

بررسی اثر استفاده از کابل در کنترل آبشستگی اطراف گروه پایه‌های پل در رودخانه

حسین داودی^{۱*}، علیرضا مسجدی^{۲*}، محمد حیدر نژاد^۲، امین بردبار^۲ و امیرعباس کمان به‌دست^۲

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۱۱/۱؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۷/۳/۶)

چکیده

در این مطالعه به منظور بررسی اثر کابل در کنترل آبشستگی در اطراف گروه پایه‌های پل، آزمایش‌هایی در یک فلوم آزمایشگاهی از جنس پلاکسی‌گلاس انجام گرفت. در این پژوهش با قرار دادن یک پایه عمودی و دو پایه مایل به صورت گروه پایه با دو زاویه مایل مختلف به همراه کابل به دور آنها در دو حالت با وجود کابل و بدون نصب کابل در اطراف آنها اقدام به انجام یک سری آزمایش شد. 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. در انتهای هر آزمایش عمق آبشستگی اندازه‌گیری شد. نتایج این پژوهش نشان داد در کلیه شرایط، نصب کابل به دور پایه استوانه‌ای عامل مؤثر در کاهش عمق آبشستگی در اطراف آن می‌شود. در زاویه کابل ۱۵ درجه و سه ردیفه بیشترین درصد کاهش عمق آبشستگی در پایه عمودی و گروه پایه مایل ۲۸ و ۳۸ درجه، به ترتیب حدود ۴۳، ۴۹ و ۵۶ درصد در قطر نسبی کابل ۱/۵ مشاهده شده است. بنابراین در شرایط یکسان بیشترین درصد کاهش عمق آبشستگی در گروه پایه مایل ۳۸ درجه در حدود ۵۶ درصد به دست آمد.

واژه‌های کلیدی: کابل، عمق آبشستگی، گروه پایه پل، رسوبات

۱. گروه علوم و مهندسی آب، پردیس علوم تحقیقات خوزستان، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

۲. گروه علوم و مهندسی آب، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: drmasjedi.2007@yahoo.com

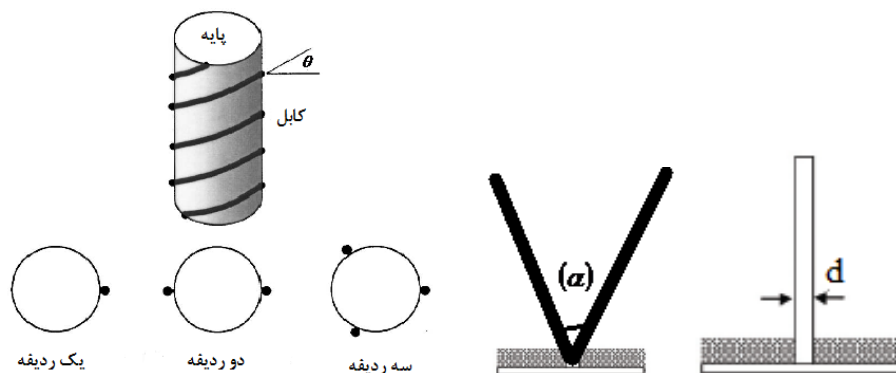
مقدمه

اگر پایه استوانه‌ای به‌طور عمودی در مسیر جریان قرار گرفته باشد، جریان آب در اطراف آن متلاطم شده و جریان‌های گردابی در اطراف آن ایجاد می‌شود. این جریان‌ها مکانیسم اصلی آبستگی به‌حساب آمده که در درازمدت باعث ایجاد حفره در محل پایه پل شده و ممکن است موجب ریزش و خرابی پل شود. بر اساس 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 آبستگی در اطراف پایه پل‌ها استفاده از کابل است که به‌منظور افزایش زبری و بالا بردن مقاومت آن در برابر تنش برشی ناشی از جریان استفاده می‌شود. در این روش باید اطراف پایه‌های پل را از کابل‌هایی با قطر، زاویه پیچش و ردیف‌های مختلف استفاده شود. بررسی‌های مختلفی بر روی قطر کابل، زاویه پیچش 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.

روش استفاده از کابل توسط دی و همکاران در سال به‌عنوان یک روش پیشگیرانه اقتصادی و آسان پیشنهاد شد. در این روش کابل‌ها به‌صورت مارپیچی روی پایه قرار گرفته و با انحراف گرداب نعل اسبی منجر به کاهش عمق آبستگی می‌شوند. نتایج پژوهش‌های ایشان نشان داد ماکزیمم کاهش عمق آبستگی در گام سه دور، زاویه کابل ۱۵ درجه و در قطر نسبی ۰/۱ در حدود ۴۶ درصد به‌دست آمد (۴). عقلی و همکاران پژوهشی در خصوص اثر توأم طوق و کابل روی عمق آبستگی اطراف پایه پل در قوس رودخانه انجام دادند. نتایج پژوهش نشان داد با افزایش قطر کابل و کمتر شدن فاصله میان گام‌ها، آبستگی بیشتر کاهش می‌یابد و حداکثر مقدار در کاهش آبستگی ۵۹ درصد است و همچنین طوق در بهترین حالت ۵۵ درصد و طوق و کابل توأم حداکثر ۶۹/۷ درصد عمق آبستگی را کاهش می‌دهد (۱). زمردیان و همکاران در

خصوص تأثیر توأم طوق و کابل بر عمق آبستگی اطراف گروه پایه‌های پل در قوس رودخانه‌ها پژوهشی انجام دادند. در این مطالعه از کابل با دو ضخامت $D/2$ و $D/4$ و در سه گام $D/2$ ، $D/5$ و D استفاده شد. نتایج این پژوهش نشان داد با افزایش قطر کابل و کمتر شدن فاصله میان گام‌های کابل، آبستگی کاهش می‌یابد. همچنین گروه پایه‌هایی که در جهت جریان قرار می‌گیرند، عمق آبستگی برای پایه جلویی بیشتر از دو پایه دیگر است. پایه‌های عمود بر جریان بیشترین عمق آبستگی در پایه میانی مشاهده شد که در این مورد نیز مانند پایه‌های قرار گرفته در جهت جریان با افزایش فاصله بین پایه‌ها عمق آبستگی کم می‌شود. استفاده توأم طوق و کابل بیشترین کاهش در عمق آبستگی را نتیجه داد (۱۲). خاویز اکیام و مزومدار در مورد اثر پیچش کابل دور پایه‌های پل مطالعاتی انجام دادند. نتایج پژوهش نشان داد نقش کابل در منحرف کردن جریان‌های رو به پایین و تضعیف قدرت گردابه‌های نعل اسبی است. در ضمن عمق آبستگی با افزایش قطر کابل و تعداد گام‌های آن دور پایه بیشتر کاهش می‌یابد (۶). ایزدی‌نیا و حیدرپور در خصوص شبیه‌سازی استفاده کابل و طوقه در اطراف پایه برای کنترل آبستگی پژوهشی انجام دادند. در این پژوهش 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 پژوهش نشان داد در قطر نسبی کابل ۰/۱۵ و در زاویه کابل ۱۵ درجه کمترین آبستگی در بالادست پایه با وجود طوقه در حدود ۵۳ درصد به‌دست آمد (۵).

