



Investigation of Scouring at Rectangular Abutments in a Compound Channel under Unsteady Flow (Experimental Study)

A. R. Yazdani, K. Hosseini*, H. Karami

Civil Engineering Faculty, Semnan University, Iran

ABSTRACT: One of the most important parameters in the design of bridge abutments and piers is to calculate the depth of scouring. The previous relationships for measuring the scour depth were based on steady flow, and it is not expected that the amount of scour depth computed from these relations is accommodated to the actual value during a flood wave. Since in this condition, the flood hydrograph occurs in an unsteady state, the discharge is variable between base and peak values. In this study, experiments were conducted to measure the clear-water scour depth of a rectangular abutment under steady and unsteady flow conditions by approaching flood waves with triangular hydrographs and equivalent stepped hydrographs in a compound channel. Then, by using the measured scour depths values in steady flows, a relationship is calculated to estimate the maximum scour depth in terms of dimensionless time parameter and flow intensity. By changing the peak discharge time parameter, the effect of slope at ascending and descending part of the triangular hydrograph on the scouring was investigated. A comparison of the scouring of two stepped hydrographs with the same time duration showed that the difference between the scouring values was 1.5%. Moreover, the results of the scour depth measurements of triangular and stepped hydrographs were compared.

Review History:

Received: Aug. 12, 2019
Revised: Nov. 18, 2019
Accepted: Nov. 19, 2019
Available Online: Dec. 01, 2019

Keywords:

Bridge Abutment
Scour Depth
Stepped Hydrograph
Time Step
Unsteady Flow

1. Introduction

The costly construction and repair of the bridge, as well as its role in communicating between the two sides of the river, have a significant economic and social significance. The main reason for the failure of the bridge is scouring at the abutment or pier due to flood waves. Therefore, the local scouring of abutment or pier, which plays an important role in the destruction of the bridge, attracted engineers and led to a lot of research to find a formula for estimating the depth of scouring at the bridge abutment.

Formulas for scour depth estimation provided for steady flow so far, and it is not expected that the scour value calculated from these formulas will be consistent with the actual value that occurs at the time of the flood event. Because at the time of the flood, flow in the river occurs in an unsteady state where the flow rate varies between a base and peak value.

2. Methodology

To carry out the present research, a flume with a length of 12 m, and a width of 1 m and a height of 0.8 m with glass walls is used. For control of depth, a gate at the end of the flume that moves with the cable is used. The pump used in the flume has a nominal flow rate of 120 liters per second and the discharge is measured by an ultrasonic flowmeter mounted on the pump suction pipe. To create a flood hydrograph, a driver

was used to perform the pump connected to the computer. Through this driver, the command is sent from the computer to the pump and can be controlled at any time.

The sediments used in the channel bed are sand with uniform size $\sigma_g = 1.36$ and $d_{50} = 1\text{mm}$. The erodible area is 6 m from the beginning of the flume and has a length of 3.5 m and a depth of 42 cm. The purpose of this study is to investigate the depth of scouring at the abutment of the bridge in the floodplain and the cross-section defined in a way that the main channel wall (the opposite wall) has a slight effect on localized scouring in the nose of the abutment.

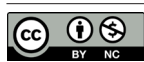
Using dimensional analysis, an equation defined to calculate the time variation of scour depth d_s/d_{sc} with respect to u_*/u_{*c} and t/t_e parameters. The constant coefficients were calculated using steady flow experiments.

$$\frac{d_s}{d_{se}} = 1.035 \left(\frac{t}{t_e} \right)^{0.223} \left(\frac{u_*}{u_{*c}} \right)^{-0.287} \quad (1)$$

3. Discussion and Results

To investigate the effect of the time to peak parameter on the scour depth of the abutment, simple symmetrical and non-symmetrical triangular hydrographs as shown in Fig. 1 were used to examine the effect of ascending and descending limbs

*Corresponding author's email: : khhosseini@semnan.ac.ir



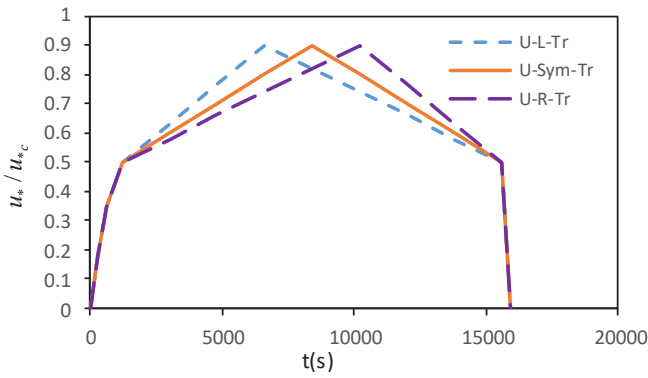


Fig. 1. Symmetrical and non-symmetrical triangular hydrographs

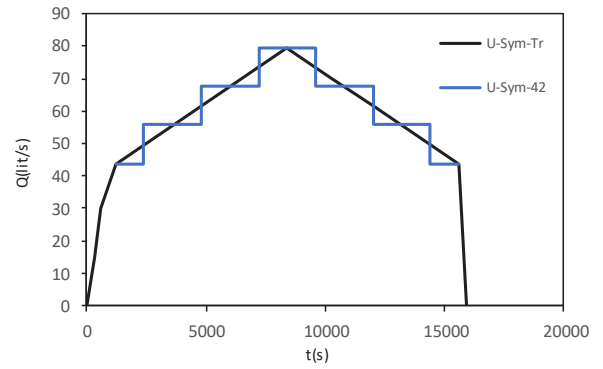


Fig. 3. Symmetric triangular and stepped hydrographs with $\Delta t=42$ min

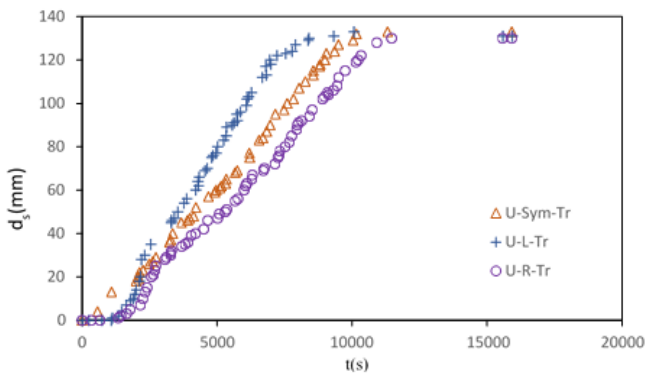


Fig. 2. Time variation of scour depth in tested hydrographs

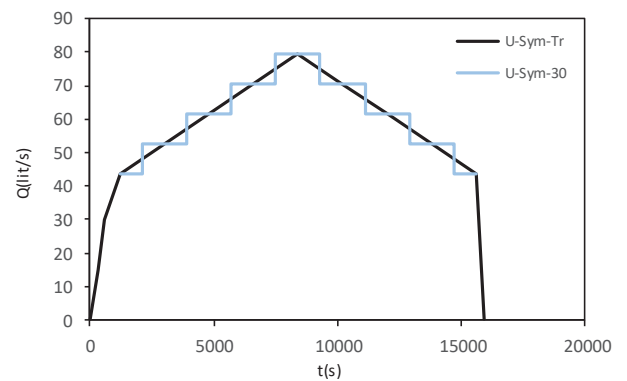


Fig. 4. Symmetric triangular and stepped hydrographs with $\Delta t=30$ min

Table 1. Comparing Final scour depth in triangular hydrograph and Stepped hydrographs

Triangular hydrograph	Stepped hydrograph		Final scour depth
U-Sym-Tr	U-Sym-30	U-Sym-42	
133	136	138	

on the scour depth and It was concluded that the upward and downward slope of the limbs does not affect the amount of scour depth, and only a higher slope in the upward limbs reduces the time of maximum scouring Fig. 2.

To investigate the effect of time step on the stepped hydrograph, as shown in Fig. 3 and in Fig. 4 two time steps $\Delta t = 42$ min and $\Delta t = 30$ min were used for stepping the triangular hydrograph. The results showed that the change in time step, in other words, change in the number of the steps has little impact on the amount of scour depth of the abutment.

It was found that the difference in the amount of scour depth in two hydrographs is less than 2% and indicates that the time step is not effective in stepping the hydrograph.

By comparing triangular and stepped symmetric hydrographs, it was found that the difference between the values of scour depth was less than 4%, which can be due to the operation of the pump and its adaptation to the required flow rates at different times. Table 1 summarizes the results of the final scour depth in stepped hydrographs.

4. Conclusions

In this study, local scouring of the floodplain bed in a compound channel at the nose of a rectangular abutment under flood wave was investigated. Tests were performed under clear water conditions in uniform sediments with a constant depth. By identifying the parameters affecting scouring and performing dimensional analysis, a relation was defined to calculate the scour temporal changes in terms of dimensionless parameters in the problem. Then, using the results of steady-state flow tests, the root means square error of 0.059 and $R^2 = 0.943$ were calculated. The hydrographs studied in this study have the same duration time. By changing the time of peak discharge, it was observed that the amount of final scour depth does not change, but the temporal development of scouring is different. By comparing the final values of scour in stepwise and non-stepped hydrographs, it was found that there is a slight difference between the values obtained. Using the proposed equation of Oliveto and Hager, the time evolution of the scour calculated and the final value difference with respect to the laboratory tests is 5.2%.

