نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۶، شماره ۳، مرداد – شهریور ۱۳۹۱، ص. ۶۰۶-۵۹۷

Journal of Water and Soil
Vol. 26, No. 3, Jul-Aug 2012, p. 597-606

تاثیر توام آبپایه و طوق در کاهش عمق آب‌شستگی اطراف پایه‌های پل استوانه‌ای

سینا رازی[1*]- علی حسین‌زاده دلیر[2]- فرزین سلماسی[3]- داود فرسادی‌زاده[4]

تاریخ دریافت:۸۹/۸/۱۵
تاریخ پذیرش:۹۰/۱۱/۱۰

چکیده

در این مقاله تاثیر توام آبپایه و طوق به عنوان محافظ و بازدارنده در جهت کاهش آب‌شستگی موضعی و تحت شرایط آب زلال (V/V_c=۰/۹) بررسی شده است. در مرحله اول از آزمایشات، آبپایه در فواصل مختلف از پایه و در قسمت پایین‌دست پایه قرار داده شد. نتایج آزمایشات نشان داد که کمترین فاصله آبپایه از پایه در پایین‌دست بیشترین تاثیر را در کاهش عمق آب‌شستگی در قسمت بالادست و جلوی پایه دارد. میزان عمق آب‌شستگی در این حالت حدود ۳۰ درصد کاهش یافت. در ادامه آزمایشات از طوق نیز هم‌زمان با آبپایه استفاده شد. هنگام استفاده توام از طوق (W/D=۲) و آبپایه (L=0)، عمق آب‌شستگی به میزان ۴۲ درصد و در حالت استفاده توام از طوق (W/D=۳) و آبپایه (L=0)، عمق آب‌شستگی جلوی پایه‌ها بیش از ۹۸درصد کاهش یافت. نتایج نشان می‌دهند که استفاده توام از آبپایه و طوق بیشترین تاثیر را بر کاهش آب‌شستگی موضعی اطراف پایه‌های پل خواهد داشت.

واژه های کلیدی: آب‌شستگی موضعی، پایه، آبپایه، طوق

مقدمه

اهمیت پل‌ها در برقراری راه‌های ارتباطی بر کسی پوشیده نیست. همه ساله هزاران پل در سراسر جهان در اثر آب‌شستگی در اطراف پایه‌های آنها تخریب می‌شود. این تخریب‌ها و خسارات وارده علاوه بر تلفات جانی و ضررهای مالی، سبب قطع راه های ارتباطی شده که بدین ترتیب حمل ونقل را نیز مختل می کند. با کنترل و محافظت از پایه های پل در برابر آب‌شستگی و ارائه‌ی روش های مناسب پیش بینی آب‌شستگی، می توان از وارد آمدن این خسارات پیش گیری کرد. علیرغم مطالعات تجربی و عددی فراوانی که در رابطه با آب-شستگی پایه پل صورت گرفته از آبپایه به عنوان کنترل آب‌شستگی در پایه‌های پل کم استفاده شده است، لذا در این تحقیق هدف پیدا کردن یک ترکیب مناسب از آبپایه و طوق با قطرهای مختلف جهت کاهش بیشترین عمق آب‌شستگی در اطراف پایه‌های پل استوانه‌ای است. روش‌های حفاظت آب‌شستگی موضعی در پایه پل‌ها را می‌توان به دو گروه تقسیم بندی کرد:

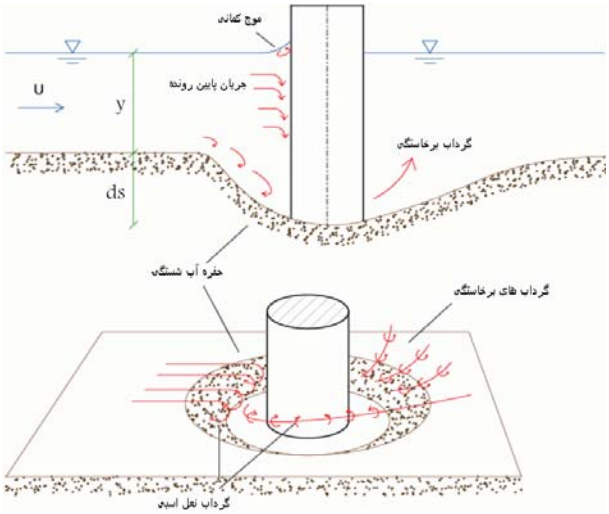
الف) روش مستقیم: در روش مستقیم هدف بالا بردن مقاومت بستر در مقابل تنش‌های وارده است که این کار را با جاگذاری مصالح مقاوم انجام می‌دهند. معمول‌ترین مصالح مورد استفاده در این روش استفاده از سنگ است (۲۷).

ب) روش غیر مستقیم: در روش غیر مستقیم هدف کاهش نیروهای مخرب با استفاده از تغییر دادن الگوی جریان در اطراف پایه-ها می‌باشد. محققین مطالعات فراوانی را با استفاده از روش غیر مستقیم نظیر: استفاده از طوق در اطراف پایه (۹ و ۲۴)، استفاده از صفحات مستغرق (۲۱)، استفاده از گروه پایه‌ها (۲۶) و استفاده از یک شکاف در داخل پایه (۲ و ۵) انجام داده‌اند. معمول‌ترین وسیله در این روش استفاده از طوق در اطراف پایه است.

مکانیزم آب‌شستگی

الگوی جریان و مکانیزم آب‌شستگی در اطراف پایه پل بسیار پیچیده بوده که این مسئله توسط محققین بسیاری گزارش شده است (۸، ۱۲ و ۲۰). شکل ۱ الگوی جریان را در اطراف پایه پل با توجه به گرداب‌های تشکیل شده نشان می‌دهد. آب‌شستگی موضعی در اطراف یک پایه نتیجه جریان پایین رونده و گرداب نعل اسبی است. جریان پایین‌رونده در اثر برخورد با بستر رودخانه ضمن حفر بستر به هر طرف پراکنده می‌شود. با حفر بستر در بالادست پایه جریان رو به پایین نیز به داخل حفره نفوذ کرده و به طرف بالادست و سپس پایین‌دست می‌چرخد که این امر باعث به وجود آمدن گرداب نعل اسبی می‌شود.

