

مطالعه عددی تأثیر موقعیت و زاویه آبگیری بر الگوی جریان در کانال قوسی با استفاده از نرم افزار SSIIM2

حسین منتصری^۱، حسین آسیائی^۲

۱- استادیار گروه عمران دانشگاه یاسوج

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد عمران دانشگاه یاسوج

hmontaseri@gmail.com

تاریخ پذیرش: [۱۳۹۴/۶/۱۴]

تاریخ دریافت: [۱۳۹۳/۱۱/۹]

چکیده - آبگیر جانبی همراه با کانال انحرافی یکی از روش های آبگیری از رودخانه است. با توجه به اینکه بیشتر رودخانه های در طبیعت به حالت مئاندری است بنابراین تعیین موقعیت و زاویه آبگیری از اهمیت زیادی برخوردار است. در این مقاله با شبیه سازی عددی میدان جریان در اطراف آبگیر در یک قوس ۱۸۰ درجه با استفاده از مدل عددی SSIIM2 در چهار موقعیت ۴۵، ۹۰، ۱۱۵ و ۱۳۵ درجه با چهار زاویه آبگیری ۳۰، ۴۵، ۶۰ و ۹۰ درجه به بررسی ابعاد صفحه تقسیم جریان و ابعاد ناحیه جداشدگی در کانال فرعی و اصلی پرداخته شده است. بدین منظور ابتدا مدل SSIIM2 نسبت به مدل های آشفتگی k-ε استاندارد و RNG حساسیت سنجی شده و نتایج با نتایج آزمایشگاهی منتصری و همکاران (۱۳۸۷) درستی آزمایی شده است. نتایج حاصل نشان می دهد در همه موقعیت ها، زاویه آبگیری ۹۰ درجه دارای بیشترین ابعاد نواحی جداشدگی، بیشترین عرض صفحه تقسیم جریان در تراز بستر و کمترین عرض صفحه تقسیم جریان در تراز نزدیک سطح را دارد و در عوض زاویه آبگیری ۳۰ درجه دارای کمترین ابعاد نواحی جداشدگی جریان و کوچکترین عرض صفحه تقسیم جریان در تراز بستر و بیشترین عرض صفحه تقسیم جریان در تراز سطح را دارد. همچنین در موقعیت ۱۳۵ درجه، در تمام زوایای آبگیری، عرض صفحه تقسیم جریان در سطح بیشترین مقدار و در کف کمترین مقدار را دارد.

کلمات کلیدی: آبگیر جانبی، صفحه تقسیم جریان، ناحیه جداشدگی، کانال قوسی

۱- مقدمه

باید در دیواره خارجی قوس به دنبال تعیین موقعیت مناسب آبگیری بود. در شکل (۱) جریان ثانویه دیگری در نزدیک دیواره خارجی نیز وجود دارد. اگرچه این جریان ثانویه از قدرت چرخشی کمتری برخوردار است اما عامل مهمی در فرسایش دیواره خارجی دارد.

شکل ۱: جریان ثانویه در کانال خمیده [۱]

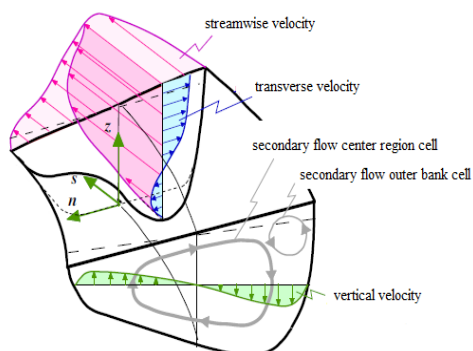


Fig. 1. Secondary flow in curve channel

اساس طراحی آبگیرهای جانبی افزایش راندمان آبگیری است، به شکلی که ضمن جلوگیری از ورود و تجمع رسوبات به دهانه ورودی کانال انحرافی موجب تسهیل انتقال آب به داخل آبگیر شود. برای دست یافتن به این هدف شناخت الگوی جریان در کانال های قوسی امری مهم و ضروری است. با توجه به شکل شماتیک (۱) جریان در یک کانال قوسی علاوه بر جهت غالب که همان جهت اصلی نامیده می شود، در جهت های دیگر نیز وجود دارد. این جریان ها که در داخل مقاطع عرضی رخ می دهند به جریان ثانویه موسوم است. جریان ثانویه علاوه بر نقش مهمی که در ایجاد الگوی سه بعدی جریان در کانال خمیده دارد عامل موثری در زمینه انتقال رسوب و تغییر شکل رودخانه است. جهت این جریان ثانویه در نزدیک کف به سمت دیواره داخلی است. بنابراین

رسوبات مجاور کف به داخل آبرگیر منتقل شدند، جریان ثانویه رسوبات را به داخل منطقه با چرخش کم (ناحیه A)، یعنی جایی که جریان از دیواره بالادست آبرگیر جدا شده هدایت می‌کند. رسوبات با وجود سرعت‌های کم نمی‌توانند از منطقه جداشدگی منتقل شوند، در نتیجه امکان ته‌نشینی رسوبات و انسداد مسیر جریان به وجود می‌آید [2]. هرچه ابعاد ناحیه جداشدگی درون آبرگیر بیشتر باشد، میزان آبرگیری کمتر و تله اندازی رسوبات بیشتر خواهد بود.

نظریه خارج ساختن بار بستر در خم رودخانه اولین بار به وسیله سرکلود اینگلز (۱۹۴۹) هنگام ساخت سد انحرافی ساکر در سد پاکستان مطالعه شد [3]. بلانچیت در سال (۱۹۷۵) بر اساس ۱۴ سال پژوهش روی ۱۱ آبرگیر، بهترین محل را درست در پایین دست طرف مقعر خم رودخانه پیشنهاد کرد [4]. موقعیت مناسب استقرار آبرگیر در سال ۱۹۸۹ به وسیله رضوان در سه چهارم زاویه مرکزی قوس پیشنهاد شده است [5]. موقعیت مناسب قوس به روش ترسیمی به وسیله رادکیوی در سال ۱۹۹۳ ارائه شده است، این محل به اندازه دو برابر عرض رودخانه پایین‌تر از محل تلاقی خط وسط جریان با ساحل خارجی تخمین زده شده است [6]. اثر زاویه انحراف اولین بار به وسیله مهندسین مصری به عنوان فاکتور مؤثر برای کاهش ورود رسوبات به داخل کانال انحرافی معرفی شد. ونونی (۱۹۷۷) زاویه انحراف ۳۰ تا ۴۵ درجه را توصیه کرده ولی انتخاب بهترین زاویه آبرگیری را استفاده از مدل فیزیکی دانسته است [7]. نوک و همکاران (۱۹۹۰) بدترین زاویه را ۹۰ درجه دانسته و انتخاب زاویه ۳۰ تا ۴۵ را برای ایجاد جریان منحنی‌وار به درون آبرگیر و جلوگیری از ورود رسوبات پیشنهاد کرده است [8]. بلانکارت و گراف (۲۰۰۱) به بررسی الگوی جریان و فرسایش در یک خم ۱۲۰ درجه که آبرگیر جانبی در موقعیت ۶۰ درجه قوس قرار داشت، پرداختند. نتایج ایشان نشان می‌دهد که دو حفره فرسایشی در این خم ایجاد می‌شود که حفره عمیق‌تر، در ناحیه راس قوس به بعد، به وقوع پیوسته است [9]. در داخل کشور نیز پژوهش‌های متعددی روی محل قرارگیری آبرگیر در قوس و زاویه آبرگیر و همچنین الگوی جریان در آبرگیری از

وضعیت شماتیک جریان در یک آبرگیر که با زاویه ۹۰ درجه در یک مسیر مستقیم نصب شده است، به وسیله نیری و همکاران (۱۹۹۹) در شکل (۲) ارائه شده است.

