

تأثیر طوقه‌ی مشبک بر حداکثر عمق آبخستگی موضعی گروه پایه‌های مکعبی پل

نسرين بهرامی، مهدی قمشی*

دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

تاریخچه داوری:

دریافت: ۱۷ خرداد ۱۳۹۶
بازنگری: ۱۶ شهریور ۱۳۹۶
پذیرش: ۲۵ مهر ۱۳۹۶
ارائه آنلاین: ۳ اردیبهشت ۱۳۹۵

کلمات کلیدی:

آبخستگی موضعی
گروه پایه
طوقه مشبک
پایه مکعبی
جریان زلال

چکیده: هر ساله با وقوع سیلاب در نقاط مختلف جهان، تعداد زیادی از پل‌ها درست زمانی که بیش‌ترین نیاز به آن‌ها به عنوان راه‌های ارتباطی به مناطق آسیب دیده می‌باشد، تخریب می‌گردند. بخش زیادی از این تخریب‌ها در اثر آبخستگی اطراف پایه‌های آن‌ها بوده است. فرسایش و جابجایی ذرات بستر در اثر جریان آب را آبخستگی گویند. طی این فرآیند حفره‌ای در اطراف پایه‌ها تشکیل شده که عمق آن تا رسیدن به عمق تعادلی، مرتباً افزایش می‌یابد. برای انجام این تحقیق از فلومی به طول ۶ m عرض ۷۳ cm و شیب کف نزدیک به صفر در آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه شهید چمران اهواز استفاده شد. به منظور کاهش عمق آبخستگی گروه پایه‌ها صفحه‌هایی با ضخامت ناچیز موسوم به طوقه در اطراف گروه پایه‌ی وسط، نصب شد. طوقه‌های مورد استفاده دارای چهار درصد بازشدگی ۰٪ (طوقه ساده)، ۳۰٪، ۵۰٪ و ۷۰٪ بودند که در سه تراز روی بستر، D و ۰/۵ D بالای بستر مورد آزمایش قرار گرفتند. آزمایش‌ها تحت شرایط جریان زلال و با سه عدد فرود ۰/۱۲، ۰/۱۴ و ۰/۱۶ صورت گرفت و نتایج با حالت بدون طوقه مقایسه شد. نتایج نشان داد طوقه ساده بر روی بستر و طوقه ۷۰٪ مشبک در تراز ۰/۵ D نسبت به سطح بستر به ترتیب ۹۵٪ و ۸۶٪ آبخستگی را نسبت به حالت بدون طوقه کاهش دادند.

۱- مقدمه

هر ساله با وقوع سیلاب تعدادی از پل‌ها در نقاط مختلف جهان دچار تخریب می‌شوند. طبق آمار ارائه شده در ایران عامل اصلی تخریب پل‌ها آبخستگی اطراف پایه‌های آن‌ها است و نیز ۵۷ درصد از پل‌هایی که به مرمت نیاز داشتند به علت آبخستگی به تعمیرات اساسی نیاز دارند [۱]. آبخستگی عبارت از فرسایش بستر و کناره‌ی آبراهه در اثر عبور جریان آب، یا فرسایش بستر در پایین‌دست سازه‌های هیدرولیکی به علت شدت جریان زیاد و یا فرسایش بستر در اثر بوجود آمدن جریان‌های متلاطم موضعی می‌باشد [۲]. زمانی که مانعی مانند پایه پل در مسیر جریان قرار می‌گیرد جریان پایین رونده در جلوی پایه‌ها ایجاد شده که برخورد آن به کف باعث پراکنده شدن ذرات به طرفین و چرخش آن در جلوی پایه منجر به تشکیل گرداب نعل اسبی می‌گردد. از طرفی در اطراف پایه نیز جدایی لایه مرزی از سطح پایه گرداب برخاستگی را شکل می‌دهد که رسوبات شسته شده از جلو و اطراف پایه را به سمت پایین دست انتقال می‌دهد [۳]. مکانیسم آبخستگی در گروه پایه متفاوت و پیچیده‌تر از تک پایه‌هاست؛ در این حالت علاوه بر پارامترهای موثر بر آبخستگی موضعی پایه‌ی منفرد عوامل دیگری نیز دخیل می‌باشند؛ عامل تقویت کننده، عامل محافظت کننده، گرداب‌های جاری و به

هم فشردگی گردابه‌های نعل اسبی [۴].

آبخستگی به دو صورت اتفاق می‌افتد: آبخستگی در حالت جریان زلال که در آن سرعت حرکت جریان آب کمتر از سرعت آستانه‌ی حرکت رسوبات بستر است؛ و آبخستگی بستر متحرک که طی آن رسوبات از بالادست وارد حفره‌ی آبخستگی شده و در نتیجه عمق آبخستگی نسبت به زمان کم و زیاد می‌شود [۲].

طوقه یک صفحه افقی است که به منظور کاهش آبخستگی بصورت موازی با بستر روی پایه نصب شده و بر الگوی جریان اطراف پایه‌ها تأثیر می‌گذارد [۵] و کارایی آن به ابعاد و تراز قرارگیری آن بستگی دارد [۷ و ۶ و ۳]. تاکنون مطالعات مختلفی پیرامون طوقه‌های ساده و موارد محدودی پیرامون طوقه‌های مشبک صورت گرفته است. زراتی و همکاران (۲۰۰۶) با قرار دادن طوقه‌های یکپارچه و مستقل بر روی گروه پایه‌ی مستطیلی دوتایی و ترکیب آن با ریپررپ ملاحظه نمودند که ترکیب طوقه‌ی پیوسته و ریپررپ با ۵۰ درصد راندمان بهترین کارایی را در کاهش عمق آبخستگی پایه‌ی جلویی داشت. در حالی که طوقه‌های مستقل و پیوسته آبخستگی همین پایه را به ترتیب تنها تا ۳۰ و ۲۵ درصد کاهش دادند [۸]. عطایی آشتیانی و بهشتی (۲۰۰۶) با تغییر آرایش گروه پایه‌های استوانه‌ای مشاهده کردند که در فواصل کم پایه‌ها تداخل جریان بین پایه‌ها بیشتر است و در $G/D > 4-2$

* نویسنده عهده‌دار مکاتبات: ghomeshi@scu.ac.ir

پایه‌ی پل در تراز $D/10$ زیر بستر با ۷۳٪ راندمان نسبت به حالت بدون طوقه بالاترین کارایی را دارا بودند [۷].

بطور کلی طوقه مشبک علاوه بر سبک‌تر بودن نسبت به طوقه‌های ساده، احتمالاً می‌تواند با آشفته‌سازی جریان در اطراف طوقه تأثیر نسبتاً مناسبی بر کاهش عمق آبستگي پایه‌ها داشته باشد. با توجه به اینکه تاکنون مطالعات اندکی پیرامون طوقه مشبک صورت گرفته و تأثیر آن بر روی گروه پایه‌های پل بررسی نشده است هدف از این تحقیق کاهش عمق آبستگي موضعی گروه‌پایه‌های مکعبی پل در حضور طوقه‌های مشبک می‌باشد.

