



دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک
جلد بیست و یکم، شماره اول، ۱۳۹۳
<http://jwsc.gau.ac.ir>

بررسی آزمایشگاهی آبستگی موضعی اطراف گروه پایه‌های دوتایی مجاور هم با پی پیوسته

*نشاط موحدی^۱، امیراحمد دهقانی^۲، محمدجواد اعرابی^۳ و عبدالرضا ظهیری^۴

^۱دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه سازه‌های آبی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، آدانشیار
^۲گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، آدانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه مهندسی عمران،
^۳دانشگاه صنعتی اصفهان، آستادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
تاریخ دریافت: ۹۱/۸/۱۷؛ تاریخ پذیرش: ۹۲/۲/۲۲

چکیده

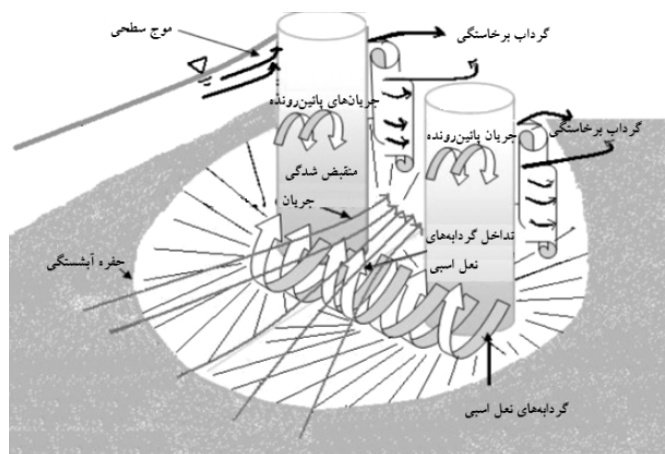
مطالعات آزمایشگاهی و صحرایی نشان می‌دهد، آبستگی موضعی اطراف پایه‌های پل علت اصلی تخریب آن‌ها می‌باشد. در حقیقت الگوی جریان، فرسایش و رسوب‌گذاری اطراف پایه‌های پل را تحت تأثیر قرار می‌دهد. بنابراین تعیین عمق، نحوه ایجاد و گسترش حفره آبستگی از مهم‌ترین موارد طراحی هیدرولیکی پل‌هاست. بنا به دلایل اقتصادی و ژئوتکنیکی، در طراحی پایه‌های پل از گروه پایه استفاده می‌شود. در این پژوهش ابتدا آبستگی اطراف گروه پایه‌های دوتایی با تغییر فاصله بین پایه‌ها مورد ارزیابی قرار گرفته است. سپس تأثیر پی پیوسته بر مکانیزم و میزان آبستگی بررسی شده است. نتایج نشان می‌دهد که با افزایش فاصله بین پایه‌ها، عمق آبستگی کاهش یافته و در $G/D=6$ به تک‌پایه نزدیک می‌شود. همچنین با به‌کارگیری پی پیوسته عمق آبستگی جلوی پایه تا ۵۵ درصد کاهش می‌یابد و در پایین‌دست پی نیز دو حفره متقارن شکل می‌گیرد که محل حداکثر عمق آبستگی را به پایین‌دست منتقل کرده و از سازه دور می‌سازد.

واژه‌های کلیدی: آبستگی موضعی، پایه پل، پایه‌های مجاور هم، پی پیوسته

*مسئول مکاتبه: neshat.movahedi@gmail.com

مقدمه

هنگامی که سازه‌ای در مسیر جریان رودخانه قرار می‌گیرد، تغییراتی را در میدان جریان ایجاد کرده و باعث افزایش ظرفیت انتقال رسوب می‌شود که این امر منجر به وقوع پدیده آبشستگی موضعی اطراف سازه می‌گردد (بهشتی، ۲۰۰۴). علت تخریب بیش‌تر پل‌ها در جهان نیز آبشستگی بیش از حد پایه‌ها و یا تکیه‌گاه‌های آن می‌باشد (کاپاتورک، ۲۰۰۵). بنابراین تخمین دقیق حداکثر عمق آبشستگی می‌تواند منجر به طراحی ایمن و اقتصادی پی شود. در اثر برخورد جریان آب به پایه، در اثر گرادیان فشار، جریان‌های پایین‌رونده ایجاد می‌گردد که پس از برخورد به بستر باعث حفر بستر در جلو پایه شده و گرداب‌های نعل اسبی را ایجاد می‌نماید (عطایی‌آشتیانی و اصلانی‌کردکندی، ۲۰۱۲). جدایی جریان از پایه نیز گرداب‌های برخاستگی را ایجاد می‌کند (شکل ۱). بنا به دلایل اقتصادی و ژئوتکنیکی، در طراحی پایه‌های پل از گروه پایه استفاده می‌شود. فرآیند آبشستگی اطراف گروه پایه با تک‌پایه متفاوت می‌باشد. مکانیزم‌هایی که آبشستگی اطراف گروه پایه‌ها را تحت‌تأثیر قرار می‌دهند عبارتند از اثر تقویت کردن، اثر محافظت یا پناه دادن، اثر گرداب‌های جاری و اثر به هم فشردگی گردابه‌های نعل اسبی (هانا، ۱۹۷۸). در پایه‌های دوتایی عمود بر مسیر جریان، تنها اثر به هم فشردگی گردابه‌های نعل اسبی وجود خواهد داشت.



شکل ۱- میدان جریان اطراف پایه‌های دوتایی عمود بر مسیر جریان.

