

EXTENDED ABSTRACT

**The Effect of Installing Immerse Vanes on
Scouring Around Bridge Abutments**

A. Heydari¹, M. Shafai Bajestan^{2*} and M. Bahrami Yarahmadi³

- 1- M.Sc. Student, Department of Water Structures, Faculty of Water Science Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz.
- 2* - Corresponding Author, Professor, Department of Water Structures, Faculty of Water Science Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz.(m_shafai@yahoo.com).
- 3- Assistant Professor, Department of Water Structures, Faculty of Water Science Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz.

Received: 1 May 2018

Revised: 18 September 2018

Accepted: 23 September 2018

Keywords: Scouring, Immerse Vanes, Bridge Abutments. *DOI:* 10.22055/jise.2018.25265.1748.

Introduction

To control scour, it is first necessary to examine the scouring mechanism and the flow patterns around the abutment. By constructing of the abutment, the approaching flow pattern around it is disturbed. In addition, this brings about an increase in the average flow velocity due to narrowing, and the three-dimensional patterns of the flow are formed around the bridge abutment, which is the main cause of the local scour around the structure. To protect the bridge from scouring, two measures have been developed in the past; a) the direct methods and b) the indirect methods, which modify the flow pattern and reduce the power of vortex vortices. One can mention the use of roughness, sluts, submerged vanes and immerse vanes. One of the problems in using submerged vanes is the scouring formed around these structures because these vanes are placed on the bed and the three-dimensional patterns around them form and cause the scour around the vanes and eventually lead to their destruction. On the contrary, immerse vanes are located above the bed and their destruction from bed scouring is impossible. Application of immerse vanes was first studied by Shafai-Bejestan et al. (2016) in order to control the scouring of the outer river banks in a 180 degree flume bend. Their results showed that by installing the immerse vanes on the outer bank of the bend, the amount of scour depth decreases in the area of the outer bank toe. On the other hand, the use of these vanes to control the scour of the bridge abutments has not been studied so far. Therefore, the present research has been carried out. In this study, the immerse vanes with four different distances, each with four different flow conditions, were tested to determine the most appropriate distance between the plates.

Experimental methods

Each test was started by turning on the pump which transported the required flow discharge from the laboratory underground reservoir. The flow of water ran into the flume after passing through a basket fill of boulders to dissipate the excess energy of the flow, and at the end of the flume, after passing through a slide gate, the flow entered the collecting pond. At the end of the pond, a 53-degree triangular weir was placed to measure the flow discharge. The flow then entered the underground reservoir. At the beginning of each experiment, after leveling the bed, the flow was gradually allowed to enter the flume by opening the valve at the beginning of the flume so that it did

not disturb the bed. After the water level rose in the flume, the flow rate was slowly increased to reach the desired flow rate. After adjusting the discharge, the water level was set at the desired level of 15 centimeters and then the test lasted for a set time of four hours. At the end of each experiment, the water was slowly drained from the flume. At the end, the maximum scour depth and topography of the scour hole created around the ridge were taken by a laser meter with a precision of one millimeter, and the data was fed to the computer.

At first, a long experiment was conducted for 16 hours without the presence of immerse vanes and for Froude number of 0.22. In this test, 75% of the final scour depth occurred during the first 4 hours of the experiment. Since our goal was to compare the substrate topography changes around the abutment, and because 75% of the final scour depth occurred during the first 4 hours of the experiment, the time of each test was considered to be 4 hours.

Results and discussions

Erosion and sedimentation pattern

In this study, bed topography was plotted using Surfer software. In Fig. (1), a sample of the pattern of erosion and sedimentation of the substrate for experiments without the presence of immerse vanes (control test), as well as for the tests with the presence of immerse vanes with an installation interval of twice the effective length of the support for the discharge of 40 liters per second (Froude number = 0.22) is shown. The results show that in all the experiments, maximum scour depth was observed in the upper nose of the abutment, and by increasing the flow conditions, the maximum scour depth and the scour hole volume were increased. According to the results of this step, the installation of the plate at $La=2$ times the effective length and 40 degrees angle is the most suitable condition so that the average scour depth for Froude numbers of 0.15, 0.17, 0.2 and 0.22 are decreased by as much as 31%, 41%, 45% and 51.3%, respectively, by installing the immerse vanes.

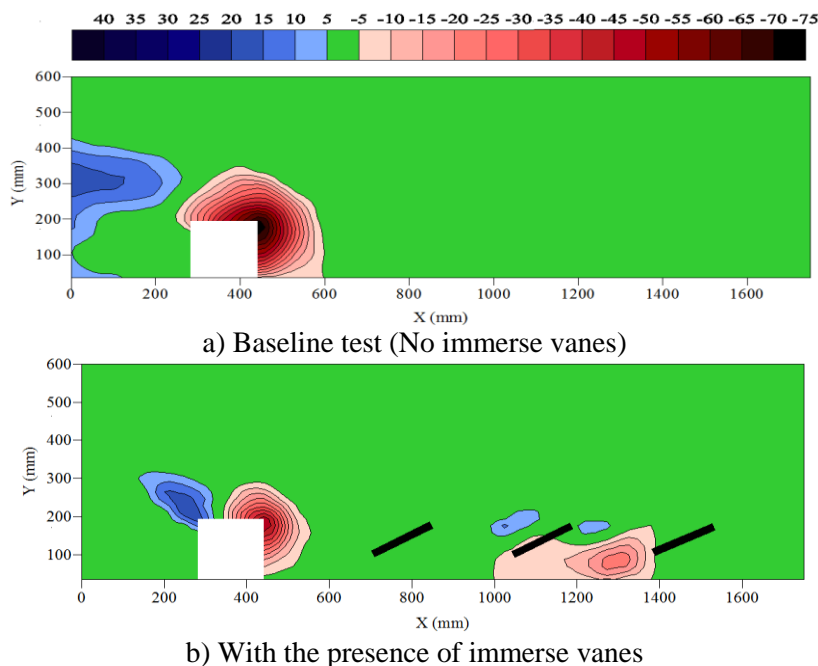


Fig.1. bed topographic after tests with Froude number equal 0.22

Maximum scour depth

In Fig. (2), the maximum scour depth variation is shown for different installation distances. According to the results, the trend of changes in maximum scour depth relative to the installation

distance for all the experiments was first ascending and then descending so that in all Froude numbers, the minimum scour depth occurred in the distance of 2 times the effective length. Occasionally, the greatest amount of scour depth occurred in the distance of 1 times the effective length. On average, the maximum scour depth in the presence of immerse vanes with distances of 0.5, 1, 1.5 and 2 times the effective length tested in Froude numbers of 0.15, 0.17, 0.2 and 0.22 was equal to 0.284, 0.304, 0.254 and 0.281 times the flow depth.

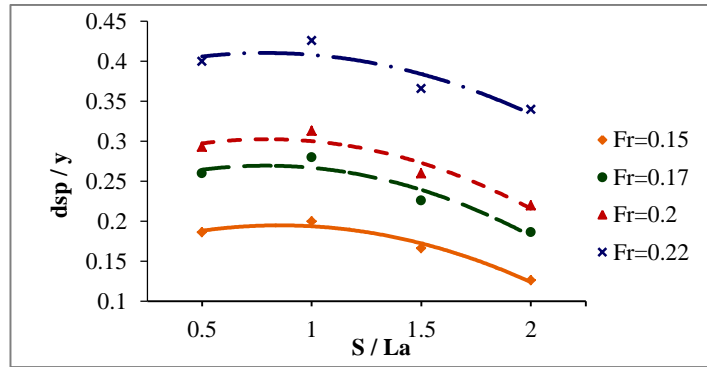


Fig. 2. variation of dimensionless scour depth with dimensionless distances for different Froude numbers

Percent reduction of scour depth

In Fig. (3), the percentage of reduction in the depth of scour depth of the bridge abutment is shown for different distances and for different Froude numbers. The percentage of scour depth reduction was calculated from the relationship $Pr = \frac{d_s - d_{sp}}{d_s} \times 100$. According to the results, the percentage of scour depth reduction for installation intervals of 0.5, 1, 1.5 and 2 times the effective length was descending-ascending and the plate which was twice the effective length of the support showed better performance in reducing the scour depth compared to other distances. On average, the maximum depth reduction of the scour hole compared to the baseline test at 0.5, 1, 1.5 and 2 times the effective length and for the Froude numbers of 0.15, 0.17, 0.2 and 0.22 showed a reduction of 22%, 17%, 31% and 42%, respectively, indicating that the plate at twice the effective length of the abutment shows better performance in reducing the scour depth than the other distances.

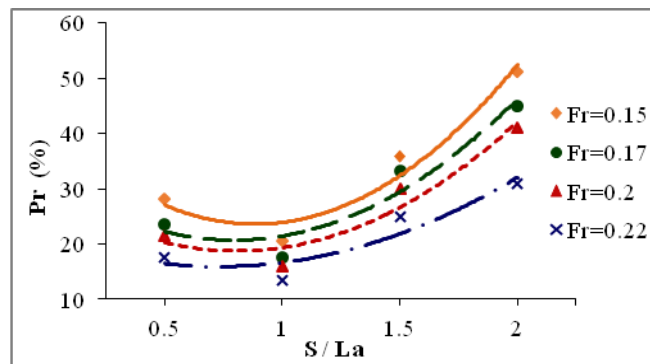


Fig. 3. Percent reduction at different vane distance for different Froude numbers

Conclusions

In this research, the effect of distance between immerse vanes on the changes in the topography of the abutment around the bridge at different flow conditions was investigated. The results showed that

using immerse vanes reduced the maximum depth of scour depth, in which the vanes with $L_a=2$ times the effective length of abutment were the most effective in reducing the maximum scour depth.

