مطالعه عددی اثر موقعیت آبشکن T شکل بر قدرت جریان ثانویه با استفاده از نرم افزار SSIIM

ولی اله محسنی مهر[۱]، محمد واقفی[۲*] و سید شاکر هاشمی[۳]

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی عمران، دانشگاه خلیج فارس، بوشهر، ایران

۲*- نویسنده مسئول، دانشیار سازه های هیدرولیکی، گروه مهندسی عمران، دانشگاه خلیج فارس بوشهر، ایران vaghefi@pgu.ac.ir

۳- استادیار، گروه مهندسی عمران، دانشگاه خلیج فارس بوشهر، ایران

تاریخ دریافت: ۹۲/۸/۱۲ تاریخ پذیرش: ۹۳/۱۰/۱۵

چکیده

در این مقاله به مطالعه عددی اثر موقعیت قرارگیری آبشکن‌های T شکل مستقر در قوس ۹۰ درجه و با بستر صلب بر الگوی جریان با استفاده از نرم افزار SSIIM پرداخته شده است. کانال مورد مطالعه یک کانال ۹۰ درجه و با شعاع انحنای مرکزی ۲/٤ متر می باشد که یک آبشکن T شکل و با نسبت طول بال به طول جان معادل در موقعیت‌های مختلف از قوس ۹۰ درجه (۳۰، ٤٥، ٦٠ و ۷۵ درجه) از ساحل خارجی آن قرار گرفته است. تفاوت الگوی جریان در مقاطع مختلف و تراز های گوناگون نسبت به کف کانال و همچنین میزان قدرت جریان ثانویه برای موقعیت‌های مختلف قرارگیری آبشکن‌ها مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و سپس با نتایج آزمایشگاهی مقایسه گردیده است. نتایج نشان می دهند که محدوده تغییرات حداکثر قدرت جریان ثانویه در محدوده ۱۵-۱۲ درصد می‌باشد که کمترین و بیشترین درصد قدرت جریان ثانویه به ترتیب مربوط به موقعیت های ۳۰ و ۷۵ درجه می‌باشد.

کلید واژه‌ها: آبشکن T شکل، قدرت جریان ثانویه، ناحیه جدایی جریان ، SSIIM.

Numerical Study of Position of T-Shaped Spur Dike on the Secondary Flow Strength Using SSIIM Software

V. A. Mohsenimehr[1], M. Vaghefi[2*], and S. Sh. Hashemi[3]

1-M.Sc., Civil Engineering Department, Persian Gulf University, Bushehr, Iran.

2-*Associate Professor of Hydraulic Structures, Department of Civil Engineering, Persian Gulf University, Bushehr, Iran.

3-Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Persian Gulf University, Bushehr, Iran.

Received:3 November 2013 Accepted:5 January 2015

Abstract

This paper aims to numerically simulate the effect of T-shaped spur dike position in a 90 degree bend channel on flow pattern with the rigid bed. The numerical model used in this article is SSIIM. Different positions of spur dike equal to 30, 45, 60 and 75 degrees were selected for a T-shaped spur dike with a ratio of length and wing equals to 1, and it was installed at the outer bank of the channel. The channel had a 2.4 m bend curvature radius. Three dimensional velocity components, secondary flow strength and flow patterns for various positions of spur dike were compared at different levels with Vaghefi's experimental results. The result showed that secondary flow strength ranges between 12 to 15 percent in a 90 degree bend. The minimum and maximum percentages of secondary flow were consecutively at 30 and 75 degree positions of the spur dike installed.

KeyWords: T- Shaped spur dike, Separation zone, Secondary flow strength, SSIIM.

