

اثر شمع‌های حفاظتی بر کاهش آب‌شستگی در پایه پل استوانه‌ای

نوال آزم^{*1} و مهدی قمشی²

تاریخ دریافت: 91/03/27 تاریخ پذیرش: 91/10/12

¹ دانشجوی سابق کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز

² استاد دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز

* مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: naval.azam@yahoo.com

چکیده

آب‌شستگی در اطراف پایه‌های پل بر اثر برخورد جریان با پایه و جدا شدن جریان از آن ایجاد می‌گردد. یکی از روش‌های حفاظت از پایه‌های پل در برابر آب‌شستگی استفاده از شمع‌های محافظ می‌باشد. این شمع‌ها با تغییر الگوی جریان و کاهش شدت گردابه‌های ایجاد شده در اطراف پایه موجب کاهش عمق آب‌شستگی می‌شوند. در این پژوهش تاثیر تغییر قطر و فواصل شمع‌های حفاظتی بر آب‌شستگی ایجاد شده در اطراف پایه پل استوانه‌ای به قطر (D) 40 میلی-متر، در فلومی آزمایشگاهی با بستری از نرات رسوبی با قطر میانگین 0/5 میلی‌متر مورد بررسی قرار گرفت. آزمایشات در 3 قطر 20، 27 و 32 میلی‌متری شمع‌های حفاظتی و در فواصل 2/8D، 2/95D، 3/1D و 3/4D شمع نخست از ابتدای پایه اصلی در شرایط آب زلال با سرعت‌های نسبی 0/67، 0/81 و 0/94 انجام گردید. نتایج نشان داد در تمامی قطر شمع‌ها با افزایش سرعت نسبی میزان آب‌شستگی افزایش می‌یابد. همچنین تا فاصله‌ی بهینه بین شمع‌ها با افزایش قطر شمع‌ها از میزان آب‌شستگی کاسته می‌شود ولی با بیش‌تر شدن فاصله، عملکرد شمع‌ها با افزوده شدن قطر روندی کاهشی می‌گیرد. در این آزمایشات بهترین موقعیت قرارگیری شمع‌ها در فاصله 2/95D بود، که با توجه به قطر شمع‌ها و سرعت نسبی، راندمان 39 تا 121 درصدی در آن حاصل شد.

واژه‌های کلیدی: پایه پل استوانه‌ای، شمع‌های حفاظتی، کاهش آب‌شستگی

Influence of Sacrificial Piles on Scour Reduction of Cylindrical Bridge Pier

N Azam ^{*1} and M Ghomeshi²

Received: 16 June 2012 Accepted: 1 January 2013

¹- M.Sc. Student, Faculty of Water Sci. Eng., Shahid Chamran Uni., Iran

²- Prof., Faculty of Water Sci. Eng., Shahid Chamran Uni., Iran

*Corresponding Author Email: naval.azam@yahoo.com

Abstract

Local scour around a bridge pier results from the flow and pier interaction and separation of the flow at the sides of the pier. One of the methods for a local scour countermeasure at bridge piers is the use of sacrificial piles. Sacrificial are piles placed upstream of a bridge pier for the purpose of protecting it from local scour by deflecting the high-velocity flow and reducing vortex system behind them. In this paper the effects of pile size and spacing between sacrificial piles are investigated in an experimental flume under clear-water condition. Uniform bed sediment with a median diameter of 0.5 mm was used. The cylindrical pier was 40 mm in diameter (D). The sacrificial piles were of 32, 27 and 20 mm diameters (d) and the distances of the first sacrificial pile were equal to 2.8D, 2.95D, 3.1D and 3.4D from the upstream face of the pier. Three different flow rates were used, identified by V/V_c equal to 0.67, 0.81 and 0.94. The results show that increasing flow intensity reduces the sheltering effect of the pile group. Also up to optimum distance, increasing the sacrificial pile diameter improves the effect of these piles, but for larger distances of the sacrificial piles the most efficient scour reduction occurs for the smallest sacrificial piles diameter. Furthermore, the experimental results show that when the sacrificial pile is located at a distance equal to 2.95D of pier (X), the significant scour reduction nearly to 39 - 121% will occur.

Keyword: Cylindrical piers, Sacrificial piles, Scour reduction

مقدمه

با حضور پایه پل در مسیر جریان، سرعت موضعی و آشفتگی جریان افزایش می‌یابد. بسته به شکل سازه گردابه‌هایی ایجاد می‌گردد که نیروهای فرسایشی اضافی را بر بستر اطراف سازه اعمال می‌نماید. در نتیجه، نرخ حرکت رسوب و فرسایش به صورت موضعی در اطراف سازه افزایش یافته و منجر به پایین رفتن موضعی بستر نسبت به تراز عمومی بستر آبراهه می‌گردد (بی‌نام، 1390).

آب‌شستگی پدیده‌ای است که بر اثر اندرکنش شرایط جریان و حرکت مصالح بسترهای فرسایش‌پذیر صورت می‌گیرد. تعیین عمق آب‌شستگی از این جهت دارای اهمیت می‌باشد که اولاً بیانگر میزان پتانسیل تخریب جریان در اطراف سازه بوده و ثانیاً در طراحی ابعاد فونداسیون سازه‌هایی که در مسیر جریان آب قرار دارند، نقش بسیار مهمی را ایفا می‌کند.

