



کاربرد همزمان سنگچین و المان‌های شش پایه در کنترل عمق آبستنگی اطراف تکیه‌گاه پل مستطیل شکل

علی اکبر حسین رضا^۱، محمود شفاعی بجستان^{۲*}، مهدی قمشی^۳ و منوچهر فتحی مقدم^۴

۱- دانشجوی دکتری سازه‌های آبی، 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

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

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

پذیرش: ۱۳۹۶/۴/۱۱

بازنگری: ۱۳۹۶/۴/۵

دریافت: ۱۳۹۵/۱۱/۲۸

چکیده

تخریب پل‌ها در اثر عوامل مختلفی چون بروز آبستنگی در تکیه‌گاه آن هر ساله خسارت‌های زیادی به بار می‌آورد. به همین دلیل روش‌های مختلفی برای کنترل این پدیده ارائه شده است. در این تحقیق از روش ترکیبی به کارگیری توام سنگچین و المان‌های شش پایه از نوع روش‌های مستقیم برای کنترل آبستنگی در تکیه‌گاه مستطیلی استفاده شده است. از دلایل مهم این روش در دسترس بودن و ارزان بودن سنگچین هم‌زمان با بکارگیری المان‌های شش پایه با آرایش باز با ایجاد ضریب زبری بالا به عنوان پوشش است. کارگذاری ترکیبی با سه آرایش، یک لایه سنگچین در زیر المان‌های شش پایه، یک ردیف المان‌های شش پایه در بین دو لایه سنگچین و یک لایه سنگچین در بالای المان‌های شش پایه انجام شد. این کارگذاری‌ها در سه عمق روی بستر، زیر بستر و در عمق نصف المان‌های شش پایه در زیر بستر صورت گرفت. همچنین سرعت نسبی جریان بین ۰٫۶۵ تا ۰٫۹۵ در نظر گرفته شد. نتایج آزمایش‌ها تأثیر قابل ملاحظه‌ای از ترکیب توأم کارگذاری سنگچین و المان‌های شش پایه را نشان داد. به طوری که در اعداد فرود کمتر آرایش و حالتی که نصف المان‌ها روی بستر و سنگچین‌ها روی آن قرار داده شدند، توانست تا ۹۷ درصد عمق آبستنگی رأس تکیه‌گاه و در اعداد فرود بالاتر، آرایش و حالتی که المان‌های شش پایه در روی بستر و سنگچین‌ها در بین آن‌ها قرار گرفته‌شد توانست تا ۸۹ درصد عمق آبستنگی راس تکیه‌گاه را کاهش دهد.

کلید واژه‌ها: حفاظت بستر، رودخانه، فرسایش، هیدرولیک.

مقدمه

۳۸۳ پل در ایالات متحده نشان می‌دهد که در ۲۵ درصد آن‌ها تخریب پایه و در ۷۲ درصد آن‌ها تخریب تکیه‌گاه علت شکست پل بوده است (Kayaturk, 2005). این گزارش‌ها اهمیت تحقیق و بررسی در ارتباط با آبستنگی اطراف تکیه‌گاه‌های پل را نشان می‌دهند. الگوی جریان و مکانیزم آبستنگی اطراف تکیه‌گاه‌های پل بسیار پیچیده بوده و توسط محققین زیادی از جمله Tey (1984)؛ Dongol و Melville (1994)؛ Coleman et al (2003)؛ Barbhuiya و Dey (2004)؛ Kandasamy (1994)؛ Sepahvand و Bejstan Shafai (1995) و Shafai Bejstan (2015) مورد مطالعه قرار گرفته است.

به نظر کلیه محققین، مهمترین عامل ایجاد حفرة آبستنگی در جلوی تکیه‌گاه و پایه‌های پل، گرداب نعل اسبی می‌باشد. هنگام برخورد جریان آب به دماغه تکیه‌گاه پل، سرعت جریان پس از برخورد به دماغه تبدیل به فشار 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 گرادیان فشار ایجاد شده باعث ایجاد جریانی به طرف کف می‌شود، این جریان

پل‌ها از جمله مهمترین و پرکاربردترین سازه‌های رودخانه‌ای هستند و به عنوان کلید راه‌های ارتباطی از اهمیت زیادی برخوردار هستند. هر ساله با وقوع سیلاب در هر رودخانه تعداد زیادی از این پل‌ها، درست زمانی که بیشترین نیاز به آنها می‌باشد تخریب می‌شوند. یکی از مهمترین و مؤثرترین عوامل تخریب‌ها، آبستنگی می‌باشد (Chiew, 2004). آبستنگی (Scour) یک پدیده طبیعی است که توسط جریان آب در رودخانه‌ها و آبراه‌ها ایجاد می‌شود. Richardson و Davis (2001) علت تخریب پل‌ها در ایالت متحده را پدیده آبستنگی موضعی و عمومی دانسته‌اند. Chiew و Lim (2003) و Chiew (2004) چند مورد از شکست پل‌ها در جنوب تایوان و Barbhuiya و Dey (2004) تخریب پل‌ها در نیوزلند را به علت پدیده آبستنگی گزارش نمودند. مطالعه‌های Melville (1997 & 1992) نشان داد که ۷۰ درصد هزینه‌های شکست پل در نیوزلند ناشی از ویرانی تکیه‌گاه پل بوده است. داده‌ها نشان می‌دهند که مشکل آبستنگی در تکیه‌گاه‌های پل بسیار مهم است. مطالعه‌های انجام شده روی شکست

به طراحی سنگچین از نظر ابعاد و ضخامت لایه آن در محل تکیه‌گاه پل پرداختند که برخی از آن‌ها عبارتند از: Pagan-Ortiz, 1991؛ Simons and Lewis, 1971

