

Research Paper

Numerical Investigation of the Effect of a Pair of Protective Spur Dikes on the Scouring around the Series Spur Dikes

Sohrab Karimi¹Hojat Karami^{2*},Khosrow Hosseini³Saeed Farzin⁴

¹ Ph.D. student, Department of Civil Engineering, Semnan University, Semnan, Iran, Email: M.karimi@semnan.ac.ir

^{2*} Associate Professor, Department of Civil Engineering, Semnan University, Semnan, Iran Email: hkarami@semnan.ac.ir

³ Associate Professor, Department of Civil Engineering, Semnan University, Semnan, Iran, Email: kh.hosseyni@semnan.ac.ir

⁴ Associate Professor, Department of Civil Engineering, Semnan University, Semnan, Iran Email: saeed.farzin@semnan.ac.ir



10.22125/IWE.2020.249135.1418

Received:
September.19.2020
Accepted:
February.25.2021
Available online:
October 5, 2022

Keywords:

Series spur dikes, scour, numerical models, and protective spur dikes.

Abstract

Among the approaches to reduce flood damage is to reduce the flow rate near the shore by spur dikes. The study first simulated the transfer of sediment and scour around series spur dikes in an experimental model using Flow 3d software. According to the comparison results, one can observe a good match between the results of the numerical and experimental models that the error rates of MAPE around the first spur dike, for U/U_{cr} ratios were, 0.75, 0.85 and 0.95 and were 9%, 13.79% and 14.10%, respectively. Then two protective spur dikes with various lengths (10 and 20 cm) were used in canal upstream and the effects of the presence of these two protective spur dikes simultaneously on the scour around the main spur dike were examined. In modeling done, increase in U/U_{cr} depth increases the maximum spur dike depth, so that with increase in U/U_{cr} by 26% (from 0.75 to 0.95), the increase in the maximum depth of the first spur was 51%, in the second spur dike 4 times, and in the third spur dike 116%. When the protective spur dike couple with various lengths is used simultaneously, and then these two protective spur dikes simultaneously drastically reduce the effect of the flow intensity to the wall and nose of the main spur dike. Moreover, the maximum depth of scour around the first, second and third main spur dikes has decreased by 79, 42, and 78%, respectively ($U/U_{cr} = 0.85$).

1. Introduction

Many of the hydraulic structures built in the rivers have been destroyed and caused irreparable damages due to scour around and downstream of them during normal and flood times. Spur dikes are one of the most important structures that are built in the river for this purpose. One of the most important parameters that play an important role in the design of spur dikes is the maximum scour depth (Jabbari et al., 2014, Saeedi et al., 2019). Erosion of the bed downstream of hydraulic structures due to high flow intensity or as a result of local turbulent flows is called scouring (Acharya and Duan, 2011, Olsen and

*** Corresponding Author: Hojat Karami**

Address: Department of Civil Engineering, Semnan University, Semnan, Iran.

Email: Academic Email: hkarami@semnan.ac.ir
Tel: 09124803350

Basson, 2004). Karami (2011) studied the development of scouring around impermeable spur dikes in a straight channel, the results showed that under the same conditions at low ratios of U/U_{cr} , the scouring depth reaches the final scouring depth in a shorter period of time, also generally between 70 and 90% of the equilibrium scouring depth occurs in the first 20% of scouring time. The increase in the velocity gradient can be caused by the reduction of the flow cross-section or the presence of obstacles such as bridge foundations, water diversion structures, etc. (Fatahi et al., 2018).

2. Materials and Methods

• Equations governing the flow

In this study, using Flow3D software, continuity equations and averaged Navier-Stokes equations have been solved. These equations are in the form of relations 1 and 2, respectively

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} (\rho u_j) = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial x} (\rho u_j) + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho u_i u_j) = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \quad (2)$$

$$\left[\mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} - \frac{2}{3} \delta_{ij} \frac{\partial u_i}{\partial x_j} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial x_i} (-\rho \overline{u_i' u_j'})$$

In this equations, u_i and u_j are the velocity in the x and y direction respectively, p is the total pressure and ρ is the fluid density. In the above equations, the terms $(-\rho \overline{u_i' u_j'})$ are the Reynolds stresses.

• Equations governing the sediment transport model

The main equation governing sediment transport is written as equations 3.

$$\frac{\partial c}{\partial t} + U_i \frac{\partial c}{\partial z} + W \frac{\partial c}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\Gamma \frac{\partial c}{\partial x_i} \right) \quad (3)$$

In equation (3), U is the average velocity of water, W is the fall velocity of sediment particles, X is the distance between particles, Z is the vertical distance, and Γ is the diffusion coefficient, t is time, and d is the diameter of sediment particles.

3. Results

In this simulation, two protective spur dikes with different lengths and thickness of 1 cm were used at the upstream of Kerami laboratory channel (2011) (Figure 1). The effects of these two protective spur dikes on scour around the main spur dikes have been investigated. The distance and length of protective spur dikes have been selected according to the geometric criteria of breakwaters in Kerami's research (2011). All the hydraulic conditions of the flow (velocity and critical velocity, etc.) and the geometry of the main channel and the main spur dikes are the same as the laboratory model. According to Figure (1), the first protective spur dike with a length of 10 cm is located at a distance of 0.8 meters from the entrance of the channel and the second protective spur dikes with a length of 20 cm is located at a distance of 0.9 meters from the entrance of the channel.

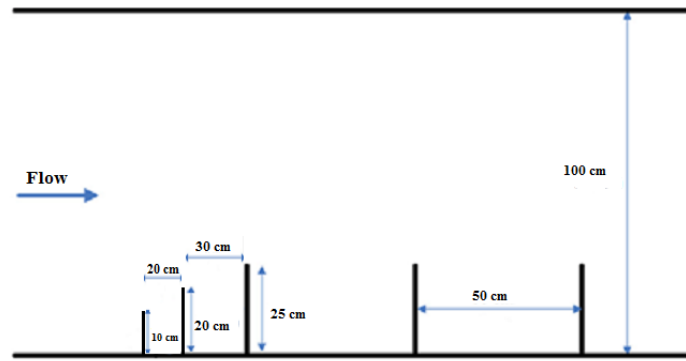


Figure (1): Schematic representation of the installation of main spur dikes and protective spur dikes with different lengths in the channel

First, the effect of a pair of protective spur dikes on scour values in conditions close to the movement threshold has been tested. The results of the numerical model are shown in Figure (2). Figure (2) shows that in all U/U_{cr} models, the maximum scour depth around the main spur dikes has decreased significantly compared to the case without protective spur dike.

