

بررسی آزمایشگاهی کاهش آبشستگی اطراف پایه‌های اسکله ساحلی با استفاده از سازه‌های مثلثی

مصطفی فرجیان^۱، امیرعباس کمان‌بدست^{۲*}، علی سلاجقه^۳، محمد انصاری قوجقار^۴، احسان پارسی^۵

تاریخ ارسال: ۱۳۹۹/۰۸/۰۳

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۰/۲۴

مقاله پژوهشی

چکیده

آبشستگی یک پدیده طبیعی است که در نتیجه عامل فرسایش‌دهنده جریان آب رخ می‌دهد. در اثر برخورد آب به پایه اسکله گرداب‌هایی موسوم به گرداب نعل‌اسبی به وجود می‌آید. گرداب‌های نعل‌اسبی بیشتر در جلو پایه فعالیت دارند که عامل اصلی پدیده آبشستگی است. در این تحقیق اثر کاربرد سازه‌های مثلثی بر کاهش آبشستگی اطراف پایه‌های اسکله ساحلی به صورت آزمایشگاهی مورد بررسی قرار گرفت. این پژوهش در یک فلوم آزمایشگاهی با قوس ۹۰ درجه استفاده شد. سازه‌های محافظ مثلثی با زوایای ۱۵، ۳۰، ۴۵ و ۶۰ درجه و یک سازه مثلثی دارای انحناء در نظر گرفته شد. آزمایشات با دبی‌های ۶، ۷/۵، ۸/۵ و ۱۰ لیتر بر ثانیه انجام شد. نتایج نشان داد که نصب سازه‌های محافظ مثلثی در دبی حداکثری ۱۰ لیتر بر ثانیه، می‌تواند در در بالادست و پایین‌دست جریان عمق آبشستگی را به ترتیب تا ۸۴ و ۷۸ درصد کاهش دهد. بهترین عملکرد مربوط به سازه محافظ ۱۵ درجه در بالادست جریان و هم‌چنین سازه محافظ ۶۰ درجه در پایین‌دست جریان می‌باشد. نتایج حاکی از آن است که با افزایش عدد فرود عمق آبشستگی افزایش می‌یابد. هم‌چنین سازه محافظ دارای انحناء در بالا دست جریان عملکرد بسیار مطلوب و در پایین‌دست جریان عملکرد ضعیف‌تری نسبت به سایر سازه‌های محافظ داشت.

واژه‌های کلیدی: فرسایش، گرداب‌های نعل‌اسبی، رسوب، سازه‌های محافظ

^۱ کارشناس ارشد، گروه عمران، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران، mostafa.farajhan@gmail.com

^۲ استادیار، گروه علوم و مهندسی آب، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران، ۰۹۱۶۶۴۱۰۶۷۴

ka57_amir@yahoo.com* (نویسنده مسئول)

^۳ استاد گروه علوم و مهندسی آبخیز، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، salajegh@ut.ac.ir

^۴ دانشجوی دکتری، گروه مهندسی آبیاری و آبادانی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران،

ansari.ghojghar@ut.ac.ir

^۵ دانشجوی دکتری، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اهواز، ایران،

ehsan-parsi@iauhvaz.ac.ir

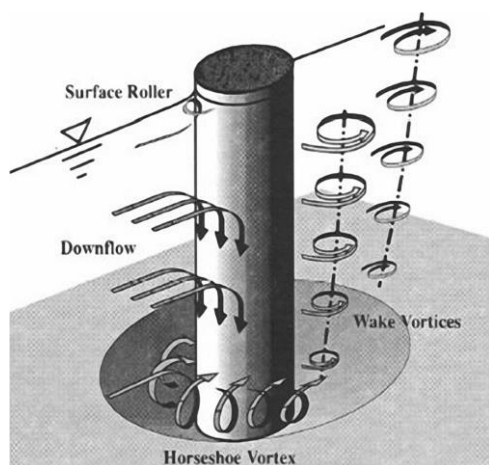
مقدمه

شکست پل ناشی از آبشستگی کلی در فونداسیون (شامل پایه و تکیه گاه)، ضرورت مطالعه در مورد پیش‌بینی آبشستگی و راه‌های محافظت در برابر آن را کاملاً روشن می‌سازد (عالم و همکاران، ۱۳۹۱).

پدیده آبشستگی یک تهدید جدی برای پایداری سازه‌های واقع در مسیر جریان مانند پایه اسکله‌ها و پل‌ها محسوب می‌گردد. در اثر آبشستگی حفره‌ای در اطراف پایه اسکله ایجاد می‌گردد و پایداری آن را تضعیف می‌کند و ممکن است در اثر یک سونامی یا سیل بزرگ تخریب شود. این تخریب‌ها و خسارات وارده علاوه بر تلفات جانی و ضررهای مالی، سبب قطع فعالیت‌های کشتیرانی، صیادی و غیره شده و بدین ترتیب حمل و نقل را نیز مختل می‌کند. با کنترل و محافظت از پایه‌های اسکله در برابر آبشستگی و ارائه روش‌های مناسب پیش‌بینی آبشستگی، می‌توان از وارد آمدن این خسارات تا حد زیادی پیش‌گیری کرد (احمدی و همکاران، ۱۳۹۴). اگر پایه استوانه‌ای به طور عمودی در مسیر جریان قرار گرفته باشد جریان آب در اطراف آن متلاطم شده و جریان‌های گردابی در اطراف آن ایجاد می‌شود. این جریان‌ها مکانیسم اصلی آبشستگی به حساب آمده که در دراز مدت باعث ایجاد حفره در محل پایه پل شده و ممکن است موجب ریزش و خرابی پل گردد. بر اساس مطالعات سازمان بزرگراه‌های ایالات متحده آمریکا (۱۹۷۳) از تعداد ۳۸۳ مورد خرابی در پل‌ها، ۲۵ درصد مربوط به خرابی پایه‌ها و ۷۲ درصد مربوط به خرابی تکیه‌گاه‌ها بوده است. (آرزومند و عباس کامنبدست ۱۳۹۷).

الگوی جریان در اطراف پایه‌های اسکله بسیار پیچیده بوده که این پیچیدگی با تشکیل حفره آبشستگی در اطراف پایه تشدید می‌شود. سامانه‌های گردابی پیچیده‌ای در اطراف پایه به وجود می‌آید که عملکرد آنها باعث حفر گودالی در اطراف پایه‌ها شده که حفره آبشستگی نامیده می‌شود. توسعه این گودال در اطراف پایه‌ها باعث خالی شدن زیر پی‌ها و در نتیجه خرابی آن‌ها و در نهایت تخریب اسکله می‌شود. دو عامل مهم باعث ایجاد چنین سامانه‌هایی

می‌شود. یکی برخورد جریان به پایه و دیگری جدا شدن جریان از پایه اسکله می‌باشد. (توحیدی و حکیم‌زاده، ۱۳۹۳). الگوی جریانی که در اطراف پایه اسکله شکل می‌گیرد به طور مستقیم یا غیرمستقیم با یکی از این دو عامل در ارتباط می‌باشد. برخورد جریان به پایه گرداب نعل اسبی^۱ را شکل داده و جدایی جریان از پایه باعث به وجود آمدن گرداب‌هایی که به گرداب برخواستگی^۲ موسومند، می‌شود. (نوری امام‌زاده‌ای و همکاران، ۱۳۹۶). الگوی جریان در اطراف یک پایه در شکل (۱) نشان داده شده است. گرداب نعل اسبی عامل اصلی فرسایش بستر ساحل در اطراف پایه اسکله به ویژه در جلوی آن می‌باشد.



شکل (۱): الگوی جریان در اطراف یک پایه استوانه (Vaghefi et al., 2016)

پس از برخورد جریان آب به دماغه اسکله، روی پایه به تناسب سرعت جریان، فشار ایجاد می‌شود و به دلیل توزیع سرعت عمودی جریان که سرعت از بستر ساحل به طرف سطح آب زیاد می‌شود، فشار دینامیکی بیشتری نیز در ترازهای بالاتر به پایه وارد شده که باعث به وجود آمدن گرادیان فشار روی پایه از بالا به پایین می‌شود. این گرادیان فشار باعث ایجاد یک جریان رو به پایین^۳ در جلو پایه می‌

کانال مستقیم، اشاره کرد. آن‌ها در بررسی‌های خود به این نتیجه رسیدند که میزان آبشستگی با افزایش فاصله آبشکن محافظ از تکیه‌گاه پل، افزایش می‌یابد و با افزایش طول آبشکن محافظ، کاهش پیدا می‌کند. سعادت‌نیا و همکاران (۱۳۸۹) دریافتند که آبشکن محافظ، قادر به کاهش ۹۵ درصدی عمق نیز با بررسی عملکرد آبشکن بر کاهش عمق و حجم آبشستگی اطراف دماغه پل در یک کانال مرکب و مستقیم آبشستگی می‌باشد.

رضا یزدانی و همکاران (۱۳۹۳) عملکرد طوقه‌های محافظ در کاهش عمق آبشستگی حول پایه استوانه‌ای قائم ثابت را بررسی کردند. از سازه‌های محافظ آبشستگی میتوان به طوقه‌ها اشاره کرد. در این تحقیق برای اولین بار، الگوی توزیع تنش برشی بستر حول پایه برای ارتفاع‌های مختلف طوقه نسبت بستر، از طریق نرم افزار FLUENT به دست آمده، از طرفی دیگر آزمایش‌هایی بر روی مدل پایه بدون محافظ و پایه‌های طوقه‌دار در آزمایشگاه هیدرولیک انجام شده و نمودارهای پیشرفت زمانی آبشستگی، مقدار عمق تعادلی آبشستگی و الگوی حفره آبشستگی اطراف پایه برای حالات مختلف طوقه به دست آمده است. در آخر نتایج تحلیل عددی و نتایج آزمایشگاهی با هم مقایسه شده، ضمن نشان دادن همسو بودن رابطه بین تنش برشی بستر و عمق آبشستگی تعادلی، مشخص گردید که طوقه‌های نزدیک بستر عملکرد مطلوب‌تری در محافظت از پایه دارند.

