

مطالعه آزمایشگاهی تاثیر موقعیت کارگذاری آستانه بر مقدار آبستگي اطراف گروه پایه کج با

فونداسیون

سیده سمیرا سعادت‌ی پاچه کناری^۱ - مهدی اسمعیلی ورکی^{۲*} - رامین فضل اولی^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۶/۱۸

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۱۱/۳۰

چکیده

با قرارگیری پایه پل در مقابل جریان، گردابه‌هایی در مقابل آن شکل گرفته که در نتیجه فعالیت آنها مواد بستر پیرامون پایه فرسایش یافته و چاله آبستگي شکل می‌گیرد و در صورت کافی نبودن عمق پی و شمع‌های پایه پل، شکست پل را به دنبال خواهد داشت. یکی از روش‌های کاهش آبستگي اطراف پایه‌های پل، استفاده از آستانه در مجاورت پایه می‌باشد. در تحقیق حاضر تاثیر موقعیت آستانه بر ابعاد چاله آبستگي اطراف گروه پایه کج در شرایط مختلف هیدرولیکی و رقوم کارگذاری فونداسیون بصورت آزمایشگاهی مورد بررسی قرار گرفت. گروه پایه‌ی مورد بررسی متشکل از دو پایه کج مستطیلی با ابعاد ۲/۵ در ۳/۵ سانتیمتر که با زاویه ۲۸ درجه بر روی فونداسیونی با ابعاد ۱۰ در ۱۶ سانتیمتر نصب گردید، بود. آزمایش‌ها تحت شرایط مختلف موقعیت آستانه (در مقابل، وسط و پشت فونداسیون)، سرعت و عمق جریان و نیز رقوم‌های نسبی مختلف کارگذاری فونداسیون (فاصله روی فونداسیون تا سطح بستر نسبت به عرض پایه)، ۱-، ۵/۵-، ۰/۵-، صفر و ۱+، انجام شد. مقایسه نتایج نشان داد که استقرار آستانه در مقابل فونداسیون بیشترین تاثیر را در کاهش حداکثر عمق آبستگي دارد. همچنین مقدار کاهش آبستگي در شرایطی که رقوم کارگذاری فونداسیون همتراز بستر باشد، بسیار چشمگیر می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: کاهش آبستگي، آستانه، گروه پایه کج، رقوم کارگذاری فونداسیون

مقدمه

آبستگي در اطراف پایه‌های پل یکی از پارامترهای مهم در طراحی ایمن این نوع از سازه‌ها می‌باشد. طبق گزارش‌های منتشر شده، تخریب پل‌ها در بیشتر موارد به دلیل در نظر نگرفتن نقش عوامل هیدرولیکی به ویژه حداکثر مقدار آبستگي در مرحله طراحی و ساخت آنها می‌باشد. مجموعه آبستگي که در آبراهه‌های طبیعی به وقوع می‌پیوندد، شامل سه بخش آبستگي عمومی (تغییرات دراز مدت بالا آمدگی و پایین افتادگی بستر رودخانه به علل طبیعی یا ناشی از فعالیت‌های انسانی نظیر برداشت شن و ماسه)، آبستگي ناشی از تنگ‌شدگی مسیر رودخانه و آبستگي موضعی (در اطراف پل‌ها و تکیه‌گاه‌ها)، می‌باشد (۹).

در آبستگي موضعی در اطراف پایه‌های پل، در اثر برخورد آب به پایه، کاهش فشار از سطح آزاد جریان به سمت بستر رخ داده و

جریان‌های رو به پایین ایجاد می‌شود. این جریان‌های رو به پایین پس از برخورد به بستر با جریان اصلی ترکیب شده و گردابه نعل اسبی را به وجود می‌آورد. گردابه‌های نعل اسبی بیشتر در جلو پایه پل فعالیت دارند. همچنین گردابه برخاستگی در اثر جدایی خطوط جریان از پایه پل ایجاد می‌شوند. این نوع سیستم گردابی مانند یک گردباد عمل می‌کند و رسوبات را از کف به سمت بالا حرکت می‌دهد. بعبارت دیگر جهت حرکت این سیستم گردابی رو به بالا می‌باشد. بررسی‌ها نشان می‌دهد گرداب‌های نعل اسبی و برخاستگی نقش عمده‌ای را در ایجاد حفره آبستگي اطراف پایه پل دارند (۱۴).

اقدامات مقابله با آبستگي و تخریب پایه‌های پل را می‌توان در چهار دسته ۱- کاهش قدرت گردابه‌ها در مجاورت پایه با ایجاد شکاف یا اصلاح هندسه پایه، ۲- افزایش مقاومت بستر به فرسایش یا ایجاد پوشش سنگ چین، طوقه، ایجاد آستانه، ۳- حفظ شرایط زیست محیطی و ریخت‌شناسی رودخانه‌ها و ۴- بازرسی و پایش بستر رودخانه، طبقه‌بندی نمود (۹، ۱۰ و ۱۷). از آنجاکه در تحقیق حاضر به بررسی تاثیر آستانه بر حداکثر ابعاد چاله آبستگي اطراف گروه پایه کج پرداخته شد، در ادامه ضمن مروری بر برخی از تحقیقات انجام شده در خصوص سایر روش‌های کاهش آبستگي، به نتایج حاصله

۱ و ۳- دانشجوی کارشناسی‌ارشد سازه‌های آبی و استادیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
* - نویسنده مسئول: (Email: esmaeili.varaki@yahoo.com)
۲- استادیار گروه مهندسی آب دانشکده علوم کشاورزی، دانشگاه گیلان

آن به سمت بالادست می‌باشد. همچنین بررسی‌های انجام شده نشان داد در شرایط نصب پایه‌ها بر روی فونداسیونی که در زیر بستر و بالاتر از حداکثر عمق آبشستگی به ازای تک پایه قرار دارد، مقدار حداکثر عمق آبشستگی کاهش می‌یابد (۱).

از آنجاکه تاکنون تحقیقی در خصوص تاثیر استفاده از آستانه بر حداکثر ابعاد چاله آبشستگی در این نوع از پایه‌ها انجام نشده است، در تحقیق حاضر تاثیر قرارگیری آستانه در بالادست، وسط و پایین دست بر تغییرات چاله آبشستگی اطراف گروه پایه کج تحت شرایط مختلف هیدرولیکی و تراز کارگذاری فونداسیون مورد بررسی قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

تحلیل ابعادی

عمق آبشستگی در اطراف پایه پل متأثر از عوامل زیادی شامل پارامترهای توصیف کننده هندسه پایه پل، شرایط هیدرولیکی جریان، مشخصات سیال و رسوب بستر و زمان می‌باشند که آنها را می‌توان به صورت رابطه تابعی زیر نوشت:

$$f_2(y, d_s, D, D_*, D_{50}, Z, U, L, \rho, \mu, g, \sigma_g, \alpha, \beta, t, t_e) = 0 \quad (1)$$

در این رابطه y ، عمق جریان، d_s ، عمق آبشستگی، D ، عرض پایه پل، D_* ، عرض فونداسیون، D_{50} ، قطری که ۵۰ درصد ذرات از آن کوچکتر است، Z ، تراز استقرار فونداسیون، U ، سرعت متوسط جریان، L ، فاصله قرارگیری آستانه نسبت به دماغه پایه یا فونداسیون، ρ ، چگالی آب، μ ، لزوجت دینامیک، g ، شتاب ثقل، σ_g ، انحراف معیار مصالح رسوبی بستر، α ، زاویه انحراف پایه‌ها در صفحه موازی جریان، β ، زاویه انحراف پایه‌ها در صفحه عمود بر جریان، t ، زمان از شروع آبشستگی و t_e ، زمان تعادل آبشستگی می‌باشد.

با بکارگیری تئوری باکینگهام در تحلیل ابعادی، رابطه ۱ را می‌توان به صورت رابطه بی‌بعدی زیر نوشت:

$$f_2\left(\frac{y}{D_*}, \frac{d_s}{D_*}, \frac{D_{50}}{D_*}, \frac{D}{D_*}, \frac{Z}{D_*}, \frac{L}{D_*}, \frac{t}{t_e}, \text{Re}, Fr, \sigma_g, \alpha, \beta\right) = 0 \quad (2)$$

از میان پارامترهای بی‌بعدی استخراج شده اثر انحراف معیار هندسی به جهت یکنواختی رسوبات مورد استفاده، D/D_* به جهت ثابت بودن ابعاد پایه و فونداسیون در طول آزمایش‌ها و زوایای پایه‌های پل در صفحه جریان و قائم، ثابت در نظر گرفته شد. همچنین به جهت اینکه عدد رینولدز در تمام آزمایش‌ها از مقدار ۹۱۰۰ بیشتر بود، لذا تاثیر این پارامتر صرف نظر شده و رابطه ۲ به صورت رابطه زیر خلاصه گردید.

$$\frac{d_s}{D_*} = f_3\left(\frac{y}{D_*}, Fr, \frac{Z}{D_*}, \frac{L}{D_*}, \frac{t}{t_e}\right) \quad (3)$$

در رابطه با تاثیر آستانه بر کاهش آبشستگی در اطراف پایه‌های پل اشاره خواهد شد.

