

بررسی آزمایشگاهی پروفیل طولی، عرضی و توپوگرافی بستر آبستگي اطراف گروه پایه پل در حضور گودال برداشت مصالح رودخانه‌ای

مهدی ماجدی اصل*، رسول دانشفراز و سعیده ولی زاده^۱

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۴/۱؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۷/۳)

چکیده

برداشت شن و ماسه از بستر رودخانه‌ها از بزرگ‌ترین نگرانی‌ها در علم امروز به حساب می‌آید. اصول و قوانین معینی برای انتخاب مکان مناسب برداشت مصالح و مقدار این برداشت در آیین‌نامه‌های طراحی دیده نمی‌شود. بنابراین گاهی برداشت مصالح رودخانه‌ای از مکان‌های با پتانسیل کمتر و نزدیک سازه‌ها انجام می‌گیرد. در تحقیق حاضر سعی شده است با مسلح کردن سازه، تأثیر برداشت مصالح که با تغییر الگوی جریان در اطراف سازه منجر به افزایش آبستگي می‌شود را کنترل کرد. آزمایشات در بستر ماسه‌ای با دانه‌بندی ۰/۷۸ میلی‌متر به طول ۴/۲۵ متر، درون کانالی به طول ۱۳ متر و عرض ۱/۲ متر انجام گرفته است. نتایج حاصل نشان داد که استفاده از گروه پایه محافظت شده با کابل، در بستر بالادست گودال باعث کاهش ۲۹/۶ درصدی عمق آبستگي حداکثر در جلوی پایه و کاهش ۳۴ درصدی در پشت پایه شده است. همچنین در بستر پایین دست گودال این محافظت موجب کاهش ۱۵ درصدی عمق آبستگي حداکثر در جلو پایه شد؛ بنابراین آرایش کابل مورد استفاده در سطح پایه، مطابق با روش تحقیق حاضر منجر به کاهش چشمگیر عمق و وسعت آبستگي حداکثر در گروه پایه پل شده است.

واژه‌های کلیدی: آبستگي حداکثر، گروه پایه، گودال برداشت مصالح، وسعت آبستگي

۱- گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه مراغه، مراغه، ایران

*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: mehdi.majedi@gmail.com

مقدمه

موانع موجود در مسیر جریان رودخانه‌ها می‌توانند سرعت موضعی جریان و آشفتگی را افزایش دهند و بسته به شکل سازه گردابه‌هایی ایجاد کند که نیروهای فرسایشی اضافی را بر بستر اطراف سازه اعمال می‌کند. در نتیجه نرخ حرکت رسوب و فرسایش به صورت موضعی در حوالی این سازه‌ها افزایش یافته و منجر به پایین رفتن موضعی بستر نسبت به تراز عمومی بستر آبراهه می‌شود، از این رو بررسی رسوب و آستانه حرکت ذرات بستر در نتیجه برداشت مصالح از بستر در تخمین آبشستگی و در نهایت طراحی ایمن پل‌ها بسیار حائز اهمیت است. پیش‌بینی نادرست عمق آبشستگی حول پایه پل‌ها باعث تحمیل ضررهای مالی و جانی بسیاری شده است (۱۰).

از طرفی پدیده آبشستگی تابع عوامل مختلفی چون لایه مرزی آشفته، الگوی جریان وابسته به زمان، مکانیسم انتقال رسوب، مشخصات جریان و رسوب و هندسه پایه پل است، لذا شناخت دقیق مکانیسم آبشستگی از اهمیت بالایی برخوردار است. تحقیقات بسیاری در زمینه بررسی مکانیسم آبشستگی حول پایه پل انجام گرفته است (۱، ۱۲، ۲۶ و ۱۸). آبشستگی حول پایه‌های مایل را توسط یک پایه با دو قطر مختلف ۵۰ و ۱۰۰ میلی‌متر، چهار زاویه تمایل متفاوت نسبت به محور قائم (۲، ۵، ۱۱ و ۱۶)، مورد آزمایش قرار داده و نشان دادند که با افزایش زاویه تعادل پایه پل، آبشستگی حول پایه کاهش می‌یابد. حال آنکه جهت تمایل پایه نیز در مقدار آبشستگی مؤثر است (۶). بررسی و محاسبه عمق آبشستگی در جریان غیریکنواخت با رسوبات بستر یکنواخت منجر به ارائه روشی برای محاسبه زمان تعادل آبشستگی شد (۸). در پژوهشی آبشستگی تک‌پایه قائم با قطر ۱۵۲ میلی‌متر در بستر با قطر متوسط ذرات بین ۰/۸۴-۰/۲۷ میلی‌متر بررسی شد و روابطی برای پیش‌بینی عمق آبشستگی در شرایط مختلف ارائه شد (۲۷).

لازم به ذکر است که در گروه‌پایه‌ها دو مکانیسم مهم عامل تقویت‌کننده و عامل حفاظت‌کننده باعث پیچیدگی گروه‌پایه نسبت به تک‌پایه شده و پایه اول (واقع در راستای جریان)

به‌عنوان پایه نگهبان، سرعت جریان را کاهش داده و باعث کاهش آبشستگی در پایه‌های بعدی می‌شود (۲۶). بنابراین تحقیقات زیادی در قالب بررسی آبشستگی گروه‌پایه به شرح مطالعات زیر انجام گرفته است. بررسی آزمایشگاهی آبشستگی اطراف گروه‌پایه در شرایط آب صاف منجر به ارائه روابطی برای پیش‌بینی عمق حفره آبشستگی شد (۴). تأثیر کلاهدک پایه پل بر کاهش عمق آبشستگی در دو سری گروه‌پایه در کانال مستقیم بررسی شد و مشاهده شد که کلاهدک باعث کاهش ۶۰ درصدی عمق آبشستگی می‌شود (۱۳). مدل فیزیکی آبشستگی موضعی حول پایه‌های با ترکیبات پیچیده در پژوهشی بررسی شد و معادلاتی برای پیش‌بینی عمق آبشستگی حول پایه‌های مذکور ارائه داد و به تعیین مهم‌ترین پارامترهای هیدرولیکی مؤثر در آبشستگی پایه‌ها و تحلیل دقیق ساختار جریان و مکانیسم آبشستگی محلی همچون نیروی گرداب نعل اسبی و سرعت برشی پرداخت (۲۰).

بررسی دو آرایش مختلف به صورت گروه سه‌تایی و چهارتایی از پایه‌ها که برای هر کدام از آرایش‌ها دو پایه ابتدایی و انتهایی نسبت به محور قائم دارای زوایای مختلف ۱۵، ۱۰، ۰ هستند، نشان داد آبشستگی در اطراف پایه‌های مایل بیشتر از پایه‌های قائم رخ می‌دهد (۲۳). آزمایش بررسی تأثیر سه اندازه دانه‌بندی مختلف روی آبشستگی حول گروه‌پایه‌ها با آرایش متفاوت نشان داد که عمق آبشستگی به‌طور انحصاری به نسبت قطر پایه و اندازه متوسط دانه‌ها بستگی دارد (۲۱). بررسی آزمایشگاهی گروه‌پایه‌های مسلح شده در کنترل آبشستگی نشان داد که گروه‌پایه‌های مسلح شده در مقایسه با گروه‌پایه ساده، آبشستگی را ۴۶ درصد کاهش داده است (۲۲). همچنین مطالعات دیگری درباره آبشستگی گروه‌پایه‌ها توسط محققین مختلفی صورت گرفته است (۵، ۱۵ و ۲۸).

با توجه به اینکه با توسعه صنعت و تکنولوژی دامنه نیاز انسان‌ها به رودخانه گسترش یافته است، رودخانه‌ها به اصلی‌ترین منبع مصالح ساختمانی تبدیل شده است. امروزه تحقیقات بسیاری در زمینه تأثیر زیانبار برداشت مصالح رودخانه‌ای روی بستر

در اطراف پایه‌ها برآمده است.

مواد و روش‌ها

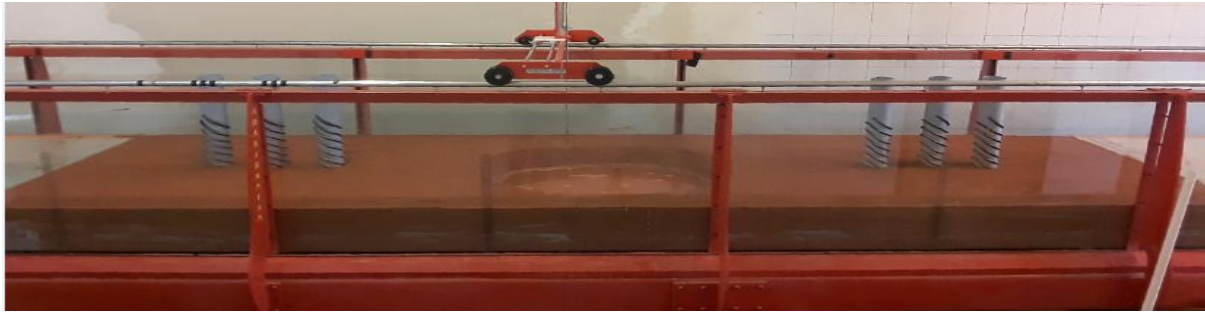
آزمایش‌های تحقیق حاضر در کانال آزمایشگاهی با مقطع مستطیلی، طول ۱۳ متر، عرض ۱/۲ متر و عمق ۰/۸ متر انجام شد. شیب کف کانال توسط یک جک قابل تغییر بوده که در این تحقیق شیب برای تمام آزمایش‌ها روی صفر تنظیم شد. آب مورد نیاز برای آزمایش‌ها در کانال مربوطه، به صورت چرخه‌ای توسط پمپی با قدرت پمپاژ ۷ تا ۵۲ لیتر بر ثانیه تأمین شد. برای آرام کردن جریان و کاهش افت انرژی هنگام ورود جریان روی کف‌بند از یک ورق شیب‌دار استفاده شد. همچنین تلاطم جریان ابتدا توسط یک منبع آرام کننده در ابتدای کانال و سپس با عبور از دو صفحه مشبک کاهش یافت. در ادامه از یک صفحه شناور بعد از صفحات مشبک، برای کاهش بیشتر تلاطم جریان نیز استفاده شد. دو کف کاذب شیشه‌ای در بالادست و پایین دست به فاصله ۴/۲۵ متر از هم و ارتفاع ۲۲ سانتی‌متر در میانه کانال نصب شد. شکل ۱ کانال آزمایشگاهی مربوطه را نشان می‌دهد.

