بررسی و مقایسه عملکرد کابل و شیار درکنترل آبشستگی پایه پل

الهام ایزدی‌نیا[1*] و منوچهر حیدرپور [2]

۱*- نویسنده مسئول، دانشکده کشاورزی، گروه آب، دانشگاه صنعتی اصفهان Elham.izadinia@ag.iut.ac.ir
۲- استاد دانشکده کشاورزی، گروه آب، دانشگاه صنعتی اصفهان.

تاریخ دریافت: ۹۱/۴/۲۵ تاریخ پذیرش: ۹۱/۹/۸

چکیده

پل‌ها از جمله مهمترین سازه‌های هیدرولیکی هستند که آب‌شستگی موضعی اطراف پایه‌های آن‌ها در طول جریان‌های سیلابی یکی از عوامل تهدید پایداری آن‌ها به شمار می‌آید. بنابراین طراحی پایه‌ای که بتواند در شرایط بحرانی مقاومت نماید به گونه‌ای که توجیه اقتصادی نیز به دنبال داشته باشد به تحقیقات گسترده‌ای نیاز دارد. یکی از روش‌های اقتصادی جدید مطرح شده در کنترل آب‌شستگی پایه پل‌ها استفاده از کابل پیچیده شده به دور پایه می‌باشد. در مطالعه حاضر تأثیر زاویه پیچش کابل به دور پایه و تأثیر قطر کابل درکنترل و کاهش آب‌شستگی بررسی و با نتایج دیگر محققین مورد مقایسه قرار گرفت. علاوه بر آن استفاده از شیارکه به صورت حلزونی به دور پایه پیچیده شده است به عنوان یک روش جدید در کنترل آب‌شستگی پیشنهاد شده و عملکرد آن با کابل مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج نشان داد با افزایش قطر کابل و کاهش زاویه پیچش، میزان آب‌شستگی کاهش می‌یابد، بیشترین میزان کاهش آب‌شستگی برای پایه محافظت شده با کابل برابر ۱۳ درصد و ۱۷ درصد به ترتیب در جلو و پشت پایه به‌دست آمد. این در حالی است که شیار میزان آب‌شستگی را ۱۷ درصد و ۲۵ درصد به ترتیب در جلو و پشت پایه کاهش داد. بنابراین از مقایسه عملکرد کابل و شیار می‌توان اذعان داشت میزان عملکرد شیار در کاهش آبشستگی بیشتر می‌باشد.

کلید واژه‌ها: آب‌شستگی، آب زلال، زمان تعادل، روش حفاظتی، کابل، شیار.

Investigation and Comparison of Efficiency of Cable and Groove in Protection Against Scouring

E. Izadinia[1], M. Heidarpour[2]

1. Department of Water Engineering, Agricultural College, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.
2. Prof., Department of Water Engineering, Agricultural College, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

Received: 15 July 2012 Accepted: 28 Nov. 2012

Abstract

Scouring around the bridge pier during the flood events threaten the bridge as important hydraulic structure. Thus, designing the economical device in reducing the local scouring needs to be investigated. Cable has been introduced as new and economical countermeasure in local scouring. In the present study, different diameters and thread angles are studied through the experiments. In addition, groove is introduced in reducing the local scouring. The results show that with increasing cable diameter and decreasing thread angles the reduction of scour depth increases. The maximum scour reduction is achieved for pier protected with cable equal to 13% and 17% in front and behind of the pier respectively. While the groove is reduced scouring equal to 17% and 25% in front and behind of the pier respectively. Comparing the efficiency of cable with groove indicated that groove has higher efficiency in reduction of local scouring.

Keywords: Scouring, Clear water, Equivalent time, Protection method, Cable Groove.

مقدمه

آب‌شستگی یکی از عوامل اصلی در تخریب پایه‌های پل در رودخانه‌ها می‌باشد. معمولاً تخریب پل‌ها نه به دلایل سازه‌ای، بلکه به دلیل در نظر نگرفتن نقش عوامل هیدرولیکی در طراحی پل‌ها می‌باشد. در مطالعات انجام شده در مورد تخریب پل‌ها، سیلی که منتج به آب‌شستگی می‌شود به عنوان یکی از اصلی‌ترین دلایل شکست پل‌ها شناخته شده است.

لاگاسی و ریچاردسون[1] (۲۰۰۱) علت تخریب پل‌ها را در ایالات متحده، پدیده آب‌شستگی موضعی و عمومی دانسته‌اند. چیو و لیم[2] (۲۰۰۳) و چیو[3] (۲۰۰۴) چند مورد از شکست پل‌ها را در جنوب تایوان و دی و باربهیویا[4] (۲۰۰۴) تخریب پل‌ها در نیوزیلند را به علت پدیده آب‌شستگی گزارش نمودند. فرهادزاده (۱۳۸۷) تخریب ۹۳۹۲ پل را به علت آب‌شستگی در پایه، تکیه‌گاه و آب‌شستگی انقباضی در ایران گزارش کرد.

تخریب پل‌ها درست در زمانی که نیاز مبرم به آن‌ها می‌باشد رخ می‌دهد. لذا برای طراحی پل، شناخت پدیده آب‌شستگی و به‌کار بردن تمهیدات لازم برای کاهش و کنترل آن بسیار ضروری است.

