

بررسی آزمایشگاهی تاثیر پارامترهای هیدرولیکی و برداشت مصالح رودخانه‌ای در میزان آبشستگی گروه‌پایه‌های اصلاح شده با کابل

مهدی ماجدی اصل^{۱*}، رسول دانشفراز^۲، میرعلی محمدی^۳، سعیده ولی‌زاده^۴

- ۱- *استادیار دانشگاه مراغه-گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی مهندسی، مراغه، ایران
۲- استاد دانشگاه مراغه-گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی مهندسی، مراغه، ایران
۳- دانشیار مهندسی عمران-هیدرولیک و مکانیک مهندسی رودخانه، دانشکده فنی مهندسی دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران
۴- دانشجوی دکتری، مهندسی عمران-آب و سازه‌های هیدرولیکی-دانشگاه ارومیه

majedi@maragheh.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۴/۰۲

تاریخ دریافت: ۹۸/۱۰/۲۱

چکیده

امروزه استخراج و برداشت مصالح از رودخانه‌ها از عوامل موثر در وقوع پدیده آبشستگی به شمار می‌آید. در تحقیق حاضر به بررسی آزمایشگاهی آبشستگی حول گروه‌پایه پل‌ها در دو دانه‌بندی مختلف پرداخته شد و میزان تاثیر دانه‌بندی و اصلاح پایه‌ها در کنترل آبشستگی، در دو حالت شرایط طبیعی و استخراج مصالح رودخانه‌ای از بالادست و پایین‌دست گروه‌پایه مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور ۴۴ آزمایش برای دو نوع دانه‌بندی مصالح ۰/۷۸ mm و ۱/۷ mm، با عدد فرود بین ۰/۱ تا ۰/۵ برای دبی‌های متفاوت انجام گرفت. نتایج حاصل نشان داد گروه‌پایه اصلاح‌شده (زیر شده با کابل) کمتر از گروه‌پایه ساده (سطح صاف)، در اثر استخراج مصالح رودخانه‌ای، زمان تعادل آبشستگی را افزایش داده است. با بررسی استخراج مصالح از بالادست و پایین‌دست گروه‌پایه‌ها، مشاهده گردید استخراج از بالادست گروه‌پایه‌ها موجب کاهش و استخراج از پایین‌دست گروه‌پایه‌ها موجب افزایش آبشستگی می‌شود. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که آبشستگی پایه‌های پل به گودال پایین‌دست حساس‌تر بوده و حداکثر امکان می‌بایست استخراج مصالح از بالادست پایه‌ها انجام پذیرد. به عبارت دیگر، درصد کاهش عمق آبشستگی در اثر استخراج مصالح از بالادست گروه‌پایه‌ها و درصد افزایش این عمق در اثر برداشت مصالح از پایین‌دست گروه‌پایه‌ها برای مدل با گروه‌پایه اصلاح‌شده به ترتیب بیشتر و کمتر از مدل با گروه‌پایه ساده بدست آمد. درصد کاهش آبشستگی در اثر اصلاح پایه‌ها نیز مورد بررسی قرار گرفت و مشاهده شد در بهترین حالت، میزان عمق آبشستگی بیشینه در دانه‌بندی با قطرهای متوسط ۰/۷۸ mm و ۱/۷ mm با اصلاح پایه‌ها به ترتیب ۵۵٪ و ۶۶٪ کاهش یافته است.

واژگان کلیدی: آبشستگی، بستر رودخانه، استخراج مصالح، گروه پایه‌ها، پایه مسلح، دانه بندی مصالح بستر.

۱- مقدمه

امروزه پایه‌های پل‌ها را تحت تاثیر قرار می‌دهد، استخراج بی‌رویه ساخت پل‌های بزرگ در مسیر رودخانه‌ها، مستلزم داشتن پایه‌هایی مصالح رودخانه‌ای برای استفاده در ساخت و ساز و صنعت می‌باشد. با توجه به اینکه جای خالی اصول و ضوابط برداشت شن با ضخامت زیاد و عریض می‌باشد، که باعث افزایش هزینه‌های اجرایی و افزایش عمق آبشستگی می‌گردد. از طرفی موضوعی که و ماسه از رودخانه‌ها در آیین‌نامه‌ها احساس می‌شود، ارائه راهکاری

مناسب برای رفع این دو مشکل مهم، مهندسین هیدرولیک را بیش از پیش به فکر واداشته است.

تحقیقات انجام گرفته در زمینه آبشستگی، به شناخت مکانیسم آبشستگی حول پایه‌های پل، الگوی جریان و تاثیر شکل و قطر پایه‌ها در آبشستگی و موارد مختلف دیگر پرداخته است. بررسی الگوی جریان در گودال آبشستگی حول پایه استوانه‌ای توسط (Graf and Istiarto, 2002)، نشان داد که یک سیستم گردابی به نام گردابه نعل اسبی در جلو پایه و یک سیستم گردابی دنباله‌دار با قدرت بیشتر در پشت پایه ایجاد می‌شود [1]. در زمینه بررسی عمق آبشستگی مطالعات زیادی انجام گرفته است. از جمله این مطالعات می‌توان به مطالعات (Laursen and Toch (1956), Qader (1981), Chiew (1995) و Ahmed and Rajaratnam (1998) اشاره نمود [2-5]. مطالعه‌ای جهت بررسی فرسایش ناشی از جریان حول پایه قائم در بستر چسبنده نشان داد که آبشستگی نهایی توسط قطر پایه، سرعت جریان، عدد رینولدز، عدد فرود، تنش برشی و خصوصیات خاک بستر کنترل می‌گردد. از این رو به ارائه رابطه‌ای بر اساس این پارامترهای موثر پرداختند [6] (Rambabu et al, 2003). توسعه زمانی عمق آبشستگی موضعی در بستر ماسه‌ای یکنواخت تحت آب صاف حول پایه‌های استوانه‌ای توسط Melville and Chiew در سال ۱۹۹۹ مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که عمق آبشستگی بعد از ۱۰ درصد زمان تعادل حدود ۵۰ تا ۸۰ درصد می‌باشد [7]. (Ismael et al (2015)، با بررسی موقعیت قرارگیری پایه‌ها در مسیر جریان و کنترل میزان آبشستگی حول پایه‌ها، مشاهده کرد که پایه جدید مورد بررسی در تحقیق مربوطه، باعث کاهش ۵۴ درصدی عمق آبشستگی در حالتی که دماغه نوک تیز پایه در بالادست جریان قرار دارد شده است. همچنین در حالت برعکس (جهت دماغه نوک تیز به سمت پایین‌دست جریان)، عمق آبشستگی حدود ۴۰ درصد در مقایسه با پایه استوانه‌ای کاهش داشته است [8]. (Chang et al, 2004)، به محاسبه عمق آبشستگی در جریان دائمی و غیردائمی با رسوبات بستر یکنواخت پرداخته و روشی برای محاسبه زمان تعادل آبشستگی توسعه دادند [9]. (Ting et al (2001)، آبشستگی حول پایه‌های استوانه‌ای در بستر رسی را بررسی کردند. ایشان مشاهده کردند با وجود اینکه آبشستگی در بستر رسی کندتر از بستر ماسه‌ای

رخ می‌دهد، عمق آبشستگی تعادل در هر دو بستر تقریباً مشابه هم می‌باشد [10]. (Tafarjnoruz et al (2012)، روش‌های مختلف تغییر الگوی جریان برای کنترل آبشستگی حول تک پایه قائم را بررسی کرده و مشاهده کردند که استفاده از طوقه، پایه نگهبان و شکاف در پایه بیشینه عمق آبشستگی را تا ۳۵ درصد نسبت به روش‌های دیگر کاهش می‌دهد [11]. همچنین Barboya et al (2014)، نشان دادند آبشستگی موضعی حول تکیه‌گاه قائم با غیر یکنواخت تر شدن خاک بستر افزایش می‌یابد. ایشان سه رابطه مختلف نیز در شرایط متفاوت برای عمق آبشستگی استخراج کردند [12].

