

بررسی آبخستگی در اطراف پایه مکعبی شکل پل‌ها در حضور شمع‌های حفاظتی

نوال آزم^{۱*} و مهدی قمشی^۲

چکیده

در این پژوهش اثر استفاده از شمع‌های حفاظتی بر آبخستگی پایه‌های مکعبی ارزیابی شد. شمع‌های حفاظتی در بالادست پایه اصلی قرار گرفته و با انحراف مسیر جریان و کاهش سرعت جریان پایین‌رونده در جلوی پایه و ایجاد منطقه کم‌فشار در پشت خود، از پایه پل در برابر آبخستگی حفاظت می‌کنند. در این مطالعه تأثیر تغییر قطر و فاصله شمع‌های حفاظتی برای پایه مکعبی به ضلع (D) ۴۰ میلی‌متر در یک فلوم به طول ۷/۳ متر، عرض ۰/۵۶ متر و عمق ۰/۶ متر بررسی شد. آزمایش‌ها برای شمع‌های حفاظتی با قطرهای ۲۰، ۲۷ و ۳۲ میلی‌متری و در ۳ موقعیت قرارگیری ۲/۸D، ۲/۹۵D و ۳/۱D برای حالت آب زلال با عددهای فرود ۰/۱۳، ۰/۱۶ و ۰/۱۹ انجام شد. نتایج نشان داد در یک فاصله مشخص با افزایش قطر شمع‌ها از میزان آبخستگی به طور قابل توجهی کاسته می‌شود. همچنین در تمامی حالت‌ها با افزایش عدد فرود میزان آبخستگی افزایش می‌یابد. در این آزمایش‌ها بهترین موقعیت قرارگیری شمع‌ها در فاصله ۳/۱D بود، که با توجه به قطر شمع‌ها و شدت جریان، راندمان ۷۰ تا ۱۳۲ درصدی نسبت به آزمایش شاهد به دست آمد.

واژه‌های کلیدی: آبخستگی، پایه پل مکعبی، جریان گردابی، شمع‌های حفاظتی.

ارجاع: آزم ن. و قمشی م. ۱۳۹۳. بررسی آبخستگی در اطراف پایه مکعبی شکل پل‌ها در حضور شمع‌های حفاظتی. مجله پژوهش آب ایران. ۳۱-۲۳:(۱۵)۸

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه سازه‌های آبی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز.
۲- استاد گروه سازه‌های آبی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز.

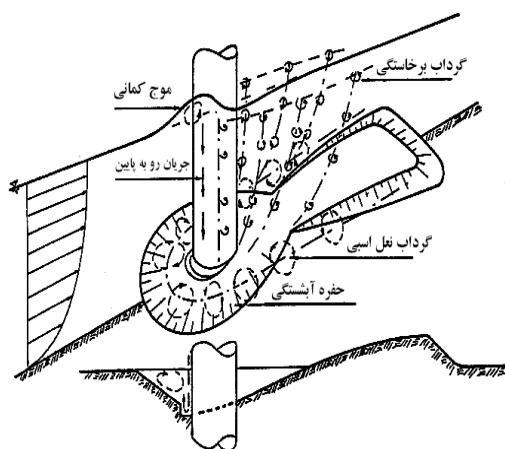
* نویسنده مسئول: naval.azam@yahoo.com

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۱۲/۰۷

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۰۲/۳۱

مقدمه

پایین‌دست پایه است، در این حالت عمق آبستگی به حالت تعادل می‌رسد (شکل ۱) (بی‌نام، ۱۳۹۰).



شکل ۱- نمایی از جریان‌های اطراف پایه پل (رادکیوی، ۱۹۹۸)

انواع روش‌های کنترل آبستگی را می‌توان به طور عمده به دو دسته اصلی مقاوم‌سازی بستر در برابر تنش برشی ناشی از جریان، شامل استفاده از سنگ‌چین و بلوک‌های به هم چسبیده و روش تغییر الگوی جریان و کاهش شدت گردابه‌های ایجاد شده در اطراف پایه مانند شمع‌های حفاظتی (پایه‌های قربانی شونده)، صفحه‌های مستغرق، طوق و ایجاد شکاف تقسیم کرد.

با قرارگیری شمع‌های حفاظتی در بالادست پایه اصلی علاوه بر تغییر مسیر جریان، مواد بستر حاصل از فرسایش در زیرساخت این پایه‌ها نیز در اطراف پایه اصلی جمع می‌شوند و به کاهش عمق آبستگی کمک می‌کنند. راندمان استفاده از شمع‌های حفاظتی به عامل‌های زیادی 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 انجام شده در این خصوص می‌توان به مطالعه چابرت و انگلدینجر (۱۹۵۶) اشاره کرد. در آن مطالعه، شمع‌های حفاظتی با آرایش مثلثی بررسی شد و نتایج آن پژوهش نشان داد، با این روش امکان کاهش آبستگی تا حدود ۵۰٪ قابل انتظار خواهد بود. سینگ و همکاران (۱۹۹۵) با انجام آزمایش‌هایی بر شمع‌های محافظ نشان دادند، حداکثر حفاظت برای یک پایه استوانه‌ای به قطر (D)، زمانی حاصل می‌شود، که یک شمع حفاظتی با همان قطر در فاصله (2D) بالاتر از پایه

آبستگی در حقیقت جابجایی ذرات با جریان از محل استقرار اولیه آن‌ها به مکان دیگری است. آبستگی ممکن است در نتیجه تغییرات طبیعی جریان در آبراهه یا در نتیجه فعالیت‌های انسان مانند ساخت سازه‌ها در مسیر جریان یا برداشت مصالح بستر اتفاق افتد.

