



دانشگاه گوارزی و منابع طبیعی گران

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

شبیه‌سازی سه‌بعدی آبستگي اطراف پایه‌های پل در تنگ‌شدگی‌های طولانی با استفاده از مدل عددي SSIM

فاطمه حاجبی^۱ و * مهدی مفتاح‌هلقی^۲

^۱ دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه سازه‌های آبی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گران،

^۲ دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گران

تاریخ دریافت: ۹۱/۱۰/۲۶؛ تاریخ پذیرش: ۹۳/۳/۱۲

چکیده

امروزه مسأله آبستگي یکی از مسایل مهم در علم مهندسی رودخانه می‌باشد. تعیین رابطه میان پارامترهای مؤثر بر عمق آبستگي و حداکثر عمق آبستگي و یافتن تابع حاکم بر آن‌ها از موضوعات مهم در مهندسی هیدرولیک است که در آن سعی می‌شود رابطه‌ای ریاضی میان عمق آبستگي به‌عنوان متغیر وابسته و پارامترهای مؤثر بر این پدیده به‌دست آید. از این‌رو به یک مدل عددي توانمند نیاز است که رابطه‌های پیچیده حاکم بر این پدیده را به معادله‌های ساده و قابل‌حل تبدیل نماید. در این پژوهش مدل عددي SSIM میزان آبستگي ناشی از پایه پل در مقطع با تنگ‌شدگی طولانی را به‌خوبی شبیه‌سازی کرده است. نتایج نشان داده که با افزایش مقدار نسبت تنگ‌شدگی، افزایش قطر ذرات رسوبی، انتخاب پایه پل با شکل مقطع مناسب و با فاصله قرار دادن پایه پل از ابتدای تنگ‌شدگی و مرزهای کناری مقدار آبستگي در اطراف پایه پل به حداقل می‌رسد.

واژه‌های کلیدی: آبستگي، تنگ‌شدگی، شبیه‌سازی عددي، پایه پل، مدل عددي SSIM

* مسئول مکاتبه: meftah_20@yahoo.com

مقدمه

آبشستگی در واقع نوعی فرسایش در اطراف پایه‌های پل می‌باشد که در اثر جریان‌های پیچیده گردابی رخ داده و باعث ایجاد گودال در اطراف پایه پل می‌شود. به‌طورکلی برخورد و جدا شدن جریان از پایه پل دو عامل اصلی در ایجاد آبشستگی در اطراف پایه پل می‌باشند. برخورد جریان به پایه گرداب نعل اسبی را شکل داده و جدایی جریان از پایه باعث به‌وجود آمدن گرداب‌های برخاستگی می‌شود. گرداب نعل اسبی عامل اصلی فرسایش بستر رودخانه در اطراف پایه به‌ویژه در جلوی آن می‌باشد. عملکرد این پدیده به‌گونه‌ای است که قبل از آن‌که سازه در اثر نیروهای مخرب سیل منهدم گردد، در معرض خطرات ناشی از فرسایش اطراف پی خود قرار می‌گیرد. این پدیده به مرور زمان باعث خالی شدن پی‌سازه و در نهایت تخریب آن می‌شود. این اتفاق وقتی بحرانی‌تر می‌شود که بدانیم پل‌ها درست زمانی تخریب می‌شوند که ما بیش‌ترین احتیاج را به راه‌های دسترسی برای کمک به آسیب‌دیدگان بلایای طبیعی داریم.

زمانی‌که بازه رودخانه در اثر احداث دیواره‌های راهنما، پایه‌های پل و خاکریز محدود و تنگ می‌شود انرژی اضافی ناشی از افزایش سرعت و تنش برشی صرف حمل رسوبات کف می‌شود و پدیده آبشستگی انقباضی رخ می‌دهد.

در زمینه آبشستگی در تنگ‌شدگی پژوهش‌های گسترده‌ای انجام نشده است در این مورد می‌توان به نتایج دی و ریکار (۲۰۰۴) اشاره نمود که رابطه‌ای را برای تخمین مقدار آبشستگی در تنگ‌شدگی بیان کردند که در آن میزان تنگ‌شدگی به دو دسته کوتاه و طویل تقسیم‌بندی می‌شود، این تقسیم‌بندی براساس نسبت طول تنگ‌شدگی به عرض اولیه می‌باشد که اگر بزرگ‌تر از یک باشد آن را تنگ‌شدگی طویل تلقی می‌کنند در غیر این صورت تنگ‌شدگی از نوع کوتاه است. الیو و هاگر (۲۰۰۴) و برایدو همکاران (۲۰۰۵) رابطه‌های آزمایشگاهی برای تخمین عمق تعادلی آبشستگی در تنگ‌شدگی‌ها به‌دست آوردند. مولر و همکاران (۲۰۰۵)، هانگ و همکاران (۲۰۰۶) و استراب و همکاران (۲۰۱۰) نیز آزمایش‌های صحرایی متعددی در زمینه برآورد میزان عمق آبشستگی در تنگ‌شدگی‌های طویل انجام دادند.

