

شبیه‌سازی عددی الگوی جریان با استفاده از نرم‌افزار SSIIM حول یک سازه

کورس تکوفر^{۱*}، وحیدرضا صوفی^۲، مهرناز روزبهانی^۳

۱- عضو هیأت علمی دانشگاه آزاد اسلامی، واحد چالوس، دانشکده فنی و مهندسی nekoufar@iauc.ac.ir

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد چالوس، دانشکده فنی و مهندسی

۳- کارشناسی ارشد، پژوهشگاه هوافضا

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۱/۲۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۸/۱۷

چکیده

مطالعات انجام‌شده روی سازه‌های هیدرولیکی به‌خصوص اطراف پایه‌های پل نشان می‌دهد که یکی از عوامل اصلی تخریب پل‌ها آشفتگی موضعی جریان است. برای اینکه بتوان طراحی اقتصادی و قابل اطمینان داشت، باید حداکثر عمق آبشستگی در اطراف پایه‌ها را به دست آورد. برآورد حداکثر عمق آبشستگی با هدف تعیین عمق لازم برای پایه‌های پل لازم است، زیرا در غیر این صورت ممکن است منجر به تخریب پل شود. در این پژوهش از نرم‌افزار SSIIM استفاده شده است که به صورت سه‌بعدی، معادلات جریان و رسوب را لحاظ می‌کند. در این نرم‌افزار، میدان جریان از معادلات ناپرواستوکس و مدل آشفتگی $k-\epsilon$ به دست می‌آید و سپس، با استفاده از حل غیردائمی میدان رسوب و معادله پیوستگی، تغییرات تراز کف در اطراف پایه پل محاسبه می‌شود. مقایسه نتایج نشان می‌دهد که عمق آبشستگی با زیاد شدن ارتفاع، افزایش می‌یابد و اگر شیب زاویه‌ای از یک حد بالاتر رود، تخریب دیواره حفره آبشستگی را همراه دارد.

کلیدواژه‌های فارسی: آبشستگی، پایه، الگوی جریان، نرم‌افزار SSIIM

مقدمه

همواره مورد توجه بوده‌اند و بررسی رفتار آنها جایگاه ویژه‌ای دارد. الگوی جریان در رودخانه‌های طبیعی با پیچیدگی بسیار همراه است. این پیچیدگی نه تنها به دلیل آشفتگی و طبیعت سه‌بعدی جریان، بلکه به علت توپوگرافی و تغییرات عمق است. در طبیعت

امروزه رودخانه‌ها به عنوان یکی از اصلی‌ترین منابع فراهم‌کننده آب و انرژی برای انسان، به منزله شاه‌رگ جوامع بشری قلمداد می‌شود که به دلیل تأثیر ویژه‌ای آنها بر زندگی بشر و شکل‌گیری تمدن‌های مختلف،

بیرونی و رسوب‌گذاری در قوس درونی می‌شود، پیچیدگی خاصی دارد. یکی از مهم‌ترین مشخصه‌های قوس‌های مسیر رودخانه‌های طبیعی، همگرایی این نوع قوس‌هاست. این همگرایی طوری است که در طول قوس به تدریج عرض رودخانه کم می‌شود [۱].

۱-۲- الگوهای ترکیب جریان

با استفاده از الگوهای ترکیب جریان می‌توان اجسام مختلفی را مشابه اجسام فیزیکی در طبیعت تولید کرد. مثلاً مقطع یک ستون استوانه‌ای در عمل می‌تواند مشابه پایه یک سازه (با سطح مقطع دایروی یا بیضوی) واقع در معرض جریان آبی، شبیه‌سازی می‌شود. در شبیه‌سازی الگوهای جریان موارد زیر بسیار مهم است:

۱. جریان بدون لزجت

۲. جریان یکنواخت^۱

۳. چشمه

۴. چاه پرش

۵. جریان گردابی

۶. الگوهای ترکیبی جریان [۱].

اصولاً از این تعاریف برای ساده‌سازی معادله ناویراستوکس در حالت بدون لزجت استفاده می‌شود. اما برای شکل‌هایی که نامشخص هستند از جمله بدنه

به‌ندرت رودخانه‌هایی با مسیر کاملاً مستقیم یافت می‌شود و اکثر رودخانه‌ها مسیرهای قوسی دارند. قوس رودخانه جزء بازه‌هایی از یک رودخانه است که الگوی جریان کاملاً پیچیده‌ای بر آن حاکم است. برای مطالعه رفتار یک رودخانه لازم است تا الگوی جریان حاکم بر قوس‌های آن کاملاً شناخته شود. با ورود جریان به قوس رودخانه بر اثر اعمال نیروی جانب مرکز و اندرکنش آن با دیگر نیروهای حاکم بر میدان، جریان ثانویه تولید و موجب بازتوزیع مومنتوم طولی جریان در جهت عرضی مقطع می‌شود. مدل‌های عددی به عنوان ابزاری مناسب و توانمند، علاوه بر پیش‌بینی چنین میدان‌هایی می‌تواند درک مطلوبی از آن ارائه کند. در این پژوهش با استفاده از مدل عددی سه‌بعدی SSIM الگوی جریان آشفته بررسی و خصوصیات جریان مثل نحوه اثر جریان ثانویه بر باز توزیع سرعت مسیر حداکثر سرعت و توزیع تنش برشی جداره‌ها مطالعه و بر این اساس محل‌های محتمل برای فرسایش و رسوب‌گذاری در کانال پیش‌بینی خواهد شد.

۲- نقش قوس‌ها در شبیه‌سازی عددی

حضور قوس‌های متعدد یکی از مشخصه‌های اصلی رودخانه‌های جاری در مناطق کم‌شیب است و بررسی هیدرولیک جریان آن به دلیل بروز جریان حلزونی شکل تولیدشده در قوس که موجب فرسایش در قوس

^۱ uniform flow

شناورها، هیدروفویل‌ها در مقاطع مختلف و اشکال پیچیده‌تر، از روش‌های عددی استفاده می‌شود.