۲- مواد و روش‌ها

آزمایش‌ها در فلومی به طول ۶ m عرض ۷۳ cm و شیب کف نزدیک به صفر در آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه شهید چمران اهواز انجام شد. طبق توصیه‌ی چپو و ملویل^۱ (۱۹۸۷) به منظور از بین رفتن تأثیر دیواره‌های کانال بر عمق آبستگي قطر پایه نباید از ۱۰ درصد عرض کانال بیشتر باشد [۱۳]؛ بنابراین مدل کردن پایه‌ها از پایه‌های چوبی مکعبی به ضلع ۲/۵ cm استفاده شد. پایه‌ها در سه گروه چهارتایی قرار داشتند؛ فاصله‌ی مرکز به مرکز پایه‌های هر گروه از هم $D = 10$ cm و فاصله‌ی مرکز به مرکز گروه پایه‌ها از هم $D = 18/5$ cm بود. پایه‌ها از کف به یک تکیه‌گاه و از بالا به عرشه پیچ شده بودند. فاصله‌ی پایه‌ها از ورودی فلوم برابر ۲۶۰ cm بود. شکل ۱ نمایی از مدل آزمایشگاهی با حضور طوقه‌ها را نشان می‌دهد.



شکل ۱: مدل آزمایشگاهی با حضور طوقه‌های ۵۰٪ مشبک

Fig. 1. Laboratory model with present 50% Netted Collars

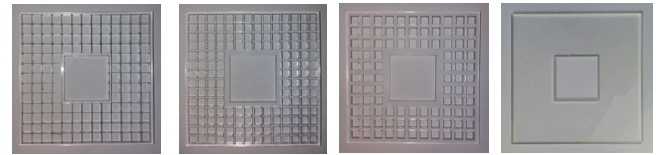
(G فاصله بین گروه پایه‌ها) از میزان تداخل کاسته می‌شود. در $0/15 \geq G/D$ گروه‌پایه‌ها مانند یک جسم واحد رفتار نمودند. آن‌ها دریافتند که عمق آبستگي موضعی با توجه به فاصله‌ی بین پایه‌ها، توسط تعداد پایه‌هایی که در مقابل جریان قرار گرفته‌اند کنترل می‌گردد [۹]. حیدرپور و همکاران (۲۰۱۰) با کارگذاری طوقه بر روی گروه پایه‌های استوانه‌ای شکل دو و سه تایی مشاهده نمودند زمانی که فاصله‌ی بین پایه‌ها به گونه‌ای باشد که فضای بین پایه‌ها توسط طوقه پوشیده شود، طوقه‌ها موثرتر عمل می‌کنند. در این حالت تأثیر طوقه در کاهش آبستگي پایه‌های عقبی به علت تضعیف بیش‌تر جریان‌های رو به پایین، در وجه بالادست آن‌ها بیشتر از پایه‌های جلویی بود. اما با بیشتر شدن فاصله‌ی بین پایه‌ها و عدم پوشش قسمتی از این فاصله توسط طوقه، حفره‌ی آبستگي برای پایه‌های عقبی عمیق‌تر شد. طوقه‌ها باعث تأخیر در فرآیند آبستگي شدند که این تأخیر زمانی با افزایش اندازه‌ی طوقه بیشتر می‌شد [۱۰]. امینی و همکاران (۲۰۱۱) با بررسی عمق آبستگي گروه‌پایه‌های استوانه‌ای مستغرق و غیر مستغرق دریافتند که میزان آبستگي به قطر پایه، فاصله‌ی بین پایه‌ها و نسبت استغرق بستگی دارد. آن‌ها همچنین روشی برای تخمین عمق آبستگي در گروه‌پایه‌های هم‌راستا با جریان، ارائه نمودند که بر اساس شرایط جریان کم‌عمق توسعه یافته بود [۱۱]. کریمایی طبرستانی و زراتی (۲۰۱۲) با کار گذاشتن طوقه‌ای به اندازه سه برابر قطر پایه در ترازهای مختلف اطراف پایه‌ی استوانه‌ای بر بررسی زمان تعادل و وسعت حفره‌ی آبستگي پرداختند. آزمایش‌ها نشان داد که گرچه کاربرد طوقه عمق آبستگي و زمان تعادل را کاهش می‌دهد، اما به محدوده‌ی حفره‌ی آبستگي افزوده می‌شود. از بین آرایش‌های مختلف قرارگیری طوقه‌ها بهترین نتیجه را یک طوقه بر روی بستر و یک طوقه به اندازه‌ی قطر پایه در زیر بستر نشان داد [۱۲]. عالم (۱۳۹۱) با بکارگیری طوقه‌های ساده و مشبک با سه درصد بازشدگی ۲۰، ۳۳ و ۵۰ درصد بر روی تکیه‌گاه پل مشاهده نمود که در دبی ۲۵ لیتر بر ثانیه با حضور طوقه‌ی ۳۳ درصد مشبک در تراز ۲ cm و ۴ cm بالای بستر آبستگي به ترتیب ۱۰/۴ و ۹/۴ درصد نسبت به طوقه معمولی کاسته شد؛ همچنین این طوقه در دبی ۲۰ لیتر بر ثانیه و در تراز روی بستر تا ۲۳٪ نسبت به طوقه ساده عمق آبستگي را کاهش داد [۶]. جلیلی (۱۳۹۲) با استفاده از چهار نوع طوقه صاف، ۱۵، ۳۳ و ۴۰ درصد مشبک به منظور کاهش آبستگي پایه‌ی مکعبی در سه تراز روی بستر، $D/25$ و $D/5$ بالای بستر ملاحظه نمود که طوقه‌ی ۳۰ درصد مشبک در تراز $D/25$ بالای بستر در عدد فرود $0/19$ توانست آبستگي پایه‌ی مکعبی را تا ۷۸ درصد کاهش دهد. وی علت آن را آشفته شدن جریان لایه‌ی مرزی و افزایش مومنتم جریان و در نتیجه کاهش جدایی جریان از سطح طوقه عنوان کرد. همچنین طوقه بدون بازشدگی در تراز روی بستر آبستگي پایه‌ی مکعبی را ۱۰۰ درصد کاهش داد [۳]. همتی و همکاران (۱۳۹۵) با کارگیری طوقه‌های ساده و ۳۰ درصد مشبک در چهار اندازه‌ی مختلف و در سه تراز کارگذاری متفاوت مشاهده نمودند که طوقه‌های مشبک به اندازه‌ی $2/5$ و ۳ برابر قطر



