

روی حداکثر عمق فرسایش بستر (Ds) برای شرایط جریان زیر بحرانی در یک تلاقی ۹۰ درجه مورد بررسی قرار گرفت. در مجموع تعداد ۵۵ آزمایش با به کار بردن سه اندازه مختلف رسوب و تغییر دادن عرض جریان و شرایط هیدرولیکی مختلف انجام گردید. نتایج آزمایش‌های انجام شده نشان داد که افزایش نسبت دبی، افزایش عدد فرود ذره در پایاب و کاهش نسبت پهنای شاخه فرعی به شاخه اصلی باعث افزایش حداکثر عمق فرسایش بستر در محل تلاقی می‌شود. میزان حداکثر فرسایش بیشتر به عدد فرود ذره بستگی نشان داد تا به سایر پارامترها رابطه‌ای نیز برای پیش‌بینی عمق آبهستگی ارایه شده است.

واژه‌های کلیدی: تلاقی رودخانه، فرسایش بستر، نسبت دبی، عدد فرود ذره، نسبت پهنای

#### مقدمه

فرسایش بستر در محل تلاقی و تشکیل تپه رسوبگذاری (point bar) در پائین‌دست آن ارتباط مستقیم به پویایی جریان از جمله تغییرات عمق و سرعت جریان و همچنین ابعاد ناحیه جداسازی در این محل دارند. پویایی جریان در محل تلاقی رودخانه‌ها را می‌توان مطابق شکل (۱) نشان داد:

پیش‌بینی حداکثر عمق فرسایش بستر  
در محل تلاقی رودخانه‌ها

رسول قبادیان<sup>۱</sup> و محمود شفاعی بجنستان<sup>۲</sup>

#### چکیده

محل تلاقی رودخانه از اجزاء مهم مورفولوژیکی در سامانه‌های رودخانه‌ای می‌باشد که به عنوان ناحیه‌ای با اغتشاش بالا و حرکت سه بعدی 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 بالاخره رسوبگذاری در پائین‌دست محل تلاقی اتفاق می‌افتد. این امر باعث ایجاد خسارت به ابنیه مجاور و از همه مهمتر تغییر ریخت‌شناسی رودخانه می‌شود. از این رو شناخت ساز و کار فرسایش و رسوبگذاری در این مکان ضروری است. در مطالعه حاضر به خاطر پیچیدگی مسئله و شرایط سه بعدی حاکم بر جریان و رسوب، شناخت پدیده فرسایش و رسوبگذاری در محل تلاقی رودخانه با استفاده از مدل فیزیکی مطالعه شده است. برای این منظور ابتدا با شناخت کلیه پارامترهای حاکم رابطه کلی بی بعدی که در آن برای اولین بار از عدد فرود ذره استفاده شده است استخراج گردید. سپس با ساخت مدل آزمایشگاهی تاثیر عواملی چون نسبت دبی شاخه فرعی به دبی کل جریان ( $Q_r$ )، نسبت پهنای شاخه فرعی به شاخه اصلی ( $B_r$ ) و همچنین عدد فرود ذره در کانال پایین‌دست تلاقی ( $F_g$ ) بر

۱- عضو هیئت علمی دانشگاه رازی کرمانشاه و دانشجوی دکتری سازه های آبی دانشکده علوم آب دانشگاه شهید چمران [r\\_ghobadian@Razi.ac.ir](mailto:r_ghobadian@Razi.ac.ir)

۲- استاد گروه سازه های آبی دانشکده علوم آب دانشگاه شهید چمران [m\\_shafai@yahoo.com](mailto:m_shafai@yahoo.com)



شکل (۱) - الگوی جریان در محل تلاقی کانال‌های روباز

تلاقی کانال‌های صلب مورد توجه قرار گرفته است که از آن جمله می‌توان به مطالعات Weerakoon و همکاران [۲۷]، Bradbrook و همکاران [۱۱] و Huang و همکاران [۱۶] اشاره نمود. اخیراً شبیه‌سازی سه‌بعدی جریان در محل تلاقی مستطیلی ۹۰ درجه برای شرایط جریان بدون سطح آزاد مورد بررسی قرار گرفته است [۲۱]. با وجود پژوهش‌های نسبتاً گسترده‌ای که در زمینه خصوصیات جریان در محل تلاقی رودخانه‌ها و کانال‌های روباز انجام شده است پژوهش‌های صورت گرفته در خصوص فرسایش بستر و تپه رسوبی (bar) ایجاد شده در محل مذکور انگشت‌شمار می‌باشد که از آن جمله می‌توان به موارد ذیل اشاره نمود: Mosley (1976) [۱۹] به منظور محاسبه عمق فرسایش بستر در محل تلاقی رودخانه‌ها و عوامل تاثیرگذار بر آن دو سری آزمایش بر روی تلاقی متقارن (شکل Y) بسیار کوچک در آزمایشگاه انجام داد.

در آزمایش‌های سری اول دبی کانال‌های فرعی بالادست تلاقی و بار رسوبی آنها ثابت و به ترتیب برابر ۱۲۵ سانتی‌متر مکعب بر ثانیه و ۵۵ گرم در دقیقه در نظر گرفته شد. زاویه اتصال کانال‌های فرعی از ۱۵ تا ۱۸۰ درجه تغییر داده شد. نتایج آزمایشات نشان داد که با افزایش زاویه اتصال از ۱۵ تا ۷۵ درجه، عمق آبستگي به شدت افزایش یافته و سپس تا ۱۸۰ درجه به آهستگی افزایش می‌یابد.

در سری دوم آزمایشات، زاویه اتصال برابر ۶۰ درجه در نظر گرفته شد. این سری از آزمایشات در سه گروه انجام شد. در گروه اول پهنای کانال‌های فرعی نیز ثابت و برابر ۶ سانتی‌متر

در محدوده تلاقی شش ناحیه مختلف شامل: (۱) ناحیه رکود (۲) ناحیه انحراف جریان (۳) ناحیه جدا شدگی (۴) ناحیه حداکثر سرعت (۵) ناحیه باز یافت جریان و (۶) ناحیه لایه‌های برشی قابل تشخیص می‌باشد [۵]. توسعه مناطق ۱ و ۳ باعث حجیم‌تر شدن مصالح رسوبی انباشته شده و افزایش سرعت در منطقه ۴ باعث عمیق‌تر شدن چاله فرسایشی و فرسایش شدید سواحل می‌شود که به تدریج ایجاد مئاندر و جابجایی موقعیت سه شاخه را به همراه دارد ضمن اینکه وجود جریان گردابی مشکلات فراوانی را برای کشتیرانی ایجاد می‌کند. از اینرو در سال‌های اخیر مطالعات آزمایشگاهی و صحرایی، البته به طور محدود، برای شناخت بیشتر الگوی جریان و وضعیت فرسایش و رسوب‌گذاری در محل تلاقی انجام شده است.

از جمله مطالعات آزمایشگاهی که بر روی خصوصیات جریان در محل تلاقی انجام شده است می‌توان به مطالعات Taylor [۲۴]، Anwar [۴]، Webber و Greated [۲۵]، Lin و Soong [۱۷]، Modi و همکاران [۱۸]، Best و Reid [۷]، Ramamurthy و همکاران [۲۰]، Hsu و همکاران [۱۳]، Gurram و همکاران [۱۲]، Weber، همکاران [۲۶] و برقی و همکاران [۱] اشاره نمود این مطالعات بر روی تلاقی با بستر صلب و بدون حضور رسوب انجام شده است. Biron و همکاران [۱۰] الگوی مکانی توپوگرافی سطح آب را در محل تلاقی رودخانه برای شرایط صحرایی مورد بررسی قرار داده‌اند. استفاده از مدل‌های ریاضی سه‌بعدی نیز برای شبیه‌سازی جریان در محل

بستر استفاده شده است. بست نشان داد 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. رابطه زیر توسط بست برای محاسبه عمق آبشستگی نسبی ارایه شده است.

$$R_{DS} = -4.252 + 1.589 \ln \theta \quad r = 0.77 \quad (2)$$

که در آن  $\theta$  زاویه اتصال دو کانال بر حسب درجه و  $R_{DS}$  عمق نسبی فرسایش در محل تلاقی می‌باشد که به صورت نسبت حداکثر عمق فرسایش به متوسط عمق جریان در کانال‌های بالادست تلاقی تعریف می‌شود. Ashmore و Parker [۳] با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری صحرایی و نتایج آزمایشگاهی بر روی مدل رودخانه‌های شریانی با بستر درشت‌دانه، نشان دادند که زاویه اتصال دو شاخه جریان، عمده‌ترین تاثیر را روی عمق نسبی فرسایش دارد و رابطه زیر را برای محاسبه عمق نسبی فرسایش در محدوده زاویه بین ۳۰ تا ۹۰ درجه ارایه نمودند.

$$R_{DS} = 2.235 + 0.0308\theta \quad (3)$$

متغیرهای این رابطه همانند رابطه (۲) می‌باشند.

