



Laboratory Investigation of Effect of Flat Submerged Vanes on Scour at Bridge Piers Group and Abutment

M. Karimi, K. Qaderi* , M. Rahimpour, M. M. Ahmadi

Department of Water Engineering, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran

ABSTRACT: Local scour involves the removal of material from around piers and abutments as the flow accelerates around the obstructed flow area. Various methods have been suggested for the control and reduction of local scour around the bridge piers and abutment. Using submerged vanes is one of these methods. Vanes change the regime of bedload movement that led to control places of deposition and erosion. The function of vanes to reduce scour around the bridge piers and sediment movement in the region of vanes due to downflow in front of them are affected by arrays of the vanes. In the present study, different layouts of arrangements (parallel rows, two parallel rows, and two zigzag rows) flat submerged vanes with the ratio of length to height ($L/H=3$) at an angle of 20 degrees relative to the direction of flow on the protection of local scour around abutment and piers group with rectangular debris were investigated. All experiments conducted in uniform flow with clear water were being done. The results showed that the zigzag arrangement of the two-three rows had the greatest effect on the protection of local scour around the abutment. In this case, the vane distance from the abutment and the row spacing with the relative spacing is 0/5 and 1, respectively, (the distance of the vanes from the abutment was L_a and the distance of the rows was $2L_a$) that reduced the scour depth by 81%.

Review History:

Received: Jan. 15, 2020

Revised: Feb. 25, 2020

Accepted: Jul. 14, 2020

Available Online: Aug. 21, 2020

Keywords:

Local scour

Submerged vanes

Layout of arrangement

Bridge abutment

Protection

1. INTRODUCTION

Bridge failures caused by scouring at bridge foundations (piers and abutments) make quite clear the need for further studies to predict scour and ways to reduce it.

The various scour countermeasures can be classified into two main groups: bed-hardening methods and flow-altering methods.

During the last decades, different countermeasures were proposed to protect bridges against local scour. Countermeasures for local scour at bridge piers can be grouped into two categories: armoring devices and flow-altering devices.

Submerged vanes are the hydrofoils that generate helical currents in the flow due to the difference in pressure between the approaching flow side and downstream side of the vanes.

Due to the importance of bridges structures, further laboratory investigations are needed to investigate the different aspects of submerged vanes' interaction with abutment and piers scouring phenomena [1-4].

So the purpose of this study was to investigate the effect of different layouts of flat submerged vanes arrangements in front of a rectangular abutment and their location to the surface of the sedimentary abutment on bridge group piers scour reduction at the presence of debris.

*Corresponding author's email: kouroshqaderi@uk.ac.ir

2. METHODOLOGY

The experimental test of this research was carried out at the hydraulic and water structures laboratory of the department of water engineering, Shahid Bahonar University of Kerman, on a laboratory flume with 8 m length, 80 cm width, and 60 cm height, having glass walls and metal bottom. All experiments were conducted in uniform flow with clear water, rectangular abutment and debris, flat submerged vanes, and cylindrical piers, with non-cohesive sediment with $d_{50}=0/91$ and $Q=51$ L/s.

The piers model used in the test are steel cylindrical tubes with an effective diameter of three cm and a rectangular abutment in the form of (12×6 cm) that is made of galvanized sheet and debris model was a rectangular shape with (19×7 cm) dimensions.

The arrangement of piers positions was in the (2×2) piers group and debris was located on the front piers with a relative depth of 0.3.

The dimensions of submerged vanes with the ratio of length to height ($L/H=3$) at an angle of 20 degrees relative to the direction of flow.

Experiments on scouring were in a straight channel. Initially, the bed surface was leveled, then the inlet valve was opened slowly, the discharge increased to a predetermined value so that no scour occurs at the mobile reaches of the flume.



Table 1. Percentage reduction of submerged vanes in different arrangements.

NO	Symbol	(d_s/L_a) reference	(d_s/L_a) tests	Decrease scour (%)
1	V-S-1	1.3	1	23
2	V-S-2	1.3	0.95	27
3	V-D-1	1.3	0.75	42
4	V-D-2	1.3	0.66	49
5	V-D-3	1.3	0.60	54
6	V-D-4	1/3	0.53	59
7	V-Z-1	1.3	0.45	65
8	V-Z-2	1.3	0.33	74
9	V-Z-3	1.3	0.25	81

The effects of flat submerged vanes in different arrangement submerged vanes on the protection of local scour around abutment and piers group with rectangular debris were investigated.

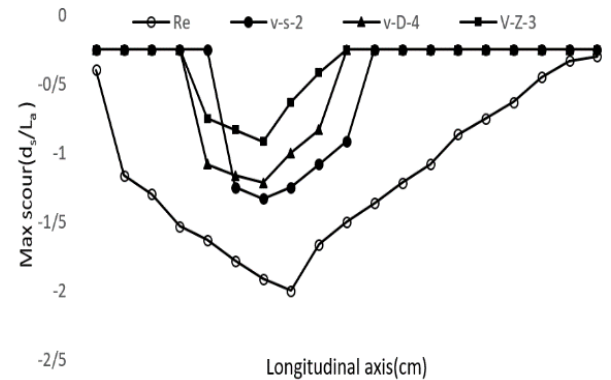
3. RESULTS AND DISCUSSION

The results of the experiments are presented in two groups: without collars and with the presence of collars. To investigate the process of scour in the presence of protective measures, at first it needed a series of experiments without any vanes in front of piers and bridge abutment. At this stage, 9 experiments have been performed. Table 1 shows a list of tests and quantitative test results related to scour dimensions.

Comparisons of results indicate that the vanes with dimension $(L/H=3)$ at an angle of 20 degrees position.

The lowest and highest reduction of scouring percentage is related to (V-S-1) arrangement with three vanes in a single row arrangement parallel and space between abutment are $(X=6\text{cm})$ with 23% decrease. In the (V-Z-3) test with six flat vanes, the arrangement of two rows of zigzags with a distance of 3 cm from abutment $(X=3\text{cm})$ and distance between the rows are $(L_b=6\text{cm})$ with an 81% decrease.

Fig. 1 shows the longitudinal profile of the hole scour and the sedimentation section in experiments (RE), (V-S-2), (V-D-4), and (V-Z-3). As can be seen in Fig. 1, in the single-order arrangements of the submerged vanes in the test (V-S-2) with a 27% reduction in the shallow cavity depth. In the case of two parallel rows in the test (V-D-4) with a reduction of 59% and the case of vane placement in two-row zigzag arrangements in the test (V-Z-3) with a decrease of 81%.

**Fig. 1. Longitudinal profile of the bed on the abutment axis in (RE, V-S-1, V-D-4, and V-Z-3) experiments.**

4. CONCLUSION

In this research, the effect of flat submerged vanes in the different layout of arrangement on the scour around group circular piers and rectangular abutment were investigated.

Results were obtained after harvesting the profile of the entire sedimentary bed surface, in the case of simultaneous establishment of the abutment and piers group by applying a protective measure (submerged vanes) in front of the abutment. It was observed that the protective effect was more on two piers closest to the abutment. The results of the performance of submerged flat in different placement arrangements showed a decrease in the amount of scour in the sediment bed surface profile, but this positive performance was not the same in all cases. The results of the experiments revealed that the arrangement of the submerged plates in the two-row zigzag arrangement (V-Z-3) had the highest efficiency in the protection of the abutment and bridge piers.

REFERENCES

- [1] Odgaard, A. J., & Mosconi, C. E. (1987). Streambank protection by submerged vanes. *Journal of Hydraulic Engineering*, 113(4), 520-536.
- [2] Odgaard, A. J., & Spoljaric, A. (1986). Sediment control by submerged vanes. *Journal of Hydraulic Engineering*, 112(12), 1164-1180.
- [3] Odgaard, A. J., & Wang, Y. (1991). Sediment management with submerged vanes. I: Theory. *Journal of Hydraulic Engineering*, 117(3), 267-267.
- [4] Wang, Y., & Jacob Odgaard, A. (1993). Flow control with vorticity. *Journal of Hydraulic Research*, 31(4), 549-562.

HOW TO CITE THIS ARTICLE

Karimi M. , Qaderi K. , Rahimpour M. , Ahmadi M. M. , Laboratory Investigation of Effect of Flat Submerged Vanes on Scour at Bridge Piers Group and Abutment , Amirkabir J. Civil Eng., 53(7) (2021) 695-696.

DOI: 10.22060/ceej.2020.17729.6654





بررسی آزمایشگاهی تأثیر آرایش قرارگیری صفحات مستغرق تخت بر آبشستگی در اطراف پایه ها و تکیه گاه پل

مریم کریمی، کوروش قادری^{۱*}، مجید رحیم پور^۲، محمدمهدی احمدی^۲

۱- دانش آموخته ی کارشناسی ارشد سازه های آبی، بخش مهندسی آب، شهید باهنر کرمان
۲- دانشیار بخش مهندسی آب، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان، ایران

تاریخچه داوری:

دریافت: ۱۳۹۸/۱۰/۲۵
بازنگری: ۱۳۹۸/۱۲/۰۶
پذیرش: ۱۳۹۹/۰۴/۲۴
ارائه آنلاین: ۱۳۹۹/۰۵/۳۱

کلمات کلیدی:

آبشستگی موضعی
صفحات مستغرق
آرایش قرارگیری
تکیه گاه پل
حفاظت

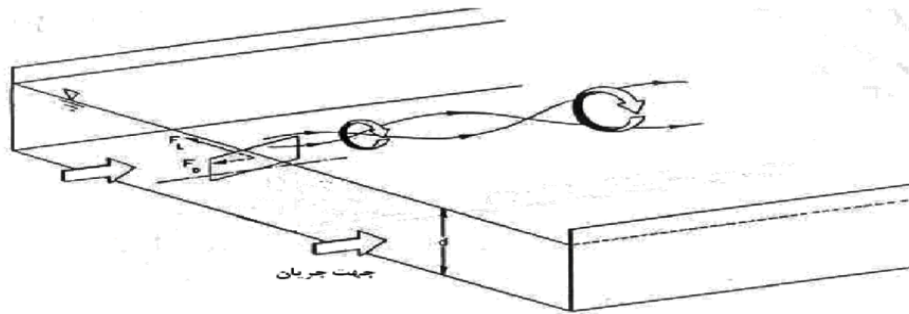
خلاصه: پایه ها و تکیه گاه های جانبی پل در عرض رودخانه باعث تغییر الگوی جریان آب و در نتیجه موجب آبشستگی موضعی در اطراف این سازه ها می شوند. روش های مختلفی برای کاهش آبشستگی موضعی در اطراف پایه ها و تکیه گاه های جانبی پل پیشنهاد شده که یکی از آن ها استفاده از صفحات مستغرق است. این صفحات با تغییر در رژیم حرکت بار بستر، این امکان را فراهم می سازند تا محل رسوب گذاری و فرسایش قابل کنترل باشد. عملکرد صفحات مستغرق در کاهش آبشستگی پایه و تکیه گاه پل و حرکت رسوب از اطراف صفحات که موجب ایجاد جریان روبه پایین در جلوی آن ها می شود، تحت تأثیر نحوه ی قرارگیری صفحات مستغرق می باشد. در این پژوهش، تأثیر آرایش های مختلف قرارگیری (تکریدیفه موازی، دو ردیفه موازی و دو ردیفه زیگزاکی) صفحات مستغرق تخت با نسبت طول به ارتفاع $(L/H=3)$ در زاویه قرارگیری ۲۰ درجه نسبت به جهت جریان، بر کاهش آبشستگی گروه پایه و تکیه گاه پل در حضور اجسام شناور مستطیل شکل به صورت آزمایشگاهی مورد بررسی قرار گرفته است. تمامی آزمایش ها در شرایط جریان یکنواخت با آب زلال و رسوبات غیر چسبنده ای با قطر متوسط $d_s=0/91 \text{ mm}$ انجام شده است. نتایج حاکی از آن بود که آرایش دو ردیفه سه تایی به صورت زیگزاکی بیشترین تأثیر را در کاهش آبشستگی و حفاظت پایه ها و تکیه گاه داشته است. در این حالت فاصله صفحات از تکیه گاه و فاصله ردیف ها با فاصله نسبی $0/5$ و 1 می باشد. (فاصله صفحات از تکیه گاه به اندازه La و فاصله ردیف ها از هم $2La$ بوده) که موجب کاهش ۸۱ درصدی عمق آبشستگی گردیده است.

۱- مقدمه

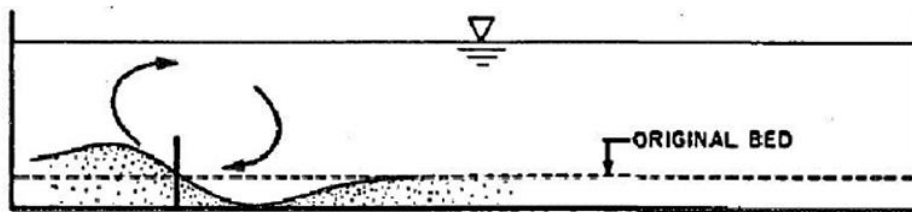
ارتباط دارد [۲]. وقوع سیلاب موجب تشدید آبشستگی و شکست پل ها می شود. سیلاب زمانی خسارت بار و ویرانگر خواهد بود که انسان در مسیر عبور آن دخل و تصرف کرده و به حریم آن تجاوز نماید، یا در سیلاب دشت ها طرح های توسعه ای اجرا کند و یا این که سطح حوضه های آبریز را دست کاری و تخریب نماید. سیل فراگیر ۹۸ که در مناطق شمال، غرب و جنوب غرب کشور به وقوع پیوست مصداق بارز همین موضوع است [۳]. روش های متعددی برای کاهش آبشستگی و حفاظت از پل ها، در آزمایشگاه و یا در عمل مورد مطالعه قرار گرفته اند. این روش ها را می توان بطور کلی به دو دسته پوششی

طراحی و ساخت پل ها باید به گونه ای باشند تا تحمل بار ناشی از سیلاب ها را داشته و موجب شکست و تخریب پل ها در زمان نیاز مبرم به این سازه ها نشود. [۱]. وقوع آبشستگی در اطراف پایه و تکیه گاه های پل یکی از عمده ترین دلایل اصلی تخریب پل ها می باشد. بنابراین حفاظت از پل ها در برابر آبشستگی امری ضروری است. مطالعات محققان نشان می دهد که در ایالت متحده ۲۵ درصد تخریب پل ها به پایه و ۷۲ درصد دیگر به تکیه گاه پل *نویسنده عهده دار مکاتبات: email





شکل ۱. جریان القایی در اطراف صفحات مستغرق [۵]
 Fig. 1. Induction current around submerged vanes



شکل ۲. تغییر پروفیل بستر توسط صفحات مستغرق [۵]
 Fig. 2. Change the substrate profile by submerged vanes

اصلی است [۵].

یکی از مهم ترین شاخصه های سیستم صفحات مستغرق که آن را بسیار پرکاربرد و مورد توجه قرار داده، اقتصادی بودن آن نسبت به سایر روش های مشابه می باشد. برخی از مهم ترین کاربردها، صفحات مستغرق در مهندسی رودخانه حفاظت از ساحل خارجی رودخانه ها، حفاظت از دهانه ی آبگیرها، جلوگیری از آبشستگی پایه پل ها و تکیه گاه و افزایش عمر مفید سدها می باشد. در چند دهه اخیر پژوهش های متعددی توسط محققان مختلف در طراحی و نحوه اجرا سیستم صفحات مستغرق صورت گرفته است. تکنیک استفاده از صفحات مستغرق که طرح توسعه یافته ی روش قدیمی پانل های عقبی است برای اولین بار توسط ادگارد و کندی برای جلوگیری از فرسایش ساحل قوس رودخانه طراحی و استفاده شد تا جریان ثانویه ی نیروی حاصل از گریز از مرکز را که عامل اصلی تخریب و فرسایش می باشد، دفع شود [۶]. لاجلان (۱۹۹۹) آزمایش هایی روی دو صفحه مستغرق کنار پایه های پل در شرایط آبشستگی آب زلال و بستر زنده انجام داد. نتایج وی بر روی عملکرد صفحات مستغرق و صفحات غیرمستغرق نشان می دهد که استفاده از صفحات مستغرق در مقایسه با صفحات غیرمستغرق در کاهش آبشستگی مؤثرتر است [۷]. جانسون و همکاران (۲۰۰۱) استفاده از صفحات مستغرق را در

و غیر پوششی دسته بندی نمود [۴]. در روش های پوششی هدف این است که مصالح بستر توسط لایه پوششی محافظت گردند. این لایه ممکن است از مصالح رسوبی درشت دانه و یا سنگ چین، کیسه حاوی ماسه یا ژئوبگ، بلوک های بتنی ساخته شود. در این روش الگوی جریان تقریباً بدون تغییر باقی می ماند ولی بستر مقاوم می شود. در روش های غیر پوششی با تغییر الگوی جریان سعی بر این است که از قدرت گردابه های مخرب کاسته و یا آن ها را از محدوده ی اطراف دماغه پایه و تکیه گاه پل ها دور سازند. از ابزارهای تغییر الگوی جریان می توان به کابل، طوقه، شمع حفاظتی، صفحات مستغرق و غیره اشاره نمود. صفحات مستغرق سازه های هدایت جریان با نسبت طول به ارتفاع کمی هستند که بصورت عمودی و گروهی با زاویه ای مناسب نسبت به جهت جریان در بستر رودخانه نصب می شوند. این صفحات با ایجاد جریان گردابه ای باعث تغییر در رژیم حرکت بار بستر و در نتیجه تغییر محل رسوب گذاری و فرسایش می شوند. به علت اختلاف فشار موجود در دو طرف صفحه، جریان از سمت پرفشار به طرف بالای آن و از سمت کم فشار به طرف پایین آن حرکت می نماید و در نتیجه گرداب و گردش القایی در اطراف پره به وجود می آید (شکل های ۱ و ۲). عملکرد صفحات مستغرق بر مبنای ایجاد چرخش ثانویه در جهت عکس جریان ثانویه ی جریان

ردیف ها، زاویه برخورد با جریان، جهت قرارگیری و جهت قرارگیری اولین صفحات نسبت به تکیه گاه را بر عملکرد صفحات بررسی کردند. نتایج حاکی از عملکرد مناسب صفحات در زاویه ۳۰ درجه، فاصله جانبی 2HS-3HS و فاصله قرارگیری $L/3$ و $B/3.2$ نسبت به تکیه گاه بوده است (HS ارتفاع صفحات، L طول تکیه گاه و B عرض کانال می باشد) [۱۴].

نتایج رضاپوریان و همکاران (۱۳۸۸) نشان داد که هرچه صفحات به پایه نزدیک تر باشند، عملکرد آن ها نیز بهتر است. به طوری که اگر صفحات بصورت چسبیده به پایه پل تحت زاویه ۳۰ درجه قرار گیرند میزان آبشستگی $73/3$ درصد کاهش می یابد [۱۵]. خادمی و همکاران (۱۳۹۳) گزینه های مختلفی در خصوص تعداد، موقعیت قرارگیری و زاویه نصب صفحه مستغرق در محل تکیه گاه پل و تأثیر آن بر آبشستگی بستر رودخانه را مطالعه نمودند. بطور کلی نتایج آن ها نشان داد که با نصب صفحه مستغرق الگوی جریان نزدیک شونده باعث کاهش ۸۹ درصدی عمق آبشستگی می شود [۱۶]. پرچی و همکاران (۱۳۹۵) با استفاده از مدل فیزیکی، تأثیر استفاده از صفحه محدب-تخت را در ترازهای مختلف روی بستر و زوایای مختلف در کاهش عمق آبشستگی مورد بررسی قراردادند. بیش ترین مقدار کاهش عمق آبشستگی نسبت به پایه بدون محافظ مربوط به زاویه برخورد ۲۰ درجه و ارتفاع روی بستر صفر برابر $87/5$ درصد بدست آمد [۱۷]. امامقلی زاده و نوحانی (۱۳۹۶) به بررسی عملکرد استقرار صفحه های مستغرق در کاهش آبشستگی موضعی تکیه گاه پل با دماغه گرد بصورت آزمایشگاهی پرداختند. نتایج بدست آمده نشان داد که بهترین عملکرد در بدست آمده که موجب کاهش $71/74$ درصد عمق آبشستگی شده اند [۱۸].