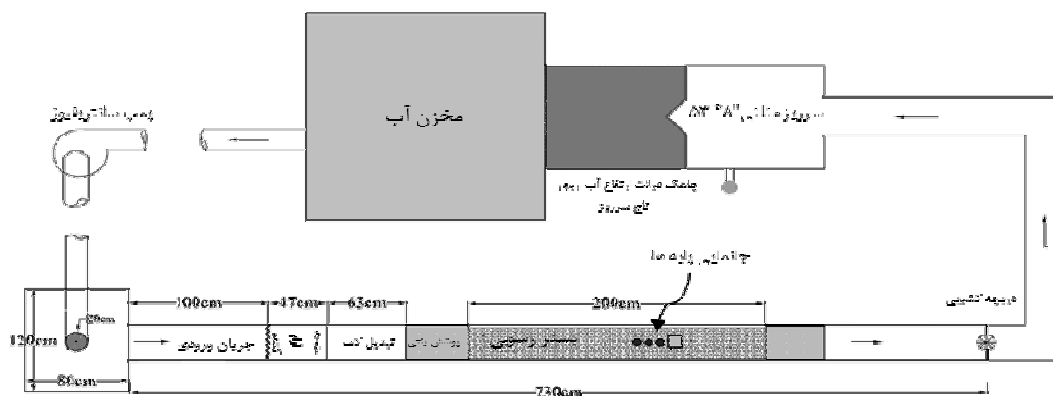
یکی از دلایل‌های ایجاد آبستگی در پایه و تکیه‌گاه پل‌ها تشکیل یک سامانه سه بعدی جریان گردابی در اطراف آن‌ها است. پس از برخورد جریان به دماغه پل، با توجه به اینکه سرعت جریان از بستر رودخانه به طرف سطح آب بیشتر می‌شود، فشار بیشتری نیز در ترازهای بالاتر ایجاد می‌شود و به این ترتیب روی پایه گرادبان فشاری از بالا به پایین به وجود می‌آید که خود باعث ایجاد یک جریان روبه پایین در جلو پایه می‌شود. این جریان در فاصله بسیار کمی از دماغه پایه یعنی بین ۰/۰۲ تا ۰/۰۵ قطر پایه در بالادست آن تشکیل می‌شود. جریان روبه پایین همانند یک جت عمودی عمل کرده و پس از برخورد به بستر رودخانه ضمن حفر بستر به هر طرف پراکنده می‌شود. مقداری از این جریان که به سمت بالا بازگشت می‌کند، در برخورد به جریان عمومی رودخانه، مجبور به حرکت در جهت جریان شده و دوباره به پایه برخورد می‌کند. این چرخش جریان و بازگشت آن در داخل حفره کنده شده، گردابی تشکیل می‌دهد که به تدریج در دو طرف پایه، امتداد یافته و شکلی شبیه نعل اسب پدید می‌آورد که به آن گرداب نعل‌اسبی می‌گویند. تشکیل گرداب نعل‌اسبی در داخل حفره آبستگی، باعث تسریع در حفر آن شده و ذرات جدا شده از بستر، با جریان اصلی رودخانه به پایین‌دست حمل می‌شوند. در اثر جدایی جریان در کناره‌های پایه نیز گرداب‌هایی تشکیل می‌شوند که محور آن‌ها عمود بر بستر رودخانه است و به آن‌ها گرداب برخاستگی می‌گویند. این گرداب‌ها همانند گردباد ذرات بستر را جدا کرده و در معرض جریان قرار می‌دهند و به انتقال ذرات از جلو و اطراف پایه به سمت پایین‌دست کمک می‌کنند. حفر گودال آبستگی با گرداب نعل‌اسبی آن قدر ادامه می‌یابد تا حجم آب درون حفره آبستگی زیاد شده و انرژی گرداب را مستهلک کند. هنگامی که گرداب برخاستگی به سمت پایین‌دست حرکت می‌کند، ضعیف شده و در نتیجه ذرات رسوب بر روی بستر فرو می‌افتند که نتیجه آن تشکیل یک پشته رسوبی در

ضرورت انجام پژوهش‌ها بیشتر پیرامون تأثیر شمع‌های حفاظتی وجود دارد. از آن جایی که تغییر نحوه آرایش شمع‌ها و تغییرات قطر و فاصله در آن‌ها بر راندمان حضور شمع‌ها نقش به‌سزایی را ایفا می‌کند، این پژوهش به بررسی کارایی و تأثیر شمع‌های حفاظتی بر کاهش آبشستگی موضعی در کنار پایه مکعبی و تعیین بهترین قطر و موقعیت قرارگیری این شمع‌ها با آرایش خطی (موازی جریان) در بالادست پایه می‌پردازد.

مواد و روش‌ها

آزمایش‌ها در فلومی به طول ۷/۳ متر، عرض ۰/۵۶ متر و عمق ۰/۶ متر با شیب طولی ۰/۰۰۲۸ در آزمایشگاه هیدرولیک دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه چمران اهواز در سال ۱۳۹۰ انجام شد. دیواره‌ها و کف فلوم از جنس پلکسی‌گلاس شفاف بود. جریان مورد نیاز با یک پمپ سانتریفیوژ از مخزن تأمین آب وارد مخزن آرام کننده در ابتدای فلوم می‌شد. برای حذف تلاطم ورودی، از یک صفحه مشبک آرام‌کننده، در فاصله ۱ متری از دهانه ورودی فلوم، استفاده شد. جریان پس از خروج از فلوم، وارد یک حوضچه می‌شد و با عبور از روی یک سرریز مثلثی استاندارد ۵۳ درجه، دوباره وارد مخزن تأمین آب می‌شد. اندازه‌گیری دبی جریان با قرائت ارتفاع آب روی راس سرریز و با رابطه دبی-اشل سرریز انجام می‌شد. با توجه به زیربحرانی بودن جریان، کنترل عمق جریان با استفاده از یک دریچه کشویی که در انتهای فلوم قرار داشت، انجام شد. عمق جریان نیز در طول مدت زمان آزمایش با اشل‌های نصب شده بر روی فلوم اندازه‌گیری شد (شکل ۲).

