Investigation of control methods on local scouring around the bridge piers

H. Shariati[1], S.R. Khodashenas[2*]

1,2- PhD student of Water Engineering- water structures & Associate Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Ferdowsi University of Mashhad, Iran.

*(Corresponding author Email: khodashenas@ferdowsi.um.ac.ir)

Received: 27-10-2014
Accepted: 19-2-2015

Abstract

Scouring is the removal of sediment particles resulted from variations of flow pattern. Local scour is considered among the reasons of instability and ultimately failure of bridges. During the past decades, different methods were proposed against local scour at bridge piers. These methods can be broadly classified into two categories: flow-altering and bed-armoring methods. Each method can be classified into different groups based on their shapes and performances. In this paper, a comprehensive investigation on the studies of various methods against local scour, combination methods in experimental conditions and limitations in field applications were carried out. Also, suggestions were presented for further research on selecting methods for controlling local scour around bridge piers.

Keywords: scour, bridge pier, local scour controlling methods.

بررسی روش‌های کنترل آبشستگی موضعی اطراف پایه پل

حسین شریعتی[۱]، سعیدرضا خداشناس[۲*]

۱و۲- به ترتیب دانشجوی دکتری سازه‌های آبی و دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد

*(نویسنده مسئول، E-Mail:khodashenas@ferdowsi.um.ac.ir)

تاریخ دریافت: ۹۳/۸/۵
تاریخ پذیرش: ۹۳/۱۱/۳۰

چکیده

جابجایی ذرات رسوب ناشی از تغییر شکل الگوی جریان، آبشستگی نامیده می‌شود. این پدیده یکی از دلایل ناپایداری و در نهایت تخریب پل‌ها به شمار می‌رود. در طول دهه‌های گذشته روش‌های مختلفی برای مقابله با آبشستگی پایه پل پیشنهاد شده است. به طور خلاصه، این روش‌ها را می‌توان به دو دسته کلی روش‌های تغییر الگوی جریان و روش‌های مقاوم‌سازی ذرات بستر تقسیم کرد. هر کدام از این روش‌ها بر اساس شکل و عملکردشان به گروه‌های مختلفی تقسیم می‌شوند. در این مقاله به بررسی جامعی از مطالعات انجام شده بر روی انواع روش‌های مقابله با آبشستگی، کاربرد توام روش‌ها در شرایط آزمایشگاهی متفاوت و محدودیت‌های اجرایی روش‌ها پرداخته شده و پیشنهاداتی برای تحقیقات بیشتر جهت انتخاب روش مناسب برای کنترل آبشستگی ارائه گردیده است.

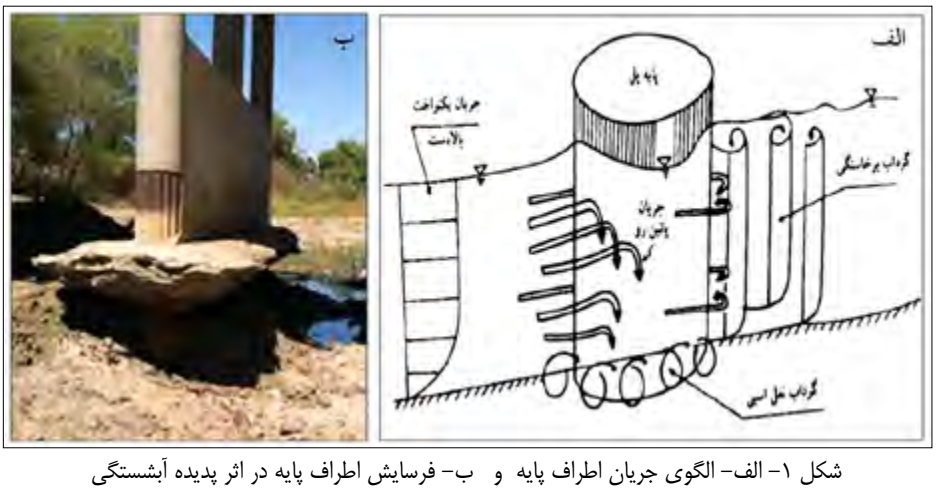
واژه‌های کلیدی: آبشستگی، پایه پل، روش‌های کنترل آبشستگی.

مقدمه

مطالعات انجام شده نشان می‌دهند، یکی از اصلی‌ترین دلایل تخریب پل‌ها پدیده‌ی آبشستگی است که علاوه بر تلفات جانی، سبب هزینه‌های زیادی می‌شود. این پدیده به مرور زمان باعث می‌شود اطراف پایه‌های پل خالی شده و در نهایت به خالی شدن زیر پی و تخریب پل می‌انجامد. طبق آمار ارائه شده، در ایران مشکل آبشستگی موضعی در پایه‌های پل عامل اصلی تخریب آن‌ها می‌باشد (خادم، ۱۳۸۱). تحقیقات انجام شده در هشت منطقه و استان کشور نشان می‌دهد که ۴۲٪ از پل‌های این محدوده دچار آبشستگی شده‌اند. همچنین نتایج آمار بدست آمده نشان می دهد که از تعداد کل پل‌ها که نیاز به مرمت و تعمیر دارند، ۵۷٪ آنها به جهت آبشستگی نیاز به تعمیرات دارند (خادم، ۱۳۸۱). با توجه به اهمیت موضوع، در این مقاله ضمن بررسی مکانیزم آبشستگی در پایه پل به بررسی روش‌های مقابله با این پدیده و محدودیت‌ها و مشکلات روش‌ها پرداخته شده است.

آبشستگی پایه پل

آبشستگی پدیده‌ای است که در اثر فرسایش بستر توسط جریان آب وحمل مواد بستر توسط نیرویی که این جریان به مواد بستر وارد می‌کند، به وجود می‌آید. به طور کلی برخورد جریان به پایه با تشکیل گرداب نعل اسبی و جدا شدن جریان با تشکیل گرداب برخاستگی، دو عامل اصلی در ایجاد آبشستگی در اطراف پایه پل می‌باشند (شکل۱).