References

- [1] Richardson, E.V., Davis, S.R., 1995. Evaluating scour at bridges, United States. Federal Highway Administration. Office of Technology Applications.
- [2] Raudkivi, A.J., 1998. Loose boundary hydraulics, CRC Press.
- [3] Macky, G., 1990. "Survey of roading expenditure due to scour". CR 90-09, Department of Scientific and Industrial Research, Hydrology Centre, Christchurch, New Zealand.
- [4] Chang, W.Y., Lai, J.S., Yen, C.L., 2004. "Evolution of scour depth at circular bridge piers". *Journal of Hydraulic Engineering*, 130(9) 905-913.
- [5] Lai, J.S., Chang, W.Y., Yen, C.L., 2009. "Maximum local scour depth at bridge piers under unsteady flow". *Journal of Hydraulic Engineering*, 135(7) 609-614.
- [6] Kothyari, U.C., Kumar, A., 2012. "Temporal variation of scour around circular compound piers". *Journal of Hydraulic Engineering*, 138(11) 945-957.
- [7] Zarrati, A.R., Karimaei, M., 2014. "Effect of Hydrograph Peak Time on Local Scour around Bridge Pier". *Journal of Hydraulic* 9(3) 18. (in Persian)
- [8] Hosseini, K., Karami, H., Hosseinjanzadeh, H., Ardeshir, A., 2015. "Prediction of Time-varying Maximum Scour Depth Around Short Abutments using Soft Computing Methodologies-A Comparative Study". *KSCE Journal of Civil Engineering*, 20(5) 2070-2081.
- [9] Oliveto, G., Hager, W.H., 2002. "Temporal evolution of clear-water pier and abutment scour". *Journal of Hydraulic Engineering*, 128(9) 811-820.
- [10] Ballio, F., 2000. Local and contraction scour at bridge abutments, *Building Partnerships*, pp. 1-9.
- [11] Coleman, S.E., Lauchlan, C.S., Melville, B.W., 2003. "Clear-water scour development at bridge abutments", *Journal of Hydraulic Research*, 41(5) 521-531.
- [12] Oliveto, G., Hager, W.H., 2005. "Further results to time-dependent local scour at bridge elements". *Journal of Hydraulic Engineering*, 131(2) 97-105.
- [13] Melville, B., 1992. "Local scour at bridge abutments". *Journal of Hydraulic Engineering*, 118(4) 615-631.
- [14] Chow, V.T., 1959. *Open-channel hydraulics*, McGraw-Hill, Chap. 6, pp. 136-140.
- [15] Kothyari, U.C., Garde, R.C.J., Ranga Raju, K.G., 1992. "Temporal variation of scour around circular bridge piers". *Journal of Hydraulic Engineering*, 118(8) 1091-1106.
- [16] Cardoso A., Bettess, R., 1999. "Effects of time and channel geometry on scour at bridge abutments". *Journal of Hydraulic Engineering*, 125(4) 388-399.

HOW TO CITE THIS ARTICLE:

A. R. Yazdani, K. Hosseini, H. Karami, *Investigation of Scouring at Rectangular Abutments in a Compound Channel under Unsteady Flow (Experimental Study)*, *Amirkabir J. Civil Eng.*, 53(4) (2021): 357-360.

DOI: [10.22060/ceej.2019.17029.6436](https://doi.org/10.22060/ceej.2019.17029.6436)





بررسی آب‌شستگی تکیه‌گاه مستطیلی واقع در کانال مرکب تحت جریان غیرماندگار (مطالعه آزمایشگاهی)

علی‌رضا یزدانی، خسرو حسینی*، حجت کرمی

دانشکده عمران، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران

تاریخچه داوری:

دریافت: ۱۳۹۸/۰۶/۲۱

بازنگری: ۱۳۹۸/۰۸/۲۷

پذیرش: ۱۳۹۸/۰۸/۲۸

ارائه آنلاین: ۱۳۹۸/۰۹/۱۰

کلمات کلیدی:

تکیه‌گاه پل

جریان غیرماندگار

عمق آب‌شستگی

گام زمانی

هیدروگراف پله‌ای

خلاصه: یکی از پارامترهای مهم در طراحی پایه و تکیه‌گاه پلها، محاسبه عمق آب‌شستگی میباشد. روابط اولیه مربوط به تخمین عمق آب‌شستگی در دهه‌های اخیر غالباً برای جریان ماندگار ارائه شده‌اند در حالی که در زمان عبور سیلاب، جریان در رودخانه در شرایط غیرماندگار رخ میدهد که دبی جریان بین یک مقدار پایه و اوج متغیر میباشد، پس انتظار نمیرود مقدار آب‌شستگی محاسبه شده از این روابط با مقدار واقعی که در زمان عبور سیلاب رخ میدهد تطابق زیادی داشته باشد. در این تحقیق به اندازه‌گیری عمق آب‌شستگی در محل یک تکیه‌گاه مستطیلی پل در شرایط مختلف جریان ماندگار و همچنین جریان‌های غیرماندگار به ازاء سیلابهایی با هیدروگرافهای مثلثی و پلهای معادل در یک کانال با سطح مقطع مرکب در شرایط آب زلال پرداخته شد. سپس با استفاده از مقادیر آب‌شستگی اندازه‌گیری شده در جریانهای ماندگار، رابطهای برای تخمین حداکثر عمق آب‌شستگی برحسب پارامتر بدون بعد زمان و شرایط جریان تعیین گردیده است. با تغییر زمان وقوع دبی اوج، میزان تاثیر شیب در دو قسمت بالارونده و پایین رونده هیدروگراف مثلثی بر آب‌شستگی مورد بررسی قرار گرفت. مقایسه آب‌شستگی در دو هیدروگراف پلهای با زمان تداوم یکسان و تعداد پله‌های مختلف نشان داد که اختلاف بین مقادیر آب‌شستگی حاصل در حد ۱/۵٪ میباشد. همچنین نتایج حاصل از اندازه‌گیری عمق آب‌شستگی در هیدروگرافهای مثلثی و پلهای مقایسه گردید.

۱- مقدمه

پی پل‌ها انجام شده‌است. تکیه‌گاه و پایه پل بخشی از پی هر پل را تشکیل می‌دهند و دلیل عمده شکست پل‌ها، وقوع آب‌شستگی در تکیه‌گاه یا پایه در طول زمان عبور سیلاب می‌باشد که نقش باربری نیروهای وارد به سازه را دارند. با یک نگاه به روابط موجود در می‌یابیم که اکثر تحقیقات صورت گرفته بر روی پایه‌ها بوده‌است و این در حالی است که تکیه‌گاه نیز دارای اهمیت فراوانی می‌باشد و همچنین پل در شکل عمومی خود می‌تواند از یک دهانه و دو تکیه‌گاه تشکیل شده باشد.

بر هزینه بودن ساخت و تعمیر یک پل و نیز نقش پل در ایجاد ارتباط بین طرفین رودخانه همواره از اهمیت اجتماعی و اقتصادی زیادی برخوردار بوده است. از این رو پدیده آب‌شستگی موضعی پی پل‌ها که نقش مهمی در تخریب پل‌ها دارد به میزان زیادی توجه مهندسين را به خود جلب نموده بطوری که محاسبه عمق آب‌شستگی در مجاورت پایه و تکیه‌گاه پل‌ها از موضوعات تحقیقاتی مورد توجه مهندسين هیدرولیک در طی دهه‌های اخیر قرار گرفته بوده و تحقیقات فراوانی برای یافتن روابط جهت تخمین عمق آب‌شستگی

ریچاردسون و دیویس^۱ [۱] اشاره کرده‌اند که طبق آمار ارائه شده

* نویسنده عهده‌دار مکاتبات: khhoseini@semnan.ac.ir

1 Richardson & Davis

حقوق مؤلفین به نویسندگان و حقوق ناشر به انتشارات دانشگاه امیرکبیر داده شده است. این مقاله تحت لیسانس آفرینندگی مردمی (Creative Commons License) در دسترس شما قرار گرفته است. برای جزئیات این لیسانس، از آدرس <https://www.creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode> دیدن فرمائید.



آب‌شستگی می‌شود.

