



مقایسه طوق مربعی با دایره ای در مقاوم سازی و بهینه سازی پایه پلها در اثر آبشستگی با استفاده از نرم افزار SSIIM

سید محمد وزیری^۱، کورس نکوفر^۲، علی نیکخو^۳

۱. دانشجو کارشناسی ارشد، گروه عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد اسلامی ساوه، ایران

S_m_vaziri@yahoo.com

۲. استادیار گروه مکانیک، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه آزاد چالوس

۳. استادیار گروه عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه علم و فرهنگ تهران

چکیده

پل ها از جمله مهمترین سازه های رودخانه ای هستند. یکی از موثرترین عوامل تخریب پل ها، آبشستگی موضعی اطراف پایه پل می باشد. همه ساله پل های زیادی در سراسر جهان به دلیل در نظر نگرفتن نقش عوامل هیدرولیکی تخریب می شوند. به همین دلیل تلاشهای بسیاری برای کنترل و کاهش آب شستگی پایه‌ی پل از جمله استفاده از شالوده، طوق، شکاف صورت گرفته است. در این مقاله با استفاده از نرم افزار SSIIM به منظور بررسی عملکرد طوق در کاهش آبشستگی پایه پل با استفاده از شبیه سازی عددی پرداخته شده است. نتایج حاصل از تحلیل نرم افزاری نشان داد، استفاده از هر دو نوع طوق به خصوص در زیر سطح بستر باعث کاهش عمق آبشستگی می گردد. همچنین طوق مربعی نسبت به دایره ای در کاهش عمق آبشستگی عملکرد بهتری دارد.

کلمات کلیدی: آبشستگی، پایه پل، طوق، نرم افزار SSIIM.

مقدمه

پل ها از جمله مهم ترین و پرکاربردترین سازه های رودخانه ای هستند و به عنوان کلید راه های ارتباطی از اهمیت زیادی برخوردار هستند. هر ساله با وقوع سیلاب در هر رودخانه تعداد زیادی از این پل ها، درست زمانیکه بیشترین نیاز به آنها وجود دارد تخریب می گردند. یکی از مهم ترین و موثرترین عوامل این تخریب ها آبشستگی اطراف پایه های پل می باشد. با اینکه مصالح ساختمانی و فنون سازه ای پیشرفت چشمگیری داشته است، تعداد پل های تخریب شده بر اثر آبشستگی اطراف پایه پل ها روز به روز بیشتر می شود (شفاعی بجستان، ۱۳۸۷).

به فرسایش بستر و کناره آبراهه در اثر عبور جریان آب، فرسایش بستر در پایین دست سازه های هیدرولیکی به علت شدت جریان زیاد و یا به فرسایش بستر در اثر بوجود آمدن جریان های متلاطم موضعی، آبشستگی گویند. عمق ناشی از فرسایش بستر نسبت به بستر اولیه را عمق آبشستگی می نامند. بطور کلی آبشستگی موضعی در پایین دست سازه های هیدرولیکی، در محل پایه های پل و به طور کلی هر مکانی که شدت جریان های درهم به طور موضعی افزایش یابد، وجود می آید. وجود پایه های پل در مسیر جریان باعث تغییر الگوی جریان و ایجاد یک حفره آبشستگی در اطراف پایه ها می شود. این نوع آبشستگی را آبشستگی موضعی می گویند (زراتی و عزیز، ۱۳۷۶).



طی دهه های اخیر مطالعات متنوعی در زمینه تخمین عمق و راهکارهای کاهش آبشستگی پایه های پل انجام پذیرفته است. ایجاد و گسترش آبشستگی در پایه پل ها از مهم ترین عوامل آسیب و خرابی پل ها می باشد. پیش بینی نحوه ایجاد، گسترش و وضعیت گودال آبشستگی از مهم ترین موارد طراحی هیدرولیکی پل ها می باشد. این امر به ویژه در مورد پل های پراهمیت و نیز پل های با پایه های پیچیده اهمیت خاصی می یابد. از زمانی که مسئله آبشستگی موضعی به عنوان یک مسئله مهم در مهندسی رودخانه مطرح شده است. مطالعات آبشستگی موضعی با استفاده از مدل های فیزیکی، تحت شرایط ساده شده آزمایشگاهی انجام شده و روابط متعددی برای تخمین حداکثر عمق آبشستگی بدست آمده است (حسونی زاده و زارع دهدشت، ۱۳۹۰).

