تحقیقات آب و خاک ایران، دوره ۴۵، شماره ۱، بهار ۱۳۹۳ (ص۱۰-۱)

تأثیر توأم طوق و کابل بر عمق آب‌شستگی اطراف گروه‌پایه‌های پل در قوس رودخانه‌ها

سید محمدعلی زمردیان*[۱]، مجتبی عقلی[۲]
۱. دانشیار و ۲. دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز
(تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۷/۴ـ تاریخ تصویب: ۱۳۹۲/۲/۲۷)

چکیده

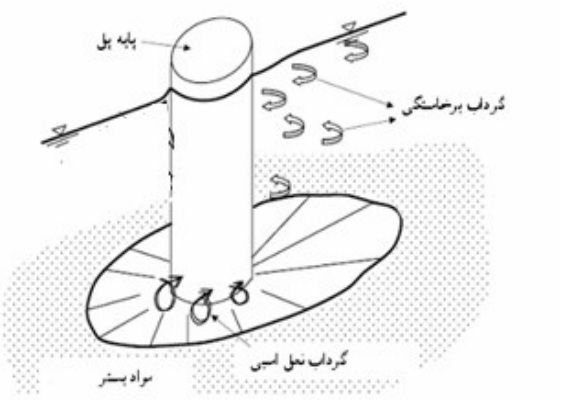
پژوهشگران زیادی روش‌های مقابله با آب‌شستگی در اطراف پایه‌های پل در یک مسیر مستقیم را مطالعه کردند. درحالی‌که ممکن است به‌دلیل محدودیت ناچار به احداث پل در قوس رودخانه‌ها شویم، با توجه به تفاوتی که میان الگوی جریان در مسیر مستقیم و قوس‌ها وجود دارد مطالعهٔ الگوی آب‌شستگی در اطراف پایه‌های پل در قوس‌ها ضروری است. ازاین‌رو در این پژوهش سعی شده است تأثیر توأم طوق و کابل بر عمق آب‌شستگی، اطراف گروه پایه‌های پل قرار گرفته در قوس رودخانه‌ها مطالعه شود. در این مطالعه از کابل با دو ضخامت ۰/۲D و ۰/۴D و در سه گام ۰/۲D، ۰/۵D و D استفاده شد. نتایج این پژوهش نشان داد با افزایش قطر کابل و کمترشدن فاصلهٔ میان گام‌های کابل، آب‌شستگی کاهش می‌یابد. دربارهٔ گروه‌پایه‌هایی که در جهت جریان قرار می‌گیرند، عمق آب‌شستگی برای پایهٔ جلویی بیشتر از دو پایهٔ دیگر است. دربارهٔ پایه‌های عمود بر جریان، بیشترین عمق آب‌شستگی در پایهٔ میانی مشاهده می‌شود که در این مورد نیز مانند پایه‌های قرارگرفته در جهت جریان با افزایش فاصلهٔ بین پایه‌ها، عمق آب‌شستگی کم می‌شود. استفاده از طوق در فاصله‌های کم بین پایه‌ها مؤثرتر از کابل بود، همچنین استفادهٔ توأم طوق و کابل، بیشترین کاهش در عمق آب‌شستگی را نتیجه داد.

کلیدواژگان: آب‌شستگی، طوق، قوس، کابل، گروه‌پایه‌ها

مقدمه

اغلب رودخانه‌ها مسیر پر پیچ و خم دارند و معمولاً پل‌ها در بازه‌ای از رودخانه احداث می‌شوند که رودخانه‌ها پایدارتر باشد. در این مسیر، ممکن است به‌علت محدودیت‌های احداث راه یا ناپایداری رودخانه در بازه‌های مستقیم، احداث پل در قوس رودخانه الزامی باشد. آب‌شستگی در اطراف پایه‌های پل، یکی از دلایل عمدهٔ تخریب پل‌هاست. به‌طورکلی، برخورد و جداشدن جریان از پایه دو عامل اصلی در ایجاد آب‌شستگی در اطراف پایهٔ پل است. برخورد جریان به پایه گرداب نعل‌اسبی را شکل می‌دهد و جدایی جریان از پایه سبب ایجاد گرداب برخاستگی می‌شود. گرداب نعل‌اسبی عامل اصلی فرسایش بستر رودخانه در اطراف پایه به‌ویژه جلوی آن است. در شکل۱ جریان و الگوی آب‌شستگی دراطراف پایهٔ دایره‌ای نشان داده شده است (Breusers *et al.*,1977).

مطالعات متعددی بر روی عمق آب‌شستگی در اطراف تک‌پایه انجام شده است. از جمله Singh *et al.* (2001) عملکرد طوق را درمسیر مستقیم بررسی کردند. نتایج آزمایش‌ها نشان داد چنانچه فاصلهٔ بین تراز بستر و تراز نصب طوق افزایش یابد، ماکزیمم عمق آب‌شستگی افزایش می‌یابد و بهترین محل نصب طوق در آزمایش‌ها برابر ۰/۱D زیر سطح بستر بود که در این حالت طوق به قطر دو برابر قطر پایه (D) مقدار آب‌شستگی را تا ۹۱درصد کاهش می‌دهد. همچنین مطالعات انجام‌شده روی اثر طوق در اطراف پایهٔ استوانه‌ای در خم ۱۸۰ درجه نشان داد نصب یک طوق به اندازهٔ ۳D که در ۰/۱D در زیر بستر نصب شده باشد عمق آب‌شستگی را تا ۹۳درصد کاهش می‌دهد (Masjedi *et al.*,2010).



شکل۱. جریان و الگوی آب‌شستگی در اطراف پایهٔ دایره‌ای‌شکل

* نویسنده مسئول: Mzomorod@shirazu.ac.ir

Archive of SID
www.SID.ir

دربارهٔ اثر پیچش کابل که در تک‌پایهٔ مطالعاتی توسط Khwairakpam و Mazumdar (2009) انجام شد، نتایج حاصل از پژوهش آن‌ها نشان داد که نقش کابل در منحرف‌کردن جریانات رو به پایین و تضعیف قدرت گردابه‌های نعل اسبی است و نیز عمق آب‌شستگی با افزایش قطر کابل و تعداد گام‌های دور پایه کاهش می‌یابد.

فرایند آب‌شستگی در گروه‌پایه‌ها تحت‌تأثیر مکانیزم‌هایی است که آن را نسبت به تک‌پایه پیچیده‌تر می‌کند. تفاوت موجود سبب تغییر شکل و عمق آب‌شستگی در اطراف گروه‌پایه‌ها می‌شود. دو مکانیزم مهمی که گروه‌پایه‌ها را تحت‌تأثیر قرار می‌دهد عبارت‌اند از:

الف) عامل تقویت‌کننده (Reinforcing): این عامل سبب افزایش عمق آب‌شستگی در پایهٔ جلویی می‌شود.

ب) عامل حفاظ‌بودن (Sheltering): وجود پایهٔ بالادست سبب کاهش سرعت مؤثر جریان برای پایهٔ پایین‌دست و بنابراین، کاهش آب‌شستگی در آن می‌شود (Raudkivi, 1998).

