

## بررسی تاثیر زاویه اتصال بر الگوی فرسایش و رسوب‌گذاری در محل تلاقی رودخانه‌ها با استفاده از مدل فیزیکی

رسول قبادیان<sup>1</sup>، محمود شفاعی بجزستان<sup>2</sup> و آرش آذری<sup>3</sup>

### چکیده

محل تلاقی رودخانه‌ها از اجزا مهم مورفولوژیکی سیستم‌های رودخانه‌ای می‌باشد. جریان ورودی از شاخه فرعی باعث تغییرات شدید الگوی جریان، به وجود آمدن پدیده فرسایش و رسوب‌گذاری که در نهایت باعث تشدید فرسایش سواحل شده و مشکلاتی را برای کشتیرانی، پل‌ها و ابنیه مجاور ایجاد می‌نماید. علی‌رغم این، به خاطر وجود جریان‌های سه بعدی و حرکت رسوب، مطالعات سیستماتیک برای شناخت کامل مکانیزم این پدیده‌ها به ندرت انجام شده است. در پژوهش حاضر ابتدا با استفاده از آنالیز ابعادی روابط بی بعد کلی استخراج و سپس با ساخت مدل فیزیکی، تاثیر یکی از مهم‌ترین پارامترها یعنی زاویه تلاقی ( $q$ ) که تاکنون خیلی کم مورد مطالعه قرار گرفته است، بررسی گردید. در این پژوهش تعداد سه زاویه تلاقی 60، 75 و 90 درجه تحت شرایط هیدرولیکی مختلفی مورد آزمایش قرار گرفت. نتایج آزمایش‌های انجام شده نشان داد که با افزایش زاویه اتصال حداکثر عمق چاله فرسایش و ارتفاع تپه رسوب‌گذاری افزایش می‌یابد. با به کار بردن داده‌های حاصل از این پژوهش، تاثیر هر یک از پارامترهای بی بعد بر مقدار فرسایش و رسوب‌گذاری بررسی و نهایتاً روابطی برای تخمین این پدیده‌ها استخراج و ارزیابی گردیده است.

واژه‌های کلیدی: تلاقی رودخانه، چاله فرسایش، تپه رسوب‌گذاری، زاویه اتصال

1. استاد یار گروه مهندسی آب- کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه  
2. استاد دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران، اهواز  
3. دانشجوی دکتری هیدرولوژی، دانشگاه شهید چمران، اهواز

## مقدمه

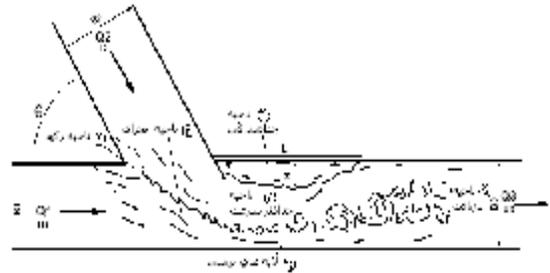
جریان گردابی مشکلات فراوانی را برای کشتیرانی ایجاد می‌کند. از این‌رو در سال‌های اخیر پژوهش‌های آزمایشگاهی و صحرایی - البته محدودی - برای شناخت بیش‌تر الگوی جریان و وضعیت فرسایش و رسوبگذاری در محل تلاقی انجام شده است.

از جمله پژوهش‌های آزمایشگاهی که بر روی خصوصیات جریان در محل تلاقی انجام شده است می‌توان به مطالعات تیلور (1944)، انوار (1955)، وبر و گرتید (1966)، لین و سونگ (1979)، مودی و همکاران (1981)، بست و رایید (1984)، راما مورتی و همکاران (1988)، هاگر (1987)، هاگر (1989)، گورام و همکاران (1997)، سو و همکاران (1998)، وبر و همکاران (2001) و برقی و همکاران (1381) اشاره نمود. این مطالعات بر روی تلاقی با بستر صلب و بدون حضور رسوب انجام شده است. بایرون و همکاران (2002) با برداشت رقوم سطح در محل تلاقی رودخانه‌های بایون<sup>1</sup> و برتایر<sup>2</sup> در مونترال کانادا توسط دستگاه توتال استیشن الگوی مکانی توپوگرافی سطح برای شرایط صحرایی را مورد بررسی قرار داده‌اند. نتایج پژوهش مذکور نشان داد که بالا آمدگی سطح آب در ناحیه رکود جریان نزدیک راس اتصال به چشم می‌خورد. استفاده از مدل‌های سه-بعدی نیز برای شبیه‌سازی جریان در محل تلاقی کانال-های صلب مورد توجه قرار گرفته است که از آن جمله می‌توان به مطالعات ویراکون و همکاران (1991)، برد بروک و همکاران (2001) و هوانگ و همکاران (2002) اشاره نمود. اخیراً شبیه‌سازی سه بعدی جریان در محل تلاقی مستطیلی 90 درجه برای شرایط جریان بدون سطح آزاد مورد بررسی قرار گرفته است (رامامورتی، 2006).

علی‌رغم پژوهش‌های نسبتاً گسترده‌ای که در زمینه خصوصیات جریان در محل تلاقی رودخانه‌ها و کانال‌های روباز انجام شده است تحقیقات در خصوص الگوی رسوبگذاری و فرسایش در محل مذکور انگشت شمار می‌باشد که از آن جمله می‌توان به موارد ذیل اشاره نمود:

پیدایش چاله فرسایشی و مناطق رسوبگذاری ارتباط مستقیم به دینامیک جریان در محل تلاقی از جمله تغییرات عمق و سرعت جریان و همچنین ابعاد ناحیه جداسازی جریان دارند.

دینامیک جریان در محل تلاقی رودخانه‌ها را می‌توان به‌صورت شماتیک مطابق شکل 1 نشان داد:



شکل 1: الگوی جریان در محل تلاقی کانال‌های روباز (بست، 1987)

- در محدوده تلاقی، شش ناحیه مختلف قابل تشخیص می‌باشد (بست، 1987):
- 1: ناحیه رکود که در آن سرعت جریان تقریباً ناچیز است.
  - 2: ناحیه انحراف جریان که در آن جریان کانال اصلی به طرف دیواره خارجی مقابل کانال فرعی منحرف می‌شود.
  - 3: ناحیه جداسازی که در آن بردارهای سرعت چرخشی خلاف جهت جریان اصلی مشاهده می‌شود.
  - 4: ناحیه حداکثر سرعت که در این ناحیه چاله فرسایش به‌وجود می‌آید.
  - 5: ناحیه بازیافت جریان در پایین دست محل تلاقی که در آن الگوهای جریان مجدداً همانند جریان در کانال روباز مستقیم می‌شود.
  - 6: ناحیه لایه‌های برشی که در واقع مرز بین جریان کانال فرعی و اصلی بالا دست تلاقی می‌باشد و در آن بیش‌ترین اغتشاش جریان مشاهده می‌شود.

توسعه‌ی نواحی 1 و 3 باعث حجیم‌تر شدن رسوب انباشته شده می‌شود. افزایش سرعت در منطقه 4 باعث عمیق‌تر شدن چاله فرسایشی و فرسایش شدید سواحل می‌شود که به تدریج ایجاد مئاندر و جابه‌جایی موقعیت سه شاخه را به همراه دارد ضمن این‌که وجود

1. Bayonne

2. Berthier

بست برای محاسبه عمق آبشستگی نسبی ارایه شده است.

$$RDS = -4.252 + 1.589 \ln \theta, R = 0.77 \quad (2)$$

که در آن  $q$  زاویه اتصال دو کانال بر حسب درجه و  $RDS$  عمق نسبی فرسایش در محل تلاقی می باشد که به صورت نسبت حداکثر عمق فرسایش به متوسط عمق جریان در کانال های بالا دست تلاقی تعریف می شود.

اشمور و پارکر (1983) با استفاده از داده های اندازه گیری صحرائی و نتایج آزمایشگاهی بر روی مدل رودخانه های شریانی با بستر درشت دانه، نشان دادند که زاویه اتصال دو شاخه جریان عمده ترین تاثیر را روی عمق نسبی فرسایش دارد و رابطه زیر را برای محاسبه عمق نسبی فرسایش در محدوده زاویه بین 30 تا 90 درجه ارایه نمودند.

$$RDS = 2.235 + 0.0308q \quad (3)$$

که در آن  $q$  زاویه اتصال دو شاخه جریان بر حسب درجه و  $RDS$  عمق نسبی فرسایش در محل تلاقی می باشد.