کریمایی و زراتی [۸] به بررسی تأثیر زمان وقوع اوج سیلاب بر آب‌شستگی دور پایه پل پرداختند و هیدروگراف‌هایی با زمان تداوم یکسان ولی زمان وقوع اوج متفاوت و هیدروگراف‌هایی با دو اوج متوالی و با شرایط جریان متفاوت در زمان اوج را مورد آزمایش قرار دادند. نتایج آزمایش‌های انجام شده نشان داد که برای هیدروگراف‌های با زمان تداوم ثابت، زمان وقوع دبی اوج سیلاب تأثیرناچیزی بر عمق آب‌شستگی نهایی داشته ولی این زمان بر توسعه زمانی آب‌شستگی مؤثر می‌باشد. همچنین برای هیدروگراف‌های با دو اوج متفاوت و زمان تداوم یکسان نیز زمان وقوع اوج‌ها بر توسعه زمانی عمق آب‌شستگی مؤثر بوده، ولی تأثیر ناچیزی بر عمق آب‌شستگی نهایی دارد. ایشان همچنین تغییرات زمانی عمق آب‌شستگی برای هیدروگراف‌های مورد مطالعه را با استفاده از مدل هیدروگراف پله‌ای و استفاده از روابط برآورد نرخ آب‌شستگی در شرایط جریان ماندگار مورد بررسی قرار دادند و نتیجه گرفتند که در بهترین حالت محاسبه عمق آب‌شستگی نهایی با استفاده از مدل هیدروگراف پله‌ای با خطای متوسطی در حدود ۱۰ درصد همراه می‌باشد.

حسینی و همکاران [۹] در بررسی آزمایشگاهی عمق بیشینه آب‌شستگی و همچنین تغییرات زمانی عمق آب‌شستگی موضعی در تکیه‌گاه‌های کوتاه با دیواره‌های قائم، باله‌ای و نیم دایره‌ای نتیجه گرفتند که ۷۰-۹۰ درصد از عمق آب‌شستگی تعادلی در طی ۲۰٪ ابتدای زمان تعادل آب‌شستگی رخ می‌دهد. همچنین با بهره‌گیری از رگرسیون غیر خطی و شبکه عصبی مصنوعی و سیستم استنتاج عصبی فازی سازگار^۷ در تخمین تغییرات زمانی عمق آب‌شستگی تکیه‌گاه و مقایسه آن با روابط تجربی نتیجه گرفتند که مدل رگرسیونی به‌دست آمده با $R^2 = 0/88$ دقیق‌تر و کاربردی‌تر است.

محمدپور و همکاران [۱۰] به بررسی آزمایشگاهی تغییرات زمانی عمق آب‌شستگی تکیه‌گاه قائم کوتاه در شرایط آب زلال پرداختند. نتایج آزمایش‌های ایشان نشان داد که ابعاد حفره آب‌شستگی در امتداد جریان در حدود ۳ تا ۵ برابر طول تکیه‌گاه می‌باشد. تحلیل‌ها نشان داد که تکنیک‌های رگرسیون خطی و برنامه‌نویسی ژنتیکی برای محاسبه آب‌شستگی کاربردی‌تر هستند. آنالیزهای حساسیت نشان دادند که پارامترهای t/t_e و L/y و u/u_* به‌ترتیب بیشترین

توسط اداره راه‌های ایالات متحده آمریکا در سال ۱۹۷۸ از میان ۳۸۳ پل تخریب شده، ۲۵٪ از آن‌ها ناشی از تخریب پایه و ۷۲٪ از آن‌ها ناشی از تخریب تکیه‌گاه بوده است. ساترلند^۱ [۲] خرابی‌های پل‌ها در نیوزیلند را در طی سال‌های ۱۹۶۰ تا ۱۹۸۴ بررسی نموده و نتیجه گرفته است که از میان ۱۰۸ خرابی بزرگ، ۲۹ مورد مربوط به خرابی تکیه‌گاه بوده است. رادکیوی^۲ [۳] نیز در بررسی‌های خود نشان داده است که یک سوم شکست پل‌ها ناشی از خرابی تکیه‌گاه بوده است. مک‌کی^۳ [۴] در گزارشی ۷۰٪ هزینه‌های ناشی از شکست پل‌ها در نیوزیلند را ناشی از خرابی تکیه‌گاه دانست.

چنگ و همکاران^۴ [۵] آزمایش‌هایی را بر روی پایه‌های پل در جریان ماندگار و غیرماندگار و در شرایط آب زلال برای رسوبات یکنواخت و غیر یکنواخت انجام دادند و سپس با استفاده از روشی مبتنی بر مفهوم لایه اختلاط روابلی را برای محاسبه تغییرات زمانی عمق آب‌شستگی تحت شرایط جریان ماندگار در رسوبات غیریکنواخت ارائه نمودند و سپس نشان دادند با استفاده از این روابط و مدل هیدروگراف پله‌ای می‌توان با دقت خوبی مقدار آب‌شستگی در زمان عبور سیلاب را در یک رودخانه محاسبه نمود.

لای و همکاران^۵ [۶] با در نظر گرفتن هیدروگراف‌های سیل با شاخه‌های بالارونده متفاوت به تحلیل تغییرات زمانی آب‌شستگی موضعی در محل پایه پل تحت شرایط جریان غیرماندگار پرداختند و رابطه‌ای برای تخمین بیشینه عمق آب‌شستگی در شرایط آب‌زال و رسوبات یکنواخت ارائه نمودند. ایشان از دو پارامتر دبی اوج و زمان رسیدن به دبی اوج در هیدروگراف برای نشان دادن غیرماندگاری جریان بهره گرفتند.

کوتیاری و کومار^۶ [۷] به بررسی عمق آب‌شستگی در اطراف پایه‌های دایره‌ای شکل پل در شرایط بستر یکنواخت، غیریکنواخت و لایه‌ای در جریان ماندگار و غیرماندگار در شرایط آب زلال پرداختند. ایشان با در نظر گرفتن گرداب اولیه ایجاد شده به عنوان عامل اصلی آب‌شستگی، روشی را برای محاسبه عمق آب‌شستگی بر حسب زمان ارائه نمودند که در زمان‌های طولانی منجر به وقوع بیشینه عمق

- 1 Sutherland
- 2 Raudkivi
- 3 Macky
- 4 Chang et al.
- 5 Lai et al.
- 6 Kothyari & Kumar

$$F_d = \frac{V}{(g'd_{50})^{0.5}} \quad (2)$$

$$g' = \left(\frac{\rho_s - \rho}{\rho}\right)g \quad (3)$$

که V سرعت متوسط جریان، ρ دانسیته سیال، ρ_s دانسیته رسوب و g شتاب جاذبه است.

اولیوتو و هگر با استفاده از رابطه‌ی ۱ روندی را برای محاسبه حداکثر عمق آبشستگی پایه و تکیه‌گاه پل در جریان غیرماندگار پیشنهاد نمودند. همچنانکه از این رابطه مشخص است عدد فرود ذره رسوب F_d پارامتر غالب بر فرآیند آبشستگی است و طبق نتایج آزمایش‌های انجام شده، عدد فرود آستانه حرکت F_t در محدوده $0.16 < F_t < 1$ گزارش شده است.

در این تحقیق ضمن انجام آزمایش‌های جریان ماندگار و به‌دست آوردن رابطه‌ای برای تخمین مقدار عمق آبشستگی نهایی در تکیه‌گاه، پارامترهای موثر بر آبشستگی تحت تاثیر عبور جریان غیرماندگار و هیدروگراف‌های مطرح شده مورد بررسی قرار گرفته است. از طرفی برای شبیه‌سازی شرایط طبیعی یک رودخانه از یک کانال با مقطع مرکب به جای کانال مستطیلی بهره گرفته شده است. جانمایی تکیه‌گاه در کانال مرکب به منظور لحاظ نمودن جریانات ثانویه در آبشستگی تکیه‌گاه می‌باشد که خود به عنوان یک موضوع جداگانه قابل توسعه می‌باشد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- تجهیزات

برای انجام آزمایش‌های این تحقیق از یک دستگاه فلوم واقع در آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه آزاد نجف آباد استفاده شد. فلوم مطابق شکل ۱ به طول ۱۲ متر، عرض ۱ متر و ارتفاع ۰/۸ متر که در انتهای آن یک دریچه که با کابل حرکت می‌کند و برای کنترل عمق به کار می‌رود استفاده شده است. ناحیه فرسایش‌پذیر در فاصله ۶ متری از ابتدای فلوم و دارای طول ۳/۵ متر و عمق ۴۲ سانتی‌متر می‌باشد.

پمپ مورد استفاده در فلوم دارای دبی اسمی ۱۲۰ لیتر در ثانیه است و دبی توسط یک دستگاه دبی‌سنج اولتراسونیک که بر روی لوله مکش پمپ نصب شده اندازه‌گیری می‌شود. صفحه نمایشگر دبی‌سنج مطابق شکل ۲ بر روی دستگاهی نصب شده که با اتصال پمپ و دبی‌سنج به درایور داخل آن، عمل ایجاد و کنترل دبی‌های مختلف را

تاثیر را بر روی آبشستگی موضعی دارند.

سوابق تحقیقات گذشته نشان می‌دهد که اکثر روابط اولیه مطرح شده در زمینه تخمین عمق آبشستگی تکیه‌گاه پل بر اساس نتایج به‌دست آمده از تحقیقات برای شرایط جریان ماندگار استوار بوده است در نتیجه مقدار عمق آبشستگی محاسبه شده در این روابط یک مقدار بیشینه خواهد بود که هرگز در طول یک سیلاب رخ نخواهد داد و قطعا پاسخ‌های به‌دست آمده از این روابط اقتصادی نخواهند بود. از این رو آنچه‌که در خصوص پدیده آبشستگی اهمیت فراوان دارد، شرایط جریان غیرماندگار است که در واقع به خصوصیات هیدروگراف سیلاب عبوری بستگی دارد. از خصوصیات مهم هیدروگراف سیلاب عبوری می‌توان دبی اوج سیلاب، زمان وقوع دبی اوج و زمان تداوم هیدروگراف را نام برد.