راهکارهای کاهش آبشستگی در اطراف پایه‌های اسکله را می‌توان به دو دسته کلی روش‌های پوششی همراه با مقاوم‌سازی بستر ساحل دریا یا رودخانه و استفاده از وسایل دگرگون‌کننده جریان دسته‌بندی نمود (Breusers and Raudkivi, 1991).

روش‌های پوششی در پایه اسکله‌ها برای مقابله با تنش‌های برشی که در طی جریان‌های شدید ایجاد می‌شود به کار رفته و به صورت سپری در برابر آن‌ها عمل می‌کنند. در حالی که هدف وسایل دگرگون‌کننده جریان گسسته کردن میدان جریان اطراف پایه‌ها و در نتیجه کاهش قدرت

شود. همچنین در ساحل، سرعت در سطح آب حداکثر نمی‌باشد، بلکه حداکثر مقدار آن کمی پایین‌تر از سطح آب به وجود می‌آید. در نتیجه در این قسمت نیز یک توزیع سرعت و به تبع آن توزیع فشار ایجاد می‌شود که باعث حرکت آب رو به بالا شده و در سطح آب در نوک پایه موجی به نام موج کمانی^۱ ایجاد می‌شود.

پیشینه تحقیق

حجت خواه و سلیمانی (۱۳۹۵)، در آزمایشی از سازه‌های محافظ در بالادست پایه‌های یک پل بر روی رودخانه در مسیر مستقیم و موازی با جریان عبوری با پنج زاویه ۱۵، ۳۰، ۴۵، ۶۰، ۷۰ درجه مختلف استفاده کردند. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که سازه محافظ با زاویه ۱۵ درجه در کاهش میزان آبشستگی عملکرد بهتری دارد.

حیدرپور و همکاران (۱۳۸۲) اثر طوق در کاهش عمق آبشستگی اطراف گروه پایه‌ها را مورد بررسی قرار دادند و نشان دادند که اثر طوق در کاهش عمق آبشستگی در پایه‌های عقبی بسیار آشکارتر از اولین پایه است. همچنین با افزایش فاصله بین پایه‌ها عمق آبشستگی نیز افزایش می‌یابد. در مطالعاتی که توسط حیدرپور و همکاران نیز صورت گرفت، اثر شکاف روی عمق آبشستگی بررسی شد. در این مطالعه طول شکاف با دو اندازه برابر عرض پایه و دو برابر آن در نظر گرفته شد. در سری اول از آزمایشات شکاف‌ها در نزدیکی بستر و در سری دوم در نزدیکی سطح آب قرار گرفت و نتایج حاصل نشان داد که حداکثر کاهش آبشستگی به وسیله شکاف‌هایی به اندازه دو برابر عرض پایه و در موقعیتی نزدیک به سطح بستر اتفاق می‌افتد. همچنین کارایی شکاف در کنترل آبشستگی موضعی نیز برای یک پایه مستطیلی پیشانی گرد بیشتر از یک پایه استوانه‌ای است.

از دیگر روش‌های کاهش آبشستگی استفاده از آبشکن‌ها می‌باشد که از جمله تحقیقات صورت گرفته در این زمینه می‌توان به مطالعات بصیرت و همکاران (۱۳۸۸) بر تأثیر آبشکن بر کاهش میزان آبشستگی تکیه‌گاه پل در

دامنه سرعت برشی از ۰/۹۹ تا ۰/۸ متغیر در نظر گرفتند. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که مهمترین عامل اثرگذار در کارایی طوقه در به تعویق انداختن عمق آبستنگی در دماغه پایه پل است. (Memar et al. (2019) به بررسی تراز نصب طوقه از سطح بستر رسوبی در کاهش میزان آبستنگی و بررسی شدت جریان بر این پدیده پرداختند. با کاهش شدت جریان از ۰/۹۵ به ۰/۹ بیشترین عمق آبستنگی به همراه طوقه‌ها به‌طور میانگین بین ۲۰ تا ۷۰ درصد کاهش می‌یابد. همچنین آنان دریافتند که نصب طوقه زیر سطح بستر رسوبی نسبت به نصب آن در یک سانتی‌متر بالای بستر، حفاظت پنج درصدی از حفره آبستنگی را در پی دارد. نتایج (Bestawy et al. (2020 بیانگر این مسئله بودند که با وجود طوقه‌های دنداندار، گسترش چاله آبستنگی به‌طور قابل ملاحظه‌ای به تأخیر می‌افتد و هر چه تعداد دندانها بیشتر باشد، کاهش بیشتری مشاهده می‌شود.

نوآوری این تحقیق نسبت به مطالعات گذشته، استفاده از سازه محافظ مثلثی است. همچنین تحقیق حاضر بر روی قوس ۹۰ درجه انجام شده است. سازه محافظ مثلثی، به صورت یک سطح زاویه‌دار در کاهش عمق آبستنگی موثر می‌باشد. کارایی سازه محافظ مثلثی به ابعاد، شیب، زبری سطح و محل نصب آن اطراف پایه نسبت به بستر بستگی دارد. زمانی که سازه مثلثی برای حفاظت از اثر آبستنگی اطراف پایه نصب می‌شود، جریان‌های پایین رونده (حلزونی) در حین برخورد به سازه محافظ از بستر منحرف شده و با کاهش سرعت و نیروی آن عمق آبستنگی کاهش می‌یابد.

مواد و روش‌ها

جهت بررسی آزمایشگاهی این تحقیق، از فلوم آزمایشگاهی واقع در آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز استفاده شد. کانال‌های ورودی و خروجی فلوم، به صورت روباز و با مقطع مستطیلی و جداره ورق پلکسی گلاس می‌باشد. طول کانال‌های مستقیم ورودی در ابتدای فلوم و خروجی در انتهای فلوم بترتیب ۴/۵ و ۲/۵ متر است. عرض و ارتفاع فلوم نیز به ترتیب ۰/۵ و ۰/۶ متر بوده و بدنه فلوم در ارتفاع ۰/۷ متری از سطح زمین قرار دارد. مسیر ورودی مستقیم (جهت ایجاد جریان یکنواخت و توسعه یافته)، کف آن از جنس ورق فلزی به ضخامت ۳

فرسایش‌دهنده جریان رو به پایین و گردابه‌های نعل اسبی اطراف پایه اسکله است (Melville and 1999).

امکان اجرا و اطمینان در هر یک از روش‌های کاهش آبستنگی، تابعی از عوامل مختلف مانند کارایی، هزینه، نگهداری و آگاهی از معایب هر روش می‌باشد. روش‌هایی که تاکنون برای کاهش آبستنگی موضعی به کار رفته است شامل استفاده از طوقه در اطراف پایه توسط Ettema (1980)، Chiew and Lim (2003)، Kumar et al. (1999)، Zarrati et al. (2006) می‌باشد.

Lim (2003) Chiew and برای اولین بار استفاده از یک سازه مثلثی در بالادست پایه را به عنوان یک روش کنترل آبستنگی تحت شرایط آب صاف و بستر زنده پیشنهاد دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که بهترین حالت استفاده از آستانه در بالادست پایه این است که آستانه عمودی باشد (زاویه آن صفر باشد)، ارتفاع آستانه بزرگ تر از ۰/۳ عمق جریان باشد و فاصله بین پایه و آستانه ۴/۴ برابر عرض پایه باشد. بیشترین کاهش آبستنگی در آزمایشات آن‌ها حدود ۵۰ درصد بود. همچنین گریمالدی و همکاران (۲۰۰۹)، در تحقیقی مشابه، این بار آستانه عمودی در پایین دست پایه را مورد مطالعه قرار دادند. آستانه به‌طور همزمان با مواد بستر (رسوبات غیر چسبنده) و در کل عرض فلوم در پایین دست پایه قرار داده شد. آن‌ها خاطر نشان کردند که استفاده از آستانه در بالادست پایه، خطر کاهش سطح بستر را به علت ایجاد آبستنگی موضعی و کلی در پایین دست به همراه خواهد داشت. همچنین آن‌ها نشان دادند که عمق آبستنگی در بهترین شکل استفاده از آستانه، ۲۶ درصد و مساحت و حجم حفره آبستنگی حدود ۸۰ درصد کاهش می‌یابد. از دیگر نتایج تحقیقات آن‌ها، کاهش آبستنگی بر اثر استفاده از ترکیب آستانه در پایین دست پایه و شکاف در پایه می‌باشد. آن‌ها با این روش، عمق آبستنگی را حداکثر ۴۵ درصد کاهش دادند و ماکزیمم کاهش مساحت و حجم حفره آبستنگی در بهترین حالت به ترتیب ۸۰ و ۹۰ درصد بدست آمد.

