



Experimental Investigation of Erosion and Sedimentation at Unequal Bed Level River Confluence

M. Hemmati¹ and M. Shafai-Bejestan^{2*}

Abstract

Unequal river bed level at the river junctions are common in nature. The study of scour and sedimentation at such junctions however have not received the attention of researchers because of the complexity of the experimental setup. In many studies it has been assumed that the bed level has no significant effect on the scour and sedimentation patterns. It has been reported by a few investigators that the flow patterns and the zone of maximum shear stress in junction of unequal bed level is different from that of equal bed level cases. This study investigated the effect of this variable. First the general non-dimensional equations were developed using the dimensional analysis. Many experimental tests were then conducted under three different river bed discordances and different hydraulic conditions. The data from these experimental tests was compared with the results of the previous study. The results indicated that generally as the river bed discordance increases, the scour hole and point bar dimensions decreases. Using the experimental data, the effects of each non-dimensional parameter on scour depth were investigated and finally relations were developed for prediction of scour dimensions.

Keywords: Rivers Confluence, Unequal bed level, Maximum scour depth, Discharge ratio, Height of sediment deposition.

بررسی آزمایشگاهی الگوی فرسایش و رسوبگذاری در محل تلاقی رودخانه‌های غیرهمکف

محمد همتی^۱ و محمود شفاعی بجهستان^{۲*}

چکیده

اگر چه اختلاف رقوم بین شاخه اصلی و فرعی در اکثر تلاقی رودخانه‌ها امری طبیعی است اما تمام مطالعات قبلی در زمینه تلاقی رودخانه‌ها معطوف به تلاقی‌های هم کف بوده است و فرض بر این بوده است که اختلاف بستر دو رودخانه تاثیری بر میزان عمق آبستگي ندارد. در صورتیکه مشاهدات نشان می دهند که با ورود جریان از شاخه فرعی به شاخه اصلی در اتصالات غیر هم کف به دلیل عدم وجود ناحیه جداشدگی در نزدیک بستر، ناحیه جریان با شتاب زیاد در پایین دست گوشه‌ی اتصال بوجود نمی‌آید ولی در نزدیک سطح آب این ناحیه با سرعت بالا مشاهده می‌شود در حالیکه خطوط جریان عمقی در اتصالات هم کف تقریباً موازی یکدیگرند و انحرافی به طرف سطح آب در آنها دیده نمی‌شود. از این رو پژوهش حاضر با هدف بررسی آزمایشگاهی الگوی فرسایش و رسوبگذاری در محل تلاقی رودخانه‌های غیرهمکف انجام شده است. در این تحقیق تاثیر عواملی چون نسبت دبی شاخه فرعی به دبی شاخه اصلی (Q_r) و نسبت اختلاف رقوم بستر دو کانال بر عرض شاخه اصلی در پایین دست تلاقی (Z/B_3) بر میزان عمق آبستگي و رسوبگذاری در یک اتصال ۶۰ درجه برای رسوب با قطر متوسط ۱/۰۵ میلی متر مورد بررسی قرار گرفته است. با تجزیه و تحلیل نتایج بدست آمده روابطی به منظور تعیین عمق آبستگي و ارتفاع رسوبگذاری ارائه شده است. نتایج بدست آمده حاکی از آن است که برای مقدار ثابت عدد فرود جریان در پایین دست تلاقی، با افزایش اختلاف رقوم بستر دو کانال میزان عمق آبستگي در محل تلاقی کمتر می گردد.

کلمات کلیدی: تلاقی رودخانه‌ها، غیر همکف، حداکثر عمق آبستگي، نسبت دبی، حداکثر ارتفاع رسوبگذاری.

تاریخ دریافت مقاله: ۲۱ اسفند ۱۳۸۶

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۹ اسفند ۱۳۸۷

1- Ph.D. Candidate, Dept. of Hydraulic Structure. Shahid Chamran University, Ahwaz, Iran.

2- Professor, Dept. of Hydraulic Structure. Shahid Chamran University, Ahwaz, Iran.

*- Corresponding Author

۱- دانشجوی دکتری سازه‌های آبی دانشگاه شهید چمران

۲- استاد گروه سازه‌های آبی دانشگاه شهید چمران

*- نویسنده مسئول

۱- مقدمه

و رسوب گذاری در محل تلاقی انجام شده است. خصوصاً اینکه در تلاقی غیر هم کف مطالعات انجام شده بسیار اندک می‌باشد.

از جمله مطالعاتی که هم بصورت صحرایی و هم بصورت آزمایشگاهی در تلاقی‌های هم کف و غیر هم کف انجام شده به طور خلاصه به آنها اشاره می‌شود: بایرون و همکاران با اندازه گیری‌های صحرایی، مورفولوژی بستر و توزیع اندازه رسوب را در یک اتصال با زاویه ۶۵ درجه مورد بررسی قرار دادند. در این اتصال رودخانه‌های بالادست دارای پهنای برابر ۸ متر بودند و اختلاف ارتفاع بستر شاخه فرعی و اصلی ۰/۶ متر بود. نتایج مطالعات ایشان به این صورت بود که مورفولوژی بستر در طی نمونه برداری تغییر می‌کند و ناحیه آبشستگی قابل ملاحظه‌ای هم مشاهده نگردید. آنها اضافه می‌کنند که مورفولوژی بستر در اتصالات هم کف و غیر هم کف متفاوت است. همچنین توزیع مکانی اندازه ذرات مواد بستر در محل اتصال توسط سه ناحیه مشخص می‌شود: ۱- یک تپه رسوبی (bar) در دهانه کانال فرعی، ۲- عدم وجود ناحیه آبشستگی قابل ملاحظه و ۳- یک تپه رسوبی (bar) روی خاکریز کانال فرعی در پائین دست محل اتصال.

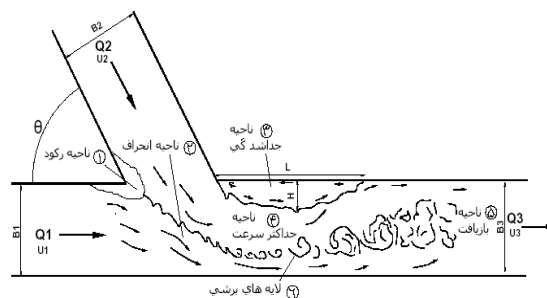
بویر و همکاران (۲۰۰۶) با اندازه گیری‌های صحرایی، بر روی دو رودخانه با زاویه تقاطع ۶۵ درجه و اختلاف ارتفاع بستر دو کانال ۴۵ سانتی متر و عرضهای بالادست ۸ متر برای هر دو کانال و ۱۲ متر برای کانال اصلی در پایین دست تقاطع، گزارش کردند که ماکزیمم مقدار سرعت در لبه کناری لایه برشی، جایی که مقدار حمل رسوب و مقدار تنش $\rho U W'$ ماکزیمم است، اتفاق می‌افتد.