References

- 1- Shafai bajestan, M, Seledge Mahmoodi and A.Soozapour 2016. Floating Vanes for Bend Scour Control", River Flow 2016, St.Louis, 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/>).

تأثیر فاصله نصب صفحات مغروق بر آبشستگی اطراف تکیه گاه پل

عاطفه حیدری^۱، محمود شفاعی بجنستان^{۲*} و محمد بهرامی یاراحمدی^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی آب و سازه های هیدرولیکی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز.

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

۳- استادیار گروه سازه های آبی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز.

پذیرش: ۱۳۹۷/۷/۱

بازنگری: ۱۳۹۷/۶/۲۷

دریافت: ۱۳۹۷/۲/۱۱

چکیده

شکست و تخریب پل‌ها بر اثر آبشستگی در فونداسیون آنها علاوه بر خسارات مالی و بعضاً جانی، راه ارتباطی به نقاط سیل گیر و محتاج کمک رسانی را نیز قطع می‌کند. مطالعات انجام شده روی ۳۸۳ پل در ایالات متحده نشان می‌دهد که در ۲۵ درصد آن‌ها تخریب پایه و در ۷۲ درصد تخریب تکیه‌گاه، علت شکست پل بوده است. به همین منظور حفاظت پایه و تکیه‌گاه پل از اهمیت زیادی برخوردار بوده است. صفحات مغروق صفحاتی هستند که بر خلاف سایر روش‌ها روی بستر قرار نمی‌گیرند که خود باعث آبشستگی بستر شوند بلکه با فاصله از بستر و به صورت مغروق درون عمق آب قرار می‌گیرند. هدف این تحقیق بررسی عملکرد صفحات مغروق در کنترل آبشستگی اطراف تکیه‌گاه پل به ازای فواصل نصب مختلف (فواصل ۰/۵، ۱، ۱/۵ و ۲ برابر طول مؤثر تکیه‌گاه) و تحت شرایط مختلف جریان (اعداد فرود ۰/۱۵، ۰/۱۷، ۰/۲ و ۰/۲۲) می‌باشد. نتایج نشان داد که به‌طور متوسط در شرایط مختلف جریان صفحات با فواصل نصب $0.5L_a$ ، $1L_a$ ، $1.5L_a$ و $2L_a$ عمق آبشستگی تکیه‌گاه را به ترتیب ۲۳، ۱۷، ۳۱ و ۴۲ درصد نسبت به حالت بدون حضور صفحه کاهش دادند.

کلید واژه‌ها: کنترل فرسایش، مکانیزم آبشستگی، الگوی جریان، رودخانه، پایداری پل.

مقدمه

به فرسایش بستر یا کناره‌های آبراهه بعثت عبور جریان آب و یا فرسایش بستر در اطراف سازه‌های هیدرولیکی موجود در رودخانه‌ها بعثت شدت جریان زیاد در اثر تنگ شدگی مقطع رودخانه آبشستگی می‌گویند. مطالعات نشان می‌دهد که یکی از مهمترین دلایل تخریب پل‌ها آبشستگی در اطراف پایه‌ها و تکیه‌گاه‌های پل است. همه ساله پل‌های زیادی در اثر وقوع سیلاب و فرسایش بستر در اطراف پایه و تکیه‌گاه پل، تخریب می‌شوند که خسارات فراوانی را از نظر جانی و مالی در پی دارد و این موضوع مورد توجه محققین قرار گرفته است. برای مهار آبشستگی ابتدا لازم است مکانیزم آبشستگی و الگوی جریان مورد بررسی قرار گیرد. در شکل (۱) الگوی جریان تشکیل شده پیرامون یک تکیه‌گاه پل نشان داده شده است. Melville (1992, 1995) نشان داد که پدیده آبشستگی اطراف پایه و تکیه‌گاه پل مشابه هستند. تکیه‌گاه پل باعث تنگ‌شدگی در مقطع رودخانه می‌شود که بر روی الگوی جریان اطراف آن‌ها تأثیر قابل ملاحظه‌ای داشته، و باعث افزایش سرعت متوسط و دبی در واحد عرض در محل تکیه‌گاه شده، که این خود سبب آشفتنگی بیشتر جریان در اطراف تکیه‌گاه می‌شود. الگوی جریان در اطراف تکیه-

گاه و شکل‌گیری گردابه‌ها دلیل اصلی آبشستگی موضعی اطراف تکیه‌گاه می‌باشند. مهمترین عامل ایجاد حفره آبشستگی در بالادست تکیه‌گاه، گردابه‌های اولیه می‌باشد. هنگامی که خطوط جریان به دماغه بالادست تکیه‌گاه برخورد می‌کنند، سرعت جریان پس از برخورد به تکیه‌گاه تبدیل به فشار شده و باعث می‌شود سطح آب در جلوی تکیه‌گاه افزایش یافته و گرداب موج کم‌انرژی ایجاد شود. با توجه به اینکه سرعت جریان در تراز سطح آب نسبت به بستر رودخانه بیشتر است، فشار دینامیکی روی تکیه‌گاه نیز از بالا به پایین کم شده و گردابان فشار ایجاد شده باعث ایجاد یک جریان رو به پایین در بالادست تکیه‌گاه می‌شود که این جریان رو به پایین پس از برخورد به بستر رودخانه ضمن حفر چاله آبشستگی به جهات مختلف پراکنده می‌شود (Raudkivi, 1998). مقداری از این جریان صرف حفر چاله آبشستگی می‌شود و بخش دیگر به سمت بالا بازگشت می‌کند و در برخورد با جریان رودخانه مجبور به حرکت در جهت جریان می‌شود این چرخش جریان باعث ایجاد گردابه‌های اولیه خواهد شد. این گردابه‌ها مشابه گردابه‌های نعل‌اسبی در پایه پل هستند (Kayaturk, 2005).

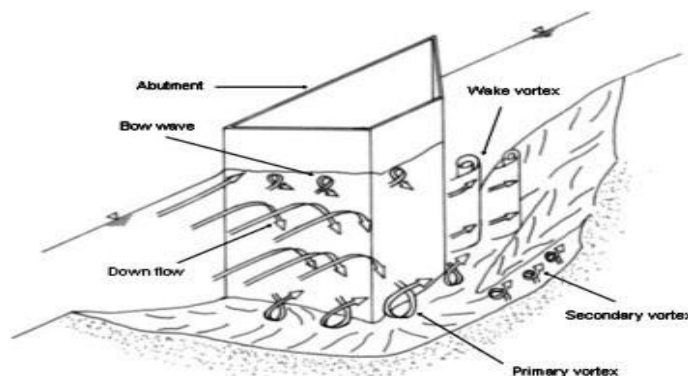


Fig. 1- Flow pattern around a bridge abutment
شکل ۱- الگوی جریان پیرامون یک تکیه‌گاه پل (Breusers et al., 1997)

باعث می‌شود تا لایه‌های پائینی خطوط جریان از محل تکیه‌گاه دور شده و در اطراف خود صفحه متمرکز گردند. فشردگی خطوط جریان در این مکان باعث افزایش تنش برشی موضعی و در نتیجه آبشستگی اطراف صفحه می‌شود. طبق نتایج آنان ملاحظه شد که مؤلفه‌های طولی سرعت خطوط جریان بالای صفحه از نظر کمی نسبت به حالت بدون صفحه کمی کاهش یافته (در حد تا پنج درصد) که در نتیجه وجود صفحه باعث افت سطح آب بیشتری نسبت به حالت بدون صفحه نشده است. وجود صفحه باعث افزایش حدود سه درصد مؤلفه عمودی سرعت می‌شود که می‌تواند قدرت گرداب رو به پائین را افزایش دهد. این مسئله می‌تواند باعث گردد که آبشستگی در اطراف لبه صفحه مختصری افزایش یابد. در مقایسه با کاربرد صفحات غیرمستغرق متصل به ساحل استفاده از صفحات مستغرق نه تنها عمق آبشستگی اطراف تکیه‌گاه را بیشتر کاهش می‌دهد بلکه تغییرات اندکی در توپوگرافی بستر اطراف آن ایجاد کرده و نیز تغییرات تراز سطح آب نیز کمتر می‌باشد. (Khademi و Shafai Bajestan (2014) در تحقیق دیگری به بررسی پارامترهای هندسی مختلف صفحات مستغرق (شامل تعداد، موقعیت و زاویه قرارگیری صفحات) بر عمق آبشستگی تکیه‌گاه پل پرداختند. نتایج تحقیق آنان نشان داد که صفحه مستغرق باعث کاهش عمق آبشستگی در محل تکیه‌گاه تا ۸۹ درصد می‌شود. به طور کلی نصب صفحه مستغرق باعث دور شدن حفره آبشستگی از پای تکیه‌گاه می‌شود. علاوه بر این صفحه متصل به گوشه تکیه‌گاه با زاویه ۴۰ درجه بیشترین تاثیر در کاهش عمق آبشستگی را دارد. (EmamGholi Zadeh و Nohani (2017) در پژوهشی به بررسی عملکرد استمرار پره‌های مستغرق در کاهش آبشستگی موضعی تکیه‌گاه پل با دماغه گرد پرداختند. نتایج آنان نشان داد که عملکرد پره‌های مستغرق در کاهش آبشستگی اطراف تکیه‌گاه قابل توجه و موجب حرکت حفره آبشستگی و دور کردن آن از دماغه تکیه‌گاه به سمت مرکز کانال شد. همچنین استفاده از پره‌های مستغرق با پنج نوع آرایش مختلف نشان داد که به طور متوسط این سازه می‌تواند ۶۰/۱ درصد عمق آبشستگی را در اطراف تکیه‌گاه پل کاهش دهد. نتایج به‌دست آمده از تحقیق آنان همچنین نشان داد که بهترین

