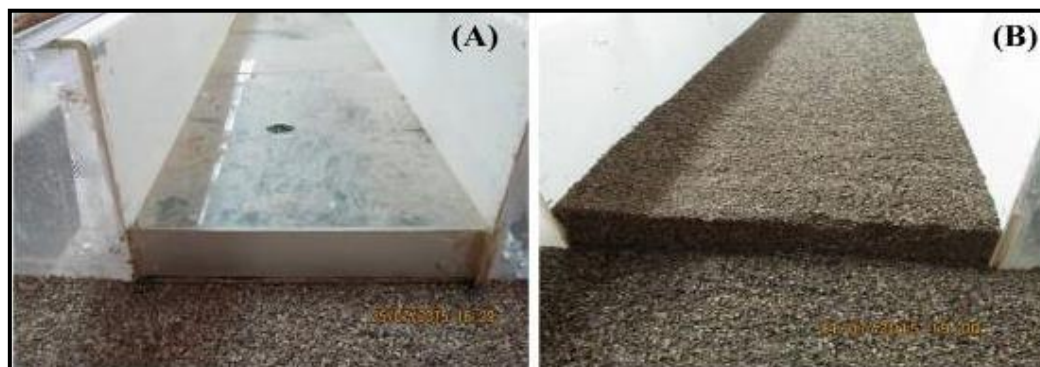
نسبت دبی کانال متقاطع به مستقیم در انتها	سرعت در انتهای کانال مستقیم (متر بر ثانیه)	دبی کانال مستقیم (لیتر بر ثانیه)	سرعت در کانال متقاطع (متر بر ثانیه)	دبی کانال متقاطع (لیتر بر ثانیه)	اختلاف تراز کف دو کانال (میلی‌متر)
۰/۲۷۵	۰/۱۰۹		۰/۰۳۰	۰/۶۴	۰/۰، ۱۲/۵، ۲۵/۰
۰/۵۹۵	۰/۱۹۵	۱/۶۶	۰/۱۱۶	۲/۴۴	۳۷/۵ و ۵۰/۰
۰/۶۳۹	۰/۲۱۹		۰/۱۴۰	۲/۹۴	

شد. با روشن کردن پمپ دوم، دبی در انتهای مسیر (مجموع دبی‌ها) اندازه‌گیری شد؛ با تفریق این دو مقدار، دبی در کانال متقاطع قابل محاسبه است. در تمامی شرایط

برای اندازه‌گیری دبی در کانال‌های مستقیم و متقاطع، ابتدا با روشن کردن پمپ در کانال مستقیم دبی جریان در داخل کانال مستقیم با سرریز مثلی اندازه‌گیری

آزمایش، رژیم جریان در حالت زیر بحرانی حفظ گردید. فلوم مستقیم از جنس پلکسی‌گلاس و فلوم متقاطع از جنس ورق فولادی گالوانیزه ساخته شده است. مدل از دو کانال مشابه با عرض یکسان ۳۰ سانتی‌متر ساخته شده و زاویه اتصال در این مدل‌های آزمایشگاهی ۹۰ درجه است. شیب کف دو کانال برابر صفر درجه و طول کانال‌های مستقیم و متقاطع به ترتیب برابر ۵ و ۲/۵ متر منظور گردید. برای مصالح بستر از ماسه شسته غیر چسبنده استفاده شد. برای استفاده از دانه‌های یکنواخت رسوبات، الک‌های #۶، #۱۰ و #۳۰ به کار گرفته شد و مصالح مانده روی الک #۶ و عبوری از الک #۳۰، از مصالح مورد استفاده در بستر حذف گردید. سری اول آزمایش‌ها با رسوبات یکنواخت عبوری از الک #۱۰ و مانده روی الک #۳۰ ($d_{50}=1.30$ mm) (دانه‌بندی شماره ۱) و سری دوم آزمایش‌ها با دانه‌های عبوری از الک #۶ و مانده روی الک #۱۰ ($d_{50}=2.70$ mm) (دانه‌بندی شماره ۲) و همه در شرایط آب زلال اجرا شد و هیچ بار بستر و معلق دیگری به بالادست کانال‌های مستقیم و متقاطع اضافه نگردید. برای شروع آزمایش، ابتدا کف دو کانال با مصالح یکنواخت به عمق ۱۱ سانتی‌متر پر شد. با قرار دادن یک دریچه در انتهای کانال مستقیم و برای جلوگیری از فرسایش در ابتدای آزمایش، مصالح به آرامی به حالت

