

## بررسی آزمایشگاهی تاثیر آورد رسوب شاخه اصلی بر الگوی رسوب در محل تلاقی رودخانه‌ها

بهنام بلوچی<sup>۱</sup>، محمود شفاعی بجنستان<sup>۲</sup>

تاریخ دریافت: ۹۰/۸/۶

تاریخ پذیرش: ۹۰/۱۱/۲۹

مقاله برگرفته از پایان‌نامه کارشناسی ارشد نویسنده اول می‌باشد که نویسنده دوم نقش استاد راهنمای دانشجوی را به عهده داشته است.

### چکیده

محل تلاقی رودخانه‌ها از اجزاء مهم مورفولوژیکی در سیستم‌های رودخانه‌ای می‌باشد. این مکان به عنوان ناحیه‌ای با الگوهای پیچیده از جریان شناخته شده است. به دلیل تغییر در مقدار و جهت سرعت، مقدار دبی جریان و دبی رسوب، پدیده‌هایی چون فرسایش عمیق در بستر، فرسایش سواحل و رسوب‌گذاری در پائین دست محل تلاقی اتفاق می‌افتد. این امر باعث ایجاد خسارت به ابنیه مجاور و از همه مهم‌تر تغییر مورفولوژی رودخانه می‌شود. یکی از عوامل مهم و تاثیرگذار در الگوی رسوب در تلاقی رودخانه‌ها، بار زنده یا آورد رسوب می‌باشد که تاکنون کمتر مورد بررسی قرار گرفته است. در این تحقیق، ابتدا با آنالیز ابعادی پارامترهای بی‌بعد موثر استخراج شده و سپس با ساخت و طراحی مدل فیزیکی و دستگاه تزریق رسوب، تاثیر آورد رسوب در شاخه اصلی بر الگوی رسوب در محل تلاقی رودخانه‌ها مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور، با برقراری شرایط خاص هیدرولیکی به منظور ایجاد بار زنده، تاثیر عواملی چون نسبت دبی شاخه فرعی به دبی کل جریان ( $Q_2$ )، عدد فرود ذره پایین دست تلاقی ( $F_g$ ) و نسبت آورد رسوب شاخه اصلی به دبی جریان شاخه اصلی ( $Q_2/Q_1$ ) بر حداکثر عمق آبشستگی ( $D_s$ ) در یک تلاقی ۶۰ درجه مورد بررسی قرار گرفت. در مجموع، تعداد ۵۴ آزمایش انجام شد. نتایج آزمایش‌های انجام شده نشان داد که با افزایش آورد رسوب بالادست، حداکثر عمق آبشستگی از صفر تا ۳۵ درصد کاهش می‌یابد و توپوگرافی بستر نیز کاملاً دچار تغییر می‌شود. در نهایت نیز رابطه‌ای برای پیش بینی حداکثر عمق آبشستگی در شرایط بار زنده ارائه و آنالیز حساسیت آن نیز انجام شد.

واژه‌های کلیدی: آورد رسوب، تلاقی رودخانه‌ها، توپوگرافی بستر، حداکثر عمق آبشستگی، دستگاه تزریق رسوب.

<sup>۱</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد سازه‌های آبی، دانشگاه شهید چمران اهواز، ایران. Behnam\_1988@yahoo.com

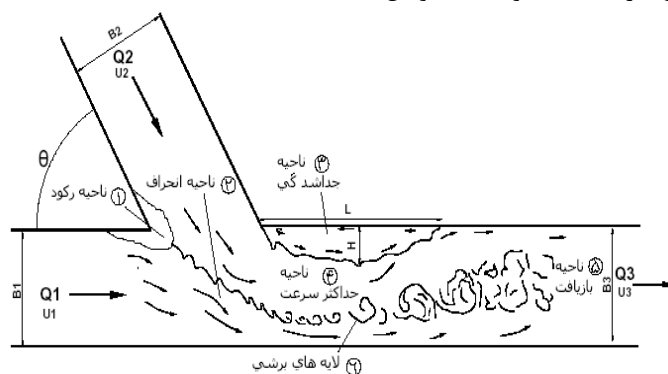
<sup>۲</sup> استاد، گروه سازه‌های آبی، دانشگاه شهید چمران اهواز، ایران. m\_shafai@yahoo.com



## مقدمه

متعددی بستگی دارد. 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 می شود که به تدریج ایجاد مئاندر و جابجایی موقعیت سه شاخه را به همراه دارد. ضمن این که وجود جریان گردابی مشکلات فراوانی را برای سازه های آبی اطراف ایجاد می کند. از این رو، در سال های اخیر مطالعات آزمایشگاهی و صحرایی برای شناخت بیشتر الگوی جریان و وضعیت فرسایش در محل تلاقی انجام شده است.

محل تلاقی به محدوده ای گفته می شود که جریان آب دو رودخانه در آنجا بهم می پیوندد. دینامیک جریان در محل تلاقی رودخانه ها را می توان به صورت شماتیک مطابق شکل (۱) نشان داد. 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 لایه های برشی قابل تشخیص می باشد (بست، ۱۹۸۷). موقعیت و ابعاد هندسی نواحی ۱ و ۳ و همچنین شرایط جریان در ناحیه ۲ و ۴ به عوامل



شکل (۱): الگوی جریان در محل تلاقی کانال های روباز

آبشستگی به شدت و تا ۱۸۰ درجه به آهستگی افزایش می یابد. از طرفی، با افزایش بار رسوب بستر کانال های بالادست تلاقی، عمق آبشستگی کاهش می یابد. نامبرده نشان داد بیشترین عمق آبشستگی زمانی اتفاق می افتد که دبی کانال های بالادست تلاقی یکسان باشد. انتقال رسوب و رابطه آن با مورفولوژی بستر در محل تلاقی رودخانه ها با استفاده از نتایج فلوم آزمایشگاهی و اندازه گیری صحرایی توسط بست (۱۹۸۸) مورد بررسی قرار گرفته است. بست نشان داد که با افزایش زاویه اتصال حداکثر عمق آبشستگی افزایش می یابد.

روی (۱۹۸۸) به منظور بررسی تغییر اندازه کانال در محل اتصال رودخانه ها با بستر درشت دانه، اندازه گیری هایی بر روی ۳۰ محل اتصال در یک حوضه آبریز انجام دادند. داده های اندازه گیری شده توسط آن ها همراه با داده های جمع آوری شده از تحقیقات قبلی نشان داد که ظرفیت کلی کانال (سطح مقطع عبور جریان) در پایین دست بیشتر اتصال ها کاهش می یابد که دلیل آن را ناشی از افزایش سرعت جریان در محل اتصال دانستند.

از جمله مطالعات آزمایشگاهی انجام شده بر روی خصوصیات جریان می توان به مطالعات وبر و گرتید (۱۹۶۶)، مودی و همکاران (۱۹۸۱)، بست و راید (۱۹۸۴)، رامامورتی و همکاران (۱۹۸۸)، هاگر (۱۹۸۹)، گورام و همکاران (۱۹۹۷)، سو و همکاران (آب، ۱۹۹۸)، وبر و همکاران (۲۰۰۱) و برقی و همکاران (۱۳۸۱) اشاره نمود. این مطالعات بدون حضور رسوب انجام شده است. استفاده از مدل های ریاضی سه بعدی برای شبیه سازی جریان در محل تلاقی کانال های صلب نیز مورد توجه قرار گرفته است که از آن جمله می توان به مطالعات ویراکون (۱۹۹۱)، بردبروک و همکاران (۲۰۰۱) و هوانگ و همکاران (۲۰۰۲) اشاره نمود. با وجود تحقیقات گسترده ای که در زمینه خصوصیات جریان در محل تلاقی رودخانه ها و کانال های روباز انجام شده است، تحقیقات در خصوص الگوی رسوب و فرسایش در محل تلاقی اندک می باشد. موسلی (۱۹۷۶) با آزمایش بر روی یک فلوم بسیار کوچک آزمایشگاهی به شکل Y به بررسی عوامل موثر بر حداکثر عمق فرسایش در محل تلاقی پرداخت. نتایج آزمایش های وی نشان داد که با افزایش زاویه اتصال از ۱۵ تا ۷۵ درجه عمق

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  $0/74$  حداکثر عمق فرسایش و تپه رسوبگذاری افزایش و همچنین با افزایش نسبت دبی حداکثر عمق فرسایش و تپه رسوبگذاری افزایش می‌یابد.