بر روی گروه‌پایه‌ها نیز مطالعاتی انجام شده است که از آن جمله می‌توان به مطالعات Hannah (1978)، بر روی عمق آب‌شستگی گروه‌پایه‌های دوتایی اشاره کرد. نتایج این پژوهش نشان داد که با افزایش فاصلهٔ بین پایه‌ها (S)، تأثیر عامل تقویت‌کننده در پایهٔ اول مشاهده می‌شود که این عامل در S/D=۲/۵ به حداکثر خود می‌رسد و تا S/D=۱۱ وجود دارد.

بر روی عملکرد طوق، در گروه‌پایه‌های دوتایی و سه‌تایی در جهت جریان مطالعاتی توسط Heidarpour *et al.* (2010) انجام شد. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد طوق‌ها زمانی که فضای بیشتری بین پایه‌ها را پوشش می‌دهند، کارایی بیشتری در کاهش عمق آب‌شستگی دارند و همچنین اثر طوق بر کاهش آب‌شستگی در پایهٔ عقبی به‌دلیل ضعیف‌شدن جریان‌های رو به پایین در جلوی این پایه بیشتر از پایهٔ جلویی است.

اکثر پژوهش‌های گذشته الگوی آب‌شستگی در مسیر مستقیم را بررسی کرده‌اند اما گاهی ممکن است به‌دلیل محدودیت، الزام بر احداث پل در قوس رودخانه‌ها باشد، ازاین‌رو در این پژوهش سعی شده است آب‌شستگی در اطراف گروه‌پایهٔ سه‌تایی در قوس ۱۸۰ درجه مطالعه شود.

مواد و روش‌ها

آزمایش‌ها در آزمایشگاه هیدرولیک رسوب دانشکدهٔ کشاورزی دانشگاه شیراز که مجهز به یک کانال مئاندری به طول ۷۴ متر با کف بتونی به شیب ۰/۰۰۱ و با دیوارهٔ فولادی به ارتفاع ۰/۴ متر و عرض ۱/۲ متر (شکل۲) و شعاع خارجی قوس خارجی۳ متر و شعاع قوس داخلی ۱/۸ متر (شکل۳) انجام شد. کانال مجهز به دبی‌سنج الکترونیکی و یک دریچهٔ کشویی مستطیلی برای تنظیم ارتفاع آب است. به‌منظور انجام آزمایش‌ها، کف کانال توسط سکوهای فلزی به ارتفاع ۱۶ سانتی‌متر و عرضی برابر با عرض کانال بالا آورده شد. براساس توصیه‌های Raudkivi و Ettema (1983) در کلیهٔ آزمایش‌ها برای از بین رفتن تأثیر دیواره‌های جانبی کانال بر آب‌شستگی موضعی، باید نسبت فاصلهٔ محور پایه تا دیوارهٔ کانال به قطر پایهٔ بزرگ‌تر از ۶/۲۵ باشد. ازاین‌رو در این پژوهش با توجه به قطر پایه که از جنس فولاد به قطر (D) ۵ سانتی‌متر است این نسبت در کلیهٔ آزمایش‌ها حداقل برابر با ۸ (برای حالتی که سه پایه عمود بر جریان و فاصلهٔ بین پایه‌ها ۳D) در نظر گرفته شده است. برای بررسی اثر ضخامت کابل بر روی قطرهای مختلف از پایه‌ای فولادی به قطر ۲/۵سانتی‌متر نیز استفاده شد. برای مطالعهٔ اثر طوق از یک طوق فولادی به ضخامت ۱ میلی‌متر به اندازهٔ ۲D طوری که محل نصب آن با توجه به مطالعات انجام‌شده در ۰/۱D در زیر بستر باشد در نظرگرفته شد تا بیشترین کارایی در کاهش عمق آب‌شستگی داشته باشد (Masjedi *et al.*, 2010). برای جلوگیری از پدیدهٔ ریپل، قطر متوسط ذرات بنا به توصیه‌های انجام‌شده باید از ۰/۷ میلی‌متر بزرگ‌تر باشد و نسبت قطر پایه به متوسط ذرات باید بیشتر از ۲۵ـ ۳۰ باشد (Raudkivi and Ettema, 1983). با توجه به این موارد یک لایه ماسه با قطر متوسط ۰/۷۳ میلی‌متر و ضریب انحراف استاندارد معادل ۱/۲۵ برای انجام آزمایش‌ها استفاده شد. ضخامت مصالح بستر با توجه به بیشینهٔ عمق آب‌شستگی که برابر با ۲/۳D است و با احتساب تقریباً ۳۰درصد افزایش احتمالی آن، ۱۶ سانتی‌متر در نظر گرفته شد (Raudkivi and Ettema, 1983). برای اینکه عمق آب بر روی عمق آب‌شستگی اثر نداشته باشد، نسبت عمق آب به قطر پایه باید بزرگ‌تر از ۳ باشد. ازاین‌رو عمق آب ثابت و برابر ۱۶ سانتی‌متر در نظر گرفته شد (Raudkivi and Ettema, 1983). با توجه به اینکه آب‌شستگی موضعی در شرایط آب زلال بررسی شد، لذا به‌منظور جلوگیری از فرسایش و انتقال رسوبات در بالادست پایه، سرعت متوسط جریان باید کمتر از سرعت بحرانی باشد بنابراین، در این پژوهش در کلیهٔ آزمایش‌ها نسبت سرعت بحرانی به سرعت جریان ۰/۹۱ در نظر گرفته شد (Raudkivi and Ettema, 1983).

به‌منظور تعیین زمان تعادل آزمایش‌ها، از معیار Kumar *et al.* (1999) که عبارت است مدت زمانی از انجام آزمایش که

Archive of SID

www.SID.ir

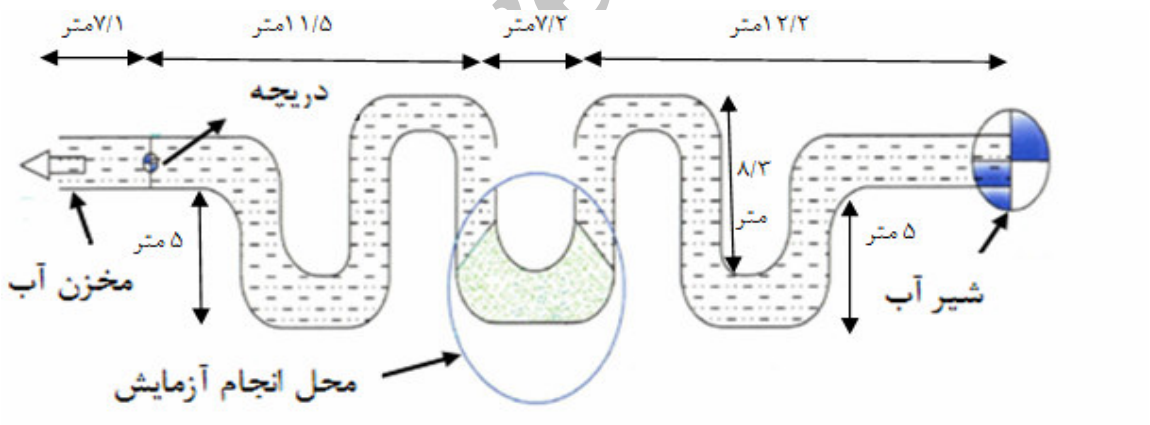
پس از آن در یک بازه سه‌ساعته تغییرات عمق آب‌شستگی کمتر از یک میلی‌متر باشد استفاده شده است. ازاین‌رو آزمایشی به‌مدت ۲۴ ساعت روی پایهٔ پل (تک‌پایه و گروه‌پایه‌ها) در دبی ۶۰ لیتر بر ثانیه انجام شد. با توجه به شکل۴ مشاهده می‌شود که در ۷ ساعت اول بیش از ۹۸درصد آب‌شستگی رخ می‌دهد و در یک بازهٔ سه‌ساعته تغییرات عمق آب‌شستگی کمتر از یک میلی‌متر است. بنابراین، زمان در کلیهٔ آزمایش‌ها برای تک‌پایه و گروه‌پایه‌ها برابر ۷ ساعت در نظر گرفته شد.

