

## تعیین میزان آبشستگی و مولفه‌های سه بعدی سرعت پیرامون آبشکن سرسیری در کانال قوسی با روش عددی و داده‌های آزمایشگاهی

محمد واقفی<sup>۱</sup>، یاسر صفرپور<sup>۲</sup>، سید شاکر هاشمی<sup>۳</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۳/۰۲

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۰۲/۰۸

### چکیده

در این مقاله مدل عددی SSIM توسط مدل آزمایشگاهی صحت‌سنجی شده و توپوگرافی بستر و مولفه‌های سه بعدی سرعت با هم مقایسه شده‌اند. بدین منظور مدلسازی بر اساس کانال آزمایشگاهی، در نرم‌افزار صورت گرفته که شامل نصب عمودی یک آبشکن سرسپری غیر مستغرق (با نسبت طول بال به طول جان برابر) در کانالی با بستر متحرک واقع در زاویه ۴۵ درجه یک قوس ۹۰ درجه است. صحت‌سنجی در انحنای نسبی معادل با ۴ صورت گرفته و نتایج آن در مقاطع طولی، عرضی و عمقی از کانال مقایسه شده‌اند که بیانگر توانایی مدل SSIM در تعیین محدوده و مقدار آبشستگی و رسوب‌گذاری بیشینه و همچنین مقدار سرعت‌های طولی و برآیند سرعت‌های افقی در کانال‌های قوسی و دارای هندسه‌های پیچیده می‌باشد. چاله آبشستگی دوم برای مدل عددی در پایین دست کانال و در انتهای قوس تشکیل گردیده و در مدل آزمایشگاهی در محدوده مابین محل آبشکن و خروجی قوس مشاهده می‌گردد. در حالت بستر صلب، بعلت پیچیدگی کمتر جریان و عدم جابجایی رسوبات بستر، سرعت‌های عرضی دارای تطابق بسیار بیشتری به نسبت بستر متحرک با مدل آزمایشگاهی هستند.

واژه‌های کلیدی: آبشستگی، آبشکن سرسپری، صحت‌سنجی، قوس ۹۰ درجه، مدل عددی SSIM.

<sup>۱</sup> استادیار سازه‌های هیدرولیکی، گروه مهندسی عمران، دانشگاه خلیج فارس، بوشهر. [Vaghefi52@gmail.com](mailto:Vaghefi52@gmail.com) (نویسنده مسئول)

<sup>۲</sup> کارشناس ارشد سازه‌های هیدرولیکی، دانشگاه خلیج فارس، بوشهر. شهرک دریاوردان منازل B. ۰۹۱۱۳۳۶۹۹۹۰.

[yasersafarpoor@yahoo.com](mailto:yasersafarpoor@yahoo.com)

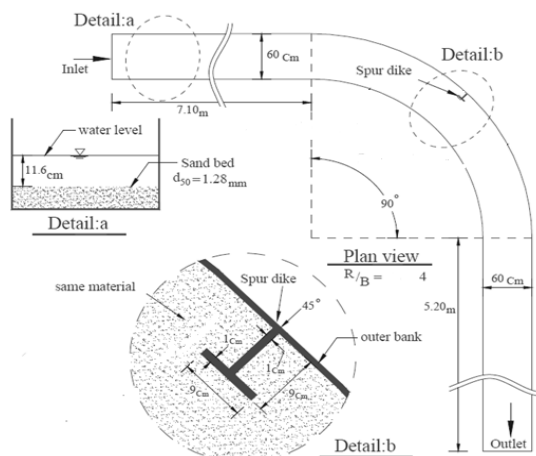
<sup>۳</sup> استادیار سازه، گروه مهندسی عمران، دانشگاه خلیج فارس، بوشهر. [Sh.Hashemi@pgu.ac.ir](mailto:Sh.Hashemi@pgu.ac.ir)

## مقدمه

رودخانه تحت تاثیر عوامل مختلفی مانند زمین‌شناسی منطقه، توپوگرافی دره رودخانه، خصوصیات مواد آبرفتی سیلاب‌دشت رودخانه، مشخصات هیدرولوژیکی حوضه آبریز، شرایط هیدرولیکی جریان و نیز نحوه بهره‌برداری بشر از آن، تمایل طبیعی برای دستیابی به تعادل پویا دارد. طبیعت تغییرپذیری برخی از عوامل فوق سبب می‌گردد تا رودخانه حتی در کوتاه مدت و در بازه‌های مختلف آن همواره در معرض تغییر و تحول باشد (نشریه شماره ۵۱۶، ۱۳۸۸). لذا بازه‌های مستقیم رودخانه عموماً ناپایدارند و از این جهت مطالعات در خصوص مسیرهای قوسی پراهمیت می‌شود. آبشستگی وابسته به تنش برشی بستر می‌باشد که تحقیقات انجام شده توسط اسمردون ویسلی (۱۹۶۱)، پیرس (۱۹۷۰)، ویسر (۱۹۷۰)، وان دن تمپلی (۱۹۷۲)، لایلی و اسمردون (۱۹۶۵) و دان (۱۹۵۹) نشان داد که تنش برشی بحرانی رسوبات چسبنده نسبت معکوس با قطر ذرات داشته و متناسب با  $d^{-1}$  تا  $d^{-4/3}$  بوده که  $d$  قطر ذرات می‌باشد (وجدانی و قمشی، ۱۳۸۵). با شروع به‌کارگیری آبشکن‌ها در رودخانه‌های آمریکا و اروپا، محققین مختلفی من جمله توماس در سال ۱۹۱۳، استورم (۱۹۴۱)، پاور (۱۹۵۶)، ماماک (۱۹۶۴)، لیندر (۱۹۶۹)، نیل (۱۹۷۳)، سیمونز و ریچاردسون (۱۹۷۳) و یانسن (۱۹۷۹)، مطالعاتی را در خصوص زاویه قرارگیری آبشکن انجام داده و خصوصیات متفاوت استفاده از آبشکن‌های جاذب، مستقیم و دافع را بررسی نمودند (کوپلند، ۱۹۸۳). مشتاق احمد (۱۹۵۱) بررسی‌هایی را روی آبشکن سرسپری منفرد انجام و نشان داد آبشکن‌های سرسپری در مقایسه با سایر آبشکن‌ها از نظر مصالح مصرفی اقتصادی‌تر هستند (ساجدی سابق، ۱۳۷۵). مصباحی (۱۹۹۲) با آزمایشات خود نتیجه گرفت که احداث آبشکن در قوس‌ها عمق حفره آبشستگی را عمیق‌تر می‌کند. سلیمان و همکاران (۱۹۹۷) به

بررسی آزمایشگاهی و عددی تاثیر آبشکن بر روی مورفولوژی قوس‌های رودخانه نیل پرداختند و یک مدل دو بعدی در خصوص تاثیر آبشکن‌ها و مؤلفه‌های سرعت ارائه نمودند (واقفی و همکاران، ۲۰۱۲). در مطالعات کوکن و همکاران (۲۰۰۸) مشخص شد که شدت، بزرگی، محل و ساختار گردابه‌های نعل اسبی به نسبت زمان تغییر می‌یابد اگرچه بزرگی و قدرت گردابه‌ها در محل نوک آبشکن بیشتر است (آذین‌فر، ۲۰۱۰). شکیبائی نیا و همکاران (۱۳۸۷) با بکارگیری مدل SSIM در مدل سازی‌های کانال‌های مستقیم و صحت‌سنجی آن با نتایج آزمایشگاهی سایر محققین مشاهده نمودند که مدل قادر است توزیع سرعت و جریان‌های چرخشی را به خوبی مدل‌سازی نماید. ناجی ابهری و همکاران (۱۳۸۷) شبیه‌سازی عددی الگوی جریان در قوس ۹۰ درجه با استفاده از نرم‌افزار SSIM را بررسی نموده و نتیجه گرفتند که محل وقوع حداکثر سرعت در ۳۰ درجه اول، در نیمه داخلی مقطع اتفاق می‌افتد و پس از حدود زاویه ۴۰ درجه به تدریج به سمت جداره خارجی کانال جابجا شده و تا پایان تقریباً در همین محل باقی می‌ماند. واقفی و همکاران (۱۳۸۷) تاثیر شعاع انحنا بر توپوگرافی بستر قوس ۹۰ درجه را بدون حضور آبشکن، مطالعه نموده و مشاهده نمودند که در قوس متوسط، آبشستگی در قوس خارجی و در مسیر مستقیم پایین دست قوس روی می‌دهد. ناجی ابهری و همکاران (۱۳۸۸) با بررسی عددی و آزمایشگاهی تاثیرات طول آبشکن بر الگوی جریان در قوس ۹۰ درجه ضمن صحت‌سنجی نرم‌افزار SSIM در کانال با بستر صلب، نتیجه گرفتند که آبشکن باعث اختلال در جریان ثانویه و به تبع آن جلوگیری از انحراف موقعیت حداکثر سرعت به سمت میانه کانال خواهد شد. ایشان در سال ۱۳۸۹ همچنین نتیجه گرفتند که در سطح آب وسعت نواحی کم سرعت در پایین‌دست آبشکن کاهش یافته و در مقابل نواحی پر سرعت در نزدیکی دماغه آبشکن وسیع‌تر می‌گردد. واقفی و قدسیان (۱۳۸۸) با بررسی آزمایشگاهی اثر طول بال آبشکن‌های T شکل مستقر در قوس ۹۰