پیشینه تحقیق

یکی از اقدامات اولیه در پروژه‌های سیلاب، تحلیل هیدرولیک جریان به کمک مدل‌های ریاضی است که به صورت گسترده و فراگیری توسط مهندسان هیدرولیک در طرح‌های مهندسی استفاده شده است: معیری و همکاران در سال ۱۳۹۰ جریان را در سرریز-های پلکانی با استفاده از مدل آشفتگی شبیه‌سازی دوبعدی کردند که پس از مقایسه نتایج با مدل فیزیکی مشخص شد که سرریزهای پلکانی به علت تأثیر زیاد آنها بر استهلاك انرژی جریان و به دلیل قابلیت تطبیق ساخت آنها با فناوری بتن غلطکی کوبیده اهمیت بسیار زیادی دارند. این محققان به این نتیجه رسیدند که مدل فلونت برای تخمین پارامترهای طراحی برای نوع رژیم جریان رویه‌ای در سرریزهای پلکانی مناسب است و در مدل‌سازی پارامترهای اختلاط آب و هوا در این نوع رژیم نتایج نسبتاً قابل قبولی حاصل می‌شود [۱]. شکیبایی و همکاران کاربرد مدل‌سازی عددی سه‌بعدی در شبیه‌سازی پیچیده مهندسی رودخانه را بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که مدل عددی SIIMM در شبیه‌سازی جریان، محاسبه سطح آزاد و محاسبه تغییرات

توپوگرافی بستر رودخانه مقادیر قابل قبولی را پیش‌بینی و سرعت و جریان چرخشی را به خوبی مدل‌سازی می‌کند [۲]. شینو و همکاران با ارائه یک مدل ریاضی شبه دوبعدی براساس انتگرال‌گیری در عمق از معادلات ناویراستوکس و حل تحلیلی آن، توزیع عرضی سرعت و تنش برشی کف کانال در مقاطع مرکب را مدل‌سازی کردند. در این مدل، از اثر جریان ثانویه صرف نظر شده بود. با این فرض، اگرچه توزیع عرضی سرعت به خوبی شبیه‌سازی شد، توزیع عرضی تنش برشی مرزی با خطای زیادی همراه بود [۳]. جواد قلی‌نژاد و همکاران در تحقیق خود شبیه‌سازی یک و شبه‌دوبعدی جریان‌های سیلابی در رودخانه گرگان‌رود (ایستگاه هیدرومتری آق‌قلا) را بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که کارایی مدل‌های ریاضی یک و شبه‌دوبعدی (هم‌زمان با اثر جریان ثانویه) در حل توزیع عرضی سرعت و برآورد دبی جریان سیلاب در رودخانه اهمیت بسیار زیادی دارد و در نظر گرفتن یک ضریب زبری ثابت برای همه عمق‌های جریان ممکن نیست و همچنین، دقت نتایج مدل شبه‌دوبعدی در محاسبه توزیع عرضی سرعت و نیز، دبی جریان بهتر از مدل یک‌بعدی است [۴]. چن و همکاران در تحقیق خود شبیه‌سازی عددی جریان متلاطم در سرریز پلکانی را بررسی کردند و به این

نتیجه رسیدند که شبکه‌های نامنظم برای مرزهای غیرمنظم به کار برده می‌شود و سرعت‌ها و فشار روی سرریز پلکانی با مدل عددی به دست می‌آید و سرانجام مشخص شد که گردابه در کنج هر پله اتفاق می‌افتد که می‌تواند ارزیابی شود [۵]. بوسما و همکاران در تحقیق خود تخمین دبی سیلاب را بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که تخمین دبی سیلاب دارای محدودیت‌های جدی است که علاوه بر پیچیدگی محاسبه‌ها، قابلیت حل توزیع عرضی سیلاب در مقطع اصلی و دشت‌های سیلابی را ندارد و از طرف دیگر، اگرچه مدل‌های دوبعدی و سه‌بعدی فیزیک جریان در مقاطع مرکب را به خوبی معرفی می‌کند، اما از نظر کاربردی محدودیت دارد [۶]. مارتین و همکاران در تحقیق خود درخصوص تحلیل هیدرولیک جریان در کانال‌های باز، محدودیت‌های اصلی روش مدل ریاضی یک‌بعدی را بررسی کردند و پی بردند که محدودیت اصلی این روش، در نظر نگرفتن تنش برشی تولیدشده است [۷]. بایندر و همکاران، شبیه‌سازی نتایج تونل باد در انجام آزمایش‌های آیرودینامیک روی اتومبیل با استفاده از آنالیز روش پانل^۱ و مطالعات CFD را بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که با استفاده از الگوهای ترکیب جریان‌ها می‌توان اجسام مختلفی

مشابه اجسام فیزیکی در طبیعت تولید کرد و با تجزیه و تحلیل جریان اطراف این جسم فرضی، تقریباً همان نتایج عملی و آزمایشگاهی حاصل خواهد شد [۸].

قلی‌پور و همکاران، حل جریان پتانسیل سه‌بعدی به وسیله روش پانل را بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که الگوی روش پانل سه‌بعدی همانند روش پانل دوبعدی است با این تفاوت که روش پانل سه‌بعدی جزئیات بیشتری دارد [۹].

معرفی مدل ریاضی تحقیق

مدل SSIM یک نرم‌افزار سه‌بعدی برای شبیه‌سازی حرکت آب و رسوب است که توسط دانشکده مهندسی هیدرولیک و محیط زیست نروژ توسعه یافته است. باید توجه کرد که مدل SSIM یک برنامه عددی با زمینه کاربردی در مهندسی رودخانه، مهندسی محیط‌زیست، هیدرولیک و رسوب است و هدف اولیه از ساختن این برنامه، شبیه‌سازی کردن حرکت رسوب در هندسه رودخانه و کانال بوده است. پس از توسعه یافتن، این نرم‌افزار در موضوعات هیدرولیکی، افت در تونل‌ها، رابطه عمق و دبی در رودخانه‌ها نیز به کار گرفته شد. نرم‌افزار SSIM می‌تواند بین فشار و سرعت ارتباط برقرار کند، با استفاده از روش حل ضمنی میدان سرعت در هندسه محاسبه می‌شود و با استفاده از میدان سرعت محاسبه-

¹ panel method

شده و با حل معادله پیوستگی رسوب می‌توان تغییرات بستر را به دست آورد.

معادلات حاکم بر میدان جریان

معادلات حاکم در این نرم‌افزار معادلات ناویراستوکس است که برای حل آن می‌توان از مدل آشفتگی K-ε استفاده کرد. به علاوه، مدل عددی SSIM قابلیت استفاده از مدل‌های آشفتگی مختلف را نیز دارد. باید توجه داشت که ناویراستوکس برای سیالات تراکم‌ناپذیر با چگالی ثابت در حالت برداری به کار برده می‌شود:

$$\frac{\delta u_i}{\delta t} + \bar{u}_j \frac{\delta u_i}{\delta x_j} = \frac{1}{p} \frac{\delta}{\delta x_j} (\rho \delta_{ij} - \rho u_i u_j) \quad (1)$$

در رابطه فوق ترم اول سمت چپ، ترم گذار (تغییرات زمانی) و ترم بعدی، ترم جابه‌جایی است. اولین ترم سمت راست، ترم فشار و بعدی ترم به تنش رینولدز مربوط است که برای ارزیابی ترم اخیر به یک مدل آشفتگی نیاز است. برای انفصال (گسسته‌سازی) از روش حجم محدود با استفاده از قاعده توانی استفاده می‌شود.

