

Research Paper

Experimental Study Effect of Length on Local Scouring Around Hockey and L-Shaped Spur Dikes

Sajjad Bajelvand¹,Saeed Gohari^{2*},Majid Haydari³

¹ M.Sc. of Water Structure Engineering, Dept. of Water Science Eng., Faculty of Agric. Bu Ali Sina University, Hamedan, Iran.

² Assistant Prof., Dept. of Water Structure Eng., Faculty of Agriculture. Bu Ali Sina University, Hamedan, Iran. s.gohari@basu.ac.ir.

³ Assistant Prof., Dept. of Water Structure Eng., Faculty of Agriculture. Bu Ali Sina University, Hamedan, Iran.



10.22125/IWE.2022.162628

Received:

April.04.2021

Accepted:

August.14.2021

Available online:

December 11, 2022**Keywords:****Hockey Spur Dikes,
L-Shaped Spur
Dikes, Scour, Spur
Dike Length,
Experimental Model,
Bed Topography**

Abstract

Spur dikes are structures that constructed for protection of the river walls against the erosion. Spur dikes are generally built perpendicular or at an angle to the river bank or revetment, protruding into the watercourse. The effect of the geometrical characteristics of the hockey spur dikes on formation developing of scour hole has been rarely studied. Spur dikes. The current study aims to evaluate the effect of the length of the hockey spur dike on the formation and development of scour hole and comparing with that effect in L-shaped spur dike. In this direction, all experiments were done in clear water conditions using the spur dikes in length of 8 cm and 12 cm and in a laboratory flume. The results asserted that the dimensions of the scour hole and the length and thickness of the sedimentary hill were increased by raising the length of the spur dike. However, this increment was lower in hockey spur dike than the L-shaped spur dike. The maximum depth, area and the volume of the scour hole were also increased by raising the length of the spur dikes. This increment in-average was equal to 57.5 and 67.7 per cent in L-shaped spur dikes and equal to 33.3 and 42 per cent in hockey spur dikes for two different lengths of spur dikes. Furthermore, no scouring was observed in downstream section of the hockey spur dikes near the wall. Therefore, the dimensions of the scour hole around the hockey spur dike was lower than those in the L-shaped spur dikes.

1. Introduction

The main purpose of river spur dikes as a river-training structure, is to prevent bank erosion. By developing of a rotational flow area around the spur dike, sediment deposition to sides of river will occurred. While scouring is a main factor of failure to the spur dike structures, the phenomenon of

* **Corresponding Author:** Saeed Gohari

Address: Department of water science engineering, Bu Ali Sina University, Iran

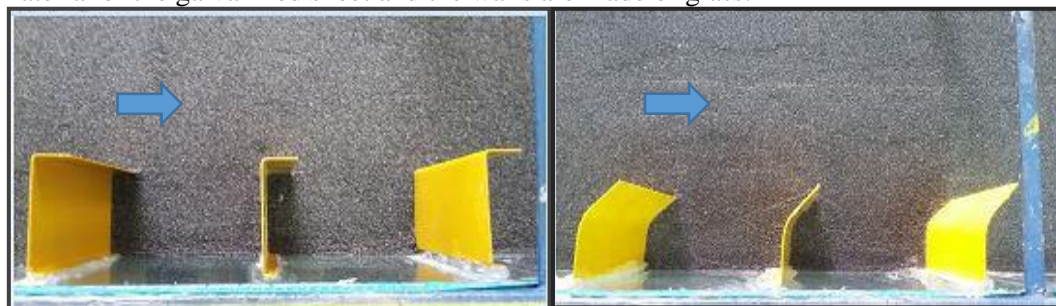
Email: s.gohari@basu.ac.ir

Tel: 09126335291

sedimentation downstream of the river will be the natural way for stabilizing the river walls in the desired direction. Usually, the amount of local scour is much higher than the general scour of the bed and this scour is the main cause of degradation of many spur dikes. For this reason, estimating the amount of this maximum scour is very important to design of spur dikes structure. Many researches have been conducted on the scour pattern around spur dikes so far, but little laboratory research has been done on the scour pattern around polo spur dike. Ghodsian and Hoseini (2001) investigated the characteristics of the scour hole around the spur dike and provided relationships to estimate the maximum scour depth, the amount of upstream scour expansion, in the downstream direction and in the direction of the spur dike axis. Ghodsian and Vaghefi (2009) conducted a laboratory study on the scour and the flow field around the T-shaped spur dike in the 90° channel bend. Their results showed that with increasing Froude number, spur dike length and decreasing spur dike wing length, scouring depth increases. El-Rashedy et al., (2018) conducted experiments to estimate the maximum scour depth in different forms of scour such as polo, straight, straight with round nose, L-shaped, T-shaped. The results showed that the maximum scour depth occurs in the straight spur dike nose, then L-shaped, straight-shaped with a rounded nose, T-shaped and polo spur dike. Nath and Misra (2017) investigated local scour around a single spur dike with three different opening ratios of 0.82, 0.85 and 0.88. They concluded that by decreasing the opening ratio, all relative scour parameters increased. Studies have shown that by increasing the spur dike length, the scour rate increases and the curvy shape of the polo spur dike nose causes the flow to swerve smoothly and the flow turbulence in the nose is less, so due to its advantages, it can replace other forms of spur dike introduced.

2. Materials and Methods

All experiments were carried out in the hydraulic laboratory of the Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Bu Ali Sina University of Hamadan, in a flume with a 10.5 m long, width and 0.5 m wide. Flume height from laboratory floor was 1.3 m and bed floor slope was 0.001. The flume floor material of the galvanized sheet and the walls are made of glass.



B) L-shaped spur dike series

A) hockey spur dike series

Figure 1- View of hockey and L-shaped spur dike series with sediment bed

The spur dikes used in this study are impermeable and non-submerged by iron sheet with a thickness of 2 mm and different lengths of 8 and 12 cm. These values are less than a third of the width of the channel as suggested by Petersen, (1986) for the spur dike. Considering the width of the canal (50 cm) and the use of spur dikes with lengths of 8 and 12 cm, we have investigated two (L/B) of 15% and 25%. The distance from the installation site of the first spur dike to the beginning of the canal was considered to be 4.75 m so that the possible disturbance at the entrance of the canal did not reach the spur dike site. In this study, uniform

Materials of river natural sand with an average diameter of 0.84 mm and geometric standard deviation (σ_g) of 1.4 were used (Fig. 2-A). Canal floor with height of 0.15 m and length of 2.5 m is filled by sediments. Experiments have been carried out in clear water mode. The balance time has been considered experimentally about 5 hours. (Fig. 2-B).

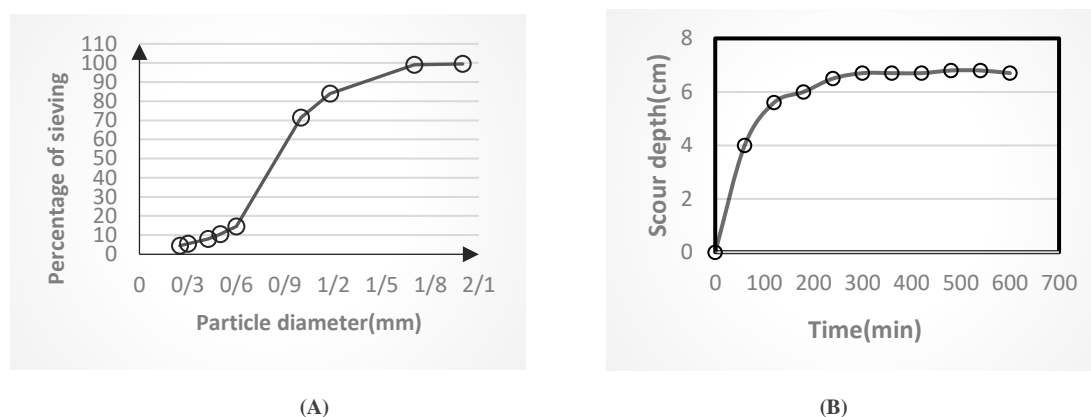


Figure 2 - A) Sediment granulation curve and B) Diagram of changes in scour depth with time to determine the equilibrium time

In order to find the relationship between the factors affecting scour in the nose of polo and L-shaped spur dike, dimensional analysis has been performed on the effective parameters. Factors influencing this field are: Channel width (B), Channel width in spur dike section (B_1), Channel longitudinal slope (S_0), spur dike length (L), spur dike tab length (L_t), spur dike angle (θ), Average flow velocity before spur dike section (u), Flow depth (h), Scour depth at spur dike nose (h_s), Gravity acceleration (g), Medium diameter (d_{50}), Particle density (ρ_s), Deviation of particle size distribution criterion (σ_g), Fluid mass (ρ), Dynamic viscosity (μ), Using the π -Buckingham method and the stability of some parameters, the relationship between the dimensionless parameters is obtained as follows:

$$\frac{h_s}{h} = f\left(\frac{L}{B}, Fr, \right) \quad (1)$$

3. Results

Results showed that as the length of the spur dikes increases, the length and thickness of the sedimentary ridge downstream of the spur dikes increases and the length and thickness of the sedimentary ridge downstream of the hockey spur dikes are less than the L-shaped spur dikes. The average scour depth in L-shaped and hockey spur dikes increases by 44 and 15% with increasing length, respectively. With increasing the length of L-shaped spur dikes from 8 to 12 cm, the average scour area increases by 57.5% and the average scour volume increases by 67.7%, while with increasing the length of hockey spur dikes from 8 to 12 cm, the average area and Scour volume increases by 33.3% and 42%, respectively. Downstream of the hockey spur dike near the wall of the canal, no scouring has been done, which is better used to protect the wall and improve the course of the river than the L-shaped spur dike.