شستگی را می‌توان کاهش داد. همچنین آن‌ها به این نتیجه رسیدند که اگر قطر شمع حفاظتی به 36 درصد قطر پایه کاهش یابد، حداکثر مقدار آب‌شستگی 32 درصد خواهد بود. در مطالعه دیگری که توسط ملویل و هادفیلد (1999) صورت گرفت، راندمان 56 درصد در آرایش 5 شمع به صورت مثلثی با زاویه 30 درجه گزارش شد. آن‌ها در این مطالعه، بدون ایجاد تغییر در قطر شمع‌ها، سایر پارامترهای موثر را بررسی کرده و در نهایت نتیجه‌گیری نمودند که شمع‌های حفاظتی عمدتاً در شرایط آب صاف از راندمان بهتری برخوردار می‌باشد. همچنین با افزایش زاویه انحراف جریان نسبت به گروه شمع‌ها از اثر حفاظتی آن‌ها کاسته می‌شود. آرایش شمع‌های عمود بر مسیر جریان توسط هاگو و همکاران (2007) ارزیابی شد. هدف اصلی از قراردادن شمع‌های حفاظتی در آن تحقیق، به تله انداختن رسوبات شسته شده‌ی این شمع‌ها توسط پایه اصلی و جلوگیری از افزایش بیش‌تر عمق آب‌شستگی گزارش شده است. در تحقیق مذکور، چندین آرایش از شمع‌های حفاظتی مورد بررسی قرار گرفت. در نهایت نتیجه گرفتند، راندمان بیشینه زمانی رخ می‌دهد که 3 شمع با قطر 20 درصد عرض پایه اصلی در فاصله 2 برابر عرض پایه اصلی قرار گیرند. در این وضعیت راندمان 50 درصد در کاهش عمق آب‌شستگی بدست خواهد آمد.

با توجه به این‌که تغییر در نحوه آرایش شمع‌ها و تغییرات قطر و فاصله در آن‌ها بر راندمان حضور شمع‌ها نقش بسزایی را ایفا می‌کند، تحقیق حاضر کارایی و تاثیر شمع‌های حفاظتی بر کاهش آب‌شستگی موضعی در اطراف پایه استوانه‌ای و تعیین بهترین قطر و موقعیت قرارگیری این شمع‌ها با آرایش خطی (موازی جریان) در بالادست پایه پل را مورد بررسی قرار داده است.

مواد و روش‌ها

آزمایش‌ها در فلومی به طول 7/3 متر، عرض 0/56 متر و عمق 0/6 متر با شیب طولی 0/0028 در آزمایشگاه

انواع روش‌های کنترل آب‌شستگی در دو فاز، مقابله با فرسایش و کاهش تاثیر نیروهای فرساینده انجام می‌شود. در روش اول با تقویت مصالح اطراف بستر مانند انواع سنگ‌چین‌ها یا سنگریزهای حفاظتی، مقاومت بستر در برابر تنش‌های وارد شده افزایش داده می‌شود. در روش دیگر با استفاده از شمع‌های حفاظتی (پایه‌های قربانی شونده)¹، صفحات مستغرق، آستانه، طوق و ایجاد شکاف با تغییر الگوی جریان در اطراف پایه در جهت کاهش اثر عوامل فرسایش‌دهنده مانند جریان‌های ثانویه و گرداب‌های نعل اسبی تلاش می‌شود (چیو 1992).

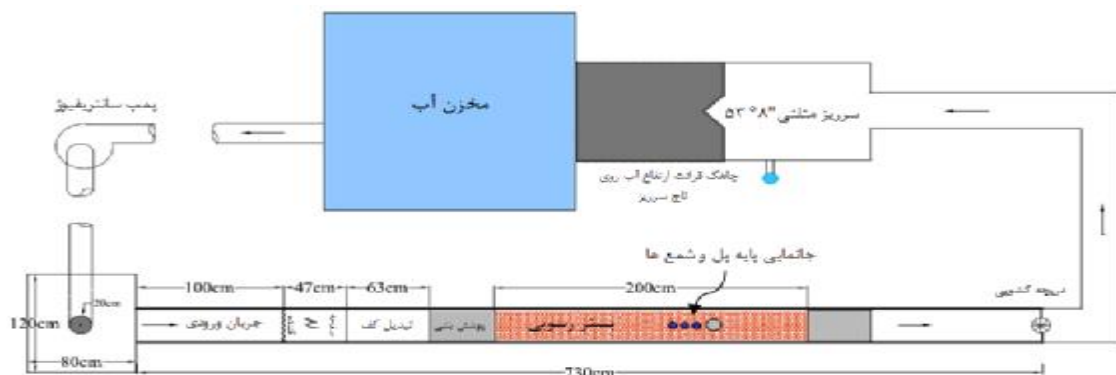
با قرارگرفتن شمع‌های حفاظتی در مسیر جریان و در قسمت بالادست پایه اصلی، مسیر جریان به سمت پایه تا حدودی منحرف شده و در نتیجه توان جریان پایین رونده و قدرت جریان گردابی کاهش یافته و از عمق آب‌شستگی کاسته می‌شود. علاوه بر تغییر مسیر جریان توسط شمع‌های حفاظتی، مواد بستر حاصل از فرسایش در فونداسیون این شمع‌ها، در اطراف پایه اصلی جمع می‌گردد و به کاهش عمق آب‌شستگی کمک می‌کند. راندمان استفاده از شمع‌های حفاظتی به عوامل متعددی از جمله تعداد، اندازه، آرایش هندسی شمع‌ها و شرایط جریان (سرعت جریان آب، انحراف (چولگی) جریان نسبت به شمع‌های حفاظتی) بستگی دارد.

از اولین مطالعات صورت گرفته در این خصوص می‌توان به تحقیق چابرت و انگلدینجر (1956) اشاره نمود. در آن مطالعه، شمع‌های حفاظتی با آرایش مثلثی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج آن تحقیق نشان داد، با این روش آب‌شستگی تا حدود 50 درصد کاهش می‌یابد. سینگ و همکاران (1995)، با انجام آزمایش‌هایی با شمع‌ها محافظ نشان دادند، حداکثر حفاظت برای یک پایه استوانه‌ای به قطر (D)، زمانی حاصل می‌شود، که یک شمع حفاظتی با همان قطر در فاصله‌ی (2D) بالاتر از پایه نصب گردد. با این شرایط حدود 50 درصد آب-

¹ Sacrificial Piles

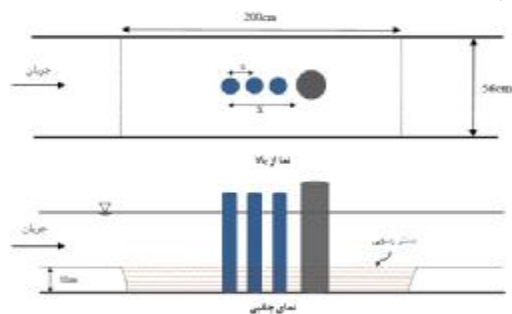
از فلوم، وارد یک حوضچه می‌گردید و با عبور از روی یک سرریز مثلثی استاندارد 53 درجه، مجدداً وارد مخزن تامین آب می‌شد. کنترل عمق جریان نیز با استفاده از یک دریچه کشویی که در انتهای فلوم قرار داشت، صورت می‌گرفت. در شکل (1) نمایی از فلوم آزمایشگاهی نشان داده شده است.