تجمع اجسام شناور در کنار سازه ها یک جریان اجباری را به سمت بستر رودخانه شکل خواهد داد که باعث افزایش آبشستگی می گردد [۱۹]. در هنگام سیل اجسام شناور چوبی بصورت ترکیبی از قطعات درختان در اطراف پایه و تکیه گاه پل تجمع پیدا می کنند و سبب کاهش سطح مقطع جریان و آبشستگی در این سازه ها می شوند. در این حالت گرداب های نعل اسبی و برخاستگی قوی تر در پشت پایه پل شکل گرفته و آبشستگی بزرگ تری ایجاد می شود که می تواند موجب تخریب پل گردد [۲۰]. مشعشی و همکاران (۲۰۱۵) در بررسی تأثیر تجمع اجسام شناور چوبی بر آبشستگی

کاهش آبشستگی برای تکیه گاه پل با دیواره ی قائم بررسی کردند. این محققان تأثیر صفحات سنگی با آرایش تک ردیفه را بررسی کردند که در بالادست تکیه گاه پل قرار گرفته بود. نتایج آزمایشگاهی نشان داد که استفاده از صفحات موجب کاهش $96/5$ درصد آبشستگی ها در اطراف تکیه گاه شده است [۸]. صمیمی بهبهان و همکاران (۲۰۰۶) نیز اثر شکل های متفاوت صفحات مستغرق را بر روی آبشستگی پل ها و عملکرد آن ها را در کاهش آبشستگی پایه ی پل که نیمه اول و نیمه ی دوم صفحات مستغرق به ترتیب با زاویه ی قرارگیری ۱۰ و ۳۰ درجه نسبت به جریان آب مورد بررسی قراردادند. نتایج نشان داد که استفاده از صفحات مستغرق با آرایش مختلف در حالت چسبیده به پایه بهترین عملکرد را داشته است [۹]. قربانی و کلز (۲۰۰۸) در تحقیقات خود به بررسی تأثیر صفحات مستغرق در کاهش آبشستگی موضعی در کنار پایه استوانه ای پرداختند. نتایج نشان داد که صفحات دوگانه با زاویه برخورد $18/5$ درجه و تراز صفر صفحه ها از بستر، منجر به کاهش $87/7$ درصدی در عمق آبشستگی شده است [۱۰]. شجاعی و همکاران (۲۰۱۱) بیان کردند که عملکرد صفحات مستغرق برای کاهش آبشستگی تحت تأثیر نحوه ی قرارگیری صفحات مستغرق است [۱۱]. تفرج نوروز و همکاران (۲۰۱۲) به بررسی شش روش مؤثر در کاهش آبشستگی پایه پل شامل صفحات مستغرق، آستانه بستر، شمع محافظ جانبی، طوق، کابل و شکاف پایه پرداختند. آن ها در آزمایش های خود بهترین تنظیمات ارائه شده در آزمایش های انجام شده توسط محققان دیگر را تحلیل نمودند. در خصوص صفحات مستغرق، نتایج کار قربانی و کلز (۲۰۰۸) را مورد بررسی قراردادند و به این نتیجه رسیدند که درصد کاهش آبشستگی در صفحات مستغرق بسیار کم تر از موارد اعلام شده توسط این دو محقق می باشد و دلیل این تفاوت را در مدت زمان بسیار کوتاه آزمایش و همچنین اثر عمق بسیار کم ($2.5 < \left(\frac{h}{b}\right)$) در نظر گرفته شده بیان نمودند [۱۲]. شجاعی بجستان و همکاران (۲۰۱۵) عملکرد صفحات مستغرق را در موقعیت های قرارگیری مختلف و زاویه های قرارگیری متفاوت بررسی نمودند. نتایج حاکی از آن بود که در موقعیت قرارگیری تک ردیفه دماغه بالادست تکیه گاه با زاویه قرارگیری ۴۰ درجه، بیشترین عملکرد را بر کاهش آبشستگی تکیه گاه دارند [۱۳]. فتیحی و زمردیان (۲۰۱۷) تأثیر متغیرهایی مانند فاصله صفحات مستغرق از تکیه گاه، فاصله جانبی صفحات، تعداد صفحات در ردیف و تعداد

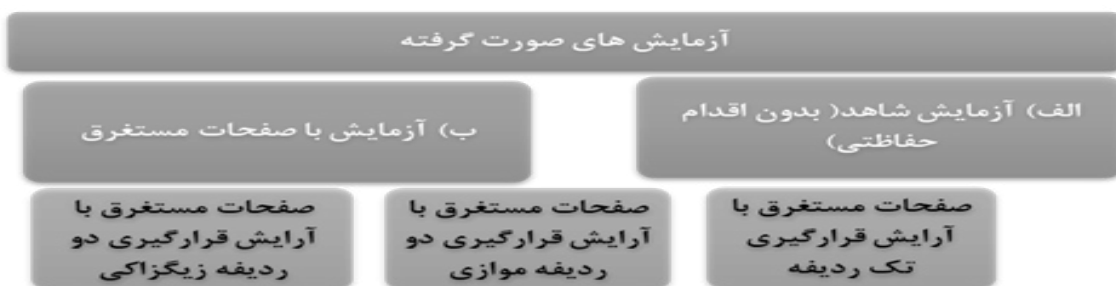
رسوبی بصورت آزمایشگاهی مورد بررسی قرار گرفته است.

۲- الگوسازی نظری یا تجربی

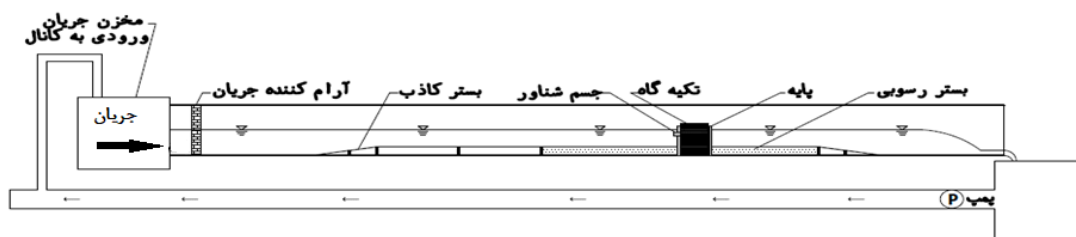
آزمایش ها در آزمایشگاه تحقیقاتی هیدرولیک و سازه های آبی بخش مهندسی آب دانشگاه باهنر کرمان انجام گردید. الگوریتم پژوهش صورت گرفته در شکل ۳ ارائه شده است. کانال آزمایشگاهی که نمای کلی آن در شکل ۴ نشان داده شده، دارای طول ۸ متر، عرض ۸۰ سانتی متر و ارتفاع ۶۰ سانتی متر می باشد. دو پمپ گریز از مرکز آب را از یک مخزن زیرزمینی پمپاژ کرده و به مخزن ورودی کانال منتقل می نماید. میزان جریان ورودی به مخزن توسط دبی سنج حجمی که روی لوله انتقال آب نصب شده، قابل قرائت می باشد. از یک شیرفلکه پروانه ای برای تنظیم جریان ورودی به کانال استفاده شد. عمق آب در داخل کانال آزمایشگاهی با استفاده از یک دریچه مستطیلی که در انتهای فلوم نصب گردیده بود قابل تنظیم است. جریان آب پس از عبور از روی این سرریز به سمت مخزن زیرزمینی هدایت می گردد و مجدداً به کانال اصلی پمپاژ می شود. به منظور اطمینان از توسعه یافتگی کامل جریان، بستر رسوبی به طول سه متر در فاصله چهار متری از ابتدای ورودی کانال آزمایشگاهی در نظر گرفته شد. برای جلوگیری از فرسایش رسوبات در بالادست و پایین دست محدوده رسوبی، از دو سطح شیب دار استفاده گردید. طول بستر رسوبی سه متر، ضخامت آن ۱۴ سانتی متر و عرض آن برابر عرض کانال (۸۰ سانتی متر) بوده است. به منظور جلوگیری از تشکیل ریپل از ذرات رسوبی با اندازه بزرگ تر از ۰/۷ میلی متر استفاده شده است [۲۶]. اندازه متوسط ذرات بستر رسوب $d_{50} = 0/91 \text{ mm}$ و ضریب یکنواختی آن $C_u = 1/4$ بوده که منحنی دانه بندی آن در شکل ۵ ارائه شده است.

اطراف پایه استوانه ای شکل مستقر بر گروه شمع، به این نتیجه رسیدند که تجمع اجسام شناور می تواند عمق آبشستگی را ۱۲ تا ۱۴ برابر نسبت به حالت بدون جسم شناور افزایش دهد [۲۱]. رحیمی و همکاران (۲۰۱۸) تأثیر ضخامت، طول، شکل و محل قرارگیری اجسام شناور در حالت گروه پایه 2×2 و تکیه گاه را بررسی نمودند. نتایج نشان داد که در بین حالت های مختلف قرارگیری پایه، بیش ترین عمق آبشستگی همواره در حالت گروه پایه 2×2 اتفاق افتاد. با افزایش طول و ضخامت اجسام شناور، عمق آبشستگی افزایش یافت. محل قرارگیری اجسام شناور بر آبشستگی تأثیر زیادی دارند. اگر فاصله سطح آب تا سطح جسم شناور h_{sub} و عمق آب h باشد در بازه $0 < \left(\frac{h_{sub}}{h}\right) < 0.3$ با افزایش استغراق اجسام شناور میزان عمق آبشستگی زیاد می شود. شکل اجسام شناور نیز بر آبشستگی نیز مؤثر می باشد. به ترتیب اجسام شناور مستطیلی بیش ترین آبشستگی را ایجاد می کنند [۲۲]. محققین زیادی نیز تأثیر اجسام شناور را در اطراف پایه ها بررسی نمودند [۲۳-۲۵]. نتایج حاصل حاکی از آن است که محل قرارگیری اجسام شناور در جلوی پایه تأثیر بسزایی بر عمق، عرض و طول گودال آبشستگی دارد. به طوری که هر چه اجسام شناور به بستر جریان نزدیک تر باشند، ابعاد گودال آبشستگی افزایش می یابد و هرچه نسبت عرض جسم شناور به عرض کانال افزایش یابد، آبشستگی در جلوی پایه بیشتر می گردد.