شکل ۳: فلوم استفاده شده در پژوهش حاضر
Fig. 3. Flume used in this research

پیش از شروع هر آزمایش، رسوبات بستر به وسیله‌ی ماله و یک تکه ابری و در اطراف پایه‌ها با استفاده از متر لیزری تسطیح می‌شد. سپس دریچه را تا انتها بالا آورده و برای جلوگیری از تشکیل فرم بستر، پمپ با دبی کمی راه اندازی می‌شد. پس از گذشت چند دقیقه و اطمینان از خیس شدن رسوبات، دبی به تدریج تا مقدار مورد نظر زیاد شده و دریچه بر روی عمق مورد نظر تنظیم می‌گردید. با گذشت چند ساعت و به تعادل رسیدن آبشستگی در اطراف پایه‌ها، پمپ را خاموش نموده تا آب موجود در فلوم به آرامی زهکشی شود. سپس توپوگرافی بستر در اطراف پایه‌ها به وسیله‌ی متر لیزری و در یک شبکه‌ی ۱ cm×۱ cm برداشت می‌شد. آزمایش‌ها شامل آزمایش‌های شاهد (بدون حضور طوقه) و آزمایش با چهار نوع طوقه ساده، ۳۰٪ مشبک، ۵۰٪ مشبک و ۷۰٪ مشبک بود. طوقه‌ها در عدد فرود ۰/۱۶ در سه تراز روی بستر، ۰/۵ D و در اعداد فرود ۰/۱۲ و ۰/۱۴ تنها در تراز ۰/۵ D بالای بستر مورد آزمایش قرار گرفتند. هدف از آزمایش‌ها کم کردن حداکثر عمق آبشستگی گروه پایه‌ی وسط، بخصوص پایه‌ی جلویی که حداکثر عمق آبشستگی را داشت، بود. به ازای هر طوقه ۵ آزمایش و در مجموع ۲۳ آزمایش صورت گرفت. در تمام جدول‌ها و نمودارها منظور از عمق آبشستگی و پشته رسوبی، حداکثر مقدار آن در محدوده اطراف پایه است. شرایط هیدرولیکی حاکم بر آزمایش‌ها در جدول ۱ آورده شده است. برای تعیین زمان تعادل آزمایش‌ها، یا به عبارت بهتر مدت زمانی که پس از آن عمق آبشستگی تغییر چندانی پیدا نمی‌کند، یک آزمایش بدون حضور طوقه‌ها به مدت ۶ ساعت و با دبی حداکثر ۲۲ لیتر بر ثانیه انجام شد. در این آزمایش ملاحظه شد که در نیم ساعت ابتدای آزمایش آبشستگی به سرعت شروع شده و توسعه می‌یافت بعد از آن تا پایان ساعت اول از سرعت آبشستگی به نسبت کاسته شد اما آبشستگی همچنان با سرعت زیادی در حال انجام بود. از یک ساعت از زمان آزمایش تا حدوداً ۴ ساعت بعد از شروع آزمایش، عمق آبشستگی با شیب نسبتاً یکسانی کاسته شده و پس از این مدت تغییرات آبشستگی در طی زمان عملاً ناچیز بود. در طی مدت زمان ۴ ساعت بیش از ۹۶٪ از کل آبشستگی اتفاق افتاد؛ بنابراین زمان تعادل آزمایش‌ها برابر ۴ ساعت در نظر گرفته شد. شکل ۴ منحنی توسعه‌ی زمانی حفره‌ی آبشستگی را نشان می‌دهد. در این نمودار D/D_0 نسبت عمق آبشستگی به طول ضلع پایه را نشان می‌دهد.

کف فلوم به ارتفاع ۱۰ cm با ماسه‌های ریز دانه با دانه‌بندی یکنواخت پوشانده شده بود. بنا به نظر چیو و ملویل (۱۹۸۷) برای جلوگیری از تأثیر اندازه‌ی ذرات بستر بر عمق آبشستگی، نسبت قطر پایه به میانگین قطر ذرات رسوبی باید بیشتر از ۵۰ باشد و برای از بین بردن تأثیر غیر یکنواختی رسوبات بر کاهش آبشستگی، میزان انحراف معیار ذرات نیز باید کمتر از ۱/۳ باشد [۱۳]. بنابراین قطر متوسط ذرات 0.0005 m در نظر گرفته شده و میزان انحراف معیار ذرات با استفاده از رابطه‌ی $\sigma = \sqrt{\frac{D_{84}}{D_{16}}}$ برابر ۱/۱۸ محاسبه گردید. طوقه‌ها از صفحه‌های پلکسی گلاس شفاف با ضخامت ناچیز ساخته شده بودند؛ ابعاد طوقه‌ها $3\text{ D} = 7/5 \times 7/5\text{ cm}$ بود و با توجه به درصد‌های باز شدگی مورد نیاز مربع‌هایی به طول ۴ mm برای طوقه‌های ۳۰٪ و ۵۰٪ و برای طوقه‌ی ۷۰٪ به علت محدودیت سطح طوقه مربع‌هایی به طول ۵ mm استفاده از برش لیزری ایجاد شد. طوقه‌ها پس از قرارگیری در تراز مورد نظر بر روی پایه‌های گروه پایه‌ی وسط، به وسیله‌ی چسب آکوارיום چسبانده می‌شد. شکل ۲ طوقه‌های استفاده شده را نشان می‌دهد.



شکل ۲: طوقه‌های استفاده شده در آزمایش‌ها از راست به چپ طوقه ساده، طوقه ۳۰٪ مشبک، طوقه ۵۰٪ مشبک و طوقه ۷۰٪ مشبک

Fig. 2. Collars used in experiments from right to left Simple Collar, 30% Netted collar, 50% Netted Collar and 70% Netted Collar

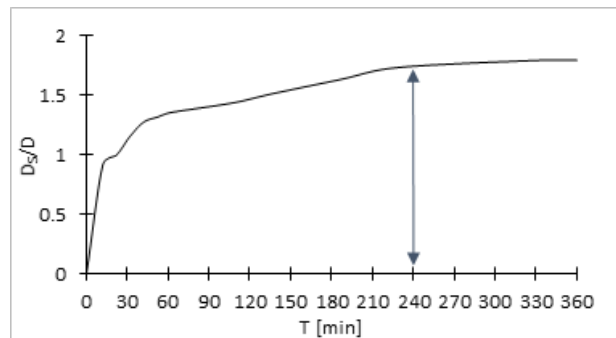
در شکل ۳ تصویر فلوم استفاده شده نشان داده شده است. برای تعیین سرعت آستانه‌ی حرکت رسوبات بستر، آزمایشی بدون حضور پایه‌ها با دبی حداکثر ۲۲ لیتر بر ثانیه طراحی و طی این آزمایش عمق آب به تدریج از ۲۰ تا ۱۰ cm کاسته شد و به مشاهده‌ی حرکت یا عدم حرکت رسوبات بستر در هر عمق پرداخته شد. معیار آستانه‌ی حرکت ذرات در این بررسی‌ها، حرکت جمعی ذرات در نظر گرفته شد. ملاحظه شد که از عمق ۱۱/۴ cm به تدریج ذرات بستر شروع به حرکت کردند و با مشخص بودن دبی و مشخصات کانال، سرعت آستانه‌ی حرکت ذرات بدست آمد. سپس با توجه به اعداد فرود مورد نظر که در محدوده‌ی رودخانه‌های طبیعی قرار داشتند و نیز لزوم بررسی اثر طوقه در شرایط جریان زلال، عمق جریان برابر ۱۵ cm در نظر گرفته و در تمام آزمایش‌ها این عمق لحاظ شد؛ در این مورد نیز با توجه به معلوم بودن مشخصات کانال و دبی هر آزمایش سرعت جریان در هر عدد فرود محاسبه گردید.

