

بررسی آزمایشگاهی کار آبی طوق با سطح زبر در کاهش آبشستگی موضعی پیرامون تکیه‌گاه پل با مقطع مستطیلی

حسین خزیمه‌نژاد^{1*}، مهدی قمشی²

تاریخ دریافت: 93/05/18 تاریخ پذیرش: 94/08/30

¹- استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند

²- استاد گروه سازه‌های آبی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: Hkhozeymeh@Birjand.ac.ir

چکیده

تحقیقات نشان می‌دهد یکی از مؤثرترین عوامل تخریب پل‌ها، آبشستگی در محل تکیه‌گاه آن‌ها هست. در این تحقیق ضمن بررسی تأثیر طوق به‌عنوان یک سازه کنترل فرسایش پیرامون تکیه‌گاه پل، تأثیر زبری سطح طوق نیز بر عملکرد آن مورد بررسی قرار گرفت و طوق‌های زبر شده با طوق‌های مشابه در حالت صاف مقایسه شدند. نتایج نشان داد، طوق‌های زبر در حالتی که در ارتفاع بالاتر از بستر قرار می‌گیرند نسبت به طوق‌های صاف از عملکرد بهتری برخوردار هستند، به طوری که نصب یکی از طوق‌های زبر در ارتفاع برابر 20 درصد عمق آب از سطح اولیه بستر باعث افزایش 14 درصدی عملکرد آن نسبت به طوق صاف گردید. اما در شرایطی که طوق‌ها در بالا و زیر سطح بستر نصب شده بودند به دلیل فضای کم زیر طوق، تفاوت محسوسی در عملکرد طوق‌های صاف و زبر وجود ندارد.

واژه‌های کلیدی: آبشستگی موضعی، تکیه‌گاه پل، سطح زبر، طوق، مقطع مستطیلی

Experimental Investigation of Collar Performance with Rough Surface on Local Scour Reduction around Bridge Abutment with Rectangular Section

H Khozaymehnezhad^{1*}, M Ghomeshi²

Received: 09 August 2014

Accepted: 21 November 2015

¹- Assist. Prof., Dept. of Water Eng., Faculty of Agriculture., Univ. of Birjand, Iran

²- Prof., Dept. of Hydraulic Structures, Faculty of Water Sci. Eng., Shahid Chamran Univ. of Ahvaz, Iran

* Corresponding Author, Email: Hkhozaymeh@Birjand.ac.ir

Abstract

Researches show that one of the most effective factors on bridge destruction is bridge abutment scour. In this research, the role of collar as a control structure of bridge abutment scour was investigated along with the effect of its roughness. The results were then compared with smooth collars at the same condition. The results showed that the rough collars installed above the bed level showed a better performance in comparison to the smooth collars so that installation of the rough collar at a distance equal to 20 percent of the water depth above the initial bed level caused the performance of collar to be increased 14 percent, as compared to the condition with smooth collar. In the condition that the collars were installed above and below the bed surface, the performance of rough and smooth collars didn't have a significant difference due to the small space under the collars.

Keywords: Bridge abutment, Collar, Local scour, Rectangular section, Rough area

تخریب آن‌ها جلوگیری کند. از این رو، تحقیق روی این مسئله از اهمیت زیادی برخوردار است. در چند دهه اخیر، محققان زیادی در سراسر دنیا، روش‌های مختلف محافظت در برابر آبشستگی را به‌ویژه در پایه‌های پل مورد مطالعه قرار داده‌اند که یکی از این روش‌ها، استفاده از طوق هست. طوق صفحه‌ای است که در ارتفاعات مختلف پایه پل و معمولاً نزدیک بستر در اطراف پایه قرار می‌گیرد. این صفحه محافظ به صورت یک سطح صاف و دارای ضخامت ناچیز هست و در کاهش توسعه آبشستگی مؤثر هست. طوق نباید خیلی ضخیم باشد، چراکه ضخامت زیاد طوق، سبب ایجاد مانع در برابر جریان شده و آبشستگی را افزایش می‌دهد. یک طوق که در هر سطحی نسبت به بستر نصب می‌شود، جریان را به دو ناحیه بالا و پایین طوق تقسیم می‌کند. ناحیه بالای طوق به‌عنوان یک مانع در مقابل جریان رو به پایین عمل کرده و قدرت جریان رو به پایین را در اثر برخورد با طوق کاهش می‌دهد. در ناحیه پایین طوق، قدرت جریان رو به پایین و در نتیجه گرداب نعل اسبی

مقدمه

مطالعات نشان می‌دهد که یکی از مهم‌ترین دلایل تخریب پل‌ها، پدیده آبشستگی است. همه‌ساله هزاران پل در سراسر جهان بر اثر آبشستگی در اطراف پایه و تکیه‌گاه آن‌ها تخریب شده و یا خسارت می‌بینند. مطالعات انجام‌شده در زمینه شکست 383 پل در ایالات متحده نشان می‌دهد که در 25 درصد آن‌ها تخریب پایه و در 72 درصد تخریب تکیه‌گاه و در 3 درصد باقیمانده، سایر عوامل، علت شکست پل بوده است (ملویل 1992). طبق مطالعات ملویل (1992)، از 108 شکست پل که در فاصله سال‌های 1960 تا 1984 در نیوزیلند رخ داد، 29 مورد آن مربوط به آبشستگی تکیه‌گاه پل بوده است. ملویل همچنین خاطرنشان می‌سازد که 70 درصد هزینه‌ها روی شکست پل در نیوزیلند ناشی از آبشستگی تکیه‌گاه پل بوده است. تخریب پل‌ها علاوه بر خسارات مادی، در مواقع سیلابی خسارت جانی و مسائل اجتماعی زیادی به دنبال دارد. حفاظت اطراف پایه‌ها و تکیه‌گاه پل در مقابل آبشستگی می‌تواند از

کاهش می‌یابد. کارآیی یک طوق به‌اندازه و محل قرارگیری آن بر روی پایه نسبت به بستر، بستگی دارد. موقعی که طوق برای محافظت از آبشستگی روی پایه نصب می‌شود، جریان رو به پایین، در حین برخورد به طوق از بستر منحرف‌شده و جلوی آبشستگی گرفته می‌شود (خزیمه‌نژاد و همکاران 2012). بیشتر تحقیقات انجام‌شده در زمینه تأثیر طوق بر کاهش یا کنترل آبشستگی، مربوط به پایه‌های پل بوده است و در زمینه تأثیر طوق بر کاهش یا کنترل آبشستگی اطراف تکیه-گاه‌های پل مطالعات زیادی صورت نگرفته است. در ادامه بخشی از تحقیقات انجام‌شده در خصوص تأثیر طوق بر کاهش آبشستگی اطراف پایه و تکیه‌گاه پل و همین‌طور آبشکن‌ها موردبررسی قرار گرفته است.

