

بررسی گستره‌ی کارگزاری المان‌های شش پایه به منظور کاهش آبستگي اطراف تکیه‌گاه پل

سارا محمدپور^۱ و محمود شفاعي بيجستان^{۲*}

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز.

۲* - نویسنده مسئول، استاد گروه سازه‌های آبی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز. m_shafai@yahoo.com

تاریخ پذیرش: ۹۴/۸/۱۱

تاریخ دریافت: ۹۴/۳/۱۰

چکیده

آبستگي یک پدیده طبیعی است که ناشی از عمل فرسایشی میدان جریان در آبراهه‌های آب‌رفتی می‌باشد. شکست پل ناشی از آبستگي کلی در پایه و تکیه‌گاه پل، ضرورت مطالعه در مورد پیش‌بینی آبستگي و راه‌های محافظت در برابر آن را کاملاً روشن می‌سازد. یکی از راه‌های کاهش آبستگي استفاده از المان‌های شش پایه (A-JACKS) اطراف تکیه‌گاه می‌باشد. در این پژوهش به بررسی تأثیر سازه موسوم به المان‌های شش پایه بر کنترل حداکثر عمق آبستگي تکیه‌گاه پل و همچنین بررسی گستره‌ی کارگزاری المان‌های شش پایه به منظور حفاظت تکیه‌گاه پل در مقابل آبستگي پرداخته شده است. آزمایشات برای اعداد فرود ۰/۱۸، ۰/۲۰۸، ۰/۲۳۵ و ۰/۲۵ و در چهار گستره‌ی کارگزاری (W) ۴، ۶/۵، ۸/۵ و ۱۰/۶ سانتی‌متری انجام شد. در اعداد فرود ۰/۱۸ و ۰/۲۰۸ گستره‌ی دو ردیفه (W2)، سه ردیفه (W3) و چهار ردیفه (W4)، صد درصد آبستگي را کاهش دادند. در عدد فرود ۰/۲۳۵ گستره‌ی سه ردیفه (W3) و گستره‌ی چهار ردیفه (W4) صد درصد آبستگي را کاهش داده و در عدد فرود ۰/۲۵ گستره‌ی چهار ردیفه (W4) ۸۹/۵۵ درصد آبستگي را کنترل می‌کند. در مقایسه عملکرد دو گستره حداکثر المان‌های شش پایه یعنی W3 و W4 در عدد فرود حداکثر مشاهده شد که تنها ۷/۴۷ درصد در میزان کاهش آبستگي اختلاف دارند و در دو عدد فرود ۰/۱۸ و ۰/۲۰۸ عملکردی کاملاً مشابه یکدیگر دارند. در نتیجه می‌توان گفت که استفاده از گستره‌ی W3 بهینه‌ترین حالت کارگزاری المان‌ها حول تکیه‌گاه است زیرا عملکردی نزدیک به W4 دارد ولی هزینه و زمان ساخت آن کمتر است.

کلیدواژه‌ها: آبستگي، المان‌های شش پایه، گستره کارگزاری، تکیه‌گاه پل، آب زلال.

Investigation of The Area of Around Bridge Abutment by A-Jacks to Protect Against Scour

S. Mohammadpour¹ and M. Shafai Bejestan^{2*}

1- M.Sc Student of Water Structures, Faculty of Water Sciences Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran.

2* - Corresponding Author, Professor, Faculty of Water Sciences Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran.

Received: 31 May 2015

Accepted: 2 November 2015

Abstract

Scouring is a natural phenomenon that arises from the erosive action of flow field in the alluvial streams. Bridge failure caused by fully scouring of the piers and abutment makes completely clear the necessity of investigating in the case of scour prediction and ways to protect against it. One of the ways to reduce scour is utilizing the six-based elements (A-JACKS) around the abutment. In this study, the impact of the structure known as six-based elements on the control of the maximum scour depth of the bridge abutment was investigated as well as the scope of locating the six-based elements in order to safeguard the bridge abutment in front of the scour has been studied. The tests were performed with Froude numbers of 0.18, 0.208, 0.235, and 0.25 and in 4 placement scopes (W) of 4, 6.5, 8.5 and 10.6 cm. The scour was decreased one hundred percent in the Froude numbers of 0.18 and 0.208, and scopes of two-row (W2), three-row (W3) and four-row (W4). Froude number of 0.235 and scopes of three-row (W3) and four-row (W4) reduced fully the scour and the Froude number of 0.25 and scope range of four-row (W4)

controlled 98.55% of the scour. In comparison with the performance of two scopes, the maximum six-based elements namely W3 and W4 were observed in the maximum Froude number that only have 7.47% difference in the reduction rate of the scour and have completely the same performance in the two Froude numbers of 0.18 and 0.208. In conclusion, it can be stated that the use of W3 range is most optimal mode of replacing elements around the abutment, because it has approximate performance to W4, but the cost and time of its construction is low.

Keywords: A- Jacks Six Legged Elements, Palement Area, Bridge abutment, Clear water.

مقدمه

رودخانه‌ها شریان‌های حیاتی هر کشوری محسوب می‌شوند. تأسیسات زیادی از جمله پل‌ها، ایستگاه‌های پمپاژ، جاده‌ها، ساختمان‌های مسکونی و دیگر سازه‌ها در کنار رودخانه ساخته می‌شوند. از طرفی رودخانه‌ها دارای مصالح آبرفتی می‌باشند که در اثر جریان آب ممکن است فرسایش یابند. فرسایش ممکن است در بستر رودخانه اتفاق افتد که باعث تعمیق رودخانه و در نهایت ناپایداری سواحل می‌گردد. فرسایش ممکن است در بدنه رودخانه‌ها باعث ناپایداری سواحل گردد. ذرات بستر ممکن است در اثر شرایط الگوی خاص جریان در یک محل خاصی شروع به حرکت کنند که آبستگي نامیده می‌شود. تخریب پل به دلیل آبستگي کلی در پایه و تکیه‌گاه پل، ضرورت مطالعه در مورد راه‌های محافظت پل در برابر آبستگي را روشن می‌سازد. در مورد تکیه‌گاه‌ها آمار نشان می‌دهد که از ۳۸۳ پل که در آمریکا تخریب شده‌اند، ۷۲ درصد علل تخریب، مربوط به آبستگي تکیه‌گاه بوده است. ۷۰ درصد هزینه‌های شکست پل در نیوزیلند ناشی از آبستگي تکیه‌گاه پل بوده است (رمضانی و همکاران ۱۳۹۳). در داخل کشور هم مطابق گزارش سازمان راه‌داری و حمل‌ونقل جاده‌ای در سال ۱۳۹۱ میزان ۳۶ درصد خرابی پل‌های کشور ناشی از آبستگي پایه‌های میانی و کناری آن می‌باشد (خادمی و همکاران، ۱۳۸۹). با توجه به اهمیت پل‌ها در زمینه نقل‌وانتقال بار و مسافر، ضروری است تا تمهیداتی به منظور کاهش آبستگي یا تثبیت بستر اطراف تکیه‌گاه و پایه پل‌های موجود به عمل آید. روش‌های زیادی برای کاهش میزان آبستگي و مهار آن مورد استفاده و بررسی قرار گرفته است. این روش‌ها به دو گروه کلی تقسیم می‌شوند؛ گروه اول افزایش مقاومت بستر مانند ریختن ریپ رپ و یا استفاده از آرمورینگ (قطعات پیش‌ساخته بین‌یو) و یا گایون در اطراف تکیه‌گاه و پایه پل و گروه دوم تغییر الگوی جریان در اطراف تکیه‌گاه پل با تغییر در هندسه تکیه‌گاه و ایجاد موانع در مسیر جریان. مانند استفاده از آب‌شکن محافظ، طوقه، صفحه مستغرق و گروه شمع. (جانسون و همکاران^۱، ۲۰۰۱). استفاده از ریپ رپ یکی از متداول‌ترین روش‌ها جهت حفاظت سواحل و بستر رودخانه می‌باشد که در این رابطه می‌توان به مطالعات زیر اشاره کرد. منصوری هفشجانی و شفافی بجستان