Tabareatani and Zarrati (2019) توسعه حفره آبستنگی را پیرامون پایه پل استوانه‌ای به‌همراه طوقه در شرایط جریان پایدار و ناپایدار مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها



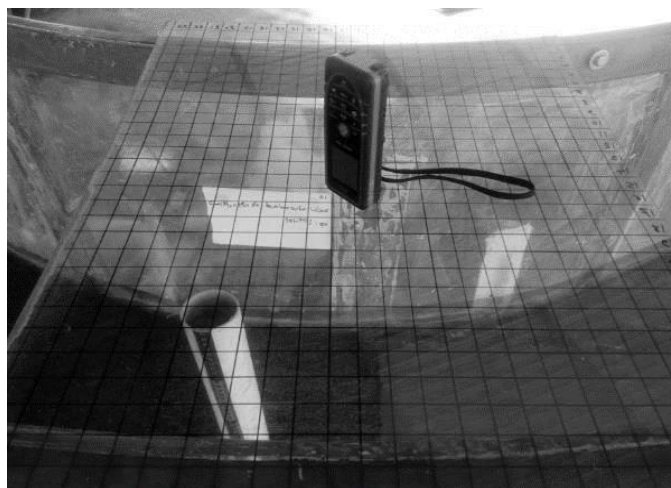
مهندسی آبیاری و آب ایران

جهت انجام آزمایشات، ابتدا پایه دایره‌ای شکل، درون رسوبات ($d_{50}=1.37\text{mm}$) قرار داده شد. سپس سازه محافظ به ترتیب زاویه به دور پایه بسته شد و روی سطح بستر قرار داده شد. این عمل به نحوی انجام شد که زیر سازه محافظ خالی نباشد. پس از پوشاندن رسوبات اطراف تکیه‌گاه و سازه محافظ، جهت یکنواختی شدن سطح ماسه-ها، از یک ارابه تسطیح کننده هم عرض فلوم که بر روی غلطک روی بستر فلوم متحرک بود استفاده شد. سپس تا رسیدن به سطح مورد نظر به خوبی کوبیده شد که با این عمل سطح بستر یکنواخت ایجاد شد. جهت اندازه‌گیری عمق رسوبات از عمق‌سنج (متر لیزری) استفاده گردید. در شکل (۳) صفحه پلکسی گلس مدرج و متر لیزری جهت ثبت عمق آبشستگی نشان داده است. همچنین در شکل (۴) پایه استوانه‌ای و در شکل (۵) سازه‌های محافظ مثلثی بکار برده شده در این تحقیق نشان داده شده است. قبل از شروع آزمایش رقوم اولیه بستر در چند نقطه از مقطع مورد نظر اندازه‌گیری و میانگین آن به عنوان رقوم اولیه بستر در نظر گرفته شد. پس از استقرار سازه حفاظتی در جای مناسب با روشن کردن پمپ و تنظیم کردن دبی، آزمایش به انجام رسید. جهت زلال ماندن جریان آب عملیات آبیگری فلوم با دقت بالایی انجام شد

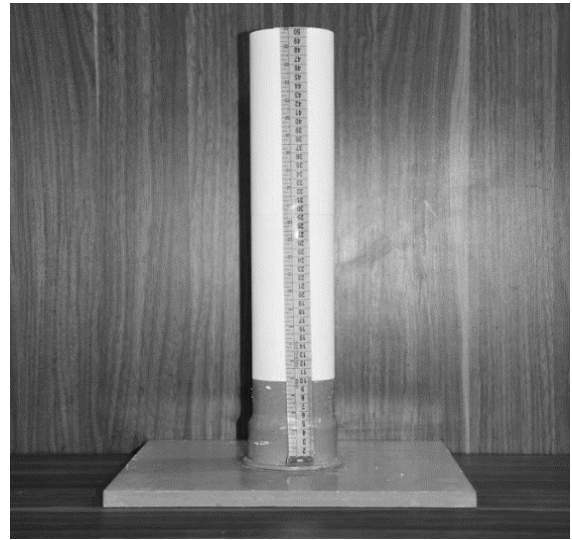
میلیمتر و دیواره‌ها از جنس پلکسی گلاس به ضخامت ۱۰ میلیمتر و به طول ۴/۵ متر ساخته شده که هم اثر زبری جداره را کاهش می‌دهد و هم پدیده‌های هیدرولیکی در محفظه قابل رویت می‌باشند، مسیر خروجی نیز مستقیم، کف آن از جنس ورق فلزی به ضخامت ۳ میلیمتر و دیواره آن از جنس پلکسی گلاس با ضخامت ۱۰ میلیمتر به طول ۲/۵ متر می‌باشد، کف فلوم بصورت بستر ثابت و بدون شیب و در حد دقت اجرایی (شیب حدود صفر) بصورت افقی ساخته شده است. در شکل (۲) فلوم آزمایشگاهی این پژوهش نشان داده شده است.



شکل (۲) فلوم مورد استفاده جهت آزمایشات



شکل (۳) صفحه پلکسی گلس مدرج و متر لیزری جهت ثبت عمق آبشستگی

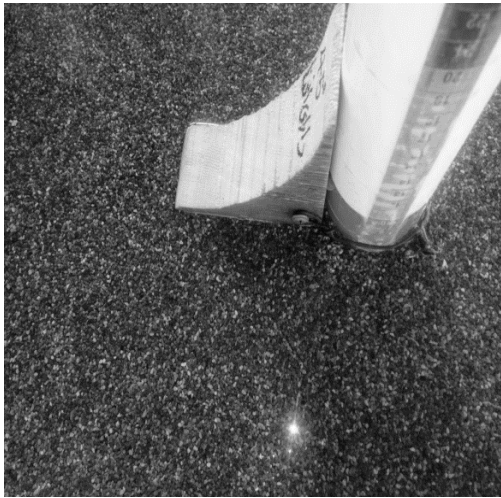


شکل (۴) پایه استوانه‌ای جهت نصب سازه‌های
محافظ مثلثی شکل (۵) سازه‌های محافظ مثلثی

زمانی ۴ ساعته افزایش نیابد. Melville and Chiew (1999) آزمایش‌های خود را زمانی متوقف کردند که عمق آبشستگی بیشتر از ۵ درصد قطر پایه طی یک دوره ۲۴ ساعته نباشد. در تحقیق حاضر یک آزمایش تعادل در بحرانی‌ترین شرایط (دبی ۱۰ لیتر بر ثانیه و پایه بدون سازه محافظ) به مدت ۳/۵ ساعت انجام شد. در پایان با رسم اعماق آبشستگی بدون بعد در مقابل زمان و با توجه به شکل (۹) منحنی توسعه آبشستگی، مشاهده شد که در مدت ۱۲۰ دقیقه اول نزدیک به ۹۵٪ آبشستگی رخ می‌دهد. لذا در کلیه آزمایشات، زمان آزمایش ۱۲۰ دقیقه در نظر گرفته شد.

اسکله‌ها با قرارگیری در مسیر جریان الگوی جریان تغییر را می‌دهند و با ایجاد الگوی جدید، منجر به تشکیل گردابه‌هایی می‌شوند که این گردابه‌ها آبشستگی موضعی را منجر می‌شوند. با توجه به پیچیدگی روابط حاکم بر این پدیده، ساخت مدل‌های آزمایشگاهی در بسیاری از موارد، لزوم ساخت مدل‌های آزمایشگاهی که بتواند جواب‌هایی هرچه نزدیکتر به واقعیت ارائه دهند، به شدت احساس می‌شود. برای نیل به اهداف یاد شده مدل فیزیکی متناسب با موضوع تحقیق ساخته شد

قبل از شروع آزمایش رقوم اولیه بستر در چند نقطه از مقطع مورد نظر اندازه‌گیری و میانگین آن به عنوان رقوم اولیه بستر در نظر گرفته شد. پس از استقرار سازه حفاظتی در جای مناسب با روشن کردن پمپ و تنظیم کردن دبی، آزمایش به انجام رسید. جهت زلال ماندن جریان آب عملیات آبیگری فلوم با دقت بالایی انجام شد. پس از روشن شدن پمپ، دریچه بالادست به آهستگی باز شد تا شدت جریان به حد مطلوب برسد و همزمان دریچه انتهایی گشوده شد تا مازاد آب ورودی از فلوم خارج شده و تا عمق جریان به عدد مورد نظر (۱۰ سانتیمتر) برسد. پس از تنظیم دقیق تراز سطح آب آزمایش به مدت ۱۲۰ دقیقه در حال انجام باقی بعد از اتمام این عملیات سازه محافظ جدا شد و تسطیح مجدد رسوبات و نصب سازه محافظ با زاویه دیگر جهت انجام آزمایش‌های بعدی صورت پذیرفت. لازم به ذکر است که عملیات مذکور، ابتدا در حالت شاهد (شکل ۶) و بعد در بالادست و پایین دست جریان با زاویه‌های مورد نظر و دبی‌های ذکر شده تکرار گردید. زمان تعادل نقش مهمی در نتایج بدست آمده از یک آزمایش آبشستگی ایفا می‌کند. Ettema (1980) زمان تعادل آبشستگی را طوری در نظر گرفت که عمق حفره آبشستگی بیشتر از یک میلی‌متر طی یک دوره



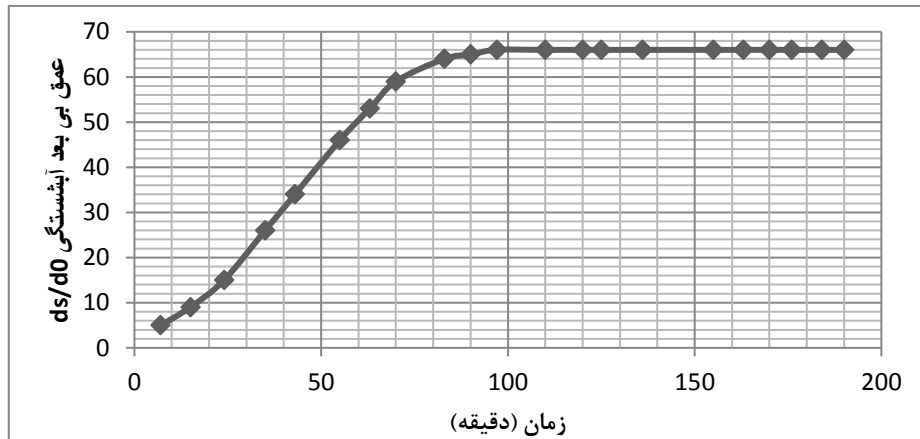
شکل (۷) سازه محافظ دارای انحناء در بالادست -



شکل (۶) آبخستگی آزمایش شاهد در دبی ۱۰ لیتر بر ثانیه



شکل (۸) سازه محافظ ۴۵ درجه در پایین دست

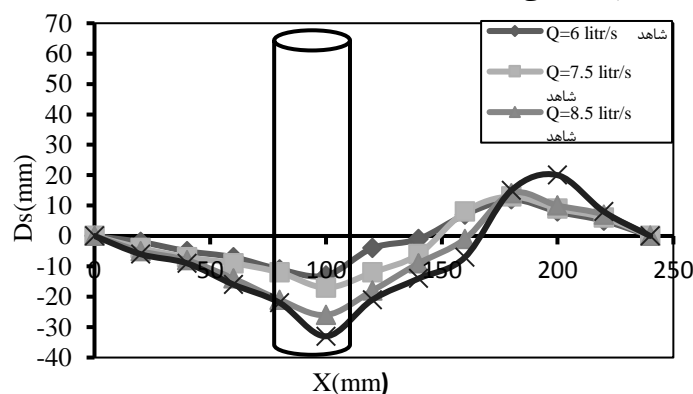


شکل (۹) منحنی توسعه زمانی آبخستگی

و استفاده از سازه‌های مثلثی با زاویه‌های متفاوت در بالادست و پایین‌دست جریان در کانال اصلی است.