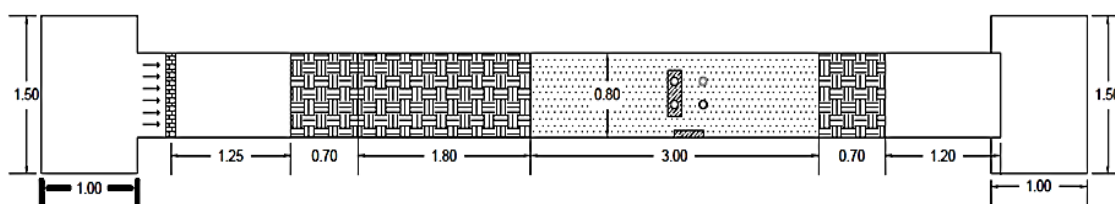
در این پژوهش، تأثیر آرایش قرارگیری صفحات مستغرق تخت در بالادست تکیه گاه در آرایش های مختلف (تک ردیفه، دو ردیفه موازی و دو ردیفه زیگزاکی) با زاویه قرارگیری ۲۰ درجه نسبت به جریان، در حالت قرارگیری همزمان تکیه گاه و گروه پایه 2×2 با حضور جسم شناور بر روی پایه های جلویی با نسبت استغراق مشخص، در شرایط آب زلال با رسوبات غیر چسبنده بر کاهش آبشستگی بستر



شکل ۳. الگوریتم پژوهش
Fig. 3. Research algorithm

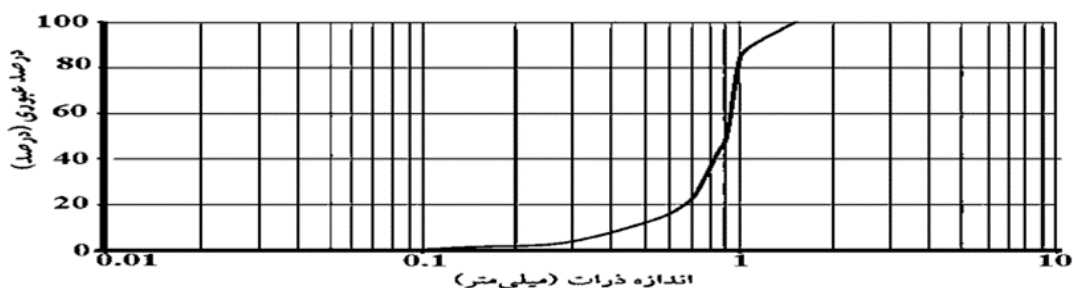


(نمای جانبی)



(نما از بالا)

شکل ۴. کانال آزمایشگاهی و ملحقات آن
Fig. 4. Experimental flume and its equipment



شکل ۵. منحنی دانه بندی رسوب
Fig. 5. Particles distribution curve of sediment

نشان داده اند [۸ و ۵]. لذا در این پژوهش نیز تأثیر صفحات مستغرق مستطیلی شکل تخت از جنس ورق گالوانیزه با نسبت $(\frac{L}{H})$ برابر با ۳ و زاویه برخورد صفحات با جریان ۲۰ درجه در آرایش های مختلف قرارگیری در حالت قرارگیری گروه پایه و تکیه گاه در حضور جسم شناور در کاهش آبشستگی مورد بررسی قرار گرفته است.

۲-۱- تحلیل ابعادی

هدف از تحلیل ابعادی معرفی پارامترهای مؤثر در پدیده مورد مطالعه و تعیین نسبت های بدون بعد می باشد. روش های مختلفی

پایه های استفاده در آزمایش از یک لوله استوانه ای شکل فولادی به قطر مؤثر ۳ سانتی متر و مدل تکیه گاه به شکل مستطیلی به ابعاد ۱۲×۶ سانتی متر و از جنس ورق گالوانیزه و جسم شناور به شکل مستطیلی و ابعاد ۱۹×۷ سانتی متر ساخته شد. حالت قرارگیری پایه ها در حالت گروه پایه ۲×۲ و جسم شناور بر روی پایه های جلویی با عمق نسبی ۰/۳ بر روی پایه های جلویی قرار گرفته شد. بنا بر نتایج ارائه شده در دیگر تحقیقات، معیار نسبت طول به ارتفاع صفحات مستغرق $(\frac{L}{H})$ برابر ۳ و صفحات در حالت قرارگیری ۲۰ درجه نسبت به جریان، عملکرد مطلوب تری را در کاهش آبشستگی

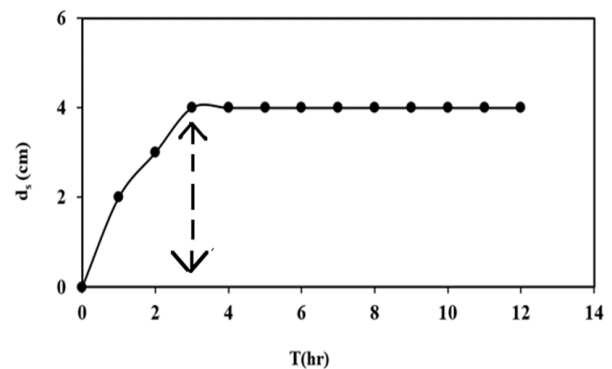
که به ترتیب d_s, B, S_v, Ab, D, S, F معرف متغیرهای جریان، رسوب، جسم شناور، ابعاد تکیه گاه، متغیرهای صفحات مستغرق، عرض کانال و حداکثر عمق آبشستگی می باشند. همچنین h عمق آب، v ویسکوزیته سینماتیک، ρ چگالی آب، g شتاب ثقل، μ لزجت دینامیکی سیال، d_{50} متوسط اندازه رسوب، ρ'_s چگالی نسبی رسوبات، d_d طول مؤثر اجسام شناور، T_d ضخامت اجسام شناور، h_d استغراق اجسام شناور (فاصله مرکز اجسام شناور تا سطح جریان)، L_a طول تکیه گاه، B_a عرض تکیه گاه، ϕ شکل تکیه گاه، L_s طول صفحه های مستغرق، L_v فاصله بین ردیف های صفحات مستغرق، x فاصله صفحات از تکیه گاه، β پارامتر شکل صفحه، Z_v تراز قرارگیری صفحه از بستر، A آرایش صفحات و α زاویه برخورد صفحات با جریان می باشند. با در نظر گرفتن (ρ, v, L_a) به عنوان متغیرهای تکراری، رابطه زیر بدست می آید:

$$\frac{d_s}{L_a} = f \left(\frac{h}{L_a}, \frac{gL_a}{v^2}, \frac{\rho v L_a}{\mu}, \frac{d_{50}}{L_a}, \frac{\rho_s}{\rho}, \frac{d_d}{L_a}, \frac{T_d}{L_a}, \frac{h_d}{L_a}, \frac{B_a}{L_a}, \phi, \frac{L_s}{L_a}, \frac{L_v}{L_a}, \frac{x}{L_a}, \beta, \frac{Z_v}{L_a}, A, \alpha, \frac{B}{L_a}, \frac{d_s}{L_a} \right) \quad (2)$$

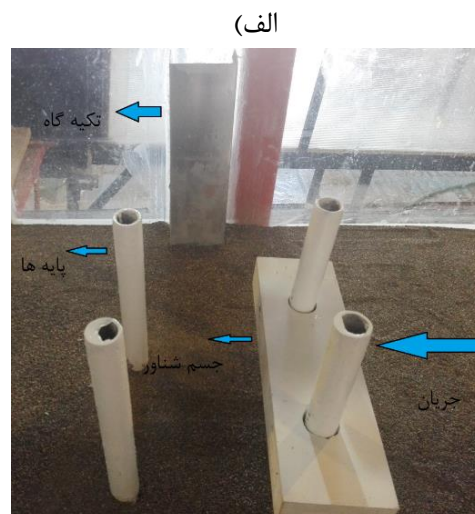
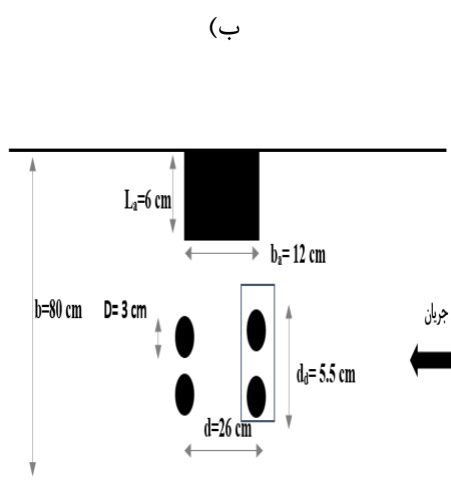
لازم به ذکر است که در تمامی آزمایش های صورت گرفته، عدد

برای آنالیز ابعادی وجود دارد که در این مطالعه π باکینگهام استفاده شده است. تعداد پارامترهای مؤثر بر آبشستگی موضعی بسیار زیاد می باشد. از طرفی منظور کردن تأثیر کلیه پارامترها کار بسیار مشکل و پیچیده ای می باشد، از این رو، تعدادی از این پارامترها که تأثیر بیشتری بر روی آبشستگی دارند در نظر گرفته می شود. بطور کلی پارامترهای مؤثر را در رابطه کنترل یا کاهش آبشستگی موضعی اطراف تکیه گاه و پایه ها در حضور اجسام شناور و صفحات مستغرق عبارت اند از:

$$d_s = f(F(h, v, \rho, g, \mu), s(d_{50}, \rho'_s), D(d_d, T_d, h_d), Ab(L_a, B_a, \phi), sv(L_s, L_v, x, \beta, z_v, A, \alpha), B) \quad (1)$$



شکل ۶. منحنی زمان تعادل
Fig. 6. Equilibrium time curve



شکل ۷. الف) نمای واقعی آزمایش شاهد، ب) نمای شماتیک آزمایش شاهد
Fig. 7. a) View of reference test, b) Schematic view of reference test

جدول ۱. شرح آزمایشهای صفحات مستغرق
Table 1. Description of submerged vanes experiments

شماره آزمایش	علامت اختصاری	تعداد صفحات	نحوه قرارگیری
۱	V-S-1	۳	
۲	V-S-2	۳	
۳	V-D-1	۶	
۴	V-D-2	۶	
۵	V-D-3	۶	

رینولدز $(Re = \frac{\rho v L_a}{\mu})$ عمدتاً جریان در کانال های روباز به صورت

جدول ۱. شرح آزمایشهای صفحات مستغرق
Table 1. Description of submerged vanes experiments

	۶	V-D-4	۶
	۶	V-Z-1	۷
	۶	V-Z-2	۸
	۶	V-Z-3	۹

$$\frac{d_s}{L_a} = f\left(\frac{L_v}{L_a}, \frac{X}{L_a}, \frac{Z_v}{L_a}, A\right) \quad (3)$$

