



دانشگاه گوارن و منابع طبیعی گوارن

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک  
جلد بیست و یکم، شماره چهارم، ۱۳۹۳  
<http://jwsc.gau.ac.ir>

## ارزیابی دقت مدل سه‌بعدی SSIIM2 در شبیه‌سازی میدان جریان در کانال قوسی U شکل با آبگیر جانبی

حسین منتصری<sup>۱</sup> و \* حسین آسیائی<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup> استادیار گروه مهندسی عمران، دانشگاه یاسوج، دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی عمران، دانشگاه یاسوج  
تاریخ دریافت: ۹۱/۸/۳۰؛ تاریخ پذیرش: ۹۲/۵/۲۲

### چکیده

هدف از این پژوهش بررسی قابلیت مدل عددی SSIIM2 در شبیه‌سازی الگوی جریان در اطراف دهانه آبگیر، در یک کانال خمیده می‌باشد زیرا جریان در کانال خمیده کاملاً سه‌بعدی و پیچیده می‌باشد. مدل‌های فیزیکی به دلیل پیچیدگی جریان قادر به ارایه درک روشنی از فیزیک حاکم بر این پدیده‌ها نمی‌باشند. بنابراین برای داشتن درک روشنی از پدیده لازم است در کنار مطالعات صحرایی و آزمایشگاهی، این پدیده‌ها به صورت عددی نیز بررسی شوند. در این پژوهش میدان جریان در یک کانال U شکل که آبگیر جانبی در موقعیت ۱۱۵ درجه از ابتدای قوس و با زاویه انحراف ۴۵ درجه در دیواره خارجی قوس نصب شده است با استفاده از نرم‌افزار سه‌بعدی SSIIM2 شبیه‌سازی شده است. نتایج حاصله نشان می‌دهد مدل عددی SSIIM2 در شبیه‌سازی خطوط جریان، میدان سرعت و تشخیص الگوی جریان در دهانه آبگیر مقادیر قابل قبولی را پیش‌بینی کرده است اما در بعضی نقاط میدان حل مانند نزدیک دیواره به دلیل ضعف مدل k-ε و نواحی نزدیک بستر نتایج مدل SSIIM2 با نتایج آزمایشگاهی تطابق ندارد. به طوری که متوسط خطای پیش‌بینی در نزدیک جداره‌ها ۹/۶۳ درصد و در نواحی دور از جداره‌ها ۳/۸۴ درصد می‌باشد. همچنین مدل در شبیه‌سازی بردار جریان ثانویه هماهنگی خوبی با نتایج آزمایشگاهی نشان نمی‌دهد. اما بررسی الگوی جریان در کانال آبگیر که دارای هندسه مستقیم می‌باشد، مدل آشفتگی k-ε نتایج مناسبی از الگوی جریان در مقاطع عرضی درون آبگیر را نشان می‌دهد.

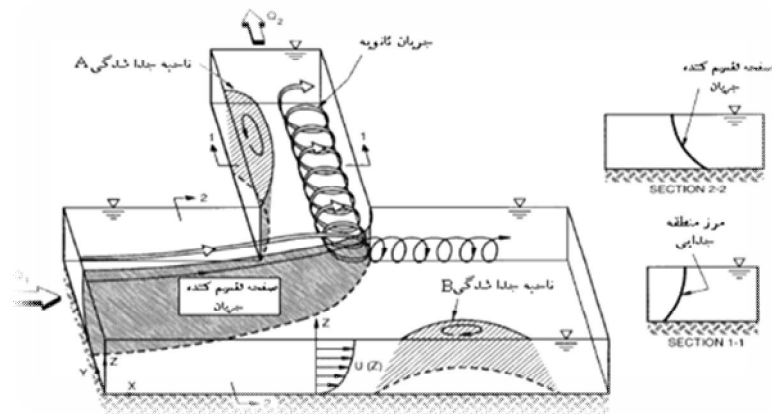
**واژه‌های کلیدی:** شبیه‌سازی، زاویه انحراف، جریان ثانویه، مدل آشفتگی k-ε، نرم‌افزار SSIIM2

\* مسئول مکاتبه: [hossein\\_10432@yahoo.com](mailto:hossein_10432@yahoo.com)

## مقدمه

آبگیر جانبی همراه با کانال انحرافی یکی از روش‌های آبیگری از رودخانه است که از گذشته تا کنون برای تأمین آب در مصارف گوناگون استفاده شده است. مهم‌ترین هدف در آبیگری از رودخانه‌ها به دست آوردن بیش‌ترین مقدار دبی آب همراه با کم‌ترین مقدار رسوب می‌باشد. وضعیت شماتیک جریان در یک آبگیر که با زاویه ۹۰ درجه در یک مسیر مستقیم نصب شده است، در شکل ۱ ارایه شده است. همان‌گونه که در این شکل مشاهده می‌شود با نزدیک شدن جریان به آبگیر به دلیل فشار مکش اعمالی از طرف کانال جانبی، جریان در جهت عرضی شتاب گرفته و به دو قسمت تقسیم می‌شود. قسمتی وارد آبگیر شده و باقی‌مانده آن در کانال اصلی پایین‌دست جریان می‌یابد. قسمتی که وارد کانال انشعاب می‌شود، توسط صفحه برشی خمیده‌ای معین می‌شود که به صفحه تقسیم‌کننده جریان معروف است. جریانی که وارد آبگیر می‌شود، دارای مومتم شدید در جهت کانال اصلی بوده و به همین علت داخل آبگیر، جدایی جریان اتفاق می‌افتد (ناحیه A در شکل ۱). به علت وجود گرادیان فشار جانبی، تنش برشی بستر و نیروی جانب مرکز ناشی از انحنا خطوط جریان، جریان ورودی به آبگیر دچار نبود تعادل شده و همین پدیده باعث ایجاد جریان ثانویه‌ای در طول آبگیر می‌شود که مکانیسم تشکیل آن شبیه مکانیسم تشکیل جریان حلزونی در قوس‌ها می‌باشد، به طوری که صفحه برشی مزبور به عنوان دیواره بیرونی عمل کرده و ناحیه قوسی شکل ایجاد شده توسط قسمت چرخشی داخل آبگیر (ناحیه A در شکل ۱)، دیواره داخلی قوس مزبور را تشکیل می‌دهد. پس از آن که رسوبات مجاور کف به داخل آبگیر منتقل گردیدند، جریان ثانویه رسوبات را به داخل منطقه با چرخش کم (ناحیه A)، یعنی جایی که جریان از دیواره بالادست آبگیر جدا شده است، هدایت می‌کند. رسوبات با وجود سرعت‌های کم نمی‌توانند از منطقه جداسازی منتقل شوند، در نتیجه امکان ته‌نشینی رسوبات و انسداد مسیر جریان به وجود می‌آید (نیری و همکاران، ۱۹۹۹).

مشخصه اصلی جریان در خم رودخانه‌ها وجود جریان حلزونی است که بر اثر اختلاف نیروهای گریز از مرکز بین لایه‌های بالایی و پایینی جریان ایجاد می‌شود. وجود این جریان باعث می‌شود که تمایل بردارهای سرعت در سطح آب به طرف قوس خارجی و در کف به طرف قوس داخلی باشد و همین پدیده باعث انتقال بار بستر به طرف قوس داخلی می‌شود. بنابراین جانمایی آبگیر در قوس خارجی رودخانه یکی از راه‌های کاهش رسوب ورودی به آبگیرهای جانبی است.



شکل ۱- الگوی جریان در یک انشعاب از مسیر مستقیم با زاویه ۹۰ درجه (نیری و همکاران، ۱۹۹۹).

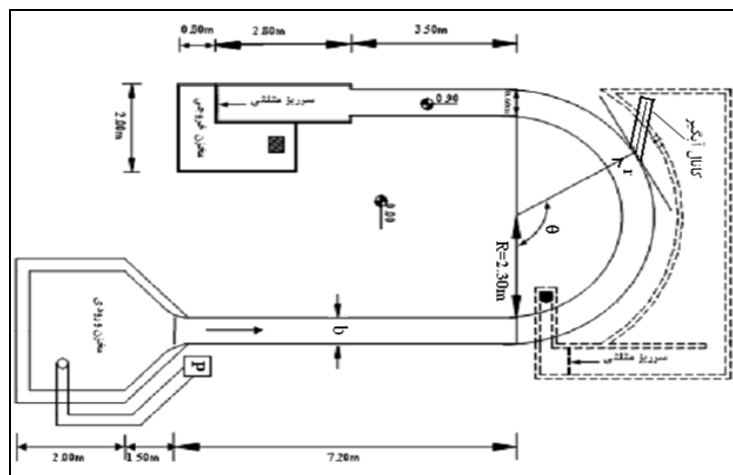
مطالعات متعددی روی الگوی جریان در آبگیری از مسیره‌های مستقیم صورت گرفته است. در این زمینه پژوهش‌هایی توسط افراد مختلف مانند بلانچ و همکاران (۱۹۵۲)، ونونی (۱۹۷۵)، نیری و اوگارد (۱۹۹۳) و نیری و همکاران (۱۹۹۹) صورت گرفته است. بلانچ و همکاران (۱۹۵۲) را می‌توان جزو اولین پژوهشگرانی عنوان کرد که در زمینه الگوی جریان در دهانه آبگیر و جریان‌های انحرافی مطالعاتی را انجام داده‌اند، براساس ۱۴ سال پژوهش بر روی ۱۱ آبگیر، بهترین محل را درست در پایین‌دست طرف مقعر خم رودخانه پیشنهاد کردند. نیری و اوگارد (۱۹۹۳) مطالعات آزمایشگاهی خود را بر روی هیدرولیک جریان در آبگیرهای ۹۰ درجه در مسیر مستقیم انجام دادند و الگوی جریان، خط جدایی جریان، ناحیه سکون و ناحیه تشکیل گردابه‌ها را بررسی کرده و نشان دادند عرض صفحه جدایی جریان جلوی آبگیر در کف بیش‌تر از سطح است. پژوهش‌های انجام شده توسط نیری و اوگارد نشان می‌دهد که جریان‌های انحرافی در نحوه و میزان رسوب‌گذاری تأثیر زیادی دارند. نیری و همکاران (۱۹۹۹) مدل عددی سه‌بعدی جریان بر روی یک انشعاب ۹۰ درجه در کانال با مقطع مستطیلی را توسعه داده و با نتایج آزمایشگاهی صحت‌یابی کردند.

