

Experimental Investigation of Flow Separation Zone in River Confluence in Subcritical Flow Conditions

R. Ghobadian¹, M. Shafai-Bajestan²,
S.H.Mousavi Jahromi³

Abstract

In recent years, many hydraulic, sediment, and environmental researchers focused their studies on river junction hydrodynamics. River junction is an important morphological element of river systems. The incoming flow from a minor branch causes extensive variation of flow velocity, flow discharge, and sediment discharge which results in flow turbulence in the main channel. The main characteristic of river confluence is the dimensions of flow separation zone. This zone is developed from the downstream edge where the minor branch enters and extends to some distance downstream into the main channel. There are few parameters affecting the separation zone extension including the discharge ratio (Q_r) the width ratio (B_r) and the downstream Froude number (F_{rd}). The effect of these parameters have been investigated on the separation zone length (L) and width (H). Experimental tests have been conducted in a 90 degree junction. The results show that as Q_r increase L and H increases and as F_{rd} increases the value of L and H decreases. In this study relations were developed which can be used for prediction of separation zone dimensions. The mean value of separation zone shape index also has been determined.

Keywords: River Confluence, Separation Zone, Downstream Froude Number, River Engineering, Shape Index.

بررسی آزمایشگاهی جدانشدگی جریان در محل تلاقی رودخانه‌ها برای شرایط جریان زیر بحرانی

رسول قبادیان^۱، محمود شفاعی بجستان^۲،
سید حبیب موسوی جهرمی^۳

چکیده

در سالهای اخیر مطالعه بر روی تلاقی رودخانه‌ها مورد توجه بسیاری از مهندسان هیدرولیک، رسوب و حتی محیط زیست قرار گرفته است. محل تلاقی یکی از اجزاء مهم مورفولوژیکی سیستم‌های رودخانه‌ای می‌باشد که در آن به علت ورود جریان از شاخه فرعی به کانال اصلی، تغییرات سریع در سرعت و دبی جریان، دبی رسوب، شدت آشفتگی و نهایتاً مورفولوژی بستر اتفاق می‌افتد. مهمترین مشخصه مورد توجه در تلاقی رودخانه‌ها و کانال‌های روباز ابعاد ناحیه جدانشدگی جریان می‌باشد. این ناحیه بلافاصله بعد از گوشه پایینی محل تلاقی در حین ورود جریان از شاخه فرعی به اصلی به وجود می‌آید. در این تحقیق 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 جریان در کانال پایین دست تلاقی (F_{rd}) بر روی طول ناحیه جدانشدگی (L) و حداکثر پهنای آن (H) در یک تلاقی ۹۰ درجه مورد بررسی قرار گرفته و روابطی برای آنها استخراج شده است. نتایج آزمایشهای انجام شده نشان داد که افزایش نسبت دبی (Q_r) باعث افزایش طول و پهنای ناحیه جدانشدگی جریان می‌گردد در حالیکه افزایش عدد فرود پایاب (F_{rd}) و نسبت پهنای (B_r) ابعاد این ناحیه را کاهش می‌دهد. علاوه بر این مقدار میانگین شاخص شکل ناحیه جدانشدگی بدست آمده است.

کلمات کلیدی: تلاقی رودخانه، جدانشدگی جریان، شاخص شکل، نسبت دبی، نسبت پهنای، عدد فرود پایاب.

1. Ph. D. Student, Dept. of Hydraulic structures. Shahid Chamran Univ. Ahwaz, Iran.
2. Professor, Dept. of Hydraulic structures. Shahid Chamran Univ. Ahwaz, Iran.
3. Assist. Professor, Dept. of Hydraulic structures. Shahid Chamran Univ. Ahwaz, Iran.

۱. دانشجوی دکتری سازه های آبی دانشگاه شهید چمران
۲. استاد گروه سازه های آبی دانشگاه شهید چمران
۳. استاد یار گروه سازه های آبی دانشگاه شهید چمران

۱- مقدمه

Anwar (1955) به مطالعه ناحیه جدانشدگی جریان در محل تلاقی دوزنقه‌ای شکل با چهار زاویه متفاوت ۶۷.۵، ۴۵، ۲۲.۵ و ۹۰ درجه پرداخت.

Webber and Greated (1966) با استفاده از معادله اندازه حرکت و فرض توزیع فشار هیدرواستاتیک رابطه‌ای برای محاسبه نسبت اعماق جریان در محل تلاقی ارائه نمودند و با آزمایش روی یک مدل کوچک با سه زاویه تلاقی، نشان داد که همبستگی خوبی بین مقادیر پیش‌بینی شده و اندازه‌گیری شده بجز برای زوایای بزرگ و اعداد فرود پایاب بالا وجود دارد.

Lin and Soong (1979) به بررسی افت انرژی در تلاقی ۹۰ درجه و تفکیک آن به افت اصطکاکی و افت ناشی از اختلاط پرداخته‌اند. Modi et al. (1981) با استفاده از تئوری نگاشت هم‌مدیسی افت انرژی و شکل جریان در محل تلاقی کانال‌ها را مورد بررسی قرار داده است. مطالعات آزمایشگاهی (Best and Reid (1984) بر روی یک تلاقی با چهار زاویه اتصال متفاوت ۱۵، ۴۵، ۷۰ و ۹۰ درجه با پهنای یکسان ۱۵ سانتی‌متر نشان داد که با افزایش نسبت دبی شاخه فرعی به دبی کل طول و پهنای ناحیه جدانشدگی جریان افزایش می‌یابد ولی به ازای نسبت‌های دبی مختلف شاخص شکل ناحیه جدانشدگی $(\frac{H}{L})$ حول مقدار میانگین ۰.۱۹ ثابت باقی می‌ماند.

علاوه بر این برای زاویه ۹۰ درجه و در محدوده عدد فرود پائین دست بین ۰/۱ تا ۰/۳ روابط زیر را برای نسبت طول و پهنای ناحیه جدا شدگی ارائه نمودند:

$$\frac{L}{B_3} = 2.587 + 1.025 \ln(Q_r) \quad (1)$$

$$\frac{H}{B_3} = 0.506 + 0.205 \ln(Q_r) \quad (2)$$

که در آنها L و H بترتیب طول و حداکثر پهنای ناحیه جدانشدگی جریان می‌باشند. Q_r بیان‌کننده نسبت دبی شاخه فرعی به دبی کل است.

Ramamurthy et al. (1988) با کاربرد معادله اندازه حرکت بصورت جداگانه برای کانال‌های فرعی و اصلی عمق جریان در محل اتصال را مورد بررسی قرار دادند و با آزمایش روی مدل کوچک ۹۰ درجه روابط خود را واسنجی نمودند.