مونوکاد و همکاران (2009) به مطالعه عملکرد طوق و شکاف در کاهش آبشستگی اطراف پایه پل پرداختند. یافته‌های آنان نشان داد که استفاده از طوقی با عرض دو برابر قطر پایه می‌تواند آبشستگی را 55 تا 96 درصد کاهش دهد. سینگ و همکاران (2001) و زراتی و همکاران (2004 و 2006) بر روی طوق و در برخی موارد ترکیب آن با سایر روش‌ها و تأثیر آن بر کاهش آبشستگی اطراف پایه‌های پل مطالعاتی را انجام داده و روابط یا گراف‌هایی را در این زمینه ارائه داده‌اند. کایاترک (2005) تأثیر طوق بر توسعه زمانی آبشستگی در اطراف تکیه‌گاه پل‌ها را مورد مطالعه قرار داد. نتایج وی نشان داد که طوق، مانع فرسایش ذرات رسوبی توسط جریان پایین‌رونده می‌شود. همچنین نتایج تحقیق وی حاکی از آن بود که کارآیی طوق برای جلوگیری از آبشستگی در بستر تابعی از اندازه و موقعیت قرارگیری آن‌ها در اطراف تکیه‌گاه است. لی و همکاران (2006) عملکرد طوق در کاهش آبشستگی تکیه‌گاه پل در کانال مرکب را بررسی کردند. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که طوق‌ها قادر به حفاظت تکیه‌گاه‌های پل در برابر آبشستگی می‌باشند. آن‌ها قادرند جریان برگشتی و گردابه‌های ثانویه را که مسبب آبشستگی می‌باشند، در اطراف بستر تکیه‌گاه کنترل کرده و بدین‌وسیله موجب کاهش آبشستگی شوند.

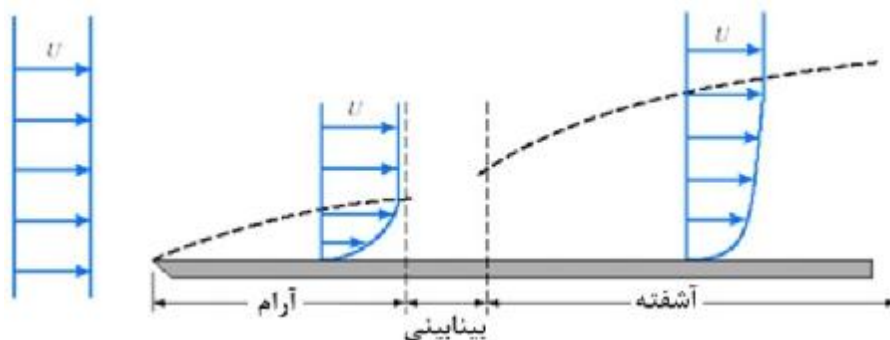
خزیمه‌نژاد و همکاران (2012) تأثیر ابعاد و موقعیت قرارگیری طوق بر کاهش آبشستگی را مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاکی از آن بود که با افزایش ابعاد طوق عملکرد آن بهبود می‌یابد، همچنین با کاهش تراز نصب طوق نسبت به بستر بر عملکرد آن افزوده می‌شد. خزیمه‌نژاد و قمشی (2013) عملکرد طوق‌های متقارن و نامتقارن بر کاهش آبشستگی موضعی پیرامون تکیه‌گاه پل را بررسی و مورد مقایسه قرار دادند، نتایج تحقیق مذکور نشان داد که تأثیر عرض طوق در بالادست بسیار بیشتر از دو بعد دیگر طوق هست. عرض طوق در پایین‌دست کمترین تأثیر را در کاهش آبشستگی در میان ابعاد هر دو نوع طوق دارد. به‌همین جهت طوق نامتقارن هنگامی که عرض بالادست آن نسبت به پایین‌دست بزرگ‌تر باشد نسبت به طوق هم‌مساحت خود عملکرد بهتری را نشان می‌دهد. در حالت عکس، عملکرد طوق متقارن بهتر خواهد بود. خسروی‌نیا و همکاران (1390) تأثیر طوق در کاهش آبشستگی اطراف آبشکن‌های بال‌دار را مورد بررسی قرار دادند. در تحقیق ایشان، آبشستگی تحت شرایط آب زلال، اطراف سه آبشکن به طول‌های 6، 8 و 10 سانتی‌متر بررسی گردید و سپس عملکرد طوق‌های ذوزنقه‌ای با ابعاد مختلف به-ازای قرارگیری در بستر بررسی و با حالت آبشکن‌های بدون طوق مقایسه گردید. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که با افزایش عرض طوق، عملکرد آن در کاهش عمق و افزایش تأخیر زمانی آبشستگی بیشتر شد. همچنین نتایج نشان داد که در آبشکن‌های با طوق در مقایسه با حالت بدون طوق، طول بالادست و عرض حفره آبشستگی افزایش پیدا کرده و منجر به رسوب‌گذاری در پایین‌دست آبشکن گردید. همچنین درصد کاهش آبشستگی در $V/V_c = 0.9$ نسبت سرعت به‌سرعت بحرانی جریان هست) از 15 تا 38 درصد و در $V/V_c = 0.8$ از 30 تا 100 درصد برای طوق‌های با عرض مختلف متغیر بود. مرادپور و همکاران (1391) تأثیر اندازه طوق بر روند آبشستگی آبشکن‌های نیم-دایره‌ای را به‌صورت آزمایشگاهی مورد بررسی قرار

کاهش می‌یابد. کارآیی یک طوق به‌اندازه و محل قرارگیری آن بر روی پایه نسبت به بستر، بستگی دارد. موقعی که طوق برای محافظت از آبشستگی روی پایه نصب می‌شود، جریان رو به پایین، در حین برخورد به طوق از بستر منحرف‌شده و جلوی آبشستگی گرفته می‌شود (خزیمه‌نژاد و همکاران 2012). بیشتر تحقیقات انجام‌شده در زمینه تأثیر طوق بر کاهش یا کنترل آبشستگی، مربوط به پایه‌های پل بوده است و در زمینه تأثیر طوق بر کاهش یا کنترل آبشستگی اطراف تکیه-گاه‌های پل مطالعات زیادی صورت نگرفته است. در ادامه بخشی از تحقیقات انجام‌شده در خصوص تأثیر طوق بر کاهش آبشستگی اطراف پایه و تکیه‌گاه پل و همین‌طور آبشکن‌ها موردبررسی قرار گرفته است.