در زمینه آبگیری از خم رودخانه‌ها نیز پژوهش‌هایی صورت پذیرفته است. از جمله این افراد می‌توان به جاگلکار (۱۹۵۹)، تورو (۱۹۷۵)، رضوان (۱۹۸۹)، شفاعی بجستان و نظری (۱۹۹۹)، پیرستانی (۲۰۰۴)، ابوالقاسمی (۲۰۰۶)، دهقانی (۲۰۰۶)، صفرزاده و همکاران (۲۰۰۸) و منتصری و

همکاران (۲۰۰۸) اشاره نمود. نتایج کلی پژوهش‌های بالا نشان می‌دهد که به‌کارگیری آبگیر در نیمه دوم قوس خارجی و در جایی که جریان ثانویه کاملاً توسعه یافته است، مناسب است. آزمایش‌های پیرستانی (۲۰۰۴) روی الگوی جریان و موقعیت آبگیر در قوس ۱۸۰ درجه روی کف صلب انجام پذیرفت و در هر موقعیت الگوی جریان حوالی آبگیر با استفاده از یک سرعت‌سنج ۲ بعدی برداشت گردید. در پژوهش ایشان آبگیر در سه موقعیت ۴۰، ۷۵ و ۱۱۵ نصب گردید و در هر موقعیت سه زاویه آبگیری مورد آزمایش قرار گرفت. نتایج پژوهش ایشان نشان می‌دهد که موقعیت آبگیری ۷۵ درجه با زاویه انحراف ۷۵ درجه، نسبت به دو محل آبگیری ۴۰ و ۱۱۵ درجه، برای تمام شرایط عدد فرود، دارای دبی نسبی انحرافی در واحد عرض بیش‌تری است. مطابق یافته‌های ایشان در صورتی که بحث کاهش ورود رسوبات به داخل آبگیر مورد نظر باشد، موقعیت ۱۱۵ درجه و زاویه آبگیری ۶۰ درجه برای احداث آبگیر توصیه می‌شود. دهقانی (۲۰۰۶) با نصب آبگیر در ۵ موقعیت ۹۰، ۱۰۲/۵، ۱۱۵، ۱۳۵ و ۱۵۰ درجه در نیمه دوم قوس خارجی کانال قوسی ۱۸۰ درجه، به بررسی میزان رسوب ورودی به آبگیر پرداخت. در آزمایش‌های ایشان از چهار زاویه آبگیری ۷۵، ۶۰، ۴۵ و ۳۰ استفاده شد. نتایج پژوهش دهقانی (۲۰۰۶) نشان داد که محدوده بین ۱۱۵-۱۳۵ درجه برای آبگیری مناسب است. وی همچنین زاویه آبگیری ۴۵ درجه را در محدوده آزمایش‌های خود توصیه نمود. صفرزاده و همکاران (۲۰۰۸) با استفاده از مدل عددی Fluent و با استفاده از داده‌های پیرستانی به بررسی الگوی جریان در کانال قوسی ۱۸۰ درجه با آبگیر جانبی پرداخت. منتصری و همکاران (۲۰۰۸) با استفاده از سرعت‌سنج سه‌بعدی به بررسی الگوی جریان در کانال قوسی ۱۸۰ درجه با آبگیر جانبی پرداختند. با توجه به پژوهش‌های پیشین متوجه می‌شویم که به‌دلیل محدودیت مدل‌های آزمایشگاهی استفاده از مدل‌های عددی برای شناخت پدیده سه‌بعدی و پیچیده آبگیری امری حتمی می‌باشد و این مسأله زمانی بارزتر می‌شود که مکانیزم انتقال رسوب نیز بررسی شود. بنابراین استفاده از مدل عددی که توانایی خوبی در شبیه‌سازی الگوی جریان و رسوب دارد مهندسين را در طراحی بهتر آن یاری نماید. در این پژوهش با استفاده از نرم‌افزار شبیه‌سازی سه‌بعدی میدان جریان (SSIM2) به بررسی الگوی جریان اطراف آبگیر جانبی واقع در موقعیت ۱۱۵ درجه و با زاویه انحراف ۴۵ درجه از یک کانال قوسی با زاویه مرکزی ۱۸۰ پرداخته شده است و از داده‌های اندازه‌گیری میدان جریان که توسط یک سرعت‌سنج سه‌بعدی ADV برداشت شده است، برای کالیبراسیون مدل استفاده شده است.

### مواد و روش‌ها

مشخصات کانال آزمایشگاهی: کانال آزمایشگاهی مربوط به پژوهش منتصری و همکاران (۲۰۰۸) که نتایج آن جهت واسنجی مدل عددی مورد استفاده قرار گرفته است، 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 پلکسی‌گلاس بوده است. در موقعیت ۱۱۵ درجه از قوس، کانال آبگیر با زاویه انحراف ۴۵ درجه نسبت به امتداد جریان در کانال اصلی نصب گردید، موقعیت و زاویه انحراف آبگیر براساس توصیه دهقانی (۲۰۰۶) انتخاب شده است. عرض و طول کانال آبگیر به ترتیب ۲۵ سانتی‌متر و ۲/۵ متر می‌باشد (شکل ۲).



شکل ۲- مشخصات فلوم آزمایشگاهی دانشگاه تربیت مدرس.

در مدل آزمایشگاهی دبی ورودی برابر ۴۰ لیتر بر ثانیه، عمق بالادست حدود ۱۵ سانتی‌متر و دبی انحرافی برابر ۴۰ درصد دبی ورودی انتخاب شده است. میدان جریان در این پژوهش با استفاده از سرعت‌سنج سه‌بعدی ADV<sup>۱</sup> اندازه‌گیری گردید. میدان جریان اندازه‌گیری شده شامل سه مؤلفه سرعت طولی (مماسی) U، عرضی (شعاعی) V و قائم W می‌باشد. برای زبر کردن بستر قبل از

1- Acoustic Doppler Velocimeter

اندازه‌گیری میدان جریان، یک لایه رسوب از مصالح با دانه‌بندی یکنواخت و با قطر متوسط  $1/28$  میلی‌متر روی بستر شیشه‌ای کانال چسبانیده شد.

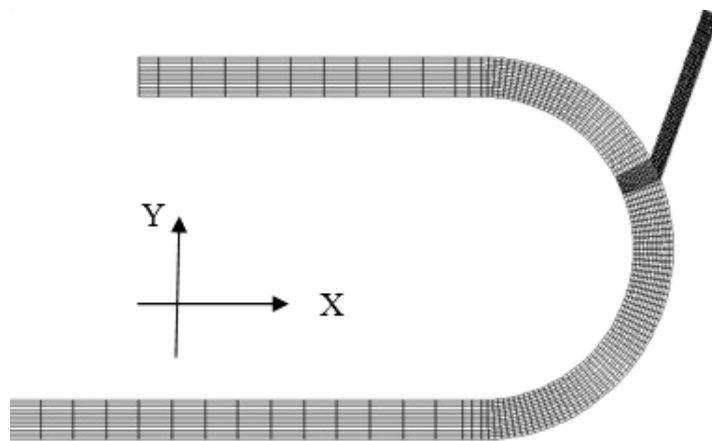
**نرم‌افزار SSIM2**: مدل SSIM<sup>1</sup> در سال‌های ۹۱-۱۹۹۰ نوشته شده است. این مدل توسط اولسن در دانشگاه علوم تکنولوژی نروژ توسعه داده شده است. این برنامه در زمینه مهندسی رودخانه، محیط زیست، هیدرولیک و رسوب کاربرد دارد. برتری اصلی این برنامه در مقایسه با دیگر برنامه‌هایی که بر پایه علم دینامیک محاسباتی جریان CFD ارایه شده است، قابلیت این نرم‌افزار در بررسی حرکت ذرات رسوب در بسترهای متحرک رودخانه و نیز مقاطع پیچیده هندسی می‌باشد. در برنامه SSIM معادله ناویر-استوکس با در نظر گرفتن مدل  $k-\epsilon$  در یک محیط سه‌بعدی و شبکه غیرمتعامد تحلیل می‌شود. در این تحلیل از روش حجم‌های محدود<sup>۲</sup> همراه با استفاده از طرح‌های قانون توانی<sup>۳</sup> و مرتبه دوم بالادستی<sup>۴</sup> استفاده می‌شود. برای جفت‌شدگی و همسان‌سازی فشارها از الگوریتم SIMPLE استفاده می‌شود. در این تحلیل از روش‌های ضمنی برای تولید میدان سرعت در هندسه بهره گرفته می‌شود (اولسن، ۲۰۰۴). در SSIM2 فایلی با عنوان unstruc وجود دارد که اطلاعات مربوط به مختصات نقاط شبکه، دبی جریان ورودی و خروجی را در بر می‌گیرد. این فایل باید توسط SSIM2 تولید شود. فایل control بیش‌تر پارامترهای مورد نیاز مدل (ضریب مانینگ، عمق آب پایین‌دست و ...) و دستورات محاسباتی را در خود جای داده است. بنابراین ضروری است که در هنگام راه‌اندازی برنامه ارایه شود. اطلاعات خروجی محاسبات میدان جریان در فایل result موجود می‌باشد. این فایل بعد از همگرا شدن تحلیل و یا طی شدن تعداد تکرارهای محاسبه‌ها که از قبل تعیین شده است نوشته می‌شود. نتایج شامل سرعت در هر ۳ جهت و مقادیر  $k, \epsilon$  و فشار می‌باشد.