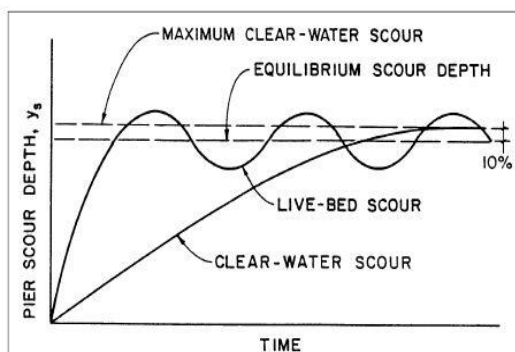
برقی و جباری (۲۰۱۰) به منظور بررسی فرسایش موضعی در تقاطع کانال‌ها و تاثیر متغیرهایی چون زاویه تلاقی، نسبت عرض کانال فرعی به اصلی، نسبت دبی کانال فرعی به دبی کل و نسبت سرعت متوسط پایین دست تلاقی به سرعت آستانه پایین دست آزمایش‌هایی را انجام دادند. آزمایش‌ها برای سه زاویه تلاقی مختلف  $50$ ،  $70$  و  $90$  درجه، دو نسبت عرض  $0/5$  و  $1$ ، سه نسبت دبی  $0/25$ ،  $0/5$  و  $0/8$  و دو نسبت سرعت  $0/5$  و  $0/8$  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.

تحقیقات اندکی نیز در زمینه رسوب با بستر متحرک انجام شده است که از آن جمله می‌توان به تحقیقات ملویل و چپو (۱۹۹۹) اشاره نمود. ایشان نشان دادند که حداکثر عمق آبشستگی در اطراف پایه پل در شرایط آب زلال  $10$  درصد بیشتر از عمق آبشستگی تعادلی در شرایط بستر متحرک است. شکل (۲) گسترش زمانی ارائه شده توسط ملویل و چپو در دو حالت بار زنده و آب زلال برای پایه پل می‌باشد. مطابق شکل، حداکثر عمق آبشستگی در حالت بار زنده، بعد از گذشت مدت زمانی به طور متناوب کاهش و افزایش می‌یابد.

برقی و نظری (۱۳۸۲) به منظور 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  $90$  درجه انجام دادند. پهنای کانال اصلی در این اتصال  $20$  سانتی‌متر و کانال فرعی دارای سه پهنای متفاوت  $10$ ،  $15$  و  $20$  سانتی‌متر بود. آزمایش‌ها برای سه نسبت دبی متفاوت  $0/25$ ،  $0/5$  و  $0/75$  میلی‌متر انجام شد. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که حداکثر عمق آبشستگی در ابتدای ناحیه جداسازی 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 رسوبگذاری در محل تلاقی رودخانه‌ها با استفاده از مدل فیزیکی پرداختند. نامبردگان با انجام  $73$  آزمایش تاثیر عواملی چون نسبت دبی کانال فرعی به دبی کل، نسبت پهنای کانال فرعی به کانال اصلی، زاویه اتصال و عدد فرود ذره در پایین دست اتصال بر روی فرسایش و رسوب گذاری را مورد بررسی قرار دادند. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که افزایش نسبت دبی، کاهش نسبت پهنای و افزایش زاویه اتصال باعث افزایش حداکثر عمق فرسایش بستر و ارتفاع نهایی تپه رسوب گذاری می‌شود. درحالی‌که افزایش عدد فرود ذره در پایاب باعث افزایش حداکثر عمق فرسایش بستر و کاهش ارتفاع تپه رسوب گذاری می‌شود.

شفافی بجزستان و همتی (۲۰۰۸) به منظور بررسی الگوی فرسایش در تلاقی رودخانه‌ها و تاثیر پارامترهایی چون نسبت اختلاف رقوم بستر دو کانال به عرض کانال اصلی، نسبت عرض کانال فرعی به کانال اصلی، نسبت دبی



شکل (۲): گسترش زمانی عمق آبشستگی در دو حالت بار زنده و آب زلال برای پایه پل (ملویل و چپو، ۱۹۹۹)

ثابت (۶۰ درجه)، عرض فلوم ثابت، اختلاف ارتفاع بین دو کف فلوم صفر، شعاع اتصال لبه پایین دست تلاقی ثابت و تیز گوشه می‌باشد. در نهایت، پس از ساده سازی پارامترهای بی بعد رابطه زیر حاصل می‌شود:

$$\frac{D_s}{B_3} = f_2\left(\frac{Q_2}{Q_3}, \frac{Q_b}{Q_1}, F_g\right) \quad (1)$$

که در آن:  $D_s$  حداکثر عمق آبستگي و

$$F_g = \frac{V_3}{\sqrt{g(G_s - 1)d_{50}}}$$

عدد فرود ذره پایاب

( $V_3$ ) سرعت جریان در پایین دست تلاقی و  $G_s$  چگالی ویژه ذرات رسوب برابر ۲/۶۵ می‌باشد. در مطالعاتی که تاکنون انجام شده است به دلیل سختی و پیچیدگی کار، شرایط به گونه‌ای در نظر گرفته شده بود که در کانال‌های بالادست تلاقی حرکت بار بستر صورت نگیرد. بنابراین، از تاثیر عبارت  $Q_b$  صرف نظر شد. در این تحقیق، با استفاده از دستگاه تزریق رسوب طراحی و کالیبره شده، تاثیر آورد رسوب شاخه اصلی ( $Q_b$ )، در شرایط مختلف هیدرولیکی بر روی حداکثر عمق آبستگي مورد بررسی قرار گرفت.

شکل (۳) شماتیک تجهیزات استفاده شده در آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه شهید چمران اهواز را نشان می‌دهد. طول کانال اصلی و فرعی به ترتیب نه و سه متر می‌باشد. پهنای کانال اصلی و فرعی ۲۶ سانتی متر در نظر گرفته شد. دبی کل ورودی به سیستم با استفاده از یک دستگاه دبی سنج با دقت ۰/۰۱ لیتر در ثانیه اندازه گیری شد. علاوه بر این، سرریز مثلی نصب شده در ابتدای کانال اصلی وظیفه اندازه گیری دبی ورودی به کانال را برعهده دارد. یک دریچه کشویی در انتهای کانال اصلی نصب شد که با باز یا بسته نمودن آن می‌توان عمق پایاب را تنظیم نمود.