گسترده‌ای در مورد مکانیزم آبشستگی در اطراف پایه‌های پل انجام دادند. آن‌ها نشان دادند جریان پایین‌رونده اولیه، گردابه‌های نعل اسبی و گردابه‌های برخاستگی عوامل اصلی آبشستگی در اطراف این سازه‌ها هستند. (Oliveto و Hager (2002) دریافتند آبشستگی در اطراف تکیه‌گاه از گوشه پایین‌دست شروع شده و به سمت بالادست گسترش می‌یابد. تداوم این جریان منجر به پیدایش حفره در اطراف دماغه تکیه‌گاه می‌شود که می‌تواند در نهایت منجر به تخریب تکیه‌گاه و در نتیجه تخریب پل گردد. (Kose و Yanmaz (2007) در تحقیقی به بررسی مشخصات سطح آبشستگی در عناصر پل پرداختند. نتایج آنان نشان داد که در تکیه‌گاه‌های پل با شکل هندسی دیواره عمودی (عمود بر جهت جریان)، حداکثر عمق آبشستگی در دماغه بالادست تکیه‌گاه رخ می‌دهد.

به طور کلی روش‌های کاهش آبشستگی پیرامون پایه و تکیه‌گاه‌های پل‌ها به دو دسته تقسیم می‌شوند. دسته اول روش‌هایی هستند که به منظور تقویت بستر و بالا بردن مقاومت آن استفاده می‌شوند مثل احداث سنگ چین و دسته دوم روش‌هایی می‌باشند که به منظور اصلاح الگوی جریان و کاهش قدرت گردابه‌های مخرب در اطراف پایه و تکیه‌گاه‌ها به کار می‌روند مانند نصب طوقه، صفحات مستغرق و صفحات مغروق.

Wang و Odgard (1987) برای اولین بار استفاده از صفحات مستغرق را به منظور کاهش آبشستگی پایه پل پیشنهاد کردند. پس از آن مطالعه‌های گسترده‌تری توسط سایر محققان مانند Lauchlan (1999)، Johnson et al. (2001)، Ghorbani و Kells (2008)، Khademi et al. (2014)، Khademi و Shafai Bajestan (2014)، Pars mehr و EmamGholi Zadeh (2015)، Parchami et al. (2017) و (2017) در زمینه کاهش آبشستگی با استفاده از صفحات مستغرق انجام شد.

Khademi et al. (2014) به بررسی الگوی سرعت جریان در محل تکیه‌گاه پل در شرایط با و بدون نصب صفحه مستغرق پرداختند. نتایج آنان نشان داد که نصب صفحه مستغرق

در فاصله مناسب نصب شوند، جریان را از ساحل به طرف مرکز رودخانه هدایت می‌کنند و با کاهش سرعت جریان و قدرت جریان در ساحل موجب کاهش آبستگي تکیه‌گاه می‌شوند و حتی ممکن است چاله آبستگي را به جایی دورتر از تکیه‌گاه انتقال دهند.

مواد و روش‌ها

مشخصات تجهیزات و مصالح مورد استفاده

آزمایش‌های این تحقیق در آزمایشگاه هیدرولیک دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز و در فلومی به طول ۸ متر، عرض ۱ متر و ارتفاع ۶۰ سانتیمتر انجام گرفت. شیب کف فلوم ثابت و برابر با ۰/۰۰۰۳ و دیواره‌های آن از جنس پلکسی گلاس بود. یک باکس فلزی به طول ۲ متر، عرض ۷۰ سانتیمتر و ارتفاع ۳۰ سانتیمتر در فاصله ۴ متری از ابتدای فلوم قرار گرفته بود. این باکس از یک نمونه رسوب یکنواخت با قطر متوسط ۰/۷ میلی متر ($d_{50}=0.7 \text{ mm}$) پر شد، به طوری که سطح بستر رسوبی هم تراز با سطح بستر کانال گردید.

در تمامی آزمایش‌ها شرایط آب زلال حاکم بوده است. برای انجام آزمایش‌ها از دبی‌های ۲۸، ۳۲، ۳۶ و ۴۰ لیتر بر ثانیه با عمق ثابت ۱۵ سانتی متر (اعداد فرود ۰/۱۷، ۰/۱۷، ۰/۲ و ۰/۲۲) استفاده گردید. به دلیل اینکه این صفحات سازه‌های جدیدی هستند و پارامترهای طراحی زیادی در دسترس نمی‌باشد لذا بعضی مقادیر این پارامترها در این تحقیق با استفاده از سعی و خطا و بعضی با توجه به نتایج محققان قبلی انتخاب شدند. صفحات استفاده شده در این تحقیق، به شکل مستطیل و از جنس آهن گالوانیزه و به ضخامت ۲ میلی متر، ارتفاع ۷۵ میلی متر و طول ۱۵۰ میلی متر (که این ابعاد با استفاده از سعی و خطا انتخاب شدند) ساخته شدند. این صفحات در وسط عمق جریان با فاصله از بستر و با فاصله ۱۲ سانتی متر از ساحل (این مقادیر نیز با استفاده از سعی و خطا بدست آمدند) بوسیله یک میله L شکل روی لبه دیواره فلوم بوسیله پیچ و مهره نصب می‌شدند و قبل از هر آزمایش فواصل و زوایای آنها با استفاده از خط‌کش و نقاله تنظیم می‌شد. فواصل این صفحات از یکدیگر ۰/۵، ۱، ۱/۵ و ۲ برابر طول مؤثر تکیه‌گاه انتخاب شدند (فواصل مذکور با توجه به ابعاد باکس رسوبی و فلوم استفاده شده در این تحقیق انتخاب شدند یعنی برای بررسی فاصله ۳ برابر طول تکیه‌گاه محدودیت فضا وجود داشت). و همچنین در تمامی آزمایش‌ها زاویه صفحات نسبت به ساحل بالادست ۴۰ درجه بوده است (که این مقدار بر اساس نتایج تحقیق Sozepoor و Shafai Bajestan (2016) اختیار شده است). تکیه‌گاه این تحقیق مستطیلی شکل بود و از جنس آهن گالوانیزه به طول (بعد عمود بر جریان) ۱۷ سانتیمتر و عرض ۱۵ سانتیمتر ساخته شد. در شکل‌های (۲) و (۳) مشخصات هندسی تکیه‌گاه و صفحات مغروق و نمایی از صفحات مغروق نصب شده در بالادست تکیه‌گاه نشان داده شده است.

عملکرد را آرایش دو ردیفه موازی دارد که در آن پره‌های ردیف اول با فاصله ۵ سانتی متر و ردیف دوم با فاصله ۱۵ سانتی متر از تکیه‌گاه قرار گرفتند و موجب کاهش ۷۱/۷۴ درصد از حداکثر عمق آبستگي شدند.

در رابطه با استفاده از طوقه جهت کاهش و کنترل آبستگي در اطراف پایه و تکیه‌گاه‌های پل نیز تحقیقات مختلفی در داخل و خارج از کشور صورت گرفت، که از جمله آنها می‌توان به تحقیقات Singh et al. (1999) Kumar et al. (1992) Chiew Khozeime (2001) Sani Khani et al. (2008) و Nezhad et al. (2014) اشاره کرد.

یکی از مشکلات استفاده از صفحات مستغرق وجود آبستگي در اطراف این سازه‌ها می‌باشد. فرارگیری صفحات مستغرق بگونه‌ای است که ارتفاعی از صفحه درون بستر قرار می‌گیرد، لذا علاوه بر آبستگي اطراف تکیه‌گاه در اطراف صفحات نیز آبستگي ایجاد می‌شود، که اگر عمق آبستگي اطراف صفحات از عمق فرارگیری آنها در بستر بیشتر شود باعث تخریب سازه می‌گردد.