روی و روی (1988) به منظور بررسی تغییر اندازه کانال در محل اتصال رودخانه ها با بستر درشت دانه، اندازه گیری هایی بر روی 30 محل اتصال در یک حوزه آبریز انجام دادند. داده های اندازه گیری شده توسط آن ها همراه با داده های جمع آوری شده از پژوهش های قبلی نشان داد که ظرفیت کلی کانال (سطح مقطع عبور جریان) در پایین دست بیش تر اتصال ها کاهش می یابد که دلیل آن را ناشی از افزایش سرعت جریان در محل اتصال دانستند.

بایرون و همکاران (1993) با اندازه گیری های صحرائی، مورفولوژی بستر و توزیع اندازه ذرات رسوب را در یک اتصال با زاویه 65 درجه مورد بررسی قرار دادند. در این اتصال رودخانه های بالا دست دارای پهنای یکسان 8 متر بودند و اختلاف ارتفاع 0/6 متری بین بستر کانال های اصلی و فرعی وجود داشت. نتایج آن ها نشان داد که مورفولوژی محل اتصال به طور قابل ملاحظه ای در طی دوره نمونه برداری تغییر می کند ولی در همه مواقع ناحیه آبشستگی قابل ملاحظه ای

موسلی (1976) 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 آزمایش های وی نشان داد که با افزایش زاویه اتصال از 15 تا 75 درجه عمق آبشستگی به شدت و از 75 تا 180 درجه به آهستگی افزایش می یابد. از طرفی با افزایش بار رسوب بستر کانال های بالا دست تلاقی، عمق آبشستگی کاهش می یابد. وی نشان داد بیش ترین عمق آبشستگی زمانی اتفاق می افتد که دبی کانال های بالا دست تلاقی یکسان باشد. موسلی هم چنین نتیجه گرفت که پهنای کانال های بالا دست اثر اندکی روی حداکثر عمق آبشستگی دارد. رابطه زیر نیز توسط موسلی برای زاویه 60 درجه و پهنای ثابت 6 سانتی متر برای کانال ها در محل تلاقی ارایه شده است.

$$D_s = 2.72 - .0018(Q_2 - Q_1) - .00002(Q_{sed1} + Q_{sed2})^2, R^2 = 0.847 \quad (1)$$

در این رابطه  $D_s$  = حداکثر عمق آبشستگی در محل تلاقی بر حسب سانتی متر،  $Q_1$  = دبی کانال فرعی شماره 1 بالا دست تلاقی بر حسب سانتی متر مکعب بر ثانیه،  $Q_2$  = دبی کانال فرعی شماره 2 بالا دست تلاقی بر حسب سانتی متر مکعب بر ثانیه،  $Q_{sed1}$  = بار رسوب حمل شده توسط کانال شماره 1 بر حسب گرم در دقیقه و  $Q_{sed2}$  = بار رسوب حمل شده توسط کانال شماره 2 بر حسب گرم در دقیقه می باشد.

انتقال رسوب و رابطه آن با مورفولوژی بستر در محل تلاقی رودخانه ها با استفاده از نتایج فلوم آزمایشگاهی و اندازه گیری صحرائی توسط بست (1988) مورد بررسی قرار گرفته است. در فلوم آزمایشگاهی هر دو کانال اصلی و فرعی دارای پهنای 15 سانتی متر می باشند که با زاویه 15، 45، 75، 90 و 105 درجه به یک دیگر متصل می شوند. در آزمایش های بست از کوارتز دانه بندی شده با  $D_{50} = 0.49$  میلی متر به عنوان مواد بستر استفاده شده است. بست نشان داد که با افزایش زاویه اتصال حداکثر عمق آبشستگی افزایش می یابد. در زاویه اتصال 15 درجه آبشستگی مشاهده نشد. علاوه بر این برای هر زاویه اتصال آبشستگی عمیق تر در نسبت های دبی بالاتر اتفاق می افتد. رابطه زیر توسط

بررسی تاثیر زاویه اتصال بر الگوی فرسایش و رسوب گذاری در محل تلاقی ...

$$\frac{H_{se}}{y_3} = f\left(\frac{Q_2}{Q_3}, \frac{B_2}{B_3}, q, S_0, F_{g3}, R_{e3}, W_{e3}, \frac{\Delta Z}{B_2}\right) \quad (5)$$

در روابط (4) و (5)  $D_S$  حداکثر عمق فرسایش،

$H_{se}$  ارتفاع نهایی تپه رسوب گذاری،  $y$  عمق جریان،  $Q$  دبی جریان،  $B$  پهناي کانال،  $q$  زاویه اتصال،  $S_0$  شیب کف در محل اتصال،  $F_g = \frac{V_3}{\sqrt{g(G_S - 1)d_{50}}}$  عدد فرود ذره

( $V$  سرعت جریان،  $d_{50}$  اندازه متوسط ذرات رسوب  $G_S$  چگالی ویژه ذرات رسوب برابر  $2/65$ )،  $R_e$  عدد رینولدز جریان،  $W_e$  عدد وبرو  $\Delta z$  اختلاف رقوم کف کانال اصلی و فرعی می باشد. همان گونه که در شکل (1) نشان داده شده است. زیر نویس های 1، 2 و 3 به ترتیب مربوط به کانال اصلی بالا دست، کانال فرعی بالا دست و کانال اصلی در پایین دست تلاقی می باشد.

مطالعات گورام و همکاران (1997) نشان داد در شرایط جریان زیر بحرانی شیب کف در محل تلاقی تاثیر قابل ملاحظه ای روی الگوی جریان در محل تلاقی ندارد. لذا در این مطالعه از اثر شیب کف صرف نظر شده است. ابعاد فلوم ساخته شده و شرایط جریان به گونه ای است که اعداد رینولدز و وبر از حد مجاز بیش تر است بنابراین در این مطالعه از اثر آن ها نیز صرف نظر شده است. از آن جایی که در نظر گرفتن اثر همه پارامترهای باقی مانده کاری مشکل است بنابراین به منظور دسترسی به اهداف این مطالعه نهایتاً روابط (4) و (5) به شکل زیر خلاصه می شوند:

$$\frac{D_S}{y_3} = f\left(\frac{Q_2}{Q_3}, \frac{V_3}{\sqrt{g(G_S - 1)d_{50}}}, q\right) \quad (6)$$

$$\frac{H_{se}}{y_3} = f\left(\frac{Q_2}{Q_3}, \frac{V_3}{\sqrt{g(G_S - 1)d_{50}}}, q\right) \quad (7)$$

با تغییر هر کدام از پارامترهای داخل پرانتز تاثیر آن بر حد اکثر عمق آب شستگی موضعی در محل تلاقی و ارتفاع تپه رسوب گذاری مشخص می شود. به منظور بررسی تغییرات این پارامترها لازم است آزمایش هایی انجام شود و شکل ریاضی فرمول به دست آید. شماتیک تجهیزات استفاده شده برای انجام آزمایش های مورد نیاز در شکل 2 ارائه شده است.

مشاهده نگردید. این پژوهشگران بیان کردند که مورفولوژی بستر در اتصالات هم کف با اتصالات غیر هم-کف متفاوت است.

