اثر حضور طوقه مشبک بر عمق آب‌شستگی اطراف پایه پل مکعبی شکل

آمنه جلیلی[1*] و مهدی قمشی[2]

۱*- نویسنده مسئول، دانشجوی کارشناسی ارشد سازه های آبی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز

۲- استاد گروه سازه‌های آبی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز

تاریخ دریافت: ۹۲/۶/۱۲ تاریخ پذیرش: ۹۳/۸/۴

چکیده

دو عامل مهم باعث ایجاد آب‌شستگی اطراف پایه های پل می شوند؛ یکی برخورد جریان با پایه و دیگری جدایی جریان از پایه. نصب طوق از تماس مستقیم جریان پایین رونده در جلو پایه با بستر رودخانه جلوگیری می‌کند و توان گرداب نعل‌اسبی را کاهش می‌دهد. در این تحقیق، اثر قرارگیری طوق مشبک و طوق ساده بر آب‌شستگی اطراف پایه پل مکعبی به ابعاد ٤٠ میلی‌متر و در فلومی به طول ۷/۳ متر، عرض ۰/٥٦ متر و عمق ۰/٦ متر مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور آزمایش‌ها با چهار طوقه ساده، ۱۵، ۳۰ و ٤٠ درصد مشبک تحت سه عدد فرود ۰/۱۹، ۰/۱٦ و ۰/۱۳ در شرایط آب زلال، در آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه شهید چمران اهواز انجام شد. عملکرد طوقه‌ها در سه تراز $0.5B$، $0.25B$ و روی بستر رسوبی بررسی و با نتایج پایه بدون طوقه مقایسه گردید. نتایج آزمایش‌ها بین ۳٤ تا ۹۷ درصد کاهش در عمق بیشینه آب‌شستگی را در حضور طوقه‌های مشبک نشان داد. هم‌چنین با کاهش فرود جریان در تمامی طوقه‌ها با درصدهای بازشدگی مختلف، میزان آب‌شستگی کاهش یافت.

کلید واژه‌ها: آب‌شستگی، پایه پل مکعبی، طوقه ساده، طوقه مشبک.

Influence of Netted Collar on Scour depth around of Cubic Bridge Pier

A.Jalili[1*] and M. Ghomeshi[2]

1*- M.Sc. Student, Faculty of Water Sciences Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran.
2- Professor, Faculty of Water Sciences Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran.

Received:3 September 2013 Accepted:26 October 2014

Abstract

Two major factors causing of scour around bridge piers are the down flow occurred in upstream part of the piers and separation of streamlines from piers called horseshoe vortex. Installation of a collar on a pier will reduce the power of the down flow and horseshoe vortex. In this study, the effects of placement of collar and netted collars on scour depth of cubic pier are investigated. The experimental flume was rectangular with the length of 7.3 meters, width of 0.56 m and a depth of 0.6 m. For this propose four collars included, one simple and three netted (with opening parts equal to 15percent, 30percent and 40percent), are tested under clear water condition. The experiments were performed in laboratory flume on Hydraulics Laboratory of Shahid Chamran University. The collars were installed in three levels equal to 0.5B, 0.25B and on the bed. The results were compared with the pier without the collar, and showed that the netted collar reduce the maximum scour depth between 34percent to 97percent in comparison with the case of no collar used. Also in low Froude Numbers, the netted collars showed better protection in comparison with the simple one.

Keywords: Scour, Cubic Pier, Collar, Netted Collar.

مقدمه

آب‌شستگی پایه‌های پل از مباحث مهم در مهندسی رودخانه به‌شمار می‌رود. در اثر آب‌شستگی حفره‌ای در اطراف پایه پل ایجاد می‌گردد و پایداری آن‌را تضعیف می‌کند و ممکن است در اثر یک سیل بزرگ ویران گردد. برخورد جریان آب به پایه پل و جدائی آن عوامل اصلی آب‌شستگی موضعی در اطراف پایه پل به حساب

می‌آیند. در اثر برخورد آب به پایه پل به علت کاهش فشار از سطح آزاد جریان به سمت بستر، جریان‌های رو به پایین ایجاد می‌گردد و این جریان‌های رو به پایین پس از برخورد به بستر با جریان اصلی برخورد کرده و گرداب نعل‌اسبی را به‌وجود می‌آورد .گرداب‌های نعل‌اسبی بیشتر در جلو پایه پل فعالیت دارند. جدائی جریان از پایه پل، در پشت پایه گرداب برخاستگی را به‌وجود می‌آورد. بررسی‌ها نشان می‌دهد گرداب‌های نعل‌اسب و برخاستگی نقش عمده‌ای را در ایجاد حفره آب‌شستگی اطراف پایه پل دارند (بروسرز و رادکیوی[1]، ۱۹۹۱). آب‌شستگی موضعی به دو حالت آب‌شستگی آب زلال و آب‌شستگی بستر زنده تقسیم‌بندی می‌شود. در آب‌شستگی آب زلال به‌علت عدم حرکت رسوبات بالادست پایه پل، حداکثر مقدار عمق حفره آب‌شستگی ایجاد می‌گردد.

انواع روش‌های موجود کنترل آب‌شستگی را می‌توان به طور عمده به دو دسته اصلی تقسیم نمود. دسته نخست، روش‌هایی هستند که با قراردادن اجزای وزین در مجاورت پایه‌های پل، بستر رودخانه در اطراف پایه‌ها که همواره مورد تهدید فرسایش قرار دارند، حفاظت شده و در نتیجه خطر آب‌شستگی تا حدود قابل توجهی کاهش می‌یابد. دسته دوم شامل مواردی است که با اثر گذاری بر جریان اطراف پایه‌های پل، انرژی جریان‌های گردابی مؤثر در ایجاد آب‌شستگی را تضعیف می‌کند. از جمله این روش‌ها استفاده از صفحه‌ای نازک است که در یک ارتفاع مشخص از پایه پل نصب می‌شود و طوقه نامیده می‌شود. حسن طوق آن است که پس از احداث رودخانه حتی زمانی که آب در رودخانه جریان دارد، قابل اجرا است. از عیب‌های این روش آن است که طوق آب‌شستگی را به‌طور کامل برطرف نمی‌کند و هم‌چنین نصب آن احتیاج به دقتی به مراتب بیشتر از سنگ‌چین دارد (بلوچی[2]، ۲۰۱۰).