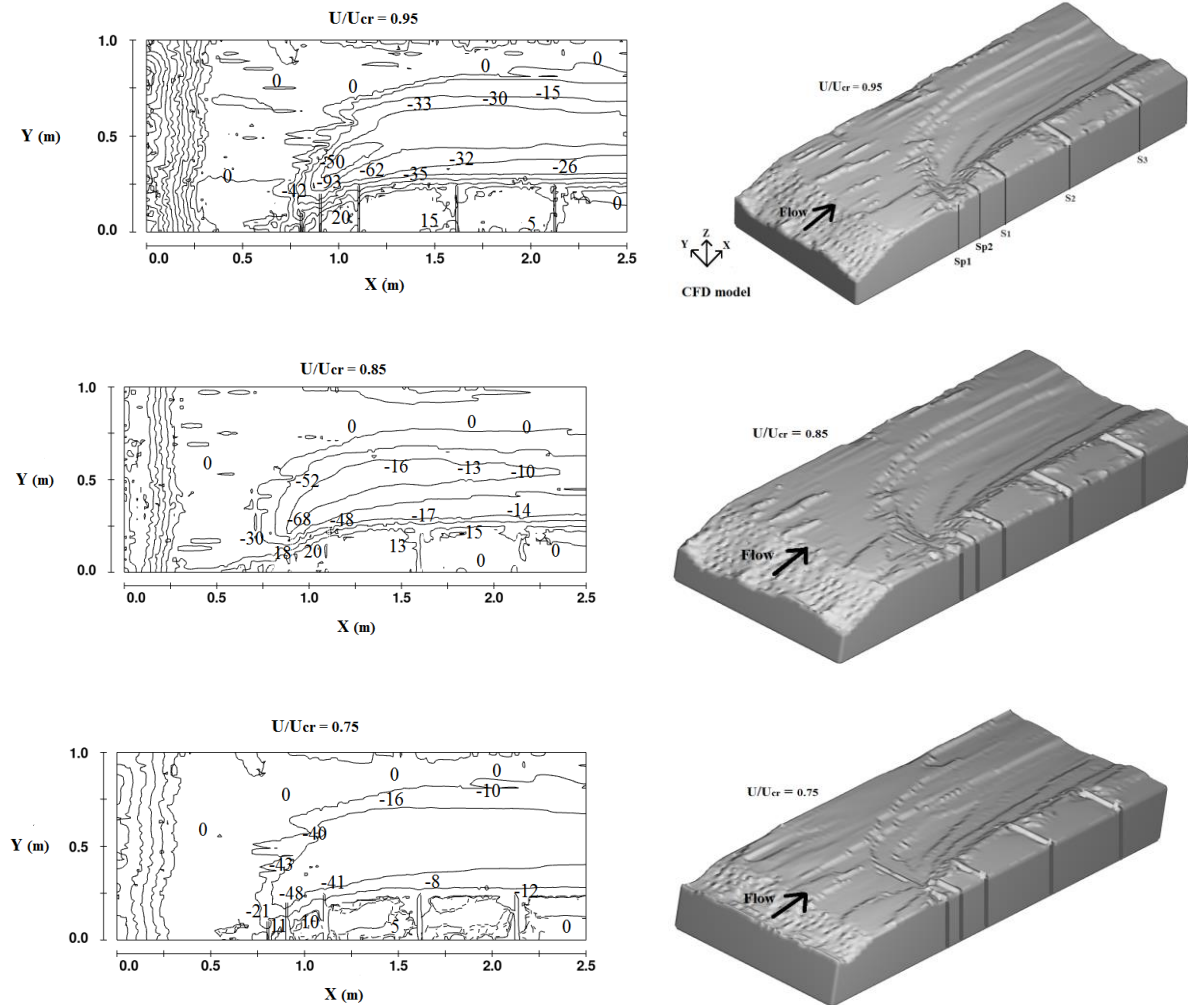


Figure (2): The effect of protective spur dikes on scour around the spur dikes

In Figure (3), the changes in scour rate around protective spur dikes and main spur dikes in U/U_{cr} state equal to 0.85 have been investigated. In this form, the scour hole around the first protective spur dike is extended downstream and the second protective spur dike is placed in these holes. Therefore, the maximum scour depth around the second protective spur dike increases. The remarkable point is the

dramatic reduction of 66 and 70 percent of scour around the second and third main spur dikes compared to the results of the laboratory model without a protective spur dike and with the use of a spur dike (in all U/U_{cr} states).

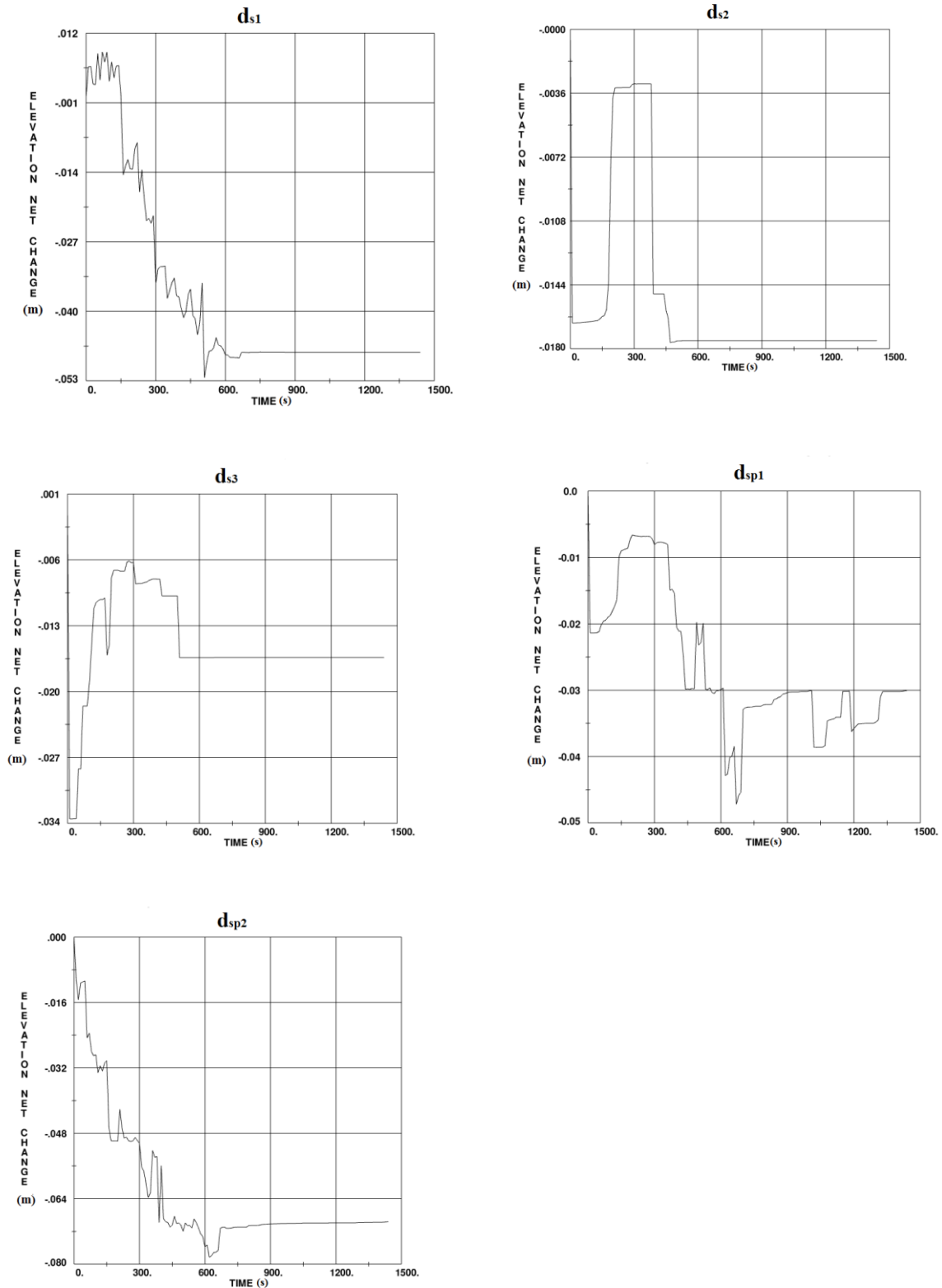


Figure (3): Scour rate around protective spur dikes and main spur dikes in the state of U/U_{cr} equal to 0.85.