(۱۳۹۰) به بررسی کنترل آبستگي تکیه‌گاه پل در قوس رودخانه با استفاده از سنگچین پرداخته‌اند. بر اساس تجزیه و تحلیل نتایج به دست آمده روابط مناسب با درصد خطای ۵/۸ درصد و ضریب همبستگی ۰/۹۷ به منظور تخمین اندازه‌ی مناسب قطر سنگچین در محل تکیه‌گاه پل واقع در قوس رودخانه استخراج کردند. منصوری هفشجانی و شفافی بجستان (۱۳۹۲) در مقایسه تأثیر سه رقوم قرارگیری سنگچین بر پایداری آن در محل تکیه‌گاه پل واقع در قوس ۹۰ درجه بر اساس آستانه حرکت ذرات سنگچین دریافتند که سنگچین هم‌تراز با بستر بیشترین میزان پایداری و سنگچین بالاتر از بستر کمترین میزان پایداری را دارند. زراتی و همکاران^۲، (۲۰۰۶) درباره‌ی کاهش آبستگي در محل احداث گروه پایه‌های پل با استفاده از ترکیب سنگچین و طوق، نشان دادند که، استفاده از ترکیب سنگچین و طوق پیوسته باعث کاهش آبستگي در جلو و پشت پایه‌ها به ترتیب به میزان ۵۰ و ۶۰ درصد شده است. ریچاردسون و دیویس^۳ (۱۹۹۵) در بررسی گستره مناسب ریپ رپ حول تکیه‌گاه، مقدار $W=2d$ را بهترین گستره ریپ رپ برای حفاظت تکیه‌گاه و همچنین مقاومت در برابر شکست لبه بیان کرد. ملویل و همکاران^۴ (۲۰۰۶) در یک مطالعه آزمایشگاهی به بررسی روش‌های مقابله با آبستگي تکیه‌گاه پل پرداختند. دو نوع روش مقابله با آبستگي دماغه یعنی ریپ رپ و بلوک‌های متصل را بررسی کردند. همچنین وسعت کارگزاری کف بند نیز بررسی شد. نتیجه گرفتند که این روش‌ها تأثیر اساسی بر روی کاهش عمق و وسعت حفره آبستگي ندارند و فقط باعث انحراف حفره آبستگي از دماغه تکیه‌گاه شده و از این طریق پل را از تخریب نجات می‌دهند. همچنین دریافتند که با افزایش وسعت کف بند چاله آبستگي مربوط به تکیه‌گاه قرار گرفته در دشت سیلابی از تکیه‌گاه فاصله گرفته و اندازه آن کاهش می‌یابد. نتیجه دیگر اینکه زمانی که از بلوک‌های متصل استفاده می‌شود حفره آبستگي عمیق‌تر و وسیع‌تر است نسبت به زمانی که از ریپ رپ استفاده شود زیرا در حالت استفاده از ریپ رپ به علت پدیده شکست لبه سنگ‌های ریپ رپ به درون حفره آبستگي سقوط می‌کنند که این امر باعث کاهش عمق آبستگي می‌شود. کاردوسو و فائل^۵ (۲۰۰۹)

2 - Zarrati *et al.*

3 - Richardson and Davis

4 - Melville *et al.*

5 - Cardoso and Fael

1 - Johnson *et al.*

شش پایه بر کنترل عمق آبشستگی تکیه‌گاه پل پرداخته شده است.

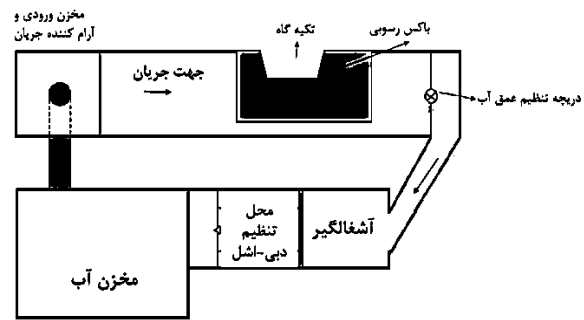
مواد و روش‌ها

در این پژوهش آزمایش‌ها در فلومی به طول ۱۰ متر و عرض ۱ متر و ارتفاع ۰/۶ متر و شیب ثابت ۰/۰۰۰۳ در آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه شهید چمران اهواز انجام گرفت (شکل ۱). تکیه‌گاه از نوع بالی و از جنس ورق فلزی و با طول ۱۴ سانتی‌متر و عرض ۴۶ سانتی‌متر و ارتفاع ۲۵ سانتی‌متر استفاده شد. دبی ورودی با استفاده از شیر ورودی تنظیم شده و به وسیله یک سرریز V شکل اندازه‌گیری شد. عمق جریان نیز با استفاده از دریچه انتهایی قابل تنظیم بود. آزمایش‌ها در شرایط آب زلال و با استفاده از یک نوع ذره رسوبی یکنواخت که D_{50} (متوسط اندازه رسوب) آن برابر ۰/۶۶ میلی‌متر بود انجام شدند. انتخاب این اندازه به این دلیل بود که سرعت آستانه حرکت رسوبات با کاهش قطر آن‌ها کاهش پیدا می‌کند و نیز کاهش قطر ذرات رسوبی باعث می‌شود که حفره آبشستگی در زمان کمتری به تعادل برسد.

