Irrigation Sciences and Engineering (JISE) Vol. 42, No. 1, Spring 2019, p. 99-114

Shahid Chamran University of Ahvaz

EXTENDED ABSTRACT

Investigation of the Effect of Six Legged Concrete (SLC) Elements Combined with Riprap on Scour Depth at Vertical Wall Bridge Abutments

A. A. Hosein Reza[1], M.Shafai Bejestan[2*], M.Ghomeshi[3] and M.Fathi Moghadam[4]

1- Ph.D.Student, 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.*(M_shafai@yahoo.com).*
3- Professor, Faculty of Water Sciences Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran.
4- Professor, Faculty of Water Sciences Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran.

Received: 16 February 2017 Revised: 26 June 2017 Accepted: 2 July 2017

Keywords: Scour, Bridge Abutments, SLC elements, Riprap. ***DOI:*** 10.22055/jise.2017.21193.1524.

Introduction

Destruction of bridges caused by scour and other natural phenomenon brings about financial and life losses. Hence, researchers have been studied extensively the scour mechanism and methods of scour countermeasure. Usually scour at bridge occurs both around piers and abutments. Melville (1992)'s study showed that 70 percent of the failure of bridges in New Zealand was due to the abutment scour. Studies conducted on the failure of 383 bridges in the United States showed that in 25% of them the pier scour, and in 72% of them the damage was due to abutment scour (Kayatrak, 2005). The main cause of the abutment scour is due to complex flow vortices which developed around the abutment. Therefore, during the past decades many measures have been developed to protect the bed material against erosion. These techniques can be categorized in two types of covering methods and flow altering techniques. Design guidelines for some of these mitigation techniques can be found in Melville and Coleman (2000). For existing bridges the common practice is to use armoring materials around bridge abutment. Riprap, gabions, rectangular concrete blocks and tetrahedron frames concrete elements are the most effective material for covering and stabilizing the bed around the bridge abutments. In rivers with high flood discharge, the covering material are subject to high flow velocities and therefore large size of rocks have to be used. When the site construction is far away from mountain area or large sizes of the rocks are not available or too costly to transport, other material should be applied. In the present study, a new concrete element-six –legs concrete (SLC)- beside using of smaller size of rocks have been studied to find out the best combination for protecting bridge abutments against scour.

Material and Methods

The experimental tests were carried out in the Hydraulic Laboratory of Shahid Chamran University of Ahvaz in a water recycling flume with dimensions of 10m long, 1m wide and 0.6m height. A rectangular abutment model (0.15m × 0.15m which is categorized as medium size abutment) was installed at 4m downstream of the flume inlet which its bed is covered with fine uniform sand of 0.63mm in size. Four series of tests were conducted including a) no cover, b) using SLC, c) using riprap and d) combination of SLC and riprap (Fig.1). The SLC is a concrete element that is made up of two T-shaped concrete blocks which are attached to each other in the middle, which form the SLC shape. Small scale model (1/12 of the original size with 5 gr weight) were used

in this study. small gravel size of 2.3mm was used for riprap material. Test were carried out applying four different flow conditions (Froude numbers of 0.179, 0.208, 0.225 and 0.250) under constant flow depth of 10 cm. To find out tests duration, a long duration test was conducted for series a (base line tests) and by plotting the scour depth versus time it was found that after 4 hours 90% of the maximum scour depth occurred therefore the rest of tests were run in four hours.

