

**EXTENDED ABSTRACT**

**The Experimental Study of the Flow Pattern and Bed Topography Changes due to Variations in the Angle of the Gabion Spur Dike in the Open Channel with Erodible Bed**

Z. Badpa<sup>1\*</sup>, M. Fazli<sup>2</sup> and S. Pazin<sup>3</sup>

- 1\* - Corresponding Author, MSc of Water Engineering and Hydraulic Structures, Faculty of Engineering, Bu-Ali Sina University. ([Zainabbadpa2169@yahoo.com](mailto:Zainabbadpa2169@yahoo.com)).
- 2- Assistant Professor of civil Engineering, Faculty of Engineering, Bu-Ali Sina University.
- 3- MSc of Water Engineering and Hydraulic Structures, Faculty of Engineering, Bu-Ali Sina University.

Received: 20 October 2017

Revised: 26 April 2018

Accepted: 29 April 2018

---

**Keywords:** Gabion Spur Dike, Flow Pattern, Bed Topography, Angle Of Spur Dike.

**DOI:** 10.22055/jise.2018.23734.1692.

**Introduction**

The construction of structures such as spur dikes in open channels and rivers is done to control the coastal erosion or water guidance and diversion. Scouring due to changes in the pattern of flow around the structure may result in instability and structural insufficiency, and if designed improperly, it may lead to complete degradation. Thus, the flow pattern and scour depth around the spur dike should be carefully considered. In effect, the type of spur dike used in each project, depending on its usage in the flow path, the depth of scouring and economic considerations must be carefully selected. The open gabion spur dike is one of the most affordable ones and is of high quality in terms of efficiency and ease of construction.

A lot of research has been already conducted on impervious and angled spur dikes, including that of Ezzeldin et al.. In their research, they performed experiments on a blade spur dike at various angles ( 30,60 and 90 degree) and reported that the spur dike at 30 degrees was best in terms of depth of scouring and coastal protection. The maximum scour areas for the spur dike in their research were 90 and 60 degrees upstream of the spur dike, while the maximum scour area for the spur dike is 30 degrees along the length of the spur dike. Moreover, scour at 90 ° and 60 ° was equal, and in some cases higher scouring at a 60 ° angle and an increasing cost of constructing the spur dike in angular mode (Because of the real length of more in equal terms). The use of this type of spur dike was unrealistic at an angle of 60 degrees. In addition, Nagy (2005) showed a time test for the vertical and attracting spur dikes, as the scour rate for larger Froude number was higher, and the scour rate for the vertical state was greater than the attracting state. He further concluded that the angled spur dike had less scour depth and volume. Conducting experiments on the scouring around a trapezoidal spur dike at three angles to the downstream of the adjoining coast in two constricted ratios of 0.25 and 1.05, Kuhnle (2002) concluded that the 45 degree spur dike created the most scouring in the area adjacent to the coast, while less scouring was observed for the spur dikes of 90 and 135 degrees .

**Methodology**

In the present study, the velocity of three-dimensional flow and topography of the bed were measured using the ADV device. The experiments were carried out for three types of attracting (135

degree), repelling (45 degree), and vertical (90 degree) spur dike. The open gabion spur dike was made of rock materials with a specific gravity and the meshes were made in accordance with the porosity. The equilibrium time was determined by separate experiments, and was considered to be 540 minutes. In these experiments, the Froude number was fixed at 0.26 and the depth of flow in the set of experiments was 14.6 cm, which was extracted according to the discharge rate and the motion threshold formula (Yang, 1996). The experiments were carried out in such a way that the flow pattern measurement was started using the ADV device before the equilibrium of the bedding and scour harvest.

**Table1. Geometric and Hydraulic Specifications of the Experiments**

parameter	Range of changes
Q(lit/s)	28 lit/s
Froude number	0.26
Angle of spur dike	45, 90 , 135 degree
Type of spur dike	Spur dike with Porosity 30 & 50 percentage
Depth of flow in up stream	14.6
Length of spur dike	12 cm
Average of Sediment size	1.55 mm

### Results and Discussion

According to the results, the vertical spur dike created the largest scour hole and sedimentary stacks. The sedimentary stack created in the presence of this spur dike was, indeed, large, as it was created in a large area of the canal, while the maximum amount of sediment in the repelling and vertical was almost of the same size. The scour hole in the presence of each spur dike was proportional to the angle of the spur dike, but the depth and breadth of the cavity were found to be higher for the vertical spur dike. In general, the vertical spur dike, due to its angle of inclination and effective length, created more turbulence in the path of the stream. The simultaneous effect of the angle and the effective length led to an increase in the velocity of the passage from the headland and the transverse flow. This, in turn, formed stronger vortexes and transferred more bed materials with greater power to the downstream. Hence, both the dimensions of the scour hole and the sedimentary stack were considerably larger.

In the angled spur dikes, the pattern of flow varied depending on the angle of the spur dike. For repelling spur dikes, the presence of the spur dike created a lot of turbulence in the flow path. The flow in the collision with the headland of the spur dike was, thus, directed substantially toward the opposite wall (relative to the vertical spur dike) and caused major changes in the structure of the flow. However, for attracting the spur dike that was downward, the spur dike diverted the flow to the center of the channel, and the turbulence of the stream was far less. Thus, the presence of this spur dike maintained the natural structure of the flow.

### Conclusion

The results showed that the vertical deformations had a more destructive effect on the bed topography. Besides, the flow pattern changes of the repelling spur dike were found to have significant effects on the scour hole dimensions. In the vertical spur dike, most changes were related to increasing the longitudinal velocity of the flow at the headland of the spur dike resulting from more cross-section constrictions and effective length of the spur dike. Repelling the spur dike with the flow to the opposite wall and the high turbulence resulting from the opposite direction to the main flow after the vertical spur dike created large changes in the bed topography and larger scour holes than the attracting spur dike did.

### Acknowledgement

The authors should acknowledge that this article is taken from a master's thesis entitled “laboratory investigation of the flow pattern and scour due to the presence of a gabion obstacle on the flow in the straight channel with movable bed” conducted at Bu-Ali Sina University.

### References

- 1- Ezzeldin, M.M., Saafan, T.A., Rageh, O. & Nejm, L., 2007. Local scour around spur dikes. In *Eleventh International Water Technology Conference, IWTC11. Sharm El-Sheikh* (pp. 779-795).
- 2- Kuhnle, R.A., Alonso, C.V. & Shields Jr, F.D., 2002. Local scour associated with angled spur dikes. *Journal of Hydraulic Engineering*, 128(12), pp.1087-1093.
- 3- Nagy, H.M., 2005. Hydraulic evaluation of emerged and submerged spur-dikes: temporal bed evolution and equilibrium state characteristics. *Alexandria Eng. J.*, 44(2), pp.279-290.
- 4- Yang, C.T., 1996. Sediment transport: theory and practice. *MCGRAW-HILL SPUR DIKE CO, (USA). 1996.*



© 2019 by the authors. Licensee SCU, Ahvaz, Iran. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0 license) (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



## مطالعه آزمایشگاهی تغییرات الگوی جریان و توپوگرافی بستر در اثر تغییر زاویه آبشکن باز توری سنگی در کانال با بستر فرسایش پذیر

زینب بادپا<sup>۱\*</sup>، مجید فضل<sup>۲</sup> و سیده صدیقه پزین<sup>۳</sup>

\*۱- نویسنده مسئول، دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی آب و سازه‌های هیدرولیکی دانشگاه بوعلی سینا Zainabbadpa2169@yahoo.com

۲- استادیار گروه مهندسی عمران دانشگاه بوعلی سینا.

۳- دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی آب و سازه‌های هیدرولیکی دانشگاه بوعلی سینا.

پذیرش: ۱۳۹۷/۲/۹

بازنگری: ۱۳۹۷/۲/۶

دریافت: ۱۳۹۶/۷/۲۸

### چکیده

از جمله روش‌های حفاظت سواحل رودخانه، ساخت انواع آبشکن‌هاست. سازه‌های آبشکن، هر چند با اهداف رسوب‌گذاری و جلوگیری از فرسایش کناره‌ها و حواشی رودخانه و تثبیت موقعیت آن احداث می‌شوند، در عین حال، خود تحت تأثیر پدیده فرسایش ناشی از تمرکز جریان می‌باشند. در این تحقیق تأثیر زاویه اتصال به ساحل آبشکن باز توری سنگی با تخلخل ۳۰ و ۵۰ درصد بر الگوی جریان و توپوگرافی بستر مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد آبشکن‌های قائم تأثیر مخرب‌تری بر توپوگرافی بستر داشته و بعد از آن آبشکن دافع با تغییرات عمده در الگوی جریان اثرهای قابل توجهی بر ابعاد حفره آبستنی دارد. در آبشکن قائم، بیشترین تغییرات مربوط به افزایش سرعت طولی جریان در دماغه‌ی آبشکن و به دلیل تنگ‌شدگی بیشتر مجرا و طول مؤثر بیشتر آبشکن می‌باشد. آبشکن‌های دافع با دفع جریان به سمت دیواره مقابل و اغتشاش زیاد به دلیل مخالفت با جهت اصلی جریان پس از آبشکن قائم تغییرات زیادی در توپوگرافی بستر ایجاد کرده و نسبت به آبشکن جاذب حفره آبستنی بزرگ‌تری ایجاد می‌کند.