مونوکاد و همکاران (2009) به مطالعه عملکرد طوق و شکاف در کاهش آبشستگی اطراف پایه پل پرداختند. یافته‌های آنان نشان داد که استفاده از طوقی با عرض دو برابر قطر پایه می‌تواند آبشستگی را 55 تا 96 درصد کاهش دهد. سینگ و همکاران (2001) و زراتی و همکاران (2004 و 2006) بر روی طوق و در برخی موارد ترکیب آن با سایر روش‌ها و تأثیر آن بر کاهش آبشستگی اطراف پایه‌های پل مطالعاتی را انجام داده و روابط یا گراف‌هایی را در این زمینه ارائه داده‌اند. کایاترک (2005) تأثیر طوق بر توسعه زمانی آبشستگی در اطراف تکیه‌گاه پل‌ها را مورد مطالعه قرار داد. نتایج وی نشان داد که طوق، مانع فرسایش ذرات رسوبی توسط جریان پایین‌رونده می‌شود. همچنین نتایج تحقیق وی حاکی از آن بود که کارآیی طوق برای جلوگیری از آبشستگی در بستر تابعی از اندازه و موقعیت قرارگیری آن‌ها در اطراف تکیه‌گاه است. لی و همکاران (2006) عملکرد طوق در کاهش آبشستگی تکیه‌گاه پل در کانال مرکب را بررسی کردند. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که طوق‌ها قادر به حفاظت تکیه‌گاه‌های پل در برابر آبشستگی می‌باشند. آن‌ها قادرند جریان برگشتی و گردابه‌های ثانویه را که مسبب آبشستگی می‌باشند، در اطراف بستر تکیه‌گاه کنترل کرده و بدین‌وسیله موجب کاهش آبشستگی شوند.

مفهوم لایه مرزی اولین بار توسط لادویگ پرائنتل دانشمند آلمانی در سال 1904 معرفی گردید (وایت 1993). اگر مطابق شکل 1 سیالی با سرعت یکنواخت U به صفحه تخت نوک‌تیزی نزدیک شود، هنگامی که سیال با سطح صفحه تخت، تماس حاصل می‌کند به واسطه لزجت سیال که شرط عدم لغزش را مطرح می‌سازد سرعت صفر می‌شود درحالی‌که بلافاصله در مجاورت صفحه، سرعت یکنواخت U برقرار است. با پیشروی سیال در امتداد صفحه، ناحیه‌ای در مجاورت صفحه به وجود می‌آید که در این ناحیه که لایه مرزی نامیده می‌شود به واسطه وجود گرادیان سرعت، رفتار سیال از نوع لزج است. در خارج از لایه مرزی، گرادیان سرعت صفر بوده و تنش برشی وجود ندارد و رفتار سیال نظیر رفتار یک سیال ایده‌آل با لزجت صفر است. لایه مرزی اولیه از نوع آرام است، با ادامه حرکت سیال در مجاورت صفحه و با رسیدن عدد رینولدز موضعی به مقدار بحرانی آثار ناپایداری ظاهر شده، پس از مرحله بینابینی، لایه مرزی به نوع آشفته تبدیل می‌شود. ویژگی‌های لایه مرزی آشفته، رشد سریع‌تر لایه مرزی و تا حدودی تخت بودن منحنی توزیع سرعت است. رشد لایه مرزی آرام، آهسته‌تر صورت گرفته و منحنی توزیع سرعت به شکل سهمی است (وایت 1993).

دادند. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که طوق‌ها به‌طور قابل‌توجهی باعث کاهش آبستگی شده‌اند، به‌طوری‌که به‌ازای طوق‌های مختلف بین 63 تا 100 درصد کاهش آبستگی وجود داشت و علاوه بر آن طوق‌ها باعث تأخیر زمانی آبستگی نیز شدند. پورجعفر و همکاران (1393) عملکرد طوق در کاهش آبستگی آبشکن‌ها را موردبررسی قرار دادند. در تحقیق ایشان دو نوع آزمایش بر روی سه آبشکن عمود بر ساحل انجام شد. نتایج آزمایش‌ها نشان داد طوق‌ها تا 81 درصد می‌توانند آبستگی را کاهش دهند. نکته‌ای که در بررسی منابع قابل‌تأمل است این است که در کلیه تحقیقات گذشته، طوق به‌عنوان یک سازه کاهش‌دهنده فرسایش از دیدگاه هیدرولیک و هیدرولیک انتقال رسوب موردبررسی و مطالعه قرار گرفته است اما در این تحقیق طوق از منظر هیدرودینامیکی که یک رویکرد متفاوتی هست موردبررسی قرار گرفت و این مطلب با بررسی تأثیر زبری سطح طوق بر عملکرد آن محقق شد. در ادامه قبل از پرداختن به مواد و روش‌ها، تأثیر زبری یک سطح بر وضعیت سیال و جریان عبوری از روی آن و اصولاً تولید و رشد گردابه‌ها موردبررسی قرار می‌گیرد. ورود به این بحث، نیاز به آشنایی با اصولی در این زمینه دارد که مهم‌ترین آن مبحث لایه مرزی و رشد آن و تأثیر زبری سطوح بر وضعیت آن هست.



شکل 1- لایه مرزی و نحوه توسعه آن.

افزایش زبری سطح باعث می‌شود که لایه مرزی آرام زودتر به آشفته تبدیل شود. البته شرایط لایه مرزی در اجسام دارای لبه‌پهن و مجاری دارای سطح مقطع متغیر

عوامل متعددی در تبدیل لایه مرزی آرام به آشفته مؤثرند که عبارت‌اند از رینولدز موضعی، شدت آشفتگی، انتقال حرارت، گرادیان فشار و زبری سطح.

ضخامت یک سانتی متر تشکیل شده‌اند. در فاصله 2 متری از ابتدای فلوم، یک باکس فلزی قرار گرفته که طول، عرض و ارتفاع آن به ترتیب حدود 2، 0/7 و 0/3 متر هست. این باکس از یک نمونه رسوب یکنواخت دارای انحراف معیار هندسی 1/2، چگالی ویژه 2/65 و قطر متوسط 0/76 میلی متر پر شده است به نحوی که پس از پرشدن در تراز بستر فلوم قرار می‌گیرد. در خصوص اندازه رسوبات در آزمایش‌های مربوط به پایه‌های پل، معیارهای متعددی ذکر شده است؛ به عنوان مثال طبق نظر رادکیوی و اتما (1983) برای این که اندازه رسوب تأثیری بر آبشستگی ایجاد نکند و از تشکیل فرم بستر نیز جلوگیری شود، بایستی قطر پایه به اندازه رسوب بیشتر از 20 الی 25 باشد. هر چند برای تکیه‌گاه شرایط تقریباً متفاوت است اما اندازه رسوب در نظر گرفته شده با این معیار مطابقت دارد. آب از طریق پمپ از مخزن زیرزمینی آزمایشگاه پمپاژ شده و به قسمت ابتدایی فلوم که بخش آرام‌کننده هست هدایت می‌شود. در انتهای فلوم دریچه کنترل جهت تنظیم عمق در رقوم مورد نظر قرار دارد. سپس آب وارد حوضچه آرامش می‌شود. در انتهای حوضچه آرامش، سرریز مثلثی 53 درجه استاندارد قرار دارد که دبی جریان که در تحقیق حاضر برابر 0/04 مترمکعب بر ثانیه هست، توسط آن تنظیم می‌گردد. آب پس از عبور از سرریز، مجدداً وارد مخزن زیرزمینی آزمایشگاه می‌شود و به این ترتیب یک جریان رفت و برگشتی در کل زمان آزمایش در فلوم برقرار هست. در این تحقیق از تکیه‌گاه مستطیلی از جنس آهن گالوانیزه به طول 0/2 و عرض 0/12 متر استفاده گردید. طوق‌های استفاده شده از جنس پلکسی‌گلاس و به ضخامت 3 میلی متر انتخاب شدند. از یک نمونه مصالح پلاستیکی به قطر یک میلی متر برای زبر نمودن طوق‌ها استفاده گردید. در شروع هر آزمایش، ابتدا فلوم با نرخ کم جریان، پر خواهد شد، این امر به این دلیل است که جلوی فرسایش ناشی از جریان ورقه‌ای در ابتدای آزمایش گرفته شود، سپس دبی آب به آرامی زیاد شده تا به دبی مورد نظر برسد. پس از تنظیم دبی توسط سرریز مثلثی، به وسیله دریچه