امروزه استفاده از مدل‌های ریاضی در مهندسی رودخانه به‌عنوان ابزاری برای حل کاربردی مسایل مهندسی افزایش یافته است. از آن‌جا که انتقال رسوب در طبیعت سه‌بعدی می‌باشد لازم است از مدل‌های سه‌بعدی مانند مدل عددی SSIM در پیش‌بینی میدان جریان و انتقال رسوب استفاده شود. در زمینه شبیه‌سازی آبشستگی موضعی می‌توان به مطالعات انجام گرفته توسط نوروزی و همکاران (۲۰۰۵) آبشستگی اطراف آبشکن، اسماعیلی و همکاران (۲۰۰۸) آبشستگی اطراف تکیه‌گاه تحت جریان

غیرماندگار، بهشتی و همکاران (۲۰۰۸) آبهستگی در اطراف گروه شمع و شکیبائی‌نیا و همکاران (۲۰۰۸) پدیده‌های پیچیده مهندسی رودخانه را به کمک مدل عددی SSIIM شبیه‌سازی کردند. هدف از این پژوهش این است که، آیا مدل عددی SSIIM قادر است میزان آبهستگی اطراف پایه پل در تنگ‌شدگی‌های طویل را شبیه‌سازی کند و همچنین یافتن محلی که در آن کم‌ترین مقدار آبهستگی ناشی از تنگ‌شدگی رخ می‌دهد. از دیگر اهداف این پژوهش نیز یافتن تأثیر افزایش میزان تنگ‌شدگی، دبی و قطر ذرات بر میزان حداکثر عمق آبهستگی است.

مواد و روش‌ها

مدل SSIIM یک نرم‌افزار سه‌بعدی برای شبیه‌سازی آب و رسوب بوده و توسط اولسن (۲۰۰۴) در دپارتمان مهندسی هیدرولیک و محیط زیست دانشگاه علوم و تکنولوژی نروژ توسعه یافت. SSIIM مخفف sediment simulation in water intakes with multiblock option است، این مدل CFD سه‌بعدی بر مبنای روش حجم محدود بوده و معادله‌های ناویر استوکس را بر مبنای مدل آشفتگی استاندارد حل می‌کند.

محاسبه جریان و رسوب: در یک هندسه سه‌بعدی معادله‌های ناویر استوکس برای محاسبه سرعت جریان حل می‌شوند. مدل‌های آشفتگی نیز مورد استفاده قرار می‌گیرند تا تنش برشی آشفتگی را محاسبه نمایند. معادله‌های ناویر استوکس برای مایع تراکم‌پذیر با یک چگالی ثابت به صورت رابطه ۱ می‌باشد.

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

که در آن، U : سرعت جریان، P : فشار و δ_{ij} : دلتای کرونی می‌باشد. همچنین ترم اول سمت چپ ترم گذار و ترم دوم جابجایی می‌باشد. ترم اول و دوم سمت راست معادله به ترتیب فشار و تنش رینولدزی است. این ترم توسط آشفتگی تعیین می‌گردد. در مدل SSIIM رسوب به دو بخش بار معلق و بار بستر تقسیم می‌شود. برای محاسبه بار معلق از معادله کانوکشن دیفیوژن (انتقال - پخشیدگی) که به صورت زیر است استفاده می‌گردد:

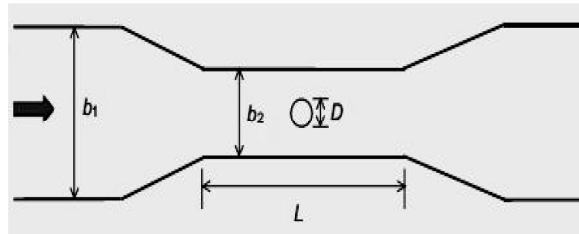
$$\frac{\partial c}{\partial t} + U_j \frac{\partial c}{\partial x_j} + \omega \frac{\partial c}{\partial z} = \frac{\partial c}{\partial x_j} \left(\Gamma_\Gamma \frac{\partial c}{\partial x_j} \right) \quad (2)$$

که در آن، c : غلظت رسوب، ω : سرعت سقوط، L : سرعت جریان، x : بعد فاصله و Γ_T : ضریب انتشار می‌باشد. ضریب انتشار از مدل $k-\varepsilon$ گرفته می‌شود.