در این زمینه تحقیقات فراوانی جهت بهره‌گیری از روابط ارائه شده در خصوص محاسبه حداکثر عمق آبشستگی تکیه‌گاه پل در جریان ماندگار و توسعه این روابط به جریان غیرماندگار انجام شده است. روابط ارائه شده تحت جریان ماندگار در برگزیده پارامترهای مربوط به جریان، رسوبات کف و هندسه تکیه‌گاه بوده و غالباً برای کانال مستطیلی به‌دست آمده‌اند. اولیوتو و هگر^۱ [۱۱] رابطه‌ای برای محاسبه عمق آبشستگی d_s برحسب زمان t به‌دست آوردند و دریافتند که عدد فرود ذره رسوب F_d بیشترین تاثیر را بر پدیده آبشستگی دارد. آن‌ها رابطه‌ی ۱ را برای تعیین عمق آبشستگی ارائه نمودند.

$$\frac{d_s}{(yL_a^2)^{\frac{1}{3}}} = 0.068N\sigma_g^{-1/2}F_d^{1.5}\text{Log}\left(\frac{(g'd_{50})^{0.5}}{(yL_a^2)^{\frac{1}{3}}}t\right) \quad (1)$$

که در آن N ضریب شکل و مقدار آن برای پایه‌ی استوانه‌ای برابر با ۱ و برای تکیه‌گاه مستطیلی برابر با ۱/۲۵، L_a طول تکیه‌گاه عمود بر جهت جریان، y عمق جریان، σ_g انحراف معیار توزیع ذرات و d_{50} اندازه متوسط ذرات رسوب و شتاب ثقل کاهش یافته می‌باشند، عدد فرود ذره رسوب و g' شتاب ثقل کاهش یافته از روابط ۲ و ۳ قابل محاسبه‌اند.

1 Oliveto & Hager

2 Reduced gravitational acceleration



شکل ۱. فلوم آزمایشگاهی
Fig. 1. Experimental flum

عمق در فلوم، شرایط خواسته شده در جریان را ایجاد نمود. برای اندازه‌گیری تغییرات شکل بستر از یک دستگاه برداشت پروفیل رسوب لیزری که در شکل ۳ نشان داده شده با امکان حرکت در جهت طولی و عرضی کانال و بهره‌گیری از یک سنسور لیزری با دقت ۰/۵ میلی‌متر استفاده گردید. رسوبات استفاده شده در کف کانال از جنس سیلیس با دانه‌بندی نشان داده شده در شکل ۴ می‌باشد. مطابق دانه‌بندی فوق قطر متوسط اندازه رسوب $d_{50} = 1 \text{ mm}$ و ضریب یکنواختی $\sigma_g = 1/36$ در محدوده دانه‌بندی یکنواخت $1/4 < \sigma_g$ در نظر گرفته شده است [۵].

از آنجایی که هدف از انجام این تحقیق بررسی عمق آب‌شستگی در دماغه تکیه‌گاه پل‌ها واقع در سیلاب‌دشت است، عرض سیلاب‌دشت



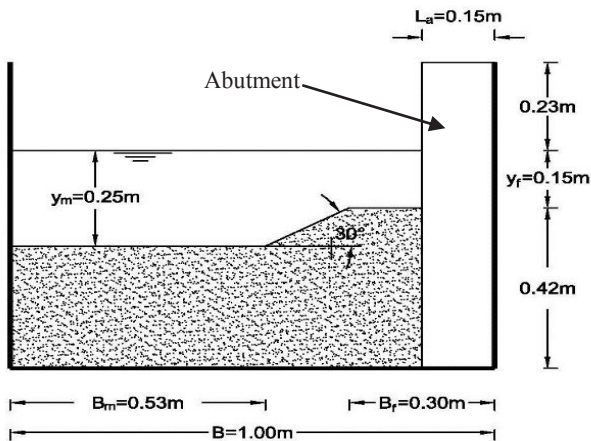
شکل ۲. نمایشگر دستگاه دبی‌سنج
Fig. 2. Flow meter monitor

انجام می‌دهد. دبی‌های مختلف از طریق تغییر در فرکانس برق و تغییر در سرعت گردش موتور پمپ ایجاد می‌شود. برای ایجاد هیدروگراف می‌توان با تنظیم دستگاه و اتصال آن به کامپیوتر، هیدروگراف از پیش طراحی شده را ایجاد نمود. بدین ترتیب می‌توان در هر لحظه با تنظیم



شکل ۳. دستگاه پروفیل رسوب
Fig. 3. Bed Profiler





شکل ۵. مقطع عرضی فلوم در محل تکیه‌گاه
Fig. 5. Cross-section of the flume at the abutment

از فلوم انجام گردید. با انتخاب تکیه‌گاه کوتاه $L_a/y < 1$ بر اساس مرجع [۱۵] می‌توان از اثر عمق جریان بر آب‌شستگی صرف نظر نمود، لذا مقدار عمق جریان در سیلاب‌دشت $y_f = 150 \text{ mm}$ و به تبع آن در کانال اصلی $y_m = 250 \text{ mm}$ انتخاب شد. جهت کنترل عمق در کانال یک خط‌کش درفاصله ۱ متری بالادست محل قرارگیری تکیه‌گاه بر روی دیواره فلوم نصب گردید.

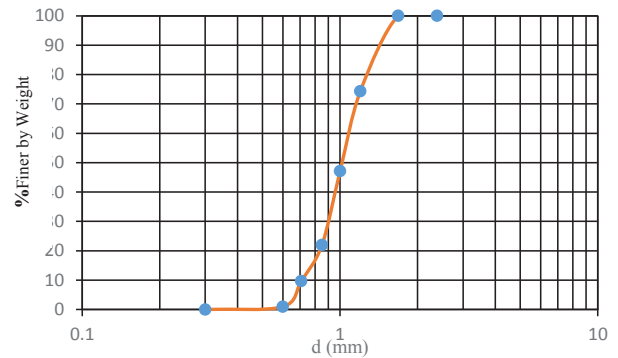
۲-۲- محاسبات مقطع مرکب

طبق مشاهدات حرکت ذرات رسوب در کانال اصلی زودتر از سیلاب‌دشت رخ می‌دهد پس تنش برشی در کف کانال اصلی زودتر از سیلاب‌دشت به حالت بحرانی می‌رسد. از این رو سرعت برشی بحرانی در کانال اصلی با توجه به اندازه ذره رسوب و عمق جریان از نمودار شیلدز برابر با $u_{*c} = 0.24 \text{ m/s}$ محاسبه گردید. با استفاده از رابطه‌ی ۴ ضریب شزی و دبی جریان در مقطع مرکب به روش چاو^۲ [۱۶] برابر با $88/7$ لیتر در ثانیه محاسبه گردید.

$$C = 18 \text{Log} \left(\frac{12R}{d_{50} + \frac{3.3\nu}{u_*}} \right) \quad (4)$$

که C ضریب شزی، R شعاع هیدرولیکی و لزجت سینماتیکی سیال می‌باشد.

با توجه به آزمایش‌های انجام شده مشاهده شد که حرکت در



شکل ۴. منحنی دانه‌بندی رسوبات کف
Fig. 4. Sediment size distribution curve

B_f نسبت به عرض فلوم B می‌بایست به نحوی انتخاب گردد که دیواره کانال اصلی (دیواره مقابل تکیه‌گاه) بر آب‌شستگی موضعی در دماغه تکیه‌گاه تاثیر ناچیزی داشته باشد. طبق نظر بالیو^۱ [۱۲] به ازای $B_f/B < 0.33$ تاثیر دیواره در آب‌شستگی ناچیز است پس 0.3 انتخاب شد و پس از انجام آزمایش مشخص شد که تاثیر دیواره کانال اصلی بر فرسایش در محل تکیه‌گاه ناچیز است و بنابراین 300 mm B_f انتخاب گردید.

لازم است طول تکیه‌گاه عمود بر جهت جریان نسبت به عرض سیلاب‌دشت به نحوی انتخاب گردد که علاوه بر جلوگیری از تاثیر دیواره، عمق آب‌شستگی در حد عمق چاله رسوب در فلوم باشد. با انتخاب نسبت طول تکیه‌گاه به عرض سیلاب‌دشت برابر با $L_a/B_f = 1$ یعنی با مقادیر $B_f = L_a = 300 \text{ mm}$ اقدام به ساخت مدل شد و مشاهده گردید به ازای دبی 80 لیتر در ثانیه، مقدار آب‌شستگی در حدی است که به کف فلوم می‌رسد. از این رو اقدام به طراحی مدل و ساخت تکیه‌گاه با طول کوتاه‌تر $L_a = 150 \text{ mm}$ گردید و مشاهده شد که مقادیر آب‌شستگی موضعی در حد قابل قبول بوده و ارتفاع ماسه در چاله فرسایش جواب‌گوی مقادیر حداکثر آب‌شستگی موضعی ایجاد شده است. از طرفی با توجه به این معیار که تکیه‌گاه در سیلاب‌دشت قرار دارد اثر طول تکیه‌گاه و عرض سیلاب‌دشت در آب‌شستگی قابل صرف نظر است [۱۳].

