

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

آمنه جلیلی^{۱*} و مهدی قمشی^۲

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

^۲ - استاد گروه سازه های آبی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز

تاریخ پذیرش: ۹۳/۸/۴

تاریخ دریافت: ۹۲/۶/۱۲

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 می کند و توان گرداب نعل‌اسبی را کاهش می دهد. در این تحقیق، اثر قرارگیری طوق مشبک و طوق ساده بر آب‌شستگی اطراف پایه پل مکعبی به ابعاد ۴۰ میلی‌متر و در فلومی به طول ۷/۳ متر، عرض ۰/۵۶ متر و عمق ۰/۶ متر مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور آزمایش‌ها با چهار طوقه ساده، ۱۵، ۳۰ و ۴۰ درصد مشبک تحت سه عدد فرود ۰/۱۹، ۰/۱۶ و ۰/۱۳ در شرایط آب زلال، در آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه شهید چمران اهواز انجام شد. عملکرد طوقه‌ها در سه تراز ۰/۵B، ۰/۲۵B و روی بستر رسوبی بررسی و با نتایج پایه بدون طوقه مقایسه گردید. نتایج آزمایش‌ها بین ۳۴ 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. Ghomeshi²

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.

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

مقدمه

آب‌شستگی پایه‌های پل از مباحث مهم در مهندسی رودخانه به‌شمار می‌رود. در اثر آب‌شستگی حفره‌ای در اطراف پایه پل ایجاد

پل آیند. 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 به وجود می‌آورد. گرداب‌های نعل‌اسبی بیشتر در جلو پایه پل فعالیت دارند. جدائی جریان از پایه پل، در پشت پایه گرداب برخاستگی را به وجود می‌آورد. بررسی‌ها نشان می‌دهد گرداب‌های نعل‌اسب و برخاستگی نقش عمده‌ای را در ایجاد حفره آب‌شستگی اطراف پایه پل دارند (بروسرز و رادکیوی، ۱۹۹۱). آب‌شستگی موضعی به دو حالت آب‌شستگی آب زلال و آب‌شستگی بستر زنده تقسیم‌بندی می‌شود. در آب‌شستگی آب زلال به علت 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 به طور کامل برطرف نمی‌کند و همچنین نصب آن احتیاج به دقتی به مراتب بیشتر از سنگ‌چین دارد (بلوچی، ۲۰۱۰).

لايه 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) به طرف دره بسته به حالت جریان آزاد، زبری سطح و گرادیان فشار با مقداری فاصله از نقطه سکون اتفاق می‌افتد.

به‌طور کلی هرچه جریان آشفته‌تر یا به عبارتی 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 زبر شدن 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 فلولمی به طول ۷/۳ متر، عرض ۰/۵۶ متر و عمق ۰/۶ متر با شیب طولی ۰/۰۲۸ در آزمایشگاه هیدرولیک دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه چمران انجام شده است. دیواره‌ها و کف فلولم از جنس

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 به وجود می‌آورد. گرداب‌های نعل‌اسبی بیشتر در جلو پایه پل فعالیت دارند. جدائی جریان از پایه پل، در پشت پایه گرداب برخاستگی را به وجود می‌آورد. بررسی‌ها نشان می‌دهد گرداب‌های نعل‌اسب و برخاستگی نقش عمده‌ای را در ایجاد حفره آب‌شستگی اطراف پایه پل دارند (بروسرز و رادکیوی، ۱۹۹۱). آب‌شستگی موضعی به دو حالت آب‌شستگی آب زلال و آب‌شستگی بستر زنده تقسیم‌بندی می‌شود. در آب‌شستگی آب زلال به علت 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 به طور کامل برطرف نمی‌کند و همچنین نصب آن احتیاج به دقتی به مراتب بیشتر از سنگ‌چین دارد (بلوچی، ۲۰۱۰).

