

شبیه‌سازی عددی الگوی جریان سه‌بعدی در تلاقی کانال‌های باز

سید حبیب موسوی جهرمی^{۱*} و رضا گودرزی‌زاده^۲

* نویسنده مسئول، دانشیار گروه سازه‌های آبی دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز r_hmusavi@yahoo.com

^۲ کارشناس ارشد عمران - سازه‌های هیدرولیکی

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۰/۷/۲۰

تاریخ دریافت: ۱۳۸۹/۸/۸

چکیده

در این تحقیق الگوی جریان در تلاقی ۹۰ درجه دو کانال مستطیلی، به صورت سه‌بعدی و با استفاده از Fluent 6.3 مورد بررسی قرار گرفته است. به منظور شبیه‌سازی جریان آشفته از مدل آشفتگی تنش رینولدز استفاده و جریان به صورت ماندگار تحلیل شده است. برای صحت‌سنجی نتایج حاصله، از نتایج آزمایشگاهی شیومیت استفاده گردیده است. مقایسه نتایج حاصل از مدل عددی با داده‌های آزمایشگاهی نشان می‌دهد که مدل مزبور الگوی کلی جریان در محل تلاقی کانال‌ها را در حد مناسبی شبیه‌سازی کرده و متوسط خطای پیش‌بینی سرعت در طول کانال اصلی بین ۳/۵ تا ۱۰ درصد می‌باشد. همچنین تأثیر نسبت دبی بر ابعاد ناحیه جدایی جریان ایجاد شده در کانال اصلی پایین‌دست تلاقی و توزیع تنش برشی بستر مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج نشان داد که در اثر افزایش نسبت دبی، طول و عرض ناحیه جدایی کاهش می‌یابد. شاخص شکل ناحیه جدایی محاسبه شده در این تحقیق دارای مقدار میانگین ۰/۱۸ بوده که در محدوده مقادیر آزمایشگاهی قرار دارد. از سوی دیگر با افزایش نسبت دبی حداکثر تنش برشی بستر کاهش می‌یابد.

کلید واژه‌ها: تقاطع ۹۰ درجه، ناحیه جدایی جریان، تنش برشی، مدل‌سازی عددی، مدل آشفتگی تنش رینولدز.

مقدمه

می‌ماند. هاگر^۵ (۱۴) با فرض اینکه عمق بحرانی در محل حداکثر سرعت اتفاق می‌افتد و با استفاده از سه معادله پیوستگی، مومنتم و انرژی معادلاتی را برای محاسبه عمق نسبی و ضریب انقباض جریان ارائه نمود. گورام و همکاران^۶ (۱۳) با مطالعه بر روی یک اتصال با زوایای مختلف 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 جدایشگی، جریان در شرایط زیر بحرانی و انتقالی ارائه نمودند. سو و همکاران^۷ (۱۵) با کاربرد همزمان سه معادله پیوستگی، مومنتم و انرژی در محل یک اتصال ۹۰ درجه، روابطی را برای محاسبه ضریب انقباض جریان (μ) در ناحیه حداکثر سرعت و همچنین نسب عمق بالادست به عمق پایاب (Y) به‌دست آوردند. مطالعات آزمایشگاهی شیومیت^۸ (۱۸) به منظور توصیف جریان سه‌بعدی در محل اتصال ۹۰ درجه، نشان داد که ابعاد ناحیه جدایشگی در نزدیک سطح آب نسبت به نزدیک بستر بزرگتر است. همچنین با افزایش دبی کانال اصلی به کانال جانبی، طول و پهنای ناحیه جدایشگی کوچکتر می‌شود. برقی و همکاران^۹ (۲)، به بررسی آزمایشگاهی یک تقاطع ۹۰ درجه پرداختند. آنها با استفاده از

تلاقی‌ها از جمله اجزای مهم هر شبکه رودخانه‌ای می‌باشند. هنگامی که جریان در یک شبکه رودخانه‌ای جاری می‌شود مجبور است که از محل تلاقی عبور نماید. به دلیل افزایش دبی و تداخل جریان‌های به هم رسیده، ناحیه‌ای با الگوی پیچیده‌ای از جریان سه‌بعدی و دارای بیشترین اغتشاش در رژیم رودخانه به وجود می‌آید که این امر باعث ایجاد چاله فرسایشی و تپه رسوب‌گذاری در محل تلاقی و در نتیجه تغییر مورفولوژی^۱ رودخانه می‌شود^(۳)، ۴ و ۸). این موضوع از نقطه نظر مطالعات مهندسی رودخانه و تأثیر آن در تأمین آب حائز اهمیت است. بدین منظور در سال‌های اخیر مطالعات بسیاری در زمینه شناخت الگوی جریان در محل تلاقی رودخانه‌ها و کانال‌های روباز صورت گرفته است. تیلور^۲ (۱۹) با مطالعه آزمایشگاهی بر روی یک تقاطع، اولین کسی بود که رابطه عمق نسبی در محل تلاقی را ارائه نمود. مطالعات آزمایشگاهی بست و رید^۳ (۶) بر روی یک تلاقی با زوایای مختلف نشان داد که با افزایش نسبت دبی شاخه فرعی به دبی کل، طول و پهنای ناحیه جدایشگی جریان افزایش می‌یابد، ولی به ازاء نسبت‌های دبی مختلف، اندیس شکل^۴ ناحیه جدایشگی (نسبت پهنای به طول ناحیه جدایشگی، H_r/L_r) حول مقدار میانگین ۰/۱۹ باقی

5. Hager
6. Gurram et al.
7. Hsu et al.
8. Shumate

1. Morphology
2. Taylor
3. Best and Ried
4. Shape Index

دارای جهت مثبت x به طرف بالادست کانال اصلی، جهت مثبت y در جهت جریان کانال جانبی و جهت z به سمت بالا می‌باشد. مبدأ مختصات در کف کانال و در گوشه بالادست تلاقی قرار دارد (شکل ۱). دبی کل $0/17$ متر مکعب بر ثانیه و عمق جریان در پایین‌دست کانال اصلی در $0/296$ ثابت شده است. بنابراین سرعت متوسط در کانال اصلی پایین‌دست $0/628$ متر بر ثانیه و عدد فرود و رینولدز جریان به ترتیب $0/37$ و 186000 می‌باشد (جدول ۱).

