Archive of SID

مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک
جلد نوزدهم، شماره چهارم، 1391
http://jwsc.gau.ac.ir

بررسی عددی و آزمایشگاهی الگوی جریان در تقاطع 90 درجه کانال‌های مستطیلی

سعید گوهری*
استادیار گروه مهندسی آبیاری و زه‌کشی، دانشگاه بوعلی‌سینا، همدان

تاریخ دریافت: 90/1/23 ؛ تاریخ پذیرش: 90/12/20

چکیده

در این مقاله دینامیک و الگوی جریان در تقاطع کانال‌های مستطیلی مورد بررسی قرار گرفته است. زاویه تقاطع کانال‌های اصلی و فرعی 90 درجه بوده است. سرعت جریان به‌وسیله سرعت‌سنج داپلر صوتی و عمق جریان با عمق‌سنج نقطه‌ای اندازه‌گیری شده و الگوی جریان برای دو حالت آزمایشگاهی و عددی مورد بررسی قرار گرفته است. بررسی بردارهای سرعت جریان در جهت‌های مختلف و همچنین برای مقدار متفاوتی از نسبت‌های دبی جریان (نسبت دبی جریان در کانال بالادست به کل دبی جریان) مورد توجه بوده است. مقایسه نتایج مدل عددی و آزمایشگاهی نشان داد که شبیه‌سازی جریان‌های ثانویه به‌خوبی توسط مدل انجام شده است. بررسی‌ها نشان می‌دهد که از ترکیب دو جریان بالادست و جریان کانال جانبی، جریان چرخشی به‌وجود می‌آید که ناحیه چرخشی جریان در کانال اصلی را نیز تحت‌تأثیر قرار می‌دهد. این جریان ثانویه که در پایین‌دست کانال اصلی به‌وجود می‌آید کاملاً تحت‌تأثیر نسبت دبی جریان در بالادست کانال اصلی به کل جریان می‌باشد. در محل تقاطع جریان در کانال اصلی و کانال فرعی جریان چرخشی به‌دست می‌آید که در سطح به‌سمت دیواره سمت راست کانال اصلی و در کف به‌سمت دیواره سمت چپ است. ابعاد ناحیه چرخشی، با افزایش نسبت دبی جریان کاهش می‌یابد. بردارهای سرعت جریان عرضی (v) و عمقی (w) در ابتدای ورود جریان جانبی از شدت بسیار پایینی برخوردارند و در محل برخورد دو جریان اصلی و فرعی مقدار آن‌ها به‌شدت افزایش می‌یابد. با ادامه حرکت جریان به‌سمت پایین‌دست پس از محل برخورد دو

* مسئول مکاتبه: s.gohari@basu.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

جریان دوباره شدت جریان‌های عرضی و عمقی کاهش یافته و جریان یک‌بعدی با سرعت طولی غالب در کانال اصلی برقرار می‌گردد. همچنین مشاهده شد در جایی که حداکثر تنگ‌شدگی جریان رخ داده است اندازه بردارهای عرضی جریان نیز حداکثر می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: الگوی جریان، جریان متقاطع، کانال مستطیلی، مدل هیدرودینامیک

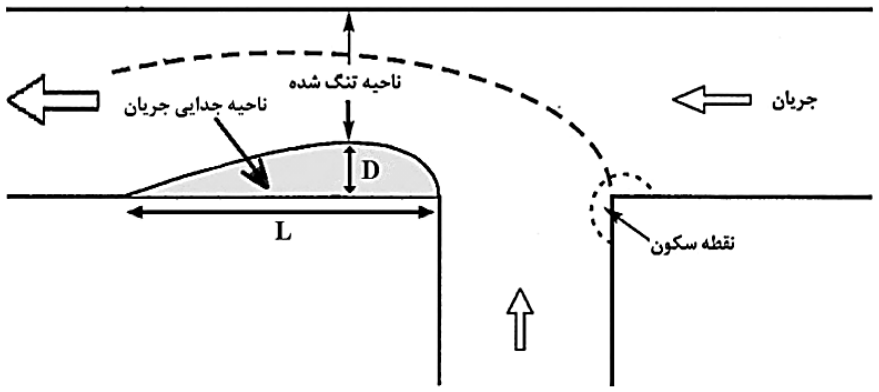
مقدمه

الگوی جریان در تقاطع کانال‌ها و رودخانه‌های طبیعی از مباحث پیچیده و مهم در مهندسی رودخانه است. برخورد دو جریان با یکدیگر پدیده‌ای است که هم در طبیعت (رودخانه‌ها) و هم در مصنوعات بشری (کانال‌های آبیاری و زه‌کش‌های فاضلاب) دیده می‌شود. بر خلاف وجود این نوع از جریان‌ها در بسیاری از پدیده‌های هیدرولیکی، توجه کم‌تری به آن شده است. با وجود این‌که الگوی جریان در کانال‌های متقاطع تا حدودی شبیه جریان در کانال‌های با جریان انحرافی می‌باشد، اما بررسی‌های محدودی در زمینه برخورد دو جریان در کانال‌های روباز انجام گرفته است (وبر و همکاران، 2001). پارامترهای زیادی در الگوی جریان در کانال‌های متقاطع مؤثر هستند و این عوامل باعث پیچیده شدن بررسی تئوری جریان در کانال‌های متقاطع شده است. از جمله این پارامترها می‌توان به پارامترهای هندسی (شکل کانال، ابعاد کانال و زاویه بین دو کانال اصلی و فرعی) و پارامترهای هیدرولیکی (عدد فرود جریان، نسبت دبی در کانال اصلی و کانال فرعی) اشاره کرد. جریان ورودی از کانال فرعی به کانال اصلی باعث ایجاد ناحیه تنگ‌شدگی جریان در کانال اصلی می‌گردد (شکل 1). با ایجاد این ناحیه که به‌دلیل چرخش جریان در این ناحیه رخ می‌دهد ناحیه جدایی جریان[1] در ساحل سمت چپ به‌وجود می‌آید. مشابه چنین حالتی در جریان انحرافی در داخل کانال‌های آب‌گیری رخ می‌دهد. همچنین به‌دلیل برخورد جریان با دیواره، نقطه سکون[2] در بالادست کانال فرعی نیز به‌وجود می‌آید که مشابه چنین حالتی در پایین‌دست کانال‌های فرعی در آب‌گیرها اتفاق می‌افتد (گوهری و همکاران، 2011). ابعاد ناحیه جدایی جریان و نقطه سکون به‌طور عمده تحت‌تأثیر نسبت دبی جریان در کانال فرعی به دبی جریان در کانال اصلی و زبری بستر کانال‌ها می‌باشد (گورام و همکاران، 1997).

1- Separation Zone
2- Stagnation Point

www.SID.ir

Archive of SID



شکل 1- وضعیت کلی جریان در کانال‌های متقاطع (وبر و همکاران، 2001).