لارسن و توچ^۱ (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^۲ (۱۹۶۷) صورت گرفت نشان می‌دهد که نصب یک طوق به پایه موجب کاهش میزان آب‌شستگی اطراف پایه می‌شود، همچنین به کار بردن یک طوق با قطر سه برابر پایه پل در تراز بستر رودخانه نشان دهنده کاهش عمق آب‌شستگی برابر با ۲۲ درصد می‌باشد. بر طبق نظر زراتی و همکاران^۳ (۲۰۰۴) طوق‌ها در کاهش آب‌شستگی پایه‌های مستطیل شکل مؤثرتر از پایه‌های دایره‌ای عمل می‌کنند. مشاهیری و همکاران^۴ (۲۰۰۴) نیز مطالعاتی را بر روی توسعه زمانی عمق آب‌شستگی در پایه‌های

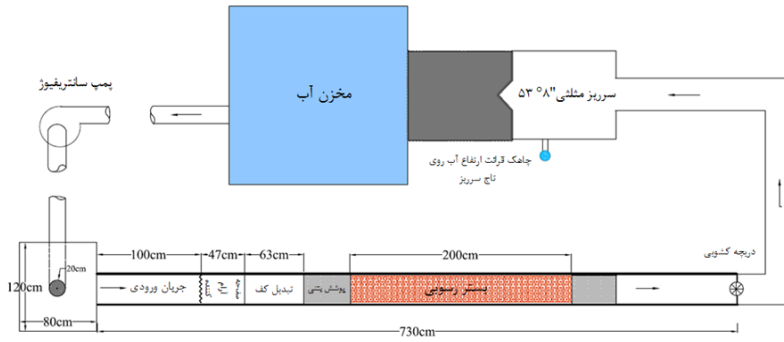
- 1- Breusers and Raudkivi
- 2- Balouchi
- 3- Laursen and Toch
- 4- Tanaka and Yano
- 5- Zarrati et al.
- 6- Mashahiri et al.

7 -Ettema

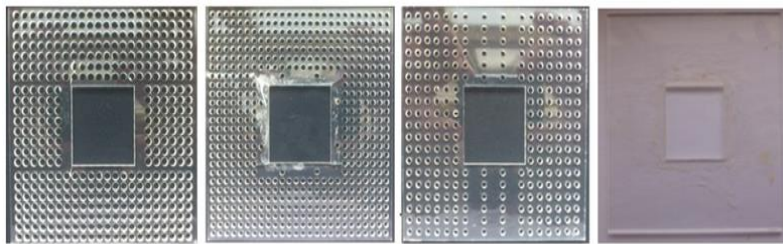
8 -Defanti et al.

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.

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. به منظور 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،



شکل ۱- پلان کانال و تجهیزات آزمایشگاهی



شکل ۲- طوقه‌های ساده و مشبک با ابعاد ۱۲۰×۱۲۰ میلی‌متر



شکل ۳- نمایی از طوقه نصب شده روی پایه در تحقیق حاضر

جلیلی و قمشی: اثر حضور طوقه مشبک بر عمق آب شستگی...

جدول ۱- شرایط جریان حاکم بر آزمایش‌ها

(V/V_c)	$V(m/s)$	$y(m)$	$Q(m^3/s)$	$Fr = V/\sqrt{gy}$	$Re = VR/\nu$
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

سانتی‌متر با رسوباتی با متوسط قطر ذرات ۰/۵ میلی‌متر پوشانده شد.

هم‌چنین طبق نظر اتما (۱۹۸۰)، در جریان‌های کم‌عمق، گرداب‌های موج کم‌انرژی 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 آب شستگی می‌شود. بنابراین باید عمق جریان به‌گونه‌ای انتخاب شود که تأثیر این پدیده بر عمق آب شستگی 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.