به تازگی Shafai Bejestan et al. (2016) سازه جدیدی را در مهندسی رودخانه به منظور کنترل آبستگي پنجه ساحل خارجی در قوس‌ها معرفی کردند. آنها برای اولین بار کاربرد صفحات مغروق را در کاهش و کنترل آبستگي پنجه ساحل خارجی قوس ۱۸۰ درجه مورد مطالعه قرار دادند. این سازه که با فاصله از بستر و سطح جریان (بصورت مغروق) نصب می‌گردد، باعث انحراف خطوط جریان بطرف میانه مجرا و کاهش سرعت در ساحل می‌شود بنابراین جزء سازه‌های اصلاح الگوی جریان به حساب می‌آید. این صفحات در مقایسه با صفحات مستغرق این امتیاز را دارند که بر روی بستر نصب نمی‌شوند و میزان آبستگي اطراف این سازه‌ها نسبت به صفحات مستغرق بسیار ناچیز است. در این مطالعه صفحات با فواصل مختلف مورد مطالعه قرار گرفت و نشان داده شد که با نصب صفحات به فاصله دو برابر طول صفحه، میزان عمق آبستگي تا ۶۷ درصد کاهش می‌یابد. در مطالعه دیگری Sozepoor و Shafai Bejestan (2016) تأثیر زاویه فرارگیری صفحات مغروق را در کنترل آبستگي پنجه ساحل خارجی قوس ۱۸۰ درجه مطالعه نمودند که بهترین زاویه نصب برابر ۴۰ درجه تعیین شد.

با توجه به اینکه نتایج کاربرد صفحات مغروق در ساحل خارجی قوس‌ها جهت کاهش و کنترل آبستگي رضایت بخش بوده است و همچنین در زمینه کنترل آبستگي تکیه‌گاه پل با استفاده از صفحات مغروق تاکنون مطالعاتی صورت نگرفته است، بنابراین این تحقیق انجام شد. هدف این تحقیق بررسی تأثیر صفحات مغروق با فواصل مختلف در کنترل آبستگي تکیه‌گاه پل و تعیین فاصله نصب بهینه می‌باشد. در این تحقیق صفحات با زاویه ثابت و در ۴ فاصله مختلف از یکدیگر و در بالادست تکیه‌گاه پل نصب شدند. فرضیه این تحقیق این است که اگر این صفحات

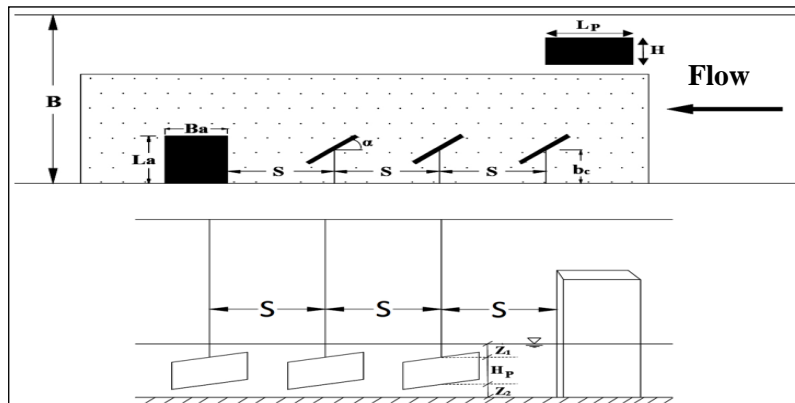


Fig. 2- Geometric characteristics of abutment and immersed vanes

شکل ۲- مشخصات هندسی تکیه‌گاه و صفحات مغروق



Fig. 3- Photograph of the Flume, abutment and immersed vanes

شکل ۳- تصویر فلوم، تکیه‌گاه و صفحات مغروق

نحوه انجام آزمایش

B عرض کانال (۱ متر)، L_a طول مؤثر تکیه‌گاه (ضلع عمود بر جهت جریان که برابر ۱۷ سانتیمتر می‌باشد)، B_a عرض تکیه‌گاه (ضلع واقع در موازات جریان که برابر ۱۵ سانتیمتر می‌باشد)، N تعداد صفحات (۳ صفحه)، α زاویه قرارگیری صفحات نسبت به ساحل بالادست (۴۰ درجه)، H_p ارتفاع صفحه مغروق (۷/۵ سانتیمتر)، L_p طول صفحه مغروق (۱۵ سانتیمتر)، S فاصله افقی مرکز صفحات از یکدیگر، b_c فاصله مرکز صفحه از ساحل (۱۲ سانتیمتر)، Z_1 فاصله ضلع بالای صفحه از سطح جریان (۳/۷۵ سانتیمتر)، Z_2 فاصله ضلع پایین صفحه از بستر رسوبی (۳/۷۵ سانتیمتر)، d_{50} قطر متوسط رسوبات بستر (۰/۷ میلی‌متر)، GS چگالی نسبی ذرات رسوبی (۲/۶۵)، v سرعت متوسط جریان، y عمق جریان در بالادست تکیه‌گاه (۱۵ سانتیمتر)، g شتاب ثقل زمین ρ جرم مخصوص آب، μ ضریب لزوجت دینامیکی آب. پارامترهای ذکر شده را می‌توان به صورت رابطه (۱) بیان کرد:

$$f(B, L_a, B_a, N, \alpha, H_p, L_p, S, b_c, Z_1, Z_2, d_{50}, GS, v, y, g, \rho, \mu) = 0 \quad (1)$$

نحوه انجام هر آزمایش بدین گونه بود که در ابتدای هر آزمایش پس از تسطیح بستر، با باز کردن شیر فلکه موجود در ابتدای فلوم، جریان اندکی و به آرامی وارد فلوم می‌شد به طوری که باعث آبشستگی بستر نشود. پس از بالا آمدن سطح آب در فلوم، دبی جریان به آرامی زیاد می‌گردید تا به دبی مورد نظر برسد. پس از تنظیم دبی، سطح آب در تراز مورد نظر یعنی ۱۵ سانتیمتر بوسیله دریچه کشویی انتهای فلوم تنظیم می‌گشت سپس آزمایش به مدت زمان تعیین شده ادامه پیدا می‌کرد. پس از اتمام هر آزمایش، آب به آرامی از فلوم خارج می‌گردید و بستر رسوبی زهکشی می‌شد. در انتها حداکثر عمق آبشستگی و توپوگرافی چاله آبشستگی ایجاد شده در اطراف تکیه‌گاه بوسیله متر لیزری مدل DISTO D2 با دقت ۱/۵ میلی‌متر در ۱۰۰ متر، برداشت می‌گردید و داده‌ها به کامپیوتر ارسال و در فایل‌های Excel ذخیره می‌شدند.

تحلیل ابعادی

به طور کلی پارامترهای مؤثر بر میزان آبشستگی اطراف تکیه‌گاه مستطیلی که در بالادست آن صفحات مغروق مستطیلی نصب شده اند عبارتند از:

کانال صفر یا ناچیز باشد. در این تحقیق شروع حرکت چند ذره که با چشم دیده شود به عنوان معیار آستانه حرکت در نظر گرفت شد. آزمایش‌های این مرحله بدون حضور تکیه‌گاه و در بستر تراز شده انجام شده است. به منظور حذف اثر عمق جریان، مقدار آن ثابت و برابر ۱۵ سانتیمتر در نظر گرفته شد. در ابتدا جریان آب به آرامی وارد فلوم شد بطوریکه رسوبات حرکتی نداشته باشند و پس از رسیدن عمق جریان به ۱۵ سانتیمتر از آنجا که به دلیل ثابت بودن سطح مقطع جریان، دبی بیانگر سرعت می‌باشد، با افزایش دبی جریان سرعت به تدریج افزایش یافته تا جاییکه سرعت بحرانی تعیین شود. که در این تحقیق سرعت بحرانی برابر ۰/۲۸ بدست آمد.

آزمایش زمان تعادل (شاهد)

ابتدا یک آزمایش طولانی به مدت ۱۶ ساعت بدون حضور صفحات مغروق و به ازای عدد فرود ۰/۲۲ انجام گردید. در طول مدت آزمایش در زمان‌های مختلف، عمق آبستنگی در نقطه مینا (دماغه تکیه‌گاه در بالادست) برداشت گردید. در شکل (۴) نتایج آزمایش نشان داده شده است. در این شکل محور عمودی درصد عمق تعادل آبستنگی و محور افقی زمان آزمایش می‌باشد. در این آزمایش از همان لحظات ابتدایی با برخورد جریان آب به تکیه‌گاه، تکیه‌گاه نظیر یک مانع عمل کرده و باعث جداشدگی خطوط جریان و انحراف آنها گردید. و با تشکیل گردابه‌های نعل اسبی به سرعت به عمق آبستنگی افزوده شده به طوری که در ۴ ساعت اول آزمایش، ۹۰ درصد عمق آبستنگی نهائی اتفاق افتاد و پس از آن روند تغییرات عمق آبستنگی کندتر شد. در طول آزمایش مقداری از رسوبات از درون چاله آبستنگی به پایین دست چاله حمل می‌شدند بگونه‌ای که در پایین دست تکیه‌گاه رسوب‌گذاری مشاهده گردید. در این تحقیق به دلیل اینکه ۹۰ درصد عمق آبستنگی نهائی در ۴ ساعت اول آزمایش اتفاق افتاده است و همچنین هدف از این تحقیق مقایسه تغییرات توپوگرافی بستر در اطراف تکیه‌گاه بوده است، بنابراین زمان هر آزمایش ۴ ساعت در نظر گرفته شد.