4. Discussion and Conclusion

In the present research, based on valid laboratory research, numerical modeling was based on the scouring rate and evaluation of the phenomenon of sediment transport around series spur dikes. Then, upstream of the channel, two protective spur dikes with different lengths were used simultaneously, and the effects of these two spur dikes on scour around the main spur dikes were investigated. In the modeling done by increasing U/U_{cr} , the maximum scour depth increased. The other results obtained show that the first protective spur dike with a length of 10 cm reduces the impact of the flow collision with the second protective spur dike with a length of 20 cm and then these two protective spur dikes simultaneously greatly reduce the impact of the flow collision on the wall and nose of the main spur dike. For this reason, the dimensions of the scour hole around the main spur dikes have been reduced. In addition, the maximum scour depth around the first, second, and third main spur dikes has decreased by 78, 42, and 79 percent, respectively (U/U_{cr} is equal to 0.85).

5. Six important references

1. Acharya, A and J.G. Duan. 2011. Three Dimensional Simulation of Flow Field around series of Spur Dikes. World environmental and water resources congress, 2085- 2094.
2. Fatahi, P., A. Arman and J. Zahiri. 2018. Numerical Study of The Effect of Spur Dike's Permeability on Erosion and Sedimentation Patterns in a 90° Mild Bend Using the CCHE2D Model. Journal of civil and environmental engineering, 48 (19): 41-49.
3. Jabary, A., Hosseini, A., Haghbi, A. H., Emamgholizadeh, S., & Behnia, A. 2014. Prediction of the sediment load in the river by HEC-RAS. Irrigation and Water Engineering, 4(4), 12-23.
4. Karami, 2011. The effect of the protective spur dike on reducing the local scour depth around the spur dikes. Ph.D thesis, Amirkabir University of Technology.
5. Olesen, K.W. and G. Basson. 2004. A 2D model for reservoir sedimentation and flushing. Conference of Hydraulics of Dams, Iran.
6. Saeedi, E., Behnamtalab, E., & Salehi Neyshaboury, A. A. 2019. Numerical Investigation of baffle effect on sedimentation and flow field in sedimentation tank. Irrigation and Water Engineering, 9(4), 52-67.
- 7.

Conflict of Interest

Authors declared no conflict of interest.

بررسی عددی تأثیر زوج آبشکن‌های محافظ بر آبشستگی اطراف آبشکن‌های سری

سهراب کریمی^۱، حجت کریمی^{۲*}، خسرو حسینی^۳، سعید فرزین^۴

تاریخ ارسال: ۱۳۹۹/۰۶/۲۹

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۲/۰۷

مقاله پژوهشی

چکیده

از جمله روش‌های کاهش خسارت سیل و کاهش سرعت جریان در نزدیکی ساحل، استفاده از آبشکن‌ها است. در این مطالعه ابتدا انتقال رسوب و آبشستگی اطراف آبشکن‌های سری در یک مدل آزمایشگاهی توسط نرم افزار Flow 3d شبیه‌سازی شده است. با توجه به نتایج از این مقایسه، می‌توان تطابق خوب بین نتایج مدل عددی و آزمایشگاهی را مشاهده کرد. به طوری که میزان خطای MAPE در اطراف آبشکن اول، برای نسبت‌های U/U_{cr} برابر ۰/۷۵ و ۰/۸۵ و ۰/۹۵ به ترتیب برابر با ۹ درصد و ۱۳/۷۹ درصد و ۱۴/۱۰ درصد می‌باشد (U_{cr} سرعت بحرانی). سپس در بالادست کانال از دو آبشکن محافظ با طول‌های (۱۰ و ۲۰ سانتی متر) استفاده شده و اثرات این دو آبشکن بر روی آبشستگی اطراف آبشکن‌های اصلی مورد بررسی قرار گرفته است. نتایج حاکی از آن است که با افزایش U/U_{cr} ، حداکثر عمق آبشستگی اطراف آبشکن‌ها افزایش می‌یابد، به طوری که با افزایش ۲۶ درصدی U/U_{cr} (از ۰/۷۵ به ۰/۹۵)، افزایش حداکثر عمق آبشستگی اطراف آبشکن‌های اول، دوم و سوم به ترتیب برابر ۵۱، ۴۰۰ و ۱۱۶ درصد، می‌شود. هنگامی که زوج آبشکن محافظ با طول‌های متفاوت به صورت همزمان به کار می‌روند، باعث کاهش شدید شدت برخورد جریان به دیواره و دماغه‌ی آبشکن اصلی اول می‌شوند به همین دلیل ابعاد حفره‌ی آبشستگی در اطراف آبشکن‌های اصلی کاهش یافته است بعلاوه حداکثر عمق آبشستگی اطراف آبشکن‌های اصلی اول و دوم و سوم به ترتیب میزان ۴۲، ۷۸ و ۷۹ درصد کاهش پیدا کرده‌اند (U/U_{cr} برابر با ۰/۸۵).

واژه‌های کلیدی: آبشستگی، آبشکن‌های سری، آبشکن‌های محافظ، مدل عددی.

^۱ دانشجوی دکترا، گروه مهندسی عمران دانشگاه سمنان، سمنان، ایران m.karimi@semnan.ac.ir, 09183335727

^{*۲} دانشیار گروه مهندسی عمران دانشگاه سمنان، سمنان، ایران hkarami@semnan.ac.ir (نویسنده مسئول)

^۳ دانشیار گروه مهندسی عمران دانشگاه سمنان، سمنان، ایران kh.hosseyni@semnan.ac.ir

^۴ دانشیار گروه مهندسی عمران دانشگاه سمنان، سمنان، ایران saeed.farzin@semnan.ac.ir

مقدمه

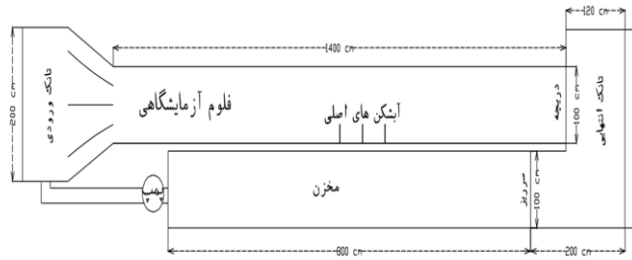
امروزه روش‌های عددی کاربرد و مقبولیت وسیعی در تحلیل مسأله آبستگي در اطراف آبشکن‌ها پیدا کرده‌اند. پیش‌بینی‌های فرسایش بستر در اطراف آبشکن‌ها اغلب به روش‌های عددی تکیه می‌کنند (Yue et al., 2008) در این مطالعه به جای یک آبشکن از دو آبشکن به صورت همزمان استفاده خواهد شد. ابتدا انتقال رسوب و آبستگي اطراف آبشکن‌های سری در یک مدل آزمایشگاهی توسط نرم افزار Flow 3d شبیه سازی می‌شود. سپس در بالادست کانال از دو آبشکن محافظ به صورت همزمان استفاده خواهد شد. اثرات وجود این دو آبشکن محافظ بر روی ذرات رسوب و آبستگي اطراف آبشکن‌های اصلی مورد بررسی قرار خواهد گرفت.

مدل آزمایشگاهی

به جهت بررسی میزان آبستگي و ارزیابی پدیده انتقال رسوب کنار آبشکن‌های موازی، ابتدا بر اساس پژوهش آزمایشگاهی (کرمی، ۱۳۹۰)، مدل عددی صحت سنجی شده است. فلوم آزمایشگاهی مورد استفاده دارای طول ۱۴ متر، عرض یک متر و ارتفاع یک متر می‌باشد (شکل ۱). در فلوم مذکور، طول آبشکن ۲۵ سانتی‌متر، فاصله آبشکن‌ها ۵۰ سانتی‌متر و d_{50} برابر $0/91$ میلی‌متر می‌باشد. با توجه به مدل آزمایشگاهی تعریف شده و با در نظر گرفتن تئوری علمی مدل‌سازی پدیده آبستگي و طول توسعه یافتگی جریان (کرمی، ۱۳۹۰) هندسه کلی مساله مدل‌سازی شده به شرح ذیل ایجاد شده است: طول فلوم: $2/5$ متر (با در نظر گرفتن تئوری علمی مدل‌سازی پدیده آبستگي و طول توسعه یافتگی جریان (کرمی، ۱۳۹۰))، عرض فلوم: ۱ متر، ارتفاع فلوم: ۱ متر، عمق جریان: ۱۵ سانتی‌متر، ضخامت لایه رسوب: ۳۵ سانتی‌متر (برای نسبت‌های U/U_{cr} برابر $0/75$ و $0/85$ و $0/95$).