تهران انجام گرفت. این کانال از یک قسمت مستقیم به طول ۷/۲ متر در بالادست و همچنین قسمت مستقیمی به طول ۵/۱ متر در پایین دست تشکیل می‌شود که این دو مسیر مستقیم، توسط قوس ۹۰ درجه به شعاع انحنای خارجی ۲/۷ متر به هم متصل گردیده است. کانال از جنس شیشه ساخته شده است که توسط قاب‌های فولادی، پایداری آن حفظ می‌گردد. نسبت شعاع قوس به عرض کانال برابر ۴ و ارتفاع آن ۷۰ سانتی‌متر و عرض آن ۶۰ سانتی‌متر است. کف کانال از رسوباتی با قطر متوسط ۱/۲۸ میلی‌متر با انحراف معیار ۱/۳ پوشیده شده است. دبی جریان، به وسیله یک ارفیس کالیبره شده تنظیم گردید. برای کنترل جریان از یک دریچه قطاعی که در انتهای کانال نصب گردیده استفاده شد. آبشکن‌ها به صورت صفحات مستطیلی با پلان T شکل و از جنس پلکسی گلاس ساخته شد. ضخامت آبشکن یک سانتی‌متر می‌باشد. به منظور اندازه‌گیری مولفه‌های سرعت از یک دستگاه سرعت‌سنج سه بعدی vectrino استفاده شد. زمان انجام هر آزمایش، مدت زمان معادل ۰/۸۸ عمق بیشینه آبشستگی در آزمایش زمان تعادل ۱۲۰ ساعته در نظر گرفته شد که برای هر آزمایش ۲۴ ساعت می‌باشد. در این زمان میزان آبشستگی در فواصل زمانی ۴ ساعته کمتر از ۲ میلی‌متر بوده است. نمونه ای از کانال در شکل (۱) نشان داده شده است.



شکل (۱): مدل آزمایشگاهی

درجه بر میزان آبشستگی اطراف آن‌ها نتیجه گرفتند که محل آبشستگی بیشینه در نزدیکی دیواره داخلی بال آبشکن در بالادست و به فاصله ۱۰ تا ۲۰ درصد طول آبشکن از نوک بال آبشکن می‌باشد و رسوبات خروجی از چاله آبشستگی در پایین دست چاله، تشکیل پشته رسوبی می‌دهند. میرموزن و همکاران (۱۳۸۸) مدل SSIIM 2.0 را در شرایط استفاده از کانال بتونی انتقال آب در آب حاوی رسوب، صحت سنجی نمودند. واقفی و قدسیان (۱۳۸۹) طی مطالعه آزمایشگاهی الگوی جریان پیرامون آبشکن T شکل در قوس ۹۰ درجه با بستر متحرک نتیجه گرفتند در طول بستر و در پایین دست آبشکن علاوه بر چاله آبشستگی پیرامون آبشکن، چاله آبشستگی دومی نیز تشکیل می‌شود. موسوی و همکاران (۲۰۱۰) طی بررسی جریان ثانویه در کانال قوسی دارای بستر صلب با حضور آبشکن T شکل مشاهده نمودند و رتیسیت به بیشینه در محل قرارگیری آبشکن اتفاق افتاد و افزایش مولفه سرعت شعاعی تاثیر مهمی بر تشکیل جریان ثانویه دارد. منصوری و همکاران (۲۰۱۲) با بکارگیری مدل عددی سه بعدی SSIIM در کانال مستقیم، نتیجه گرفتند که وجود بال آبشکن، پایداری بدنه آبشکن را در برابر فرسایش افزایش می‌دهد. در این تحقیق به بررسی مدل عددی SSIIM در کانالی‌های دارای جریان زلال همراه با بستر متحرک در قوس ۹۰ درجه با حضور آبشکن سرسپری یا T شکل پرداخته می‌شود که در تحقیقات سایر محققین در این حالت از حضور آبشکن‌های سرسپری، توانایی مدل SSIIM بحث نشده است زیرا علاوه بر مقایسه توپوگرافی بستر در دو مدل عددی و آزمایشگاهی، مولفه‌های سه بعدی سرعت نیز مقایسه شده‌اند.

### معرفی مدل آزمایشگاهی

آزمایشات مورد نظر توسط واقفی و همکاران (۲۰۱۲) در کانالی با قوس ۹۰ درجه با دبی ۲۵ لیتر بر ثانیه در آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه تربیت مدرس

k-ε بعثت ارائه نتایج مناسب تر انتخاب شد. با کالیبره شدن پارامترها در سایر مدل‌سازی‌ها نیز می‌توان از آن‌ها استفاده نمود که بعنوان نمونه در مدل‌سازی آبشکن‌های مستغرق با نسبت‌های استغراق مختلف، مدل‌سازی کانال با انحناهای نسبی مختلف، مدل‌سازی رسوبات بستر با دانسیته‌های مختلف و مدل‌سازی سری آبشکن‌ها توسط مولف از آن استفاده شده است. در ادامه بخشی از پارامترهای کالیبره شده نشان داده شده‌اند.

عدد شیلدز	Θc=0.043
سرعت سقوط ذرات	0.11 m/s Ws=
دوره زمانی محاسبه رسوب	Time Step = 20 S
عدد استریکلر (برای محاسبه سطح آب)	Ks=64.1
عدد مانینگ	n=0.0156

### معادلات حاکم بر میدان جریان

معادلات ناویر استوکس برای سیالات تراکم ناپذیر با چگالی ثابت در حالت برداری به فرم زیر می‌باشد:

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

$x_1, x_2$  و  $x_3$  فاصله در سه جهت،  $U_1, U_2, U_3$  سرعت در سه جهت،  $P$  فشار کل،  $\delta_{ij}$  دلتای کرونکر که برای  $i=j$  برابر واحد و در غیر این صورت صفر می‌باشد. در رابطه فوق ترم اول سمت چپ ترم گذار (تغییرات زمانی) و ترم بعدی ترم جابجایی می‌باشد. اولین ترم سمت راست ترم فشار و بعدی ترم مربوط به تنش رینولدز است، جهت ارزیابی ترم اخیر به یک مدل آشفتگی نیاز می‌باشد (اولسن، ۱۹۹۹ و ۲۰۰۰ و ۲۰۰۹). بوسینسک رابطه زیر را جهت بیان ترم تنش رینولدز برای تنش آشفتگی k-ε معرفی می‌نماید:

### معرفی مدل عددی

هزینه بالای مدل‌سازی فیزیکی، نتایج غیر قابل تعمیم به سایر نمونه‌ها، نیاز به استفاده از دستگاه‌های اندازه‌گیری ویژه و زمان‌بر بودن آن سبب محدودیت کاربرد مدل‌سازی فیزیکی شده است. جهت دینامیک محاسبات جریان و یا تحلیل عددی الگوی جریان و آبشستگی در کانال‌ها و رودخانه‌ها نرم‌افزارهای مختلفی نوشته شده و در اختیار محققین قرار گرفته است که در این تحقیق از مدل SSIM نسخه ۱ استفاده شده است. برای حل مستقیم معادلات ناویر استوکس بدون متوسط‌گیری زمانی، به رایانه‌هایی با سرعتی بسیار زیادتر از رایانه‌های امروزی نیاز می‌باشد. متوسط‌گیری زمانی باعث اضافه شدن ترمی جدید به معادلات ناویر استوکس، بیانگر آشفتگی جریان شده لذا برای به دست آوردن ترم‌های آشفتگی در معادلات ناویر استوکس مدل‌های آشفتگی توسعه پیدا نموده‌اند. به علاوه مدل‌های انتقال رسوب و تغییرات بستر نیز به موازات مدل‌های جریان توسط فاین راین توسعه یافته است (میرموند و پیرستانی، ۱۳۸۸). مزیت اصلی مدل SSIM در مقایسه با سایر برنامه‌های مربوطه توانایی مدل کردن انتقال رسوب در بستر متحرک در هندسه‌های پیچیده است. برنامه SSIM معادلات ناویر استوکس را با مدل آشفتگی استاندارد بر روی یک شبکه سه بعدی تقریباً نامتعامل حل می‌کند. برای منفصل سازی نیز از روش حجم کنترل به همراه الگوریتم توانی یا الگوریتم جهتمند مرتبه دوم استفاده می‌شود. روش SIMPLE جهت ارتباط ترم فشار و سرعت به کار می‌رود. با استفاده از یک روش حل ضمنی، میدان سرعت در هندسه محاسبه شده و با استفاده از میدان سرعت و با حل معادله پیوستگی رسوب به محاسبه تغییرات بستر می‌پردازد. با انجام مدل‌سازی لازم است برخی پارامترهای ورودی نرم‌افزار آنقدر تغییر یابند تا با نتایج آبشستگی و مولفه‌های سه بعدی سرعت جریان در مدل آزمایشگاهی کالیبره گردند. در این تحقیق مدل‌های آشفتگی k-ω و k-ε و RNG امتحان شده و در نهایت مدل آشفتگی

برابر ۰٫۳۴ می‌باشد (Fr= 0.34). دیواره‌های کانال صلب بوده و فرسایش تنها از طریق کف کانال صورت می‌گیرد. آبشکن از نوع T شکل (سرسپری) بوده و محل قرارگیری آن در زاویه ۴۵ درجه قوس کانال است. زمان اجرای تحلیل ۲۴ ساعت در نرم‌افزار معرفی می‌گردد. در این تحقیق تنها قسمت قوسی کانال آزمایشگاهی تحلیل شده و نتایج آن صحت‌سنجی شده‌اند.

### شرایط مرزی

مقدار دبی در مرز ورودی باید معرفی شود. گرادیان کلیه پارامترها در مرز خروجی صفر می‌باشند علاوه بر این مقدار دبی خروجی در شرایط مرزی خروجی باید معرفی شوند. گرادیان  $\varepsilon$  (افت انرژی جنبشی) در سطح آب صفر و مقدار  $k$  نیز در سطح آب صفر منظور می‌گردد. شار عبوری از کف و دیوار برابر صفر می‌باشد و قانون دیوار اشلیختاین (۱۹۷۹) استفاده می‌گردد (اولسن، ۲۰۰۹ و ۲۰۰۱) که در آن  $U$  سرعت،  $U^*$  سرعت برشی،  $K$  ضریبی ثابت معادل ۰٫۴،  $y$  فاصله از دیواره تا مرکز سلول،  $k_s$  زبری معادل  $d_{90}$  منحنی دانه‌بندی بستر می‌باشد.

$$\frac{U}{U_*} = \frac{1}{K} \ln(30y / k_s) \quad (7)$$

برای دریافت نتایج دقیق‌تر، از شبکه مش‌بندی شده شامل ۶۵ مقطع عرضی، ۳۶ مقطع طولی و ۲۶ مقطع ارتفاعی استفاده شده است و ابعاد مش‌ها در نزدیکی آبشکن کوچکتر شده تا برداشت نتایج مناسب‌تر و دارای دقت بیشتر باشد. نمونه‌ای از مش‌بندی عرضی و عمودی در شکل (۲) نشان داده شده است. رایانه مورد استفاده در تحلیل از نوع Corei5 2.6 GHz با پردازشگر Lap Top Lenovo RAM=6G می‌باشد و زمان تحلیل با این رایانه حدود ۸ ساعت برای الگوی جریان و رسوب بوده است.

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

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

$k$  (انرژی جنبشی جریان) و  $P_k$  و  $\varepsilon$  (افت انرژی جنبشی) به صورت رابطه‌های (۴) و (۵) و (۶) مدل می‌شوند:

$$\frac{\partial k}{\partial t} + U_j \frac{\partial k}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \frac{\nu_T}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) + P_k - \varepsilon \quad (4)$$

$$P_k = \nu_T \frac{\partial U_j}{\partial x_i} \left( \frac{\partial U_j}{\partial x_i} + \frac{\partial U_i}{\partial x_j} \right) \quad (5)$$

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + U_j \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \frac{\nu_T}{\sigma_\varepsilon} \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right) + C_{\varepsilon 1} \frac{\varepsilon}{K} P_k + C_{\varepsilon 2} \frac{\varepsilon^2}{K} \quad (6)$$

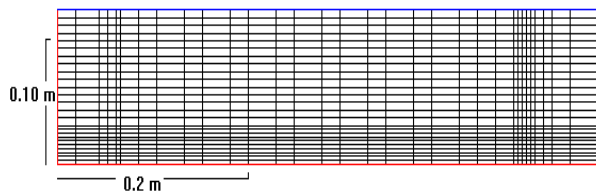
در معادلات بالا، در مدل  $k$ - $\varepsilon$  مقادیر ثابت‌ها برابر مقادیر زیر می‌باشند:

$$C_{\varepsilon 2} = 1.92 \quad \sigma_k = 1.0 \quad \sigma_\varepsilon = 1.3 \\ c_\mu = 0.09 \quad C_{\varepsilon 1} = 1.44$$

### شرایط اولیه منطبق با نمونه آزمایشگاهی

قطر ذرات بستر همگی از یک جنس و با قطر ۱٫۲۸ میلی‌متر هستند ( $d_{50}=1.28$  mm)، انحراف معیار ذرات بستر برابر ۱٫۳ است ( $\sigma=1.3$ )، تحلیل در شرایط آب زلال انجام می‌شود زیرا عمق بیشینه آبستگي در این شرایط رخ می‌دهد و از بالادست کانال رسوب جریان نداشته تا منجر به پرشدن چاله‌های آبستگي گردد ( $U/U_c=0.98$ ). مقدار دبی ورودی به کانال تنها از ناحیه بالادست و برابر ۲۵ لیتر بر ثانیه می‌باشد ( $Q=25L/s$ ). عمق آب در بالادست کانال و شروع مسیر مستقیم برابر ۱۱٫۶ سانتی‌متر است. عدد فرود جریان در مسیر مستقیم بالادست

آزمایشگاهی در محدوده مابین محل آبشکن و خروجی قوس می باشد. تشکیل چاله آبستگي دوم نیز بعلافت آنست که رسوبات خروجی از چاله آبستگي اصلی در پایین دست چاله، تشکیل پشته رسوبی می دهند و ریزش جریان از روی پشته رسوبی به بستر اولیه و حرکت جریان تحت تاثیر نیروی گریز از مرکز و گرادیان فشار، باعث ایجاد چاله آبستگي دوم در پایین دست پشته رسوبی می گردد.



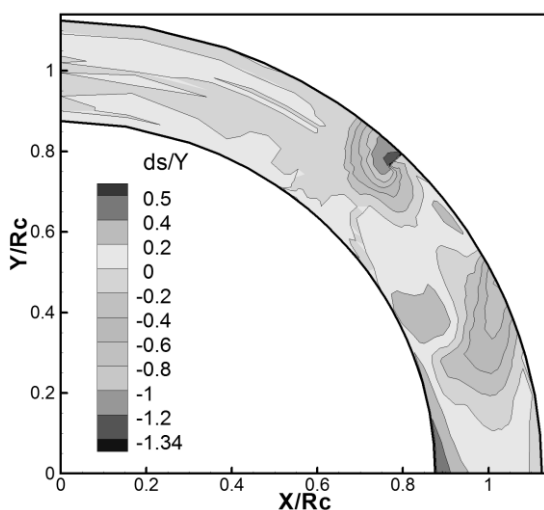
شکل (۲): مش بندی عرضی و عمودی

### تحلیل و برداشت نتایج

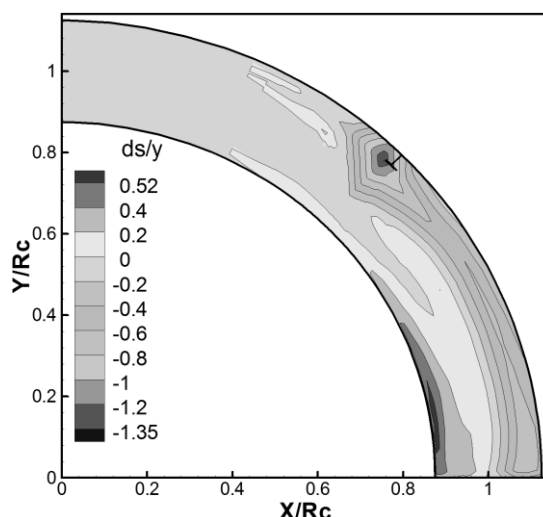
پس از انجام تحلیل توسط نرم افزار و همگرا شدن باقی مانده ها، دیتاهای خروجی نرم افزار از فایل result برداشت شده و به همراه مختصات مش خروجی، در فایل Excel مرتب می گردند. سرعت های خروجی نرم افزار به سرعت های طولی و شعاعی تبدیل شده و سپس الگوی جریان در نرم افزار Tecplot ترسیم و برای ترسیم نمودارها نیز از نرم افزارهای Sigmaplot و Excel استفاده می گردد.

