

کاربرد طوق در کاهش آبشستگی تکیه‌گاه مستطیلی پل در کانال مرکب

زینب عالم^۱، مهدی قمشی^۲، سیاوش محمدی^۳

مقاله برگرفته از پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه شهید چمران، دانشکده مهندسی علوم آب.

تاریخ دریافت: ۹۱/۰۲/۰۹

تاریخ پذیرش: ۹۱/۰۹/۱۷

چکیده

شکست پل ناشی از آبشستگی کلی در فونداسیون (شامل پایه و تکیه‌گاه)، ضرورت مطالعه در مورد پیش‌بینی آبشستگی و راه‌های محافظت در برابر آن را کاملاً روشن می‌سازد. به طور کلی روش‌های کاهش آبشستگی شامل: قرار دادن پی (فونداسیون) در تراز پایین‌تر از عمق گودال فرسایشی، بالا بردن مقاومت بستر در برابر فرسایش و کاهش قدرت عوامل فرسایش (کاهش جریان رو به پایین و گرداب نعل اسبی) می‌باشد. یکی از راه‌های کاهش قدرت عوامل فرسایش استفاده از یک صفحه گسترده در اطراف تکیه‌گاه می‌باشد که طوق نام دارد. با نصب طوق قدرت جریان رو به پایین و گرداب نعل اسبی اطراف تکیه‌گاه کاهش می‌یابد و عمق آبشستگی نیز کاهش می‌یابد. در تحقیق حاضر در کانالی مرکب (شامل کانال اصلی و سیلاب دشت)، طوقی با عرض دو برابر عرض تکیه‌گاه در معرض دو دبی ۲۰ و ۲۵ لیتر بر ثانیه قرار داده شد. عملکرد طوق در سه ارتفاع مختلف: روی بستر، دو سانتی‌متر بالای بستر و چهار سانتی‌متر بالای بستر در شرایط آبشستگی آب زلال بررسی شد و با تکیه‌گاه بدون طوق مقایسه شد. نتایج نشان داد که طوق آبشستگی را کاهش داده و روی بستر عملکرد بهتری از خود نشان می‌دهد به طوری که حداکثر درصد کاهش آبشستگی با دبی ۲۰ و ۲۵ لیتر بر ثانیه به ترتیب ۹۴٪ و ۹۳٪ می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: آب زلال، آبشستگی، تکیه‌گاه، طوق.

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران - مهندسی رودخانه، گروه سازه‌های آبی، دانشگاه شهید چمران، اهواز، ایران، ۰۹۱۲۴۵۷۰۷۵۹
Zainab.alem@gmail.com

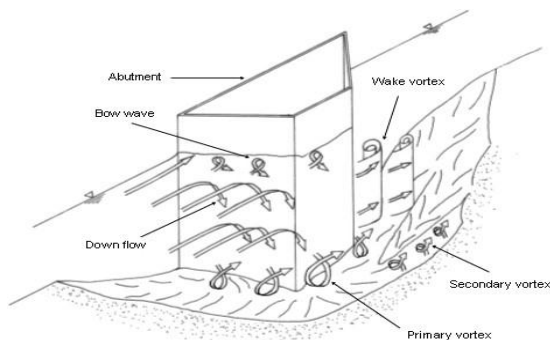
^۲ استاد دانشکده مهندسی علوم آب، گروه سازه‌های آبی، دانشگاه شهید چمران، اهواز، ایران، ۰۹۱۶۶۱۶۶۳۷۲
M.ghomeshi@yahoo.com

^۳ دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی عمران - مهندسی رودخانه، گروه سازه‌های آبی، دانشگاه شهید چمران، اهواز، ایران، ۰۹۱۹۱۲۱۰۴۲۵
Sia_m86@yahoo.com

مقدمه

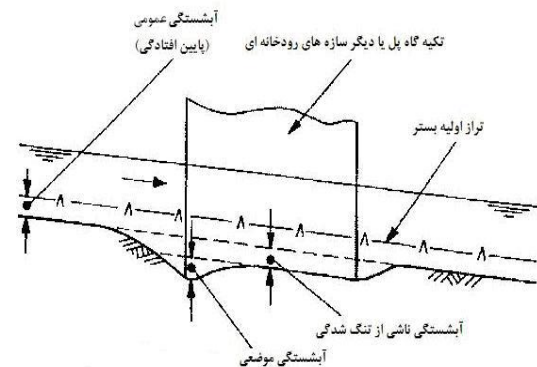
مکانیسم جریان در اطراف تکیه‌گاه‌ها

عوامل درگیر در آبشستگی در اطراف تکیه‌گاه پل را می‌توان به جریان رو به پائین^۱، گرداب موج کمائی^۲، گرداب شبه نعل اسبی (گرداب اصلی)^۳، گرداب ثانویه^۴ و گرداب برخاستگی^۵ تقسیم‌بندی کرد (شکل ۲). مطالعات مختلفی بر روی الگوی جریان در اطراف پی پل‌ها (تکیه‌گاه و پایه) انجام شده است. مهم‌ترین عامل ایجاد حفره آبشستگی در جلوی تکیه‌گاه و پایه پل، گرداب نعل اسبی می‌باشد. هنگام برخورد جریان آب به دماغه تکیه‌گاه پل، سرعت جریان پس از برخورد به دماغه تبدیل به فشاری روی تکیه‌گاه می‌گردد. از آنجا که سرعت از سطح به طرف کف کم می‌گردد، فشار دینامیکی روی دماغه تکیه‌گاه از بالا به پائین نیز کم می‌شود و گردابیان فشار ایجاد شده باعث ایجاد جریانی به طرف کف می‌شود. این جریان روبه پائین پس از برخورد با بستر آن را حفر کرده و به جهات مختلف پراکنده می‌کند (رادکیوی، ۱۹۹۸). مقداری از این جریان که رو به سمت بالا دست بازگشت می‌کند در برخورد با جریان عمومی مجبور به حرکت در جهت جریان می‌شود. این چرخش جریان و بازگشت مجدد آن باعث تشکیل گردابی می‌شود. چرخش این گرداب به طرف پائین دست امتداد می‌یابد که در مجموع شکلی شبیه نعل اسب در پلان پیدا می‌کند و بدین دلیل آن را گرداب نعل اسبی می‌نامند (کایاترک، ۲۰۰۵).



شکل (۲): میدان جریان پیرامون یک تکیه‌گاه پل (باربیهوا و دی، ۲۰۰۴)

آبشستگی در حقیقت جابجایی ذرات توسط جریان از محل استقرار اولیه آن‌ها به مکان دیگری است. آبشستگی از نظر علت به وجود آمدن آن شامل: آبشستگی عمومی، آبشستگی ناشی از تنگ شدگی مقطع و آبشستگی موضعی است. از مجموع این سه آبشستگی، عمق آبشستگی کل به دست می‌آید. آبشستگی از نظر وضعیت حمل رسوب نیز، شامل آبشستگی در حالت آب زلال و آبشستگی در حالت آب حاوی رسوب است. شکل (۱) نمونه‌ای از سه قسمت آبشستگی کل را نشان می‌دهد (راهنمای روش‌های محاسبه آبشستگی موضعی، ۱۳۹۰).



