

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

مجتبی عقلی<sup>۱</sup>، سید محمد علی زمردیان<sup>۲\*</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد سازه های آبی بخش مهندسی آب دانشگاه شیراز

۲- نویسنده مسئول، دانشیار بخش مهندسی آب دانشگاه شیراز zomorodian.sma@gmail.com

تاریخ پذیرش: ۹۱/۱۱/۱۶

تاریخ دریافت: ۹۰/۱۲/۲۳

## 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 روش‌های 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 می‌باشد. از این رو در این تحقیق سعی شده است تأثیر توأم طوق و کابل در اطراف پایه بر روی عمق آبشستگی در قوس رودخانه‌ها 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 آبشستگی ۵۹ 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<sup>1</sup> and S.M.A. Zomorodian<sup>2</sup>

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

## مقدمه

پل‌ها عموماً روی رودخانه‌ها احداث می‌شوند ولی اغلب رودخانه‌ها دارای مسیر پر پیچ و خمی هستند. اصولاً پل‌ها در بازه ای از رودخانه احداث می‌شوند که رودخانه 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 آبستگي در اطراف پایه‌های پل یکی از عمده‌ترین دلایل تخریب پل‌ها 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 گرادبان 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 می‌آورد که به آن گرداب نعل اسبی می‌گویند. تشکیل گرداب نعل اسبی در داخل حفره آبستگي، باعث تسریع در حفر آن شده و ذرات جدا شده از بستر، توسط جریان اصلی رودخانه به پایین دست حمل می‌شوند (بروسرز و همکاران<sup>۱</sup>، 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 گرداب 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 آبستگي توسط گرداب نعل اسبی آن قدر ادامه می‌یابد تا حجم آب درون حفره آبستگي زیاد شده و انرژی گرداب راه، مستهلک کند. در این حالت عمق آبستگي به تعادل می‌رسد (رادکیوی و اتما<sup>۲</sup>، ۱۹۸۳). شکل (۱) نمونه‌ای از جریان آشفته و گرداب‌هایی را که باعث آبستگي می‌شوند نشان می‌دهد.

روش‌های مختلفی برای جلوگیری و یا کاهش آبستگي در اطراف پایه‌های پل پیشنهاد شده است، که می‌توان آن‌ها را به دو دسته مستقیم و غیرمستقیم 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<sup>۳</sup>، ۲۰۰۲).

روابط تجربی متعددی نیز برای پیش بینی عمق آب شستگي وجود دارد که از جمله معروف‌ترین آنها می‌توان به روابط که توسط اداره مرکزی بزرگراه‌های آمریکا ارائه شده است اشاره نمود (کایا<sup>۴</sup>، ۲۰۱۰):

$$D_s = 2y_2 k_2 k_3 k_4 \left(\frac{D}{y_1}\right)^{0.65} F_r^{0.65} \quad (1)$$

که  $D_s$ : عمق آبستگي،  $y_2$ : عمق آب در بالا دست پایه،  $k_1$ : ضریب شکل پایه که معمولاً بین ۱/۱ - ۰/۹ می‌باشد،  $k_2$ : ضریب زاویه برخورد جریان با پایه،  $k_3$ : ضریبی که با توجه به شرایط کف کانال تعیین می‌شود و معمولاً 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 آبستگي را بیشتر از مقدار واقعی نشان می‌دهند (کایا، ۲۰۱۰).

مطالعات فراوانی در هر دو زمینه مقابله با آبستگي توسط محققین صورت گرفته که از جمله می‌توان به مطالعه سینگ و همکاران<sup>۵</sup> (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 آبستگي افزایش می‌یابد، بهترین محل نصب طوقه در آزمایش‌ها برابر  $0/۸D = D$  قطر پایه) زیر سطح بستر بود که در این حالت طوقه به قطر دو برابر قطر پایه مقدار آبستگي را تا ۹۱ درصد کاهش می‌دهد.

در مطالعاتی که توسط مسجیدی و همکاران (۲۰۱۰) روی اثر طوق در اطراف پایه استوانه‌ای در خم ۱۸۰ درجه صورت گرفت نشان داده شد که نصب یک طوق به اندازه سه برابر قطر پایه در ۰/۸ قطر پایه در زیر بستر ۹۳ درصد عمق آبستگي را کاهش می‌دهد.

