



بررسی آزمایشگاهی اثر آبشکن ساده بر آبشستگی موضعی در اطراف تکیه‌گاه پل

امین ناظری^۱، صمد امامقلی‌زاده^۲، خلیل اژدری^۳

تاریخ ارسال: ۱۳۹۷/۰۸/۰۱

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۴/۲۳

مقاله پژوهشی

چکیده

وقوع آبشستگی از مهم‌ترین عوامل تهدیدکننده پایداری تکیه‌گاه‌های پل احداث‌شده بر رودخانه‌ها است. برای جلوگیری از تخریب‌های احتمالی و زیان‌های جبران‌ناپذیر، لازم است با بررسی دقیق فرآیند آبشستگی و به‌کارگیری روش‌های مناسب، آبشستگی را کنترل نمود. در این پژوهش با ساخت مدل آزمایشگاهی به بررسی تأثیر استفاده از آبشکن ساده بر کاهش میزان آبشستگی تکیه‌گاه پل واقع در بستر رودخانه فرسایش‌پذیر پرداخته شد. بدین منظور از یک سازه آبشکن با ابعاد و فاصله معین از تکیه‌گاه (با توجه به مشخصات جریان عبوری هندسه رودخانه) استفاده شده و میزان تأثیر هر یک از پارامترهای مذکور بر آبشستگی تکیه‌گاه مورد بررسی قرار گرفت. همچنین بر مبنای تجزیه و تحلیل آماری با استفاده از نرم‌افزار SPSS رابطه‌ای رگرسیونی برای تخمین آبشستگی در اطراف تکیه‌گاه پل ارائه شد. نتایج این بررسی نشان داد آبشکن محافظ آبشستگی در تکیه‌گاه را تا ۹۴ درصد کاهش می‌دهد. کارایی آبشکن با طول آن رابطه مستقیم و با فاصله آن از تکیه‌گاه رابطه معکوس دارد.

کلیدواژه‌ها: آبشکن، رودخانه، آبشستگی، تکیه‌گاه پل.

^۱ کارشناس ارشد سازه‌های آبی، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران، ۰۹۱۶۷۲۲۷۶۲۴، aminnazeri97@gmail.com

^۲ دانشیار، گروه مهندسی آب و محیط زیست، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران، ۰۹۱۱۱۱۹۴۳۸۹، s_gholizadeh517@Shahroodut.ac.ir (نویسنده مسئول)

^۳ دانشیار، گروه مهندسی آب و خاک، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران، ۰۹۱۲۵۷۳۵۴۴۲، azhdary2005@yahoo.co.in

مقدمه

یکی از عمده‌ترین مشکلات سازه‌هایی نظیر پل‌ها که پایه‌ها و تکیه‌گاه‌های آن‌ها در رودخانه‌های قابل فرسایش قرار گرفته است، آبستگی ایجاد شده در اطراف تکیه‌گاه و پایه‌ها می‌باشد. پس از احداث پل در مسیر رودخانه، پایه‌ها و تکیه‌گاه‌های پل به صورت یک مانع عمل کرده و باعث تغییر مسیر جریان در محل برخورد با تکیه‌گاه و توسعه جریان‌های گردابی می‌شوند. این گرداب‌ها به نوبه خود مواد اطراف تکیه‌گاه را از جای خود کنده و سپس این مواد توسط جریان رودخانه به سمت پایین دست حمل می‌شوند. این عمل در نهایت باعث توسعه حفره آبستگی در محل استقرار تکیه‌گاه خواهد شد. در بسیاری از موارد، آبستگی می‌تواند منجر به تخریب و ویرانی کامل پل و ایجاد خسارات اقتصادی و جانی گردد. به عنوان مثال در سال ۱۹۸۷ تعداد زیادی پل بر روی رودخانه نیویورک در اثر پدیده آبستگی ویران شد. در این حادثه‌ها جمعاً ۱۰ نفر جان خود را از دست دادند. در سال ۱۹۹۵ نیز در کالیفرنیا تعداد ۵ پل در اثر پدیده آبستگی ویران شد که در این حادثه نیز ۷ نفر از بین رفتند و موارد دیگری که در کشورمان ایران اتفاق افتاده است (ناظری، ۱۳۹۳). داده‌ها بیانگر این موضوع هستند که آبستگی تکیه‌گاه پل در مقایسه با آبستگی پایه پل بسیار مشکل‌سازتر خواهد بود. مطالعات انجام شده بر روی شکست ۳۸۳ پل در ایالات متحده نشان می‌دهد که در ۲۵ درصد آن‌ها تخریب پایه و در ۷۲ درصد تخریب تکیه‌گاه علت شکست پل بوده است. همچنین بر طبق مطالعات Melville (1992) ۷۰ درصد هزینه‌های مربوط به شکست پل در نیوزیلند ناشی از آبستگی تکیه‌گاه پل بوده است (خزیمه‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۴). با توجه به اهمیت موضوع، در طی سال‌های گذشته پژوهشگران همواره در تلاش برای پیدا کردن راهی برای کاهش میزان آبستگی بوده‌اند.

Korkut et al. (2007) به بررسی نقش کیسه‌های خاک در کاهش آبستگی پیرامون تکیه‌گاه پل پرداختند. آن‌ها دستورالعمل‌های طراحی شامل محل

قرارگیری کیسه‌های خاک و اندازه آن‌ها را پیشنهاد کردند. Cardoso et al. (2010) حفاظت دماغه تکیه‌گاه با دیوارهای عمودی در برابر آبستگی را بررسی کردند. هدف از این تحقیق طراحی پوشش ریپرپ به منظور حفاظت تکیه‌گاه از آبستگی در شرایط آب زلال بود. آن‌ها دریافتند که با افزایش طول تکیه‌گاه فاصله بین نقطه حداکثر آبستگی و تکیه‌گاه افزایش می‌یابد و نیز زاویه موقعیت عمیق‌ترین نقطه آبستگی نزدیک ۳۰ درجه است. شکل تکیه‌گاه و انقباض جریان تأثیری در میزان حداقل پوشش ریپرپ حول تکیه‌گاه ندارد. خادمی و همکاران (۱۳۹۳) به بررسی عملکرد صفحه‌ی مستغرق متصل به تکیه‌گاه در کاهش آبستگی پیرامون تکیه‌گاه پل با شکل مستطیلی پرداختند نتایج این محققان نشان داد این سازه با ایجاد منطقه‌ی کم‌سرعت پیرامون تکیه‌گاه و مهار گرداب‌های اولیه، نقش مؤثری در کاهش آبستگی دارد. خزیمه‌نژاد و همکاران (۱۳۹۵) عملکرد دو نوع طوقه کامل و ال شکل را در کاهش آبستگی موضعی پیرامون تکیه‌گاه مورد بررسی قرار دادند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد طوقه‌ها بستر را در مقابل جریان‌های گردابی اطراف تکیه‌گاه محافظت می‌کنند. در هر دو نوع طوقه، افزایش ابعاد طوقه، عملکرد آن را بهبود می‌بخشد. با مقایسه دو نوع طوقه، مشخص شد در صورتی که پیش‌آمدگی طوقه در طول بیش از نیم برابر طول تکیه‌گاه باشد طوقه‌های ال شکل مؤثرتر از طوقه کامل عمل می‌کنند. امامقلی‌زاده و همکاران (۱۳۹۶) با انجام آزمایش‌هایی تأثیر پره‌های مستغرق در کاهش آبستگی تکیه‌گاه پل واقع در دشت سیلابی را مورد بررسی قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد پره‌های مستغرق آبستگی اطراف تکیه‌گاه را کاهش داده و موجب حرکت حفره آبستگی و دور کردن آن از دماغه‌ی تکیه‌گاه به سمت مرکز کانال شده است. شهنساری و حیدرپور (۱۳۹۷) تأثیر زبری‌های موضعی را در کنترل و کاهش آبستگی تکیه‌گاه پل مورد بررسی قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد وجود زبری‌ها در کاهش عمق آبستگی و همچنین تأخیر در روند آبستگی مؤثر بوده است. در بهینه‌ترین فاصله بین زبری‌ها هر چه