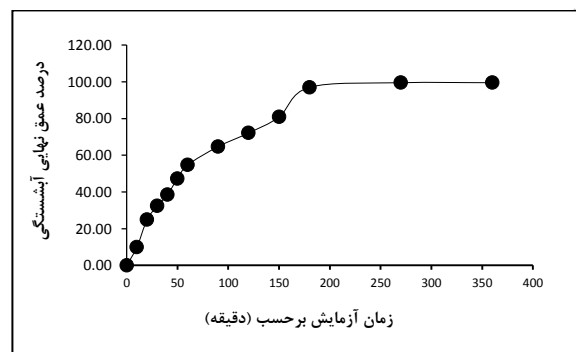
در آزمایش‌های اولیه مدت‌زمان هر آزمایش دوازده ساعت منظور شد و منحنی تغییرات عمق آبشستگی در مقابل زمان ترسیم گردید. (شکل ۲). در آزمایش‌های بعدی زمان آزمایش به مدت پنج ساعت نیز اجرا شد و طبق مشاهدات حداکثر عمق آبشستگی پس از گذشت پنج ساعت تقریباً ۹۵ درصد حداکثر عمق آبشستگی بازماند دوازده ساعت بود. در نتیجه زمان آزمایش‌هایی که برای این تحقیق در نظر گرفته شد، پنج ساعت بود و تمام آزمایش‌ها با این مدت‌زمان اجرا شد. آزمایش‌ها برای چهار عدد فرود ۰/۱۸، ۰/۲۰۸، ۰/۲۳۵ و ۰/۲۵ که V/V_c (نسبت سرعت متوسط جریان به سرعت بحرانی ذرات رسوب) در آن‌ها به ترتیب ۰/۶۵، ۰/۷۵، ۰/۸۵ و ۰/۹ بود، در عمق ثابت ۱۲ سانتی‌متر در دو مرحله انجام شد. آزمایش‌ها مرحله اول بدون حضور المان‌های شش پایه یا همان آزمایش‌های شاهد و آزمایش‌های مرحله دوم با حضور المان‌های شش پایه و در چهار گستره‌ی کارگزاری با شعاع‌های مشخص شده در جدول (۱) انجام شد. المان‌های شش پایه که نمای ظاهری آن در شکل (۳) نشان داده شده است، برای حفاظت پایه و تکیه‌گاه‌های پل، به‌ویژه در کشور آمریکا مورد استفاده قرار می‌گیرد. المان‌های شش پایه از جنس بتن بوده و با مقیاس ۱۲/۱ ساخته شدند. المان‌های شش پایه را می‌توان با سه آرایش متفاوت در کنار یکدیگر قرارداد. انواع آرایش المان‌ها عبارتند از: آرایش باز، آرایش نیمه متراکم و آرایش متراکم. در این تحقیق المان‌ها با آرایش متراکم در اطراف تکیه‌گاه قرار گرفتند که نمونه‌ای از آن در شکل (۴) مشاهده می‌شود. مشخصات المان‌های شش پایه استفاده شده در آزمایش‌ها نیز در جدول (۲) نشان داده شده است.

ریپ رپ را به‌عنوان یک محافظ تکیه‌گاه با دیوار عمودی در مقابل آبشستگی مورد بررسی قراردادند. از جمله اهداف آن‌ها تعیین گستره‌ی مناسب بود و دریافتند که پیشنهادات ملویل و همکاران در سال (۲۰۰۶) محافظه کارانه بوده و منجر به ایجاد پوششی عریض در اطراف تکیه‌گاه می‌شود. اما این دو مطالعه باهم قابل مقایسه نیستند زیرا اولاً شکل تکیه‌گاه متفاوت بوده و ثانیاً کاردوسو آزمایش‌ها خود را با بلوک‌هایی که روی پارچه‌هایی که به‌عنوان فیلتر بودند انجام داده بود. همچنین تاثیر ناشی از مقیاس نادیده گرفته شده بود. کاردوسو و همکاران (۲۰۱۰) حفاظت دماغه تکیه‌گاه با دیوارهای عمودی در برابر آبشستگی را بررسی کردند. هدف از این تحقیق طراحی پوشش ریپ رپ به‌منظور حفاظت تکیه‌گاه از آبشستگی در شرایط آب زلال بود. به این منظور به بررسی گستره ریپ رپ و هندسه حفره آبشستگی پرداختند. آن‌ها دریافتند که با افزایش طول تکیه‌گاه فاصله بین نقطه حداکثر آبشستگی و تکیه‌گاه افزایش می‌یابد و نیز زاویه موقعیت عمیق‌ترین نقطه آبشستگی نزدیک ۳۰ درجه بود. شکل تکیه‌گاه و انقباض جریان تأثیری در میزان حداقل پوشش ریپ رپ حول تکیه‌گاه ندارد. همچنین مطالعاتی پیرامون سایر روش‌های کاهش و کنترل آبشستگی تکیه‌گاه پل انجام شده است. قمشی و عالم (۱۳۹۰) کاربرد طوق در کاهش آبشستگی تکیه‌گاه مستطیلی پل در کانال مرکب را بررسی کردند، 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 ۹۴ درصد می‌باشد. پیرایش و صانعی (۱۳۹۰) تأثیر فاصله گروه شمع از تکیه‌گاه پل در کاهش آبشستگی موضعی را بررسی کردند. نتایج نشان می‌دهند در فاصله دو برابر طول تکیه‌گاه، کاهش مؤثری در حداکثر عمق و حجم آبشستگی رخ می‌دهد. علیزاده و همکاران (۱۳۹۱) در مقایسه عملکرد صفحه مدفون در کنترل آبشستگی موضعی تکیه‌گاه پل در شرایط هیدرولیکی مختلف به بررسی تأثیر شرایط هیدرولیکی در عملکرد روش صفحه مدفون در کنترل آبشستگی تکیه‌گاه پل پرداخته‌اند. حداکثر عمق آبشستگی تکیه‌گاه پل در حالت شاهد در شرایط آستانه حرکت روی می‌دهد با توجه به نتایج آزمایش‌ها روش صفحه مدفون در شرایط آستانه حرکت $U/U_c = 0.9$ (نسبت سرعت جریان به سرعت بحرانی در دشت سیلابی) عملکرد بهتری در کنترل آبشستگی دارد و حدود ۶۰ درصد عمق آبشستگی را کاهش می‌دهد و در حالت $U/U_c = 0.7$ عمق آبشستگی حدود ۴۰ درصد کاهش می‌یابد بنابراین روش صفحه مدفون در شرایط بحرانی عملکرد بهتری در کاهش آبشستگی تکیه‌گاه پل و آب‌شکن‌های قائم دارد. از آنجاکه تاکنون در مورد سازه موسوم به المان‌های شش پایه هیچ‌گونه مطالعاتی صورت نگرفته است در پژوهش حاضر به بررسی تأثیر المان‌های

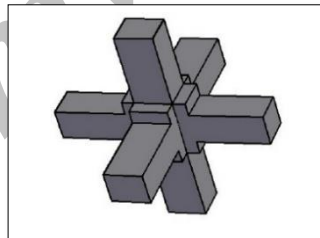
محمدپور و شفاعی بجنستان: بررسی گستره‌ی کارگزاری المان‌های شش‌پایه...