Roy و Roy [۲۲] به منظور بررسی تغییر اندازه کانال در محل اتصال رودخانه‌ها با بستر درشت‌دانه، اندازه‌گیری‌هایی بر روی ۳۰ اتصال در یک حوزه آبخیز انجام دادند. داده‌های اندازه‌گیری شده توسط آنها همراه با داده‌های جمع‌آوری شده از نتایج دیگران، نشان داد که ظرفیت کلی کانال (سطح مقطع عبور جریان) در پایین‌دست بیشتر اتصال‌ها کاهش می‌یابد که دلیل آن را ناشی از افزایش سرعت جریان در محل اتصال دانستند.

Biron و همکاران [۸] با اندازه‌گیری‌های صحرایی، ریخت‌شناسی بستر و توزیع اندازه ذرات رسوب را در یک اتصال با زاویه ۶۵ درجه مورد بررسی قرار دادند. در این اتصال رودخانه‌های بالادست دارای پهنای یکسان ۸ متر بودند و اختلاف ارتفاع ۰/۶ متری بین بستر کانال‌های اصلی و فرعی وجود داشت. نتایج آنها نشان داد که ریخت‌شناسی محل اتصال به طور قابل ملاحظه‌ای در طی دوره نمونه‌برداری تغییر می‌کند ولی در همه مواقع ناحیه آبشستگی قابل ملاحظه‌ای

اختیار شد. بنابراین تنها اثر دو متغیر یعنی دبی جریان و بار رسوبی کانال‌های بالادست تلاقی بر حداکثر عمق آبشستگی مورد توجه قرار گرفت. با استفاده از نتایج آزمایشات رابطه زیر ارایه شد:

$$SD = 2.72 - .0018(Q_2 - Q_1) - .00002(Q_{SED1} + Q_{SED2})^2 \quad (1)$$

که در این رابطه  $SD$  = حداکثر عمق آبشستگی بر حسب سانتیمتر،  $Q$  = دبی کانال فرعی بر حسب سانتی متر مکعب بر ثانیه و  $Q_{SED}$  = بار رسوب کانال فرعی بر حسب گرم در دقیقه می‌باشد. زیرنویسهای (۱) و (۲) برای کانال‌های فرعی بالادست تلاقی است. رابطه فوق نشان می‌دهد که حداکثر عمق آبشستگی به دبی کل رسوبی بستگی دارد نه به اختلاف بار رسوبی. علاوه بر این حداکثر آبشستگی زمانی اتفاق می‌افتد که دبی کانال‌های فرعی مساوی باشد.

در دسته دوم آزمایشات این سری، دبی کانال‌های فرعی برابر ۱۲۵ سانتی متر مکعب بر ثانیه در نظر گرفته و بار کل رسوبی از ۵۵ تا ۲۲۰ گرم در دقیقه تغییر داده شد. در این حالت هیچ ارتباطی بین حداکثر عمق آبشستگی و نسبت بار رسوبی کانال‌ها دیده نشد. همچنین معلوم گردید که عمق آبشستگی بار کل رسوب ارتباط دارد به گونه‌ای که با افزایش بار کل رسوب، حداکثر عمق آبشستگی کاهش می‌یابد.

در گروه سوم آزمایشها، بار رسوبی برای هر یک از کانال‌های فرعی مقدار ثابت ۵۵ گرم در دقیقه انتخاب شد. اختلاف دبی ( $Q_2 - Q_1$ ) و پهنای کانال به عنوان متغیر در نظر گرفته شد. نتایج آزمایشات نشان داد که پهنای کانال‌های فرعی اثر اندکی روی حداکثر عمق آبشستگی دارند در حالیکه اختلاف دبی تاثیر قابل ملاحظه‌ای دارد. همچنین حداکثر عمق آبشستگی زمانی اتفاق می‌افتد که دبی کانال‌های فرعی مساوی باشد.

انتقال رسوب و رابطه آن با ریخت‌شناسی بستر در محل تلاقی رودخانه‌ها با استفاده از نتایج فلوم آزمایشگاهی و اندازه‌گیری صحرایی توسط بست [۶] مورد بررسی قرار گرفته است. در فلوم آزمایشگاهی هر دو کانال اصلی و فرعی دارای پهنای ۱۵ سانتی متر می‌باشند که با زاویه ۴۵، ۷۵، ۹۰ و ۱۰۵ درجه به همدیگر متصل می‌شوند. در این آزمایشات از کوارتز خوب دانه‌بندی شده با  $d_{50} = 0.49$  میلی‌متر به عنوان مواد

روی یک اتصال ۹۰ درجه انجام دادند. پهنای کانال اصلی در این اتصال ۲۰ سانتی‌متر و کانال فرعی دارای سه پهنای متفاوت ۱۰، ۱۵ و ۲۰ سانتی‌متر بود. آزمایشات برای دو نسبت دبی متفاوت ۰/۲۵ و ۰/۵ و سه قطر متوسط مصالح بستر یعنی ۰/۲۵، ۰/۵ و ۰/۷۵ میلی‌متر انجام شد. نتایج آزمایشات نشان داد که حداکثر عمق آبشستگی در ابتدای ناحیه جداشدگی جریان اتفاق می‌افتد. همچنین حداکثر عمق آبشستگی با کاهش قطر متوسط مصالح بستر، کاهش نسبت دبی و همچنین کاهش عرض شاخه فرعی افزایش می‌یابد.

بررسی منابع موجود نشان می‌دهد که مطالعات کمی مسئله فرسایش و رسوبگذاری در محل تلاقی رودخانه‌ها کمتر مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است و هر پژوهش در این موضوع قدمی جدید به حساب می‌آید. بنابراین لازم است پژوهش‌های کمی و سیعتری در این زمینه با در نظر گرفتن پارامترهای تأثیرگذار بیشتر و در مقیاس بزرگتر انجام شود.

#### مواد و روش‌ها

به منظور دستیابی به اهداف این مطالعه با توجه به اینکه متغیرهای زیادی بر حداکثر عمق فرسایش بستر ( $D_S$ ) تاثیر دارند بنابراین ابتدا با شناخت این متغیرها و تجزیه و تحلیل ابعادی، رابطه کلی شامل پارامترهای بدون بعد استخراج گردید. این رابطه عبارت است از:

$$\frac{D_S}{B_3} = f\left(\frac{Q_2}{Q_3}, \frac{B_2}{B_3}, \theta, S, S_0, F_{g3}, R_{e3}, W_{e3}, \frac{\Delta Z}{B_2}\right) \quad (4)$$

که در آن  $D_S$  حداکثر عمق فرسایش مواد بستر،  $B$  پهنای کانال،  $Q$  دبی جریان،  $S$  شیب کف در محل اتصال،  $\theta$  زاویه اتصال،  $F_{g3} = \frac{V_3}{\sqrt{g(G_S - 1)d_{50}}}$  عدد فرود ذره ( $V$  سرعت جریان،  $d_{50}$  اندازه متوسط مصالح بستر،  $G_S$  چگالی ویژه مصالح بستر برابر ۲/۶۵)،  $R_e$  عدد رینولدز جریان،  $W_e$  عدد وبر و  $\Delta Z$  اختلاف رقوم کف کانال اصلی و فرعی می‌باشد. زیرنویسهای ۲ و ۳ به ترتیب مربوط به کانال اصلی بالادست، کانال فرعی بالادست و کانال اصلی در پایین دست تلاقی می‌باشد.

مشاهده نگردید. این پژوهشگران بیان کردند که ریخت‌شناسی بستر در اتصالات هم‌کف با اتصالات غیرهم‌کف متفاوت است. همچنین توزیع مکانی اندازه ذرات مواد بستر در محل اتصال توسط سه ناحیه منحصر بفرد مشخص شد. این سه ناحیه عبارتند از: (۱) گوشه بالادست اتصال (ناحیه رکود جریان) که اندازه ذرات در آنجا عموماً ریزتر است (۲) ناحیه حداکثر عمق (محل چاله فرسایشی) که دارای رسوبات به طور نسبی درشت‌تر است و (۳) تپه رسوبی در پائین دست گوشه اتصال که دارای ذرات ریزتر است.