پس از برخورد جریان به دماغه پل، روی پایه با توجه به اینکه سرعت جریان از بستر رودخانه به طرف سطح آب بیشتر می‌شود، فشار بیشتری نیز در ترازهای بالاتر روی پایه ایجاد می‌شود و به این ترتیب گرادیان فشاری روی پایه از بالا به پایین به‌وجود 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



شکل ۱. پایه استوانه‌ای عمودی و مایل

حالت‌ها)، ds_{max} عمق آبشستگی ماکزیمم در پایه بدون محافظ (شاهد)، b قطر کابل، d قطر پایه استوانه‌ای، θ زاویه چرخش کابل به دور پایه، α زاویه بین دو پایه (زاویه مایل گروه پایه‌ها)، ϕ تعداد ردیف به دور کابل، R شعاع مرکزی قوس، B عرض مجرا، V سرعت جریان، y عمق جریان آب، g شتاب ثقل، ρ_w جرم مخصوص آب، s شیب کانال اصلی، $d\delta^\circ$ قطر متوسط بار بستر و G_s چگالی رسوبات است (شکل ۱).

با صرف نظر کردن از پارامترهای ثابت در رابطه (۱) معادله

زیر به دست می‌آید:

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

با استفاده از تئوری باکینگهام رابطه (۲) به صورت زیر بدون بعد می‌شود:

$$f_3\left(\frac{ds}{ds_{max}}, \frac{b}{d}, \alpha, \phi\right) = 0 \quad (3)$$

و یا

$$\frac{ds}{ds_{max}} = f\left(\frac{b}{d}, \alpha, \phi\right) \quad (4)$$

در رابطه (۳ و ۴)، ds/ds_{max} عمق آبشستگی نسبی و b/d قطر نسبی کابل است. در کلیه آزمایش‌ها با توجه به آشفتگی جریان در اطراف آبشکن، جریان از نوع متلاطم بوده و عدد رینولدز حذف شد.

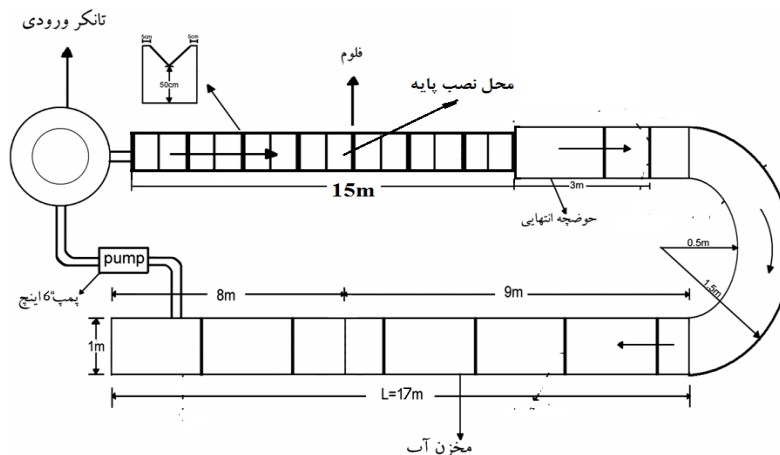
امروزه با پیشرفت فناوری طراحی و ساخت سازه‌ها، شاهد ساخت پل‌ها با اشکال گوناگونی بوده که از جمله آنها می‌توان به پل‌ها با گروه پایه مایل اشاره کرد. فرایند آبشستگی در گروه

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 اسبی 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 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 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 مؤثر بر عمق آبشستگی در حالت تعادل برقرار است:

$$f_1(ds, ds_{max}, b, d, \alpha, \phi, R, B, V, y, g, \rho_w, S, d\delta^\circ, G_s) \quad (1)$$

در رابطه (۱) ds عمق آبشستگی در پایه با محافظ (در کلیه

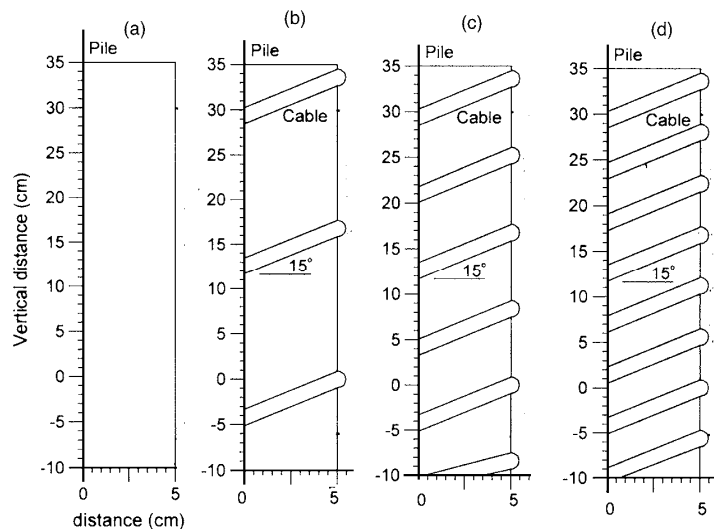


شکل ۲. نمایی از فلوم آزمایشگاهی

مواد و روش‌ها

به منظور بررسی اثر کابل به دور پایه استوانه‌ای پل در تک‌پایه و گروه پایه‌ها روی چاله آبستگي 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 هشت متری از ابتدای فلوم، یک مخزن به طول یک متر و ارتفاع ۱۵ سانتی‌متری در کف فلوم احداث شد که بعد از پر کردن رسوبات در آن، سطح تراز کف فلوم و رسوبات یکسان خواهند شد (شکل ۲).

پایه‌ها علاوه بر عوامل مربوط به پایه منفرد، تحت تأثیر عوامل تقویت‌کنندگی و حفاظ بودن است، به طوری که عوامل تقویت‌کننده باعث افزایش عمق آبستگي در مجاورت پایه جلویی و عامل حفاظ بودن باعث کاهش سرعت برای پایه پایین‌دست منجر به کاهش آبستگي در محدوده پایه می‌شوند. با توجه به اینکه بیشتر پژوهش‌ها در خصوص کاهش آبستگي با نصب کابل در پایه عمودی در مسیر مستقیم بوده، لذا در این پژوهش اقدام به بررسی اثر وجود کابل در گروه پایه‌ها در دو شرایط نصب کابل و بدون نصب کابل به دور پایه استوانه‌ای در قطر، زاویه و ردیف‌های مختلف در دبی ثابت در حالت آب زلال و مقایسه آن با تک‌پایه عمودی شده است.