نصب شود. با این شرایط حدود ۵۰٪ آبشستگی را می‌توان کاهش داد. همچنین آن‌ها به این نتیجه رسیدند که اگر قطر شمع حفاظتی به ۳۶ درصد قطر پایه کاهش یابد، حداکثر مقدار آبشستگی ۳۲٪ خواهد بود. در مطالعه دیگری که با ملویل و هادفیلد (۱۹۹۹) انجام شد، راندمان ۵۶٪ در آرایش شمع‌ها به صورت مثلثی گزارش شده است. آن‌ها در این مطالعه، بدون ایجاد تغییر در قطر شمع‌ها، سایر پارامترهای مؤثر را بررسی کردند و در نهایت نتیجه‌گیری کردند که شمع‌های حفاظتی به طور عمده در شرایط آب صاف، یعنی زمانی که سرعت جریان از سرعت آستانه حرکت رسوبات کمتر است دارای راندمان بهتری است و در وضعیت بستر متحرک، راندمان این روش کاهش زیادی خواهد یافت. همچنین با افزایش زاویه انحراف جریان نسبت به گروه شمع‌ها از اثر حفاظتی شمع‌ها کاسته می‌شود. آرایش شمع‌های عمود بر مسیر جریان به وسیله هاکو و همکاران (۲۰۰۷) بررسی شد. هدف اصلی قراردادن شمع‌های حفاظتی در آن پژوهش، به تله انداختن رسوبات شسته شده این شمع‌ها با پایه اصلی و جلوگیری از افزایش بیشتر عمق آبشستگی گزارش شده است. در آن پژوهش، چندین آرایش گوناگون شمع‌های حفاظتی بررسی شد. در نهایت نتیجه گرفتند، راندمان بیشینه زمانی رخ می‌دهد که ۳ شمع با قطر ۲۰٪ عرض پایه اصلی در فاصله ۲ برابر عرض پایه اصلی قرار گیرند. در این وضعیت راندمان ۵۰٪ در کاهش عمق آبشستگی به دست خواهد آمد. علاوه بر پژوهش‌های آزمایشگاهی، این روش در عمل نیز ارزیابی شد. در این خصوص، دو پژوهش چنگ و کریم (۱۹۷۲) و پایس و هی (۱۹۹۳) نشان می‌دهد که با این روش امکان کاهش زیاد آبشستگی وجود دارد. با وجود مطالعات فوق همچنان



شکل ۲- نمایی از فلوم آزمایشگاهی

تحلیل ابعادی

در آزمایش‌ها برای رسیدن به حداکثر عمق آبشستگی باید پارامترهای مؤثر با دقت به موارد زیر انتخاب شوند. برای از بین رفتن تأثیر دیواره‌های کانال بر آبشستگی موضعی، طبق توصیه‌های چپو و ملویل (۱۹۸۷) قطر پایه نباید از ۱۰ درصد عرض کانال بیشتر باشد. پس برای مدل‌کردن پایه پل از پایه مکعبی چوبی به ضلع ۴۰ میلی‌متر استفاده شد. شمع‌های حفاظتی نیز از جنس چوب و در ۳ قطر ۲۰، ۲۷ و ۳۲ میلی‌متر ساخته شدند.

یکی از محدودیت‌ها برای رسیدن به حداکثر عمق آبشستگی قطر ذرات رسوبی است. ملویل (۱۹۹۷) برای حذف اثر رسوبات روی عمق آبشستگی نسبت قطر پایه به قطر ذرات (D/d_{50}) را بزرگ‌تر از ۲۵ مطرح کرد.

همچنین برای حذف اثر ناپیکنواختی رسوبات بر کاهش آبشستگی موضعی بر طبق پیشنهاد چپو و ملویل (۱۹۸۷) میزان انحراف معیار هندسی ذرات

$$\left(\sigma_g = \sqrt{\frac{D_{84.1}}{D_{15.9}}}\right)$$

به شرایط ذکر شده، برای تأمین رسوبات بستر از ماسه باقیمانده بین الک‌های ۳۰ و ۴۰ در محدوده اندازه ذرات ۰/۵۹ تا ۰/۴۲ میلی‌متر استفاده و بستر در بازه‌ای ۲ متری به ضخامت ۱۲ سانتی‌متر با رسوباتی با قطر ذرات ۰/۵ میلی‌متر پوشانده شد.

براساس توصیه الیوتو و هاگر (۲۰۰۲) برای جلوگیری از اثر زبری بر عمق آبشستگی، عمق آب باید بیشتر از ۲۰ میلی‌متر انتخاب شود. همچنین طبق نظر اتما (۱۹۸۰)،

در جریان‌های کم‌عمق، گرداب‌های موج‌کمانی ایجاد شده در سطح آب، به دلیل گردش در خلاف جهت جریان با جریان تداخل یافته و موجب کاهش در جریان روبه پایین و کاهش عمق آبشستگی می‌شود. بنابراین باید عمق جریان به گونه‌ای انتخاب شود که تأثیر این پدیده بر عمق آبشستگی از بین برود. پس 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 به آن توجه شود، رعایت حداکثر تنش برشی در شرایط آب زلال است.