جدول ۱: شرایط هیدرولیکی حاکم بر آزمایش‌ها

Table 1. Hydraulic conditions governing experiments

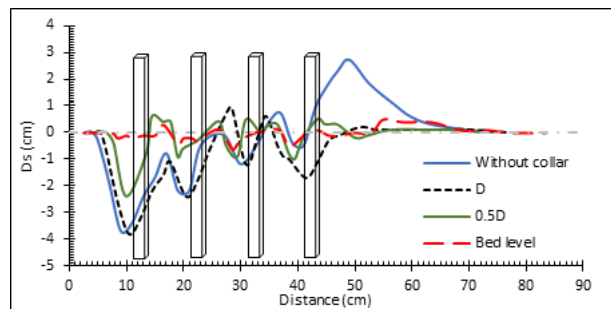
دبی (لیتر بر ثانیه)	سرعت جریان آب (متر بر ثانیه)	سرعت آستانه‌ی حرکت ذرات بستر	نسبت سرعت جریان به سرعت آستانه‌ی حرکت ذرات بستر	عدد فرود	عمق آب (متر)	عدد رینولدز
۲۲	۰/۲	۰/۲۶	۰/۷۷	۰/۱۶	۰/۱۵	۳۰۰۰۰
۱۹	۰/۱۷	۰/۲۶	۰/۶۵	۰/۱۴	۰/۱۵	۲۵۵۰۰
۱۶	۰/۱۵	۰/۲۶	۰/۵۸	۰/۱۲	۰/۱۵	۲۲۵۰۰

به اندازه ۳ D بر روی گروه‌پایه‌های استوانه‌ای با فاصله‌ی ۳ D بین پایه‌ها آبخستگی پایه‌ی اول تا سوم را به ترتیب ۰، ۱۹ و ۴۵ درصد کاهش دادند. با افزایش فاصله بین پایه‌ها به ۴ D به دلیل کاهش اثر تقویت‌کنندگی پایه‌های عقبی بر روی پایه‌ی جلویی راندمان طوقه برای پایه اول به ۷٪ افزایش یافت و برای پایه‌های دوم و سوم به دلیل افزایش فضای محافظت‌نشده‌ی بین پایه‌ها توسط طوقه راندمان آن‌ها به ترتیب به ۱۷ و ۶ درصد کاهش یافت. در حالی که در پژوهش حاضر راندمان طوقه‌های ساده بر روی بستر برای پایه‌های اول تا چهارم به ترتیب ۹۵، ۸۶، ۶۷ و ۶۰ درصد بود.



شکل ۴: منحنی توسعه زمانی حفره آبخستگی به ازای عدد فرود ۰/۱۶

Fig. 4. Time development curve of scour hole for Feroud Number 0.16



شکل ۵: پروفیل طولی آبخستگی گروه پایه‌ی وسط به ازای ترازهای مختلف کارگذاری طوقه ساده در عدد فرود ۰/۱۶

Fig. 5. Longitudinal profile of scour middle pier group for different levels setting of Simple Collar in Feroud Number 0.16

۳- نتایج و بحث

۳-۱- تاثیر تراز کارگذاری طوقه بر حداکثر عمق آبخستگی

۳-۱-۱- طوقه ساده

در تراز D به دلیل ارتفاع زیاد طوقه از سطح بستر، از همان ابتدای آزمایش گردابه‌ها در زیر طوقه عمل نموده و به مرور زمان حفره‌ی آبخستگی وسیع شده و حتی اندکی از آزمایش شاهد نیز بیشتر گردید. با کاهش تراز طوقه به ۰/۵ D در عدد فرود ۰/۱۶ به دلیل فضای کمتر زیر طوقه، گردابه‌های نعل اسبی با شدت کمتری عمل کرده و عمق آبخستگی با سرعت کمتری نسبت به تراز D افزوده شد. همچنین با گذشت مقدار کمی از زمان آزمایش، گردابه‌های برخاستگی وارد عمل شده و تجمع رسوبات در پشت پایه‌ها اتفاق افتاد. طوقه بر روی بستر با ممانعت از برخورد جریان‌های پایین رونده به کف بستر، تقریباً مانع از وقوع گردابه‌های نعل اسبی در جلوی پایه شد. البته یک شیار در طرفین طوقه ایجاد شد که حاصل عملکرد لایه‌ی مرزی پیرامون طوقه بود و بیشترین عمق آبخستگی در اطراف طوقه و در شیار مذکور اتفاق افتاد. راندمان طوقه در این تراز ۹۵ درصد بود. شکل ۵ پروفیل طولی آبخستگی گروه پایه‌ی وسط را، برای ترازهای مختلف کارگذاری طوقه ساده نشان می‌دهد. در جدول ۲ نیز درصد کاهش عمق‌های آبخستگی گروه پایه‌ی وسط در ترازهای متفاوت کارگذاری طوقه ساده و در اعداد فرود مختلف آورده شده است. حیدرپور و همکاران (۲۰۱۰) با استفاده از طوقه

۳-۱-۲- طوقه ۳۰٪ مشبک

در تراز D بازشدگی‌های ایجاد شده در سطح طوقه، باعث آشفته‌گی جریان در اطراف طوقه و تضعیف گردابه‌های ایجاد شده در اطراف پایه گردید. در این تراز با وجود کاهش آبخستگی، گردابه‌های نعل اسبی همچنان با سرعت زیاد در زیر طوقه عمل نموده و تجمع رسوبات در پشت پایه‌ی جلویی دیده نشد. گودال حفر شده نیز توسعه‌ی کمتری نسبت به آزمایش شاهد، دارا بود. کاهش تراز طوقه ۳۰٪ مشبک به ۰/۵ D از سطح بستر با عدد فرود ۰/۱۶، فضای در دسترس برای تشکیل گردابه در جلوی پایه را کاهش داد. در این حالت بازشدگی‌های سطح طوقه مانند یک سطح زبر در مقابل جریان عمل

جلیلی (۱۳۹۲) به منظور کاهش آبستگي از طوقه به اندازه سه برابر قطر پایه در سه تراز مختلف بالای بستر در اطراف یک پایه مکعبی استفاده نمود [۳]. همتی و همکاران (۱۳۹۵) نیز از طوقه ۳۰٪ مشبک اطراف پایه استوانه‌ای در ابعاد و ترازهای مختلف در زیر بستر استفاده نمودند که در اینجا تنها نتایج با طوقه به اندازه سه برابر قطر پایه مورد ارزیابی قرار می‌گیرد [۷]. نمودار شکل ۷ درصد کاهش آبستگي پایه جلویی (R) پژوهش حاضر در حضور طوقه ۳۰٪ مشبک نسبت به قدر مطلق فاصله‌ی طوقه از سطح بستر را با نتایج جلیلی (۱۳۹۲) و همتی و همکاران (۱۳۹۵) مقایسه می‌کند. نتایج در ترازهای کمتر از $D/5$ تقریباً به هم نزدیک بوده اما در تراز $D/5$ بالای سطح بستر، طوقه در کاهش آبستگي گروه پایه موفق‌تر از تک پایه مکعبی عمل نموده است؛ همچنین در تراز D زیر بستر درصد کاهش آبستگي تک پایه استوانه‌ای بیشتر از طوقه در تراز D بالای بستر در اطراف گروه پایه می‌باشد.