بسیاری از سازه‌های هیدرولیکی ساخته شده در رودخانه‌ها به علت آبستگي زیاد در اطراف و پایین دست آن‌ها در مواقع عادی و سیلابی تخریب شده و خسارت‌های جبران‌ناپذیری به بار آورده‌اند. آبشکن‌ها از مهم‌ترین سازه‌هایی هستند که در رودخانه بدین منظور ساخته می‌شوند. یکی از مهم‌ترین پارامترهایی که در طراحی آبشکن‌ها نقش مهمی ایفا می‌کند، حداکثر عمق آبستگي است (جباری و همکاران، ۱۳۹۳؛ سعیدی و همکاران، ۱۳۹۸). به فرسایش بستر و کناره آبراهه در پایین دست سازه‌های هیدرولیکی به دلیل شدت جریان زیاد و یا در اثر بوجود آمدن جریان‌های متلاطم موضعی، آبستگي^۱ گویند (عباس پور، ۱۳۸۹؛ Basson and Duan and Acharya, 2011; Olsen, 2004). کرمی (۱۳۹۰) به بررسی توسعه زمانی آبستگي اطراف آبشکن‌های نفوذناپذیر در کانال مستقیم پرداخت، نتایج نشان داد که در شرایط یکسان در نسبت‌های پائین U/U_{cr} عمق آبستگي در مدت زمان کمتری به عمق نهایی آبستگي می‌رسد، هم‌چنین به‌طور کلی بین ۷۰ تا ۹۰ درصد عمق آبستگي تعادلی در ۲۰ درصد اولیه زمان آبستگي اتفاق می‌افتد. افزایش گرادین سرعت می‌تواند ناشی از کاهش سطح مقطع جریان (چه در صورت تنگ‌شدگی مقطع و چه در حالت بالا آمدن کف در جریان‌های زیر بحرانی) و یا هم‌چنین وجود موانع مانند پایه‌های پل، سازه‌های انحراف آب، کوله‌های پل و ... باشد (Fatahi et al., 2018). برای یک آبشکن منفرد که به صورت عمود بر امتداد جریان ساخته می‌شود، غالباً بیشترین آبستگي در دماغه آن بوجود می‌آید. آشفتگی جریان و هم‌چنین ایجاد سرعت‌های موضعی ناشی از این جریان‌های گردابی عامل اصلی ایجاد آبستگي اطراف آبشکن‌ها می‌باشد (Moradinejad et al., 2017; Fatahi et al., 2018).

¹ Scouring



شکل (۱): تصویر فلوم آزمایشگاهی و موقعیت آبشکن‌های مورد استفاده (کریمی، ۱۳۹۰)

- **شبيه سازی مدل آزمایشگاهی در نرم افزار Flow 3D**
اولین گام در مدل‌سازی عددی تعریف تئوری علمی و معادلات حاکم بر پدیده بوده است، در این مساله خاص باید معادلات حاکم بر جریان و همچنین معادلات حاکم بر بار بستر و پدیده آبستنگی مورد ارزیابی قرار گیرد:
- **معادلات حاکم بر جریان**
در این مطالعه با استفاده از نرم افزار Flow 3d، به حل معادلات پیوستگی و معادلات متوسط‌گیری شده ناویر - استوکس پرداخته شده است. این معادلات به ترتیب به صورت روابط ۱ و ۲ هستند: (Monaghan et al., 2005)

$$\frac{\partial c}{\partial t} + U_i \frac{\partial c}{\partial z} + W \frac{\partial c}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\Gamma \frac{\partial c}{\partial x_i} \right) \quad (۳)$$

در معادله (۳) U سرعت میانگین گیری شده ی آب، W سرعت سقوط ذرات رسوب، X فاصله بین ذرات، Z فاصله عمودی و Γ ضریب دیفیوژن، t زمان، d قطر ذرات رسوب است.

$$C_{bed} = 0.015 * \frac{d^{0.3} \left(\frac{\tau - \tau_c}{\tau_c} \right)^{1.5}}{g \left(\frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_w \theta^2} \right)^{0.1}} - \frac{q_b}{d^{1.5} \sqrt{\frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_w} g}} = 0.1 * \frac{\left(\frac{\tau - \tau_c}{\tau_c} \right)^{1.5}}{d^{0.3} \left(\frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_w \theta^2} \right)^{0.1}} \quad (۴)$$

در معادله (۴) τ تنش برشی بستر، τ_c تنش برشی بحرانی، ρ_s چگالی ذرات رسوب، ρ_w چگالی ذرات آب، θ ویسکوزیته سینماتیکی آب، g شتاب گرانشی و q_b نشانه بار بستر برای ذرات رسوب است. در این شبیه سازی برای شرایط مرزی کناره ها و کف کانال از شرایط مرزی دیواره صلب و برای ورودی کانال از شرایط سرعت اولیه و برای خروجی کانال از شرایط فشار استفاده شده است.

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} (\rho u_j) = 0 \quad (۱)$$

$$\frac{\partial}{\partial x} (\rho u_j) + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho u_i u_j) = - \frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} - \frac{2}{3} \delta_{ij} \frac{\partial u_k}{\partial x_k} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial x_i} (-\rho \overline{u_i' u_j'}) \quad (۲)$$

در این رابطه u_i و u_j به ترتیب سرعت در جهت X و Y، p فشار کل، ρ دانسیته ی سیال و δ_{ij} دلتای کرونکر می باشند. در معادلات بالا، جملات $(-\rho \overline{u_i' u_j'})$ ، تنش های رینولدز هستند. ابتدا باید تنش های رینولدز توسط مدل های آشفتگی محاسبه شود سپس به حل معادله ی مومنوم (معادله ۲) پرداخته شود، بنابراین در این شبیه سازی عددی، از مدل آشفتگی k- ω ، استفاده شده است (Bonakdari et al., 2011).

نتایج و بحث

صحت‌سنجی مدل Flow 3D

به منظور صحت‌سنجی نتایج مدل flow-3d و مدلسازی مدل آزمایشگاهی از کامپیوتر intel core i7-7500u و مدت زمان ۱۸ ساعت استفاده شده است. در این صحت‌سنجی عمق آبستگی در اطراف آبشکن‌های اصلی در مدل عددی و مدل آزمایشگاهی کرمی (۱۳۹۰) توسط چهار شاخص آماری $(RMSE^1)$ ، $(MAPE^2)$ ، (R^2) و (SI^4) با یکدیگر مقایسه شده‌اند.

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|x_i - y_i|}{x_i} \quad (5)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2} \quad (6)$$

$$R^2 = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \right]^2 \quad (7)$$

$$SI = \frac{RMSE}{x} \quad (8)$$

در روابط فوق x_i و y_i به ترتیب مقادیر عمق آبستگی آزمایشگاهی و عددی هستند و \bar{x} و \bar{y} به ترتیب متوسط عمق آبستگی آزمایشگاهی و عددی هستند.