4. Discussion and Conclusion

In this article, by conducting laboratory studies, the effect of hockey length spur dike on scour rate and its comparison with L-shaped spur dike has been investigated. The results showed that as the spur dike length increases, the dimensions of the scouring whole (maximum depth, maximum width, upstream and downstream length) increase, and the dimensions of the scouring hole around the hockey spur dike are smaller than the L-shaped spur dike. Furthermore, no scouring was observed in downstream section of the hockey spur dikes near the wall. Therefore, the dimensions of the scour hole around the hockey spur dike was lower than those in the L-shaped spur dikes.

5. Six important references

- 1) Ghodsian, M. and Hosseini, S.M. 2001. Scour Around Groins. International journal of Sediment Research. 16(1):60-68.
- 2) Ghodsian, M. and Vaghefi, M. 2009. Experimental study on scour and flow field in a scour hole around a T-shape spur dike in a 90° bend. International Journal of Sediment Research. 24(2):145-158.
- 3) El-Rashedy, S. F. Ezzeldin, M. M. and Sarhan, T. A. 2018. Influence of Spur Dikes Shapes on Scour Characteristics. International Journal of Scientific & Engineering Research. 9(6):1285-1301.

- 4) Kuhnle, R. A. Alonso, C. V. and Shields, F. D. Jr. 1999. Geometry of scour holes associated with 90° spur dikes. *Journal of Hydraulic Engineering*. 125(9): 972-978.
- 5) Nath, D. and Misra, U.K. 2017. Experimental Study of Local Scour around Single Spur Dike in an Open Channel. *International Research Journal of Engineering and Technology*. 4(6): 2728-2734.
- 6) Zhang, L. Wang, P. Yang, W. Zuo, W. Gu, X. and X. Yang., X. 2018. Geometric Characteristics of Spur Dike Scour under Clear-Water Scour Conditions. *Journal Water*. 10(6):680.



مطالعه آزمایشگاهی اثر طول آبشکن بر آبشستگی موضعی پیرامون سری آبشکن های چوگانی و L شکل

سجاد باجلوند^۱، سعید گوهری^{۲*}، مجید حیدری^۳

تاریخ ارسال: ۱۴۰۰/۰۱/۱۵

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۵/۲۳

چکیده

آبشکن‌ها سازه‌هایی هستند که با هدف حفاظت از جداره‌های رودخانه در برابر فرسایش احداث می‌شوند. این سازه‌ها به صورت عمود یا با زاویه‌ای نسبت به جهت جریان اصلی و در ساحل رودخانه احداث می‌شوند. اثر خصوصیات هندسی آبشکن‌ها بر شکل‌گیری و توسعه حفره آبشستگی در آبشکن‌های چوگانی تاکنون به ندرت مورد بررسی قرار گرفته است. پژوهش حاضر با هدف ارزیابی اثر طول آبشکن چوگانی بر شکل‌گیری و توسعه حفره آبشستگی و مقایسه آن با آبشکن L شکل انجام شد. در این راستا، تمامی آزمایش‌ها در شرایط آب زلال و با استفاده از آبشکن‌هایی با طول‌های ۸ و ۱۲ سانتیمتر در یک فلوم آزمایشگاهی انجام شد. نتایج نشان داد که ابعاد حفره آبشستگی و نیز طول و ضخامت پشته رسوبی با افزایش طول آبشکن افزایش یافت. در صورتی که مقدار این افزایش در آبشکن چوگانی کمتر از آبشکن L شکل بود. با افزایش طول آبشکن‌ها، بیشینه عمق، مساحت و حجم حفره آبشستگی افزایش یافت. این افزایش به طور میانگین در آبشکن‌های L شکل برابر با ۵۷/۵ و ۶۷/۷ در آبشکن‌های چوگانی برابر با ۳۳/۳ و ۴۲ درصد برای دو طول متفاوت از آبشکن‌ها بود. همچنین، در مقطع پایین دست آبشکن چوگانی هیچ گونه آبشستگی در مجاورت دیواره فلوم مشاهده نشد. بنابراین، مشخص گردید که ابعاد حفره آبشستگی پیرامون آبشکن چوگانی کوچکتر از آبشکن L شکل است.

واژه‌های کلیدی: سری آبشکن‌های چوگانی، سری آبشکن‌های L شکل، آبشستگی، طول آبشکن، مدل آزمایشگاهی، توپوگرافی بستر

^۱ کارشناسی ارشد رشته سازه‌های آبی، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا همدان.

^۲ استادیار سازه‌های آبی، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا همدان. s.gohari@basu.acir

^۳ استادیار سازه‌های آبی، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا همدان

مقدمه

آبشکن‌ها با تعدیل شرایط هیدرولیکی جریان، قدرت فرسایشی آب و توان حمل رسوبی را در میدان آبشکن کاهش داده و زمینه رسوبگذاری و تثبیت کناره‌های رودخانه را فراهم می‌آورند. کارایی اصلی آبشکن‌های رودخانه‌ای، انحراف جریان از کناره رودخانه و هدایت آن به سمت مجرای اصلی است. نتیجه انحراف جریان، توسعه یک ناحیه چرخشی با تلاطم شدید در پیرامون آبشکن و ته نشست بار رسوبی در پایین دست و کناره رودخانه است. در حالی که آبشستگی یک خطر جدی برای سازه آبشکن و در نتیجه برای رودخانه محسوب می‌شود، پدیده رسوبگذاری در کناره پایین دست رودخانه راهکار طبیعی تثبیت دیواره‌های رودخانه در راستای مورد نظر خواهد بود. اهداف اصلی از کاربرد آبشکن‌ها در ساماندهی رودخانه حفاظت دیواره‌های رودخانه، توسعه طبیعی کناره رودخانه در طرح اصلاح مسیر، حفاظت‌های خاص و موضعی سازه‌های جانبی، کشتیرانی و احیای سامانه زیستایی رودخانه می‌باشد. معمولاً مقدار آبشستگی موضعی بسیار بیشتر از میزان آبشستگی عمومی بستر است و این آبشستگی عامل اصلی تخریب بسیاری از آبشکن‌ها در مقابل اثر جریان است. به همین دلیل تخمین میزان این آبشستگی بیشینه در طراحی سازه آبشکن‌ها حائز اهمیت فراوان بوده و مهندس طراح به منظور تامین محافظت کافی از سازه در مقابل اثر فرسایشی جریان و هم چنین تخمین عمقی که شالوده سازه از آن عمق ساخته شود تا از اثرات ناشی از فرسایش بستر محفوظ بماند احتیاج به تخمین معقول از میزان عمق آبشستگی بیشینه در اطراف آبشکن دارد. تحقیقات بسیاری در مورد الگوی آبشستگی پیرامون آبشکن‌ها تا کنون انجام شده است ولی در مورد الگوی آبشستگی پیرامون آبشکن چوگانی تحقیقات آزمایشگاهی اندکی صورت گرفته است. (خلج و گوهری، ۱۳۹۸) با انجام مطالعات آزمایشگاهی به بررسی اثر طول آبشکن بر آبشستگی پیرامون آبشکن چوگانی شکل در کانال مستقیم پرداختند. نتایج آزمایش‌ها بیانگر این بود که ابعاد چاله آبشستگی (شامل بیشینه عمق آبشستگی،