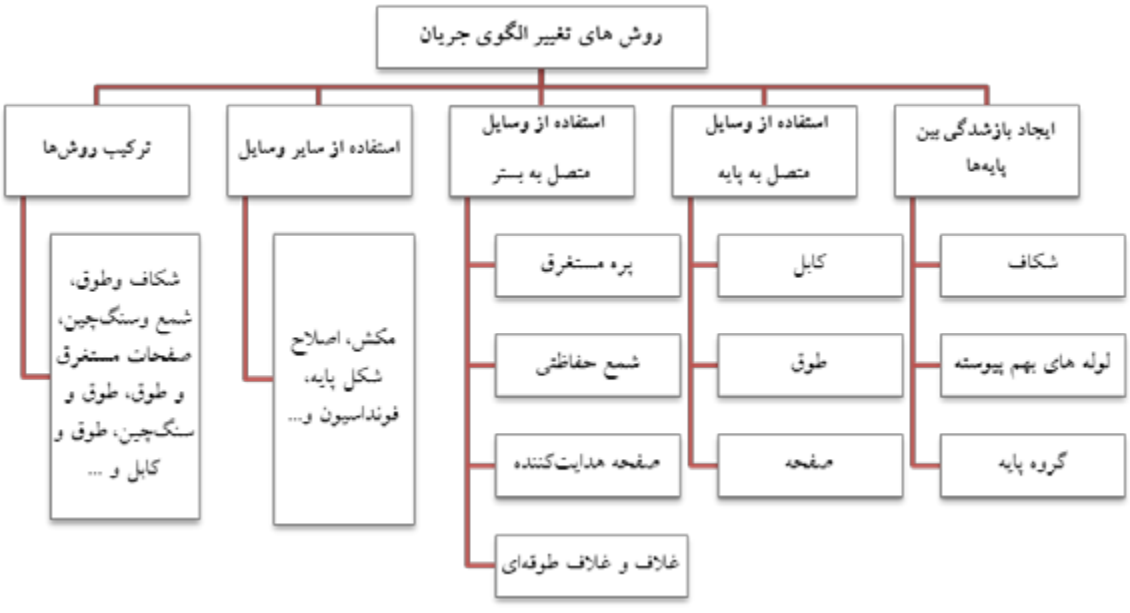


شکل ۱- الف- الگوی جریان اطراف پایه و ب- فرسایش اطراف پایه در اثر پدیده آبشستگی

روش‌های کنترل و کاهش آبشستگی پایه پل

عمده روش‌هایی که به منظور کنترل و کاهش آبشستگی در پایه‌های پل انجام می‌شود، روش‌های تغییر الگوی جریان و روش‌های افزایش مقاومت ذرات بستر است. در روش‌های تغییر الگوی جریان، قدرت جریان پایین رونده و گرداب نعل اسبی که علت اصلی آبشستگی پایه می‌باشند، کاهش می‌یابد. در روش‌های مقاوم سازی ذرات یا مسلح کردن بستر نظیر استفاده از سنگ‌چین، قطعات بتنی پیش ساخته، کیسه‌های پر شده از دوغاب سیمان، لایه محافظتی بتنی و گابیون‌های توری سنگی با ایجاد یک مانع فیزیکی، مقاومت ذرات بستر افزایش یافته تا بستر به آسانی به وسیله جریان شسته نشده و فرسایش نیابد. در تحقیق حاضر با مرور مطالعات انجام شده توسط محققین مختلف، روش‌های تغییر الگوی جریان و تاثیر آن‌ها بر میزان آبشستگی مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

همان گونه که در شکل (۲) نشان داده شده، روش‌های تغییر الگوی جریان بر اساس شکل و عملکردشان به چهار دسته کلی زیر تقسیم می‌شوند: ۱- ایجاد بازشدگی بین پایه ۲- استفاده از وسایل متصل به پایه ۳- استفاده از وسایل متصل به بستر ۴- استفاده از سایر وسایل. هر کدام از روش‌های ذکر شده نیز به شیوه‌های مختلفی تقسیم شده که در ادامه مورد بررسی قرار گرفته‌اند (Tafarojnoruz و همکاران، ۲۰۱۰).



شکل ۲ – انواع روش‌های تغییر الگوی جریان

۱– ایجاد بازشدگی بین پایه‌ها

در این روش قدرت جریان پایین رونده و گرداب نعل اسبی با عبور جریان از بازشدگی ایجاد شده بین پایه‌ها کاهش می‌یابد. سه شکل پیشنهاد شده در این روش شامل: ایجاد شکاف در پایه، استفاده از گروه پایه و استفاده از لوله‌های بهم پیوسته داخلی در عرض پایه می‌باشد.