نتایج و بحث

بررسی پروفیل طولی بدون سازه‌های محافظ (حالت شاهد) در شکل (۱۰) بیان شده است. پروفیل طولی برداشت شده در این حالت با استفاده از دبی‌های ۶، ۷/۵، ۸/۵ و ۱۰ لیتر بر ثانیه می‌باشد. بعد از اتمام هر آزمایش و تخلیه کامل آب درون فلوم، عمق آبخستگی در هر نقطه توسط متر لیزری برداشت و ثبت و جهت رسم نمودارها استفاده گردید.



شکل (۱۰): پروفیل طولی با دبی‌های مختلف در حالت شاهد

اطراف پایه به وجود می‌آید. و بیشترین عمق آبخستگی مربوط به دبی ۱۰ لیتر بر ثانیه می‌باشد و ملاک مقایسه نتایج می‌باشد. جهت بررسی پروفیل‌های طولی با وجود

پارامترهای موثر بر آبخستگی:

جهت انجام آنالیز ابعادی، پارامترهای موثر بر آبخستگی شناسایی و بصورت رابطه (۱) ارائه گردید.

(۱)

$$ds = f(\rho, \mu, g, y, V, D, Q, B, R, b, \phi, \theta, L, \alpha, n)$$

با استفاده از آنالیز ابعادی رابطه (۲) حاصل می‌گردد.

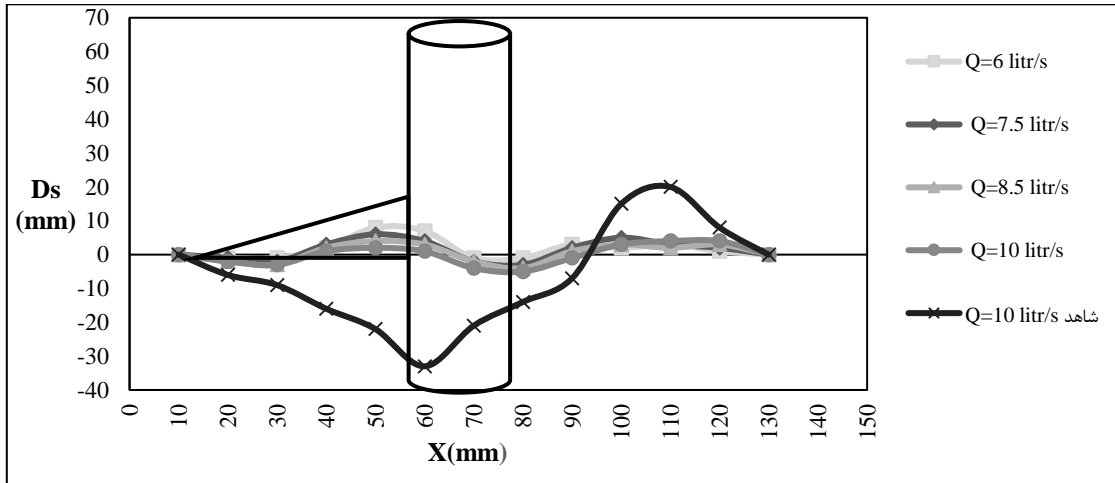
$$f\left(S, \frac{ds}{y}, Fr\right) \quad (۲)$$

پارامترهای شیب (سازه محافظ) S ، عمق آبخستگی ds/y و عدد فرود Fr ، جهت بررسی آبخستگی بدست آمد. در این تحقیق جهت مدل‌سازی جریان برخورد به پایه استوانه‌ای، مهم‌ترین هدف تعیین حداکثر عمق آبخستگی اطراف پایه با دبی‌های مختلف

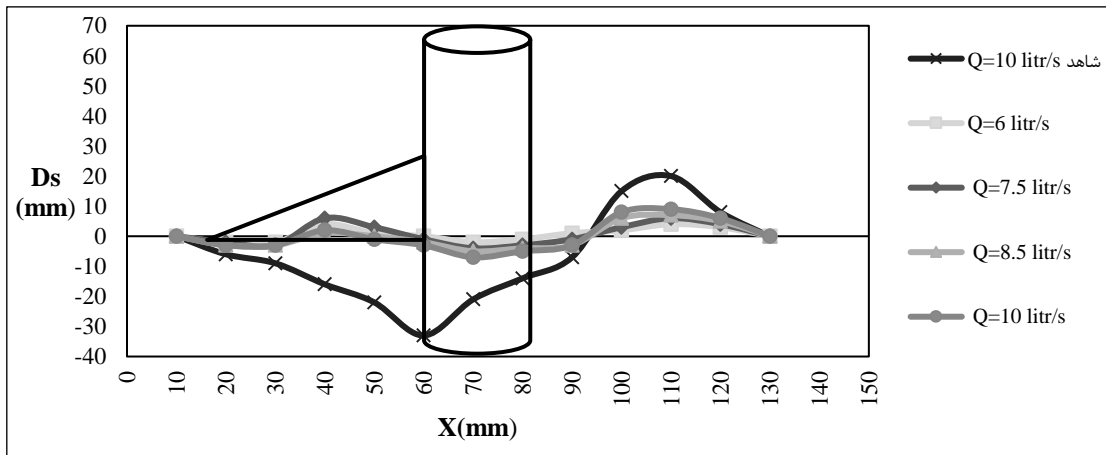
شکل (۱۰) نشان می‌دهد که با افزایش دبی میزان آبخستگی افزایش می‌یابد، دلیل هیدرولیکی آن ایجاد جریان‌های ورتکس و سرعت‌های بالاتری است که

و ۱۰ لیتر بر ثانیه بیان گردیده است. بعد از اتمام هر آزمایش و تخلیه کامل آب درون فلوم، عمق آبشستگی در هر نقطه توسط متر لیزری برداشت و ثبت و جهت رسم نمودارها استفاده گردید

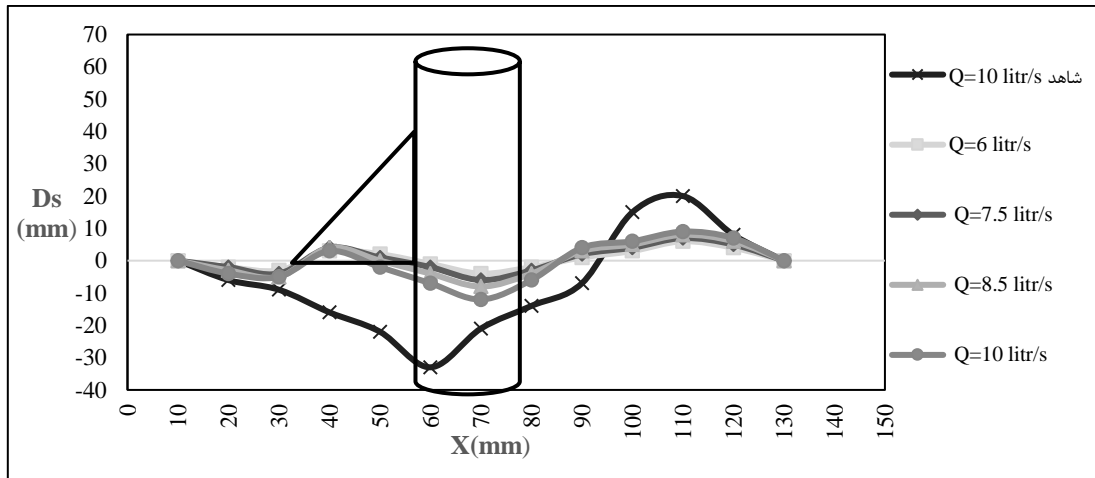
سازه‌های محافظ (بالا دست جریان) در شکل‌های (۱۱) تا (۱۵) مقایسه‌ای بین میزان عمق آبشستگی ایجاد شده میان پایه و با حضور سازه‌های محافظ با زاویه‌های ۱۵، ۳۰، ۴۵ و ۶۰ درجه و سازه محافظ دارای انحناء به صورت مجزا در بالادست جریان با دبی‌های ۶، ۷/۵، ۸/۵



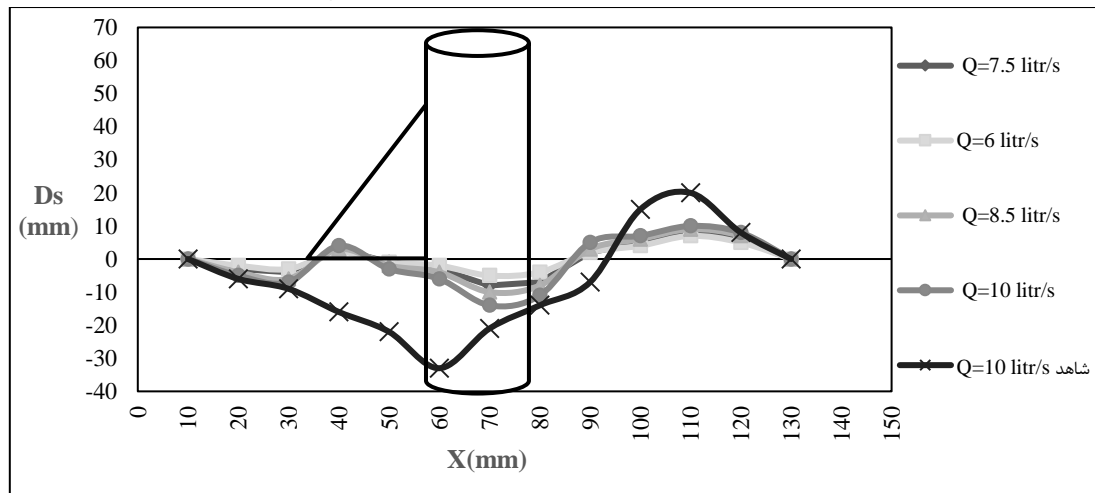
شکل (۱۱) مقایسه تاثیر سازه محافظ ۱۵ درجه در بالادست جریان با حالت شاهد



