

## امکان‌سنجی کاهش میزان آبشستگی با استفاده از صفحات مستغرق و غیر مستغرق

کورس نکوفر، استادیار، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی - واحد چالوس

مریم ثقفی، کارشناس ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی - واحد چالوس

چکیده:

مسئله کنترل فرسایش و رسوب‌گذاری در رودخانه‌ها از دیر باز مورد توجه بشر بوده و روش‌هایی همچون سنگ‌فرش، گابیون و سیمانته کردن معمول بوده که با صرف هزینه بالا و تأثیرات نامطلوب جانبی روبرو بوده است. هر ساله با وقوع سیلاب در هر رودخانه تعداد زیادی از پل‌ها، در زمانی که بیشترین نیاز به آن‌ها وجود دارد، تخریب می‌شوند. یکی از مهم‌ترین و مؤثرترین عوامل این تخریب‌ها، آبشستگی اطراف پایه‌های پل است که خسارت‌های جانی و مالی زیادی به بار می‌آورد. صفحات مستغرق و غیر مستغرق، سازه‌هایی می‌باشند که در کف رودخانه با زاویه‌ای نسبت به جریان اصلی و به منظورهای مختلف مانند جلوگیری از فرسایش کناره رودخانه‌ها و پیچ‌ها و پایه سازه‌های درون آب و اصلاح مسیر آب و مرفولوژی بستر نصب می‌شوند. این سازه‌ها باعث ایجاد گرداب ثانویه و تغییر الگوی جریان در کف رودخانه و در نتیجه تغییر روند انتقال رسوب و فرسایش می‌شوند. سیستم، تعداد، فاصله، هندسه و زاویه این صفحه‌ها می‌تواند در انتقال رسوبات از مقابل پایه‌ها موثر باشد. بر اساس نتایج حاصله مقادیر تنش برشی کف کانال و قطر ذرات به ترتیب برابر با  $1/537$  نیوتن بر متر مربع و  $0/00128$  متر است که با توجه به منحنی اصلاح شده شیلدز امکان حرکت ذرات و آبشستگی وجود دارد. در حالت پنج صفحه‌ای، عمق آبشستگی برابر با  $100/2$  میلی‌متر و میزان رسوب برابر با  $36$  میلی‌متر است که بهتر از دو حالت دیگر تک صفحه‌ای و سه صفحه‌ای است. میزان رسوبات با افزایش آبشستگی در هر حالت افزایش می‌یابد و در مقایسه دو حالت یک صفحه‌ای و پنج صفحه‌ای، با قرارگیری پنج صفحه در فواصل مشخص، شاهد  $40$  درصد کاهش آبشستگی و  $30$  درصد کاهش رسوبات هستیم که نشان می‌دهد بهترین محل قرارگیری صفحه‌ها، فاصله  $0/5$  متر الی  $2/9$  متر از مرکز پایه استوانه‌ای و در بالادست آن است تا جریان فرسایش دهنده به پایه پل نرسیده و تأثیر ناچیزی بر بستر اطراف پل داشته باشد.

### کلمات کلیدی: صفحات مستغرق، رودخانه، رسوب، جریان ثانویه، مدل SSIIM

مقدمه

توسط نیرویی که این جریان به مواد بستر وارد می‌کند، به‌وجود می‌آید. (عباس‌نیا، ا، ۱۳۸۴) این امر بیشتر در زمان وقوع سیلاب که بیشترین نیاز به استفاده از پل احساس می‌شود، رخ می‌دهد. بنابراین بررسی موضوع آبشستگی پایه‌های پل و به‌کار بردن روش‌ها و تجهیزاتی برای کاهش آبشستگی اطراف پایه‌ها بسیار حائز اهمیت است. در طراحی پل‌ها، پی آن‌ها باید به اندازه کافی عمیق باشد تا در مقابل آبشستگی مقاومت کند. از طرفی، این پی نایستی آنقدر عمیق باشد که باعث بالا رفتن هزینه‌ها گردد. با به‌کار بردن روش‌هایی برای کاهش عمق آبشستگی در اطراف پایه‌ها، می‌توان پی‌ها را در تراز بالاتری قرار داده و به این ترتیب هزینه‌ها را کاهش داد. با

رودخانه آبشستگی پدیده طبیعی است که توسط جریان آب در رودخانه‌ها و آبراهه‌ها ایجاد می‌شود. آبشستگی نتیجه عمل فرسایش دهندگی آب بوده و ذرات را از بستر و سواحل آبراهه‌ها و همچنین از اطراف پایه‌های پل و تکیه‌گاه‌های آن برداشته و فرسایش می‌دهد. پل‌ها از جمله مهم‌ترین و پرکارترین سازه رودخانه‌ای هستند و به عنوان کلید راه‌های ارتباطی از اهمیت زیادی برخوردار هستند. (طهماسبی بیرگانی، ی، ۱۳۸۵)

یکی از مشکلات مهم در مدیریت رودخانه‌ها، مسئله فرسایش و رسوب است. آبشستگی پدیده‌ای است که در اثر فرسایش بستر توسط جریان آب و حمل مواد بستر

توجه به مطالب ذکر شده شناخت پدیده آبستگي و مهم تر از آن به کار بردن روش‌هایی برای کاهش آبستگي اطراف پایه‌های پل ضروري به نظرمی رسد. تاکنون روش های مختلفی برای جلوگیری و یا کاهش آبستگي اطراف پایه پل ارائه شده است. استفاده از صفحات مستغرق و غیر مستغرق از جمله روش هایی است که مورد توجه محققين قرار گرفته است. (بشارتی گبوی، م. و حکيم زاده، ح، ۱۳۸۷)

صفحات مستغرق و غیر مستغرق سازه‌های کوچک هدايت کننده جریان هستند که برای اصلاح الگوی جریان مجاور بستر طراحی می‌شوند. این صفحات به صورت گروهی کار گذاشته شده و با تغییر الگوی جریان مجاور بستر موجب انتقال رسوبات در مقاطع عرضی رودخانه و در نتیجه، تغییر وضعیت مرفولوژیک در مقاطع عرضی بستر رودخانه می‌شوند؛ به طوری که کف رودخانه در یک مقطع عرضی بالا آمده و در قسمت دیگر فرو می‌افتد. مزیت این روش این است که موجب تغییرات موضعی در پروفیل سرعت و توپوگرافی بستر می‌شود ولی تغییرات قابل ملاحظه‌ای در سطح مقطع جریان، شیب خط انرژی و میزان انتقال رسوب به پایین دست ایجاد نمی‌کند. به عبارتی با ایجاد تغییر در توپوگرافی و مسیر انتقال رسوب، رژیم طبیعی رودخانه همچنان محفوظ باقی می‌ماند. لذا کاربرد آن به تدریج توسعه یافته و در کنترل فرسایش اطراف سازه‌ها، اصلاح مسیر پیچان رودی، کنترل انتقال رسوبات به آبگیر، سدها و ... مورد استفاده قرار می‌گیرد. مدل SSIIM یک مدل هیدرودینامیکی و انتقال رسوب بر مبنای روش حجم محدود است. این مدل نیز همانند تمام مدل‌های عددی برای رسیدن به جواب، معادلات زیادی را حل و تحلیل می‌نماید. (خداشناس، س، و همکاران، ۱۳۸۸)

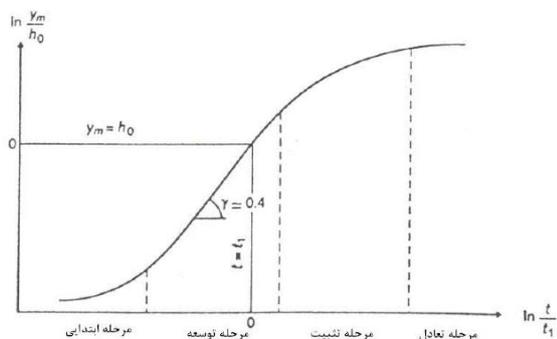
### ضرورت انجام تحقیق و آبستگي

امروزه بحث آبستگي هر چند قدمتی طولانی در علم هیدرولیک دارد، لیکن به دلیل شرایط و پیچیدگی‌های