پیش از راه‌اندازی پمپ، دریچهٔ انتهایی بسته و سپس آب زلال به‌آرامی به درون کانال هدایت شد تا از ایجاد ریپل (قطر ذرات رسوب برابر با ۰/۷۳ میلی‌متر است) و ناهمواری در سطح بستر جلوگیری شود. پس از بالاآمدن آب و اطمینان از مرطوب‌شدن رسوبات بعد از گذشت چند دقیقه، پمپ با دبی کمی راه‌اندازی و به‌آرامی به دبی مورد نظر رسانده می‌شد. سپس با تنظیم دریچهٔ پایین‌دست عمق جریان به ۱۶ سانتی‌متری می‌رسید. پس از هر آزمایش، پمپ خاموش و دریچهٔ انتهایی بسته می‌شد تا آب موجود در کانال به‌آرامی زهکشی و تأثیری روی توپوگرافی بستر ایجاد نشود. پس از گذشت چند ساعت و تخلیهٔ کامل آب درون کانال، به‌وسیلهٔ یک متر لیزری با دقت یک میلی‌متر، توپوگرافی بستر در اطراف پایه برداشت می‌شد. برای برداشت توپوگرافی، اطراف پایه به فاصلهٔ ۲ سانتی‌متر در ۲ سانتی‌متر مش‌بندی شد.

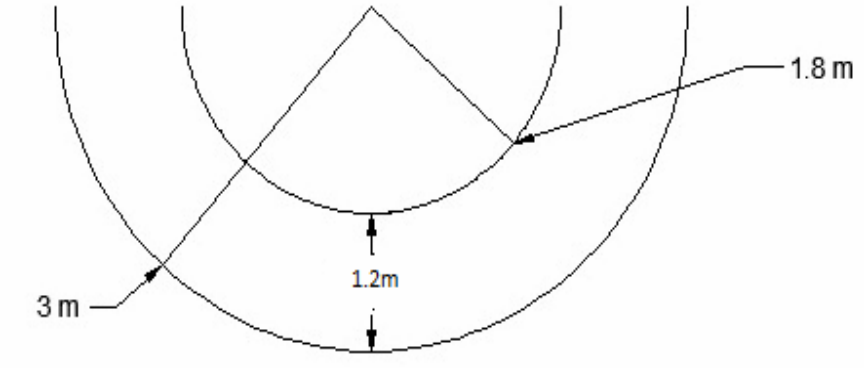
برای مطالعهٔ گروه‌پایه‌ها، از گروه‌پایهٔ سه‌تایی در جهت جریان و در جهت عمود بر جریان استفاده شد (شکل۵). فاصلهٔ بین پایه‌ها برابر با D، ۲D و ۳D در نظر گرفته شد.

با توجه به مطالعات انجام‌شده که نتیجهٔ آن در جدول۱ آمده است برای کابل به ضخامت بزرگ‌تر از ۰/۴D افزایش ضخامت کابل تأثیر چندانی روی عمق آب‌شستگی ندارد. با توجه به قطر پایه از دو کابل به ضخامت ۱ و ۲ سانتی‌متر (۰/۲D و ۰/۴D) و در سه گام ۰/۲D، ۰/۵D و D (D=۵cm) استفاده شد.

برای بررسی تأثیر توأم طوق و کابل با توجه به فاصلهٔ میان پایه‌ها از بزرگ‌ترین اندازهٔ طوق استفاده شد تا بیشترین اثر را داشته باشد، ازاین‌رو از طوقی به اندازهٔ ۲D استفاده شده است که محل نصب آن (Z) ۰/۱D در زیر بستر رسوبات است استفاده شد (شکل۶). همچنین با توجه به نتایج این پژوهش بهترین حالت کابل (کابل به ضخامت D ۰/۴ و گام ۰/۲D) در نظر گرفته شد.

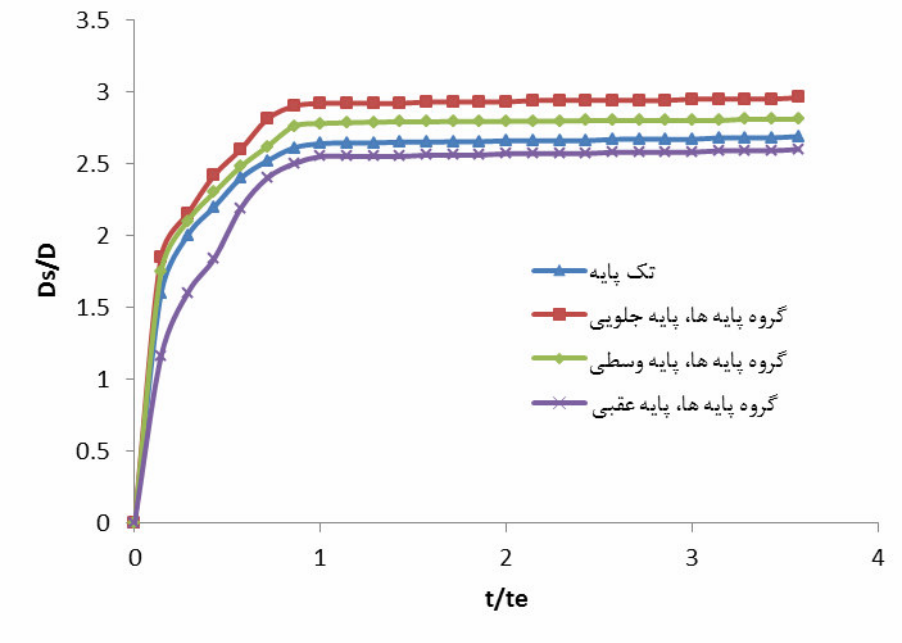


شکل۲. کانال محل آزمایش



شکل۳. مشخصات قوس

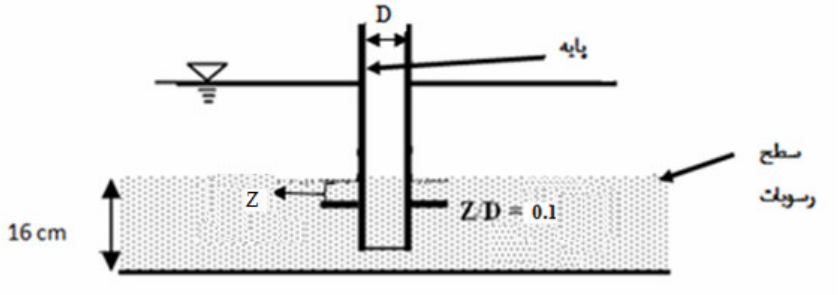
www.SID.ir



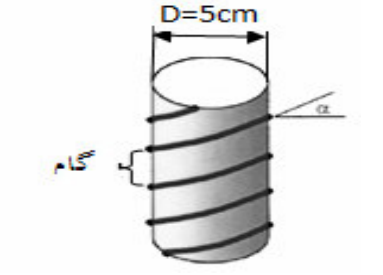
شکل۴. نمودار توسعهٔ آب‌شستگی برای تک‌پایه و گروه‌پایه‌ها بدون کابل