اولین مطالعه صورت گرفته در زمینه گروه پایه‌هایی دوتایی عمود بر مسیر جریان توسط نوح (۱۹۸۶) صورت گرفت. وی آزمایش‌هایی را به منظور مطالعه اثر فاصله عرضی بین پایه‌ها روی حداکثر عمق آبشستگی در شرایط آب زلال ترتیب داد. قطر پایه در هر آزمایش تغییر داده می‌شد، تا یک مقدار ثابتی برای اندازه نسبی گروه پایه با توجه به عرض کانال ارایه شود. نتایج وی نشان داد که با افزایش فاصله عرضی بین پایه‌ها، عمق آبشستگی کاهش می‌یابد. هانا (۱۹۸۷) به بررسی آبشستگی موضعی در گروه پایه‌های استوانه‌ای تحت شرایط جریان ماندگار و آب زلال پرداخت. وی با انجام آزمایش‌های ۲۴ ساعته برای تک پایه به این نتیجه رسید که ۸۰ درصد عمق آبشستگی در ۷ ساعت اولیه آزمایش رخ می‌دهد. در نتیجه زمان تعادل آزمایش‌های گروه پایه را ۷ ساعته در نظر گرفت و نتایج را برای حداکثر عمق آبشستگی برون‌یابی کرد. وی به معرفی ۴ مکانیزم پرداخت که در آبشستگی اطراف گروه پایه‌ها نقش عمده ایفا می‌کنند و در تک پایه‌ها دیده نمی‌شوند. هنگامی که پایه‌ها به صورت عمود بر مسیر جریان قرار می‌گیرند، هر کدام گرداب نعل اسبی مخصوص به خودشان را دارند (به جز حالت‌هایی که پایه‌ها در فواصل کم از یکدیگر قرار گرفته‌اند). نظریه‌ها (۱۹۹۶) به بررسی ماکزیمم عمق آبشستگی در گروه پایه‌های ۲، ۳، ۴ و ۶ تایی پرداخت. وی اثر زوایای مختلف قرارگیری پایه‌ها نسبت به یکدیگر و فاصله‌های آن‌ها را مورد ارزیابی قرار داد و در گروه پایه‌های دوتایی مجاور هم و با نسبت‌های ۱، ۳، ۵، ۷، $S/D=1$ ، فاصله مرکز به مرکز دو پایه و D : قطر پایه) به این نتیجه رسید که برای نسبت‌های $S/d > 4$ عمق آبشستگی مستقل از نسبت S/D خواهد بود. هم‌چنین رابطه ۱ را برای تخمین عمق آبشستگی پایه جلویی ارایه داد:

$$\frac{D_{SF}}{D_s} = 1/9 \left(\frac{S}{D} \right)^{-1/3} \quad (1)$$

که در آن، D_{SF} : عمق آبشستگی پایه جلویی و D_s : عمق آبشستگی تک پایه گرد است. بابائیان- کوهپائی و ولنتاین (۱۹۹۹) آزمایش‌هایی را در کانال تحت رژیم که شرایط آزمایش نزدیک به شرایط صحرایی است، انجام دادند و به بررسی فرمول‌های دانشگاه ایالتی کلرادو (CSU)، بروسرز و همکاران (۱۹۷۷)، ملویل و ساترلند (۱۹۸۸) و گائو و همکاران (۱۹۹۳) پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد هیچ‌یک از این فرمول‌ها تخمین درستی از عمق آبشستگی ارایه نمی‌دهند، علت آن این است که این فرمول‌ها براساس تعداد محدودی داده‌های آزمایشگاهی صورت گرفته و فلوم

آزمایشگاهی قادر به شبیه‌سازی کامل پدیده آبستگي در مقیاس واقعی نیست. از آنجایی که هیچ‌یک از این فرمول‌ها فاصله بین پایه‌ها را در نظر نمی‌گیرند، آنان براساس داده‌های خود که تحت کانال رژیم صورت گرفت، فاکتور K_{ps} را برای پایه‌های دوتایی عمود بر مسیر جریان، طبق رابطه‌های ۲ و ۳ ارایه کردند:

$$K_{ps} = 2/25 - 1/2 \left(\tanh \left(\frac{-S}{1/6D} \right) \right)^2 \quad (2)$$

$$K_{ps} = \frac{d_s}{d_{si}} \quad (3)$$

که در آن، S : فاصله مرکز به مرکز پایه‌ها، D : قطر پایه، d_s : حداکثر عمق آبستگي در گروه پایه و d_{si} : حداکثر آبستگي در تک پایه می‌باشد.

عطایی آشتیانی و بهشتی (۲۰۰۶) به بررسی آبستگي در گروه پایه‌ها پرداختند و در گروه پایه‌های دوتایی مجاور هم با نسبت‌های ۶، ۴، ۲، ۱، $G/D=0/5$: فاصله بین دو پایه) به این نتیجه رسیدند که با افزایش فاصله دو پایه عمق آبستگي کاهش می‌یابد اما در کل دو پایه مجاور هم با G/D های مختلف دارای آبستگي بیش‌تری نسبت به تک پایه هستند. در حالت $G/D=0/25$ ماکزیم عمق آبستگي ۵۰ درصد بیش‌تر از تک پایه است. آفاخانی‌افشار (۲۰۱۰) به بررسی تأثیر شکاف در پایه‌های مجاور هم پرداخت. وی نسبت‌های ۱، $0/75$ ، $0/5$ ، $0/25$ ، 0 را برای گروه پایه‌های بدون شکاف مورد بررسی قرار داد و نتیجه گرفت با افزایش فاصله بین دو پایه آبستگي کاهش یافته و در $G/D=1$ کم‌ترین میزان آبستگي مشاهده می‌گردد.