از جمله تحقیقات انجام شده جهت کاهش قدرت گردابه‌ها در مجاورت پایه‌های پل می‌توان به بررسی تأثیر سازه‌های منحرف کننده‌ی جریان بر کاهش آبشستگی (۳، ۴ و ۶)، کنترل و کاهش آبشستگی موضعی در پایه‌های با ایجاد شکاف در پایه (۲ و ۷)، اشاره نمود. آزمایش‌های انجام شده توسط محققین یاد شده نشان داد که این روش‌ها می‌تواند مقدار آبشستگی اطراف پایه‌ها را کاهش محسوسی دهند.

روش دوم کاهش آبشستگی در مجاورت پایه‌های پل، شامل افزایش مقاومت بستر در مقابل فرسایش نظیر استفاده از طوقه، سنگچین و آستانه می‌باشد. (۵، ۸، ۱۱، ۱۲، ۱۵، ۱۷ و ۱۸). از میان روش‌های مذکور، استفاده از آستانه کاربرد زیادی در کاهش آبشستگی و ممانعت از گسترش چاله آبشستگی به بالادست پل دارد که در ادامه به برخی از تحقیقات انجام شده در این رابطه پرداخته می‌شود.

گریمالدی و همکاران (۸)، کنترل آبشستگی با استفاده از آبیایه در پایین دست پایه پل را مطالعه نمودند. بررسی‌های انجام شده نشان داد که در شرایطی که آبیایه در فاصله نزدیک در پایین دست پایه قرار گیرد، آبشستگی به مقدار ۲۶ درصد و حجم چاله ۸۰ درصد کاهش می‌یابد.

پاگلارا و همکاران (۱۵)، به بررسی کاربرد آستانه گابیونی در پایین دست برای حفاظت از آبشستگی پایه پل پرداختند. نتایج حاصله حاکی از آن است که آستانه فرایند آبشستگی را کند نموده و به تاخیر می‌اندازد ولی، در صورت توسعه آبشستگی به زیر آستانه، آبشستگی با سرعت پیش رفته و به همان عمق چاله بدون آستانه می‌رسد.

رازی و همکاران (۵)، تأثیر موقعیت قرارگیری آبیایه در کاهش عمق آبشستگی در پایه‌های استوانه‌ای را بصورت آزمایشگاهی مورد بررسی قرار دادند. نتایج اندازه‌گیری‌های انجام شده نشان داد که بهترین موقعیت قرارگیری آستانه در موقعیت متصل به پایه بالادست می‌باشد. در این حالت عمق آبشستگی حدود ۳۰ درصد کاهش می‌یابد.

امروزه با پیشرفت فناوری طراحی و ساخت سازه‌ها، شاهد ساخت پل‌ها با اشکال گوناگونی بوده که از جمله آنها می‌توان به پل‌ها با گروه پایه کج اشاره نمود. فرایند آبشستگی در حضور گروه پایه تحت تأثیر عامل تقویت کننده در پایه جلویی که باعث افزایش عمق آبشستگی در مجاورت آن شده و عامل حفاظ بودن که منجر به کاهش سرعت مؤثر برای پایه پایین دست و در نتیجه کاهش مقدار آبشستگی در محدوده پایه، می‌باشد. مقایسه‌های انجام شده در خصوص تاثیر کج شدگی پایه بر تغییرات آبشستگی اطراف گروه پایه کج نشان داد که مقدار آبشستگی در گروه پایه کج از حالت تک پایه بیشتر بوده که این موضوع به دلیل تاثیر توام دو پایه و نیز کج شدگی

در این تحقیق رابطه ۳ به عنوان یک رابطه پایه‌ای برای انجام آزمایش‌ها مورد استفاده قرار گرفت.

تجهیزات آزمایشگاهی

آزمایش‌ها در آزمایشگاه هیدرولیک گروه مهندسی آب دانشگاه گیلان و در فلومی با سیستم بازچرخانی و به طول ۸/۶ متر، عرض ۰/۹۲ و عمق ۱ متر که دارای دیواره‌هایی از جنس شیشه و کف پلکسی‌گلاس بود، انجام شد. به منظور تامین دبی جریان از پمپ سانتریفیوژ که قادر بود دبی سیستم را تا ۷۰ لیتر بر ثانیه نمایند، استفاده گردید (شکل ۱). جریان ورودی توسط پمپ وارد مخزن اندازه‌گیری بالادست شده که در انتهای آن سرریز مثلثی جهت اندازه‌گیری دبی جریان نصب شد. سپس جریان با عبور از سرریز وارد مخزن آرام‌کننده پایین دست شده و در ادامه وارد کانال می‌گردید. جهت کاهش تلاطم جریان ورودی به کانال و ممانعت از شکل‌گیری جریان‌های عرضی در ورودی کانال، از مستقیم‌سازنده جریان در ابتدای کانال استفاده شد. برای تنظیم عمق جریان در کانال از دریچه پروانه‌ای که در انتهای کانال نصب شده بود، استفاده گردید. با توجه به اینکه در آزمایش‌ها تنظیم دقیق دبی بسیار حائز اهمیت بود، از یک دستگاه کنترل کننده دور موتور برای تنظیم دور الکتروموتور پمپ استفاده گردید که با استفاده از آن امکان تنظیم دقیق دبی جریان با حداقل اتلاف وقت میسر شد. جهت اطمینان از توسعه یافتگی جریان قبل از رسیدن به پایه پل، محل نصب آن ۵ متر بعد از ورودی انتخاب گردید.

پایه گروه کج مورد بررسی در این تحقیق از دو پایه مستطیلی شکل به طول و عرض ۲/۵ و ۳/۵ سانتیمتر که با زاویه ۲۸ درجه بر روی فونداسیون مستطیلی شکل به طول و عرض ۱۶ و ۱۰ سانتیمتر نصب شده بودند، تشکیل شد. ابعاد پایه نمونه به مقیاس ۱/۱۹۰ رفته از پل هشتم اهواز می‌باشد. در انتخاب مقیاس سعی شد که ابعاد نهایی پایه به گونه‌ای باشد که دیواره‌ها بر روی آبشستگی تاثیری نداشته

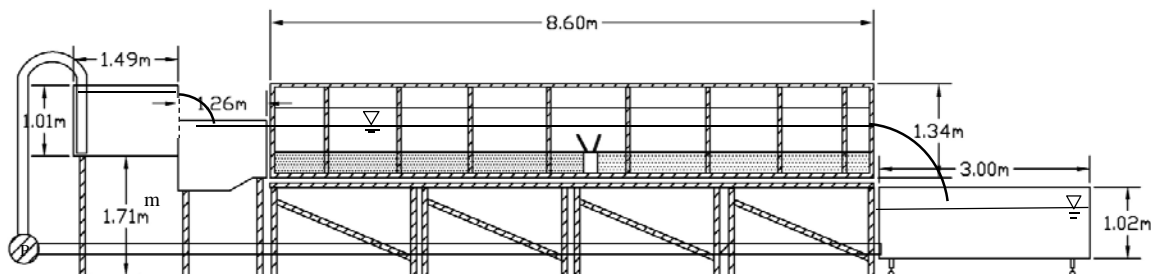
باشند. طبق نظر رادکیوی و اتما (۱۶) اگر نسبت عرض فلوم به عرض پایه از ۶/۲۵ بیشتر باشد، دیواره‌های فلوم تاثیری بر مقدار آبشستگی نخواهند داشت. مقدار این نسبت برای پایه و فونداسیون پل مورد بررسی در فلوم آزمایشگاهی به ترتیب برابر با ۲۶ و ۱۰ بود.

اندازه ذره رسوب یکی از عوامل موثر بر عمق آبشستگی است. برای حذف اثر اندازه رسوب بر عمق آبشستگی موضعی، طبق تحقیق ملویل و ساترلند (۱۴)، نسبت عرض پایه به قطر ذرات رسوبی باید از ۲۵-۲۰ بیشتر باشد. همچنین رادکیوی و اتما (۱۶) اظهار داشتند که جهت ممانعت از تشکیل شکنج در سرعت‌های نزدیک به آستانه حرکت، قطر رسوبات باید از ۰/۷ میلیمتر بیشتر باشد. رسوبات مورد استفاده در این تحقیق دارای قطر ۰/۷ میلیمتر بود که از مصالح رودخانه‌ای تهیه و بعد از الک کردن در بازه‌ای بطول ۱/۵ متر از فلوم آزمایشگاهی که محدوده مورد مطالعه برای آبشستگی بود، قرار داده شد. ضخامت مواد بستر با توجه به بیشینه عمق آبشستگی ۳۰ سانتیمتر انتخاب گردید. جهت شبیه‌سازی بهتر بستر رسوبی کانال، بالادست و پایین دست بازه مورد مطالعه از رسوبات درشت‌دانه که در مرحله الک کردن باقی‌مانده بود، استفاده گردید.