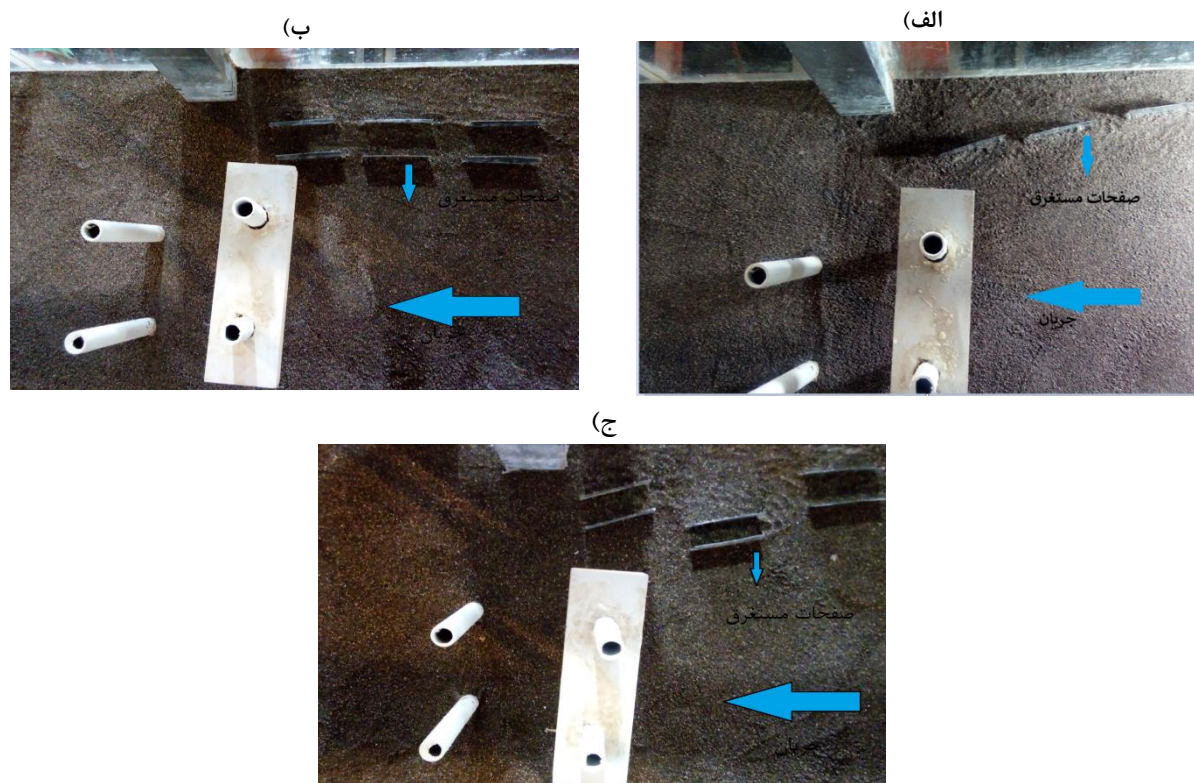
۲-۲- روش انجام آزمایش ها

تمامی این آزمایش ها در شرایط آب زلال انجام گرفته است. معیار زمان تعادل در آزمایش ها معیاری است که کومار و همکاران (۱۹۹۹) در تحقیقات خود در نظر گرفتند و آن مدت زمانی است که تغییرات

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{gL_a}} \quad (Fr^2 = \frac{gL_a}{v^2})$$

آشفته ($Re > 2000$) و عدد فرود ($Fr < 1$) قرار دارند. با توجه به ثابت

در محدوده جریان زیربحرانی ($Fr < 1$) قرار دارند. با توجه به ثابت بودن متغیرهای (B, Ab, D, S, F) و همچنین یکسان بودن پارامترهایی نظیر شکل، ابعاد و نسبت استغراق صفحات مستغرق، رابطه بدون بعد (۲) به رابطه (۳) تبدیل می شود:



شکل ۸. نمای واقعی: الف) آرایش تک‌ردیفه، ب) آرایش دو ردیفه موازی، ج) آرایش دو ردیفه زیگزاگی
 Fig. 8. View of reference. a) single parallel rows, b) two parallel rows, and c) two zigzag rows

صفحات در حالت های دو ردیفه موازی و (V-Z-1 تا V-Z-3) بیانگر آرایش های دو ردیفه زیگزاگی می باشند. در شکل های ۷ و ۸ نمای واقعی و شماتیک برخی از آزمایش ها ارائه شده است.

۳- نتایج و تحلیل داده ها

مشاهدات نشان می دهند که در آزمایش های صورت گرفته، در اثر برخورد جریان آب به تکیه گاه و پایه های پل و تشکیل گرداب، آبشستگی از جلوی پایه ها و تکیه گاه بصورت متقارن نسبت به محور سازه ها شروع شده و مواد رسوبی از جلو و اطراف این سازه ها شسته و بصورت پشته در پشت پایه و تکیه گاه جمع شده اند. این پشته ها به تدریج به طرف پایین دست انتقال می یابند و پس از توسعه حفره آبشستگی و مستهلک شدن گرداب های نعل اسبی درون حفره، رسوبات تنها درون چاله آبشستگی حرکت می کنند و به پایین دست انتقال نمی یابند. در این پژوهش انجام آزمایش شاهد به منظور بررسی تأثیر آرایش قرارگیری صفحات مستغرق تخت در بررسی روند عمق آبشستگی بدون حضور صفحه ها امری اجتناب ناپذیر است.

عمق آبشستگی در سه ساعت متوالی بیش از یک میلی متر نباشد [۲۷]. در پژوهش حاضر نیز پس از انجام یک آزمایش بلندمدت ۱۲ ساعته در دبی ۳۷ لیتر بر ثانیه زمان تعادل برابر ۳ ساعت برآورد شد. در شکل ۶ منحنی زمان تعادل آورده شده است.

برای بررسی روند عمق آبشستگی در حضور اقدامات حفاظتی، نیاز به انجام یک سری آزمایش ها بدون اقدامات حفاظتی در جلو پایه و تکیه گاه پل می باشند. در این راستا آزمایش شاهد صورت گرفته با قرارگیری تکیه گاه مستطیلی و گروه پایه ۲×۲ و همچنین جسم شناور مستطیلی در نسبت استغراق (با عمق نسبی ۰/۳ بر روی پایه های جلویی) مشخص صورت گرفت. در شکل ۶ الف و ب، نمای واقعی و شماتیک آزمایش شاهد نشان داده شده است. در جدول ۱ به شرح آزمایش های صفحه های مستغرق پرداخته شده است.

در این پژوهش به منظور بررسی تأثیر آرایش قرارگیری صفحات مستغرق بر آبشستگی تکیه گاه و گروه پایه، ۹ آزمایش صورت گرفته است. آزمایش های (V-S-1, V-S-2) معرف قرارگیری صفحات مستغرق تک ردیفه موازی، (V-D-1 تا V-D-4) معرف آرایش

۳-۱- آزمایش بدون اقدام حفاظتی (آزمایش شاهد)

ابتدا آزمایش بدون صفحات مستغرق (آزمایش شاهد) انجام شد. در این آزمایش، آبشستگی از همان لحظات ابتدایی با تشکیل گرداب نعل اسبی آغاز شده و به سرعت ادامه یافت. سرعت گسترش آبشستگی در لحظات اول زیاد بود و پس از مدتی به آرامی ادامه یافت. حداقل زمان لازم برای انجام هر آزمایش ۳ ساعت (مدت زمان تعادل آزمایش) بوده و پس از آن با متوقف کردن آزمایش، آب درون کانال تخلیه و پروفیل بستر رسوبی برداشت شد. بر اساس مشاهدات، حداکثر عمق آبشستگی در بالادست پایه های جلویی و برای تکیه گاه در جلوی تکیه گاه مشاهده شد. آبشستگی موضعی به سمت پایین دست پایه و تکیه گاه پل کاسته شده و در پایین دست سازه ها پشته های رسوبی ایجاد می شود. پروفیل آبشستگی در کل محدوده آزمایش همزمان با پایه ها و تکیه گاه پل برداشت شده است. لازم به ذکر است در رسم نمودارها و توپوگرافی های بستر رسوبی در تمامی آزمایش ها، مقادیر برداشت شده به یک نسبت ثابت که در قسمت آنالیز ابعادی شرح داده شد، بی بعد شده اند که نتایج به دست آمده در هر سیستم آحادی تطابق داشته باشد. شکل ۹-الف و ب نمای سه بعدی و خطوط تراز توپوگرافی بستر رسوبی را نشان می دهد.

۳-۲- آزمایش ها با حضور صفحه ها مستغرق

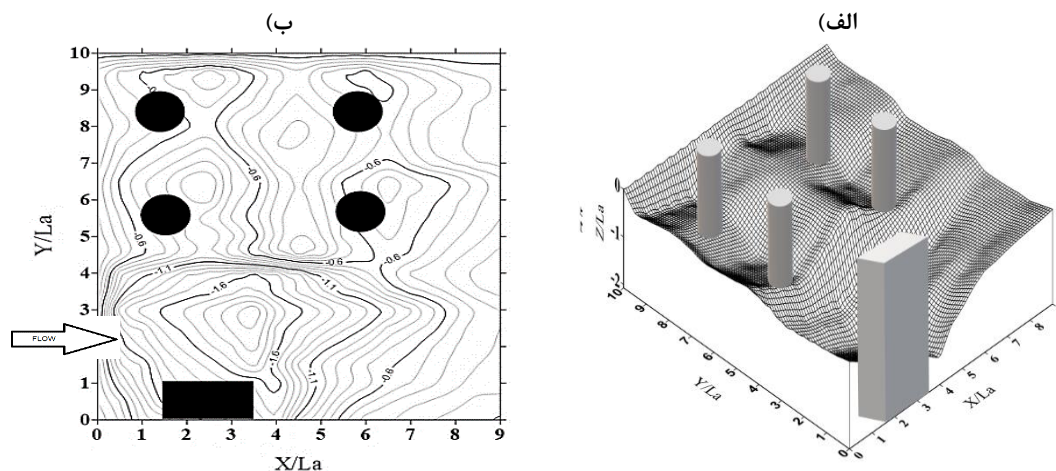
در این مرحله ۹ آزمایش صورت گرفته است. جدول ۲ فهرست آزمایش ها و نتایج کمی آزمایشات مربوط به ابعاد آبشستگی را نشان

می دهد. کاهش آبشستگی برای تمام آزمایش ها با استفاده از معادله (۴) محاسبه و در جدول ۲ آورده شده است. در معادله ۴، R درصد کاهش آبشستگی، d_1 حداکثر عمق آبشستگی در آزمایش شاهد و d_2 حداکثر عمق آبشستگی در حضور صفحات مستغرق است.

