

کاربرد مدل عددی SSIIM1 در بررسی تأثیر زاویه اتصال کانال های روباز بر خصوصیات جریان

رسول قبادیان^{۱*} و مهسا بصیری^۲

* - نویسنده مسئول، دانشیار گروه مهندسی آب دانشگاه رازی کرمانشاه rsglobal@gmail.com

۲- دانش آموخته کارشناسی ارشد آبیاری و زهکشی، دانشگاه رازی کرمانشاه

تاریخ پذیرش: ۹۳/۴/۸

تاریخ دریافت: ۹۲/۱۰/۸

چکیده

محل تلاقی رودخانه‌ها از اجزای مهم مورفولوژیکی سیستم‌های رودخانه‌ای می‌باشد. جریان ورودی از شاخه فرعی باعث تغییرات شدید سرعت و آشفتگی جریان در محل تلاقی و در نتیجه فرسایش و رسوبگذاری می‌شود. الگوی جریان در محل تلاقی به شدت متأثر از زاویه اتصال می‌باشد. در این تحقیق توانایی مدل SSIIM1 برای شبیه سازی جریان سه بعدی در محل تلاقی و تأثیر زاویه اتصال بر خصوصیات جریان مورد مطالعه قرار گرفت. واسنجی و صحت سنجی مدل برای زاویه ۹۰ درجه و با استفاده از نتایج اندازه گیری وبر و همکاران (۲۰۰۱) در دانشگاه آیوا انجام شد. نتایج نشان داد که مدل SSIIM1 در طی مراحل واسنجی و صحت سنجی نیمرخ سطح آب را با خطای کمتر از ۳ درصد و با حداکثر خطای حدود ۱۰ درصد پروفیل‌های سرعت طولی در مقاطع مختلف را محاسبه می‌کند. سپس تأثیر زوایای اتصال ۴۵، ۹۰ و ۱۳۵ درجه بر هیدرولیک جریان به خصوص تنش برشی بستر، ابعاد ناحیه جدشدگی، الگوی جریان ثانویه، پروفیل‌های سرعت و نیمرخ سطح آب بررسی شد. نتایج نشان داد که با افزایش زاویه اتصال ابعاد ناحیه جدشدگی افزایش می‌یابد. در زاویه ۴۵ درجه ناحیه جدا شدگی قابل ملاحظه‌ای مشاهده نشد. مقدار شاخص شکل ناحیه جدشدگی برای زوایای ۹۰ و ۱۳۵ به ترتیب ۵/۸ و ۷/۴۵ به دست آمد. مقدار نسبت عمق بالادست به پایین دست برای زوایای ۴۵، ۹۰ و ۱۳۵ درجه به ترتیب برابر ۱/۰۵، ۱/۰۶ و ۱/۰۹ محاسبه شد. همچنین نتایج نشان داد با افزایش زاویه اتصال از ۴۵ به ۱۳۵ درجه حداکثر تنش برشی بستر در محل اتصال ۸۰/۲ درصد افزایش می‌یابد.

کلید واژه ها: تلاقی رودخانه، SSIIM1، زاویه اتصال، ناحیه جدشدگی.

Application of SSIIM1 Model to Investigate The Effect of The Open-Channel Junction Angle on The Flow Characteristics

R. Ghobadian^{1*} and M. Basiri²

1* - Associate Professor, Water Engineering Department, Razi University, Kermanshah, Iran.

2- MSc of Irrigation and Drainage, Razi University, Kermanshah, Iran.

Received: 22 December 2013

Accepted: 29 June 2014

Abstract

River channel confluences form one of the most important morphological elements in river systems. The entry of a lateral inflow into the main channel generates substantial changes to the flow velocities and turbulence, and result in characteristic patterns of scouring and deposition. Junction angle has highlight effect on flow pattern in open channel junction. In this research the capability of SSIIM1 model to simulate the 3D flow at channel junction and the effect of junction angle on its pattern have been investigated. Using the experimental data of a 90° junction flow collected by Weber et al. (2001) in Iowa University the model was calibrated and validated. Good agreement is obtained between simulated velocity profile and water surface mapping by the SSIIM1 model and the experimental measurements so that the maximum error to predicted water surface and velocity value was about 3% and 10% respectively. The model is then applied to investigate the effect of three junction angles (45, 90 and 135°) on the flow characteristics such as: Bed shear stress, separation zone dimension, and secondary flow pattern and water surface and velocity profiles. The result showed increasing junction angle leads to higher separation zone

dimension. For 45° junction angle a clear separation zone has not appeared. Shape index of separation zone (wide to length ratio) were calculated as 5.8 and 7.45 for 90° and 135° junction angle, respectively. The ratio of upstream depth to downstream depth of junction is 1.05, 1.06 and 1.09 for 45°, 90°, and 135°, respectively. Also the result indicated that increasing the junction angle from 45° to 135° bed shear stress increases about 80.2%.

Keyword: River confluence, SSIIM1, Junction angle, Separation zone.

(۲۰۰۰) با کاربرد مدل برای تلاقی رودخانه کاسکاسیا و کوپر که قبلاً توسط رودز و کنورتی^۴ (۱۹۹۵) مطالعه شده بود ثابت کردند که چرخش‌های حلزونی ایجاد شده شبیه دو مائندر هستند که از پشت به هم متصلند.

بردبروک و همکاران (۲۰۰۱) به منظور بررسی نقش توپوگرافی بر ساختار جریان، نتایج پیش بینی مدل در تلاقی رودخانه کاسکاسیا و کوپر با مورفولوژی واقعی و مورفولوژی مصنوعی (یعنی زمانی که چاله فرسایشی به صورت مصنوعی پر گشت) را با هم مقایسه کردند. با توجه به محدوده فشارهای دینامیک آنها نشان دادند که بالای چاله فرسایش ناحیه‌ای با فشارهای دینامیکی منفی وجود دارد حتی اگر عمق چاله فرسایش برای ایجاد ناحیه جداشدگی جریان در کف بستر خیلی کم باشد. این ناحیه فشار دینامیکی منفی کاملاً منطبق بر ناحیه‌ای است که در آن حداکثر پائین روندگی بردارهای سرعت ثانویه به درون چاله فرسایش وجود دارد. بایرون و همکاران^۵ (۲۰۰۴) از یک مدل سه بعدی برای بررسی فرآیند اختلاط جریان در پائین دست اتصال استفاده کردند. شبیه سازی آنها بر روی تلاقی های هم کف و غیر هم کف در آزمایشگاه و همچنین تلاقی صحرائی در شرایط جریان کم و جریان زیاد انجام شد. نتایج آنها نشان داد که اختلاف رقوم کف بستر تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر اختلاط جانبی جریان دارد به گونه ای که مقدار انحراف استاندارد غلظت اندازه گیری شده در یک شبکه ۲۲ × ۲۴ سلولی در مقاطع عرضی کانال پائین دست تلاقی غیر هم کف همواره کوچک‌تر از مقادیر متناظر در تلاقی هم کف است که این نشان می‌دهد اختلاط بیشتری در تلاقی غیر هم کف انجام می‌شود. در تلاقی طبیعی اختلاف رقوم کف بستر در جریان‌های کم مؤثرتر است تا در جریان‌های زیاد. همچنین آنها نشان دادند که اختلاط کامل در فاصله‌های ۲۰ تا ۳۷ برابر پهناي کانال پائین دست اتفاق می‌افتد. علاوه بر این آنها نشان دادند که ویژه در تلاقی هم کف افزایش زاویه اتصال از ۶۰ تا ۹۰ درجه باعث اختلاط سریع‌تر جریان می‌شود.

هوانگ و همکاران^۶ (۲۰۰۲) مدلی سه بعدی برای یک تلاقی با زاویه ۹۰ درجه که توانایی پیش بینی تغییرات سطح آب را داشت، ارائه کرد. سپس به بررسی تأثیر زاویه اتصال بر روی خصوصیات جریان پرداخت. قبادیان (۱۳۸۷) با استفاده از مدل عددی

مقدمه

تلاقی رودخانه‌ها از جمله اجزای مهم هر شبکه رودخانه‌ای می‌باشند. به دلیل افزایش دبی و تداخل جریان‌های به هم رسیده، جریان سه بعدی پیچیده‌ای با حداکثر اغتشاش در محل تلاقی به وجود می‌آید که خود باعث ایجاد چاله فرسایشی و تپه رسوبگذاری در محل تلاقی و در نتیجه تغییر مورفولوژی رودخانه می‌شود. بررسی خصوصیات جریان در محل تلاقی رودخانه‌ها و کانال‌های روباز یکی از موضوعات مورد بحث مدل‌های ریاضی سه بعدی در دهه اخیر بوده است.

ویراکون و همکاران^۱ (۱۹۹۱) یک روش کامل بیضوی را در مطالعه تلاقی ۶۰ درجه غیر متقارن در نظر گرفتند. نتایج آنها نشان داد که طول ناحیه جداشدگی جریان حدود ۳۰ درصد کوتاه‌تر از مقدار اندازه گیری است. دلیل این کاهش طول را ناشی از پخشیدگی عددی، استفاده از شکل استاندارد مدل اغتشاش $K - \varepsilon$ و در نظر گرفتن سطح آب به صورت یک سطح صلب بدون اصلاح مناسب معادله پیوستگی دانستند.

