Archive of SID

مجله پژوهش آب ایران
جلد ۱۲/ شماره ۴/ پیاپی ۳۱/ زمستان ۱۳۹۷ (۱۳۱-۱۳۶)

یادداشت فنی

بررسی آزمایشگاهی الگوی جریان و آبشستگی پیرامون تکیه‌گاه پل با مقطع مستطیلی در شرایط نصب طوقه

حسین خزیمه‌نژاد[۱*] و مهدی قمشی[۲]

چکیده

تاکنون مطالعات زیادی در خصوص شناخت مکانیزم آبشستگی اطراف سازه‌های هیدرولیکی به‌خصوص پل‌ها انجام شده و روش‌هایی هم برای کنترل یا کاهش آبشستگی در اطراف آن‌ها مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفته‌اند. در زمینهٔ آبشستگی اطراف پل‌ها، تمرکز تحقیقات بیشتر بر روی پایه بوده است تا تکیه‌گاه؛ در حالی‌که بررسی آمار موجود بر روی شکست پل‌ها نشان می‌دهد که بیشتر مشکلات، مربوط به تکیه‌گاه بوده و بالطبع هزینه‌های بیشتری نیز در این بخش صرف شده است. یکی از روش‌های کاهش آبشستگی اطراف تکیه‌گاه، استفاده از طوقه است. در تحقیق حاضر، تأثیر ابعاد و تراز نصب طوقه بر کاهش آبشستگی پیرامون تکیه‌گاه مستطیلی مورد بررسی قرار گرفت. هم‌چنین، مؤلفه‌های سه‌بعدی سرعت جریان پیرامون تکیه‌گاه مجهز به طوقه با استفاده از سرعت‌سنج الکترومغناطیس تعیین شدند و برای الگوی جریان مورد استفاده قرار گرفتند.نتایج نشان داد که با افزایش ابعاد طوقه عملکرد آن بهبود می‌یابد؛ همچنین، نتایج حاکی از عملکرد بهتر طوقه‌های زیر بستر نسبت به طوقه‌های روی بستر و بالاتر از بستر است. بر اساس نتایج تحقیق حاضر جریان رو به‌پایین و گرداب‌های ایجادشده از عوامل اصلی آبشستگی پیرامون تکیه‌گاه بوده و طوقه با مهار جریان رو به پایین و مقاوم‌کردن بستر در مقابل گرداب‌های ایجادشده، نقش مؤثری در کاهش آبشستگی پیرامون تکیه‌گاه دارد.

واژه‌های کلیدی: الگوی جریان، آبشستگی، طوقه، تکیه‌گاه پل، مقطع مستطیلی.

ارجاع: خزیمه‌نژاد ح. و قمشی م. ۱۳۹۷. بررسی آزمایشگاهی الگوی جریان و آبشستگی پیرامون تکیه‌گاه پل با مقطع مستطیلی در شرایط نصب طوقه. ۳۱: ۱۳۱-۱۳۶.

۱- دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بیرجند.
۲- استاد گروه سازه‌های آبی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز.
*** نویسنده مسئول**: **hkhozeymeh@birjand.ac.ir**
تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۰۶/۲۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۰۹/۳۰

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

هرساله با وقوع سیلاب در رودخانه‌ها تعداد زیادی از پل‌ها، درست زمانی که بیشترین نیاز به آن‌ها وجود دارد، تخریب می‌شوند. یکی از مؤثرترین عوامل این تخریب‌ها، آبشستگی در محل پایه و تکیه‌گاه می‌باشد. مطابق گزارش سازمان راه‌داری و حمل و نقل جاده‌ای در سال ۱۳۹۱ میزان ۳۷ درصد خرابی پل‌های کشور ناشی از آبشستگی پایه‌های میانی و کناری آن می‌باشد (خادمی و همکاران، ۱۳۸۹).