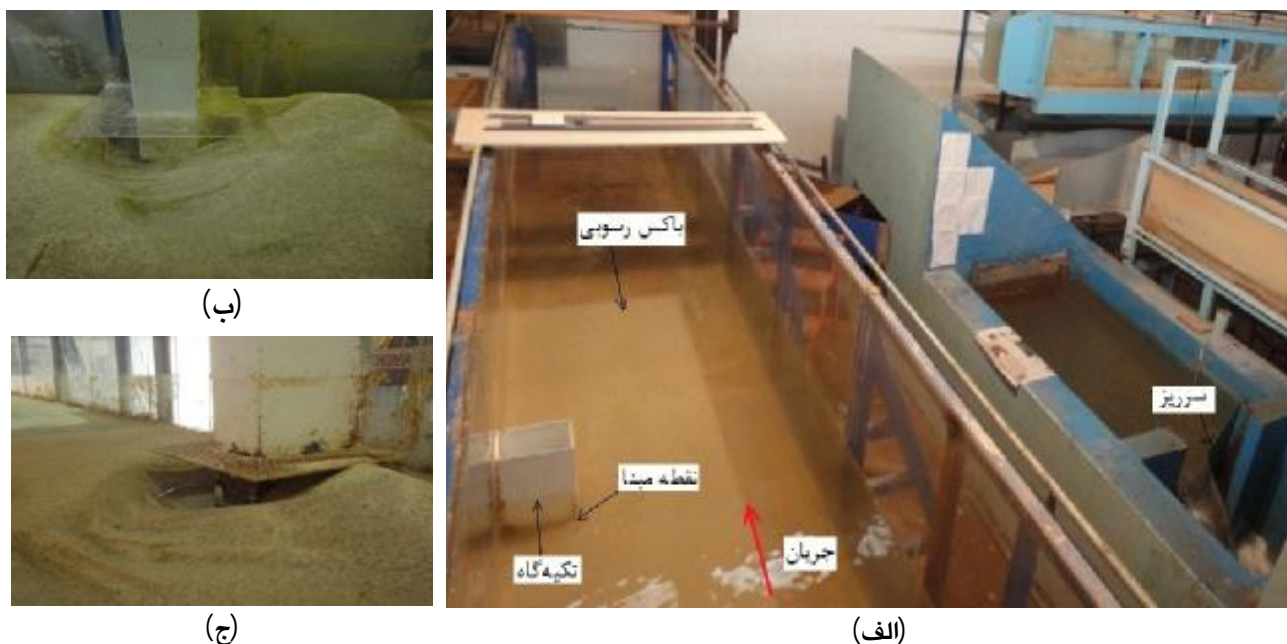
متفاوت است. به طور کلی در اجسام دارای لبه پهن و مجاری دارای سطح مقطع متغیر، هر جزء از سیال، تحت تأثیر دو نیرو قرار دارد، یکی نیروی لزجت که با حرکت سیال مخالفت می‌کند و دیگری نیروی فشاری که بسته به این که گرادیان فشار، مثبت یا منفی باشد با حرکت سیال مخالفت یا به آن کمک می‌کند. اگر گرادیان فشار منفی باشد، نیروی فشاری به حرکت سیال کمک می‌کند و سیال به کمک نیروی فشاری به حرکت خود ادامه می‌دهد. اگر گرادیان فشار مثبت باشد، نیروی فشاری با حرکت سیال مخالفت می‌کند و نهایتاً ممکن است سیال مقدار جنبش آنی خود را کاملاً از دست بدهد. در این صورت گرادیان سرعت روی سطح برابر صفر شده و اصطلاحاً جدایی جریان اتفاق می‌افتد. پس از جدایی، جریان برگشتی شکل گرفته و گردابه‌ها تولید می‌شوند (وایت 1993). در خصوص طوق اگر طوری روی تکیه‌گاه یا پایه نصب شود که مجرای بین آن و رسوبات برای عبور جریان شکل بگیرد، چون هندسه این مجرا در طول تغییر می‌کند بنابراین احتمال جدایی جریان به دلیل گرادیان فشار مثبت، بسیار زیاد هست. پس از جدا شدن، جریان برگشتی و به تبع آن گردابه‌هایی تولید شده که توانایی بالایی برای ایجاد پدیده آبشستگی دارند. با توجه به این که رژیم لایه مرزی در معرض طوق‌های صاف، آرام بوده و در حالت آرام جدایی سریع‌تر اتفاق می‌افتد، لذا از عملکرد طوق کاسته می‌شود. از آنجایی که زبری باعث می‌شود که لایه مرزی آرام سریع‌تر به آشفتگی تبدیل شود که تأخیر در جدایی و یا حتی عدم وقوع آن را به دنبال دارد. به نظر می‌رسد زبر نمودن طوق در جهت ارتقاء بازده آن عمل نماید که این مطلب به عنوان هدف در تحقیق حاضر مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

مواد و روش‌ها

آزمایش‌های این تحقیق در فلومی به طول 9 متر و عرض 1 متر و ارتفاع 0/6 متر و شیب ثابت 0/0003 واقع در آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه شهید چمران اهواز انجام شد. دیواره‌های فلوم از جنس پلکسی‌گلاس و به

الگوی رسوب‌گذاری ایجاد شده در اطراف تکیه‌گاه به- وسیله متر لیزری برداشت می‌گردد. در شکل 2 نمایی از فلوم آزمایشگاهی و تکیه‌گاه مجهز به طوق‌های صاف و زبر نشان داده شده است.

کنترل، آب در عمق موردنظر یعنی 0/15 متر قرار می-گیرد. سپس آزمایش به مدت زمان تعیین شده ادامه پیدا کرده و پس از اتمام آزمایش، آب به آرامی از فلوم خارج می‌گردد. در انتها بیشترین عمق آبهستگی و



شکل 2- الف) نمای کلی از فلوم آزمایشگاهی، ب) تکیه‌گاه مجهز به طوق صاف، ج) تکیه‌گاه مجهز به طوق زبر.

حرکت، تکیه‌گاه در فلوم نصب شد و یک آزمایش بدون حضور طوق به مدت زمان 13 ساعت به منظور تعیین زمان آزمایش‌ها انجام شد. در طول مدت آزمایش در زمان‌های مختلف عمق آبهستگی در نقطه مبنا (گوشه بالادست تکیه‌گاه) برداشت گردید.

