

درصد نسبت به حالت بدون طوقه می شود. همچنین بیشترین عمق آبستگي در شرایط توام کابل و طوقه در زاویه پیش ۱۵ درجه، قطر نسبی کابل ۰/۱ و سه ردیفه، حدود ۶۳ درصد بدست آمد.

## کنترل آبستگي در اطراف پایه استوانه‌ای پل با استفاده از کابل و طوقه در مسیر مستقیم

محمود دلف لویی<sup>۱</sup>، علیرضا مسجدی<sup>۲</sup>، محمد حیدر نژاد<sup>۳</sup>، امین بردبار<sup>۴</sup>  
و امیر عباس کمان بدست<sup>۵</sup>

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۳/۰۴ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۶/۰۴

کلیدواژه‌ها: طوقه، کابل، عمق آبستگي، رسوبات

### مقدمه

براساس مطالعات سازمان بزرگراه‌های ایالات متحده در سال ۱۹۷۳، از تعداد ۳۸۳ مورد خرابی در پل‌ها، ۲۵ درصد مربوط به خرابی پایه‌ها و ۷۲ درصد مربوط به خرابی تکیه‌گاه‌ها بوده است [۱۰]. یکی از روش‌های کنترل آبستگي در اطراف پایه پل‌ها استفاده توام از کابل و طوقه در اطراف پایه استوانه‌ای می‌باشد. استفاده از کابل به دور پایه باعث افزایش زبری و بالابردن مقاومت آن در برابر تنش برشی ناشی از جریان می‌شوند. بررسی‌های مختلفی بر روی قطر کابل، زاویه پیش کابل و تعداد ردیف‌ها انجام شده است. مشخصات کابل به دور پایه باید طوری انتخاب شود که باعث تضعیف جریان‌های گردابی در اطراف پایه شود. در این روش باید اطراف پایه‌های پل را از کابل‌هایی با قطر، زاویه پیش و ردیف‌های مختلف استفاده شود. همچنین با نصب طوقه در اطراف پایه، جریان رو به پائین در حین برخورد به طوقه از بستر منحرف شده و باعث کاهش آبستگي می‌شود [۸].

سینگ و همکاران [۱۲] عملکرد طوقه‌ها را در کاهش آبستگي مورد مطالعه قرار دادند. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که چنانچه فاصله بین تراز بستر و تراز نصب طوقه افزایش یابد، ماکزیمم عمق آبستگي افزایش می‌یابد. بهترین محل نصب طوقه در آزمایش‌ها برابر  $D/0.1$  (D قطر پایه) زیر سطح بستر بود که در این حالت طوقه به قطر دو برابر قطر پایه مقدار آبستگي را ۹۱ درصد کاهش می‌دهد. همچنین طوقه‌هایی با قطرهای ۱/۵، ۲ و ۲/۵ برابر قطر پایه بر روی بستر کانال قرار گیرند به میزان ۵۰، ۶۸ و ۱۰۰ درصد نسبت به پایه بدون محافظ کاهش آبستگي مشاهده می‌شود. زراتی و همکاران [۱۳] نیز عملکرد طوقه‌های مستقل و پیوسته همراه با سنگ‌چین را در گروه پایه‌های پل بررسی کردند. نتایج نشان داد که ترکیبی از یک طوقه پیوسته و سنگ چین منجر به کاهش عمق آبستگي به میزان ۵۰ و ۶۰ درصد به ترتیب در جلو و پشت پایه می‌شود. همچنین عملکرد طوقه‌های مستقل بر روی هر پایه بهتر از

### چکیده

در این مطالعه به منظور بررسی توام کابل و طوقه در کنترل آبستگي در اطراف پایه‌های پل، آزمایش‌هایی در یک فلوم آزمایشگاهی از جنس پلاکسی گلاس در مسیر مستقیم انجام گرفت. آزمایش‌ها با استفاده از سه قطر مختلف کابل، سه زاویه مختلف و سه دور ردیف کابل در یک شدت جریان ثابت در حالت آب زلال انجام شد. نتایج این تحقیق نشان داد نصب کابل با قطر نسبی ۰/۱ نسبت به قطرهای دیگر کابل بیشترین درصد کاهش در عمق آبستگي در کلیه پایه‌ها را ایجاد می‌کند. بیشترین درصد کاهش عمق آبستگي در پایه استوانه‌ای در شرایط استفاده از کابل و بدون طوقه در قطر نسبی ۰/۱ و در شرایط سه ردیفه و در زاویه ۱۵ درجه حدود ۴۳ درصد مشاهده می‌شود. همچنین در کلیه شرایط استفاده توام از کابل و طوقه در مقایسه با حالت بدون طوقه، باعث افزایش درصد کاهش عمق آبستگي در اطراف پایه استوانه‌ای می‌شود. بطوریکه استفاده از طوقه بطور متوسط باعث کاهش عمق آبستگي در حدود ۴۳

۱- دانشجوی دکتری گروه علوم و مهندسی آب، پردیس علوم تحقیقات خوزستان، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز.

۲- دانشجوی دکتری گروه علوم و مهندسی آب، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز.

۳- نویسنده مسئول و دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز. پست الکترونیک: drmasjedi.2007@yahoo.com

۴- استادیار گروه علوم و مهندسی آب، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز.

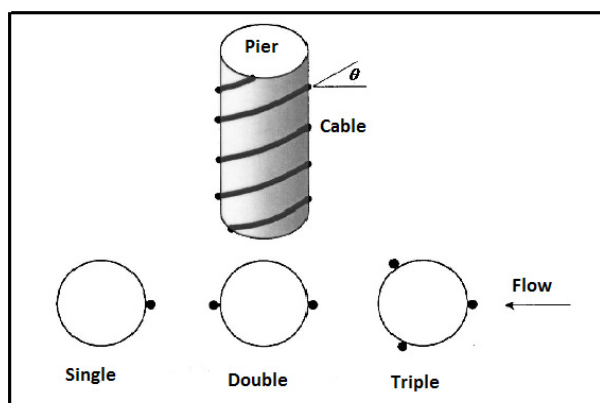
۵- استادیار گروه علوم و مهندسی آب، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز.

۶- استادیار گروه علوم و مهندسی آب، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز.

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 آنقدر ادامه می‌یابد تا حجم آب درون حفره آبشستگی زیاد شده و انرژی گرداب را مستهلک کند. در این حالت عمق آبشستگی به حالت تعادل می‌رسد [۱۰] با در نظر گرفتن جریان دائمی و ثابت بودن خصوصیات سیال رابطه ذیل بین پارامترهای موثر بر عمق آبشستگی در حالت تعادل برقرار است:

$$f_1(ds, ds_{max}, b, d, \theta, \phi, W, B, V, \gamma, g, \rho_w, S_0, d_{50}, G_s) \quad (1)$$

در رابطه ۱ ds عمق آبشستگی در پایه با محافظ (در کلیه حالت‌ها)، ds max عمق آبشستگی ماکزیمم در پایه بدون محافظ (شاهد)، b قطر کابل، d قطر پایه استوانه‌ای،  $\theta$  زاویه چرخش کابل به دور پایه،  $\phi$  تعداد ردیف کابل، W قطر طوقه، B عرض مجرا، V سرعت جریان،  $\gamma$  عمق جریان آب، g شتاب ثقل،  $\rho_w$  جرم مخصوص آب،  $S_0$  شیب کانال اصلی، d50 قطر متوسط بار بستر،  $G_s$  چگالی رسوبات می‌باشد (شکل ۱).