مقدمه

استفاده از رودخانه‌ها به عنوان یکی از اصلی‌ترین منابع تأمین آب، از دیرباز مورد توجه انسان‌ها قرار داشته است و از طرفی رودخانه پدیده‌ای فعال می‌باشد که دائماً بستر و کناره‌های خود را دستخوش تغییر قرار داده و همین امر سبب می‌شود که مسیر رودخانه در طول زمان دچار تحولات اساسی شود. علاوه بر این پاره‌ای از فعالیت‌های انسان نظیر بهره برداری از مصالح رودخانه‌ای و همچنین اصلاح مسیر رودخانه‌ها، موجب جابجایی مسیر رودخانه‌ها خواهد شد. ضرورت بهره برداری مستقیم انسان از رودخانه و سرمایه‌های طبیعی و احداثی در دو طرف آن و نیز ضرورت حفاظت پایدار سامانه حیاتی رودخانه برای نسل‌های آینده باعث گردیده تا مسأله کنترل و مهار رودخانه‌ها و تعیین حدود و حریم آن مورد توجه قرار گیرد که یکی از این روش‌های ساماندهی، احداث آبشکن‌های رودخانه‌ای می‌باشد. آبشکن‌ها سازه‌های متقاطع یا عرضی هستند که از ساحل رودخانه به سمت محور جریان توسعه یافته‌اند و موجب انحراف و هدایت جریان از کناره‌ها به سمت محور مرکزی راستای رودخانه می‌گردند (بی نام، ۱۳۸۸). برخی از تحقیقات انجام شده توسط محققین در زمینه الگوی جریان و توپوگرافی بستر به شرح زیر می باشد. واقفی و همکاران (۱۳۸۷) به بررسی اثر موقعیت استقرار آبشکن های T شکل در قوس ۹۰ درجه بر میزان آبشستگی اطراف آن‌ها پرداختند و دریافتند که با تغییر موقعیت آبشکن به سمت پایین‌دست قوس، ابعاد چاله آبشستگی و عمق آبشستگی بیشینه افزایش می‌یابد. واقفی و قدسیان (۱۳۸۹ الف) به صورت آزمایشگاهی الگوی جریان پیرامون آبشکن T شکل در قوس ۹۰ درجه با بستر متحرک مورد مطالعه قرار دادند و نتیجه گرفتند که با پیشروی به سمت پایین‌دست قوس، قدرت جریان ثانویه گردابه دوم (نزدیک به دیواره خارجی) افزایش می‌یابد و در انتهای قوس با غلبه بر جریان ثانویه اصلی، باعث تغییر جهت جریان از ساحل خارجی به سمت ساحل داخلی می‌شود. گیری و همکاران[1] (۲۰۰۴) به بررسی آزمایشگاهی و عددی الگوی جریان حول آبشکن‌های غیر مستغرق پرداخته و با تغییر دادن موقعیت آبشکن‌ها، تاثیر موقعیت بر روی میدان جریان شکل گرفته حول آبشکن را مدنظر قرار دادند. ناگاتا و همکاران (۲۰۰۵) به شبیه‌سازی عددی الگوی جریان سه بعدی پیرامون تک آبشکن با بستر متحرک پرداخت. ایشان ضمن تحلیل ساختار جریان متوسط، ارتباط آن را با نحوه وقوع و توسعه حفره آبشستگی نیز مورد بررسی قراردادند. فرقانی و همکاران (۲۰۰۷) الگوی جریان دوبعدی و آبشستگی پیرامون آبشکن تیغه‌ای مستقر در قوس ۹۰ درجه را مورد بررسی قرار دادند. فضلی و همکاران (۲۰۰۸) به صورت آزمایشگاهی آبشستگی پیرامون آبشکن‌های تیغه‌ای مستقر در موقعیت‌های مختلف قوس ۹۰ درجه را مطالعه نمودند. ناجی ابهری و همکاران (۲۰۱۰) به بررسی آزمایشگاهی و عددی الگوی جریان در قوس ۹۰ درجه روی آوردند و نتیجه گرفتند که خطوط جریان در تراز نزدیک بستر به سمت جداره داخلی و در تراز نزدیک سطح آب به سمت جداره خارجی متمایل می شوند. همچنین محل وقوع حداکثر سرعت طولی در ابتدای قوس، در نیمه داخلی مقطع و سپس به سمت دیواره خارجی کانال جابجا می‌شود. یزدی و همکاران (۲۰۱۰) الگوی جریان پیرامون تک آبشکن در مسیر مستقیم با استفاده از مدل k-ω در نرم‌افزار Fluent را شبیه سازی نمودند. آن‌ها تأثیر پارامترهای طول، زاویه آبشکن و دبی جریان را بر توزیع تنش برشی بستر را بررسی کردند. منصوری و همکاران (۲۰۱۲) با بکارگیری مدل عددی سه بعدی SSIIM برای شبیه سازی الگوی جریان و آبشستگی پیرامون آبشکن‌های مستقر در کانال مستقیم، نتیجه گرفتند که وجود بال آبشکن، پایداری بدنه آبشکن را در برابر فرسایش افزایش می دهد. واقفی و همکاران (۲۰۱۲) آبشستگی اطراف آبشکن T شکل در کانال قوسی را مورد آزمایش قرار دادند. در این مقاله به مطالعه عددی الگوی جریان و پروفیل‌های سه بعدی سرعت پیرامون آبشکن‌های T شکل مستقر در موقعیت‌های مختلف قوس ۹۰ درجه پرداخته شده است. آچاریا و همکاران[2] (۲۰۱۳) به مطالعه عددی سه بعدی الگوی جریان آشفته پیرامون سری آبشکن‌های تیغه ای واقع در مسیر مستقیم با بستر ثابت و متحرک با استفاده از نرم‌افزار Flow-3D پرداختند. آن‌ها از مدل آشفتگی k-ε برای مدل‌سازی استفاده نمودند و نتایج حاصل از مدل‌سازی را با نتایج آزمایشگاهی دوان و همکاران[3] (۲۰۰۹) مقایسه نمودند. کوکن و گوگوس[4] (۲۰۱۵) به مطالعه عددی تاثیر طول آبشکن مستقیم بر تغییرات گردابه‌های نعل اسبی و تنش برشی بستر در مسیر مستقیم پرداختند. آن‌ها مشاهده کردند که با افزایش طول آبشکن تنش برشی بستر افزایش یافته و همچنین بیشینه تنش نیز در بال بالادست آبشکن مشاهده می‌شود.

مواد و روش‌ها

معرفی مدل آزمایشگاهی مورد مطالعه

مدل مورد مطالعه یک کانال قوسی شکل با زاویه ۹۰ درجه و با شعاع خارجی ۲/۴ متر می باشد که از دو قسمت مستقیم به طول ۷/۱ متر در بالادست و ۵/۲ متر در پایین دست قوس، تشکیل شده است. مقطع کانال مستطیلی بوده و دارای عرض ۰/۶ متر بوده و کف آن صلب بوده از رسوباتی با ضخامت ۳۵ سانتی متر پوشیده شده است.

1- Giri *et al.*

2- Acharya *et al.*

3-Duan *et al.*

4- Koken and Gogus

آبشکن‌های مورد استفاده در این تحقیق دارای پلان T شکل، طول جان و بال برابر ۹ سانتی متر، ضخامت ۱ سانتی متر می‌باشند که در موقعیت‌های ۳۰، ۴۵، ۶۰ و ۷۵ درجه جهت الگوی جریان و در ساحل خارجی قوس ۹۰ درجه نصب گردیده اند. شکل (۱) نمایش شماتیکی از کانال مورد مطالعه را نشان می دهد. در انجام آزمایش ها به منظور تعیین سرعت جریان از دستگاه سرعت سنج vectrino استفاده شده است.

نرم افزار SSIIM و معادله های حاکم بر محاسبات میدان جریان

نرم افزار SSIIM[1] برای استفاده در رشته های رودخانه، محیط زیست، هیدرولیک و مهندسی رسوب ساخته شد. مدل عددی SSIIM برای به دست آوردن سرعت جریان آب، معادله های ناویر-استوکس[2] را بر روی یک شبکه سه بعدی غیر متعامد با استفاده از مدل آشفتگی $k-\varepsilon$ حل می کند. معادله ناویر- استوکس برای یک جریان غیر قابل تراکم و با چگالی ثابت به صورت زیر بیان می‌شود:

$$\frac{\partial U_i}{\partial t}+U_j\frac{\partial U_i}{\partial X_j}=\frac{1}{\rho}\frac{\partial}{\partial X_j}(-P\delta_{ij}-\rho\overrightarrow{U_i}\overrightarrow{U_j}) \qquad (۱)$$

در معادله بالا اولین جمله سمت چپ، عبارت گذرا و وابسته به زمان، جمله بعدی، عبارت قابل انتقال، اولین جمله سمت راست، پارامتر مربوط به فشار و آخرین جمله، پارامتر مربوط به تنش های رینولدز می باشد. همچنین این مدل عددی از روش حجم کنترل همراه با الگوریتم قاعده توانی یا الگوریتم مرتبه دوم برای گسسته سازی معادله ها استفاده کرده و برای کوپل فشار و سرعت از روش ساده[3] استفاده کرده و سپس از روش حل ضمنی برای تولید کردن میدان سرعت در هندسه مدل استفاده می کند.