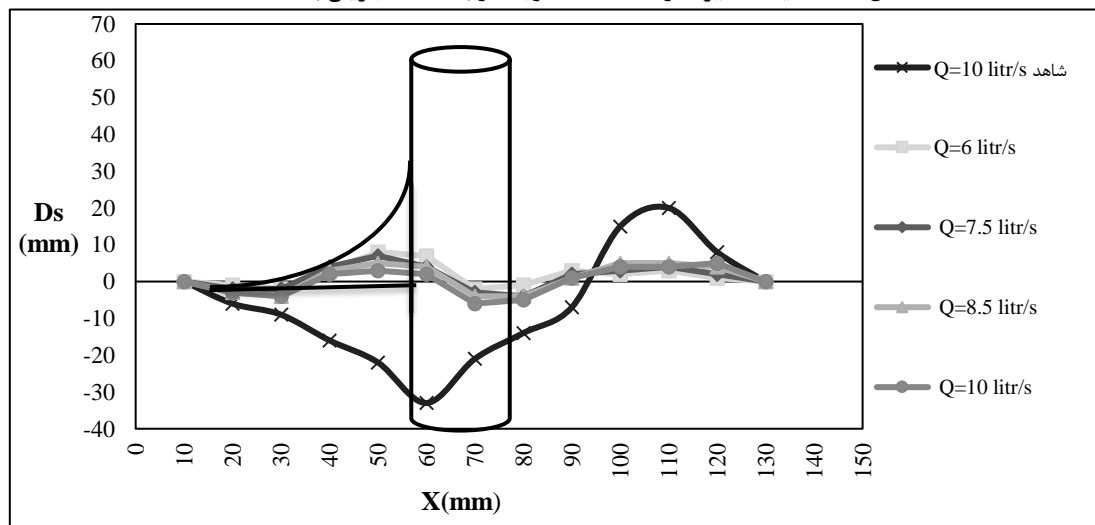
شکل (۱۲) مقایسه تاثیر سازه محافظ ۳۰ درجه در بالا دست جریان با حالت شاهد



شکل (۱۳) مقایسه تاثیر سازه محافظ ۴۵ درجه در بالا دست جریان با حالت شاهد



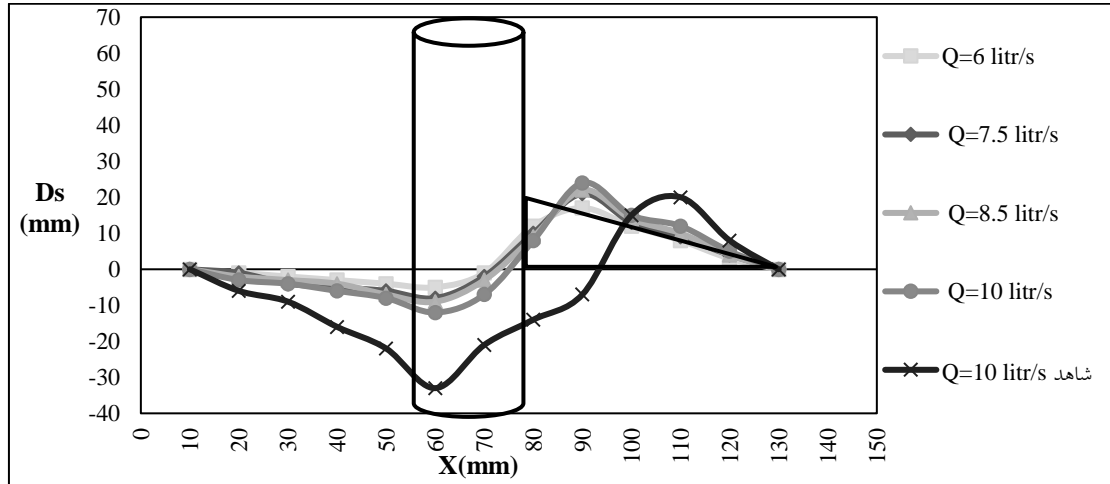
شکل (۱۴) مقایسه تاثیر سازه محافظ ۶۰ درجه در بالا دست جریان با حالت شاهد



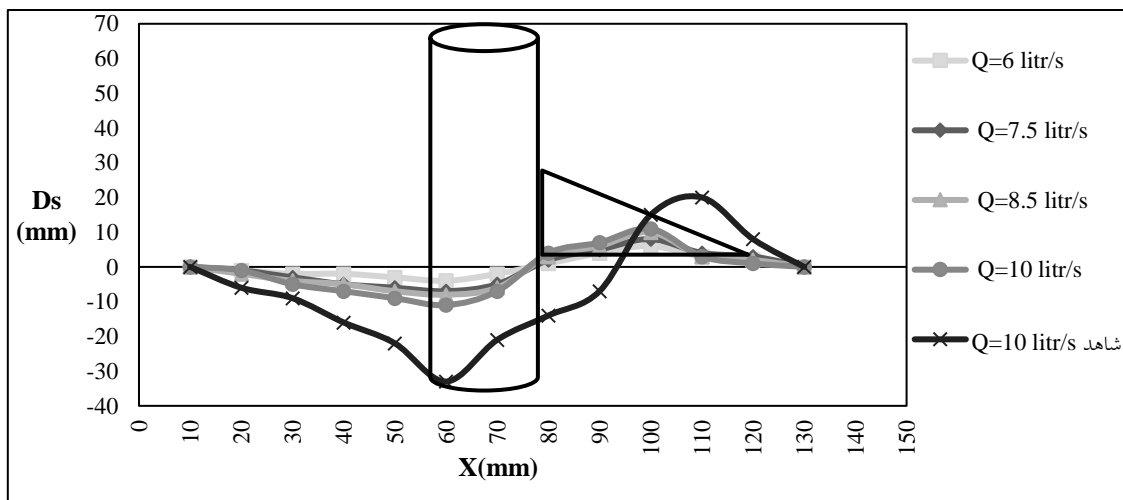
شکل (۱۵) مقایسه تاثیر سازه دارای انحناء در بالا دست جریان با حالت شاهد

محافظ ۱۵ درجه به دلیل انحراف خطوط سرعت از سطح رسوبی، میزان آبشستگی را نسبت به سایر سازه های محافظ کاهش چشم گیری داده است.

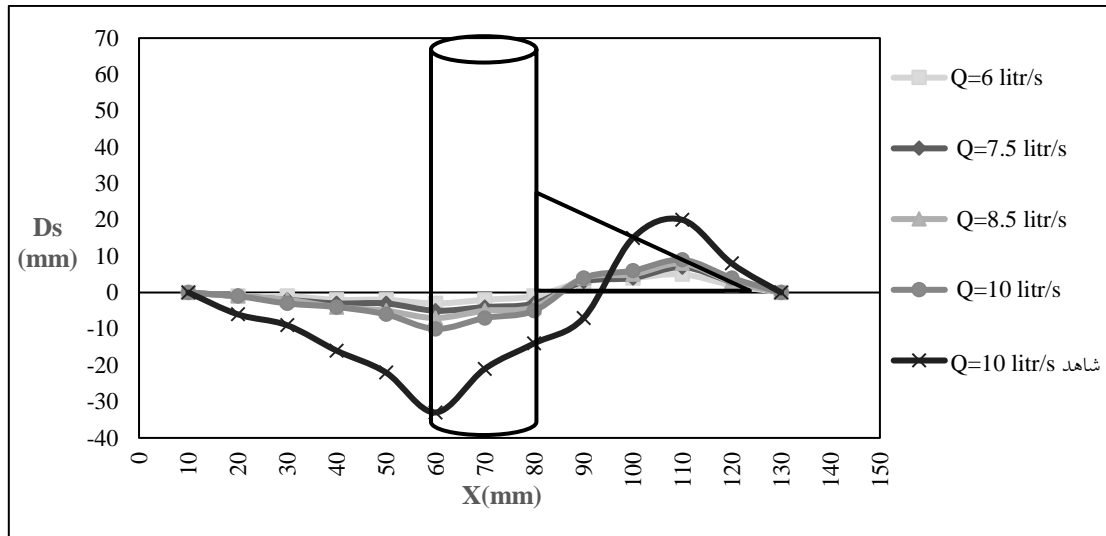
همانطور که در شکل های ۱۱ تا ۱۵ مشاهده می شود، با افزایش دبی عمق آبشستگی افزایش یافته است، اما سازه های حفاظتی توانسته اند عمق آبشستگی را در دبی های یاد شده کاهش دهند. همچنین در سازه



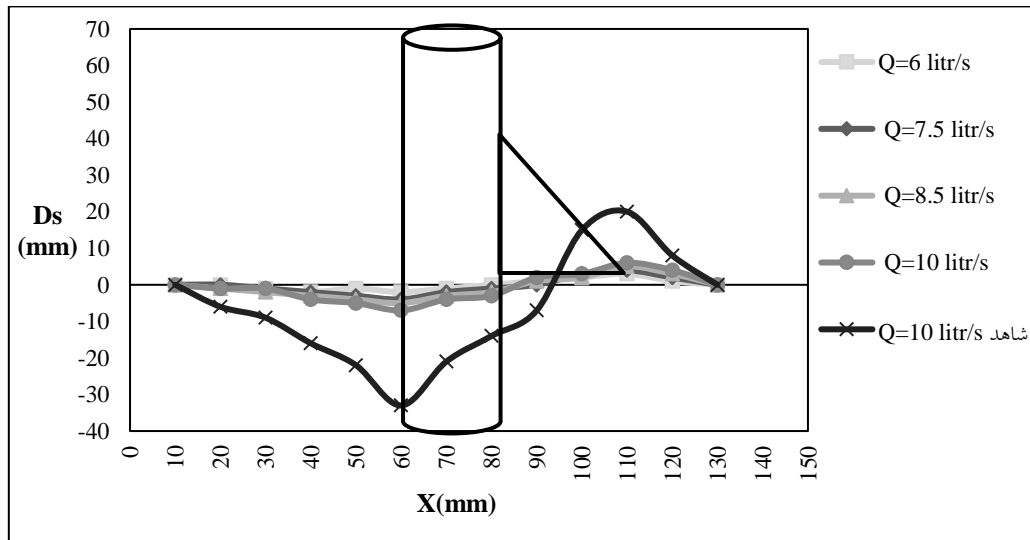
شکل (۱۶) مقایسه تاثیر سازه محافظ ۱۵ درجه در پایین دست جریان با حالت شاهد