جدول ۳: درصد کاهش عمق آبستگي حالت‌های مختلف کارگذاری طوقه ۳۰٪ مشبک در اعداد فرود مختلف نسبت به آزمایش شاهد

Table 3. The percentage of scour depth reduction in different states of setting 30% Netted Collar in different Feroud Numbers relative to non-collar experiment

شماره پایه	درصد کاهش آبستگي نسبت به حالت آزمایش شاهد			
	تراز کارگذاری			
	عدد فرود			
	۰/۱۲	۰/۱۴	۰/۱۶	
پایه اول	۲/۵ سانتی‌متر بالای بستر	۲۲	-	-
	۱/۲۵ سانتی‌متر بالای بستر	۵۴	۵۶	-۷۵
	روی بستر	۸۴	-	-
پایه دوم	۲/۵ سانتی‌متر بالای بستر	۲۳	-	-
	۱/۲۵ سانتی‌متر بالای بستر	۸۶	۹۳	۱۲۲*
	روی بستر	۹۵	-	-
پایه سوم	۲/۵ سانتی‌متر بالای بستر	۰	-	-
	۱/۲۵ سانتی‌متر بالای بستر	۵۸	۸۶	۱۷
	روی بستر	۸۳	-	-
پایه چهارم	۲/۵ سانتی‌متر بالای بستر	-۱۰۰	-	-
	۱/۲۵ سانتی‌متر بالای بستر	۰	۱۰۰	۴۵
	روی بستر	۲۰	-	-

* درصدهای مثبت بیشتر از ۱۰۰ رسوب‌گذاری در جلوی پایه را نشان می‌دهند.

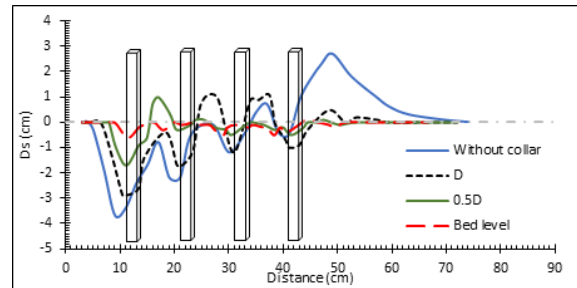
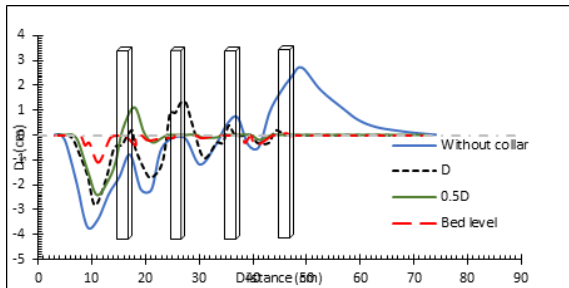
نموده که با آشفته‌سازی جریان و کاهش انرژی گردابه‌ها آبستگي تا حد زیادی کاهش یافته و وسعت حفره‌ی آبستگي نیز کمتر گردید؛ همچنین تجمع رسوبات در پشت پایه‌ی اول نیز دیده شد. در تراز روی بستر، طوقه ۳۰٪ مشبک مانعی در برابر برخورد جریان‌های پایین رونده به سطح بستر ایجاد نمود. البته در ابتدای آزمایش مقدار اندکی از این جریان‌ها با نفوذ به زیرطوقه، گردابه‌های نعل اسبی ضعیفی تشکیل داد که منجر به آبستگي کمی در جلوی پایه‌ها گردید. راندمان کاربرد طوقه ۳۰٪ مشبک بر روی بستر، ۸۴ درصد بود. در شکل ۶ پروفیل طولی آبستگي گروه پایه‌ی وسط، برای ترازهای مختلف کارگذاری طوقه ۳۰٪ رسم شده است. جدول ۳ نیز درصد کاهش عمق آبستگي به ازای اعداد فرود مختلف و برای ترازهای کارگذاری متفاوت طوقه ۳۰٪ مشبک را نشان می‌دهد.

جدول ۲: درصد کاهش عمق آبستگي حالت‌های متفاوت کارگذاری طوقه ساده در اعداد فرود مختلف نسبت به آزمایش شاهد

Table 2. The percentage of scour depth reduction in different states of setting Simple Collar in different Feroud Numbers relative to non-collar experiment

شماره پایه	درصد کاهش آبستگي نسبت به حالت آزمایش شاهد			
	تراز کارگذاری			
	عدد فرود			
	۰/۱۲	۰/۱۴	۰/۱۶	
پایه اول	۲/۵ سانتی‌متر بالای بستر	-۲/۷*	-	-
	۱/۲۵ سانتی‌متر بالای بستر	۳۵	۵۶	۱۰۸-
	روی بستر	۹۵	-	-
پایه دوم	۲/۵ سانتی‌متر بالای بستر	-۹	-	-
	۱/۲۵ سانتی‌متر بالای بستر	۵۹	۹۳	۷۸
	روی بستر	۸۶	-	-
پایه سوم	۲/۵ سانتی‌متر بالای بستر	۰	-	-
	۱/۲۵ سانتی‌متر بالای بستر	۲۵	۱۰۰	۱۳۳
	روی بستر	۶۷	-	-
پایه چهارم	۲/۵ سانتی‌متر بالای بستر	-۲۴۰	-	-
	۱/۲۵ سانتی‌متر بالای بستر	-۱۰۰	۱۱۲	۵۵
	روی بستر	۶۰	-	-

* درصدهای منفی افزایش عمق آبستگي نسبت به آزمایش شاهد را نشان می‌دهند.



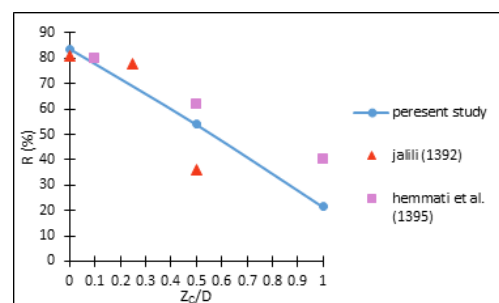
شکل ۸: پروفیل طولی آبشستگی گروه پایه‌ی وسط به ازای ترازهای مختلف کارگذاری طوقه ۵۰٪ مشبک در عدد فرود ۰/۱۶
Fig. 8. Longitudinal profile of scour middle pier group for different levels setting of 50% Netted Collar in Ferroud Number 0.16

شکل ۶: پروفیل طولی آبشستگی گروه پایه‌ی وسط به ازای ترازهای مختلف کارگذاری طوقه ۳۰٪ مشبک در عدد فرود ۰/۱۶
Fig. 6. Longitudinal profile of scour middle pier group for different levels setting of 30% Netted Collar in Ferroud Number 0.16

جدول ۴: درصد کاهش عمق آبشستگی حالت‌های مختلف کارگذاری طوقه ۵۰٪ مشبک در اعداد فرود مختلف نسبت به آزمایش شاهد