### مقایسه توپوگرافی

همانطور که از شکل های (۳) و (۴) مشخص است (محورهای طولی و عرضی شکل بی بعد شده اند که  $R_c$  شعاع انحنای کانال از مرکز قوس تا میانه عرض کانال است) نتایج تحلیل عددی و آزمایشگاهی از نظر محدوده و مقدار آبستگي بیشینه و رسوب گذاری بیشینه دارای مطابقت می باشند به نحوی که در محل بالادست بال آبشکن مقدار بی بعد شده آبستگي بیشینه  $d_s/y$ ، (نسبت آبستگي بیشینه به عمق جریان در بالادست و ورودی کانال) برابر با ۱/۳۵ برای مدل عددی و برابر با مقدار ۱/۳۴ برای مدل آزمایشگاهی می باشد که با طبیعت وقوع آبستگي در محل وقوع تنش برشی بحرانی تطابق دارد. در مورد رسوب گذاری نیز با توجه به اینکه ساحل داخلی در محل خروجی قوس دارای کمترین تنش برشی است، طبعاً منطقه مورد نظر برای رسوب گذاری بیشینه است که مقدار بی بعد آن ۰/۵۲ برای مدل عددی و مقدار ۰/۵۰ برای مدل آزمایشگاهی می باشد. در هر دو شکل چاله آبستگي دوم نیز تشکیل می شود که البته در مدل عددی در قسمت خروجی قوس، ولی در مدل

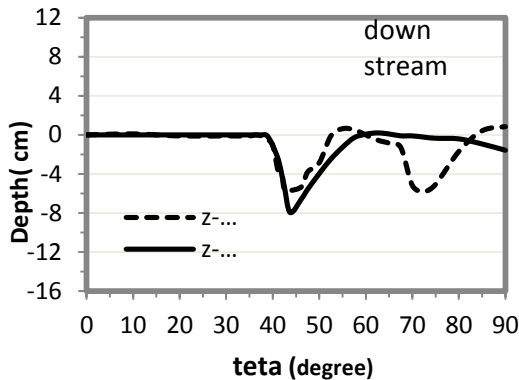


شکل (۳): توپوگرافی بستر مدل آزمایشگاهی

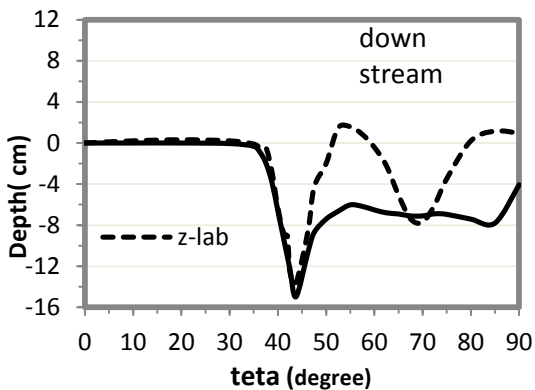


شکل (۴): توپوگرافی بستر مدل عددی

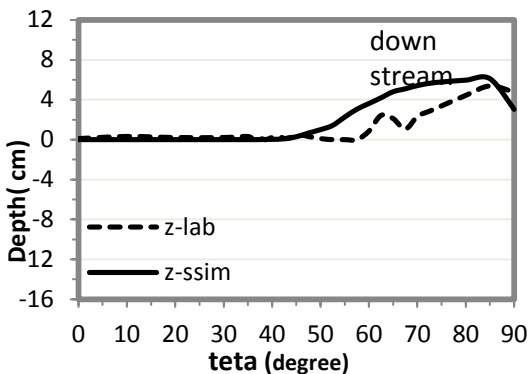
علیرغم اینکه توپوگرافی بستر مدل آزمایشگاهی و عددی کاملاً مطابق نیست ولیکن محل و مقدار



شکل (۶): مقایسه پروفیل طولی بستر در فاصله ۴۲ درصدی عرض کانال از ساحل خارجی



شکل (۷): مقایسه پروفیل طولی بستر در فاصله ۱۲ درصدی عرض کانال از ساحل خارجی



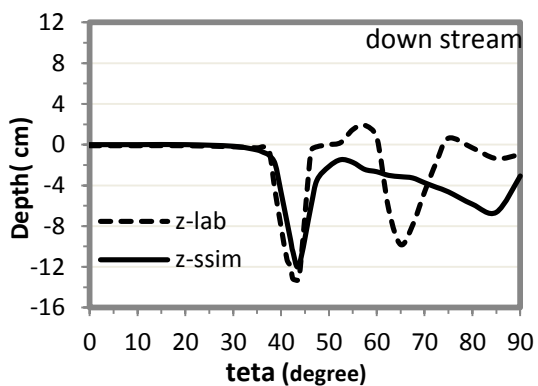
شکل (۸): مقایسه پروفیل طولی بستر در فاصله ۹۸ درصدی عرض کانال از ساحل خارجی (منطقه مناسب برای رسوب گذاری)

همانند شکل (۸) در ساحل داخلی رسوب گذاری اتفاق می افتد که دلیل آن مسیر حرکت جریان عرضی

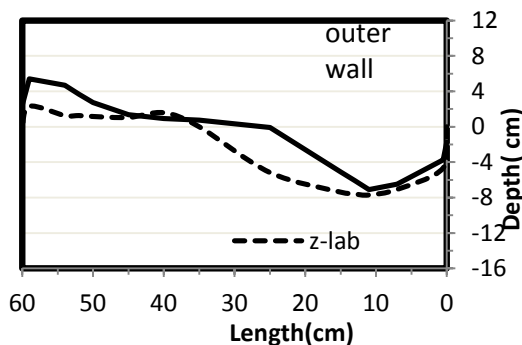
آبشستگی و رسوب گذاری بیشینه دارای تطابق هستند که نشان دهنده توانایی مدل SSIIM در ارائه میزان آبشستگی صحیح در بسترهای متحرک و در هندسه های پیچیده است.

### مقایسه پروفیل طولی بستر

چهار پروفیل طولی بستر در ابتدا، میانه و انتهای مقطع عرضی کانال در اشکال (۵) تا (۸) نشان داده شده است و از مقایسه آن ها نتایج ذیل مشهود است: آبشستگی بیشینه در محدوده استقرار آبشکن (بالادست جان آبشکن یعنی  $\Theta < 45^\circ$  و  $\Theta$  زاویه از بالادست قوس است) رخ می دهد. تفاوت پروفیل های طولی بیشتر مربوط به چاله آبشستگی دوم می باشد. تغییرات عمده پروفیل طولی از فاصله ۴ برابر طول آبشکن به سمت بالادست، تا انتهای قوس بوقوع می پیوندد زیرا تا قبل از این فاصله، میزان آبشستگی بسیار جزئی است. تطابق خوبی میان پروفیل های طولی بستر در محل استقرار آبشکن وجود دارد. همانند شکل های (۶) و (۷) به تدریج به سمت میانه کانال از مقدار آبشستگی بیشینه کاسته می شود که دلیل آن، فاصله گرفتن از محل استقرار آبشکن و در نتیجه ضعیف شدن گردابه های مخرب می باشد که با اندرکنش جریان های طولی و عرضی و جریان ثانویه، دلیل اصلی آبشستگی است.