اندازه‌گیری مولفه‌های دوبعدی سرعت در محل اتصال دو رودخانه کوچک کاسکاسکیا و کوپر در ایلینویس آمریکا که توسط Rhoads و همکاران [۲۳] انجام شد نشان داد که ساختار جریان در رقوم‌های پایین سطح آب، تحت تاثیر نسبت مومنتم کانال فرعی (رودخانه کوپر) به مومنتم کانال اصلی (رودخانه کاسکاسکیا)، دبی کل و ریخت‌شناسی بستر قرار می‌گیرد. نامبرندگان اندازه‌گیری‌های خود را در سه موقعیت زمانی مختلف در شرایط هیدرولیکی متفاوت انجام دادند. نتیجه اندازه‌گیریها نشان دادند که جریان هنگام ورود به محل تلاقی شتاب می‌گرفت. این شتاب ناشی از کاهش ظرفیت رودخانه اصلی در اثر وجود یک تپه رسوبی (bar) بزرگ در مجاورت خاکریز داخلی رودخانه می‌باشد.

رودز و کنورتی همچنین نشان دادند در اثر وجود این تپه رسوبی، بردارهای جریان به طرف مرکز چاله فرسایشی منحرف می‌شود و ناحیه چرخشی جریان در روی تپه رسوبی یا در پنجه آن ایجاد می‌شود. مکان هندسی ناحیه حداکثر سرعت و جداشدگی جریان با نسبت مومنتم و دبی کل تغییر می‌کند. در صورت وجود نسبت مومنتم بزرگتر از یک، جریان‌های ثانویه در کانال پائین دست اتصال توسط یک سلول حلزونی بزرگ مشخص می‌شود. در حالی که برای نسبت مومنتم کوچکتر از یک، سلول‌های چرخشی ضعیف در نزدیک سطح آب و دو طرف مرز اختلاط ایجاد می‌شود.

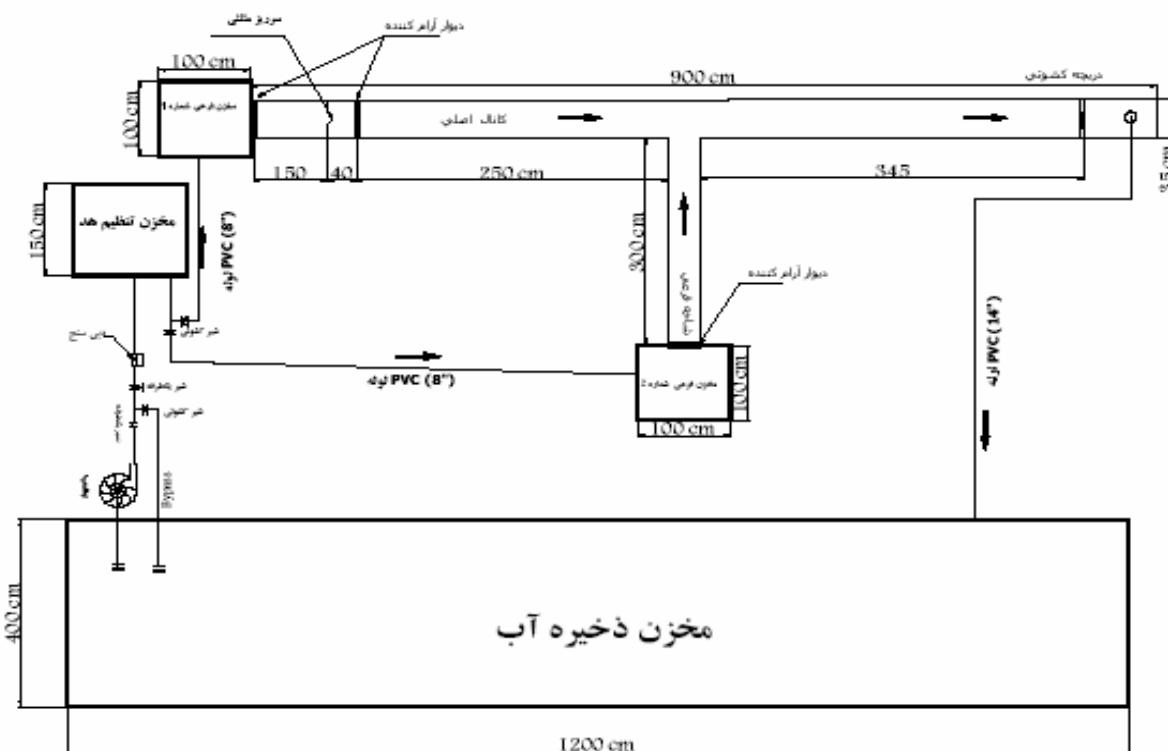
برقی و نظری [۲] به منظور بررسی الگوی رسوب‌گذاری و فرسایش بستر در تقاطع کانال‌ها و اثر متغیرهایی چون قطر متوسط مصالح بستر، نسبت عرض کانال فرعی به اصلی و نسبت دبی کانال فرعی به دبی کل بر این الگو آزمایش‌هایی را

نیز مورد بررسی قرار نگرفته است که در این صورت رابطه (۴) بصورت زیر خلاصه می‌شود:

$$\frac{D_s}{B_3} = f\left(\frac{Q_2}{Q_3}, \frac{B_2}{B_3}, F_{g_3}\right) \quad (5)$$

با تغییر هر کدام از پارامترهای داخل کمان تاثیر آن بر حداکثر عمق آبستنگی موضعی در محل تلاقی مشخص می‌شود. به منظور بررسی تغییرات این پارامترها لازم است آزمایشهایی انجام شود و شکل ریاضی فرمول به دست آید. تجهیزات استفاده شده برای انجام آزمایشات مورد نیاز در شکل (۲) ارائه شده است.

مطالعات Gurrani و همکاران [۱۲] نشان داد در شرایط جریان زیر بحرانی شیب کف در محل تلاقی تاثیر قابل ملاحظه‌ای روی الگوی جریان در محل تلاقی ندارد. لذا در این مطالعه از اثر شیب کف صرف نظر شده است. ابعاد فوم ساخته شده و شرایط جریان به گونه‌ای است که اعداد رینولدز و وبر از حد مجاز بیشتر است بنابراین در این مطالعه از اثر آنها نیز صرف نظر شده است. از طرفی مطالعات این پژوهش بر روی تلاقی ۹۰ درجه با بسترهای هم‌کف انجام شده است بنابراین اثر زاویه تلاقی و اختلاف رقوم کف بستر



شکل (۲) - تجهیزات آزمایشگاهی مورد استفاده

کانال اصلی نصب شده است که با باز یا بسته نمودن آن می‌توان عمق پایاب را تنظیم نمود به عبارتی عدد فرود ذره در پایاب را تغییر داد. به منظور تغییر عدد فرود ذره در پایاب لازم است که سرعت جریان پایاب ( $v_3$ ) یا اندازه متوسط مصالح بستر ( $d_{50}$ ) متغیر در نظر گرفته شود. با بالا و پائین بردن دریچه انتهای سرعت جریان و با تغییر مصالح بستر  $d_{50}$  تغییر داده می‌شود. دو دستگاه عمق‌سنج با دقت ۰/۱ میلی‌متر برای اندازه‌گیری رقوم سطح آب در بالادست سرریز مثالی و هم‌چنین رقوم سطح آب پایاب استفاده شده است. مخزن اصلی وظیفه تامین بار لازم را به عهده دارد. مخازن ثانویه در

طول کانال اصلی ۹ متر و کانال فرعی دارای طول ۳ متر می‌باشد. پهنای کانال اصلی ۳۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شده است. به منظور بررسی تاثیر نسبت پهنای عمق آبستنگی پهنای کانال فرعی ۱۵ و ۲۵ و ۳۵ سانتی‌متر اختیار شده است. کف و دیواره‌های کانال‌های اصلی و فرعی با شیشه ۱۰ و ۶ میلی‌متری پوشانده شده است. دبی کل ورودی به سامانه توسط یک دستگاه دبی‌سنج الکتریکی با دقت ۰/۰۱ لیتر بر ثانیه اندازه‌گیری می‌شود. علاوه بر این سرریز مثالی نصب شده در ابتدای کانال اصلی وظیفه اندازه‌گیری دبی ورودی به کانال اصلی را به عهده دارد. یک دریچه کشویی در انتهای