که به ترتیب چگالی آب، سرعت متوسط در جهت طولی و نوسانات سرعت در جهت عمودی است. منظور از لایه‌ی برشی در واقع همان منطقه‌ی اطراف ناحیه‌ی حداکثر سرعت است که جهت بردارهای سرعت به سمت کف بستر می‌باشد. ایشان گزارش دادند که جابجایی لایه برشی که در نتیجه تغییر در نسبت مومنتم است، خصوصیات جریان در نزدیک کف، شدت حمل رسوب و شکل نواحی فرسایش و رسوبگذاری را تغییر می‌دهد.

بایرون و همکاران با بررسی آزمایشگاهی تاثیر اختلاف رقوم کف روی دینامیک جریان با بستر صلب به این نتیجه رسیدند که الگوی خطوط جریان در اتصالاتی غیر هم کف بطور قابل ملاحظه‌ای با اتصالاتی هم کف تفاوت دارد و جهت بردارهای سرعت در این اتصالات بر خلاف تقاطع‌های هم کف که موازی کف بوده به سمت سطح آب می‌باشد و در نهایت گزارش دادند که به دلیل اختلاف عمده‌ای که

آگاهی کافی از دینامیک جریان در اتصال رودخانه‌ها از بزرگترین دغدغه‌های مهندسان رودخانه، رسوب و مورفولوژی است. کارهای انجام گرفته متجاوز از ۳ دهه، هم در زمینه میدانی و هم در زمینه آزمایشگاهی تا حدودی خصوصیات پیچیده جریان در اتصال رودخانه‌ها را شناسانده است، از جمله شفافی بچستان و قبادیان (۱۳۸۵)، برقی ونظری (۱۳۸۲)، (Mosley, 1996)، (Best, 1988)، (Ashmore and Parker, 1983)، (Roy and Roy 1988)، (Roy et al., 1988)، (Biron et al. 1993, 1996b, 2002) و (Boyer et al., 2006) اشاره نمود.

بیشتر مطالعات انجام شده در زمینه اتصال رودخانه‌ها برای تقاطع‌های هم کف بوده در حالی که در طبیعت شاهد حضور تقاطع‌های غیر هم کف نیز هستیم که تاکنون در دنیا مطالعاتی به صورت آزمایشگاهی با بستر زنده صورت نگرفته است. مطالعاتی هم که انجام شده است به صورت میدانی می‌باشد. دینامیک جریان در محل تلاقی رودخانه‌ها را می‌توان به صورت شماتیک مطابق شکل ۱ نشان داد:



شکل ۱ - الگوی جریان در محل تلاقی کانال‌های روباز (Best, 1988)

در محدوده تلاقی شش ناحیه مختلف شامل: (۱) ناحیه رکود (۲) ناحیه انحراف جریان (۳) ناحیه جداشدگی (۴) ناحیه حداکثر سرعت (۵) ناحیه باز یافت جریان و (۶) ناحیه لایه‌های برشی قابل تشخیص می‌باشد (Best, 1988). توسعه مناطق ۱ و ۳ باعث حجیم تر شدن رسوب انباشته شده و افزایش سرعت در منطقه ۴ باعث عمیق تر شدن چاله فرسایشی و فرسایش شدید سواحل می‌شود که بتدریج ایجاد پیچانود 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 محدودی برای شناخت بیشتر الگوی جریان و وضعیت فرسایش

بین دینامیک جریان در کانال‌های متلاقی هم کف و غیر هم کف در نزدیک بستر وجود دارد (مثلاً ناحیه جداشدگی و ناحیه حداکثر سرعت) انتظار می‌رود مسیرهای انتقال رسوب و طبیعت مورفولوژی بستر نیز در این تلاقی‌ها متفاوت باشد.

تجزیه و تحلیل ابعادی، روابط کلی شامل پارامترهای بدون بعد استخراج گردید. این رابطه عبارت است از:

$$(2)$$

که در آن Φ معرف پارامترهای مربوط به حداکثر عمق آبستگي H_s و حداکثر ارتفاع رسوبگذاري H_b ، پهناي کانال B ، دبي جريان Q ، شيب کف در محل اتصال S_0 ، زاويه اتصال θ ، عدد فرود ذره F_{g3} ، عدد رينولدز R_e ، عدد وبر W_e ، و اختلاف رقوم کف کانال اصلی و فرعی (Z) می‌باشد. زیرنویسهای ۱ و ۲ و ۳ به ترتیب مربوط به شاخه فرعی، کانال اصلی در بالا دست تقاطع و کانال اصلی در پایین دست تقاطع می‌باشد.

مطالعات گورام و همکاران (۱۹۹۷) نشان داد که در شرایط جریان زیر بحرانی شیب کف در محل تلاقی‌های همکف تاثیر قابل ملاحظه‌ای روی الگوی جریان در محل تلاقی ندارد. لذا در این پژوهش از اثر شیب کف صرف‌نظر شده است. ابعاد فلوم ساخته شده و شرایط جریان به گونه‌ای است که اعداد رینولدز و وبر بیش از حد مجاز است؛ بنابراین از اثر آنها نیز صرف‌نظر شده است. از طرفی مطالعات این تحقیق بر روی تلاقی ۶۰ درجه با عدد فرود ذره ثابت و برای یک نسبت عرض کانال فرعی به اصلی برابر با ۰.۷۱۴ انجام شده است پس تاثیر زاویه و عرض کانال فرعی مورد بررسی قرار نگرفته است که در این صورت رابطه (۲) به صورت زیر خلاصه می‌شود:

$$(3)$$

۱-۲- امکان‌ات آزمایشگاهی

رابطه (۳) رابطه کلی است و به منظور بررسی تاثیر هر یک از پارامترهای بی بعد در میزان عمق آبستگي موضعی در محل تلاقی و حداکثر ارتفاع رسوبگذاري در پایین دست تلاقی ضروری است تا آزمایشهایی انجام شود. تجهیزات استفاده شده برای انجام آزمایشات مورد نیاز در شکل ۲ نشان داده شده است. کانال اصلی دارای طول ۹ متر و عرض ۳۵ سانتی متر، کانال فرعی دارای طول ۳/۵ متر و عرض ۲۵ سانتی متر می‌باشد. در انتهای کانال اصلی یک دریچه برای کنترل شرایط جریان وجود دارد. در ابتدای ورودی هر یک از کانال‌ها از صفحات مشبک چندین لایه برای آرام کردن جریان ورودی به کانال‌ها استفاده شده است. برای ایجاد اختلاف ارتفاع بین دو بستر از پله قائم در محل اتصال شاخه فرعی به اصلی مطابق شکل (۲- جزئیات D) استفاده شده است. همانطور که در شکل ۲ نشان