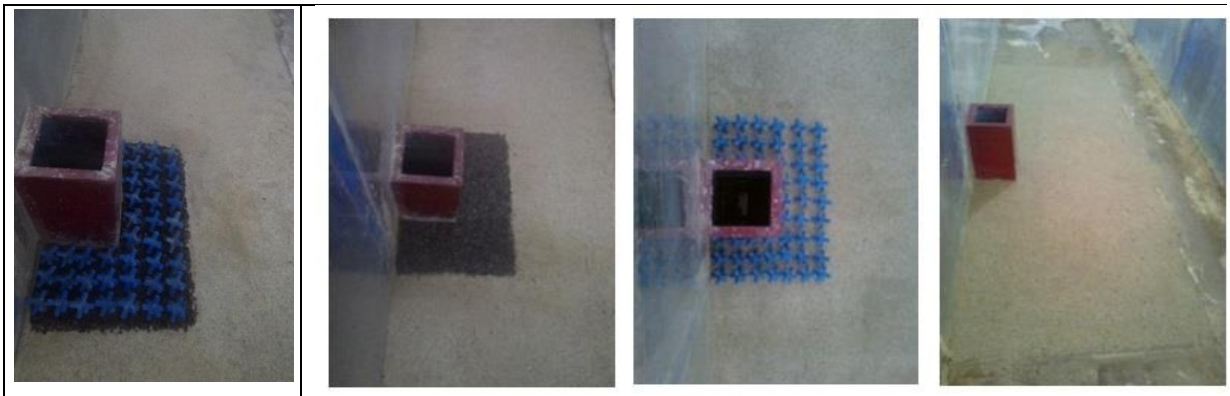


Fig.1 Four Series of bed cover

Results

Figs. (2) and (3) briefly present the ratio of maximum scour depth measured at the upstream tip of the abutment to the flow depth versus Froude number for different alternatives of bed coverage. In these figures B is for no cover, A is for SLC, R for riprap and B1, B2 and B3 stand for the tests in which SLC were placed above, half of the SLC size below the bed surface and entire SLC below the bed surface respectively. Test with RB3A stands for bed cover by riprap below the surface and SLC on top. As it shows generally the maximum scour depth increases as the Froude number increases for all types of coverage. However the maximum scour is usually greater in case of no cover (B). The maximum scour depth for combination of SLC and riprap is less than the SLC and it is less than riprap cover. For SLC coverage the best performance was obtain when it placed at the top of the bed. Among all coverage alternatives the scour depth is negligible once the SLC on bed surface and riprap placed below the bed surface (ARB2).

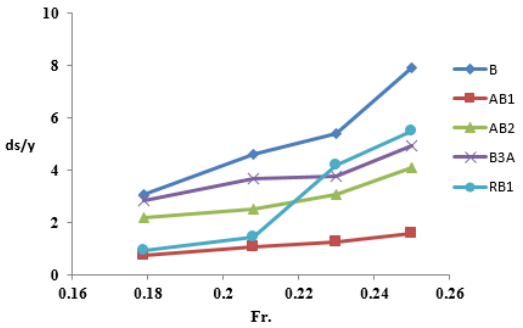


Fig.2 Dimensionless scour depth versus Fr for different alternatives of bed coverage

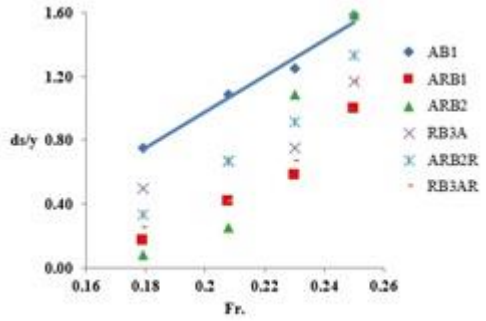


Fig.3 Dimensionless scour depth versus Fr for different alternatives of bed coverage

Conclusion

The results of this study indicate that the SLC if placed at top of the bed around the bridge abutment, the maximum scour depth at high Froude number is reduced by as much as 70% in

comparison with when the riprap is used. It also found that for low flow conditions the best placement of the SLC elements is to be buried by half of their height with a combination of riprap (ARB2) which reduced the maximum scour depth by as much as 97%. For higher flow conditions it is best that the SLC is on top of the riprap and both on the bed surface (ARB1). In this cases of coverage the maximum scour depth is reduced by as much as 89%.

Acknowledgement

This paper is part of ph.D dissertation of the first author and the financial support had rewived from the grant of the 2nd author. The authors would loke to thank the vice-chancellar for research of shahid chamran.

References

1- Kayaturk, S.Y. 2005. Scour and Scour protection at bridge abutment. PhD thesis, Middle East Technical University, Ankara, Turkey.

2- Melville, B. W., 1992. Local Scour at Bridge Abutments. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 118 (4): 615-631.

3- Melville, B. W and Coleman, S. E., 2000. Bridge scour. Water Resources Publications, Colorado, USA.