– ایجاد شکاف در پایه

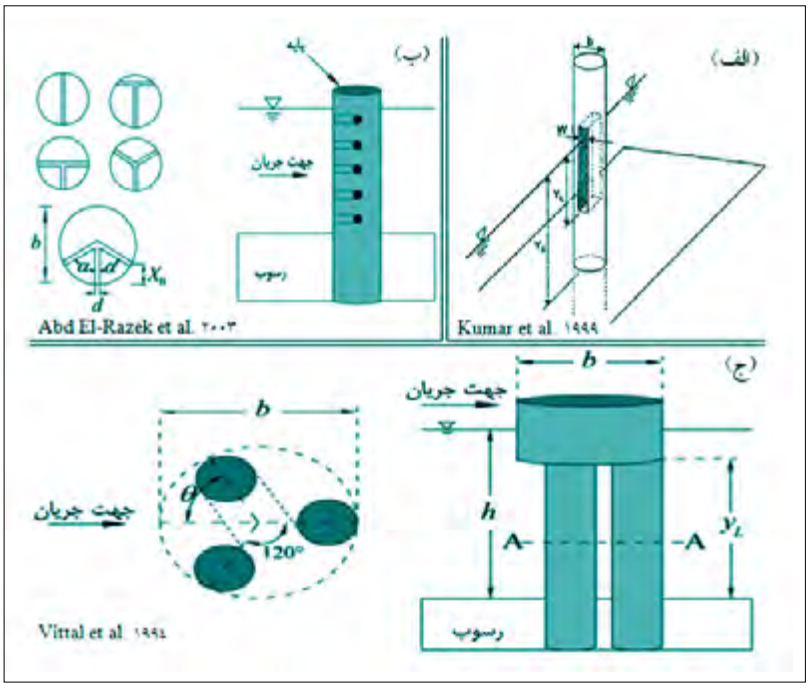
استفاده از شکاف در پایه پل‌ها از جمله تمهیداتی است که در آن با کاهش قطر موثر پایه، قدرت گرداب نعل اسبی کاهش می‌یابد (شکل۳– الف). ایجاد شکاف نزدیک بستر یا نزدیک سطح آب موجب منحرف شدن جریان رو به پایین به فاصله دورتری از پایه، کاهش عمق جریان، کاهش فشار و در نتیجه کاهش عمق آبشستگی می‌شود (Chiew، ۱۹۹۲). عملکرد شکاف در کاهش آبشستگی به طول، عرض و موقعیت شکاف بستگی دارد (Kumar و همکاران، ۱۹۹۹). آزمایش‌های شریعتی و همکاران (۱۳۹۰) آشکار کرد که شکاف نزدیک بستر نسبت به شکاف نزدیک سطح آب، عملکرد بهتری در کاهش آبشستگی دارد. همچنین با افزایش طول و عرض شکاف، کارایی شکاف افزایش می‌یابد. Heidarpour و همکاران(۲۰۰۳) تأثیر جهت جریان و فاصله بین پایه‌ها را بر کارایی شکاف در گروه پایه بررسی نمودند. آن‌ها نتیجه گرفتند با افزایش زاویه برخورد و کم‌شدن فاصله بین پایه‌ها تاثیر شکاف کاهش می‌یابد. ماکزیمم درصد کاهش آبشستگی به وسیله Chiew (۱۹۹۲)، Kumar و همکاران (۱۹۹۹) و Grimaldi و همکاران (۲۰۰۹) کمتر از ۳۵٪ گزارش شد. در حالی‌که این مقدار به ۸۸٪ در آزمایش‌های Monca-da-M و همکاران (۲۰۰۹) رسید.

– استفاده از لوله‌های بهم پیوسته داخلی

در این روش برای کاهش آبشستگی از لوله‌های پلاستیکی نازک بهم پیوسته در عرض پایه پل استفاده می‌شود. پارامترهای موثر در عملکرد این لوله‌ها شامل زاویه انحراف(α)، فاصله بازشدگی بالادست(Xo)، قطربازشدگی(d) و عدد فرود است. Abd El-Razek و همکاران (۲۰۰۳) در بهترین حالت یعنی زمانی که زاویه قرارگیری بازوهای بازشدگی در درون پایه نسبت بهم ۹۰ درجه بود، کاهش عمق آبشستگی را ۳۹٪ گزارش کردند (شکل۳ –ب).

– استفاده از گروه پایه

در این روش به جای استفاده از پایه‌های با قطر بزرگ از چند پایه با قطر کوچکتر استفاده می‌شود. Vittal و همکاران (۱۹۹۴) پیشنهاد جایگزینی یک پایه را با سه پایه کوچکتر در دو شکل گروه پایه ناقص و کامل دادند. در حالت اول که در شکل (۳– ج) قابل مشاهده است، ارتفاع گروه پایه بالای بستر کمتر از عمق جریان است ($h > Y_L$)؛ و در حالت دوم، گروه پایه به طور کامل در سرتاسر عمق جریان توسعه می‌یابد ($h < Y_L$). آن‌ها که در آزمایش‌های خود از اندازه ذرات، عمق جریان و آرایش پایه‌های مختلف استفاده کردند، عمق آبشستگی را ۳۹٪ کاهش دادند. همچنین کاهش آبشستگی برای گروه پایه ناقص کمتر از گروه پایه کامل بود و آبشستگی با کاهش نسبت Y_L/h افزایش یافت.



شکل ۳- الف- شکاف پایه ب- لوله های بهم پیوسته داخلی ج- گروه پایه ناقص

۲- استفاده از وسایل متصل به پایه

در دومین روش تغییر الگوی جریان، قدرت جریان پایین رونده و گرداب نعل اسبی به وسیله وسایل متصل شده به پایه کاهش می‌یابد که این وسایل شامل استفاده از کابل، طوقه و صفحات متصل به پایه می‌باشد.

- استفاده از کابل

این وسیله توسط Dey و همکاران (۲۰۰۶) به عنوان یک اقدام پیشگیرانه اقتصادی و آسان پیشنهاد شد. در این روش کابل‌ها به صورت مارپیچی روی پایه قرار گرفته و با انحراف گرداب نعل اسبی منجر به کاهش عمق آبشستگی می‌شوند. با افزایش قطر، تعداد و کاهش زاویه کابل‌ها، عمق آبشستگی کاهش می‌یابد. حداکثر کاهش عمق آبشستگی ۴۶٪ گزارش شد. نتایج تحقیقات عقلی و زمردیان (۱۳۹۱) نشان داد با افزایش قطر کابل و کمتر شدن فاصله میان گام‌ها، آبشستگی بیشتر کاهش می‌یابد و حداکثر مقدار کاهش آبشستگی به ۵۹ درصد می‌رسد(شکل ۴-ب).

شکل ۴- الف- صفحه افقی ب- کابل (عقلی و زمردیان، ۱۳۹۱) ج- طوق

– طوق‌ها و صفحات افقی

طوق‌ها وسایلی هستند که موازی با کف رودخانه و عمود بر پایه، نصب می‌شوند. شکل عمومی طوق‌ها دایره‌ای است؛ اگر چه از طوق‌های به شکل مربعی، مستطیلی و نامتقارن برای پایه‌ی استوانه‌ای نیز استفاده شده است (شریعتی و همکاران، ۱۳۹۰).