متغیرهای μ ، ν و γ که شامل هر سه بعد اصلی L ، M و T می‌باشند به عنوان متغیرهای تکراری انتخاب و با استفاده از تئوری باکینگهام، پارامترهای بدون بعد استخراج شدند. پس از حذف پارامترهای ثابت و پارامترهای کم اهمیت (مانند عدد رینولدز به علت متلاطم بودن جریان)، در نهایت رابطه (۲) جهت بررسی اثرات متغیرهای مؤثر بر آبستنگی حول تکیه‌گاه پل به دست می‌آید:

$$\Phi = f\left(\frac{S}{L_a} \cdot Fr\right) \quad (2)$$

در رابطه (۲)، Fr عدد فرود جریان و $\frac{S}{L_a}$ معرف پارامتر بی‌بعد فاصله صفحات از یکدیگر است. پارامتر Φ بیانگر پارامترهای آبستنگی می‌باشد که در این تحقیق عبارتند از: نسبت بی‌بعد عمق آبستنگی دماغه تکیه‌گاه بدون حضور صفحات مغروق به عمق جریان $\left(\frac{d_s}{y}\right)$ ، نسبت بی‌بعد عمق آبستنگی با حضور صفحات به عمق جریان $\left(\frac{d_{sp}}{y}\right)$ ، نسبت بی‌بعد طول چاله آبستنگی به عمق جریان $\left(\frac{X}{y}\right)$ ، نسبت بی‌بعد عرض چاله آبستنگی به عمق جریان $\left(\frac{Y}{y}\right)$ ، نسبت بی‌بعد مساحت پلان چاله آبستنگی به توان دوم عمق جریان $\left(\frac{A}{y^2}\right)$ و نسبت بی‌بعد حجم چاله آبستنگی به توان سوم عمق جریان $\left(\frac{V}{y^3}\right)$.

نتایج و بحث

آزمایش آستانه حرکت ذرات

برای تعیین سرعت آستانه حرکت ذرات رسوبی قبل از انجام آزمایشات اصلی، آزمایش آستانه حرکت با هدف تضمین شرایط آب زلال انجام شد. تعریف آستانه حرکت ذره یا شروع حرکت ذره در بین همه محققین یکسان نیست. عده‌ای شروع حرکت یک یا چند ذره را که با چشم دیده می‌شود به عنوان آستانه حرکت ذره تعریف می‌کنند و تعدادی هم شروع حرکت ذره را برابر مقدار جریانی دانسته‌اند که مقدار حرکت مواد رسوبی در پایین دست

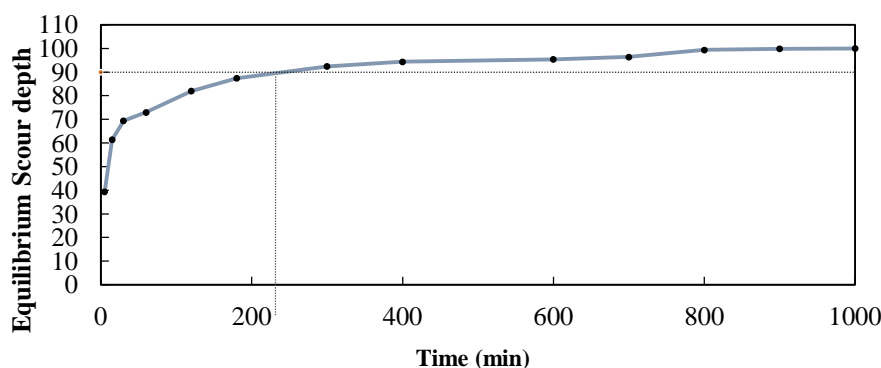


Fig. 4- Variations of scour depth at different time for $Fr= 0.22$ (With out immersed vanes)
 شکل ۴- تغییرات عمق آبستنگی در مقابل زمان به ازای عدد فرود ۰/۲۲ در حالت بدون حضور صفحات مغروق

الگوی فرسایش و رسوب‌گذاری

در این تحقیق توپوگرافی بستر برای تمامی آزمایش‌ها با استفاده از متر لیزری برداشت گردید و سپس به کمک نرم افزار Surfer ترسیم گردید. در شکل (۵) نمونه‌ای از الگوی فرسایش و رسوب‌گذاری بستر برای آزمایش‌های بدون حضور صفحات مغروق (آزمایش شاهد) و همچنین با حضور صفحات به ازای دبی ۴۰ لیتر بر ثانیه (عدد فرود ۰/۲۲) نشان داده شده است. نتایج نشان داد که در آزمایش‌های بدون حضور صفحات مغروق، حداکثر عمق آبستتگی در دماغه بالادست تکیه‌گاه افتاده است و با افزایش عدد فرود جریان، حداکثر عمق آبستتگی و حجم چاله آبستتگی افزایش پیدا کرده است. در آزمایش‌های با حضور صفحات مغروق نیز در همه فواصل، حداکثر عمق آبستتگی در دماغه تکیه‌گاه و به سمت بالادست اتفاق افتاده است. با افزایش فاصله بین سازه‌ها، روند تغییرات حداکثر عمق آبستتگی و حجم چاله فرسایشی اطراف تکیه‌گاه به صورت صعودی نزولی بوده است به طوری‌که، از فاصله نصب نیم برابر طول مؤثر تکیه‌گاه ($0.5L_a$) با افزایش فاصله، آبستتگی افزایش می‌یابد و در فاصله یک برابر طول مؤثر تکیه‌گاه (L_a) به بیشترین مقدار خود می‌رسد و پس از آن با افزایش فاصله، آبستتگی کاهش پیدا می‌کند. در فاصله دو برابر طول مؤثر تکیه‌گاه ($2L_a$) حداکثر عمق آبستتگی و حجم چاله فرسایشی اطراف تکیه‌گاه، نسبت به حالت شاهد و دیگر فواصل بیشترین میزان کاهش را داشته است. مطابق نتایج این مرحله، نصب صفحه در فاصله $2L_a$ و زاویه ۴۰ درجه دارای مناسب‌ترین وضعیت می‌باشد بگونه‌ای که عمق آبستتگی را در اعداد فرود ۰/۱۵، ۰/۱۷، ۰/۲ و ۰/۲۲ به ترتیب ۳۱، ۴۱، ۴۵ و ۵۱/۳ درصد نسبت به حالت بدون صفحه کاهش داده است. مشاهدات بصری با تزریق ماده رنگی نشان داد که صفحات مغروق با انحراف خطوط جریان از تکیه‌گاه به سمت مرکز فلوم و تشکیل گردابه‌هایی در پشت صفحات باعث کاهش قدرت جریان و عوامل فرسایشی گردید. همچنین نتایج آزمایش‌ها نشان داد که با افزایش عدد فرود جریان، در زیر صفحات مغروق چاله آبستتگی تشکیل شد که عمق و حجم آن نسبت به چاله آبستتگی تکیه‌گاه ناچیز بود. محل تشکیل این چاله با توجه به موقعیت قرارگیری صفحات متفاوت بود. در فاصله نصب $0.5L_a$ و در اعداد فرود ۰/۱۷، ۰/۲ و ۰/۲۲ یک چاله آبستتگی بین صفحات دوم و سوم تشکیل شد که به دلیل کم بودن فاصله صفحات از یکدیگر و تکیه‌گاه، این چاله به چاله آبستتگی تکیه‌گاه متصل گردید. در فاصله نصب L_a و $1.5L_a$ و در اعداد فرود ۰/۲ و ۰/۲۲ چاله آبستتگی بین سازه‌های اول و دوم ایجاد شد. در فاصله نصب $2L_a$ محل چاله تشکیل شده زیر صفحات در شرایط مختلف جریان متفاوت بود، بطوریکه در عدد فرود ۰/۱۷ این چاله آبستتگی بین صفحات دوم و سوم و در اعداد فرود ۰/۲ و ۰/۲۲ این چاله بین صفحات اول و دوم نمایان گردید.

حداکثر عمق آبستتگی

در تمامی آزمایش‌ها، حداکثر عمق آبستتگی در دماغه تکیه‌گاه و به سمت بالادست اتفاق افتاد. در شکل (۶) تغییرات حداکثر عمق آبستتگی به ازای فواصل مختلف نصب صفحات نشان داده شده است. محور افقی در این شکل نشان دهنده نسبت فاصله نصب صفحات به طول مؤثر تکیه‌گاه (S/L_a) می‌باشد و محور عمودی، نسبت بی‌بعد حداکثر عمق آبستتگی به عمق جریان (d_{sp}/y) را نشان می‌دهد. بررسی نتایج نشان داد که در هر عدد فرود جریان، استفاده از صفحات مغروق باعث کاهش حداکثر عمق آبستتگی تکیه‌گاه شده است. همانگونه که ملاحظه می‌شود روند تغییرات حداکثر عمق آبستتگی نسبت به فاصله نصب برای تمامی آزمایش‌ها به صورت صعودی نزولی است، بطوریکه در تمامی اعداد فرود در فاصله ۲ برابر طول مؤثر تکیه‌گاه، کمترین و در فاصله ۱ برابر طول مؤثر تکیه‌گاه، بیشترین مقدار عمق آبستتگی اتفاق افتاده است. از فاصله نصب $0.5L_a$ با افزایش فاصله، حداکثر عمق آبستتگی افزایش می‌یابد و در فاصله L_a به بیشترین مقدار خود می‌رسد و پس از آن روند نمودار نزولی می‌شود یعنی با افزایش فاصله، حداکثر عمق آبستتگی کاهش پیدا می‌کند. بطور متوسط در شرایط مختلف جریان حداکثر عمق آبستتگی صفحات با فواصل ۰/۵، ۱، ۱/۵ و ۲ برابر طول مؤثر تکیه‌گاه به ترتیب معادل ۰/۲۸۴، ۰/۳۰۴، ۰/۲۵۴ و ۰/۲۱۸ برابر عمق جریان است. علاوه بر این نمودارها نشان می‌دهند که در همه فواصل با افزایش عدد فرود جریان، به دلیل افزایش آشفستگی جریان و تنش برشی بستر، حداکثر عمق آبستتگی نیز افزایش می‌یابد.