شکل ۲ الگوی جریان در یک انشعاب از مسیر مستقیم [۲]

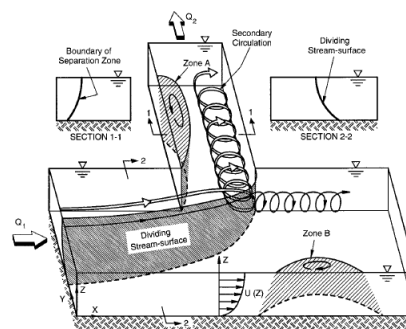


Fig. 2. Flow Patterns in Lateral Intake

همان‌گونه که در این شکل مشاهده می‌شود میدان جریان در اطراف آبرگیرهای جانبی کاملاً سه بعدی و پیچیده است. با نزدیک شدن جریان به آبرگیر به خاطر فشار مکشی اعمالی از طرف کانال جانبی، جریان در جهت عرضی شتاب گرفته و به دو قسمت تقسیم می‌شود. قسمتی وارد آبرگیر شده و مابقی در کانال اصلی پایین دست جریان می‌یابد. قسمتی که وارد کانال انشعاب می‌شود، به وسیله صفحه برشی خمیده‌ای معین می‌شود که به صفحه تقسیم کننده جریان معروف است. همان‌گونه که مشخص است عرض صفحه تقسیم جریان در کف بیشتر از سطح است. هرچه سهم جریان ورودی به آبرگیر از لایه‌های پر رسوب نزدیک بستر بیشتر باشد، امکان ورود بیشتر رسوبات به آبرگیر افزایش می‌یابد. جریانی که وارد آبرگیر می‌شود، دارای مومنتم شدیدی در جهت کانال اصلی بوده و به همین علت داخل آبرگیر، جدایی جریان اتفاق می‌افتد (ناحیه A در شکل ۲). به خاطر وجود گرادیان فشار جانبی، تنش برشی بستر و نیروی جانب مرکز ناشی از انحنای خطوط جریان، جریان ورودی به آبرگیر دچار عدم تعادل شده و همین پدیده باعث ایجاد جریان ثانویه‌ای در طول آبرگیر می‌شود که سازوکار تشکیل آن شبیه سازوکار تشکیل جریان حلزونی در قوس‌ها است، به شکلی که صفحه برشی مزبور به عنوان دیواره بیرونی عمل کرده و ناحیه قوسی شکل ایجاد شده به وسیله قسمت چرخشی داخل آبرگیر (ناحیه A در شکل ۲)، دیواره داخلی قوس مزبور را تشکیل می‌دهد. پس از آنکه

قوس خارجی شکل می‌گیرد که جریان چرخشی بعد از آبگیری از ساحل خارجی به سمت قسمت فوقانی ساحل داخلی تغییر مکان می‌دهد. همچنین نشان دادند ابعاد لوله‌ی جریان در سطح، بیشتر از کف است [۱۵]. رستم‌آبادی (۱۳۸۸) به شبیه‌سازی عددی تاثیر پارامترهای هیدرولیکی بر الگوی جریان در آبگیری جانبی از کانال‌های قوسی پرداخت [۱۶].

تعیین تفاوت‌های الگوی جریان، ابعاد صفحه تقسیم و نواحی جداشدگی در آبگیری از کانال قوسی ۱۸۰ درجه در موقعیت‌های متفاوت آبگیر و زوایای آبگیری هدف اصلی ما در این پژوهش است. برای این منظور از مدل عددی SSIIM 2 استفاده شده است. بدین منظور در ابتدا به شبیه‌سازی الگوی جریان در کانال قوسی ۱۸۰ درجه با آبگیر جانبی در موقعیت ۱۱۵ درجه با زاویه آبگیری ۴۵ درجه پرداخته شده و نتایج حاصل از مدل با داده‌های آزمایشگاهی منتصری و همکاران (۱۳۸۷) درستی‌آزمایی شده است [۱۵]. در ادامه برای بررسی اثر موقعیت و زاویه آبگیری بر الگوی جریان، موقعیت آبگیر در مقاطع ۴۵، ۹۰، ۱۱۵ و ۱۳۵ درجه از قوس با زوایای آبگیری ۳۰، ۴۵، ۶۰ و ۹۰ درجه شبیه‌سازی شده است.

۲- مدل آزمایشگاهی

مدل آزمایشگاهی مربوط به پژوهش منتصری و همکاران (۲۰۰۸) که نتایج آن برای کالیبراسیون مدل عددی استفاده شده، عبارت است از یک کانال قوسی با زاویه مرکزی ۱۸۰ درجه، شعاع متوسط ۲/۶ متر و با عرض ۰/۶ متر که در قسمت بالادست قوس یک کانال مستقیم به طول ۷/۲ متر و در پایین دست قوس، کانال مستقیمی به طول ۵/۲ متر وجود دارد. کف کانال از جنس شیشه و دیواره‌های آن از جنس پلکسی گلاس بوده است. با توجه به شکل (۳)، کانال آبگیر تحت زاویه $\theta=115^\circ$ نسبت به صفحه ورودی قوس قرار داشته و زاویه آبگیر نسبت به خط مماس، برابر با $\phi=45^\circ$ است. عرض و طول کانال آبگیر به ترتیب ۲۵ سانتی‌متر و ۲/۵ متر است (شکل ۳). دبی ورودی ۴۰ لیتر بر ثانیه، عمق بالادست حدود ۱۵ سانتی‌متر و دبی انحرافی برابر ۴۰ درصد دبی

قوس انجام گرفته است. نظری و شفاعی بجمستان (۱۳۷۷) با انجام آزمایش روی آبگیری از قوس ۹۰ درجه در موقعیت آبگیری ۶۰ درجه با ۵ زاویه مختلف آبگیری (۱۵، ۳۰، ۴۵، ۶۰ و ۷۰ درجه) با بستر متحرک، زاویه ۶۰ درجه را به دلیل بیشینه آبگیری با کمینه میزان رسوب پیشنهاد کرده‌اند [۱۰]. ایزدپناه و صالحی نیشابوری (۱۳۸۲) با انجام پژوهش‌های آزمایشگاهی روی قوس ۹۰ درجه و با تغییر محل قرارگیری به این نتیجه رسیدند که موقعیت ۷۵ درجه در قوس نسبت به ۶۵ و ۷۰ درجه رسوب کمتری را منحرف خواهد نمود. این آزمایش‌ها با روش تزریق رسوب روی بستر صلب انجام شده است [۱۱]. پیرستانی (۱۳۸۲) در یک قوس ۱۸۰ درجه به بررسی الگوی جریان در اطراف آبگیر جانبی موجود در قوس پرداخت. ایشان با اندازه‌گیری میدان جریان روی کف صلب به وسیله‌ی یک سرعت‌سنج دو بعدی، تغییرات سرعت در دهانه آبگیرهای موجود در قوس برای محل‌های مختلف آبگیری با زوایای 40° ، 75° و 115° و زوایای انحراف برابر 45° ، 60° ، 75° و 90° را بررسی کردند [۱۲]. صفرزاده (۱۳۸۳) با شبیه‌سازی عددی الگوی جریان در آبگیر جانبی در قوس ۱۸۰ درجه با استفاده از نرم‌افزار فلوئنت به بررسی الگوی جریان برای موقعیت ۴۰ درجه، تحت زوایای آبگیری ۹۰ و ۴۵ درجه و برای موقعیت ۱۱۵ درجه تحت زوایای ۷۵ و ۹۰ درجه پرداخت [۱۳]. دهقانی (۱۳۸۵) به مطالعه روی کنترل رسوب در آبگیری جانبی از قوس ۱۸۰ درجه پرداخت و در ۵ موقعیت 90° ، 102° ، 115° ، 135° و 150° با زوایای آبگیر 45° ، 60° و 75° تاثیر موقعیت و زاویه انحراف آبگیر را بر میزان رسوب ورودی به آبگیر بررسی نمود. ابوالقاسمی (۱۳۸۵) با انجام مطالعه آزمایشگاهی روی یک مدل فیزیکی کانال مئاندری به بررسی آثار زاویه آبگیری و نسبت دبی انحرافی بر میزان رسوب ورودی به آبگیر جانبی پرداخت [۱۴]. منتصری و همکاران (۱۳۸۷) با استفاده از سرعت‌های برداشت شده به وسیله‌ی یک سرعت‌سنج سه بعدی ADV در یک کانال قوسی با زاویه مرکزی ۱۸۰ درجه با حضور آبگیر جانبی در موقعیت ۱۱۵ درجه از قوس نشان دادند دو جریان چرخشی در خلاف جهت یکدیگر در مقطع جریان و

جملات $-\overline{\rho u_i' u_j'}$ به عنوان تنش‌های رینولدز شناخته می‌شوند در این مقاله از دو مدل آشفتگی $k-\varepsilon$ استاندارد و فرم RNG مدل $k-\varepsilon$ استفاده شده و نتایج حاصل از این دو مدل آشفتگی با نتایج آزمایشگاهی مقایسه شده است.