درک صحیح خصوصیات جریان در محل تلاقی رودخانه‌ها کانال‌های روباز بویژه ابعاد ناحیه جدانشدگی جریان از جنبه‌های خاصی حائز اهمیت می‌باشد از جمله : ۱- ابعاد این ناحیه تاثیر مستقیمی روی ابعاد ناحیه رسوبگذاری در پایین دست تلاقی دارد ۲- با رشد ابعاد این ناحیه بویژه پهنای آن مجموع جریان باید از مقطع باریکتری از کانال پایین دست تلاقی عبور نماید که خود باعث افزایش سرعت و نهایتاً فرسایش بیشتر می‌شود ۳- تعیین فاصله مطمئن سازه‌های هیدرولیکی از محل تلاقی در مطالعات هیدرولیک، فاصله محل تخلیه آلودگی در مطالعات محیط زیست و ... همگی بستگی به ابعاد ناحیه جدانشدگی جریان دارند. 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

در محدوده تلاقی شش ناحیه مختلف شامل : (۱) ناحیه رکود (۲) ناحیه انحراف جریان (۳) ناحیه جدانشدگی (۴) ناحیه حداکثر سرعت (۵) ناحیه بازیافت جریان و (۶) ناحیه لایه‌های برشی قابل تشخیص می‌باشد (Best, 1987).

توسعه مناطق ۱ و ۳ باعث حجیم‌تر شدن رسوب انباشته شده و افزایش سرعت در منطقه ۴ باعث عمیق‌تر شدن چاله فرسایشی و فرسایش شدید سواحل می‌شود که بتدریج ایجاد پیچانرود و جابجایی موقعیت سه شاخه را به همراه دارد ضمن اینکه وجود جریان گردابی مشکلات فراوانی را برای کشتیرانی ایجاد می‌کند. از این رو در سالهای اخیر مطالعات آزمایشگاهی و صحرایی البته محدودی برای شناخت بیشتر الگوی جریان و وضعیت فرسایش و رسوب‌گذاری در محل تلاقی انجام شده است. در این مقاله ابتدا منابعی که خصوصیات جریان را مورد بررسی قرار داده اند مرور می‌شود.

Taylor (1944) اولین کسی بود که با یکسری فرضیات ساده کننده و استفاده از روابط مومنتوم و پیوستگی رابطه‌ای برای تخمین نسبت اعماق جریان در کانال‌های بالادست تلاقی ارائه نمود.

حرکت استخراج گردید، که نشان می‌دهند با افزایش زاویه اتصال و عدد فرود پایین دست مقدار (\bar{y}) افزایش می‌یابد.

مطالعات آزمایشگاهی (Biron et al. (1996) بر روی تلاقی کانال‌های غیرهمکف نشان داد که الگوی خطوط جریان در تلاقی کانال‌های غیرهم کف به طور قابل ملاحظه‌ای متفاوت از تلاقی کانال‌های هم کف است که در آنها اختلاف رقوم بستر وجود ندارد. سرعت‌های اندازه‌گیری شده در پایین دست گوشه اتصال نشان داد که در تلاقی‌های غیر هم کف در نزدیک بستر اثری از ناحیه جداشدگی جریان وجود ندارد ولی در سطح آب این ناحیه به وجود می‌آید و حتی بردارهای سرعت معکوس نیز مشاهده شده است.

Weber et al. (2001) جریان سه بعدی در محل یک اتصال ۹۰ درجه را با اندازه‌گیری بردارهای سرعت در سه جهت در نقاط مختلف توصیف کردند. نتایج آنها نشان داد که ناحیه جداشدگی جریان از نظر طول و پهنا در نزدیک سطح آب نسبت به کف بزرگتر است و چرخش جریان در نزدیک سطح نسبت به کف بیشتر است. علاوه بر این هرچه نسبت دبی کانال اصلی به دبی کل بیشتر شود پهنا و طول ناحیه جداشدگی کوچکتر می‌گردد.

برقی و همکاران (۱۳۸۱) با استفاده از معادلات پیوستگی و اندازه حرکت روابطی را برای محاسبه نسبت اعماق و شرایط ایجاد پرش هیدرولیکی در پائین دست محل تلاقی ۹۰ درجه ارائه نمودند. همچنین به منظور بررسی فرضیات در نظر گرفته شده در روابط ارائه شده آزمایشگاهی در یک فلوم ۹۰ درجه به پهنای یکسان ۴۰ سانتی‌متر برای هر دو شاخه اصلی و فرعی انجام دادند. آزمایشهای نامبردگان نشان داد که با کاهش عدد فرود پایاب از ۰/۴ تا ۰/۲ طول ناحیه جداشدگی کاهش می‌یابد درحالیکه با کاهش عدد فرود از ۰/۵۹ تا ۰/۲ عرض ناحیه جدا شدگی افزایش می‌یابد.

اخیراً استفاده از مدل‌های سه بعدی برای شبیه‌سازی جریان در محل تلاقی کانال‌های صلب مورد توجه قرار گرفته است که از آن جمله می‌توان به مطالعات (Weerakoon et al. (1991) و (Bradbrook et al. (2001) اشاره نمود.

۲- مواد و روشها

به منظور دسترسی به اهداف این مطالعه با توجه به اینکه متغیرهای زیادی در اندازه ابعاد ناحیه جداشدگی جریان تاثیر دارند بنابراین ابتدا

Hager (1987) با کاربرد همزمان سه معادله اندازه حرکت، پیوستگی و انرژی روابطی را برای محاسبه نسبت اعماق و ضریب انقباض جریان در ناحیه جدا شدگی ارائه نمود.

Gurram et al. (1997) با مطالعه بر روی یک اتصال با زوایای ۳۰، ۶۰ و ۹۰ درجه که در آن پهنای کانال اصلی ۵۰۰ میلی‌متر و شاخه فرعی دارای دو عرض متفاوت ۳۰۰ و ۵۰۰ میلی‌متر بود روابطی را برای محاسبه ابعاد ناحیه جدا شدگی جریان در شرایط زیر بحرانی و انتقالی ارائه نمود:

$$\frac{H}{B_3} = 0.5(F_d - \frac{2}{3})^2 + 0.45(\frac{Q_2}{Q_3})^{1/2}(\frac{\theta}{90}) \quad (3)$$

$$, F_d < 1 \quad \frac{L}{B_3} = 3.8 \sin^3 \theta (1 - \frac{1}{2} F_d) (\frac{Q_2}{Q_3})^{1/2} \quad (4)$$

$$, F_d = 1 \quad \frac{L}{B_3} = 0.26(1 + \frac{3\theta}{90}) (\frac{Q_2}{Q_3})^{1/2} \quad (5)$$

در این روابط F_d عدد فرود پایین دست. بقیه پارامترها در شکل ۱ آورده شده‌اند.

علاوه بر این گورام و همکاران با کاربرد معادله اندازه حرکت در محل سه شاخه رابطه‌ای را برای محاسبه نسبت عمق جریان در بالادست اتصال به عمق پایاب بدست آوردند و نشان دادند که این نسبت همواره بزرگتر از یک می‌باشد.

Hsu et al. (1998a) با کاربرد همزمان سه معادله پیوستگی، اندازه حرکت و انرژی در محل یک اتصال ۹۰ درجه روابطی را برای محاسبه ضریب انقباض جریان (μ) در ناحیه حداکثر سرعت و همچنین نسبت عمق بالادست به عمق پایاب بدست آوردند. مشاهدات و اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی آنها نشان داد که شاخص شکل ناحیه جداشدگی $(\frac{H}{L})$ به ازای نسبت‌های دبی مختلف ثابت و تقریباً برابر ۰/۱۷ می‌باشد.