شکل (۱۷) مقایسه تاثیر سازه محافظ ۳۰ درجه در پایین دست جریان با حالت شاهد



شکل (۱۸) مقایسه تاثیر سازه محافظ ۴۵ درجه در پایین دست جریان با حالت شاهد



شکل (۱۹) مقایسه تاثیر سازه محافظ ۶۰ درجه در پایین دست جریان با حالت شاهد

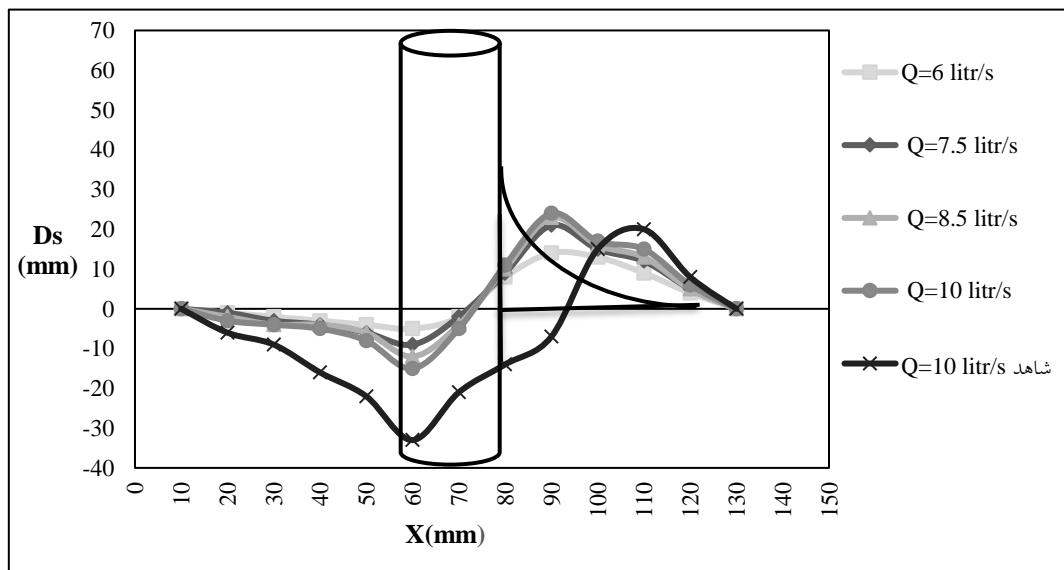
تائیه می باشند. همانطور که از نمودارها مشاهده می-شود با افزایش دبی عمق آبشستگی افزایش یافته است، اما سازه‌های حفاظتی توانسته‌اند عمق آبشستگی را در دبی‌های یاد شده کاهش دهند. از طرفی در سازه محافظ ۶۰ درجه به دلیل انحراف خطوط سرعت از سطح رسوبی، میزان آبشستگی را نسبت به سایر سازه‌های محافظ کاهش چشم گیری داده است. علت کاهش عمق آبشستگی در سازه حفاظتی را می توان این گونه توجیه کرد که سازه محافظ به دلیل داشتن سطح مقطع در جهت عمود بر جریان، سرعت جریان آب برخوردی را کاهش داده و در نتیجه سرعت جریان‌های پایین رونده باعث تولید گرداب‌های نعل اسبی می‌شوند را کاهش

علت کاهش عمق آبشستگی در سازه حفاظتی را می‌توان اینگونه توجیه کرد که سازه محافظ به دلیل داشتن سطح مقطع در جهت عمود بر جریان، سرعت جریان آب برخوردی را کاهش داده و در نتیجه سرعت جریان‌های پایین رونده که باعث تولید گرداب‌های نعل اسبی می‌شوند را کاهش دهند و عمل فرسایش کف را کم و یا به تعویق بی‌اندازند. شکل‌های (۱۶) تا (۱۹) مقایسه‌ای بین میزان عمق آبشستگی ایجاد شده میان پایه اسکله و سازه‌های محافظ با زاویه‌های (۱۵، ۳۰، ۴۵، ۶۰) درجه و سازه محافظ دارای انحناء در پایین دست جریان با دبی های (۶، ۷/۵، ۸/۵، ۱۰) لیتر بر

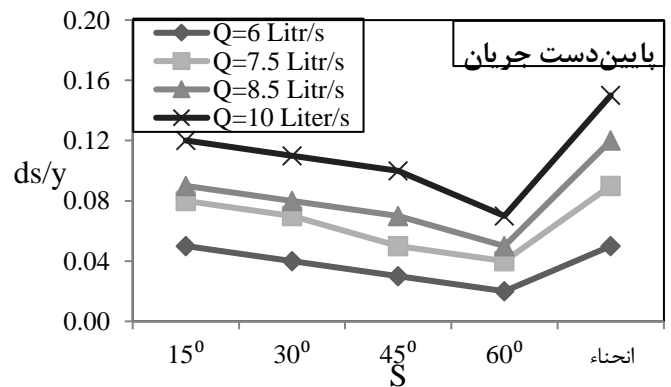
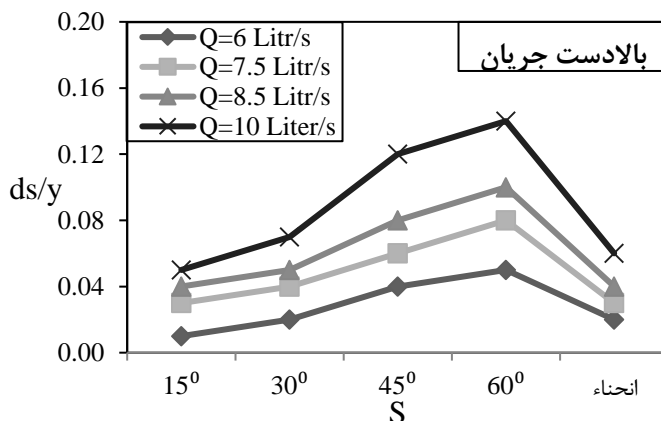
حاصل کرده است و مطابق شکل (۲۱) استفاده از سازه‌های محافظ در پایین دست جریان نتیجه معکوسی داشته است، یعنی با افزایش شیب سازه محافظ، نسبت بدون بعد ds/y کم شد. پروفیل‌های مقایسه نسبت عمق رسوب حداکثر به عمق جریان با تغییرات عدد فرود و با سازه‌های محافظ متفاوت در بالا و پایین دست جریان و حالت شاهد ترسیم و نتایج مورد بررسی قرار گرفت (شکل‌های ۲۱ و ۲۲).

دهند و عمل فرسایش کف را کم و یا به تعویق بی-اندازند. پروفیل‌های مقایسه نسبت عمق رسوب ماکزیمم به عمق جریان با دبی‌های مختلف و با سازه‌های محافظ متفاوت در بالا و پایین دست جریان ترسیم گردید و نتایج را مورد بررسی قرار گرفت که در شکل‌های ۲۰ و ۲۱ نشان داده شده است.

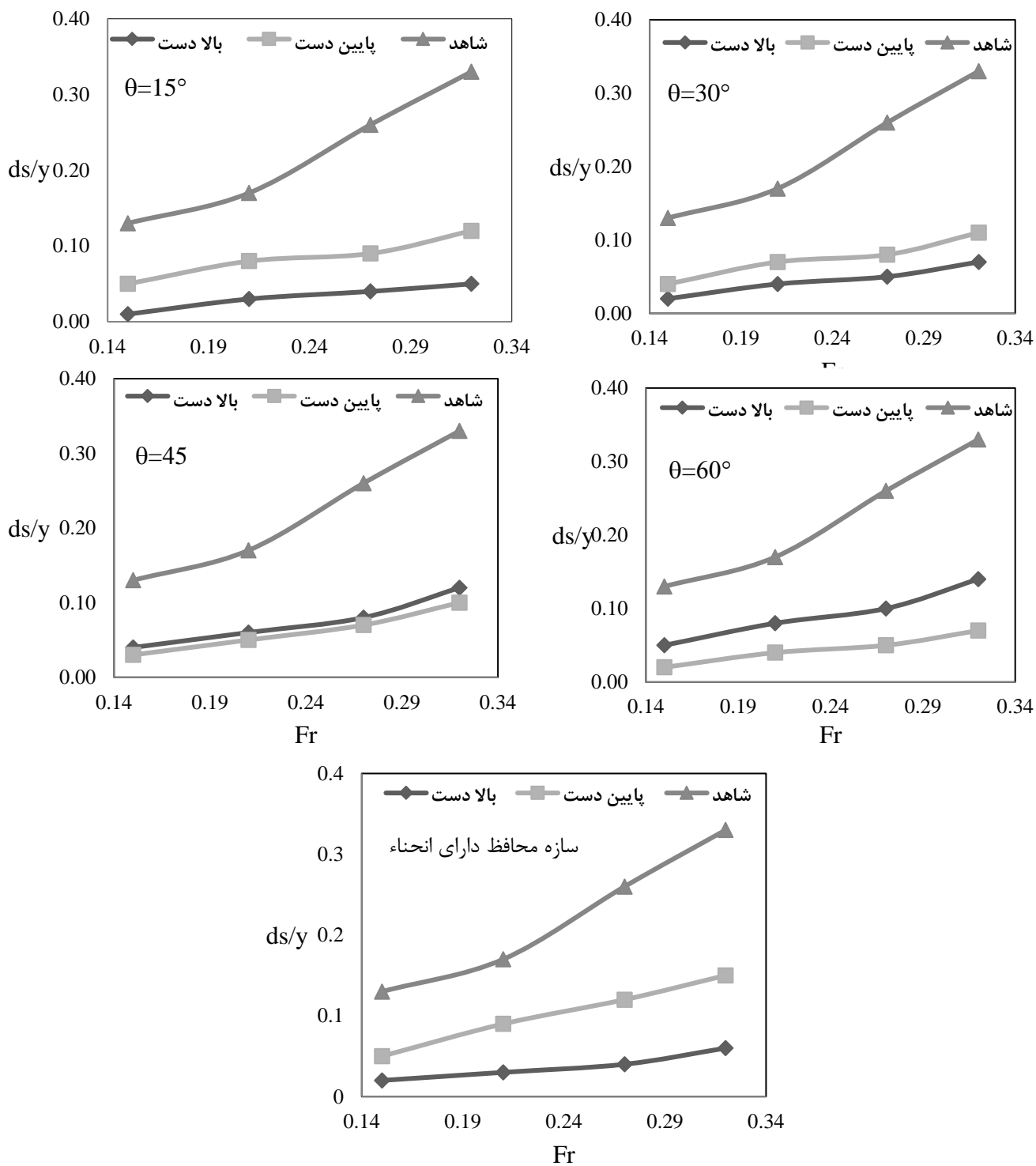
مطابق شکل (۲۰) با افزایش شیب (در تمام دبی‌ها) نسبت بدون بعد ds/y افزایش یافته است. لازم به ذکر است که سازه محافظ دارای انحناء، نتیجه مطلوبی