حیدرپور و همکاران (۱۳۸۲) در مقاله ای با عنوان کنترل و کاهش آب شستگی موضعی در پایه های پل با مقاطع مستطیلی گرد گوشه با استفاده از شکاف نتیجه می گیرند شکاف های نزدیک بستر تاثیر بیشتری نسبت به شکاف های نزدیک سطح آب در کاهش عمق آبشستگی داشتند و با افزایش طول شکاف ها در هر دو موقعیت، عملکرد آنها افزایش یافت. همچنین، شکاف ها در پایه های مستطیلی نسبت به پایه استوانه ای عملکرد بهتری داشته اند.

لی و همکاران (۲۰۰۷) در بررسی مدل شبکه عصبی تخمین عمق آبشستگی در خاک های غیر چسبنده به این نتیجه رسیدند که مدل شبکه عصبی در مقایسه با روابط تجربی توانایی خوبی در پیش بینی عمق آبشستگی دارد. فیرات و گانگور (۲۰۰۹) ضمن بررسی مدل شبکه عصبی برای پیش بینی عمق آبشستگی نشان دادند که قطر پایه و اندازه متوسط ذرات دارای بیشترین تاثیر روی آبشستگی در خاک های غیر چسبنده می باشند. دیناث و چادری (۲۰۱۰) با بررسی جامع آزمایشگاهی بر روی آبشستگی موضعی اطراف پایه های استوانه ای در بستر رسی و ترکیب رس- ماسه نشان دادند که برای تنش برشی متوسط، ماکزیمم عمق آبشستگی در بالادست و پایین دست پایه یکسان است.

حسینی و همکاران (۱۳۹۲) به شبیه سازی سه بعدی عددی در بالادست پایه پل بوسیله صفحات مستغرق در یک طرف و دو طرف پایه پل در جهت کاهش پدیده آبشستگی با استفاده از نرم افزار SSIIM پرداختند. در این تحقیق با استفاده از اطلاعات آزمایشگاهی اقدام به مدل سازی عددی صفحات مستغرق در یک طرف و دو طرف در بالادست پایه پل استوانه ای به وسیله نرم افزار SSIIM شده است و پس از تنظیم نمودن پارامترهای رسوبی در مدل عددی و معرفی خصوصیات و مشخصات رسوبات، معرفی میدان جریان و رسوبات حول پایه پل، شبیه سازی آبشستگی انجام شده است. با توجه به نتایج بدست آمده این نرم افزار می تواند گزینه مناسبی جهت محاسبات رسوب و عمق آبشستگی اطراف پایه پل باشد و سعی بر این بوده که راهکار مناسبی برای مقابله با پدیده آبشستگی ارائه شود. استفاده از صفحات مستغرق در دو طرف پایه پل رفتارها و الگوی فرسایشی مناسبی نسبت به صفحات مستغرق در یک طرف پایه پل دارد در نهایت مشاهده می شود که این صفحات باعث کاهش عمق حفره آبشستگی اطراف پایه می گردد.

مسجدی و همکاران در سال ۱۳۹۰ به بررسی آزمایشگاهی اثر طوقه در کنترل آبشستگی اطراف پایه پل استوانه ای در قوس ۱۸۰ درجه رودخانه پرداختند.

محمدنژاد اردشیری و همکاران (۱۳۹۱)، در مقاله ای با عنوان بررسی آزمایشگاهی تاثیر طوق لوزی شکل در کاهش آبشستگی در اطراف پایه های پل نتیجه می گیرد که طوق لوزی شکل تاثیر قابل توجهی در کاهش میزان آبشستگی پایه ی پل داشته است. نتایج همچنین نشان میدهند که طوق لوزی شکل در کاهش آبشستگی اطراف پایه موثرتر از طوق مربع شکل عمل می کند. میزان آبشستگی با وجود طوق لوزی شکل در حدود ۶۷٪ در مقایسه با در حالت بدون طوق کاهش یافته و حجم حفره آبشستگی ۸۶٪ کاهش پیدا کرده است.