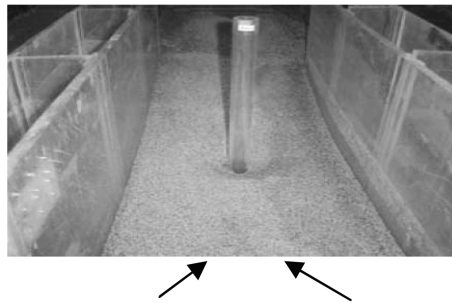
داده‌های آزمایشگاهی: آزمایش‌ها در آزمایشگاه هیدرولیک دانشکده مهندسی منابع آب دانشگاه صنعتی هند در غرب بنگال توسط راجکومار و همکاران (۲۰۰۵) انجام شده است. این آزمایشگاه مجهز به یک فلوم شیشه‌ای به طول ۱۲ متر، عرض ۶۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۷۰ سانتی‌متر و کف فلوم را به ضخامت ۳۰ سانتی‌متر ذرات رسوبی از جنس ماسه پوشانده‌اند. از بین آزمایش‌های انجام شده شش آزمایش را برای مدل‌سازی انتخاب می‌کنیم. در این آزمایش‌ها قطر ذرات رسوبی، شکل پایه، میزان تنگ‌شدگی و مقدار دبی در هر آزمایش متفاوت است که مقادیر این پارامترها در جدول ذکر شده است. انتخاب قطر یا ضلع پایه بر این اساس بوده است که برای جلوگیری از اثر انسداد به دلیل وجود تنگ‌شدگی مقدار $\frac{D}{b_1}$ کم‌تر از ۰/۱۲۵ در نظر گرفته شود. محل تنگ‌شدگی کانال به گونه‌ای طراحی شده است که در طول ۵/۵ متری به اندازه نیم متر عرض کانال به تدریج کاهش می‌یابد تا به عرض b_2 برسد این مقدار به طول یک متر ادامه دارد. پس از آن دوباره به اندازه نیم متر عرض به تدریج افزایش می‌یابد تا به عرض اولیه b_1 برسد. میزان b_2 ، در هر آزمایش متفاوت بوده و مقدار نسبت انقباض یا تنگ‌شدگی $\frac{b_2}{b_1}$ در آزمایش‌ها متغیر و برابر با ۰/۷، ۰/۶ و ۰/۵ بوده است. تمام آزمایش‌ها تحت شرایط آب زلال انجام شده و مدت زمان رسیدن به تعادل نیز ۲۴ ساعت بوده است.

جدول ۱- مشخصات هیدرولیکی آزمایش‌ها.

آزمایش	d (میلی‌متر) قطر ذره	انحراف معیار ذره	شکل پایه	D (متر) قطر پایه	Q (مترمکعب بر ثانیه) دبی	b_2 (متر) عرض مقطع تنگ‌شدگی
A	۰/۸۱	۱/۳۴۲	مربع	۰/۰۳۲	۰/۰۲۵	۰/۳
B	۰/۸۱	۱/۳۴۲	دایره	۰/۰۳۲	۰/۰۲۴	۰/۴۲
C	۲/۵۴	۱/۰۶۵	دایره	۰/۰۳۲	۰/۰۴۴	۰/۴۲
D	۰/۸۱	۱/۳۴۲	مربع	۰/۰۳۲	۰/۰۲۴	۰/۴۲
E	۰/۸۱	۱/۳۴۲	دایره	۰/۰۳۲	۰/۰۲۴	۰/۳۶
F	۰/۸۱	۱/۳۴۲	مربعی	۰/۰۳۲	۰/۰۲۴	۰/۳۶



شکل ۱- شماتیک کانال در مقطع تنگ‌شدگی.



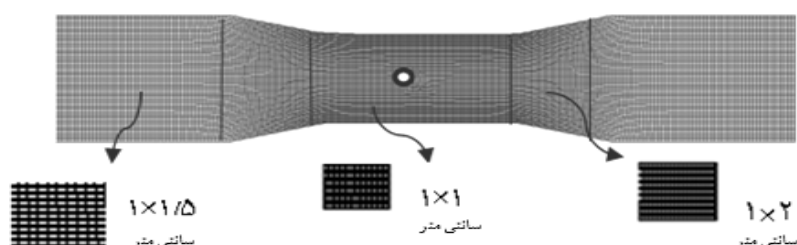
شکل ۲- آبخستگی حول پایه.

تولید و تنظیم شبکه‌بندی میدان حل: دو فایل ورودی بسیار مهم در برنامه SSIM 1.0 به نام‌های koordina و control وجود دارند که لازمه اجرای مدل عددی SSIM می‌باشند. فایل koordina برای مشخصات شبکه و فایل control دربرگیرنده مشخصات هیدرولیکی جریان می‌باشد. ساختن شبکه مناسب در اولین قدم، وقت‌گیرترین فرآیند آماده‌سازی اطلاعات ورودی برای مدل SSIM می‌باشد که دقت محاسبه‌ها، همگرایی و زمان محاسبه‌ها را تحت تأثیر قرار می‌دهد. برای کاستن زمان و حجم محاسبه‌ها، شبکه ساخته شده توسط برنامه QBASIC در سه مرحله به صورت جداگانه تهیه می‌شود. در این شبکه‌بندی غیریکنواخت با نزدیک شدن به مقطع تنگ‌شدگی و پایه به تدریج مش‌بندی ریزتر می‌شود. ابتدا اندازه سلول‌ها 2×1 سانتی‌متر، سپس با نزدیک شدن به مقطع تنگ‌شدگی اندازه سلول‌ها $1/5 \times 1$ سانتی‌متر شده و با نزدیک شدن به پایه اندازه سلول‌ها کاهش یافته و به مقدار 1×1 سانتی‌متر می‌رسد. تعداد مقاطع استفاده شده در پلان در جهت طولی ۶۵۱ و در جهت عرضی ۶۰ عدد بوده است. در جهت قائم، توزیع خطوط شبکه در ۰، ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۵۰، ۷۰ و ۱۰۰ درصد عمق جریان بوده و با توجه به حساس بودن تغییرات سرعت در کف فلوم توزیع خطوط شبکه در نزدیکی بستر

فشرده‌تر در نظر گرفته شده است. در مدل عددی SSIM شرط مرزی اعمال شده برای دیواره‌ها براساس قانون جداره می‌باشد. باید مقدار y به گونه‌ای انتخاب شود که پارامتر y^+ بین ۳۰ تا ۳۰۰۰ باشد تا قانون پروفیل سرعت مابین جداره و مرکز نزدیک‌ترین سلول مجاور جداره از رابطه ۳ پیروی کند.

$$y^+ = \frac{U^*}{v} \quad (3)$$

که در آن، y : مرکز سلول واقع در ناحیه کاملاً آشفته تا جداره کانال، U^* : سرعت برشی و v : لزجت سینماتیکی سیال برابر ۱۰-۶ می‌باشد.