تاکنون مطالعات زیادی پیرامون توسعه زمانی آبستگي در تک پایه‌ها صورت گرفته است (کوتیاری و همکاران، ۱۹۹۲؛ ملویل و چیو، ۱۹۹۹؛ اولیوتو و هاگر، ۲۰۰۲؛ اولیوتو و هاگر، ۲۰۰۵). ملویل و چیو (۱۹۹۹) بیان داشتند که توسعه زمانی آبستگي به جریان، مشخصات هندسی پایه و خصوصیات رسوب وابسته می‌باشد و رابطه ۴ را برای توسعه زمانی آبستگي ارایه دادند:

$$\frac{d_s}{d_{se}} = \exp \left\{ -0.3 \left| \frac{V_c}{V} \ln \left(\frac{t}{t_e} \right) \right|^{1/6} \right\} \quad (4)$$

که در آن، d_s : عمق آبخستگی موضعی در زمان t ، d_{se} : عمق آبخستگی موضعی در زمان تعادل، V : سرعت، V_c : سرعت جریان در شرایط آستانه حرکت، t : زمان و t_e : زمان رسیدن به تعادل است. برای انتقال بار عبوری از روی پل به زمین از پی‌ها استفاده می‌شود. تاکنون پژوهش‌گران به بررسی آبخستگی پایه‌های پل همراه با پی منفرد پرداخته‌اند (جونز و همکاران، ۱۹۹۲؛ پارولا و همکاران ۱۹۹۶؛ ملویل و رادکیوی، ۱۹۹۶؛ اومدا و همکاران، ۲۰۱۰)، اما در خصوص پی‌های پیوسته پژوهش‌های بسیاری صورت نگرفته است به‌جز اعرابی (۲۰۱۱) که به بررسی آبخستگی موضعی در تک‌پایه همراه پی پیوسته پرداخت. وی در آزمایش‌های خود از پایه منفرد و پی پیوسته هم عرض پایه تا ۴ برابر عرض پایه، برای مدل‌سازی استفاده کرد. نتایج وی نشان داد که با حضور پی پیوسته هم عرض پایه پل، آبخستگی در جلوی پی به میزان ۵۲ درصد کاهش خواهد یافت. هم‌چنین هنگامی که از پی پیوسته با عرض دو برابر پایه پل و بیش‌تر استفاده می‌شود، هیچ‌گونه آبخستگی در جلوی پی مشاهده نمی‌شود.

با توجه به این‌که پژوهش‌های اندکی در خصوص آبخستگی پایه پل منفرد همراه با پی پیوسته انجام شده است و از آن‌جایی که به دلایل اقتصادی و ژئوتکنیکی معمولاً از گروه پایه استفاده می‌شود، بنابراین در این پژوهش به بررسی آبخستگی در پایه‌های دوتایی مجاور هم همراه با پی پیوسته پرداخته شده است.

آنالیز ابعادی: پارامترهای مختلفی آبخستگی اطراف پایه‌های پل را تحت‌تأثیر می‌دهند. برای گروه پایه‌هایی به قطر D که در فاصله G از یکدیگر قرار گرفته‌اند، عمق آبخستگی d_s تابعی خواهد بود از:

$$d_s = f(Y, U, \rho, g, \nu, d_0, \rho_s, U_c, \sigma_g, D, G, B, b, t)$$

که در آن، Y : عمق جریان، U : سرعت متوسط جریان، ρ : چگالی سیال، g : شتاب ثقل، ν : لزجت سینماتیک، d_0 : قطر متوسط ذرات رسوبی، ρ_s : چگالی رسوبات، U_c : سرعت بحرانی، σ_g : ضریب یکنواختی، B : عرض پی، b : عرض کانال و t : زمان می‌باشد.

به‌منظور یافتن رابطه بین عوامل مؤثر بر آبستگي در گروه پایه‌ها، آنالیز ابعادی روی پارامترهای مؤثر انجام شد. با انتخاب U ، D و ρ به‌عنوان پارامترهای تکراری خواهیم داشت:

$$\frac{d_s}{D} = f\left(\frac{Y}{D}, \frac{U}{U_c}, \frac{\rho}{\rho_s}, \frac{U}{\sqrt{gD}}, \frac{UD}{v}, \frac{d_s}{D}, \frac{G}{D}, \frac{B}{D}, \frac{b}{D}, \frac{Ut}{D}, \sigma_g\right)$$

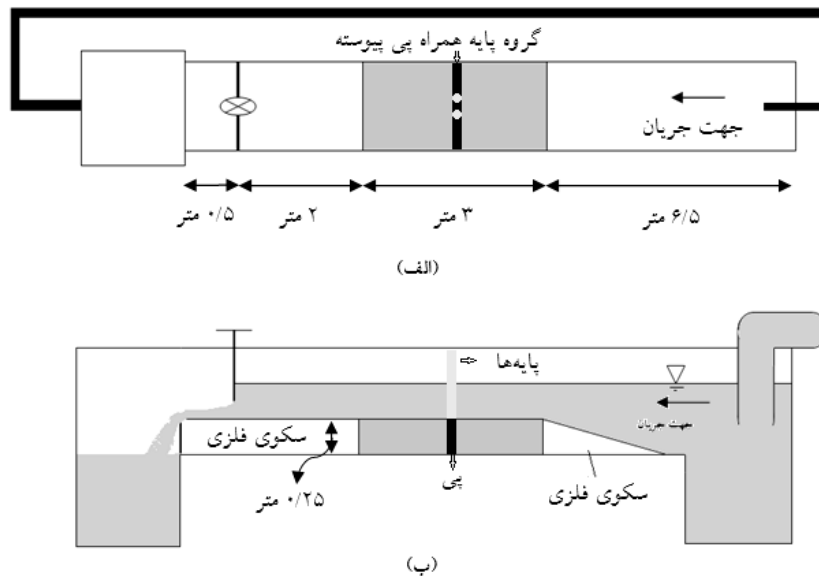
که در آن، $\frac{U}{\sqrt{gD}}$: عدد فرود پایه و $\frac{UD}{v}$: عدد رینولدز معروف است. با توجه به آشفته بودن جریان، از عدد رینولدز صرف‌نظر شد. در همه آزمایش‌ها عدد فرود، قطر متوسط ذرات، چگالی رسوب و عرض کانال ثابت می‌باشد، در نتیجه به‌ترتیب پارامترهای بی‌بعد $\frac{U}{\sqrt{gD}}$ ، $\frac{d_s}{D}$ ، $\frac{\rho}{\rho_s}$ و $\frac{b}{D}$ حذف شدند و رابطه زیر حاصل شد:

$$\frac{d_s}{D} = f\left(\frac{Y}{D}, \frac{U}{U_c}, \frac{UD}{v}, \frac{G}{D}, \frac{B}{D}, \frac{Ut}{D}\right)$$