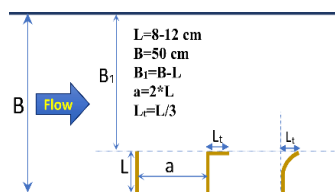
طول چاله آبشستگی در بالادست و پایین دست آبشکن و بیشینه عرض آبشستگی) با طول آبشکن نسبت مستقیم دارند. با توجه به شکل دماغه آبشکن چوگانی می‌توان انتظار داشت که آبشستگی کمتری در اطراف آن نسبت به آبشکن مستقیم و L شکل رخ دهد. با هدایت مناسب جریان به سمت پایین دست، آبشستگی در آبشکن چوگانی نسبت به آبشکن مستقیم کمتر است. قدسیان و حسینی به بررسی خصوصیات حفره آبشستگی اطراف آبشکن پرداختند و روابطی برای تخمین حداکثر عمق آبشستگی، میزان گسترش آبشستگی به سمت بالادست، در جهت پایین دست و در جهت محور آبشکن ارائه دادند (Ghodsian and Hoseini, 2001). دیو سالار و موسوی جهرمی (۱۳۹۳) به بررسی اثر افزایش طول بال آبشکن L شکل بر آبشستگی پرداختند. آزمایش‌ها با سه طول بال مختلف، سه دبی متفاوت و عمق ثابت انجام شد در ضمن آن را با آبشکن ساده مقایسه کردند که نتیجه حاصل آن بود، با افزایش در طول بال آبشکن، عمق و حجم آبشستگی کاهش می‌یابد. درصد کاهش عمق آبشستگی در آبشکن L شکل به آبشکن ساده در حدود $3/25$ تا $23/85$ درصد می‌باشد. قدسیان و واقفی به مطالعه آزمایشگاهی بر بروی آبشستگی و میدان جریان در اطراف آبشکن T شکل در قوس 90° درجه کانال پرداختند. نتایج آنها نشان داد با افزایش عدد فرود، طول آبشکن و کاهش طول بال آبشکن مقدار آبشستگی افزایش می‌یابد. با افزایش طول بال آبشکن ناحیه جدایی جریان گسترش می‌یابد و اندازه‌های گردابه افزایش پیدا می‌کند (Ghodsian and Vaghefi, 2009). کرمان نژاد و همکاران (۱۳۹۰) به بررسی آزمایشگاهی رابطه تداخل با حداکثر عمق آبشستگی آبشکن‌های L شکل نفوذپذیر با زبانه به سمت بالادست و پایین دست در شرایط آب زلال پرداختند. نتایج نشان داد که به ازای تداخل $45-50$ درصد کمترین میزان آبشستگی در اطراف آبشکن با زبانه به سمت پایین دست و بیشترین آبشستگی در اطراف آبشکن با زبانه به سمت بالا دست رخ می‌دهد. ال راشدی و همکاران آزمایشاتی برای برآورد حداکثر عمق آبشستگی در شکل‌های مختلف آبشکن مانند چوگانی، مستقیم، مستقیم با

طول آبشکن، عمق جریان و نسبت سرعت برشی روی حجم حفره آبشستگی تاثیر دارد و برای جریان‌های روگذر، نسبت عمق جریان به ارتفاع آبشکن به عنوان کنترل مهم در هندسه حفره آبشستگی حاصل می‌شود. شکل انحنایی دماغه آبشکن چوگانی، موجب می‌شود جریان به نرمی منحرف شود و آشفتگی جریان در دماغه کمتر می‌باشد بنابراین با توجه به مزیت‌های آن می‌تواند جایگزین سایر شکل‌های آبشکن معرفی شود. نتایج تحقیق بهرامی یاراحمدی و همکاران نشان می‌دهد که فاصله مناسب آبشکن‌ها نباید از $5/5$ برابر طول آنها بیشتر باشد (Bahrami-Yarahmadi et al., 2020). زمانی و همکاران تاثیر آبشکن‌ها را بر میزان کاهش آشفتگی جریان در اطراف آبگیرها مطالعه نمودند و نشان دادند که کمترین میزان آبشستگی با نصب آبشکن در بالادست کانال آبگیر رخ می‌دهد (Zamani et al., 2020). پاندی و همکاران به مطالعه تاثیر غیریکنواختی مصالح بستر بر میزان آبشستگی لحظه ای پرداختند. نتایج آنها نشان داد که با افزایش میزان غیر یکنواختی مصالح بستر میزان آبشستگی کاهش می‌یابد (Pandey et al., 2020).

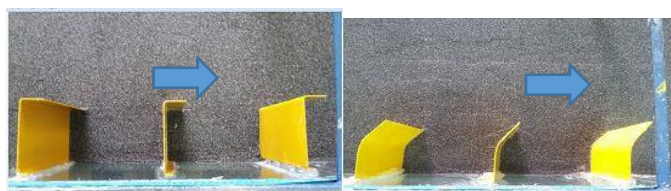
مواد و روش‌ها

تجهیزات آزمایشگاهی و روش انجام آزمایش‌ها

آزمایش‌ها در آزمایشگاه هیدرولیک گروه مهندسی آب دانشکده کشاورزی دانشگاه بو علی سینا همدان در یک فلوم مستطیلی با طول $10/5$ متر، عرض و ارتفاع $0/5$ متر انجام شده است. ارتفاع فلوم از کف آزمایشگاه $1/3$ متر و شیب کف بستر $0/01$ تنظیم شد. جنس کف فلوم ورق گالوانیزه و دیواره‌ها از جنس شیشه می‌باشد.



ج: پارامترهای هندسی در تحقیق



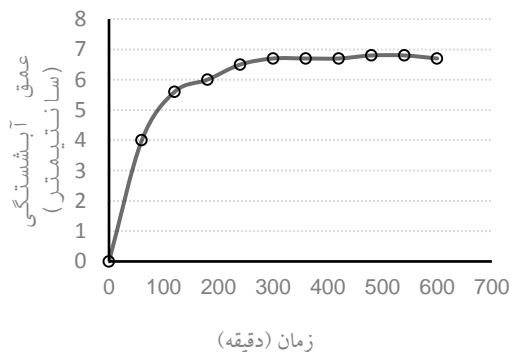
ب: سری آبشکن L شکل

الف: سری آبشکن چوگانی

شکل (۱): نمایی از سری آبشکن چوگانی و L شکل همراه با بستر رسوبی

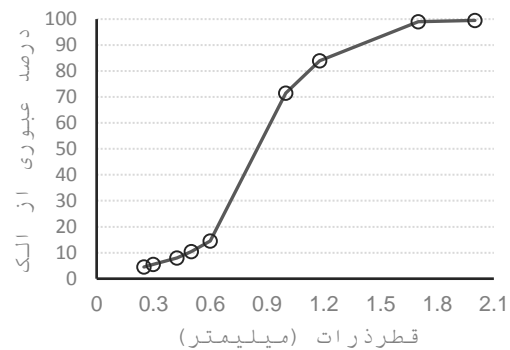
دماغه گرد، L شکل، T شکل را انجام دادند. نتایج نشان داد که بیشترین عمق آبشستگی در دماغه آبشکن مستقیم، سپس L شکل، شکل مستقیم با دماغه گرد، T شکل و آبشکن چوگانی رخ می‌دهد، El-Rashedy et al (2018). نتایج و میسرا آبشستگی موضعی اطراف یک آبشکن منفرد با سه نسبت باز شدگی مختلف $0/82$ ، $0/85$ و $0/88$ را بررسی کردند. نتایج آنها نشان داد با کاهش نسبت باز شدگی، تمام پارامترهای نسبی آبشستگی افزایش می‌یابد (Nath and Misra, 2017). ژانگ و همکاران با بررسی خصوصیات هندسی آبشستگی آبشکن تحت شرایط آب صاف نتیجه گرفتند که با نحوه‌ی قرار گیری آبشکن هندسه سطح حفره آبشستگی تغییر می‌کند. حداکثر عمق آبشستگی رابطه‌ای توان دار با سطح و حجم حفره آبشستگی دارد (Zhang et al, 2018). میانگین شیب در بالادست حفره آبشستگی و در امتداد جهت محور آبشکن کمی بزرگتر از زاویه ایستایی رسوب است، توزیع شیب پروفیل-های حفره آبشستگی نوع U معکوس را نشان می‌دهد. (دهقانی و همکاران، ۱۳۸۸) به بررسی آزمایشگاهی آبشستگی موضعی اطراف سری آبشکن-های L شکل در شرایط آب زلال پرداختند. نتایج آنها نشان می‌دهد که حداکثر عمق آبشستگی اطراف آبشکن اول اتفاق می‌افتد و هرچه قطر متوسط ذرات بستر افزایش یابد، میزان حداکثر عمق آبشستگی کاهش می‌یابد. هم-چنین در یک دانه-بندی مشخص، با افزایش فاصله بین آبشکن-ها، میزان حداکثر عمق آبشستگی نسبی روند کاهشی دارد و این روند کاهشی با افزایش عدد فرود محسوس-تر است. (Kuhnle et al, 1999) روی هندسه حفره آبشستگی آبشکن ۹۰ درجه کار کردند و حجم حفره آبشستگی در مجاورت آبشکن‌ها در یک فلوم آزمایشگاهی تحت جریان-های روگذر آب صاف اندازه‌گیری شد و مشاهده کردند که

۲- الف). کف کانال به ارتفاع ۰/۱۵ متر و طول ۲/۵ متر توسط رسوبات پر شده است. آزمایشات در حالت آب صاف با نسبت سرعت متوسط جریان به سرعت بحرانی برابر ۰/۹ انجام گرفته است. مدت زمان آزمایش آبشستگی به صورت تجربی تعیین شد. بدین منظور یک آزمایش آبشستگی با سری آبشکن L شکل (با طول ۸ سانتیمتر) به مدت ۱۰ ساعت انجام گرفت. بر اساس این نمودار بعد از حدود ۵ ساعت نرخ افزایش عمق آبشستگی کاهش یافته و تقریباً به صفر می‌رسد و به همین دلیل در تمام آزمایشات مدت زمان ۵ ساعت به عنوان زمان تعادل در نظر گرفته شده است (شکل ۲- ب).