مواد و روش‌ها

به منظور انجام آزمایش‌ها و جمع‌آوری داده‌های لازم، کانال و تجهیزات مورد نیاز در آزمایشگاه هیدرولیک دانشکده کشاورزی دانشگاه صنعتی شاهرود طراحی و ساخته شد. کانال مورد استفاده دارای طول ۱۲ متر، عرض ۱ متر و ارتفاع ۶۰ سانتیمتر بود. به منظور آرام نمودن جریان ورودی به کانال یک صفحه مشبک فلزی در فاصله یک متری از ابتدای فلوم به صورت عمودی نصب گردید. عمق آب در کانال نیز با استفاده از تیرک‌های سدکننده چوبی نصب شده در انتهای کانال تنظیم می‌شد. با عبور جریان از روی تیرک‌های چوبی، این تیرک‌ها به صورت یک سرریز لبه پهن مستطیلی عمل می‌کردند. با قرار دادن تیرک‌هایی با ارتفاع مختلف، امکان تنظیم عمق مورد نظر برای انجام آزمایش‌ها فراهم می‌آمد. به منظور قرائت دبی یک دستگاه دبی‌سنج الکترومغناطیسی مدل PMAG، بر روی لوله رانش نصب و مورد استفاده قرار گرفت. این دبی‌سنج قادر بود دبی عبوری از لوله رانش را با دقت ۰/۱ لیتر بر ثانیه اندازه‌گیری کند.

فاصله بین دیواره‌ی بالادست کانال و صفحه مشبک نیز به ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر از قطعات سنگی با قطر متوسط ۵ سانتی‌متر پوشیده شد. آشفتگی جریان آب که از پمپ سانترفیوژ وارد می‌شد با ورود به این محفظه و برخورد با قطعات سنگی و صفحه مشبک گرفته شده و جریان به آرامی وارد فلوم می‌شد. فاصله ابتدای بستر رسوبی تا صفحه مشبک ۳ متر در نظر گرفته شد. همچنین، فاصله انتهای بستر تا انتهای فلوم نیز ۳ متر در نظر گرفته شد. این فاصله باعث می‌شود تا نیمرخ سطح آب روی بستر رسوبی یکنواخت بوده و تحت تأثیر خروجی کانال نباشد. ۵ متر از طول فلوم به ارتفاع ۱۰ سانتی‌متر از رسوبات درشت‌دانه و به ارتفاع ۲۰ سانتی‌متر بر روی آن‌ها از رسوبات ریزدانه یکنواخت با قطر متوسط $D_{50} = 1 \text{ mm}$ و شیب طولی ۰/۰۱ پوشیده شد. برای جلوگیری از ایجاد ریپل قطر متوسط ذرات در بستر غیر چسبنده باید از ۰/۷ میلی‌متر بزرگ‌تر باشد و نسبت قطر پایه به متوسط ذرات باید بیش از ۲۰-۲۵ باشد

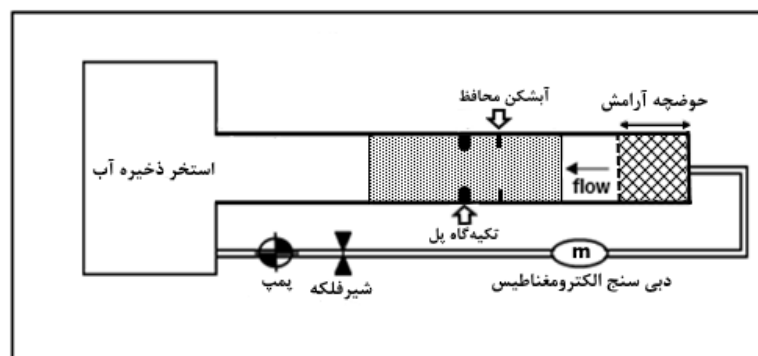
عمق زبری افزایش یابد موجب کاهش بیشتر عمق آبستتگی و تأخیر در روند آن خواهد شد. پژوهش اسدی و سلیمانی بابرصاد (۱۳۹۴) نشان داد پره‌های هدایت‌کننده جریان با تأثیر بر روی خطوط جریان، می‌تواند ابزار مناسبی جهت کاهش عمق آبستتگی در تکیه‌گاه پل باشد.

از جمله روش‌هایی که با تغییر در الگوی جریان موجب کاهش آبستتگی در اطراف تکیه‌گاه می‌شود احداث آبشکن در بالادست تکیه‌گاه است. آبشکن‌ها به شکل دیواره‌هایی هستند که به صورت سری (چند آبشکن) و یا منفرد در عرض رودخانه و با طول مناسب و در اغلب موارد، عمود بر راستای عمومی جریان احداث می‌شوند. آبشکن‌ها از مصالح سنگی، تورسنگی، خاکی، شمعی، مصالح رودخانه‌ای و غیره و یا ترکیبی از مصالح مختلف ساخته می‌شوند (ناظری، ۱۳۹۳). بصیرت و همکاران (۱۳۹۱) تحقیقاتی را در مورد بررسی اثر آبشکن از جهت فاصله با دماغه و طول آن بر میزان آبستتگی دماغه تکیه‌گاه پل در کانال مرکب پل انجام دادند. نتایج آزمایش‌های انجام‌شده نشان داد که استفاده از آبشکن محافظ تأثیر مثبتی در کاهش آبستتگی تکیه‌گاه دارد به نحوی که با افزایش طول آبشکن محافظ آبستتگی کاهش پیدا می‌کند. ازدری و همکاران (۱۳۹۶) نیز به مطالعه تأثیر قرارگیری آبشکن سرسپری نامتقارن بر آبستتگی تکیه‌گاه پل واقع در دشت سیلابی پرداختند. نتایج این پژوهشگران نشان می‌دهد آبشکن سرسپری نامتقارن به میزان قابل توجهی میزان آبستتگی در اطراف تکیه‌گاه را کاهش می‌دهد.

