

## حفاظت گروه پایه‌های استوانه‌ای پل در برابر آب‌شستگی موضعی با استفاده از شکاف

\*منوچهر حیدرپور<sup>۱</sup>، حسین افضل‌ی مهر<sup>۱</sup> و زهرا خدارحمی<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup>استادیار گروه آبیاری، دانشگاه صنعتی اصفهان، دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه آبیاری دانشگاه صنعتی اصفهان

تاریخ دریافت: ۸۵/۳/۱۶؛ تاریخ پذیرش: ۸۵/۱۱/۲۳

### چکیده

وقوع آب‌شستگی موضعی در اطراف پایه‌ها یکی از دلایل عمده عدم پایداری پل‌ها می‌باشد. به این ترتیب ارائه روش‌های مناسب به منظور کاهش و کنترل عمق آب‌شستگی از مسائلی است که بسیار مورد توجه بوده است. استفاده از شکاف در پایه پل‌ها از جمله شیوه‌های نوین کنترل و کاهش آب‌شستگی موضعی می‌باشد. در مطالعه حاضر تأثیر استفاده از شکاف مستطیلی در کنترل آب‌شستگی موضعی در گروه پایه‌های دو و سه‌تایی استوانه‌ای واقع در امتداد یک خط در شرایط آب زلال مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج حاصله نشان داد که در گروه پایه‌های بدون شکاف تأثیر عامل تقویت‌کننده موجب افزایش عمق آب‌شستگی در پایه جلویی و اثر عامل حفاظ منجر به کاهش میزان آب‌شستگی در پایه عقبی در مقایسه با تک پایه می‌شود. وجود شکاف در گروه پایه‌های دو و سه‌تایی باعث افزایش تأثیر عامل تقویت‌کننده و کاهش تأثیر عامل حفاظ بودن می‌گردد. برای گروه پایه‌های دو و سه‌تایی با فاصله چهار برابر قطر پایه، کارایی شکاف در پایه‌های عقبی بیشتر از پایه‌های جلویی و تک پایه می‌باشد. همچنین کارایی شکاف برای گروه پایه‌های دو و سه‌تایی با فاصله دو برابر قطر پایه‌ها، برای کلیه پایه‌ها یکسان و برابر تک پایه می‌باشد. کارایی شکاف برای گروه پایه‌های دو و سه‌تایی با افزایش فاصله بیشتر می‌گردد.

**واژه‌های کلیدی:** آب‌شستگی موضعی، گروه پایه پل، حفاظت پایه پل، شکاف

### مقدمه

شکل غالب جریان در نزدیک یک پایه سیستم گردابی است که در اطراف پایه توسعه یافته و مکانیزم اصلی آب‌شستگی را تشکیل می‌دهد. اجزاء اصلی این سیستم جریان رو به پایین، گرداب نعل‌اسبی و گرداب‌های جاری می‌باشند.

فرایند آب‌شستگی در حضور گروه پایه تحت تأثیر مکانیزم‌هایی است که آن را نسبت به تک پایه پیچیده‌تر می‌کند. تفاوت موجود باعث تغییر عمق و شکل آب‌شستگی در اطراف گروه پایه‌ها می‌شود. دو مکانیزم

همه ساله پل‌های زیادی در سراسر جهان تخریب می‌شوند. تخریب این پل‌ها بیشتر نه به دلایل سازه‌ای، بلکه به دلیل در نظر نگرفتن نقش عوامل هیدرولیکی در طراحی آنها می‌باشد (زراتی، ۱۳۷۹). آب‌شستگی یکی از دلایل عمده تخریب پل‌ها است. بنابراین شناخت این پدیده، پیش‌بینی میزان آن و لحاظ کردن آن در طراحی پل‌ها و مهمتر از همه به کار بردن تمهیدات لازم برای کنترل و کاهش آب‌شستگی موضعی بسیار ضروری است.

موضعی به کار رفته شامل استفاده از سنگچین توسط بروزرز و همکاران (۱۹۷۷)، پارولاو جونز (۱۹۹۱)، لوجلان و ملویل (۲۰۰۱) و چپو (۲۰۰۴)، استفاده از طوقه در اطراف پایه توسط چپو (۱۹۹۲)، کومار و همکاران (۱۹۹۹) و زراتی و همکاران (۲۰۰۶)، استفاده از شکاف در میان پایه توسط چپو (۱۹۹۲)، کومار و همکاران (۱۹۹۹)، حیدرپور (۲۰۰۲) و حیدرپور و همکاران (۱۳۸۲) و استفاده از گروه پایه‌های جزئی توسط وایتال و همکاران (۱۹۹۴) بوده است.

زراتی و همکاران (۲۰۰۶) کاهش آبشستگی موضعی با استفاده از سه مدل طوقه به هم پیوسته، مجزا و به هم پیوسته همراه با سنگچین را در گروه پایه‌های استوانه‌ای بررسی نمودند. نتایج آزمایش‌ها نشان می‌دهد که در گروه پایه دوتایی که در جهت جریان قرار گرفته‌اند طوقه پیوسته همراه با سنگچین بیشترین تأثیر را داشته و آبشستگی را در حدود ۵۰ تا ۶۰ درصد به ترتیب برای پایه جلویی و عقبی کاهش می‌دهد.

شکاف با منحرف نمودن جریان رو به پایین و همچنین کاهش قطر مؤثر پایه موجب کاهش آبشستگی موضعی در پایه می‌شود. شکل ۱ نحوه استفاده از شکاف قائم را در یک پایه استوانه‌ای نشان می‌دهد.

چپو (۱۹۹۲) تأثیر شکاف را در دو موقعیت نزدیک بستر و سطح آب، بر میزان آبشستگی بررسی نمود. نتایج وی نشان داد که عملکرد شکاف در کاهش عمق آبشستگی با افزایش طول و عرض شکاف افزایش می‌یابد. همچنین شکاف نزدیک سطح آب به شکل مؤثری عمق جریان را می‌کاهد که باعث کاهش عمق آبشستگی می‌گردد. نتایج مطالعه کومار و همکاران (۱۹۹۹) نشان می‌دهد که شکاف در کاهش آبشستگی مؤثر است به ویژه اگر شکاف تا سطح بستر امتداد داشته باشد ولی شکاف عملاً در جریان‌هایی که نسبت به شکاف زاویه انحراف بالایی دارند بی‌تأثیر است.