خاص آن و همچنین به دلیل نبودن رابطه‌ای مناسب که بتواند پاسخگوی جامع تمامی شرایط باشد، همچنان مورد توجه خاص محققين علم هیدرولیک و مهندسی رودخانه است. آبستگي در حقیقت جابجایی ذرات توسط جریان از محل استقرار اولیه آن‌ها به مکان دیگری است. آبستگي ممکن است در تغییرات طبیعی جریان در آبراهه یا در نتیجه فعالیت‌های انسان مانند ساخت سازه‌ها در مسیر جریان یا برداشت مصالح بستر اتفاق افتد. به فرسایش بستر و کناره آبراهه در اثر عبور جریان آب، فرسایش بستر در پایین دست سازه‌های هیدرولیکی به علت شدت جریان زیاد و یا به فرسایش بستر در اثر بوجود آمدن جریان‌های متلاطم موضعی، آبستگي می‌گویند. عمق ناشی از فرسایش بستر نسبت به بستر اولیه را عمق آبستگي می‌نامند. سازه‌های هیدرولیکی که به صورت مانعی در برابر جریان قرار می‌گیرند، الگوی جریان در نزدیکی خود را تغییر می‌دهند و به صورت موضعی باعث آبستگي در این محدوده می‌شوند. اهمیت بررسی پدیده آبستگي زمانی آشکار می‌گردد که عمق آبستگي قابل ملاحظه باشد به گونه‌ای که این عمق به پی این سازه‌ها برسد و پایداری آن‌ها را در معرض خطر قرار دهد یا موجب تخریب آن‌ها گردد. آبستگي به فرم‌های مختلف، پایداری سازه‌های هیدرولیکی را مورد تهدید قرار می‌دهد و هر ساله پل‌های زیادی در سراسر دنیا در اثر آبستگي دچار آسیب‌های جدی و یا تخریب می‌شوند. مشاهدات صحرائی نشان می‌دهد که آبستگي اطراف پایه‌های پل از عوامل مهم تخریب آنها است.

صفحات مستغرق، سازه‌هایی هستند که در بستر رودخانه ها و کانال‌ها با زاویه ای در برابر جریان نصب می‌شوند. این سازه‌ها معمولاً به صورت گروهی استفاده می‌شوند و کارکرد اصلی آنها ایجاد جریان گردابی و تغییر الگوی جریان و بستر است. کارکرد صفحات مستغرق تحت تأثیر شاخص‌های هندسی و موقعیت قرارگیری آنها است. تاکنون کمتر تحقیقی درباره مسئله آبستگي و نشست

آبشستگی صورت گیرد به طوری که ذراتی که حرکت غلطی دارند از درون حفره آبشستگی خارج نمی‌شوند. در این مرحله، با توجه به شرایط جریان، ممکن است حتی جابجایی ذرات نیز متوقف شود. هر کدام از مراحل آبشستگی در شکل ۱- نشان داده شده است. (رستم‌آبادی، م، و صالحی نیشابوری، ع، ۱۳۸۷)



شکل ۱- مراحل توسعه حفره آبشستگی

### انواع آبشستگی

آبشستگی از نظر علت به وجود آمدن آن، که شامل آبشستگی عمومی، آبشستگی ناشی از تنگ شدگی مقطع و آبشستگی موضعی است. از مجموع این سه آبشستگی، عمق آبشستگی کل به دست می‌آید.

آبشستگی از نظر وضعیت حمل رسوب، که شامل آبشستگی در حالت آب زلال و آبشستگی در حالت آب حاوی رسوب است. (ارونقی، ه. و دربندی، ص. و عباسپور، ا، ۱۳۹۰)

آبشستگی از نظر وضعیت ذرات رسوب در حفره آبشستگی شامل آبشستگی استاتیکی و دینامیکی می‌شود. پیش‌بینی عمق آبشستگی موضعی اطراف پایه پل‌ها همواره به‌عنوان یکی از دغدغه‌های اصلی مهندسين رودخانه مطرح بوده است. سیستم اصلی گردابه‌ای به تشکیل حفره‌های آبشستگی کمک می‌کند و از برخورد جریان به جلوی پایه و انحراف آن به طرف پایین دست ایجاد می‌شود که نظیر یک جت عمودی آب عمل کرده و ذرات کناره پایه پل را همراه جریان به بالا پرتاب نموده و جریان آب، آن را با خود حمل می‌کند. در نتیجه در

رسوب اطراف صفحات مستغرق و غیر مستغرق در مسیر رودخانه‌ها انجام شده است و این به علت پیچیدگی و تعدد عوامل حاکم بر این پدیده بوده است. به همین جهت ارائه راه حل‌های مناسب جهت کاهش آبشستگی و انجام تحقیقات و مطالعات بیشتر در این زمینه ضروری به نظر می‌رسد. (صمیمی، ت، و همکاران، ۱۳۸۵)

به‌طور کلی آبشستگی در اثر اندرکنش نیروهای زیر حاصل می‌شود:

۱. نیروی محرک ناشی از جریان که در راستای جدا کردن ذره از بستر عمل می‌کند.
۲. نیروی مقاوم ناشی از اصطکاک ذرات و وزن ذره که در برابر حرکت ذره مقاومت کرده و مانع جدایی ذره از بستر می‌شود. حرکت یک ذره هنگامی آغاز می‌شود که نیروهای اعمال شده توسط جریان یعنی نیروی کشسانی و بالابرنده که باعث جدا شدن ذره از بستر می‌شوند، بر نیروی مقاوم ذره غالب آید. (عزیزیان، ا، و همکاران، ۱۳۸۹)

### مراحل توسعه آبشستگی

براساس مطالعاتی که توسط محققین انجام گرفته است، پدیده آبشستگی به طور کلی دارای چهار مرحله زیر است: (عباسی، س. و شیرالی، م. ۱۳۹۰)

- مرحله ابتدایی<sup>۱</sup>
- مرحله توسعه<sup>۲</sup>
- مرحله تثبیت<sup>۳</sup>
- مرحله تعادل<sup>۴</sup>

مرحله اول ظرفیت آبشستگی بالایی دارد و حفره آبشستگی در این مرحله آغاز می‌شود. در مرحله دوم عمق و ابعاد حفره آبشستگی گسترش می‌یابد. در مرحله سوم روند تغییرات نیمرخ بستر کاهش می‌یابد. در این مرحله، دیواره پایین دست حفره آبشستگی دستخوش تغییرات محسوسی می‌شود. در مرحله چهارم که مرحله تعادل است تنها حرکت ذرات ممکن است درون حفره

<sup>۶</sup>- Stabilization Phase  
<sup>۷</sup>- Equilibrium Phase

بالادست پایه گودالی حفر می‌شود که در داخل این گودال جریان چرخشی ایجاد شده و به تدریج عمق حفره زیاد می‌شود. جریان چرخشی در جلو پایه به دو طرف پایه نیز امتداد می‌یابد و شکل نعل اسبی را به خود می‌گیرد. (اسماعیلی، ت، ۱۳۸۸)

طبق نظر بعضی از محققین این عامل در ابتدا ضعیف است ولی پس از تشکیل حفره‌ی آبشستگی سیستم جریان نعل اسبی از نظر قدرت و اندازه نیز رشد می‌کند و با زیاد شدن عمق آبشستگی، مقدار سرعت جریان در نزدیک کف حفره کم شده و هنگامی که قدرت نیروهای محرک تقریباً برابر نیروهای مقاوم شد، آبشستگی متوقف می‌شود. گردابه‌های نعل اسبی نیز در اثر جدا شدن خطوط جریان به‌علت وجود پایه پل در مسیر جریان آب بوجود می‌آید. در صورت عدم طراحی مناسب، با افزایش عمق آبشستگی موضعی و رسیدن به تراز پی پایه پل، پایداری سازه پل در خطر خواهد بود. انهدام سازه پل که نقشی مهم در شریان‌های ارتباطی کشورها دارند، تبعات اقتصادی و اجتماعی نامطلوب زیادی به دنبال خواهد داشت. در ایالات متحده آبشستگی یکی از دلایل اصلی خرابی پل است.