۲-۳- شرایط مرزی

یکی از تنظیمات اصلی مدل اعمال شرایط مرزی به مدل است. برای اعمال شرایط مرزی سرعت و آشفتگی در ورودی بالادست میدان، از شرط مرزی دیریکله استفاده شده است. اعمال این شرایط در مدل $SSIM2$ ، با دادن دبی و سطح آب در پایین دست و همچنین مشخص کردن عدد استریکلر اعمال می‌شود. مدل به این ترتیب و با استفاده از الگوریتم فشار و معادله برنولی، سطح آب در ورودی بالادست میدان را پیدا کرده و سرعت ورودی معین را به بالادست اعمال می‌نماید. همچنین در این مرز لازم است تا مقادیر پارامترهای آشفتگی مانند انرژی جنبشی (k) و استهلاک (ε) به مدل اعمال شود.

در مرز خروجی، برای تمام متغیرها شرایط مرزی گرادیان صفر اعمال می‌شود. با توجه به طول مسیر مستقیم بعد از قوس در پایین دست به نظر می‌رسد شرط عدم تغییر مشخصات جریان در جهت عمود بر مرز خروجی با این طول در مقطع خروجی حاصل شود. پس کانال با همان طول $5/2$ متر در پایین دست قوس، مدل شده است. در سطح آب نیز، شرط مرزی گرادیان صفر برای تمام متغیرها به جز انرژی جنبشی (k) اعمال شده و برای پارامتر مزبور نیز در سطح آب مقدار صفر اعمال می‌شود. برای شرایط مرزی جداره، $SSIM$ از قانون جداره برای مرزهای زبر در سلول‌های مجاور جداره استفاده می‌کند.

۴- درستی آزمایشی مدل عددی

به منظور حساسیت سنجی مدل نسبت به مدل‌های آشفتگی، مدل $SSIM2$ با استفاده از مدل‌های آشفتگی $k-\varepsilon$ استاندارد و RNG اجرا شده و نتایج پروفیل سرعت مدل با مقادیر آزمایشگاهی در مقاطع مختلف عرضی به فاصله شعاعی ۵، ۱۵، ۲۵، ۳۵، ۴۵ و ۵۵ سانتی‌متر از لبه داخلی قوس مقایسه شده است.

ورودی است. همچنین یک لایه رسوب از مصالح با دانه‌بندی یکنواخت و با قطر متوسط $1/28$ میلی‌متر روی بستر شیشه‌ای کانال چسبانیده شده است.

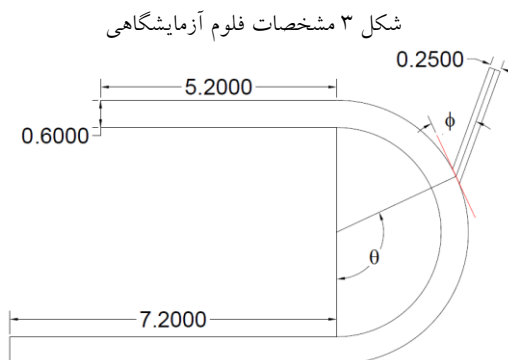


Fig. 3. The laboratory flume

۳- معرفی نرم‌افزار $SSIM2$

مدل $SSIM$ در سال‌های ۹۱-۱۹۹۰ نوشته شده است. این مدل به وسیله‌ی السن در دانشگاه علوم تکنولوژی نروژ توسعه داده شده است. این برنامه در زمینه مهندسی رودخانه، محیط زیست، هیدرولیک و رسوب کاربرد دارد. در برنامه $SSIM$ معادله ناور-استوکس با در نظر گرفتن مدل $k-\varepsilon$ در یک محیط سه بعدی و شبکه غیر متعامد تحلیل می‌شود. در این مدل از روش حجم کنترل همراه با استفاده از طرح‌های قانون توانی و مرتبه دوم آپویند استفاده می‌شود. برای کوپل میدان سرعت و فشار از الگوریتم $SIMPLE$ استفاده می‌شود. در این مدل از روش‌های ضمنی برای تولید میدان سرعت و سایر متغیرها مانند فشار، k و ε در هندسه بهره‌گرفته می‌شود [۱۷].

۳-۱- معادلات حاکم بر میدان حل

قوانین حاکم عبارتند از قانون بقای جرم و قانون بقای مومنتم که در حالت جریان آشفته و به صورت متوسط‌گیری شده در زمان، معادلات پیوستگی (۱) و رینولدز (۲) از آنها استخراج می‌شود [۱۸].

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

$$\frac{\partial(\rho u_i)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u_i u_j)}{\partial x_j} = -\frac{\partial P}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) + \frac{\partial(-\rho u_i' u_j')}{\partial x_j} \right] \quad (2)$$

شکل ۴ مقایسه عددی مدل آزمایشگاهی و عددی

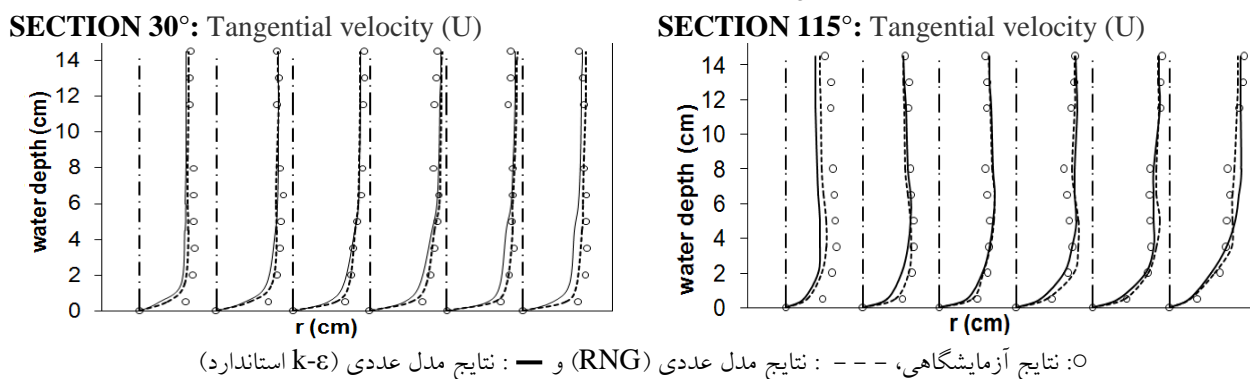


Fig. 4. Comparison between Experimental and Numerical result

خطوط جریان در صفحه عمق متوسط شکل (۵-ب) نشان می‌دهد که در این صفحه خطوط جریان تاثیر چندانی از جریان ثانویه نگرفته‌اند و تقریباً با تبعیت از انحنا کانال مسیر خود را طی می‌کنند. شکل (۵-ج) نیز خطوط جریان را در صفحه نزدیک سطح آب نشان می‌دهد. همان‌گونه که در این شکل دیده می‌شود، الگوی کلی خطوط جریان در صفحه نزدیک سطح آب، انحراف به سمت دیواره بیرونی کانال است. به شکلی که ذراتی که از بالادست و از کنار دیواره داخلی شروع به حرکت کرده‌اند، در پایین دست به جداره بیرونی برخورد می‌کنند.

