

بررسی نواحی مختلف آبشستگی نسبت به سرعت جریان در پایه پایین دست در جفت پایه‌ها و تاثیر روش حفاظتی کابل بر این نواحی

حامد شهسواری^۱، سبحان مرادی^۲، سعیدرضا خدائشاناس^{۳*}

۱. دانشجوی دکتری سازه‌های آبی، گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد
۲. دانشجوی دکتری سازه‌های آبی، گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد
۳. استاد گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه فردوسی مشهد

* khodashenas@ferdowsi.um.ac.ir

تاریخ دریافت: ۹۸/۱/۱۹ تاریخ پذیرش: ۹۸/۱۰/۹

چکیده

همه ساله پل‌های زیادی در سراسر جهان تخریب می‌شوند. بسیاری از پل‌ها به دلیل ملاحظات سازه‌ای و ابعاد بزرگ آن‌ها روی گروه پایه‌ها استوار هستند. سازوکار ایجاد شده در فرآیند آبشستگی در گروه پایه‌ها باعث پیچیده‌تر شدن آن نسبت به تک پایه می‌شود. این پژوهش در شرایط آبشستگی آب‌زلزال روی پایه‌های استوانه‌ای انجام شد. در این پژوهش روند آبشستگی پایه پایین دست بر اساس سرعت جریان بررسی شد. اطراف پایه پایین دست را می‌توان بر اساس مقدار سرعت جریان به چهار ناحیه تقسیم کرد: ۱- ناحیه بدون آبشستگی ۲- ناحیه آبشستگی هم‌زمان ۳- ناحیه انتقالی، ۴- ناحیه انحرافی. در ادامه با اعمال کابل پیچیده شده در پایه‌ها به تأثیر این روش در کاهش آبشستگی در دو پایه و همچنین تأثیر کابل در نواحی بوجود آمده در پایه پایین دست پرداخته شد. نتایج کاهش آبشستگی در اطراف پایه‌ها را با اعمال کابل نشان می‌داد. همچنین عمق آبشستگی در پایه پایین دست کمتر از پایه بالادست بود و با به کارگیری کابل درصد کاهش آبشستگی پایه پایین دست نسبت به بدون کابل در پایه پایین دست با فاصله ۳D و ۵D به ترتیب ۷ و ۲۶٪ است. بر این اساس با کاهش عمق آبشستگی در سرعت‌های مختلف با به کارگیری کابل، نواحی به وجود آمده در پایه پایین دست دچار تغییرات قابل توجه شد به شکلی که ناحیه آبشستگی هم‌زمان در بازه سرعت موجود از بین رفت.

واژه‌های کلیدی: آبشستگی موضعی، گروه پایه، روش حفاظتی، پایه پایین دست، نواحی آبشستگی

۱- مقدمه

پژوهشی و علمی تهیه شود و با رعایت آن به سرمایه‌گذاری اقدام شود. در اثر عبور جریان آب، در پایه‌های سازه‌های هیدرولیکی به علت شدت جریان زیاد و در اثر به وجود آمدن جریان‌های متلاطم موضعی، فرسایش بستر به وجود می‌آید. احداث پل در رودخانه همواره با فرایند فرسایش و آبشستگی

ایجاد تأسیسات آبی در مجاورت رودخانه‌ها از قبیل ایستگاه‌های تأمین آب کشاورزی، شرب و ساحل‌سازی، دیواره‌های ساحلی، پل‌ها و منابع آبی، ایجاب می‌کند که اطلاعات لازم با بررسی‌های

زراتی و همکاران، اتما و همکاران و بهشتی و عطایی آشتیانی اشاره نمود [4, 5, 6, 7].

هانا [8] مطالعات خود را در زمینه آبشستگی در گروه پایه‌های دوتایی با استفاده از پایه‌های استوانه‌ای در جریان دائمی و در شرایط آب زلال و با استفاده از رسوبات یکنواخت با قطر متوسط 0.78 میلی‌متر انجام داد. آزمایش‌ها در ابتدا برای تک پایه استوانه‌ای انجام شد که نتایج آن برای مقایسه با گروه پایه‌ها به کار رفت. نتایج نشان داد که 80% عمق متعادل آبشستگی بعد از مدت ۷ ساعت اتفاق می‌افتد و از این رو تمام آزمایش‌ها در مدت ۷ ساعت انجام شدند. سرعت برشی جریان در آزمایش‌های هانا 72% مقدار بحرانی آن در آستانه حرکت ذرات رسوب بود.

عطایی آشتیانی و بهشتی [9] آرایش متفاوت گروه پایه‌ها را در شرایط آب‌زالال بررسی کردند. نتایج مطالعه آنها نشان داد؛ آبشستگی گروه پایه‌ها متفاوت از تک پایه بوده و بستگی به فاصله پایه‌ها دارد. هرچه فاصله پایه‌ها کمتر باشد اثر متقابل پایه‌ها بیشتر شده و زمانی که نسبت فاصله پایه به قطر پایه کوچکتر و یا مساوی 0.15 باشد، گروه پایه مانند تک پایه رفتار می‌کند و زمانی که این نسبت بزرگتر از دامنه ۲ تا ۴ باشد، بسته به نوع آرایش پایه‌ها اثر متقابل پایه‌ها حذف می‌شود.

در مطالعه‌ای در سال (۱۳۸۶) تأثیر استفاده از شکاف مستطیلی در کنترل و کاهش آبشستگی موضعی در گروه پایه‌های دو و سه‌تایی استوانه‌ای واقع در امتداد یک خط در شرایط آب-زالال بررسی شده، نتایج نشان داده است که عملکرد شکاف در پایه‌های عقبی گروه پایه‌های دو و سه‌تایی با فاصله چهار برابر قطر پایه بیشتر از پایه‌های جلویی و تک پایه هستند. همچنین عملکرد شکاف در گروه پایه‌های دو و سه‌تایی با فاصله دو برابر قطر پایه‌ها، برای کلیه پایه‌ها یکسان و برابر تک پایه است. با افزایش فاصله بین پایه‌ها، در گروه پایه‌های دو و سه‌تایی عملکرد شکاف در پایه جلویی به علت کاهش عامل تقویت‌کننده

بررسی نواحی مختلف آبشستگی نسبت به سرعت جریان در پایه... در پایه آن همراه است. برخورد خطوط جریان و جدایی آن‌ها از پایه، سیستم‌های گردابی در اطراف پایه ایجاد می‌کند. الگوی جریان سه بعدی اطراف پایه متشکل از جریان رو به پایین ۱ و دو نوع سیستم گردابی (گرداب نعل‌اسبی ۲ و برخاستگی ۳) پارامترهای مهم در فرآیند آبشستگی هستند [1].

تاکنون بیشتر پژوهشگران الگوی جریان در اطراف تک پایه-ها را مورد مطالعه قرار داده‌اند. که بر این اساس از نظر ملویل و چپو [2] زمان تعادل بستگی به نسبت سرعت جریان به سرعت بحرانی u/u_c و نسبت عمق جریان به قطر پایه دارد. توسعه زمانی عمق آبشستگی با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود.

$$\frac{d_s}{d_{se}} = \exp\left(-0.03 \left| \frac{u_c}{u} \ln\left(\frac{t}{t_c}\right) \right| \right) \quad (1)$$

همچنین نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که بعد از گذشت 10% زمان تعادل، بسته به سرعت جریان، 50 تا 80 درصد عمق متعادل آبشستگی توسعه پیدا می‌کند.

بارکدول [3] با تکیه بر داده‌های ملویل و چپو [2] رابطه رگرسیونی زیر را برای تخمین عمق آبشستگی نسبت به زمان ارائه نمود:

$$\frac{d_s}{d_{se}} = \exp\left(-0.03 \left| \frac{u_c}{u} \ln\left(\frac{t}{t_c}\right) \right| \right) \quad (2)$$

که در این روابط d_s عمق آبشستگی در هر لحظه، d_{se} عمق آبشستگی نهایی، u_c سرعت بحرانی، u سرعت متوسط، t زمان، t_c زمان تعادل است.