مهمی که آبشستگی در گروه پایه‌های در امتداد هم را تحت تأثیر قرار می‌دهد عبارتند از (رودکیوی، ۱۹۹۸).

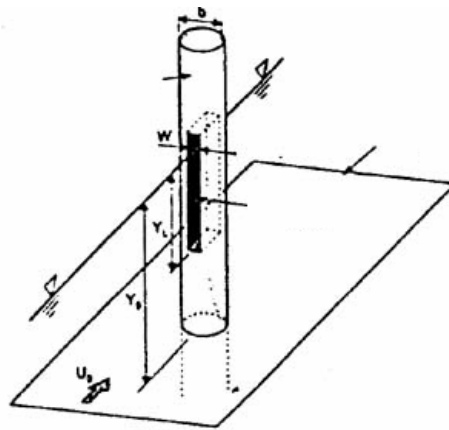
۱- عامل تقویت کننده: این عامل باعث افزایش عمق آبشستگی در پایه جلویی می‌شود.

۲- عامل حفاظ بودن: وجود پایه بالادست باعث کاهش سرعت مؤثر جریان برای پایه پایین دست و بنابراین کاهش آبشستگی در آن می‌گردد.

هانا (۱۹۷۸) مطالعات خود را در زمینه آبشستگی در گروه پایه‌ها دو تایی با استفاده از پایه‌های استوانه‌ای در جریان دائمی و در شرایط آب زلال و با استفاده از رسوبات یکنواخت با قطر متوسط  $0/78$  میلی متر انجام داد. طبق نتایج او زمانی که پایه‌ها دقیقاً کنار هم باشند،  $S/b=1$  (S فاصله پایه‌ها و b قطر پایه)، عمق آبشستگی در پایه جلویی برابر با آبشستگی در تک پایه خواهد بود. اما با افزایش فاصله، تأثیر عامل تقویت کننده در پایه اول مشاهده می‌شود که این عامل در  $S/b=2/5$  به حداکثر خود می‌رسد و تا  $S/b=11$  وجود دارد. در فاصله‌های بیشتر از  $S/b=11$ ، عمق آبشستگی در پایه جلویی برابر با مقدار آن در تک پایه خواهد بود.

نظریها (۱۹۹۶) فرایند آبشستگی موضعی را در گروه پایه‌های استوانه‌ای ۲، ۳، ۴ و ۶ تایی مورد بررسی قرار داد. نتایج مربوط به آبشستگی در گروه پایه‌های دوتایی نشان می‌دهد که تأثیر عامل تقویت‌کنندگی در  $S/b=4$  حداکثر بوده و باعث ۱۰ درصد افزایش در عمق آبشستگی پایه جلویی نسبت به تک پایه شده و با تغییر فاصله این عامل کاهش پیدا کرده است. وی اثر زاویه برخورد جریان ( $\alpha$ ) در گروه پایه‌های سه تایی را مورد بررسی قرار داد و به این نتیجه رسید که با افزایش  $\alpha$  حداکثر عمق آبشستگی پایه میانی در  $\alpha = 50^\circ$  و برای  $S/b=2$  اتفاق می‌افتد و در پایه عقبی در  $\alpha = 30^\circ$  و  $S/b=11$  حداکثر عمق آبشستگی مشاهده می‌شود.

روش‌هایی که تاکنون برای کاهش آبشستگی



شکل ۱- نمایش شکاف در یک پایه استوانه‌ای.

گرفته است. دیواره و کف کانال از جنس فایبرگلاس به ضخامت ۱۰ میلی‌متر می‌باشد. کف کانال به جز در محدوده یک متری که از رسوبات غیر چسبنده پر می‌شد و مدل پایه در آن نصب می‌گردید، توسط دو سکوی فلزی در بالادست و پایین دست به طول ۳ متر تا ارتفاع ۱۰ سانتی‌متر بالا آورده شد. انتقال آب از مخزن به کانال توسط یک پمپ با دبی ۱۱ لیتر در ثانیه صورت می‌گیرد. شکل ۲ نمایی از کانال آزمایشگاهی و منطقه مورد آزمایش را نشان می‌دهد.

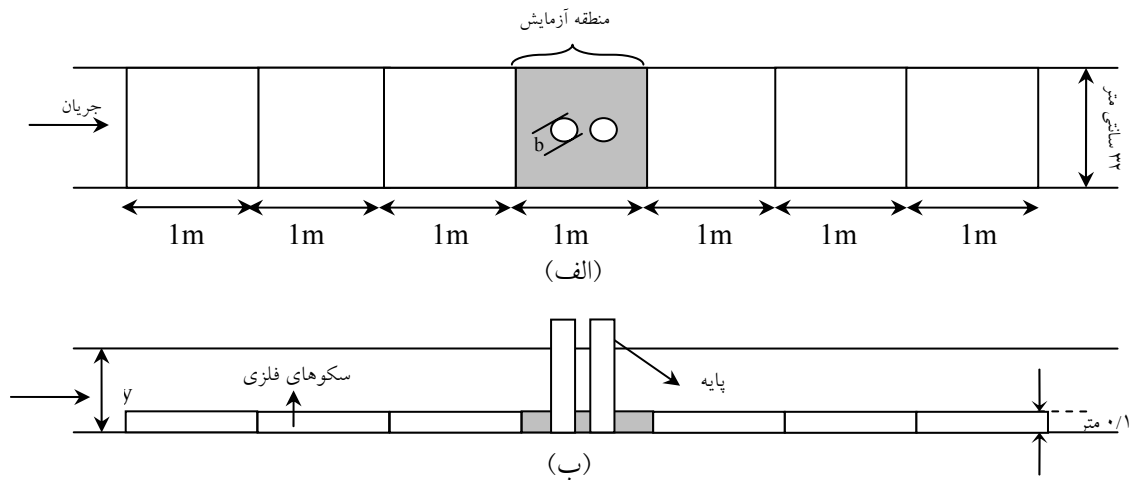
آزمایش‌ها در شرایط آب زلال انجام شد. انتخاب پارامترهایی نظیر عمق جریان، اندازه و دانه‌بندی ذرات رسوب و سرعت جریان به گونه‌ای بود که تأثیر آنها بر عمق آب‌شستگی حذف گردد و عمق آب‌شستگی به مقدار ماکزیمم به وجود آمده در شرایط آب زلال نزدیک باشد (ملویل و ساترلند، ۱۹۸۸). طبق معیار اتما و رودکیوی (۱۹۸۳) برای از بین رفتن تأثیر دیواره‌های کانال بر آب‌شستگی موضعی در اطراف پایه نسبت فاصله محور پایه تا دیواره کانال به قطر پایه بایستی بزرگتر از  $6/25$  باشد. با توجه به عرض کانال و آرایش انتخاب شده برای گروه پایه‌ها، پایه‌های استوانه‌ای شکل با قطر ۲۰ میلی‌متر انتخاب شد.