شکل (۱): انواع آبشستگی از نظر عوامل به وجود آورنده

شکست پل ناشی از آبشستگی کلی در فونداسیون (شامل پایه و تکیه‌گاه)، ضرورت مطالعه در مورد پیش‌بینی آبشستگی و راه‌های محافظت در برابر آن را کاملاً روشن می‌سازد. بر طبق مطالعات ملویل (۱۹۹۲)، از ۱۰۸ شکست پل که در فاصله سال‌های ۱۹۸۴-۱۹۶۰ در نیوزیلند رخ داد، ۲۹ مورد آن مربوط به آبشستگی تکیه‌گاه پل بود. ملویل همچنین خاطر نشان می‌سازد که ۷۰ درصد هزینه‌ها روی شکست پل در نیوزیلند ناشی از آبشستگی تکیه‌گاه پل بوده است. داده‌ها نشان می‌دهند که مشکل آبشستگی در تکیه‌گاه پل‌ها بسیار مهم است. مطالعات انجام شده بر روی شکست ۳۸۳ پل در ایالات متحده نشان می‌دهد که در ۲۵ درصد آن‌ها تخریب پایه و در ۷۲ درصد تخریب تکیه‌گاه، علت شکست پل بوده است (کایاترک، ۲۰۰۵).

¹ Down Flow

² Bow Flow

³ Horseshoe Vortex (Primary Vortex)

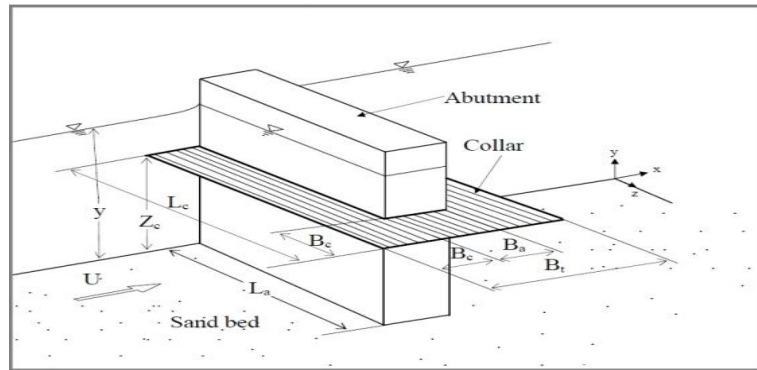
⁴ Secondary Vortex

⁵ Wake Vortex

عملکرد طوق در کاهش آبشستگی

آبشستگی موضعی اطراف یک تکیه‌گاه از جریان پایین رونده در وجه بالادست تکیه‌گاه و همچنین توسعه گردابه‌های اصلی نتیجه می‌شود. یک راه کاهش آبشستگی، جلوگیری از شکل‌گیری یا کاهش قدرت جریان پایین رونده و گردابه‌های اصلی می‌باشد. یکی از راه‌های کاهش قدرت عوامل فرسایش استفاده از یک صفحه گسترده در اطراف تکیه‌گاه و پایه پل می‌باشد که طوق نام دارد. نصب طوق علاوه بر کاهش عمق آبشستگی زمان شروع آبشستگی را در جلوی پایه به مدت قابل ملاحظه‌ای به تأخیر می‌اندازد (مشاهیر و زراتی، ۲۰۰۲). درگاهی (۱۹۹۰) با بررسی آبشستگی روی طوق‌ها دریافت طوق نباید خیلی ضخیم باشد، چرا که ضخامت زیاد طوق، سبب ایجاد یک مانع در برابر جریان شده و آبشستگی را بیشتر می‌کند. نتایج وی بیانگر این بود که طوق نمی‌تواند از تشکیل گرداب نعل اسبی جلوگیری کند ولی اگر در محل مناسبی نسبت به تراز بستر قرار گیرد نقش مؤثری در کاهش آبشستگی خواهد داشت. زراتی و عزیز (۱۳۸۰)، تأثیر نیم طوق را با دو پهنای متفاوت $0.5D$ و D (عرض پایه پل) که در ترازهای مختلف در اطراف پایه پل نصب شده بودند را در کاهش آبشستگی پایه پل مستطیلی با دماغه گرد بررسی کردند. آن‌ها نتیجه گرفتند هر چه طوق پایین‌تر نصب شود درصد کاهش آبشستگی بیشتر خواهد بود. البته هر چه طوق پایین‌تر از بستر برده شود فضای روی آن نیز به عنوان قسمتی از حفره آبشستگی محسوب می‌شود و بنابراین می‌توان گفت عمق مناسبی در زیر بستر برای نصب طوق وجود دارد که در آن عمق، حداکثر کاهش آبشستگی نتیجه خواهد شد. چپو (۱۹۹۲)، تأثیر طوق‌های محافظ و شکاف را به تنهایی و همراه با هم در کاهش آبشستگی پایه پل مورد آزمایش قرار داد و نتایج در مورد طوقه نشانگر این بود که در طوقه‌ای به اندازه دو برابر قطر پایه عمق آبشستگی به میزان ۲۰ درصد کاهش یافت و همچنین اظهار داشت که کاربرد توأمان طوقه و شکاف می‌تواند جایگزین مناسبی برای سنگ‌چین در حل مشکلات آبشستگی موضعی پایه‌های پل باشد. سینگ و همکاران (۲۰۰۱)، عملکرد طوقه‌ها را در کاهش آبشستگی بررسی کردند. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که چنانچه فاصله بین تراز بستر و تراز