شکل۵. نحوهٔ قرارگرفتن گروه‌پایه‌ها: الف) گروه‌پایه‌ها در جهت جریان ب) گروه‌پایه‌ها عمود بر جریان

برای بررسی تأثیر زاویه‌بستن کابل دور پایه از دو زاویهٔ ۵ و۱۰درجه (بنا به پژوهش‌های Dey *et al.* (2006) زاویهٔ کمتر از ۵ درجه تأثیری بر کاهش شدت جریان‌های رو به پایین و درنتیجه کاهش عمق آب‌شستگی ندارد) برای بستن کابل به ضخامت۰/۴D و در گام ۰/۲Dدور پایه استفاده شد تا تأثیر زاویهٔ روی عمق آب‌شستگی مشخص شود. در شکل۷ زاویهٔ بستن کابل و گام‌ها نشان داده شده است. با توجه به نمودار شکل۸ با افزایش زاویه میزان عمق آب‌شستگی نیز افزایش می‌یابد زیرا که با افزایش زاویه، شدت جریان‌های رو به پایین که توسط کابل منحرف می‌شود افزایش پیدا می‌کند درنتیجه عمق آب‌شستگی افزایش می‌یابد. درنتیجه در این پژوهش از زاویه ۵ درجه برای بستن کابل دور پایه استفاده شد. همچنین برای بررسی جهت زاویهٔ کابل دور پایه‌ها کابل با ضخامت ۰/۴D و گام ۰/۲D را یک بار در جهت ساعتگرد و بار دیگر در جهت پادساعتگرد دور پایه پیچیده شد. نتایج نشان داد بستن کابل در جهت ساعتگرد با توجه به جهت قوس (ساعتگرد) بر کاهش عمق آب‌شستگی مؤثرتر است (شکل۹). ازاین‌رو در تمام آزمایش‌ها جهت ساعتگرد با توجه به جهت قوس برای بستن کابل در نظر گرفته شد. کلیهٔ آزمایش‌ها نیز برای حصول اطمینان ۲ بار تکرار شد.



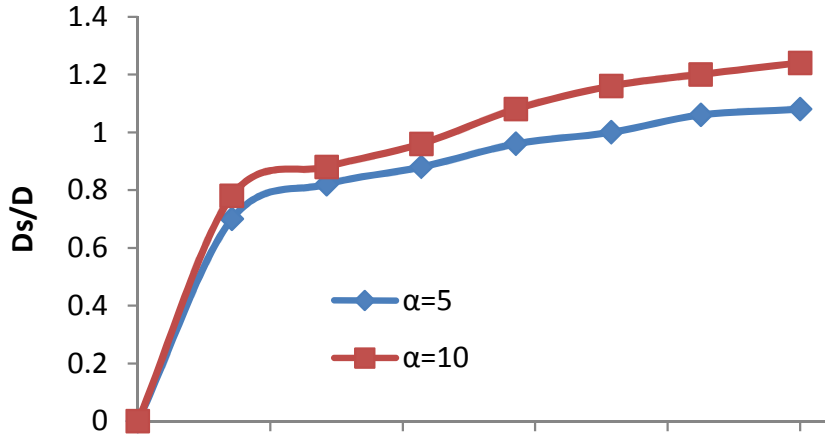
شکل۶. محل نصب طوق شکل



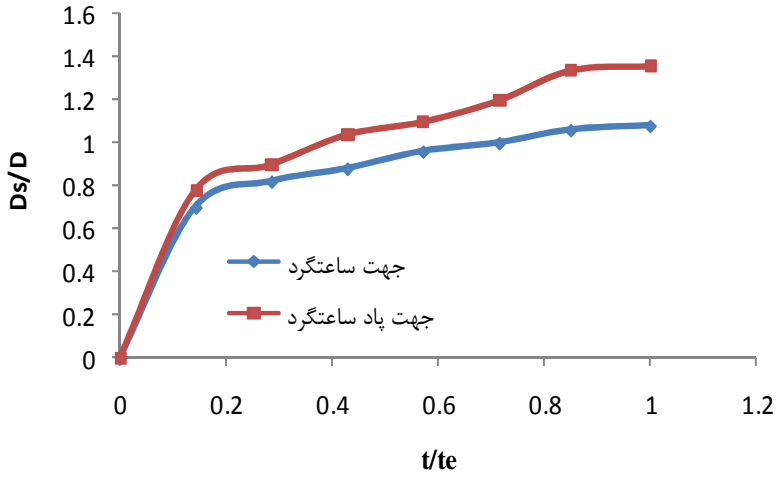
۷. زاویهٔ بستن کابل دور پایه و فاصلهٔ گام‌ها

Archive of SID

www.SID.ir



شکل۸. نمودار توسعهٔ آبشستگی برای دو زاویهٔ ۵ و۱۰ درجه



شکل۹. تأثیر جهت بستن کابل

نتایج و بحث

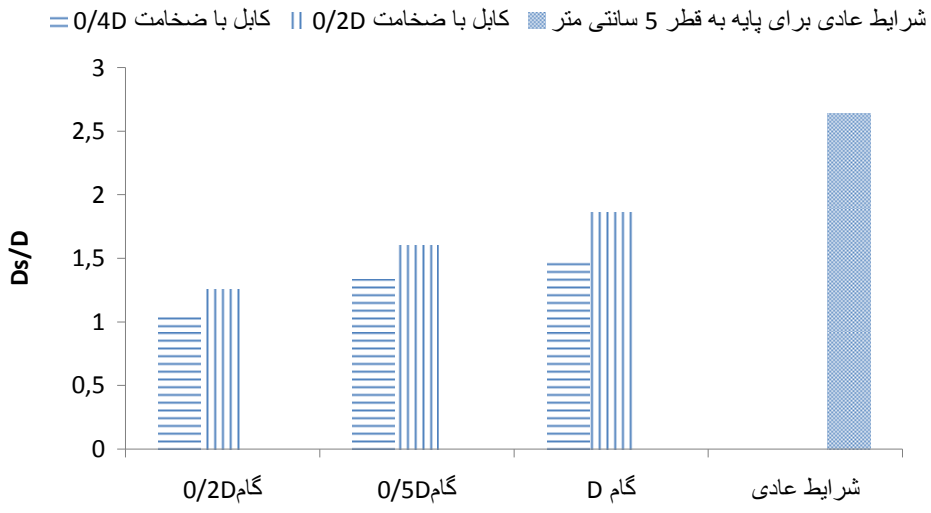
الف) تأثیر کابل روی عمق آبشستگی برای تک‌پایه