بردبروک و همکاران^۲ (۲۰۰۱) کار ویراکون و همکاران (۱۹۹۱) را با استفاده از شکل اصلاح شده مدل اغتشاش $K - \varepsilon$ بر اساس تئوری RNG برای شبیه سازی بهتر برای نواحی چرخشی جریان، اصلاح پیوستگی جرم بر اساس روش تخلخل قفل و بند شده با روش سطح صلب به منظور شبیه سازی سطح آب و آزمایش‌های فراوان روی عدم وابستگی حل به اندازه شبکه، توسعه دادند. عمده تمرکز بردبروک و همکاران روی بررسی تأثیر نسبت سرعت، زاویه تلاقی، درجه تقارن تلاقی و اختلاف رقوم کف بستر بر اندازه انحنای خطوط جریان بود. نتایج آنها بر روی محل تلاقی دو کانال موازی نشان داد که در نسبت اعماق جریان برابر ۱ (تلاقی هم کف) جریان‌های چرخشی ثانویه قابل ملاحظه نیستند و تداخل جریان دو کانال به آهستگی صورت می‌گیرد.

استفاده از مدل‌های CFD در تلاقی رودخانه‌های طبیعی توسط لین و همکاران^۳ (۱۹۹۹ و ۲۰۰۰) و بردبروک و همکاران (۲۰۰۰a و ۲۰۰۰b) انجام شده است. لین و همکاران (۱۹۹۹) و

4- Rhoadsand and Kenworthy

5- Biron et al.

6- Huang et al.

1-Weerakoon et al.

2- Bradbrook et al.

3- Lane et al.

محدوده نیست و در تحقیق حاضر فایل کوردینا^۲ توسط برنامه‌ای به زبان ویژوال بیسیک^۳ برای مدل تهیه شده است. در این تحقیق نهایتاً از شبکه بندی $12 \times 44 \times 225$ استفاده شد. شکل (۱) شبکه ساخته شده برای محدوده مورد مطالعه را نشان می‌دهد. در مدل مذکور معادله‌های ناویر - استوکس برای جریان آشفته در یک فضای سه بعدی به منظور محاسبه سرعت جریان با روش احجام محدود منفصل و حل می‌شوند:

$$\frac{\partial U_j}{\partial x_j} = 0 \quad j = 1, 2, 3 \quad (1)$$

$$\frac{\partial U_i}{\partial t} + U_j \frac{\partial U_i}{\partial x_j} = \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial x_j} (-P \delta_{ij} - \overline{\rho u_i u_j}) \quad (2)$$

که در آن U : سرعت متوسط، ρ : وزن واحد حجم آب، P : فشار، δ_{ij} : دلتای کرونکر است که اگر $i=j$ باشد برابر است با یک و در غیر این صورت معادل صفر است و x : بعد عمومی مسافت است. آخرین جمله در معادله (۲) تنش رینولدز است که اغلب با تقریب بوزینسک مدل می‌شود:

$$\overline{\rho u_i u_j} = \rho \nu_t \left(\frac{\partial U_i}{\partial x_j} + \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} \rho k \delta_{ij} \quad (3)$$

که در آن U_i : لزجت گردابی و k : انرژی جنبشی اغتشاش است. لزجت گردابی بستگی به انرژی جنبشی اغتشاش (k) و اتلاف اغتشاش (\mathcal{E}) دارد:

$$\nu_t = C_{\mu} \frac{k^2}{\mathcal{E}} \quad (4)$$

در مدل SSIM1 مقادیر k و \mathcal{E} با استفاده از مدل‌های دو معادله ای $K - \mathcal{E}$ استاندارد به دست می‌آیند.

شرایط مرزی

شرایط مرزی در پچلت^۴ به عنوان شرایط مرزی برای جریان‌های ورودی در نظر گرفته شده است. این شرایط برای سرعت‌ها به کار برده می‌شود و اغلب مشکل است که از آن برای اغتشاش استفاده شود. معمولاً از یک مدل اغتشاش ساده ($\nu_t = 0.11u^*h$) یا ($\nu_t = 0.067u^*h$) برای تعیین لزجت گردابی در مقطع ورودی استفاده می‌شود. با معلوم بودن سرعت می‌توان تنش برشی (τ) را در بستر ورودی حدس

SSIM2 به بررسی تأثیر عدد فرود پایاب بر روی ساختار جریان به ویژه الگوی جریان ثانویه در محل تلاقی کانال‌های مستطیلی روباز با زاویه اتصال ۶۰ درجه پرداخت. موسوی جهرمی و گودرزی زاده (۱۳۹۰) با استفاده از نرم افزار فلوئنت^۱ جریان در تلاقی ۹۰ درجه را شبیه سازی کردند و به این نتیجه رسیدند که در اثر افزایش نسبت دبی کانال اصلی به دبی کل، طول و عرض ناحیه جدانشدگی کاهش می‌یابد. امرایی و همکاران (۱۳۹۱) با استفاده از نرم افزار فلوئنت به بررسی تأثیر زوایای اتصال ۳۰، ۴۵ و ۶۰ در کانال‌های مستطیلی پرداختند. آنها به این نتیجه رسیدند که تغییر زاویه تقاطع کانال، الگوی جریان در کانال اصلی را تحت تأثیر قرار داده و ابعاد ناحیه جدایی ایجاد شده در کانال اصلی با افزایش زاویه تقاطع بزرگ‌تر می‌شود. قبادیان و همکاران (۱۳۸۷) با استفاده از یک مدل آزمایشگاهی به بررسی تأثیر زوایای اتصال ۶۰، ۷۵ و ۹۰ بر الگوی رسوب در کانال‌های مستطیلی پرداختند. نتایج آنها نشان داد که با افزایش زاویه اتصال حداکثر عمق چاله فرسایش و ارتفاع تپه رسوبگذاری افزایش می‌یابد.

علی‌رغم مطالعات بسیاری که در تلاقی‌های کانال‌های روباز با زوایای اتصال مختلف انجام شده است مطالعه و شبیه سازی جریان در تلاقی با استفاده از مدل عددی SSIM1 انجام نشده است. بر خلاف مدل SSIM2 که از شبکه غیر ساختار برای شبکه بندی محدوده مورد مطالعه استفاده می‌کند مدل SSIM1 از شبکه ساختار استفاده می‌کند. بنابراین امکان به کار گیری شبکه غیر یکنواخت ریزتر به خصوص در نزدیک جدار صلب امکان پذیر است که خود دقت محاسبات را بالا می‌برد. از طرفی با برنامه نویسی می‌توان محدوده مورد مطالعه را به گونه‌ای شبکه بندی نمود که بتوان الگوی جریان و رسوب اطراف سازه‌های آبی از قبیل پایه پل (با هر شکل دلخواه)، پره های مستغرق و ... را که در محدوده تلاقی قرار داشته باشند بررسی نمود. این امر با مدل غیر ساختار SSIM2 امکان پذیر نیست. از این رو نتایج این تحقیق می‌تواند گام نخست برای تحقیقات بعدی در خصوص شبیه سازی رسوب و جریان در محدوده تلاقی در حضور سازه‌های آبی دیگر نیز باشد.

مواد و روش‌ها

معادله‌های حاکم

در این تحقیق از مدل عددی SSIM1 برای شبیه سازی جریان در تلاقی دو کانال مستطیلی روباز استفاده شد. مدل مذکور از یک شبکه ساختار استفاده می‌کند. هندسه میدان مورد مطالعه در این تحقیق به گونه‌ای تعریف شده که در نواحی نزدیک به دیواره که گرادبان‌ها شدیدتر می‌باشد، به منظور شبیه سازی دقیق‌تر شبکه بندی ریزتری مورد استفاده قرار گرفته است. لازم به ذکر است که خود نرم افزار SSIM1 قادر به تولید فایل هندسه

زد. پس از آن انرژی جنبشی اغتشاش (k) در بستر ورودی تعیین می شود:

$$k = \frac{\tau}{\rho \sqrt{c'_{\mu}}} \quad (5)$$

با استفاده از لزجت داده شده و k در بستر معادله $(v_t = C'_{\mu} \frac{K^2}{\epsilon})$ مقدار ϵ در بستر ورودی نیز تعیین می گردد. اگر فرض شود که k از بستر تا سطح آب به صورت خطی تغییر می کند از معادله (5) و پروفیل لزجت گردابی توزیع قائم ϵ محاسبه می گردد.

در مرز خروجی شرایط گرادیان صفر برای تمام پارامترها به عنوان شرایط مرزی در نظر گرفته شده است.

سطح آب با استفاده از روش سرپوش ثابت به همراه گرادیان صفر برای همه متغیرها تعیین شده است. موقعیت سرپوش ثابت و جابجائی آن به عنوان تابعی از زمان و میدان جریان، به وسیله فشار و الگوریتم برنولی محاسبه می شود. الگوریتم بر اساس میدان فشار است که از معادله برنولی در امتداد سطح آب استفاده می کند تا اینکه موقعیت سطح آب را بر اساس نقطه مرجع ثابتی که حرکت نمی کند محاسبه می شود.