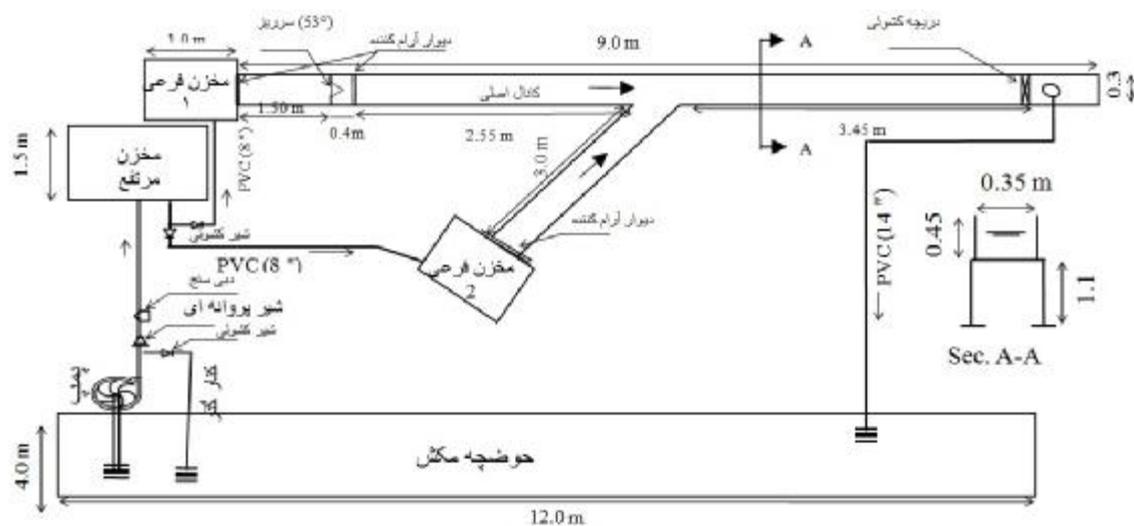
برقی و نظری (1382) به منظور بررسی الگوی فرسایش در تقاطع کانال ها و اثر متغیرهایی چون قطر متوسط مصالح بستر، نسبت عرض کانال فرعی به اصلی و نسبت دبی کانال فرعی به دبی کل بر این الگو آزمایش هایی را روی یک اتصال 90 درجه انجام دادند. پهناي کانال اصلی در این اتصال 20 سانتی متر در نظر گرفته شد. با توجه به این موضوع که در عمل پهناي رودخانه فرعی کوچک تر یا مساوی رودخانه اصلی می-باشد سه پهناي متفاوت 10، 15 و 20 سانتی متر برای کانال فرعی در نظر گرفتند. آزمایش ها برای دو نسبت دبی متفاوت 0/25 و 0/5 و سه قطر متوسط مصالح بستر یعنی 0/25، 0/5 و 0/75 میلی متر انجام شد. نتایج آزمایش ها نشان داد که حداکثر عمق آب-شستگی در ابتدای ناحیه جدشدگی جریان اتفاق می افتد و حداکثر عمق آب شستگی با کاهش قطر متوسط مصالح بستر، کاهش نسبت دبی و همچنین کاهش عرض شاخه فرعی افزایش می یابد.

بررسی منابع موجود نشان می دهد که مطالعات اندکی در محل تلاقی رودخانه ها انجام شده است. زاویه تلاقی از جمله پارامترهای مهمی است که مطالعات نشان می دهد تاثیر زیادی بر مقدار فرسایش و رسوب گذاری دارد در حالی که مطالعات در این خصوص خیلی کم می-باشد. از این رو در این پژوهش تاثیر زاویه تلاقی بر مقدار فرسایش و رسوب گذاری مورد بررسی قرار می گیرد.

## مواد و روش ها

به منظور دسترسی به اهداف این مطالعه با توجه به این که متغیرهای زیادی بر حداکثر عمق فرسایش ( $D_S$ ) و ارتفاع نهایی تپه رسوب گذاری ( $H_{se}$ ) تاثیر دارند بنابراین ابتدا با شناخت این متغیرها و آنالیز ابعادی، روابط کلی شامل پارامترهای بدون بُعد استخراج گردید. این روابط عبارت است از:

$$\frac{D_S}{y_3} = f\left(\frac{Q_2}{Q_3}, \frac{B_2}{B_3}, q, S_0, F_{g3}, R_{e3}, W_{e3}, \frac{\Delta Z}{B_2}\right) \quad (4)$$



شکل 2: شماتیک تجهیزات آزمایشگاهی مورد استفاده

دو عدد شیر کشویی بر روی لوله‌های انتقال جریان به مخازن ثانویه نصب شده‌اند. وظیفه این شیرها تنظیم دبی ورودی به هر یک از کانال‌های اصلی و فرعی می‌باشد که نهایتاً به نسبت‌های دبی مورد نظر دسترسی حاصل شود. رسوب به کار برده شده در این آزمایش‌ها دارای دانه‌بندی یک‌نواخت با اندازه متوسط  $1/95$  میلی-متر می‌باشد. دلیل انتخاب اندازه ذره مذکور مشاهده پدیده حرکت و وقوع فرسایش و رسوب‌گذاری در شرایط مختلف هیدرولیکی جریان در آزمایش‌ها می‌باشد. در جدول (1) مشخصات دانه‌بندی رسوب به کار رفته در این تحقیق ارائه شده است.

جدول 1: مشخصات دانه‌بندی رسوب به کار رفته در این

تحقیق

مقدار	مشخصه
1/95 (mm)	اندازه متوسط ذره ( $d_{50}$ )
2/2	ضریب یکنواختی ( $C_u$ )
0/98	ضریب انحنای ( $C_c$ )
1/685	انحراف استاندارد ذرات ( $S_g$ )

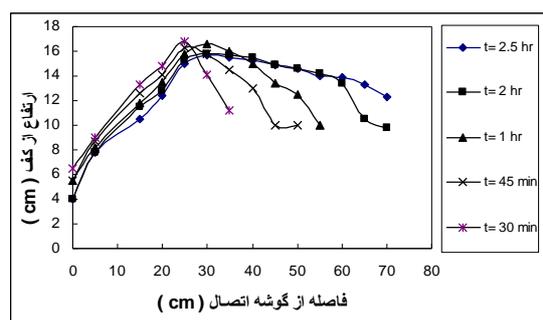
در جدول (2) دامنه تغییرات پارامترهای به کار رفته در این مطالعه ارائه شده است.

طول کانال اصلی 9 و کانال فرعی دارای طول 3 متر می‌باشد. پهنای کانال اصلی 35 و کانال فرعی 25 سانتی‌متر در نظر گرفته شده است. به منظور بررسی تاثیر زاویه اتصال بر عمق آب‌شستگی و ارتفاع رسوب‌گذاری سه زاویه اتصال 60، 75 و 90 درجه اختیار شده است. کف و دیواره‌های کانال‌های اصلی و فرعی با شیشه 10 و 6 میلی‌متری پوشانده شده است. دبی کل ورودی به سیستم توسط یک دستگاه دبی‌سنج الکتریکی با دقت 0/01 لیتر بر ثانیه اندازه‌گیری می‌شود. علاوه بر این سر ریز مثلثی نصب شده در ابتدای کانال اصلی وظیفه اندازه‌گیری دبی ورودی به کانال اصلی را به عهده دارد. یک دریچه کشویی در انتهای کانال اصلی نصب شده است که با باز یا بسته نمودن آن می‌توان عمق پایاب را تنظیم نمود به عبارتی از این دریچه برای بررسی تاثیر عمق پایاب یا عدد فرود ذره در پایین دست استفاده می‌شود. دو دستگاه عمق‌سنج با دقت 0/1 میلی‌متر برای اندازه‌گیری رقوم سطح آب در بالا دست سرریز مثلثی و همچنین رقوم سطح آب پایاب و سایر نقاط ضروری استفاده شده است. مخزن اصلی وظیفه تامین بار لازم را به عهده دارد. مخازن ثانویه در ابتدای کانال‌های اصلی و فرعی و همچنین صفحات آرام‌کننده در محل اتصال این مخازن به کانال‌های مذکور برای آرام نمودن جریان ورودی می‌باشد.



شکل 3: پرتاب ذرات رسوب کنده شده از چاله فرسایشی به سطح آب

تپه رسوبی ایجاد شده به مرور زمان بر ابعادهش افزوده و به سمت پایین دست کشیده می شود. در شکل 4 نحوه رشد و حرکت این تپه رسوبی با گذشت زمان از شروع آزمایش در یکی از آزمایش های انجام شده را نشان می دهد.