در تمامی آزمایش‌ها عرض کانال $0/6$ متر، عمق جریان 130 میلی‌متر، دبی 24 لیتر بر ثانیه، قطر متوسط ذرات $0/9$ میلی‌متر و عرض پی نیز ثابت می‌باشد، هم‌چنین آزمایش‌ها در شرایط آب زلال و در V/V_c ثابت $0/94$ صورت گرفته است که در نهایت رابطه زیر حاصل خواهد گردید:

$$\frac{d_s}{D} = f\left(\frac{G}{D}, \frac{Ut}{D}\right)$$

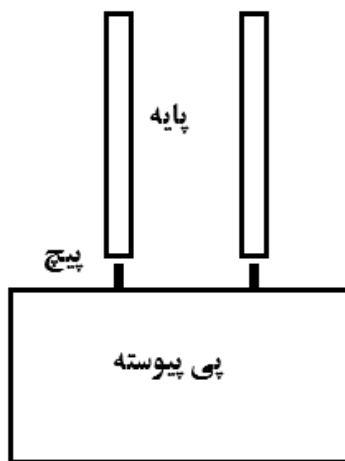
تجهیزات آزمایشگاهی و نحوه انجام آزمایش‌ها: آزمایش‌های موردنظر در کانال مستطیلی به طول 12 متر، عرض و ارتفاع $0/6$ متر، انجام پذیرفت (شکل ۲). دیواره‌های کانال به‌منظور مشاهده جریان از نوع پلاکسی‌گلاس شفاف می‌باشد. دریچه کشویی انتهای کانال برای تنظیم عمق جریان مورد استفاده قرار گرفت. کف کانال نیز به کمک دو سکوی کاذب تا ارتفاع 25 سانتی‌متر بالا آورده شد و محدوده بین دو سکو با رسوبات با دانه‌بندی مشخص پر گردید. دبی موردنظر به کمک یک پمپ برگشتی تأمین می‌گردد و با استفاده از یک دستگاه دبی‌سنج اولتراسونیک اندازه‌گیری می‌شود. هم‌چنین پس از انجام آزمایش‌ها به‌منظور برداشت توپوگرافی بستر از عمق‌سنج دیجیتال با دقت $0/01$ میلی‌متر استفاده شد.



شکل ۲- شمایی از کانال آزمایشگاهی، (الف) نمای پلان و (ب) نمای جانبی.

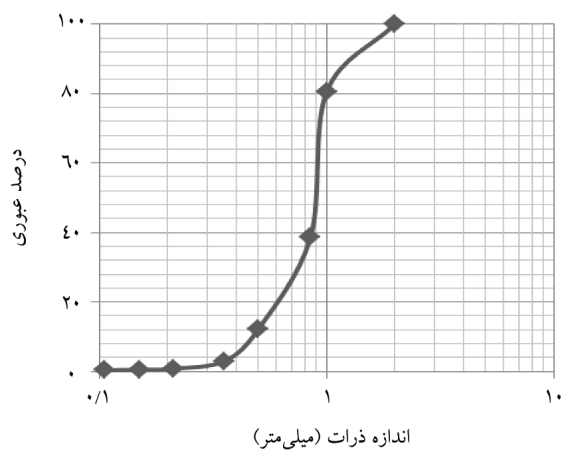
مدل پایه از جنس پلاستیک تفلون به قطر ۲۰ میلی‌متر انتخاب شد که این انتخاب به این صورت انجام گرفت که اولاً نسبت عرض کانال به قطر پایه (b/D) بزرگتر از ۱۰ باشد، تا دیواره کانال اثری روی آبشستگی نداشته باشد (لارسن و تاج، ۱۹۵۶؛ چپو و ملویل، ۱۹۸۷؛ اولیوتو و هاگر، ۲۰۰۲) و ثانیاً طبق نظر رودکیوی (۱۹۹۸) Y/D بزرگتر از ۳ باشد تا عمق جریان روی آبشستگی اثر نداشته باشد.

مدل پی پیوسته نیز از جنس پلاستیک تفلون به اندازه عرض کانال، ارتفاع بستر شنی و به ضخامت قطر پایه انتخاب گردید. شکل ۳ نمایی از مدل گروه پایه همراه با پی پیوسته و نحوه اتصال پایه به پی را برای حالتی که فاصله پایه‌ها ۴ برابر قطر پایه می‌باشد، نشان می‌دهد. پایه‌ها در فاصله‌های مختلف با استفاده از پیچ بر روی پی نصب می‌شدند. برای بررسی قائم بودن پایه‌ها نیز از تراز و عمق‌سنج استفاده شد.



شکل ۳- مدل گروه پایه همراه پی پیوسته برای حالت ($G=ED$).

طبق توصیه رادکیوی و اتما (۱۹۸۳) برای جلوگیری از تشکیل ریپل، قطر متوسط ذرات باید بزرگ‌تر از ۰/۷ میلی‌متر انتخاب گردد. در نتیجه فاصله ۳ متری بین سکوها تا ارتفاع ۲۵ سانتی‌متر (به اندازه ارتفاع سکوها)، با مصالح با قطر متوسط ۰/۹ میلی‌متر و انحراف معیار هندسی ۱/۲۵ پر گردید (شکل ۴). با توجه به انحراف معیار هندسی ذرات که کم‌تر از ۱/۳ است، رسوبات یکنواخت فرض می‌شوند (شفاعی‌بجستان، ۲۰۱۱).



