بررسی اثر تغییر شکل طوق بر روند و میزان آب‌شستگی موضعی

محمد بلوچی، دانشجوی کارشناسی ارشد دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان
پست الکترونیکی balouchi@cv.iut.ac.ir تلفن: ۰۹۱۳۲۶۹۹۵۸۰

محمد رضا چمنی ، عضو هیئت علمی دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان
پست الکترونیکی mchamani@cc.iut.ac.ir تلفن: ۰۳۱۱۳۹۱۳۸۳۱

محمد کریم بیرامی ، عضو هیئت علمی دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان
پست الکترونیکی beirami@cc.iut.ac.ir تلفن: ۰۳۱۱۳۹۱۳۸۲۷

چکیده

همه ساله پل‌های زیادی در اثر آب‌شستگی پایه‌های آن‌ها در اثر جریان آب در رودخانه‌ها تخریب می‌شود. تا کنون راه‌های زیادی جهت مقابله با آب‌شستگی به کار گرفته شده است. این روش‌ها در دو دسته عمده‌ی افزایش مقاومت مواد موجود در بستر مانند استفاده از سنگچین و کاهش اثر عوامل فرسایش که مهمترین آنها استفاده از طوق و شکاف است، قرار می‌گیرد. بزرگترین مشکل دسته دوم آن است که به طور کامل آب‌شستگی را از بین نمی‌برد و گاهاً ناحیه آب‌شستگی را وسعت می‌دهد. در این مقاله ضمن مشاهده اثر طوق‌های قبلی بر آب‌شستگی (دایره‌ای با قطر ۲ و ۳ برابر قطر پایه) با تغییر شکل طوق سعی بر آن شده که این عمق را به حداقل برسانیم. مدل به صورت فیزیکی با مقیاس مناسب ساخته شده و آزمایش گردید. نتایج نسان می‌دهد که در طرح پیشنهادی عمق ماکزیمم برابر با ۶۱ درصد حالت بدون طوق و زمان تعادل ۲۱۳ درصد افزیش یافته است. اگرچه میزان کاهش عمق در طرح پیشنهادی نسبت به حالت طوق ۳ برابر معمولی به طور قابل توجه افزایش نیافته است ولی زمان تعادل به میزان بسیار زیادی افزایش یافته است.

واژه‌های کلیدی: آب‌شستگی، پایه‌پل، طوق.

مقدمه

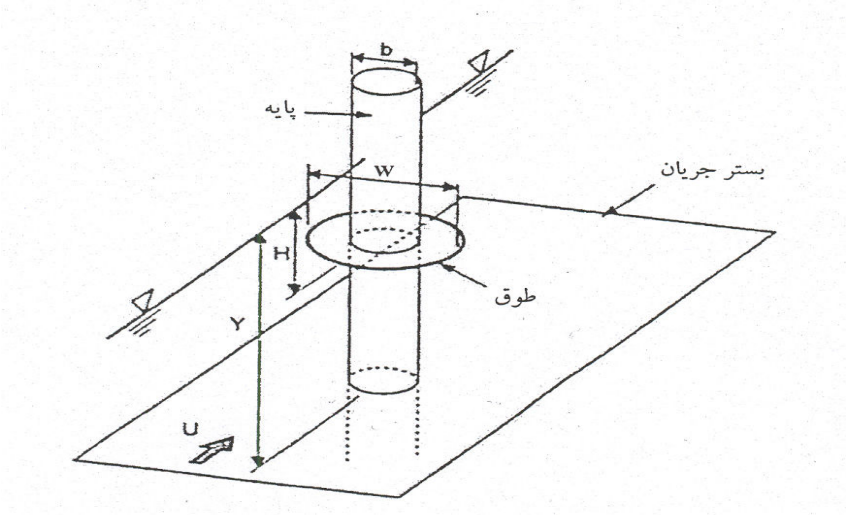
به طور کلی در محل پایه‌های پل دو عامل اساسی موجب تشکیل گرداب‌هایی در اطراف پایه می‌شود که این گرداب‌ها خود باعث آب‌شستگی موضعی[1] می‌شوند. این دو عامل عبارتند از برخورد جریان به پایه‌ی پل و جدایی جریان[2] آب از پایه‌ی پل. تمامی جریان‌هایی که در اطراف پایه تولید می‌شوند به نحوی به طور مستقیم یا غیر مستقیم با یکی از این دو عامل مرتبط هستند [۱]. برخورد آب به پایه موجب جریان رو به پایین[3] و در نتیجه گرداب نعل‌اسبی[4] می‌شود و جدایی جریان در پشت پایه موجب گرداب‌هایی می‌شود که به گرداب‌های برخاستگی[1] معروف است [۱].