با پیچیدگی پدیده آبشستگی در بررسی گروه‌پایه‌های پل، مکانیسم انتقال رسوب و پروفیل بستر، پدیده آبشستگی حول پایه‌ها نیازمند شناخت و تحلیل دقیق‌تری قرار گرفت. تحقیقاتی در زمینه بررسی آبشستگی اطراف گروه‌پایه‌های پل صورت پذیرفته است. (Vittal et al, 1994) آبشستگی حول گروه‌پایه‌های پل در شرایط آب زلال را بررسی کردند. ایشان یک گروه سه‌تایی از پایه‌های استوانه‌ای که مجموع قطر آن‌ها برابر تک پایه اصلی بود، با آرایش ۱۲۰ درجه مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد استفاده از گروه‌پایه به جای تک پایه، حدود ۴۰ درصد باعث کاهش آبشستگی گردیده است [13]. همچنین مطالعات دیگری درباره آبشستگی گروه پایه‌ها توسط محققین مختلفی از جمله: (Salim and Jones, 1996 ; Amini et al, 2011) صورت گرفته است [14, 15]. در زمینه بررسی استفاده از گروه‌پایه در کاهش آبشستگی، در سال ۱۳۹۱ عقلی با به بررسی تاثیر توام طوق و کابل بر روی عمق آبشستگی گروه‌پایه‌های پل در قوس رودخانه پرداخته و نشان داد که به کارگیری توام طوق و کابل کارایی بهتری نسبت به استفاده تک تک آن‌ها داشته و بستن کابل در جهت ساعت‌گرد عملکرد بهتری از خود نشان داده است (Aghli, 2012) [16]. (Özalp and Bozkus, 2013)، دو آرایش به صورت گروه پایه که آرایش اول دارای سه پایه و آرایش دوم دارای چهار پایه می‌باشد مورد تحلیل قرار گرفت. برای هر کدام از آرایش‌ها دو پایه ابتدایی و انتهایی نسبت به محور قائم تحت زوایای مختلف ۱۵، ۱۰، ۰ در نظر گرفته شد. تمام پایه‌ها یک بار به قطر ۵۰ و بار دیگر به قطر ۷۰ میلی‌متر تحت آزمایش قرار گرفت. نتایج نشان داد که استفاده از گروه‌پایه

کابل) با آرایش خاص، به عنوان مسلح کننده استفاده گردید. همچنین تاثیر این استخراج هم در بالادست و هم در پایین دست گروه پایه ها در دو دانه بندی مختلف بررسی گردید. در ادامه رابطه ای نیز برای تخمین عمق آبستنگی بیشینه در گروه پایه ها ارائه و با روابط سایر محققین مقایسه شد.

۲- مواد و روش ها

برای بررسی آبستنگی گروه پایه های پل، در تحقیق حاضر ۴۴ آزمایش با شرایط آزمایشگاهی یکسان در کانالی با مقطع مستطیلی به طول ۱۳ m، عرض ۱/۲ m و عمق ۰/۸ m مورد آزمایش قرار گرفت (جدول ۲). برای بررسی و تحلیل رفتار آبستنگی حول گروه پایه پل ها در تحقیق حاضر آزمایش ها در دو مدل ۱ (گروه پایه های شاهد یا ساده) و مدل ۲ (گروه پایه های اصلاح شده) انجام شد. هر دو مدل تحت دو دانه بندی $A (d_{50} = 0.78 \text{ mm})$ و $B (d_{50} = 1 \text{ mm})$ ، مورد تحلیل قرار گرفت. همچنین برای بررسی تاثیر استخراج مصالح در میزان آبستنگی گروه پایه های پل، آزمایشات در دو حالت بستر با گودال (حالت استخراج مصالح) و بستر بدون گودال (حالت طبیعی رودخانه) بررسی گردید. در تمام آزمایش ها عمق آبستنگی با استفاده از دستگاه عمق سنج با دقت $1 \text{ mm} \pm 0$ اندازه گیری شد. دبی های مورد نظر توسط دستگاه دبی سنج التراسونیک با دقت ۰/۰۱ قرائت شدند. شیب کانال توسط یک جک قابل تغییر بوده و در این تحقیق برای تمام آزمایش ها، شیب بر روی صفر تنظیم شد. آب مورد نیاز برای آزمایشات در کانال مربوط به صورت چرخشی توسط پمپی با قدرت پمپاژ ۷ lit/s تا ۵۲ lit/s تامین گردید. تلاطم جریان ابتدا توسط یک منبع آرام کننده در ابتدای کانال و سپس با عبور از دو صفحه مشبک کاهش یافت. همچنین در ادامه نیز از یک صفحه شناور بعد از صفحات مشبک برای کاهش بیشتر تلاطم جریان استفاده گردید. برای آرام کردن جریان و کاهش افت انرژی هنگام ورود جریان بر روی کف بند از رمپ استفاده گردید. دو کف کاذب شیشه ای در بالادست و پایین دست به فاصله ۴/۲۵ m از هم و ارتفاع ۲۲ cm در میانه کانال نصب شد (شکل ۱ را ببینید).

منجر به کاهش آبستنگی شده و اطراف پایه های مایل بیشتر از پایه های قائم دچار آبستنگی شده اند [17]. در مطالعه آزمایشگاهی بررسی اثرات گروه پایه پل با اندازه های مختلف و آرایش پشت سر هم، بر روی آبستنگی و گودال آبستنگی در یک کانال مستقیم، نتایج حاکی از آن بود که وجود گروه پایه پل در کاهش آبستنگی نقش مؤثری ایفا می کند (Beg and Beg, 2014) [18].