روش دیگر کاهش عمق آبستگي ایجاد شکاف روی پایه می‌باشد اولین بار چویو<sup>۶</sup> در دهه ۸۰ میلادی آن را پیشنهاد کرد و مطالعاتی توسط محققین مختلفی در این رابطه صورت گرفت که از جمله می‌توان به مطالعات صورت گرفته توسط گریمالدی و همکاران<sup>۷</sup> (۲۰۰۹) اشاره نمود که نتایج حاصل از تحقیق آنها نشان

3- Mashahir and Zarrati

4- Kaya

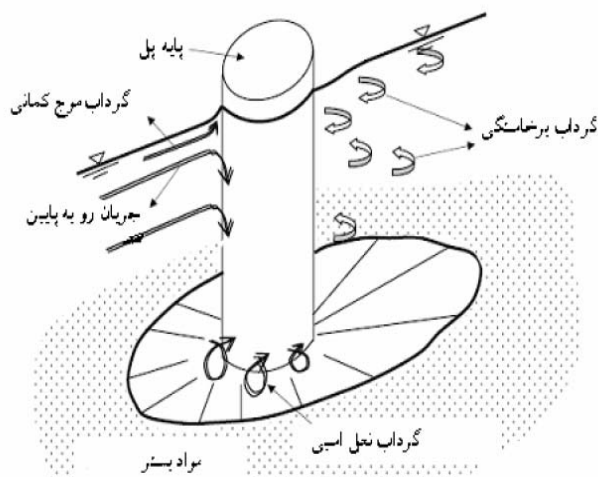
5- Singh et al.

6- Chiew

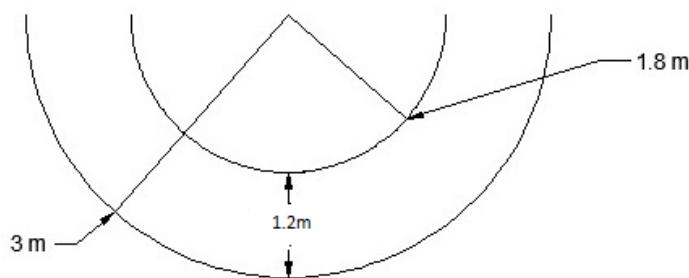
7- Grimaldi et al

1 - Breusers et al.

2 - Raudkivi and Ettema



شکل ۱- جریان و الگوی آبستگی در اطراف پایه استوانه‌ای شکل



شکل ۲- نمایی از قوس محل آزمایش

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 آبستگی مطالعه می‌شود.

### مواد و روش‌ها

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 داخلی ۱/۸ 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 آزمایش‌ها، کف کانال توسط سکوه‌های 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.

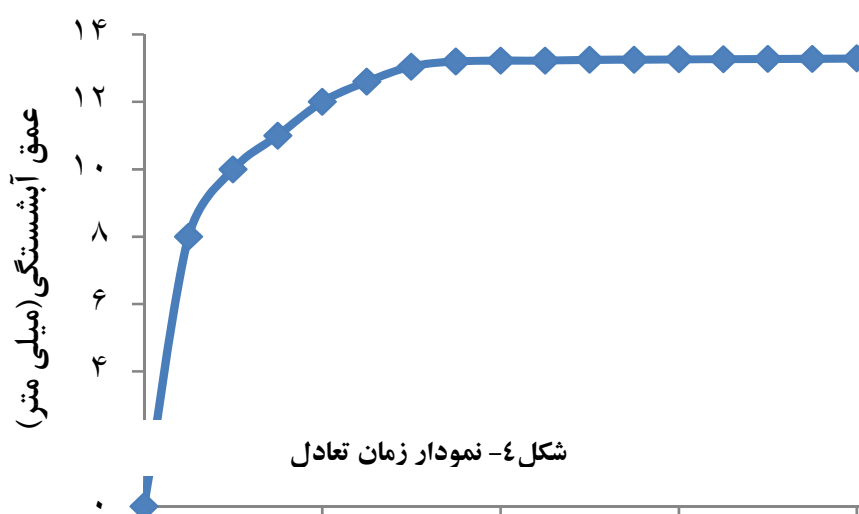
داد هرچه شکاف در بستر خاک فرو رود کاهش عمق آبستگی بیشتر می‌باشد. البته شکاف ممکن است به وسیله رسوبات رودخانه پر شود و از عملکرد آن کم شود.