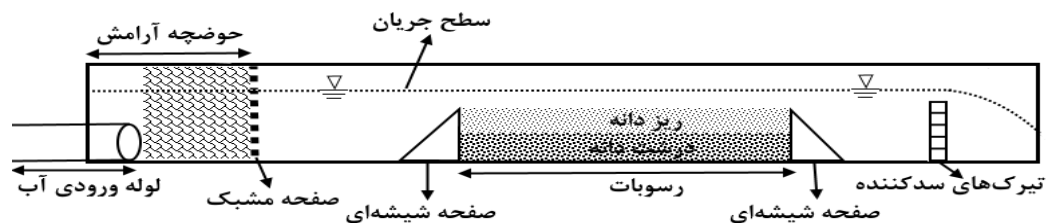
عمده تحقیقاتی که تاکنون پیرامون تأثیر آبشکن بر آبستتگی تکیه‌گاه پل انجام گرفته است محدود به شرایطی بوده است که تکیه‌گاه در سیلاب‌دشت رودخانه قرار داشته است حال آنکه در بسیاری از موارد تکیه‌گاه در آبراه‌ای قرار گرفته است که بدون دشت سیلابی بوده و تکیه‌گاه کاملاً در مقطع اصلی جریان قرار دارد (Melville, 1992). لذا در این پژوهش به بررسی تأثیر قرارگیری آبشکن بر آبستتگی تکیه‌گاه قرار گرفته در مقطع اصلی رودخانه فرسایش‌پذیر پرداخته شده است.

جنس ورق گالوانیزه به طول ۱۵ سانتی‌متر و با شکل دماغه نیم‌دایره‌ای به قطر ۱۰ سانتی‌متر ساخته شدند. عرض کوله‌ها نیز، بر مبنای عرض جاده عبوری از روی پل و در نظر گرفتن یک مقیاس فرضی برای مدل، انتخاب شد. آبشکن‌های مورد استفاده نفوذناپذیر بوده و از جنس شیشه با ضخامت ۱۰ میلی‌متر به ارتفاع ۳۵ سانتی‌متر و طول متغیر ساخته شدند. شکل ۱ پلان مدل آزمایشگاهی و شکل ۲ نمای جانبی کانال مورد استفاده را نشان می‌دهند.

(Raudkivi and Ettema, 1983). چگالی رسوب مورد استفاده برابر با $\rho_s = 2650 \text{ kg/m}^3$ و ضریب یکنواختی آن $1/27$ بود. در صورتی که درجه یکنواختی رسوبات از $1/3$ کوچک‌تر باشد می‌توان رسوبات را یکنواخت در نظر گرفت (Dey and Barbhuiya, 2006). با توجه به این که ضریب یکنواختی رسوبات استفاده شده برابر با $1/27$ بود رسوبات یکنواخت در نظر گرفته شد. تکیه‌گاه‌های به کاررفته در انجام آزمایش‌ها از



شکل (۱): پلان مدل آزمایشگاهی ساخته شده



شکل (۲): نمای جانبی فلوم مورد استفاده

فاصله $0.4L$ (طول تکیه‌گاه) در بالادست تکیه‌گاه نصب شد که در ادامه آزمایش‌ها این فاصله افزایش یافت. در آزمایش‌های انجام شده و با توجه به الگوی جریان در پایین دست آبشکن‌ها، مشاهده شد که اگر میزان فاصله آبشکن از $2L$ بیشتر شود تأثیر آن بر روی سازه پایین دست کاهش می‌یابد، به همین دلیل حداکثر فاصله آبشکن منفرد از تکیه‌گاه به $2L$ محدود شد. آزمایش‌ها در شرایط آب زلال و با تنظیم دبی و عمق جریان در حد آستانه حرکت رسوب‌ها

در هر آزمایش آبشکن‌ها توسط چسب آکواریوم به جداره کانال محکم و آب‌بندی می‌شدند. پس از مشاهده الگوی جریان در اطراف تکیه‌گاه و محل شکل‌گیری جریان چرخشی حداقل طول آبشکن به کاررفته برابر $0.4L$ در نظر گرفته شد. حداکثر طول آبشکن نیز محدود به $0.8L$ شد زیرا با توجه به هدف طرح که ارائه‌ی یک سازه بهینه برای کاهش آبشستگی است استفاده از یک آبشکن با طول برابر با طول تکیه‌گاه مقرون به صرفه نیست. در شروع کار آبشکن سرسپری با



$$F(d_{sp}, V, y, W, L, B, B_s, L', X, S, v, \rho, \rho_s, d_{50}, g) = 0 \quad (2)$$

ds حداکثر عمق آبستنگی در اطراف تکیه‌گاه و dsp حداکثر عمق آبستنگی در اطراف آبشکن محافظ است.

با انتخاب سه پارامتر ρ ، V و y به عنوان پارامترهای تکراری و با استفاده از روش π -باکینگهام، پارامترهای بی‌بعد مؤثر در آبستنگی تکیه‌گاه به صورت رابطه (۳) و پارامترهای بی‌بعد مؤثر در آبستنگی آبشکن محافظ به صورت رابطه (۴) به دست می‌آید:

$$F\left(\frac{d_s}{y}, \frac{Vy}{v}, \frac{W}{y}, \frac{L}{y}, \frac{B}{y}, \frac{L'}{y}, \frac{X}{y}, \frac{V^2}{gy}, \frac{\rho}{\rho_s}, \frac{d_{50}}{y}\right) = 0 \quad (3)$$

$$F\left(\frac{d_{sp}}{y}, \frac{Vy}{v}, \frac{W}{y}, \frac{L}{y}, \frac{B}{y}, \frac{L'}{y}, \frac{X}{y}, \frac{V^2}{gy}, \frac{\rho}{\rho_s}, \frac{d_{50}}{y}\right) = 0 \quad (4)$$

با ترکیب پارامترهای بی‌بعد و در نظر گرفتن پارامترهای ds/y و dsp/y به عنوان متغیر وابسته، روابط (۳) و (۴) به صورت زیر ساده‌سازی می‌شوند:

$$\frac{d_s}{y} = F\left(\frac{Vy}{v}, \frac{W}{y}, \frac{B_s}{y}, \frac{L'}{y}, \frac{X}{y}, \frac{V}{\sqrt{gy}}, \frac{\rho}{\rho_s}, \frac{d_{50}}{L}\right) \quad (5)$$

$$\frac{d_{sp}}{y} = F\left(\frac{Vy}{v}, \frac{W}{y}, \frac{B_s}{y}, \frac{L'}{y}, \frac{X}{y}, \frac{V}{\sqrt{gy}}, \frac{\rho}{\rho_s}, \frac{d_{50}}{L}\right) \quad (6)$$

با توجه به مستطیلی بودن مقطع فلوم پارامترهای بی‌بعد V/\sqrt{gy} و Vy/v در روابط آبستنگی به ترتیب بیانگر عدد فرود و عدد رینولدز جریان می‌باشند. مقدار عدد رینولدز در تمامی دبی‌ها از ۵۰۰۰ بیشتر بوده و در نتیجه وضعیت جریان متلاطم است. با توجه به این‌که در جریان‌های متلاطم عدد رینولدز پارامتری تأثیرگذار نیست عدد رینولدز را می‌توان از روابط (۵) و (۶) حذف نمود. با حذف عدد رینولدز و حذف پارامترهای بی‌بعد ثابت، رابطه زیر برای حداکثر عمق آبستنگی در تکیه‌گاه به دست می‌آید:

$U/U_C = 0.95$ انجام شد. U متوسط سرعت جریان نزدیک‌شونده و U_C سرعت آستانه حرکت ذرات رسوبی است. ۴ دبی ۱۸، ۲۰، ۲۲ و ۲۴ لیتر بر ثانیه انتخاب و برای آن‌ها آزمایش‌های تعیین حد آستانه حرکت روی دشت سیلابی انجام شد. به این ترتیب ۴ عمق ۵، ۵/۵، ۵/۹۳ و ۶/۲۸ سانتی‌متر برای دبی‌های انتخابی به دست آمد.