شکل 4: نحوه رشد و پیش روی تپه رسوبی به طرف پایین دست در زمان های مختلف از شروع آزمایش برای  $q=90$ ,  $Q_r=0.5$ ,  $F_g=2.52$

همان گونه که در شکل (4) ملاحظه می شود در شروع آزمایش تپه ایجاد شده نوک تیز و باریک می باشد ولی به مرور پهن تر و وسیع تر می گردد. بنابراین ارتفاع رسوب گذاری در انتهای آزمایش که در این پژوهش اندازه گیری شده معمولاً اندکی کم تر از حداکثر ارتفاع رسوب گذاری مشاهده شده در طول آزمایش می باشد. سرعت رشد و حرکت تپه رسوبی و همچنین شکل آن بستگی به نسبت دبی کانال فرعی به دبی کل ( $Q_r$ )، زاویه اتصال ( $q$ ) و عدد فرود ذره در پایین دست اتصال ( $F_g$ ) دارد به گونه ای که هر چه نسبت دبی زیاد تر شود این تپه با سرعت بیش تری به پایین دست منتقل شده و

جدول 2: دامنه تغییرات پارامترهای به کار رفته در این

مطالعه	
پارامتر	محدوده تغییرات
پهنای نسبی ( $B_r$ )	0/714
دبی نسبی ( $Q_r$ )	0/2, 0/33, 0/5, 0/66, 0/8
عدد فرود ذره ( $F_g$ )	2/05 - 3/66
زاویه اتصال ( $q$ ) درجه	60, 75, 90

به منظور انجام هر آزمایش ابتدا 11/5 سانتی متر رسوب با اندازه ذره مورد نظر در کف فلوم های اصلی و فرعی ریخته شد. پس از آن با دبی 1 لیتر بر ثانیه فلوم به آهستگی پر گردید که در این حال دریچه انتهای فلوم اصلی بسته می باشد. نهایتاً با باز کردن شیرهای کنترل دبی و دریچه انتهای نسبت دبی مورد نظر و عدد فرود 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، زاویه اتصال و ...) متغیر و از حداقل 1 تا حدود 5 ساعت متفاوت می باشد. پس از اتمام هر آزمایش فلوم به آهستگی تخلیه می شود و پروفیل فرسایش و رسوب گذاری در محل تلاقی در یک شبکه 2/5 در 2/5 سانتی متری برداشت گردید.

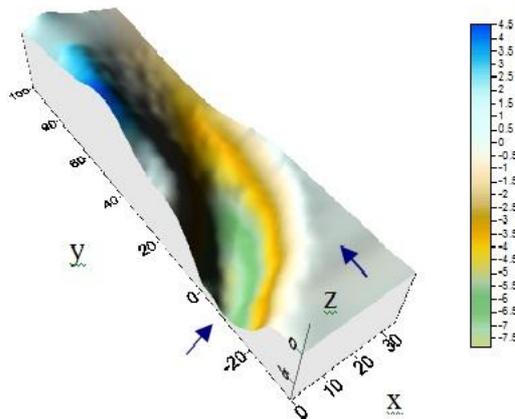
## نتایج و بحث

پس از برقراری جریان و شروع آزمایش، در مجاورت گوشه پایینی اتصال و نقطه شروع ناحیه جدا شدگی، گرداب هایی به وجود می آید. این گرداب ها باعث ایجاد یک چاله فرسایشی کوچک می شود که به مرور زمان از نظر عمق و پهنای 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 3).

در شروع آزمایش زاویه و شدت پرتاب خیلی زیاد تر می باشد و حتی تعدادی از ذرات به نزدیک سطح آب هم می رسند. ذرات پرتاب شده توسط جریان عموماً به پایین دست حرکت کرده و ته نشین می شوند و یک تپه رسوبی در پایین دست محل اتصال ایجاد می نمایند.

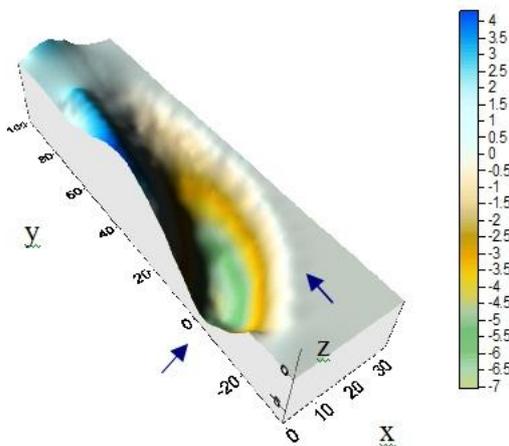
نهایتاً یک شکل گسترده به خود می‌گیرد بر عکس در نسبت دبی‌های کم و همچنین اعداد فرود ذره و زوایای اتصال کوچک تپه رسوب‌گذاری نوک تیز و سرعت حرکت آن کم‌تر می‌باشد.

تپه رسوبی ایجاد شده معمولاً دارای شیب طولی و عرضی می‌باشد. شیب طولی آن به طرف ناحیه حداکثر آب‌شستگی تقریباً در تمام آزمایش‌ها مشاهده گردید. در اغلب آزمایش‌ها 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 بالا دست (محل حداکثر عمق آب-شستگی) و به طرف پایین دست (پیشانی تپه رسوب-گذاری) 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 یک-طرفه به طرف بالا دست (ناحیه حداکثر آب‌شستگی) می‌باشد. شکل‌های 5 تا 9 نشان دهنده توضیحات فوق می‌باشد.



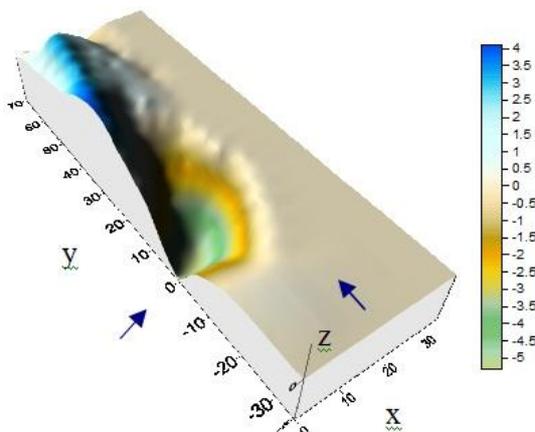
شکل 6: الگوی فرسایش و رسوب برای  $F_g=2.52$

$$q = 75^\circ, Q_r=0.66$$



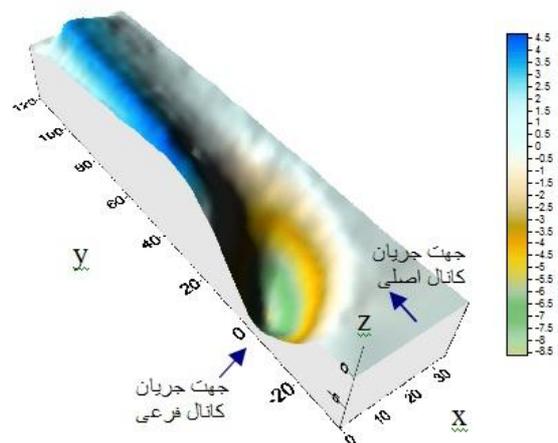
شکل 7: الگوی فرسایش و رسوب برای

$$q = 60^\circ, Q_r=0.66, F_g=2.52$$



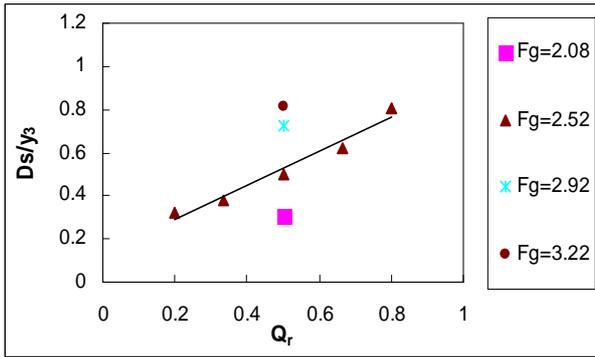
شکل 8: الگوی فرسایش و رسوب برای  $F_g=2.52$

$$q = 60^\circ, Q_r=0.5$$



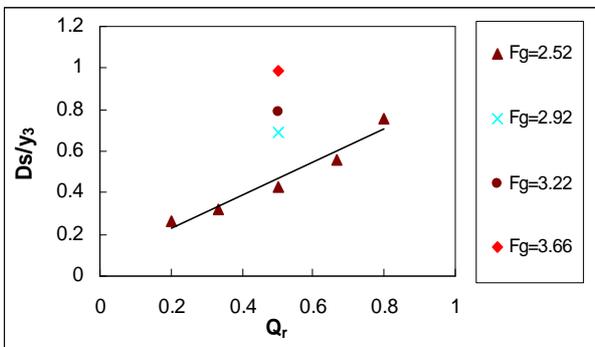
شکل 5: الگوی فرسایش و رسوب برای  $F_g=2.52$