الگوی جریان و فرایند آبشستگی اطراف تکیه‌گاه پل، یک پدیدهٔ پیچیده است که از اثر متقابل جریان آشفته سه‌بعدی در میدان اطراف تکیه‌گاه ناشی می‌شود و فرسایش رسوبات بستر را به دنبال دارد. تحقیقات در زمینهٔ فرایند آبشستگی در تکیه‌گاه پل‌ها توسط وانگ (۱۹۸۲)، کانداسمی (۱۹۸۹)، دانگل (۱۹۹۴) و بسیاری دیگر نشان داده است که فرایند آبشستگی در تکیه‌گاه پل‌ها بسیار شبیه به فرایند آبشستگی در پایه پل‌هاست؛ با این تفاوت که لایهٔ مرزی ناشی از دیوارهٔ کانال، وضعیت پیچیده‌تری را در جریان اطراف سازه نسبت به پایه‌های پل ایجاد می‌کند. دیدن الگوی جریان اطراف تکیه‌گاه با استفاده از تکنیک‌های متعددی توسط بسیاری از محققان، از جمله لیو (۱۹۶۱) و جیل(۱۹۷۰) انجام شده و در منابع مختلف به آن اشاره شده است. در خصوص کنترل یا کاهش آبشستگی پیرامون پایه و تکیه‌گاه پل‌ها نیز مطالعاتی انجام و روش‌های متعددی پیشنهاد شده است که در مواردی نیز جنبهٔ اجرایی پیدا کرده‌اند؛ یکی از روش‌های کاهش آبشستگی پیرامون پایه و تکیه‌گاه پل‌ها استفاده از طوقه است. در بخش پایه‌های پل و نیز تأثیر طوقه بر کاهش آبشستگی پیرامون آن، پژوهشگران متعددی در داخل و خارج از کشور مطالعاتی را انجام داده و نتایجی را به‌صورت رابطه یا نمودار ارائه داده‌اند (خزیمه‌نژاد، ۱۳۹۱). کایاترک (۲۰۰۵) تأثیر طوقه بر توسعهٔ زمانی آبشستگی در اطراف تکیه‌گاه‌های جانبی پل‌ها را مورد مطالعه قرار داد. نتایج وی نشان داد که طوقه، مانع فرسایش ذرات رسوبی توسط جریان پایین‌رونده می‌شود. در تحقیق دیگری نیز خزیمه‌نژاد و همکاران (۱۳۹۱) عملکرد طوقه‌های متقارن و نامتقارن را هنگامی که طوقه در بستر نصب می‌شود، در کاهش آبشستگی موضعی پیرامون تکیه‌گاه پل مورد بررسی و مقایسه قرار دادند. نتایج نشان داد، طوقهٔ نامتقارن هنگامی که عرض بالادست آن نسبت به پایین‌دست بزرگ‌تر باشد، نسبت به طوقهٔ هم‌مساحت خود عملکرد بهتری را نشان داده و در حالت عکس، طوقه متقارن مؤثرتر عمل نمود. در تحقیق حاضر، تأثیر ابعاد طوقه و تراز نصب آن بر کاهش آبشستگی پیرامون تکیه‌گاه مستطیلی مورد بررسی قرار گرفت و الگوی آبشستگی پیرامون تکیه‌گاه در حالت با/ بی طوقه تعیین شد؛ همچنین، الگوی جریان پیرامون تکیه‌گاه مجهز به طوقه با استفاده از سرعت‌سنج الکترومغناطیس تعیین و ترسیم شد و نقش طوقه در کاهش عوامل مؤثر بر میزان و توسعهٔ آبشستگی مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