الگوی جریان در اطراف پایه‌های پل بسیار پیچیده بوده که این پیچیدگی با تشکیل حفره آب‌شستگی در اطراف پایه تشدید می‌گردد.

گردابه‌ها در اطراف پایه باعث حفر گودالی در اطراف پایه‌ها شده که حفره آب‌شستگی نامیده می‌شود. توسعه این گودال در اطراف پایه‌ها باعث خالی شدن زیر پی‌ها و در نتیجه خرابی پل می‌گردد. دو عامل اساسی در پیدایش گودال آب‌شستگی یکی برخورد جریان رو به پایین به پایه و دیگری جداشدن جریان از پایه پل می‌باشد. الگوی جریان تشکیل شده در اطراف پایه به طور مستقیم یا غیر مستقیم تحت تأثیر این دو عامل می‌باشد. برخورد جریان به پایه گرداب نعل اسبی را تشکیل می‌دهد. این گرداب در دو طرف پایه امتداد یافته و شکلی شبیه نعل اسب پدید می‌آورد. تشکیل گرداب نعل اسبی در داخل حفره آب‌شستگی باعث تسریع حفر گودال شده و ذرات جدا شده از بستر توسط جریان اصلی رودخانه به پایین‌دست حمل می‌شود. این گرداب در شروع آب‌شستگی بسیار ضعیف بوده و فرآیند آب‌شستگی تحت تأثیر جریان رو به پایین می‌باشد، به تدریج با تشکیل گودال آب‌شستگی، قدرت این گرداب افزایش می‌یابد.

به دلیل ایجاد منطقه کم فشار در پایین‌دست و کنار پایه، جریان به صورت لایه‌های برشی چرخان که در سطح پایه ایجاد می‌شود، از پایه جدا شده و تشکیل گردابه‌هایی را می‌دهد که محورشان تقریباً عمود بر کف بوده و مانند گردباد ذرات رسوت را از پایین به سمت بالا می‌کشد. این ذرات توسط گرداب‌های جدا شده از پایه به پایین دست حمل می‌شوند. به این گرداب‌ها، گرداب‌های برخاستگی گفته می‌شود(کیخائی، ۱۳۸۵).

روش‌های کنترل و کاهش آب‌شستگی بر حسب نوع مقابله آن‌ها با مکانیسم آب‌شستگی را می‌توان در دو دسته کلی تقسیم‌بندی نمود:

۱- بالا بردن مقاومت مواد بستر در برابر فرسایش که این عمل غالباً با قرار دادن یک لایه محافظ از مواد با دانه‌بندی درشت یا سنگ‌چین در اطراف پایه انجام می‌گیرد.

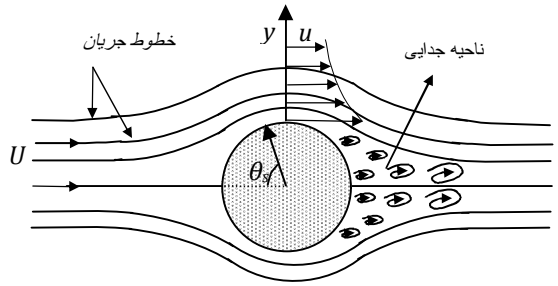
۲- کاهش قدرت عوامل فرسایش یعنی جریان روبه‌پایین و گرداب نعل‌اسبی است. معمولاً برای این منظور ابزاری در اطراف پایه نصب می‌گردد تا موجب انحراف جریان در اطراف پایه گشته و از شدت فرسایش در نزدیک پایه جلوگیری به عمل آید (تفرج‌نوروز و همکاران، ۲۰۱۰).

در چند دهه اخیر محققین زیادی در سراسر دنیا روش‌های مختلف محافظت از آب‌شستگی پایه‌های پل را مطالعه کرده‌اند. از جمله روش‌های به کار رفته در کنترل آب‌شستگی، استفاده از طوق در اطراف پایه می‌باشد. طوق عبارت است از یک صفحه تخت با ضخامت کم که در تراز بستر یا نزدیک آن روی پایه نصب شده و در مقابل جریان رو به پایین و گرداب نعل اسبی مقاومت می‌نماید و باعث کاهش آب‌شستگی در اطراف پایه می‌گردد. تاناکا و یانو[5] (۱۹۶۷)، چیو[6] (۱۹۹۲)، زراتی و همکاران (۲۰۰۴) و مونکادا و همکاران[7] (۲۰۰۹) نشان دادند با افزایش قطر طوق راندمان آن در کاهش آب‌شستگی افزایش می‌یابد. زراتی و همکاران (۲۰۰۶) بیان داشتند طوق با قطر بیشتر از سه برابر قطر پایه غیرکاربردی می‌باشد.

ایجاد شکاف در پایه به عنوان راه حلی در کاهش گرادیان فشار بین سطح آب و بستر و همچنین کاهش قدرت جریان رو به پایین پیشنهاد شده است. چیو (۱۹۹۲)، کومار و همکاران[8] (۱۹۹۹) و حیدرپور (۲۰۰۲) تأثیر ایجاد شکاف در بدنه پایه‌های استوانه‌ای منفرد بر پدیده آب‌شستگی را مورد بررسی قرار دادند. از جمله محدودیت‌های وارد بر شکاف آن است که راندمان شکاف برای

1- Lagasse and Richardson
2- Chiew and Lim
3- Chiew
4- Dey and Barbhuiya

5- Tanaka and Yano
6- Chiew
7- Moncada et al.
1- Kummar et al.