© 2019 by the authors. Licensee SCU, Ahvaz, Iran. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0 license) (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

علوم و مهندسی آبیاری

جلد ۴۲، شماره‌ی۱، بهار ۹۸، ص. ۱۱۴-۹۹

کاربرد همزمان سنگچین و المان‌های شش‌پایه در کنترل عمق آبشستگی 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

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

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

دریافت: ۱۳۹۵/۱۱/۲۸ بازنگری: ۱۳۹۶/۴/۵ پذیرش: ۱۳۹۶/۴/۱۱

چکیده

تخریب پل‌ها در اثر عوامل مختلفی چون بروز آبشستگی در تکیه‌گاه آن هر ساله خسارت‌های زیادی به بار می‌آورد. به‌همین دلیل روش‌های مختلفی برای کنترل این پدیده ارائه شده است. در این تحقیق از روش ترکیبی به‌کارگیری توام سنگچین و المان‌های شش‌پایه از نوع روش‌های مستقیم برای کنترل آبشستگی در تکیه‌گاه مستطیلی استفاده شده است. از دلایل مهم این روش در دسترس بودن و ارزان بودن سنگچین هم‌زمان با بکارگیری المان‌های شش‌پایه با آرایش باز با ایجاد ضریب زبری بالا به‌عنوان پوشش است. کارگذاری ترکیبی با سه آرایش، یک لایه سنگچین در زیر المان‌های شش‌پایه، یک ردیف المان‌های شش‌پایه در بین دو لایه سنگچین و یک لایه سنگچین در بالای المان‌های شش‌پایه انجام شد. این کارگذاری‌ها در سه عمق روی بستر، زیر بستر و در عمق نصف المان‌های شش‌پایه 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 شش‌پایه را نشان داد. به‌طوری‌که در اعداد فرود کمتر آرایش و حالتی که نصف المان‌ها روی بستر و سنگچین‌ها روی آن قرار داده شدند، توانست تا ۹۷ درصد عمق آبشستگی 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 آبشستگی راس تکیه‌گاه را کاهش دهد.

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

مقدمه

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، آبشستگی می‌باشد (Chiew, 2004). آبشستگی(Scour) یک پدیده‌ی طبیعی است که توسط جریان آب در رودخانه‌ها و آبراهه‌ها ایجاد می‌شود. Richardson وDavis (2001) علت تخریب پل‌ها در ایالت متحده را پدیده آبشستگی 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 آبشستگی گزارش نمودند. مطالعه‌های Melville (1992 & 1997) نشان داد که ۷۰ درصد هزینه‌های شکست پل در نیوزلند ناشی از ویرانی تکیه گاه پل بوده است. داده‌ها نشان می‌دهند که مشکل آبشستگی در تکیه گاه‌های پل بسیار مهم است. مطالعه‌های انجام شده روی شکست 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 آبشستگی اطراف تکیه‌گاه‌های پل را نشان می دهند. الگوی جریان و مکانیزم آبشستگی 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 Zolghadr و Shafai Bejstan (2015) مورد مطالعه قرار گرفته است.

به نظر کلیه محققین، مهمترین عامل ایجاد حفره آبشستگی 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

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 تنش های 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 (Laursen and Toch, 1956). برای مقابله با آبشستگی 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 (Riprap) Mansoori-Hafshejani و Shafai-Bejestan (2014) المان‌های شش‌پایه (A-jacks) Zolghadr, و 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 به‌دلیل در دسترس بودن مصالح، سادگی اجرا و هزینه‌های کم بسیار متداول است. دانشمندان زیادی 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؛ Melville and Coleman, 2000؛ Lagasse and Zarrati et al. 2006؛ Melville et al, 2007؛ Richardson, 2001؛ 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 المان های 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 Lagasse و Richardson (2001) به آن اشاره کردند. تخریب لبه‌ای در حقیقت حرکت المان‌های سنگچین به سمت چاله آبشستگی 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 آبشستگی 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

به‌صورت یکپارچه عمل می‌کنند. المان‌های شش پایه با جلوگیری از ایجاد چاله‌ی فرسایشی، در گرداب اصلی ایجاد اختلال می‌نمایند. این المان‌ها باعث ایجاد پوشش و افزایش ضریب مانینگ می‌شوند. طریقه کارگذاری این المان‌ها به سه حالت باز، نیمه باز و متراکم است. بهترین بازده در حالت متراکم و کمترین بازده حالت باز می باشد. اما از نظر هزینه بر متفاوت می‌باشد (شکل۱). در این تحقیق از روش حفاظت به‌صورت ترکیبی از سنگچین و المان‌های شش‌پایه به‌صورت 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 به‌عنوان 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. به‌طور کلی در این روش هم معایب استفاده از سنگچین به‌عنوان سازه‌ای تنها تا حدود زیادی از بین رفته و همچنین به‌کارگیری المان‌های شش‌پایه در حالت باز که بازده کمتری نسبت به آرایش‌های دیگر المان دارد، برطرف می‌گردد.

