

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

سید محمدعلی زمردیان*، مجتبی عقی^۲

۱. دانشیار و ۲. دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شیراز

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۷/۴ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۲/۲/۲۷)

چکیده

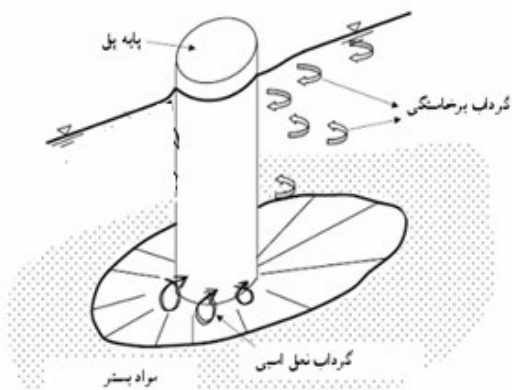
پژوهشگران زیادی روش‌های مقابله با آب‌شستگی در اطراف پایه‌های پل در یک مسیر مستقیم را مطالعه کردند. در حالی که ممکن است به دلیل محدودیت ناچار به احداث پل در قوس رودخانه‌ها شویم، با توجه به تفاوتی که میان الگوی جریان در مسیر مستقیم و قوس‌ها وجود دارد مطالعه الگوی آب‌شستگی در اطراف پایه‌های پل در قوس‌ها ضروری است. از این رو 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 $0.2D$ و $0.4D$ و در سه گام $0.2D$ ، $0.5D$ و D استفاده شد. نتایج این پژوهش نشان داد با افزایش قطر کابل و کمتر شدن فاصله میان گام‌های کابل، آب‌شستگی کاهش می‌یابد. درباره گروه پایه‌هایی که در جهت جریان قرار می‌گیرند، عمق آب‌شستگی برای پایه جلویی بیشتر از دو پایه دیگر است. درباره پایه‌های عمود بر جریان، بیشترین عمق آب‌شستگی در پایه میانی مشاهده می‌شود که در این مورد نیز مانند پایه‌های قرار گرفته در جهت جریان با افزایش فاصله بین پایه‌ها، عمق آب‌شستگی کم می‌شود. استفاده از طوق در فاصله‌های کم بین پایه‌ها مؤثرتر از کابل بود، همچنین استفاده توأم طوق و کابل، بیشترین کاهش در عمق آب‌شستگی را نتیجه داد.

کلیدواژگان: آب‌شستگی، طوق، قوس، کابل، گروه پایه‌ها

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 به علت محدودیت‌های احداث راه یا ناپایداری رودخانه در بازه‌های مستقیم، احداث پل در قوس رودخانه الزامی باشد. آب‌شستگی در اطراف پایه‌های پل، یکی از دلایل عمده تخریب پل‌هاست. به طور کلی، برخورد و جدا شدن جریان از پایه دو عامل اصلی در ایجاد آب‌شستگی در اطراف پایه 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 شکل ۱ جریان و الگوی آب‌شستگی در اطراف پایه 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 در مسیر مستقیم بررسی کردند. نتایج آزمایش‌ها نشان



شکل ۱. جریان و الگوی آب‌شستگی در اطراف پایه دایره‌ای شکل

درباره اثر پیچش کابل که در تک‌پایه مطالعاتی توسط Khwairakpam و Mazumdar (2009) انجام شد، نتایج حاصل از پژوهش آن‌ها نشان داد که نقش کابل در منحرف کردن جریان‌ها 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 تحت تأثیر 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 تحت تأثیر قرار می‌دهد عبارت‌اند از:

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

ب) عامل حفاظ‌بودن (Sheltering): وجود پایه بالادست سبب کاهش سرعت مؤثر جریان برای پایه 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 فاصله بین پایه‌ها (S)، تأثیر عامل تقویت‌کننده در پایه اول مشاهده می‌شود که این عامل در $S/D=2/5$ به حداکثر خود می‌رسد و تا $S/D=11$ 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 پایه عقبی به دلیل ضعیف شدن جریان‌های رو به پایین در جلوی این پایه بیشتر از پایه جلویی است.

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

مواد و روش‌ها

آزمایش‌ها در آزمایشگاه هیدرولیک رسوب دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز که مجهز به یک کانال مئاندری به طول ۷۴ متر با کف بتونی به شیب ۰/۰۰۱ و با دیواره فولادی به ارتفاع ۰/۴