در تحقیقی دیگر که توسط Hsu et al. (1998b) بر روی یک تلاقی با زوایای اتصال متفاوت ۳۰، ۴۵ و ۶۰ درجه با پهنای یکسان ۰.۱۵۵ متر صورت گرفت روابطی برای محاسبه نسبت عمق جریان در بالادست اتصال به عمق پایاب (\bar{y}) و همچنین ضریب افت انرژی جنبشی (k_c) با کاربرد معادلات پیوستگی، انرژی و اندازه

$$\frac{H}{B_3} = g\left(\frac{B_2}{B_3}, \frac{Q_2}{Q_3}, F_{rd}, \theta, \frac{\Delta z}{B_3}\right) \quad (9)$$

در این تحقیق زاویه اتصال ۹۰ درجه در نظر گرفته شده است و کانال های اصلی و فرعی هم کف می باشند به عبارتی تنها اثر سه متغیر نسبت پهنا، نسبت دبی و عدد فرود پایاب بر روی ابعاد ناحیه جداولگی مورد مطالعه قرار گرفته است. به منظور یافتن تاثیر هر یک از پارامترهای بدون بعد مذکور بر ابعاد ناحیه جداولگی جریان لازم است تا آزمایشهایی انجام شود. شماتیک تجهیزات استفاده شده برای انجام آزمایشات مورد نیاز در شکل ۲ ارائه شده است. طول کانال اصلی ۹ متر و کانال فرعی دارای طول ۳ متر می باشد. پهناهای کانال اصلی ۳۵ سانتی متر در نظر گرفته شده است. به منظور بررسی تاثیر نسبت پهنا بر ابعاد ناحیه جداولگی جریان برای کانال فرعی سه نسبت پهناهای ۱۵ و ۲۵ و ۳۵ سانتی متر اختیار شده است. کف و دیواره های کانال های اصلی و فرعی با شیشه ۱۰ و ۶ میلی متری پوشانده شده است. دبی کل ورودی به سیستم توسط یک دستگاه دبی سنج الکتریکی^۱ با دقت ۰/۰۱ لیتر بر ثانیه اندازه گیری می شود. علاوه بر این سرریز مثلثی نصب شده در ابتدای کانال اصلی وظیفه اندازه گیری 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 می توان عمق پایاب را تنظیم نمود به عبارتی از این دریچه برای بررسی تاثیر عمق پایاب یا عدد فرود پایین دست بر ابعاد ناحیه جداولگی جریان استفاده می شود.

با شناخت این متغیرها و آنالیز ابعادی روابط کلی شامل پارامترهای بدون بعد استخراج شدند این روابط عبارتند از:

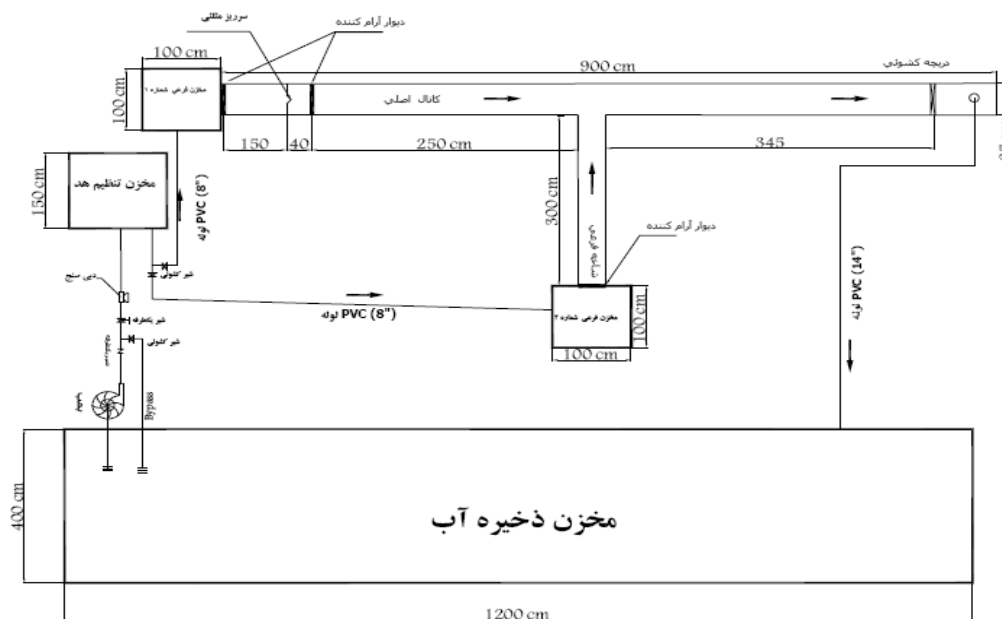
$$\frac{L}{B_3} = f\left(\frac{B_2}{B_3}, \frac{Q_2}{Q_3}, F_{rd}, \theta, S., R_{ed}, W_{e3}, \frac{\Delta z}{B_3}\right) \quad (6)$$

$$\frac{H}{B_3} = f\left(\frac{B_2}{B_3}, \frac{Q_2}{Q_3}, F_{rd}, \theta, S., R_{ed}, W_{e3}, \frac{\Delta z}{B_3}\right) \quad (7)$$

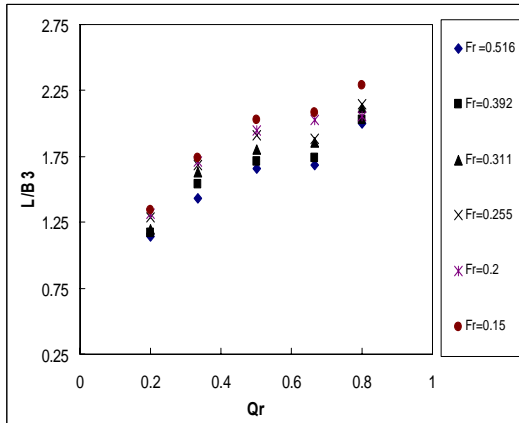
در این روابط L و H به ترتیب طول و حداکثر پهناهای ناحیه جداولگی جریان می باشد. Q دبی جریان و B پهناهای کانال و F_{rd} عدد فرود پایاب و θ زاویه اتصال و $S.$ شیب کف در محل اتصال و R_{ed} عدد رینولدز جریان و W_{e3} عدد وبر و Δz اختلاف رقوم کف کانال اصلی و فرعی می باشد. زیر نویس ۳ مربوط به محل پایین دست تلاقی می باشد.