آبستنگی و حرکت ذرات بستر در محل قرارگیری تکیه‌گاه وابسته به زمان هستند. عمق حفره آبستنگی با گذشت زمان افزایش می‌یابد اما میزان تغییرات با افزایش زمان کاهش می‌یابد؛ بنابراین آزمایش‌ها تا زمانی ادامه یافت که حداکثر عمق آبستنگی ایجاد شود و تغییرات محسوسی در عمق آبستنگی وجود نداشته باشد. با توجه به نتایج آزمایش‌های اولیه برای تمامی ۴ دبی انتخابی، پس از ۹۰ دقیقه، عمق آبستنگی به حدود ۸۵ درصد حداکثر عمق آبستنگی رسید، بنابراین زمان اجرای آزمایش‌ها ۹۰ دقیقه در نظر گرفته شد. با توجه به پارامترهای متغیر در آزمایش‌ها، ۲۵ آزمایش در هر دبی انجام شد که با احتساب ۴ آزمایش شاهد در مجموع ۱۰۴ آزمایش برای ۴ دبی انجام شده است.

در ایجاد پدیده آبستنگی تکیه‌گاه پل پارامترهای مختلفی تأثیرگذار هستند از جمله، سرعت متوسط جریان V (m/s)، عمق جریان y (m)، عرض کانال W (m)، طول تکیه‌گاه L (m)، عرض تکیه‌گاه B (m)، ضخامت آبشکن B_s (m)، طول آبشکن L' (m)، فاصله آبشکن از تکیه‌گاه X (m)، شیب مواد بستر S ، جرم مخصوص آب ρ ، جرم مخصوص رسوبات بستر ρ_s ، لزجت سینماتیکی آب ν (m^2/s)، قطر متوسط ذرات بستر d_{50} (m)، شتاب گرانش g (m^2/s).

با توجه به پارامترهای ذکر شده، می‌توان رابطه (۱) را برای حداکثر عمق آبستنگی تکیه‌گاه و رابطه (۲) را برای حداکثر عمق آبستنگی آبشکن محافظ تعریف نمود:

$$F(d_s, V, y, W, L, B, B_s, L', X, S, v, \rho, \rho_s, d_{50}, g) = 0 \quad (1)$$



نتایج و بحث

برای بررسی میزان تأثیر اندازه آبشکن و همچنین فاصله آبشکن در کاهش میزان آبشستگی تکیه‌گاه پل ابتدا آزمایش‌هایی بدون حضور آبشکن انجام شد. سپس با قرار دادن آبشکن با طول‌های متفاوت و در فاصله‌های مختلف از تکیه‌گاه میزان آبشستگی برداشت شد. در شکل ۳ درصد کاهش عمق آبشستگی ($Pr(\%)$) در مقادیر مختلف پارامترهای L'/L ، X/L و عدد فرود به صورت نمودار نشان داده شده است. پارامتر کارایی آبشکن یا درصد کاهش عمق آبشستگی تکیه‌گاه ($Pr(\%)$) از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$Pr(\%) = \frac{dsc - ds}{dsc} \quad (9)$$

که در آن dsc حداکثر عمق آبشستگی پیرامون تکیه‌گاه در حالت بدون قرارگیری آبشکن است.

$$\frac{ds}{y} = \left(Fr, \frac{L'}{L}, \frac{X}{L} \right) \quad (7)$$

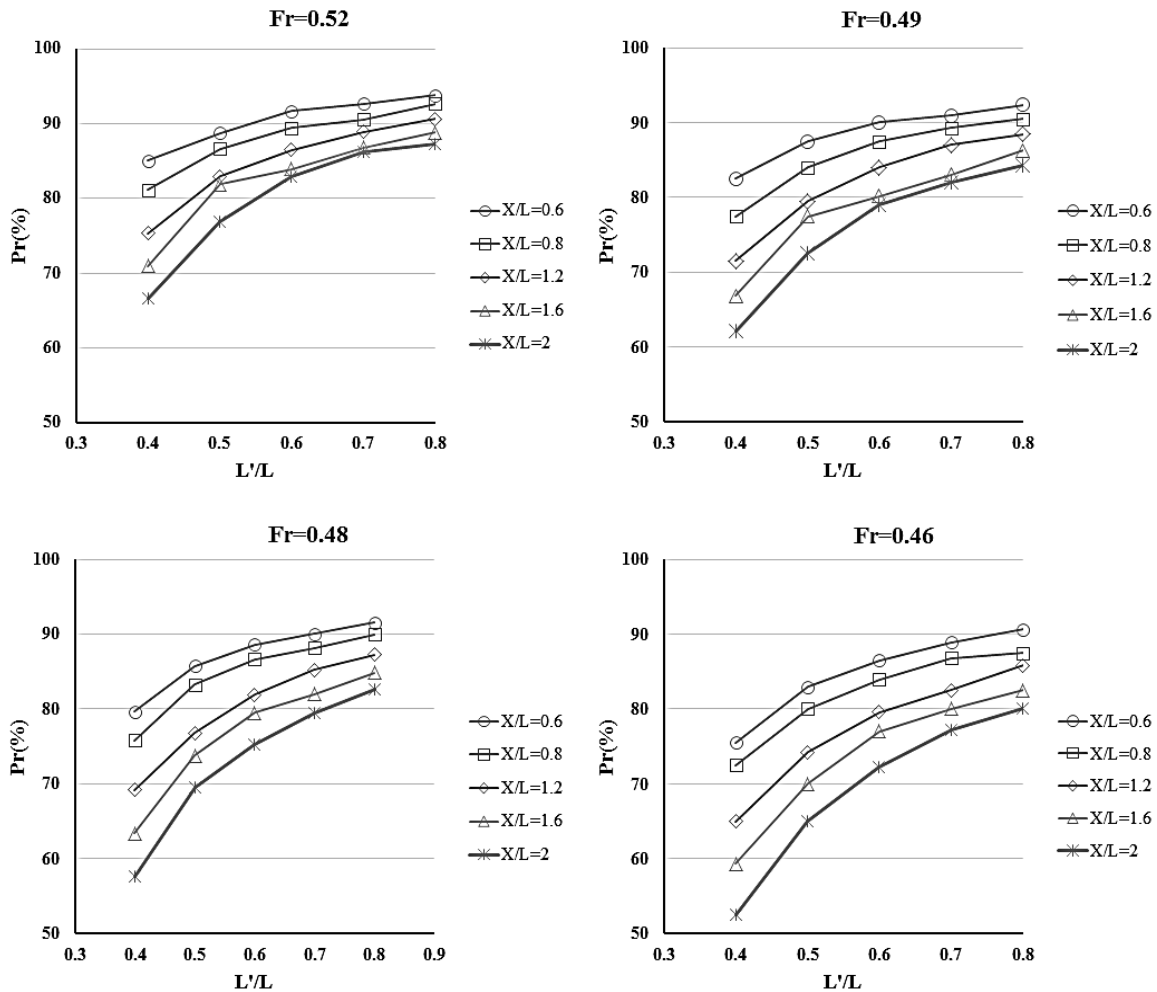
برای عمق آبشستگی آبشکن محافظ dsp نیز خواهیم داشت:

$$\frac{dsp}{y} = \left(Fr, \frac{L'}{L}, \frac{X}{L} \right) \quad (8)$$

در جدول ۱ پارامترهای بی‌بعد و مقادیرشان در تحقیق حاضر نشان داده شده است.