Lagasse and Melville and Coleman, 2000؛ Zarrati et al, 2007؛ Richardson, 2001؛ al. 2006؛ Ghorbani and Heidarpour, 2004؛ Mansoori-Hafshejani and Shafai-Bejestan, 2012؛ 2014. نتایج کلی این تحقیقات نشان می‌دهد که سنگچین دارای ضخامت مشخص و دارای ابعاد مشخصی باشد. علی‌رغم مزایای عنوان شده، چنانچه طراحی سنگچین به‌دقت صورت نگیرد، پس از مدتی به تدریج تخریب شده و اثر خود را از دست خواهد داد. بر همین اساس هر گونه طراحی موفقیت آمیزی می‌بایستی برای حالت‌های مختلف شکست مورد بررسی قرار گیرد. بر اساس نظر Lagasse و Richardson (2001) شکست سنگچین به سه دسته تقسیم شد که شامل فرسایش المان‌های سنگچین، فرسایش زیرسطحی و فرسایش توده‌ای می‌باشد. فرسایش المان‌های سنگچین تحت تاثیر اندازه سنگ‌های آن در مقایسه با نیروهای هیدرودینامیکی و تلاطمی می‌باشد، هر چند شیب سنگچین، ضربه، سایش، یخ یا موج نیز می‌توانند باعث این نوع تخریب شوند. فرسایش زیر سطحی زمانی اتفاق می‌افتد که مواد بستر که ریزتر از المان‌های سنگچین می‌باشند از بین خلل و فرج سنگچین خارج شده و باعث نشست سنگچین گردند. استفاده از فیلتر تا حد زیادی این نوع فرسایش را کاهش می‌دهد. فرسایش توده‌ای نیز زمانی اتفاق می‌افتد که قسمت عظیمی از المان‌های سنگچین و یا مواد بستر تحت تاثیر نیروهای ثقلی لغزیده و یا ریزش کنند. براساس نتایج آزمایشگاهی Chiew (1995) سه مکانیزم متفاوت در ناپایداری سنگچین، در اطراف تکیه‌گاه پل نقش دارند که این سه مکانیزم عبارتند از: گسیختگی ناشی از برش، تخریب زیر سطحی و تخریب لبه‌ای. گسیختگی ناشی از برش در حقیقت همان فرسایش المان‌های سنگچین بوده که Richardson و Lagasse (2001) به آن اشاره کردند. تخریب لبه‌ای در حقیقت حرکت المان‌های سنگچین به سمت چاله آبستتگی ایجاد شده در رسوبات بستر بوده که در نهایت این المان‌ها در چاله مذکور افتاده و باعث کاهش اثر محافظتی سنگچین می‌گردند. Unger و Hager (2006) سه مکانیزم مختلف لغزش، تخریب زیرسطحی و غلطش را برای سنگچین اطراف تکیه‌گاه‌های پل معرفی کردند که از این سه مکانیزم تنها لغزش و تخریب زیر سطحی در سنگچین اطراف آبشکن‌ها نیز مشاهده گردید. روش دیگر مقابله با آبستتگی در تکیه‌گاه به روش مستقیم، استفاده از المان‌های شش‌پایه است. این المان‌ها به‌عنوان کنترل فرسایش پنجه ساحل رودخانه‌ها نیز توصیه شده‌اند (Thornton et al, 2001). با قرار گیری این المان‌ها روی بستر رودخانه باعث استهلاک انرژی جنبشی جریان و افزایش مقاومت در برابر نیروهای فرسایشی می‌شود. این المان‌ها یا به صورت درهم و یا به صورت یکنواخت کنار هم قرار می‌گیرند و از شش جهت با المان‌های کناری خود قفل می‌شوند در نتیجه

رو به پائین پس از برخورد با بستر آن را حفر کرده به جهات مختلف پراکنده می‌شود (Raudkivi, 1998). مقداری از این جریان که رو به سمت بالادست 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 (Kayaturk, 2005).

به این ترتیب حرکت جریان رو به پائین باعث ایجاد حفره‌ای در جلوی دماغه تکیه‌گاه پل می‌شود و با تشکیل این حفره، گرداب نعل اسبی نیز در آن تشکیل می‌گردد. این گرداب هم به سبب تنش‌ی که به کف وارد می‌کند و هم اعمال نیروی بالا برنده (به خاطر مؤلفه سرعت رو به بالا) به ذرات کف، باعث جدا شدن ذرات از کف بستر می‌شود و آن‌ها را در اختیار جریان عمومی آبراهه قرار داده تا به سمت پائین دست حمل شوند. با عمیق شدن حفره و اضافه شدن حجم آب داخل حفره این گرداب ضعیف می‌گردد و از تنش‌های وارد به کف کاسته می‌شود. هنگام جدا شدن جریان از انتهای دماغه تکیه‌گاه به دلیل کاهش فشار در پشت دماغه، جریان به سمت پشت تکیه‌گاه منحرف شده و ایجاد گردابی می‌کند که به آن گرداب برخاستگی گویند. این گرداب با محور عمودی و مرکز کم فشار مانند یک گردباد عمل می‌کند و رسوبات بعد از دماغه را به سمت بالا مکیده و پس از جدا کردن رسوبات از کف آن‌ها را در اختیار جریان عمومی گذاشته تا به پائین دست حمل شوند. این گرداب در نزدیکی کف با دنباله گرداب نعل اسبی که در حال نوسان عمودی و افقی می‌باشد اندرکنش دارد. هنگامی که ابعاد مانع جریان (پایه یا تکیه‌گاه) بزرگ باشد یا سرعت جریان زیاد باشد، این گرداب اهمیت بیشتری پیدا می‌کند (Laurson and Toch, 1956). برای مقابله با آبستتگی ایجاد شده در اطراف تکیه‌گاه روش‌های متعددی ارائه شده که عبارتند از روش‌های مستقیم و غیر مستقیم. روش اول برای افزایش مقاومت بستر با استفاده از قطعاتی مانند سنگچین Mansoori- (Riprap) Hafshejani و Shafai-Bejestan (2014) المان‌های شش‌پایه (A-jacks) Zolghadr, Shafai-bejestan (2015) و بلوک‌های بهم چسبیده (Coble tied block) Przdwojski (1995)؛ ژئوبگ (Geobag) Korkut et al (2006) و روش دوم برای تغییر الگوی جریان و منحرف کردن جریان اطراف تکیه‌گاه با استفاده از سازه‌هایی مانند طوق (Collar) Khozeimenejad et al (2015) و آبشکن (Groin) Saadatneya et al (2010) و صفحات مستغرق (Vane) Khademi و Shafai-Bejestan (2015) و ... عمل می‌نمایند. همان‌طور که گفته شد یکی از ساده‌ترین و در عین حال اقتصادی‌ترین روش‌ها، استفاده از سنگچین به عنوان روش مستقیم می‌باشد. استفاده از سنگچین به دلیل در دسترس بودن مصالح، سادگی اجرا و هزینه‌های کم بسیار متداول است. دانشمندان زیادی