در زمینه بررسی برداشت مصالح رودخانه، (Kondolf, 1997)، به بررسی اثرات برداشت شن و ماسه بر رژیم جریان و انتقال بار رسوبی در رودخانه راین پرداخت. نتایج حاکی از آن است که پس از برداشت دراز مدت شن و ماسه از بستر رودخانه، انتقال بار معلق از بالادست افزایش یافته و رسوبات دانه درشت کناره ها و بستر رودخانه در پایین دست مستعد فرسایش خواهند بود [19]. بررسی آزمایشگاهی و صحرایی نحوه جابجایی گودال های ناشی از برداشت مصالح رودخانه ای حاکی از آن است که سرعت جابجایی گودال ها با طول گودال و دبی جریان نسبت مستقیم و با عمق گودال ها نسبت معکوس دارد. همچنین از بین پارامترهای مورد بررسی، عمق گودال بیشترین تأثیر را بر جابجایی داشته است (Amini, 2001) [20]. تأثیر انتقال گودال های ایجاد شده تحت اثر برداشت مصالح رودخانه ای تحت گودال های برداشت مصالح به طول ۰/۲۲ متر و عرض ۰/۳ متر با ارتفاع های مختلف ۰/۰۴، ۰/۰۸ و ۰/۱۲ متر در تحقیق بررسی گردید و در نهایت روابطی برای طول و عمق آبستنگی ارائه گردیده و پارامترهایی که بیشترین کمترین تأثیر را در این روابط دارد استخراج و با استفاده از آنالیز حساسیت، صحت سنجی شدند (Dasine, 2018) [21]. همچنین بررسی تاثیر استفاده از رس و پلی اکریل آمید کاتیونی بر آبستنگی پایه های پل و گودال های برداشت مصالح، نشان داد که این ماده تأثیر مثبتی بر کاهش عمق آبستنگی پایه ها پل داشته است. بطوریکه بهترین عملکرد مربوط به استفاده از مخلوط رس و ۱۰ درصد پلی اکریل آمید بوده است (Rezaei et al 2018) [22].

با بررسی تحقیقات پیشین، مشاهده گردید که استفاده از گروه پایه به جای تک پایه های عریض در پل ها، می تواند در کاهش آبستنگی تاثیر بسزایی داشته باشد. از طرفی با توجه به تاثیر استخراج شن و ماسه از رودخانه ها بر آبستنگی پایه ها، در تحقیق حاضر برای کنترل این تاثیر منفی، از زبری بر روی پایه ها (دورپیچ

شکل ۱. شکل شماتیک کانال آزمایشگاهی

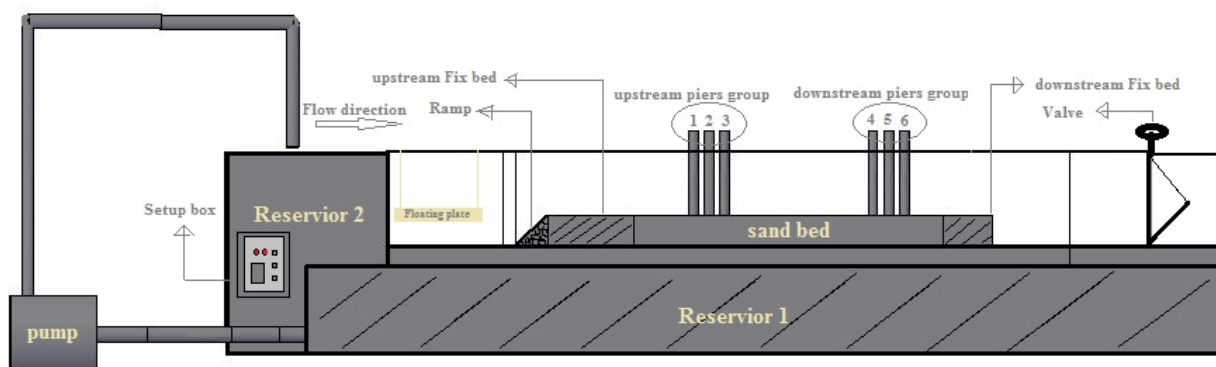


Fig. 1. Schematic form of the laboratory channel

بستر متحرک ماسه‌ای با ارتفاع ۲۲ cm در بین کف‌بندها قرار گرفت. دو سری گروه‌پایه در بالادست و پایین‌دست بستر با فاصله مشخص از کف‌بندها واقع شد که مشخصات آن‌ها در شکل ۲ مشاهده موجود است. گروه‌پایه‌ها با آرایش یکسان (سه پایه متوالی در راستای جریان و در مرکز عرض کانال) به فاصله مرکز به مرکز ۲۱ cm از هم قرار گرفت. برای بررسی تاثیر گودال حاصل از

شکل ۲- پلان قرارگیری پایه‌ها و گودال برداشت مصالح

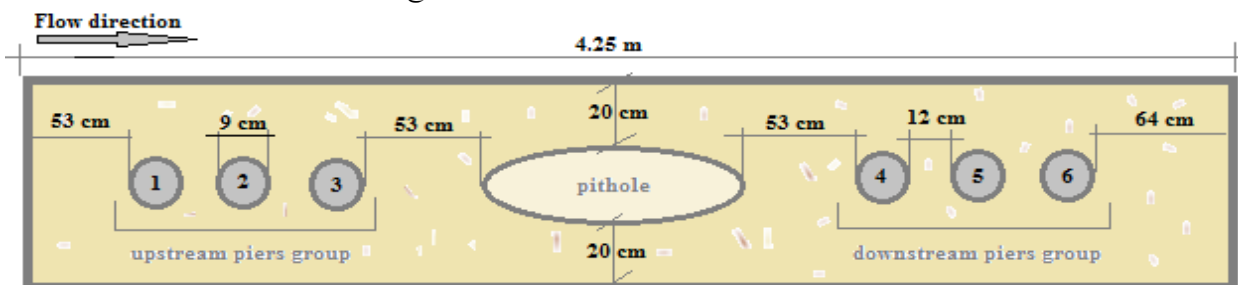


Fig. 2. Plans for piers and pit hole

در این تحقیق برای اصلاح پایه‌ها از کابل دورپیچ با قطر ۸ انتخاب شد. بنابراین آبشستگی در اطراف دو نوع گروه‌پایه ساده (میلی‌متر و فاصله ۴ سانتی‌متر از هم به عنوان زبری استفاده گردید (شکل ۳). این فاصله چهار سانتی‌متری بر اساس آزمون و خطا

شکل ۳- شماتیک پایه اصلاح شده

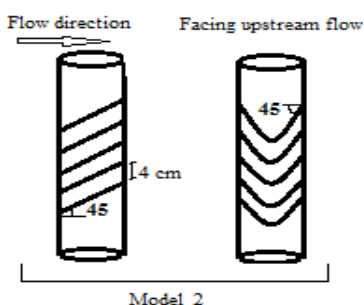


Fig. 3. Schematic of corrected pier

برای از بین بردن تاثیر دیواره کانال بر آبشستگی موضعی باید نسبت فاصله مرکز پایه تا دیواره کانال به قطر پایه، بزرگتر از $6/25$ باشد [۲۳]. لذا در این تحقیق از پایه به قطر ۹ سانتی متر استفاده شد. برای جلوگیری از تشکیل فرم بسترریپل، قطر متوسط ذرات بستر باید بیشتر از $0/7$ میلی متر و نسبت قطر پایه به متوسط ذرات

شکل ۴- منحنی دانه بندی ذرات بستر

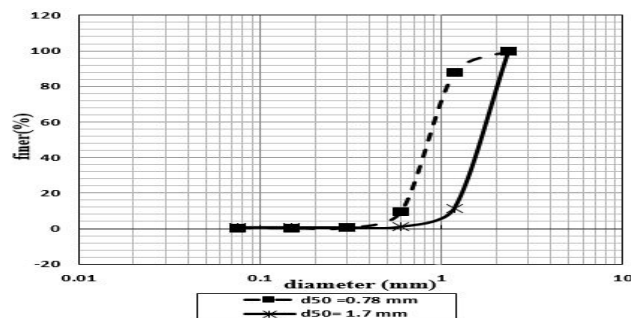


Fig. 4. The particle size distribution curve of the bed

$$\tau_{cr} = \frac{0.3}{1 + 1.2 \times d^*} + 0.055(1 - \exp(-0.02 \times d^*)) \quad [1]$$

$$s = \frac{\rho_s}{\rho} \quad \text{و} \quad d^* = [g(s-1)/g^2]^{1/3} \times d_{50} \quad [2]$$

برخی پارامترهای رسوبی مربوط به ذرات بستر از جمله، τ^* (پارامتر شیلدز)، u^* (سرعت برشی)، τ_{cr} (تنش برشی بحرانی بستر) و d^* (قطر متوسط بی بعد شده ذرات بستر)، در جدول ۱ ارائه شده است (Julien 2010).