یکی از مشکلات موجود در پل ها ایجاد پدیده آبشستگی در پایه پل ها است که اثرات نامطلوبی را در پی دارد و در برخی از مناطق پس از سیلاب باعث خرابی پل ها شده است. پرسش های اصلی در این مقاله تاثیر کاربرد طوق مربعی و دایره ای در کاهش آبشستگی پایه پل ها می باشد. اهدافی که در این مقاله دنبال نموده ایم عبارتند از:

- بررسی تاثیر بکارگیری طوق مربعی و دایره ای در افزایش مقاومت و بهینه سازی پل ها در برابر تنش های وارده.



بررسی طوق مربعی با دایره ای در کاهش میزان آبشستگی پایه پلها.
 - بررسی اثر هندسه و موقعیت نصب طوق بر کاهش آبشستگی پایه پلها.
 در این مقاله به بررسی عملکرد طوق در کاهش آبشستگی پایه پل با استفاده از شبیه سازی سه بعدی عددی پرداخته شده است و با استفاده از داده های شرایط هیدرولیکی، مشخصات هندسی پایه پل آبشستگی در محل پایه ها بوسیله نرم افزار SSIIM شبیه سازی گشته است.

روش کار

پیش‌بینی عمق آبشستگی موضعی اطراف پایه پلها همواره به عنوان یکی از دغدغه‌های اصلی مهندسی رودخانه مطرح بوده است. سیستم اصلی گردابه‌ای به تشکیل حفره‌های آبشستگی کمک می‌کند از برخورد جریان به جلوی پایه و انحراف آن به طرف پایین ایجاد می‌شود که نظیر یک جت عمودی آب عمل کرده و مواد کناره پایه پل را همراه جریان به بالا پرتاب نموده و جریان آب، آن را با خود حمل می‌کند. در نتیجه در جلوی 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.

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.

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. هر چند، در نظر گرفتن حداکثر سیلاب طرح یا دوره بازگشت‌های زیاد برای محاسبه عمق آبشستگی در جهت اطمینان است. لیکن این کار توجیه اقتصادی نخواهد داشت. از سوی دیگر پیش‌بینی عمق آبشستگی تعادلی بر اساس 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.

در این مقاله برای شبیه سازی میدان جریان از مدل SSIIM که یک مدل سه‌بعدی برای شبیه سازی میدان جریان و انتقال رسوبات با قابلیت استفاده از مدل‌های آشفتگی مختلف است، استفاده خواهد شد. ارزیابی نتایج مدل با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری شده انجام خواهد شد.

در اغلب تحقیقات تاثیر استفاده از طوق در کنترل و کاهش آبشستگی حول پایه پل از روش‌های مدل‌سازی آزمایشگاهی و مشاهدات صحرایی استفاده شده است و به همین دلیل در این مقاله به بررسی عملکرد طوق در کاهش آبشستگی پایه پل با استفاده از شبیه سازی سه بعدی عددی پرداخته شده است.

با توجه به اینکه شبیه سازی توسعه عمق حفره آبشستگی به کمک هیدروگراف جریان می‌تواند آبشستگی را تحت شرایط واقعی نشان دهد از یک مدل آزمایشگاهی جهت نشان دادن توانایی کد عددی SSIIM در این زمینه استفاده گردید. کد عددی SSIIM قابلیت در نظر گرفتن پارامتر زمان در محاسبات جریان آب و رسوب و حل معادلات بر مبنای آن را دارا می‌باشد.

تعدادی زیادی از پارامترهای موثر بر پدیده آبشستگی بر پیچیدگی آن می‌افزاید از این رو نیاز به یک مدل عددی توانمند که با استفاده از گسسته‌سازی معادلات حاکم بر میدان جریان و رسوب و اعمال یک سری فرضیات ساده کننده، روابط پیچیده حاکم بر این پدیده را به معادلات ساده و قابل حل تبدیل نماید، به طور جدی احساس می‌شود.