نصب طوقه افزایش یابد، ماکزیمم عمق آبشستگی افزایش می‌یابد. بهترین محل نصب طوقه $0.1D$ (قطر پایه) زیر سطح بستر بود که در این حالت طوقه به قطر دو برابر قطر پایه مقدار آبشستگی را ۹۱ درصد کاهش داد. همچنین وقتی طوقه‌هایی با قطرهای $1/5$ و 2 و $2/5$ برابر قطر پایه روی بستر کانال قرار گرفتند به میزان 50% و 68% و 100% نسبت به پایه بدون محافظ کاهش آبشستگی مشاهده شد. زراتی و همکاران (۲۰۰۴)، اثر طوق در کاهش آبشستگی پایه‌های مستطیلی پل را بررسی کردند. آزمایشات نشان داد که طوق‌های پهن‌تر و در ترازهای پایین‌تر مؤثرترند و تأثیر طوق با افزایش زاویه پایه نسبت به جریان کاهش می‌یابد. ماکزیمم درصد کاهش آبشستگی در یک طوق با پهنایی برابر با عرض پایه در تراز بستر رخ داد. کاپاترک (۲۰۰۵)، اثر طوق در کاهش آبشستگی تکیه‌گاه را مورد بررسی قرار داد، آزمایش‌ها در فلومی به عرض $1/5$ متر و شیب کف 0.01 انجام گرفت و در کلیه آزمایش‌ها شرایط آب زلال حکم‌فرما بود. پنج طول مختلف تکیه‌گاه (L_a) برابر با $7/5$ ، 15 ، 20 ، 25 ، 30 سانتیمتر بود و طوق‌هایی با عرض‌های مختلف (B_c)، $2/5$ ، 5 ، $7/5$ ، 10 سانتی‌متر در اطراف تکیه‌گاه در ارتفاع مختلف شامل سطح بستر، $2/5$ و 5 سانتیمتر بالای بستر قرار گرفتند. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که با افزایش سائز طوق، عمق آبشستگی کاهش می‌یابد و اگر $1 > \frac{L_a}{y}$ ، اثر طوق، با کاهش $\frac{L_a}{B_c}$ ، افزایش می‌یابد و با پایین آمدن از تراز بستر کارایی طوق افزایش می‌یابد و اگر $1 < \frac{L_a}{y}$ ، طوقی که در سطح بستر قرار دارد کارایی بیشتری از خود نشان می‌دهد. وی نشان داد طوق در هر ارتفاعی بالای بستر که نصب شود جریان را به دو منطقه بالا و پایین طوق تقسیم می‌کند. برای منطقه بالا، طوق به صورت مانعی در مقابل جریان پایین رونده عمل می‌کند و قدرت جریان پایین رونده را که منجر به تخریب بستر می‌شود کاهش می‌دهد. برای منطقه پایین طوق، جریان پایین رونده و گردابه‌های اصلی کاهش می‌یابند. شکل (۳) مدل تکیه‌گاه و طوق همچنین دیگر پارامترهای مؤثر در آبشستگی را در آزمایشات کاپاترک نشان می‌دهد.



شکل (۳): مدل تکیه‌گاه و طوق (کایاترک، ۲۰۰۵)

۱۵ تا ۱۰۰ درصد برای طوق‌های با عرض مختلف متغیر بود.

اغلب آزمایش‌هایی که تاکنون در مورد کاربرد طوق در کاهش آبشستگی موضعی صورت گرفته مربوط به پایه‌های پل می‌باشد و به ندرت اثر طوق در تکیه‌گاه مورد بررسی قرار گرفته است. لذا در این تحقیق به بررسی تأثیر طوق و موقعیت قرارگیری آن نسبت به بستر در جهت کاهش آبشستگی اطراف تکیه‌گاه پرداخته شده است.

خسروی‌نیا و همکاران (۱۳۹۰)، آبشستگی اطراف سه آبشکن بالدار به طول‌های ۶، ۸ و ۱۰ سانتی‌متر را بررسی کرده و عملکرد طوق‌های دوزنقه‌ای با ابعاد مختلف و به ازای قرارگیری در سطح بستر و در شرایط آبشستگی آب زلال با حالت آبشکن‌های بدون طوق را مقایسه کردند. نتایج آزمایشات نشان داد که با افزایش عرض طوق، عملکرد طوق در کاهش عمق و افزایش تأخیر زمانی آبشستگی بیش‌تر شد. همچنین درصد کاهش آبشستگی از

آنالیز ابعادی

برای شرایط آب زلال، ماکزیمم عمق آبشستگی

$(d_s)_{maxc}$ در یک تکیه‌گاه با یک طوقه تابعی از پارامترهای زیر است:

$$(d_s)_{maxc} = f\{l_a, B_a, B_c, z_c, t_c, u, y_1, y_m, S, g, \rho_s, \rho, \mu, d_{50}, \sigma g, t, B_m, B_f\} \quad (1)$$

ρ_s چگالی رسوب، ρ چگالی جریان، μ ویسکوزیته دینامیکی، d_{50} قطر متوسط دانه‌بندی، σ_g انحراف معیار هندسی رسوبات، t زمان آبشستگی، B_m عرض کانال اصلی و B_f عرض دشت سیلابی می‌باشد. با استفاده از روش باکینگهام و تعیین رابطه بدون بعد خواهیم داشت:

که در این رابطه: $(d_s)_{maxc}$ ماکزیمم عمق آبشستگی با حضور طوق، L_a طول تکیه‌گاه، B_a عرض تکیه‌گاه، B_c عرض طوق، Z_c تراز قرارگیری طوق از سطح بستر، t_c ضخامت طوق، u سرعت متوسط جریان در دشت سیلابی، y_1 عمق جریان در دشت سیلابی، y_m عمق جریان در کانال اصلی، S شیب کانال، g شتاب ثقل،

$$\frac{(d_s)_{maxc}}{l_a} = f\left\{\frac{y_1}{l_a}, \frac{y_m}{y_1}, \frac{B_a}{l_a}, \frac{B_c}{l_a}, \frac{z_c}{l_a}, \frac{t_c}{l_a}, \frac{u}{\sqrt{gy_1}}, s, \frac{\rho_s}{\rho}, \frac{\mu}{\rho y_1}, \frac{d_{50}}{l_a}, \sigma g, \frac{ut}{y_1}, \frac{B_f}{l_a}, \frac{B_m}{B_f}\right\} \quad (2)$$

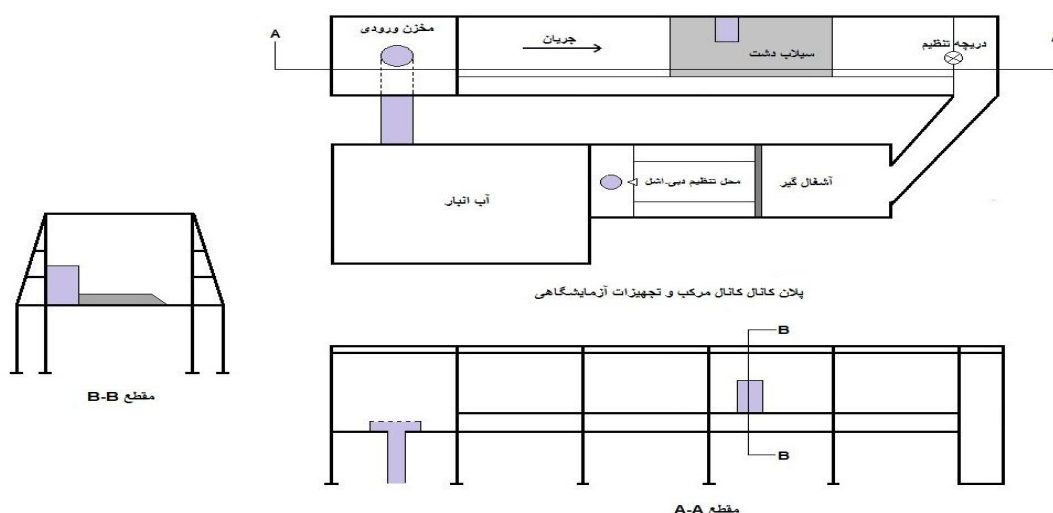
است لذا در این تحقیق فقط تأثیر پارامترهای متغیر مورد بررسی قرار گرفت (رابطه ۳).

