

EXTENDED ABSTRACT

Experiment Study on Bed Topography around Wedged Bandal-like, Bandal-like and Impermeable Spur dike Structures at 180 Degree Bend in Non-Submerged Conditions

A. Sardasteh¹, S. A. Ayyoubzadeh², M. Shafai Bajestan³ and J. Mohammad Vali Samani⁴

1- Ph.D. Candidate, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran.

2*- Corresponding Author, Professor, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran. (ayyoub@modares.ac.ir).

3- Professor, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.

4- Professor, Tarbiat Modares University, Tehran, Iran..

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 12 April 2017

Revised: 8 December 2017

Accepted: 10 December 2017

Keywords:

Scour, Sedimentation, Froude number, Stability of river banks, River engineering.

TO CITE THIS ARTICLE :

Sardasteh, A., Ayyoubzadeh, S. A., Shafai Bajestan, M., Mohammad Vali Samani, J. (2022). 'Experiment Study on Bed Topography around Wedged Bandal-like, Bandal-like and Impermeable Spur dike Structures at 180 Degree Bend in Non-Submerged Conditions', *Irrigation Sciences and Engineering*, 45(3), pp. 63-77.

Introduction

Due to scouring problems in impermeable spur dikes, which compromise structural strength and stability and as a result repair and maintenance costs increase, an alternative method of scouring is needed to protect the river bank. In this area, bandal-like structure can be used. This structure is a combination of an impermeable spur dike and a permeable spur dike. The upper part is impermeable causes the upper half of the flow run towards the center and the inner wall and the lower part is permeable enabling the lower half of the stream passes through it (Rahman et al., 2003a, b). The lower part causes the flow to slow down and reduces speed, and because the flow near the bed has a higher concentration, it leads to settling sediments in the downstream of the river near the coast. On the other hand, because of the flow through the lower half, the power of downstream flows are reduced compared to the impermeable spur dike and the horseshoe vortices are vanished. Therefore, the scouring rate in the bandal-like structure is less than the impermeable spur dike (Zhang et al., 2010; Teraguchi et al., 2011b)

Regarding that the scouring rate, the bandal-like structure is less than an impermeable spur dike therefore, its use has been suggested by some researchers. Since the sedimentation rate behind the bandal-like structure is less than the impermeable spur dike, in the present study, a new structure called the wedge bandal-like is proposed to enhance the sedimentation of the bandal-like. Wedge bandal-like structure is constructed of a bandal-like structure and a repellent impermeable triangular spur dike. The purpose of using this structure is to use both the advantages of the bandal-like structure as well as the benefits of repellent impermeable triangular spur dike, for deviation of flow and sediment transport to the back of the structure and sedimentation. Both structures cause the secondary flow of the surface to move towards the outer arc before moving to the outer shore down the bottom and practically shore the coastal tail into middle areas.

Methodology

In the experiment study in order to increase the sedimentation behind bandal-like structure, a new structure called wedge bandal-like has been introduced and proposed and bed topography around wedge bandal-like, bandal-like and spur dike impermeable have been investigated in a physical model at 180 degree bend in non-submerged and clear water conditions. The sediments used in this study were silica sand with a relative density of 2.65 and a mean particle size of 0.881 mm. The experiments were performed for three Froude number 0.20, 0.22 and 0.24 at a constant depth of 12 cm.

Results and discusspn

- In each of the three Froude number, the maximum relative scour depth in the wedge bandal-like structure is less than that of the impermeable spur dike.
- For the Froude number of 0.20, the maximum relative scour depth in the bandal-like structure and the wedge bandal-like structure compared to the impermeable spur dike is 78 and 45% respectively for the Froude number of 0.22, 69 and 32% respectively, and for the Froude number of 0.24, decreased by 59 and 18% respectively.
- As the Froude number increased, the relative volume of scouring increases in all three types of structures. Because, by increasing the Froude number the flow rate increases and as a result, the shear stress applied by the flow as well as the volume of scouring increase.
- For the Froude number of 0.20, the relative scouring volume in the bandal-like structure and the wedge bandal-like structure compared to the impermeable spur dike were 80 and 78% respectively, for the Froude number 0.22, 90 and 68%, but for the Froude number of 0.24 they decreased by 89 and 65% respectively.
- As the Froude number increased, the maximum relative sedimentation height in the wedge bandal-like structure increased compared to the impermeable spur dike and the bandal-like structure. The higher degree of the maximum sedimentation height of the wedge bandal-like structure compared to impermeable spur dike is an important point for this structure.
- For the Froude number of 0.20, the maximum relative sedimentation height in the bandal-like structure and the wedge bandal-like structure compared to the impermeable spur dike were reduced by 65 and 32%, respectively. However, for Froude numbers of 0.22 and 0.24, the maximum relative sedimentation height in the bandal-like structure compared to the impermeable spur dike was reduced by 54 and 25% respectively.
- For the Froude numbers 0.20, 0.22 and 0.24, the maximum relative sedimentation height in the wedge bandal-like structure compared to the bandal-like structure were increased by 92, 132 and 107%, respectively; which shows that the combination of the bandal-like structure with an repellent impermeable triangular spur dike significantly increases the sedimentation rate compared to the bandal-like structure, that is the purpose of the present study.
- The relative length of sedimentation for the arc corresponds to the curvature radius of the maximum sedimentation height in the wedge bandal-like structure compared to the impermeable spur dike; and the bandal-like structure in the Froude number of 0.24 increased by 18 and 271% respectively.
- In the wedge bandal-like structure, the maximum scour depth and its extent occurred before the structure, and its value was less than the impermeable spur dike. In the impermeable spur dike, the maximum scour depth was observed before the structure, but in the bandal-like structure, the maximum scour depth occurred after the structure with more of its extension at the back of the structure.
- The maximum scour depth in a wedge bandal-like structure compared to the impermeable spur dike and the bandal-like structure has been created at a distance farther from the outer arc and the position of the structure.
- In the wedge bandal-like structure, sedimentary stack was created along and near the outer arc with longer length and better shape.

Conclusions

As seen above, for all three Froude numbers, the maximum relative scour depth and the relative scouring volume in the wedge bandal-like structure were less than the impermeable spur dike. The maximum relative sedimentation height for the three Froude number was higher in the wedge bandal-like structure than the impermeable spur dike and the bandal-like structure. It is therefore seen that the construction of a part of the structure of the bandal-like structure in the form of a wedge in the study called the wedge bandal-like structure compared to the impermeable spur dike and the bandal-like structure provides more sedimentation both at elevation and in length and width, which indicates a greater concentration of sedimentation. The maximum scour depth in a wedge bandal-like structure compared to the impermeable spur dike and the bandal-like structure has been created at a distance farther from the outer arc and the position of the structure, therefore more durability will be exploited over time.

Acknowledgement

This article is from the doctoral thesis of the first author, which was carried out in the laboratory of hydraulic models of the faculty of water science engineering, Shahid Chamran university of Ahvaz, for which the cooperation of the dean of the faculty and head of the department of water structures is gratefully acknowledged. In addition, the initial idea of this structure was presented by the third author. Khuzestan water and power authority is also thanked for using the library and internet.

References

- 1- Rahman, M. M., Nakagawa, H., Ishigaki, T. and A. T. M. Khaleduzzaman. 2003a. Channel Stabilization using bandalling. *Annual of Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University*, 46B: 613-618.
- 2- Rahman, M. M., Nakagawa, H., Khaleduzzaman, A. T. M. and T. Ishigaki. 2003b. Flow and scour-deposition around bandals. Proceeding Fifth International Summer Symposium, *Japan Society of Civil Engineers*, Tokyo, Japan.
- 3- Teraguchi, H. 2011. *Study on Hydraulic and Morphological Characteristics of River Channel*. Ph.D Thesis, Kyoto University Research Information Repository, 146 p.
- 4- Teraguchi, H., Nakagawa, H., Kawaike, K., Baba, Y. and H. Zhang. 2011b. Alternative method for river training works: Bandal-like structures. *Annual Journal of Hydraulic Engineering*, Japan Society of Civil Engineers, 55: 151-156.
- 5- Zhang, H., Nakagawa, H., Baba, Y., Kawaike, K. and H. Teraguchi. 2010. Three-Dimensional Flow Around Bandal-Like Structures. *Annual Journal of Hydraulic Engineering*, Japan Society of Civil Engineers, 54: 175-180.



مطالعه آزمایشگاهی توپوگرافی بستر در اطراف سازه‌های باندال لایک گوه‌ای، باندال لایک و آبشکن نفوذناپذیر در قوس ۱۸۰ درجه در شرایط غیر مستغرق

عبداله سردسته^۱، سید علی ایوب زاده^۲، محمود شفاعی بجنستان^۳ و جمال محمد ولی سامانی^۴

۱- دانشجوی دکتری رشته سازه های آبی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

۲- نویسنده مسئول، استاد گروه مهندسی و مدیریت آب، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران. ayyoub@modares.ac.ir

۳- استاد گروه سازه های آبی، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.