است (Melville, 1992). در تمام آزمایش‌ها عمق جریان برابر با ۱۲ سانتی‌متر بود و با افزایش دبی تعداد چهار عدد فرود مختلف مورد آزمایش قرار گرفت. جدول (۱) مشخصات این آزمایش‌ها را نشان می‌دهد. کلیه آزمایش‌ها در شرایط آب زلال انجام شده، ($u_c < 1$) که u سرعت متوسط جریان و u_c سرعت بحرانی یا سرعت جریان لازم برای بلند کردن ذرات از بستر می‌باشد) و رژیم جریان متلاطم و زیربحرانی بوده است. پارامترهای اندازه‌گیری شده در هر آزمایش شامل دبی جریان، عمق جریان، و توپوگرافی بستر بوده که به ترتیب به وسیله سرریز مثلی، سطح سنج (Point-gage) و مترلیزی مورد اندازه‌گیری قرار گرفته‌اند. المان‌های شش‌پایه مورد استفاده به وسیله قالب از پیش ساخته شده توسط مخلوط ماسه و سیمان و به وسیله سیم فلزی برای مسلح شدن تهیه گردید. این المان‌ها دارای جرم مخصوصی حدود دو گرم بر سانتی‌متر مکعب و ارتفاع مؤثر چهار سانتی‌متر است که منظور فاصله بال تا بال این المان‌ها می‌باشد. آرایش المان‌های شش‌پایه معمولاً به سه صورت باز (المان‌ها با هم تداخل پوششی ندارند)، نیمه باز (نصف هر کدام از بازوی المان‌ها با هم هم‌پوشانی دارند) و بسته (المان‌های شش‌پایه در هم قفل شده) می‌باشد. در حالت با تراکم باز حدوداً ۵۴ درصد سطح بستر، در حالت نیمه باز ۷۶ درصد سطح بستر و در حالت بسته ۹۷ درصد سطح بستر به وسیله قطعات شش‌پایه پوشانده شده است. این اعداد به وسیله اندازه‌گیری سطوح پوشش شده در هر تراکم به دست آمده است. معمولاً برای بررسی عمق آبستنگی و ارائه روابطی برای پیش‌بینی آن باید مدت زمان هر آزمایش برابر زمان تعادل و یا مدت زمانی که در آن عمق آبستنگی تغییرات اندکی پس از یک مدت زمان مشخص داشته باشد که این زمان بین دو ساعت Bozicus و Yildiz (2004) تا ۹۶ ساعت Korthyari et al (1992) ذکر شده است. از آنجا که هدف این تحقیق بررسی عمق آبستنگی در گزینه‌های مختلف می‌باشد و نه ایجاد رابطه برای پیش‌بینی عمق آبستنگی، مدت زمان مورد نیاز آزمایش تعیین گردید. بدین منظور که ابتدا آزمایش‌های ۱۲ ساعته در اعداد فرود مختلف انجام شده و تغییرات درصد عمق نهایی آبستنگی در مقابل زمان ترسیم شده است (شکل ۳). سپس مدت زمانی که بیش از ۹۰ درصد آبستنگی ۱۲ ساعته اتفاق افتاده است را به عنوان زمان آزمایش‌ها تعیین گردید که برابر چهار ساعت به دست آمد. برای به دست آوردن آستانه حرکت تعاریف مختلفی در بین پژوهشگران جود دارد. به نظر بعضی سرعتی که در آن شروع حرکت یک یا چند ذره رسوب با چشم دیده شود به عنوان سرعت بحرانی در نظر گرفته می‌شود. گروهی دیگر از محققان آغاز حرکت ذره را معادل مقدار جریانی می‌دانند که به ازای آن مقدار حرکت مواد رسوبی در پایین دست کانال صفر یا ناچیز باشد (Shafai-Bejestan, 2009). در مطالعه حاضر تعریف اول مورد توجه قرار گرفته است. لذا آزمایش‌های تعیین آستانه حرکت بدون حضور تکیه‌گاه و در بستر تراز شده انجام گرفته است. در این آزمایش‌ها ابتدا فلوم به تدریج از جریان پر شده به طوری که رسوبات حرکتی

به صورت یکپارچه عمل می‌کنند. المان‌های شش‌پایه با جلوگیری از ایجاد چاله‌ی فرسایشی، در گرداب اصلی ایجاد اختلال می‌نمایند. این المان‌ها باعث ایجاد پوشش و افزایش ضریب مانینگ می‌شوند. طبقه کارگذاری این المان‌ها به سه حالت باز، نیمه باز و متراکم است. بهترین بازده در حالت متراکم و کمترین بازده حالت باز می‌باشد. اما از نظر هزینه بر متفاوت می‌باشد (شکل ۱). در این تحقیق از روش حفاظت به صورت ترکیبی از سنگچین و المان‌های شش‌پایه به صورت هم‌زمان استفاده می‌گردد. دلیل این کار این است که اولاً سنگچین سازه‌ای است که به وفور و به آسانی در دسترس است و ثانیاً المان‌ها به عنوان سازه‌ای پایدارتر و ضریب زبری بالا، و با تراکم باز قابل استفاده است که باعث کاهش هزینه‌ها می‌گردد. در این صورت مسلماً اندازه سنگچین نسبت به حالتی که المان‌ها وجود نداشته باشند کوچکتر خواهد بود. به طور کلی در این روش هم معایب استفاده از سنگچین به عنوان سازه‌ای تنها تا حدود زیادی از بین رفته و همچنین به کارگیری المان‌های شش‌پایه در حالت باز که بازده کمتری نسبت به آرایش‌های دیگر المان دارد، برطرف می‌گردد.

مواد و روش‌ها

برای انجام تحقیق مورد نظر، ابتدا تحلیل ابعادی انجام و پارامترهای بدون بعد مؤثر شامل اعداد فرود و عمق آبستنگی نسبی (ds/y و Fr) مشخص و سپس آزمایش‌ها در یک فلوم مستطیلی شکل در دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز انجام شد.

این فلوم دارای دیوار پلاکسی گلاس با طول ده متر و عرض یک متر می‌باشد. عمق فلوم برابر ۰/۶ متر و شیب آن تقریباً برابر صفر است. در ابتدای فلوم یک صفحه مشبک و توری شکل برای آرام کردن جریان و جلوگیری از ایجاد امواج ناشی از نوسانات پمپ تعبیه شده است. در فاصله چهار متر از ابتدای فلوم بستر رسوبی به عرض ۰/۷ و طول ۱/۸ متر در نظر گرفته شده است. این فاصله برای اطمینان از ایجاد جریان توسعه یافته در نظر گرفته شده است. درون جعبه رسوبی رسوبات ماسه‌ای یکنواخت با اندازه متوسط ۰/۶۳ میلی‌متر تراز گردیده‌اند، در انتهای فلوم نیز یک سرریز به تیز مستطیلی برای تنظیم سطح آب در فلوم قرار دارد. قبل از ورود آب به مخزن زیر زمینی یک سرریز مثلی برای اندازه و تنظیم دبی نصب شده است. آب از مخزن زیر زمینی توسط یک پمپ سانتریفیوژ به دبی حداکثر ۵۰ لیتر بر ثانیه به فلوم پمپ می‌گردد. شکل (۲) نشان دهنده فلوم و اجزای آن می‌باشد. تکیه‌گاه از جنس گالوانیزه با ضخامت ۰/۴ میلی‌متر از نوع مستطیلی (با دیوار قائم) می‌باشد که ابعاد آن ۰/۱۵ در ۰/۱۵ متر است، ارتفاع آن ۰/۵ متر و در فاصله ۰/۷۱ متری ابتدای جعبه رسوبی نصب شده است. طبقه بندی ملویل تکیه‌گاه مورد آزمایش جزء تکیه‌گاه‌های از نوع متوسط قرار می‌گیرد که در یک تکیه‌گاه متوسط نیز عمق آبستنگی به طور هم‌زمان تابعی از طول تکیه‌گاه و عمق جریان

انجام آزمایش مشابه یکدیگر بوده است. آزمایش‌ها تعیین آستانه حرکت چندین بار انجام شده و میانگین مقادیر به دست آمده از این آزمایش‌ها معادل ۰/۳ متر بر ثانیه بوده است.

نداشته باشند و پس از رسیدن عمق جریان به مقداری ثابت و در حدود ۱۲ سانتی‌متر با افزایش دبی جریان سرعت به تدریج افزایش یافته است. در تکرارهای بعدی با ثابت نگه داشتن دبی، عمق جریان کم و در نتیجه سرعت زیاد شده است که نتایج دو روش