با این حال بررسی در زمینه گروه پایه‌ها کمتر مورد توجه بوده است. پدیده‌های مهمی که به دلیل وجود گروه پایه‌ها ایجاد می‌شوند عبارت‌اند از: پدیده حفاظ بودن، پدیده تقویت‌کننده، گرداب‌های نعل‌اسبی به هم فشرده‌شده و گرداب‌های جاری ۷. تأثیر پدیده‌های فوق با تغییر فاصله بین پایه‌ها، تعداد پایه‌ها و نیز زاویه برخورد آب با پایه‌ها تغییر خواهند کرد. در زمینه مطالعه آبشستگی در گروه پایه‌ها می‌توان به مطالعات بایرام و لارسن و

5. reinforcing
6. horse-shoe vortex compression
7. shed vortices

1. down flow
2. horse-shoe vortex
3. wake vortex
4. sheltering

آبشستگی برای طیف وسیعی از گروه‌های شمع مستغرق و غیرمستغرق توسعه دادند. احمد نوردیلا [15] معادلاتی را برای تخمین عمق حداکثر آبشستگی برای یک پایه استوانه‌ای عریض قرار داده شده در رسوب یکنواخت پیشنهاد کرده است. بهشتی و آشتیانی [16] جریان آشفته در اطراف پایه‌های پل با یک حفره آبشستگی توسعه یافته را توسط اندازه گیری سرعت لحظه‌ای با استفاده از ADV مورد مطالعه قرار دادند. آن‌ها با استفاده از سرعت‌های متوسط زمانی و تنش برشی رینولدز در صفحات مختلف افقی و در بخش‌های مختلف طولی و عرضی، الگوی جریان در اطراف پایه‌های پل رو بررسی کردند.

سمیرا سعادت و همکاران [17] تاثیر موقعیت قرارگیری آستانه در جلو، میانه و پایین دست گروه پایه کج مستقر بر روی فونداسیون مستطیلی که در ترازهای مختلف نسبت به بستر رسوبی قرار داده شد، تحت شرایط مختلف هیدرولیکی مورد بررسی قرار دادند. مقایسه نتایج نشان داد که از میان موقعیت‌های مختلف استقرار آستانه، آستانه انتهایی تأثیر معنی داری بر کاهش آبشستگی در ترازهای مختلف کارگذاری فونداسیون، سرعت‌های نسبی و عمق جریان نداشت تجزیه و تحلیل مقادیر حداکثر عمق آبشستگی برای شرایطی که فونداسیون در زیر بستر بود حاکی از آن است که به‌طور متوسط استقرار آستانه در بالادست فونداسیون باعث کاهش ۲۰ درصد و کارگذاری آن در قسمت میانی منجر به کاهش ۱۶ درصد آبشستگی می‌شود.

بسیاری از پل‌ها به دلیل ملاحظات سازه‌ای و ابعاد بزرگ آن‌ها روی گروه پایه‌ها استوار هستند. سازوکارهای ایجاد شده در فرآیند آبشستگی در گروه پایه‌ها باعث پیچیده‌تر شدن آن نسبت به تک پایه می‌شود. از همین رو با توجه به سرعت‌های مختلف جریان در طبیعت هدف اصلی این پژوهش بررسی روند آبشستگی موضعی پایه پایین دست براساس سرعت‌های جریان مختلف است، که مطالعات بسیار اندکی در مورد این موضوع صورت گرفته است. جنبه دیگر جدید بودن مطالعه، اعمال کابل به عنوان یک روش حفاظتی روی پایه‌ها است. که به بررسی اثر کابل بر روند زمانی آبشستگی و کاهش عمق آبشستگی در گروه پایه پرداخته است تا در آخر تأثیر این روش حفاظتی بر روند

و در پایه‌های عقبی به علت کاهش تأثیر گرداب‌های جاری، افزایش می‌یابد [10].

استفاده از کابل‌های پیچیده شده به دور پایه برای اولین بار توسط دی و همکاران [11] به عنوان یک روش اقتصادی، ساده و قابل اجرا در کنترل و کاهش آبشستگی پیشنهاد شد. در این روش کابل به صورت حلزونی به دور پایه پیچیده شده و منجر به تضعیف جریان رو به پایین و قدرت گردابه‌های نعل اسبی می‌شود. آن‌ها کارایی کابل پیچیده شده به دور پایه را در شرایط جریان موج‌دار و جریان پایدار بررسی کردند. همچنین در جریان موج‌دار راندمان کابل پیچیده شده به دور پایه و صفحه جدا کننده متصل شده به پایه را مورد مقایسه قرار دادند. مقدار کاهش عمق آبشستگی در هنگام استفاده از صفحه جدا کننده ۶۱/۶ و برای کابل پیچیده شده به دور پایه در بهترین حالت که در نسبت قطر کابل به قطر پایه برابر ۰/۷۵ بود، برابر ۵۱/۱ درصد گزارش گردید. آن‌ها آزمایش‌هایی را در شرایط جریان پایدار در کانالی به طول ۲۰ متر، عرض ۰/۹ متر و عمق ۰/۷ متر با قطر پایه برابر ۲۰ سانتی‌متر و اندازه متوسط ذرات برابر با ۰/۲۶ میلی‌متر انجام دادند. نتایج آن‌ها نشان داد با افزایش قطر کابل و تعداد کابل‌های پیچیده شده به دور پایه و کاهش زاویه کابل‌ها میزان آبشستگی کاهش می‌یابد. بیشترین مقدار کاهش آبشستگی برابر ۴۶/۳ درصد برای شرایطی که زاویه کابل برابر ۹۱۵° و نسبت قطر کابل به پایه برابر ۰/۱ است گزارش شد.

پاگلارا و همکاران [12]، به بررسی کاربرد آستانه گابیونی در پایین دست برای حفاظت از آبشستگی پایه پل پرداختند. نتایج به دست آمده حاکی از آن است که آستانه فرایند آبشستگی را کند نموده و به تأخیر می‌اندازد ولی، در صورت توسعه آبشستگی به زیر آستانه، آبشستگی با سرعت پیش رفته و به همان عمق چاله بدون آستانه می‌رسد.

لانکا و همکاران [13] تأثیر مدت زمان آزمایش، زاویه مورب و گروه شمع‌های محافظتی را در عمق آبشستگی برای یک گروه پایه بررسی کردند. امینی و همکاران [14] به طور تجربی و در شرایط آبشستگی آب‌زلال مشاهده کردند که عمق آبشستگی وابسته به قطر پایه، فاصله پایه‌ها، و نسبت استغراق پایه‌ها می‌باشد. همچنین آن‌ها یک روش برای پیش‌بینی عمق

از جنس تفلون به طول ۱ متر و ارتفاع ۰/۱ متر نصب شد، تا تغییر تراز مشهودی در بین سطح انجام آزمایش با کف کانال ایجاد نشود. دبی‌های مختلف، با استفاده از وسیله‌ی کنترل دور (دستگاه اینورتور) به مدل VFD-M که به طور مستقیم به پمپ کانال متصل شده بود، تولید شدند. این دستگاه با تغییر در فرکانس پمپ، جریان ورودی متفاوت بین ۸ تا ۱۸ لیتر بر ثانیه را ایجاد می‌کرد. در شکل (۱) نمایی از کانال و وسایل مورد استفاده نشان داده شده است.

بررسی نواحی مختلف آبشستگی نسبت به سرعت جریان در پایه... آبشستگی پایه پایین دست بر اساس سرعت‌های جریان مختلف مشاهده شد.

۲- مواد و روش‌ها

۱-۲- فلوم و تجهیزات آزمایش

آزمایش‌های این پژوهش در آزمایشگاه هیدرولیک گروه مهندسی آب دانشگاه فردوسی مشهد انجام شد. برای انجام این پژوهش از یک کانال با عرض و ارتفاع ۳۰ و ۵۰ سانتی‌متر به طول ۱۰ متر استفاده شد. منطقه انجام آزمایش‌ها در کانال، دارای طول ۱ متر و ارتفاع بستر ۱۰ سانتی‌متر بود که از ابتدای کانال ۶ متر فاصله داشت. در بالادست و پایین دست این محل، سکوهایی

شکل ۱. نمایی از الف) کانال آزمایشگاه ب) اینورتور

(ب)

(الف)



(B)

(A)

Fig. 1. A view of (A) the laboratory channel (B) inverter

جریان به سرعت بحرانی (u/u_c) حدوداً کمتر از ۰/۹ انجام شدند [20].