آستانه مورد بررسی شامل صفحه پلاکسی گلاس به ضخامت ۶ میلیمتر بود که بصورت عمودی در سه موقعیت بالادست، میانی و پایین دست فونداسیون نصب گردید. در شکل ۲، نمایی از پایه پل مورد مطالعه به همراه استقرار آستانه نشان داده شده است.

روش انجام آزمایش‌ها

قبل از شروع آزمایش‌ها لازم بود که سرعت آستانه حرکت برای قطر رسوبات مورد استفاده مشخص گردد. بنابراین برای شرایط مختلف عمق و دبی، وضعیت آستانه حرکت بررسی و در نهایت مقدار متوسط سرعت جریان برای آستانه حرکت ۰/۲۲ متر بر ثانیه تعیین گردید.



شکل ۱- طرح کلی فلوم آزمایشگاهی



شکل ۲- نمایی از موقعیت قرارگیری آستانه در شرایط آزمایشگاهی، الف) $Z/D_* = 0$ و ب) $Z/D_* = -1$

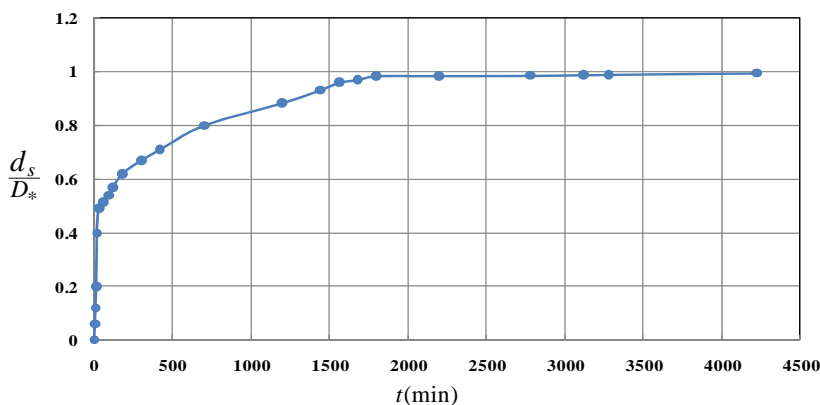
آزمایشی به مدت ۷۲ ساعت و با سرعت نسبی $0.95/0$ انجام و تغییرات عمق آبشستگی با استفاده از عمق سنج با دقت 0.1 میلیمتر اندازه‌گیری شد (شکل ۳). با مقایسه نتایج حاصل از آبشستگی‌های اندازه‌گیری شده، زمان تعادل 1500 دقیقه که معادل با 25 ساعت بود، حاصل شد.

در مجموع به منظور بررسی تاثیر آستانه، شرایط هیدرولیکی و رقوم کارگذاری بر توسعه آبشستگی اطراف گروه پایه کج 48 آزمایش انجام شد که دامنه پارامترهای مورد بررسی در جدول ۱ ارائه شده است.

لازم به ذکر است به جهت عدم امکان اندازه‌گیری مستمر عمق آبشستگی در طول زمان 25 ساعت، در کلیه آزمایش‌ها تغییرات آبشستگی به مدت 7 ساعت که تقریباً 85 درصد آبشستگی رخ داد، بصورت پیوسته اندازه‌گیری شده و سپس حداکثر عمق آبشستگی بعد از قطع آزمایش در زمان 25 ساعت اندازه‌گیری شد.

مقایسه نتایج حاصله با دیاگرام شیلدز و روابط تجربی مطابقت مطلوبی را نشان داد. در هر آزمایش‌ها، ابتدا با تعیین دبی جریان برای سرعت و عمق مورد نظر، آب به تدریج و به آرامی وارد کانال شده و سپس بعد از تنظیم دبی، عمق مورد نظر در کانال با مانور دریچه انتهایی برقرار گردید.

پدیده آبشستگی در اطراف پایه‌های پل فرآیندی زمان‌بر بوده و تعیین زمان تعادل در مطالعه مربوط به آن از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد. محققان معیارهای مختلفی را جهت تعیین زمان تعادل پیشنهاد نموده‌اند. ملویل و چپو (۱۳) اشاره نمودند که زمان تعادل زمانی است که میزان آبشستگی در طی دوره زمانی 24 ساعته کمتر از 5 درصد باشد. اتما و رادکیوی (۱۶)، زمان تعادل را مدت زمانی معرفی نمودند که در سه ساعت متوالی بیش از یک میلیمتر آبشستگی رخ ندهد. در آزمایش‌های انجام شده در این پژوهش از معیار رادکیوی و اتما (۱۶) جهت تعیین زمان تعادل استفاده شد. برای این منظور، ابتدا



شکل ۳- توسعه زمانی آبشستگی برای $U/U_c = 0.95$ و $y/D_* = 1$

جدول ۱- دامنه پارامترهای آزمایشگاهی برای مطالعه تاثیر آستانه بر کاهش آبستتگی

تعداد آزمایش	موقعیت قرارگیری آستانه (L)	دبی جریان (l/s)	سرعت نسبی (U/U _c)	عمق نسبی جریان (y/D*)	تراز نسبی قرارگیری فونداسیون (Z/D*)
۱۲	بالادست، میانی، پایین دست	۱۱-۵۸	۰/۹۵ و ۰/۸	۳ و ۱	۰
۱۲	بالادست، میانی، پایین دست	۱۱-۵۸	۰/۹۵ و ۰/۸	۳ و ۱	۱
۱۲	بالادست، میانی، پایین دست	۱۱-۵۸	۰/۹۵ و ۰/۸	۳ و ۱	-۰/۵
۱۲	بالادست، میانی، پایین دست	۱۱-۵۸	۰/۹۵ و ۰/۸	۳ و ۱	-۱

نتایج و بحث

بیشتر به دلیل آنکه بخشی از فونداسیون نقش طوقه را ایفا می نماید، بسیار کند صورت می گیرد.

مقایسه نتایج نشان داد که بطور متوسط استقرار آستانه جلویی در سرعت نسبی ۰/۸ باعث کاهش ۲۲ درصد، آستانه میانی ۲۱ درصد و آستانه انتهایی ۱۲ درصد شد. همچنین در سرعت نسبی ۰/۹۵، استقرار آستانه جلویی باعث کاهش ۲۰ درصد، آستانه میانی ۱۹ درصد و آستانه انتهایی ۱۰ درصد شد.

در شکل ۹، نمودارهای نیمرخ نهایی آبستتگی برای تراز نسبی $Z/D_* = 0$ و در شرایط مختلف هیدرولیکی ارائه شده است. مشاهدات آزمایشگاهی برای این تراز کارگذاری فونداسیون نشان داد که الگوی شروع و توسعه آبستتگی در آن نسبت به سایر ترازهای کارگذاری متفاوت است. از آنجاکه سطح بالایی فونداسیون در این شرایط همتراز بستر است، در مرحله شروع آزمایش آبستتگی با برخورد گردابه های نعل اسبی شکل گرفته توسط پایه جلویی به بستر، آبستتگی از قسمت میانی فونداسیون شروع شده و به سمت بالادست آن حرکت می نماید. در نتیجه کارگذاری آستانه میانی و جلویی تاثیر چشم گیری در کاهش آبستتگی داشت.

مقایسه نتایج نشان داد که در سرعت نسبی ۰/۸، استقرار آستانه جلویی و میانی مانع از توسعه آبستتگی به بالادست فونداسیون شده است ولی در وضعیت استقرار آستانه انتهایی، مقدار آبستتگی از ۱۵ درصد کاهش یافت. نتایج اندازه گیری های انجام شده حاکی از آن است که با افزایش سرعت نسبی به ۰/۹۵، در شرایط استقرار آستانه جلویی آبستتگی ۸۵ درصد، آستانه میانی ۵۰ درصد، کاهش یافته ولی آستانه انتهایی تاثیری بر کاهش آبستتگی نداشت. در شکل های ۱۰ و ۱۱، نمایی از وضعیت بستر آبستتگی نهایی نشان داده شده است.