[1] Local scour
[2] Flow separation
[3] Downflow
[4] Horse-Shoe vortex

طبق نظر اکثر محققین همچون رودکیوی و اتما (۱۹۸۳) و پارسابصیر (۲۰۰۴) گرداب نعل‌اسبی زمانی آغاز می‌شود که در اثر جریان رو به پایین، حفره‌ی آب‌شستگی در جلوی پایه تشکیل شده باشد. به عبارت دیگر، اگر جلوی جریان رو به پایین گرفته شود، خود به خود گرداب نعل‌اسبی نیز کنترل می‌گردد [۲].

متن اصلی

روش‌های کاهش عمق آب‌شستگی موضعی به دو دسته تقسیم می‌شوند که عبارتند از: ۱- بالا بردن مقاومت مواد بستر در اطراف پایه‌ها با استفاده از مواد مقاوم‌تر که رایج‌ترین راه، استفاده از سنگچین در بستر رودخانه است. ۲-کاهش قدرت عوامل اصلی فرسایش از جمله جریان رو به پایین و گرداب نعل اسبی (کنترل گرداب برخواستی کمتر مورد توجه واقع شده است) که در این روش، ابزارهای مختلفی از جمله پای‌ستون، شکاف و طوق به کار گرفته می‌شود. منظور از طوق یک صفحه با ضخامت کم است که دور پایه را می‌پوشاند و روی بستر (یا بالاتر) قرار می‌گیرد و از تخریب بستر به علت جریان رو به پایین و گرداب نعل اسبی جلوگیری می‌کند [۳]. شکل (۱) چگونگی قرارگیری طوق بر روی پایه و موقعیت آن نسبت به بستر رودخانه را نشان می‌دهد.



شکل ۱: استفاده از طوق جهت مقابله با آب‌شستگی [۲]

طوق به صورت یک سپر محافظ برای بستر دور پایه در مقابل جریان روبه‌پایین و گرداب نعل‌اسبی عمل کرده و اثر فرسایشی این عوامل را تا حد زیادی خنثی می‌کند. حسن طوق آن است که پس از احداث رودخانه حتی زمانی که آب در رودخانه جریان دارد قابل اجرا است. طریقه‌ی اجرا به این شکل است که دو نیم‌صفحه از طوق را در محل مربوطه از دو طرف مقابل قرار می‌دهند و سپس آن دو را به هم جوش می‌دهند. به علاوه طوق در سیلاب‌های شدید آسیب نمی‌بیند در صورتی که سنگ‌چین توانایی تحمل سیلاب بیشتر از سیلاب طرح را ندارد. از عوایب این روش آن است که طوق آب‌شستگی را به طور کامل برطرف نمی‌کند و همچنین نصب آن احتیاج به دقتی به مراتب بالاتر از

[1] Wake vorticies

سنگ‌چین دارد. به هر حال باید آنالیز اقتصادی انجام گردد، چون ممکن است در شرایطی سنگ‌چین گزینه‌ی مناسب‌تر باشد ولی در شرایط دیگر طوق بهتر باشد.