هزینه‌های مربوط به تغییر سازه‌ها با ساختن مجدد آنها قابل توجه است ولی کمتر از ۵ برابر هزینه‌های غیرمستقیم، در حمل و نقل و ترافیک است. این هزینه‌ها در مناطقی مانند ایالت آلاسکای آمریکا شاید بیش از این مقادیر باشد چون در این ایالت، راه‌های ارتباطی زمینی بین مناطق مختلف شهری محدود هستند و بین بسیاری از شهرها فقط یک راه ارتباطی وجود دارد. (مصباحی، م، ۱۳۸۸)

از جمله روش‌های مقابله با آبشستگی موضعی می‌توان به قرار دادن پی پایه پل‌ها در عمقی بیش از عمق آبشستگی (متناظر با سیل طرح) اشاره نمود. هرچند، در نظر گرفتن حداکثر سیلاب طرح یا دوره بازگشت‌های زیاد برای محاسبه‌ی عمق آبشستگی در جهت اطمینان است، لیکن این کار توجیه اقتصادی نخواهد داشت. از سوی دیگر

پیش‌بینی عمق آبشستگی تعادلی، براساس دبی سیل طراحی و بوسیله یک رابطه معمولاً مستقل از زمان صورت می‌پذیرد و این در حالی است که افزایش عمق آبشستگی پدیده‌ای است که با زمان رابطه مستقیم دارد. به گونه‌ای که در ابتدا آهنگ آبشستگی بالا بوده ولی با گذشت زمان و نزدیک شدن به عمق متعادل از سرعت توسعه آن کم گردیده و نهایتاً متوقف می‌شود.

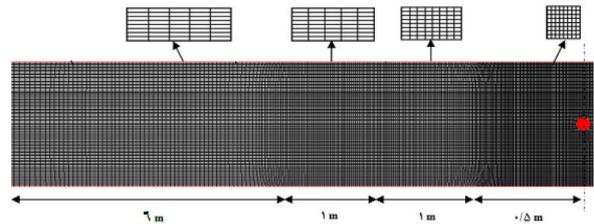
منطقه جریان سه بعدی اطراف پایه پل به دلیل تفکیک و پیدایش گردابه‌های مختلف بسیار پیچیده است. پیچیدگی میدان جریان به خاطر فعل و انفعال دینامیکی بین جریان و مرز متحرک در طول توسعه حفره آبشستگی بیشتر نیز خواهد شد. جریان هم آغازکننده و هم کنترل‌کننده الگوی آبشستگی موضعی اطراف پایه پل است که با فعل و انفعال پیوسته بر جریان تاثیر می‌گذارد. پیشگویی دقیق الگوی آبشستگی در اطراف پایه پل قویاً وابسته به حل مجدد ساختار جریان و مکانیسم انتقال رسوبات در داخل و خارج حفره آبشستگی است.

### بررسی میزان آبشستگی و تغییرات ارتفاع بستر اطراف

#### پایه بدون حضور صفحه‌ها

اولین مرحله قبل از اجرای مدل عددی، تقسیم‌بندی ناحیه مورد نظر به سلول‌هایی است که معادلات دیفرانسیلی حاکم بر میدان جریان و رسوب باید برای آن‌ها حل شوند. ساختن شبکه مناسب وقت‌گیرترین فرآیند آماده‌سازی اطلاعات ورودی برای مدل SSIIM است که دقت محاسبات، همگرایی و زمان محاسبات را تحت تاثیر قرار می‌دهد. جهت کاستن زمان و حجم محاسبات و در عین حال افزایش دقت آن، شبکه ساخته شده توسط یک برنامه جداگانه به زبان QBASIC در سه مرحله و بتدریج با نزدیک شدن به پایه پل ریز شده است. به طوری که در فواصل دورتر از پایه اندازه سلول‌ها  $2/5\text{ cm} \times 0/5\text{ cm}$  و سپس با کمتر شدن فاصله  $2\text{ cm} \times 0/5\text{ cm}$  و  $1\text{ cm} \times 0/5\text{ cm}$  و نهایتاً در  $1\text{ m}$  میانی در اطراف پایه استوانه‌ای

شکل ۲- ریز شدن تدریجی شبکه را به صورت شماتیک و بدون مقیاس در نیمی از کانال نشان می دهد.



شکل ۲- ساختار مش به کار رفته و شماتیک ریز شدن سلولها با نزدیک شدن به پایه

تعداد مقاطع استفاده شده در پلان در جهت طولی و باتوجه به طول در نظر گرفته شده فلوم ۹۴۰ و در جهت عرضی ۱۲۰ عدد بود. باتوجه به اینکه در جهت قائم توزیع خطوط شبکه در ۰، ۵٪، ۱۰٪، ۲۰٪، ۳۰٪، ۵۰٪، ۷۰٪، ۹۰٪ و ۱۰۰٪ عمق جریان بوده است، تعداد کل سلولها در شبکه سه بعدی مدل ۹۰۲۴۰۰ عدد بوده است. باتوجه به حساس بودن تغییرات سرعت در کف فلوم توزیع خطوط شبکه در نزدیکی بستر فشرده تر در نظر گرفته شده است.

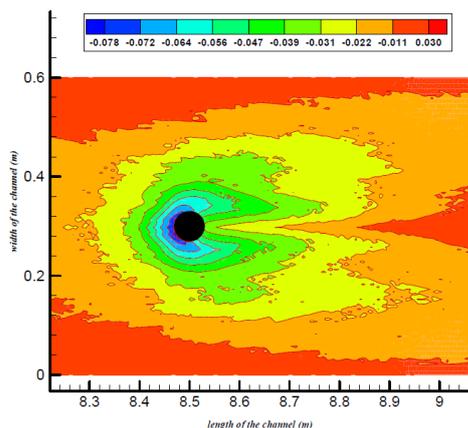
پس از ساختن شبکه با اعمال شرایط مرزی بین دبی و تراز آب پایین دست مدل عددی اجرا شده و حداکثر عمق آبشستگی شده توسط مدل عددی در زمانهای متناظر با اندازه گیریهای آزمایشگاهی ثبت گردید و با نتایج آزمایشگاهی مقایسه شد. از آنجا که محاسبات میدان جریان و رسوب در سه بعد و به صورت وابسته به زمان صورت می گیرد، شبیه سازی عددی توسعه حفره آبشستگی باتوجه به گام زمانی که مدل کالیبره می شود ممکن است چندین روز زمان برد. از آنجا که هدف، شبیه سازی عدد آبشستگی حول پایه استوانه است، دبی و تراز آب پایین دست فلوم به عنوان شرایط مرزی به مدل عددی داده شده، سپس مدل عددی یا گامهای زمانی 4s و با تخصیص ضریب زبری مناسب طبق مراحل مشروح ذیل کالیبره می شود. ابتدا بعد از مشخص شدن مختصات

تمامی نقاط شبکه مش بندی، در فایل Grid1 وارد می شوند و بعد از آن در فایل Koordina قرار گرفته و ذخیره می شوند. مختصات پایه پل از شبکه مش بندی پیدا شده و در فایل Geodata به عنوان داده های کمکی وارد می شود. به عبارتی پایه پل در شبکه اعمال می شود در مرحله بعدی 1 SSIIM اجرا شده و از منوی view، گزینه های Grid Editor و Geodata point انتخاب می شوند. در این حالت شبکه مش بندی مشاهده شده و تمامی نقاط کمکی از فایل Geodata خوانده می شوند. سپس از منوی Define، نقاط No move point در شبکه مشخص می شوند. در گام بعدی گزینه های Boundary و Eleptic از منوی Generate انتخاب می شوند. سپس برای اتمام کار برای هندسه مورد نظر به منوی generate رفته و گزینه Implementation انتخاب می شود. پس از آن با توجه به فایل Control پارامترهای مورد نیاز نظیر دبی، تراز آب، دانه بندی ذرات رسوب، ضریب زبری، گام زمانی، معیار همگرایی و تعداد گامها و زمان کل و نیز مشخص کردن ستون به گونه ای که به عنوان مانع در جریان مورد نظر پدیدار شود، توسط کاربر معرفی می شود. در نهایت SSIIM1 اجرا شده و گزینه sediment از منوی calculation انتخاب شده تا برنامه اجرا شود. نتایج بدست آمده از کالیبراسیون عددی مدل های مختلف با گامهای زمانی 4s و معیار همگرایی ۰/۱ و ضریب زبری های متفاوت حدسی در جدول ۱- ارائه شده است.

