

پذیرفته شده پیش از انتشار

اثر طوقه مشبک بر آبستگی موضعی پیرامون گروه پایه‌های استوانه‌ای پل

نسرین بهرامی^۱ و مهدی قمشی^{۲*}

۱- دانشجوی دکتری سازه‌های آبی، دانشگاه لرستان

۲- استاد گروه سازه‌های آبی، دانشگاه شهید چمران اهواز، m.ghomeshi@yahoo.com

چکیده

مسئله‌ی آبستگی پایه‌های پل چندین دهه است که مورد توجه متخصصان علم هیدرولیک بوده است. تاکنون روش‌های مختلفی به منظور مهار آبستگی پیشنهاد گردیده که استفاده از طوقه مشبک یکی از این روش‌ها می‌باشد. در این تحقیق اثر حضور طوقه‌های مشبک بر آبستگی گروه پایه‌های استوانه‌ای پل در شرایط جریان زلال بررسی گردید. بدین منظور از فلومی به طول ۶ متر و عرض ۷۳ سانتی‌متر استفاده شد و تأثیر طوقه با بازشدگی ۰، ۳۰، ۵۰ و ۷۰ درصد در ترازهای ۰/۵D بالای بستر (D قطر پایه می‌باشد) و روی بستر طی ۹ آزمایش مورد بررسی قرار گرفت. در تراز روی بستر تمام طوقه‌ها از کارایی بالایی برخوردار بودند و طوقه ۳۰ درصد مشبک توانست آبستگی اطراف پایه اول را کاملاً کنترل نماید. در تراز ۰/۵D نیز طوقه ۳۰ درصد مشبک، ۵۸ درصد عمق آبستگی را نسبت به حالت بدون طوقه کاهش داد، در حالی که کارایی طوقه‌های ۰، ۵۰ و ۷۰ درصد مشبک در این تراز به ترتیب برابر ۴، ۰ و ۱۵ درصد بود. به طور کلی با کاهش تراز طوقه بر کارایی آن افزوده گردید.

کلید واژه‌ها: آبستگی موضعی، گروه پایه استوانه‌ای، جریان زلال، طوقه مشبک، مهار آبستگی.

مقدمه

al. (2015) با بررسی اثر استفاده از صفحات مستغرق روی تکیه‌گاه پل تحت زوایا و موقعیت‌های مختلف عنوان نمودند که صفحه مستغرق با زاویه ۴۰ درجه نسبت به افق علاوه بر دور کردن آبستگی از تکیه‌گاه، ۹۵ درصد عمق آبستگی را نیز کاهش داد. طوقه که موضوع مورد بحث در این پژوهش می‌باشد، یک صفحه نازک است که به صورت افقی در اطراف پایه نصب می‌گردد و مانع از برخورد جریان پایین‌رونده به سطح بستر می‌گردد. Singh et al. (2001) مشاهده نمودند که طوقه به قطر ۲/۵D بر روی بستر، آبستگی پایه استوانه‌ای را بطور کامل کنترل کرد؛ در حالی که برای طوقه‌های با عرض ۱/۵D و ۲D در همین تراز به ترتیب ۵۰ و ۶۸ درصد از میزان آبستگی کاسته شد. Zarrati et al. (2006) با بررسی آبستگی پیرامون گروه پایه استوانه‌ای دوتایی مشاهده نمودند که ترکیب طوقه پیوسته و سنگ‌چین آبستگی پایه جلویی را ۵۰ درصد کاهش داد؛ در حالی که طوقه‌های مستقل و پیوسته آبستگی این پایه را به ترتیب ۳۰ و ۲۵ درصد کاهش دادند. Heidarpour et al. (2010) با قرار دادن طوقه‌ای به اندازه ۳D بر روی گروه پایه‌ی استوانه‌ای سه تایی هم راستا با جریان و با فواصل ۳D در بهترین حالت آبستگی پایه‌اول تا سوم را به ترتیب ۱۹، ۰ و ۴۵ درصد کاهش دادند؛ تأثیر طوقه بر روی پایه‌های پشتی به دلیل گردابه‌های ضعیف‌تر در وجه بالادست آن‌ها بیشتر از پایه جلویی بود.

احداث پل و دیگر سازه‌های هیدرولیکی در مسیر رودخانه‌ها، تغییراتی را در الگوی جریان در این محل به وجود آورده که آبستگی در محل پایه‌ها و تکیه‌گاه‌های پل یکی از این تغییرات محسوب می‌گردد. آبستگی موضعی به فرسایش بستر در مجاورت پی پایه در اثر سیستم گردابه‌های پیچیده اطراف آن گفته می‌شود. این سیستم شامل گردابه‌های نعل اسبی نشأت گرفته از جریان پایین‌رونده در وجه بالادست پایه و گردابه‌های برخاستگی که در اثر جدایی جریان در طرفین پایه رخ می‌دهند، می‌باشد (Breusers and Raudkivi, 1991). علاوه بر آن، عوامل زیر نیز در آبستگی گروه پایه‌ها دخالت دارند: عامل تقویت کننده، عامل حفاظت کننده، گردابه‌های جاری و به هم فشردگی گردابه‌های نعل اسبی (Hannah, 1978). بنا به نظر Hoffmans و Verheij (1997) تحلیل آبستگی جزء لاینفک طراحی، زیرسازی و پی‌سازی پل‌های جدید می‌باشد و این تحلیل باید تضمین‌کننده‌ی مقاومت پل در برابر سیلاب‌های بزرگ باشد. روش‌های مهار آبستگی به دو صورت می‌باشند: ۱- روش‌های محافظت از ذرات بستر همانند استفاده از پوشش سنگ‌چین و ای-جک ۲- روش‌های تغییر الگوی جریان همانند استفاده از صفحات مستغرق و طوقه. تاکنون مطالعات متعددی پیرامون این روش‌ها صورت گرفته است. از جمله Bejestan et

پذیرفته شده پیش از انتشار

نشان داد که کارایی طوقه‌های مشبک ۲۰ درصد بالاتر از طوقه‌های ساده بود. با توجه به اهمیت مسئله آبستگی و نیز اینکه مطابق آمار سازمان راهداری و حمل و نقل جاده‌ای کشور در ۳۷ درصد موارد، آبستگی علت تخریب پل‌ها در کشور ایران بوده است (Khademi, 2012)، لازم است که تحقیقات بیشتری در این زمینه صورت گیرد. از آنجا که تاکنون تحقیق‌های محدودی روی آبستگی گروه‌پایه‌ها صورت گرفته و مطالعه در خصوص طوقه‌های مشبک نیز در حد انگشت - شمار و منحصر به تک پایه می‌باشد، لذا در این تحقیق به بررسی تأثیر حضور طوقه‌های مشبک با درصدهای بازشدگی مختلف و در ترازهای کارگذاری متفاوت بر آبستگی گروه پایه‌های استوانه‌ای پل پرداخته شده است.