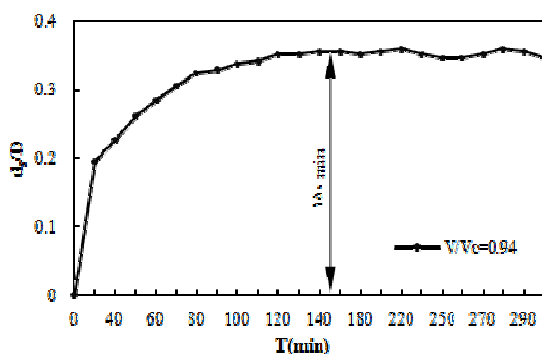
در صورتی که سرعت جریان (V) از سرعت بحرانی یا آستانه حرکت (V_c) بیشتر باشد، آبشستگی بستر متحرک و زمانی که سرعت جریان در محدوده $V_c < V < 0.3 V_c$ باشد، آبشستگی آب زلال ایجاد می‌شود (ملویل و چپو،

۱۹۹۹). با توجه به موارد ذکر شده برای به دست آوردن سرعت بحرانی، در آزمایشگاه بر روی بستر فلوم با دبی ثابت ۳۵ لیتر بر ثانیه، عمق‌های مختلفی از ۳۰ تا ۱۵ سانتی‌متر بدون حضور پایه ایجاد شد، تا حرکت یا عدم حرکت رسوبات بستر مطالعه شود. در نهایت مقدار سرعت جریان برای آستانه حرکت ذرات رسوبی ۰/۳ متر بر ثانیه تعیین شد. نتیجه این آزمایش‌ها با تنش برشی بحرانی به دست آمده از منحنی شیلدز مقایسه و بعد از اطمینان از درستی آن‌ها شرایط نشان داده شده در جدول ۱ برای انجام آزمایش‌ها انتخاب شد.

جدول ۱- شرایط جریان حاکم بر آزمایش‌ها

(V/V_c)	$V(m/s)$	$y(m)$	$Q(m^3/s)$	$Fr = V/\sqrt{gy}$
۰/۹۴	۰/۲۸	۰/۲۲۵	۰/۰۳۵	۰/۱۹
۰/۸۱	۰/۲۴	۰/۲۲۵	۰/۰۳	۰/۱۶
۰/۶۷	۰/۲	۰/۲۲۵	۰/۰۲۵	۰/۱۳

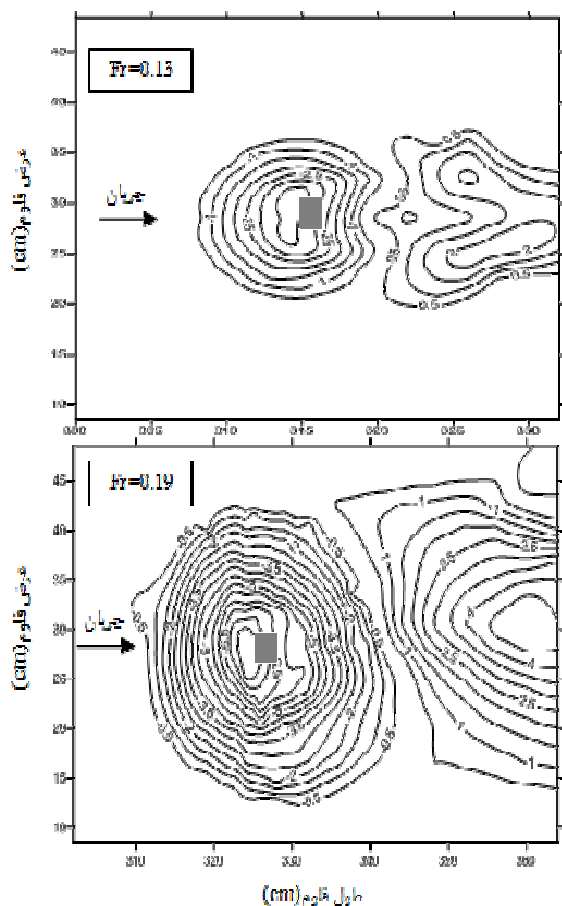
پدیده آبشستگی در اطراف پایه پل‌ها، فرآیندی تابع زمان است و با گذشت زمان گسترش پیدا کرده و به حالت تعادلی می‌رسد. برای تعیین زمان تعادل آزمایش‌ها، یک آزمایش ۵ ساعته برای دبی ۳۵ لیتر بر ثانیه انجام شد و زمان تعادل براساس تغییرات کم حفره آبشستگی نسبت به زمان به دست آمد. برای ترسیم منحنی توسعه زمانی حفره آبشستگی، گسترش عمقی چاله آبشستگی با عمق‌سنج لیزری کالیبره شده برای محیط آب و اشل نصب شده بر روی پایه پل اندازه‌گیری شد. با توجه به شکل ۳، زمان تعادل ۱۵۰ دقیقه در نظر گرفته شد.



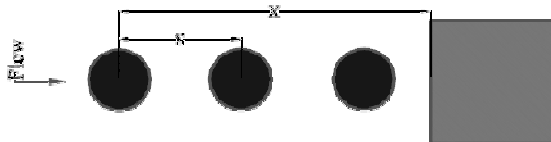
شکل ۳- منحنی توسعه زمانی حفره آبشستگی

در شروع هر آزمایش دریاچه کشویی به طور کامل بسته و آب از انتهای فلوم به آرامی وارد می‌شد، جریان ورودی نیز با سرعت کم وارد فلوم می‌شد تا سطح ناحیه رسوبی تا ارتفاع چند سانتی‌متری از آب پوشیده شود، سپس دریاچه

در رابطه بالا d_1 حداکثر عمق آبستگي در آزمایش شاهد و d_2 حداکثر عمق آبستگي در حضور شمع‌های حفاظتی است. در جدول ۲ راندمان بالای ۱۰۰ درصد بیانگر رسوب‌گذاری و راندمان کمتر از ۱۰۰ درصد نشان‌دهنده کاهش عمق آبستگي در کنار پایه پل در حضور شمع‌های حفاظتی نسبت به حالت شاهد است.