لارسن و توچ[3] (۱۹۵۶) را می‌توان از محققین پیشگام در استفاده از طوق دانست. آن‌ها از وسیله‌ای شبیه طوق برای جلوگیری از آب‌شستگی پایه پل استفاده کردند و به این نتیجه رسیدند که آب‌شستگی کاهش یافته است. مطالعات گسترده‌ای که توسط تاناکا و یانو[4] (۱۹۶۷) صورت گرفت نشان می‌دهد که نصب یک طوق به پایه موجب کاهش میزان آب‌شستگی اطراف پایه می شود، همچنین به‌کار بردن یک طوق با قطر سه برابر قطر پایه پل در تراز بستر رودخانه نشان دهنده کاهش عمق آب شستگی برابر با ۲۲ درصد می‌باشد. بر طبق نظر زراتی و همکاران[5] (۲۰۰۴) طوق‌ها در کاهش آب‌شستگی پایه‌های مستطیل شکل مؤثرتر از پایه های دایره‌ای عمل می‌کنند. مشاهیری و همکاران[6] (۲۰۰۴) نیز مطالعاتی را بر روی توسعه زمانی عمق آب‌شستگی در پایه‌های پل همراه با طوق انجام دادند. در آزمایش‌های آن‌ها طوقی به اندازه سه برابر قطر پایه مورد استفاده قرار گرفت. آن‌ها نتایج حاصل از آزمایش‌های خود را با نتایج اتما[7] (۱۹۸۰) مقایسه کردند و اظهار داشتند که طوقی که در سطح بستر قرار گرفته و عرض آن سه برابر قطر یا عرض پایه باشد، مؤثرتر از یک طوق با دو برابر قطر پایه می‌باشد. بر طبق نظر دفانتی و همکاران[8] (۲۰۱۰) شرایط جریان نیز بر میزان راندمان طوق در کاهش عمق آب شستگی مؤثر می‌باشد، نتایج آن‌ها نشان داد که طوق‌ها در سرعت‌های پایین جریان آب از عملکرد بهتری برخوردار می‌باشند.

عالم (۱۳۹۱) تأثیر قرارگیری طوقه مشبک وساده را بر آب‌شستگی تکیه‌گاه پل مورد بررسی قرار داد. نتایج نشان داد استفاده از طوق مشبک میزان آب‌شستگی اطراف تکیه‌گاه را کاهش می‌دهد. در بین طوقه‌های مشبک، طوقه با درصد بازشدگی ۳۳ درصد بهترین عملکرد را داشت به‌طوری‌که میزان کاهش آب‌شستگی طوقه مشبک نسبت به طوقه ساده برای دبی ۲۵ لیتر بر ثانیه و در ارتفاع‌های ۲ و ۴ سانتی‌متر به‌ترتیب ۹/۴ و ۱۰/۴ درصد بود. او علت این امر را تأثیر میزان بازشدگی طوقه بر جریان‌های لایه مرزی دانست. به عبارتی جدایی خطوط جریان از سطح دیرتر اتفاق افتاد.

لایه مرزی ناحیه‌ای است نزدیک به سطح جامد که در آن نیروهای لزوجتی دارای اهمیت هستند. جریان در لایه‌های مرزی ابتدا ورقه‌ای است، جریان حد واسط(بینابین) به‌طرف درهم بسته به حالت جریان آزاد، زبری سطح و گرادیان فشار با مقداری فاصله از نقطه سکون اتفاق می‌افتد.

به‌طور کلی هرچه جریان آشفته‌تر یا به‌عبارتی سطح جسم قرار گرفته در برابر جریان تا حد مشخصی زبرتر باشد، جدایی خطوط جریان از سطح جسم دیرتر اتفاق می‌افتد. در طوقه صاف جریان به فاصله کوتاهی از تشکیل به نقطه جدایی می‌رسد و در نتیجه وجود جریان برگشتی موجب آب‌شستگی بیشتر خواهد شد. با زبرشدن یا مشبک شدن طوقه، لایه مرزی آشفته شده، در نتیجه نقطه جدایی به تأخیر خواهد افتاد. نتیجه این تغییر وضعی کاهش جریان برگشتی و کاهش آب‌شستگی خواهد بود.

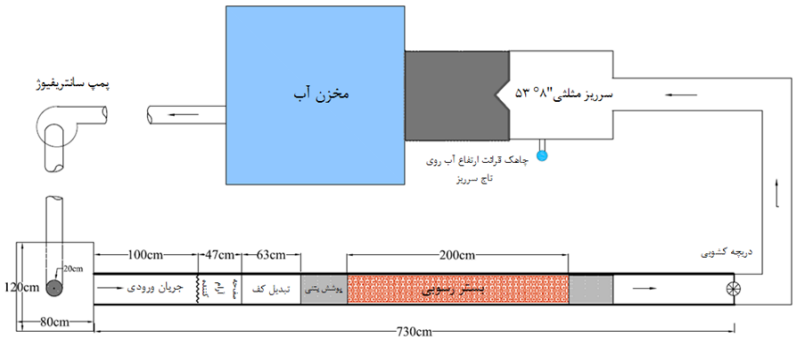
با توجه به اینکه کلیه تحقیقاتی که تاکنون در مورد پایه پل صورت گرفته است تنها تأثیر طوقه ساده را در کاهش آب‌شستگی مورد بررسی قرار داده‌اند، در این پژوهش تأثیر طوقه مشبک بر تغییرات آب‌شستگی پیرامون پایه مکعبی شکل پل مورد بررسی قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

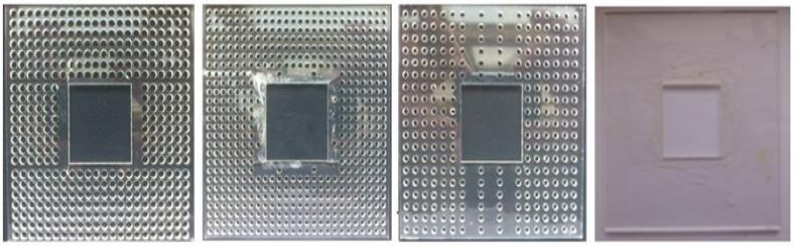
تجهیزات آزمایشگاهی: آزمایش‌های این تحقیق در فلومی به طول ۷/۳ متر، عرض ۰/۵۶ متر و عمق ۰/۶ متر با شیب طولی ۰/۰۰۲۸ در آزمایشگاه هیدرولیک دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه چمران انجام شده است. دیواره‌ها و کف فلوم از جنس

1- Breusers and Raudkivi
2- Balouchi
3 -Laursen and Toch
4 -Tanaka and Yano
5 -Zarrati *et al.*
6- Mashahiri *et al.*
7 -Ettema
8 -Defanti *et al.*

پلکسی گلاس بود. آب مورد نیاز با استفاده از یک پمپ سانتریفیوژ از مخزن زیرزمینی تامین می‌گردید. جریان در ابتدای فلوم وارد مخزن آرام کننده می‌شد. به‌منظور حذف تلاطم ورودی، از یک صفحه مشبک آرام کننده، در فاصله یک متری از دهانه ورودی فلوم، استفاده شد. جریان پس از خروج از فلوم، وارد یک حوضچه می‌گردید و با عبور از روی یک سرریز مثلثی استاندارد ۵۳ درجه، مجدداً وارد مخزن زیرزمینی، می‌شد. اندازه‌گیری دبی جریان با قرائت ارتفاع آب روی راس سرریز مثلثی و با استفاده از رابطه دبی- اشل سرریز صورت می‌گرفت. با توجه به زیر بحرانی بودن جریان، کنترل عمق جریان با استفاده از یک دریچه کشویی که در انتهای فلوم قرار داشت، صورت گرفت. در شکل (۱) نمایی از فلوم آزمایشگاهی نشان داده شده است.