مواد و روش‌ها

تجهیزات آزمایشگاهی

برای انجام این تحقیق از یک کانال آزمایشگاهی با دیواره‌هایی از جنس شیشه سکوریت به طول ۶ متر و عرض کف ۷۳ سانتی‌متر در آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه شهید چمران اهواز استفاده گردید. جریان با استفاده از یک پمپ سانتریفیوژ از مخزن ذخیره آب به داخل فلوم پمپاژ گردید. همچنین به منظور از بین بردن تلاطم جریان ورودی به فلوم از یک ورقه‌ی پوشال نصب شده روی یک صفحه مشبک در جهت عمود بر جریان و همچنین از یک ورقه‌ی یونولیت بر روی سطح آب استفاده گردید. جریان پس از طی کردن طول فلوم با عبور از روی دریچه کشویی که در انتهای فلوم به منظور تنظیم عمق آب تعبیه شده بود، وارد مخزن خروجی شده و مجدداً به مخزن ذخیره آب وارد می‌گردید. برای حذف اثر اندازه رسوبات بر عمق آبستگی موضعی طبق توصیه‌ی Sutherland and Melville (1988) نسبت عرض پایه به قطر ذرات رسوبی باید از ۲۵-۲۰ بیشتر باشد. همچنین Melville (1992) برای حذف اثر غیر یکنواختی رسوبات بر عمق آبستگی، انحراف معیار ذرات را کمتر از ۱/۳ پیشنهاد نمود. در ارتباط با عدم تأثیر دیواره‌های کانال بر عمق آبستگی Chiew و Melville (1987) عرض پایه را کمتر از ۱۰ درصد عرض فلوم توصیه نمودند. Raudkivi و Ettema (1983) نیز عنوان نمودند که عرض کانال آزمایشگاهی باید حداقل ۶/۲۵ برابر عرض پایه باشد. بنابراین بازه‌ای از فلوم به ضخامت ۱۰ سانتی‌متر و طول تقریبی ۳ متر با رسوبات غیرچسبنده به اندازه ۰/۵ میلی‌متر و انحراف معیار ۱/۱۸ پوشانده شد. پایه‌های استفاده شده دارای قطر (D) برابر ۲/۵ سانتی‌متر بوده که در سه گروه و چهار ردیف مختلف در فاصله‌ی ۲/۵ متری از ابتدای فلوم (برای اطمینان از توسعه یافتن جریان) قرار گرفتند. فاصله‌ی مرکز به مرکز گروه پایه‌ها از هم ۷/۴D و فاصله‌ی مرکز به مرکز ردیف‌ها از هم برابر ۴D در نظر گرفته شد. در این تحقیق از طوقه‌هایی به اندازه

Masjedi et al. (2011) با بررسی اثر طوقه مربعی بر آبستگی پایه استوانه‌ای عنوان نمودند که طوقه در تراز ۰/۱D زیر بستر توانست ۹۶ درصد عمق آبستگی را کاهش دهد. Khozaymehnezhad et al. (2014) با بررسی تأثیر ابعاد طوقه‌های متقارن و نامتقارن بر آبستگی تکیه‌گاه پل مشاهده نمودند که چنانچه عرض طوقه نامتقارن در قسمت بالادست بیشتر از عرض آن در قسمت پایین‌دست باشد، نسبت به طوقه‌ی متقارن هم مساحت خود از عملکرد بالاتری برخوردار خواهد بود؛ در حالت عکس طوقه متقارن عملکرد بهتری نشان می‌دهد. ایشان همچنین با بررسی تراز کارگذاری طوقه متقارن، طوقه‌های زیر بستر را در کاهش عمق آبستگی مؤثرتر از طوقه‌های روی بستر و بالای بستر عنوان نمودند. آزمایش‌های Shahsavari et al. (2017) نشان داد که استفاده از زبری با آرایش‌های مختلف بر روی تکیه‌گاه، استفاده از طوقه ساده و ترکیب این دو روش در بهترین حالت به ترتیب ۴۷، ۶۰ و ۸۳ درصد آبستگی تکیه‌گاه را کاهش داد. طوقه مشبک نوعی از طوقه است که بازشدگی‌هایی با درصدهای مختلف روی آن ایجاد می‌گردد. این بازشدگی‌ها همانند زبری عمل نموده و ضمن آشفته نمودن لایه مرزی روی طوقه باعث افزایش مومنتم جریان در اطراف طوقه می‌گردند. نتیجه‌ی این عمل تمایل کمتر جریان برای جدایی از سطح طوقه و کاهش قدرت گردابه‌های اطراف پایه می‌باشد. به علاوه طوقه مشبک دارای وزن سازه‌ای کمتری نسبت به طوقه ساده بوده و هزینه‌ی اجرایی کمتری نیز نسبت به آن دارد. Alem (2012) در یک کار آزمایشگاهی با استفاده از طوقه ۳۳ درصد مشبک روی تکیه‌گاه پل در تراز ۲ و ۴ سانتی‌متر بالای بستر به ترتیب ۱۰/۴ و ۹/۴ درصد عمق آبستگی را نسبت به طوقه ساده کاهش داد؛ همچنین طوقه مشبک با آشفته نمودن جریان لایه مرزی، توسعه مکانی آبستگی را به مکانی دورتر از تکیه‌گاه انتقال داد. Jalili (2013) با استفاده از طوقه‌های ساده، ۱۵، ۳۰ و ۴۰ درصد مشبک بر روی پایه استوانه‌ای پل مشاهده نمود که در عدد فرود ۰/۱۹ طوقه ۴۰ درصد مشبک با ۴۳ درصد کاهش آبستگی، در عدد فرود ۰/۱۶ طوقه ۱۵ درصد مشبک با ۶۰ درصد کاهش آبستگی و در عدد فرود ۰/۱۳ طوقه ۳۰ درصد مشبک با ۹۴ درصد کاهش آبستگی، بالاترین کارایی را داشتند. وی علت کاهش آبستگی در آزمایش با حضور طوقه مشبک را، آشفته شدن جریان لایه مرزی و کاهش جدایی آن از سطح طوقه عنوان نمود. Hemmati et al. (2016) با بررسی طوقه ۳۰ درصد مشبک با ابعاد مختلف و در ترازهای کارگذاری متفاوت پیرامون تک‌پایه استوانه‌ای ملاحظه نمودند که طوقه به اندازه D ۲/۵ و ۳D در تراز ۰/۱D زیر بستر در حدود ۷۳ درصد عمق آبستگی را کاهش داد؛ در حالی که درصد کاهش عمق آبستگی در تراز ۰/۵D زیر بستر با حضور طوقه‌های ۱/۵D و ۲D حدوداً برابر ۴۰ درصد بود. همچنین نتایج تحقیقات ایشان

پذیرفته شده پیش از انتشار

(۰ درصد)، ۳۰ درصد، ۵۰ درصد و ۷۰ درصد درصد بوده و در بدست آمد. هم‌چنین طبق توصیه‌ی Oliveto و Hager (2002) به منظور جلوگیری از اثر زبری بر میزان آبشستگی، عمق جریان باید بیشتر از ۲۰ میلی‌متر باشد؛ در نهایت به منظور بررسی آبشستگی در شرایط جریان زلال سرعت ۰/۲ متر بر ثانیه و عمق ۱۵ سانتی‌متر برای انجام آزمایش‌ها انتخاب گردید.