نرم‌افزارهای مورد استفاده در حل عددی

مدل Fluent یک نرم‌افزار تحلیل سه‌بعدی جریان می‌باشد که از معادلات پیوستگی و ناویراستوکس در تحلیل جریان استفاده می‌کند. این نرم‌افزار با زبان برنامه نویسی C نوشته شده است (۱۲). بخش Gambit یک نرم‌افزار پیش‌پردازنده جهت تولید هندسه، ایجاد مش و شبکه برای نرم‌افزارهای دینامیک سیالات محاسباتی می‌باشد.

معادله‌های حاکم

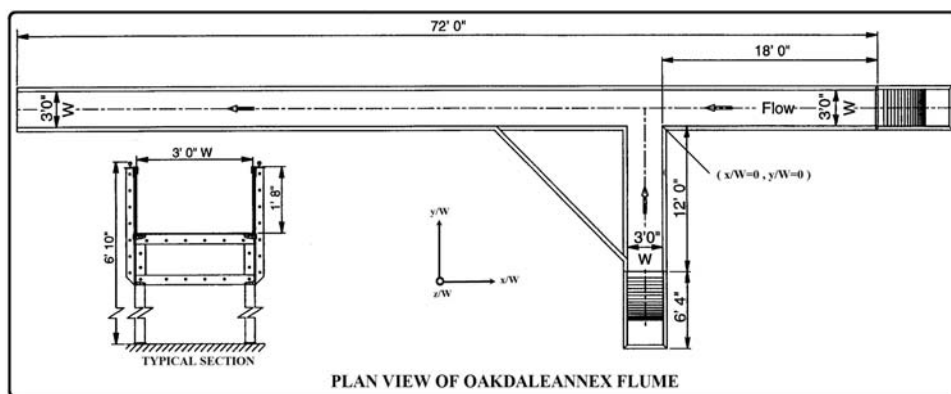
معادله‌های حاکم بر حرکت سیال تراکم ناپذیر لزج در حالت آشفتنه، معادله‌های ناویراستوکس متوسط‌گیری شده، موسوم به رینولدز می‌باشند. معادلات پیوستگی (بقای جرم) و حرکت (بقای مومنتم) به صورت زیر بیان می‌شوند (۱۸).

معادلات پیوستگی و مومنتم، روابط بی‌بعدی برای نسبت اعماق و شرایط ایجاد پرش هیدرولیکی در پایین‌دست محل اتصال ارائه نمودند. همچنین برای نسبت عرض به طول ناحیه جدایی مقدار متوسط $0/19$ را پیشنهاد کردند. همچنین تعدادی از محققین با انجام تحلیل‌های عددی به شبیه‌سازی سه‌بعدی جریان و بررسی تأثیر عوامل مختلف (نسبت دبی، زاویه تلاقی دو کانال، اختلاف تراز بستر در محل تلاقی و ...) بر خصوصیات جریان در محل تلاقی دو کانال، پرداخته‌اند (۷، ۹، ۱۶، ۱۷ و ۲۰). در مطالعه حاضر یک مدل ریاضی سه‌بعدی بر اساس اطلاعات آزمایشگاهی شیومیت (۱۸) پیاده شده و سرعت جریان با استفاده از مدل آشفتگی تنش رینولدز محاسبه و در چند مقطع با نتایج آزمایشگاهی مقایسه شده است. همچنین تأثیر نسبت دبی بر ابعاد ناحیه جداسازی جریان و تنش برشی بستر مورد ارزیابی قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

مشخصات مدل آزمایشگاهی مورد مطالعه

در مطالعه آزمایشگاهی شیومیت، طول کانال اصلی $21/946$ متر (۷۲ فوت) و طول کانال جانبی $3/658$ متر (۱۲ فوت) می‌باشد. کانال جانبی در $5/486$ متر (۱۸ فوت) پایین‌دست ورودی کانال اصلی قرار دارد. هر دو کانال اصلی و جانبی $0/914$ متر (۳ فوت) عرض و $0/509$ متر (۱/۶۷ فوت) عمق دارند. کف کانال در تمامی مناطق به صورت افقی می‌باشد. سیستم مختصات تعریف شده



شکل ۱- مشخصات فلوم آزمایشگاهی (۱۸)

جدول ۱- مشخصات هیدرولیکی میدان حل (۱۸)

عدد رینولدز	عدد فرود	عمق جریان در کانال اصلی پایین‌دست (m)	دبی کل (m^3/sec)	دبی ورودی کانال جانبی (m^3/sec)	دبی ورودی کانال اصلی (m^3/sec)
۱۸۶۰۰۰	۰/۳۷	۰/۲۹۶	۰/۱۷	۰/۰۴۳	۰/۱۲۷

- معادله پیوستگی:
شبکه انجام گردید و سرانجام در کانال اصلی از (۱۷۰×۵۵×۲۷) سلول و در کانال جانبی از (۴۵×۵۵×۲۷) سلول استفاده شد (شکل ۲).