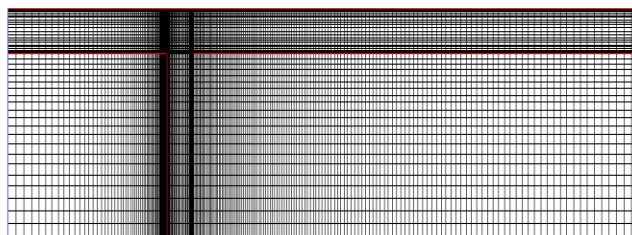
از قانون دیوار برای مرزهای زیر به عنوان شرط مرزی در بستر و دیوارها استفاده شد:

$$\frac{U}{u^*} = \frac{1}{k} \ln\left(\frac{30y}{k_s}\right) \quad (6)$$

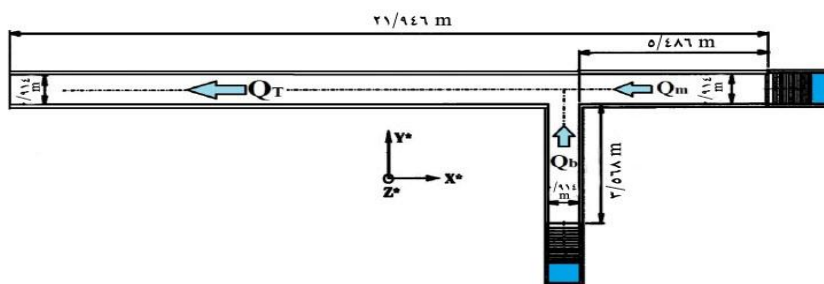
که در آن زبری با k_s نمایش داده می شود. U : سرعت، u^* : سرعت برشی، k : ضریب ثابت معادل 0.4 و y : فاصله از دیوار تا مرکز سلول است.

مدل آزمایشگاهی

در مدل آزمایشگاهی وبر و همکاران (۲۰۰۱) طول کانال اصلی و فرعی به ترتیب $21/946$ و $3/568$ متر می باشد. کانال فرعی در $5/486$ متری پایین دست کانال اصلی قرار دارد. عرض هر دو کانال اصلی و فرعی $0/914$ متر است و کف کانال در تمامی نقاط کاملاً افقی است. سیستم مختصات نیز به این صورت است. جهت مثبت X به طرف بالادست کانال اصلی، جهت مثبت Y در جهت کانال فرعی و جهت مثبت Z به سمت بالا می باشد. سیستم مختصات بی بعد به صورت x/W ، y/W و z/W می باشد که W پهنای کانال اصلی می باشد. همچنین دبی کل در پایین دست کانال اصلی برابر $0/17$ متر مکعب بر ثانیه است و عمق و سرعت در پایاب به ترتیب برابر $0/296$ متر و $0/628$ متر بر ثانیه است. در مرحله واسنجی دبی کانال اصلی و فرعی به ترتیب برابر $0/127$ و $0/043$ متر مکعب بر ثانیه است. نسبت دبی (نسبت دبی کانال فرعی به دبی پایاب) در این مرحله برابر $0/25$ می باشد. همچنین در مرحله صحت سنجی دبی کانال اصلی و فرعی به ترتیب $0/1$ و $0/07$ می باشد. نسبت دبی این مرحله $0/41$ می باشد. نمایی از مدل آزمایشگاهی وبر و همکاران (۲۰۰۱) در شکل (۲) آمده بوده است.



شکل ۱- شبکه ساخته شده برای محدوده مورد مطالعه



شکل ۲- مشخصات فلوم آزمایشگاهی

نتایج و بحث

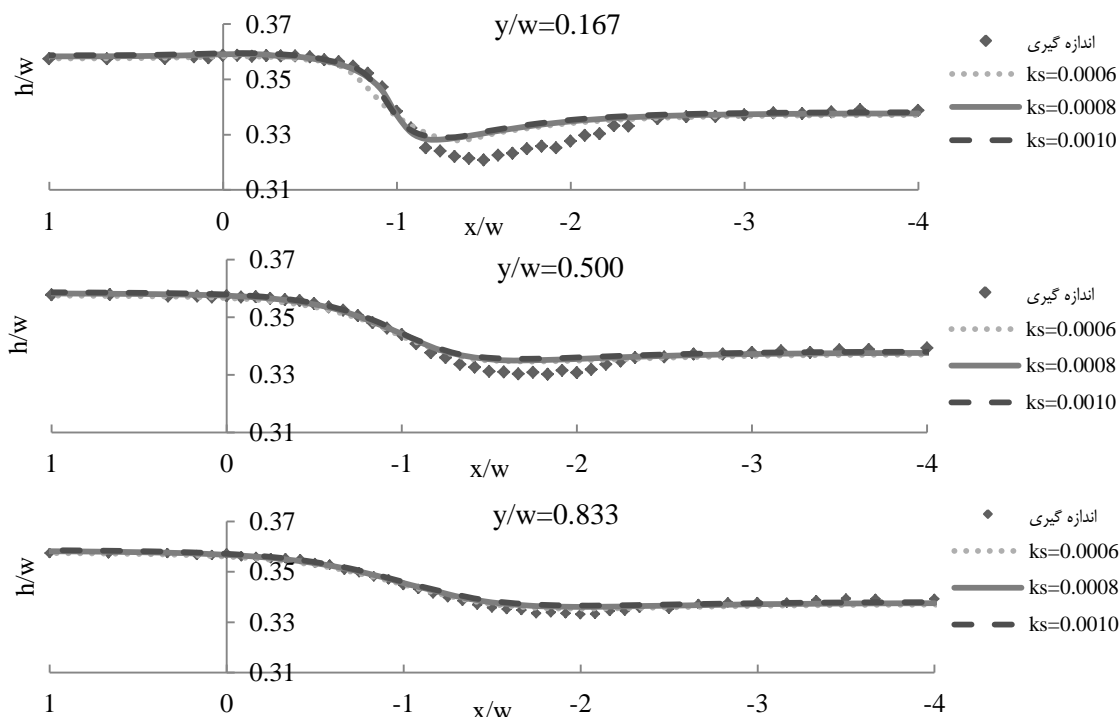
واسنجی و تحلیل حساسیت شبکه

تأثیر زبری کف و دیواره‌ها یکی از پارامترهای مهم در شبیه سازی جریان و رسوب در کانال های روباز می‌باشد. از این رو در بخش واسنجی مدل، تأثیر زبری بستر بر پروفیل طولی سطح آب بررسی شد. شکل (۳) نتایج این بررسی را نشان می‌دهد. با توجه به اینکه جنس دیواره و کف فلوام آزمایشگاهی مورد نظر در این تحقیق شیشه می‌باشد، در ابتدا مقدار ضریب زبری جداره با توجه به جدول مربوطه 0.0008 متر در نظر گرفته شد.

سپس تأثیر افزایش و کاهش 20 درصدی زبری جداره بر روی پروفیل طولی سطح آب بررسی شد. همان گونه که در شکل (۳) مشاهده می‌شود تغییر زبری جداره تأثیر چندانی بر نیمرخ طولی سطح آب ندارد و پروفیل‌های سطح آب در تمامی زبری‌ها بر هم منطبق می‌باشند. دلیل این امر این است که عدد رینولدز برشی (Y^+) با توجه به فاصله مرکز اولین سلول از دیواره برای هر سه اندازه زبری جداره در محدوده جریان آشفته قرار می‌گیرد.

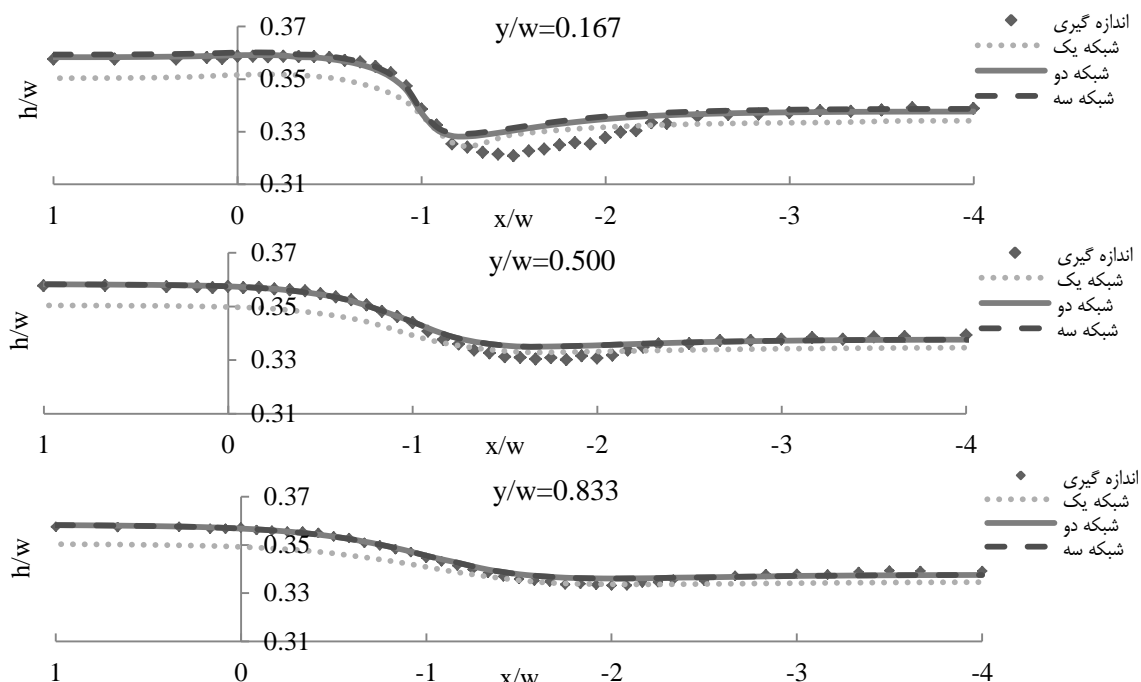
عدم وابستگی جواب مسئله به اندازه شبکه یکی از موضوعات مهم در شبیه سازی عددی است که نهایتاً منجر به تعیین شبکه بهینه می‌شود. از این رو در این مرحله، مدل بر اساس اندازه شبکه‌های مختلف و همچنین فاصله مناسب مرکز اولین سلول از مرز صلب انجام شد. مقادیر سرعت و پروفیل‌های سطح آب به