شرایط هیدرولیکی و روش انجام آزمایش‌ها

برای انجام هر آزمایش ابتدا سطح بستر توسط ماله تسطیح شده و برای اطمینان از تراز شدن رسوبات از تراز حیابی و در اطراف پایه‌ها از متر لیزری استفاده گردید. سپس دریچه کشویی انتهای فلوم کاملاً بالا آورده شده و جریان آب با دبی بسیار پایینی وارد فلوم گردید تا از تشکیل فرم بستر جلوگیری به عمل آید؛ پس از گذشت چند دقیقه دبی به تدریج تا مقدار مورد نظر افزوده شده و دریچه روی عمق ثابت ۱۵ سانتی‌متر تنظیم گردید. در پایان آزمایش نیز پمپ را خاموش نموده و پس از گذشت چند ساعت و تخلیه‌ی کامل آب درون فلوم، توپوگرافی بستر در اطراف پایه‌ها به وسیله‌ی متر لیزری برداشت گردید. جدول (۱) شرایط هیدرولیکی آزمایش‌ها را نشان می‌دهد.

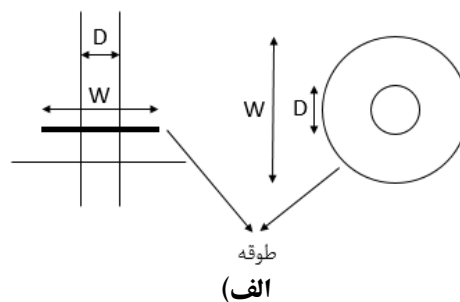
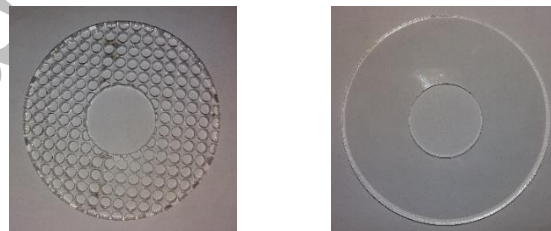
$W=3D$ استفاده شد که دارای چهار درصد بازشدگی شامل ساده دو تراز $0/5D$ بالای بستر و روی بستر در اطراف گروه پایه وسط مورد آزمایش قرار گرفتند. شکل (۱) تصویر طوقه‌های استفاده شده و مدل آزمایشگاهی را نشان می‌دهد.

سرعت بحرانی

سرعت بحرانی سرعتی است که طی آن ذرات بستر شروع به حرکت نموده و آبشستگی در حالت بستر متحرک اتفاق خواهد افتاد. بنا به نظر Chiew و Melville (1999) برای انجام آزمایش‌ها در شرایط آب زلال، سرعت متوسط جریان باید در محدوده $V_c < V < 0/3V_c$ باشد. بنابراین سرعت بحرانی (سرعت آستانه حرکت) ذرات بر اساس روش آستانه حرکت رسوبات محاسبه گردید. بدین منظور آزمایشی بدون حضور پایه‌ها با دبی ۲۲ لیتر بر ثانیه انجام شد که طی آن اعماق مختلفی از ۱۰ تا ۳۰ سانتی‌متر مورد آزمایش قرار گرفت و در هر عمق به مشاهده‌ی حرکت یا عدم حرکت رسوبات پرداخته شد. طی این آزمایش ملاحظه شد که ذرات در عمق ۱۱/۵ سانتی‌متر شروع به حرکت نموده بنابراین با توجه به مشخص بودن دبی و عرض کانال آزمایشگاهی سرعت آستانه‌ی حرکت رسوبات ۰/۲۶ متر بر ثانیه



(ب)



شکل ۱- (الف) بالا: طوقه‌های ساده و ۵۰ درصد مشبک، پایین: شماتیک قرارگیری طوقه بر روی پایه و (ب) مدل آزمایشگاهی با حضور طوقه‌ها

جدول ۱- شرایط هیدرولیکی حاکم بر آزمایش‌ها

Re	Y (m)	Fr	V/V _c	V _c (m/s)	V (m/s)	Q (l/s)
۳۰۰۰۰	۰/۱۵	۰/۱۶	۰/۷۷	۰/۲۶	۰/۲	۲۲

پذیرفته شده پیش از انتشار

نتایج و بحث

زمان تعادل آبستگی

پدیده آبستگی فرآیندی وابسته به زمان بوده و با گذشت زمان بر عمق آن افزوده شده تا جایی که روند آن بسیار کند و یا متوقف گردد. زمان تعادل زمانی است که حفره‌ی آبستگی به قدری عمیق شود که گردابه‌های درون حفره‌ی آبستگی توانایی انتقال رسوبات به خارج از حفره را نداشته و انرژی آن‌ها توسط حجم آب درون حفره‌ی آبستگی مستهلک گردد. عمق نظیر زمان تعادل را عمق تعادلی آبستگی گویند. برای تعیین زمان آزمایش، آزمایشی به مدت ۵ ساعت با دبی ۲۲ لیتر بر ثانیه بدون حضور طوقه‌ها انجام شده و تغییرات عمق آبستگی در طول زمان برداشت گردید. همان‌طور که در شکل (۲) نشان داده شده است آبستگی در ابتدا دارای سرعت بیشتری بوده و بخش زیادی از آن در ساعت اول اتفاق افتاد، سپس از سرعت آن کاسته شده به طوری که بیش از ۹۰ درصد آبستگی در پایان ساعت سوم رخ داده بود. محققین مختلف زمان تعادل آبستگی را از یک روز (Shojaei et al., 2011) و گاهی تا چندین روز (Karimae-Tabarestani and zarrati, 2012) نیز در نظر گرفته‌اند؛ ولی از آنجا که هدف این تحقیق بررسی تأثیر طوقه بر میزان آبستگی می‌باشد لزومی ندارد آزمایش‌ها در شرایط زمان تعادل انجام گردد و بنابراین مدت زمان آزمایش‌ها ۴ ساعت لحاظ گردید.

آزمایش بدون حضور طوقه

پیش از شروع آزمایش‌ها ابتدا یک آزمایش بدون حضور طوقه‌ها (آزمایش شاهد) به منظور تعیین عمق آبستگی و بررسی روند آن و همچنین تعیین کارایی طوقه‌ها در کاهش آبستگی انجام گرفت. طی این آزمایش ملاحظه شد که گردابه‌های نعل اسبی از ابتدا با سرعت زیادی وارد عمل شده و باعث حفر حفره‌ی آزمایش در اطراف پایه‌ها گردیدند. با گذشت مدت کمی از آغاز آزمایش گردابه‌های برخاستگی نیز تشکیل شده و با شستن رسوبات اطراف پایه‌ها آن‌ها را به سمت پایین دست انتقال دادند. به طور کلی آبستگی در ساعت اول با سرعت زیادی انجام شد اما با

گذشت زمان از سرعت آن کاسته شده تا جایی که تغییرات عمق آبستگی عملاً متوقف گردید. توپوگرافی بستر پس از آزمایش فوق در شکل (۳) نشان داده شده است (به منظور نمایش بهتر حفره‌های آبستگی تنها شکل گروه‌پایه وسط رسم گردیده است).