شکل ۳. نصب کابل به دور پایه استوانه‌ای: (a) پایه عمودی بدون کابل، (b) پایه یک ردیفه، (c) پایه دو ردیفه، (d) پایه سه ردیفه

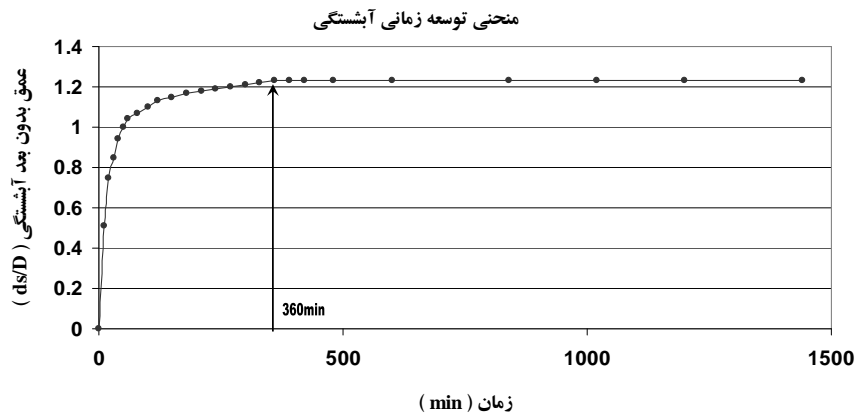
آزمایش‌ها مورد استفاده قرار گرفت. با توجه به اینکه آب شستگی موضعی در شرایط آب زلال انجام شد، لذا به منظور جلوگیری از فرسایش و انتقال رسوبات در بالادست پایه، سرعت متوسط جریان باید کمتر از سرعت بحرانی ($u < u_c$) باشد. در کلیه آزمایش‌ها نسبت سرعت برشی به سرعت برشی بحرانی با استفاده از منحنی شیلدز 0.93 انتخاب شد. لذا کلیه آزمایش‌ها در دبی 17 لیتر بر ثانیه با نسبت سرعت متوسط به سرعت بحرانی 0.27 انجام شد. طبق توصیه البوتو و هاگر برای جلوگیری از اثرات زبری عمق آب را بیشتر از 20 میلی‌متر پیشنهاد کرده‌اند که در کلیه آزمایش‌ها عمق آب 10 سانتی‌متر انتخاب شد (۸).

به منظور تعیین زمان تعادل آزمایش‌ها، یک آزمایش طولانی به مدت 24 ساعت روی پایه استوانه‌ای عمودی بدون کابل در دبی 17 لیتر بر ثانیه انجام شد. با توجه به نمودار شکل (۴) مشاهده شد که در شش ساعت اول تقریباً 98 درصد آبشستگی رخ می‌دهد. عمق آبشستگی در این آزمایش‌ها بر اساس معیار ملویل و چیو در نظر گرفته شد. لذا در کلیه آزمایش‌ها، زمان تعادل شش ساعت انتخاب شد (۷).

کلیه آزمایش‌ها در این پژوهش در دبی ثابت 17 لیتر بر ثانیه انجام شد. دبی مورد نیاز توسط سرریز مثلثی 60 درجه در

برای حذف تأثیر دیواره‌های کانال بر آبشستگی موضعی پایه، طبق نظر چیو و ملویل، قطر پایه نباید از 10 درصد عرض کانال بیشتر باشد و از نظر رودکیوی و اتما، نسبت عرض کانال به عرض پایه، باید از $6/25$ بزرگ‌تر باشد (۳ و ۱۱). با توجه به محدودیت عرض کانال، قطر پایه استوانه‌ای 50 میلی‌متر انتخاب شد تا شرایط فوق را برآورده سازد. همچنین به منظور ایجاد گروه پایه در این پژوهش از دو گروه پایه با زاویه مایل داخلی 28 و 38 درجه و تک پایه عمودی استوانه‌ای استفاده شد. به منظور بررسی اثر نصب کابل در اطراف پایه استوانه‌ای گروه پایه‌ها و تک پایه عمودی بر کنترل آبشستگی اطراف آن، سه نوع کابل با قطر نسبی 0.05 ، 0.075 و 0.1 با سه زاویه پیچش 15 ، 30 و 45 درجه در سه ردیف یک، دو و سه دور در نظر گرفته شد (شکل ۳).

به توصیه راودکیوی و اتما برای جلوگیری از تشکیل رپیل، قطر متوسط ذرات باید از 0.7 میلی‌متر بزرگ‌تر باشد (۱۱). همچنین برای حذف تأثیر غیریکنواختی رسوبات بر آبشستگی، انحراف معیار ذرات باید کمتر از $1/3$ باشد. با توجه به این موارد یک لایه از ماسه طبیعی رودخانه‌ای با قطر متوسط معادل $1/59$ میلی‌متر و ضریب انحراف استاندارد معادل $1/29$ انتخاب و در لایه‌ای به ضخامت تقریبی 15 سانتی‌متر برای انجام



شکل ۴. زمان تعادل در دبی ۱۷ لیتر بر ثانیه



شکل ۵. آبشستگی در اطراف گروه پایه مایل و پایه عمودی بعد از آزمایش

شد. سپس با تنظیم دقیق و همزمان شیر فلکه و دریچه پایین دست عمق جریان ۱۰ سانتی متر و دبی مورد نظر حاصل شد. پس از گذشت شش ساعت، پمپ خاموش و دریچه انتهایی بسته شد تا آب موجود در کانال به آرامی زهکشی شد تا تأثیری روی توپوگرافی بستر ایجاد نشود. پس از گذشت چند ساعت و تخلیه کامل آب از درون کانال، به وسیله عمق سنج لیزری با دقت میلی متر، توپوگرافی بستر در اطراف پایه برداشت شد. به منظور بررسی دقیق تغییرات ایجاد شده در بستر در امتداد عرضی فاصله نقاط برداشت دو سانتی متر و در امتداد طولی با توجه به موقعیت دو سانتی متر در نظر گرفته شد (شکل ۵).

ابتدای ورودی فلوم اندازه گیری شد. در ابتدای هر آزمایش پایه ها به صورت جداگانه در فاصله شش متری از ابتدای فلوم و در رسوبات نصب و سپس با استفاده از ارابه متحرک، رسوبات بستر کانال تحت شیب ثابت مسطح شد. پیش از راه اندازی 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. 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

بحث و 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 شد. با شکل‌گیری حفره آبهستگی رسوب‌ها برخاسته از حفره به سمت پایین‌دست منتقل شدند. پس از مدتی از شروع آزمایش، رسوبات برخاسته از حفره آبهستگی به محدوده‌ای می‌رسند که تأثیر پایه استوانه‌ای بر آن محدوده کاهش یافته است و اثر گردابه‌های پشت پایه ناچیز می‌شود. در این وضعیت رسوبات انتقالی از حفره آبهستگی تحت تأثیر جریان ثانویه به سمت پایین‌دست منتقل می‌شود. مطابق جدول (۱) مقادیر درصد کاهش آبهستگی برای قطر نسبی، زاویه و تعداد ردیف کابل مختلف محاسبه شد.