در محل برخورد دو جریان از کانال اصلی و کانال فرعی، جریان‌های پیچیده‌ای به‌وجود می‌آید که بررسی الگوی جریان می‌تواند به شناسایی نحوه تغییرات بستر در جریان‌های آبرفتی کمک کند. در محل برخورد دو جریان از شاخه اصلی و شاخه فرعی، ناحیه انقباضی جریان ایجاد می‌شود که سرعت جریان و تنش‌های برشی بستر در این ناحیه افزایش می‌یابد. به موازات ناحیه انقباضی جریان ناحیه کم سرعتی در کانال اصلی ایجاد می‌گردد که ناحیه جدایی جریان گفته می‌شود. در ناحیه جدایی جریان، جریان‌های چرخشی وجود دارد که در آن سرعت‌های عرضی جریان سرعت غالب جریان بوده و جهت سرعت طولی معکوس می‌گردد. در ناحیه جدایی جریان امکان نشست رسوبات وجود داشته که مشکلات زیادی را به همراه دارد. بنابراین مطالعه رفتار دقیق جریان‌های متقاطع از اهمیت بالایی برخوردار است. ابعاد ناحیه جدایی جریان به پارامترهایی مانند نسبت دبی شاخه فرعی به شاخه اصلی و همچنین عدد فرود در کانال پایین‌دست بستگی دارد. تیلور (1944) از نخستین کسانی بوده که موضوع جریان در کانال‌های متقاطع را مورد بررسی قرار داده است. وی با بررسی معادله اندازه حرکت، معادله‌ای برای برآورد نسبت عمق جریان در کانال‌های بالادست و پایین‌دست ارایه کرده است. گورام و همکاران (1997) با مطالعه جریان متقاطع، رابطه‌ای را برای ضریب همبستگی اندازه حرکت و فشار جانبی وارد بر دیواره کانال به‌دست آوردند. آن‌ها همچنین معادله‌ای را برای محاسبه افزایش عمق جریان در تقاطع کانال‌ها ارایه نموده‌اند. هسو و همکاران (1998) معادله‌ای را برای

www.SID.ir

Archive of SID

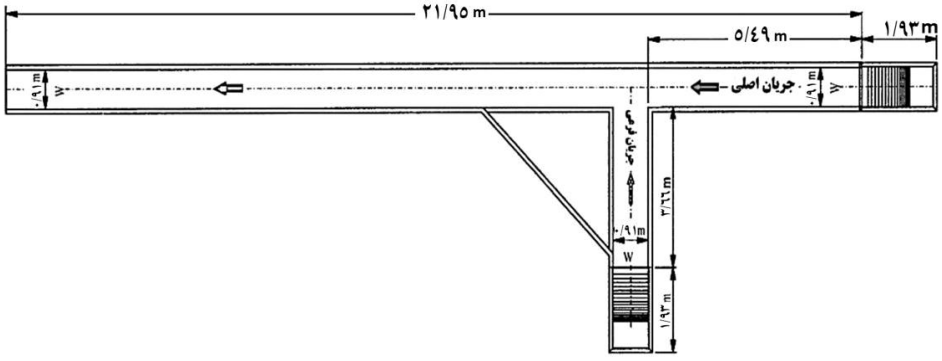
به‌دست آوردن نسبت عمق جریان با حل هم‌زمان معادلات انرژی و اندازه حرکت ارایه کردند. ایشان همچنین کانال‌های متقاطع با زوایای 30، 45 و 60 را مورد بررسی قرار دادند. وبر و گریتت (1966) رابطه‌ای را برای تعیین نقطه سکون و نقاط جدایی جریان در کانال‌های متقاطع استخراج کرده‌اند. آن‌ها همچنین رابطه‌ای را برای محاسبه مقدار افت انرژی در تقاطع کانال‌ها ارایه داده‌اند. جوی و تاونسند (1981) مطالعه‌ای را بر روی الگوی جریان، توزیع تنش برشی و تعیین ضرایب انرژی در کانال 90 درجه ارایه کردند. وبر و همکاران (2001) به مطالعه آزمایشگاهی الگوی جریان در کانال‌های متقاطع 90 درجه پرداختند. داده‌های اندازه‌گیری شده توسط وبر و همکاران به‌صورت سرعت‌های سه‌بعدی به همراه نوسانات سرعت و عمق جریان بوده است. این داده‌های اندازه‌گیری شده سرعت، ابزار مناسبی برای اعتبارسنجی مدل‌های عددی فراهم کرده است. رایلی و ردز (2011) با مطالعه جریان متقاطع در کانال‌های قوسی نشان دادند که جریان در کانال اصلی با ترکیب جریان فرعی شتاب می‌گیرد و حداکثر شتاب جریان هنگامی رخ می‌دهد که کانال فرعی در رأس قوس خارجی باشد. علامتیان و جعفرزاده (2010) جریان سیلاب فوق بحرانی در تقاطع کانال‌ها را شبیه‌سازی نمودند و با مقایسه دو مدل DASM و Roe-TVD نتیجه گرفتند که مدل Roe-TVD بهتر می‌تواند شرایط جریان را شبیه‌سازی کند و عملکرد مطلوب‌تری دارد. قبادیان (2008) تأثیر تغییرات تراز سطح آب پایاب را بر الگوی جریان‌های ثانویه در محل تلاقی کانال‌های روباز مستطیلی با مدل سه‌بعدی مورد بررسی قرار داد و نشان داد که مدل SSIIM قابلیت شبیه‌سازی جریان متقاطع را دارد. برقعی و همکاران (2003) به بررسی آزمایشگاهی الگوی رسوب‌گذاری در کانال‌ها پرداختند و نشان دادند که ابعاد پشته رسوبی در پایین‌دست کانال فرعی بعد از شروع آزمایش‌ها افزایش می‌یابد. وجود پارامترهای زیاد در وقوع این پدیده باعث پیچیدگی تئوری جریان در محل تقاطع کانال‌ها شده است. بررسی جریان متقاطع شناخت نحوه رفتار جریان در نواحی برخورد دو جریان با یکدیگر، مستلزم بررسی الگو و دینامیک جریان می‌باشد. شناخت الگوی جریان در نواحی تلاقی دو جریان می‌تواند برای پیش‌بینی فرایندهای رسوبی راه‌گشا باشد. امروزه توجه به مدیریت هزینه و زمان، توسعه و کاربرد مدل‌های هیدرودینامیک سه‌بعدی در مهندسی رودخانه از اهمیت زیادی برخوردار می‌باشد. در این مقاله بررسی الگوی جریان متقاطع هم به‌صورت عددی و هم به‌صورت آزمایشگاهی مورد توجه بوده است.

www.SID.ir

Archive of SID

مواد و روش‌ها

آزمایش‌ها: داده‌های آزمایشگاهی به‌کار رفته در این پژوهش به‌دست آمده از آزمایش‌های انجام شده در مؤسسه تحقیقات هیدرولیک دانشگاه آیوا می‌باشد. این آزمایش‌ها در یک کانال مستطیلی با زاویه تقاطع 90 درجه انجام شده است (شکل 2). شیب طولی و عرضی این کانال صفر بوده و جنس جداره‌ها و کف از شیشه می‌باشد. به‌منظور تأمین دبی از یک مخزن با ارتفاع ثابت استفاده شده است. کانال به‌کار رفته مستطیلی و زاویه کانال فرعی نسبت به کانال اصلی 90 درجه می‌باشد. به‌منظور ایجاد جریان توسعه‌یافته در ابتدای کانال اصلی و کانال فرعی از شبکه‌های لانه زنبوری استفاده شده و نیز برای کنترل عمق جریان از دریچه در انتهای کانال اصلی استفاده شده است. دبی جریان به‌وسیله روزنه کالیبره شده در کانال اصلی (Q_m) و کانال فرعی (Q_b) اندازه‌گیری شده و سرعت جریان با سرعت‌سنج سه‌بعدی ADV[1] اندازه‌گیری شده است. همچنین عمق جریان به‌وسیله عمق‌سنج نقطه‌ای[2] با دقت ± 1 میلی‌متر اندازه‌گیری شده و سرعت‌های اندازه‌گیری شده در تمامی نقاط با تقسیم بر متوسط سرعت جریان در پایین‌دست (0/628 متر بر ثانیه) به‌صورت بدون بعد ارایه شده است (شکل 3). مقدار دبی جریان در کانال اصلی و کانال فرعی متفاوت بوده و مقادیر مختلف نسبت دبی جریان (حاصل تقسیم دبی جریان در کانال بالادست به کل جریان بعد از اختلاط دو جریان) در جدول 1 آمده است.

