

بررسی تأثیر ابعاد شکاف در تکیه‌گاه پل بر عمق چاله آبستگي

مهران صحت، امین بردبار*، علیرضا مسجدی و محمد حیدرنزاد^۱

(تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۲/۲۴؛ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۶/۱۲)

چکیده

امروزه تکیه‌گاه‌ها، جریان عادی رودخانه‌ها را مختل می‌کنند و سبب آبستگي و فرسایش مواد رسوبی در اطراف خود و ایجاد چاله می‌شوند. این امر هر ساله خسارت زیادی به بار می‌آورد. پژوهشگران روش‌های زیادی را برای کاهش قدرت فرسایش آبی پیشنهاد کرده‌اند. یکی از روش‌های ضروری در این زمینه، ایجاد شکاف در تکیه‌گاه‌ها است. با توجه به گسترش چاله آبستگي، پایداری سازه پل را به مخاطره می‌اندازد، در این پژوهش بررسی تأثیر ابعاد شکاف در تکیه‌گاه روی ابعاد چاله آبستگي صورت گرفت. نتایج نشان داد، وجود شکاف باعث کاهش ابعاد چاله آبستگي شده است. شکاف در تکیه‌گاه توانست تا ۵۰ درصد میزان حجم چاله آبستگي را کاهش دهد. همچنین با افزایش ۷۵ درصدی سرعت نسبی، میزان آبستگي تا ۱۴۰ درصد عمق چاله را افزایش داد و با افزایش عمق شکاف، میزان عمق چاله آبستگي تا ۸۵ درصد کاهش یافت.

واژه‌های کلیدی: آبستگي، تکیه‌گاه، ابعاد شکاف، عمق چاله آبستگي

۱. گروه علوم و مهندسی آب، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: Asefmm@yahoo.com

مقدمه

پیش‌بینی میزان گود افتادگی و کسب تدابیر لازم برای مهار آن از جمله اقدامات مهندسی متداول در عرصه مهندسی رودخانه تلقی می‌شود. پژوهشگران زیادی در زمینه بررسی عوامل مؤثر بر روی آبستگي موضعی در چند دهه گذشته مطالعه کرده اند. هر کدام از آنها از دید خود عوامل مؤثر را دسته بندی کرده اند. حجت خواه و سلیمانی (۱۲) در آزمایشی از سازه‌های محافظ در بالادست تکیه‌گاه‌های یک پل روی رودخانه در مسیر مستقیم و موازی با جریان عبوری با پنج زاویه (۱۵، ۳۰، ۴۵، ۶۰ و ۷۰) مختلف استفاده کردند. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد، سازه محافظ با زاویه ۱۵ درجه در کاهش میزان آبستگي عملکرد بهتری دارد.

شکاف یک بازشدگی در عرض بدنه پایه‌پل یا تکیه‌گاه پل سبب عبور بخشی از جریان آب از درون آن می‌شود (۱۰). این روش با منحرف کردن جریان‌های رو به پایین در قسمت بالادست تکیه‌گاه به سمت پایین دست و جریان‌های کناری در اطراف تکیه‌گاه‌های پل می‌تواند از تنش‌های برشی در کف مسیر جریان و نواحی تنش‌های برشی بحرانی کاسته و قدرت گردابه‌های مخرب صورت گرفته در اطراف سازه را کاهش دهد (۱۴). یکی از دیگر از راهکارهای کاهش عوامل فرسایش، استفاده از یک صفحه به نام طوقه است که در اطراف تکیه‌گاه یا پایه‌های پل نصب می‌شود. این صفحه محافظ به صورت یک سطح صاف و دارای ضخامت بسیار کم که با حفاظت تکیه‌گاه در مقابل جریان‌های رو به پایین و تضعیف گردابه‌های نعل اسبی در کاهش توسعه‌ی آبستگي مؤثر است (۶). در زمینه استفاده از شکاف و طوقه به منظور کاهش آبستگي، پژوهش‌هایی توسط پژوهشگران طی سالیان صورت پذیرفته است. چيو (۴) تأثیر شکاف پایه را در کاهش عمق آبستگي موضعی اطراف یک پایه پل دایروی بررسی کرد. نتایج نشان داد، با ایجاد یک شکاف به عرض ۰/۲۵ برابر قطر پایه پل و ارتفاع شکاف بیش از ۲ برابر قطر پایه، در حالت شکاف نزدیک بستر به میزان ۲۰ درصد و نزدیک به سطح آب تا ۵ درصد می‌تواند میزان عمق آبستگي را کاهش دهد. کومار و