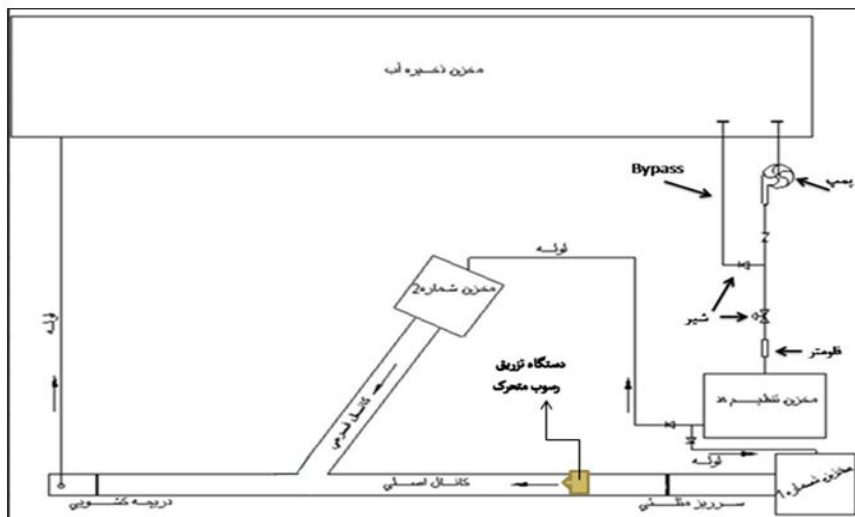
با توجه به بررسی منابع موجود و با توجه به این که تاثیر آورد رسوب بر الگوی رسوب در محل تلاقی رودخانه‌ها، تاکنون کمتر مورد توجه محققین قرار گرفته است، از این رو، در این تحقیق تاثیر این پارامتر بر مقدار فرسایش و رسوبگذاری مورد بررسی قرار گرفته است.

## مواد و روش‌ها

به منظور دستیابی به اهداف این تحقیق، ابتدا به شناخت پارامترهای فراوانی که بر حداکثر عمق فرسایش در محل تلاقی رودخانه‌ها موثر می‌باشند، اقدام نموده، این پارامترها عبارتند از:

۱- شرایط هیدرولیکی جریان شامل:  $Q_1$  دبی کانال اصلی در بالادست تلاقی،  $Q_2$  دبی کانل فرعی و  $Q_3$  دبی کانال اصلی در پایین دست تلاقی،  $Y_3$  عمق پایاب،  $g$  شتاب ثقل،  $\mu$  ویسکوزیته دینامیکی سیال،  $\rho$  جرم حجمی آب،  $\sigma$  نیروی کشش سطحی. ۲- خصوصیات هندسی شامل:  $B_1$  پهنای کانال اصلی در بالادست،  $B_2$  پهنای کانال فرعی،  $B_3$  پهنای کانال اصلی در پایین دست تلاقی،  $\theta$  زاویه اتصال،  $S_0$  شیب کف کانال در محل تلاقی و  $Z$  اختلاف رقوم بستر دو کانال و  $R$  شعاع اتصال لبه پایین دست. ۳- خصوصیات مربوط به رسوب شامل:  $Q_b$  بار بستر،  $d_{50}$  اندازه متوسط ذرات رسوبی،  $\rho_s$  جرم مخصوص ذرات رسوب،  $\sigma$  انحراف معیار هندسی،  $\varphi$  زاویه ایستایی را شامل می‌شود.

سپس، با تجزیه تحلیل و آنالیز ابعادی این پارامترها روابط کلی شامل پارامترهای بدون بعد استخراج شد. از آنجایی که در مدل کانال‌های باز ابعاد به گونه‌ای انتخاب می‌شوند که تاثیر نیروهای کششی سطحی و لزجت سیال بسیار کم است، بنابراین از تاثیر اعداد رینولدز و وبر صرف نظر شد. از طرفی، برای شرایط جریان زیر بحرانی نیز از تاثیر شیب کف بر عمق آبستگي موضعی و ارتفاع رسوبگذاری در محل تلاقی نیز چشم پوشی شد (گورام و همکاران ۱۹۹۷). همچنین، در این تحقیق زاویه تلاقی



شکل (۳): شماتیک تجهیزات استفاده شده در آزمایشگاه

انجام شد. موقعیت مناسب طوری انتخاب شد که اولاً شرایط بار زنده برای تمام آزمایش‌ها برقرار باشد و ثانیاً رسوبات قبل از رسیدن به محل تلاقی ترسیب نشوند.

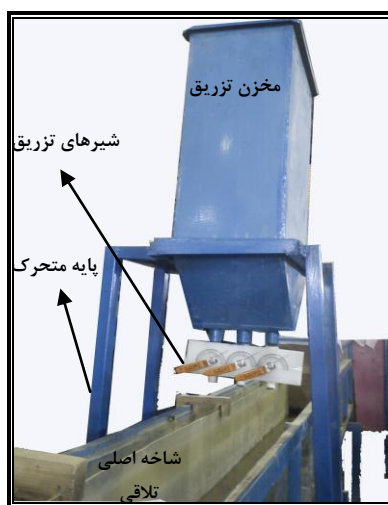
۲) متحرک ساختن دستگاه تزریق رسوب در راستای عرضی فلوم؛ بگونه‌ای که با حرکت رفت و برگشتی متناوب پایه در طول زمان آزمایش، باعث تزریق یکنواخت‌تر در تمام عرض فلوم می‌شود.

۳) ثابت نگه داشتن ارتفاع رسوبات درون مخزن با اضافه نمودن رسوب در هنگام آزمایش. با این کار از تغییرات احتمالی سرعت ریزش رسوبات و یا میزان رسوب تزریقی جلوگیری به عمل آمد.

۱) کالیبره و درجه بندی نمودن شیرهای تزریق رسوب.

شکل (۴) دستگاه تزریق رسوب طراحی شده را نشان می‌دهد. این دستگاه از سه قسمت کلی: مخزن، پایه و شیرها تشکیل شده است. برای افزایش دقت و یکنواختی تزریق رسوب اقدامات زیر صورت گرفته است:

۱) متحرک ساختن دستگاه تزریق رسوب در راستای طولی فلوم؛ بگونه‌ای که با حرکت طولی پایه قبل از شروع آزمایش مکان مناسب دستگاه تزریق رسوب تخمین زده شود. هدف این است که تزریق رسوب از یک موقعیت مشخص و ثابتی در بالادست شاخه اصلی شروع گردد. با توجه به شرایط هیدرولیکی متفاوت منظور شده در این تحقیق که باعث تغییر سرعت جریان و میزان حرکت رسوبات می‌شود، آزمایش‌های متعددی به صورت آزمون و خطا برای تخمین مکان مناسب دستگاه تزریق رسوب،

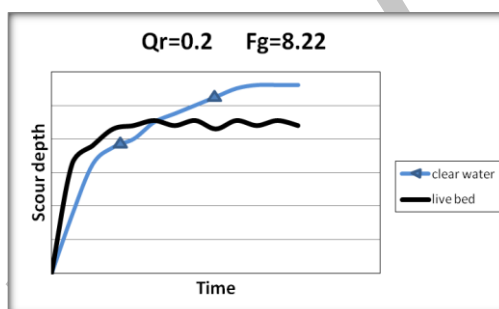


شکل (۴): دستگاه تزریق رسوب طراحی شده

فرسایش بستر در یک شبکه ۲/۵ در ۲/۵ سانتی متری در راستای طولی و عرضی کانال برداشت شده است. در این تحقیق، برای بررسی تاثیرات آورد رسوب در محل تلاقی تعداد ۵۴ آزمایش انجام شد که از این تعداد ۱۴ آزمایش به صورت آزمون و خطا برای افزایش دقت آزمایش‌ها و ۴۰ آزمایش اصلی نیز انجام شد. برای ایجاد شرایط بار زنده چهار نوع مصالح رسوبی متفاوت مورد آزمایش قرار گرفت که در نهایت مصالح رسوبی با  $d_{50}=0.6$  میلی‌متر انتخاب شد. جدول (۱) دامنه تغییرات پارامترهای مورد استفاده در این تحقیق را نشان می‌دهد.