در صورتی که سرعت متوسط جریان (V) از سرعت متوسط بحرانی یا آستانه حرکت (V_c) بیش‌تر باشد، آب شستگی بستر زنده و زمانی که سرعت متوسط جریان در محدوده $V_c < V < 2V_c$ باشد، آب شستگی 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 ۰/۳ متر بر ثانیه به‌دست آمد (جدول ۱). مقایسه نتایج حاصله با دیاگرام شیلدز نشان داد مطابقت مطلوبی بین نتایج وجود دارد.

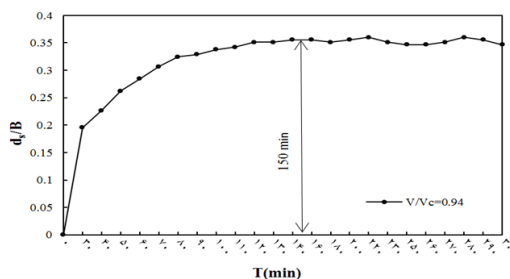
پدیده آب شستگی در اطراف پایه‌ی پل‌ها، فرآیندی تابع زمان است و با گذشت زمان گسترش پیدا کرده و به حالتی تعادلی می‌رسد. شناخت این فرآیند و توانایی تخمین عمق آب شستگی در طی زمان و به‌خصوص زمان رسیدن حفره آب شستگی به حالتی تعادلی برای طراحان پل‌ها دارای اهمیت می‌باشد. با توجه به شکل (۴) که در آن روند تغییرات عمق حفره آب شستگی 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.

برای از بین رفتن تأثیر دیواره‌های کانال بر آب شستگی موضعی، طبق توصیه‌های چیو و ملویل (۱۹۸۷) قطر پایه نباید از ۱۰ درصد عرض کانال بیش‌تر باشد. لذا از پایه مکعبی از جنس پلکسی گلاس به ابعاد ۴۰×۴۰ 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 آب شستگی 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 هر یک 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 آکوارיום 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 آب شستگی 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 ذکر شده، برای تأمین رسوبات بستر از ماسه‌ی باقی‌مانده بین الک‌های ۳۰ و ۴۰ در محدوده اندازه ذرات ۰/۵۹ تا ۰/۴۲ میلی‌متر استفاده و بستر در بازه‌ای دو متری به ضخامت ۱۱



شکل ۴- منحنی توسعه زمانی حفره آب شستگی

نتایج و بحث

به منظور بررسی تأثیر حضور طوقه بر آب شستگی 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 آب شستگی 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 آب شستگی از جلوی پایه با شکل‌گیری جریان روبه‌پایین و به صورت متقارن نسبت به محور پایه شروع شد. با عمیق شدن حفره آب شستگی 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 پایین دست انتقال می‌دهند. با افزایش شدت جریان حفره آب شستگی وسیع‌تر شد و عمق حداکثر آب شستگی نیز افزایش یافت. جدول (۲) تغییرات عمق بی‌بعد آب شستگی $(\frac{d_s}{B})$ را بدون حضور طوقه نشان می‌دهد.

دسته دوم آزمایش‌های با حضور طوقه :

در این مرحله ۲۷ آزمایش انجام گرفت .

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

$$R = \frac{d_1 - d_2}{d_1} \times 100 \quad (3)$$

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

در شروع هر آزمایش دریچه کشویی کاملاً بسته و آب زلال به آرامی به درون کانال هدایت شد تا از ایجاد ریبیل 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 می‌گردد تا سطح ناحیه رسوبی تا ارتفاع چند سانتی‌متری از آب پوشیده شود، سپس دریچه کشویی به تدریج باز شده تا این که دبی و ارتفاع آب درون کانال در مقدار مورد نظر تنظیم گردد. بعد از برقراری جریان به مدت 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 1×1 سانتی‌متری برداشت گردید.

