Shahid Chamran University of Ahvaz

Irrigation Sciences and Engineering (JISE)
Vol. 48, No. 3, Fall 2025, p. 95-108

Research Paper

Journal homepage: https://jise.scu.ac.ir

EXTENDED ABSTRACT

Effect of Netted Collar on Local Scouring around the Bridge Cylindrical Pile Groups

N. Bahrami[1] and M. Ghomeshi[2*]

1- PhD Graduated of Hydraulic Structures, Lorestan Univversity
2- Corresponding Author, Professor of Department of Water Structurs Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran. (ghomeshi@scu.ac.ir).*

ARTICLE INFO

Artlcle history:
Received: 19 April 2018
Revised: 25 November 2018
Accepted: 27 November 2018
Available online: 05 November 2025

Keywords:
Local Scouring, Cylindrical Pile Group, Clear Water, Netted Collar, Inhibition of Scouring.

TO CITE THIS ARTICLE:

Bahrami, N., Ghomeshi, M. 2025. 'Effect of Netted Collar on Local Scouring around the Bridge Cylindrical Pile Groups', *Irrigation Sciences and Engineering*, 48(3), pp. 95-108. doi: 10.22055/jise.2018.25526.1756.

Abstract

The problem of scouring of bridge piers has been of interest to hydraulic experts for decades. Various methods have been proposed to control scour, one of which is the use of a netted collar. In this study, the effect of the presence of netted collars on the scouring of bridge cylindrical pile groups under clear flow conditions was investigated. For this purpose, a flume with a length of 6 m and a width of 73 cm was used, and the effect of collars with openings of 0%, 30%, 50%, and 70% was examined at levels of 0.5*D* above the bed (where *D* is the diameter of the pier) and on the bed during nine experiments. At the level on the bed, all collars were highly effective, and the 30% netted collar completely controlled the scour around the first pier. At the 0.5*D* level, the 30% netted collar reduced the scour depth by 58% compared to the no-collar condition, while the efficiency of the collars with openings of 0%, 50%, and 70% at this level was 4%, 0%, and 15%, respectively. In general, efficiency increased as the collar level decreased.

Introduction

The construction of bridges and other hydraulic structures along the rivers and streams creates some changes to the flow pattern in this area, One of this changes is the scouring in the bridge piers and abutments. Local scouring refers to the erosion of the bed in the vicinity of the pier foundation due to the complex vortex system around it. This system consists of horseshoe vortices originating from down flow in the pier upstream and wake vortices that occur due to the separation of flow in the sides of the pier (Breusers, 1991). In addition to the above factors, the following factors also contribute to the scouring of the pile groups: reinforcing, sheltering, shed vortices, and compressed horse-shoe vortex (Hannah, 1978). The collar is a thin plate that is mounted horizontally around the pier and prevents the down flow from collision to the bed surface. Shahsavari et al. (2017) showed that the use of roughness with different arrangements on the abutment, the use of a simple collar and the combination of these two methods at best reduced the scour to 47, 60 and 83 percent, respectively. Alem (2012) reduced the scour depth around the abutment of bridge by using a 33% netted collar at a level of 2cm and 4cm

above the bed surface by 10.4% and 9.4% respectively in compare with simple collar. Jalili (2013) used 0, 15, 30, and 40 netted collar on the pier and in the results found that, in Feroud Number equal to 0.19, 40% netted collar with a 43% reduction in scouring, in the Feroud Number of 0.16, 15% netted collar with 60% reduction of scouring and in the Feroud Number of 0.13, 30% netted collar with 94% reduction in scouring had the highest efficiency. In this research, the effect of netted collars with different openings at the different levels on the scouring of the bridge cylindrical piel group have been investigated.

Methodology

In this research, a laboratory channel with a length of 6m and a width of 73cm was used in the hydraulic laboratory of Shahid Chamran University of Ahvaz. Chiew and Melville (1987) recommended the width of the pier should be less than 10% of the width of the flume to not affect the channel walls on the scour depth. The piers used had a diameter (D) of 2.5 cm, divided into three groups and four different rows at a distance of 2.5 meters from the entrance of the flume. The center-to-center spacing between the groups and center-to-center spacing between the rows were 7.4D and 4D equivalent, respectively. Also, Melville (1992) proposed a standard deviation of sediment particles should be less than 1.3 in order to eliminate the effects of the sediment size on the depth of scour. The sediment particles used had a size of 0.5 mm and standard deviation was 1.18. The critical velocity of particles erosion was measured 0.26m/s. Collars had meshed and the openings parts were of 0, 30, 50 and 70 percent and were installed at the level of 05D above the bed and on the bed in the Feroud Number equal to 0.16.

Results and Discussion

First, a 5-hours experiment was performed without the presence of the piers and the experiments time was obtained about 4 hours. A test was also conducted without the presence of collars to compare the results.

In the experiment with the presence of simple collar at the 0.5d level the collar had no significant effect on the reduction of scouring. In the experiments with the presence of the 30% netted collar, vortices were greatly depleted by the opening parts of collar and the boundary layer was further developed and consequently reduce the scour about 58% in compare with non-collar state. The 50% netted collar had no effect on the scour of first pier and the 70% netted collar slightly reduced the first pier scour about 15%. In general, the effect of the collar on the back piers was more than the first one. On the bed level all collars had high efficiency by preventing the collision vortices to the surface of the bed. Figure (1) and (2) show the percentage of scour reduction in different experiments (R is the percentage of reduction in the scour).

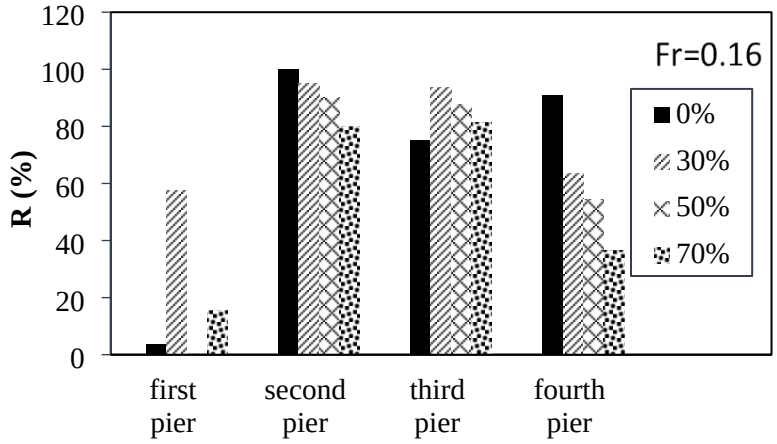


Fig 1- The percentage reduction in scour depth with the presence of collars with different opening percentages at the 0.5*D* level is shown (the column for the collar that did not reduce scour is not included)

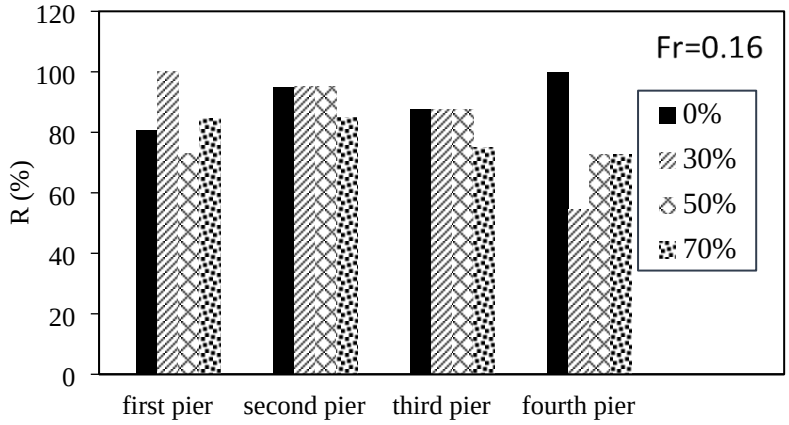


Fig 2- The percentage reduction in scour depth with the presence of collars with different opening percentages at the bed level

Conclusions

This research was carried out to investigate the effect of netted collars with different openings and different levels on the scour depth of the bridge cylindrical pile groups. The 30% netted collar installed on the bed surface was completely controlled first pier scouring by preventing of collision the down flow to the bed surface; on this level all the collars had high efficiency. At the level of 0.5D the 30% netted collar reduced the scour around the pier by 58% and weakened the power of the vortices. In general the 30% netted collar had the highest efficiency on both levels and increased collar efficiency by decreasing the collar level installation.