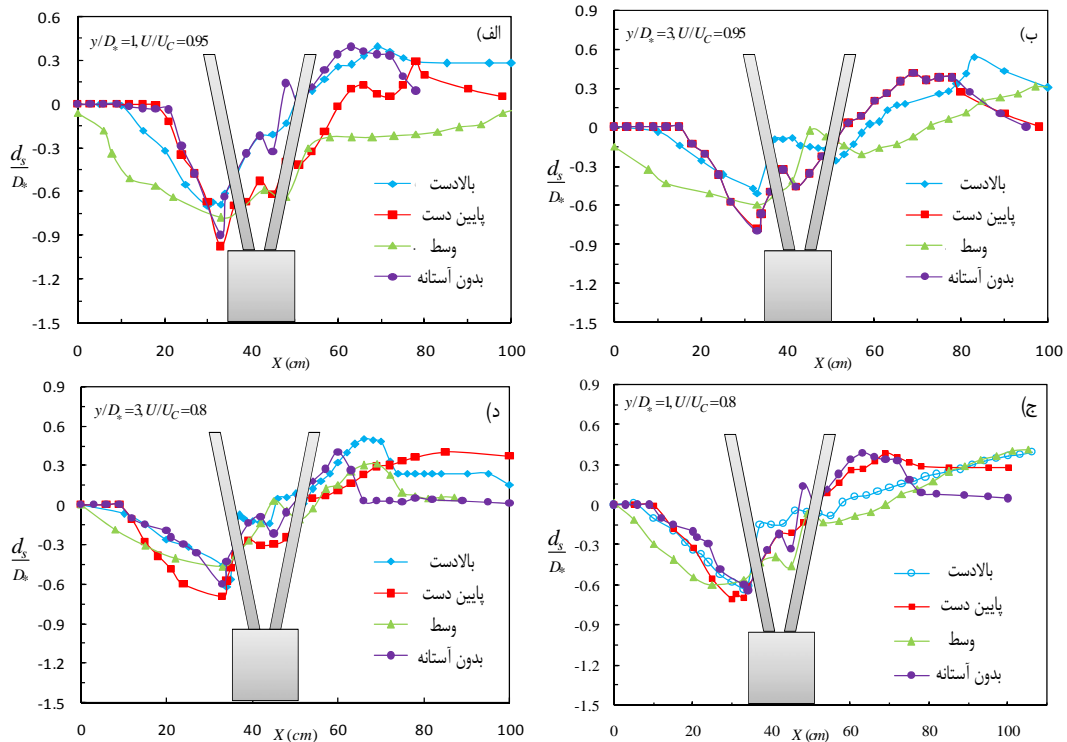
نتایج حاصل از اندازه گیری حداکثر عمق آبستتگی در تراز نسبی $Z/D_* = 1$ و برای شرایط مختلف هیدرولیکی در شکل های ۱۲ و ۱۳، ارائه شده است. در تراز کارگذاری مذکور، به دلیل آنکه جریان بطور مستقیم با فونداسیون برخورد می نمود، تولید گردابه های نعل اسبی برزگتری نموده و در نتیجه ابعاد چاله آبستتگی افزایش چشمگیری نمود.

همانطور که ذکر شد، در این تحقیق تاثیر موقعیت قرارگیری آستانه بر حداکثر ابعاد آبستتگی اطراف گروه پایه کج که بر روی فونداسیونی که در ترازهای مختلف کارگذاری شده بود، بصورت آزمایشگاهی بررسی گردید. در ادامه نتایج حاصله تشریح شده است.

نتایج حاصل از اندازه گیری حداکثر عمق آبستتگی در تراز نسبی $Z/D_* = -1$ و برای شرایط مختلف هیدرولیکی در شکل ۴ ارائه شده است. مقایسه نتایج نشان داد که در سرعت نسبی ۰/۸ استقرار آستانه تاثیر معنی داری بر کاهش آبستتگی نداشته است ولی با افزایش سرعت نسبی جریان به ۰/۹۵، استقرار آستانه جلویی باعث کاهش ۲۱ درصد، آستانه میانی ۱۷ درصد و آستانه انتهایی ۷ درصد شد.

مشاهدات آزمایشگاهی نشان داد که استقرار آستانه تاثیری محسوسی بر ابعاد چاله آبستتگی دارد. در شکل های ۵ و ۶ منحنی های توپوگرافی بستر برای موقعیت های مختلف کارگذاری آستانه به همراه تصاویری از آبستتگی نهایی اطراف پایه های پل نشان داده شده است. همانطور که ملاحظه می گردد، استقرار آستانه میانی نسبت به سایر موقعیت های کارگذاری آستانه، منجر به افزایش ابعاد چاله آبستتگی شده است. بررسی ها انجام شده نشان داد در شرایط استقرار آستانه میانی، با ورود گردابه های ایجاد شده در اثر برخورد به پایه به چاله آبستتگی در مجاورت آستانه دچار چرخش مجدد در جهت عرضی می گردند. در نتیجه چاله آبستتگی بیشتر در راستای عرضی گسترش می یابد. همچنین در مقایسه با موقعیت آستانه در پایین دست، قدرت گردابه ها در مجاورت آستانه میانی بیشتر می باشد لذا توسعه بیشتر چاله آبستتگی در جهت عرضی منطقی به نظر می رسد. در شکل ۷ نمایی از آشکارسازی جریان برای سرعت نسبی ۰/۹۵ و رقوم کارگذاری مذکور نشان داده شده است.

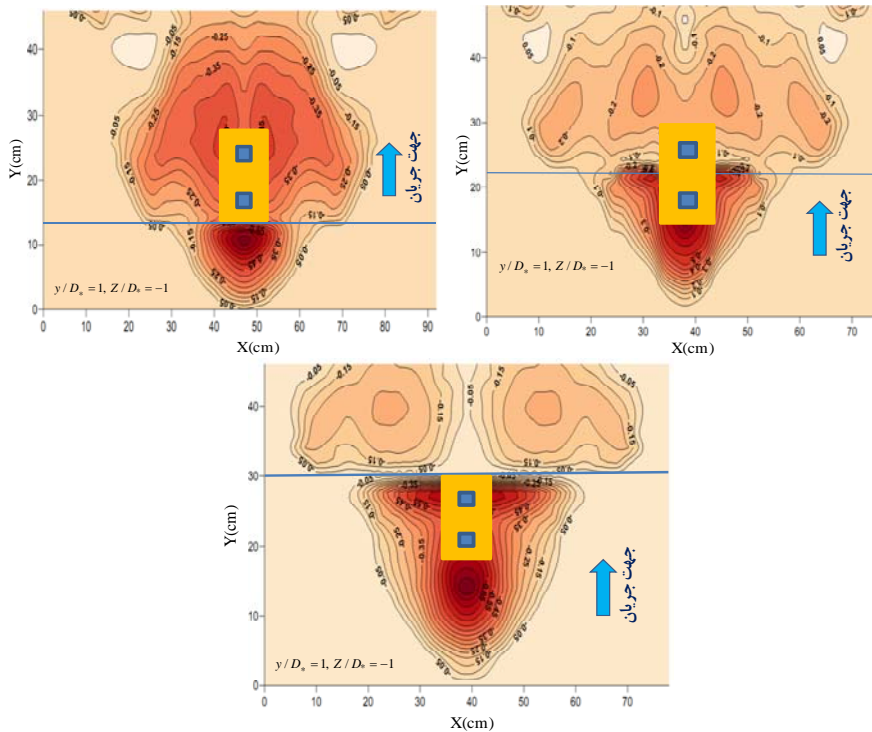
نتایج حاصل از اندازه گیری حداکثر عمق آبستتگی در تراز نسبی $Z/D_* = -0.5$ و برای شرایط مختلف هیدرولیکی در شکل ۸ ارائه شده است. مشاهدات آزمایشگاهی برای این تراز کارگذاری حاکی از آن است که با رسیدن عمق آبستتگی به روی فونداسیون، تعمیق



شکل ۴- نیمرخ نهایی آبشستگی برای تراز نسبی کارگذاری فونداسیون $Z/D_s = -1$ ، و استقرار مختلف آستانه،

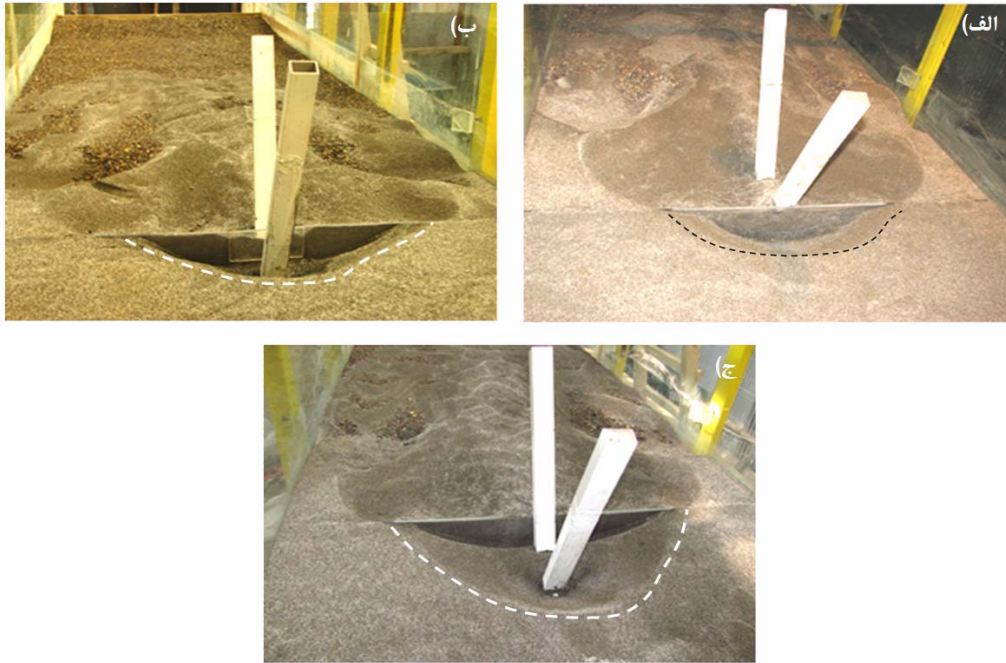
(الف) عمق نسبی $y/D_s = 1$ و سرعت نسبی $+0.95$ ، (ب) $y/D_s = 3$ و سرعت نسبی $+0.95$ ،