شکل (۵): مقایسه پروفیل طولی بستر در فاصله ۰٫۸ درصدی عرض کانال از ساحل خارجی (عبور کننده از مقطع جان آبشکن)



شکل (۱۰): پروفیل عرضی بستر در فاصله ۱۳ برابر طول آبشکن از محل آبشکن به پایین دست کانال

آبشستگی بیشینه در شکل (۹) همانند انتظار، در ساحل خارجی و رسوب گذاری همانند شکل (۱۰) در ساحل داخلی ایجاد می شود. در شکل (۱۰) چاله آبشستگی دوم نشان داده شده است که در نتایج آزمایشگاهی دارای گستره عرضی بیشتری به نسبت تحلیل عددی است در حالی که گستره طولی آن به نسبت تحلیل عددی کمتر است.

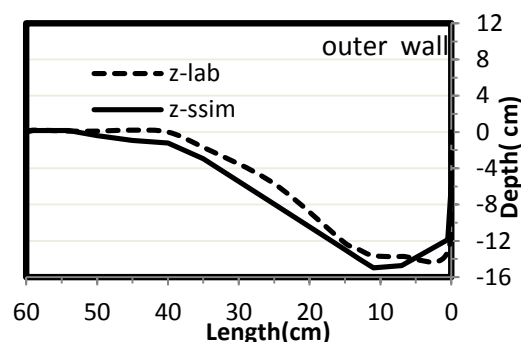
#### مقایسه مولفه های عرضی سرعت

در شکل های (۱۱) و (۱۲) صحت سنجی برای مقطع عرضی کانال در زاویه  $43.75^\circ$  و  $46.25^\circ$  درجه (که به ترتیب مقطع عرضی کانال در فاصله  $0.7$  برابر طول آبشکن از محل آبشکن به بالادست کانال و مقطع عرضی کانال در فاصله  $0.6$  برابر طول آبشکن از محل آبشکن به پایین دست کانال می باشند) نشان داده شده اند. دلیل انتخاب این مقطع نزدیکی آن به محل تشکیل آبشستگی بیشینه یعنی چاله آبشستگی اصلی است. همچنین این مقاطع در بالادست و پایین دست محل استقرار آبشکن واقع شده اند.

(جریان عرضی در کف به سمت ساحل داخلی و در سطح آب به سمت ساحل خارجی است) و کمتر بودن تنش برشی در آن محل است. در نهایت همانطور که از شکل های (۵) و (۸) مشخص است از نظر آبشستگی بیشینه و رسوب گذاری بیشینه نتایج دارای تطابق مطلوب هستند.

#### مقایسه پروفیل عرضی بستر

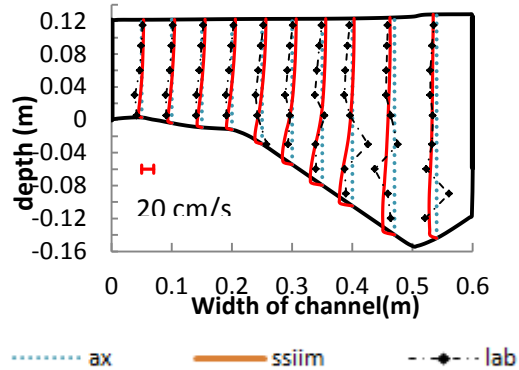
در شکل های (۹) و (۱۰) پروفیل عرضی بستر در فاصله  $0.7$  برابر طول آبشکن به سمت بالادست و  $13$  برابر طول آبشکن به پایین دست قوس نشان داده شده است و از مقایسه آن ها مشهود است که آبشستگی بیشینه و چاله آبشستگی اصلی در بالادست آبشکن به وقوع می پیوندد. تا مکان استقرار آبشکن، پروفیل های نتایج تحلیل عددی و آزمایشگاهی دارای مطابقت بیشتری به نسبت پایین دست آبشکن هستند زیرا تغییرات توپوگرافی پیچیده تری به علت پدیده رسوب گذاری در پایین دست مشاهده می گردد.



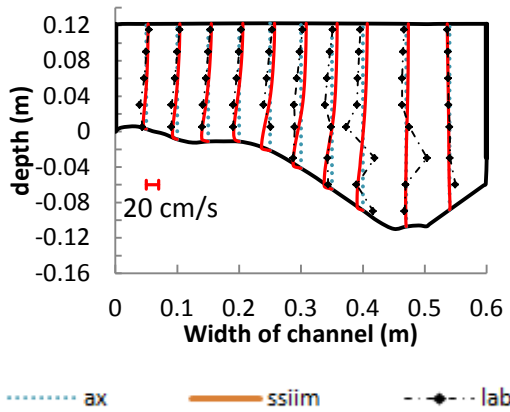
شکل (۹): پروفیل عرضی بستر در فاصله  $0.7$  برابر طول آبشکن از محل آبشکن به بالادست کانال



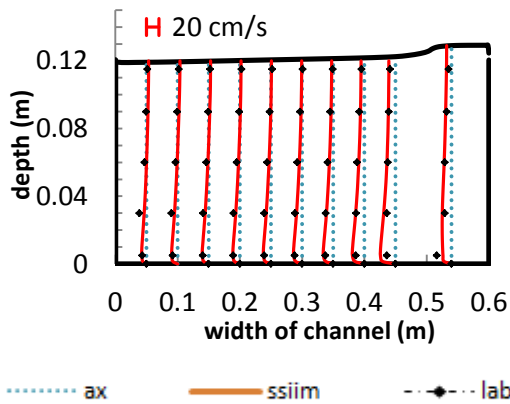
در شکل های (۱۳) و (۱۴) همان مقطع شکل های (۱۱) و (۱۲) یعنی زاویه ۴۳/۷۵ و ۴۶/۲۵ درجه، در حالت بدون آبستگي یعنی بستر صلب نشان داده شده است و مشاهده می گردد که نرم افزار توانسته مناسب تر عمل نماید زیرا از نظر صحت سنجی سرعت های عرضی دارای تطابق مطلوب است، ولی وقتی بستر متحرک در نظر گرفته می شود همانند شکل (۱۱) و (۱۲) از تطابق کاسته می گردد زیرا تاثیر آبشکن سرسپری باعث آشفتگی بیشتر جریان در قوس کانال می گردد.



شکل (۱۱): مقطع عرضی کانال در فاصله ۰/۷ برابر طول آبشکن از محل آبشکن به بالادست کانال

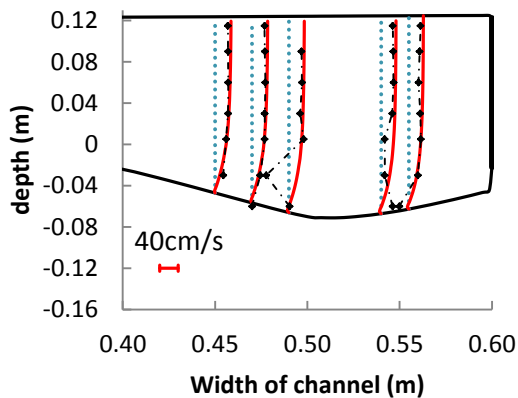


شکل (۱۲): مقطع عرضی کانال در فاصله ۰/۶ برابر طول آبشکن از محل آبشکن به پایین دست کانال



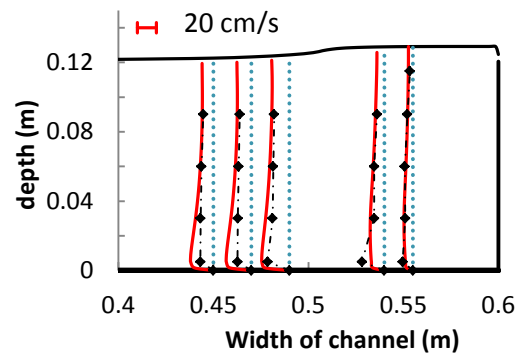
شکل (۱۳): مقطع عرضی کانال در فاصله ۰/۷ برابر طول آبشکن از محل آبشکن به بالادست کانال با بستر صلب