خطوط جریان در ترازهای مختلف دارای برخی ویژگی‌های بارز و نقاط خاصی است که در اینجا به گفتن این نقاط می‌پردازیم:

۱- صفحه تقسیم جریان: صفحه‌ای که مرز بین خطوط جریان وارد شونده به آبگیر و سایر خطوط جریان در کانال اصلی را مشخص می‌کند.

۲- ناحیه جداشدگی A: ناحیه جدایی جریان درون آبگیر، این ناحیه محل احتمالی برای رسوب‌گذاری خواهد بود.

۳- ناحیه جداشدگی B: ناحیه جدایی جریان در مجاورت دیواره داخلی کانال اصلی پس از آبگیر

۴- نقطه زینی: محلی محدود به خطوط جریانی که برای بخشی از آن خطوط به سمت این نقطه و برای باقیمانده خطوط محدود کننده به خارج از این نقطه است (نقطه E).

با دقت در شکل (۴) مشخص است که مدل توانسته به خوبی چگونگی تغییرات پروفیل سرعت در عمق کانال را پیش‌بینی کند. اما در نواحی نزدیک بستر، اختلاف چشم‌گیری مشاهده می‌شود. این اختلاف در نزدیک بستر ناشی از وجود زبری‌های متعدد موجود در بستر کانال صلب آزمایشگاه است و عملاً کالیبره کردن و مدل‌سازی این زبری‌ها بسیار دشوار است. همچنین مشخص است که نتایج حاصل از مدل آشفتگی RNG k-ε نسبت به مدل آشفتگی k-ε استاندارد از دقت بهتری برخوردار است. اختلاف مقدار سرعت پیش‌بینی شده و سرعت اندازه‌گیری شده تقسیم بر مقدار سرعت اندازه‌گیری شده به عنوان خطا در نظر گرفته شده است محاسبات میانگین خطا برای مدل آشفتگی RNG در نزدیک جداره‌ها ۹/۶۳٪ و در نواحی دور از جداره‌ها ۳/۸۴٪ است.

۵- الگوی جریان در آبگیری از قوس

شکل (۵) خطوط جریان در سه صفحه نزدیک بستر، عمق متوسط و صفحه نزدیک سطح آب حاصل از نتایج عددی را نشان می‌دهد. در ورودی کانال ذرات نزدیک بستر به شدت به سمت دیواره داخلی کشیده می‌شوند، در این تراز همچنین، در مقاطع خروجی قوس، برعکس مقاطع ورودی، مسیر حرکت ذرات به تدریج طولانی‌تر شده و پس از خروج از قوس حالت موازی پیدا می‌کنند (شکل ۵-الف) دقت در مسیر