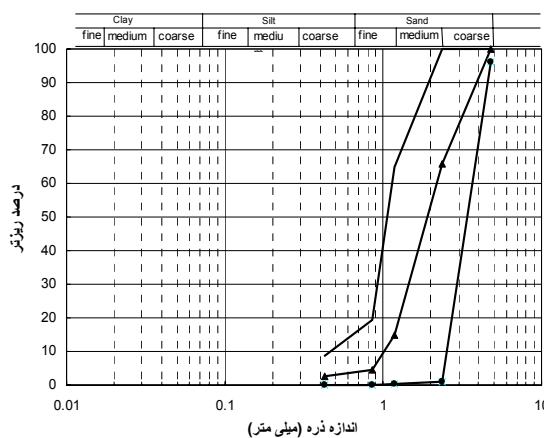
به منظور انجام هر آزمایش ابتدا ۱/۵ سانتی متر مصالح رسوبی با اندازه ذره مورد نظر در کف فلوم های اصلی و فرعی ریخته شد. پس از آن با دبی ۱ لیتر بر ثانیه فلوم به آهستگی پر گردید که در این حال دریچه انتهایی فلوم اصلی بسته می باشد. سرانجام با بازکردن شیرهای کنترل دبی و دریچه انتهایی، نسبت دبی مورد نظر و عمق پایاب مطلوب قابل دسترسی می باشد. زمان اتمام آزمایش موقعی است که شرایط تعادل برای فرسایش ایجاد شده باشد. این زمان برای شرایط خاص هر آزمایش، (نسبت دبی، عدد فرود ذره، نسبت پهنا و ...) متغیر می باشد و از حداقل ۱ ساعت تا حدود ۵ ساعت متفاوت می باشد. پس از اتمام هر آزمایش، فلوم به آهستگی تخلیه می شود و نیمرخ فرسایش و رسوب گذاری در محل تلاقی در یک شبکه ۲/۵ در ۲/۵ سانتی متری برداشت می گردد. لازم به ذکر است که شرایط آزمایش ها در این پژوهش به گونه ای در نظر گرفته شده است که هیچ گونه حرکت مواد بستر در کانال های بالادست تلاقی اتفاق نیفتاده است. به عبارتی فرسایش بستر در محل تلاقی به صورت موضعی می باشد.

### نتایج و بحث

پس از شروع آزمایش و برقراری جریان، در مجاورت گوشه پایینی اتصال و نقطه شروع ناحیه جداشدگی، گرداب هایی به وجود می آید، این گردابها باعث ایجاد یک چاله فرسایشی کوچک می شود که به مرور زمان از نظر عمق و پهنا ابعاد آن افزایش می یابد. مصالحی که از این چاله برداشت می شوند همراه گرداب های آب به سمت بالا یعنی سطح آب پرتاب می شوند (شکل ۴).

ابتدای کانال های اصلی و فرعی و همچنین صفحات آرام کننده در محل اتصال این مخازن به کانال های مذکور برای آرام نمودن جریان ورودی می باشد.

دو عدد شیر کشویی بر روی لوله های انتقال جریان به مخازن ثانویه نصب شده اند. وظیفه این شیرها تنظیم دبی ورودی به هر یک از کانال های اصلی و فرعی می باشد که نهایتاً به نسبت های دبی مورد نظر دسترسی حاصل شود. سه نوع مصالح به کار برده شده در این آزمایش ها دارای دانه بندی یکنواخت می باشند که در شکل (۳) منحنی دانه بندی آنها ترسیم شده است.



شکل (۳) - منحنی دانه بندی مصالح بستر بکار رفته

### در این پژوهش

همان گونه که در شکل (۳) نشان داده شده است سه نوع مصالح بستر استفاده شده در این پژوهش دارای اندازه متوسط ۱/۰۵، ۳/۴۱ و ۱/۹۵ میلی متر می باشند. جدول (۱) دامنه تغییرات پارامترهای به کار رفته در این مطالعه را نشان می دهد.

جدول ۱- دامنه تغییرات پارامترهای به کار رفته

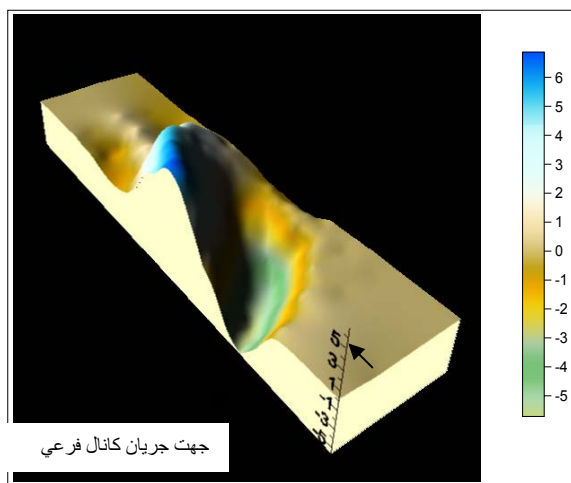
### در این مطالعه

پارامتر	محدوده تغییرات
نسبت پهنا ( $B_f$ )	۰/۴۲۸، ۰/۷۱۴ و ۰/۱
نسبت دبی ( $Q_f$ )	۰/۲، ۰/۳۳، ۰/۵، ۰/۶۶ و ۰/۸
عدد فرود ذره پایاب ( $F_g$ )	۵/۴۸-۱/۲۱

رسوبگذاری) مشاهده می‌شود. در مواردی که نسبت دبی و عدد فرود پایین دست مقادیر بزرگی را به خود اختصاص می‌دهند غالباً تپه رسوبگذاری دارای شیب طولی یکطرفه به طرف بالادست (ناحیه حداکثر آبشستگی) می‌باشد. اشکال (۵) تا (۷) نشان دهنده توضیحات فوق می‌باشد که در آنها اعداد مثبت و منفی نوشته شده بر روی مقیاس به ترتیب مقدار ارتفاع رسوبگذاری و عمق فرسایش را برحسب سانتی‌متر نشان می‌دهند.

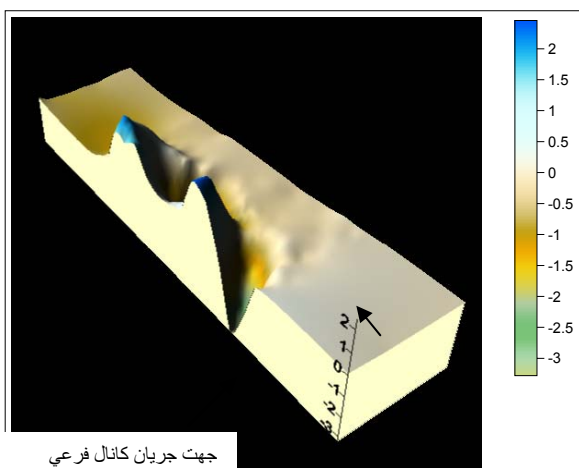


شکل (۴) - تعلیق ذرات کنده شده از چاله فرسایشی



شکل (۵) - الگوی فرسایش و رسوب برای

$$Q_r = 0.5, Br = 0.428, F_g = 1.79$$



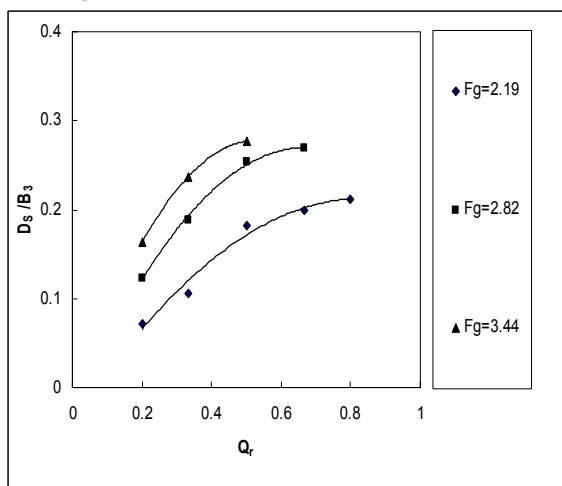
شکل (۶) - الگوی فرسایش و رسوب برای

$$Q_r = 0.2, Br = 0.428, F_g = 2.19$$

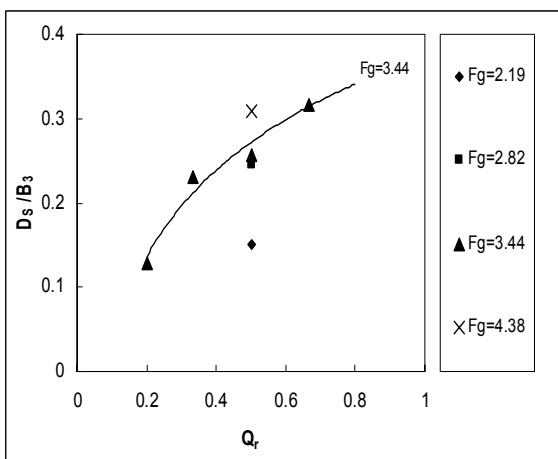
در شروع آزمایش زاویه پرتاب و شدت پرتاب خیلی زیادتر می‌باشد و حتی تعدادی از ذرات به نزدیک سطح آب هم می‌رسند. ذرات پرتاب شده توسط جریان عمومی به پائین دست حرکت کرده و ته‌نشین می‌شوند و یک تپه رسوبی در پایین دست محل اتصال ایجاد می‌نمایند.