Fig. 1- View of the Six Leg Elements for open arrangement

شکل ۱- نمای از المان‌های نشن پایه با آرایش باز

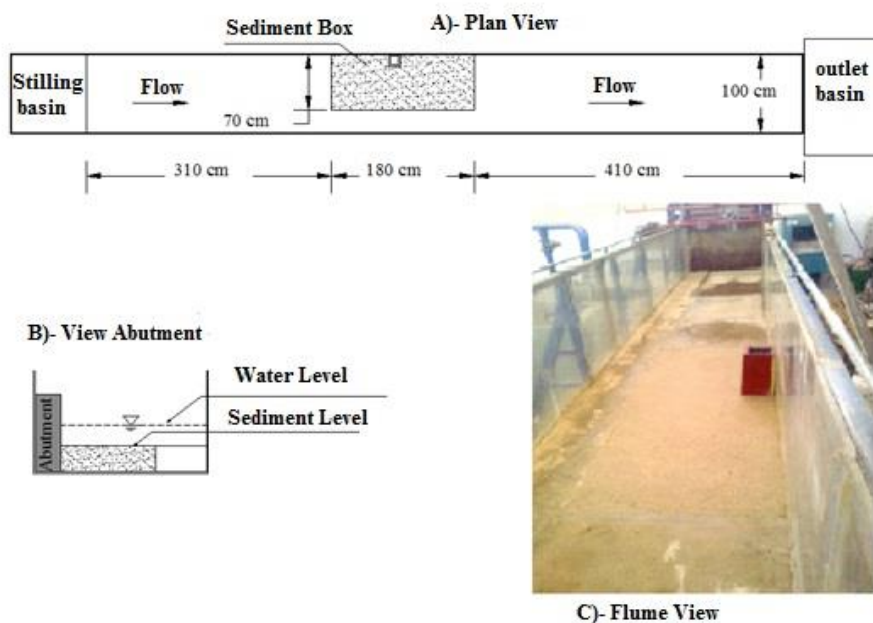


Fig. 2- Experimental Flume

شکل ۲- فلوم آزمایشگاهی

جدول ۱- ویژگی‌های آزمایش‌های انجام شده

Table 1- Parameters in experimental tests

Test No.	Discharge (L/s)	Flow Depth (cm)	Froude Number	Flow velocity (cm/s)	Vc/V
1	23/7	12	0/179	19/5	0/65
2	27	12	0/208	22/5	0/75
3	30/6	12	0/235	25/5	0/85
4	32/4	12	0/250	27	0/90

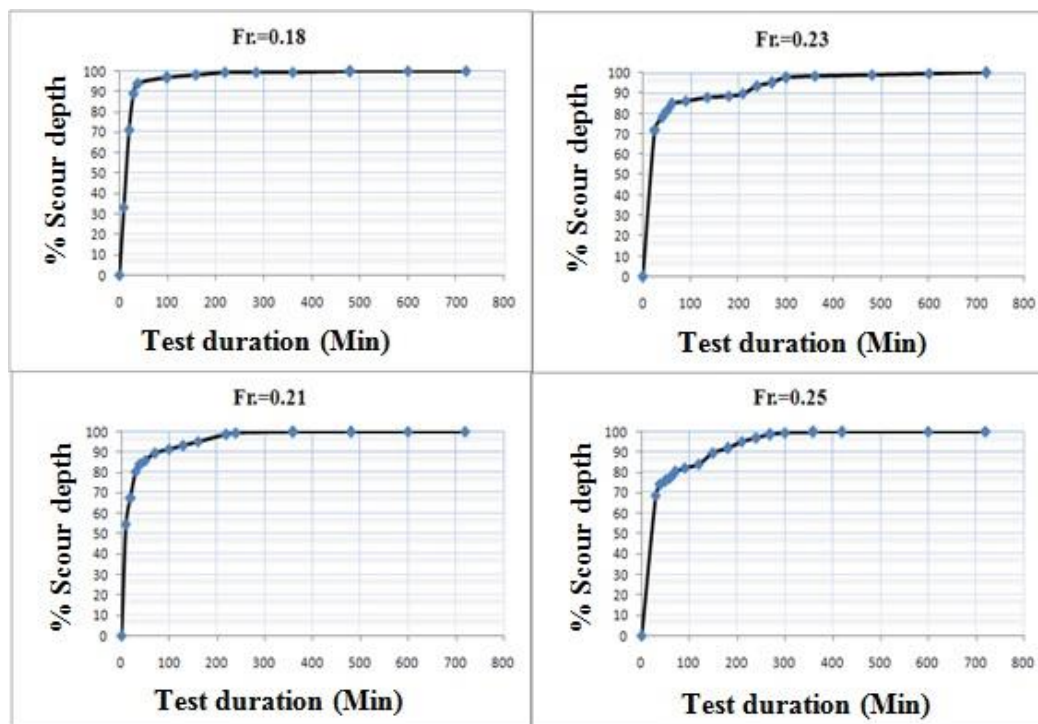


Fig. 3- Variation of percent of scour depth versus test duration

شکل ۳- تغییرات عمق آبشستگی به صورت درصدی از عمق نهایی آن نسبت به زمان

المان شش‌پایه در زیر بستر و B_3 آرایش در زیر بستر. در این مقاله به طور خلاصه، از حرف A به منظور اشاره به "المان‌های شش‌پایه" استفاده شد.

در این تحقیق به دلیل استفاده توأم سنگچین و المان‌های شش‌پایه به سه صورت زیر تعریف شدند:

الف- آزمایش شاهد بدون حضور المان شش‌پایه و سنگچین (بستر B)

در ابتداء آزمایش‌های شاهد با کارگذاری تکیه‌گاه، بدون حضور المان‌های شش‌پایه و سنگچین در چهار عدد فرود مختلف طبق جدول (۱) انجام گردید. قبل از انجام هر آزمایش بستر به وسیله ماله و قوطی فلزی کاملاً تسطیح و سپس با متر لیزری کنترل شده است. پس از اتمام آزمایش نیز توپوگرافی بستر با متر لیزری در شبکه 3×3 سانتی‌متر برداشت گردیده است. البته به تناسب پستی بلندی بستر شبکه برداشت در محل‌های مورد نیاز متراکم‌تر شده است (شکل ۴-الف). در این مقاله به منظور خلاصه نویسی از حرف B که نشان دهنده "بستر" می باشد استفاده شد.

ب- آزمایش شاهد با حضور المان‌های شش‌پایه به صورت باز (بستر B و المان‌های شش‌پایه A)

این آزمایش شاهد خود شامل سه آرایش می‌باشد: همان‌طور که گفته شد به دلایل اقتصادی از طریق کاهش تعداد المان‌ها در واحد سطح از تراکم باز المان‌ها در هر سه آرایش استفاده شد. المان‌ها را در سه نوع آرایش روی بستر (AB_1) ، در نصف عمق المان (AB_2) و در عمق کامل المان‌ها در زیر بستر (AB_3) در چهار عدد فرود طبق جدول (۱) قرار داده شد (شکل ۴-ب). لازم به توضیح است B_1 یعنی آرایش روی بستر B_2 آرایش در عمق نصف

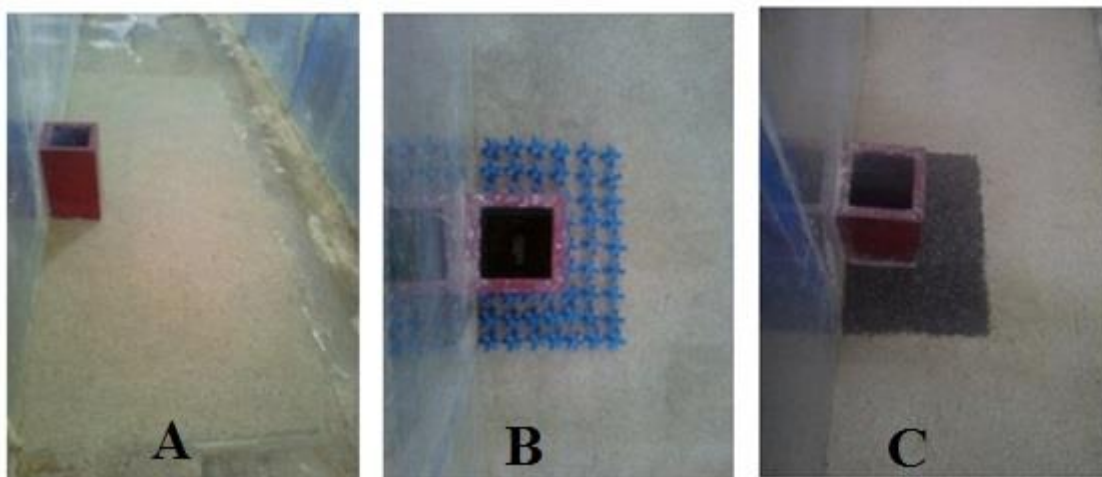
ج- آزمایش شاهد با حضور سنگچین و بدون حضور المان‌های شش‌پایه (بستر B و سنگچین R)