در مورد اثر پیچش کابل دور پایه‌های پل مطالعاتی توسط خاویر اکپام و مزومدار (۲۰۰۹) صورت گرفت و به این نتیجه رسیدند نقش کابل در منحرف کردن جریان‌های رو به پایین و تضعیف قدرت گردابه‌های نعل اسبی می‌باشد در ضمن عمق آبستگی با افزایش قطر کابل و تعداد گام‌های آن دور پایه بیشتر کاهش می‌یابد.

با توجه به ضعف مطالعات گذشته که اکثراً الگوی آبستگی 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 آبستگی 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 می‌گذارد، مانند پر



شکل ۳- کانال مورد استفاده در این مطالعه



شکل ۴- نمودار زمان تعادل

آزمایش‌ها استفاده شد. ضخامت مصالح بستر با توجه به بیشینه عمق آبستگي برابر با  $2/3D$  یعنی  $11/5$  سانتی‌متر و با احتساب تقریباً ۳۰ درصد افزایش احتمالی آن، ضخامت مصالح بستر ۱۶ سانتی‌متر انتخاب شد (ملویل و چيو، ۱۹۹۹). برای این که عمق آب بر روی عمق آبستگي اثری نداشته باشد نسبت عمق آب به قطر پایه باید بزرگتر از سه باشد (رادکيو و اتما، ۱۹۸۳) از این رو عمق آب ثابت و برابر با ۱۶ سانتی‌متر در نظر گرفته شد. با توجه به این که آبستگي 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  $0/91$  بود. از این رو در این تحقیق از دبی برابر با ۶۰ لیتر بر ثانیه استفاده شد.

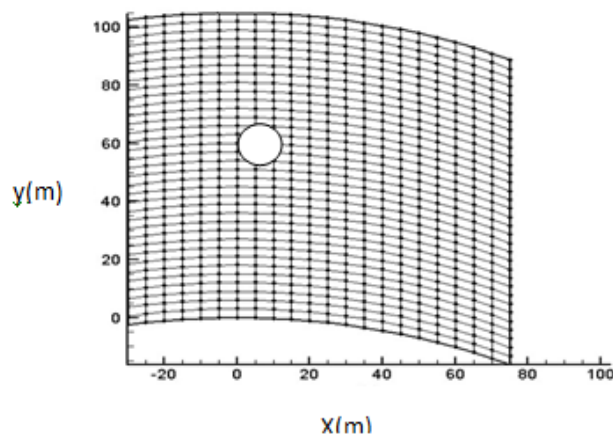
به منظور تعیین زمان تعادل آزمایش‌ها، یک آزمایش طولانی به مدت ۲۴ ساعت روی پایه پل در دبی ۶۰ لیتر بر ثانیه در شرایط عادی (شاهد) انجام شد. با توجه به نمودار شکل (۴) مشاهده می‌شود که در

در کلیه آزمایش‌ها برای از بین رفتن تأثیر دیواره‌های جانبی کانال بر آبستگي موضعی، طبق توصیه‌های صورت گرفته بایستی نسبت فاصله محور پایه تا دیواره کانال به قطر پایه بزرگتر از  $6/25$  باشد (رادکيو و اتما، ۱۹۸۳). از این رو در این تحقیق با توجه به قطر پایه که از جنس فولاد به قطر پنج سانتی‌متر 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  $2/5$  سانتی‌متر نیز استفاده شد و با توجه به مطالعات صورت گرفته توسط مسجدي و همکاران (۲۰۱۰) از یک طوق فولادی به ضخامت یک میلی‌متر به اندازه  $3D$  استفاده شد به طوری که محل نصب آن در  $0/1D$  در زیر بستر در نظر گرفته شد تا بیشترین کارایی در کاهش عمق آبستگي داشته باشد. به توصیه رادکيو و اتما (۱۹۸۳) برای جلوگیری از پدیده رپیل قطر متوسط ذرات باید از  $0/7$  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  $0/73$  میلی‌متر و ضریب انحراف استاندارد معادل  $1/25$  برای انجام