**کلید واژه‌ها:** آبشکن توری سنگی، الگوی جریان، توپوگرافی بستر، زاویه آبشکن.

### مقدمه

در این زمینه انجام شده است. از جمله تحقیقاتی که در زمینه آبشکن‌های باز صورت گرفته است می‌توان به موارد ذیل اشاره نمود: Ezzeldin et al. (2007) با آزمایش‌هایی که بر روی آبشکن تیغه‌ای با زاویه میل‌های مختلف (۳۰، ۶۰ و ۹۰ درجه) انجام دادند، آبشکن با زاویه ۳۰ درجه را از نظر عمق آبستنی و حفاظت ساحل بهترین گزارش نمودند. در این آزمایش‌ها ناحیه حداکثر آبستنی برای آبشکن قائم و ۶۰ درجه در بالادست آبشکن و برای آبشکن ۳۰ درجه این ناحیه در امتداد طول آبشکن تشکیل شده است. همچنین آن‌ها با توجه به برابر بودن آبستنی در زاویه ۹۰ و ۶۰ درجه و در بعضی موارد بیشتر بودن آبستنی در زاویه ۶۰ درجه و افزایش هزینه‌ی ساخت آبشکن در حالت زاویه‌دار (به دلیل طول واقعی بیشتر در شرایط برابر) استفاده از این نوع آبشکن با زاویه میل ۶۰ درجه را غیرمنطقی گزارش نموده‌اند. Nagy (2005) با انجام آزمایش زمانی برای دو آبشکن قائم و جاذب (به ترتیب ۹۰ و ۶۰ درجه نسبت به ساحل) نشان داد نرخ آبستنی برای اعداد فرود بزرگتر، بیشتر و نرخ آبستنی برای حالت قائم بیشتر از حالت جاذب می‌باشد. وی در

آبشکن سازه هیدرولیکی است که در کانال‌های روباز و رودخانه‌ها برای حفاظت دیواره در مقابل فرسایش و یا انحراف و هدایت آب در جهت‌های مورد نظر ساخته می‌شود. سازه‌های آبشکن، هر چند با اهداف رسوب‌گذاری و جلوگیری از فرسایش کناره‌ها و حواشی رودخانه و تثبیت موقعیت رودخانه احداث می‌شوند، در عین حال، خود تحت تأثیر پدیده فرسایش ناشی از تمرکز جریان می‌باشند. تعیین عمق آبستنی به علت این که معرف میزان پتانسیل تخریب جریان در اطراف سازه بوده و همچنین پارامتری مهم در طراحی ابعاد پی سازه‌های مسیر جریان می‌باشد، مهم است.

با توجه به این که ساماندهی رودخانه‌ها و احداث آبشکن همواره مستلزم صرف هزینه‌های زیادی است، لزوم طراحی درست و مطمئن آبشکن‌ها و پیش‌بینی درست الگوی جریان و توپوگرافی بستر اطراف آن‌ها برای اجتناب از خسارت‌های بعدی ناشی از طراحی نادرست، بسیار ضروری است. نظر به اهمیت بررسی مکانیزم‌ها و پارامترهای اثرگذار بر آبستنی و روش‌های کاهش آن، تاکنون تحقیقات زیادی

Mioduszewski et al. (2003) از مطالعه‌های آزمایشگاهی خود روی الگوی جریان و آبستگي آبشکن‌های باز و بسته چنین نتیجه‌گیری کردند که الگوی جریان بین این آبشکن‌ها با هم بسیار متفاوت است و انتظار می‌رود که جریان عبوری از منافذ آبشکن باز بر روی جریان و الگوی آبستگي در پایین‌دست آبشکن تاثیر زیادی بگذارد. Rajaratnam و Nwachukwu (1983) به بررسی الگوی جریان اطراف آبشکن تیغه‌ای در مسیر مستقیم پرداختند و مشاهده کردند که حداکثر تنش برشی سه تا پنج برابر تنش برشی بالادست آبشکن است و نوک بالادست آبشکن رخ می‌دهد. Uijtewaal (2005) با مشاهده اثر ژئومتری روی میدان جریان در اطراف آبشکن نتیجه گرفت که نسبت طول به عرض ناحیه جدادگی آبشکن می‌تواند بیانگر تعداد و شکل گردابه‌های نمایان شده در ناحیه جریان ایستا باشد و هنگامی که این نسبت نزدیک به یک است، یک گردابه ایجاد می‌شود و اگر این نسبت بزرگتر شود فضای کافی برای دو گردابه پایدار ایجاد خواهد شد. در این حالت این گردابه‌ی بزرگ که گردابه‌ی اولیه نام دارد در قسمت پایین‌دست میدان آبشکن و یک گردابه کوچکتر به نام گردابه‌ی ثانویه در نزدیک بالادست آبشکن ظاهر می‌شود.

Peng et al. (1996) الگوی جریان اطراف آبشکن را مورد مطالعه قرار دادند و دریافتند که با نزدیک شدن به بخش‌های بالایی آبشکن، ابعاد گردابه‌های ایجاد شده در پشت آبشکن به‌طور تدریجی کاهش می‌یابد. Tominaga et al. (2001) با مطالعه جریان در کانال‌های حاوی آبشکن مستغرق و غیرمستغرق به این نتیجه رسیدند که سرعت طولی جریان باعث بالا رفتن جت جریان تاج آبشکن در شرایط مستغرق می‌شود.

McCoy et al. (2006) به بررسی میدان‌های جریان در اطراف و بین دو آبشکن عمودی در یک کانال باز مستقیم پرداختند که از خصوصیات جریان، جدایی‌های بزرگ، اختلاف فشار آشکار بین بالادست و پایین‌دست آبشکن و ایجاد گردابه‌های ناماندگار می‌باشد. آن‌ها از روش عددی شبیه‌سازی گردابه‌های بزرگ استفاده نموده و گزارش کردند که در جریان اصلی، گردابه‌های نعل‌اسبی ناماندگار در پایه‌ی آبشکن‌ها و در بالادست جریان ایجاد می‌گردد. هم‌چنین جدا شدن لایه‌ی برشی در بالادست نوک آبشکن باعث تشکیل گردابه‌های بعدی می‌شد، که این گردابه‌ها در اندرکنش با گردابه‌های داخل دو آبشکن قابل تشخیص می‌باشد.

Kermannejad et al. (2011) به بررسی رابطه تداخل با حداکثر عمق آبستگي آبشکن‌های L شکل با زبانه به سمت بالادست و پایین‌دست در شرایط آب زلال پرداختند. نتایج تحقیقات آن‌ها نشان داد که حداکثر عمق آبستگي ایجاد شده در آبشکن L با زبانه به سمت پایین‌دست، در محل تلاقی زبانه با محور آبشکن رخ

ادامه تحقیقات خود به این نتیجه رسید که آبشکن زاویه‌دار، عمق آبستگي و حجم آبستگي کمتری به همراه دارد.

Kuhnle et al. (2002) با آزمایش‌هایی که روی آبستگي اطراف آبشکن دوزنقه‌ای در سه زاویه (۴۵، ۹۰ و ۱۳۵ درجه) نسبت به پایین‌دست کانال مجاور و در دو نسبت تنگ‌شدگی ۰/۲۵ و ۰/۱۲۵ انجام دادند به این نتیجه رسیدند که آبشکن زاویه ۴۵ درجه بیشترین آبستگي را در مجاورت ساحل داشته، در حالی که برای آبشکن‌های ۹۰ و ۱۳۵ درجه آبستگي کمتر مشاهده شده است. هم‌چنین آن‌ها برای عمق‌های مختلف جریان و نسبت‌های مختلف تنش برشی، حجم آبستگي را در آبشکن ۱۳۵ درجه بیشتر مشاهده نموده و بهترین زاویه برای قرارگیری آبشکن را به دلیل پتانسیل کمتر فرسایش بستر در نزدیک ساحل، ۱۳۵ درجه گزارش دادند. در حالی که در این حالت بیشترین حجم آبستگي مشاهده شده است.

Duan (2009) تحقیق دیگری که می‌توان به آن اشاره نمود می‌باشد که به مطالعه ساختار جریان‌های متوسط و آشفته اطراف آبشکن مستقیم واقع در یک کانال آزمایشگاهی با بستر صلب و تخت پرداخت. وی برای اندازه‌گیری میدان جریان از دستگاه سرعت‌سنج ADV استفاده نموده و میدان جریان را در هشت لایه عمقی و در محدوده‌های بالادست و پایین‌دست تک آبشکن، اندازه‌گیری نمود. بر اساس یافته‌های پژوهش، جریان متوسط در هر دو جهت جانبی و قائم جدا شده و در داخل ناحیه چرخشی پشت آبشکن، ترکیبی از گردابه‌های افقی و قائم مشاهده می‌شود و هر سه مؤلفه تنش‌های قائم رینولدز با عبور از مقطع آبشکن تشدید شده و حداکثر تنش در عمق میانی کانال و در امتداد لایه تنش برشی اتفاق می‌افتد. حداکثر مقدار تنش‌های قائم مؤلفه‌های طولی و عرضی سرعت، نزدیک به هم بوده، ولی حداکثر تنش قائم مؤلفه قائم سرعت، در محدوده ۱۵-۱۰ درصد کمتر از دو مؤلفه دیگر می‌باشد

تحقیقات نسبتاً جامعی هم توسط Fei-Yong و Ikeda (1997) در رابطه با الگوی جریان اطراف تک آبشکن در مسیر مستقیم انجام پذیرفت. آن‌ها در این تحقیق به مطالعه آزمایشگاهی تشکیل، توسعه و انتقال گردابه‌های افقی در اطراف دماغه آبشکن پرداختند و دریافتند که گردابه‌های گذرای از نوک آبشکن جدا شده و به صورت متناوب به سمت پایین‌دست منتقل می‌شوند. آن‌ها با تحلیل نتایج به دست آمده متوجه شدند که سرعت متوسط مهاجرت گردابه‌ها تقریباً ثابت بوده و مقدار آن‌ها کمی بیشتر از ۱/۵ درصد از سرعت متوسط می‌باشد. هم‌چنین Kuhnle et al. (1999) با مطالعاتی که بر روی حداکثر عمق حفره‌ی آبستگي انجام دادند، به این نتیجه رسیدند که در جریان‌های با عمق کم، حداکثر عمق آبستگي در دماغه آبشکن شکل گرفته و با افزایش عمق جریان، این مکان به سمت وسط آبشکن حرکت می‌نمود.