بعد از انجام آزمایش شاهد در حالات الف و ب، این بار آزمایش‌ها تنها با حضور سنگچین انجام شدند. دو نکته مهم در مورد اندازه سنگچین در کنترل آبشستگی اهمیت زیادی دارد: اول آنکه اندازه آن‌ها بحدی برسد که با عبور جریان حرکت نکند یا به بیان دیگر دچار شکست برشی نگردد. دوم آنکه سرعت جریان عبوری از میان قطعات سنگچین در حدی باشد که موجب فرسایش در لایه تحتانی یا خاک زیرین نگردد. یا به بیان دیگر منجر به فرسایش زیرسطحی نگردد. لذا با توجه به این موضوع و آزمایش‌های متعدد بهترین سنگ از نوع سنگ‌های معدنی و آتشفشانی که در صنعت بلوک سازی مورد استفاده قرار می‌گیرد تهیه گردید جرم مخصوص این سنگ‌ها 1.7 گرم بر سانتی‌متر مکعب می‌باشد. برای اندازه سنگچین مناسب از رابطه‌های Pagan-Ortiz؛ Simons and Lewis, 1971؛ Melville and Coleman, 2000؛ 1991 و Lagasse و Richardson (2001) استفاده شد. با توجه به مسیر مستقیم کانال از رابطه Richardson و Lagasse که رابطه معتبری است، اندازه $D_{50}=2.3$ mm برای سنگچین انتخاب گردید.

آرایش و حالت‌های مختلف کارگذاری سنگچین و المان‌های شش پایه

به منظور بررسی تأثیر توأم کارگذاری سنگچین و المان‌های شش پایه در مهار آبستگي اطراف تکیه‌گاه، سه نوع آرایش حفاظتی، یعنی یک لایه سنگچین زیر المان‌ها (AR)، یک لایه سنگچین که بعد از چیدن المان‌های باز بین آن‌ها کار گذاشته می‌شوند (RA) و در نهایت دو لایه سنگچین بالا و پایین المان‌ها (RAR) همگی نسبت به حالات بستر انتخاب شد. این آرایش‌ها را نیز در سه لایه یعنی روی بستر (B₁)، در نصف عمق المان‌ها زیر بستر (B₂) و در عمق کامل المان‌ها زیر بستر (B₃) کارگذاری کردیم. شکل (۵) نشان دهنده آرایش‌های مذکور می‌باشد. در این شکل هر سه نوع آزمایش شاهد نیز روی شکل مشخص شده‌اند. شکل (۶) نمونه‌ای از کارگذاری توأم سنگچین و المان‌های شش پایه اطراف تکیه‌گاه روی بستر را نشان می‌دهد. (عبارت اختصاری داخل پرانتز شکل (۶) نشان می‌دهد که المان‌های شش پایه روی سنگچین‌اند در حالتی که هر دو روی بستر قرار گرفته‌اند (ARB1). پس از اتمام هر آزمایش به منظور برداشت توپوگرافی بستر، در حالتی که المان‌ها روی ریپرپ و روی بستر قرار داشتند به آرامی برداشته شده‌اند، به طوری که منجر به بر هم ریختن ریپرپ‌ها و بستر و ایجاد تغییرات در آن نگردد. در حالتی که قطعات در زیر بستر و یا نصف عمق المان قرار داشته و یا در زیر رسوبات مدفون گردیده‌اند به منظور اجتناب از بر هم ریخته شدن بستر، قطعات خارج نشدند و به همان صورت آبستگي قرائت گردید.

سنگچین مورد استفاده دارای ابعادی یکنواخت و تیز گوشه می‌باشند. سنگچین‌ها طبق تحقیقات (Melville et al (2007) و (Mansoori-Hafshejani and Shafai-Bejestan (2014) در لایه ای همتراز بستر قرار داده شد تا به طور کلی سنگچین، کمتر تحت تأثیر جریان قرار گرفته و بهتر بتواند در مقابل آبستگي موضعی مقاومت کند و پایداری بیشتری داشته باشد. همان‌طور که اشاره شد در پژوهش حاضر چیدمان المان‌ها پیرامون تکیه‌گاه به صورت تراکم باز در نظر گرفته شده است. در این حالت گستره پوشش پیرامون تکیه‌گاه ۱۳ سانتی‌متر می‌باشد. طبق رابطه Cardoso و Fael (2009) که حداقل گستره لازم پوشش را در تکیه‌گاه مستطیلی به منظور اجتناب از گسیختگی پوشش پیشنهاد می‌دهد در این مطالعه کمینه این مقدار حدود هفت سانتی‌متر می‌باشد. بنابراین گستره پوشش ایجاد شده (۱۳ سانتی‌متر) مقداری قابل قبول خواهد بود. ضخامت لایه سنگچین طبق رابطه Melville et al (2007) دو برابر قطر متوسط سنگچین‌ها انتخاب گردید (شکل ۴-ج). این آزمایشات نیز در چهار عدد فرود مطابق جدول (۱) انجام شد. باتوجه به اینکه کارگذاری سنگچین به تنهایی در زیر بستر یا در نصف عمق آن طبق مطالب فوق‌الذکر توجیه علمی ندارد، لذا بر خلاف المان‌های شش پایه، آزمایش شاهد سنگچین فقط در حالت روی بستر انجام گرفت (RB₁). عبارت اختصاری داخل پرانتز به این معنی است که اول سنگچین و سپس بستر در حالتی که سنگچین همتراز بستر قرار گرفته جای‌گذاری گردیده است. در این مقاله به‌طور خلاصه از حرف R به‌جای "سنگچین" استفاده شده است.