شکل ۴- الگوی آبستگي پیرامون پایه پل



شکل ۵- آرایش شمع‌های حفاظتی در بالادست پایه پل

کشویی به تدریج باز شده تا این که دبی و ارتفاع آب درون فلوم در مقدار مورد نظر تنظیم شود. بعد از برقراری جریان به مدت ۱۵۰ دقیقه، دریچه انتهایی بسته و پمپ خاموش می‌شد تا آب موجود در کانال به آرامی زهکشی شود و روی توپوگرافی بستر تأثیری نگذارد. پس از گذشت چند ساعت و تخلیه کامل آب از درون کانال، با عمق‌سنج لیزری، توپوگرافی بستر در اطراف پایه در یک شبکه 1×1 سانتی‌متری برداشت شد.

نتایج و بحث

برای بررسی حضور شمع‌های حفاظتی در بالادست پایه بر میزان آبستگي، آزمایش‌ها 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 آبستگي در جلوی پایه برای مقایسه با نتایج آزمایش‌های مرحله بعدی بود. با انجام آزمایش‌های بدون شمع‌های محافظ مشاهده شد، بیشترین عمق ناشی از آبستگي در جلوی پایه ایجاد شده و در دو سمت با الگوی متقارن رو به پایین دست پایه از عمق آن کاسته می‌شود. در پشت پایه نیز مواد جدا شده از جلوی پایه انباشته می‌شود. همچنین با افزایش عدد فرود حفره عمیق‌تر و وسیع‌تری ناشی از فعالیت جریان‌های گردابی در اطراف پایه پل تشکیل می‌شود (شکل ۴).

آزمایش‌های با حضور شمع‌های محافظ

در این آزمایش‌ها سه شمع با قطر یکسان در بالادست پایه اصلی با آرایش موازی جریان در فاصله ۱۳۰ سانتی‌متری از ابتدای بستر رسوبی نصب شدند. نحوه آرایش پایه‌ها در شکل ۵ نشان داده شده است.

در این مرحله ۲۷ آزمایش در سه قطر از شمع‌های حفاظتی و سه موقعیت قرارگیری، در عددهای فرود ۰/۱۳، ۰/۱۶ و ۰/۱۹ انجام شد. درصد کاهش آبستگي با استفاده از نتایج آزمایش‌ها شاهد و از رابطه ۱ محاسبه و در جدول ۲ آورده شده است.

$$\%R = \frac{d_1 - d_2}{d_1} \times 100 \quad (1)$$

جدول ۲- شرایط و نتایج آزمایش‌های آبشستگی

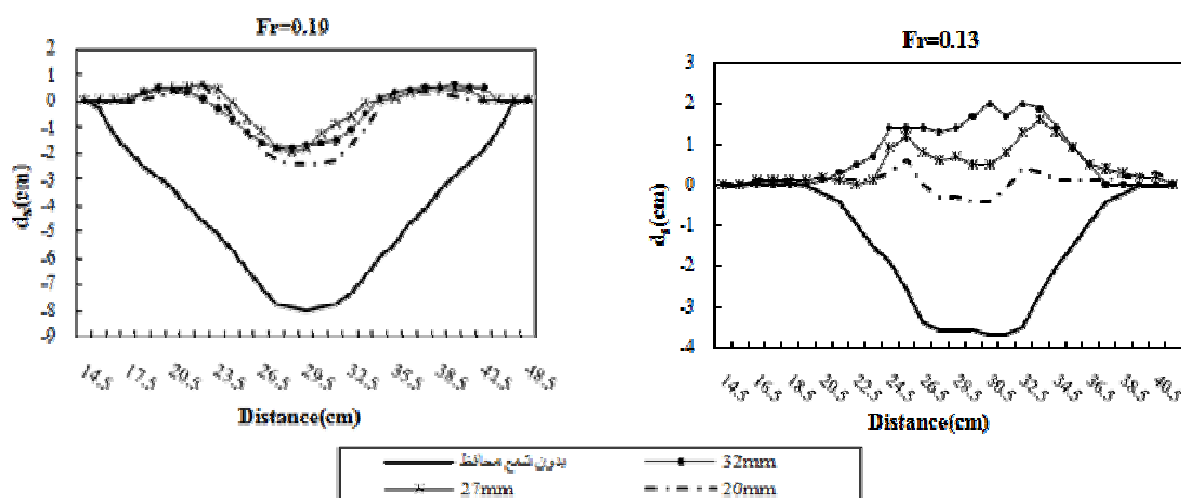
قطر شمع‌ها (d) (mm)	موقعیت قرارگیری شمع‌ها (X) (mm)	فاصله شمع‌ها از یکدیگر (S) (mm)	درصد کاهش آبشستگی (%R)		
			Fr=0.13	Fr=0.16	Fr=0.19
۳۲	۲/۸D	۱/۱D	۱۳۸	۱۰۳	۷۱
	۲/۹۵D	۱/۱۵D	۱۳۰	۱۰۲	۷۱
	۳/۱D	۱/۲D	۱۳۲	۹۴	۷۸
۲۷	۲/۸D	۱/۱D	۱۰۳	۷۳	۶۳
	۲/۹۵D	۱/۱۵D	۸۴	۶۷	۴۹
	۳/۱D	۱/۲D	۱۱۱	۹۱	۷۵
۲۰	۲/۸D	۱/۱D	۷۱	۶۹	۶۱
	۲/۹۵D	۱/۱۵D	۶۸	۶۱	۴۰
	۳/۱D	۱/۲D	۸۷	۷۳	۷۰

آبشستگی، تپه رسوبی در کنار پایه پل تشکیل می‌شود ولی در فرود ۰/۱۹ در تمامی قطر شمع‌های آزمایش شده تأثیر حضور شمع‌ها فقط در کاهش حجم حفره آبشستگی پایه پل است و رسوبات بر خاسته از کنار شمع‌ها در پشت پایه جمع می‌شوند.