جدول (۱): پارامترهای بی‌بعد و مقادیر بررسی شده

مقادیر مورد بررسی					پارامتر بی‌بعد
۰/۴۶	۰/۴۸	۰/۴۹	۰/۵۲		Fr
۲	۱/۶	۱/۲	۰/۸	۰/۶	X/L
۰/۸	۰/۷	۰/۶	۰/۵	۰/۴	L'/L



شکل (۳): تغییرات کارایی آبشکن $Pr(\%)$ به ازای تغییرات ابعاد آن در مقادیر متفاوت عدد فرود

جدول ۲ نشان می‌دهد که آبشکن محافظ در تمامی اعداد فرود مورد آزمایش حداکثر ۹۰ و حداقل ۵۰ درصد آبشستگی در پیرامون تکیه‌گاه را کاهش داده است. کاهش آبشستگی در تکیه‌گاه را می‌توان به این علت دانست که آبشکن با منحرف کردن جریان به سمت مرکز کانال در واقع خطوط جریان را از تکیه‌گاه و دماغه آن دور کرده و با هدایت آن‌ها به سمت خط مرکزی کانال باعث کاهش میزان آبشستگی در تکیه‌گاه می‌شود.

از شکل ۳ استنباط می‌شود که در تمامی دبی‌های مورد آزمایش با افزایش نسبت طول آبشکن به طول تکیه‌گاه L'/L ، کارایی آبشکن افزایش داشته است

نتایج شکل ۳ نشان می‌دهد که آبشکن محافظ در تمامی ابعاد و فاصله‌های مورد آزمایش آبشستگی در تکیه‌گاه را کاهش داده است. کمترین و بیشترین درصد کارایی آبشکن در اعداد فرود مختلف در جدول ۲ نشان داده شده است.

جدول (۲): کارایی آبشکن در اعداد فرود مورد آزمایش

Fr	بیشترین کارایی	کمترین کارایی
۱۸	۹۴	۶۶/۶
۲۰	۹۲/۳	۶۲/۱
۲۲	۹۱/۵	۵۷/۶
۲۴	۹۰/۶	۵۲/۵

به طور مثال با افزایش پارامتر L/L از $0/4$ به $0/8$ به طور متوسط ۸ درصد به کارایی آبشکن افزوده می شود. در صورتی که با افزایش L/L از $0/7$ به $0/8$ کارایی آبشکن تنها $1/5$ درصد افزایش می یابد.

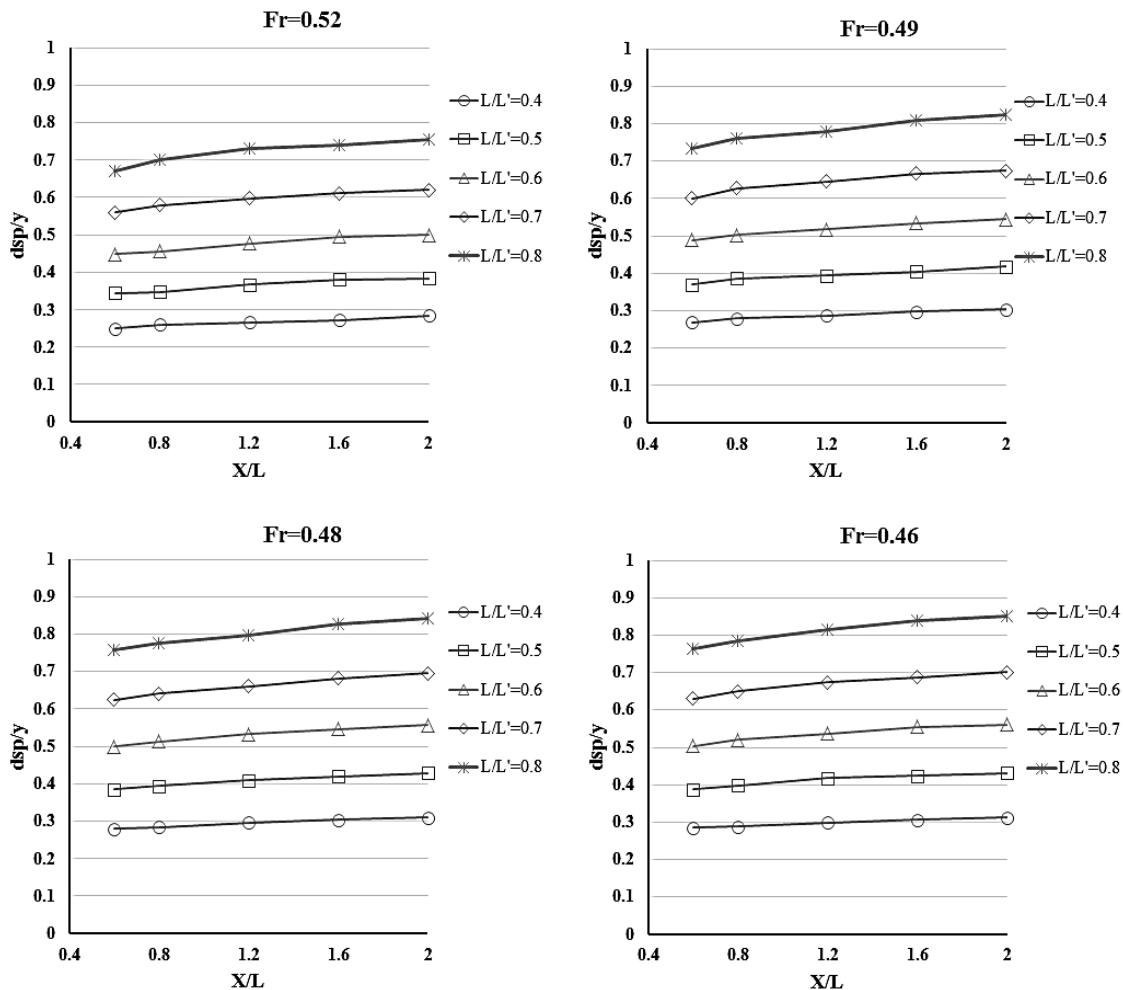
نتایج شکل ۳ و جدول ۲ نشان می دهد که با تغییر عدد فرود مختلف کارایی آبشکن تغییر محسوسی نیافته است به عبارت دیگر میزان اثربخشی آبشکن با افزایش عدد فرود کاهش نیافته است و در تمامی اعداد فرود مورد آزمایش تأثیر اولیه خود را حفظ نموده است. اهمیت این موضوع زمانی مشخص می شود که بدانیم دبی سیلاب معمولاً متغیر بوده و سازه تعدیل کننده آبشستگی باید با تغییر دبی کارایی خود را دست ندهد. در طراحی آبشکن ها باید پایداری آن ها را نیز مورد توجه قرارداد، لذا در ادامه تأثیر ابعاد و فاصله آبشکن از تکیه گاه بر عمق آبشستگی در اطراف آبشکن مورد بررسی قرار می گیرد. در شکل ۴ تغییرات پارامتر dsp/y به ازای تغییرات پارامترهای L/L و X/L نشان داده شده است.