ازای شبکه‌های مختلف برای نسبت دبی 0.25 با هم مقایسه شدند. در شکل (۴) پروفیل طولی سطح آب کانال اصلی به ازای اندازه شبکه‌های مختلف و مقایسه با داده‌های آزمایشگاهی آمده است. همان طور که ملاحظه می‌شود، اختلاف بارزی بین شبکه شماره یک ($8 \times 34 \times 161$) و داده‌های آزمایشگاهی وجود دارد. در حالی که این اختلاف بین شبکه‌های شماره دو ($12 \times 44 \times 225$) و شماره سه ($16 \times 74 \times 265$) کمتر می‌باشد. همچنین به دلیل اینکه ریز کردن شبکه در شبکه‌های شماره دو و سه تأثیر چندانی بر نتایج نداشته است و پروفیل طولی سطح آب در این دو شبکه بر هم منطبق می‌باشد، شبکه شماره دو به عنوان شبکه بهینه انتخاب و تجزیه و تحلیل نتایج با استفاده از این شبکه انجام گرفت. لازم به ذکر است که اختلاف بین داده‌های آزمایشگاهی و شبیه سازی توسط مدل به ازای شبکه بهینه می‌تواند ناشی از خطای اندازه گیری به خاطر تلاطم شدید سطح آب در این ناحیه و ضعف مدل $K - \epsilon$ در شبیه سازی جریان در نواحی چرخشی باشد. ویراکون و همکاران (۱۹۹۱) نیز اشاره کردند که مدل $K - \epsilon$ در نواحی چرخشی ضعف دارد و ابعاد ناحیه چرخشی را کمتر از مقدار واقعی حدس می‌زند.

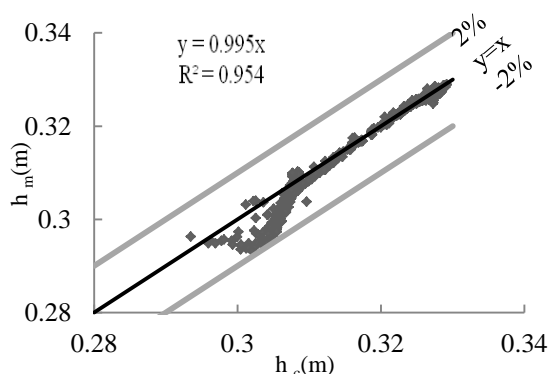


شکل ۳- تأثیر زبری جداره بر پروفیل طولی سطح آب در مرحله واسنجی

قبادیان و بصیری: کاربرد مدل عددی SSIIM1 در بررسی تأثیر زاویه...



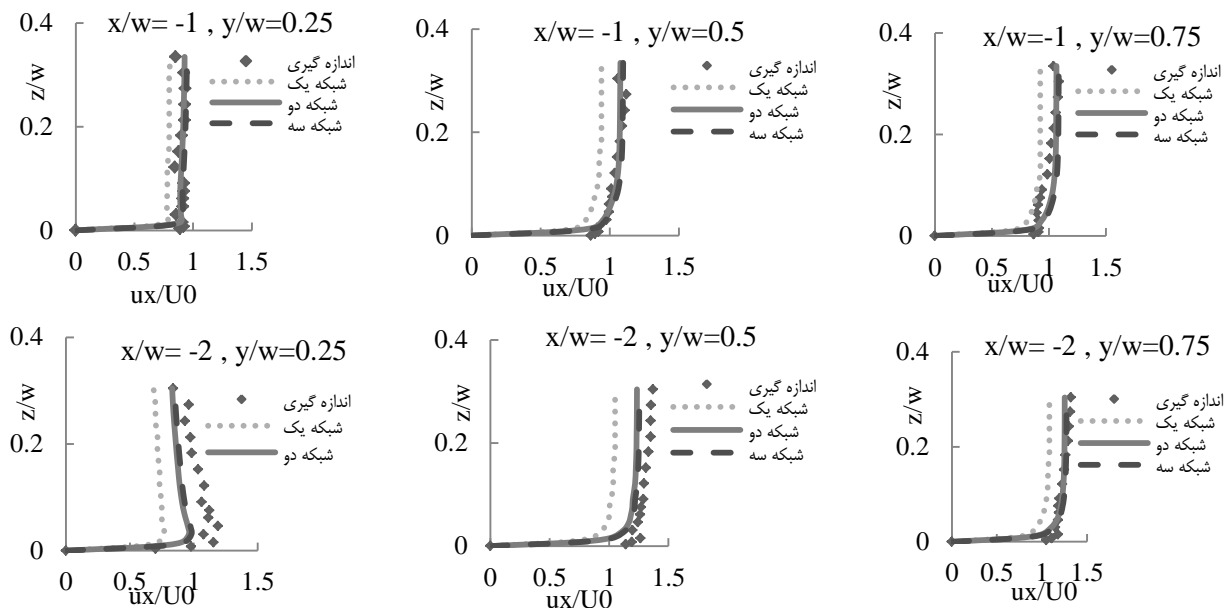
شکل ۴- تأثیر اندازه شبکه بر پروفیل طولی سطح آب



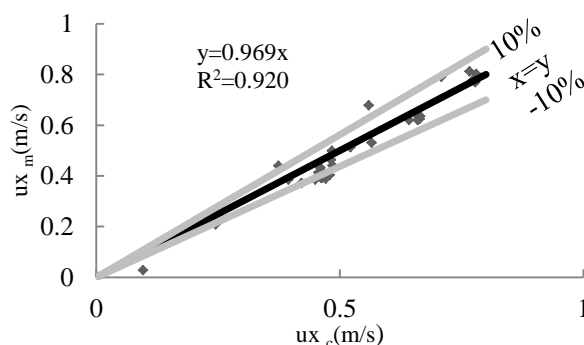
شکل ۵- مقایسه رقوم سطح آب پیش بینی شده با اندازه گیری شده به ازای شبکه بهینه

مقایسه پروفیل‌های قائم سرعت طولی در مقاطع مشخصی از کانال اصلی در شکل (۶) به ازای شبکه‌های مختلف نشان داده شده است. ملاحظه می‌شود که شبکه شماره دو و سه تقریباً نتایج یکسانی را ارائه می‌دهند در حالی که پروفیل‌های سرعت محاسبه شده مربوط به شبکه شماره یک از داده‌های اندازه گیری اختلاف قابل ملاحظه‌ای دارد. برای شبکه بهینه (شبکه شماره دو) بیشترین اختلاف در موقعیت $(y/w=0.25, x/w=-2)$ مشاهده شد. این محل در گوشه پایین اتصال و در محدود ناحیه جداولگی جریان قرار دارد. همان گونه که قبلاً نیز اشاره شد این اختلاف می‌تواند ناشی از ضعف مدل $K - \epsilon$ در شبیه سازی جریان در نواحی چرخشی باشد.

همچنین به منظور مقایسه کمی نتایج و بررسی دقت مدل در طی مرحله واسنجی مقادیر سطح آب اندازه گیری شده در مقابل مقادیر سطح آب محاسبه شده به ازای شبکه بهینه و اندازه زبری $k_s = 0.0008$ در نقاط مختلف در شکل (۵) نشان داده شده است. همان گونه که ملاحظه می‌شود ضریب تعیین و شیب خط رگرسیون به ترتیب برابر 0.995 و 0.995 به دست آمده است که نشان می‌دهد مدل با دقت مناسبی واسنجی شده است و مدل مذکور توانایی شبیه سازی سطح آب را دارد. جذر میانگین مربعات خطا و خطای نسبی به ترتیب برابر 0.004899 و 0.00567273 برآورد شده است که این نیز همین مطلب را به اثبات می‌رساند.



شکل ۶- تأثیر شبکه بر پروفیل‌های قائم سرعت طولی در کانال اصلی



شکل ۷- مقایسه سرعت طولی پیش بینی شده با اندازه گیری شده به ازای شبکه بهینه

مربوط به مقایسه سطح آب پیش بینی و اندازه گیری شده مرحله صحت سنجی در شکل (۸) آمده است. همان طور که مشخص است توانایی مدل در پیش بینی پروفیل سطح آب در مرحله صحت سنجی حتی بهتر از مرحله واسنجی است. به گونه ای خطای برآورد در این مرحله ۱/۵ درصد است که در مقایسه با ۳ درصد مرحله واسنجی کمتر است.