تکیه‌گاه‌ها برای نگه‌داشتن پل‌ها در داخل رودخانه‌ها و نواحی ساحلی ساخته می‌شوند. به دلیل وجود جریان‌های شدید در این محیط‌ها، احتمال وقوع آبستگي در مجاورت تکیه‌گاه‌ها وجود دارد (۱۰). در صورتی که یک سازه هیدرولیکی مانند تکیه‌گاه پل در برابر جریان آب قرار گیرد، الگوی جریان در نزدیکی این سازه تغییر کرده و باعث ایجاد پدیده آبستگي موضعی در پیرامون آن می‌شود (۱۸). وقوع پدیده آبستگي در اطراف تکیه‌گاه‌های پل، یکی از اصلی‌ترین دلایل تخریب پل‌ها محسوب می‌شود. از مهم‌ترین عوامل آبستگي موضعی که باعث ایجاد چاله‌هایی در اطراف تکیه‌گاه‌های پل هستند، جریان رو به پایین، جریان کماني، گردابه نعل اسبی، گردابه ثانویه و گردابه برخاستگی محسوب می‌شود (۳). پژوهش‌های انجام شده در زمینه پدیده آبستگي توسط پژوهشگرانی مانند دانگل و ملویل (۹)، احمد و راجاراتنام (۱) و دی و باربویا (۸) نشان می‌دهد، در اطراف تکیه‌گاه‌ها و پایه‌های پل فرایند آبستگي مشابه است. اما اثرات لایه مرزی ناشی از دیواره کانال در بالادست تکیه‌گاه، باعث می‌شود شرایط پیچیده‌تری در اطراف تکیه‌گاه پل در شرایط مشابه حاکم شود (۱۳). مطالعات انجام شده توسط ملویل بر روی آسیب ۱۰۸ پل که در فاصله سال‌های ۱۹۸۴-۱۹۶۰ در نیوزلند رخ داد، ۲۹ مورد رخ داده مربوط به آبستگي در اطراف تکیه‌گاه‌های پل بوده است (۱۵)؛ بنابراین باتوجه به اهمیت موضوع، حفاظت از تکیه‌گاه‌های پل در مقابل آبستگي از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است. کنترل آبستگي در تعیین عمق فرسایش در محدوده تکیه‌گاه‌های پل، مستلزم آگاهی از نحوه جابه‌جایی مواد رسوبی بستر رودخانه‌ها است. تکیه‌گاه‌ها جریان عادی رودخانه را تغییر می‌دهند و تلاطم و اغتشاش حاصل از آن موجب فرسایش مواد رسوبی موجود در اطراف تکیه‌گاه‌ها می‌شود. چاله آبستگي ایجاد شده در اطراف تکیه‌گاه‌های پل، به مشخصات هندسی سازه، مواد تشکیل دهنده بستر رودخانه و شرایط هیدرولیکی جریان بستگی دارد. از آنجایی که گسترش چاله آبستگي پایداری سازه پل را به مخاطره می‌اندازد،

طول ۱۲، عرض ۴/۰ و ارتفاع ۶/۰ متری انجام شد. همچنین نتایج مقایسه آزمون به‌دست‌آمده با نتایج به‌دست‌آمده برای گروه آزمایش نشان داد، در زوایای بیشتر از ۱۵ درجه، اثرات استحکام‌بخشی و محافظ در پایه‌ها کاهش می‌یابد و مجموعه پایه‌ها به‌صورت یک پایه عمل می‌کند. بنابراین در این پژوهش با ارائه راه حل‌های جدید با استفاده از مدل‌های تجربی، تأثیر استفاده از شکاف‌هایی که ارتفاع یکسانی در جلو و پشت تکیه‌گاه ندارند، روی ابعاد چاله آبستگي مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش به‌منظور شناخت بهتر پدیده آبستگي در اطراف تکیه‌گاه‌های پل از روش شبیه‌سازی فیزیکی استفاده شد. برای بررسی بهتر، ابتدا پارامترهای مهم مؤثر بر این پدیده را بیان می‌شود و سپس با استفاده از آنالیز ابعادی، اعداد بدون بعد تأثیرگذار به‌دست می‌آید. در ادامه به معرفی تجهیزات و مدل‌های فیزیکی از تکیه‌گاه‌های پل پرداخته می‌شود.

آنالیز ابعادی

در مطالعه پدیده‌ها در آزمایشگاه، روابط بین عوامل مؤثر بر آن پدیده، بررسی می‌شود. پرداختن به شفاف‌سازی نقش مهم اعداد بدون بعد در تفسیر و ارائه نتایج آزمایشگاهی و برقراری روابط بین عوامل درگیر در شناخت پدیده مورد مطالعه، از اهمیت زیادی برخوردار است. عوامل مربوط به هندسه کانال شامل عرض کانال (B)، شعاع قوس (R)، شیب طولی فلوم (S_0)، زاویه مرکزی قوس (δ)، هندسه تکیه‌گاه شامل طول تکیه‌گاه (Ba)، عرض تکیه‌گاه (La)، بازشدگی شکاف تکیه‌گاه (H)، عرض دهانه شکاف در تکیه‌گاه (Ds) و فاصله کف شکاف تا سطح آب (L)، خصوصیات مربوط به شرایط هیدرولیکی جریان، سرعت جریان در بالادست (V)، عمق جریان (y) و شتاب ثقل (g) و خصوصیات مربوط به رسوب، قطر متوسط رسوبی (d_{50})، چگالی رسوبات (s)، عمق آبستگي رسوبات (ds) و