شیب تعبیه شده و فاصله ۵/۵ متری از ابتدا برای اطمینان از توسعه یافتگی جریان در نظر گرفته شد. آبشکن‌ها در قسمت میانی این فضای دو متری پر شده از مصالح و در جداره سمت چپ نصب گردید. نمودار دانه‌بندی مصالح بستر در شکل (۲) نشان داده شده است.

برای اندازه‌گیری سرعت جریان در جهات مختلف از دستگاه ADV استفاده شد. این سرعت‌سنج قابلیت اندازه‌گیری سرعت جریان در سه جهت را داراست. برای اندازه‌گیری مقدار آبشستگی نیز از دستگاه ADV استفاده شد. دستگاه قابلیت اندازه‌گیری فاصله از کف در داخل آب را داراست. از این رو با در نظر گرفتن سطح مبنای مشخص مقادیر فاصله برداشت شده در هر نقطه از مقدار مبنا کسر شده و آبشستگی آن نقطه حاصل شد.

آبشکن‌های مورد استفاده در این پژوهش، از جنس مصالح سنگی با وزن مخصوص مشخص (وزن مخصوص مصالح برای ساخت آبشکن با تخلخل ۳۰ درصد، ۲/۵ و برای آبشکن با تخلخل ۵۰ درصد، ۲/۷۵ گرم بر سانتی متر مکعب) بوده که با توری‌های فلزی (با درصد بازشدگی و سوراخ‌های متناسب با درصد تخلخل) پوشیده شده‌اند. برای انجام آزمایش‌ها آبشکن‌هایی به طول ۱۲ سانتی‌متر و تخلخل ۳۰ و ۵۰ درصد مورد استفاده قرار گرفته است. برای ساخت آبشکن‌ها توری‌هایی به طول ۱۲ سانتی‌متر و ارتفاع ۶۰ و ضخامت ۲ سانتی-متر تعبیه شده و با مصالحی به وزن مخصوص مشخص پر شد. برای ایجاد تخلخل مورد نظر ابتدا وزن مخصوص سنگدانه‌ها با استفاده از آزمایش استاندارد تعیین چگالی اندازه‌گیری شد. سپس به ازای تخلخل مورد نظر با مشخص بودن حجم هر توری، حجم سنگ مورد استفاده محاسبه می‌شود، با مشخص بودن وزن مخصوص سنگ می‌توان وزن سنگ مربوطه را بدست آورد. سپس آن قدر به توری سنگ اضافه می‌کنیم تا به وزن تعیین شده برسد.

داده است در حالی که برای آبشکن با زبانه به سمت بالادست این مقدار در فاصله بین زبانه و دیواره فلوم اتفاق افتاده است.

همان‌طور که مشهود است تحقیقات متعددی در زمینه آبشکن‌های باز میله‌ای و بسته صورت گرفته است اما تاکنون هیچ تحقیق جامع و کاملی در زمینه آبشکن‌های توری‌سنگی به عنوان آبشکن باز صورت نگرفته است. با توجه به مزایای آبشکن مذکور، در تحقیق حاضر به بررسی اثر زاویه اتصال به ساحل آبشکن باز توری‌سنگی بر الگوی جریان و توپوگرافی بستر در کانال مستقیم پرداخته شده است.

### مواد و روش‌ها

آزمایش‌ها در آزمایشگاه هیدرولیک گروه مهندسی عمران دانشگاه بوعلی سینا همدان انجام شد. فلوم مورد استفاده در این پژوهش یک فلوم بتنی با شیب صفر مجهز به مخزن با طول ۱۳ متر، ارتفاع ۰/۸۵ متر و عرض ۰/۸ متر و ظرفیتی حدود ۱۰ مترمکعب می‌باشد که زیر کانال تعبیه شده است. در شکل (۱) تصاویری شماتیک از فلوم و ابزارهای جانبی آن نشان داده شده است.

فلوم به طول ۱۵ متر و عرض و ارتفاع ۰/۶ متر با دیواره‌ها و کف شفاف از جنس شیشه می‌باشد. سرریز مستطیلی برای اندازه‌گیری دبی جریان و یک دریچه برای تنظیم عمق جریان در انتهای کانال در نظر گرفته شده است. کف فلوم به اندازه ۰/۳ متر بالا آورده شده و فضایی به طول ۲ متر به فاصله ۵/۵ متری از ابتدای کانال با استفاده از مصالح با قطر متوسط (d<sub>50</sub>) ۱/۵۵ میلی‌متر و  $\sigma_g$  به مقدار ۱/۲۶ پر شده است.

با توجه به اینکه مقدار  $\sigma_g$  از ۱/۵ کمتر است، می‌توان از اثر غیریکنواختی رسوبات صرف‌نظر کرد (Yang, 1996). کف کانال مذکور به شکلی طراحی شد که شیب ۰/۰۰۱ در کانال ایجاد شود.

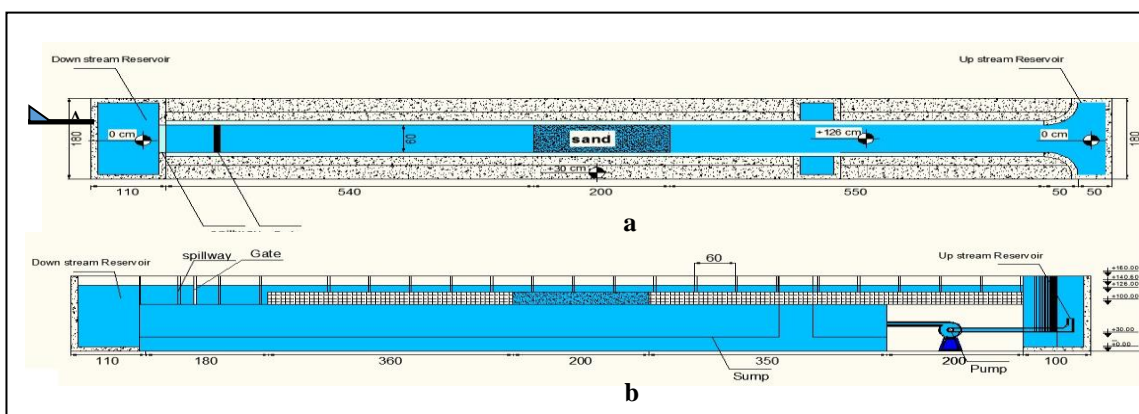


Fig. 1- Schematic view of the channel used to conduct experiments (a) plan (b) section A-A

شکل ۱- نمای شماتیک از کانال مورد استفاده برای انجام آزمایش‌ها: (a) پلان (b) برش A-A

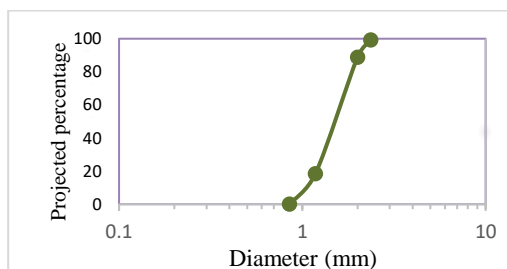


Fig. 2- Gradient curve of materials used for erosion bed  
شکل ۲- منحنی دانه‌بندی مصالح مورد استفاده برای بستر فرسایش پذیر

### جدول ۱- مشخصات هندسی و هیدرولیکی آزمایش‌ها

Table 1- Geometric and Hydraulic Specifications of Experiments

Q (lit/s)	Froude number	Angle of spur dike	Porosity of spur dike	Depth of flow in up stream	length of spur dik	Sediment size
28	0.26	45,90,135 Degree	30& 50%	14.6	12 cm	1.55 mm

زاویه اصطکاک داخلی مصالح بستر ( $\phi$ )، جرم مخصوص آب ( $\rho$ )، شتاب ثقل ( $g$ ) و لزجت سینماتیکی ( $\nu$ ) با انتخاب حداکثر عمق آبستگي ( $d_{se}$ ) به عنوان متغیر وابسته، رابطه (۱) به دست می‌آید:

$$d_{se} = f(B, S_0, L, \theta, h, T_i, O_p, U, H, d_{50}, \rho_s, \sigma_g, P, S_{sf}, \phi, \rho, g, \nu) \quad (1)$$

با استفاده از روش  $\Pi$  باکینگهام، رابطه زیر حاصل می‌شود.

$$\frac{d_{se}}{H} = f\left(\frac{L}{B}, S_0, \frac{h}{H}, \theta, \frac{T_i}{d_{50}}, O_p, \frac{UH}{H}, \frac{\rho_s}{\rho}, \sigma_g, P, S_{sf}, \phi, \frac{U^2}{gH}\right) \quad (2)$$

