Archive of SID

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

مجتبی عقلی[۱]، سید محمد علی زمردیان[۲*]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد سازه های آبی بخش مهندسی آب دانشگاه شیراز
۲*- نویسنده مسئول، دانشیاربخش مهندسی آب دانشگاه شیراز zomorodian.sma@gmail.com

تاریخ دریافت: ۹۰/۱۲/۲۳ تاریخ پذیرش: ۹۱/۱۱/۱۶

چکیده

مسأله آبشستگی موضعی در اطراف پایه پل در سال‌های اخیر به طور گسترده توسط محققین مختلف مورد بررسی قرار گرفته است که نتیجه آن ارائه روش‌های مختلفی برای کنترل آبشستگی بوده است. محققین زیادی روش های مقابله با آبشستگی در اطراف پایه‌ها را در یک مسیر مستقیم مورد مطالعه قرار داده‌اند در حالی که ممکن است به دلیل محدودیت ناچار به احداث پل در قوس رودخانه‌ها شوند. 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 می باشد. از این رو در این تحقیق سعی شده است تأثیر توأم طوق و کابل در اطراف پایه بر روی عمق آبشستگی در قوس رودخانه ها مورد مطالعه قرار گیرد. نتایج این تحقیق نشان داد با افزایش قطر کابل و کمتر شدن فاصله میان گام‌ها، آبشستگی بیشتر کاهش می‌یابد و حداکثر مقدار در کاهش آبشستگی۵۹ درصد می‌باشد و همچنین طوق در بهترین حالت ۵۵ درصد و طوق و کابل توأم حداکثر ۶۹/۷ درصد عمق آبشستگی را کاهش می‌دهد.

کلید واژه‌ها: آبشستگی،پایه پل، قوس، کابل، طوق.

Effect of Cable and Collar on Scouring Depth Around Cylindrical Bridge Pier in Meandering River

M. Aghli[1] and S.M.A.Zomorodian[2]

1- M.Sc. Student Hydraulic Structure, Water Engineering Department, Shiraz University
2- Assistant Professor of Water Engineering, Shiraz University

Received: 13.March.2012 Accepted: 5.Feb.2011

Abstract

The local scour around a bridge pier in recent years has been widely studied by different authors. They proposed different methods to control the scouring depth. Until now, many of authors have studied to find out how to control scouring around a pier along the straight stream. However, it may be required to construct a bridge across a bend of a river due to the some constraints. The objective of this research is to study a scour pattern around such piers on a bend due to the fact that there may be a difference between a flow pattern on a straight stream and the meander. Thus, this study tries to check whether the use of collar and cable together effects on scouring around bridge pier constructed on river meander. The results showed that as cable diameter increases and pitch of helix decrease, scouring depth will be decreased. The reduction of scouring depth by using cable does not exceed from 59% and alone collar reduces scour depth up to 55%. Using collar and cable together is reduced scour depth to 69.7%.

Key words: Scour, Bridge Pier, Meander, Cable, Collar

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

پل‌ها عموماً روی رودخانه‌ها احداث می‌شوند ولی اغلب رودخانه‌ها دارای مسیر پر پیچ و خمی هستند. اصولا پل‌ها در بازه ای از رودخانه احداث می‌شوند که رودخانه‌ها پایدارتر باشد. در این مسیر، ممکن است به علت محدودیت‌های احداث راه و یا عدم پایداری رودخانه در بازه‌های مستقیم، نظر بر احداث پل در قوس رودخانه صادر شود. وقوع آبشستگی در اطراف پایه‌های پل یکی از عمده‌ترین دلایل تخریب پل ها است. پس از برخورد جریان به دماغه پل، روی پایه با توجه به این که سرعت جریان از بستر رودخانه به طرف سطح آب بیشتر می‌شود، فشار بیشتر نیز در ترازهای بالاتر روی پایه ایجاد می‌شود و به این ترتیب گرادیان فشاری روی پایه از بالا به پایین به وجود می‌آید که خود باعث یک جریان رو به پایین در جلو پایه می‌شود. جریان رو به 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، گردابی تشکیل می‌دهد که به تدریج در دو طرف پایه، امتداد یافته و شکلی شبیه نعل اسب پدید می آورد که به آن گرداب نعل اسبی می‌گویند. تشکیل گرداب نعل اسبی در داخل حفره آبشستگی، باعث تسریع در حفر آن شده و ذرات جدا شده از بستر، توسط جریان اصلی رودخانه به پایین دست حمل می‌شوند(بروسرز و همکاران[1]، ۱۹۹۷). 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 پایین دست کمک می‌کنند.

حفر گودال آبشستگی توسط گرداب نعل اسبی آن قدر ادامه می‌یابد تا حجم آب درون حفره آبشستگی زیاد شده و انرژی گرداب را، مستهلک کند. در این حالت عمق آبشستگی به تعادل می‌رسد (رادکیوی و اتما[2]،۱۹۸۳). شکل(۱) نمونه‌ای از جریان آشفته و گرداب‌هایی را که باعث آبشستگی می شوند نشان می‌دهد.