توماس (۱۹۶۷)، تاناکا و یانو (۱۹۶۷)، نیل (۱۹۷۳)و اتما (۱۹۸۰) نشان دادند که با قرار دادن طوق یا پای‌ستون دور پایه می‌توان، عمق آب‌شستگی را کاهش داد. طوق با مقاومت در برابر جریان رو به پایین از شسته شدن مصالح بستر جلوگیری می‌کند [۴]. به کارگیری طوق هنگامی مؤثر واقع می‌شود که سرعت جریان به حد کافی پایین است و انتقال رسوب یا انتقال فرم بستر و عبور از پایه نداشته باشیم. به هر حال وقتی که انتقال رسوب عمومی رخ می‌دهد، با توجه به انتقال فرم بستر ممکن است زیر طوق خالی شود. در چنین شرایطی طوق اثر خود را از دست می‌دهد [۴].

کومار و همکاران (۱۹۹۹) مجدداً اثر توأم طوق و شکاف را بررسی کردند. علاوه بر آن اثر محل قرارگیری و ابعاد طوق (۱/۵، ۲، ۲/۵، ۳ و ۴ برابر قطر پایه) را بر حداکثر عمق آب‌شستگی بررسی کردند و با استفاده از نتایج آزمایشگاهی رابطه‌ای کلی را جهت محاسبه‌ی عمق آب‌شستگی در حالت استفاده از طوق با قطر مشخص و ارتفاع معلوم ارائه دادند [۵].

$$\frac{ds_p - ds_c}{ds_p} = 0.057\left(\frac{B}{b}\right)^{1.612}\left(\frac{H}{Y_0}\right)^{0.837} \qquad (۱)$$

که در آن ds_p عمق آب‌شستگی در حالت عادی بدون طوق، ds_c عمق آب‌شستگی با طوق، B قطر طوق، b قطر پایه، H عمق طوق نسبت به سطح آزاد آب و Y_0 عمق آب است [۵]. در این بررسی آزمایشگاهی پروفیل بستر را در حالت استفاده از طوق با قطر ۲/۵ برابر قطر پایه به دست آوردند. در مورد استفاده از شکاف هم به این نتیجه رسیدند که هرچه شکاف به بستر نزدیک‌تر باشد مؤثرتر است و اگر جریان نسبت به امتداد شکاف انحراف داشته باشد، کفایت خود را از دست می‌دهد [۵].

زراتی و همکاران (۲۰۰۶) بر روی کاهش عمق آب‌شستگی با استفاده از طوق‌های مجزا و ممتد در گروه پایه همراه با سنگچین مطالعه کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که در دو پایه‌ی در یک خط، ترکیب طوق ممتد و سنگ‌چین منجر به کاهش آب‌شستگی در حدود ۵۰ و ۶۰ درصد برای جلو و پشت پایه می‌شود [۶]. در آزمایش دیگری نشان دادند که طوق‌های مستقل در هر پایه مؤثرتر از یک طوق یکپارچه برای دو پایه است. همچنین نتیجه گرفتند که طوق بر روی پایه‌ی مستطیلی در جهت جریان مؤثرتر از حالت دو پایه در یک امتداد است [۶].

در این تحقیق، آزمایش‌هایی بر روی شکل جدیدی از طوق انجام گرفت و به جهت مقایسه و تعیین کفایت آن، آزمایش‌هایی نیز بر روی شکل‌های طوق قبلی که دانشمندان بر روی آن‌ها کار کرده‌اند انجام شد.