۱،۲،۳و۴- به ترتیب کارشناس ارشد سازه‌های آبی، دانشیار و استادیاران گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز
(*- نویسنده مسئول: Email: razi_sina@yahoo.com)



شکل ۱- الگوی جریان در اطراف یک پایه با مقطع دایره‌ای (۲۵)

حفر گودال آب‌شستگی توسط گرداب نعل اسبی تا آنجا که حجم آب داخل حفره زیاد شده و انرژی گرداب را مستهلک کند ادامه می‌یابد. امتداد این گرداب نیز در پایین‌دست پایه به آشفتگی جریان می‌پیوندد. از طرفی با جدا شدن جریان از کناره‌های پایه گرداب‌هایی تشکیل می‌شود که محور آن‌ها بر بستر رودخانه عمود بوده و در اصطلاح به آن‌ها گرداب‌های برخاستگی می‌گویند. این گرداب‌ها ذرات را از بستر جدا کرده و در معرض جریان قرار می‌دهند و به حمل مصالح کنده شده از جلو و اطراف پایه به سمت پایین‌دست کمک می‌کنند و خود نیز گودالی در پایین‌دست پایه حفر می‌نمایند. حالت تلفیقی گرداب‌های برخاستگی و نعل اسبی منجر به توسعه آب‌شستگی موضعی می‌شود. برای پایه‌های دایره‌ای حداکثر عمق حفره آب‌شستگی معمولا در جلوی پایه رخ می‌دهد (۲۷).

پیشنهاد استفاده از طوق برای اولین بار توسط لارسن و تاچ (۱۵) در سال ۱۹۵۶ مطرح گردید. شریعتی و همکاران (۴) عملکرد طوق مربعی و طوق دایره‌ای در مدل تک پایه استوانه‌ای را مورد بررسی قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که استفاده از هر دو نوع طوق به ویژه در زیر سطح بستر، عمق آب‌شستگی را کاهش می‌دهد. هم‌چنین در طوق مربعی و دایره‌ای درصد کاهش عمق آب‌شستگی به ترتیب، ۷۰ و ۵۰ درصد بدست آمده است که نشان میدهد طوق‌های مربعی عملکرد بهتری نسبت به طوق‌های دایره‌ای دارند. ارونقی و همکاران (۱) آزمایشات خود را با به کارگیری طوق مستطیلی در پایه پل استوانه‌ای انجام دادند. نتایج این آزمایشات نشان داد که مقادیر مناسب طول طوق مستطیلی در بالادست و پایین‌دست که نسبت به بدنه مدل پایه پل اندازه‌گیری شده بود به ترتیب ۰/۹۲ و ۱/۴۲ برابر قطر پایه پل پیشنهاد گردید. ضمن اینکه عرض مناسب طوق را ۳ برابر قطر پایه پل پیشنهاد کردند. با ابعاد ذکر شده پس از ۶۲ ساعت، آب‌شستگی ناچیزی در اطراف مدل پایه پل مشاهده کردند. مطالعات سینگ و همکاران (۲۳) نشان داد که تاثیر طوق در کاهش عمق آب‌شستگی تابعی از پهنا و ارتفاع نصب طوق از سطح بستر است. ایشان دریافتند که نصب طوق در ارتفاع $-0/1D$ زیر سطح بستر بیشترین تاثیر را در کاهش عمق آب‌شستگی خواهد داشت. زراتی و همکارانش (۲۷) استفاده از طوق‌های پیوسته و مستقل و حالت توام طوق و سنگ‌چین را اطراف گروه پایه‌های پل مورد مطالعه قرار دادند. نتایج آزمایشات نشان داد که با دو پایه در یک امتداد، حالت تلفیقی طوق‌های پیوسته و سنگ‌چین منجر به کاهش آب‌شستگی در حدود ۵۰ و ۶۰ درصد، به ترتیب در جلو و عقب پایه‌ها می‌شود. ایشان در ادامه آزمایشات متوجه شدند که در دو پایه در یک امتداد، تاثیر طوق‌های مستقل خیلی بیشتر از حالتی است که طوق به‌صورت پیوسته کار گذاشته شده بود. محققین بسیاری از آبپایه به عنوان یک راه حل عمومی جهت پایدار کردن رودخانه‌ها با بستر شیب‌دار استفاده کرده‌اند (۱۶، ۱۷ و ۱۸). اغلب از آبپایه در پایین‌دست سدها و در اطراف پایه‌های پل، آب‌شکن‌ها و یا در کانال‌ها استفاده می‌شود. چیو و لیم (۷) استفاده از یک آبپایه پیشرو را که در بالادست پایه به عنوان یک محافظ کار گذاشته شده بود را پیشنهاد کردند. با توجه به همین کار، گریمالدی و همکاران (۱۰) به فکر استفاده از همان آبپایه افتادند، با این تفاوت که محل قرار گیری آن در پایین‌دست پایه بود. در آزمایشات آن‌ها کاهش عمق آب‌شستگی جلوی پایه در بهترین حالت حدود ۲۶ درصد بود. آن‌ها هم‌چنین در ادامه تحقیقات خود از شکاف در پایه جهت تغییر در سرعت‌های جریان اطراف پایه، به‌صورت توام با آبپایه استفاده کردند. در حالت استفاده تنها از شکاف، بیشترین کاهش عمق آب‌شستگی حدود ۳۰ درصد و در حالت تلفیقی شکاف و آبپایه در بهترین حالت حدود ۴۵ درصد بود (۱۱). از کار گذاشتن آبپایه در

بالادست پایه‌های پل اجتناب می‌شود چون خطر احتمالی کاهش سطح بستر به علت آب‌شستگی موضعی و عمومی در پایین‌دست پایه وجود دارد (۳ و ۱۰).