آزمایش‌های با حضور طوقه

این آزمایش‌ها به منظور بررسی تأثیر طوقه بر کاهش میزان آبستگی انجام گرفت. واضح است که تأثیر طوقه در تراز روی بستر بیشتر از ترازهای بالای بستر می‌باشد، اما به دلیل اینکه گاهی امکان نصب طوقه روی بستر امکان پذیر نبوده و یا به مرور زمان رسوبات زیر طوقه شسته می‌شوند، لازم است تأثیر طوقه در تراز بالای بستر نیز بررسی گردد (Alem, 2012). بنابراین به ازای هر طوقه دو آزمایش در تراز $0.5D$ بالای بستر و تراز روی بستر و در مجموع هشت آزمایش (بدون احتساب آزمایش شاهد) صورت گرفت و نتایج با آزمایش شاهد مقایسه گردید.

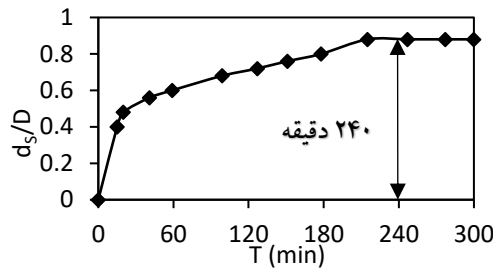
طوقه ساده

در آزمایش با حضور طوقه در تراز $0.5D$ گرچه گردابه‌ها همچنان در فضای زیر طوقه عمل نموده و کاهش عمق آبستگی در پایه اول دیده نشد، اما توسعه‌ی طولی حفره‌ی آبستگی کمتر از آزمایش شاهد بود. رسوبات شسته شده از اطراف این پایه در اطراف پایه‌های پشتی به ویژه‌ی پایه‌ی دوم انباشته شده و آبستگی کمی در این قسمت‌ها مشاهده گردید (شکل ۴). طوقه در تراز روی بستر نیز مانع از برخورد جریان به سطح بستر گردید؛ با این حال بخشی از جریان به زیر طوقه نفوذ نموده و آبستگی در این حالت ۸۱ درصد کاهش یافت.

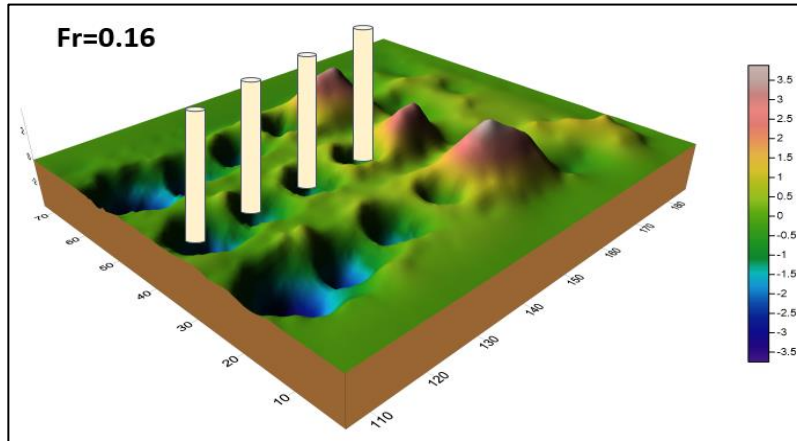
طوقه ۳۰ درصد مشبک

در آزمایش با حضور طوقه در تراز $0.5D$ بالای بستر جریان لایه مرزی اطراف طوقه به میزان بیشتری توسعه یافته و عمق آبستگی ۵۸ درصد کاهش یافت. در این آزمایش توسعه‌ی طولی آبستگی نیز تا حد زیادی کمتر از آزمایش شاهد بوده و آبستگی ناچیزی در پایه‌های بعدی مشاهده گردید.

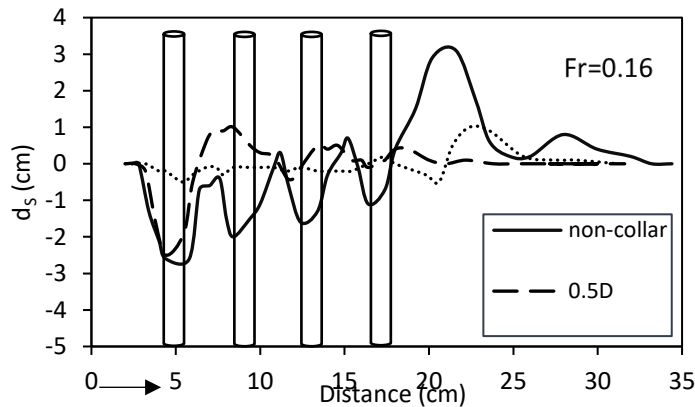
پذیرفته شده پیش از انتشار



شکل ۲- منحنی توسعه زمانی حفره آبستگي در شرايط بدون حضور طوقه



شکل ۳- توپوگرافي بستر پس از آزمایش شاهد (محورها بر حسب سانتی متر است)



شکل ۴- پروفيل طولی آبستگي گروه پایه وسط با حضور طوقه ساده در ترازهای مختلف و مقایسه آن با حالت شاهد

طوقه ۵۰ درصد مشبک

در آزمایش با حضور طوقه در تراز $0.5D$ بالای بستر گردابه‌ها همچنان در زیر طوقه عمل نموده و طوقه نتوانست عمق آبستگي پایه اول را کاهش دهد. در این حالت نیز توسعه‌ی طولی آبستگي کمتر از حالت شاهد بود. برای پایه‌ی دوم به دلیل انباشته شدن رسوبات شسته شده از اطراف پایه اول در اطراف این پایه، به میزان زیادی از وقوع آبستگي پیشگیری به عمل آمد و تنها آبستگي کمی در پشت پایه رخ داد. در پایه‌های سوم و چهارم نیز آبستگي کمی مشاهده گردید. در تراز روی بستر طوقه

طوقه در تراز روی بستر نتوانست به طور کامل آبستگي پایه اول را از بین ببرد؛ با این وجود دو چاله آبستگي کوچک در اثر عملکرد گردابه‌های برخاستگی در پشت طوقه ایجاد شده که این چاله‌ها در تمام آزمایش‌های با حضور طوقه روی بستر مشاهده گردیدند و حداکثر عمق آبستگي در تراز روی بستر در این مکان‌ها اتفاق افتاد. توپوگرافي بستر پس از آزمایش‌های فوق در شکل (۵) و پروفيل طولی آبستگي در این آزمایش‌ها نسبت به حالت شاهد در شکل (۶) نشان داده شده است.

پذیرفته شده پیش از انتشار

حدودی کاهش داد. تأثیر طوقه بر پایه‌های بعدی به مراتب بیشتر از پایه اول بوده و آبستگی کمی در اطراف این پایه‌ها مشاهده گردید. طوقه در تراز روی بستر تا حد زیادی مانع از نفوذ جریان به زیر طوقه شده و ۸۵ درصد آبستگی پایه اول را کاهش داد (شکل ۸ - الف). پروفیل طولی آبستگی پس از آزمایش‌های فوق در مقایسه با حالت شاهد در شکل (۸ - ب) رسم گردیده است. درصد کاهش آبستگی پایه اول در آزمایش با حضور طوقه‌های مختلف در مقایسه با آزمایش شاهد نیز در جدول (۲) آورده شده است.