به طور خلاصه می‌توان معادلات حاکم بر جریان را در حالت آشفته، معادلات پیوستگی دانست. می‌توان فرض کرد که جریان دائمی است، یعنی $(\frac{\delta}{\delta t} = 0)$ و نوسانات جرم مخصوص صفر است، معادلات مومنتوم

و پیوستگی به صورت رابطه (۲) تعریف می‌شود:

$$\frac{\delta}{\delta x_j} (\rho \delta_{ij} - \rho u_i u_j) = -\frac{\delta p}{\delta x_j} - \frac{\delta}{\delta x_j} \mu \left(\frac{\delta u_i}{\delta x_j} - \frac{\delta u_j}{\delta x_i} \right) + \frac{\delta}{\delta x_j} (-\rho u_i u_j) \frac{\delta}{\delta x_i} (\rho u_j) \quad (2)$$

که u مؤلفه سرعت، ρ چگالی سیال، p فشار کل، $\rho u_i u_j$ ترم تنش رینولدز است. همان‌طور که مشاهده می‌شود ۱۰ مجهول (سرعت در سه جهت، u, v, w ، p و مؤلفه تنش رینولدز) وجود دارد، یعنی میدان حاکم بر جریان بسته نیست و برای بستن آنها باید از معادلات آشفتگی نیز استفاده کرد. برای تعیین سرعت نزدیک دیواره (بستر، کناره‌ها و...) از قوانین دیواره ارائه شده توسط اسپچلیچتینگ^۱ استفاده شده است. پس از حل جریان، تنش برشی در بستر محاسبه و برای مشخص کردن غلظت رسوب در نزدیک‌ترین سلول به بستر از روی معادله ون ریجن^۲ استفاده می‌شود. معادله انتقال پخش برای سلول‌های مجاور بستر حل نشده است و بنابراین، تغییرات در بستر با حل معادله بقا، جرم برای رسوب به دست آمده است.

تجزیه و تحلیل داده‌ها

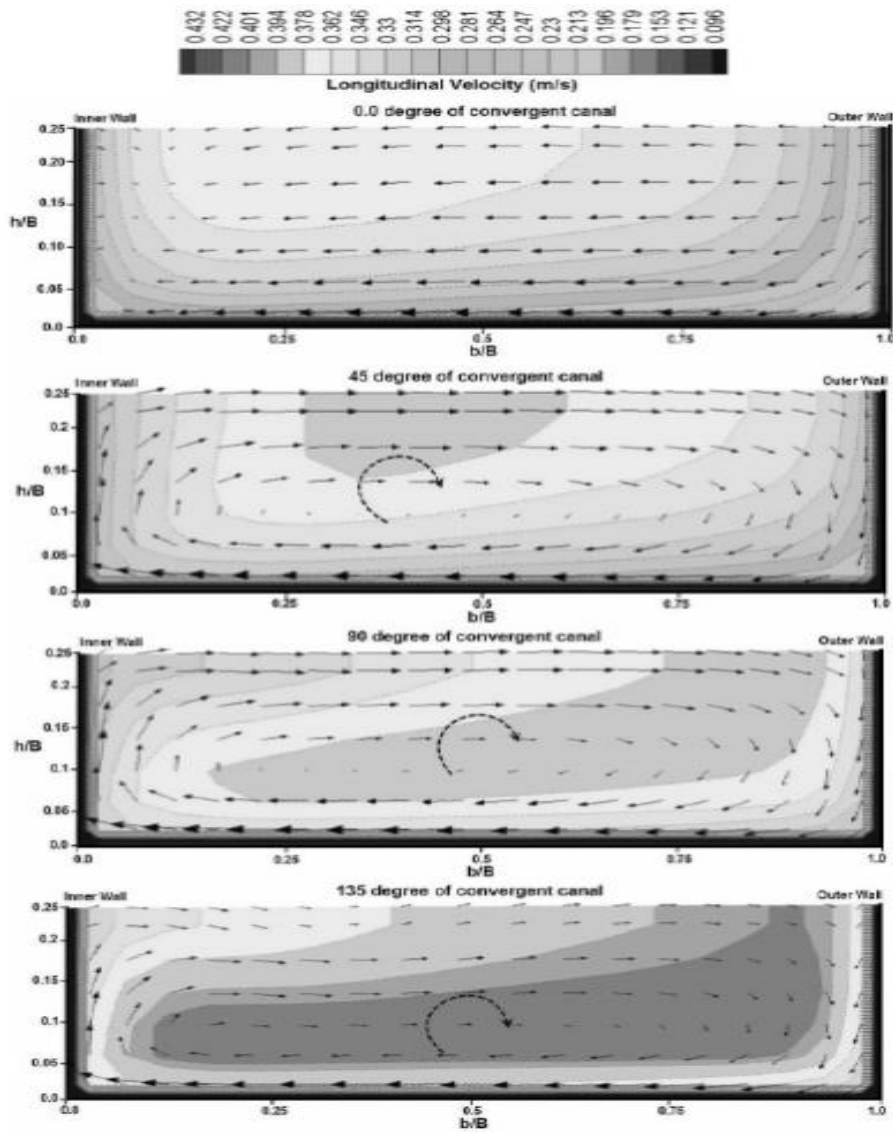
برای مطالعه روی رفتار یک رودخانه باید الگوی جریان حاکم بر قوس را به خوبی شناسایی کرد، SIIMM یکی از مدل‌های عددی است که می‌توان با استفاده از آن مطالعات دقیقی روی الگوی جریان