جداول (۱، ۲ و ۳) نتایج مدل عددی و مدل آزمایشگاهی کرمی (۱۳۹۰) در اطراف آبشکن‌های اصلی اول و دوم و سوم به ترتیب در مقاطع ۲/۱۲، ۱/۶۱، ۱/۱۰، $x =$ متر، را با استفاده از شاخص‌های آماری، نشان می‌دهد. با توجه به جدول (۱)، در تمامی شبیه‌سازی‌های عددی

همانند نتایج مدل‌های آزمایشگاهی، حداکثر عمق آبستگی متعلق به آبشکن اول می‌باشد و بعد از اولین آبشکن، آبشکن آخر به علت ناحیه ی جدایی جریان دارای بیشترین مقدار آبستگی می‌باشد. همچنین محل وقوع بیشترین عمق آبستگی برای آبشکن‌ها در نزدیکی دماغه-ی هر آبشکن اتفاق می‌افتد (شکل ۲). در بین دو آبشکن متوالی به علت کاهش سرعت جریان، ذرات، ته نشین شده به طوری که پشته‌ی رسوبی ایجاد می‌شود. با توجه به جداول (۱ و ۲)، در مدل‌سازی‌های انجام شده با افزایش U/U_{cr} ، حداکثر عمق آبستگی افزایش می‌یابد به طوری میزان خطای $MAPE$ در اطراف آبشکن اول، برای نسبت-های U/U_{cr} برابر ۰/۷۵ و ۰/۸۵ و ۰/۹۵ به ترتیب برابر با ۹ درصد و ۱۳/۷۹ درصد و ۱۴/۱۰ درصد می‌باشد. این نتایج نشان می‌دهد با افزایش سرعت جریان و نزدیک شدن سرعت جریان به سرعت بحرانی، مقادیر آبستگی بیشتر شده و به طبع آن میزان خطای نسبی $MAPE$ نیز افزایش یافته است.

در جدول (۳) برای حالت U/U_{cr} برابر با ۰/۸۵ با توجه به مقایسه نتایج عددی با نتایج آزمایشگاهی کرمی (۱۳۹۰)،

میانگین خطای نسبی R^2 در مقاطع ۲/۱۲، ۱/۶۱، ۱/۱۰ برابر با ۰/۹۷۳، ۰/۹۲۲، و ۰/۹۷۵ درصد بدست آمده‌است. با توجه به جدول ۶، میانگین خطای نسبی $MAPE$ در سه مقطع ۲/۱۲، ۱/۶۱، ۱/۱۰ متر به ترتیب در حدود ۵/۷۷٪، ۱۳/۷٪ و ۶/۹۴٪ بدست آمده است همچنین مقدار $RMSE$ برای سه مقطع ۲/۲۹، ۱/۶۱، ۱/۱۰ متر به ترتیب ۰/۰۲۶، ۰/۰۳۶ و ۰/۰۲۹ می‌باشد

³ the criteria of coefficient of determination

⁴ The Selectivity index

¹Root Mean Square Error

²Mean Absolute Percentage Error

جدول (۱): مقایسه نتایج مدل عددی و آزمایشگاهی کرمی (۱۳۹۰) در اطراف آبشکن‌های اصلی

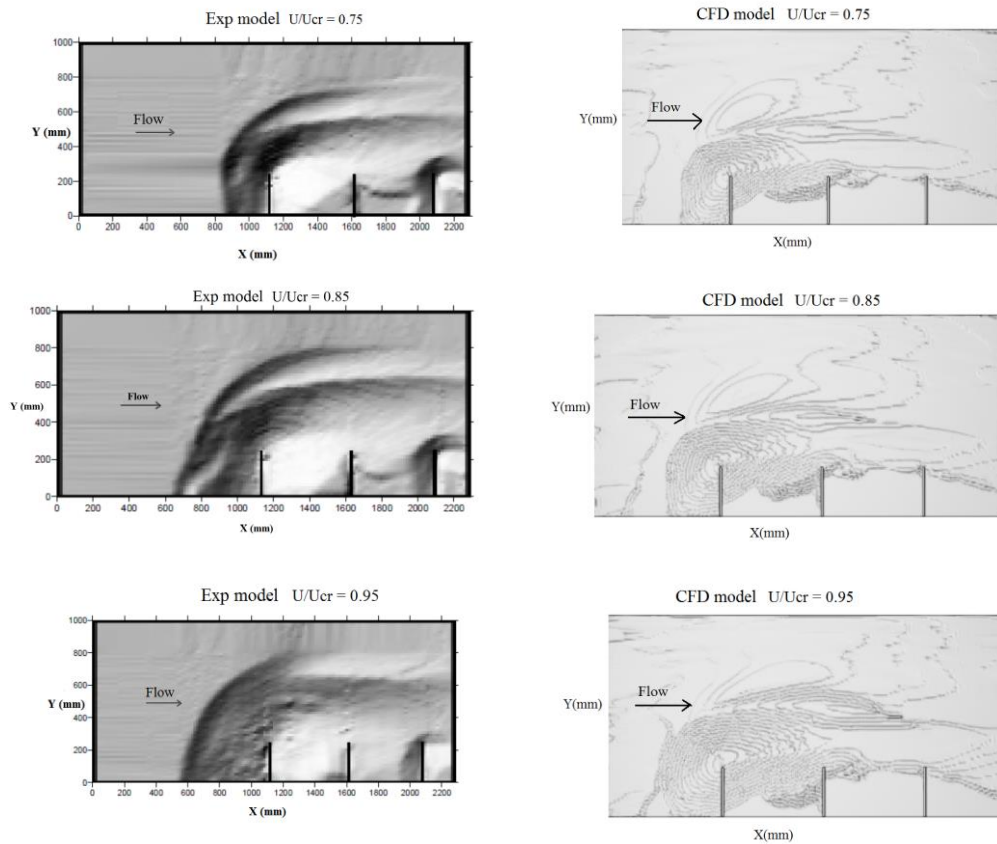
Model	Q (m ³ /s)	u/u_{cr}	U (m/s)	d_{s3} (max)	d_{s2} (max)	d_{s1} (max)
				(mm) X= 2.12 m	(mm) X= 1.62 m	(mm) X= 1.10 m
مدل آزمایشگاهی (۱)	0.046	0.85	0.307	72	29	225
مدل آزمایشگاهی (۲)	0.052	0.95	0.347	103	78	281
مدل آزمایشگاهی (۳)	0.041	0.75	0.273	62	11	181
مدل عددی (۱)	0.046	0.85	0.307	67	21	212
مدل عددی (۲)	0.052	0.95	0.347	93	67	260
مدل عددی (۳)	0.041	0.75	0.273	58	10	172

جدول (۲): شاخص آماری MAPE برای کل حالت های U/U_{cr}

	MAPE (%)		
	d_{s1}	d_{s2}	d_{s3}
(u/u_{cr}) = 0.75	4.90	9.00	6.45
(u/u_{cr}) = 0.85	5.77	13.79	6.94
(u/u_{cr}) = 0.95	7.40	14.10	9.70

جدول (۳): شاخص‌های آماری برای حالت U/U_{cr} برابر با ۰/۸۵

(u/u_{cr}) = 0.85	d_{s1}	d_{s2}	d_{s3}
R^2	0.975	0.922	0.973
MAPE (%)	5.77	13.79	6.94
RMSE	0.026	0.036	0.029
SI	0.029	0.038	0.031