**شرایط مرزی**: یکی از تنظیم‌های 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. استفاده از شرط مرزی دیریکله به این معناست که مقادیر متغیرها در مرز معین باشد. اعمال این شرایط در مدل SSIM2، با تعیین دبی و تراز سطح آب در پایین‌دست و همچنین مشخص کردن عدد استریکلر اعمال می‌شود. همچنین در این مرز لازم است تا مقادیر پارامترهای آشفتگی مانند انرژی

- 1- Sediment Simulation in Intakes with Multi Block Option
- 2- Finite Volume
- 3- Power-Law
- 4- Second Order Upwind Scheme

جنبشی ( $k$ ) و استهلاک ( $\varepsilon$ ) 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 تغییر نکردن مشخصات جریان در جهت عمود بر مرز خروجی با این طول در مقطع خروجی حاصل شود. 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 زیر در سلول‌های مجاور جداره استفاده می‌کند.

**مش بندی میدان جریان:** مش بندی میدان مورد مطالعه بسیار دارای اهمیت می‌باشد. زیرا نحوه مش بندی در سرعت همگرا شدن و دقت نتایج مدل بسیار دارای اهمیت می‌باشد. بنابراین با توجه به اهمیت نواحی مختلف، مش بندی‌های متفاوتی انجام گردیده است. در دو قسمت مستقیم کانال که دارای اهمیت کمی می‌باشد فاصله مش‌ها مقادیر بزرگ‌تری نسبت به مش‌های موجود در قوس دارند و در دهانه آبگیر مش بندی دارای مقادیر ریزتری نسبت به سایر نقاط قوس می‌باشد. نکته مهم دیگری که در مش بندی میدان جریان در  $SSIM2$  وجود دارد این است که به دلیل ساختار پیچیده فایل `unstruc` قادر به ساخت هندسه‌های پیچیده نمی‌باشیم بنابراین کانال قوسی  $180^\circ$  درجه در  $SSIM1$  ساخته شده و به  $SSIM2$  انتقال داده می‌شود ولی آبگیر به دلیل هندسه ساده‌تر در  $SSIM2$  ایجاد شده است (شکل ۳). اطلاعات مربوط به فواصل مش‌ها در جدول ۱ آمده است.



شکل ۳- نحوه مش بندی کف کانال.

جدول ۱- فاصله‌های مشبندی میدان حل در راستای طولی، عرضی و قائم در نواحی مختلف.

موقعیت	راستای طولی	راستای عرضی	راستای قائم
موقعیت	راستای طولی	راستای عرضی	راستای قائم
قسمت مستقیم	۰/۳ متر	۱ میلی‌متر	۲۰ میلی‌متر
کانال قوسی	۲ درجه	۱ میلی‌متر	۲۰ میلی‌متر
قوس در دهانه آبگیر	۰/۵ درجه	۱ میلی‌متر	۲۰ میلی‌متر
کانال آبگیر	۰/۰۶۲۵ متر	۱۶۷ میلی‌متر	۱۶۷ میلی‌متر

معادله‌های حاکم بر میدان جریان: قوانین حاکم عبارتند از قانون بقای جرم و قانون بقای مومنتم که در حالت جریان آشفته و به صورت متوسط‌گیری شده در زمان، معادله‌های پیوستگی ۱ و رینولدز ۲ از آن‌ها استخراج می‌شود:

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

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

جمله‌های  $-\overline{\rho u_i' u_j'}$  به عنوان تنش‌های رینولدز شناخته می‌شوند. این معادله‌ها شامل چهار مجهول مؤلفه‌های سرعت در سه جهت و فشار می‌باشند. از طرفی معادله مومنتم شامل ۶ مؤلفه مجهول تنش رینولدز است، بنابراین سیستم معادله‌های بالا بسته نیست و باید با استفاده از مدل آشفتگی مناسب تنش‌های رینولدز محاسبه شوند. در این مقاله از مدل آشفتگی k-ε استفاده شده است. مدل k-ε میزان لزجت گراده را طبق رابطه زیر محاسبه می‌کند:

$$\nu_T = c_\mu \frac{k}{\varepsilon} \quad (3)$$

که در آن، K: انرژی جنبشی آشفتگی می‌باشد که به صورت زیر مدل می‌شود:



$$k = \frac{1}{\gamma} \overline{u_i u_j} \quad (4)$$

$$\frac{\partial k}{\partial t} + u_j \frac{\partial k}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \frac{\nu_T}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) + P_k - \varepsilon \quad (5)$$

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

اتلاف مقدار  $K$  به صورت  $\varepsilon$  بیان می شود:

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + u_j \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \frac{\nu_T}{\sigma_k} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right) + c_{\varepsilon 1} \frac{\varepsilon}{k} P_k + c_{\varepsilon 2} \frac{\varepsilon^2}{k} \quad (6)$$

### بحث و نتایج

**واسنجی مدل عددی:** پارامتر زبری در SSIIM با دو هدف مورد استفاده قرار می گیرد. محاسبه سطح آب اولیه در کانال برای تعریف هندسه اولیه میدان، که با استفاده از الگوریتم یک‌بعدی برگشت آب استاندارد<sup>۱</sup> انجام می شود و دیگری محاسبه و پیش‌بینی تنش برشی در مرزهای میدان. SSIIM برای محاسبه ارتفاع سطح اولیه آب در کانال از پارامتر استریکلر ( $K_{st}$ ) استفاده می کند که در این رابطه  $n$  ضریب مانینگ می باشد:

$$K_{st} = \frac{1}{n} \quad (7)$$

وانونی در سال (۱۹۷۵) رابطه زیر را برای محاسبه ضریب مانینگ ارائه داده است:

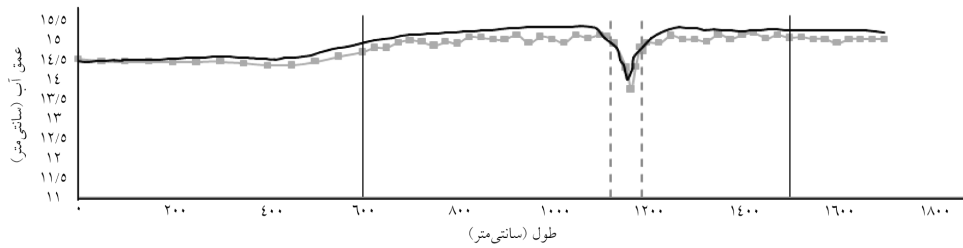
$$n = \frac{1}{\sqrt{26}} \frac{k_s^{\frac{1}{6}}}{\sqrt{26}} \quad (8)$$

که در آن،  $k_s$ : زبری مؤثر ضریبی از  $d_{50}$  می باشد.

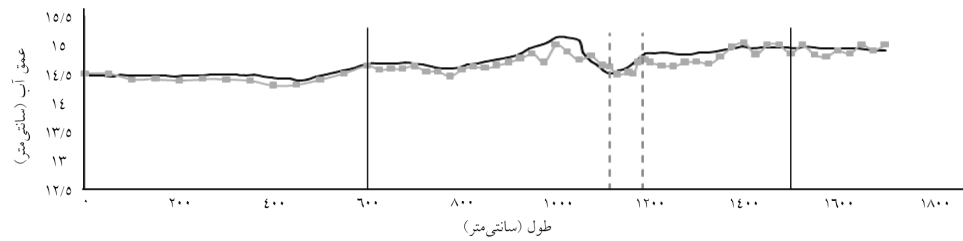
1- Standard Back Water Algorithm

به منظور واسنجی مدل، با جای‌گذاری  $k_s=1d_0=0/00128$  متر، براساس رابطه ونونی حدس اولیه برای  $k_{st}=78/8$  به دست می‌آید که نتایج به دست آمده از مدل‌سازی با مقدار اخیر برای  $k_{st}$  نشان می‌دهد سطح آب محاسبه شده در بالادست کم‌تر از حد انتظار بوده و بنابراین مدل‌سازی با مقادیر مختلف  $k_s$  تکرار شده تا ارتفاع سطح آب در بالادست منطبق بر مقدار آزمایشگاهی گزارش شده گردد. نتایج به دست آمده از تکرار مدل‌سازی نشان می‌دهد که در  $k_s=1/7d_0$  ارتفاع سطح آب در ابتدای کانال هماهنگی مناسبی دارد. علاوه بر این با در نظر گرفتن  $k_s=1/7d_0$  پروفیل سرعت در نزدیک کف هماهنگی بهتری با داده‌های آزمایشگاهی نشان می‌دهد. پروفیل‌های سطح آب در مجاورت قوس داخلی، قوس خارجی و در امتداد میانه کانال با داده‌های آزمایشگاهی در شکل ۴ با یکدیگر مقایسه شده است. نتایج نشان‌دهنده شبیه‌سازی بسیار خوب تغییرات سطح آب می‌باشد.