روش‌های مختلفی برای جلوگیری و یا کاهش آبشستگی در اطراف پایه‌های پل پیشنهاد شده است، که می‌توان آن ها را به دو دسته مستقیم وغیرمستقیم تقسیم کرد. در روش مستقیم مقاومت بستر در مقابل تنش‌های وارده افزایش می‌یابد، این کار با تعویض مصالح موجود به مصالح مقاوم‌تر انجام می‌شود، معمول‌ترین شیوه در این روش استفاده از سنگ‌چین می‌باشد. در روش غیر مستقیم با اصلاح الگوی جریان در اطراف پایه نیروهای مخرب کاهش داده می‌شوند که از جمله می‌توان به استفاده از طوق و شکاف اشاره کرد (مشاهیر و زراتی[3]، ۲۰۰۲) .

روابط تجربی متعددی نیز برای پیش بینی عمق آب شستگی وجود دارد که از جمله معروف‌ترین آنها می‌توان به روابط که توسط اداره مرکزی بزرگراه‌های آمریکا ارائه شده است اشاره نمود (کایا[4]، ۲۰۱۰) :

$$D_s = 2y_2\, k_2 k_2 k_3 k_4 \left(\frac{D}{y_1}\right)^{0.65} F_r^{0.65\,0.43} \qquad (۱)$$

که D_s : عمق آبشستگی، y_2 : عمق آب در بالا دست پایه، k_1 : ضریب شکل پایه که معمولا بین ۱/۱- ۰/۹ می باشد، k_2 ضریب زاویه برخورد جریان با پایه، k_3 ضریبی که با توجه به شرایط کف کانال تعیین می‌شود و معمولا بین ۱/۳- ۱/۱ می‌باشد، k_4 : ضریب ذرات تشکیل دهنده بستر و D و F_r : به ترتیب قطر پایه و عدد فرود جریان بالادست پایه است. البته معایب این فرمول‌های تجربی در این است که عمق آبشستگی را بیشتر از مقدار واقعی نشان می دهند (کایا،۲۰۱۰) .

مطالعات فراوانی در هر دو زمینه مقابله با آبشستگی توسط محققین صورت گرفته که از جمله می توان به مطالعه سینگ و همکاران[5] (۲۰۰۱) که عملکرد طوق را مورد مطالعه قرار دادند اشاره نمود، نتایج آزمایش‌ها نشان داد که چنانچه فاصله بین تراز بستر و تراز نصب طوق افزایش یابد، حداکثر عمق آبشستگی افزایش می‌یابد، بهترین محل نصب طوقه در آزمایش ها برابر ۰/۱D (D = قطر پایه) زیر سطح بستر بود که در این حالت طوقه به قطر دو برابر قطر پایه مقدار آبشستگی را تا ۹۱درصد کاهش می‌دهد.

در مطالعاتی که توسط مسجدی و همکاران (۲۰۱۰) روی اثر طوق در اطراف پایه استوانه ای در خم ۱۸۰ درجه صورت گرفت نشان داده شد که نصب یک طوق به اندازه سه برابر قطر پایه در ۰/۱ قطر پایه در زیر بستر ۹۳ درصد عمق آبشستگی را کاهش می‌دهد.

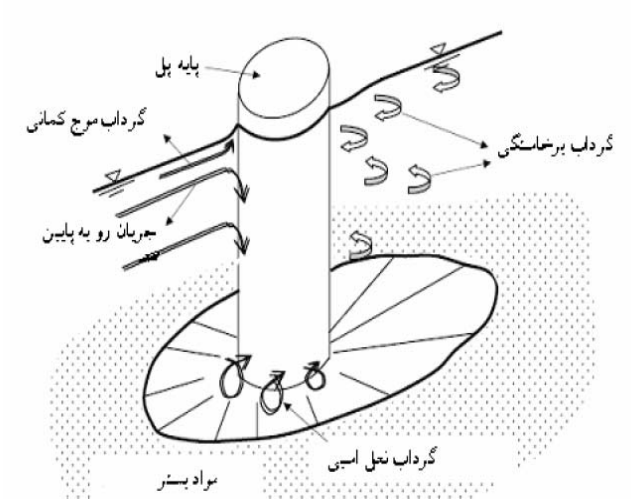
روش دیگر کاهش عمق آبشستگی ایجاد شکاف روی پایه می‌باشد اولین بار چیو[6] در دهه۸۰ میلادی آن را پیشنهاد کرد و مطالعاتی توسط محققین مختلفی در این رابطه صورت گرفت که ازجمله می‌توان به مطالعات صورت گرفته توسط گریمالدی و همکاران[7] (۲۰۰۹) اشاره نمودکه نتایج حاصل از تحقیق آنها نشان