Acknowledgment

We would like to express our gratitude to the officials of the Hydraulic Laboratory at Shahid Chamran University of Ahvaz for their utmost cooperation in conducting this research.

Conflict of Interest

The authors declared no potential conflicts of interest concerning the research, authorship, and publication of this article. Confirmation.

Funding

The financial support of this research has been provided by Grant number SCU.WH.1397.86 and we hereby thank the Honorable Vice Chancellor of Research from , Shahid Chamran University of Ahvaz for their support.

Data Availability Statements

Data Availability Statement: All information and results are presented in the text of the article.

Authors' contribution

First Author: Nasrin Bahram, Conducting experiments, writing the article, Data analysis, drawing graphs- Participation share: 50 percent

Second Author: Mehdi Ghomedhi, Review and analysis of results, revision and editing of the article- Participation share: 50 percent

References

1- Alem, Z., 2012. Effect of netted collar on the scour of bridge abutment. M.S.C. Thesis. Faculty of Water Science Engineering, *Shahid Chamran University of Ahvaz*. (in Persian).

2- Breusers, H. and Raudkivi, A., 1991. *Scouring. Hydraulic design considerations*. Balkema, Rotterdam, the Netherlands.

3- Chiew, Y. and Melville, B., 1987. Local scour around bridge piers. *Hydraulic Research, 25(1), pp.*15-26. https://doi.org 10.1080/00221688709499285.

4- Hannah, C., 1978. *Scour at Pile Groups*. Research Rep. No. 28-3.

5- Jalili, A., 2013. Effect of using netted collar on bridge piers scouring. M.S.C. Thesis. Faculty of Water Science Engineering, *Shahid Chamran University of Ahvaz*. (in Persian).

6- Shahsavari, H., Heidarpour, M. and Mohammadalizadeh, M., 2017. Simultaneous Effect of Collar and Roughness on Reducing and Controlling the Local Scour around Bridge Abutment. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, 65**,** 491-499. https://doi.org/10.11118/actaun201765020491.

7- Melville, B., 1992. Local scour at bridge abutments. *Hydraulic Engineering*, 118**,** 615-631. https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(1992)118:4(615).

© 2025 The Author(s). Published by Shahid Chamran University of Ahvaz. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

علوم و مهندسی آبیاری جلد ۴۸، شماره‌ی۳، پاییز ۱٤۰٤، مقاله پژوهشی، ص. ۱۰۸-۹۵

اثر طوقه مشبک بر آبشستگی موضعی پیرامون گروه پایه‌های استوانه‌ای پل

نسرین بهرامی[۱] و مهدی قمشی[۲*]

۱-دانش‌آموخته دکتری سازه‌های آبی، دانشگاه لرستان

۲*-نویسنده مسئول، استاد گروه سازه‌های آبی، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، ghomeshi@scu.ac.ir

دریافت: ۱۳۹۷/۰۱/۳۰ بازنگری: ۱۳۹۷/۰۹/۰۴ پذیرش: ۱۳۹۷/۰۹/۰۶ انتشار: ۱۴۰۴/۰۸/۱۴

چکیده

مسئله‌ی آبشستگی پایه‌های پل چندین دهه است که مورد توجه متخصصان علم هیدرولیک بوده است. تاکنون روش‌های مختلفی به‌منظور مهار آبشستگی پیشنهاد شده که استفاده از طوقه مشبک یکی از این روش‌ها می‌باشد. در این تحقیق اثر حضور طوقه‌های مشبک بر آبشستگی گروه پایه‌های استوانه‌ای پل در شرایط جریان زلال بررسی شد. بدین منظور از فلومی به طول ٦ متر و عرض ۷۳ سانتی‌متر استفاده شد و تأثیر طوقه با بازشدگی ۰، ۳۰، ۵۰ و ۷۰ درصد در ترازهای ۰/۵D بالای بستر (D قطر پایه می‌باشد) و روی بستر، طی نه آزمایش مورد بررسی قرار گرفت. در تراز روی بستر تمام طوقه‌ها از کارایی بالایی برخوردار بودند و طوقه ۳۰ درصد مشبک توانست آبشستگی اطراف پایه اول را کاملاً کنترل نماید. در تراز ۰/۵D نیز طوقه ۳۰ درصد مشبک، ۵۸ درصد عمق آبشستگی را نسبت به حالت بدون طوقه کاهش داد در حالی که کارایی طوقه‌های ۰، ۵۰ و ۷۰ درصد مشبک در این تراز به‌ترتیب برابر ٤، ۰ و ۱۵ درصد بود. به‌طور کلی با کاهش تراز طوقه بر کارایی آن افزوده شد.

کلید واژه‌ها: آبشستگی موضعی، گروه پایه استوانه‌ای، جریان زلال، طوقه مشبک، مهار آبشستگی.