شعاعی بجستان و قبادیان (۱۳۸۵) با بررسی آزمایشگاهی الگوی فرسایش و رسوبگذاری در تقاطع‌های هم کف اثر پارامترهای Bz ، θ ، Fg ، Qr (به ترتیب عدد فرود ذره، نسبت دبي شاخه فرعی به دبي کل، نسبت عرض شاخه فرعی به اصلی و زاویه تلاقی دو کانال) را بر میزان آبستگي در محل تقاطع بررسی کرده و رابطه ای نیز بر آن استخراج کردند. در این تحقیق از پنج نسبت دبي $(0/2-0/33-0/5-0/67-0/8)$ ، سه نسبت عرض $(0/428-0/714-1)$ ، از سه زاویه تلاقی $(60-75-90)$ درجه، از سه نوع دانه‌بندی با D_{50} $(1/05, 1/95, 3/41)$ میلی متر و محدوده عدد فرود ذره پایاب از $1/21$ الی $5/48$ بود. خلاصه نتایج این محققان چنین است که با افزایش عدد فرود ذره پایاب، نسبت دبي فرعی به دبي کل، زاویه تلاقی دو کانال و با کاهش نسبت عرض شاخه فرعی به شاخه اصلی و اندازه ذره میزان آبستگي در محل تقاطع افزایش می‌یابد. آنها نهایتاً فرمولی استخراج نمودند که به صورت زیر می‌باشد:

$$(1)$$

در این رابطه: $R^2 = 0.89$ $F_g = \frac{V_3}{\sqrt{g(G_s - 1)d_{50}}}$ عدد فرود ذره (v سرعت جریان، d_{50} اندازه متوسط مصالح بستر، G_s چگالی ویژه مصالح بستر برابر $2/65$)، D_s حداکثر عمق آبستگي و B_3 عرض کانال اصلی در پایین دست تلاقی می‌باشد.

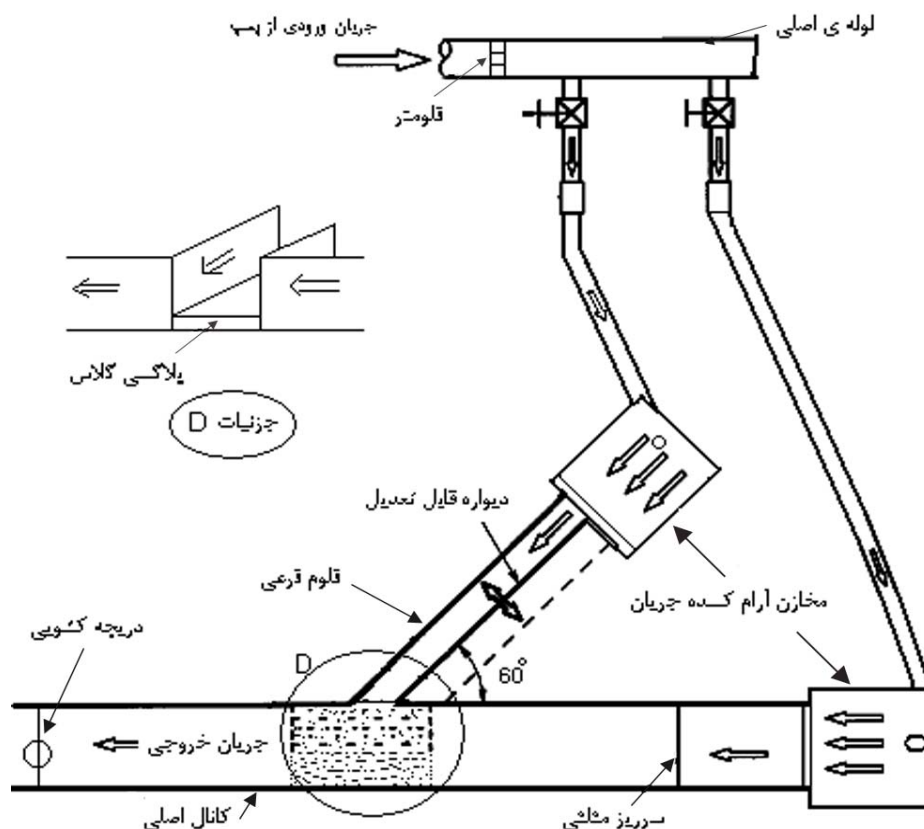
بررسی منابع موجود نشان می‌دهد که بررسی وضعیت فرسایش و رسوبگذاری در محل تلاقی رودخانه‌های غیر هم کف کمتر مورد توجه قرار گرفته است و ضروری است تا مطالعات بیشتری انجام شود.

۲- مواد و روشها

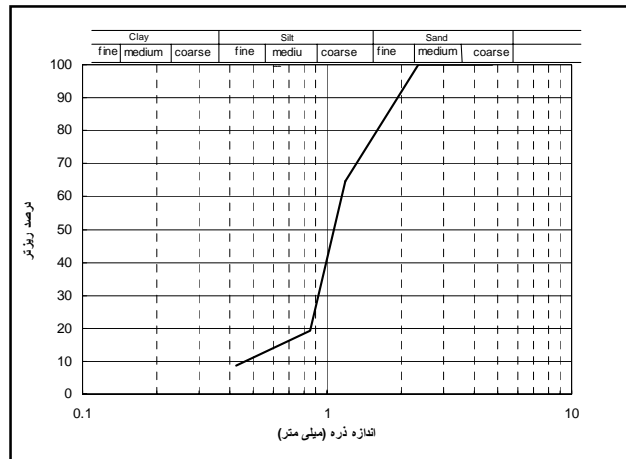
به منظور دستیابی به اهداف این تحقیق با توجه به اینکه متغیرهای زیادی بر حداکثر عمق فرسایش بستر (H_s) و حداکثر ارتفاع رسوبگذاري (H_b) تاثیر دارند که ابتدا با شناخت این متغیرها و