جدول (۱): دامنه‌ی تغییرات پارامترهای بکار رفته در این تحقیق

پارامتر	محدوده تغییرات
نسبت دبی ( $Q_r$ )	۰/۱ ، ۰/۲ ، ۰/۳
نسبت آورد رسوب ( $Q_b/Q_1$ )	۰ تا ۰/۰۰۰۶۵
عدد فرود ذره ( $F_g$ )	۸/۲۲ ، ۶/۷۹ ، ۵/۷۸ ، ۵/۰۴



شکل (۵): گسترش زمانی آبستگی در شرایط آب زلال و بستر متحرک در تحقیق حاضر

آبستگی بعد از گذشت مدت زمانی به طور متناوب کاهش و افزایش می‌یابد. هرچه این تناوب یکنواخت‌تر باشد، نشان دهنده یکنواختی و دقت بالای تزریق رسوب می‌باشد. همان‌گونه که در شکل مشاهده می‌شود، این تناوب‌ها یکنواخت می‌باشند و با تعریف ملویل و چپو (۱۹۹۹)، در شکل (۲) نیز تطابق کامل را دارد.

تاثیر پارامترهای ذکر شده در جدول (۱) بر حداکثر عمق آبستگی بررسی شده است که در زیر نتایج آن ارائه شده است:

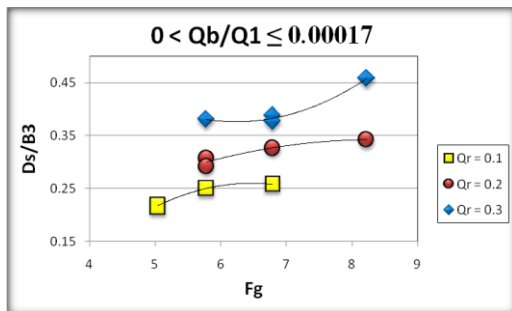
شکل (۶-الف) و (۶-ب) به ترتیب تغییرات  $D_3/B_3$  در مقابل عدد فرود ذره پایاب در حالت‌های بدون تزریق ( $Q_b/Q_3=0$ ) و  $0 < Q_b/Q_3 \leq 0.00017$  برای سه نسبت دبی را نشان می‌دهد (برای حالت‌های  $0.00017 < Q_b/Q_3 \leq 0.0003$  و  $Q_b/Q_3 > 0.0003$  نیز روند مشابه می‌باشد). همان‌گونه که

برای انجام آزمایش‌ها، پس از چندین آزمایش سعی و خطا، در نهایت ۱۳/۵ سانتی‌متر رسوب با اندازه ذره مورد نظر در کف فلوم‌ها ریخته شد. پس از آن فلوم با دبی دو لیتر در ثانیه به آهستگی پر شد که در این حال دریاچه انتهایی فلوم اصلی بسته می‌باشد. نهایتاً با بازکردن شیرهای کنترل دبی و دریاچه انتهایی، نسبت دبی مورد نظر و عدد فرود مطلوب قابل حصول می‌باشد. زمان اتمام آزمایش موقعی است که شرایط تعادل و یکسانی برای فرسایش ایجاد شده باشد. این زمان برای شرایط خاص هر آزمایش یکسان و در کل دو ساعت می‌باشد. پس از اتمام هر آزمایش فلوم به آهستگی تخلیه می‌شود و پروفیل

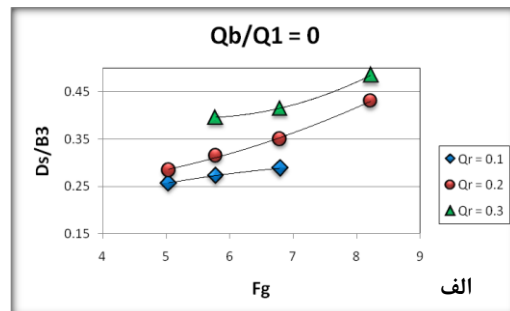
## نتایج و بحث

شکل (۵) گسترش زمانی حداکثر عمق آبستگی در شرایط آب زلال و بستر متحرک برای دو آزمایش با نسبت دبی ۰/۲ و عدد فرود ذره ۸/۲۲ را در تحقیق حاضر نشان می‌دهد. آبستگی در حالت بستر متحرک زمانی رخ می‌دهد که جریان از بالادست حاوی رسوب باشد. در این حالت، تنش برشی از تنش برشی بحرانی بیشتر است و نسبت سرعت متوسط به سرعت آستانه حرکت بزرگتر از یک می‌باشد. همچنین، حداکثر عمق آبستگی در حالتی رخ می‌دهد که سرعت برابر با سرعت آستانه حرکت باشد و در یک بازه زمانی، مقدار ذرات شسته شده از چاله آبستگی برابر با مقدار ذراتی باشد که از بالادست به چاله اضافه می‌شوند. به همین دلیل در شکل (۵) مشاهده می‌شود که در حالت بستر متحرک، حداکثر عمق

بعد از تلاقی می‌باشد. در نتیجه، سرعت جریان کانال‌های بالادست محل تلاقی و همچنین سرعت چرخش گرداب‌های ایجاد شده در محل تلاقی افزایش می‌یابد.



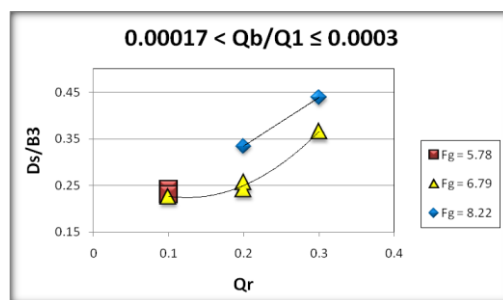
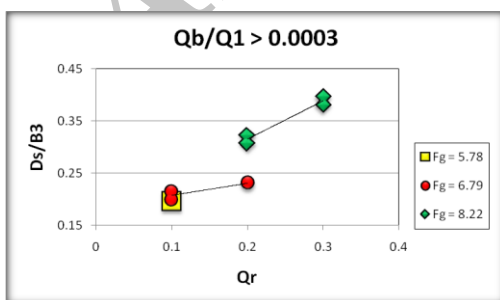
ملاحظه می‌شود با افزایش عدد فرود ذره پایاب و ثابت در نظر گرفتن نسبت دبی، حداکثر عمق فرسایش بستر افزایش می‌یابد. بدیهی است یکی از روش‌های افزایش عدد فرود ذره پایاب، کاهش عمق آب پایاب و یا افزایش سرعت



شکل (۶): تغییرات  $D_s/B_3$  در مقابل  $F_g$  برای  
الف)  $Q_b/Q_1=0$  و ب)  $0 < Q_b/Q_3 \leq 0.00017$

می‌باشد. در تمام آزمایش‌ها سعی شد این محدوده به چهار یا پنج دبی تزریق رسوب تقسیم شود. شکل (۷-الف) و (۷-ب) به ترتیب تغییرات  $D_s/B_3$  در مقابل نسبت دبی در حالت‌های  $0.00017 < Q_b/Q_3 \leq 0.0003$  و  $Q_b/Q_3 > 0.0003$  برای اعداد فرود ذره پایاب مختلف نشان می‌دهد. (این روند برای حالت‌های  $Q_b/Q_3=0$  و  $0 < Q_b/Q_3 \leq 0.00017$  مشابه می‌باشد). همان‌گونه که از شکل‌ها مشخص می‌باشد، با افزایش نسبت دبی و با ثابت در نظر گرفتن عدد فرود ذره پایاب، حداکثر عمق فرسایش بستر نیز - در تمام نسبت‌های آورد رسوب- افزایش می‌یابد.