برای ابعاد فلوم ساخته شده تاثیر عدد رینولدز و وبر ناچیز است. بنابراین در این مطالعه از اثر آنها صرف نظر شده است. از طرفی با توجه به اینکه در این مطالعه شرایط جریان زیر بحرانی مورد توجه قرار دارد بنابراین شیب کف در محل تلاقی تاثیر اندکی دارد (Gurram et al., 1997) لذا از این متغیر نیز صرف نظر شده است. بنابراین روابط فوق بصورت زیر خلاصه می شوند:

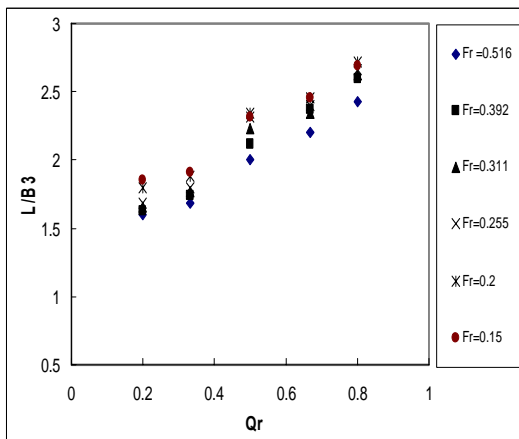
$$\frac{L}{B_3} = f\left(\frac{B_2}{B_3}, \frac{Q_2}{Q_3}, F_{rd}, \theta, \frac{\Delta z}{B_3}\right) \quad (8)$$



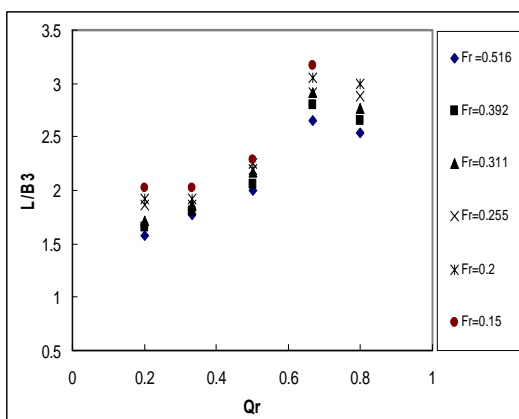
شکل ۲- شماتیک تجهیزات آزمایشگاهی مورد استفاده



شکل ۳- تغییرات نسبت طول ناحیه جدا شدگی در مقابل تغییرات نسبت دبی (نسبت پهنا ۱/۰)



شکل ۴- تغییرات نسبت طول ناحیه جدا شدگی در مقابل تغییرات نسبت دبی (نسبت پهنا ۰/۷۱۴)



شکل ۵- تغییرات نسبت طول ناحیه جدا شدگی در مقابل تغییرات نسبت دبی (نسبت پهنا ۰/۴۲۸)

دو دستگاه عمق سنج^۲ با دقت ۰/۱ میلی متر برای اندازه گیری رقوم سطح آب در بالا دست سرریز مثلثی و همچنین رقوم سطح آب پایاب استفاده شده است. مخزن اصلی وظیفه تامین هد لازم را به عهده دارد. مخازن ثانویه در ابتدای کانالهای اصلی و فرعی و همچنین صفحات آرام کننده در محل اتصال این مخازن به کانالهای 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 کانالهای اصلی و فرعی می باشد که نهایتاً به نسبتهای دبی مورد نظر دسترسی حاصل شود.

طول و پهنای ناحیه جداشدگی پس از برقراری جریان و تنظیم نسبت دبی و عدد فرود مورد نظر با استفاده از تزریق ماده رنگی و یا خاک اره رنگ شده از بالا دست گوشه اتصال در کانال فرعی بدست می آید. بدین صورت که حداکثر طول و پهنای مشاهده شده در حین تزریق مواد رنگی مد نظر قرار می گیرد. در این تحقیق تعداد ۹۰ آزمایش انجام گردید.

جدول ۱ دامنه تغییرات متغیرهای به کار رفته در این مطالعه را نشان می دهد.

جدول ۱- دامنه تغییرات بکار رفته در این مطالعه (۹۰ آزمایش)

محدوده تغییرات	پارامتر
۱/۰ ، ۰/۴۲۸ ، ۰/۷۱۴	نسبت پهنا (B_r)
۰/۲ ، ۰/۳۳ ، ۰/۵ ، ۰/۶۶۰ ، ۰/۸	نسبت دبی (Q_r)
۰/۱۵ ، ۰/۲ ، ۰/۲۵ ، ۰/۳ ، ۰/۴ ، ۰/۵۱	عدد فرود پایاب (F_{rd})

۳- نتایج و بحث

برای هر یک از سه نسبت پهنای مورد نظر در این تحقیق، تاثیر پنج نسبت دبی و شش عدد فرود پایین دست بر روی طول و پهنای ناحیه جداشدگی جریان مورد توجه قرار گرفته است که به تفکیک در زیر نتایج ارائه می گردد.

۳-۱- طول ناحیه جداشدگی

شکل های ۳ تا ۵ رابطه بین طول ناحیه جداشدگی جریان و نسبت دبی (Q_r) را برای هر یک از سه نسبت پهنای مورد نظر در این تحقیق نشان می دهند.

کانال اصلی می‌رساند و پس از برخورد به آن برمی‌گردد. جریان برگشتی ناحیه انتهایی منطقه جداشدگی جریان را قطع کرده و باعث کاهش طول آن می‌شود.

به منظور بررسی تاثیر عدد فرود پایاب بر طول ناحیه جداشدگی شکل‌های ۶ تا ۸ ترسیم شده‌اند. همانگونه که ملاحظه می‌گردد صرفنظر از تاثیر نسبت دبی با افزایش عدد فرود پایاب طول ناحیه جداشدگی جریان کاهش می‌یابد.

بمنظور بررسی اثر همزمان نسبت دبی و عدد فرود پایاب بر طول ناحیه مذکور از رگرسیون‌گیری چند متغیره توسط نرم‌افزار SPSS-13 کمک گرفته شد. نهایتاً پس از رگرسیون‌گیری‌های مختلف روابط زیر که بیشترین ضریب همبستگی را نشان دادند، استخراج گردید:

$$\frac{L}{B_3} = 1.99Q_r^{1.33} - 0.348 \ln(F_{rd}) + 1.05$$

$$R^2 = 0.959 \text{ و } B_r = .428 \quad (10)$$

$$\frac{L}{B_3} = 1.742Q_r^{1.176} - 0.266 \ln(F_{rd}) + 1.101$$

$$R^2 = 0.859 \text{ و } B_r = .71 \quad (11)$$

$$\frac{L}{B_3} = -0.931Q_r^{-0.415} - 2.163F_{rd}^{0.142} + 4.88$$

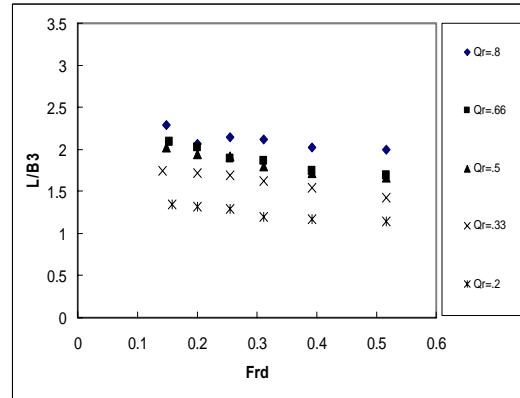
$$R^2 = 0.959 \text{ و } B_r = 1.0 \quad (12)$$

که در آنها L طول ناحیه جداشدگی جریان، B_3 پهناي کانال اصلی، Q_r نسبت دبی کانال فرعی به دبی کل، B_r نسبت پهناي کانال فرعی به اصلی R^2 مجذور ضریب همبستگی و نهایتاً F_{rd} عدد فرود پایاب می‌باشد.