مدل آشفتگی $k-\varepsilon$

مدل آشفتگی k-ε همراه با مفهوم لزوجت گردابی[4] برای مدل کردن جمله تنش های رینولدز مورد استفاده قرار می گیرد:

$$-\mathrm{u_i u_j}=\nu_T\left(\frac{\partial \mathrm{u_j}}{\partial \mathrm{x_i}}+\frac{\partial \mathrm{x_i}}{\partial \mathrm{x_j}}\right)+\frac{3}{2}\mathrm{k}\delta_{\mathrm{ij}} \qquad (۲)$$

که در آن اولین جمله سمت راست معادله، عبارت قابل پخش در معادله ناویر- استوکس می باشد و لزوجت گردابی به صورت زیر محاسبه می شود:

$$\nu_T=c_\mu\frac{k}{\varepsilon^2} \qquad (۳)$$

که در آن c_μ: یک پارامتر ثابت است و مقدار آن به روش آزمایشگاهی به دست می آید و k: انرژی جنبشی آشفتگی می باشد که به صورت زیر تعریف می شود:

$$\mathrm{k}=\frac{1}{2}\vec{\mathrm{u}}_\mathrm{i}\vec{\mathrm{u}}_\mathrm{j} \qquad (۴)$$

K نیز با استفاده از رابطه زیر مدل سازی می شود و به دست می‌آید:

$$\frac{\partial \mathrm{k}}{\partial \mathrm{t}}+\mathrm{u_j}\frac{\partial \mathrm{k}}{\partial \mathrm{x_j}}=\frac{\partial}{\partial \mathrm{x_j}}\left(\frac{\nu_T}{\sigma_k}\frac{\partial \mathrm{k}}{\partial \mathrm{x_j}}\right)+P_k-\varepsilon \qquad (۵)$$

P_k به وسیله رابطه زیر ارائه شده است:

$$P_k=\nu_T\frac{\partial \mathrm{u_j}}{\partial \mathrm{x_i}}\left(\frac{\partial \mathrm{u_j}}{\partial \mathrm{x_i}}+\frac{\partial \mathrm{u_i}}{\partial \mathrm{x_j}}\right) \qquad (۶)$$

ε: اتلاف انرژی جنبشی نامیده می شود و از رابطه زیر به دست می آید:

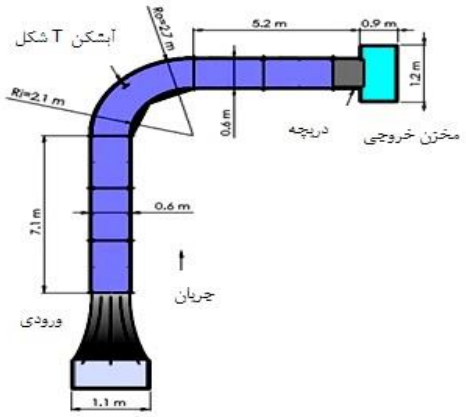
$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial \mathrm{t}}+\mathrm{u_j}\frac{\partial \varepsilon}{\partial \mathrm{x_j}}=\frac{\partial}{\partial \mathrm{x_j}}\left(\frac{\nu_T}{\sigma_k}\frac{\partial \varepsilon}{\partial \mathrm{x_j}}\right)+c_{\varepsilon1}\frac{\varepsilon}{\mathrm{k}}P_k+c_{\varepsilon2}\frac{\varepsilon^2}{\mathrm{k}} \qquad (۷)$$

در رابطه بالا $c_{\varepsilon1}$، $c_{\varepsilon2}$ و σ_k: ثابت های مدل آشفتگی می‌باشند (اولسون[5]، ۲۰۰۴).

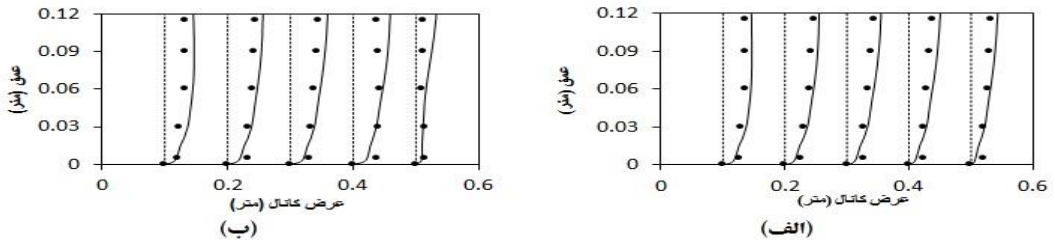
تولید و تنظیم کردن شبکه بندی مدل

با توجه به اینکه برنامه SSIIM قادر به تولید کردن شبکه های پیچیده نیست بنابراین از برنامه متلب[6] جهت ساختن هندسه کانال مورد مطالعه، استفاده شد. همچنین به جهت اینکه الگوی جریان در نزدیکی دیواره‌ها و محدوده آبشکن‌ها از گرادیان و تغییرات بیشتری برخوردار می‌باشد بنابراین شبکه بندی مدل به گونه ای است که با نزدیک شدن به دیواره و همچنین موقعیت آبشکن‌ها از شبکه بندی ریزتری نسبت به قسمت‌های دیگر کانال استفاده شده است.

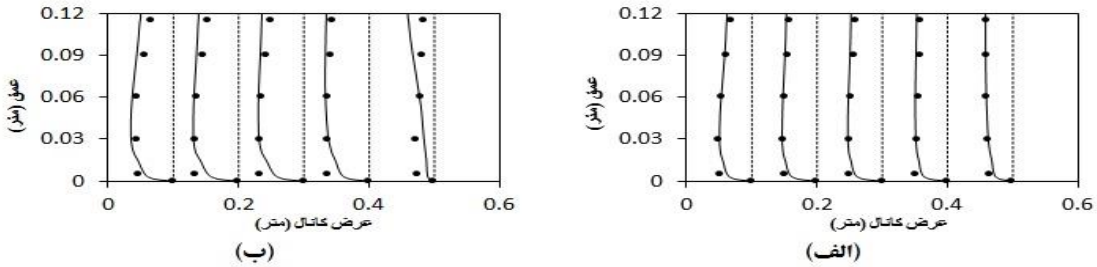
1- Sediment Simulation In Intakes with Multiblock option
2-Navier-Stokes
3- Simple
4- Eddy viscosity
5- Olsen
6- Matlab



شکل ۱- پلان مدل مورد مطالعه (واقفی و همکاران، ۱۳۸۸ الف)



شکل ۲- مقادیر سرعت طولی در مقطع عرضی به فاصله ۱۰۰ درصد طول جان آبشکن در (الف) بالادست و (ب)



شکل ۳- مقادیر سرعت عرضی در مقطع عرضی به فاصله ۱۰۰ درصد طول جان آبشکن در (الف) بالادست و (ب)

نتایج و بحث

مقایسه داده‌های آزمایشگاهی و عددی

در ابتدا به منظور صحت سنجی مدل عددی، نتایج حاصل از شبیه‌سازی عددی با نتایج آزمایشگاهی واقفی و همکاران (۱۳۸۸ ب) مقایسه می‌گردد. شکل های (۲) و (۳) به ترتیب مقادیر مؤلفه های سرعت جریان در راستای طول (x) و عرض (y) کانال (یعنی مؤلفه‌های سرعت در جهت جریان و در جهت عمود بر آن در دستگاه مختصات کارتزین) در مقطع هایی به فاصله یک برابر طول جان آبشکن در بالادست و پایین‌دست آن را نشان می‌دهند.