(ب)

آبشکن‌های مورد استفاده در این پژوهش نفوذ ناپذیر و غیر مستغرق از جنس ورق آهنی با ضخامت ۲ میلی‌متر و با طول‌های مختلف ۸ و ۱۲ سانتیمتر می‌باشند. این مقادیر از یک سوم عرض کانال که توسط (Petersen, 1986) برای آبشکن پیشنهاد شده کمتر است. با توجه به عرض کانال (۵۰ سانتیمتر) و استفاده از آبشکن‌هایی با طول ۸ و ۱۲ سانتیمتر، دو تنگ‌شدگی موضعی (L/B) ۱۵٪ و ۲۵٪ را مورد بررسی قرار داده‌ایم. فاصله محل نصب اولین آبشکن تا ابتدای کانال ۴/۷۵ متر در نظر گرفته شد تا اغتشاش محتمل در ورودی کانال به محل آبشکن نرسد. در این تحقیق از مصالح یکنواخت ماسه طبیعی رودخانه‌ای با قطر متوسط ۰/۸۴ میلی‌متر و انحراف معیار هندسی ۱/۴ استفاده گردید (شکل



(الف)

شکل (۲): الف) منحنی دانه بندی رسوبات و ب) نمودار تغییرات عمق آبشستگی با زمان جهت تعیین زمان تعادل

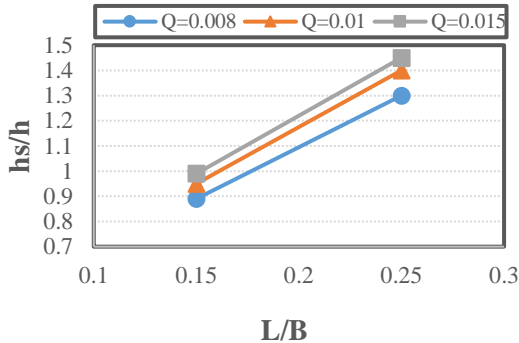
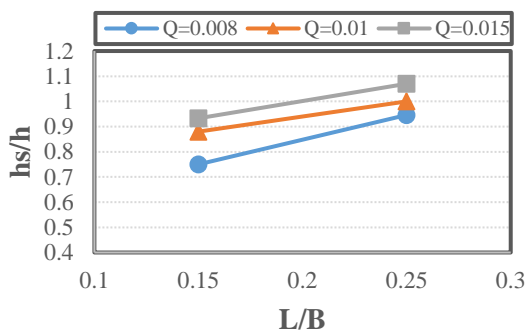
زهکش در کف فلوم ایجاد شده بود تا آب موجود در کانال به آرامی زهکشی شود و بر توپوگرافی بستر تاثیری نگذارد. پس از گذشت یک ساعت و تخلیه کامل آب از درون فلوم به وسیله متر لیزری، توپوگرافی بستر در محدوده آبشکن‌ها برداشت می‌گردید.

آنالیز ابعادی

به منظور یافتن رابطه بین عوامل موثر بر آبشستگی در دماغه آبشکن‌های چوگانی و L شکل، تحلیل ابعادی روی پارامترهای موثر انجام شده است. عوامل موثر در این زمینه عبارتند از: عرض کانال (B)، عرض کانال در مقطع آبشکن

نحوه‌ی انجام هر آزمایش به این صورت بود که ابتدا سری آبشکن‌های مورد نظر نصب شده و بعد از خشک شدن چسب آبشکن‌ها رسوبات موجود با استفاده از تسطیح‌کننده کاملاً تراز شده و دریاچه کشویی انتهای فلوم کاملاً بسته و آب زلال به آرامی از پایین دست به درون کانال هدایت شد. پس از آن که آب روی تمام رسوبات را گرفت، پمپ با دبی کم، روشن و جریان ورودی به آرامی وارد فلوم می‌گردید تا سطح بستر رسوبی تا ارتفاع چند سانتیمتر از آب پوشیده شود، سپس دریاچه کشویی بتدریج باز شده تا این که دبی و عمق آب درون فلوم به مقدار مورد نظر برسد. بعد از برقراری جریان به مدت ۵ ساعت، دریاچه انتهایی بسته و پمپ خاموش می‌شد. یک

آبشستگی به عمق جریان با افزایش نسبت بی بعد طول آبشکن به عرض کانال و دبی جریان افزایش پیدا می‌کند. همچنین مشاهده می‌شود حداکثر عمق حفره آبشستگی آبشکن چوگانی به دلیل انحنای دماغه آبشکن کمتر از آبشکن L شکل می‌باشد. میانگین بیشینه عمق آبشستگی در آبشکن-های L شکل و چوگانی با افزایش طول به ترتیب ۴۴ و ۱۵ درصد افزایش می‌یابد.



(الف)
(ب)

شکل (۳): تغییرات حداکثر عمق حفره آبشستگی با افزایش طول آبشکن برای الف) آبشکن‌های L شکل و ب) آبشکن‌های چوگانی

در شکل ۴ توپوگرافی بستر برای سری آبشکن‌های چوگانی و L شکل با دو طول ۸ و ۱۲ سانتیمتر و دبی ۱۰ لیتر بر ثانیه نشان داده شده است. برای بررسی الگوی آبشستگی و رسوب گذاری پروفیل بستر در سه جهت طول، عرض، ارتفاع برداشت شد و با استفاده از نرم افزار Surfer16 خطوط هم تراز رسم شد. همانطور که در شکل ۴ مشاهده می‌کنید حداکثر آبشستگی در اطراف اولین آبشکن (انتهای

(B_1) ، شیب طولی کانال (S_0) ، طول آبشکن (L) ، طول زبانه آبشکن (L_t) ، زاویه آبشکن (θ) ، فاصله آبشکن‌ها (a) ، سرعت متوسط جریان در مقطع قبل از آبشکن (u) ، عمق جریان (h) ، عمق آبشستگی در دماغه آبشکن (h_s) ، شتاب ثقل (g) ، قطر متوسط ذرات (d_{50}) ، چگالی ذرات (ρ_s) ، انحراف معیار توزیع اندازه ذرات (σ_g) ، جرم مخصوص سیال (ρ) ، لزجت دینامیکی (μ)

با استفاده از روش π -باکینگهام و با انتخاب (h_s) به عنوان متغیر وابسته، و انتخاب ρ, u, h به عنوان پارامترهای تکراری رابطه زیر به دست می‌آید.

$$h_s = f_1(\mu, a, \rho, \theta, \rho_s, B_1, B, S_0, h, u, d_{50}, g, \sigma_g, L, L_t) \quad (1)$$

رابطه میان پارامترهای بی بعد به صورت زیر به دست می‌آید:

$$\frac{h_s}{h} = f_2\left(\frac{B_1}{h}, \frac{B}{h}, \frac{L_t}{h}, \frac{L}{h}, \frac{u}{\sqrt{gh}}, \frac{\rho_s}{\rho}, \frac{\rho u h}{\mu}, \frac{a}{h}, \theta, S_0, \frac{d_{50}}{h}\right) \quad (2)$$