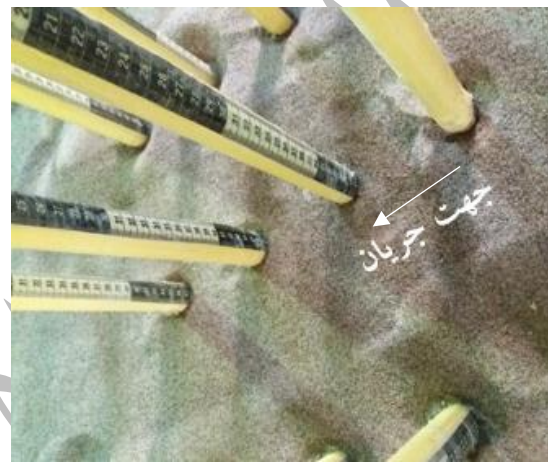
۵۰ درصد مشبک با ممانعت از برخورد جریان به سطح بستر عمق آبستگی را تا حد زیادی کاهش داد ولی راندمان آن از دیگر طوقه‌ها در این تراز کمتر بود. پروفیل طولی آبستگی با حضور طوقه ۵۰ درصد مشبک نسبت به آزمایش شاهد در شکل (۷) رسم شده است.

طوقه ۷۰ درصد مشبک

در تراز $0.5D$ طوقه توانست ۱۵ درصد عمق آبستگی پایه اول را کاهش دهد. همچنین طوقه وسعت حفره‌ی آبستگی را تا

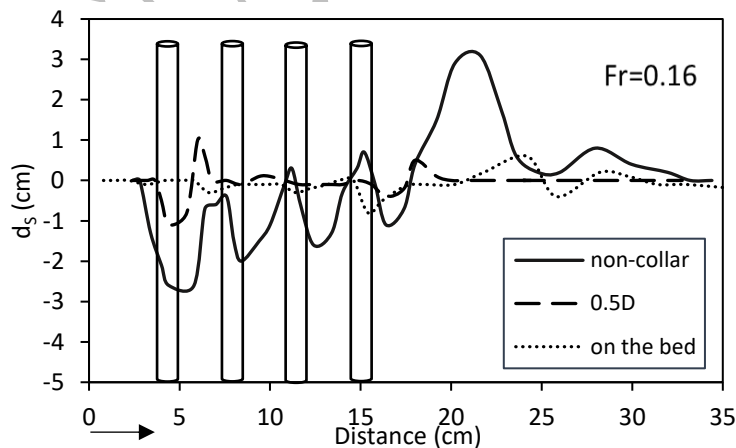


(ب)



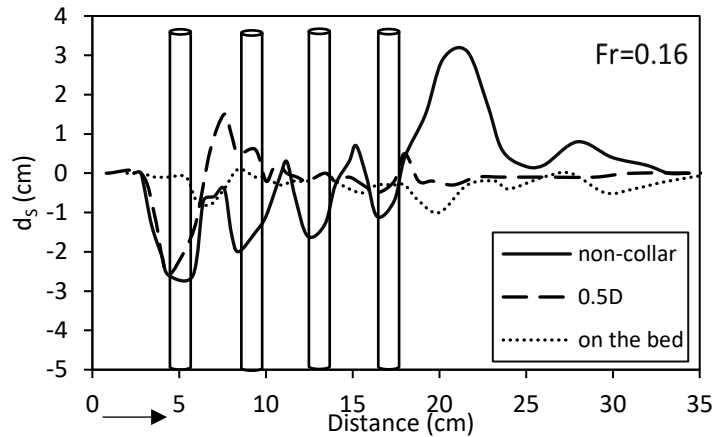
(الف)

شکل ۵- توپوگرافی ایجاد شده پس از آزمایش با حضور طوقه ۳۰ درصد مشبک در تراز الف) $0.5D$ بالای بستر (ب) روی بستر

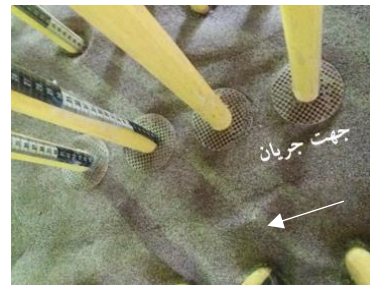
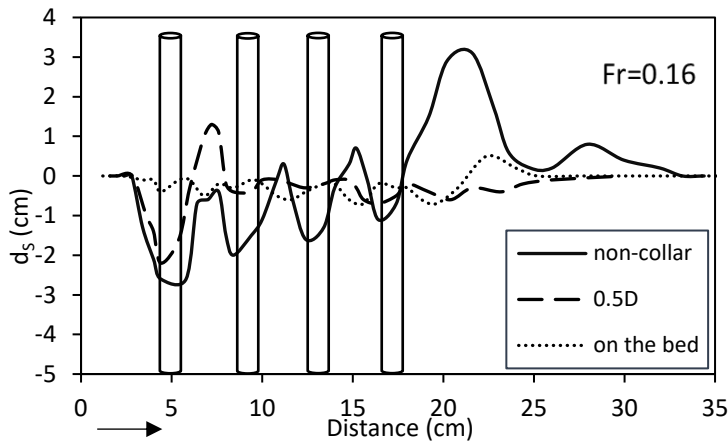


شکل ۶- پروفیل طولی آبستگی گروه پایه وسط با حضور طوقه ۳۰ درصد مشبک در ترازهای مختلف و مقایسه‌ی آن با حالت شاهد

پذیرفته شده پیش از انتشار



شکل ۷- پروفیل طولی آبستگی گروه پایه وسط با حضور طوقه ۵۰ درصد مشبک در ترازهای مختلف و مقایسه‌ی آن با حالت شاهد



(الف)

(ب)

شکل ۸- الف) توپوگرافی ایجاد شده پس از آزمایش با حضور طوقه ۷۰ درصد مشبک در تراز ۰/۵D بالای بستر (ب) پروفیل طولی آبستگی گروه پایه وسط با حضور طوقه ۷۰ درصد مشبک در ترازهای مختلف و مقایسه‌ی آن با حالت شاهد

جدول ۲- درصد کاهش عمق آبستگی پایه اول به ازای حالت‌های مختلف کارگذاری طوقه در مقایسه با حالت شاهد

درصد کاهش آبستگی				تراز کارگذاری
درصد بازشدگی طوقه				
۷۰	۵۰	۳۰	۰	۰/۵D بالای بستر
۱۵	۰	۵۸	۴	
۸۵	۷۳	۱۰۰	۸۱	روی بستر

طوقه ۳۰ درصد مشبک با توسعه‌ی لایه مرزی اطراف خود توانست ۵۸ درصد عمق آبستگی اولین پایه را کاهش دهد. کمترین وسعت حفره آبستگی نیز مربوط به این آزمایش بود؛ این