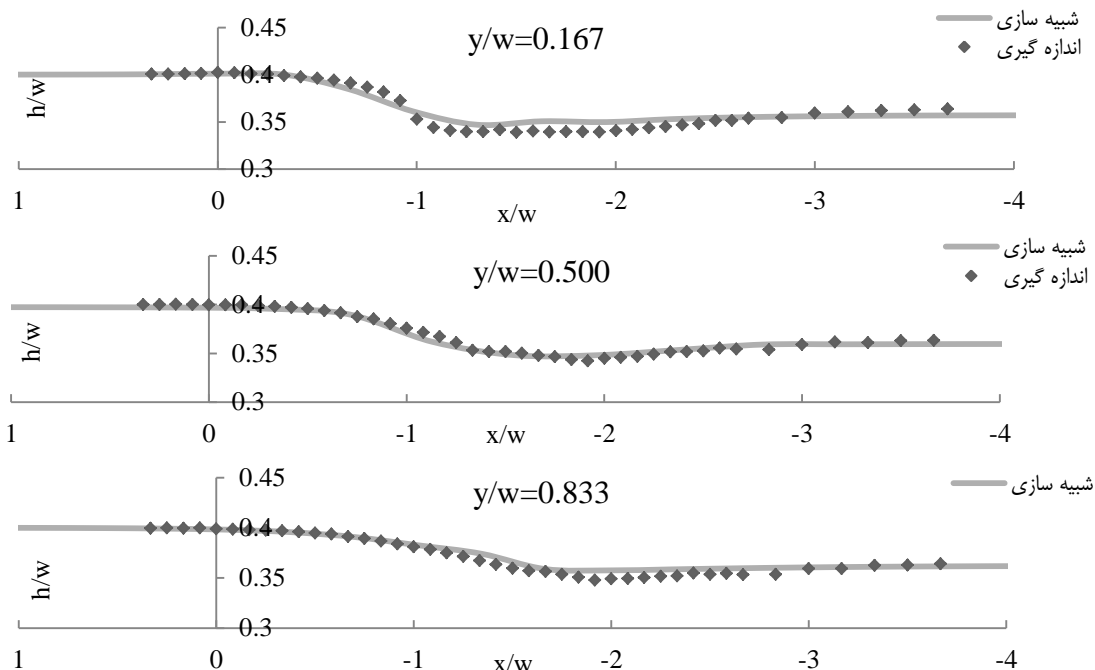
مقایسه پروفیل‌های قائم سرعت طولی در مقاطع مشخصی از کانال اصلی در شکل (۹) به ازای شبکه بهینه نشان داده شده است. همان طور ملاحظه می‌شود که مدل در مرحله صحت سنجی نیز از توانایی نسبتاً خوبی برای پیش بینی سرعت برخورداری است. بیشترین اختلاف این مرحله هم مانند حالت قبل در موقعیت ($x/w = -2$ و $y/w = 0.25$) مشاهده شد. دقت مدل در محاسبه پروفیل سرعت طولی برابر ۹ درصد است که در مقایسه با دقت ۱۰ درصد مرحله واسنجی کمتر می‌باشد.

همچنین به منظور مقایسه کمی نتایج و بررسی دقت مدل در طی مرحله واسنجی مقادیر سرعت‌های اندازه گیری شده در مقابل مقادیر سرعت‌های محاسبه شده به ازای شبکه بهینه و اندازه زبری $k_s = 0.0008$ در نقاط مختلفی در شکل (۷) نشان داده شده است. همان گونه که ملاحظه می‌شود ضریب تعیین و شیب خط رگرسیون به ترتیب برابر ۰/۹۲ و ۰/۹۶۹ به دست آمده است که نشان می‌دهد که مدل با دقت مناسبی واسنجی شده است و مدل مذکور توانایی شبیه سازی سرعت‌های اصلی جریان در محل تلاقی را دارد. همچنین جذر میانگین مربعات خطا نیز که مقدار آن برابر ۰/۰۵۲۴۰۲ برآورد شده است همین مطلب را به اثبات می‌رساند.

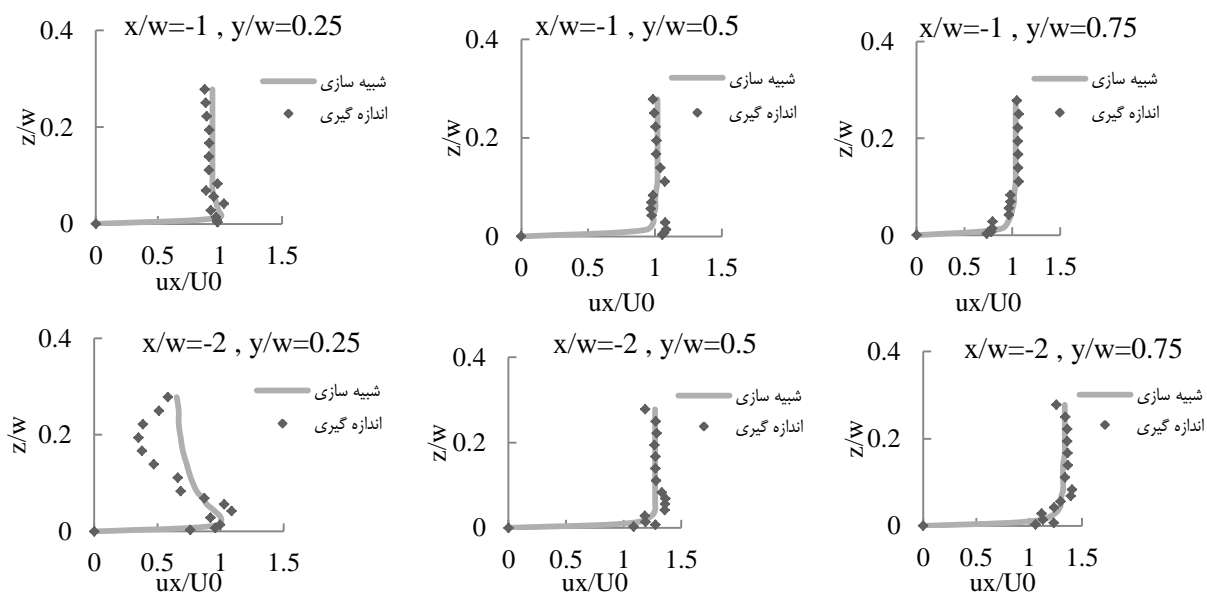
صحت سنجی مدل

بعد از واسنجی مدل و تعیین شبکه بهینه، صحت سنجی مدل به ازای شبکه بهینه و برای نسبت دبی ۰/۴۱ انجام شد. نتایج

قبادیان و بصیری: کاربرد مدل عددی SSIIM1 در بررسی تأثیر زاویه...



شکل ۸- مقایسه پروفیل سطح آب پیش بینی و اندازه گیری شده



شکل ۹- مقایسه سرعت طولی پیش بینی و اندازه گیری شده

ابعاد ناحیه جدانشدگی جریان

کمتر می‌شود. همچنین خط تقسیم جریان به طرف دیواره مقابل متمایل‌تر می‌شود. در زاویه ۴۵ درجه ناحیه جدانشدگی قابل ملاحظه‌ای مشاهده نشد. مقدار شاخص شکل ناحیه جدانشدگی برای زاویه ۹۰ برابر ۵/۸ به دست آمد. این پارامتر در داده‌های آزمایشگاهی قبادیان (۱۳۸۵) و گورام و همکاران (۱۹۹۷) به ترتیب دارای مقادیر ۴/۸۳ و ۵/۷۶ است. برای زاویه ۱۳۵ درجه

پس از واسنجی و صحت سنجی مدل و اطمینان از نتایج آن به بررسی تأثیر زاویه اتصال کانال فرعی به اصلی بر خصوصیات جریان پرداخته شد. در جدول (۱) مقادیر مربوط به ابعاد ناحیه جدانشدگی و نسبت عمق جریان بالادست اتصال به عمق پایین دست آن به ازای نسبت دبی ۰/۲۵ آورده شده است. همان گونه که در شکل (۱۰) نشان داده شده است با افزایش زاویه اتصال ابعاد ناحیه جدانشدگی بیشتر و عرض مؤثر عبور جریان

زوایای ۴۵، ۹۰ و ۱۳۵ به ترتیب ۱/۳۷، ۱/۹۷ و ۲/۴۷ نیوتون بر متر مربع می‌باشد. با افزایش زاویه اتصال پهنای ناحیه جداشدگی بزرگ‌تر می‌شود در نتیجه عرض مؤثر جریان کوچک‌تر می‌شود. این امر باعث افزایش سرعت جریان و به دنبال آن افزایش تنش برشی بستر می‌شود. افزایش تنش برشی بستر نهایتاً منجر به فرسایش بیشتر در محل اتصال خواهد شد.