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0 \quad (1)$$

مدل آشفتگی

در این مطالعه از مدل آشفتگی تنش رینولدز استفاده شده است. این مدل معادله‌های انتقال را برای هر یک از مولفه‌های تنش رینولدز به طور مجزا حل می‌کند (۱۰).
معادله $\overline{u_i' u_j'}$ به شرح زیر می‌باشد:

- معادله مومنتم:

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + \frac{\partial u_i u_j}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x_i} + g_i + \frac{\partial}{\partial x_j} (\tau_{ij}) \quad (2)$$

همچنین Fluent از روش حجم محدود به منظور مجزا سازی معادلات استفاده می‌کند (۱۲).

$$U_k \frac{\partial \overline{u_i' u_j'}}{\partial x_k} = P_{ij} + \Phi_{ij} + D_{ij} - \varepsilon_{ij} \quad (3)$$

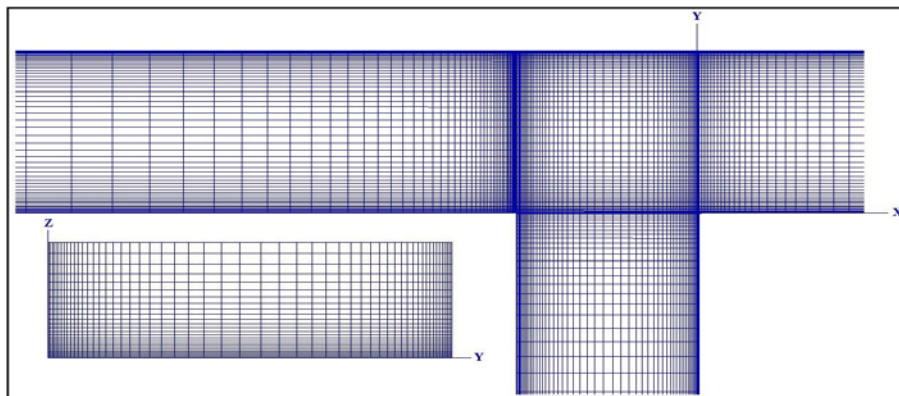
شرایط مرزی

با توجه به ضرایب ثابت جهانی مورد استفاده در Fluent، نرم‌افزار از واسنجی بی‌نیاز می‌باشد، لذا برای آن واسنجی انجام نشده است.

در ورودی کانال اصلی و جانبی از شرط مرزی سرعت معین استفاده شده و مقدار سرعت میانگین به‌عنوان سرعت ورودی اعمال گردیده است. چون در واقعیت سرعت در مقطع ورودی در عمق یکنواخت نمی‌باشد (۱)، به منظور نزدیک شدن به شرایط آزمایشگاهی، طول کانال اصلی و جانبی افزایش داده شده است. برای مرز خروجی میدان از شرط مرزی فشار صفر استفاده و کانال اصلی پایین‌دست، ۱۲ متر در نظر گرفته شده است. همچنین شرط مرزی دیواره به مرزهای صلب میدان اعمال شده و دیواره‌ها از لحاظ هیدرولیکی صاف در نظر گرفته شده‌اند. در این تحقیق از تغییرات سطح آب صرفه‌نظر گردیده و شرط مرزی تفرق در سطح آب استفاده و عمق جریان در کل میدان ثابت (۰/۲۹۶ متر) لحاظ شده است. لذا نیاز به استفاده از مدل‌سازی دوفازی که بسیار پرهزینه است، نمی‌باشد. همچنین آزمون عدم وابستگی به اندازه

صحت‌سنجی مدل عددی

در شکل (۳) نتایج پیش‌بینی شده سرعت در نزدیک سطح آب با داده‌های آزمایشگاهی مقایسه شده است. با توجه به این شکل می‌توان دریافت که نتایج مدل عددی از نقطه نظر کیفی مطابقت خوبی با مدل آزمایشگاهی داشته و چگونگی تغییرات سرعت در امتداد کانال اصلی به طور مناسبی شبیه‌سازی شده است. همچنین به منظور بررسی کمی دقت مدل عددی، خطای پیش‌بینی برای نتایج سرعت موجود در شکل (۳) محاسبه و در



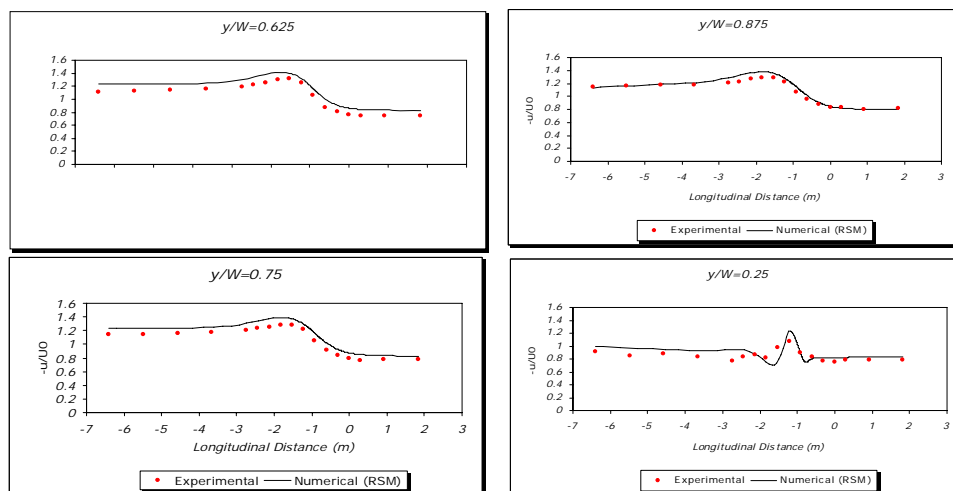
شکل ۲- شبکه‌بندی میدان حل

جدول ۲- ضرایب ثابت مدل تنش رینولدز (۱۱)