مقدمه

احداث پل و دیگر سازه‌های هیدرولیکی در مسیر رودخانه‌ها، تغییراتی را در الگوی جریان در این محل به وجود آورده که آبشستگی پایه‌ها و تکیه‌گاه‌های پل یکی از این تغییرات محسوب می‌شود. آبشستگی موضعی به فرسایش بستر در مجاورت پی پایه در اثر سیستم گردابه‌های پیچیده اطراف آن گفته می‌شود. این سیستم شامل گردابه‌های نعل اسبی نشأت گرفته از جریان پایین‌رونده در وجه بالادست پایه و گردابه‌های برخاستگی که در اثر جدایی جریان در طرفین پایه رخ می‌دهند، می‌باشد (Breusers and Raudkivi,1991). علاوه بر آن، عوامل زیر نیز در آبشستگی گروه پایه‌ها دخالت دارند: عامل تقویت کننده، عامل حفاظت کننده، گردابه‌های جاری و به هم فشردگی گردابه‌های نعل اسبی (Hannah,1978). بنا به نظر Hoffmans و Verheij (1997) تحلیل آبشستگی جزء لاینفک طراحی، زیرسازی و پی‌سازی پل‌های جدید می‌باشد و این تحلیل باید تضمین‌کننده‌ی مقاومت پل در برابر سیلاب‌های بزرگ باشد. روش‌های مهار آبشستگی به دو صورت می‌باشند: ۱- روش‌های محافظت از ذرات بستر مانند استفاده از پوشش سنگ‌چین ۲- روش‌های تغییر الگوی جریان مانند استفاده از صفحات مستغرق و طوقه. تاکنون مطالعه‌های متعددی پیرامون این روش‌ها صورت گرفته است. از جمله Shafai Bejestan et al. (2015) با بررسی اثر استفاده از صفحات مستغرق روی تکیه‌گاه پل تحت زوایا و موقعیت‌های مختلف، عنوان نمودند که صفحه مستغرق با زاویه ۴۰ درجه نسبت به افق علاوه بر دور کردن آبشستگی از تکیه‌گاه، ۹۵ درصد عمق آبشستگی را نیز کاهش داد. طوقه که موضوع مورد بحث در این پژوهش می‌باشد، یک صفحه نازک است که به صورت افقی در اطراف پایه نصب شده و مانع از برخورد جریان پایین‌رونده به سطح بستر می‌شود. Singh et el. (2001) مشاهده نمودند که طوقه به قطر ۲/۵D بر روی بستر، آبشستگی پایه استوانه‌ای را به‌طور کامل کنترل کرد؛ در حالی که برای طوقه‌های با عرض ۱/۵D و ۲D در همین تراز به‌ترتیب ۵۰ و ۶۸ درصد از میزان آبشستگی کاسته شد. Zarrati et al. (2006) با بررسی آبشستگی پیرامون گروه‌پایه استوانه‌ای دوتایی مشاهده نمودند که ترکیب طوقه پیوسته و سنگ‌چین آبشستگی پایه جلویی را ۵۰ درصد کاهش داد؛ در حالی که طوقه‌های مستقل و پیوسته آبشستگی این پایه را به‌ترتیب ۳۰ و ۲۵ درصد کاهش دادند. Heidarpour et el. (2010) با قرار دادن طوقه‌ای به اندازه ۳D بر روی گروه‌پایه‌ی استوانه‌ای سه تایی هم راستا با جریان و با فواصل ۳D، در بهترین حالت آبشستگی پایه اول تا سوم را به ترتیب ۰، ۱۹ و ۴۵ درصد کاهش دادند؛ تأثیر طوقه بر روی پایه‌های پشتی به‌دلیل گردابه‌های ضعیف‌تر در وجه بالادست آن‌ها، بیشتر از پایه جلویی بود. Khozeymehnezhad et al. (2014) با بررسی تأثیر ابعاد طوقه‌های متقارن و نامتقارن بر آبشستگی تکیه‌گاه پل مشاهده نمودند که چنانچه عرض طوقه نامتقارن در قسمت بالادست بیشتر از عرض آن در قسمت پایین‌دست باشد، نسبت به طوقه‌ی متقارن هم مساحت خود، از عملکرد بالاتری برخوردار خواهد بود؛ در حالت عکس طوقه متقارن عملکرد بهتری نشان می‌دهد. ایشان هم‌چنین با بررسی تراز کارگذاری طوقه متقارن، طوقه‌های زیر بستر را در کاهش عمق

DOI: 10.22055/jise.2018.25526.1756

آبشستگی مؤثرتر از طوقه‌های روی بستر و بالای بستر عنوان نمودند. آزمایش‌های Shahsavari et al. (2017) نشان داد که استفاده از زبری با آرایش‌های مختلف بر روی تکیه‌گاه، استفاده از طوقه ساده و ترکیب این دو روش در بهترین حالت به‌ترتیب ۴۷، ۶۰ و ۸۳ درصد آبشستگی تکیه‌گاه را کاهش داد. طوقه مشبک نوعی از طوقه است که بازشدگی‌هایی با درصدهای مختلف روی آن ایجاد می‌شود. این بازشدگی‌ها همانند زبری عمل نموده و ضمن آشفته نمودن لایه مرزی روی طوقه باعث افزایش مومنتم جریان در اطراف طوقه می‌شوند. نتیجه‌ی این عمل تمایل کمتر جریان برای جدایی از سطح طوقه و کاهش قدرت گردابه‌های اطراف پایه می‌باشد. به علاوه طوقه مشبک دارای وزن سازه‌ای کمتری نسبت به طوقه ساده بوده و هزینه‌ی اجرایی کمتری نیز نسبت به آن دارد. Alem (2012) با استفاده از طوقه ۳۳ درصد مشبک روی تکیه‌گاه پل در تراز دو و چهار سانتی‌متر بالای بستر به‌ترتیب ۱۰/۴ و ۹/۴ درصد عمق آبشستگی را نسبت به طوقه ساده کاهش داد؛ همچنین طوقه مشبک با آشفته نمودن جریان لایه مرزی، توسعه مکانی آبشستگی را به مکانی دورتر از تکیه‌گاه انتقال داد. Jalili (2013) با استفاده از طوقه‌های ساده، ۱۵، ۳۰ و ۴۰ در صد مشبک بر روی پایه استوانه‌ای پل مشاهده نمود که در عدد فرود ۰/۱۹ طوقه ۴۰ درصد مشبک با ۴۳ درصد کاهش آبشستگی، در عدد فرود ۰/۱۶ طوقه ۱۵ درصد مشبک با ۶۰ درصد کاهش آبشستگی و در عدد فرود ۰/۱۳ طوقه ۳۰ درصد مشبک با ۹۴ درصد کاهش آبشستگی، بالاترین کارایی را داشتند. وی علت کاهش آبشستگی در آزمایش با حضور طوقه مشبک را، آشفته شدن جریان لایه مرزی و کاهش جدایی آن از سطح طوقه عنوان نمود. Hemmati et al. (2016) با بررسی طوقه ۳۰ درصد مشبک با ابعاد مختلف و در ترازهای کارگذاری متفاوت پیرامون تک‌پایه استوانه‌ای، مشاهده نمودند که طوقه به اندازه ۲/۵D و ۳D در تراز ۰/۱D زیر بستر حدود ۷۳ درصد عمق آبشستگی را کاهش داد؛ در حالی که درصد کاهش عمق آبشستگی در تراز ۰/۵D زیر بستر با حضور طوقه‌های ۱/۵D و ۲D حدوداً برابر ۴۰ درصد بود. هم‌چنین نتایج تحقیقات ایشان نشان داد که کارایی طوقه‌های مشبک، ۲۰ درصد بالاتر از طوقه‌های ساده بود. با توجه به اهمیت مسئله آبشستگی و اینکه مطابق آمار سازمان راهداری و حمل و نقل جاده‌ای کشور در ۳۷ درصد موارد، آبشستگی علت تخریب پل‌ها در کشور ایران بوده است (Khademi, 2012). بنابراین لازم است که تحقیقات بیشتری در این زمینه صورت گیرد. از آنجا که تاکنون تحقیق‌های محدودی روی آبشستگی گروه‌پایه‌ها صورت گرفته و مطالعه در خصوص طوقه‌های مشبک نیز در حد انگشت‌شمار و منحصر به تک پایه می‌باشد، لذا در این تحقیق تأثیر حضور طوقه‌های مشبک با درصدهای بازشدگی مختلف و در ترازهای کارگذاری متفاوت، بر آبشستگی گروه پایه‌های استوانه‌ای پل مورد بررسی قرار می‌گیرد.