(ج) عمق نسبی $y/D_s = 1$ و سرعت نسبی $+0.8$ ، (د) $y/D_s = 3$ و سرعت نسبی $+0.8$

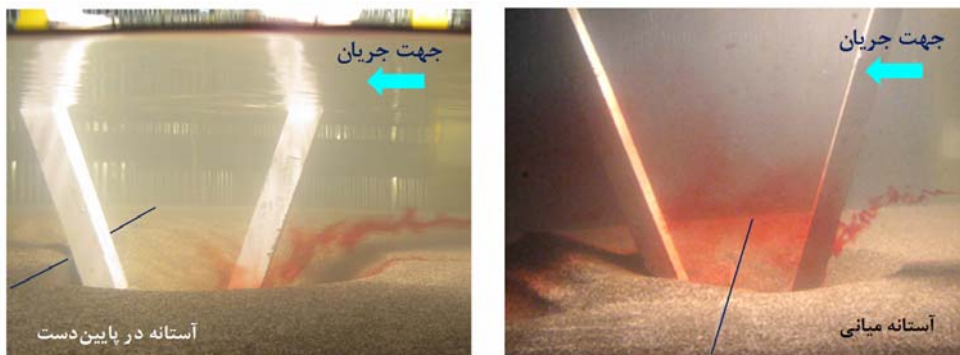


شکل ۵- تغییرات توپوگرافی بستر برای موقعیت‌های مختلف استقرار آستانه در تراز کارگذاری $Z/D_s = -1$ ،

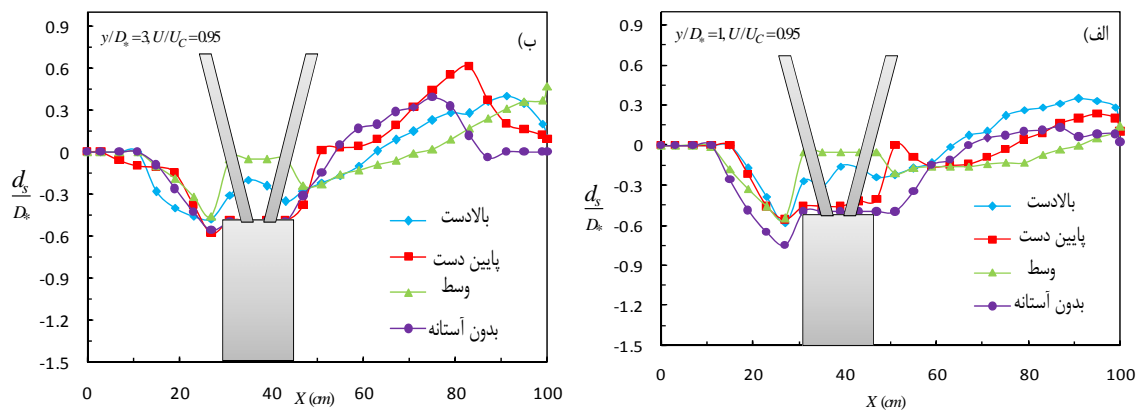
عمق نسبی $y/D_s = 1$ و سرعت نسبی $+0.95$

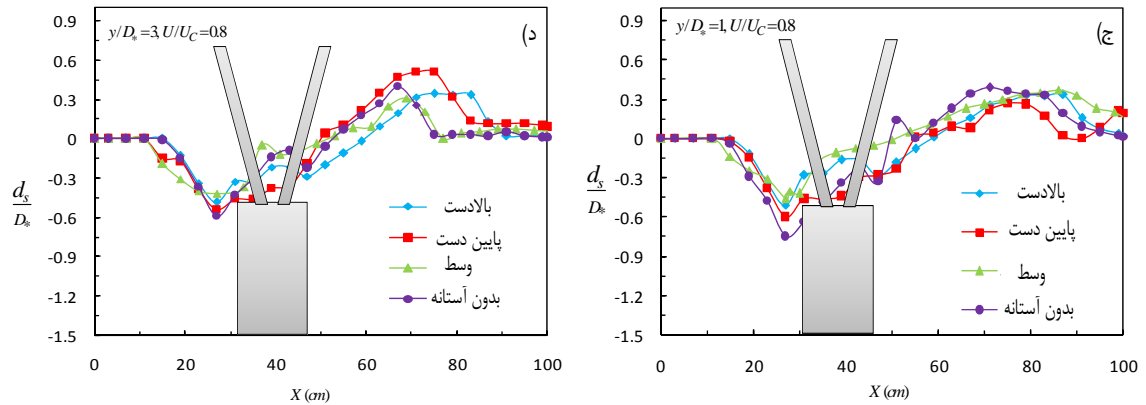


شکل ۶- تصاویر ابعاد چاله آبستکی در تراز کارگذاری $Z/D_* = -1$ ، عمق نسبی $y/D_* = 1$ و سرعت نسبی $U/U_c = 0.95$ ، (الف) آستانه جلویی، (ب) آستانه میانی و (ج) آستانه انتهایی



شکل ۷- نمایی از آشکارسازی جریان در تراز کارگذاری $Z/D_* = -1$ و سرعت نسبی $U/U_c = 0.95$

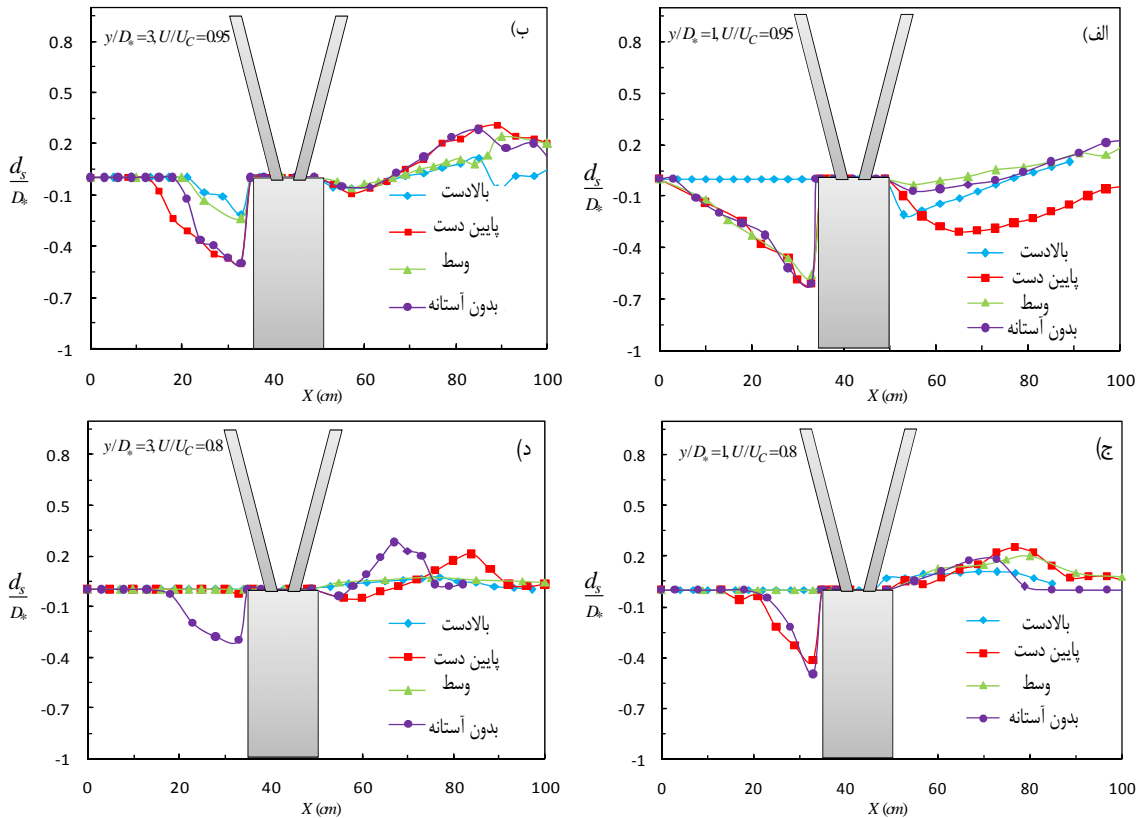




شکل ۸- نیمرخ نهایی آبشستگی برای تراز نسبی کارگذاری فونداسیون $Z/D_* = -0.5$ ، و استقرار مختلف آستانه،

الف) عمق نسبی $y/D_* = 1$ و سرعت نسبی $+0.95$ ، ب) $y/D_* = 3$ و سرعت نسبی $+0.95$ ،

ج) عمق نسبی $y/D_* = 1$ و سرعت نسبی $+0.8$ ، ب) $y/D_* = 3$ و سرعت نسبی $+0.8$



شکل ۹- نیمرخ نهایی آبشستگی برای تراز نسبی کارگذاری فونداسیون $Z/D_* = 0$ ، و استقرار مختلف آستانه،

الف) عمق نسبی $y/D_* = 1$ و سرعت نسبی $+0.95$ ، ب) $y/D_* = 3$ و سرعت نسبی $+0.95$ ،

ج) عمق نسبی $y/D_* = 1$ و سرعت نسبی $+0.8$ ، ب) $y/D_* = 3$ و سرعت نسبی $+0.8$

آستانه جلویی باعث کاهش ۱۲ درصد و آستانه میانی ۱۴ درصد حداکثر عمق آبشستگی شد. همچنین استقرار آستانه انتهایی تاثیر معنی داری بر کاهش آبشستگی نداشت.