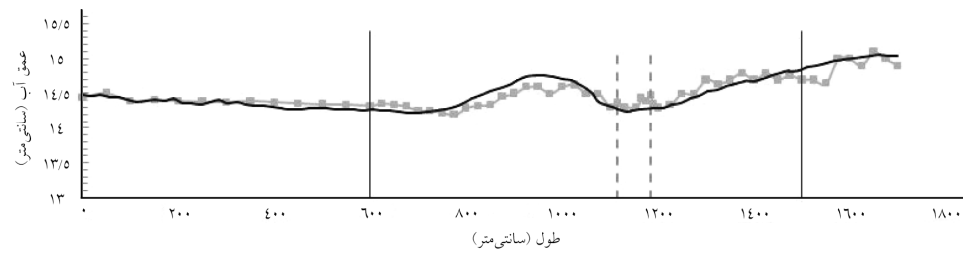
به‌ازای مقدار بهینه به دست آمده برای ضریب مانینگ، مقادیر عددی و آزمایشگاهی پروفیل سرعت در مقاطع مختلف عرضی به فاصله شعاعی ۵، ۱۵، ۲۵، ۳۵، ۴۵ و ۵۵ سانتی‌متر از لبه داخلی قوس در شکل ۵ نشان داده شده است. با دقت در شکل ۵ مشخص است که در قسمت‌های میانی جریان و دور از مرزها، مدل توانسته به خوبی نحوه تغییرات پروفیل سرعت در عمق کانال را پیش‌بینی کند. اما در نواحی نزدیک بستر، نزدیک جداره داخلی و خارجی اختلاف چشم‌گیری مشاهده می‌شود. این اختلاف در نزدیک بستر ناشی از وجود زبری‌های متعدد موجود در بستر کانال صلب آزمایشگاه می‌باشد و در عمل کالیبره کردن و مدل‌سازی این زبری‌ها بسیار دشوار است. همان‌طور که قبلاً گفته شد برای حل میدان جریان از مدل آشفتگی ( $k-\epsilon$ ) استفاده شده است و مقایسه نتایج نشان می‌دهد که مدل آشفتگی در نزدیک جداره‌ها دارای ضعف می‌باشد که علت آن فرض هموزن بودن لزجت گردابه‌ای در معادلات مدل آشفتگی  $k-\epsilon$  می‌باشد. همچنین در شکل ۶ در تراز ۱۲ سانتی‌متری از کف، مقادیر سرعت به دست آمده از مدل با نتایج آزمایشگاهی در کانال اصلی و کانال آبگیر با یکدیگر مقایسه شده است. اختلاف مقدار سرعت پیش‌بینی شده و سرعت اندازه‌گیری شده تقسیم بر مقدار سرعت اندازه‌گیری شده به‌عنوان خطا در نظر گرفته شده است محاسبه‌های میانگین خطا برای سرعت کل در تراز ۱۲ سانتی‌متری در کانال اصلی  $5/87$  درصد و در کانال آبگیر  $6/53$  درصد همچنین در تراز ۱ سانتی‌متری در کانال اصلی  $7/75$  درصد در کانال آبگیر  $11/27$  درصد می‌باشد. که علت خطای بیش‌تر در کانال آبگیر به دلیل آشفتگی زیاد جریان در آبگیر است. همچنین بیش‌ترین خطا در محدوده ناحیه کم سرعت داخل آبگیر، جایی که جدایی جریان رخ می‌دهد، می‌باشد.



الف- پروفیل سطح آب نزدیک دیواره خارجی کانال



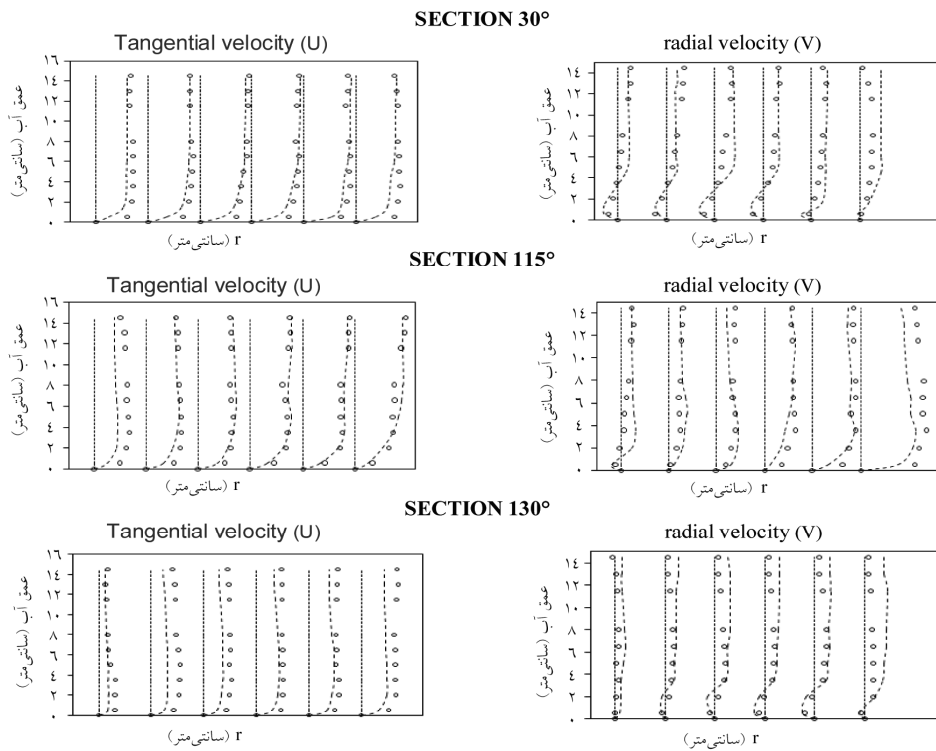
ب- پروفیل سطح آب در میانه کانال



ج- پروفیل سطح آب نزدیک دیواره داخلی کانال

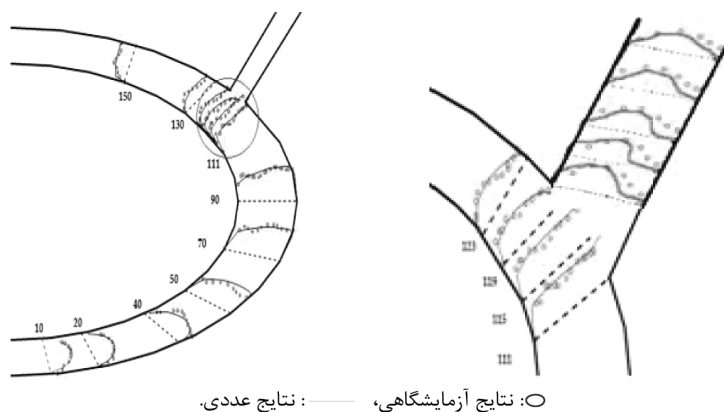
—■— Experimental      — SSIM2

شکل ۴- مقایسه پروفیل سطح آب به دست آمده از نتایج آزمایشگاهی و مدل عددی.



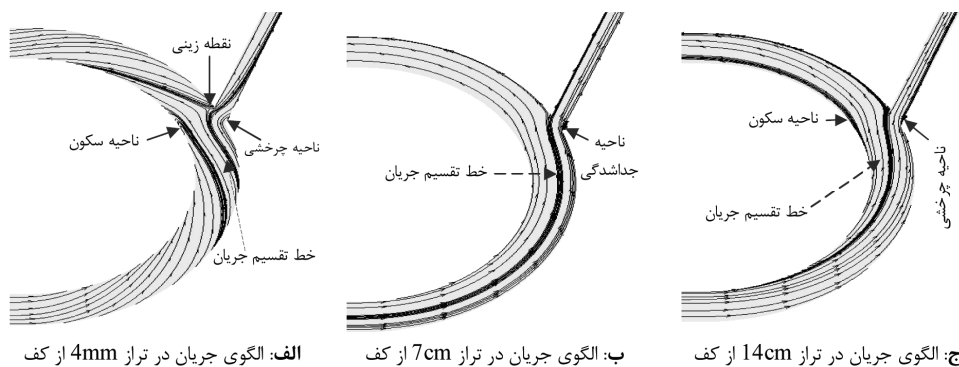
O: نتایج آزمایشگاهی، ---: نتایج عددی.

شکل ۵- واسنجی نتایج مدل عددی براساس پروفیل‌های قائم سرعت مماسی و سرعت شعاعی در مقاطع مختلف قوس.



شکل ۶- مقایسه پروفیل سرعت در تراز ۱۲ سانتی‌متری از کف.