با توجه به این که شیب کانال، ارتفاع آبشکن و ضخامت و طول آن ثابت بوده، پارامترهای بدون بعد  $L/B$ ،  $h/H$ ،  $S_0$  و  $T_i/d_{50}$  حذف می‌شوند. به علت ثابت بودن سیال و جنس مصالح بستر (غیرچسبیده بودن، یکنواخت، ...) و تمیز بودن آب و آشفته بودن جریان پارامترهای بدون بعد  $P$ ،  $S_{sf}$ ،  $UH/\nu$ ،  $\phi$  و  $\sigma_g$  حذف می‌شوند. همچنین پارامتر بدون بعد  $U^2/gH$  به عنوان شکلی از عدد فرود اتخاذ شد که با توجه به ثابت بودن عدد فرود در این آزمایش‌ها، حذف می‌شود. سرانجام متغیرهای باقی‌مانده در این تحلیل به شرح زیر است:

$$\frac{d_{se}}{H} = f(\theta, O_p) \quad (3)$$

### نحوه انجام آزمایش‌ها

برای انجام آزمایش‌ها ابتدا آبشکن در محل تعیین شده نصب گردید. سپس سطح بستر صاف شده و درپچه در محل مشخص قرار داده شده تا ارتفاع آب بعد از برقراری جریان به مقدار تعیین شده توسط فرمول آستانه حرکت برسد. انتهای کانال بسته شده و آب به تدریج از ابتدای کانال وارد گشته تا ارتفاع آب روی رسوبات افزایش یابد. دبی پمپ در مقدار تعیین شده تنظیم شد و سپس انتهای کانال آزاد شده و جریان برقرار شد. مقادیر آبستگي بعد از زمان تعادل مذکور برای آزمایش‌ها، با استفاده از دستگاه ADV اندازه‌گیری شد. در این آزمایش‌ها عدد فرود جریان ثابت و برابر  $0.26$  بود. همچنین عمق جریان در آزمایش‌ها مقدار  $14/6$  سانتی‌متر بوده که با توجه به دبی و از فرمول آستانه حرکت Davis و Chang (1998) استخراج شده است. پس از به تعادل رسیدن بستر و برداشت آبستگي، برداشت الگوی جریان با استفاده از دستگاه ADV آغاز می‌شد. در جدول (۱) شرایط هندسی و هیدرولیکی جریان عنوان شده است.

### تحلیل ابعادی

به منظور یافتن رابطه بین عوامل مؤثر بر آبستگي در اطراف آبشکن‌ها، تحلیل ابعادی روی پارامترهای مؤثر انجام شد. متغیرهای مستقل و مؤثر در این زمینه عبارتند از: عرض کانال ( $B$ )، شیب طولی مجرا ( $S_0$ )، طول آبشکن ( $L$ )، زاویه اتصال آبشکن به ساحل ( $\theta$ )، ارتفاع آبشکن ( $h$ )، ضخامت آبشکن ( $T_i$ ) و درصد بازشدگی یا تخلخل آبشکن ( $O_p$ )، سرعت متوسط جریان در مقطع قبل از آبشکن ( $U$ )، عمق جریان در مسیر مستقیم بالادست ( $H$ )، قطر متوسط مصالح بستر ( $d_{50}$ )، جرم مخصوص مصالح ( $\rho_s$ )، انحراف استاندارد توزیع اندازه ذره ( $\sigma_g$ )، تخلخل مصالح بستر ( $P$ )، شکل دانه‌ها ( $S_{sf}$ ) و

## نتایج و بحث

در این قسمت به بررسی اثر زاویه اتصال به ساحل آبشکن بر تغییرات توپوگرافی بستر با استفاده از پارامتر حداکثر عمق آبشستگی و پروفیل‌های طولی و عرضی می‌پردازیم. در این آزمایش‌ها سه زاویه ۴۵ درجه (زاویه به سمت بالادست) به عنوان آبشکن دافع، ۹۰ درجه به عنوان آبشکن قائم و ۱۳۵ درجه به عنوان آبشکن جاذب بررسی می‌شود. شکل (۴) تغییرات حداکثر عمق آبشستگی به عمق جریان  $(ds/H)$  برای آبشکن‌های با تخلخل‌های ۳۰ و ۵۰ درصد و طول ۱۲ سانتی‌متر را نشان می‌دهد. با توجه به این نمودار مشاهده می‌شود که برای تمامی تخلخل‌ها در آبشکن قائم بیشترین مقدار عمق آبشستگی را داریم. پس از آن آبشکن دافع با زاویه میل ۴۵ درجه به سمت بالادست و در نهایت آبشکن جاذب با زاویه میل ۱۳۵ درجه در رتبه‌ی آخر قرار دارد. همان‌طور که در شکل (۴) هم مشخص است این روند در تمامی تخلخل‌ها صادق است. در تخلخل ۵۰ درصد سطح نمودار به میزان قابل توجهی پایین‌تر از آبشکن با تخلخل ۳۰ درصد است که دلالت بر کمتر بودن حداکثر عمق آبشستگی برای این آبشکن در همه‌ی زاویه‌ها می‌باشد.

آبشکن‌های مورد بررسی دارای طول یکسان بوده‌اند بدین معنا که آبشکن‌های زاویه‌دار در واقع همان آبشکن قائم بوده که به صورت زاویه‌دار در مسیر جریان قرار گرفته‌اند. از این رو طول مؤثر آبشکن‌های زاویه‌دار کمتر از آبشکن قائم است. این امر می‌تواند دلیل واضحی برای کم بودن حداکثر عمق آبشستگی آبشکن‌های دافع نسبت به آبشکن‌های قائم مورد بررسی باشد. با کاهش طول مؤثر آبشکن در حالت زاویه‌دار تنگ‌شدگی مقطع جریان کمتر از آبشکن قائم بوده و در نتیجه سرعت جریان انحرافی، جریان پایین‌رونده و همچنین گردابه‌های نعل‌اسبی و برگشتی در مسیر جریان کمتر شده و این امر موجب کاهش میزان آبشستگی در این نوع آبشکن‌ها می‌شود. در مقایسه آبشکن‌های دافع و جاذب می‌توان اظهار داشت که آبشکن دافع جریان اصلی را با قدرت از کناره کانال دور می‌کند و با ایجاد انحنا شدید در مسیر جریان باعث تشکیل گردابه‌های اولیه‌ی قوی‌تر در دماغه آبشکن و تشکیل جریان نعل‌اسبی به‌مراتب قوی‌تری قبل از آبشکن شده و در نتیجه میزان آبشستگی بیشتری ایجاد می‌کند. در حالی که آبشکن جاذب جریان اصلی را به خود جذب می‌کند و ساختار طبیعی جریان را تا حد بیشتری حفظ می‌کند. همچنین انحراف کمتر خطوط جریان و تلاطم و آشفتگی کمتری که آبشکن جاذب در جریان اطراف آبشکن ایجاد می‌کند، منجر به افزایش محسوس در سرعت جریان و قدرت گردابه‌های تشکیل شده بر اثر حضور آبشکن نشده و مقادیر آبشستگی کمتری را نتیجه می‌دهد.

شرایط قرارگیری آبشکن دافع در مقابل جریان بسیار متفاوت از آبشکن جاذب است. جریان اصلی کانال در برخورد با دماغه آبشکن

دافع پراکنده می‌شود. بخشی از جریان به طرف دیواره‌ی مقابل رفته و پس از انحرافی شدید و ایجاد آبشستگی به دلیل سرعت بالا و تشکیل گردابه‌های افقی در فاصله‌ی دورتر به مسیر اصلی خود باز می‌گردد. بخشی از جریان به دماغه آبشکن برخورد کرده و بازمی‌گردد و با جریان بین دیواره‌ی مجاور و آبشکن که به صورت گردابه درآمده و یا به سکون رسیده است، ترکیب شده و موجبات تغییر در الگوی جریان و به تبع آن آبشستگی را پدید می‌آورد. برای آبشکن‌های با تخلخل بالا، شدت جریان‌های عرضی ذکر شده کم می‌شود به طوری که گردابه‌های افقی به صورت کامل تشکیل نمی‌شود. در آبشکن جاذب به مقدار بسیار زیادی ساختار طبیعی جریان حفظ می‌شود. عمده جریان اصلی کانال در برخورد با آبشکن متناسب با زاویه قرارگیری آن منحرف شده و میزان و شدت تشکیل گردابه‌ها بسیار اندک است. تغییرات عمده جریان مربوط به ناحیه دماغه آبشکن است که جریان گردابه‌ای و بسیار کم‌سرعت بین دیواره مجاور و آبشکن با جریان منحرف شده در دماغه ترکیب شده و موجبات بلند شدن مصالح و انتقال آن به پایین‌دست آبشکن را پدید می‌آورد. پروفیل طولی بستر کانال برای آبشکن با تخلخل ۳۰ درصد و طول ۱۲ سانتی‌متر در مقاطع میانه و دماغه آبشکن در شکل (۵) نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود تمرکز حفره‌ی آبشستگی و عمیق‌ترین نواحی آن برای آبشکن قائم در نزدیکی محور صفر، برای آبشکن دافع قبل از مقطع دماغه و در آبشکن جاذب بعد از مقطع دماغه می‌باشد. با توجه به این که این نواحی درست نزدیک به دماغه‌ی آبشکن‌ها می‌باشد، برای هر سه نوع آبشکن حفره‌ی آبشستگی و همچنین حداکثر عمق آبشستگی در محدوده‌ی نزدیک به دماغه‌ی آن رخ داده است. این اتفاق نتیجه‌ی افزایش سرعت جریان و انحراف شدید جریان در دماغه‌ی آبشکن می‌باشد که با وقوع مقادیر حداکثر آبشستگی در این نواحی همراه است.

همان‌طور که در شکل (۵) مشاهده می‌شود، ابعاد حفره‌ی آبشستگی و همچنین پشته‌ی رسوبی مربوط به آبشکن قائم بزرگ‌تر از آبشکن‌های زاویه‌دار است. در آبشکن‌های زاویه‌دار هم، برای زاویه ۴۵ درجه که مربوط به آبشکن دافع است ابعاد حفره‌ی آبشستگی و پشته‌ی رسوبی بزرگ‌تر و متمایل به بالادست کانال است در حالی که برای آبشکن جاذب هم رسوب‌گذاری و هم آبشستگی کمتر بوده و متمایل به پایین‌دست است. در آبشکن دافع حفره‌ی آبشستگی از طولی معادل ۳ برابر طول آبشکن آغاز شده است در حالی که ابتدای حفره آبشستگی آبشکن قائم در طولی حدود ۲L- آغاز شده است. برای آبشکن جاذب نیز قبل از مقطع صفر آبشستگی قابل توجهی رخ نداده و حفره‌ی آبشستگی در پایین‌دست محل اتصال آبشکن به دیواره آغاز شده است. این تفاوت به دلیل زاویه تمایل آبشکن بوده که برای آبشکن دافع متمایل به بالادست، برای آبشکن قائم مستقیم و برای آبشکن جاذب متمایل به پایین‌دست می‌باشد.