در این حالت مشاهده می‌شود با افزایش ضخامت کابل و کاهش فاصلهٔ بین گام‌ها عمق آبشستگی کاهش می‌یابد و بیشترین کاهش در کابل با ضخامت ۰/۴D و گام ۰/۲D مشاهده می‌شود و این کاهش برابر با ۵۹درصد (۵۴ میلی‌متر) نسبت به حالت عادی (۱۳۲ میلی‌متر) است. در شکل۱۰ و جدول۱ خلاصهٔ نتایج برای تک‌پایه نشان داده شده است که از جدول۱ (برای پایه به قطر ۲/۵ سانتی‌متر) مشاهده می‌شود، افزایش ضخامت کابل بزرگ‌تر از ۰/۴D تأثیر چندانی روی کاهش عمق آبشستگی ندارد. برای این پایه کابل به ضخامت ۲ سانتی‌متر (D=۲/۵ ،۰/۸D) عمق آبشستگی برابر با ۴۸ میلی‌متر و برای کابل به ضخامت ۱ سانتی‌متر (D=۲/۵ ،۰/۴D) عمق آبشستگی برابر ۵۰ میلی‌متر است.

ب) عمق آبشستگی برای گروه‌پایه‌ها در جهت جریان

در این حالت عمق آبشستگی برای سه‌پایه در شرایط عادی با فاصله D از یکدیگر بیشتر از تک‌پایه است که نشان‌دهندهٔ این است که پدیدهٔ تقویت‌کننده بر پدیدهٔ حفاظت‌کننده در این فاصله غالب است. با افزایش فاصلهٔ نقش پدیدهٔ حفاظت‌کننده برای پایه‌های عقبی افزایش پیدا می‌کند و درنتیجه عمق آبشستگی برای پایهٔ وسطی و آخری کمتر از تک‌پایه می‌شود (شکل۱۱). در صورت استفاده از کابل عمق آبشستگی برای پایهٔ جلویی و دو پایهٔ دیگر در کلیهٔ حالات کمتر از تک‌پایه است که نشان‌دهندهٔ این موضوع است که نقش کابل در منحرف‌کردن جریان‌های رو به پایین به فواصل دورتر و کاهش قدرت جریان‌های رو به پایین، بر پدیدهٔ تقویت‌کننده غالب است. همچنین با افزایش فاصلهٔ عمق آبشستگی برای هر سه پایه کاهش می‌یابد، زیرا با افزایش فاصله تأثیر گرداب‌های حاصل از پایه‌های مختلف بر یکدیگر (فشرده‌شدن گرداب‌ها) کمتر می‌شود و درنتیجه عمق آبشستگی کاهش پیدا می‌کند. در جدول۲ نتایج حاصل از تأثیر کابل بر عمق آبشستگی برای گروه‌پایه‌ها در جهت جریان نشان داده شده است.

Archive of SID
www.SID.ir



شکل۱۰. نتایج حاصل از آب‌شستگی اطراف تک‌پایه

ج) عمق آب‌شستگی برای گروه‌پایه‌ها در جهت عمود بر جریان

درحالی‌که سه‌پایهٔ عمود بر جریان در شرایط بدون کابل عمق آب‌شستگی برای سه‌پایه بیشتر از حالت تک‌پایه است و بیشترین عمق آب‌شستگی برای پایه‌ها به فاصلهٔ D مشاهده می‌شود. عمق آب‌شستگی در این حالت بیشتر از حالتی است که فاصلهٔ پایه‌ها ۲D و ۳D است و علت آن این است که در این فاصلهٔ پایه‌ها مانند یک پایه با قطر بزرگ عمل می‌کنند بنابراین، عمق آب‌شستگی نسبت به دو فاصلهٔ دیگر بیشتر است. همچنین در فواصل کم گرداب‌های حاصل بیشتر فشرده و پایهٔ میانی تحت‌تأثیر گرداب‌های دو پایهٔ دیگر نیز قرار می‌گیرد و درنتیجه عمق آب‌شستگی افزایش پیدا می‌کند (شکل۱۲). در کلیهٔ فواصل عمق آب‌شستگی برای پایهٔ وسطی به‌دلیل اینکه گودال حاصل از آب‌شستگی دو پایهٔ دیگر بر روی گودال آب‌شستگی این پایه می‌افتد بیشتر است. کمترین مقدار آب‌شستگی برای پایه‌ای که در قوس داخلی قرار گرفته است مشاهده می‌شود و علت آن این است که در قوس داخلی رسوبات تجمع پیدا می‌کنند. در این حالت نیز با افزایش فاصلهٔ عمق آب‌شستگی بیشتر کاهش می‌یابد به‌طوری که بیشترین کاهش در عمق آب‌شستگی نسبت به حالت عادی (گروه‌پایه‌های بدون کابل و طوق) برای گروه‌پایه‌ها به فاصلهٔ ۳D و ضخامت کابل ۰/۴D و گام ۰/۲D مشاهده می‌شود. این امر به این دلیل است که با افزایش فاصلهٔ حفرهٔ آب‌شستگی دو پایه کمتر بر روی حفرهٔ آب‌شستگی حاصل از پایهٔ وسطی می‌افتد (اثر تقویت‌کننده) و همچنین کاهش اثر گرداب‌های منحرف‌شده بر روی یکدیگر و کاهش قدرت این گرداب‌ها به‌وسیلهٔ کابل است. در جدول۳ خلاصهٔ نتایج برای پایه‌های عمود بر جریان همراه با کابل نشان داده شده است.

جدول۱. نتایج برای تک‌پایه

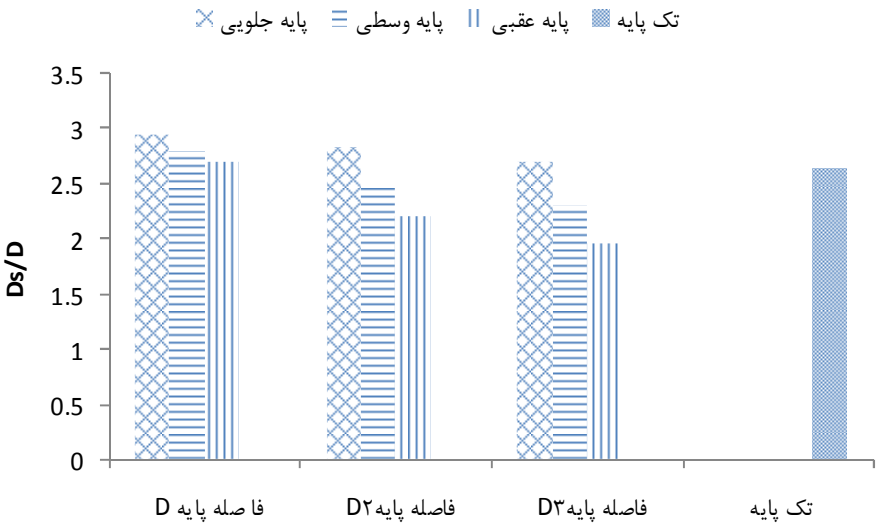
شرایط آزمایش	عمق آب‌شستگی(mm)	درصد کاهش
پایه عادی به قطر ۵ سانتی‌متر	۱۳۲	-
کابل به ضخامت ۰/۴D و گام ۰/۲D	۵۴	۵۹
کابل به ضخامت ۰/۴D و گام ۰/۵D	۶۷	۴۹
کابل به ضخامت ۰/۴D و گام D	۷۵	۴۳/۲
کابل به ضخامت ۰/۲D و گام ۰/۲D	۶۳	۵۲/۳
کابل به ضخامت ۰/۲D و گام ۰/۵D	۸۰	۳۹/۴
کابل به ضخامت ۰/۲D و گام D	۹۳	۲۹/۵
پایه عادی به قطر ۲/۵ سانتی متر	۱۲۴	۶
پایه به قطر۲/۵ کابل به ضخامت۰/۸D و گام ۰/۴D	۴۸	۶۱/۲
پایه به قطر۲/۵ کابل به ضخامت۰/۴D و گام ۰/۴D	۵۰	۵۹/۶

