

Research Paper

Experimental Investigation of the Effect of Sills on the Hole of Local Scour Around the Bridge Pier with Different Geometric Shapes

Mansour Khlaj¹, Ebrahim Nohani^{2*}, Ali Afrous³

1. Former M.Sc. Student of Hydraulic Structures, Civil Engineering Department, Islamic Azad University, Dezful Branch, Iran

2. Assistant Professor, Department of civil Engineering, Materials and Energy Research Center, Dezful Branch, Islamic Azad University, Dezful, Iran

3. Assistant Professor, Department of Water Engineering, Dezful Branch, Islamic Azad University, Dezful, Iran

Received: 2021/09/08

Revised: 2021/12/06

Accepted: 2021/12/28

Use your device to scan and read the article online



DOI:

[10.30495/wej.2023.28918.2337](https://doi.org/10.30495/wej.2023.28918.2337)

Keywords:

Scour, Bridge, Pier, Shapes, Aquifer, Experimental.

Abstract

Introduction: A physical model was prepared to investigate the effect of the geometric shape of the bridge pier with the abutment attached to it on the reduction of scour depth. This model was made of a laboratory flume with a length of 7.5 meters, a width of 30 cm, a depth of 45 cm with a variable slope and a glass body with bridge pier width of 4 cm were used. For bed sediments, a layer of natural river sand with an average diameter of 0.9 mm and a standard deviation coefficient of 1.1 and a uniformity coefficient of 1.25 were selected and used in a layer with a thickness of approximately 14 cm for experiments.

Methods: The geometric shape of the bridge piers, as well as the presence of the footing, prevents direct contact of the descending current, reduces the activity of horseshoe vortices and thus reduces the scouring speed, and delays the scouring start time.

Findings: According to the results of the experiments, the greatest decrease in scour depth was related to (0.26 descent and p1 base). The results showed that in the same condition, the relative scour depth at p1 base was less than other bases and reached its maximum in the control base. Also, the relative scour depth increased with increasing the number of landings in the same position. The abutment attached to the bridge base has reduced the scour depth by 29.6%.

Citation: Khlaj M, Nohani E, Afrous A. Experimental Investigation of the Effect of Sills on the Hole of Local Scour Around the Bridge Pier With Different Geometric Shapes. Water Resources Engineering Journal. 2023; 16(56): 69-78.

***Corresponding author:** Ebrahim Nohani

Address: Dept. of civil Engineering, Materials and Energy Research Center, Dezful Branch, Islamic Azad University, Dezful, Iran

Tell: +986142420601

Email: Nohani_e@yahoo.com

Extended Abstract

Introduction

Bridges are one of the most important road structures that can cause many problems if they fail, especially in critical situations such as floods, when we need them the most. According to research, one of the most important reasons for the destruction of bridges is the occurrence of scouring around the bridge piers and the lack of prediction of the local scouring effect due to hydraulic conditions around the piers and supports. In recent years, the use of protective solutions to control the scouring phenomenon has been widely used, which are divided into two categories: stabilizing the bed and reducing the intensity of vortices. The choice of any of these protection solutions depends on the hydraulic properties and geotechnical conditions of the riverbed. Abyss is one of the methods that reduces the depth of scour by preventing the development of vortices by protecting the base of the bridge. Also, the geometric shape of the bridge base, by affecting the river flow pattern, causes a change in the bed load movement regime, and as a result, changes in sedimentation and erosion. Due to the importance of the subject, in this study, the effect of the sills on the hole of local scour around the bridge pier with different geometric shapes was investigated in a physical model.

Materials and Methods

A physical model was prepared to investigate the effect of the geometric shape of the bridge pier with the abutment attached to it on the reduction of scour depth. This model was made of a laboratory flume with a length of 7.5 meters, a width of 30 cm, a depth of 45 cm with a variable slope and a glass body. The wide of bridge pier 4 cm were used. For bed sediments, a layer of natural river sand with an average diameter of 0.9 mm and a standard deviation coefficient of 1.1 and a uniformity coefficient of 1.25 were selected and used in a layer with a thickness of approximately 14 cm for experiments. A Leica DISTO D210 laser meter made in Hungary with an accuracy of 1.1 mm in a length of 80 meters was used to collect points. Equilibrium time plays an

important role in the results of a scour test. This time is long due to the need for equilibrium conditions and the time for experiments is long. For this purpose, an equilibrium test was performed in the most critical conditions (flow rate of 35 liters per second) and a rectangular base without the presence of a base for 5 hours. Scouring occurred. Therefore, in all experiments, the equilibrium time was considered to be 180 minutes. Before starting the pump, the end valve was closed and then the clear water was gently directed into the channel. After the water rose and ensured that the sediments were wet after a period of time, the pump was started with a small flow and the flow was slowly increased to the desired level by the main shut-off valve on the inlet pipe to the relaxation pond. By precisely and simultaneously adjusting the shut-off valve and the downstream valve, the desired flow depth of 15 cm and the desired flow was achieved. After 3 hours, the pump was turned off and the water in the canal was gently drained so as not to affect the topography of the bed. After complete drainage of water from the canal, by means of a laser depth gauge with an accuracy of ten millimeters, the topography of the bed around the base above and below the various hands was taken at a constant flow. In order to study the changes in the bed in detail, the distance between the harvest points was considered to be 2 cm and in the longitudinal direction, 2 cm according to the position. In total, the total points collected for 12 experiments during all experiments were to form a bed topographic network and its details were different in three discharges.

Discussion

In this regard, to investigate the behavior of different bridge pier shapes against local scour in the laboratory flume, the number of four piers and each pier with three different discharges (29, 32, 35) with landing numbers (0.26, 0.29, 0.32) was tested for 180 minutes (equilibrium time) for each bridge pier, and in the presence of a pier. In order to compare the scouring mechanism in the abutments with different geometric shapes, first the control experiment was performed by the control base (simple

rectangular base without abutment). Then different scenarios were examined and tested according to Table 1. To show more local scouring and cross-sectional profile of Figure (5) was presented, all experiments except the control base were performed in the presence of the base. Also, according to the records and results of previous researchers, the distance of the base attached to the bridge base was selected.

According to the comparison of longitudinal scour profiles in all test scenarios (Figure 5) in all experiments with increasing the number of landings (or corresponding discharges) of the flow, the depth of the scour pit increased and the most scouring was related to control experiments without the presence of basement and the geometric shape of the base is rectangular. Due to the longitudinal profile of the scour in the experiments, the main cause of scour holes around the bridge pier is the change in flow pattern by the bridge pier.