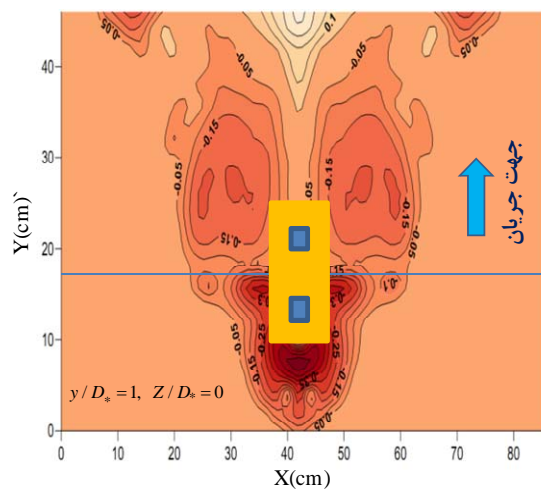
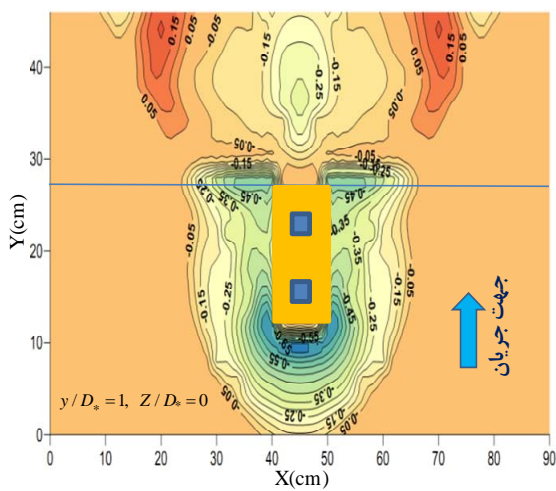
مقایسه نتایج نشان داد که بطور متوسط استقرار آستانه جلویی در سرعت نسبی $+0.8$ باعث کاهش ۲۴ درصد، آستانه میانی ۲۲ درصد و آستانه انتهایی ۱۱ درصد شد. همچنین در سرعت نسبی $+0.95$ ، استقرار

است. در نتیجه مقدار کاهش آبشستگی توسط آستانه جلویی برابر یا انداکی کمتر از آستانه میانی شد. در شکل ۱۴، نمایی از وضعیت الگوی جریان در اطراف پایه با و بدون آستانه نشان داده شده است.

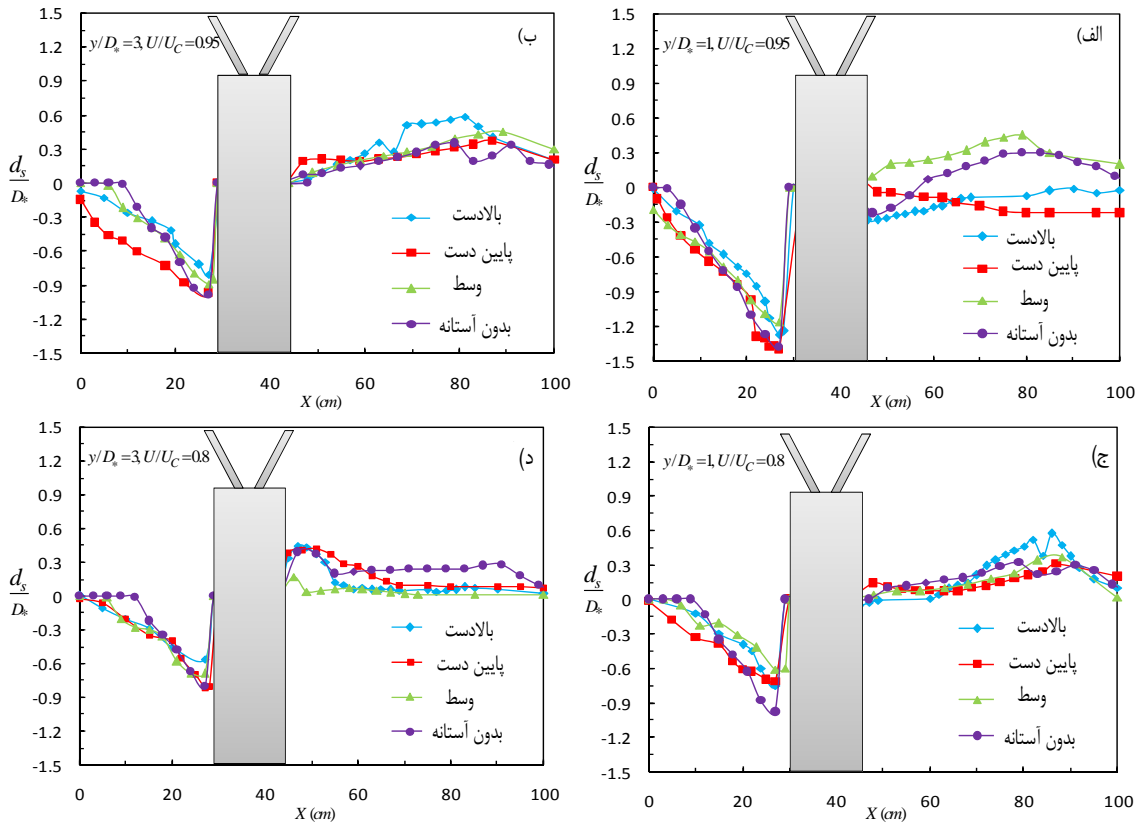
مشاهدات آزمایشگاهی برای شرایط مذکور حاکی از آن بود که حضور آستانه باعث عدم انتقال گردابه‌های نعل اسبی از مجاورت پایه به پایین دست شده و تمرکز تشکیل آن در درون حفره آبشستگی



شکل ۱۰- تصاویر ابعاد چاله آبشستگی در تراز کارگذاری $Z/D_* = 0$ ، عمق نسبی $y/D_* = 1$ و سرعت نسبی 0.95 ، (الف) آستانه جلویی، (ب) آستانه میانی و (ج) آستانه انتهایی



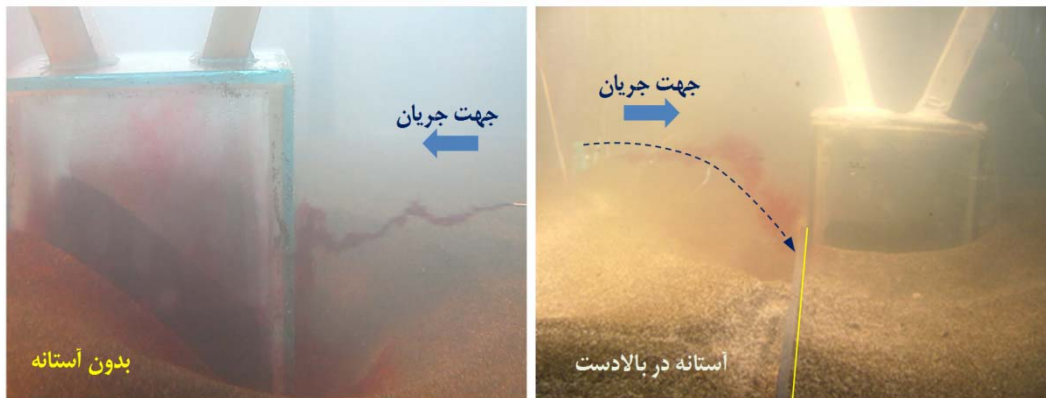
شکل ۱۱- تغییرات توپوگرافی بستر برای موقعیت‌های مختلف استقرار آستانه در تراز کارگذاری $Z/D_* = 0$ ، عمق نسبی $y/D_* = 1$ و سرعت نسبی 0.95