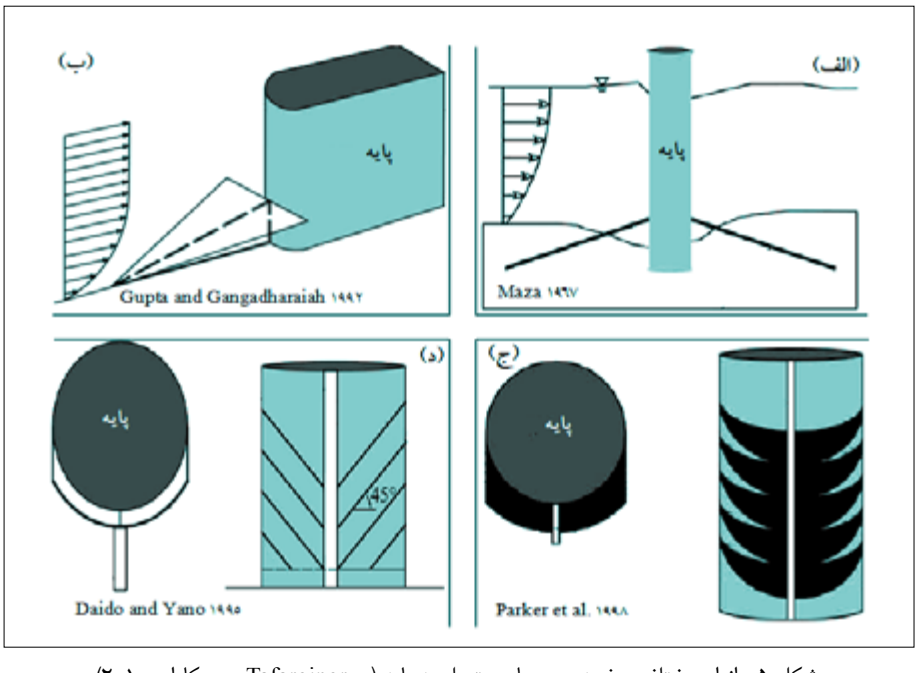
کارایی طوق به عرض و موقعیت قرارگیری طوق بستگی دارد (Chiew، ۱۹۹۲). همچنین با افزایش ضخامت طوق، قطر موثر پایه افزایش یافته و در نتیجه عمق آبشستگی افزایش می‌یابد. طوق ممکن است سبب تأخیر فرآیند آبشستگی شده و توسعه حفره‌های آبشستگی را به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش دهد (Alabi، ۲۰۰۶). زمانی که طوق زیر سطح بستر قرار می‌گیرد، گسترش حفره آبشستگی اطراف پایه و عمق آبشستگی پایین دست طوق افزایش می‌یابد (Zarrati، ۲۰۰۴). Moncada-M و همکاران (۲۰۰۹) با استفاده از طوق به ابعاد سه برابر قطر پایه عمق آبشستگی را ۱۰۰ درصد کاهش دادند. در حالیکه Mashahir و همکاران (۲۰۰۴) درصد کاهش آبشستگی برای همان شکل طوق و پایه را ۲۷٪ گزارش کردند. Zarrati و همکاران (۲۰۰۶) تاثیر طوقه‌های پیوسته و مستقل را روی گروه پایه‌های با آرایش طولی و عرضی بررسی نمودند.

– صفحه‌ها

صفحه‌ها به شکل‌های مختلفی برای محافظت پایه پل استفاده می‌شوند. یکی از اولین مطالعات روی صفحات به وسیله Maza (۱۹۶۷) انجام شد. او از یک صفحه شیبدار برای کنترل آبشستگی استفاده کرد. نصب یک صفحه با شیب ۳:۱ باعث کاهش عمق آبشستگی بین ۷۰–۸۰٪ شد.

باله‌های دلتا شکل، نوع دیگری از پره‌های متصل شونده پایه است که شامل یک صفحه نازک دلتا شکل و یک ستون عمودی که پایین‌تر از محور تقارن طولی پایه نصب می‌شود. با استفاده از باله‌های دلتا شکل، حداکثر کاهش عمق آبشستگی برای شرایط آب زلال به ۶۷٪ و حداقل۳۲٪ رسید (Tafarojnoruz و همکاران ۲۰۱۰).

Yano و Daidi (۱۹۹۵) از صفحات مایل روی پایه و یک دیواره هدایت کننده استفاده کردند. آن‌ها همچنین یک دیواره هدایت کننده در بالادست مرکز پایه نصب کردند که در دو طرف دیواره یک سری پره بطور عمودی و مایل با زاویه ۴۵ به سطح پایه متصل بودند. آنان نشان دادند که با این روش آبشستگی بیش از ۹۰ درصد کاهش می‌یابد (شکل ۵).



شکل ۵– انواع مختلف صفحه و پره‌های متصل به پایه (Tafarojnoruz و همکاران ۲۰۱۰)

۳- استفاده از وسایل متصل به بستر

وسایل متصل به بستر با منحرف کردن و یا تضعیف جریان برخوردی و تغییر در لایه مرزی و متعاقباً کاهش جریان پایین رونده و گرداب نعل اسبی موجب کاهش آبشستگی می‌شوند. این روش به چهار دسته ۱- صفحات یا پره‌های مستغرق ۲- شمع‌های حفاظتی ۳ - صفحات هدایت کننده سطحی ۴- غلاف و غلاف طوقه‌ای، تقسیم می‌شوند.