بنابراین برای تعیین سرعت بحرانی ذرات، آزمایشی بدون حضور پایه در کانال انجام شد. جریان با دبی ۱۸ لیتر بر ثانیه و عمق ۲۳ سانتی‌متر در کانال برقرار شد در این عمق هیچ حرکتی در ذرات بستر مشاهده نشد. پس از آن با استفاده از دریچه خوابان عمق آب در کانال به تدریج کاهش یافت. عمقی که در آن ذرات شروع به حرکت نمودند به عنوان عمق بحرانی در نظر گرفته شد که این عمق معادل ۱۷/۵ سانتی‌متر بود و بنابر اصل پیوستگی $u = \frac{Q}{Bh}$ ، عرض کانال است. سرعت بحرانی بدست آورده می‌شود:

$$h_c = 17.5 \text{ cm} \rightarrow u_c = 34.29 \text{ cm/s}$$

۲-۲- شرایط و مشخصات آزمایشات

طبق نظریه رادکیوی و اتما [18] برای جلوگیری از تشکیل ریل در طول آزمایش باید قطر متوسط ذرات بیش از ۰/۷ میلی‌متر باشد. همچنین زمانی که انحراف معیار هندسی ذرات کمتر از ۱/۳ است می‌توان از تأثیر غیریکنواختی ذرات بر عمق آبشستگی چشم‌پوشی کرد. بنابراین طبق معیارهای فوق از رسوبات غیر چسبنده با قطر متوسط ۰/۷۲ میلی‌متر، وزن مخصوص ۲/۶۵ گرم بر سانتی‌متر مکعب و انحراف معیار هندسی ۱/۱۲ استفاده شد. لانکا و همکاران [19] مشاهده کردند که آثار انقباض در $B/D \geq 5$ (عرض کانال و قطر پایه) بر عمق آبشستگی بی‌اثر است، بنابراین در این پژوهش این مقدار برابر با ۱۰ در نظر گرفته شد که بر این اساس قطر پایه استوانه‌ای از جنس پلاستیک تفلون ۳ سانتی‌متر بدست آمد. برای بررسی نواحی بوجود آمده در اطراف پایه پایین دست همه آزمایش‌ها در شرایط نسبت سرعت

مشخصات کابل با نسبت $b/D=0.15$ (b ضخامت کابل و D قطر پایه) و با زاویه پیچش ۱۵ درجه به دور پایه انتخاب شد. پس در این مطالعه با توجه به قطر پایه، قطر کابل برابر با $4/5$ میلی متر در نظر گرفته شد. شکل قرارگیری پایه‌ها و چگونگی پیچش کابل در شکل (۲) آورده شده است.

پس از آن با افزایش عمق جریان تا جایی که ذرات حرکتی نداشته باشند، عمق نرمال تعیین شد که بر این اساس عمق جریان ۱۹ سانتی متر در نظر گرفته شد.

همچنین به منظور بررسی تاثیر کابل در کاهش آبشستگی در اطراف پایه‌ها و اثر گذاری آن در روند آبشستگی پایه پایین دست نسبت به سرعت جریان، با توجه به آزمایش‌های انجام گرفته توسط ایزدی‌نیا و حیدرپور [21] بهترین عملکرد کابل در آزمایش‌ها آن‌ها انتخاب شد. طبق گزارشات انجام شده

شکل ۲. الف) شکل شماتیک کابل پیچیده شده (ایزدی‌نیا و حیدرپور ۱۳۹۳) ب) مدل کابلی آزمایش ج) مدل ساده آزمایش

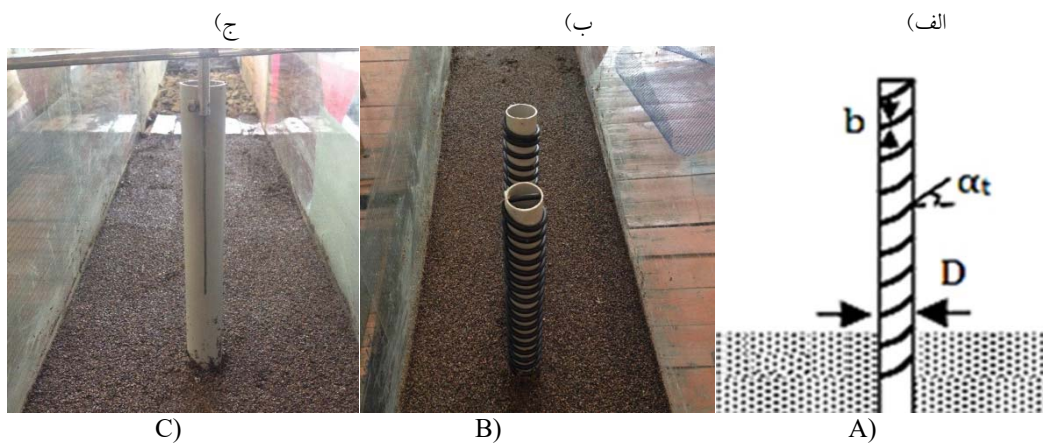


Fig. 2. A) Schematic shape of Cable wrapped B) Cable test model C) Simple test model

مشخصات آزمایش‌های انجام گرفته شده هم برای پایه‌های شاهد و هم برای پایه‌های کابل دار مطابق جدول (۱) آورده شده‌اند.

جدول ۱. مشخصات آزمایشات انجام شده

Control pier						Pier with cable					
case	Q (l/s)	h (cm)	u (cm/s)	L/D	U/Uc	Case	Q (l/s)	h (cm)	u (cm/s)	L/D	U/UC
1	8	19	14.03	-	0.40	37	8	19	14.03	3	0.40
2	8.46	19	14.84	-	0.43	38	8.5	19	14.91	3	0.43
3	9.2	19	16.14	-	0.47	39	9	19	15.78	3	0.46
4	9.61	19	16.85	-	0.49	40	9.5	19	16.66	3	0.48
5	9.97	19	17.49	-	0.51	41	10	19	17.54	3	0.51
6	10.5	19	18.42	-	0.53	42	11	19	19.29	3	0.56
7	12.3	19	21.57	-	0.62	43	12.5	19	21.92	3	0.63
8	14.28	19	25.05	-	0.73	44	14.6	19	25.61	3	0.74
9	15.4	19	27.01	-	0.78	45	15.7	19	27.54	3	0.80
10	16.5	19	28.94	-	0.84	46	16.2	19	28.42	3	0.82
11	17.2	19	30.17	-	0.88	47	17.1	19	30	3	0.87
12	18	19	31.57	-	0.92	48	18	19	31.57	3	0.92

13	8	19	14.03	3	0.40	49	8	19	14.03	5	0.40
14	8.5	19	14.91	3	0.43	50	8.6	19	15.08	5	0.44
15	9.31	19	16.33	3	0.47	51	9.2	19	16.14	5	0.47
16	9.77	19	17.14	3	0.49	52	9.7	19	17.01	5	0.49
17	10.1	19	17.71	3	0.51	53	10.5	19	18.42	5	0.53
18	11	19	19.29	3	0.56	54	11.6	19	20.35	5	0.59
19	12.45	19	21.84	3	0.63	55	12.6	19	22.10	5	0.64
20	14.22	19	24.94	3	0.72	56	14.8	19	25.96	5	0.75
21	15.65	19	27.45	3	0.80	57	15.5	19	27.19	5	0.79
22	16.31	19	28.61	3	0.83	58	16.3	19	28.59	5	0.83
23	17.6	19	30.87	3	0.90	59	17	19	29.82	5	0.86
24	18	19	31.57	3	0.92	60	18	19	31.57	5	0.92

۳- نتایج و بحث

با توجه به اینکه عمق آبشستگی با زمان افزایش می‌یابد، روند افزایش عمق آبشستگی در ابتدای آزمایش زیاد و به مرور زمان کم‌تر می‌شود به طوری که بیشترین درصد عمق نهایی آبشستگی در ساعات اولیه اتفاق می‌افتد. از این رو معمولاً زمان انجام آزمایش‌ها کم‌تر از زمان تعادل آبشستگی انتخاب می‌شود که در این پژوهش زمان ۶ ساعت به عنوان زمان توقف آزمایش‌ها در نظر گرفته شد.