هیدرولیک دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه چمران انجام شد. دیواره‌ها و کف فلوم از جنس پلکسی گلاس شفاف بود. جریان مورد نیاز با استفاده از یک پمپ سانتریفیوژ از مخزن تامین آب وارد مخزن آرام کننده در ابتدای فلوم می‌گردید. به منظور حذف تلاطم ورودی، از یک صفحه مشبک آرام کننده، در فاصله 1 متری از دهانه ورودی فلوم، استفاده شد. جریان پس از خروج



شکل 1- پلان کانال و تجهیزات آزمایشگاهی.

رسوبات بستر از ماسه‌ی باقی‌مانده بین الک‌های 30 و 40 در محدوده اندازه ذرات 0/59 تا 0/42 میلی‌متر استفاده و بستر در بازه‌ای 2 متری به ضخامت 12 سانتی‌متر با رسوباتی با متوسط قطر ذرات 0/5 میلی‌متر پوشانده شد (شکل 2).



شکل 2- جانمایی پایه‌پل و شمع‌ها در بستر رسوبی کانال آزمایشگاهی.

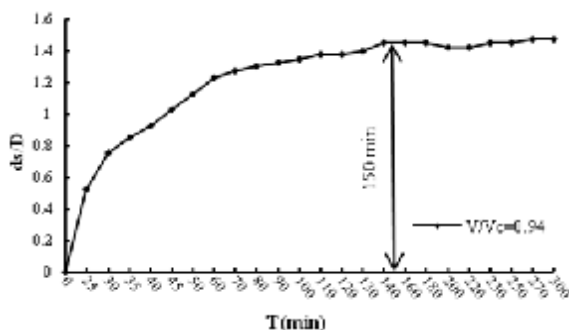
طبق توصیه الیوتو و هاگر (2002) برای جلوگیری از اثر زبری بر عمق آب‌شستگی، عمق آب باید بیشتر از 20 میلی‌متر انتخاب شود. همچنین طبق

در آزمایش‌ها برای رسیدن به حداکثر مقدار عمق آب‌شستگی باید پارامترهای موثر با در نظر گرفتن موارد زیر انتخاب شوند. برای از بین رفتن تأثیر دیواره‌های کانال بر آب‌شستگی موضعی، طبق توصیه‌های چپو و ملویل (1987) قطر پایه نباید از 10 درصد عرض کانال بیشتر باشد. لذا برای مدل کردن پایه پل از پایه استوانه‌ای چوبی به قطر 40 میلی‌متر استفاده گردید. شمع‌های حفاظتی نیز از جنس چوب و در 3 قطر 20، 27 و 32 میلی‌متر ساخته شدند.

مطابق پیشنهاد چپو و ملویل (1987) در شرایطی که نسبت قطر پایه به میانگین قطر ذرات رسوبی بیشتر از 50 باشد، اندازه ذرات بستر بر عمق آب‌شستگی بی‌اثر است. همچنین برای حذف اثر غیریکنواختی رسوبات بر کاهش آب‌شستگی اظهار داشتند، میزان انحراف معیار هندسی ذرات $(s_g = \sqrt{D_{84.1}/D_{15.9}})$ نباید از 1/3 بیشتر باشد. با توجه به شرایط ذکرشده، برای تامین

(V/V_c)	$V(m/s)$	$y(m)$	$Q(L/s)$	$Fr = V/\sqrt{gy}$
0/94	0/28	0/225	35	0/19
0/81	0/24	0/225	30	0/16
0/67	0/2	0/225	25	0/13

پدیده آب‌شستگی در اطراف پایه‌ی پل‌ها، فرآیندی تابع زمان است و با گذشت زمان گسترش پیدا کرده و به حالتی تعادلی می‌رسد. به‌منظور تعیین زمان مناسب برای انجام آزمایشات، یک آزمایش 5 ساعته برای دبی 35 لیتر بر ثانیه (سرعت نسبی 0/94) انجام گرفت و زمانی که حداکثر توسعه‌ی حفره آب‌شستگی ایجاد و بعد از آن تغییرات حفره آب‌شستگی نسبت به زمان ناچیز شد، به عنوان زمان آزمایشات تعیین گردید. با توجه به شکل 3، زمان آزمایشات 150 دقیقه در نظر گرفته شد.



شکل 3- منحنی توسعه زمانی حفره آب‌شستگی.