مواد و روش ها

برای انجام تحقیق مورد نظر، ابتدا تحلیل ابعادی انجام و پارامترهای بدون بعد موثر شامل اعداد فرود و عمق آبشستگی نسبی (Fr و ds/y) 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 ۰/۷و 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 سریزلبه تیز مستطیلی برای تنظیم سطح آب در فلوم قرار دارد. قبل از ورود آب به مخزن زیر زمینی یک سرریز مثلثی 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. طبق طبقه‌بندی ملویل تکیه‌گاه مورد آزمایش جزء تکیه‌گاه‌های از نوع متوسط قرار می‌گیرد که در یک تکیه‌گاه متوسط نیز عمق آبشستگی به‌طور هم‌زمان تابعی از طول تکیه‌گاه و عمق جریان 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، ($u/u_c<1$ 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 بوده‌است. پارامترهای اندازه‌گیری شده در هر آزمایش شامل دبی جریان، عمق جریان، و توپوگرافی بستر بوده که به‌ترتیب به وسیله سرریز مثلثی، سطح سنج (Point-gage) و مترلیزری مورد اندازه‌گیری قرارگرفته‌اند. المان‌های شش‌پایه مورد استفاده به‌وسیله قالب از پیش ساخته شده توسط مخلوط ماسه و سیمان و به‌وسیله سیم فلزی برای مسلح شدن تهیه گردید. این المان‌ها دارای جرم مخصوصی حدود دو گرم بر سانتی‌متر مکعب و ارتفاع مؤثر چهاذ 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 هرکدام از بازوی المان‌ها با هم هم‌پوشانی دارند) و بسته (المان‌های شش‌پایه در هم قفل شده) می‌باشد. در حالت با تراکم باز حدودا ۵۴ درصد سطح بستر، در حالت نیمه باز ۷۶ درصد سطح بستر و در حالت بسته ۹۷درصد سطح بستر به‌وسیله قطعات شش پایه پوشانده شده است. این اعداد به‌وسیله اندازه‌گیری سطوح پوشش شده در هر تراکم به‌دست آمده است. معمولاً برای بررسی عمق آبشستگی و ارائه روابطی برای پیش‌بینی آن باید مدت زمان هر آزمایش برابر زمان تعادل و یا مدت زمانی که در آن عمق آبشستگی 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 آبشستگی در گزینه‌های مختلف می‌باشد و نه ایجاد رابطه برای پیش‌بینی عمق آبشستگی، 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 آبشستگی در مقابل زمان ترسیم شده است (شکل ۳). سپس مدت زمانی که بیش از ۹۰ درصد آبشستگی ۱۲ ساعته اتفاق افتاده است را به‌عنوان زمان آزمایش‌ها تعیین گردید که برابر چهار ساعت به‌دست آمد. برای به‌دست 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 به‌عنوان 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 به‌تدریج از جریان پرشده به‌طوری‌که رسوبات حرکتی

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 تکرار های بعدی با ثابت نگه داشتن دبی، عمق جریان کم و در نتیجه سرعت زیاد شده است که نتایج دو روش انجام آزمایش مشابه یکدیگر بوده است. آزمایش‌ها تعیین آستانه حرکت چندین بار انجام شده و میانگین مقادیر به‌دست آمده از این آزمایش‌ها معادل ۰/۳ متر بر ثانیه بوده است.



Fig. 1- Veiw of the Six Leg Elements for open arrangment
شکل ۱- نمایی از المان‌های شش‌پایه با آرایش باز