۴- استاد گروه مهندسی و مدیریت آب، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران

پذیرش: ۱۳۹۶/۰۹/۱۹

بازنگری: ۱۳۹۶/۰۹/۱۷

دریافت: ۱۳۹۶/۱/۲۳

چکیده

در این مطالعه آزمایشگاهی به منظور افزایش میزان رسوب گذاری در پشت سازه باندال لایک، سازه جدیدی تحت عنوان باندال لایک گوه‌ای پیشنهاد و معرفی شده و توپوگرافی بستر در اطراف سازه های باندال لایک گوه‌ای، باندال لایک و آبشکن نفوذناپذیر در یک مدل فیزیکی با قوس ۱۸۰ درجه در شرایط غیر مستغرق و آب زلال بررسی شده است. نتایج نشان داد که حداکثر عمق آبشستگی نسبی در سازه باندال لایک و سازه باندال لایک گوه‌ای با نفوذپذیری ۵۰ درصد و در عدد فرود ۰/۲۴ نسبت به آبشکن نفوذناپذیر به ترتیب ۵۹ و ۱۸ درصد کاهش و حداکثر ارتفاع رسوب گذاری نسبی در سازه باندال لایک گوه‌ای نسبت به آبشکن نفوذناپذیر و باندال لایک به ترتیب ۵۶ و ۱۰۷ درصد افزایش دارد. همچنین حداکثر عمق آبشستگی در سازه باندال لایک گوه‌ای در فاصله دورتری از ساحل بیرونی و سازه رخ داد و پشته رسوبی نیز در پشت سازه و در امتداد و نزدیک به ساحل بیرونی و با طول بیشتر و فرم بهتر ایجاد گردید.

کلید واژه‌ها: آبشستگی، رسوب گذاری، عدد فرود، پایداری سواحل، مهندسی رودخانه.

مقدمه

در رودخانه‌های طبیعی الگوی جریان و فرایندهای فرسایش و رسوب گذاری به شدت تحت تأثیر سازه‌های ساماندهی رودخانه قرار دارند که معمولاً برای محافظت از ساحل رودخانه در برابر فرسایش، بهبود شرایط ناپویری با ایجاد کانال اصلی عمیق تر و اخیراً برای بازیابی منظره طبیعی رودخانه مورد استفاده قرار می‌گیرند. از گذشته سازه رایجی مثل آبشکن نفوذناپذیر استفاده می‌گردید تا بتوان به اهداف ذکر شده دست یافت، این کار همچنین به خاطر سادگی طراحی و اجرا انجام می‌شد. آبشکن‌ها هر چند با اهداف رسوب گذاری و جلوگیری از فرسایش کناره‌های رودخانه و تثبیت موقعیت رودخانه احداث می‌گردند، در عین حال خود تحت تأثیر پدیده فرسایش ناشی از تمرکز جریان بخصوص در قسمت دماغه می‌باشند.

نقش اصلی آبشکن‌های نفوذناپذیر، انحراف جریان از کناره به سمت میانه رودخانه است. با انحراف جریان بالادست به میانه رودخانه، سرعت متوسط و دبی واحد عرض در مجرای اصلی افزایش می‌یابد. افزایش سرعت متوسط منجر به افزایش در گرادیان سرعت‌ها و توسعه گردابه‌ها و جریان تلاطمی شدید در اطراف آبشکن می‌گردد. این ناحیه از فاصله کمتری در بالادست تا فاصله

بیشتری در پایین دست آبشکن ظاهر می‌گردد. در این ناحیه، مجموعه ای از گردابه‌های افقی و عمودی فعالیت داشته، که تلاطم شدیدی را در سطح آب پدید می‌آورد. فرآیند هیدرولیکی این جریان، توسعه ناحیه آبشستگی موضعی در پیرامون آبشکن، ته نشست رسوبات به صورت یک بار رسوبی طویل در پایین دست آبشکن و کناره رودخانه می‌باشد. در حالی که آبشستگی یک خطر موضعی و جدی برای پایداری، دوام و کارکرد سازه آبشکن محسوب می‌شود، پدیده رسوب گذاری در کناره پایین دست رودخانه موجب توسعه و تثبیت طبیعی دیواره رودخانه در راستای مورد نظر می‌گردد. (Anonymous, 2010).

Vaghefi et al. (2009)، با انجام یک سری آزمایش‌ها در آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه تربیت مدرس تهران بر روی اثر موقعیت آبشکن T شکل در قوس ۹۰ درجه بر میزان آبشستگی اطراف آبشکن دریافتند که افزایش طول آبشکن، کاهش طول بال آبشکن، افزایش عدد فرود جریان و تغییر موقعیت آبشکن به سمت پایین دست قوس باعث افزایش ابعاد چاله آبشستگی می‌شود و آبشکن در هر موقعیتی که باشد در پایین دست آن و در دیوار خارجی رسوب گذاری اتفاق می‌افتد.

با توجه به مشکلات مربوط به آبستنگی در آبشکن‌های نفوذ ناپذیر که استحکام و پایداری سازه را به خطر می‌اندازد و به دنبال آن هزینه‌های نگهداری و تعمیرات افزایش می‌یابد، استفاده از یک روش جایگزین که آبستنگی کمتری در آن رخ دهد برای محافظت از ساحل رودخانه ضروری است. در این زمینه می‌توان از سازه باندا لایک استفاده نمود که ترکیبی از یک آبشکن نفوذناپذیر و یک آبشکن نفوذ پذیر است. قسمت فوقانی آن نفوذناپذیر بوده و باعث انحراف نیمه بالایی جریان به سمت مرکز و دیواره داخلی می‌شود و قسمت تحتانی نفوذپذیر است و نیمه پایینی جریان می‌تواند از آن عبور نماید. قسمت تحتانی باعث آرام شدن جریان و کاهش سرعت گردیده و چون جریان در نزدیکی بستر غلظت بالاتری دارد لذا منجر به ته نشینی رسوبات در پایین دست رودخانه در نزدیکی ساحل می‌گردد. از طرفی به دلیل عبور جریان از نیمه پایینی، قدرت جریان های رو به پایین در مقایسه با آبشکن نفوذناپذیر کاهش یافته و گردابه‌های نعل اسبی میرا می‌گردند لذا میزان آبستنگی در سازه باندا لایک کمتر از آبشکن نفوذناپذیر می‌باشد. در شبه قاره هند معمولاً از چوب و حصیر مابوم برای ساخت باندا لایک استفاده می‌شود. (Rahman et al., 2003a,b)

Zhang et al. (2013)، مطالعه آزمایشگاهی روی خصوصیات بستر آبراهه اطراف آبشکن‌هایی با شکل‌های مختلف در دانشگاه کیوتو انجام داده‌اند. آزمایش‌های مربوط به این تحقیق در یک فلوم به طول هشت متر، عرض ۰/۴ متر و ارتفاع ۰/۴ متر و در شرایط آب زلال و غیر مستغرق انجام شده است. از نتایج ارائه شده ملاحظه می‌شود که در سازه باندا لایک با نفوذ پذیری ۵۰ درصد، علی‌رغم ایجاد حجم چاله آبستنگی نسبتاً بزرگ، عمق آبستنگی کوچکی ایجاد می‌شود. از طرفی عمق و ناحیه رسوب‌گذاری خوبی را به وجود می‌آورد. این حجم چاله آبستنگی بزرگ محیط زیستگاهی مناسب را برای آبنیان مهیا نموده و در راستای احیای اکولوژی رودخانه می‌باشد. کم بودن عمق آبستنگی نیز به منظور ایمنی سازه بوده و طبعاً باعث کاهش هزینه‌های تعمیرات و نگهداری خواهد شد. ضمناً میزان رسوب‌گذاری مناسب باعث حفاظت سواحل از فرسایش و ایجاد اراضی جدید خواهد گردید. با توجه به توضیحات فوق سازه باندا لایک می‌تواند به‌عنوان یک روش مناسب برای حل مسائل زیست محیطی، اکولوژی، ایمنی، اقتصادی، کشاورزی و حفاظت سواحل و اراضی در رودخانه‌ها استفاده شود.

Shojaeian et al. (2015)، به بررسی آزمایشگاهی اثر هندسه آبشکن نوع باندا لایک روی الگوی فرسایش و جریان در شرایط غیر مستغرق پرداخته‌اند، در این تحقیق تأثیر درصد نفوذپذیری، فاصله بین آبشکن‌ها و زاویه آبشکن نسبت به ساحل روی حداکثر عمق آبستنگی مورد بررسی قرار گرفته است. آزمایش‌های مربوط به این تحقیق در یک فلوم آزمایشگاهی به طول ۷/۳۰ متر، عرض ۰/۵۶ متر و عمق ۰/۶۰ متر با شیب ثابت ۰/۰۰۲۸ و با بستر رسوبی با قطر متوسط ۰/۷ میلی متر و برای چهار عدد فرود (۰/۱۸، ۰/۲۰، ۰/۲۲، ۰/۲۴)، عمق جریان ثابت برابر با ۰/۱۶ متر، سه زاویه قرار گیری آبشکن نسبت به ساحل (۶۰، ۹۰، ۱۲۰ درجه)، سه نسبت فاصله به طول آبشکن (۲، ۲/۵، ۳) و چهار درصد نفوذپذیری (۰، ۳۰، ۴۵، ۶۴ درصد) در شرایط آب زلال انجام شده است.