1 - Breusers et al.
2 - Raudkivi and Ettema

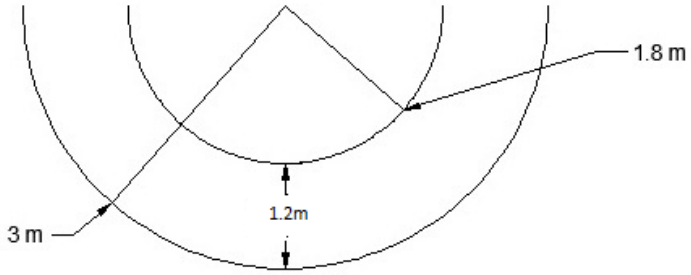
3- Mashahir and Zarrati
4- Kaya
5- Singh et al.
6 -Chiew
7- Grimaldi et al

www.SID.ir

Archive of SID



شکل۱- جریان و الگوی آبشستگی در اطراف پایه استوانه‌ای شکل



شکل۲- نمایی از قوس محل آزمایش

داد هرچه شکاف در بستر خاک فرو رود کاهش عمق آبشستگی بیشتر می‌باشد. البته شکاف ممکن است به‌وسیله رسوبات رودخانه پر شود و از عملکرد آن کم شود .

در مورد اثر پیچش کابل دور پایه‌های پل مطالعاتی توسط خاویر اکپام و مزومدار[1] (۲۰۰۹) صورت گرفت و به این نتیجه رسیدند نقش کابل در منحرف کردن جریان‌های رو به پایین و تضعیف قدرت گردابه های نعل اسبی می باشد در ضمن عمق آبشستگی با افزایش قطر کابل و تعداد گام های آن دور پایه بیشتر کاهش می‌یابد.

با توجه به ضعف مطالعات گذشته که اکثراً الگوی آبشستگی را در مسیر مستقیم بررسی کردند اما ممکن است به دلیل محدودیت ناچار به ساخت پل در قوس‌ها شوند از این رو در این تحقیق سعی شده آبشستگی در اطراف پایه پل در قوس‌ها مورد بررسی قرار گیرد. همچنین به دلیل اثر مخربی که رسوبات و آوردهای رودخانه مانند خار و خاشاک روی عملکرد طوق و شکاف می گذارد، مانند پر شدن شکاف از رسوبات و گیر کردن خار و خاشاک در اطراف طوق که باعث کاهش عملکرد آنها می‌شود، از این رو در این تحقیق تأثیر توأم طوق و کابل روی عمق آبشستگی مطالعه می شود.

مواد و روش ها

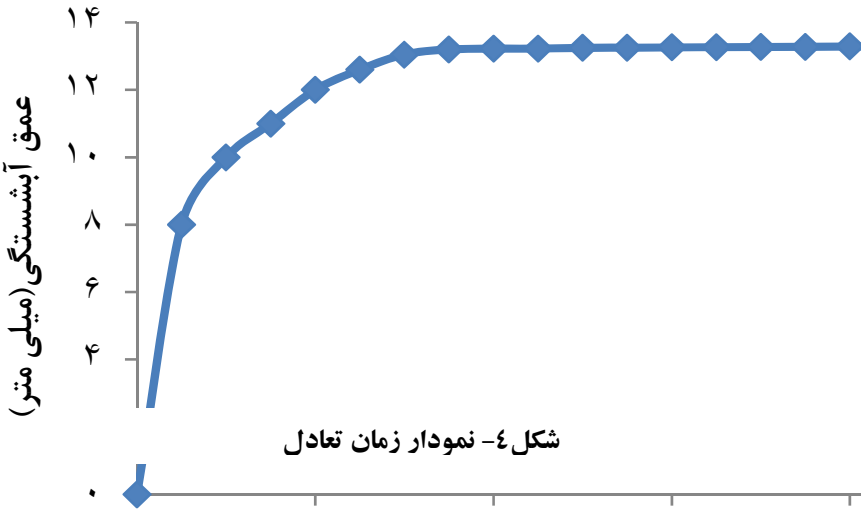
آزمایش‌ها در آزمایشگاه هیدرولیک رسوب دانشکده کشاورزی دانشگاه شیراز که مجهز به یک کانال مئاندری به طول ۴۵ متر با کف بتونی به شیب ۰/۰۰۱ و با دیواره فولادی به ارتفاع ۰/۴ متر و عرض ۱/۲ متر و شعاع قوس خارجی سه متر و شعاع قوس داخلی۱/۸ متر(شکل ۲) انجام شد. کانال مجهز به یک سیستم الکتریکی قرائت دبی و یک دریچه کشویی مستطیلی برای تنظیم ارتفاع آب می‌باشد. به منظور انجام آزمایش ها، کف کانال توسط سکوهای فلزی به ارتفاع ۱۶ سانتی متر و عرض برابر با عرض کانال بالا آورده شد. در شکل(۳) کانالی که در آن آزمایش صورت گرفته نشان داده شده است.