متر و عرض ۱/۲ متر (شکل ۲) و شعاع خارجی قوس خارجی ۳ متر و شعاع قوس داخلی ۱/۸ متر (شکل ۳) انجام شد. کانال مجهز به دی‌سنج الکترونیکی و یک دریچه کشویی مستطیلی برای تنظیم ارتفاع آب است. به منظور انجام آزمایش‌ها، کف کانال توسط سکوها فلزی به ارتفاع ۱۶ سانتی‌متر و عرضی برابر با عرض کانال بالا آورده شد. براساس توصیه‌های Raudkivi و Ettema (1983) در کلیه آزمایش‌ها برای از بین رفتن تأثیر دیواره‌های جانبی کانال بر آب‌شستگی موضعی، باید نسبت فاصله محور پایه تا دیواره کانال به قطر پایه بزرگ‌تر از ۶/۲۵ باشد. از این رو در این پژوهش با توجه به قطر پایه که از جنس فولاد به قطر (D) ۵ سانتی‌متر است این نسبت در کلیه آزمایش‌ها حداقل برابر با ۸ (برای حالتی که سه پایه عمود بر جریان و فاصله بین پایه‌ها ۳D) در نظر گرفته شده است. برای بررسی اثر ضخامت کابل بر روی قطرهای مختلف از پایه‌ای فولادی به قطر ۲/۵ سانتی‌متر نیز استفاده شد. برای مطالعه اثر طوق از یک طوق فولادی به ضخامت ۱ میلی‌متر به اندازه ۲D طوری که محل نصب آن با توجه به مطالعات انجام شده در ۰/۱D در زیر بستر باشد در نظر گرفته شد تا بیشترین کارایی در کاهش عمق آب‌شستگی داشته باشد (Masjedi et al., 2010). برای جلوگیری از پدیده ریپل، قطر متوسط ذرات بنا به توصیه‌های انجام شده باید از ۰/۷ میلی‌متر بزرگ‌تر باشد و نسبت قطر پایه به متوسط ذرات باید بیشتر از ۲۵-۳۰ 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 بیشینه عمق آب‌شستگی که برابر با ۲/۳D است و با احتساب تقریباً ۳۰ درصد 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. از این رو 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 به منظور جلوگیری از فرسایش و انتقال رسوبات در بالادست پایه، سرعت متوسط جریان باید کمتر از سرعت بحرانی باشد بنابراین، در این پژوهش در کلیه آزمایش‌ها نسبت سرعت بحرانی به سرعت جریان ۰/۹۱ در نظر گرفته شد (Raudkivi and Ettema, 1983).

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

متر لیزری با دقت یک میلی‌متر، توپوگرافی بستر در اطراف پایه برداشت می‌شد. برای برداشت توپوگرافی، اطراف پایه به فاصله ۲ سانتی‌متر در ۲ سانتی‌متر مش‌بندی شد.

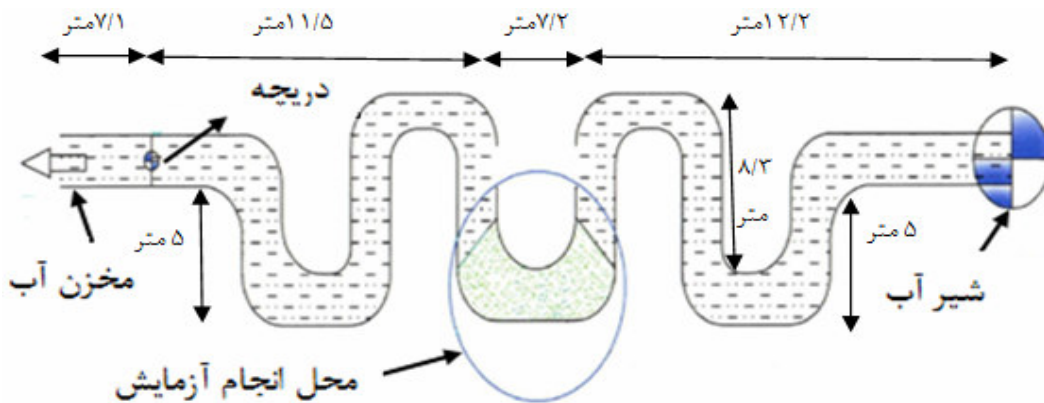
برای مطالعه گروه‌پایه‌ها، از گروه‌پایه سه‌تایی در جهت جریان و در جهت عمود بر جریان استفاده شد (شکل ۵). فاصله بین پایه‌ها برابر با D ، $2D$ و $3D$ در نظر گرفته شد.

با توجه به مطالعات انجام‌شده که نتیجه آن در جدول ۱ آمده است برای کابل به ضخامت بزرگ‌تر از $0.4D$ افزایش ضخامت کابل تأثیر چندانی روی عمق آبشستگی ندارد. با توجه به قطر پایه از دو کابل به ضخامت ۱ و ۲ سانتی‌متر ($0.2D$ و $0.4D$) و در سه گام $0.2D$ ، $0.5D$ و D ($D=5\text{cm}$) استفاده شد.