تحلیل ابعادی:

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

$$f(d_s, D, B_c, Z_c, t_c, y, V, g, p_s, p, D_{50}, \delta, t, C_D, U, \alpha = 0) \quad (1)$$

که در این رابطه، d_s : عمق آب شستگی، y : عمق جریان، V : سرعت جریان، g : شتاب ثقل، ρ : چگالی سیال، ν : لزوجت سینماتیکی سیال، C_D : ضریب شکل پایه، D_{50} : 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 پارامترهای 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:

$$\frac{d_s}{D} = f(R_e, F_r, \alpha, \frac{Z_c}{D}, C_D) \quad (2)$$

جلیلی و قمشی: اثر حضور طوقه مشبک بر عمق آب شستگی...

جدول ۲- تغییرات عمق بی بعد آب شستگی بدون حضور طوقه

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

پایه مکعبی

جدول ۳- درصد کاهش آب شستگی با حضور طوقه برای پایه مکعبی

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

از بستر قدرت جریان‌های نعل اسبی زیر طوقه افزایش یافته و آب شستگی بیشتر می‌شود.

تأثیر ارتفاع نصب طوقه بر آب شستگی:

طوقه معمولی:

در هر سه ارتفاع نصب طوقه، توسعه حفره آب شستگی 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 آب شستگی از ۱۰۰ درصد کاهش در سطح بستر تا ۳۹ درصد 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، آب شستگی به مقدار کمی کاهش یافت. با نصب طوقه در ارتفاع ۰/۲۵B از بستر و تضعیف جریان‌های روبه پایین 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 ۱۰۰ درصد کاهش آب شستگی داشت. محل تشکیل حداکثر عمق آب شستگی 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.

(الف) آزمایش‌های با حضور طوقه ساده:

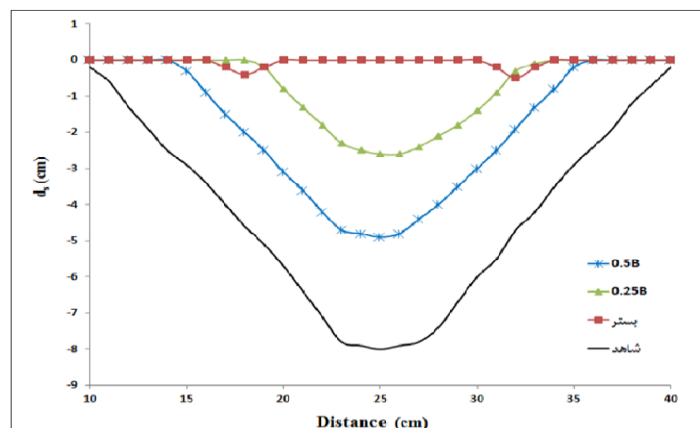
در این حالت در مجموع پنج آزمایش انجام شد و عملکرد طوقه در فواصل ۰/۵B و سطح بستر تحت فرود ۰/۱۹ و در فاصله ۰/۲۵B تحت سه فرود ۰/۱۹، ۰/۱۶ و ۰/۱۳ بررسی شد.

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

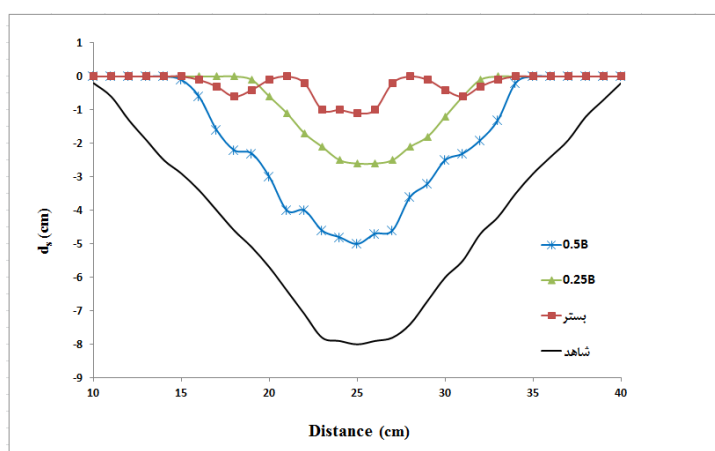
(ب) آزمایش‌های با حضور طوقه مشبک:

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.