مواد و روش‌ها

آزمایشات در یک فلوم مستطیلی به طول ۶ متر، عرض ۰/۸متر و عمق ۰/۵متر و با شیب طولی صفر انجام گرفت. در شکل ۲ پلان و مقطع طولی فلوم و پایه درون آن نمایش داده شده است. جنس کف فلوم از آهن و جنس دو طرف دیواره‌ها در طول فلوم به منظور دیدن آزمایشات از شیشه ساخته شده است. در بالادست و پایین‌دست فلوم دو عدد کف کاذب به طول ۲ متر و ارتفاع ۰/۱۵ متر نصب شده است. روی کف کاذب قرار گرفته در بالادست فلوم با استفاده از ذرات ماسه پوشانده شده تا بتوان شرایط پایدار در ابتدای بستر ماسه‌ای ایجاد کرد. در انتهای فلوم از یک دریچه کنترل کننده به منظور تنظیم ارتفاع سطح آب و دست‌یابی به عمق طراحی استفاده شده است. تمامی آزمایشات تحت شرایط یکسان عمق و دبی جریان به ترتیب ۰/۱۹ متر و ۴۱ لیتر بر ثانیه انجام گرفته است. طبق مطالعات ارائه شده توسط چیو و ملویل (۶) به منظور بی‌تاثیر کردن دیواره فلوم در عمق آب‌شستگی، نباید قطر پایه بیشتر از ۱۰ درصد عرض فلوم باشد. از طرفی رادکیوی و اتما (۲۲) بیان داشته‌اند که برای از بین بردن تاثیر دیواره‌های کانال بر آب‌شستگی موضعی در اطراف پایه، نسبت فاصله محور پایه تا دیواره کانال به قطر پایه باید بزرگ‌تر از ۶/۲۵ باشد. جدول ۱ شرایط جریان به‌کار رفته در آزمایشات را نشان می‌دهد. در جدول ۱، D: قطر پایه، F_r: عدد فرود و y: عمق جریان در بالادست پایه می‌باشند.

مصالح مورد استفاده در این تحقیق، ماسه با قطر متوسط d_{50} = ۰/۴۵mm و انحراف معیار هندسی $\sigma_g = (d_{84}/d_{16})^{0.5}$ = ۱/۴۸ می‌باشد. ضریب یکنواختی ذرات برابر $C_u = (d_{60}/d_{10})$ = ۱/۵۶ است و چون کمتر از ۲ می‌باشد مصالح مورد استفاده را می‌توان به عنوان ذرات یکنواخت در نظر گرفت (۱۴).

جدول ۱- شرایط جریان به‌کار رفته در تحقیق حاضر

D/d_{50}	y (*m*)	V_c (*m/s*)	y/D	V/V_c	F_r	D (*mm*)
۶۶/۶۶	۰/۱۹	۰/۳۰۲۷	۶/۳۳	۰/۹	۰/۱۹۹	۳۰
۱۳۳/۳۳	۰/۱۹	۰/۳۰۲۷	۳/۱۶۶	۰/۹	۰/۱۹۹	۶۰

سرعت به‌کار رفته در طی آزمایشات به منظور نزدیک شدن به شرایط حداکثر عمق آبشستگی موضعی در شرایط آب زلال (V/V_c=۰/۹) بوده است و سرعت بحرانی با استفاده از روابط زیر که از معادلات ملویل (۱۹) بدست آمده محاسبه گردیده است: [V_{*C} , V_C به ترتیب سرعت بحرانی و سرعت برشی بحرانی هستند].

$$V_C/V_{*C} = 5.75Log\left[5.53\, y/d_{50}\right]$$

$$V_{*C} = 0.0115 + 0.0125 d_{50}^{1.4} \qquad 0.1\ mm < d_{50} < 1\ mm$$

معیار زمان تعادل در این آزمایش‌ها معیاری است که کومار و همکارانش (۱۳) در تحقیقات خود در نظر گرفتند یعنی مدت زمانی که تغییرات عمق آب‌شستگی در سه ساعت متوالی بیش از یک میلی‌متر نباشد. ضمنا به منظور حذف اثر اندازه رسوبات در عمق آب‌شستگی باید نسبت D/d_{50}>۲۰-۲۵ رعایت شود (۲۲).

در این تحقیق از دو پایه با قطرهای ۳۰ و ۶۰ میلی‌متری و دو طوق با اندازه‌های 2D و 3D استفاده شده است. قطر پایه‌ها طوری انتخاب شده‌اند که تاثیر اندازه ذرات و دیواره‌های جانبی فلوم بر عمق آب‌شستگی ناچیز بوده تا عمق آب‌شستگی به حداکثر مقدار به وجود آمده در شرایط آب زلال نزدیک گردد. هم‌چنین از یک آبپایه با ضخامت ۱۰ میلی‌متر، طول ۰/۸ متر و ارتفاع برابر با عمق بستر ماسه‌ای استفاده شد. آبپایه هم سطح با بستر، در پایین‌دست پایه‌ها و در فواصل به ترتیب، چسبیده به پایه (L=0)، D/۲، D و ۱/۵D از پایه‌ها کار گذاشته شد. طوق‌ها نیز هم سطح با بستر، با و بدون حضور آبپایه جهت دست‌یابی به یک ترکیب مناسب از آبپایه و طوق کار گذاشته شدند و نتایج در زیر ارائه شده است. طوق‌ها هم‌سطح با بستر کار گذاشته شدند تا بتوان تاثیر آن‌ها را با آبپایه نیز بررسی کرد. در قسمت جلویی پایه‌ها یک خط‌کش کاغذی شفاف چسبانده شد تا در زمان‌های مشخص بتوان عمق آب‌شستگی جلوی پایه‌ها را یادداشت کرد. در ابتدای هر آزمایش، جهت جلوگیری از تشکیل هر نوع ریپل، فلوم به آرامی از آب پر می‌شد سپس پمپ شروع به کار کرده و در نهایت با استفاده از دریچه کنترل کننده‌ای که در پایین‌دست فلوم قرار داشت، عمق مورد نظر تنظیم می‌گردید. در انتهای هر آزمایش پمپ خاموش شده و اجازه داده می‌شد تا فلوم به آرامی و بدون اینکه توپوگرافی آب‌شستگی به هم بخورد، زهکشی شود و نهایتا با استفاده از یک لیمنیمتر که دقت آن ±۰/۱ میلی‌متر بود پروفیل‌های آب-شستگی برداشت می‌گردید.