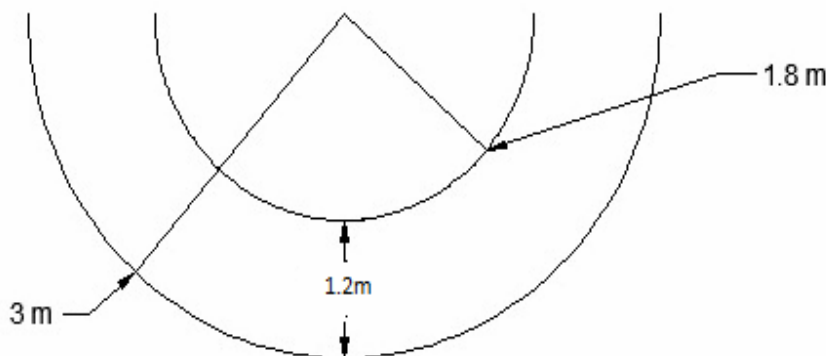
برای بررسی تأثیر توأم طوق و کابل با توجه به فاصله میان پایه‌ها از بزرگ‌ترین اندازه طوق استفاده شد تا بیشترین اثر را داشته باشد، از این‌رو از طوقی به اندازه $2D$ استفاده شده است که محل نصب آن (Z) در زیر بستر رسوبات است استفاده شد (شکل ۶). همچنین با توجه به نتایج این پژوهش بهترین حالت کابل (کابل به ضخامت $0.4D$ و گام $0.2D$) در نظر گرفته شد.

پس از آن در یک بازه سه‌ساعته تغییرات عمق آبشستگی کمتر از یک میلی‌متر باشد استفاده شده است. از این‌رو آزمایشی به مدت ۲۴ ساعت روی پایه پل (تک‌پایه و گروه‌پایه‌ها) در دبی ۶۰ لیتر بر ثانیه انجام شد. با توجه به شکل ۴ مشاهده می‌شود که در ۷ ساعت اول بیش از ۹۸ درصد آبشستگی رخ می‌دهد و در یک بازه سه‌ساعته تغییرات عمق آبشستگی کمتر از یک میلی‌متر است. بنابراین، زمان در کلیه آزمایش‌ها برای تک‌پایه و گروه‌پایه‌ها برابر ۷ ساعت در نظر گرفته شد.

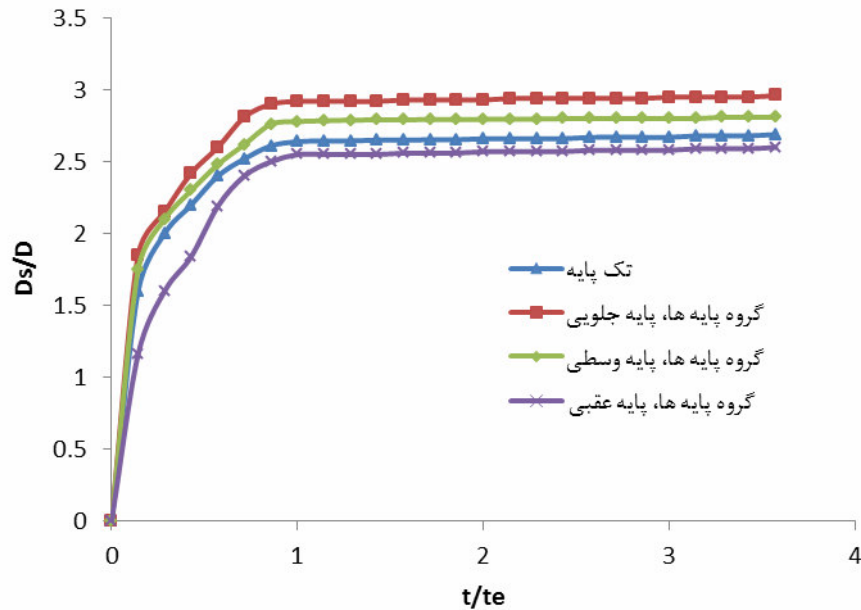
پیش از راه‌اندازی پمپ، دریچه انتهایی بسته و سپس آب زلال به آرامی به درون کانال هدایت شد تا از ایجاد ریبیل (قطر ذرات رسوب برابر با 0.73 میلی‌متر است) و ناهمواری در سطح بستر جلوگیری شود. پس از بالا آمدن آب و اطمینان از مرطوب شدن رسوبات بعد از گذشت چند دقیقه، پمپ با دبی کمی راه‌اندازی و به آرامی به دبی مورد نظر رسانده می‌شد. سپس با تنظیم دریچه پایین دست عمق جریان به ۱۶ سانتی‌متری می‌رسید. پس از هر آزمایش، پمپ خاموش و دریچه انتهایی بسته می‌شد تا آب موجود در کانال به آرامی زهکشی و تأثیری روی توپوگرافی بستر ایجاد نشود. پس از گذشت چند ساعت و تخلیه کامل آب درون کانال، به وسیله یک