$$\frac{(d_s)_{maxc}}{l_a} = f \left\{ \frac{z_c}{y_I}, \frac{u}{\sqrt{gy_I}} \right\} \quad (3)$$

است. فلوم شامل یک سیلاب دشت به طول دو متر و عمق سی سانتی متر می‌باشد که پهنای آن تا لبه کانال اصلی ادامه دارد و با یک شیب ۱:۱ به کانال اصلی متصل گردیده است. همچنین ارتفاع کف کانال اصلی تا سطح دشت سیلابی ۱۵ سانتی متر می‌باشد و آب به وسیله یک پمپ از مخزن اصلی به کانال انتقال می‌یابد (شکل ۴).

مواد و روش‌ها

آزمایشات در آزمایشگاه هیدرولیک دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران انجام گرفت. فلوم مورد استفاده از جنس پلکسی گلاس و مقطع مرکبی با عرض یک متر و طول نه متر تشکیل شده است. با توجه به این که تغییر شیب کف مدنظر نبوده است و جزء پارامترهای ثابت بوده است، کف با شیب صفر ساخته شده



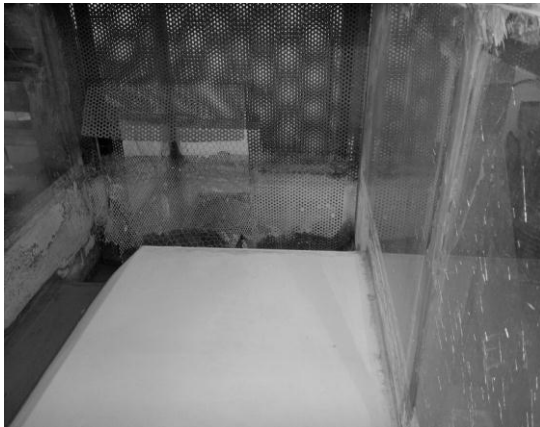
شکل (۴): نمای از کانال مرکب

سانتی متر در نظر گرفته شد. به منظور شبیه‌سازی طوق از یک قطعه صفحه پلکسی گلاس به پهنای شش سانتی متر و ضخامت سه میلی متر استفاده شد (شکل ۵). اندازه ذرات بستر و نحوه دانه‌بندی آن نیز روی مقدار آبستگی تأثیر دارد. ابعاد حفره آبستگی با افزایش اندازه ذرات بستر کاهش می‌یابد. هرچه دانه‌بندی ذرات یکنواخت‌تر باشد، ابعاد آبستگی هم بزرگ‌تر خواهد بود. در رسوبات با دانه‌بندی غیریکنواخت، عمق آبستگی از آنچه در مصالح یکنواخت وجود دارد معمولاً کم‌تر است (راهنمای روش‌های محاسبه آبستگی موضعی، ۱۳۹۰). ذرات بستر

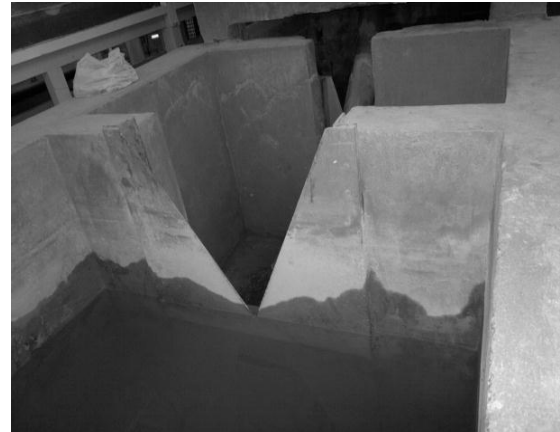
جهت جلوگیری از انتقال موج سطحی مخزن به فلوم از یک سری صفحات مشبک (آرام کننده)، در ابتدای فلوم استفاده گردید (شکل ۵). فاصله این صفحات تا سیلاب‌دشت چهار متر در نظر گرفته شد تا جریان طول کافی جهت رسیدن به حالت توسعه یافتگی را داشته باشد. طول پایین دست سیلاب‌دشت تا دریچه تنظیم هم سه متر در نظر گرفته شد. تکیه‌گاه فلزی مستطیلی ساخته شده، در فاصله ۶۰ سانتی متری از شروع سیلاب‌دشت نصب شد تا امکان بررسی اثرات جریان در گستره وسیعی صورت پذیرد. طول تکیه‌گاه ۱۹ سانتی متر و عرض آن ۱۲

شاهد) و با طوق انجام و مورد بررسی قرار گرفت. شرایط آستانه حرکت برای ذرات در تمامی آزمایشات در نظر گرفته شد. برای رسیدن ذرات به آستانه حرکت از یک دریچه فلزی که در انتهای فلوم قرار داشت استفاده شد (شکل ۵).

نیز از جنس ماسه با قطر متوسط 0.13 mm ($D50 = 0.13 \text{ mm}$) و چگالی $2/65$ می باشد. کل مراحل آزمایش با دو دبی ۲۰ و ۲۵ لیتر بر ثانیه انجام شد و همچنین برای تنظیم دبی از یک سرریز مثلثی استفاده شد (شکل ۵). برای بررسی میزان تأثیر طوق بر کاهش آبستگي تکیه‌گاه پل، آزمایشاتی بدون طوق (آزمایشات



(ب) صفحات مشبک فلزی (آرام کننده)



(الف) سرریز مثلثی



(د) دریچه کشویی



(ج) طوق و تکیه‌گاه مستطیلی

شکل (۵): تجهیزات آزمایشگاهی استفاده شده در تحقیق حاضر

انجام پذیرفت. مهم‌ترین پارامترهای اندازه‌گیری شده دبی جریان، عمق جریان و رقوم بستر پس از ایجاد آبستگي بود. اعماق آب اندازه‌گیری شده برای دبی‌های ۲۰ و ۲۵ لیتر بر ثانیه به ترتیب ۶ و $7/5$ سانتی‌متر بود. همچنین جهت تعیین عمق حفره آبستگي (ds) از متر لیزری استفاده شد. شکل (۶) نمونه‌ای از حفره آبستگي اطراف تکیه‌گاه پل را نشان می‌دهد.