تأثیر درصد بازشدگی طوقه بر میزان آبستگی تراز ۰/۵D بالای بستر

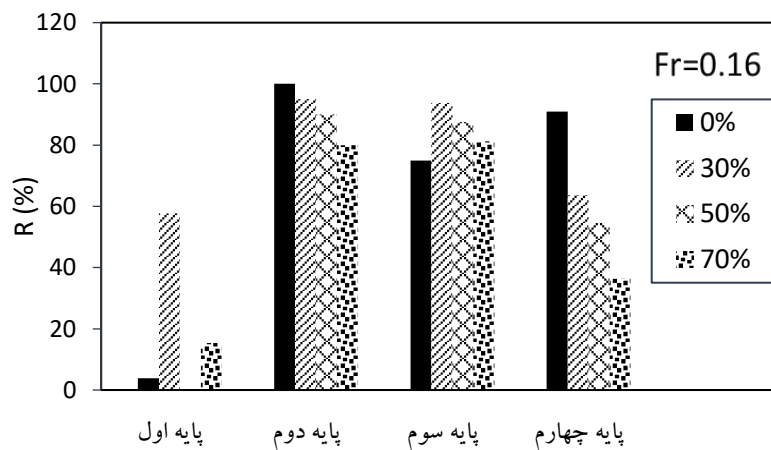
پذیرفته شده پیش از انتشار

طوقه‌ها ایجاد شد که حداکثر عمق آبستنگی در این نقطه‌ها اتفاق افتاد. به طور کلی طوقه ۳۰ درصد مشبک با کارایی ۱۰۰ درصد بیشترین تأثیر را بر کاهش عمق آبستنگی پایه اول دارا بود. پس از آن طوقه‌های ۷۰ درصد مشبک، ساده و ۵۰ درصد مشبک به ترتیب با ۸۵، ۸۱ و ۷۳ درصد کارایی توانستند آبستنگی را تا حد بسیار زیادی کنترل نمایند. طوقه‌ها برای پایه‌های بعدی نیز از کارایی بالایی برخوردار بودند؛ در این تراز، تنها حضور طوقه تا حد زیادی از برخورد گردابه‌ها به سطح بستر محافظت نموده و بازشدگی طوقه، تأثیر چندان زیادی بر میزان آبستنگی پایه‌های پشتی نداشت. مقایسه‌ی درصد کاهش آبستنگی گروه‌پایه وسط در آزمایش با حضور طوقه‌های مختلف در تراز روی بستر در شکل (۱۰) رسم گردیده است.

طوقه هم‌چنین آبستنگی پایه‌های بعدی را تا حد زیادی کاهش داد. طوقه ساده و ۵۰ درصد مشبک در این تراز به دلیل عملکرد گردابه‌ها در فضایی که در زیر طوقه وجود داشت و هم‌چنین عبور جریان از منافذ طوقه ۵۰ درصد مشبک تأثیر چندانی بر کاهش عمق آبستنگی پایه اول نداشتند اما توانستند تا حدودی از وسعت حفره آبستنگی بکاهند. طوقه ۷۰ درصد مشبک نیز توانست ۱۵ درصد عمق آبستنگی را کاهش دهد. به طور کلی تأثیر طوقه بر کاهش آبستنگی پایه‌های پشتی به دلیل گردابه‌های ضعیف‌تر در وجه بالادست آن‌ها و هم‌چنین پوشش قسمت زیادی از فضای بین پایه‌ها توسط طوقه‌ها، بیشتر از تأثیر آن بر پایه‌ی جلویی بود. مقایسه‌ی درصد کاهش آبستنگی گروه‌پایه وسط در آزمایش با حضور طوقه‌های مختلف در تراز ۰/۵D بالای بستر در شکل (۹) نشان داده شده است.

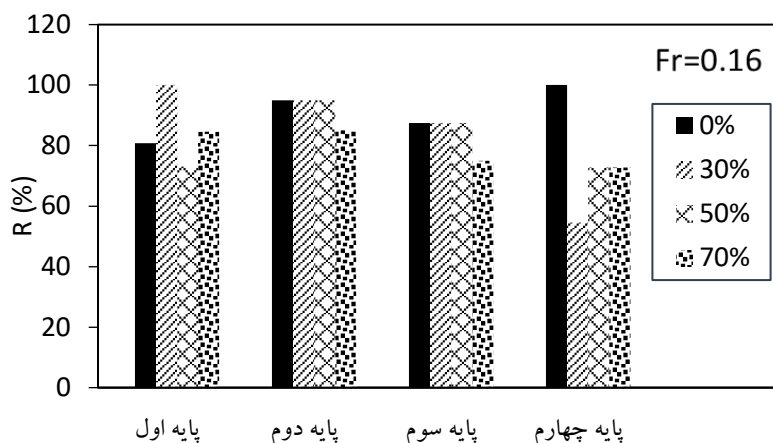
تراز روی بستر

در تراز روی بستر تمام طوقه‌ها با ممانعت از برخورد جریان به سطح بستر از راندمان بالایی برخوردار بودند. در اثر عملکرد گردابه‌های برخاستگی در دو طرف پایه، دو گودال فرسایشی کوچک در پشت



شکل ۹- درصد کاهش آبستنگی پایه‌ها برای طوقه‌ها با درصد‌های بازشدگی مختلف در تراز ۰/۵D (ستون مربوط به طوقه‌ای که نتوانست آبستنگی را کاهش دهد، رسم نشده است)

پذیرفته شده پیش از انتشار



شکل ۱۰- درصد کاهش آبستگي پایه‌ها برای طوقه‌ها با درصدهای بازشدگی مختلف بر روی بستر

۳۰ درصد مشبک در تراز $0.5D$ بالای بستر و روی بستر به ترتیب ۵۸ و ۱۰۰ درصد عمق آبستگي را کاهش داد.

نتیجه‌گیری

هدف از این تحقیق بررسی تأثیر طوقه‌های مشبک بر عمق آبستگي گروه پایه‌های استوانه‌ای پل می‌باشد. بدین منظور طوقه‌های ۰، ۳۰، ۵۰ و ۷۰ درصد مشبک را در ترازهای $0.5D$ بالای بستر و روی بستر قرار داده و درصد کاهش عمق آبستگي را نسبت به آزمایش بدون طوقه بررسی نمودیم. نتایج نشان داد در تراز روی بستر تمام طوقه‌ها با ممانعت از برخورد جریان به سطح بستر از کارایی بالایی برخوردار بودند؛ در این تراز طوقه ۳۰ درصد مشبک توانست آبستگي را در نزدیک پایه اول به طور کامل کنترل نماید. در تراز $0.5D$ بالای بستر نیز طوقه ۳۰ درصد مشبک با آشفته نمودن جریان لایه مرزی توانست ۵۸ درصد آبستگي را کاهش دهد. به طور کلی با کاهش تراز طوقه بر کارایی آن افزوده شده و طوقه ۳۰ درصد مشبک بیشترین تأثیر را بر کاهش عمق آبستگي دارا بود.

سپاسگزاری

بدین وسیله از مسئولین آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه شهید چمران اهواز که نهایت همکاری را برای انجام این تحقیق ابراز داشتند، تشکر و قدردانی به عمل می‌آورد.