نتایج نشان داده که در باندا لایک‌ها عمق چاله فرسایشی در مقایسه با آبشکن‌های نفوذناپذیر به طور محسوسی کمتر می‌باشد. با افزایش درصد نفوذپذیری در باندا لایک‌ها مقدار عمق آبستنگی کاهش می‌یابد. حداکثر عمق آبستنگی برای زاویه باندا لایک‌ها نسبت به ساحل، در زاویه ۹۰ درجه به علت قدرت بیشتر جریان‌های

با توجه به مشکلات مربوط به آبستنگی در آبشکن‌های نفوذ ناپذیر که استحکام و پایداری سازه را به خطر می‌اندازد و به دنبال آن هزینه‌های نگهداری و تعمیرات افزایش می‌یابد، استفاده از یک روش جایگزین که آبستنگی کمتری در آن رخ دهد برای محافظت از ساحل رودخانه ضروری است. در این زمینه می‌توان از سازه باندا لایک استفاده نمود که ترکیبی از یک آبشکن نفوذناپذیر و یک آبشکن نفوذ پذیر است. قسمت فوقانی آن نفوذناپذیر بوده و باعث انحراف نیمه بالایی جریان به سمت مرکز و دیواره داخلی می‌شود و قسمت تحتانی نفوذپذیر است و نیمه پایینی جریان می‌تواند از آن عبور نماید. قسمت تحتانی باعث آرام شدن جریان و کاهش سرعت گردیده و چون جریان در نزدیکی بستر غلظت بالاتری دارد لذا منجر به ته نشینی رسوبات در پایین دست رودخانه در نزدیکی ساحل می‌گردد. از طرفی به دلیل عبور جریان از نیمه پایینی، قدرت جریان های رو به پایین در مقایسه با آبشکن نفوذناپذیر کاهش یافته و گردابه‌های نعل اسبی میرا می‌گردند لذا میزان آبستنگی در سازه باندا لایک کمتر از آبشکن نفوذناپذیر می‌باشد. در شبه قاره هند معمولاً از چوب و حصیر مابوم برای ساخت باندا لایک استفاده می‌شود. (Rahman et al., 2003a,b)

Zhang et al. (2010)، بیان داشتند که مشخصه‌های اساسی سازه‌های باندا لایک این است که بخش فوقانی این سازه نفوذ ناپذیر است تا جریان با سرعت بالا در نزدیکی سطح آب را در جهت کانال اصلی انحراف دهد. این بخش مانند یک آبشکن نفوذ ناپذیر عمل می‌کند و جریان‌های سطحی با ایجاد اختلاف فشار قابل توجهی بین بالادست و پایین دست سازه سبب تشکیل جریان آشفته و گردابی می‌شود. نیمه پایینی نفوذپذیر است تا امکان عبور جریان با رسوبات فراهم شود. جریان عبوری در نیمه نفوذ پذیر پایینی سازه‌های باندا لایک که سرعت آن کاهش یافته، برای انتقال همه رسوبات منتقل شده توسط جریان کافی نیست، و از طرفی چون این جریان در نزدیکی بستر غلظت بالاتری دارد لذا منجر به ته نشینی رسوبات در پایین دست رودخانه در نزدیکی ساحل می‌گردد.

Teraguchi (2011)، در رساله دکتری خود بیان نموده که در سازه باندا لایک به‌عنوان یک قاعده کلی انسداد جریان در بخش فوقانی آن حدود ۵۰ درصد عمق جریان است.

Teraguchi et al. (2011)، از یک مدل آزمایشگاهی برای بررسی جریان و تغییرات بستر در آبشکن نفوذپذیر، نفوذناپذیر و باندا لایک که ترکیبی از آبشکن نفوذپذیر و نفوذناپذیر است استفاده کردند. درصد نفوذپذیری در آبشکن نفوذپذیر و باندا لایک ۵۰ درصد بوده است. نتایج آزمایش‌ها نشان دهنده بیشتر بودن بیشینه عمق آبستنگی در دماغه آبشکن نفوذناپذیر نسبت به آبشکن نفوذپذیر و باندا لایک می‌باشد. همچنین به دلیل اینکه بخش پایینی سازه نفوذپذیر است رسوبات معلق از این بخش عبور کرده و در پایین دست سازه ته نشین می‌شوند. از این رو این سازه در رودخانه‌های آبرفتی می‌تواند کارایی خوبی در جهت حفاظت از سواحل و بستر رودخانه داشته باشد.

کانال ۰/۶ متر و نسبت شعاع انحنا به عرض کانال ۳/۵ بود. پلان و مقطع کانال آزمایشگاهی در شکل (۲) نشان داده شده است. رسوبات مورد استفاده در این تحقیق از جنس ماسه سیلیس با چگالی نسبی ۲/۶۵ و اندازه متوسط ذرات ۰/۸۸ میلی‌متر انتخاب گردید. برای رسوبات مورد استفاده در این تحقیق، بر اساس مشخصات به دست آمده از دانه بندی رسوبات، ضریب یکنواختی ذرات ۱/۷۸۰ طبق رابطه (۱) بود. با توجه به اینکه مقدار این پارامتر کوچکتر از چهار است بنابراین رسوبات مورد استفاده یکنواخت محسوب می‌گردند. (Shafai Bajestan, 2008)

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad (1)$$

در این تحقیق آزمایش‌ها برای سه دبی شامل ۰/۱۵۶، ۰/۱۷۲ و ۰/۱۸۷ متر مکعب در ثانیه، سه سرعت جریان ۰/۲۱۷، ۰/۲۳۹ و ۰/۲۶۰ متر در ثانیه و سه عدد فرود متناظر با آن‌ها ۰/۲۰، ۰/۲۲ و ۰/۲۴ در یک عمق ثابت ۱۲ سانتی‌متر انجام شده است. اصولاً حداکثر عمق آبشستگی در شرایط آب زلال بیشتر از شرایط بستر متحرک می‌باشد. از این رو در جهت ضریب اطمینان، اکثر مطالعه‌های آزمایشگاهی در خصوص عمق آبشستگی در شرایط آب زلال می‌باشد. در این تحقیق آزمایش‌ها در شرایط آب زلال انجام شده است.

تمام روابط ارائه شده را می‌توان به صورت فرم کلی رابطه (۲) نوشت:

$$\frac{U_c}{[g(G_s-1)D_{50}]^{0.5}} = a' \left(\frac{D_0}{D_{50}} \right)^m \quad (2)$$

که در آن، U_c : سرعت آستانه‌ی حرکت رسوبات، g : شتاب ثقل، G_s : سنگینی ویژه رسوبات، D_{50} : قطر متوسط رسوبات، D_0 : عمق جریان، a' : ضریب ثابت معادله و m : نمای ثابت معادله می‌باشد.

در این تحقیق از مقادیر ارائه شده توسط نه محقق برای a' و m استفاده شده (Shafai Bajestan, 2008). بر اساس آن‌ها سرعت آستانه حرکت محاسبه گردیده و از میانگین این سرعت‌ها برای بررسی نسبت $\frac{U}{U_c}$ استفاده شده است. میانگین سرعت آستانه حرکت ۰/۳۰۷ متر در ثانیه به دست آمد. با مقایسه‌ی سرعت‌های جریان و سرعت آستانه‌ی حرکت رسوبات، مشخص شد که برای هر سه فرود جریان ۰/۲۰، ۰/۲۲ و ۰/۲۴ نسبت $\frac{U}{U_c}$ به ترتیب معادل ۰/۷۱، ۰/۷۸ و ۰/۸۵ بوده و کمتر از یک می‌باشد، لذا آبشستگی در شرایط آب زلال صورت می‌گیرد.

سازه آبشکن نفوذناپذیر مستطیلی به طول مؤثر (تصویر طول سازه بر امتداد عمود بر ساحل خارجی) ۱۴ سانتی‌متر از جنس پلکسی گلاس و به ضخامت پنج میلی‌متر ساخته شد. این سازه به صورت

رو به پایین نسبت به زوایای ۶۰ و ۱۲۰ درجه بیشتر بوده و برای زاویه ۶۰ درجه کمتر مشاهده شده است. بیشترین ابعاد چاله آبشستگی مربوط به آبشکن‌های نفوذناپذیر می‌باشد. در یک زاویه مشخص با کاهش درصد بازشدگی، عرض چاله آبشستگی یک روند افزایشی دارد.

Jarrahzade et al. (2017)، در بررسی آزمایشگاهی اثر هندسه آبشکن باندا لایک روی الگوی فرسایش در شرایط مستغرق، دریافتند که عمق، عرض و کشیدگی چاله آبشستگی در آبشکن نفوذناپذیر، باندا لایک و نفوذپذیر به ترتیب کاهش می‌یابد. قسمت نفوذپذیر باندا لایک تأثیر قابل توجهی در کاهش عمق، عرض و کشیدگی چاله آبشستگی نسبت به آبشکن نفوذناپذیر دارد. در باندا لایک حداکثر عمق آبشستگی در دماغه اتفاق می‌افتد اما در آبشکن نفوذپذیر میزان عمق آبشستگی در طول سازه یکسان است. حداکثر عمق آبشستگی نسبی در اعداد فرود کمتر در حالت مستغرق بیش از حالت غیر مستغرق می‌باشد و با افزایش عدد فرود این روند معکوس می‌شود.