تپه رسوبی (bar) ایجاد شده در پائین دست گوشه اتصال به مرور زمان بر ابعادهای افزوده شده و به سمت پایین دست کشیده می‌شود. در شروع آزمایش تپه ایجاد شده نوک تیز و باریک می‌باشد ولی به مرور پهن‌تر و وسیع‌تر می‌گردد. سرعت رشد و حرکت تپه رسوبی و همچنین شکل آن بستگی به نسبت دبی کانال فرعی به دبی کل ( $Q_r$ ) و عدد فرود ذره در پایاب ( $F_g$ ) دارد. به گونه‌ای که هرچه نسبت دبی زیادتر شود این تپه با سرعت بیشتری به پایین دست منتقل شده و سرانجام یک شکل گسترده به خود می‌گیرد برعکس در نسبت دبی‌های کم و همچنین اعداد فرود کوچک، تپه رسوب گذاری نوک تیز و سرعت حرکت آن کمتر می‌باشد.

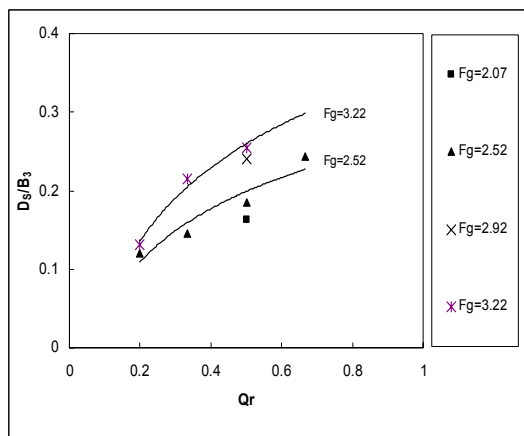
تپه رسوبی ایجاد شده معمولاً دارای شیب طولی و عرضی می‌باشد. شیب طولی آن به طرف ناحیه حداکثر آبشستگی تقریباً در تمام آزمایشات مشاهده گردید. در اغلب آزمایشات که نسبت دبی کانال فرعی به دبی کل کم است و همچنین عدد فرود پایین دست کوچک می‌باشد شیب طولی به طرف پیشانی ناحیه رسوبگذاری نیز مشاهده می‌گردد به عبارتی در این حالتها دو شیب طولی به طرف بالادست (محل حداکثر عمق آبشستگی بستر) و به طرف پایین دست (پیشانی تپه



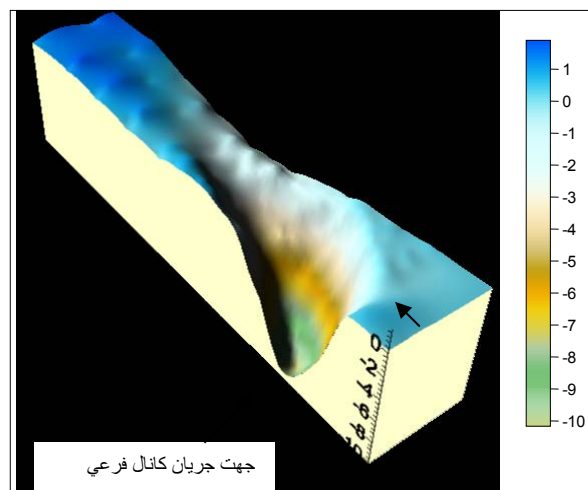
شکل (۹) - تغییرات حداکثر عمق نسبی فرسایش بستر در مقابل تغییرات نسبت دبی ( $B_r=0.71$ ,  $d_{50}=1.05m$ )



شکل (۱۰) - تغییرات حداکثر عمق نسبی فرسایش بستر در مقابل تغییرات نسبت دبی ( $B_r=1$ ,  $d_{50}=1.05mm$ )



شکل (۱۱) - تغییرات حداکثر عمق نسبی فرسایش بستر در مقابل تغییرات نسبت دبی ( $B_r=0.71$  و  $d_{50}=1.95mm$ )



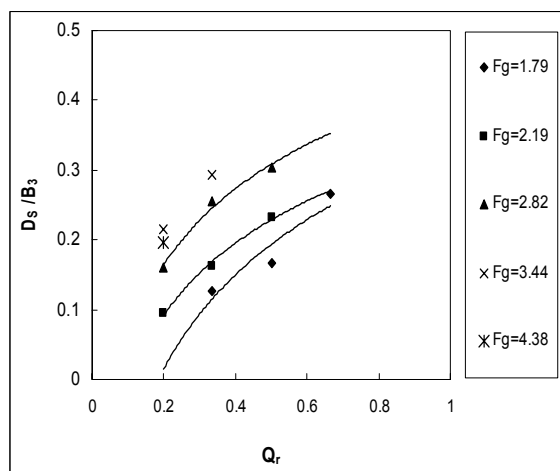
شکل (۷) - الگوی فرسایش و رسوب برای

$$Q_r = 0.33, B_r = 0.428, F_g = 3.43$$

تاثیر نسبت دبی ( $Q_r$ ) بر حداکثر عمق نسبی فرسایش

$$\left(\frac{D_s}{B_3}\right)_{\text{بستر}}$$

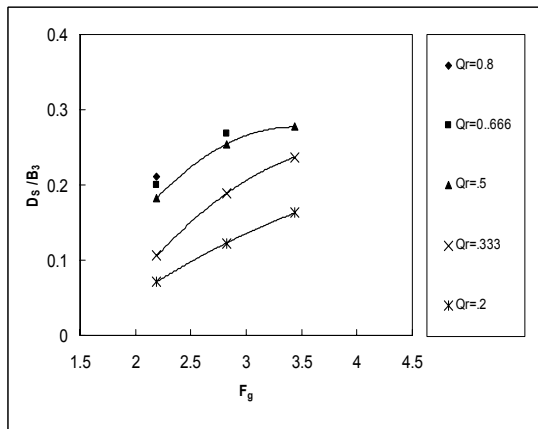
یکی از پارامترهای مهم تاثیرگذار بر حداکثر عمق فرسایش بستر در محل تلاقی، نسبت دبی شاخه فرعی به دبی کل می باشد. در این پژوهش اثر پنج نسبت دبی در نظر گرفته شده است. اشکال (۸) تا (۱۲) تاثیر نسبت دبی را بر حداکثر عمق فرسایش بستر تحت شرایط مختلف آزمایشی نشان می دهند. لازم به ذکر است در بعضی از آزمایشات حداکثر عمق فرسایش از ضخامت اولیه مصالح در بستر فلوم (۱/۵ سانتیمتر) بیشتر شده و چاله فرسایشی به کف فلوم می رسد. بنابراین نقاط مربوط به این آزمایشات از نمودارها حذف شده است.