به طور متوسط ۱۷ درصد به کارایی آبشکن افزوده شده است. علت این امر را می توان تأثیر بیشتر آبشکن با طول بزرگتر بر انقباض جریان و دور کردن آن از تکیه گاه دانست.

نتایج شکل ۳ بیانگر این موضوع است که در اندازه ثابت طول آبشکن، با افزایش فاصله، از میزان تأثیر آبشکن بر آبشستگی تکیه گاه کاسته شده و کارایی آبشکن کاهش یافته است. با افزایش پارامتر X/L از $0/6$ به 2 در اعداد فرود مختلف به طور متوسط 13 درصد از کارایی آبشکن کاسته شده است. علت این کاهش کارایی را می توان باز شدن مجدد جریان به سمت جداره کانال دانست، به عبارت دیگر با افزایش فاصله آبشکن از تکیه گاه، جریان دوباره به سمت تکیه گاه برگشت پیدا کرده و موجب افزایش آبشستگی می شود. اگر فاصله به اندازه کافی زیاد شود، به طور کلی جریان به شکل اولیه (بدون وجود آبشکن) بازسازی شده و عملاً نقش آبشکن قابل صرف نظر خواهد بود.

نکته دیگری که از نمودارهای شکل ۳ دریافت می شود این است که در تمامی اعداد فرود با افزایش مقدار L/L نمودارها همگرا می شوند. این نکته بیانگر این موضوع است که با افزایش طول آبشکن از میزان تأثیر پارامتر فاصله بر کارایی آبشکن کاسته شده است. به عبارت دیگر کارایی آبشکن در آبشکن های با طول بزرگتر، کمتر تحت تأثیر پارامتر فاصله قرار دارد.

در شکل ۳ شیب نمودارها با افزایش L/L کاهش پیدا کرده است. این نکته نشان می دهد که تغییرات طول در آبشکن های با طول بزرگتر کمتر کارایی آبشکن را تحت تأثیر قرار می دهد. به طوری که با افزایش نسبت



شکل (۴): تغییرات پارامتر dsp/y به ازای تغییرات ابعاد آن در مقادیر متفاوت عدد فرود

که با تغییر فاصله آبشکن از تکیه‌گاه آبشستگی در اطراف آبشکن تغییر محسوسی پیدا نمی‌کند به‌عنوان مثال افزایش مقدار پارامتر X/L از $0/6$ به 2 پارامتر dsp/y را به‌طور متوسط تنها به میزان $0/05$ افزایش داده است. این افزایش را نیز می‌توان به این علت دانست که با دور شدن آبشکن از تکیه‌گاه، آبشکن بیشتر در معرض جریان قرار گرفته و آبشستگی در اطراف آن افزایش پیدا می‌کند.

با استفاده از رابطه‌های به‌دست‌آمده از آنالیز ابعادی پارامترهای مؤثر بر آبشستگی تکیه‌گاه و آبشکن، رابطه ۱۰ برای محاسبه حداکثر عمق آبشستگی در اطراف تکیه‌گاه و رابطه ۱۱ برای محاسبه عمق آبشستگی آبشکن به دست آمد:

همان‌گونه که در شکل ۴ مشاهده می‌شود با افزایش طول آبشکن، عمق آبشستگی در اطراف آبشکن به دلیل کاهش عرض مقطع عبوری جریان و افزایش سرعت جریان، به‌طور محسوسی افزایش پیدا کرده است به‌طوری‌که افزایش مقدار L/L' از $0/4$ به $0/8$ ، پارامتر dsp/y را به‌طور متوسط $0/48$ افزایش داده است. در مسئله پایداری آبشکن توجه به این افزایش آبشستگی ناشی از افزایش طول، بسیار ضروری است. به‌عبارت‌دیگر با این‌که افزایش طول آبشکن، آبشستگی در تکیه‌گاه را تعدیل می‌کند اما عمق آبشستگی در اطراف آبشکن را افزایش داده و پایداری آن را با مخاطره روبرو می‌سازد لذا پایداری آبشکن نیز باید مورد توجه قرار گیرد. شیب کم نمودارها در شکل ۳ بیانگر این موضوع است

با استفاده از مدل فیزیکی مورد مطالعه قرار گرفت. در تمام ابعاد و فاصله‌های مورد آزمایش، وجود آبشکن محافظ آبشستگی در تکیه‌گاه را حداقل ۵۰ درصد کاهش داد. حداکثر میزان کاهش آبشستگی نیز در تمامی اعداد فرود مورد آزمایش بالای ۹۰ درصد بود. نتایج این پژوهش نشان داد با افزایش طول بی‌بعد آبشکن (طول آبشکن به طول تکیه‌گاه) کارایی آبشکن در کاهش آبشستگی تکیه‌گاه پل افزایش می‌یابد. به گونه‌ای که با افزایش پارامتر L'/L از ۰/۴ به ۰/۸ کارایی آبشکن به‌طور متوسط ۱۷ درصد افزایش پیدا کرده است. با افزایش فاصله بی‌بعد آبشکن (فاصله آبشکن از تکیه‌گاه به طول تکیه‌گاه) از میزان تأثیر آبشکن بر آبشستگی تکیه‌گاه کاسته شده و کارایی آبشکن کاهش پیدا می‌کند به طوری که با افزایش پارامتر X/L از ۰/۶ به ۲ به‌طور متوسط ۱۳ درصد از کارایی آبشکن کاسته شده است. نتایج این پژوهش نشان داد با افزایش طول بی‌بعد آبشکن اگرچه از میزان آبشستگی تکیه‌گاه کاسته می‌شود، ولی آبشستگی پیرامون آبشکن افزایش می‌یابد به طوری که با افزایش مقدار L'/L از ۰/۴ به ۰/۸، مقدار پارامتر d_{sp}/y به‌طور متوسط ۰/۴۸ افزایش پیدا کرده است. فاصله آبشکن از تکیه‌گاه تأثیر محسوسی بر آبشستگی در اطراف آبشکن ندارد.

$$\frac{d_s}{y} = k \left(\frac{V}{\sqrt{gy}} \right)^a \left(\frac{L'}{L} \right)^b \left(\frac{X}{L} \right)^c \quad (10)$$

$$\frac{d_{sp}}{y} = k \left(\frac{V}{\sqrt{gy}} \right)^a \left(\frac{L'}{L} \right)^b \left(\frac{X}{L} \right)^c \quad (11)$$