توسط شاخه فرعی بدلیل وجود پله جلوگیری شود. پس از اطمینان از بالا بودن کافی تراز سطح آب در هر دو فلوم شیرهای ورودی به کانالها به تدریج افزایش و همزمان دریچه نیز بتدریج باز می‌گردد. این عمل تا زمانی که دبی در هر دو کانال در حد مورد نظر باشد ادامه دارد. سپس دریچه پایین دست به تدریج باز می‌گردد تا عدد فرود ذره در پایین دست در حد مورد نظر قرار گیرد. در این پژوهش عدد فرود ذره در تمامی آزمایشات ثابت و برابر با $2/43$ بود، مدت زمان برای تمامی آزمایشات یک ساعت بوده، که بعد از اتمام هر آزمایش، فلوم به آهستگی تخلیه می‌شود و نیمرخ فرسایش و رسوبگذاری در محل تلاقی در یک شبکه $2/5$ در $2/5$ سانتیمتری برداشت می‌گردد. انتخاب زمان یک ساعت نیز به این دلیل بود که شفاعی بجستان و قبادیان (۱۳۸۵) در مطالعات خود به این نتیجه رسیدند که ۹۰ درصد عمق آبهستگی در مدت زمان یک ساعت اتفاق می‌افتد. لازم به ذکر هست که شرایط آزمایشها در این پژوهش به گونه ای در نظر گرفته شده که هیچ گونه حرکت مواد بستر در کانالهای بالادست تلاقی اتفاق نیفتاده است. به عبارتی شرایط بستر زنده در این پژوهش برقرار نمی‌باشد. جدول ۱ دامنه تغییرات پارامترهای این پژوهش و شکل ۳ دانه بندی رسوبات بستر را نشان می‌دهد.

داده شده است جریان ورودی به کانالها توسط پمپی که به فلومتر (با دقت $0/01$ لیتر بر ثانیه) مجهز است کنترل می‌شود. دبی ورودی به شاخه اصلی به طور مجزا توسط سرریز مثلی که در بالادست کانال در فاصله 1.5 متری از ابتدای آن قرار دارد (تاج سرریز مثلی 30 سانتی متر بالاتر از کف کانال قرار دارد و تحت جریان کاملاً آزاد کار می‌کند) اندازه گیری می‌گردد و در نتیجه دبی شاخه فرعی از تفاضل دبی کل و شاخه اصلی بدست می‌آید. مخازن آرام کننده جریان، که ابعاد آنها برای شاخه اصلی $1 \times 1 \times 1$ و برای شاخه فرعی $1 \times 1 \times 0/8$ هست در ابتدای دو کانال قرار دارند. از دو دستگاه عمق سنج با دقت $0/1$ میلی متر برای اندازه گیری رقوم سطح آب در فاصله 75 سانتی متری بالادست سرریز مثلی و همچنین رقوم سطح آب پایاب استفاده شده است. به منظور انجام هر آزمایش ابتدا 9 سانتی متر مصالح رسوبی با اندازه مورد نظر در کف کانال اصلی و 11 و 13 و 15 سانتی متر نیز به ترتیب برای سه اختلاف رقوم 2 و 4 و 6 سانتی متر ریخته شد. سپس در حالی که دریچه انتهایی بسته است شاخه اصلی تا لبه کف کانال فرعی به آرامی پر می‌شود سپس شیر ورودی به شاخه فرعی را نیز به آرامی باز کرده تا سطح آب در هر دو کانال افزایش یابد. در این مدت دریچه پایین دست کاملاً بسته است این عمل به این دلیل انجام می‌شود تا از آبهستگی اولیه



شکل ۲- تجهیزات آزمایشگاهی مورد استفاده



شکل ۳- منحنی دانه بندی رسوبات بکار رفته در این تحقیق

جدول ۱- دامنه تغییرات پارامترهای بکار رفته در این تحقیق

محدوده تغییرات	پارامتر
۰/۷۱۴	نسبت عرض شاخه فرعی به شاخه اصلی B_r
۱/۰۵ میلی متر	اندازه متوسط ذره d_{50}
۰/۱۷۱- ۰/۱۱۴- ۰/۰۵۷	اختلاف بستر دو کانال Z/B_3
۱/۲۵ و ۰/۷۴ و ۰/۵ و ۰/۲۵	نسبت دبی شاخه فرعی به شاخه اصلی در بالادست Q_r

کانال اصلی پیشروی می کند. بطوری که آبستگي برای نسبت Z/B_3 برابر با ۰/۵۷ فقط به صورت عمقی بوده، ابعاد چاله فرسایشی و تپه رسوبگذاری گستردگی زیادی نداشت (ابعاد چاله فرسایشی در جهت عرض کانال اصلی (y) ۱۷/۵ و در جهت طولی (x) برابر با ۴۵ سانتی متر می باشد). اما برای نسبت ۰/۱۱۴ و ۰/۱۷۱ آبستگي از نظر عمقی، طولی و عرضی گسترش زیادی نسبت به حالت قبلی داشت. یعنی هم به سمت ساحل چپ کانال اصلی در جهت عرضی (y) و هم به سمت پایین دست تلاقی در جهت طولی (x) گسترش می یابد (ابعاد چاله فرسایشی برای این دو نسبت تقریباً مشابه و حدود ۲۵ و ۶۵ سانتی متر به ترتیب در جهت عرضی و طولی می باشد) که این وضعیت در شکل های ۴ و ۵ و ۶ نشان داده شده است. لازم به ذکر است که تمامی این شکلها مربوط به یک نسبت دبی برابر با ۱/۲۵ بوده و همین مشاهدات در مورد سایر نسبتهای دبی نیز صادق می باشد. ذرات شسته شده از محل تلاقی کمی پایین تر از آن ایجاد تپه رسوبی می کنند که به مرور زمان بر ابعاد آن افزوده شده و به سمت پایین دست در جهت طولی (x) کشیده می شود. در شروع آزمایش تپه ایجاد شده نوک تیز و باریک می باشد ولی به مرور پهن تر و وسیعتر می گردد. با افزایش اختلاف رقوم بستر دو کانال خصوصاً در دو نسبت ۰/۱۱۴ و ۰/۱۷۱ ابعاد تپه رسوبگذاری به دلیل گسترده بودن چاله فرسایشی زیاد می گردد. مقایسه این