اشباع درآورده شدند؛ پس از آن دریچه انتهایی برداشته شد تا جریان در کانال برقرار گردد. در ابتدای دو کانال جهت آرام کردن جریان و نیز برای تسریع توسعه یافتگی جریان از یک صفحه مشبک استفاده شد. همچنین، برای ایجاد بهتر شرایط جریان، در ابتدای کانال‌های فرسایش‌پذیر^۱ از مصالح زبرتر^۲ استفاده شد. آزمایش‌ها تا زمانی ادامه پیدا کردند که شکل توپوگرافی بستر به تعادل برسد (افزایش عمق حفره آبکند در ۲۰ دقیقه تغییر نکند). سه آزمایش اول با سه نسبت دبی مختلف، تراز برابر کف دو کانال، و دانه‌بندی ریزدانه‌تر شماره یک ($d_{50}=1.30$ mm) اجرا شد. سه آزمایش بعدی با همان شرایط قبلی ولی با ایجاد اختلاف تراز کف کانال متقاطع به میزان ۱۲/۵ میلی‌متر بالاتر از کانال مستقیم اجرا شد. این روند با افزایش اختلاف تراز کف با گام‌های ۱۲/۵ میلی‌متر در هر سری از آزمایش‌ها تکرار شد (اختلاف ترازهای ۰/۰، ۱۲/۵، ۲۵/۰، ۳۷/۵ و ۵۰/۰ میلی‌متر). پس از اجرای ۱۵ آزمایش با شرایط گفته شده در بالا، کل آزمایش‌ها در حالت غیرفرسایشی بودن کانال متقاطع و فرسایشی بودن کانال مستقیم نیز تکرار شد. در شکل ۳ مدل آزمایشگاهی دو کانال با اختلاف تراز ۵۰ میلی‌متر در حالت فرسایش‌پذیر و فرسایش ناپذیر نشان داده شده است.



شکل ۳- اختلاف تراز در (A) بستر فرسایش ناپذیر (B) بستر فرسایش‌پذیر

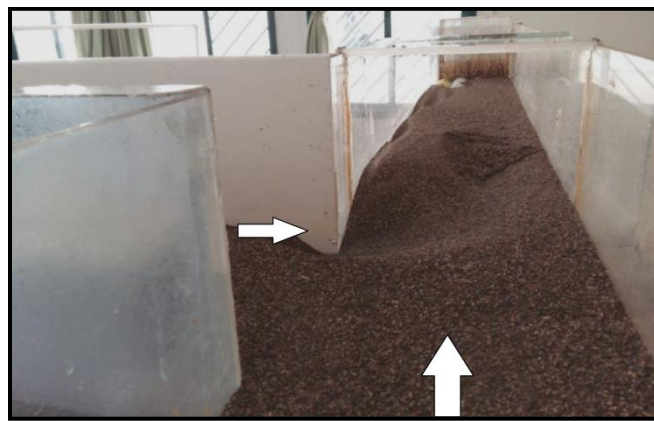
بررسی آزمایشگاهی تأثیر اختلاف رقوم بستر...

جریان، فرسایش درست از گوشه پایین دست تلاقی شروع می‌شود و با افزایش نسبت دبی، نقطه شروع فرسایش موضعی به سمت گوشه راست بالادست تلاقی پیشروی می‌کند. دیده شد که فرسایش در ابتدا با سرعت زیاد شروع و با گذشت زمان از سرعت آن کاسته می‌شود. در شکل ۴ نمونه‌ای از این فرسایش‌ها نشان داده شده است. علت این فرسایش‌ها گردابه‌هایی محلی و قوی است که در محل اتصال دو کانال شکل می‌گیرند و مصالح بستر تحت تأثیر این گردابه‌ها به آستانه حرکت خود می‌رسند و پس از حرکت و انتقال، رسوب می‌کنند.

پس از اجرای ۳۰ آزمایش، مصالح بستر دو کانال تخلیه و به جای آنها مصالح درشت‌دانه‌تر ($d_{50}=2.70 \text{ mm}$) ریخته شد. ۳۰ آزمایش دیگر نیز با مصالح جدید و مطابق الگوی آزمایش‌های گذشته اجرا گردید. عمق‌های فرسایش و چاله‌های رسوب‌گذاری به‌عنوان نتایج آزمایش‌ها با عمق سنج لیزری و با دقت ۱ میلی‌متر در سطحی به طول ۸۰ و عرض ۵۰ سانتی‌متر در شبکه‌ای به ابعاد ۲×۲ سانتی‌متر برداشت و ثبت گردید.