دو سری گروه پایه در بالادست و پایین دست بستر با فاصله مشخص از کف‌بندها واقع شد. گروه پایه‌ها با آرایش یکسان (سه پایه متوالی در راستای جریان و با فاصله یکسان از دیواره‌های شیشه‌ای کانال) به فاصله مرکز به مرکز ۲۱ سانتی‌متر از هم، در دو نوع مختلف (ساده) و (مسلح شده) قرار گرفت (شکل ۲). برای بررسی تأثیر برداشت مصالح رودخانه‌ای در میزان آبشستگی پایه‌های پل، برداشت مصالح هم در بالادست و هم در پایین دست پایه‌های پل بررسی شد. برای این منظور یک گودال به عمق ۱۷ سانتی‌متر، با فاصله ۵۳ سانتی‌متر از پایه‌ها و ۲۰ سانتی‌متر از دیواره‌های کانال، در بستر ماسه‌ای حفر شد.

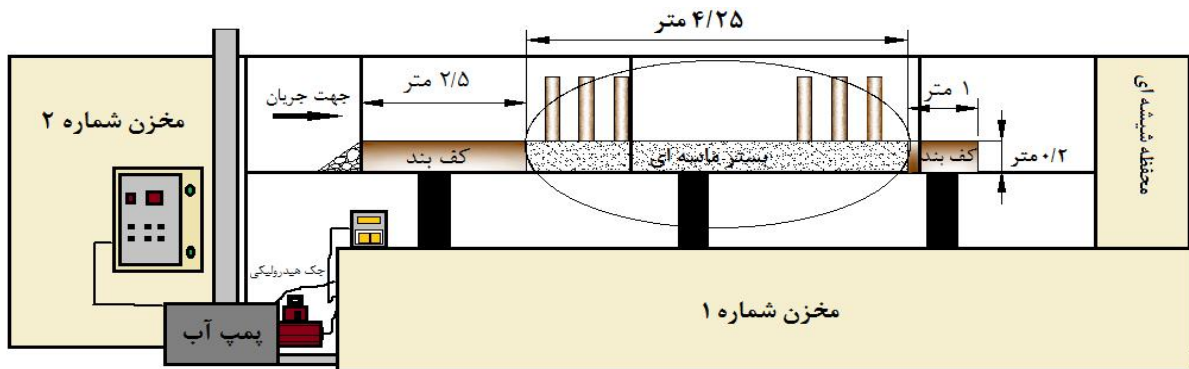
برای کنترل آبشستگی از کابل دورپیچ مسلح کننده پایه‌ها با قطر ۸ میلی‌متر و فاصله ۴ سانتی‌متر از هم $(a/D = 0/4)$ ، به عنوان زبری استفاده شد. لازم به ذکر است که منظور از a فاصله بین شیارهای کابل است. این فاصله ۴ سانتی‌متری بر

رودخانه‌ها و سازه‌های هیدرولیکی واقع در مسیر رودخانه‌ها انجام گرفته است. پژوهشی به بررسی اثرات برداشت شن و ماسه بر رژیم جریان و انتقال بار رسوبی در رودخانه راین پرداخته است (۱۹). نتایج حاکی از آن است که پس از برداشت درازمدت شن و ماسه از بستر رودخانه، انتقال بار معلق از بالادست افزایش یافته و رسوبات دانه‌درشت کنارها و بستر رودخانه در پایین دست مستعد فرسایش خواهند بود. بررسی آزمایشگاهی و صحرایی نحوه جابه‌جایی گودال‌های ناشی از برداشت مصالح رودخانه‌ای حاکی از آن است که سرعت جابه‌جایی گودال‌ها با طول گودال و دبی جریان نسبت مستقیم و با عمق گودال‌ها نسبت معکوس دارد. همچنین از بین پارامترهای مورد بررسی، عمق گودال بیشترین تأثیر را بر جابه‌جایی داشته است (۲). نحوه انتقال گودال حاصل از برداشت مصالح رودخانه‌ای به طول ۰/۲۲ متر و عرض ۰/۳ متر با ارتفاع‌های مختلف ۰/۰۴، ۰/۰۸ و ۰/۱۲ متر در تحقیق بررسی شد و در نهایت روابطی برای طول و عمق آبشستگی ارائه شده و پارامترهایی که بیشترین و کمترین تأثیر را در این روابط دارد استخراج و با استفاده از آنالیز حساسیت، صحت‌سنجی شدند (۹). همچنین بررسی تأثیر استفاده از رس و پلی‌اکریل آمید کاتیونی بر آبشستگی پایه‌های پل و گودال‌های برداشت مصالح، نشان داد که این ماده تأثیر مثبتی بر کاهش عمق آبشستگی پایه‌های پل داشته است. به طوری که بهترین عملکرد مربوط به استفاده از مخلوط رس و ۱۰ درصد پلی‌اکریل آمید بوده است (۲۵).

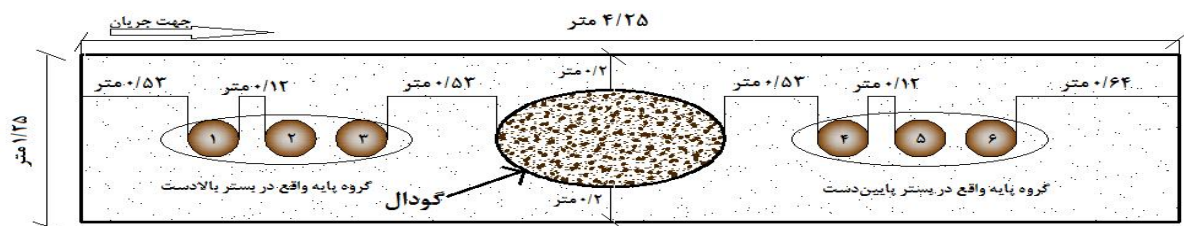
با توجه به مطالعات انجام گرفته در زمینه آبشستگی پایه پل و حفره برداشت مصالح و همچنین به دلیل مشکلات پیش رو در مسئله آبشستگی سازه‌های آبی در حضور این حفره، امروزه پژوهش‌های جدید به سمت ارائه راهکارهایی پیش می‌رود که باعث کاهش تأثیر منفی برداشت شن و ماسه از رودخانه‌ها و در نهایت کاهش عمق آبشستگی حول سازه‌های آبی واقع در مسیر حفره برداشت شود. لذا در جهت پیشبرد هدف کاهش آبشستگی، تحقیق حاضر درصدد کنترل آبشستگی حول گروه پایه پل در حضور برداشت مصالح با استفاده کابل دورپیچ



شکل ۱. کانال آزمایشگاهی مورد استفاده در تحقیق حاضر



(الف)



(ب)

شکل ۲. الف) شماتیک کانال آزمایشگاهی و ب) پلان بستر

باید نسبت فاصله محور پایه تا دیواره کانال به قطر پایه بزرگتر از ۶/۲۵ باشد، لذا در این تحقیق از پایه به قطر ۹/۵ سانتی متر استفاده شده است. برای جلوگیری از ریزل، قطر متوسط ذرات بستر باید کمتر از ۰/۷ میلی متر و نسبت قطر پایه به متوسط ذرات بیشتر از ۳۰-۲۵ باشد (۲۴). بنابراین در این تحقیق متوسط ذرات بستر ۰/۷۸ میلی متر انتخاب شده است. برخی از پارامترهای رسوبی دانه-بندی حاضر از جمله، τ^* (پارامتر شیلدز رسوب)، u^* (سرعت برشی رسوب)، τ_{cr}^* (تنش برشی بحرانی بستر) و d^* (قطر متوسط

اساس آزمون و خطا و نتایج محققین پیشین انتخاب شد. در این تحقیق از کابل به قطر ۸ میلی متر به صورت دورپیچ روی پایه‌ها با زاویه ۹۰ درجه (۷ معکوس)، در راستای جریان، برای کاهش آبشستگی موضعی استفاده شده است (شکل ۳). در تمام مدل‌ها، عمق آبشستگی با استفاده از دستگاه عمق‌سنج با دقت $\pm 0/1$ میلی متر اندازه‌گیری شد. دبی‌های مورد نظر توسط دستگاه دبی‌سنج التراسونیک با دقت ۰/۰۱ لیتر بر ثانیه قرائت شد. برای از بین بردن تأثیر دیواره جانبی کانال بر آبشستگی موضعی