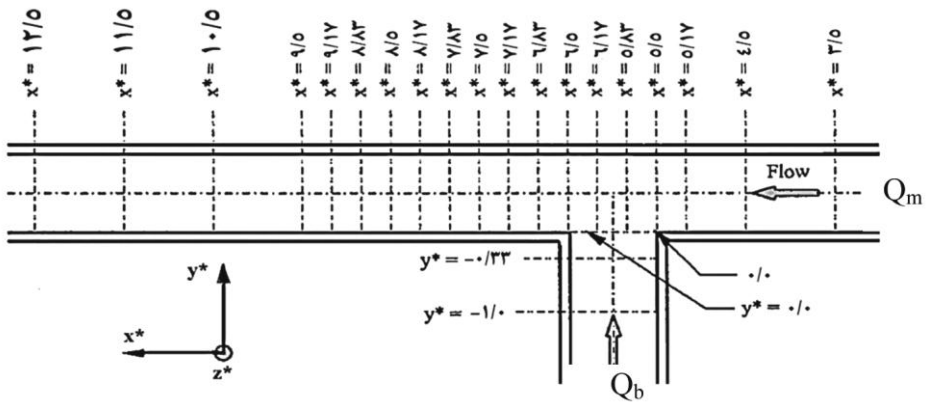


شکل 2- کانال آزمایشگاهی.

1- Acoustic Doppler Velocimeter
2- Point Gauge

www.SID.ir

Archive of SID



شکل 3- مقاطع مختلف اندازه‌گیری سرعت در کانال آزمایشگاهی.

جدول 1- مشخصات داده‌های آزمایشگاهی برای جریان مقاطع.

Q_m (m^3/sec)	0/014	0/042	0/071	0/099	0/127	0/156
Q_b (m^3/sec)	0/156	0/127	0/099	0/071	0/042	0/014
$Q^*=Q_m/(Q_m+Q_b)$	0/083	0/250	0/417	0/583	0/750	0/917

مدل عددی فلوئنت: فلوئنت یکی از نرم‌افزارهای قوی در زمینه دینامیک سیالات محاسباتی است. معادله‌های حاکم بر حرکت یک سیال تراکم‌ناپذیر لزج در حالت آشفته، توسط معادله‌های ناویر- استوکس متوسط‌گیری شده بیان می‌شوند. معادله‌های پیوستگی (بقای جرم) و اندازه حرکت (بقای مومنتوم) به‌صورت زیر می‌باشند:

معادله پیوستگی:

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = ۰ \qquad (1)$$

معادله مومنتوم:

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + \frac{\partial u_i u_j}{\partial x_j} = -\frac{۱}{\rho}\frac{\partial P}{\partial x_i} + g_i + \frac{\partial}{\partial x_j}(\tau_{ij}) \qquad (2)$$

که در آن‌ها، u_i: مؤلفه سرعت در جهت x_i، P: فشار کل، ρ: چگالی سیال، g_i: شتاب ثقل در جهت x_i و τ_{ij}: تانسور تنش بوده که در حالت جریان آشفته به‌صورت رابطه 3 بیان می‌شود:

www.SID.ir

Archive of SID

$$\tau_{ij} = \left[\rho(\nu + \nu_t) \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \right] - \left[\frac{۲}{۳} \rho(k + \nu_t) \frac{\partial u_i}{\partial x_i} \delta_{ij} \right] \quad (3)$$

در جریان‌های آشفته، تنش برشی شامل دو ترم بوده و علاوه‌بر تنش برشی ناشی از مؤلفه متوسط جریان، تنش برشی دیگری ناشی از مؤلفه‌های نوسانی سرعت ایجاد می‌گردد که به تنش‌های رینولدز معروف بوده و به‌صورت رابطه 4 نشان داده می‌شود:

$$\tau_{ij} = -\rho \overline{u_i' u_j'} = \rho \nu_t \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) - \frac{۲}{۳} \rho k \delta_{ij} \quad (4)$$

که در آن‌ها، ν_t: لزجت گردابه‌ای یا لزجت آشفتگی است که بر خلاف لزجت مولکولی از نوع خاصیت سیال نمی‌باشد بلکه تابع خصوصیات جریان و آشفتگی آن می‌باشد و مقدار آن از سیالی به سیال دیگر و از نقطه‌ای به نقطه دیگر متفاوت است. انرژی جنبشی آشفتگی بر واحد جرم (k) و δ_{ij} به‌صورت زیر بیان می‌شود:

$$k = \frac{۱}{۲} (\overline{u'_i}^{۲} + \overline{u'_j}^{۲} + \overline{u'_k}^{۲}) \quad (5)$$

$$\delta_{ij} = \begin{cases} ۱ & i = j \\ ۰ & i \neq j \end{cases} \quad (6)$$

به‌منظور حل میدان جریان آشفته براساس معادله‌های پیوستگی و رینولدز، نیاز است تا تنش‌های رینولدز در معادله‌ها به روش خاصی مدل شوند. در این صورت در حالت جریان سه‌بعدی با وجود 4 معادله شامل معادله پیوستگی و معادله مومنتوم در 3 بعد و 4 مجهول میدان جریان شامل فشار و سرعت در 3 بعد معین می‌شوند. برای بیان تنش‌های رینولدز و یا به‌عبارت بهتر، بستن سیستم معادله‌های بالا از مدل‌های آشفتگی استفاده می‌شود. در مدل‌های یاد شده، ترم لزجت گردابه‌ای با استفاده از تئوری‌های مختلف (مانند تئوری اختلاط) بیان شده و ارتباط بین تنش‌های رینولدز و مؤلفه‌های متوسط سرعت برقرار می‌شود. برای حل سیستم معادله‌ها از مدل تنش رینولدز[1] استفاده شده است. در این مورد چنان‌چه معادله انتقالی برای ترم $\overline{u'_i u'_j}$ حل گردد به‌طور مستقیم تنش‌های

1- Reynolds Stress Models

www.SID.ir

Archive of SID

رینولدز به‌دست می‌آیند برای تعیین معادله انتقال برای هر دو مؤلفه i و j معادله مومنتوم از معادله ناویر- استوکس کم شده و سپس معادله به‌دست آمده برای مؤلفه i در سرعت نوسانی u'_i معادله به‌دست آمده برای مؤلفه j در سرعت نوسانی u'_j ضرب می‌شوند. با جمع معادله‌های به‌دست آمده و متوسط‌گیری زمانی از آن معادله انتقال مطلوب برای $\overline{u'_i u'_j}$ به‌دست می‌آید که در نهایت شکل تانسوری این معادله انتقال به‌صورت زیر می‌باشد.