بررسی خطوط جریان در صفحات افقی: شکل ۷ خطوط جریان در سه صفحه نزدیک بستر، عمق متوسط و صفحه نزدیک سطح آب به دست آمده از مدل عددی را نشان می‌دهد. در ورودی کانال ذرات سیال در نزدیک بستر به شدت به سمت دیواره داخلی کشیده می‌شوند، به شکلی که ذراتی که وارد قوس می‌شوند در حدود زاویه ۳۰ درجه به جدار داخلی برخورد می‌کنند. الگوی کلی حاکم بر تراز نزدیک بستر انحراف به سمت جدار داخلی است. بنابراین انتظار داریم در یک کانال با بستر متحرک، مصالح کف به سمت دیواره داخلی حرکت کند. پدیده مهم دیگر در صفحه نزدیک بستر، پیروی نکردن ذرات جریان از انحنای قوس است. به بیان دیگر، خطوط جریان حالت مورب داشته و مسیر حرکت ذرات نزدیک بستر در امتداد شعاع قوس نمی‌باشد. 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 ۷-الف). دقت در مسیر خطوط جریان در صفحه عمق متوسط شکل (۷-ب) نشان می‌دهد که در این صفحه خطوط جریان تأثیر چندانی از جریان ثانویه نگرفته‌اند و تقریباً با پیروی از انحنای کانال مسیر خود را طی می‌کنند. شکل (۷-ج) نیز خطوط جریان را در صفحه نزدیک سطح آب نشان می‌دهد. همان‌طور که در این شکل دیده می‌شود، الگوی کلی خطوط جریان در صفحه نزدیک سطح آب، انحراف به سمت دیواره بیرونی کانال است. نکته قابل توجه دیگر در خطوط جریان در صفحه نزدیک سطح آب، در قیاس با صفحه نزدیک بستر این است که میزان انحراف ذرات در مقطع ورودی قوس در صفحه نزدیک بستر بسیار شدیدتر از ترازهای بالایی است. علت این پدیده وجود جریان یک‌سویه به طرف دیواره داخلی است.



شکل ۷- الگوی جریان در ترازهای متفاوت.

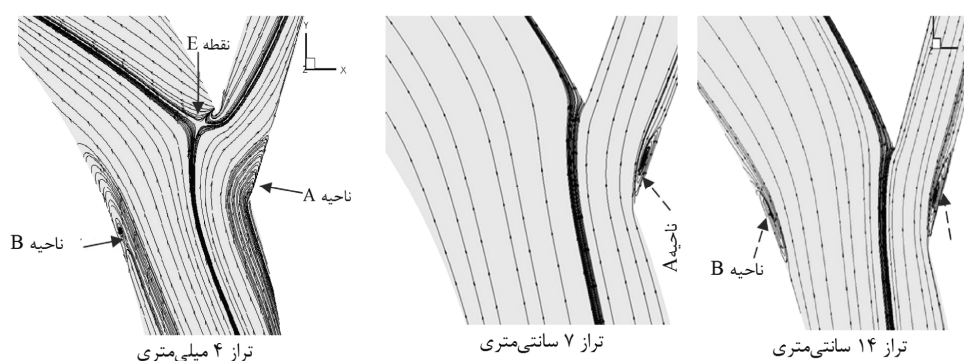
همان‌طور که در شکل ۸ می‌بینیم، خطوط جریان در ترازهای مختلف دارای برخی خصوصیات بارز و نقاط خاصی می‌باشد که در این جا به ذکر این نقاط می‌پردازیم:

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 جدادگی A:** ناحیه جدایی جریان درون آبگیر، این ناحیه محل احتمالی برای رسوب‌گذاری خواهد بود.

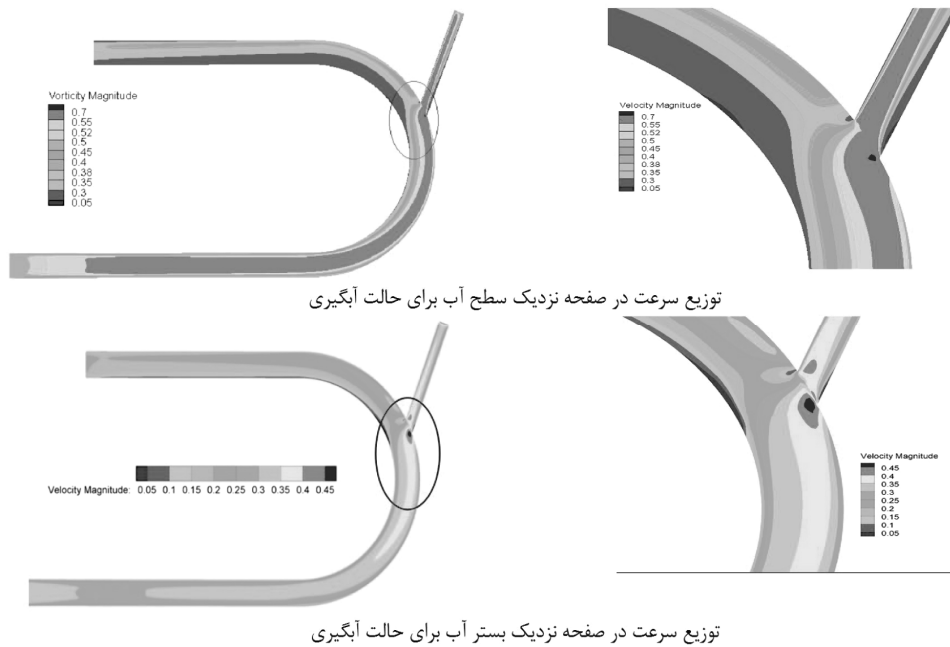
۳- **ناحیه جدادگی B:** ناحیه جدایی جریان در مجاورت دیواره داخلی کانال اصلی پس از آبگیر.

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



شکل ۸- نواحی خاص نزدیک آبگیر- نتایج مدل.

بررسی تغییرات نواحی هم‌سرعت در پلان کانال: در شکل ۹ نواحی هم‌سرعت در تراز نزدیک سطح آب و تراز نزدیک بستر نشان داده شده است. با توجه به شکل مزبور، روند انتقال جانبی مومتم در طول کانال اصلی به علت مکش آبگیر و ورود جریان از بالادست دهانه ورودی آبگیر مشهود است. در داخل آبگیر نیز ناحیه جدایی جریان به صورت یک ناحیه کم‌سرعت مشخص می‌باشد که عرض مفید آبگیر را کاهش داده و موجب تله‌اندازی رسوبات ورودی به آبگیر می‌شود. همچنین ناحیه کم‌سرعت نزدیک جداره داخلی کانال اصلی در پایین‌دست آبگیر و ناحیه کم‌سرعت واقع در گوشه پایین‌دست دهانه آبگیر نیز در این حالت قابل مشاهده است.



شکل ۹- نواحی هم سرعت در ترازهای مختلف.

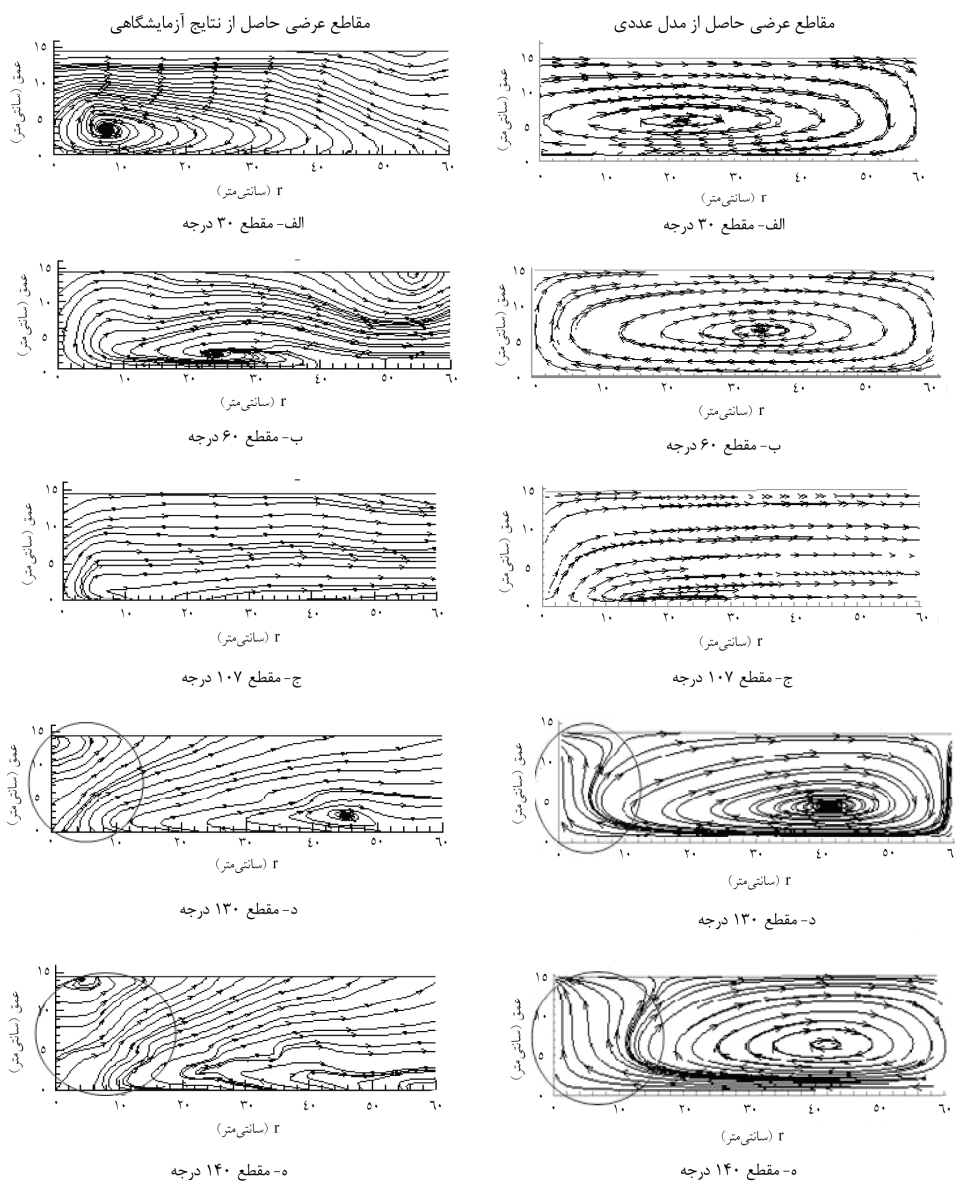
خطوط جریان در مقاطع عرضی در کانال اصلی: در شکل ۱۰ خطوط جریان در مقاطع عرضی در کانال اصلی توسط مدل عددی پیش بینی شده و با نتایج آزمایشگاهی مقایسه شده است. این خط‌ها براساس بردارهای سرعت در صفحات عرضی که دارای بزرگی  $V_{ry} = \sqrt{(v^2 + w^2)}$  و جهت  $\tan^{-1} \frac{w}{v}$  در هر نقطه می‌باشند، ترسیم شده‌اند.