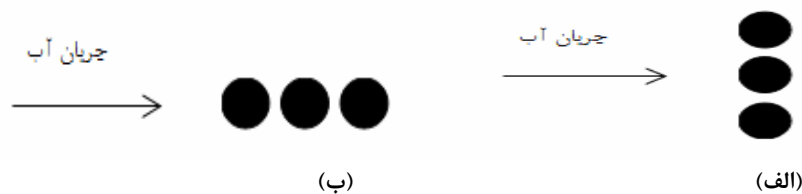
شکل ۲. کانال محل آزمایش



شکل ۳. مشخصات قوس



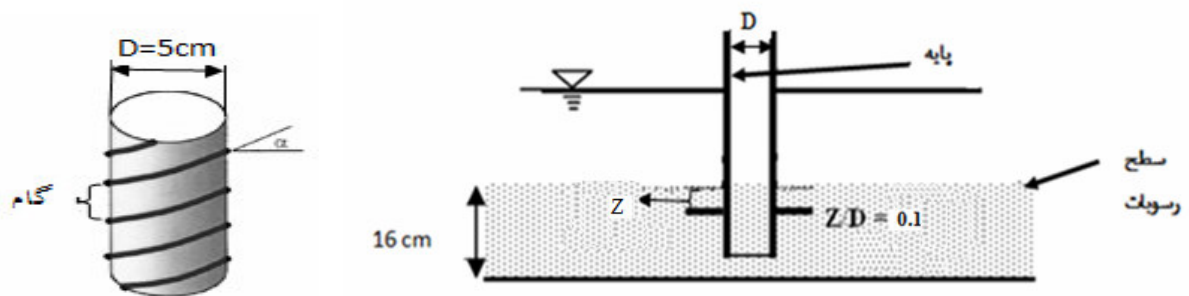
شکل ۴. نمودار توسعه آب‌شستگی برای تک پایه و گروه پایه‌ها بدون کابل



شکل ۵. نحوه قرار گرفتن گروه پایه‌ها: الف) گروه پایه‌ها در جهت جریان ب) گروه پایه‌ها عمود بر جریان

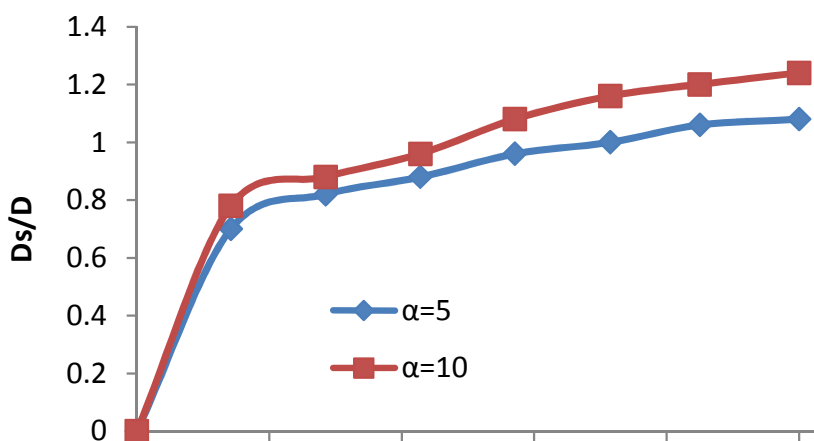
افزایش می‌یابد. در نتیجه در این پژوهش از زاویه ۵ درجه برای بستن کابل دور پایه استفاده شد. همچنین برای بررسی جهت زاویه کابل دور پایه‌ها کابل با ضخامت $0.4D$ و گام $0.2D$ را یک بار در جهت ساعتگرد و بار دیگر در جهت پادساعتگرد دور پایه پیچیده شد. نتایج نشان داد بستن کابل در جهت ساعتگرد با توجه به جهت قوس (ساعتگرد) بر کاهش عمق آب‌شستگی مؤثرتر است (شکل ۹). از این رو در تمام آزمایش‌ها جهت ساعتگرد با توجه به جهت قوس برای بستن کابل در نظر گرفته شد. کلیه آزمایش‌ها نیز برای حصول اطمینان ۲ بار تکرار شد.

برای بررسی تأثیر زاویه بستن کابل دور پایه از دو زاویه ۵ و ۱۰ درجه (بنا به پژوهش‌های Dey *et al.* (2006) زاویه کمتر از ۵ درجه تأثیری بر کاهش شدت جریان‌های رو به پایین و در نتیجه کاهش عمق آب‌شستگی ندارد) برای بستن کابل به ضخامت $0.4D$ و در گام $0.2D$ دور پایه استفاده شد تا تأثیر زاویه روی عمق آب‌شستگی مشخص شود. در شکل ۷ زاویه بستن کابل و گام‌ها نشان داده شده است. با توجه به نمودار شکل ۸ 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 در نتیجه عمق آب‌شستگی