(7)

$$U_k \frac{\partial \overline{u'_i u'_j}}{\partial x_k} = P_{ij} + \Phi_{ij} + D_{ij} - \varepsilon_{ij}$$

که در آن‌ها، P_{ij}: تانسور تولید، Φ_{ij}: تانسور فشار- کرنش، D_{ij}: تانسور پخشیدگی و ε_{ij}: تانسور اتلاف می‌باشند. این مدل به‌دلیل پیچیدگی معادله‌ها، بسیار پرهزینه است ولی در حل مسایل پیچیده سیالی از دقت بسیار بالایی برخوردار می‌باشد. در مدل فلوئنت از روش حجم محدود[1] برای حل معادله‌ها استفاده شده که از معادله‌های دیفرانسیلی که به فرم عددی منفصل شده‌اند بر روی حجم کنترل انتگرال‌گیری می‌شود. برای انفصال معادله‌ها از روش آپونید مرتبه دوم[2] بوده و همچنین برای کوپل کردن ترم‌های فشار- سرعت از الگوریتم PISO استفاده شده است که این روش‌ها همگرایی بهتری در حل معادله‌ها داشته‌اند. در مدل هیدرودینامیکی فلوئنت چند مدل آشفتگی وجود دارد که در این پژوهش از مدل آشفتگی $k-\omega$ استفاده شده است. برتری این مدل آشفتگی این است که در آن از تابع دیواره استفاده نمی‌شود و برای نواحی نزدیک دیواره هم‌گره تعریف می‌شود. همچنین این مدل در بخش‌هایی از جریان که در آن جدایی جریان رخ می‌دهد و در اعداد رینولدز پایین نیز بهتر عمل می‌کند (گوهری، 2008). به‌منظور تولید هندسه مناسب، گره‌بندی هندسه تولید شده با رعایت معیارها و تعریف شرایط مرزی از پیش‌پردازنده گمبیت[3] استفاده شده است.

نتایج

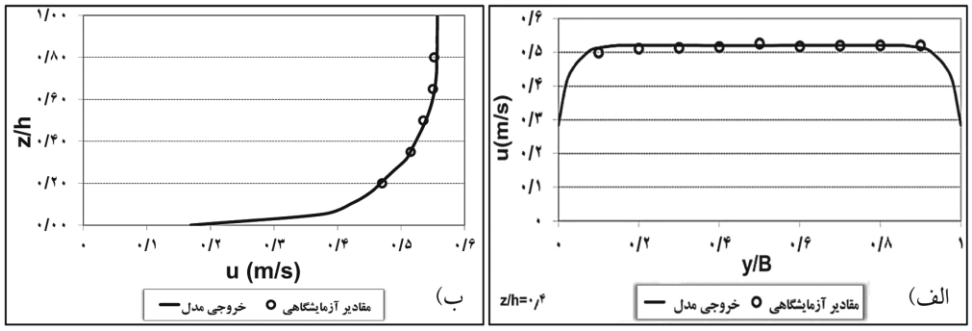
صحت‌سنجی مدل: به‌منظور صحت‌سنجی و اطمینان از نتایج مدل فلوئنت، سرعت‌های طولی (u) در

1- Finite Volume
2- Second Order Upwind
3- Gambit

www.SID.ir

Archive of SID

دو جهت عمقی و عرضی با مقادیر آزمایشگاهی و خروجی مدل با هم مقایسه شده است (شکل 4). شرایط مرزی جداره‌ها (شامل کف و دیواره‌های کانال) به‌صورت دیواره تعریف شده، همچنین برای قسمت ورودی شرط مرزی به‌عنوان سرعت ورودی و در سطح آب به‌صورت متقارن تعریف شده است. مقایسه مقادیر سرعت در دو مقطع عمقی و عرضی نشان می‌دهد که مدل عددی با دقت خوبی قادر به پیش‌بینی سرعت جریان می‌باشد.



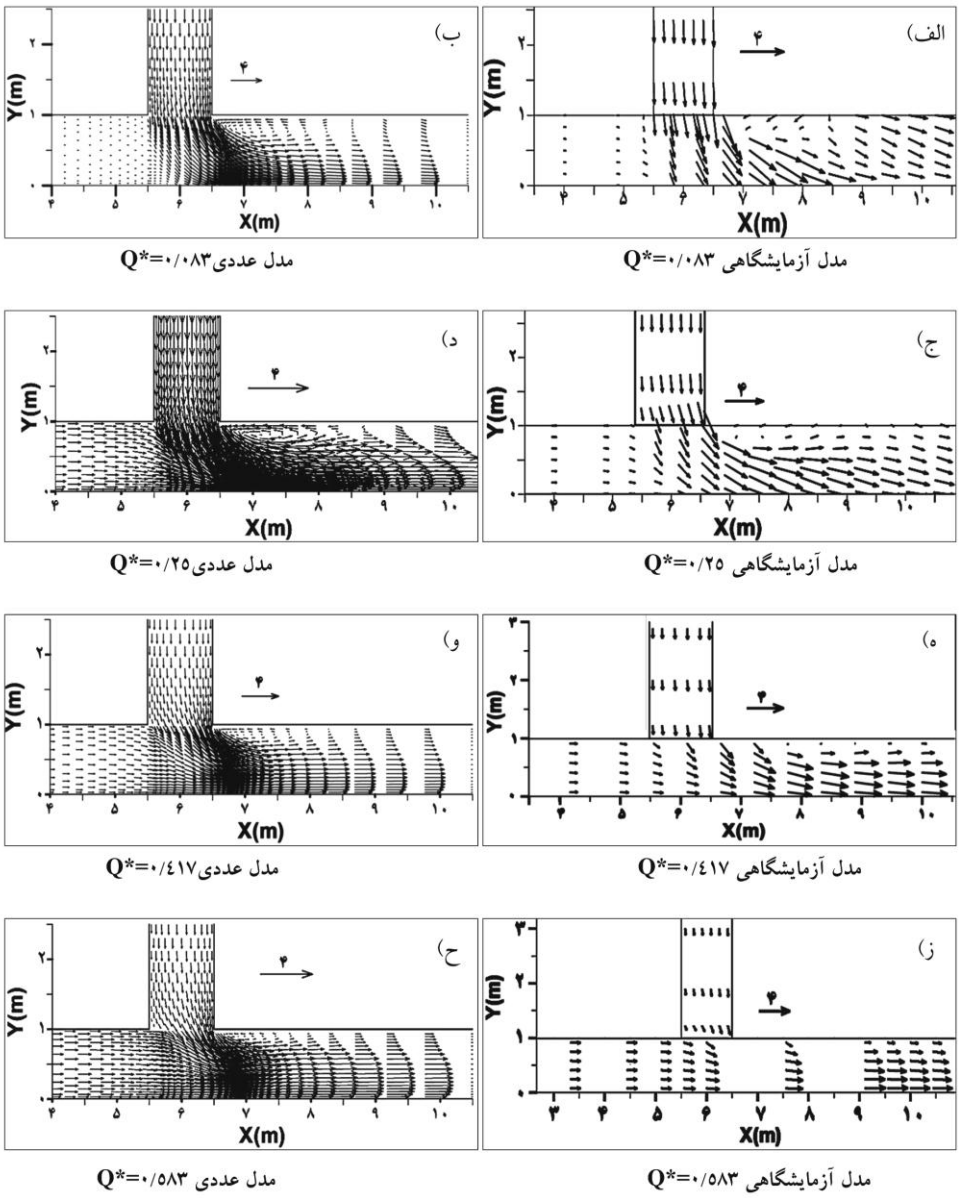
شکل 4- واسنجی مقادیر سرعت طولی در کانال اصلی الف) در عرض و ب) در عمق.