معرفی مدل و آزمایش‌ها

آزمایش‌ها در کانال آزمایشگاه مکانیک سیالات و هیدرولیک دانشکده‌ی عمران دانشگاه صنعتی اصفهان انجام شد. طول کانال ۱۱ متر و مقطع آن مستطیلی به عرض ۰/۴۱ و ارتفاع ۰/۷ متر است. دیواره‌ی داخلی کانال از جنس فولاد و دیواره‌ی بیرونی از جنس شیشه‌ی سکوریت است. شیب کف کانال صفر و کف آن در محدوده‌ی ۵/۱ متری ابتدایی تا ۰/۲ متر بالا آورده شده است. در این محدوده، فاصله‌ی ۱/۱ متری که محل انجام آب‌شستگی است با ماسه

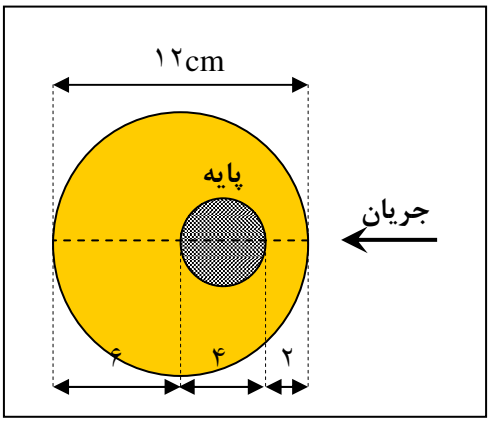
پر شده و بقیه‌ی آن توسط دو سکوی فلزی به طول ۳ و ۱ متر بالا آورده شده است. علت استفاده از سکوها جلوگیری از شسته شدن ماسه‌ها به صورت عمومی است. آب در کانال توسط یک پمپ با حداکثر دبی ۸۰ لیتر بر ثانیه در یک مدار بسته جریان می‌یابد که میزان دبی به وسیله‌ی یک شیر فلکه در بالادست کانال قابل تنظیم است. جهت اندازه‌گیری دبی از سرریز مستطیلی لبه‌تیز پایین‌دست کانال استفاده می‌شود. آب پیش از ورود به کانال وارد مخزنی به ابعاد ۱/۵*۲*۲ می‌شود و سپس توسط دو صفحه‌ی انحنادار به درون کانال هدایت می‌شود. این صفحات اثرات ناشی از انقباض خطوط جریان در هنگام ورود آب به کانال را کاهش می‌دهد. همچنین جهت کنترل سطح آب در پایین‌دست، دریچه‌ی آزاد قابل تنظیمی در انتهای کانال تعبیه شده است.

پایه از جنس پلاستیک تفلون است و قطر آن ۴ سانتی‌متر انتخاب شد. علت آن است که اولاً طبق نظر چیو (۱۹۹۵) قطر پایه باید حداکثر برابر با ده درصد فاصله دیواره‌های کانال باشد که دیواره‌ها اثری بر عمق آب‌شستگی نداشته باشند. ثانیاً اگر نخواهیم دانه‌ها اثری بر آب‌شستگی نداشته باشند باید نسبت قطر پایه به میانگین ذرات بستر حداقل برابر با ۵۰ باشد[۳]. از آنجا که حداقل قطر میانگین مصالح بستر ۰/۷ میلی‌متر است (به سبب جلوگیری از تشکیل ریپل) بنابراین حداقل قطر پایه ۳۵ میلی‌متر است [۱].

مصالح بستر از نوع یکنواخت غیر چسبنده و با اندازه‌ی متوسط ۰/۷۲ میلی‌متر، چگالی نسبی ۲/۶۵ و انحراف معیار ۱/۲۶ انتخاب شدند.

به منظور سهولت در قرار دادن طوق در تراز بستر، پایه را به دو قسمت تقسیم کردیم که به صورت پیچ و مهره به هم محکم می‌شود. قسمت اول کاملاً در ماسه قرار داشت و قسمت دوم که روی طوق واقع می‌شود کاملاً از ماسه‌ها بیرون بود. . شکل طوق‌ها که دایره‌ی مسطح بودند، عبارتند از طوق با دو برابر قطر پایه، طوق با سه برابر قطر پایه و هم‌مرکز با پایه و نهایتاً طوق با سه برابر قطر پایه و غیر هم‌مرکز با پایه. دو شکل اول قبلاً هم توسط دانشمندان آزمایش شده بود ولی شکل آخر تا کنون آزمایش نشده است.