اصولا حداکثر عمق آبستگي در شرایط آب زلال بیشتر از شرایط آب حاوی رسوب است (شفاعی، ۱۳۸۷). با توجه به این امر، کلیه آزمایشات این تحقیق در شرایط آب زلال ($I < \frac{u}{u_c}$)، سرعت متوسط جریان و u_c سرعت بحرانی در آستانه حرکت) انجام شد. آزمایشات با جریان متلاطم زیر بحرانی و اعداد فرود 0.17 تا 0.27



شکل (۶): نمونه‌ای از آبخستگی ایجاد شده در اطراف تکیه‌گاه مستطیلی در تحقیق حاضر

زمان تعادل

زمان تعادل زمانی است که در آن عمق آبخستگی به حداکثر مقدار خود رسیده و تقریباً ثابت می‌گردد. جهت تعیین زمان تعادل در این تحقیق در ابتدا به مدت هشت ساعت مدل اجرا شد. پس از گذشت این زمان مشاهده شد که حرکت ذرات بستر تقریباً متوقف شده و شکل بستر به حالت ثابت و مشخص رسیده است. با توجه به شرایط آزمایشگاهی و تعدد آزمایشات مدل به مدت چهار ساعت نیز اجرا شد و مشاهده شد که حداکثر عمق آبخستگی پس از گذشت این زمان تقریباً نود درصد حداکثر عمق آبخستگی با زمان هشت ساعت بود. در نتیجه زمان تعادلی که برای این تحقیق در نظر گرفته شد، چهار ساعت بود و تمام آزمایشات با این مدت زمان اجرا شد.

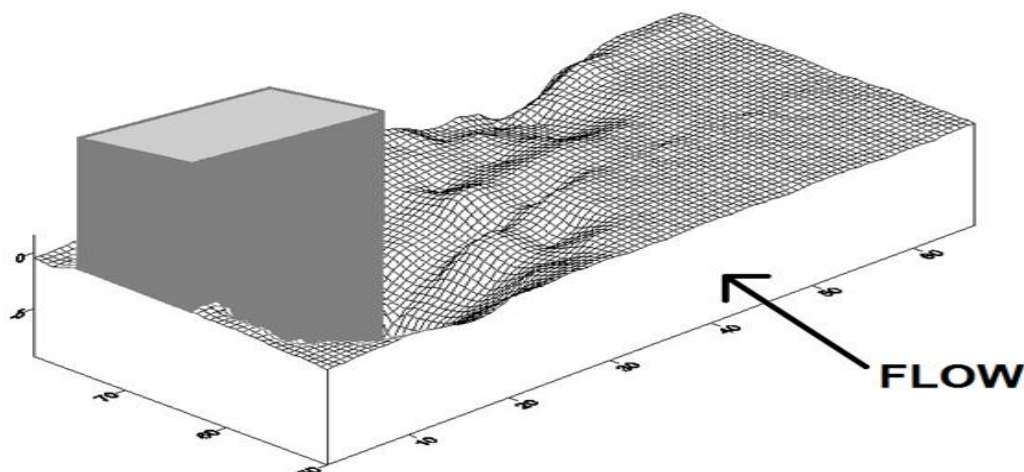
نحوه انجام آزمایش‌ها

ابتدا پیش از شروع هر آزمایش سطح رسوبات بستر تسطیح می‌شد، سپس با بستن دریچه کانال، پمپ را روشن کرده و شیر فلکه را به اندازه‌ای باز شد که آب با دبی کم وارد کانال شود و سطح آب تا اندازه‌ای بالا آید که از حرکت رسوبات قبل از تنظیم دبی جلوگیری به عمل آید. بعد از آن که با شیرفلکه دبی مورد نظر را تنظیم شد با پایین آوردن دریچه و با رسیدن ذرات به آستانه حرکت، پایین آوردن دریچه متوقف شده و بدین‌گونه ارتفاع دریچه تنظیم شد. مدت زمانی که برای رسیدن ذرات به تعادل (مدت زمان هر آزمایش) در نظر گرفته شد، چهار ساعت بود. پس از گذشت مدت زمان آزمایش، خاموش نمودن

پمپ و تخلیه کامل آب کانال صورت گرفت و بعد از انجام عمل زهکشی به صورت کامل، برداشت پروفیل بستر در انتهای هر آزمایش به وسیله دستگاه متر لیزری انجام گرفت. در پایان هر آزمایش عمق و محل چاله فرسایشی مورد بررسی قرار داده شد و مقادیر آن با آزمایش شاهد (بدون طوق) مقایسه شد. علاوه بر محل و عمق چاله فرسایشی، پروفیل بستر و اثر احداث طوقه بر یکنواختی آن مورد بررسی دقیق قرار گرفت.

نتایج و بحث

در این بخش نتایج حاصل از آزمایش‌های آبخستگی تکیه‌گاه پل بدون طوق و همراه طوق ارائه و بررسی خواهند شد. در کلیه آزمایش‌ها مواد رسوبی فرسایش یافته از جلو تکیه‌گاه به تدریج به طرف پایین دست منتقل شدند و تشکیل ریپل دادند. با انتقال این ریپل‌ها به پشت تکیه‌گاه، انتقال مواد رسوبی موجود در جلو و اطراف آبشکن توسط گرداب‌های برخاستگی سرعت بیشتری یافت. با عمیق‌تر شدن حفره آبخستگی، حفره ایجاد شده به طرفین تکیه‌گاه توسعه یافت. سرعت عمیق شدن حفره آبخستگی در لحظات اولیه آزمایش زیاد بود و به تدریج کم شد. ۸۰ درصد حداکثر عمق آبخستگی در دو ساعت اول ایجاد شد. پس از گذشت چهار ساعت آزمایش و برداشت نقاط به منظور تحلیل نتایج، توپوگرافی بستر در محدوده تکیه‌گاه رسم شد. به عنوان نمونه شکل سه‌بعدی توپوگرافی بستر برای تکیه‌گاه بدون طوقه و با دبی ۲۵ لیتر بر ثانیه در شکل (۷) نشان داده شده است.



شکل (۷): شکل سه بعدی تغییرات توپوگرافی بستر اطراف تکیه گاه پل (بدون طوق با دبی ۲۵ لیتر بر ثانیه)

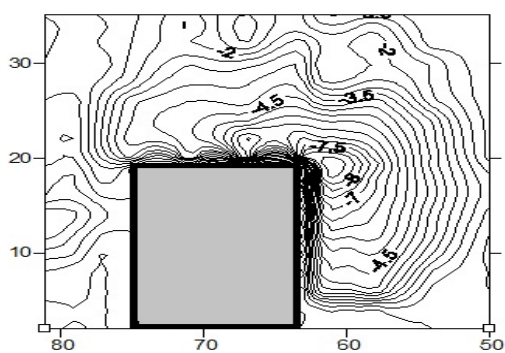
طوق‌ها روی تکیه‌گاه پل در کانال مرکب، سه حالت مختلف قرارگیری طوق شامل: روی بستر، دو سانتی‌متر بالای بستر و چهار سانتی‌متر بالای بستر در نظر گرفته شد. همچنین دو آزمایش بدون طوق جهت بررسی تأثیر طوق انجام شد که در ادامه به آن می‌پردازیم.