نتایج و بحث

از شروع آزمایش مشاهده شد که پس از برقراری



شکل ۴- فرسایش و رسوب‌گذاری در محل تلاقی دو کانال (بستر هر دو کانال مستقیم و متقاطع فرسایش پذیرند)

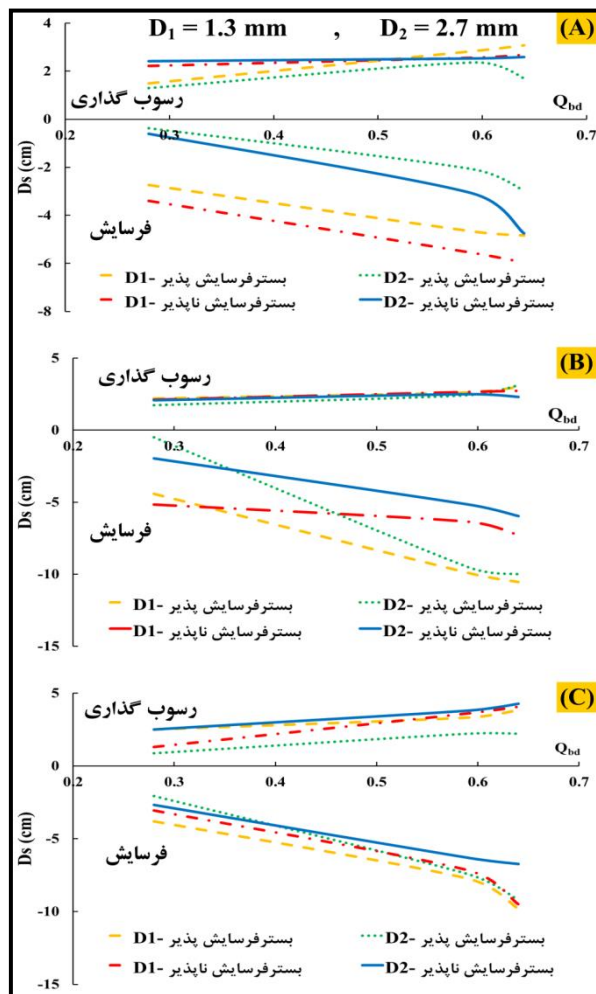
متقاطع به محل تلاقی است. در شرایطی که کف دو کانال دارای اختلاف تراز و بستر دو کانال فرسایش‌پذیر باشد، ابتدا محل اتصال دچار فرسایش می‌شود و کف دو کانال از طریق یک شیب به هم می‌پیوندند. با افزایش نسبت دبی، شیب محل اتصال افزایش می‌یابد. در شرایطی که کانال متقاطع دارای بستر فرسایش‌ناپذیر باشد، چاله فرسایشی در مقابل محل تقاطع، تقریباً در مرکز کانال مستقیم ایجاد و با افزایش نسبت دبی محل چاله فرسایشی به سمت دهانه کانال متقاطع جابه‌جا می‌شود. با مقایسه دو کانال در شرایط بستر فرسایش‌پذیر و فرسایش‌ناپذیر، محل چاله از گوشه پایین دست محل تقاطع در کانال متقاطع به درون

شکل تپه رسوبی ایجاد شده بستگی به نسبت دبی کانال متقاطع به دبی کانال مستقیم (نسبت دبی) دارد، به گونه‌ای که هر چه نسبت دبی زیادتر شود این تپه با سرعت بیشتری به پایین دست منتقل می‌شود و سرانجام یک فرم گسترده به خود می‌گیرد. در نسبت دبی‌های کمتر، در شروع آزمایش تپه ایجاد شده نوک تیز و باریک است ولی به مرور پهن‌تر و گسترده‌تر می‌شود. با افزایش نسبت دبی شاخه متقاطع به دبی کانال مستقیم به‌میزان ۵۷ درصد، حداکثر عمق چاله فرسایش در بستر تا ۹۵ درصد افزایش می‌یابد. دلیل این امر افزایش مومنتم شاخه متقاطع و سرانجام افزایش سرعت ورود جریان از کانال