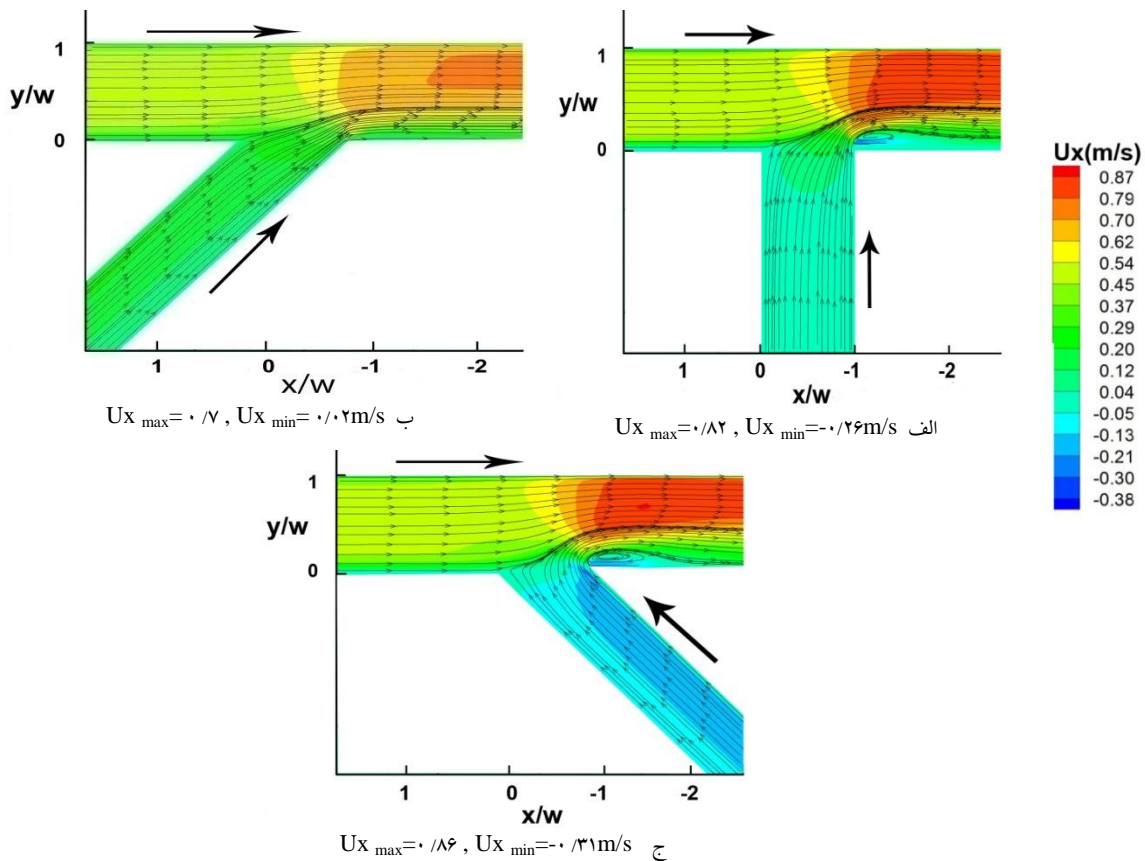
هم شاخص شکل برابر ۷/۴۵ به دست آمد. مقدار این پارامتر بر اساس داده‌های آزمایشگاهی قبادیان (۱۳۸۵) ۷/۳ می‌باشد.

تنش برشی بستر

در شکل (۱۱) نتایج مربوط به مقایسه تنش برشی در زوایای ۴۵، ۹۰ و ۱۳۵ به ازای نسبت دبی ۰/۲۵ آمده است. همان طور که از شکل مشخص می‌باشد با افزایش زاویه اتصال مقدار حداکثر تنش برشی نیز افزایش می‌یابد. مقادیر حداکثر تنش برشی برای

جدول ۱- ابعاد ناحیه جداشدگی در زوایای اتصال مختلف

زاویه اتصال (درجه)	فاصله از کف (m)	طول ناحیه جداشدگی (m)	عرض ناحیه جداشدگی (m)	شاخص شکل ناحیه جداشدگی
۴۵	۰/۳	۰	۰	۰
۹۰	۰/۳	۰/۵۸	۰/۱	۵/۸
۱۳۵	۰/۳	۰/۸۲	۰/۱۱	۷/۴۵



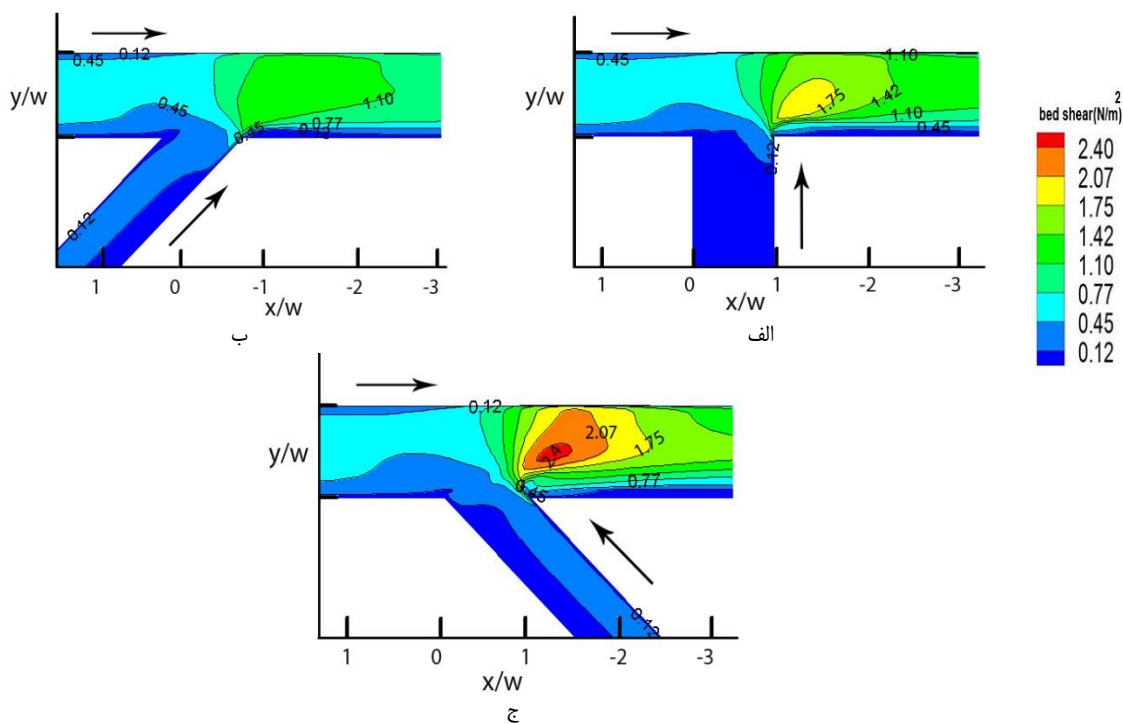
شکل ۱۰- ناحیه جداشدگی جریان نزدیک سطح آب در زوایای اتصال الف: ۹۰ درجه، ب: ۴۵ درجه و ج: ۱۳۵ درجه

تأثیر زاویه اتصال بر سطح آب در کانال اصلی

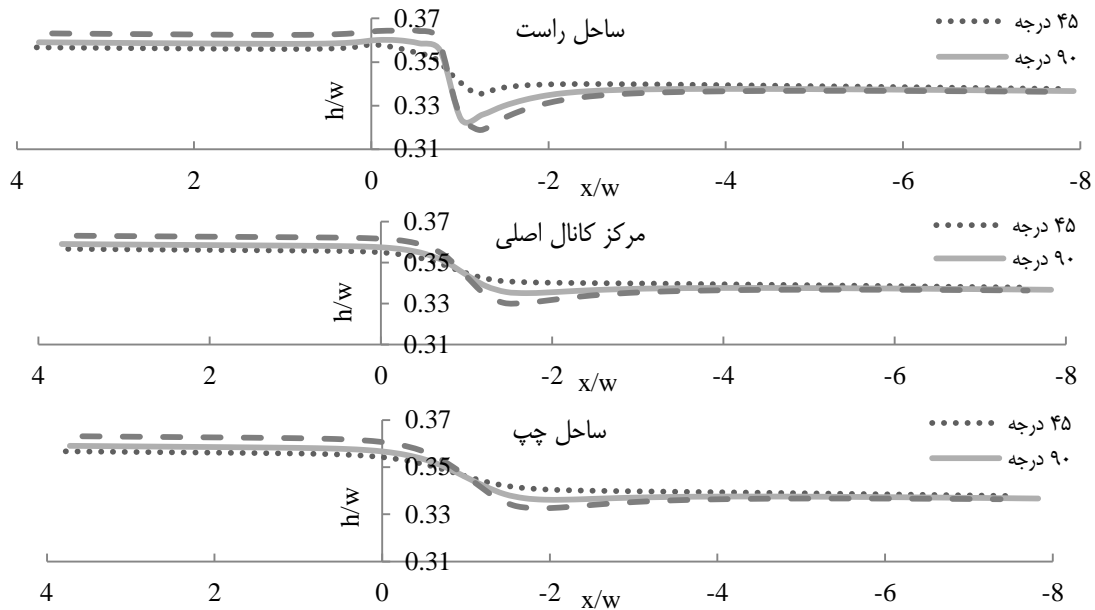
در شکل (۱۲) تأثیر سه زاویه اتصال ۴۵، ۹۰ و ۱۳۵ درجه بر نیمرخ سطح آب به ازای نسبت دبی ۰/۲۵ ارائه شده است. همان طور که مشاهده می‌شود با افزایش زاویه اتصال اختلاف سطح آب بالا دست به پایین دست اتصال بیشتر می‌شود. این اختلاف در ساحل راست (مجاور اتصال) بیشتر است. با افزایش زاویه اتصال مقدار نفوذ جریان کانال فرعی در کانال اصلی بیشتر می‌شود و عرض مؤثر عبور جریان در کانال اصلی کمتر می‌شود و همین امر باعث برگشت آب در بالا دست و پس زدگی جریان می‌شود. نسبت عمق بالادست به عمق پایین دست جریان برای زوایای ۴۵، ۹۰ و ۱۳۵ درجه برابر ۱/۰۵، ۱/۰۶ و ۱/۰۹ به دست آمد. مقدار این پارامتر بر اساس داده‌های آزمایشگاهی قبادیان (۱۳۸۵) به ترتیب برابر ۱/۰۴، ۱/۰۶۹ و ۱/۰۸۷ می‌باشد.