Archive of SID

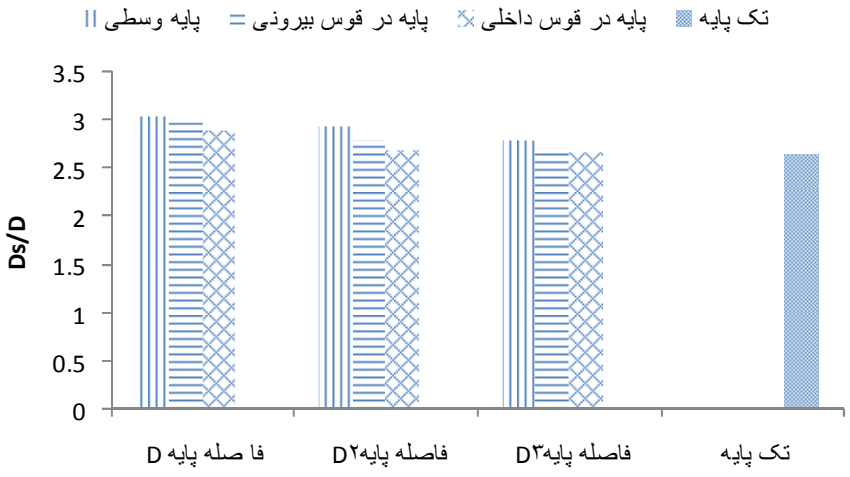
www.SID.ir

د) تأثیر طوق بر روی عمق آب‌شستگی برای گروه‌پایه‌ها در جهت جریان و عمود بر جریان

با توجه به مطالعات انجام‌شده بر روی طوق، طوق‌های بزرگ‌تر تأثیر بیشتری در کاهش عمق آب‌شستگی دارند (Alabi, 2006). در این حالت با توجه به فاصلهٔ میان پایه‌ها از بزرگ‌ترین اندازهٔ طوق یعنی طوق به اندازهٔ ۲D استفاده شده است درحالی‌که محل نصب آن در ۰/۱D در زیر بستر رسوبات در نظر گرفته شده است تا بیشترین کارایی در کاهش عمق آب‌شستگی داشته باشد. در شکل‌های ۱۳ و ۱۴ نتایج نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می‌شود بیشتر کاهش در عمق آب‌شستگی به‌دلیل پوشش بیشتر فضای بین پایه به‌وسیلهٔ طوق در حالتی مشاهده می‌شود که فاصلهٔ پایه‌ها برابر با D است. با افزایش فاصلهٔ بین پایه‌ها مقدار عمق آب‌شستگی نیز بیشتر می‌شود،زیرا فضایی که به‌وسیلهٔ طوق پوشش داده نمی‌شود افزایش پیدا می‌کند و درنتیجه عمق آب‌شستگی با افزایش فاصله، بیشتر می‌شود.



شکل۱۱. مقایسهٔ عمق آب‌شستگی برای سه‌پایهٔ بدون کابل و طوق در جهت جریان



شکل۱۲. نمودار توسعهٔ آب‌شستگی برای سه‌پایهٔ بدون کابل و طوق در جهت عمود بر جریان

ه) تأثیر توأم طوق و کابل بر روی عمق آب‌شستگی برای گروه‌پایه‌ها در جهت جریان و عمود بر جریان

در این حالت نیز با افزایش فاصلهٔ بین پایه‌ها عمق آب‌شستگی بیشتر می‌شود، زیرا فضای کمتری با افزایش فاصلهٔ میان پایه‌ها به‌وسیلهٔ طوق پوشش داده می‌شود. در این حالت نیز عمق آب‌شستگی برای پایه‌ها در جهت جریان آب‌شستگی بیشتر کاهش می‌یابد. بهترین حالت در کاهش عمق آب‌شستگی برای کابل به ضخامت ۰/۴D و گام ۰/۲Dبرای پایه‌ها به فاصلهٔ D

www.SID.ir

مشاهده می‌شود. در شکل‌های ۱۳ و ۱۴ نتایج نشان داده شده است. همان طور که از شکل‌ها مشخص است با افزایش فاصله، کارایی طوق کاهش پیدا می‌کند و بر کارایی کابل افزوده می‌شود، زیرا با افزایش فاصله فضای کمتری به وسیلهٔ طوق پوشش داده می‌شود و همچنین در این شرایط جریان‌های منحرف‌شده توسط کابل برای هر پایه تأثیر کمتری بر یکدیگر می‌گذارند که سبب می‌شود تأثیر کابل بیشتر شود.