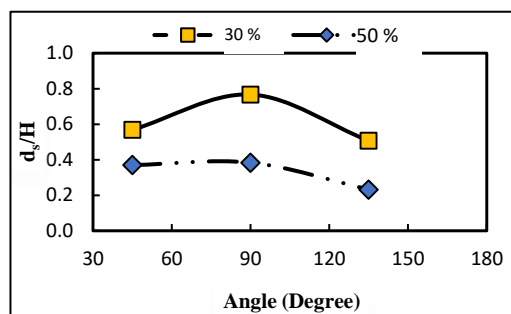
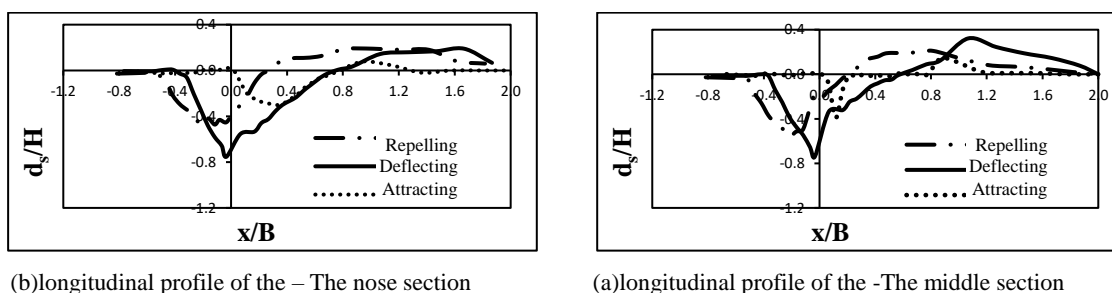


Fig. 4- Maximum depth of scour for spur dike with different angles diagram

شکل ۴- نمودار حداکثر عمق آبستگي برای آبشکن با زوایای مختلف



(b)longitudinal profile of the – The nose section

(a)longitudinal profile of the -The middle section

Fig. 5- Longitudinal profile of the angled spur dike with 30% proosity

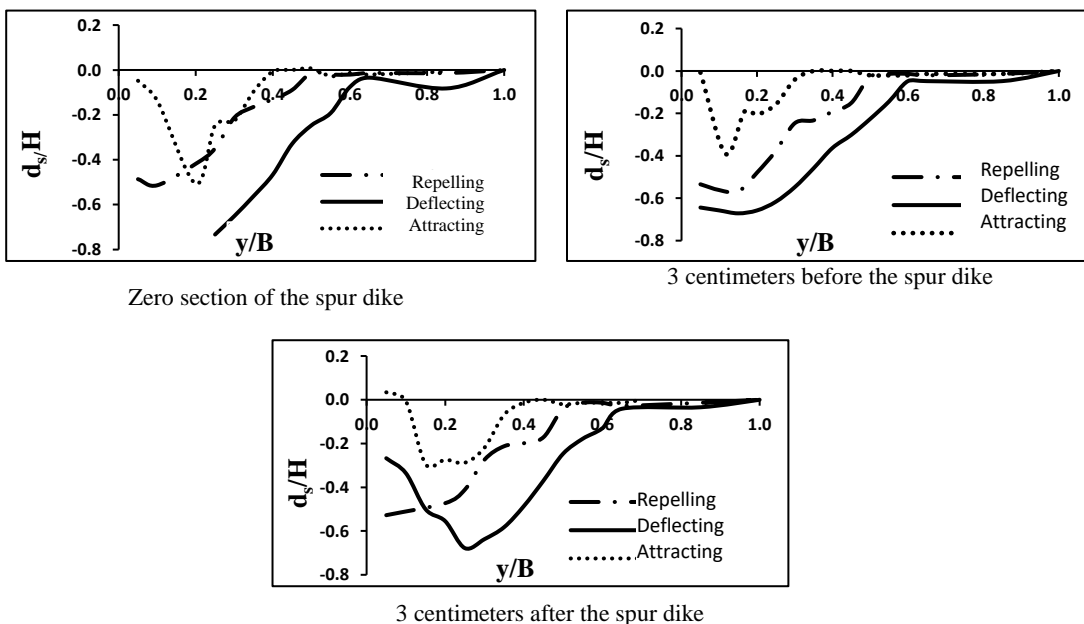
شکل ۵- پروفیل طولی برای آبشکن های زاویه دار با درصد تخلخل ۳۰

محدوده وسیع تری را به صورت یکنواخت به خود اختصاص داده است. بدین معنا که حفره آبستگي از دیواره مجاور آغاز شده و تا ناحیه مشخصی در عرض پیش رفته است. در آبشکن جاذب به دلیل زاویه همسوتر با جریان اصلی تنها جریان در ناحیهی محدود به دماغه تغییراتی دارد و تنها همان نواحی بستر تحت تأثیر تغییرات قرار می گیرد در حالی که در آبشکن دافع به دلیل برخورد شدید جریان اصلی با دماغه جریان پراکنده شده و هم نزدیک دیواره مجاور و هم میانهی کانال را درگیر تغییرات می کند. آبشکن قائم نیز به دلیل مخالفت با جریان در نزدیکی دیواره مجاور هم تغییر ایجاد می کند.

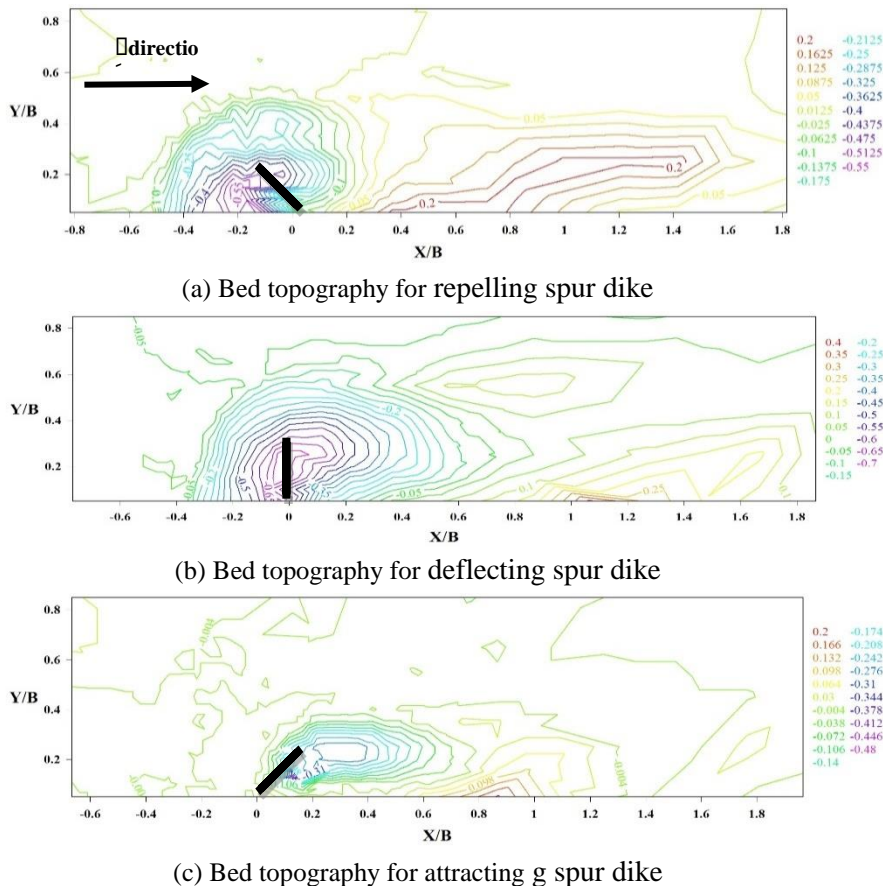
در بررسی کلی توپوگرافی بستر در حضور موانع توری سنگی زاویه دار، همان طور که شکل (۷) نشان می دهد، در آبشکن دافع پشتهی رسوبی تشکیل شده عریض تر و متمایل به میانهی کانال است و برای آبشکن قائم و جاذب به ترتیب پشتهی رسوبی کوچک تر و به سمت دیوارهی کانال تغییر مکان داده است تا جایی که در آبشکن جاذب رسوب گذاری بسیار اندک و در مکانی بسیار نزدیک به دیوارهی کانال و همین طور خود آبشکن می باشد. پشتهی رسوبی برای آبشکن قائم به مراتب حجیم تر بوده و البته محدودهی نسبتاً کمتری نسبت به آبشکن دافع را تحت تأثیر قرار داده است.

