

EXTENDED ABSTRACT

Investigation the effect of the height and distance of successive obstacles on the control of density current

M. Toozandehjani¹, A. HamzeHaghiAbi^{2*}, S. M. Kashfipour³ and H. Turabi Podeh⁴

1- Phd student of water structures of Lorestan University, Khorramabad, Iran.

2*- Corresponding Author, Professor, Faculty of Agriculture, Water Department, University of Lorestan, Khorramabad, Iran. (haghiabi.a@lu.ac.ir).

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

4- Assistant Professor, Faculty of Agriculture, Water Department, University of Lorestan, Khorramabad, Iran.

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 11 August 2020

Revised: 6 November 2020

Accepted: 10 November 2020

Keywords:

Useful life, Dam reservoir, slope, Sediments, Density.

TO CITE THIS ARTICLE :

Toozandehjani, M., Haghiabi, A. H., Kashfipour, M., Turabi Podeh, H. (2023). 'Investigation the effect of the height and distance of successive obstacles on the control of density current', *Irrigation Sciences and Engineering*, 45(4), pp. 1-14. doi: 10.22055/jise.2018.26213.1782

Introduction

Obstacle usually blocks the current and it has been found by other researchers an obstacle with a height more than two times of body height of flow is necessary to fully block the density current. The construction of an obstacle with this elevation creates problems in terms of performance and sustainability as well as the accumulation of sediments behind it.

Rottman et al. (1985) solved the analytical solution of the two-phase current in a horizontal slope with an obstacle in the steady and unsteady flow and concluded that if the height of the obstacle is twice the body height of the density current so the density current is completely blocked. Prinos (1999) conducted studies on the effect of the shape of the obstacle on the current control. In his experiments, he used two semi-circular and triangular obstacles with the same height and concluded that the shape does not have a significant effect on the control of high current. Also, in the range of densimetric Froude number, $0.7 < Frd < 0.8$ if the height of the obstacle is twice the height of the body of the density current, the current will be fully restrained. As it has been stated, for a complete block of density current, based on the results of previous investigators, the height of the obstacle should be at least twice the height of the body.

The purpose of this study is to use successive obstacles with lower height, with greater sustainability and lower cost, in controlling density current. For this purpose, in different conditions, in terms of slope and concentration, three rows of obstacles with different heights and also different distances were used to control sedimentary and salty density current.

Research Methodology

The study Experiments were conducted in a tilting flume with 780 cm length, 35 cm width, and 70 cm depth in the hydraulic laboratory of Ahwaz University, Iran. The flow discharge was kept constant and equal to 1 lit/s and the concentration too was 20 and 10 gr/lit in both salty and sedimentary experiments. In this research, two types of sedimentary and salt density currents were used. Obstacles height was considered 0.5, 0.75, and 1 equal to the height of the body of density current. In the discussion of obstacles distances, 3 distances were considered $L_1=L_2$, $\frac{L_1}{L_2} = 0.81$ and $\frac{L_1}{L_2} = 1.23$. L_1 is the distance between the first and second obstacles, and L_2 is the distance between the second and third obstacles. In all tests, discharge of density current 1 liters per second was considered. In order to quantify the amount of control of sedimentary and salty density current the sediment load transported by the head and body of density current was calculated according to equation (1) and (2).

$$Q_{sp} = 10^{-6} U_f H_f B C_f \quad (1)$$

$$Q_{sb} = 10^{-6} u h B C_b \quad (2)$$

Where, Q_{sp} = sediment discharge (kg/s); B = flume width (=35 cm); H_f = depth of density current head (cm); C_f = average sediment concentration of head (gr/cm³), and 10^{-6} is a coefficient to convert the units. Precise estimates of U_f = head velocity (cm/s) and H_f were provided using the digital photos. To provide the average height and speed of the head and body were used using the flume recording and recording technique. Q_{sb} = the sediment discharge of body, u = body velocity, h = body height, C_b is body concentration, and the concentration of the head was determined by samplers that were located before and after the obstacles at a distance of 2 and 4.56 meters from the beginning of the Flume. Each of these samplers includes 10 siphons that were at a height of 15 mm from each other. To provide the average concentration of head, samples were taken from two depths including 3.4 cm and 6.4 cm from the bed, where H_f was measured. Details of the height and distance of obstacles are illustrated in Table (1). For each experiment, two points were specified for measuring the above parameters, one before beginning the obstacles and the other one after them.

Table 1-Height and distance of obstacles in different arrangements

Distance kind	Distance between the first and second obstacle (cm)	Distance between the second and third obstacle (cm)	Distance ratio (D1/D2)	Height kind	Relative height of first obstacle (Hm1)	Relative height of second obstacle (Hm2)	Relative height of third obstacle (Hm3)
L1	50	50	1	H1	0.5	0.5	0.5
L2	65	65	0.81	H2	0.75	0.75	0.75
L3	80	80	1.23	H3	1	1	1
				H4	0.5	0.75	1

After determining the speed and concentration of head and speed and concentration of the body, the sediment discharge was determined before and after the obstacles using relations (2 and 3) and the percentage of reduction in sediment discharge (ΔQ_s) is calculated by:

$$\% \Delta Q_s = \frac{Q_{s1} - Q_{s2}}{Q_{s1}} \times 100 \quad (3)$$

Where, Q_{s1} and Q_{s2} are sediment discharge before and after obstacles, respectively In this regard, ΔQ_s is the percentage of reduction in sediment discharge for both the head and body of density current.