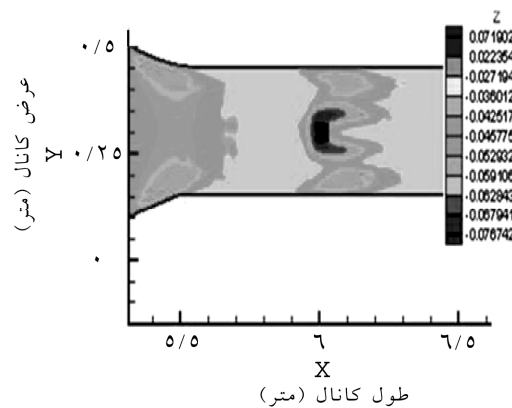


شکل ۳- شبکه‌بندی غیریکنواخت مدل.

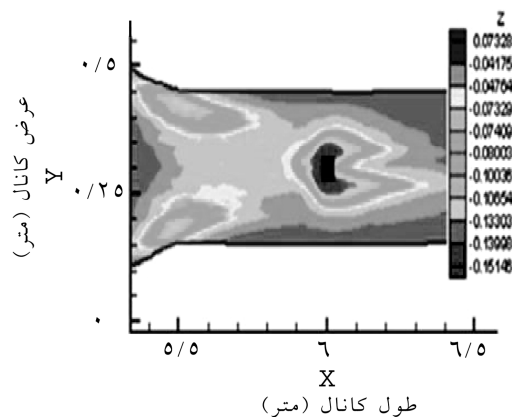
از آن‌جا که حساسیت مدل نسبت به گام زمانی زیاد است انتخاب گام زمانی مناسب تأثیر زیادی در سرعت و دقت محاسبه‌ها دارد و با کاهش گام زمانی دقت انجام محاسبه‌ها افزایش می‌یابد. گام زمانی که برای مدل برای محاسبه‌های رسوب‌گذاری در نظر گرفته شده است برابر ۵ ثانیه و تعداد تکرار داخلی آن نیز برای رسیدن به همگرایی مورد نیاز ۶۰ تکرار در نظر گرفته شده است.

واسنجی مدل: برای کالیبراسیون از بین آزمایش‌هایی که انجام شده است بحرانی‌ترین حالت را برای واسنجی انتخاب کرده و آن حالتی است که بیش‌ترین میزان تنگ‌شدگی در عرض کانال وجود داشته باشد. ابتدا ارتفاع زبری را برابر با قطر متوسط دانه‌های رسوبی در نظر می‌گیریم. سپس اندازه زبری را تا حدی افزایش می‌دهیم که نتایج به‌دست آمده از شبیه‌سازی عددی، همخوانی قابل‌قبولی را با داده‌های آزمایشگاهی نشان دهند، در نهایت ارتفاع زبری را ۷ برابر قطر متوسط دانه‌های رسوبی قرار دادیم تا به نتیجه قابل‌قبول برسیم و این حالت به‌عنوان حالت مبنا انتخاب می‌شود.

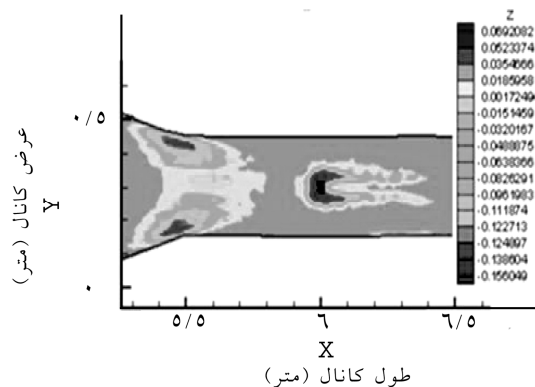
جریان‌های رو به پایین پس از برخورد به بستر در فاصله بین پایه و جداره گودالی را حفر کرده‌اند که در داخل این گودال جریان چرخشی ایجاد شده و باعث می‌شود که عمق حفره به تدریج افزایش یابد و تا رسیدن به وضعیت تعادل ادامه یابد. در پایین دست پایه رفتار جریان پیچیده‌تر خواهد بود. جریان در این محدوده ترکیبی از جریان بالارونده و جریان‌های برگشتی می‌باشد که جریان‌های گردابی را ایجاد می‌کند که باعث به وجود آمدن ناحیه با سرعت کم پشت پایه می‌شود که منطقه‌ای برای رسوب‌گذاری است. به‌طور کلی می‌توان گفت که در لحظات اولیه برقراری جریان، اولین نقطه‌ای که در معرض فرسایش قرار می‌گیرد اطراف پایه و در نزدیکی تنگ‌شدگی است.