تحلیل ابعادی

پارامترهای مؤثر بر میزان آبهستگی اطراف تکیه‌گاه مجهز به طوق به شرح زیر است:

$$F(B, L_a, B_a, f_1, L_c, B_c, Z_c, f_2, d_s, y_s, y_{sc}, [2]$$

$$Q(V), g, y, a, r, r_s - r, m) = 0$$

که در آن B عرض کانال، L_a طول تکیه‌گاه، B_a عرض تکیه‌گاه، f_1 شکل تکیه‌گاه، L_c میزان پیش‌آمدگی طوق در طول تکیه‌گاه، B_c میزان پیش‌آمدگی طوق در عرض تکیه‌گاه، Z_c فاصله عمودی طوق نسبت به بستر ثابت، f_2 شکل طوق، d_s قطر رسوب، y_s و y_{sc} عمق آبهستگی به ترتیب با طوق و بدون طوق (با توجه به

تعیین سرعت آستانه حرکت رسوبات

یکی از روش‌های تعیین سرعت آستانه حرکت، استفاده از سرعت بحرانی است. در این تحقیق، سرعت بحرانی جریان با برقراری دبی ثابت و کاهش تدریجی عمق جریان بدون حضور تکیه‌گاه در چند مرحله تعیین و سپس درستی آن با روابط تجربی مقایسه شد. از جمله این روابط تجربی رابطه نیل است. نیل (1973) برای محاسبه سرعت بحرانی رابطه زیر را مطرح کرده است:

$$V_c = 31.08 K_u q_c^{1/2} y^{1/6} d_{50}^{1/3} [1]$$

که در آن V_c سرعت بحرانی بر حسب متر بر ثانیه، y عمق آب بر حسب متر، d_{50} اندازه متوسط ذرات بر حسب متر و K_u ضریب ثابتی است که مقدار آن در سیستم آمریکایی یک و در سیستم انگلیسی 1/81 هست. q_c پارامتر شیلدز بحرانی است که از دیگرام شیلدز قابل محاسبه است. پس از تعیین سرعت آستانه

اطمینان از برقراری جریان متلاطم ($Re > 2000$) مورد بررسی قرار گرفت.

در جدول 1 پارامترهای بی بعد و مقادیر آنها در تحقیق حاضر، نشان داده شده است. در جدول 1 L_c/L_a پارامتر پیش آمدگی بی بعد طوق در طول، B_c/L_a پارامتر پیش آمدگی بی بعد طوق در عرض و Z_c/y تراز بی بعد نصب طوق نسبت به بستر رسوبی هست.

جدول 1- پارامترهای بی بعد و مقادیر بررسی شده.

پارامتر بی بعد	مقادیر مورد بررسی
L_c/L_a	0/75، 0/5، 0/375، 0/25
B_c/L_a	0/5، 0/375، 0/25
Z_c/y	0/2، 0/1، 0، -0/1

نتایج و بحث

نتایج تحقیق حاضر در 3 بخش ارائه شده اند. بخش اول مربوط به نتایج آزمایش شاهد است که بدون حضور طوق انجام گردید. بخش دوم و سوم نتایج آزمایش های مربوط به طوق های صاف و زبر هست.

نتایج آزمایش شاهد (بدون حضور طوق)

در شکل 3 نتایج آزمایش شاهد (بررسی آبشستگی تکیه گاه بدون حضور طوق) نشان داده شده است.

این که بیشینه عمق آبشستگی بدون حضور طوق در گوشه بالادست تکیه گاه اتفاق افتاد لذا همین نقطه برای برداشت عمق آبشستگی در هر دو حالت با طوق و بدون طوق به عنوان نقطه مبنا در تمامی آزمایش ها مدنظر قرار گرفت. Q یا V دبی یا سرعت جریان، g شتاب جاذبه، y عمق جریان، a زاویه برخورد جریان با تکیه گاه، r جرم مخصوص آب، $(r_s - r)$ جرم مخصوص مستغرق ذره رسوب و m ضریب لزوجت دینامیکی می باشند.

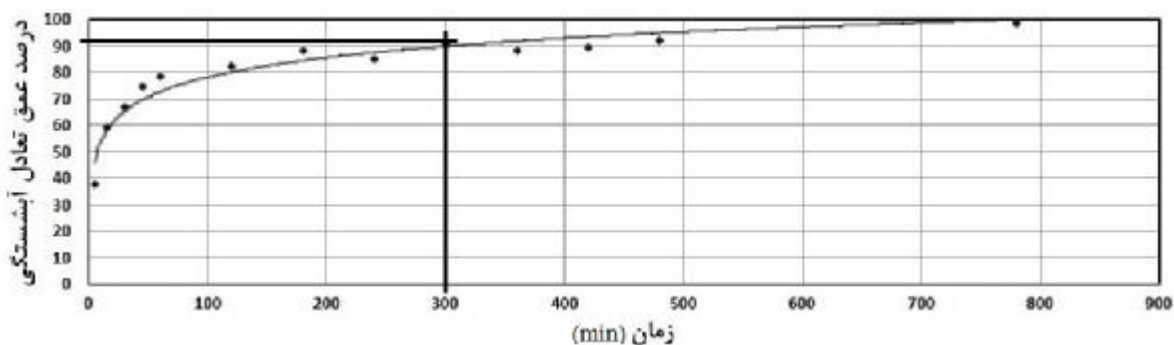
با به کار بردن نظریه باکینگهام و ترکیب بعضی از پارامترهای بی بعد با هم، رابطه 2 به رابطه 3 تبدیل خواهد شد.

$$Pr = f(L_c/L_a, B_c/L_a, Z_c/y, Fr, L_a/B, L_a/B_a, d_s/y, G_s, Re, a, f_1, f_2) \quad [3]$$

که در آن Pr درصد کاهش عمق آبشستگی است که مقدار آن از رابطه 4 استخراج می گردد، Fr عدد فرود جریان، G_s چگالی ذرات رسوب و Re عدد رینولدز جریان هست و سایر پارامترها قبلاً تعریف شده اند.

$$Pr = \frac{(y_s - y_{sc})}{y_s} \cdot 100 \quad (4)$$

از میان پارامترهای بی بعد در رابطه 3، L_a/B ، L_a/B_a ، d_s/y ، G_s ، a ، f_1 و f_2 ثابت در نظر گرفته شدند. همچنین در تمامی آزمایش ها عدد رینولدز برای



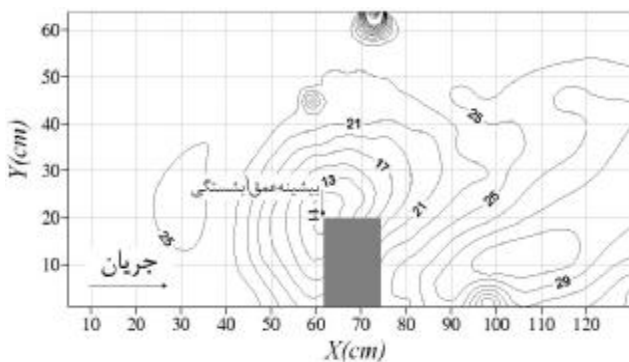
شکل 3- تغییر عمق آبشستگی در مقابل زمان بدون کاربرد طوق.