در این تحقیق پهنای تکیه‌گاه در امتداد جریان برابر با 150 mm است و طبق [۱۴] تاثیری بر عمق آب‌شستگی ندارد.

اندازه‌گیری عمق آب‌شستگی از طریق خط‌کش مدرج نصب شده بر روی دماغه تکیه‌گاه و قرائت آن به کمک دوربین واقع در خارج

جریان و شکل سطح مقطع کانال بالادست می‌باشند. با استفاده از قضیه باکینگهام می‌توان پارامترهای بدون بعد موثر در مقدار آب‌شستگی تعادلی را محاسبه نمود. عمق آب‌شستگی در هر لحظه علاوه بر پارامترهای فوق به پارامتر بدون بعد زمان نیز بستگی دارد [۱۸]:

$$\frac{d_s}{d_{se}} = f\left(\frac{t}{t_e}, \frac{L}{y}, \frac{d_{50}}{L}, \frac{V^2}{gd_{50}}, \text{Re}, \sigma_g, Al, Sh, G\right) \quad (6)$$

که d_s عمق آب‌شستگی در لحظه t و t_e زمان تعادلی آب‌شستگی می‌باشد.

از آنجایی که در این تحقیق $L_a > 50d_{50}$ است از اثر اندازه رسوب می‌توان صرف نظر نمود. در تکیه‌گاه قائم و با امتداد عمود بر جریان واقع در سیلاب‌دشت و با فاصله کافی از لبه کانال اصلی، تاثیر پارامترهای Sh و Al و G از رابطه فوق حذف می‌گردد. همچنین اثر معیار توزیع دانه‌بندی رسوبات به علت یکنواختی دانه بندی رسوبات حذف می‌گردد. از طرفی می‌توان به خاطر قوی بودن سیستم گردابی در اطراف پایه و تکیه‌گاه، از اثرات لزجت در فرآیند آب‌شستگی صرف نظر کرد [۱۳، ۱۵]. همچنین می‌توان عبارت مربوط به شدت جریان را با عبارت u_* / u_{*c} جایگزین نمود [۱۹]. بدین ترتیب رابطه ۷ را می‌توان چنین ارائه نمود:

$$\frac{d_s}{d_{se}} = f\left(\frac{t}{t_e}, \frac{u_*}{u_{*c}}\right) \quad (7)$$

۲-۴- محاسبه عمق آب‌شستگی

به منظور به‌دست آوردن رابطه ای برای محاسبه تغییرات زمانی عمق آب‌شستگی تکیه‌گاه در شرایط آب زلال $u_* / u_{*c} < 1$ جریان ماندگار و عمق ثابت، با به کار گیری ضریب کالیبراسیون a و توان‌های b و c برای پارامترهای بدون بعد زمان t/t_e و عبارت u_* / u_{*c} رابطه‌ی ۸ از رابطه‌ی ۷ حاصل شد.

$$\frac{d_s}{d_{se}} = a \left(\frac{t}{t_e}\right)^b \left(\frac{u_*}{u_{*c}}\right)^c \quad (8)$$

بستر کانال اصلی در دبی ۸۴ لیتر در ثانیه یعنی در محدوده ۹۵٪ معیار آستانه حرکت شیلدز $u_* / u_{*c} = 0.95$ رخ می‌دهد. از آنجاییکه تغییرات زمانی آب‌شستگی به ازای $u_* / u_{*c} < 0.5$ متوقف می‌شود [۱۷] و هدف از انجام این تحقیق بررسی آب‌شستگی در شرایط آب زلال است. برای اطمینان از اصول ایجاد شرایط آب زلال، محدوده شرایط جریان $0.9 < u_* / u_{*c} < 0.5$ انتخاب گردید.

در جدول ۱ به ازای هریک از شرایط جریان انتخاب شده در این تحقیق سرعت برشی u_* در کانال اصلی معین شد. سپس با داشتن سرعت برشی، ضریب شزی و دبی جریان در کانال اصلی و سیلاب‌دشت با بهره گیری از نرم‌افزار اکسل محاسبه گردید. مطابق این جدول آزمایش‌های جریان ماندگار با علامت S که نشانه ماندگاری جریان و عدد مجاور، نشان دهنده شرایط جریان با توجه به نسبت سرعت برشی به سرعت برشی بحرانی است.

۲-۳- آنالیز ابعادی

عمق آب‌شستگی تعادلی (حداکثر عمق آب‌شستگی) در تکیه‌گاه به متغیرها و پارامترهای زیر بستگی دارد [۱۵]:

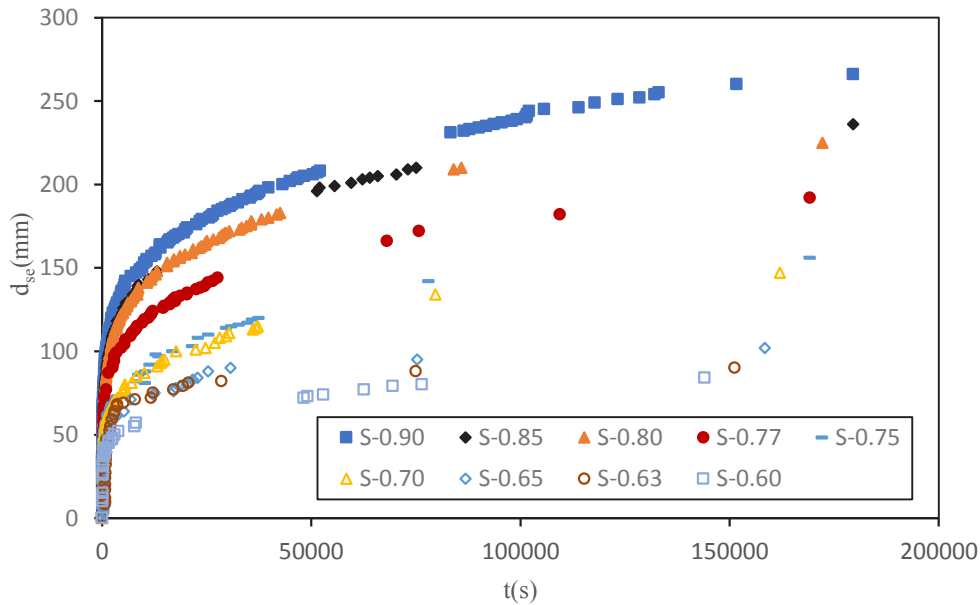
$$d_{se} = f(\rho, \nu, V, y, \rho_s, d_{50}, \sigma_g, L, Sh, Al, G, g) \quad (5)$$

که d_{se} عمق آب‌شستگی تعادلی، ν لزجت سینماتیک سیال، y عمق جریان، L طول تکیه‌گاه، Sh و Al پارامترهای مربوط به شکل و امتداد تکیه‌گاه و G پارامتر مربوط به اثرات توزیع عرضی

جدول ۱. نتایج حاصل از آب‌شستگی نهایی در جریان ماندگار

Table 1. Results of final scouring in steady flow

u_* / u_{*c}	Q (lit/s)	d_{se} (mm)	t_e (s)	شماره آزمایش
۰/۹	۷۹/۷	۲۶۶	۱۷۹۵۳۲	S-۰/۹۰
۰/۸۵	۷۵/۲	۲۳۶	۱۷۹۵۳۲	S-۰/۸۵
۰/۸۰	۷۰/۷	۲۲۵	۱۷۲۱۸۸	S-۰/۸۰
۰/۷۷	۶۷/۷	۱۹۲	۱۶۹۲۰۰	S-۰/۷۷
۰/۷۵	۶۶/۲	۱۵۶	۱۶۹۲۰۰	S-۰/۷۵
۰/۷۰	۶۱/۷	۱۴۷	۱۶۲۰۰۰	S-۰/۷۰
۰/۶۵	۵۷/۲	۱۰۲	۱۵۸۴۰۰	S-۰/۶۵
۰/۶۳	۵۵/۷	۹۰	۱۵۱۲۰۰	S-۰/۶۳
۰/۶۰	۵۲/۷	۸۴	۱۴۴۰۰	S-۰/۶۰



شکل ۶. منحنی تغییرات عمق آب شستگی تکیه گاه بر حسب زمان تحت جریان ماندگار
Fig. 6. Temporal variations of abutment scour depth under steady flow

۳- نتایج و بحث

۳-۱- تحلیل آزمایش های جریان ماندگار

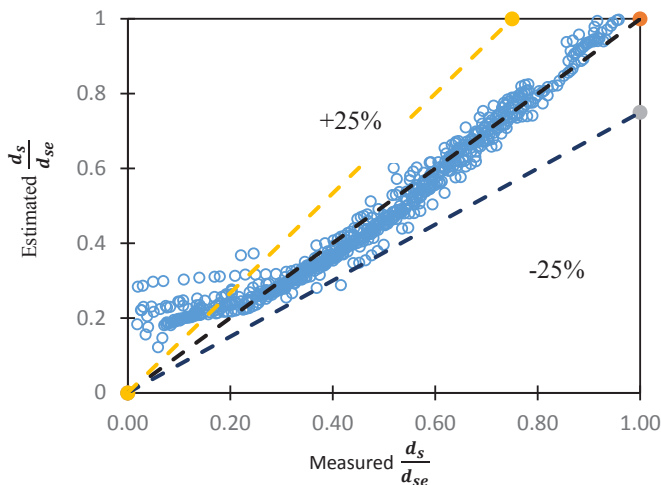
در جدول ۱ و شکل ۶ نتایج مربوط به آزمایش های جریان ماندگار ارائه شده است. با استفاده از رگرسیون چند متغیره، ضرایب رابطه‌ی ۸ محاسبه شد و مقدار جذر میانگین مربعات خطا برابر با ۰/۰۵۵ و $R^2 = ۰/۹۴۳$ به دست آمد.