تأثیر قطر نسبی کابل بر عمق آبهستگی

شکل (۶) نمودارهای بدون بعد عمق آبهستگی نسبی و قطر نسبی کابل در اطراف پایه استوانه‌ای در شرایط عدم نصب و با وجود کابل در سه قطر نسبی ۰/۰۵، ۰/۰۷۵ و ۰/۱ در سه زاویه پیش کابل ۱۵، ۳۰ و ۴۵ درجه و به‌صورت یک ردیفه برای سه حالت قرارگیری پایه عمودی و گروه پایه با زاویه ۲۸ و ۳۸ درجه به‌صورت عمود بر مسیر جریان نشان می‌دهد. همان‌گونه که در اشکال مشاهده می‌شود در کلیه شرایط، نصب کابل به دور پایه استوانه‌ای عامل مؤثر در کاهش عمق آبهستگی در اطراف آن می‌شود. همچنین قطر نسبی کابل با عمق آبهستگی نسبت عکس دارد و با افزایش قطر نسبی کابل در اطراف پایه استوانه‌ای در کلیه شرایط باعث کاهش عمق آبهستگی در اطراف پایه استوانه‌ای می‌شود.

وجود پایه در مسیر جریان باعث تشکیل جریان‌های گردابی در اطراف آن شده و این جریان‌های مکانیسم اصلی آبهستگی در اطراف بستر پایه می‌شود، لذا نصب کابل و افزایش قطر نسبی کابل آن در اطراف پایه، باعث افزایش زبری در بدنه پایه و بالابردن مقاومت آن در برابر تنش برشی ناشی از جریان و تضعیف جریان‌های گردابی در پایین‌دست و بالادست پایه شده

و در نتیجه باعث کاهش توان حمل رسوب بار بستر به پایین‌دست پایه استوانه‌ای می‌شود، کاهش توان حمل رسوب بار بستر به پایین‌دست پایه، سبب کاهش چاله آبهستگی در اطراف پایه شده و این امر در خرابی پایه مؤثر است (۱۲، ۴ و ۵). جدول (۱) درصد کاهش عمق آبهستگی نسبی در اطراف پایه استوانه‌ای با نصب کابل نسبت به حالت بدون کابل برای سه قطر نسبی کابل، سه زاویه کابل به دور پایه و سه ردیفه مختلف برای پایه عمودی و گروه پایه ۲۸ و ۳۸ درجه نشان داده شده است. نتایج نشان می‌دهد در پایه عمودی با زاویه کابل ۱۵ درجه و سه ردیفه، بیشترین درصد کاهش عمق آبهستگی به میزان ۴۳ درصد برای قطر نسبی کابل ۰/۱ ایجاد شده است. همچنین در شرایط یکسان در گروه پایه با زاویه مایل ۲۸ و ۳۸ درجه، بیشترین درصد کاهش عمق آبهستگی به ترتیب حدود ۴۹ و ۵۶ 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 آبهستگی در کلیه پایه‌ها را ایجاد می‌کند.

به‌منظور مقایسه تأثیر قطر نسبی کابل بر عمق آبهستگی نسبی در پژوهش حاضر با سایر محققین، از نتایج پژوهش‌های ایزدپناه و همکاران استفاده شد (۵). شکل (۷) نتایج پژوهش حاضر را با نتایج ایزدپناه و همکاران در سه زاویه کابل ۱۵، ۳۰ و ۴۵ درجه در پایه عمودی و گروه پایه با زاویه مایل ۲۸ و ۳۸ درجه را نشان می‌دهد. همان‌گونه که از این نمودارها مشاهده می‌شود در زاویه مختلف قرارگیری کابل در اطراف پایه عمودی و گروه پایه‌ها، با افزایش قطر نسبی کابل، عمق آبهستگی نسبی کاهش می‌یابد. همچنین نتایج حاصل از این نمودارها تطابق مناسب این پژوهش با پژوهش‌های محققین دیگر را نشان می‌دهد.

تأثیر زاویه مایل گروه پایه‌ها بر عمق آبهستگی

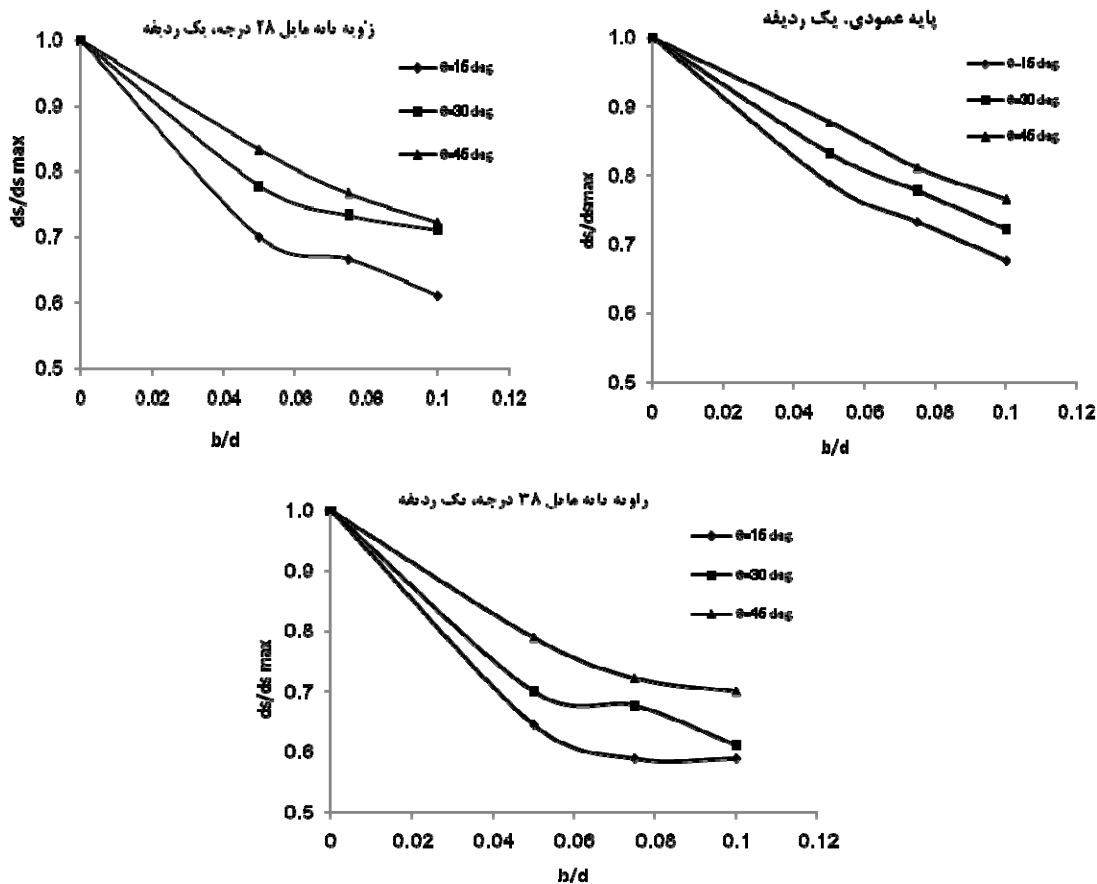
شکل (۸) نمودار بدون بعد عمق آبهستگی نسبی و زاویه مایل در گروه پایه در شرایط نصب کابل در سه حالت پایه عمودی و دو گروه پایه با زاویه مایل ۲۸ و ۳۸ درجه، سه قطر نسبی کابل