جریان با ورود به قوس، تحت تأثیر نیروی گریز از مرکز قرار می‌گیرد و یک جریان ثانویه در قوس شروع به شکل‌گیری می‌کند، ضمن این‌که یک سلول چرخشی دیگر نیز در قسمت فوقانی جدا شده خارجی به وجود می‌آید. در مقطع ۳۰ درجه جریان ثانویه کامل‌تر می‌شود و در مقطع ۴۰ درجه به‌طور کامل شکل می‌گیرد. هسته این جریان ثانویه در قوس داخلی قرار دارد، ضمن این‌که سلول چرخشی نیز که جهت آن خلاف جریان ثانویه اصلی است، به‌طور کامل تشکیل شده است. این سلول چرخشی در قسمت فوقانی قوس خارجی توسط بلانکارت و همکاران (۲۰۰۱) نیز با اندازه‌گیری آزمایشگاهی

روی یک قوس ۱۲۰ درجه گزارش شده است. بلانکارت و همکاران (۲۰۰۱) ناهمگنی تنش‌های قائم رینولدز داخل مقطع را عامل اصلی ایجاد سلول چرخشی دوم در نزدیک دیواره خارجی عنوان کرده‌اند. از مقطع ۴۵ درجه جریان تحت تأثیر مکش آبگیر قرار می‌گیرد و هسته جریان ثانویه مقطع از قوس داخلی جدا می‌شود اما سلول چرخشی نزدیک جدار خارجی قوی‌تر می‌گردد (مقطع ۶۰ درجه). از مقطع ۱۰۷ درجه جریان ثانویه قوس تحت مکش شدید آبگیر قرار می‌گیرد و جریان ثانویه شروع به زوال می‌نماید و در مقطع ۱۱۵ درجه (وسط آبگیر) به دلیل مکش آبگیر و ایجاد مومتوم جانبی قوی، جریان ثانویه به طور کامل از بین می‌رود. در مقاطع بعد از آبگیر، جریان ثانویه دوباره شکل می‌گیرد که هسته آن نزدیک قوس خارجی است، ضمن این که یک سلول چرخشی با جهت مخالف نزدیک دیواره داخلی قوس تشکیل می‌گردد که ناشی از ناحیه جدایی جریان در پایین دست آبگیر است (مقطع ۱۳۰ و ۱۴۰ درجه). از این مقاطع به بعد و با رسیدن به انتهای قوس، قدرت جریان ثانویه مقطع شروع به کاهش می‌نماید.

با نگاهی به شکل ۱۰ مشاهده می‌شود که نتایج به دست آمده از مدل عددی دارای ضعف می‌باشد. زیرا که این نتایج سلول‌های چرخشی که جهت آن خلاف جریان ثانویه اصلی است (نیمه اول کانال) را نشان نمی‌دهد و علت آن فرض هموزن بودن لزجت گردابه‌ای در معادله‌های مدل آشفتگی  $k-\varepsilon$  می‌باشد. همچنین موقعیت دقیق هسته جریان ثانویه با نتایج آزمایشگاهی دارای تفاوتی می‌باشد. با این وجود می‌توان دریافت که هسته این جریان ثانویه در قوس داخلی می‌باشد. همچنین مشاهدات نشان می‌دهد که در مقطع ۴۵ درجه هسته جریان از قوس داخلی جدا شده و در مرکز کانال قرار دارد. با نزدیک شدن به آبگیر جریان ثانویه ضعیف می‌شود و در مقطع ۱۱۵ درجه به طور کامل از بین می‌رود. از مقطع ۱۱۸ درجه بار دیگر جریان ثانویه شروع به شکل‌گیری می‌کند با این تفاوت که مرکز جریان ثانویه در قوس خارجی می‌باشد (مانند نتایج آزمایشگاهی). همچنین مدل عددی یک ناحیه چرخشی در قسمت فوقانی قوس داخلی نشان می‌دهد (مقطع ۱۳۰ و ۱۴۰ درجه) که این ناحیه نیز در نتایج آزمایشگاهی وجود دارد. با وجود این که مدل SSIIM2 در نشان دادن مقاطع عرضی ضعیف می‌باشد ولی روند کلی جریان ثانویه و سلول چرخشی بعد از آبگیر را تا حد قابل قبولی مدل کرد.



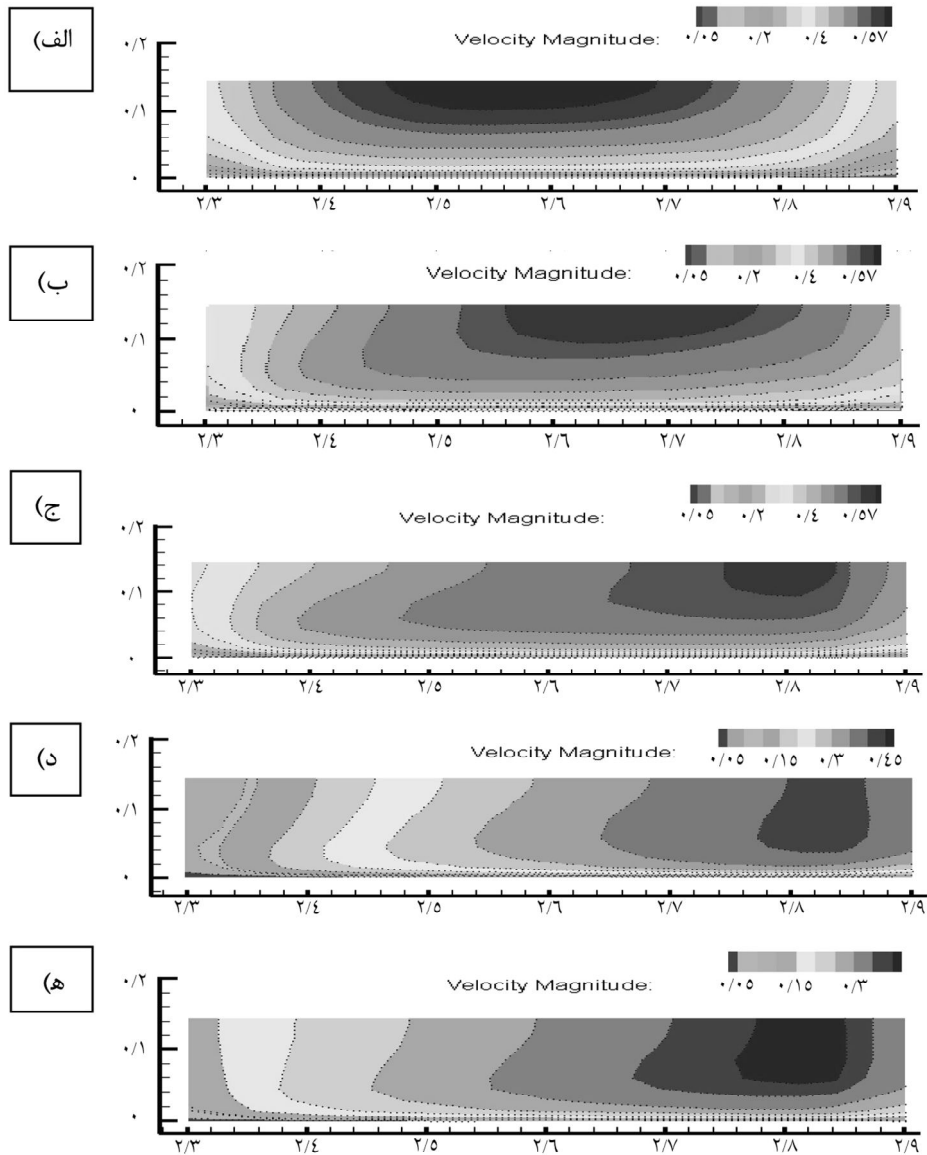


شکل ۱۰- خطوط جریان در مقاطع عرضی مختلف به دست آمده از نتایج آزمایشگاهی و مدل عددی.