نتایج آزمایش‌های محققین در مورد طوق روی پایه‌ها و تکیه‌گاه‌های پل نشان می‌دهد که طوق‌های نصب شده روی سطح بستر جهت کاهش آبشستگی، به مراتب عملکرد مؤثرتری نسبت به طوق‌های قرار گرفته بالای سطح بستر دارند. بدین منظور جهت بررسی عملکرد

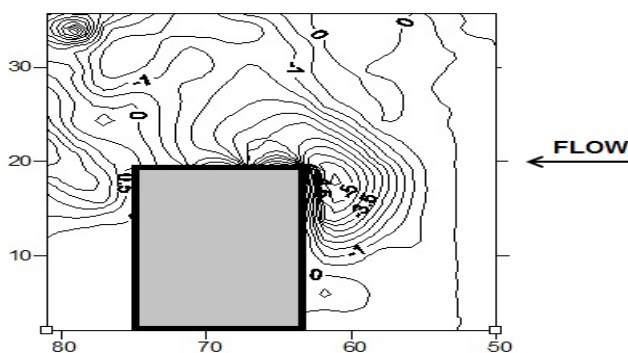
تکیه‌گاه بدون طوق

بستر بسیار فرسایش یافته و چاله آبشستگی عمیق و گسترده شده است.

همانطور که در شکل (۸) مشاهده می‌شود به علت عدم حفاظت تکیه‌گاه در برابر جریان‌های ثانویه و گردابه‌ای،



ب) آزمایش با دبی ۲۵ lit/s



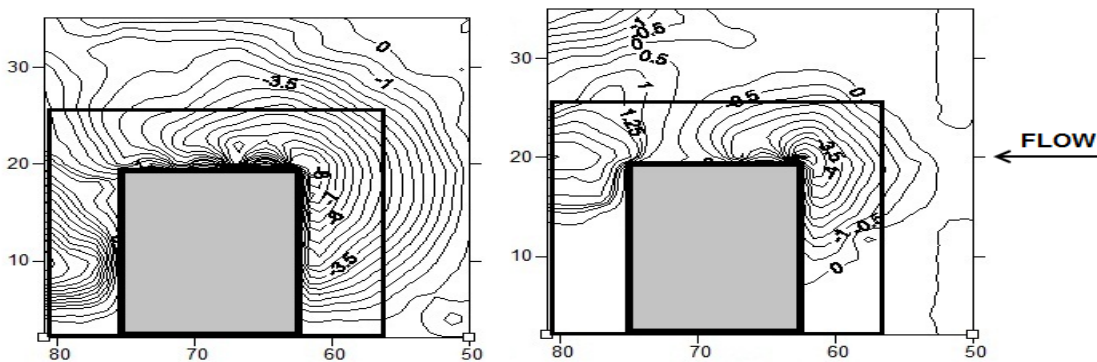
الف) آزمایش با دبی ۲۰ lit/s

شکل (۸): توپوگرافی اطراف تکیه‌گاه بدون نصب طوق

تکیه‌گاه با طوق (چهار سانتی‌متر بالای بستر)

جریان رو به پایین، سبب کاهش عمق آبشستگی شده است.

همانطور که در شکل (۹) می‌بینیم نصب طوق در فاصله چهار سانتی‌متر از بستر به دلیل کاهش قدرت



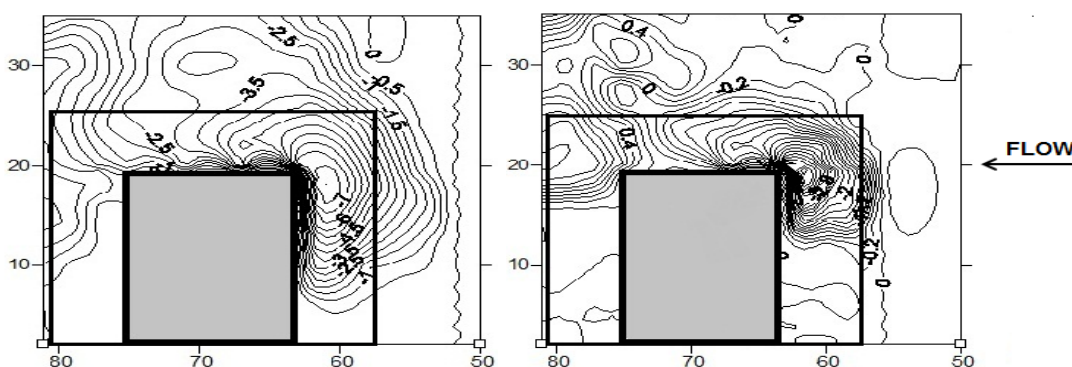
ب) آزمایش با دبی ۲۵ lit/s

الف) آزمایش با دبی ۲۰ lit/s

شکل (۹): توپوگرافی اطراف تکیه‌گاه با نصب طوق (۴ cm بالای بستر)

تکیه‌گاه با طوق (دو سانتی‌متر بالای بستر)

همانطور که در شکل (۱۰) نیز می‌بینیم نصب طوق در فاصله دو سانتی‌متر از بستر سبب کاهش عمق آبشستگی شده است.



ب) آزمایش با دبی ۲۵ lit/s

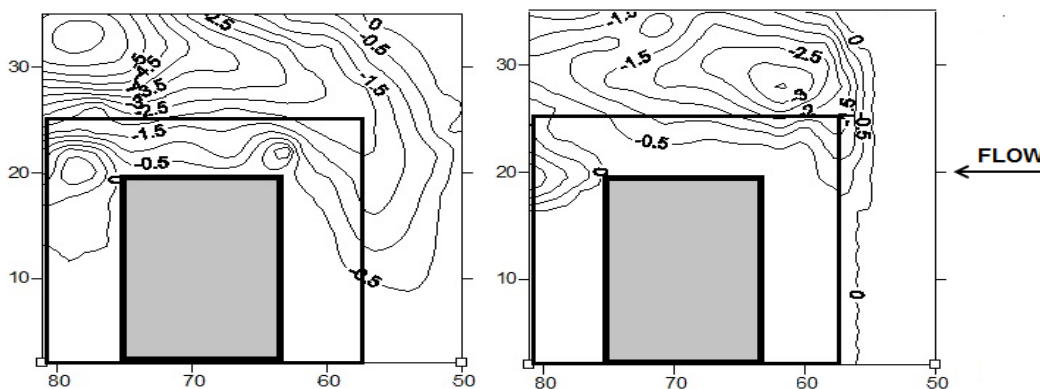
الف) آزمایش با دبی ۲۰ lit/s

شکل (۱۰): توپوگرافی اطراف تکیه‌گاه با نصب طوق (۲ cm بالای بستر)

تکیه‌گاه با طوق (روی بستر)

قابل توجهی آبشستگی را کاهش می‌دهد.