نتایج و بحث

آزمایش روی پایه‌های بدون محافظ

در ابتدای آزمایش مواد شسته شده از جلوی پایه‌ها در دو طرف آن‌ها پشته‌ای تشکیل می‌دهند که این پشته‌ها کم‌کم و با گذشت زمان به طرف پایین‌دست حرکت می‌کنند. کار حفر کردن ذرات بستر توسط گرداب نعل اسبی و انتقال ذرات به پایین‌دست توسط گرداب برخاستگی صورت می‌گرفت طوری که با عمیق‌تر شدن حفره، دیواره‌های آن ریزش کرده و باعث پهن شدن حفره آب‌شستگی

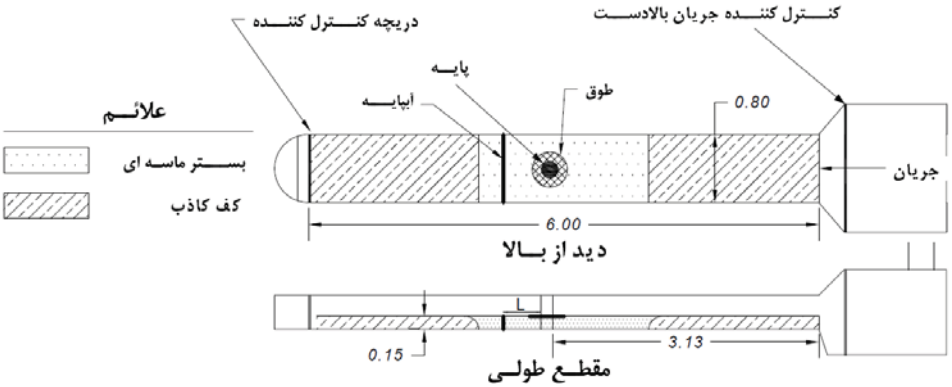
اطراف پایه‌ها می‌شد. شکل ۳ تغییرات عمق آب‌شستگی نسبت به زمان بی‌بعد برای هر دو پایه با قطرهای ۳۰ و ۶۰ میلی‌متر را نشان می‌دهد.

چیو و ملویل (۶) بیان کرده‌اند که نسبت عمق تعادل آب‌شستگی به قطر پایه تحت شرایط آب-زلال همواره کمتر از ۲/۳ و تحت شرایط بستر زنده کمتر از ۲ می‌باشد. شکل ۳ موید این مطلب است که آزمایشات تحت شرایط آب زلال صورت گرفته است. از طرفی حدود ۹۵درصد عمق آب‌شستگی جلوی پایه‌ها در محدوده زمانی ۱۰-۹ ساعت اتفاق افتاده است. به همین علت بقیه آزمایشات پایه هم‌راه محافظ تا این محدوده زمانی انجام شده‌اند. پس از این مرحله آبپایه در پایین‌دست پایه‌ها و در فواصل مختلف از آن‌ها کار گذاشته شد تا عمل‌کرد آن در کاهش میزان آب‌شستگی مورد مطالعه قرار گیرد.

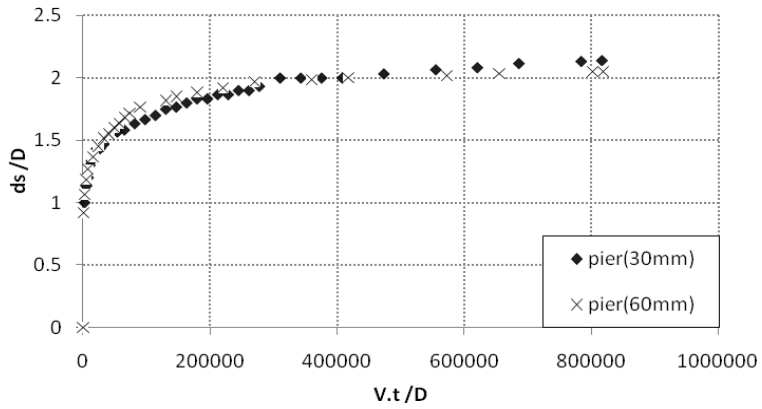
آزمایشات با وجود آبپایه

در ادامه آزمایشات، آبپایه هم‌سطح با بستر، تا کف فلوم و پایین-دست پایه‌ها کار گذاشته شد. در حالت اول برای هر پایه، آبپایه در موقعیت نزدیک‌ترین فاصله با پایه قرار داده شد (حالت چسبیده به پایه، L=0 (شکل ۵)). در ادامه، فاصله را زیاد کرده و آبپایه به ترتیب در فواصل D/۲، D، ۱/۵D از پایه و در پایین‌دست پایه قرار داده شد. با فاصله گرفتن آبپایه از پایه‌ها مشاهده شد که عمق آب‌شستگی در جلوی پایه‌ها بیشتر می‌شود، طوری‌که از تاثیر آبپایه در کاهش آب-شستگی جلوی پایه کاسته می‌شد. علت اینکه آبپایه چسبیده به پایه تاثیرش بیشتر از حالت‌های دیگر می‌باشد این است که در اثر برخورد جریان پایین‌رونده با ذرات بستر به ترتیب گرداب‌های نعل اسبی و برخاستگی تشکیل می‌شود و هنگامی که آبپایه در موقعیت چسبیده به پایه قرار دارد، نسبت به موقعیت‌های دیگر، گراب برخاستگی سریع‌تر کنترل می‌شود طوری که تا یک عمق آب‌شستگی مشخص، گرداب برخاستگی، دیگر توان بالا آوردن ذرات از بالادست و حمل آن‌ها به پایین‌دست آبپایه را نخواهد داشت.

شکل ۴ نشان می‌دهد که از تاثیر آبپایه با فاصله گرفتن از پایه کاسته می‌شود. نتایج حاصل از قرارگیری آبپایه در فواصل مختلف از پایه‌ها در جدول ۲ ارائه شده است.