Conclusion

One of the direct methods to reduce scour is to use the appropriate geometric shape of the bridge base in the presence of a footing. In order to investigate the local scouring phenomenon, 4 cylindrical bases with different geometric designs were used in all experiments. The geometric shape of the bridge in all experiments had a great effect on reducing or increasing the depth of scouring so that in the landing number 0.32 and the base of the rectangular bridge, the relative depth of scour 1.8 and for the base of the elliptical bridge with footing in front of it in number Landing 0.26, the lowest relative scour depth occurred 0.198. The use of the abutment in front of the bridge pier has been reduced to a maximum of 35% of scour depth compared to the abstraction state, which indicates the very good performance of the abutment in reducing the relative scour depth. Also, with increasing the number of landings, the relative depth of scour around all bridge piers has increased by 10 to 13%. By examining the numbers obtained from the maximum scour depth obtained with a laser meter using the plate, the highest percentage of scour reduction in

the landing number of 0.29 for the base of the elliptical bridge (P1) by 55.50% and the base of the round bridge, respectively. (P2) occurred by 35% and the sharp-edged bridge foundation (P3) by 19%, which shows the importance of the geometric shape of the bridge foundation in the local scouring phenomenon around the foundation. The more elliptical the bridge edges (P1), by directing the flow lines downstream of the bridge pier, reduces the strength of the downward vortices and thus reduces the destructive power of the horseshoe vortices in front of the bridge pier and the depth of the scour hole to at least it arrives. In addition, the more rectangular and smooth edges of the bridge pier, due to the direct collision of flow lines and their direction to the bottom of the bridge pier, it increases the strength of downstream currents and horseshoe vortices and, of course, increases the scour depth. The footing is also a good tool to protect the bridge piers against descending vortices and horseshoes in the piers.

Ethical Considerations compliance with ethical guidelines

with ethical guidelines the cooperation of the participants in the present study was voluntary and accompanied by their consent.

Funding

No funding.

Authors' contributions

Design and conceptualization: Mansour Khvaj Ebrahim Nohani, Ali Afrous. Methodology and data analysis: Mansour Khvaj Ebrahim Nohani. Supervision and final writing: Ebrahim Nohani.

Conflicts of interest

The authors declared no conflict of interest.

مقاله پژوهشی

بررسی آزمایشگاهی تاثیر آبپایه بر کاهش حفره ی آبشستگی موضعی اطراف پایه پل با اشکال هندسی متفاوت

منصور خلج^۱، ابراهیم نوحانی^{۲*}، علی افروس^۳

۱. دانش آموخته کارشناسی ارشد گروه عمران گرایش آب و سازه های هیدرولیکی، واحد دزفول، دانشگاه آزاد اسلامی، دزفول، ایران

۲. استادیار گروه عمران، مرکز تحقیقات مواد و انرژی، واحد دزفول، دانشگاه آزاد اسلامی، دزفول، ایران.

۳. استادیار گروه مهندسی آب، واحد دزفول، دانشگاه آزاد اسلامی، دزفول، ایران.

چکیده

مقدمه: آبشستگی پایه های پل یکی از مهمترین عوامل تهدیدکننده پایداری پل های احداث شده بر روی رودخانه ها می باشد. بنابراین ارائه روش های مناسب به منظور پیش بینی و کنترل عمق آبشستگی از مسائلی است که بسیار مورد توجه بوده است. روش های مختلفی برای کنترل آبشستگی اطراف پایه های پل پیشنهاد شده است. در مطالعه حاضر، اثر استفاده از آبپایه بر کاهش عمق آبشستگی اطراف پایه پل با اشکال هندسی متفاوت در شرایط آب صاف، مورد بررسی قرار گرفته است.

روش: در این تحقیق به بررسی آزمایشگاهی تاثیر آبپایه بر کاهش حفره ی آبشستگی موضعی اطراف پایه پل با اشکال هندسی متفاوت پرداخته شد. شکل هندسی پایه های پل و همچنین حضور آبپایه، مانع از تماس مستقیم جریان پایین رونده، کاهش فعالیت گرداب های نعل اسبی و در نتیجه کاهش سرعت آبشستگی می شود و زمان شروع آبشستگی را به تاخیر می اندازد.

یافته ها: نتایج حاصل از آزمایش ها نشان داد بیشترین کاهش عمق آبشستگی در اطراف پایه پل با شکل هندسی بیضوی و با حضور آبپایه رخ می دهد. همچنین نتایج نشان داد که در یک وضعیت یکسان، عمق نسبی آبشستگی در پایه با شکل هندسی بیضوی نسبت به سایر پایه ها کمتر بوده (۵۵/۵ درصد آبشستگی کمتر از شاهد) و در پایه شاهد به بیشترین میزان خود می رسد همچنین عمق نسبی آبشستگی با افزایش عدد فرود در وضعیت یکسان افزایش یافته است. آبپایه چسبیده به پایه پل باعث کاهش ۲۹/۶ درصدی عمق آبشستگی شده است.

نتیجه گیری: با توجه به مشاهدات و نتایج بدست آمده نحوه طراحی شکل هندسی پایه پل میتواند روش مناسبی جهت کاهش عمق آبشستگی باشد. بطوریکه هر چه لبه های پایه پل بیضوی شکل باشند (P1) با هدایت خطوط جریان به پایین دست پایه پل، باعث کاهش قدرت گرداب های رو به پایین و در نتیجه کاهش قدرت مخرب گرداب های نعل اسبی در جلوی پایه پل شده و عمق چاله آبشستگی به حداقل می رسد. ضمناً هرچه پایه پل دارای لبه های مستطیلی شکل و صاف باشد، به علت برخورد مستقیم خطوط جریان و هدایت آن ها به سمت پایین پایه پل باعث افزایش قدرت جریان های رو به پایین و گرداب های نعل اسبی و بلطبع آن، افزایش عمق آبشستگی در جلوی پایه می شود. همچنین آبپایه ابزار مناسبی جهت حفاظت از پایه های پل در مقابل گرداب های پایین رونده و نعل اسبی، در پایه ها می باشد.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۶/۱۷

تاریخ داوری: ۱۴۰۰/۰۹/۱۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۱۰/۰۷

از دستگاه خود برای اسکن و خواندن مقاله به صورت آنلاین استفاده کنید



DOI:

[10.30495/wej.2023.28918.2337](https://doi.org/10.30495/wej.2023.28918.2337)

واژه های کلیدی:

کشاورزی، چاه آب، احساس تضاد، مدیریت تعارض.