شکل ۱- پایه استوانه ای عمودی  
Fig 1. Vertical cylindrical pile

با صرف نظر کردن از پارامترهای ثابت در رابطه ۱ رابطه زیر بدست می‌آید:

$$f_2(ds, ds_{max}, b, d, \theta, \phi) = 0 \quad (2)$$

با استفاده از تئوری باکینگهام رابطه ۲ بصورت زیر بدون بعد می‌شود:

$$\frac{ds}{ds_{max}} = f\left(\frac{b}{d}, \theta, \phi\right) \quad (3)$$

در رابطه ۳ ds max، ds عمق آبشستگی نسبی و b/d قطر نسبی کابل می‌باشد. در کلیه آزمایش‌ها با توجه به آشفستگی جریان در اطراف آبشکن، جریان از نوع متلاطم بوده و عدد رینولدز حذف گردید. با توجه به اینکه تحقیقات زیادی در خصوص کاهش آبشستگی با

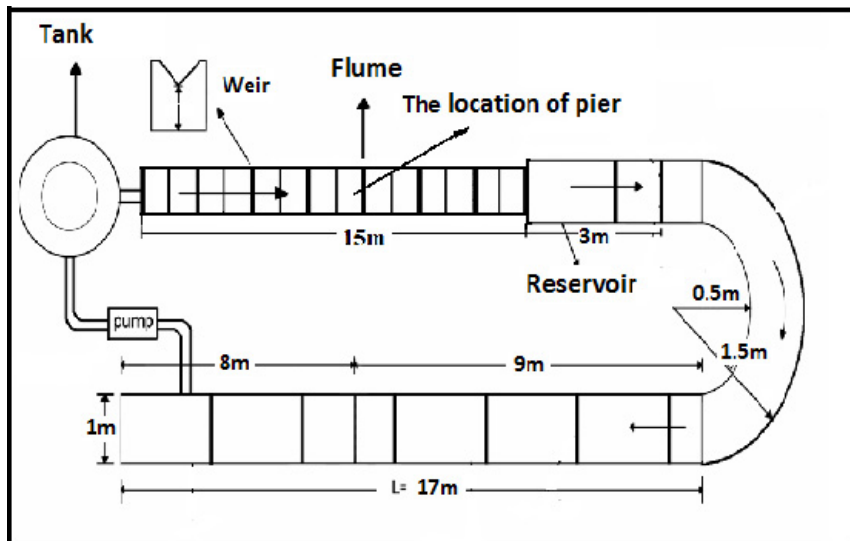
عملکرد یک طوقه پیوسته بر روی دو پایه بود. روش استفاده از کابل توسط دی و همکاران [۵] به عنوان یک روش پیش‌گیرانه اقتصادی و آسان پیشنهاد شد. در این روش کابل‌ها به صورت مارپیچی روی پایه قرار گرفته و با انحراف گرداب نعل اسبی منجر به کاهش عمق آبشستگی می‌شوند. نتایج تحقیقات ایشان نشان داد ماکزیمم کاهش عمق آبشستگی در گام سه دور، زاویه کابل ۱۵ درجه و در قطر نسبی ۰/۱ در حدود ۴۶ درصد بدست آمد. عقلی و همکاران [۱] تحقیقی در خصوص اثر توام طوق و کابل بر روی عمق آبشستگی اطراف پایه پل در قوس رودخانه انجام دادند. نتایج 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 توام حداکثر ۶۹/۷ درصد عمق آبشستگی را کاهش می‌دهد. خاویز اچام و مزومدار [۷] در مورد اثر پیچش کابل دور پایه‌های پل مطالعاتی انجام دادند. نتایج تحقیق نشان داد نقش کابل در منحرف کردن جریان‌های رو به پایین و تضعیف قدرت گردابه‌های نعل اسبی می‌باشد. در ضمن عمق آبشستگی با افزایش قطر کابل و تعداد گام‌های آن دور پایه بیشتر کاهش می‌یابد. ایزدی نیا و حیدرپور [۶] در خصوص شبیه‌سازی استفاده کابل و طوقه در اطراف پایه برای کنترل آبشستگی تحقیق انجام دادند. در این تحقیق در مسیر مستقیم با سه قطر مختلف ۲، ۴ و ۶ میلی‌متر و با سه زاویه پیچش ۱۵، ۳۰ و ۴۰ درجه در یک گام ثابت انجام شد. مشخصات طوقه در کلیه آزمایش‌ها ثابت در نظر گرفته شد. نتایج تحقیق نشان داد در قطر نسبی کابل ۰/۱۵ و در زاویه کابل ۱۵ درجه کم‌ترین آبشستگی در بالادست پایه با وجود طوقه در حدود ۵۳ درصد بدست آمد.

پس از برخورد جریان به دماغه پل، بر روی پایه با توجه به اینکه سرعت جریان از بستر رودخانه به طرف سطح آب بیشتر می‌شود فشار بیشتری نیز در ترازهای بالاتر بر روی پایه ایجاد می‌شود و به این ترتیب گرادیان فشاری روی پایه از بالا به پایین به وجود می‌آید که خود باعث ایجاد 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 [۱۰]. مقداری از این جریان که به سمت بالا بازگشت می‌کند، در برخورد به جریان عمومی رودخانه، مجبور به حرکت در جهت جریان شده و مجدداً 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 شکل شبیه نعل اسب پدید می‌آورد 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 [۲].

در اثر جدایی جریان در کناره‌های پایه نیز گرداب‌هایی تشکیل می‌شوند که محور آن‌ها عمود بر بستر رودخانه می‌باشد و به آن‌ها

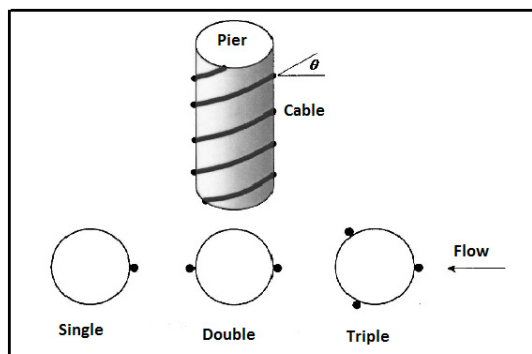


شکل ۳- نمایی از فلوم آزمایشگاهی  
Fig 3. Experimental flume plan

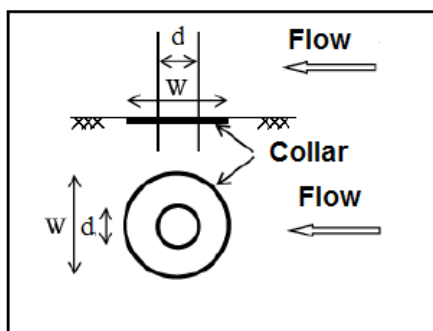


شکل ۲- پلان فلوم آزمایشگاهی  
Fig. 2. Experimental flume plan

گلاس به ضخامت ۱ میلی‌متر با قطر ۱۰ سانتی‌متر روی سطح بستر استفاده شد (شکل ۵).