1- Khwairakpam and Mazumdar

www.SID.ir

Archive of SID

شکل۳- کانال مورد استفاده در این مطالعه



شکل٤- نمودار زمان تعادل

در کلیه آزمایش‌ها برای از بین رفتن تأثیر دیواره های جانبی کانال بر آبشستگی موضعی، طبق توصیه های صورت گرفته بایستی نسبت فاصله محور پایه تا دیواره کانال به قطر پایه بزرگتر از ۶/۲۵ باشد(رادکیوی و اتما،۱۹۸۳). از این رو در این تحقیق با توجه به قطر پایه که از جنس فولاد به قطر پنج سانتی متر می‌باشد این نسبت در کلیه آزمایش‌ها برابر با ۱۲ در نظر گرفته شد همچنین برای بررسی اثر ضخامت کابل بر روی قطرهای مختلف از یک لوله ای فولادی به قطر ۲/۵سانتی متر نیز استفاده شد و با توجه به مطالعات صورت گرفته توسط مسجدی و همکاران (۲۰۱۰) از یک طوق فولادی به ضخامت یک میلی متر به اندازه۳D استفاده شد به طوری که محل نصب آن در ۰/۱D در زیر بستر در نظرگرفته شد تا بیشترین کارایی در کاهش عمق آبشستگی داشته باشد. به توصیه رادکیوی و اتما (۱۹۸۳) برای جلوگیری از پدیده ریپل قطر متوسط ذرات باید از ۰/۷ میلی‌متر بزرگ‌تر باشد و نسبت قطر پایه به متوسط ذرات باید بیشتر از ۳۰-۲۵ باشد. با توجه به این موارد یک لایه از ماسه با قطر متوسط ۰/۷۳میلی‌متر و ضریب انحراف استاندارد معادل ۱/۲۵ برای انجام آزمایش ها استفاده شد. ضخامت مصالح بستر با توجه به بیشینه عمق آبشستگی برابر با ۲/۳D یعنی ۱۱/۵سانتی‌متر و با احتساب تقریبا ۳۰ درصد افزایش احتمالی آن، ضخامت مصالح بستر ۱۶ سانتی‌متر انتخاب شد (ملویل و چیو[1]،۱۹۹۹). برای این که عمق آب بر روی عمق آبشستگی اثری نداشته باشد نسبت عمق آب به قطر پایه باید بزرگتر از سه باشد (رادکیوی و اتما،۱۹۸۳) از این رو عمق آب ثابت و برابر با ۱۶ سانتی متر در نظر گرفته شد. با توجه به این که 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. در کلیه آزمایش‌ها نسبت سرعت بحرانی به سرعت جریان ۰/۹۱ بود. از این رو در این تحقیق از دبی برابر با ۶۰ لیتر بر ثانیه استفاده شد.

به منظور تعیین زمان تعادل آزمایش‌ها، یک آزمایش طولانی به مدت ۲۴ ساعت روی پایه پل در دبی۶۰ لیتر بر ثانیه در شرایط عادی (شاهد) انجام شد. با توجه به نمودار شکل(۴) مشاهده می‌شود که در