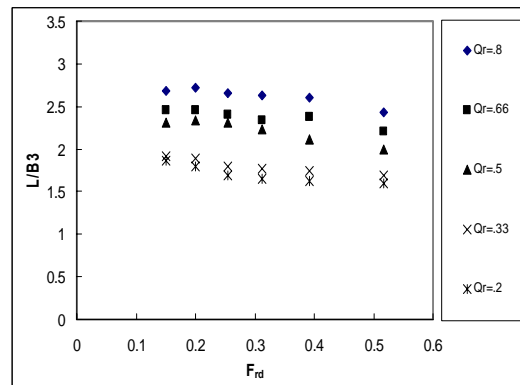
بررسی معادلات فوق نشان می‌دهد که به ازای مقادیر یکسان نسبت دبی و عدد فرود با افزایش نسبت پهنا (B_r)، طول ناحیه جداشدگی کاهش می‌یابد. برای ارائه رابطه‌ای که در آن اثر نسبت پهنا نیز منظور شده باشد باز هم از رگرسیون‌گیری چند متغیره یاری گرفته شد و نهایتاً رابطه زیر استخراج شد. هرچند که ارائه چنین رابطه‌ای تنها به سه نسبت پهنا قدری قابل تامل است با این حال شکل ۹ نشان می‌دهد که این رابطه در باند اعتماد ۹۵٪ کاملاً نتایج قابل قبولی ارائه می‌دهد.

$$\frac{L}{B_3} = 1.713Q_r^{0.846} - 0.265 \ln(F_{rd}) - 0.999B_r + 1.051$$

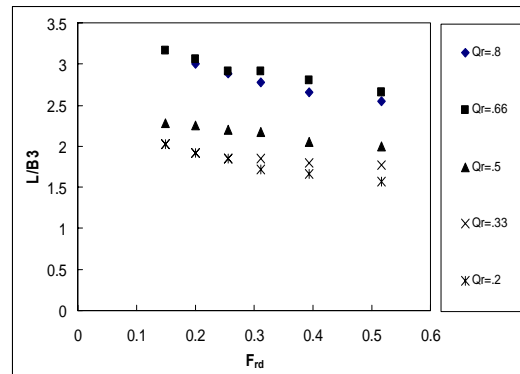
$$R^2 = 0.894 \quad (13)$$



شکل ۶- تغییرات نسبت طول ناحیه جداشدگی در مقابل تغییرات عدد فرود پایاب (نسبت پهنا ۱/۰)

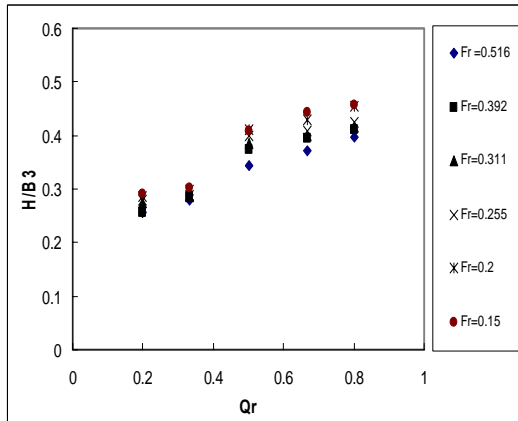


شکل ۷- تغییرات نسبت طول ناحیه جداشدگی در مقابل تغییرات عدد فرود پایاب (نسبت پهنا ۴/۱)

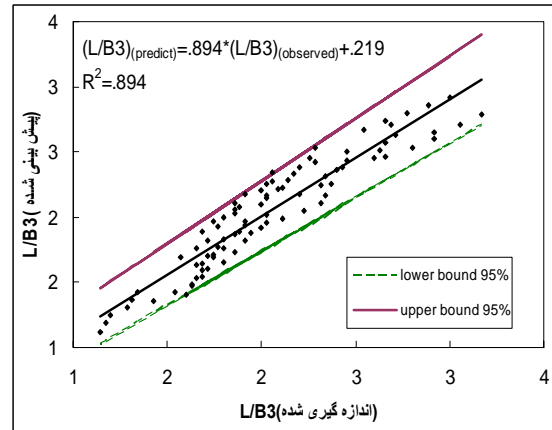


شکل ۸- تغییرات نسبت طول ناحیه جداشدگی در مقابل تغییرات عدد فرود پایاب (نسبت پهنا ۸/۴)

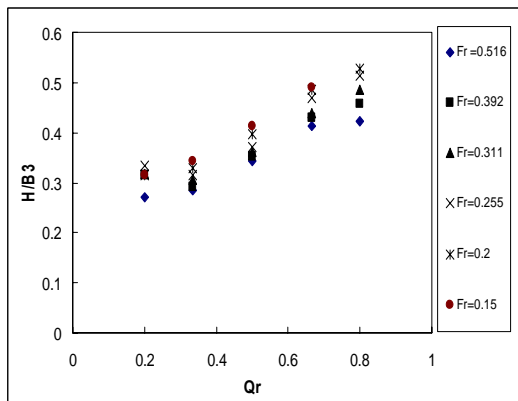
همانگونه که در این شکل‌ها نشان داده شده است صرفنظر از تاثیر عدد فرود پایاب، با افزایش نسبت دبی (Q_r) طول ناحیه جداشدگی غالباً افزایش می‌یابد. در بعضی موارد که روند کاهشی مشاهده می‌شود (به ازای $B_r = 0.412$ و $Q_r = 0.8$ شکل ۴) علت آن است که در این حالت جریان شاخه فرعی خود را به دیواره جلویی در



شکل ۱۱- تغییرات نسبت پهنا ناحیه جدا شدگی در مقابل تغییرات نسبت دبی (نسبت پهنا ۰/۷۱۴)



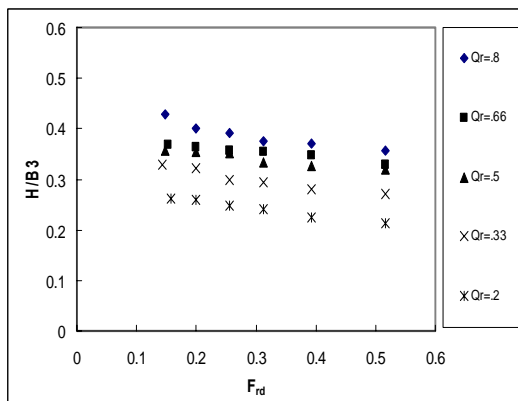
شکل ۹- رابطه بین طول بدون بعد ناحیه جداشدگی ($L/B3$) اندازه گیری شده و پیش بینی شده با رابطه (۱۳)