همکاران (۱۴) با ایجاد شکاف‌هایی به عرض ۲۵/۰ قطر پایه و ارتفاع‌های مختلف در پایه‌های میانی به این نتیجه رسیدند که افزایش ارتفاع شکاف باعث کاهش عمق آبستگي خواهد شد و چنانچه ارتفاع شکاف بیش از عمق جریان شود، تأثیر بیشتری در کاهش عمق آبستگي دارد.

گریمالدی و همکاران (۱۰) تأثیر استفاده از شکاف را در کاهش عمق آبستگي در اطراف پایه‌های پل بررسی کردند. نتایج نشان داد، در بهترین حالت که شکاف به اندازه یک سوم برابر عمق آب به زیر بستر نفوذ کرده بود، توانست تا ۳۰ درصد از عمق آبستگي کم کند. تفرج نورو و همکاران (۱۹) تأثیر استفاده از شکاف را در کاهش آبستگي در اطراف پایه پل بررسی کردند. نتایج نشان داد، شکافی که دارای بیشترین ارتفاع است و از سطح آب شروع شده و تا زیر بستر رسوبی تا حد قابل قبولی نفوذ کرده است، می‌تواند به میزان ۳۵ درصد از عمق آبستگي کم کند. همچنین در پژوهشی دیگر الگوی جریان در اطراف پایه پل دارای شکاف را بررسی کردند (۲۰).

حیدرئزاد (۱۱) نشان داد، عرض شیار، ارتفاع شیار و موقعیت شیار پارامترهای مهمی در کاهش آبستگي پایه‌های پل هستند. حداکثر کاهش عمق آبستگي توسط شکاف‌ها (دارای عمق ۱/۴ و ارتفاع دو برابر پایه) در نزدیکی بستر و نزدیک سطح آب به ترتیب ۲۰٪ و ۵٪ بود. پیشرفت‌های فناوری در طراحی و ساخت سازه‌ها منجر به طراحی پل‌های مدرن از جمله پل‌هایی با پایه‌های شیب‌دار به‌منظور کاهش آبستگي شده است.

بهمنی و حیدرپور (۲) تأثیر زاویه برخورد جریان بر یک پایه استوانه‌ای را در شرایط آب شفاف مطالعه کردند. برای این منظور، آن‌ها از گروه‌های دو و سه‌تای پایه‌های استوانه‌ای استفاده کردند که در امتداد نواری به عرض ۰/۰۳ متر با فاصله ۳ برابر قطر پایه قرار گرفتند. سپس گروه پایه‌ها در زوایای ضربه ۵۶/۰، ۱۰ و ۱۵ درجه آزمایش شدند. در پژوهش یاراحمدی و همکاران (۱۰) به این نتیجه رسیدند که عدد فرود جریان و پارامتر بدون بعد نسبت عمق جریان به شعاع حفره آبستگي، به‌عنوان مؤثرترین پارامترهای ورودی شناسایی شدند. تمام آزمایش‌ها در کانال آزمایشگاهی به

و همکاران (۵) برای اینکه اندازه رسوبات تأثیری بر روی عمق آبشستگی ایجاد نکند و از تشکیل فرم بستر نیز جلوگیری شود، می‌بایست $\frac{L_a}{d_{50}}$ بزرگتر از ۲۵ در نظر گرفته شود که در این رابطه، L_a طول تکیه‌گاه (بعد عمود بر جریان) و d_{50} قطر متوسط ذرات رسوبی است. هرچه دانه بندی ذرات یکنواخت‌تر شود، ابعاد آبشستگی هم بیشتر خواهد بود. برای برقراری شرط یکنواختی ذرات، می‌بایست $\sigma_g = \sqrt{\frac{d_{84}}{d_{16}}}$ برابر ۱/۳۱ باشد که در این رابطه، σ_g بیانگر انحراف معیار رسوبات است (۱۶). به توصیه راجاتامان و بری (۱۷) برای جلوگیری از تشکیل رپیل، می‌بایست قطر متوسط ذرات از ۰/۷ میلی‌متر بیشتر باشد؛ بنابراین ذرات رسوبی از جنس ماسه طبیعی غیر چسبنده و دارای قطر متوسط ۱/۳۷ میلی‌متر، انحراف معیار هندسی $\sigma_g = ۱/۱۳$ و چگالی ۲/۶۵ انتخاب شدند. نمودار دانه‌بندی ذرات رسوبی با روش الک در شکل ۲ نشان داده شده است.