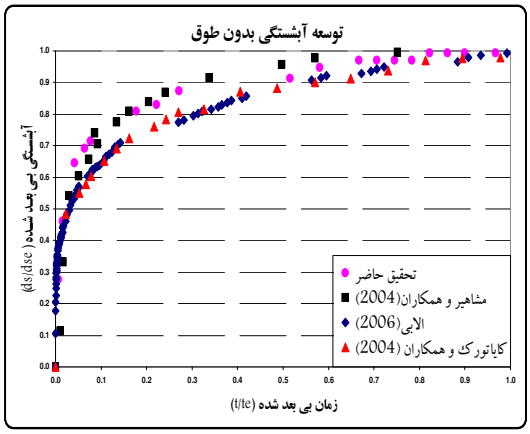
به منظور تعیین حداکثر عمق آب‌شستگی در همه حالات نسبت تنش برشی به تنش برشی بحرانی برابر با ۰/۹۵ در نظر گرفته شد. همچنین معیار در نظر گرفته شده برای رسیدن به عمق تعادل آب‌شستگی در این تحقیق، معیار کومار و همکاران (۱۹۹۹) می‌باشد. طبق این معیار زمانی آب‌شستگی به حالت تعادل رسیده است که طی مدت ۳ ساعت عمق آب‌شستگی کمتر از ۱ میلی‌متر تغییر کند [۵].



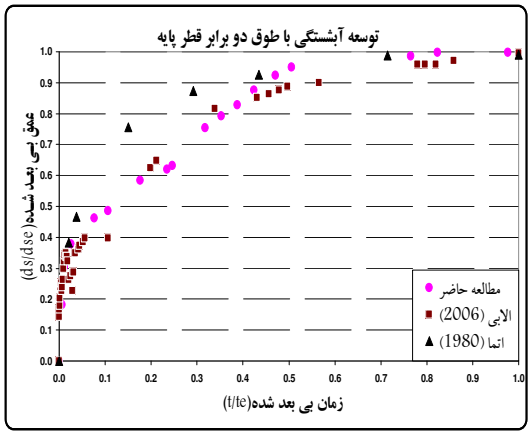
شکل ۲: شکل، ابعاد و نحوه‌ی قرارگیری طوق سه برابر قطر پایه نامتقارن.

نتایج و بحث:

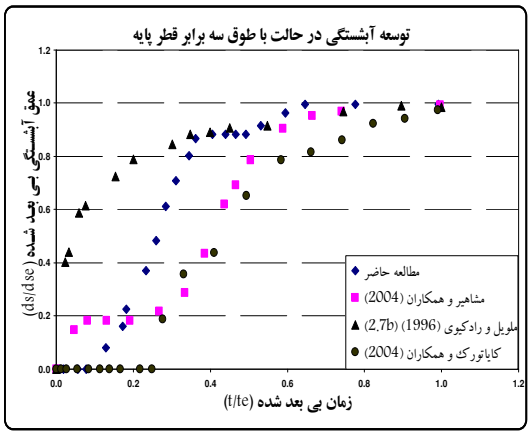
جهت صحت‌سنجی نتایج بدست آمده از آزمایش‌ها، با نتایج ارائه شده توسط مشاهیر و همکاران (۲۰۰۴)، الابی (۲۰۰۶) و ملویل و رادکیوی (۱۹۹۶) مقایسه شده است. این مقایسه در شکل (۳) نشان داده شده است. شکل (۳) نشان می‌دهد که نتایج حاصله در حالت بدون طوق و با طوق دوبرابر قطر پایه تطابق خوبی با نظر محققین دیگر دارد. علت تفاوت نتایج در حالت طوق سه‌برابر آن است که نتایج ثبت شده در این آزمایش تنها در دو نقطه‌ی جلو و پشت پایه و درست در لبه‌ی پایه است، ولی نتایج ارائه شده در آزمایش سایرین، ماکزیمم عمق آب‌شستگی در تمام نقاط است. بنابراین عمق آب‌شستگی تا لحظه‌ای که گودال به پایه برسد صفر در نظر گرفته شده ولی در واقع این مقدار صفر نیست و در مکانی پشت پایه قرار دارد. شکل (۴) نتایج به دست آمده از توسعه‌ی زمانی آب‌شستگی در حالت بدون طوق، با طوق دوبرابر و سه‌برابر قطر پایه در جلو و پشت پایه را نشان می‌دهد. همانطوری که ملاحظه می‌شود، وجود طوق موجب تأخیر در زمان تعادل و همچنین کاهش عمق نهایی آب‌شستگی می‌شود.