از سوی دیگر در نظر گرفتن پارامتر زمان در طول فرایند آبخستگی همواره مد نظر محققان بوده است ولی با توجه به اینکه در نظر گرفتن زمان در این رویداد مخرب بر جنبه‌های پیچیده قضیه می‌افزاید، نیاز به بررسی و تحقیق بیشتر و جامع‌تری در این رابطه می‌باشد. که مدل عددی سه بعدی SSIM می‌تواند پاسخگوی بسیاری از نیازها در زمینه‌های مختلف هیدرولیکی از جمله آبخستگی در اطراف پایه پل‌ها باشد، خصوصاً اینکه این مدل عددی قابلیت در نظر گرفتن زمان در طول فرایند آبخستگی را نیز دارد.

یک سری آزمایشات با استفاده از پایه‌های استوانه‌ای در کانال با بستر یکنواخت تحت شرایط آب زلال در آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه اوکایاما در ژاپن انجام شد. این آزمایشات در کانالی به طول ۱۶ متر، عرض ۶۰ سانتی متر و ارتفاع ۴۰ سانتی متر صورت گرفت. آب از یک مخزن دارای ارتفاع توسط یک لوله منتقل شد. سرعت جریان در کانال با استفاده از یک دریچه (شیر آب) تنظیم می‌شد. عمق آب نیز با یک دریچه در پایین دست تنظیم می‌شد. سطح آب با یک نقطه سنج با حساسیت ۰/۱ میلی متر اندازه‌گیری شدند. یک منطقه با بستر متحرک به طول ۱ متر و عرض ۶۰ سانتی متر و عمق ۵۷ سانتی متر در فاصله ۸۰۰ سانتی متر پایین دست ابتدای کانال تعبیه شد و با رسوبات دارای قطر متوسط ذرات $d_{50}=1.28 \text{ mm}$ پر شد. یک پایه دایره‌ای عمودی با قطر ۶۰ سانتی متر، در مرکز منطقه با بستر متحرک که قبل از شروع آزمایش ایجاد شده، قرار داده شده شیر آب بدون اینکه هیچ‌گونه آشفتگی در مصالح بستر ایجاد کند تا وقتی که دبی مورد نظر به وجود آید، به آرامی تنظیم شد. جریان یکنواخت تحت شرایط آب زلال برای دبی مورد نیاز به طور کامل ایجاد شد. کل فرآیند برای ایجاد کامل جریان یکنواخت تحت شرایط آب زلال در کمتر از سه دقیقه برای هر مورد تثبیت شد. آزمایشات در یک مرحله وقتی که آبخستگی کمتر از یک میلی متر در یک مساحت بوجود آمد یا در کل آبخستگی نداشت، متوقف می‌شدند. عمق‌های آبخستگی در زمان‌های مختلف توسط یک شاخص متصل ثبت شدند (حسن پور، ۱۳۹۱). داده‌های آزمایشات در جدول ۱ ارائه شده‌اند

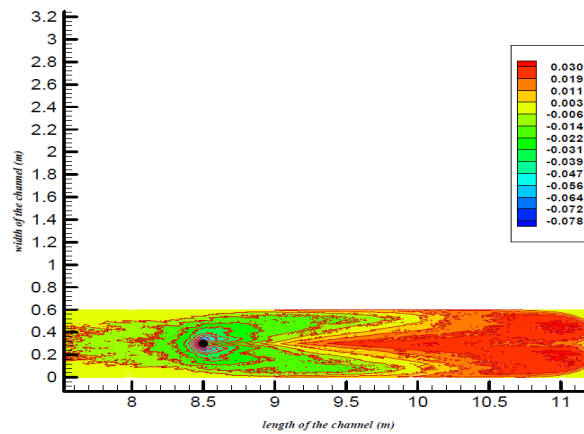
جدول ۱- خلاصه ای از شرایط آزمایش

h (mm)	D (mm)	d_{50} (mm)	Q (m^3/s)	v (m/s)	v/v _c	t _e (min)	d _s (mm)
۲۰۰	۶۰	۱/۲۸	۰/۰۴	۰/۳۳۳	۰/۷۵	۱۴۰	۷۸