جدول ۱- پارامترهای رسوبی مربوط به دانه بندی ۱ و ۲

Grading	d_{50} mm	τ_{cr}	τ^*	d^*	u^*	σ_g	C_u
A	0.78	0.03	0.13226	19.73	0.0115	1.6	1.45
B	1.8	0.038	0.13229	45.53	0.0115	1.23	1.68

Table. 1. Sedimentary parameters related to granulation 1 and

در ابتدای هر آزمایش، بستر ماسه‌ای به آرامی اشباع گردید بدینصورت که ابتدا دریچه انتهایی بسته و پمپ روشن شد و آب با دبی بسیار کم در بستر جریان پیدا کرد تا مانع از ناهمواری در بستر شود. سپس به آرامی دبی به حد مورد نظر افزایش یافته و عدد فرود و عمق مورد نظر، با باز کردن دریچه تنظیم گردید. پس از هر آزمایش پمپ خاموش و آب کانال زهکشی شد. اندازه‌گیری‌های عمق آبشستگی در طول آزمایش ابتدا با فاصله زمانی ۳۰ دقیقه از شروع آزمایش و سپس هر یک ساعت یکبار برداشت گردید. هنگامی که میزان تغییرات عمق آبشستگی در یک ساعت، به ۱ mm می‌رسید، آبشستگی به تعادل رسیده و آزمایش متوقف گردید [24] Mia and Nago (2003).

۲-۱- آنالیز ابعادی

متغیرهای موثر بر عمق آبشستگی مطابق رابطه ۳ معرفی می‌گردد.

$$d_s = f_1(g, d_0, u_*, H, L, B, \vartheta, s_0, d_{50}, \sigma_g, D, t, V, \gamma_s, \gamma, t_e) \quad [3]$$

متغیرهای مستقل عبارتند از: مشخصات هیدرولیکی شامل g

$$\frac{d_s}{D} = f_3(Fr, \frac{H}{d_0}, \frac{L}{d_0}, \frac{B}{d_0}, \frac{d_0}{D}, \frac{d_{50}}{D}, \frac{t}{t_e}, \sigma_g, \frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma}) \quad [5]$$

۳- نتایج و بحث

پدیده آبستگي در اطراف پایه‌ها، به شناخت پارامترهای موثر بر آن، نحوه و میزان تاثیر پارامترها در این پدیده پیچیده بستگی دارد. محاسبه عمق آبستگي حول گروه پایه‌های پل تحت تاثیر عوامل مختلفی همچون دانه‌بندی بستر و استخراج مصالح از بستر می‌باشد. تحقیق حاضر سه بخش: عمق آبستگي، پروفیل طولی آبستگي و زمان تعادل آبستگي را مورد بررسی قرار داده است.

۳-۱- بررسی عمق آبستگي

مشخصات هیدرولیکی و میزان عمق آبستگي در جلو و پشت پایه با بیشینه آبستگي برای تمام آزمایشات در جدول ۲ ارائه شده است. منظور از PN و Run به ترتیب شماره پایه (Pier Number) و نام‌گذاری آزمایش می‌باشد. نام‌گذاری بدین صورت است که حرف A و B بیانگر نوع دانه‌بندی (A: دانه‌بندی با قطر متوسط ۷۸ mm و B: دانه‌بندی با قطر متوسط ۱۷ mm)، حرف P بیانگر وجود گودال برداشت مصالح و شماره‌ها به ترتیب شماره-های آزمایش را نشان می‌دهد. همچنین d_{s1} و d_{s2} عمق آبستگي در جلو و پشت پایه می‌باشد. در آزمایش AP۹ برای هر دو مدل گروه پایه، آبستگي عمومی و موضعی شدید رخ داده است. همچنین در دانه‌بندی B به دلیل درشت بودن ذرات بستر، برای اعداد فرود پایین‌تر آبستگي مشاهده نشد.

u^* , v , d_0 مشخصات مربوط به آب و رسوب شامل γ_s , γ_w , σ_g , d_{50} مشخصات مربوط به پایه پل 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 , b، می-باشد. g: شتاب گرانش، d_0 : عمق اولیه جریان، V سرعت متوسط جریان، u^* : سرعت برشی ذرات رسوبي، γ_w : وزن مخصوص آب، γ_s : وزن مخصوص ذرات رسوبي، d_{50} : قطر متوسط ذرات رسوبي، 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 پل، t زمان آبستگي، V: سرعت متوسط جریان، b: عرض کانال و t_e زمان تعادل آبستگي را نشان می‌دهد. با استفاده از روش پی-باکینگهام نتیجه آنالیز ابعادی پارامترهای دخیل در آبستگي به صورت رابطه ۴ بدست آمده است:

$$\frac{d_s}{D} = f_2(Re, Fr, \frac{u^*}{V}, \frac{V \times t}{D}, \frac{H}{d_0}, \frac{L}{d_0}, \frac{B}{d_0}, \frac{d_0}{D}, \frac{d_{50}}{D}, \frac{t}{t_e}, S_0, \sigma_g, \frac{\gamma_s - \gamma}{\gamma}) \quad [4]$$

در معادله فوق، Re عدد رینولدز، Fr عدد فرود می‌باشد. با توجه به اینکه شیب بستر ثابت می‌باشد و نیروی لزجت در مقابل نیروی اینرسی در جریان متلاطم رودخانه ناچیز است و با وجود اینکه مدت زمان رسیدن عمق آبستگي به تعادل بسیار طولانی است و تغییرات عمق آبستگي در فواصل زمانی اندازه‌گیری شده ناچیز بوده است، از این‌رو رابطه ۴ به صورت رابطه ۵ خلاصه می‌شود (Henderson, 1966 [۱۷]):

جدول ۲- خصوصیات هیدرولیکی و میزان عمق آبستگي در جلو و پشت پایه دارای بیشینه آبستگي

Model	Run	Q m3/s	Fr	d_0/D	v_c m/s	d_{s2} Max (m)	d_{s1} max (m)	PN	t_e (h)
Simple pier group									
With pithole	AP1	0.015	0.1	1.11	0.17	0.3	2	1	7
	AP2	0.03	0.1	2	0.2	0.9	2.1	4	4
	AP3	0.045	0.1	2.66	0.2	0.7	3.7	4	7
	AP4	0.015	0.25	0.66	0.17	3.3	4.1	4	8.5
	AP5	0.03	0.25	1.11	0.17	6	10	4	9
	AP6	0.045	0.25	1.14	0.19	8.3	12.4	4	8
	AP7	0.015	0.5	0.44	0.16	7.3	11.7	1	8
	AP8	0.03	0.5	0.66	0.17	11.9	15.6	1	8