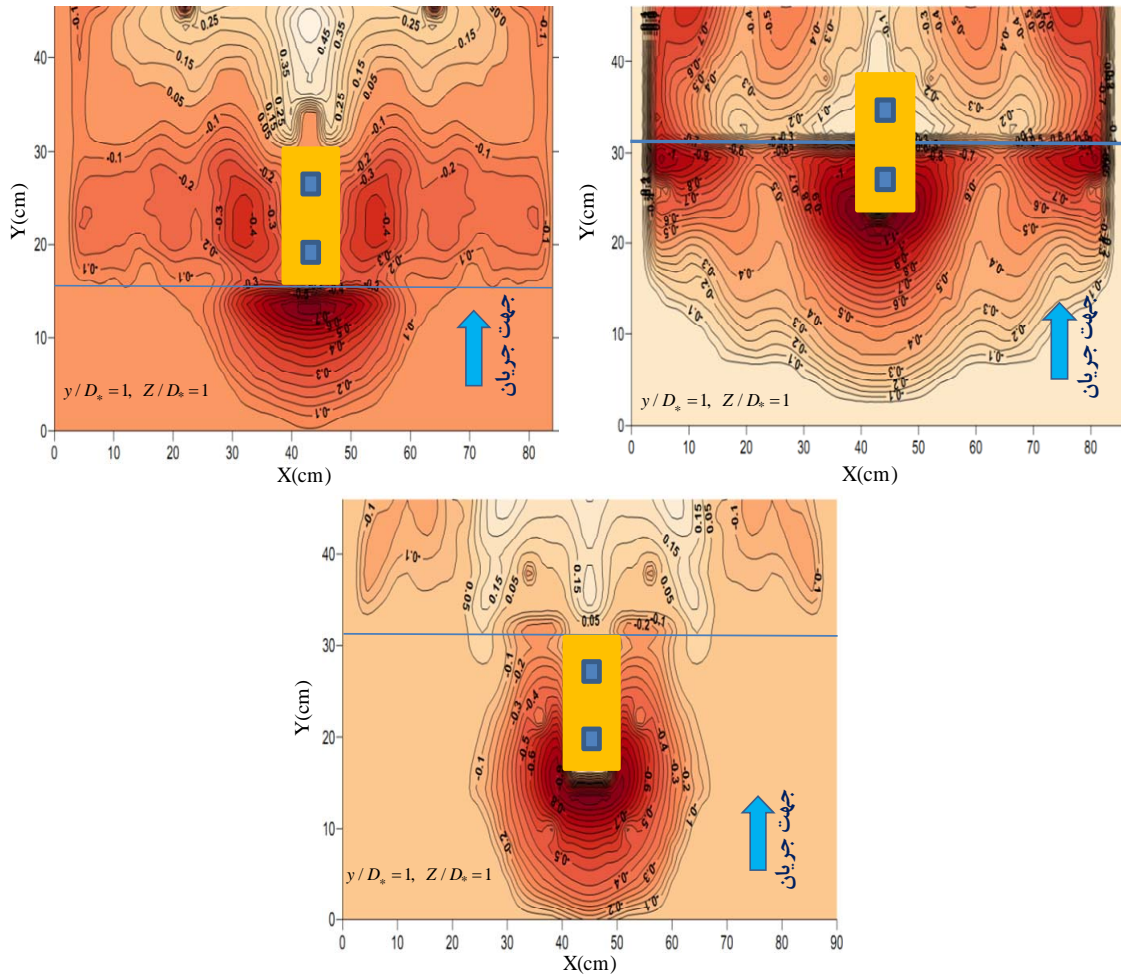
شکل ۱۲- نیمرخ نهایی آیشستگی برای تراز نسبی کارگذاری فونداسیون $Z/D_* = 1$ ، و استقرار مختلف آستانه،

الف) عمق نسبی $y/D_* = 1$ و سرعت نسبی $U/U_C = 0.95$ ، ب) $y/D_* = 3$ و سرعت نسبی $U/U_C = 0.95$ ،

ج) عمق نسبی $y/D_* = 1$ و سرعت نسبی $U/U_C = 0.8$ ، د) $y/D_* = 3$ و سرعت نسبی $U/U_C = 0.8$



شکل ۱۳- الگوی خط جریان نزدیک شونده به فونداسیون برای تراز نسبی کارگذاری ۱، و $U/U_C = 0.95$ و $y/D_* = 3$



شکل ۱۴- تغییرات توپوگرافی بستر برای موقعیت‌های مختلف استقرار آستانه در تراز کارگذاری $Z/D_* = 1$ ، عمق نسبی $y/D_* = 1$ و سرعت نسبی ۰/۹۵

استقرار آستانه دارای کاربرد گسترده تری می‌باشد. در تحقیق حاضر تاثیر موقعیت قرارگیری آستانه در جلو، میانه و پایین دست گروه پایه کج مستقر بر روی فونداسیون مستطیلی که در ترازهای مختلف نسبت به بستر رسوبی قرار داده شد، تحت شرایط مختلف هیدرولیکی مورد بررسی قرار گرفت. مقایسه نتایج نشان داد که از میان موقعیت‌های مختلف استقرار آستانه، آستانه انتهایی تاثیر معنی‌داری بر کاهش آبشستگی در ترازهای مختلف کارگذاری فونداسیون، سرعت‌های نسبی و عمق جریان نداشت. تجزیه و تحلیل مقادیر حداکثر عمق آبشستگی برای شرایطی که فونداسیون در زیر بستر بود حاکی از آن است که بطور متوسط استقرار آستانه در بالادست فونداسیون باعث کاهش ۲۰ درصد و کارگذاری آن در قسمت میانی منجر به کاهش ۱۶ درصد آبشستگی می‌گردد. مقایسه نتایج نشان داد که بیشتری تاثیر آستانه بر کاهش آبشستگی مربوط به شرایطی بود که تراز کارگذاری فونداسیون با بستر برابر باشد. در این شرایط بخش

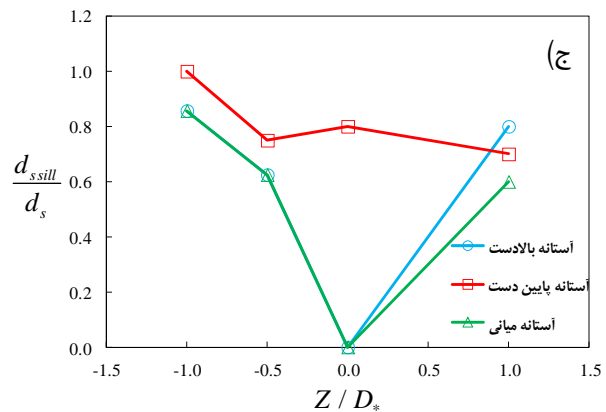
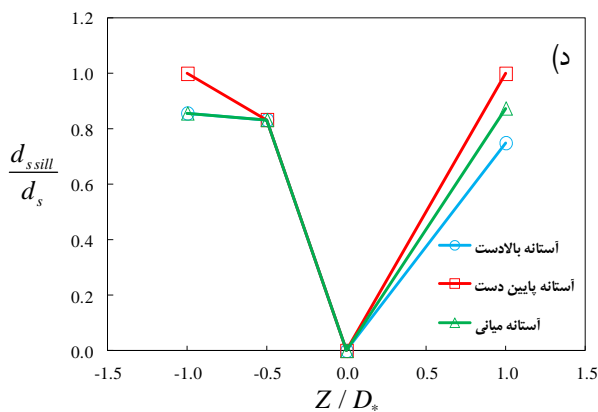
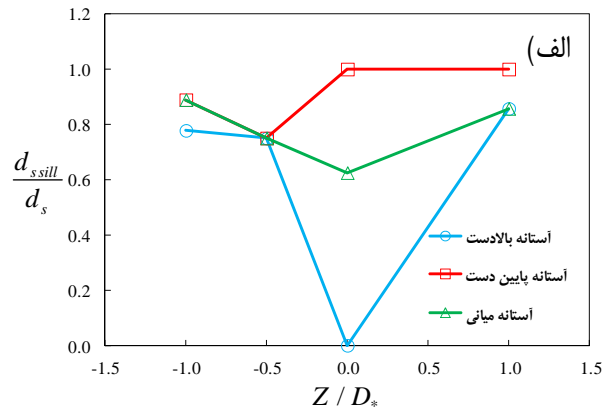
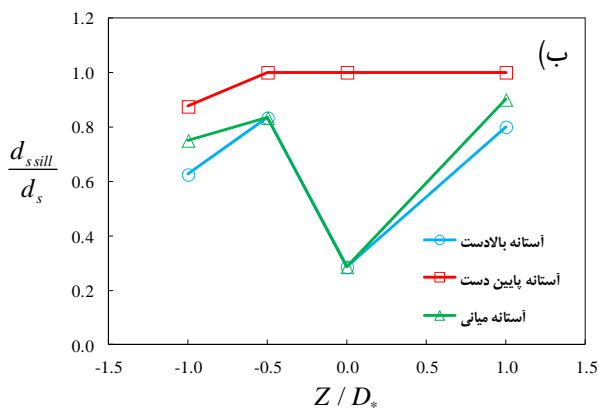
در شکل ۱۵، نمودار حداکثر عمق آبشستگی برای شرایط مختلف هیدرولیکی و تراز کارگذاری فونداسیون ارائه شده است. همانطور که ملاحظه می‌گردد در کلیه شرایط هیدرولیکی و رقوم کارگذاری فونداسیون، آستانه بالادست بیشترین تاثیر و آستانه پایین دست کمترین تاثیر را در کاهش عمق آبشستگی دارد. همچنین کارگذاری فونداسیون در تراز نسبی صفر و ۰/۵- کمترین مقدار عمق چاله آبشستگی را نسبت به سایر ترازهای کارگذاری فونداسیون داشته است.