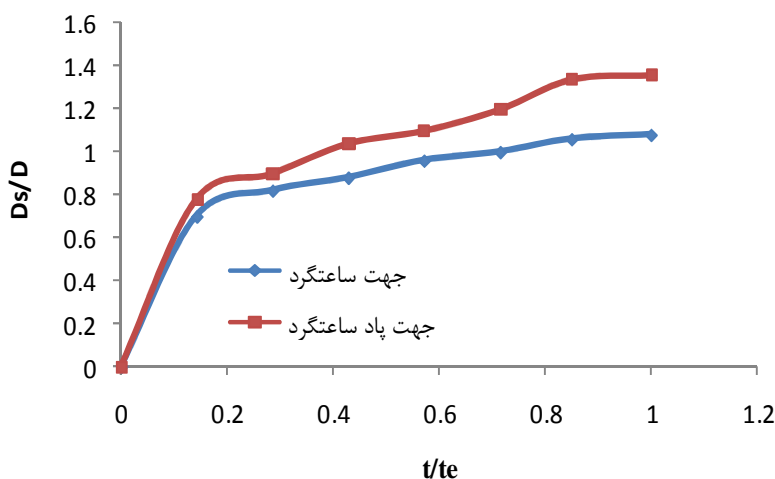


شکل ۶. محل نصب طوق شکل

۷. زاویه بستن کابل دور پایه و فاصله گام‌ها



شکل ۸. نمودار توسعه آبشستگی برای دو زاویه ۵ و ۱۰ درجه



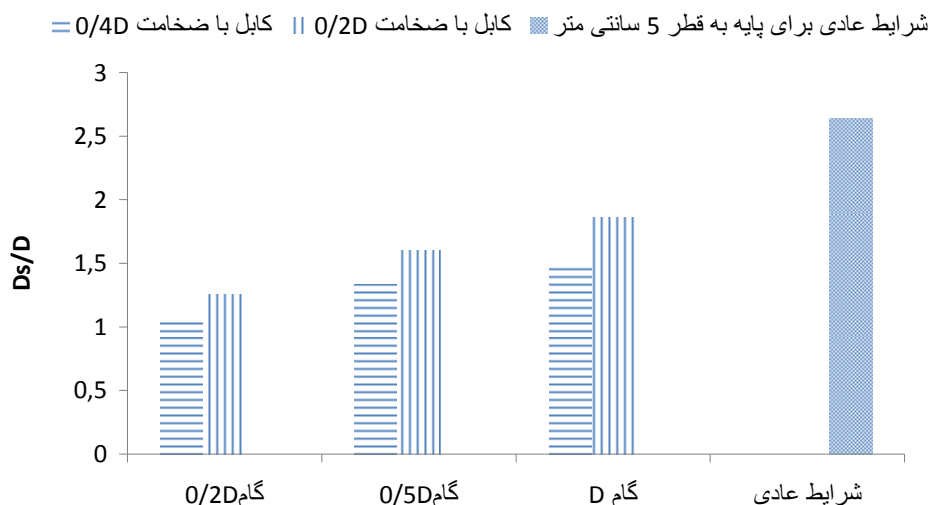
شکل ۹. تأثیر جهت بستن کابل

نتایج و بحث

الف) تأثیر کابل روی عمق آبشستگی برای تک پایه
 در این حالت مشاهده می‌شود با افزایش ضخامت کابل و کاهش فاصله بین گام‌ها عمق آبشستگی کاهش می‌یابد و بیشترین کاهش در کابل با ضخامت $0.4D$ و گام $0.2D$ مشاهده می‌شود و این کاهش برابر با ۵۹ درصد (۵۴ میلی‌متر) نسبت به حالت عادی (۱۳۲ میلی‌متر) است. در شکل ۱۰ و جدول ۱ خلاصه نتایج برای تک‌پایه نشان داده شده است که از جدول ۱ (برای پایه به قطر $2/5$ سانتی‌متر) مشاهده می‌شود، افزایش ضخامت کابل بزرگ‌تر از $0.4D$ تأثیر چندانی روی کاهش عمق آبشستگی ندارد. برای این پایه کابل به ضخامت ۲ سانتی‌متر ($D=2/5, 0.8D$) عمق آبشستگی برابر با ۴۸ میلی‌متر و برای کابل به ضخامت ۱ سانتی‌متر ($D=2/5, 0.4D$) عمق آبشستگی برابر ۵۰ میلی‌متر است.

ب) عمق آبشستگی برای گروه پایه‌ها در جهت جریان
 در این حالت عمق آبشستگی برای سه پایه در شرایط عادی با

فاصله D از یکدیگر بیشتر از تک‌پایه است که نشان‌دهنده این است که پدیده تقویت‌کننده بر پدیده حفاظت‌کننده در این فاصله غالب است. با افزایش فاصله نقش پدیده حفاظت‌کننده برای پایه‌های عقبی افزایش پیدا می‌کند و در نتیجه عمق آبشستگی برای پایه وسطی و آخری کمتر از تک‌پایه می‌شود (شکل ۱۱). در صورت استفاده از کابل عمق آبشستگی برای پایه جلویی و دو پایه دیگر در کلیه حالات کمتر از تک‌پایه است که نشان‌دهنده این موضوع است که نقش کابل در منحرف کردن جریان‌های رو به پایین به فواصل دورتر و کاهش قدرت جریان‌های رو به پایین، بر پدیده تقویت‌کننده غالب است. همچنین با افزایش فاصله عمق آبشستگی برای هر سه پایه کاهش می‌یابد، زیرا با افزایش فاصله تأثیر گرداب‌های حاصل از پایه‌های مختلف بر یکدیگر (فشرده شدن گرداب‌ها) کمتر می‌شود و در نتیجه عمق آبشستگی کاهش پیدا می‌کند. در جدول ۲ نتایج حاصل از تأثیر کابل بر عمق آبشستگی برای گروه پایه‌ها در جهت جریان نشان داده شده است.