سرعت طولی و عرضی: سرعت جریان در صفحه XY که شامل بردار سرعت جریان طولی (u) و عرضی (v) برای شبیه‌سازی آزمایشگاهی و عددی در شکل 5 نشان داده شده است. این شکل‌ها برای حالت‌های مختلف از نسبت دبی جریان تعریف شده‌اند. همان‌طورکه در همه شکل‌ها دیده می‌شود از ترکیب دو جریان بالادست و جریان کانال جانبی، جریان چرخشی به‌وجود می‌آید که الگوی جریان در کانال اصلی را نیز تحت‌تأثیر قرار می‌دهد. این جریان ثانویه که در پایین‌دست کانال فرعی به‌وجود می‌آید کاملاً تحت‌تأثیر نسبت دبی جریان در بالادست کانال اصلی به کل جریان می‌باشد. در محل تقاطع جریان در کانال اصلی و کانال فرعی جریان پیچشی به‌دست می‌آید که در سطح به‌سمت دیواره سمت راست کانال اصلی و در کف به‌سمت دیواره سمت چپ است. ابعاد ناحیه چرخشی که بلافاصله در پایین‌دست کانال فرعی به‌وجود می‌آید، با افزایش نسبت دبی جریان در بالادست کانال اصلی به کل دبی کاهش می‌یابد. این پدیده که در نتایج آزمایشگاهی و نتایج مدل عددی به وضوح دیده می‌شود به‌دلیل مومنتوم بالای جریان که از سرعت طولی (u) بالا

www.SID.ir

Archive of SID

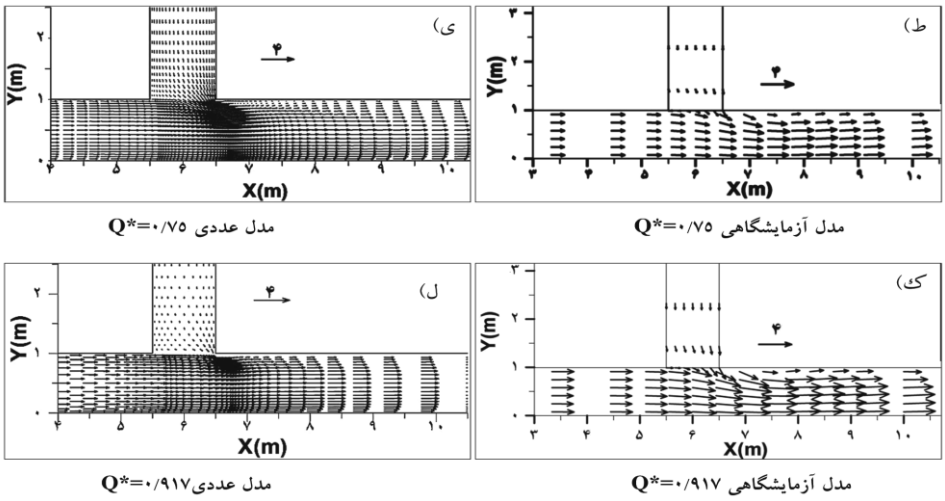
ناشی می‌شود ایجاد شده است.



شکل 5- بردارهای سرعت جریان در صفحه XY برای نسبت‌های مختلف از دبی جریان (Q^*) و در z^*=0/278

www.SID.ir

Archive of SID



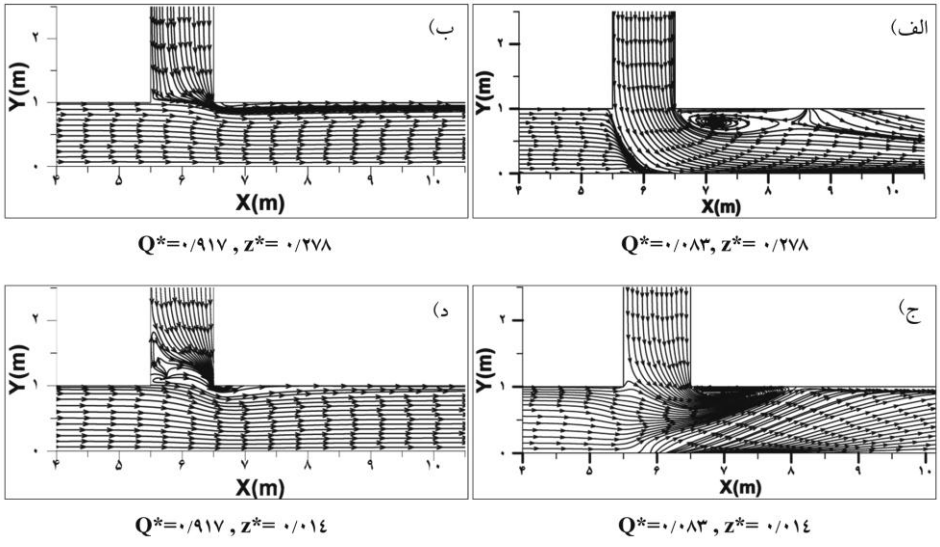
ادامه شکل 5- بردارهای سرعت جریان در صفحه XY برای نسبت‌های مختلف از دبی جریان (Q^*) و در z^*=0/278

همچنین می‌توان انتظار داشت در حالتی که جریان ورودی ناشی از کانال فرعی صفر باشد ناحیه چرخشی که در پایین‌دست کانال اصلی رخ می‌دهد وجود نداشته باشد. تشکیل این ناحیه می‌تواند تأثیرات بسیار زیادی در توپوگرافی بسترهای آبرفتی داشته باشد. در این ناحیه معمولاً به‌دلیل کاهش سرعت طولی جریان (u) و افزایش مؤلفه‌های عرضی (v) و عمقی (w) پدیده رسوب‌گذاری رخ می‌دهد که می‌تواند در طول زمان مسیر جریان را در کانال‌های اصلی و فرعی تحت‌تأثیر قرار دهد. هر چند ابعاد و گستردگی این پشته‌های رسوبی می‌تواند تحت‌تأثیر نسبت دبی جریان متغیر باشد. نتایج مدل عددی با مقادیر آزمایشگاهی مطابقت بسیار خوبی را نشان می‌دهد و همچنین جریان‌های ثانویه که در نتایج آزمایشگاهی مشاهده شده‌اند به‌خوبی توسط مدل عددی شبیه‌سازی شده‌اند. ابعاد ناحیه چرخشی جریان در کف نسبت به سطح کوچک‌تر بوده که این امر می‌تواند به‌دلیل سرعت جریان در لایه‌های بالاتر باشد. از سوی دیگر مکان ناحیه چرخشی جریان به کانال جانبی نزدیک بوده و هرچه به‌سمت لایه‌های سطحی جریان نزدیک‌تر شود این جریان چرخشی نیز به‌سمت پایین‌دست کانال اصلی کشیده می‌شود (شکل 6). هنگامی‌که جریانی که از طرف کانال فرعی به جریان در کانال اصلی اضافه می‌شود جریان موجود در کانال اصلی به‌سمت کف کانال رانده شده به ایجاد جریان ثانویه در کانال اصلی کمک می‌کند. سرعت از بین رفتن جریان ثانویه در کانال اصلی بستگی به سرعت جریان در