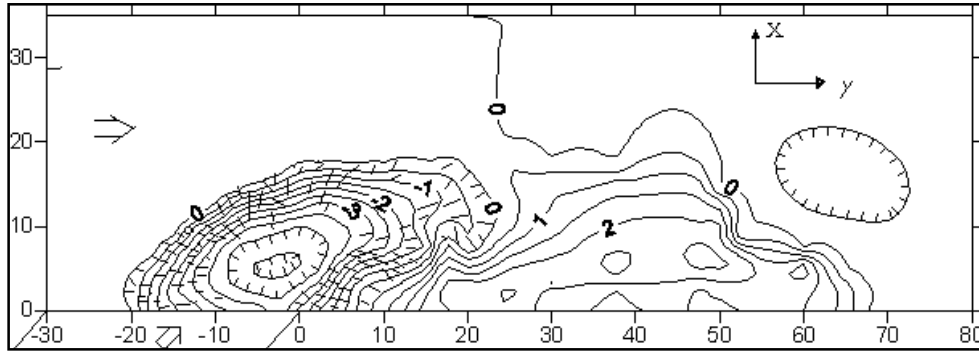
۳- نتایج و بحث

۳-۱- مشاهدات

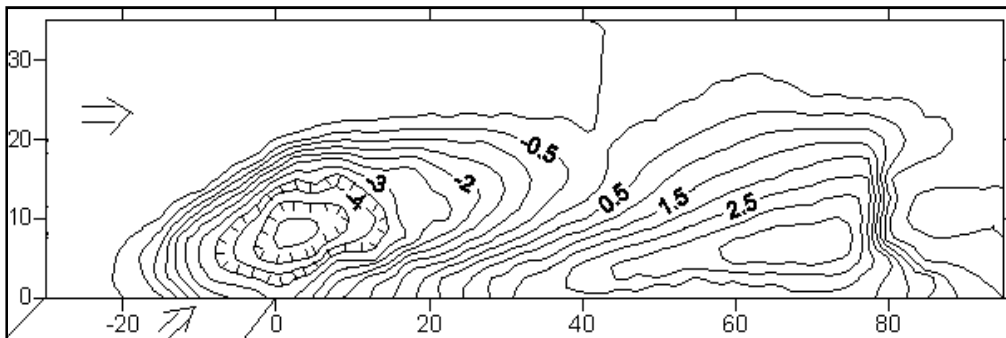
پس از برقراری جریان و شروع آزمایش، آبستگي درست از گوشه پایین دست تلاقی شروع می شود و با افزایش نسبت دبی نقطه شروع آبستگي به سمت گوشه سمت راست بالادست تلاقی پیشروی می کند. در ابتدا آبستگي با سرعت زیاد شروع شده و با گذشت زمان از سرعت آن کاسته می شود. با استفاده از ماده رنگی و نوارهای نازک رنگی متصل به میله باریک و قراردادن آن در نقاط مختلف محل تلاقی جهت بردارهای سرعت از سمت کف کانال به سمت سطح آب بود و اثری از گرداب در نزدیک بستر مشاهده نگردید. در واقع این مشاهدات بیانگر آن است که ناحیه جداشدگی در تلاقی های غیر هم کف در نزدیک بستر اتفاق نمی افتد. اما در سطح آب گردابهایی به وجود می آید که شدت آنها آنقدر زیاد است که برای مشاهده آنها نیازی به مواد رنگی و غیره نمی باشد. با افزایش نسبت دبی کانال فرعی به اصلی و افزایش نسبت اختلاف رقوم بستر دو کانال بر عرض کانال اصلی در پایین دست تلاقی، بر شدت گردابها در سطح آب افزوده می شود. مشاهدات نشان داد که همزمان با افزایش نسبت دبی و نسبت بی بعد اختلاف رقوم بستر دو کانال، مومنتم جریان ورودی از شاخه فرعی به اصلی در محل تلاقی افزایش یافته و جهت ورودی از کانال فرعی به سمت ساحل چپ

شکل‌های ۷ و ۸ و ۹ الگوی سه بعدی از فرسایش و رسوبگذاری را برای توضیحات بالا نشان می‌دهند. پیکانها نشان دهنده جهت جریان در کانال‌ها و قسمتهای هاشور خورده مربوط به آبستگي می‌باشند (تمامی واحدهای روی شکل و مقیاس بر حسب سانتی‌متر می‌باشد).

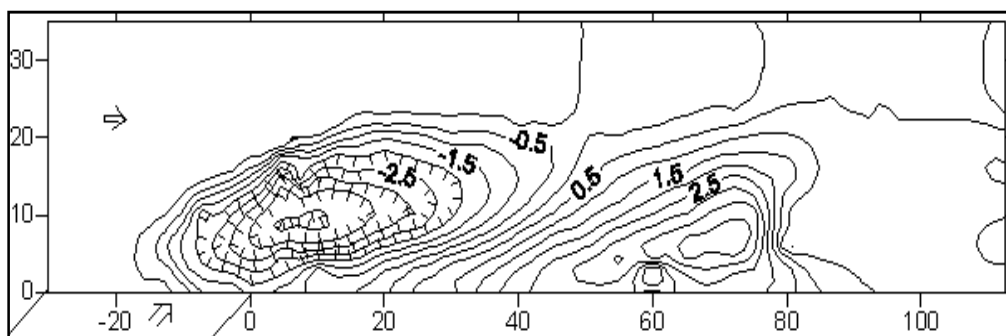
اشکال نشان می‌دهد که با افزایش اختلاف رقوم بستر دو کانال همراه با افزایش نسبت مومتم علاوه بر اینکه چاله فرسایشی به سمت ساحل چپ دیواره کانال اصلی کشیده می‌شود تپه رسوبگذاری در پایین دست گوشه اتصال نیز از این الگو تبعیت کرده و به سمت ساحل چپ کانال اصلی و پایین دست تلاقی پیشروی می‌کند.