جدول ۱- نتایج به دست آمده از کالیبراسیون عددی م

مدل	ضریب زبری	حداکثر تراز بستر، رسوب (mm)	حداقل تراز بستر، آبشستگی (mm)
۱	6d <sub>50</sub>	۲۲/۶	۶۸
۲	76d <sub>50</sub>	۲۷/۳	۷۰/۸
۳	8d <sub>50</sub>	۲۷/۴	۷۳/۲
۴	10d <sub>50</sub>	۲۹/۹	۷۸/۱

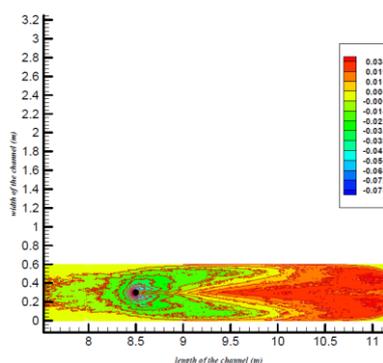
### شکل ۳- تغییرات تراز بستر حول پایه‌ی استوانه‌ای



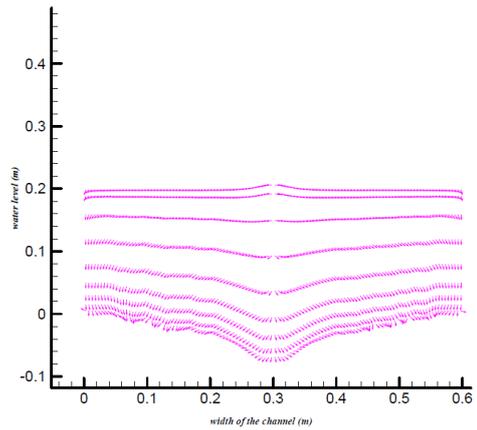
شکل ۴- مقادیر آبشستگی حول پایه‌ی استوانه‌ای

بردارهای عمودی سرعت در سه مقطع عرضی بلافاصله پایین دست پایه و مرکز پایه و بلافاصله بالادست پایه استوانه‌ای در شکل‌های ۵، ۶، ۷، نشان داده شده‌اند. در این خروجی‌های برداری، جریان‌های ثانویه رو به پایین در کناره‌های پایه پل به وضوح قابل تشخیص هستند. این جریان‌ها در ایجاد و توسعه حفره آبشستگی نقش اساسی ایفا می‌کنند. همچنین بالآمدگی سطح جریان آب در مقطع عرضی بلافاصله بالادست پایه استوانه‌ای واضح است که توانایی این مدل عددی سه بعدی را در محاسبات میدان جریان اطراف سازه‌هایی که در مقابل جریان اصلی قرار می‌گیرند همچون پایه پل نشان می‌دهد. قرار گرفتن مانعی در برابر جریان مانند پایه پل باعث تغییر الگوی جریان و در نتیجه باعث فرسایش در زیر این سازه‌ها می‌شود. این فرسایش تنها در اطراف سازه مذکور رخ می‌دهد، از این رو فرسایش حاصل را موضعی می‌خوانند. در حقیقت این فرسایش حاصل از جریان آشفته سه بعدی است که در اثر شتاب جریان عبوری و شکل‌گیری گرداب‌های پیچیده حادث می‌شود. این نوع فرسایش با حفره‌ای که در اطراف سازه شکل می‌گیرد قابل شناسایی است و این حفره در صورت گسترش در عمق می‌تواند باعث خرابی و در نهایت ریزش پل شود.

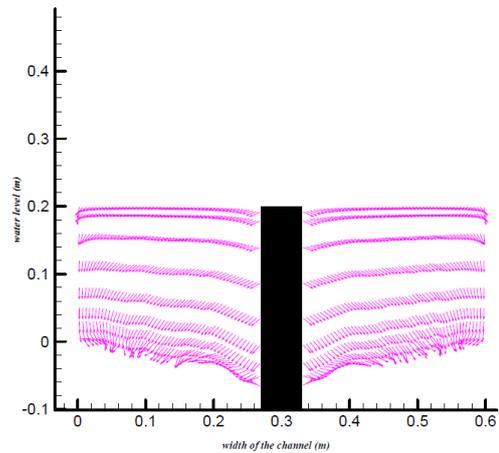
نتایج بدست آمده از جدول ۱-، نشان می‌دهد که اختلاف بین مقادیر آبشستگی آزمایشگاهی و مدل عددی به کمتر از ۲٪ می‌رسد که عملاً مقدار ناچیزی است و گویای آن است که بین نتایج آزمایشگاهی و نتایج شبیه‌سازی عددی سازگاری خوبی وجود دارد و مقادیر کم خطا در این مدل عددی سه بعدی و با در نظر گرفتن پارامتر زمان و حل معادلات بر مبنای آن، بیانگر توانمندی و دقت خوب این نرم‌افزار در شبیه‌سازی فرآیند آبشستگی و نشست رسوبات جریان اطراف پایه‌های پل است. نرم‌افزار SSIIM می‌تواند مقاطع عرضی، طولی، و الگوی جریان را در قسمت‌های مختلف مدل نشان دهد. برای نمایش خروجی‌های بدست آمده از مدل عددی سه بعدی SSIIM، از نرم افزار Tecplot8.0 استفاده شده است. برنامه SSIIM جهت نمایش گرافیکی مناسب‌تر نتایج خود از این نرم‌افزار سود می‌برد. شکل‌های زیر تغییرات تراز بستر اطراف پایه استوانه‌ای را نشان می‌دهد که می‌توان دریافت که عمق حفره آبشستگی با نزدیک شدن به پیشانی پایه استوانه‌ای به تدریج افزایش می‌یابد و مطابق شکل ۳- اطراف پایه شاهد کاهش تراز بستر و آبشستگی هستیم که به دو طرف پایه کشیده می‌شود که در اثر عبور گرداب‌هایی است که با جریان اصلی از کنار پایه عبور می‌کنند و این فرسایش آبی اطراف پایه بین ۰/۰۴ تا ۰/۰۷۸ متر متغیر است و در بیشترین میزان خود به ۰/۰۷۸ می‌رسد که با در نظر گرفتن ارتفاع پایه که ۰/۲ متر و قطر آن که ۰/۰۶ متر است، می‌تواند باعث خرابی آن شود.



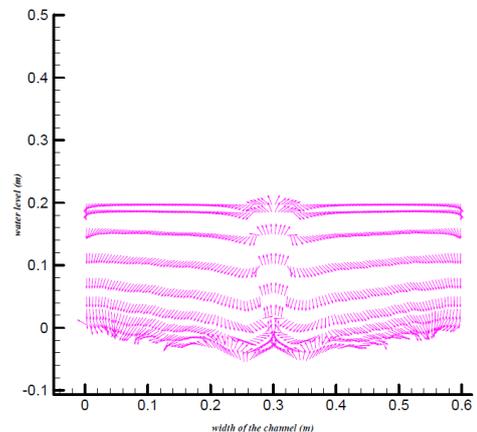
همچنین گسترش سطحی این حفره باعث می‌شود تا با حفره پایه مجاور بهم آمیخته و آبشستگی را تشدید کند.