جدول۲.نتایج حاصل برای گروه‌پایه‌ها در جهت جریان همراه با کابل

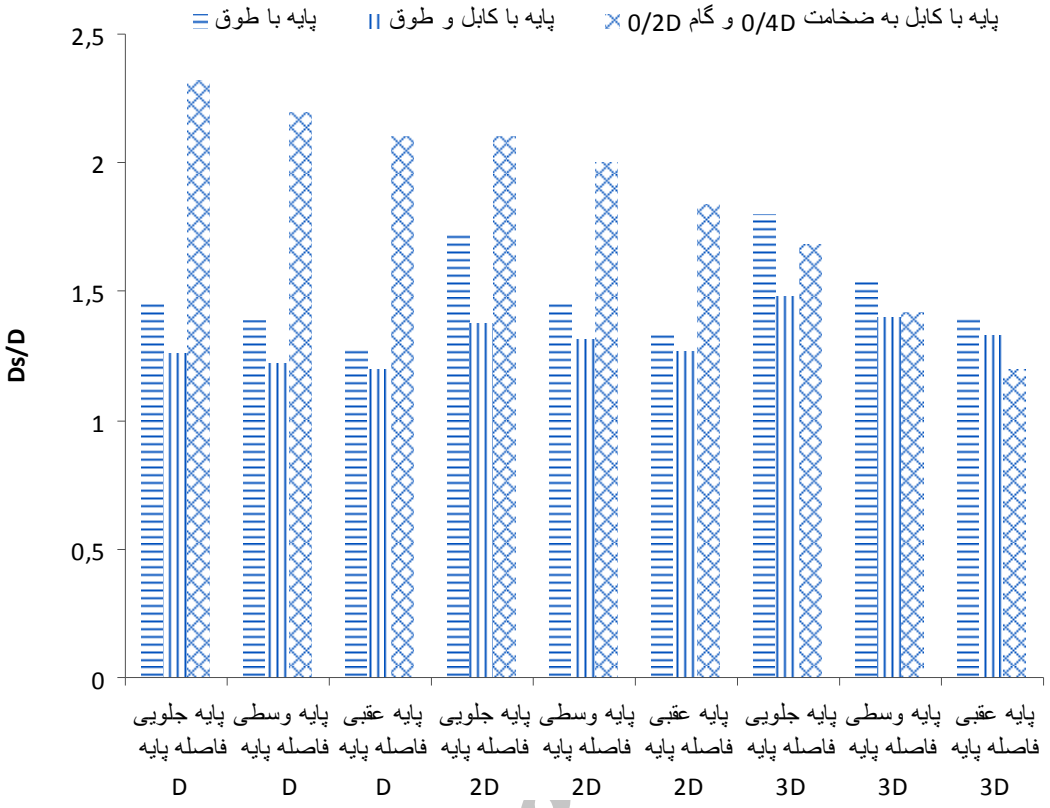
		فاصلهٔ پایه D	فاصلهٔ پایه ۲D	فاصلهٔ پایه۳D
		$\frac{D_s}{D}$	$\frac{D_s}{D}$	$\frac{D_s}{D}$
کابل به ضخامت ۰/۴D و گام ۰/۲D	پایهٔ جلویی	۲/۳۲	۲/۱	۱/۶۸
	پایهٔ وسطی	۲/۲	۲	۱/۴۲
	پایهٔ عقبی	۲/۱	۱/۸۴	۱/۲
کابل به ضخامت ۰/۴D و گام ۰/۵D	پایهٔ جلویی	۲/۵۶	۲/۲۴	۱/۹
	پایهٔ وسطی	۲/۴۸	۲/۱۲	۱/۶۸
	پایهٔ عقبی	۲/۳۶	۱/۹۶	۱/۳۸
کابل به ضخامت ۰/۴D و گام D	پایهٔ جلویی	۲/۶۶	۲/۳۲	۲/۰۶
	پایهٔ وسطی	۲/۵۶	۲/۲۴	۱/۷
	پایهٔ عقبی	۲/۴۴	۲	۱/۵۲
کابل به ضخامت ۰/۲D و گام ۰/۲D	پایهٔ جلویی	۲/۴۸	۲/۲۸	۱/۹۸
	پایهٔ وسطی	۲/۳۶	۱/۹۶	۱/۵۸
	پایهٔ عقبی	۲/۲۸	۱/۷۲	۱/۳
کابل به ضخامت ۰/۲D و گام ۰/۵D	پایهٔ جلویی	۲/۶۲	۲/۳۶	۲/۱۴
	پایهٔ وسطی	۲/۵۲	۲/۰۴	۱/۸۴
	پایهٔ عقبی	۲/۴	۱/۸	۱/۵
کابل به ضخامت ۰/۲D و گام D	پایهٔ جلویی	۲/۷	۲/۴۴	۲/۲۲
	پایهٔ وسطی	۲/۶	۲/۲۴	۲
	پایهٔ عقبی	۲/۵۴	۲	۱/۷۸

جدول۳. خلاصهٔ نتایج برای گروه‌پایه‌های عمود بر جریان همراه با کابل

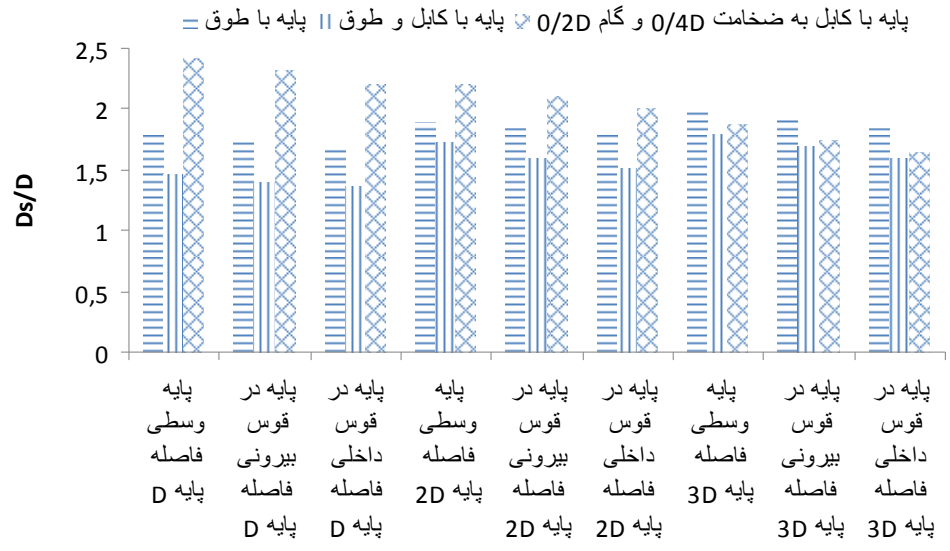
		فاصلهٔ پایه D	فاصلهٔ پایه ۲D	فاصلهٔ پایه۳D
		$\frac{D_s}{D}$	$\frac{D_s}{D}$	$\frac{D_s}{D}$
کابل به ضخامت ۰/۴D و گام ۰/۲D	پایهٔ وسطی	۲/۴۲	۲/۲	۱/۸۸
	پایه در قوس بیرونی	۲/۳۲	۲/۱	۱/۷۴
	پایه در قوس داخلی	۲/۲	۲	۱/۶
کابل به ضخامت ۰/۴D و گام ۰/۵D	پایهٔ وسطی	۲/۵۶	۲/۳۴	۲
	پایه در قوس بیرونی	۲/۴۲	۲/۲	۱/۸۸
	پایه در قوس داخلی	۲/۳۲	۲/۱	۱/۷۶
کابل به ضخامت ۰/۴D و گام D	پایهٔ وسطی	۲/۷۸	۲/۴۲	۲/۳
	پایه در قوس بیرونی	۲/۶۸	۲/۳	۲/۱۶
	پایه در قوس داخلی	۲/۶	۲/۲	۱/۹۸
کابل به ضخامت ۰/۲D و گام ۰/۲D	پایهٔ وسطی	۲/۷	۲/۴۴	۲/۰۸
	پایه در قوس بیرونی	۲/۶۴	۲/۳	۱/۸۶
	پایه در قوس داخلی	۲/۶	۲/۱۶	۱/۷
کابل به ضخامت ۰/۲D و گام ۰/۵D	پایهٔ وسطی	۲/۸	۲/۵۴	۲/۳
	پایه در قوس بیرونی	۲/۷۶	۲/۴	۲/۱۶
	پایه در قوس داخلی	۲/۷۲	۲/۳	۲
کابل به ضخامت ۰/۲D و گام D	پایهٔ وسطی	۲/۸۴	۲/۷۴	۲/۶۴
	پایه در قوس بیرونی	۲/۸۱	۲/۴۸	۲/۲۴
	پایه در قوس داخلی	۲/۷۵	۲/۳۴	۲/۲

Archive of SID

www.SID.ir



شکل۱۳. مقایسهٔ عمق آب‌شستگی برای گروه‌پایه‌ها در جهت جریان همراه با کابل و طوق و کابل و طوق توأم برای فواصل مختلف



شکل۱۴. مقایسهٔ عمق آب‌شستگی برای گروه‌پایه‌های عمود بر جریان همراه با کابل و طوق و کابل و طوق توأم برای فواصل مختلف

نتیجه‌گیری

۱. با افزایش ضخامت کابل و کاهش فاصلهٔ بین گام‌ها، عمق آب‌شستگی کاهش می‌یابد. البته با توجه به نتایج به‌دست‌آمده برای تک‌پایه، مشاهده می‌شود برای کابل‌هایی که نسبت ضخامت به قطر پایه بزرگ‌تر از ۰/۴ باشد افزایش ضخامت کابل تأثیر چندانی روی کاهش عمق آب‌شستگی ندارد. به‌طوری‌که برای پایهٔ به قطر ۲/۵ سانتی‌متر برای کابل به ضخامت ۲ و ۱ سانتی‌متر (نسبت ضخامت کابل به قطر پایه به‌ترتیب ۰/۸ و

www.SID.ir

۰/۴) عمق آب‌شستگی برابر با ۴۸ و ۵۰ میلی‌متر است.