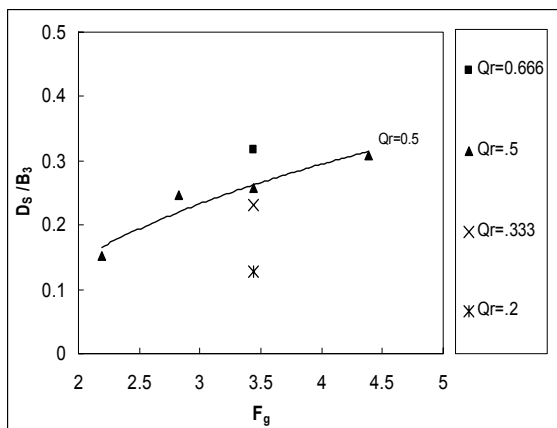
شکل (۸) - تغییرات حداکثر عمق نسبی فرسایش بستر در

مقابل تغییرات نسبت دبی ( $B_r=0.428$ ,  $d_{50}=1.05mm$ )

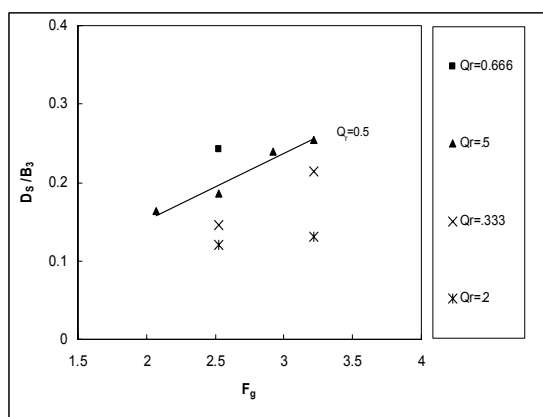




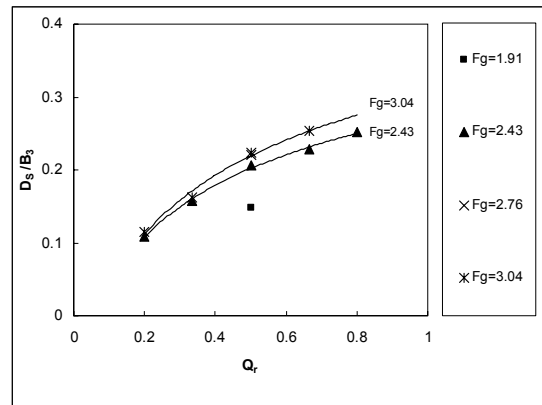
شکل (۱۴) - تغییرات حداکثر عمق نسبی فرسایش در مقابل تغییرات عدد فرود ذره در پایاب (Br=0.71 , d50=1.05mm)



شکل (۱۵) - تغییرات حداکثر عمق نسبی فرسایش در مقابل تغییرات عدد فرود ذره در پایاب (Br=1 , d50=1.05mm)



شکل (۱۶) - تغییرات حداکثر عمق نسبی فرسایش در مقابل تغییرات عدد فرود ذره در پایاب (Br=0.71 , d50=1.95mm)

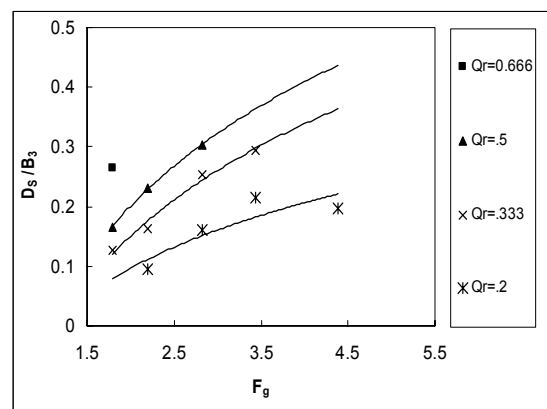


شکل (۱۷) - تغییرات حداکثر عمق نسبی فرسایش بستر در مقابل تغییرات نسبت دبی (Br=0.71 و d50=3.41mm)

اشکال فوق نشان می‌دهند صرفنظر از تاثیر عدد فرود ذره در پائین دست اتصال، نسبت پهنای کانال فرعی به پهنای کانال اصلی و اندازه ذره رسوب، با افزایش نسبت دبی شاخه فرعی به دبی کل مقدار حداکثر عمق چاله فرسایشی در بستر افزایش می‌یابد. دلیل این امر ناشی از افزایش مومنتم شاخه فرعی و سرانجام افزایش سرعت ورود جریان از کانال فرعی به محل تلاقی می‌باشد.

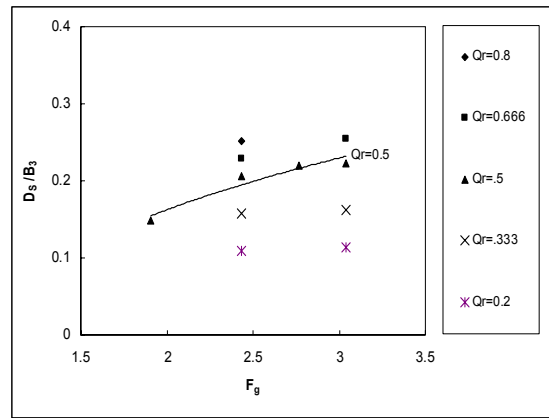
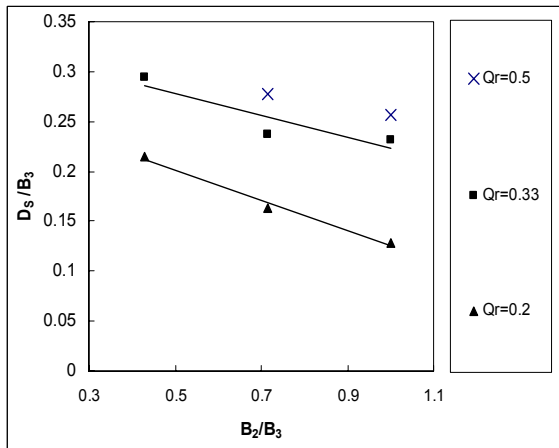
تاثیر عدد فرود ذره در پایاب (Fg) بر حداکثر عمق نسبی فرسایش بستر ( $\frac{D_s}{B_3}$ )

دیگر پارامتر مهم تاثیرگذار بر حداکثر عمق فرسایش، عدد فرود ذره در پائین دست محل تلاقی می‌باشد. تاثیر این پارامتر در پژوهش‌های قبلی مورد توجه قرار نگرفته است. اشکال (۱۳) تا (۱۷) تاثیر عدد فرود ذره در پایاب را بر حداکثر عمق نسبی فرسایش بستر در محل تلاقی نشان می‌دهند.



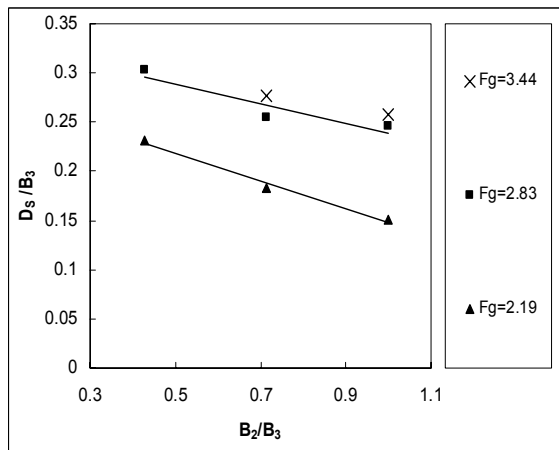
شکل (۱۸) - تغییرات حداکثر عمق نسبی فرسایش بستر در مقابل تغییرات عدد فرود ذره در پایاب (Br=0.428 , d50=1.05mm)

است. نتایج آزمایشهای انجام شده در اشکال (۱۸) و (۱۹) ارایه شده است.



شکل (۱۷)- تغییرات حداکثر عمق نسبی فرسایش در مقابل تغییرات عدد فرود ذره در پایاب (Br=0.71 و d50=3.41mm)

شکل (۱۸)- تاثیر نسبت پهنا بر حداکثر عمق نسبی فرسایش به ازای سه نسبت دبی مختلف (Fg=3.44, d50=1.05)



شکل (۱۹): تاثیر نسبت پهنای بر حداکثر عمق نسبی فرسایش به ازای اعداد فرود ذره مختلف (Qr=0.5, d50=1.05)

همانگونه که در این اشکال نشان داده شده است با افزایش پهنای کانال فرعی، صرفنظر از تاثیر نسبت دبی و عدد فرود ذره در پایاب، مقدار حداکثر عمق نسبی فرسایش بستر در محل تلاقی کاهش می‌یابد. دلیل آن کاهش مقدار سرعت جریان ورودی از کانال فرعی به کانال اصلی و در نتیجه کاهش سرعت چرخش گردابه‌های بوجود آمده در محل تلاقی می‌باشد. این کاهش سرعت به طور قطع باعث کاهش تنش برشی اعمال شده بر بستر شده و در نتیجه مقدار فرسایش کاهش می‌یابد.