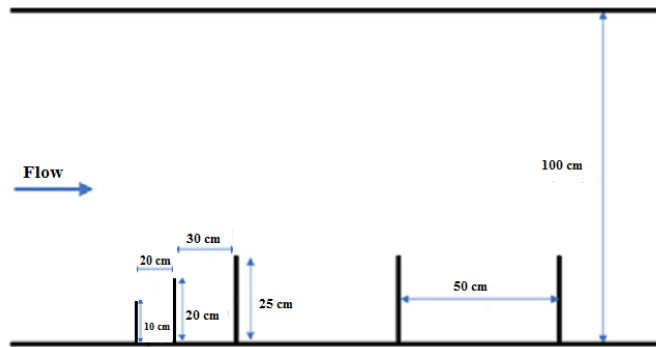


شکل (۲): فرآیند آبشستگی از نمای بالا در مدل عددی و مدل آزمایشگاهی کرمی (۱۳۹۰)

آبشکن ها در تحقیق کرمی (۱۳۹۰) انتخاب شده اند. تمام شرایط هیدرولیکی جریان (سرعت و سرعت بحرانی و ...) و هندسی کانال اصلی و آبشکن های اصلی همانند مدل آزمایشگاهی می باشد. مطابق شکل (۳)، آبشکن محافظ اول به طول ۱۰ سانتی متر در فاصله ۰/۸ متر از ورودی کانال و آبشکن محافظ دوم با طول ۲۰ سانتی متر در فاصله برابر ۰/۹ متر از ورودی کانال قرار دارند

شبیه سازی و تحلیل اثرات استقرار زوج آبشکن های محافظ بر آبشستگی

در این شبیه سازی در بالادست کانال آزمایشگاهی کرمی (۱۳۹۰) از دو آبشکن محافظ با طول های مختلف و به ضخامت ۱ سانتی متر به صورت همزمان استفاده شده است (شکل ۳). اثرات این دو آبشکن محافظ بر روی آبشستگی اطراف آبشکن های اصلی مورد بررسی قرار گرفته است. فاصله و طول آبشکن های محافظ طبق معیارهای هندسی



شکل (۳): نمایش شماتیک استقرار آبشکن‌های اصلی و آبشکن‌های محافظ با طول‌های مختلف در کانال

شده‌است. با توجه به شکل (۴) آبشکن محافظ اول با طول ۱۰ سانتی‌متر باعث کاهش تاثیر برخورد جریان با آبشکن محافظ دوم به طول ۲۰ سانتی متر شده و سپس این دو آبشکن محافظ به طور همزمان باعث کاهش شدید شدت برخورد جریان به دیواره و دماغه‌ی آبشکن اصلی اول می‌شوند. به همین دلیل ابعاد حفره‌ی آبشستگی در اطراف اطراف آبشکن‌های اصلی کاهش یافته‌است. بعلاوه حداکثر عمق آبشستگی اطراف آبشکن‌های اصلی اول، دوم و سوم به ترتیب به میزان ۷۸، ۴۲ و ۷۹ درصد کاهش پیدا کرده‌اند (حالت U/U_{cr} برابر با ۰/۸۵).

در شکل (۵) به بررسی تغییرات میزان آبشستگی در اطراف آبشکن‌های محافظ و آبشکن‌های اصلی در حالت U/U_{cr} برابر با ۰/۸۵ پرداخته شده است. در این شکل، حفره‌ی آبشستگی اطراف آبشکن محافظ اول به سمت پایین دست کشیده می‌شود و آبشکن محافظ دوم در این حفره‌ها قرار می‌گیرد. لذا حداکثر عمق آبشستگی اطراف آبشکن محافظ دوم افزایش می‌یابد. نقطه قابل توجه کاهش چشم‌گیر ۶۶ و ۷۰ درصدی میزان آبشستگی در اطراف آبشکن‌های اصلی دوم و سوم نسبت به نتایج مدل آزمایشگاهی بدون آبشکن محافظ و با استفاده از یک آبشکن می‌باشد (در کلیه حالت‌های U/U_{cr}). در استفاده هم‌زمان دو آبشکن محافظ با طول‌های مختلف درصد کاهش میزان آبشستگی در اطراف آبشکن‌های اصلی دوم و سوم به ترتیب برابر ۴۲ و ۷۸ درصد می‌باشد (حالت U/U_{cr} برابر با ۰/۸۵).

ابتدا تاثیر زوج آبشکن‌های محافظ بر مقادیر آبشستگی در شرایط نزدیک به آستانه حرکت مورد آزمایش قرار گرفته است. نتایج حاصل از مدل عددی در جدول (۴) و شکل (۴) آمده است. سپس کاهش عمق آبشستگی نسبت به آزمایش‌های اصلی (بدون آبشکن محافظ) محاسبه و ارائه گردیده است. در این جدول $d_{s1}(\max)$ و $d_{s2}(\max)$ و $d_{s3}(\max)$ حداکثر عمق آبشستگی به ترتیب در اطراف اولین، دومین و سومین آبشکن اصلی و $d_{sp1}(\max)$ و $d_{sp2}(\max)$ حداکثر عمق آبشستگی به ترتیب در اطراف اولین و دومین آبشکن محافظ، $R_{SD1}(\%)$ ، $R_{SD2}(\%)$ و $R_{SD3}(\%)$ درصد کاهش عمق آبشستگی به ترتیب در اطراف اولین، دومین و سومین آبشکن اصلی، $R_{AV}(\%)$ متوسط درصدهای کاهش عمق آبشستگی به ترتیب در اطراف کلیه آبشکن‌های اصلی، L_p طول آبشکن اصلی، L_f طول آبشکن محافظ، U سرعت جریان و U_{cr} سرعت بحرانی جریان می‌باشد.

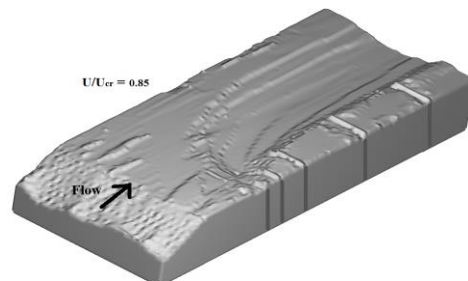
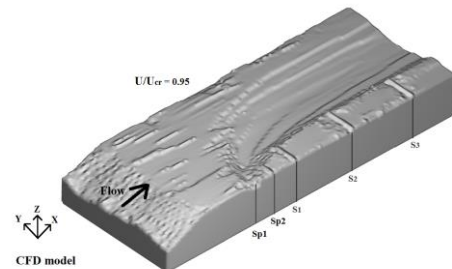
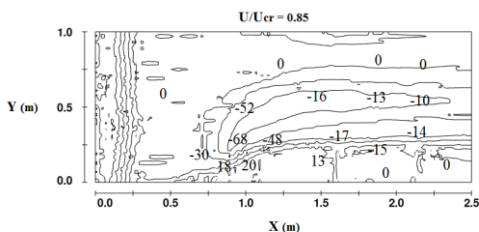
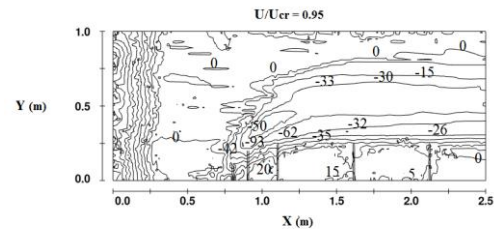
بررسی جدول (۴) و شکل (۴) در کلیه حالت‌های U/U_{cr} نشان می‌دهد که حداکثر عمق آبشستگی اطراف آبشکن‌های اصلی نسبت به حالت بدون آبشکن محافظ کاهش چشم‌گیری داشته‌اند. جدول (۴) نشان می‌دهد که حداکثر عمق آبشستگی اطراف آبشکن‌های محافظ رخ می‌دهد. به طور مثال در حالت U/U_{cr} برابر با ۰/۸۵، حداکثر عمق آبشستگی اطراف آبشکن محافظ دوم $d_{sp2}(\max)$ برابر با ۶۸ میلی‌متر از حداکثر عمق آبشستگی اطراف آبشکن اصلی اول $d_{s1}(\max)$ برابر با ۴۸ میلی‌متر، بیشتر