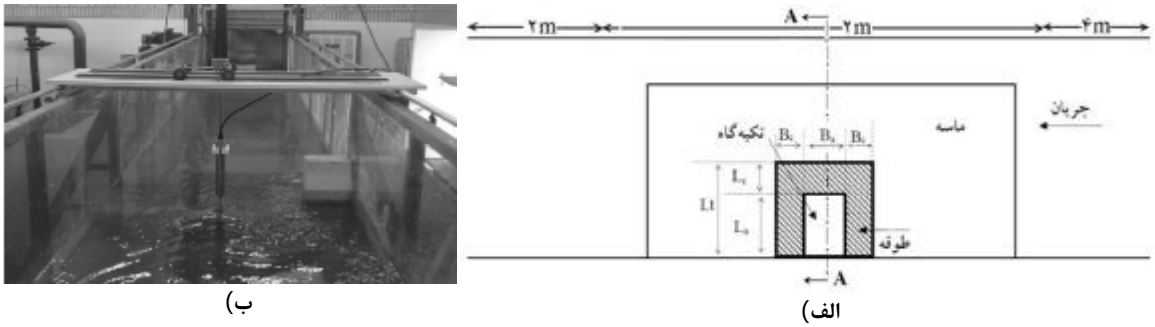
آزمایش‌های این تحقیق در فلومی به طول ۸ متر، عرض ۱ متر، ارتفاع ۰/۶ متر و شیب ثابت ۰/۰۰۰۳ در آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه شهید چمران انجام شد. دیواره‌های کانال از جنس پلکسی‌گلاس و به ضخامت یک سانتی‌متر تشکیل شده‌اند. در فاصلهٔ ۴ متری از ابتدای فلوم یک باکس فلزی قرار گرفته که طول، عرض و ارتفاع آن به ترتیب حدود ۲، ۰/۷ و ۰/۳ متر می‌باشد. این باکس از یک نمونه رسوب یکنواخت دارای انحراف معیار هندسی ۱/۲، چگالی ۲/۶۵ و قطر متوسط ۰/۷۶ میلی‌متر پر شده است؛ به نحوی که پس از پرشدن در تراز بستر کانال قرار می‌گیرد. آب از طریق پمپ از مخزن زیرزمینی آزمایشگاه پمپاژ شده و به قسمت ابتدایی فلوم که بخش آرام‌کننده می‌باشد، هدایت می‌شود. در انتهای فلوم، دریچهٔ کنترل برای تنظیم عمق در رقوم موردنظر قرار دارد. سپس، آب وارد حوضچهٔ آرامش می‌شود. در انتهای حوضچهٔ آرامش، سریز مثلثی ۵۳ درجهٔ استانداردی قرار دارد که دبی جریان توسط آن اندازه‌گیری می‌شود. 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 می‌باشد.

کلیهٔ آزمایش‌های تحقیق حاضر در شرایط آب زلال انجام شد. آزمایش‌ها در دبی ۰/۰۴ مترمکعب بر ثانیه و عدد فرود ۰/۲۲ انجام شد (در این عدد فرود سرعت جریان برابر ۹۵ درصد سرعت آستانه حرکت بود و در سرعت آستانه حرکت نیز بیشترین میزان آبشستگی اتفاق

www.SID.ir

Archive of SID

می‌افتد). در این تحقیق از تکیه‌گاه مستطیلی با جنس ورق گالوانیزه و مؤلفهٔ طول بی‌بعد (B_c/L_a) ۰/۶، ۰/۷۵، ۱، ۱/۲۴ و ۱/۵۶ استفاده گردید. طوقه‌های استفاده‌شده از جنس پلکسی‌گلاس و به ضخامت ۳ میلی‌متر انتخاب شدند. در شروع هر آزمایش، ابتدا فلوم با نرخ کم جریان پر شد؛ این امر به این دلیل است که جلوی فرسایش ناشی از جریان در ابتدای آزمایش گرفته شود؛ سپس، دبی آب به آرامی زیاد می‌شود تا به دبی موردنظر برسد. پس از تنظیم دبی توسط سرریز مثلثی، به وسیلهٔ دریچه کنترل، آب در عمق موردنظر، یعنی ۰/۱۵ متر قرار می‌گیرد. سپس، آزمایش تا مدت زمان تعیین‌شده ادامه پیدا می‌کند و پس از اتمام آزمایش، آب به آرامی از فلوم خارج می‌شود. در انتها، حداکثر عمق آبشستگی و الگوی رسوب‌گذاری ایجادشده در اطراف تکیه‌گاه به وسیله متر لیزری برداشت می‌شود. در بخش آزمایش‌های مربوط به تعیین الگوی جریان، مجدداً بر روی تکیه‌گاه با نسبت عرض به طول ۰/۶ (که بالاترین میزان آبشستگی روی داد) دو آزمایش در همان زمان و شرایط آزمایش‌های قبلی یکی در حالت نصب و دیگری بدون طوقه انجام و بستر رسوبی با استفاده از دوغاب سیمان تثبیت شد. و پس از تثبیت بستر، جریان با همان شرایط در فلوم برقرار و در نقاط مختلف پیرامون تکیه‌گاه، مؤلفه‌های سه‌بعدی سرعت با استفاده از دستگاه سرعت‌سنج الکترومغناطیس برداشت شدند و برای رسم و بررسی الگوی جریان مورد استفاده قرار گرفتند. در شکل ۱، شماتیک ساده‌ای از مقطع آزمایش و نحوهٔ اندازه‌گیری سرعت نشان داده شده است.