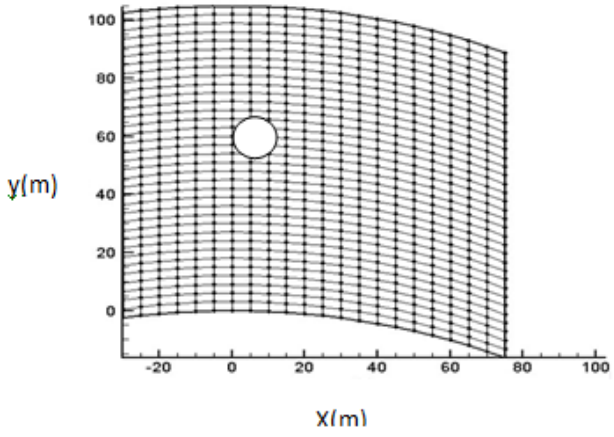
1- Melville and Chiew

www.SID.ir

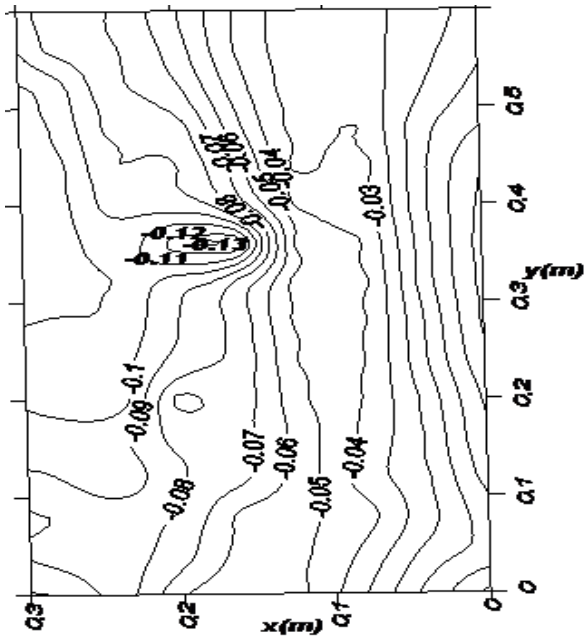
Archive of SID

هفت ساعت اول بیش از ۹۸ درصد (۱۳۲میلی‌متر) آبشستگی رخ می‌دهد. بنابراین در کلیه آزمایش‌ها، زمان تعادل هفت ساعت در نظر گرفته شد که در این تحقیق Ds عمق آبشستگی و D قطر پایه می‌باشد. برای برداشت تغییرات توپوگرافی در حین آزمایش و در شرایطی که آب در کانال جریان داشت از یک زبری‌سنج با دقت یک میلی‌متر و در پایان آزمایش از یک متر لیزری استفاده شده است. برای برداشت توپوگرافی، اطراف پایه به فاصله دو سانتی‌متر در دو سانتی‌متر مش‌بندی شد در شکل(۵) مش‌بندی اطراف پایه نشان داده شده است.

پیش از راه‌اندازی پمپ، دریچه انتهایی بسته و سپس آب زلال به آرامی به درون کانال هدایت شد تا از ایجاد ریپل 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 و سپس با تنظیم دریچه پایین دست عمق جریان ۱۶ سانتی‌متری حاصل شد. پس از هر آزمایش، پمپ خاموش و دریچه انتهایی بسته شد 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، تغییرات بستر اندازه‌گیری شد. در شکل (۶) تغییرات توپوگرافی اطراف پایه، نشان داده شده است. و x و y به ترتیب طول و عرض نقاط می‌باشد.



شکل۵- مش بندی اطراف پایه



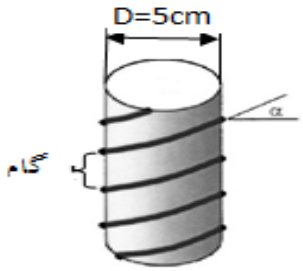
شکل٦- تغییرات توپوگرافی اطراف پایه

www.SID.ir

Archive of SID

شکل۷- پایه به قطر ۲/۵ سانتی متر

شکل۸- تأثیر توأم طوق و کابل بر آبشستگی



شکل۹- زاویه بستن کابل دور پایه و فاصله گام ها

در این تحقیق از دو کابل به ضخامت یک و دو سانتی متر (۰/۲D و ۰/۴D) و در سه گام ۰/۲D، ۰/۵D وD (D=۵ سانتی‌متر) استفاده شد.

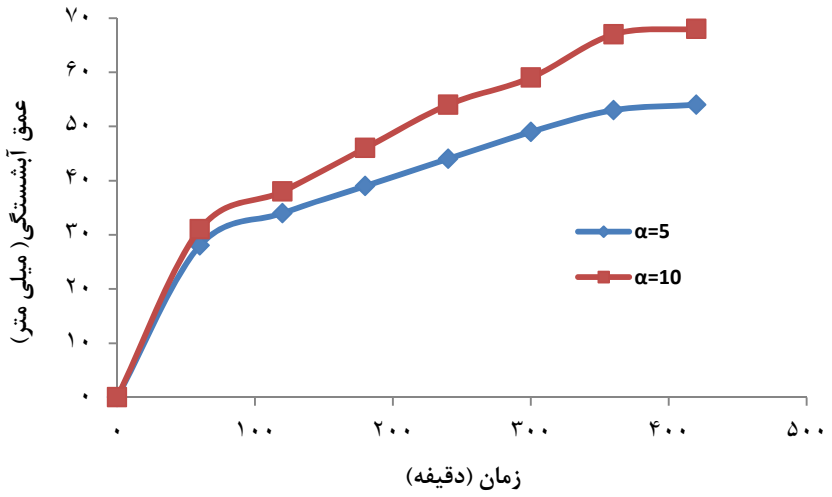
برای بررسی تأثیر کابل در قطر پایه های مختلف از پایه‌ای به قطر۲/۵ سانتی‌متر نیز استفاده شد تا تأثیر کابل به ضخامت یک سانتی-متر(۰/۴D) و دو سانتی‌متر (۰/۸D) که D در اینجا برابر با ۲/۵ سانتی-متر می‌باشد بر روی عمق آبشستگی مورد مطالعه قرار گیرد (شکل۷).

برای بررسی تأثیر توام طوق و کابل بهترین حالت طوق یعنی طوق به اندازه ۳D و محل نصب آن ۰/۱D در زیر بستر رسوبات و همچنین با توجه به نتایج بهترین حالت کابل در نظر گرفته شد (شکل۸).