جدول ۱. مشخصات کابل و آبشستگی مربوط به پایه عمودی و گروه پایه‌ها

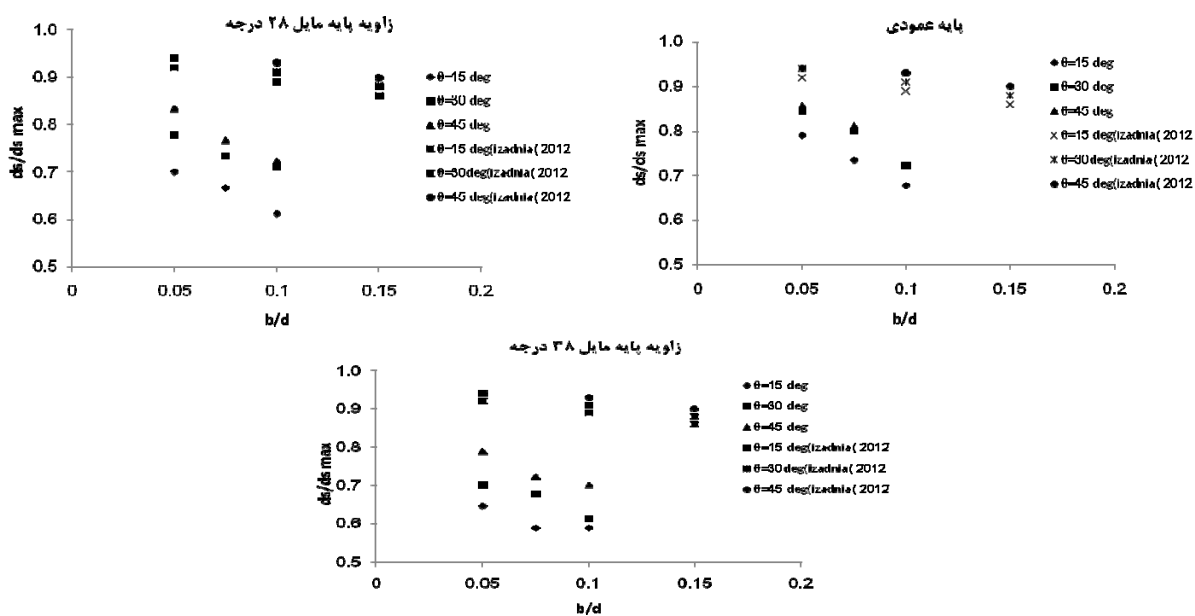
ردیف	قطر نسبی کابل (b/d)	زاویه پیچش کابل (α, degree)	تعداد ردیف	درصد کاهش آبشستگی در پایه عمودی (%)	درصد کاهش آبشستگی در گروه پایه با زاویه مایل ۲۸ درجه (%)	درصد کاهش آبشستگی در گروه پایه با زاویه مایل ۳۸ درجه (%)
۱	۰/۰۵۰	۱۵	یک ردیفه	۲۱	۲۵	۲۹
۲	۰/۰۵۰	۱۵	دو ردیفه	۳۰	۳۵	۳۹
۳	۰/۰۵۰	۱۵	سه ردیفه	۳۸	۴۳	۴۸
۴	۰/۰۷۵	۱۵	یک ردیفه	۲۷	۳۱	۳۵
۵	۰/۰۷۵	۱۵	دو ردیفه	۳۶	۴۰	۴۶
۶	۰/۰۷۵	۱۵	سه ردیفه	۴۳	۴۹	۵۴
۷	۰/۱۰۰	۱۵	یک ردیفه	۳۲	۳۷	۴۲
۸	۰/۱۰۰	۱۵	دو ردیفه	۳۹	۴۴	۴۹
۹	۰/۱۰۰	۱۵	سه ردیفه	۴۳	۴۹	۵۶
۱۰	۰/۰۵۰	۳۰	یک ردیفه	۱۶	۱۹	۲۳
۱۱	۰/۰۵۰	۳۰	دو ردیفه	۲۱	۲۵	۲۹
۱۲	۰/۰۵۰	۳۰	سه ردیفه	۲۸	۳۲	۳۷
۱۳	۰/۰۷۵	۳۰	یک ردیفه	۲۰	۲۴	۲۸
۱۴	۰/۰۷۵	۳۰	دو ردیفه	۳۰	۳۵	۳۹
۱۵	۰/۰۷۵	۳۰	سه ردیفه	۳۳	۳۸	۴۳
۱۶	۰/۱۰۰	۳۰	یک ردیفه	۲۸	۳۲	۳۷
۱۷	۰/۱۰۰	۳۰	دو ردیفه	۳۸	۴۳	۴۸
۱۸	۰/۱۰۰	۳۰	سه ردیفه	۴۱	۴۶	۵۲
۱۹	۰/۰۵۰	۴۵	یک ردیفه	۱۴	۱۸	۲۲
۲۰	۰/۰۵۰	۴۵	دو ردیفه	۲۴	۲۳	۲۷
۲۱	۰/۰۵۰	۴۵	سه ردیفه	۳۳	۲۹	۳۳
۲۲	۰/۰۷۵	۴۵	یک ردیفه	۱۹	۲۳	۲۷
۲۳	۰/۰۷۵	۴۵	دو ردیفه	۲۸	۳۲	۳۷
۲۴	۰/۰۷۵	۴۵	سه ردیفه	۳۳	۳۶	۴۱
۲۵	۰/۱۰۰	۴۵	یک ردیفه	۲۸	۳۲	۳۷
۲۶	۰/۱۰۰	۴۵	دو ردیفه	۳۶	۴۰	۴۶
۲۷	۰/۱۰۰	۴۵	سه ردیفه	۴۰	۴۵	۵۱

نسبت عکس دارد و در کلیه شرایط نصب کابل با قطرهای مختلف کابل، با افزایش زاویه مایل پایه از حالت عمودی، باعث کاهش عمق آبشستگی در اطراف پایه‌ها می‌شود. انحراف پایه از