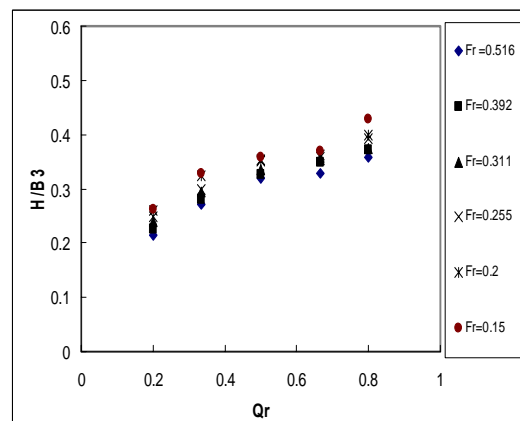
شکل ۱۲- تغییرات نسبت پهنا ناحیه جدا شدگی در مقابل تغییرات نسبت دبی (نسبت پهنا ۰/۴۲۸)

۳-۲- پهنای ناحیه جداشدگی

تاثیر نسبت دبی (Q_r) بر پهنای ناحیه جداشدگی جریان (H) در شکل‌های ۱۰ تا ۱۲ نشان داده شده است. اشکال مذکور نشان می‌دهند صرفنظر از تاثیر عدد فرود پایاب با افزایش نسبت دبی پهنای ناحیه جداشدگی افزایش می‌یابد. تغییرات پهنای ناحیه جداشدگی در مقابل تغییرات عدد فرود جریان در پائین دست محل تلاقی در شکل‌های ۱۳ تا ۱۵ نمایش داده شده است. این شکل‌ها نشان می‌دهند با افزایش عدد فرود پایاب پهنای ناحیه جدا شدگی کاهش می‌یابد اما از حساسیت کمتری نسبت به تغییرات در مقابل نسبت دبی برخوردار است.



شکل ۱۳- تغییرات نسبت پهنا ناحیه جدا شدگی در مقابل تغییرات عدد فرود پایاب (نسبت پهنا ۱/۰)



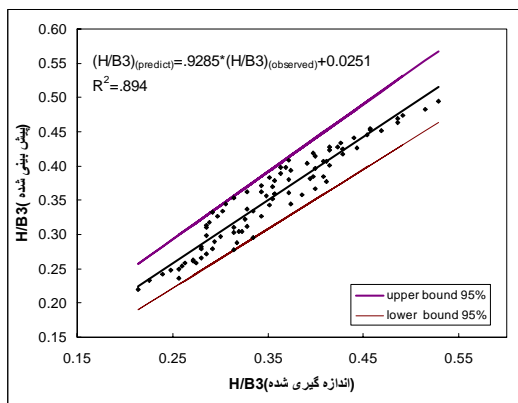
شکل ۱۰- تغییرات نسبت پهنا ناحیه جدا شدگی در مقابل تغییرات نسبت دبی (نسبت پهنا ۱/۰)

معادلات فوق نشان می‌دهد که به ازای مقادیر یکسان نسبت دبی و عدد فرود با افزایش نسبت پهنا (B_r) پهناهای ناحیه جدا شدگی کاهش می‌یابد.

برای ارائه رابطه‌ای که در آن اثر نسبت پهنا نیز منظور شده باشد از رگرسیون‌گیری چند متغیره یاری گرفته شد و نهایتاً رابطه زیر استخراج شد. هرچند که ارائه چنین رابطه‌ای تنها به سه نسبت پهنا قدری قابل تامل است با این حال شکل ۱۶ نشان می‌دهد که این رابطه در باند اعتماد ۹۵٪ نتایج قابل قبولی ارائه می‌دهد.

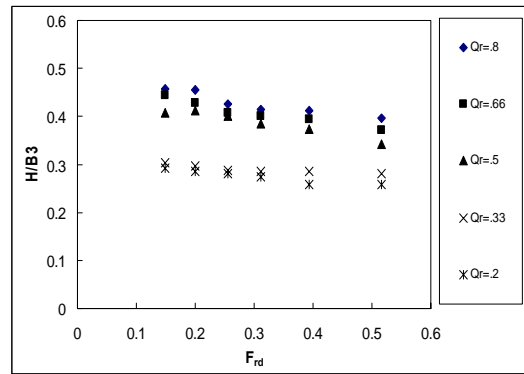
$$\frac{H}{B_3} = 0.429Q_r^{0.354} e^{-0.457F_{rd}} B_r^{-0.207} \quad (17)$$

$$R^2 = 0.919$$

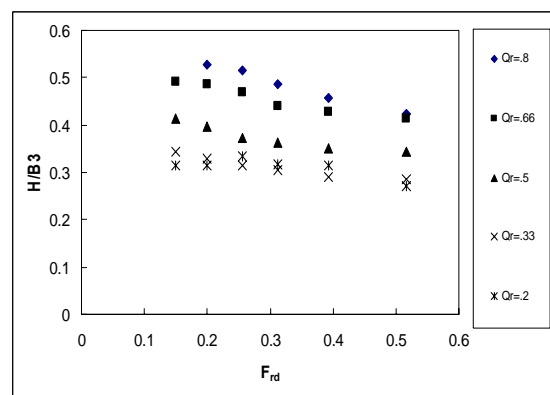


شکل ۱۶- رابطه بین پهنا بدون بعد ناحیه جداشدگی (H/B_3) اندازه گیری شده و پیش بینی شده با رابطه (۱۷)

مشاهدات فوق را می‌توان بدین صورت تفسیر نمود که به افزایش نسبت دبی کانال فرعی به دبی کل، اندازه حرکت و سرعت جریان در کانال فرعی افزایش و در کانال اصلی کاهش می‌یابند از این رو جریان کانال فرعی با سهولت بیشتری در کانال اصلی نفوذ می‌نماید. این قدرت نفوذ بیشتر منجر به افزایش طول (L) و پهناهای (H) ناحیه جداشدگی جریان می‌گردد. از طرفی برای مقادیر یکسان نسبت دبی و عدد فرود پایاب، با افزایش نسبت پهناهای کانال فرعی به اصلی سرعت جریان و اندازه حرکت کانال فرعی کاهش می‌یابد که خود باعث کاهش قدرت نفوذ جریان کانال فرعی می‌گردد بنابراین ابعاد ناحیه جداشدگی جریان کاهش می‌یابد. افزایش عدد فرود پائین دست باعث افزایش سرعت جریان ورودی از کانال اصلی بدون محدودیت تلافی، خصوصاً در نسبت پهناهای (B_r) بزرگتر که اندازه



شکل ۱۴- تغییرات نسبت پهنا ناحیه جدا شدگی در مقابل تغییرات عدد فرود پایاب (نسبت پهنا ۷۱/۴+)



شکل ۱۵- تغییرات نسبت پهنا ناحیه جدا شدگی در مقابل تغییرات عدد فرود پایاب (نسبت پهنا ۴۲۸/۴+)

به منظور بررسی اثر همزمان نسبت دبی و عدد فرود پایاب بر پهناهای ناحیه مذکور نیز از رگرسیون‌گیری چند متغیره توسط نرم‌افزار SPSS-13 کمک گرفته شد. نهایتاً پس از رگرسیون‌گیری‌های مختلف روابط زیر که بیشترین ضریب همبستگی را نشان دادند، استخراج گردید:

$$\frac{H}{B_3} = 0.324Q_r^{1.809} - 0.06 \ln(F_{rd}) + 0.206 \quad (14)$$

$$R^2 = 0.944 \text{ و } B_r = .428$$

$$\frac{H}{B_3} = 0.294Q_r^{1.088} - 0.049 \ln(F_{rd}) + 0.171 \quad (15)$$

$$R^2 = 0.869 \text{ و } B_r = .71$$

$$\frac{H}{B_3} = .099 \ln(Q_r) + 0.122 \exp(-3.07F_{rd}) + 0.353 \quad (16)$$

$$R^2 = 0.977 \text{ و } B_r = 1.0$$

که در آنها H پهناهای ناحیه جدا شدگی جریان می‌باشد. بقیه پارامترها در معادلات (۱) تا (۳) معرفی شدند.