تأثیر زاویه اتصال بر پروفیل‌های قائم سرعت طولی

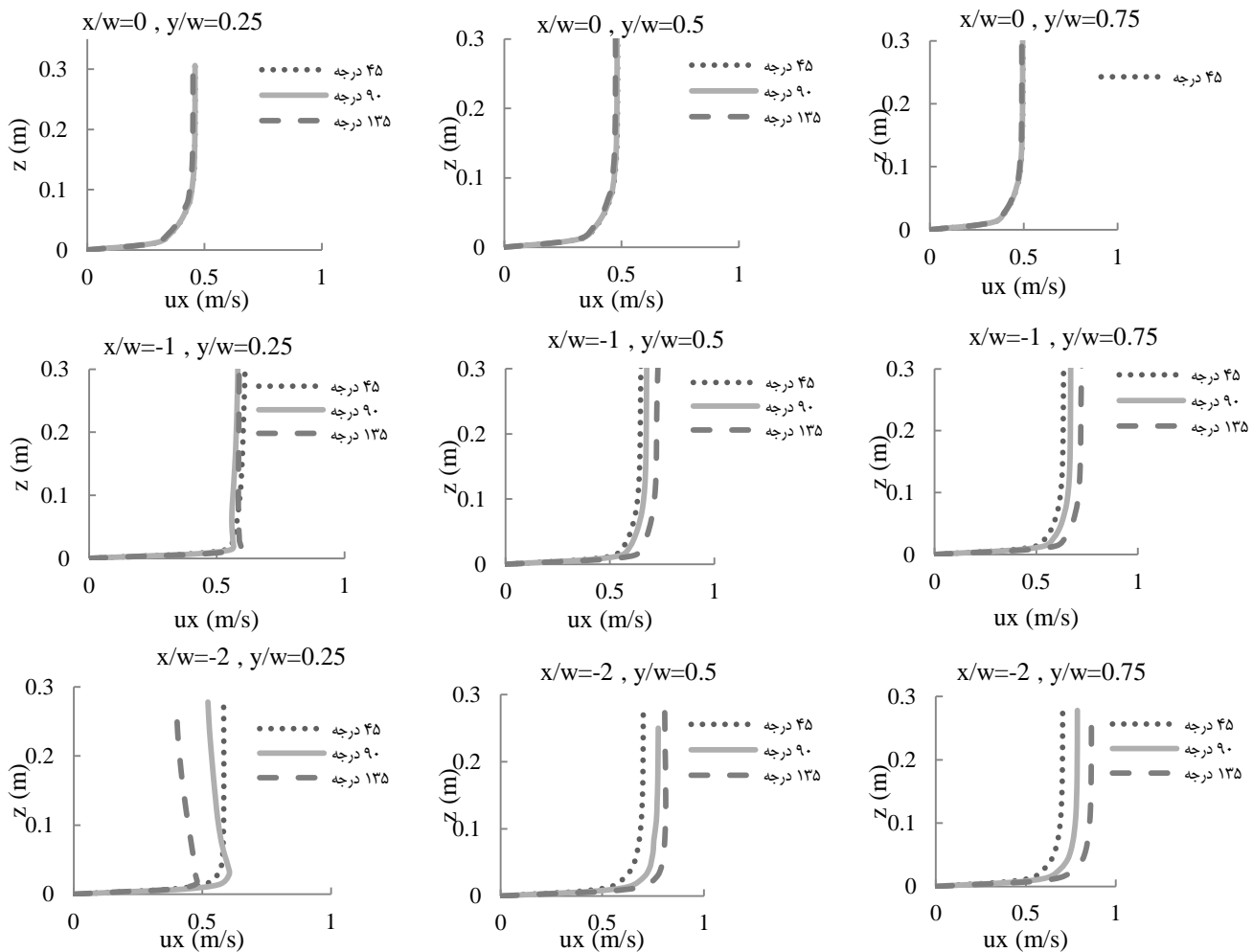
در شکل (۱۳) نتایج مربوط به مقایسه پروفیل‌های قائم سرعت طولی در سه زاویه اتصال مذکور به ازای نسبت دبی ۰/۲۵ ارائه شده است. در مقطع مربوط به گوشه بالادست اتصال ($x/w=0$) به دلیل اینکه هنوز جریان فرعی، جریان کانال اصلی را تحت تأثیر قرار نداده است پروفیل‌های قائم سرعت طولی در زوایای مختلف در سواحل چپ، راست و مرکز کانال اصلی بر هم منطبق می‌باشند و اختلاف بسیار ناچیزی دارند. در مقاطع ($x/w=-1$) و ($x/w=-2$) به جز در ساحل راست یعنی موقعیت ($y/w=0/25$) با افزایش زاویه اتصال مقادیر سرعت افزایش پیدا کرده است. در ساحل راست به دلیل وجود ناحیه جداشدگی در این مقطع شکل پروفیل‌های سرعت با سایر موقعیت‌ها متفاوت می‌باشد.



شکل ۱۱- بررسی تأثیر زاویه اتصال بر روی مقدار تنش برشی در کف، زاویه اتصال الف: ۹۰ درجه، ب: ۴۵ درجه و ج: ۱۳۵ درجه

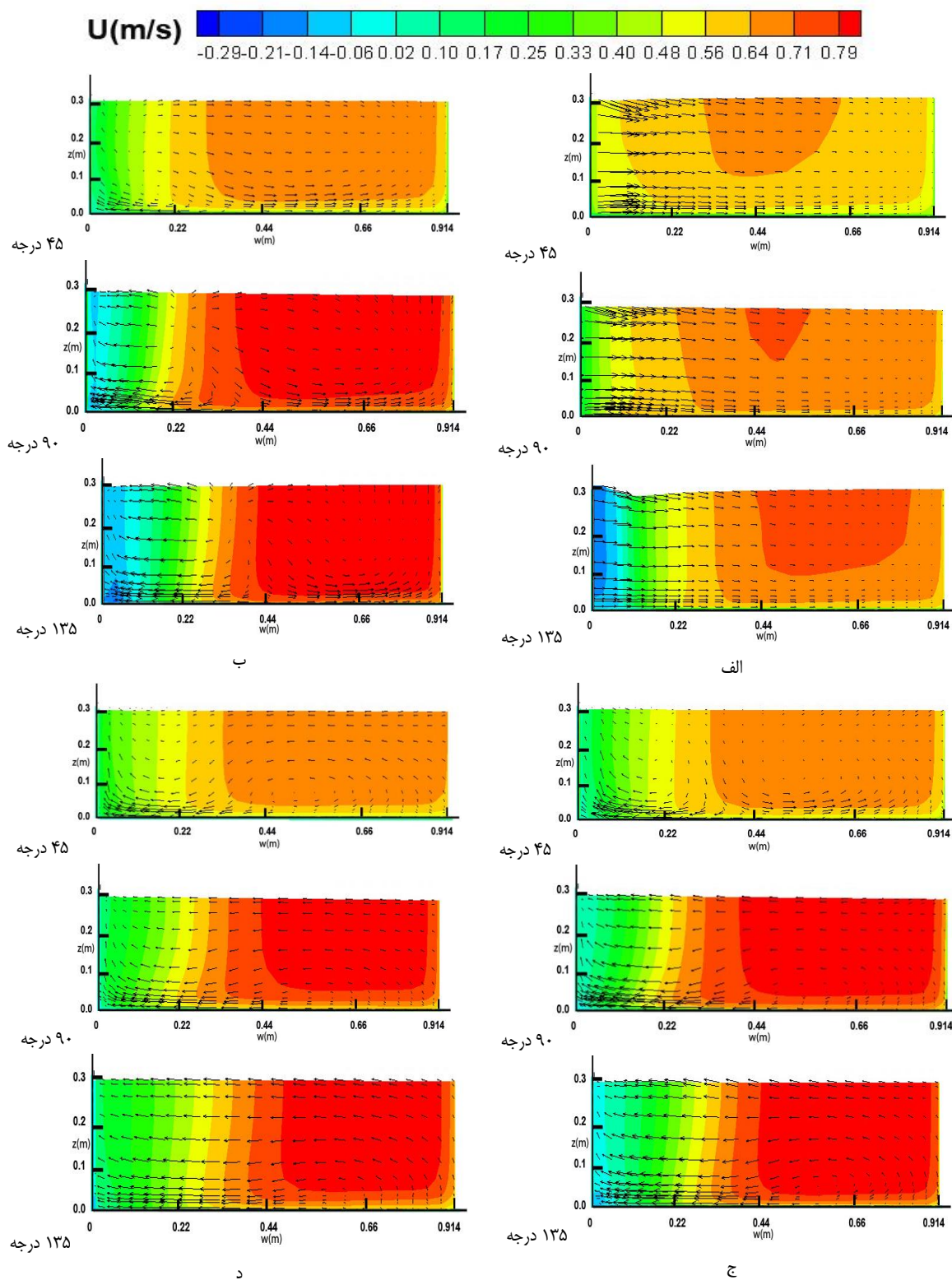


شکل ۱۲- تأثیر زاویه اتصال بر نیمرخ سطح آب



شکل ۱۳- تأثیر زاویه اتصال بر پروفیل‌های قائم سرعت طولی در مقاطع مختلف

قبادیان و بصیری: کاربرد مدل عددی SSIIM1 در بررسی تأثیر زاویه...