جدول ۱. پارامترهای رسوبی دانه‌بندی مربوطه

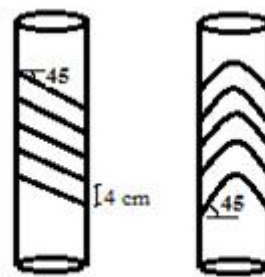
d_{50} (mm)	τ_{cr}	τ^*	d^*	u^*
۰/۷۸	۰/۰۳	۰/۱۳۲۲۶	۱۹/۷۳	۰/۰۱۱۵

جریان، V سرعت متوسط جریان، u^* : سرعت برشی ذرات رسوبی، γ_w : وزن مخصوص آب، γ_s : وزن مخصوص ذرات رسوبی، d_{50} : قطر متوسط ذرات رسوبی، B : عرض گودال ایجاد شده، L : طول گودال، H : ارتفاع گودال v : لزجت سینماتیکی آب، S_0 : شیب کف کانال، σ_g : انحراف استاندارد ذرات، D : قطر پایه پیل، t زمان آبهستگی، V : سرعت متوسط جریان، b : عرض کانال و t_e زمان تعادل آبهستگی را نشان می‌دهد. با استفاده از روش پی-باکینگهام نتیجه آنالیز ابعادی پارامترهای دخیل در آبهستگی به صورت رابطه ۲ به دست آمده است:

$$\frac{d_{smax}}{D} = f_2(Re, Fr, \frac{u^*}{V}, \frac{V \times t}{D}, \frac{H}{d_0}, \frac{L}{d_0}, \frac{B}{d_0}, d_0^*, \frac{d_0}{D}, \frac{t}{t_e}, s_0, \sigma_g, \frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma}) \quad (2)$$

در معادله فوق، Re عدد رینولدز، Fr عدد فرود و d_0^* قطر متوسط بی‌بعد شده ذرات بستر است. با توجه به اینکه شیب بستر، قطر متوسط ذرات بستر و قطر پایه‌های پیل ثابت هستند، تغییرات u^* و V ناچیز بوده و به ترتیب می‌توان از S_0 ، u^*/V ، σ_g و $\frac{(\gamma - \gamma_s)}{\gamma}$ صرف نظر کرد. همچنین عدد رینولدز نسبت نیروی لزجت بر اینرسی را نشان می‌دهد. لذا با توجه به اینکه در جریان متلاطم رودخانه، نیروی لزجت در مقابل نیروی اینرسی ناچیز است، می‌توان تأثیر عدد رینولدز را نادیده گرفت (۱۴). لازم به ذکر است با وجود اینکه مدت زمان رسیدن عمق آبهستگی به تعادل بسیار طولانی است و تغییرات عمق آبهستگی در فواصل زمانی اندازه‌گیری شده ناچیز بوده است، از این‌رو از پارامتر $\frac{Vt}{D}$ نیز صرف نظر شده است (۲۳)؛ بنابراین رابطه ۲ به صورت رابطه ۳ به دست می‌آید:

$$\frac{d_{smax}}{D} = f_3(Fr, \frac{H}{d_0}, \frac{L}{d_0}, \frac{B}{d_0}, d_0^*, \frac{d_0}{D}, \frac{t}{t_e}) \quad (3)$$



شکل ۳. شماتیک آرایش کابل

بی‌بعد شده ذرات بستر) در جدول ۱ آورده شده است. در ابتدای آزمایش‌ها بستر ماسه‌ای به آرامی اشباع شد، درچه انتهایی بسته و پمپ روشن شد. آب با دبی بسیار ناچیز در بستر جریان پیدا کرد تا مانع از تشکیل ریبیل و ناهموازی در بستر شود. بعد از اینکه به آرامی دبی به حد مورد نظر افزایش یافت، عدد فرود و عمق مورد نظر، با باز کردن درچه تنظیم شد. پس از هر آزمایش پمپ خاموش و آب کانال زهکشی شده و با تخلیه آب کانال پروفیل بستر با استفاده از اسکنر سه‌بعدی با مش‌بندی ۳ سانتی‌متر برداشت شد. اندازه‌گیری‌های عمق آبهستگی در طول آزمایش ابتدا با فاصله زمانی ۳۰ دقیقه از شروع آزمایش و سپس هر یک ساعت یک‌بار برداشت شد. زمانی که میزان تغییرات عمق آبهستگی در یک ساعت، به یک میلی‌متر رسید، آبهستگی به تعادل رسیده و آزمایش متوقف شد.

آنالیز ابعادی

عمق آبهستگی در اطراف پایه‌های پیل به هیدرولیک جریان، مشخصات رسوب و هندسه پایه پیل بستگی دارد. بنابراین متغیرهای مؤثر بر عمق آبهستگی مطابق رابطه ۱ معرفی می‌شود:

$$d_{smax} = f_1(g, d_0, u^*, H, L, B, \sigma_g, s_0, d_{50}, \sigma_g, D, t, V, \gamma_s, \gamma, t_e) \quad (1)$$

متغیرهای مستقل عبارتند از: مشخصات هیدرولیکی شامل، g ، d_0 ، u^* ، v ، σ_g ، مشخصات مربوط به آب و رسوب شامل، γ_s ، γ ، d_{50} ، v ، σ_g ، مشخصات مربوط به پایه پیل شامل D ، مشخصات مربوط به زمان آزمایش شامل t و t_e ، مشخصات هندسی گودال شامل H ، L ، B و مشخصات مربوط به کانال آزمایشگاهی شامل S_0 است. g : شتاب گرانش، d_0 : عمق اولیه

جدول ۲. نتایج حداکثر عمق آبستگي در دو حالت ساده و محافظت شده

مدل	Q m ³ /s	Fr	d ₀ cm	v _c m/s	t _e h	dsmax cm	d'smax cm	پایه دارای حداکثر عمق آبستگي
بستر با گودال (محافظت شده)	۰/۰۱۵	۰/۱	۱۰	۰/۱۸	۷	۲	۰/۳	۱
	۰/۰۱۵	۰/۲۵	۱۰	۰/۱۷	۱۲	۱/۵	۱	۴
	۰/۰۱۵	۰/۵	۴	۰/۱۶	۱۰	۸/۲	۵	۱
ساده (شاهد)	۰/۰۱۵	۰/۱	۱۰	۰/۱۸	۷	۲	-۰/۳	۱
	۰/۰۱۵	۰/۲۵	۶	۰/۱۷	۸/۵	۳/۸	۳/۱	۴
	۰/۰۱۵	۰/۵	۴	۰/۱۶	۸	۱۱/۸	۷/۴	۱
بستر بدون گودال (محافظت شده)	۰/۰۱۵	۰/۵	۴	۰/۱۶	۱۲/۵	۷/۵	۴/۵	۱
	۰/۰۲۵	۰/۲۵	۶	۰/۱۷	۱۳	۲/۲	۱/۲	۴

نتایج و بحث

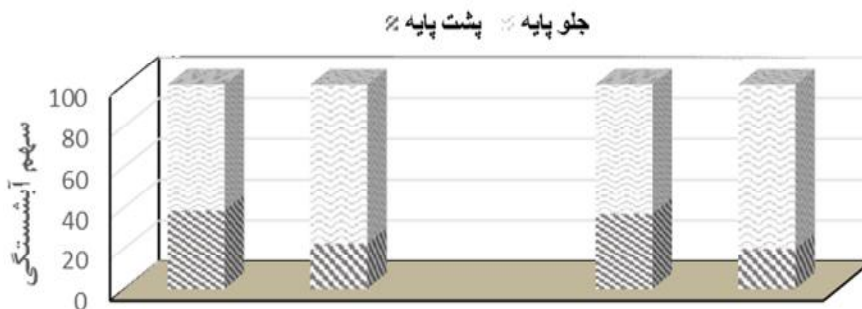
مقادیر عمق آبستگي در جلو و پشت پایه با حداکثر عمق آبستگي برای دو نوع گروه پایه ساده و محافظت شده در جدول ۲ ارائه شده است. به طور مثال در دبي ۱۵ لیتر بر ثانیه برای عدد فرود ۰/۲۵ مشاهده شد که با مسلح کردن پایه‌ها در حالت بدون گودال برداشت مصالح، حداکثر عمق آبستگي (مربوط به گروه پایه واقع در بستر پایین دست)، از ۳/۸ سانتی متر به ۲/۲ سانتی متر در جلو پایه کاهش یافته است. همچنین با برداشت مصالح از بستر در حالت مسلح (برداشت از بالادست گروه پایه)، مقدار عمق آبستگي از ۲/۲ سانتی متر به ۱/۵ سانتی متر رسیده است. این درحالی است که برداشت مصالح از پایین دست گروه پایه‌ها در حالت مسلح شده برای عدد فرود ۰/۵، حداکثر عمق آبستگي (مربوط به پایه شماره چهارم) را در جلو پایه از ۷/۵ به ۸/۲ سانتی متر رسانده است. با توجه به اینکه عامل اصلی وقوع فرسایش در محدوده پایه‌های پل، تمرکز خطوط جریان و افزایش تنش‌های هیدرولیکی ناشی از آن است، با حضور کابل در سطح پایه این تمرکز خطوط جریان بر هم زده شده و سرعت در اطراف پایه‌ها کاهش می‌یابد و در نهایت موجب کنترل آبستگي می‌شود. از طرفی مشاهده شد که برداشت مصالح از بالادست گروه پایه‌ها به دلیل اینکه باعث کاهش عدد فرود جریان ورودی است، منجر به کاهش عمق

آبستگي و برداشت از پایین دست گروه پایه‌ها با ایجاد آبستگي بالارونده موجب افزایش چند درصدی عمق آبستگي در اطراف گروه پایه‌ها شده است.