شکل (۶) پروفیل عرضی در مقاطع ۳ سانتی متری قبل و بعد دماغه آبشکن و مرکز آبشکن را نشان می دهد. مطابق شکل (۶)، در آبشکن قائم حفره آبستگي دارای عرض و عمق بیشتری نسبت به آبشکن های زاویه دار است و آبشکن دافع در رتبهی دوم قرار داشته و عرض و عمق حفره برای آبشکن دافع بیشتر از جاذب است. حفرهی آبستگي آبشکن قائم تا نزدیکی دیوارهی مقابل ادامه پیدا کرده است، اما در آبشکن دافع حفرهی آبستگي در عرضی حدود  $2/5L$  پایان یافته است. این امر به دلیل تفاوت در طول مؤثر آبشکن قائم و دافع است. آبشکن های زاویه دار مورد بررسی همان آبشکن قائم هستند که به صورت زاویه دار در مسیر جریان قرار گرفته اند و طول قرارگیری آبشکن های زاویه دار در مقابل جریان کمتر است. وقتی طول مؤثر آبشکن در مقابل جریان بیشتر می شود، تنگ شدگی در مقطع آبشکن بیشتر شده و سرعت طولی جریان زیاد می شود که موجب افزایش عرض حفره آبستگي می شود.

پروفیل های طولی و عرضی بستر نشان می دهد که در آبشکن جاذب عمده تغییرات در محدوده دماغه آبشکن بوده و نزدیک به دیواره مقابل و مجاور توپوگرافی بستر تحت تأثیر حضور آبشکن قرار نگرفته است. در حالی که در آبشکن های قائم و دافع گستره تغییرات



**Fig.6- Transverse profile of the angled spur dike with 30% porosity**  
 شکل ۶- پروفیل عرضی برای آبشکن‌های زاویه‌دار با درصد تخلخل ۳۰

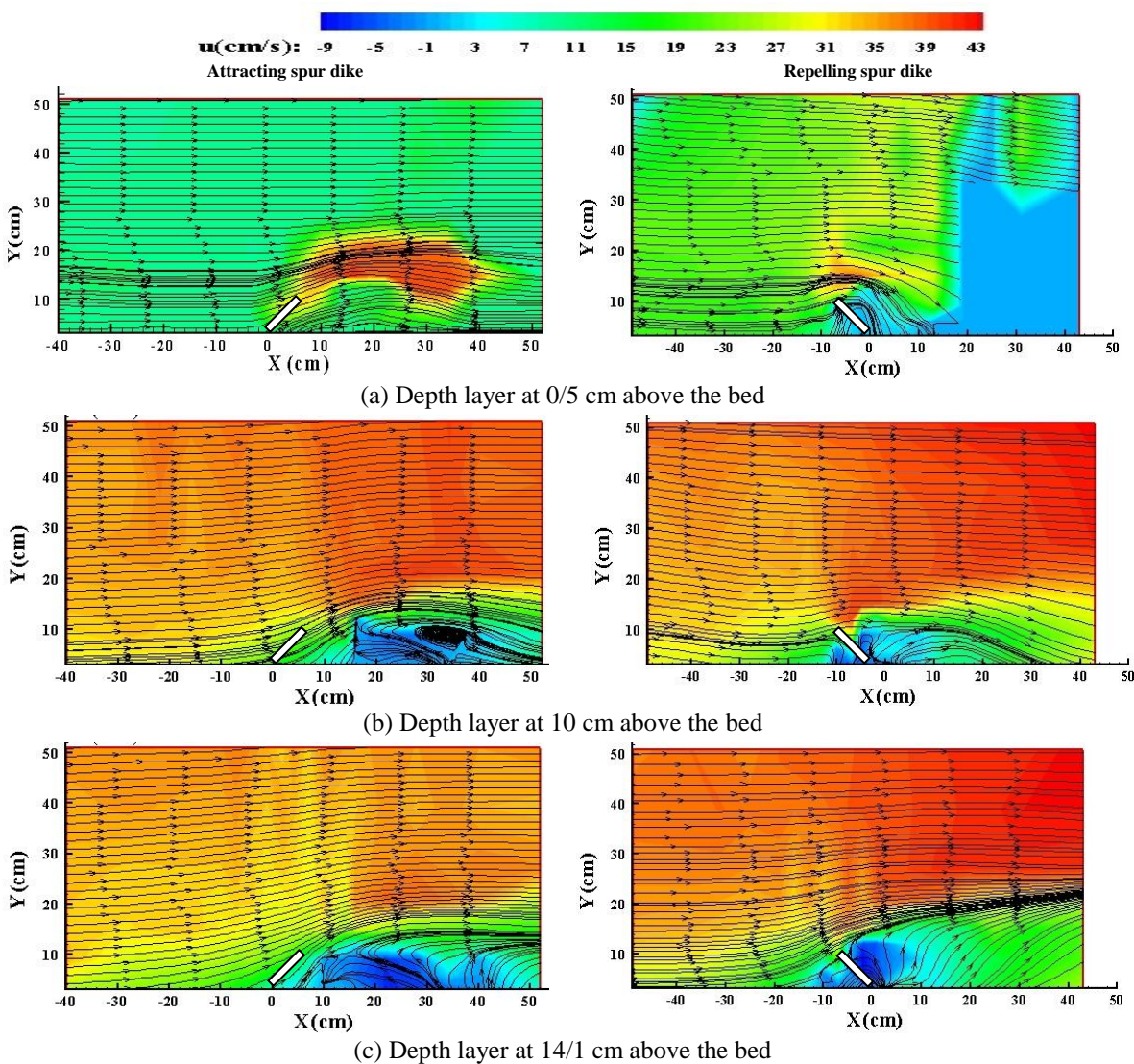


**Fig.7- Bed topography for gabion spur dike with porosity of 30%**  
 شکل ۷- توپوگرافی بستر برای آبشکن توری سنگی با تخلخل ۳۰ درصد

نشان داده شده است. در آبشکن دافع برای تراز نزدیک به کف، خطوط جریان اطراف آبشکن به سه دسته تقسیم شده‌اند. دسته اول بخشی از جریان نزدیک به دیواره است که پس از برخورد به آبشکن به سمت بالادست باز می‌گردد. دسته دوم جریانی است که از آبشکن عبور کرده و پس از کاهش سرعت قابل توجه و عموماً انحراف به سمت دیواره مجاور به مسیر خود ادامه داده است و قسمتی از جریان که اندکی منحرف شده و با سرعت زیاد از دماغه‌ی آبشکن عبور می‌کند. در ناحیه‌ی دماغه‌ی آبشکن به طرف پایین دست جریان، یک ناحیه کوچک با سرعت بالا مشاهده می‌شود که موجب تمرکز خطوط جریان شده است. پیرامون آبشکن محدوده‌ی آبی رنگ و انحراف خطوط جریان نشان از وجود جریان بسیار کم سرعت و حتی برگشتی بوده که در ترازهای بالاتر این محدوده گسترده تر شده و در پایین دست، به سمت میانه‌ی کانال پیش روی نموده است. همچنین جریان برگشتی موجود قوی تر شده است. در لایه‌ی میانی سرعت جریان حداکثر است، از این رو جریان در این ناحیه پس از برخورد به آبشکن با سرعت زیاد منحرف می‌شود. این امر به این دلیل است که وقتی جریان با حضور آبشکن پیش روی خود مواجه می‌شود، به دلیل سرعت زیاد دیرتر به شرایط لازم برای عبور از آبشکن می‌رسد؛ به همین دلیل بخش جزئی از جریان از آبشکن عبور کرده یا باز می‌گردد و از این رو قسمت اعظم جریان، منحرف شده و از دماغه عبور می‌کند.

لایه‌ی نزدیک به سطح جریان نیز دارای مقادیر سرعت جریانی کمتر از میانه است اما نسبت به تراز بستر همچنان سرعت بیشتری دارد. در آبشکن جاذب، قبل از آبشکن جریان تغییرات زیادی نداشته و تنها متناسب با زاویه آبشکن مقدار جزئی منحرف شده است. تغییرات عمده الگوی جریان بیشتر در محدوده‌ی پایین دست آبشکن در نزدیکی دیواره می‌باشد. با افزایش ارتفاع تراز جریان، محدوده‌ی سرعت طولی کاهش می‌یابد، از دماغه‌ی آبشکن به دیواره نزدیک تر شده و مقادیر سرعت کاهش پیدا کرده و یا جریان برگشتی ایجاد شده است. با توجه به این که آبشکن جاذب جریان را با شدت ملایمی منحرف می‌کند و تغییرات عمده سرعت اتفاق نمی‌افتد، در پایین دست آبشکن و بلافاصله پس از آن، یک ناحیه با جریان بسیار کم سرعت و همین طور برگشتی بوده، از این رو در ترکیب شدن با جریان عبوری از دماغه در فاصله‌ای دورتر از آبشکن موجب شکل گیری گردابه‌هایی شده که به طور واضح در تراز میانی جریان قابل مشاهده است.