شکل ۴- منحنی دانه‌بندی رسوبات مورد استفاده در این پژوهش.

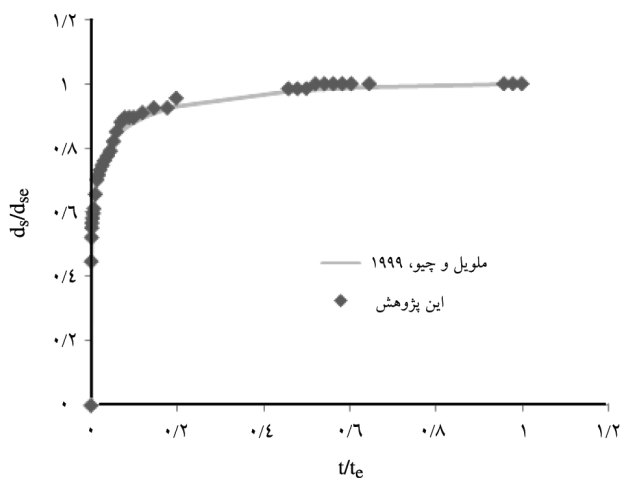
در ابتدا انجام آزمایش‌ها لازم بود تا آستانه حرکت ذرات رسوبی تعیین گردد. به این منظور ابتدا فضای خالی دو سکو بدون حضور پایه و پی با رسوبات موردنظر پر گردید و پس از صاف کردن بستر جریان به آرامی وارد کانال شد تا از به هم خوردن بستر جلوگیری شود. سپس عمق آب تا تراز ۵ سانتی‌متر بالا آمد پمپ روشن گردید. در نتیجه انتهایی کانال نیز به آرامی بالا آورده شد و عمقی که در آن ذرات در آستانه حرکت قرار می‌گرفتند، یادداشت شد. برای دبی ۲۴ لیتر بر ثانیه این عمق ۱۳ سانتی‌متر به دست آمد. در نتیجه همه آزمایش‌ها در این شرایط و در $U/U_C=0.94$ انجام گرفت. آزمایش‌ها در دو سری انجام پذیرفت، در سری اول آزمایش‌ها به بررسی اثر فاصله بین پایه‌ها در گروه پایه‌های دوتایی مجاور هم (عمود بر مسیر جریان) پرداخته شد و در سری دوم آزمایش‌ها اثر پی پیوسته در گروه پایه‌های بالا مورد ارزیابی قرار گرفت.

نتایج و بحث

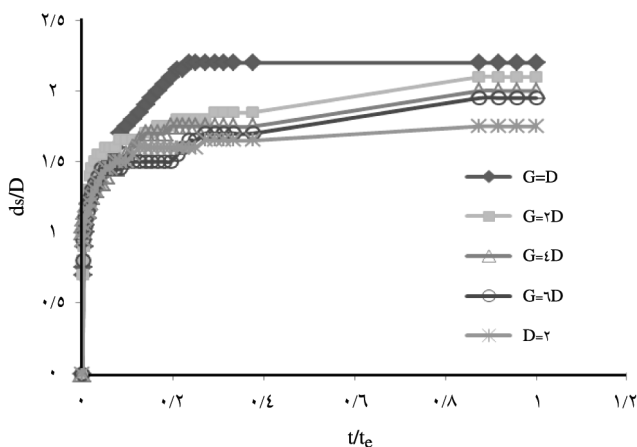
در این قسمت ابتدا نتایج اثر فاصله بین پایه‌ها در گروه پایه‌های دوتایی مجاور هم (عمود بر مسیر جریان) و سپس نتایج اثر پی پیوسته در گروه پایه‌های بالا ارایه می‌شود. **گروه پایه‌های دوتایی عمود بر مسیر جریان:** برای تعیین زمان تعادل این سری از آزمایش‌ها، یک آزمایش طولانی به مدت ۴۸ ساعت برای پایه به قطر ۴ سانتی‌متر انجام شد. شکل ۵ نمودار بی‌بعد حداکثر عمق آبخستگی جلوی پایه را نسبت به زمان نشان می‌دهد. طبق معیار ملویل و چیو (۱۹۹۹) چنانچه تغییرات عمق آبخستگی طی ۲۴ ساعت کم‌تر از ۵ درصد قطر پایه باشد، شرایط تعادل به دست می‌آید. بنابراین با توجه به این معیار و این‌که در طی ۲۴ ساعت بیش از ۹۵ درصد عمق آبخستگی به دست آمد، زمان تعادل گروه پایه‌های بدون پی برابر ۲۴ ساعت انتخاب شد. هم‌چنین نتایج با رابطه توسعه زمانی ملویل و چیو (۱۹۹۹) (رابطه ۴) مورد مقایسه قرار گرفت، همان‌طور که نمودار نشان می‌دهد نتایج تطابق خوبی با رابطه ارایه شده دارد.

برای مشخص شدن تأثیر فاصله بین پایه‌ها در گروه پایه‌های دوتایی عمود بر مسیر جریان، آزمایش‌هایی برای نسبت‌های مختلف ۱، ۲، ۴، ۶ G/D انجام شد. شکل ۶ نمودار بی‌بعد توسعه زمانی عمق آبخستگی را برای فواصل قرارگیری مختلف نشان می‌دهد. لازم به ذکر است که در شکل بالا عمق آبخستگی نسبت به قطر پایه و زمان نسبت به زمان تعادل بی‌بعد شده است. همان‌طور که مشاهده می‌گردد اولاً در تمامی مدل‌ها ۷۰-۶۵ درصد عمق آبخستگی بعد از یک ساعت رخ می‌دهد و

پس از ۸ ساعت مدل‌ها به عمق تعادلی خود نزدیک شده که در این زمان، ۸۶ درصد عمق آبستگي نهایی رخ خواهد داد. ثانیاً با افزایش فاصله بین پایه‌ها آبستگي کاهش یافته و در $G=6D$ به تک‌پایه نزدیک می‌شود. علت آن این است که با افزایش فاصله بین پایه‌ها از تداخل گردابه‌های نعل اسبی کاسته شده، در نتیجه قدرت فرساینده‌گی جریان و تنش‌های برشی کف کاهش می‌یابد.