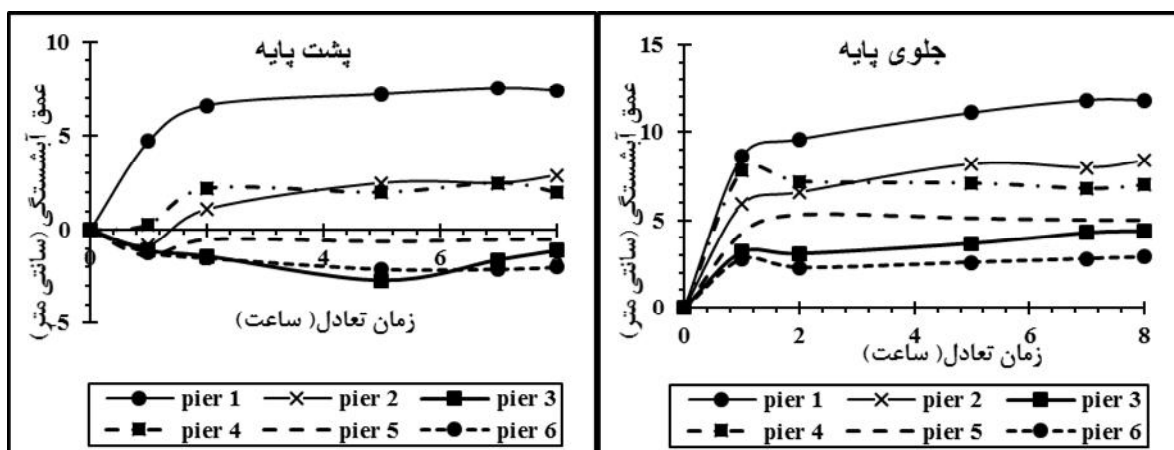
لازم به ذکر است که dsmax و d'smax، به ترتیب مقادیر عمق آبستگي در جلو و پشت پایه با حداکثر آبستگي و t_e زمان تعادل آبستگي هستند. شکل ۴ سهم آبستگي در جلو و پشت پایه با بیشترین آبستگي را در گروه پایه واقع در بستر بالادست گودال و گروه پایه واقع در بستر پایین دست گودال برای هر دو نوع گروه پایه ساده و محافظت شده نشان می‌دهد. بنابراین می‌توان دریافت که میزان کنترل آبستگي در پشت پایه توسط کابل دورپیچ، بیشتر از جلو پایه است که علت این امر کاهش قدرت جریان‌های پایین رونده در پشت پایه با آرایش خاص کابل است.

توسعه زمانی آبستگي

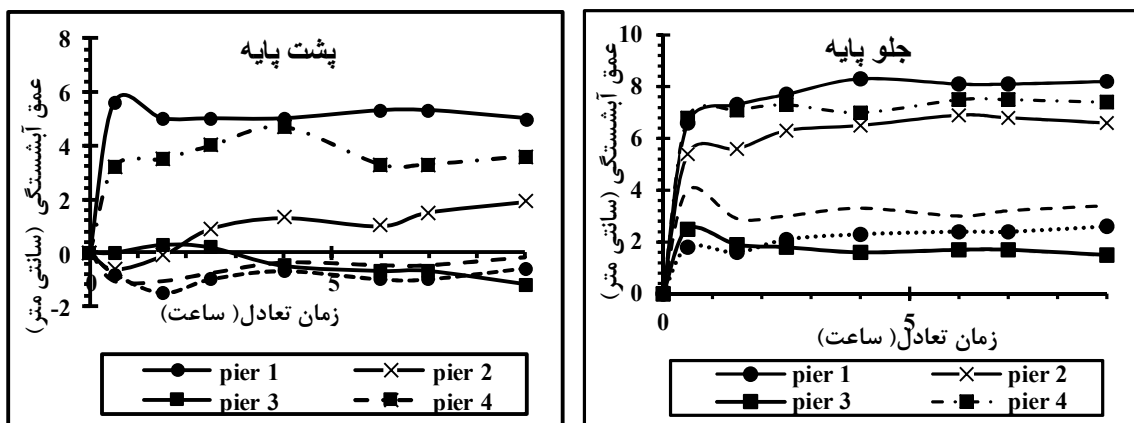
شکل ۵ و ۶ منحنی توسعه زمانی آبستگي در جلو و پشت تمام پایه‌ها، به طور نمونه برای دبي ۱۵ لیتر بر ثانیه به ترتیب برای گروه پایه ساده و محافظت شده را نشان می‌دهد. محور افقی زمان برحسب ساعت و محور عمودی عمق آبستگي برحسب سانتی متر است. همان‌طور که مشاهده می‌شود عمق آبستگي در جلوی تمام پایه‌ها بیشتر از پشت پایه‌ها است.



شکل ۴. سهم جلو و پشت پایه در میزان آبخستگی



شکل ۵. منحنی توسعه زمانی آبخستگی در بالادست و پایین دست پایه های ساده



شکل ۶. منحنی توسعه زمانی آبخستگی در بالادست و پایین دست پایه های محافظت شده

در معرض مستقیم جریان قرار دارد نسبت به پایه چهارم که بعد از گودال واقع شده است دارای آبخستگی بیشتری است. همچنین قسمت پایین دست پایه های دوم از گروه پایه واقع در بستر بالادست و پنجم واقع در بستر پایین دست، از یک روند و پایه های سوم و ششم نیز از روندی مشابه هم برخوردار هستند.

این امر می تواند به دلیل برخورد پر انرژی جریان در جلوی پایه و کاهش قدرت و انرژی جریان بعد از برخورد به پایه باشد. در پشت پایه اول از گروه پایه واقع در بستر بالادست گودال و پایه چهارم از گروه پایه واقع در بستر پایین دست گودال، روند افزایش عمق آبخستگی مشابه هم بوده و پایه اول به دلیل اینکه



شکل ۷. نمایی از آبستگي اطراف گروه‌پایه‌های ساده و محافظت شده در بالادست

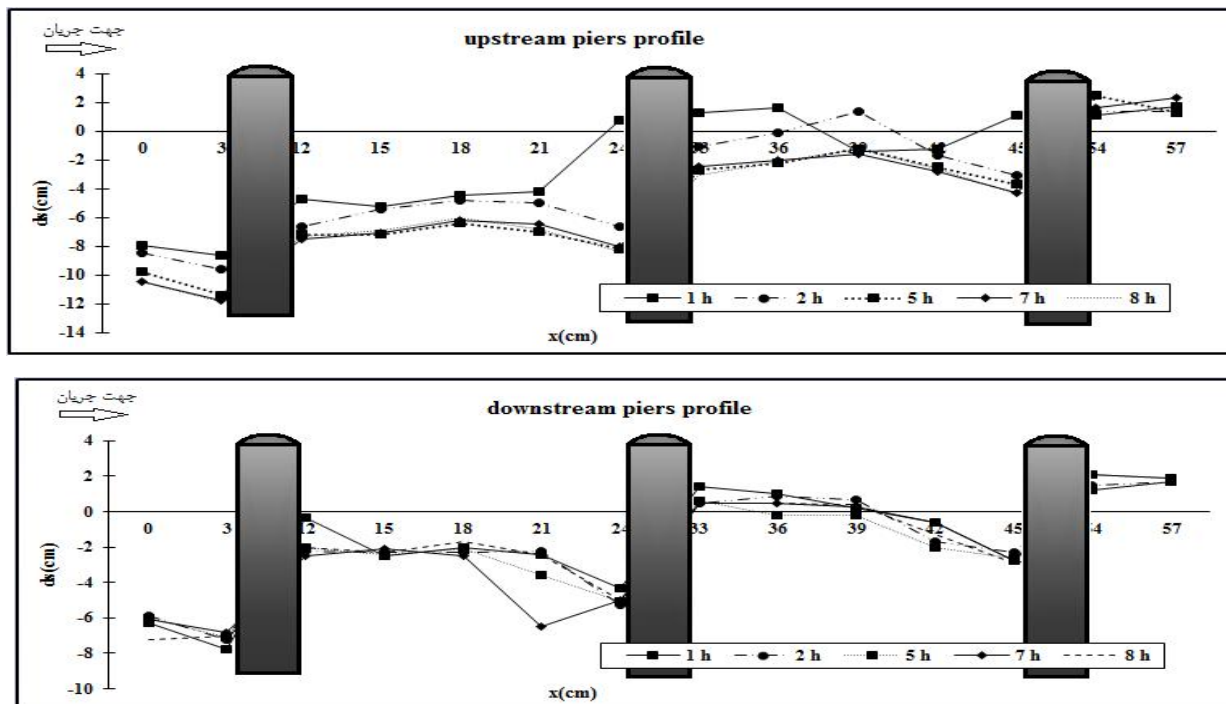
جدایی جریان در پایین دست پایه شده که این امر قدرت گرداب‌های برخاستگی را کاهش داده و در نتیجه باعث کاهش بیشتر آبستگي در این قسمت می‌شود (۱۶). از این رو می‌توان چنین نتیجه گرفت که زبری‌های ایجاد شده در سطح پایه همچون کابل، قدرت گرداب برخاستگی را بیش از جریان‌های روبه پایین کاهش می‌دهند. لذا راندمان کابل در کاهش آبستگي جلو پایه بیشتر از پشت پایه است. شکل ۷ نمایی از آبستگي اطراف گروه‌پایه‌های محافظت شده و ساده را نشان می‌دهد.