	AP9	0.045	0.5	0.88	0.17			...	
Without pit	A5	0.03	0.25	1.11	0.17	6.5	11	4	7
	A8	0.03	0.5	0.66	0.17	10.7	15	1	6.5
	BP13	0.015	0.25	0.66	0.15	1.7	2.26	4	2
With pithole	BP14	0.03	0.25	1.11	0.17	0	4.9	4	5.5
	BP15	0.045	0.25	1.44	0.19	2.7	6.5	4	6
	BP16	0.015	0.5	0.44	0.16	4	9	1	4.5
	BP17	0.03	0.5	0.66	0.17	8.9	13.4	1	7.5
	BP18	0.045	0.5	0.88	0.17	12.1	16.6	1	6
Without pithole	B5	0.03	0.25	1.11	0.17	1	5.3	4	2
	B8	0.03	0.5	0.66	0.17	7.4	12.1	1	7.15
Model		Armed pier group							
With pithole	AP4	0.015	0.25	0.66	0.17	1.7	2.7	4	1
	AP5	0.03	0.25	1.11	0.17	0.5	4.5	4	4.5
	AP6	0.045	0.25	1.14	0.19	5.4	11.5	4	7.5
	AP7	0.015	0.5	0.44	0.16	2	9.4	1	7
	AP8	0.03	0.5	0.66	0.17	8.8	14.4	1	8
	AP9	0.045	0.5	0.88	0.17				
Without pithole	A5	0.03	0.25	1.11	0.17	0	4.6	4	4
	A8	0.03	0.5	0.66	0.17	9.2	13.5	1	5
With pithole	B16	0.015	0.5	0.44	0.16	1.4	3	1	4.5
	B17	0.03	0.5	0.66	0.17	5	12.1	1	7
	B18	0.045	0.5	0.88	0.17	10	15.2	1	5.5
Without pithole	B5	0.03	0.25	1.11	0.17	0.7	2.5	4	1.5
	B8	0.03	0.5	0.66	0.17	5.4	11.6	1	2.5

Table. 1. Sedimentary parameters related to granulation 1 and 2

مشاهدات موجود در جدول ۲ نشان داد که در آزمایشات مربوط به عدد فرود ۰/۲۵، بیشترین عمق آبشستگی مربوط به پایه چهارم، واقع در بستر پایین دست و در عدد فرود ۰/۵، بیشترین عمق آبشستگی مربوط به پایه اول، واقع در بستر بالادست می باشد. به عبارت دیگر، در عدد فرود ۰/۵، به دلیل زیاد بودن سرعت جریان، پایه اول در معرض آبشستگی بیشتری قرار می گیرد. در ادامه، جریان آب حامل رسوبات شده و مقداری از انرژی جریان به دلیل حمل رسوبات کاسته می شود. در نتیجه پایه چهارم در این عدد فرود کمتر دچار فرسایش می گردد. این در حالی است که در عدد فرود ۰/۲۵، سرعت جریان اولیه نسبت به عدد فرود ۰/۵ کمتر است، لذا فرسایش پایه اول کمتر بوده و گروه پایه های بالادست باعث ایجاد تلاطم جریان در بستر پایین دست شده و عمق آبشستگی در پایه چهارم را به نسبت پایه های واقع در بستر بالادست افزایش می دهند. به عبارتی می توان تاثیر گروه پایه های

بالادست را در آبشستگی گروه پایه های پایین دست گودال استخراج مصالح مشاهده کرد. استخراج ماسه از میانه بستر، موجب افزایش عمق آبشستگی بیشینه در بستر بالادست و کاهش این عمق در بستر پایین دست شده است. به عبارت دیگر با عبور جریان از گروه پایه های بالادست و رسیدن به گودال حاصل از استخراج مصالح، این جریان بار معلق خود را ته نشین کرده و جریان در بالادست متلاطم شده و بالادست گودال دچار آبشستگی می گردد. این پدیده که آبشستگی بالارونده نام دارد موجب افزایش آبشستگی در بستر بالادست می شود. از طرفی وجود گودال، با افزایش عمق و کاهش سرعت جریان، موجب می شود که جریان با عدد فرود کمتری وارد بستر پایین دست شده و این بستر را کمتر دچار آبشستگی کند. به طور مثال استخراج مصالح در دانه بندی 'B' با گروه پایه مسلح و دبی ۳۰ lit/s، باعث افزایش ۹/۷ درصدی عمق آبشستگی در بستر بالادست و کاهش

۸/۱ درصدی در بستر پایین دست شده است. بنابراین می توان نتیجه گرفت که آبشستگی پایه های پل به گودال پایین دست حساس تر بوده و حتی الامکان می بایست استخراج مصالح از بالادست پایه ها انجام گیرد.

یکی از پارامترهای مهم برای بررسی تاثیر استخراج مصالح رودخانه ای در میزان آبشستگی، پارامتر درصد کاهش عمق آبشستگی است. شکل ۵ مقادیر درصد کاهش عمق آبشستگی در اثر استخراج مصالح از بستر رودخانه ای در مقابل مقادیر عمق اولیه جریان می بعد شده را نشان می دهد. مطابق با توضیحات ارائه شده مشاهده می شود که در نسبت بی بعد عمق اولیه جریان ۱/۱۱ که مربوط به عدد فرود ۰/۵ است از آنجایی که عمق آبشستگی مختص پایه شماره ۱ واقع در بالادست است، استخراج مصالح از بستر منجر به افزایش ۱۰ و ۲ درصدی عمق آبشستگی گروه پایه ساده و

شکل ۵- مقادیر درصد کاهش و افزایش عمق آبشستگی بیشینه در اثر استخراج مصالح رودخانه ای

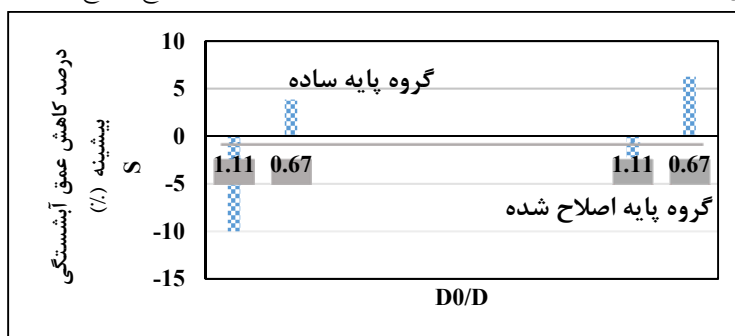


Fig. 5. Percentage values of decrease and increase of maximum scour depth due to river material extraction

شکل ۶ مقادیر درصد کاهش عمق آبشستگی در اثر اصلاح بهترین حالت، میزان عمق آبشستگی بیشینه در دانه بندی A و B با اصلاح پایه ها به ترتیب ۵۵ و ۶۶ درصد کاهش یافته است. منظور از $K = ((d_{smax})_{simple} - (d_{smax})_{armed}) / ((d_{smax})_{simple})$ می باشد. بدون بعد ۱/۱۱ و ۰/۴۴ به ترتیب برای دانه بندی A و B دارای بیشترین درصد کاهش عمق آبشستگی می باشد. به عبارت دیگر در