شکل ۱- طرح شماتیک الگوی جریان اطراف پایه

جریان‌های زاویه‌دارکاهش یافته همچنین وجود شکاف باعث کاهش استقامت و پایداری پایه پل می‌گردد.

استفاده از کابل‌های پیچیده شده به دور پایه برای اولین بار توسط دی و همکاران[1] (۲۰۰۶) به عنوان یک روش اقتصادی، ساده و قابل اجرا در کنترل و کاهش آب‌شستگی پیشنهاد گردید. در این روش کابل به صورت حلزونی به دور پایه پیچیده شده و منجر به تضعیف جریان روبه‌پایین و قدرت گردابه‌های نعل‌اسبی می‌گردد. دی و همکاران (۲۰۰۶) کارایی کابل پیچیده شده به دور پایه را در دو شرایط جریان موجدار و جریان پایدار مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها آزمایش‌هایی را در شرایط جریان پایدار در کانالی به طول ۲۰ متر، عرض ۰/۹ متر و عمق ۰/۷ متر با قطر پایه برابر ۲۰ سانتی‌متر و اندازه متوسط ذرات برابر با ۰/۲۶ میلی‌متر انجام دادند، نتایج آن‌ها نشان داد با افزایش قطر کابل و تعداد کابل‌های پیچیده شده به دور پایه و کاهش زاویه کابل‌ها میزان آب‌شستگی کاهش می‌یابد. تفرج نوروز و همکاران (۲۰۱۰) به بررسی تحقیقات پیشین پرداختند و نواقص برخی از مطالعات صورت گرفته را بیان نمودند. آن‌ها اذعان داشتند نتایج مطالعه دی و همکاران (۲۰۰۶) قابل اعتماد نبوده زیرا قطر انتخابی آن‌ها برای پایه، نسبت به عرض کانال بزرگ بوده و نسبت فاصله محور پایه تا دیواره کانال به قطر پایه که باید بزرگتر از ۶/۲۵ باشد رعایت نشده است بنابراین نتایج آن‌ها تحت تأثیر اثر جداره کانال قرار گرفته است. از طرف دیگر قطر ذرات انتخابی آن‌ها ۰/۲۶ میلی‌متر بوده که با وجود این قطر ذره شرایط آب زلال برقرار نبوده و ریپل در بستر شکل می‌گیرد.

به طورکلی زبری‌های سطحی سبب تبدیل لایه مرزی آرام به لایه مرزی آشفته می‌گردد. به عبارت دیگر لایه مرزی عبوری از یک سطح زبر در مقایسه با یک سطح صاف در یک شرایط یکسان سریع تر از حالت آرام به آشفته تبدیل می‌گردد. به‌طور دقیق‌تر برای یک سطح زبر انتقال لایه مرزی از حالت آرام به آشفته در اعداد رینولدز پایین‌تری اتفاق می‌افتد.

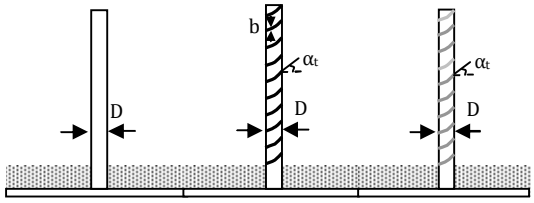
در مطالعه حاضر عدد رینولدز پایه برابر ۱۲۰۰۰=Re=VD/γ (V: سرعت جریان، D: قطر پایه و γ: لزجت سینماتیکی) و عدد رینولدز بحرانی (Re_{crit}) ذکر شده برای یک استوانه برابر ۴×۱۰^{۵} می‌باشد. زمانی‌که $Re < Re_{crit}$ باشد جریان عبوری یک جریان آرام می‌باشد و خطوط جریان در زاویه‌ای در حدود ۵۵ درجه (θs درشکل ۱) سطح جسم را ترک می‌کند. با زبر کردن سطح جسم جریان آرام به آشفته تبدیل شده و باعث تأخیر در جدایی جریان می‌گردد. این امر سبب می‌شود ناحیه جدایی جریان کاهش یافته و از قدرت گردابه‌های برخاستگی در پشت جسم کاسته شود.

هدف از مطالعه، استفاده از زبری‌های موضعی در زبر کردن پایه در جهت کاهش آب‌شستگی به عنوان روشی جدید و کارآمد در کنترل آب‌شستگی در اطراف پایه می‌باشد. برای این منظور از دو روش برای زبر کردن پایه استفاده می‌گردد: ۱) ایجاد برآمدگی روی سطح پایه (استفاده از کابل)، ۲) ایجاد فرورفتگی روی سطح پایه (استفاده از شیار). در این تحقیق تأثیر قطر کابل و زاویه پیچش کابل به دور پایه در کنترل و کاهش آب‌شستگی مورد ارزیابی قرار گرفته و با رفع نواقص ذکر شده در مطالعه دی و همکاران (۲۰۰۶)، راندمان صحیح کابل مورد ارزیابی قرار می‌گیرد، علاوه بر آن زوایای مختلف شیار به دور پایه مورد بررسی قرار گرفته و بهترین زاویه پیچش معرفی می‌گردد، همچنین کارایی کابل و شیار در کنترل و کاهش آب‌شستگی مورد مقایسه قرار خواهد گرفت.