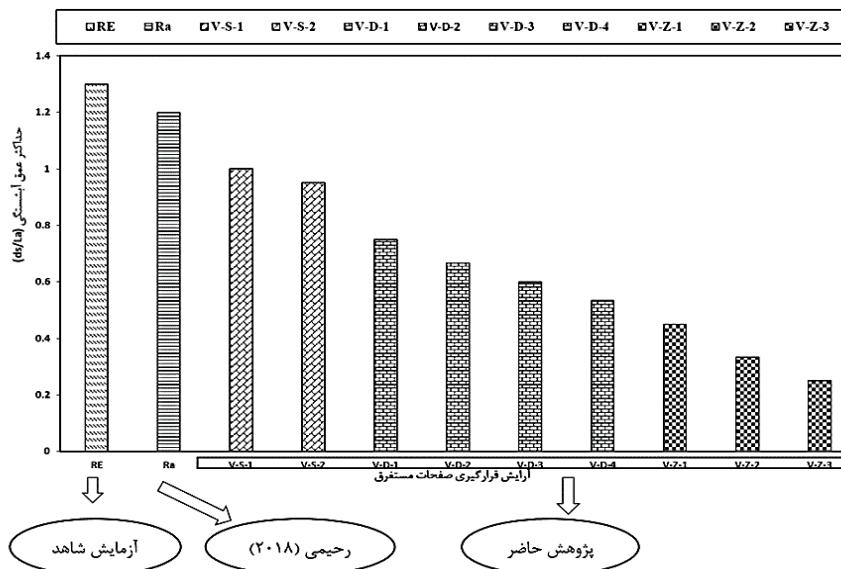
$$R = \left(\frac{d_1 - d_2}{d_1} \right) \times 100 \quad (4)$$

در جدول ۲ درصد کاهش آبشستگی آزمایش ها ارائه شده است. رحیمی و همکاران (۲۰۱۸) تأثیر ضخامت، طول، شکل و محل قرارگیری اجسام شناور را در حالت همزمان پایه و تکیه گاه پل مورد بررسی قرار دادند. در شرایط آزمایش های حاضر بحرانی ترین نتایج این محقق که موجب ایجاد بیشترین آبشستگی شده، مورد استفاده قرار گرفته است. در شکل ۱۰، حداکثر عمق آبشستگی در حالت های مختلف قرارگیری صفحه های مستغرق نسبت به آزمایش شاهد و آزمایش رحیمی و همکاران (۲۰۱۸) در تمامی آرایش های قرارگیری نشان داده شده است.

در نمودار رسم شده، آزمایش شاهد (RE) دارای حداکثر عمق آبشستگی است. با توجه به شکل ۸، تمامی آرایش های قرارگیری صفحات مستغرق، موجب کاهش آبشستگی شده است. حداقل عمق آبشستگی و بیشترین حفاظت از سازه ها، با افزایش تعداد صفحات مستغرق در آرایش دو ردیفه زیگزاکی (آزمایش V-Z-3) مشاهده شد. نتایج بررسی ها حاکی از آن است که در حالت استقرار همزمان



شکل ۹. الف) نمای سه بعدی آزمایش شاهد، ب) خطوط تراز
Fig. 9. a) 3D view of reference test, and b) Align line



شکل ۱۰. حداکثر عمق آبستگی در حالت‌های مختلف قرارگیری صفحات مستغرق
 Fig. 10. Max scour in different arrangement of submerged vanes

به جدول ۲ در سه بخش آزمایش‌های صفحات مستغرق تخت در آرایش‌های تک ردیفه، آزمایش‌های صفحات مستغرق تخت در آرایش‌های دو ردیفه موازی، آزمایش‌های صفحات مستغرق تخت در آرایش‌های دو ردیفه زیگزاکی مورد بررسی قرار می‌گیرند. در این تحقیق عملکرد صفحات مستغرق در کاهش عمق حفره آبستگی توسط ۴ سازوکار توجیه می‌شوند. این ۴ سازوکار عبارت‌اند از:

۱- آبستگي ایجادشده در اطراف صفحات به علت زاویه‌دار بودن آن‌ها با جهت جریان باعث حرکت رسوبات از اطراف صفحه‌های مستغرق و ته نشین شدن آن‌ها در حفره آبستگي جلوی پایه و تکیه‌گاه می‌شود.

۲- نحوه قرارگیری صفحات مستغرق در جلوی پایه، باعث هدایت رسوبات به سمت پایه و تکیه‌گاه و تجمع آن‌ها در جلوی این سازه‌ها می‌شود.

۳- به علت ایجاد چرخش ثانویه در نتیجه‌ی وجود ناحیه پرفشار و کم‌فشار در دو وجه صفحه‌های مستغرق، رسوبات در جهت عرض جابه‌جا شده و درون حفره آبستگي جلوی پایه ته نشین می‌شوند.
 ۴- وجود صفحات مستغرق در جلوی پایه و تکیه‌گاه باعث گسیخته شدن جریان نزدیک شونده و در نتیجه کاهش قدرت جریان رو به پایین و گرداب نعل اسبی جلوی پایه و تکیه‌گاه می‌شود. سهم هر یک از این سازوکارها در کاهش عمق حفره آبستگي در

جدول ۲. درصد کاهش آبستگي صفحه‌های مستغرق در آرایش‌های متفاوت

Table 2. Percentage of reduction scour in different arrangement submerged vanes

شماره آزمایش	علامت اختصاری	d_s/L_a (شاهد)	d_s/L_a (آزمایش)	درصد کاهش آبستگي (%)
۱	V-S-1	۱/۳	۱	۲۳
۲	V-S-2	۱/۳	۰/۹۵	۲۷
۳	V-D-1	۱/۳	۰/۷۵	۴۲
۴	V-D-2	۱/۳	۰/۶۶	۴۹
۵	V-D-3	۱/۳	۰/۶۰	۵۴
۶	V-D-4	۱/۳	۰/۵۳	۵۹
۷	V-Z-1	۱/۳	۰/۴۵	۶۵
۸	V-Z-2	۱/۳	۰/۳۳	۷۴
۹	V-Z-3	۱/۳	۰/۲۵	۸۱

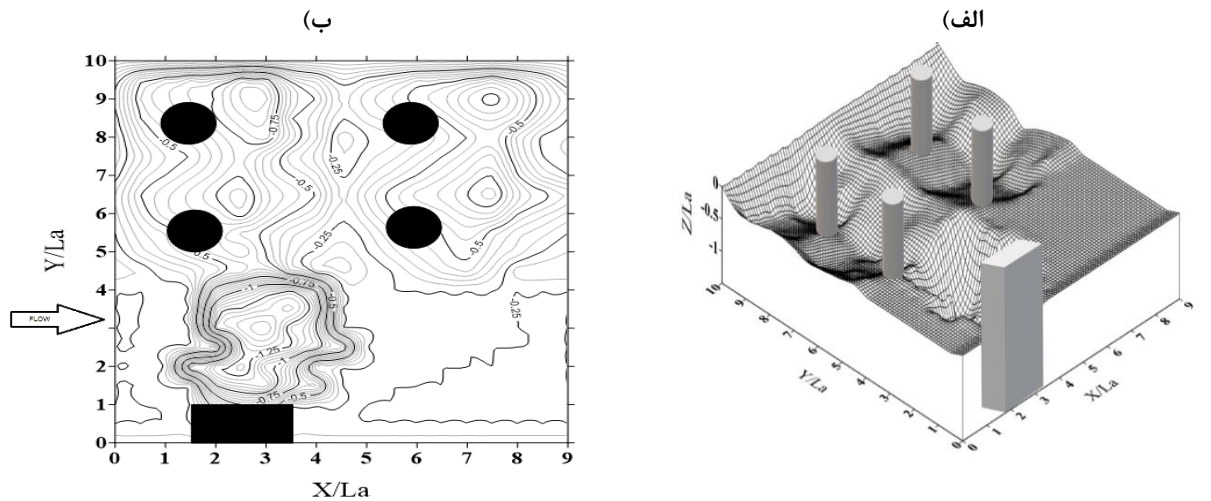
تکیه‌گاه و گروه پایه با اعمال حفاظتی صفحات مستغرق تنها در جلوی تکیه‌گاه، اثر حفاظتی بر حفره آبستگي تکیه‌گاه و دوپایه نزدیک تکیه‌گاه محسوس‌تر است. صفحات در آرایش‌های قرارگیری تک‌ردیفه، دو ردیفه موازی و دو ردیفه زیگزاکی در آزمایش‌های (V-S-2)، (V-D-4) و (V-Z-3) به ترتیب موجب کاهش ۲۷، ۵۹ و ۸۱ درصدی عمق حفره آبستگي شده است. در ادامه نتایج مربوط

تکیه گاه و پایه ها در آرایش 2×2 با حضور جسم شناور مستطیلی بر روی پایه های جلویی با نسبت استغراق 0.3 در دو حالت قرارگیری در آزمایش های (V-S-1) و (V-S-2) مورد بررسی قرار گرفته اند. در این آزمایش ها به دلیل نحوه قرارگیری صفحات در جلوی تکیه گاه قدرت جریان پایین رونده و گرداب نعل اسبی به مقدار زیادی کم شده و میزان آبستتگی کاهش می یابد. همچنین در مقایسه آرایش های قرارگیری صفحه ها در این سری آزمایش ها، هر چه صفحه ها به تکیه گاه نزدیک تر قرار گیرند، کارایی بیش تری را از خود نشان می دهند. در شکل ۱۱ پروفیل سطح بستر رسوبی در آزمایش (V-

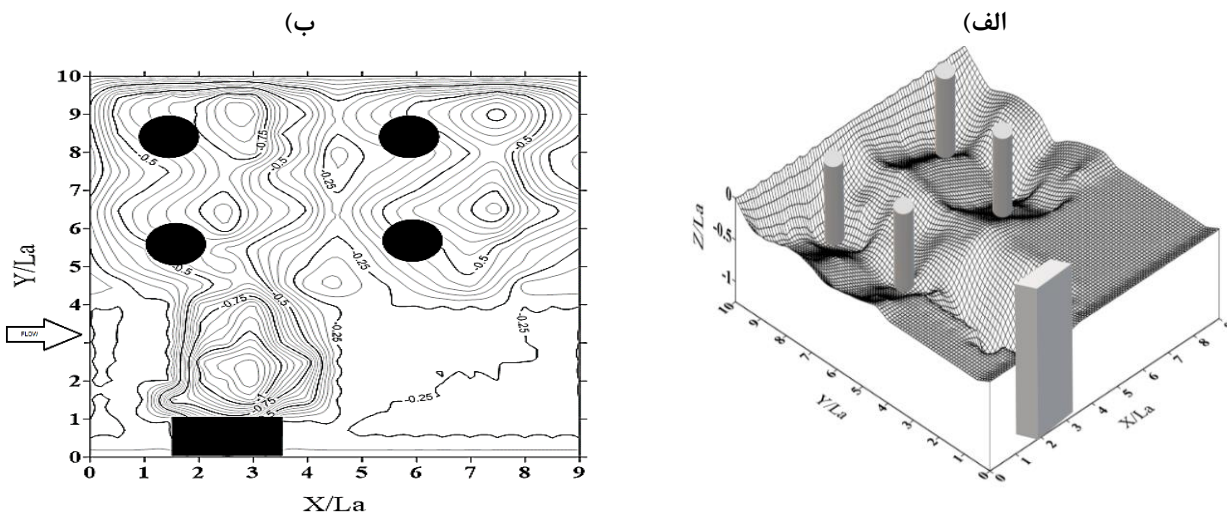
پژوهش حاضر یکسان نمی باشد. مشاهدات نشان داد عملکرد اصلی صفحه های مستغرق در کاهش آبستتگی بیشتر تحت تأثیر نحوه قرارگیری صفحه های مستغرق در آرایش های مختلف قرارگیری می باشند.