$$q = 90^\circ, Q_r=0.66$$



شکل 11: تغییرات حداکثر عمق فرسایش نسبی در مقابل

تغییرات نسبت دبی -  $q = 75^\circ$

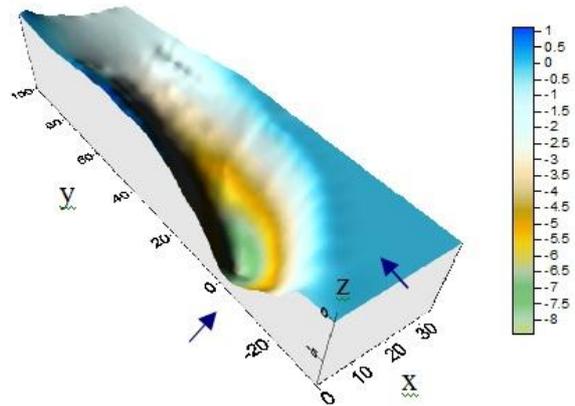


شکل 12: تغییرات حداکثر عمق فرسایش نسبی در مقابل

تغییرات نسبت دبی -  $q = 60^\circ$

شکل‌های فوق نشان می‌دهند صرف نظر از تاثیر زاویه اتصال و عدد فرود ذره در پایین دست محل تلاقی با افزایش نسبت دبی شاخه فرعی به دبی کل مقدار حداکثر عمق چاله فرسایشی افزایش می‌یابد. دلیل این امر ناشی از افزایش مومنتم شاخه فرعی و نهایتاً افزایش سرعت ورود جریان از کانال فرعی به محل تلاقی می‌باشد. این افزایش سرعت باعث افزایش تنش برشی بستر و افزایش شدت گرداب‌های به وجود آمده در محل گوشه پایینی اتصال می‌شود.

شکل‌های 13 تا 15 تاثیر نسبت دبی را بر ارتفاع نهایی رسوب گذاری تحت شرایط مختلف آزمایشی نشان می‌دهند.



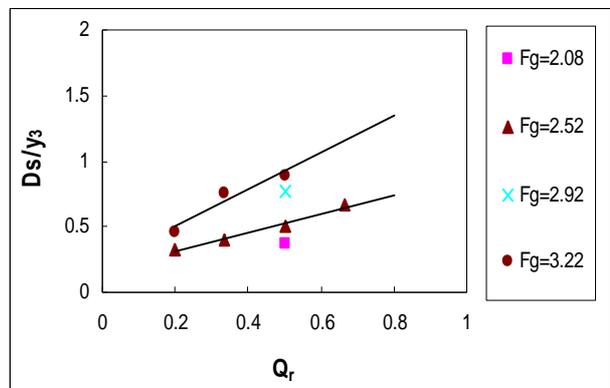
شکل 9: الگوی فرسایش و رسوب برای  $F_g=3.66$ ,

$q = 60^\circ$ ,  $Q_r=0.5$

### تاثیر نسبت دبی بر الگوی فرسایش و رسوب گذاری

یکی از پارامترهای مهم تاثیر گذار بر حداکثر عمق فرسایش و ارتفاع نهایی تپه رسوب گذاری نسبت دبی شاخه فرعی به دبی کل می‌باشد. در این پژوهش اثر پنج نسبت دبی در نظر گرفته شده است.

شکل‌های 10 تا 12 تاثیر نسبت دبی را بر حداکثر عمق فرسایش نسبی موضعی تحت شرایط مختلف آزمایشی نشان می‌دهند. لازم به ذکر است در بعضی از آزمایش‌ها حداکثر عمق فرسایش از ضخامت رسوب در بستر فلوم (11/5 سانتی‌متر) بیش‌تر شده و چاله فرسایشی به کف فلوم می‌رسد. بنابراین نقاط مربوط به این آزمایش‌ها از نمودارها حذف شده است.



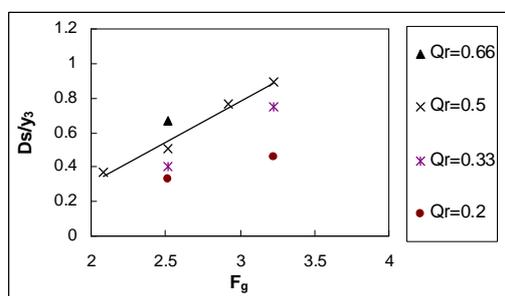
شکل 10: تغییرات حداکثر عمق فرسایش نسبی در مقابل

تغییرات نسبت دبی -  $q = 90^\circ$

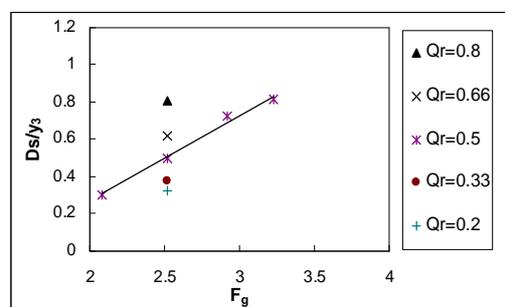
ناحیه جداشدگی جریان شود، نهایتاً ابعاد ناحیه رسوب-گذاری را نیز افزایش می‌دهد.

### تاثیر عدد فرود ذره در پایاب بر الگوی فرسایش و رسوب‌گذاری

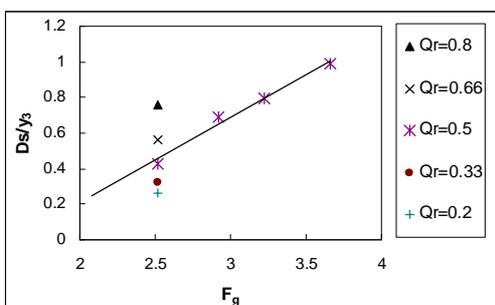
دیگر پارامتر مهم تاثیرگذار بر حداکثر عمق فرسایش و ارتفاع رسوب‌گذاری عدد فرود ذره پایین دست محل تلاقی می‌باشد. تاثیر این پارامتر در پژوهش-های قبلی کم‌تر مورد توجه قرار گرفته است. شکل‌های 16 تا 18 تاثیر عدد فرود ذره در پایاب را بر حداکثر عمق فرسایش در محل تلاقی نشان می‌دهند.



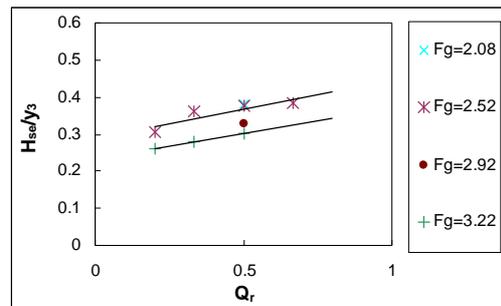
شکل 16: تغییرات حداکثر عمق فرسایش نسبی در مقابل تغییرات عدد فرود ذره -  $q = 90^\circ$



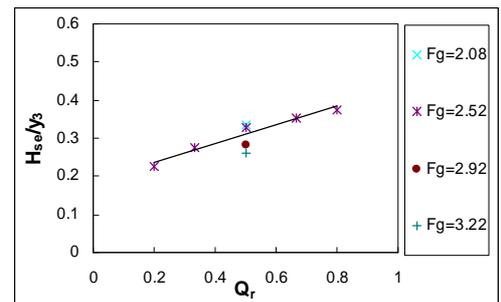
شکل 17: تغییرات حداکثر عمق فرسایش نسبی در مقابل تغییرات عدد فرود ذره -  $q = 75^\circ$



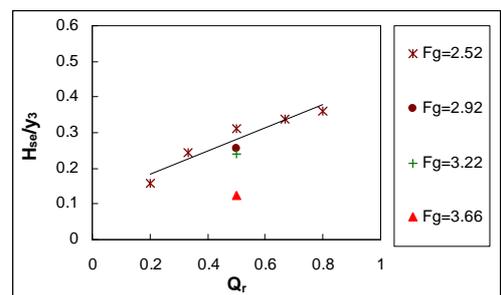
شکل 18: تغییرات حداکثر عمق فرسایش نسبی در مقابل تغییرات عدد فرود ذره -  $q = 60^\circ$



شکل 13: تغییرات ارتفاع نهایی رسوب‌گذاری در مقابل تغییرات نسبت دبی -  $q = 90^\circ$



شکل 14: تغییرات ارتفاع نهایی رسوب‌گذاری در مقابل تغییرات نسبت دبی -  $q = 75^\circ$