در شکل (۳) توسعه زمانی عمق آبشستگی در پایه شاهد با نتایج بدست آمده از رابطه (۱) و رابطه (۲) مقایسه شده است.

Control pier					
case	Q (l/s)	h (cm)	u (cm/s)	L/D	U/Uc
25	8	19	14.03	5	0.40
26	8.4	19	14.73	5	0.42
27	9.2	19	16.14	5	0.47
28	9.8	19	17.19	5	0.50
29	10.2	19	17.89	5	0.52
30	11.2	19	19.64	5	0.57
31	12.5	19	21.92	5	0.63
32	14.1	19	24.73	5	0.72
33	15.7	19	27.54	5	0.80
34	16.4	19	28.77	5	0.83
35	17.4	19	30.52	5	0.89
36	18	19	31.57	5	0.92

Table 1. Specifications of tests performed

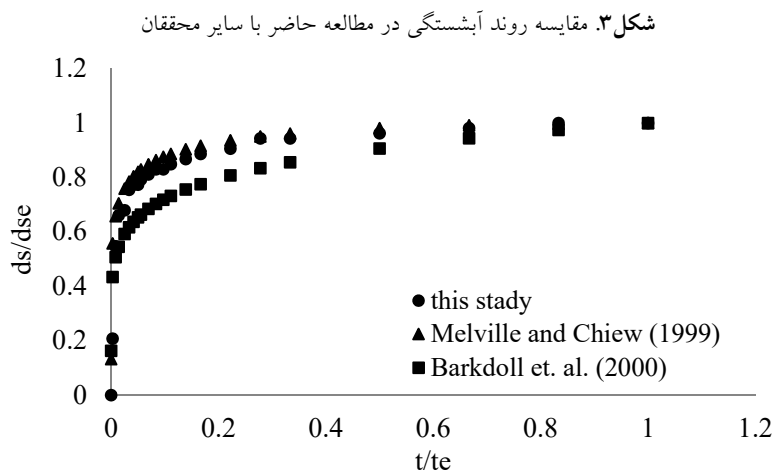


Fig. 3. Comparison of scouring process in this study with other researchers

بدست آمده از آزمایش‌های حاضر هماهنگی خوبی با نتایج بدست آمده از مطالعات ملویل و چیو [2] دارد و به نتایج بارکدول [3] نزدیک است. این تشابه تأیید می‌کند که آزمایش‌ها

در شکل (۳) محور عمودی برحسب نسبت عمق گودال آبشستگی در هر لحظه به عمق نهایی آبشستگی و محور افقی برحسب زمان بی‌بعد است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود نتایج

همان‌گونه که در شکل ۴ (الف و ۵ الف) مشاهده می‌شود، مقایسه روند آبستگی برای جفت پایه به فاصله ۳D و ۵D با تک پایه نشان می‌دهد که کاهش عمق آبستگی پایه عقبی در اثر پدیده حفاظت کننده پایه اول در تمام مدت آزمایش نمایان است. اما روند آبستگی در پایه جلویی و تک پایه حدوداً یکسان است که احتمالاً به دلیل فاصله قرار گیری پایه‌ها نسبت به هم موجب شده است که پدیده تقویت کننده اثر چندانی در افزایش عمق آبستگی پایه جلویی نداشته باشد.

در شرایط مناسبی انجام شده است. اختلاف اندک با روند آبستگی مطالعه حاضر با مطالعه بارکدول [3] به دلیل تفاوت در شرایط آزمایشگاهی است.

۳-۱- بررسی روند آبستگی و میزان اثر بخشی کابل

شکل‌های (۴ و ۵) روند آبستگی را برای گروه پایه‌ها به فاصله ۳D و ۵D در حالت بدون کابل و کابل‌دار نشان می‌دهد. قابل ذکر است که این نمودارها مربوط به شرایط جریان $u/u_c = 0.921$ است.

شکل ۴. روند آبستگی برای گروه پایه با فاصله ۳D (الف) بدون کابل (ب) با کابل

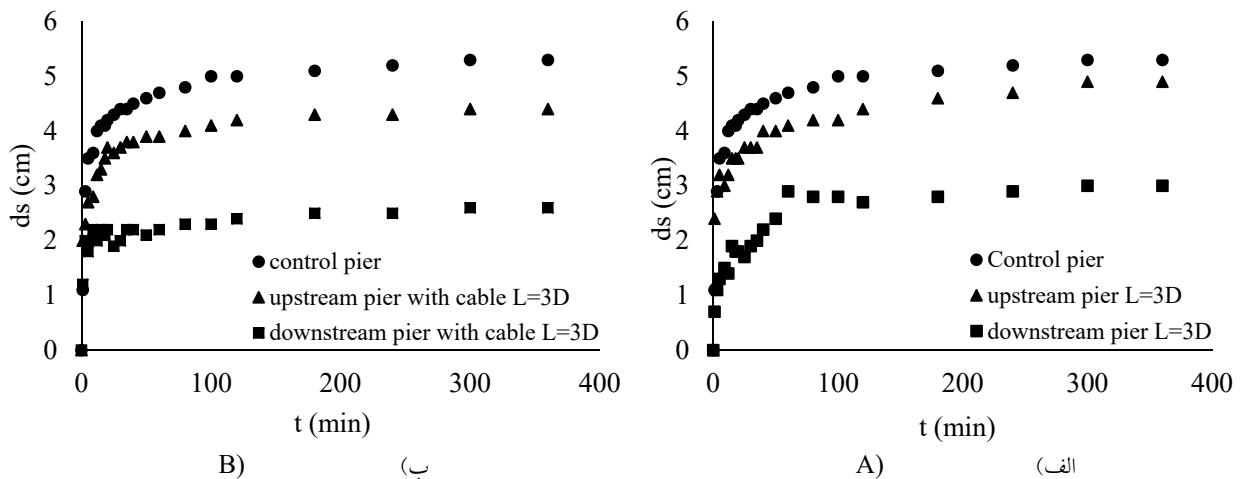


Fig. 4. Scouring process for pier group with distance 3D A) without cable B) with cable

شکل ۵. روند آبستگی برای گروه پایه با فاصله ۵D (الف) بدون کابل (ب) با کابل

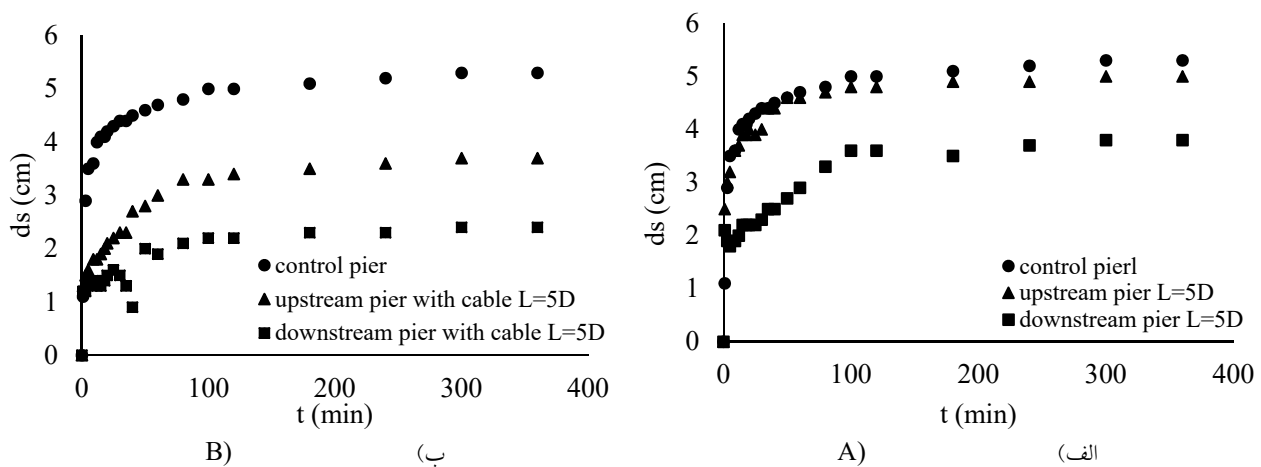


Fig. 5. Scouring process for pier group with distance 5D A) without cable B) with cable