(الف)



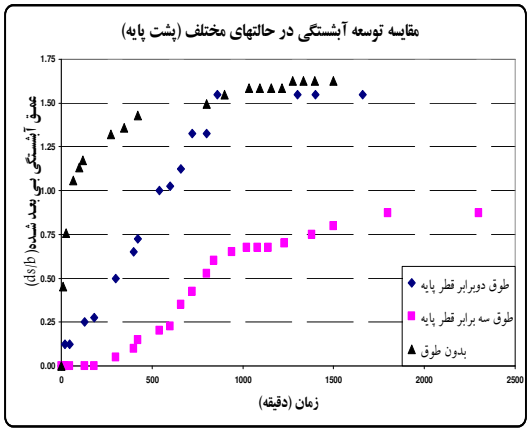
(ب)



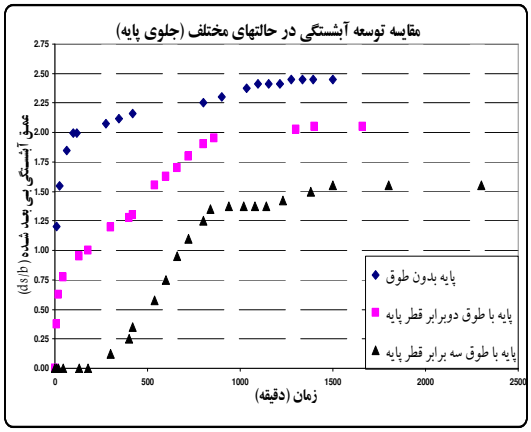
(ج)

شکل ۳: مقایسه نتایج تحقیق حاضر با محققان دیگر؛ الف) بدون طوق، ب) با طوق دوبرابر قطر پایه، ج) با طوق سه برابر قطر پایه.

همانطوری که انتظار داشتیم، وجود طوق موجب بهبود الگوی آب‌شستگی و افزایش زمان تعادل می‌شود. همان‌طوری که در شکل (۴) مشخص است، ماکزیمم عمق آب‌شستگی در حالت بدون طوق حدوداً ۲/۴ برابر قطر پایه، در حالت با طوق دوبرابر قطر پایه در حدود ۲/۰۵ برابر قطر پایه و در حالت طوق سه‌برابر این مقدار برابر با ۱/۵۵ برابر قطر پایه است. بنابراین عملکرد طوق در حالت سه‌برابر به مراتب مناسب‌تر از حالت دوبرابر است. علت آن است که طوق سه‌برابر اثر جریان رو به پایین را به کلی از بین می‌برد و تنها زمانی وارد عمل می‌شود که حفره‌ی آب‌شستگی از پشت پایه به جلوی پایه پیشروی کرده باشد در حالی که در حالت دوبرابر به سرعت وارد عمل می‌شود.