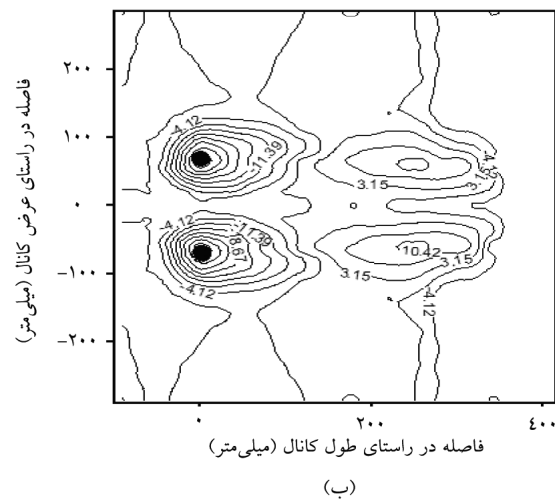
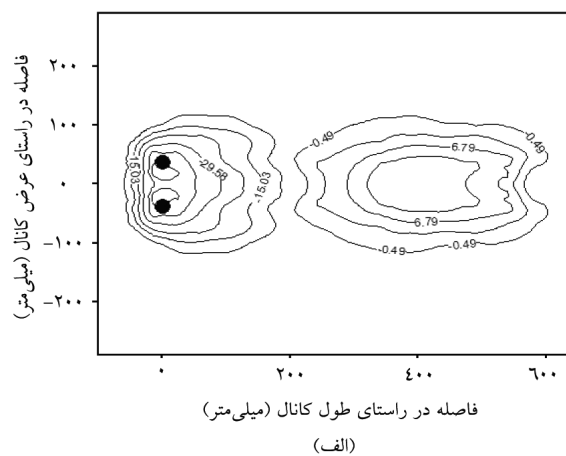


شکل ۵- نمودار زمان تعادل آزمایش‌های گروه پایه بدون پی.



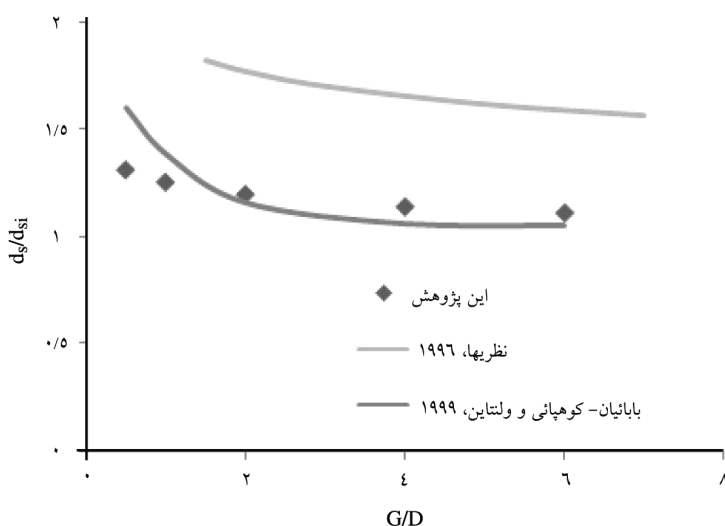
شکل ۶- تغییرات زمانی آبستگي در تک‌پایه و گروه پایه با فاصله‌های قرارگیری مختلف.

توپوگرافی بستر برای دو حالت $G=2D$ و $G=6D$ در شکل ۷ ترسیم شده است. همان‌طور که مشخص است هنگامی که پایه‌ها در فواصل کمی از یکدیگر قرار دارند، حفره‌های آبستگي آنها با یکدیگر تداخل داشته و در بالادست پایه تشکیل یک حفره را می‌دهند اما در حالتی که فاصله بین پایه‌ها ۶ برابر قطر پایه است، هر یک از پایه‌ها گرداب نعل اسبی مخصوص به خود را داشته و در جلوی پایه دو حفره مجزا تشکیل می‌گردد.



شکل ۷- توپوگرافی بستر اطراف گروه پایه بدون پی (جریان از چپ به راست)، (الف) $G=2D$ و (ب) $G=6D$.

نتایج این پژوهش با دو رابطه نظری‌ها (۱۹۹۶) و بابائیان- کوهپائی و ولتاین (۱۹۹۹) (رابطه‌های ۱ و ۲) مورد مقایسه قرار گرفتند. همان‌طور که شکل ۸ نشان می‌دهد، نتایج آزمایشگاهی با رابطه‌های بالا روند یکسانی را نشان می‌دهند اما رابطه ارائه شده توسط بابائیان- کوهپائی و ولتاین با مقادیر آزمایشگاهی مطابقت بیشتری دارد و تفاوت ایجاد شده ناشی از این می‌باشد که هر یک از این رابطه‌ها برای شرایط آزمایشگاهی خاصی به‌دست آورده شده‌اند.



شکل ۸- مقایسه نتایج آزمایشگاهی این پژوهش با رابطه‌های نظریها (۱۹۹۶) و بابائیان- کوهپائی و ولتاین (۱۹۹۹).