به همین دلیل، هنگام ورود جریان به محل تلاقی، فرسایش بیشتری مشاهده می‌شود. علت به صورت بازه در نظر گرفتن نسبت  $Q_b/Q_3$  در شکل‌ها عبارتند از:  
(۱) سخت بودن دستیابی به یک عدد دقیق تزریق یکسان با رعایت یکنواختی تزریق در شرایط مختلف هیدرولیکی.  
(۲) متفاوت بودن ظرفیت حمل رسوب و سرعت حرکت ذرات رسوبی در شرایط مختلف هیدرولیکی. محدوده تزریق رسوب تعریف شده برای هر آزمایش بین صفر تا حداکثر ظرفیت حمل رسوب به وسیله جریان



شکل (۷): تغییرات  $D_s/B_3$  در مقابل  $Q_r$  برای الف)  $0.00017 < Q_b/Q_3 \leq 0.0003$  و ب)  $Q_b/Q_3 > 0.0003$

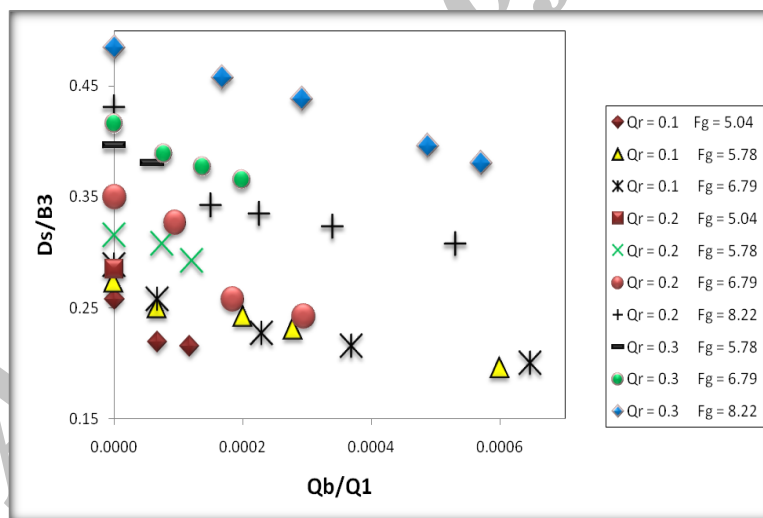
چرخش گرداب‌های ایجاد شده در محل اتصال و در نتیجه افزایش مومنتم در شاخه فرعی می‌باشد.

دلیل این امر ناشی از افزایش سرعت ورود جریان در شاخه فرعی به محل تلاقی و همچنین افزایش سرعت

قدرت حمل رسوب بیشتری پیدا می‌کند و به تبع آن آورد رسوب بیشتری امکان‌پذیر می‌شود. همچنین با استدلالی تقریباً مشابه، مشاهده می‌شود که حداکثر تقریبی تزریق رسوب با افزایش نسبت دبی و با فرض ثابت بودن عدد فرود ذره نیز افزایش می‌یابد.

همان‌گونه که در شکل (۸) مشاهده می‌شود برای یک نسبت آورد رسوب یکسان، هر چه مقدار نسبت دبی افزایش می‌یابد، روند افزایش نسبت  $D_s/B_3$  با افزایش عدد فرود ذره پایاب مشهودتر می‌باشد. به طور مثال، در آورد رسوب صفر اختلاف بین حداکثر عمق آبستستگی برای اعداد فرود ذره پایاب مختلف، در نسبت دبی  $0/1$  کمتر از نسبت دبی  $0/2$  می‌باشند. با افزایش نسبت دبی شاخه فرعی به دبی کل، به دلیل ثابت بودن دبی کل، در واقع دبی شاخه فرعی افزایش می‌یابد و در نتیجه قدرت جریان‌های گردابه‌ای در محل تلاقی بیشتر می‌شود. به همین دلیل تغییرات حداکثر عمق آبستستگی مشهودتر می‌باشد.

شکل (۸) تغییرات  $D_s/B_3$  را در برابر نسبت آورد رسوب برای تمام آزمایش‌ها را نشان می‌دهد. با توجه به شکل، به‌طور کلی با افزایش نسبت دبی رسوب به دبی شاخه اصلی و با فرض ثابت بودن نسبت دبی و عدد فرود ذره، نسبت  $D_s/B_3$  کاهش می‌یابد. دلیل این امر نیز این می‌باشد که با افزایش دبی رسوب تا حد ظرفیت حمل رسوب جریان، مقدار بار بستر متحرک افزایش پیدا می‌کند. با افزایش مقدار بار بستر متحرک چاله فرسایشی نیز بیشتر تحت تاثیر قرار گرفته و عمق آن کم می‌شود. مطابق شکل (۸)، حد تقریبی نسبت آورد رسوب یا به عبارت دیگر حداکثر تقریبی تزریق رسوب، با افزایش عدد فرود ذره پایاب و با فرض ثابت بودن نسبت دبی، افزایش می‌یابد. به‌طور مثال، برای نسبت دبی ثابت  $0/2$  در عدد فرود ذره پایاب  $5/78$ ،  $6/79$  و  $8/22$  حداکثر تقریبی آورد رسوب به ترتیب برابر  $0/00045$ ،  $0/00012$  و  $0/00053$  می‌باشد. این روند به این علت می‌باشد که با افزایش عدد فرود ذره پایاب سرعت جریان و در نتیجه تنش برشی بستر افزایش می‌یابد. با افزایش تنش برشی بستر، جریان



شکل (۸): تغییرات  $D_s/B_3$  در برابر  $Q_b/Q_1$  برای تمام نسبت‌های دبی و اعداد فرود ذره

حالت تزریق رسوب با نسبت آورد رسوب  $10^{-5} * 7/4$  مقدار  $D_s/B_3$  برابر  $0/308$  می‌باشد. که مقایسه این مقادیر،  $2/4$  درصد کاهش حداکثر عمق آبستستگی در حالت بدون تزریق رسوب نسبت به حالت با تزریق را نشان می‌دهد. تخمین دقیق حداکثر ظرفیت حمل رسوب به‌وسیله جریان عملاً امکان‌پذیر نمی‌باشد، اما سعی شده است که آخرین تزریق انجام شده، نزدیک به حداکثر

جدول (۲) مقایسه نتایج آزمایشات در دو حالت با و بدون تزریق رسوب، برای نسبت دبی  $0/2$  می‌باشد. همان‌گونه که در جدول فوق مشاهده می‌شود، در تمامی اعداد فرود ذره پایاب و تزریق‌های مختلف رسوب، حداکثر عمق آبستستگی نسبت به حالت بدون آورد رسوب کاهش می‌یابد. بطور مثال، برای عدد فرود ذره پایاب  $5/78$ ، مقدار  $D_s/B_3$  در حالت بدون تزریق رسوب برابر  $0/315$  و در



حداکثر آورد رسوب شاخه اصلی تلاقی رودخانه‌ها، مقدار حداکثر عمق آبستنگی نسبت به حالت حداقل آورد رسوب، ۳۵ درصد کاهش می‌یابد.

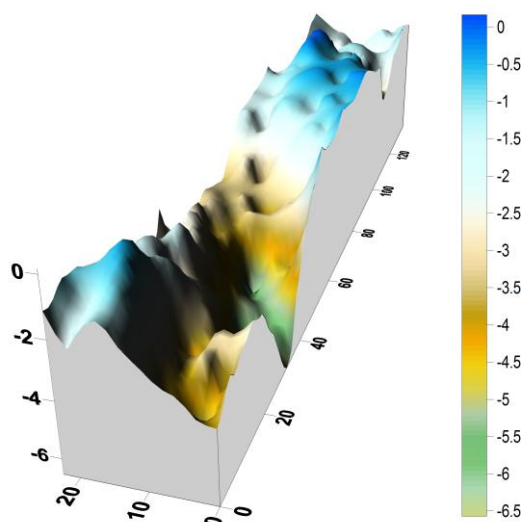
ظرفیت حمل رسوب جریان باشد. بنابراین، با توجه به درصدهای کاهش حداکثر عمق آبستنگی و با توجه به مقدار تزریق‌های انجام شده، محدوده تقریبی این کاهش بین صفر تا ۳۵ درصد می‌باشد. به عبارت دیگر، در شرایط