C_u	$C_{1\varepsilon}$	$C_{2\varepsilon}$	C_{1-ps}
۰/۰۹	۱/۴۴	۱/۹۲	۱/۸

جدول ۳- مقادیر خطای پیش‌بینی برای پارامتر (u/U_0)

مقطع	$y/W = 0.125$	$y/W = 0.625$	$y/W = 0.75$	$y/W = 0.875$
حداکثر خطای پیش‌بینی	۲۳/۸ %	۱۳/۹ %	۱۰ %	۸ %
متوسط خطای پیش‌بینی	۹/۳۵ %	۹/۸۶ %	۸/۵۴ %	۳/۷ %



شکل ۳- مقایسه روند تغییرات سرعت در طول کانال اصلی با نتایج آزمایشگاهی

منطقه، پروفیل‌های پیش‌بینی شده سرعت در امتداد کانال اصلی با داده‌های آزمایشگاهی مقایسه شده‌اند (شکل ۵).

مقایسه نتایج حاصله نشان می‌دهد که دقت مدل در پیش‌بینی میدان جریان در طول کانال مستقیم، نسبتاً خوب بوده و اندک اختلاف موجود در بعضی نواحی (خصوصاً برای تعداد محدودی از نقاط ناحیه جدایی جریان)، به دلیل ثابت فرض نمودن عمق جریان می‌باشد. با توجه به شکل مزبور، پروفیل سرعت تا فاصله‌ای قبل از محل تلاقی، حالت توسعه یافته خود را حفظ می‌کند ($x/W = 1$). یعنی سرعت در جداره‌ها صفر بوده و با دور شدن از جداره‌ها افزایش یافته و در خط میانی کانال به حداکثر مقدار خود می‌رسد (۱).

با نزدیک شدن به محل پیوند دو جریان، به‌خاطر ورود جریان از طرف کانال جانبی، سرعت حداکثر به سمت دیواره خارجی کانال اصلی ($y/W = 1$) منحرف می‌شوند. همچنین در پایین‌دست محل تلاقی سرعت منفی دیده می‌شود که نشان دهنده وجود ناحیه چرخشی در مجاورت دیواره داخلی کانال اصلی ($y/W = 0$) می‌باشد. از طرف دیگر سرعت در خارج از ناحیه جدایی به دلیل افزایش دبی (ناشی از ورود جریان از کانال جانبی) و کاهش سطح مقطع عبور جریان بسیار بالا است.

جدول (۳) قرار داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود با نزدیک شدن به دیواره خارجی کانال اصلی، مقدار خطای پیش‌بینی^۱ کاهش می‌یابد. زیرا هر چه به سمت دیواره خارجی کانال اصلی حرکت می‌کنیم، اختلاف سطح آب ایجاد شده در مدل آزمایشگاهی (واقعیت) و میزان آشفتگی جریان کمتر می‌گردد (۱۸). این امر باعث نزدیکتر شدن شرایط جریان به فرضیات انجام شده در تحلیل عددی می‌گردد.

به منظور بررسی دقت مدل عددی در شبیه‌سازی جریان در اعماق مختلف، پروفیل‌های قائم سرعت در مقطع $x/W = -1$ با نتایج آزمایشگاهی مقایسه شده است (شکل ۴). با توجه به شکل مزبور، سرعت پیش‌بینی شده همخوانی قابل قبولی با داده‌های آزمایشگاهی دارد. همانگونه که مشاهده می‌گردد، با دور شدن از دیواره خارجی کانال اصلی ($y/W = 1$) توزیع قائم مولفه x سرعت (u) به علت ورود جریان کانال جانبی (افزایش مومنتم در جهت عرض کانال اصلی) و تأثیر ناحیه جدایی جریان، غیر یکنواخت گردید که این امر در $y/W = 0.125$ مشهودتر است.