www.SID.ir

Archive of SID

کانال اصلی و نسبت دبی جریان دارد. هنگامی‌که نسبت دبی جریان زیاد باشد، جریان ثانویه ایجاد شده در کانال اصلی به فاصله کوتاهی از کانال فرعی شدت خود را از دست می‌دهد. اما عکس این حالت برای زمانی است که نسبت دبی جریان پایین باشد و قسمت عمده جریان از طریق کانال فرعی تأمین گردد در این حالت جریان ثانویه ایجاد شده تا مسافت زیادی در داخل کانال اصلی به‌سمت پایین‌دست حرکت می‌کند. مقدار حداکثر سرعت جریان در کانال اصلی بعد از برخورد دو جریان رخ می‌دهد. سرعت جریان بعد از برخورد دو جریان در کانال اصلی و فرعی در لایه‌های میانی، بیش از لایه‌های بالایی است که دلیل این امر را می‌توان برخورد جریان تلاقی‌یافته با دیواره مقابل آن در کانال اصلی دانست. به‌دلیل افزایش سرعت جریان در لایه‌های پایینی می‌توان انتظار داشت که فرسایش زیادی در این منطقه از کانال رخ دهد. وسعت این ناحیه پر سرعت در لایه‌های میانی و پایینی بیش‌تر بوده که این امر باعث محدود شدن توسعه ناحیه چرخشی جریان در پایین‌دست کانال فرعی شده است.



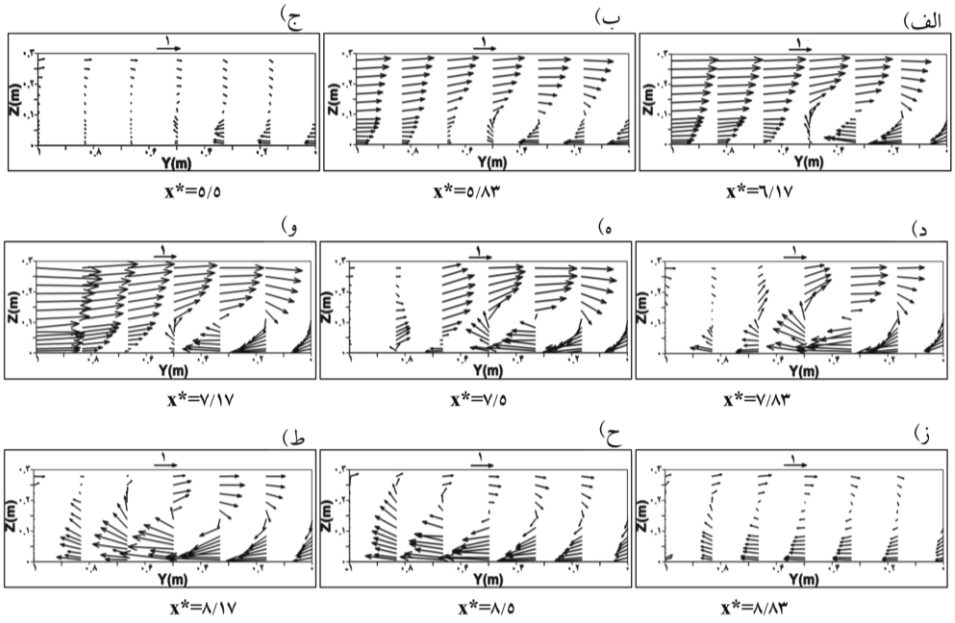
شکل 6- خطوط جریان در نزدیک سطح و کف در مدل عددی.

سرعت‌های عرضی و عمقی: بردارهای سرعت عرضی و عمقی برای مکان‌های مختلفی از کانال اصلی بعد از تقاطع جریان اصلی و فرعی در شکل‌های 7 و 8 نشان داده شده است. همان‌طورکه در شکل‌ها دیده می‌شود در ابتدای ورود جریان سرعت‌های عرضی از شدت بسیار پایینی برخوردارند و به‌تدریج مقدار آن‌ها افزایش یافته و پس از طی مسافتی دوباره شدت جریان عرضی کاهش یافته و جریان یک‌بعدی در کانال

www.SID.ir

Archive of SID

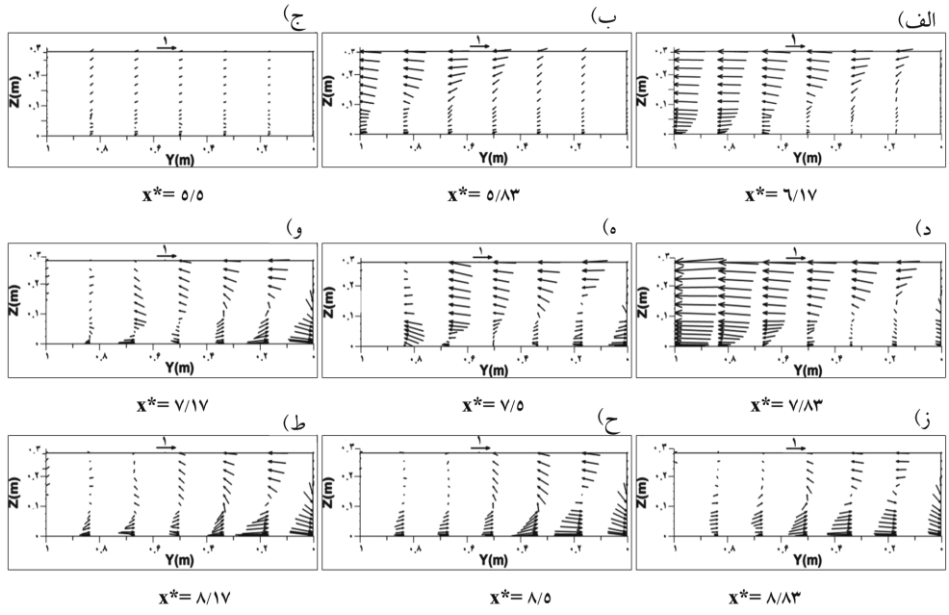
برقرار خواهد شد. بر خلاف این‌که شدت این جریان‌های ثانویه نسبت به بردار سرعت در صفحه XY، کم‌تر می‌باشند اما نقش بسیار مهمی در تغییرات فرم بستر در جریان‌های آبرفتی دارند.



شکل 7- سرعت‌های عرضی (v) و عمقی (w) در مدل فیزیکی برای نسبت جریان Q^{*}=0/083.

www.SID.ir

Archive of SID



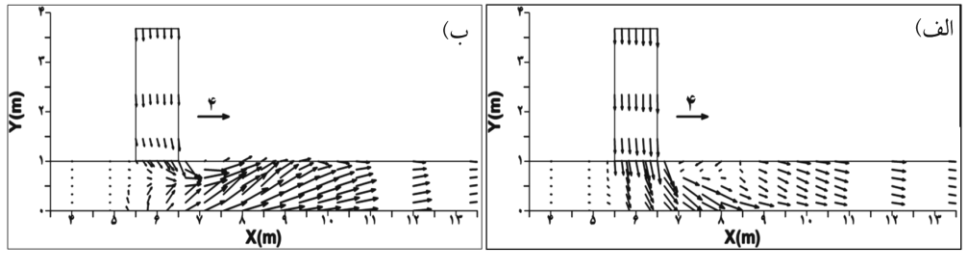
شکل 8- سرعت‌های عرضی (v) و عمقی (w) در مدل فیزیکی برای نسبت جریان Q^*=0/917.