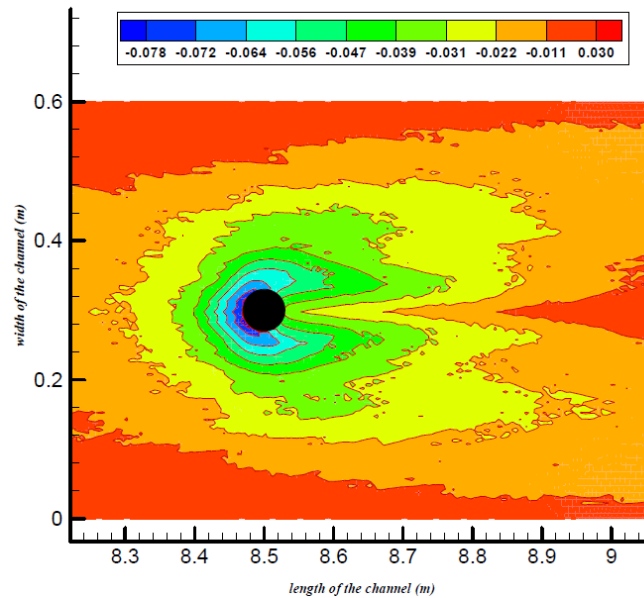
در این مقاله از داده‌های جدول ۱ به منظور شبیه‌سازی با استفاده از مدل عددی SSIM استفاده شده است. طبق مشخصات مندرج در جدول، در این آزمایش تراز سطح آب ۲۰۰ میلی متر، قطر متوسط ذرات $d_{50}=1.28 \text{ mm}$ دبی ۰/۰۴ متر مکعب بر ثانیه زمان آبخستگی ۱۴۰ دقیقه و قطر پایه استوانه‌ای ۶۰ میلی متر می‌باشد، که عمق آبخستگی ۷۸ میلی متر است. از آنجا که هدف، شبیه‌سازی عدد آبخستگی حول پایه استوانه می‌باشد، دبی و تراز آب پایین دست فلوم به عنوان شرایط مرزی به مدل عددی داده شده است.

بحث و نتیجه گیری

از آنجا که قطر پایه استوانه‌ای ۶۰ میلی متر می‌باشد، در شکل‌های ۱ و ۲ تغییرات تراز بستر اطراف پایه استوانه ای را نشان می‌دهد. با توجه به شکل‌های ۱ و ۲ می‌توان دریافت که عمق حفره آبخستگی با نزدیک شدن به پیشانی پایه استوانه ای به تدریج افزایش یافته است.