مواد و روش‌ها

تجهیزات آزمایشگاهی

برای انجام این تحقیق از یک کانال آزمایشگاهی با دیواره‌هایی از جنس شیشه سکوریت به طول ۶ متر و عرض کف ۷۳ سانتی‌متر در آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه شهید چمران اهواز استفاده شد. جریان با استفاده از یک پمپ سانتریفیوژ از مخزن ذخیره آب به داخل فلوم پمپاژ شد. همچنین به‌منظور از بین بردن تلاطم جریان ورودی به فلوم، یک ورقه‌ی پوشال نصب شده روی یک صفحه مشبک در جهت عمود بر جریان و همچنین یک ورقه‌ی یونولیت بر روی سطح آب مورد استفاده قرار گرفت. جریان پس از طی کردن طول فلوم با عبور از روی دریچه کشویی که در انتهای فلوم به منظور تنظیم عمق آب تعبیه شده بود، وارد مخزن خروجی شده و مجددا به مخزن ذخیره آب وارد می‌شد. برای حذف اثر اندازه رسوبات بر عمق آبشستگی موضعی طبق توصیه‌ی Melville و Sutherland (1988) نسبت عرض پایه به قطر ذرات رسوبی باید از ۲۵-۲۰ بیشتر باشد. همچنین Melville (1992) برای حذف اثر غیر یکنواختی رسوبات بر عمق آبشستگی، انحراف معیار ذرات را کمتر از ۱/۳ پیشنهاد نمود. در ارتباط با عدم تأثیر دیواره‌های کانال بر عمق آبشستگی Chiew و Melville (1987) عرض پایه را کمتر از ۱۰ درصد عرض فلوم توصیه نمودند. Raudkivi و Ettema (1983) نیز عنوان نمودند که عرض کانال آزمایشگاهی باید حداقل ۶/۲۵ برابر عرض پایه باشد. بنابراین بازه‌ای از فلوم به ضخامت ۱۰ سانتی‌متر و طول تقریبی ۳ متر با رسوبات غیرچسبنده به اندازه ۰/۵ میلی‌متر و انحراف معیار ۱/۱۸ پوشانده شد. پایه‌های استفاده شده دارای قطر (D) برابر ۲/۵ سانتی‌متر بوده که در سه گروه و چهار ردیف مختلف در فاصله‌ی ۲/۵ متری از ابتدای فلوم (برای اطمینان از توسعه یافتن جریان) قرار گرفتند. فاصله‌ی مرکز به مرکز گروه‌پایه‌ها از هم ۷/۴D و فاصله‌ی مرکز به مرکز ردیف‌ها از هم ۴D در نظر گرفته شد. در این تحقیق از طوقه‌هایی به اندازه W=۳D استفاده شد که دارای چهار درصد بازشدگی ۰ درصد (طوقه ساده)، ۳۰ درصد، ۵۰ درصد و ۷۰ درصد درصد بوده و در دو تراز ۰/۵D بالای بستر و روی بستر در اطراف گروه‌پایه وسط، مورد آزمایش قرار گرفتند. شکل (۱) تصویر طوقه‌های استفاده شده و مدل آزمایشگاهی را نشان می‌دهد.

سرعت بحرانی

سرعت بحرانی سرعتی است که طی آن ذرات بستر شروع به حرکت نموده و آبشستگی در حالت بستر متحرک اتفاق خواهد افتاد. بنا به نظر Melville و Chiew (1999) برای انجام آزمایش‌ها در شرایط آب زلال، سرعت متوسط جریان باید در محدوده $V<V_c$ $>0/3Vc$ باشد. بنابراین سرعت بحرانی (سرعت آستانه حرکت)، ذرات بر اساس روش آستانه حرکت رسوبات محاسبه شد.

بدین منظور آزمایشی بدون حضور پایه‌ها با دبی ۲۲ لیتر بر ثانیه انجام شد که طی آن اعماق مختلفی از ۳۰ تا ۱۰ سانتی‌متر مورد

آزمایش قرار گرفت و در هر عمق به مشاهده‌ی حرکت یا عدم حرکت رسوبات پرداخته شد. طی این آزمایش ملاحظه شد که ذرات در عمق ۱۱/۵ سانتی‌متر شروع به حرکت کردند، بنابراین با توجه به مشخص بودن دبی و عرض کانال آزمایشگاهی، سرعت آستانه‌ی حرکت رسوبات ۰/۲۶ متر بر ثانیه بدست آمد. هم‌چنین طبق توصیه‌ی Oliveto و Hager (2002) به منظور جلوگیری از اثر زبری بر میزان آبشستگی، عمق جریان باید بیشتر از ۲۰ میلی‌متر باشد ؛ در نهایت به منظور بررسی آبشستگی در شرایط جریان زلال سرعت ۰/۲ متر بر ثانیه و عمق ۱۵ سانتی‌متر برای انجام آزمایش‌ها انتخاب شد.

شرایط هیدرولیکی و روش انجام آزمایش‌ها

برای انجام هر آزمایش ابتدا سطح بستر توسط ماله تسطیح شده و برای اطمینان از تراز شدن رسوبات از تراز حبابی و در اطراف پایه‌ها از متر لیزری استفاده شد. سپس دریچه کشویی انتهای فلوم کاملاً بالا آورده شده و جریان آب با دبی بسیار پایینی وارد فلوم شد تا از تشکیل فرم بستر جلوگیری به عمل آید؛ پس از گذشت چند دقیقه دبی به تدریج تا مقدار مورد نظر افزوده شده و دریچه روی عمق ثابت ۱۵ سانتی‌متر تنظیم شد. در پایان آزمایش نیز پمپ را خاموش نموده و پس از گذشت چند ساعت و تخلیه‌ی کامل آب درون فلوم، توپوگرافی بستر در اطراف پایه‌ها به وسیله‌ی متر لیزری برداشت شد. جدول (۱) شرایط هیدرولیکی آزمایش‌ها را نشان می‌دهد.

نتایج و بحث

زمان تعادل آبشستگی

پدیده آبشستگی فرآیندی وابسته به زمان بوده و با گذشت زمان بر عمق آن افزوده شده تا جایی که روند آن بسیار کند و یا متوقف شود. زمان تعادل زمانی است که حفره‌ی آبشستگی به قدری عمیق شود که گردابه‌های درون حفره‌ی آبشستگی توانایی انتقال رسوبات به خارج از حفره را نداشته و انرژی آن‌ها توسط حجم آب درون حفره‌ی آبشستگی مستهلک شود. عمق نظیر زمان تعادل را عمق تعادلی آبشستگی می‌گویند. برای تعیین زمان آزمایش‌ها، آزمایشی به مدت پنج ساعت با دبی ۲۲ لیتر بر ثانیه بدون حضور طوقه‌ها انجام شده و تغییرات عمق آبشستگی در طول زمان ثبت شد. همان‌طور که در شکل (۲) نشان داده شده است آبشستگی در ابتدا دارای سرعت بیشتری بوده و بخش زیادی از آن در ساعت اول اتفاق افتاد، سپس از سرعت آن کاسته شده به طوری که بیش از ۹۰ درصد آبشستگی در پایان ساعت سوم رخ داده بود. محققین مختلف زمان تعادل آبشستگی را از یک روز مثل Shojaei et el (2011) و گاهی تا چندین روز مثل Karimaee-Tabarestani و Zarrati (2012) در نظر گرفته‌اند؛ ولی از آنجا که هدف این تحقیق بررسی تأثیر طوقه بر میزان آبشستگی می‌باشد، لزومی ندارد آزمایش‌ها در شرایط زمان تعادل انجام شود و بنابراین مدت زمان آزمایش‌ها، چهار ساعت در نظر گرفته شد.

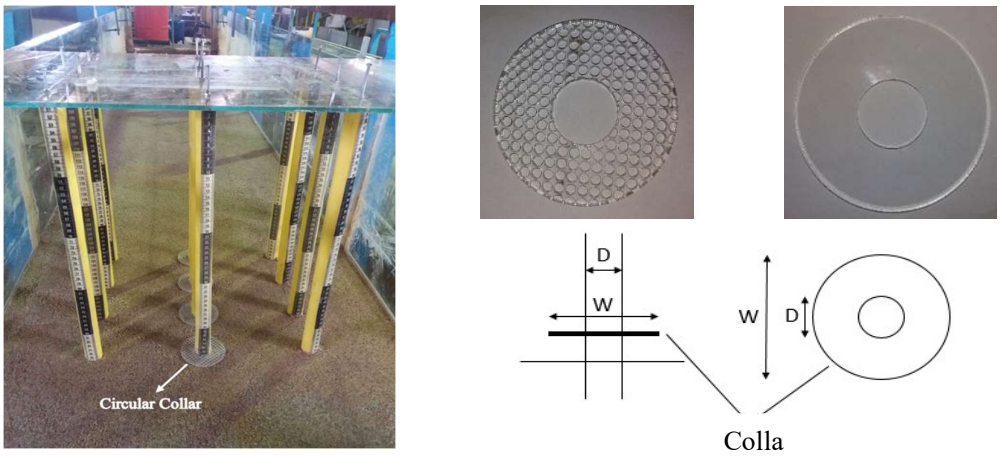


Fig. 1- (a) Laboratory model with the presence of collars: (a) Above: Simple and 50% netted collars; (b) Bottom: Schematic of the placement of the collar on the pier