شکل ۲- نمایی از فلوم آزمایشگاهی و نحوه کارگذاری آبپایه، طوق و پایه

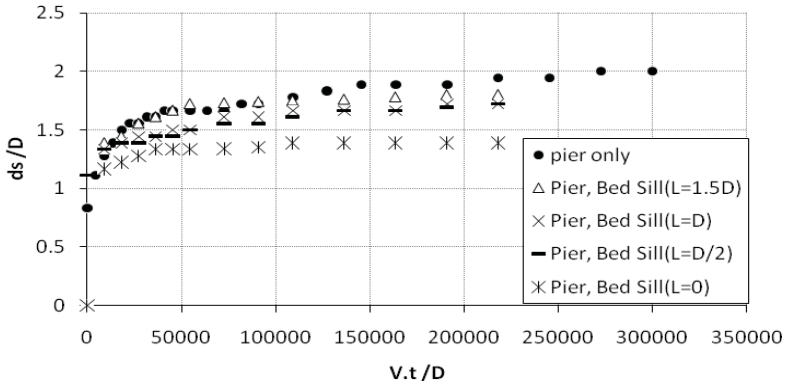


شکل ۳- عمق آب‌شستگی در پایه‌های بدون محافظ با قطرهای ۳۰ و ۶۰ میلی‌متری

در جدول مذکور درصد کاهش عمق آب‌شستگی اطراف پایه با وجود آبپایه نسبت به حالت بدون وجود آبپایه آورده شده است. تحقیق حاضر نتایجی مشابه با نتایج گریمالدی و همکاران (۱۰) داشت. آن‌ها نیز متوجه این موضوع شدند که با فاصله گرفتن آبپایه از پایه، تاثیر آبپایه کاهش می‌یابد. در تحقیق آن‌ها درصد کاهش عمق آب‌شستگی برای آبپایه در موقعیت L=0 حدود ۲۶ درصد بود.

با توجه به جدول ۲ و شکل ۴ می‌توان گفت که به طور کلی در بهترین حالت (آبپایه چسبیده به پایه) عمق آب‌شستگی در جلوی پایه‌ها حدود ۳۰ درصد کاهش یافت. شکل ۵ و ۶ الگوی آب‌شستگی در اطراف پایه با قطر ۶۰ میلی‌متر را در حالت استفاده از آبپایه به ترتیب در فواصل: چسبیده به پایه (L=0) و ۱/۵D از پایه به‌صورت خطوط هم‌تراز نشان می‌دهد.

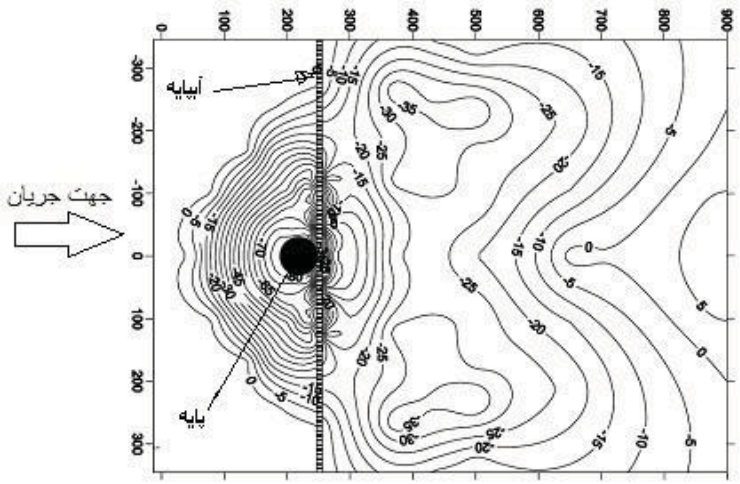
با توجه به الگوی آب‌شستگی نشان داده شده در شکل‌های ۵ و ۶ هنگام استفاده از آبپایه در پایین‌دست پایه‌ها، می‌توان گفت که با قرار گرفتن آبپایه در موقعیت L=0 عمق حفره‌های ایجاد شده در پایین‌دست پایه نزدیک‌تر به آبپایه و بیشتر از حالتی است که آبپایه در موقعیت دورتری از پایه قرار دارد.



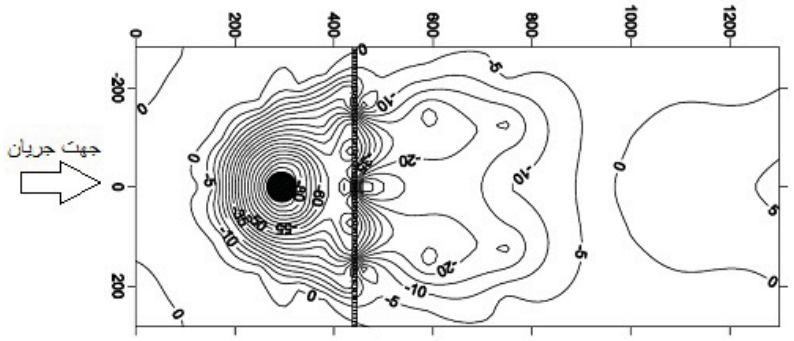
شکل ٤- تاثیر فواصل آبپایه از پایه در کاهش عمق آب‌شستگی

جدول ۲- درصد کاهش عمق آب‌شستگی در جلوی پایه‌ها با قرار دادن آبپایه در پایین‌دست پایه‌ها

فاصله آبپایه از پایه (L)	L=0	L=D/۲	L=D	L=۱/۵D
درصد کاهش عمق آب‌شستگی در جلوی پایه ۳۰ میلی‌متری	٪۲۹	٪۱۵	٪۱۴	٪۱۱
درصد کاهش عمق آب‌شستگی در جلوی پایه ۶۰ میلی‌متری	٪۳۰	٪۱۹	٪۱۳	٪۱۲



شکل ۵- خطوط هم‌تراز برای پایه با قطر ٦٠ میلی‌متر هم‌راه با آبپایه چسبیده به پایه (اعداد عمق آب‌شستگی به میلی‌متر می‌باشند)



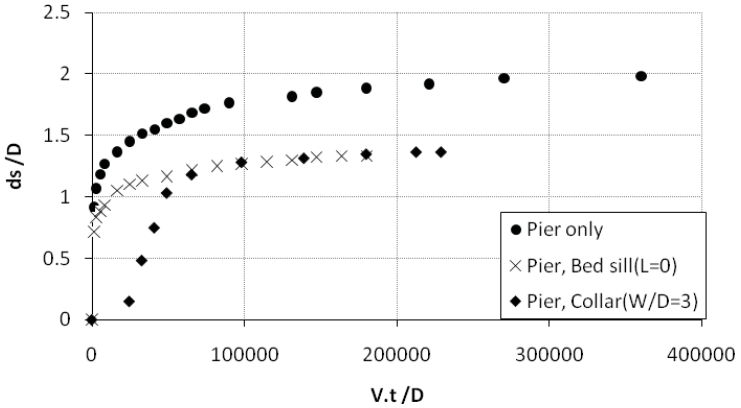
شکل ٦- خطوط هم‌تراز برای پایه با قطر ٦٠ میلی‌متر هم‌راه با آبپایه به فاصله ۱/۵ برابر قطر از پایه