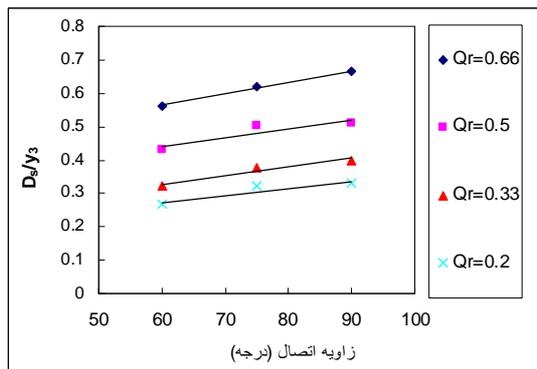
شکل 15: تغییرات ارتفاع نهایی رسوب‌گذاری در مقابل تغییرات نسبت دبی -  $q = 60^\circ$

همان‌گونه که در شکل‌های فوق نشان داده شده است با افزایش نسبت دبی؛ بدون در نظر گرفتن سایر متغیرهای تاثیرگذار، ارتفاع نسبی تپه رسوب‌گذاری که در مجاورت گوشه پایین اتصال و درون ناحیه جداشدگی جریان ایجاد می‌گردد، افزایش می‌یابد. با افزایش نسبت دبی ابعاد ناحیه جداشدگی جریان افزایش می‌یابد (بست، 1984؛ گورام، 1997) همان‌گونه که قبلاً اشاره شد در ناحیه جداشدگی، مولفه‌های سرعت در خلاف جریان عمومی جریان مشاهده می‌شود این امر باعث ایجاد جریان‌های چرخشی و نهایتاً به تله افتادن رسوب و ایجاد یک تپه رسوبی می‌شود. هر عاملی که باعث افزایش ابعاد

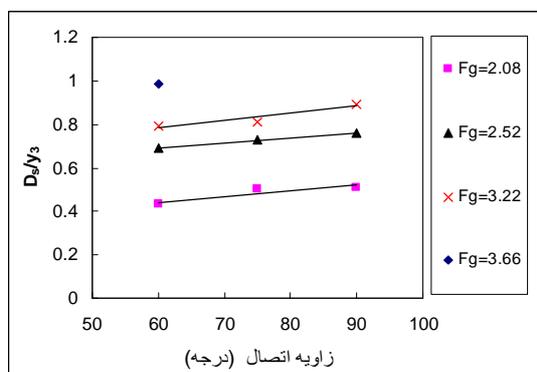
شکل‌های مذکور نشان می‌دهند با افزایش عدد فرود ذره ارتفاع نسبی تپه رسوبگذاری کاهش می‌یابد. دلیل این امر کاهش ابعاد ناحیه جداشدگی جریان در اثر افزایش عدد فرود ذره در پایین دست اتصال می‌باشد. کاهش عمق جریان در پایین دست اتصال منجر به افزایش سرعت جریان، افزایش عدد فرود ذره و نهایتاً کاهش طول و پهنای ناحیه جداشدگی جریان می‌شود (گورام، 1997).

### تاثیر زاویه تلاقی بر الگوی فرسایش و رسوبگذاری

همان‌گونه که قبلاً اشاره شد به‌منظور بررسی تاثیر زاویه تلاقی بر الگوی فرسایش و رسوب سه زاویه تلاقی 60، 75 و 90 درجه اختیار شده است. شکل‌های 22 و 23 تغییرات حداکثر عمق فرسایش نسبی در مقابل تغییرات زاویه تلاقی به ترتیب برای نسبت‌های دبی مختلف و اعداد فرود ذره متفاوت ارائه می‌نمایند.



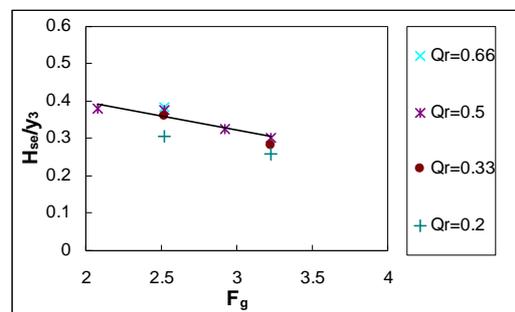
شکل 22: تغییرات عمق نسبی فرسایش در مقابل زاویه اتصال به ازای نسبت‌های دبی مختلف



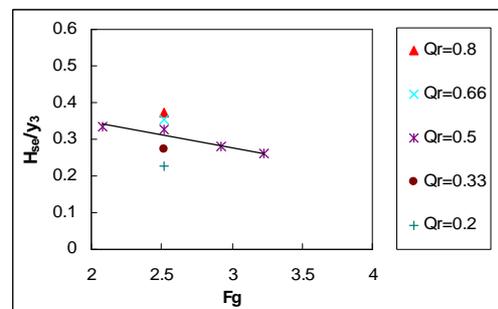
شکل 23: تغییرات عمق نسبی فرسایش در مقابل زاویه اتصال به ازای اعداد فرود ذره مختلف

همان‌گونه که ملاحظه می‌شود با افزایش عدد فرود ذره در پایین دست صرف نظر از تاثیر سایر پارامترها حداکثر عمق فرسایش افزایش می‌یابد. با افزایش عدد فرود ذره در پایین دست محل تلاقی، عمق جریان کاهش می‌یابد این امر منجر به افزایش سرعت جریان کانال‌های بالا دست محل تلاقی و هم‌چنین افزایش سرعت چرخش گرداب‌های ایجاد شده در محل اتصال می‌گردد به همین دلیل هنگام ورود جریان به محل تلاقی فرسایش بیش‌تری اتفاق می‌افتد.

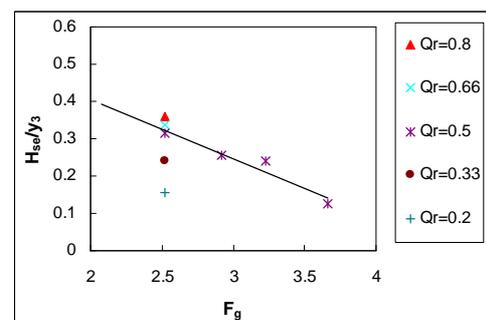
شکل‌های 19 تا 21 تاثیر عدد فرود ذره در پایاب را بر ارتفاع نهایی تپه رسوبگذاری نشان می‌دهند.



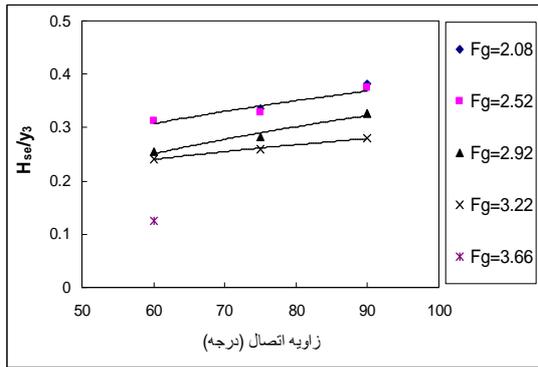
شکل 19: تغییرات ارتفاع نسبی تپه رسوبگذاری در مقابل تغییرات عدد فرود ذره -  $q = 90^\circ$



شکل 20: تغییرات ارتفاع نسبی تپه رسوبگذاری در مقابل تغییرات عدد فرود ذره -  $q = 75^\circ$



شکل 21: تغییرات ارتفاع نسبی تپه رسوبگذاری در مقابل تغییرات عدد فرود ذره -  $q = 60^\circ$



شکل 25: تغییرات ارتفاع نهایی نسبی رسوبگذاری در مقابل زاویه اتصال به ازای اعداد فرود ذره مختلف

شکل‌های مذکور نشان می‌دهند با افزایش زاویه تلاقی مقدار ارتفاع نهایی تپه رسوبگذاری افزایش می‌یابد همان‌گونه که در بالا به آن اشاره شد با افزایش زاویه اتصال ابعاد ناحیه جداشدگی و شدت جریان‌های گردابی در آن افزایش می‌یابد این امر باعث می‌شود رسوبات بیش‌تری در این ناحیه به تله بیافتند به خصوص این‌که رسوبات بیش‌تری نیز از چاله فرسایشی کنده می‌شود و نهایتاً ارتفاع تپه رسوبگذاری افزایش می‌یابد.