همچنين در شکل (۴ ب و ۵ ب) مشاهده می شود، کابل پیچیده شده به دور پایه از قدرت جريان روبه پایین می کاهد و از آن جا که گردابه های نعل اسبی در اثر جريان روبه پایین به وجود می آیند، گردابه های نعل اسبی ضعیف تر شده و از شدت آبستگي و همچنین عمق آبستگي کاسته می شود. وجود کابل پیچیده شده به دور پایه زبری پایه را افزایش داده و باعث تأخیر جدایی جريان در پشت پایه شده، این امر باعث کاهش قدرت گردابه های برخاستگي در پشت پایه می شود. در کنار عوامل ذکر شده عوامل محافظت کننده پایه جلویی نیز باعث کاهش بیشتر آبستگي در پایه عقبی می شود. در جدول (۲) درصد کاهش آبستگي $\left(\frac{ds_1 - ds_2}{ds_1} \right) \cdot 100\%$ مقدار آبستگي پایه

پایین دست، ds_1 مقدار آبستگي تک پایه) روش حفاظتی کابل برای پایه پایین دست نسبت به تک پایه آورده و مورد مقایسه قرار گرفته است. آنچه مشخص است کابل باعث افزایش راندمان کاهش آبستگي در پایه پایین دست می شود. که این افزایش راندمان در پایه پایین دست با فاصله ۵D بیشتر است، که احتمالاً با افزایش فاصله پایه ها از یکدیگر از میزان آشفته گي جريان برای پایه پایین دست کاسته شده و عملکرد کابل در این شرایط افزایش یافته است. همان گونه که در شکل (۵ ب) به طور واضح مشخص است به دلیل فاصله مناسب بین پایه ها، آبستگي پایه پایین دست به دلیل ریختن رسوبات از گودال پایه بالادست به گودال پایه پایین دست در زمان های مختلف باعث کاهش آبستگي می شود.

جدول ۲. درصد کاهش آبستگي روش حفاظتی کابل در پایه پایین دست

Efficiency relative to single pier with cable	Efficiency relative to single pier without cable	Test conditions
%50	%43	Downstream pier 3D
%54	%28	Downstream pier 5D

Table 2. Percentage reduction scouring protection method of cable at the downstream pier

برای مقایسه و دید بهتر از میزان کاهش آبستگي در پایه ها به خصوص پایه پایین دست، در شکل (۶) پروفیل طولی بستر برای هر دو فاصله قرارگيري و همچنین با اعمال روش حفاظتی کابل آورده شده است. آنچه که مشخص است میزان رسوب

انتقالی در زمان استفاده از کابل به طور چشم گیری کاهش یافته و ابعاد و عمق ماکزیمم آبستگي نسبت به حالت بدون کابل کمتر شده است.

شکل ۶. مقایسه پروفیل طولی بستر الف) جفت پایه با فاصله ۳D ب) جفت پایه با فاصله ۵D

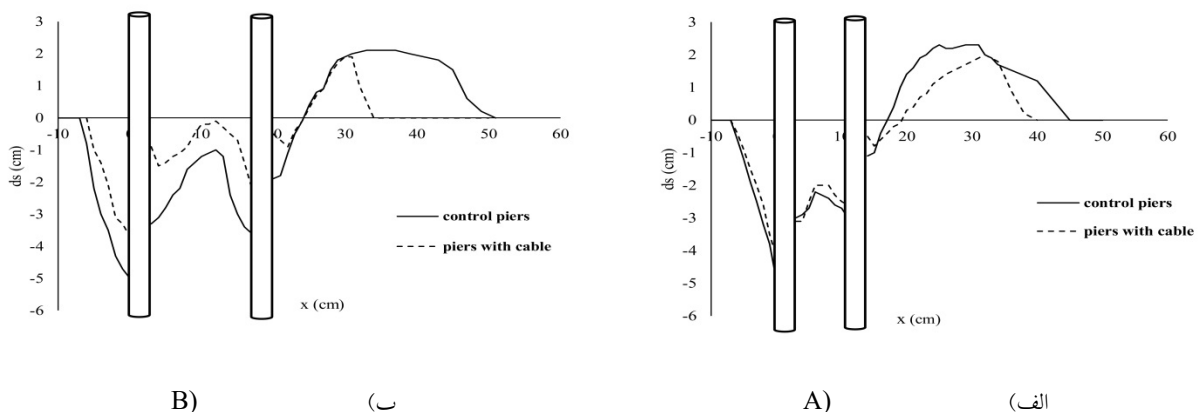


Fig. 6. Comparison of the longitudinal profile bed A) piers with distance 3D B) piers with distance 5D

۲-۳- بررسی نواحی به وجود آمده بر اساس سرعت برای پایه پایین دست

۱-۲-۳- عمق آبستگی اطراف پایه بالادست

در این مطالعه، آبستگی اطراف یک تک پایه به منظور بررسی و مقایسه با روند آبستگی در جفت پایه و همچنین مقایسه

شرایط آزمایشگاهی با سایر پژوهش ها انجام شد. همان گونه که در شکل (۷) مشاهده می شود، معادله (۳) عمق آبستگی

$$\frac{d_s}{D} = 3.022 \frac{U}{U_c} - 0.931 \quad (3)$$

شکل ۷. روند آبستگی تک پایه نسبت به سرعت جریان

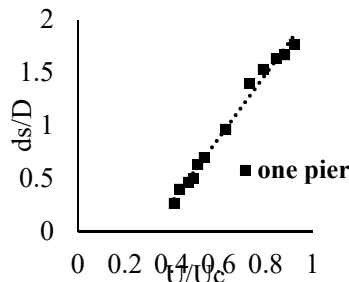


Fig. 7. Scouring process single pier relative to the flow velocity

شکل (۸) نشان می دهد که عمق آبستگی برای پایه های بالادست در جفت پایه ها با دو فاصله ۳D و ۵D، تقریباً دارای الگوی منظمی با رابطه (۳) که مربوط به عمق آبستگی تک پایه است، می باشد. اگر چه در پژوهش ارائه شده توسط هانا [8] بیان شده که عمق آبستگی برای پایه بالادست در جفت پایه بزرگتر از یک تک پایه است. اما نتایج حاصل از عطایی آشتیانی و بهشتی [9] با نتایج این پژوهش سازگار است.

داده های بدست آمده با معادله ۴ ارائه شده توسط چيو [22] روند خوبی را نشان می دهد.

$$\frac{d_s}{D} = 3.77 \frac{U}{U_c} - 1.13 \quad (4)$$

در اینجا ضرایب معادله (۳) کمی کوچکتر از ضرایب معادله چيو [22] است. از دلایل ممکن برای این اختلاف جزئی می توان به کمتر در نظر گرفتن زمان لازم برای رسیدن به تعادل واقعی باشد. همچنین وجود تفاوت در ویژگی های ماسه های استفاده شده و سایر شرایط آزمایشگاهی است.

شکل ۸. روند آبستگی پایه های بالادست نسبت به سرعت جریان

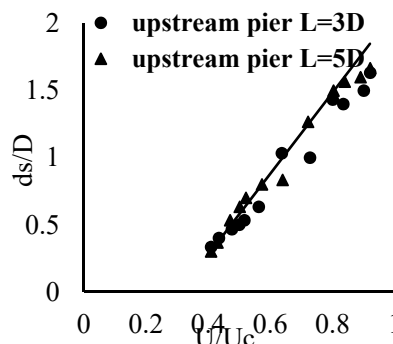


Fig. 8. Scouring process upstream piers relative to the flow velocity

شکل (۹) نشان می دهد که تغییرات عمق آبستگی با سرعت جریان برای آبستگی اطراف پایه پایین دست نسبت به پایه بالادست به چهار منطقه با افزایش سرعت تقسیم می شود.