* نویسنده مسئول: ابراهیم نوحانی

نشانی: استادیار گروه عمران، مرکز تحقیقات مواد و انرژی، واحد دزفول، دانشگاه آزاد اسلامی، دزفول، ایران.

تلفن: ۰۶۱۳۴۲۴۲۰۶۰۱

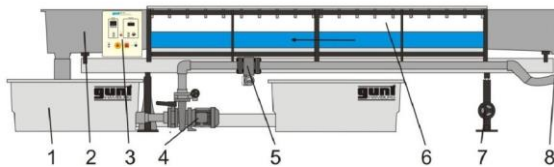
پست الکترونیکی: Nohani_e@yahoo.com

مقدمه

رودخانه باعث تغییر در رژیم حرکت بار بستر و در نتیجه تغییر محل رسوبگذاری و فرسایش میشوند. موحدی و همکاران (۱) به بررسی آزمایشگاهی تاثیر استفاده از آبیایه در کنترل آبستگي اطراف پایه های تکی و دوتایی عمود بر مسیر جریان در شرایط آب زلال پرداختند. نتایج آن ها نشان داد که در هر دو حالت تک پایه و پایه های دو تایی عمود بر مسیر جریان، هنگامیکه آبیایه به پایه چسبیده است، حداکثر کارایی آبیایه حاصل می شود به طوری که عمق آبستگي جلوی پایه در تک پایه ۲۹/۶ درصد و در پایه های دوتایی ۳۴ درصد کاهش می یابد. تفرج نوروز و همکاران (۵) راهکارهای حفاظتی گوناگونی را برای کنترل آبستگي در تک پایه مورد بررسی قرار دادند. در مورد آبیایه نتایج آنان نشان داد هنگامی که آبیایه کاملاً به پایه چسبیده است، عمق آبستگي جلوی پایه ۱۷/۲ درصد کاهش می یابد. (۲) هنگام استفاده از آبیایه در پایه های استوانه ای جهت کاهش عمق آبستگي جلوی پایه، بهترین موقعیت قرارگیری آبیایه در موقعیت چسبیده پیشنهاد می شود، در این حالت عمق آبستگي حدود ۳۰٪ کاهش می یابد.

مواد و روش ها

جهت بررسی تاثیر شکل هندسی پایه پل با آبیایه چسبیده به آن بر میزان کاهش عمق آبستگي، یک مدل فیزیکی تهیه شد. این مدل، یک فلوم آزمایشگاهی به طول ۷٫۵ متری، عرض ۳۰ سانتی متر، عمق ۴۵ سانتی متر با شیب متغیر و بدنه شیشه ای (به منظور مشاهده شرایط هیدرولیکی تشکیل شده) ساخته شد. فلوم مورد استفاده در این تحقیق عبارتست از یک کانال روباز مستطیلی با جداره شیشه ای، حوضچه آرام کننده در ابتدای فلوم، کانال خروجی در انتهای فلوم، مخزن آب، تانک ورودی، پمپ آب و همچنین دریچه و شیرآلات، زهکش های خروج آب و دستگاه اندازه گیری دبی جریان که هدف اصلی آن ایجاد جریان با عمق، سرعت و دبی های متفاوت جهت انجام آزمایش ها است (شکل ۲).

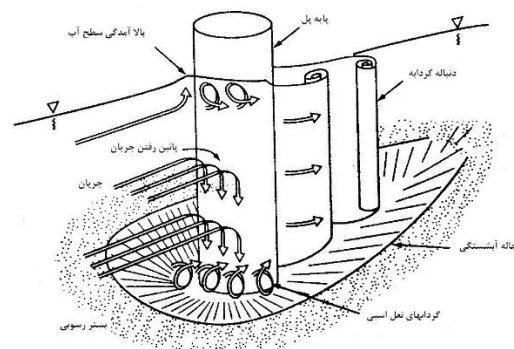


۱- مخزن خروجی فلوم، ۲- کانال خروجی انتهای فلوم، ۳- کلیدهای روشن و خاموش پمپ، ۴- پمپ، ۵- دستگاه اندازه گیری دبی، ۶- کانال مستطیلی روباز شیشه ای، ۷- شیر تنظیم دبی، ۸- حوضچه آرام کننده ابتدای فلوم

شکل ۲- اجزای مختلف مدل آزمایشگاهی (پلان)

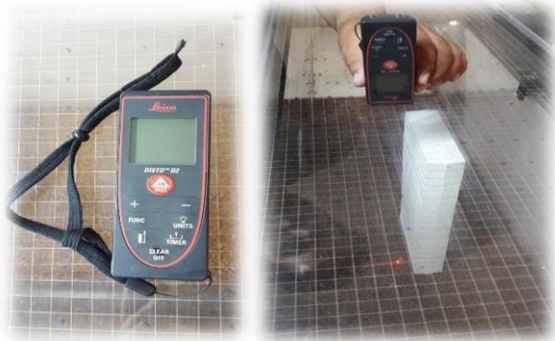
طبق توصیه های چیو و ملویل (۷) برای از بین رفتن تأثیر دیواره های کانال بر آبستگي موضعی، قطر پایه نباید از ۱۰ درصد عرض کانال بیشتر باشد. لذا پایه های با عرض ۴ سانتی متر استفاده شد که جهت مدل کردن پایه های پل از ورق پی وی سی به قطر ۱/۶ سانتی متر استفاده شد. کلیه پایه ها به صورت مجزا در فلوم نصب شدند. بر

راه های ارتباطی، جریان های حیاتی یک کشور هستند و پل ها یکی از مهم ترین سازه های راه ها هستند که در صورت خرابی آن ها به خصوص در مواقع بحرانی مانند سیل، که بیشترین نیاز به آن ها را داریم، مشکلات فراوانی را موجب می شوند. طبق تحقیقات انجام شده، یکی از مهم ترین دلایل تخریب پل ها، وقوع آبستگي اطراف پایه پل ها و عدم پیش بینی اثر آبستگي موضعی ناشی از شرایط هیدرولیکی اطراف پایه ها و تکیه گاه های آن می باشد. (۳) در کشور ایران نیز، همه ساله پل های فراوانی در اثر این پدیده از بین می روند و خسارات جانی و مالی فراوانی به بار می آورند. به همین دلیل بررسی آبستگي موضعی به عنوان یک مسأله مهم در مهندسی رودخانه و سواحل مطرح می باشد. بنابراین بررسی و تخمین شرایط هیدرولیکی و تخمین حداکثر عمق آبستگي اطراف پایه پل به منظور طراحی ایمن و اقتصادی پی دارای اهمیت می باشد. عواملی چون شکل آبراهه، خصوصیات جریان، شکل پایه و تکیه گاه و زاویه استقرار آن ها نسبت به جریان و خصوصیات رسوبات؛ همگی از عواملی می باشند که در پیچیدگی مسأله آبستگي اهمیت دارند. مکانیزم آبستگي بدین صورت است که پس از برخورد جریان به پایه پل، با توجه به اینکه سرعت جریان از بستر رودخانه به طرف سطح آب بیشتر می شود فشار بیشتری نیز در ترازهای بالاتر بر روی پایه ایجاد می شود و به این ترتیب گرادیان فشاری روی پایه از بالا به پایین به وجود می آید که خود باعث ایجاد یک جریان رو به پایین در جلو پایه می شود. جریان رو به پایین همانند یک جت عمودی عمل کرده و پس از برخورد به بستر رودخانه ضمن حفر بستر ذرات رسوبی را به اطراف پراکنده می کند (۱۰). شکل ۱ نمونه ای از جریان آشفته و گرداب هایی را که باعث آب بستگي موضعی و حفره می گردند را نشان می دهد.