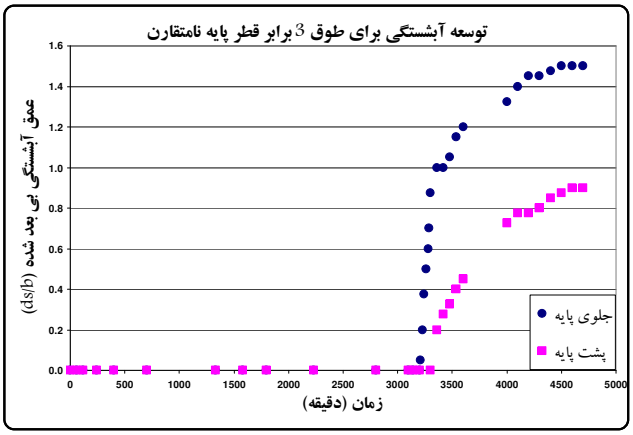


(الف)



(ب)

شکل ۴: مقایسه نتایج بین سه حالت با طوق دوبرابر، سه‌برابر و بدون طوق؛ الف) پشت پایه، ب) جلوی پایه.



شکل ۵: توسعه‌ی آب‌شستگی برای طوق با سه‌برابر قطر پایه در دو نقطه‌ی جلو و عقب چسبیده به پایه.

با مقایسه‌ی شکل (۵) با شکل (۴) مشاهده می‌شود که ابعاد ماکزیمم عمق آب‌شستگی در این حالت با طوق سه‌برابر معمولی تفاوت چشمگیری ندارد ولی زمان رسیدن به تعادل به مراتب بیشتر است. این در حالی است که در حالت بستر بدون حفاظ ۸۰ درصد عمق آب‌شستگی در ۲ ساعت اول ایجاد می‌شود. در حقیقت در هنگام وقوع سیل تا ۵۵ ساعت فرصت داریم که پایه را اصلاح کنیم و یا در صورت ضرورت پل را خالی از رفت و آمد کنیم و این مزیت بسیار ارزشمندی است.

جمع‌بندی و نتیجه‌گیری:

در تحقیق حاظر از ۳ نوع طوق جهت کاهش عمق آب‌شستگی استفاده شد. نتایج حاصله از دو طوق معمول دو و سه برابر قطر پایه با نتایج سایر محققین تطابق خوبی داشت. نتایج حاصله از طوق نامتقارن سه برابر قطر پایه حاکی از آن است که زمان تعادل را به مراتب بیشتر از حالت‌های قبل می‌کند ولی بر میزان عمق آب‌شستگی اثر چندانی ندارد. علت آن است که چون گرداب برخاستگی به مراتب دورتر از پایه شکل می‌گیرد، مدت زمان زیادی لازم است که حفره به جلوی پایه برسد.

مراجع

[۱] Breusers, H. N. C, Raudkivi. A. J. (1991), “Scouring.”, 2nd Hydraulic structures Design Manual, IAHR, A. A. Balkema, Roterdam, The Netherlands.

[۲] پارسابصیر، ه. (۱۳۸۳)، "حفاظت پایه‌های پل در مقابل آب‌شستگی موضعی با استفاده‌ی توأم از سنگ‌چین و طوق"، پایان‌نامه‌ی کارشناسی ارشد، دانشکده‌ی مهندسی عمران دانشگاه صنعتی اصفهان.

[۳] Raudkivi, A. J. (1998), “Loose Boundary Hydraulics.”, A. A. Balkema, Rotterdam, The Netherlands.

[۴] Chew, Y. M. (1992), “Scour protection at bridge piers,”, J. Hydr. Eng., ASCE, 118(9), 1260-1269

[۵] Kumar, V., Ranga Raju, K. G., Vittal, N.(1999), “Reduction of local scour around bridge piers using slots and collars”, J. Hydr. Eng., ASCE, 125(12), 1302-1305.

[۶] Zarrati, A. M., Nazariha, M. and Mashahir, M. B. (2006), “Reduction of local scour in the vicinity of bridge pier groups using collars and riprap.” J. Hydr. Eng, ASCE, 132(2): 154-162.

[۷] Alabi,. P. D. (2006), “Time development of local scour at bridge pier fitted with a collar”, MS theses, Univercity of Saskatchewan, Canada.