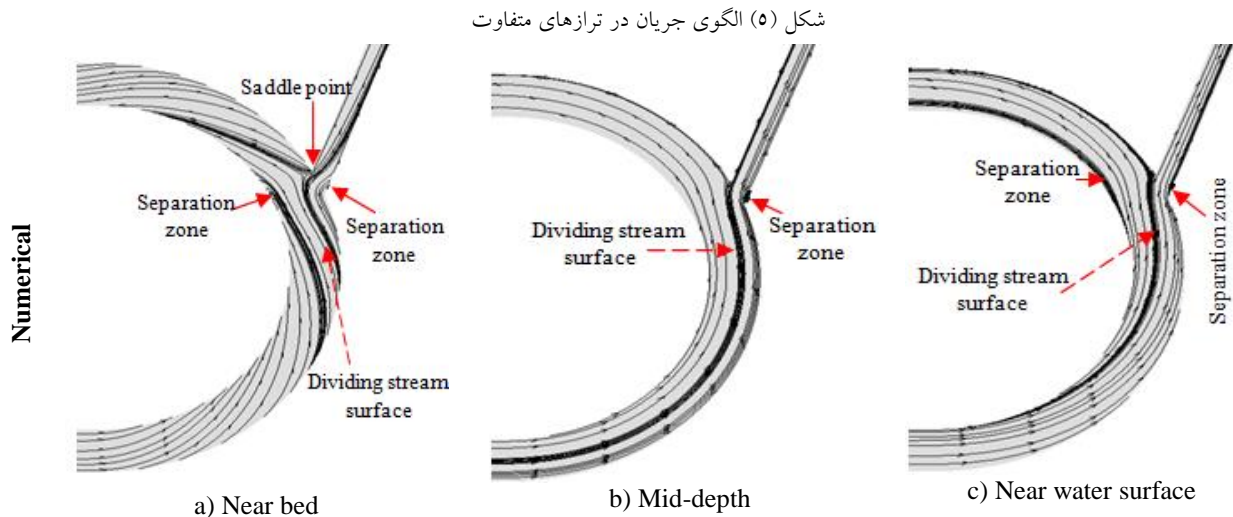


Fig. 5. Flow Patterns at different horizontal planes

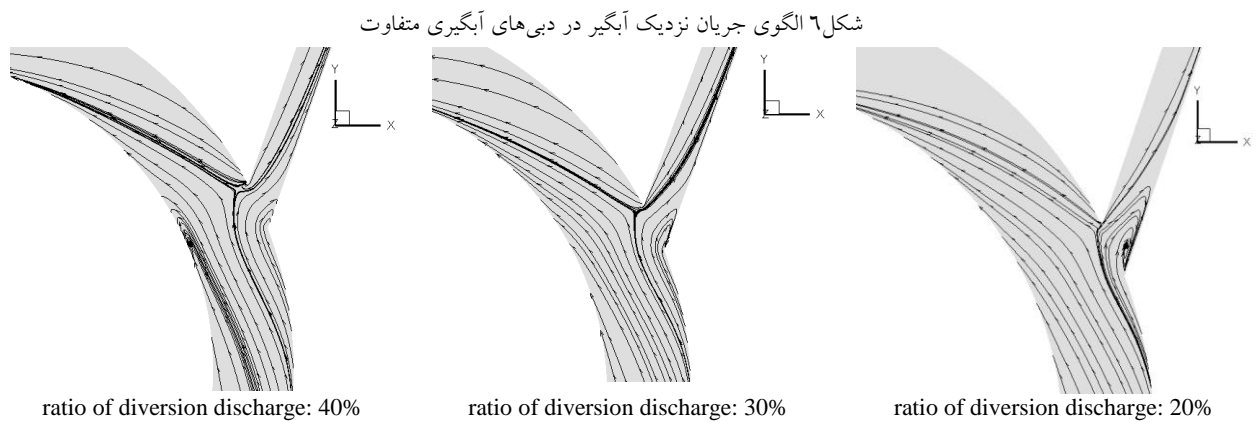


Fig. 6. Flow Patterns near bed with different diversion discharge

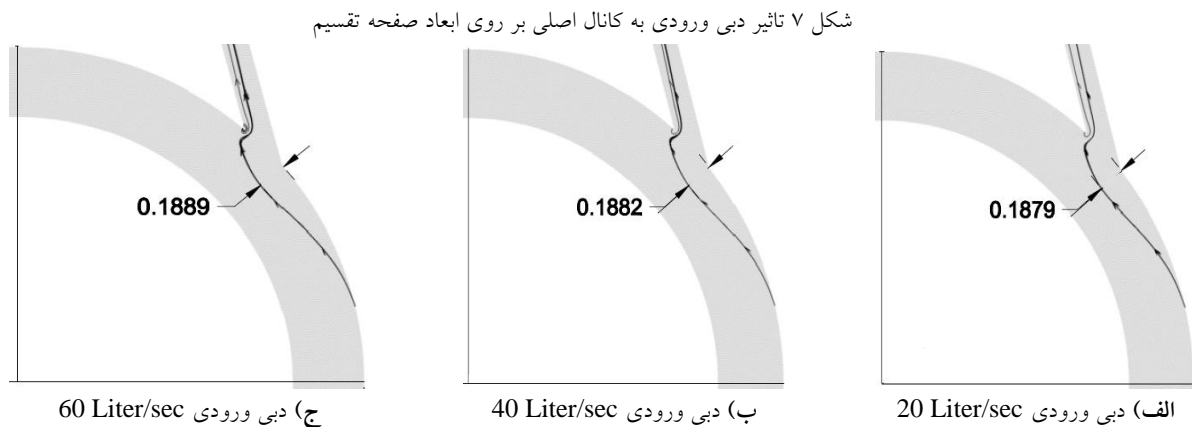


Fig. 7. The effect of main channel discharge on dividing stream surface

نزدیک دیواره‌ی داخلی کانال اصلی روبه‌رو دهانه‌ی آبگیر از بین می‌رود اما ناحیه جدایی جریان در درون آبگیر با افزایش مقدار آبگیری کوچکتر می‌شود.

۵-۲- تأثیر دبی ورودی کانال اصلی بر الگوی جریان

۵-۱- تأثیر دبی آبگیری بر الگوی جریان

شکل (۶) تأثیر میزان دبی آبگیری روی الگوی جریان در اطراف دهانه‌ی آبگیر در تراز نزدیک بستر را نشان می‌دهد. همان‌گونه که در شکل (۶) مشاهده می‌شود با کاهش دبی آبگیری نقطه زینی کوچکتر می‌شود همچنین ناحیه جدایی جریان در

کانال اصلی، کمتر از فاصله خط تقسیم جریان نزدیک بستر نسبت به این دیواره است در حالیکه در حالت آبیگری از قوس، عکس حالت بالا اتفاق افتاده و خط تقسیم جریان در نزدیکی بستر به دیواره کانال اصلی نزدیکتر است. علت وقوع این پدیده را می توان ناشی از تاثیر جریان ثانویه در انتقال بیشینه سرعت به ترازهای پایین تر و نیز انتقال ذرات نزدیک بستر به طرف جداره داخلی دانست. اما نتایج شبیه سازی حاصل از این پژوهش علاوه بر تایید کار پژوهشگران قبلی نشانگر این نکته مهم است که با افزایش زاویه آبیگری عرض صفحه تقسیم در کف افزایش و در سطح کاهش می یابد و همین امر سبب می شود که در آبیگری با زاویه های مانند ۹۰ درجه در قسمتی از طول صفحه تقسیم، عرض صفحه تقسیم کف بزرگتر باشد اما این عامل سبب نمی شود که آبیگری از کف بیشتر شود زیرا همچنان سطح آبیگری در سطح بیشتر است. (شکل ۹).

به منظور بررسی اثر دبی ورودی در کانال اصلی بر ابعاد صفحه تقسیم، برای دبی آبیگری ۴۰٪ در موقعیت ۱۱۵ درجه مدل عددی برای دبی های ورودی ۲۰، ۴۰ و ۶۰ لیتر بر ثانیه در عمق ثابت ۱۴/۵ در ورودی کانال اصلی اجرا شده است همان گونه که از نتایج شبیه سازی در شکل (۷) مشاهده می شود افزایش دبی ورودی تاثیر بسیار کمی بر ابعاد صفحه تقسیم دارد بنابراین می توان نتیجه گرفت که ابعاد صفحه تقسیم مستقل از مقدار دبی ورودی است و به عبارت دیگر عدد فرود تاثیری بر ابعاد صفحه تقسیم ندارد.

۶- الگوی جریان در مسیر مستقیم و خمیده

شکل (۸) خطوط تقسیم جریان در آبیگری از قوس رودخانه و آبیگری از کانال مستقیم حاصل از کار صفرزاده (۱۳۸۳) را نشان می دهد این پژوهشگر با شبیه سازی الگوی جریان در آبیگری از مسیر مستقیم و قوسی نشان داد که در مسیر مستقیم فاصله خط تقسیم جریان در نزدیکی سطح آب به دیواره

شکل ۸: مقایسه خطوط تقسیم جریان در حالت الف) آبیگری از قوس و ب) آبیگری از مسیر مستقیم (صفرزاده، ۱۳۸۳)

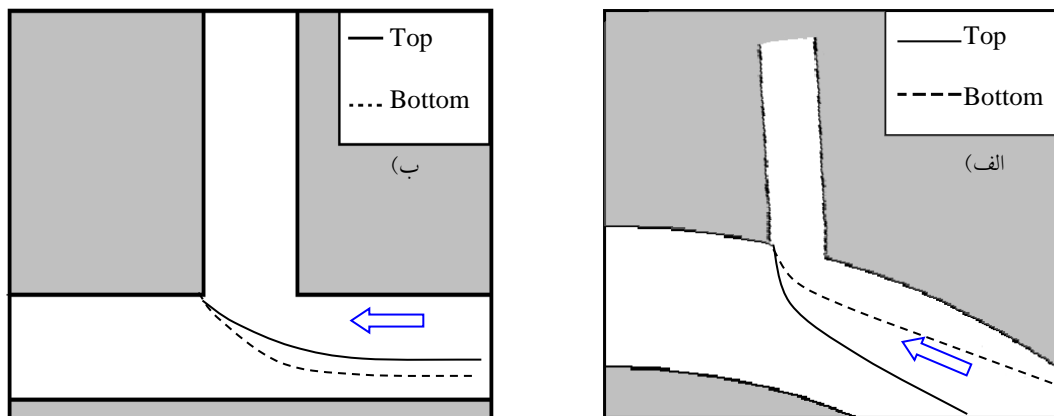
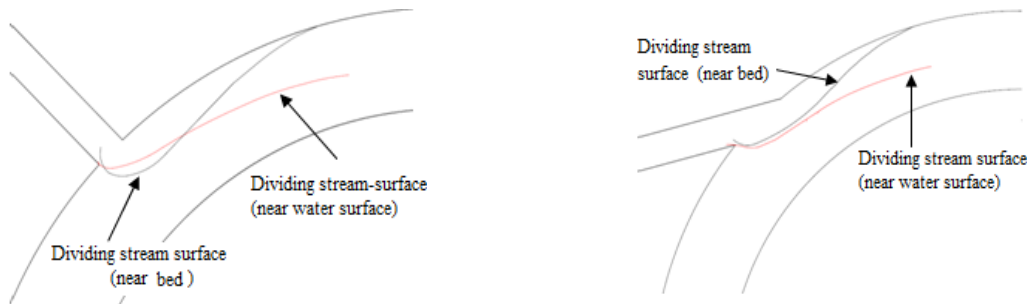


Fig. 8. Comparison of dividing stream surface a) in straight channels b) in curve channels

شکل (۹) الگوی صفحه تقسیم جریان در کف و سطح

الف: در موقعیت ۱۳۵ درجه با زاویه آبیگری ۳۰ درجه

ب: در موقعیت ۱۳۵ درجه با زاویه آبیگری ۹۰ درجه



a) A lateral intake is located at position $\theta=135^\circ$ which has a 90° diversion angle

b) A lateral intake is located at position $\theta=135^\circ$ which has a 30° diversion angle

Fig. 9. Dividing stream surface at two levels including near the bed and near the surface