(اعداد عمق آب‌شستگی به میلی‌متر می‌باشند)

توجیه فیزیکی این پدیده را به این صورت می‌توان بیان کرد که با قرارگرفتن آبپایه در موقعیت L=0، بخش زیادی از جریان پایین‌رونده به پایین‌دست آبپایه منتقل می‌شود، در حالی‌که با قرارگرفتن آبپایه در موقعیت L=۱/۵D که فاصله بیشتری از پایه دارد، جریان پایین‌رونده بین پایه و آبپایه قرار می‌گیرد و این امر باعث می‌شود تا حفره‌های تشکیل شده در پایین‌دست آبپایه کم‌تر متاثر از جریان پایین‌رونده باشند.

آزمایشات تحت شرایط استفاده از طوق(W/D=۳)

در ادامه آزمایشات، آبپایه را خارج کرده و طوق (W/D=۳) را در اطراف پایه‌ها و هم‌سطح با بستر کار گذاشته و نتایج حاصله در زیر ارائه شده‌اند. طوق از برخورد جریان رو به پایین به ذرات بستر جلوگیری می‌کند و به همین دلیل اولین نشانه‌های آب‌شستگی تحت تاثیر گرداب‌های برخاستگی هنگام استفاده از طوق در پایین‌دست پایه مشاهده می‌شود. این در حالی است که رسوبات بالادست پایه بدون حرکت در جای خود باقی مانده‌اند. روند آب‌شستگی از قسمت ابتدایی پایین‌دست طوق و به صورت دو شیار متقارن نسبت به محور طولی کانال در دو طرف طوق بوده، که با گذشت زمان حفره‌ها (شیارها) بزرگتر شده و به بالادست منتقل می‌شوند. در حقیقت ابتدا گستره آب‌شستگی به وجود می‌آید و سپس حفره آب‌شستگی عمیق‌تر می‌شود. طی این فرآیند و با گذشت زمان زیر طوق خالی شده و آب‌شستگی با سرعت بیشتری ادامه می‌یابد. ناگفته نماند که مطابق شکل ۷، طوق باعث به تاخیر افتادن آب‌شستگی نیز می‌شود. درصد کاهش عمق آب‌شستگی جلوی پایه‌ها هنگام استفاده از طوق (W/D=۳) حدود ۲۸ درصد است که این درصد کاهش کمتر از حالتی است که از آبپایه در موقعیت L=0 استفاده شد. با این‌که درصد کاهش عمق آب‌شستگی حین استفاده جداگانه از این دو سازه (طوق و آبپایه) تا حدودی نزدیک به هم می‌باشد اما بین طوق و آبپایه در حالت تنها، استفاده از طوق پیشنهاد می‌شود. چون تراز طوق در میزان کاهش آب‌شستگی نقش مهمی دارد و با توجه به مطالب گفته شده در بخش مقدمه هرچه طوق پایین‌تر نصب شود جریان کمتری از زیر طوق به پایه برخورد کرده، در نتیجه جریان رو به پایین ضعیف‌تری تولید شده و طبیعتا آب‌شستگی نیز کاهش خواهد یافت. بنابراین تاثیر طوق (W/D=۳) قرارگرفته در زیر بستر، بیشتر از حالتی است که آبپایه در L=0 قرار دارد.



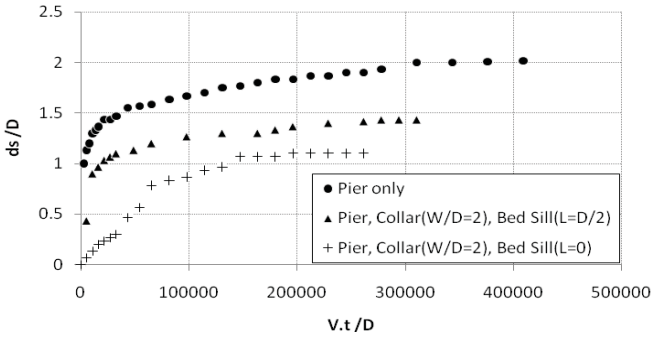
شکل ۷- نمودار توسعه زمانی آب‌شستگی پایه با آبپایه و طوق