نتایج و بحث

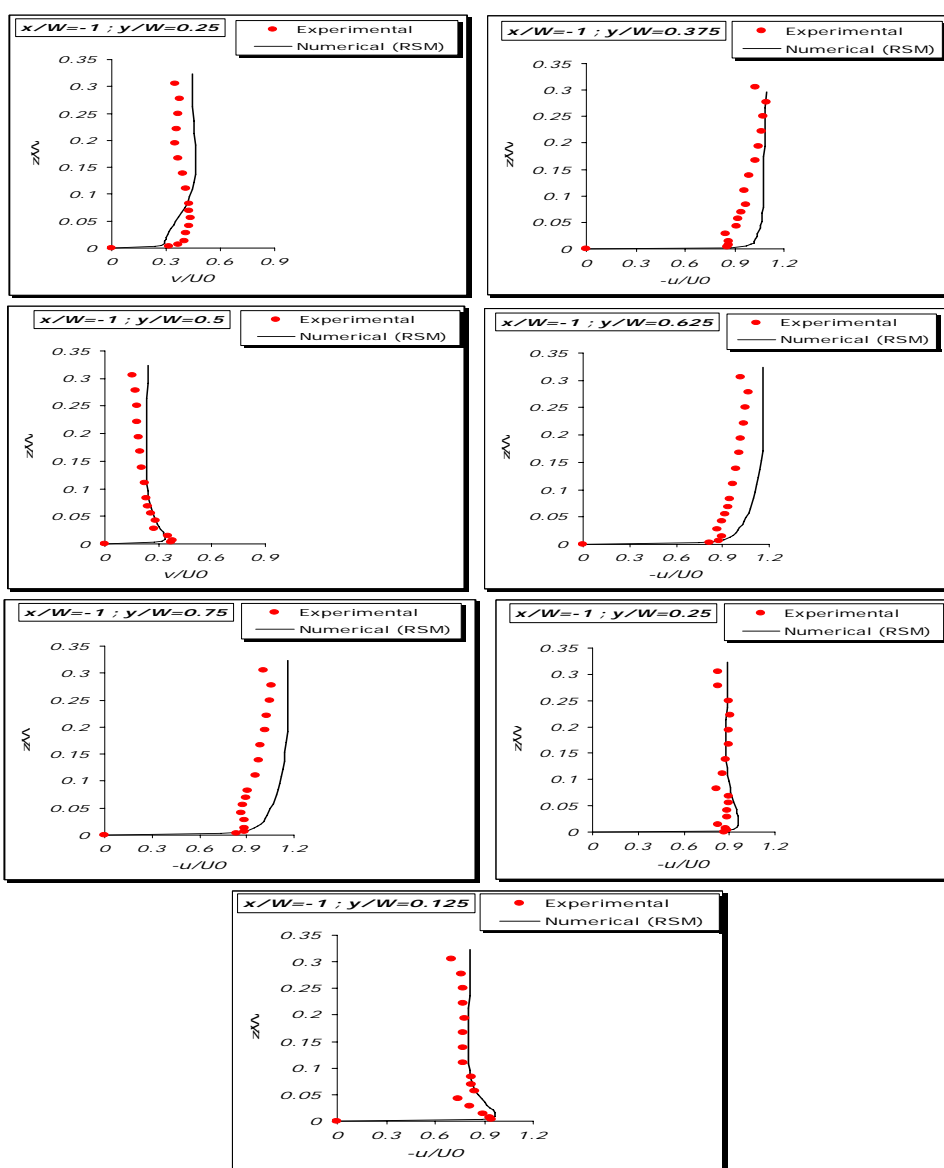
بررسی پروفیل‌های طولی سرعت

به منظور رسیدن به درک روشنی از الگوی جریان در محل تلاقی و بررسی دقت مدل در شبیه‌سازی نواحی ایجاد شده در این

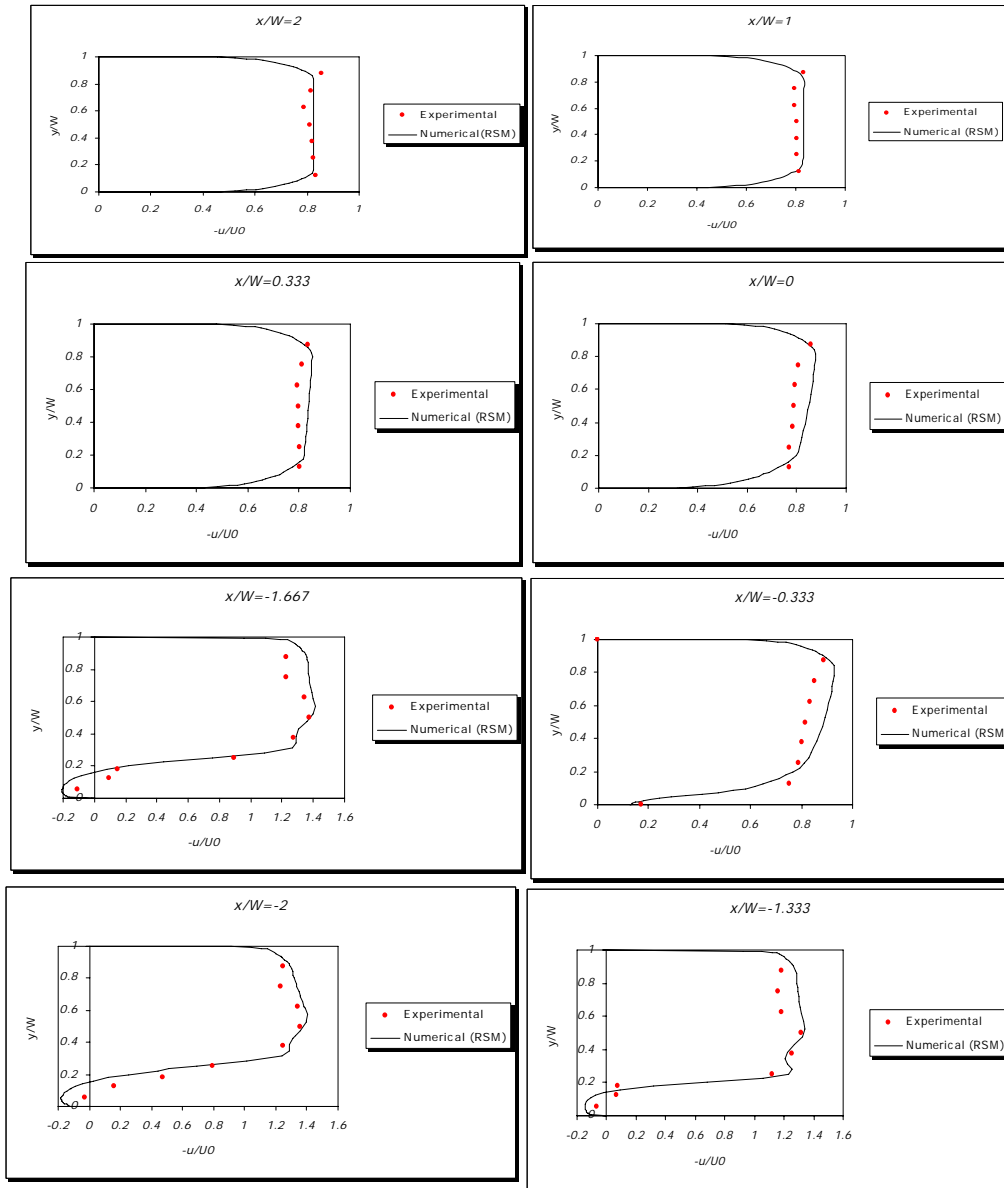
تأثیر نسبت دبی بر ابعاد ناحیه جدایی جریان