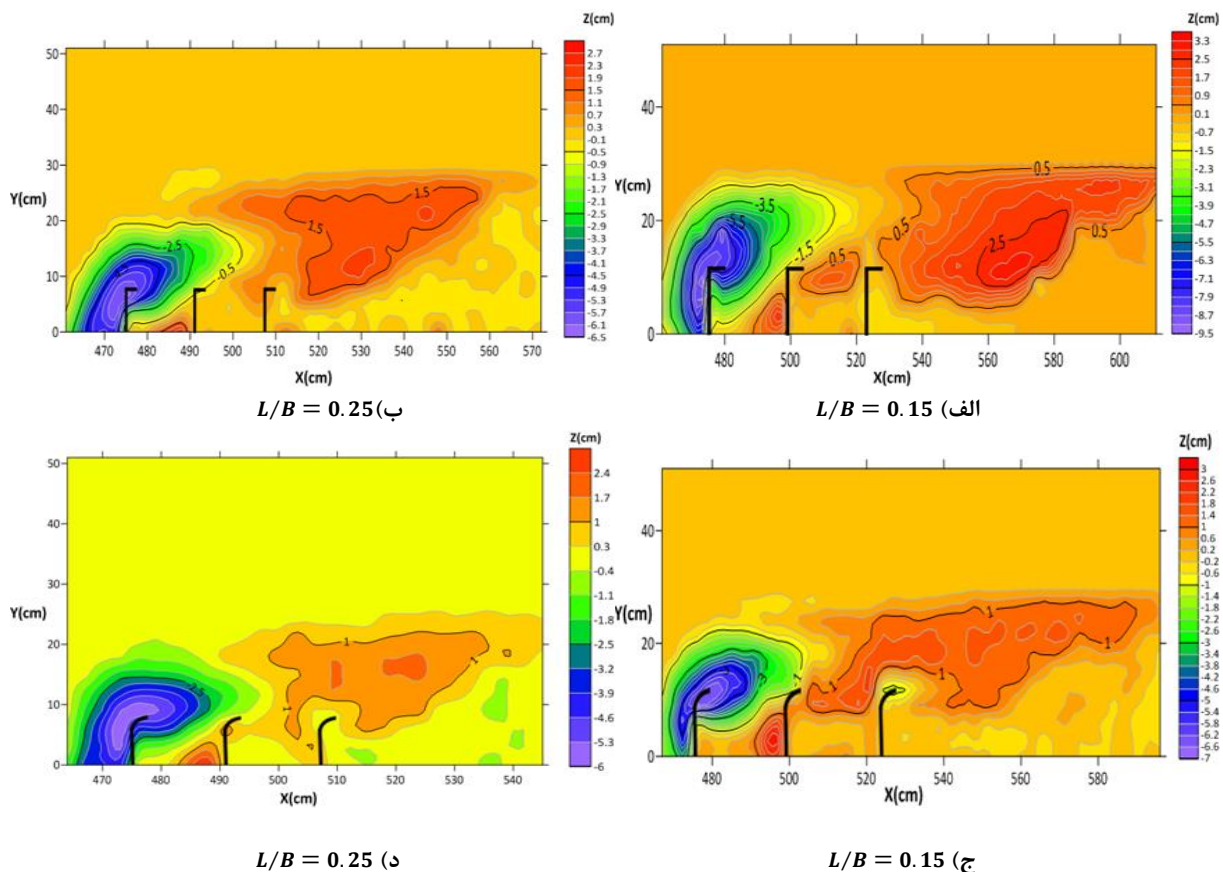
با توجه به این که شیب کانال ثابت و مصالح مورد استفاده ماسه و یکنواخت می‌باشد. $\frac{\rho_s}{\rho}$ ، S_0 و d_{50} از تابع فوق حذف می‌شوند. از طرفی با توجه به آشفتگی جریان می‌توان از پارامتر رینولدز (Re) نیز صرف نظر نمود. با توجه به ثابت بودن فاصله و زاویه آبشکن‌ها (θ) نیز حذف می‌شود. روابط نهایی به صورت زیر پیشنهاد می‌شود:

$$\frac{h_s}{h} = f\left(\frac{L}{B}, Fr\right) \quad (3)$$

نتایج و بحث

با تغییر طول آبشکن‌ها پارامترهایی نظیر ابعاد ناحیه جدایی جریان، میزان انحراف ایجاد شده در جریان و تنش-برشی بستر در اطراف آبشکن‌ها تغییر می‌کند. با افزایش طول آبشکن‌ها، میزان انقباض مقطع بیشتر شده و این مسئله باعث افزایش طول ناحیه جدایی جریان در بالادست آبشکن‌ها می‌گردد. افزایش طول ناحیه جدایی جریان باعث افزایش انحراف ایجاد شده در جریان بوده و سبب می‌شود که تمرکز در دماغه آبشکن‌ها افزایش یافته در نتیجه حداکثر عمق آبشستگی افزایش می‌یابد. در شکل ۳ نسبت بی بعد حداکثر عمق حفره آبشستگی به عمق جریان (hs/h) برای طول‌های متفاوت آبشکن (L/B) و در دبی‌های مختلف نشان داده شده است. همانطور که در این شکل مشاهده می‌شود نسبت بی بعد عمق

دماغه آبشکن) و حفره بیشتر به سمت پایین دست توسعه می‌یابد. با افزایش طول آبشکن‌ها و تنگ‌شدگی موضعی مقطع جریان، ابعاد و عمق حفره آبشستگی افزایش یافته است. همچنین توسعه پشته رسوبی در پایین دست آبشکن‌ها با افزایش طول آبشکن افزایش یافته است.



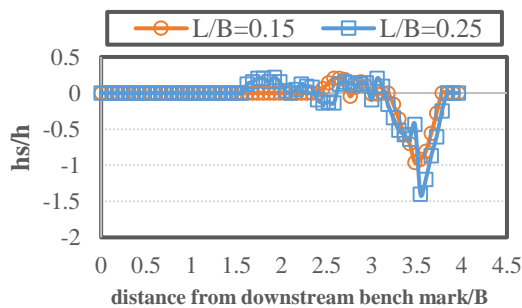
شکل (۴): توپوگرافی بستر پیرامون سری آبشکن الف، ب، L شکل و ج، د) چوگانی

شده است و از آن نقطه شروع به برداشت توپوگرافی بستر می‌نماییم. از شکل ۵ و ۶ مشاهده می‌شود که حفره آبشستگی حول دماغه آبشکن‌ها با افزایش طول آبشکن افزایش می‌یابد و با توجه به شکل ۵ پشته رسوبی برای سری آبشکن L شکل با طول ۱۲ سانتیمتر یا $\frac{L}{B} = 0.25$ طول و ضخامت بیشتری دارد و تا حدود $\frac{2}{16}$ برابری عرض کانال نسبت به اولین آبشکن در پایین دست آبشکن‌ها ادامه دارد ولی پشته رسوبی برای سری آبشکن L شکل با طول ۸ سانتیمتر یا $\frac{L}{B} = 0.15$ تا فاصله حدود $\frac{1}{62}$ برابری عرض

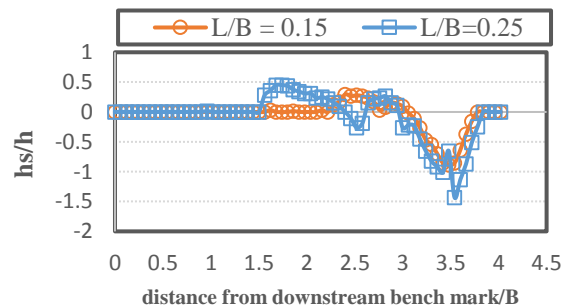
از طرفی همانگونه که در شکل ۴ مشاهده می‌شود ابعاد و عمق حفره آبشستگی و توسعه پشته رسوبی در پایین دست سری آبشکن چوگانی کمتر از سری آبشکن L شکل می‌باشد. برای بررسی دقیق توپوگرافی بستر پیرامون آبشکن‌های L شکل و چوگانی در شکل ۵ و ۶ سه پروفیل طولی به صورت بی بعد شده در فاصله ۹، ۶ و ۱۲ سانتیمتری از دیواره مجاور آبشکن‌ها ارائه شده است. در پایین دست سری آبشکن‌ها و در فاصله ۱۷۵ سانتیمتری نسبت به اولین آبشکن نقطه‌ای به عنوان پنج مارک برای برداشت توپوگرافی بستر انتخاب

آبشکن چوگانی و L شکل می‌توان دریافت که طول پشته رسوبی در سری آبشکن چوگانی کمتر از سری آبشکن L شکل می‌باشد چون در آبشکن‌های چوگانی به دلیل انحنای دماغه آبشکن جریان به نرمی منحرف می‌شود و اغتشاش و تلاطم جریان در دماغه آبشکن‌ها نسبت به آبشکن‌های L شکل کمتر است و آبشستگی کمتری در دماغه آن‌ها رخ می‌دهد و به دنبال آن میزان قدرت حمل رسوب در گودال و روی پشته‌ی رسوبی کمتر می‌باشد در نتیجه طول پشته کمتر است.