برای تعیین ضرایب k ، a ، b و c از آنالیز رگرسیونی غیرخطی با استفاده از نرم‌افزار SPSS استفاده شده است. بر اساس آنالیز انجام‌شده مقادیر پارامترهای k ، a ، b و c به ترتیب برابر ۰/۱۸۸، ۰/۰۵۲۵، -۱/۲۶۹ و ۰/۶ برای تکیه‌گاه (رابطه ۱۲) و ۰/۵۵۳، ۰/۱۲۳، -۱/۴۴ و ۰/۰۸۹ برای آبشکن به دست آمد (رابطه ۱۳).

$$\frac{d_s}{y} = 0.0188 \left(\frac{V}{\sqrt{gy}} \right)^{-7.525} \left(\frac{L'}{L} \right)^{-1.269} \left(\frac{X}{L} \right)^{0.6} \quad (12)$$

$$\frac{d_{sp}}{y} = 0.553 \left(\frac{V}{\sqrt{gy}} \right)^{-1.123} \left(\frac{L'}{L} \right)^{1.44} \left(\frac{X}{L} \right)^{0.089} \quad (13)$$

ضریب همبستگی برای رابطه‌های ۱۲ و ۱۳ به ترتیب برابر با ۰/۹۳ و ۰/۹۱ است.

نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر اثر حضور آبشکن ساده در آبشستگی تکیه‌گاه پل قرارگرفته در مقطع اصلی رودخانه فرسایش‌پذیر

منابع

- اژدری، خ.، امامقلی‌زاده، ص. و رضایی، ح. ۱۳۹۶. مطالعه آزمایشگاهی اثر آبشکن T شکل نامتقارن در مقطع مرکب بر کاهش آبشستگی تکیه‌گاه پل. نشریه پژوهش‌های حفاظت آب‌و خاک، ۲۴(۱): ۳۰۱-۲۹۵.
- اسدی، غ. و سلیمانی بابرصاد، م. ۱۳۹۴. بررسی آزمایشگاهی کاهش عمق آبشستگی اطراف تکیه‌گاه‌های پل با استفاده از پره‌های هدایت‌کننده جریان. دو فصلنامه مهندسی آب، ۴۰(۱): ۱۵۶-۱۴۹.
- امامقلی‌زاده، ص.، نوحانی، ا.، فرهادی، ف. و اژدری، خ. ۱۳۹۶. بررسی آزمایشگاهی تأثیر پره‌های مستغرق در کاهش آبشستگی اطراف تکیه‌گاه پل. فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب، ۲۷(۳): ۱۵-۱.
- خادمی، خ.، شفاعی‌بجستان، م. و خزیمه نژاد، ح. ۱۳۹۳. بررسی آزمایشگاهی الگوی جریان و آبشستگی پیرامون تکیه‌گاه پل با حضور صفحه‌ی مستغرق متصل به آن. فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب، ۱۷(۵): ۵۶-۶۶.
- خزیمه‌نژاد، ح.، قمشی، م. و رضانی، ی. ۱۳۹۵. بررسی کارایی طوقه‌های ال شکل در کاهش آبشستگی موضعی پیرامون تکیه‌گاه پل با استفاده از مدل آزمایشگاهی. فصلنامه مهندسی عمران فردوسی، ۲۷(۲): ۵۶-۴۳.
- خزیمه‌نژاد، ح.، قمشی، م.، شفاعی‌بجستان، م. و رضانی، ی. ۱۳۹۴. بررسی آزمایشگاهی الگوی جریان و آبشستگی پیرامون تکیه‌گاه پل با مقطع مستطیلی. مجله پژوهش‌های حفاظت آب‌و خاک، ۲۲(۱): ۱۱۰-۹۱.



کریمی، م.، قمشی، م. و رضانی، ی. ۱۳۹۴. اثر احداث دیوار موازی بر کاهش آبستتگی پیرامون تکیه‌گاه پل در مقطع مرکب. نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، ۲ (۳): ۱۶۴-۱۵۱.

محمدپور، س. و شفافی بستان، م. ۱۳۹۶. بررسی گستره‌ی کارگزاری المان‌های شش‌پایه به‌منظور کاهش آبستتگی اطراف تکیه‌گاه پل. نشریه علوم مهندسی آبیاری، ۴۰ (۱): ۳۵-۲۵.

ناظری، ا. ۱۳۹۳. بررسی اثر آبشکن سرسپری متقارن بر کاهش آبستتگی تکیه‌گاه پل واقع در دشت سیلابی. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شاهرود، دانشکده کشاورزی. ۱۲۲ صفحه.

Cardoso, A.H., Simarro, G. and Fael, C.J. 2010. Toe protection for spill-through and vertical-wall abutments. *Journal of Hydraulic Research*, 48(4): 491-498.

Dey, S. and Barbhuiya, A.K. 2006. Velocity and turbulence in a scour hole at a vertical-wall abutment. *J. Flow Measurement and Instrumentation*, (17)1: 13-21.

Korkut, R., Martinez, E.J., Morales, R., Ettema, R. and Barkdoll, B. 2007. Geobag performance as scour countermeasure for bridge abutments. *J. Hydraul. Eng.*, 133(4): 431-439.

Melville, B. W. 1992. Local scour at bridge abutment. *J. Hyd. Eng.*, ASCE, 118(4): 615-637.

Raudkivi, A. J. and Ettema, R. 1983. Clear-water scour at cylindrical Piers. *J. Hydraul. Eng.*, 93(10): 338-350.



An experimental study of the effect of simple spur dyke on the local scour around the bridge abutment

Amin Nazeri¹, Samad Emamgholizadeh², Khalil Azhdary³

Abstract

The occurrence of scouring is one of the most important threats to the stability of the bridges which built on the rivers. In order to prevent possible destruction and irreparable damages, it is necessary to control scour by carefully examining the scouring process and applying appropriate methods. In this research, by constructing a laboratory model, the effect of using a simple spur dyke on the reducing of the scour around the bridge abutment which located on the erodible river bed was investigated. For this purpose, a spur dyke structure with certain dimensions and specified distance from the bridge abutment (according to the flow characteristics of river geometry) was used and the effect of each parameter on the scouring of the abutment was examined. Also, based on statistical analysis using the SPSS software a regression relationship achieved for estimating the scour depth around the abutment. The results of this study indicate that the protective spur dike reduced the scour depth around the bridge abutment nearly 94%. Also, the efficiency of the spur dike was directly related to its length and inversely related to its distance from the abutment.