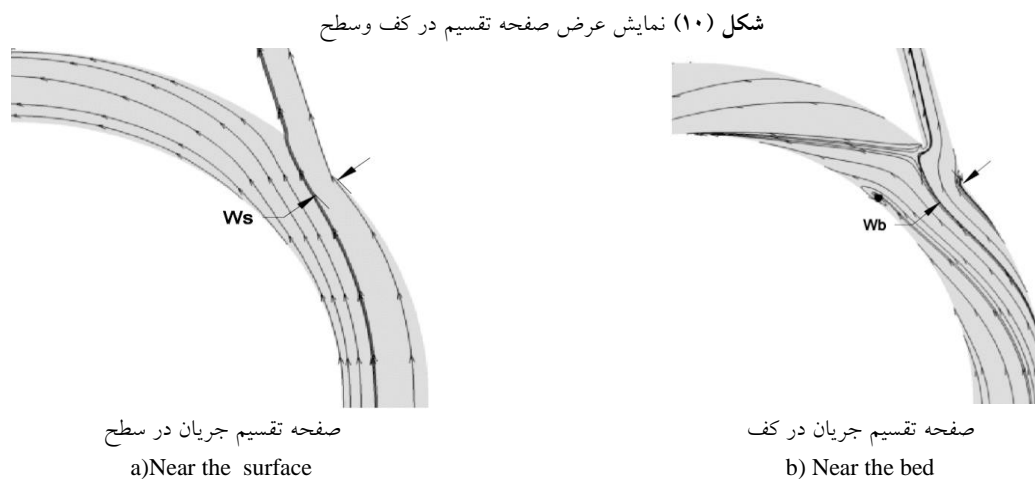


Fig 10. Width of Dividing stream surface

آبگیری را به همراه خواهد داشت. بنابراین داشتن عرض و سطح کوچکتر صفحه تقسیم جریان در تراز بستر و عرض و سطح بزرگتر صفحه تقسیم جریان در ترازهای سطحی معیار دیگری برای مناسب بودن موقعیت و زاویه آبگیری است. با مقایسه نتایج حاصل در جدول ۱ و شکل‌های (۱۱) می‌توان دریافت که در همه موقعیت‌ها، زاویه آبگیری ۹۰ درجه دارای بیشترین ابعاد نواحی جداشدگی، بیشترین عرض صفحه تقسیم جریان در تراز بستر و کمترین عرض صفحه تقسیم جریان در تراز نزدیک سطح را دارد و در عوض زاویه آبگیری ۳۰ درجه دارای کمترین ابعاد نواحی جداشدگی جریان و کوچکترین عرض صفحه تقسیم جریان در تراز بستر و بیشترین عرض صفحه تقسیم جریان در تراز سطح را دارد بنابراین با توجه به الگوهای جریان زاویه آبگیری ۳۰ درجه، بهترین زاویه آبگیری و زاویه آبگیری ۹۰ درجه بدترین حالت زاویه آبگیری است. همچنین الگوی جریان در موقعیت‌های ۴۵، ۹۰، ۱۱۵ و ۱۳۵ درجه نشان می‌دهد در تمام زوایای آبگیری در موقعیت ۱۳۵ درجه عرض صفحه تقسیم جریان در سطح بیشترین و در کف کمترین مقدار دارد. بنابراین با توجه به ابعاد صفحه آبگیری بیشترین مقدار آبگیری در موقعیت ۱۳۵ با زاویه آبگیری ۳۰ درجه است. با توجه به اینکه میدان الگوی رسوب و فرسایش از الگوی میدان جریان تبعیت می‌نماید، در صورت وجود رسوب در آزمایش‌های، نتایج حاصل تغییرات زیادی نخواهد داشت پس نتایج فوق در حالت وجود رسوب نیز معتبر خواهند بود.

۷- اثر موقعیت و زاویه آبگیری بر ابعاد صفحه تقسیم جریان و نواحی جدایی جریان

شکل (۱۰) عرض صفحه تقسیم در کف و در سطح (W_s , W_b) نشان داده است. برای نمونه الگوی جریان در تراز نزدیک بستر و تراز نزدیک سطح برای موقعیت ۱۳۵ درجه با زوایای مختلف آبگیری به ازای دبی آبگیری ۰.۴۰٪ در شکل (۱۱) نشان شده است. عرض صفحه تقسیم جریان در تراز کف و سطح در موقعیت‌های مختلف با زاویه آبگیری متفاوت به ازای دبی‌های آبگیری ۰.۴۰٪، ۰.۳۰٪ و ۰.۲۰٪ بر اساس خروجی‌های مدل در نرم افزار اتوکد اندازه‌گیری شده است که نتایج این اندازه‌گیری در جدول ۱ ارائه شده است. نتایج نشان می‌دهد در کلیه موقعیت‌های آبگیر با افزایش زاویه آبگیری، عرض صفحه تقسیم جریان در کف افزایش یافته و در سطح کاهش می‌یابد. همچنین با افزایش زاویه آبگیری، ابعاد ناحیه جداشدگی در آبگیر و ناحیه جداشدگی در نزدیک دیواره داخلی مقابل آبگیر بزرگتر می‌شود. همان‌گونه که بیان شد افزایش ابعاد نواحی جداشدگی جریان باعث افزایش تله‌اندازی رسوبات در این نواحی شده و پارامتری منفی در تعیین بهترین محل و زاویه آبگیری محسوب می‌شود. همچنین با توجه به اینکه لایه نزدیک بستر حاوی رسوبات بیشتری است، پس افزایش عرض و سطح صفحه تقسیم جریان در تراز بستر موجب ورود بیشتر رسوبات به آبگیر شده و در عوض افزایش عرض و سطح صفحه تقسیم جریان در ترازهای سطحی افزایش راندمان

شکل ۱۱: الگوی جریان در موقعیت ۱۳۵ درجه قوس و زوایای مختلف آبگیری - دبی انحرافی ۴۰ درصد