شکل ۴- نصب کابل به دور پایه استوانه‌ای  
Fig 4. The cable around the cylindrical pile



شکل ۵- پایه استوانه‌ای و طوقه دایره‌ای شکل در اطراف آن  
Fig 5. Cylindrical pile and circular collar around it

نصب توام کابل و طوقه در پایه عمودی در مسیر مستقیم صورت نگرفته است. لذا در این تحقیق اقدام به بررسی اثر وجود کابل و طوقه در شرایط نصب کابل و طوقه بصورت توام در قطر، زاویه و ردیف‌های مختلف کابل در دبی و قطر طوقه ثابت در حالت آب زلال و مقایسه آن با حالت عدم وجود کابل و طوقه شده است.

### مواد و روش‌ها

به منظور بررسی اثر توام کابل و طوقه به دور پایه استوانه‌ای پل بر روی چاله آبشستگی اطراف آن در مسیر مستقیم، از یک فلوم آزمایشگاهی استفاده شد. آزمایش‌ها در یک فلوم از جنس پلکسی گلاس قوسی شکل با مقطع مستطیلی، با طول ۱۵ متر، عرض ۵۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۷۰ سانتی‌متر انجام شد. به منظور نصب پایه استوانه‌ای در رسوبات، در فاصله ۸ متری از ابتدای فلوم، یک مخزن به طول یک متر و ارتفاع ۱۵ سانتی‌متری در کف فلوم احداث شد که بعد از پر نمودن رسوبات در آن، سطح تراز کف فلوم و رسوبات یکسان خواهند شد (شکل ۲ و ۳).

برای حذف تأثیر دیواره‌های کانال بر آبشستگی موضعی پایه، طبق نظر چیو و ملویل [۳ و ۱۱] قطر پایه نباید از ۱۰ درصد عرض کانال بیش‌تر باشد و از نظر رودکیوی و اتما نسبت عرض کانال به عرض پایه، باید از ۶/۲۵ بزرگ‌تر باشد. با توجه به محدودیت عرض کانال، قطر پایه استوانه‌ای ۵۰ میلی‌متر انتخاب شد تا شرایط فوق را برآورده سازد. به منظور بررسی اثر نصب کابل در اطراف پایه استوانه‌ای بر کنترل آبشستگی اطراف آن، سه نوع کابل با قطر نسبی ۰/۰۵، ۰/۰۷۵ و ۰/۱ با سه زاویه پیچش ۱۵، ۳۰ و ۴۵ درجه در سه ردیف یک، دو و سه دور در نظر گرفته شد (شکل ۴). برای انتخاب قطر طوقه‌ها بر اساس پیشنهاد سینگ و اتما [۴ و ۱۲] از قطر ۲ برابر قطر پایه استفاده شد. برای این منظور از ورق‌های پلکسی

آب زلال به آرامی به درون کانال هدایت گردید تا از ایجاد ریپل و ناهمواری در سطح بستر جلوگیری شود. مدت زمان اشباع کانال بین ۲۰ تا ۳۰ دقیقه بود. پس از بالا آمدن آب و اطمینان از مرطوب شدن رسوبات بعد از گذشت چند دقیقه، پمپ با دبی کمی راه اندازی شد و به آرامی توسط شیر فلکه اصلی روی لوله ورودی به حوضچه آرامش، دبی به میزان مورد نظر رسانده شد. سپس با تنظیم دقیق و همزمان شیرفلکه و دریچه پائین دست عمق جریان ۱۰ سانتی متر و دبی مورد نظر حاصل شد. پس از گذشت ۶ ساعت، پمپ خاموش و دریچه‌ی انتهایی بسته گردید تا آب موجود در کانال به آرامی زهکشی شد تا تاثیری بر روی توپوگرافی بستر ایجاد نگردد. پس از گذشت چند ساعت و تخلیه کامل آب از درون کانال، بوسیله عمق سنج لیزری با دقت میلی‌متر، توپوگرافی بستر در اطراف پایه برداشت شد. به منظور بررسی دقیق تغییرات ایجاد شده در بستر در امتداد عرضی فاصله نقاط برداشت ۲ سانتی متر و در امتداد طولی با توجه به موقعیت ۲ سانتی متر در نظر گرفته شد (شکل ۷).



شکل ۷- آبهستگی در اطراف پایه استوانه‌ای با نصب توام کابل و طوقه بعد از آزمایش

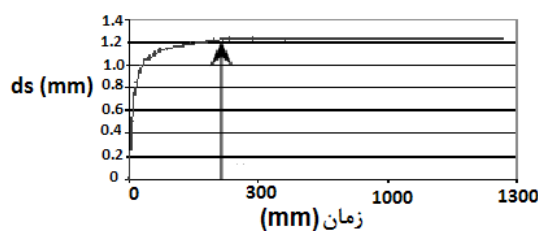
Fig 7. Scour around the cylindrical pile with cable and collar after testing

### نتایج

در همه آزمایش‌ها پس از تنظیم دبی و عمق جریان، بلافاصله در اطراف پایه استوانه‌ای گردابه‌ها تشکیل و پروسه آبهستگی با سرعت بسیار بالا آغاز گردید. با شکل‌گیری حفره آبهستگی رسوبات برخاسته از حفره به سمت پائین دست منتقل گردیدند. پس از مدتی از شروع آزمایش، رسوبات برخاسته از حفره آبهستگی به محدوده‌ای می‌رسند که تاثیر پایه استوانه‌ای بر آن محدوده کاهش یافته است و اثر گردابه‌های پشت پایه ناچیز می‌گردد. در این وضعیت رسوبات انتقالی از حفره آبهستگی تحت تاثیر جریان ثانویه به سمت پائین دست منتقل می‌گردد. مطابق جدول شماره ۱ مقادیر درصد کاهش آبهستگی برای قطر نسبی، زاویه و تعداد ردیف کابل مختلف با وجود کابل و بدون طوقه و همچنین با وجود توام کابل و طوقه محاسبه شد.