حیدرپور (۲۰۰۲) عملکرد شکاف را در کاهش آب‌شستگی موضعی برای پایه‌های مستطیلی پیشانی‌گرد مورد بررسی قرار داد و نتیجه گرفت که کارایی شکاف در پایه‌های مستطیلی پیشانی‌گرد بیشتر از پایه استوانه‌ای با قطر معادل عرض پایه مستطیلی پیشانی‌گرد است. حیدرپور و همکاران (۱۳۸۲) تأثیر شکاف را در کنترل آب‌شستگی موضعی در پایه‌های استوانه‌ای و مستطیلی پیشانی‌گرد بررسی نمودند و نتیجه گرفتند که برای کلیه مدل‌های مورد آزمایش، ماکزیمم کاهش آب‌شستگی توسط شکاف‌هایی با اندازه دو برابر عرض (قطر) پایه و موقعیت نزدیک بستر اتفاق می‌افتد.

تأثیر شکاف بر کاهش آب‌شستگی موضعی بیشتر در تک پایه مورد توجه بوده و تاکنون کارایی آن در گروه پایه‌ها بررسی نشده است. با توجه به مکانیزم‌های متفاوت فرایند آب‌شستگی در گروه پایه‌ها استفاده از نتایج مربوط به تک پایه در آنها همراه با خطا خواهد بود. هدف از این تحقیق بررسی کارایی شکاف در کاهش آب‌شستگی موضعی در گروه پایه‌های دو و سه‌تایی که در یک ردیف و پشت سر هم در جهت جریان قرار گرفته‌اند می‌باشد.

## مواد و روش‌ها

کلیه مطالعات آزمایشگاهی این تحقیق در کانالی به طول ۷ متر و عرض ۰/۳۲ متر و ارتفاع ۰/۳۶ متر صورت



شکل ۲- نمایی از کانال آزمایشگاهی و منطقه انجام آزمایش‌ها، الف) پلان ب) مقطع عرضی.

ذرات رسوب می‌باشد و در سرعت‌های کمتر از سرعت بحرانی شرایط آب‌شستگی، آب زلال برقرار می‌شود (اتما و رودکیوی، ۱۹۸۳). سرعت به کار رفته در طی آزمایش‌ها به منظور نزدیک شدن به شرایط تشکیل حداکثر عمق آب‌شستگی موضعی در شرایط آب زلال،  $0.9 u_c$ ،  $u_c$ ، سرعت آستانه حرکت ذرات بستر) بوده است. جدول ۱ شرایط جریان را در آزمایش‌ها نشان می‌دهد. در این جدول،  $Fr$ ،  $y$  و  $u$  به ترتیب عدد فرود، عمق جریان و سرعت در بالادست پایه و سایر پارامترها قبلاً تعریف شده‌اند.

معیار زمان تعادل در این آزمایش‌ها، معیاری است که کومار و همکاران (۱۹۹۹) در تحقیقات خود در نظر گرفتند و آن مدت زمانی است که تغییرات عمق آب‌شستگی در سه ساعت متوالی بیش از یک میلی‌متر نباشد.

برای جلوگیری از تشکیل ریپل توسط رسوبات، قطر متوسط ذرات باید از  $0.7$  میلی‌متر بزرگ‌تر باشد. همچنین برای حذف اثر اندازه رسوبات روی عمق آب‌شستگی قطر متوسط آنها باید در شرط  $20 - 25 > b/d_s$ ،  $d_s$  قطری که ۵۰ درصد ذرات از نظر وزنی از آن کوچک‌تر هستند) صدق کند (اتما و رودکیوی، ۱۹۸۳). با توجه به اینکه غیریکنواختی رسوبات باعث کاهش آب‌شستگی موضعی می‌شود سعی گردید که از رسوبات یکنواخت در انجام آزمایش‌ها استفاده گردد. در صورتی که انحراف استاندارد هندسی ذرات کمتر از  $1/3$  باشد،  $(\sigma_g < 1/3)$ ، شرط یکنواخت بودن ذرات برقرار می‌شود و اثر غیریکنواختی رسوبات روی آب‌شستگی موضعی از بین می‌رود (شفاعی بجمستان، ۱۳۷۳). در این تحقیق از یک نوع ماسه ریخته‌گری گردگوشه با چگالی نسبی  $2.65$ ، قطر متوسط  $d_{50} = 0.75$  میلی‌متر و  $\sigma_g = 1/2$  استفاده شد که با شرایط مذکور مطابقت دارد.

شروع آب‌شستگی موضعی در اطراف پایه‌ها در سرعتی برابر نصف سرعت بحرانی در آستانه حرکت

جدول ۱- شرایط جریان در آزمایش‌های انجام شده.

$d_s$ (mm)	$b/d_s$	$y$ (m)	$u_c$ (m/s)	$y/b$	$u/u_c$	$Fr$
۰/۷۵	۲۷/۴	۰/۱۳	۰/۲۹۳	۶/۵	۰/۹	۰/۲۳۴

## مدل‌های آزمایشگاهی و معرفی آزمایش‌های انجام

گرفته: به منظور مقایسه مکانیزم آب‌شستگی در گروه پایه‌ها با تک پایه ابتدا آزمایش‌هایی در تک پایه استوانه‌ای در سرعت مورد نظر و در دو حالت شکاف‌دار و بدون شکاف صورت گرفت. در گروه پایه‌ها، پایه‌ها به صورت دو و سه‌تایی در یک امتداد و در جهت جریان با فواصل ۲b و ۴b در دو حالت شکاف‌دار و بدون شکاف در کانال قرار می‌گرفتند. در مدل‌های شکاف‌دار، شکافی با طول دو برابر قطر پایه و عرض ۰/۲۵ قطر پایه در پایه‌ها ایجاد شد. به این ترتیب مراحل آزمایش‌ها به شرح ذیل می‌باشد:

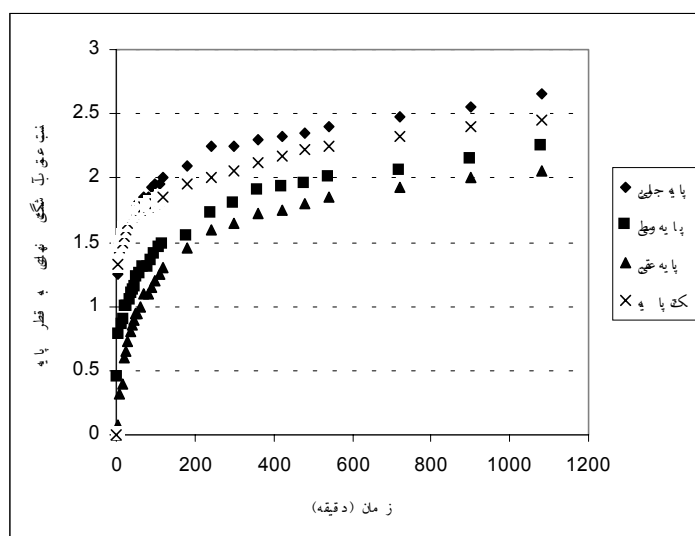
- ۱- تک‌پایه‌های بدون شکاف و شکاف‌دار در سرعت ۰/۹ سرعت بحرانی.
- ۲- گروه پایه‌های دو‌تایی بدون شکاف و شکاف‌دار با فاصله ۲b و ۴b در سرعت ۰/۹ سرعت بحرانی.
- ۴- گروه پایه‌های سه‌تایی بدون شکاف و شکاف‌دار با فاصله ۲b و ۴b در سرعت ۰/۹ سرعت بحرانی.

## نتایج و بحث

تک پایه و گروه پایه‌های بدون شکاف: به‌منظور تعیین تأثیر شکاف بر کاهش آب‌شستگی در گروه پایه‌ها و

مقایسه با تک پایه، در مرحله مقدماتی آزمایش‌هایی بر روی تک پایه و گروه پایه بدون شکاف انجام شد.

تغییرات زمانی نسبت عمق آب‌شستگی موضعی به قطر پایه در تک‌پایه و گروه پایه سه‌تایی بدون شکاف به فاصله ۲b در مدت زمان تعادل در شکل ۳ نشان داده شده است. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود در تمام مدت آزمایش عمق آب‌شستگی در پایه دوم، کمتر از عمق آب‌شستگی پایه اول و عمق آب‌شستگی پایه سوم کمتر از عمق آب‌شستگی پایه‌های اول و دوم می‌باشد. مقایسه نتایج تک پایه با گروه پایه نشان می‌دهد که پدیده تقویت‌کننده ناشی از وجود پایه‌های دوم و سوم باعث افزایش عمق آب‌شستگی پایه اول نسبت به تک پایه در تمام مدت زمان آزمایش شده است. همچنین پدیده حفاظت‌کننده پایه‌های اول و دوم در تمام مدت زمان آزمایش باعث کاهش عمق آب‌شستگی پایه سوم نسبت به تک پایه گشته است. اما پایه وسط از یک طرف توسط پایه اول حفاظت شده و از طرف دیگر توسط پایه عقبی تقویت می‌گردد. کم بودن مقدار آب‌شستگی در پایه وسط نسبت به تک‌پایه بیانگر این مطلب است که تأثیر پدیده حفاظت‌کننده پایه جلویی بیشتر از پدیده تقویت‌کننده پایه عقبی می‌باشد.

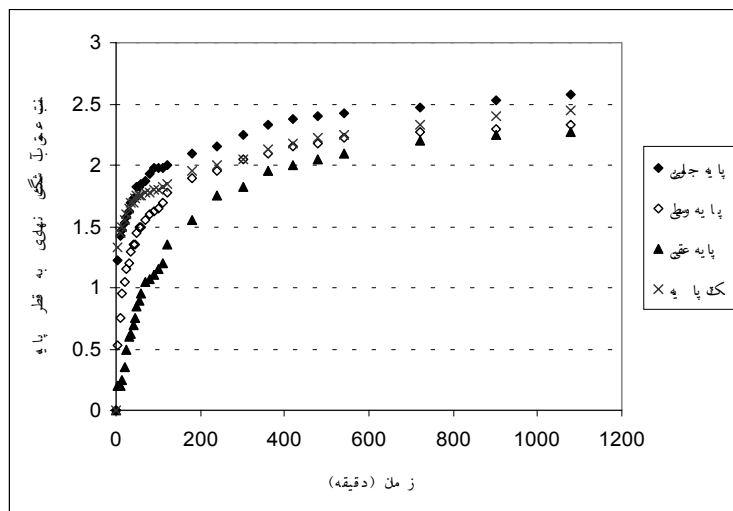


شکل ۳ - تغییرات زمانی عمق آب‌شستگی در تک پایه و گروه پایه بدون شکاف با فاصله ۲b.

شکل ۴ تغییرات زمانی نسبت عمق آبشستگی موضعی به قطر پایه در تک پایه و گروه پایه سه تایی بدون شکاف با فاصله  $\epsilon b$  را برای پایه‌های مختلف نشان می‌دهد. همانطور که از شکل مشخص است روند تغییرات عمق آبشستگی در این حالت شبیه به گروه پایه سه تایی با فاصله  $2b$  می‌باشد. نزدیک شدن مقادیر آبشستگی موضعی در پایه‌های مختلف گروه پایه به یکدیگر و به تک پایه نسبت به آنچه در شکل ۳ مشاهده می‌شود بیانگر این موضوع است که با افزایش فاصله پایه-پایه ها تأثیر پدیده تقویت‌کننده پایه‌های عقبی بر روی پایه جلویی و همچنین تأثیر پدیده حفاظت‌کننده پایه‌های جلویی بر روی پایه‌های عقبی کاهش می‌یابد.