ب) الف)

شکل ۱- الف) شماتیک ساده‌ای از مقطع آزمایش، ب) نحوهٔ اندازه‌گیری سرعت

نتایج و بحث

آزمایش‌های بدون حضور طوقه

در این مرحله ابتدا یک آزمایش، به مدت زمان ۱۳ ساعت انجام شد. تکیه‌گاه در این آزمایش دارای طول ۲۰ و عرض ۱۲ سانتی‌متر (طول بی‌بعد ۰/۶) بود. در طول مدت آزمایش در زمان‌های مختلف عمق آبشستگی در نقطه مبنا (گوشه بالادست تکیه‌گاه که بیشترین میزان عمق آبشستگی در این نقطه اتفاق می‌افتاد) برداشت شد. در تحقیق حاضر فرض بر این بود که ۹۹ درصد عمق تعادل آبشستگی (عمق نهایی آبشستگی) در مدت زمان ۱۳ ساعت (انتخاب این زمان به دلیل محدودیت آزمایشگاه بود) اتفاق می‌افتد. در این صورت، حدود ۹۱ درصد عمق تعادل آبشستگی در مدت زمان ۵ ساعت اتفاق می‌افتد و با توجه به اینکه هدف در تحقیق حاضر، بررسی تأثیر ابعاد طوقه‌های مختلف و همچنین تأثیر تراز نصب طوقه می‌باشد و این هدف با مقایسهٔ نتایج آزمایش‌های مختلف فراهم می‌شود؛ بنابراین، مدت زمان ۵ ساعت به‌عنوان زمان آزمایش برای تمامی آزمایش‌ها انتخاب شد. بنابراین، یک آزمایش شاهد دیگر برای مقایسه و تعیین عملکرد طوقه در زمان ۵ ساعت انجام شد. همچنین، ۴ آزمایش شاهد دیگر نیز بر روی تکیه‌گاه با سایر ابعاد انجام شد.

آزمایش‌های مربوط به تأثیر ابعاد و تراز نصب طوقه

در این بخش، ۲۰ آزمایش انجام گردید. عرض بی‌بعد طوقه (B_c/L_a) ثابت و برابر ۰/۵ در نظر گرفته شد و برای طول بی‌بعد طوقه (L_c/L_a) چهار مقدار ۰/۲۵، ۰/۳۷۵، ۰/۵ و ۰/۷۵ انتخاب شد. طوقه‌های مذکور در ۵ تراز بی‌بعد (Z_c/y) برابر ۰/۲-، ۰/۱-، ۰ ، ۰/۱ و ۰/۲ مورد بررسی و مقایسه قرار گرفتند. ترازهای بی‌بعد با علامت مثبت مربوط به طوقه‌های بالای بستر و ترازهای بی‌بعد منفی مربوط به طوقه‌های زیر بستر می‌باشد. نتایج مربوط به این بخش از آزمایش‌ها در شکل ۲ نشان داده شده است.