#### تخمین رابطه محاسبه حداکثر عمق نسبی فرسایش موضعی

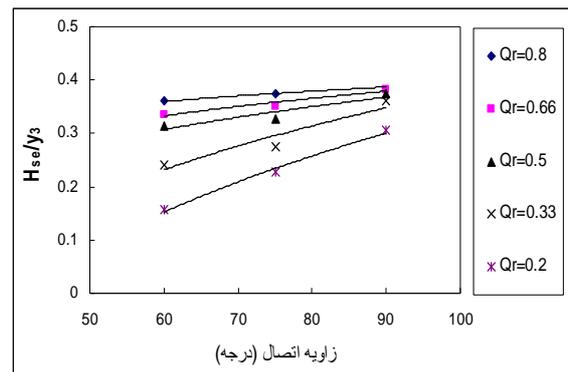
به منظور بررسی تاثیر متقابل نسبت دبی، عدد فرود ذره و زاویه تلاقی بر روی حداکثر عمق نسبی فرسایش و ارایه یک رابطه ریاضی تخمین مقدار فرسایش از رگرسیون‌گیری چند متغیره با نرم‌افزار SPSS v13 استفاده شد. نهایتاً پس از تحلیل‌های متعدد رابطه 8 استخراج گردید. تعداد کل آزمایش‌های انجام شده برای استخراج رابطه مذکور 29 آزمایش می‌باشد.

$$\frac{D_s}{y_3} = 0.029 Q_r^{0.732} F_g^{2.028} q^{0.347}, R^2 = 0.964 \quad (8)$$

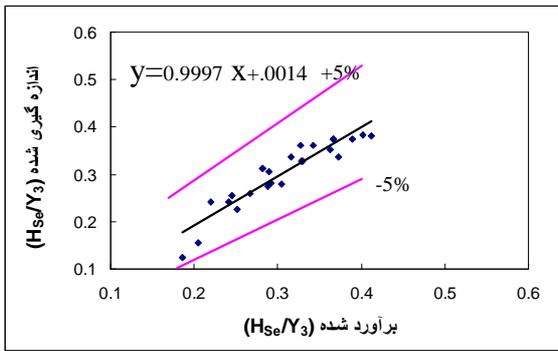
که در آن  $D_s$  حداکثر عمق چاله فرسایشی،  $y_3$  عمق جریان در پایین دست اتصال بعد از ناحیه جداشدگی جریان،  $Q_r$  نسبت دبی کانال فرعی به دبی کل،  $F_g$  عدد فرود ذره در پایین دست محل اتصال،  $q$  زاویه اتصال دو

شکل‌های فوق نشان می‌دهند که با افزایش زاویه اتصال بدون توجه به نسبت دبی و عدد فرود ذره مقدار عمق نسبی فرسایش موضعی افزایش می‌یابد. نتیجه تحقیق در این خصوص با نتایج بست (1988) و اشمور و پارکر (1983) هم‌خوانی دارد هر چند که روش انجام آزمایش و مواد بستر مورد استفاده در این پژوهش با منابع مذکور کاملاً متفاوت می‌باشد. با افزایش زاویه تلاقی دو شاخه زاویه ورود جریان از کانال فرعی به کانال اصلی بزرگ‌تر می‌شود (گورام، 1997). این امر باعث می‌شود جریان کانال فرعی از دیواره کانال اصلی فاصله بگیرد و ناحیه جداشدگی بزرگ‌تری ایجاد شود. علاوه بر این گرداب‌های شدیدتری در ناحیه جداشدگی به وجود می‌آید. نقطه شروع ناحیه چرخشی جریان همان نقطه گوشه پایین اتصال می‌باشد. در حوالی این نقطه است که ناحیه حداکثر فرسایش اتفاق می‌افتد. هر چه شدت چرخش جریان گردابی بیش‌تر باشد فرسایش در این محل بیش‌تر است.

در شکل‌های 24 و 25 تغییرات ارتفاع نهایی رسوبگذاری را در مقابل تغییرات زاویه تلاقی به ترتیب برای نسبت‌های دبی مختلف و اعداد فرود ذره متفاوت نشان داده شده است.



شکل 24: تغییرات ارتفاع نهایی نسبی رسوبگذاری در مقابل زاویه اتصال به ازای نسبت‌های دبی مختلف



شکل 27: رابطه بین عمق فرسایش بدون بعد  $(D_s/y_3)$  اندازه گیری شده و برآورد شده با رابطه 9

تمام نقاط نشان داده شده در شکل فوق در محدوده باند اعتماد 95% قرار دارند که نشان دهنده دقت خوب رابطه 9 در برآورد ارتفاع نهایی رسوب گذاری نسبی در محل تلاقی می باشد.

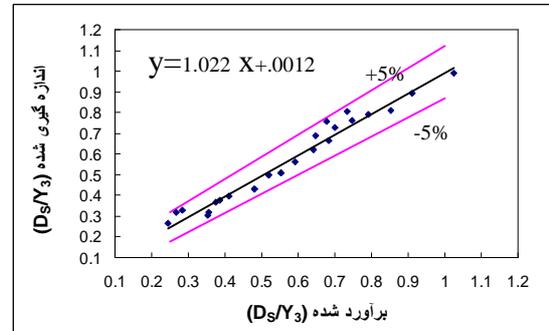
### نتیجه گیری

تعیین حداکثر عمق فرسایش و ارتفاع تپه رسوب گذاری در محل تلاقی رودخانه ها که در اثر گرداب های ایجاد شده به دلیل ورود جریان از شاخه فرعی به اصلی به وجود می آیند، یکی از پدیده های بسیار مهم در علوم مهندسی هیدرولیک، رسوب و رودخانه می باشد که کم تر مورد توجه قرار گرفته است و مطالعات سیستماتیک روی آن انجام نشده است. در این پژوهش با انجام 29 آزمایش روی سه تلاقی با زوایای اتصال 60، 75 و 90 درجه به مطالعه الگوی فرسایش و رسوب گذاری در محل تلاقی پرداخته شد. بستر فلوم های آزمایشگاهی توسط رسوب با اندازه ذره متوسط  $1/95$  میلی متر و با ضخامت  $11/5$  سانتی متر پوشانده شده است. علاوه بر تاثیر زاویه اتصال تاثیر پنج نسبت دبی و حداقل چهار عدد فرود ذره در پایاب نیز در نظر گرفته شده است. با استفاده از رگرسیون گیری چند متغیره روابطی نیز برای محاسبه حداکثر عمق فرسایش موضعی (رابطه 8) و ارتفاع نهایی تپه رسوب گذاری (رابطه 9) ارائه گردید. نتایج آزمایش های انجام شده نشان داد:

1- با افزایش زاویه اتصال بدون توجه به نسبت دبی و عدد فرود ذره مقدار عمق نسبی فرسایش موضعی افزایش می یابد. نتیجه پژوهش در این خصوص با نتایج

کانال بر حسب درجه و نهایتاً R ضریب همبستگی رابطه می باشد.

به منظور بررسی دقت رابطه فوق مقادیر عمق فرسایش نسبی اندازه گیری شده و مقادیر برآورد شده با رابطه 8 در مقابل هم ترسیم گردیدند (شکل 26).



شکل 26: رابطه بین عمق فرسایش بدون بعد  $(D_s/y_3)$  اندازه گیری شده و برآورد شده با رابطه 8

همان گونه که در این شکل نشان داده شده است اکثر نقاط در محدوده باند اعتماد 95% قرار دارند که نشان دهنده دقت خوب معادله 6 در برآورد عمق نسبی فرسایش موضعی می باشد.

### تخمین رابطه محاسبه ارتفاع نهایی رسوب گذاری نسبی

همانند آنچه که برای محاسبه عمق نسبی فرسایش انجام شد در این جا نیز به منظور بررسی تاثیر متقابل نسبت دبی، عدد فرود ذره و زاویه تلاقی بر روی حداکثر ارتفاع نسبی رسوب گذاری و ارایه یک رابطه ریاضی پیش بینی مقدار فرسایش از رگرسیون گیری چند متغیره با نرم افزار SPSS v13 استفاده شد. نهایتاً پس از تحلیل های متعدد رابطه 9 استخراج گردید.

$$\frac{H_{Se}}{y_3} = 0.27Q_r^{.638} - 0.559F_g^{.0321} + 0.21\ln(q) \quad (9)$$

$$R^2 = 0.851$$

که در آن  $H_{Se}$  ارتفاع نهایی رسوب گذاری می باشد بقیه پارامترها در رابطه 9 معرفی شدند.