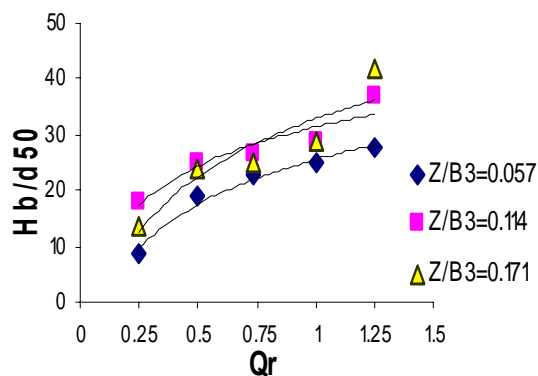
شکل ۴- توپوگرافی محل تلاقی برای نسبت Z/B_3 برابر با 0.57 و $Q_r = 1.25$ (واحدهای خطوط تراز بر حسب سانتی متر می‌باشد)



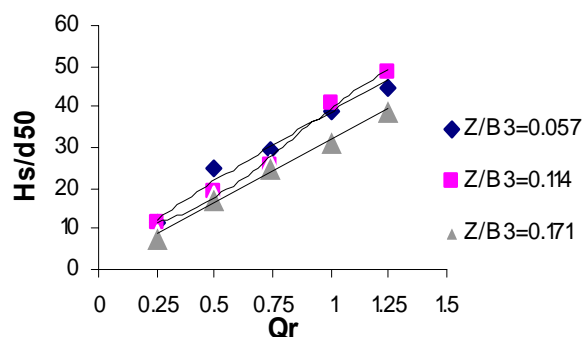
شکل ۵- توپوگرافی محل تلاقی برای نسبت Z/B_3 برابر با 0.114 و $Q_r = 1.25$ (واحدهای خطوط تراز بر حسب سانتی متر می‌باشد)



شکل ۶- توپوگرافی محل تلاقی برای نسبت Z/B_3 برابر با 0.171 و $Q_r = 1.25$ (واحدهای خطوط تراز بر حسب سانتی متر می‌باشد)



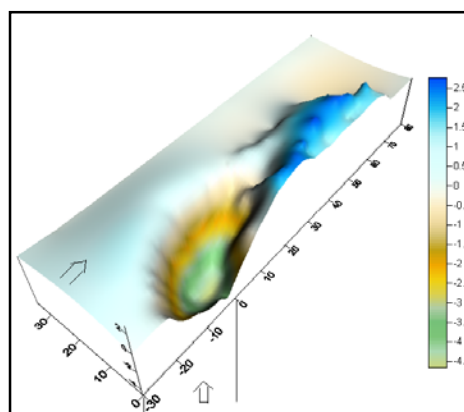
شکل ۱۰- تغییرات حداکثر عمق آبشستگی در مقابل نسبت دبی



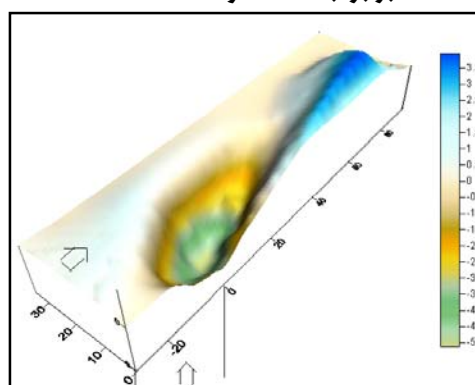
شکل ۱۱- تغییرات حداکثر ارتفاع رسوبگذاری در مقابل نسبت دبی

اشکال فوق نشان می‌دهند صرفنظر از تاثیر اختلاف ارتفاع بین دو بستر کانال، با افزایش نسبت دبی، عمق آبشستگی و ارتفاع رسوبگذاری زیاد می‌شود. چون با افزایش نسبت دبی، مومنتم و سرعت ورودی شاخه فرعی افزایش یافته که در نتیجه، این عوامل باعث افزایش تنش برشی در محل تلاقی شده و باعث آبشستگی زیاد می‌گردد و به تبع آن بر مقدار ارتفاع رسوبگذاری نیز افزوده می‌شود.

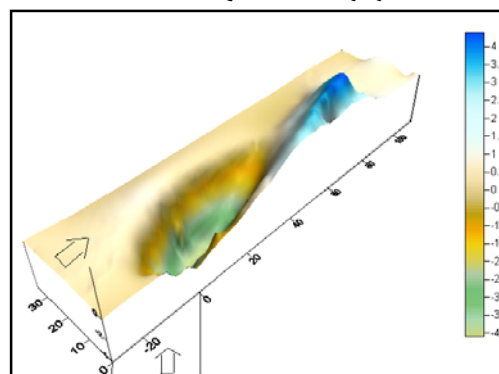
از دیگر پارامترهای موثر بر حداکثر عمق نسبی فرسایش و حداکثر ارتفاع رسوبگذاری، تاثیر نسبت اختلاف رقوم بستر دو کانال بر عرض شاخه اصلی در پایین دست محل تلاقی (Z/B_3) می‌باشد که برای اولین بار در این پژوهش اثر این پارامتر بر روی میزان عمق آبشستگی و ارتفاع رسوبگذاری در محل تلاقی رودخانه‌ها در یک مدل آزمایشگاهی بررسی گردید که نتایج آن در اشکال ۱۲ و ۱۳ زیر ارائه شده است.



شکل ۷- الگوی فرسایش و رسوبگذاری برای نسبت Z/B_3 برابر با ۰/۰۵۷ و $Qr = 1.25$



شکل ۸- الگوی فرسایش و رسوبگذاری برای نسبت Z/B_3 برابر با ۰/۱۱۴ و $Qr = 1.25$



شکل ۹- الگوی فرسایش و رسوبگذاری برای نسبت Z/B_3 برابر با ۰/۱۷۱ و $Qr = 1.25$

یکی از پارامترهای مهم تاثیر گذار بر حداکثر عمق فرسایش بستر و ارتفاع رسوبگذاری در محل تلاقی، نسبت دبی شاخه فرعی به شاخه اصلی می‌باشد. در این تحقیق اثر پنج نسبت دبی در نظر گرفته شده است. اشکال ۱۰ و ۱۱ تاثیر نسبت دبی را بر حداکثر عمق فرسایش بستر (H_s) و ارتفاع رسوبگذاری (H_b) تحت شرایط مختلف آزمایشی نشان می‌دهند.

اختلاف رقوم بستر دو کانال برابر با ۰/۱۷۱ بیشتر از دو نسبت دیگر گردد چون از جمله عواملی که باعث افزایش مومنتم شاخه فرعی می‌شود یکی نسبت دبی شاخه فرعی به اصلی و دیگری کاهش عمق پایاب یا عبارتی افزایش عدد فرود جریان در پایین دست تلاقی می‌باشد. شکل ۱۳ بیانگر افزایش ارتفاع تپه رسوبگذاری همراه با افزایش نسبت دبی و اختلاف رقوم بستر دو کانال می‌باشد. هرچند افزایش اختلاف رقوم باعث کاهش میزان آبستتگی می‌گردد اما دلیل گسترده بودن آبستتگی در اختلاف رقومهای بالاتر، ارتفاع تپه رسوبگذاری زیاد می‌گردد، زیرا رسوبات شسته شده باعث ایجاد تپه رسوبگذاری در پایین دست محل تلاقی می‌شود. ارتفاع تپه رسوبگذاری با افزایش نسبت دبی، به دلیل افزایش مومنتم شاخه فرعی و در نتیجه آن که باعث آبستتگی زیاد و ته نشین شدن مواد شسته شده می‌شود، افزایش می‌یابد.