پروفیل طولی آبستگي

از آنجایی که بررسی عمق آبستگي در طول مسیر جریان در زمان‌های مختلف برای شناخت مکانسیم آبستگي بسیار حائز اهمیت است، در این تحقیق در صدد برآمدیم که پروفیل طولی آبستگي در چند زمان مختلف در طول آبستگي را تحلیل کنیم. شکل ۸ پروفیل‌های طولی آبستگي حول گروه‌پایه‌های واقع در بستر بالادست و پایین دست گودال برداشت مصالح در مدل گروه‌پایه ساده برای دبی ۱۵ لیتر بر ثانیه و عدد فرود ۰/۵ را نشان می‌دهد. همان‌طور که از این شکل مشخص است و قبلاً نیز اشاره شد تغییرات پروفیل بستر در ساعات اولیه آزمایش بسیار محسوس تر بوده و در ساعات آخر آزمایش از ساعت پنجم به بعد به خصوص در بالادست گودال تغییرات چندانی مشاهده نمی‌شود. لازم به ذکر است که پایه‌های پایین دست گودال سریع‌تر از پایه‌های بالادست گودال شروع به تثبیت کرده است. به عبارت

اثر نگهداری پایه‌های جلویی نه تنها موجب کاهش آبستگي در پشت پایه‌های سوم و ششم شده است، بلکه باعث ایجاد تپه‌های ماسه‌ای شد. به عبارت دیگر، با شروع حرکت جریان از بالادست، به دلیل بالا بودن سرعت جریان و برخورد با پایه اول، بستر اطراف این پایه، به سرعت و با حجم زیادی شسته می‌شود، پایه اول به عنوان نگهدارنده در جلوی پایه دوم، باعث کاهش قدرت جریان‌های پایین رونده در بالادست پایه شده و آبستگي را به نسبت کنترل می‌کند، با رسیدن جریان به پایه سوم این اثر نگهداری بیشتر شده و پایه اول و دوم به‌طور همزمان باعث کاهش آبستگي حول پایه سوم می‌شوند.

مشاهده شد که حجم اصلی آبستگي در تمام پایه‌ها تقریباً در دو ساعت اولیه آزمایش رخ داده است. در ساعات بعدی آزمایش تا زمان تعادل، آبستگي هم در جلو و هم در پشت تمام پایه‌ها تغییرات چندانی نداشته است که البته شرایط اولیه اجرای آزمایش در این پدیده بسیار تأثیرگذار است. از مقایسه منحنی توسعه زمانی گروه‌پایه ساده در شکل ۵ و محافظت شده در شکل ۶ مشاهده شد که با حضور کابل، عمق آبستگي تمام پایه‌ها در جلو و پشت پایه‌ها به‌خصوص در قسمت پشت پایه کاهش قابل توجهی داشته است. لذا می‌توان بیان کرد که با برخورد جریان به پایه و تشکیل جریان‌های روبه پایین و از آنجایی که علت وقوع گردابه نعل اسبی همین جریان‌های رو به پایین هستند وجود کابل باعث کاهش شدت و عمق آبستگي می‌شود. از طرف دیگر وجود کابل دور پایه به‌صورت زبری عمل کرده و باعث تأخیر در



شکل ۸. پروفیل طولی آبستگي در بالادست و پايين دست گودال حول گروه پايه ها ساده

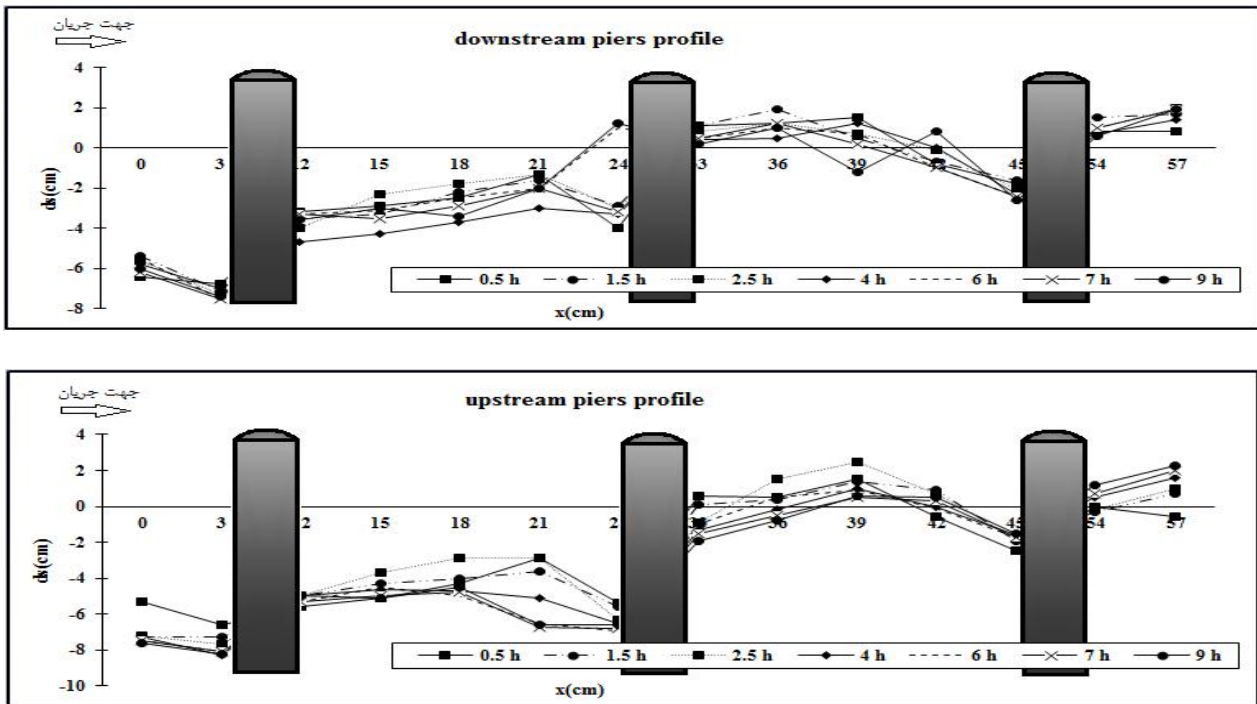
بستر اطراف گروه پایه واقع در بستر پايين دست گودال، در حضور کابل تغييرات چندانی نداشته است. اين درحالی است که در بستر اطراف گروه پایه واقع در بالادست گودال، حداکثر عمق آبستگي، تقريباً از ۱۲ سانتی متر به ۸ سانتی متر کاهش پیدا کرده است. نکته قابل توجه ديگر اين است که حضور کابل با وجود کاهش قابل توجه آبستگي با ايجاد تلاطم در جريان باعث افزايش زمان تعادل شده است. به طوری که در گروه پایه ساده واقع در بستر بالادست، عمق آبستگي در دو ساعت اوليه آزمایش تغييرات محسوس دارد درحالی که در گروه پایه محافظت شده مطابق شکل ۹ بعد از ۴ ساعت شروع به تثبيت کرده است.

وسعت آبستگي

با توجه به موارد ذکر شده و بررسی آبستگي در دو حالت گروه پایه ساده و محافظت شده مشاهده شد که حضور کابل در کاهش عمق آبستگي بسیار مؤثر است از اين رو برای بررسی بیشتر تأثیر کابل، تغييرات وسعت آبستگي در هر دو حالت نیز بررسی شد و در شکل های ۱۰ تا ۱۳ به نمایش

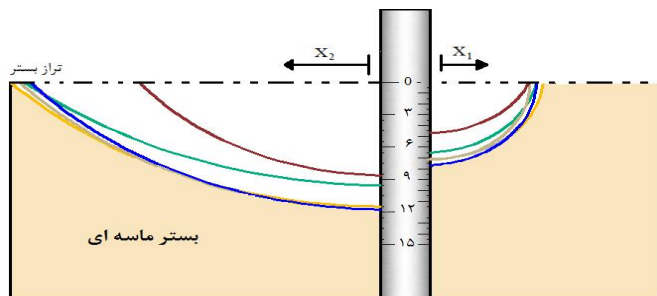
ديگر جريان بعد از عبور بالادست و شستن پایه های مربوط به گروه پایه واقع در بستر بالادست گودال، دارای بار رسوبي شده و به گودال برداشت مصالح می رسد، جريان آب با مشاهده فروافتادگی در مسیر، به طور ناخواسته بار رسوبي خود را در ابتدای گودال ته نشین کرده و تمایل دارد بار معلق از دست داده را به نحوی جبران کند، از اين رو با کندن قسمت انتهایی گودال بار رسوبي از دست داده را به دست می آورد، اکنون جريان درحالی وارد بستر پايين دست می شود که اشباع از رسوب شده و تمایل چندانی برای به دست آوردن بار رسوبي اضافی ندارد لذا با رسیدن به بستر پايين دست گودال، اطراف پایه ها را کمتر در معرض آبستگي قرار می دهد. همچنين به دليل افزايش عمق جريان هنگام عبور از گودال عدد فرود قبل از وارد شدن به بستر پايين دست گودال کاهش یافته و باعث فرسایش کمتری نسبت به بستر بالادست می شود.