مقایسه نتایج تحقیق با یافته‌های پیشین

به دلیل محدود بودن مطالعات پیشین در ارتباط با بکارگیری طوقه مشبک به مطالعات در خصوص تک‌پایه، مقایسه نتایج تحقیق با تحقیقات پیشین بر روی گروه پایه با طوقه ساده و تک‌پایه با طوقه مشبک انجام می‌گردد. Heidarpour et al. (2010) با کارگذاری طوقه ساده روی بستر اطراف گروه پایه استوانه‌ای با فاصله $3D$ بین پایه‌ها (D قطر پایه)، آبستگي پایه اول تا سوم را به ترتیب ۰، ۱۹ و ۴۵ درصد کاهش دادند. ایشان مشاهده نمودند که با افزایش فاصله بین پایه‌ها به $4D$ به دلیل کاهش اثر تقویت‌کنندگی پایه عقبی بر روی پایه جلویی، کارایی کاهش آبستگي این پایه به ۷ درصد افزایش یافت؛ اما برای پایه‌های دوم و سوم به دلیل کاهش اثر محافظت‌کنندگی پایه جلویی روی آن‌ها آبستگي این پایه‌ها به ترتیب ۱۷ و ۶ درصد کاهش یافت. در حالی که در این پژوهش آبستگي پایه‌های اول تا چهارم در حضور طوقه ساده به ترتیب ۸۱، ۹۵، ۸۷ و ۱۰۰ درصد کاهش یافت. Jalili (2013) با بکارگیری طوقه ۳۰ درصد مشبک در تراز $0.25D$ بالای بستر اطراف پایه استوانه‌ای در عدد فرود 0.16 ، ۵۰ درصد عمق آبستگي را کاهش داد. Hemmati et al. (2016) نیز با بکارگیری طوقه ۳۰ درصد مشبک به اندازه $3D$ در ترازهای $0.1D$ ، $0.5D$ و D زیر بستر و عدد فرود 0.3 توانستند عمق آبستگي را به ترتیب ۸۰، ۶۲ و ۴۰ درصد کاهش دهند. در حالی که در پژوهش حاضر قرارگیری طوقه

منابع

- 1- Alem, Z., 2012. *Effect of netted collar on the scour of bridge abutment*. M.S.C. Thesis. Faculty of Water Science Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz. (In Persian).
- 2- Breusers, H. and Raudkivi, A., 1991. *Scouring—Hydraulic design considerations*. Balkema, Rotterdam, the Netherlands.

پذیرفته شده پیش از انتشار

- 3- Chiew, Y. and Melville, B., 1987. Local scour around bridge piers. *Hydraulic Research*, 25(1), pp.15-26.
- 4- Hannah, C., 1978. *Scour at Pile Groups*. Research Rep. No. 28-3.
- 5- Heidarpour, M., Afzalimehr, H and Izadinia, E., 2010. Reduction of local scour around bridge pier groups using collars. *International Journal of Sediment Research*, 25(4), pp.411-422.
- 6- Hemmati, M., Gholizadeh, N. and Dolatkah, S., 2016. Experimental Investigation of the Effect of Diameter and Placement Level of Lattice Collars on Scour Reduction around Bridge Pier. *Irrigation Science and Engineering*, 39(4), pp.111-122. (In Persian).
- 7- Hoffmans, G. and Verheij, H., 1997. *Scour Manual*, vol. 96. CRC Press.
- 8- Jalili, A., 2013. Effect of using netted collar on bridge piers scouring. M.S.C. Thesis. Faculty of Water Science Engineering, *Shahid Chamran University of Ahvaz*. (In Persian).
- 9- Karimae-Tabarestani, M. and Zarrati, A.R., 2012. Effect of collar on time development and extent of scour hole around cylindrical bridge piers. *International Journal of Engineering (IJE)*, 25(1), pp.11-17.
- 10- Khademi, Kh., 2012. Investigation of the effect of longitudinal and lateral space of submerged vanes on local scour in abutment of bridge. P.H.D. Thesis. Faculty of Water Sciences Engineering, *Shahid Chamran University of Ahvaz*. (In Persian).
- 11- Khozaymehnezhad, H., Ghomshi, M. and Shafai Bajestan, M., 2014. Comparison of Symmetrical and Unsymmetrical Rectangular Collars on Reduction of Local Scour at Bridge Abutment. *Irrigation Sciences and Engineering*, 37(2), pp.1-12 (In Persian).
- 12- Masjedi, A., Shafai bajestan, M. and Moti, M., 2011. Control of local scour at bridge pier using square collar in a 180 degree flume bend. *Iran Water Research*, 5(8), pp.53-60. (In Persian).
- 13- Melville, B. and Sutherland, A., 1988. Design method for local scour at bridge piers. *Hydraulic Engineering*, 114(10), pp.1210-1226.
- 14- Melville, B., 1992. Local scour at bridge abutments. *Hydraulic Engineering*, 118, 615-631.
- 15- Melville, B. W. and Chiew, Y.-M., 1999. Time scale for local scour at bridge piers. *Hydraulic Engineering*, 125(1), pp.59-65.
- 16- Oliveto, G. and Hager, W. H., 2002. Temporal evolution of clear-water pier and abutment scour. *Hydraulic Engineering*, 128, 811-820.
- 17- Raudkivi, A. J. and Ettema, R., 1983. Clear-water scour at cylindrical piers. *Hydraulic Engineering*, 109(3), pp.338-350.
- 18- Shafai Bejestan, M., Khademi, Kh. and Kozeymehnezhad, H., 2015. Submerged vane-attached to the abutment as scour countermeasure. *Ain Shams Engineering Journal* 6(3), pp.775-783.
- 19- Shamsavari, H., Heidarpour, M. and Mohammadalizadeh, M., 2017. Simultaneous Effect of Collar and Roughness on Reducing and Controlling the Local Scour around Bridge Abutment. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, 65(2), pp.491-499.
- 20- Shojaei, P., Farsadizadeh, D. and Hoseinzadeh Dalir, A., 2011. Effects of Combined Submerged Vanes and Collar on the Scour Reduction around Cylindrical Bridge Piers. *Water and Soil Science*. 15 (57), pp.23-33.

پذیرفته شده پیش از انتشار

- 21-Singh, C., Setia, B. and Verma, D., 2001. Collar-sleeve combination as a scour protection device around a circular pier. *Proceedings of the Congress-International Association for Hydraulic Research*, pp. 202-209.
- 22-Zarrati, A. R., Nazariha, M. and Mashahir, M. B., 2006. Reduction of local scour in the vicinity of bridge pier groups using collars and riprap. *Hydraulic Engineering*, 132(2), pp.154-162.

پذیرفته شده پیش از انتشار

EXTENDED ABSTRACT

Effect of Netted Collar on Local Scouring around the Bridge Cylindrical Pile Groups

Nasrin Bahrami¹, Mehdi Ghomeshi^{2*}

1- Ph.D Candidate of Water Structures, Lorestan University

2* - Corresponding Author, Professor of Water Structures Department, Shahid Chamran University of Ahvaz (m.ghomeshi@yahoo.com).

پذیرفته شده پیش از انتشار

Keywords: Local Scouring, Cylindrical Pile Group, Clear Water, Netted Collar, Inhibition of Scouring.