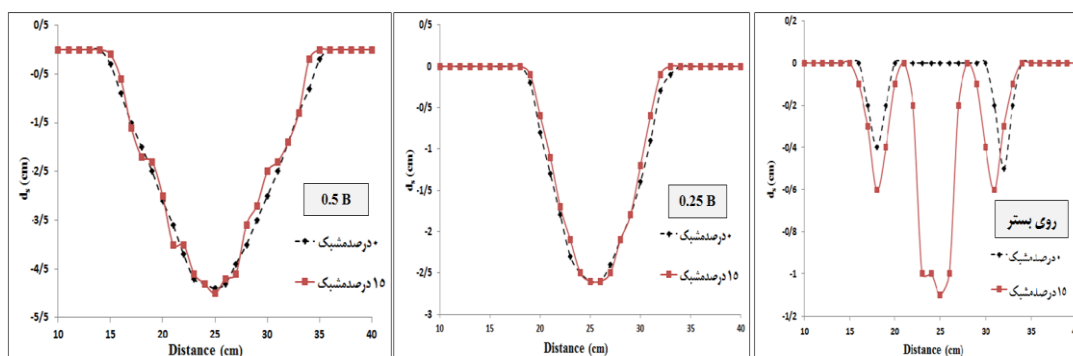
تأثیر مشبک شدن طوقه روی لایه مرزی همانند زبری است به این صورت که باز شدگی‌ها یا زبری‌ها باعث ایجاد آشفستگی در جریان لایه مرزی اطراف طوقه می‌شود و مومنتم جریان در نزدیکی جداره افزایش می‌یابد در نتیجه تمایل جریان برای جدایی از سطح طوقه کم می‌شود و از قدرت جریان گردابی کاسته شده و آب شستگی باید کاهش یابد. از طرف دیگر با افزایش فاصله طوقه



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



شکل ۶- تأثیر ارتفاع نصب طوقه ۱۵ درصد مشبک بر توسعه حفره آب‌شستگی در عدد فرود ۰/۱۹



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

طوقه نفوذ کرده و با تشکیل گرداب‌های نعل‌اسبی در جلوی پایه آب‌شستگی با عمقی بسیار کم ایجاد گردید (شکل ۶). همان‌طور که مشاهده می‌شود، در ارتفاع $0.5B$ و $0.25B$ از بستر رسوبی نتایج طوقه ساده و ۱۵ درصد مشبک یکسان می‌باشد. با قرار گرفتن طوقه ۱۵ درصد و ساده روی بستر مشاهده می‌شود طوقه ۱۵ درصد مشبک با عبور جریان از سطح طوقه نتوانسته به اندازه طوقه ساده در کاهش حفره آب‌شستگی پیرامون پایه مؤثر باشد. (شکل ۷)

طوقه ۱۵ درصد 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

جلیلی و قمشی: اثر حضور طوقه مشبک بر عمق آب‌شستگی...

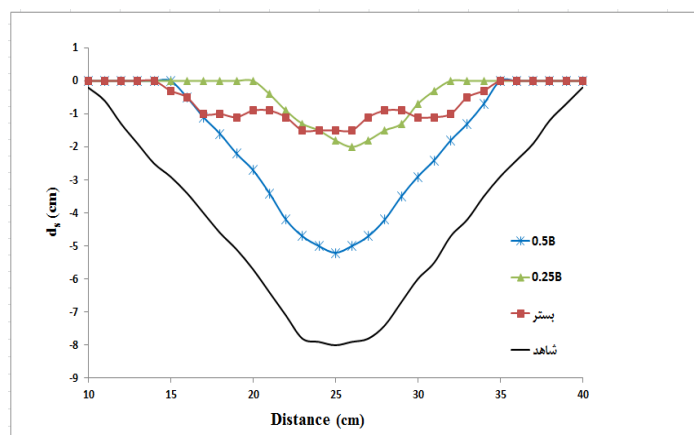
طوقه ساده مشاهده شد اما در نهایت با رسیدن جریان به زیرطوقه در جلوی پایه نیز حفره آب‌شستگی گسترش یافت. (شکل ۹).