2- Dey et al.



(الف)



(ب)

شکل ۲-الف) نمایی از کانال آزمایشگاهی و منطقه انجام آزمایش‌ها، ب)مدل‌های آزمایشگاهی، ۱) تک‌پایه، ۲)پایه با کابل، ۳) پایه با شیار

مواد و روش‌ها

آزمایش‌های این تحقیق در آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه صنعتی اصفهان در کانالی از جنس فایبرگلاس شیشه‌ای به طول ۸ متر، عرض ۰/۴ متر و ارتفاع ۰/۶ متر انجام شد. توسعه‌یافتگی جریان با برداشت پروفیل‌های سرعت از ابتدای کانال تعیین گردید. محل انجام آزمایش‌ها دارای طول ۱/۶ متر و در فاصله ۴ متری از ابتدای کانال قرار داشت تا توسعه‌یافتگی جریان در محل آزمایش‌ها برقرار باشد. در بالادست و پایین‌دست این محل سکوهایی از جنس تفلون به طول ۱متر و ارتفاع ۰/۱۵ متر نصب گردید(شکل ۲).

طبق نظر رودکیوی و اتما[1] (۱۹۸۳) برای جلوگیری از تشکیل ریپل در طول آزمایش باید قطر متوسط ذرات بیش از ۰/۷ میلی‌متر باشد. چیو و ملویل[2] (۱۹۸۷) بیان نمودند زمانی‌که انحراف معیار هندسی ذرات کمتر از ۱/۳ می‌باشد می توان از تأثیر غیریکنواختی ذرات بر عمق آب‌شستگی صرف‌نظر کرد. بنابراین طبق معیارهای فوق فاصله بین سکوها به وسیله رسوبات غیر چسبنده و با قطر متوسط ۰/۷۲ میلی‌متر، وزن مخصوص ۲/۶۵ و انحراف معیار هندسی ۱/۱۲ پرگردید. برای ثابت ماندن خصوصیات جریان در طول کانال از جنس رسوب انتخاب شده برای محل آزمایش روی سکوها چسبانده شد.

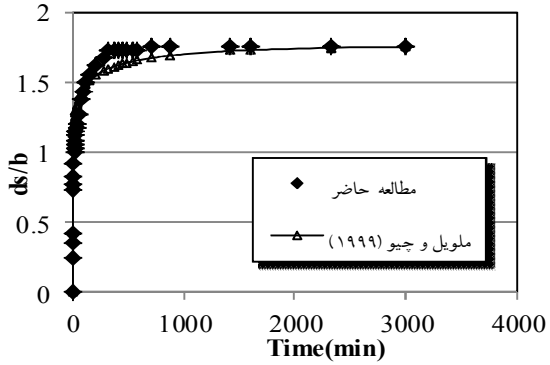
چیو و ملویل (۱۹۸۷) معیاری را برای صرف‌نظر کردن تأثیر دیواره کانال بر عمق آب‌شستگی ارائه نمودند، آن‌ها بیان کردند قطر پایه نباید بیش از ۱۰ درصد عرض کانال باشد تا بتوان از اثر جداره کانال صرف‌نظر نمود. طبق این معیار قطر پایه ۴ سانتی‌متر انتخاب گردید. در مطالعه حاضر نسبت قطر پایه به قطر متوسط ذرات برابر ۵۵/۵ می‌باشد. چیو و ملویل (۱۹۸۷) اذعان کردند زمانی‌که نسبت قطر پایه به قطر متوسط ذرات بیش از ۵۰ باشد می‌توان از تأثیر قطر ذرات بر عمق آب‌شستگی صرف‌نظر نمود.

از آن‌جا که حداکثر عمق آب‌شستگی در شرایط جریان آب زلال و آستانه حرکت ذرات رخ می‌دهد، همه آزمایش‌ها در این شرایط صورت گرفت. آستانه حرکت ذرات با انجام آزمایش در زمانی‌که پایه در کانال نصب نشده است تعیین می‌گردد. آستانه حرکت ذرات به شرایطی گفته می‌شود که با وجود حرکت ذرات ریز، سطح بستر بیش از ۲-۳ میلی‌متر در طول آزمایش تغییر نکند. در این آزمایش پروفیل سرعت به منظور تعیین شرایط جریان برداشت گردید. این آزمایش نشان داد با عمق جریان ۰/۱۶ متر ودبی ۱۹/۲ لیتر بر ثانیه ذرات بستر در آستانه حرکت قرار می‌گیرند. در این شرایط سرعت برشی به سرعت برشی بحرانی برابر ۰/۹ به‌دست آمد.