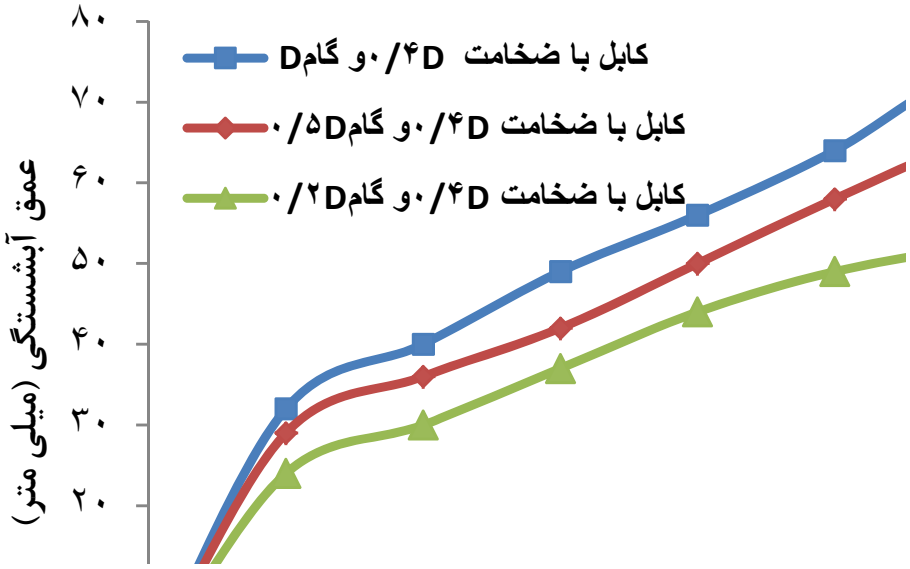
برای بررسی تأثیر زاویه بستن کابل دور پایه از دو زاویه پنج و ۱۰ درجه برای بستن کابل به ضخامت۰/۴Dو در گام ۰/۲Dدور پایه استفاده شد تا تأثیر زاویه روی عمق آبشستگی مشخص شود. در شکل (۹) زاویه بستن کابل و گام ها نشان داده شده است. با توجه به نمودار شکل (۱۰) با افزایش زاویه میزان عمق آبشستگی نیز بیشتر افزایش می‌یابد در نتیجه در این تحقیق از زاویه پنج درجه برای بستن کابل دور پایه استفاده شد.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل۱۰- نمودار توسعه آبشستگی برای دو زاویه پنج و ده درجه



شکل۱۱- تأثیر کابل به ضخامت ۰/٤D در گام‌های مختلف روی عمق آبشستگی

نتایج و بحث

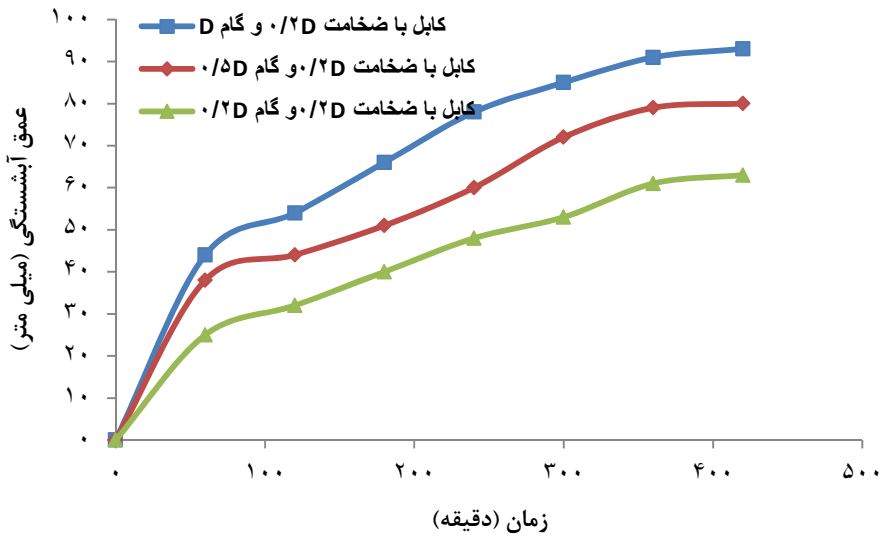
در کلیه آزمایش‌ها پس از تنظیم دبی و عمق جریان، بلافاصله در اطراف پایه گردابه‌ها تشکیل و آبشستگی با سرعت بسیار بالا آغاز شد. با شکل‌گیری حفره آبشستگی رسوب های برخاسته از حفره به سمت پایین دست منتقل شدند. پس از مدتی از شروع آزمایش رسوبات انتقالی از حفره آبشستگی تحت تأثیر جریان ثانویه به سمت پایین دست منتقل شده و تعداد دو یا بیشتر شیارهای کوچک در اطراف پایه تشکیل شد.