به توصیه راودکیوی و اتما [۱۱] برای جلوگیری از تشکیل ریپل قطر متوسط ذرات باید از ۰/۷ میلی‌متر بزرگ‌تر باشد. همچنین برای حذف تاثیر غیر یکنواختی رسوبات بر آبهستگی، انحراف معیار ذرات باید کم‌تر از ۱/۳ باشد. با توجه به این موارد یک لایه از ماسه طبیعی رودخانه‌ای با قطر متوسط معادل ۱/۵۹ میلی‌متر و ضریب انحراف استاندارد معادل ۱/۲۹ انتخاب و در لایه‌ای به ضخامت تقریبی ۱۵ سانتی‌متر جهت انجام آزمایش‌ها مورد استفاده قرار گرفت. با توجه به این‌که آبهستگی موضعی در شرایط آب زلال انجام شد، لذا به منظور جلوگیری از فرسایش و انتقال رسوبات در بالادست پایه، سرعت متوسط جریان باید کم‌تر از سرعت بحرانی  $(u < u_c)$  باشد. در کلیه آزمایش‌ها نسبت سرعت برشی به سرعت برشی بحرانی با استفاده از منحنی شیلدز ۰/۹۳ انتخاب گردید. لذا کلیه آزمایش‌ها در دبی ۱۷ لیتر بر ثانیه با نسبت سرعت متوسط به سرعت بحرانی ۰/۲۷ و در شرایط زیر بحرانی انجام شد. طبق توصیه الیوتو و هاگر برای جلوگیری از اثرات نیروی کشش سطحی، عمق جریان باید بیشتر از ۴۰ میلی‌متر در نظر گرفته شود که در کلیه آزمایش‌ها عمق آب ۱۰ سانتی‌متر انتخاب گردید [۹].

به منظور تعیین زمان تعادل آزمایش‌ها، یک آزمایش طولانی بمدت ۲۴ ساعت بر روی پایه استوانه‌ای عمودی بدون کابل و طوقه در دبی ۱۷ لیتر بر ثانیه انجام گردید. با توجه به نمودار شکل ۶ مشاهده شد که در ۶ ساعت اول تقریباً ۹۸ درصد آبهستگی رخ می‌دهد. در انتهای آزمایش ماکزیمم عمق آبهستگی در بالادست پایه استوانه‌ای ۱۰۰ میلی‌متر اندازه‌گیری شد. عمق آبهستگی در این آزمایش‌ها بر اساس معیار ملویل و چپو [۸] در نظر گرفته شد. لذا در کلیه آزمایش‌ها، زمان تعادل ۶ ساعت انتخاب گردید.



شکل ۶- توسعه آبهستگی در بالادست پایه در دبی ۱۷ لیتر برحسب زمان

Fig 6. Time development of scouring in upstream of the pier for single pier in 17 l/s

کلیه آزمایش‌ها در این تحقیق در دبی ثابت ۱۷ لیتر بر ثانیه انجام شد. دبی مورد نیاز توسط سرریز مثلثی ۶۰ درجه در ابتدای ورودی فلوم اندازه‌گیری شد. در ابتدای هر آزمایش پایه‌ها بصورت جداگانه در فاصله ۶ متری از ابتدای فلوم و در رسوبات نصب و سپس با استفاده از ارابه متحرک، رسوبات بستر کانال تحت شیب ثابت مسطح گردید. پیش از راه اندازی پمپ، دریچه انتهایی بسته و سپس

جدول ۱- مشخصات کابل و آبستنگی مربوط به پایه استوانه‌ای با کابل و طوقه

Table 1. Experimental result of cable and scour for cylindrical pile with cable and collar

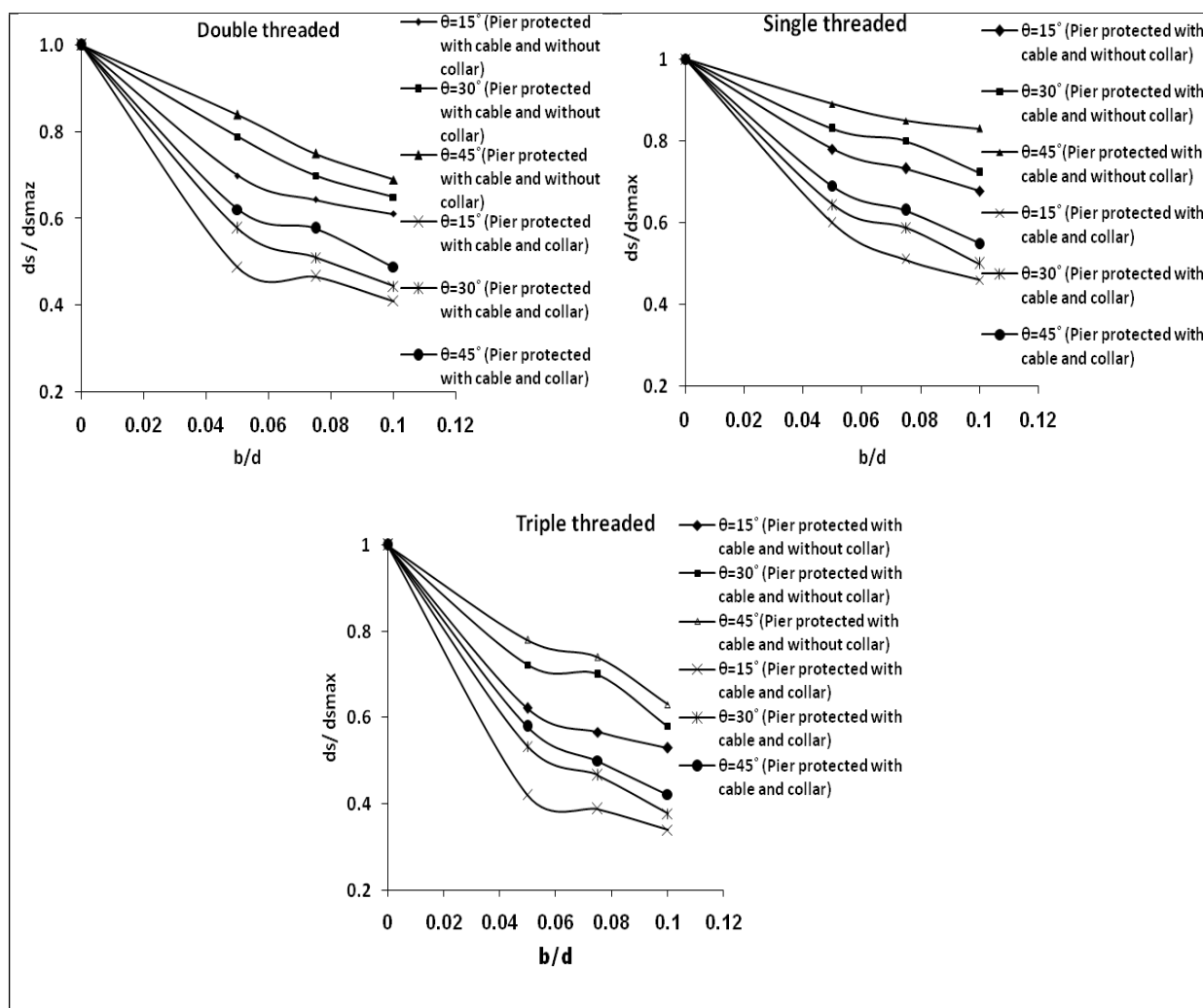
قطر نسبی	زاویه پیشش (درجه)	تعداد ردیف	کاهش آبستنگی با وجود کابل و بدون نصب طوقه (%)	کاهش آبستنگی با وجود توام کابل و طوقه (%)
diameter ratio ( $b/d$ )	Thread angles ( $\theta$ , degree)	Thread piles ( $\phi$ )	Scour depth reduction with cable and without collar( %)	Scour depth reduction with cable and collar ( %)
0.050	15	Single	21	39
0.050	15	Double	30	51
0.050	15	Triple	38	59
0.075	15	Single	27	48
0.075	15	Double	36	53
0.075	15	Triple	43	61
0.100	15	Single	32	53
0.100	15	Double	39	59
0.100	15	Triple	43	63
0.050	30	Single	16	36
0.050	30	Double	21	40
0.050	30	Triple	28	47
0.075	30	Single	20	41
0.075	30	Double	30	49
0.075	30	Triple	33	53
0.100	30	Single	28	49
0.100	30	Double	38	56
0.100	30	Triple	41	62
0.050	45	Single	14	32
0.050	45	Double	19	38
0.050	45	Triple	33	39
0.075	45	Single	19	40
0.075	45	Double	28	39
0.075	45	Triple	33	50
0.100	45	Single	28	46
0.100	45	Double	36	53
0.100	45	Triple	40	59