شکل ۴- انواع آزمایش‌های شاهد: (A) - نوع اول (B) - نوع دوم (C) - نوع سوم (RB₁)



Fig. 5- Different arrangement for riprap & SLC

شکل ۵- آرایش و حالات‌های مختلف کارگذاری سنگچین و المان‌های شش‌پایه



Fig. 6- Placing riprap and SLC on the bed (ARB₁)

شکل ۶- کارگذاری توام سنگچین و المان‌های شش‌پایه اطراف تکیه‌گاه روی بستر (ARB₁)

دو نوع آزمایش شاهد (B و C) می‌باشد. از مقایسه حالات (B و C) مشخص است که زمانی که المان‌های شش‌پایه و سنگچین هر یک به تنهایی مورد استفاده قرار گیرند، تأثیر کارگذاری المان‌های شش‌پایه روی بستر بیش از کارگذاری سنگچین روی بستر می‌باشد. از مقایسه نتایج آزمایش در شاهد (B) که خود سه آرایش مختلف دارد می‌توان دریافت که بهترین حالت محافظت تکیه‌گاه زمانی به دست می‌آید که المان‌های شش‌پایه بر روی بستر قرار گیرند. همچنین زمانی که المان‌ها کاملاً در زیر بستر باشند بیشترین مقادیر آبستگی اتفاق می‌افتد و در کارگذاری المان‌ها در نیمه عمق آن‌ها نتایج حد وسطی را ارائه می‌دهد. علت این موضوع را می‌توان به زبری المان‌ها نسبت داد. به بیان دیگر با افزایش پایداری روی بستر

نتایج و بحث

در تمامی آزمایش‌های شاهد (A، B و C) با افزایش عدد فرود جریان و نزدیک شدن سرعت جریان به سرعت بحرانی، عمق آبستگی و ابعاد حفره آبستگی اطراف تکیه‌گاه افزایش یافت. همچنین در کلیه حالات حداکثر عمق آبستگی در گوشه بالادست تکیه‌گاه رخ داد، بنابراین همین نقطه به عنوان مبنای اندازه‌گیری حداکثر عمق آبستگی در نظر گرفته شد. جدول (۲) خلاصه نتایج آزمایش‌های شاهد را نشان می‌دهد. با توجه به داده‌های این جدول حداکثر عمق آبستگی در هر چهار حالت عدد فرود در آزمایش شاهد (A) نسبت به آزمایش‌های شاهد (B و C) بیشتر می‌باشد. دلیل این امر هم وجود پوشش‌های کنترل کاهش آبستگی در هر

آبشستگی رأس تکیه‌گاه مستطیلی، جدول (۴) به صورت درصد کاهش عمق آبشستگی رأس تکیه‌گاه مستطیلی در آزمایشات ارزیابی نسبت به آزمایش‌های شاهد تهیه گردیده است. طبق این جدول لایه‌گذاری‌های مختلف توام سنگچین و المان‌های شش‌پایه بسته به عمق و آرایش کارگذاری آن‌ها بین ۰ تا ۹۷ درصد عمق آبشستگی رأس تکیه‌گاه را کاهش داده است. نکته مورد تأمل و توجه این است که در آرایش‌های (AB₂R) و (B₃AR)، در مقایسه با آزمایش‌های شاهد در آرایش‌های (AB₁)، (AB₂) و (RB₁) در اکثر اعداد فرود درصد کاهش عمق آبشستگی منفی شده بدین معنی که عمق آبشستگی در این آزمایش‌ها بیش از آزمایش‌های شاهد متناظر بوده است. لذا از خط تیره استفاده شده است. دلیل این امر هم به نظر می‌رسد سست شدن رسوبات هنگام کارگذاری سنگچین و المان‌ها نسبت به آزمایش‌های شاهد باشد.

که منجر به افزایش زبری می‌گردد، عمق آبشستگی بیشینه کاهش می‌یابد. نتایج آزمایش‌های ارزیابی در جدول شماره (۳) نمایش داده شده است. در این جدول مقدار آبشستگی در گوشه بالادست تکیه‌گاه (رأس تکیه‌گاه) در آرایش و لایه‌های کارگذاری مختلف نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود تأثیر توأم کارگذاری دو نوع پوشش سنگچین و المان‌های شش‌پایه تأثیر چشمگیری در کاهش عمق آبشستگی نسبت به انواع آزمایش‌های شاهد داشته است. با توجه به مقادیر جدول (۳) پیداست با تلفیق کارگذاری دو نوع پوشش مقادیر آبشستگی بیشینه بین ۲ میلی‌متر تا ۴۶ میلی‌متر متغیر بوده است. در واقع با توجه به شکل (۷) و چهار حالت عدد فرود، تعداد ۴۸ آزمایش صورت گرفت که مقدار آبشستگی در جداول (۲) و (۳) نشان داده شده است. با توجه به نتایج آزمایش‌های ارزیابی انجام شده و به منظور درک بهتر از درصد تأثیر همزمان آرایش‌های مختلف سنگچین و المان‌های شش‌پایه در مهار

جدول ۲- حداکثر میزان عمق آبشستگی (mm) در نوک بالادست تکیه‌گاه مستطیلی در آزمایش‌های شاهد

Table 2- Maximum scour depth (mm) at the Mpstream nose of the rectangular bridge pier at base line tests

Fr ₄	Fr ₃	Fr ₂	Fr ₁	Base Line test	
95	65	55	37	B	A
19	15	13	9	AB ₁	
49	37	30	26	AB ₂	
59	45	44	34	B ₃ A	B
66	50	17	11	RB ₁	C

A: SLC, R: Riprap, B₁: on the bed B₂: half below the bed B₃: under the bed

جدول ۳- حداکثر میزان عمق آبشستگی (mm) در نوک بالادست تکیه‌گاه مستطیلی در آزمایش‌های ارزیابی

Table 3- Maximum scour depth (mm) at the upstream nose of rectangular abutment at main test

Test Name	Fr ₁	Fr ₂	Fr ₃	Fr ₄
ARB ₁	2	5	7	12
AB ₂ R	19	20	21	22
B ₃ AR	32	48	40	46
ARB ₂	1	3	13	19
RB ₃ A	6	8	9	14
ARB ₂ R	4	8	11	16
RB ₃ AR	3	5	8	14

A: SLC R: riprap B₁: on the bed B₂: half below bed B₃: below bed

جدول ۴- درصد کاهش آبستگی در نوک بالادست تکیه‌گاه مستطیلی در آزمایش‌های ارزیابی نسبت به آزمایش‌های شاهد
 Table 4- Percent reduction of scour at the upstream nose of the abutment at different alternatives of test

Baseline test	RB				AB ₁				AB ₂				B ₃ A				RB ₁			
	Fr	Fr	Fr	Fr	Fr	Fr	Fr	Fr	Fr	Fr	Fr	Fr	Fr	Fr	Fr	Fr	Fr	Fr	Fr	Fr
Different arrangement	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
ARB ₁	95	91	89	87	78	61	53	63	92	83	81	75	94	89	84	80	82	71	86	81
AB ₂ R	49	64	68	77	-	-	-	-	27	33	43	55	44	54	53	63	-	-	58	67
B ₃ AR	14	31	38	52	-	-	-	-	-	-	-	6	6	14	11	22	-	-	20	30
ARB ₂	97	94	80	80	89	77	13	0	96	90	65	58	97	93	71	68	91	82	74	71
RB ₃ A	84	85	86	85	33	38	40	26	77	73	76	71	82	82	80	76	45	53	82	79
ARB ₂ R	89	85	83	83	56	38	27	16	85	73	70	67	88	82	86	73	64	53	78	76
RB ₃ AR	92	91	89	85	67	61	89	85	88	83	81	71	94	89	83	76	73	71	86	79

به تنهایی تأثیری در مهار آبستنگی ندارد. البته برای زمانی که سنگچین در زیر بستر قرار گرفته باشد. با توجه به این موضوع سایر آزمایش‌های ارزیابی که شامل پنج نوع آرایش می‌باشد با بهترین آزمایش شاهد از نظر آبستنگی (آرایش AB_1) مورد مقایسه قرار گرفته اند. شکل (۸) نشان دهنده نتایج مقایسه بین آزمایش شاهد بهینه (AB_1) و آزمایش‌های ارزیابی ARB_1 ، ARB_2 ، RB_3A ، ARB_2R ، RB_3AR می‌باشد. همانطور که در این شکل دیده می‌شود در اعداد فرود کمتر، یعنی (Fr_2 و Fr_1) بهترین حفاظت تکیه‌گاه یا به بیان دیگر کمترین مقادیر آبستنگی نسبی مربوط به آرایش ARB_2 می‌باشد. در این حالت سطح بستر به‌طور کامل توسط المان‌های شش‌پایه و سنگچین پوشیده شده است. اما در اعداد فرود بالاتر (Fr_4 و Fr_3) بهترین نتایج زمانی به‌دست آمده که آرایش ARB_1 انتخاب شده است. این حالت مشابه حالت قبلی یا ARB_2 بوده با این تفاوت که کل المان شش‌پایه روی بستر پدیدار می‌باشد، بنابراین تأثیر ضریب زبری بیشتر خواهد بود.