الف) تأثیر کابل بر روی عمق آبشستگی برای پایه به قطر پنج سانتی متر

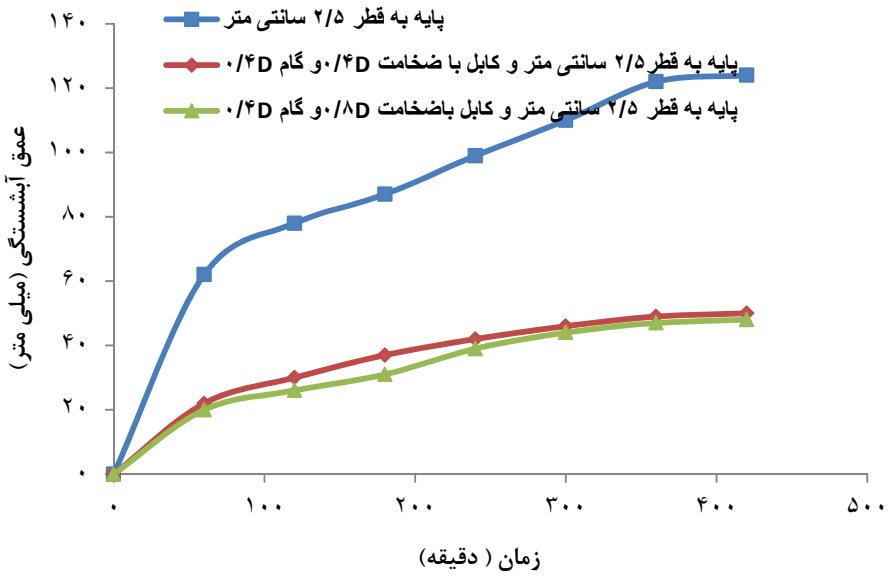
همان‌طوری که در شکل‌های (۱۱) و (۱۲) نشان داده شده است با کاهش گام‌ها (فاصله) بین کابل‌ها میزان عمق آبشستگی بیشتر کاهش می‌یابد همچنین کابل با ضخامت بیشتر ۰/۴D عمق آبشستگی را نسبت به کابل به ضخامت ۰/۲D در گام‌های مشابه بیشتر کاهش می‌دهد که این نتیجه با نتایج حاصل از کار محققینی از جمله خاویر اکپام و مزومدار(۲۰۰۹) مطابقت دارد.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل۱۲- تأثیر کابل به ضخامت ۰/۲D در گام‌های مختلف روی عمق آبشستگی



شکل۱۳- تأثیر کابل برروی پایه ای به قطر ۲/۵ سانتی متر

ب) تأثیر کابل بر روی عمق آبشستگی برای پایه به قطر دو و نیم سانتی متر

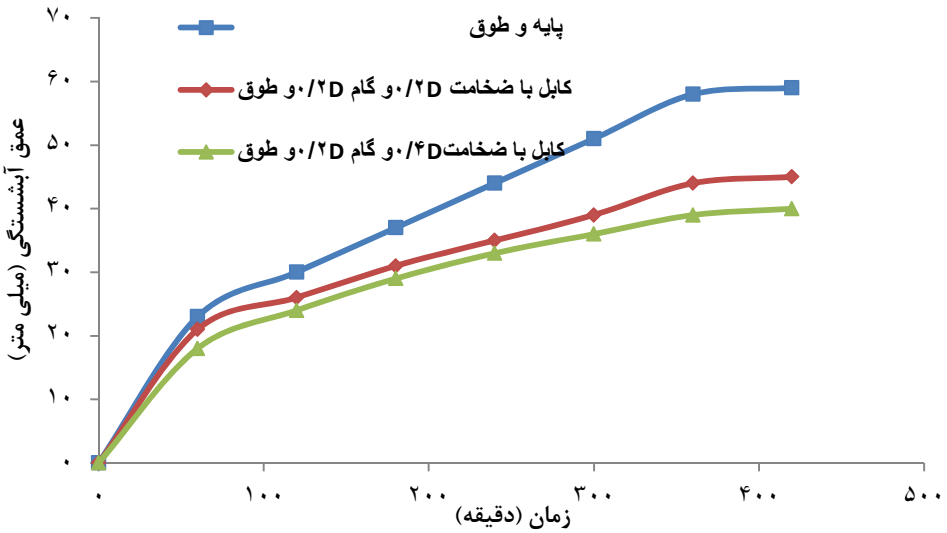
همان طوری که در شکل شماره (۱۳) نشان داده شد کابل با ضخامت بزرگتر از ۰/۴D تأثیر چندانی روی کاهش عمق آبشستگی نمی‌گذارد از این رو برای پایه هایی به قطر بزرگ‌تر پیشنهاد می‌شود از کابل با حداکثر ضخامت ۰/۴D استفاده شود.