در شروع هر آزمایش دریچه کشویی کاملاً بسته و آب زلال به آرامی به درون کانال هدایت شد تا از ایجاد رپیل و ناهمواری در سطح بستر جلوگیری شود. پس از بالا آمدن آب و اطمینان از مرطوب شدن رسوبات، پمپ با دبی کمی راه اندازی و جریان ورودی با سرعت بسیار کم وارد کانال می‌گردید تا سطح ناحیه رسوبی تا ارتفاع چند سانتی‌متری از آب پوشیده شود،

نظر اتما (1980) در جریان‌های کم‌عمق، گرداب‌های موج کم‌انی ایجاد شده در سطح آب، به علت گردش در خلاف جهت جریان با جریان تداخل یافته و موجب کاهش در جریان رو به پایین و کاهش عمق آب‌شستگی می‌شود. بنابراین باید عمق جریان بگونه‌ای انتخاب شود که تاثیر این پدیده بر عمق آب‌شستگی از بین برود. بررسی‌های انجام شده نشان داد که حداقل عمق انتخاب شده برای از بین بردن این اثر باید بیش از سه برابر قطر پایه باشد. نکته دیگری که باید در تعیین عمق جریان مورد توجه قرار گیرد، رعایت حداکثر تنش برشی در شرایط آب زلال است. در صورتی که سرعت متوسط جریان (V) از سرعت متوسط بحرانی یا آستانه حرکت (V_c) بیشتر باشد، آب‌شستگی بستر متحرک و زمانی که $0/3V_c < V < V_c$ در محدوده آب‌شستگی آب زلال ایجاد می‌شود (ملویل و چپو 1999). با توجه به موارد ذکر شده برای بدست آوردن سرعت بحرانی، در آزمایشگاه بر روی بستر فلوم با دبی ثابت 35 لیتر بر ثانیه، عمق‌های مختلفی از 15 تا 30 سانتی‌متر بدون حضور پایه ایجاد شد، تا حرکت یا عدم حرکت رسوبات بستر مطالعه شود. در نهایت مقدار متوسط سرعت جریان برای آستانه حرکت 0/3 متر بر ثانیه بدست آمد. مقایسه نتایج حاصله با دیگرام شیلدز نشان داد، مطابقت مطلوبی بین نتایج وجود دارد. بر این اساس، عمق ثابت 22/5 سانتی‌متر جهت انجام آزمایشات انتخاب گردید. جدول 1 شرایط هیدرولیکی حاکم بر آزمایشات را نشان می‌دهد.

جدول 1- شرایط جریان حاکم بر آزمایشات.

گرداب‌های برخاستگی نیز در طرفین و پایین دست پایه، جایی که جریان از دو طرف پایه جدا می‌شود، ذرات این منطقه و همچنین مصالح انتقال یافته از جلوی پایه را بلند کرده و در مسیر جریان قرار می‌دهند. با فعال شدن گرداب نعل‌اسبی در جلوی پایه، تمامی عوامل فرسایش، برداشت و انتقال مصالح کنده شده، تکمیل شده و آب‌شستگی شدیدی در این لحظات اتفاق می‌افتد.

با گذشت 2 ساعت نرخ آب‌شستگی به‌طور قابل ملاحظه‌ای کاهش یافته و تغییرات عمق آب‌شستگی ناچیز می‌شود. در تمامی سرعت‌های نسبی جریان، بیش‌ترین عمق ناشی از آب‌شستگی در جلوی پایه ایجاد و در دو سمت به صورت متقارن رو به پایین دست پایه از عمق آن کاسته می‌شود و در پشت پایه، مواد جدا شده از جلوی پایه انباشته می‌گردد. با افزایش سرعت نسبی جریان، حفره‌ی عمیق‌تر و وسیع‌تری ناشی از فعالیت جریان‌های گردابی در اطراف پایه پل تشکیل می‌شود و رسوبات شسته شده‌ی بستر نیز در فاصله دورتری از پایه تجمع می‌یابند.

در این آزمایشات حداکثر عمق آب‌شستگی برای سرعت نسبی $0/67$ ، $3/4$ سانتی‌متر و برای سرعت نسبی $0/94$ ، $6/1$ سانتی‌متر بدست آمد. شکل 4 توپوگرافی تشکیل شده پیرامون پایه پل در سرعت‌های نسبی $(\frac{V}{V_c})$ $0/67$ و $0/94$ را نشان می‌دهد.

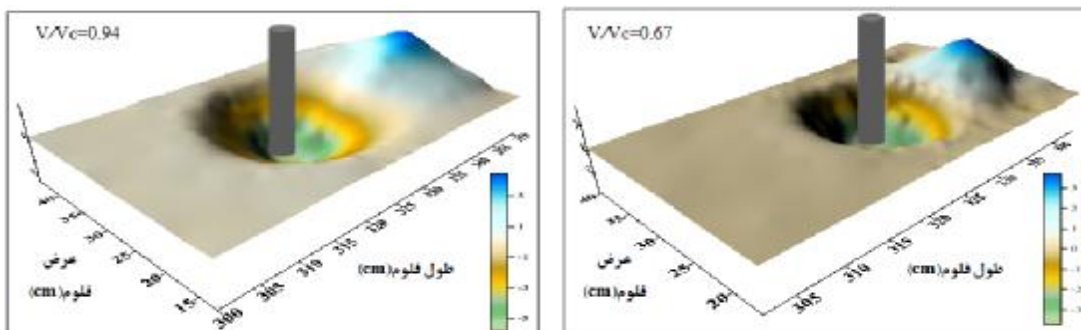
سپس دریچه کشویی بتدریج باز شده تا این‌که دبی و ارتفاع آب درون کانال در مقدار مورد نظر تنظیم گردد. بعد از برقراری جریان به مدت 150 دقیقه، دریچه انتهایی بسته و پمپ خاموش می‌شد تا آب موجود در کانال به آرامی زهکشی شده و بر توپوگرافی بستر تغییری ایجاد نگردد. در نهایت توپوگرافی بستر در اطراف پایه در یک شبکه 1×1 سانتی‌متری توسط متر لیزری برداشت می‌گردید.

نتایج و بحث

بمنظور بررسی حضور شمع‌های حفاظتی در بالادست پایه پل بر میزان آب‌شستگی، آزمایشات در دو بخش انجام شد:

آزمایش‌های بدون شمع محافظ (آزمایش‌های شاهد)

هدف از انجام این آزمایش‌ها مشاهده عملکرد سیستم‌های گردابی و نحوه حرکت ذرات و همچنین برداشت عمق آب‌شستگی در جلوی پایه برای مقایسه با نتایج آزمایش‌های مرحله بعدی بود. با انجام آزمایش‌های بدون شمع‌های محافظ مشاهده شد، آب‌شستگی از جلوی پایه بر اثر جریان روبه‌پایین شروع می‌شود. با بیش‌تر شدن عمق حفره آب‌شستگی در جلوی پایه، فضای مناسبی جهت چرخش روبه‌پایین در داخل حفره فوق ایجاد شده و گرداب نعل‌اسبی شروع به‌کار می‌کند.