شکل ۱۰. نتایج حاصل از آبشستگی اطراف تک پایه

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 فاصله عمق آبشستگی بیشتر کاهش می‌یابد به طوری که بیشترین کاهش در عمق آبشستگی نسبت به حالت عادی (گروه پایه‌های بدون کابل و طوق) برای گروه پایه‌ها به فاصله $3D$ و ضخامت کابل $0/4D$ و گام $0/2D$ مشاهده می‌شود. این امر به این دلیل است که با افزایش فاصله حفرة آبشستگی دو پایه کمتر بر روی حفرة آبشستگی حاصل از پایه وسطی می‌افتد (اثر تقویت‌کننده) و همچنین کاهش اثر گرداب‌های منحرف‌شده بر روی یکدیگر و کاهش قدرت این گرداب‌ها به وسیله کابل است. در جدول ۳ خلاصه نتایج برای پایه‌های عمود بر جریان همراه با کابل نشان داده شده است.

ج) عمق آبشستگی برای گروه پایه‌ها در جهت عمود بر جریان در حالی که سه پایه عمود بر جریان در شرایط بدون کابل عمق آبشستگی برای سه پایه بیشتر از حالت تک پایه است و بیشترین عمق آبشستگی برای پایه‌ها به فاصله D مشاهده می‌شود. عمق آبشستگی در این حالت بیشتر از حالتی است که فاصله پایه‌ها $2D$ و $3D$ است و علت آن این است که در این فاصله پایه‌ها مانند یک پایه با قطر بزرگ عمل می‌کنند بنابراین، عمق آبشستگی نسبت به دو فاصله دیگر بیشتر است. همچنین در فواصل کم گرداب‌های حاصل بیشتر فشرده و پایه میانی تحت تأثیر گرداب‌های دو پایه دیگر نیز قرار می‌گیرد و در نتیجه عمق آبشستگی افزایش پیدا می‌کند (شکل ۱۲). در کلیه فواصل عمق آبشستگی برای پایه وسطی به دلیل اینکه گودال حاصل از آبشستگی دو پایه دیگر بر روی گودال آبشستگی این پایه می‌افتد بیشتر است. کمترین مقدار آبشستگی برای

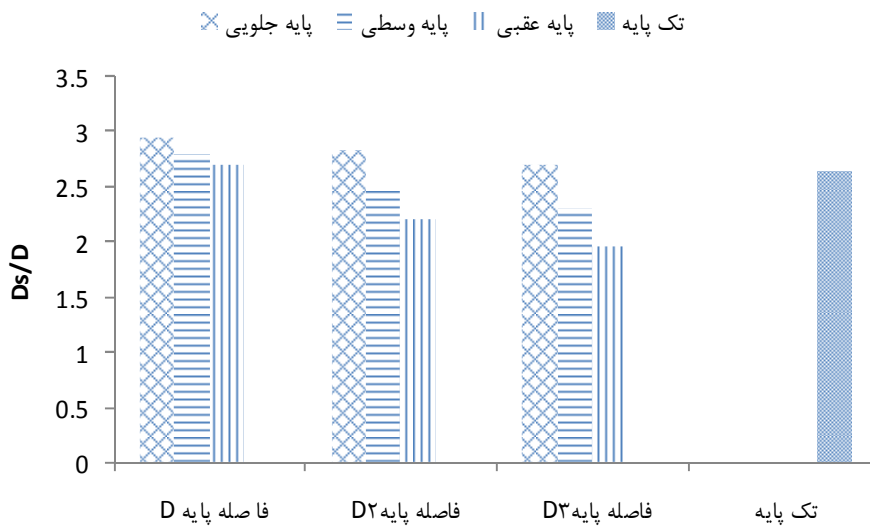
جدول ۱. نتایج برای تک پایه

شرایط آزمایش	عمق آبشستگی (mm)	درصد کاهش
پایه عادی به قطر ۵ سانتی‌متر	۱۳۲	-
کابل به ضخامت $0/4D$ و گام $0/2D$	۵۴	۵۹
کابل به ضخامت $0/4D$ و گام $0/5D$	۶۷	۴۹
کابل به ضخامت $0/4D$ و گام D	۷۵	۴۳/۲
کابل به ضخامت $0/2D$ و گام $0/2D$	۶۳	۵۲/۳
کابل به ضخامت $0/2D$ و گام $0/5D$	۸۰	۳۹/۴
کابل به ضخامت $0/2D$ و گام D	۹۳	۲۹/۵
پایه عادی به قطر ۲/۵ سانتی متر	۱۲۴	۶
پایه به قطر ۲/۵ کابل به ضخامت $0/8D$ و گام $0/4D$	۴۸	۶۱/۲
پایه به قطر ۲/۵ کابل به ضخامت $0/4D$ و گام $0/4D$	۵۰	۵۹/۶