نتایج مربوط به کاهش و یا افزایش عمق آبشستگی نهائی در گروه پایه‌ها نسبت به عمق آبشستگی در تک پایه در جدول ۲ خلاصه شده است. در این جدول اعداد مثبت نشان‌دهنده درصد افزایش و اعداد منفی نشان‌دهنده

درصد کاهش میزان عمق آبشستگی نهائی نسبت به تک پایه می‌باشند. بررسی اعداد جدول نشان می‌دهد که در گروه پایه‌های دو و سه تایی مقدار عمق آبشستگی نهائی در پایه جلویی به دلیل پدیده تقویت‌کننده که ناشی از پایه‌های پایین دست است بیشتر از تک پایه می‌باشد. همچنین با افزایش تعداد پایه از دو به سه، تأثیر پدیده تقویت‌کننده افزایش و با افزایش فاصله پایه‌ها تأثیر این پدیده کاهش می‌یابد. بررسی نتایج نشان می‌دهد که در گروه پایه‌های دو و سه تایی عمق آبشستگی نهائی در پایه عقبی به دلیل پدیده حفاظت که ناشی از پایه‌های بالادست است کمتر از تک پایه می‌باشد. همچنین با افزایش فاصله پایه‌ها تأثیر پدیده حفاظت کاهش می‌یابد. اما در پایه وسطی گروه پایه سه تایی، تأثیر پدیده حفاظت-کننده پایه جلویی بیشتر از پدیده تقویت‌کننده پایه عقبی می‌باشد و به همین دلیل عمق آبشستگی در آن کمتر از تک پایه است.



شکل ۴- تغییرات زمانی عمق آبشستگی در تک پایه و گروه پایه بدون شکاف با فاصله  $\epsilon b$ .

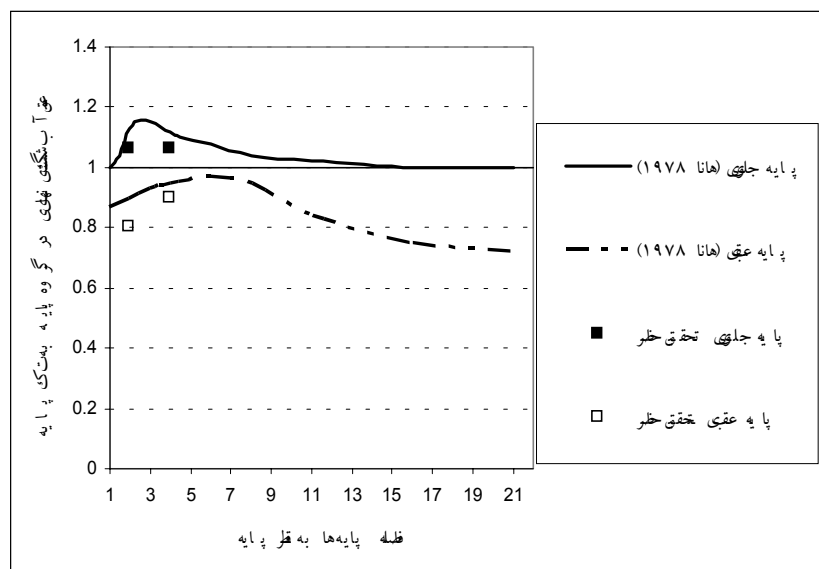
جدول ۲- تغییرات عمق آبشستگی نهائی در گروه پایه‌ها نسبت به تک پایه.

گروه پایه سه تایی		گروه پایه دوتایی		فاصله	
پایه عقبی	پایه وسطی	پایه جلویی	پایه عقبی		
-۱۶/۳	-۸/۲	۸/۳	-۱۶/۳	۴	$S=2b$
-۷/۱	-۵/۱	۵/۱	-۱۰/۲	۲	$S=\epsilon b$

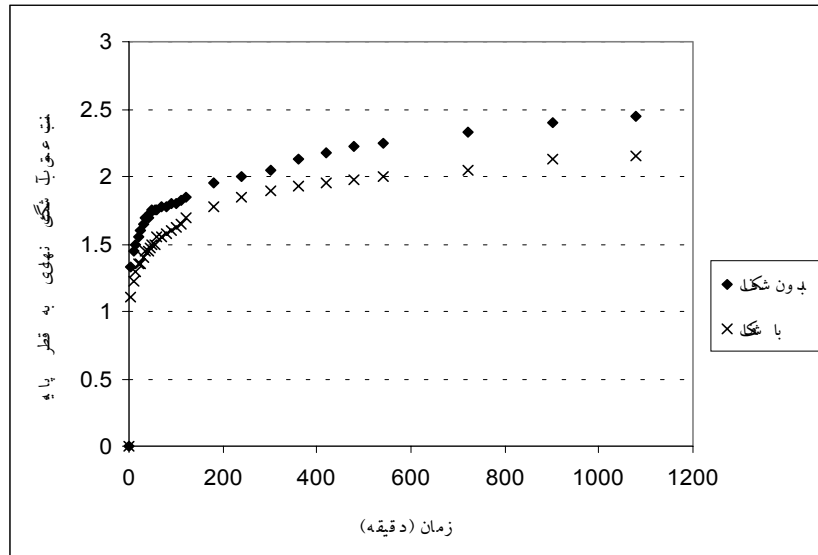
شکل ۵ مقایسه عمق آب‌شستگی در تحقیق حاضر را برای گروه پایه‌های دوتایی به فواصل ۲b و ۴b با نتایج هانا (۱۹۷۸) نشان می‌دهد. در این شکل محور عمودی نسبت عمق آب‌شستگی در گروه پایه به تک پایه و محور افقی نسبت فاصله پایه‌ها به قطر پایه می‌باشد. هانا آزمایش‌های خود را تا زمانی که ۸۰ درصد عمق آب‌شستگی نهایی اتفاق می‌افتد انجام داده است. به منظور مقایسه نتایج تحقیق حاضر با نتایج هانا، برای یکسان بودن شرایط آزمایش، ۸۰ درصد عمق آب‌شستگی نهایی به دست آمده در این مطالعه در نظر گرفته شده است. همان‌طور که در شکل مشاهده می‌شود تأثیر پدیده تقویت‌کننده به دست آمده در تحقیق حاضر کمتر و تأثیر پدیده حفاظت‌کننده بیشتر از مقادیر به دست آمده توسط هانا می‌باشد. در هر صورت روند تغییر تأثیر عوامل

تقویت‌کننده و حفاظ بودن با تغییر فاصله پایه‌ها با نتایج هانا مطابقت دارد.