درصد کاهش عمق آبستتگی

در شکل (۷) نمودار درصد کاهش عمق آبستتگی تکیه‌گاه پل به ازای فواصل نصب مختلف برای اعداد فرود متفاوت نشان داده شده است. درصد کاهش عمق آبستتگی از رابطه $Pr = \frac{d_s - d_{sp}}{d_s} \times 100$ محاسبه شد. با توجه به شکل (۷)، در همه فواصل با کاهش عدد فرود جریان، درصد کاهش عمق آبستتگی نسبت به آزمایش شاهد افزایش پیدا می‌کند، یا به عبارت ساده‌تر عمق آبستتگی کاهش می‌یابد و راندمان صفحات مغروق در کاهش عمق آبستتگی نیز افزایش می‌یابد. همانطور که در شکل ملاحظه می‌شود، روند تغییرات درصد کاهش عمق آبستتگی نسبت به فاصله به صورت نزولی-صعودی می‌باشد. فاصله دو برابر طول مؤثر تکیه‌گاه نسبت به فواصل دیگر عملکرد بهتری در کاهش عمق آبستتگی از خود نشان داده است. مطابق نتایج این مرحله، نصب صفحه در فاصله ۲ برابر طول مؤثر و زاویه ۴۰ درجه مناسب‌ترین وضعیت می‌باشد.

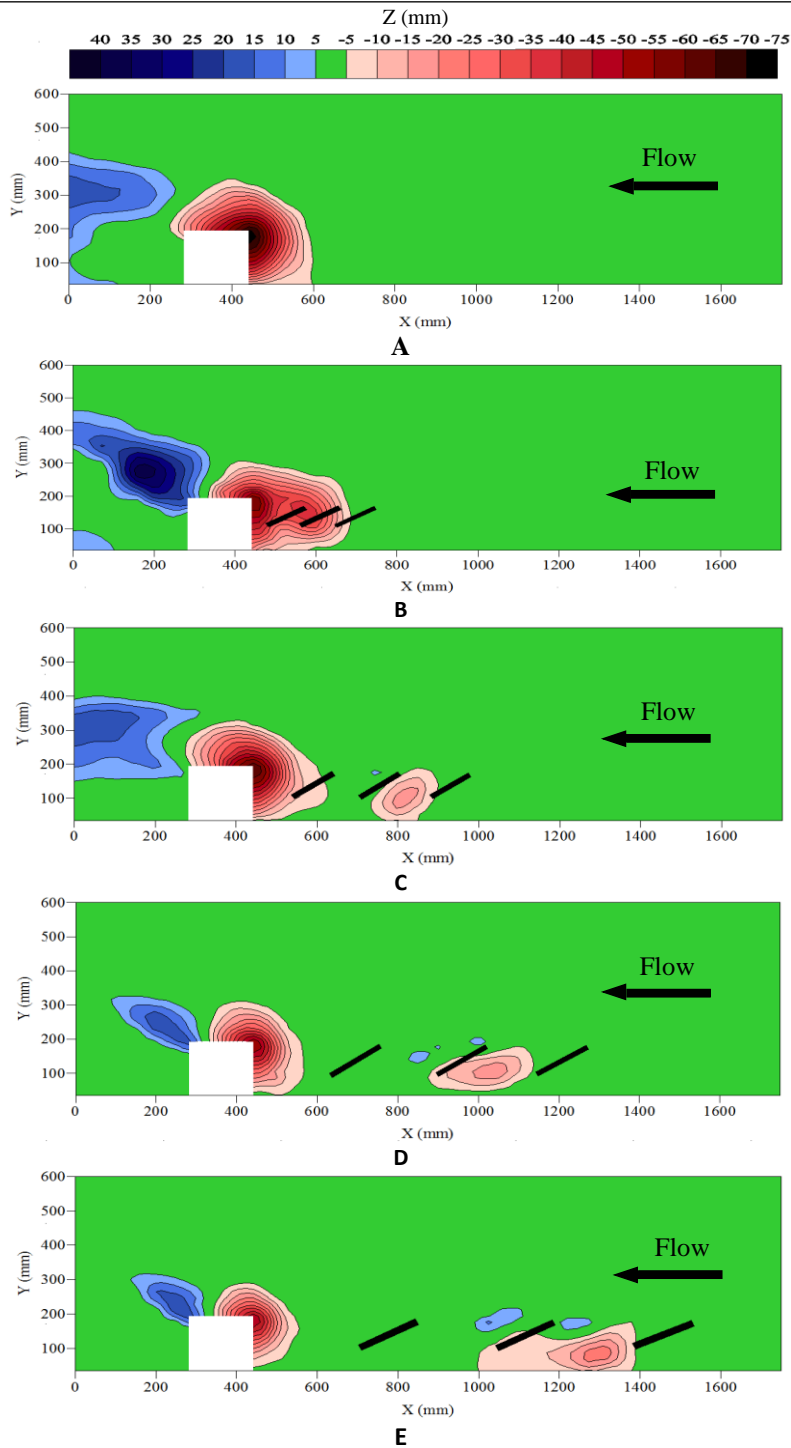


Fig. 5- Scour and deposition pattern around the abutment for tests a) without immersed vanes b) distance of $0.5L_a$ c) distance of $1L_a$ d) distance of $1.5L_a$ e) distance of $2L_a$
 شکل ۵- الگوی فرسایش و رسوب گذاری اطراف تکیه گاه پل برای آزمایش‌های الف) آزمایش شاهد ب) فاصله نصب $0.5L_a$ (ج) فاصله نصب $1L_a$ (د) فاصله نصب $1/5L_a$ (و) فاصله نصب $2L_a$

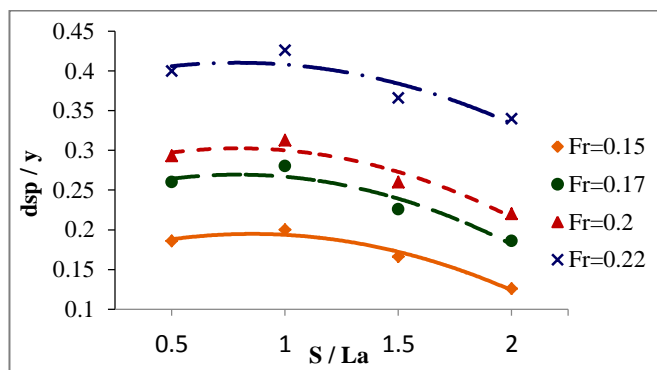


Fig. 6- Variations of scour depth for different installation distance

شکل ۶- روند تغییرات حداکثر عمق آبستگي به ازای فواصل نصب مختلف

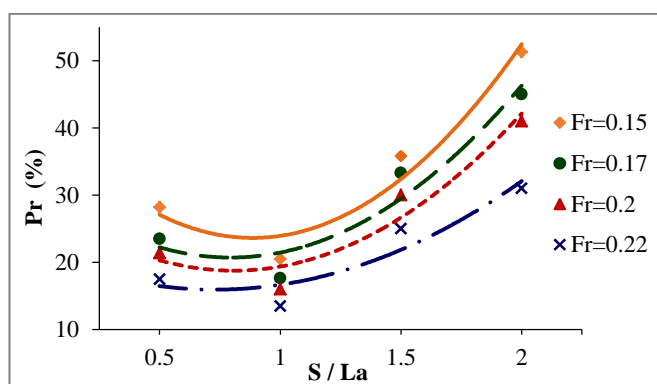


Fig. 7- Variations of Percent reduction in scour depth of abutment for different installation distance

شکل ۷- روند تغییرات درصد کاهش عمق چاله آبستگي تکیه گاه به ازای فواصل نصب مختلف

مشاهدات آزمایشگاهی نشان داد که در بعضی از آزمایش‌ها در زیر صفحات مغروق چاله آبستگي تشکیل می‌گردد. نتایج جدول (۱) بیانگر اینست که، در همه فواصل نصب به ازای عدد فرود $0/15$ در زیر صفحات چاله آبستگي ایجاد نشد. با افزایش عدد فرود یک چاله آبستگي در زیر صفحات مغروق تشکیل گردید که عمق چاله با توجه به موقعیت نصب صفحات و شرایط جریان متفاوت بود. بیشترین مقدار حداکثر عمق چاله آبستگي زیر صفحات در فاصله نصب $0/5L_a$ و به ازای عدد فرود $0/22$ اتفاق افتاده است که برابر $51/3$ درصد حداکثر عمق چاله آبستگي تکیه‌گاه در حالت شاهد بوده است. کمترین مقدار حداکثر عمق چاله آبستگي در فاصله نصب $2L_a$ و به ازای عدد فرود $0/17$ رخ داد که برابر $9/8$ درصد حداکثر عمق چاله آبستگي تکیه‌گاه در حالت بدون حضور صفحه بود. به طور متوسط در شرایط مختلف جریان مقدار حداکثر عمق چاله آبستگي زیر صفحات در فواصل $0/5L_a$ ، $1L_a$ ، $1/5L_a$ و $2L_a$ به ترتیب $31/4$ ، $8/75$ ، $12/65$ و 13 درصد حداکثر عمق چاله آبستگي تکیه‌گاه در حالت بدون حضور صفحات می‌باشد.