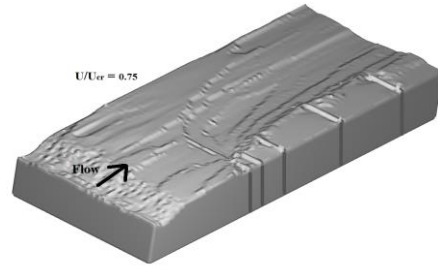
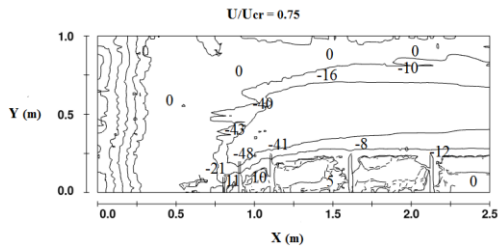
جدول (۴): نتایج و مشخصات مدل‌سازی عددی با حضور زوج آبشکن‌های محافظ به صورت همزمان

$(\%)R_{AV}$	$(\%)R_{SD3}$	$(\%)R_{SD2}$	$(\%)R_{SD1}$	d_{sp2} (max) (mm)	d_{sp1} (max) (mm)	d_{s3} (max) (mm)	d_{s2} (max) (mm)	d_{s1} (max) (mm)	L_{f2}/L p	L_{f1}/L p	U/U_{cr}
59	79	20	76	48	21	12	8	41	0.8	0.4	0.75
66	78	42	79	68	30	14	17	48	0.8	0.4	0.85
70	75	59	78	93	42	26	32	62	0.8	0.4	0.95

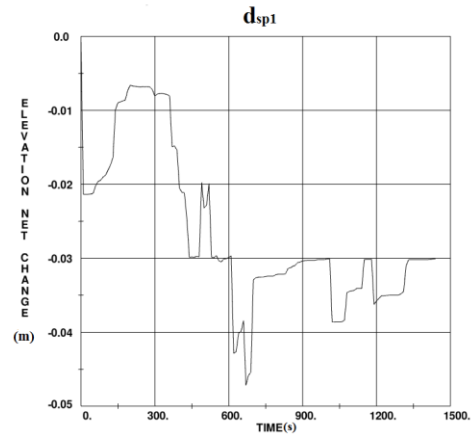
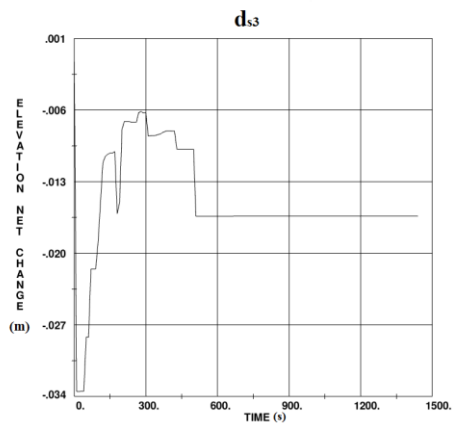
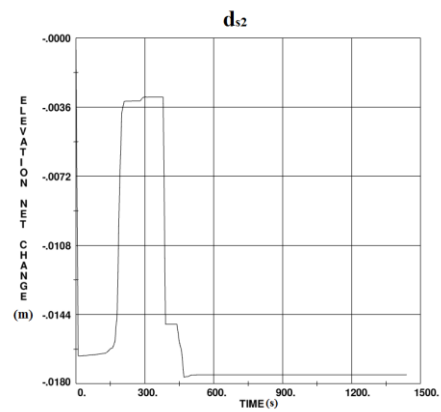
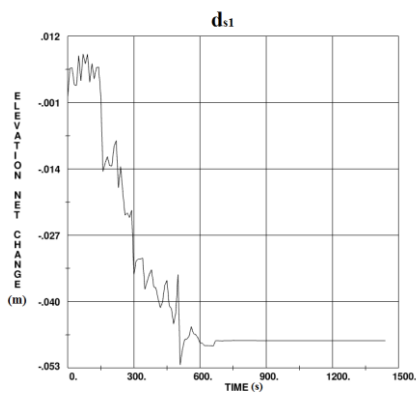
دلیل این امر آن است که با افزایش U/U_{cr} طبق آزمایش‌های کرمی (۱۳۹۰) میزان آبشستگی اطراف آبشکن‌های دوم و سوم (d_{s2} و d_{s1}) به شدت زیاد می‌شود. بنابراین با به کار بردن آبشکن‌های محافظ با طول‌های مختلف به صورت همزمان، درصد کاهش عمق آبشستگی اطراف آبشکن‌های اصلی دوم و سوم (R_{sd2} و R_{sd1}) به خوبی دیده می‌شوند (جدول ۴). با احتساب این مقادیر کاهش، در محاسبه درصد متوسط عمق آبشستگی اطراف تمامی آبشکن‌های اصلی $\%R_{av}$ مقادیر بزرگتری بدست می‌آید.

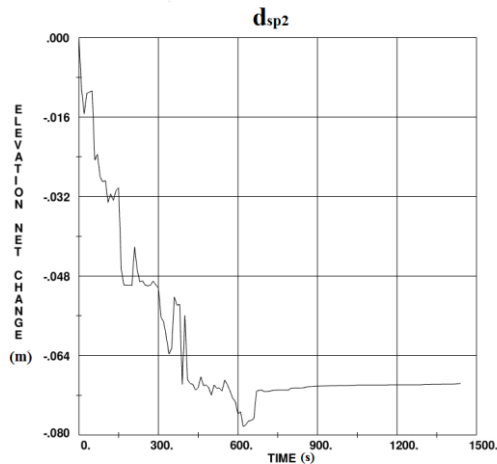
با توجه به جدول (۴) در مدل‌سازی‌های انجام شده با افزایش U/U_{cr} ، حداکثر عمق آبشستگی افزایش می‌یابد به طوری که U/U_{cr} با افزایش ۲۶ درصدی (از ۰/۷۵ به ۰/۹۵)، افزایش حداکثر عمق آبشستگی آبشکن اول ۵۱ درصد، آبشکن دوم ۴۰۰ درصد و آبشکن سوم ۱۱۶ درصد می‌شود. در تمامی حالات حداکثر عمق آبشستگی و ابعاد حفره‌های آبشستگی نسبت به مدل آزمایشگاهی بدون آبشکن محافظ به طور محسوسی کاهش پیدا کرده‌اند. آبشکن‌های محافظ در U/U_{cr} بیشتر و نزدیک به آستانه حرکت، بیشترین کاهش را در متوسط عمق آبشستگی R_{av} ایجاد می‌کند.





شکل (۴): تاثیر استقرار آبشکن‌های محافظ به صورت همزمان بر آبشستگی اطراف آبشکن‌ها





شکل (۵): بررسی تغییرات میزان آبستگی در اطراف آبشکن‌های محافظ و آبشکن‌های اصلی در حالت U/U_{cr} برابر با ۰/۸۵

نتیجه‌گیری

آبشکن‌های اصلی کاهش یافته‌است. بعلاوه حداکثر عمق آبستگی اطراف آبشکن‌های اصلی اول و دوم و سوم به ترتیب میزان ۰/۷۸، ۰/۴۲ و ۰/۷۹ درصد کاهش پیدا کرده‌اند (حالت U/U_{cr} برابر با ۰/۸۵). حفره‌ی آبستگی اطراف آبشکن محافظ اول به سمت پایین دست کشیده می‌شود و آبشکن محافظ دوم در این حفره‌ها قرار می‌گیرد؛ لذا حداکثر عمق آبستگی اطراف آبشکن محافظ دوم افزایش می‌یابد. نقطه قابل توجه در استفاده همزمان دو آبشکن محافظ با طول‌های مختلف، کاهش چشمگیر میزان آبستگی در اطراف آبشکن‌های اصلی دوم و سوم نسبت به نتایج مدل آزمایشگاهی بدون آبشکن و مدل آزمایشگاهی با استفاده از یک آبشکن محافظ می‌باشد (در کلیه حالت‌های U/U_{cr}).