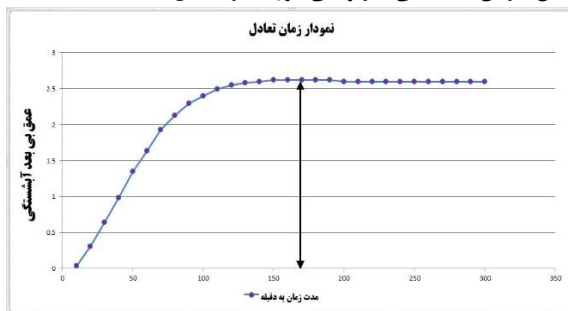
شکل ۱- الگوی جریان و حفره آبستگي موضعی اطراف یک پایه پل استوانه ای (۱۰)

در سال های اخیر استفاده از راه کارهای حفاظتی برای کنترل پدیده آبستگي به طور وسیعی مورد استفاده قرار گرفته است که به دو دسته تثبیت بستر (مانند سنگ چین و گابیون) و کاهش شدت گردابه ها (مانند آبیایه، شکاف و طوق) تقسیم می شوند. انتخاب هر یک از این راه کار های حفاظتی به خصوصیات هیدرولیکی و شرایط ژئوتکنیکی بستر رودخانه بستگی دارد. آبیایه یکی از روش هایی است که با جلوگیری از توسعه گردابه ها با حفاظت از پایه پل باعث کاهش عمق آبستگي می شود. همچنین شکل هندسی پایه پل با اثر گذاری بر الگوی جریان



شکل ۳- متر لیزری و صفحه مدرج

پس از بالا آمدن آب و اطمینان از مرطوب شدن رسوبات بعد از گذشت مدت زمانی، پمپ با دبی کمی راه اندازی شد و به آرامی توسط شیر فلکه اصلی روی لوله ورودی به حوضچه آرامش، دبی به میزان مورد نظر رسانده شد. با تنظیم دقیق و همزمان شیرفلکه و دریچه پائین دست عمق جریان ۱۵ سانتی متر و دبی مورد نظر حاصل شد.



شکل ۴- منحنی توسعه زمانی آبهستگی

پس از گذشت ۳ ساعت، پمپ خاموش گردید و آب موجود در کانال به آرامی زهکشی شد تا تاثیری بر روی توپوگرافی بستر ایجاد نگردد. پس از تخلیه کامل آب از درون کانال، بوسیله عمق سنج لیزری با دقت دهم میلی متر، توپوگرافی بستر حول پایه در بالا دست و پایین دست های مختلف در دبی ثابت برداشت شد. به منظور بررسی دقیق تغییرات ایجاد شده در بستر در امتداد عرضی فاصله نقاط برداشت ۲ سانتی متر و در امتداد طولی با توجه به موقعیت ۲ سانتی متر در نظر گرفته شد. در مجموع کل نقاط برداشت شده برای ۱۲ آزمایش در طول تمام آزمایش ها جهت تشکیل شبکه توپوگرافی بستر و جزئیات آن در سه دبی مختلف بود. (شکل ۵) نحوه قرارگیری پایه پل و آبپایه را در فلوم آزمایشگاهی در حضور رسوبات قبل از انجام آزمایش نشان می دهد. در ادامه به منظور آنالیز ابعادی و استخراج پارامترهای بی بعد از جمله: d_{50} قطر متوسط ذرات رسوب، W عرض آبپایه، γ عمق جریان، u_c سرعت آستانه حرکت رسوبات بستر، u سرعت جریان، g شتاب ثقل، ρ جرم مخصوص سیال، μ لزجت سینماتیکی، b قطر پایه پل و N تعداد آبپایه ها می باشند. با توجه به پارامترهای ذکر شده، می توان رابطه (۱) را برای حداکثر عمق آبهستگی اطراف پایه پل استوانه ای تعریف نمود:

اساس نتایج به دست آمده از تحقیقات مرور شده ی مرتباً، بلافاصله پایین دست پایه پل، مماس بر آن آبپایه ای قرار گرفت که کل عرض فلوم را پوشانده و ضخامت آن ۵ میلیمتر بود. ارتفاع آن نیز از کف تا تراز رسوبات قرار گرفت.

برای جلوگیری از تشکیل ریپل قطر متوسط ذرات باید از 0.7 میلی متر بزرگتر باشد (۴). همچنین برای حذف اثر رسوبات روی عمق آبهستگی نسبت قطر پایه به متوسط قطر ذرات باید کمتر از ۵۰ باشد. در همین راستا رادکیوی و اتما (۴) این نسبت را ۳۰-۲۵ پیشنهاد کرده اند. با توجه به این موارد از یک لایه ماسه طبیعی رودخانه ای با قطر متوسط معادل 0.9 میلی متر و ضریب انحراف استاندارد معادل $1/1$ و ضریب یکنواختی $1/25$ انتخاب و در لایه ای به ضخامت تقریبی ۱۴ سانتی متر برای انجام آزمایش ها مورد استفاده قرار گرفت. با توجه به اینکه آبهستگی موضعی در شرایط آب زلال بررسی شد لذا به منظور جلوگیری از فرسایش و انتقال رسوبات در بالادست پایه، سرعت متوسط جریان باید کمتر از سرعت بحرانی ذرات رسوبی ($u < u_c$) باشد (۹). در کلیه آزمایش ها نسبت سرعت متوسط جریان (u) به سرعت بحرانی (u_c) با توجه به دبی های متفاوت، کمتر از 0.93 انتخاب شد. به منظور برداشت نقاط از یک دستگاه متر لیزری مدل Leica DISTO D210 ساخت کشور مجارستان با دقت ± 1 میلیمتر در طول ۸۰ متر، استفاده شد (شکل شماره ۳).