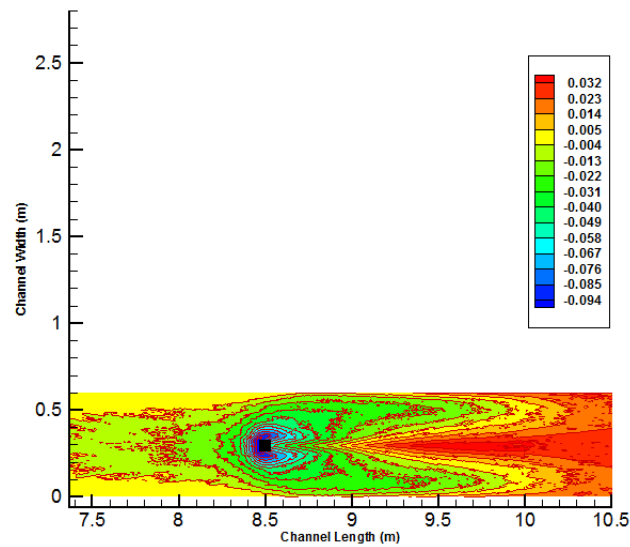


شکل ۱- فرسایش پایه‌ی پل استوانه ای

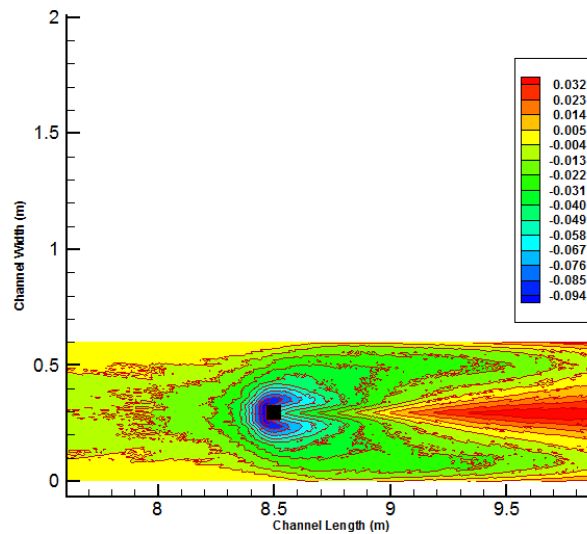


شکل ۲- فرسایش پایه‌ی پل استوانه شکل از نمای نزدیک تر

در حالت دوم، با فرض یک پایه مربع به ضلع برابر قطر پایه استوانه ای مدل سازی شده که عمق آبشستگی حول پایه پل ۹۴ میلی متر است و در شکل های ۳ و ۴ خروجی های این مدل نشان داده خواهد شد.

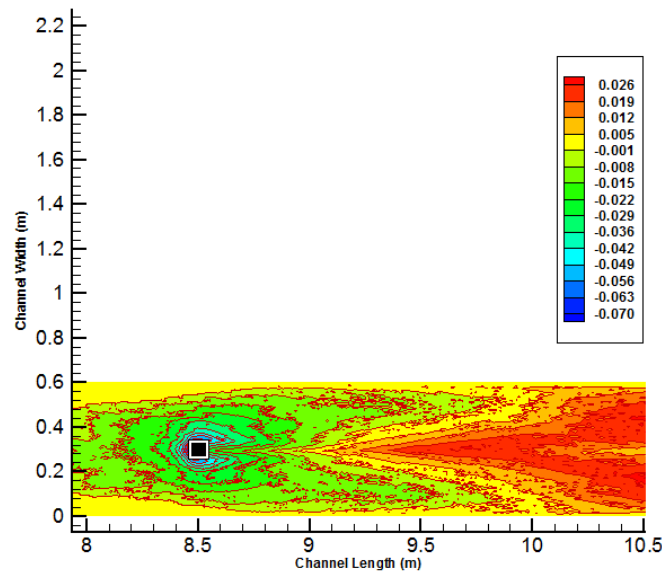


شکل ۳- فرسایش پایه‌ی پل مربعی شکل

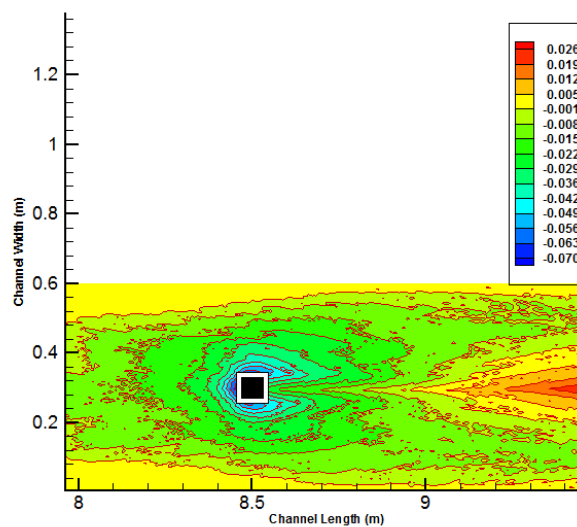


شکل ۴- فرسایش پایه‌ی پل مربعی شکل از نمای نزدیک تر

همان طور که در اشکال ۳ و ۴ مشاهده می‌شود عمق آبشستگی پایه‌ی استوانه‌ای کمتر از پایه به شکل مربع می‌باشد. به نظر می‌رسد یکی از دلایل آن، حالت آیرودینامیکی پایه‌ی استوانه‌ای می‌باشد. در مراحل بعدی پایه‌ی مربعی را با طوق‌های مربعی و دایره‌ای شبیه‌سازی کرده و مقادیر کاهش آبشستگی را مشخص کرده و نتایج خروجی با هم مقایسه خواهند شد. در این قسمت تاثیر استفاده از طوق مربعی بر آبشستگی پایه پل بررسی شده است. شکل هندسی کانال، ابعاد پایه پل، مشخصات رسوبات و میدان جریان همانند حالت قبل است. در این قسمت تنها طوق مربعی دور پایه پل معرفی شده است و آبشستگی مجدداً مدل‌سازی شده است. طول ضلع طوق مربعی اطراف پایه در اندازه ۱/۵ برابر ضلع پایه پل یعنی ۹ سانتی متر انتخاب شده است و نتایج در شکل‌های ۵ و ۶ ارائه شده است. طوق در روی بستر قرار داده شده است.