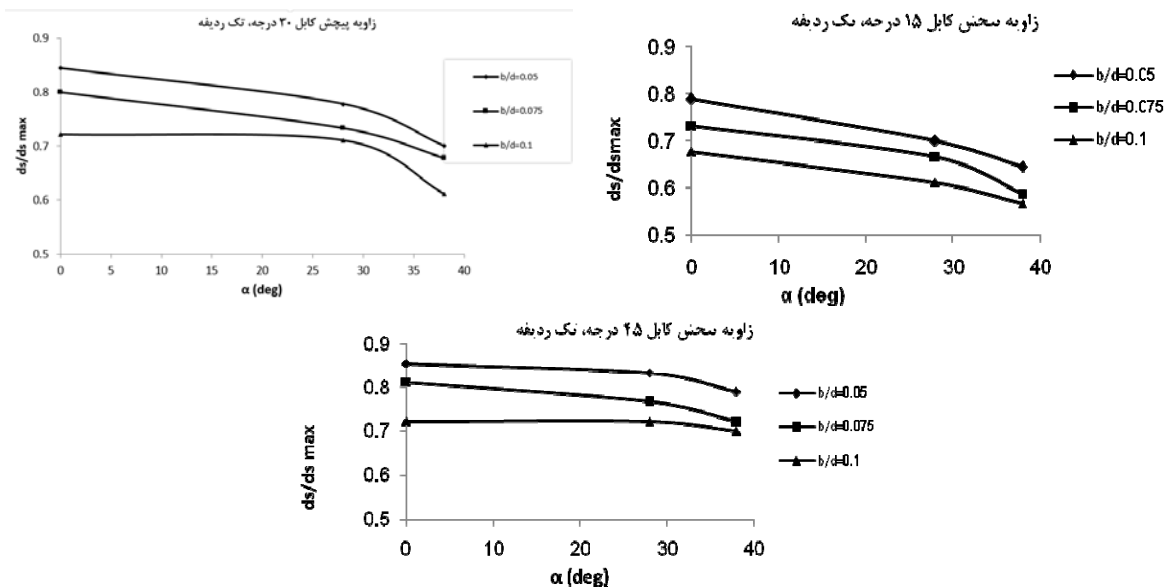
۰/۰۵۰، ۰/۰۷۵ و ۰/۱، سه زاویه پیچش کابل ۱۵، ۳۰ و ۴۵ درجه و برای شرایط یک ردیفه نشان می‌دهد. همان‌گونه که در شکل مشاهده می‌شود زاویه مایل گروه پایه‌ها با عمق آبشستگی



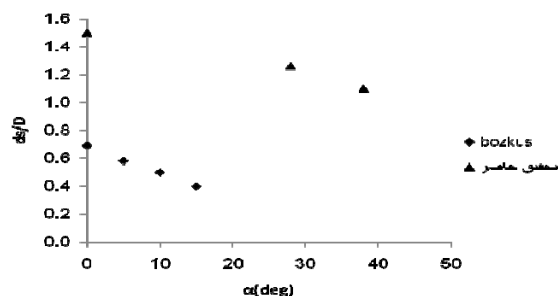
شکل ۶. تأثیر قطر نسبی کابل بر عمق آبهستگی در زاویه مختلف کابل و در سه زاویه پیش کابل و به صورت یک ردیفه



شکل ۷. مقایسه نتایج پژوهش حاضر با نتایج ایزدپناه و همکاران



شکل ۸ تأثیر زاویه انحراف گروه پایه‌ها بر عمق آبستگي در سه قطر نسبي کابل و سه زاویه پیش کابل برای شرایط یک ردیفه



شکل ۹. مقایسه پژوهش حاضر با محققین دیگر

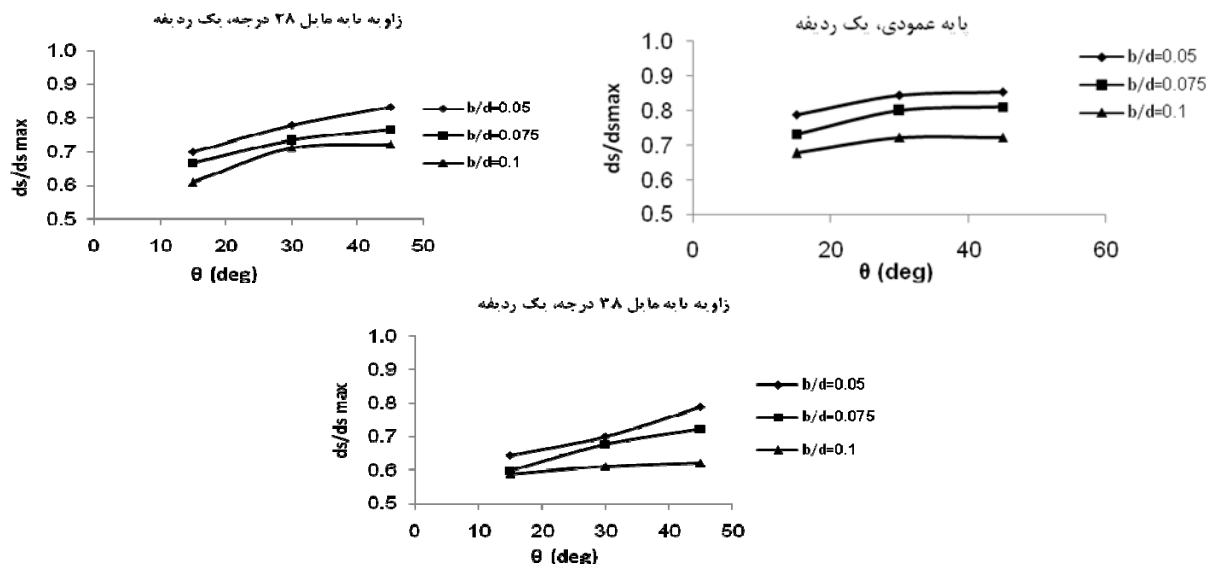
شکل (۹) زاویه مایل در پایه استوانه‌ای در حالت بدون کابل در مقایسه با نتایج بوزکوز و همکاران را نشان می‌دهد. همان‌گونه که از این نمودار مشاهده می‌شود با افزایش زاویه مایل پایه از حالت عمودی، عمق آبستگي نسبي کاهش می‌یابد. نتایج حاصل از این نمودار، تطابق مناسب این پژوهش با پژوهش‌های محققین دیگر را نشان می‌دهد.

تأثیر زاویه پیش کابل بر عمق آبستگي

شکل (۱۰) نمودار بدون بعد عمق آبستگي نسبي و زاویه پیش کابل به دور پایه استوانه‌ای در شرایط نصب کابل در سه زاویه پیش کابل ۱۵، ۳۰ و ۴۵ درجه، سه قطر نسبي کابل

حالت قائم باعث تضعیف قدرت جریان‌های گردابی در اطراف پایه شده که در نتیجه باعث کاهش عمق آبستگي در اطراف پایه می‌شود. مطابق جدول (۱) در زاویه کابل ۱۵ درجه و سه ردیفه بیشترین درصد کاهش عمق آبستگي در پایه عمودی و گروه پایه مایل ۲۸ و ۳۸ درجه، به ترتیب حدود ۴۳، ۴۹ و ۵۶ درصد در قطر نسبي کابل ۰/۱ مشاهده شده است. بنابراین در شرایط یکسان بیشترین درصد کاهش عمق آبستگي در گروه پایه مایل ۳۸ درجه در حدود ۵۶ درصد به دست آمد.