در این آزمایش ها فاصله متر لیزری تا بستر کانال بطور متوسط ۵۰ سانتیمتر می باشد. زمان تعادل نقش مهمی در نتایج بدست آمده از یک آزمایش آبهستگی ایفا می کند. این زمان با توجه به اینکه بایستی شرایط تعادلی حاصل گردد، طولانی است و زمان انجام آزمایش ها طویل مدت است. بسیاری از محققین حداکثر زمان آزمایش ها انجام شده را ۲ ساعت در نظر گرفته اند، و بیان کرده اند که میزان افزایش در عمق حفره آبهستگی عمدتاً بعد از ۲ ساعت ناچیز است (۸). شفارد و همکاران (۸) آزمایش های خود را زمانی متوقف کردند که عمق آبهستگی بیشتر از ۵ درصد قطر پایه طی یک دوره ۲۴ ساعته نباشد. معیار زمان تعادل در این تحقیق حاضر، معیاری است که کومار و همکاران (۷) در تحقیقات خود در نظر گرفتند و آن مدت زمانی است که تغییرات عمق آب شستگی در سه ساعت متوالی بیش از یک میلی متر نباشد. بدین منظور یک آزمایش تعادل در بحرانی ترین شرایط (دبی ۳۵ لیتر بر ثانیه) و پایه مستطیلی شکل بدون حضور آبپایه به مدت ۵ ساعت انجام شد. در پایان با رسم اعماق نسبی آبهستگی در مقابل زمان شکل (۴) حاصل گردید. با توجه به این شکل مشاهده می شود که در مدت ۱۸۰ دقیقه اول ۹۵٪ آبهستگی رخ می دهد. لذا در کلیه آزمایش ها، زمان آزمایش ۱۸۰ دقیقه در نظر گرفته شد. پیش از راه اندازی پمپ، دریچه انتهائی بسته شده و سپس آب زلال به آرامی به درون کانال هدایت گردید.

سناریوهای ارائه شده، آزمایش های مختلف انجام و نتایج حاصله بدست آمد. در این راستا، برای بررسی رفتار اشکال مختلف پایه پل در برابر آبشستگی های موضعی در فلوام آزمایشگاهی، تعداد چهار پایه و هر پایه با سه دبی مختلف (۳۵، ۳۲، ۲۹) با اعداد فرود (۰/۲۶، ۰/۲۹، ۰/۳۲) در مدت زمان ۱۸۰ دقیقه (زمان تعادل) برای هر پایه پل، و در حضور آبپایه مورد آزمایش قرار گرفت. به منظور مقایسه مکانیزم آبشستگی در تکیه گاه پایه ها با اشکال هندسی متفاوت، ابتدا آزمایش شاهد توسط پایه شاهد (پایه ساده مستطیلی شکل بدون آبپایه) انجام شد. سپس سناریوهای مختلف طبق جدول ۱ مورد بررسی و آزمایش قرار گرفت.

جدول ۱- سناریوهای آزمایش ها

نام پایه	تعداد آزمایش (n)	ارتفاع آب (cm)	دبی جریان (lit/s)	عدد فرود جریان (Fr)	عرض پایه (Cm)	آبپایه
P1	۳	۱۵	۲۹	۰/۲۶	۴	دارد
				۰/۲۹		
				۰/۳۲		
P2	۳	۱۵	۲۹	۰/۲۶	۴	دارد
				۰/۲۹		
				۰/۳۲		
P3	۳	۱۵	۲۹	۰/۲۶	۴	دارد
				۰/۲۹		
				۰/۳۲		
P4 شاهد	۳	۱۵	۲۹	۰/۲۶	۴	ندارد
				۰/۲۹		
				۰/۳۲		

جهت نمایش بیشتر آبشستگی موضعی و پروفیل عرضی شکل (۶) ارائه گردید، کلیه آزمایش ها بجز پایه شاهد در حضور آبپایه انجام گردید همچنین، با توجه به سوابق و نتایج محققین پیشین، فاصله قرار گیری آبپایه چسبیده به پایه پل انتخاب گردید. با توجه به مقایسه پروفیل طولی آبشستگی در تمامی سناریوهای آزمایش (شکل ۶) در کلیه آزمایش ها با افزایش عدد فرود (یا دبی های متناظر) جریان، عمق چاله ی آبشستگی افزایش داشته و بیشترین آبشستگی مربوط به آزمایش های شاهد که بدون حضور آبپایه و شکل هندسی پایه مستطیلی می باشد، رخ داده است. پایه های پل با اشکال هندسی و اعداد فرود مختلف با توجه به پروفیل طولی آبشستگی در آزمایش ها، علت اصلی ایجاد حفره های آبشستگی اطراف پایه پل تغییر الگوی جریان توسط پایه پل می باشد. ضمناً کمترین حفره آبشستگی مربوط به پایه P1 (پایه با شکل هندسی بیضوی و با حضور آبپایه در جلوی آن) می باشد که به علت شکل بیضوی پایه پل و انتقال و هدایت خطوط جریان به اطراف پایه در نتیجه کاهش برخورد خطوط جریان به اطراف پایه رخ می دهد. شکل ۶ پروفیل طولی آبشستگی در اعداد فرود مختلف برای آزمایش شاهد را نشان می دهد. با توجه به این شکل حداکثر عمق آبشستگی در عدد فرود ۰/۳۲ و حداقل عمق آبشستگی در عدد فرود ۰/۲۹ رخ داده است که این مورد برای تمامی آزمایش ها صادق بوده است. شکل ۷ جهت مقایسه پروفیل طولی در اعداد فرود ثابت رسم شد. با توجه به این شکل در کلیه اعداد فرود ثابت برای پایه های پل با اشکال هندسی مختلف، بیشترین عمق آبشستگی در پایه پل شاهد که پایه مستطیلی شکل و بدون حضور آبپایه در جلوی آن بود، رخ داده است. همچنین کمترین حفره های آبشستگی به ترتیب

(۱) $f_1(d_s, d_{50}, W, \gamma, u_c, u, g, \rho, \mu, b, N) = 0$

در ادامه به منظور انتخاب متغیرهای تکراری، لزجت سینماتیکی (μ)، سرعت جریان (u) و قطر پایه پل (b) به عنوان متغیرهای اصلی و مابقی به عنوان متغیرهای تکراری انتخاب شد. سپس با داشتن ۱۱ پارامتر تکراری طبق تئوری باکینگهام، ۸ پارامتر بدون بعد ($11-3=8$) ایجاد می گردد که عبارتند از:

$$f_2 \left(Re, Fr, \frac{u_c}{u}, \frac{d_{50}}{b}, \frac{\gamma}{b}, \frac{W}{b}, N, \frac{d_s}{b} \right) = 0 \quad (2)$$