شکل ۹ تغييرات پروفیل طولی آبستگي در زمان های مختلف برای گروه پایه محافظت شده واقع در بستر بالادست و پايين دست گودال در دبي ۱۵ لیتر بر ثانيه و عدد فرود ۰/۵ را نشان می دهد. از مقایسه اين شکل با شکل ۸، می توان دریافت که

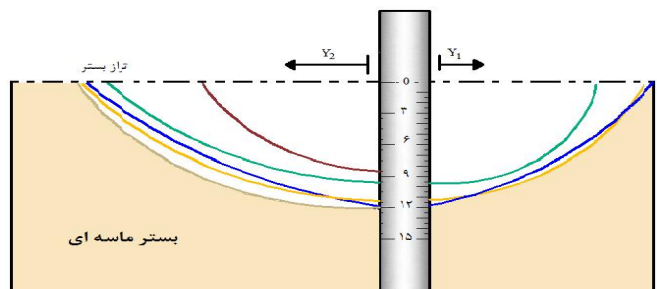


شکل ۹. پروفیل طولی آبشستگی در بالادست و پایین دست گودال حول گروه پایه‌های محافظت شده

X_2 (cm)	X_1 (cm)	زمان (دقیقه)
۱۶/۵	۷	۴۵
۲۴/۵	۷/۵	۱۰۵
۲۵/۵	۸	۲۸۵
۲۴	۷/۵	۴۰۵
۲۵	۷	۴۷۵

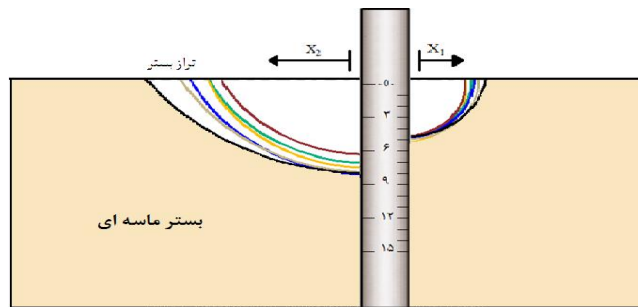


Y_2 (cm)	Y_1 (cm)	زمان (دقیقه)
۱۶/۲۵	صفر	۴۵
۱۹/۲۵	۱۱/۲۵	۱۰۵
۲۱/۲۵	۱۵/۲۵	۲۸۵
۲۱	۱۶	۴۰۵

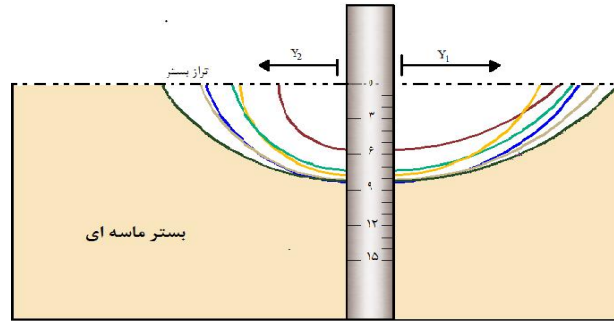


شکل ۱۰. تغییرات وسعت آبشستگی در عرض و طول کانال برای پایه اول در زمان‌های مختلف برای گروه پایه ساده برای دبی ۱۵ لیتر بر ثانیه در عدد فرود ۰/۵

X_2 (cm)	X_1 (cm)	زمان (دقیقه)
۵/۲۵	۱۲/۷۵	۲۰
۸/۷۵	۱۳/۷۵	۸۵
۸/۲۵	۱۱/۲۵	۱۵۵
۱۰/۷۵	۱۴/۲۵	۲۹۰
۱۱/۲۵	۱۵/۷۵	۴۱۰
۱۴/۲۵	۱۷/۲۵	۴۷۰

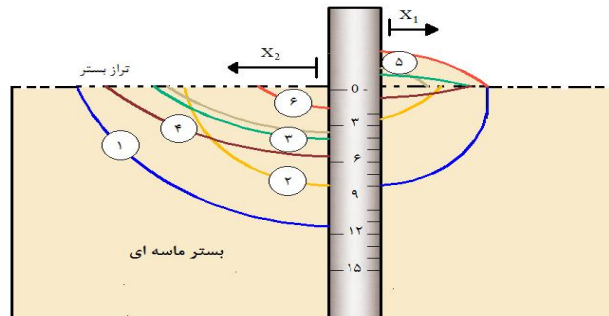


X_2 (cm)	X_1 (cm)	زمان (دقیقه)
۱-/۱	۴	۲۰
۱۱	۴/۵	۸۵
۱۱/۱	۴	۱۵۵
۱۲/۳	۴/۷	۲۹۰
۱۳	۵	۴۱۰
۱۵/۵	۵/۵	۴۷۰

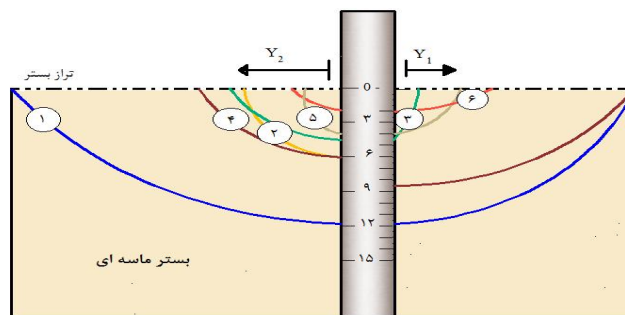


شکل ۱۱. تغییرات وسعت آبستگنی در عرض و طول کانال برای پایه اول در زمان‌های مختلف برای گروه پایه محافظت شده برای دبی ۱۵ لیتر بر ثانیه در عدد فرود ۰/۵

X_2 (cm)	X_1 (cm)	شماره پایه
۱۶/۵	۷	۱
۹/۵	۴	۲
۱۱/۵	۶	۳
۱۴/۵	۶	۴
۱۰/۵	۳	۵
۴/۵	۷	۶

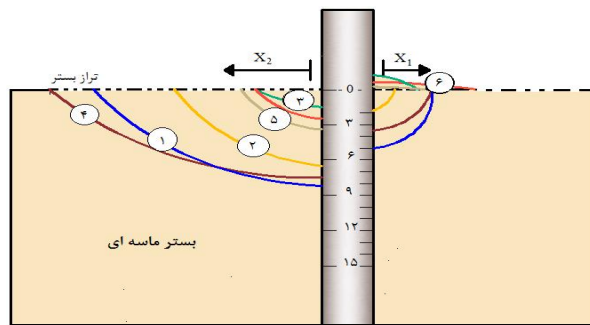


Y_2 (cm)	Y_1 (cm)	شماره پایه
۲۱/۲۵	۱۵/۲۵	۱
۶/۲۵	صفر	۲
۷/۲۵	۱/۵	۳
۹/۲۵	۱۵/۲۵	۴
۲/۲۵	۴/۲۵	۵
۳/۲۵	۶/۲۵	۶

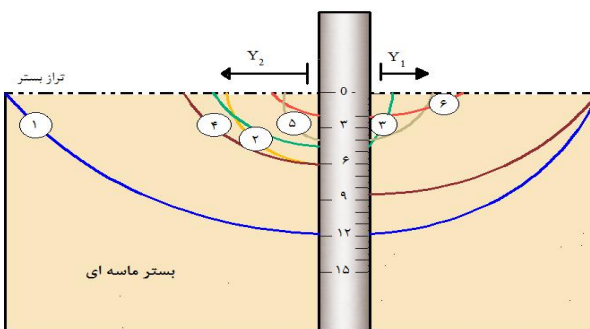


شکل ۱۲. تغییرات وسعت آبستگنی در زمان تعادل برای تمام پایه‌ها در گروه پایه ساده برای دبی ۱۵ لیتر بر ثانیه در عدد فرود ۰/۵

شماره پایه	X_1 (cm)	X_2 (cm)
۱	۵/۵	۱۵/۵
۲	۱/۵	۱۰
۳	۳	۴/۵
۴	۵/۵	۱۸/۵
۵	۳/۵	۵/۵
۶	۷	۴/۵



شماره پایه	Y_1 (cm)	Y_2 (cm)
۱	۱۴/۲۵	۱۷/۲۵
۲	۶/۲۵	۵/۲۵
۳	۵/۲۵	۶/۲۵
۴	۱۴/۲۵	۱۶/۲۵
۵	۳/۲۵	۳/۲۵
۶	۶/۲۵	۷/۲۵

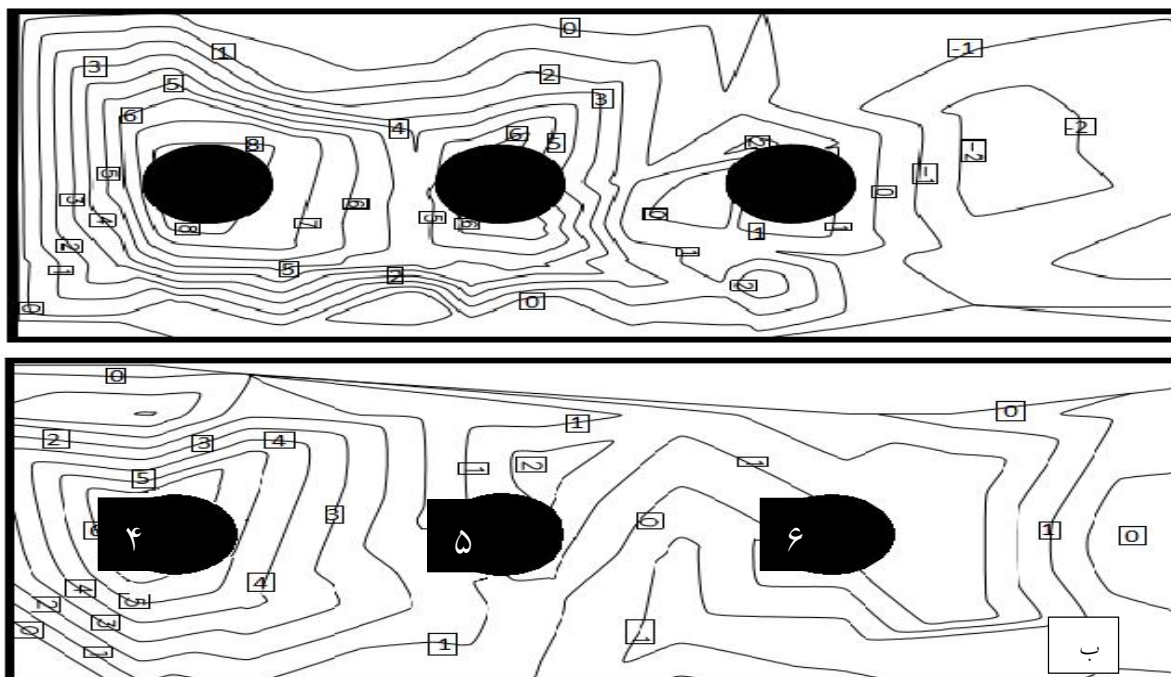


شکل ۱۳. تغییرات وسعت آبشستگی در زمان تعادل برای تمام پایه‌ها در گروه پایه محافظت شده برای دبی ۱۵ لیتر بر ثانیه در عدد فرود ۰/۵