در این قسمت تأثیر نسبت دبی کانال اصلی به کانال جانبی بر ابعاد ناحیه جدایی جریان مورد بررسی قرار می‌گیرد. به منظور شبیه‌سازی، شرایط مرزی مشابه بخش صحت‌سنجی در نظر گرفته شده و نسبت دبی ۰/۲۵، ۰/۵ و ۰/۷۵ در نظر گرفته می‌شود. با مقایسه شکل‌های (۶-الف) الی (۶-ج) مشاهده می‌شود که با افزایش نسبت دبی، طول و عرض ناحیه جدایی ایجاد شده در کانال اصلی پایین‌دست تلاقی، کاهش و فاصله خط تقسیم جریان از دیواره داخلی کانال اصلی افزایش می‌یابد. زیرا با افزایش q^* ، مومنتم و سرعت جریان در کانال اصلی افزایش و در کانال جانبی کاهش یافته و جریان کانال جانبی به سختی در

کانال اصلی نفوذ می‌کند. سایر پارامترهای مربوط به ناحیه جدایی جریان محاسبه و در جدول شماره (۴) ارائه شده‌اند. بر اساس نتایج حاصله از تحلیل عددی (شکل ۶ و جدول ۴)، شاخص شکل ناحیه جدایی ایجاد شده در پایین‌دست تلاقی در شکل (۷) نشان داده شده است. به منظور صحت‌سنجی، داده‌های آزمایشگاهی (قبادیان و همکاران)، (بست و رید) و (سو و همکاران) در شکل مزبور ترسیم شده‌اند (۵، ۶ و ۱۵). همانگونه که مشاهده می‌شود شاخص شکل پیش‌بینی شده دارای مقدار میانگین ۰/۱۸ بوده که این پارامتر در داده‌های آزمایشگاهی (قبادیان و همکاران)، (بست و رید) و (سو و همکاران) به ترتیب دارای مقدار متوسط ۰/۱۸۷، ۰/۱۹ و ۰/۱۷ است.



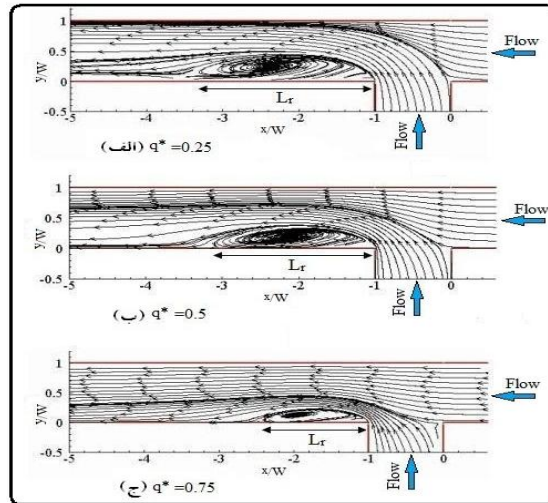
شکل ۴- مقایسه پروفیل‌های قائم سرعت در مقطع $x/W = -1$ با نتایج آزمایشگاهی



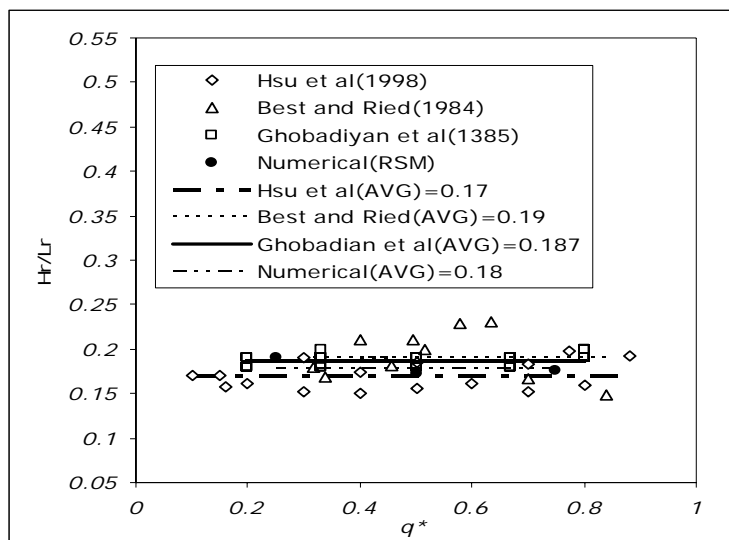
شکل ۵- مقایسه مقادیر سرعت در نزدیک سطح آب در کانال اصلی با نتایج آزمایشگاهی

جدول ۴- شرایط شبیه‌سازی و نتایج مربوط به ابعاد ناحیه جدایی جریان

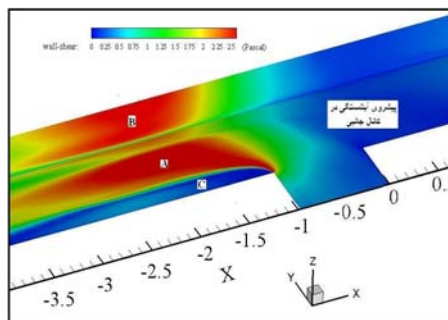
نسبت دبی (q^*)	طول ناحیه جدایی جریان (m)	عرض ناحیه جدایی جریان (m)	شاخص شکل ناحیه جدایی جریان
۰/۲۵	۰/۴۴۴	۲/۳۲	۰/۱۹۱
۰/۵	۰/۲۶۵	۲/۱۲	۰/۱۷۲
۰/۷۵	۰/۲۳	۱/۳۱	۰/۱۷۶