شکل ۱- فلوم آزمایش و پلان آن



شکل ۲- منحنی زمان تعادل برای عدد فرود ۰/۲۵



شکل ۳- نمای ظاهری المان شش‌پایه در حالت منفرد



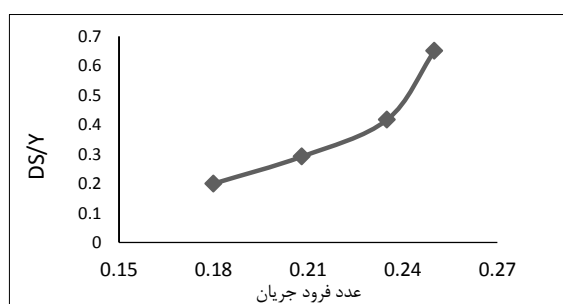
شکل ۴- نحوه چیدمان المان‌ها حول تکیه‌گاه

جدول ۱- گستره‌های کارگزاری المان‌های شش پایه در آزمایش‌ها

W1 (یک ردیف المان‌های شش پایه)	W2 (دو ردیف المان‌های شش پایه)	W3 (سه ردیف المان‌های شش پایه)	W4 (چهار ردیف المان‌های شش پایه)
۴ سانتی‌متر	۶/۵ سانتی‌متر	۸/۵ سانتی‌متر	۱۰/۶ سانتی‌متر

جدول ۲- مشخصات المان‌های شش پایه

ارتفاع کل وقتی روی یک بازو عمودی قرار بگیرد (cm)	طول هر بازو همراه با زائده (cm)	طول هر بازو بدون زائده (cm)	سطح مقطع هر بازو (mm ²)	جرم مخصوص (g/cm ³)	حجم (cm ³)	جرم خشک (g)
۵/۷	۲/۱	۱/۷	۵۸/۵۲	۲/۰۷	۹/۴	۱۹/۵



شکل ۵- حداکثر عمق آبستگي در آزمایش‌های شاهد

درون چاله ریزش کرده و پس از انتقال در درون چاله، به پشته رسوب پایین دست افزوده می‌شدند. پشته رسوبی به تدریج به طرف پایین دست حرکت کرده و به این ترتیب توسعه‌ی چاله آبستگي در طول زمان آزمایش مرتباً ادامه پیدا می‌کرد. همچنین هر چه میزان عدد فرود جریان افزایش پیدا کرد، بر حداکثر عمق و وسعت چاله آبستگي افزوده شد. برای مثال با افزایش ۲۰/۱۹ درصدی عدد فرود جریان از ۰/۲۰۸ به ۰/۲۵، عمق آبستگي به میزان ۹۱/۴۲ درصدی افزایش یافت. با افزایش سرعت نسبی جریان، حفره عمیق‌تر و وسیع‌تری ناشی از فعالیت‌های جریان‌های گردابی در دماغه تکیه‌گاه تشکیل شد. به‌طور کلی با افزایش عدد فرود جریان و در نتیجه افزایش قدرت جریان‌های گردابه نعل اسبی عمق حفره آبستگي و همچنین توسعه طولی و عرضی حفره افزایش پیدا کرد. در طی آزمایش‌ها مشاهده شد که سرعت آبستگي در لحظات اولیه زیاد بود و با توسعه حفره آبستگي شدت آن کاهش یافت. کاهش شدت آبستگي به این علت بود که با توسعه حفره آبستگي، گرداب نعل اسبی درون حفره مستهلک شده و رسوبات تنها درون حفره آبستگي حرکت کردند و به پایین دست منتقل نمی‌شدند. در نتیجه با گذشت زمان در هر آزمایش نرخ آبستگي پس از رسیدن به یک مقدار حداکثر به‌طور قابل ملاحظه‌ای کاهش یافت و تغییرات عمق آبستگي ناچیز شد.

نتایج و بحث

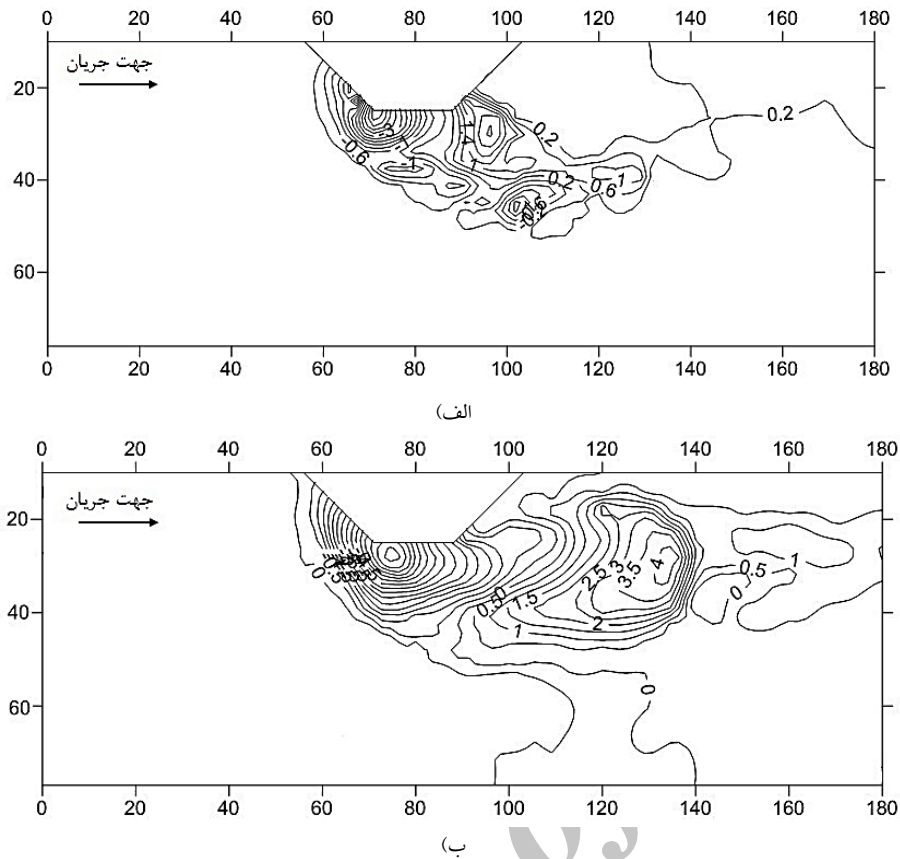
الف) نتایج آزمایش‌های بدون حضور المان‌های شش پایه (آزمایش شاهد)

در این مرحله ابتدا چهار آزمایش، با مدت زمان پنج ساعت در چهار عدد فرود ۰/۱۸، ۰/۲۰۸، ۰/۲۳۵ و ۰/۲۵ انجام شد. در طول مدت آزمایش در زمان‌های مختلف عمق آبستگي در نقطه‌ی مینا برداشت گردید. مشاهده شد در آزمایش شاهد، حداکثر عمق آبستگي در گوشه‌ی بالادست تکیه‌گاه اتفاق افتاد، بنابراین عمق آبستگي در همین نقطه برای تعیین عملکرد المان‌های شش پایه در نظر گرفته شد. حداکثر عمق آبستگي در نقطه مینا به‌صورت نسبی از عمق جریان در مقابل اعداد فرود مختلف در نمودار شکل (۵) نشان داده شده است.