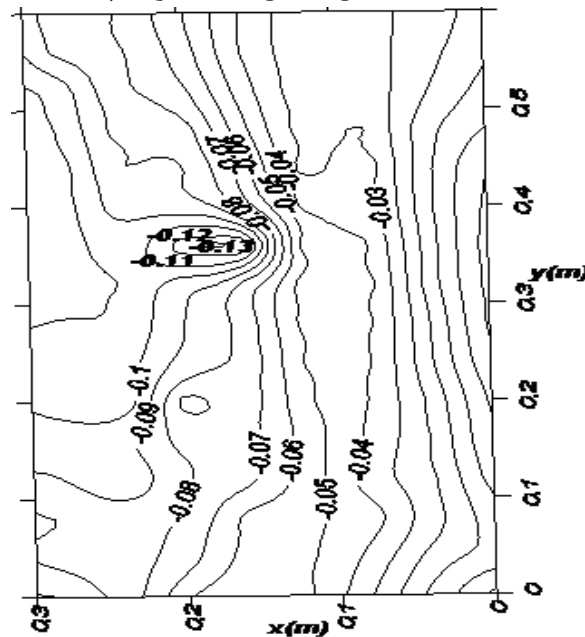
بستر جلوگیری شود. پس از بالا آمدن آب و اطمینان از مرطوب شدن رسوبات بعد از گذشت چند دقیقه، پمپ با دبی کمی راه‌اندازی و به آرامی به دبی مورد نظر رسانده و سپس با تنظیم دریچه پایین دست عمق جریان ۱۶ سانتی‌متری حاصل شد. پس از هر آزمایش، پمپ خاموش و دریچه انتهایی بسته شد تا آب موجود در کانال به آرامی زهکشی 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.

هفت ساعت اول بیش از ۹۸ درصد (۱۳۲ میلی‌متر) 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 ریبیل و ناهمواری در سطح