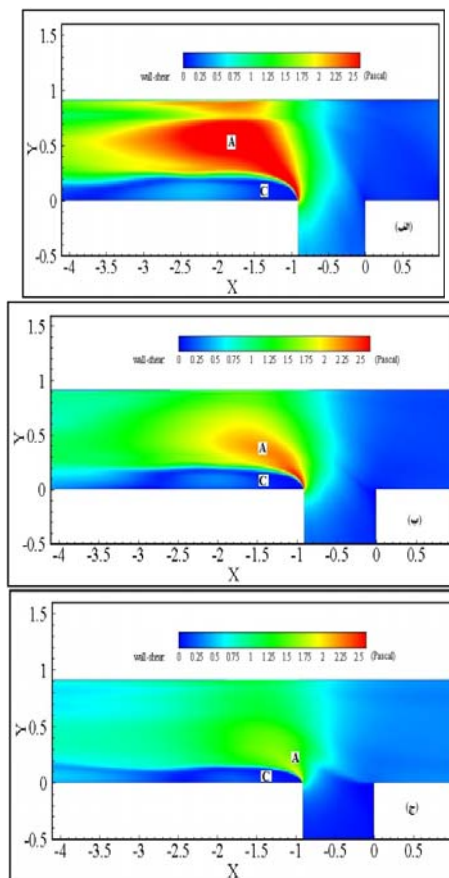
شکل ۶- خطوط جریان در صفحه نزدیک سطح آب



شکل ۷- شاخص شکل ناحیه جدایی جریان



شکل ۸- توزیع تنش برشی برای نسبت دبی ۰/۲۵



شکل ۹- کانتورهای تنش برشی بستر در محل تلاقی برای سه نسبت دبی: الف-۰/۲۵، ب-۰/۵ و ج-۰/۷۵

جدول ۵- تأثیر نسبت دبی بر مقدار تنش برشی بستر

نسبت دبی (q^*)	۰/۲۵	۰/۵	۰/۷۵
حداکثر تنش برشی در ناحیه (Pascal) A	۳/۰۷	۲/۶۶	۱/۹۹

۱- ناحیه A با تنش برشی بسیار بالا که منطبق بر ناحیه انقباض جریان بوده و وقوع آبستنگی در این منطقه حتمی است. همچنین احتمال پیشروی این ناحیه در کانال جانبی در خلاف جهت جریان وجود دارد.

۲- ناحیه B که به دلیل وجود گرادیان بالای سرعت در مجاورت آن دارای تنش برشی نسبتاً بالایی بوده و احتمال تخریب دیواره در این محدوده وجود دارد.

۳- ناحیه C با تنش برشی پایین که منطبق بر ناحیه جدایی جریان بوده و انتظار رسوب گذاری در این منطقه می‌رود.

در شکل (۹)، کانتورهای تنش برشی بستر برای سه نسبت دبی ۰/۲۵، ۰/۵ و ۰/۷۵ ترسیم شده‌اند. با مقایسه نواحی A و C، مشاهده می‌شود که با افزایش نسبت دبی (q^*)، ابعاد ناحیه A و ماکزیمم تنش برشی کاهش می‌یابد (شکل ۹ و جدول ۴).

بررسی نحوه توزیع تنش برشی و پیش‌بینی نواحی آبستنگی و رسوب‌گذاری در کانال اصلی

تحقیقات انجام شده در زمینه آبستنگی و فرسایش در محل پیوند دو جریان، نشان داده است که به دلیل افزایش دبی و انقباض جریان ناشی از وجود ناحیه جدایی، مومنتم و سرعت به شدت افزایش می‌یابد. لذا در کانال‌های فرسایشی و رودخانه‌ها، مصالح بستر جابجا شده و در پایین دست تلاقی با کم شدن سرعت جریان رسوب می‌کنند. همچنین مقداری از این رسوبات با ورود به ناحیه چرخشی، در این منطقه رسوب خواهند کرد (۳ و ۴). در شکل (۸) توزیع تنش برشی برای نسبت دبی ۰/۲۵ ارائه شده که بر اساس آن سه ناحیه کلی برای آبستنگی و رسوب‌گذاری پیش‌بینی می‌شود:

آزمایشگاهی اندازه‌گیری شده توسط سایر محققین قرار دارد (شکل ۷ و جدول ۴).

۵- کانتورهای تنش برشی بستر و دیواره معیار مناسبی برای پیش‌بینی الگوی آبستگي و رسوب‌گذاری می‌باشند (شکل ۸).
 ۶- با توجه به الگوی تنش برشی بستر، با افزایش نسبت دبی، ابعاد ناحیه A و مقدار حداکثر تنش برشی در این ناحیه کاهش می‌یابد. لذا انتظار می‌رود عمق آبستگي کمتر گردد. از سوی دیگر با افزایش نسبت دبی کانال اصلی به دبی کل از ابعاد ناحیه B کاسته خواهد شد (شکل ۹ و جدول ۵).

علائم و نشانه‌ها

u_i = مولفه سرعت در جهت محورهای مختصات (u, v, w)

u = مولفه سرعت در جهت X محور مختصات

v = مولفه سرعت در جهت Y محور مختصات

w = مولفه سرعت در جهت Z محور مختصات

U_0 = سرعت متوسط جریان در کانال پایین‌دست

P = فشار کل

ρ = چگالی سیال

g_i = شتاب ثقل در جهت محورهای مختصات

τ_{ij} = تانسور تنش

W = عرض کانال

q^* = نسبت دبی کانال اصلی به دبی کل

μ = ویسکوزیته سیال

P_{ij} = تانسور تولید

ϕ_{ij} = تانسور فشار- کرنش

D_{ij} = تانسور پخش‌شدگی

ε_{ij} = تانسور اتلاف

نتیجه می‌توان انتظار داشت که در نسبت دبی بالا، حفره آبستگي هم از نظر مساحت و هم از نظر عمق کوچکتر باشد. از این‌رو حجم کمتری از رسوبات توسط جریان به پایین دست تلاقی منتقل می‌شود. این موضوع در کار آزمایشگاهی تعدادی از محققین گزارش شده است (۳ و ۴). از سوی دیگر با افزایش نسبت دبی کانال اصلی به دبی کل، ابعاد ناحیه C کوچکتر می‌گردد.