نظر به اینکه میزان آبشستگی در سازه باندا لایک نسبت به آبشکن نفوذناپذیر کمتر است لذا استفاده از آن توسط برخی محققین پیشنهاد شده است. از آنجا که میزان رسوب‌گذاری در پشت سازه باندا لایک نسبت به آبشکن نفوذناپذیر کمتر می‌باشد لذا در تحقیق حاضر به منظور افزایش رسوب‌گذاری در سازه باندا لایک، سازه جدیدی تحت عنوان باندا لایک گوه‌ای پیشنهاد و معرفی شده است. از ترکیب یک سازه باندا لایک و یک آبشکن مثلثی نفوذناپذیر از نوع دافع سازه باندا لایک گوه‌ای تشکیل شده است. هدف از استفاده از این سازه این است که هم از مزایای سازه باندا لایک و همچنین از مزایای آبشکن مثلثی نفوذناپذیر دافع، برای انحراف جریان و انتقال رسوب به پشت آبشکن و رسوب‌گذاری استفاده شود. هر دو سازه باعث می‌شوند تا جریان ثانویه سطحی که به سمت قوس خارجی حرکت می‌کند قبل از رسیدن به ساحل خارجی به سمت پائین دست حرکت کرده و عملاً آبشستگی پنجه ساحل به مناطق میانی منتقل شود. در شکل (۱) مدل باندا لایک گوه‌ای نشان داده شده است.

مواد و روش‌ها

در تحقیق حاضر با ساخت یک کانال مستطیلی با قوس ۱۸۰ درجه از جنس ورق آهنی گالوانیزه با ضخامت دو میلی‌متر، در محل دانشکده مهندسی آب و محیط زیست دانشگاه شهید چمران اهواز، تأثیر مشخصات هندسی سازه باندا لایک گوه‌ای شکل بر توپوگرافی بستر در شرایط غیر مستغرق و آب زلال مورد آزمایش و بررسی قرار گرفته است. طول مستقیم کانال در ورودی و خروجی هر کدام به طول چهار متر، شعاع انحنای قوس داخلی ۱/۸ متر، شعاع انحنای قوس خارجی ۲/۴ متر، شعاع انحنای متوسط قوس ۲/۱ متر، طول قوس داخلی ۵/۶۵ متر، طول قوس خارجی ۷/۵۳ متر، عرض

فلزی با قطر پنج میلی‌متر و بخش نفوذناپذیر از جنس پلکسی گلاس ساخته شد، قسمت باندال لایک این سازه در ساحل بیرونی و عمود بر آن نصب شد و قسمت مثلثی نفوذناپذیر با زاویه 30° درجه نسبت به ساحل بالادست در دماغه سازه قرار گرفت. سازه‌های باندال لایک گوه‌ای نیز دارای طول مؤثر برابر با 14 سانتی‌متر و مساوی با سازه های آبشکن نفوذناپذیر مستطیلی و باندال لایک در نظر گرفته شد. طول قسمت باندال لایک و مثلثی نفوذناپذیر هر کدام نصف طول مؤثر را شامل شدند. ارتفاع قسمت نفوذناپذیر و نفوذپذیر قسمت باندال لایک نیز هر کدام معادل نصف عمق جریان بودند. شکل (۵) نمایی از سازه باندال لایک گوه‌ای را نشان می‌دهد.

عمود بر ساحل خارجی نصب گردید و مورد آزمایش قرار گرفت. شکل (۳) نمایی از سازه آبشکن نفوذناپذیر را نشان می‌دهد. در سازه باندال لایک 50% درصد ارتفاع آن نفوذپذیر و از جنس مفتول‌های فلزی با قطر 5 میلی‌متر و با نفوذپذیری 50% و 50% درصد دیگر ارتفاع نفوذناپذیر و از جنس پلکسی گلاس ساخته شد. این سازه نیز با طول مؤثر 14 سانتی‌متر به صورت عمود بر ساحل خارجی نصب و مورد آزمایش قرار گرفت. برای این سازه نیز طول مؤثر با طول سازه برابر می‌باشد. شکل (۴) نمایی از سازه باندال لایک را نشان می‌دهد. سازه باندال لایک گوه‌ای از ترکیب یک باندال لایک و یک قسمت مثلثی نفوذناپذیر از نوع دافع ساخته شد. بخش نفوذپذیر باندال لایک با درصد بازشدگی 50% درصد و یکنواخت از جنس مفتول‌های

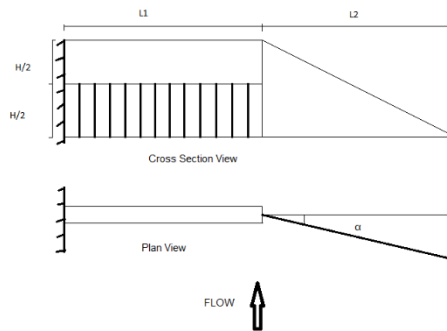


Fig. 1- Model of wedged bandal-like structure at this study
 شکل ۱- مدل باندال لایک گوه‌ای مورد استفاده در این پژوهش