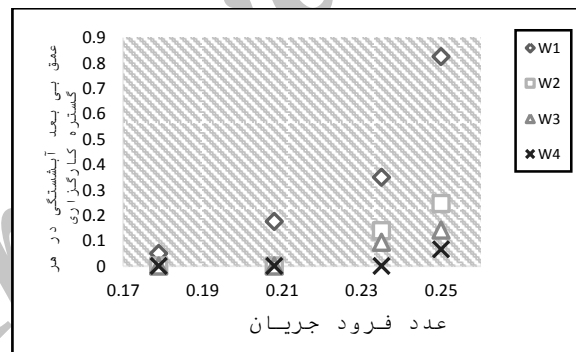
به‌منظور درک بهتر نتایج آزمایش‌ها، با استفاده از متر لیزری داده‌های توپوگرافی بستر برداشت گردید و با استفاده از نرم‌افزار سورفر نسخه ۱۲ توپوگرافی بستر رسم شد. در شکل (۶) توپوگرافی بستر در دو عدد فرود ۰/۲۳۵ و ۰/۲۵ نشان داده شده است.

در تمامی آزمایش‌ها، فرسایش و رسوب‌گذاری از الگوی خاصی پیروی می‌کرد، به‌نحوی که آبستگي از گوشه‌ی بالادست تکیه‌گاه آغاز و ضمن توسعه حفره آبستگي، عمق آن نیز افزایش پیدا می‌کرد. در طول آزمایش، رسوبات از دیواره چاله آبستگي به

محمدپور و شفافی بجزستان: بررسی گستره‌ی کارگزاری المان‌های شش‌پایه...



شکل ۶- توپوگرافی بستر در آزمایش شاهد، الف) عدد فرود ۰/۳۵، ب) عدد فرود ۰/۲۵



شکل ۷- عمق بی بعد آبخستگی برای گستره‌های مختلف کارگزاری المان‌های شش‌پایه در عددهای فرود مختلف جریان

آبخستگی نسبت به حالت شاهد محاسبه شد که حاصل آن در نمودار شکل (۸) قابل مشاهده است؛

$$\%R = \frac{d_{s1} - d_{s2}}{d_{s1}} \times 100 \quad (۱)$$

در رابطه (۱)، R : درصد کاهش حداکثر عمق آبخستگی، d_{s1} : حداکثر عمق آبخستگی در آزمایش‌ها شاهد و d_{s2} : حداکثر عمق آبخستگی در آزمایش‌ها با حضور المان‌های شش‌پایه می‌باشد.

ب) نتایج آزمایش‌ها با حضور المان‌های شش‌پایه

در این مرحله شانزده آزمایش با چهار عدد فرود مختلف و در چهار گستره‌ی متفاوت کارگزاری المان‌های شش‌پایه در اطراف تکیه‌گاه انجام گرفت. حداکثر عمق آبخستگی نسبت به آزمایش‌های شاهد به‌طور چشم‌گیری کاهش یافت. نتایج این بخش از آزمایش‌ها در شکل (۷) مشاهده می‌شود که عمق حداکثر آبخستگی در هر گستره به نسبت عرض گستره موردنظر، در هر عدد فرود را نشان می‌دهد. به‌منظور مقایسه نتایج با استفاده از رابطه (۱) درصد کاهش

کانال) گردابه‌هایی شکل گرفت که منجر به آبستنگی بستر شد. با افزایش عدد فرود به علت افزایش سرعت و در نتیجه افزایش قدرت گردابه نعل اسبی میزان این آبستنگی افزایش پیدا کرد. در شکل (۹) توپوگرافی بستر در دو عدد فرود ۰/۲۵ در حضور گستره‌های مختلف المان‌ها نشان داده شده است.

طبق مشاهدات گسترش آبستنگی در حدفاصل بین دو زبری متفاوت (لبه المان) باعث شد رسوبات ریزدانه بستر در معرض الگوهای جریان قرار گیرند که منجر به آبستنگی بستر نزدیک به تکیه‌گاه گشت و باعث شد المان‌های واقع در کناره‌ها جابجا شوند. در عددهای فرود بالا یعنی ۰/۲۳۵ و ۰/۲۵ ناپایداری و شکست در لبه المان‌های شش‌پایه اتفاق افتاد. شکست لبه لایه المان زمانی رخ می‌دهد که المان‌های موجود در حاشیه کف‌پوش به علت آبستنگی لبه (آبستنگی ناشی از تغییر زبری)، مقاومت خود را در برابر نیروهای هیدرودینامیکی جریان از دست بدهد و المان‌ها به درون حفره آبستنگی سقوط کنند. شکست لبه المان‌ها از خارجی‌ترین لایه المان و دقیقاً از المانی که در راستای دماغه تکیه‌گاه و مقابل جریان وجود داشت آغاز شد. مشاهده شد که در ابتدا ذرات رسوبی موجود در پیرامون این المان فرسایش یافت و به تدریج با تشکیل حفره آبستنگی در اطراف المان مذکور، المان به داخل حفره آبستنگی سقوط کرد و از سایر المان‌ها فاصله گرفت. بعد از حرکت این تک المان، میزان آبستنگی در این محدوده افزایش پیدا کرد و منجر به حرکت سایر المان‌هایی که در گستره خارجی و مقابل تکیه‌گاه بودند شد. یعنی با سقوط هر المان، شرایطی که ذکر شد برای المان بعدی که در مسیر جریان و در لایه خارجی وجود داشت برقرار شد و به ترتیب المان‌های موجود در لایه خارجی یکی پس از دیگری تخریب و به درون حفره آبستنگی حرکت کردند. البته شایان ذکر است که به جز آبستنگی موضعی ناشی از المان‌ها، نوع چیدمان المان‌ها که متراکم بود و باعث قفل شدن المان‌ها در هم بود، نیز باعث شد که تعداد بیشتری از المان‌ها تخریب شوند. با این تفاسیر می‌توان گفت زمانی که المان‌های شش‌پایه در اطراف تکیه‌گاه قرار می‌گیرند در جای خود ثابت و بدون حرکت می‌مانند و هیچ‌گونه حرکتی به پایین دست ندارند و المان‌ها تنها زمانی جابجا می‌شوند که پدیده شکست لبه در عددهای فرود زیاد اتفاق افتد. پدیده شکست لبه در لایه ریپ رپ نیز مشاهده شده است. سلیمانی نیا و شفاعی بجستان (۱۳۹۲) به بررسی آزمایشگاهی شکست لبه ریپ رپ پرداختند و مکانیزم شکست لبه ریپ رپ را با استفاده از شکل (۱۰) شرح دادند. طبق مشاهدات آن‌ها در پایین دست لبه، دانه‌های ریپ رپ در ابتدا در سطح یک بودند. بعد از مدتی به دلیل اینکه جدایی جریان ناشی از اختلاف زبری، گردادین مثبت فشار را به وجود آورد، جریان‌های ثانویه درست پایین دست لبه شکل گرفت که در نتیجه مؤلفه‌های سرعت، آبستنگی در رسوبات بستر ایجاد شد و سطح رسوبات به سطح دو تنزیل یافت. زمانی ذرات ریپ رپ به سطح دو رسیدند، مؤلفه‌های گردابه تنها باعث ناپایداری