Table 4. The percentage of scour depth reduction in different states of setting 50% Netted Collar in different Ferroud Numbers relative to non-collar experiment

درصد کاهش آبشستگی نسبت به حالت آزمایش شاهد			تراز کارگذاری	شماره پایه
عدد فرود				
۰/۱۲	۰/۱۴	۰/۱۶	۲/۵ سانتی‌متر بالای بستر	پایه اول
-	-	۲۴	۱/۲۵ سانتی‌متر بالای بستر	
۸۳-	۵۶	۳۵	روی بستر	
-	-	۷۰	۲/۵ سانتی‌متر بالای بستر	پایه دوم
-	-	۲۳	۱/۲۵ سانتی‌متر بالای بستر	
۸۹	۷۹	۸۶	روی بستر	
-	-	۹۱	۲/۵ سانتی‌متر بالای بستر	پایه سوم
-	-	۲۵	۱/۲۵ سانتی‌متر بالای بستر	
۸۳	۴۳	۹۲	روی بستر	
-	-	۹۲	۲/۵ سانتی‌متر بالای بستر	پایه چهارم
-	-	۴۰	۱/۲۵ سانتی‌متر بالای بستر	
۹۱	۷۶	۶۰	روی بستر	
-	-	۲۰	روی بستر	



شکل ۷: مقایسه‌ی نتایج درصد کاهش آبشستگی طوقه ۳۰٪ مشبک در پژوهش حاضر با نتایج جلیلی (۱۳۹۲) و همتی و همکاران (۱۳۹۵) نسبت به قدر مطلق فاصله‌ی طوقه از سطح بستر
Fig. 7. Comparison the results of 30% Netted Collar scour reduction percentage in present study with the results of Jalili (1392) and Hemmati et al. (1395) relative to absolute of the collar distance from the bed surface

۳-۱-۳- طوقه ۵۰٪ مشبک

در آزمایش با حضور طوقه‌ی ۵۰ درصد مشبک در تراز D نسبت به سطح بستر، بازشدگی‌های سطح طوقه با آشفته نمودن جریان لایه‌ی مرزی در اطراف طوقه گردابه‌ها را مستهلک نموده و آبشستگی را ۲۴ درصد کاهش دادند. در تراز ۰/۵ D از سطح بستر به دلیل فاصله‌ی کمتر طوقه از سطح بستر، فضای موجود برای تشکیل گردابه‌های نعل اسبی نسبت به تراز D محدود شده و عمق حفره‌ی آبشستگی به میزان ۳۵ درصد کاهش یافت. در این حالت از وسعت حفره‌ی آبشستگی نیز کاسته شده و رسوبات بیشتری نسبت به تراز D در پشت پایه‌ها انباشته گردید؛ همچنین آبشستگی نسبت به حالت قبل از روند آرام‌تری برخوردار بود. با قرارگیری طوقه بر روی بستر مقداری از جریان‌های فوق به زیر طوقه نفوذ کرده و مقدار کمی آبشستگی اتفاق افتاد. راندمان کاربرد طوقه در این حالت برابر ۷۰ درصد بود. شکل ۸ پروفیل طولی آبشستگی گروه پایه‌ی وسط را نشان می‌دهد. در جدول ۴ درصد کاهش عمق آبشستگی طوقه‌ی ۵۰ درصد مشبک نسبت به شاهد در ترازهای کارگذاری متفاوت و تحت اعداد فرود مختلف آورده شده است.

۳-۱-۴- طوقه ۷۰٪ مشبک

در تراز D طوقه باعث آشفته‌گی جریان لایه‌ی مرزی و افزایش ممنوم جریان در نزدیکی طوقه شده و آبشستگی به میزان ۴۸ درصد نسبت به شاهد کاهش یافت. بیشترین حجم رسوب‌گذاری در بین ترازهای مختلف کارگذاری طوقه ۷۰٪ مشبک، در این آزمایش اتفاق افتاد که دلیل آن بیشتر

پایه جلویی، عملکرد نسبتاً مشابهی داشتند. طوقه ۷۰ درصد مشبک به دلیل باز شدگی بیشتر نسبت به دیگر طوقه‌های مشبک در همین تراز، در استهلاک گردابه‌های ایجاد شده در اطراف پایه‌ها موفق‌تر عمل نموده و عمق آبستتگی پایه اول را به میزان ۴۸ درصد کاهش داد. در پایه‌های بعدی نیز عملکرد طوقه ۵۰ درصد مشبک بهتر از طوقه ۳۰ درصد مشبک بوده و طوقه ۷۰ درصد مشبک بالاترین راندمان را برای این تراز نشان داد. در شکل ۱۰ پروفیل طولی آبستتگی گروه پایه‌ی وسط برای طوقه‌های مختلف با درصد‌های باز شدگی متفاوت رسم شده است.

جدول ۵: درصد کاهش عمق آبستتگی حالت‌های مختلف کارگذاری طوقه ۷۰٪ مشبک در اعداد فرود مختلف آزمایش شاهد

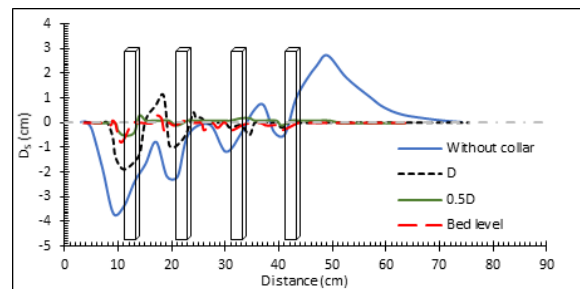
Table 5. The percentage of scour depth reduction in different states of setting 70% Netted Collar in different Feroud Numbers relative to non-collar experiment

شماره پایه	درصد کاهش آبستتگی نسبت به حالت آزمایش شاهد			تراز کارگذاری
	۰/۱۲	۰/۱۴	۰/۱۶	
پایه اول	-	-	۴۹	۲/۵ سانتی‌متر بالای بستر
	۳۳	۵۶	۸۶	۱/۲۵ سانتی‌متر بالای بستر
	-	-	۷۸	روی بستر
پایه دوم	-	-	۵۵	۲/۵ سانتی‌متر بالای بستر
	۱۱۱	۱۰۷	۹۵	۱/۲۵ سانتی‌متر بالای بستر
	-	-	۹۵	روی بستر
پایه سوم	-	-	۸۳	۲/۵ سانتی‌متر بالای بستر
	۱۱۷	۱۲۹	۱۰۸	۱/۲۵ سانتی‌متر بالای بستر
	-	-	۷۵	روی بستر
پایه چهارم	-	-	۶۰	۲/۵ سانتی‌متر بالای بستر
	۱۲۷	۱۰۶	۸۰	۱/۲۵ سانتی‌متر بالای بستر
	-	-	۴۰	روی بستر