شکل ۵- مش بندی اطراف پایه



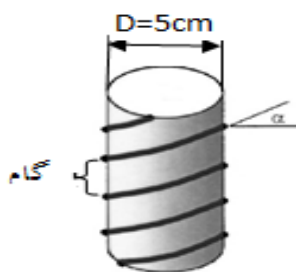
شکل ۶- تغییرات توپوگرافی اطراف پایه



شکل ۷- پایه به قطر ۲/۵ سانتی متر



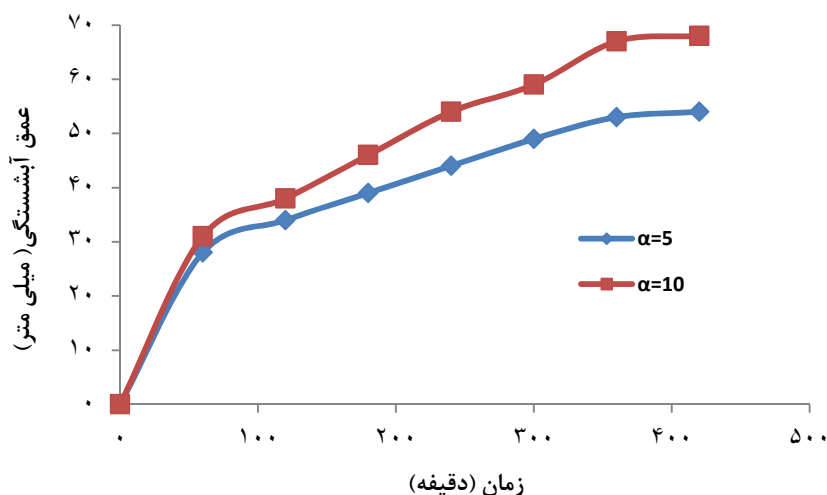
شکل ۸- تأثیر توأم طوق و کابل بر آبشستگی



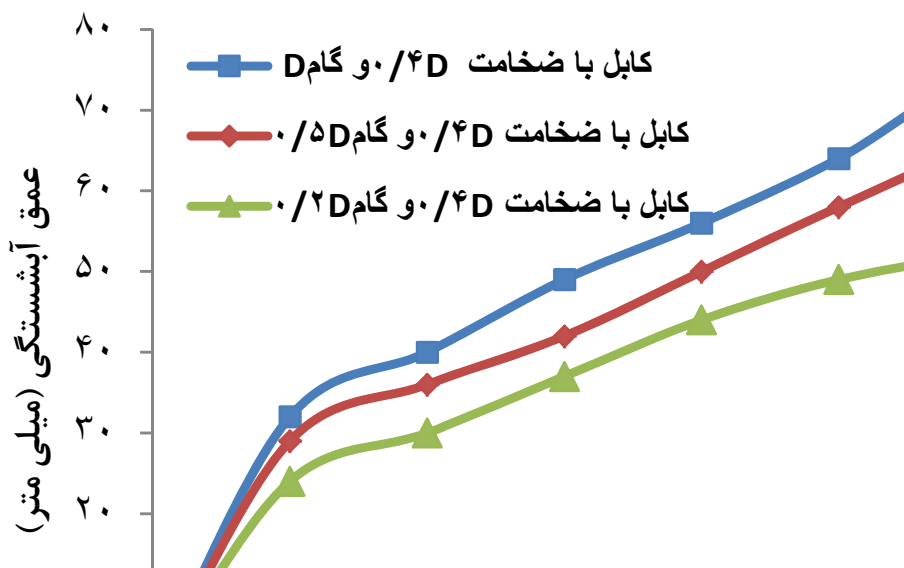
شکل ۹- زاویه بستن کابل دور پایه و فاصله گام ها

برای بررسی تأثیر زاویه بستن کابل دور پایه از دو زاویه پنج و ۱۰ درجه 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 (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.

در این تحقیق از دو کابل به ضخامت یک و دو سانتی متر ( $0.2D$  و  $0.4D$ ) و در سه گام  $0.2D$ ،  $0.5D$  و  $D$  ( $D=5$  سانتی‌متر) استفاده شد. برای بررسی تأثیر کابل در قطر پایه های مختلف از پایه‌ای به قطر  $2.5$  سانتی‌متر نیز استفاده شد تا تأثیر کابل به ضخامت یک سانتی-متر ( $0.4D$ ) و دو سانتی‌متر ( $0.8D$ ) که  $D$  در اینجا برابر با  $2.5$  سانتی-متر می‌باشد بر روی عمق آبشستگی مورد مطالعه قرار گیرد (شکل ۷). برای بررسی تأثیر توأم طوق و کابل بهترین حالت طوق یعنی طوق به اندازه  $3D$  و محل نصب آن  $0.1D$  در زیر بستر رسوبات و همچنین با توجه به نتایج بهترین حالت کابل در نظر گرفته شد (شکل ۸).



شکل ۱۰- نمودار توسعه آبهستگی برای دو زاویه پنج و ده درجه



شکل ۱۱- تأثیر کابل به ضخامت ۰/۴D در گام‌های مختلف روی عمق آبهستگی

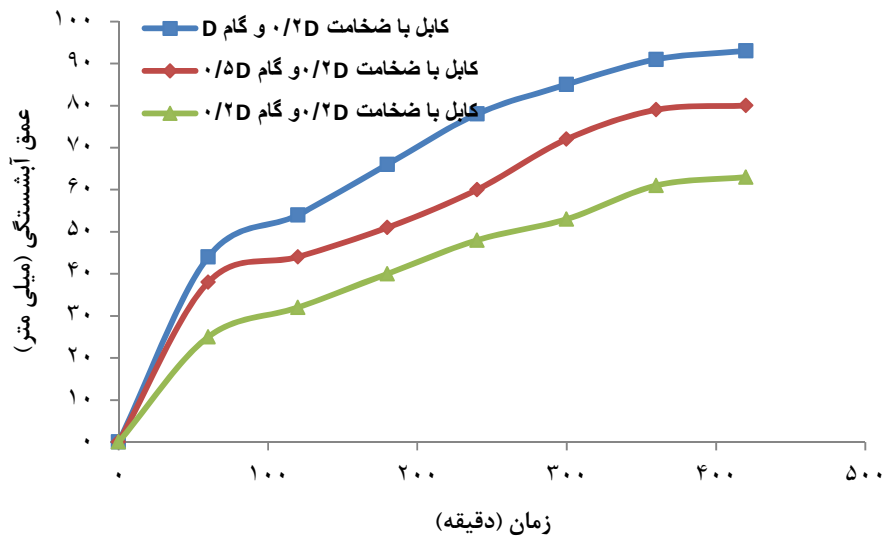
#### الف) تأثیر کابل بر روی عمق آبهستگی برای پایه به قطر