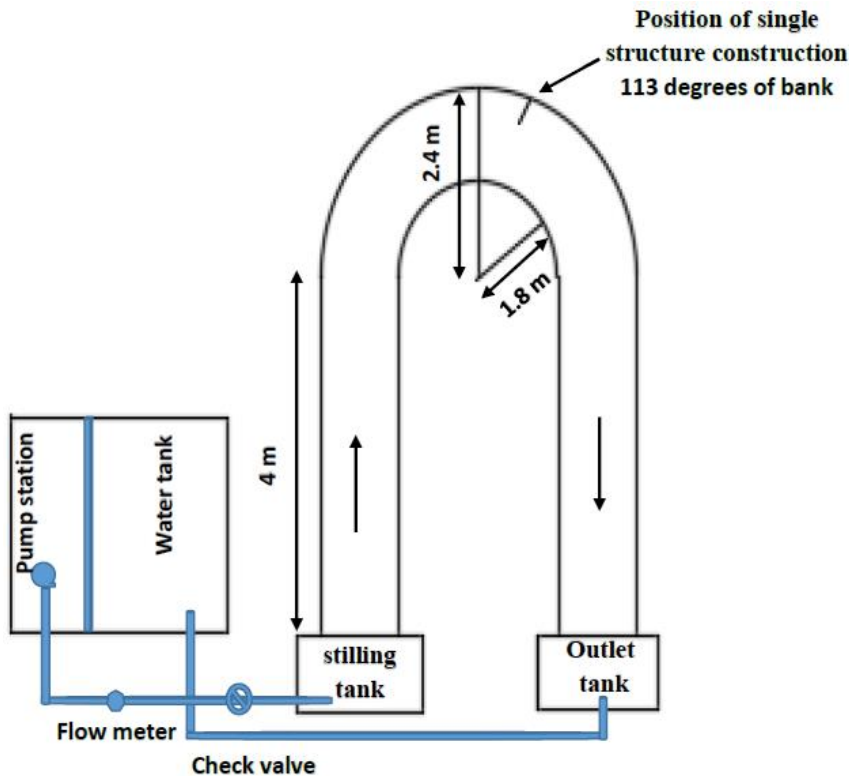


Fig. 2- Experimental setup
 شکل ۲- پلان برپائی آزمایشات



Fig. 3- Spur dike Structure
 شکل ۳- نمایی از سازه آبشکن نفوذ ناپذیر

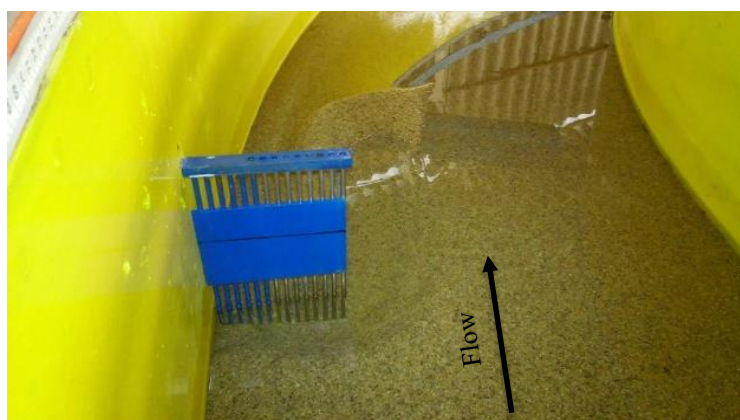


Fig. 4- Bandal-like Structure
 شکل ۴- نمایی از سازه باندا لایک

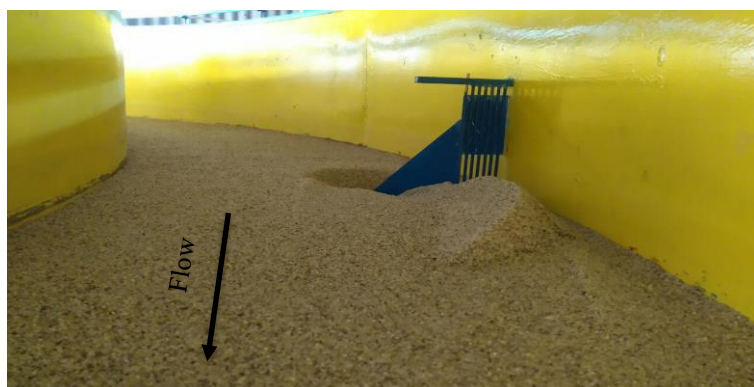


Fig. 5- Wedged Bandal-like Structure
 شکل ۵- نمایی از سازه باندا لایک گوه‌ای

۱- متغیرهای مربوط به هندسه سامانه: شیب طولی رودخانه S_0 ، عرض رودخانه B ، شعاع انحنا قوس رودخانه R و موقعیت در قوس β . ۲- متغیرهای مربوط به مشخصات هندسی سازه: طول مؤثر سازه باندا ل لایک L_b ، طول مؤثر قسمت باندا ل لایک سازه باندا ل لایک L ، طول مؤثر قسمت مثلثی شکل نفوذناپذیر سازه باندا ل لایک L_w ، درصد بازشدگی قسمت نفوذپذیر باندا ل لایک P ، زاویه سازه باندا ل لایک θ ، زاویه قسمت مثلثی نفوذناپذیر سازه باندا ل لایک نسبت به ساحل α و ارتفاع سازه‌های باندا ل لایک H . ۳- متغیر مربوط به جانمایی سازه‌ها: زاویه موقعیت نصب سازه‌ها از ابتدای قوس β_s . ۴- متغیرهای مربوط به جریان: سرعت متوسط جریان در بازه مستقیم بالادست قوس U ، عمق جریان در بازه مستقیم بالادست قوس D_0 و شتاب ثقل g . ۵- متغیرهای مربوط به سیال: جرم واحد حجم مایع ρ و ضریب لزجت دینامیکی μ . ۶- متغیرهای مربوط به رسوبات: قطر متوسط ذرات رسوبی d_{50} ، چگالی رسوبات G_s و انحراف معیار رسوبات σ_g .
با استفاده از تئوری π باکینگهام و در نظر گرفتن متغیرهای D_0 ، U ، ρ به عنوان متغیرهای تکراری، پارامترهای بی بعد تعیین گردیدند. پس از حذف پارامترهای بی بعد ثابت در بررسی‌ها که مقدار آن‌ها در جدول (۱) ارائه شده است، و همچنین با توجه به اینکه عدد رینولدز جریان برای هر سه بده جریان مورد آزمایش به ترتیب ۲۶۰۴۰، ۲۸۶۸۰ و ۳۱۲۰۰ و در محدوده جریان متلاطم بود لذا از پارامتر بی بعد عدد رینولدز $\frac{\rho U D_0}{\mu}$ نیز صرف نظر گردید. بنابراین خواهیم داشت:

$$\Pi_A = \Phi_A\left(\frac{U}{\sqrt{gD_0}}, \frac{R}{D_0}, \beta\right) \quad (3)$$

در رابطه فوق Π_A معرف پارامترهای بی بعد عمق آبشستگی و ارتفاع رسوب گذاری است که عبارتند از: $\frac{d_s}{D_0}$: پارامتر بی بعد عمق نسبی آبشستگی، $\frac{d_d}{D_0}$: پارامتر بی بعد ارتفاع نسبی رسوب گذاری و $\frac{V_c}{D_0^3}$: پارامتر بی بعد حجم نسبی آبشستگی.

از آنجا که هدف از انجام آزمایش‌ها، مقایسه تغییر توپوگرافی بستر به ازای تغییر پارامترهای هندسی سازه باندا ل لایک گوه‌ای و مقایسه با سازه باندا ل لایک و آبشکن نفوذناپذیر می باشد و نه بدست آوردن رابطه‌ای برای پیش بینی میزان آبشستگی، بنا به نظر Jonson et al (2002) مدت زمان تعادل نسبی حداکثر آبشستگی سه ساعت می باشد ، علاوه بر این با انجام آزمایش طولانی به مدت ۱۳ ساعت بر روی آبشکن نفوذناپذیر برای عدد فرود 0.24 دیده شد که تقریباً ۹۰ درصد حداکثر عمق آبشستگی در ۱۵۰ دقیقه رخ می دهد. لذا با در نظر گرفتن ضریب اطمینان مدت زمان انجام کلیه آزمایش‌ها ۱۸۰ دقیقه در نظر گرفته شد. همچنین با انجام و بررسی آزمایش‌های اولیه موقعیت ۱۱۳ درجه از قوس ۱۸۰ درجه برای نصب تک سازه‌ها و انجام آزمایش‌های مربوطه تعیین گردید.

در ابتدای هر آزمایش پس از تسطیح رسوبات بستر در حالی که دریچه کشویی انتهای فلوم بسته بود با روشن کردن پمپ و تنظیم شیر کنترل دبی و با قرائت دبی سنج، جریان با دبی کم وارد فلوم می شد. با این دبی آبشستگی در اطراف سازه‌ها اتفاق نمی افتاد. پس از بالا آمدن سطح آب در فلوم، با باز نمودن شیر کنترل دبی ضمن افزایش تدریجی دبی با باز نمودن دریچه کشویی انتهای فلوم عمق جریان کنترل می گردید. این عملیات ادامه داشته تا جریان برای دبی‌های مورد نظر و در عمق ثابت دلخواه و در شرایط آب زلال در فلوم برقرار گردد.

بعد از اتمام هر آزمایش ابتدا دریچه کشویی انتهای فلوم به تدریج و آرامی پایین آورده می شد تا ابتدا عمق افزایش یابد. سپس شیرکشویی ورودی فلوم نیز به تدریج بسته می گردید تا جریان به صورت تدریجی و بدون تغییر در توپوگرافی ایجاد شده، خارج گردد. در انتها شیر خروجی زهکش باز می شد تا آب موجود در رسوبات بستر نیز به آرامی تخلیه شود. پس از زهکشی شدن بستر، توپوگرافی بستر با استفاده از متر لیزری برداشت می گردید.

با استفاده از آنالیز ابعادی، پارامترهای بدون بعد و فرضیاتی که برای انجام مطالعه‌ها و دستیابی به مشخصه‌های اصلی پدیده آبشستگی و رسوب گذاری مد نظر قرار گرفته‌اند مشخص می شوند. پدیده آبشستگی و رسوب گذاری در اطراف سازه‌ها از پنج عامل اصلی تأثیر می پذیرند که عبارتند از:

جدول ۱- شرایط آزمایشگاهی بر حسب مقادیر پارامترهای ثابت بدون بعد

Table 1- Fixed parameter values in dimensional analysis

Parameter	S_0	θ	α	β_s	G_s	σ_g	P	$\frac{B}{D_0}$	$\frac{L}{D_0}$	$\frac{L_b}{D_0}$	$\frac{L_w}{D_0}$	$\frac{H}{D_0}$	$\frac{d_{50}}{D_0}$
Value	0.001	90	30	113	2.65	1.84	50%	5	1.17	0.58	0.58	1	0.007

نتایج و بحث

حداکثر عمق نسبی آبستگی

نسبت عمق آبستگی به عمق جریان، عمق نسبی آبستگی است که پارامتر بی بعدی می‌باشد. همانطور که از شکل (۶) مشاهده می‌گردد، در هر سه عدد فرود حداکثر عمق نسبی آبستگی سازه باندا لایک لایک گوه‌ای کمتر از آبشکن نفوذناپذیر می‌باشد زیرا در آبشکن نفوذناپذیر به دلیل برخورد عمودی جریان به تمام طول سازه و قدرت بالای جریان‌های رو به پایین و تشکیل گردابه‌های نعل اسبی از یک طرف و همچنین به علت انحراف کل جریان به سمت محور فلوم و افزایش ناگهانی و موضعی سرعت در دماغه آبشکن و ایجاد جریان‌های گردابی، سرعت آبشکن و ایجاد جریان‌های گردابی، سرعت جریان به شدت افزایش یافته و قدرت حمل رسوبات بستر در این ناحیه بیشتر می‌شود و در نتیجه حداکثر عمق آبستگی در آبشکن نفوذناپذیر زیادتر خواهد بود.

در سازه باندا لایک لایک به دلیل نفوذپذیر بودن قسمت پایینی سازه و عبور جریان، قدرت جریان‌های رو به پایین کاهش یافته و گردابه‌های نعل اسبی میرا می‌شوند. از طرفی به دلیل نفوذناپذیر بودن قسمت بالایی سازه، جریان‌های سطحی به میانه فلوم منحرف می‌گردد، لذا عمق آبستگی در مقایسه با آبشکن نفوذناپذیر کمتر بود که با تحقیقات (2011) Teraguchi et al، (2011) Nakagawa et al، (2011) Zhang et al و (2015) Shojaeian et al، مطابقت دارد.

در سازه باندا لایک لایک گوه‌ای، جریان نزدیک شونده از روی تاج قسمت گوه‌ای آن به طرف میانه فلوم منحرف می‌شود و جریان عبوری از روی تاج در پایین دست محور سازه به بستر برخورد کرده و تشکیل جریان ثانویه می‌دهد. از طرفی به علت تنگ شدن مجرای جریان عبوری، تنش برشی بستر افزایش یافت. برخورد جریان عبوری از روی تاج به بستر و افزایش تنش برشی بستر، باعث آبستگی در دماغه قسمت گوه‌ای سازه شد. ولی به دلیل نفوذ پذیر بودن قسمت پایین

سازه و عبور جریان، قدرت جریان رو به پایین کمتر می‌شد، از طرفی به دلیل دافع بودن قسمت مثلثی در جلوی سازه و عدم برخورد جریان به طور عمودی و همچنین عبور جریان از روی تاج قسمت مثلثی و کاهش قدرت جریان‌های برگشتی میزان آبستگی کمتر از آبشکن نفوذناپذیر بود. اما نسبت به سازه باندا لایک عمق آبستگی بیشتر شد که ناشی از وجود قسمت مثلثی نفوذناپذیر در جلوی سازه بود.