اطراف آن شده و این جریان‌های مکانیسم اصلی آبشستگی در اطراف بستر پایه می‌شود لذا نصب کابل و افزایش قطر نسبی کابل آن در اطراف پایه، باعث افزایش زبری در بدنه پایه و تضعیف جریان‌های گردابی در پایین دست و بالادست پایه شده و در نتیجه باعث کاهش توان حمل رسوب بار بستر به پایین دست پایه استوانه‌ای می‌گردد، کاهش توان حمل رسوب بار بستر به پایین دست پایه، سبب کاهش چاله آبشستگی در اطراف پایه شده و این امر در خرابی پایه مؤثر می‌باشد. همچنین زمانی که طوقه روی پایه نصب می‌شود، گرداب‌های نعل اسبی رو به پائین در حین برخورد به طوقه از بستر منحرف شده و باعث کاهش عمق آبشستگی می‌شود. جدول ادرصد کاهش عمق آبشستگی نسبی در اطراف پایه استوانه‌ای با نصب توام کابل و طوقه و در حالت وجود کابل و بدون طوقه نسبت به حالت بدون کابل و طوقه برای سه قطر نسبی کابل، سه زاویه کابل به دور پایه و سه ردیفه مختلف نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد در

### نتایج

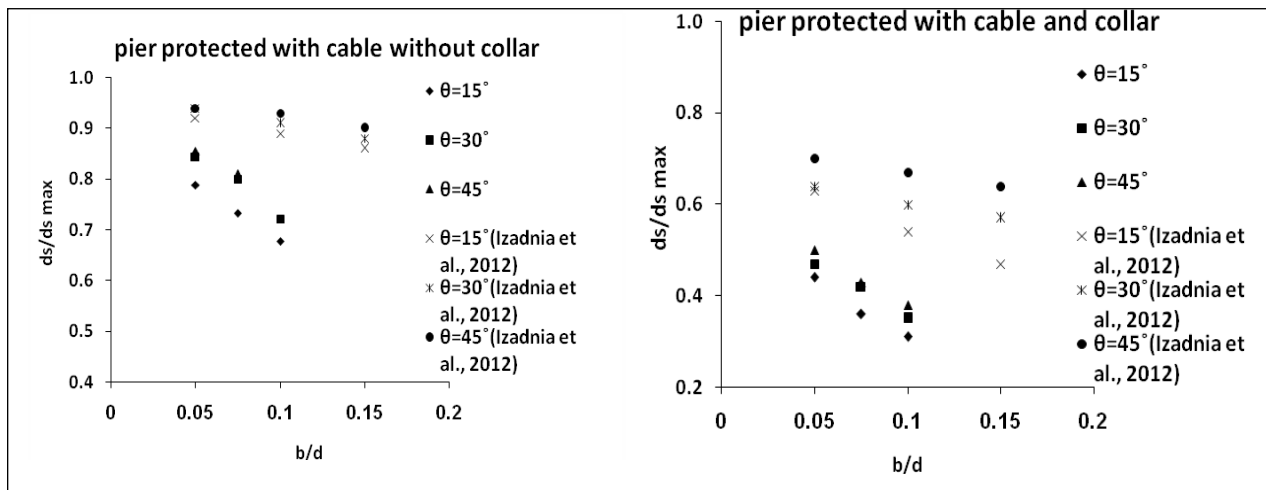
#### تأثیر قطر نسبی کابل بر عمق آبشستگی

شکل ۸ نمودارهای بدون بعد عمق آبشستگی نسبی و قطر نسبی کابل در اطراف پایه استوانه‌ای در شرایط با وجود کابل و بدون طوقه و همچنین نصب توام کابل و طوقه در سه قطر نسبی ۰/۰۷۵، ۰/۰۵ و ۰/۱ و سه زاویه پیمش کابل ۱۵، ۳۰ و ۴۵ درجه و بصورت یک، دو و سه ردیفه برای حالت قرار گیری پایه استوانه‌ای بصورت عمود بر مسیر جریان نشان می‌دهد. همان‌گونه که در اشکال مشاهده می‌شود در کلیه شرایط، قطر نسبی کابل با عمق آبشستگی نسبت عکس دارد و با افزایش قطر نسبی کابل در اطراف پایه استوانه‌ای در کلیه شرایط باعث کاهش عمق آبشستگی در اطراف پایه استوانه‌ای می‌شود. همچنین نصب توام کابل و طوقه در مقایسه با حالت بدون طوقه، باعث کاهش آبشستگی در اطراف پایه استوانه‌ای می‌شود. وجود پایه در مسیر جریان باعث تشکیل جریان‌های گردابی در



شکل ۸- تأثیر قطر نسبی کابل در عمق آبشستگی در زاویه مختلف کابل با طوقه و بدون نصب طوقه

Fig. 8. Effect diameter ratio in scour depth at different angles of cable with cable and without collar



شکل ۹-مقایسه نتایج تحقیق حاضر با نتایج ایزدی نیا و همکاران  
 Fig. 9. Comparison the results of present study with the results of Izadnia et al.