مقایسه جریان‌های عرضی برای دو نسبت جریان کم (Q^*=0/083) و زیاد (Q^*=0/917) نشان می‌دهد که با افزایش نسبت جریان، شدت جریان‌های عرضی کاهش می‌یابد. همان‌طورکه در این شکل‌ها به‌وضوح دیده می‌شود با برخورد دو جریان در کانال اصلی و کانال فرعی گردابی در نزدیک کف ایجاد می‌گردد که با حرکت ساعت‌گرد به پایین‌دست کانال اصلی منتقل می‌شود. از سوی دیگر با حرکت این گرداب به‌سمت پایین‌دست مکان آن نیز به سطح جریان نزدیک‌تر شده که تحت‌تأثیر مومنتوم بالای جریان در لایه‌های بالایی مستهلک شده و از بین می‌رود. تمرکز عرضی این گرداب در ابتدای تشکیل در نزدیک دیواره سمت راست کانال اصلی بوده که با حرکت جریان به‌سمت پایین‌دست این گردابه نیز به‌سمت دیواره سمت چپ کانال اصلی هدایت می‌شود و در جایی‌که حداکثر تنگ‌شدگی جریان رخ داده است اندازه بردارهای عرضی جریان نیز حداکثر می‌باشد. الگوی جریان در سطح و کف در شکل‌های 9 و 10 نشان داده شده است. همان‌طورکه در این شکل‌ها مشاهده می‌شود در نزدیک کف جهت جریان در کانال اصلی از دیواره سمت راست به‌سوی دیواره سمت چپ است و جریانی که از کانال فرعی به کانال اصلی می‌پیوندد پس از برخورد با دیواره به‌سمت بالا حرکت می‌کند و عکس این حالت برای جریان سطحی رخ می‌دهد. از ترکیب این دو جریان سطحی و عمقی جریان ساعت‌گردی به‌وجود می‌آید که به‌سمت پایین‌دست ادامه می‌یابد. به‌دلیل کاهش سرعت جریان در نزدیک کف ابعاد ناحیه جدایی جریان

www.SID.ir

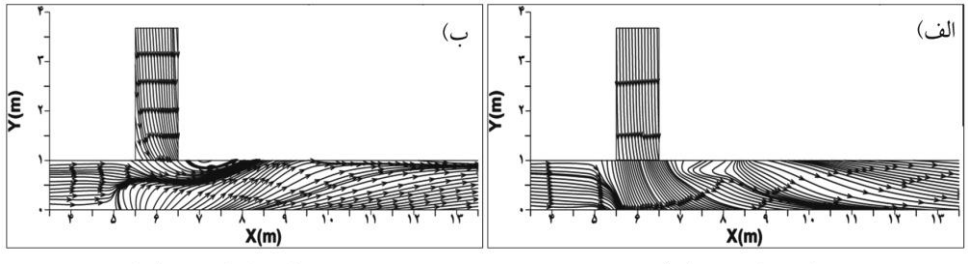
Archive of SID

در سطح بزرگ‌تر است و از سویی ابعاد آن با افزایش نسبت جریان کاهش می‌یابد. همچنین بردارهای سرعت شبیه‌سازی شده در مدل عددی برای نسبت‌های مختلف از جریان در x=7/17 در صفحه YZ در شکل 11 نشان داده است. همان‌طورکه در این شکل‌ها مشاهده می‌شود هرچه نسبت جریان کم‌تر باشد مقدار شدت جریان چرخشی ایجاد شده افزایش یافته است. با افزایش نسبت جریان در کانال اصلی از شدت جریان‌های ثانویه کاسته شده و در نسبت‌های جریان بالا تقریباً جریان‌های چرخشی به کلی از بین رفته‌اند. جریان چرخشی ایجاد شده به‌تدریج با افزایش نسبت جریان در عرض حرکت کرده و از دیواره سمت راست کانال اصلی به‌سمت دیواره سمت چپ سوق داده می‌شود. این حرکت عرضی جریان چرخشی می‌تواند باعث حرکت رسوبات بستری در کف کانال شده و پشته رسوبی را در پایین‌دست کانال فرعی شکل دهند. با مقایسه شکل 11 با شکل‌های 7 و 8 می‌توان گفت که مدل عددی به‌خوبی می‌تواند رفتار جریان را در نسبت‌های مختلف از جریان شبیه‌سازی نماید. با افزایش نسبت جریان از شدت قدرت جریان ثانویه کاسته شده و در نسبت‌های انحراف بالا سهم سرعت‌های عرضی از کل بردار سرعت به مقدار زیادی کاهش یافته است. مشابه این الگوی جریان در فرایندهای انحراف آب از رودخانه، هنگامی‌که مقدار دبی آب‌گیری ناچیز باشد مشاهده می‌شود (گوهری و همکاران، 2009).



نزدیک سطح (z*=۰/۲۷۸)　　نزدیک کف(z*= ۰/۰۱٤)

شکل 9- بردارهای سرعت جریان برای Q^*=0/083 در x^*=7/17.

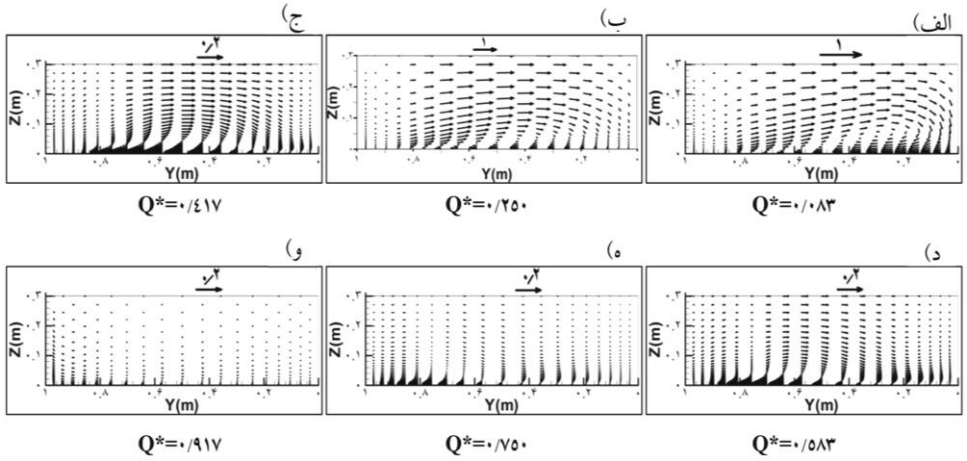


نزدیک کف(z*= ۰/۰۱٤)　　نزدیک سطح (z*= ۰/۲۷۸)

www.SID.ir

Archive of SID

شکل 10- خطوط جریان برای $Q^*=0/083$ در $x^*=7/17$.



شکل 11- بردارهای سرعت عرضی برای نسبت‌های مختلف از جریان در مدل عددی و در $x^*=7/17$.

از مشخصات جریان در کانال‌های با جریان متقاطع می‌توان به ابعاد ناحیه چرخشی جریان که بلافاصله در پایین‌دست کانال فرعی رخ می‌دهد اشاره کرد. در جدول 2 مقادیر ابعاد ناحیه چرخشی برای نسبت‌های مختلف از جریان داده شده است. ابعاد این ناحیه چرخشی جریان تحت‌تأثیر پارامتر نسبت جریان است. گستردگی ابعاد این ناحیه می‌تواند تأثیر زیادی در الگوی جریان در بسترهای آبرفتی داشته باشد. با کاهش مقدار نسبت جریان امکان انباشت رسوبات در مقابل کانال فرعی افزایش می‌یابد. به‌نظر می‌رسد که کاهش زاویه بین دو کانال اصلی و فرعی و تقویت سرعت طولی جریان می‌تواند به حرکت رسوبات انباشته شده در این قسمت به پایین‌دست کمک کند. با افزایش نسبت جریان مقدار طول و عرض ناحیه چرخشی جریان کاهش می‌یابد. از طرفی کاهش طول و عرض ناحیه جدایی جریان آهنگ یکسانی را طی می‌کند به‌طوری‌که ضریب شکل ناحیه چرخشی (D/L) تقریباً ثابت می‌ماند. همچنین ضریب انقباض که به‌صورت درصدی از عرض کانال که توسط ناحیه چرخشی اشغال نشده است، با افزایش نسبت جریان به‌صورت خطی افزایش می‌یابد.