حرکت کانال فرعی کاهش می‌یابد می‌شود. این امر باعث کاهش ابعاد ناحیه جداشدگی می‌گردد.

۳-۳- شاخص شکل ناحیه جداشدگی ($\frac{H}{L}$)

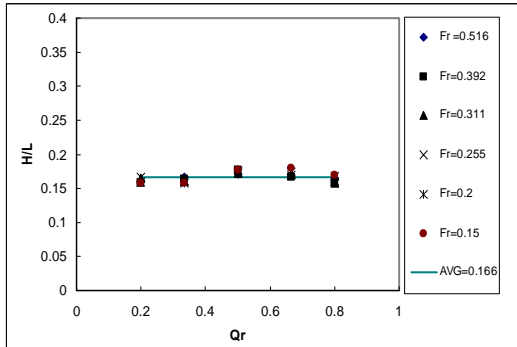
شاخص شکل بیان کننده یک حالت کلی از شکل ناحیه جداشدگی می‌باشد. همانگونه که قبلا در قسمت بررسی منابع اشاره شده است تحقیقات قبلی نشان دادند که برای اتصال ۹۰ درجه مقدار میانگین این شاخص عددی بین ۰/۱۷ تا ۰/۱۹ می‌باشد.

نتایج آزمایشهای انجام شده در این تحقیق منجر به ارائه شکل‌های ۱۷ تا ۱۹ برای سه نسبت پهنای مورد بررسی در این تحقیق شده است. همانگونه که در این اشکال نشان داده شده است نتایج زیر قابل تامل است:

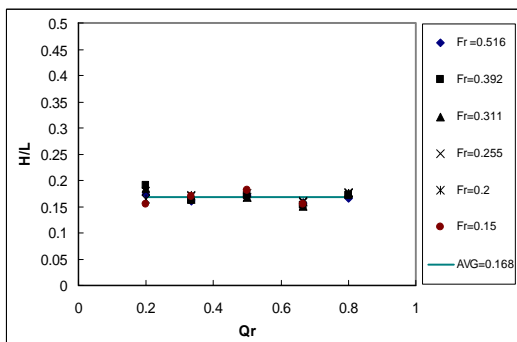
- تغییرات شاخص شکل نسبت به تغییرات نسبت دبی از روند خاصی تبعیت نمی‌کند.

- تغییرات شاخص شکل نسبت به تغییرات عدد فرود پایاب از روند خاصی تبعیت نمی‌کند.

- مقدار میانگین شاخص شکل برای سه پهنای ۱/۰، ۰/۷۱۴ و ۰/۴۲۸ به ترتیب برابر با ۰/۱۸۷، ۰/۱۶۶ و ۰/۱۶۸ می‌باشد. و میانگین کل شاخص شکل در این تحقیق عدد ۰/۱۷۴ می‌باشد.



شکل ۱۸- تغییرات شاخص شکل ناحیه جدا شدگی در مقابل تغییرات نسبت دبی به ازای اعداد فرود مختلف (نسبت پهنای ۰/۷۱۴)

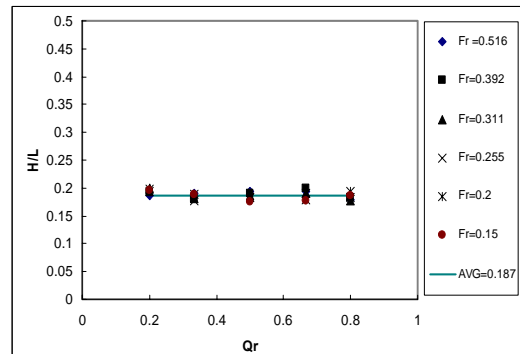


شکل ۱۹- تغییرات شاخص شکل ناحیه جدا شدگی در مقابل تغییرات نسبت دبی به ازای اعداد فرود مختلف (نسبت پهنای ۰/۴۲۸)

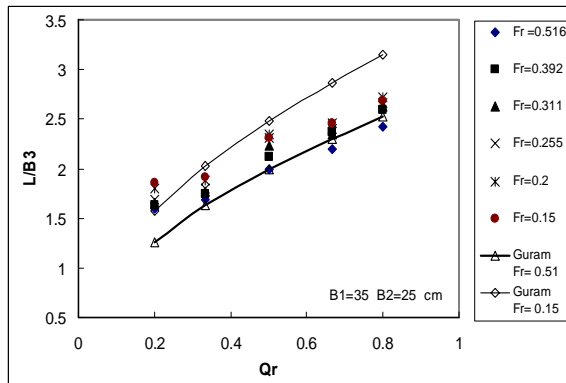
۳-۴- مقایسه نتایج این تحقیق با نتایج دیگران

همانگونه که قبلا اشاره شد تا کنون تحقیقات مختلفی روی خصوصیات جریان در محل تلاقی صورت گرفته است. در بعضی از این تحقیقات که بیشتر آزمایشگاهی و مشاهداتی می‌باشند روابطی نیز برای تعیین ابعاد ناحیه جدا شدگی ارائه شده است که از آن جمله می‌توان به روابط (۱) تا (۴) اشاره نمود.

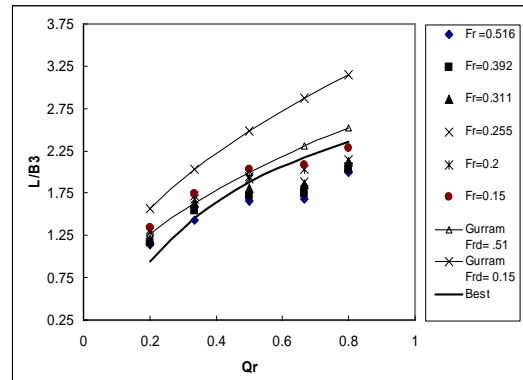
شکل‌های ۲۰ و ۲۱ نتایج تحقیق حاضر برای نسبت پهنای $(B_r=1)$ را با نتایج محققان قبلی مقایسه می‌نماید.