در جدول (۱) نتایج کمی تمامی آزمایش‌ها ارائه شده است. جدول (۱) از راست به چپ به ترتیب شامل ستون‌های زیر می‌باشد: ردیف، فاصله صفحات از یکدیگر (S)، عدد فرود جریان (Fr)، حداکثر عمق چاله آبستگي تکیه‌گاه بدون حضور صفحات مغروق (d_{sp})، حداکثر عمق چاله آبستگي تکیه‌گاه با حضور صفحات مغروق (d_{sp})، حداکثر عمق چاله آبستگي زیر صفحات (Z_s)، درصد حداکثر عمق چاله آبستگي تکیه‌گاه با حضور صفحات نسبت به آزمایش شاهد ($C = \frac{d_{sp}}{d_s} \times 100$)، درصد حداکثر عمق چاله آبستگي زیر صفحات نسبت به حداکثر عمق چاله آبستگي تکیه‌گاه بدون حضور صفحات ($D = \frac{Z_s}{d_s} \times 100$).

بررسی نتایج جدول (۱) نشان می‌دهد که، به طور متوسط در شرایط مختلف جریان مقدار حداکثر عمق چاله آبستگي دماغه تکیه‌گاه در حضور صفحات در فواصل $0/5L_a$ ، $1L_a$ ، $1/5L_a$ و $2L_a$ به ترتیب $77/25$ ، 83 ، $68/65$ و $57/85$ درصد حداکثر عمق چاله آبستگي تکیه‌گاه در حالت بدون حضور صفحات می‌باشد. که بیانگر اینست که حداکثر عمق آبستگي در فواصل نصب دو و یک برابر طول موثر تکیه‌گاه به ترتیب دارای کمترین و بیشترین مقدار است.

جدول ۱ - نتایج کمی تمامی آزمایش‌ها

Table 1- Result of Various tests

Row	S	Fr	d_s (cm)	d_{sp} (cm)	Z_s (cm)	C (%)	D (%)
1	0.5La	0.15	3.9	2.8	0	71.7	0
2	0.5La	0.17	5.1	3.9	1.7	76.4	33.3
3	0.5La	0.2	5.6	4.4	2.3	78.5	41
4	0.5La	0.22	7.4	6.1	3.8	82.4	51.3
5	1La	0.15	3.9	3.1	0	79.4	0
6	1La	0.17	5.1	4.2	0	82.3	0
7	1La	0.2	5.6	4.7	0.6	83.9	10.7
8	1La	0.22	7.4	6.4	1.8	86.4	24.3
9	1.5La	0.15	3.9	2.5	0	64.1	0
10	1.5La	0.17	5.1	3.4	0	66.6	0
11	1.5La	0.2	5.6	3.9	1.4	69.6	25
12	1.5La	0.22	7.4	5.5	1.9	74.3	25.6
13	2La	0.15	3.9	1.9	0	48.7	0
14	2La	0.17	5.1	2.8	0.5	54.9	9.8
15	2La	0.2	5.6	3.3	0.7	58.9	12.5
16	2La	0.22	7.4	5.1	2.2	68.9	29.7

حجم چاله آبستگي تکیه‌گاه

شکل (۹) تغییرات حجم چاله آبستگي پیرامون تکیه‌گاه به ازای فواصل و اعداد فرود مختلف را نشان می‌دهد. استفاده از صفحات مغزوق علاوه بر کاهش عمق و سطح چاله آبستگي تکیه‌گاه باعث کاهش حجم چاله آبستگي تکیه‌گاه نیز شد که در این خصوص فواصل $1L_a$ و $2L_a$ بترتیب دارای بدترین و بهترین عملکرد بودند. درصد کاهش حجم چاله آبستگي در فاصله $2L_a$ به ازای اعداد فرود 0.15 ، 0.17 ، 0.2 و 0.22 به ترتیب $81/1$ ، $82/9$ ، $78/1$ و $68/8$ درصد بود. در ضمن بطور متوسط در شرایط مختلف جریان درصد کاهش حجم چاله آبستگي در فواصل $0.5L_a$ ، $1L_a$ ، $1.5L_a$ و $2L_a$ نسبت به آزمایش شاهد به ترتیب $40/6$ ، $28/4$ ، $52/9$ و $77/7$ درصد محاسبه گردید. با دقت در شکل (۹) ملاحظه می‌گردد که، روند تغییرات حجم چاله آبستگي تکیه‌گاه در برابر فاصله همانند روند تغییرات مساحت چاله آبستگي تکیه‌گاه می‌باشد بگونه‌ای که در تمامی اعداد فرود از فاصله نصب $0.5L_a$ با افزایش فاصله حجم چاله آبستگي افزایش پیدا می‌کند و در فاصله $1L_a$ به بیشترین مقدار خود می‌رسد و پس از آن با افزایش فاصله حجم چاله آبستگي کاهش می‌یابد. در اعداد فرود 0.15 ، 0.17 و 0.2 روند تغییرات حجم چاله آبستگي اطراف تکیه‌گاه ملایم بوده و تغییرات حجم به ازای فواصل نصب مختلف کم می‌باشد، ولی در عدد فرود 0.22 روند تغییرات حجم شدت پیدا کرده است. بطور متوسط در شرایط مختلف جریان حجم چاله آبستگي در فواصل 0.5 ، 1 ، 1.5 و 2 برابر طول مؤثر تکیه‌گاه به ترتیب معادل $2/17$ ، $2/78$ ، $1/81$ و $1/2$ برابر توان دوم عمق جریان می‌باشد.

مساحت چاله آبستگي تکیه‌گاه

در شکل (۸) تغییرات مساحت (مساحت پلان چاله آبستگي) چاله آبستگي پیرامون تکیه‌گاه برای آزمایش‌های مختلف نشان داده شده است. محاسبات نشان داد که مساحت چاله آبستگي اطراف تکیه‌گاه با حضور صفحات مغزوق نسبت به حالت بدون حضور صفحات (آزمایش شاهد) کاهش پیدا کرده است. در تمامی اعداد فرود، صفحات با فاصله نصب $2L_a$ عملکرد بهتری در کاهش مساحت چاله آبستگي از خود نشان داده است. در صفحات با فاصله $2L_a$ درصد کاهش مساحت چاله آبستگي نسبت به آزمایش شاهد به ازای اعداد فرود 0.15 ، 0.17 ، 0.2 و 0.22 به ترتیب $73/5$ ، $61/2$ ، $65/9$ و $55/7$ درصد بوده است. علاوه بر این، بطور متوسط در شرایط مختلف جریان درصد کاهش مساحت چاله آبستگي نسبت به آزمایش شاهد در فواصل نصب $0.5L_a$ ، $1L_a$ ، $1.5L_a$ و $2L_a$ به ترتیب 31 ، 31 ، 43 و 64 درصد می‌باشد. همانطور که در شکل (۸) مشاهده می‌شود در تمامی اعداد فرود از فاصله نصب $0.5L_a$ با افزایش مساحت چاله آبستگي افزایش پیدا می‌کند و در فاصله $1L_a$ به بیشترین مقدار خود می‌رسد و پس از آن با افزایش فاصله مساحت چاله آبستگي کاهش می‌یابد. در ضمن با افزایش عدد فرود جریان به علت افزایش قدرت گردابه‌ها در اطراف تکیه‌گاه، مساحت چاله آبستگي افزایش می‌یابد. بطور متوسط در شرایط مختلف جریان مساحت چاله آبستگي در فواصل 0.5 ، 1 ، 1.5 و 2 برابر طول مؤثر تکیه‌گاه به ترتیب معادل $2/17$ ، $2/78$ ، $1/81$ و $1/2$ برابر توان دوم عمق جریان می‌باشد.