۳-۲-۲- طوقه در تراز ۵ D

در عدد فرود ۰/۱۶ طوقه‌ی ساده با کاستن از فضای در دسترس برای عملکرد طوقه‌ها منجر به کاهش عمق آبستتگی گردید. طوقه‌ی ۵۰٪ مشبک به علت عبور جریان از میان باز شدگی‌های آن، همانند طوقه ساده ۳۵ درصد آبستتگی پایه جلویی را کاهش داد. طوقه‌ی ۳۰ درصد مشبک

بودن عمق آبستتگی تراز D نسبت به دیگر ترازهای کارگذاری طوقه ۷۰٪ مشبک بود. در تراز ۵ D نسبت به سطح بستر لایه‌ی مرزی اطراف طوقه بطور کامل توسعه یافته که نتیجه‌ی آن تمایل بسیار پایین جریان برای جدایی از سطح طوقه بود. همچنین در این حالت باز شدگی‌های سطح طوقه گردابه‌های ایجاد شده در اطراف پایه را تا حد زیادی تضعیف نموده و نهایتاً تحت تأثیر این دو عامل عمق آبستتگی به میزان ۸۶٪ کاسته شد که بالاترین راندمان در میان طوقه‌های مشبک محسوب می‌شد. طوقه‌ی ۷۰٪ مشبک بر روی بستر راندمان نسبتاً کمتری از تراز قبل نشان داد؛ راندمان آن در این تراز برابر ۷۸٪ بود که با توجه به درصد باز شدگی بالای آن راندمان خوبی محسوب می‌گردد. در همه‌ی طوقه‌ها بجز طوقه‌ی ۷۰٪ مشبک، با کاهش در تراز قرارگیری طوقه به راندمان طوقه‌ها افزوده شده است. طوقه‌ی ۷۰٪ مشبک با کاهش تراز کارگذاری آن ابتدا روند افزایشی و سپس روند کاهش‌ی پیدا می‌کند که دلیل آن را می‌توان عبور جریان‌های اطراف پایه از میان باز شدگی‌های آن در تراز روی بستر عنوان کرد. در شکل ۹ پروفیل طولی آبستتگی گروه پایه‌ی وسط برای ترازهای مختلف کارگذاری طوقه‌ی ۷۰٪ مشبک نشان داده شده است. در جدول ۵ نیز درصد کاهش عمق‌های آبستتگی برای هر تراز قرارگیری طوقه ۷۰٪ مشبک نسبت به حالت بدون طوقه تحت اعداد فرود متفاوت آورده شده است.



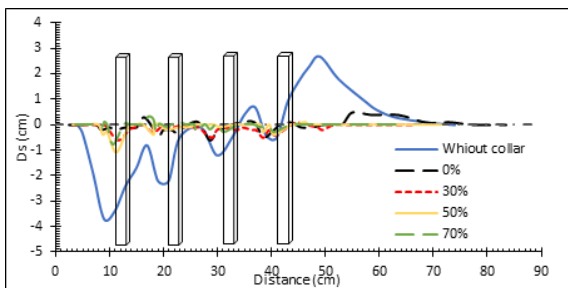
شکل ۹: پروفیل طولی آبستتگی گروه پایه‌ی وسط به ازای ترازهای مختلف کارگذاری طوقه ۷۰٪ مشبک در عدد فرود ۰/۱۶
Fig. 9. Longitudinal profile of scour middle pier group for different levels setting of 70% Netted Collar in Feroud Number 0.16

۳-۲-۳- تأثیر درصد باز شدگی طوقه بر حداکثر عمق آبستتگی گروه پایه وسط
۳-۲-۱- طوقه در تراز D

در این تراز همانطور که در بخش‌های قبل نیز ذکر گردید طوقه‌ی ساده به دلیل ارتفاع زیاد نسبت به سطح بستر و عملکرد گردابه‌ها در زیر طوقه در کاهش عمق آبستتگی هیچ کدام از پایه‌های گروه پایه‌ی وسط موثر نبود و حتی عمق آبستتگی را افزایش داد. طوقه‌های ۳۰٪ و ۵۰٪ مشبک به دلیل باز شدگی‌های ایجاد شده در سطح آن‌ها، سبب آشفتنی جریان لایه مرزی اطراف طوقه و استهلاک گردابه‌های نعل اسبی در اطراف پایه‌ها شده و به ترتیب با ۲۲ و ۲۴ درصد راندمان در کاهش عمق آبستتگی

۳-۲-۳- طوقه بر روی بستر

در تراز روی بستر طوقه ساده با ۹۵٪ راندمان، بهترین عملکرد را در کاهش عمق آبستگي داشت. طوقه‌های مشبک در این تراز عملکردی نسبتاً نزدیک به یکدیگر داشتند اما طوقه ۵۰٪ مشبک کارایی کمتری نسبت به دیگر طوقه‌ها دارا بود. طوقه‌ی ۳۰٪ مشبک به دلیل عبور کمتر جریان از میان بازشدگی‌های آن با راندمان ۸۴٪، بعد از طوقه‌ی ۷۰٪ مشبک در تراز $D/5$ بیشترین تأثیر را در کاهش عمق آبستگي پایه اول در میان طوقه‌های مشبک دارا بود. در شکل ۱۲ پروفیل طولی آبستگي گروه پایه‌ی وسط برای طوقه با درصدهای بازشدگی مختلف رسم شده است.



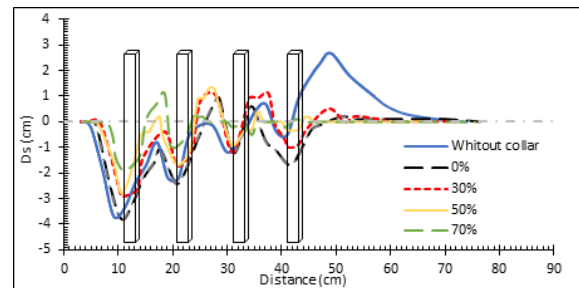
شکل ۱۲: پروفیل طولی آبستگي گروه پایه‌ی وسط برای طوقه‌ها با درصدهای بازشدگی مختلف در تراز روی بستر و عدد فرود ۰/۱۶

Fig. 12. Longitudinal profile of scour middle pier group for collars with different opening percentages on the bed and Froude number of 0.16