در واقع شکل های (۲) و (۳)، پروفیل های سرعت در جهت جریان و جهت عمود بر آن را در عرض و عمق نشان می دهند. ملاحظه می‌گردد که شبیه‌سازی عددی از دقت قابل قبولی برخوردار بوده (مقدار خطای کمتر از ۱۵ درصد نسبت به داده‌های آزمایشگاهی) و تقریباً روند تغییرات آن شبیه روند داده‌های آزمایشگاهی می‌باشد.

بررسی اثر موقعیت آبشکن بر مسیر حرکت سرعت حداکثر در ترازهای مختلف

خطوط جریان بر حسب اینکه جریان در چه ترازی نسبت به کف کانال و همچنین در چه مقطع عرضی نسبت به ابتدای قوس ۹۰ درجه بررسی می شوند، دارای جهت‌های متفاوتی نسبت به قوس می‌باشند؛ به طوری که اگر در مقاطع ابتدایی قوس خطوط جریان

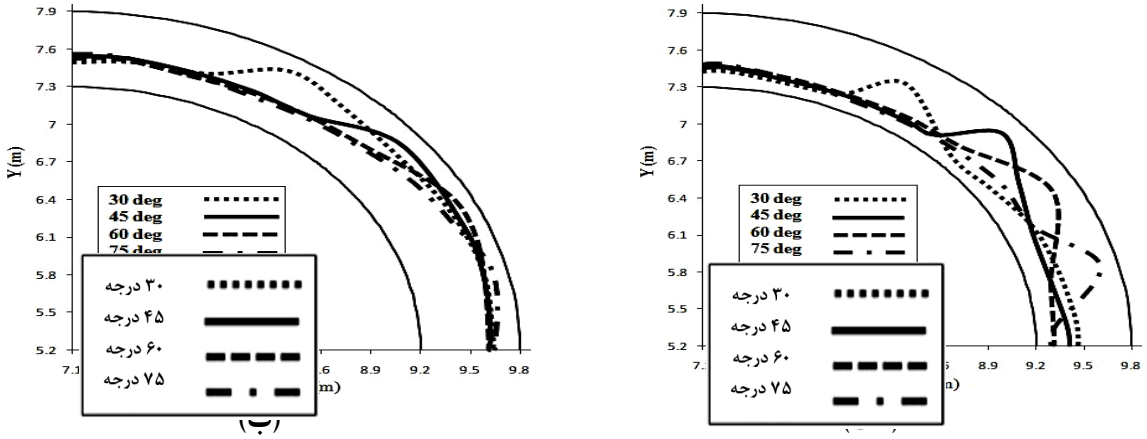
مدنظر باشند، خطوط جریان به سمت قوس داخلی و اگر خطوط جریان در مقاطع واقع در نیمه دوم قوس مدنظر باشند، تمایل بیشتری به حرکت به سمت دیواره خارجی کانال از خود نشان می‌دهد. ضمناً گفته‌های بالا بر حسب اینکه جریان در چه ترازی نسبت به کف قرار داشته باشد نیز دچار تغییرات می‌گردد به طوری که جریان در ترازهای نزدیک بستر کلاً تمایل به حرکت به سمت قوس داخلی دارد و هرچه در ارتفاع بالاتری نسبت به بستر قرار گیرد این تمایل به سمت دیواره خارجی، حرکت می‌کند. همچنین این روند برای قوسی که آبشکن در آن واقع شده است نیز با تغییرات همراه می‌باشد، به طوری که با رسیدن جریان به محل آبشکن، محل سرعت برآیند بیشینه به دماغه آبشکن منتقل می‌گردد.

همان‌گونه که در شکل (۴) که نشان دهنده مسیر سرعت برآیند بیشینه در طول قوس است مشاهده می‌شود که در ابتدای قوس، مسیر حرکت به سمت دیواره خارجی و با رسیدن جریان به موقعیت آبشکن‌ها به دماغه آبشکن منتقل شده و سپس با عبور از محل آبشکن، بر حسب اینکه در چه ترازی جریان برقرار می‌باشد به سمت دیواره داخلی یا خارجی متمایل می‌شود که این روند با مقایسه شکل های (۴-الف) و (۴-ب) به خوبی قابل درک می‌باشد.

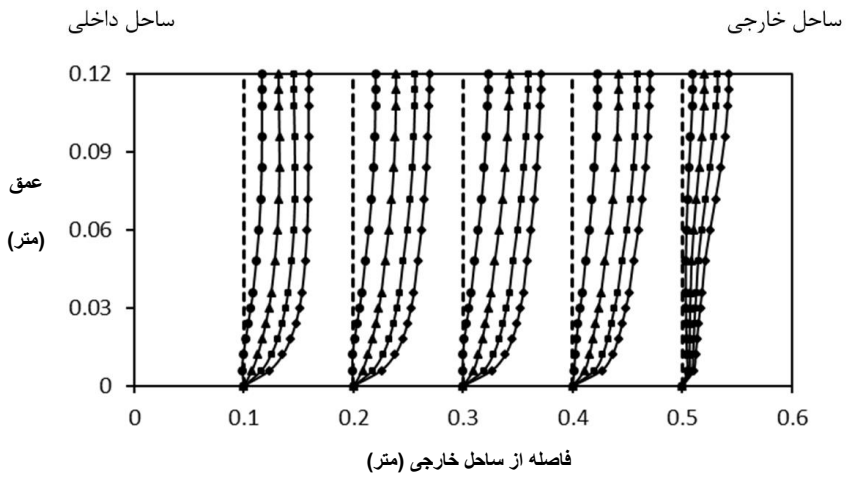
روند تغییرات سرعت در مقاطع عرضی تحت تأثیر موقعیت آبشکن

مقایسه‌ی بین مقادیر سرعت در مقاطع عرضی به ازای تغییر موقعیت آبشکن برای یک مقطع عرضی که به فاصله یکسانی از آبشکن‌ها قرار دارد، بیانگر این است که مؤلفه طولی سرعت (مولفه سرعت در جهت جریان) برای آبشکن مستقر در زاویه ۳۰ درجه نسبت به مؤلفه طولی سرعت برای استقرار آبشکن در سایر موقعیت‌ها دارای بیشترین مقدار می‌باشد و هرچه محل استقرار آبشکن به خروجی قوس نزدیک تر باشد (موقعیت ۷۵ درجه)، اندازه مؤلفه طولی سرعت مربوط به آن آبشکن نسبت به آبشکن‌هایی که به ورودی قوس نزدیک تر می‌باشند (موقعیت ۳۰ درجه) کمتر می‌شود. بنابراین آبشکنی که در زاویه ۷۵ درجه قوس مستقر شده است نسبت به سایر آبشکن‌ها، در یک مقطع به فاصله یکسان نسبت به موقعیت آبشکن، دارای مقدار مؤلفه طولی سرعت کمتری است.