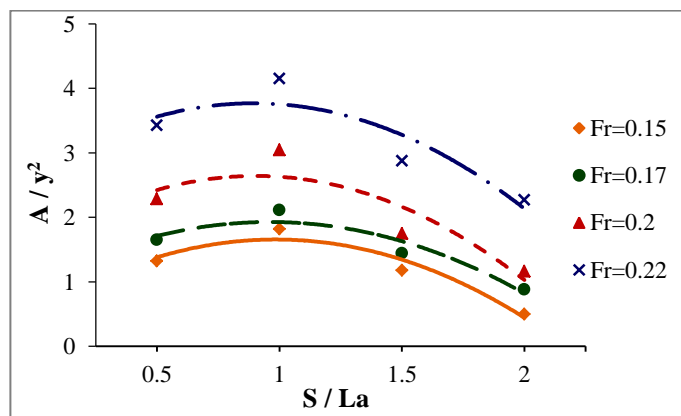


Fig. 8- Variations of scour hole area of abutment for different installation distance

شکل ۸- روند تغییرات مساحت چاله آبستگي تکیه‌گاه به ازای فواصل نصب مختلف

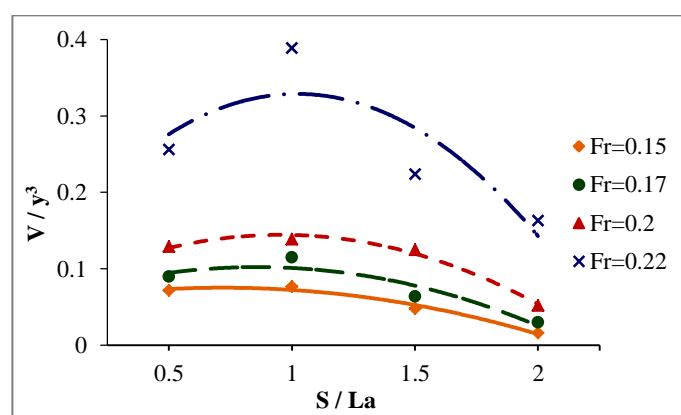


Fig. 9- Variation of scour volume for different installation distance

شکل ۹- روند تغییرات حجم رسوب فرسایش یافته به ازای فواصل نصب مختلف

چاله آبستگي در زیر صفحات مغروق مشاهده شد که ابعاد آن نسبت به چاله آبستگي تکیه‌گاه کوچکتر بود. نتایج نشان داد که بیشترین مقدار حداکثر عمق چاله آبستگي زیر صفحات در فاصله نصب $0.5L_a$ و به ازای عدد فرود 0.22 اتفاق افتاد که برابر $51/3$ درصد حداکثر عمق چاله آبستگي تکیه‌گاه در حالت بدون حضور صفحه بوده است. کمترین مقدار حداکثر عمق چاله آبستگي در فاصله نصب $2L_a$ و به ازای عدد فرود 0.17 رخ داد که برابر $9/8$ درصد حداکثر عمق چاله آبستگي تکیه‌گاه در حالت بدون حضور صفحه بود.

تقدیر و تشکر

این تحقیق با حمایت مالی از محل پژوهانه نویسنده دوم انجام شده است. بدینوسیله از معاونت پژوهشی دانشگاه شهید چمران اهواز تشکر و قدردانی می‌شود.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق به بررسی تأثیر فاصله بین صفحات مغروق بر روی تغییرات توپوگرافی بستر اطراف تکیه‌گاه پل در شرایط مختلف جریان پرداخته شد. نتایج نشان داد که بکارگیری صفحات مغروق سبب کاهش حداکثر عمق آبستگي تکیه‌گاه شده است که در این خصوص صفحات با فاصله $2L_a$ نسبت به دیگر فواصل دارای بیشترین میزان در کاهش حداکثر عمق آبستگي تکیه‌گاه بوده است. بطور متوسط صفحه در فاصله نصب دو برابر طول مؤثر تکیه‌گاه عمق چاله آبستگي را 42 درصد کاهش داد. همچنین این صفحات در کاهش مساحت و حجم چاله آبستگي اطراف تکیه‌گاه نیز عملکرد مؤثری داشتند. بطوریکه صفحات با فاصله $2L_a$ نسبت به دیگر فواصل در کاهش مساحت و حجم چاله آبستگي تکیه‌گاه عملکرد بهتری از خود نشان دادند. به طور متوسط مساحت و حجم چاله آبستگي در فاصله نصب $2L_a$ نسبت به آزمایش بدون حضور صفحات به ترتیب 64 و 78 درصد کاهش یافت. مشاهدات نشان داد که در برخی آزمایش‌ها یک

References

- 1- Breusers, H.N.C. Nicollet, G. and Shen, H.W., 1997. Local scour around cylindrical piers. *Journal of Hydraulic Research*, 15(3), pp.211-252.
- 2- Chiew, Y. M., 1992. Scour protection at bridge piers. *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, 118(9), pp.1260-1269.
- 3- Emamgholi Zadeh, S. and Nohani, E., 2017. Application of the Submerged Vanes on Reduction of Local Scour around the Bridge Abutment with Rounded Nose. *Irrigation and Drainage Structures Engineering Research*, 18(68), pp.113-128, (In Persian).
- 4- Ettema, R., 1980. Scour at bridge piers. Report No.216, University of Auckland, New Zeland.
- 5- Ghorbani, B. and Kells, J.A., 2008. Effect of submerged vanes on the scour occurring at a cylindrical pier. *Journal of Hydraulic Research*, 46 (4), pp.610-619.
- 6- Ghorbani, B. and Pars Mehr, M., 2016. The effect of constriction on Bridge Abutment Scour and function of submerged vanes to prevent and control it. *Scientific Journal of Hydraulic*, 10(4), pp.65-72, (In Persian).
- 7- Johnson, P.A., Hey, R.D., Tessier, M. and Rosgen, D.L., 2001. Use of Vanes for Control of Scour at Vertical Wall Abutments. *Journal of Hydraulic Engineering*, 127(9), pp.772-778.
- 8- Kayaturk, S.Y., 2005. Scour and Scour Protection at Bridge Abutments. Ph.D. Thesis, *Middle East Technical University*, Turkey. 213p.
- 9- Khademi, Kh. and Shafai Bajestan, M., 2014. Investigating the effect of number, position and angle of submerged vanes in bridge abutment location on scour depth. *Iranian Water Researches Journal*, 8(15), pp.145-153, (In Persian).
- 10- Khademi, Kh., Shafai Bajestan, M. and Ghomeshi, M., 2014. Flow Pattern Investigation at Bridge Abutment with and without Installed Submerged Vane. *Journal of Irrigation Sciences and Engineering*, 37(1), pp. 33-42, (In Persian).
- 11- Khozeime Nezhad, H., Ghomeshi, M. and Shafai Bejestan, M., 2014. Comparison of Symmetrical and Unsymmetrical Rectangular Collars on Reduction of Local Scour at Bridge Abutment. *Irrigation Sciences and Engineering Journal*, 37(2), pp.1-12, (In Persian).
- 12- Kumar, V., Ranga Raju, K. G. and N. Vittal., 1999. Reduction of local scour around bridge piers using slots and collars. *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, 125(12), pp.1302-1305.
- 13- Lauchlan C. S., 1999. Countermeasures for pier scour. Ph.D. thesis, *University of Auckland*, Auckland, New Zealand. 378p.
- 14- Melville, B.W., 1975. Local Scour at Bridge Sites, Report No.117, University of Auckland, school of Engineering, Auckland, New Zealand.
- 15- Melville, B.W., 1992. Local scour at bridge abutments. *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, 118(4), 615-631.
- 16- Melville, B.W., 1995. Bridge abutment scour in compound channels. *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, 121(12), pp.863-868.
- 17- Odgard, A.J. and Wang, Y. 1987. Scour Prevention at Bridge Piers. Proc. *National Conference of Hydraulic Engineering*, ASCE, pp.523-527.

- 18- Oliveto, G. and Hager, W.H., 2002. Temporal evolution of clear-water pier and abutment scour. *Journal of Hydraulic Engineering*. ASCE, 128(9), pp.811-820.
- 19- Parchami, L., Asghari Pari, A. and Shafai Bajestan, M., 2017. Experimental Investigation of Flat, Curved and Angled Submerged Vane's Placement Effect on Bridge Pier Scouring. *Journal of Irrigation Sciences and Engineering*, 40(1/1), pp.111-122, (In Persian).
- 20- Raudkivi, A.J., 1998. *Loose Boundary Hydraulics*. A.A. Balkema/ Rotterdam.
- 21- Sani Khani, H., Hossein Zadeh Dalir, A. and Farsadi Zadeh, D., 2008. The function of square shaped collars on reduces scouring around bridge piers. *4th National civil Engineering Conference, Tehran University, Tehran, Iran*, (In Persian).
- 22- Shafai bejestan, M, Mahmoodi, S. and Soozapour, A., 2016. Floating Vanes for Bend Scour Control, *River Flow, St.Louis, USA*.
- 23- Singh, C.P. Setia, B. and Verma, D.V.S., 2001. Collar-sleeve combination as a scour protection device around a circular pier. Proceedings of Theme D, *29th Congress on Hydraulics of Rivers, Water Works and Machinery, Chinese Hydraulic Engineering Society, Beijing, China*. Septamber 16-21, pp. 202-209.
- 24- Sozepoor, A. and Shafai Bajestan, M., 2016. An appropriate angle for Floating vanes in order to control the erosion of the riffle's bank. *Journal of Soil and Water Sciences*, Tabriz University, under press, (In Persian).
- 25- Yanmaz, A.M. and Köse, Ö., 2007. Surface characteristics of scouring at bridge elements. *Turkish Journal of Engineering & Environmental Sciences*, 31(2)..