طوقه ۰٫۵ درصد مشبک

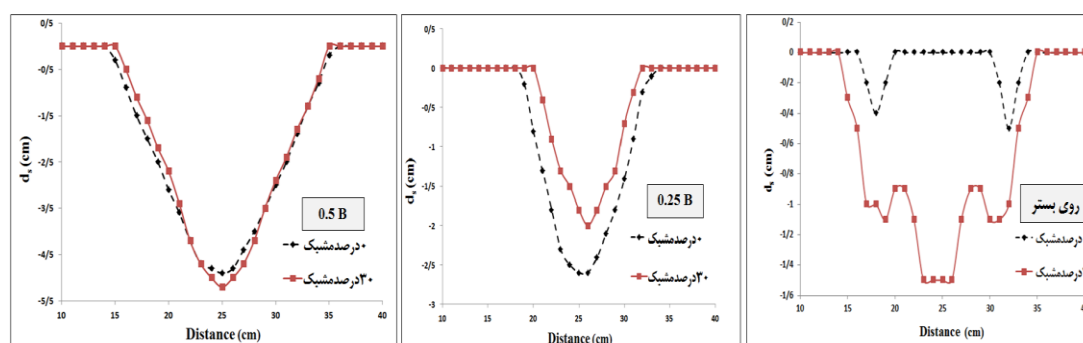
کمترین راندمان این طوقه در ارتفاع $0.5B$ است. در ارتفاع $0.25B$ با نزدیک شدن بیشتر طوقه به بستر رسوبی و کاهش گردابه‌های نعل اسبی میزان آب‌شستگی ۵۳ درصد نسبت به آزمایش شاهد کاهش یافته است. در سطح بستر با استهلاک جریان‌های گردابه‌ای، آب‌شستگی ۷۳ درصد نسبت به آزمایش شاهد کاهش یافته است. شکل (۱۰) این تغییرات را نشان می‌دهد. با توجه به شکل (۱۱) مشاهده می‌شود در تمامی ارتفاعات نصب طوقه ۴۰ درصد 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.

طوقه ۳۰ درصد مشبک

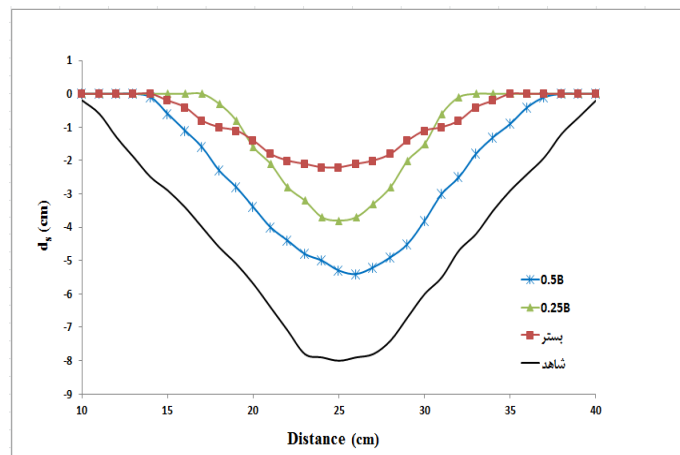
همان‌طور که در شکل (۸) مشاهده می‌شود در فاصله $0.5B$ ، عمق بیشینه آب‌شستگی در حدود ۳۶ درصد کاهش نسبت به آزمایش شاهد نشان داد. در فاصله $0.25B$ توسعه حفره آب‌شستگی کمتر است، عمق بیشینه آب‌شستگی نیز با ۷۸ درصد کاهش نسبت به آزمایش شاهد و ۳۰ درصد کاهش نسبت به طوقه ساده، راندمان خوبی برای طوقه ۳۰ درصد در این فاصله نشان داد. با مقایسه حفره آب‌شستگی در دو ارتفاع $0.25B$ و روی سطح بستر مشاهده می‌شود با وجود کمتر بودن حداکثر عمق آب‌شستگی در حالت طوقه قرارگرفته روی سطح بستر، حفره آب‌شستگی در ارتفاع $0.25B$ کوچک‌تر است، که نتیجه تأثیر جریان لایه مرزی اطراف طوقه در ارتفاع $0.25B$ است. در ارتفاع $0.25B$ 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