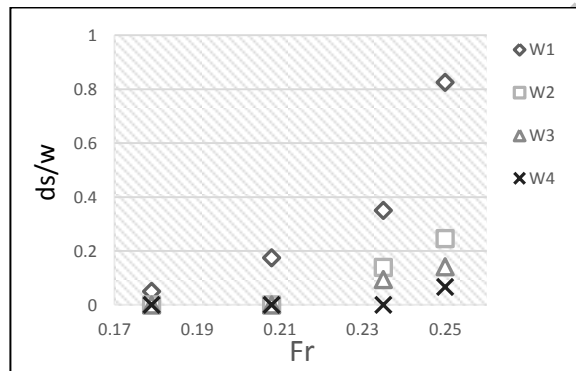
در حضور المان‌ها، در عددهای فرود کم، حفره آبستنگی در دماغه تکیه‌گاه تشکیل نشد و در عددهای فرود بالا، نسبت به حالت آزمایش‌های شاهد دارای عمق بسیار کمی بود. در نتیجه می‌توان گفت المان‌های شش‌پایه از دسته سازه‌هایی است که با مقاومت‌سازی بستر مانع از آبستنگی فونداسیون پل می‌شود.

در عددهای فرود کم یعنی ۰/۱۸ و ۰/۲۰۸ تنها در گستره‌ی W_1 آبستنگی رخ داد. اما این مقدار آبستنگی در مقایسه با آزمایش‌های شاهد به ترتیب ۸۸/۸۸ و ۷۳/۷۶ درصد کاهش یافت، که نشان‌دهنده این است المان‌ها در کمترین گستره‌ی خود نیز قادر به کاهش آبستنگی در دماغه تکیه‌گاه هستند. با توجه به ساز و کار آبستنگی در اطراف تکیه‌گاه می‌توان علت کاهش آبستنگی در حضور المان‌ها را دریافت. هنگام برخورد جریان آب به دماغه تکیه‌گاه پل، سرعت جریان پس از برخورد به دماغه تبدیل به فشاری روی تکیه‌گاه می‌گردد. از آنجاکه سرعت از سطح به طرف کف کم می‌گردد، فشار دینامیکی روی دماغه تکیه‌گاه از بالا به پایین نیز کم می‌شود و گردادین فشار ایجاد شده باعث ایجاد جریانی به طرف کف می‌شود. این جریان روبه پائین پس از برخورد با بستر، ذرات آن را کنده و به جهات مختلف پراکنده می‌کند (زرارتی و همکاران، ۲۰۰۶). المان‌های شش‌پایه در حول تکیه‌گاه، مانع از برخورد جریان رو به پایین به رسوبات بستر شدند و این عمل باعث شد که جریان گردابه‌ای که عامل اصلی آبستنگی در دماغه تکیه‌گاه است، روی المان‌های شش‌پایه ایجاد شود و کمتر به بستر برسد. همچنین وجود این المان‌ها باعث شد زبری افزایش یابد و از قدرت گردابه‌ها کاسته شود. کاهش قدرت برای عدد فرودهای کم که خود قدرت کمی دارند باعث شد که آبستنگی به صفر برسد. ولی در عدد فرودهای بیشتر شدت جریان بیشتر بود و گردابه‌های قوی‌تری تشکیل شد در نتیجه با حضور المان‌ها بازهم آبستنگی اتفاق افتاد. علاوه بر دلایل فوق ذکر می‌توان گفت که، در گستره‌ی W_1 و تا حدودی W_2 به دلیل کم بودن عرض پوشش، المان‌ها تمام محدوده اثر گردابه را پوشش ندادند و در نتیجه مقداری آبستنگی رخ داد. در شرایطی هم که گردابه‌ها به بستر رسیدند نیز المان‌ها با وزن خود مانع از کنده شدن و حرکت رسوبات موجود در زیر پایه‌های خود شدند و تا حدودی به این طریق هم باعث کاهش آبستنگی شدند. با افزایش گستره‌ی المان‌ها حول تکیه‌گاه لایه محافظ بستر افزایش یافت و کل منطقه اثر گردابه‌های نعل اسبی پوشش داده شد. در نتیجه با افزایش گستره المان، آبستنگی کاهش یافت.

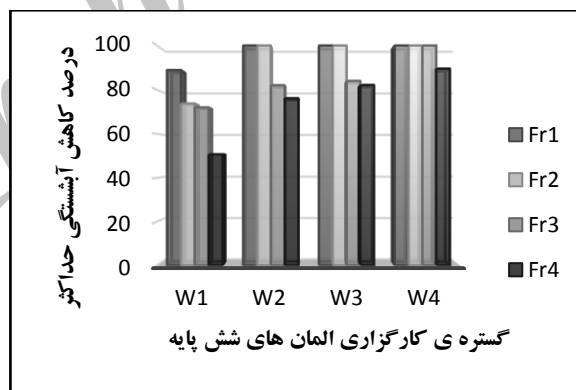
تغییر زبری در بستر کانال عاملی برای ایجاد آبستنگی موضعی در بستر کانال است. در حدفاصل بین زبری بزرگ‌تر به زبری کوچک‌تر گردابه‌هایی شکل می‌گیرند که آبستنگی بستر را به همراه خواهند داشت (کوچک و شفاعی بجستان، ۱۳۹۱). با قراردادن المان‌های شش‌پایه حول تکیه‌گاه در بستر کانال یک تغییر ناگهانی زبری به وجود آمد که در حدفاصل بین زبری بزرگ‌تر (المان‌های شش‌پایه) به زبری کوچک‌تر (رسوبات بستر

ساتی‌متر پایین‌تر لبه بود می‌شدند و همان‌جا می‌ماندند تا آبشستگی رسوبات بستر سطح را به سه برساند و بعد از آن سر می‌خوردند و اگر سبک بودند برد پرتابشان بلند بود و چرخش خود را تا انتها فلوم ادامه می‌دادند. در نوع دوم حرکت، وقتی سطح دو به سطح سه کاهش می‌یافت تمامی ذراتی که به این منطقه می‌رسیدند به حرکت خود ادامه می‌دادند. بنابراین گردابه‌ها به دلیل جریان‌های ثانویه باعث آبشستگی در پایین‌دست ریپ‌رپ شده و باگذشت زمان آبشستگی پیش روی می‌کند و تراز سطح مصالح ریزدانه از حالت یک به حالت دو تقلیل می‌یابد. تصویر دوم از شکل (۱۰) وضعیت گردابه را هنگام تقلیل سطح بستر از یک به دو نشان می‌دهد.