۳-۲- استخراج رابطه پیش بینی حداکثر عمق نسبی فرسایش و ارتفاع رسوبگذاری در محل تلاقی

برای دستیابی به رابطه ای که با در نظر گرفتن تاثیر متقابل پارامترهای موثر، حداکثر عمق نسبی فرسایش بستر و ارتفاع رسوبگذاری در محل تلاقی را پیش بینی نماید از نتایج کلیه آزمایشهای انجام شده استفاده گردید. در این تحقیق تعداد ۳۰ آزمایش بر روی اتصال ۶۰ درجه تحت شرایط مختلف هیدرولیکی و هندسی انجام شد. داده‌های بدست آمده با روش معادله‌گیری چند متغیره با استفاده از نرم افزار SPSS-14 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 داده‌های آزمایشگاهی استخراج گردید:

الف- برای حداکثر عمق فرسایش بستر (آبستتگی)

$$\frac{H_s}{d_{50}} = 26 * (Z / B_3)^{-0.144} * Q_r^{0.89} \quad (4)$$

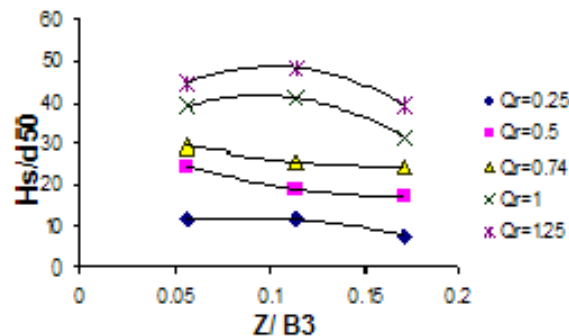
$$R^2 = 0.96$$

ب- برای حداکثر ارتفاع رسوبگذاری (تپه رسوبگذاری)

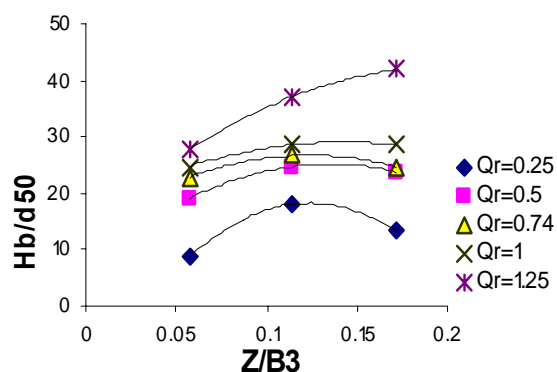


$$R^2 = 0.875$$

که در آن H_s حداکثر عمق نسبی فرسایش بستر، H_b حداکثر ارتفاع تپه رسوبگذاری، Z اختلاف رقوم بستر دو کانال، B_3 عرض کانال اصلی در پایین دست محل تلاقی، Q_r نسبت دبی کانال فرعی



شکل ۱۲- تغییرات حداکثر عمق آبستتگی در مقابل نسبت



دبی

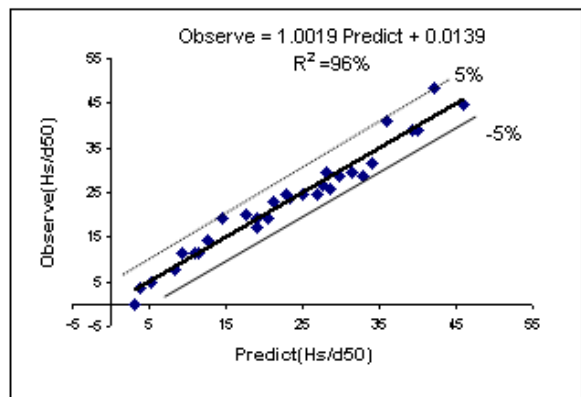
شکل ۱۳- تغییرات حداکثر ارتفاع رسوبگذاری در مقابل نسبت دبی

شکل ۱۲ نشان می‌دهد که در نسبت‌های دبی کمتر از ۰/۷۴ میزان عمق آبستتگی در نسبت بی بعد اختلاف رقوم بستر دو کانال برابر با ۰/۵۷ بیشتر از دو نسبت دیگر می‌باشد. به عبارتی با افزایش اختلاف رقوم بستر دو کانال میزان آبستتگی کمتر می‌گردد. علت این امر چنین بیان می‌گردد که هر چند برای یک نسبت دبی ثابت، افزایش اختلاف رقوم بستر دو کانال باعث افزایش مومنتم جریان شاخه فرعی می‌شود، اما اثر این مومنتم به دلیل زیاد بودن عمق آب در محل تلاقی یا عبارتی به دلیل کم بودن عدد فرود جریان در پایین دست تلاقی بر کف کاهش می‌یابد. اما در نسبت‌های دبی بیشتر از ۰/۷۴ به دلیل افزایش بیشتر مومنتم شاخه فرعی نسبت به دبی‌های کمتر از ۰/۷۴، میزان آبستتگی برای نسبت اختلاف رقوم بستر دو کانال برابر با ۰/۱۱۴ بیشتر از دو نسبت دیگر می‌باشد. احتمال دارد که این روند برای نسبت‌های دبی بیشتر از ۱/۲۵ و یا با افزایش عدد فرود جریان در پایین دست تلاقی که موجب افزایش بیشتر مومنتم شاخه فرعی می‌شود، میزان آبستتگی برای نسبت

به اصلی در بالادست تقاطع، F_{13} عدد فرود جریان در پایین دست تلاقی و سرانجام R ضریب همبستگی رابطه می‌باشد.

رابطه (۴) نشان می‌دهد با افزایش نسبت دبی و نسبت اختلاف رقوم بستر دو کانال عمق آبستگي به ترتیب زیاد و کم می‌گردد. برای تپه رسوبگذاری معادله (۵) نشان می‌دهد که با افزایش نسبت دبی و اختلاف رقوم بستر دو کانال میزان حداکثر ارتفاع رسوبگذاری نیز افزایش می‌یابد.

به منظور بررسی دقت رابطه (۴) مقادیر عمق نسبی آبستگي اندازه گیری شده در مقابل مقادیر برآورد شده ترسیم شده‌اند که نتیجه در شکل ۱۴ نشان داده شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود این رابطه در حد ۹۵٪ اطمینان قرار دارد.