با به کارگیری رابطه‌ی ۹ مقدار عمق آب شستگی در شرایط مختلف

$$\frac{d_s}{d_{se}} = 1.035 \left(\frac{t}{t_e} \right)^{0.223} \left(\frac{u_*}{u_{*c}} \right)^{-0.287} \quad (9)$$

جریان تخمین زده شد و سپس با مقادیر آب شستگی اندازه گیری شده مقایسه گردید. نتیجه این مقایسه در شرایط مختلف جریان در شکل ۷ نشان داده شده است. در مقایسه مقادیر محاسبه شده از رابطه‌ی ۹ با مقادیر اندازه گیری شده نتیجه گرفته شد که در محدوده‌ی ۲۰٪ اولیه آب شستگی مقادیر محاسبه شده، ۲۵٪ بیشتر از مقادیر اندازه گیری شده است. به عبارت دیگر مقدار آب شستگی در لحظات اولیه که دارای نرخ تغییرات بیشتری می باشد، کمتر از آب شستگی محاسبه شده از رابطه‌ی ۹ است که این پدیده به خاطر شروع آب شستگی از کناره دیواره تکیه گاه و سپس افزایش آن در داغ تکیه گاه می باشد.

شکل ۸ نمای سه بعدی چاله آب شستگی ایجاد شده و شکل



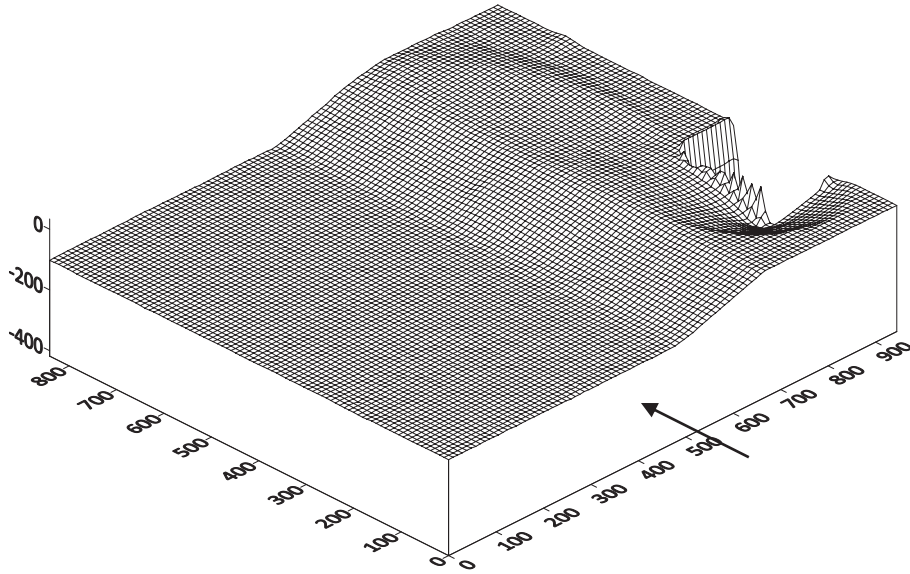
شکل ۷. مقایسه مقادیر بدون بعد آب شستگی اندازه گیری شده و محاسبه شده

Fig. 7. Comparison of dimensionless values of scour measured and calculated

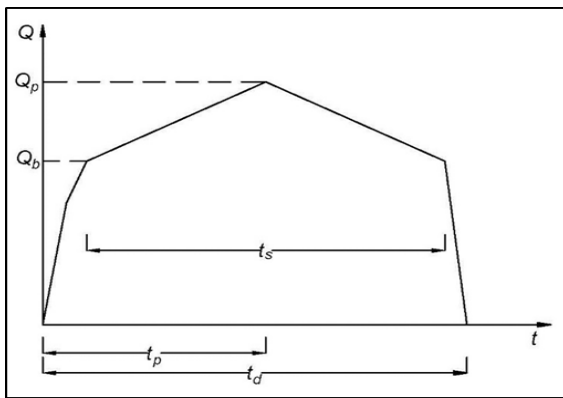
۹ توپوگرافی آب شستگی در اطراف دیواره تکیه گاه در آزمایش $S = ۰/۶۰$ که به وسیله‌ی دستگاه برداشت پروفیل رسوب اندازه گیری شده است را نشان می دهد.

۳-۲- تحلیل آزمایش های جریان غیر ماندگار

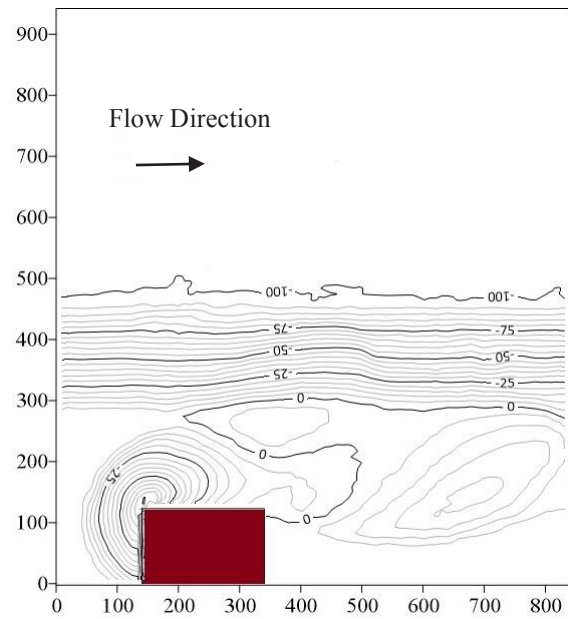
به منظور بررسی مقدار عمق آب شستگی تکیه گاه، در جریان غیرماندگار هیدروگراف ساده مثلثی متقارن مطابق شکل ۱۰ استفاده شد که در آن t_p زمان وقوع دبی اوج، t_s بازه زمانی وقوع



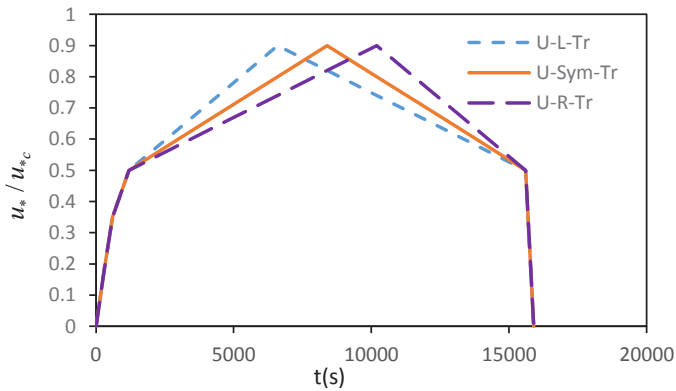
شکل ۸. نمای سه بعدی چاله آب‌شستگی در آزمایش S-0.6
Fig. 8. Three dimensional sketch of scour hole in S-0.6 test



شکل ۱۰. شمای هیدروگراف مثلثی
Fig. 10. Triangular hydrograph schema



شکل ۹. توپوگرافی آب‌شستگی در آزمایش S-0.6
Fig. 9. Scour topography in the test S-0.6



شکل ۱۱. هیدروگراف‌های مورد آزمایش
Fig. 11. Tested hydrographs

آب‌شستگی، t_d زمان تداوم هیدروگراف، Q_p دبی اوج و Q_b دبی آستانه حرکت رسوب (آغاز آب‌شستگی) در نظر گرفته‌شد. جهت بررسی تاثیر زمان وقوع دبی اوج بر عمق آب‌شستگی تکیه‌گاه، هیدروگراف‌های غیر متقارن نیز مطابق شکل ۱۱ طراحی گردید و محدوده تغییرات دبی در تمامی آن‌ها از $43/7$ تا $79/7$ لیتر در ثانیه که معادل با تغییرات پارامتر u^*/u^*_{cr} از $0/5$ تا $0/9$ می‌باشد در نظر