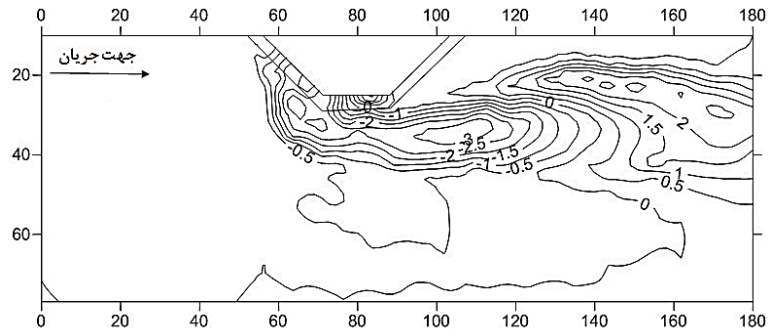
ریپ‌رپ‌های لبه نشدند، بلکه نیرویی به اندازه $\rho cv^2 A/2$ که در سرعت در خلاف جهت جریان است ایجاد کردند که در نتیجه آن به پایداری ریپ‌رپ کمک شد. در مرحله سه، ذره در نتیجه شیب به وجود آمده، در اثر وزن خود و همچنین مؤلفه رو به بالا گردابه‌ها (نیروی بالابری)، به سمت پایین شیب سر خوردند. تا زمان رسیدن سطح رسوبات به سطح دو، مؤلفه‌های سرعت عامل پایداری ریپ‌رپ بودند ولی پس از آن به دلیلی که ذکر شد عامل ناپایداری محسوب شدند. ذرات ریپ‌رپ بسته به وزنشان و اینکه سطح رسوبات ریزدانه در چه موقعیتی بود دو نوع حرکت نشان دادند. در نوع اول ریپ‌رپ قبل از رسیدن به سطح دو، حرکتی در لبه نداشت، اما ذرات بالادست حرکت کرده بودند اگر سنگین بودند به دلیل برد کوتاه پرش‌هایشان، درگیر ناحیه گردابه‌ای که چند



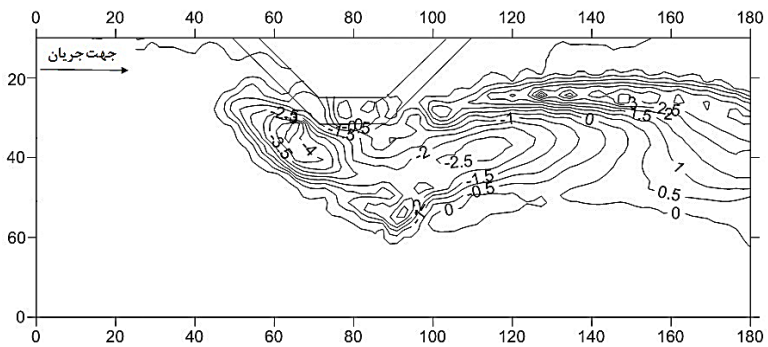
شکل ۷- عمق بی‌بعد آبشستگی برای گستره‌های مختلف کارگزاری المان‌های شش‌پایه در عددهای فرود مختلف جریان



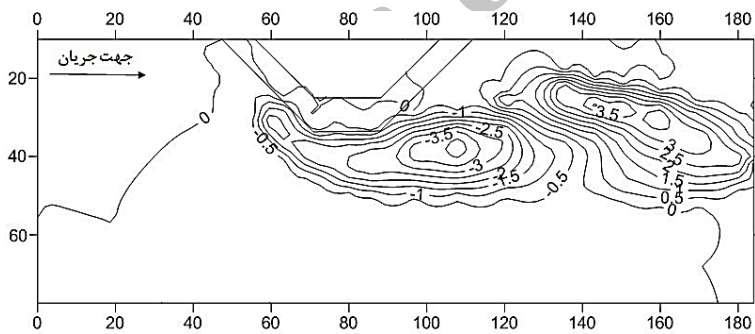
شکل ۸- نمودار درصد کاهش حداکثر عمق آبشستگی در عددهای فرود مختلف جریان و گستره‌های مختلف کارگزاری المان‌های شش‌پایه



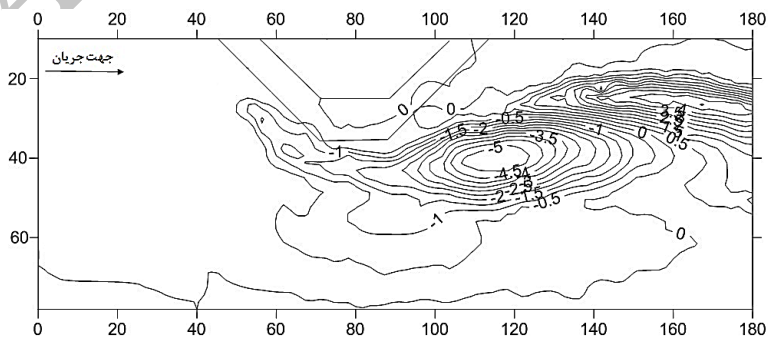
(الف)



(ب)



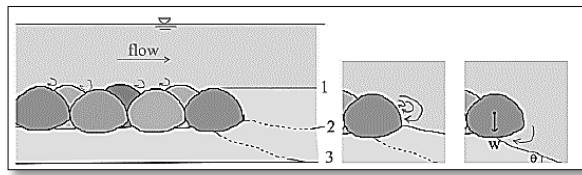
(ج)



(د)

شکل ۹- توپوگرافی بستر در عدد فرود ۰/۲۵ در گسترده های کارگزاری المان های

شش پایه. الف) W_1 ، ب) W_2 ، ج) W_3 ، د) W_4



شکل ۱۰- سازوکار حرکت ذرات ریپ ریپ به صورت شما تیک (سلیمانی نیا و شفاعی بجنستان، (۱۳۹۲))