مدت زمان انجام آزمایش برابر با معیار اتما (۷) انتخاب شد که مدت زمانی است که تغییرات در عمق آبشستگی در یک بازه زمانی ۴ ساعته، کمتر از یک میلی‌متر باشد. با توجه به نمودار شکل ۳، تغییرات عمق آبشستگی در ابتدا زیاد و با گذشت زمان به تدریج کم شده است و به دلیل وقوع بخش عمده آبشستگی در بازه ۲ ساعت اولیه آزمایش، این زمان برای کلیه آزمایش‌ها یکسان در نظر گرفته شده است. در نتیجه با توجه به معیارهای فوق و محاسبه سرعت بحرانی، با در نظر گرفتن عمق جریان برابر با ۱۶ سانتی‌متر و دبی ۹ لیتر بر ثانیه، شرط V/V_c برابر با ۰/۹ در آزمایش‌ها برقرار شد.

هدف این پژوهش، بررسی تأثیر شکاف در تکیه‌گاه بر میزان آبشستگی در اطراف تکیه‌گاه است که به منظور دستیابی به این هدف، تکیه‌گاه‌هایی از جنس گالوانیزه و با شکاف‌های مختلف ساخته شد (شکل ۴). همچنین دو سناریو به صورت شکاف ورودی بزرگتر و شکاف خروجی بزرگتر که به ترتیب مربوط به سناریوی اول و دوم است، تعریف شد. مشخصات متغیرهای این پژوهش در جدول ۱ نشان داده شده است.

خصوصیات مربوط به سیال هم جرم مخصوص (ρ) و ویسکوزیته دینامیکی (μ) است؛ بنابراین می‌توان نوشت:

$$f(S_0, B, R, B_a, L_a, Y, D_s, \delta, L, \theta, S, h, V, y, g, d_{50}, \rho_s, d_s, \rho, \mu) \quad (۱)$$

اگر سهم تغییر عمق جریان (y)، سرعت جریان (V) و جرم مخصوص سیال (ρ) به عنوان عامل‌های تکراری انتخاب شوند، بر اساس آنالیز ابعادی به روش π با کینگهام رابطه ۲ به دست می‌آید:

$$f = (S_0, \frac{B}{Y}, \frac{R}{Y}, \frac{L}{Y}, \frac{d_s}{Y}, \frac{h}{Y}, \frac{d_{50}}{Y}, \frac{d_s}{Y}, \frac{\rho_s}{\rho}, \frac{L_a}{Y}, \frac{B_a}{Y}, \delta, \theta, \frac{\mu}{\rho \nu y}, \frac{v^2}{g y}) = 0 \quad (۲)$$

در این پژوهش، شیب طولی فلوم برابر صفر است. زاویه مرکزی قوس در تمامی آزمایش‌ها ثابت است؛ بنابراین می‌توان از آن‌ها صرف‌نظر کرد، همچنین به علت ثابت بودن اندازه و جنس مصالح، نوع سیال و نیز عمق جریان در تمامی آزمایش‌ها از نسبت $\frac{d_{50}}{Y}$ و $\frac{\rho_s}{\rho}$ صرف‌نظر شد. بنابراین با صرف نظر کردن از دو پارامتر مذکور و تقسیم $\frac{B}{Y}$ بر $\frac{L}{Y}$ و $\frac{R}{Y}$ بر $\frac{B}{Y}$ ، رابطه ۳ به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$f = (Z, F_r, D_r, C_r, y, d_s, p, G_s) \quad (۴)$$

با توجه به اینکه جریان در فلوم آشفته است، می‌توان از عدد رینولدز صرف‌نظر کرد در نهایت رابطه ۴ به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$\frac{d_s}{Y} = f(\frac{H_2}{H_1}, Z, F_r) \quad (۴)$$

در این رابطه، H_2 ، شکاف پایین دست و H_1 شکاف بالادست است.

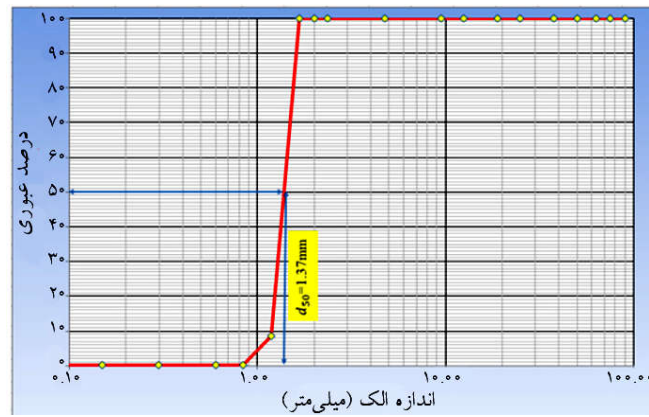
تجهیزات آزمایشگاهی

آزمایش‌های این پژوهش در فلومی به طول مستقیم در قسمت ورودی و خروجی به ترتیب برابر ۴/۵ و ۲/۵ متر و ارتفاع ۰/۶ و عرض ۰/۵ متر صورت گرفت (شکل ۱).