- صفحات یا پره‌های مستغرق

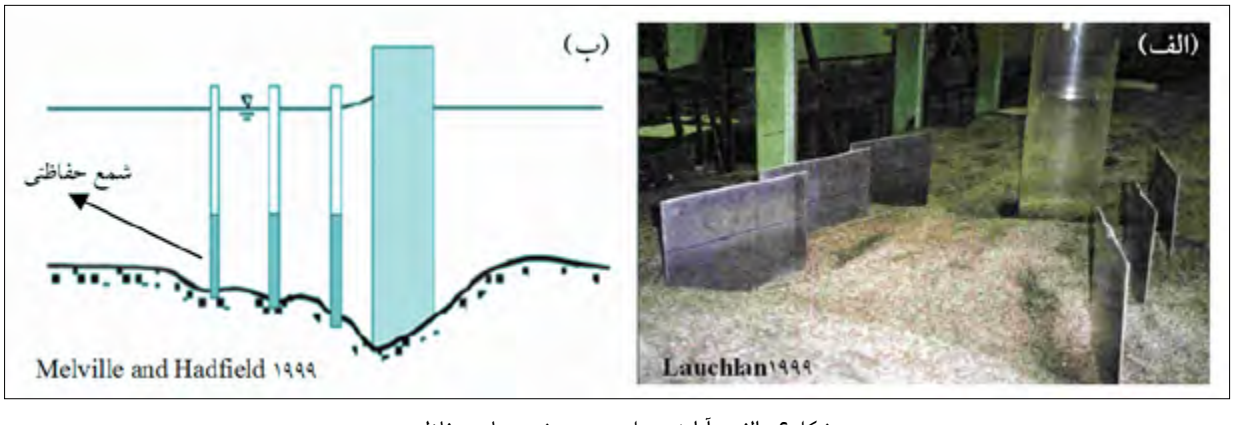
پره‌های مستغرق، سازه‌هایی هستند که با ایجاد گرداب ثانویه، بزرگی و جهت تنش برشی، توزیع سرعت، عمق جریان و میزان انتقال رسوب را تغییر می‌دهند (شکل۶- الف).

پارامترهای موثر در عملکرد پره‌ها، شامل طول پره‌ها، نسبت طول به عرض پره، زاویه برخورد جریان، فاصله پره‌ها در امتداد جریان و عمود بر جریان، فاصله از بالادست پایه، استغراق پره و عدد فرود است. استفاده از صفحات مستغرق در بهترین حالت برای بستر زنده عمق آبشستگی را حداکثر ۳۴٪ و به طور متوسط ۵۰٪ کاهش می‌دهد (Lauchlan ، ۱۹۹۹).

- شمع‌های حفاظتی

استفاده از شمع‌های مستغرق و غیر مستغرق یکی از روش‌های کنترل آبشستگی است. ایده‌ی اصلی استفاده از شمع، منحرف‌کردن جریان اطراف پایه و کاهش شدت جریان و شدت آبشستگی می‌باشد. یکی از اولین تحقیقات گسترده در زمینه شمع‌ها به وسیله Chabert و Engeldinger (۱۹۵۶) انجام شد. آن‌ها از یک الگوی مثلثی از شمع‌ها در بالادست پایه استفاده کردند و عمق آبشستگی را به وسیله تغییر در تعداد و جانمایی شمع‌ها تا ۵۰ درصد کاهش دادند (آزم و قمشی، ۱۳۹۲). راندمان استفاده از شمع‌های حفاظتی به عوامل متعددی از جمله تعداد، اندازه، استغراق، آرایش هندسی نسبت به هم و نسبت به پایه و مشخصات جریان شامل شدت و زاویه برخورد جریان بستگی دارد (Melville و Hadfield، ۱۹۹۹).

نتایج آزم و قمشی (۱۳۹۲) نشان داد که با افزایش قطر شمع‌ها آبشستگی به طور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد. کاهش عمق آبشستگی با افزایش قطر شمع تا فاصله بهینه وجود داشت و با افزایش فاصله این روند عکس شده و شمع‌های با قطر کمتر تاثیر بیشتری بر کاهش عمق آبشستگی داشتند (شکل۶- ب).



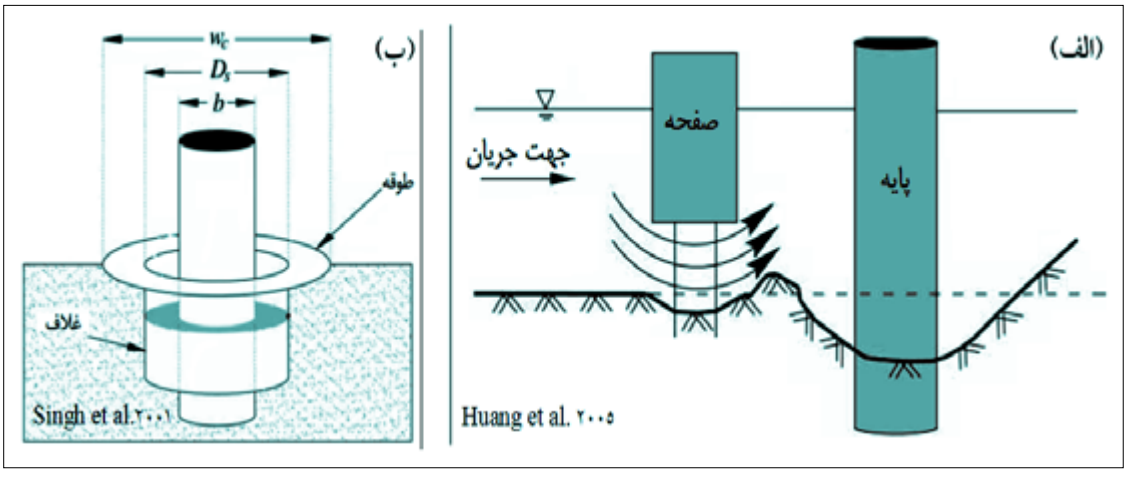
شکل۶- الف- آرایش مثلثی ب- شمع های حفاظتی

- صفحات هدایت‌کننده سطحی

در این روش دو صفحه‌ی عمودی با یک زاویه داخلی در فاصله مشخصی از بالادست پایه قرار می‌گیرند (شکل ۷- الف). جریان رو به بالا در زیر این صفحات منجر به یک جریان برشی ضعیف نزدیک بستر در تماس با پایه شده و باعث کاهش قدرت گرداب نعل اسبی می‌شود. همچنین رسوب موضعی ایجاد شده در صفحات در حفره آبشستگی اطراف پایه ته‌نشین می‌شود. مطالعات Huang و همکاران (۲۰۰۵) حاکی از کاهش ۹۰ درصدی عمق آبشستگی به وسیله این روش بود.