به منظور مقایسه تأثیر زاویه مایل گروه پایه بر عمق آبستگي نسبي در پژوهش حاضر با سایر محققین، از نتایج پژوهش‌های بوزکوز و همکاران استفاده شد (۱۳). با توجه به



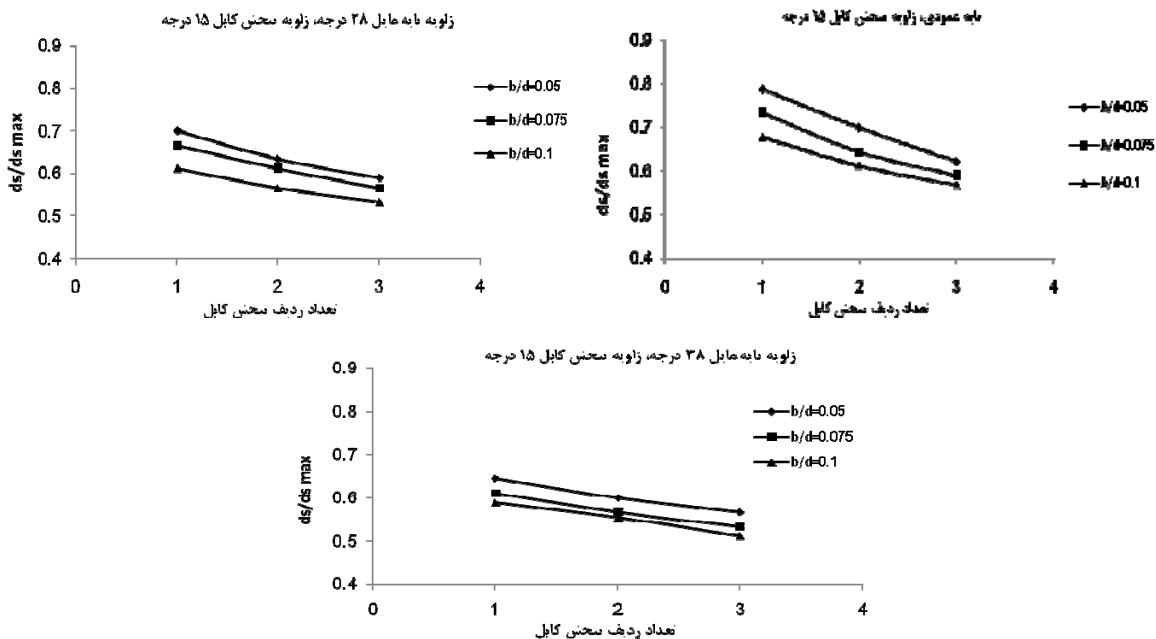
شکل ۱۰. تأثیر زاویه پیچش کابل به دور پایه بر عمق آبخستگی در سه قطر نسبی کابل و به صورت یک ردیفه

بیشترین درصد کاهش عمق آبخستگی به ترتیب ۴۹، ۴۶ و ۴۵ و برای گروه پایه مایل ۳۸ درجه به ترتیب ۵۶، ۵۲ و ۵۱ درصد در قطر نسبی کابل ۰/۱ مشاهده شده است. لذا بیشترین درصد کاهش عمق آبخستگی در پایه عمودی و گروه پایه‌ها در قطر نسبی ۰/۱ و در شرایط سه ردیفه و در زاویه ۱۵ درجه به ترتیب در حدود ۴۳، ۴۹ و ۵۶ درصد مشاهده می‌شود. بنابراین در استفاده از کابل بهتر است از زاویه کمتر به منظور کاهش آبخستگی در اطراف پایه استفاده شود.

تأثیر تعداد ردیف کابل به دور پایه بر عمق آبخستگی

شکل (۱۱) نمودار بدون بعد عمق آبخستگی نسبی و تعداد ردیف‌های پیچش کابل به دور پایه استوانه‌ای در شرایط نصب کابل در سه ردیف یک، دو و سه دور با سه قطر نسبی کابل ۰/۰۵، ۰/۰۷۵ و ۰/۱ در زاویه پیچش ۱۵ درجه برای سه حالت قرارگیری پایه عمودی و گروه پایه با زاویه مایل ۲۸ و ۳۸ درجه عمود بر مسیر جریان نشان می‌دهد. همان‌گونه که در شکل مشاهده می‌شود تعداد ردیف‌های پیچش کابل به دور پایه با عمق آبخستگی نسبت عکس دارد و در کلیه شرایط نصب کابل، با افزایش تعداد ردیف‌های پیچش کابل در اطراف پایه

۰/۰۵، ۰/۰۷۵ و ۰/۱ و به صورت یک ردیفه برای سه حالت قرارگیری پایه عمودی و گروه پایه با زاویه مایل ۲۸ و ۳۸ درجه عمود بر مسیر جریان نشان می‌دهد. همان‌گونه که در اشکال مشاهده می‌شود زاویه پیچش کابل با عمق آبخستگی نسبت مستقیم دارد و در کلیه شرایط نصب کابل با قطرهای مختلف کابل، با افزایش زاویه پیچش کابل در اطراف پایه استوانه‌ای در سه حالت پایه عمودی و گروه پایه‌ها، باعث افزایش عمق آبخستگی در اطراف پایه‌ها می‌شود. از آنجایی که وجود پایه در مسیر جریان باعث تشکیل جریان‌های گردابی در اطراف آن شده و این جریان‌ها مکانیسم اصلی آبخستگی در اطراف بستر پایه می‌شود، لذا نصب کابل و افزایش زاویه پیچش آن در اطراف پایه، باعث وجود مانع و تغییر ناگهانی در مسیر جریان شده و در نتیجه جریان‌های گردابی در پایین دست و بالادست پایه قوی‌تر شده و در نتیجه باعث افزایش توان حمل رسوب بار بستر و آبخستگی در اطراف پایه استوانه‌ای می‌شود (۱۲، ۴ و ۵). مطابق جدول (۱) پایه عمودی در زاویه کابل ۱۵، ۳۰ و ۴۵ درجه و سه ردیفه بیشترین درصد کاهش عمق آبخستگی، به ترتیب ۴۳، ۴۱ و ۴۰ درصد در قطر نسبی کابل ۰/۱ مشاهده شده است. همچنین در شرایط یکسان در گروه پایه مایل ۲۸



شکل ۱۱. تأثیر تعداد ردیف پیچش کابل به دور پایه بر عمق آبشستگی در سه ردیف یک، دو و سه دور با سه قطر نسبی کابل در زاویه پیچش ۱۵ درجه

درصد مشاهده می شود.