شدت و عمق آبشستگی در پشت پایه کمتر از جلوی پایه باشد که این موضوع را می‌توان در شکل ۱۰ و ۱۱ به وضوح مشاهده کرد. همچنین مشاهده می‌شود که وسعت آبشستگی در زمان تعادل با حضور کابل از ۲۵ به ۱۵/۵ سانتی‌متر در بالادست پایه و از ۷ به ۵/۵ سانتی‌متر در پایین دست پایه کاهش یافته است. در عرض کانال حداکثر وسعت آبشستگی ۳۷/۵ سانتی‌متر در حالت ساده و ۳۱/۵ سانتی‌متر در حالت محافظت شده بوده که بیانگر عملکرد مناسب کابل در کاهش شدت آبشستگی است.

مقایسه‌ای برای تغییرات وسعت آبشستگی در عرض و طول کانال برای تمام پایه‌ها در زمان تعادل در شکل ۱۲ و ۱۳ انجام گرفته است. مطابق با این شکل می‌توان نشان داد که در عرض کانال یعنی راستای Y ابتدا پایه اول و بعد از آن پایه چهارم، در هر دو ساحل راست و چپ، دارای بیشترین عمق و وسعت آبشستگی است. گفتنی است علت کم بودن شدت و عمق آبشستگی پایه چهارم نسبت به پایه اول، وجود گودال در بالادست پایه چهارم بوده است. این درحالی است که هر دو

درآمده است. از این رو با مشاهده شکل ۱۰ و ۱۱ و تغییرات وسعت آبشستگی در پایه اول (پایه با ماکزیمم آبشستگی) از گروه پایه واقع در بستر بالادست گودال می‌توان دریافت که در راستای Y (عرض کانال) آبشستگی در ساحل راست و چپ پایه، برخلاف راستای X (طول کانال) تقریباً از لحاظ شدت و عمق یکسان هستند. با تفسیر شکل مربوطه چنین مشاهده شد که با به تعادل رسیدن گروه پایه‌ها به ترتیب بعد از گذشت ۴۷۵ دقیقه از ابتدای آزمایش برای گروه پایه ساده و گذشت ۴۷۰ دقیقه برای گروه پایه محافظت شده، پایه‌ها به بیشترین فرسایش خود هم از لحاظ وسعت و هم از لحاظ عمق، رسیده‌اند. بنابراین به دلیل اینکه در راستای عمود بر جریان، چپ و راست پایه‌ها، صرف‌نظر از محدودیت‌های آزمایشگاهی به طور همزمان در معرض جریان یکسان قرار می‌گیرند، وسعت و عمق آبشستگی تقریباً نتایج مشابهی برای تمام پایه‌ها در پی دارد درحالی که در طول کانال از آنجا که جریان با رسیدن به جلو پایه از قدرتش کاسته شده و با انرژی کمتری به پایه‌های بعدی می‌رسد، مسلماً باید



شکل ۱۴. توپوگرافی بستر گروه پایه‌های محافظت شده: الف) بستر بالادست و ب) بستر پایین دست (دبی ۱۵ لیتر بر ثانیه با عدد فرود ۰/۵)

واقع در بستر بالادست و پایین دست گودال در زمان تعادل را نشان می‌دهد. تمرکز خطوط در اطراف پایه اول گروه پایه واقع در بستر بالادست و پایه چهارم واقع در بستر پایین دست بیانگر تغییرات زیاد وسعت و عمق آبستگی است. همچنین مطابق با نتایج حاصل از بخش‌های پیشین مقاله حاضر، تغییرات توپوگرافی بستر بالادست گودال نسبت به بستر پایین دست گودال بیشتر است که علت آن افزایش عدد فرود در قسمت برداشت شده و وقوع آبستگی بالارونده است.

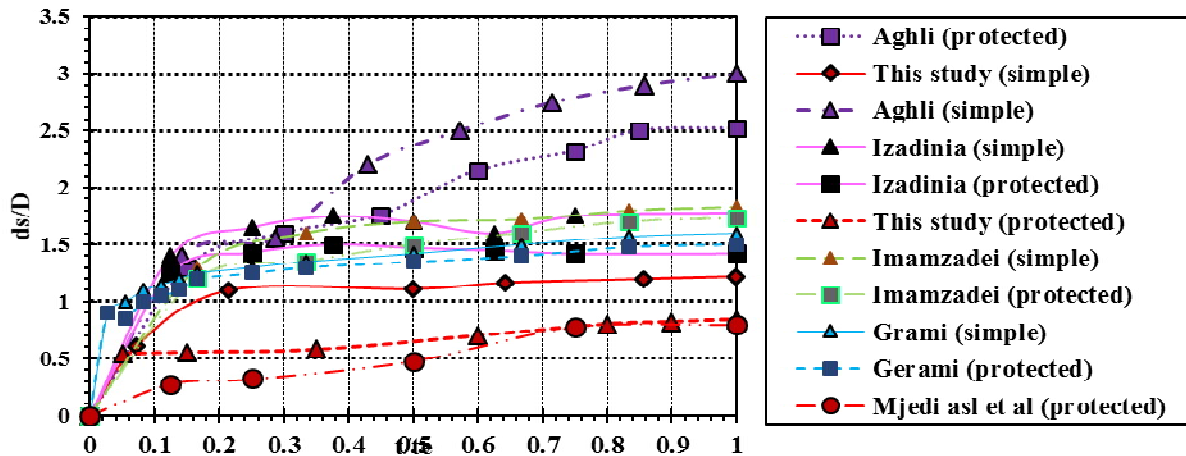
مقایسه با تحقیقات سایر محققین

در تحقیق حاضر به مقایسه عمق آبستگی به دست آمده با نتایج تحقیقات سایر محققین در رابطه با پایه‌های محافظت شده با کابل (با نسبت سرعت متوسط به سرعت برشی بحرانی نزدیک به هم) پرداخته شده است. شکل ۱۵ توسعه زمانی حداکثر عمق آبستگی پایه‌های محافظت شده و ساده برای تحقیق حاضر و محققین دیگر را نشان می‌دهد. مشاهده شد که نه تنها میزان آبستگی در هر دو حالت استفاده از گروه پایه

پایه اول و چهارم جلوترین پایه گروه پایه‌های واقع در بستر بالادست و پایین دست گودال هستند. با توجه به شکل‌ها مشاهده می‌شود که وسعت پایه‌های جلویی در هر دو گروه پایه بیشتر از بقیه است. پایه‌های وسطی گروه پایه‌ها به عنوان محافظت کننده برای پایه‌های پشتی و تقویت شونده توسط پایه‌های جلویی خود وسعت آبستگی کمتری در عرض و پشت پایه نسبت به پایه‌های بعدی دارند که این امر نشان می‌دهد اثر تقویت‌کنندگی پایه دوم و پنجم توسط پایه‌های جلوی خود، بر اثر محافظت‌کنندگی پایه‌های دوم و پنجم بر پایه‌های عقبی در عرض کانال و پشت پایه غالب است. در حالی که در بالادست پایه در هر دو نوع گروه پایه این امر برای پایه پنجم مشاهده نمی‌شود بنابراین اثر تقویت‌کنندگی بر اثر محافظت‌کنندگی غالب شده و وسعت آبستگی در جلوی پایه پنجم بیشتر از پشت آن پایه است.

توپوگرافی بستر

در شکل ۱۴ توپوگرافی بستر اطراف گروه پایه محافظت شده



شکل ۱۵. مقایسه منحنی‌های توسعه زمانی آبخستگی تحقیق حاضر و سایر محققین

جدول ۳. مقادیر کاهش عمق آبخستگی حداکثر در اثر حفاظت کردن پایه برای این تحقیق و سایر محققین

محقق	درصد کاهش آبخستگی در اثر مسلح کردن پایه‌ها (در مقایسه با مدل ساده)
This study	۳۸
Majedi Asl et al (2018)	۴۶
Izadinia and Heidarpour (2014)	۲۰
Aghli (2013)	۱۶/۱۶
Gerami et al (2013)	۶
Imamzadehi et al (2013)	۴/۵

اطراف گروه‌پایه‌های واقع در راستای جریان در شرایط آب زلال با حضور گودال ناشی از برداشت مصالح نشان داد که محافظت با کابل، عمق آبخستگی حداکثر در گروه‌پایه واقع در بستر بالادست گودال را ۲۹/۶ درصد در جلو پایه و ۳۴ درصد در پشت پایه نسبت به گروه‌پایه ساده کاهش داد. همچنین این محافظت باعث کاهش ۱۵ درصدی عمق آبخستگی حداکثر در پشت پایه برای گروه‌پایه واقع در بستر پایین‌دست گودال شد. با وجود گودال در مسیر جریان و تأثیر آن در آبخستگی اطراف پایه‌ها نتایج زیر نیز به دست آمده است.