شکل ۵- مقطع عرضی بلافاصله بالادست پایه پل و جهت جریان‌های ثانویه

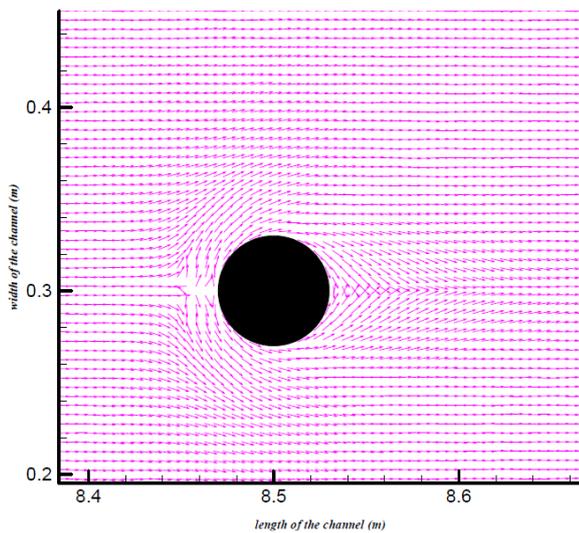


شکل ۶- مقطع عرضی مرکز پایه پل و جهت جریان‌های ثانویه



شکل ۷- مقطع عرضی بلافاصله پایین‌دست پایه پل و جهت جریان‌های ثانویه

شکل ۸- نیز بردارهای افقی سرعت هنگام برخورد جریان آب به پایه و جهت جریان اطراف پایه را به نشان می‌دهد که در برخورد به پایه به اطراف متمایل می‌شوند و جریان اصلی عبوری، جریان منحرف شده را به پایین دست انتقال می‌دهد و موجب آبشستگی دو طرف پایه پل می‌شود.



شکل ۸- بردارهای افقی سرعت هنگام برخورد جریان آب به پایه

تنش برشی کف کانال که بیشترین تنش برشی است، به کمک مدل عددی تحت جریان غیر دائمی محاسبه شده که در شکل ۹- نشان داده شده است و این مقادیر نشان می‌دهد که بیشترین مقدار تنش اطراف پایه و در بالادست پایه در اثر برخورد مستقیم جریان با پایه اتفاق می‌افتد که بین  $0.6 \text{ N/m}^2$  تا  $1.7 \text{ N/m}^2$  است در این محدوده آبشستگی صورت می‌گیرد و در پایین دست پایه شاهد یک محدوده با تنش برشی بین  $0.8 \text{ N/m}^2$  تا  $1.5 \text{ N/m}^2$  هستیم که نشست رسوبات برداشته شده از بالادست در این ناحیه صورت می‌گیرد.

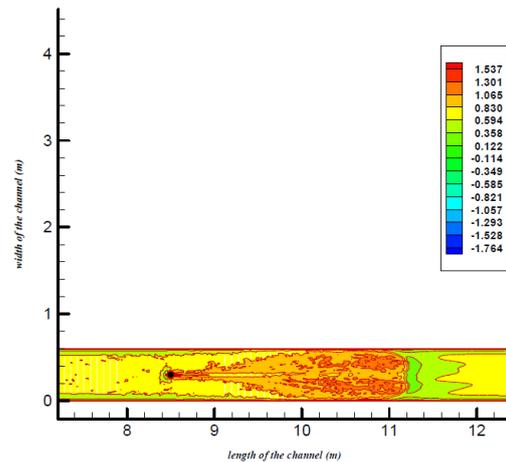
## بررسی میزان آبستگی و تغییرات ارتفاع بستر اطراف پایه با وجود سه اندازه متفاوت صفحه‌ها

روش‌های مختلفی برای کنترل و کاهش آبستگی وجود دارد. استفاده از هر کدام از این روش‌ها، به نظر طرح، موقعیت طرح و شرایط اقتصادی بستگی دارد. روشی که هم از لحاظ اقتصادی به صرفه باشد و هم میزان آبستگی را تا حد قابل توجهی کاهش دهد، می‌تواند مورد بررسی قرار گیرد که در نهایت در طراحی پایه پل نقش به‌سزایی ایفا خواهد کرد. در تحقیق حاضر پیشنهاد شده است که از صفحات غیرمستغرق که تقریباً به شکل سرریزهای لبه تیز طراحی می‌شوند، استفاده شود. این صفحات با آرایش‌های مختلف مدل‌سازی می‌شوند و در نهایت با استفاده از نتایج به دست آمده از مدل عددی، از بین آرایش‌های مختلف، حالت بهینه انتخاب می‌شود. سپس از این صفحات در جلوی پایه پل استفاده می‌شود و از نتایج بدست آمده می‌توان مقدار کاهش آبستگی را در اثر استفاده از این صفحات محاسبه نمود. برای بررسی تغییرات طول صفحات در کاهش آبستگی، صفحات با طول‌های ۶ سانتی‌متر و ۱۲ سانتی‌متر و ۱۸ سانتی‌متر مدل‌سازی شده که نتایج آن‌ها در جدول ۲- نشان داده شده است.

جدول ۲- نتایج به دست آمده از مدل‌سازی صفحات با طول‌های مختلف

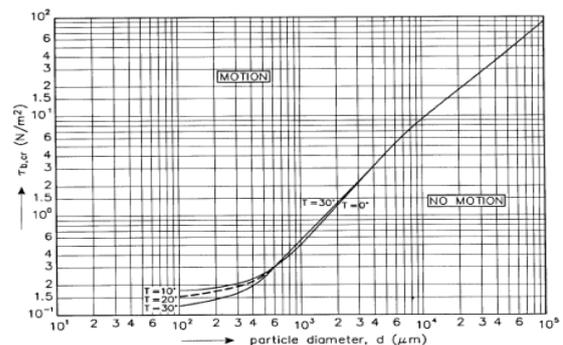
مدل	طول صفحات (cm)	حداکثر آبستگی (mm)	حداکثر رسوب (mm)
۱	۶	۹۸/۸	۳۷/۹
۲	۱۲	۱۶۰/۵	۵۰/۶
۳	۱۸	۲۱۸/۹	۵۹

همان‌طور که انتظار می‌رفت هر چه طول صفحات بیشتر باشد، سطح تماس آن‌ها با بستر بیشتر می‌شود و در نتیجه رسوب بیشتری ایجاد می‌کند. پر واضح است که ایجاد



شکل ۹- تنش برشی اطراف پایه استوانه‌ای با استفاده از مدل عددی

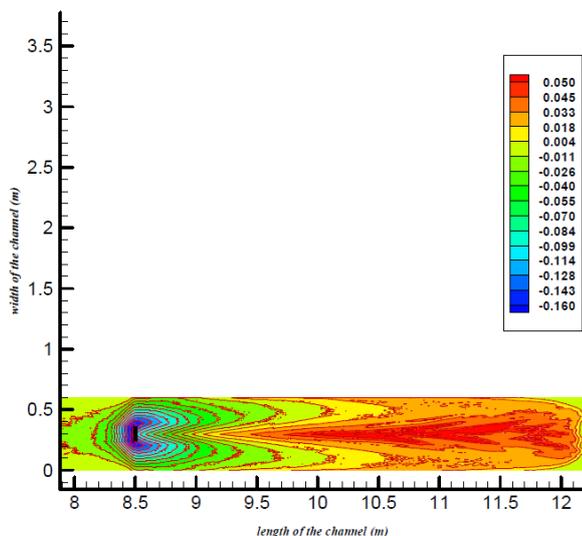
به‌طور کلی فرسایش از آستانه حرکت شروع شده و عبارت است از لحظه‌ای که ذرات در آستانه حرکت قرار گیرند. این حرکت منجر به جابجایی ذرات گردیده، طوری که ذرات در نهایت به جای خود برنگردند. برای این منظور از منحنی شیلدز استفاده می‌کنیم. محدوده زیر منحنی شیلدز نشان دهنده بستر پایدار و محدوده بالای منحنی نشان دهنده بستر ناپایدار و منحنی معرف آستانه حرکت است. محور عمودی تنش برشی کف کانال و محور افقی قطر ذرات است. مقادیر تنش برشی کف کانال و قطر ذرات به ترتیب برابر با  $1.537 N/m^2$  و  $0.00128m$  است. با توجه به منحنی اصلاح شده شیلدز مشاهده می‌شود که محل تلاقی مقادیر فوق، بالای منحنی افتاده است که به معنای امکان حرکت ذرات و آبستگی یا فرسایش آبی است.