مطابق شکل 3 بر میزان عمق آبشستگی به سرعت افزوده می شد، به طوری که در یک ساعت اول آزمایش، حدود 80 درصد عمق آبشستگی اتفاق افتاد و پس از آن میزان آبشستگی به تدریج کاهش پیدا کرد. از ساعت

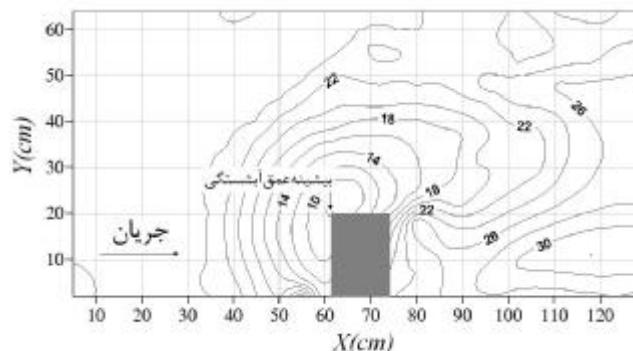
در شکل 3 محور عمودی، درصد عمق تعادل آبشستگی و محور افقی زمان آزمایش هست. در این آزمایش، آبشستگی از گوشه بالادست تکیه گاه شروع شده و سپس توسعه پیدا کرد. در زمان های ابتدایی آزمایش

همچنین تأثیر تراز نصب طوق هست و نیل به این هدف با مقایسه نتایج آزمایش‌های مختلف فراهم می‌شود، لذا مدت‌زمان 5 ساعت به‌عنوان زمان آزمایش برای تمامی آزمایش‌ها انتخاب گردید و بنابراین یک آزمایش دیگر به مدت زمان 5 ساعت انجام و عمق آبشستگی در نقطه مبنا، برداشت گردید. نتایج این آزمایش برای مقایسه عملکرد طوق‌ها به‌عنوان شاهد و مبنا مورد استفاده قرار گرفت. الگوی رسوب‌گذاری و فرسایش به وسیله متر لیزری برداشت گردید. همان‌طور که قبلاً گفته شد بیشینه عمق آبشستگی در گوشه بالادست تکیه‌گاه اتفاق افتاد. در شکل 4 الگوی فرسایش و رسوب‌گذاری در آزمایش‌های شاهد 13 و 5 ساعته نشان داده شده است.

سوم به بعد، مقدار بسیار کمی بر عمق آبشستگی افزوده شد. در طول آزمایش، رسوبات از دیواره چاله آبشستگی به درون چاله ریزش کرده و پس از حمل به درون آن، به پشته رسوب پایین دست افزوده می‌شدند. پشته رسوبی به تدریج به سمت پایین دست حرکت کرده و به این ترتیب توسعه چاله آبشستگی در طول زمان آزمایش به‌طور مداوم ادامه پیدا می‌کرد. در تحقیق حاضر فرض بر این بود که 99 درصد عمق تعادل آبشستگی (عمق نهایی آبشستگی) در مدت‌زمان 13 ساعت اتفاق می‌افتد. در این صورت مطابق شکل 3 حدود 91 درصد عمق تعادل آبشستگی در مدت‌زمان 5 ساعت اتفاق می‌افتد و با توجه به این‌که در تحقیق حاضر، هدف بررسی تأثیر ابعاد طوق‌های مختلف و



(ب)



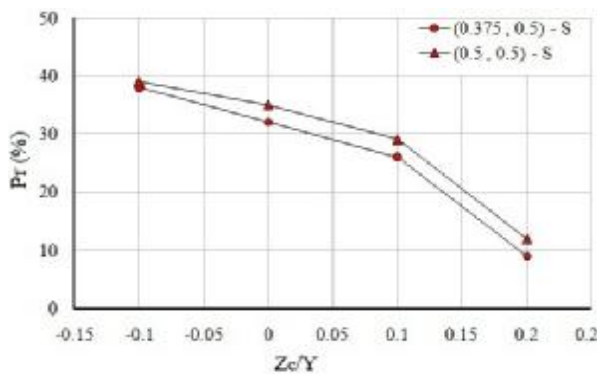
(الف)

شکل 4- الگوی رسوب‌گذاری و فرسایش در اطراف تکیه‌گاه در آزمایش‌های شاهد: (الف) 13 ساعته (ب) 5 ساعته.

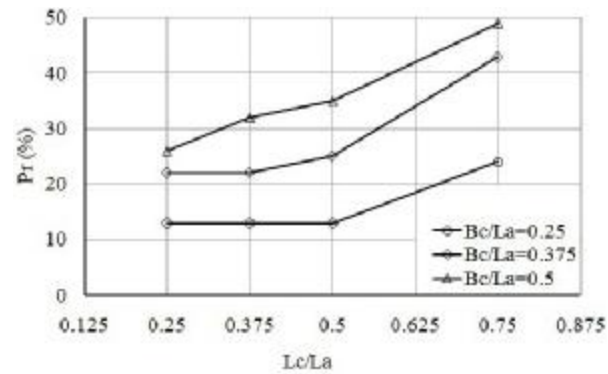
طوق بر عملکرد آن، طوق به وسیله دو عدد که مربوط به ابعاد طوق هست، یعنی $(L_c/L_a, B_c/L_a)$ معرفی شده است، همچنین حرف H مربوط به طوق‌های با سطح زبر و حرف S مربوط به طوق‌های با سطح صاف هست. همان‌طور که قبلاً عنوان گردید مدت‌زمان این آزمایش‌ها 5 ساعت بود که پس از این مدت‌زمان، عمق آبشستگی در نقطه مبنا اندازه‌گیری شد و میزان کاهش آبشستگی نسبت به آزمایش شاهد محاسبه گردید، نتایج آزمایش‌های این بخش در شکل 5 نشان داده شده است.