شکل۱- پلان کانال و تجهیزات آزمایشگاهی



شکل۲- طوقه‌های ساده و مشبک با ابعاد ۱۲۰×۱۲۰ میلی‌متر



شکل۳- نمایی از طوقه نصب شده روی پایه در تحقیق حاضر

جدول۱- شرایط جریان حاکم بر آزمایش‌ها

(V/V_c)	V(m/s)	y (m)	Q (m^3/s)	Fr = $V/\sqrt{gy}$	Re = VR/υ
۰/۹۴	۰/۲۸	۰/۲۲۵	۰/۰۳۵	۰/۱۹	۳۵۰۰۰
۰/۸۱	۰/۲۴	۰/۲۲۵	۰/۰۳	۰/۱۶	۳۰۰۰۰
۰/۶۷	۰/۲	۰/۲۲۵	۰/۰۲۵	۰/۱۳	۲۵۰۰۰

برای از بین رفتن تأثیر دیواره‌های کانال بر آب‌شستگی موضعی، طبق توصیه‌های چیو و ملویل [1](۱۹۸۷) قطر پایه نباید از ۱۰ درصد عرض کانال بیش‌تر باشد. لذا از پایه مکعبی از جنس پلکسی گلاس به ابعاد۴۰×۴۰ میلی‌متر استفاده گردید. برای اطمینان از نصب طوقه در ارتفاع مورد نظر از بستر، پایه به‌وسیله دستگاه برش لیزری با دقت یک میلی‌متر مدرج شده بود. طوقه‌ها به صورت صفحاتی از جنس پلکسی گلاس و با ضخامت سه میلی‌متر تهیه شدند. با توجه به نتایج مطالعات بسیاری که در زمینه طوقه ساده انجام گرفته است، طوقه‌ای با طول سه برابر قطر پایه مورد آزمایش، بیش‌ترین تأثیر را در کاهش آب‌شستگی دارد. در نتیجه طول تمامی طوقه‌ها سه برابر قطر پایه‌ها در نظر گرفته شد. به این ترتیب، طوقه‌ها از صفحات مربعی به ابعاد ۱۲۰×۱۲۰ میلی‌متر تهیه شد.

طوقه‌های مشبک با سه درصد بازشدگی مختلف ۱۵، ۳۰ و ۴۰ درصد مشبک تهیه شدند. روی هریک از این صفحات با توجه به بازشدگی مورد نیاز سوراخ‌هایی به قطر سه میلی‌متر با دستگاه برش لیزری ایجاد شد.

برای نصب طوقه‌ها روی پایه، ابتدا قطعه‌های کوچکی به شکل مکعب مربع از جنس پلکسی گلاس با ضخامت دو میلی‌متر به‌عنوان تکیه‌گاه روی پایه و در تراز مورد نظر نصب گردید و پس از حصول اطمینان از تراز بودن طوقه در ارتفاع مورد نظر، طوقه و پایه توسط چسب آکواریوم به‌هم چسبانده شدند. شکل (۲) طوقه‌های ساده و مشبک استفاده شده در این پژوهش و شکل (۳) نمایی از طوقه نصب شده روی پایه را در تحقیق حاضر نشان می‌دهد.

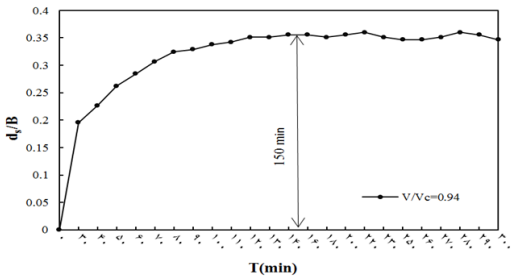
برای حذف اثر غیریکنواختی رسوبات بر کاهش آب‌شستگی موضعی مطابق پیشنهاد چیو و ملویل (۱۹۸۷) میزان انحراف معیار هندسی ذرات ($\sigma_g = \sqrt{D_{84.1}/D_{15.9}}$) باید از ۱/۳ کمتر باشد. با توجه به شرایط ذکرشده، برای تأمین رسوبات بستر از ماسه‌ی باقی‌مانده بین الک‌های ۳۰ و۴۰ در محدوده اندازه ذرات ۰/۵۹ تا ۰/۴۲ میلی‌متر استفاده و بستر در بازه‌ای دو متری به ضخامت ۱۱ سانتی‌متر با رسوباتی با متوسط قطر ذرات ۰/۵ میلی‌متر پوشانده شد.

هم‌چنین طبق نظر اتما (۱۹۸۰)، در جریان‌های کم‌عمق، گرداب‌های موج کمانی ایجاد شده در سطح آب، به علت گردش در خلاف جهت جریان با جریان تداخل یافته و موجب کاهش در جریان رو به پایین و کاهش عمق آب‌شستگی می‌شود. بنابراین باید عمق جریان به‌گونه‌ای انتخاب شود که تأثیر این پدیده بر عمق آب‌شستگی از بین برود. پس حداقل عمق انتخاب شده برای از بین بردن این اثر باید بیش از سه برابر قطر پایه باشد. نکته دیگری که باید در تعیین عمق جریان مورد توجه قرار گیرد، رعایت حداکثر سرعت جریان در شرایط آب زلال است.