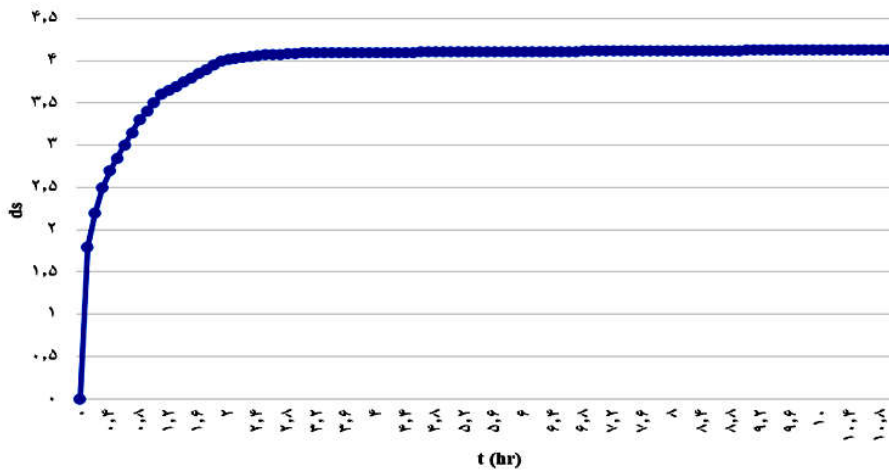
در خصوص اندازه رسوبات معیارهای مختلفی ذکر شده است. برای نمونه، طبق پژوهش‌های انجام شده توسط کولیمن



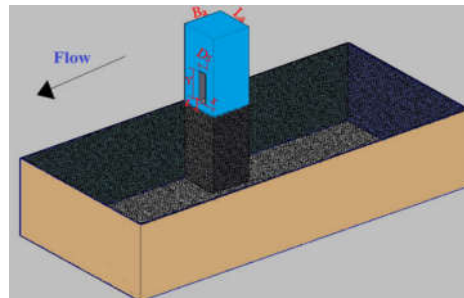
شکل ۱. تصویر فلوم آزمایشگاهی



شکل ۲. نمودار دانه‌بندی ذرات رسوبی



شکل ۳. نمودار توسعه زمانی آبستگي



شکل ۴. تصویر تکیه‌گاه

جدول ۱. متغیرهای آزمایش

متغیر	تعداد متغیر	محدوده
موقعیت شکاف (Z)	۲	۰ و ۰/۵
V/Vc	۵	۰/۵۴، ۰/۶۴، ۰/۷۶، ۰/۸۶، ۰/۹۵
ابعاد شکاف ورودی و خروجی (H1/H2)	۸	۰/۲، ۰/۴، ۰/۶، ۰/۸، ۱/۲، ۱/۴، ۱/۶، ۱/۸
آزمایش شاهد	۵	

همان‌طور که از جدول ۱ مشخص است، در مجموع ۸۵ آزمایش صورت گرفت.

نتایج بحث

برای انجام این پژوهش، آزمایش‌ها با تکیه‌گاه پل و با شکاف‌های متفاوت که در ارتفاع مختلف با دبی‌های گوناگون نصب شده است، صورت گرفت. با انجام این آزمایش‌ها داده‌های موردنیاز برای تحلیل نتایج برداشت شد که به ۵ بخش تقسیم می‌شود. در شکل ۵ به بررسی تأثیر شکاف بر میزان آبشستگی پرداخته شده است. در این نمودارها، در محور افقی میزان سرعت نسبی (V/Vc) و محور عمودی مقدار عدد بدون بعد ds/D را نشان می‌دهد.

باتوجه به نمودار شکل ۵ می‌توان نتیجه گرفت شکاف می‌تواند در بعضی از شرایط تا ۱۰۶ درصد عمق چاله را کاهش دهد. همچنین در مقادیر H2/H1، ۰/۸، ۰/۶، ۰/۴ و ۰/۲ به ترتیب باعث کاهش ۶۲، ۸۰، ۹۱ و ۱۰۶ درصد و در مقادیر نسبت H2/H1 برابر با ۱/۸، ۱/۶، ۱/۴ و ۱/۲ به ترتیب باعث کاهش ۵، ۸، ۳۸، ۸۸ درصد عمق چاله آبشستگی نسبت به مدل شاهد می‌شود. اختلاف تاثیرگذاری بین دو حالت نسبت H2/H1 برابر با ۰/۶ و ۱/۶، برابر ۷۲ درصد است. پس می‌توان نتیجه گرفت، اختلاف ورودی و خروجی شکاف می‌تواند تا ۷۲ درصد تأثیرگذار باشد.