در شکل شماره (۱۱)، در ساحل خارجی (محل استقرار آبشکن) بعلت پدیده برگشت آب و مسدود نمودن جریان، پدیده فرا آب صورت گرفته است (افزایش ارتفاع سطح آب) که در شکل (۱۲)، بعلت واقع شدن مقطع در پایین دست مشاهده نمی گردد. در حالت عمومی جریان ثانویه در نزدیکی بستر به سمت ساحل داخلی و در سطح آب به سمت ساحل خارجی است که انتظار می رود مولفه های سرعت عرضی نیز به همان طریق در نزدیکی بستر و سطح آب در دو جهت نمایش داده شوند ولی بعلت تاثیر جریان اصلی که به سمت پایین دست کانال جاری است و همچنین اختلالات و آشفتگی جریان به علت وجود آبشکن سرسپری، باعث می شود تا پروفیل سرعت عرضی روند مشخصی نداشته و قابل پیش بینی نباشد. در شکل های (۱۱) و (۱۲)، تا فاصله ۳۰ درصدی عرض کانال از ساحل داخلی که مقدار آبستگي محدود می باشد، پروفیل های آزمایشگاهی و عددی تطابق کامل دارند ولی در ادامه به سمت ساحل خارجی به علت وجود آبشکن و در هم تنیده بودن جریان، تطابق کاسته شده است. البته بعلت تفاوت در توپوگرافی بستر آزمایشگاهی و تحلیل عددی، نباید انتظار داشت سرعت ها کاملا از هم تبعیت نمایند. همان طور که مشهود است در زاویه ۴۳/۷۵ درجه به جز چند نقطه، سایر نقاط دارای تطابق مورد قبول اند و در مقطع بالادست (۴۶/۲۵ درجه) تطابق کمتری دیده می شود.



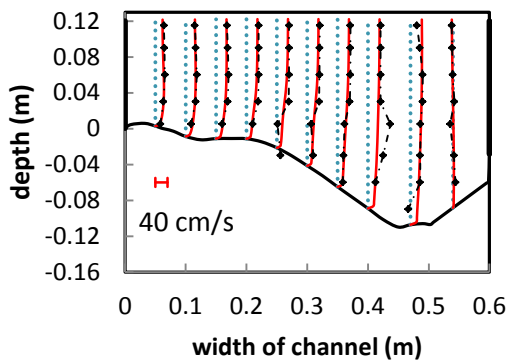
..... ax      — ssiim      - - -◆- lab

شکل (۱۶): بزرگنمایی یک سوم عرض کانال در مجاورت ساحل خارجی از شکل (۱۵)



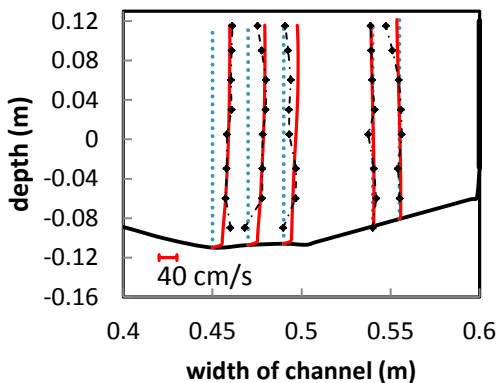
..... ax      — ssiim      - - -◆- lab

شکل (۱۴): بزرگنمایی یک سوم عرض کانال در مجاورت ساحل خارجی از شکل (۱۳)



شکل (۱۷): مقطع عرضی کانال در فاصله ۰/۶ برابر طول آبشکن از محل آبشکن به پایین دست کانال

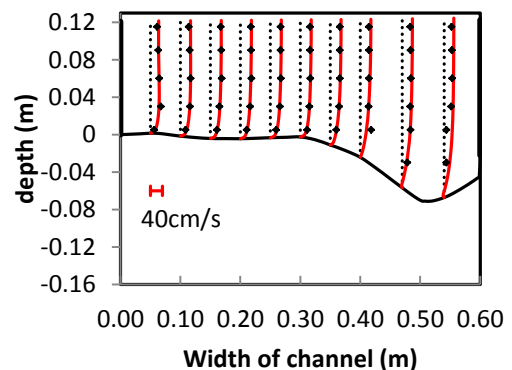
..... ax      — ssiim      - - -◆- lab



شکل (۱۸): بزرگنمایی یک سوم عرض کانال در مجاورت ساحل خارجی از شکل (۱۷)

### مقایسه مولفه های طولی سرعت

شکل های (۱۵) تا (۱۸) پروفیل سرعت های طولی در مقطع عرضی کانال در فاصله ۲/۶۷ برابر طول آبشکن از محل آبشکن به بالادست کانال و مقطع عرضی کانال در فاصله ۰/۶ برابر طول آبشکن از محل آبشکن به پایین دست کانال و همچنین بزرگنمایی این مقاطع را نشان داده اند که نشان دهنده تطابق سرعت های طولی مدل عددی با مدل آزمایشگاهی است. در نرم افزار SSIIM سرعت های طولی در حالت عمومی دارای تطابق بیشتری نسبت به سرعت های عرضی و یا عمودی هستند.



..... ax      — ssiim      - - -◆- lab

شکل (۱۵): مقطع عرضی کانال در فاصله ۲/۶۷ برابر طول آبشکن از محل آبشکن به بالادست کانال

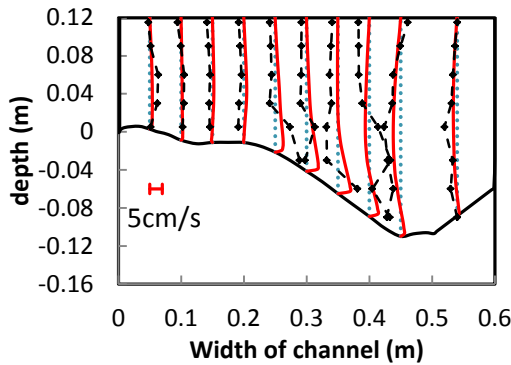
همانطور که از پروفیل سرعت‌ها مشخص است در نزدیکی بستر سرعت‌ها کمینه بوده و در مسیر بستر تا سطح آب، سرعت‌ها به دلیل از بین رفتن لایه مرزی، زیاد می‌شوند.

### مقایسه مولفه‌های عمودی (عمقی) سرعت

شکل (۱۹) نمونه ای از مقطع عرضی در نزدیکی آبشکن و در بالادست آن را نشان می‌دهد، مشاهده می‌شود که سرعت‌های عمودی با رسیدن به ساحل خارجی و در محدوده آبشکن از اندازه بیشتری برخوردار می‌شوند که دلیل آن مسدود نمودن جریان با نصب آبشکن و اجبار جریان به حرکت در امتداد جان آبشکن و به صورت عمودی رو به بستر است. شکل (۲۰)، بدلیل قرار گرفتن در محدوده دارای سرعت کم جریان در پایین دست آبشکن و محدوده بین بال و ساحل خارجی، سرعت‌های جریان در نزدیکی آبشکن دارای مقداری محدود هستند زیرا در پایین دست محل استقرار آبشکن بوده و جریان رو به پایین شدید مشابه مقطع بالادست آبشکن وجود ندارد. در شکل‌های (۲۱) و (۲۲) که به ترتیب مقطع طولی بزرگنمایی شده در فاصله ۱۸ و ۱۰ درصدی عرض کانال از ساحل خارجی‌اند نشان می‌دهد که سرعت عمودی در بالادست آبشکن (شکل ۲۲) بیشتر بوده که دلیل آن تغییر جهت جریان با رسیدن به آبشکن است که مجبور به تغییر جهت به صورت عمودی و رو به پایین می‌گردد.