شکل (۲۰) مقایسه تاثیر سازه دارای انحناء در پایین دست جریان با حالت شاهد



شکل (۲۱) پروفیل نسبت عمق رسوب ماکزیمم به عمق جریان با سازه‌های محافظ متفاوت در بالا دست و پایین دست جریان

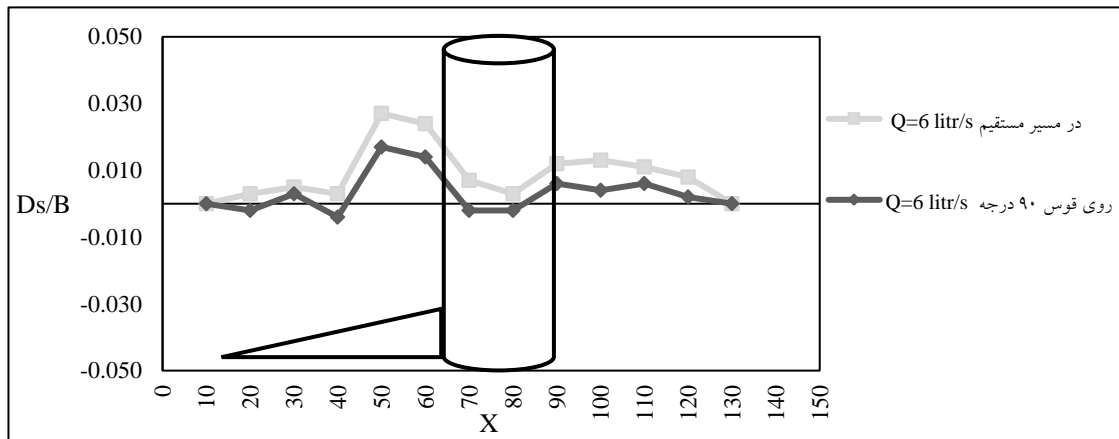


شکل (۲۲) مقایسه بین نسبت عمق رسوب ماکزیمم به عمق جریان با عدد فرود و با سازه محافظ در بالا دست و پایین دست جریان و در حالت شاهد



سلیمانی بابرصاد (۱۳۹۵) می‌باشد که از لحاظ داده‌ها و مشخصات فلوم و قطر ذرات رسوبی و... هم‌خوانی مطلوبی با یکدیگر داشتند. لازم به ذکر است که تحقیق حاضر بر روی قوس ۹۰ درجه انجام شده و تحقیق گذشته حجت خواه و سلیمانی بابرصاد (۱۳۹۵) بر روی مسیر مستقیم جریان انجام پذیرفته است. نمودارهای فوق نشان می‌دهد که سازه محافظ عملکرد بهتری روی قوس ۹۰ درجه نسبت به مسیر مستقیم جریان داشته است

مطابق شکل‌های (۲۱) و (۲۲)، بیشترین عمق آبشستگی مربوط به حالت شاهد می‌باشد. از طرفی با بررسی نتایج مشخص شد با افزایش عدد فرود عمق آبشستگی افزایش می‌یابد که علت آن، کنترل خطوط جریان‌های ثانویه در بالا دست می‌باشد. این موضوع در تمام زوایای سازه‌های محافظ بررسی شد و نشان داد که سازه‌های محافظ در پایین دست عملکرد معکوسی نسبت به بالا دست جریان دارند. شکل (۲۳) نتایج مقایسه یکی آزمایشات حاضر با تحقیق حجت خواه و



شکل (۲۳) عمق آبشستگی در مسیر مستقیم در مقایسه با عمق آبشستگی روی قوس ۹۰ درجه با محافظ ۱۵ درجه

نتیجه گیری

عمق آبشستگی را کاهش داده‌اند. همچنین سازه‌های محافظ مثلی دارای انحناء و زوایای ۱۵، ۳۰، ۴۵ و ۶۰ درجه در پایین دست جریان با دبی حداکثری ۱۰ لیتر بر ثانیه در مقایسه با آزمایش شاهد با دبی ۱۰ لیتر بر ثانیه به ترتیب ۵۴، ۷۸، ۶۳، ۶۶ و ۶۹ درصد عمق آبشستگی را کاهش داده‌اند. با افزایش عدد فرود عمق آبشستگی افزایش می‌یابد. این موضوع در تمام زوایای سازه‌های محافظ بررسی شد و نتایج نشان داد که سازه‌های محافظ در پایین دست عملکرد معکوسی نسبت به بالادست جریان دارند. همچنین سازه‌های محافظ عملکرد بهتری از لحاظ کاهش عمق آبشستگی اطراف پایه روی قوس ۹۰ درجه نسبت به مسیر مستقیم جریان دارند. با افزایش شیب سازه‌های محافظ در بالا دست جریان، سرعت جریان‌های حلزونی اطراف پایه

در این پژوهش اثر کاربرد سازه‌های مثلی بر کاهش آبشستگی اطراف پایه‌های اسکله ساحلی به صورت آزمایشگاهی مورد بررسی قرار گرفت. در این تحقیق که در یک فلوم آزمایشگاهی با قوس ۹۰ درجه انجام گرفت، سازه‌های محافظ مثلی با زوایای ۱۵، ۳۰، ۴۵ و ۶۰ درجه و یک سازه مثلی دارای انحناء در نظر گرفته شد. همچنین آزمایشات با دبی‌های ۶، ۷/۵، ۸/۵ و ۱۰ لیتر بر ثانیه انجام شد. نتایج این تحقیق نشان داد که سازه‌های محافظ مثلی دارای انحناء و زوایای ۱۵، ۳۰، ۴۵ و ۶۰ درجه در بالادست جریان با دبی حداکثری ۱۰ لیتر بر ثانیه در مقایسه با آزمایش شاهد با دبی ۱۰ لیتر بر ثانیه به ترتیب ۸۱، ۵۷، ۸۴، ۷۸ و ۶۳ درصد

بنابراین عمق آبشستگی نیز کم می‌شود. سازه محافظ دارای انحناء در بالا دست جریان عملکرد بسیار مطلوب و در پایین دست جریان عملکرد ضعیف‌تری نسبت به سایر سازه‌های محافظ داشت.

افزایش یافته بنابراین عمق آبشستگی نیز افزایش می‌یابد و با افزایش شیب سازه‌های محافظ در پایین دست جریان، جریان عبوری به پهلوی سازه محافظ برخورد می‌کند و سرعت آن کاهش می‌یابد و به همین ترتیب سرعت جریان‌های حلزونی اطراف پایه کاهش می‌یابد.

منابع

- احمدی، م. م.، حسین‌نژاد، م.، رحیم‌پور، م. (۱۳۹۴). بررسی آزمایشگاهی اثر آستانه در کنترل آبشستگی اطراف پایه‌های پل در رسوبات چسبنده. نشریه مهندسی آبیاری و آب ایران، سال پنجم، شماره ۲۰.
- آرزومند، ف.، کمانبدست، ا.ع. (۱۳۹۷). بررسی اثر استفاده از کابل در اطراف پایه‌های اسکله جهت کاهش عمق آبشستگی. نشریه علمی علوم و مهندسی آب، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز، سال ۸، شماره ۲۰، صفحات ۸۹-۹۹.
- بصیرت، ش.، صانعی، م.، ساغروانی، ف. (۱۳۸۸). کاهش میزان آبشستگی تکیه گاه پل با استفاده از آبشکن محافظ. هشتمین کنفرانس بین‌المللی مهندسی عمران. دانشگاه شیراز. ۲۱ تا ۲۳ اردیبهشت ۱۳۸۸.
- توحیدی، ح. ر.، حکیم‌زاده، ح. (۱۳۹۳). بررسی تجربی و عددی فرایند آبشستگی در اطراف پایه های بامرزهای جانبی متناسب با پروفیل سرعت تحت جریان دائمی. نشریه هیدرولیک، دوره ۹، شماره ۴.
- حجت خواه، ا.، سلیمانی بابرصاد. م. (۱۳۹۵). بررسی آزمایشگاهی اثر سازه های حفاظتی بر روی کاهش عمق آبشستگی اطراف پایه های پل، همایش ملی آب و سازه های هیدرولیکی، دزفول.
- حیدرپور، م.، ح.، افضلی مهر، م.، نادری نبی. (۱۳۸۲). کنترل و کاهش آبشستگی موضعی در پایه های پل با مقاطع مستطیلی گرد گوشه با استفاده از شکاف. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک (۷) ۳: ۲۳-۲۷.
- سعادت نیا، م.، خدائناس، س.، اسماعیلی، ک. (۱۳۸۹). تحلیل آزمایشگاهی عملکرد آبشکن بر کاهش عمق و حجم آبشستگی اطراف دماغه پل، کنگره ملی مهندسی عمران، مشهد.
- یزدانی، ر.، مجتهدی، ع.، لطف‌اللهی یقین، م.ع. (۱۳۹۳). بررسی عملکرد طوقه های محافظ در کاهش عمق آبشستگی حول پایه استوانه ایی قائم ثابت، نشریه مهندسی دریا.
- عالم، ز.، قمیچی، م.، محمدی، س. (۱۳۹۱). کاربرد طوق در کاهش آبشستگی تکیه‌گاه مستطیلی پل در کانال مرکب. فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب، سال سوم، شماره ده.
- Breusers, H.N.C. and Raudkivi, A.J. 1991. Scouring, Hydraulic structures design manual, volume 2, Balkema, Rotterdam.
- Bestway, A., Eltaway, T., Alsaluli, A., Almaliki, A. and Alqurashi, M. (2020). Reduction of local scour around a bridge pier by using different shapes of pierslots and collars. J. Water Supply, 20 (3), 1006-1015.
- Chiew, Y. M. and S. Y. Lim, 2003. Protection of bridge piers using a sacrificial sill. Proc. ICE Water, Maritime and Energy 156(1): 53-62.
- Ettema, R. 1980. Scour at bridge pier, Dept of civil Engineering university of Auckland, New Zealand, No. 216.
- Grimaldi, C., Gaudia, R., Calomino, F. and Cardoso, A. H. 2009. Countermeasures against local scouring at bridge piers. slot.
- Kumar, V., Ranga Raju, K. G. and Vittal, N. 1999. Reduction of local scour around bridge piers using slots and collars.