##### پنج سانتی متر

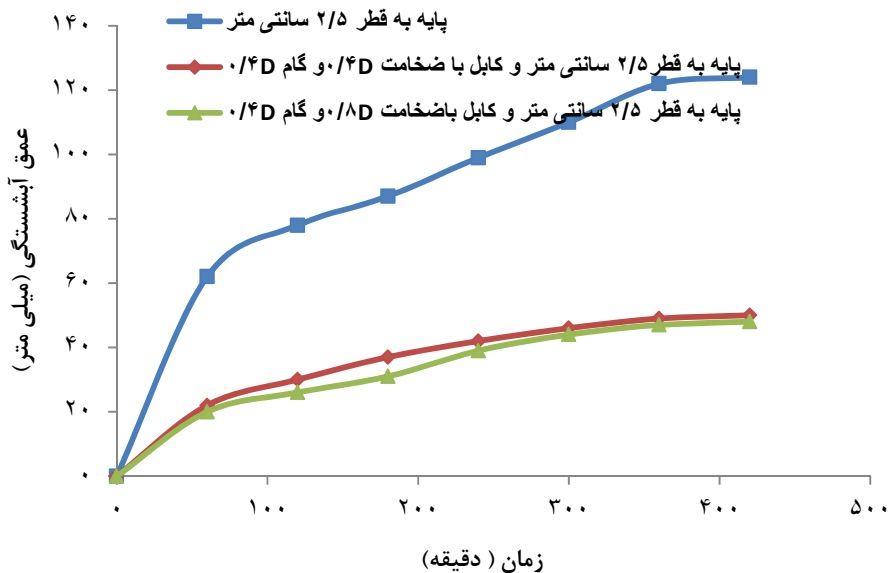
همان‌طوری که در شکل‌های (۱۱) و (۱۲) نشان داده شده است با کاهش گام‌ها (فاصله) بین کابل‌ها میزان عمق آبهستگی بیشتر کاهش می‌یابد همچنین کابل با ضخامت بیشتر ۰/۴D عمق آبهستگی را نسبت به کابل به ضخامت ۰/۲D در گام‌های مشابه بیشتر کاهش می‌دهد که این نتیجه با نتایج حاصل از کار محققینی از جمله خاویر اکپام و مزومدار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

#### نتایج و بحث

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



شکل ۱۲- تأثیر کابل به ضخامت ۰/۲D در گام‌های مختلف روی عمق آبستگی



شکل ۱۳- تأثیر کابل بر روی پایه ای به قطر ۲/۵ سانتی متر

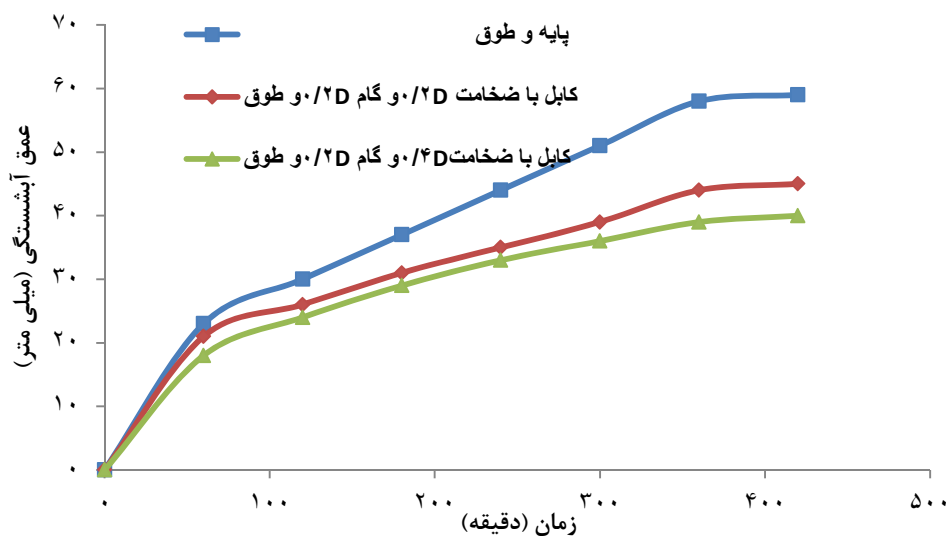
ج) تأثیر توأم طوق و کابل بر روی عمق آبستگی برای پایه به قطر پنج سانتی متر

برای بررسی تأثیر توأم طوق و کابل بهترین حالت طوق یعنی طوق به اندازه ۳D 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

ب) تأثیر کابل بر روی عمق آبستگی 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 آبستگی نمی‌گذارد از این رو برای پایه‌هایی به قطر بزرگتر پیشنهاد می‌شود از کابل با حداکثر ضخامت ۰/۴D استفاده شود.