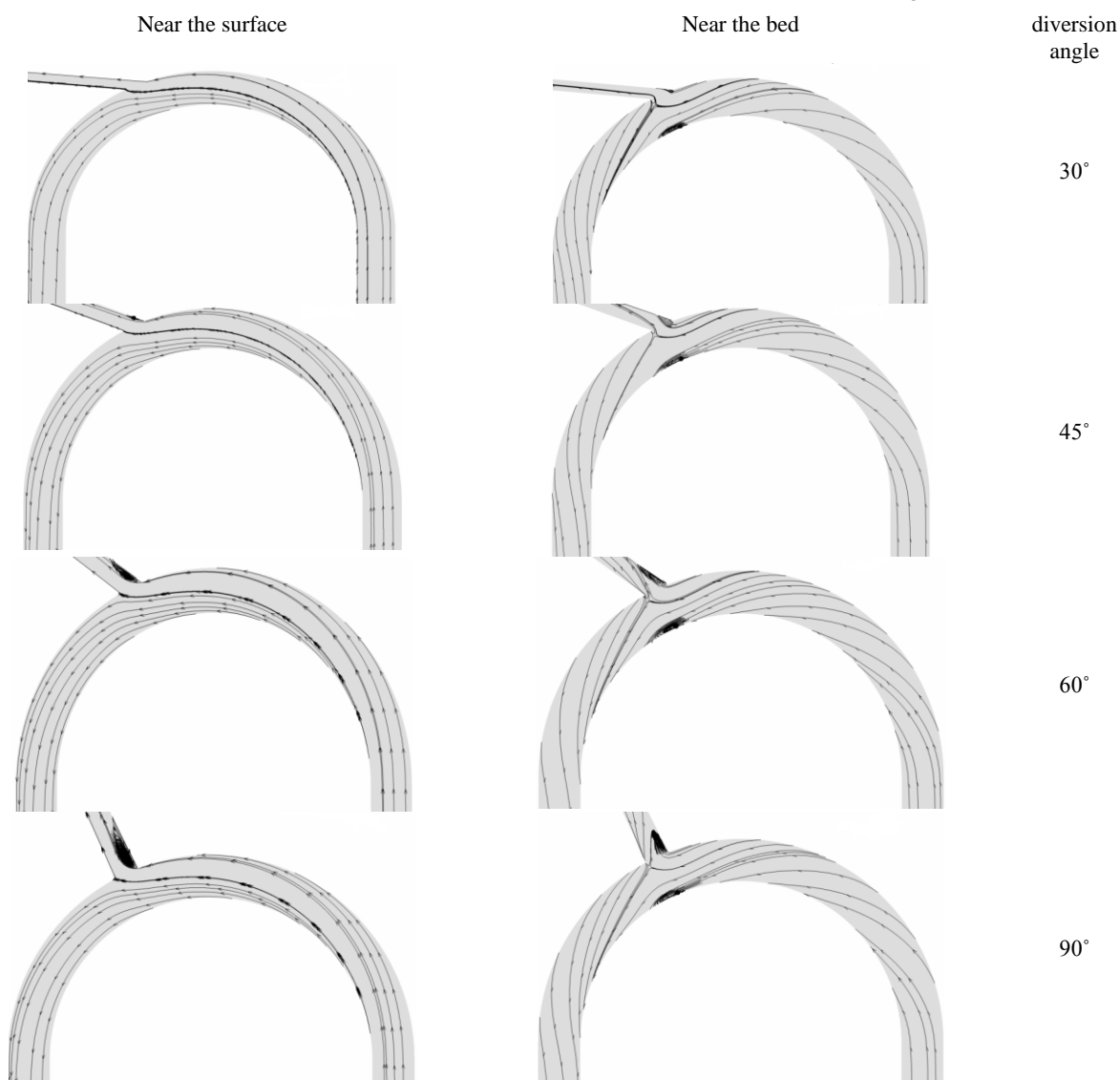


Fig. 11. Flow patten at position $\theta=135^\circ$ with different diversion angle. (The ratio of diversion discharge to main channel discharge: 40%)

جدول ۱- مشخصات ابعاد صفحه تقسیم در کف و سطح آب

θ	ϕ	$Q_r=40\%$		$Q_r=30\%$		$Q_r=20\%$	
		W_b	W_s	W_b	W_s	W_b	W_s
45	30	0.188	0.224	0.1638	0.197	0.095	0.144
45	45	0.208	0.233	0.184	0.182	0.1376	0.1406
45	60	0.258	0.192	0.2105	0.161	0.1525	0.1246
45	90	0.263	0.1601	0.2175	0.143	0.1615	0.11
90	30	0.192	0.217	0.1544	0.1802	0.071	0.1417
90	45	0.213	0.228	0.15	0.169	0.1118	0.13
90	60	0.264	0.195	0.188	0.152	0.134	0.123
90	90	0.266	0.165	0.2013	0.141	0.148	0.102
115	30	0.23	0.22	0.1672	0.1922	0.0855	0.141
115	45	0.211	0.22	0.1667	0.1859	0.1175	0.1391
115	60	0.254	0.204	0.1969	0.1738	0.1438	0.1114
115	90	0.267	0.201	0.1968	0.1665	0.1532	0.1012
135	30	0.184	0.25	0.127	0.1938	0.0601	0.143
135	45	0.225	0.238	0.167	0.183	0.122	0.137
135	60	0.232	0.184	0.1952	0.1582	0.138	0.124
135	90	0.24	0.159	0.199	0.146	0.151	0.1022

Table 1: Dimensions of dividing stream surface near the bed and near the surface

در روابط بالا θ موقعیت آبگیر در قوس و φ زاویه انحراف آبگیر برحسب رادیان است. رابطه رگرسیون خطی بین نتایج حاصل از مدل عددی و مقادیر محاسبه شده از فرمول‌های بالا در شکل (۱۲) نشان داده شده است که نشان دهنده همبستگی مناسب رابطه‌های بالا است.

۹- نتیجه گیری

جریان در کانال‌های خمیده طبیعت سه بعدی و پیچیده دارد و جانمایی آبگیر در مسیرهای قوسی بر این پیچیدگی می‌افزاید. بنابراین برای شناخت کامل پدیده‌های حاکم بر میدان جریان به کارگیری مدل‌های عددی در کنار مطالعات آزمایشگاهی و صحرایی امری ضروری است. در این مقاله با استفاده از مدل عددی **SSIIM2** به شبیه سازی الگوی جریان در کانال قوسی با آبگیر جانبی پرداخته شد و اثر موقعیت آبگیر، زاویه آبگیری و دبی انحرافی به وسیله‌ی آبگیر بر میدان جریان بررسی شد. نتایج حاصل نشان داد مدل آشفتگی **RNG k-ε** از دقت بیشتری نسبت به مدل آشفتگی **k-ε** استاندارد در کناره دیواره‌ها و مسیرهای با هندسه پیچیده برخوردار است. بررسی ابعاد صفحه تقسیم جریان نشان می‌دهد که در تمام دبی‌های آبگیری با افزایش زاویه آبگیری عرض صفحه تقسیم جریان در سطح کاهش و در کف افزایش می‌یابد. همچنین با افزایش زاویه آبگیری ابعاد ناحیه جداشدگی در کانال اصلی و فرعی بزرگتر می‌شود. نتایج حاصل نشان می‌دهد در همه موقعیت‌ها، زاویه آبگیری ۹۰ درجه دارای بیشترین ابعاد نواحی جداشدگی، بیشترین عرض صفحه تقسیم جریان در تراز بستر و کمترین عرض صفحه تقسیم جریان در تراز نزدیک سطح را دارد و در عوض زاویه آبگیری ۳۰ درجه دارای کمترین ابعاد نواحی جداشدگی جریان و کوچکترین عرض صفحه تقسیم جریان در تراز بستر و بیشترین عرض صفحه تقسیم جریان در تراز سطح را دارد. همچنین در موقعیت ۱۳۵ درجه، در تمام زوایای آبگیری، عرض صفحه تقسیم جریان در سطح بیشترین مقدار و در کف کمترین مقدار را دارد.

شکل ۱۲: همبستگی مقدار شبیه‌سازی شده با رابطه ارائه شده

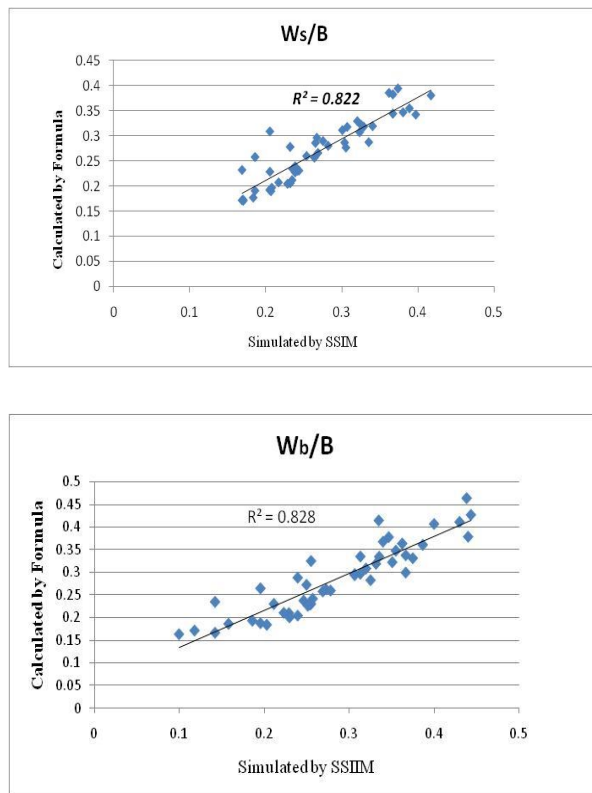


Fig. 12. Correlation values of simulation with the proposed formula

۸- ارائه رابطه ریاضی برای ابعاد صفحه تقسیم جریان

در این بخش به ارائه رابطه ریاضی برای تعیین عرض صفحه تقسیم در سطح و کف کانال قوسی (W_b, W_s) پرداخته می‌شود. بدین منظور ۵ زاویه آبگیری مختلف ۳۰، ۴۵، ۶۰ و ۹۰ درجه در موقعیت‌های ۴۵، ۹۰، ۱۱۵ و ۱۳۵ با سه نسبت دبی انحرافی (Q_r) ۲۰٪، ۳۰٪ و ۴۰٪ ارزیابی شدند. رابطه آنالیز ابعادی بر اساس پارامترهای موثر بر ابعاد عرض صفحه تقسیم جریان در کف و سطح به شکل زیر است:

$$\frac{W_s}{B}, \frac{W_b}{B} = F(Q_r, \varphi, \theta) \quad (3)$$

فرم ریاضی معادله به شکل زیر در نظر گرفته شده و با استفاده از نرم‌افزار اکسل، ضرایب معادله به دست آمده‌اند:

$$\frac{W_s}{B} = 0.65 \times \theta^{-0.0324} \times \varphi^{-0.261} \times Q_r^{0.744} \quad (4)$$

$$\frac{W_b}{B} = 0.857 \times \theta^{-0.119} \times \varphi^{0.296} \times Q_r^{0.847} \quad (5)$$