نتیجه گیری

عدم نظر گرفتن اندرکنش بستر جریان در رودخانه با پایه پل باعث تخریب آن به‌ویژه در مواقع سیلابی که نیاز به این سازه جهت امداد رسانی بیشتر می‌باشد، خواهد شد. روش‌های متنوعی برای کنترل و کاهش آبشستگی اطراف پایه‌های پل وجود دارد که از میان آنها

از پایه‌های پل، آستانه در مقابل فونداسیون نصب گردد. همچنین پیشنهاد می‌شود که تراز کارگذاری فونداسیون حداکثر برابر با تراز اولیه رودخانه باشد. البته در شرایطی که پیش‌بینی می‌گردد رودخانه در درازمدت دچار افت تراز بستر می‌گردد، تراز کارگذاری فونداسیون به مقدار کمتر از حداکثر دو برابر قطر پایه‌های آن پایین‌تر از بستر قرار گیرد.

فوقانی فونداسیون همانند طوق عمل نموده و باعث کاهش آبستگي از ۸۵ درصد در آستانه جلویی تا ۵۰ درصد در آستانه میانی می‌شود. همچنین در شرایطی که فونداسیون بالاتر از بستر استقرار یابد، راندمان کاهش آبستگي کاهش یافته و برای هر دو موقعیت کارگذاری فونداسیون، به تقریباً ۱۶ درصد می‌رسد. به عنوان جمع‌بندی توصیه می‌گردد که جهت کاهش آبستگي اطراف این نوع



شکل ۱۵- تغییرات حداکثر عمق آبستگي برای موقعیت‌های مختلف استقرار آستانه و ترازهای مختلف کارگذاری فونداسیون، (الف) عمق نسبی $y / D_* = 1$ و سرعت نسبی 0.95 ، (ب) عمق نسبی $y / D_* = 3$ و سرعت نسبی 0.95 ، (ج) عمق نسبی $y / D_* = 1$ و سرعت نسبی 0.8 ، (د) عمق نسبی $y / D_* = 3$ و سرعت نسبی 0.8

منابع

- ۱- اسمعیلی ورکی م، موسی پور س. و حاتم جعفری م. ۱۳۹۱. مطالعه آزمایشگاهی تاثیر رقوم کارگذاری فونداسیون بر حداکثر آبستگي اطراف پایه گروه کچ، نهمین کنفرانس بین‌المللی عمران، اردیبهشت ماه ۱۳۹۱، دانشگاه صنعتی اصفهان.
- ۲- حیدرپور م، افضل‌ی مهر ح. و خداکرمی ز. ۱۳۸۶. حفاظت گروه پایه‌های استوانه‌ای پل در برابر آبستگي موضعی با استفاده از شکاف، مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، سال چهاردهم، شماره سوم، ۱۲-۱.
- ۳- حسینی س.ح، حسین زاده دلیر ع. و ارونقی ه. ۱۳۸۹. کنترل آبستگي در اطراف پایه‌های مستطیلی با کاربرد صفحات مستغرق و طوق، نهمین کنفرانس هیدرولیک ایران، آبان ماه ۱۳۸۹، دانشگاه تربیت مدرس.
- ۴- دبردانی ا، صناعی م. و قربانی ب. ۱۳۸۹. بررسی تاثیر صفحات مستغرق دو گانه، با طول‌های متفاوت در کاهش آبستگي موضعی پایه پل با استفاده از نمودار زمانی، نهمین کنفرانس هیدرولیک ایران، آبان ماه ۱۳۸۹، دانشگاه تربیت مدرس.

- ۵- رازی س.، حسین زاده دلیر ع.، سلمانی ف. و فرسادی زاده د. ۱۳۸۹. تاثیر موقعیت آبیپایه در کاهش آبخستگی در پایه‌های استوانه‌ای، نهمین کنفرانس هیدرولیک ایران، آبان ماه ۱۳۸۹، دانشگاه تربیت مدرس.
- ۶- کشاورزی ع.، سیستانی ب. و رنجبر زاهدانی م. ۱۳۸۸. بررسی تاثیر سازه‌های منحرف‌کننده جریان بر روی آبخستگی موضعی در اطراف پایه‌های پل‌های استوانه‌ای، هشتمین کنگره بین‌المللی مهندسی عمران، اردیبهشت ۱۳۸۸، دانشگاه شیراز.
- 7- El-Razek M.A., El-Motaleb M.A., and Bayoumy M. 2010. Scour reduction around bridge piers using internal opening through the pier. Alexandria Engineering Journal, university, Egypt, 42(2): 241-248.
- 8- Grimaldi C., Gaudio R., Calomino F., and Cardoso A. 2009. Control of scour at bridge piers by a downstream bed sill. ASCE, J. Hydraul. Eng., 135(1): 13-21.
- 9- Lagasse P.F., Clopper P.E., Pagán-Ortiz J.E., Zevenbergen L.W., Arneson L.A., Schall J.D., and Girard L.G. 2009. Bridge Scour and Stream Instability Countermeasures: Experience, Selection, and Design Guidance. FHWA, Hydraulic Engineering Circular No. 23.
- 10- Lee S., and Sturm T.W. 2009. Effect of sediment size scaling on physical modeling of bridge pier scour. ASCE, J. Hydraul. Eng., 135(10): 793-802.
- 11- Mashahir M., Zarrati A., and Mokallaf E. 2010. Application of Riprap and Collar to Prevent Scouring around Rectangular Bridge Piers. ASCE, J. Hydraul. Eng., 136(3): 183-187.
- 12- Masjedi A., Bejestan M., and Esfandi A. 2010. Reduction of local at a bridge pier using collar in a 180 degree flume bend. Journal of applied sciences, 10 (2):124-131.
- 13- Melvill B.W., and Chiew Y.M. 1999. Time scale for local scour at bridge piers, ASCE, J. Hydraul. Eng., 125 (1): pp 59-65.
- 14- Melville B.W., and Sutherland A.J. 1988. Design Method for Local Scour at Bridge Piers. ASCE, J. Hydraul. Eng., 114(10): 1210-1226.
- 15- Pagliara S., Carnacina L., and Cigni F. 2010. Sills and gabions as countermeasures at bridge pier in presence of debris accumulations. Journal of Hydraulic Research Vol. 48(6): 764-774.
- 16- Raudkivi A.J., and Ettema R. 1983. Clear-water scour at cylindrical piers. ASCE, J. Hydraul. Eng., 109(3): 339-350.
- 17- Simarro G., Cristina M., Fael S., and Cardoso A.H. 2011. Estimating Equilibrium Scour Depth at Cylindrical Piers in Experimental Studies. ASCE, J. Hydraul. Eng., 137(9): 1089-1093.
- 18- Zarrati A., Nazariha M., and Mashahir M. 2006. Reduction of Local Scour in the Vicinity of Bridge Pier Groups Using Collars and Riprap. ASCE, J. Hydraul. Eng., 132(2): 154-162.

Experimental Investigation of Effect of Sill Location on Local Scour Around Inclined Bridge Piers Group

S.S. Saadati Pachekenari¹- M. Esmaili Varaki^{2*}- R. Fazl Ola³

Received: 09-09-2013

Accepted: 19-01-2014

Abstract

After construction of bridge pier in a river, a 3D complex flow pattern forms around piers and erosion of bed material occurs and if foundation depth or piles depth was not sufficient, the bridge will be collapsed. One of devices to reduction of scour around bridge piers is an installation of sill beside of piers. In this research, effect of sill on reduction of scour around the inclined bridges piers group under various hydraulic condition and top level of installation of foundation was investigated experimentally. The model of bridge pier was 1/190 scaled of 8th bridges of Ahvaz, Iran, which had inclined rectangular of 2.5 cm length and 3.5 cm width and was placed on the foundation of 10 cm width and 16 cm of length with inclination of 28 degree. Experiments was conducted for different location of sill (front, middle and downstream) of foundation which installed at relative level, height of top of foundation to width of it, -1, -0.5, 0 and 1. Comparison of results showed that installation of sill in front of foundation had the best performance to decrease of scour depth. Furthermore, the reduction of scour depth as the top level of foundation was placed at same level of bed, was considerable.

Keywords: Reduction of Scour, Sill, Inclined Bridge Pier Group, Foundation level

1,3- MSc Student and Assistant Professor, Department of Water Engineering, University of Agricultural and Natural Resource Science of Sari, Sari

(*- Corresponding Author Email: esmaeili@Guilan.ac.ir)

2- Assistant Professor, Department of Water Engineering, University of Guilan, Rasht, Iran