۲-۲-۳- آبستگی موضعی اطراف پایه پایین دست

شکل ۹. تغییرات عمق آبشستگی موضعی با سرعت جریان و زمان

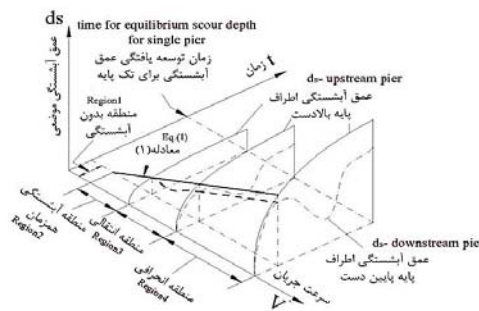


Fig. 9. scour depth variations with flow velocity and time

۳-۲-۱- منطقه بدون آبشستگی

اولین منطقه، منطقه بدون آبشستگی است که در آن فرم بستر هیچ تغییری نمی‌کند و صاف و هموار باقی می‌ماند، یعنی هیچ آبشستگی در اطراف پایه پایین دست وجود ندارد. این منطقه که در سرعت‌های جریان $u/u_c < 0.4$ است در این پژوهش مورد مطالعه قرار نگرفته است.

۳-۲-۲- منطقه آبشستگی هم‌زمان

منطقه دوم، ناحیه آبشستگی هم‌زمان است که در آن عمق آبشستگی در اطراف پایه پایین دست، مشابه عمق آبشستگی اطراف پایه بالادست و تک پایه که توسط معادله (۳) توصیف شده است، می‌باشد. همان‌گونه که در شکل (۱۰) مشاهده می‌شود این منطقه زمانی که آبشستگی اولیه رخ می‌دهد به وجود

می‌آید. آنچه که مشخص است منطقه آبشستگی هم‌زمان با افزایش فاصله بین دو پایه از $3D$ به $5D$ مقداری گسترش یافته است. یانگ و همکاران [23] بیان کردند که با افزایش فاصله بین دو پایه تا مقدار $3D$ ناحیه آبشستگی هم‌زمان افزایش یافته و با بیشتر شدن فاصله بین جفت پایه بازه این ناحیه کاهش می‌یابد.

از دیگر ویژگی‌های مشاهده شده این ناحیه می‌توان اشاره کرد که هیچ رسوبی از بالادست به سوی گودال اطراف پایه پایین دست حرکت نمی‌کند زیرا عمق آبشستگی اطراف پایه بالادست هنوز کوچک بوده و سرعت جریان نیز برای آوردن رسوبات از گودال‌های آبشستگی کم می‌باشد. بنابراین در منطقه آبشستگی هم‌زمان می‌توان شرایط جریان برای پایه پایین دست را مشابه شرایط آبشستگی آب‌زلان دانست.

شکل ۱۰. عمق آبشستگی اطراف پایه پایین دست الف) به فاصله $3D$ ب) به فاصله $5D$

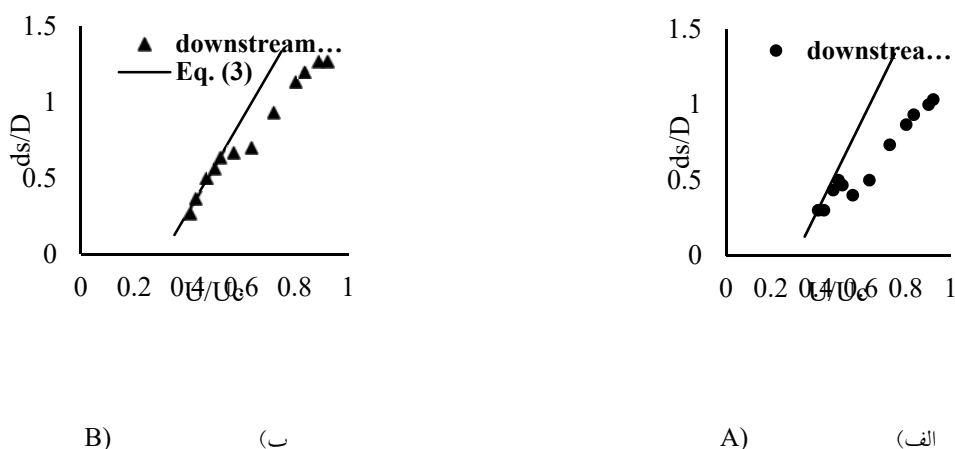


Fig. 10. Scour depth around downstream pier A) piers with distance $3D$ B) piers with distance $5D$

۳-۲-۲-۳- ناحیه انتقالی

است. بنابراین می توان نتیجه گرفت که با افزایش بیشتر فواصل بین پایه ها از اثر حفاظتی پایه بالادست کاسته شده که موجب کاهش کمتر مقدار آبخستگی پایه پایین دست می شود. همچنین از لحاظ نظری می توان چنین نتیجه گرفت که ناحیه انتقالی بین ناحیه آبخستگی همزمان و ناحیه انحراف شعاعی باید وجود داشته باشد، که این نتیجه گیری مشروع است.

بنابراین از نتایج ارائه شده در پاراگراف های قبل می توان این چنین برداشت نمود که چهار منطقه به وجود آمده به پارامترهای فاصله پایه ها، سرعت جریان نزدیک شونده یا سرعت نسبی و زمان وابسته هستند.

۳-۳- تأثیر روش حفاظتی کابل بر نواحی موجود بر پایه پایین دست

برای مقایسه روند آبخستگی در پایه کابدار بالادست شکل (۱۱) ترسیم شد. همان گونه که در شکل مشاهده می شود روند آبخستگی نسبت به سرعت نسبی جریان برای هر دو فاصله مطالعه شده حدوداً یکسان است. بنابراین بهترین معادله برازش

$$\frac{d_s}{D} = 2.13 \frac{U}{U_c} - 0.961 \quad (5)$$

شده مطابق رابطه (۵) است.

ضرایب رابطه ۵ بدلیل اعمال روش محافظتی کمتر از رابطه ۳ تعیین شده است.

منطقه سوم، ناحیه انتقالی نام گذاری شده است، که در آن عمق آبخستگی اطراف پایه پایین دست به دلیل انتقال رسوب از آبخستگی اطراف پایه بالادست کمتر از عمق آبخستگی پایه بالادست است. ناحیه انتقالی منطقه آبخستگی همزمان را با منطقه چهارم (منطقه انحراف شعاعی) ارتباط می دهد. با توجه به شکل (۱۰) منطقه انتقالی با افزایش فاصله بین دو پایه کاهش یافته است. از آنجا که ویژگی های منطقه انتقالی خیلی مشابه با یک تک پایه در شرایط آبخستگی بستر زنده است، به نظر می رسد در اینجا انتقال رسوب علت اصلی وجود چنین ناحیه ای باشد. یانگ و همکاران [23] بیان کردند که این ناحیه با افزایش فاصله بین پایه ها کاهش می یابد و ممکن است که با افزایش زمان تعادل این ناحیه ناپدید شود به دلیل اینکه گودال آبخستگی پایه بالادست می توانست به تعادل برسد. اما آنچه که مشخص است برای بررسی منطقه انتقالی نیاز به انبوه نقاط برداشت شده دارد.

۳-۲-۲-۴- منطقه انحراف شعاعی

چهارمین منطقه، منطقه انحراف شعاعی نام گرفته است. مطابق شکل (۱۰)، در این ناحیه حدوداً نقاط به صورت یک خط موازی با منحنی معادله (۳) قرار می گیرند. ناحیه انحراف شعاعی به دلیل آثار حفاظتی پایه بالادست به وجود آمده است. به نظر می رسد که با افزایش فاصله بین دو پایه مقدار این انحراف کاهش یافته

شکل ۱۱. روند آبخستگی نسبت به سرعت جریان در پایه های کابل دار بالادست

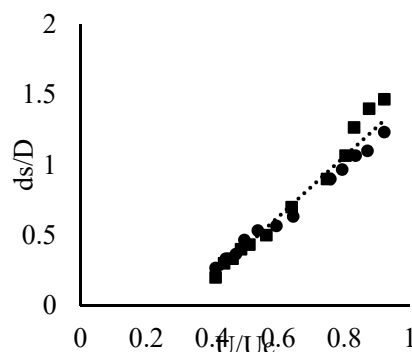


Fig. 11. Scouring process upstream piers with cable relative to the flow velocity

با رابطه (۳) مربوط به پایه های بالادست بدون کابل و رابطه (۵) مقایسه شده است.