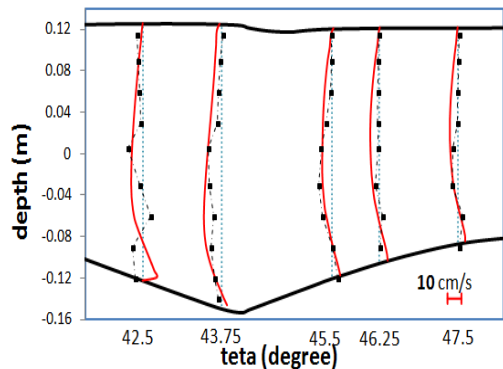
..... ax      — ssiim      - - - lab

شکل (۱۹): مقطع عرضی کانال در فاصله ۰٫۷ برابر طول آبشکن از محل آبشکن به بالادست کانال

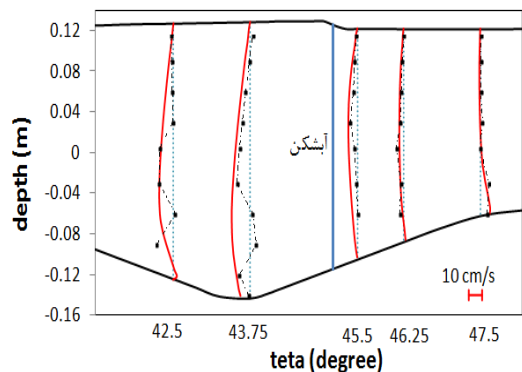


..... ax      — ssiim      - - - lab

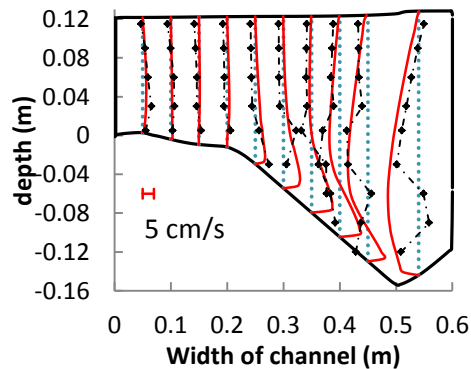
شکل (۲۰): مقطع عرضی کانال در فاصله ۰٫۶ برابر طول آبشکن از محل آبشکن به پایین دست کانال



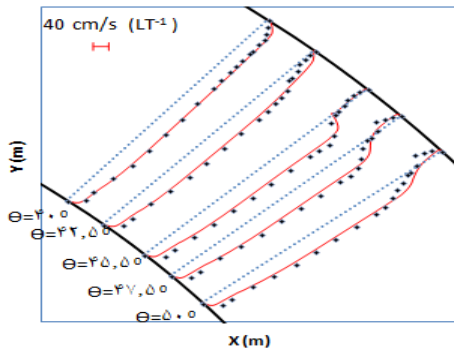
شکل (۲۱): مقطع طولی کانال در فاصله ۱۸ درصدی عرض کانال از ساحل خارجی و بزرگنمایی شده



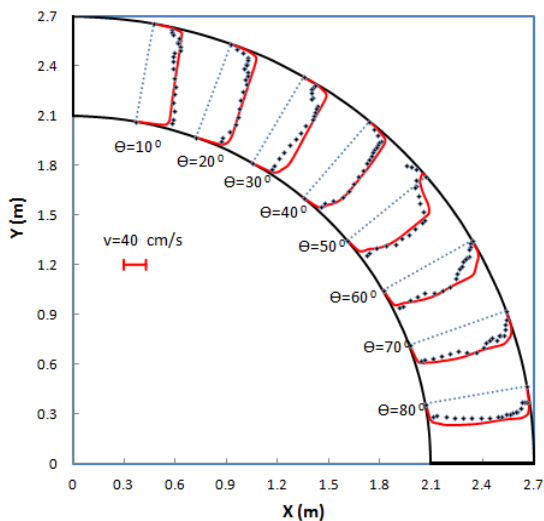
شکل (۲۲): مقطع طولی کانال در فاصله ۱۰ درصدی عرض کانال از ساحل خارجی و بزرگنمایی شده



را تغییر دهد لذا طبعا جریان در قسمت ساحل داخلی سرعت بیشتری می‌یابد.



شکل (۲۴): سرعت طولی بزرگنمایی شده پیرامون آبشکن از شکل (۲۳)

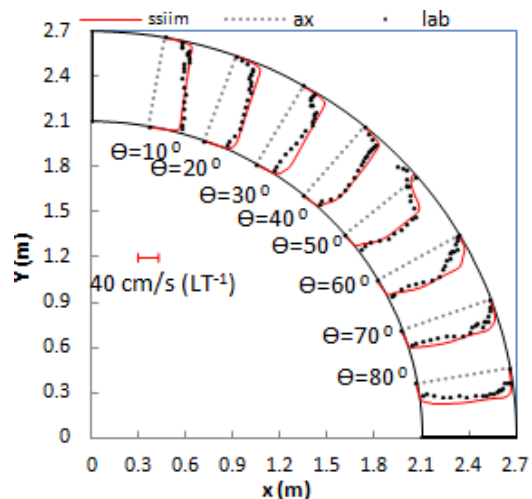


شکل (۲۵): سرعت برآیند در ارتفاع ۱۱/۵ سانتی از بستر اولیه

بزرگنمایی سرعت‌ها در شکل (۲۴) و (۲۶) در محدوده ۱۰ درجه استقرار آبشکن (از فاصله ۲/۶۲ برابر طول آبشکن به سمت بالادست تا ۲/۶۲ برابر طول آبشکن به پایین دست) نشان داده شده که تطابق سرعت‌ها را نشان می‌دهد. از زاویه ۴۵ تا ۵۰ درجه بعلت وجود آبشکن، سرعت‌ها در محدوده مربوطه، بسیار کم بوده و یک منطقه تقریباً پایدار و قابل تثبیت به‌وجود می‌آید.

### مقایسه سرعت‌ها در پلان

در شکل‌های (۲۳) تا (۲۶)، سرعت‌های طولی و برآیند سرعت‌های افقی (طولی و عرضی) و بزرگنمایی آن‌ها در ارتفاع ۱۱/۵ سانتی از بستر (در نزدیکی سطح آب) نشان داده شده است. دلیل انتخاب این ارتفاع آن است که با توجه به اینکه ابعاد مش‌ها در روند تحلیل عددی به دلیل آبشستگی و تغییر تراز بستر، تغییر می‌یابند و از طرفی جهت صحت‌سنجی با مدل آزمایشگاهی به دلیل اینکه در آزمایشگاه سرعت‌ها در یک ارتفاع ثابت برداشت می‌شوند لذا مقایسه داده‌ها، تنها در ارتفاع نزدیک به سطح آب که تغییرات ابعاد مش‌ها کمتر و تقریباً افقی است صورت گرفته است.

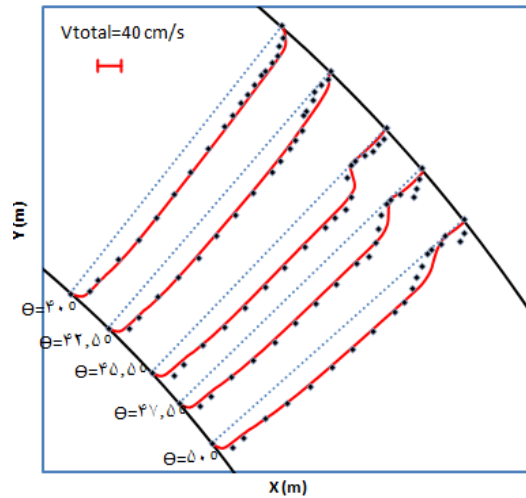


شکل (۲۶): سرعت طولی در ارتفاع ۱۱/۵ سانتی از بستر اولیه

برآیند سرعت ( $V_{total}$ ) از طریق برآیندگیری از سرعت‌های طولی و عرضی مشخص می‌شود و جهت صحت‌سنجی سرعت استفاده می‌گردد ( $V_{total} = (V_{\theta}^2 + U_r^2)^{0.5}$ )، پروفیل سرعت‌ها در شروع قوس گرایش به ساحل داخلی داشته و مقدار آن به سمت ساحل داخلی بیشتر است ولی در نیمه دوم قوس و انتهای کانال تمایل به ساحل خارجی دارد زیرا در شروع قوس، دیواره خارجی همانند یک مانع بوده و می‌خواهد مسیر اصلی جریان

۳- در حالت بستر صلب، بعلت پیچیدگی کمتر جریان و عدم جابجایی رسوبات بستر، سرعت‌های عرضی دارای تطابق بسیار بیشتری به نسبت بستر متحرک با مدل آزمایشگاهی هستند.

۴- چاله آبشستگی ثانویه مدل عددی در پایین دست کانال و در انتهای قوس تشکیل گردیده ولی در مدل آزمایشگاهی در محدوده مابین محل آبشکن و خروجی قوس می‌باشد.



شکل (۲۴): سرعت برآیند بزرگنمایی شده پیرامون آبشکن از شکل (۲۵)

### نتیجه‌گیری

با مقایسه مولفه‌های سه بعدی سرعت جریان و آبشستگی بستر مدل‌های عددی و آزمایشگاهی نتایج بشرح ذیل می‌باشد:

۱- از نظر توپوگرافی بستر، مدل SSIIM توانسته مقدار و محدوده مناسب آبشستگی و رسوب گذاری بیشینه را ارائه نماید که برای قوس ملایم (انحنای نسبی معادل با ۴) در شرایط نصب عمودی آبشکن در وسط قوس مقدار نسبت آبشستگی بیشینه به عمق جریان ورودی کانال، برابر با ۱/۳۵ و مقدار نسبت رسوب گذاری بیشینه به عمق جریان ورودی کانال، برابر با ۰/۵۲ می‌باشد.