درصورتی‌که سرعت متوسط جریان (V) از سرعت متوسط بحرانی یا آستانه حرکت (V_c) بیش‌تر باشد، آب‌شستگی بستر زنده و زمانی‌که سرعت متوسط جریان در محدوده $V_c < V < V_c$ ۰/۳ باشد، آب‌شستگی آب زلال ایجاد می‌شود. با توجه به موارد ذکر شده برای به‌دست آوردن سرعت بحرانی، در آزمایشگاه بر روی بستر فلوم با دبی ثابت ۳۵ لیتر بر ثانیه، عمق‌های مختلفی از ۳۰ تا ۱۵ سانتی‌متر بدون حضور پایه ایجاد شد، تا حرکت یا عدم حرکت رسوبات بستر مطالعه شود. در نهایت مقدار متوسط سرعت جریان برای آستانه حرکت ۰/۳متر بر ثانیه به‌دست آمد (جدول۱). مقایسه نتایج حاصله با دیاگرام شیلدز نشان داد مطابقت مطلوبی بین نتایج وجود دارد.

پدیده آب‌شستگی در اطراف پایه‌ی پل‌ها، فرآیندی تابع زمان است و با گذشت زمان گسترش پیدا کرده و به حالتی تعادلی می‌رسد. شناخت این فرآیند و توانایی تخمین عمق آب‌شستگی در طی زمان و به‌خصوص زمان رسیدن حفره آب‌شستگی به حالتی تعادلی برای طراحان پل‌ها دارای اهمیت می‌باشد. با توجه به شکل (۴) که در آن روند تغییرات عمق حفره آب‌شستگی نسبت به زمان نشان داده شده و با توجه به اینکه هدف این تحقیق مقایسه نتایج گزینه‌های مختلف می‌باشد، لذا زمان هر آزمایش ۱۵۰ دقیقه در نظر گرفته شد.

1 -Chiew and mellville



شکل٤- منحنی توسعه زمانی حفره آب‌شستگی

در شروع هر آزمایش دریچه کشویی کاملاً بسته و آب زلال به آرامی به درون کانال هدایت شد تا از ایجاد ریپل و ناهمواری در سطح بستر جلوگیری شود. پس از بالا آمدن آب و اطمینان از مرطوب شدن رسوبات بعد از گذشت چند دقیقه، پمپ با دبی کمی راه اندازی و جریان ورودی با سرعت بسیار کم وارد کانال می-گردید تا سطح ناحیه رسوبی تا ارتفاع چند سانتی‌متری از آب پوشیده شود، سپس دریچه کشویی به‌تدریج باز شده تا این‌که دبی و ارتفاع آب درون کانال در مقدار مورد نظر تنظیم گردد. بعد از برقراری جریان به‌مدت ۱۵۰ دقیقه، دریچه انتهایی بسته و پمپ خاموش می‌شد تا آب موجود در کانال به آرامی زهکشی شود و بر توپوگرافی بستر تغییری ایجاد نگردد. پس از گذشت چند ساعت و تخلیه کامل آب از درون کانال، به وسیله عمق‌سنج لیزری، توپوگرافی بستر در اطراف پایه در یک شبکه ۱×۱ سانتی‌متری برداشت گردید.

تحلیل ابعادی: برای شرایط آب زلال حداکثر عمق آب‌شستگی $(ds)_{max}$ تابع عوامل زیر است :

$$f(d_s,D,B_c,Z_c,t_c,y,V,g,p_s,p,D_{50},\delta,t,C_D,U,\alpha=0 \qquad (۱)$$

که در این رابطه، d_s : عمق آب‌شستگی، y : عمق جریان، v : سرعت جریان، g : شتاب ثقل، ρ : چگالی سیال، υ : لزوجت سینماتیکی سیال، C_D : ضریب شکل پایه، D_{δ} : قطر متوسط رسوبات بستر، ρ_s : چگالی رسوبات بستر، D : قطر پایه پل، σ : انحراف معیار ذرات رسوبی، B_c : عرض طوقه، Z_C : تراز قرار گیری طوقه از سطح بستر، t_c : ضخامت طوقه و α : درصد بازشدگی طوقه است.

با استفاده از روش باکینگهام رابطه بدون بعد بین پارامتر های فوق (۱) به دست آورده و با ترکیب پارامترهای بی بعد به دست آمده و حذف پارامترهای ثابت، رابطه بدون بعد برای این پژوهش به صورت زیر قابل ارائه می‌باشد:

$$\frac{d_S}{D} = f\left(R_e, F_r, \alpha, \frac{Z_c}{D}, C_D\right) \qquad (۲)$$

نتایج و بحث

به‌منظور بررسی تأثیر حضور طوقه بر آب‌شستگی پایه پل مکعبی شکل آزمایش‌ها به دو دسته به شرح زیر تقسیم بندی شدند:

دسته اول آزمایش‌های بدون حضور طوقه (آزمایش‌های شاهد):

آزمایش‌های این بخش به منظور مشاهده تأثیر جریان‌های گردابی اطراف پایه پل و برداشت عمق حداکثر آب‌شستگی برای مقایسه با نتایج حاصل از آزمایش‌های در حضور طوقه انجام گرفته است.

در این پژوهش به جای D قطر پایه، B ضلع پایه مکعبی به کار می‌رود.

در این حالت آب‌شستگی از جلوی پایه با شکل‌گیری جریان روبه‌پایین و به صورت متقارن نسبت به محور پایه شروع شد. با عمیق شدن حفره آب‌شستگی و قدرت گرفتن گرداب‌های نعل‌اسبی، مواد رسوبی از جلو و اطراف پایه شسته و به صورت پشته در پشت پایه جمع می‌شوند. هم‌زمان با گسترش حفره آب-شستگی و ایجاد منطقه کم‌فشار پشت پایه، گرداب‌های برخاستگی نیز تشکیل شده و رسوبات حمل شده توسط جریان را به پایین‌دست انتقال می‌دهند. با افزایش شدت جریان حفره آب‌شستگی وسیع‌تر شد و عمق حداکثر آب‌شستگی نیز افزایش یافت. جدول (۲) تغییرات عمق بی‌بعد آب‌شستگی $\left(\frac{d_S}{B}\right)$ را بدون حضور طوقه نشان می‌دهد.

دسته دوم آزمایش‌های با حضور طوقه :

در این مرحله ۲۷ آزمایش انجام گرفت .

درصد کاهش آب‌شستگی با استفاده از نتایج آزمایش‌های شاهد و از رابطه (۱) محاسبه و در جدول (۳) آورده شده است.

$$R_{\text{درصد}} = \frac{d_1 - d_2}{d_1} \times 100 \qquad (۳)$$

در رابطه فوق d_1 : حداکثر عمق آب‌شستگی در آزمایش شاهد و d_2 : حداکثر عمق آب‌شستگی در حضور طوقه می‌باشد.