در شکل (۱۲) عمق آبخستگی اطراف پایه پایین دست کابل دار نسبت به سرعت نسبی جریان برای فواصل ۳D و ۵D

اما در اثر استفاده از کابل برای کاهش آبستگی در اطراف پایه‌ها و میزان تاثیر گذاری این روش در نواحی به وجود آمده در اطراف پایه پایین دست نسبت به پایه‌های بدون کابل، می‌توان چنین برداشت نمود باتوجه به کاهش آبستگی نواحی دچار تغییرات زیادی شده‌اند. همان‌گونه که مشاهده می‌شود ناحیه آبستگی همزمان و انتقالی در بازه سرعت‌های موجود از بین رفته است.

علاوه بر این در شکل (۱۲ الف و ب) می‌توان مشاهده کرد که ناحیه انتقالی نسبت به رابطه (۳) وجود ندارد و یا بسیار کوچک شده است. بلکه داده‌ها در منطقه انحراف شعاعی قرار دارند و تنها با افزایش سرعت جریان با توجه به عملکرد خوب کابل در کاهش بسزا عمق آبستگی در اطراف پایه پایین دست این انحراف بیشتر شده و از خط رابطه (۳) فاصله گرفته است.

بررسی نواحی مختلف آبستگی نسبت به سرعت جریان در پایه... همانطور که ملاحظه می‌شود نواحی به وجود آمده برای پایه پایین دست کابل دار نسبت به رابطه (۵) مشابه گفته‌های پیشین در مورد پایه‌های ساده است. اما نکته قابل ذکر در این قسمت با توجه به شکل (۱۲) و در نسبت‌های کم سرعت اهمیت آثار محافظتی است. بدین ترتیب که اثر محافظتی پایه بالادست کابلدار ممکن است اثری بر آبستگی اطراف پایه پایین دست در سرعت‌های پایین نداشته باشد. در ناحیه آبستگی همزمان و در سرعت کم جریان، آبستگی اطراف پایه پایین دست ممکن است زودتر از آبستگی اطراف پایه بالادست رخ دهد. به نظر می‌رسد که تلاطم‌های اطراف پایه پایین دست شامل گرداب‌های برخاستگی پایه بالادست و جریان رو به پایین پایه پایین دست قوی‌تر از گرداب‌های پایه بالادست است.

شکل ۱۲. عمق آبستگی اطراف پایه پایین دست کابل دار (الف) به فاصله ۳D (ب) به فاصله ۵D

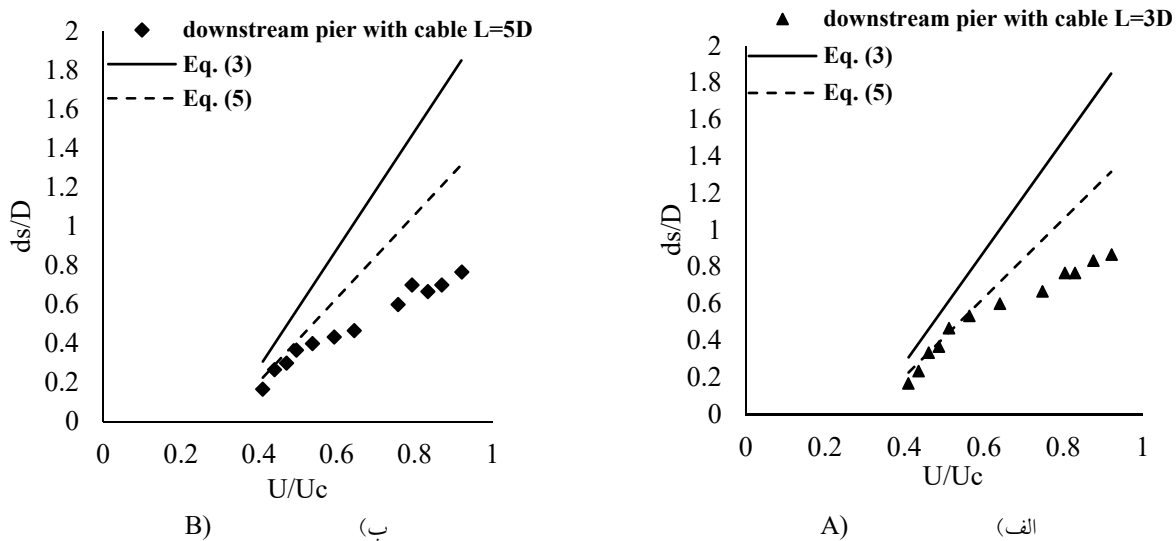


Fig. 12. Scour depth around downstream pier with cable A) piers with distance 3D B) piers with distance 5D

مشخص شود. به طور خلاصه می‌توان به نکات زیر از نتایج این مطالعه اشاره کرد:

۱. کابل باعث افزایش راندمان کاهش آبستگی در پایه پایین دست در جفت پایه می‌شود. که این افزایش راندمان در پایه پایین دست با فاصله ۳D و ۵D به ترتیب ۷ و ۲۶ درصد بدست آمد.
۲. تغییرات عمق آبستگی با سرعت جریان برای آبستگی اطراف پایه پایین دست نسبت به پایه بالادست به چهار منطقه با

۴- نتیجه گیری

در این پژوهش از روش کابل در جفت پایه به منظور کنترل و کاهش آبستگی استفاده شد. نتایج نشان داد که این روش در کاهش عمق آبستگی و همچنین تأخیر در روند آبستگی موثر بوده است. همچنین در این مقاله سعی شده تا نواحی به وجود آمده در اطراف پایه پایین دست نسبت به سرعت نسبی جریان مورد بررسی قرار گیرد و تاثیر روش حفاظتی کابل بر این نواحی

- [8] Hannah, C. R. 1978. Scour at pile groups. Research Rep. No. 78-3, Dept. of Civil Engineering, Univ. of Canterbury, New Zealand, PP. 18-40.
- [9] Ataie-Ashtiani, B. and Beheshti, A. A. 2006. Experimental investigation of clear-water local scour at pile groups. *Journal of Hydraulic Engineering*, 132(10), pp. 1100-1104.
- [10] Heidarpour, M. Afzalimehr H. and Khodarahmi Z 2007. Local scour protection of circular bridge pier groups using slot. *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*. 14(3), pp. 174-185. (in Persian).
- [11] Dey, S. Sumer, B. M. and Fredsøe, J. 2006. Control of scour at vertical circular piles under waves and current. *Journal of Hydraulic Engineering*, 132(3), pp. 270-279.
- [12] Pagliara, S. Carnacina, I. and Cigni, F. 2010. Sills and gabions as countermeasures at bridge pier in presence of debris accumulations. *Journal of Hydraulic Research*, 48(6), pp. 764-774.
- [13] Lança, A. R. Fael, C. Maia, R. Pêgo, J. P. and Cardoso, H. 2013a. Clear-water scour at pile groups. *Journal of Hydraulic Engineering*, 139(10), pp. 1089-1098.
- [14] Amini, A. Melville, B. W. Ali, T. M. and Ghazali, A. H. 2011. Clear-water local scour around pile groups in shallow-water flow. *Journal of Hydraulic Engineering*, 138(2), pp. 177-185.
- [15] Nordila, A. Thamer, M. Melville, B. W. Faisal, A. and Badronnisa, Y. 2017. Modelling the Effect of Sediment Coarseness on Local Scour at Wide Bridge Piers. *PERTANIKA JOURNAL OF SOCIAL SCIENCE AND HUMANITIES*, 25(1), pp. 191-200.
- [16] Beheshti, A. A. and Ataie-Ashtiani B. 2016. Scour hole influence on turbulent flow field around complex bridge piers. *Flow Turbulence and Combustion*, 97.
- [17] Saadati Pachekenari, S.S. Esmaili Varaki M. and Fazl Ola, R. 2014. Experimental Investigation of Effect of Sill Location on Local Scour Around Inclined Bridge Piers Group. *Journal of water and soil*. 28(2), pp. 406-419. (in Persian).
- [18] Raudkivi, A. J. and Ettema, R. 1983. Clear-Water scour at cylindrical piers. *Journal of Hydraulic Engineering*. 109(3), pp. 338-350.
- [19] Lança, R. M. Fael, C. S. Maia, R. J. Pêgo, J. P. and Cardoso, A. H. 2013b. Clear-water scour at comparatively large cylindrical piers. *Journal of Hydraulic Engineering*, 139(11), pp. 1117-1125.
- [20] Shafaei Bejestanbasic, M. 2013. theory and practice of hydraulics of sediment. Shahid Chamran University of Ahvaz Publications, pp. 549 (in Persian).
- [21] Izadnia, E. and Heidarpour M. 2014. Investigation and Comparison of Efficiency of Cable and Groove in Protection Against Scouring. *Journal of Irrigation Science and Engineering*. 37(1), pp. 23-32 (in Persian).