به عنوان نمونه در شکل (۵) اندازه سرعت طولی در مقطع عرضی به فاصله دو برابر طول جان در پایین‌دست آبشکن و برای موقعیت‌های مختلف استقرار آبشکن در قوس نشان داده شده است. همان طور که ملاحظه می‌شود، مؤلفه طولی سرعت مربوط به استقرار آبشکن در زاویه ۷۵ درجه، کمترین مقدار را دارد و هرچه موقعیت استقرار آبشکن به سمت ابتدای قوس منتقل می‌شود (موقعیت ۳۰ درجه) مقادیر سرعت مربوط به آن، هم افزایش می‌یابد ولی برای مؤلفه عرضی سرعت روند بر خلاف رویه مربوط به مؤلفه طولی سرعت می‌باشد یعنی هرچه موقعیت استقرار آبشکن به خروجی قوس نزدیک تر باشد (موقعیت ۷۵ درجه)، دارای سرعت عرضی بیشتری نسبت به سایر آبشکن‌ها می‌باشد که در شکل (۶) که نشان‌دهنده مقادیر مؤلفه عرضی سرعت برای موقعیت‌های مختلف استقرار آبشکن می‌باشد، به خوبی قابل مشاهده است.

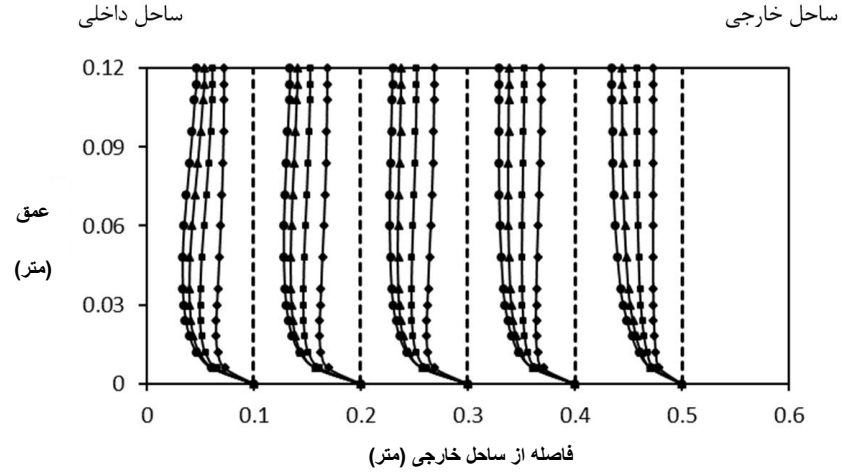


شکل ٤- مکان هندسی سرعت برآیند بیشینه در طول قوس ۹۰ درجه و برای موقعیت‌های مختلف قرارگیری آبشکن و در تراز (الف) ۱۰ و (ب) ۹۰ درصد عمق جریان نسبت به کف کانال



شکل ٥- مؤلفه طولی سرعت در مقطع عرضی به فاصله دو برابر طول جان آبشکن و در پایین‌دست آن و برای موقعیت‌های مختلف استقرار آبشکن در قوس ۹۰ درجه

۳۰ cm/s ۷۵ درجه ٦۰ درجه ٤٥ درجه ۳۰ درجه



شکل ٦- مؤلفه عرضی سرعت در مقطع عرضی به فاصله دو برابر طول جان آبشکن و در بالادست آن و برای موقعیت‌های مختلف استقرار آبشکن در قوس ۹۰ درجه

۲٥ cm/s ۷٥ درجه ٦۰ درجه ٤٥ درجه ۳۰ درجه

تأثیر تغییر موقعیت آبشکن بر قدرت جریان ثانویه

در قوس‌های رودخانه‌ای در اثر نیروی گریز از مرکز و اندرکنش آن با گرادیان‌های جانبی فشار ناشی از شیب جانبی سطح آب، جریانی موسوم به جریان ثانویه تشکیل می‌شود که در اثر این جریان، ذرات آب در لایه های بالایی عمق رودخانه به سمت خارج رانده می‌شود و در لایه های پایین عمق به سمت قوس داخلی حرکت می‌کنند. شکری[1] (۱۹۵۰) با بررسی جریان در مسیرهای قوسی ضمن تشریح مکانیسم جریان ثانویه، جهت بحث کمی بر روی این پدیده، معیار زیر را برای قدرت جریان ثانویه معرفی کرده است:

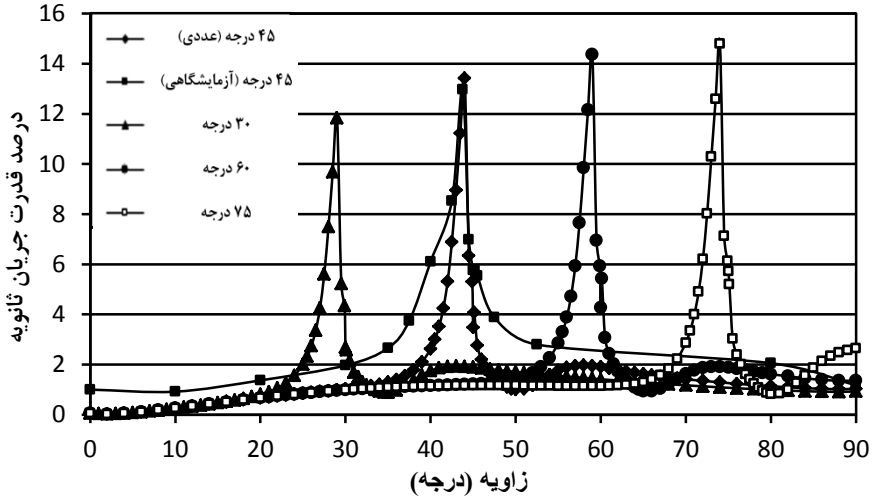
1. Shukry

$$S_{xy} = \frac{K_{lateral}}{K_{main}} \quad (۸)$$

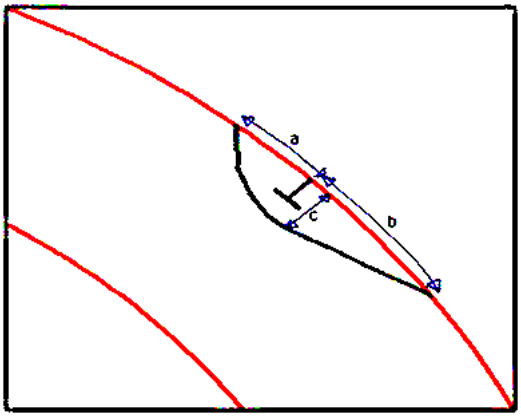
این معیار در یک مقطع عرضی معین عبارت است از نسبت انرژی جنبشی جریان جانبی به انرژی جنبشی جریان اصلی. در معادله فوق، S_{xy}: بیانگر قدرت جریان ثانویه، $K_{lateral}$ و K_{main}: به ترتیب نشان‌دهنده انرژی جنبشی جریان جانبی و انرژی جنبشی جریان اصلی می‌باشند. قدرت جریان ثانویه بیانگر تمایل جریان برای انحراف به سمت ساحل خارجی در مسیرهای قوسی می‌باشد. شکل (۷) نشان‌دهنده قدرت جریان ثانویه در مقاطع مختلف و برای موقعیت‌های گوناگون قرارگیری آبشکن در قوس ۹۰ درجه است. ملاحظه می‌شود که در تمامی حالت ها، جریان ثانویه در موقعیت آبشکن بیشترین مقدار را داشته و از ابتدای قوس تا محل آبشکن تغییرات قدرت جریان ثانویه به صورت صعودی و در پایین دست آبشکن به صورت نزولی است و بیشترین تغییرات قدرت جریان ثانویه با در نظر گرفتن یک موقعیت ثابت برای آبشکن از مقطع به فاصله دو برابر طول جان آبشکن و در بالادست آن شروع می‌شود تا اینکه در محل آبشکن به مقدار حداکثر خود رسیده و سپس تا مقطع به فاصله دو برابر طول جان آبشکن و در پایین‌دست با تغییرات شدیدی نزول می‌کند. همین طور با مقایسه قدرت جریان ثانویه برای موقعیت‌های مختلف استقرار آبشکن، مشاهده می شود که هرچه موقعیت استقرار آبشکن به سمت خروجی قوس حرکت کند مقدار حداکثر قدرت جریان ثانویه، افزایش می‌یابد و محدوده تغییرات حداکثر قدرت جریان ثانویه در محدوده ۱۵-۱۲ درصد می‌باشد که کمترین و بیشترین درصد قدرت جریان ثانویه به ترتیب مربوط به موقعیت ۳۰ و ۷۵ درجه می‌باشد. قدرت همچنین از مقایسه داده‌های عددی با داده‌های آزمایشگاهی واقفی و قدسیان (۱۳۸۹ ب) مشاهده می‌شود که حداکثر قدرت جریان ثانویه و همچنین موقعیت آن دقیقاً با هم منطبق بوده و نیز روند تغییرات قدرت جریان ثانویه در آنها به هم نزدیک و از دقت قابل قبولی برخوردار می‌باشد.

تأثیر موقعیت استقرار آبشکن بر روند تغییرات ناحیه جدایی جریان

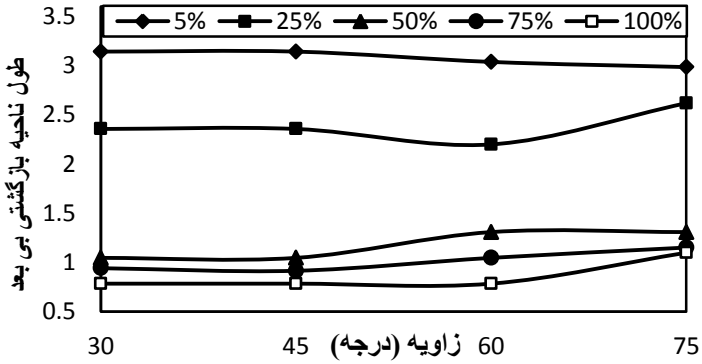
شکل (۸) نمایش شماتیک ناحیه بازگشتی را نشان می دهد که در این شکل a: طول ناحیه بازگشتی، b: طول ناحیه اتصال مجدد و c: عرض ناحیه جداشدگی می باشد. شکل (۹) تغییرات طول ناحیه بازگشتی (a) و بی بعد شده با طول جان آبشکن در مقابل موقعیت‌های مختلف استقرار آبشکن را نشان می‌دهد. همان طور که در این شکل مشاهده می‌شود، با افزایش تراز نسبت به بستر، طول ناحیه بازگشتی کاهش یافته و از طرفی با افزایش زاویه موقعیت استقرار آبشکن در قوس، طول ناحیه جداشدگی جریان نیز تقریباً افزایش می‌یابد. همچنین مشاهده می‌گردد که در ترازهای نزدیک بستر، مقدار طول ناحیه بازگشتی از تغییرات زیادی برخوردار است در صورتی که در ترازهای نزدیک سطح آب، مقدار تغییرات این پارامتر از گرادیان کمتری برخوردار است. همچنین در این شکل ملاحظه می‌گردد که با افزایش تراز نسبت به بستر و افزایش زاویه استقرار آبشکن از ۳۰ به ۷۵ درجه، محدوده تغییرات طول ناحیه بازگشتی جریان بین ۳/۲-۰/۹ برابر طول جان آبشکن می‌باشد.