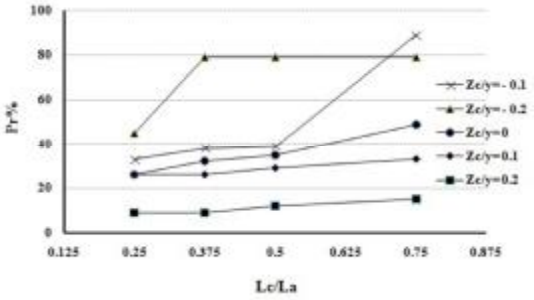
www.SID.ir

Archive of SID

در شکل ۲، مؤلفهٔ *Pr*، عملکرد طوقه (درصد کاهش عمق آبشستگی) می‌باشد که مقدار آن با توجه به معادله (۱) قابل محاسبه است:

$$\Pr = (y_s - y_{sc}) / y_s \times 100 \qquad (۱)$$

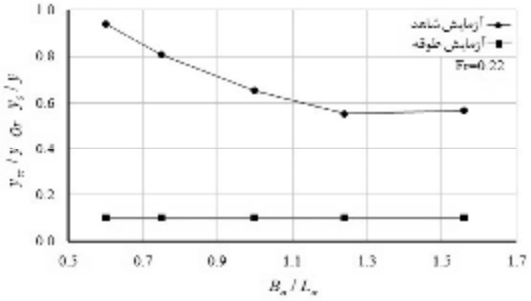
در معادله (۱)، y_s، عمق آبشستگی در آزمایش شاهد و y_{sc}، عمق آبشستگی در حالت نصب طوقه می‌باشد. طوقه با نسبت طول بی‌بعد ۰/۷۵ که در تراز بی‌بعد ۰/۱- نصب شده بود، بالاترین میزان عملکرد را نشان داد که برابر ۸۹ درصد بود. رسوبات زیر این طوقه کاملاً به وسیله طوقه محافظت شدند. عملکرد این طوقه به عنوان مناسب‌ترین طوقه (طوقهٔ بهینه) در بخش بعد پیرامون تکیه‌گاه با ابعاد مختلف مورد بررسی قرار گرفت و همین‌طور در بخش آخر آزمایش‌ها الگوی جریان پیرامون تکیه‌گاه در حالت نصب مناسب‌ترین طوقه تعیین شد.



شکل ۲- تأثیر ابعاد و تراز نصب طوقه بر عملکرد آن

آزمایش‌های مربوط به تأثیر ابعاد تکیه‌گاه بر عملکرد مناسب‌ترین طوقه

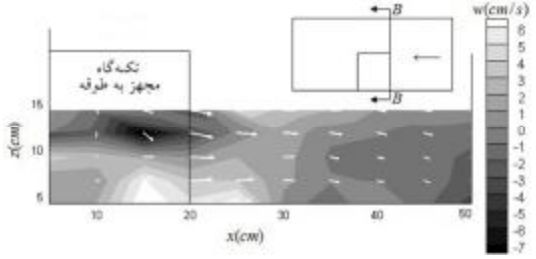
در این مرحله از آزمایش‌ها، با انجام ۴ آزمایش، مناسب‌ترین طوقه، با تغییر در ابعاد تکیه‌گاه مورد ارزیابی قرار گرفت. مدت زمان این بخش از آزمایش‌ها، ۵ ساعت و عدد فرود جریان برابر ۰/۲۲ بود. طوقه، عملکرد مشابهی را در این آزمایش‌ها از خود نشان داد؛ به‌طوری که در همان ابتدا رسوبات روی طوقه شسته شد و پس از آن تا انتهای آزمایش‌ها، رسوبات منطقهٔ زیر طوقه توسط آن محافظت شد یا به عبارت دیگر، عمق بی‌بعد آبشستگی در نقطهٔ مبنا y_{sc}/y در همهٔ آزمایش‌های این بخش برابر ۰/۱ بود که در حقیقت، همان ترازی است که طوقه در آن تراز نصب شده بود. همچنین، نحوهٔ رسوب‌گذاری و فرسایش نیز از الگوی مشابهی تبعیت می‌کرد با این تفاوت که با افزایش طول بی‌بعد تکیه‌گاه تا عدد یک، ابعاد منطقهٔ تحت تأثیر فرسایش و رسوب‌گذاری کوچک‌تر می‌شد؛ این روند تا طول بی‌بعد ۱ ادامه پیدا می‌کند و پس از آن در دو تکیه‌گاه دارای طول بی‌بعد ۱/۲۴ و ۱/۵۶ منطقهٔ تحت تأثیر فرسایش و رسوب‌گذاری ابعاد ثابتی پیدا می‌کند. در شکل ۳، تأثیر ابعاد تکیه‌گاه در میزان آبشستگی در نقطهٔ مبنا در آزمایش‌های شاهد و مناسب‌ترین طوقه در عدد فرود ۰/۲۲ نشان داده شده است.