1- Raudkivi and Ettema
2- Chiew and Melville

جدول ۱- خلاصه آزمایش‌ها

ردیف	مدل آزمایشگاهی	قطر کابل/شیار (میلی‌متر)	زاویه پیچش(درجه)
۱	تک‌پایه	–	–
۲	پایه با کابل	۲	۱۵و ۳۰ و۴۵
۳	پایه با کابل	۴	۱۵و ۳۰ و۴۵
۴	پایه با کابل	۶	۱۵و ۳۰ و۴۵
۵	پایه با شیار	۲	۱۵و ۳۰ و۴۵



شکل ۳- توسعه زمانی آب‌شستگی تک‌پایه

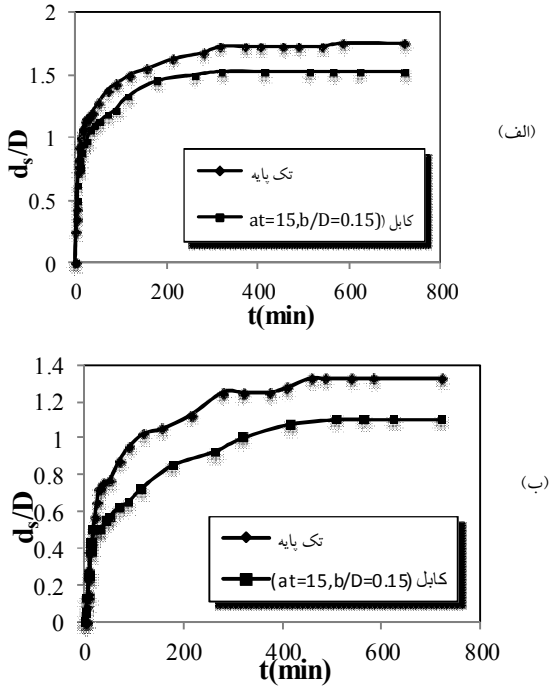
به منظور بررسی تأثیر اندازه کابل بر کنترل و کاهش آب‌شستگی از نه مدل متفاوت استفاده شد. سه قطر متفاوت کابل قابل انعطاف به قطر ۲، ۴ و ۶ میلی‌متر مورد آزمایش قرار گرفت. کابل به صورت حلزونی تحت زاویه مشخص به دور پایه‌ها پیچیده شد. به منظور تعیین زاویه بهینه، کابل‌پیچی به دور پایه در سه زاویه ۱۵ ، ۳۰ و ۴۵ درجه (α_tدر شکل ۲) صورت گرفت. به منظور بررسی اثر شیار بر کنترل و کاهش آب-شستگی از سه مدل متفاوت استفاده شد. شیاری به قطر ۲ میلی‌متر در سه زاویه ۱۵ ، ۳۰ و ۴۵ درجه (α_tدر شکل ۲) به صورت حلزونی بر روی پایه تراش داده شد. شکل(۱) مدل‌های آزمایش را نشان می‌دهد. برای مقایسه نتایج روش‌های حفاظتی و تعیین راندمان آن‌ها، آزمایشی بر روی تک‌پایه بدون ابزار حفاظتی به عنوان آزمایش مرجع صورت گرفت. جدول (۱) خلاصه‌ای از آزمایش‌های صورت گرفته را نشان می‌دهد. با مروری بر مطالعات صورت گرفته مشخص می‌شود که محققین معیارهای مختلفی را برای زمان تعادل آب‌شستگی به‌کار برده‌اند. کومار و همکاران (۱۹۹۹) زمانی را به عنوان زمان تعادل آب شستگی در نظر گرفت که سه ساعت پس از آن، عمق آب‌شستگی کمتر از ۱ میلی‌متر تغییر کند. میا و ناگو[1] (۲۰۰۳) زمانی را که یک ساعت پس از آن، عمق آبشستگی کمتر از یک میلی‌متر تغییر کند را به‌عنوان زمان تعادل آبشستگی انتخاب کردند. ملویل و چیو[2] (۱۹۹۹) تعریف جدیدی برای زمان تعادل ارائه دادند. طبق تعریف آنها زمان تعادل، به قطر پایه بستگی دارد و زمانی است که در آن حفرهٔ آب‌شستگی تا عمقی توسعه یابد که سرعت افزایش آب‌شستگی در آن بیشتر از پنج درصد قطر پایه در طول ۲۴ ساعت متوالی نباشد. آن‌ها معادله زیر را برای تعیین رمان تعادل آب‌شستگی در شرایط جریان آب زلال ارائه دادند:

$$\frac{d_s}{d_{se}} = \exp\left\{-0.03\left|\frac{u}{U_c}\ln\frac{t}{t_e}\right|^{1/6}\right\} \qquad (۱)$$

که در آن d_s: عمق آب‌شستگی، d_{se}: عمق آب‌شستگی در زمان تعادل، u: سرعت جریان، U_c: سرعت جریان بحرانی، t: زمان، t_e: زمان تعادل می‌باشد. در تحقیق حاضر به منظور تعیین زمان تعادل آب‌شستگی، یک آزمـایش طولانی مدت با استفاده از معیار ملویل و

1- Mia and Nago

2- Melville and Chiew



شکل ۴- توسعه زمانی آب‌شستگی تک‌پایه و پایه محافظت شده باکابل(α_t =15,b/D=0.15)، الف) جلوی پایه، ب) پشت پایه