شکل ۷- درصد قدرت جریان ثانویه برای حالت‌های مختلف استقرار آبشکن در موقعیت‌های مختلف قوس ۹۰ درجه



شکل ۸- نمایش شماتیک ناحیه بازگشتی



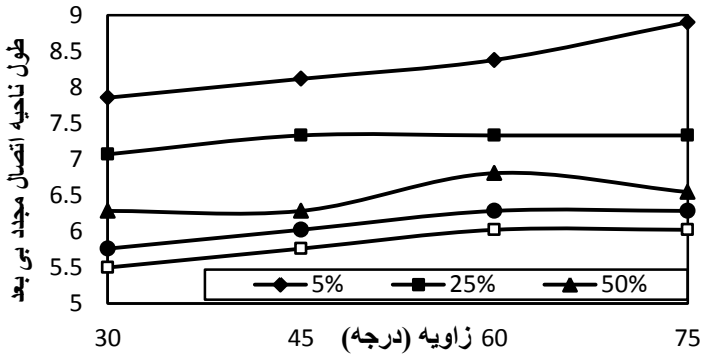
شکل ۹- تغییرات طول ناحیه بازگشتی (a) و بی بعد شده با طول جان آبشکن (L) در مقابل موقعیت‌های مختلف استقرار آبشکن در قوس (θ)

شکل (۱۰) تغییرات طول ناحیه اتصال مجدد (b) و بی بعد شده با طول جان آبشکن (L) را در مقابل موقعیت‌های مختلف استقرار آبشکن (θ) نشان می‌دهد. در این شکل مشاهده می گردد که به ازای یک موقعیت ثابت برای استقرار آبشکن، با افزایش تراز نسبت به بستر کانال، طول ناحیه اتصال مجدد جریان کاهش می‌یابد و تغییرات طول ناحیه اتصال مجدد در ترازهای نزدیک بستر از گرادیان شدیدتری نسبت به ترازهای نزدیک سطح آزاد برخوردار است. همچنین ملاحظه می‌گردد که با انتقال موقعیت استقرار آبشکن به سمت خروجی قوس و یا افزایش (θ)، مقدار طول ناحیه اتصال مجدد نیز افزایش پیدا می‌کند و محدوده تغییرات طول ناحیه اتصال مجدد با تغییر موقعیت آبشکن از زاویه ۳۰ به موقعیت ۷۵ درجه، در بازه ۸/۹-۵/۵ برابر طول جان آبشکن می‌باشد.

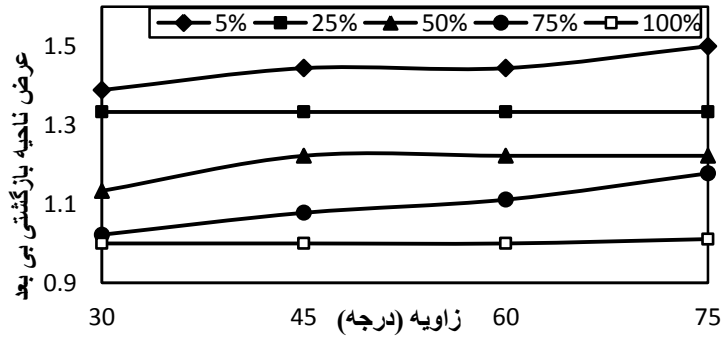
شکل (۱۱) تغییرات عرض ناحیه بازگشتی جریان (c) و بی بعد شده با طول جان آبشکن (L) را در مقابل موقعیت‌های مختلف استقرار آبشکن (θ) نشان می‌دهد. در این شکل مشاهده می گردد که به ازای یک موقعیت ثابت برای استقرار آبشکن، با افزایش تراز نسبت به بستر کانال، عرض ناحیه بازگشتی جریان کاهش می‌یابد. همچنین ملاحظه می‌گردد که با انتقال موقعیت استقرار آبشکن به سمت خروجی قوس و یا افزایش (θ)، مقدار عرض ناحیه بازگشتی جریان نیز افزایش پیدا می‌کند و محدوده تغییرات عرض ناحیه بازگشتی جریان با تغییر موقعیت آبشکن از زاویه ۳۰ به موقعیت ۷۵ درجه، در بازه ۱/۵-۱ برابر طول جان آبشکن می‌باشد.

مقایسه نتایج آزمایشگاهی با نتایج عددی در پلان کانال

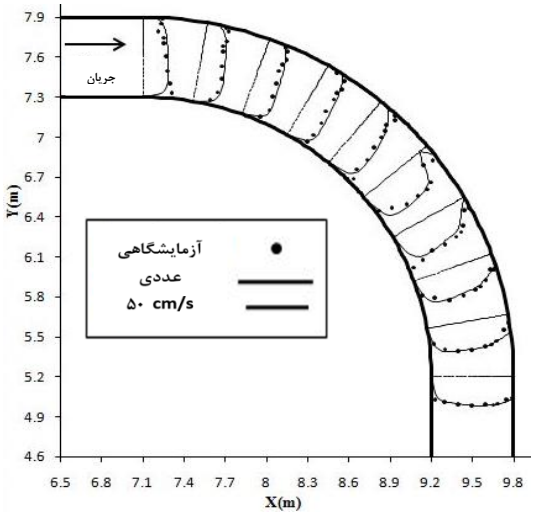
در شکل (۱۲) نیز پروفیل سرعت برآیند در مقاطع مختلف قوس ۹۰ درجه برای داده‌های به دست آمده از مدل عددی و همچنین داده‌های آزمایشگاهی واقفی و همکاران (۱۳۸۸ ب) رسم شده است و ملاحظه می‌گردد که این داده‌ها از تطابق خوبی باهم برخوردار هستند.



شکل ۱۰- تغییرات طول ناحیه اتصال مجدد (b) و بی بعد شده با طول جان آبشکن (L) در مقابل موقعیت‌های مختلف استقرار آبشکن در قوس (θ)



شکل ۱۱- تغییرات عرض ناحیه بازگشتی جریان (c) و بی بعد شده با طول جان آبشکن (L) در مقابل موقعیت‌های مختلف استقرار آبشکن در قوس (θ)



شکل ۱۲- پروفیل سرعت برآیند در مقاطع مختلف قوس برای داده‌های عددی و آزمایشگاهی در تراز ۲۵ درصد عمق جریان نسبت به بستر

نتیجه‌گیری

– نتایج حاصل از مدل‌سازی از تطابق بالایی نسبت به داده‌های آزمایشگاهی واقفی و همکاران (۱۳۸۸ ب) برخوردار هستند.

– در ابتدای قوس، مسیر حرکت سرعت حداکثر به سمت دیواره خارجی و با رسیدن جریان به موقعیت آبشکن‌ها به دماغه آبشکن منتقل شده و سپس با عبور از محل آبشکن، بر حسب اینکه جریان در چه ترازی نسبت به بستر برقرار می‌باشد به سمت دیواره داخلی یا خارجی متمایل می‌شود.

– برای یک مقطع عرضی که به فاصله یکسانی از آبشکن‌ها قرار دارد، مؤلفه طولی سرعت (مؤلفه سرعت در جهت جریان) برای آبشکن مستقر در زاویه ۳۰ درجه نسبت به مؤلفه طولی سرعت برای استقرار آبشکن در سایر موقعیت‌ها دارای بیشترین مقدار می‌باشد.