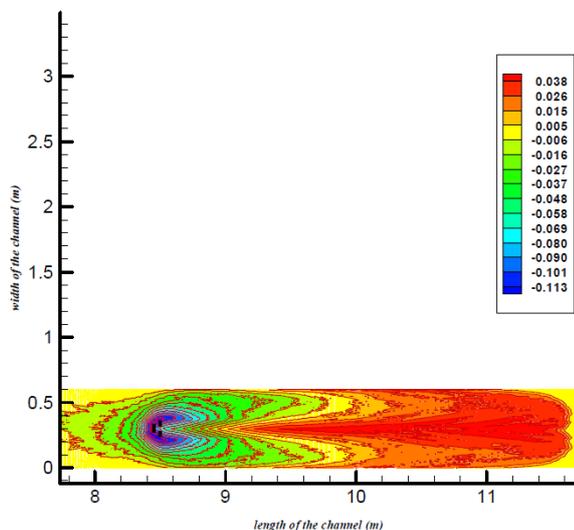
شکل ۱۰- منحنی اصلاح شده شیلدز

رسوب بیشتر مستلزم آبشستگی بیشتر خود صفحه است. با توجه به نتایج به دست آمده این چنین برداشت می-شود، با اینکه تمام شرایط هر سه مدل یکسان است، اما به ازای افزایش طول صفحه ها، روند افزایش آبشستگی و نیز ایجاد رسوب خطی نیست.

حال نتایج خروجی های بدست آمده از مدل های فوق، در شکل های ۱۲، ۱۳، ۱۴ به ترتیب زیر نشان داده می شوند.



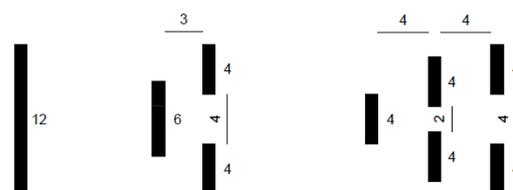
شکل ۱۲- تغییرات تراز بستر برای مدل شماره ۱



شکل ۱۳- تغییرات تراز بستر برای مدل شماره ۲

### بررسی میزان آبشستگی و تغییرات ارتفاع بستر اطراف پایه با وجود سه آرایش متفاوت صفحه ها

صفحات باید به گونه ای طراحی شوند که علاوه بر اینکه رسوب بیشتر ایجاد می کنند خود نیز دچار آبشستگی کمتر شوند. برای بررسی آرایش های مختلف و تعیین حالت بهینه، شکل های مختلفی از چیدمان صفحات مدل سازی می شوند که به صورت زیر هستند. طبق مشخصات آزمایش صورت گرفته، چون قطر پایه استوانه ای ۶ سانتیمتر است، طول پوشش صفحات در جلوی پایه ۱۲ سانتیمتر در نظر گرفته شد.



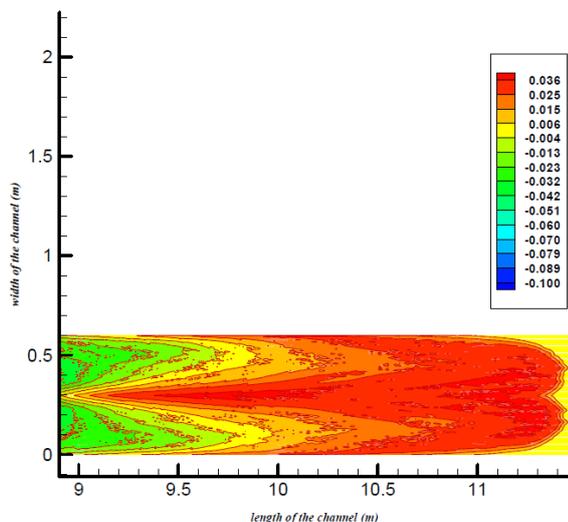
شکل ۱۱- آرایش های مختلف صفحات

نتایج حاصل از مدل سازی حالت های فوق در جدول ۳- نشان داده شده و برای بررسی بیشتر آن ها خروجی های مدل ها را در شکل های مختلف نشان داده و روی آن ها بحث شده است.

جدول ۳- نتایج به دست آمده از مدل سازی صفحات

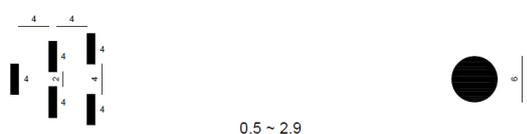
مدل	نوع آرایش	حداکثر آبشستگی (mm)	حداکثر رسوب (mm)
۱	تک صفحه ای	۱۶۰/۵	۵۰/۶
۲	سه صفحه ای	۱۱۳/۳	۳۸/۶
۳	پنج صفحه ای	۱۰۰/۲	۳۶

مورد نظر است. حال می‌توان تشخیص داد که محدوده حداکثر رسوب در محدوده ۱۰ متری و ۱۱ متری از ابتدای کانال است.



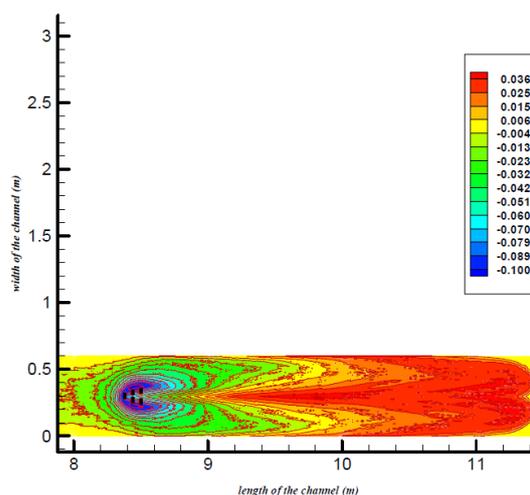
شکل ۱۵- ناحیه ته نشین رسوب بستر در مدل شماره ۳

با این تفاسیر صفحات را باید در فاصله ۰/۵ متر الی ۲/۹ متر از مرکز پایه استوانه‌ای و در بالادست آن تعبیه کرد تا جریان مخرب و فرسایش دهنده به پایه پل نرسیده و تاثیر ناچیزی بر بستر اطراف پل داشته باشد.