کابل با عمق آبشستگی نسبت مستقیم دارد و در کلیه شرایط نصب کابل با قطرهای مختلف کابل و همچنین نصب توام کابل و طوقه، افزایش زاویه پیچش کابل در اطراف پایه استوانه‌ای، باعث افزایش عمق آبشستگی در اطراف پایه ها می‌شود. از آنجائیکه وجود پایه در مسیر جریان باعث تشکیل جریان‌های گردابی در اطراف آن شده و این جریان ها مکانیسم اصلی آبشستگی در اطراف بستر پایه می‌شود، لذا نصب کابل و کاهش زاویه پیچش آن در اطراف پایه، باعث همسو شدن جریان عبوری و تضعیف جریان‌های گردابی در پایین دست و بالادست پایه شده و در نتیجه باعث کاهش توان حمل رسوب بار بستر و آبشستگی در اطراف پایه استوانه‌ای می‌گردد. همچنین زمانی که طوقه روی پایه نصب می‌شود، گرداب‌های نعل اسبی رو به پائین در حین برخورد به طوقه از بستر منحرف شده و باعث کاهش عمق آبشستگی می‌شود. مطابق جدول ۱ در پایه استوانه ای وجود طوقه و کابل با قطر نسبی ۰/۱ و سه ردیفه، بیشترین درصد کاهش عمق آبشستگی به میزان ۶۳ درصد برای زاویه پیچش ۱۵ درجه ایجاد شده است. همچنین در شرایط یکسان با وجود کابل و بدون نصب طوقه، بیشترین درصد کاهش عمق آبشستگی حدود ۴۳ درصد در زاویه پیچش ۱۵ درجه مشاهده شده است. نتایج حاصل نشان می‌دهند در زاویه پیچش کابل ۱۵ درجه نسبت به زوایای دیگر کابل بیشترین درصد کاهش در عمق آبشستگی در کلیه شرایط را ایجاد می‌کند.

#### تأثیر تعداد ردیف کابل به دور پایه بر عمق آبشستگی

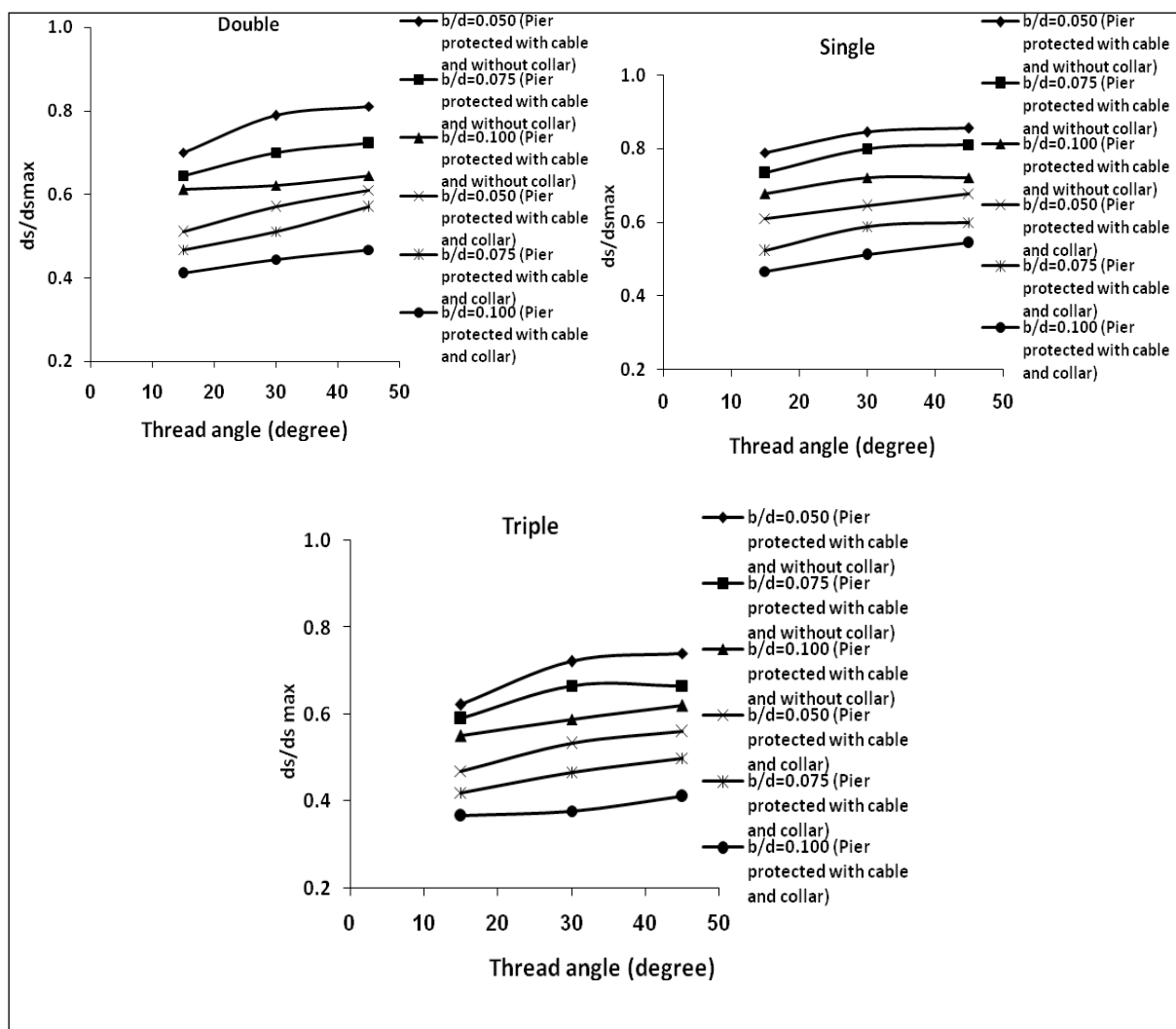
شکل ۱۱ نمودار بدون بعد عمق آبشستگی نسبی و تعداد ردیف‌های پیچش کابل به دور پایه استوانه‌ای در شرایط در شرایط با وجود کابل و بدون طوقه و همچنین نصب توام کابل و طوقه در

پایه استوانه‌ای وجود طوقه و کابل با زاویه ۱۵ درجه و سه ردیفه، بیشترین درصد کاهش عمق آبشستگی به میزان ۶۳ درصد برای قطر نسبی کابل ۰/۱ ایجاد شده است. همچنین در شرایط یکسان با وجود کابل و بدون نصب طوقه، بیشترین درصد کاهش عمق آبشستگی حدود ۴۳ درصد در قطر نسبی کابل ۰/۱ مشاهده شده است. نتایج حاصل نشان می‌دهند در قطر نسبی ۰/۱ نسبت به قطرهای دیگر کابل بیشترین درصد کاهش در عمق آبشستگی در کلیه شرایط را ایجاد می‌کند.