– برای یک مقطع عرضی که به فاصله یکسانی از آبشکن‌ها قرار دارد، مؤلفه عرضی سرعت (مؤلفه سرعت در جهت عمود بر جریان) برای آبشکن مستقر در زاویه ۷۵ درجه نسبت به مؤلفه عرضی سرعت برای استقرار آبشکن در سایر موقعیت‌ها دارای بیشترین مقدار می‌باشد.

– هرچه موقعیت استقرار آبشکن به سمت خروجی قوس حرکت کند مقدار قدرت جریان ثانویه، افزایش می‌یابد.

– محدوده تغییرات حداکثر قدرت جریان ثانویه در محدوده ۱۵–۱۲ درصد می‌باشد که کمترین و بیشترین درصد قدرت جریان ثانویه به ترتیب مربوط به موقعیت ۳۰ و ۷۵ درجه می‌باشد.

– با افزایش زاویه استقرار آبشکن از ۳۰ به ۷۵ درجه، محدوده تغییرات طول ناحیه بازگشتی جریان بین ۳/۲–۰/۹ برابر طول جان آبشکن می‌باشد.

– محدوده تغییرات طول ناحیه اتصال مجدد با تغییر موقعیت آبشکن از زاویه ۳۰ به موقعیت ۷۵ درجه، در بازه ۸/۹–۵/۵ برابر طول جان آبشکن می‌باشد.

– محدوده تغییرات عرض ناحیه بازگشتی جریان با تغییر موقعیت آبشکن از زاویه ۳۰ به موقعیت ۷۵ درجه، در بازه ۱/۵–۱ برابر طول جان‌آبشکن‌می‌باشد.

منابع

۱– بی نام. ۱۳۸۸. راهنمای طراحی، ساخت و نگهداری آبشکن‌های رودخانه‌ای. نشریه شماره ۵۱۶، ۲۴۷–۲۴۹.

۲– واقفی، م.، قدسیان، م. و س. ع. ا. صالحی نیشابوری. ۱۳۸۷. بررسی اثر موقعیت استقرار آبشکن های T شکل در قوس ۹۰ درجه بر میزان آبشستگی اطراف آن‌ها. هفتمین کنفرانس هیدرولیک ایران، دانشگاه صنعت آب و برق (شهید عباسپور).

۳– واقفی، م.، قدسیان، م. و س. ع. ا. صالحی نیشابوری. ۱۳۸۸ الف. بررسی آزمایشگاهی اثرشعاع انحنا و موقعیت استقرار آبشکن های T شکل در قوس ۹۰ درجه بر میزان آبشستگی اطراف آنها. مجله علمی و پژوهشی هیدرولیک ایران، ۴ (۱): ۱۰۷–۹۱.

۴– واقفی، م.، قدسیان، م. و س. ع. ا. صالحی نیشابوری. ۱۳۸۸ ب. مطالعه آزمایشگاهی االگوی جریان سه بعدی پیرامون آبشکن T شکل مستقر در قوس ۹۰ درجه. مجله پژوهش های حفاظت آب و خاک، ۱۶ (۲): ۱۲۹–۱۰۵.

۵– واقفی، م. و م. قدسیان. ۱۳۸۹ الف. مطالعه آزمایشگاهی الگوی جریان پیرامون آبشکن T شکل در قوس ۹۰ درجه با بستر متحرک. نشریه مهندسی عمران و نقشه برداری دانشکده فنی، ۴۴ (۲): ۲۷۶–۲۶۵.

۶– واقفی، م. و م. قدسیان. ۱۳۸۹ ب. مطالعه آزمایشگاهی قدرت جریان ثانویه و مقدار ورتیسیتی در قوس ۹۰ درجه با آبشکن T شکل منفرد. نشریه مهندسی عمران دانشگاه فردوسی مشهد، ۲۱ (۲): ۱۲۸–۱۱۱.

7- Acharya, A., Acharya, A. and J. G. Duan. 2011. Three dimensional simulation of flow field around series of spur dikes. International Refereed Journal of Engineering and Science, 2(7): 36-57.

8-Duan, J. G., He, L., Fu, X. and Q. Wang. 2009. Mean flow and turbulence around experimental spur dike. Advances in Water Resources, 32(12): 1717-1725.

9-Fazli, M., Ghodsian, M. and S. A. A. Salehi. 2008. Scour and flow field around a spur dike in a 90° bend. International Journal of Sediment Research, 23(1): 56-68.

10-Forghani, M., Fazli, M. and M. Ghodsian. 2007. Experimental study on flow field and scouring around a spur dike in ninety degree bend. 32 nd Congress of IAHR, Venice, Italy.

11-Giri, S., Shimizu, Y. and B. Surajata. 2004. Laboratory measurement and numerical simulation of flow and turbulence in a meandering-like flume with spurs. Flow Measurement and Instrumentation, 15: 301-309.

12-Koken, M. and M. Gogus, M. 2015. Effect of spur dike length on the horseshoe vortex system and the bed shear stress distribution. Journal of Hydraulic Research, 53(2): 196-206.

13-Mansoori, A. R., Nakagawa, H., Kawaike, K., Zhang, H. and A. Safazade. 2012. Study of the characteristics of the flow around a sequence of non-typically shaped spur dikes installed in a fluvial channel. Annuals of Disas. Prev. Res. Inst. Kyoto Univ, 55 B: 453-458.

14-Nagata, N., Hosda, T. and T. Nakato. 2005. Three-dimensional numerical model for flow and bed deformation around river hydraulic structures. Journal of Hydraulic Engineering, 131(12): 1074-1087.

15-Naji Abhari, M., Ghodsian, M., Vaghefi, M. and N. Panahpur. 2010. Experimental and numerical simulation of flow in 90° bend. Flow measurement and Instrumentation, 21: 292-298.

16- Olsen, N. R. B. 2004. A three dimensional numerical model for simulation movement in water intakes with multiblock option. Department of hydraulic and Environmental Engineering, The Norwegian University of Science and Technology.

17-Shukry, A. 1950. Flow around bends in an open flume. Transactions of the American Society of Civil Engineers, 115(1): 751-779.

18-Vaghefi, M., Ghodsian, M. and S. A. A. Salehi. 2012. Experimental study on scour around a T-Shaped spur dike in a channel bend. Journal of Hydraulic Engineering, 138(5): 471-474.

19-Yazdi, J., Sarkardeh, H., Azamathulla, H. M. and A. A. Ghani. 2010. 3D simulation of flow around a single spur dike with free-surface flow. International Journal of River Basin Management, 8(1): 55-62.