Keywords: Single spur dyke, River, Scour, Bridge abutment

¹ Former student of Water Structure, Department of Water and Soil, Shahrood University of Technology, aminnazeri97@gmail.com

² Associate Professor, Department of Water and Environmental Engineering, Collage of Civil Engineering, Shahrood University of Technology, s_gholizadeh517@Shahroodut.ac.ir (corresponding author)

³ Associate Professor, Department of Water and Soil, Shahrood University of Technology, azhdary2005@yahoo.co.in



An experimental study of the effect of simple spur dyke on the local scour around the bridge abutment

Amin Nazeri¹, Samad Emamgholizadeh², Khalil Azhdary³

Introduction

The occurrence of scouring is one of the most important threats to the stability of the bridges which built on the rivers. In many cases, scouring can lead to the complete destruction of the bridge and cause economic and human losses. The results of studies show that scouring the bridge abutments will be much more problematic than scouring the bridge piers. Studies on the failure of 383 bridges in the United States show that in 25% of them the piers were destroyed and in 72% the abutments were destroyed. To prevent possible and irreparable damages it is necessary to control the scour by carefully examining the scouring process and using appropriate methods. Given the importance of the subject, over the years researchers have examined the use of various methods to reduce scouring. Using the geobags, vertical walls, rip-rap and collars are methods proposed by researchers to reduce scouring around the abutment. One of the methods that reduces scour around the abutment by changing the flow pattern is the construction of a spur dyke. Spur dykes are in the form of walls that are constructed in series (several spur dykes) or individually across the river and with suitable length and in most cases, perpendicular to the general direction of the flow. Spur dykes are made of stone, soil and river materials or a combination of different materials.

Methodology

The experiments were performed in a flume with a length of 12, a width of 1 and a height of 0.6 m. The length of the compound section was 6 m, which was installed at a distance of 3 to 9 m from the beginning of the channel. The main channel was made of glass and had a width of 20 and a depth of 8 cm. Both sides of the main channel were filled with a thickness of 30 cm of uniform non-cohesive natural sediments with an average diameter of $d_{50} = 1$ mm. The abutments used were made of galvanized sheet with a length of 15 cm and a semicircular nose with a diameter of 10 cm. The spur dykes used were impermeable and made of glass with a thickness of 10 mm to a height of 35 cm and variable length. The experiments were performed in clear water conditions by adjusting the flow rate and depth of the sediment to the threshold of sediment movement $U/U_C = 0.95$. Where U is the average approach velocity and U_C is the velocity threshold of sediment particles. 4 flow rates of 18, 20, 22 and 24 liters per second were selected and experiments to determine the limit of movement threshold were performed on the floodplain. Thus, 4 depths of 5, 5.5, 5.93 and 6.28 cm were obtained for the selected discharges. The length of the spur dykes was equal to 0.4, 0.5, 0.6, and 0.8, which were tested at intervals of 0.6, 0.2, 1.6, 2 and 2 from the abutment. According to the variable parameters in the experiments, 25 experiments were performed in each discharge, which together with 4 control experiments, a total of 104 experiments were performed for 4 discharges. After dimensioning the effective parameters of scour around the

¹ Former student of Water Structure, Department of Water and Soil, Shahrood University of Technology, aminnazeri97@gmail.com

² Associated professor, Department of Water and Environmental Engineering, Shahrood University of Technology, Iran, s.gholizadeh517@gmail.com (corresponding author)

³ Associate Professor, Department of Water and Soil, Shahrood University of Technology, azhdary2005@yahoo.co.in



abutment using Buckingham method, Equations 1 and 2 were obtained for the maximum scour depth occurred around the bridge abutment and around the spur dyke, respectively:

$$\frac{d_s}{y} = \left(Fr, \frac{L'}{L}, \frac{X}{L} \right) \quad (1)$$

$$\frac{d_{sp}}{y} = \left(Fr, \frac{L'}{L}, \frac{X}{L} \right) \quad (2)$$

Where y is the flow depth, Fr is the Froude number, L' is the spur dyke length, L is the abutment length, and X is the spur dyke distance from the abutment. Table 1 shows the values of these dimensionless parameters:

Table 1: Dimensionless parameter and Test values

Test values					Dimensionless parameter
0.46	0.48	0.49	0.52		Fr
2	1.6	1.2	0.8	0.6	X/L
0.8	0.7	0.6	0.5	0.4	L'/L

Discussion and Conclusion

In the present study, the effect of the presence of a simple spur dyke on the scour of the bridge abutment located in the main section of the erodible river was studied using a physical model. In all dimensions and distances tested, the presence of the spur dyke reduced scour around the abutment by at least 50%. The maximum scour reduction rate was more than 90% in all Froude numbers tested. The results of this study showed that by increasing the dimensionless length of the spur dyke (ratio of spur dyke length to abutment length), spur dyke efficiency increases in reducing scour of bridge abutment. By increasing the L'/L parameter from 0.4 to 0.8, the spur dyke efficiency has increased by an average of 17%. So that by increasing the L'/L parameter from 0.4 to 0.8, the spur dyke efficiency has increased by an average of 17%. By increasing the dimensionless distance of the spur dyke (ratio of the distance of the spur dyke from the support to the length of the support), the effect of the breaker on the support scour is reduced and the efficiency of the spur dyke decreases. So that by increasing the X/L parameter from 0.6 to 2, the spur dyke efficiency has decreased by an average of 13%. The results of this study showed that with increasing the dimensionless length of the spur dyke, although the scour of the abutment decreases, but the scour around the spur dyke increases so that by increasing the value of L'/L from 0.4 to 0.8, the value of the d_{sp}/y parameter has increased by an average of 0.48%. The distance of the spur dyke from the abutment has no significant effect on the scour around the spur dyke. Also, based on statistical analysis using SPSS software, regression equations 3 and 4 were presented to estimate the scour around the bridge abutment and the protective spur dyke, respectively.

$$\frac{d_s}{y} = 0.0188 \left(\frac{V}{\sqrt{gy}} \right)^{-7.525} \left(\frac{L'}{L} \right)^{-1.269} \left(\frac{X}{L} \right)^{0.6} \quad (3)$$

$$\frac{d_{sp}}{y} = 0.553 \left(\frac{V}{\sqrt{gy}} \right)^{-1.123} \left(\frac{L'}{L} \right)^{1.44} \left(\frac{X}{L} \right)^{0.089} \quad (4)$$

The most important references

Cardoso, A.H., Simarro, G. and Fael, C.J. 2010. Toe protection for spill-through and vertical-wall abutments. *Journal of Hydraulic Research*, 48(4): 491-498.



Emamgholizadeh, S., Nohani, E., Farhadi, F., Azhdary, K. 2017. The experimental investigation of the effect of submerged vanes on the reduction of the local scour around the bridge abutment. *Irrigation and Water Engineering*, 7(3), 1-15. [In Persian]

Khademi, K., Shafai Bajestan, M., khozeymehnehad, H. 2014. Laboratory investigation of flow pattern and scour around bridge abutment in case of using attached submerged *vane*. *Irrigation and Water Engineering*, 5(1), 56-65. [In Persian]

Korkut, R., Martinez, E.J., Morales, R., Ettema, R. and Barkdoll, B. 2007. Geobag performance as scour countermeasure for bridge abutments. *J. Hydraul. Eng*, 133(4): 431-439.

Melville, B. W. 1992. Local scour at bridge abutment. *J. Hyd. Eng, ASCE*, 118(4): 615-637.

Raudkivi, A. J. and Ettema, R. 1983. Clear-water scour at cylindrical Piers. *J. Hydraul. Eng*, 93(10): 338-350.

Mohammad Pour, S., shafai bajestan, M. 2017. Investigation of The Area of Around Bridge Abutment by A-Jacks to Protect Against Scour. *Irrigation Sciences and Engineering*, 40(1), 25-35. [In Persian]