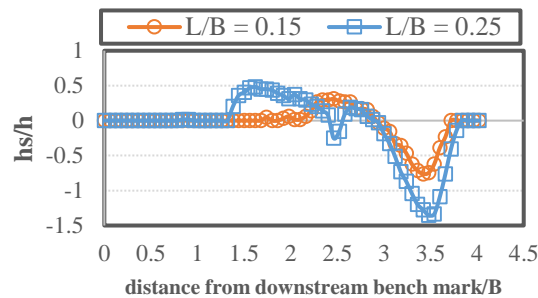
کانال نسبت به اولین آبشکن در پایین‌دست آبشکن‌ها ادامه دارد. با توجه به شکل ۶ پشته رسوبی برای سری آبشکن چوگانی با طول ۱۲ سانتیمتر یا $\frac{L}{B} = 0.25$ تا فاصله حدود ۲/۰۴ برابری عرض کانال نسبت به اولین آبشکن در پایین‌دست آبشکن‌ها ادامه دارد ولی پشته رسوبی برای سری آبشکن چوگانی با طول ۸ سانتیمتر یا $\frac{L}{B} = 0.15$ تا فاصله حدود ۱/۲۶ برابری عرض کانال نسبت به اولین آبشکن در پایین‌دست آبشکن‌ها ادامه دارد. مطابق شکل‌های ۵ و ۶ بررسی پروفیل طولی بستر برای دو نسبت تنگ شدگی سری



(ب)

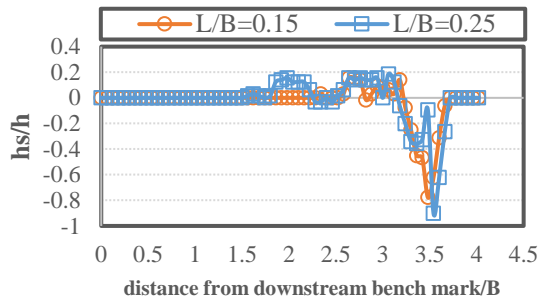


(الف)

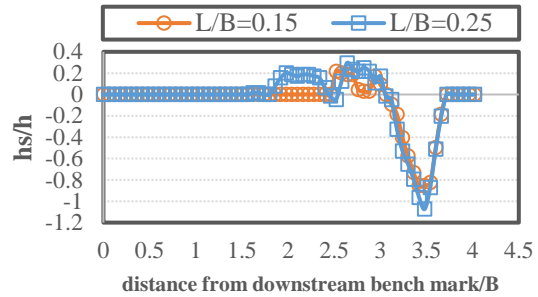


(ج)

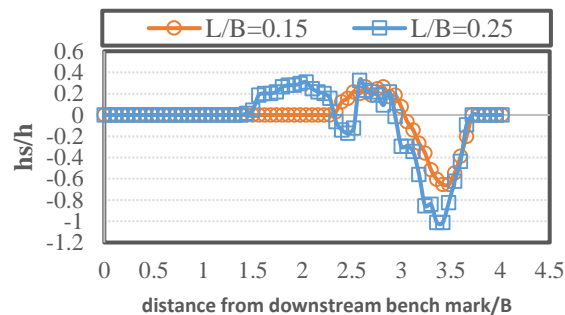
شکل (۵): پروفیل طولی بستر در فاصله‌های الف) ۰.۱۲B، ب) ۰.۱۸B و ج) ۰.۲۴B از دیواره مجاور سری آبشکن L شکل



(ب)



(الف)



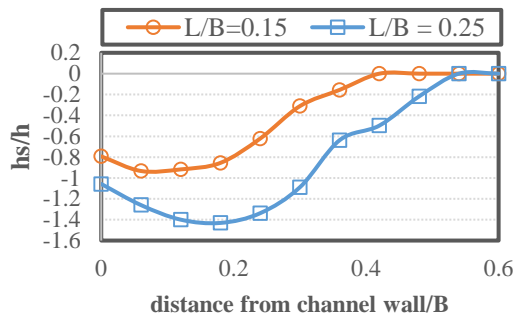
(ج)

شکل (۶): پروفیل طولی بستر در فاصله‌های الف (0.12B، ب) (0.18B و ج) (0.24B از دیواره مجاور سری آبشکن چوگانی

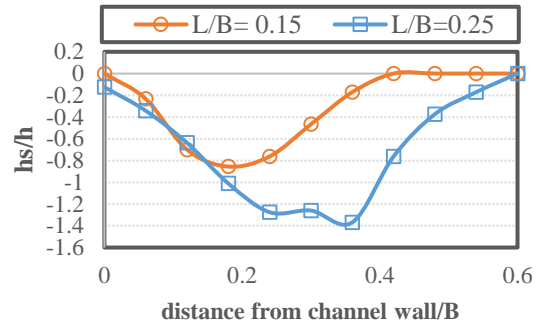
صورتی که در مجاورت دیواره کانال بستر آبشکن چوگانی آبشستگی صورت نگرفته است.

همانطور که از شکل ۷ و ۸ نمایان است با بررسی پروفیل عرضی بستر برای دو نسبت تنگ‌شدگی آبشکن L شکل و چوگانی مشاهده می‌شود که میزان آبشستگی در بالادست و پایین‌دست آبشکن چوگانی کمتر از آبشکن L شکل است و همچنین مشاهده می‌شود در پایین‌دست آبشکن چوگانی در مجاورت دیواره کانال آبشستگی صورت نگرفته که در حفاظت فرسایش دیواره و اصلاح مسیر رودخانه نسبت به آبشکن L شکل کاربرد بهتری دارد.

در شکل‌های ۷ و ۸ به بررسی پروفیل عرضی در مقطع بالا-دست و پایین‌دست اولین آبشکن سری آبشکن‌های L شکل و چوگانی می‌پردازیم. مطابق این نمودارها در محور عمودی عمق آبشستگی به عمق جریان و در محور افقی فاصله از دیواره مجاور آبشکن به عرض کانال بی بعد شده است. پس از بررسی پروفیل عرضی بستر مشاهده می‌شود با افزایش طول آبشکن میزان آبشستگی بیشتر می‌شود. بیشینه عرض چاله آبشستگی نیز با افزایش طول افزایش می‌یابد. در مقطع پایین‌دست آبشکن چوگانی و L شکل وجود زبانه با ایجاد یک ناحیه سکون نسبی، باعث می‌شود که در مجاورت دیواره کانال بستر آبشکن L شکل میزان آبشستگی کاهش یابد در

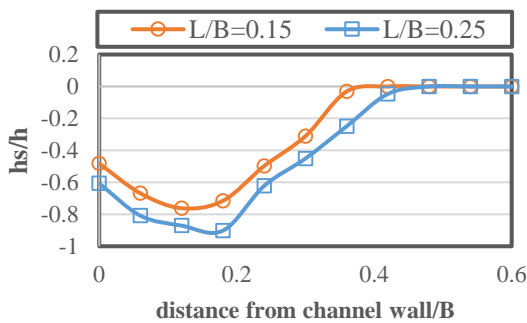


(ب)

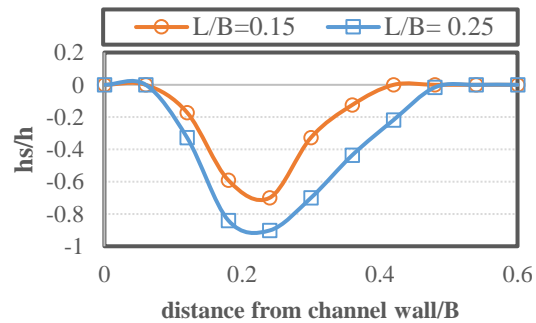


(الف)

شکل (۷): بررسی پروفیل عرضی بستر الف) ۲۰ میلیمتر بالادست و ب) ۴۰ میلیمتر پایین دست اولین آبشکن سری آبشکن L شکل



(ب)



(الف)

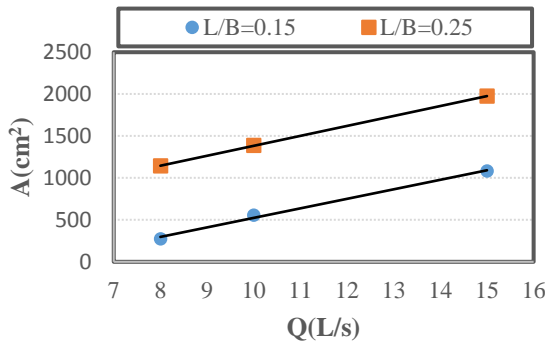
شکل (۸): بررسی پروفیل عرضی بستر الف) ۲۰ میلیمتر بالادست و ب) ۴۰ میلیمتر پایین دست اولین آبشکن سری آبشکن چوگانی

آبشکن‌ها و افزایش انحراف ایجاد شده در جریان سبب می‌شود تمرکز در دماغه آبشکن‌ها تشدید شود در نتیجه مساحت و حجم آبشستگی در پیرامون آبشکن‌ها افزایش می‌یابد. به همین ترتیب با افزایش طول آبشکن‌های L شکل از ۸ به ۱۲ سانتیمتر میانگین مساحت آبشستگی ۵۷/۵ درصد و میانگین حجم آبشستگی ۶۷/۷ درصد افزایش می‌یابد و با افزایش طول آبشکن‌های چوگانی از ۸ به ۱۲ سانتیمتر میانگین مساحت و حجم آبشستگی به ترتیب ۳۳/۳ و ۴۲ درصد افزایش می‌یابد.