1 schlichting

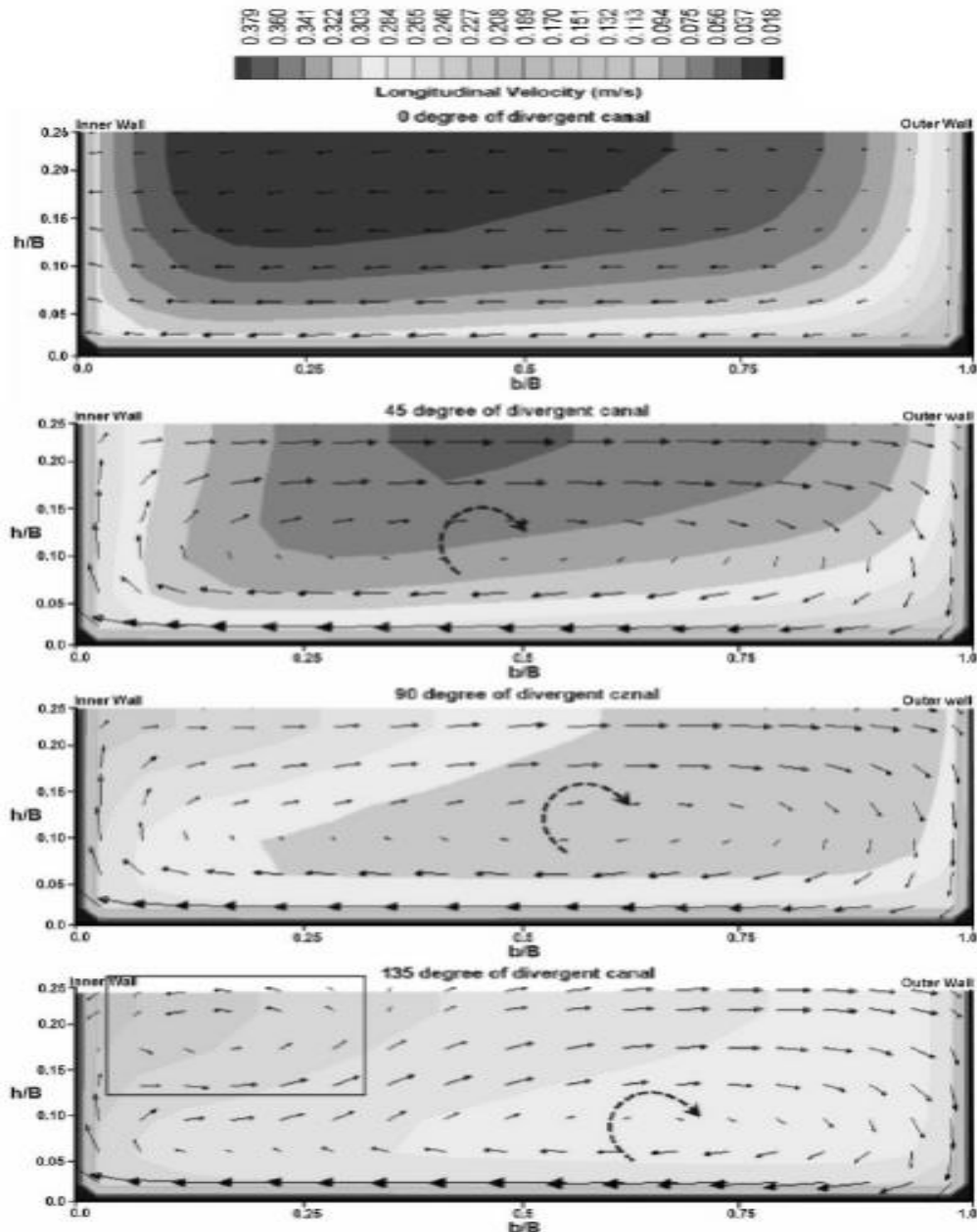
2 Van rijin

در قوس‌ها به دلیل جریان حلزونی، می‌تواند به تغییر در عرض قوس منجر شود. در این تحقیق دو قوس u شکل مشابه (واگرا و همگرا) با عرض‌های متفاوت و همچنین، جریان اطراف پایه پل‌ها توسط مدل عددی سه‌بعدی SSIIM شبیه‌سازی شده است. در شکل - های (۱) و (۲)، جریان‌های ثانویه و کانورت‌های سرعت برای مقاطع عرضی گوناگون برای قوس‌های مختلف بررسی شده‌اند.

حاکم بر رودخانه انجام داد. این مدل در محاسبه سطح آزاد رودخانه مقادیر قابل قبولی را پیش‌بینی می‌کند، ولی در نقاطی که چرخش‌های شدید رخ می‌دهد، در بعضی نقاط خطای محاسبه سرعت در این مدل افزایش می‌یابد. اما به طور کلی می‌تواند توزیع سرعت و جریان چرخشی را به‌خوبی مدل‌سازی کند. در بررسی‌های جریان در مسیر رودخانه‌ها و کانال‌ها، مطالعه و شبیه‌سازی جریان در اطراف قوس‌ها (واگرا، همگرا و ...) اهمیت بسیاری دارد. زیرا فرسایش حاصله



شکل ۱- مقایسه کانورت‌های سرعت و جریان ثانویه در کانال با قوس همگرا

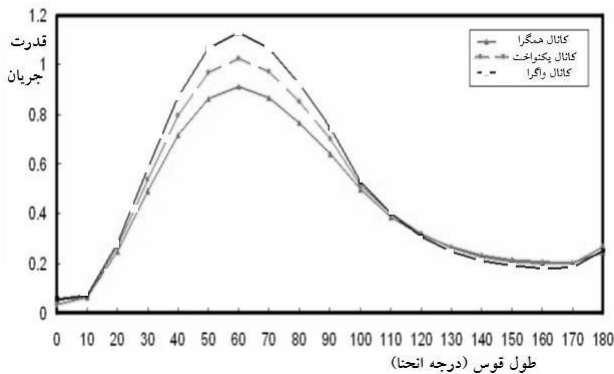


شکل ۲- مقایسه کانورت‌های سرعت و جریان ثانویه در کانال با قوس واگرا

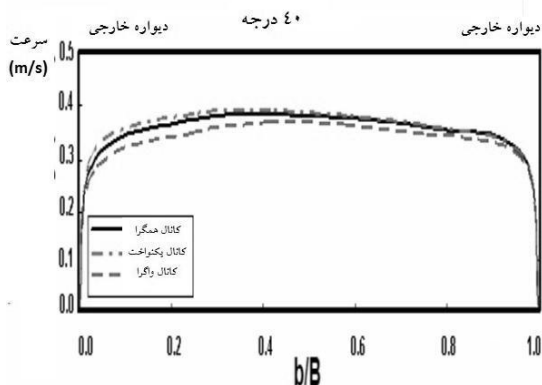
مقطع ۱۳۵ درجه کانال واگرا، سلول‌های چرخشی مشاهده می‌شوند که خلاف بردارهای سرعت سطح آب گردش می‌کنند، اما در مقطع ۱۳۵ درجه کانال همگرا چنین سلول‌های چرخشی ملاحظه نمی‌شوند که برخلاف جهت چرخش جریان ثانویه اصلی باشد.