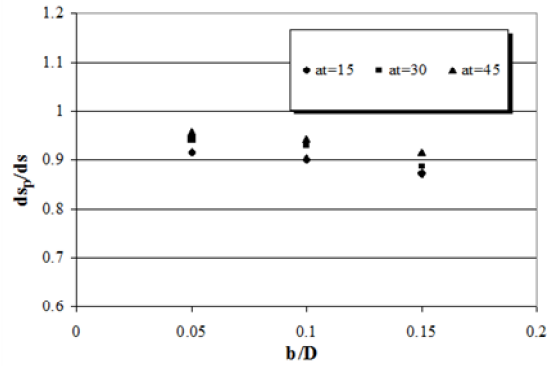
چیو (۱۹۹۹) به مدت ۵۲ ساعت، روی تک‌پایه بدون کابل و شیار صورت گرفت. در شکل (۳) توسعه زمان آب‌شستگی به‌دست آمده از نتایج آزمایش‌ها و معادله (۱) مورد مقایسه قرار گرفته است. با توجه به شکل عمق آب‌شستگی با زمان افزایش یافته و داده‌های آزمایشی با معادله (۱) مطابقت مناسبی را به ویژه در زمان تعادل نشان می‌دهد. ینماز و آلتین‌بلنک[1] (۱۹۹۱) و میا و ناگو (۲۰۰۳) نشان دادند که بیشترین مقدار آب‌شستگی پس از گذشت ۳ تا ۴ ساعت از شروع آزمایش اتفاق می‌افتد. با توجه به شکل (۳) مشخص گردید که ۹۵ درصد از عمق تعادل آب‌شستگی پس از گذشت ۴/۵ ساعت از شروع آزمایش به‌دست می‌آید. از این رو معمولاً زمان انجام آزمایش‌ها کمتر از زمان تعادل آب‌شستگی انتخاب می‌گردد. در این تحقیق به منظور مقایسه روش‌های مختلف کنترل آب‌شستگی زمان ۱۲ ساعت به عنوان زمان توقف آزمایش‌ها در نظر گرفته شد.

نتایج و بحث

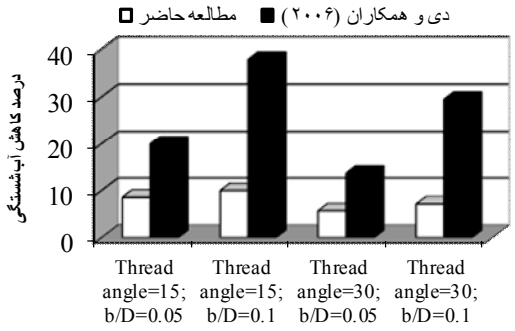
شکل (۴) توسعه زمانی آب‌شستگی در تک‌پایه و پایه محافظت شده با کابل در جلو و پشت پایه را نشان می‌دهد. محور افقی، زمان بر حسب دقیقه از شروع آزمایش و در محور عمودی، نسبت عمق آب‌شستگی به قطر پایه آورده شده است. همان‌طور که مشخص است علاوه بر آن‌که عمق آب‌شستگی در جلوی پایه بیش از پشت پایه است، شدت آب‌شستگی در جلوی پایه نیز بیشتر می‌باشد. آب‌شستگی در اثر جریان رو به پایین در هر دو حالت تک‌پایه و پایه محافظت شده با کابل از جلوی پایه شروع شده و به سمت پایین‌دست پایه توسعه می‌یابد. کابل پیچیده شده به دور پایه از قدرت جریان روبه پایین می‌کاهد و از آن‌جا که گردابه‌های نعل اسبی در اثر جریان روبه پایین به وجود می‌آیند، گردابه‌های نعل اسبی ضعیف‌تر شده و از شدت آب‌شستگی و همچنین عمق آب‌شستگی کاسته می‌شود. وجود کابل پیچیده شده به دور پایه زبری پایه را افزایش داده و باعث تأخیر جدایی جریان در پشت پایه می‌گردد. این امر باعث کاهش قدرت گردابه‌های برخاستگی در پشت پایه شده در نتیجه راندمان کابل در کاهش آب‌شستگی در پشت پایه بیش از جلوی پایه می‌باشد.

شکل (۵) تأثیر قطر کابل و زاویه پیچش کابل به دور پایه را نشان می‌دهد. با توجه به شکل با کاهش زاویه پیچش کابل میزان آب‌شستگی کاهش یافته، همچنین افزایش قطر کابل نیز باعث افزایش راندمان کابل در کاهش آب‌شستگی می‌شود. همان‌طور که مشخص است با افزایش قطر کابل تأثیر زاویه پیچش نیز افزایش