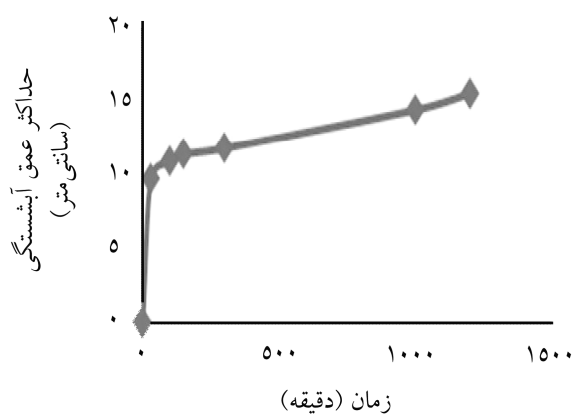
شکل ۴- تغییرات توپوگرافی بستر در اطراف مدل A پس از ۵۰ دقیقه.



شکل ۵- تغییرات توپوگرافی بستر پس از ۹۰۰ دقیقه.



شکل ۶- تغییرات توپوگرافی بستر پس از ۱۳۰۰ دقیقه.

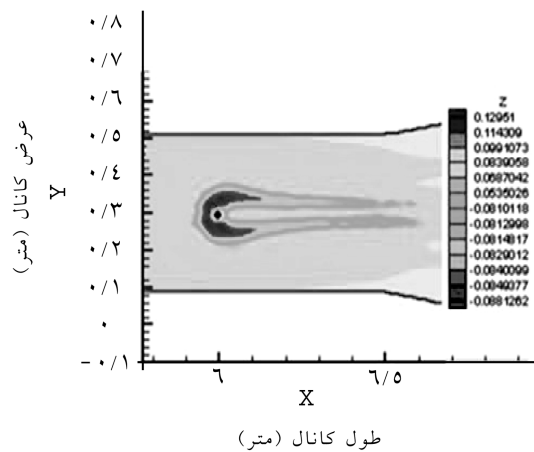


شکل ۷- تغییرات عمق آبشستگی در مقابل زمان.

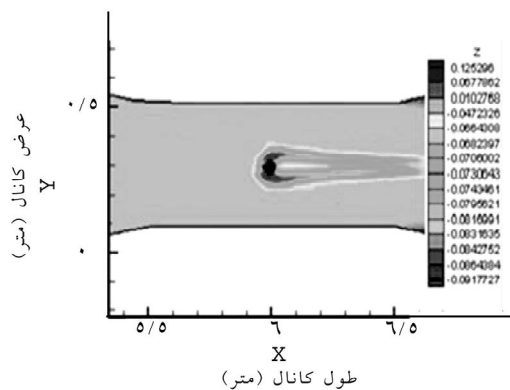
با توجه شکل ۷ می‌توان به این نتیجه رسید که در هنگام اجرای مدل سرعت آبشستگی در زمان‌های اولیه بسیار زیاد و با گذشت زمان و رسیدن به زمان تعادل این روند کند می‌گردد و تا زمان تعادل تقریباً ۸۰ درصد آبشستگی رخ خواهد داد و از این زمان به بعد سرعت رشد حفره آبشستگی تا رسیدن به حالت تعادل بسیار کم می‌شود.

نتایج و بحث

بعد از واسنجی مدل، آزمایش‌های دیگر را شبیه‌سازی کرده و نتایج به‌دست آمده را مقایسه می‌کنیم. ابتدا آزمایش‌هایی که مقدار نسبت انقباض در آن‌ها برابر است با $0/7$ و عرض کانال در مقطع تنگ‌شدگی $0/42$ متر می‌باشد شبیه‌سازی می‌کنیم. در شکل‌های ۸ و ۹ تغییرات پروفیل بستر نشان داده شده است. در حالت B مقدار آبشستگی به‌دست آمده از شبیه‌سازی بیش‌ترین تطابق را با مقدار آزمایشی نسبت به مدل‌های دیگر دارد و علت آن حداقل بودن مقدار تنگ‌شدگی در کانال است. پروفیل تغییرات بستر حول پایه دایره‌ای به‌صورت نعل اسب اطراف پایه و در جلوی پایه تله‌اندازی رخ داده که در شکل مشخص است. در حالت C افزایش اندازه رسوبات بستر باعث تغییر در میزان آبشستگی می‌شود که در این زمینه نتایج پژوهش‌ها متفاوت می‌باشند. در این آزمایش افزایش قطر ذرات همراه با افزایش دبی می‌باشد به همین دلیل نمی‌توان به‌صورت مستقل تأثیر افزایش قطر ذرات بر میزان آبشستگی را بررسی کرد. این افزایش هم‌زمان قطر ذرات و دبی در این آزمایش‌ها باعث افزایش مقدار آبشستگی شده که با نتایج صانعی (۲۰۰۸) که اندازه قطر رسوب را بر حداکثر عمق آبشستگی مؤثر می‌دانست، مطابقت دارد.