در شکل (۷) نمودار بدون بعد تغییرات عمق آبستنگی نسبی (ds/y) در برابر عدد فرود در آزمایش‌های شاهد نشان داده شده است. همان‌طور که در این نمودار دیده می‌شود کمترین مقادیر آبستنگی نسبی در آزمایش‌های شاهد مربوط به حالتی است که المان‌های شش‌پایه روی بستر قرار می‌گیرند (AB_1). در این حالت زبری المان‌ها بیش از سایر حالات آزمایش‌های شاهد بوده و این موضوع می‌تواند توجیه کننده عملکرد مطلوب این آرایش در آزمایش مهار آبستنگی باشد. همچنین مطابق انتظار بیشترین مقدار آبستنگی در حالت بستر بدون پوشش (B) شاهد شده است. سایر آرایش‌های شاهد نتایجی بین این دو آزمایش را نتیجه می‌دهند.

همان‌طوری که در جدول (۴)، نتایج آزمایش‌های ارزیابی نشان داده شد در دو آزمایش نتایج مطلوبی به‌دست نیامده است که در این جدول درصد‌های مربوط به کاهش عمق آبستنگی به‌صورت خط تیره نمایش داده شده است (آزمایش‌های AB_2R و B_3AR). این موضوع نشان می‌دهد که کارگذاری سنگچین در زیر المان‌ها

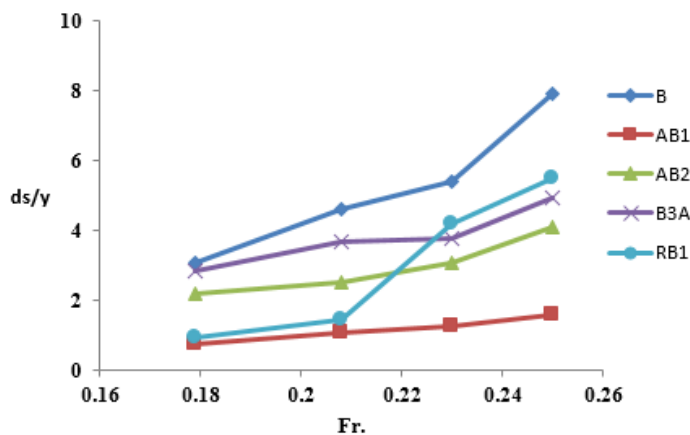


Fig. 7- Dimensionless scour depth versus froude number (base line tests)

شکل ۷- نمودار بدون بعد تغییرات عمق آبستنگی نسبی (ds/y) در برابر عدد فرود در آزمایش‌های شاهد

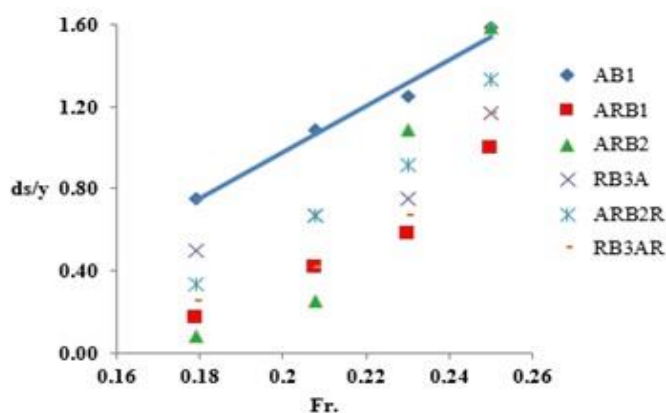


Fig. 8- Comparison of the dimensionless scour depth versus Froude number for all tests

شکل ۸- مقایسه تغییرات عدد بدون بعد عمق آبستنگی نسبی در مقابل عدد فرود برای همه آزمایش‌ها

نتیجه‌گیری

در این پژوهش تأثیر هم‌زمان کارگذاری المان‌های شش‌پایه و سنگچین بر مهار آبستنگی موضعی پیرامون تکیه‌گاه با دیوار عمودی مورد بررسی قرار گرفته است. بدین منظور ابتدا آرایش‌های سنگچین تنها و المان‌های شش‌پایه با تراکم باز تنها و سپس آرایش‌های مختلفی از المان‌های شش‌پایه و قطعات سنگچین نسبت به هم در پیرامون تکیه‌گاه مسطیلی در شرایط آب زلال در نظر گرفته شد. کارگذاری هم‌زمان المان‌های شش‌پایه و قطعات سنگچین از یک سو منجر به کاهش هزینه‌ها از طریق انتخاب سنگچین با اندازه متوسط کوچکتر شده و از سوی دیگر با توجه به ایجاد پوشش صددرصدی و یکنواخت در زیر المان‌های شش‌پایه، منجر به کاهش هزینه‌ها از طریق چیدمان المان‌های با تراکم باز و در نتیجه کاهش تعداد آن‌ها در واحد سطح گشت. نتایج آزمایش‌های شاهد نشان داد که کارگذاری المان‌های شش‌پایه روی بستر در تمامی اعداد فرود بیش‌تر از کارگذاری قطعات سنگچین روی بستر در مهار آبستنگی مفید است به طوری که در آزمایش شاهد سنگچین تنها حداکثر عمق آبستنگی در بیشترین عدد فرود به ۶۶ میلی‌متر و در آزمایش شاهد در حضور المان‌های شش‌پایه روی بستر این عدد به ۱۹

میلی‌متر رسید. (مقایسه حالت‌های AB1 و RB1). علت این موضوع را می‌توان به تأثیر زبری بیشتر المان‌ها نسبت به سنگچین در استهلاک انرژی جنبشی جریان نسبت داد. از طرفی نتایج آزمایش‌ها ارزیابی نشان داد که کارگذاری المان‌های شش‌پایه تا نصف عمق‌شان به همراه سنگچین روی بستر (ARB_2) در اعداد فرود کوچکتر (Fr_1 و Fr_2) بیشترین تأثیر در مهار آبستنگی را داشته و تا میزان ۹۷ درصد آبستنگی رأس تکیه‌گاه را کاهش داده است. همچنین در اعداد فرود بالاتر (Fr_3 و Fr_4) کارگذاری سنگچین در زیر المان‌های شش‌پایه روی بستر (ARB_1) بیشترین تأثیر در مهار آبستنگی رأس تکیه‌گاه را داشته و تا میزان ۸۹ درصد آبستنگی بیشینه تکیه‌گاه مسطیلی را کاهش داده است.