نتیجه گیری

در این پژوهش آزمایش‌ها به منظور بررسی عمق آبشستگی در اطراف پایه استوانه‌ای عمودی و گروه پایه با زاویه مایل با نصب کابل با قطر نسبی ۰/۰۵، ۰/۰۷۵ و ۰/۱، سه زاویه پیچش ۱۵، ۳۰ و ۴۵ درجه در سه ردیف یک، دو و سه دور و مقایسه آن با حالت بدون کابل در مسیر مستقیم با دبی ۱۷ لیتر بر ثانیه انجام گرفت. متغیرهای مؤثر در این پژوهش قطر، زاویه پیچش و تعداد ردیف کابل در دو نوع پایه عمودی و گروه پایه با دو زاویه مایل ۲۸ و ۳۸ درجه بود. نتایج این پژوهش 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. در شرایط یکسان بیشترین درصد کاهش عمق آبشستگی در گروه پایه مایل ۳۸ درجه در حدود ۵۶ درصد به دست آمد. بیشترین درصد کاهش عمق آبشستگی در پایه عمودی و گروه پایه‌ها در قطر نسبی ۰/۱ و

استوانه‌ای، عمق آبشستگی نسبی کاهش می‌یابد. از آنجایی که وجود پایه در مسیر جریان باعث تشکیل جریان‌های گردابی در اطراف آن شده و این جریان‌ها مکانیسم اصلی آبشستگی در اطراف بستر پایه می‌شود، لذا افزایش تعداد دور پیچش کابل به دور پایه، طول بیشتری از کابل در مسیر جریان قرار گرفته و در نتیجه باعث تضعیف جریان‌های گردابی و کاهش عمق آبشستگی در اطراف پایه استوانه‌ای می‌شود (۴، ۵، ۱۲). مطابق جدول (۱) پایه عمودی در زاویه کابل ۱۵ درجه و برای یک، دو و سه ردیفه بیشترین درصد کاهش عمق آبشستگی، به ترتیب ۳۲، ۳۹ و ۴۳ درصد در قطر نسبی کابل ۰/۱ مشاهده شده است. همچنین در شرایط یکسان در گروه پایه مایل با زاویه ۲۸ درجه، بیشترین درصد کاهش عمق آبشستگی به ترتیب ۳۷، ۴۴ و ۴۹ و برای گروه پایه مایل با زاویه ۳۸ درجه به ترتیب ۴۲، ۴۹ و ۵۶ درصد در قطر نسبی کابل ۰/۱ مشاهده شده است. لذا بیشترین درصد کاهش عمق آبشستگی در پایه عمودی و گروه پایه‌ها در قطر نسبی ۰/۱ و زاویه ۱۵ درجه در حالت سه دور به ترتیب در حدود ۴۳، ۴۹ و ۵۶

سپاسگزاری

از مساعدت مسئولین محترم دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز به‌منظور قرار دادن امکانات، تسهیلات و کمک‌های مالی در این پژوهش تشکر و قدردانی می‌شود.

در شرایط سه ردیفه و در زاویه ۱۵ درجه به‌ترتیب در حدود ۴۳، ۴۹ و ۵۶ درصد مشاهده می‌شود. در زاویه کابل ۱۵ درجه و سه ردیفه بیشترین درصد کاهش عمق آبشستگی در گروه پایه مایل ۲۸ و ۳۸ درجه، به‌ترتیب حدود ۴۹ و ۵۶ درصد در قطر نسبی کابل ۰/۱ مشاهده شده است.

منابع مورد استفاده

1. Aghli, M. and M. Zomorodian. 2013. Effect of collar and cable on the depth of scouring around the bridge at the river bend. *Iranian Journal Irrigation Science and Engineering (Agricultural Science Journal)* 36(3): 31-40. (In Farsi).
2. Breusers H. N. C., G. Nicollet and H. W. Shen. 1977. Local scour around cylindrical piers. *Journal of Hydraulic Research, IAHR* 15(3): 211-252.
3. Chiew, Y. M. and B. W. Melville. 1987. Local scour around bridge piers. *Journal of Hydraulic Research* 25(1):15-26.
4. Dey, S., B. M. Sumer and J. Fredsoe. 2006. Control of scour at vertical circular piles under waves and current. *Journal of Hydraulic Engineering* 132: 270-279.
5. Izadinia, E. and M. Heidarpour. 2012. Simultaneous use of cable and collar to prevent local scouring around bridge pier. *International Journal Sediment Research* 27(2012): 394-401.
6. Khwairakpam, P. and A. Mazumdar. 2009. Local scour around hydraulic structures. *International Journal of Recent Trends in Engineering* 1(6): 59-61.
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. Oliveto, G. and W. H. Hager. 2002. Temporal evolution of clear-water pier and abutment scour. *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE* 128(9): 811-820.
9. Quazi, M. E. and A. W. Peterson. 1973. A method for bridge pier riprap design. In: Proceedings of the First Canadian Hydraulics Conference, CSCE, Edmonton, AB, PP: 96-106.
10. Raudkivi, A. J. 1998. Loose boundary hydraulics. 4th Edition. Rotterdam; Brookfield, VT: Balkema.
11. Raudkivi, A. J. and R. Ettema. 1983. Clear-water scour at cylindrical piers. *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE* 109(3): 338-350.
12. Zomorodian, M. and M. Aghili. 2014. Effect of collar and cable on the depth of scouring around the group bridge at the river bend. *Iranian Journal of Soil and Water Research* 45(1): 1-10.
13. Zafer Bozkus, Z. and M. Murat Cesme. 2010. Reduction of scouring depth by using inclined piers, *Canada Journal Civil Engineering* 37: 1621-1630.

Investigation of the Effect of Cable on the Control of Scour around the Piles Group in the River

H. Davodi^{1,2}, A. R. Masjedi^{2*}, M. Heidarnejad², A. Bordbar² and A. A. Kamanbedast²

(Received: January 21-2018 ; Accepted: May 27-2018)

Abstract

In this study, some experiments were carried out in a rectangular plexiglass flume to study the effect of the cable around a vertical tripod and two piles groups with different angles. In this research, a series of experiments were performed by placing a cylindrical vertical pile and two piles groups with different angles separately in two modes including with cable and without cable. The experiments were carried out using three types of cable with various diameters, number of threads and thread angles at a constant discharge in clear water. In each experiment, scour depth at the end of the test was measured; then, the scour depth was calculated in different conditions using the obtained data. The best configuration in the vertical pier and piers group was found for the cable-pier diameter ratio of 0.1, the thread angle of 15° and the triple threads. The result indicated that the scour reduction was enhanced as the cable diameter and threads were increased and the thread angle was decreased. So in the piers group of 28 and 38°, scour depth was reduced to about 43, 49 and 56%.

Keywords: Cable, Scour depth, Piles group, Sediment

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

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

*: Corresponding Author, Email: drmasjedi.2007@yahoo.com