جدول (۲): مقایسه حداکثر عمق آبستنگی در حالت با و بدون تزریق رسوب برای نسبت دبی ۰/۲

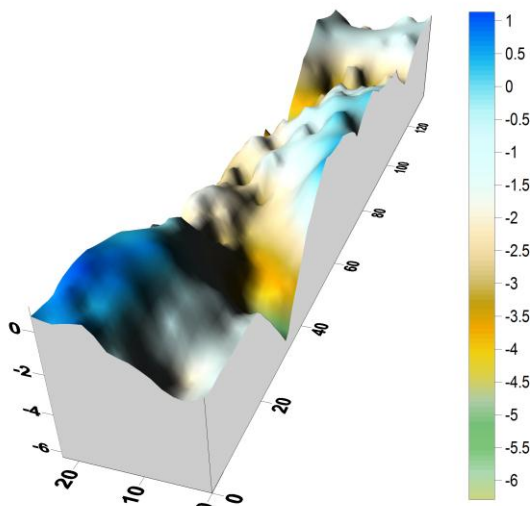
$D_3/B_3$				
درصد کاهش حداکثر عمق آبستنگی	با تزریق	بدون تزریق	$(Q_b/Q_1)*10^5$	$F_g$
۲/۴	۰/۳۰۸	۰/۳۱۵	۷/۴	۵/۷۸
۷/۳	۰/۳۹۲		۱۲/۱	
۶/۶	۰/۳۲۷		۹/۴	
۲۶/۴	۰/۳۵۸	۰/۳۵	۱۸/۳	۶/۷۹
۳۰/۸	۰/۳۴۲		۲۹/۴	
۳۴/۱	۰/۳۳۱		۴۴/۶	
۲۰/۵	۰/۳۴۲		۱۵	
۲۲/۳	۰/۳۳۵	۰/۴۳۱	۲۲/۵	۸/۲۲
۲۵	۰/۳۲۳		۳۳/۹	
۲۸/۶	۰/۳۰۸		۵۳	

محل تلاقی تشکیل نمی‌شود. هنگامی سرعت جریان بیش از سرعت آستانه حرکت رسوبات بستر می‌شود که ذرات بسیار ریزدانه باشند و سرعت جریان و تنش برشی بستر نیز زیاد باشد. به همین دلیل، مواد رسوبی بستر به صورت موج‌هایی کوچک به سمت پایین دست در حرکت می‌باشند، که این موج‌های کوچک و متناوب در شکل‌ها مشخص می‌باشند.

شکل (۹) و (۱۰) به ترتیب توپوگرافی‌های بستر را برای  $Q_b/Q_1$  برابر صفر و ۰.۰۰۰۰۰۶۷، در شرایط  $F_g=5.04$  و  $Q_1=0.1$  را نشان می‌دهند. در این شکل‌ها، کاهش حداکثر عمق آبستنگی در محل تلاقی با افزایش مقدار آورد رسوب به وضوح مشخص می‌باشد. همچنین، به دلیل ایجاد شرایطی در شاخه اصلی که سرعت جریان بیش از سرعت آستانه حرکت رسوبات بستر باشد، هیچ‌گونه تپه رسوبی در



شکل (۹): توپوگرافی بستر در محل تلاقی برای  $Q_b/Q_1=0$



شکل (۱۰): توپوگرافی بستر در محل تلاقی برای  $Q_b/Q_1=0.000067$

شکل (۱۱) مقادیر مشاهده شده حداکثر عمق آبشستگی در مقابل مقادیر محاسبه شده از رابطه (۲) با خطوط سطح اطمینان ۹۵ درصد را نشان می‌دهد. همان‌گونه که از شکل مشخص می‌باشد، تمامی داده‌ها در محدوده خطوط ۹۵ درصد اطمینان قرار دارند که نشان‌دهنده دقت بالای رابطه استخراج شده می‌باشد.

#### آنالیز حساسیت رابطه استخراج شده

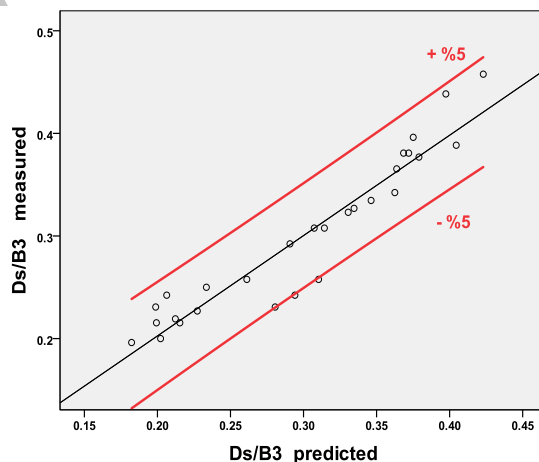
آنالیز حساسیت، درجه حساسیت یک مدل را به پارامترهای ورودی آن نشان می‌دهد. این روش تأثیرپذیری مدل و شرایط واقعی را از داده‌های ورودی مورد بررسی قرار می‌دهد.

#### رابطه حداکثر عمق نسبی فرسایش بستر در محل تلاقی

به منظور بررسی اثر متقابل نسبت دبی، عدد فرود ذره پایاب و نسبت آورد رسوب بر روی حداکثر عمق آبشستگی و ارائه یک رابطه ریاضی برای پیش‌بینی این مقادیر، از رگرسیون گیری چند متغیره غیرخطی نرم افزار SPSS18 (PASW Statistics) استفاده شد که نهایتاً رابطه (۲) با ضریب همبستگی ۰/۹ استخراج شد:

$$\frac{D_s}{B_3} = 0.06 \left( \frac{Q_b}{Q_1} \right)^{-0.113} (F_g)^{0.696} (Q_r)^{0.413} \quad (2)$$

که در آن، پارامترهای آن پیشتر معرفی شده است.



شکل (۱۱): رابطه بین نسبت بی بعد حداکثر عمق آبشستگی مشاهده شده و محاسبه شده از رابطه (۲)

جدول (۳): مقادیر شاخص حساسیت بر حسب درصد و شماره هر پارامتر

پارامتر	شماره پارامتر	S (+50%)	S (-50%)
Qr	۱	۰/۲۶۸	-۰/۳۶۷
Fg	۲	۰/۴۷۹	-۰/۵۴۶
Qb/Q1	۳	-۰/۰۶۷	۰/۱۱۹
a	۴	۰/۷۳۶	-۰/۷۳۷
b	۵	۰/۹۱۴	-۰/۵۶۴
c	۶	۱/۳۹۵	۰/۷۱۵
d	۷	-۰/۴۳۹	۰/۶۴۱

(C)، افزایش توان نسبت آورد رسوب (b)، افزایش ضریب a، کاهش توان نسبت دبی (d)، افزایش عدد فرود ذره پایاب، افزایش نسبت دبی و کاهش نسبت آورد رسوب می‌باشد. همان‌گونه که مشخص می‌باشد، از میان نسبت‌های بی‌بعد معرفی شده، عدد فرود ذره پایاب دارای بیشترین حساسیت و تاثیر می‌باشد و اندازه گیری آن باید با دقت بیشتری صورت پذیرد.