در تحقیق حاضر به جهت بررسی میزان آبستگی و ارزیابی پدیده انتقال رسوب در اطراف آبشکن‌های سری بر اساس پژوهش آزمایشگاهی معتبر، مدل‌سازی عددی پایه-ریزی شد. سپس در بالادست کانال از دو آبشکن محافظ با طول‌های مختلف به صورت همزمان استفاده شد و اثرات وجود این دو آبشکن بر آبستگی اطراف آبشکن‌های اصلی مورد بررسی قرار گرفت. در مدل‌سازی‌های انجام شده با افزایش U/U_{cr} ، حداکثر عمق آبستگی افزایش یافت. سایر نتایج بدست آمده نشان می‌دهد که آبشکن محافظ اول با طول ۱۰ سانتی‌متر باعث کاهش تاثیر برخورد جریان با آبشکن محافظ دوم به طول ۲۰ سانتی‌متر شده و سپس این دو آبشکن محافظ به طور همزمان باعث کاهش شدید شدت برخورد جریان به دیواره و دماغه‌ی آبشکن اصلی اول می‌شوند. به همین دلیل ابعاد حفره‌ی آبستگی در اطراف

منابع

- جباری، آ.، حسینی، ا.، حقی، ا.، امامقلی زاده، ص.، بهنیا، ع. ۱۳۹۳. برآورد دبی انتقال رسوب رودخانه با استفاده از مدل ریاضی HEC-RAS. آب و آبیاری ایران، سال چهارم، شماره شانزدهم، ص ۲۳-۱۲.
- سعیدی، ا.، بهنام طلب، ا.، صالحی نیشابوری، ع.، ا. ۱۳۹۸. بررسی عددی تاثیر ارتفاع و محل تیغه بر رسوب گذاری در حوضچه ته نشینی. آب و آبیاری ایران، سال نهم، شماره سی و ششم، ص ۶۷-۵۲.

عباس پور، م. ۱۳۸۹. پیش‌بینی الگوی رسوب‌گذاری در مخازن سد با استفاده از نرم افزارهای Gstars3.0 و Hec-Ras، " پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تبریز.
کرمی، ح. ۱۳۹۰. تاثیر آبشکن محافظ بر کاهش عمق آبستگي موضعی اطراف آبشکن‌ها. رساله دکتری مهندسی آب دانشگاه صنعتی امیرکبیر.

Acharya, A and J.G. Duan. 2011. Three Dimensional Simulation of Flow Field around series of Spur Dikes. World environmental and water resources congress, 2085- 2094.

Bonakdari, H., S. Baghalian, F. Nazari and M. Fazli. 2011. Numerical analysis and prediction of the velocity field in curved open channel using Artificial Neural Network and Genetic Algorithm. Eng Appl Comput Fluid Mech, 5: 384-396.

Carrivick, J., V. Manville, A. Graettinger and S. Cronin. 2010. Coupled fluid dynamics-sediment transport modelling of a Crater Lake break-out lahar. Mt. Ruapehu, New Zealand, Journal of Hydrology, 388 (3-4), 399-413.

Fatahi, P., A. Arman and J. Zahiri. 2018. Numerical Study of The Effect of Spur Dike's Permeability on Erosion and Sedimentation Patterns in a 90° Mild Bend Using the CCHE2D Model. Journal of civil and environmental engineering, 48 (19): 41-49.

Fatehi, R and M.T. Manzari. 2012. A consistent and fast weakly compressible smoothed particle hydrodynamics with a new wall boundary condition. International Journal for Numerical Methods in Fluids, 68(7):905-921.

Giglou, N., A. Alex, A. Mccorquodale and L. Solari. 2017. Numerical study on the effect of the spur dikes on sedimentation pattern. Ain Shams Eng J, <http://dx.doi.org/10.1016/j.asej.2017.02.007>.

Hashemi, M.R., R. Fatehi and M.T. Manzari. 2012. A modified SPH method for simulating motion of rigid bodies in Newtonian fluid flows. International Journal of Non-Linear Mechanics, 47: 626-638.

Jilani, N. and A.S.U. Hashemib. 2013. Numerical investigations on bed load sediment transportation using SPH method. Scientia Iranica, 20 (2): 294-299.

Monaghan, J. J. 2005. Smoothed Particle Hydrodynamics", Reports on Progress in Physics, 68: 1703-1759.

Moradinejad, A., A.H. Haghiabi, M. Saneie and H. Yonesi. 2017. Experimental study of the effect of spur dike location and skimming wall on diversion of flow and sediment at lateral intake. Irrigation and Drainage structures engineering research, 17(67): 145-158.

Olesen, K.W. and G. Basson. 2004. A 2D model for reservoir sedimentation and flushing. Conference of Hydraulics of Dams, Iran.

Van Rijen, L.C. 1987. Mathematical Modelling of Morphological Processes in The case of Suspended Sediment Transport", PhD Thesis, University of Amesterdam, Netherlands.

Yue, Z.Y., Z.X. Cao, X. Li and T. Che T. 2008. Two-dimensional coupled mathematical modeling of fluvial processes with intense sediment transport and rapid bed evolution. Sci Chin (Ser G), 51(9): 1427-38.



Numerical Investigation of the Effect of a Pair of Protective Spur Dikes on the Scouring around the Series Spur Dikes

Sohrab Karimi¹, Hojat Karami^{2*}, Khosrow Hosseini³, Saeed Farzin⁴

Abstract

Among the approaches to reduce flood damage is to reduce the flow rate near the shore by spur dikes. The study first simulated the transfer of sediment and scour around series spur dikes in an experimental model using Flow 3d software. According to the comparison results, one can observe a good match between the results of the numerical and experimental models that the error rates of MAPE around the first spur dike, for U/U_{cr} ratios were, 0.75, 0.85 and 0.95 and were 9%, 13.79% and 14.10%, respectively. Then two protective spur dikes with various lengths (10 and 20 cm) were used in canal upstream and the effects of the presence of these two protective spur dikes simultaneously on the scour around the main spur dike were examined. In modeling done, increase in U/U_{cr} depth increases the maximum spur dike depth, so that with increase in U/U_{cr} by 26% (from 0.75 to 0.95), the increase in the maximum depth of the first spur was 51%, in the second spur dike 4 times, and in the third spur dike 116%. When the protective spur dike couple with various lengths is used simultaneously, and then these two protective spur dikes simultaneously drastically reduce the effect of the flow intensity to the wall and nose of the main spur dike. Moreover, the maximum depth of scour around the first, second and third main spur dikes has decreased by 79, 42, and 78%, respectively ($U/U_{cr} = 0.85$).

Keywords: Series spur dikes, scour, numerical models, protective spur dikes.

¹ Ph.D. student, Department of Civil Engineering, Semnan University, Semnan, Iran, Email: M.karimi@semnan.ac.ir

^{2*} Associate Professor, Department of Civil Engineering, Semnan University, Semnan, Iran Email: hkarami@semnan.ac.ir

³ Associate Professor, Department of Civil Engineering, Semnan University, Semnan, Iran, Email: kh.hosseyni@semnan.ac.ir

⁴ Associate Professor, Department of Civil Engineering, Semnan University, Semnan, Iran Email: saeed.farzin@semnan.ac.ir