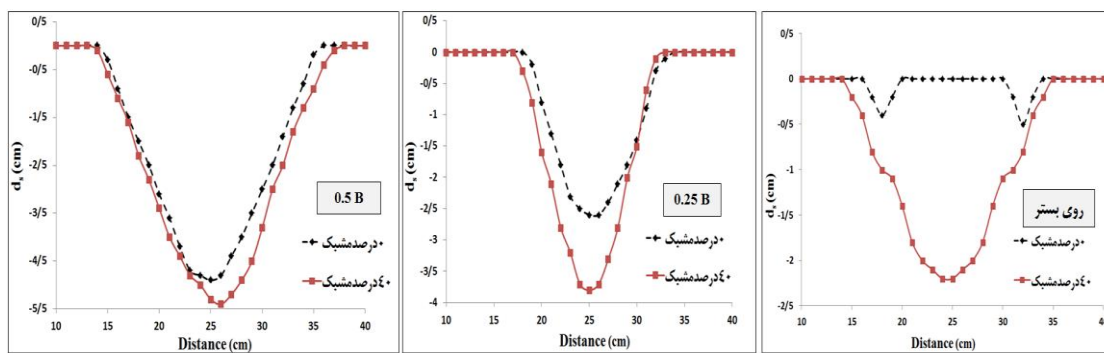
شکل ۸- تأثیر ارتفاع نصب طوقه ۳۰ درصد مشبک بر توسعه حفره آب‌شستگی در عدد فرود 0.19 .



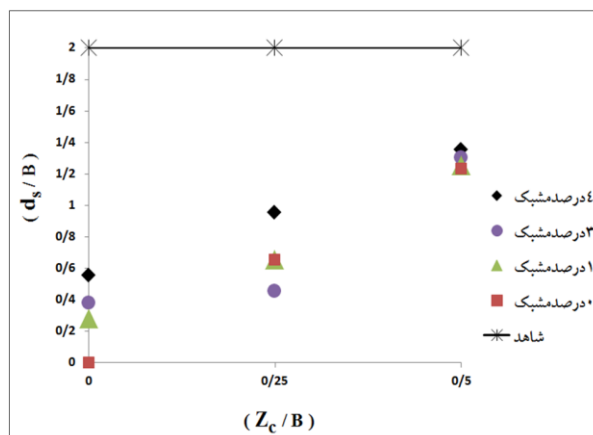
شکل ۹- تأثیر طوقه‌های ساده و ۳۰ درصد مشبک بر توسعه حفره آب‌شستگی در عدد فرود 0.19 .



شکل ۱۰- تأثیر ارتفاع نصب طوقه ۴۰ درصد مشبک بر توسعه حفره آبشستگی در عدد فرود ۰/۱۹



شکل ۱۱- تأثیر طوقه‌های ساده و ۴۰ درصد مشبک بر توسعه حفره آبشستگی در عدد فرود ۰/۱۹