شکل ۱۴- تأثیر توأم طوق و کابل در بهترین حالت

جدول ۱- نتایج تحقیق

درصد کاهش	عمق آبستگي (میلی متر)	شرایط آزمایش
-	۱۳۲	پایه شاهد به قطر ۵ سانتی متر (۷ ساعت اول)
۵۹	۵۴	کابل به ضخامت ۰/۴D و گام ۰/۲D
۴۹	۶۷	کابل به ضخامت ۰/۴D و گام ۰/۵D
۴۳/۲	۷۵	کابل به ضخامت ۰/۴D و گام D
۵۲/۳	۶۳	کابل به ضخامت ۰/۲D و گام ۰/۲D
۳۹/۴	۸۰	کابل به ضخامت ۰/۲D و گام ۰/۵D
۲۹/۵	۹۳	کابل به ضخامت ۰/۲D و گام D
۶	۱۲۴	پایه عادی به قطر ۲/۵ سانتی متر
۶۱/۲	۴۸	پایه به قطر ۲/۵ کابل به ضخامت ۰/۸D و گام ۰/۲D
۵۹/۶	۵۰	پایه به قطر ۲/۵ کابل به ضخامت ۰/۴D و گام ۰/۲D
۵۵	۵۹	پایه به قطر ۵ و طوق
۶۹/۷	۴۰	پایه به قطر ۵ و کابل با ضخامت ۰/۴D و گام ۰/۲D و طوق
۶۵/۹	۴۵	پایه به قطر ۵ و کابل با ضخامت ۰/۲D و گام ۰/۲D و طوق

### نتیجه‌گیری

با توجه به جدول (۱) که نتایج حاصل در این تحقیق را نشان می‌دهد (در این جدول عمق آبستگي 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 گام‌ها عمق آبستگي بیشتر کاهش می‌یابد به طوری که بیشترین کاهش در کابل با ضخامت ۰/۴D و گام ۰/۲D به دست آمد.

آبستگي از خود نشان دهد. نتایج حاصل نشان می‌دهد تأثیر توأم طوق و کابل در کاهش عمق آبستگي موثرتر می‌باشد. همان طوری که از شکل (۱۴) مشاهده می‌شود طوق به تنهایی ۵۵ درصد عمق آبستگي را کاهش می‌دهد که کمتر از نتایج حاصل از کار محققین دیگر می‌باشد (سینگ و همکاران<sup>۱</sup>، ۲۰۰۱) که نشان دهنده این موضوع می‌باشد که شدت آبستگي در قوس رودخانه‌ها بیشتر از مسیر مستقیم می‌باشد.

- ۲- افزایش ضخامت کابل بزرگتر از  $0/4D$  تأثیر چندانی روی عمق آبستگی ندارد به طوری که کابل با ضخامت  $0/8D$  میزان عمق آبستگی را ۵۰ درصد و کابل با ضخامت  $0/4D$ ، ۴۸ درصد عمق آبستگی 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 آبستگی را کاهش می‌دهد.
- ۴- تأثیر توأم طوق و کابل بیشتر از تأثیر جداگانه هر یک می‌باشد به طوری که در کمترین مقدار نه درصد عمق آبستگی را کاهش می‌دهد.

### 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. Artificial 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 Recent 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, 5<sup>th</sup> International Conference on Hydraulic Science and Engineering, Warsaw, Poland. pp. 50-57.
- 6- Masjedi, A. R., Shafaei Bejstan, M. A. and A. Esfandi, 2010. Reduction 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. 29<sup>th</sup> Congress on Hydraulic of River, Water and Machinery, Chinese Hydraulic Engineering Society, Beijing, China, pp.16-21.