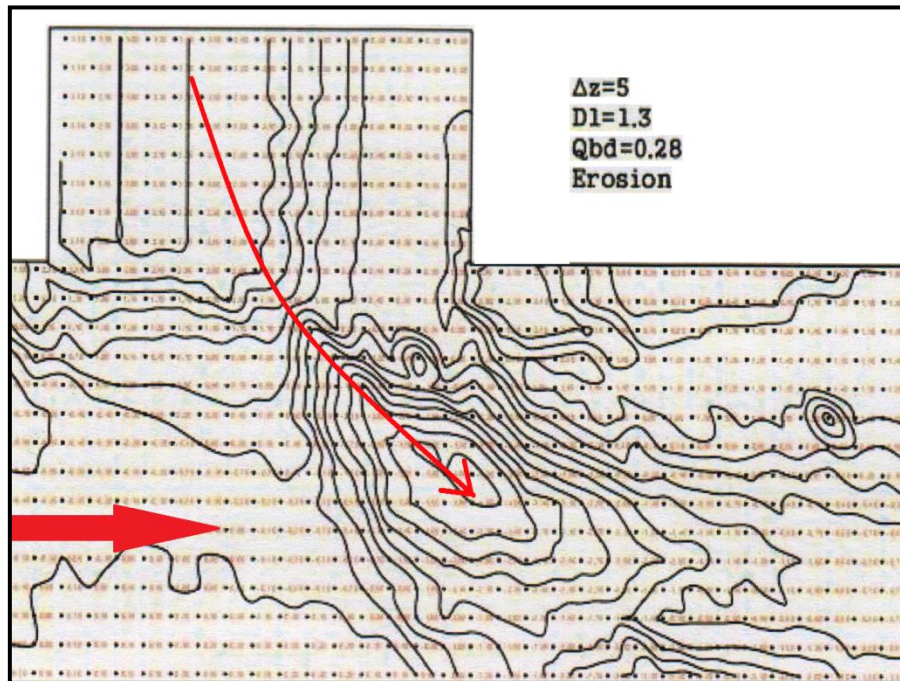
آن بستر کانال متقاطع فرسایش ناپذیر است. با توجه به شکل ۵- (A)، (B) و (C) می‌توان گفت که با افزایش اختلاف تراز کف دو کانال و رسیدن آن به مقدار ۲۵ میلی‌متر، عمق چاله فرسایشی تا حدود ۷۸ درصد افزایش می‌یابد. دلیل این امر را می‌توان در ایجاد یک جریان پرتابی در حالتی دانست که کانال متقاطع فرسایش ناپذیر باشد. وقتی کف دو کانال فرسایش پذیر باشد، افزایش سرعت جریان در شیب به وجود آمده در محل اتصال دو کانال عامل تشدید این امر خواهد بود. شکل ۶ خطوط توپوگرافی بستر را نشان می‌دهد که نمایشگر شیب شدید اتصال دو کانال مستقیم و متقاطع هستند.

کانال مستقیم انتقال می‌یابد. با افزایش اندازه دانه‌ها، عمق چاله فرسایشی تا حدود ۸۷ درصد کاهش می‌یابد و در بیشتر حالت‌ها، ارتفاع تپه رسوب گذاری تا ۶۵ درصد می‌تواند کاهش یابد. همچنین، ابعاد این دو ناحیه نیز کاهش می‌یابد. ابعاد تپه رسوب گذاری و عمق چاله فرسایشی در حالتی گسترده‌تری دارد که کانال متقاطع فرسایش ناپذیر است.

با توجه به شکل ۵- (A) مشاهده می‌شود که وقتی کف دو کانال هم سطح باشد، عمق چاله فرسایشی در حالتی که کف کانال متقاطع فرسایش پذیر باشد، تا ۳۷ درصد کمتر از عمق چاله فرسایشی در حالتی است که در



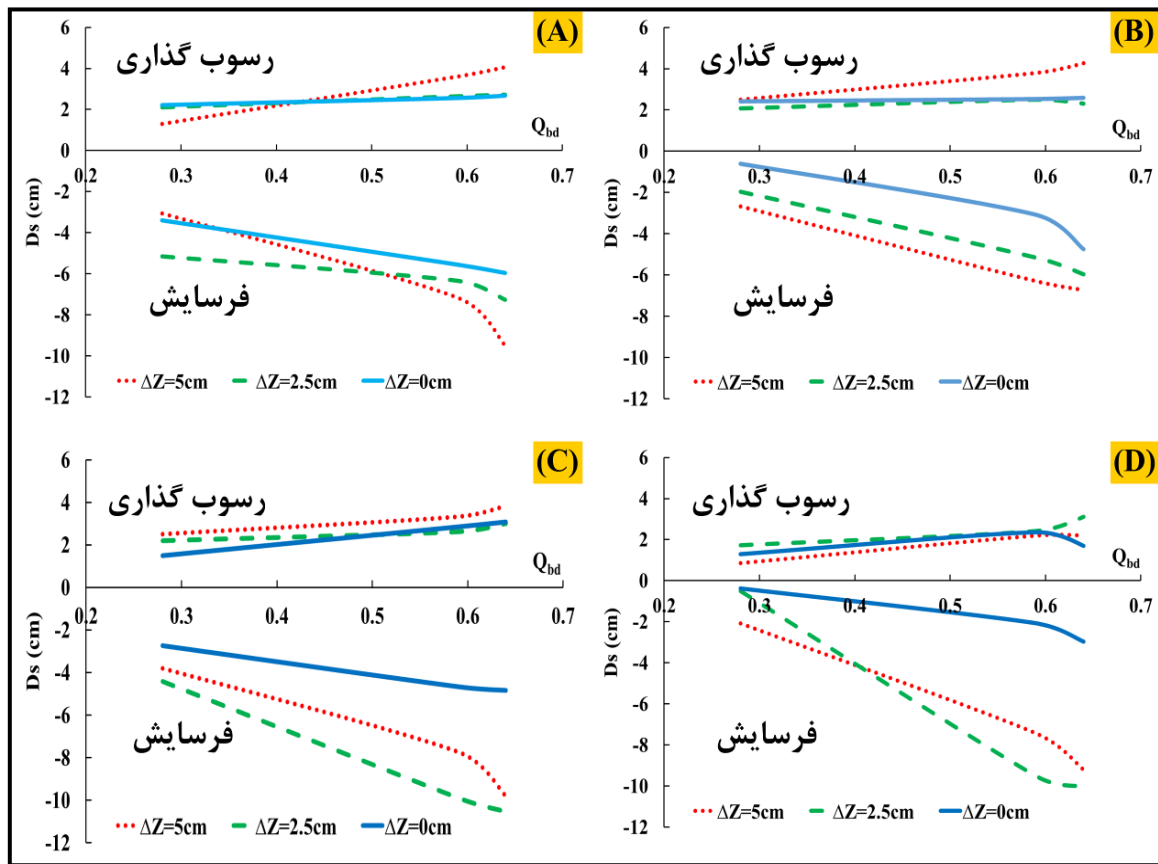
شکل ۵ - نمودار عمق حداکثر چاله فرسایشی و تپه رسوب گذاری (D_s) در مقابل نسبت دبی کانال‌های مستقیم به متقاطع (Q_{bd}) برای اختلاف ترازهای (A) $\Delta Z=0$ ، (B) $\Delta Z=2.5$ و (C) $\Delta Z=5$