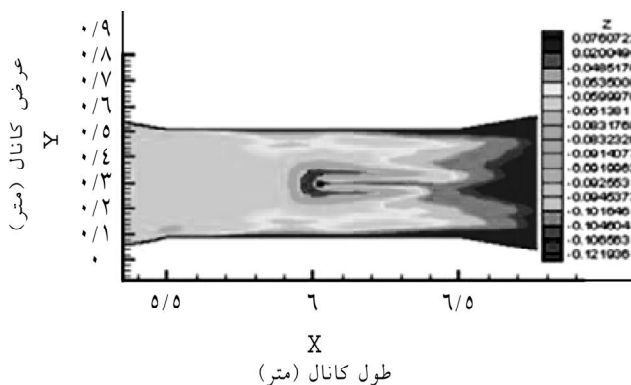


شکل ۸- تغییرات پروفیل بستر در B.



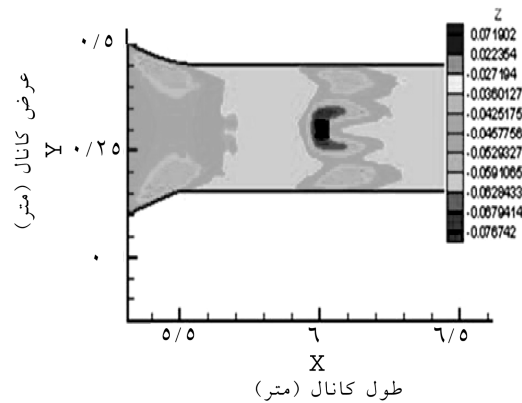
شکل ۹- تغییرات پروفیل بستر در C.

در شکل ۱۰ تغییرات بستر همانند حالت دایره‌ای است با این تفاوت که در پایه مربعی میزان آبشستگی بیش‌تر از پایه دایره‌ای با همان شرایط مشابه می‌باشد. موقع برخورد جریان به پایه همراه با جدایی جریان در بالادست پایه یک جریان پایین‌رونده نیز ایجاد می‌شود که این جریان پایین‌رونده موجب فرسایش و آبشستگی در بالادست پایه می‌گردد. نتایج آزمایشگاهی نیز نشان می‌دهد که بعد از تأثیر اندازه تنگ‌شدگی بر حداکثر عمق آبشستگی، شکل مقطع پایه نیز تأثیر زیادی در مقدار آبشستگی اطراف پایه دارد. در این زمینه رهگذر و فلاح (۲۰۰۸) بهترین شکل پایه را که حداقل عمق آبشستگی در اطراف آن رخ دهد را بیضی با نسبت ابعادی $3/5 < b/a < 3$ (قطر بزرگ b و قطر کوچک a) معرفی کردند.

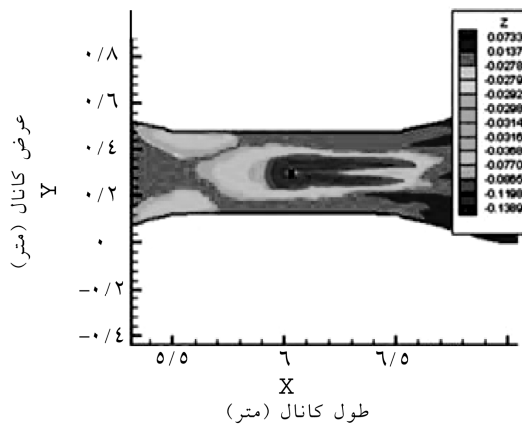


شکل ۱۰- تغییرات پروفیل بستر در D.

در انتها دو آزمایش با نسبت تنگ‌شدگی ۰/۶ مدل‌سازی شده است که عرض مقطع تنگ‌شدگی در این آزمایش‌ها برابر با ۰/۳۶ متر می‌باشد. نتایج شبیه‌سازی نشان می‌دهد که بیش‌ترین مقدار آبشستگی در ابتدای مقطع تنگ‌شدگی است و به سمت پایین‌دست یعنی در طول تنگ‌شدگی که حرکت کنیم از عمق آن کاسته و در فاصله دورتر از آن رسوبات جدا شده تجمع یافته. علاوه بر ابتدای تنگ‌شدگی در مجاورت دیواره‌های کانال در این مقطع نیز همان‌طور که در شکل نشان داده شده به‌طور متقارن آبشستگی رخ داده است.



شکل ۱۱- تغییرات پروفیل بستر در E.



شکل ۱۲- تغییرات پروفیل بستر در F.

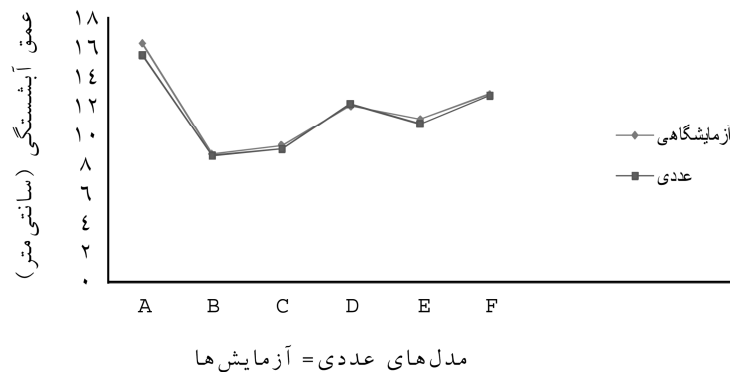
مقایسه عمق به دست آمده از آبستگی عددی و آزمایشگاهی: نتایج به دست آمده از شبیه‌سازی مشابه با نتایج آزمایشگاهی بوده، در تمام حالت‌ها حداکثر عمق آبستگی به دست آمده از شبیه‌سازی عددی کم‌تر از مقادیر آزمایشگاهی به دست آمده است. در نتایج آزمایشگاهی با افزایش هم‌زمان قطر ذرات بستر و افزایش مقدار دبی، عمق آبستگی نیز افزایش جزیی داشته، اما نتایج آزمایشگاهی با ذرات رسوبی با قطر ۴/۱ میلی‌متر و بیش‌تر با توجه به افزایش هم‌زمان دبی، مقدار حداکثر عمق آبستگی کاهش یافته و سیر نزولی داشته است و علت آن این است که سنگین شدن ذرات قدرت حمل رسوب را کاهش داده است.