- غلاف و غلاف طوقه‌ای

غلاف شامل دایره‌ای با قطر بزرگ که دور پایه قرار می‌گیرد. مکانیزم اساسی کاهش آبشستگی در این روش محدود کردن گرداب نعل اسبی در فضای بین غلاف و پایه است(شکل ۷- ب). Singh و همکاران (۲۰۰۱) نشان دادند که استفاده از یک غلاف با Ds=۱/۵b و طوقه w=۲b قرار گرفته در ارتفاع b/۴ از بالای غلاف، آبشستگی را به طور کامل حذف می‌کند (Tafarojnoruz و همکاران، ۲۰۱۰).

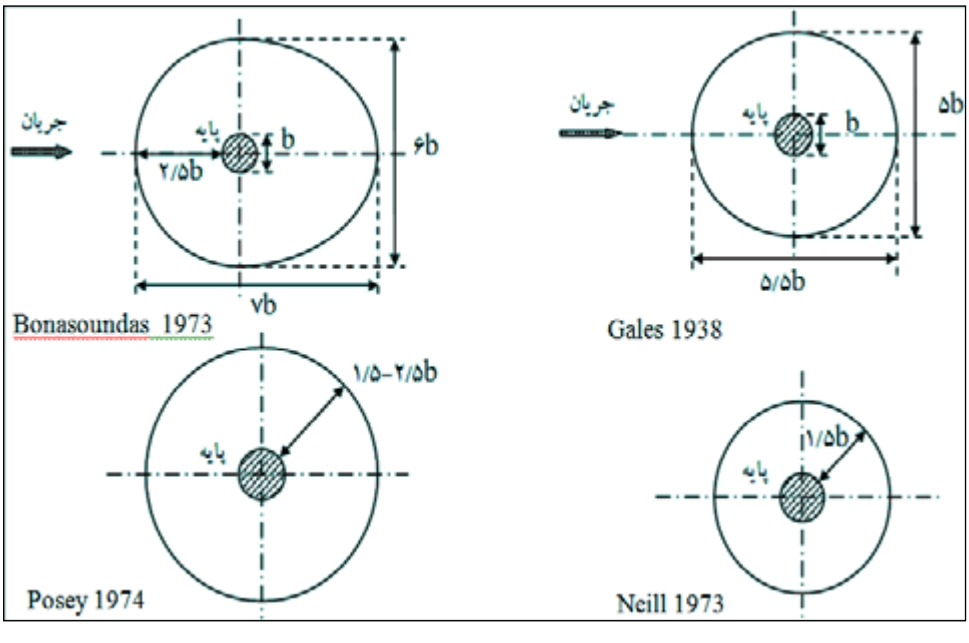


شکل ۷- الف- صفحات هدایت کننده سطحی ب- غلاف طوقه‌ای (Tafarojnoruz و همکاران، ۲۰۱۰)

۴- استفاده از سایر وسایل

- استفاده از سنگ‌چین

ایجاد پوشش حفاظتی سنگ‌چین در اطراف پایه‌ها به عنوان روشی متداول و آسان توسط محققین زیادی مورد بررسی قرارگرفته و الگوهای پوششی مختلفی ارائه شده است (شکل ۸). در این روش باید اطراف پایه‌های پل را از سنگ‌هایی با قطر بیشتر از دانه‌های کف انباشت. قطر سنگ‌چین طوری انتخاب می‌شود که معمولاً بتوانند در مقابل دو برابر تنش برشی موجود در بالا دست پایه مقاومت کنند (Chiew،۱۹۹۲). Chiew (۱۹۹۲) به بررسی پایداری سنگ‌چین و تعریف فرآیندهای مختلف تخریب سنگ‌چین پرداخت. بر اساس مشاهدات وی تخریب لایه سنگ‌چین در اطراف پایه به دلیل یکی از سه عامل ۱- تخریب برشی سنگ‌چین، ۲- تخریب غربالی و ۳- تخریب لبه‌ای حاصل می‌شود.



شکل ۸- الگوی پیشنهادی برای محدوده پوشش سنگ‌چین (پیرمحمدی و حیدرپور، ۱۳۸۴)

- استفاده از مکش برای پایه

در این روش با سوراخ کردن دیواره قسمت تحتانی پایه آب به وسیله مکش از بین پایه خارج می‌شود. این روش به وسیله Rooney و Machemeh (۱۹۷۷) با موفقیت انجام شد. آنان به کمک پمپی با مکش حدود ۵ لیتر بر ثانیه آبشستگی بستر را به طور کامل برطرف کردند و تنها حفره کوچکی از آبشستگی در پایین دست پایه باقی ماند.

- اصلاح شکل پایه

طبق بررسی‌های انجام شده گرداب نعل اسبی در پایه‌های با دماغه پهن از قدرت بیشتری برخوردار است و در مقابل پایه‌های دماغه تیز باعث کاهش جریان پایین رونده و تضعیف گرداب نعل اسبی می‌شوند. اصلاح شکل پایه می‌تواند موجب کاهش بیش از ۳۰ درصد در عمق آبشستگی شود (Alabi، ۲۰۰۶).

- فونداسیون

به طور کلی اگر ارتفاع شالوده در بالای بستر قرار گیرد، آبشستگی افزایش یافته و اگر ارتفاع بالای شالوده زیر تراز بستر قرار گیرد، عمق آبشستگی کاهش می‌یابد. اقبالی و همکاران (۱۳۹۲) به بررسی تاثیر قرارگیری و شکل فونداسیون بر میزان آبشستگی پرداختند. آن‌ها بهترین شکل را فونداسیون چهارگوش با دماغه نیم‌دایره پیشنهاد کرده و عمق آبشستگی را تا ۹۰ درصد کاهش دادند.

۵- ترکیب روش‌ها

در این روش با بکارگیری همزمان روش‌های مختلف سعی در کاهش آبشستگی می‌شود که در زیر به بعضی از این ترکیبات اشاره شده است.