شکل ۶ - منحنی‌های توپوگرافی بستر در حالت اختلاف تراز ۵۰ میلی‌متر
(دبی کانال جانبی به کل دبی ۰/۲۸ است)

با توجه به شکل ۷ که نشان‌دهنده عمق فرسایش در شرایط فرسایش‌ناپذیر است، مشاهده می‌گردد که با افزایش ۵۶ درصد در نسبت دبی و دو برابر شدن اختلاف تراز کف، عمق چاله فرسایش تا ۹۴ درصد افزایش می‌یابد که این امر ناشی از افزایش مومنتوم جریان اختلاطی است. در حالتی که کف دو کانال در تراز مشابه هستند، میزان فرسایش رسوبات با دانه‌بندی شماره ۲، شامل مصالح درشت‌دانه‌تر نسبت به دانه‌بندی شماره ۱، در مواردی حتی تا ۸۶ درصد کمتر است که با توجه به افزایش اندازه دانه‌ها کاملاً قابل انتظار است. ولی با افزایش دبی جریان و اختلاف تراز کف، روند فرسایش، افزایش سریع‌تری نسبت به دانه‌بندی شماره ۱ دارد. این روند برای حالت بستر فرسایش‌پذیر نیز مشاهده شده است.

اگر دو کانال از لحاظ بستر اختلاف تراز داشته باشند، عمق چاله فرسایش در حالت کانال متقاطع فرسایش‌پذیر، در اغلب موارد بین ۳ تا ۴۵ درصد بیشتر از عمق چاله فرسایش در حالت کانال متقاطع فرسایش‌ناپذیر است. دلیل این امر می‌تواند تغییر مومنتوم و افزایش سرعت جریان روی شیب محل اتصال و کمتر بودن میزان اتلاف انرژی جریان در شرایط کانال متقاطع فرسایش‌پذیر باشد و می‌توان انتظار داشت که این امر در حالت کانال متقاطع فرسایش‌ناپذیر، به دلیل وجود جت جریان و اختلاط شدید جریان بیشتر باشد. در مورد تپه رسوب‌گذاری نیز می‌توان این‌گونه استنتاج کرد که ارتفاع تپه در حالت کانال متقاطع فرسایش‌ناپذیر، در اغلب حالت‌ها تا حدود ۶۵ درصد بیشتر از حالت کانال متقاطع فرسایش‌پذیر است.