افزایش عدد فرود، تأثیر حضور شمع‌هایی با قطر زیادتر را کاهش می‌دهد و با تغییر قطر شمع‌ها اثر زیادی را در افزایش راندمان آبشستگی نخواهیم داشت. در شکل ۹ این روند کاهشی در موقعیت‌های مختلف قرارگیری (X) مشهود است. این مسئله در موقعیت قرارگیری ۳/۱D که با توجه به جدول ۲ بیشترین راندمان آبشستگی در آن ایجاد شده پررنگ‌تر و در موقعیت قرارگیری ۲/۹۵D که کمترین راندمان در آن به دست آمده، کم‌رنگ‌تر است.

شکل ۶ تأثیر قطر شمع‌های حفاظتی در کاهش توسعه طولی و عرضی حفره آبشستگی در کنار پایه پل در عددهای فرود مختلف را نشان می‌دهد. این کاهش به دلیل نشست رسوبات شسته شده از اطراف شمع‌های حفاظتی در کنار پایه پل و ایجاد منطقه کم‌فشار ناشی از حضور این شمع‌هاست. همان‌طور که در شکل‌های ۷ و ۸ دیده می‌شود با افزایش قطر شمع‌ها عمق آبشستگی در اطراف پایه پل، به دلیل افزایش حجم نشست رسوبات شسته شده‌ی ناشی از فعالیت جریان‌های گردابی از کنار شمع‌ها و تضعیف جریان نعل‌اسبی، کاهش می‌یابد.

راندمان حضور شمع‌ها، با افزایش شدت جریان، روند کاهشی می‌گیرد، به گونه‌ای که در فرودهای ۰/۱۳ و ۰/۱۶ در قطرهای ۳۲ و ۲۷ میلی‌متری شمع‌ها، به جای حفره



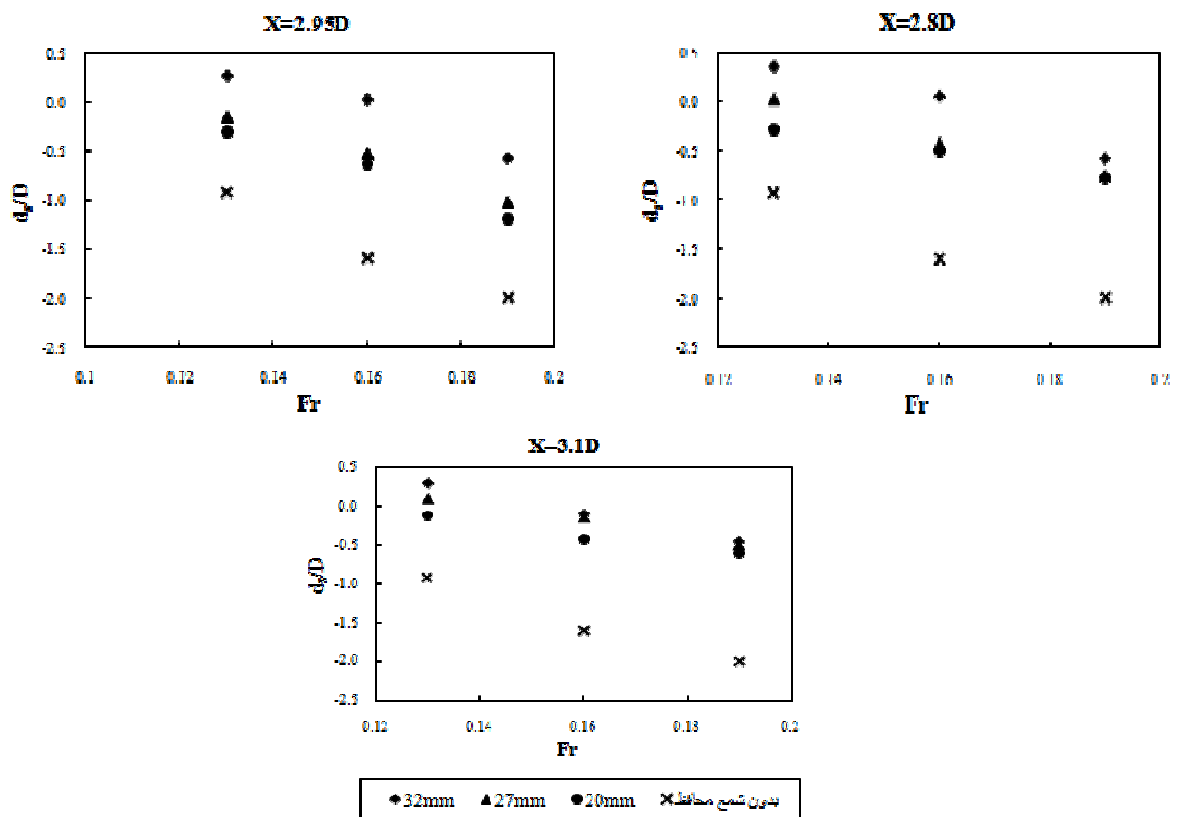
شکل ۶- تأثیر قطر شمع‌های حفاظتی در کاهش توسعه حفره آبشستگی در موقعیت ۳/۱D