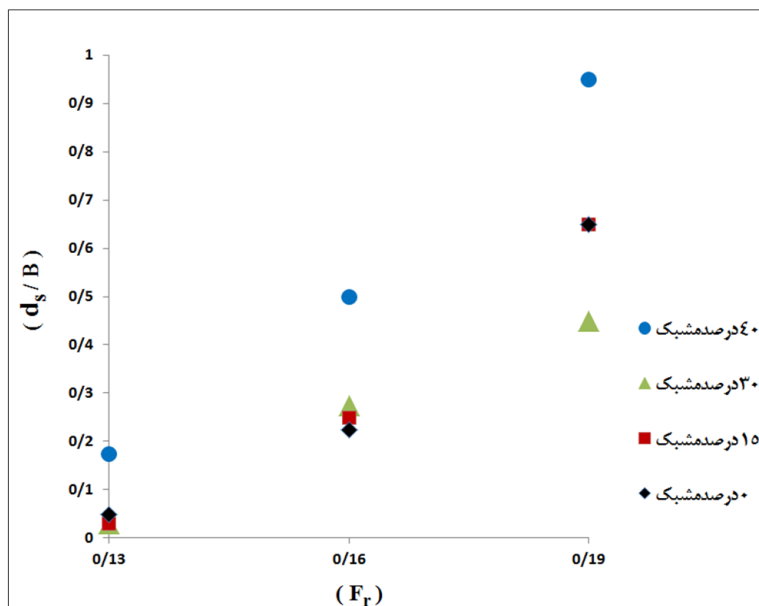


شکل ۱۲- تغییرات عمق بی بعد آبشستگی با تغییر فاصله از بستر رسوبی در عدد فرود ۰/۱۹

شاهد روند کاهشی را در میزان عمق بیشینه نشان می‌دهند. طوقه ۳۰ درصد با تغییر مکان طوقه ابتدا روند کاهشی و سپس افزایشی را طی می‌کند. زیرا در ارتفاع $0.25B$ 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 ۴۰ درصد مشبک نتایج مطلوبی را نسبت به طوقه ساده نشان نمی‌دهد.

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

جلیلی و قمشی: اثر حضور طوقه مشبک بر عمق آب‌شستگی...



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

مشبک در کاهش آب‌شستگی کاهش یافت. بیشترین راندمان در حضور طوقه ساده قرار گرفته در تراز بستر و با ۱۰ درصد کاهش عمق بیشینه آب‌شستگی مشاهده شد. در ارتفاع $0/25B$ از بستر رسوبی در عدد فرود $0/19$ ، طوقه ۳۰ درصد مشبک به دلیل ایجاد فضای مناسب برای توسعه کامل جریان لایه مرزی پیرامون خود با ۷۸ درصد کاهش آب‌شستگی نتیجه مطلوبی را ارائه داد، در حالی که هر دو طوقه ساده و ۱۵ درصد مشبک تنها ۶۸ درصد کاهش در میزان آب‌شستگی را نشان دادند (شکل ۱۳). با افزایش ارتفاع نصب طوقه از بستر تا فاصله $0/5B$ روی پایه عملکرد طوقه‌ها تا ۵۰ درصد کاهش یافت. با توجه به اهمیت کاهش وزن سازه، استفاده از طوقه ۳۰ درصد مشبک به جای 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.

به طور کلی با افزایش عدد فرود و در نتیجه افزایش قدرت جریان‌های گردابه‌ای، راندمان استفاده از طوقه‌ها در ارتفاع $0/25B$ 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 ۴۰ درصد مشبک می‌باشد. در عدد فرود $0/19$ کمترین عمق مربوط به طوقه ۳۰ درصد مشبک است. تغییرات عمق بی‌بعد آب‌شستگی برای این طوقه نسبت به سایر طوقه‌ها کمتر است که نشان‌دهنده تأثیر مثبت طوقه ۳۰ درصد بر کاهش آب‌شستگی در شدت‌های بالای جریان است. در عدددهای فرود $0/16$ و $0/13$ هر سه طوقه معمولی، ۱۵ درصد مشبک و ۳۰ درصد مشبک نتایج تقریباً یکسانی دارند.

نتیجه‌گیری

با افزایش شدت جریان و در نتیجه افزایش قدرت جریان‌های گردابه‌ای پیرامون پایه، عملکرد طوقه‌های ساده و

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.

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