شکل ۶- مقادیر درصد کاهش عمق آبشستگی در اثر اصلاح پایه ها

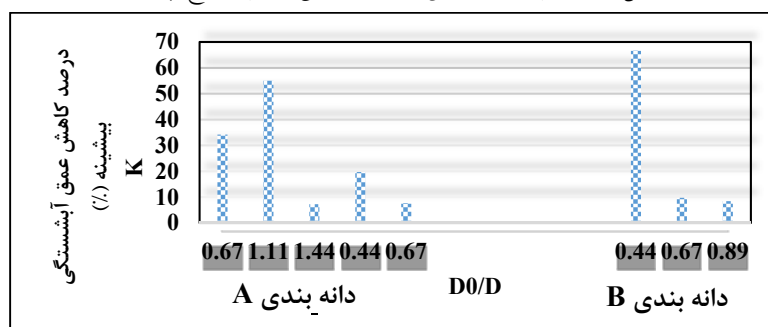


Fig. 6. Percentage values of scour depth reduction due to base fixing

به عبارت دیگر، هنگامی که رسوبات به محل گودال می‌رسند، به دلیل کاهش سرعت آب و افزایش عمق، جریان قادر به حمل رسوبات بزرگتر نبوده و رسوبات در دیواره بالایی گودال ته‌نشین می‌شوند. با توجه به اینکه بار رسوبی که آب هنگام خروج از گودال حمل می‌کند کمتر از ظرفیت حمل رسوب می‌باشد، در نتیجه جریان از دیواره پایینی گودال رسوب برداشته، تا بار از دست داده خود را جبران کند. این فرایند منجر به ایجاد تلاطم در بستر شده و زمان تعادل آبستنگی را افزایش داده است. بطوریکه در دبی lit/s ۳۰ و عدد فرود $0/5$ ، برای دانه‌بندی 'A' با گروه‌پایه‌های ساده (شاهد)، استخراج مصالح منجر به افزایش $21/25$ درصدی زمان تعادل و در عدد فرود $0/25$ ، موجب افزایش 22 درصدی زمان تعادل شده است. این در حالی است که زمان تعادل در حالت طبیعی نسبت به حالت استخراج مصالح در گروه‌پایه مسلح به ترتیب کاهش $12/5$ درصدی و 11 درصدی برای عدد فرود $0/5$ و $0/25$ در دبی lit/s ۳۰ داشته است. به همین ترتیب در دانه‌بندی 'B' نیز استخراج مصالح، زمان تعادل را برای عدد فرود $0/5$ و $0/25$ ، به ترتیب $6/5$ و 63 درصد در گروه‌پایه ساده و 78 و 100 درصد در گروه‌پایه مسلح شده افزایش داده است.

با درشت‌تر شدن ذرات بستر و در نتیجه افزایش نیروی مقاوم ذرات در برابر نیروی محرک جریان، میزان عمق آبستنگی در هر دو مدل گروه‌پایه مسلح شده و ساده کاهش یافت. لذا از آنجایی که میزان آبستنگی با حضور گروه‌پایه مسلح شده کاهش چشم‌گیری داشته است، تاثیر توأم اصلاح گروه‌پایه‌ها و درشت‌تر شدن ذرات بستر در دانه‌بندی 'B' باعث شد که در عدد فرود $0/25$ و $0/1$ هیچ آبستنگی رخ ندهد

۳-۲- بررسی زمان تعادل آبستنگی

شکل ۹ زمان تعادل آبستنگی تمام آزمایش‌ها را برای گروه‌پایه ساده و مسلح شده نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که به‌طور کلی در بیشتر آزمایشات زمان تعادل آبستنگی در گروه‌پایه اصلاح شده کاهش یافته است. بطوریکه برای هر دو حالت طبیعی بستر و حالت استخراج مصالح، آبستنگی در زمان بیشتری به تعادل رسیده است. همچنین مشاهده می‌شود که استخراج مصالح از بستر موجب افزایش زمان تعادل شده است. لازم به ذکر است که آبستنگی زمانی به تعادل می‌رسد که قدرت نیروهای محرک تقریباً برابر نیروهای مقاوم (وزن اشباع ذره) گردد. نتایج نشان می‌دهد که حضور گودال منجر به افزایش زمان تعادل آبستنگی شده است.

شکل ۹- مقایسه زمان تعادل آبستنگی در گروه‌پایه‌های ساده و اصلاح شده برای دو دانه‌بندی 'A' و 'B'

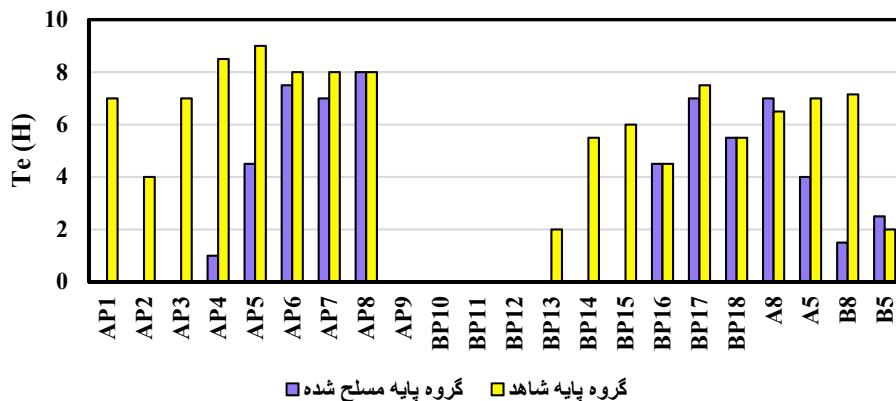


Figure 9- Comparison of scour equilibrium time in simple and modified substrates for 2A1 and 2B2 aggregates

$$\frac{d_s}{D} = 74.44(Fr)^{1.9}(\tau^*)^{0.13} \left(\frac{d_0}{D}\right)^{1.12} / \left(\frac{d_{50}}{D}\right)^{0.2} \quad [6]$$

[7]

۳-۳- مقایسه نتایج با روابط تجربی

در تحقیق حاضر برای پیش‌بینی عمق آبستنگی حول پایه‌های پل بر اساس پارامترهای موثر در آبستنگی، از روش رگرسیون غیرخطی استفاده شده است. دو رابطه برای تخمین عمق آبستنگی بیشینه گروه‌پایه ساده (رابطه ۶) و مسلح شده (رابطه ۷) ارائه گردید. روابط تجربی سایر محققین برای صحت‌سنجی روابط تحقیق حاضر در جدول ۳ ارائه شده است.

$$\frac{d_s}{D} = 1.45(Fr)^{3.18}(\tau^*)^{0.19} \left(\frac{d_0}{D}\right)^{1.895} / \left(\frac{d_{50}}{D}\right)^{0.75} \quad \text{عمق آبستنگی بی-}$$

یعد شده بر اساس چهار رابطه ارائه شده محققین مختلف و روابط ۶ و ۷، محاسبه شده است.