Melville, B.W. and Chiew, Y.M. 1999. Time Scale for local scour at bridge piers, Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol. 125, No. 1, pp. 59-65. 118(9), 1260- 1269.

Memar, S., Kermani, M., Rahimpour, M., Decesare, G. and Schless, A. (2019). Influence of collars on reduction in scour depth at two piers in a tandem configuration. Polish academy of science & polish academy science .

Tabarestani, M. and Zarrati, A. (2019). Local scour depth at a bridge pier protected by a collar in steady and unsteady flow. J. Water Management. 126(6), 301-311.

Vaghefi, M., Ghodsian, M., Salimi, S. 2016. The effect of circular bridge piers with different inclination angles toward downstream on scour. Indian Academy of Sciences, DOI: 10.1007/s12046-015-0443-x.

Zarrati, A.R., Nazariah, M. and Mashahir, M.B. 2006 Reduction of local scour in the vicinity of bridge pier. groups using collars and riprap. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 132(2), 154-162.



Experimental Investigation of Scouring Around the Coastal Pier with the Triangular Structures

Mostafa Farajian^۱, Amir Abbas Kamanbedast^{۲*}, Ali Salajegheh^۳, Mohammad Ansari Ghojghar^۴, Ehsan Parsi^۵

Abstract:

Scouring is a natural phenomenon that occurs as a result of the erosive factor of water flow. Due to the impact of water on the base of the pier, vortices called horseshoe vortices are formed. Horseshoe vortices are more active in front of the base, which is the main cause of scouring. In this study, the effect of using triangular structures on reducing scour around the pier bases was investigated in a laboratory. This research was used in a laboratory flume with a 90-degree arc. Triangular protective structures with angles of the 15, 30, 45 and 60 degrees and a curved triangular structure were considered. Experiments were performed at the 6, 7.5, 8.5 and 10 liters per second. The results showed that the installation of triangular protective structures at a maximum flow rate of the 10 liters per second, can reduce the scour depth flow up to 84 and 78 percent, respectively, upstream and downstream. The best performance is for the 15° upstream protection structure as well as the 60° downstream protection structure. The results show that the scour depth increases with increasing landing number. Also, the curved protective structure had a benign performance current upstream and a lower performance current downstream than other protective structures.

Keywords: Dock Basement, Sediment, Scouring, Triangular Protective Structures.

¹ Master of Science, Department of Water Science Engineering, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran, mostafa.farajhan@gmail.com

² Assistant Professor, Department of Water Science Engineering, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran, (*Corresponding Author: ka57_amir@yahoo.com)

³ Professor, Department of Watershed Engineering Faculty of Natural Resources University of Tehran, Iran, salajegh@ut.ac.ir

⁴ Ph.D. Candidate, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran, ansari.ghojghar@ut.ac.ir

⁵ Ph.D. Candidate, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Islamic Azad University Ahvaz, Ahvaz, Iran, ehsan-parsi@iauahvaz.ac.ir

Research Paper

Experimental Investigation of Scouring Around the Coastal Pier with the Triangular Structures

Mostafa Farajian¹, Amir Abbas Kamanbedast^{2*}, Ali Salajegheh³, Mohammad Ansari Ghojghar⁴, Ehsan Parsi⁵,

¹ Master of Science, Department of Water Science Engineering, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran, mostafa.farajhan@gmail.com

² Assistant Professor, Department of Water Science Engineering, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran, (*Corresponding Author: ka57_amir@yahoo.com)

³ Professor, Department of Watershed Engineering Faculty of Natural Resources University of Tehran, Iran, salajegh@ut.ac.ir

⁴ Ph.D. Candidate, Department of Irrigation and Reclamation Engineering, College of Agriculture and Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran, ansari.ghojghar@ut.ac.ir

⁵ Ph.D. Candidate, Department of Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Islamic Azad University Ahvaz, Ahvaz, Iran, ehsan-parsi@iauahvaz.ac.ir



10.22125/IWE.2021.254108.1432.

Received:
October 24, 2020
Accepted:
January 13, 2021
Available online:
March.13.2022

**Keywords: Dock
Basement, Sediment,
Scouring, Triangular
Protective Structures.**

Abstract

Scouring is a natural phenomenon that occurs as a result of the erosive factor of water flow. Due to the impact of water on the base of the pier, vortices called horseshoe vortices are formed. Horseshoe vortices are more active in front of the base, which is the main cause of scouring. In this study, the effect of using triangular structures on reducing scour around the pier bases was investigated in a laboratory. This research was used in a laboratory flume with a 90-degree arc. Triangular protective structures with angles of the 15, 30, 45 and 60 degrees and a curved triangular structure were considered. Experiments were performed at the 6, 7.5, 8.5 and 10 liters per second. The results showed that the installation of triangular protective structures at a maximum flow rate of the 10 liters per second, can reduce the scour depth flow up to 84 and 78 percent, respectively, upstream and downstream. The best performance is for the 15° upstream protection structure as well as the 60° downstream protection structure. The results show that the scour depth increases with increasing landing number. Also, the curved protective structure had a benign performance current upstream and a lower performance current downstream than other protective structures.

1. Introduction

The bridge defeat caused by overall scouring in foundation (including base and support), the necessity of studying the forecast of scour and protection ways to protect against it is completely clear (Alam et al., 2012). The scouring phenomenon is a serious threat to sustainability of structures in the flow path, such as the base of docks and bridges. Due to whole scour around the pier base, it weakens its stability and may be degraded by a large tsunami or flood. If the cylindrical base is vertically flowed on the pathway, the flow of water around it and the vortex flows are created around it. Innovation of this research relative to previous studies is the use of triangular protective structures. The present study was also performed on a 90 degree arc.

2. Materials and Methods

This research was used in a laboratory flume with a 90-degree arc. Triangular protective structures with angles of the 15, 30, 45 and 60 degrees and a curved triangular structure were considered. Experiments were performed at the 6, 7.5, 8.5 and 10 liters per second. The results showed that the installation of triangular protective structures at a maximum flow rate of the 10 liters per second, can reduce the scour depth flow up to 84 and 78 percent, respectively, upstream and downstream. The best performance is for the 15° upstream protection structure as well as the 60° downstream protection structure.

3. Results

The results showed that the installation of triangular protective structures at a maximum flow rate of the 10 liters per second, can reduce the scour depth flow up to 84 and 78 percent, respectively, upstream and downstream. The best performance is for the 15° upstream protection structure as well as the 60° downstream protection structure. The results show that the scour depth increases with increasing landing number. Also, the curved protective structure had a benign performance current upstream and a lower performance current downstream than other protective structures.

4. Discussion and Conclusion

The longitudinal profile in the control mode (without protective structures) is used using 6, 7.5, 8.5 and 10 liters per second. The results showed that the amount of scour increases with increasing Dubai. To examine longitudinal profiles, due to protective structures (high-current) structures, a comparison between the amount of scour depth between the base and with the presence of protective structures with angle 15, 30, 45 and 60 degrees and curvature protective structures Separate in upstream flow with Debians 6, 7.5, 8.5 and 10 liters per second. With increasing Dubai, the scour depth has increased, but protective structures have been able to reduce the scour depth in the discharge. With increasing slope (in all discharge), the ratio without dimension of ds/y has increased. By examining the results, it was determined by increasing the descent of the scour depth, due to the control of secondary flow lines in the upper hand. This subject was investigated at all angles of protective structures and showed that protective structures are currently in touch with the upper hand.

5. Six important references

1. Alem, Z., Ghomeshi, M., Mohammadi, S. 2013. The application of collar on the scour reduction at bridge rectangular abutment in composit channel. *Irrigation and Water Engineering*, 3(2), 29-41.
2. Chiew, Y. M. and S. Y. Lim, 2003. Protection of bridge piers using a sacrificial sill. *Proc. ICE Water, Maritime and Energy* 156(1): 53–62.
3. Ettema, R. 1980. Scour at bridge pier, Deprt of civil Engineering university of Auckland, New zealand, No. 216.
4. Hojat khah, A., Soleimani Babersad, M. 1395. Laboratory study of the effect of protective structures on reducing scour depth around bridge bases, national water conference and hydraulic structures, Dezful.
5. Tabarestani, M. and Zarrati, A. (2019). Local scour depth at a bridge pier protected by a collar in steady and unsteady flow. *J. Water Management*. 126(6), 301-311.
6. Vaghefi, M., Ghodsian, M., Salimi, S. 2016. The effect of circular bridge piers with different inclination angles toward downstream on scour. *Indian Academy of Sciences*, DOI: 10.1007/s12046-015-0443-x.

Conflict of Interest

Authors declared no conflict of interest.