۱- در هر دو گروه‌پایه واقع در بستر بالادست و پایین‌دست گودال، پایه‌های جلویی، به‌عنوان نگهبان و محافظت‌کننده پایه‌های بعدی عمل کردند. بنابراین پایه‌های جلویی از وسعت

ساده و محافظت‌شده در تحقیق حاضر کمتر از نتایج سایر محققین است، بلکه با مقایسه حالت ساده و محافظت‌شده هر تحقیق به‌طور مجزا مشاهده شد که عمق آبخستگی حداکثر این تحقیق برای پایه محافظت‌شده در مقایسه با پایه ساده همین تحقیق ۳۸ درصد کاهش یافته است. نتایج مقایسه پایه‌های ساده و محافظت‌شده برای تمام تحقیقات به‌صورت درصد در جدول ۳ آورده شده است و نتیجه شد که آرایش دورپیچ کابل مربوط به تحقیق حاضر، در مقایسه با تحقیقات سایر محققین عملکرد بهتری را در کنترل آبخستگی از خود نشان داده است.

نتیجه‌گیری کلی

نتایج بررسی تأثیر استفاده از کابل دورپیچ در کاهش آبخستگی

بوده و بهتر است برداشت مصالح از بالادست آنها صورت گیرد. ۳- نتایج مقایسه پایه‌های ساده و محافظت شده برای سایر تحقیقات نشان داد که دورپیچ کابل با آرایش مربوط به تحقیق حاضر، حدود ۳۸ درصد باعث کاهش آبشستگی در مقایسه با مدل ساده شده و نسبت به تحقیقات سایر محققین عملکرد بهتری در کنترل آبشستگی از خود نشان داده است.

و عمق آبشستگی بیشتری نسبت به پایه‌های پشت سر خود که تحت محافظت هستند برخوردارند. این درحالی است که پایه‌های میانی هر گروه پایه از این موضوع مستثنا بوده و تداخل گردابه‌های دو پایه جلو و عقب آن از عمق و وسعت آبشستگی برای این پایه کاسته است. ۲- گروه پایه‌ها به برداشت ماسه از پایین دست خود حساس‌تر

منابع مورد استفاده

1. Ahmed, F., and N. Rajaratnam. 1998. Flow around bridge piers. *Journal of Hydraulic Engineering* 124(3): 288-300.
2. Amini, A. 2002. Field and laboratory study of how to move the cavity of material harvesting. Graduate Student Thesis, Tarbiat Modarres University, Tehran. (In Farsi).
3. Agli, M. and M. A. Zomorodian. 2013. Coupling effect of collar and cable on the scour depth around the bridge at the river arch. *Irrigation Engineering* 36(3): 31-40. (In Farsi).
4. Ataie-Ashtiani, B. and A. A. Beheshti. 2006. Experimental investigation of clear-water local scour at pile groups. *Journal of Hydraulic Engineering* 132(10): 1100-1104.
5. Amini, A., B. Melville, T. M. Ali and A. H. Ghazali. 2011. Clear-water local scour around pile groups in shallow-water flow. *Journal of Hydraulic Engineering* 138(2): 177-185.
6. Bozkus, Z. and O. Yildiz. 2001. Experimental investigation of scouring around inclined bridge piers. *Wetlands Engineering & River Restoration* 1-12.
7. Chiew, Y. M. 1995. Mechanics of riprap failure at bridge piers. *Journal of Hydraulic Engineering* 121(9): 635-643.
8. Chang, W. Y., J. S. Lai and C. L. Yen. 2004. Evolution of scour depth at circular bridge piers. *Journal of Hydraulic Engineering* 130(9): 905-913.
9. Desine, M. 2018. Laboratory review of the transfer of pits made under the influence of riverbed materials. MSc Thesis, Maragheh University: Civil Engineering Department, Faculty of Engineering. (In Farsi).
10. Dey, S. and R. V. Raikar. 2007. Characteristics of horseshoe vortex in developing scour holes at piers. *Journal of Hydraulic Engineering* 133(4): 399-413.
11. Gerami, A., M. Heidarpour and M. H. Sedag. 2013. Investigation of scour around the cylindrical pier of bridges in the presence of collar and cable, Eighth Forum of Engineering Geology and Environment, 14-16 Nov. Mashhad Ferdowsi University, Iran. (In Farsi).
12. Gunyakti, A. 1988. A graphical procedure for the determination of local scour around bridge piers. *Journal of Engineering and Environmental Sciences, Turkish Scientific Council* 12(1): 96-108.
13. Heidarpour, M., H. Afzalimehr and E. Izadinia. 2010. Reduction of local scour around bridge pier groups using collars. *International Journal of Sediment Research* 25(4): 411-422.
14. Henderson, F., 1966, Open Channel Flow. Macmillan Seris in Civil Engineering, New York.
15. Hannah, C. 1980. Scour at pile groups, Doctoral Dissertation, University of Canterbury Library.
16. Izadinia, E. and M. Heidarpour. 2014. Investigation and comparison of efficiency of cable and groove in protection against scouring. *Irrigation Sciences and Engineering (JISE)* 30(1).
17. Imamzadehei, A. N., M. Heidarpour, M. N. Imamzadehei and A. Fazlollahi. 2013. Control of local scour around bridge pier groups using geotextile armored soil. *Journal of River Engineering* 1(2): 1-6. (In Farsi).
18. Kothyari, U. C., R. C. J. Garde and K. G. Ranga Raju. 1992. Temporal variation of scour around circular bridge piers. *Journal of Hydraulic Engineering* 118(8): 1091-1106.
19. Kondolf, G. M. 1997. Effects of dams and gravel mining on rivers. *Environmental Management* 21(4): 533-551.
20. Lee, S. O. 2006. Physical modeling of local scour around complex bridge piers, Doctoral Dissertation, Georgia Institute of Technology.
21. Lee, S. O. and T. W. Sturm. 2009. Effect of sediment size scaling on physical modeling of bridge pier scour. *Journal of Hydraulic Engineering* 135(10): 793-802.
22. Majedi ASL, M., R. Daneshfaraz and S. Valizadeh. 2018. Experimental investigating effect of river materials mining on scouring around armed pier groups *Iranian Journal of Soil and Water Research* 50(3): 1363-1380. <http://dx.doi.org/10.22059/ijswr.2019.269942.668062>. (In Farsi).
23. Özalp, M. C. and Z. Bozkus. 2013. Experimental investigation of local scour around bridge pier groups. Doctoral

Dissertation, MSc Thesis, Department of Civil Engineering. The Graduate School of Natural and Applied Sciences of Middle East Technical University.

24. Raudkivi, A. J. and R. Ettema. 1983. Clear-water scour at cylindrical piers. *Journal of Hydraulic Engineering* 109(3): 338-350.
25. Rezaei, M., R. Daneshfaraz and M. Dasine. 2018. Experimental investigation of adding clay and PAM on scour reduction bridge piers under the influence removal of river materials. *Journal of Iranian Hydraulic Association* 13(3): 59-70.
26. Raudkivi, A. J. 1998. *Loose Boundary Hydraulics*, CRC Press.
27. Sheppard, D. M. and Jr, W. Miller. 2006. Live-bed local pier scour experiments. *Journal of Hydraulic Engineering* 132(7): 635-642.
28. Salim, M. and J. S. Jones. 1996. Scour around exposed pile foundations. *In North American Water and Environment Congress & Destructive Water*, ASCE 2202-2211.

A Laboratory Study of Longitudinal, Transverse and Topography of the Scouring the Bridge Pier Group with Sand Mining

M. Majedi Asl^{*}, R. Daneshfaraz and S. Valizadeh¹

(Received: June 22-2019 ; Accepted: September 25-2019)

Abstract

Sand mining from rivers is one of the biggest concerns in the science today. Certain principles and rules for choosing the right place for mining materials and the amount of this mining are missing in the design codes. Therefore, mining of river materials from sites with less potential and near structures has been occasionally seen. In the present study, it has been attempted to reinforce the structure to control the impact of the mining of material, which results in the increased scour by changing the flow pattern around the structure. The experiments were carried out in two simple and armed modes, in sand bed with a grain size of 0.78 mm, with a length of 4.25 meters, inside a canal of 13 meters in length and 1.2 meters in width. The extent of scouring along the longitudinal and transverse directions in different times from the start to the scouring equilibrium was investigated for all substrates under sub-critical flow conditions (range 0.5-0.25). The results showed that the use of a cable-protected method in the upstream pit led to 29.6% reduction in the maximum scour depth at the front and 34% reduction in the back of the pier; also, in the downstream of the pit, it reduced the maximum scour depth by 15% at the front of the pier. Therefore, the cable arrangement used at the piers surface, according to the current research method, resulted in a significant reduction in the depth and extent of scouring in the pier group of the bridge.

Keywords: Maximum scouring, Pier group, Mining material of pit hole, Extent of scouring

1. Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, University of Maragheh, Iran.

*: Corresponding author, Email: mehdi.majedi@gmail.com