جدول ۲- تغییرات عمق بی‌بعد آب‌شستگی بدون حضور طوقه

	عمق بی بعد آب‌شستگی $(\frac{d_s}{B})$		
	$Fr = ۰/۱۹$	$Fr = ۰/۱۶$	$Fr = ۰/۱۳$
پایه مکعبی	۲	۱/۶	۰/۹۳

جدول ۳- درصد کاهش آب‌شستگی با حضور طوقه برای پایه مکعبی

نوع طوقه	فاصله قرارگیری طوقه از بستر(Z_c) (mm)	درصد کاهش آبشستگی (%R)		
		$Fr = ۰/۱۹$	$Fr = ۰/۱۶$	$Fr = ۰/۱۳$
ساده	۰	۱۰۰	–	–
	۰/ ۲۵ B	۶۸	۸۵	۹۵
	۰/ ۵ B	۳۹	–	–
۱۵درصد مشبک	۰	۸۶	–	–
	۰/ ۲۵ B	۶۸	۸۴	۹۷
	۰/ ۵ B	۳۸	–	–
۳۰درصد مشبک	۰	۸۱	–	–
	۰/ ۲۵ B	۷۸	۸۳	۹۷
	۰/ ۵ B	۳۶	–	–
۴۰درصد مشبک	۰	۷۳	–	–
	۰/ ۲۵ B	۵۳	۷۰	۸۱
	۰/ ۵ B	۳۴	–	–

الف) آزمایش‌های با حضور طوقه ساده :

در این حالت در مجموع پنج آزمایش انجام شد و عملکرد طوقه در فواصل ۰/۵B و سطح بستر تحت فرود ۰/۱۹ و در فاصله ۰/۲۵B تحت سه فرود ۰/۱۹، ۰/۱۶ و ۰/۱۳ بررسی شد.

با نصب طوقه در اطراف پایه ابتدا آب‌شستگی در اثر وجود گرداب‌های برخاستگی در پایین دست پایه ایجاد گردید. در این حالت بر خلاف حالت پایه بدون طوقه، گرداب نعل‌اسبی از ابتدا مشاهده نشد. با گذشت زمان، در دو طرف پایه در لبه‌های طوق، شیارهایی ایجاد شدند. این شیارها به مرور به سمت بالادست و پایین‌دست توسعه پیدا کردند و عمق آن‌ها افزایش یافت.

ب) آزمایش‌های با حضور طوقه مشبک:

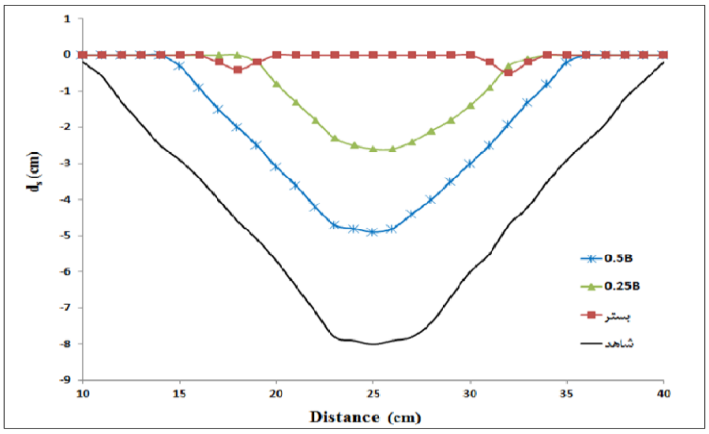
در این حالت ۲۲ آزمایش انجام گرفت و عملکرد طوقه در فواصل ۰/۵B و سطح بستر تحت فرود ۰/۱۹ و در فاصله ۰/۲۵B تحت سه فرود ۰/۱۹، ۰/۱۶ و ۰/۱۳ بررسی شد.

تأثیر مشبک شدن طوقه روی لایه مرزی همانند زبری است به این صورت که بازشدگی‌ها یا زبری‌ها باعث ایجاد آشفتگی در جریان لایه مرزی اطراف طوقه می‌شود و مومنتم جریان در نزدیکی جداره افزایش می‌یابد در نتیجه تمایل جریان برای جدایی از سطح طوقه کم می‌شود و از قدرت جریان گردابی کاسته شده و آب‌شستگی باید کاهش یابد. از طرف دیگر با افزایش فاصله طوقه از بستر قدرت جریان‌های نعل اسبی زیر طوقه افزایش یافته و آب‌شستگی بیشتر می‌شود.

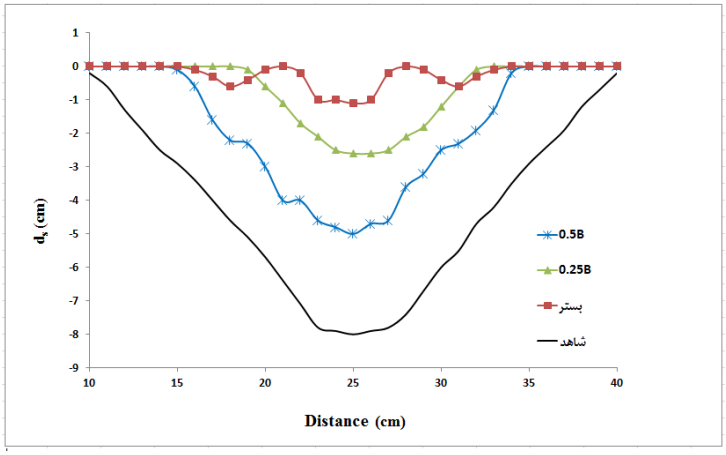
تأثیر ارتفاع نصب طوقه بر آب‌شستگی:

طوقه معمولی:

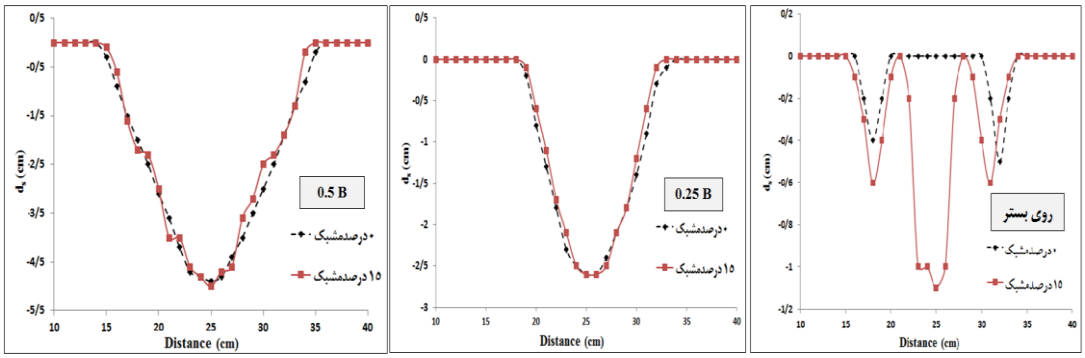
در هر سه ارتفاع نصب طوقه، توسعه حفره آب‌شستگی نسبت به آزمایش‌های شاهد کاهش یافته است (شکل ۵). با تغییر موقعیت طوقه از سطح بستر رسوبی تا ارتفاع ۰/۵B بالای بستر، کاهش در میزان آب‌شستگی از ۱۰۰درصد کاهش در سطح بستر تا ۳۹درصد در ارتفاع ۰/۵B از بستر متغیر بود. در ارتفاع ۰/۵B از بستر به دلیل فاصله زیاد طوقه از بستر رسوبی و تشکیل گرداب نعل اسبی از ابتدای آزمایش، آب‌شستگی به مقدار کمی کاهش یافت. با نصب طوقه در ارتفاع ۰/۲۵B از بستر و تضعیف جریان‌های روبه‌پایین و گرداب نعل اسبی در مقایسه با فاصله ۰/۵B از بستر رسوبی، عملکرد بهتری مشاهده شد. طوقه قرار گرفته روی بستر بیشترین کارایی را با ۱۰۰درصد کاهش آب‌شستگی داشت. محل تشکیل حداکثر عمق آب‌شستگی در ارتفاع ۰/۵B و ۰/۲۵B از سطح بستر، جلوی پایه بود و در تراز بستر شیارهایی به صورت قرینه در طرفین طوقه نصب شده مشاهده شد.



شکل ۵- تأثیر ارتفاع نصب طوقه ساده بر توسعه حفره آب‌شستگی در عدد فرود ۰/۱۹



شکل ٦- تأثیر ارتفاع نصب طوقه ۱۵درصد مشبک بر توسعه حفره آب‌شستگی در عدد فرود ۰/۱۹



شکل ۷- تأثیر طوقه‌های ساده و ۱۵درصد مشبک بر توسعه حفره آب‌شستگی در عدد فرود ۰/۱۹

طوقه ۱۵درصد مشبک:

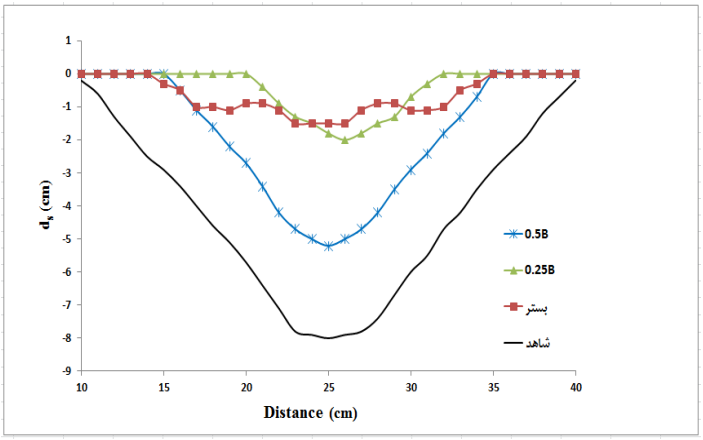
در این حالت با کاهش ارتفاع نصب طوقه از سطح بستر، عمق بیشینه کاسته شد و راندمان طوقه افزایش یافت. توسعه طولی و عرضی حفره آب‌شستگی نیز نسبت به آزمایش شاهد کاهش یافت. البته با قرار گرفتن طوقه روی بستر توسعه حفره آب‌شستگی تا کناره‌های طوقه ادامه داشت ولی همچنان حداکثر عمق آب‌شستگی در جلوی پایه ایجاد شد. روی سطح بستر با عبور جریان از بازشدگی‌های سطح طوقه جریان‌های روبه‌پایین به زیر طوقه نفوذ کرده و با تشکیل گرداب‌های نعل‌اسبی در جلوی پایه آب‌شستگی با عمقی بسیار کم ایجاد گردید(شکل۶). همان‌طور که مشاهده می‌شود، در ارتفاع ۰/۵B و ۰/۲۵B از بستر رسوبی نتایج طوقه ساده و ۱۵درصد مشبک یکسان می‌باشد. با قرار گرفتن طوقه ۱۵درصد و ساده روی بستر مشاهده می‌شود طوقه ۱۵درصد مشبک با عبور جریان از سطح طوقه نتوانسته به اندازه طوقه ساده در کاهش حفره آب‌شستگی پیرامون پایه مؤثر باشد. (شکل ۷)

طوقه ۳۰درصد مشبک

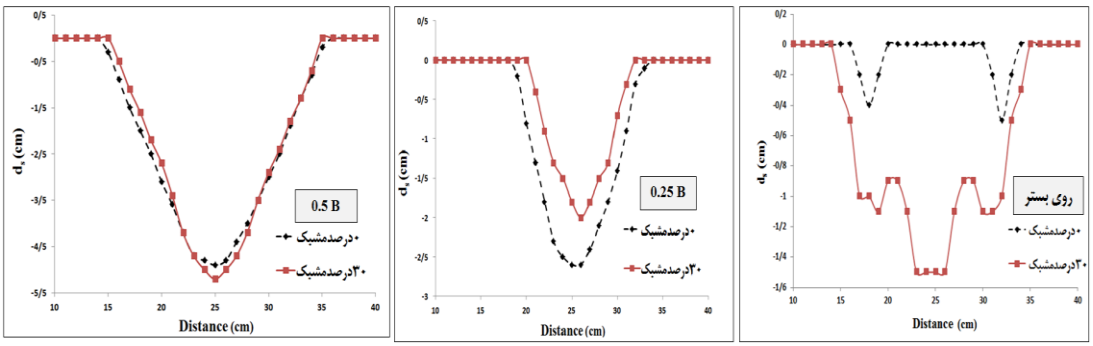
همان‌طور که در شکل (۸) مشاهده می‌شود در فاصله ۰/۵B، عمق بیشینه آب‌شستگی در حدود ۳۶درصد کاهش نسبت به آزمایش شاهد نشان داد. در فاصله ۰/۲۵B توسعه حفره آب‌شستگی کمتر است، عمق بیشینه آب‌شستگی نیز با ۷۸درصد کاهش نسبت به آزمایش شاهد و ۳۰درصد کاهش نسبت به طوقه ساده، راندمان خوبی برای طوقه ۳۰درصد در این فاصله نشان داد. با مقایسه حفره آب‌شستگی در دو ارتفاع ۰/۲۵B و روی سطح بستر مشاهده می‌شود با وجود کمتر بودن حداکثر عمق آب‌شستگی در حالت طوقه قرارگرفته روی سطح بستر، حفره آب‌شستگی در ارتفاع ۰/۲۵B کوچک‌تر است، که نتیجه تأثیر جریان لایه مرزی اطراف طوقه در ارتفاع ۰/۲۵B است. در ارتفاع ۰/۲۵B جریان لایه مرزی شکل گرفته پیرامون طوقه عمق بیشینه را نسبت به طوقه ساده نیز کاهش داده است. با قرار گرفتن طوقه روی بستر در ابتدا روند کاهشی برای آب‌شستگی نسبت به طوقه ساده مشاهده شد اما در نهایت با رسیدن جریان به زیرطوقه در جلوی پایه نیز حفره آب‌شستگی گسترش یافت. (شکل ۹).