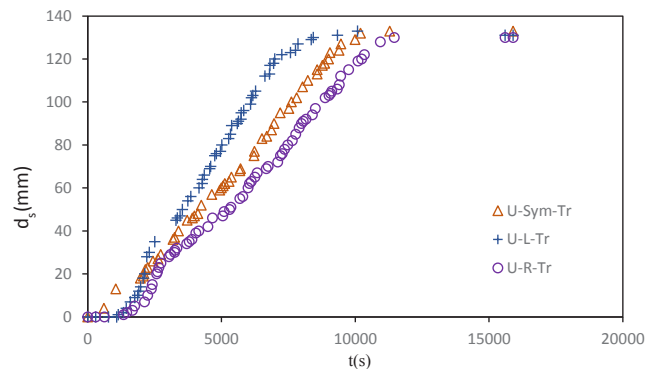
جدول ۲. مشخصات و نتایج مربوط به آبشستگی در هیدروگراف‌های مثلثی مورد آزمایش

Table 2. Characteristics and results of scouring in triangular tested hydrograph

d_{se} (mm)	Q_b (lit / s)	Q_p (lit / s)	t_d (s)	t_s (s)	t_p (s)	شماره آزمایش
۱۳۱	۴۳/۷	۷۹/۷۲	۱۵۹۰۰	۱۴۴۰۰	۶۶۰۰	U-L-Tr
۱۳۳	۴۳/۷	۷۹/۷۲	۱۵۹۰۰	۱۴۴۰۰	۸۴۰۰	U- Sym-Tr
۱۳۰	۴۳/۷	۷۹/۷۲	۱۵۹۰۰	۱۴۴۰۰	۱۰۲۰۰	U-R-Tr

در شکل هیدروگراف تأثیری بر میزان آبشستگی نهایی ندارد. اما زمان رسیدن به آبشستگی نهایی بستگی به زمان اوج هیدروگراف و شیب قسمت بالارونده هیدروگراف دارد. با کاهش زمان وقوع دبی اوج و افزایش شیب منحنی بالارونده، آبشستگی نهایی زودتر رخ می‌دهد. به عبارتی با کاهش زمان دبی اوج، در شاخه بالارونده هیدروگراف، آبشستگی با شدت بیشتری نسبت به شاخه پایین‌رونده رخ می‌دهد. اختلاف بین مقدار آبشستگی نهایی در هیدروگراف‌های مثلثی متقارن و غیر متقارن بسیار اندک و عملاً برابر است، بنابراین در ادامه تحقیق هیدروگراف مثلثی متقارن به عنوان هیدروگراف مینا برای طراحی هیدروگراف‌های پله‌ای مورد استفاده قرار گرفت. زراتی و کریمی‌ا [۸] در بررسی آبشستگی موضعی در اطراف پایه‌های پل نیز نشان دادند که برای هیدروگراف‌های با زمان تداوم ثابت زمان وقوع دبی اوج سیلاب تأثیر ناچیزی در عمق آبشستگی نهایی دارد ولی این زمان بر توسعه زمانی آبشستگی موثر است.

مدت زمان آبشستگی در هیدروگراف‌ها برابر با ۱۴۴۰۰ ثانیه در نظر گرفته شده که معادل فاصله زمانی شرایط جریان در پارامتر U_{*c} / U_{*c} در شاخه بالارونده و پایین‌رونده است. دو هیدروگراف پله‌ای مورد استفاده به ترتیب با گام‌های زمانی ۲۵۲۰ ثانیه (۴۲ دقیقه) و ۱۸۰۰ ثانیه (۳۰ دقیقه) که مشخصات آن‌ها در جدول ۳ ارائه گردیده، در شکل‌های ۱۳ و ۱۴ نشان داده شده‌اند. در جدول



شکل ۱۲. تغییرات زمانی آبشستگی تکیه‌گاه در هیدروگراف‌های مثلثی مورد آزمایش

Fig. 12. Temporal variations of abutment scouring in triangular hydrographs tested

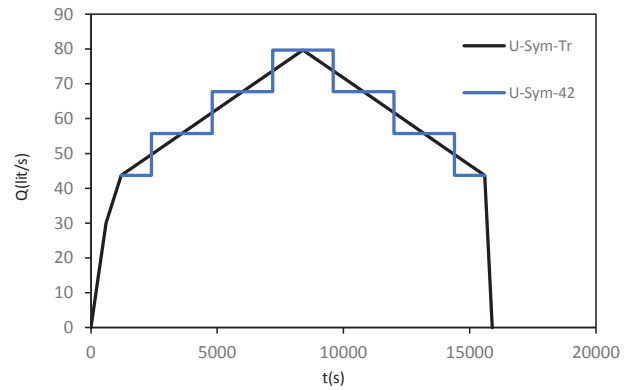
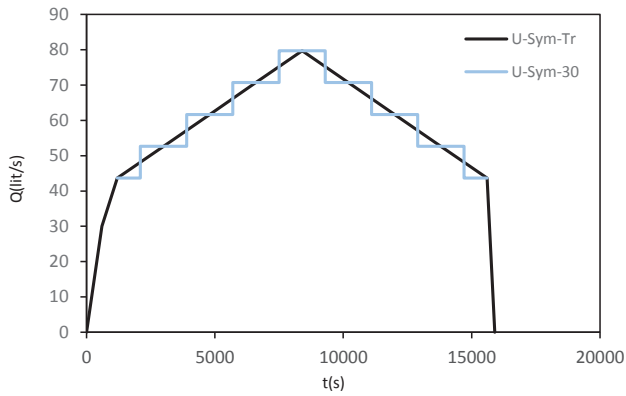
گرفته شده است. در این هیدروگراف‌ها حرف U نشان دهنده جریان غیرماندگار، بخش دوم نشان دهنده تقارن یا عدم تقارن شکل به سمت چپ و یا راست و عبارت سوم نوع هیدروگراف را از لحاظ مثلثی و پله‌ای بودن نشان می‌دهد. مشخصات و نتایج حاصل از آبشستگی در هیدروگراف‌های مورد آزمایش در جدول ۲ ارائه گردیده است.

تغییرات زمانی آبشستگی تکیه‌گاه در هر یک از هیدروگراف‌های مورد آزمایش در شکل ۱۲ نشان داده شده است. طبق این شکل مقدار آبشستگی نهایی در هیدروگراف‌های U-L-Tr، U-Sym-Tr و U-R-Tr تقریباً برابر است و نشان دهنده عدم تأثیر زمان وقوع دبی اوج در مقدار آبشستگی نهایی است. به عبارتی عدم تقارن

جدول ۳. مشخصات هیدروگراف‌های پله‌ای مورد آزمایش

Table 3. Characteristics of stepped hydrographs used in experiments

Δt (s)	Q_b (lit / s)	Q_p (lit / s)	t_d (s)	t_s (s)	t_p (s)	شماره آزمایش
۲۵۲۰	۴۳/۶۸	۷۹/۷۲	۱۵۹۰۰	۱۴۴۰۰	۶۶۰۰	U-Sym-42
۱۸۰۰	۴۳/۶۸	۷۹/۷۲	۱۵۹۰۰	۱۴۴۰۰	۶۶۰۰	U-Sym-30



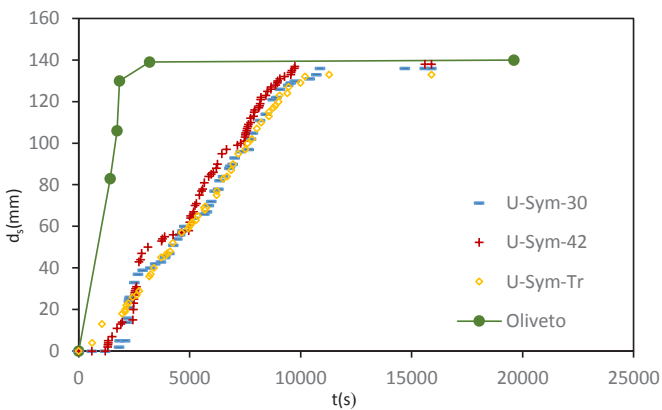
شکل ۱۴. هیدروگراف مثلثی متقارن و پله‌ای با $\Delta t = 30 = t_{min}$
Fig. 14. Symmetrical and stepped triangular hydrograph with $\Delta t = 42$ min

شکل ۱۳. هیدروگراف مثلثی متقارن و پله‌ای با $\Delta t = 42 = t_{min}$
Fig. 13. Symmetrical and stepped triangular hydrograph with $\Delta t = 42$ min

جدول ۴. مقایسه آب‌شستگی نهایی در هیدروگراف‌های مثلثی و پله‌ای

Table 4. Comparing of final scour depth in stepped and triangular hydrographs

هیدروگراف مثلثی	هیدروگراف پله‌ای		نوع هیدروگراف
U-Sym-Tr	U-Sym-30	U-Sym-42	آب‌شستگی نهایی (میلی‌متر)
۱۳۳	۱۳۶	۱۳۸	



شکل ۱۵. تغییرات زمانی آب‌شستگی تکیه‌گاه در هیدروگراف‌های مثلثی و پله‌ای

Fig. 15. Temporal variations of abutment Scouring in Triangular and Stepped Hydrographs

۴- نتیجه‌گیری

در این تحقیق آب‌شستگی بستر سیلاب‌دشت در یک کانال با مقطع مرکب در محل دماغه تکیه‌گاه مستطیلی و تحت تاثیر عبور هیدروگراف ساده یک سیل به صورت آزمایشگاهی مورد بررسی قرار گرفته است. آب‌شستگی در شرایط آب زلال در رسوبات با دانه‌بندی

۴ مقادیر آب‌شستگی اندازه‌گیری شده از دو هیدروگراف با گام‌های زمانی ۳۰ و ۴۲ دقیقه U-Sym-۳۰ و U-Sym-۴۲ در مقایسه با هیدروگراف Tr-U-Sym ارائه گردیده که منحنی تغییرات زمانی آب‌شستگی در این هیدروگراف‌ها در شکل ۱۵ نشان داده شده و مشخص گردید دو هیدروگراف پله‌ای دارای اختلاف ۱/۵٪ و عملاً برابر بوده و اختلاف آن‌ها با مقدار حاصل از هیدروگراف مثلثی حدود ۳/۷٪ است.