۲- در خصوص سرعت‌های طولی و برآیند سرعت‌های افقی، مدل SSIIM و مدل آزمایشگاهی تطابق دارند ولی دیتاهای سرعت عرضی و عمودی کاملاً بر هم منطبق نبوده که نشانگر لزوم تغییر در توپوگرافی بستر مدل عددی و آزمایشگاهی است زیرا در صورت تطابق، بعلت ایجاد جریان‌های عرضی و رو به پایین یکسان و مشابه، توپوگرافی کل بستر در نمونه‌های عددی و آزمایشگاهی یکسان می‌شد.

## منابع

ساجدی سابق، م.، م. حبیبی و س.خ. حسنی. ۱۳۷۵. بررسی آبشستگی موضعی دماغه آبشکن با تغییر زاویه قرارگیری. چهارمین سمینار مهندسی رودخانه، دانشگاه شهید چمران اهواز، بهمن ماه.

شکيبائی نیا، ا.، ا. م. زراتی و م. ر. مجدزاده طباطبایی. ۱۳۸۷. کاربرد مدل سازی عددی سه بعدی در شبیه سازی پدیده های پیچیده مهندسی رودخانه. نشریه دانشکده فنی، دوره ۴۲، شماره ۴، مرداد ماه.

معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی رئیس جمهور. ۱۳۸۸. راهنمای طراحی، ساخت و نگهداری آبشکن های رودخانه ای. دفتر مهندسی و معیارهای فنی آب و آبفا، نشریه شماره ۵۱۶ وزارت نیرو.

میرموزن، س. س. و م. ر. پیرستانی. ۱۳۸۸. شبیه سازی عددی جریان آب و رسوب در کانال انتقال آب با استفاده از مدل SSIIM. دومین کنفرانس سراسری آب، دانشگاه آزاد واحد بهبهان، اسفند ماه.

ناجی ابهری، م. و م. قدسیان. ۱۳۸۷. شبیه سازی عددی الگوی جریان در قوس ۹۰ درجه با استفاده از نرم افزار SSIIM. چهارمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه تهران، اردیبهشت ماه.

ناجی ابهری، م.، م. قدسیان و م. فضلی. ۱۳۸۹. بررسی تاثیر دبی بر روی توپوگرافی بستر حول آبشکن بسته در کانال قوسی شکل. نهمین کنفرانس هیدرولیک ایران، دانشگاه تربیت مدرس، آبان ماه.

ناجی ابهری، م.، م. قدسیان، ن. پناهپور و م. واقفی. ۱۳۸۸. بررسی عددی و آزمایشگاهی تاثیرات طول آبشکن بر الگوی جریان در قوس ۹۰ درجه. هشتمین سمینار بین المللی مهندسی رودخانه، دانشگاه شهید چمران اهواز، بهمن ماه.

واقفی، م. و م. قدسیان. ۱۳۸۹. مطالعه آزمایشگاهی الگوی جریان پیرامون آبشکن T شکل در قوس ۹۰ درجه با بستر متحرک. نشریه مهندسی عمران و نقشه برداری، دانشکده فنی، دوره ۴۴، شماره ۲، تیر ماه.

واقفی، م.، م. قدسیان و س. ع. ا. صالحی نیشابوری. ۱۳۸۷. تاثیر شعاع انحنا بر توپوگرافی بستر قوس ۹۰ درجه. سومین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران، دانشگاه تبریز، دانشکده مهندسی عمران، مهرماه.

واقفی، م. و م. قدسیان. ۱۳۸۸. بررسی اثر طول بال آبشکن های T شکل مستقر در قوس ۹۰ درجه بر میزان آبشستگی اطراف آن ها. هشتمین سمینار بین المللی مهندسی رودخانه، دانشگاه شهید چمران اهواز، بهمن ماه.

وجدانی، ن. و م. قمشی. ۱۳۸۵. تنش برشی بحرانی فرسایش رسوبات چسبنده و نقش آن در طراحی کانال های روباز. همایش ملی مدیریت شبکه های آبیاری و زهکشی. دانشگاه شهید چمران اهواز، دانشکده مهندسی علوم آب، اردیبهشت ماه.

Azinfar, H. 2010. Flow resistance and associated backwater effect due to spur dikes in open channels. Degree of Doctor of Philosophy, Department of Civil and Geological Engineering, University of Saskatchewan Saskatoo, Canada, Winter.

Copeland, R. R. 1983. Bank protection techniques using spur dikes. Hydraulics Laboratory U. S. Army Engineer Waterways Experiment Station p. o. Box 631, Vicksburg, Miss. 39180, January.

Mansoori, A. R., H. Nakagawa, K. Kawaike, H. Zhang 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. No 55 B.

15. Mousavi Naiini, S. A., M. Vaghefi, M. Ghodsian. 2010. Secondary currents in a bend channel with T-shape spur dike. 5th National congress on civil engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Iran.

Naji Abhari, M., M. Ghodsian, M. Vaghefi, N. Panahpur. 2010. Experimental and numerical simulation of flow in a 90 degree bend. *Flow Measurement and Instrumentation*, 1 March.

Olsen, N. R. B. 1999. Computational fluid dynamics in hydraulic and sedimentation engineering. Department of Hydraulic and environmental Engineering, Norwegian University of Science and Technology, Class notes, 2 nd. Revision.

Olsen, N. R. B. 2000. CFD Algorithms for hydraulic Engineering. Department of Hydraulic and environmental Engineering, Norwegian University of Science and Technology, Preliminary, 18. December, ISBN 82-7598-044-5.

Olsen, N. R. B. 2001. CFD modeling for hydraulic structures. Department of Hydraulic and environmental Engineering, Norwegian University of Science and Technology, Preliminary 1st edition, 8. May, ISBN 82-7598-048-8.

Olsen, N. R. B. 2009. A three-dimensional numerical model for simulation of sediment movement in water intakes with multi-block option. Department of Hydraulic and environmental Engineering, Norwegian University of Science and Technology, User's manual.

Vaghefi, M., M. Ghodsian and S. A. Salehi Neishaboory. 2012. Experimental Study on Scour around a T-Shaped Spur Dike in a Channel Bend. *American Society of Civil Engineers*, 10.1061/(ASCE)HY.

Wildhagen, J. 2004. Applied Computational Fluid Dynamics with Sediment Transport in a Sharply Curved Meandering Channel. Institute for Hydromechanics, University of Karlsruhe, September.

## Determining the Amount of Scour and Three-Dimensional Velocity Components around the T-shape Spur Dike in Channel Bend Using Numerical Method and Experimental Data

Vaghefi mohammad<sup>1</sup>, Safarpour yaser<sup>2</sup>, Hashemi s.shaker<sup>3</sup>

### Abstract

In this study the SSIIM numerical model has been verified by the experimentally model also the bed topography and three-dimensional velocity components have been compared together. For this purpose the simulation carried out based on experimentally channel model that included the installation of non-submerged T-shape spur dike vertically (with equal ratio of wing to web length) in movable channel bend, that located in outer bank of 90 degree bend at 45 degree of bend. The verifications were done in relative curvature equal to 4 and the results compared in longitudinal, cross and vertical sections that express the capable of SSIIM model in determinations of range and maximum scour and sedimentation amounts and also the value of longitudinal and resultant velocities in channel bend or meandering channel. The second scour hole for numerical model formed in downstream of channel in the output of bend and for experimentally model observed in the range between the spur dike and the output of bend. In case of a rigid bed, due to less complexity of flow and non-movable bed, the transverse velocities are much more consistent with the experimentally model compared to the moving bed.

**Keywords:** Scour, SSIIM Model, T-shape Spur dike, Verification, 90 degree bend.

<sup>1</sup> Vaghefi,mohammad, Persian Gulf University. Bushehr. Iran. Vaghefi52@gmail.com (Corresponding author)

<sup>2</sup> Safarpour,Yaser, Persian Gulf university. Bushehr. Iran.yasersafarpour@yahoo.com

<sup>3</sup> Hashemi.s.shaker, Persian Gulf Univercity. Bushehr. Iran. sh.hashemi@pgu.ac.ir