به‌منظور مقایسه تاثیر قطر نسبی کابل بر عمق آبشستگی نسبی در تحقیق حاضر با سایر محققین، از نتایج تحقیقات ایزدی نیا و همکاران [۶] استفاده شد. شکل ۹ نتایج تحقیق حاضر را با نتایج ایزدی نیا و همکاران در سه زاویه کابل ۱۵، ۳۰ و ۴۵ درجه و بصورت یک ردیفه در دو حالت با کابل و طوقه و همچنین با کابل و بدون طوقه در پایه عمودی را نشان می‌دهد. همان‌گونه که از این نمودارها مشاهده می‌شود در زاویه مختلف قرارگیری کابل در اطراف پایه عمودی، با افزایش قطر نسبی کابل، عمق آبشستگی نسبی کاهش می‌یابد. همچنین نتایج حاصل از این نمودارها تطابق مناسب این تحقیق با تحقیقات محققین دیگر را نشان می‌دهد.

#### تأثیر زاویه پیچش کابل بر عمق آبشستگی

شکل ۱۰ نمودار بدون بعد عمق آبشستگی نسبی و زاویه پیچش کابل به دور پایه استوانه ای در شرایط با وجود کابل و بدون طوقه و همچنین نصب توام کابل و طوقه در زاویه پیچش کابل ۱۵، ۳۰ و ۴۵ درجه، سه قطر نسبی کابل ۰/۰۵، ۰/۰۷۵ و ۰/۱ و بصورت یک، دو و سه ردیفه برای حالت قرار گیری پایه عمودی بر مسیر جریان نشان می‌دهد. همان‌گونه که در اشکال مشاهده می‌شود زاویه پیچش



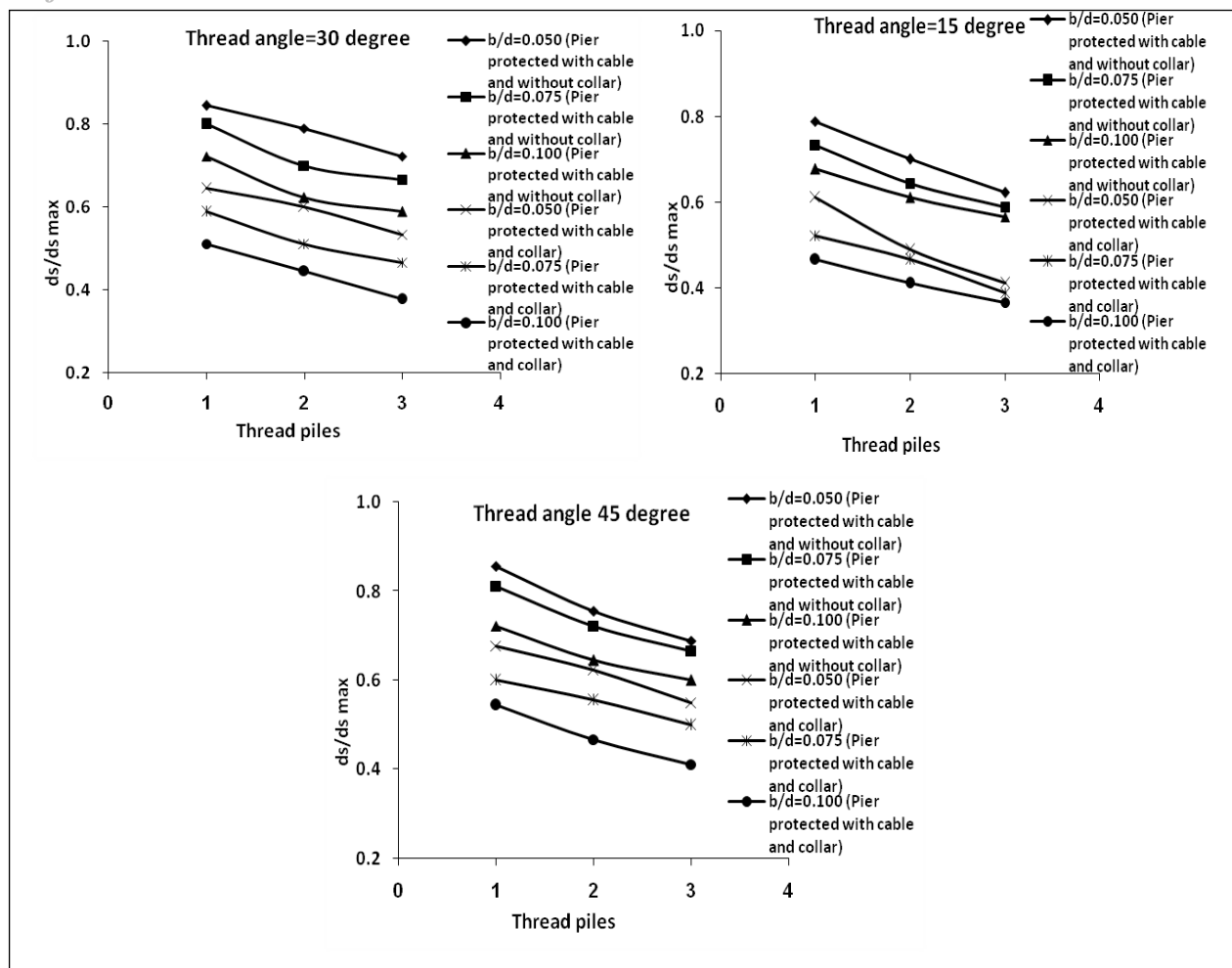
شکل ۱۰- تاثیر زاویه پیش کابل به دور پایه بر عمق آبستگی در قطر نسبی مختلف

Fig 10. Effect thread angles in scour depth at different diameter ratio

تضعیف جریان‌های گردابی و کاهش عمق آبستگی در اطراف پایه استوانه ای می‌گردد. مطابق جدول ۱ در پایه استوانه‌ای وجود طوقه و کابل با قطر نسبی ۰/۱ و زاویه پیش کابل ۱۵ درجه، بیش‌ترین درصد کاهش عمق آبستگی به میزان ۶۳ درصد برای حالت سه ردیفه ایجاد شده است. همچنین در شرایط یکسان با وجود کابل و بدون نصب طوقه، بیش‌ترین درصد کاهش عمق آبستگی حدود ۴۳ درصد در حالت سه ردیفه مشاهده شده است. نتایج حاصل نشان می‌دهند در تعداد دور سه ردیفه پیش کابل به دور پایه استوانه ای نسبت به دوره‌های دیگر کابل بیش‌ترین درصد کاهش در عمق آبستگی در کلیه شرایط را ایجاد می‌کند.