راجکومار همچنین نتایج آزمایشگاهی را با روابط تئوری محاسبه آبستگی در تنگ‌شدگی‌های طویل مقایسه نموده و به این نتیجه رسید که از مجموع عمق آبستگی حول پایه و مقدار آبستگی ناشی از وجود تنگ‌شدگی با استفاده از رابطه‌های تجربی، حداکثر عمق آبستگی اطراف پایه در تنگ‌شدگی‌های طویل به دست می‌آید که این مقدار با نتایج به دست آمده از کار آزمایشگاهی اختلاف ناچیزی داشته و ضریب همبستگی آن برابر با ۰/۹۸۹ به دست آمده است.

جدول ۲- مقایسه مقادیر آزمایشگاهی و عددی.

خطا	مقدار عددی	مقدار آزمایشگاه d_s (متر)	d_{sc} (متر)	d_{sp} (متر)	آزمایش
۵/۴۸ درصد	۰/۱۵۵	۰/۱۶۴	۰/۰۶۸	۰/۰۹۶	A
۰/۱ درصد	۰/۰۸۷	۰/۰۸۸	۰/۰۳۶	۰/۰۵۲	B
۳/۱۹ درصد	۰/۰۹۱	۰/۰۹۴	۰/۰۵۱	۰/۰۴۳	C
۰/۸ درصد	۰/۱۲۲	۰/۱۲۱	۰/۰۵	۰/۸۱	D
۲/۶ درصد	۰/۱۰۹	۰/۱۱۲	۰/۰۴۴	۰/۰۶۸	E
۰/۷ درصد	۰/۱۳۸	۰/۱۳۹	۰/۰۶۹	۰/۰۷	F

d_{sc} = مقدار آبستگی ناشی از تنگ‌شدگی، d_{sp} = مقدار آبستگی ناشی از وجود پایه در مسیر جریان و d_s = مقدار کل آبستگی که برابر است با مجموع آبستگی ناشی از تنگ‌شدگی و آبستگی ناشی از پایه پل.



شکل ۱۳- مقایسه مقدار عمق آبشستگی آزمایشگاهی با مقدار عددی.

در شکل ۱۳ عمق آبشستگی آزمایشگاهی با عمق آبشستگی عددی مقایسه شده است از روی نمودار ضریب همبستگی برابر است با ۰/۹۸۵ و میزان ریشه میانگین مجذور خطا (RMSE) برابر با ۰/۳۹ است.

با مقایسه عمق به دست آمده از آبشستگی عددی و آزمایشگاهی می‌توان نتیجه گرفت نرم‌افزار SSIIM توانایی خوبی در مدل کردن داده‌های آزمایشگاهی دارد. این مدل عددی تغییرات بستر کانال را در زمان تعادل آزمایش در حد مطلوبی تخمین می‌زند و الگوی کلی شکل‌گیری نواحی متعدد رسوب‌گذاری و فرسایش را در بستر نشان می‌دهد و نتایج قابل قبول با خطای ناچیزی در مقایسه با نتایج تحلیلی و نتایج عددی هیدرواستاتیک ارائه می‌دهد. اما نتایج نشان می‌دهد دقت مناسبی در پیش‌بینی حفره آبشستگی در ابتدای مقطع تنگ‌شدگی ندارد، این امر می‌تواند به دلیل مکانیزم حمل رسوب در مجاورت تنگ‌شدگی باشد و علت آن افزایش سرعت و وجود جریان‌های چرخشی در این ناحیه دانست اما ممکن است با استفاده از رابطه‌های پیشرفته‌تر در محاسبه‌ها حمل رسوب که اثر نوسانات آشفتگی هم در آن‌ها در نظر گرفته می‌شود این خطا کاهش یابد.