در رابطه فوق، Fr عدد فرود جریان و Re عدد رینولدز می باشد. با توجه به معادله بدست آمده در رابطه (۲)، از آنجایی که جریان در کلیه آزمایش ها متلاطم (آشفته) است (با توجه به دبی جریان و ابعاد فلوام، اعداد رینالدز در کلیه آزمایش ها بیشتر از ۴۰۰۰ بود)، عدد رینولدز پارامتری تأثیرگذار نمی باشد و لذا می توان آن را حذف نمود همچنین پارامترهای بی بعد ثابت شامل عمق نسبی ($\frac{y}{b}$) و قطر نسبی ذرات بستر ($\frac{d_{50}}{b}$) به علت ثابت بودن در کلیه آزمایش ها، حذف گردید و تنها پنج پارامتر بی بعد موثر جهت بررسی عمق آبشستگی مورد بررسی قرار گرفت و نهایتاً معادله (۳) به شکل معادله (۳) خلاصه می گردد.

$$f_3 \left(Fr, \frac{W}{b}, N, \frac{u_c}{u}, \frac{d_s}{b} \right) = 0 \quad (3)$$

با توجه به موارد ذکر شده در آنالیز ابعادی، نتایج تحقیق بر اساس پارامترهای بی بعد معادله (۳) تفسیر و رسم گردید. لازم به ذکر است با توجه به محدودیت موجود، بررسی همه متغیرها امکان پذیر نمی باشد.



شکل ۵- نحوه قرارگیری آبپایه (الف) و پایه های پل با اشکال هندسی متفاوت (ب)

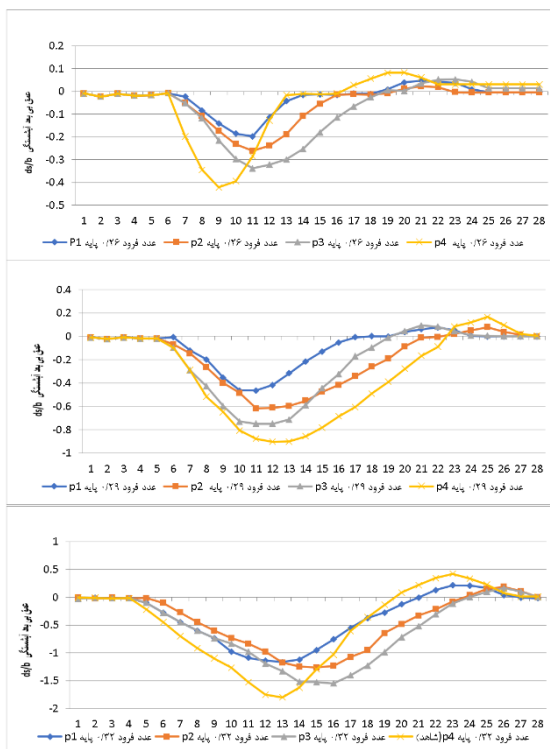
نتایج

به منظور بررسی آزمایشگاهی تاثیر آبپایه بر کاهش حفره ی آبشستگی موضعی اطراف پایه پل با اشکال هندسی متفاوت، متناسب با

جدول ۲- حداکثر عمق‌های آبستگي و درصد کاهش آبستگي نسبت به پایه شاهد در سناریوهای مختلف

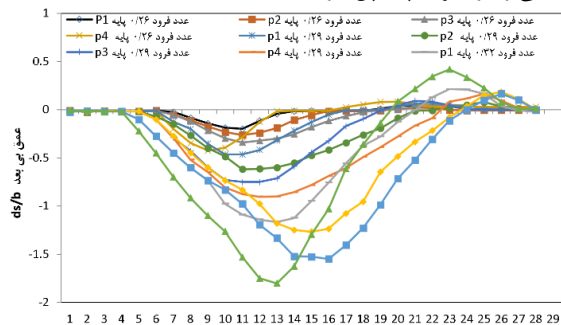
نوع پایه پل	F_p	$Q(L/s)$	$d_3(cm)$	$d_4(cm)$	$(d_4 - d_1)/d_4(%)$
P1	۰/۲۶	۲۹	۰/۷۹۲	۱/۶	۵۰/۵
	۰/۲۹	۳۲	۱/۸	۳/۶	۵۰
	۰/۳۲	۳۵	۴/۶	۷/۲	۳۶/۱۱
P2	۰/۲۶	۲۹	۱/۰۴	۱/۶	۳۵
	۰/۲۹	۳۲	۲/۴	۳/۶	۳۳/۳۳
	۰/۳۲	۳۵	۵	۷/۲	۳۰/۵۵
P3	۰/۲۶	۲۹	۱/۳	۱/۶	۱۸/۷۵
	۰/۲۹	۳۲	۳	۳/۶	۱۶/۶۷
	۰/۳۲	۳۵	۶/۱	۷/۲	۱۵/۲۸

با توجه به جدول (۲) حداکثر کاهش عمق نسبی آبستگي در حالت پایه پل P1 و عدد فرود ۰/۲۹ رخ داده است که به میزان ۵۵ درصد آبستگي نسبت به آزمایش شاهد (پایه پل P4) کاهش داشته است. همچنین کمترین تاثیر مربوط به پایه پل P3 در عدد فرود ۰/۲۶ میباشد که حداقل تاثیر را در کاهش عمق نسبی آبستگي داشته است (۱۵/۲۸ درصد). در ادامه شکل های مقایسه‌ای روند افزایش ماکزیم عمق نسبی آبستگي برای پایه ها در اعداد فرود مختلف رسم گردید (شکل ۸).