شکل 4- الگوی آب‌شستگی پیرامون پایه پل استوانه‌ای بر حسب سانتی‌متر.

آب‌شستگی با استفاده از رابطه 1 محاسبه و در جدول 2 آورده شد. در رابطه فوق d_1 حداکثر عمق آب‌شستگی در آزمایش شاهد و d_2 حداکثر عمق آب‌شستگی در حضور شمع‌های حفاظتی می‌باشد. در این جدول اعداد بالای 100 رسوب‌گذاری در کنار پایه پل را نشان می‌دهد.

$$\%R = \frac{d_1 - d_2}{d_1} \quad [1]$$

آزمایش‌های با حضور شمع‌های محافظ

در این آزمایش‌ها سه شمع با قطر یکسان در بالادست پایه اصلی با آرایش موازی جریان در فاصله-ی 130 سانتی‌متری از ابتدای بستر رسوبی نصب شدند (شکل 2).

در این مرحله 30 آزمایش در سه قطر از شمع‌های حفاظتی و چهار موقعیت قرارگیری، در سرعت‌های نسبی $(\frac{V}{V_c})$ 0/67، 0/81 و 0/94 انجام گرفت. راندمان

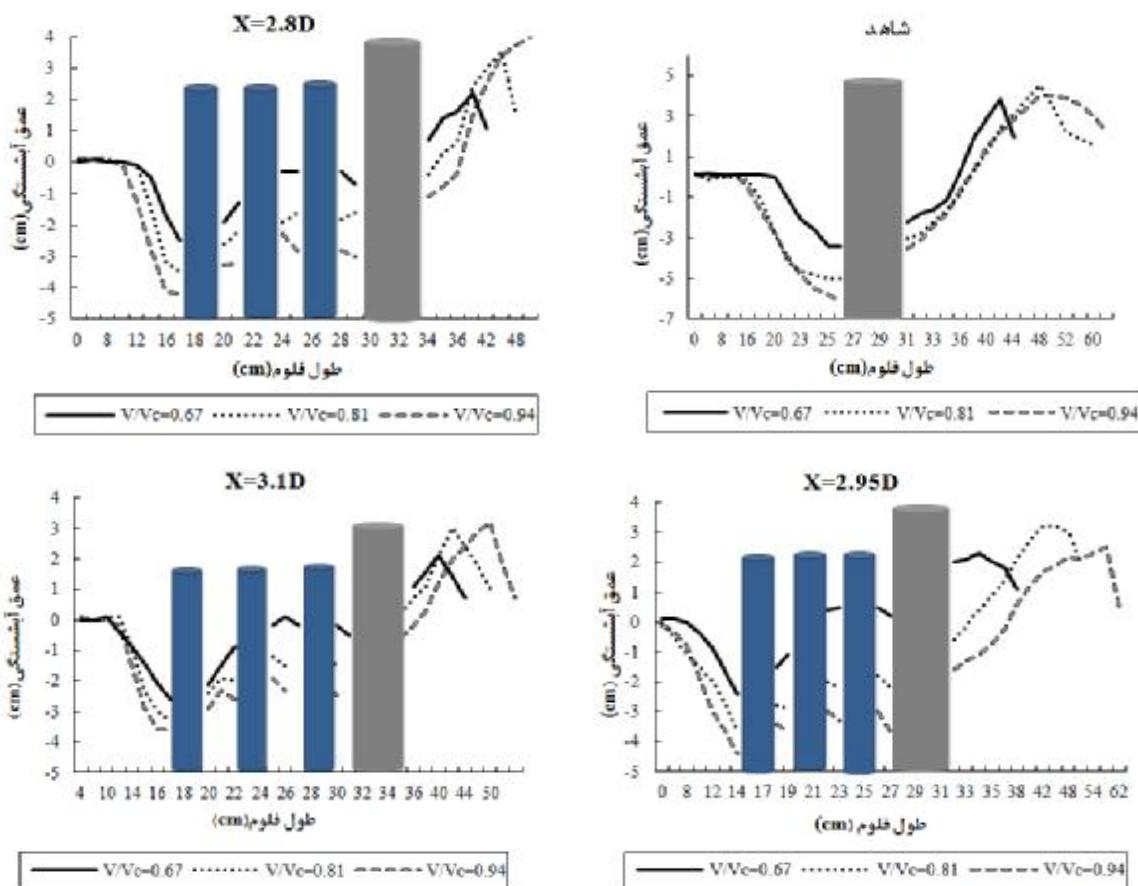
جدول 2- درصد کاهش آب‌شستگی نسبت به آزمایش شاهد.

قطر شمع ها (d) (mm)	موقعیت قرارگیری شمع ها (X) (mm)	فاصله شمع ها از یکدیگر (S) (mm)	درصد کاهش آب‌شستگی (%R)		
			V/V _c =0/67	V/V _c =0/81	V/V _c =0/94
32	2/8D	1/1D	109	64	51
	2/95D	1/15D	121	90	59
	3/1D	1/2D	115	68	39
	3/4D	1/3D	-	-	26
27	2/8D	1/1D	97	54	48
	2/95D	1/15D	112	60	51
	3/1D	1/2D	109	58	49
	3/4D	1/3D	-	-	31
20	2/8D	1/1D	79	66	51
	2/95D	1/15D	103	54	39
	3/1D	1/2D	85	68	59
	3/4D	1/3D	-	-	33

افزایش سرعت جریان، کاهش می‌یابد و تپه رسوبی در فاصله بیشتری از پایه تشکیل می‌شود. به همین دلیل در سرعت نسبی 0/67 در قطرهای 32 و 27 میلی‌متری شمع‌ها، بجای حفره آب‌شستگی، تپه رسوبی در کنار پایه پل تشکیل می‌گردد ولی در سرعت‌های نسبی 0/81 و 0/94 در تمامی قطر شمع‌های آزمایش شده تاثیر حضور شمع‌ها فقط در کاهش حجم حفره آب‌شستگی است و رسوبات شسته شده از کنار شمع‌ها به پشت پایه منتقل می‌شوند (شکل 5).