طوقه ٤٠درصد مشبک

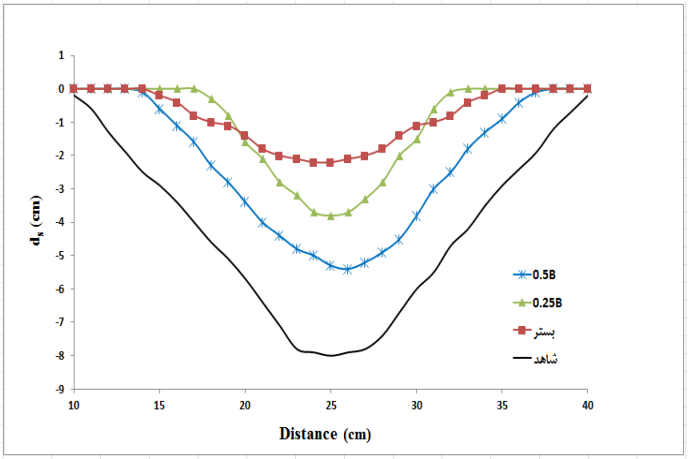
کمترین راندمان این طوقه در ارتفاع $0/5B$ است. در ارتفاع $0/25B$ با نزدیک شدن بیشتر طوقه به بستر رسوبی و کاهش گردابه‌های نعل اسبی میزان آب‌شستگی ۵۳درصد نسبت به آزمایش شاهد کاهش یافته است. در سطح بستر با استهلاک جریان‌های گردابه‌ای، آب‌شستگی ۷۳درصد نسبت به آزمایش شاهد کاهش یافته است. شکل (۱۰) این تغییرات را نشان می‌دهد. با توجه به شکل (۱۱) مشاهده می‌شود در تمامی ارتفاعات نصب طوقه ۴۰درصد مشبک در این آزمایش، این طوقه نتوانسته آب‌شستگی را نسبت به طوقه ساده کاهش دهد و عمق حداکثر آب‌شستگی و توسعه حفره آب‌شستگی بیشتر از طوقه ساده است.



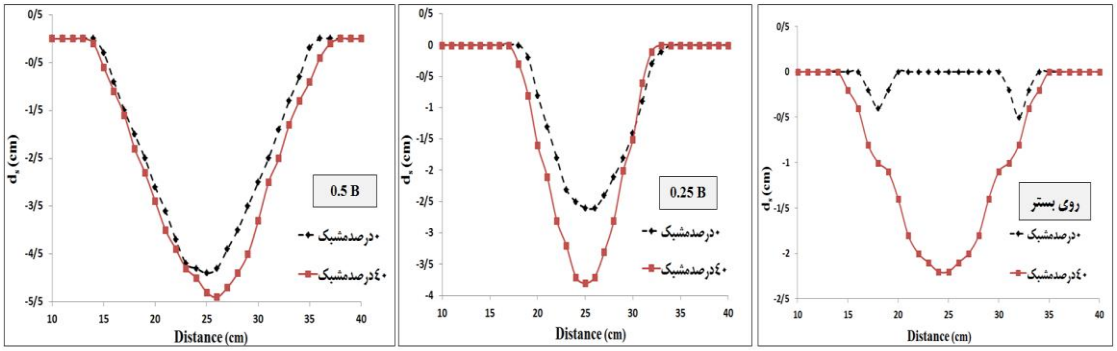
شکل ۸- تأثیر ارتفاع نصب طوقه ۳۰درصد مشبک بر توسعه حفره آب‌شستگی در عدد فرود ۰/۱۹



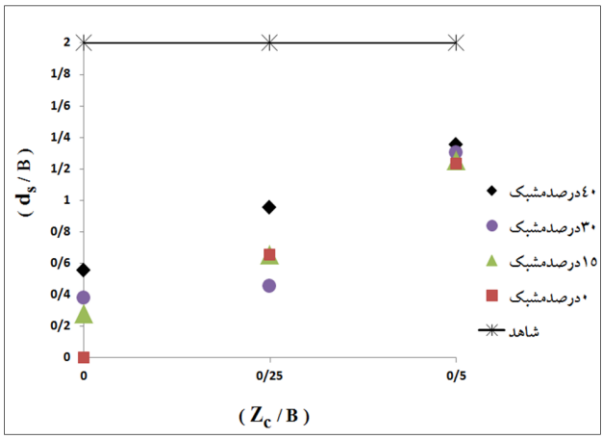
شکل ۹- تأثیر طوقه‌های ساده و ۳۰درصد مشبک بر توسعه حفره آب‌شستگی در عدد فرود ۰/۱۹



شکل ۱۰- تأثیر ارتفاع نصب طوقه ٤٠درصد مشبک بر توسعه حفره آب‌شستگی در عدد فرود ۰/۱۹

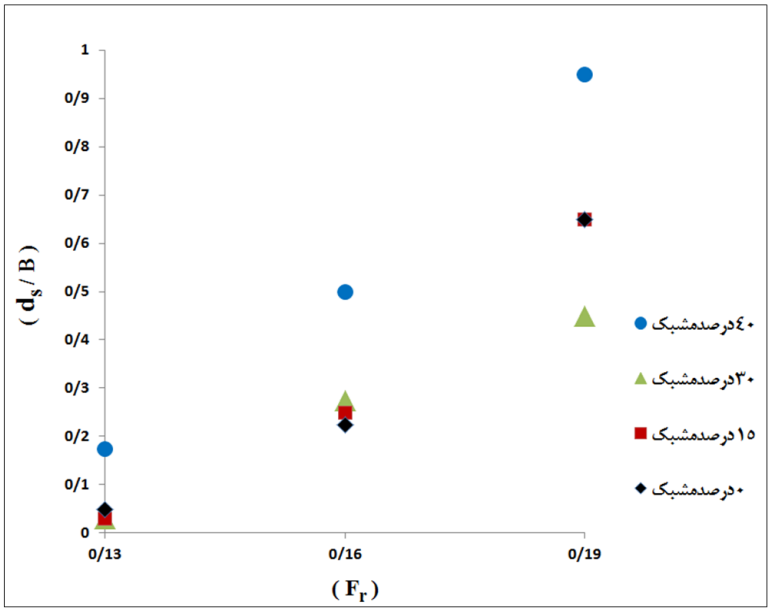


شکل ۱۱- تأثیر طوقه‌های ساده و ٤٠درصد مشبک بر توسعه حفره آب‌شستگی در عدد فرود ۰/۱۹