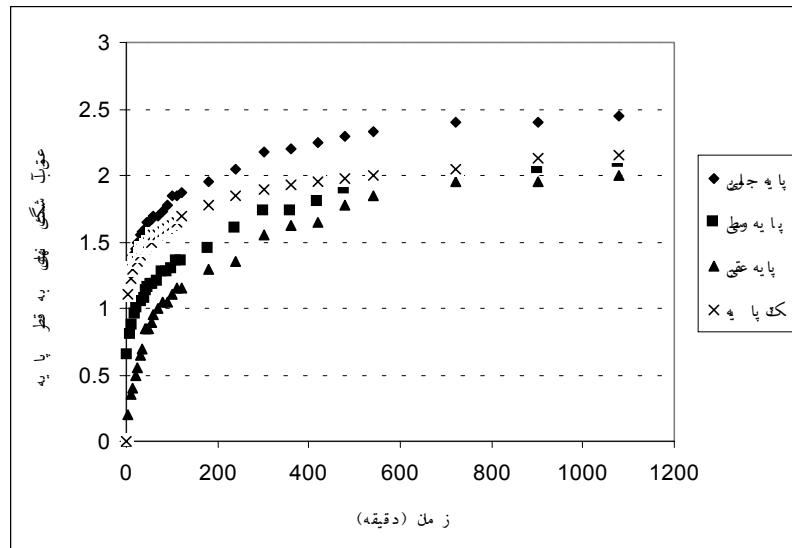
**تغییرات زمانی عمق آب‌شستگی در تک پایه شکاف‌دار:**  
به منظور تعیین کارائی شکاف در گروه پایه‌ها و مقایسه آن در تک پایه، آزمایش‌هایی روی تک پایه شکاف‌دار انجام شد. شکل ۶ توسعه زمانی عمق آب‌شستگی را در تک پایه شکاف‌دار و بدون شکاف نشان می‌دهد. همان‌گونه که از شکل مشخص است وجود شکاف منجر به کاهش عمق آب‌شستگی در تمام مراحل توسعه آب‌شستگی گردیده است. میزان کاهش عمق آب‌شستگی در مرحله نهایی آب‌شستگی ۱۴ درصد می‌باشد. چپو به این نتیجه رسید که استفاده از یک شکاف با طول دو برابر قطر پایه و عرض ۰/۲۵ قطر پایه باعث کاهش عمق آب‌شستگی نهایی تا ۲۰ درصد می‌شود (چپو، ۱۹۹۲).



شکل ۵- مقایسه آب‌شستگی در گروه پایه‌ها در تحقیق حاضر با هانا (۱۹۷۸).



شکل ۶- مقایسه توسعه زمانی آب‌شستگی در تک پایه استوانه‌ای شکاف‌دار و بدون شکاف.



شکل ۷- تغییرات زمانی عمق آب‌شستگی در تک پایه و گروه پایه شکاف‌دار با فاصله ۲b.

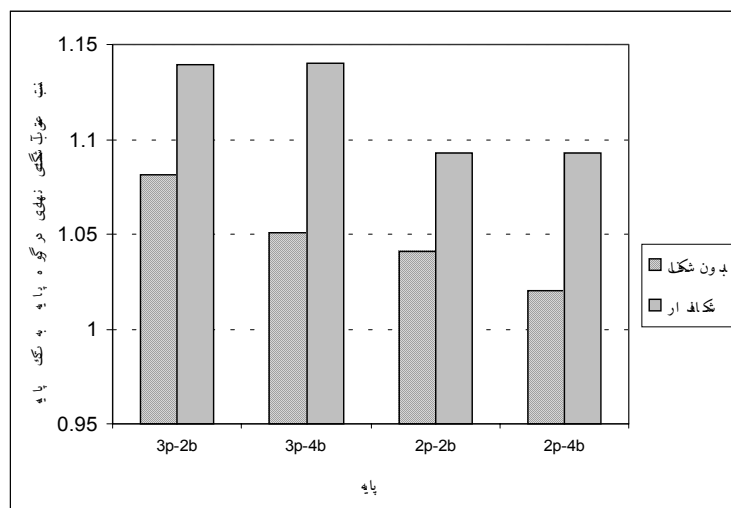
حفاظ بودن بر پایه‌های عقبی در گروه پایه‌های شکاف‌دار نیز وجود دارد. به طوری که پدیده تقویت‌کننده ناشی از وجود پایه‌های دوم و سوم باعث افزایش عمق آب‌شستگی پایه اول نسبت به تک پایه در تمام مدت زمان آزمایش شده است. همچنین پدیده حفاظ بودن پایه‌های اول و دوم در تمام مدت زمان آزمایش باعث کاهش عمق آب‌شستگی پایه سوم نسبت به تک پایه شده است.

**تغییرات زمانی عمق آب‌شستگی در گروه پایه شکاف‌دار:** شکل ۷ روند تغییرات را برای گروه پایه سه‌تایی با فاصله پایه‌های ۲b به همراه تک پایه شکاف‌دار نشان می‌دهد. مقایسه شکل مذکور با شکل ۳ نشان‌دهنده تأثیر شکاف بر کاهش میزان آب‌شستگی موضعی در تمام پایه‌های گروه پایه و در تمام مراحل آب‌شستگی موضعی نسبت به گروه پایه بدون شکاف می‌باشد. همچنین نتایج نشان می‌دهد که تأثیر پدیده تقویت‌کننده بر پایه جلویی و