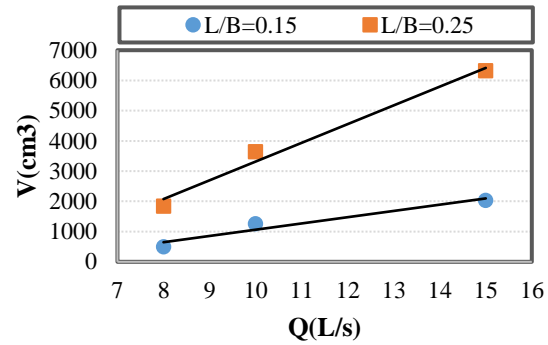
پس از مقایسه مساحت و حجم آبشستگی پیرامون سری آبشکن چوگانی و L شکل با دو نسبت انقباض همانطور که در شکل‌های ۹ و ۱۰ مشاهده می‌شود، مساحت و حجم آبشستگی پیرامون سری آبشکن چوگانی به دلیل اغتشاش

برای بررسی تاثیر انقباض مقطع جریان بر مساحت و حجم آبشستگی پیرامون سری آبشکن‌های چوگانی و L شکل با استفاده از نرم افزار Surfer16 مساحت و حجم آبشستگی در پیرامون سری آبشکن‌های چوگانی و L شکل با دو طول ۸ و ۱۲ سانتیمتر محاسبه شد و نمودارهای آن‌ها در مقابل دبی جریان طبق شکل ۹ و ۱۰ ارائه شده است. افزایش دبی جریان در سطح مقطع ثابت کانال باعث افزایش سرعت جریان و به دنبال آن قدرت گردابه‌ها و تنش برشی نزدیک بستر در اطراف آبشکن‌ها افزایش می‌یابد و این مسئله باعث افزایش مساحت و حجم آبشستگی می‌شود همچنین با افزایش طول آبشکن‌ها، میزان انقباض مقطع جریان بیشتر شده و این مسئله باعث افزایش سرعت جریان در محل آبشکن‌ها، افزایش طول ناحیه جدایی جریان در بالادست

کمترو انحراف نرم جریان در دماغه از سری آبشکن L شکل کمتراست.

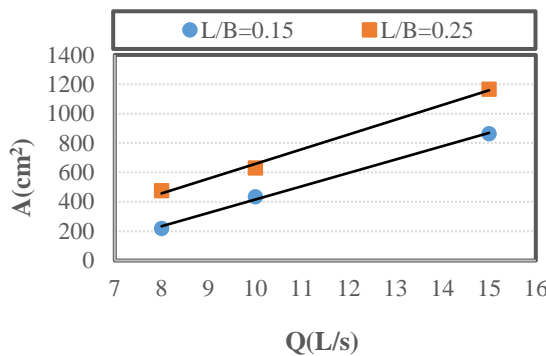


(ب)

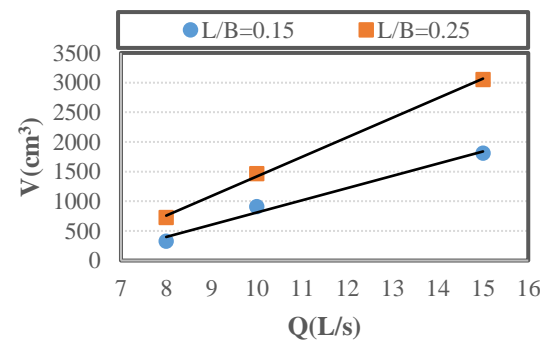


(الف)

شکل (۹): تغییرات الف) مساحت و ب) حجم آبشستگی با افزایش دبی جریان برای سری آبشکن L شکل با دو طول ۸ و ۱۲ سانتیمتر



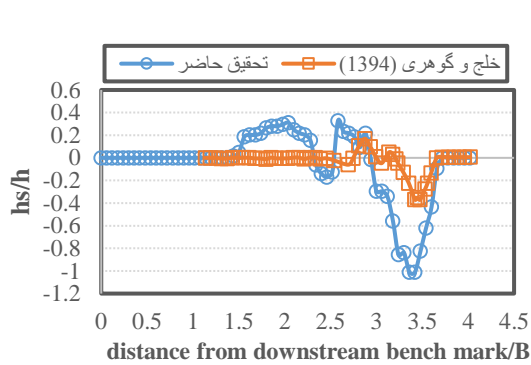
(ب)



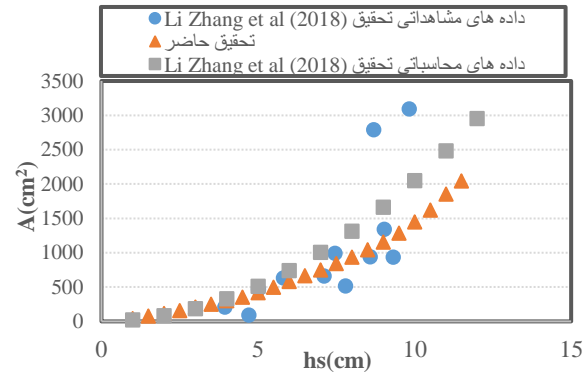
(الف)

شکل (۱۰): تغییرات الف) مساحت و ب) حجم آبشستگی با افزایش دبی جریان برای سری آبشکن چوگانی با دو طول ۸ و ۱۲ سانتیمتر مقایسه شده است. با توجه به شکل نتیجه گرفته می‌شود وقتی عمق آبشستگی کم است مساحت آبشستگی تحقیق حاضر تقریباً با تحقیق ژانگ مطابقت دارد ولی با افزایش عمق آبشستگی مساحت آبشستگی تحقیق حاضر بسیار کمتر از تحقیق ژانگ می‌باشد که دلیل این امر زمان آزمایش می‌باشد، زمان آزمایش تحقیق ژانگ ۴۹ ساعت در حالی که زمان آزمایش تحقیق حاضر ۵ ساعت است. با افزایش زمان آزمایش آبشستگی عمق، مساحت و هندسه حفره آبشستگی بیشتر می‌شود.

در شکل (۱۱-الف) پروفیل طولی سری آبشکن چوگانی تحقیق حاضر با تحقیق خلج مقایسه شده است همانطور که ملاحظه می‌شود میزان آبشستگی و رسوبگذاری پیرامون آبشکن‌های تحقیق حاضر بیشتر از تحقیق خلج می‌باشد به این دلیل که طول سری آبشکن‌های تحقیق حاضر بیشتر از تحقیق خلج می‌باشد و در آزمایش‌های تحقیق حاضر از d_{50} کوچکتری استفاده شده است. مطابق شکل (۱۱-ب) مساحت آبشستگی آبشکن L شکل تحقیق حاضر با تحقیق ژانگ



(ب)



(الف)

شکل (۱۱): تغییرات (الف) پروفیل طولی سری آبشکن چوگانی (ب) مساحت آبشستگی با افزایش عمق آبشستگی

میانگین عمق آبشستگی در آبشکن‌های L شکل و چوگانی با افزایش طول به ترتیب ۴۴ و ۱۵ درصد افزایش می‌یابد. با افزایش طول آبشکن‌های L شکل از ۸ به ۱۲ سانتیمتر میانگین مساحت آبشستگی ۵۷/۵ درصد و میانگین حجم آبشستگی ۶۷/۷ درصد افزایش می‌یابد در صورتی که با افزایش طول آبشکن‌های چوگانی از ۸ به ۱۲ سانتیمتر میانگین مساحت و حجم آبشستگی به ترتیب ۳۳/۳ و ۴۲ درصد افزایش می‌یابد. در آبشکن‌های چوگانی به دلیل انحنای دماغه آبشکن جریان به آرامی منحرف می‌شود و تلاطم جریان در دماغه کمتر است بنابراین حفره آبشستگی کم عمق‌تری نسبت به آبشکن L شکل و مستقیم ایجاد می‌شود در پایین دست آبشکن چوگانی در مجاورت دیواره کانال آبشستگی صورت نگرفته که در حفاظت دیواره و اصلاح مسیر رودخانه نسبت به آبشکن L شکل کاربرد بهتری دارد.