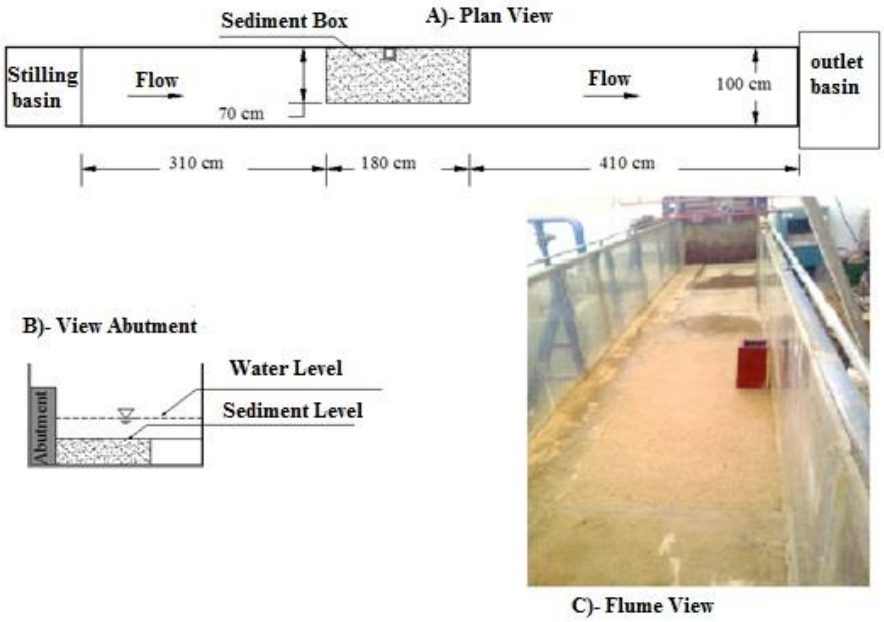


Fig. 2- Experimental Flume
شکل۲- فلوم آزمایشگاهی

جدول ۱- ویژگی های آزمایش‌های انجام شده
Table 1- Paraments in experimental tests

Test No.	Discharge (L/s)	Flow Depth (cm)	Froude Number	Flow vebcity (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

 DOI: 10.22055/jise.2017.21193.1524

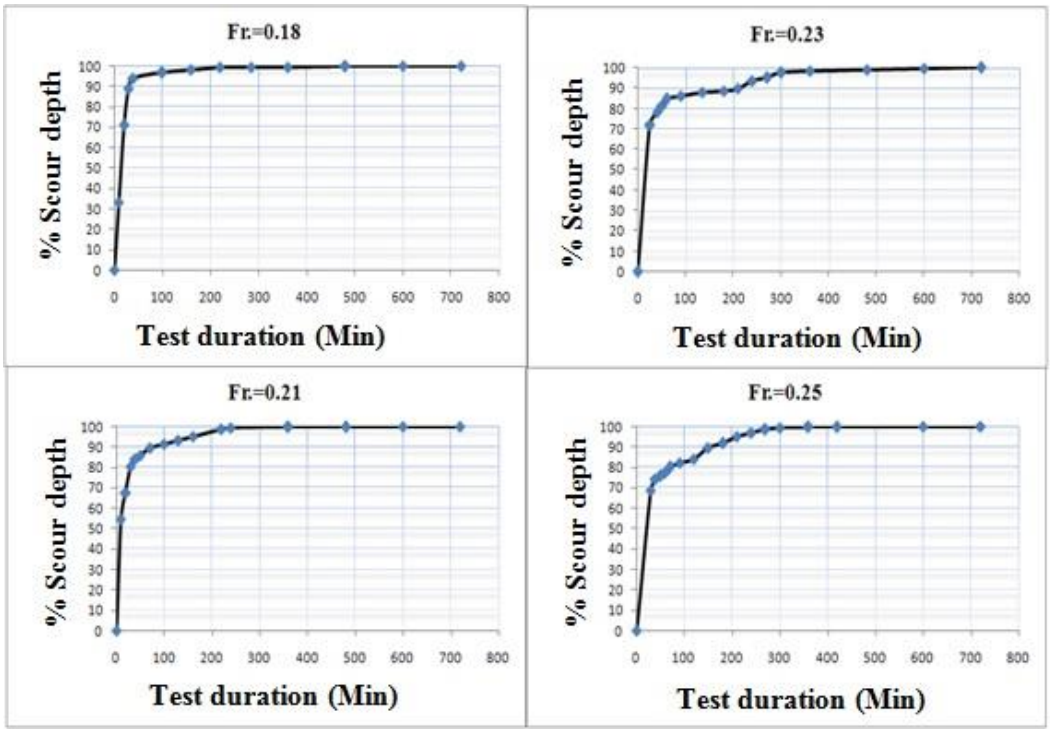


Fig. 3- Variation of percent of scour dopth versus test duration

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

در این تحقیق به‌دلیل استفاده توام سنگچین و المان‌های شش‌پایه به سه صورت زیر تعریف شدند:

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

در ابتدا، 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 کاملا تسطیح و سپس با متر لیزری کنترل شده است. پس از اتمام آزمایش نیز توپوگرافی بستر با متر لیزری در شبکه ۳×۳ 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 به‌دلایل 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 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.