شکل (۱۱) نشان می‌دهد نصب طوقه در بستر به میزان



ب) آزمایش با دبی ۲۵ lit/s

الف) آزمایش با دبی ۲۰ lit/s

شکل (۱۱): توپوگرافی اطراف تکیه‌گاه با نصب طوق (روی بستر)

مشکلات اجرایی قرارگیری طوق در زیر سطح بستر این حالت در تحقیق حاضر انجام نشد.

در جدول (۱) میزان حداکثر عمق آبستتگی در اطراف تکیه‌گاه و درصد کاهش آبستتگی

$$R = \frac{(d_s)_{\max} - (d_s)_{\max c}}{(d_s)_{\max}}$$

که $(d_s)_{\max}$ حداکثر

عمق آبستتگی و $(d_s)_{\max c}$ حداکثر عمق آبستتگی بدون طوق می‌باشد) نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود طوق نصب شده در بستر حداقل عمق آبستتگی و حداکثر میزان کاهش آبستتگی را دارد.

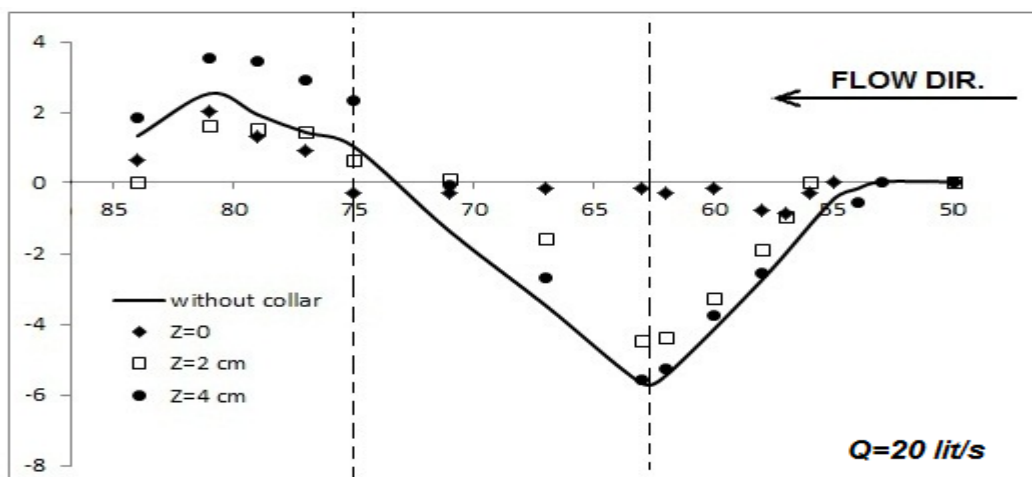
نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که هر چه طوق به سمت سطح بستر حرکت کند میزان آبستتگی کاهش می‌یابد. در حالتی که طوق‌ها بالاتر از سطح بستر قرار بگیرند فاصله ایجاد شده بین طوق و سطح بستر امکان تشکیل گرداب نعل اسبی در جلوی تکیه‌گاه پل را فراهم می‌کند. به همین دلیل آبستتگی در جلوی تکیه‌گاه از همان لحظات اولیه وجود خواهد داشت و باعث کاهش کارایی طوق می‌شود. در نتیجه با قرارگیری طوق در سطح بستر میزان کارایی آن افزایش یافته و عمق چاله آبستتگی به میزان قابل توجهی کاهش می‌یابد. البته طوق‌ها در زیر بستر نیز عملکرد مناسبی دارند اما به دلیل

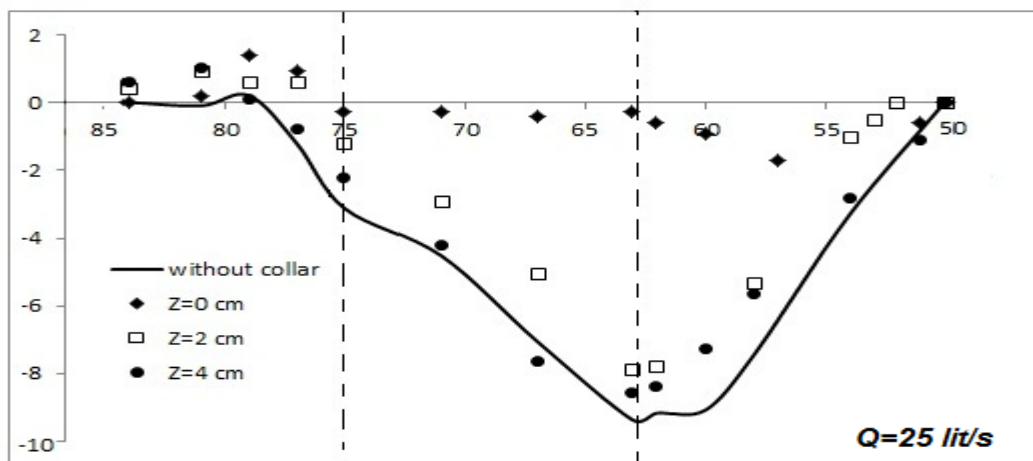
جدول (۱): حداکثر عمق آبستتگی (cm) و درصد کاهش عمق آبستتگی (R)

%R	$(d_s)_{\max}$ (۲۰ lit/s)	%R	$(d_s)_{\max}$ (۲۵ lit/s)	نوع آزمایش
۰	۵/۷	۰	۹/۳	تکیه‌گاه بدون طوق
۱/۷	۵/۶	۸/۶	۸/۵	تکیه‌گاه با طوق (۴cm)
۲۱	۴/۵	۱۶/۱	۷/۸	تکیه‌گاه با طوق (۲cm)
۹۴/۷	۰/۳	۹۳/۵	۰/۶	تکیه‌گاه با طوق (بستر)

حالتی که طوق روی بستر قرار دارد کمتر شده و همچنین از اطراف تکیه‌گاه دور شده است.

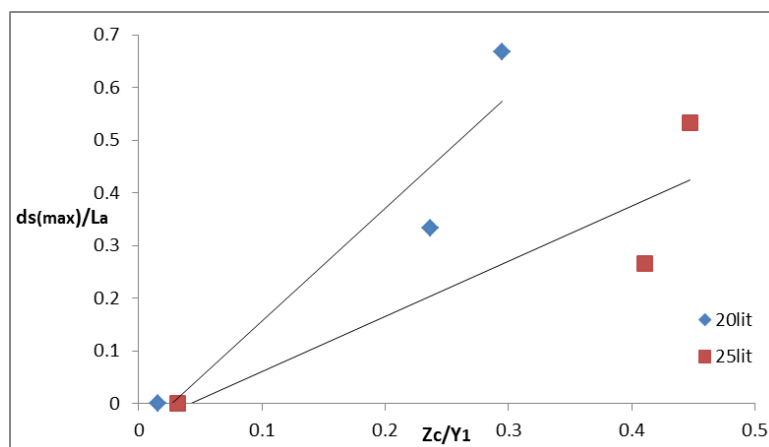
شکل (۱۲) پروفیل طولی بستر را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود حداکثر عمق آبستتگی در





شکل (۱۲): پروفیل طولی بستر بعد از آبشستگی

شکل (۱۳) تأثیر ارتفاع طوق را بر میزان آبشستگی نشان می‌دهد.