در ادامه، نتایج مربوط به جدول 2 در دو بخش تاثیر قطر و فاصله شمع‌های حفاظتی بر حفره آب‌شستگی پایه پل مورد بررسی قرار می‌گیرد:
تأثیر قطر شمع‌های حفاظتی در توسعه آب‌شستگی اطراف پایه استوانه‌ای

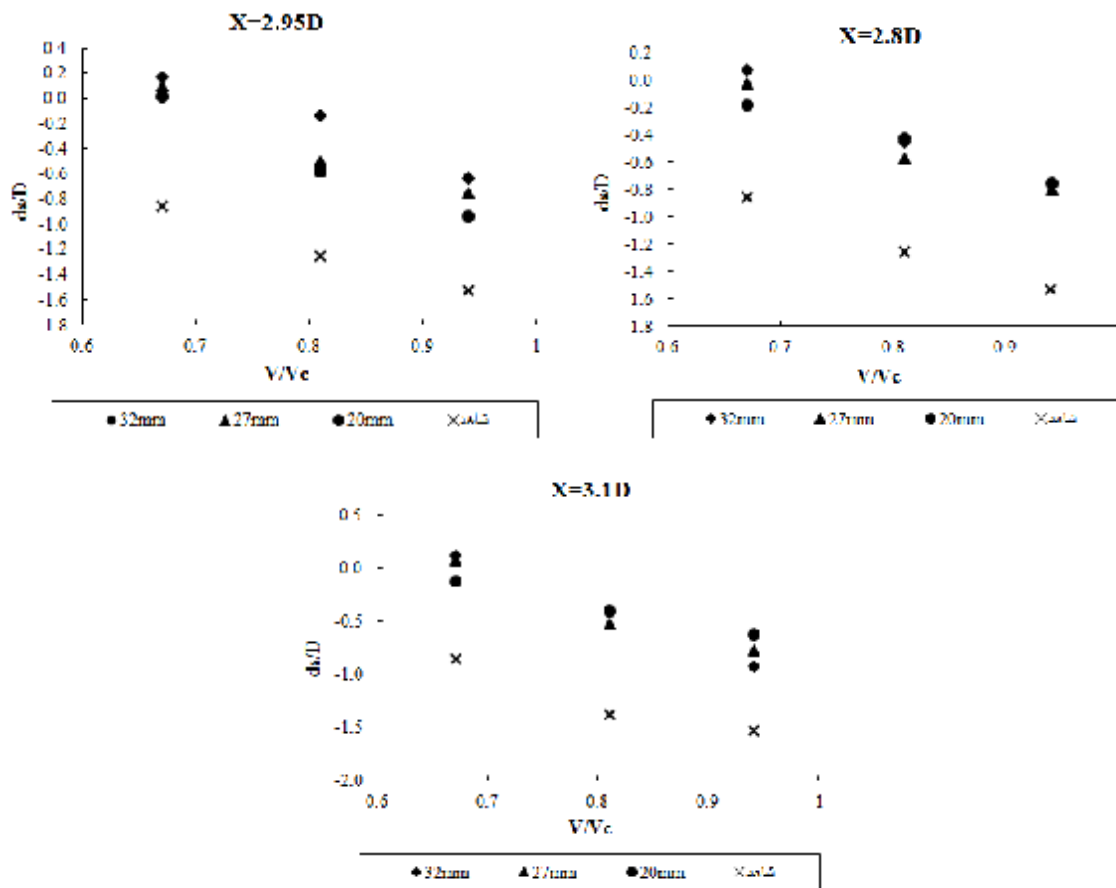
با حضور شمع‌های حفاظتی میزان آب‌شستگی در تمامی آزمایشات کاهش یافت. این کاهش به دلیل ایجاد منطقه کم‌فشار ناشی از حضور این شمع‌ها و نشست رسوبات شسته شده اطراف شمع‌های حفاظتی در کنار پایه پل می‌باشد. راندمان عملکرد شمع‌ها، با



شکل 5- پروفیل طولی حفره آب‌شستگی در قطر 20 میلی‌متری شمع‌های حفاظتی.

ولی با افزایش فاصله‌ی شمع‌ها در موقعیت‌های قرارگیری $3/4D$ و $3/1D$ این روند عکس شده و با افزایش قطر شمع‌ها عمق آب‌شستگی در پایه پل افزایش می‌یابد. افزایش سرعت نسبی در فواصل کم شمع‌ها تاثیر تغییر قطر آن‌ها را کاهش می‌دهد ولی با افزایش فاصله‌ی بین شمع‌ها، با افزوده شدن بر سرعت نسبی اثر تغییر قطر شمع‌ها بر کاهش عمق آب‌شستگی مشهودتر است (شکل 6).

در $V/V_c = 0/67$ با افزایش قطر شمع‌های حفاظتی در تمامی فواصل میزان آب‌شستگی در اطراف پایه کاهش می‌یابد. در سرعت نسبی $0/94$ با افزایش قطر شمع‌های حفاظتی در موقعیت‌های قرارگیری $2/8D$ و $2/95D$ بدلیل افزایش محدوده منطقه کم‌فشار ناشی از حضور شمع‌ها و تضعیف جریان نعل اسبی و همچنین افزایش حجم نشست رسوبات شسته شده‌ی ناشی از فعالیت جریان‌های گردابی از کنار شمع‌ها در پای پل، عمق آب‌شستگی در اطراف پایه، کاهش می‌یابد



شکل 6- تاثیر تغییر قطر شمع‌ها در کاهش عمق بی‌بعد آب‌شستگی.