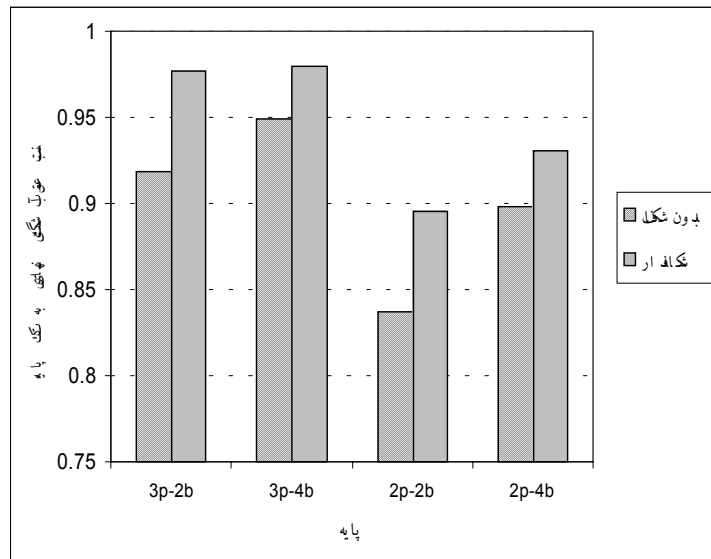


تأثیر شکاف بر پدیده تقویت‌کننده و حفاظ بودن: شکل ۸ تأثیر شکاف را بر پدیده تقویت‌کننده در گروه پایه‌های دو و سه‌تایی با فاصله  $2b$  و  $4b$  برای پایه جلویی در دو حالت شکاف‌دار و بدون شکاف نشان می‌دهد. در این شکل  $3p$  و  $2p$  به ترتیب بیانگر گروه پایه‌های سه‌تایی و دو‌تایی،  $4b$  و  $2b$  بیانگر فاصله پایه‌ها می‌باشد. محور عمودی برحسب نسبت عمق آب‌شستگی در پایه جلویی به عمق آب‌شستگی در تک پایه است. این شکل نشان می‌دهد که عامل تقویت‌کننده در تمام پایه‌ها اعم از شکاف‌دار و بدون شکاف وجود داشته و موجب افزایش عمق آب‌شستگی در پایه جلویی نسبت به تک‌پایه شده است. به طوری که در تمام موارد نسبت عمق آب‌شستگی در پایه جلویی به تک‌پایه بزرگ‌تر از یک می‌باشد. همان‌گونه که در شکل مشخص است در گروه پایه‌های بدون شکاف با افزایش تعداد پایه‌ها از ۲ به ۳ عامل تقویت‌کننده افزایش می‌یابد. همچنین با افزایش فاصله پایه‌ها در هر دو گروه پایه دو و سه‌تایی عامل تقویت‌کننده کاهش می‌یابد. در گروه پایه شکاف‌دار نیز با افزایش تعداد پایه‌ها از ۲ به ۳ عامل تقویت‌کننده افزایش می‌یابد ولی با افزایش فاصله

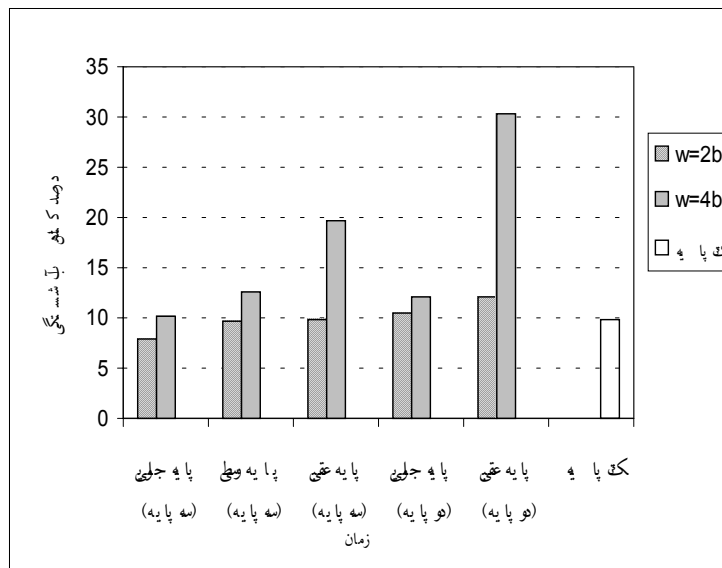
پایه‌ها تغییر چندانی در عامل تقویت‌کننده ایجاد نمی‌شود. بنابراین می‌توان گفت که وجود شکاف در گروه پایه‌های دو و سه‌تایی باعث افزایش عامل تقویت‌کننده شده است. شکل ۹ تأثیر شکاف را بر پدیده حفاظ در گروه پایه‌های دو و سه‌تایی با فاصله  $2b$  و  $4b$  برای پایه وسطی در گروه پایه سه‌تایی و پایه عقبی در گروه پایه دو‌تایی، در دو حالت شکاف‌دار و بدون شکاف نشان می‌دهد. به طوری که از شکل مشخص است در تمام پایه‌ها اعم از شکاف‌دار و بدون شکاف عامل حفاظ بودن پایه جلویی بر روی پایه عقبی وجود داشته و باعث کاهش عمق آب‌شستگی در پایه عقبی نسبت به تک‌پایه شده است. به طوری که در تمام موارد نسبت عمق آب‌شستگی در پایه عقبی به تک‌پایه کوچک‌تر از یک می‌باشد. همان‌گونه که در شکل مشخص است در گروه پایه‌های بدون شکاف با افزایش تعداد پایه‌ها از ۲ به ۳ و همچنین افزایش فاصله پایه‌ها عامل حفاظ بودن کاهش می‌یابد. در گروه پایه شکاف‌دار با افزایش تعداد پایه‌ها از ۲ به ۳ عامل حفاظ بودن به مقدار کمی افزایش می‌یابد و با افزایش فاصله پایه‌ها تغییر چندانی در عامل حفاظ بودن ایجاد نمی‌شود.



شکل ۸- تأثیر شکاف بر پدیده تقویت‌کننده در گروه پایه‌های دو و سه‌تایی.



شکل ۹- تاثیر شکاف بر پدیده حفاظت کننده در گروه پایه‌های دو و سه تایی.



شکل ۱۰- مقایسه عملکرد شکاف در گروه پایه‌های دو و سه تایی با تک پایه.

عقبی ۳۰ درصد بوده که این رقم حدود سه برابر پایه جلویی و تک پایه می‌باشد. در گروه پایه سه تایی با فاصله چهار برابر قطر پایه نیز عملکرد شکاف در پایه عقبی بیشتر از پایه‌های جلویی می‌باشد به طوری که در پایه عقبی درصد کاهش عمق آبشستگی ۲۰ درصد بوده که این مقدار ۱/۵ برابر پایه وسطی و ۲ برابر پایه جلویی و تک پایه می‌باشد. اما در گروه پایه‌های دو و سه تایی با فاصله دو برابر قطر پایه عملکرد شکاف در کاهش آبشستگی موضعی در تمام پایه‌ها تقریباً برابر و مانند

عملکرد شکاف در گروه پایه: شکل ۱۰ درصد کاهش آبشستگی را در گروه پایه‌های دو و سه تایی پس از گذشت ۶ ساعت از شروع آزمایش، زمانی که ۹۰ درصد آبشستگی نهایی اتفاق می‌افتد نشان می‌دهد. در این شکل عملکرد شکاف در تک پایه نیز به منظور مقایسه آورده شده است. شکل ۱۰ نشان می‌دهد در گروه پایه دو تایی با فاصله چهار برابر قطر پایه، عملکرد شکاف در پایه عقبی بیشتر از پایه جلویی می‌باشد. به طوری که در این گروه پایه درصد کاهش عمق آبشستگی در پایه