شکل (۱۳): تأثیر ارتفاع طوق بر میزان آبشستگی

نتیجه‌گیری

آبشستگی، شدت آن کاهش یافت. همچنین به دلیل عدم حفاظت اطراف تکیه‌گاه از جریان‌های گردابه‌ای و نعل اسبی، میزان عمق و وسعت آبشستگی بیشتر از بقیه حالت‌های مورد بررسی بود.

۲- جهت بررسی تأثیر ارتفاع طوق در کاهش آبشستگی، طوق در سه ارتفاع مختلف شامل: چهار سانتی‌متر بالای بستر، دو سانتی‌متر بالای بستر و روی بستر قرار گرفت. نتایج آزمایشات برای هر دو دبی ۲۰ و ۲۵ لیتر بر ثانیه

هدف از این تحقیق بررسی توسعه مکانی آبشستگی اطراف تکیه‌گاه مستطیلی در کانال مرکب بود. بدین منظور جهت ارزیابی تأثیر طوق در کاهش میزان آبشستگی، آزمایشات مختلفی با ارتفاع‌های مختلف طوق روی تکیه‌گاه انجام گرفت. در انتها نتایجی که از این تحقیق می‌توان گرفت شامل موارد زیر است:

۱- برای تکیه‌گاه بدون طوق سرعت آبشستگی در لحظات اولیه آزمایش زیاد بود اما به مرور زمان با توسعه حفره

بقیه حالت‌ها از اطراف تکیه‌گاه به منطقه‌ای دورتر انتقال یافت.

۴- برای حالت طوق قرار گرفته چهار سانتی‌متر بالای بستر به دلیل تشکیل جریان نعل اسبی زیر طوق و کاهش ناچیز قدرت جریان گردابه‌ای، کارایی طوق پایین آمده و میزان آبستگي با حالت بدون طوق تفاوت چندانی نکر

نشان داد که کم‌ترین میزان آبستگي در حالت طوق روی بستر اتفاق افتاده است. دلیل این امر را می‌توان عدم امکان تشکیل گرداب نعل اسبی در جلوی تکیه‌گاه پل به دلیل نبود فاصله بین طوق و بستر عنوان کرد.

۳- در حالت طوق روی بستر علاوه بر اینکه کم‌ترین میزان آبستگي اتفاق افتاد، حداکثر عمق آبستگي نسبت به

منابع

- ۱- خسروی‌نیا، پ.، ع. حسین‌زاده دلیر، د. فرسادی‌زاده و ا. فاخری‌فرد. ۱۳۹۰. تاثیر طوق در کاهش آبستگي اطراف آبشکن‌ها. مجله دانش آب و خاک، جلد ۲۱، شماره ۱.
- ۲- راهنمای روش‌های محاسبه آبستگي موضعی. نشریه شماره ۵۴۹.
- ۳- زراتی، ا.ر. و م. عزیزی. ۱۳۸۰. کنترل آبستگي در اطراف پایه‌های پل. نشریه دانشکده فنی جلد ۳۵، شماره ۱، ص ۳۳-۲۱.
- ۴- شفاعی بجستان، م. ۱۳۸۷. هیدرولیک رسوب. انتشارات دانشگاه شهید چمران اهواز .
- 5-Barbhuiy, A.K. and S. Dey. 2004. Local scour at abutments: A review. *Sadhana*, 29(5): 449-476.
- 6-Chiew, Y.M. 1992. Scour Protection at Bridge Piers. *Journal of Hydraulic Engineering*. 118(9):1260-1269.
- 7- Dargahi B. 1990. Controlling mechanism of local scouring. *Journal of Hydraulic Engineering*. 116(10): 1197-1214.
- 8- Kayaturk, S.Y. 2005. Scour and scour protection at bridge abutment. PhD thesis, Middle East Technical University, Ankara, Turkey.
- 9-Mashahir, M.B., and A.R. Zarrati. 2002. Effect of Collar on Time Development of Scouring around Rectangular Bridge Piers. The 5th International Conference on.
- 10-Melville, B.W. 1992. Local Scour at Bridge Abutments. *Journal of Hydraulic Engineering*, Vol. 118: 615-631.
- 11- Raudkivi, A.J. 1998. Loose boundary hydraulics. 4th Edition. Rotterdam, Brookfield, VT ,Balkema. P: 496.
- 12-Singh, C.P., B. Setia and D.V.S. Verma. 2001.Collar-sleeve combination as a scour protection device around a circular pier. Proceedings of Theme D, 29th Congresson Hydraulics of Rivers, Water Worksand Machinery, Chinese Hydraulic Engineering Society, Beijing, pp: 202-209.
- 13-Zarrati, A.R., H. Gholami and M.B. Mashahir. 2004. Application of Collar to Control Scouring Around Rectangular Bridge Piers. *Journal of Hydraulic Research*, 42(1): 97-103.

The application of collar on the scour reduction at bridge rectangular abutment in composit channel

Z. Alem¹, M. Ghomeshi², S. Mohammadi³

Abstract

The fracturing bridge due to scour of foundation (includes bed and abutment), reveals the necessity of study for scour predict and the protected methods. Generally, the methods of scour reduction include: placing foundation at the lower level of erosion pit depth, raising bed resistance and decreasing erosion power factors (decreasing downflow and horseshoe vortex). Utilizing a spreadsheet around abutment called collar is one of the methods of power decrease. The collar decreases the power of downflow and horseshoes vortex around the abutment further it decreases the depth of scour decrease. In this research a collar of two times than the abutment width exposed to a discharge of 20 and 25 lit/s. The operation of collar in 3 different depths (on the bed, at 2cm above bed and at 4cm above bed) was studied in the scour conditions of clear water and was compared with abutment without collar. the research indicate that collar decreases scour and it showed better operation above the bed. as a maximum percentage decrease of scour with a discharge of 20 and 25 lit/s is 94% and 93% respectively.

Keywords: clear water, scour, abutment, collar.

¹ M.Sc Student of Civil Engineering, Shahid Chamran University; Zainab.alem@gmail.com

² Professor, Faculty of Water Science Engineering, Shahid Chamran University; M.ghomeshi@yahoo.com

³ M.Sc Student of Civil Engineering, Shahid Chamran University; Sia_m86@yahoo.com