شکل ۸- آبخستگی در حضور شمع ۲۰ میلی‌متری



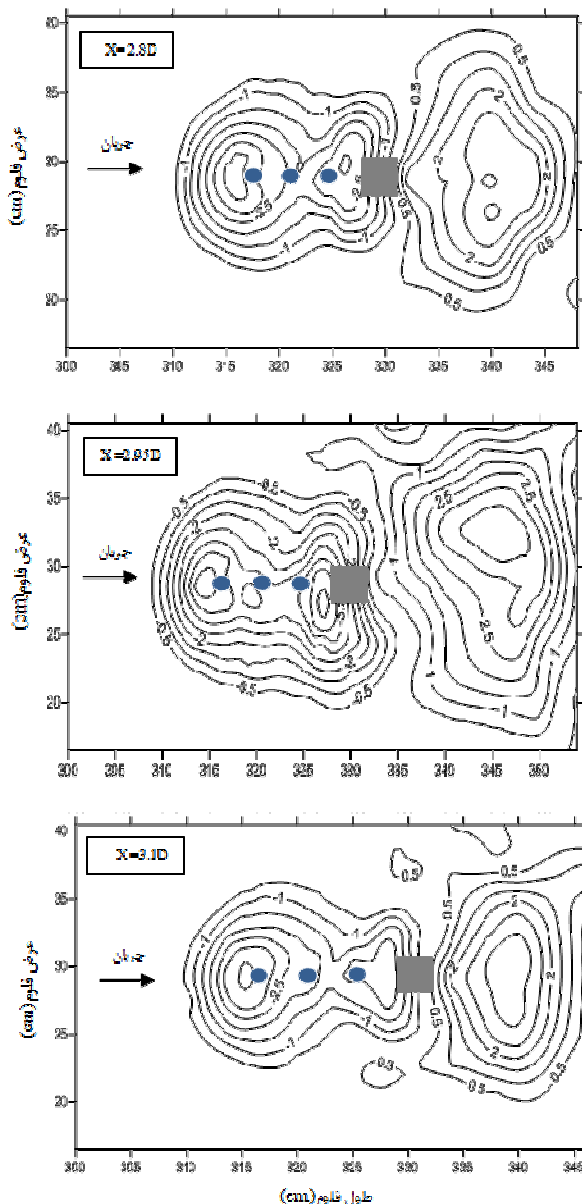
شکل ۷- آبخستگی در حضور شمع ۳۲ میلی‌متری



شکل ۹- تأثیر قطر شمع‌های حفاظتی در کاهش عمق بی‌بعد آبخستگی در موقعیت‌های مختلف قرارگیری (X)

آزمایش وجود داشت. در حالی که با نصب شمع‌های ۲۰ میلی‌متری در تمامی دی‌ها روند کاهش آبخستگی از شمع نخست تا پایه پل مختل شده و کمترین میزان آبخستگی در شمع سوم اتفاق می‌افتد. رسوبات برخاسته از شمع اول و دوم در اطراف شمع سوم نشست می‌کنند و در کنار این شمع، آبخستگی مختصری ایجاد می‌شود. پس پایه پل که بعد از شمع سوم قرار گرفته، دچار آبخستگی می‌شود. با کاهش قطر شمع‌ها علاوه بر کاهش آبخستگی

با بررسی جدول ۳ می‌توان مشاهده کرد، در شمع‌های ۳۲ و ۲۷ میلی‌متری، عمق آبخستگی در تمام مدت آزمایش در شمع دوم کمتر از شمع اول و در شمع سوم کمتر از شمع دوم است و کمترین مقدار آبخستگی نیز در پایه اصلی دیده می‌شود. بنابراین در حضور شمع‌های ۳۲ و ۲۷ میلی‌متری شاهد روند کاهش ماکزیم عمق آبخستگی از شمع نخست در بالادست به سمت پایه پل هستیم. این روند در تمامی فاصله‌های شمع‌ها و عددهای فرود مورد



شکل ۱۰- الگوی آبشستگی در حضور شمع حفاظتی ۲۰ میلی‌متری برای فرود ۰/۱۹ و برای سه فاصله ۲/۸D، ۲/۹۵D و ۳/۱D

نتیجه‌گیری

۱. با افزایش قطر شمع‌ها به دلیل ایجاد منطقه ضعیف وسیع‌تر و نشست بیشتر رسوبات بلند شده از مقابل شمع‌های حفاظتی، عمق آبشستگی در پایه پل به مقدار زیادی کاهش می‌یابد. افزایش کارایی حضور شمع‌ها با افزایش قطر آن‌ها از ۲۰ به ۳۲ میلی‌متر در دبی ۲۵ لیتر بر ثانیه ۴۵ درصد، در دبی ۳۰ لیتر بر ثانیه ۲۱ درصد و در دبی ۳۵ لیتر بر ثانیه ۸ درصد در فاصله بهینه (۳/۱D) بوده است.
۲. افزایش شدت جریان موجب کاهش اثر حضور شمع‌ها

ایجاد شده در شمع‌ها و کاهش رسوبات منتقل شده به سمت پایه اصلی، به دلیل محدود شدن منطقه ضعیف ایجاد شده با شمع‌ها و کاهش اثر عامل حفاظتی، آبشستگی در کنار پایه اصلی افزایش می‌یابد. با توجه به مطالب فوق می‌توان دریافت در تمامی قطر شمع‌ها تأثیر عامل حفاظتی شمع جلویی بیش از اثر عامل تقویت‌کننده شمع یا پایه عقبی است.