شکل ۱۴- رابطه بین عمق فرسایش بدون بعد $(\frac{H_s}{d_{50}})$ اندازه گیری شده و پیش بینی شده با رابطه (۴)

۴- نتیجه گیری

تعیین حداکثر عمق نسبی فرسایش بستر در محل رودخانه‌های غیر هم کف، یکی از پدیده‌های بسیار مهم در علوم مهندسی هیدرولیک، رسوب و رودخانه می‌باشد که تاکنون مطالعه آزمایشگاهی در این مورد صورت نپذیرفته است. در این پژوهش با انجام ۳۰ آزمایش در محل تلاقی با زاویه ۶۰ درجه برای اختلاف رقومهای مختلف به مطالعه الگوی فرسایش (حداکثر عمق آبستگي) و الگوی رسوبگذاری (حداکثر ارتفاع تپه رسوبگذاری) در محل تلاقی پرداخته شد. در این آزمایشها تاثیر پنج نسبت دبی و سه نسبت بی بعد اختلاف رقوم بستر دو کانال، بر حداکثر عمق آبستگي و ارتفاع رسوبگذاری در محل تلاقی در نظر گرفته شده است. با استفاده از معادله‌گیری چند متغیره روابطی نیز برای پیش بینی حداکثر ارتفاع

آبستگي و رسوبگذاری ارائه شده است. البته کاربرد این روابط به دلیل کم بودن تعداد پارامترهای موثر بر میزان فرسایش و رسوبگذاری محدود می‌باشد. نتیجه این پژوهش نشان داد که با افزایش نسبت دبی شاخه فرعی به شاخه اصلی و کاهش نسبت اختلاف رقوم برای نسبتهای دبی کمتر از ۰/۷۴، عمق آبستگي زیاد می‌گردد ولی در نسبتهای دبی بیشتر از ۰/۷۴ برای نسبت اختلاف رقوم برابر با ۰/۱۱۴ آبستگي بیشتر از سایر نسبتها مشاهده گردید و این امر تاثیر مومنتم شاخه فرعی را در اختلاف رقومهای بالا نشان می‌دهد طوری که احتمال دارد این روند در نسبتهای دبی بالاتر و عدد فرود جریان بیشتر برای نسبت ۰/۱۷۱ اتفاق افتد. لذا توصیه می‌گردد که تاثیر عدد فرود جریان در پایین دست تلاقی بر میزان آبستگي در تلاقی‌های غیر هم کف بررسی گردد. گستردگی آبستگي و تپه رسوبگذاری با افزایش اختلاف رقوم بستر دو کانال و نسبت دبی زیاد می‌گردد.

۵- تشکر

بخشی از هزینه‌های این پژوهش توسط دفتر تحقیقات و استاندارد شبکه‌های آبیاری و زهکشی سازمان آب و برق خوزستان (قرارداد شماره ۰۳۶-۰۲-۰۱-۸۶) تامین شده است که بدینوسیله تشکر و قدردانی می‌گردد.

۶- مراجع

برقی، س. م. و نظری، ا. (۱۳۸۲)، بررسی آزمایشگاهی الگوی رسوب در تقاطع کانالها. مجموعه مقالات ششمین کنفرانس بین المللی مهندسی عمران، اصفهان، ص ۲۴۷-۲۵۵

شفاعی بجستان، م. و قبادیان، ر. (۱۳۸۵)، بررسی الگوهای جریان، فرسایش و رسوبگذاری در محل تلاقی رودخانه‌ها با تاکید بر محل سه شاخه بند قیر، گزارش نهایی طرح تحقیقاتی، سازمان آب و برق خوزستان

Ashmore, P. and Parker, G. (1983), Confluence scour in coarse braided stream Water Resource Res. 19, pp. 392 – 402

Best, J.L. (1988), Sediment transport and bed morphology at river channel confluences. Sedimentology, 35, pp. 481-498.

Best, J.L. and Reid, I. (1984), Separation zone at open – channel junctions. J. Hydr. Engrg., ASCE, 100(11), pp. 1588-1594

Best, J.L. and Roy, A.G. (1991), Mixing- layer distortion at the confluence of channels of different depth, Nature, Vol.350, pp. 411-413

- Hsu, C.C., Lee, W. J. and Chang, C.H. (1998), "Subcritical open – channel junction flow". *J. Hydr. Engrg., ASCE*, 124(8), pp. 847-855
- Larry, j. Weber, and Yong, G. Lai (2002), Discussion of Three-Dimensional Numerical study of flow in open –channel junction". *J. Hydr. Engrg., ASCE*, 128(3): pp.268-280
- Mosley, M.P. (1976), "An experimental study of channel confluences". *J. Geol.*, 84, pp. 535-562.
- Serres, B.D., Roy, A.G., Biron, P.M. and Best, J.L. (1999), "Three-dimensional structure of flow at a confluence of river channel with discordance beds". *Geomorphology*, 26, pp. 313-335
- Weber, L.J., Schumate, E.D. and Mawer, N. (2001), "Experimental on flow at a 90° open – channel Junction". *J. Hydr. Engrg. ASCE*, 127(5): pp. 340-350
- Gurram, S.K., Karki, K.S. and Hager, W.H. (1997), "Subcritical junction flow". *J. Hydr. Engrg., ASCE*, 123(5): pp. 447-455.
- Ghobadian, R. and Shafai Bejestan, M. (2007), "Investigation of sediment patterns at river confluence". *J. of Applied sciences*, 7(10): pp. 1372-1380.
- 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): pp. 913-928.
- Biron, P.M., Roy, A.G., Best, J.L. and Boyer, C.J. (1993), "Bed morphology and sedimentology at the confluence of unequal depth channels", *Geomorphology*, 8, pp. 115-129.
- Biron, P.M., Best, J. and Roy, A.G. (1996), "Effect of bed discordance on flow dynamics at open channel confluences". *J. Hydr. Engrg.* 122(12), pp. 676 – 682.
- Boyer, C., Roy, A.G. and Best, J.L. (2006), "Dynamics of river channel confluence with discordance beds: Flow turbulent, sediment transport and bed morphology", *j. Geophys. Res.*, 111, F04007, doi:10.1029/2005Jf000458
- 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.* 127(7), pp. 351-368.
- Gaudet, J.M. and Roy, A.G. (1995), "Effect of bed morphology on flow mixing length at river confluences". *Nature*, 373, pp. 138-139.