شکل ۱۶- محدوده تعبیه صفحات در بالادست پایه استوانه‌ای

با توجه به نتایج بدست آمده بهترین نقاط استقرار صفحات در فاصله‌های ۱/۵ متری و ۲/۵ متری از مرکز پایه استوانه‌ای و در بالادست آن تشخیص داده شده است. نتایج خروجی حاصل از مدل‌سازی در صورت تعبیه صفحات در فواصل گفته شده و بالادست پایه استوانه‌ای، در شکل‌های زیر نمایش داده می‌شوند. در حالت اول مطابق شکل‌های ۱۷، ۱۸، ۱۹، مشاهده می‌شود که حداکثر



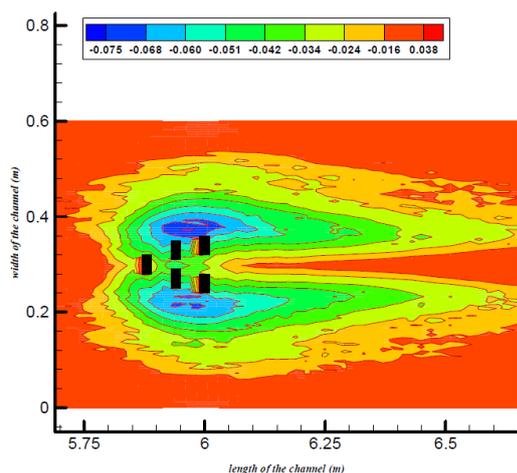
شکل ۱۴- تغییرات تراز بستر برای مدل شماره ۳

با توجه به میزان ارتفاع رسوب و عمق آبستگي، باید حالتی را در نظر بگیریم که به ازای عمق آبستگي کم، میزان رسوب بیشتری را داشته باشد. طبق نتایج به دست آمده از جدول ۳- و شکل‌های ۱۲، ۱۳، ۱۴، در مدل شماره ۳، عمق آبستگي برابر با ۱۰۰/۲ میلی‌متر و میزان رسوب برابر با ۳۶ میلی‌متر است که به نسبت بهتر از دو حالت دیگر تک صفحه‌ای با ۱۶۰ میلی‌متر آبستگي و سه صفحه‌ای با ۱۳۳ میلی‌متر آبستگي است. با توجه به نتایج بدست آمده از تغییر آرایش صفحه‌ها، میزان رسوبات با افزایش آبستگي در هر حالت افزایش می‌یابد. در مقایسه دو حالت ۱ و ۳، در حالت ۳ و با قرارگیری پنج صفحه در فواصل مشخص، شاهد ۴۰ درصد کاهش آبستگي و ۳۰ درصد کاهش رسوبات هستیم که نشان می‌دهد که حالت ۳ قرارگیری صفحه‌ها در این تحقیق، حالت بهینه قرارگیری صفحه‌ها است. در نتیجه بهتر است، برای بررسی تاثیر بهینه صفحات مستغرق در کاهش آبستگي پایه استوانه‌ای از مدل شماره ۳ استفاده شود.

### بررسی اثر تغییر فاصله صفحات بر تغییرات ارتفاع بستر اطراف پایه استوانه‌ای

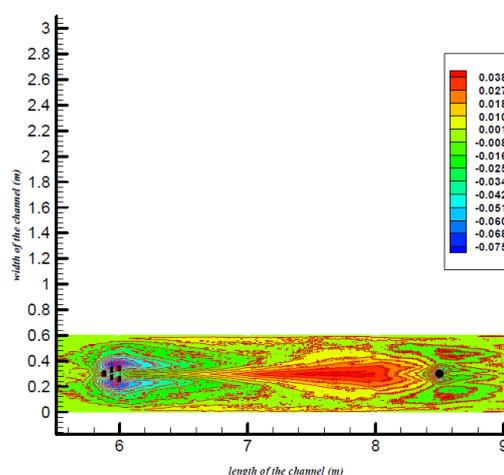
با توجه به شکل ۱۵- مشاهده می‌شود که ناحیه ته نشین رسوب در محدوده ۹ متری تا ۱۱/۴ متری از ابتدای کانال

آبشستگی اطراف پایه استوانه ای در فاصله ۲/۵ متر از پایین دست صفحات برابر با ۰/۰۵۱ متر است و عمق آبشستگی اطراف خود صفحات برابر با ۰/۰۶۸ متر است و در نهایت مشاهده می شود که آبشستگی پایه استوانه ای حدود ۳۵ درصد نسبت به حالت اولیه کاهش یافته است.

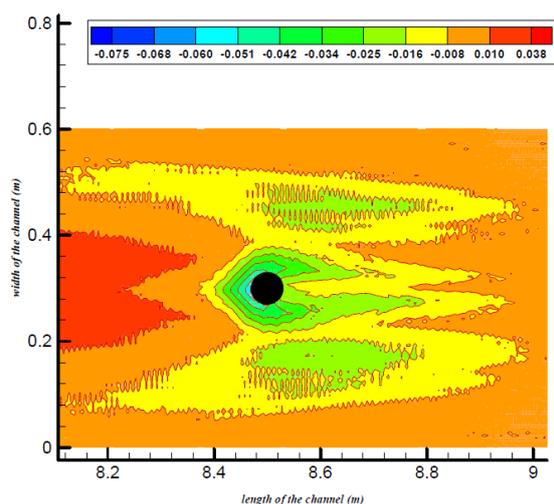


شکل ۱۹- تغییرات تراز بستر حول صفحات در فاصله ۲/۵ متر از مرکز پایه و بالادست آن

در حالت دوم مطابق شکل های ۲۰، ۲۱، ۲۲، حداکثر آبشستگی اطراف پایه استوانه ای که در فاصله ۱/۵ متر از پایین دست صفحات قرار گرفته است را نشان می دهد که برابر با ۰/۰۰۴ متر است و حداکثر عمق آبشستگی اطراف خود صفحات برابر با ۰/۰۶۳ متر است که این مقدار آبشستگی تنها در گوشه یکی از صفحات دیده می شود. در این حالت مشاهده می شود در اطراف پایه پل آبشستگی ناچیزی وجود دارد و نزدیک به صفر است. از طرفی خود صفحات نیز آبشستگی کمتری نسبت به حالت اولیه پایه دارند. با توجه به نتایج بدست آمده، مشاهده می شود که وجود صفحات غیر مستغرق قبل از پایه پل، ایجاد رسوب کرده و باعث پوشش آبشستگی حول پایه می شود.



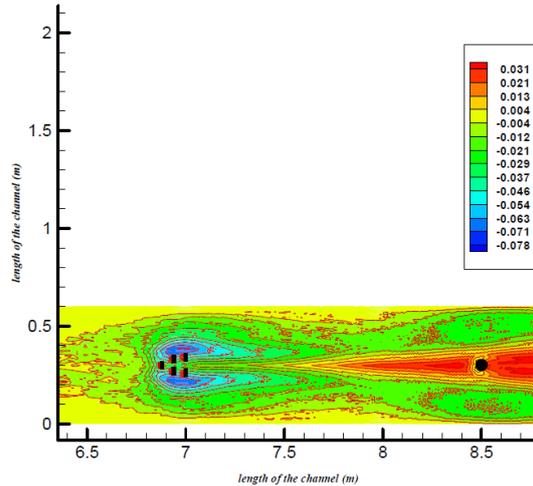
شکل ۱۷- تغییرات تراز بستر در فاصله ۵/۲ متر از مرکز پایه استوانه ای و بالادست آن



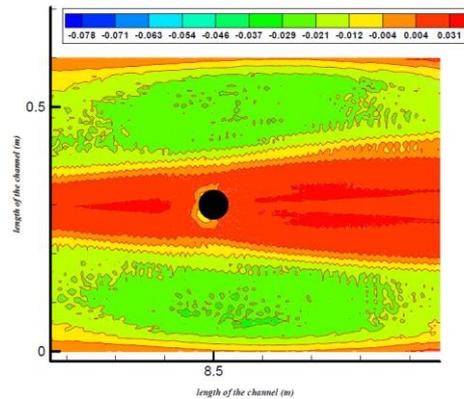
شکل ۱۸- تغییرات تراز بستر حول پایه استوانه ای در فاصله ۲/۵ متر از مرکز پایه و بالادست آن