بررسی تغییرات نواحی هم‌سرعت در مقاطع عرضی مختلف در طول کانال: به‌منظور بررسی نحوه توزیع سرعت در عمق و نیز نحوه تغییرات آن در طول کانال، در مقاطع عرضی کانال، خطوط هم‌سرعت برای مؤلفه طولی سرعت در مقاطع عرضی مختلف در امتداد کانال در شکل ۱۱ نشان داده شده است. با توجه به این شکل دیده می‌شود که در مقطع ورودی قوس (زاویه صفر درجه) توزیع سرعت در مقطع، از حالت تقارن خارج شده و هسته پرسرعت کمی به سمت جدار داخل متمایل گشته است (شکل ۱۱- الف). علت این انحراف جریان یک‌سویه‌ای که به سمت جدار داخلی، در ابتدای قوس شکل می‌گیرد، است. همچنین در این مقطع، افزایش سرعت از بستر به سمت سطح آب کاملاً قابل مشاهده است به شکلی که هسته پرسرعت، در نزدیک سطح آب قرار گرفته است. با پیشروی در طول کانال و قدرت گرفتن جریان ثانویه، در مقطع ۴۵ درجه مشاهده می‌شود که الگوی کلی نواحی هم‌سرعت دارای دگرگونی شده و هسته پرسرعت نیز نسبت به مقطع ورودی قوس به سمت جدار خارجی حرکت کرده ولی همچنان همانند مقطع صفر درجه در سطح آب باقی می‌ماند (شکل ۱۱- ب). با نزدیک شدن به راس قوس (شکل ۱۱- ج) به دلیل قدرت گرفتن مکش ناشی از آبگیر، هسته پرسرعت کاملاً در نزدیکی دیواره خارجی قوس قرار می‌گیرد.

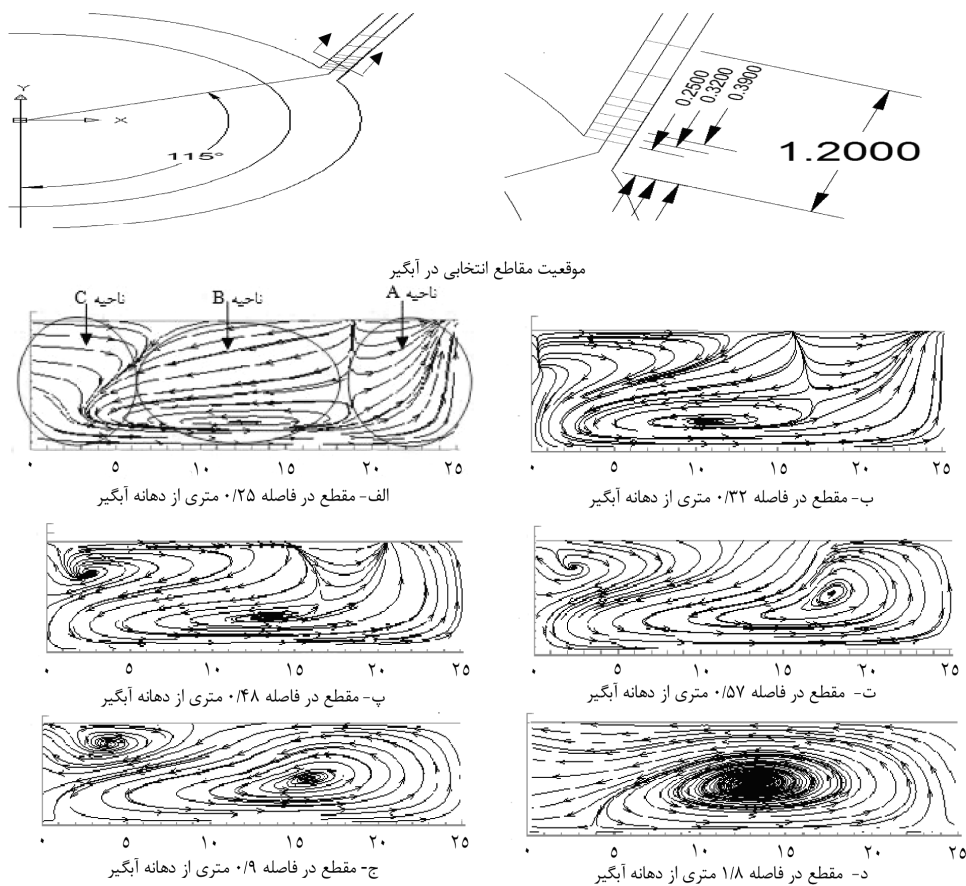
بعد از گذر از آبگیر، به دلیل آگیری انجام شده مقدار سرعت جریان کاهش قابل ملاحظه‌ای پیدا می‌کند و در مقطع ۱۳۵ درجه پدیده گسترش هسته پرسرعت به سمت بستر رخ می‌دهد و این هسته کاملاً در نزدیکی بستر قرار می‌گیرد. نخستین انتظاری که از این فرآیند (افزایش گرادیان سرعت نزدیک بستر) در مقطع ۱۳۵ درجه می‌توان داشت، تأثیر آن بر روند توزیع تنش برشی بستر و افزایش احتمال آبستگي در این بازه از کانال در جداره خارجی است. با نزدیک شدن به انتهای قوس (مقطع ۱۸۰ درجه)، هسته پرسرعت مزبور حالت فشردگی خود را از دست داده و به سمت مرکز کانال گسترش می‌یابد (شکل ۱۱- ه).

**خطوط جریان در مقاطع عرضی در کانال آبگیر:** تاکنون پژوهش‌های زیادی بر روی ضریب آبگذری سرریزها و آبگیرهای جانبی انجام گردیده ولی توجه کم‌تری به الگوی جریان در کانال‌های آبگیر شده است. خطوط جریان در مقاطع عرضی مختلف در طول آبگیر در شکل ۱۲ نشان داده شده است.



الف) ۰ درجه ب) ۴۵ درجه ج) ۹۰ درجه د) ۱۳۵ درجه هـ) ۱۸۰ درجه

شکل ۱۱- خطوط هم‌تراز مؤلفه سرعت طولی در مقاطع عرضی.



شکل ۱۲- مقاطع عرضی در کانال آبگیر.

همان‌گونه که در شکل (۱۲- الف) مشاهده می‌گردد سه ناحیه چرخشی متفاوت در مقطع ورودی کانال آبگیر وجود دارد. ناحیه A نزدیک به دیواره بالادست کانال آبگیر می‌باشد که به دلیل وجود ناحیه جدانشدگی درون کانال آبگیر می‌باشد و با پایان یافتن ناحیه جدانشدگی، این سلول چرخشی از بین می‌رود. ناحیه چرخشی B که در مرکز آبگیر وجود دارد به علت نبود تعادل بین نیروی گریز از مرکز و گرادیان فشار ناشی از انحنای خطوط جریان به درون آبگیر به وجود می‌آید که مکانیسم تشکیل آن مشابه مکانیسم تشکیل جریان حلزونی در کانال‌های قوسی می‌باشد به این ترتیب که صفحه تقسیم

جریان در کانال اصلی شبیه دیواره خارجی یک کانال قوسی و ناحیه جداشدگی درون آبرگیر مشابه دیواره داخلی آن عمل کرده و جریان ثانویه‌ای ایجاد می‌کند که در سطح به سمت دیواره خارجی و در کف به سمت دیواره داخلی است. این جریان ثانویه ناحیه چرخشی اصلی درون آبرگیر را تشکیل می‌دهد که تا انتهای آبرگیر نیز وجود دارد. یک سلول چرخشی (ناحیه C) در بالای دیواره پایین دست کانال آبرگیر وجود دارد که جهت آن خلاف جریان ثانویه اصلی به وجود آمده در کانال آبرگیر است که تا مقطع ۱/۸ متری از دهانه آبرگیر ادامه دارد. مکانیسم ایجاد این سلول چرخشی مشابه سلول چرخشی ایجاد شده در قوس خارجی کانال اصلی است. بر خلاف توانایی نداشتن مدل SSIIM2 در شبیه‌سازی این سلول چرخشی در کانال اصلی، در کانال آبرگیر مدل به خوبی توانسته است این ناحیه را شبیه‌سازی نماید که علت آن توانایی نداشتن مدل آشفتگی k-ε در شبیه‌سازی مناسب میدان جریان در هندسه‌های پیچیده مانند هندسه‌های منحنی شکل می‌باشد.

**بررسی توزیع تنش برشی بستر در کف کانال:** بررسی توزیع تنش برشی بستر در حالت صلب می‌تواند تا حد زیادی به درک کیفی از الگوی فرسایش و رسوب‌گذاری در حالت بستر متحرک منجر شود. توزیع تنش برشی بستر در کانال اصلی و کانال آبرگیر که توسط نرم‌افزار محاسبه شده است در شکل ۱۳ نشان داده شده است. نگاهی به شکل مزبور نشان می‌دهد که در نیمه اول کانال اصلی، احتمال وقوع چاله فرسایشی در محدوده مقطع عرضی ۵۰-۴۵ درجه (ناحیه a) وجود دارد. وجود جریان ثانویه عرضی قوی در محدوده مقطع ۴۵ درجه باعث شده است تا خطوط جریان در این بازه از کانال در نزدیکی دیواره خارجی تا حدی فشرده شده و در نهایت گرادیان سرعت شدیدی بر روی جداره خارجی و به دنبال آن تنش برشی به نسبت قوی در این ناحیه ایجاد می‌شود. در اطراف دهانه آبرگیر، سه ناحیه زیر مشاهده می‌شود:

۱- مکان آبستگي احتمالي بالادست دهانه (b)