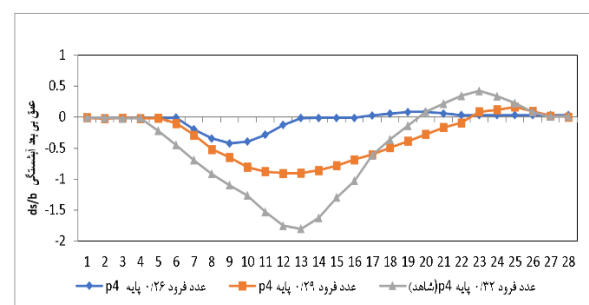


شکل ۸- پروفیل طولی عمق نسبی آبستگي اطراف پایه پل ها و مقایسه آن ها با پایه شاهد در دبی های مختلف همانطور که مشاهده می شود در یک وضعیت یکسان، عمق نسبی آبستگي در پایه P1 نسبت به سایر پایه ها کمتر بوده و در پایه شاهد به بیشترین مقدار خود می رسد همچنین عمق نسبی آبستگي با افزایش عدد فرود در وضعیت یکسان افزایش یافته است. مطابق جدول ۲ و شکل ۷ روند آبستگي از پایه P1 به پایه شاهد افزایش داشته که علت اصلی آن افزایش عدد فرود جریان و همچنین شکل هندسی پایه پل می

در پایه های پل P1, P2 و P3 رخ میدهد. علت این موضوع مربوط به شکل هندسی و آیرودینامیکی پایه پل است بطوریکه پایه پل های با شکل هندسی محدب و گرد گوشه بیشترین تاثیر در کاهش آبستگي موضعی را در اطراف پایه پل دارند.



شکل ۶- مقایسه بین پروفیل طولی تغییرات آبستگي نسبی اطراف



شکل ۷- پروفیل طولی حداکثر عمق نسبی آبستگي در آزمایش شاهد(پایه پل ساده مستطیلی شکل)

در مقایسه پایه ها در فرود ثابت با توجه به شکل ۷ مشخص می شود که شکل هندسی پایه تاثیر بسزایی در کاهش عمق آبستگي دارد، با توجه به اینکه محور قایم عمق آبستگي در هر آزمایش نسبت به عمق آبستگي در آزمایش شاهد می باشد، با افزایش فاصله نقاط از مبدأ نشان از بیشتر بودن تاثیر شکل هندسی پایه پل بر کاهش آبستگي می‌باشیم ولی با توجه به تشکیل پشته‌های رسوبی در پشت پایه پل این عدد نیز بیشتر هم شده است که امری طبیعی است. همچنین با توجه به شکل ها با افزایش عدد فرود جریان، عمق آبستگي در جلوی پایه و ارتفاع پشته های رسوبی در پشت پایه بیشتر شده که علت اصلی آن افزایش چشمگیر قدرت جریان های گردابه‌ای و جریان‌های رو به پایین می باشد. نتیجه دیگر اینکه پایه P1 دارای عمق آبستگي کمتری نسبت به سایر پایه ها بود که متاثر از نحوه خمیدگی های اطراف پایه پل است. در ادامه به منظور بررسی بیشتر در خصوص روند آبستگي و تاثیر شکل هندسی پل ها، حداکثر عمق آبستگي در اطراف هر یک از پایه های پل در کلیه آزمایش‌ها در جدول (۲) نشان داده شده است. همچنین درصد کاهش عمق آبستگي در هر آزمایش و برای هر یک از پایه های پل نسبت به پایه شاهد به تفکیک محاسبه شد. در جدول (۲) F_p عدد فرود جریان، Q دبی جریان، d_1 حداکثر عمق آبستگي در فرودهای مختلف، d_4 حداکثر عمق آبستگي پایه شاهد و $(d_4 - d_1)/d_4(%)$ می باشد.

پل می باشد. در این تحقیق با مدل سازی آزمایشگاهی به بررسی اثر گذاری اشکال هندسی مختلف بر میزان کاهش عمق آبستنگی پایه ها با انجام ۱۲ آزمایش پرداخته شده است. در کلیه آزمایش ها زمان تعادل ۱۸۰ دقیقه و محل قرارگیری آبپایه با توجه به سوابق تحقیقات محققین پیشین چسبیده به پایه پل لحاظ شده است. به منظور بررسی پدیده آبستنگی موضعی از ۴ پایه استوانه ای شکل با طراحی های هندسی مختلف در تمامی آزمایش ها بهره گرفته شد. شکل هندسی پل در کلیه آزمایش ها تاثیر زیادی در کاهش یا افزایش عمق آبستنگی داشت به طوری که در عدد فرود ۰/۳۲ و پایه پل مستطیلی شکل، عمق نسبی آبستنگی $(\frac{d_s}{b})$ ۱/۸ و برای پایه پل بیضوی شکل همراه با آبپایه در جلوی آن در عدد فرود ۰/۲۶ کمترین عمق نسبی آبستنگی $(\frac{d_s}{b})$ ۰/۱۹۸ رخ داده است. استفاده از آبپایه در جلوی پایه پل نسبت به حالت بدون آبپایه حداکثر تا ۳۵٪ عمق آبستنگی را کاهش داده شده است که مبین عملکرد بسیار مطلوب آبپایه در کاهش عمق نسبی آبستنگی دارد. همچنین با افزایش عدد فرود جریان، عمق نسبی آبستنگی در اطراف کلیه پایه های پل به میزان ۱۰ الی ۱۳ درصد افزایش داشته است. با بررسی اعداد بدست آمده از حداکثر عمق آبستنگی که با متر لیزری به کمک صفحه مندرج بدست آمدند، بیشترین درصد کاهش آبستنگی در عدد فرود ۰/۲۹ به ترتیب برای پایه پل بیضوی شکل (P1) به میزان ۵۵/۵۰٪ و پایه پل لبه گرد (P2) به میزان ۳۵٪ و پایه پل لبه تیز (P3) به میزان ۱۹٪ رخ داده که اهمیت شکل هندسی پایه پل را در پدیده آبستنگی موضعی اطراف پایه نشان می دهد. با توجه به مشاهدات و نتایج بدست آمده نحوه طراحی شکل هندسی پایه پل میتواند روش مناسبی جهت کاهش عمق آبستنگی باشد. بطوریکه هر چه لبه های پایه پل بیضوی شکل باشند (P1) با هدایت خطوط جریان به پایین دست باعث کاهش قدرت گرداب های رو به پایین و در نتیجه کاهش قدرت مخرب گرداب های نعل اسبی در جلوی پایه پل شده و عمق چاله آبستنگی به حداقل می رسد. ضمناً هرچه پایه پل دارای لبه های مستطیلی شکل و صاف باشد، به علت برخورد مستقیم خطوط جریان و هدایت آن ها به سمت پایین پایه پل باعث افزایش قدرت جریان های رو به پایین و گرداب های نعل اسبی و بلطبع آن، افزایش عمق آبستنگی در جلوی پایه می شود. همچنین آبپایه ابزار مناسبی جهت حفاظت از پایه های پل در مقابل گرداب های پایین رونده و نعل اسبی، در پایه ها می باشد.