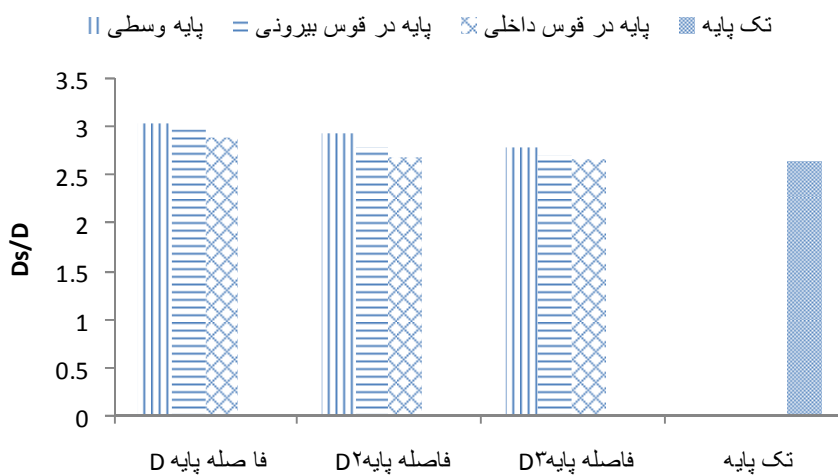
باشد. در شکل‌های ۱۳ و ۱۴ نتایج نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می‌شود بیشتر کاهش در عمق آبشستگی به دلیل پوشش بیشتر فضای بین پایه به وسیله طوق در حالتی مشاهده می‌شود که فاصله پایه‌ها برابر با D است. با افزایش فاصله بین پایه‌ها مقدار عمق آبشستگی نیز بیشتر می‌شود، زیرا فضایی که به وسیله طوق پوشش داده نمی‌شود افزایش پیدا می‌کند و در نتیجه عمق آبشستگی با افزایش فاصله، بیشتر می‌شود.

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

با توجه به مطالعات انجام شده بر روی طوق، طوق‌های بزرگ‌تر تأثیر بیشتری در کاهش عمق آبشستگی دارند (Alabi, 2006). در این حالت با توجه به فاصله میان پایه‌ها از بزرگ‌ترین اندازه طوق یعنی طوق به اندازه $2D$ استفاده شده است در حالی که محل نصب آن در $0.1D$ در زیر بستر رسوبات در نظر گرفته شده است تا بیشترین کارایی در کاهش عمق آبشستگی داشته



شکل ۱۱. مقایسه عمق آبشستگی برای سه پایه بدون کابل و طوق در جهت جریان



شکل ۱۲. نمودار توسعه آبشستگی برای سه پایه بدون کابل و طوق در جهت عمود بر جریان

به وسیله 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 $0.4D$ و گام $0.2D$ برای پایه‌ها به فاصله D

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

در این حالت نیز با افزایش فاصله میان پایه‌ها عمق آبشستگی بیشتر می‌شود، زیرا فضای کمتری با افزایش فاصله میان پایه‌ها

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 وسیله 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.

جدول ۲. نتایج حاصل برای گروه پایه‌ها در جهت جریان همراه با کابل

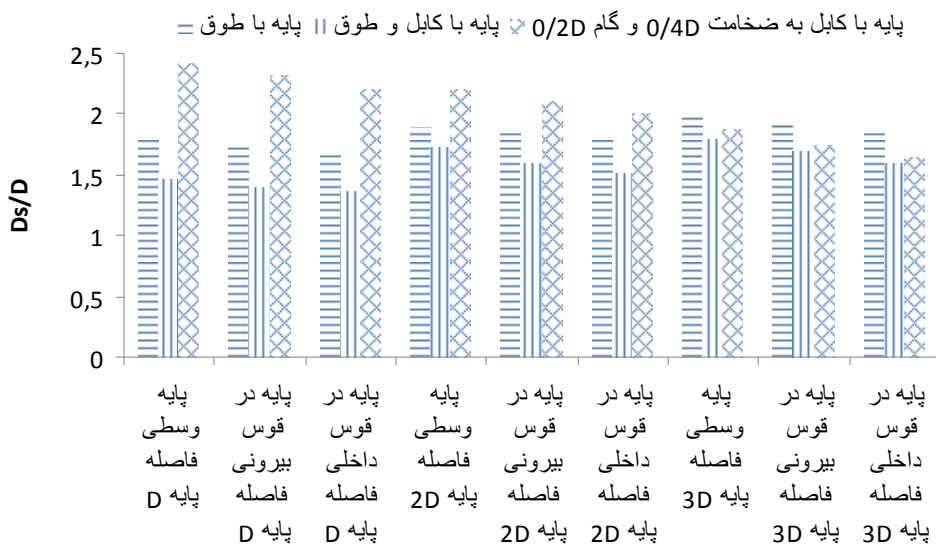
فاصله پایه ۳D	فاصله پایه ۲D	فاصله پایه D		
$\frac{D_s}{D}$	$\frac{D_s}{D}$	$\frac{D_s}{D}$		
۱/۶۸	۲/۱	۲/۳۲	پایه جلویی	
۱/۴۲	۲	۲/۲	پایه وسطی	کابل به ضخامت ۰/۴D و گام ۰/۲D
۱/۲	۱/۸۴	۲/۱	پایه عقبی	
۱/۹	۲/۳۴	۲/۵۶	پایه جلویی	
۱/۶۸	۲/۱۲	۲/۴۸	پایه وسطی	کابل به ضخامت ۰/۴D و گام ۰/۵D
۱/۳۸	۱/۹۶	۲/۳۶	پایه عقبی	
۲/۰۶	۲/۳۲	۲/۶۶	پایه جلویی	
۱/۷	۲/۳۴	۲/۵۶	پایه وسطی	کابل به ضخامت ۰/۴D و گام D
۱/۵۲	۲	۲/۴۴	پایه عقبی	
۱/۹۸	۲/۲۸	۲/۴۸	پایه جلویی	
۱/۵۸	۱/۹۶	۲/۳۶	پایه وسطی	کابل به ضخامت ۰/۲D و گام ۰/۲D
۱/۳	۱/۷۲	۲/۲۸	پایه عقبی	
۲/۱۴	۲/۳۶	۲/۶۲	پایه جلویی	
۱/۸۴	۲/۰۴	۲/۵۲	پایه وسطی	کابل به ضخامت ۰/۲D و گام ۰/۵D
۱/۵	۱/۸	۲/۴	پایه عقبی	
۲/۲۲	۲/۴۴	۲/۷	پایه جلویی	
۲	۲/۳۴	۲/۶	پایه وسطی	کابل به ضخامت ۰/۲D و گام D
۱/۷۸	۲	۲/۵۴	پایه عقبی	