همان‌طور که مشاهده می‌شود، اندازه سرعت در کانال واگرا به علت تأثیرپذیری از گشادشدگی کمتر از اندازه سرعت در کانال همگراست، اما گستره تغییرات سرعت در کانال واگرا بزرگتر از کانال با عرض همگراست. شکل کانورت‌های سرعت برای هر سه قوس تقریباً یکسان است. اما همان‌طور که مشاهده می‌شود در

دبی در واحد عرض، سرعت در قوس واگرا کمتر از قوس همگرا است.



شکل ۴- قدرت جریان در طول قوس

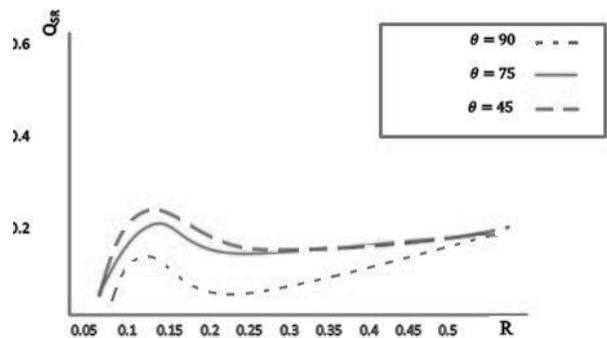


شکل ۵- مقایسه پروفیل‌های عرضی سرعت طولی

در صفحه نزدیک سطح آب ($h=0.1$) در مقطع ۴۰ درجه بین قوس‌های همگرا، واگرا و یکنواخت

شکل (۶) روند تغییرات پروفیل عرضی در نزدیک سطح آب را در هر دو قوس، در مقطع ۱۸۰ درجه نشان می‌دهد. در این مقطع نیز به واسطه بازشدگی و کاهش دبی در واحد عرض، سرعت در قوس واگرا کمتر از قوس همگراست و اختلاف با افزایش درجه قوس افزایش می‌یابد. همچنین، پروفیل‌های عرضی سرعت طولی در تمامی قوس‌ها کاملاً هم‌شکل و شکل ظاهری آنها یکسان است، طوری که در ابتدای قوس

در شکل (۳)، R نسبت دبی آبیگری، QSR نسبت رسوب ورودی آبیگری را نشان می‌دهد و همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزایش نسبت آبیگری، نسبت رسوب ورودی به آبیگر اضافه و هرچه زاویه شیب کمتر باشد، میزان رسوب کمتر و تغییرات کمتری تولید می‌شود.

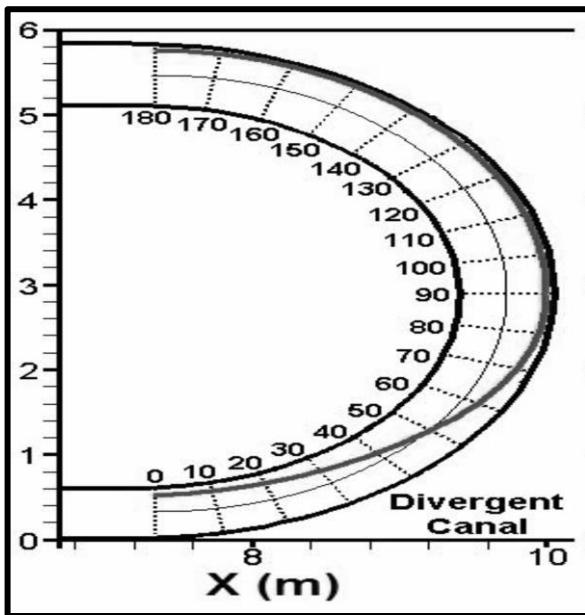


شکل ۳- تغییرات نسبت رسوب ورودی بر حسب

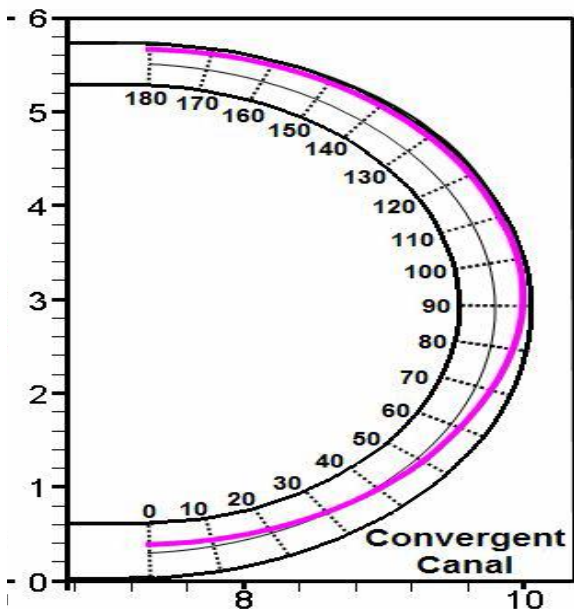
نسبت آبیگری در زاویه ۴۵، ۷۵ و ۹۰ درجه

شکل (۴)، قدرت جریان در طول قوس و در دبی $\frac{lit}{s}$ ۳۰ را نشان می‌دهد که در حدود زاویه ۶۰ درجه به حداکثر مقدار خود می‌رسد و پس از آن حالت نزولی خواهد داشت. همچنین، به دلیل کوچک‌تر بودن سرعت طولی در قوس واگرا نسبت به قوس یکنواخت و در قوس یکنواخت نسبت به قوس همگرا، بیشینه قدرت جریان در قوس همگرا کمتر از قوس یکنواخت و در قوس یکنواخت کمتر از کانال یا قوس واگراست. شکل (۵)، روند تغییرات پروفیل عرضی در نزدیک سطح آب را در هر سه قوس، در مقطع ۴۰ درجه نشان می‌دهد. در همه مقاطع به دلیل بازشدگی و کاهش

حداکثر در حدود زاویه ۳۰ تا ۴۰ درجه اتفاق افتاده است.

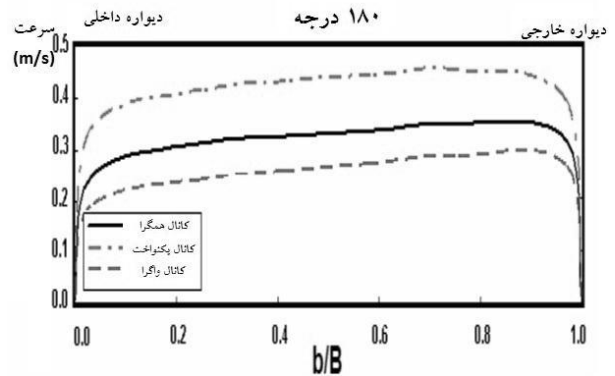


شکل ۷- مقایسه مسیر وقوع خط سرعت حداکثر در صفحه نزدیک سطح آب ($h=0.1$) در قوس واگرا



شکل ۸- مقایسه مسیر وقوع خط سرعت حداکثر در صفحه نزدیک سطح آب ($h=0.1$) در قوس همگرا

حداکثر سرعت طولی در کناره داخلی قوس رخ می‌دهد و با ورود به قوس کم‌کم به سمت جدار خارجی متمایل می‌شود و در نهایت، به طور کامل به جدار خارجی قوس می‌رسد.