۱۰- منابع

۱۲. پیرستانی، م.ر.، بررسی الگوی جریان و آبستتگی در دهانه ورودی آبیگر کانالهای دارای انحنا. رساله دکترا دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم تحقیقات تهران، ۱۳۸۳.
۱۳. صفرزاده، اکبر.، شبیه‌سازی عددی الگوی جریان در آبیگر جانبی از قوس ۱۸۰ درجه. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ۱۳۸۳.
۱۴. دهقانی، ا.ا.، مطالعات آزمایشگاهی کنترل رسوب ورودی به آبیگر جانبی در قوس ۱۸۰ درجه. رساله دکترا مهندسی عمران گرایش هیدرولیک، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳۸۵.
۱۵. منتصری، ح، قدسیان، م، شفعی‌فر، م، نیشابوری، ع.ا و دهقانی، ا.، مطالعه آزمایشگاهی میدان جریان و آبستتگی در قوس ۱۸۰ درجه با آبیگر جانبی، مجله علوم کشاورزی و منابع آب، جلد پانزدهم، شماره ۲، خرداد ۱۳۸۷.
۱۶. رستم‌آبادی، م، صالحی‌نیشابوری، ع.ا.، پیرستانی، م.ر و منتصری، ح.، شبیه‌سازی عددی تاثیر پارامترهای هیدرولیکی بر الگوی جریان در آبیگری جانبی از کانالهای قوسی. هشتمین کنگره بین‌المللی مهندسی عمران، دانشگاه شیراز، ۱۳۸۸.
17. Olsen, N. R. B., "SSIM User's Manual". The Norwegian University of Science and Technology, 2004.
18. Patankar, S. V. (1980). Numerical heat transfer and fluid flow, Hemisphere Publishing Corporation, Taylor & Francis Group, New York.
19. Yakhot, V. and Smith, L.M. "The renormalization group the expansion, and derivation of turbulence models". *J. Sci. Comput.*, Vol. 7, No. 35, PP. 35-61, 1992.
1. Blanckaert, K, Vriend, H. J., "Secondary flow in sharp open-channel bends". *Journal of Fluid Mechanics*. (2004), vol. 498, pp. 353-380.
2. Neary, V.s, and Sotiropoulos, F and A.J.Odgaard., "Three-dimensional numerical model of lateral-intake inflows ", *Journal of Hydraulic Engineering*, 125 (2), pp.126-140, 1999.
3. Sir Clude Inglis., "The Behavior and Control of Rivers and Canals, Research Publication No. 13, Chapter 6, Central Waterpower", Irrigation and Navigation Research Station, Government of India, Poona, Bombay, India, 1949.
4. Blanchet, C., "Canal Intake Problem and Method Used to Reduce the Sediment Inflow". *ICID*, 9th Congress Moscow, 22:293-302, 1975.
5. Razvan, E., "River Intake and Diversion Dam", Elsevier Science Publishing Company Inc. New York, NY.10010, USA, 1989.
6. Raudkivi, A J., "sedimentation, Exclusion and Removal of Sediment from Divert Water", *AIRH, Hydraulic Structures Design manual*, pp. 63-87, 1993.
7. Vanoni, V. A., "Sedimentation engineering", American Society of Civil Engineers, New York, 1975.
8. Novak, P., Moffat, A. and Nalluri, C., "Hydraulic Structures", Pitman, London, 1990.
9. Blanckaert, K. and Walter H. Graf., "Mean flow and turbulence in open channel bend", *J. Hydr. Engrg, ASCE*, 78(D-112), 1-7, 2001.
۱۰. نظری، س و شفافی‌بجستان م.، بررسی آزمایشگاهی تاثیر زاویه انحراف، ارتفاع آبپایه آبیگر در قوس‌های رودخانه‌ای بر میزان رسوب. پایان‌نامه کارشناسی ارشد تاسیسات آبیاری دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران، ۱۳۷۷.
۱۱. ایزدپناه، ز و صالحی‌نیشابوری، ع.ا.، بررسی و انتقال رسوب در آبیگرهای جانبی، مجله علمی کشاورزی، جلد ۲۶، شماره ۲، ۱۳۸۲.

Numerical investigations on effect of intake location and diversion angle on flow pattern in a channel bend by SSIIM2 Software

H. Montaseri¹, H. Asiaei²

1. Assistant Professor of Civil Engineering, Yasouj University
2. Msc Student of Civil Engineering, Yasooj University

hmontaseri@gmail.com

Abstract:

The use of lateral intake is one method of providing water from river. The most important issue in branch channel gets the maximum of water and lowest sediment. The rivers rarely run on straight paths in nature, and most rivers have meandering forms. In a river bend the presence of centrifugal force leads to the formation of secondary flow. As a result water particles near the surface are driven outward. The secondary flow advects the main flow, leading to high velocity at the outer bank of the bend. On the other hand the flow at the bed of a channel is directed toward the inner bank. The interaction of the main flow with the secondary flow forms the so-called helical flow in the bend. This flow system has important consequences in the longitudinal, transverse, vertical velocity distributions, transport of momentum and streamlines at different levels of water. Therefore layout the intake outer bank of bend is one of the ways to reduce sediment input to the lateral intake. Combining the helical flow and complex flow pattern in front of the lateral intake is added complexity of this three- dimensional flow pattern. The flow approaches the intake; it is accelerated laterally by the suction pressure at the end of the branch channel. This causes the flow to divide so that a portion enters the branch channel with the remainder continuing downstream in the main channel. The portion withdrawn by the branch is delineated by a curved shear-layer surface, denoted as the dividing stream surface. Because of the streamwise curvature of the dividing stream surface, the diverted flow experiences an imbalance between the transverse pressure gradient and shear and centrifugal forces that initiates a clockwise secondary motion cell. This secondary motion interacts with the separation zone along the inner wall of the branch channel. In design of lateral intakes, determination of appropriate intake location and diversion angle is very important. In this paper, we simulated lateral intake at different location and different angel by using the SSIIM numerical model to investigate dividing stream surface and separation zone at main and branch channel. For this purpose the flow is simulated using standard k- ϵ model and RNG model. For calibration of model we used the result of the Montaseri et.al (2008) investigation. The results show that in the curved channel the dividing stream surface has a completely different structure than the lateral diversion in a straight one. In other words, wide of dividing stream surface near bed is smaller than near surface. Furthermore, in any locations dividing stream surface width near the bed and separation zone has largest dimension at 90 degree diversion angle and has smallest dimension at 30 degree diversion angle. Also, in 135 degree location, dividing stream surface width near the bed has smallest dimension and dividing stream surface width near the surface has largest dimension at any diversion angle.

Key words: lateral intake, dividing stream surface, separation zone, channel bend.