جدول ۳- حداکثر عمق آبشستگی در شمع‌های حفاظتی و پایه پل در موقعیت قرارگیری ۳/۱D

پایه پل	شمع سوم	شمع دوم	شمع اول	d=۳۲mm
۱۲	۱	-۲۰	-۳۳*	Fr=۰/۱۳
-۴	-۱۹	-۳۸	-۴۴	Fr=۰/۱۶
-۱۸	-۲۶	-۴۱	-۴۸	Fr=۰/۱۹

پایه پل	شمع سوم	شمع دوم	شمع اول	d=۲۰mm
-۵	۲	-۷	-۲۳	Fr=۰/۱۳
-۱۷	-۱۲	-۱۸	-۳۱	Fr=۰/۱۶
-۲۴	-۲۰	-۲۵	-۳۵	Fr=۰/۱۹

* در این جدول عددهای منفی نشان‌دهنده عمق آبشستگی و عددهای مثبت بیانگر ارتفاع رسوب‌گذاری است.

تأثیر موقعیت قرارگیری شمع‌های حفاظتی در کاهش آبشستگی پایه پل یکسان نیست. این مسئله در شکل ۱۰ نشان داده شده است. تأثیر نامنظم شمع‌ها بر کاهش آبشستگی در فاصله‌های مختلف ناشی از برهم‌کنش فاصله و قطر شمع‌ها است. با توجه به جدول ۲ می‌توان دید، در حضور شمع‌های ۳۲ میلی‌متری با افزایش فاصله از ۲/۸D تا ۳/۱D در فرود ۰/۱۹ روند افزایشی در راندمان آبشستگی ایجاد می‌شود. ولی با حضور شمع‌های ۲۰ و ۲۷ میلی‌متری به طور تقریبی در تمامی عددهای فرود در موقعیت ۲/۹۵D کمترین و در موقعیت ۳/۱D بیشترین کاهش در آبشستگی پایه پل به دست آمد. بیشترین توسعه طولی و عرضی حفره آبشستگی نیز در موقعیت قرارگیری ۲/۹۵D مشاهده شد. همچنین در این فاصله الگوی آبشستگی متقارن نبوده و حفره آبشستگی به گوشه سمت راست پایه متمایل بود. نتایج نشان داد، تأثیر تغییر فاصله در شمع‌هایی با قطر کمتر محسوس‌تر است، به همین دلیل در تمامی عددهای فرود آزمایش شده، در شمع ۳۲ میلی‌متری، تغییر فاصله کمترین اثر را در تغییر راندمان داشت.

8. Melville B. W. and Hadfield A. C. 1999. Use of sacrificial piles as pier scour countermeasures. *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE*. 125(11):1221-1224.
9. Melville B. W. and Chiew Y. M. 1999. Time scale for local scour at bridge piers. *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE*. 125(1):59-65.
10. Oliveto G. and Hager W. H. 2002. Temporal evolution of clear-water pier and abutment scour. *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE*. 128(9):811-820.
11. Raudkivi A. J. 1998. *Loose Boundary hydraulics*. A. A. Balkema, Rotterdam.
12. Singh K. K. Verma D. V. S. and Tiwari N. K. 1995. Scour protection at circular bridge piers. 6th Int. Symp. on River Sedimentation, New Delhi. 1057-1068.

شده و راندمان را به دلیل تقویت جریان‌های گردابی، کاهش می‌دهد. کاهش اثر حضور شمع‌های ۲۷، ۳۲ و ۲۰ میلی‌متری با افزایش دبی از ۲۵ به ۳۵ لیتر بر ثانیه به ترتیب ۵۴، ۳۶ و ۱۷ درصد در فاصله بهینه (۳/۱D) است. همچنین افزایش عدد فرود، تأثیر حضور شمع‌هایی با قطر زیادتر را کاهش می‌دهد و با تغییر قطر شمع‌ها اثر زیادی را در افزایش راندمان آبشستگی نخواهیم داشت.

۳. آبشستگی ایجاد شده در اطراف پایه، با حضور شمع‌های محافظ در تمامی موقعیت‌های قرارگیری، با سه قطر شمع متفاوت، کاهش می‌یابد. اما تأثیر تغییر فاصله در شمع‌هایی با قطر کمتر محسوس‌تر است. بیشترین کاهش در حداکثر عمق آبشستگی و توسعه طولی و عرضی حفره آبشستگی پایه پل در فاصله ۳/۱D برای شمع‌های ۲۷ و ۲۰ میلی‌متری ایجاد شد.

سپاس‌گزاری

هزینه‌های این پژوهش از محل کمک هزینه پژوهشی نویسنده دوم تأمین شد، که از ایشان سپاس‌گزاری می‌شود.

منابع

۱. بی‌نام. ۱۳۹۰. راهنمای روش‌های محاسبه آبشستگی موضعی (نشریه شماره ۵۴۹). معاونت برنامه‌ریزی و نظارت راهبردی رئیس جمهور. تهران.
2. Chabert J. and Engeldinger P. 1956. Study scouring around bridge piers. Report National Laboratory of Hydraulics, Chatou, France (in French).
3. Chang F. F. M. and Karim M. 1972. An experimental study of reducing scour around bridge piers using piles. Report, South Dakota Department of Highways, Pierre, SD.
4. Chiew Y. M. and Melville B. W. 1987. Local scour around bridge Piers. *Journal of Hydraulic Engineering ASCE*. 25(1): 15-26.
5. Chiew Y. M. 1992. Scour protection at bridge piers. *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE*. 118(9):1260-1269.
6. Ettema R. 1980. Scour at bridge piers. Report No.216, University of Auckland, New Zeland. 527 p.
7. Haque M. A. Rahman Md. M. Islam G. M. T. and Hussain M. A. 2007. Scour mitigation at bridge piers using sacrificial piles. *International Journal of Sediment Research*. 22(1):49-59.