شکل ۶- مقایسه پروفیل‌های عرضی سرعت طولی در صفحه نزدیک سطح آب ($h=0.1$) در مقطع ۱۸۰ درجه بین قوس‌های همگرا، واگرا و یکنواخت

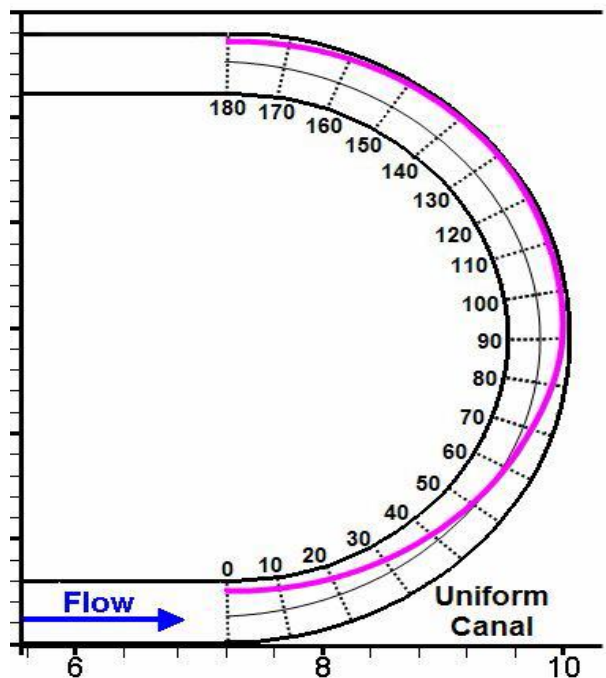
شکل (۷)، مقایسه مسیر وقوع خط سرعت حداکثر در صفحه نزدیک سطح آب ($h=0.1$) در قوس واگرا را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود در قوس واگرا سرعت حداکثر در حدود زاویه ۵۰ درجه اتفاق افتاده است. خط حداکثر سرعت در قوس واگرا به حالت تقریباً مستقیم محور قوس را قطع می‌کند و زودتر از قوس همگرا و در حدود زاویه ۸۰ درجه قوس با جدار خارجی مماس می‌شود و تا آخر قوس این وضعیت را حفظ می‌کند. شکل (۸)، مقایسه مسیر وقوع خط سرعت حداکثر در صفحه نزدیک سطح آب ($h=0.1$) در قوس همگرا را نشان می‌دهد که سرعت

شبهه‌سازی شکل بستر رودخانه و بار بستر متحرک، انتقال بار معلق رسوبات غیریکنواخت، شبهه‌سازی جریان در بازه‌های پیچان رودی رودخانه، مدل کردن سرریزها، افت در تونل‌ها، رابطه عمق و دبی در رودخانه‌ها، مدل جریان آشفته و مدل کیفیت آب و مطالعات زیست محیطی رودخانه‌ها و

به همین علت، در این تحقیق با نرم‌افزار SSIM (3D) پایه پل بررسی شده است. این نرم‌افزار توانایی مدل‌سازی در خم‌ها، جریان‌های اطراف پایه پل و آبشکن‌ها، سرریزها و جریان ورودی به آبگیرها و همچنین، محاسبه تنش برشی، عدد فرود، آبشستگی، عمق آب و ... را دارد.

تقسیم‌بندی منطقه مورد نظر به سلول‌هایی که قرار است معادلات حاکم منفصل‌سازی شده برای تک‌تک آنها حل شوند، اولین گام در شبهه‌سازی عددی هر مسئله‌ای است. این گام در اصطلاح، گام شبکه‌بندی نامیده می‌شود. پدیده آبشستگی اطراف پایه پل اهمیت بسیار زیادی دارد، از این‌رو، در این تحقیق سعی شده است که سلول‌های نزدیک پایه پل ریزتر شوند تا بتوان گردابه‌های نعل اسبی و جریان‌های رو به پایین در جلوی پایه و غیره را به‌خوبی مدل‌سازی کرد و همچنین، زمان محاسبات را نسبت به حالتی که در کل میدان حل از سلول‌های زیر استفاده شود، کاهش داد. شکل (۱۰) خطوط شبکه در پلان را نشان می‌دهد.

شکل (۹)، مقایسه مسیر وقوع خط سرعت حداکثر در صفحه نزدیک سطح آب ($h=0.1$) در قوس یکنواخت را نشان می‌دهد که سرعت حداکثر در حدود زاویه ۵۵ درجه خط مرکزی قوس اتفاق افتاده است.



شکل ۹- مقایسه مسیر وقوع خط سرعت حداکثر در صفحه نزدیک سطح آب ($h=0.1$) در قوس یکنواخت

نرم‌افزار SSIM بیشترین خطا را در تعیین عمق آبشستگی دارد و از طرفی، بیشترین پارامترهای دخیل در آبشستگی را پوشش می‌دهد. مزیت اصلی SSIM نسبت به دیگر برنامه‌های دینامیک سیالات محاسباتی، قابلیت مدل‌سازی رسوب با بستر متحرک به‌خصوص در هندسه پیچیده است. برخی از توانایی‌های مدل SSIM عبارتند از: شبهه‌سازی انتقال رسوب در بسترهای متحرک با هندسه پیچیده،

عددی حاصل از اجرای نرم افزار با فرمول های شن/هانگ یانگ^۲ خطای بسیار کمی دارند. اما از آنجا که شکل حفره آبستنگی به وجود آمده، ارتباط مستقیمی با معادلات انتقال رسوب دارد، با بررسی کیفی شکل حفره آبستنگی تشکیل شده توسط نرم افزار و نیز، مقایسه آن با نمونه های آزمایشگاهی مشاهده شد که شکل ظاهری حفره آبستنگی تولید شده توسط معادله وان ریجن بیشتر به واقعیت نزدیک است. بنابراین، در این تحقیق از همان رابطه پیش فرض نرم افزار استفاده شد.