سه ردیف یک، دو و سه دور با سه قطر نسبی کابل ۰/۰۵، ۰/۰۷۵ و ۰/۱ در زاویه پیش ۱۵، ۳۰ و ۴۵ درجه نشان می‌دهد. همانگونه که در شکل مشاهده می‌شود تعداد ردیف‌های پیش کابل به دور پایه با عمق آبستگی نسبت عکس دارد و در کلیه شرایط نصب کابل با قطرهای مختلف کابل و همچنین نصب توام کابل و طوقه، با افزایش تعداد ردیف‌های پیش کابل در اطراف پایه استوانه‌ای، عمق آبستگی نسبی کاهش می‌یابد. از آنجائی‌که وجود پایه در مسیر جریان باعث تشکیل جریان‌های گردابی در اطراف آن شده و این جریان‌ها مکانیسم اصلی آبستگی در اطراف بستر پایه می‌شود، لذا افزایش تعداد دور پیش کابل به دور پایه، طول بیشتری از کابل در مسیر جریان قرار گرفته و در نتیجه باعث افزایش زبری در بدنه و





شکل ۱۱- تأثیر تعداد ردیف پیچش کابل به دور پایه بر عمق آبشستگی  
 Fig11. Effect thread piles in scour depth

کاهش عمق آبشستگی در حدود ۴۳ درصد نسبت به حالت بدون طوقه می‌شود. همچنین بیش‌ترین عمق آبشستگی در شرایط توام کابل و طوقه در زاویه پیچش ۱۵ درجه، قطر نسبی کابل ۰/۱ و سه ردیفه، حدود ۶۳ درصد بدست آمد.

### تشکر و قدردانی

از مساعدت مسئولین محترم دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز به منظور قرار دادن امکانات، تسهیلات و کمک‌های مالی در این تحقیق تشکر و قدردانی می‌شود

### منابع

- Aghili, M. and Zomorodian, M. 2013. Effect of collar and cable on the depth of scouring around the bridge at the river bend, Iranian Journal Irrigation Science & Engineering( Agricultural Science Journal), 36(3),( in persian)
- Breusers H. N. C., Nicollet G., Shen H. W. 1977. Local scour around cylindrical piers. Journal of Hydraulic Research, IAHR,

### بحث و نتیجه‌گیری

در این تحقیق آزمایش‌ها جهت بررسی عمق آبشستگی در اطراف پایه استوانه‌ای در شرایط با وجود کابل و بدون طوقه و همچنین نصب توام کابل و طوقه در سه ردیف یک، دو و سه دور با سه قطر نسبی کابل ۰/۰۵، ۰/۰۷۵، و ۰/۱ در زاویه پیچش ۱۵، ۳۰ و ۴۵ درجه و مقایسه آن با حالت بدون کابل در مسیر مستقیم با دبی ۱۷ لیتر بر ثانیه انجام گرفت. متغیرهای مؤثر در این تحقیق قطر، زاویه پیچش و تعداد ردیف کابل بود. نتایج این تحقیق نشان داد نصب کابل با قطر نسبی ۰/۱ نسبت به قطرهای دیگر کابل بیش‌ترین درصد کاهش در عمق آبشستگی در کلیه پایه‌ها را ایجاد می‌کند. بیش‌ترین درصد کاهش عمق آبشستگی در پایه استوانه‌ای در شرایط استفاده از کابل و بدون طوقه در قطر نسبی ۰/۱ و در شرایط سه ردیفه و در زاویه ۱۵ درجه حدود ۴۳ درصد مشاهده می‌شود. همچنین در کلیه شرایط استفاده توام از کابل و طوقه در مقایسه با حالت بدون طوقه، باعث افزایش درصد کاهش عمق آبشستگی در اطراف پایه استوانه‌ای می‌شود. به‌طوریکه استفاده از طوقه بطور متوسط باعث

9. Oliveto, G., Hager W. H. 2002. Temporal evolution of clear-water pier and abutment scour. *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, 128(9): 811-820.
10. Raudkivi, A.J. 1998. *Loose boundary hydraulics*. 4th Edition. Rotterdam ; Brookfield, VT : Balkema. 496 p.
11. Raudkivi, A. J., Ettema, R. 1983. Clear-water scour at cylindrical piers. *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, 109(3): 338-350.
12. Singh, C.P., Setia, B. and Verma, D.V.S. 2001. Collar-sleeve combination as a scour protection device around a circular pier. *Proceedings of Theme D, 29th Congress on Hydraulics of Rivers, Water Works and Machinery*, Chinese Hydraulic Engineering Society, Beijing, China. September 16-21, 202-209
13. Zarrati, A.R., Nazariah, M. and Mashahir, M.B. 2006. Reduction of local scour in the vicinity of bridge pier groups using collars and riprap. *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, 132(2), 154-162.
- 15(3): 211-252.
3. Chiew, Y.M, Melville, B.W. 1987. Local scour around bridge piers. *Journal of Hydraulic Research*, 25(1):15-26.
4. Ettem, R. 1980. *Scour at Bridge Piers*. Report No.216, University Of Aucland, School Of Engineering, New Zealand.
5. Dey, S., Sumer, B. M. and Fredsoe, J. 2006. Control of Scour at Vertical Circular Piles under Waves and Current, *Journal of Hydraulic Engineering*, 132:270-279.
6. Izadinia, E. and Heidarpour, M. 2012. Simultaneous use of cable and collar to prevent local scouring around bridge pier, *International Journal sediment Research*, 27( 2012) 394-401.
7. Khwairakpam, P., A. and Mazumdar, 2009. Local Scour Around H Draulic Structures. *Internatoinal Journal of Recent Trends in Engineering*, 1(6):59-61.
8. Melville, B.W. and Chiew, Y.M. 1999. Time Scale for Local Scour Depth at Bridge Piers. *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, Vol.125, No.1, 59-65.

## Control of Scour Around the Piles with Using Cable and Collar at the River

M. Delf Lovimi<sup>1,2</sup>, A. Masjedi<sup>3</sup>, M. Heidarnejad<sup>4</sup>, A. Bordbar<sup>5</sup> and A. Kamanbedast<sup>6</sup>

Received: 25-05-2019

Accepted: 26-08-2019

### Abstract

In this study, in order to examine the joint of the cable and the collar in control of scour around the bridge piles, experiments were carried out in a rectangular plexiglass flume as a direct path. The experiments were carried out using three different cable diameters, three different thread angles and three rounds of the cable threaded at a steady current in clear water. The results of this study showed that, installing a cable and collar around the base of the cylinder is an effective factor in reducing the depth of scouring around it. Also, in all conditions of use of cable and collar, compared with the without collar mode, it increases the percentage of reducing scour depth around the cylindrical base. The use of collar on average reduces scour depth by about 43 percent compared to without collar condition. Also, the maximum scour depth in cable and collar conditions at a thread angle of 15 degree, a diameter ratio of 0.1 percent and triple threaded was about 63 percent.

**Keywords:** *Collar, Cable, Scour depth, Sediment*

1,2. Department of Water Science and Engineering, Khuzestan Science and Research Branch, Islamic Azad University, Ahvaz.

3. Department of Water Science and Engineering, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz.

4. Corresponding Author and Associated, Department of Water Science and Engineering, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz.  
Email: drmasjedi.2007@yahoo.com

5. Assistance, Department of Water Science and Engineering, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz.

6. Assistance, Department of Water Science and Engineering, Ahvaz Branch, Islamic Azad University, Ahvaz.