جدول ۳. خلاصه نتایج برای گروه پایه‌های عمود بر جریان همراه با کابل

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



شکل ۱۳. مقایسه عمق آبشستگی برای گروه پایه‌ها در جهت جریان همراه با کابل و طوق و کابل و طوق توأم برای فواصل مختلف



شکل ۱۴. مقایسه عمق آبشستگی برای گروه پایه‌های عمود بر جریان همراه با کابل و طوق و کابل و طوق توأم برای فواصل مختلف

نتیجه‌گیری

ضخامت به قطر پایه بزرگ‌تر از ۰/۴ باشد افزایش ضخامت کابل تأثیر چندانی روی کاهش عمق آبشستگی ندارد. به طوری که برای پایه به قطر ۲/۵ سانتی‌متر برای کابل به ضخامت ۲ و ۱ سانتی‌متر (نسبت ضخامت کابل به قطر پایه به ترتیب ۰/۸ و

۱. با افزایش ضخامت کابل و کاهش فاصله بین گام‌ها، عمق آبشستگی کاهش می‌یابد. البته با توجه به نتایج به دست آمده برای تک‌پایه، مشاهده می‌شود برای کابل‌هایی که نسبت

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 پایه جلویی به دلیل افزایش اثر پدیده تقویت‌کننده و فشرده‌شدن گرداب‌ها بیشتر از تک‌پایه در شرایط عادی است. با افزایش فاصله میان پایه‌ها عمق آبشستگی برای پایه جلویی کمتر می‌شود، ولی باز هم به دلیل پدیده فوق از تک‌پایه بیشتر است در ضمن برای پایه دوم و سوم آبشستگی در شرایط عادی به دلیل غالب‌بودن پدیده حافظ‌بودن بر پدیده تقویت‌کننده (بر روی هم افتادن حفره‌های آبشستگی بر روی یکدیگر) کمتر از تک‌پایه در شرایط عادی برای کلیه فواصل است. ولی در صورت استفاده از کابل عمق آبشستگی برای پایه جلویی در کلیه فواصل کمتر از تک‌پایه است و آن نشان‌دهنده این موضوع است که نقش کابل در منحرف‌کردن گرداب‌ها به فاصله دورتر از پایه و کاهش قدرت جریان‌های رو به پایین، بیشتر از نقش پدیده تقویت‌کننده دو پایه دیگر است. در کلیه حالت‌ها بیشترین عمق آبشستگی در پایه جلویی دیده می‌شود و برای پایه دومی کمتر از پایه جلویی و پایه آخری کمتر از پایه دوم است که نشان‌دهنده نقش عامل حفاظت‌کننده در کاهش عمق آبشستگی برای پایه‌های عقبی در گروه‌پایه‌ها است همچنین بنابر دلایل اشاره‌شده با افزایش فاصله عمق آبشستگی در شرایط عادی و نیز پایه همراه با کابل به دلیل کاهش فشرده‌شدن گرداب‌ها کاهش می‌یابد بنابراین،

کمترین عمق آبشستگی برای گروه‌پایه به فواصل ۳D مشاهده می‌شود.

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

۴. در صورت استفاده از طوق، بیشترین کاهش در عمق آبشستگی در گروه‌پایه به فاصله D مشاهده می‌شود، زیرا فضایی که به وسیله طوق پوشش داده می‌شود در این حالت بیشتر است و با افزایش فاصله به دلیل پوشش کمتر فضای بین دو پایه کارایی آن کم می‌شود، به طوری 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.
- Khwaïrakpam, P., and Mazumdar, A. (2009). Local scour around hydraulic structures. *International journal of recent 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.