جدول 2- مقادیر ابعاد ناحیه چرخشی برای نسبت‌های مختلف.

شماره	Q_m (m^3/sec)	Q_b (m^3/sec)	$Q^*=Q_m/(Q_m+Q_b)$	طول ناحیه چرخشی	عرض ناحیه چرخشی	ضریب شکل	ضریب انقباض

www.SID.ir

Archive of SID

	D/L	D (m)	L (m)				
0/6	5/6	0/4	2/2	0/083	0/156	0/014	1
0/67	5/8	0/33	1/9	0/250	0/127	0/042	2
0/72	5/7	0/28	1/6	0/417	0/099	0/071	3
0/79	6/7	0/21	1/2	0/583	0/071	0/099	4
0/87	6/2	0/13	0/8	0/750	0/042	0/127	5
0/93	5	0/07	0/35	0/917	0/014	0/156	6

نتیجه‌گیری

در این مقاله بررسی الگوی جریان با دو دیدگاه عددی و آزمایشگاهی برای یک کانال مستطیلی به اختصار مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که مدل عددی فلوئنت دارای قابلیت شبیه‌سازی دینامیک جریان در تقاطع کانال‌ها می‌باشد. تشکیل نقاط چرخشی جریان و گردابه‌ها به‌خوبی در این نرم‌افزار شبیه‌سازی شده است. در محل تقاطع جریان در کانال اصلی و کانال فرعی جریان پیچشی به‌دست می‌آید که در سطح به‌سمت دیواره سمت راست کانال اصلی و در کف به‌سمت دیواره سمت چپ است. ابعاد ناحیه چرخشی که بلافاصله در پایین‌دست کانال فرعی به‌وجود می‌آید، با افزایش نسبت دبی جریان در بالادست کانال اصلی به کل دبی کاهش می‌یابد. مکان ناحیه چرخشی جریان در که به کانال جانبی نزدیک بوده و هرچه به‌سمت لایه‌های سطحی جریان نزدیک‌تر می‌شویم این جریان چرخشی نیز به‌سمت پایین‌دست کانال اصلی کشیده می‌شود.

منابع

1.Alamatiyan, A., and Jafarzadeh, M.R. 2010. Simulation of Supercritical Flood Flow at the Junction Channels, In: 5th National Congress of Civil engineering, Ferdosi University, Mashad, Iran. (In Persian)

2.Borghei, S.M., Nazari, A., and Nazari, A. 2003. Experimental study of Sediment Patterns in the Channel Junctions, In: 6th International Congress of Civil engineering, Isfahan Technical University, Isfahan, Iran. (In Persian)

3.Ghobadian, R. 2008. The Study Effect of Tailwater Level Changes on Secondary Currents at Rectangular Channels Confluence with a Three-Dimensional Models, In: 4th National Congress of Civil engineering, Tehran University, Tehran, Iran. (In Persian)

4.Gohari, S. 2008. Study of Sediment Control and Flow Pattern at Lateral Intakes by Using of Spur Dike and Submerged Vanes, Ph.D. Thesis in Hydraulic Structure Engineering, Tarbiat Modares University, 217p. (In Persian)

5.Gohari, S., Ayyoubzaded, S.A., Ghodsian, M., and Neyshaboori, S.A.A. 2011. Flow Pattern at Lateral Intake Using a Spur Dike and Submerged Vanes, J.

www.SID.ir

Archive of SID

Agric. Engine. Res. 11: 4. 1-18. (In Persian)
6.Gohari, S., Ayyoubzaded, S.A., Ghodsian, M., and Neyshaboori, S.A.A. 2009. The Impact of Spur Dike and Submerged Vanes on Sediment Control at Lateral Intake, J. Water and Soil Con. 16: 2. 35-59. (In Persian)
7.Gurram, S.K., Karki, K.S., and Hager, W.H. 1997. Subcritical Junction Flow, J. Hydr. Engine. ASCE, 123: 5. 447-455.
8.Hsu, C.C., Wu, F.S., and Lee, W.J. 1998. Flow at 90° Equal-Width Open-Channel Junction, J. Hydr. Engine. ASCE, 124: 2. 186-191.
9.Joy, D.M., and Townsend, R.D. 1981. Improved Flow Characteristics at a 90° Channel Confluence, Proc., In: 5th Can. Hydraulic Technical Conf. Canadian Society for Civil Engineering, National Research Council Press, Ottawa, Pp: 781-799.
10.Riley, D.J., and Rhoads, B.L. 2011. Flow Structure and Channel Morphology at a Natural Confluent Meander Bends, Geomorphology, 129: 3. 1-15.
11.Taylor, E.H. 1944. Flow Characteristics at Rectangular Open-Channel Junctions, Trans, ASCE, 109: 893-902.
12.Webber, N.B., and Greated, C.A. 1966. An Investigation of Flow Behavior at the Junction of Rectangular Channels, Proc., Instn. Civ. Engrs. Thomas Telford Ltd., London, 34: 321-334.
13.Weber, L.J., Shumate, E.D., and Mawer, N. 2001. Experiments on Flow at a 90° Open-Channel Junction. J. Hydr. Engine. 127: 5. 340-350.

www.SID.ir

Archive of SID

Gorgan University of Agricultural

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 19(4), 2013
http://jwsc.gau.ac.ir

Numerical and experimental study of flow pattern at the junction of 90^{o} rectangular channels

***S. Gohari**
Assistant Prof., Dept. of Irrigation and Drainage Engineering,
Bu Ali Sina University, Hamedan
Received: 04/12/2011; Accepted: 03/10/2012

Abstract

In this paper flow pattern at 90^{o}, rectangular channel junctions have been studied. Flow pattern in open channel junctions was studied both experimentally and numerically. Velocity measurements were taken using an acoustic doppler velocimeter and depth measurements were made using a point gauge over a grid defined throughout the junction channel region. Velocity distribution in various plates for six discharges ratio Q^{*} was investigated. Results showed that there is a good agreement between the model simulation and the experimental measurements. Both experiments and numerical model showed that by combining two flows in the main and lateral channel, producing a helical flow in the main channel affecting flow pattern. This helical flow formed a separation zone at downstream of lateral channel and this separation zone affecting by discharge ratio. This zone has an inclination to the main right wall at upper layer and in lower layer has an inclination to the left wall. When decreasing Q^{*} separation zone is also decreased in width and length. Longitudinal and vertical velocity vectors in the main channel have small magnitude at upstream main channel. By combining the lateral flow and main flow increasing the magnitude of transversal velocities results also indicate that maximum transversal velocities occur at maximum contraction of flow.

Keywords: Flow pattern, Junction flow, Rectangular channel, Hydrodynamic model

* Corresponding Author; Email: s.gohari@basu.ac.ir

www.SID.ir