افزایش سرعت تقسیم می شود. این نواحی عبارتند از: ۱- ناحیه بدون آبشستگی ۲- ناحیه آبشستگی هم زمان ۳- ناحیه انتقالی ۴- ناحیه انحرافی.

۳. ناحیه آبشستگی همزمان که در آن عمق آبشستگی در اطراف پایه پایین دست، مشابه عمق آبشستگی در اطراف پایه بالادست و تک پایه است. ناحیه انحراف شعاعی به دلیل آثار حفاظتی پایه بالادست به وجود آمده است. در این ناحیه حدوداً نقاط به صورت یک خط موازی و در زیر منحنی مربوط به پایه بالادست قرار میگیرند که نشان از کاهش آبشستگی در پایه پایین دست نسبت به پایه بالادست دارد. همچنین در آخر ناحیه انتقالی که منطقه آبشستگی همزمان را با منطقه انحراف شعاعی ارتباط می دهد.

۴. در اثر استفاده از کابل برای کاهش آبشستگی در اطراف پایه ها و میزان تاثیر گذاری این روش در نواحی به وجود آمده در اطراف پایه پایین دست نسبت به پایه های بدون کابل، می توان چنین برداشت نمود باتوجه به کاهش آبشستگی نواحی دچار تغییرات زیادی شده اند. به طوری که ناحیه آبشستگی همزمان و انتقالی در بازه سرعت های موجود از بین رفته است.

References

۵- مراجع

- [1] Breisers, H. N. C. and Raudkivi, A. J. 1991. Scouring. 2nd Hydraulic Structures Design Manual, IAHR, A. A. Balkema, Rotterdam, The Netherlands.
- [2] Melville, B. W. and Chiew, Y. M. 1999. Time scale for local scour at bridge piers. *Journal of Hydraulic Engineering*, 125(1), 59-65.
- [3] Barkdoll, B. B. Melville, B. W. and Chiew, Y. M. 2000. Time scale for local scour at bridge piers. *Journal of Hydraulic Engineering*, 126(10), 793-795.
- [4] Bayram, A. and Larson, M. 2000. Analysis of scour around a group of vertical piles in the field. *Journal of waterway, port, coastal, and ocean engineering*, 126(4), 215-220.
- [5] Zarrati, A. R. Nazariha, 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*, 132(2), 154-162.
- [6] Ettema, R. Kirkil, G. and Muste, M. 2006. Similitude of large-scale turbulence in experiments on local scour at cylinders. *Journal of Hydraulic Engineering*, 132(1), 33-40.
- [7] Beheshti, A. A. and Ataie-Ashtiani, B. 2010. Experimental study of three-dimensional flow field around a complex bridge pier. *Journal of engineering mechanics*, 136(2), 143-154.

U	سرعت جریان نزدیک شونده (m/s)
u	سرعت طولی (m/s)
u _c and	سرعت بحرانی (m/s)
U _c	
u _*	سرعت برشی (m/s)
L	فاصله بین دو پایه (m)
Q	دبی جریان (m ³ /s)
B	عرض کانال (m)
t	زمان (s)
t _e	زمان تعادل نسبی (s)
b	قطر کابل (m)

- [22] Chiew, Y. M. 1995. Mechanics of riprap failure at bridge piers. *Journal of Hydraulic Engineering*, 121(9), 635-643.
- [23] Wang, H. Tang, H. Liu, Q. and Wang, Y. 2016. Local scouring around twin bridge piers in open-channel flows. *Journal of Hydraulic Engineering*, 142(9), 06016008.

۶- فهرست علائم

d _s	عمق آبشستگی (m)
d _{sc}	عمق آبشستگی نهایی (m)
h	عمق جریان (m)
D	قطر پایه (m)

Study of different scouring areas relative to flow velocity in Downstream Base in pairs of bases and Impact of cable protection method on these areas

Hamed Shahsavari¹, Sobhan Moradi², Saeed Reza Khodashenas^{3*}

1. Ph.D Student of Hydraulic Structures, Department of Water Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Iran.
2. Ph.D Student of Hydraulic Structures, Department of Water Engineering, Ferdowsi University of Mashhad and member of Rahyan Novin Danesh (RND) Private College of Education, Iran.
3. Prof., Department of Water Engineering, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran.

* khodashenas@ferdowsi.um.ac.ir

Abstract

Bridge failure is a common phenomenon all around the world. Bridges are one of the most important structures which are under attention from many years ago. Bridge is a structure to cross over obstacles such as rivers or valleys. Investigation of scouring in water structures especially in bridges is absolutely important in river engineering. Failure of several structures in all over the world are usually due to structural consideration and giant scales on piers. Created procedure of scouring by group of piers are more complicated than one single pier. Increasing the resistance of bed materials and decreasing the power of erosion factors are the ways to stand against local scouring. To decrease the power of erosion factors (horseshoe and wake vortex), equipment such as collars, submerged vanes and etc. are being used. This study was conducted with freshwater on cylindrical piers. The experiments were with a constant discharge during 6 hours in hydraulic laboratory of Ferdowsi University of Mashhad. In order to perform this study was used a channel that width, height and length were respectively equal to 0.3, 0.4 and 10 meters. In this research, Sands with median diameter of 0.72, special gravity of 2.65 grams per cubic centimeters and geometric standard deviation of 1.12 are used in the experiments. Range of flow rate was from 8 to 18 Liters per second. An adjustable weir in the downstream regulates the water depth in the channel. The area for conducting the experiments in the channel has one meter length and 10 cm bed height, which is 6 meters away from the beginning of the channel. Scouring procedure of downstream pier was investigated base on flow velocity. Results show that depth of local scouring of downstream pier can be categorized in 4 zone based on flow velocity: 1- No scouring occurrence zone, 2- Synchronized scouring zone, 3- Transitional zone, and 4- Deviance zone. Following previous investigations, effects of application of rolled cable over piers on reduction of scouring around two piers and zones of downstream pier (zones related to velocity) were examined. In this study, the efficiency of using rolled cable around the piers as one way of controlling and reducing local scouring, to decrease scouring is investigated. Results show that rolled cable, scouring will decrease. In fact, rolled cable around the piers will decrease the power of down flow, horseshoe and wake vortexes. Results show that scouring was reduced around piers due to application of rolled cable. So that cable at its best state reduces the maximum scour depth by 50 percent for downstream pier in the situation distance 3D and 54 percent for downstream pier in the situation distance 5D. Reduction of scouring depth of downstream pier was less than upstream piers. Scouring depth of downstream pier with rolled cable was 7 and 26 percent reduced in comparison with piers (No rolling cable was used) located at 3D and 5D from it. Because of scouring reduction as consequences of rolled cable, downstream zones were significantly changed that finally caused synchronized zone removal.

Keywords: Local Scouring, Base group, Protective method, Downstream Base, Scouring zones