۴- نتیجه‌گیری

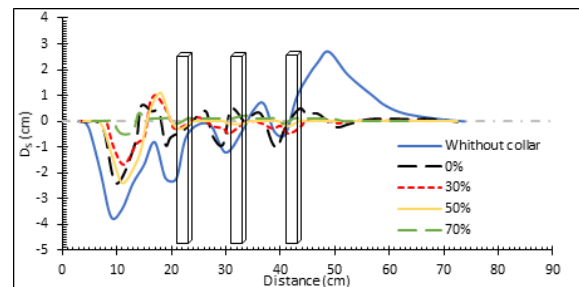
در این پژوهش به بررسی تأثیر طوقه‌های ساده و مشبک بر حداکثر عمق آبستگي گروه پایه‌های مکعبی پل پرداخته شد. بدین منظور از چهار نوع طوقه‌ی ۰، ۳۰، ۵۰ و ۷۰ درصد مشبک استفاده شد که در سه تراز روی بستر، $D/5$ و D بالای بستر کار گذاشته شد. در بعضی از آزمایش‌ها طوقه باعث تغییر در محل وقوع حداکثر عمق آبستگي از اطراف پایه به محیط اطراف طوقه شد. از بین تمامی آزمایش‌ها، طوقه‌ی ساده بر روی بستر با راندمان ۹۵ درصد و طوقه‌ی ۷۰٪ مشبک در تراز $D/5$ نسبت به سطح بستر با راندمان ۸۶ درصد بیش‌ترین تأثیر را بر کاهش عمق آبستگي پایه‌ی جلویی تحت عدد فرود ۰/۱۶ دارا بودند. در عدد فرود ۰/۱۴ تمام طوقه‌ها مانند هم عمل کردند و درصد بازشدگی بر عملکرد طوقه‌ها بی‌تأثیر بود. طی آزمایش‌ها ملاحظه شد که در عدد فرود ۰/۱۲ طوقه‌های با درصد بازشدگی کمتر از ۷۰٪ هیچ کدام در کاهش عمق آبستگي پایه‌ی جلویی مؤثر نبودند. با کاهش تراز طوقه‌های ۰، ۳۰ و ۵۰ درصد بر راندمان آن‌ها افزوده شد؛ تنها طوقه ۷۰٪ مشبک با کاهش تراز آن از $D/5$ به سطح بستر راندمان آن تا حدی کاهش یافت که دلیل آن بازشدگی زیاد سطح طوقه و در نتیجه عبور بیشتر جریان از داخل بازشدگی‌ها بود. در کل طوقه‌ی ۷۰٪ مشبک به علت سبک‌تر بودن و نتایج بهتر در هر سه عدد فرود پیشنهاد می‌گردد.

در این تراز به دلیل عبور کمتر گردابه‌ها از میان بازشدگی‌های خود ۵۴ درصد عمق آبستگي را کاهش داد. طوقه ۷۰٪ مشبک با توسعه‌ی کامل جریان لایه مرزی در اطراف خود، در میان طوقه‌های مشبک بیشترین تأثیر را بر کاهش عمق آبستگي پایه‌ی اول با راندمان ۸۶ درصد دارا بود؛ همچنین پایه‌های دیگر این گروه پایه نیز کمترین عمق آبستگي را در بین تمام آزمایش‌ها نشان دادند. شکل ۱۱ پروفیل طولی آبستگي برای طوقه‌ها با درصدهای بازشدگی مختلف در تراز $D/5$ را نشان می‌دهد. در عدد فرود ۰/۱۴ تمامی طوقه‌ها با ۵۶ درصد کاهش عمق آبستگي پایه جلویی مانند هم عمل کردند. به عبارتی در این عدد فرود میزان بازشدگی طوقه تأثیری بر عمق آبستگي نداشت؛ که طوقه ۷۰٪ مشبک به علت سبک‌تر بودن و نیز از بین بردن کامل آبستگي پایه‌های عقبی برای این شرایط هیدرولیکی توصیه می‌شود. در عدد فرود ۰/۱۲ نیز هیچ کدام از طوقه‌ها در کاهش عمق آبستگي پایه‌ی جلویی مؤثر نبودند و تنها طوقه ۷۰٪ مشبک عمق آبستگي پایه‌ی اول را به میزان ۳۳ درصد کاهش داد و پایه‌های دیگر گروه پایه‌ی وسط نیز هیچ‌گونه آبستگي نشان ندادند. می‌توان اینگونه استنباط کرد که جز در درصدهای بازشدگی بسیار بالا، طوقه نمی‌تواند عملکرد مطلوبی در کاهش عمق آبستگي در عدد فرود ۰/۱۲ داشته باشد.



شکل ۱۰: پروفیل طولی آبستگي گروه پایه‌ی وسط برای طوقه‌ها با درصدهای بازشدگی مختلف در تراز D و عدد فرود ۰/۱۶

Fig. 10. Longitudinal profile of scour middle pier group for collars with different opening percentages in D level and Froude number of 0.16



شکل ۱۱: پروفیل طولی آبستگي گروه پایه‌ی وسط برای طوقه‌ها با درصدهای بازشدگی مختلف در تراز $D/5$ و عدد فرود ۰/۱۶

Fig. 11. Longitudinal profile of scour middle pier group for collars with different opening percentages in $0.5D$ level and Froude number of 0.16

- Bridge Pier, Journal of Irrigation Science and Engineering, 39 (2016) (4) 111-122 (in Persian).
- [8] A.M. Zarrati, M. Nazariha, M. Mashahir, Reduction of local scour in the vicinity of bridge pier groups using collars and riprap, Journal of Hydraulic Engineering, 132(2) (2006) 154-162.
- [9] B. Ataie-Ashtiani, A. Beheshti, Experimental investigation of clear-water local scour at pile groups, Journal of Hydraulic Engineering, 132(10) (2006) 1100-1104.
- [10] M. Heidarpour, H. Afzalimehr, E. Izadinia, Reduction of local scour around bridge pier groups using collars, International Journal of Sediment Research, 25(4) (2010) 411-422.
- [11] A. Amini, B.W. Melville, T.M. Ali, A.H. Ghazali, Clear-water local scour around pile groups in shallow-water flow, Journal of Hydraulic Engineering, 138(2) (2011) 177-185.
- [12] M. Karimae-Tabarestani, A. Zarrati, Effect of collar on time development and extent of scour hole around cylindrical bridge piers, International Journal of Engineering-Transactions C: Aspects, 25(1) (2011) 11-16.
- [13] Y. Chiew, B. Melville, Local scour around bridge piers, Journal of Hydraulic Research, 25(1) (1987) 15-26.
- [1] G.N. Khadem, Design of Riprap layer around bridge piers with Limited Allowed Scour, Ferdowsi University of Mashad, 2002 (in Persian).
- [2] M. Shafai Bajestan, Basic Theory Practice Hydraulics of Sediment Transport, Shahid Chamran University of Ahvaz Press, 2011 (in Persian).
- [3] A. Jalili, Effect of using netted collar on bridge piers scouring, Shahid Chamran University of Ahvaz, 2013 (in Persian).
- [4] R. Hosseini, A. Amini, Scour depth estimation methods around pile groups, KSCE Journal of Civil Engineering, 19(7) (2015) 2144-2156.
- [5] H. Shariati, S.R. Khodashenas, Investigation of Control Methods on Local Scouring around the Bridge Piers, Journal of Water and Sustainable Development, 1(3) (2015) 43-52 (in Persian).
- [6] Z. Alem, Effect of netted collar on the scour of bridge abutment, Shahid Chamran University of Ahvaz, 2012 (in Persian).
- [7] M. Hemmati, N. Gholizadeh, S. Dolatkah, Experimental Investigation of the Effect of Diameter and Placement Level of Lattice Collars on Scour Reduction around

برای ارجاع به این مقاله از عبارت زیر استفاده کنید:

Please cite this article using:

N. Bahrami, M. Ghomeshi, Effect of Netted Collar on Maximum Local Scouring Depth of Cubic Bridge Pile Groups, *Amirkabir J. Civil Eng.*, 50(4) (2018) 655-664.

DOI: 10.22060/ceej.2017.2666