قبل از آبشکن قائم، حفره‌ی آبشستگی عمیق تر و دارای نوسانات عمق بیشتری است در حالی که در آبشکن دافع و جاذب این ناحیه بسیار کم عمق تر است. دلیل این امر را در تفاوت گردابه‌های تشکیل شده در ناحیه مذکور می‌توان جستجو کرد. در آبشکن قائم جریان پایین رونده با قدرت عمل کرده و پس از برگشت جریان به شکل گردابه‌ی نعل اسبی آزادانه به سمت بالادست تغییر جهت داده و وارد چرخه‌ی جریان می‌شود. در حالی که در آبشکن دافع این جریان‌های پایین رونده پس از بازگشت به دلیل زاویه‌ی میل، به آبشکن برخورد کرده و این محصور شدن جریان موجب اختلال در ایجاد جریان نعل اسبی شده و آبشستگی کمتری در آن ناحیه ایجاد می‌کند. برای آبشکن جاذب نیز در بالادست آبشکن گردابه‌ای تشکیل نمی‌شود چرا که جریان ورودی در رسیدن به آبشکن اندکی منحرف شده و به مسیر خود ادامه می‌دهند. دلیل عریض بودن حفره‌ی آبشستگی برای آبشکن قائم، طول مؤثر بیشتر آن نسبت به آبشکن‌های زاویه دار است که هم میزان و قدرت جریان‌های انحرافی بیشتر بوده و هم جریان‌های ثانویه تشکیل شده به شکل قدرتمندتری عمل می‌کند. با توجه به توپوگرافی بستر آبشکن دافع و جاذب مشاهده می‌شود که محل رسوب گذاری این دو آبشکن متفاوت از هم است. به طوری که پشته‌ی رسوبی بستر در حضور آبشکن دافع در مکانی دورتر از آبشکن و نزدیک به میانه‌ی کانال است در حالی که پشته‌ی رسوبی تشکیل شده در حضور آبشکن جاذب نزدیک به دیواره و در محدوده‌ی پیرامون آبشکن است. در این رابطه می‌توان اظهار داشت که با توجه به انحراف شدید جریان در آبشکن دافع سرعت جریان اصلی عبوری از آبشکن زیاد بوده و به همین دلیل رسوبات حاصل از تشکیل حفره‌ی آبشستگی را با خود حمل کرده و در مکان دورتری انباشته می‌کند در حالی که در آبشکن جاذب جریان ورودی هم سو با زاویه میل آبشکن اندکی منحرف شده است. در نتیجه‌ی این امر مصالح برداشته شده از حفره‌ی آبشستگی در نزدیک ترین مکان ممکن، تجمع کرده و جریان عبوری توانایی حمل این مصالح به نواحی دورتر را ندارد. برای بررسی اثر زاویه اتصال به ساحل آبشکن بر الگوی جریان، مجموعه آزمایش‌هایی با آبشکن‌های توری سگی در سه زاویه‌ی ۴۵ درجه، ۹۰ درجه و ۱۳۵ درجه انجام شد. آبشکن‌ها دارای طول ۱۲ سانتی متر و تخلخل ۳۰ درصد هستند. در شکل (۸) و (۹) خطوط هم تراز سرعت طولی و خطوط جریان عبوری در سه تراز ۰/۵، ۱۰ و ۱۴ سانتی متری از کف، برای آبشکن دافع و جاذب و قائم



**Fig. 8- Longitudinal velocity contour for repelling and attracting spur dike with porosity of 30%**

شکل ۸- خطوط هم تراز مؤلفه طولی سرعت آبشکن دافع و جاذب با تخلخل ۳۰ درصد

جریان‌های ثانویه رخ داده در ناحیه بعد از آبشکن رویت می‌شود که به دلیل نحوه قرارگیری و زاویه میل آن می‌باشد. در این نوع آبشکن افزایش سرعت طولی تا حدی کم می‌باشد که تأثیر چندانی در تغییرات توپوگرافی بستر ندارد. از مباحث مطرح شده و همچنین اشکال مربوطه می‌توان به این نتیجه رسید که ناحیه‌ی جدایی جریان در لایه‌ی میانی کانال طولی‌تر از لایه‌های دیگر بوده و محدوده‌ای حدود  $2/5L$  قبل از آبشکن و  $3L$  بعد از آبشکن را در بر گرفته است در حالی که این ناحیه به اندازه‌ی یک برابر طول آبشکن در عرض کانال گسترش یافته است.

در آبشکن جاذب ناحیه‌ی جدایی جریان تنها در پایین دست آبشکن رخ داده و دارای بعدی حدود  $4L$  می‌باشد. عرض ناحیه جدایی جریان هم حدود  $1/5L$  بوده که از دو آبشکن دیگر کمتر می‌باشد. سرعت در نزدیکی دماغه‌ی آبشکن کمتر از مقادیر متناظر آن برای دو نوع آبشکن دیگر است. همین امر موجب کم بودن حداکثر عمق آبشستگی بستر و کوچک‌تر شدن حفره‌ی آبشستگی می‌باشد. در آبشکن جاذب تغییرات عمده همواره در پایین دست آبشکن و محدوده‌ی احداث آبشکن می‌باشد. محدوده‌ی جریان‌های برگشتی بعد از آبشکن در هر سه تراز تقریباً یک اندازه و مقداری حدود  $2/5L$  می‌باشد. به‌طور کلی تغییرات الگوی جریان و به‌تبع آن توپوگرافی بستر در آبشکن جاذب به دلیل جریان‌های برگشتی و



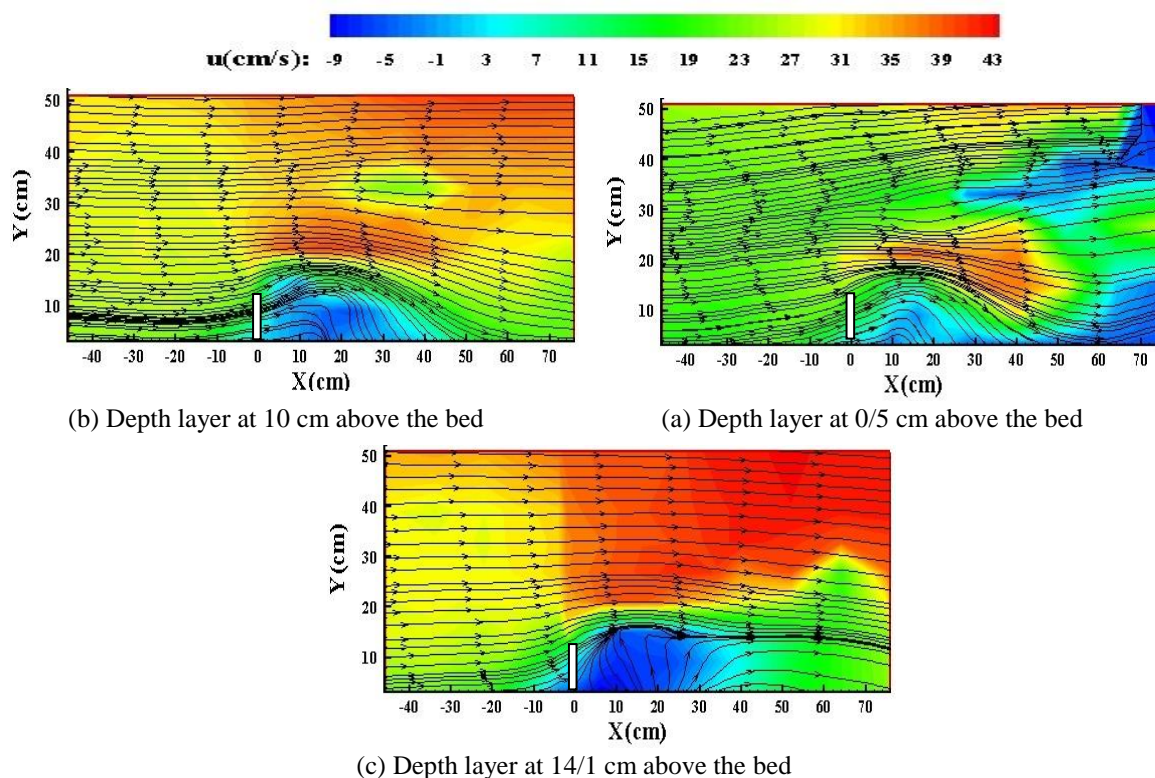


Fig. 9- Longitudinal velocity contour for deflecting spur dike with porosity of 30%

شکل ۹- خطوط هم‌تراز مؤلفه طولی سرعت آبشکن قائم با تخلخل ۳۰ درصد

رسیدن به دماغه آبشکن دچار انحراف آبی محسوسی به سمت دیواره‌ی مقابل شده و بلافاصله بعد از عبور از دماغه به سمت دیواره‌ی مجاور منحرف، مستهلک و کم‌قدرت شده است. به طور کلی انحنای خطوط جریان در این مقطع کاملاً متناسب با نحوه قرارگیری آبشکن‌ها و محل دماغه‌ی آنها بوده است، به طوری که در آبشکن جاذب خطوط جریان قبل از آبشکن دارای انحنایی با زاویه بیشتر از ۹۰ (متناسب با زاویه آبشکن) بوده و به صورت یکپارچه و بدون جدایی تا دماغه آبشکن توسعه می‌یابد. پس از آن به محض عبور از دماغه در صفحه قائم پخش شده و همگی مقطع را پوشش داده است. در آبشکن قائم خطوط جریان در نزدیکی محل نصب آبشکن به سمت بستر هدایت شده و این محل، ناحیه جدایی خطوط جریان قبل و بعد از آبشکن است. در آبشکن دافع نیز جریان در محل دماغه دچار جدایی شده، بخشی از آن پشت آبشکن به سمت بستر متمایل شده و متناسب با نحوه قرارگیری آبشکن از جریان پایین‌دست جدا شده است.