برای مقایسه نتایج به دست‌آمده در این تحقیق با تحقیقات مشابه، از رابطه‌ی ۱ برای محاسبه تغییرات زمانی عمق آب‌شستگی تکیه‌گاه در جریان غیرماندگار مطابق شکل ۱۵ استفاده گردید. می‌توان مشاهده نمود که در منحنی تغییرات زمانی به روش الیوتو سرعت آب‌شستگی در ابتدا زیاد و سپس در انتها بسیار کاهش می‌یابد. اختلاف مقدار آب‌شستگی نهایی تخمین زده شده به روش الیوتو نسبت به آزمایشگاهی انجام شده در تحقیق ۵/۲٪ + است، در روش الیوتو سهم بیشتر آب‌شستگی تا زمانی در حدود ۲۰٪ زمان مشابه در هیدروگراف‌های مورد آزمایش است.

یکنواخت و با عمق ثابت در نظر گرفته شد. با تشخیص کمیت‌های موثر بر آب‌شستگی و انجام آنالیز ابعادی رابطه‌ای برای محاسبه تغییرات زمانی آب‌شستگی بر حسب پارامترهای بدون بعد موجود در مسئله تعریف گردید. سپس با استفاده از نتایج آزمایش‌های جریان ماندگار رابطه‌ای با جذر میانگین مربعات خطا 0.055 و $R^2=0.943$ محاسبه گردید. هیدروگراف‌های مورد مطالعه در این تحقیق دارای زمان تداوم یکسان می‌باشند. با تغییر در زمان وقوع دبی اوج مشاهده شد که مقدار آب‌شستگی نهایی تغییر نمی‌کند اما توسعه زمانی آب‌شستگی متفاوت است. با مقایسه مقادیر نهایی آب‌شستگی در هیدروگراف‌های پله‌ای و غیر پله‌ای مشخص گردید که اختلاف ناچیزی بین مقادیر به‌دست آمده وجود دارد.

با استفاده از رابطه پیشنهادی اولیوتو و هگر [۱۴] توسعه زمانی آب‌شستگی محاسبه گردید و اختلاف مقدار نهایی با مقادیر آزمایشگاهی $5/2\%$ است.

۵- تشکر و قدردانی

از همکاری دانشگاه آزاد نجف آباد به خاطر در اختیار قرار دادن آزمایشگاه هیدرولیک جهت انجام این تحقیق کمال تشکر و قدردانی را دارد.

۶- فهرست علائم

a ضریب کالیبراسیون

Al پارامتر مربوط به امتداد تکیه‌گاه

b ضریب کالیبراسیون

B عرض کانال، m

B_f عرض سیلاب‌دشت، m

c توان

C ضریب شزی

d قطر ذرات رسوب، mm

d_{s0} قطر متوسط ذرات رسوب، mm

d_s عمق آب‌شستگی، mm

d_{se} عمق آب‌شستگی تعادلی، mm

F_d عدد فرود ذره رسوب

F_i عدد فرود آستانه حرکت

g شتاب ثقل، m/s^2

g' شتاب ثقل کاهش‌یافته، m/s^2

G اثرات توزیع عرضی جریان و شکل سطح مقطع کانال بالادست

L_a طول تکیه‌گاه عمود بر جهت جریان، m

N ضریب شکل

Q_b دبی آستانه حرکت رسوب، lit/s

Q_p دبی اوج، lit/s

R ضریب همبستگی

R_e عدد رینولدز

Sh پارامتر مربوط به شکل تکیه‌گاه

t زمان، s

t_d زمان تداوم هیدروگراف، s

t_e زمان تعادل آب‌شستگی، s

t_p زمان وقوع دبی اوج، s

t_s بازه زمانی وقوع آب‌شستگی، s

u_* سرعت برشی، m/s

u_{*c} سرعت برشی بحرانی، m/s

V سرعت متوسط جریان، m/s

γ عمق جریان، m

γ_f عمق سیلاب‌دشت، m

γ_m عمق کانال اصلی، m

علائم یونانی

ρ دانسیته سیال، kg/m^3

ρ_s دانسیته رسوب، kg/m^3

ν لزجت سینماتیکی سیال، m^2/s^2

σ_g ضریب یکنواختی ذرات رسوب

زیرنویس‌ها

a تکیه‌گاه

c بحرانی

d تداوم

e تعادل

f سیلاب‌دشت

m کانال اصلی

p اوج

s آب شستگی

t آستانه حرکت

مراجع

- Depth Around Short Abutments using Soft Computing Methodologies-A Comparative Study, KSCE Journal of Civil Engineering, 20(5) (2015) 2070-2081.
- [10] R. Mohammadpour, A.A. Ghani, H.M. Azamathulla, Estimation of dimension and time variation of local scour at short abutment, International journal of river basin management, 11(1) (2013) 121-135.
- [11] G. Oliveto, W.H. Hager, Temporal evolution of clear-water pier and abutment scour, Journal of Hydraulic Engineering, 128(9) (2002) 811-820.
- [12] F. Ballio, Local and contraction scour at bridge abutments, in: Building Partnerships, (2000), pp. 1-9.
- [13] S.E. Coleman, C.S. Lauchlan, B.W. Melville, Clear-water scour development at bridge abutments, Journal of Hydraulic Research, 41(5) (2003) 521-531.
- [14] G. Oliveto, W.H. Hager, Further results to time-dependent local scour at bridge elements, Journal of Hydraulic Engineering, 131(2) (2005) 97-105.
- [15] B. Melville, Local scour at bridge abutments, Journal of Hydraulic Engineering, 118(4) (1992) 615-631.
- [16] V.T. Chow, Open-channel hydraulics, McGraw-Hill, (1959) Chap. 6 pp. 136-140.
- [17] U.C. Kothyari, R.C.J. Garde, K.G. Ranga Raju, Temporal variation of scour around circular bridge piers, Journal of Hydraulic Engineering, 118(8) (1992) 1091-1106.
- [18] A. Cardoso, R. Bettess, Effects of time and channel geometry on scour at bridge abutments, Journal of Hydraulic Engineering, 125(4) (1999) 388-399.
- [19] S.Y. Lim, Equilibrium clear-water scour around an abutment, Journal of Hydraulic Engineering, 123(3) (1997) 237-243.
- [1] E.V. Richardson, S.R. Davis, Evaluating scour at bridges, United States. Federal Highway Administration. Office of Technology Applications, 1995.
- [2] A. Sutherland, Reports on bridge failure, RRU Occasional Paper, National Roads Board, Wellington, New Zealand, (1986).
- [3] A.J. Raudkivi, Loose boundary hydraulics, CRC Press, 1998.
- [4] G. Macky, Survey of roading expenditure due to scour, CR 90-09, Department of Scientific and Industrial Research, Hydrology Centre, Christchurch, New Zealand, (1990).
- [5] W.Y. Chang, J.S. Lai, C.L. Yen, Evolution of scour depth at circular bridge piers, Journal of Hydraulic Engineering, 130(9) (2004) 905-913.
- [6] J.S. Lai, W.Y. Chang, C.L. Yen, Maximum local scour depth at bridge piers under unsteady flow, Journal of Hydraulic Engineering, 135(7) (2009) 609-614.
- [7] U.C. Kothyari, A. Kumar, Temporal variation of scour around circular compound piers, Journal of Hydraulic Engineering, 138(11) (2012) 945-957.
- [8] A.R. Zarrati, M. Karimaei, Effect of Hydrograph Peak Time on Local Scour around Bridge Pier, Journal of Hydraulic 9(3) (2014) 18, (in Persian).
- [9] K. Hosseini, H. Karami, H. Hosseinjanzadeh, A. Ardeshir, Prediction of Time-varying Maximum Scour

برای ارجاع به این مقاله از عبارت زیر استفاده کنید:

A. R. Yazdani, K. Hosseini, H. Karami, Investigation of Scouring at Rectangular Abutments in a Compound Channel under Unsteady Flow (Experimental Study), Amirkabir J. Civil Eng., 53(4) (2021): 1559-1570.

DOI: [10.22060/ceej.2019.17029.6436](https://doi.org/10.22060/ceej.2019.17029.6436)