تقدیر و تشکر

این مقاله بخشی از پایان نامه دکتری نویسنده اول می باشد که هزینه‌های آن از محل پژوهانه نویسنده دوم تأمین و بدینوسیله از معاونت پژوهشی دانشگاه شهید چمران تشکر و قدردانی می‌شود.

References

- 1- Barbhuiya, A.K. and Dey, S., 2004. Local scour at abutments: A review. *Sadhana*, 29(5), pp.449-476.
- 2- Bozkus, Z. and Yildiz, O., 2004. Effects of inclination of bridge piers on scouring depth. *Journal of Hydraulic Engineering*, 130(8), pp.827-832.
- 3- Cardoso, A.H. and Fael, C.M., 2009. Protecting vertical-wall abutments with riprap mattresses. *Journal of Hydraulic Engineering*, 135(6), pp.457-465.
- 4- Chiew, Y. M. 2004. Local scour and riprap stability at bridge piers in a degrading channel. *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE*. 130 (7): 622-634.
- 5- Chiew, Y. and Lim, S., 2003, March. Protection of bridge piers using a sacrificial sill. In *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Water and Maritime Engineering*, (Vol. 156, No. 1, pp. 53-62). Thomas Telford Ltd.
- 6- Coleman, S.E., Lauchlan, C.S. and Melville, B.W., 2003. Clear-water scour development at bridge abutments. *Journal of Hydraulic Research*, 41(5), pp.521-531.
- 7- Dongol, D.M.S. and Melville, B.W., 1994. *Local scour at bridge abutments*. Department of Civil Engineering, University of Auckland.
- 8- Ghorbani B. and HeidarPour, M. 2004. Control and reduction of scour using combination of sluts and riprap, Research report, Isfahan University of Technology and Shahrekord University, p.112 (In Persian).
- 9- Kandasamy, J.K., 1989. Abutment scour. *University of Auckland, School of Engineering Report*, (458).
- 10- Kayaturk, S.Y., 2005. *Scour and scour protection at bridge abutments* (Doctoral dissertation, Ph. D. thesis, Department of Civil Engineering, Middle East Technical University (METU), Ankara, Turkey).

- 11- Khademi, Kh and Shafai-Bejestan, M. 2015. Investigation of number, location and angel of submerged vane on scour depth at bridge abutment, *Journal of Iranian Water Research, Shahrekord University*, 15(8): 44-55 (In Persian).
- 12- Khozeimenejad, H., Ghomeshi, M. and Shafai-Bejestan, M. 2015. Comparison of performance of symmetric and unsymmetrical rectangular collar on scour reduction at bridge abutments, *Journal of Irrigation Sciences and Engineering*, 37(2): 10-12 (In Persian).
- 13- Korkut, R., Martinez, E.J., Morales, R., Ettema, R. and Barkdoll, B., 2007. Geobag performance as scour countermeasure for bridge abutments. *Journal of Hydraulic Engineering*, 133(4), pp.431-439.
- 14- Lagasse, P.F. and Richardson, E.V., 2001. ASCE compendium of stream stability and bridge scour papers. *Journal of Hydraulic Engineering*, 127(7), pp.531-533.
- 15- Laursen, E.M. and Toch, A., 1956. *Scour Around Bridge Piers and Abutments* (Vol. 4). Ames, IA: Iowa Highway Research Board.
- 16- Mansoori-Hafshejani M. and Shafai-Bejestan M. 2014. Comparison of the effect of three different depth of placing rocks on the stability of riprap at bridge abutments in a 90 degree bend, *Journal of Soil and Water Sciences*, Tabriz University, 12(2): 195-204 (In Persian).
- 17- Mansoori-Hafshejani M. and Shafai-Bejestan M. 2011. Design of riprap sizing at river bend around the bridge abutment, *Journal of Irrigation Sciences and Engineering*, 34(4): 35-45 (In Persian).
- 18- Mansoori-Hafshejani M. and Shafai-Bejestan M. 2012. Control of scour at river bend using riprap. *Journal of Iranian Water Research*, University of Shahrekord, 5(9): 73-83 (In Persian).
- 19- Melville, B. W., 1992. Local Scour at Bridge Abutments. *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, 118 (4): 615-631.
- 20- Melville, B. W and Coleman, S. E., 2000. Bridge scour. Water Resources Publications, Colorado, USA, 270p.
- 21- Melville, B.W., 1997. Pier and abutment scour –an integrated approach. *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, 123 (2): 125-136.
- 22- Melville, B.W., Van Ballegooy, S., Coleman, S.E., and Barkdoll, B. 2007. Riprap size selection at wing-wall abutment. *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE. 133 (11): 1265-1269.
- 23- Pagan-Ortiz, J.E. 1991, Stability Of rock riprap for protection at the toe of abutments located at the flood plain Rep. No. FHWA-RD-91-057. Feederal Highway Administration U.S. Dept of Transportation Washington D.C.
- 24- Przdwojski, B. 1995. Bed topography and local scour in rivers with banks protected by groynes. *Journal of Hydraulic Reserch*, 33 (2): 257-273.
- 25- Richardson, E.V and Davis, S.R., 2001. Evaluating Scour at Bridges (4th Ed.). Federal Highway Administration, Hydraulic Engineering Circular No.18, FHWA NHI-01-001.
- 26- Raudkivi, A.J. 1998. Loose boundary hydraulics. 4th Edition. Rotterdam, Brookfield VT, Balkema. P:496.
- 27- Saadatnaya, M., Khodashenas, S., Saneei, M. and Esmaeilei K. 2010. The effect of spur dike angle on scour depth around the nose of bridge abutment. 8th Int. River engineering Conf. on River Engineering, Shahid Chamran university of Ahvaz, Iran (In Persian).
- 28- Sepahvand, K. and Shafai-Bejstan M. 1995. Investigation of scour depth at bridge abutment under the influence of spur dike. M.Sc thesis, Shahid Chamran University of Ahvaz (In Persian).

- 29- Shafai-Bejestan, M. 2009. 'Hydraulic of Sediment Transport " 2 nd edition, Shahid Chamran UIniversity, S49p.
- 30- Simons, D.B., and Lewis, G.L. 1971. Flood protection at bridge crossings. C.S.U. Civil Engineering Rep. No. CER71-72DBS.GL10.prepared for the Wyoming State Highway Dept. in conjunction with the U.S Dept. of Transportation Washington D.C.
- 31- Tey C.B. 1984. Local scour at Bridge Abutment. Report No. 329. School of Engineering, University of Aukland, New Zealand, 215p..
- 32- Thornton, C.I., Abt, S.R. and Watson, C.C., 2001. Field Assessment of A-Jacks Installation, A Case Study of Brush Creek, Kansas City, Missouri, and Powell Creek, Waukegan, Illinois. In *Wetlands Engineering & River Restoration 2001* (pp. 1-8).
- 33- Unger, J. and Hager, W.H., 2006. Riprap failure at circular bridge piers. *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE. 132 (4): 354-362.
- 35- Zarrati, A.R., Nazariha, M., and Mashahir, M.B., 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.
- 36- Zolghadr, M. and Shafai-bejestan, M. 2015. Investigation of scour depth under the influence of different depth of placement and arrangements of A-jacks at bridge abutment. PhD dissertation, Shahid Chamran university of Ahvaz (In Persian)