برای عدد فرود $0/20$ حداکثر عمق نسبی آبستگی در سازه باندا لایک و سازه باندا لایک گوه‌ای نسبت به آبشکن نفوذناپذیر به ترتیب 78 و 45 درصد، برای عدد فرود $0/22$ به ترتیب 69 و 32 درصد و برای عدد فرود $0/24$ به ترتیب 59 و 18 درصد کاهش مشاهده گردید.

حجم نسبی آبستگی

از تقسیم حجم آبستگی به توان سوم عمق جریان، حجم نسبی آبستگی تعیین گردید. همانطور که از شکل (۷) ملاحظه می‌شود، با افزایش عدد فرود حجم نسبی آبستگی در هر سه نوع سازه افزایش می‌یابد دلیل این امر نیز آن است که با زیاد شدن عدد فرود سرعت جریان بیشتر شده و در نتیجه تنش برشی اعمالی بر بستر از طرف جریان افزایش و حجم آبستگی نیز افزایش پیدا می‌کند. حجم نسبی آبستگی در سازه‌های باندا لایک لایک گوه‌ای و باندا لایک نسبت به آبشکن نفوذناپذیر کاهش زیادی داشت که علت آن نفوذ پذیر بودن قسمت تحتانی سازه‌های باندا لایک و باندا لایک گوه‌ای می‌باشد که با عبور جریان از آن قسمت، قدرت جریان‌های رو به پایین کاهش یافته و گردابه‌های نعل اسبی میرا می‌شوند، قسمت نفوذپذیر به صورت آرام کننده عمل می‌کنند. در ضمن اختلاف کم بین سازه باندا لایک گوه‌ای و باندا لایک نیز قابل توجه می‌باشد. برای عدد فرود $0/20$ حجم نسبی آبستگی در سازه باندا لایک و سازه باندا لایک گوه‌ای نسبت به آبشکن نفوذناپذیر به ترتیب 80 و 78 درصد، برای عدد فرود $0/22$ به ترتیب 90 و 68 درصد و برای عدد فرود $0/24$ به ترتیب 89 و 65 درصد کاهش مشاهده گردید.

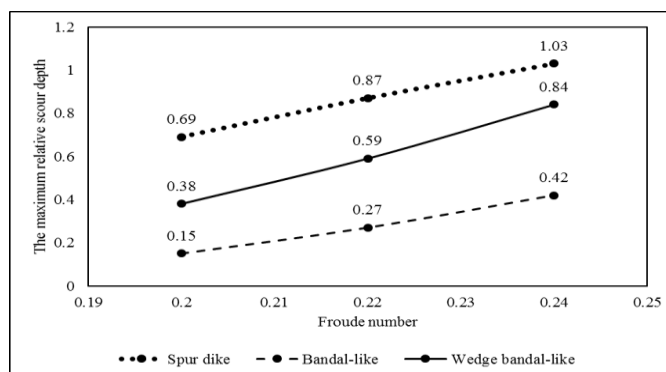


Fig. 6- Variation of the maximum relative scour depth with Froude number

شکل ۶- تغییرات حداکثر عمق نسبی آبستگی با عدد فرود جریان

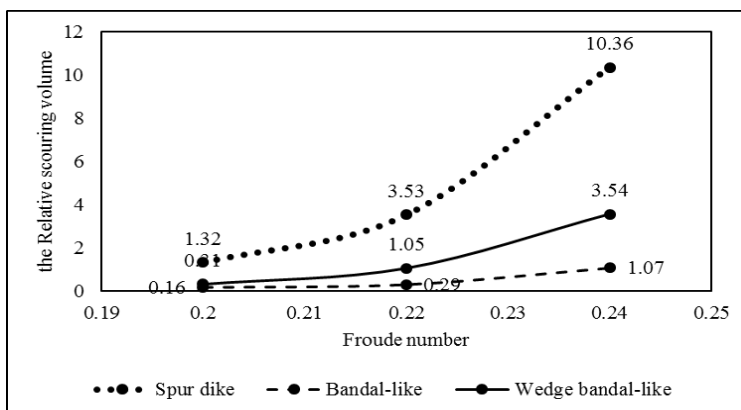


Fig. 7- Variation of the Relative scouring volume with Froude number

شکل ۷- تغییرات حجم نسبی آبشستگی با عدد فرود جریان

برای قوس متناظر با شعاع انحنای حداکثر ارتفاع رسوب گذاری تعیین و با تقسیم به عرض فلوم، طول نسبی رسوب گذاری محاسبه شد که در باندا لایک گوه‌ای نسبت به آبشکن نفوذناپذیر و باندا لایک در عدد فرود 0.24 به ترتیب 18 و 271 درصد افزایش داشت. عرض رسوب گذاری نیز در امتداد شعاع انحنای منطبق بر نقطه حداکثر ارتفاع رسوب گذاری محاسبه و با تقسیم به عرض فلوم، عرض نسبی رسوب گذاری تعیین شد که در باندا لایک گوه‌ای نسبت به آبشکن نفوذناپذیر و باندا لایک در عدد فرود 0.24 به ترتیب 40 و 3 درصد کاهش دیده شد که نشان دهنده تمرکز رسوب گذاری در امتداد و نزدیک ساحل بیرونی می‌باشد بر خلاف آبشکن نفوذناپذیر که در عرض فلوم پخش گردید. لازم به ذکر است که با محاسبه اختلاف مقدار پارامترهای نسبی آبشستگی و رسوب گذاری در دو سازه و تقسیم به مقدار پارامتر در سازه اول، درصدهای افزایش یا کاهش مقدار پارامتر در سازه دوم نسبت به سازه اول محاسبه گردید.

مقطع عرضی در موقعیت حداکثر عمق آبشستگی

در شکل (۹) مقطع عرضی بستر در موقعیت حداکثر عمق آبشستگی در عدد فرود 0.24 برای هر سه سازه آبشکن نفوذناپذیر، باندا لایک گوه‌ای و باندا لایک مشاهده می‌شود. میزان آبشستگی در سازه باندا لایک گوه‌ای کمتر از آبشکن نفوذناپذیر و بیشتر از باندا لایک بود. نکته قابل توجه در این شکل آبشستگی بسیار کم در ساحل خارجی برای سازه باندا لایک گوه‌ای نسبت به دو سازه دیگر می‌باشد. این موضوع پایداری بیشتر ساحل خارجی و همچنین حفظ پایداری و استحکام سازه به ویژه ریشه سازه باندا لایک گوه‌ای را می‌تواند در بر داشته باشد. حداکثر عمق آبشستگی در عدد فرود 0.24 برای آبشکن نفوذناپذیر در $\frac{R}{D_0} = 18/75$ ، در سازه باندا لایک در $\frac{R}{D_0} = 18/83$ و در سازه باندا لایک گوه‌ای در $\frac{R}{D_0} = 18/42$ رخ داد.

حداکثر ارتفاع نسبی رسوب گذاری

ابتدا با تقسیم ارتفاع رسوب گذاری به عمق جریان ارتفاع نسبی رسوب گذاری به دست آمد که پارامتری بی بعد است. در شکل (۸) با افزایش عدد فرود حداکثر ارتفاع نسبی رسوب گذاری در سازه باندا لایک گوه‌ای نسبت به آبشکن نفوذناپذیر و باندا لایک بیشتر شد. زیادتر بودن حداکثر ارتفاع رسوب گذاری سازه باندا لایک گوه‌ای نسبت به آبشکن نفوذناپذیر یک امتیاز مهم برای این سازه می‌باشد. علت این امر عبور جریان حاوی رسوبات و با سرعت کم از قسمت پایینی نفوذ پذیر سازه و انحراف جریان‌های سطحی توسط قسمت نفوذناپذیر فوقانی سازه به سمت مرکز و ساحل داخلی کانال می‌باشد. همچنین به دلیل انتقال جریان نزدیک بستر و حاوی رسوبات ناشی از آبشستگی بستر، در محل دماغه و راستای محور صفحه مثلثی و موازی آن به طرف ساحل بیرونی می‌باشد. لذا رسوبات حاصل از آبشستگی نیز در ساحل بیرونی ترسیب می‌شوند که این موضوع به منظور پر کردن چاله فرسایشی ساحل بیرونی و ایجاد ساحل جدید حائز اهمیت است.

برای عدد فرود 0.20 حداکثر ارتفاع نسبی رسوب گذاری در سازه باندا لایک و سازه باندا لایک گوه‌ای نسبت به آبشکن نفوذناپذیر به ترتیب 65 و 32 درصد کاهش دیده شد، ولی برای عددهای فرود 0.22 و 0.24 حداکثر ارتفاع نسبی رسوب گذاری در سازه باندا لایک نسبت به آبشکن نفوذناپذیر به ترتیب 54 و 25 درصد کاهش یافت و در سازه باندا لایک گوه‌ای نسبت به آبشکن نفوذناپذیر به ترتیب 7 و 56 درصد افزایش مشاهده گردید. برای عددهای فرود 0.20 ، 0.22 و 0.24 حداکثر ارتفاع نسبی رسوب گذاری در سازه باندا لایک گوه‌ای نسبت به سازه باندا لایک به ترتیب 92 ، 132 و 107 درصد افزایش دیده شد که نشان می‌دهد ترکیب باندا لایک با صفحه مثلثی نفوذناپذیر باعث افزایش قابل توجهی در میزان رسوب گذاری نسبت به باندا لایک گردیده که هدف تحقیق حاضر است. طول رسوب گذاری

صورت گرفته است. ضمناً نظر به اینکه حداکثر انحنای ۲۲۵ سانتی-متری و در موقعیت $\beta = 112/69$ درجه، در سازه بانдал لایک در شعاع انحنای ۲۲۶ سانتی-متری و در موقعیت $\beta = 113/29$ درجه و در سازه بانдал لایک گوه‌ای در شعاع انحنای ۲۲۱ سانتی-متری و در موقعیت $\beta = 106/72$ درجه از قوس ۱۸۰ درجه اتفاق افتاده و از طرفی شعاع انحنای قوس خارجی ۲۴۰ سانتی-متری و سازه‌ها در موقعیت ۱۱۳ درجه نصب شده بودند، لذا مشاهده می‌شود دورتری از ساحل خارجی و سازه رخ داده که حائز اهمیت می‌باشد.