#### مقایسه نتایج با پژوهش‌های قبلی

همان‌گونه که پیشتر اشاره شد تاکنون مطالعه جامعی پیرامون شرایط بار زنده در محل تلاقی رودخانه‌ها انجام نشده است و برخی از روابطی که با فرض در نظر نگرفتن بار زنده ارائه شده‌اند نیز، برای حالت خاصی می‌باشند که امکان مقایسه کمی با آن‌ها منطقی به نظر نمی‌آید. با توجه به شرایط پژوهش حاضر، تنها منبعی که امکان مقایسه نتایج با آن امکان پذیر می‌باشد، مطالعه قبادیان و شفافی بجزستان (۲۰۰۷) است. شکل (۱۲) مقایسه نتایج تحقیق حاضر با تحقیق قبادیان و شفافی بجزستان (۲۰۰۷) می‌باشد که تغییرات حداکثر عمق آبشستگی در مقابل عدد فرود ذره پایاب (حساس‌ترین پارامتر در تلاقی رودخانه‌ها) را نشان می‌دهد. در تحقیق قبادیان و شفافی بجزستان (۲۰۰۷)، زاویه تلاقی ۹۰ درجه و  $d_{50}=1.05$  mm می‌باشد. و شرایط بار زنده نیز در آن در نظر گرفته نشده است. در تحقیق حاضر با  $d_{50}=0.6$  mm سه منحنی برای آورد رسوب صفر، ۰/۰۰۰۱۷ و ۰/۰۰۰۰۶ رسم شده است. در حالت بدون تزریق، به علت برقراری شرایط بار زنده در این تحقیق، حداکثر عمق آبشستگی بیشتر از نتایج تحقیق قبادیان و شفافی بجزستان (۲۰۰۷) می‌باشد. اما همان‌طور که در شکل ملاحظه می‌شود، با افزایش مقدار آورد رسوب در تحقیق حاضر، حداکثر عمق

اگر تغییرات یکی از پارامترهای ورودی تاثیر زیادی بر داده‌های خروجی مدل داشته باشد، می‌توان چنین استنباط کرد که آن پارامتر تاثیر فراوانی بر نتایج مدل دارد و در نتیجه باید آن پارامتر را با دقت بیشتری اندازه‌گیری نمود. برای این که بتوان حساسیت پارامترهای رابطه ارائه شده برای محاسبه حداکثر عمق آبشستگی در تلاقی رودخانه‌ها را بدست آورد، از روش آنالیز حساسیت استفاده شد. در این روش با تغییر دادن مقدار یک پارامتر در محدوده +50% و -50% مقدار واقعی آن، در حالی که مقادیر بقیه پارامترها ثابت می‌باشند. مقدار خروجی برای دو مقدار تغییر یافته از فرمول محاسبه و شاخص حساسیت پارامتر تغییر یافته از رابطه (۴) محاسبه می‌شود و به همین ترتیب برای سایر پارامترهای رابطه (۳) نیز این روش اجرا شده است.

$$\frac{D_s}{B_3} = a \left( \frac{Q_b}{Q_1} \right)^b (F_g)^c (Q_r)^d \quad (3)$$

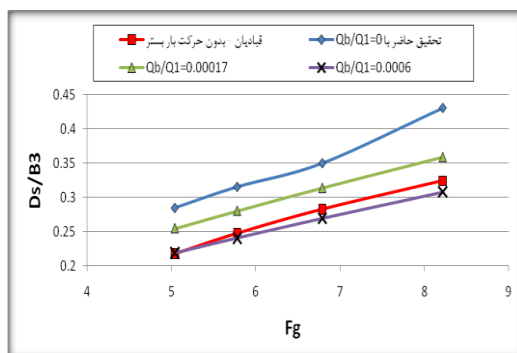
$$S = \frac{100 \sum_{i=1}^N \frac{(X_{ni} - X_{ci})}{X_{ci}}}{\Delta} \quad (4)$$

که در آن: N: تعداد نمونه‌ها،  $X_{ni}$ : مقدار جدید پارامتر خروجی نقطه نام با تغییر در پارامتر ورودی،  $X_{ci}$ : مقدار جدید پارامتر خروجی نقطه نام به عنوان کنترل در شبیه سازی (مشاهده‌ای)،  $\Delta$ : مقدار قدر مطلق تغییر در پارامتر ورودی که بر حسب درصد بیان می‌شود و S: شاخص حساسیت بر حسب درصد می‌باشد.

همان‌طور که از جدول (۳) مشاهده می‌شود بیشترین تاثیر به ترتیب مربوط به افزایش توان عدد فرود ذره پایاب

توضیح داده شد.

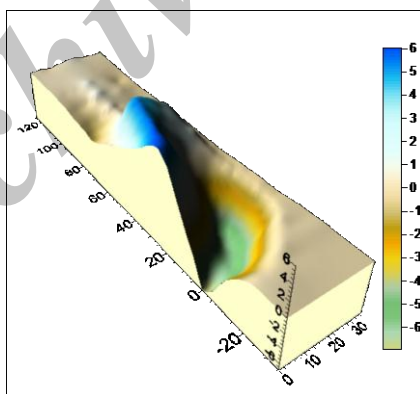
آبشستگی به مرور کوچکتر می شود که علت این امر پیشتر



شکل (۱۲): مقایسه نتایج تحقیق حاضر با تحقیق قبادیان و شفاعی بجستان (۲۰۰۷) در خصوص رابطه عمق آبشستگی با عدد فرود ذره پایاب

قبادیان در حالت  $Q_r=0.66$ ،  $F_g=2.19$ ،  $d_{50}=1.05$  میلیمتر و با حذف عامل بار زنده می باشد. همان گونه که از شکل (۱۳) ملاحظه می شود، برعکس شکل (۹) و (۱۰)، تپه رسوبی در پایین دست تلاقی کاملاً ایجاد شده است و توپوگرافی بستر در اطراف تلاقی فرسایش کمتری یافته است. این تغییرات مشاهده شده، از نظر احداث و نگهداری ابنیه و سازه های اطراف محل تلاقی رودخانه ها و هم از نظر کشتیرانی حائز اهمیت هستند و نشان دهنده اهمیت و ارزش پژوهش حاضر می باشد.

همان گونه که از توپوگرافی های ایجاد شده در این تحقیق (شکل ۹ و ۱۰) مشاهده شد، به دلیل ایجاد شرایط بار زنده، رسوبات بستر به صورت موج هایی متناوب به سمت پایین دست در حال حرکت می باشند و در پایین دست تلاقی تپه رسوبی به هیچ وجه تشکیل نمی شود. این مشاهدات در حالی است که در تمام تحقیقات گذشته با حذف عامل بار زنده، توپوگرافی ایجاد شده متفاوت با توپوگرافی مشاهده شده تحقیق حاضر می باشد. شکل (۱۳) توپوگرافی ایجاد شده در تحقیقات



شکل (۱۳): توپوگرافی ایجاد شده از نتایج تحقیق قبادیان و شفاعی بجستان (۲۰۰۷)، در شرایط  $Q_r=0.66$ ،  $F_g=2.19$

می یابد. با پر و خالی شدن متناوب چاله فرسایشی به وسیله آورد رسوب بالادست، حداکثر عمق فرسایش نهایی نسبت به شرایط بدون بار زنده کاهش می یابد.

- با افزایش نسبت دبی شاخه فرعی به دبی کل و با ثابت در نظر گرفتن عدد فرود ذره پایاب، حداکثر عمق فرسایش بستر در اعداد مختلف نسبت آورد رسوب افزایش می یابد. همچنین، با افزایش عدد فرود ذره پایاب و ثابت

### نتیجه گیری

در این تحقیق، با انجام ۵۴ آزمایش به بررسی پارامتر مهم آورد رسوب در محل تلاقی رودخانه ها در شرایط بار زنده پرداخته شد. با تجزیه و تحلیل داده های آزمایشگاهی نتایج زیر حاصل شد:

- در حالت بستر متحرک، حداکثر عمق آبشستگی بعد از گذشت مدت زمانی به طور متناوب کاهش و افزایش

- توپوگرافی بستر ایجاد شده در شرایط بار زنده، در مقایسه با شرایط بدون بار زنده کاملا متفاوت می‌باشد. و تپه رسوبی نیز تشکیل نمی‌شود.
- علاوه بر نتایج فوق، با استفاده از رگرسیون‌گیری غیرخطی چند متغیره، رابطه‌ای جهت محاسبه حداکثر عمق آبشستگی ارائه گردید. که با انجام آنالیز حساسیت این رابطه، مشخص گردید که عدد فرود ذره پایاب حساسیت و تاثیر بیشتری نسبت به سایر پارامترها دارد.