شکل ۱۲- تغییرات عمق بی بعد آب‌شستگی با تغییر فاصله از بستر رسوبی در عدد فرود ۰/۱۹

شکل (۱۲) تغییرات عمق بی بعد آب‌شستگی($\frac{d_s}{B}$)، را نسبت به ارتفاع از سطح بستر رسوبی ($\frac{Z_c}{B}$) برای کلیه طوقه‌های مشبک آزمایش شده نشان می‌دهد. با توجه به نمودار با کاهش ارتفاع هریک از طوقه‌ها از بستر رسوبی، فضای لازم برای گسترش جریان‌های گردابه‌ای زیر طوقه موجود نمی‌باشد در نتیجه حداکثر عمق آب‌شستگی کاهش می‌یابد. کلیه طوقه‌ها نسبت به آزمایش شاهد روند کاهشی را در میزان عمق بیشینه نشان می‌دهند. طوقه ۳۰درصد با تغییر مکان طوقه ابتدا روند کاهشی و سپس افزایشی را طی می‌کند. زیرا در ارتفاع ۰/۲۵B جریان لایه مرزی به صورت کامل توسعه یافته است و تأثیر خود را بر کاهش جریان‌های گردابه‌ای روی بستر و در نتیجه کاهش آب‌شستگی نشان داده است. در کلیه فاصله‌های آزمایش شده، طوقه ۴۰درصد مشبک نتایج مطلوبی را نسبت به طوقه ساده نشان نمی‌دهد.



شکل ۱۳- تغییرات عمق بی بعد آب‌شستگی با تغییر عدد فرود جریان

به طور کلی با افزایش عدد فرود و در نتیجه افزایش قدرت جریان‌های گردابه‌ای، راندمان استفاده از طوقه‌ها در ارتفاع ۰/۲۵B کاهش یافت. شکل(۱۳) تغییرات بی‌بعد حداکثر عمق آب‌شستگی در مقابل تغییرات عدد فرود را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود بیشترین عمق آب‌شستگی در کلیه عدد فرودها مربوط به طوقه ۴۰درصد مشبک می‌باشد. در عدد فرود ۰/۱۹ کمترین عمق مربوط به طوقه ۳۰درصد مشبک است. تغییرات عمق بی‌بعد آب‌شستگی برای این طوقه نسبت به سایر طوقه‌ها کمتر است که نشان‌دهنده تأثیر مثبت طوقه ۳۰درصد بر کاهش آب‌شستگی در شدت‌های بالای جریان است.

در عددهای فرود ۰/۱۶ و ۰/۱۳ هر سه طوقه معمولی، ۱۵درصد مشبک و ۳۰درصد مشبک نتایج تقریباً یکسانی دارند.

نتیجه گیری

با افزایش شدت جریان و در نتیجه افزایش قدرت جریان‌های گردابه‌ای پیرامون پایه، عملکرد طوقه‌های ساده و مشبک در کاهش آب‌شستگی کاهش یافت. بیشترین راندمان در حضور طوقه ساده قرار گرفته در تراز بستر و با۱۰۰درصد کاهش عمق بیشینه آب‌شستگی مشاهده شد. درارتفاع ۰/۲۵B از بستر رسوبی در عدد فرود ۰/۱۹، طوقه ۳۰درصد مشبک به دلیل ایجاد فضای مناسب برای توسعه کامل جریان لایه مرزی پیرامون خود با ۷۸درصد کاهش آب‌شستگی نتیجه مطلوبی را ارائه داد، در حالی‌که هر دو طوقه ساده و ۱۵درصد مشبک تنها ۶۸درصد کاهش در میزان آب‌شستگی را نشان دادند (شکل ۱۳). با افزایش ارتفاع نصب طوقه از بستر تا فاصله ۰/۵B روی پایه عملکرد طوقه‌ها تا ۵۰درصد کاهش یافت. باتوجه به اهمیت کاهش وزن سازه، استفاده از طوقه۳۰درصد مشبک به‌جای طوقه ساده پیشنهاد می‌شود، زیرا این طوقه نتایجی برابر و حتی در شدت جریان‌های بالاتر بهتر از طوقه ساده در کاهش آب‌شستگی از خود نشان داده است.

منابع

۱- عالم، ز. ۱۳۹۱. تأثیر طوقه مشبک در کاهش آب‌شستگی تکیه‌گاه پل. پایان‌نامه دوره‌ی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی رودخانه، دانشکده‌ی مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز.

2- Balouchi, M. 2010. Scour controlling around bridge piers by changing the shape of collar. VDM Publishing, The Germany.

3- Breusers, H. N. C. and A. J. Raudkivi. 1991. Scouring. Hydraulic Structures Design manual. Volume 2, Balkema, Rotterdam, 152 p.

4- Chiew, Y.M. and B.W. Mellville. 1987. Local scour around bridge piers. Journal of Hydraulic Research, 25(1):15-26.

5- Defanti, E., DiPasquale, G. and D. Poggi.2010. An experimental studies of scour at bridge piers: Collars as a countermeasure. In proceeding of the 1st European Congress IAHR, Edinburgh,UK, pp 6.

6- Ettema, R. 1980. Scour at bridge piers. PhD Thesis, Auckland University, New Zealand, 527 p.

7- Laursen, E. M. and A. Toch. 1956. Scour around bridge piers and abutments. Iowa Highway Research Board, Bulletin No. 4, Bureau of Public Roads, Iowa.

8- Mashahiri, M.B., Zarrati, A.R. and A.R. Rezayi. 2004. Time development of scouring around a bridge pier protected by collar. 2nd International Conference on Scour and Erosion, ICSE-2, Singapore.

9- Tanaka, S. and M. Yano. 1967. Local scour around circular cylinder. In proceeding of the 12th IAHR Congress, 3, pp. 193-201. .

10- Zarrati, A. M., Gholami, H., and M. B. Mashahir. 2004. Application of collar to control scouring around rectangular bridge piers. Journal of Hydraulic Research, IAHR, Vol. 42, (1): 97–103