جدول ۱- میزان خطای محاسباتی فرمول های

مختلف بار بستر

دانشمند	عمق آبستنگی محاسبه شده	درصد خطا
آکرز/ وایت ^۳	۲۳/۵۲	۳۴/۴
انگلند/هانسن ^۴	۲۹/۱۹	۶۶/۸
یانگ ^۵	۱۷/۵۵	۰/۳
شن/هانگ ^۶	۱۷/۶	۰/۶۲
ایشتن ^۷	۳۱/۱۹	۷۸/۲۸

^۲ shen/hung yang

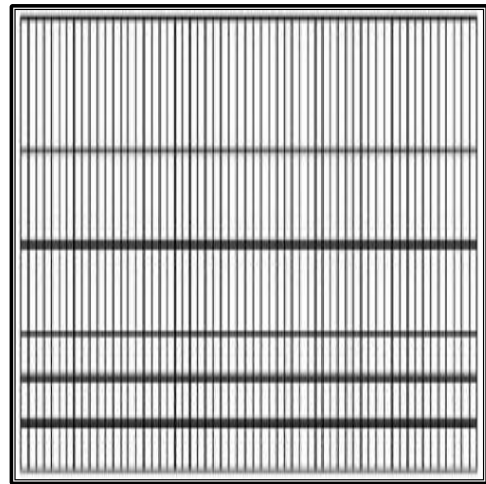
^۳ Ackers/white

^۴ Engelund/hansen

^۵ Yang

^۶ Shen/Hung

^۷ Einstein



شکل ۱۰- نمایش خطوط شبکه در پلان

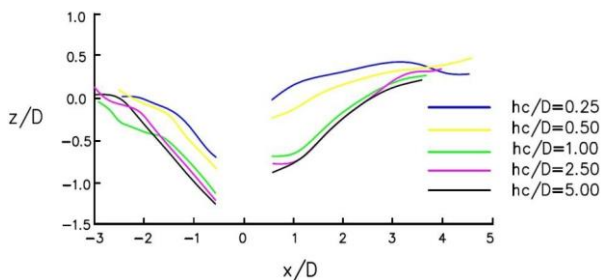
در فاصله های دورتر از پایه، از سلول های با ابعاد ۵×۱ سانتی متر و در ۱ متری میانی کانال از سلول هایی با ابعاد ۱×۱ سانتی متر استفاده شده است. در راستای قائم، خطوط شبکه در ۰٪، ۱۰٪، ۲۰٪، ۳۰٪، ۵۰٪، ۷۰٪، ۱۰۰٪ عمق آب گسترده شده اند. در شکل های (۱۰) و (۱۱) خطوط شبکه تعریف شده برای مسئله در پلان و ارتفاع کانال مشاهده می شود.

۱-۵- بررسی حساسیت مدل نسبت به انتخاب فرمول محاسبه بار بستر

نرم افزار SSIM امکان انتخاب فرمول محاسبه بار بستر را از طریق دستور F10 در فایل کنترل تولید می کند. در این نرم افزار به صورت پیش فرض، از فرمول وان ریجن^۱، استفاده می شود، اما امکان استفاده از چند رابطه مربوط به محققان دیگر نیز فراهم است. همان طور که در جدول (۱-۴) مشاهده می شود، نتایج

^۱ Van Rijn

می‌شود. همان‌طور که مشاهده می‌شود شیب حفره آبشستگی برای همه نیمرخ‌ها تقریباً یکسان است، البته باید توجه داشت که شیب زاویه‌ای از یک حد مشخص بیشتر نشود، زیرا تخریب دیواره حفره آبشستگی را همراه خواهد داشت. عمق آبشستگی هم در جلو و هم در پشت پایه پل با زیاد شدن ارتفاع، افزایش می‌یابد که علت این امر را می‌توان به افزایش ظرفیت انتقال رسوب، به دلیل افزایش انسداد جریان بر اثر بیشتر شدن قدرت گرداب نعل اسبی نسبت داد.



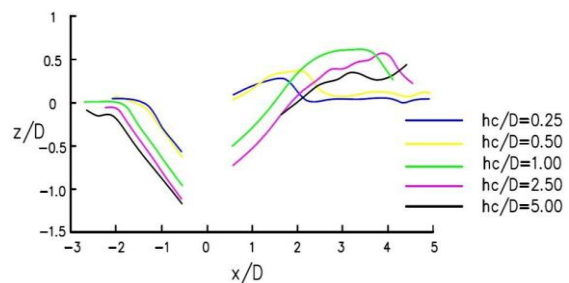
شکل ۱۲- نیمرخ بسته کانال در صفحه xt برای

$$v = 4 \cdot \frac{\text{cm}}{\text{sec}}$$

نتیجه‌گیری

در این تحقیق، ابتدا پارامترهای اصلی مؤثر بر جریان، شکل مقطع عرضی کانال، شیب کانال‌های اصلی و شکل دهانه‌های ورودی ثابت نگه داشته و اثر آب‌گیری با زوایای مختلف با نسبت دبی آب‌گیری بررسی شد. همین‌طور با مدل‌سازی حول پایه پل اثر ارتفاع و عمق بر میزان تخریب پل تحقیقاتی بررسی و نتایج حاصل به صورت خلاصه ارائه می‌شود:

نمودار شکل (۱۱)، نیمرخ بسته کانال در صفحه xt برای سرعت $v = 32 \frac{\text{cm}}{\text{sec}}$ را نمایش می‌دهد و نشان‌دهنده آن است که سطح بستر در بالادست پایه پل، برای سرعت $v = 32 \frac{\text{cm}}{\text{sec}}$ پایین‌تر از سطح بستر در پایین‌دست است. با توجه به نمودار هنگامی که ارتفاع پل کوتاه‌تر است، این اختلاف بیشتر دیده می‌شود؛ زیرا در اطراف پایه پل کوتاه‌تر، پدیده‌های گردابه‌ای شدیدتری تشکیل می‌شود که به وجود آمدن این گردابه‌ها سبب تشکیل حوضچه آبشستگی خواهد شد. شست و شوی بالادست پایه پل، به علت گرداب نعل اسبی و شست و شوی پایین‌دست پایه پل به دلیل پدیده‌های گردابه‌ای است.



شکل ۱۱- نیمرخ بسته کانال در صفحه xt برای

$$v = 32 \frac{\text{cm}}{\text{sec}}$$

شکل (۱۲) نشان‌دهنده نیمرخ بسته کانال در صفحه xt برای سرعت $v = 40 \frac{\text{cm}}{\text{sec}}$ است. این نمودار نیز حاکی از آن است که سطح بستر در بالادست پایه پل، برای سرعت $v = 40 \frac{\text{cm}}{\text{sec}}$ پایین‌تر از سطح بستر در پایین‌دست است. علت آن است که در اطراف پایه پل کوتاه‌تر، پدیده‌های گردابه‌ای شدیدتری تشکیل

۱۰- در ابتدای قوس حداکثر سرعت طولی در کناره داخلی رخ می‌دهد.