به منظور بررسی دقت رابطه فوق مقادیر عمق نسبی فرسایش اندازه گیری شده و مقادیر برآورد شده با رابطه 9 در مقابل هم ترسیم گردیدند (شکل 27).

استاندارد تحقیقات آب سازمان آب و برق خوزستان تامین شده که بدین وسیله تشکر و قدردانی می‌گردد.

بست (1988) و اشمور و پارکر (1983) که به ترتیب توسط روابط شماره 2 و 3 ارائه شده‌اند هم‌خوانی دارد هر چند که روش انجام آزمایش و مواد بستر مورد استفاده در این پژوهش با منابع مذکور کاملاً متفاوت می‌باشد.

2- با افزایش زاویه اتصال به دلیل افزایش ابعاد ناحیه جداسازی و شدت جریان‌های گردابی، رسوبات بیش‌تری در این ناحیه به تله می‌افتد به خصوص این‌که رسوبات بیش‌تری نیز از چاله فرسایشی کنده می‌شود بنابراین ارتفاع نهایی تپه رسوب‌گذاری افزایش می‌یابد. با توجه به این‌که در پژوهش‌های قبلی به این موضوع پرداخته نشده است لازم است بررسی‌های بیش‌تر انجام شود.

3- همان‌گونه که در شکل 4 بدان اشاره شد ارتفاع تپه رسوب‌گذاری که در انتهای آزمایش اندازه‌گیری می‌شود معمولاً کم‌تر از حداکثر ارتفاع رسوب‌گذاری مشاهده شده در طول آزمایش می‌باشد که برای به‌دست آوردن ارتباط این دو در شرایط مختلف هیدرولیکی نیاز به تحقیقات بیش‌تر است.

4- صرف نظر از تاثیر زاویه اتصال و عدد فرود ذره در پایین دست محل تلاقی، به دلیل افزایش مومنتم شاخه فرعی و نهایتاً افزایش سرعت ورود جریان از کانال فرعی به محل تلاقی با افزایش نسبت دبی شاخه فرعی به دبی کل مقدار حداکثر عمق چاله فرسایشی و ارتفاع نهایی تپه رسوب‌گذاری افزایش می‌یابد.

5- با افزایش عدد فرود ذره در پایین دست صرف‌نظر از تاثیر سایر پارامترها به دلیل کاهش عمق جریان پایین دست و افزایش سرعت جریان حداکثر عمق فرسایش افزایش می‌یابد.

6- با افزایش عدد فرود ذره در پایین دست اتصال به دلیل کاهش عمق جریان و نهایتاً کاهش ابعاد ناحیه جداسازی جریان (گورام، 1997) ارتفاع نهایی تپه رسوب‌گذاری کاهش می‌یابد.

### سیاسگزاری

این مقاله نتیجه‌ی بخشی از یک طرح پژوهشی است که امکانات اجرایی و اعتبارات مالی آن توسط دفتر

## منابع

- برقعی. س. م.، سخایی فر. س. م. و دائمی. ع. 1381. بررسی آزمایشگاهی اتصال کانالها. مجموعه مقالات ششمین سمینار بین المللی مهندسی رودخانه. اهواز، ص 611-619.
- برقعی. س. م. و نظری، ا. 1382. بررسی آزمایشگاهی الگوی رسوب در تقاطع کانالها. مجموعه مقالات ششمین کنفرانس بین المللی مهندسی عمران. اصفهان، ص 247-255.
- Ashmore, P. and Parker, G. 1983. Confluence scour in coarse braided stream. *Water Resour. Res.* 19: 392-402
- Anwar, H. 1955. Stromungsverhältnisse bei flussvereinigungen, PhD thesis, Technical Univ. of Karlsruhe, Germany (in German)
- 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. Etheidge, R. M. Flores and M. D. Harvey, eds, 27-35.
- Best, J. L. 1988. Sediment transport and bed morphology at river channel confluences. *Sedimentology*, 35, 481-498.
- Best, J. L. and Reid, I. 1984. Separation zone at open channel – junctions. *J. Hydr. Engrg., ASCE*, 11. 110. 1588- 1595.
- 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.
- 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*, 2, 122. 676-682.
- 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*, Vol. 28, Issue 9, 913-928.
- 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.
- Gurram, S. K., Karki, K. S. and Hager. W. H. 1997. Subcritical junction flow. *J. Hydr. Engrg., ASCE*, 5, 123, 447-455.
- Hager, W. H. 1987. Discussion: Separation zone at open channel – junctions. *J. Hydr. Engrg., ASCE*, 5, 115, 595-616.
- Hsu, C. C., Wu, F. S. and Lee, W. J. 1998a. Flow at 90 equal – width open-channel junction. *J. Hydr. Engrg., ASCE*, 2, 124, 186-191.
- Hsu, C. C., Lee, W. J. and Chang, C. H. 1998b. Sub critical open – channel junction flow. *J. Hydr. Engrg., ASCE*, 8, 124, 847-855.
- Huang, J., Weber, J. L. and Lai, G. Y. 2002. Three dimensional numerical study of flows in open-channel junctions. *J. Hydr. Engrg., ASCE*, 3, 128, 268-280.
- Lin, J. D. and Soong, H. K. 1979. Junction losses in open channel flows. *Water Resour. Res.* 15, 2, 414-418.
- Modi, P. N., Ariel, P. D. and Dandekar, M. M. 1981. Conformal mapping for channel junction flow. *J. Hydr. Engrg.* 12, 107. 1713-1733.
- Mosley, M. P. 1976. An experimental study of channel confluences. *J. Geol.* 84, 535-562.
- Ramamurthy, A. S., Carballada, L. B. and Tran, D. M. 1988. Combining open channel flow at right angled junctions *J. Hydr. Engrg., ASCE*, 12, 114, 1449-1460.
- Ramamurthy, A. S., Qu, J. and Zhai, C. 2006. 3D simulation of combining flows in 90 rectangular closed conduits. *J. Hydr. Engrg., ASCE*, 2, 132, 214-218.
- Roy, G. A., and Roy, R. 1998. Changes in channel Size at river Confluences with coarse bed material. *Earth surface processes and Land forms*, 13, 77-84.
- Roy, A. G, Roy. R. and Bergeron, N. 1988. Hydraulic geometry and changes in flow velocity at a river confluence with coarse bed material. *Earth surface processes and Land forms*, 13, 583-598.

- Taylor, E. H. 1944. Flow characteristics at rectangular open-channel junction. J. Hydr. Engrg., ASCE, 109, 893-912.
- 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.
- Weber, L. J., Schumate, E. D. and Mawer, N. 2001. Experimental on flow at a 90<sup>o</sup> open – channel Junction. J. Hydr. Engrg. ASCE. 127, 340-350.
- 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.

## Effects of Confluence Angle on Erosion and Sedimentation Pattern at River Confluence by Physical Model

Ghobadian<sup>1</sup>, R., Shafai Bajestan<sup>2</sup>, M. and Azari<sup>3</sup>, A.

### Abstract

River confluence is an important element of river system. The entrance flow from the minor branch to the main channel causes extensive variation in flow pattern which result a deep scour hole and formation of point bar. These phenomena can accelerate the rate of bank erosion, bring problems for navigation and may causes failure of the bridges or structure nearby. Despite of these, due to three dimensional structures of flow and sediment at river confluence, systematic study for understanding the mechanism of flow and sediments are very few. There for the main purpose of this study to conduct a comprehensive literature review and experimental program to study the effects of confluence angle on erosion and sedimentation pattern. To reach such goals first using the dimensional analysis, general non-dimensional equations were developed. Then many experimental tests were conducted for three confluence angles of 60, 75 and 90 degree and different hydraulic conditions. The experimental tests showed that as the confluence angle is increase, the scour hole and point bar dimensions increases. Using the experimental data, the effects of each non-dimensional parameters on scour hole depth were investigated and finally relations were developed for prediction the scour and point bar dimensions.

**Keyword:** River confluence, Confluence angle, Scour hole, Point bar

---

1. Assistant Professor, Department of water engineering, Faculty of Agriculture, Razi University

2. Professor, Department of water engineering , Faculty of Water Science engineering, Shahid Chamran University

3. PhD. Student, Faculty of Water Science engineering, Shahid Chamran University