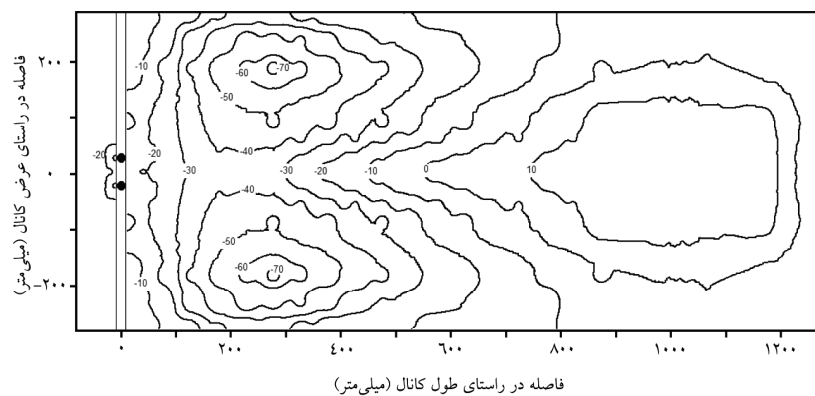
گروه پایه همراه پی پیوسته: به‌منظور بررسی اثر پی پیوسته بر فرآیند آبشستگی، گروه پایه‌های نام‌برده بر روی پی قرار گرفتند. پی هم تراز بستر رسوبی، به ضخامت قطر پایه ($B=D$) و به طول عرض کانال قرار گرفت. هنگامی که جریان به پایه برخورد می‌کند به سمت بستر منحرف شده، باعث ایجاد حفره آبشستگی در جلو پایه می‌شود و ذرات رسوبی نیز به‌صورت متقارن از کناره پایه‌ها به پایین‌دست منتقل می‌گردند. در پشت پایه و پی نیز گرداب‌های برخاستگی دو حفره مجزایی تشکیل می‌دهند که با گذشت زمان این دو حفره بزرگ‌تر شده و به سمت دیواره‌های کانال کشیده می‌شوند. شکل ۹ مقادیر

حداکثر عمق آبستگي جلوي پايه را نسبت به فاصله بين پايه‌ها براي دو حالت گروه پايه همراه پي و بدون آن نشان مي‌دهد. همان‌طورکه مشخص است در هر دو حالت با افزايش فاصله بين پايه‌ها عمق آبستگي کاهش مي‌يابد که علت آن همان‌طورکه قبلاً ذکر شد، کاهش قدرت گرداب‌هاي نعل اسبي مي‌باشد. هم‌چنين نتايج نشان مي‌دهد در هر يك از گروه پايه‌ها، وجود پي پيوسته سبب کاهش تقريباً ۵۵ درصدی عمق آبستگي جلوي پايه‌ها نسبت به تک‌پايه مي‌شود.

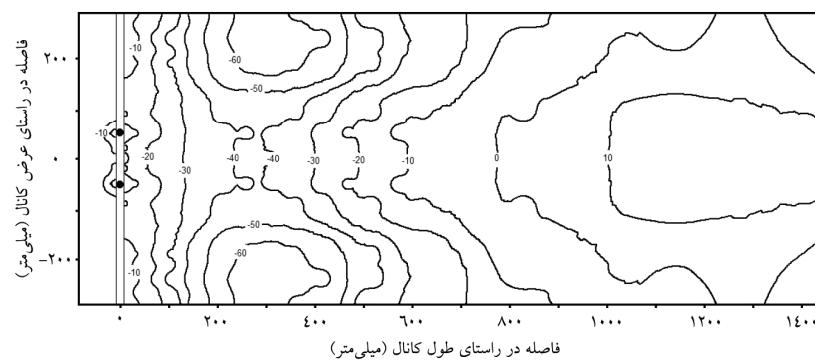


شکل ۹- نمودار بي‌بعد حداکثر عمق آبستگي جلوي پايه در گروه پايه بدون پي و همراه پي پيوسته.

توپوگرافي بستر براي دو حالي که فاصله بين پايه‌ها ۲ و ۴ برابر قطر پايه است در شکل ۱۰ ترسيم شده است. همان‌طورکه ملاحظه مي‌گردد، با افزايش فاصله بين پايه‌ها عمق آبستگي بالادست پايه و پي کاهش يافته، عمق آبستگي پايين‌دست پي نيز کم‌تر شده و حفره‌ها به سمت ديواره کشيده مي‌شوند. در پايين‌دست پي دو حفره آبستگي متقارن شکل مي‌گيرد که ناشی از فعاليت گرداب‌هاي برخاستگي مي‌باشد. در حالت پايه تک بدون پي، محل حداکثر عمق آبستگي در پشت پايه است اما وجود پي پيوسته باعث مي‌شود که محل حداکثر عمق آبستگي به پايين‌دست کشيده شود.



(الف)



(ب)

شکل ۱۰- توپوگرافی بستر با وجود پی پیوسته (جریان از چپ به راست). (الف) $G=2D$ و (ب) $G=4D$.

نتیجه‌گیری

از انجام این پژوهش نتایج زیر به دست آمد:

- ۱- با افزایش فاصله بین پایه‌ها، عمق آبستگي کاهش پیدا کرده و به تک‌پایه نزدیک می‌شود.
- ۲- رابطه ارایه شده توسط بابائیان- کوهپائی و ولتاین (۱۹۹۹)، حداکثر عمق آبستگي اطراف پایه‌های مجاور هم را با تقریب بهتری تخمین می‌زند.
- ۳- با به‌کارگیری پی پیوسته عمق آبستگي جلوی پایه تا ۵۵ درصد کاهش می‌یابد. هم‌چنین دو حفره متقارن در پایین‌دست سازه شکل می‌گیرد که ماکزیمم عمق آبستگي را به این قسمت انتقال داده و از سازه دور می‌کند.