- شکاف و طوقه

Chiew (۱۹۹۲) آزمایشاتی روی ترکیب طوق و شکاف انجام داد. او با بکارگیری یک شکاف در پایه و دو نوع طوق در موقعیت‌های متفاوت به بررسی کاهش آبشستگی پرداخت. ترکیب روش‌ها موجب حذف آبشستگی شد. شریعتی و همکاران (۱۳۹۰) با بکارگیری طوق مربعی و شکاف، عمق آبشستگی را ۸۱ درصد کاهش دادند.

- شمع‌های صفحه‌ای نفوذپذیر و سنگ‌چین

ترکیب شمع‌های صفحه‌ای نفوذپذیر همراه با سنگ‌چین به عنوان یک اقدام در کنترل آبشستگی برای پایه‌های استوانه‌ای و مستطیلی در مطالعات Parker و همکاران (۱۹۹۸) استفاده شد. این روش عملکرد بالای ۹۱٪ در شرایط بستر زنده را از خود نشان داد.

- صفحات مستغرق و طوق

حسینی و همکاران (۱۳۹۱) با استفاده‌ی همزمان صفحات مستغرق و طوق برای پایه های مستطیلی دماغه گرد آبشستگی را تا ۷۰ درصد کاهش دادند. شجاعی و همکاران (۱۳۹۰) بیشترین میزان کاهش در عمق حفره آبشستگی با ترکیب طوق و چهار عدد صفحه در پایه‌ی استوانه‌ای را ۶۱ درصد ذکر نمودند.

- طوق و سنگ‌چین

Zarrati و همکاران (۲۰۰۶) از ترکیب طوقه‌های بهم پیوسته و سنگ‌چین در شرایط آب زلال استفاده کردند. در آزمایش‌ها، فضای داخل طوقه‌های بهم پیوسته و بین دو پایه به وسیله سنگ‌چین پوشیده شد. ترکیب طوق بهم پیوسته و سنگ‌چین منجر به کاهش ۵۰ و ۶۰ درصد در جلو و پشت پایه شد. در حالی‌که استفاده از طوقه‌های بهم پیوسته به تنهایی عمق آبشستگی را به ترتیب ۲۵ و ۳۵ درصد در جلو و پشت پایه کاهش داد.

- طوق و کابل

عقلی و زمردیان (۱۳۹۱) با استفاده از مدل فیزیکی، تاثیر توأم طوق و کابل روی عمق آبشستگی اطراف پایه در قوس رودخانه را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج آنان حاکی از آن بود که استفاده از کابل ۵۹ درصد، طوق ۵۵ درصد و ترکیب طوق و کابل ۷۰ درصد آبشستگی را کاهش می‌دهد.

مشکلات و محدودیت‌های اجرایی

با توجه به این‌که اکثر روش‌های ذکر شده در زمینه کاهش و کنترل آبشستگی در شرایط آزمایشگاهی انجام شده، به نظر می‌رسد استفاده از این روش‌ها در رودخانه‌های طبیعی با مشکلات و محدودیت‌هایی همراه باشد که بایستی مد نظر قرار گیرد. به طور مثال استفاده از روش مکش، نیاز به سیستم پمپ دائمی و بازدید و نگهداری منظم دارد. بکارگیری شمع در اطراف پایه علاوه بر ایجاد محدودیت برای کانال‌های کشتی، ممکن است موجب عدم زیبایی پل شود. بعضی از روش‌ها نیز برای پل‌های موجود قابل استفاده نبوده و اجرای آن‌ها پایداری پل را تحت تاثیر قرار می‌دهد (استفاده از لوله‌های بهم پیوسته داخلی). از دیگر محدودیت‌ها، می‌توان به مسدود شدن فاصله بین پایه‌ها یا گرفتگی شکاف به وسیله اجسام شناور موجود در جریان رودخانه یا عدم پایداری و جابجایی وسایل متصل به پایه و بستر در شدت جریان‌های بالا و سیلابی بودن رودخانه اشاره کرد، که زمینه کاهش کارایی هر یک از روش‌های کنترل آبشستگی را فراهم می‌کند.

جمع‌بندی

در این مقاله ضمن بررسی پدیده آبشستگی در پایه‌ی پل‌ها، روش‌های مقابله با آن نیز بررسی شد و مطالعات آزمایشگاهی انجام شده بوسیله محققین مختلف مورد ارزیابی قرار گرفت. عمده روش‌های مورد استفاده برای کاهش آبشستگی، تغییر الگوی جریان و مقاوم نمودن بستر می‌باشد. به نظر می‌رسد ترکیبی از این دو روش می‌تواند باعث کاهش بیشتری در عمق آبشستگی در پایه پل شود که این امر نیازمند تحقیقات بیشتری است. همان‌گونه که اشاره شد بکارگیری هریک از این روش‌ها ممکن است با محدودیت‌ها و مشکلاتی همراه باشد که قبل از اجرا بایستی این محدودیت‌ها با توجه به شرایط رودخانه و پل به طور دقیقی مورد بررسی قرارگیرد تا روش مورد استفاده بهترین عملکرد را در کاهش آبشستگی از خود نشان دهد. با توجه به مطالب فوق پیشنهاد می‌گردد جهت تحقیقات آتی موارد ذیل مورد بررسی قرار گیرد تا بتوان موثرترین روش در کاهش آبشستگی را انتخاب نمود:

۱- با عنایت به تاثیر بیشتر ترکیب روش‌ها در کاهش آبشستگی، تحقیق بیشتر در خصوص ترکیب روش‌های مختلف و بررسی میزان کاهش آبشستگی در هر یک از این حالات، مفید می‌باشد.

۲- عمده مطالعات آزمایشگاهی در شرایط بستر زلال یعنی شرایطی که حداکثر عمق آبشستگی رخ می‌دهد انجام شده است؛ اما در طبیعت جریان در اکثر مواقع سیلابی بوده و شرایط بستر زنده حاکم است، لذا بررسی تاثیر روش‌های کاهش آبشستگی در این شرایط از اهمیت خاصی برخوردار است.