نتیجه گیری

در این مقاله با انجام مطالعات آزمایشگاهی به بررسی تاثیر طول آبشکن چوگانی بر میزان آبشستگی و مقایسه آن با آبشکن L شکل پرداخته شده است نتایج آزمایش‌ها نشان داد: با افزایش طول آبشکن ابعاد حفره آبشستگی شامل (حداکثر عمق، حداکثر عرض، طول بالا دست و پایین دست) افزایش می‌یابد و ابعاد حفره آبشستگی پیرامون آبشکن چوگانی کوچکتر از آبشکن L شکل است. با افزایش طول آبشکن‌ها طول و ضخامت پشته رسوبی در پایین دست آبشکن‌ها افزایش می‌یابد و طول و ضخامت پشته رسوبی در پایین دست آبشکن‌های چوگانی کمتر از آبشکن‌های L شکل است. - الگوی آبشستگی پیرامون سری آبشکن مستقیم، L شکل و چوگانی نشان می‌دهد که بیشترین آبشستگی در دماغه اولین آبشکن و آبشستگی به تدریج در دماغه اولین آبشکن تا سومین آبشکن کاهش می‌یابد.

منابع

- خلج، م. ۱۳۹۴. مطالعه عددی و آزمایشگاهی تاثیر پارامترهای هندسی و هیدرولیکی بر الگوی جریان اطراف آبشکن‌های چوگانی. پایان نامه کارشناسی ارشد سازه‌های آبی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان.
- خلج، م. و س. گوهری، س. ۱۳۹۸. بررسی آزمایشگاهی تاثیر طول آبشکن چوگانی بر آبشستگی در کانال مستقیم. نشریه دانش آب و خاک، جلد ۲۹، شماره ۳، ص ۷۹-۹۵.

- دهقانی، امیر احمد، برزعلی، محسن، فضل-اولی، رامین و ضیاء تباراحمدی، میر خالق. ۱۳۸۸. مطالعه آزمایشگاهی آبشستگی موضعی اطراف سری آبشکن-های L شکل. مجله پژوهش-های حفاظت آب و خاک، سال ۱۶، شماره ۳، ص ۱۶۲ - ۱۴۱.
- دیوسالار، ا. و س. ح. موسوی جهرمی، س. ح. ۱۳۹۳. بررسی اثر افزایش طول بال آبشکن L شکل بر آبشستگی اطراف آن در قوس ۹۰ درجه. علوم و مهندسی آبیاری (مجله علمی کشاورزی)، جلد ۳۷، شماره ۳، ص ۶۱-۵۳.
- کرمان نژاد، ج.، فتحی مقدم، م.، دهقانی، ا. ا. و م. محمودیان. کرمان نژاد، ج. و همکاران. ۱۳۹۰. بررسی رابطه تخلخل با حداکثر عمق آبشستگی آبشکن-های L شکل نفوذ پذیر با زبانه به سمت بالادست و پایین دست در شرایط آب زلال. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد ۲۵، شماره ۲، ص ۳۱۴-۳۰۵.
- خلج، م. گوهری، س. ۱۳۹۸. بررسی آزمایشگاهی تاثیر طول آبشکن چوگانی بر آبشستگی در کانال مستقیم. نشریه دانش آب و خاک، جلد ۲۹، شماره ۳، ص ۹۵-۷۹.
- دیوسالار، ا. موسوی جهرمی، س. ح. ۱۳۹۳. بررسی اثر افزایش طول بال آبشکن L شکل بر آبشستگی اطراف آن در قوس ۹۰ درجه. علوم و مهندسی آبیاری (مجله علمی کشاورزی)، جلد ۳۷، شماره ۳، ص ۶۱-۵۳.
- کرمان نژاد، ج. و همکاران. ۱۳۹۰. بررسی رابطه تخلخل با حداکثر عمق آبشستگی آبشکن-های L شکل نفوذ پذیر با زبانه به سمت بالادست و پایین دست در شرایط آب زلال. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد ۲۵، شماره ۲، ص ۳۱۴-۳۰۵.
- خلج، م. ۱۳۹۴. مطالعه عددی و آزمایشگاهی تاثیر پارامترهای هندسی و هیدرولیکی بر الگوی جریان اطراف آبشکن-های چوگانی. پایان نامه کارشناسی ارشد سازه‌های آبی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا، همدان.
- Bahrami-Yarahmadi, M. Pagliara. S. Elham Yabarehpour, E. and N., Najafi. 2020. Study of Scour and Flow Patterns around Triangular-Shaped Spur Dikes. *KSCE Journal of Civil Engineering*. 24:3279-3288.
- El-Rashedy, S. F. Ezzeldin, M. M. and T. A. Sarhan., 2018. Influence of Spur Dikes Shapes on Scour Characteristics. *International Journal of Scientific & Engineering Research*. 9(6): 1285-1301.
- Ghodsian, M. and M. Vaghefi., M. 2009. Experimental study on scour and flow field in a scour hole around a T-shape spur dike in a 90° bend. *International Journal of Sediment Research*. 24(2): 145-158.
- Ghodsian, M. and S. M. Hoseini., S.M. 2001. Scour Around Groins. *International j. Sediment Research*, 16(1):60-68.
- Kuhnle, R. A. Alonso, C. V. and F.D.Jr. Shields, F.D.Jr. 1999. Geometry of scour holes associated with 90° spur dikes. *Journal of Hydraulic Engineering*. 125 (9): 972-978.
- Nath, D. and Misra, U.K. 2017. Experimental Study of Local Scour around Single Spur Dike in an Open Channel. *International Research Journal of Engineering and Technology*. 4(6), 2728-2734.
- Pandey, M., Valyrakis, M., Qi. M. Anurag., Sh., and A. S. Lodhi .2020. Experimental assessment and prediction of temporal scour depth around a spur dike. *International Journal of Sediment Research*. 36(1):17-28.
- Petersen, M. S. 1986. *River Engineering*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs.
- Zamani, M., Rabiefar, H., and M. Rostami. 2020. Experimental evaluation of spur dikes placement position effect on the hydraulic and erosion conditions of intakes. *Water supply*. 20(3):900-908
- Zhang, L. Wang, P. Yang, W. Zuo, W. Gu, X. and X. Yang., X. 2018. Geometric Characteristics of Spur Dike Scour under Clear-Water Scour Conditions. *Journal Water*. 10(6), 680.



Experimental Study Effect of Length on Local Scouring around Hockey and L-shaped Spur Dikes

Sajad Bajelvand¹: Saeed Gohari^{*2}: Majid Haydari³

Abstract

Spur dikes are structures that constructed for protection of the river walls against the erosion. Spur dikes are generally built perpendicular or at an angle to the river bank or revetment, protruding into the watercourse. The effect of the geometrical characteristics of the hockey spur dikes on formation developing of scour hole has been rarely studied. Spur dikes. The current study aims to evaluate the effect of the length of the hockey spur dike on the formation and development of scour hole and comparing with that effect in L-shaped spur dike. In this direction, all experiments were done in clear water conditions using the spur dikes in length of 8 cm and 12 cm and in a laboratory flume. The results asserted that the dimensions of the scour hole and the length and thickness of the sedimentary hill were increased by raising the length of the spur dike. However, this increment was lower in hockey spur dike than the L-shaped spur dike. The maximum depth, area and the volume of the scour hole were also increased by raising the length of the spur dikes. This increment in-average was equal to 57.5 and 67.7 per cent in L-shaped spur dikes and equal to 33.3 and 42 per cent in hockey spur dikes for two different lengths of spur dikes. Furthermore, no scouring was observed in downstream section of the hockey spur dikes near the wall. Therefore, the dimensions of the scour hole around the hockey spur dike was lower than those in the L-shaped spur dikes.

Keywords: Series Hockey Spur Dikes, Series L-Shaped Spur Dikes, Scour, Spur Dike Length, Experimental Model, Bed Topography

¹ M.Sc. Graduate student of Water Structure Engineering, Dept. of Water Science Eng., Faculty of Agric. Bu Ali Sina University, Hamadan, Iran.

² Assistant Professor, Dept. of Water Structure Eng., Faculty of Agric. Bu Ali Sina University, Hamadan, Iran. s.gohari@basu.ac.ir

³ Assistant Professor, Dept. of Water Structure Eng., Faculty of Agric. Bu Ali Sina University, Hamadan, Iran