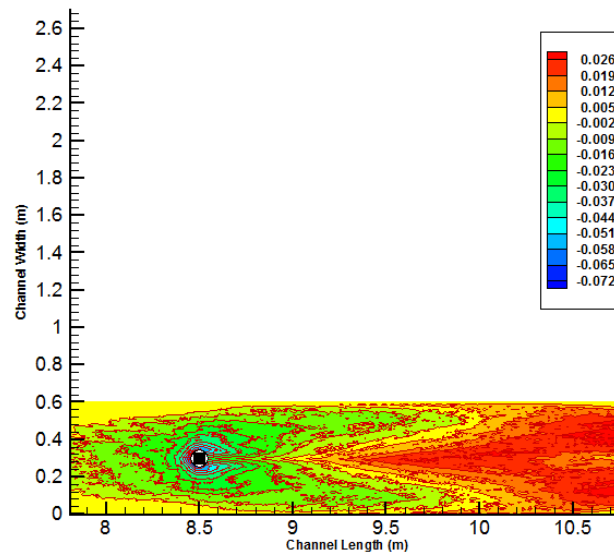


شکل ۵- فرسایش پایه پل مربعی به همراه طوق مربعی

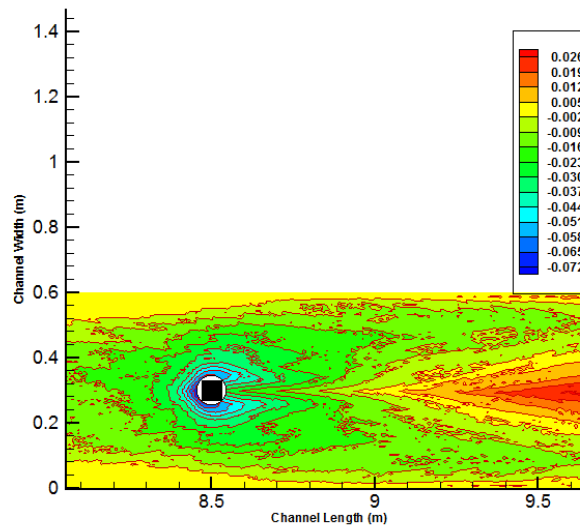


شکل ۶- فرسایش پایه پل مربعی به همراه طوق مربعی از نمای نزدیک‌تر

همان طور که در شکل‌های ۵ و ۶ مشاهده می‌گردد مقدار آبشستگی حول پایه‌ی مربعی ۷۰ میلی متر که در این حالت حدود ۲۵/۵ درصد کاهش آبشستگی داشته‌ایم. در این مرحله طوق دایره ای به همراه پایه‌ی مربعی شکل، شبیه سازی شده است. قطر طوق مانند حالت قبلی به نسبت ۱/۵ برابر ضلع پایه پل یعنی ۹ سانتی متر انتخاب شده است و طوق روی بستر قرار داده شده است. شکل‌های ۷ و ۸ نتایج خروجی این مدل را نشان می‌دهند.



شکل ۷- فرسایش پایه پل مربعی به همراه طوق دایره‌ای



شکل ۸- فرسایش پایه پل مربعی به همراه طوق دایره‌ای از نمای نزدیک‌تر

از شکل‌های ۷ و ۸ ملاحظه می‌گردد که مقدار عمق آبستگي حول پایه‌ی مربعی ۷۲ میلی متر می‌باشد که نشان می‌دهد در این حالت طوق حدود ۲۳/۵ درصد میزان آبستگي را کاهش داده است. نتایج به دست آمده در جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۲- نتایج آبستگي در مدل‌های مختلف

مقدار عمق آبستگي (میلی‌متر)	شکل پایه‌ی پل
۹۴	پایه مربعی شکل
۷۲	پایه مربعی و طوق دایره‌ای