۱۱- با ورود به قوس، حداکثر سرعت طولی به سمت جدار خارجی متمایل می‌شود و در نهایت به طور کامل به جدار خارجی قوس می‌رسد.

۱۲- در قوس واگرا، سرعت حداکثر در حدود زاویه ۵۰ درجه اتفاق می‌افتد.

۱۳- در قوس همگرا حداکثر سرعت در حدود زاویه ۳۰ تا ۴۰ درجه اتفاق افتاده است، اما این تعداد در قوس یکنواخت در حدود زاویه ۵۵ درجه رخ می‌دهد.

۱۴- سطح بستر در بالادست پایه پل، پایین‌تر از سطح بستر در پایین‌دست است و هرچه ارتفاع پل کوتاه‌تر باشد این اختلاف بیشتر دیده می‌شود.

۱۵- شست و شوی بالادست پایه پل، به علت گرداب نعل اسبی و شست و شوی پایین‌دست پایه پل، به دلیل پدیده رهایی گردابی است.

۱۶- شیب حفره آبشستگی، برای همه نیمرخ‌ها تقریباً یکسان است.

۱۷- اگر شیب زاویه‌ای از یک حد بیشتر شود، تخریب دیواره حفره آبشستگی را همراه دارد.

۱۸- عمق آبشستگی با زیاد شدن ارتفاع، افزایش می‌یابد.

۱۹- مدل آشفتگی K-E و پیش‌بینی پروفیل سطح آب قوس جریان مناسب بوده است.

۱- اندازه سرعت در کانال واگرا به علت تأثیرپذیری از گشادشدگی کمتر از اندازه سرعت در کانال همگرا است و این مقدار با افزایش درجه قوس، افزایش می‌یابد.

۲- گستره تغییرات سرعت در کانال واگرا بزرگتر از کانال با عرض همگراست.

۳- در کانال واگرا، سلول‌های چرخشی وجود دارند که در خلاف بردارهای سطح آب گردش می‌کنند، اما در کانال همگرا چنین سلول‌های چرخشی وجود ندارد که بر خلاف بردارهای سطح آب گردش کنند.

۴- با افزایش نسبت آبگیری، نسبت رسوب ورودی به آبگیر اضافه می‌گردد.

۵- هرچه شیب کمتر باشد میزان رسوب کمتر و تغییرات کمتری ایجاد می‌شود.

۶- قدرت جریان در طول قوس در حدود ۶۰ درجه به حداکثر میزان خود می‌رسد.

۷- سرعت طولی در قوس واگرا نسبت به قوس یکنواخت و قوس یکنواخت نسبت به قوس همگرا کوچک‌تر است.

۸- بیشینه قدرت جریان در قوس همگرا کمتر از قوس یکنواخت و در قوس یکنواخت کمتر از قوس واگرا است.

۹- دبی واحد عرض سرعت در قوس واگرا کمتر از قوس همگرا است.

۲۰- نرم افزار SSIIM در شبیه سازی جریان نتایج قابل قبولی را ارائه می دهد.

مراجع

- ۱- برقی، م. و ع. کبیری سامانی. ۱۳۸۴. تعیین ضریب دبی سرریزهای جانبی با استفاده از اطلاعات آزمایشگاهی و روش تشابه ناقص. پنجمین کنفرانس هیدرولیک ایران، دانشگاه شهید باهنر کرمان
- ۲- بزرگیان، ح. و ف. یزدان دوست. ۱۳۸۴. بهینه سازی طراحی جام سرریزهای جانبی با اصلاح معادله دینامیکی محاسبه پروفیل سطح آب به کمک نتایج آزمایشگاهی. پنجمین کنفرانس هیدرولیک ایران، دانشگاه شهید باهنر کرمان.
- ۳- سلیمانی، م.، ۱۳۹۱، امکان سنجی کاهش آبستگي پایه ی پل به وسیله صفحات مستغرق با استفاده از نرم افزار SSIIM، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد لار.
- ۴- شکیبائی نیا، ا.، و زراتی، ا.ر.، م.ر. مجدزاده طباطبایی. ۱۳۸۷. کاربرد مدل سازی عددی سه بعدی در شبیه سازی پدیده های پیچیده مهندسی رودخانه، نشریه دانشکده فنی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر
- ۵- قلی نژاد ج. ع. ظهیری و ا.ا. دهقانی. ۱۳۹۱. مدل سازی شبه دوبعدی توزیع عرضی سرعت در رودخانه های سیلابی (مطالعه موردی رودخانه گرگانرود ایستگاه هیدرومتری آق قلا، نهمین کنگره بین المللی مهندسی عمران، ۱۹ تا ۲۱ اردیبهشت دانشگاه صنعتی اصفهان.
- ۶- منصوری، ه. م. و م. شفاعی بجستانی. ۱۳۹۰. طراحی قطر سنگچین در اطراف تکیه گاه پل واقع در قوس رودخانه، فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ۱(۴): ۵۳-۵۴.

7. Bousmar, D., and Zech, Y. 1999. Momentum transfer for practical flow computation in compound channels. J Hydr. Engine. ASCE, 125:7. 696-706.
8. Chen Q, Dai G and Liu H, 2002. Volume of fluid model for turbulence numerical simulation of stepped spillway over flow. J Hydraul Eng ASCE 128(7):683-688
9. Martin, L.A., and Myers, R.C. 1991. Measurement of overbank flow in a compound river channel. Proc. Inst. Civ. Engrs, 91:2. 645-657

Numerical Simulation of Flow Pattern Using SSIIM Software around a Structure

Abstract

Studies on hydraulic structures, especially around the bridge bases, show that one of the main causes of bridge destruction is the local turbulence of the flow. In order to be economical and reliable design, you have to get the maximum depth of deflection around the bases. Estimating the maximum depth of scouring with the purpose of determining the depth required for bridge bridges is necessary, as otherwise it may lead to bridge collapse. SSIIM software is used in this study, which takes into account the flow and sediment equations in a three-dimensional fashion. In this software, the flow field is obtained from the Navier-Stokes equations and the K- ϵ turbulence model, and then, using the nondetective solution of the deposit field and the continuity equation, the ground level changes are calculated around the bridge's base. Comparison of the results shows that the scour depth increases with increasing height, and if the angular gradient exceeds a limit, then the destruction of the wall of the scouring cavity is accompanied.

Keywords: *Scour, Bridge Pier, Flow Pattern, Software SSIIM*