در این پژوهش قطر ذره و دبی هر دو متغیر هستند اما با افزایش هر دو پارامتر مقدار حداکثر عمق آبشستگی تغییری کم و ناچیز داشته است، از آن‌جا که افزایش دبی میزان آبشستگی و حداکثر عمق آبشستگی و همچنین میزان رسوب‌گذاری‌ها و حجم پشته‌های رسوبی در کانال را افزایش می‌دهد، ولی در این شبیه‌سازی مقدار افزایش ناچیز بوده که می‌توان نتیجه گرفت که افزایش قطر ذرات رسوبی

باعث کاهش عمق آبستگي شده است و افزايش دبي باعث افزايش حداکثر عمق آبستگي و اين کاهش و افزايش هم‌زمان عمق آبستگي در نهايت منجر به افزايش ناچيز عمق آبستگي شده است. هرچه نسبت انقباض يا تنگ‌شدگي بيش‌تر شود ميزان آبستگي نيز افزايش مي‌يابد. در شبیه‌سازي آزمائشي که، بيش‌ترين مقدار تنگ‌شدگي را در کانال داشتيم علاوه بر اطراف پايه در نزديکي جداره کانال نيز آبستگي رخ داده است، اما به دليل ضعف مدل $k-\epsilon$ در نقاط نزديک به ديواره در مقطع تنگ‌شدگي نيمی‌توان مقدار عمق آبستگي را در اين نواحی دقيق برآورد کرد.

نتايج به دست آمده از شبیه‌سازي نشان مي‌دهد که در ابتدای تنگ‌شدگي بيش‌ترين ميزان آبستگي رخ داده است در نتيجه پايه پل در مقاطع با تنگ‌شدگي طولانی بايد نسبت به ابتدای تنگ‌شدگي و جداره ديواره‌های کانال فاصله داشته باشد تا مقدار آبستگي حول پايه پل کاهش يابد، بهينه‌ترين مکان برای قرارگيري پايه پل که کم‌ترين مقدار عمق آبستگي در آن‌جا حادث مي‌شود را به کمک همين مدل عددي مي‌توان به دست آورد.

منابع

1. Beheshti, A., and Atai Ashtiani, B. 2008. Numerical analysis of flow pattern and scouring around a group of piers. The Fourth National Congress on Civil Engineering. University of Tehran.
2. Briaud, J., Chen, H., Nurtjahyo, P., and Wang, J. 2005. Method for Contraction Scour in Fine Grained Soils. J. Geotech. Geoenviron. Engin. ASCE. 131: 1090-1241.
3. Dey, S., and Raikar, R.V. 2005. Scour in Long Contractions. J. Hydr. Engin. ASCE. 131: 1036-1049.
4. Esmaeili, T., Dehghani, A., Zahiri, R., and Suzuki, K. 2009. 3D Numerical Simulation of Scouring Around Bridge Piers (Case Study: Bridge 524 crosses the Tanana River). World Academy of Science, Engineering and Technology. 1: 1-3.
5. Hong, S., Gotvald, A., Sturm, T., and Landers, M. 2006. Laboratory and Field Measurements of Bridge Contraction Scour. Proc, 3rd International conference on Scour and Erosion. Pp: 22-25.
6. Mueller, D.S., and Wagner C.R. 2005. Field Observations and Evaluations of Streambed Scour at Bridges. Report FHWA-RD. 15: 3-52.
7. Norouzi, H., Salehi Neyshabouri, A., and Nasiri Saleh, F. 2009. Three dimensional numerical simulation of scouring around cutwaters. J. Civil Engin. 36: 13-22.

- 8.Olive, G., and Hager, W. 2002. Temporal evolution of clear-water pier and abutment scour. J.
- 9.Olsen, N. 2004. SSIIM Users' Manual. The Norwegian University of Science and Technology. 280p.
- 10.Rahgozar, R., and Fallah, F. 2008. Analysis of the effect of different factors on the geometry of piers with an emphasis on scouring. The Fourth National Congress on Civil Engineering. University of Tehran.
- 11.Sanei, M. 2008. Laboratory analysis of the effects of critical velocity and grading on the degree of scouring. The Fourth National Congress on Civil Engineering. University of Tehran. Pp: 1-3.
- 12.Shakibaeinia, A., Tabatabai, M.R.M., and Zarrati, A.R. 2008. Formulation of flow characteristics in channel confluences using 3D numerical modeling. Technic. College J. 4: 443-455.
- 13.Strab, T.D., and Over, T.M. 2010. Pier and Contraction Scour Prediction in Cohesive Soils at Selected Bridges in ILLINOIS. Center for Transportation, 119p.



Gorgan University of Agricultural
Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 21(5), 2015
<http://jwsc.gau.ac.ir>

3D simulation of scouring around pier within a long contraction with applying numerical model SSIIM

F. Hajebi¹ and *M. Meftah Helghi²

¹M.Sc. Graduate, Dept. of Water Structure, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, ²Associate Prof., Dept. of Water Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Received: 01/15/2013; Accepted: 06/02/2014

Abstract

Today scouring is one of the important issues in the river engineering science. Determining the relationship between factors influencing the depth and the maximum depth of scouring as well as finding the governing functions are some of the concerns of hydraulic engineering. Therefore it is tried to find the numerical relationship between scouring depth as a dependent variable and the effective parameters on this phenomenon. Hence, a powerful numerical model is required for converting the complicated relationships governing on the phenomenon to a simple and solvable equations. In this research, the SSIIM numerical model could properly simulate scouring at a pier within a long contraction. The results indicated that scouring at a pier within a long contraction can be minimized by increasing in channel opening ratio, increasing the size of sediment particles, choosing piers with properly shaped cross sections and distancing piers from the contraction's beginning and lateral boundaries.

Keywords: Scouring, Contraction, Numerical simulation, Pier, Numerical model SSIIM

* Corresponding Author; Email: meftah_20@yahoo.com