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

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 ۱,۷ گرم بر سانتی‌متر مکعب می‌باشد. برای اندازه سنگچین مناسب از رابطه‌های Simons and Lewis, 1971؛ Pagan-Ortiz, 1991؛ Melville and Coleman, 2000؛ و Lagasse و Richardson (2001), استفاده شد. با توجه به مسیر مستقیم کانال از رابطه Lagasse وRichardson که رابطه معتبری است، اندازه D_{50}=2.3 mm برای سنگچین انتخاب 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 طورکلی سنگچین، کمتر تحت تاثیر جریان قرار گرفته و بهتر بتواند در مقابل آبشستگی 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 می باشد. طبق رابطه Cardoso و Fael (2009) که حداقل گستره لازم پوشش را در تکیه‌گاه مستطیلی به‌منظور اجتناب از گسیختگی پوشش پیشنهاد می‌دهد در این مطالعه کمینه این مقدار حدود هفت سانتی‌متر می باشد. 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 (RB_1). 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.

آرایش و حالت‌های مختلف کارگذاری سنگچین و المان‌های شش‌پایه

به منظور بررسی تأثیر توأم کارگذاری سنگچین و المان‌های شش‌پایه در مهار آبشستگی 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 درنهایت 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 (B_1)، در نصف عمق المان‌ها زیر بستر (B_2) و در عمق کامل المان‌ها زیر بستر (B_3) 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 توام سنگچین و المان‌های شش‌پایه اطراف تکیه‌گاه روی بستر را نشان می‌دهد. (عبارت اختصاری داخل پرانتز شکل (۶) نشان می‌دهد که المان‌های شش‌پایه روی سنگچین‌اند در حالتی که هر دو روی بستر قرار گرفته‌اند (ARB1). پس از اتمام هر آزمایش به‌منظور برداشت توپوگرافی بستر، در حالتی که المان‌ها روی ریپ‌رپ و روی بستر قرار داشتند به آرامی برداشته شده‌اند، به‌طوری‌که منجر به بر هم ریختن ریپ‌رپ‌ها و بستر و ایجاد تغییرات در آن نگردد. در حالاتی‌که قطعات در زیر بستر و یا نصف عمق المان قرار داشته و یا در زیر رسوبات مدفون گردیده‌اند به‌منظور اجتناب از بر هم ریخته شدن بستر، قطعات خارج نشدند و به همان صورت آبشستگی قرائت گردید.

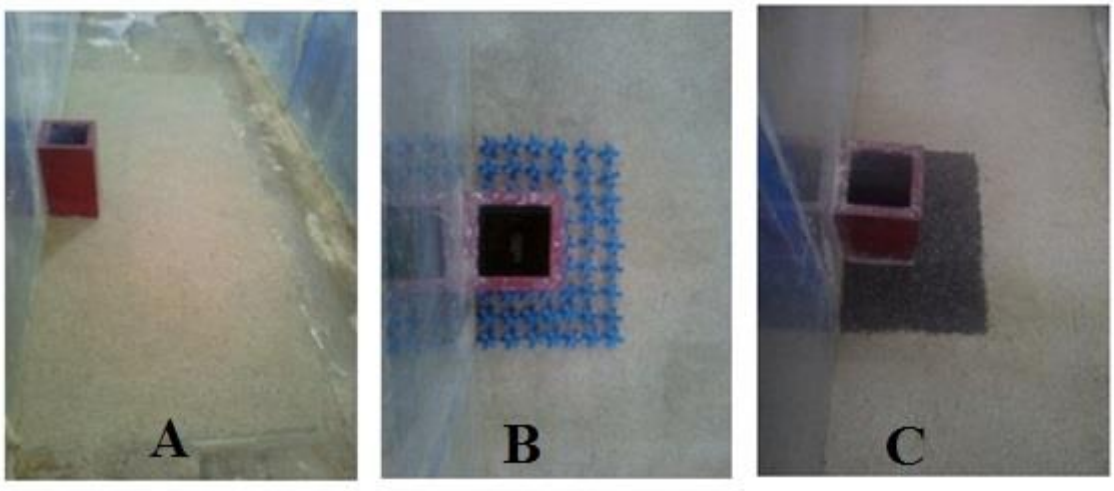


Fig. 4- Three different view of test A)- No SLC B)- SLC C)- SLC & rip

شکل ٤- انواع آزمایش‌های شاهد: A)- نوع اول (B) B)- نوع دوم (AB1) C)- نوع سوم (RB1)