نتیجه‌گیری

در این مطالعه الگوی سه‌بعدی جریان در محل تلاقی ۹۰ درجه دو کانال به کمک نرم‌افزار Fluent شبیه‌سازی شد. در ابتدا مدل با استفاده از اطلاعات آزمایشگاهی شیومیت (۱۹۹۸) به طور کیفی و کمی صحت‌سنجی شد. در ادامه تأثیر نسبت دبی بر ابعاد ناحیه جدایی جریان و توزیع تنش برشی بستر مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج حاصله به قرار زیر می‌باشد:

۱- انطباق نتایج حاصله از مدل عددی (نرم‌افزار Fluent) با داده‌های آزمایشگاهی، با توجه به ثابت فرض نمودن عمق آب قابل قبول بوده و متوسط خطای پیش‌بینی در محدوده ۳/۵ تا ۱۰ درصد قرار دارد (شکل ۳، ۴، ۵ و جدول ۳).

۲- مدل آشفته‌گی تنش رینولدز در شبیه‌سازی جریان آشفته و پیش‌بینی ناحیه جدایی جریان از توانایی نسبتاً بالایی برخوردار است.

۳- یکی از عوامل تأثیرگذار بر ابعاد ناحیه جدایی جریان، نسبت دبی (q^*) بوده که در تحقیق حاضر با افزایش آن طول و عرض این ناحیه کاهش می‌یابد (شکل ۶ و جدول ۴).

۴- شاخص شکل ناحیه جدایی محاسبه شده در این مطالعه دارای مقدار میانگین ۰/۱۸ بوده که در محدوده مقادیر

منابع

۱. ابریشمی، ج. و س. م. حسینی. ۱۳۷۹. هیدرولیک کانال‌های باز. نشر آستان قدس، دانشگاه امام رضا.
۲. برقی، س. م.، سخائی‌فر، س. م. و ع. ر. دائمی. ۱۳۸۱. بررسی آزمایشگاهی اتصال کانال‌ها. مجموعه مقالات ششمین سمینار مهندسی رودخانه، دانشگاه شهید چمران اهواز، صفحات ۵۷۲-۵۶۵.
۳. برقی، س. م. و ا. نظری. ۱۳۸۲. بررسی آزمایشگاهی الگوی رسوب در تقاطع کانال‌ها. مجموعه مقالات ششمین کنفرانس بین‌المللی مهندسی عمران، اصفهان، صفحات ۲۵۵-۲۴۷.
۴. قبادیان، ر. ۱۳۸۵. بررسی الگوهای جریان، فرسایش و رسوب‌گذاری با استفاده از مدل فیزیکی. رساله دکترا، دانشگاه شهید چمران اهواز، ۱۸۳ صفحه.
۵. قبادیان، ر.، شفاعی بجستان، م. و س. ح. موسوی چهرمی. ۱۳۸۵. بررسی آزمایشگاهی جدایی جریان در محل تلاقی رودخانه‌ها برای شرایط جریان زیر بحرانی. مجله تحقیقات منابع آب ایران، شماره ۲، صفحات ۶۷-۷۷.
6. Best, J. L. and I. Reid. 1984. Separation zone at open-channel junction. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 100(11):1588-1594.

7. Biron, P. M., Ramamurthy, A. S., and S. Han. 2004. Three dimensional numerical modeling of mixing at river confluences. *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE*, 130(11):168-280.
8. Boyer, C., Roy, A. G. and J. L. Best. 2006. Dynamics of a river channel confluence with discordant beds: flow turbulence, bed load, sediment transport, and bed morphology. *Journal of Geophysical Research-Earth*, 111(F4):1-22.
9. Czernuszenko, W. and A. Rylov. 2002. Modeling of three-dimensional velocity field in open channel flows. *Journal of Hydraulic Research*, 40(2):135-143.
10. Davidson, L. 2003. An introduction to turbulence models. Chalmers University of Technology, Geteborg, Sweden.
11. De vriend, H. J. 1977. A mathematical model in curved shallow channel. *Journal of Hydraulic Research*, 15(1).
12. Fluent Inc. 2006. FLUENT User's Guide. Fluent New Hampshire.
13. Gurram, S. K., Karki, K. S. and W. H. Hager. 1997. Subcritical junction flow. *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE*, 123(5):447-455.
14. Hager, W. H. 1989. Transition flow in channel junctions. *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE*, 115(2):243-259.
15. Hsu, C. C., Wu, F. S. and W. J. Lee. 1998. Flow at 90 equal-width open-channel junction. *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE*, 124(88):186-191.
16. Ramamurthy, A. S., Qu, J. Y. and C. Zhai. 2006. 3D simulation of combining flows in 90⁰ rectangular closed conduits. *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE*, 132(2): 214-218.
17. Shabayek, S., Steffler, P. and F. Hicks. 2002. Dynamic model for Subcritical combining flows in channel junctions. *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE*, 128(9):821-828.
18. Shumate, E. D. 1998. Experimental description of flow at an open-channel junction. Master thesis, University of Iowa, Iowa.
19. Taylor, E. H. 1944. Flow characteristics at rectangular open-channel junction. *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE*, 109:893-912.
20. Wang, L. Y., Wu, Y. X. and Z. C. Zheng. 2008. Oil-water two-dimensional flow inside T-junction. *Journal of Hydrodynamic*, 20(2):147-153.