شکل ۱۴- الگوی جریان ثانویه به همراه خطوط هم سرعت اصلی u_x الف: در گوشه پائین اتصال ($x/w = -1$)، ب: مقطع ($x/w = -1/6$)، ج: مقطع ($x/w = -2$) و د: مقطع ($x/w = -2/6$)

جریان‌های ثانویه از اهمیت بالایی برخوردار است. الگوی جریان ثانویه در مقاطع مختلف پائین دست اتصال به ازای نسبت دبی ۰/۲۵ در شکل (۱۴) نشان داده شده است. همان طور که ملاحظه

بررسی جریان ثانویه

با توجه با اینکه اندرکنش جریان‌های اولیه و ثانویه باعث تغییر الگوهای فرسایش و رسوبگذاری در کانال می‌شود بررسی الگوی

می‌شود در مقطع $X/W = -1$ جریان قوی یک سوپه‌ای از نزدیک سطح آب به طرف ساحل مقابل حرکت می‌کند و سلول چرخشی قابل ملاحظه‌ای مشاهده نمی‌شود. نکته قابل توجه در این مقطع پایین افتادن سطح آب در بالای ناحیه جداشدگی جریان در زاویه ۱۳۵ درجه می‌باشد (شکل ۱۴ الف).

پایین تر از گوشه پایین دست اتصال در مقطع $X/W = -1/6$ در زوایای تلاقی ۹۰ و ۱۳۵ درجه دو سلول چرخشی یکی در ساحل راست و یکی در ساحل چپ مشاهده می‌شود. در حد فاصل سلول چرخشی ساحل چپ و سلول چرخشی ساحل راست خط تقسیمی مشاهده شد که این خط در زاویه تلاقی ۹۰ درجه در فاصله ۰/۲۲ متری و در زاویه تلاقی ۱۳۵ درجه در فاصله ۰/۳۴ متری در عرض کانال اصلی قرار دارد (شکل ۱۴ ب).

در مقطع $X/W = -2$ در زاویه تلاقی ۴۵ درجه دو سلول چرخشی یکی در ساحل راست و دیگری در ساحل چپ مشاهده می‌شود. خط تقسیم در فاصله ۰/۳۵ از ساحل چپ قرار دارد. در زوایای تلاقی ۹۰ و ۱۳۵ درجه یک سلول چرخشی در ساحل سمت راست مشاهده شد که مرکز آن نزدیک به کف کانال می‌باشد (شکل ۱۴ ج).

همچنین سلول چرخشی مشاهده شد در مقطع $X/W = -2/6$ در زوایای ۹۰ و ۱۳۵ درجه نسبت به سلولی که در مقطع -۲

نتیجه گیری

در این مقاله توانایی مدل SSIM1 که برخلاف مدل SSIM 2 از شبکه ساختار برای تولید شبکه استفاده می‌کند در شبیه سازی الگوی جریان در تلاقی کانال‌های روباز بررسی شد. مشخص گردید با دقت مناسبی نیمرخ سطح آب و پروفیل‌های سرعت را در یک اتصال ۹۰ درجه شبیه سازی می‌کند. همچنین بررسی پارامترهای شاخص شکل و نسبت عمق بالادست به عمق پایین دست جریان نشان داد که مدل از توانایی خوبی برخوردار می‌باشد. پس از صحت سنجی مدل، مقایسه زوایای اتصال ۴۵، ۹۰ و ۱۳۵ درجه نشان داد که با افزایش زاویه اتصال ابعاد ناحیه جداشدگی افزایش می‌یابد در نتیجه عرض مؤثر عبور جریان در کانال اصلی کمتر می‌شود. این امر باعث بالاتر رفتن سرعت و در نتیجه افزایش حداکثر تنش برشی شد. با افزایش زاویه اتصال اختلاف سطح آب بالادست و پایین دست اتصال افزایش می‌یابد. همواره کمترین عمق جریان در داخل ناحیه جداشدگی جریان مشاهده شد. با افزایش زاویه اتصال خط تقسیم جریان به طرف دیواره مقابل کانال فرعی متمایل می‌شود.

منابع

- ۱- امرایی، م.، گوهری، س. و ع. فلک دین. ۱۳۹۱. بررسی تأثیر زاویه تقاطع کانال‌ها بر الگوی جریان در کانال‌های مستطیلی، یازدهمین کنفرانس هیدرولیک ایران، ارومیه، دانشگاه ارومیه.
- ۲- قبادیان، ر. ۱۳۸۵. بررسی الگوهای جریان و رسوب در محل تلاقی رودخانه‌ها، پایان نامه دکتری سازه‌های آبی، دانشگاه شهید چمران اهواز، دانشکده علوم مهندسی آب.
- ۳- قبادیان، ر. ۱۳۸۷. بررسی تأثیر عدد فرود پایاب بر الگوی جریان‌های ثانویه در یک تلاقی ۶۰ درجه کانال‌های روباز مستطیلی، مجله پژوهش کشاورزی، آب، خاک و گیاه در کشاورزی، ۸ (۱): ۲۲۰-۲۰۹.
- ۴- قبادیان، ر.، شفاعی بجستان، م. و آ. آذری. ۱۳۸۷. بررسی تأثیر زاویه اتصال بر الگوی فرسایش و رسوب گذاری در محل تلاقی رودخانه‌ها با استفاده از مدل فیزیکی، مجله پژوهش کشاورزی، آب، خاک و گیاه در کشاورزی، ۸ (۴): ۱۲۲-۱۰۷.
- ۵- موسوی چهارمی، ح. و ر. گودرزی زاده. ۱۳۹۰. شبیه سازی عددی الگوی جریان سه بعدی در تلاقی کانال‌های روباز، مجله علوم و مهندسی آبیاری، ۳۴ (۲): ۶۱-۷۰.
- 6- 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: 243 – 253.
- 7- Bradbrook, K.F., Biron, P.M., Lane, S.N., Richards, K.S. and A.G. Roy. 2000a. Investigation of controls on secondary circulation in a simple confluence geometry using a three-dimensional numerical model. *Hydrological Processes*, 12: 1371-1396.
- 8- Bradbrook, K.F., Lane, S.N., Richards, K.S., Biron, P.M. and A.G. Roy. 2000b. Numerical simulation of three-dimensional, time-averaged flow structure at river channel confluences. *Water Resources Research*, 39(9): 2731-2746.

- 9- Bradbrook, K.F., Lane, S.N., Richards, K.S., Biron, P.M. and A.G. Roy. 2001. Role of bed discordance at asymmetrical river confluences. *Journal of Hydraulic Engineering*. 127(5): 351-368.
- 10- Gurram, S.K., Karki, K.S. and W.H. Hager. 1997. Subcritical junction flow. *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE*, 123(5): 447 – 455.
- 11- Huang, J., Weber, L. and Y. Lai. 2002. Three- dimensional study of flows in open channel junctions, *Journal of Hydraulic engineering*, 128(3): 268-280.
- 12- Lane, S.N., Bradbrook, K.F., Richards, K.S., Biron, P.M. and A.G. Roy. 1999. The application of computational fluid dynamics to natural river channels: three-dimensional versus two-dimensional approaches. *Geomorphology*, 29(1-2): 1-20.
- 13- Lane, S.N., Bradbrook, K.F., Richards, K.S., Biron, P.M. and A.G. Roy. 2000. Secondary circulation cells in river channel confluences: measurement artefacts or coherent flow structures? *Hydrological Processes* 14(11- 12): 2047-2071.
- 14- Rhoads, B.L. and S.T. Kenworthy. 1995. Flow structure at an asymmetrical stream confluence, *Geomorphology*, 11: 273-293.
- 15- Weber, L.J., Schumate, E.D. and M. Nicola. 2001. Experiments of flows at a 90° open-channel junction, *Journal of hydraulic engineering*, 127(5): 340-350.
- 16- Weerakoon, S.B., Kawahara, Y. and N. Tamia. 1991. Three – dimensional flow structure in channel confluences of rectangular section. *25th International Association for Hydro-Environment Engineering and Research*, pp.373-380.