شکل ۱- (a) مدل آزمایشگاهی با حضور طوقه‌ها. (b) بالا: طوقه‌های ساده و ۵۰ درصد مشبک، پایین: شماتیک قرارگیری طوقه بر روی پایه

جدول ۱- شرایط هیدرولیکی حاکم بر آزمایش‌ها

Table 1- Hydraulic conditions of the experiments

Re	Y (m)	Fr	V/V_C	V_C (m/s)	V (m/s)	Q (l/s)
30000	0/15	0/16	0/77	0/26	0/2	22

DOI: 10.22055/jise.2018.25526.1756

آزمایش بدون حضور طوقه

پیش از شروع آزمایش‌ها ابتدا یک آزمایش بدون حضور طوقه‌ها (آزمایش شاهد) به منظور تعیین حداکثر عمق آبشستگی و بررسی روند آن و هم‌چنین تعیین کارایی طوقه‌ها در کاهش آبشستگی انجام شد. طی این آزمایش مشاهده شد که گردابه‌های نعل اسبی از ابتدا با سرعت زیادی وارد عمل شده و باعث حفر حفره‌ی آبشستگی در اطراف پایه‌ها شدند. با گذشت مدت کمی از آغاز آزمایش گردابه‌های برخاستگی نیز تشکیل شده و با شستن رسوبات اطراف پایه‌ها، آن‌ها را به سمت پایین‌دست انتقال دادند. به طور کلی آبشستگی در ساعت اول با سرعت زیادی انجام شد اما با گذشت زمان از سرعت آن کاسته شده تا جایی که تغییرات عمق آبشستگی عملاً ناچیز شد. توپوگرافی بستر پس از آزمایش فوق در شکل (۳) نشان داده شده است (به منظور نمایش بهتر حفره‌های آبشستگی تنها شکل گروه‌پایه وسط رسم شده است).

آزمایش‌های با حضور طوقه

این آزمایش‌ها به‌منظور بررسی تأثیر طوقه بر کاهش میزان آبشستگی انجام شد. واضح است که تأثیر طوقه در تراز روی بستر بیشتر از ترازهای بالای بستر می‌باشد، اما به‌دلیل اینکه گاهی امکان نصب طوقه روی بستر امکان پذیر نبوده و یا به مرور زمان رسوبات زیر طوقه شسته می‌شوند، لازم است تأثیر طوقه در تراز بالای بستر نیز بررسی شود (Alem, 2012). بنابراین به ازای هر طوقه دو آزمایش در تراز ۰/۵D بالای بستر و تراز روی بستر و در مجموع هشت آزمایش (بدون احتساب آزمایش شاهد) انجام و نتایج با آزمایش شاهد مقایسه شد.

طوقه ساده

طوقه ساده در تراز روی بستر، مانع از برخورد جریان به سطح بستر شد؛ با این حال بخشی از جریان به زیر طوقه نفوذ نموده و آبشستگی در این حالت ۸۱ درصد کاهش یافت. در آزمایش با حضور طوقه در تراز ۰/۵D، گرچه گردابه‌ها همچنان در فضای زیر طوقه عمل نموده و کاهش عمق آبشستگی در پایه اول دیده نشد، اما توسعه‌ی طولی حفره‌ی آبشستگی کمتر از آزمایش شاهد بود. رسوبات شسته شده از اطراف این پایه، در اطراف پایه‌های پشتی به ویژه‌ی پایه‌ی دوم انباشته شده و آبشستگی کمی در این قسمت‌ها مشاهده شد (شکل ۴).

طوقه ۳۰ درصد مشبک

در آزمایش با حضور طوقه در تراز ۰/۵D بالای بستر جریان لایه مرزی اطراف طوقه به میزان بیشتری توسعه یافته و عمق آبشستگی۵۸ درصد کاهش یافت. در این آزمایش توسعه‌ی طولی آبشستگی نیز تا حد زیادی کمتر از آزمایش شاهد بوده و آبشستگی ناچیزی در پایه‌های بعدی مشاهده شد.

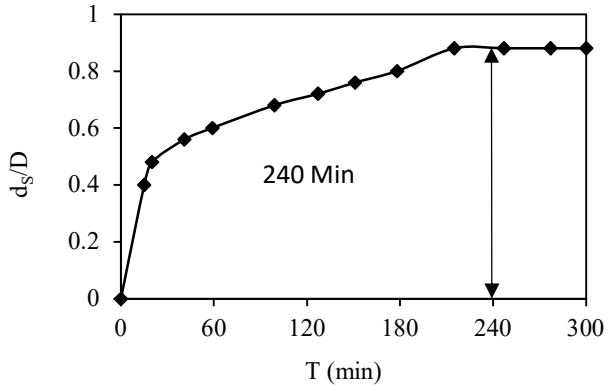


Fig. 2- Time development curve of the scour hole in the absence of collars
شکل ۲- منحنی توسعه زمانی حفره آبشستگی در شرایط بدون حضور طوقه‌ها

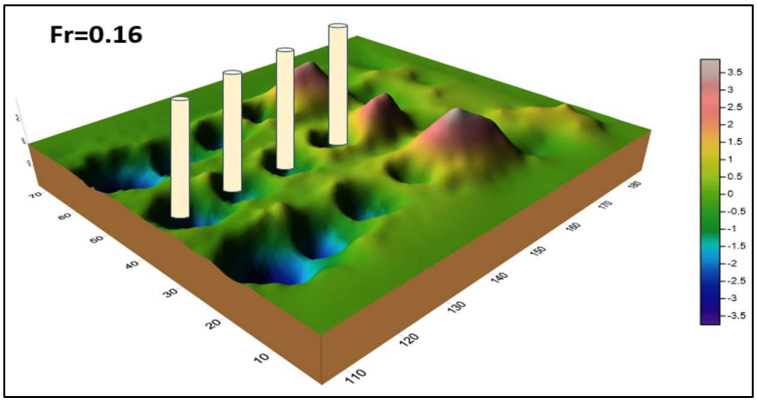


Fig. 3- Bed topography after the control test (axes are in centimeters)
شکل ۳- توپوگرافی بستر پس از آزمایش شاهد (محورها بر حسب سانتی‌متر است)

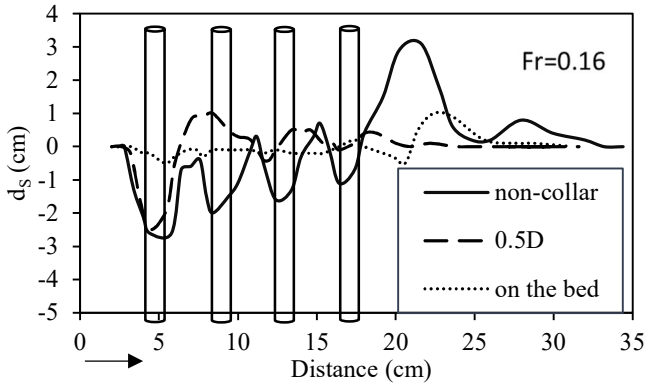


Fig. 4- Longitudinal scour profile of the middle pile group with the presence of simple collars at different levels, compared to the control test
شکل ٤- پروفیل طولی آبشستگی گروه‌پایه وسط با حضور طوقه‌های ساده در ترازهای مختلف و مقایسه‌ی آن با آزمایش شاهد

طوقه در تراز روی بستر توانست به‌طور کامل آبشستگی پایه اول را کنترل نماید؛ با این وجود دو چاله آبشستگی کوچک در اثر عملکرد گردابه‌های برخاستگی در پشت طوقه ایجاد شده که این چاله‌ها در تمام آزمایش‌های با حضور طوقه روی بستر مشاهده شد و حداکثر عمق آبشستگی در تراز روی بستر نیز در این مکان‌ها اتفاق افتاد. توپوگرافی بستر پس از آزمایش‌های فوق در شکل (۵) و پروفیل طولی آبشستگی در این آزمایش‌ها نسبت به حالت شاهد در شکل (۶) نشان داده شده است.