شکل ۳- تأثیر ابعاد تکیه‌گاه در میزان آبشستگی در نقطهٔ مبنا در آزمایش‌های شاهد و مناسب‌ترین طوقه

آزمایش‌های مربوط به تعیین الگوی جریان پیرامون تکیه‌گاه در حالت نصب مناسب‌ترین طوقه

در این تحقیق، الگوی جریان پیرامون تکیه‌گاه در شرایط با/ بی طوقه در نیمرخ‌های مختلف با استفاده از نرم‌افزار "تک‌پلات" ترسیم شد که نمونه‌ای از آن در شکل ۴ نشان داده شده است.



شکل ۴- الگوی جریان پیرامون تکیه‌گاه در حالت نصب مناسب‌ترین طوقه

مطابق شکل ۴، جریان نزدیک سطح آب، رو به پایین حرکت می‌کند و در نزدیک بستر پس از برخورد به کف به سمت بالا برمی‌گردد؛ به عبارتی، گرداب اولیه شکل می‌گیرد. جریان رو به پایین و گرداب اولیه از عوامل اساسی شروع و توسعهٔ آبشستگی پیرامون تکیه‌گاه پل هستند. جریان رو به پایین، پس از برخورد با بستر، آن را حفر کرده و به جهات مختلف پراکنده می‌کند. مقداری از