۷۰	پایه مربعی و طوق مربعی
----	------------------------

از نتایج بر می آید طوق مربعی نسبت به طوق دایره‌ای عملکرد بهتری دارد. به نظر می‌رسد طوق مربعی به علت داشتن لبه‌های تیز در کناره‌ها، در کنترل و کم کردن آبشستگی تاثیر بیشتری نسبت به حالت دایره‌ای دارد. خلاصه نتایج این مقاله به شرح زیر می باشد:

۱. عمق آبشستگی پایه‌ی استوانه‌ای کمتر از پایه‌ی مربع شکل شده است. به نظر می‌رسد یکی از دلایل آن، حالت آیرودینامیکی پایه‌ی استوانه‌ای می باشد.
۲. مقدار عمق آبشستگی حول پایه‌ی مربعی ۷۲ میلی متری باشد که نشان می‌دهد طوق حدود ۲۳/۵ درصد میزان آبشستگی را کاهش داده است.
۳. طوق مربعی نسبت به طوق دایره‌ای عملکرد بهتری دارد. به نظر می‌رسد طوق مربعی به علت داشتن لبه‌های تیز در کناره‌ها، در کنترل و کم کردن آبشستگی تاثیر بیشتری نسبت به حالت دایره‌ای دارد.
۴. استفاده از طوق در کاهش عمق آبشستگی موثر است، همچنین استفاده از طوق در تراز زیر بستر نسبت به قرارگیری آن در سایر ترازها موثر می باشد. در مورد ابعاد طوق نیز افزایش ابعاد تاثیر بیشتری را بر کاهش آبشستگی نشان می دهد. توسعه حفره آبشستگی به طرفین پایه افزایش یافت.

منابع

- حسن پور، نسرین (۱۳۹۱)، بررسی آبشستگی موضعی در اطراف پایه پل بالهای شکل با طوق، نشریه دانش آب و خاک، جلد ۲۳ شماره ۳ صفحه های ۲۲۱ تا ۲۳۴.
- حسونی زاده، ه. زارع دهدشت، (۱۳۹۰). "تخمین میزان آبشستگی اطراف پایه پل ها با استفاده از نرم افزار SSIIM.
- حسینی، م. برهمندن، حسینی، ع (۱۳۹۲). "شبیه سازی سه بعدی در بالادست پایه پل بوسیله صفحات مستغرق در یک طرف و دو طرف پایه پل در جهت کاهش پدیده آبشستگی با استفاده از نرم افزار SSIIM. کنفرانس مهندسی عمران. تبریز.
- حیدرپور، م و همکاران (۱۳۸۲)، کنترل و کاهش آب شستگی موضعی در پایه های پل با مقاطع مستطیلی گرد گوشه با استفاده از شکاف، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی.
- زراتی، الف، عزیزی، م، (۱۳۷۶) " بررسی روش های کنترل آبشستگی پایه های مستطیل شکل پل " اولین کنفرانس هیدرولیک ایران.
- شفاعی بجستان، م. "هیدرولیک رسوب" (۱۳۸۷) ویرایش دوم، انتشارات دانشگاه شهید چمران اهواز،
- محمدنژاد اردشیری، ا و همکاران (۱۳۹۱)، بررسی آزمایشگاهی تاثیر طوق لوزی شکل در کاهش آبشستگی در اطراف پایه های پل، مجله تحقیقات آب و خاک
- مسجدی ع ، غلام زاده و ، محمودی م. (۱۳۹۰) " بررسی آزمایشگاهی اثر طوقه در کنترل آبشستگی اطراف پایه پل استوانه ای در قوس ۱۸۰ درجه رودخانه. عنوان نشریه : علوم آب و خاک (علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی بهار).

Depnath k and chaudhuri.S.2010.Laboratory experimental on local scour cylinder for clay –sand mixed beds.J Engineering geology 111:51-61.



Firat.M and Gungor.M,2009.Generalized regression neural networks and feed forward neural networks for prediction of scour depth around bridge piers..J.Advances in Engineering Software.40:731-737.

Lee.TL,Jeng.DS,Zhang.GH and Hong .JH.2007.Neural network modeling for estimation of scour depth around bridge piers.J.Hydrodynamics.Ser.B.19(3):378-386