برای تراز نزدیک به سطح آب ناحیه مذکور عریض‌تر بوده و در بعد عرض کانال حدود دو برابر طول آبشکن است اما در بالادست و پایین‌دست آبشکن حدود  $2L$  گسترده شده است. برای تراز نزدیک به کف بستر به طور کلی مقادیر سرعت جریان کم شده و در ناحیه‌ی کوچکی اطراف آبشکن با سرعت منفی مواجه هستیم. خطوط جریان در مقطع دماغه برای هر سه نوع آبشکن دافع، قائم و جاذب در شکل (۱۰) قابل مشاهده است. برای آبشکن‌های قائم و دافع خطوط جریان در محل آبشکن به دو قسمت تقسیم شده است. جریان مربوط به قبل از آبشکن، منتهی به یک جریان پایین‌رونده در نزدیکی سازه شده است. این جریان پایین‌رونده باعث وقوع آبستگي در این محدوده شده و جریان پس از برخورد به کف، موجب اغتشاش و تلاطم و بلند شدن رسوبات بستر می‌شود. بعد از آبشکن جریان با انحنای قابل توجهی به جریان اصلی کانال می‌پیوندد و پس از طی مسافتی حدود  $2L$  مسیر عادی خود را طی می‌کند. در آبشکن جاذب نیز جریان با توجه به انحرافی که آبشکن در مسیرش ایجاد می‌کند تا دماغه‌ی آبشکن سیر صعودی داشته و با

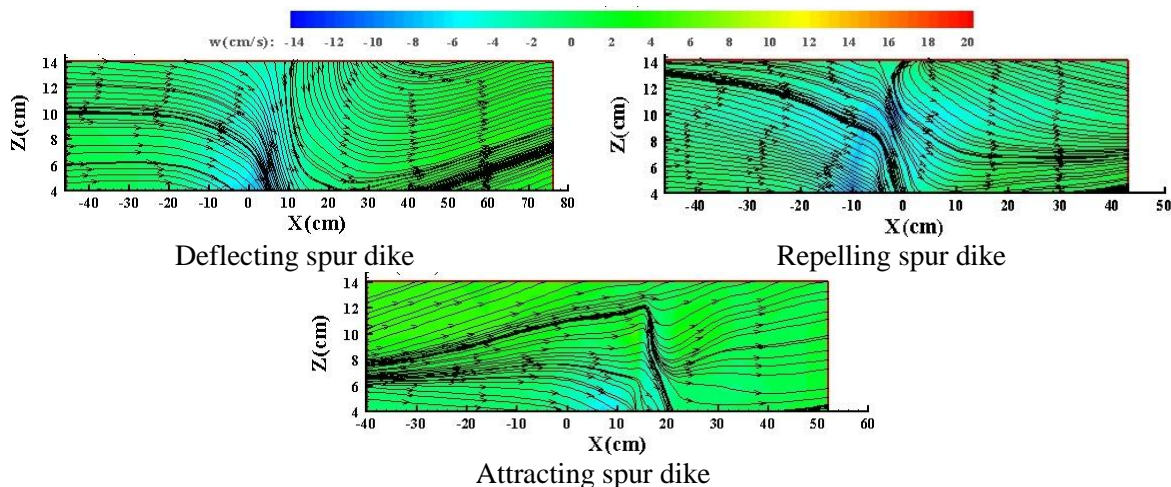


Fig. 10- Vertical velocity contour and streamlines along the length of the canal for repelling, deflecting and attracting spur dikes with 30% proosity

شکل ۱۰- خطوط هم تراز مؤلفه قائم سرعت و خطوط جریان در دماغه آبشکن‌های دافع، قائم و جاذب با تخلخل ۳۰ درصد

آبشکن دانست، گردابه‌های تشکیل شده در صفحه‌ی قائم نزدیک به آبشکن با ایجاد تلاطم موضعی در نواحی مختلف و ترکیب شدن این گردابه‌ها با تغییرات سرعت طولی موجب وقوع حداکثر عمق آبستگی می‌شود. در آبشکن جاذب گردابه‌های موجود در صفحه‌ی افقی و در واقع تغییرات قابل توجه در سرعت‌های عرضی در ناحیه بعد از دماغه به‌همراه گردابه‌های تشکیل شده در صفحه‌ی قائم جریان در مقطع دماغه، موجب وقوع آبستگی شده که این جریان‌ها موجب وقوع آبستگی‌های کمتر در حضور آبشکن جاذب می‌شود. این در حالی است که تغییرات سرعت طولی جریان کمتر بوده و آبشکن جاذب تغییرات شدیدی در وضعیت جریان اصلی عبوری ایجاد نمی‌کند. به نظر می‌رسد هر جا که تغییرات سرعت طولی بیشتر می‌باشد، مقادیر آبستگی رخ داده نیز، افزایش داشته و بیشتر بودن حداکثر عمق آبستگی به ترتیب در آبشکن‌های قائم و دافع به این دلیل می‌باشد.

### سپاسگزاری

در پایان از دانشگاه بوعلی سینا همدان که نتایج به کار برده شده در این مقاله از پایان‌نامه کارشناسی ارشد انجام یافته در این دانشگاه با عنوان " بررسی آزمایشگاهی الگوی جریان و آبستگی به‌دلیل حضور مانع توری‌سنگی در مسیر جریان در کانال مستقیم با بستر متحرک " می‌باشد، تقدیر و تشکر می‌گردد.

### نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر، اثر زاویه اتصال به ساحل آبشکن‌های باز توری‌سنگی مورد بررسی قرار گرفت. آبشکن‌های قائم و دافع نسبت به آبشکن جاذب تاثیر بیشتری بر الگوی جریان و توپوگرافی بستر داشته و در صورت برابر بودن طول واقعی آبشکن‌ها، آبشکن قائم به دلیل ایجاد تنگ‌شدگی مقطع بیشتر، تغییرات بیشتری در الگوی جریان ایجاد کرده و حفره آبستگی بزرگتری اطراف دماغه آبشکن ایجاد می‌کند.

به‌طور کلی با توجه به الگوی جریان در حضور آبشکن‌های دافع، قائم و جاذب می‌توان تغییرات توپوگرافی بستر را برای هر آبشکن به تغییرات پیش آمده در مقادیر سرعت طولی، عرضی و قائم و ترکیب این عوامل نسبت داد. در آبشکن قائم، بیشترین تغییرات مربوط به افزایش سرعت طولی جریان در دماغه‌ی آبشکن به دلیل تنگ‌شدگی بیشتر مجرا و طول مؤثر بیشتر آبشکن می‌باشد. در این ناحیه تاثیر ترکیب جریان‌های پرسرعت و گسترده عرضی و انحراف قابل توجه جریان به‌سمت میانه‌ی کانال و جریان‌های پایین‌رونده‌ی نسبتاً قوی با جریان‌های پرسرعت طولی موجب بروز مقادیر زیاد آبستگی و گسترش حفره‌ی آبستگی شده است. دلیل بیشتر بودن مقادیر آبستگی در آبشکن قائم نسبت به آبشکن‌های زاویه‌دار تغییرات عمده در مقادیر و جهت هر سه مؤلفه‌ی جریان در حضور این نوع آبشکن می‌باشد.

در آبشکن دافع دلیل رخ دادن حداکثر مقادیر آبستگی در محدوده‌ی دماغه‌ی آبشکن را می‌توان مربوط به جریان‌های پایین‌رونده در این ناحیه و افزایش سرعت طولی جریان در دماغه‌ی

### References

- 1- Chang, F. and Davis, S., 1998. Maryland SHA Procedure for Estimating Scour at Bridge Abutments Part 2- Clear Water Scour. In *Stream Stability and Scour at Highway Bridges: Compendium of Stream Stability and Scour Papers Presented at Conferences Sponsored by the Water Resources Engineering (Hydraulics) Division of the American Society of Civil Engineers* (pp. 398-398). ASCE.
- 2- Duan, J.G., 2009. Mean flow and turbulence around a laboratory spur dike. *Journal of Hydraulic Engineering*, 135(10), pp.803-811.
- 3- Ezzeldin, M.M., Saafan, T.A., Rageh, O. and Nejm, L., 2007. Local scour around spur dikes. In *Eleventh International Water Technology Conference, IWTC11. Sharm El-Sheikh* (pp. 779-795).
- 4- Fei-Yong, C. and Ikeda, S., 1997. Horizontal separation flows in shallow open channels with spur dikes. *Journal of Hydrosience and hydraulic Engineering*, 15(2), pp.15-30.
- 5- Kermannejad, J. Dehghani, A. Fathi moghadam, M. Mahmodian, M., 2011. Investigation of Effect Porosity on Scour Depth Around L-head Groins with Clapper toward Downstream and Upstream under Clear Water Condition. *Journal of Water and Soil*, Vol. 25. Nom 2: 305-314. (In Persian)
- 6- Kuhnle, R.A., Alonso, C.V. and Shields, F.D., 1999. Geometry of scour holes associated with 90 spur dikes. *Journal of Hydraulic Engineering*, 125(9), pp.972-978.
- 7- Kuhnle, R.A., Alonso, C.V. and Shields Jr, F.D., 2002. Local scour associated with angled spur dikes. *Journal of Hydraulic Engineering*, 128(12), pp.1087-1093.
- 8- McCoy, A., Constantinescu, G. and Weber, L., 2006. Exchange processes in a channel with two vertical emerged obstructions. *Flow, turbulence and combustion*, 77(1-4), pp.97-126.
- 9- Mioduszewski, T., Maeno, S. and Uema, Y., 2003, November. Influence of the spur dike permeability on flow and scouring during a surge pass. In *International Conference on Estuaries and Coasts* (pp. 380-388).
- 10- Nagy, H.M., 2005. Hydraulic evaluation of emerged and submerged spur-dikes: temporal bed evolution and equilibrium state characteristics. *Journal of Alexandria Engineering*, 44(2), pp.279-290.
- 11- Peng, J., Kawahara, Y. and Tamai, N., 1996. Numerical analysis of three-dimensional turbulent flows around submerged groins. In *Managing Water: Coping with Scarcity and Abundance* (pp. 244-249). ASCE.
- 12- Rajaratnam, N. and Nwachukwu, B.A., 1983. Flow near groin-like structures. *Journal of Hydraulic Engineering*, 109(3), pp.463-480.
- 13- Tominaga, A., Ijima, K. and Nakano, Y., 2001. Flow structures around submerged spur dikes with various relative height. In *PROCEEDINGS OF THE CONGRESS-INTERNATIONAL ASSOCIATION FOR HYDRAULIC RESEARCH* (pp. 421-427).
- 14- Uijtewaal, W.S., 2005. Effects of groyne layout on the flow in groyne fields: Laboratory experiments. *Journal of Hydraulic Engineering*, 131(9), pp.782-791.
- 15- Yang, C.T., 1996. Sediment transport: theory and practice. *MCGRAW-HILL BOOK CO,(USA). 1996*