می‌شود، حفره اول در کنار شمع اول و دوم تشکیل شده و کم‌ترین میزان آب‌شستگی در شمع سوم اتفاق می‌افتد و رسوبات برخاسته از شمع اول و دوم در اطراف شمع سوم نشست می‌کنند، حفره‌ی دوم نیز در کنار پایه پل تشکیل می‌شود. بطور کلی نتایج نشان داد در تمامی قطر شمع‌ها تاثیر عامل حفاظتی شمع جلویی بیش از اثر عامل تقویت‌کننده شمع یا پایه عقبی است (شکل‌های 7 و 8).

در تمامی فواصل شمع‌ها و سرعت‌های نسبی مورد آزمایش در پایه‌های 27 و 32 میلی‌متری، عمق آب‌شستگی در شمع دوم کمتر از شمع اول و در شمع سوم کمتر از شمع دوم بود و کم‌ترین مقدار آب‌شستگی نیز در پایه اصلی دیده شد. بنابراین در حضور شمع‌های 27 و 32 میلی‌متری شاهد روند کاهشی حداکثر عمق آب‌شستگی از شمع نخست در بالادست به سمت پایه پل می‌باشیم. در حالی‌که با نصب شمع‌های 20 میلی‌متری در تمامی سرعت‌های نسبی دو حفره تشکیل



شکل 8- حفره آب‌شستگی در حضور شمع 20 میلی‌متری.

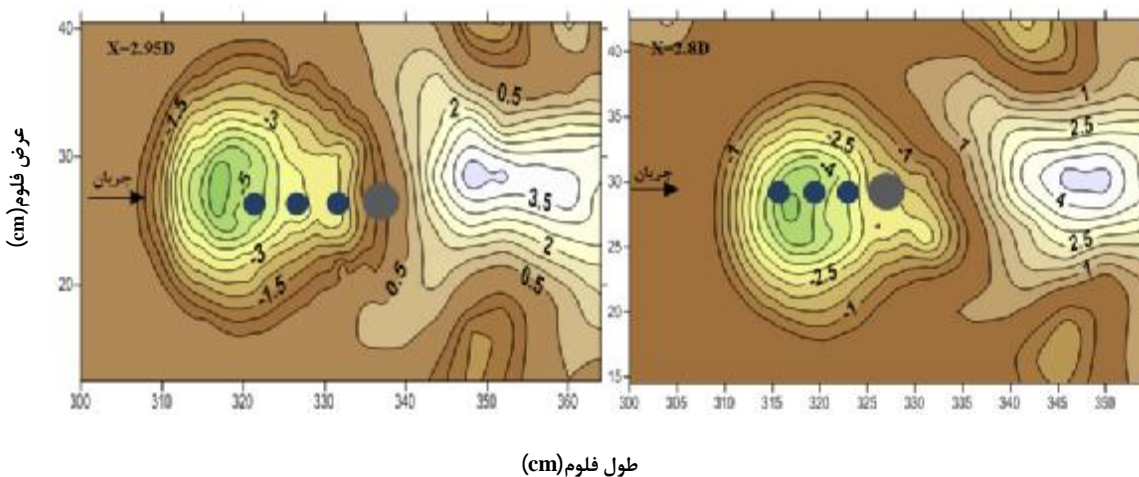


شکل 7- حفره آب‌شستگی در حضور شمع 32 میلی‌متری.

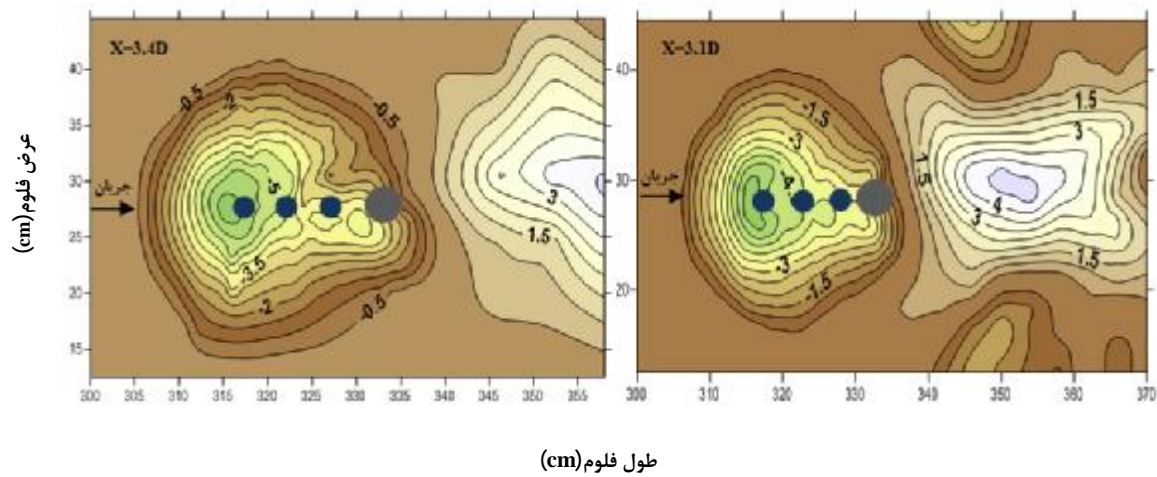
با افزایش فاصله بین شمع‌ها تقارن الگوی آب‌شستگی برهم خورده و حفره آب‌شستگی به گوشه سمت راست پایه متمایل می‌شود. نتایج نشان داد در سرعت نسبی 0/81 در فواصل 2/8D و 3/1D و در سرعت نسبی 0/94 در فاصله 2/8D اثر موقعیت قرارگیری شمع‌ها بر تغییر قطر چیره بوده و راندمان عملکرد شمع‌ها با وجود تغییر قطر به هم نزدیک می‌باشد. همچنین تاثیر تغییر فاصله بر کاهش عمق آب‌شستگی در شمع‌هایی با قطر 27 میلی‌متر از سایر شمع‌ها کم‌تر بود.