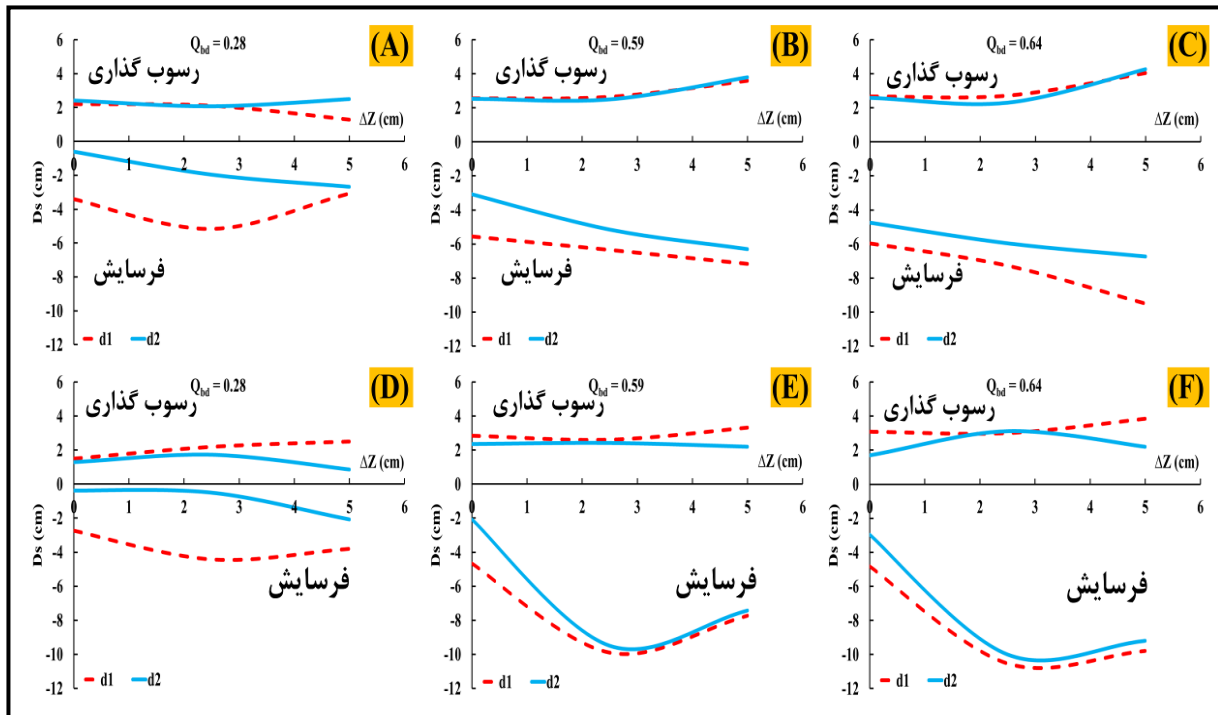


شکل ۷- حداکثر عمق چاله فرسایشی و تپه رسوب گذاری در شرایط بستر فرسایش ناپذیر (A) با دانه بندی $d_1=1.3mm$ و (B) با دانه بندی $d_2=2.7mm$ و بستر فرسایش پذیر، (C) با دانه بندی $d_1=1.3mm$ و (D) با دانه بندی $d_2=2.7mm$

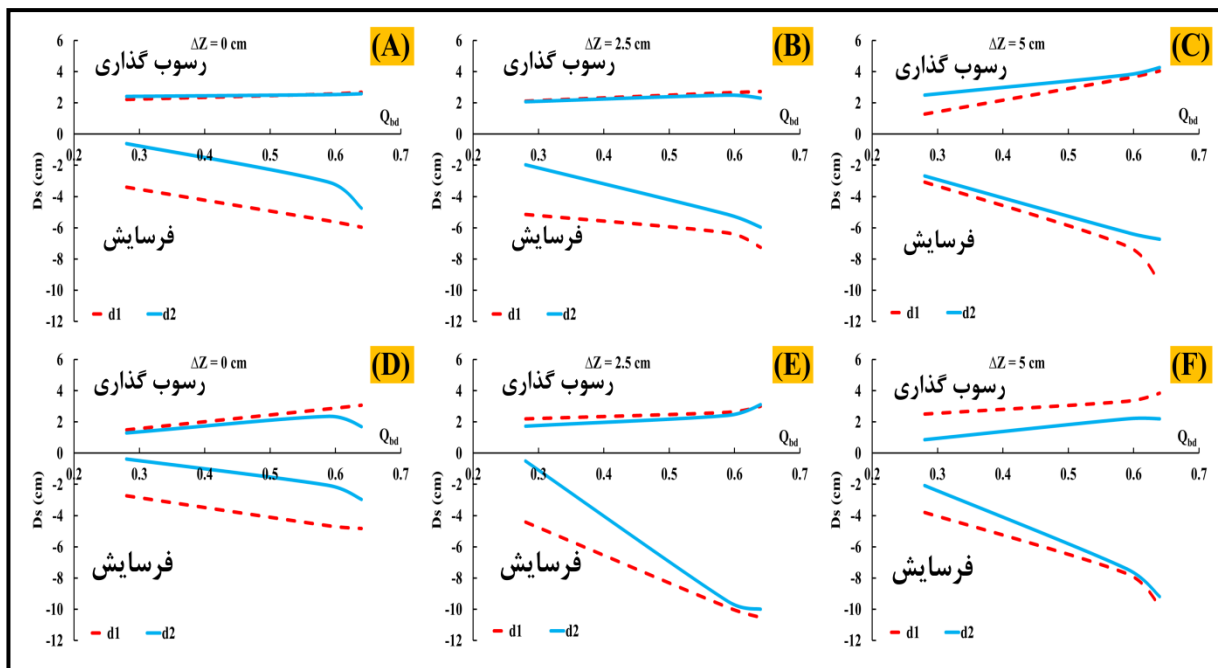
فرسایشی و تپه رسوب گذاری در سه تراز کف متفاوت هستند، می توان نتیجه گرفت که در حالت کانال متقاطع فرسایش ناپذیر و اختلاف تراز کف دو کانال برابر ۲۵ میلی متر، افزایش حداکثر عمق چاله فرسایشی با افزایش نسبت دبی از $0/28$ به $0/64$ بین ۱۳ تا ۳۸ درصد کمتر خواهد بود. البته این امر صرفاً در حالت دانه بندی شماره ۲ و اختلاف تراز ۲۵ میلی متری صادق نیست و ۷ درصد بیشتر است. در حالی که این افزایش حداکثر عمق در حالت کانال متقاطع فرسایش پذیر و اختلاف تراز کف ۵۰ میلی متر بین ۸ تا ۱۸ درصد بیشتر است. نمودارهای (D)، (E) و (F) بیان گر مطلب ذکر شده هستند.