جدول ۳- روابط تجربی محققین مختلف برای تخمین عمق آبشستگی

Researcher	Scouring Equation
Present study	$\frac{d_s}{D} = 74.44(Fr)^{-0.19} \left(\frac{\tau^*}{D} \right)^{0.19} \left(\frac{d_{50}}{D} \right)^{0.75}, 0.1 \leq Fr \leq 0.5$ $\frac{d_s}{D} = 1.45(Fr)^{3.18} (\tau^*)^{0.19} \left(\frac{d_0}{D} \right)^{1.895} / \left(\frac{d_{50}}{D} \right)^{0.75}, 0.1 \leq Fr \leq 0.5$
[25] Melville (1997)	$\frac{d_s}{D} = \frac{1}{v_c} \left(0.57 \log \left(\frac{2.24}{d_{50}} \right) \right)^{k_{yd}} \quad k_{yd} = 2.4 \rightarrow \frac{d_0}{D} \leq 0.7$ $k_{yd} = 2 \sqrt{\frac{d_0}{D}} \rightarrow 0.7 \leq \frac{d_0}{D} \leq 5, k_{yd} = 4.5 \rightarrow \frac{d_0}{D} > 5$
CSU (Richardson, 2001) [26]	$\frac{d_s}{D} = 2k_3 \left(\frac{v}{D} \right)^{Fr^{0.19}}, \quad k_3 = 1.1 \rightarrow \text{plane bed}$
[27] Jain (1981)	$D = 1.45 \left(\frac{v}{\sqrt{gy_0}} \right)^{0.19} \left(\frac{d_{50}}{D} \right)^{0.75}$
[28] Hancu (1971)	$\frac{d_s}{D} = 2.42 \left(\frac{v}{V_c} - 1 \right) \left(\frac{d_{50}}{gD} \right)^{1.03}$

Table 3. Experimental relationships of different researchers to estimate the depth of scour

جدول ۴ مقادیر معیارهای ارزیابی برای روابط ارائه شده در براساس نوع پارامترهای مورد استفاده در رابطه و با توجه به نسبت تحقیق حاضر و محققین دیگر را نشان می‌دهد. NRMSE، سرعت متوسط جریان به سرعت برشی انتخاب گردید. همانطور که مشاهده می‌شود هر دو رابطه تحقیق حاضر مقادیر مناسبی از NRMSE و R را به خود اختصاص داده‌اند. همچنین پیش‌بینی عمق آبشستگی توسط Melville و Hancu با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی تحقیق حاضر کمترین همبستگی و بیشترین خطا را محققین برای ارائه این روابط شباهت چندانی به آزمایش تحقیق حاضر نداشت لذا انتخاب روابط محققین برای صحت‌سنجی

جدول ۴- نتایج معیارهای ارزیابی روابط حاصل در این تحقیق و روابط سایر محققین

Researcher	R	NRMSE
Equation 1	0.92	11%
Equation 2	0.93	17%
Jain(1981)	0.22	27%
Melville(1997)	-0.01	57%
CSU(2001)	0.25	32%
Hancu(1971)	-0.02	48%

Table 4. Results of the evaluation criteria of the relationships obtained in this study and those of other researchers

۴- نتیجه‌گیری
حالت بستر با گودال (حالت استخراج مصالح) و بستر بدون گودال (حالت طبیعی رودخانه) بررسی گردید و نتایج زیر حاصل شد:
۱- روند کلی تغییرات عمق آبشستگی در هر دو نوع گروه‌پایه مشابه هم بوده است. این در حالی است که گروه‌پایه اصلاح شده در هر دو بستر بالادست و پایین‌دست برای تمام آزمایشات با دبی ۳۰ lit/s، موجب کاهش آبشستگی شده و در بهترین حالت عمق آبشستگی بیشینه را ۲۵ درصد کاهش داده است.

برای بررسی و تحلیل رفتار آبشستگی حول گروه‌پایه پل‌ها در تحقیق حاضر ۴۴ آزمایش در دو مدل ۱ (گروه‌پایه‌های شاهد یا ساده) و مدل ۲ (گروه‌پایه‌های اصلاح شده)، انجام شد. هر دو مدل تحت دو دانه‌بندی A ($d_{50} = 0.78 \text{ mm}$) و B ($d_{50} = 1.17 \text{ mm}$)، مورد تحلیل قرار گرفت. همچنین برای بررسی تاثیر استخراج مصالح در میزان آبشستگی گروه‌پایه‌های پل، آزمایشات برای دو

- local scour at bridge piers*. Journal of Hydraulic Engineering, 1999. **125**(1): p. 59-65.
- [8] Ismael, A., M. Gunal, and H. Hussein, *Effect of bridge pier position on scour reduction according to flow direction*. Arabian Journal for Science and Engineering, 2015. **40**(6): p. 1579-1590.
- [9] Chang, W.-Y., J.-S. Lai, and C.-L. Yen, *Evolution of scour depth at circular bridge piers*. Journal of Hydraulic Engineering, 2004. **130**(9): p. 905-913.
- [10] Ting, F.C., et al., *Flume tests for scour in clay at circular piers*. Journal of hydraulic engineering, 2001. **127**(11): p. 969-978.
- [11] Tafarojnoruz, A., R. Gaudio, and F. Calomino, *Evaluation of flow-altering countermeasures against bridge pier scour*. Journal of Hydraulic Engineering, 2012. **138**(3): p. 297-305.
- [12] Barbhuiya, A. and M. Mazumder, *Live-bed local scour around vertical-wall abutments*. ISH Journal of Hydraulic Engineering, 2014. **20**(3): p. 339-351.
- [13] Vittal, N., U. Kothiyari, and M. Haghighat, *Clear-water scour around bridge pier group*. Journal of Hydraulic Engineering, 1994. **120**(11): p. 1309-1318.
- [14] Salim, M. and J.S. Jones. *Scour around exposed pile foundations*. in *North American water and environment congress & destructive water*. 1996. ASCE.
- [15] Amini, A., et al., *Clear-water local scour around pile groups in shallow-water flow*. Journal of Hydraulic Engineering, 2011. **138**(2): p. 177-185.
- [16] Aghli, M., *Effect of combination wrapping cable and collar on scouring depth cylindrical bridge pier groups on rivers meander*, in *Civil engineering department, Faculty of Engineering*. 2012, Shiraz University.
- [17] Özalp, M.C. and Z. Bozkuş, *Experimental investigation of local scour around bridge pier groups*. 2013, MSc thesis, Department of Civil Engineering. The graduate School of Natural
- [18] Beg, M. and S. Beg, *Scour hole characteristics of two unequal size bridge piers in tandem arrangement*. ISH Journal of Hydraulic Engineering, 2015. **21**(1): p. 85-96.
- [19] Kondolf, G.M., *PROFILE: hungry water: effects of dams and gravel mining on river channels*. Environmental management, 1997. **21**(4): p. 533-551.
- [20] Amini, A., *Field and Laboratory Survey of Moving the Cavity of Harvesting Materials*. 2001, Tehran, Tarbiat Modares University.
- [21] Desine, M., *Laboratory review of the transfer of pits made under the influence of riverbed*
- ۲- گروه پایه مسلح شده، تاثیر استخراج مصالح در میزان آبستگي را کنترل کرده است. به عبارت دیگر درصد کاهش عمق آبستگي در بستر پایین دست در اثر استخراج مصالح و درصد افزایش عمق آبستگي در بستر بالادست گودال استخراج مصالح در مدل با گروه پایه مسلح شده به ترتیب بیشتر و کمتر از مدل با گروه پایه ساده است.
- ۳- درصد کاهش آبستگي در اثر اصلاح پایه ها برای هر دو دانه بندی نشان داد، در بهترین حالت میزان عمق آبستگي بیشینه در دانه بندی A و B با اصلاح پایه ها به ترتیب ۵۵ و ۶۶ درصد کاهش یافته است.
- ۴- در دبی ۳۰ lit/s و عدد فرود ۰/۵، برای دانه بندی A با گروه پایه های ساده (شاهد)، استخراج مصالح منجر به افزایش ۲۱/۲۵ درصدی زمان تعادل و در عدد فرود ۰/۲۵، موجب افزایش ۲۲ درصدی زمان تعادل شده است. این در حالی است که زمان تعادل در حالت طبیعی نسبت به حالت استخراج مصالح در گروه پایه مسلح به ترتیب کاهش ۱۲/۵ درصدی و ۱۱ درصدی برای عدد فرود ۰/۵ و ۰/۲۵ در دبی ۳۰ lit/s داشته است. به همین ترتیب در دانه بندی B نیز استخراج مصالح، زمان تعادل را برای عدد فرود ۰/۵ و ۰/۲۵، به ترتیب ۶/۵ و ۶۳ درصد در گروه پایه ساده و ۷۸ و ۱۰۰ درصد در گروه پایه اصلاح شده افزایش داده است.