تأثیر فاصله شمع‌های حفاظتی در توسعه آب‌شستگی اطراف پایه استوانه‌ای

با توجه به جدول 2 می‌توان گفت تاثیر موقعیت قرارگیری شمع‌های حفاظتی در کاهش آب‌شستگی پایه پل یکسان نیست. تاثیر نامنظم شمع‌ها بر کاهش آب‌شستگی در فواصل مختلف ناشی از برهم‌کنش فاصله و قطر شمع‌ها می‌باشد. تقریباً در تمامی آزمایشات بیش‌ترین راندمان عملکرد شمع‌ها در فاصله 2/95D بدست آمد. بیش‌ترین توسعه طولی و عرضی حفره آب‌شستگی نیز در موقعیت قرارگیری 3/4D مشاهده شد. همچنین



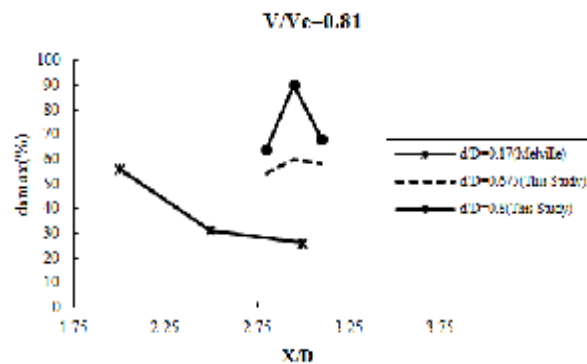
طول فلوم (cm)



شکل 9- الگوی آب‌شستگی در حضور شمع حفاظتی 32 میلی‌متری برای سرعت نسبی 0/94.

در تحقیق حاضر با 3 شمع حفاظتی و در قطر- های مختلف شمع‌ها، تاثیر تغییر فاصله مطالعه گردید و این نتیجه حاصل شد که در نسبت‌های بزرگتر قطر شمع‌ها به قطر پایه پل تا فاصله بهینه با کاهش حداکثر عمق آب‌شستگی مواجه شده و بعد از فاصله بهینه با افزوده شدن فاصله بین شمع‌ها راندمان آن‌ها کاهش می‌یابد. این تفاوت نتیجه مربوط به برهم‌کنش فاصله و قطر در آرایش‌های مختلف شمع‌ها می‌باشد.

شکل 10 مقایسه نتایج تحقیق حاضر با نتایج تحقیقات ملویل و هادفیلد (1999) که مربوط به استفاده از 5 شمع حفاظتی در سرعت نسبی 0/82 می‌باشد، را نشان می‌دهد. ملویل و هادفیلد تاثیر تغییر فاصله را در یک قطر از شمع‌های حفاظتی مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که با افزایش فاصله تاثیر حضور شمع‌ها کاهش می‌یابد.



شکل 10- مقایسه نتایج تحقیق حاضر با مطالعات ملویل و هادفیلد.

نتیجه‌گیری کلی

27 و 20 میلی‌متری با افزایش سرعت نسبی از 0/67 به 0/94 در فاصله بهینه به ترتیب 62، 61 و 64 درصد می‌باشد. همچنین در سرعت‌های نسبی بالا فاصله بهینه در فاصله کمتری از شمع‌ها ایجاد می‌شود.

آب‌شستگی ایجاد شده در اطراف پایه، با حضور شمع‌های محافظ در تمامی موقعیت‌های قرارگیری، با سه قطر شمع متفاوت، کاهش می‌یابد. اما تاثیر تغییر فاصله در سرعت‌های نسبی بالا در شمع‌هایی با قطر بیشتر، محسوس‌تر است. بیش‌ترین کاهش در حداکثر عمق آب‌شستگی و توسعه طولی و عرضی حفره آب-شستگی در فاصله 2/95D در شمع 32 میلی‌متری ایجاد شد.

با افزایش قطر شمع‌ها به علت ایجاد منطقه ضعیف وسیع‌تر و نشست بیش‌تر رسوبات فرسایش یافته از مقابل شمع‌های حفاظتی در پای‌پل، عمق آب-شستگی بطور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد. کاهش عمق آب‌شستگی با افزایش قطر شمع‌ها تا فاصله بهینه وجود داشت و با افزایش فاصله این روند عکس شده و شمع‌هایی با قطر کم‌تر تاثیر بیش‌تری بر کاهش عمق آب‌شستگی داشتند.

افزایش سرعت نسبی موجب کاهش اثر حضور شمع‌ها شده و راندمان را به علت تقویت جریان‌های گردابی، کاهش می‌دهد. کاهش اثر حضور شمع‌های 32

منابع مورد استفاده

بی‌نام، 1390. راهنمای روش‌های محاسبه آب‌شستگی موضعی (نشریه شماره 549). معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رییس‌جمهور. تهران.

Chabert J, and Engeldinger P. 1956. Study scouring around bridge piers. Report National Laboratory of Hydraulics, Chatou, France (in French).

Chiew Y M, and Melville BW. 1987. Local scour around bridge Piers. Journal of Hydraulic Engineering ASCE 25(1): 15-26.

Chiew YM, 1992. Scour protection at bridge piers. Journal of Hydraulic Engineering ASCE 118(9): 1260-1269.

Ettema R, 1980. Scour at bridge piers. Report No.216. University of Auckland. New Zealand.

Haque MA, Rahman MdM, Islam GMT and Hussain MA, 2007. Scour mitigation at bridge piers using sacrificial piles. International Journal of Sediment Research 22(1): 49-59.

Melville BW and Chiew YM, 1999. Time scale for local scour at bridge piers. Journal of Hydraulic Engineering ASCE 125(1):59-65.

Melville BW and Hadfield AC, 1999. Use of sacrificial piles as pier scour countermeasures. Journal of Hydraulic Engineering ASCE 125(11): 1221-1224.

Oliveto G and WH Hager, 2002. Temporal evolution of clear-water pier and abutment scour. Journal of Hydraulic Engineering ASCE 128(9): 811-820.

Singh KK, Verma DVS and Tiwari NK, 1995. Scour protection at circular bridge piers. 6th International Symposium on River Sedimentation. New Delhi, India.