طوقه ۵۰ درصد مشبک

در آزمایش با حضور طوقه در تراز ۰/۵D بالای بستر گردابه‌ها همچنان در زیر طوقه عمل نموده و طوقه نتوانست عمق آبشستگی پایه اول را کاهش دهد. در این حالت نیز توسعه‌ی طولی آبشستگی کمتر از آزمایش شاهد بود. برای پایه‌ی دوم به‌دلیل انباشته شدن رسوبات شسته شده از اطراف پایه اول در اطراف این پایه، به میزان زیادی از وقوع آبشستگی پیشگیری به‌عمل آمد و تنها آبشستگی کمی در پشت پایه رخ داد. در پایه‌های سوم و چهارم نیز آبشستگی کمی مشاهده شد. در تراز روی بستر طوقه ۵۰ درصد مشبک با ممانعت از برخورد جریان به سطح بستر عمق آبشستگی را تا حد زیادی کاهش داد ولی راندمان آن از دیگر طوقه‌ها در این تراز کمتر بود. پروفیل طولی آبشستگی با حضور طوقه ۵۰ درصد مشبک نسبت به آزمایش شاهد در شکل (۷) رسم شده است.

طوقه ۷۰ درصد مشبک

در تراز ۰/۵D طوقه توانست ۱۵ درصد عمق آبشستگی پایه اول را کاهش دهد. هم‌چنین طوقه وسعت حفره‌ی آبشستگی را تا حدودی کاهش داد. تأثیر طوقه بر پایه‌های بعدی به مراتب بیشتر از پایه اول بوده و آبشستگی کمی در اطراف این پایه‌ها مشاهده شد. در تراز روی بستر طوقه تا حد زیادی مانع از نفوذ جریان به زیر آن شده و ۸۵ درصد آبشستگی پایه اول را کاهش داد (شکل ۸ – الف). پروفیل طولی آبشستگی پس از آزمایش‌های فوق در مقایسه با حالت شاهد در شکل (۸ – ب) رسم شده است. درصد کاهش آبشستگی پایه اول در آزمایش با حضور طوقه‌های مختلف در مقایسه با آزمایش شاهد نیز در جدول (۲) آورده شده است.

DOI: 10.22055/jise.2018.25526.1756



(a) **(b)**

Fig. 5- Bed topography after experiment with the presence of 30% netted collars at (a) on the bed (b) 0.5*D* above the bed

شکل ۵- توپوگرافی بستر پس از آزمایش با حضور طوقه‌های ۳۰ درصد مشبک در تراز (a) روی بستر (b) ۰/۵D بالای بستر

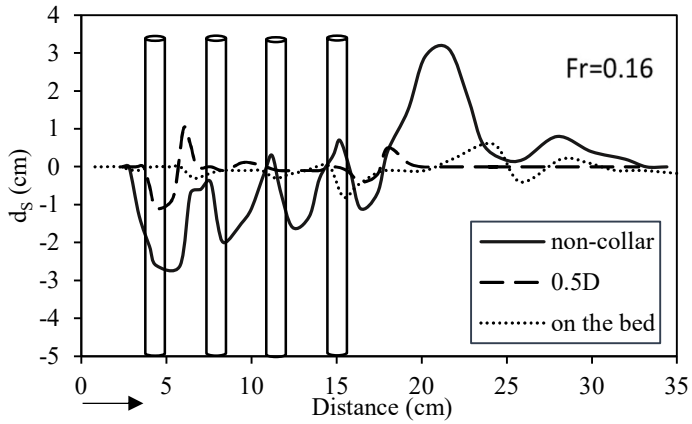


Fig. 6- Longitudinal scour profile of the middle pile group with the presence of 30% netted collars at different levels compared to the control test

شکل ٦- پروفیل طولی آبشستگی گروه‌پایه وسط با حضور طوقه‌های ۳۰ درصد مشبک در ترازهای مختلف و مقایسه‌ی آن با آزمایش شاهد

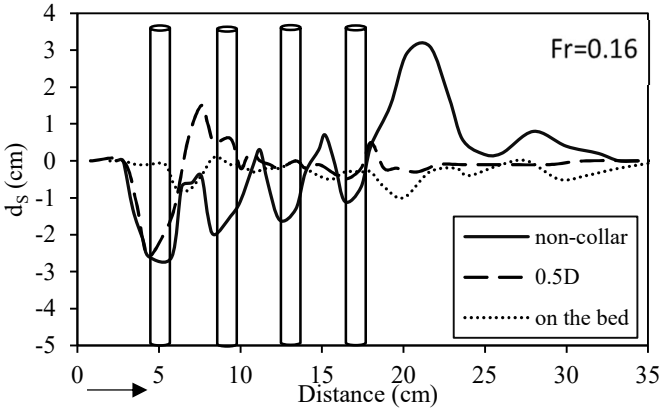
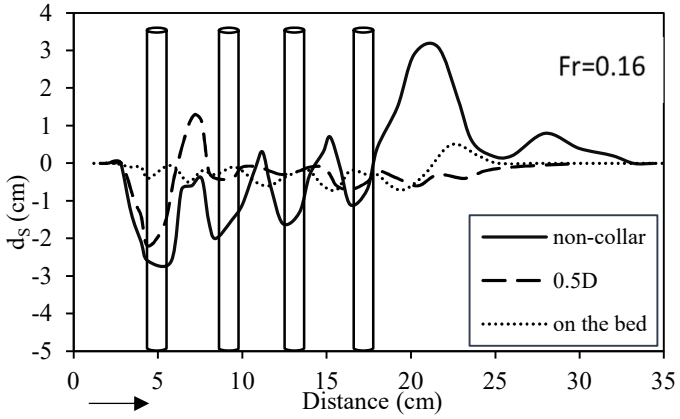


Fig. 7- Longitudinal scour profile of the middle pile group with the presence of 50% netted collars at different levels compared to the control test

شکل ۷- پروفیل طولی آبشستگی گروه‌پایه وسط با حضور طوقه‌های ۵۰ درصد مشبک در ترازهای مختلف و مقایسه‌ی آن با آزمایش شاهد



(a)



(b)

Fig. 8- (a) Longitudinal scour profile of the middle pile group with the presence of 70% netted collars at different levels compared to the control test; (b) bed topography after the experiment with 70% netted collars at the bed level

شکل ۸- (a) پروفیل طولی آبشستگی گروه‌پایه وسط با حضور طوقه‌های ۷۰ درصد مشبک در ترازهای مختلف و مقایسه‌ی آن با آزمایش شاهد (b) توپوگرافی بستر پس از آزمایش با حضور طوقه‌های ۷۰ درصد مشبک در تراز روی بستر

جدول ۲- درصد کاهش عمق آبشستگی پایه اول به ازای ترازهای مختلف کارگذاری طوقه در مقایسه با آزمایش شاهد