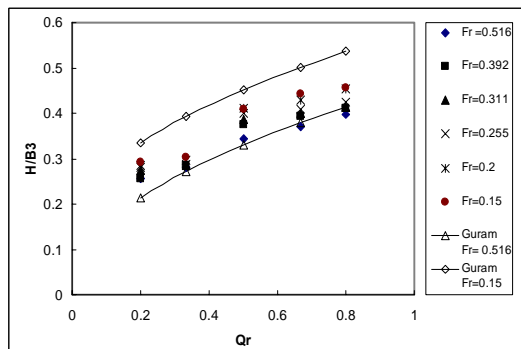
شکل ۱۷- تغییرات شاخص شکل ناحیه جدا شدگی در مقابل تغییرات نسبت دبی به ازای اعداد فرود مختلف (نسبت پهنای ۱/۰)



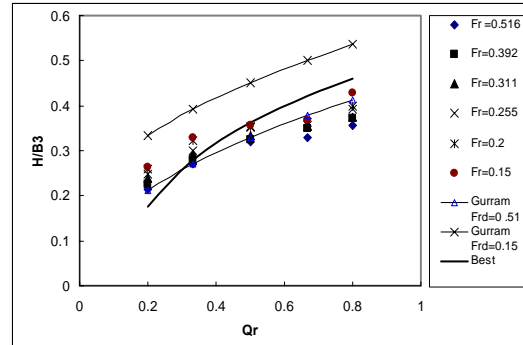
شکل ۲۲- مقایسه نتایج این تحقیق در خصوص تغییرات نسبت طول ناحیه جدا شدگی در مقابل تغییرات نسبت دبی (نسبت پهنا ۴/۷۱۰) با نتایج Gurram et al. (1997)



شکل ۲۰- مقایسه نتایج این تحقیق در خصوص تغییرات نسبت طول ناحیه جدا شدگی در مقابل تغییرات نسبت دبی (نسبت پهنا ۱/۰) با نتایج Gurram et al. (1997) و Best and Reid (1985)



شکل ۲۳- مقایسه نتایج این تحقیق در خصوص تغییرات نسبت پهناهای ناحیه جدا شدگی در مقابل تغییرات نسبت دبی (نسبت پهنا ۴/۷۱۰) با نتایج Gurram et al. (1997)



شکل ۲۱- مقایسه نتایج این تحقیق در خصوص تغییرات نسبت پهنا ناحیه جدا شدگی در مقابل تغییرات نسبت دبی (نسبت پهنا ۱/۰) با نتایج Gurram et al. (1997) و Best and Reid (1985)

۴- نتیجه گیری

در این تحقیق با انجام ۹۰ آزمایش تاثیر عواملی چون نسبت دبی شاخه فرعی به دبی کل جریان (Q_r)، نسبت پهناهای شاخه فرعی به شاخه اصلی (B_r) و همچنین عدد فرود جریان در کانال پایین دست تلاقی (F_{rd}) بر روی طول ناحیه جداشدگی (L) و حداکثر پهناهای آن (H) در یک تلاقی ۹۰ درجه مورد بررسی قرار گرفته و روابطی برای آنها استخراج شده است. در این روابط سعی شده است پارامتر (B_r) که در مطالعات قبلی کمتر مورد توجه قرار گرفته است وارد شود. نتایج آزمایشهای انجام شده نشان داد که افزایش نسبت دبی (Q_r) باعث افزایش طول و پهناهای ناحیه جداشدگی جریان می‌گردد در حالیکه افزایش عدد فرود پایاب (F_{rd}) و نسبت پهنا (B_r) ابعاد این ناحیه را کاهش می‌دهد.

همانگونه که در این اشکال نشان داده شده است نتایج این تحقیق همخوانی نسبتاً خوبی با نتایج بست و رید بخصوص در اعداد فرود پائین و نسبت دبی بالاتر از ۰/۳ (یعنی تقریباً همان محدوده آزمایشات تحقیق مذکور) دارد. از طرفی نتایج این تحقیق برای ($B_r=1$) در حالت کلی مقادیر کمتری را نسبت به نتایج گورام و همکاران نشان می‌دهد. این اختلاف در رابطه با طول ناحیه جداشدگی جریان مشهودتر است. برای اطمینان بیشتر نتایج تحقیق حاضر برای ($B_r=0.71$) با روابط گورام و همکاران مجدداً مقایسه شد نتیجه این مقایسه در شکل‌های ۲۲ و ۲۳ ارائه شده است. که در این حالت بخصوص در ارتباط با نسبت پهناهای ناحیه جداشدگی نتایج هر دو تحقیق نزدیک به هم می‌باشد. گورام و همکاران آزمایشهای خود را روی دو پهناهای ۳۰۰ و ۵۰۰ میلی‌متر برای کانال فرعی انجام داده‌اند با این حال در روابط ۳ و ۴ اشاره‌ای به نسبت پهنا نکرده‌اند.

۵- تشکر

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

پی‌نوشت‌ها

1. Flow meter
2. Point gauge

۶-مراجع

- Hager, W.H. (1987), "Discussion: separation zone at open channel – junctions", *J. Hydr. Engrg., ASCE*, 115(5), pp. 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*, 124(2), pp. 186-191.
- Hsu, C. C. Lee. W. J., and Chang. C.H. (1998b), "Subcritical open channel - junction flow", *J. Hydr. Engrg., ASCE*, 124(8), pp. 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*, 128(3), pp. 268-280
- Lin, J.D. and soong, H.K. (1979), "Junction losses in open channel flows", *Water Resour. Res.*, 15(2), pp. 414-418
- Modi, P.N., Ariel, P.D., and Dandekar, M. M. (1981), "Conformal mapping for channel junction flow", *J. Hydr. Engrg.*, 107(12), pp. 1713-1733.
- 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), pp. 1449-1460.
- Taylor, E. H. (1944), "Flow characteristics at rectangular open-channel junction", *Trans. ASCE*, 109, pp. 893-902.
- 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, pp. 321-334.
- Weber, L. J., Schumate, E. D., and Mawer, N. (2001), "Experimentals on flow at a 90° open – channel Junction", *J. Hydr. Engrg. ASCE*, 127(5), pp. 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.*, pp. 373-380.
- برقی. س م. ، سخایی فر.س.م. و دائمی، ع. (۱۳۸۱). " بررسی آزمایشگاهی اتصال کانال‌ها"، مجموعه مقالات ششمین سمینار بین‌المللی مهندسی رودخانه. اهواز، ص ۶۱۹-۶۱۱
- 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. pp. 27-35.
- Best, J. L., and Reid, I. (1984), "Separation zone at open channel – junctions", *J. Hydr. Engrg., ASCE*, 110(11), pp. 1588-1595.
- Biron, P., Best, J.L., and Roy, A.G. (1996), "Effect of bed discordance on flow dynamics at open channel confluences", *J. Hydr. Engrg.* 122(12), pp. 676–682.
- 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(5), pp. 351-368.
- Gurram, S.K., Karki, K.S., and Hager, W.H. (1997), "Subcritical junction flow", *J. Hydr. Engrg., ASCE*, 123(5), pp. 447-455.

تاریخ دریافت مقاله: ۳۰ خرداد ۱۳۸۵

تاریخ اصلاح مقاله: ۲۹ شهریور ۱۳۸۵

تاریخ پذیرش مقاله: ۲۶ مهر ۱۳۸۵