با مقایسه شکل ۸ (A)، (B) و (C) که در شرایط فرسایش ناپذیر هستند، می توان مشاهده کرد که در رسوبات با دانه بندی شماره ۱ که از مصالح ریزدانه تری نسبت به دانه بندی شماره ۲ تشکیل شده است، حداکثر عمق فرسایش بین ۱۲ تا ۸۲ درصد بیشتر است. ارتفاع تپه رسوب گذاری در حالت دانه بندی شماره ۱ در بیشتر موارد ۱ تا ۱۵ درصد بیشتر از ارتفاع تپه رسوب گذاری در حالت دانه بندی شماره ۲ است که قابل پیش بینی نیز بود. این روند با توجه به قسمت (D)، (E) و (F) نمودار در حالت فرسایش پذیر نیز قابل مشاهده است. از شکل ۹ (A)، (B) و (C) که نمایانگر حداکثر عمق چاله

بررسی آزمایشگاهی تأثیر اختلاف رقوم بستر...



شکل ۸- مقایسه حداکثر عمق چاله فرسایشی و تپه رسوب گذاری در حالت: (A)، (B)، (C) بستر فرسایش ناپذیر و (D)، (E)، (F) بستر فرسایش پذیر در نسبت دبی های متفاوت



شکل ۹- مقایسه حداکثر عمق چاله فرسایش و تپه رسوب گذاری در حالت: (A)، (B) و (C) بستر فرسایش ناپذیر و (D)، (E) و (F) بستر فرسایش پذیر در اختلاف ترازهای متفاوت

نتیجه‌گیری

حدود ۷۸ درصد افزایش می‌یابد. دلیل این امر نیز به‌وجود آمدن یک جریان پرتابی (مشابه سقوط آزاد) در حالتی است که کانال جانبی فرسایش‌ناپذیر است. وقتی کف دو کانال فرسایش‌پذیر هستند، افزایش سرعت جریان در شیب به‌وجود آمده در محل اتصال دو کانال می‌تواند دلیل این افزایش باشد.

- وقتی کف دو کانال اختلاف تراز دارند، عمق چاله فرسایش در بیشتر موارد در حالت فرسایش‌پذیر بین ۳ تا ۴۵ درصد بیشتر است تا در حالت فرسایش‌ناپذیر.

- در رسوبات با دانه‌بندی شماره ۲ که شامل مصالح درشت‌دانه تر نسبت به دانه‌بندی شماره ۱ است، میزان فرسایش در حالتی که کف دو کانال در تراز مشابه باشند تا ۸۶ درصد کمتر است. با افزایش نسبت دبی جریان و افزایش اختلاف تراز کف، روند فرسایش، افزایش سریع‌تری نسبت به دانه‌بندی شماره ۱ پیدا می‌کند.

در این مقاله به بررسی آزمایشگاهی تأثیر اختلاف تراز کف بر الگوی فرسایش و رسوب‌گذاری در تقاطع دو کانال با زاویه ۹۰ درجه در شرایط مختلف هیدرولیکی و رسوبی پرداخته شد که خلاصه نتایج آن به شرح زیر است:

- شکل تپه رسوبی ایجادشده بستگی به نسبت دبی کانال متقاطع به دبی کانال مستقیم دارد؛ به‌گونه‌ای که هرچه نسبت دبی زیادتر شود، این تپه با سرعت بیشتری به پایین‌دست منتقل می‌شود.