آزمایشات تحت شرایط استفاده تـوام از طـوق(W/D=۲) و آبپایه

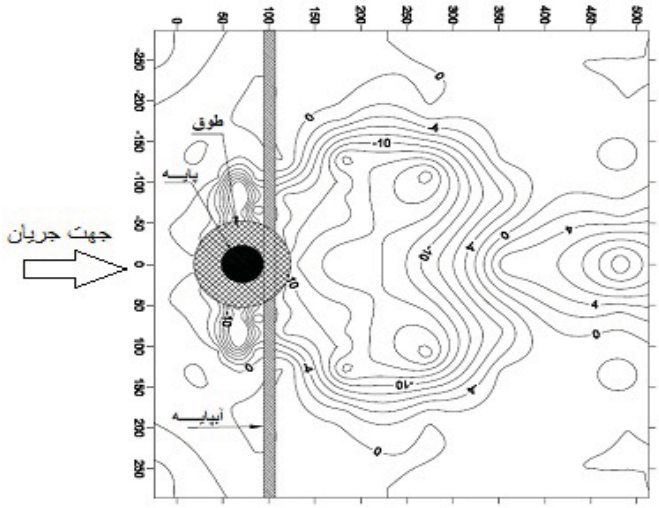
در این مرحله آبپایه در پایین‌دست پایه‌ها و هم‌سطح با بستر و بـه ترتیب در فواصل: L=0 ، L=D/2 و سپس طوق (W/D=۲) هم‌سطح با بستر کار گذاشته شد و آزمایـشات آغـاز گردیـد. رونـد شـروع آب-شـستگی در ایـن حالـت نیـز هماننـد حـالتی بـود کـه تنهـا از طـوق (W/D=۳) استفاده شده بود. بـه عبـارتی دیگـر اولـین حرکـت ذرات ماسه‌ای در قسمت ابتدایی پایین‌دست طوق مشاهده گردید که منجـر به تشکیل دو شیار متقارن در لبه‌های پایین‌دست طوق گردید. این دو شیار با گذشت زمان به بالادست انتقـال یافتـه امـا حـضور آبپایـه (در موقعیت L=0) مانع از گسترش سریع این روند شد. با مرور زمان روند توسعه دو شیار متقارن از بالادست آبپایه دوباره آغاز گردیـد و ایـن دو شیار در قسمت ابتدایی بالادست پایه به هـم دیگـر رسـیدند. در ایـن حالت میزان عمق آب‌شستگی جلوی پایه‌ها حدود ۴۲ درصـد کـاهش یافت. اما با دور شدن آبپایه و قرارگرفتن در موقعیت L=D/2، از تـاثیر آبپایه نسبت به حالت قبل کاسته شـد (شـکل ۸). بـا افـزایش فاصـله آبپایه از پایه تاثیر آبپایه تا حدودی قابل اغماض خواهد بود به عبـارتی دیگر همان طور که درشکل ۸ نیز نـشان داده شـده اسـت اگـر تـاثیر آبپایه در فواصل دورتر از پایه را نادیده بگیریم می‌توان گفت که طوق تنها، با قطر دو برابر قطر پایه تاثیر چندانی روی به تاخیر افتادن عمق جلوی پایه ندارد. با توجه به یکسان بودن روند آب‌شستگی بـرای هـر دو پایه می‌توان نتیجه گرفت کـه طـوق (W/D=۲) بـا آبپایـه (L=0) بیشترین تاثیر را در کاهش عمق آب‌شستگی جلوی پایه‌ها نـسبت بـه طوق (W/D=۲) با آبپایه در فواصل دورتر خواهد داشت.

آزمایشات تحت شرایط استفاده تـوام از طـوق(W/D=۳) و آبپایه

در این مرحلـه هماننـد مرحلـه قبـل، طـوق (W/D=۳) و آبپایـه (L=0)، هم‌سطح با بستر کار گذاشته شدند. در این حالـت نیـز اولـین نشانه‌های حرکت ذرات ماسه در پایین‌دسـت طـوق و آبپایـه مـشاهده گردید.



شکل ۸- تغییرات عمق آب‌شستگی مقابل زمان بی‌بعد



شکل۹- خطوط هم‌تراز برای پایه با قطر ۶۰ میلی‌متر هم‌راه با طوق (W/D=۳) و آبپایه چسبیده به پایه

(اعداد عمق آب‌شستگی به میلی‌متر می‌باشند)

روند آب‌شستگی در این حالت دقیقا همانند مطالب گفته شده در بخش (آزمایشات تحت شرایط استفاده توام از طوق(W/D=۲) و آبپایه) بود با این تفاوت که بخاطر بزرگ بودن پهنای طوق و حضور آبپایه در موقعیت L=0 تا مدت زمانی بیش از ۱۵ ساعت اثری از آب-شستگی در بالادست پایه‌ها مشاهده نگردید. با توجه به بی‌تاثیر شدن آبپایه در فواصل دورتر از پایه در این حالت مطابق شکل ۹، تنها از آبپایه در موقعیت L=0 استفاده گردید. هم‌چنین به علت ناچیز بودن آب‌شستگی در بالادست پایه‌ها نموداری ارائه نشده است. اما در کل هنگام استفاده توام از طوق(W/D=۳) و آبپایه(L=0)، عمق آب-شستگی جلوی پایه‌ها بیش از ۹۸ درصد کاهش یافت.

نتیجه گیری

عمق آب‌شستگی تابع زمان است. به عبارتی دیگر عمق آب-شستگی با گذشت زمان، افزایش می‌یابد. بهترین موقعیت قرارگیری آبپایه نسبت به پایه حالتی است که آبپایه کمترین فاصله را با پایه دارد (موقعیتL=0) به این دلیل که در این حالت سریع‌تر گرداب برخاستگی کنترل می‌شود. آبپایه در زمان‌های اولیه آزمایش تاثیری در کاهش عمق آب‌شستگی ندارد، اما با گذشت زمان تاثیر گذار خواهد شد. حداکثر عمق آب‌شستگی در جلوی پایه‌ها به منظور دست‌یابی به حداقل عمق کارگذاری آبپایه در بستر برای بهترین حالت حدود ۱/۴D می‌باشد. از طرفی هر چه پهنای طوق بیشتر باشد میزان آب‌شستگی بیشتر کاهش خواهد یافت. هنگام استفاده توام از طوق و آبپایه، بهترین موقعیت قرارگیری آبپایه L=0 می‌باشد. هم چنین حداکثر عمق آب‌شستگی در جلوی پایه‌ها هنگام استفاده توام از طوق(W/D=۲) و آبپایه(L=0) به منظور دست‌یابی به حداقل عمق کارگذاری آبپایه در بستر حدود ۱/۱D می‌باشد و هنگام استفاده توام از طوق(W/D=۳) و آبپایه(L=0) عمق آبپایه بکار رفته در بستر، حداقل مقدار ممکن خواهد بود.

سپاسگزاری

حمد و سپاس بر آن نگارنده غیب که توفیق کسب علم و معرفت بدین مسکین عنایت فرمود. قدردانی و سپاس از زحمات بی‌دریغ اساتید گرانقدرم جناب آقایان دکتر حسین‌زاده دلیر و دکتر سلماسی که به عنوان اساتید راهنما مرا در انجام این پژوهش یاری نموده‌اند. همچنین از استاد گرامیم جناب آقای دکتر فرسادی‌زاده که در طول آزمایشات با پیشنهادات ارزنده‌یشان مرا یاری دادند سپاسگزارم.

منابع

۱- ارونقی ه.، فرسادی‌زاده د.، حسین‌زاده دلیر ع.، و فاخری‌فرد ا. ۱۳۸۸. تعیین ابعاد مناسب طوق مستطیلی در کاهش آبشستگی پایه پل. مجله دانش آب و خاک دانشگاه تبریز. جلد ۱۹. شماره ۱. ص ۶۴-۵۱.