نیم رخ طولی در موقعیت حداکثر ارتفاع رسوب‌گذاری

شکل (۱۲) نیم رخ طولی بستر در موقعیت حداکثر ارتفاع رسوب‌گذاری از بالا دست تا پایین دست سازه در عدد فرود $0/24$ را نمایش می‌دهد. همانطور که ملاحظه می‌شود عمق آبستگي و گستره آن در سازه بانдал لایک گوه ای قبل از سازه رخ داده است و مقدار آن کمتر از آبشکن نفوذناپذیر و نزدیک به سازه بانдал لایک می‌باشد. در آبشکن نفوذناپذیر و بانдал لایک حداکثر عمق آبستگي در این مقطع در محل سازه اتفاق افتاده و گستره آن در جلو و پشت سازه رخ داده است. با توجه به توضیحات فوق، سازه بانдал لایک گوه‌ای به دلیل عمق آبستگي کمتر نسبت به آبشکن نفوذناپذیر و همچنین نظر به اینکه گستره آبستگي در آن نسبت به آبشکن نفوذناپذیر و بانдал لایک به پشت سازه کشیده نشده و از طرفی رسوب‌گذاری بلافاصله در پشت سازه صورت گرفته لذا به لحاظ ساحل سازی و ساماندهی ساحل در پشت سازه این موضوع قابل توجه می‌باشد. همانطور که از شکل (۵) مشاهده می‌گردد، پشته رسوبی در پشت سازه و در طول مطلوب و نزدیک به ساحل خارجی و به شکل منظمی ایجاد شده است. به طوریکه عملیات ترسیب رسوبات کاملاً به منظور ساحل سازی صورت گرفته است. تأثیر قسمت مثلثی در سازه بانдал لایک گوه‌ای بر افزایش رسوب‌گذاری و جای‌نمایی آن نسبت به ساحل بیرونی در مقایسه با سازه بانдал لایک در شکل‌های (۴) و (۵) قابل مشاهده می‌باشد.

مقطع عرضی در موقعیت حداکثر ارتفاع رسوب‌گذاری

در شکل (۱۰) مقطع عرضی بستر در موقعیت حداکثر ارتفاع رسوب‌گذاری در عدد فرود $0/24$ برای هر سه سازه آبشکن نفوذناپذیر، بانдал لایک گوه‌ای و بانдал لایک مشاهده می‌شود. حداکثر ارتفاع رسوب‌گذاری در سازه بانдал لایک گوه‌ای بیشتر از آبشکن نفوذناپذیر و بانдал لایک بود. اگر چه در آبشکن نفوذناپذیر رسوب‌گذاری در فاصله کمتری از ساحل بیرونی صورت گرفته است ولیکن در سازه بانдал لایک گوه‌ای نیز رسوب‌گذاری در نزدیکی ساحل بیرونی و با ارتفاعی در حدود آبشکن نفوذناپذیر صورت گرفته و اختلاف قابل توجهی مشاهده نمی‌شود.

نیم رخ طولی در موقعیت حداکثر عمق آبستگي

شکل (۱۱) نیم رخ طولی بستر در موقعیت حداکثر عمق آبستگي از بالا دست تا پایین دست سازه در عدد فرود $0/24$ را نمایش می‌دهد. با توجه به اینکه سازه در موقعیت $\beta = 113$ درجه نصب شده ملاحظه می‌شود که حداکثر عمق آبستگي و گستره آن در سازه بانдал لایک گوه‌ای قبل از سازه رخ داده است و مقدار آن کمتر از آبشکن نفوذناپذیر می‌باشد. در آبشکن نفوذناپذیر نیز حداکثر عمق آبستگي قبل از سازه اتفاق افتاده ولی در سازه بانдал لایک حداکثر عمق آبستگي بعد از سازه و بیشتر گستره آن در پشت سازه رخ داده است. که علت آن عبور جریان از قسمت نفوذناپذیر سازه بود که در ضمن باعث میرا شدن جریان‌های رو به پایین ناشی از قسمت فوقانی نفوذناپذیر و عدم گسترش آبستگي در جلو سازه بانдал لایک شد.

با توجه به توضیحات فوق، سازه بانдал لایک گوه‌ای به دلیل عمق آبستگي کمتر نسبت به آبشکن نفوذناپذیر و همچنین نظر به اینکه گستره آبستگي در آن تا حدودی نسبت به آبشکن نفوذناپذیر و کاملاً نسبت به بانдал لایک به پشت سازه کشیده نشده لذا به لحاظ ساحل سازی و ساماندهی ساحل در پشت سازه این موضوع قابل توجه می‌باشد. هر چند در آبشکن نفوذناپذیر بر خلاف سازه‌های بانдал لایک و بانдал لایک گوه‌ای رسوب‌گذاری در فاصله نزدیکتری به سازه

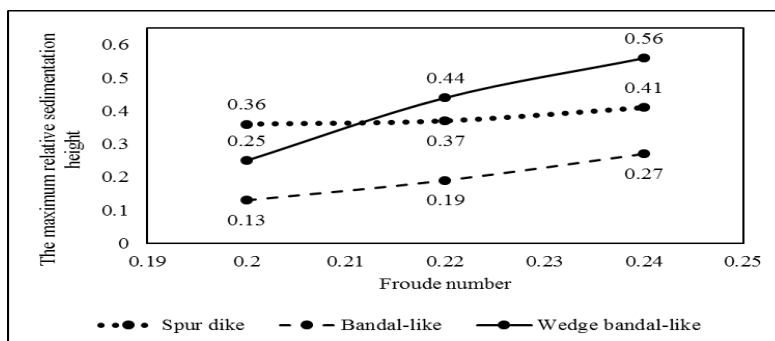


Fig. 8- Variation of the maximum relative sedimentation height with Froude number