- وقتی کف دو کانال هم‌سطح است، آبستگي موضعی در حالتی که کف کانال متقاطع فرسایش‌پذیر است، تا ۳۷ درصد کمتر از حالتی است که بستر کانال متقاطع فرسایش‌ناپذیر است.

- با افزایش اختلاف تراز کف دو کانال و رسیدن کف کانال از تراز ۰ به تراز ۲۵ میلی‌متر، عمق چاله فرسایشی تا

مراجع

- Borghei, S. M., Nazari, A. and Daemi, A. R. 2004. Scouring profile at channel junction. Proceedings of International Conference of Hydraulics of Dams and River Structures. July 23-24. Tehran, Iran. (in Persian)
- Borghei, S. M. and Sahebari, A. J. 2010. Local scour at open-channel junctions. J. Hydraul. Res. 48(4): 538-542.
- Choi, H. S. and Mo, S. J. 2015. An analysis on the characteristics of separation zone due to a bed discordance at confluence. J. Korea Water Res. Associ. 48(8): 625-634.
- Dorđević, D. and Stojnić, I. 2016. Numerical simulation of 3D flow in right-angled confluences with bed elevation discordance in both converging channels. Procedia Eng. 154, 1026-1033.
- Guillén Ludeña, S., Franca, M. J., Cardoso, A. H. and Schleiss, A. J. 2015. Hydro morphodynamic evolution in a 90° movable bed discordant confluence with low discharge ratio. Earth Surf. Proc. Land. 40(14): 1927-1938.
- Guillén-Ludeña, S., Franca, M. J., Alegria, F., Schleiss, A. J. and Cardoso, A. H. 2017. Hydromorphodynamic effects of the width ratio and local tributary widening on discordant confluences, Geomorphology. 293, 289-304.
- Gurram, S. K., Karki, K. S. and Hager, W. H. 1997. Subcritical junction flow. J. Hydraul. Eng. 123(5): 447-455.

- Leite Ribeiro, M., Boillat, J. L., Schleiss, A. J. and Blanckaert, K. 2010. Experimental study on a widening tributary channel and its influence on the confluence morphology. *River Flow*. Sep. 8-10 Braunschweig, Germany.
- Nazari, A. G. 2003. Sediment erosion and deposition in channel junction at subcritical flow. M. Sc. Thesis Sharif University of Technology. Tehran, Iran. (in Persian)
- Riley J. D. and Rhoads B. L. 2012. Flow structure and channel morphology at a natural confluent meander bend. *Geomorphology*. 163, 84-98.
- Riley, J. D., Rhoads, B. L., Parsons, D. R. and Johnson, K. K. 2015. Influence of junction angle on three dimensional flow structure and bed morphology at confluent meander bends during different hydrological conditions. *Earth Surf. Proc. Land*. 40, 252-271.
- Taylor, E. H. 1942. Flow characteristics at rectangular open-channel junctions. *T Am. Soc. Eng.* 109(1): 893-902.
- Weber, L. J., Schumate, E. D. and Mawer, N. 2001. Experiments on flow at a 90 open-channel junction. *J. Hydraul. Eng.* 127(5): 340-350.
- Webber, N. B. and Greated, C. A. 1966. An investigation of flow behavior at the junction of rectangular channels. *Proceedings of the Institute of Civil Engineers*. 34(3): 321-334.



Experimental Investigation of Bed Elevation Difference Effects on Erosion and Sedimentation Pattern for Intersecting Channels (Technical Note)

S. Abbasi, H. Pourshahbaz* and H. R. Abedi-Aminlooei

* Corresponding Author: Master of Civil Engineering, Young Researchers and Elite Club, Zanjan Branch, Islamic Azad University, Zanjan, Iran. Email: h.pourshahbaz@znu.ac.ir

Received: 9 June 2017, Accepted: 15 May 2018

There are some intersecting channels which are seen during operation of open channel networks (Irrigation networks, drainage, navigation, and...). It is possible to produce some bed elevation difference during construction and/or because of some reasons such as inaccuracy in implementation, natural action or human made mistakes. In this paper impact of some factors such as discharge ratio, bed elevation difference ratio, erodible and non-erodible bed and bed material grading is experimentally investigated on scour depth in a 90° confluence. The straight channel is 5m long and 30cm width and the intersecting channel is 2.5m long and 30cm width. After analyzing the results and comparing the topography when two channels have elevation difference with the case in which two channels have equal bed elevation, one can find that increasing the difference of bed elevation would result in scour depth increment by 78% while the same increment is less by 45% for the case in which the transverse channel is not erodible. This can be because of a jet flow in the case of non-erodible. Also, increment of flow velocity in the produced steep bed in confluence in the case of erodible bed for both channels, can increase the scouring hole depth.

Keywords: Channel Confluence, Discharge Ratio, Erosion, Maximum Scour Depth, Sedimentation