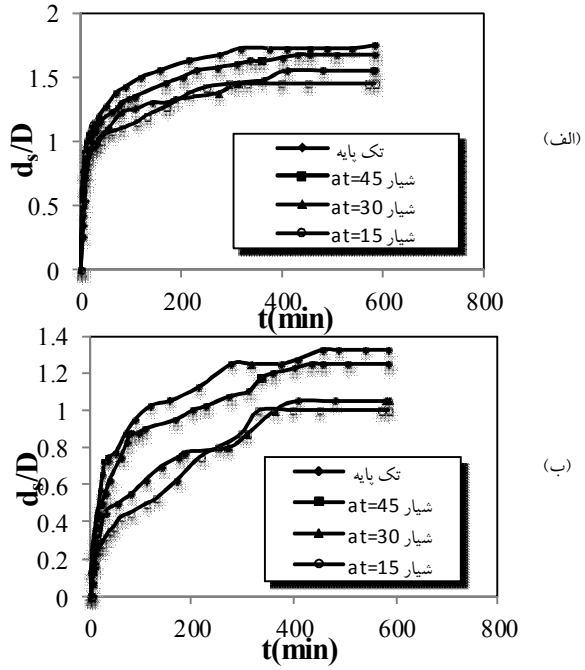
1- Yanmaz and Altinbilek



شکل ۵- بررسی تأثیر قطر کابل و زاویه پیچش کابل



شکل ۶- مقایسه نتایج تحقیق حاضر با مطالعه دی و همکاران (۲۰۰۶)



شکل ۷- توسعه زمانی آب‌شستگی را برای تک‌پایه و پایه محافظت شده با شیار، الف) جلوی پایه، ب) پشت پایه

جدول ۲- راندمان روش‌های مختلف حفاظتی

روش حفاظتی	زاویه پیچش(α_t) (نسبت قطر کابل به قطر پایه(b/D))	راندمان در جلوی پایه (٪)	راندمان در پشت پایه (٪)
کابل	α_t=۱۵°; b/D=۰/۰۵	۹	۱۱
	α_t=۱۵°; b/D=۰/۱	۱۰	۱۵
	α_t=۱۵°; b/D=۰/۱۵	۱۳	۱۷
	α_t=۳۰°; b/D=۰/۰۵	۶	۵
	α_t=۳۰°; b/D=۰/۱	۷	۱۱
	α_t=۳۰°; b/D=۰/۱۵	۱۱	۱۳
	α_t=۴۵°; b/D=۰/۰۵	۴	۲
	α_t=۴۵°; b/D=۰/۱	۶	۵
	α_t=۴۵°; b/D=۰/۱۵	۸	۹
شیار	α_t=۱۵°	۱۷	۲۵
	α_t=۳۰°	۱۱	۲۱
	α_t=۴۵°	۴	۶

می‌یابد، به‌طوری‌که در نسبت قطر کابل به قطر پایه ۰/۱۵ با کاهش زاویه پیچش از ۴۵ به ۱۵ درجه راندمان کابل در حدود ۳۸ درصد و ۴۷ درصد به ترتیب در جلو و پشت پایه افزایش می‌یابد. کاهش زاویه پیچش و افزایش قطر کابل باعث افزایش تأثیر زبری‌های موضعی گشته که این امر سبب تضعیف جریان روبه پایین و گردابه‌های نعل اسبی و همچنین گردابه‌های برخاستگی گشته در نتیجه راندمان کابل افزایش می‌یابد.

مقایسه نتایج تحقیق حاضر با مطالعه دی و همکاران (۲۰۰۶) در شکل (۶) آورده شده است. همان‌طور که مشخص است روند تغییرات دو تحقیق یکسان بوده یعنی با افزایش قطر کابل و کاهش زاویه پیچش راندمان کابل افزایش می‌یابد. در مطالعه دی و همکاران پایه می‌باشد که علت آن کاهش قدرت گردابه‌های برخاستگی در اثر به تأخیر افتادن جدایی جریان در پشت پایه می‌باشد. با توجه به آنکه کاهش آب‌شستگی در پشت پایه بیش از جلوی پایه می‌باشد می‌توان بیان نمود، زبری‌های موضعی قدرت گردابه‌های برخاستگی را بیش از جریان رو به پایین کاهش می‌دهد.

در جدول (۲) راندمان روش‌های مختلف حفاظتی در جلو و پشت پایه مورد مقایسه قرار گرفته است. راندمان کابل در بهترین حالت (زاویه پیچش ۱۵ درجه و قطر کابل ۶ میلی‌متر) در جلوی پایه در حدود ۱۳ درصد و پشت پایه در حدود ۱۷ درصد به‌دست آمد. این در حالی است که راندمان شیار در بهترین حالت (زاویه پیچش ۱۵ درجه) در جلوی پایه ۱۷ درصد و در پشت پایه در حدود ۲۵ درصد بدست آمد. بنابراین استفاده از شیار به جای کابل پیچیده شده به دور پایه در کنترل و کاهش آب‌شستگی مؤثرتر می‌باشد. در واقع می‌توان بیان نمود ایجاد فرورفتگی به جای برآمدگی تأثیر بیشتری در زبر کردن (۲۰۰۶) راندمان بالایی (۳۸ درصد در زاویه پیچش ۱۵ درجه و نسبت قطر کابل به قطر پایه ۰/۱) برای کابل ذکر شده است که به علت تأثیر دیواره کانال و همچنین تشکیل ریپل‌ها در بستر این راندمان بالا قابل اطمینان نمی‌باشد.