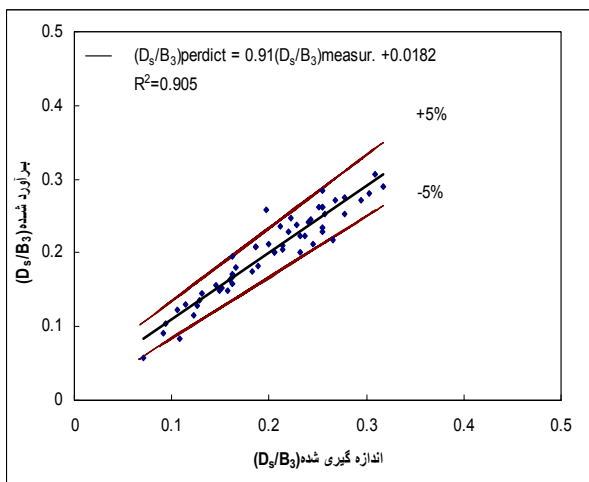
همانگونه که ملاحظه می‌شود با افزایش عدد فرود ذره در پایین دست صرفنظر از تاثیر سایر پارامترها از قبیل نسبت دبی و نسبت پهنا، به طور کلی حداکثر عمق فرسایش افزایش می‌یابد. همانگونه که پیشتر اشاره شد یک روش افزایش عدد فرود ذره، در پایین دست محل تلاقی، افزایش سرعت جریان در پائین دست محل تلاقی (V3) توسط کاهش عمق جریان می‌باشد. این امر منجر به افزایش سرعت جریان کانال‌های بالادست محل تلاقی و همچنین افزایش سرعت چرخش گردابه‌های ایجاد شده در محل اتصال می‌گردد. به همین دلیل هنگام ورود جریان به محل تلاقی فرسایش بیشتری اتفاق می‌افتد. روش دیگر افزایش عدد فرود ذره کاهش قطر ذره مصالح بستر کانال می‌باشد (به همین منظور در این پژوهش سه قطر ذره در نظر گرفته شده است) که در این حالت نیز با کاهش قطر ذره در واقع نیروی مقاوم در برابر حرکت ذره کاهش می‌یابد و در نتیجه عمق فرسایش افزایش می‌یابد.

تاثیر نسبت پهنای کانال فرعی به اصلی (Br) بر حداکثر

$$\text{عمق نسبی فرسایش در بستر} \left( \frac{D_s}{B_3} \right)$$

همانگونه که قبلاً اشاره شد در این پژوهش اثر سه نسبت پهنای کانال فرعی به اصلی بر روی حداکثر عمق نسبی فرسایش بستر نیز مطالعه شده است. این سری از آزمایشات بر روی مصالح بستر با اندازه متوسط ۱/۰۵ میلیمتر انجام شده

به منظور بررسی دقت رابطه فوق مقادیر عمق نسبی فرسایش اندازه گیری شده و مقادیر برآورد شده با رابطه فوق در مقابل هم ترسیم گردیدند ( شکل ۲۰).



شکل (۲۰) - رابطه بین عمق فرسایش بدون بعد  $(D_s/B_3)$  اندازه گیری شده و پیش بینی شده با رابطه (۶)

همانگونه که در این شکل نشان داده شده است تقریباً اکثر نقاط در محدوده باند اعتماد ۹۵٪ قرار دارند که نشان دهنده دقت رابطه (۶) در برآورد عمق نسبی فرسایش در محدود کاربرد آن می باشد.

#### مقایسه نتایج با پژوهش های قبلی

همانگونه که پیش تر اشاره شد تاکنون پژوهش های بسیار محدودی در زمینه محاسبه عمق نسبی فرسایش در محل اتصال کانال ها و رودخانه ها انجام شده است و برخی روابط ارائه شده به منظور محاسبه عمق فرسایش برای حالت های خاص می باشد (همانند روابط ۲ و ۳ که در آنها عمده توجه روی تاثیر زاویه اتصال بر عمق فرسایش بوده است) که امکان مقایسه بصورت کمی با آنها منطقی به نظر نمی رسد. با توجه به شرایط پژوهش حاضر، شاید تنها منبعی که امکان مقایسه با نتایج آنها تا حدودی امکان پذیر می باشد منبع شماره (۲) می باشد. بنابراین به منظور مقایسه نتایج این پژوهش با منبع شکل (۲) که در آن مقدار حداکثر عمق فرسایش در مقابل نسبت پهنا در تلاقی ۹۰ درجه و برای اندازه ذره ۱/۰۵ میلی متر در پژوهش حاضر و ۰/۷۵ میلی متر در منبع مذکور ترسیم شده است، ارایه می گردد.

#### استخراج رابطه پیش بینی حداکثر عمق نسبی فرسایش بستر در محل تلاقی

به منظور دستیابی به رابطه ای که با در نظر گرفتن تاثیر متقابل پارامترهای موثر، حداکثر عمق نسبی فرسایش بستر را در محل تلاقی پیش بینی نماید از نتایج تمام آزمایش های انجام شده استفاده گردید. در این پژوهش تعداد ۵۵ آزمایش بر روی اتصال ۹۰ درجه تحت شرایط مختلف هیدرولیکی و هندسی انجام شد. داده های بدست آمده با روش معادله گیری چند متغیره توسط نرم افزار SPSS-13 مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند. در پایان پس از تحلیلهای مختلف رابطه زیر که بیشترین ضریب همبستگی را نشان داد با استفاده از نتایج داده های آزمایشگاهی استخراج گردید:

$$\frac{D_s}{B_3} = 0.129 \ln(Q_r) + 0.217 \ln(F_{g_3}) + 0.075 B_r^{-0.776} \quad (6)$$

$$R^2 = 90.5 \%$$

که در آن  $D_s$  حداکثر عمق فرسایش بستر،  $B_3$  پهنای کانال در پائین دست محل اتصال،  $Q_r$  نسبت دبی کانال فرعی به دبی کل،  $F_{g_3}$  عدد فرود ذره در پائین دست محل اتصال،  $B_r$  نسبت پهنای کانال فرعی به اصلی و سرانجام  $R$  ضریب همبستگی رابطه می باشد. رابطه (۶) در محدوده  $0.2 \leq Q_r \leq 0.8$ ،  $1.21 \leq F_{g_3} \leq 5.48$  و  $0.428 \leq B_r \leq 1$  کاربرد دارد.

رابطه (۶) نشان می دهد با افزایش نسبت دبی کانال فرعی به اصلی و همچنین افزایش عدد فرود ذره در پایین دست تلاقی، حداکثر عمق نسبی فرسایش افزایش می یابد. در حالیکه افزایش نسبت پهنای کانال فرعی به اصلی باعث کاهش مقدار مذکور می گردد.

با دقت در ضریب ها و توان های جملات در رابطه (۶) می توان نتیجه گرفت که کمترین تاثیر در عمق نسبی فرسایش متعلق به نسبت پهنا و بیشترین تاثیر را عدد فرود ذره در مقدار عمق نسبی فرسایش می گذارد. با وجود تاثیر مهم عدد فرود ذره بر عمق نسبی فرسایش بستر در محل تلاقی که حتی بیشتر از تاثیر نسبت دبی نیز می باشد، این پارامتر در پژوهش های قبلی مورد توجه قرار نگرفته است.

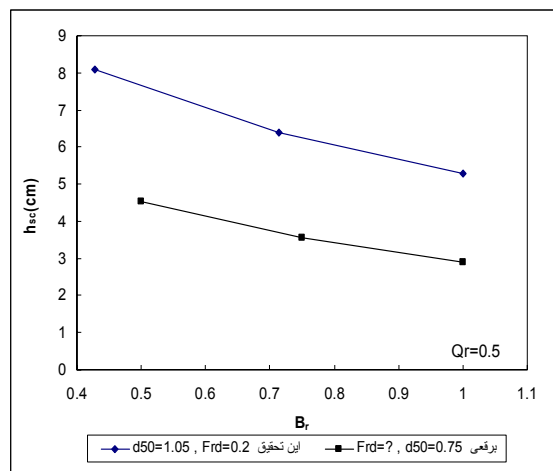
پرداخته شد. در این آزمایشها تاثیر سه نسبت پهنا، پنج نسبت دبی و حداقل چهار عدد فرود ذره در پایاب بر حداکثر عمق فرسایش بستر در محل تلاقی در نظر گرفته شده است. با استفاده از معادله‌گیری چند متغیره رابطه‌ای نیز برای محاسبه حداکثر عمق فرسایش در محل تلاقی ارائه گردید. نتیجه این پژوهش نشان داد که با افزایش نسبت دبی شاخه فرعی به دبی کل و افزایش عدد فرود ذره در پایاب، حداکثر عمق نسبی فرسایش افزایش می‌یابد. از طرفی افزایش پهنای شاخه فرعی باعث کاهش مقدار فرسایش بستر در محل تلاقی می‌شود. همچنین رابطه پیشنهادی ارائه شده برای پیش‌بینی حداکثر عمق نسبی فرسایش در محل تلاقی نشان داد که عدد فرود ذره در پایاب بیشترین و نسبت پهنای کانال فرعی به اصلی کمترین تاثیر را در مقدار عمق نسبی فرسایش دارند.