شکل ۸- تغییرات حداکثر ضخامت رسوب‌گذاری با عدد فرود جریان

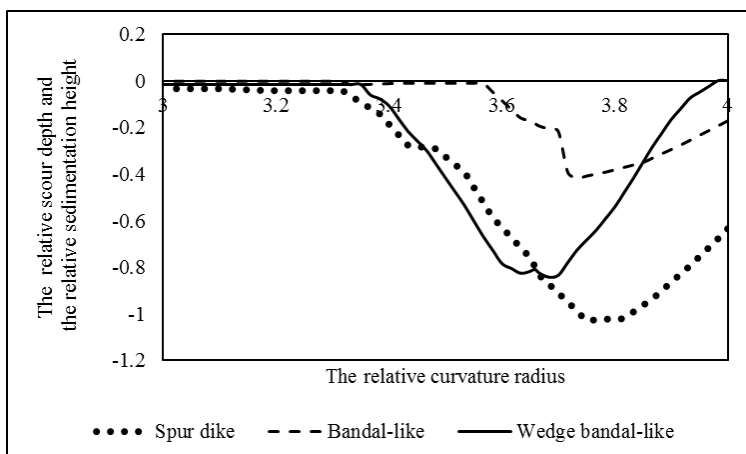


Fig. 9- Bed cross section at maximum scour depth

شکل ۹- مقطع عرضی بستر در موقعیت حداکثر عمق آبشستگی

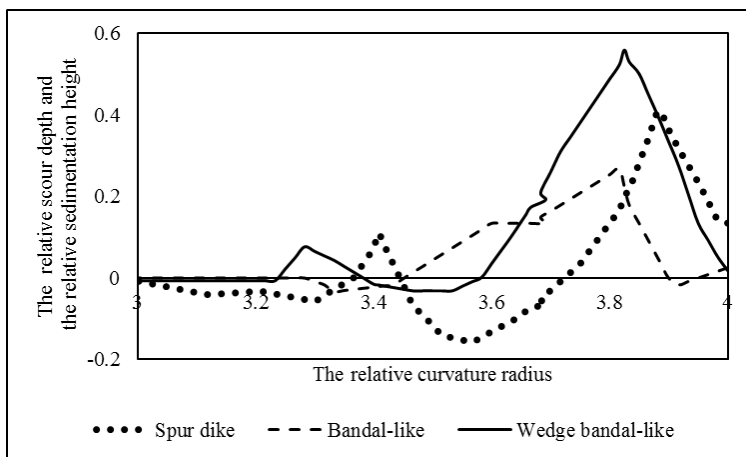


Fig. 10- Bed cross section at maximum sedimentation height

شکل ۱۰- مقطع عرضی بستر در موقعیت حداکثر ضخامت رسوبگذاری

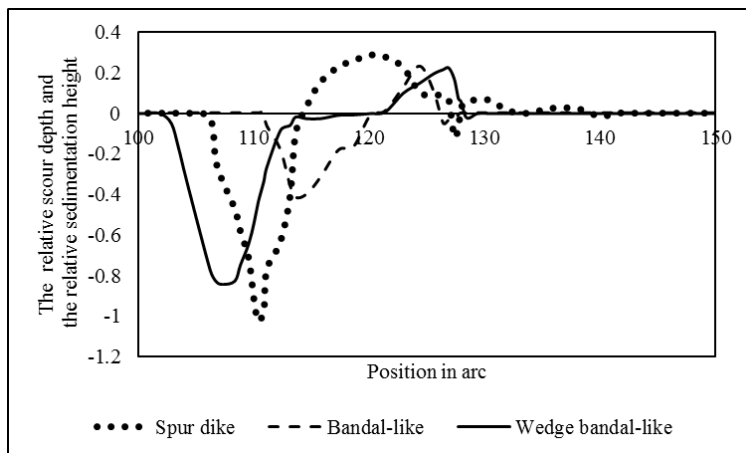


Fig. 11- Longitudinal profile of the bed in the position of maximum scour depth

شکل ۱۱- نیم رخ طولی بستر در موقعیت حداکثر عمق آبشستگی

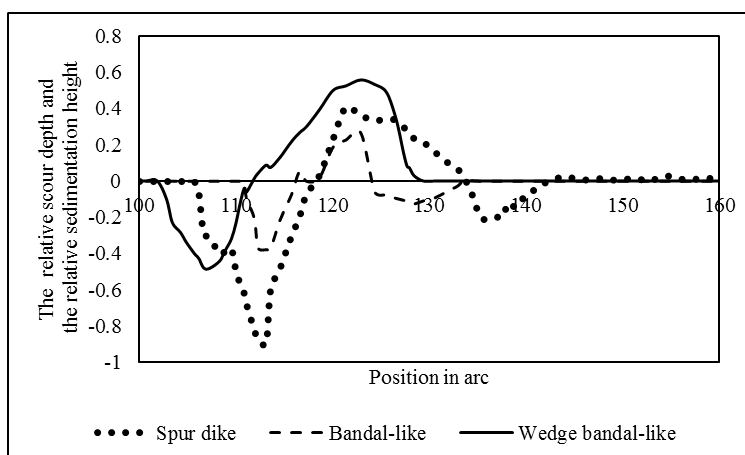


Fig. 12- Longitudinal profile of the bed in the position of maximum sedimentation height

شکل ۱۲- نیم رخ طولی بستر در موقعیت حداکثر ضخامت رسوبگذاری

نصب سازه صورت گرفته است، لذا پایداری و استحکام بیشتری در طول زمان بهره‌برداری خواهد داشت. با توجه به عمق و حجم چاله آبستنگی در سازه باندال لایک گوه‌ای، این سازه نیز مانند باندال لایک می‌تواند جان پناه مناسبی برای آبزیان باشد. همچنین چون چاله آبستنگی در سازه باندال لایک گوه‌ای نسبت به دو سازه دیگر بیشتر به طرف مرکز فلوم کشیده شده و از طرفی چون طول رسوب‌گذاری در باندال لایک گوه‌ای در نزدیکی دیواره بیرونی و با عرض کمتر نسبت به دو سازه دیگر رخ داده، لذا می‌تواند برای بهبود مسیر ناوبری نیز مورد استفاده قرار گیرد.

تقدیر و تشکر

این مقاله بخشی از رساله دکتری نویسنده اول می‌باشد که در آزمایشگاه مدل‌های هیدرولیک دانشکده مهندسی آب و محیط زیست دانشگاه شهید چمران اهواز انجام گردید که از همکاری رئیس دانشکده و مدیر گروه سازه‌های آبی آن دانشگاه تشکر و قدردانی می‌شود. ضمناً ایده اولیه این سازه را نویسنده سوم ارائه کردند. همچنین از سازمان آب و برق خوزستان بابت استفاده از کتابخانه و اینترنت تشکر می‌شود.

نتیجه‌گیری

همان‌طور که ملاحظه گردید برای هر سه عدد فرود ۰/۲۰، ۰/۲۲ و ۰/۲۴ حداکثر عمق نسبی آبستنگی و حجم نسبی آبستنگی در سازه باندال لایک گوه‌ای نسبت به آبشکن نفوذناپذیر کمتر مشاهده شد به‌طوری‌که در عدد فرود ۰/۲۴ به ترتیب ۱۸ و ۶۵ درصد کمتر از آبشکن نفوذناپذیر گردید. در حالی که حداکثر ارتفاع نسبی رسوب‌گذاری برای هر سه عدد فرود فوق، در سازه باندال لایک گوه‌ای نسبت به آبشکن نفوذناپذیر و باندال لایک بیشتر بود که در عدد فرود ۰/۲۴ به ترتیب ۵۶ و ۱۰۷ درصد افزایش نشان داد همچنین طول نسبی رسوب‌گذاری در این سازه نسبت به دو سازه آبشکن نفوذناپذیر و باندال لایک به ترتیب ۱۸ و ۲۷۱ درصد افزایش و عرض نسبی رسوب‌گذاری به ترتیب ۴۰ و سه درصد کاهش داشت. بنابراین ملاحظه می‌شود که ساخت قسمتی از سازه باندال لایک به صورت گوه‌ای که در این تحقیق سازه باندال لایک گوه‌ای نام گذاری شده نسبت به آبشکن نفوذناپذیر و باندال لایک رسوب‌گذاری بیشتری هم در ارتفاع و هم در طول و با عرض کمتر که نشان از تمرکز بیشتر رسوب‌گذاری است، ایجاد می‌کند. حداکثر عمق آبستنگی در سازه باندال لایک گوه‌ای نسبت به آبشکن نفوذناپذیر و باندال لایک در فاصله بیشتری از قوس خارجی و موقعیت

References

- 1- Anonymous. 2010. *Guideline for Design Construction and Maintenance of River Groynes*. Bureau of Engineering and Technical Criterias for Water and Wastewater, Office of Deputy for Strategic Supervision, No. 516, 225 P. (In Persian).
- 2- Jarahzade, F., Kashefipour, S. M. and M. Shafai Bajestan. 2017. The Effects of Permeable, Impermeable and Bandal-like Spure dike Angel on Geometric Dimensions of Scouring in Submerged Conditions. *Journal of Irrigation Science and Engineering*, Shahid Chamran University of Ahvaz, 40(2): 1-14. (In Persian).

- 3- Jonson, P. A., Hey, R. D., Brown, E. R. and D. L. Ro.sgen. 2002. Stream Restoration in the Vicinity of Bridges. *Journal of the American Water Resources Association*, 38(1): 55-67.
- 4- Nakagawa, H., Teraguchi, H., Kawaike, K., Baba, Y. and H. Zhang. 2011. Analysis of Bed Variation Around Bandal-like structures. *Annual of Disaster Prevention Research Institute*, Kyoto University, 54B: 497- 510.
- 5- Rahman, M. M., Nakagawa, H., Ishigaki, T. and A. T. M. Khaleduzzaman. 2003a. Channel Stabilization using bandalling. *Annual of Disaster Prevention Research Institute*, Kyoto University, 46B: 613-618.
- 6- Rahman, M. M., Nakagawa, H., Khaleduzzaman, A. T. M. and T. Ishigaki. 2003b. Flow and scour-deposition around bandals. Proceeding Fifth International Summer Symposium, *Japan Society of Civil Engineers*, Tokyo, Japan.
- 7- Shojaeian, Z., Kashefipour, S. M., Mosavi Jahromi, S. H. and M. Shafai Bajestan. 2015. Experimental Study on the Local Scouring of Series of Bandal-like spurs in Clear Water Condition. *Journal of Irrigation Science and Engineering*, Shahid Chamran University of Ahvaz, 38(2): 21-32. (In Persian).
- 8- Shafai Bajestan, M. 2008. *Basic Theory and Practice of Hydraulics Sediment Transport*. Shahid Chamran University of Ahvaz Publishing, Second Edition, 549 P. (In Persia)..
- 9- Teraguchi, H. 2011. *Study on Hydraulic and Morphological Characteristics of River Channel*. Ph.D Thesis, Kyoto University Research Information Repository, 146 p.
- 10- Teraguchi, H., Nakagawa, H., Kawaike, K., Baba, Y. and H. Zhang. 2011b. Alternative method for river training works: Bandal-like structures. *Annual Journal of Hydraulic Engineering*, Japan Society of Civil Engineers, 55: 151-156.
- 11- Vaghefi, M., Ghodsian, M. and S. A. A. Salehi Neyshabouri. 2009. Experimental study on the effect of a T shaped spur dike length on scour in a 90o channel. *The Arabian Journal for Science and Engineering*, 34(2B): 337-348.
- 12- Zhang, H., Nakagawa, H., Baba, Y., Kawaike, K. and H. Teraguchi. 2010. Three-Dimensional Flow Around Bandal-Like Structures. *Annual Journal of Hydraulic Engineering*, Japan Society of Civil Engineers, 54: 175-180.
- 13- Zhang, H., Nakagawa, H., Ogura, M. and H. Mizutani. 2013. Experiment Study on Channel Bed Characteristics around Spur Dykes of Different Shapes. *International Journal of Sediment Research*, 28: 489-499.