الف- آزمایش های صفحه های مستغرق تخت در آرایش های تک ردیفه

در این بخش از آزمایش ها تعداد صفحات مستغرق ۳ عدد، با اندازه $(L/H = 3)$ و زاویه برخورد با جریان 20° درجه در آرایش تک ردیفه موازی در جلوی تکیه گاه در حالت استقرار همزمان



شکل ۱۱. (الف و ب) نمای سه بعدی و خطوط تراز بستر رسوبی با صفحات مستغرق تک ردیفه در آرایش (V-S-2)
 Fig. 11. View and align lines of experiments with single parallel rows (V-S-2)



شکل ۱۲. (الف و ب) نمای سه بعدی و خطوط تراز بستر رسوبی با صفحات مستغرق دو ردیفه موازی در آرایش (V-D-4)
 Fig. 12. View and align lines of experiments with two parallel rows (V-D-4)

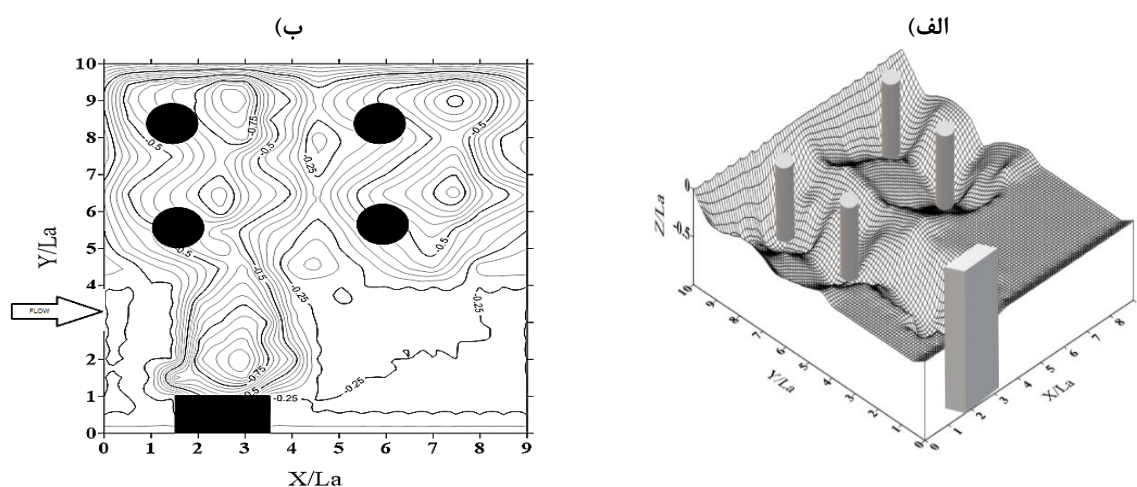
در این بخش از آزمایش‌ها نتایج تأثیر استفاده از آرایش دو ردیفه زیگزاکی صفحات (تعداد صفحات مستغرق ۶ عدد) در جلوی تکیه گاه در حالت استقرار همزمان تکیه گاه و پایه‌ها در آرایش 2×2 ، با اندازه $(L/H = 3)$ و زاویه برخورد 20° درجه در حضور جسم شناور مستطیلی بر روی پایه‌های جلویی با نسبت استغراق $0/3$ در دو حالت قرارگیری در آزمایش‌های $(V-Z-1)$ ، $(V-Z-2)$ ، $(V-Z-3)$ ارائه شده است. در این آزمایش‌ها به دلیل اینکه در هر ردیف عرضی ۲ صفحه مستغرق با زاویه قرارگیری یکسان نسبت به جریان اما در جهت‌های متفاوت قرار می‌گیرند، جریان ماریپیچی ایجاد شده دارای قدرت کمی برای انتقال رسوب در جهت عرضی می‌باشد و موجب کاهش آبشستگی به مقدار زیادی می‌شود. با توجه به این که هدف در پژوهش حاضر، بررسی و تعیین بهترین وضعیت قرارگیری صفحات مستغرق در جلو تکیه گاه و تعیین الگوی جریان و آبشستگی پیرامون تکیه گاه در شرایط نصب صفحه‌ی بهینه می‌باشد. لذا پس از تحلیل نتایج، صفحه‌های مستغرق در آزمایش $(V-Z-3)$ دارای بالاترین راندمان در کاهش آبشستگی سطح بستر رسوبی در تکیه گاه و پایه‌های پل می‌باشد. در شکل ۱۳ پروفیل سطح بستر رسوبی در آزمایش $(V-Z-3)$ پس از اتمام آزمایش برداشت و ترسیم شده که در این حالت موجب کاهش عمق حفره آبشستگی به میزان ۵۹ درصد شده است.

در شکل ۱۴ پروفیل طولی گودال آبشستگی و بخش رسوب‌گذاری را در آزمایش‌های (RE) ، $(V-S-2)$ ، $(V-D-4)$ و $(V-Z-3)$ نشان می‌دهد. همان‌طور که در شکل ۱۴ مشاهده می‌شود، در ناحیه جلو

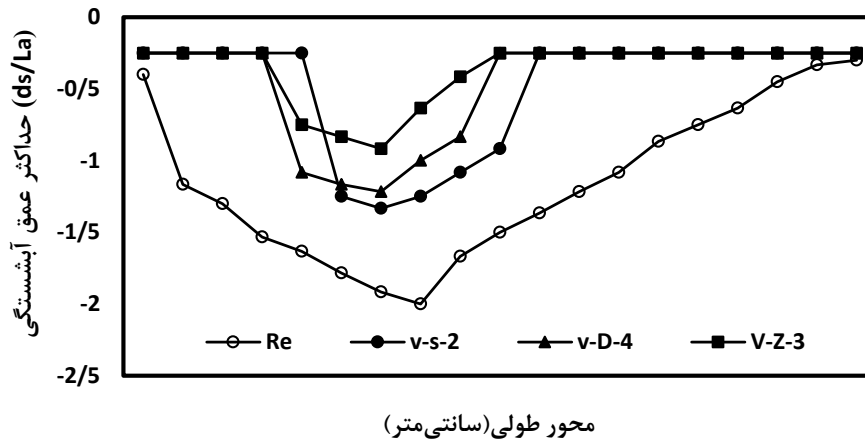
(S-2) پس از اتمام آزمایش برداشت و ترسیم شده که در این حالت موجب کاهش عمق حفره آبشستگی به میزان ۳۷ درصد شده است.
ب- آزمایش‌های صفحات مستغرق تخت در آرایش‌های دو ردیفه موازی

در این بخش از آزمایش‌ها تعداد صفحات مستغرق ۶ عدد، با اندازه $(L/H = 3)$ و زاویه برخورد با جریان 20° درجه در آرایش دو ردیفه موازی در جلوی تکیه گاه در حالت استقرار همزمان تکیه گاه و پایه‌ها در آرایش 2×2 با حضور جسم شناور مستطیلی بر روی پایه‌های جلویی با نسبت استغراق $0/3$ در دو حالت قرارگیری در آزمایش‌های $(V-D-1)$ ، $(V-D-2)$ ، $(V-D-3)$ و $(V-D-4)$ مورد بررسی قرار گرفته‌اند. پس از برخورد آب به صفحات مستغرق، به علت ایجاد فشار دینامیک در جلوی صفحه‌ها، جریان روبه پایین شکل گرفته و باعث جدا کردن ذرات رسوب از بستر در این ناحیه می‌شود. وقتی صفحات مستغرق در یک ردیف عرضی در چند ردیف کنار هم نصب می‌شوند، عرض سطح تأثیر آن‌ها در انتقال رسوب افزایش می‌یابد. هرچه فاصله قرارگیری صفحه‌ها نسبت به تکیه گاه کمتر و فاصله دو ردیف از هم بیشتر باشد، میزان آبشستگی به مقدار زیادی کاهش می‌یابد. در شکل ۱۲ پروفیل سطح بستر رسوبی در آزمایش $(V-D-4)$ پس از اتمام آزمایش برداشت و ترسیم شده که در این حالت موجب کاهش عمق حفره آبشستگی به میزان ۸۱ درصد شده است.

ج- آزمایش‌های صفحات مستغرق تخت در آرایش‌های دو ردیفه زیگزاکی



شکل ۱۳. الف و ب) نمای سه‌بعدی و خطوط تراز بستر رسوبی با صفحات مستغرق دو ردیفه زیگزاکی در آرایش $(V-Z-3)$
Fig. 13. View and align lines of experiments with two zigzag rows (V-D-4)



شکل ۱۴. پروفیل طولی بستر در محور تکیه‌گاه در آزمایش‌های شاهد، V-S-1، V-D-4، V-Z-3 و V-Z-3
Fig. 14. Longitudinal profile of the bed on the abutment axis in (RE, V-S-1, V-D-4, and V-Z-3) experiments

دارد؛ به طوری که عملکرد صفحات در آرایش‌های دو ردیفه موازی نسبت به تک‌ردیفه عملکرد مطلوب‌تری را از خود نشان داده‌اند.