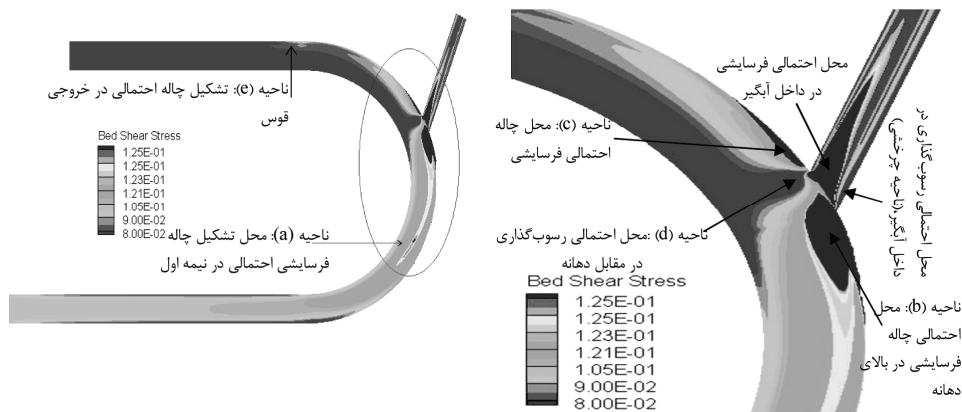
۲- مکان آبستگي احتمالي گوشه پایین دست دهانه (c)

۳- مکان رسوب‌گذاری احتمالي در پایین دست دهانه (d)

علت تشکیل ناحیه (b)، با توجه به الگوی خطوط جریان نزدیک بستر در بالادست دهانه آبرگیر قابل توجیه است. آبستگي پایین دست دهانه آبرگیر بخاطر تشکیل جریان حلزونی در این منطقه می‌باشد. همان طوری که در شکل (۱۰-د) نشان داده شد، در گوشه پایین دست دهانه آبرگیر، یک جریان

ثانویه به نسبت قوی تشکیل می‌شود و همین پدیده باعث انتقال حداکثر سرعت به ترازهای پایین‌تر و تمرکز ذرات پرسرعت در نزدیکی بستر می‌شود. در اثر این پدیده، گردایان قائم سرعت بالا رفته و در نتیجه، تنش برشی به نسبت قوی به بستر کانال اعمال می‌شود. ناحیه (d)، محلی است که نقطه زینی در این ناحیه تشکیل می‌شود. طبق نظر نیری و اودگارد (۱۹۹۹)، در صورتی که مؤلفه قائم سرعت در این ناحیه کم باشد، رسوب‌گذاری اتفاق خواهد افتاد.

نگاهی به خروجی قوس نشان می‌دهد، ناحیه‌ای با تنش برشی قابل ملاحظه در خروجی قوس نزدیک جداره خارجی وجود دارد (ناحیه e). دهقانی (۲۰۰۶) در مطالعات خود وجود یک چاله فرسایشی را در این ناحیه گزارش کرده است. علت تشکیل این ناحیه پرتنش نیز با توجه به نحوه تغییرات موقعیت هسته پرسرعت در مقاطع عرضی نزدیک به خروجی کانال قابل توجیه می‌باشد. به این گونه که وجود هسته پرسرعت در نزدیکی جدار خارجی و گسترش هم‌زمان آن در صفحه نزدیک بستر باعث ایجاد نواحی با گردایان سرعت بالا در این مناطق و در نتیجه ایجاد تنش برشی شدید در بستر و جداره خارجی کانال می‌شود. با توجه به شکل ۱۳، در داخل کانال آبگیر ناحیه کم‌تنش در ناحیه جداشدگی (محل رسوب‌گذاری احتمالی) و در مقابل آن ناحیه پرتنش مثلثی شکل (محل فرسایش احتمالی) مشاهده می‌شود.



شکل ۱۳- کانتور تنش برشی در تراز ۲ میلی‌متر از بستر صلب.

### نتیجه گیری

در این پژوهش مدل عددی سه بعدی SSIM برای یک الگوی پیچیده جریان به کار گرفته شده است. نتایج حاصله نشان می دهد مدل عددی استفاده شده، که یکی از مدل های سه بعدی در دسترس مهندسين می باشد، در شبیه سازی خطوط جریان، میدان سرعت، تشخیص الگوی جریان در دهانه آبگیر و توزیع تنش برشی در بستر کانال مقادیر قابل قبولی را پیش بینی کرده است. با وجود این که در نواحی دارای جریان های چرخشی شدید، در بعضی نقاط خطای محاسبه سرعت زیاد می شود ولی مدل قادر است توزیع سرعت و جریان چرخشی را به خوبی مدل سازی نماید. همچنین به دلیل ضعف مدل  $k-\epsilon$  در نزدیک دیواره ها مدل SSIM2 در شبیه سازی بردار جریان ثانویه در دیواره خارجی کانال اصلی که جهت آن خلاف جهت جریان ثانویه اصلی می باشد ضعیف عمل کرده، اما بررسی الگوی جریان در آبگیر نشان می دهد مدل آشفتگی  $k-\epsilon$  الگوی جریان در مقاطع عرضی را به دلیل هندسه ساده آبگیر به شکل مناسبی ارایه کرده است. بررسی تنش برشی نشان می دهد در نیمه اول کانال در مقطع ۵۰-۴۵ درجه بیشترین مقدار را دارا می باشد که احتمال چاله فرسایشی نیز در همین بازه است. در نزدیک آبگیر، در بالا و پایین دهانه دو ناحیه با تنش برشی بالا که محل تشکیل چاله فرسایشی می باشد وجود دارد. همچنین در خروجی قوس نیز در سمت دیوار خارجی کانال محل تشکیل چاله فرسایشی می باشد و در حالت بدون آبگیر نیز این ناحیه وجود دارد.

### منابع

1. Abulghasemi, M. 2006. Sediment Control at Lateral Intakes in River Meander. Ph.D. Thesis, Faculty of Agriculture, Tarbiat Modares University, Tehran, 194p. (In Persian)
2. Blanckaert, K., and Graf, W.H. 2001. Mean flow and turbulence in open-channel bend. J. Hydr. Engin. 127: 10. 835-847.
3. Blench, T., Bondurant, D.C., and Thomas, A.R. 1952. Discussion of Diversion from alluvial channels, Trans., ASCE, 78: 112. 1-7.
4. Dehghani, A.A. 2006. Experimental study on flow field and scouring at lateral intake in 180 degree channel bend, Ph.D. Thesis, Faculty of Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran, 177p. (In Persian)
5. Joglekar, D. 1959. Manual on River Behavior Control and Training, Central Board of Irrigation and Power, Pp: 177-190.

6. Montaseri, H., Ghodsian, M., Shafieefar, M., Salehi Neyshabouri, S.A.A., and Dehghani, A.A. 2008. Experimental investigation of 3D flow field and scouring in a U shape rectangular channel with a lateral intake. *J. Agric. Sci. Natur. Resour.* 15: 2. 225-240.
7. Neary, V.S., and Odgaard, A.J. 1993. Three-dimensional Flow Structure at Open Channel Diversion. *J. Hydr. Engin.* 119: 11. 1224-1230.
8. Neary, V., Sotiropoulos, F., and Odgaard, A.J. 1999. Three-dimensional numerical model of lateral-intake inflow. *J. Hydr. Engin.* 125: 2. 126-140.
9. Olsen, N.R.B. 2004. SSIIM Users' Manual. The Norwegian University of Science and Technology, 196p.
10. Pirestani, M.R. 2004. Investigation of flow pattern and scour for intakes in the bend channel. Ph.D. Thesis of Azad University, 210p. (In Persian)
11. Razvan, E. 1989. River Intake and Diversion Dam, Elsevier Science Publishing Company Inc. New York, NY. 10010, USA, 508p.
12. Safarzade, A., and Salehi Neyshabouri, S.A.A. 2008. 3D Numerical study on the hydrodynamics of turbulent flow pattern through lateral intake in river bend. *River flow.* 3: 2023-2031.
13. Shafai Bajestan, M., and Nazari, S. 1999. The impression of the diversion angle of intake on the entering sediments to the lateral intakes at the vertical bond of river. *J. Agric. Chamran University.* 22: 1. 47-66.
14. Toru, K. 1975. Design of Irrigation Water Intake. 9<sup>th</sup> ICID Congress, Moscow. 35: 311-352.
15. Vanoni, V.A. 1975. Sedimentation engineering. American Society of Civil Engineers, New York, 415p.





Gorgan University of Agricultural  
Sciences and Natural Resources

*J. of Water and Soil Conservation, Vol. 21(4), 2014*  
<http://jwsc.gau.ac.ir>

## **Validating of SSIIM 3D model for flow field simulation in a U shape channel bend with intake**

**H. Montaseri<sup>1</sup> and \*H. Asiaei<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Assistant Prof., Dept. of Civil Engineering, Yasouj University,

<sup>2</sup>M.Sc. Student, Dept of Civil Engineering, Yasouj University

Received: 11/20/2012; Accepted: 08/13/2013

### **Abstract**

The purpose of this study is to evaluate the SSIIM 3D mathematical for simulation of complex flow patterns. For this purpose, the flow field was simulated in a U shape channel bend with intake. Application of numerical model is necessary to reduce costs and to better understand the phenomena. In this paper, flow field in a U shape channel bend that lateral intake is located in outer bank at position  $115^\circ$  of channel bend 45 degree diversion angle is simulated by SSIIM 3D model. Numerical model has good ability to predict the streamline, velocity profile and flow pattern with an average error of approximately 3.84% but there are differences near bed, inner wall and outer wall and the average error is 9.63%. This defect is due to using  $k-\varepsilon$  model. Further, prediction of secondary flow vectors is not in good agreement with observed data in main channel but the flow pattern at different cross-section has good accuracy in branch channel.

**Keywords:** Numerical simulation, Diversion angle, Secondary flow,  $k-\varepsilon$  model

---

\* Corresponding Author; Email: [hossein\\_10432@yahoo.com](mailto:hossein_10432@yahoo.com)