www.SID.ir

Archive of SID

این جریان که رو به سمت بالادست برمی‌گردد، در برخورد با جریان عمومی مجبور به حرکت در جهت جریان می‌شود. این چرخش جریان و بازگشت مجدد آن، باعث گرداب نعل اسبی (گرداب اولیه) می‌شود. بنابراین، حرکت جریان رو به پایین، باعث ایجاد حفره‌ای در قسمت جلوی تکیه‌گاه می‌شود و با تشکیل این حفره، گرداب اولیه در آن تشکیل می‌شود؛ گرداب اولیه هم به سبب واردکردن تنش به کف و نیروی بالابرنده به ذرات کف، باعث جداشدن ذرات از کف بستر می‌شود و آن‌ها را در اختیار جریان عمومی آبراهه، قرار می‌دهد تا به سمت پایین‌دست حمل شوند. وجود طوقه مانند یک سپری در مقابل جریان رو به پایین عمل می‌کند. طوقه‌هایی که در سطح بستر یا زیر سطح بستر نصب می‌شوند، در صورت داشتن ابعاد مناسب باعث می‌شوند گرداب اولیه کمترین تماس را با بستر پیرامون تکیه‌گاه داشته باشد و مدت زیادی آبشستگی را به تعویق می‌اندازند. در مواردی که طوقه ابعاد مناسبی نداشته باشد، گرداب اولیه رسوبات اطراف طوقه را شسته و به زیر تکیه‌گاه نفوذ می‌کند و باعث آبشستگی می‌شود که البته آبشستگی ایجادشده نسبت به حالت بدون طوقه با تأخیر همراه خواهد بود. در مواردی که طوقه بالاتر از سطح بستر نصب می‌شود، به دلیل حرکت بخشی از جریان اصلی کانال در زیر طوقه، یک جریان رو به پایین و به تبع آن گرداب اولیه، البته به صورت ضعیف‌تری، شکل خواهد گرفت که طوقه نقش زیادی در کنترل آن و کاهش آبشستگی ناشی از آن ندارد؛ مخصوصاً هنگامی که طوقه فاصلهٔ زیادی تا سطح بستر دارد. به همین دلیل، طوقه‌های بالای بستر عملکرد خوبی در کاهش آبشستگی ندارند. در تحقیق حاضر، آزمایش تعیین مؤلفه‌های سه‌بعدی و رسم الگوی جریان اطراف طوقه‌ای صورت گرفت که در زیر سطح بستر نصب شده بود و با وجود شسته‌شدن رسوبات روی آن در همان دقایق ابتدایی آزمایش، رسوبات زیر طوقه تا پایان زمان آزمایش‌ها توسط طوقه محافظت شدند. بنابراین، طوقه صرفاً نقش یک سپر را در مقابل جریان رو به پایین و جلوگیری از تماس گرداب اولیه با بستر پیرامون تکیه‌گاه بر عهده داشت و باعث شد گرداب اولیه ضمن کاهش شدت، به روی طوقه منتقل شود و تنش ناشی از گرداب متوجه بستر نباشد. در قسمت پایین‌دست تکیه‌گاه نیز جریان‌های روبه‌بالا در هر دو وضعیت آزمایش شاهد و طوقه مشاهده شد که نشان از وجود گرداب‌های برخاستگی می‌باشد و تپه‌های رسوبی نهشته‌شده در پایین‌دست تکیه‌گاه نیز متأثر از همین گرداب‌ها هستند.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق با استفاده از مدل آزمایشگاهی و سرعت‌سنج سه‌بعدی الکترومغناطیس، علاوه بر بررسی تأثیر ابعاد و تراز نصب طوقه و ارائه نمودارهای کاربردی، الگوی جریان پیرامون تکیه‌گاه مستطیلی مجهز به طوقه بررسی و ترسیم گردید. نتایج نشان داد افزایش ابعاد طوقه و همین‌طور کاهش تراز نصب آن بر عملکرد طوقه می‌افزاید؛ همچنین، نتایج این تحقیق مؤید نقش مؤثر طوقه در کنترل جریان رو به پایین و گرداب اولیه پیرامون تکیه‌گاه می‌باشد.

منابع

۱. خادمی خ. خزیمه‌نژاد ح و شفاعی‌بجستان م. ۱۳۸۹. برداشت بی‌رویه مصالح رودخانه‌ای در استان خوزستان یکی از عوامل اصلی آبشستگی پای پل‌های بزرگ. سومین همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی، ۱ و ۲ اسفند، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز. ۷ ص.

۲. خزیمه‌نژاد ح. قمشی م. و خادمی خ. ۱۳۹۱. بررسی و مقایسه عملکرد طوقه‌های متقارن و نامتقارن در کاهش آبشستگی موضعی پیرامون تکیه‌گاه پل. نهمین سمینار بین‌المللی مهندسی رودخانه، ۳ بهمن، اهواز، دانشگاه شهید چمران اهواز. ۱۰ ص.

1. Dongol D. M. S. 1994. Local scour at bridge abutments. Report No. 544, University of Auckland, School of T. Engineering, Department of Civil Engineering Private Bag, Auckland, New Zealand.
2. Gill M. A. 1970. Bed erosion around obstructions in rivers. PhD thesis, The University of London (Imperial College of Science and Technology). 206 p.
3. Kandasamy J. K. 1989. Abutment scour. Rep. No. 458, School of Engrg., University of Auckland, Auckland, New Zealand.
4. Kayaturk S. Y. 2005. Scour and scour protection at bridge abutment. PHD. Thesis, Middle East Technical University. 239 p.

www.SID.ir

Archive of SID

5. Liu M. K. Chang F. M. and Skinner M. M. 1961. Effect of bridge construction on scour and backwater. Report No. CER60-HKL22, Department of Civil Engineering, Colorado State University, Fort Collins, Colorado.
6. Wong W. H. 1982. Scour at Bridge Abutments. Report No. 275, Dept. of Civil Engineering, University of Auckland, Auckland, New Zealand.

www.SID.ir