عملکرد تک پایه می‌باشد. نتایج آزمایش همچنین نشان می‌دهد که با افزایش فاصله پایه‌ها عملکرد شکاف بهبود می‌یابد. که این مسئله به‌ویژه در مورد پایه‌های عقبی قابل توجه می‌باشد. در گروه پایه دو تایی درصد کاهش آب‌شستگی موضعی در پایه عقبی در حالت  $S=4b$  دو و نیم برابر حالت  $S=2b$  می‌باشد. همچنین در مورد گروه پایه‌های سه تایی درصد کاهش آب‌شستگی موضعی در پایه عقبی در حالت  $S=4b$  دو برابر حالت  $S=2b$  است.

### نتیجه‌گیری

در مطالعه حاضر تأثیر استفاده از شکاف مستطیلی در کنترل آب‌شستگی موضعی در گروه پایه‌های دو و سه تایی

استوانه‌ای واقع در امتداد یک خط در شرایط آب زلال مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج حاصل نشان داده است که عملکرد شکاف در پایه‌های عقبی گروه پایه‌های دو و سه تایی با فاصله چهار برابر قطر پایه بیشتر از پایه‌های جلویی و تک پایه می‌باشد. همچنین عملکرد شکاف در گروه پایه‌های دو و سه تایی با فاصله دو برابر قطر پایه‌ها، برای کلیه پایه‌ها یکسان و برابر تک پایه می‌باشد. با افزایش فاصله بین پایه‌ها، در گروه پایه‌های دو و سه تایی عملکرد شکاف در پایه‌های جلویی به علت کاهش عامل تقویت‌کننده و در پایه‌های عقبی به علت کاهش تأثیر گرداب‌های جاری، افزایش می‌یابد.

### منابع

۱. زراتی، الف. ۱۳۷۹. نقش عوامل هیدرولیکی در طراحی پلها. انتشارات دانشگاه هرمزگان، ۱۳۹ ص.
۲. شفاعی بجستان، م. ۱۳۷۳. هیدرولیک رسوب. انتشارات دانشگاه شهید چمران اهواز، ۴۳۸ ص.
۳. حیدرپور، 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): ۷-۲۸.
4. Breusers, N.H.C., Nicollet, G., and Shen, H.W. 1977. Local scour around cylindrical piers. IAHR, J. Hyd. Res. 15(3): 211-252.
5. Chiew, Y.M. 1992. Scour protection at bridge piers. ASCE, J. Hyd. Eng. 118(9): 1260-1269.
6. Chiew, Y.M. 2004. Local scour and riprap stability at bridge piers in a degrading channel. ASCE, J. Hyd. Eng. 130(3): 218-225.
7. Ettema, R., and Raudkivi, A.J. 1983. Clear water scour at cylindrical piers. ASCE. J. Hyd. Eng. 109(3): 338-349.
8. Heidarpour, M. 2002. Control and reduction of local scour at bridge piers by using slot, Proc. International Conf. on Fluvial Hydraulics, 3-6 Sept., Louvain-la-Neuve, Belgium. 2:1069-1072.
9. Hannah, C.R. 1978. Scour at pile groups. Research Rep. No. 78-3, Civil Engineering, Univ. of Canterbury, New Zealand.
10. Kumar, V., Ranga Raju, K.G., and Vittal, N. 1999. Reduction of local scour around bridge piers using slots and collars. ASCE, J. Hyd. Eng. 125(12): 1302-1305.
11. Lauchlan, G.S., and Melville, B.W. 2001. Riprap protection at bridge piers. ASCE, J. Hyd. Eng. 127(5): 412-418.
12. Melville, B.W., and Sutherland, A.J. 1988. Design method for local scour at bridge piers. ASCE, J. Hyd. Eng. 114(10): 1210-1226.
13. Nazariha, M. 1996. Design relationships for maximum local scour depth for bridge pier groups. PhD Dissertation, University of Ottawa, Canada. pp. 212.
14. Parola, A.C., and Jones, J.S. 1991. Sizing riprap to protect bridge piers from scour. Transport. Res. Rec. No. 1290, pp: 276-280.
15. Raudkivi, A.J. 1998. Loose boundary hydraulics. A. A. Balkema, Rotterdam, the Netherlands. pp: 8-28.
16. Vittal, N., Kothiyari, U.C., and Haghghat, M. 1994. Clear-water scour around bridge pier group. ASCE, J. Hyd. Eng. 120(11): 1309-1318.
17. Zarrati, A.R., Nazariha, M., and Mashahir, M.B. 2006. Reduction of local scour in the vicinity of bridge pier groups using collars and riprap. ASCE, J. Hyd. Eng. 132(2): 154-161.

## **Local scour protection of circular bridge pier groups using slot**

**M. Heidarpour<sup>1</sup>, H. Afzalimehr<sup>1</sup> and Z. Khodarahmi<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Assist. Prof., Dept., of Irrigation, Isfahan University of Technology, Iran, <sup>2</sup>Former M.Sc. Student, Dept. of Irrigation, Isfahan Univ. of Tech, Iran

---

---

### **Abstract**

The main cause of concern about the stability of bridge foundation is the occurrence of scour around the piers. Therefore, there is an interest in finding reliable ways to reduce and control local scour depth. The use of slot through a pier is one of the new proposed methods for controlling and reduction of local scour at bridge piers. This study examines the effect of using rectangular slots through the pier groups at clear water condition. The results of experiments show that in pier groups, reinforcing effect causes that the scour depth at front pier is more than that at a single pier. Also, sheltering effect causes that the scour depth at rear pier is less than that at a single pier. The presence of a slot in a two and three pier groups causes the reinforcing effect increases and sheltering effect decreases. The efficacy of a slot in rear pier is more than that in front pier and single pier for three and two pier groups with  $S=4b$ . It was also found that the efficacy of slot for two and three pier groups with  $S=2b$  for all piers are almost similar and similar to the single pier. Efficacy of slot in reduction of scour depth, increased with increasing pier spacing.

**Keywords:** Local scouring; Bridge pier groups; Bridge pier protection; Slot