۲. در گروه‌پایه‌هایی که در جهت جریان هستند عمق آب‌شستگی در شرایط عادی برای پایهٔ جلویی به‌دلیل افزایش اثر پدیدهٔ تقویت‌کننده و فشرده‌شدن گرداب‌ها بیشتر از تک‌پایه در شرایط عادی است. با افزایش فاصلهٔ میان پایه‌ها عمق آب‌شستگی برای پایهٔ جلویی کمتر می‌شود، ولی باز هم به‌دلیل پدیدهٔ فوق از تک‌پایه بیشتر است در ضمن برای پایهٔ دوم و سوم آب‌شستگی در شرایط عادی به‌دلیل غالب‌بودن پدیدهٔ حافظ‌بودن بر پدیدهٔ تقویت‌کننده (بر روی هم افتادن حفره‌های آب‌شستگی بر روی یکدیگر) کمتر از تک‌پایه در شرایط عادی برای کلیهٔ فواصل است. ولی در صورت استفاده از کابل عمق آب‌شستگی برای پایهٔ جلویی در کلیهٔ فواصل کمتر از تک‌پایه است و آن نشان‌دهندهٔ این موضوع است که نقش کابل در منحرف‌کردن گرداب‌ها به فاصلهٔ دورتر از پایه و کاهش قدرت جریان‌های رو به پایین، بیشتر از نقش پدیدهٔ تقویت‌کننده دو پایهٔ دیگر است. در کلیهٔ حالت‌ها بیشترین عمق آب‌شستگی در پایهٔ جلویی دیده می‌شود و برای پایهٔ دومی کمتر از پایهٔ جلویی و پایهٔ آخری کمتر از پایهٔ دوم است که نشان‌دهندهٔ نقش عامل حفاظت‌کننده در کاهش عمق آب‌شستگی برای پایه‌های عقبی در گروه‌پایه‌ها است همچنین بنابر دلایل اشاره‌شده با افزایش فاصلهٔ عمق آب‌شستگی در شرایط عادی و نیز پایهٔ همراه با کابل به‌دلیل کاهش فشرده‌شدن گرداب‌ها کاهش می‌یابد بنابراین، کمترین عمق آب‌شستگی برای گروه‌پایه به فواصل 3D مشاهده می‌شود.

۳. در گروه‌پایه‌های عمود بر جریان در شرایط عادی عمق آب‌شستگی برای کلیهٔ فواصل برای هر سه پایه به‌دلیل اینکه پایه‌ها مانند یک پایه با قطر بزرگ‌تر عمل می‌کنند و بر روی هم افتادن حفره‌های آب‌شستگی دو پایه بر روی پایهٔ دیگر (اثر تقویت‌کننده) بیشتر از تک‌پایه و گروه‌پایه‌ها در جهت جریان در شرایط یکسان است و به‌دلیل تأثیر گرداب‌ها بر روی یکدیگر و همچنین بر روی هم افتادن حفره‌های آب‌شستگی دو پایهٔ دیگر بر روی پایهٔ میانی در تمام موارد بیشترین عمق آب‌شستگی برای این پایه مشاهده می‌شود. در صورت استفاده از کابل به‌دلیل منحرف‌شدن گرداب‌ها، عمق آب‌شستگی کمتر می‌شود همچنین با افزایش فاصلهٔ گرداب‌ها کمتر بر روی یکدیگر تأثیر می‌گذارند درنتیجه عمق آب‌شستگی با افزایش فاصله کمتر می‌شود. در این حالت با توجه به رسوب‌گذاری در قوس داخلی کمترین عمق آب‌شستگی برای پایهٔ نزدیک به قوس داخلی مشاهده می‌شود.

۴. در صورت استفاده از طوق، بیشترین کاهش در عمق آب‌شستگی در گروه‌پایه به فاصلهٔ D مشاهده می‌شود،زیرا فضایی که به‌وسیلهٔ طوق پوشش داده می‌شود در این حالت بیشتر است و با افزایش فاصله به‌دلیل پوشش کمتر فضای بین دو پایه کارایی آن کم می‌شود، به‌طوری که برای فواصل بیشتر عملکرد کابل بهتر از طوق است.

REFERENCES

Alabi, P. D. (2006). Time development of local scour at bridge pier fitted with a collar. MSc Thesis, University of Saskatchewan, Canada.

Breusers, H.N.C., Nicollet, G. and Shen, H. W. (1977). Local scour around cylindrical piers. *Journal hydraulic research*. 15(3), 211- 252.

Dey, S., Sumer, B.M., and Fredsoe, J. (2006). Control of scour at vertical circular piles under waves and current, *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE*, 132(3), 270-282.

Hannah, C.R. (1978). Scour at pile groups. *Research rep*. No.78-3, Civil Engineering, Univ. of Canter Bury, New Zealand.

Heidarpour, M., Afzalimehr, H., and Izadinia, E. (2010). Reduction of local scour around bridge pier groups using collar. *International Journal of Sediment Research*, 25, 411-422.

Khwairakpam, P., and Mazumdar, A. (2009). Local scour around hydraulic structures. *International journal of reccent trends in engineering*, 1(6), 59-61.

Kumar, V., Rang Raju, K.G., and Vittal, N.1999. Redaction of local scour around bridge pier using slots and collar. *Journal of hydraulic engineering* , ASCE 125(2), 132-135.

Masjedi, A.R., Shafaei Bejstan, M., and Esfandi, A. (2010). Redaction of local scour at a bridge pier fitted with a collar in a 180 degree flume bend. *Journal of hydraulic engineering*, ASCE. 134(3), 183-187.

Raudkivi, J.A. (1998). *Loose boundary hydraulics*. A.A. Balkema, Rotterdam, Netherlands.

Raudkivi, A.J. and Ettema, R. (1983). Clear water scour at cylindrical piers. *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE. 109(3), 338-349.

Singh. C. P., Setia, B., and Verma, D. V. S. (2001). Collar sleeve combination as a scour protection device around a circular pier. Proceeding of Theme D. 29th Congress on Hydraulic of River, water and Machinery, Chinese Hydraulic Engineering Society, Beijing, China, pp. 16-21.

Archive of SID

www.SID.ir