نتیجه‌گیری

هدف از این تحقیق بررسی گستره‌ی کارگزاری المان‌های شش‌پایه به منظور حفاظت تکیه‌گاه پل در مقابل آبشستگی برای تکیه‌گاه بالی شکل بود. بدین منظور برای ارزیابی تأثیر المان‌های شش‌پایه و بررسی تأثیر گستره‌ی آن در کاهش میزان آبشستگی، بیست آزمایش در چهار عدد فرود مختلف و در عمق ثابت جریان انجام گرفت. در انتها نتیجه گرفته شد که سازه المان شش‌پایه روش مناسبی برای کاهش آبشستگی پیرامون تکیه‌گاه می‌باشد به طوری که در ۷۵ درصد از موارد بررسی شده، سازه المان شش‌پایه بیشتر از ۸۰ درصد آبشستگی را کاهش داد. نتیجه گرفته شد استفاده از گستره‌ی W_3 بهینه‌ترین حالت کارگزاری المان‌ها حول تکیه‌گاه است زیرا عملکردی نزدیک به W_4 دارد ولی هزینه و زمان ساخت و کارگزاری آن کمتر است. از جمله مشکلاتی که زمان استفاده از این سازه با آن روبه‌رو هستیم پدیده شکست لبه است که یکی از راهکارهای عملی برای جلوگیری از تخریب لایه المان، مهار کردن المان‌ها به همدیگر می‌باشد.

مشاهده می‌شود که سازوکار شکست لبه در المان‌های شش‌پایه و سازوکار شکست لبه در ریپ ریپ تقریباً مشابه یکدیگر است. با مقایسه نتایج مشاهده می‌شود حرکت نوع اولی که برای ریپ ریپ تعریف شده در المان‌های شش‌پایه وجود ندارد و حرکت در المان‌های شش‌پایه تنها زمانی رخ می‌دهد که در عدد فرودهای بالا آبشستگی به میزان زیادی در لبه المان رخ دهد و المان به علت شسته شدن رسوب و پایین رفتن تراز بستر جابجا شده و به درون حفره آبشستگی می‌گردد. این در حالی است که برخی از دانه‌های ریپ ریپ حتی قبل از آبشستگی لبه، به سمت پایین دست حرکت کرده‌اند. این امر نشان‌دهنده این است که المان‌های شش‌پایه نسبت به ریپ ریپ از پایداری بیشتری برخوردارند و استفاده از آن‌ها دارای ضریب اطمینان بیشتری است. ناگفته نماند که المان‌های شش‌پایه حتی در حالتی که دچار شکست لبه شدند نیز همچنان نسبت به حالت شاهد مقدار آبشستگی را کاهش دادند. به گونه‌ای که در بحرانی‌ترین حالت خود یعنی عدد فرود 0.25 و گستره‌ی W_1 نیز کاهش 50 درصدی آبشستگی دماغه تکیه‌گاه نسبت به حالت شاهد مشاهده شد.

منابع

- ۱- خادمی، خ، خزیمه نژاد، ح و شفاعی بجنستان. م ۱۳۸۹. برداشت بی‌رویه‌ی مصالح رودخانه‌های در استان خوزستان یکی از عوامل اصلی آبشستگی پای پل‌های بزرگ. سومین همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی. دانشکده مهندسی علوم آب. دانشگاه شهید چمران اهواز.
- ۲- کوچک، پ و شفاعی بجنستان. م ۱۳۹۱. اثر اختلاف زبری کف بند افقی و مصالح رسوبی بر آبشستگی پایین‌دست آن‌ها. نشریه علوم و مهندسی آبخیزداری ایران. ۶ (۱۸): ۳۰-۲۴.
- ۳- سلیمانی نیا، س و شفاعی بجنستان. م ۱۳۹۲. بررسی آزمایشگاهی شکست لبه ریپ ریپ. هفتمین کنگره ملی مهندسی عمران، زاهدان.
- ۴- پیرایش، ع و صناعی. م ۱۳۹۰. تأثیر فاصله گروه شمع از تکیه‌گاه پل در کاهش آبشستگی موضعی. دهمین کنفرانس هیدرولیک ایران، رشت.
- ۵- رضانی، ی. قمشی، م و موسوی جهرمی. س. م ۱۳۹۳. پیش‌بینی عمق آب شستگی تکیه‌گاه پل در کانال‌ها با مقطع مرکب. مجله پژوهش آب ایران، ۸ (۱۴): ۱۱۷-۱۰۹.
- ۶- علیزاده وحید، ن. صناعی، م و اژدری مقدم. م ۱۳۹۱. مقایسه عملکرد صفحه مدفون در کنترل آبشستگی موضعی تکیه‌گاه پل در شرایط هیدرولیکی مختلف. نهمین سمینار بین‌المللی مهندسی رودخانه، اهواز.
- ۷- قمشی، م و عالم. ز ۱۳۹۰. کاربرد طوق در کاهش آبشستگی تکیه‌گاه مستطیلی پل در کانال مرکب. همایش ملی سازه، راه، معماری، چالوس.
- ۸- منصوری هفشجانی، م و شفاعی بجنستان. م ۱۳۹۰. کنترل آبشستگی تکیه‌گاه پل در قوس رودخانه با استفاده از سنگچین. مجله پژوهش آب ایران، ۵ (۹): ۸۲-۷۳.

۹- منصوری هفشجانی، م و شفاعی بجستان. م ۱۳۹۲. مقایسه تأثیر سه رقوم قرارگیری سنگچین بر پایداری آن در محل تکیه‌گاه پل واقع در قوس ۹۰ درجه بر اساس آستانه حرکت ذرات سنگچین. نشریه دانش آب‌و خاک، ۲۳ (۲): ۱۹۵-۲۰۴.

10-Cardoso, A.H. and C.M.S. Fael. 2009. Protecting vertical-wall abutments with riprap-mattresses. *Journal of Hydraulic Engineering*. 135(6): 457-465.

11-Cardoso, A.H. Simarro, G. Fael, C.J. 2010. Toe protection for spill-through and vertical-wall abutments. *Journal of Hydraulic Research*. 48(4): 491-498.

12-Johnson, P. A., Hey, R.D., Tessier, M., and Rosgen, D.L. (2001) 'Use of Vanes for Control of Scour at Vertical Wall abutment' *Journal of Hydraulic Engineering*, 127(9): 772-778.

13-Melville, B. Ballegooy, S. Coleman, S. and B. Barkdoll. 2006. Scour countermeasures for wing-wall abutments. *Journal of Hydraulic Engineering*, 133(11):1265-1269.

14-Richardson, E. Davis, V. 1995. Evaluating scour at bridges, hydraulic engineering circular 18 (HEC-18). Report FHWA-IP-90-017: 204. Federal Highway Administration, Washington, DC.

15-Zarrati, A.R. Nazariha, M. and M. Badali Mashahir. 2006. Reduction of local scour in the vicinity of bridge pier groups using collars and riprap. *Journal of Hydraulic Engineering*, 132(2):154-162.

Archive of SID