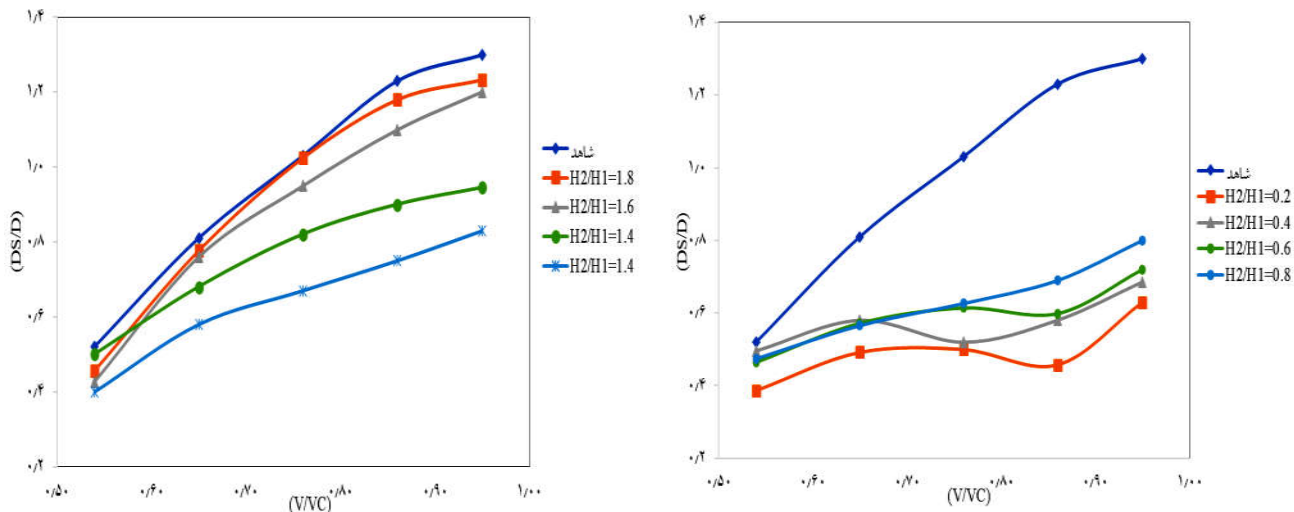
در نمودارهای شکل ۶، تأثیر تغییر دبی و سرعت جریان بر میزان آبشستگی بررسی شده است، در این نمودارها، در محور افقی مقدار عدد بدون بعد V/Vc و در محور عمودی مقدار

ds/D نشان داده شده است.

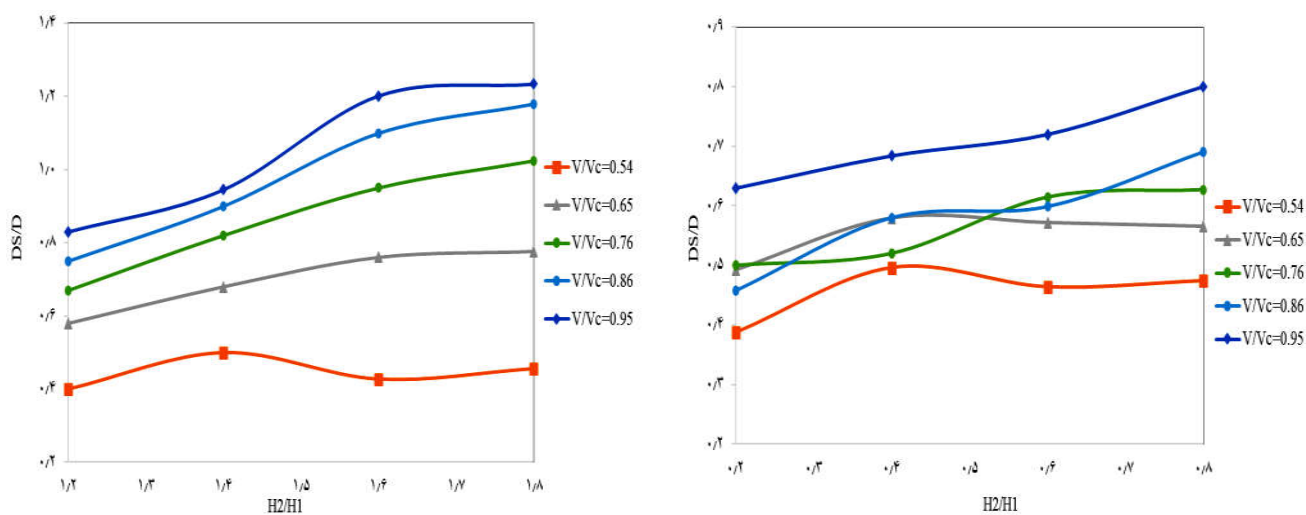
با توجه به نمودارهای شکل ۶، سرعت نسبی می‌تواند حدود ۱۶۷ درصد باعث افزایش عمق چاله آبشستگی شود. به این صورت که در سرعت نسبی (V/Vc) ۰/۵۴ و ۰/۹۵ (۶۷ درصد اختلاف) در واگرا (H2/H1 = ۱/۸) این اتفاق صورت می‌گیرد. همچنین در حالت همگرا (H2/H1 = ۰/۸) در همین سرعت نسبی، باعث افزایش ۷۰ درصدی عمق چاله آبشستگی می‌شود. در نمودار شکل ۷ به بررسی تأثیر عمق شکاف بر میزان آبشستگی پرداخته شده است که در این نمودارها، در محور افقی مقدار H2/H1 و در محور عمودی مقدار ds/D نشان داده شده است.