۵- نتیجه‌گیری

در این پژوهش، تأثیر صفحات مستغرق تخت، با ابعاد $(L/H = 3)$ و زاویه برخورد با جریان $(\alpha = 20)$ درجه در آرایش‌های مختلف قرارگیری در جلوی تکیه‌گاه و گروه پایه 2×2 در حضور اجسام شناور مستطیلی روی پایه‌های جلویی بررسی شد. تکنیک صفحات مستغرق یک روش مناسب برای کاهش آبشستگی در اطراف تکیه‌گاه و پایه‌های پل می‌باشد. در واقع این صفحه‌ها با ایجاد یک جریان ثانویه چرخشی مقدار و توزیع تنش‌های برشی بستر، سرعت، عمق و انتقال رسوب را در منطقه موردنظر تغییر می‌دهند. استفاده از صفحات مستغرق در آرایش‌های مختلف قرارگیری موجب کاهش عمق حفره آبشستگی به میزان (۲۳-۸۱) درصد شده است. نتایج بدست آمده پس از برداشت پروفیل کل سطح بستر رسوبی، در حالت استقرار همزمان تکیه‌گاه و گروه پایه با اعمال اقدام حفاظتی، صفحه‌های مستغرق در جلوی تکیه‌گاه، حاکی از آن بود که اثر حفاظتی روی دو پایه‌ی نزدیک به تکیه‌گاه محسوس‌تر است. در پایه‌های جلویی نسبت به عقبی، آبشستگی بیش‌تر رخ داده است. نتایج عملکرد صفحات مستغرق تخت در آرایش‌های مختلف قرارگیری، نشان از کاهش میزان آبشستگی در پروفیل سطح بستر رسوبی را دارد، اما این عملکرد مثبت در همه حالت‌ها یکسان

تکیه‌گاه پل به ترتیب در آرایش‌های تک‌ردیفه صفحه‌های مستغرق در آزمایش (V-S-2) با کاهش ۲۷ درصدی عمق حفره آبشستگی، در حالت‌های قرارگیری دو ردیفه موازی در آزمایش (V-D-4) با کاهش ۵۹ درصدی و در حالت‌های قرارگیری صفحات در آرایش‌های دو ردیفه زیگزاکی در آزمایش (V-Z-3) با کاهش ۸۱ درصدی، بیش‌ترین درصدهای کاهش عمق حفره آبشستگی را داشته است.

۴- مقایسه با نتایج سایر محققین

صمیمی بهبهان و همکاران (۲۰۰۶) اثر شکل‌های متفاوت صفحه‌ها را با آرایش‌های مختلف مورد بررسی قرار دادند. نتایج آن‌ها حاکی از آن بود که صفحات مستغرق در حالت چسبیده به پایه دارای بهترین عملکرد می‌باشد. این نتایج با پژوهش حاضر در تطابق است. به طوری که در پژوهش حاضر، آرایش‌هایی که صفحه‌های مستغرق فاصله کم‌تری نسبت به تکیه‌گاه دارند میزان بیش‌تری از آبشستگی کاهش می‌یابد. قربانی و کلز (۲۰۰۸) نیز تأثیر صفحات مستغرق با آرایش‌های مختلف مورد بررسی قرار دادند که نتایج آن‌ها، صفحه‌های دوگانه با زاویه برخورد $18/5$ درجه و تراز صفر صفحه‌ها از بستر موجب کاهش $87/7$ درصدی در عمق آبشستگی شده است. این نتیجه بیش‌تر از حالت حداکثری کاهش آبشستگی در پژوهش حاضر (آرایش V-Z-3) می‌باشد. علت آن می‌تواند متفاوت بودن شرایط آزمایش در برخی از پارامترها باشد. سری صفحات چیده شده در جلو تکیه‌گاه با نتایج امامقلی زاده و نوحانی (۱۳۹۶) همخوانی

α	زاویه برخورد صفحات با جریان
β	شکل صفحه
ν	ویسکوزیته سینماتیکی
ρ	چگالی آب
ρ'_s	چگالی نسبی رسوبات
μ	لزجت سینماتیکی سیال

مراجع

- [1] Bastani parizi, M.A (2014).” *Khatun Seven Fortress* “, Seventh Edition, Scientific publication, ISBN, pp 4-445-224-964-978, 736, p32. (In Persian)
- [2] Melville B. W. Van B. S. Coleman S. and Barkdoll B. 2006. “Scour Countermeasures for Wing-Wall Abutments”. *Journal of Hydraulic Eng*, 132(6), pp 563-574.
- [3] Fadaei fard, M.N and Fadaei fard, M. (2019).” Lessons learned from the devastating flood of Farvardin 2019”. Third hydrological conference of semi-arid and arid regions with water-human-nature axis, sanandaj, Iran. (In Persian)
- [4] Simarro, G., Civeira, S., and Cardoso, A. H. (2012). “Influence of riprap apron shape on spill-through abutments”. *Journal of Hydraulic Research*, 50(1), pp138-141.
- [5] Odgaard, A. J., and Wang, Y. (1991). “Sediment management with submerged vanes”. I: Theory. *J. Hydraulic Eng*. 117(3), pp 267-283.
- [6] Odgaard, J.A., and Kennedy, J.F., (1983).”Bed riverbank protection by submerged vanes”. *J Hydrulic Eng ASCE*, 109(8), pp 1161-1173.
- [7] Lauchlan C. S. (1999). “Pier scour countermeasures”. PhD Thesis, University of Auckland, New Zealand, pp. 299- 316.
- [8] 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 Eng*, 127(9), pp 772-778.
- [9] Samimiy-Behbahan, T., Barani, G. H., Khanli, M., and Khanjani, M. (2006). “Experimental investigation of

نمی باشد. نتایج آزمایش ها نشان داد که آرایش صفحات مستغرق در حالت آرایش دو ردیفه زیگزاکی (V-Z-3) بیشترین کارایی را در حفاظت از تکیه گاه و پایه های پل داشته است.

فهرست علائم

علائم انگلیسی

A	آرایش صفحات
Ab	تکیه گاه پل
B	عرض کانال
B_a	عرض تکیه گاه پل
D	جسم شناور
d_d	طول مؤثر اجسام شناور
d_s	حداکثر عمق آبشستگی
d_{50}	اندازه متوسط ذرات رسوبی
F	جریان
Fr^2	عدد فرود
g	شتاب ثقل
H	عمق آب
h_d	استغراق اجسام شناور
L_a	طول تکیه گاه
L_s	طول صفحه های مستغرق
L_v	فاصله ردیف صفحه های مستغرق
Re	عدد رینولدز
S	رسوب
S_v	صفحات مستغرق
T_d	ضخامت اجسام شناور
Z_v	تراز قرارگیری صفحه از بستر
X	فاصله صفحه ها از تکیه گاه

علائم یونانی

- [18] Emamgholizadeh, 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 Eng Research*. Number 68, Volume 18, pp 128-113. (In Persian)
- [19] Saunders, S. and Oppenheimer, M. L. (1993). "A method of managing floating debris". Proceeding the Hydraulics Conference. July 25-30. *American Society of Civil Eng*, San Francisco, California, United States.
- [20] Lagasse, P., Zevenbergen, L., Schall, J., and Clopper, P.E. (2007). "Countermeasures to protect Bridge piers from scour". No. 593, Transportation Research Record, Transportation Research Board, Washington, D.C. 6p.
- [21] Moshashaie, S. M., Aghbolaghi, M. A. and Brojeni, H. S. (2015). "Woody Debris Accumulation on the Scour in Front of a Circular Shaped Pier with Plate Pile System".
- [22] Rahimi, E., Qaderi, K., Rahimpour, M. and Ahmadi, M. M. (2018). "Effect of Debris on Piers Group Scour: Experimental Study". *KSCE Journal of Civil Eng*, 22(4), pp 1496-1505.
- [23] Melville, B. W., and Dongol, D. M. (1992). "Bridge pier scour with debris accumulation". *Journal of Hydraulic Eng*, 118(9), pp1306-1310.
- [24] Pagliara, S., and Carnacina, L. (2011). "Influence of Wood Debris Accumulation on Bridge Pier Scour". *J. Hydr. Eng*. ASCE. 137, pp 254-261.
- [25] Park, JH, Chamroen, S., Park, CK., and Young, DK. (2015). "A Study on the Effects of Debris Accumulation at Sacrificial Piles on Bridge Pier Scour". *KSCE J. Civil Eng*. 20(4), pp1546-1551.
- [26] Raudkivi, A. J., and Ettema, R. (1983). "Clear-water scour at cylindrical piers". *Journal of Hydraulic Eng*, 109(3), pp 338-350.
- [27] Kumar, V., Rango Raju, K.G., and Vittal, N. (1999). "Reduction of local scour around bridge piers using slots and collars". *J.Hydraulic.Eng*. ASCE, 125, 12: 1302-1305.
- submerged vanes effect on scouring of bridge piers". *National Congress of Irrigation and Drainage Networks Management*. Faculty of Water Sciences Eng. Shahid Chamran University. Ahvaz, Iran.
- [10] Ghorbani, B., and Kells, J. A. (2008). "Effect of submerged vanes on the scour occurring at a cylindrical pier". *Journal of Hydraulic Research*, 46(5), pp 610-619.
- [11] Shojaei, P., Farsadizadeh, D. and Hosseinzadeh-Dalir, A. (2011). "Effects of combined submerged vanes and collar in reducing scour of base cylindrical bridges". *J. Sci. Tech. Agric. Nat. Resour; Soil Water Sci*, 15(57), pp 33-23.
- [12] Tafarjnoruz, A., Gaudio, R., and Calomino, F. (2012). "Evaluation of flow-altering countermeasures against bridge pier scour". *Journal of Hydraulic Eng*, 138(3), pp 297-305.
- [13] Shafahi Bejestan, M. S., Khademi, K., and Kozeymehnezhad, H. (2015). "Submerged vane-attached to the abutment as scour countermeasure". *Ain Shams Eng Journal*, 6(3), pp775-783.
- [14] Fathi, A., and Zomorodian, S. M. A. (2018). "Effect of Submerged Vanes on Scour around a Bridge Abutment". *KSCE Journal of Civil Eng*, 22(7), 2281-2289.
- [15] Rezapourian, S., Ghorbani, B., and Samadi Brojeni, H. (2009). "The Effect of comparison Submerged Vanes Series on Upstream and Downstream Cylindrical piers in Local Scour ". *Eighth International Seminar on River Eng*, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran. (In Persian)
- [16] Khademi, kh. Shafai.bajestan, M and Khozeymehnejad, H. (2015). "Laboratory investigation of flow pattern and Scour around bridge attached submerged vane". *Journal of Irrigation and Water Eng*. Volume 5, Number 17, pp 56-66. (In Persian)
- [17] Parchami, L., Asghari Pari, S.A., and Shafai Bajestan, M. (2017) "The Effect of Convex-flat Submerged Vane Angles of Attack and Height on Bridge Pier Scouring". *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*. Number 4, Volume 10, pp 444-453. (In Persian)

چگونه به این مقاله ارجاع دهیم

Karimi M. , Qaderi K. , Rahimpour M. , Ahmadi M. M. , Laboratory Investigation of Effect of Flat Submerged Vanes on Scour at Bridge Piers Group and Abutment , Amirkabir J. Civil Eng., 53(7) (2021) 3149-3166.

DOI: [10.22060/ceej.2020.17729.6654](https://doi.org/10.22060/ceej.2020.17729.6654)