Fig. 5- Different arrangement for riprap & SLC
شکل۵- آرایش و حالات‌های مختلف کارگذاری سنگچین و المان‌های شش‌پایه



Fig. 6- Placing riprap and SLC on the bed (ARB_1)
شکل٦- کارگذاری توام سنگچین و المان‌های شش‌پایه اطراف تکیه‌گاه روی بستر (ARB_1)

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 آبشستگی و ابعاد حفره آبشستگی اطراف تکیه‌گاه افزایش یافت. همچنین در کلیه حالات حداکثر عمق آبشستگی در گوشه بالادست تکیه‌گاه رخ داد، بنابراین همین نقطه به عنوان مبنای اندازه‌گیری حداکثر عمق آبشستگی در نظر گرفته شد. جدول (۲) خلاصه نتایج آزمایش‌های شاهد را نشان می‌دهد. با توجه به داده های این جدول حداکثر عمق آبشستگی 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 آبشستگی در هر دو نوع آزمایش شاهد (B و C)می‌باشد. از مقایسه حالات (B و C) مشخص است که زمانی‌که 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 آبشستگی 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

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 درگوشه 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 به‌منظور درک بهتر از درصد تاثیر همزمان آرایش‌های مختلف سنگچین و المان‌های شش‌پایه در مهار آبشستگی رأس تکیه‌گاه مستطیلی، جدول (۴) به‌صورت درصد کاهش عمق آبشستگی راس تکیه‌گاه مسطتیلی در آزمایشات ارزیابی نسبت به آزمایش‌های شاهد تهیه گردیده است. طبق این جدول لایه‌گذاری های 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 (AB_2R) و (B_3AR) ، در مقایسه با آزمایش‌های شاهد در آرایش‌های (AB_1)، (AB_2) و (RB_1) 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 به‌نظر می‌رسد سست شدن رسوبات هنگام کارگذاری سنگچین و المان‌ها نسبت به آزمایش‌های شاهد باشد.

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

Table 2- Maximum scour depth (mm) at the Mpstream mose 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_3A	B
66	50	17	11	RB_1	C

A: SLC, R: Riprap, B_1: on the bed B_2: half below the bed B_3: 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_2R	19	20	21	22
B_3AR	32	48	40	46
ARB_2	1	3	13	19
RB_3A	6	8	9	14
ARB_2R	4	8	11	16
RB_3AR	3	5	8	14

A: SLC R: riprap B_1: on the bed B_2: half below bed B_3: beloe bed

DOI: 10.22055/jise.2017.21193.1524

جدول ٤- درصد کاهش آبشستگی 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 / Different arrangment	RB				AB_1				AB_2				B_3A				RB_1			
	Fr 1	Fr 2	Fr 3	Fr 4	Fr 1	Fr 2	Fr 3	Fr 4	Fr 1	Fr 2	Fr 3	Fr 4	Fr 1	Fr 2	Fr 3	Fr 4	Fr 1	Fr 2	Fr 3	Fr 4
ARB_1	95	91	89	87	78	61	53	63	92	83	81	75	94	89	84	80	82	71	86	81
AB_2R	49	64	68	77	-	-	-	-	27	33	43	55	44	54	53	63	-	-	58	67
B_3AR	14	31	38	52	-	-	-	-	-	-	-	6	6	14	11	22	-	-	20	30
ARB_2	97	94	80	80	89	77	13	۰	96	90	65	58	97	93	71	68	91	82	74	71
RB_3A	84	85	86	85	33	38	40	26	77	73	76	71	82	82	80	76	45	53	82	79
ARB_2R	89	85	83	83	56	38	27	16	85	73	70	67	88	82	86	73	64	53	78	76
RB_3AR	92	91	89	85	67	61	89	85	88	83	81	71	94	89	83	76	73	71	86	79

در شکل (۷) نمودار بدون بعد تغییرات عمق آبشستگی نسبی (ds/y) در برابر عدد فرود در آزمایش‌های شاهد نشان داده شده است. همان‌طور که در این نمودار دیده می‌شود کمترین مقادیر آبشستگی 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 آبشستگی باشد. همچنین مطابق انتظار بیشترین مقدار آبشستگی در حالت بستر بدون پوشش (B) شاهد شده است. سایر آرایش آزمایش‌های 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 آبشستگی به‌صورت خط تیره نمایش داده شده است (آزمایش‌های AB_2R و B_3AR). این موضوع نشان می‌دهد که کارگذاری سنگچین در زیر المان‌ها به تنهایی تأثیری در مهار آبشستگی 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 آبشستگی (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 د یده می‌شود در اعداد فرود کمتر، یعنی (Fr_1 و Fr_2) بهترین حفاظت تکیه‌گاه یا به بیان دیگر کمترین مقادیر آبشستگی 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.