این نمودارها نشان می‌دهد، با افزایش عمق شکاف تا ۸۳ درصد، عمق چاله آبشستگی کاهش می‌یابد. همچنین با ایجاد شکاف در عمق نسبی Z/D برابر با ۰/۵ و ۱، به ترتیب ۲۳ و ۸۳ درصد آبشستگی نسبت به تکیه‌گاه بدون شکاف کاهش می‌یابد و با کاهش عمق شکاف در تکیه‌گاه از ۰/۵ به ۱ (روی بستر)، کاهش آبشستگی به میزان ۶۰ درصد می‌رسد که بهترین عمق شکافها بر روی بستر است که علت این پدیده می‌تواند به دلیل مهار کمتر گردابه نعل اسبی در شکاف بالاتر از سطح بستر باشد.

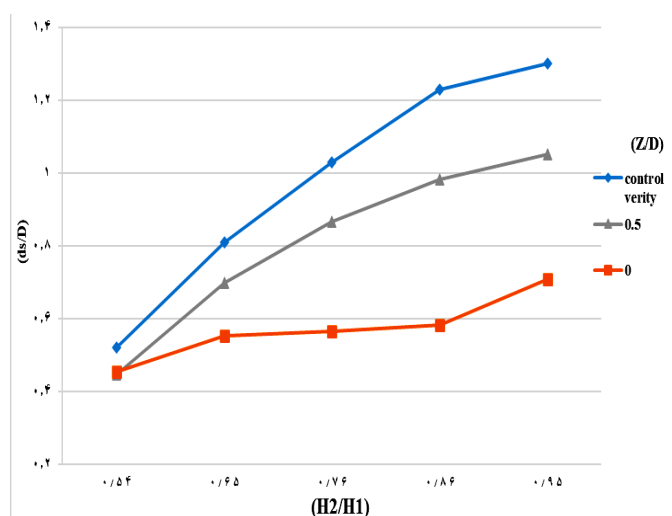
در این پژوهش، تأثیر شکاف بر آبشستگی روی پایه پل بررسی شده است و روی تکیه‌گاه پژوهشی صورت نگرفته است. همچنین پژوهش انجام شده روی پایه پل به میزان ۳۰ درصد (بیشترین مقدار) باعث کاهش آبشستگی شد؛ اما کاهش آبشستگی در شکاف تکیه‌گاه به میزان ۱۰۶ درصد گزارش شد.



شکل ۵. نمودار تأثیر شکاف بر میزان عمق چاله آبستگي



شکل ۶. نمودار تأثیر سرعت نسبی بر میزان عمق چاله آبستگي



شکل ۷. نمودار تأثیر عمق شکاف بر میزان عمق چاله آبستگي

نتیجه گیری

یکی از مشکلات سازه‌های آبی، ایجاد آبشستگی در اطراف پایه و تکیه‌گاه‌های پل است. برای حل این مشکل پژوهش‌های فراوانی صورت گرفته است، اما پژوهشی روی تأثیر شکاف در تکیه‌گاه بر آبشستگی صورت نگرفته است. در این راستا در این پژوهش به بررسی تأثیر ابعاد شکاف ایجاد شده در تکیه‌گاه پل صورت گرفت و نتایج نشان داد، شکاف باعث کاهش ۱۰۶ درصدی در آبشستگی می‌شود. همچنین در صورتی که شکاف ورودی نسبت به شکاف خروجی بزرگتر باشد، به میزان ۷۲ درصد آبشستگی را کاهش می‌دهد. بیشترین تأثیر در کاهش آبشستگی در نسبت $H2/H1 = 0/2$ اتفاق افتاد، به نحوی که تا

۱۰۶ درصد عمق چاله آبشستگی را کاهش داد. کمترین تأثیرگذاری نیز در نسبت ۱/۸ با کاهش ۵ درصدی عمق چاله آبشستگی دیده شد. در نهایت نتایج اصلی این پژوهش به صورت زیر است:

۱- افزایش سرعت نسبی می‌تواند به میزان ۱۶۷ درصد باعث افزایش آبشستگی شود.

۲- با افزایش عمق شکاف به میزان ۸۳ درصد، عمق چاله آبشستگی کاهش می‌یابد.