### تشکر و قدردانی

این تحقیق با حمایت مالی از محل پژوهانه نویسنده دوم انجام شده است و نویسندگان از معاونت پژوهشی دانشگاه شهید چمران اهواز تشکر و قدردانی می‌نمایند.

در نظر گرفتن نسبت دبی‌ها، حداکثر عمق فرسایش بستر نیز در اعداد مختلف نسبت آورد رسوب افزایش می‌یابد.

- به طور کلی، با افزایش نسبت دبی رسوب به دبی شاخه اصلی، نسبت  $D_s/B_3$  کاهش می‌یابد. برای یک نسبت آورد رسوب یکسان، هرچه مقدار نسبت دبی شاخه فرعی به دبی کل افزایش می‌یابد، روند افزایش نسبت  $D_s/B_3$  با افزایش عدد فرود ذره پایاب مشهودتر می‌باشد. به طورمثال، در آورد رسوب صفر اختلاف بین حداکثر عمق آبشستگی برای اعداد فرود ذره پایاب مختلف، در نسبت دبی  $0/1$  کمتر از نسبت دبی  $0/2$  می‌باشند.

- حد تقریبی نسبت آورد رسوب یا به عبارت دیگر حداکثر تقریبی تزریق رسوب با افزایش عدد فرود ذره پایاب و همچنین افزایش نسبت دبی، افزایش می‌یابد.
- در شرایط حداکثر آورد رسوب شاخه اصلی تلاقی رودخانه‌ها، مقدار حداکثر عمق آبشستگی نسبت به حالت حداقل آورد رسوب (بدون تزریق)، ۳۵ درصد کاهش می‌یابد.

### منابع

۱. برقی س.م.، س.م.، سخائی فر و ع. دائمی. ۱۳۸۱. بررسی آزمایشگاهی اتصال کانال‌ها. مجموعه مقالات ششمین سمینار بین المللی مهندسی رودخانه. اهواز، صفحه ۶۱۱-۶۱۹.
۲. برقی س.م. و ا. نظری. ۱۳۸۲. بررسی آزمایشگاهی الگوی رسوب در تقاطع کانال‌ها. مجموع مقالات ششمین کنفرانس بین المللی مهندسی عمران. اصفهان، صفحه ۲۴۷-۲۵۵.
3. Best, J.L. 1988. Sediment transport and bed morphology at river channel confluences. *Sedimentology*, 35, 481-498.
4. Best, J.L. 1987. Flow dynamics at river channel confluences: Implications for sediment transport and bed morphology. *Recent Devel. In Fluvial Sedimentology, SEPM Spec. Publ.* 39, F.G. Etheridge, R.M. Floers and M.D. Harvey, eds., 27-35.
5. Best, J.L. and I. Reid. 1984. Separation zone at open channel junctions. *J. Hydr. Engrg., ASCE*, 100(11):1588-1594.
6. Borghai, S.M. and A. Sahebari Jabbari. 2010. Local scour at open channel junctions. *Journal of Hydraulic Research*, 48: 4:538-542.
7. Bradbrook, K.F., S.N. Lane, K.S. Richards, P.M. Biron and A.G. Roy. 2001. Role of bed discordance at asymmetrical river confluences. *J. Hydr. Engrg.* 127:351-368.
8. Ghobadian, R. and M. Shafai Bejestan. 2007. Investigation of sediment patterns at river confluence. *J. Applied Sci.*, 7(10):1372-1380.
9. Gurram, S.K., K.S. Karki and W.H. Hager. 1997. Subcritical junction flow. *J. Hydr. Engrg., ASCE*, 123(5):447-455.
10. Hager, W.H. 1989. Transition flow in channel junctions. *J. Hydr. Engrg., ASCE*, 115(2):243-259.
11. Hsu, C.C., F.S. Wu and W.J. Lee. 1998 a. Flow at 90 equal width open channel junction. *J. Hydr. Engrg., ASCE*, 124(2):186-191.
12. Hsu, C.C., Lee W.J. and C.H. Chang. 1998 b. Subcritical open channel junction flow. *J. Hydr. Engrg., ASCE*, 124(8):847-855.

13. Huang, J.L., L.J. Weber and G.L. Yong. 2002. Three Dimensional Numerical Study of Flows in Open Channel Junctions flow. J. Hydr. Engrg., ASCE, 128(3), 268-280.
14. Modi, P.N., P.D. Ariel and M.M. Dandekar. 1981. Conformal mapping for channel junction flow. J. Hydr. Engrg., 107(12), 1713-1733.
15. Mosley, M.P. 1976. An experimental study of channel confluences. J. Geol., 84,535-562.
16. Melville, B.W. and Y.M. Chiew. 1999. Time scale for local scour at bridge piers. J. Hydr. Engrg., ASCE, 125(1), 59-65.
17. Ramamurthy, A.S., L.B. Carballada and D.M. Tran. 1988 . Combining open channel flow at right angled junctions. J. Hydr. Engrg., ASCE, 114(12), 1449-1460.
18. Roy, G.A. and R. Roy. 1988. Changes in channel Size at river Confluences with coarse bed material. Earth surface processes and Land forms, 13, 77 – 84.
19. Shafai Bajestan, M. and M. Hemmati. 2008. Scour depth at river confluence of unequal bed level. Journal of Applied Sciences 8(9): 1766-1770.
20. Webber, N.B. and C.A. Greated. 1966. An investigation of flow behavior at the junction of rectangular channel. Proc., Instn. of Civ. Engrs., Vol. 34. Thomas telford Lte., London. 321-334.
21. Weber, L.J., E.D. Schumate and N. Mawer. 2001. Experimentals on flow at a 900 open channel Junction. J. Hydr. Engrg. ASCE, 127, 340 – 350.
22. Weerakoon, S.B., Y. Kawahara and N. Tamia. 1991. Three dimensional flow structure in channel confluences of rectangular section. Proc., 24th IAHR., 373-380.

## **Effect of sediment load from main canal on maximum scour depth at river confluence**

**Behnam balouchi<sup>1</sup>, Mahmood Shafai Bajestan<sup>2</sup>**

### **Abstract**

River confluence is an important element of river system. At this place, because of complex three dimensional flow structure, scour and sedimentation is occur which can damage the surrounding area, change river morphology and can be harmful to navigation. Many variables can effect the sedimentation pattern at river confluence such as bed load coming from the main channel which has not been studied in the past. Therefore it is the main goal of this study to experimentally investigated the effect of bed load. To do so first a general non dimensional relation was developed, then a sediment feeder was designed and calibrated. Afterwards, series of experimental tests were conducted in various hydraulic conditions and sediment discharge. The results indicate that increasing the amount of bed load sediment, reducing the maximum scour depth from up to 35 percent. Also it was observed that bed scour and sedimentation patterns can change when the bed load is presented. Finally, an equation was developed to predict the scour depth in terms of sediment load. The accuracy of the new is within 95 percent. The sensitivity analysis of this equation shows that it is more sensitive to Densimetric Froude. The new relation was compare with Ghobadian and Shafai Bajestan (2007).

**Keywords: Maximum scour depth, River confluence, Sediment feeder, Sediment load.**

<sup>1</sup> M.Sc Student, Dept. of Hydraulic Structures, University of Shahid Chamran, Ahwaz; behnamm\_1988@yahoo.com

<sup>2</sup> Professor, Dept. of Hydraulic Structures, University of Shahid Chamran, Ahwaz; m\_shafai@yahoo.com