۵- منابع

- [1] Graf, W. and I. Istiarto, *Flow pattern in the scour hole around a cylinder*. Journal of Hydraulic Research, 2002. **40**(1): p. 13-20.
- [2] Laursen, E.M. and A. Toch, *Scour around bridge piers and abutments*. Vol. 4. 1956: Iowa Highway Research Board Ames, IA.
- [3] Qadar, A. *The vortex scour mechanism at bridge piers*. in *Institution of Civil Engineers, Proceedings*, Pt2. 1981.
- [4] Chiew, Y.-M., *Mechanics of riprap failure at bridge piers*. Journal of Hydraulic Engineering, 1995. **121**(9): p. 635-643.
- [5] Ahmed, F. and N. Rajaratnam, *Flow around bridge piers*. Journal of Hydraulic Engineering, 1998. **124**(3): p. 288-300.
- [6] Rambabu, M., S.N. Rao, and V. Sundar, *Current-induced scour around a vertical pile in cohesive soil*. Ocean Engineering, 2003. **30**(7): p. 893-920.
- [7] Melville, B.W. and Y.-M. Chiew, *Time scale for*

- [25] Melville, B.W., *Pier and abutment scour: integrated approach*. Journal of hydraulic Engineering, 1997. **123**(2): p. 125-136.
- [26] Richardson, E.V., D.B. Simons, and P.F. Lagasse, *River engineering for highway encroachments: Highways in the river environment*. 2001, United States. Federal Highway Administration.
- [27] Jain, S.C., *Maximum clear-water scour around circular piers*. Journal of the Hydraulics Division, 1981. **107**(5): p. 611-626.
- [28] Hancu, S. *Sur le calcul des affouillements locaux dans la zone des piles des ponts*. in *Proceedings of the 14th IAHR Congress, Paris, France*. 1971.
- materials*, in *Civil engineering department*. 2018, Maragheh University.
- [22] REZAIE, M., R. DANESHFARAZ, and M. DASINEH, *Experimental investigation of adding clay and PAM on scouring reduction near bridge piers with river materials removal*. 2018.
- [23] Raudkivi, A.J. and R. Ettema, *Clear-water scour at cylindrical piers*. Journal of Hydraulic Engineering, 1983. **109**(3): p. 338-350.
- [24] Mia, M.F. and H. Nago, *Design method of time-dependent local scour at circular bridge pier*. Journal of Hydraulic Engineering, 2003. **129**(6): p. 420-427.

Experimental study of the effects of hydraulic parameters and river materials on scouring around corrected piers group

Mahdi Majedi-Asl^{1*}, Rasoul Daneshfaraz², Mirali Mohammadi³, Saeideh Valizadeh⁴

1- *Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Hydraulic Structures, Univ. of Maragheh, Iran

2- Professor, Department of Civil Engineering, Hydraulic Structures, Univ. of Maragheh, Iran

3- Associate Professor. in Civil Eng. (Hydraulics & River Eng. Mechanics), Department of Civil Eng., Faculty of Eng., P O Box 165, Urmia University, Iran.

5- PhD. Candidate in Civil Eng. (Water and hydraulic structures), Urmia University, Iran

*majedi@maragheh.ac.ir

Abstract

Nowadays, extraction of materials from river bed is one of the effective factors in the occurrence of scouring phenomena around bridge piers. The extent of scouring around the bridges depends on a number of factors, including the type of foundation, the Froude number, flow rates and bed granulation. In present study, in vitro evaluation of scouring around piers groups in two different grains was investigated. The effect of scouring and armoring of scours in scouring control was investigated in both natural and river conditions. In the present study, 44 experiments with identical laboratory conditions were tested in a rectangular channel with length of 13 m, width of 1.2 m and depth of 0.8 m. In this study, 44 experiments were conducted in two models 1 (control or simple groups) and model 2 (modified groups), both scaling behavior. ($B = 0.7$) and $B'' (= 1.7 \text{ mm})$ were analyzed. In addition, to investigate the effect of material extraction on the scour rate of bridge pedestals, experiments were conducted for both pit-bed (pit-extraction mode) and pit-free bed (river natural state). A removable sand bed with a height of 22 cm was placed between the floorboards. Two series of pedestals were located upstream and downstream of the bed with a clear distance from the flooring. The pedestals were arranged in the same arrangement (consecutive tripods in the direction of flow and in the center of the channel width) with center to center 21 cm apart.

The results showed that the armed (rough) pier group was less than the simple pier group (flat surface), due to the excavation of river materials, it increased the scour equilibrium time. The armed pier group also controlled the impact of extraction of materials on the scour rate. By examining the upstream and downstream materials mining, it was observed that extraction of materials of upstream of pier group decreased and extraction of materials of downstream pier group increased the scour. Therefore, it can be concluded that the scouring of pier is more sensitive to the downstream pit hole and even the mining of materials from upstream of the pier should be possible. In other words, the percentage of scour depth reduction in downstream bed due to extraction of materials and percentage of scour depth in upstream bed of extraction of materials in model with armed pier group were higher and lower than model with simple pier group, respectively. The percentage of scour reduction due to armed of the pier was also studied and it was observed that at best, the maximum scour depth in the aggregate with mean diameters of 0.78 mm and 1.7 mm by armed pier group were 55 and 66 percent, respectively. It is also observed that the extraction of materials from the bed increases the equilibrium time. It should be noted that scour is balanced when the driving force is approximately equal to the resistive force (particle saturation weight). The results show that the presence of the pit leads to an increase in the scour equilibrium time. In other words, when the sediments reach the pit site, due to the decrease in water velocity and increasing depth, the flow cannot carry the larger sediments and the sediments settle in the upper wall of the pit.

Keywords: scouring, river bed, extraction of materials, grouped piers, armored pier, graded bed material.