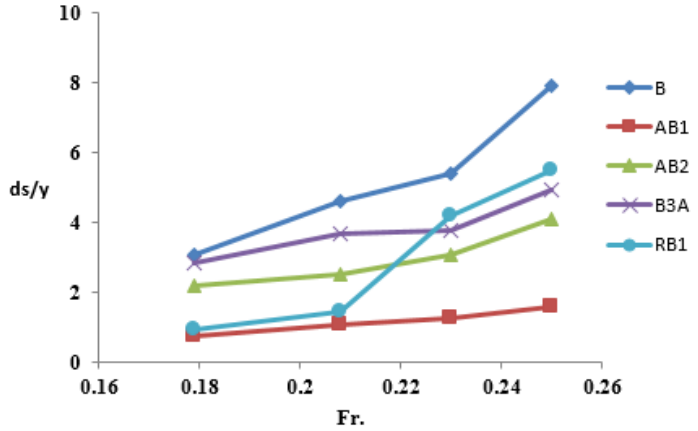


Fig. 7- Dimensionless scour depth versus froude number (base line tests)

شکل۷– نمودار بدون بعد تغییرات بدون بعد عمق آبشستگی نسبی(ds/y) در برابر عدد فرود در آزمایش‌های شاهد

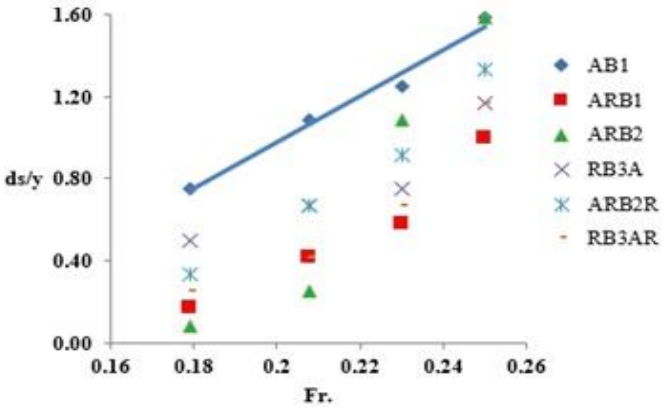


Fig. 8- Comparison of the dimension less scour depth versus Froude number for all tests

شکل۸– مقایسه تغییرات عدد بدون بعد عمق آبشستگی نسبی در مقابل عدد فرود برای همه آزمایش‌ها

DOI: 10.22055/jise.2017.21193.1524

نتیجه‌گیری

در این پژوهش تأثیر هم‌زمان کارگذاری المان‌های شش‌پایه و سنگچین بر مهار آبشستگی 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 مستطیلی در شرایط آب زلال در نظر گرفته شد. کارگذاری همزمان المان‌های شش-پایه 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 المان های شش پایه روی بستر در تمامی اعداد فرود بیش‌تر از کارگذاری قطعات سنگچین روی بستر در مهار آبشستگی مفید است به‌طوری‌که در آزمایش شاهد سنگچین تنها حداکثر عمق آبشستگی 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 به‌همراه سنگچین روی بستر (ARB_2) در اعداد فرود کوچکتر (Fr_2 و Fr_1) بیشترین تأثیر در مهار آبشستگی را داشته و تا میزان ۹۷ درصد آبشستگی رأس تکیه‌گاه را کاهش داده است. همچنین در اعداد فرود بالاتر (Fr_4 و Fr_3) کارگذاری سنگچین در زیر المان‌های شش‌پایه روی بستر (ARB_1) بیشترین تأثیر در مهار آبشستگی رأس تکیه‌گاه را داشته و تا میزان ۸۹ درصد آبشستگی بیشینه تکیه‌گاه مستطیلی 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 locaul 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 (4^{th} 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-Saadatneya, M., Khodashenas, S., Saneei, M. and Esmaeilei K. 2010. The effect of spur dike angle on scour depth around the nose of bridge abutment. 8^{th} 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)