نتایج آزمایش‌های مربوط به طوق‌های صاف

در این بخش از آزمایش‌ها، ابتدا تعداد 12 طوق با ابعاد مختلف (B_c/L_a) برابر $0/25, 0/375, 0/5$ و L_c/L_a برابر $0/75, 0/25, 0/375, 0/5$ روی سطح بستر مورد آزمایش قرار گرفتند که نتایج مربوط به آن در شکل (5-الف) نشان داده شده است. سپس 2 طوق از طوق‌های مذکور در 4 تراز مختلف (Z_c/Y) برابر $0, -0/1, 0/1, 0/2$ مورد آزمایش قرار گرفتند که نتایج مربوط به آن در شکل (5-ب) نشان داده شده است. در این نمودار و سایر نمودارهای مربوط به بررسی تأثیر تراز نصب



(ب)



(الف)

شکل 5- تأثیر طوق‌های صاف با ابعاد مختلف در کاهش آبشستگی اطراف تکیه‌گاه:

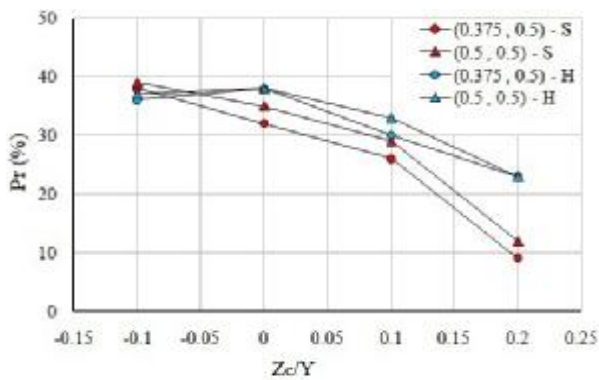
(الف) روی سطح بستر (ب) در ترازهای مختلف.

سطح وضعیت کاملاً متفاوتی در لایه مرزی شکل می‌گیرد. در یک سطح صاف، لایه مرزی به سرعت توسعه می‌یابد و نقطه جدایی به نسبت سطوح زبر در فاصله نزدیک‌تری نسبت به ابتدای سطح اتفاق می‌افتد، پس از نقطه جدایی، جریان چرخش و گردابه‌ها شکل می‌گیرد. در این تحقیق به نظر می‌رسد که با توجه به صاف بودن طوق‌ها، وجود گردابه‌ها میزان آبشستگی را تحت تأثیر خود قرار می‌دهد مخصوصاً هنگامی که طوق از بستر فاصله می‌گیرد، به همین دلیل سطح 2 عدد از طوق‌هایی که در بخش قبلی در ترازهای چهارگانه مورد بررسی قرار گرفتند، زبر شده و مجدداً آزمایش‌ها در همان شرایط قبلی تکرار گردید که در ادامه به آن پرداخته می‌شود.

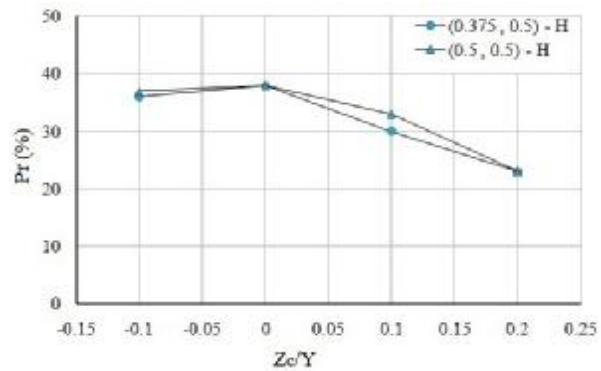
نتایج آزمایش‌های مربوط به طوق‌های زبر و مقایسه آن با طوق‌های صاف

در شکل 6 نتایج آزمایش‌های انجام شده بر روی طوق‌های زبر و همچنین مقایسه آن با عملکرد طوق‌های صاف نشان داده شده است.

در این آزمایش‌ها، آبشستگی از گوشه بالادست طوق شروع شده و به تدریج به زیر طوق توسعه یافته و به تکیه‌گاه نزدیک می‌شد. ابعاد طوق نقش بسزایی در توسعه آبشستگی در زیر طوق دارد. همان‌گونه که در شکل (5-الف) ملاحظه می‌شود با افزایش ابعاد طوق، عمق آبشستگی کاهش می‌یابد. در مقادیر B_c/L_a پایین، افزایش L_c/L_a تأثیر قابل ملاحظه‌ای در کاهش آبشستگی ندارد اما برای همه مقادیر L_c/L_a پارامتر B_c/L_a مؤثر بوده و افزایش آن تأثیر بسیار مثبتی در کاهش آبشستگی ایفا می‌کند که این نکته نشان از تأثیر بیشتر بعد B_c نسبت به L_c است. همچنین مطابق شکل (5-ب) تراز نصب طوق از پارامترهای مؤثر در کاهش آبشستگی است. مطابق این شکل هر چه تراز نصب طوق کاهش یابد، بر عملکرد طوق افزوده می‌شود. نصب طوق در زیر بستر بهترین وضعیت قرارگیری طوق است. در تراز Z_c/Y برابر $0/2$ تأثیر طوق بسیار کاهش یافته و به حدود 10 درصد می‌رسد. یکی از نکاتی که در بخش‌های قبلی مطرح شد این است که در برقراری جریان هنگام رسیدن به یک سطح، لایه مرزی تشکیل می‌شود و با توجه به صاف و زبر بودن این



(ب)

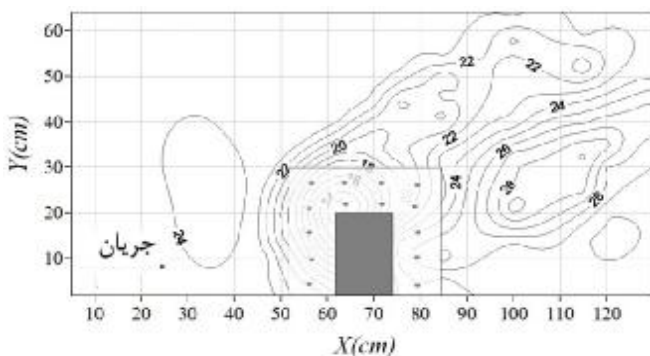


(الف)

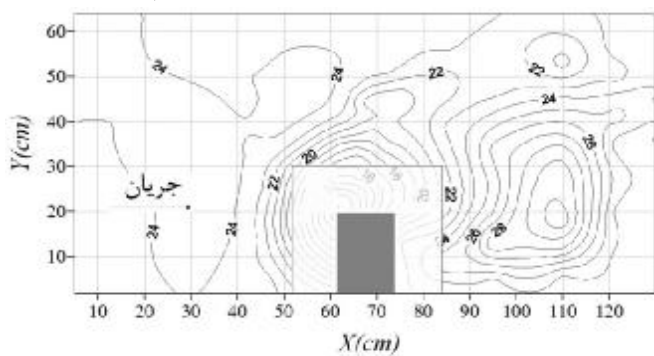
شکل 6- الف) تأثیر طوق‌های زبر در کاهش آبخستگی اطراف تکیه‌گاه، ب) مقایسه عملکرد طوق‌های زبر و صاف.