شکل (۷) توسعه زمانی آب‌شستگی را برای تک‌پایه و پایه محافظت شده با شیار در زوایای پیچش ۱۵، ۳۰ و ۴۵ درجه در جلو و پشت پایه نشان می‌دهد. به‌طورکلی میزان آب‌شستگی در جلوی پایه بیش از پشت پایه می‌باشد. با توجه به شکل می‌توان اذعان داشت که شیار در کنترل و کاهش آب‌شستگی مؤثر بوده و با کاهش زاویه پیچش به علت افزایش زبری‌های موضعی راندمان شیار افزایش می یابد. همچنین میزان کاهش آب‌شستگی در پشت پایه بیش از جلوی پایه و در نتیجه کاهش قدرت گردابه‌های مخرب در آب شستگی خواهد داشت.

نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر از دو روش متفاوت برای زبر نمودن پایه به منظور کنترل و کاهش آب‌شستگی استفاده شده است. نتایج نشان داد که کابل پیچیده شده به دور پایه در کاهش آب‌شستگی مؤثر بوده و با کاهش زاویه پیچش و افزایش قطر کابل راندمان کابل در حدود ۳۸ درصد و ۴۷ درصد به ترتیب در جلو و پشت پایه افزایش می‌یابد. همچنین با به‌کاربردن شیار به جای کابل مشخص گردید شیار نیز باعث کاهش آب‌شستگی گشته و با کاهش زاویه پیچش راندمان آن در حدود ۷۶ درصد در جلو و پشت پایه افزایش می‌یابد. از مقایسه راندمان دو روش مشخص شد کارایی شیار در کاهش آب‌شستگی بیش از کابل بوده و در بهترین حالت میزان آب‌شستگی را ۱۷ درصد

و ۲۵ درصد به ترتیب در جلو و پشت پایه کاهش می‌دهد. بنابراین می‌توان از این روش به عنوان یک روش اقتصادی در کنترل و کاهش آب‌شستگی استفاده کرد.

منابع

۱- فرهادزاده، ع. ۱۳۸۷. ارزیابی نشست پایه پل‌ها در استان مازندران. پایان نامه کارشناسی ارشد عمران، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تربیت مدرس تهران.

۲- کیخائی، م. ۱۳۸۵. حفاظت بستر رودخانه در مقابل آب‌شستگی موضعی در محل احداث گروه پایه‌های استوانه‌ای. پایان نامه کارشناسی ارشد گروه آب، دانشکده مهندسی کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان.

3- Chiew, Y. M. and B. W. Melville. 1987. Local scour around bridge piers. Journal of Hydraulic Research, 25(1):15-26.

4- Chiew, Y. M. 1992. Scour protection at bridge piers. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 118(11):1260-1269.

5- Chiew, Y. M. and S. Lim. 2003. Protection of bridge piers using a sacrificial sill. Water Maritime Engineering Journal, 156(1):53-62.

6- Chiew, Y. M. 2004. Local scour and riprap stability at bridge piers in a degrading channel. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 130(3):218-226.

7- Dey, S. and A.K. Barbhuiya. 2004. Clear-water scour at abutments in thinly armored beds. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 130(7):622-634.

8- Dey, S., Sumer, B. M., and J. Fredsøe. 2006. Control of scour at vertical circular piles under waves and current. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 132(3): 270-279.

9- Heidarpour, M. 2002. Control and reduction of local scour at bridge piers by using slot. Proceeding River Flow, Louvain, Belgium, 2002, 2:1069-1072.

10- Kummar, V., Ranga Raju, K. G., and N. Vittal. 1999. Reduction of local scour around bridge piers using slot and collar. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 125(12): 1302–1305.

11- Lagasse, P.F. and E.V. Richardson. 2001. Compendium of stream stability and bridge scour paper. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 127:891-904.

12- Melville, B. W. and Y. M. Chiew. 1999. Time scale for local scour at bridge piers. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 125(1): 59–65.

13- Mia, F. and H. Nago. 2003. Design Method of Time-Dependent Local Scour at Circular Bridge Pier. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 117(7): 891-904.

14- Moncada M, A. T., Aguirre-PE, J., Bolívar, J. C., and E. J. Flores. 2009. Scour protection of circular bridge piers with collars and slots. Journal of Hydraulic Research, 47(1): 119–126.

15- Raudkivi, A. J., and R. Ettema. 1983. Clear-water scour at cylindrical piers. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 109(3):338-350.

16- Tafarojnoruz A., Gaudio R., and S. Dey. 2010. Flow-altering countermeasures against scour at bridge piers: a review, Journal of Hydraulic Research, 48(4):441–452.

17- Tanaka, S., and M. Yano. 1967. Local scour around circular cylinder. Proceeding XII IAHR Congress, Fort Collins, Colorado, 3: 125-134.

18- Yanmaz, A. M., and H. D. Altinbilek. 1991. Study of time-dependent local scour around bridge piers. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 117(10):1247–1268.

19- Zarrati, A. R., Gholami, H., and M. B. Mashahir. 2004. Application of collar to control scouring around rectangular bridge piers. Journal of Hydraulic Research, 42(1): 97–103.

20- Zarrati, A. R., Nazariha, M., and M. B. Mashahir 2006. Reduction of Local Scour in the Vicinity of Bridge Pier Groups Using Collars and Riprap. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 132(2):154-162.