۲- حیدر پور م.، افضلی مهر ح.، و نادری بنی م. ۱۳۸۲. کنترل و کاهش آب‌شستگی موضعی در پایه‌های پل با مقاطع مستطیلی گرد گوشه با استفاده از شکاف. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. (۳)۷، ص ۲۸-۱۳.

۳- رازی س.، حسین‌زاده دلیر ع.، سلماسی ف.، و فرسادی‌زاده د. ۱۳۸۹. تاثیر موقعیت قرارگیری آبپایه در کاهش عمق آب‌شستگی در پایه‌های استوانه‌ای. نهمین کنفرانس هیدرولیک ایران. دانشگاه تربیت مدرس.

۴- شریعتی ح.، خداشناس س.ر.، و اسماعیلی ک. ۱۳۸۸. بررسی عملکرد هندسه طوق در آب‌شستگی موضعی در پایه پل. نشریه هیدرولیک ایران. سال چهارم. شماره ۴. ص ۱.

5- Chiew Y.M. 1992. Scour protection at bridge pier. J. Hydr. Eng., ASCE, 118(9), 1260–1269.

6- Chiew Y.M., and Melville B.W. 1987. Local scour around bridge piers. J. Hydr. Res., 25:15-26.

7- Chiew Y.M., and Lim S.Y. 2003. Protection of bridge piers using a sacrificial sill. Proc. Inst. Civ. Eng., Water & Maritime Eng., 156(1), 53–62.

8- Dargahi B. 1990. Controlling mechanism of local scouring. J. Hydr. Eng., 116(10), 1197–1214.

9- Ettema R. 1980. Scour at bridge piers. Rep. No. 112, Dept. of Civil Engineering, University of Auckland, Auckland, New Zealand.

10- Grimaldi C., Gaudio R., Calomino F., and Cardoso A.H. 2009. Control of scour at bridge piers by a downstream bed sill. J. Hydr. Eng., 135(1), 13–21.

11- Grimaldi C., Gaudio R., Calomino F., and Cardoso A.H. 2009. Countermeasures against Local scouring at Bridge Piers: Slot and Combined System of Slot and Bed Sill. J. Hydr. Eng., 135(5), 425–431.

12- Hjorth P. 1975. Study on the nature of local scour. Bull. Series A, No. 46, Dept. Water Resources Engineering, Lund Inst. of Technology, Lund.

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

14- Lambe T.W., and Whithman R.V. 1969. Soil mechanics. SI version, 1978, John Wiley, New York, N.Y., P.32.

15- Laursen E.M., and Toch A. 1956. Scour around bridge piers and abutments. Iowa Hwy. Res. Board, Ames, Iowa.
16- Lenzi M.A., Marion A., Comiti F., and Gaudio R. 2003. Local scouring in low and high gradient streams at bed sills. J. Hydr. Res., 40(6), 731-739.
17- Marion A., Tregnaghi M., and Tait S. 2006. Sediment supply and local scouring at bed sills in high-gradient streams. Water Resour. Res., 42(6), W06416.
18- Meftah M.B., and Mossa M. 2006. Scour holes downstream of bed sills in low-gradient channels. J. Hydr. Res., 44(4), 497-509.
19- Melville B.W. 1997. Pier and abutment scour: Integrated and approach. J. Hydr. Eng., 123(2), 125-136.
20- Melville B.W., and Raudkivi A.J. 1977. Flow characteristics in local scour at bridge piers. J. Hydr. Res., 15:373–380.
21- Odgaard A.J., and Wang Y. 1987. Scour prevention at bridge piers. Hydr. Engrg. ’87, R. M. Ragan, ed., National Conference, Virginia, 523–527.
22- Raudkivi A.J., and Ettema R. 1983. Clear-Water scour at cylindrical piers. J. Hydr. Eng., 109(3), 338-350.
23- Singh C.P., Sentia B., and Verma D.V.S. 2001. Collar-sleeve combination as a scour protection device around a circular pier. Proceedings of Theme D, 29th Congress on Hydraulics of Rivers, Water Works and Machinery, Sep. 16-21, Chinese Hydraulic Engineering Socity, Beijing, China, pp: 202-209.
24- Thomas Z. 1967. An interesting Hydraulic effect occurring at local scour. Proc., 12th Congr. of IAHR, Delft, The Netherlands.
25- Tregnaghi M. 2008. Local scouring at bed sills under steady and unsteady conditions. Ph.D. thesis submitted at university Degli studi di padova, Italy.
26- Vittal N., Kothyari U.C., and Haghighat M. 1994. Clear water scour around bridge pier group. J. Hydr. Eng., 120(11), 1309– 1319.
27- 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., 132(2), 154-162.

Journal of Water and Soil
Vol. 26, No. 3, Jul-Aug 2012, p. 597-606

نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)
جلد ۲۶، شماره ۳، مرداد – شهریور ۱۳۹۱، ص. ۶۰۶-۵۹۷

Combined Effect of Bed Sill and Collar in Reduction of Scour Depth Around Cylindrical Bridge Piers

S. Razi[1*]- A. Hosseinzadeh Dalir[2]- F. Salmasi[3]- D. Farsady Zadeh[4]

Received:6-11-2010
Accepted:30-1-2012

Abstract

In this paper the effectiveness combination of bed sill and collar in reduction of local scour depth at cylindrical piers under clear water flow condition was investigated (V/V_c=0.9). In the first of experiments, the bed sill was located in downstream and different distances from the piers. Results indicated that minimum distance of the bed sill from the piers in downstream has maximum reduction of scour depth in front of the piers. The percent reduction of scour depth is about 30% in this case. In continuing the tests, used the collar and bed sill simultaneous. When using the combined of collar (2D) and bed sill (L=0), the percent reduction of scour depth in front of piers is about 42% and more than 98% when using the combined of collar (3D) and bed sill (L=0). The results show that using combined of collar and bed sill have more effect in reduction of local scour around bridge piers.

Keywords: Local Scour, Pier, Bed Sill, Collar

1,2,3,4- MSc, Associate Professor and Assistant Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Tabriz University, Respectively
(*-Corresponding Author Email: razi_sina@yahoo.com