ملاحظات اخلاقی پیروی از اصول اخلاق پژوهش

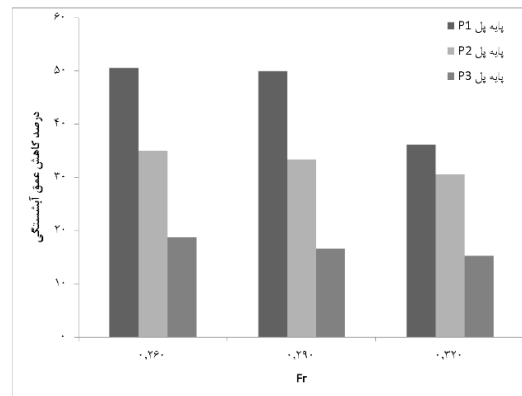
همکاری مشارکت کنندگان در تحقیق حاضر به صورت داوطلبانه و با رضایت آنان بوده است.

مشارکت نویسندگان

طراحی و ایده پردازی: ابراهیم نوحانی، منصور خلج، علی افروس؛ روش-شناسی و تحلیل داده ها: ابراهیم نوحانی، منصور خلج؛ نظارت و نگارش نهایی: ابراهیم نوحانی

تعارض منافع

باشد. در سه حالت عدد فرود جریان (۰،۲۶، ۰،۲۹، ۰،۳۲) کمترین عمق آبستنگی مربوط به پایه p1 با عمق آبستنگی ۰،۷۹۲ سانتی متر مربع و عدد فرود ۰،۲۶ و بیشترین عمق آبستنگی مربوط به پایه شاهد با عمق آبستنگی ۷،۲ سانتی متر مربع و عدد فرود ۰،۳۲ می باشد. همچنین در مقایسه ای ساده در یک عدد فرود ثابت عمق آبستنگی به ترتیب ، شاهد $p1 < p2 < p3$ خواهد بود به طوریکه بیشترین چاله آبستنگی در مورد نمونه شاهد و کمترین چاله برای پایه با شکل هندسی بیضوی شکل رخ می دهد. در ادامه به منظور بررسی دقیق تر تاثیر شکل هندسی پایه پل بر کاهش عمق آبستنگی نسبت به آزمایش شاهد درصد کاهش عمق نسبی آبستنگی نسبت به آزمایش شاهد رسم گردید (شکل ۹).



شکل ۹- درصد کاهش عمق آبستنگی در شکل های مختلف پایه پل نسبت به تغییر عدد فرود

با توجه به شکل ۹، شکل هندسی پایه پل p1 نسبت به سایر پایه ها تاثیر بسزایی در کاهش عمق آبستنگی و کنترل گرداب های نعل اسبی را داشته است که علت آن ایجاد تغییرات کمتر در الگوی جریان نسبت به سایر پایه ها می باشد. همچنین در کلیه حالات با افزایش فرود جریان شدت آبستنگی افزایش پیدا کرده است که با توجه به جدول و شکل های بیان شده مشهود است که شکل هندسی پایه پل تاثیر بسزایی در کنترل، کاهش و افزایش آبستنگی دارد. با توجه به مشاهدات می توان نتیجه گرفت که شکل هندسی پایه پل با تاثیر بر روی خطوط جریان میزان اثر گذاری گرداب های پایین رونده و گرداب های مخرب نعل اسبی را میتواند تغییر دهد بنابراین نحوه طراحی شکل هندسی پل می تواند تاثیر زیادی جهت کاهش عمق آبستنگی در پایه پل داشته باشد. نتایج نشان داد که در تمام آزمایش ها در فرود های مختلف میزان عمق آبستنگی میتواند تابعی از شکل هندسی پایه پل باشد که این امر بیانگر آن است که نحوه طراحی پل می تواند روش مناسبی در جهت کاهش عمق آبستنگی پایه های پل باشد. همچنین با توجه به سوابق پیشین بیان شده، آبپایه با موقعیت چسبیده به پایه پل نیز تاثیر بسزایی در کاهش عمق آبستنگی دارد.

بحث و نتیجه گیری

یکی از روش های مستقیم کاهش آبستنگی استفاده از شکل مناسب هندسی پایه پل در حضور آبپایه است. بهترین موقعیت قرار گیری آبپایه همانطور که در سوابق محققین پیشین به آن اشاره شد، چسبیده به پایه

بنابر اظهار نویسندگان، مقاله حاضر فاقد هرگونه تعارض منافع بوده است.

Research, 2019; 50(2): 411-424.doi:
10.22059/ijswr.2018.257701.667909

References

1. Movahedi, N., deghani, A. A., Zahiri, A. R., & aarabi, M. J. (2015). Investigation the efficiency of using bed sill in reduction of scour around single pier and side-by-side piers. *Journal of Water and Soil Conservation*, 21(6), 191-205. [In Persian].
2. Kabiri, SH., HosseinzadehDelir., A, Shalmasi., F, and Farsadizadeh., D. 2019. The effect of aquifer placement in reducing the maximum scour depth under submerged pipes under unidirectional flow. 9th Iran Hydraulic Conference, November 2019, Tarbiat Modares University. [In Persian].
3. Kayaturk, S.Y. 2005. Scour and Scour Protection at Bridge Abutment. PhD Thesis, Middle East Technical University, Ankara, Turkey, 213p ۲۰۰۵
4. Raudkivi, A.J., and Ettema, R. 1983. Clear-Water Scour at Cylindrical Piers. *J. Hydr. Engin.* 109: 3. 338-350
5. Tafarajnoruz, A., Gaudio, R., and Calomino, F. 2012. Control evaluation of flow-altering countermeasures against bridge pier scour. *J. Hydr. Engin.* 138: 3. 297-305.
6. Bozkus, Z., and Yildiz, O. (2004). Effects of inclination of bridge piers on scouring depth. *Journal of Hydraulic Engineering*, 130(8), 827-832.
7. Kumar, V., Raju, K. G. R., and Vittal, N. (1999). Reduction of local scour around bridge piers using slots and collars. *Journal of Hydraulic Engineering*, 125(12), 1302-1305.
8. sheppard, D. M., Odeh, M., and Glasser, T. (2004). Large scale clear-water local pier scour experiments. *Journal of Hydraulic Engineering*, 130(10), 957-963.
9. Oliveto, G., and Hager, W. H. (2002). Temporal evolution of clear-water pier and abutment scour. *Journal of Hydraulic Engineering*, 128(9), 811-820.
10. Nohani, E., ebrahimi, S. Experimental Investigation of the Collar and Vanes on Reduction the Scour Depth of Cylindrical Piers. *Iranian Journal of Soil and Water*