کاهش دادند. طوق زبر در ترازهای بالاتر از بستر که فضای کافی برای عبور جریان از زیر آن وجود دارد به دلیل تغییر سریع‌تر رژیم لایه مرزی از آرام به آشفته و بنابراین تأخیر در وقوع جدایی و حتی عدم جدایی و به تبع آن تأخیر در وقوع جریان‌های برگشتی و حتی عدم وقوع آن، باعث کاهش آبخستگی و بنابراین بهبود عملکرد طوق می‌شود. در طوق‌های زیر بستر تفاوت محسوسی در عملکرد دو نوع طوق صاف و زبر مشاهده نمی‌گردد. نتایج نشان می‌دهد، فرضیه مطرح‌شده در تحقیق حاضر یعنی کاهش آبخستگی به دلیل زبری سطح طوق البته درجایی که فضای مناسب برای عبور جریان از زیر طوق فراهم باشد، تأیید می‌گردد. در شکل 7 الگوی فرسایش و رسوب‌گذاری اطراف تکیه‌گاه مجهز به دو نوع طوق صاف و زبر نشان داده شده است.

همان‌طور که در شکل (6-الف) نشان داده شده است، تراز نصب طوق در طوق‌های زبر نیز بر روی عملکرد طوق تأثیرگذار است. اما وضعیت نسبت به طوق‌های صاف تقریباً متفاوت است در طوق‌های زبر، نصب طوق روی بستر، بهترین موقعیت قرارگیری هست. با قرار دادن طوق در ترازهای بالای بستر از میزان عملکرد آن کاسته می‌شود. با فاصله گرفتن طوق از بستر از میزان تأثیرگذاری آن کاسته می‌شود. جهت مقایسه عملکرد طوق‌ها در دو وضعیت صاف و زبر شکل (6-ب) ترسیم شده است. همان‌گونه که در شکل (6-ب) نشان داده شده است، در ترازهای بالاتر از بستر، تأثیر زبر نمودن طوق بر کاهش آبخستگی کاملاً محسوس است. هر چه تراز نصب طوق از بستر افزایش یابد، تفاوت در میزان عملکرد دو نوع طوق افزایش می‌یابد. به‌ویژه در تراز Z_c/Y برابر $0/2$ طوق‌های زبر آبخستگی را به میزان 11 و 14 درصد نسبت به طوق‌های صاف هم‌اندازه خود



(ب)



(الف)

شکل 7- الگوی رسوب‌گذاری و فرسایش در اطراف تکیه‌گاه مجهز به طوق در حالت $L_c / L_a = B_c / L_a = 0.5$ و $Z_c / y = 0.2$:

ب) طوق زبر.

الف) طوق صاف

نتیجه گیری کلی

تکیه گاه پل می گردند. مخصوصاً در ترازهای بالاتر از بستر هنگامی که فاصله تقریباً زیاد باشد، طوق های زبر نسبت به طوق های صاف مؤثرتر عمل کرده و بازده بیشتری در کاهش آبخستگی دارد. هر چه تراز نصب طوق از بستر افزایش یابد، تفاوت در میزان عملکرد دو نوع طوق افزایش می یابد. به ویژه در تراز Z/Y برابر 0/2 طوق های زبر آبخستگی را به میزان 11 و 14 درصد نسبت به طوق های صاف هم انداز خود کاهش دادند. اما در تراز بستر و پایین تر از آن به دلیل این که فضای کمی برای وقوع موارد مطرح شده وجود دارد، تفاوت محسوسی بین طوق های صاف و زبر مشاهده نگردید.

با انجام آزمایش های متعدد بر روی دو نوع طوق صاف و زبر در چهار تراز مختلف، مشخص گردید که طوق یک سازه بسیار مؤثر جهت کاهش آبخستگی در اطراف تکیه گاه پل ها هست. نمودارهای کاربردی در خصوص تأثیر ابعاد طوق و تراز نصب آن برای دو نوع طوق زبر و صاف استخراج گردید. نتایج نشان داد که طوق زبر به دلیل تغییر سریع تر رژیم لایه مرزی از آرام به آشفتگی و بنابراین تأخیر در وقوع جدایی و حتی عدم جدایی و به تبع آن تأخیر در وقوع جریان های برگشتی و حتی عدم وقوع آن، باعث کاهش آبخستگی در اطراف

منابع مورد استفاده

- پورجعفر م، کرمی ح و حسینی خ، 1393. عملکرد طوق در کاهش آبخستگی آبشکن ها. اولین کنفرانس سراسری توسعه محوری مهندسی عمران، معماری، برق و مکانیک ایران، 27 آذر، گرگان، شرکت مهندسی عمران بنای تدبیر با همکاری دانشگاه گلستان، دانشگاه گلستان.
- خسروی نیا پ، حسین زاده دلیر ع، فرسادی زاده د و فاخری فرد ا، 1390. تأثیر طوق در کاهش آبخستگی اطراف آبشکن ها. نشریه دانش آب و خاک، جلد 21، شماره 1، صفحه های 16 تا 28.
- مرادپور م، حسین زاده دلیر ع، فرسادی زاده د و ارونقی ه، 1391. بررسی آزمایشگاهی تأثیر اندازه طوق بر روند آبخستگی آبشکن های نیمدایره ای. یازدهمین کنفرانس هیدرولیک ایران، 16 تا 18 آبان، ارومیه، انجمن هیدرولیک ایران، دانشگاه ارومیه.
- Kayaturk SY, 2005. Scour and scour protection at bridge abutment. Ph.D Thesis. Middle East Technical University.
- Khozaymehnezhad H, Ghomeshi M and Shafai bejestan M, 2012. Investigation of collar in different sizes and bed level as a bridge abutment scour countermeasure. Ecology Environment and Conservation 18(4): 963-966.
- Khozaymehnezhad H and Ghomeshi M, 2013. Comparison of symmetrical and unsymmetrical rectangular collars on scour reduction of bridge abutment. Middle East Journal of Scientific Research 18(8): 1099-1104.
- Li H, Kuhnle RA and Barkdoll BD, 2006. Countermeasures against scour at abutments. Report No. 49, USDA, Agricultural Research Service.
- Melville BW, 1992. Local Scour at Bridge Abutments. Journal of Hydraulic Engineering ASCE 118(4): 615-631.
- Monocad MAT, Aguirre-Pe J, Bolivar JC and Flores EJ, 2009. Scour protection of circular bridge piers with collars and slots. Journal of Hydraulic Research 47(1): 119-126
- Neill CR, 1973. Guide to bridge hydraulics. University of Toronto press, Toronto, Canada.
- Raudkivi A and Ettema R, 1983. Clear-water scour at cylindrical piers. Journal of Hydraulic Engineering 109(3): 338-350.
- Singh CP, Setia B and Verma DVS, 2001. Collar-sleeve combination as a scour protection device around a circular pier. Pp. 202-209. Proceedings of Theme D, 29th Congress on Hydraulics of Rivers, Water Works and Machinery, Chinese Hydraulic Engineering Society, September 16-21, Beijing, China.
- White FM, 1993. Fluid Mechanics. Fourth Edition. New York. Mc Graw Hill.
- Zarrati AR, Gholami H and Mashahir MB, 2004. Application of collar to control scouring around rectangular bridge piers. Journal of Hydraulic Research 42(1): 97-103.
- Zarrati AR, Nazariah M and Mashahir MB. 2006. Reduction of local scour in the vicinity of bridge pier groups using collars and riprap. Journal of Hydraulic Engineering ASCE 132(2): 154-162.