۳- نظر به اینکه عمده تحقیقات انجام شده در شرایط آزمایشگاهی بوده که این امر نیز مستلزم صرف وقت و هزینه بالایی می‌باشد، مدل‌سازی عددی آبشستگی و بررسی روش‌های کنترل آبشستگی با استفاده از تکنیک‌های عددی، لازم به نظر می‌رسد.

منابع

آزم، ن. و قمشی، م. ۱۳۹۲. اثر شمع‌های حفاظتی بر کاهش آبشستگی در پایه پل استوانه‌ای. نشریه دانش آب و خاک، ۲۳(۳): ۱۲۳-۱۳۴.

اقبالی، پ.، دهقانی، ا.ا.، ارونقی، ه. و مفتاح هلقی، م. ۱۳۹۲. بررسی تأثیر تراز قرارگیری و شکل فونداسیون بر مقدار آبشستگی اطراف پایه پل. نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، ۲۰(۴): ۲۷۳-۲۸۲.

حسینی، س.ح.، حسین‌زاده دلیر، ع.، فرسادی‌زاده، د.، ارونقی، ه. و قربانی، م.ع. ۱۳۹۱. تاثیر توام صفحات مستغرق و طوق در کاهش پایه‌های مستطیلی با دماغه گرد. نشریه دانش آب و خاک، ۲۲(۳): ۸۷-۱۰۱.

خادم، غ. ۱۳۸۱. طراحی لایه ریپ رپ در اطراف پایه پل با آبشستگی محدود مجاز. پایان‌نامه دوره کارشناسی‌ارشد، گروه عمران، دانشگاه فردوسی مشهد.

شریعتی، ح.، خداشناس، س.ر. و اسماعیلی، ک. ۱۳۹۰. بررسی آزمایشگاهی کارکرد با هم طوق و شکاف بر میزان آبشستگی موضعی در پایه پل. نشریه علمی- پژوهشی مهندسی عمران (دانشکده مهندسی)، ۲۳(۱): ۸۶-۹۶.

شجاعی، پ.، فرسادی‌زاده، د. و حسین‌زاده دلیر، ع. ۱۳۹۰. تأثیر توأم صفحات مستغرق و طوق در کاهش عمق آبشستگی پایه‌های استوانه‌ای شکل پل‌ها. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک، ۱۵(۵۷): ۲۳-۳۳.

عقلی، م. و زمردیان، م.ع. ۱۳۹۲. تأثیر توأم طوق و کابل بر روی عمق آبشستگی اطراف پایه پل در قوس رودخانه‌ها. علوم و مهندسی آبیاری، ۳۶(۳): ۳۱-۴۰.

Abd El-Razek M., Abd El-Motaleb M. and Bayoumy M. 2003. Scour reduction around bridge piers using internal openings through the pier. Proc. 30th IAHR Congress, Thessaloniki, C2,285–292.

Alabi, P.D. 2006. Time development of local scour at a bridge pier fitted with a collar. Master Degree Thesis. University of Saskatchewan, Saskatoon, Saskatchewan, CA.

Chiew Y.M. 1992. Scour protection at bridge piers. J. Hydraulic Engng, 118(9): 1260–1269.

Daido A., and Yano S. 1995. Local scour around bridge piers and its protection with guide wall and slanting plate and piers surface. Proc. 6th Intl. Symp. River Sedimentation, New Delhi, India, 1181–1187.

Dey S., Sumer B.M. and Fredsoe J. 2006. Control of scour at vertical circular piles under waves and current. J. Hydraulic Engng, 132(3): 270–279.

Gupta A.K. 1987. Hydrodynamic modification of the horseshoe vortex at a vertical pier junction with ground. Phys.Fluids. 30: 1213–1215.

Huang C.K., TangC.J. and Kuo T.Y. 2005. Use of surface guide panels as pier scour countermeasures. Int. J. Sediment Res. 20(2): 119–130.

Kumar V., Ranga Raju K.G. and Vittal N. 1999. Reduction of local scour around bridge piers using slots and collars. J.Hydraulic Engng, 125(12): 1302–1305.

tion to minimize sand-bed scour. J. Hydraulics Div. ASCE, 103(4): 443–449.

Singh C.P., Setia B. and Verma D.V.S. 2001. Collar-sleeve combination as a scour protection device around a circular pier. Proc. 29th IAHR Congress, Beijing, Theme D. 202–209.

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

Vittal N., Kothyari U.C. and Haghighat M. 1994. Clear-water scour around bridge pier group. J. Hydraulic Engng, 120(11): 1309–1318.

Zarrati A.R., Nazariha M. and Mashahir M.B. 2006. Reductionof local scour in the vicinity of bridge pier groups using collars and riprap. J. Hydraulic Engng, 132(2): 154–162.

Zarrati A.R., Gholami H. and Mashahir M.B. 2004. Applicationof collar to control scouring around rectangular bridge piers. J. Hydraulic Res, 42(1): 97–103.

Lauchlan C.S. 1999. Pier scour countermeasures. PhD Thesis.University of Auckland, Auckland, NZ.

Maza J.A. 1967. Scour in natural channels. Report 114, Department of Civil Engineering, University of Auckland, Auckland, NZ.

Melville B.W. and Hadfield A.C. 1999. Use of sacrificial piles as pier scour countermeasures. J. Hydraulic Engng, 125(11): 1221–1224.

Moncada-M A.T., Aguirre-Pe J., Bolı´var J.C. and Flores E.J. 2009. Scour protection of circular bridge piers with collars and slots. J. Hydraulic Res, 47(1): 119–126.

Odgaard A.J. and Wang Y. 1991. Sediment management with submerged vanes 1: Theory. J. Hydraulic Engng, 117(3): 267–283.

Parker G., Toro-Escobar C., and Voigt R.L. 1998. Countermeasures to protect bridge piers from scour. Final Report NCHRP Projec t 24–7. Transportation Research Board,Washington, DC.

Rooney D.M. and Machemehl J.L. 1977. Using suc-