Table 2- Percentage reduction in scour depth around the first pier for different collar placement levels compared to the control test

Placement levels	Percent reduction in scouring			
	Percentage of collar opening			
	0	30	50	70
0.5*D* above the bed	4	58	0	15
On the bed	81	100	73	85

تأثیر درصد بازشدگی طوقه بر میزان آبشستگی

تراز ۰/۵D بالای بستر

طوقه ۳۰ درصد مشبک با توسعه‌ی لایه مرزی اطراف توانست ۵۸ درصد عمق آبشستگی اولین پایه را کاهش دهد. کمترین وسعت حفره آبشستگی نیز مربوط به این آزمایش بود؛ این طوقه هم‌چنین آبشستگی پایه‌های بعدی را تا حد زیادی کاهش داد. طوقه ساده و ۵۰ درصد مشبک در این تراز به دلیل عملکرد گردابه‌ها در فضای در زیر طوقه و همچنین عبور جریان از منافذ طوقه ۵۰ درصد مشبک، تأثیر چندانی بر کاهش عمق آبشستگی پایه اول نداشتند؛ اما وسعت حفره آبشستگی را تا حدودی از کاهش دادند. طوقه ۷۰ درصد مشبک نیز توانست ۱۵ درصد عمق آبشستگی را کاهش دهد. به طور کلی تأثیر طوقه بر کاهش آبشستگی پایه‌های پشتی به دلیل گردابه‌های ضعیف‌تر در وجه بالادست آن‌ها و همچنین پوشش قسمت زیادی از فضای بین پایه‌ها توسط طوقه‌ها، بیشتر از تأثیر آن بر پایه‌ی جلویی بود. مقایسه‌ی درصد کاهش آبشستگی پایه‌های گروه‌پایه وسط در آزمایش با حضور طوقه‌های مختلف در تراز ۰/۵D بالای بستر، در شکل (۹) نشان داده شده است.

تراز روی بستر

در تراز روی بستر تمام طوقه‌ها با ممانعت از برخورد جریان به سطح بستر از راندمان بالایی برخوردار بودند. در اثر عملکرد گردابه‌های برخاستگی در دو طرف پایه، دو گودال فرسایشی کوچک در پشت طوقه‌ها ایجاد شد که حداکثر عمق آبشستگی در این نقطه‌ها اتفاق افتاد. به طور کلی طوقه ۳۰ درصد مشبک با کارایی ۱۰۰ درصد بیشترین تأثیر را بر کاهش عمق آبشستگی پایه اول دارا بود. پس از آن طوقه‌های ۷۰ درصد مشبک، ساده و ۵۰ درصد مشبک به ترتیب با ۸۵، ۸۱ و ۷۳ درصد کارایی توانستند آبشستگی را تا حد بسیار زیادی کنترل نمایند. طوقه‌ها برای پایه‌های بعدی نیز از کارایی بالایی برخوردار بودند؛ در این تراز، تنها حضور طوقه تا حد زیادی از برخورد گردابه‌ها به سطح بستر محافظت نموده و بازشدگی طوقه، تأثیر چندان زیادی بر میزان آبشستگی پایه‌های پشتی نداشت. مقایسه‌ی درصد کاهش آبشستگی پایه‌های گروه‌پایه وسط در آزمایش با حضور طوقه‌های مختلف در تراز روی بستر، در شکل (۱۰) رسم شده است.

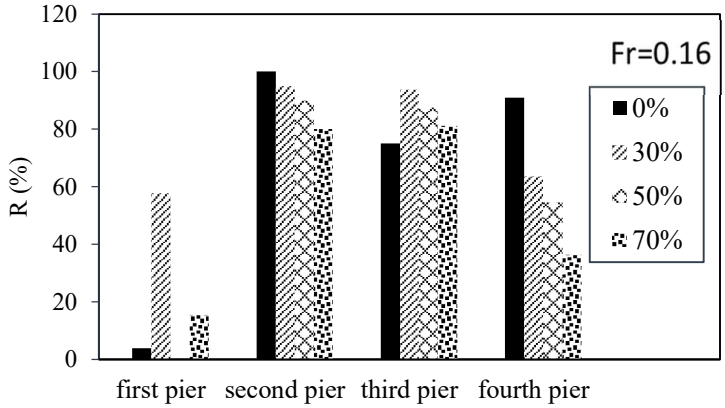


Fig. 9- The percentage reduction in scour depth with the presence of collars with different opening percentages at the 0.5*D* level (the column for the collar that did not reduce scour is not included)

شکل ۹- درصد کاهش آبشستگی با حضور طوقه‌ها با درصدهای بازشدگی مختلف در تراز ۰/۵D (ستون مربوط به طوقه‌ای که آبشستگی را کاهش نداد، رسم نشده است)

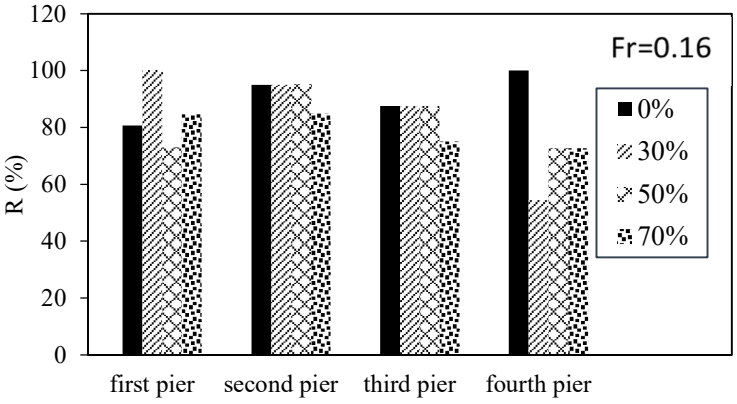


Fig. 10- The percentage reduction in scour with the presence of collars with different opening percentages at the bed level

شکل ۱۰- درصد کاهش آبشستگی با حضور طوقه‌ها با درصدهای بازشدگی مختلف در تراز روی بستر

مقایسه نتایج تحقیق با یافته‌های پیشین

به‌دلیل اینکه مطالعه‌های پیشین در ارتباط با به‌کارگیری طوقه مشبک محدود به تک‌پایه می‌باشد، بنابراین مقایسه نتایج تحقیق با تحقیقات پیشین بر روی گروه‌پایه با طوقه ساده و تک‌پایه با طوقه مشبک انجام شد. Heidarpour et el. (2010) با کارگذاری طوقه ساده روی بستر اطراف گروه‌پایه استوانه‌ای با فاصله‌ی ۳D بین پایه‌ها (D قطر پایه)، آبشستگی پایه اول تا سوم را به‌ترتیب ۰، ۱۹ و ۴۵ درصدکاهش دادند. ایشان مشاهده نمودند که با افزایش فاصله‌ی بین پایه‌ها به ۴D به دلیل کاهش اثر تقویت کنندگی پایه عقبی بر روی پایه جلویی، کارایی کاهش آبشستگی این پایه به هفت درصد افزایش یافت؛ اما برای پایه‌های دوم و سوم به دلیل کاهش اثر محافظت کنندگی پایه جلویی روی آن‌ها آبشستگی این پایه‌ها به‌ترتیب ۱۷ و شش درصد کاهش یافت. در حالی که در این پژوهش آبشستگی پایه‌های اول تا چهارم در حضورطوقه ساده به ترتیب ۸۱، ۹۵، ۸۷ و ۱۰۰ درصد کاهش یافت. Jalili (2013) با بکارگیری طوقه ۳۰ درصد مشبک در تراز ۰/۲۵D بالای بستر اطراف پایه استوانه‌ای در عدد فرود ۰/۱۶، ۵۰ درصد عمق آبشستگی را کاهش داد. Hemmati et el. (2016) نیز با به‌کارگیری طوقه ۳۰ درصد مشبک به اندازه ۳D در ترازهای ۰/۱D، ۰/۵D و D زیر بستر و عدد فرود ۰/۳ توانستند عمق آبشستگی را به‌ترتیب ۸۰، ۶۲ و ۴۰ درصد کاهش دهند. در حالی که در پژوهش حاضر قرارگیری طوقه ۳۰ درصد مشبک در تراز ۰/۵D بالای بستر و روی بستر به‌ترتیب ۵۸ و ۱۰۰ درصد عمق آبشستگی را کاهش داد.