منابع

1. Aarabi, M.J. 2011. Experimental study of local Scour at bridge pier with raft footing. M.Sc. Thesis. Isfahan University of Technology, Iran. 64p. (In Persian)
2. Aghkhani, A.H. 2010. Investigation of slot and adjusted piers to reduce the local scour depth. M.Sc Thesis. Ferdowsi Mashhad University, Mashhad, Iran. 164p. (In Persian)
3. Ataei-Ashtiani, B., and Beheshti, A.A. 2006. Experimental investigation of clear-water local scour at pile groups. *J. Hydr. Engin. ASCE*. 132: 10. 1100-1104.
4. Ataei-Ashtiani, B., and Aslani-Kordkandi A. 2012. Flow field around side-by-side piers with and without a scour hole. *Europ. J. Mechan. B/ Fluids*. 36: 53.
5. Babaeyan-Koopaei, K., and Valentine, E.M. 1999. Bridge pier scour in self-formed laboratory channels, The XXVIII IAHR Congress. Pp: 22-27.
6. Beheshti, A.A. 2004. Experimentall investigation of local scour around pier group. M.Sc. Thesis. Sharif University of Technology, Iran. 132p. (In Persian)
7. Breusers, H.N.C., Nicollet, G., and Shen, H.W. 1977. Local Scour around Cylindrical Piles. *J. Hydr. Res. IAHR*. 15: 3. 211-252.
8. Chiew, Y.M., and Melville, B.W. 1987. Local scour around bridge piers. *J. Hydr. Res. IAHR*. 25: 1. 15-26.
9. Gao, D., Posada, G.L., and Nordin, C.F. 1993. Pier scour equations used in China. Proc. of the 1993 National Conference on Hydraulic Engineering. P 1031-1036, San Francisco, California.
10. Hannah, C.R. 1978. Scour at pile groups. University of Canterbury, N.Z., Civil Eng. Research Rep. No.78.
11. Jones, J.S., Kilgore, R.T., and Misticheli, M.P. 1992. Effect of footing location on bridge pier scour. *J. Hydr. Engin. ASCE*. 118: 2. 280-290.
12. Kayaturk, S.Y. 2005. Scour and scour protection at bridge abutment. Ph.D. Thesis. Middle East Technical University, 213p.
13. Kothyari, U.C., Garde, R.J., and Ranga Raju, K.G. 1992. Temporal variation of scour around circular bridge pier. *J. Hydr. Engin. ASCE*. 118: 8. 1091-1106.
14. Laursen, E.M., and Toch, A. 1956. Scour around bridge piers and abutments. Iowa Highway Research Board, Bulletin 4, Bureau of Public Roads, Iowa. 60p.
15. Melville, B.W., and Sutherland, A.J. 1988. Design Method for Local Scour at Bridge Piers. *J. Hydr. Engin. ASCE*. 114: 10. 1210-1226.
16. Melville, B.W., and Raudkivi, A.J. 1996. Effects of foundation geometry on bridge pier scour. *J. Hydr. Engin. ASCE*. 122: 4. 203-209.
17. Melville, B.W., and Chiew, Y.M. 1999. Time-scale for local scour at bridge piers. *J. Hydr. Engin. ASCE*. 125: 1. 59-65.
18. Nazariha, M. 1996. Design relationships for maximum local scour depth for bridge pier groups. Ph.D. Thesis, University of Ottawa, Canada. 335p.
19. Nouh, M. 1986. Local scour at pile groups in meandering channels. Proc. Of IAHR, Symp. On Scale Effects in Modeling Sediment Transport Phenomenon, Toronto, Canada, 25-28 Aug. Pp: 164-179.

20. Oliveto, G., and Hager, W.H. 2002. Temporal evolution of clear-water pier and abutment scour. *J. Hydr. Engin. ASCE*. 128: 9. 811-820.
21. Oliveto, G., and Hager, W.H. 2005. Further results to time-dependent local scour at bridge elements. *J. Hydr. Engin. ASCE*. 131: 2. 97-105.
22. Parola, A.C., Mahavadi, S.K., Brown, B.M., and El-Khoury, A. 1996. Effects of rectangular foundation geometry on local pier scour. *J. Hydr. Engin. ASCE*. 122: 1. 35-40.
23. Raudkivi, A.J., and Ettema, R. 1983. Clear-water scour at cylindrical piers. *J. Hydr. Engin. ASCE*. 109: 3. 339-350.
24. Raudkivi, A.J. 1998. *Loose boundary hydraulics*. The Netherland, A.A. Balkema. 496p.
25. Shafai-Bajestan, M. 2011. *Hydraulic of sediment transport*. Shahid Chamran University. Press. 560p.
26. Umeda, S., Yamazaki, T., and Yuhi, M. 2010. An experimental study of scour process and sediment transport around a bridge pier with foundation. *Proceedings of 5th International Conference of Scour and Erosion, San Francisco, California*, Pp: 66-75.



Gorgan University of Agricultural
Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 21(1), 2014
<http://jwsc.gau.ac.ir>

Experimental study of local scouring around two side-by-side piers with raft footing

***N. Movahedi¹, A.A. Dehghani², M.J. Aarabi³ and A.R. Zahiri⁴**

¹M.Sc. Graduated, Dept. of Water Structure, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, ²Associate Prof., Dept. of Water Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, ³M.Sc. Graduated, Dept. of Civil Engineering, Isfahan University of Technology, ⁴Assistant Prof., Dept. of Water Engineering, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

Received: 11/07/2012; Accepted: 05/12/2013

Abstract

Experimental and field studies show that the local scour around bridge piers is a main cause of bridge failure. In fact flow pattern affects on erosion and sedimentation around bridge piers. Therefore, determination of depth, occurrence and development of scour hole are important in the hydraulic design of bridges. Due to the geotechnical and economical reason, group piers are used in bridge design. The present study focuses on scouring around side-by-side piers with various spaces between them, then the effect of raft footing on mechanism and amount of scour has been investigated. The results showed the scour depth decreases as the spacing between the piers increases and for $G/D=6$ become near the single pier. Also by using raft footing, the scour depth in front of pier decreased about 55% and two scour holes created downstream of the footing which moves the location of maximum downstream scour depth far away from pier.

Keywords: Local scour, Bridge pier, Side-by-side piers, Raft footing

* Corresponding Author; Email: neshat.movahedi@gmail.com