Introduction

The construction of bridges and other hydraulic structures along the rivers and streams has made some changes to the flow pattern in this area, One of this changes is the scouring in the bridge piers and abutments. Local scouring refers to the erosion of the bed in the vicinity of the pier foundation due to the complex vortex system around it. This system consists of horseshoe vortices originating from down flow in the pier upstream and wake vortices that occur due to the separation of flow in the sides of the pier (Breusers, 1991). In addition to the above factors, the following factors also contribute to the scouring of the pier group: reinforcing, sheltering, shed vortices, and compressed horse-shoe vortex (Hannah, 1978). The collar is a thin plate that is mounted horizontally around the pier and prevents the down flow from collision to the bed surface. Shahsavari et al. (2017) showed that the use of roughness with different arrangements on the abutment, the use of a simple collar and the combination of these two methods at best reduced the scour to 47, 60 and 83 percent, respectively. Alem (2012) reduced the scour depth around the abutment of bridge by using a 33% netted collar at a level of 2cm and 4cm above the bed surface by 10.4% and 9.4% respectively in compare with simple collar. Jalili (2013) used 0, 15, 30, and 40 netted collar on the pier and in the results found that, in Feroud Number equal to 0.19, 40% netted collar with a 43% reduction in scouring, in the Feroud Number of 0.16, 15% netted collar with 60% reduction of scouring and in the Feroud Number of 0.13, 30% netted collar with 94% reduction in scouring had the highest efficiency. In this research, the effect of netted collars with different openings at the different levels on the scouring of the bridge cylindrical pier group have been investigated. the results showed that on the bed level installation 30% netted collar was able to control the scour around the first pier completely. Also at the level of 0.5D, 30% netted collar reduced the scour depth of first pier by 58%, while the other collars had a much lower efficiency at this level. In general, with the reduction of collar level, efficiency increased.

Methodology

In this research, a laboratory channel with a length of 6m and a width of 73cm was used in the hydraulic laboratory of Shahid Chamran University of Ahvaz. Ciew and Melville (1987) recommended the width of the pier should be less than 10% of the width of the flume to not affect the channel walls on the scour depth. The piers used had a diameter (D) of 2.5 cm, divided into three groups and four different rows at a distance of 2.5 meters from the entrance of the flume. The center-to-center spacing between the groups and center-to-center spacing between the rows were 7.4D and 4D equivalent, respectively. Also, Melville (1992) proposed a standard deviation of sediment particles should be less than 1.3 in order to eliminate the effects of the sediment size on the depth of scour. The sediment particles used had a size of 0.5 mm and standard deviation was 1.18. The critical velocity of particles erosion was measured 0.26m/s. Collars had meshed and the openings parts were of 0, 30, 50 and 70 percent and were installed at the level of 0.5D above the bed and on the bed in the Feroud Number equal to 0.16.

Results and Discussion

First, a 5-hours experiment was performed without the presence of the piers and the experiments time was obtained about 4 hours. A test was also conducted without the presence of collars to compare the results.

In the experiment with the presence of simple collar at the 0.5d level the collar had no significant effect on the reduction of scouring. In the experiments with the presence of the 30% netted collar, vortices were greatly depleted by the opening parts of collar and the boundary layer was further developed and consequently reduce the scour about 58% in compare with non-collar state. The 50% netted collar had no effect on the scour of first pier and the 70% netted collar slightly reduced the first pier scour about 15%. In general, the effect of the collar on the back piers was

پذیرفته شده پیش از انتشار

more than the first one. On the bed level all collars had high efficiency by preventing the collision vortices to the surface of the bed. Figure 1 and 2 show the percentage of scour reduction in different experiments (R is the percentage of reduction in the scour) .

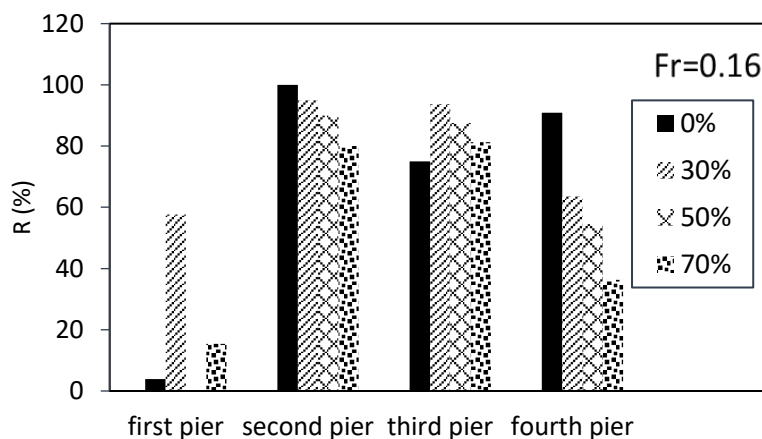


Fig 1- The percentage of reduction in the scour depth with the presence of different collars installed at the level of 0.5d

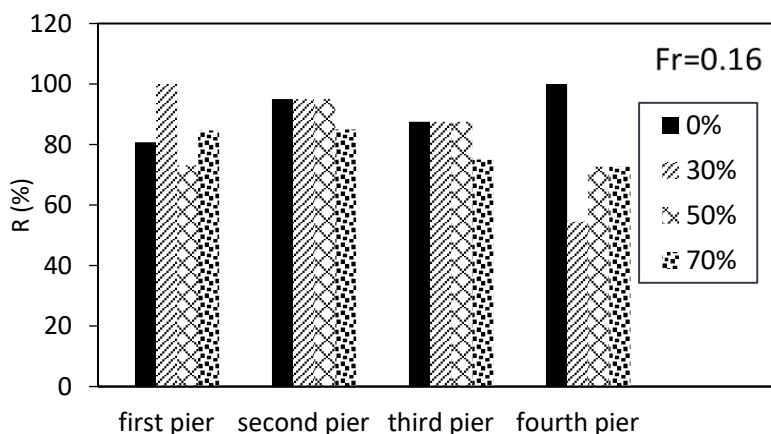


Fig 2- The percentage of reduction in the scour depth with the presence of different collars installed on the bed level

Conclusions

This research was carried out to investigate the effect of netted collars with different openings and different levels on the scour depth of the bridge cylindrical pile groups. The 30% netted collar installed on the bed surface was completely controlled first pier scouring by preventing of collision the down flow to the bed surface; on this level all the collars had high efficiency. At the level of 0.5D the 30% netted collar reduced the scour around the pier by 58% and weakened the power of the vortices. In general the 30% netted collar had the highest efficiency on both levels and increased collar efficiency by decreasing the collar level installation.

References

- 1- Alem, Z., 2012. Effect of netted collar on the scour of bridge abutment. M.S.C. Thesis. Faculty of Water Science Engineering, *Shahid Chamran University of Ahvaz*. (in Persian).
- 2- Breusers, H. and Raudkivi, A., 1991. *Scouring—Hydraulic design considerations*. Balkema, Rotterdam, the Netherlands.

پذیرفته شده پیش از انتشار

- 3- Chiew, Y. and Melville, B., 1987. Local scour around bridge piers. *Hydraulic Research*, 25(1), pp.15-26.
- 4- Jalili, A., 2013. Effect of using netted collar on bridge piers scouring. M.S.C. Thesis. Faculty of Water Science Engineering, *Shahid Chamran University of Ahvaz*. (in Persian).
- 5- Shamsavari, H., Heidarpour, M. and Mohammadalizadeh, M., 2017. Simultaneous Effect of Collar and Roughness on Reducing and Controlling the Local Scour around Bridge Abutment. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, 65, 491-499.

پذیرفته شده پیش از انتشار