نتیجه‌گیری

هدف از این تحقیق بررسی تأثیر طوقه‌های مشبک بر عمق آبشستگی گروه پایه‌های استوانه‌ای پل می‌باشد. بدین منظور طوقه‌های ۰، ۳۰، ۵۰ و ۷۰ درصد مشبک را در ترازهای ۰/۵D بالای بستر و روی بستر قرار داده و درصد کاهش عمق آبشستگی نسبت به آزمایش بدون طوقه بررسی شد. نتایج نشان داد در تراز روی بستر تمام طوقه‌ها با ممانعت از برخورد جریان به سطح بستر از کارایی بالایی برخوردار بودند؛ در این تراز طوقه ۳۰ درصد مشبک توانست آبشستگی را در نزدیک پایه اول به طور کامل کنترل نماید. در تراز ۰/۵D بالای بستر نیز طوقه ۳۰ درصد مشبک با آشفته نمودن جریان لایه مرزی توانست ۵۸ درصد آبشستگی را کاهش دهد. به طور کلی با کاهش تراز طوقه بر کارایی آن افزوده شد و طوقه ۳۰ درصد مشبک بیشترین تأثیر را بر کاهش عمق آبشستگی دارا بود.

تقدیر و تشکر

از مسئولین آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه شهید چمران اهواز که نهایت همکاری را برای انجام این تحقیق ابراز داشتند، تشکر و قدردانی می‌شود.

تضاد منافع نویسندگان

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که هیچ گونه تضاد منافعی در خصوص نگارش و انتشار مطالب و نتایج این پژوهش ندارند.

منابع مالی

حمایت‌های مالی این تحقیق از محل اعتبار پژوهشی شماره پژوهانه SCU.WH.1397.86 صورت گرفته است. بدینوسیله از حمایت معاونت محترم پژوهشی دانشگاه شهید چمران اهواز تقدیر می‌شود.

دسترسی به داده‌ها

همه اطلاعات و نتایج در متن مقاله ارائه شده است.

مشارکت نویسندگان

نویسنده اول: نسرین بهرامی، انجام آزمایش‌ها، نگارش مقاله، تجزیه و تحلیل داده‌ها، رسم نمودارها- سهم مشارکت: ۵۰ درصد
نویسنده دوم: مهدی قمشی، بررسی و تحلیل نتایج، بازنگری و ویرایش مقاله- سهم مشارکت: ۵۰ درصد

References

1- Alem, Z., 2012. *Effect of netted collar on the scour of bridge abutment*. M.S.C. Thesis. Faculty of Water Science Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz. (In Persian).

2- Breusers, H. and Raudkivi, A., 1991. *Scouring. Hydraulic design considerations*. Balkema, Rotterdam, the Netherlands.

3- Chiew, Y. and Melville, B., 1987. Local scour around bridge piers. *Hydraulic Research, 25(1), pp.*15-26. https://doi.org 10.1080/00221688709499285.

4- Hannah, C., 1978. *Scour at Pile Groups*. Research Rep. No. 28-3.

5- Heidarpour, M., Afzalimehr, H and Izadinia, E., 2010. Reduction of local scour around bridge pier groups using collars. *International Journal of Sediment Research, 25(4)*, pp.411-422. https://doi.org/10.1016/S1001-6279(11)60008-5.

6- Hemmati, M., Gholizadeh., N. and Dolatkhah, S., 2016. Experimental Investigation of the Effect of Diameter and Placement Level of Lattice Collars on Scour Reduction around Bridge Pier. *Irrigation Science and Engineering*, *39(4)*, pp.111-122. https://doi.org/10.22055/JISE.2016.12500 (In Persian).

7- Hoffmans, G. and Verheij, H., 1997. *Scour Manual,* vol. 96. CRC Press.

8- Jalili, A., 2013. Effect of using netted collar on bridge piers scouring. M.S.C. Thesis. Faculty of Water Science Engineering, *Shahid Chamran University of Ahvaz*. (In Persian).

9- Karimaee-Tabarestani, M. and Zarrati, A.R., 2012. Effect of collar on time development and extent of scour hole around cylindrical bridge piers. *International Journal of Engineering (IJE)*, 25(1), pp.11-17. https://doi.org/10.5829/idosi.ije.2012.25.01c.02.

10- Khademi, Kh., 2012. Investigation of the effect of longitudinal and lateral space of submerged vanes on local scour in abutment of bridge. P.H.D. Thesis. Faculty of Water Sciences Engineering, *Shahid Chamran University of Ahvaz*. (In Persian).

11- Khozeymehnezhad, H., Ghomshi, M. and Shafai Bajestan, M., 2014. Comparison of Symmetrical and Unsymmetrical Rectangular Collars on Reduction of Local Scour at Bridge Abutment. *Irrigation Sciences and Engineering, 37(2)*, pp.1-12. https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.25885952.1393.37.2.1.1 .(In Persian).

12- Melville, B. and Sutherland, A., 1988. Design method for local scour at bridge piers. *Hydraulic Engineering,* 114(10), pp.1210-1226. https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(1988)114:10(1210).

13- Melville, B., 1992. Local scour at bridge abutments. *Hydraulic Engineering,* 118**,** 615-631. https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(1992)118:4(615).

14- Melville, B. W. and Chiew, Y.-M., 1999. Time scale for local scour at bridge piers. *Hydraulic Engineering,* 125(1)**,** pp.59-65. https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(1999)125:1(59).

15- Oliveto, G. and Hager, W. H., 2002. Temporal evolution of clear-water pier and abutment scour. *Hydraulic Engineering,* 128**,** 811-820. https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(2002)128:9(811).

16- Raudkivi, A. J. and Ettema, R., 1983. Clear-water scour at cylindrical piers. *Hydraulic Engineering*, 109(3), pp.338-350. https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(1983)109:3(338).

17- Shafai Bejestan, M., Khademi, Kh, and Kozeymehnezhad, H., 2015. Submerged vane-attached to the abutment as scour countermeasure. *Ain Shams Engineering Journal* 6(3), pp.775-783. https://doi.org/10.1016/j.asej.2015.02.006.

18- Shahsavari, H., Heidarpour, M. and Mohammadalizadeh, M., 2017. Simultaneous Effect of Collar and Roughness on Reducing and Controlling the Local Scour around Bridge Abutment. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis,* 65(2)**,** pp.491-499. https://doi.org/10.11118/actaun201765020491.

19- Shojaei, P., Farsadizadeh, D. and Hoseinzadeh Dalir, A., 2011. Effects of Combined Submerged Vanes and Collar on the Scour Reduction around Cylindrical Bridge Piers**.** *Water and Soil Science***.** 15 (57), pp.23-33. https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.24763594.1390.15.57.3.5.

20- Singh, C., Setia, B. and Verma, D., 2001. Collar-sleeve combination as a scour protection device around a circular pier. *Proceedings of the Congress-International Association for Hydraulic Research*, pp. 202-209.

21- 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. *Hydraulic Engineering,* 132(2)**,** pp.154-162. https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(2006)132:2(154).