#### سپاسگزاری

این مقاله نتیجه بخشی از یک طرح پژوهشی است که امکانات اجرایی و اعتبارات مالی آن توسط دفتر استاندارد پژوهش‌های آب سازمان آب و برق خوزستان تأمین شده که بدینوسیله مراتب تشکر و قدردانی اعلام می‌گردد.

#### مراجع

- ۱- برقی. س. م.، سخایی‌فر، س. م. و دائمی، ع. ۱۳۸۱. بررسی آزمایشگاهی اتصال کانال‌ها. مجموعه مقاله‌های ششمین سمینار بین‌المللی مهندسی رودخانه. اهواز، ص ۶۱۱-۶۱۹
- ۲- برقی. س. م. و نظری، ا. ۱۳۸۲. بررسی آزمایشگاهی الگوی رسوب در تقاطع کانال‌ها. مجموعه مقاله‌های ششمین کنفرانس بین‌المللی مهندسی عمران. اصفهان، ص ۲۴۷-۲۵۵
- 3-Ashmore, P. and Parker, G. 1983. Confluence scour in coarse braided stream Water Resour Res 19: 392 – 402
- 4-Anwar, H. 1955. Stromungsverhältnisse bei flussvereinigen, PhD thesis, Technical Univ. of Karlsruhe, Germany (in German)
- 5-Best, J. L. 1987. Flow dynamics at river channel confluences: Implications for



شکل (۲۱) - مقایسه نتایج حاصل از این پژوهش با نتایج منبع (۲) در خصوص رابطه عمق فرسایش و نسبت پهنا

همانگونه که ملاحظه می‌شود با افزایش نسبت پهنای کانال فرعی به اصلی در هر دو منبع مقدار عمق فرسایش کاهش می‌یابد. هرچند اندازه ذره به کار رفته در پژوهش حاضر ( $d_{50}=1.05\text{mm}$ ) بزرگتر از اندازه ذره در منبع (۲) یعنی ( $d_{50}=0.75$ ) می‌باشد با این وجود مقدار عمق فرسایش بیشتری نیز نشان می‌دهد. این اختلاف می‌تواند ناشی از اختلاف بین عدد فرود جریان ( $F_{rd}$ ) در پائین‌دست اتصال باشد. عدد فرود جریان در پژوهش حاضر برای این آزمایش‌ها  $0/2$  می‌باشد درحالی‌که در منبع مذکور اشاره‌ای به عدد فرود جریان در پایاب نشده است و شرایط عدد فرود جریان در پایاب به گونه‌ای تنظیم شده است که ذرات در محل تلاقی در آستانه حرکت قرار بگیرند. این مقدار می‌تواند خیلی کمتر از  $0/2$  باشد.

#### نتیجه‌گیری

تعیین حداکثر عمق فرسایش بستر در محل تلاقی رودخانه‌ها که در اثر گردابه‌های ایجاد شده بدلیل ورود جریان از شاخه فرعی به اصلی به وجود می‌آید، یکی از پدیده‌های بسیار مهم در علوم مهندسی هیدرولیک، رسوب و رودخانه می‌باشد که کمتر مورد توجه قرار گرفته است و مطالعات نظام‌مندی روی آن انجام نشده است. در این پژوهش با انجام ۵۵ آزمایش در محل تلاقی با زاویه  $90^\circ$  درجه به مطالعه الگوی فرسایش به ویژه حداکثر عمق فرسایش بستر در محل تلاقی

- sediment transport and bed morphology. Recent Devel. In Fluvial Sedimentology, SEPM Spec.Publ.39, F.G.Etheidge, R.M.Flores, and M.D,Harvey, eds., 27-35
- 6-Best, J. L. 1988. Sediment transport and bed morphology at river channel confluences. *Sedimentology*, 35: 481-498.
- 7-Best, J. L. and Reid, I. 1984. Separation zone at open channel–junctions. *J. Hydr. Engrg.*, ASCE, 110(11): 1588-1595.
- 8-Biron, P. R., Roy, A. G., Best, J. L. and Boyer, C.J. 1993 b. Bed morphology and sedimentology at the confluence of unequal depth channels. *Geomorphology*, 8: 115-129.
- 9-Biron, P., Best, J. L. and Roy, A. G. 1996. Effect of bed discordance on flow dynamics at open channel confluences. *J. Hydr. Engrg.*, ASCE, 122(12): 676 – 682.
- 10-Biron, P.M., Richer, A., Kirkbride, D.A., Roy, G.A., and Han, S. 2002. Spatial patterns of topography at a river confluence. *Earth surface processes and landforms*, WILEY, 28(9): 913-928.
- 11-Bradbrook, K.F., Lane, S.N. Richards, K.S, Biron, P.M., and Roy, A.G. 2001. Role of bed discordance at asymmetrical river confluences. *J. Hydr. Engrg.*, ASCE, 127: 351-368.
- 12-Gurram, S.K., Karki, K.S., and Hager. W.H. 1997. Subcritical junction flow. *J. Hydr. Engrg.*, ASCE, 123(5): 447-455.
- 13-Hager, W.H. 1987. Discussion: separation zone at open channel – junctions. *J. Hydr. Engrg.*, ASCE, 115(5): 595-616.
- 14-Hsu, C.C., Wu, F.S., and Lee, W. J. 1998a. Flow at 90 equal – width open-channel junction. *J. Hydr. Engrg.*, ASCE, 124(2): 186-191.
- 15-Hsu, C.C., Lee, W.J., and Chang, C.H. 1998b. Sub critical open – channel junction flow. *J. Hydr. Engrg.*, ASCE, 124(8): 847-855.
- 16-Huang, J., Weber, J.L., and Lai, G.Y. 2002. Three dimensional numerical study of flows in open-channel junctions. *J. Hydr. Engrg.*, ASCE, 128(3): 268-280
- 17-Lin, J.D., and Soong, H.K. 1979. Junction losses in open channel flows. *Water Resour. Res.*, 15(2): 414-418
- 18-Modi, P.N., Ariel, P.D., and Dandekar, M. M. 1981. Conformal mapping for channel junction flow. *J. Hydr. Engrg.*, 107(12): 1713-1733.
- 19-Mosley, M.P. 1976. An experimental study of channel confluences. *J. Geol.*, 84: 535 – 562.
- 20-Ramamurthy, A.S., Carballada, L.B., and Tran, D.M. 1988. Combining open channel flow at right angled junctions *J. Hydr. Engrg.*, ASCE, 114(12): 1449-1460.
- 21-Ramamurthy, A.S., Qu, J., and Zhai, C. 2006. 3D simulation of combining flows in 90 rectangular closed conduits. *J. Hydr. Engrg.*, ASCE, 132(2): 214-218.
- 22-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: 77 – 84.
- 23-Rhoads, B.L. and Kenworthy, S.T. 1995. Flow structure at an asymmetrical stream confluence. *Geomorphology*, 11: 273-293
- 24-Taylor, E.H. 1944. Flow characteristics at rectangular open-channel junction. *J. Hydr. Engrg.*, ASCE, 109: 893-912.
- 25-Webber, N.B., and Greated, C.A. 1966. An investigation of flow behavior at the junction of rectangular channel. *Proc., Instn. of Civ. Engres.*, Vol. 34. Thomas Telford Lte., London. 321-334.
- 26-Weber, L.J., Schumate, E.D., and Mawer, N. 2001. Experimental on flow at a 90° open – channel Junction. *J. Hydr. Engrg.* ASCE, 127: 340 – 350
- 27-Weerakoon, S.B., Kawahara, Y., and Tamia, N. 1991. Three – dimensional flow structure in channel confluences of rectangular section. *Proc.*, 24 the IAHR, 373-380.