### نتیجه گیری

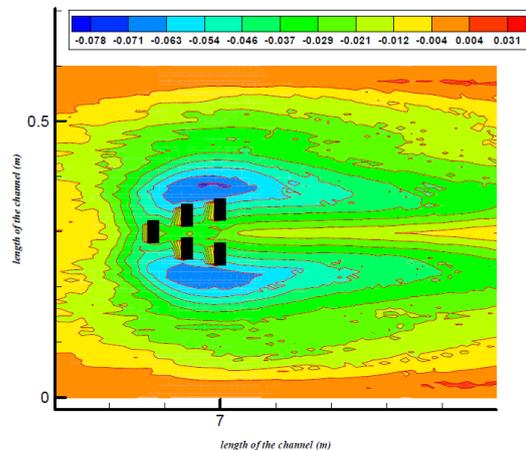
مدل عددی SSIIM توانایی مدل کردن توسعه عمق حفره آبشستگی در حالت وابسته به زمان تحت هیدروگراف جریان را داراست. اختلاف بین مقادیر آبشستگی آزمایشگاهی و مدل عددی به کمتر از ۲٪ می‌رسد که بیانگر توانمندی و دقت خوب این نرم‌افزار در شبیه‌سازی فرایند آبشستگی و نشست رسوبات جریان اطراف پایه‌های پل است. عمق حفره آبشستگی با نزدیک شدن به پیشانی پایه استوانه‌ای به تدریج افزایش می‌یابد و اطراف پایه شاهد کاهش تراز بستر و آبشستگی می‌باشد که به دو طرف پایه کشیده می‌شود که می‌تواند باعث خرابی آن شود. بیشترین مقدار تنش اطراف پایه و در بالادست پایه در اثر برخورد مستقیم جریان با پایه اتفاق می‌افتد که در این محدوده آبشستگی صورت می‌گیرد و نشست رسوبات برداشته شده از بالادست، در پایین دست پایه صورت می‌گیرد. مقادیر تنش برشی کف کانال و قطر ذرات به ترتیب برابر با  $1.537 N/m^2$  و  $0.00128m$  است که با توجه به منحنی اصلاح شده شیلدز امکان حرکت ذرات و آبشستگی وجود دارد. در حالت پنج صفحه‌ای، عمق آبشستگی برابر با  $100/2$  میلی‌متر و میزان رسوب برابر با  $36$  میلی‌متر است که بهتر از دو حالت دیگر تک صفحه‌ای و سه صفحه‌ای است. میزان رسوبات با افزایش آبشستگی در هر حالت افزایش می‌یابد و در مقایسه دو حالت یک صفحه‌ای و پنج صفحه‌ای، با قرارگیری پنج صفحه در فواصل مشخص، شاهد  $40$  درصد کاهش آبشستگی و  $30$  درصد کاهش رسوبات هستیم که نشان می‌دهد. بهترین محل قرارگیری صفحه‌ها، فاصله  $0/5$  متر الی  $2/9$  متر از مرکز پایه استوانه‌ای و در بالادست آن تا است تا جریان فرسایش دهنده به پایه پل نرسیده و تاثیر ناچیزی بر بستر اطراف پل داشته باشد. وجود صفحه‌ها قبل از پایه پل، ایجاد رسوب کرده و باعث پوشش آبشستگی حول پایه می‌شود.



شکل ۲۰- تغییرات تراز بستر در فاصله‌ی ۱/۵ متر از مرکز پایه استوانه‌ای و بالادست آن



شکل ۲۱- تغییرات تراز بستر در فاصله‌ی ۱/۵ متر از مرکز پایه و بالادست آن



شکل ۲۲- تغییرات تراز بستر در فاصله‌ی ۱/۵ متر از مرکز پایه و بالادست آن

فارسی:

- ۱- اسماعیلی، ت، ۱۳۸۸، شبیه‌سازی عددی هیدرولیکی- هندسی آبستنگی در پایه پل‌های بتنی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران جنوب.
- ۲- ارونقی، ه. و دربندی، ص. و عباسپور، ا.، ۱۳۹۰، "بررسی میدان فعالیت گرداب‌های اطراف پایه پل با CFD" دهمین کنفرانس ملی هیدرولیک ایران، آبان ماه ۱۳۹۰، دانشگاه گیلان.
- ۳- بشارتی گیوی، م. و حکیم زاده، ح.، ۱۳۸۷، "بررسی عددی سه بعدی الگوی جریان و تنش برشی بستر اطراف پایه‌های مخروطی،" نشریه مهندسی دریا سال ششم، شماره ۱۱، بهار و تابستان.
- ۴- خداشناس، س، و همکاران، ۱۳۸۸، بررسی عملکرد طوق و شکاف در کاهش آبستنگی پایه پل، دانشگاه فردوسی مشهد ماه شرکت آب منطقه‌ای خراسان کمیته تحقیقات.
- ۵- رستم‌آبادی، م، و صالحی نیشابوری، ع، ۱۳۸۷، شبیه‌سازی الگوی جریان حول یک صفحه مستغرق در کانال مستطیلی، چهاردهمین کنفرانس دانشجویان مهندسی عمران سراسر.
- ۶- صمیمی، ت، و همکاران، ۱۳۸۵، بررسی آزمایشگاهی اثر صفحات مستغرق بر آب‌ستنگی پایه پل‌ها، همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و

- زهکشی، دانشگاه شهید چمران اهواز، دانشکده مهندسی علوم آب.
- ۷- طهماسبی بیرگانی، ی.، ۱۳۸۵، مقایسه روش‌های محاسبه آبستنگی در پایه پل‌ها با بکارگیری داده‌های اندازه‌گیری، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شهید چمران اهواز.
  - ۸- عباس‌نیا، ا.، ۱۳۸۴، مدل کامپیوتری آبستنگی اطراف پایه پل با کاربرد روش‌های دقیق، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تهران.
  - ۹- عزیزیان، ا. و همکاران، ۱۳۸۹، ارزیابی آبستنگی پایه پل‌ها با استفاده از مدل عددی HEC-RAS و نتایج آزمایشگاهی، پنجمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه فردوسی مشهد.
  - ۱۰- عباسی، س. و شیرالی، م.، ۱۳۹۰، "بررسی عددی الگوی جریان اطراف پایه‌های پل شکاف داربا استفاده از نرم‌افزار Flow-3D،" چهارمین کنفرانس ملی عمران (مقاوم‌سازی و حفظ بناهای ماندگار)، اراک، ایران.
  - ۱۱- مصباحی، م، ۱۳۸۸، مقایسه روابط پیشنهاد شده برای حداکثر عمق آبستنگی پایه‌های پل با استفاده از داده‌های صحرائی، اولین همایش منطقه‌ای مهندسی عمران واحد خمینی شهر.

# **Feasibility of reducing scour rate by using submersible and non-submersible plates**

Kouros Nekofar, Assistant Professor, Technical and Engineering Faculty, Islamic Azad University - Chalous branch

Maryam Saghafi, senior expert, Islamic Azad University - Chalous branch

Abstract:

**The issue of controlling erosion and sedimentation in rivers has long been of concern to mankind, and methods such as paving stones, gabions and cementing have been common, which have faced high costs and adverse side effects. Every year, with the occurrence of floods in every river, a large number of bridges are destroyed at the time when they are most needed. One of the most important and effective factors of these destructions is the erosion around the bridge foundations, which causes a lot of human and financial losses. Submerged and non-submerged plates are structures that are installed on the riverbed at an angle to the main flow and for different purposes such as preventing erosion of riverbanks and bends and foundations of underwater structures and improving the water path and bed morphology. These structures create a secondary vortex and change the flow pattern in the river bed and as a result change the process of sediment transfer and erosion. The system, number, distance, geometry and angle of these plates can be effective in transferring sediments from the front of the foundations. According to the obtained results, the shear stress values of the channel floor and the particle diameter are equal to 1.537 N/m<sup>2</sup> and 0.00128 m, respectively, and according to the modified Shields curve, there is a possibility of particle movement and scouring. In the five-plate mode, the washing depth is equal to 100.2 mm and the amount of sediment is 36 mm, which is better than the other two single-plate and three-plate modes. The amount of sediments increases with the increase of scouring in each mode, and comparing the two modes of one plate and five plates, with the placement of five plates at specific intervals, we see a 40% reduction in scouring and a 30% reduction in sediments, which shows that the best placement of plates is at a distance of 5 0.0 m to 2.9 m from the center of the cylindrical base and upstream of it so that the erosive current does not reach the bridge base and has little effect on the surrounding bed.**

Keywords: *submerged plates, river, sediment, secondary flow, SSIIM model*