۳- با کاهش عمق شکاف در تکیه‌گاه از ۵/۵ به ۱ (روی بستر)، آبشستگی به میزان ۶۰ درصد کاهش می‌یابد.

منابع مورد استفاده

- Ahmed, F., N. Rajaratnam. 2000. Observations on flow around bridge abutment. *Journal of Engineering Mechanics*.126(1): 51-59.
- Bahmani, F., M. Haydarpour. 2013. Effect of flow impact on scour depth in multiple bridge piers. In: 12th Conference on Irrigation and Evaporation Reduction, Kerman, Iran (In Farsi).
- Barbhuiya A. K, S. Dey. 2004. Local scour at abutments: A review. *Sadhana* 29(5):449-76.
- Chiew Y. M. 1992. Scour protection at bridge piers. *Journal of Hydraulic Engineering* 118(9):9-1260.
- Coleman S. E, C. S. Lauchlan, B. W. Melville. 2003. Clear-water scour development at bridge abutments. *Journal of Hydraulic Research* 41(5): 521-531.
- Dargahi, B. 1990. Controlling mechanism of local scouring. *Journal of Hydraulic Engineering* 116(10):1197-214.
- Dep Ettema, R. 1980. Scour at bridge pier. Dept of civil Engineering university of Auckland, Auckland, New Zealand.
- Dey, S., A. K. Barbhuiya. 2006. Velocity and turbulence in a scour hole at a vertical-wall abutment. *Flow Measurement and Instrumentation* 17(1):13-21.
- Dongol, D. M. S. and B. W. Melville. 1994. Local scour at bridge abutments: Department of Civil Engineering, University of Auckland, Auckland, New Zealand.
- Grimaldi, C., R. Gaudio, F. Calomino and A. H. Cardoso. 2009. Countermeasures against local scouring at bridge piers: slot and combined system of slot and bed sill. *Journal of Hydraulic Engineering* 135(5):425-31.
- Heidarnejad, M. 2010. Laboratory Study on the Effect of Slots on Scouring in Piers along a 180 degree Arch. Ph.D. Thesis in Hydraulic Structures, Islamic Azad University, Ahvaz, Iran.
- Hojatkhah, A. and M. Soleimani Babasad. 2016. Comparison of different protective structures on reducing scour depth around the foundation. In: National Conference on Water and Hydraulic, Islamic Azad University, Dezfoul Branch (In Farsi).
- Kothyari, U. C. and K. G. Ranga Raju. 2001. Scour around spur dikes and bridge abutments. *Journal of hydraulic research* 39(4):74-367.
- Kumar, V., K. G. R. Raju and N. Vittal. 1999. Reduction of local scour around bridge piers using slots and collars. *Journal of Hydraulic Engineering* 125(12): 5-1302.
- Melville, B. W. 1992. Local scour at bridge abutments. *Journal of Hydraulic Engineering* 118(4):615-31.
- Melville, B. W. and Y. M. Chiew. 1999. Time Scale for local scour at bridge piers. *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE* 125(1): 59-65.
- Rajaratnam, N. and B. Berry. 1977. Erosion by circular turbulent wall jets. *Journal of Hydraulic Research* 15(3):277-89.
- Sumer, B. M. and J. Fredsøe. The mechanics of scour in the marine environment. World Scientific, Denmark.

19. Tafarjnoruz, A., R. Gaudio and F. Calomino. Effects of a slotted bridge pier on the approach flow. In: Proceedings of XXXIII Convegno Nazionale di Idraulica e Costruzioni Idrauliche IDRA 2012.
20. Tafarjnoruz, A., R. Gaudio and F. Calomino. 2012. Evaluation of flow-altering countermeasures against. *Journal of Hydraulic Engineering* 138(3): 297-305.

Investigating the Effect of Slot Dimensions in Bridge Abutments on the Scour Hole's Depth

M. Sehat, A. Bordbar*, A. R. Masjedi and M. Heidarnejad¹

(Received: May 14-2023 ; Accepted: September 3-2023)

Abstract

Today, abutments disrupt the normal flow of rivers and cause scouring and erosion of sedimentary materials around them, creating holes and resulting in much damage every year. Researchers have proposed various methods to reduce the power of water erosion. One of the essential methods in this regard is creating slots in abutments. Since the expansion of the scour hole endangers the stability of the bridge structure, this study examined the effect of slot dimensions in the support on the scour hole dimensions. The findings demonstrated that the presence of slots in abutments effectively reduces the dimensions of scour holes. With the slot, the volume of the scour hole can be reduced by up to 50%. Furthermore, as the relative speed of scouring increases by 75%, the depth of the scour hole also increased up to 140%. An increase in slot depth leads to a decrease in scour hole depth of up to 85%.

Keywords: Scour, Abutment, Slot dimensions, Scour hole's depth

1. Department of Water Science Engineering, Islamic Azad University, Ahvaz Branch, Ahvaz, Iran.

*: Corresponding author, Email: Asefmn@yahoo.com