ج) تأثیر توام طوق و کابل بر روی عمق آبشستگی برای پایه به قطر پنج سانتی متر

برای بررسی تأثیر توأم طوق و کابل بهترین حالت طوق یعنی طوق به اندازه 3D و محل نصب آن ۰/۱D در زیر بستر رسوبات (مشاهیر و زراتی،۲۰۰۲) و همچنین با توجه به نتایج قسمت الف بهترین حالت کابل یعنی کابل به دو ضخامت ۰/۴D و ۰/۲D در گام ۰/۲D در نظر گرفته شد تا بیشترین تأثیر روی کاهش عمق

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱۴- تأثیر توأم طوق و کابل در بهترین حالت

جدول ۱- نتایج تحقیق

شرایط آزمایش	عمق آبشستگی(میلی متر)	درصد کاهش
پایه شاهد به قطر ۵ سانتی متر (۷ ساعت اول)	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 ۰/۲D	۴۸	۶۱/۲
پایه به قطر۲/۵ کابل به ضخامت۰/۴D و گام ۰/۲D	۵۰	۵۹/۶
پایه به قطر ۵ و طوق	۵۹	۵۵
پایه به قطر ۵ و کابل با ضخامت ۰/۴D و گام ۰/۲D و طوق	۴۰	۶۹/۷
پایه به قطر ۵ و کابل با ضخامت ۰/۲D و گام ۰/۲D و طوق	۴۵	۶۵/۹

آبشستگی از خود نشان دهد. نتایج حاصل نشان می دهد تأثیر توأم طوق و کابل در کاهش عمق آبشستگی موثرتر می‌باشد. همان طوری که از شکل (۱۴) مشاهده می‌شود طوق به تنهایی۵۵ درصد عمق آبشستگی را کاهش می‌دهد که کمتر از نتایج حاصل از کار محققین دیگر می باشد (سینگ و همکاران[1]، ۲۰۰۱) که نشان دهنده این موضوع می‌باشد که شدت آبشستگی در قوس رودخانه‌ها بیشتر از مسیر مستقیم می‌باشد.

1- Sing et al.

نتیجه‌گیری

با توجه به جدول (۱) که نتایج حاصل در این تحقیق را نشان می دهد (در این جدول عمق آبشستگی و درصد کاهش آن نسبت به پایه در شرایط عادی (هفت ساعت اول) نشان داده شده است) می‌توان نتایج زیر را گرفت:

۱- با افزایش ضخامت کابل و کاهش فاصله بین گام ها عمق آبشستگی بیشتر کاهش‌می یابد به طوری که بیشترین کاهش در کابل با ضخامت ۰/۴D و گام ۰/۲D به دست آمد.

www.SID.ir

Archive of SID

۲- افزایش ضخامت کابل بزرگتر از۰/۴D تأثیر چندانی روی عمق آبشستگی ندارد به طوری که کابل
با ضخامت ۰/۸D میزان عمق آبشستگی را ۵۰ درصد و کابل با ضخامت ۰/۴D، ۴۸ درصد عمق آبشستگی را کاهش می‌دهد.

۳- تأثیر کابل در بهترین حالت بهتر از اثر طوق در بهترین حالت است به طوری که کابل در بهترین حالت ۵۹ درصد و طوق در بهترین حالت ۵۵ درصد عمق آبشستگی را کاهش می دهد.

۴- تأثیر توأم طوق و کابل بیشتر از تأثیر جداگانه هر یک می‌باشد به طوری که در کمترین مقدار نه درصد عمق آبشستگی را کاهش می دهد.

منابع

1- Breusers, H. N. C., Nicollet, G. and H. W. Shen. 1977. Local scour around cylindrical piers. Journal of Hydraulic Research, H. W. 15(3):211-252.

2-Grimaldi, C., Gaudio, R., Calomino, F. and A. Cardoso, 2009. Counter-measures against local scour at bridge piers: slot and combined system of slot and bed sill. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 35(5):425-431.

3- Kaya, A. 2010. Artifical neural network study of observed pattern of scour depth around bridge piers. Computers and Geotechnics, 37:413-418.

4- Khwairakpam, P, A. and Mazumdar. 2009. Local Scour Around Hydraulic Structures. International Journal of Reccent Trends in Engineering, 1(6):59-61.

5- Mashahir, M.B. and A.R. Zarrati, 2002. Effect of collar on time development of scouring around rectangular bridge, 5th International Conference on Hydraulic Science and Engineering, Warsaw, Poland. pp. 50-57.

6- Masjedi, A. R., Shafaei Bejstan, M. A. and A. Esfandi, 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.

7- Melville, B.W. and Y.M. Chiew. 1999. Time scale for local scour depth at bridge piers. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 125(1):59-65.

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

9- Singh, C. P., Setia, B. and D. V. S. Verma. 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.

www.SID.ir