Results

The use of successive obstacles with low height, instead of an obstacle with high height with approximately twice the height of the body of density current for its complete block, reduces to a large extent the sediment discharge of the density current and causes control of it. The most effective in controlling the density current was to use obstacles with a height equal to the depth of the body of density current that decrease the sediment discharge of the density current head by about 99.3 %.

The results also showed that if successive obstacles ranging from small to large and the first obstacle had 0.5, the second obstacle 0.75, and the third obstacle be equal to the height of the density current, an average of about 1.02 times comparable use of three obstacles with an elevation of 0.75 of the height of flow. This result was also confirmed in sedimentary experiments. Whatever the distance of obstacles increases, the influence of successive obstacles increases in the density current control. In general, if the distance between the first and third obstacles is fixed and the distance between the first and second obstacles is greater than the second and third obstacles, the effect of the obstacles is more than the state that the second and third barrier distance is greater. with Increasing the slope from 0 to 2.5 % effect of successive obstacles decreases on controlling the current due to the increase of current velocity and decrease of sedimentation. By increasing concentrations in laboratory conditions of this study, the effect of successive obstacles reduces on controlling the sediment load of density current.

Conclusion

In the present study, the results showed that successive obstacles can control the density current up to 99 % and reduce sediment transported by sedimentary density current. Also, the results showed that in 3 rows of obstacles the distance between the first and second obstacles is more important. Successive obstacles not only reduce the flow velocity but increases the water entrainment significantly and for these two reasons can control sediment transport by density current.

Acknowledgments

The authors thank the officials of Lorestan University and Shahid Chamran University of Ahvaz, especially the officials and staff of the Faculty of Water and Environmental Engineering of Shahid Chamran University of Ahvaz for providing the necessary facilities and conditions for this research.

Reference

- 1- Prinos, P., 1999. Two-dimensional density currents over obstacles. Proceedings of the 28th IAHR Congress, Graz, Austria.
- 2- Rottman, J. W., Simpson, J. E., Hunt, J. C. R., and Britter, R. E., 1985. Unsteady gravity current flows over obstacle: Some observations and analysis related to phase II trials. *Journal of Hazard Material*, 11, pp. 325–340.



بررسی تأثیر ارتفاع و فاصله موانع متوالی در کنترل جریان غلیظ

محمد توننده‌جانی^۱، امیر حمزه حقی‌آبی^{۲*}، سید محمود کاشفی‌پور^۳ و حسن ترابی‌پوده^۴

۱- دانش آموخته دکتری سازه های آبی دانشگاه لرستان.

۲* - نویسنده مسئول، استاد گروه مهندسی آب دانشکده کشاورزی دانشگاه لرستان haghiahi.a@lu.ac.ir

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

۴- دانشیار گروه مهندسی آب دانشکده کشاورزی دانشگاه لرستان.

دریافت: ۱۳۹۹/۵/۲۱

بازنگری: ۱۳۹۹/۸/۱۶

پذیرش: ۱۳۹۹/۸/۲۰

چکیده

یکی از مهم ترین عوامل کاهش عمر مفید سدها، جریان غلیظ است که عامل اصلی حرکت رسوبات در مخازن سدها می باشد. جریان غلیظ پدیده‌ای است که به خاطر تغییرات چگالی بین دو سیال به وجود می‌آید. در مقاله حاضر تأثیر ارتفاع و فواصل موانع متوالی در کنترل جریان غلیظ بررسی می‌شود. بدین منظور از سه ردیف مانع با چهار ارتفاع و سه فاصله برای موانع و نیز سه شیب و دو غلظت استفاده شده است. جریان غلیظ استفاده شده هم از نوع نمکی بوده و هم از نوع رسوبی. در مجموع ۱۰۸ آزمایش به همراه ۹ آزمایش شاهد انجام شد. با توجه به تحقیقات گذشته حداقل ارتفاع یک مانع برای کنترل کامل جریان غلیظ باید دو برابر ارتفاع جریان غلیظ باشد که در تحقیق حاضر نتایج نشان داد که می‌توان با موانعی به ارتفاع یک برابر ارتفاع بدنه جریان غلیظ، تا ۹۹ درصد جریان غلیظ را کنترل کرد. همچنین نتایج نشان داد که در سه ردیف مانع، تأثیر فاصله مانع اول و دوم مهمتر بوده و هرچه این فاصله بیشتر باشد کنترل جریان غلیظ نیز بیشتر است.

کلید واژه‌ها: عمر مفید، مخزن سد، شیب، رسوبات، غلظت.

مقدمه

اهمیت افزایش عمر مفید سدها و حفظ حجم ذخیره آن‌ها برای تداوم کنترل و بهره‌برداری از منابع آب، به‌عنوان موضوعی مهم در علم مهندسی سدسازی می‌باشد زیرا ساخت سدهای جدید به دلایل آیین‌نامه‌های سخت گیرانه زیست محیطی، هزینه بالای ساخت و عدم وجود سایت‌های مناسب بسیار مشکل می‌باشد. احداث سد در مسیر جریان رودخانه باعث بر هم خوردن رفتار جریان شده و کاهش سرعت جریان در مخزن سد منجر به ته نشین شدن رسوبات و رسوب‌گذاری در این ناحیه می‌شود. در نهایت رسوب‌گذاری در هر سد صرف نظر از اهداف ساخت آن (ذخیره آب، آبیاری، تولید انرژی و یا کنترل سیلاب) منجر به کاهش تدریجی حجم مفید آن شده و مخزن سد پر از رسوب می‌شود. به طور معمول سالانه حدود یک تا دو درصد از حجم مخازن پر از رسوب خواهد شد. عامل اصلی انتقال این رسوبات تا نزدیکی بدنه سد خصوصاً در مواقع سیلابی که حجم زیادی از رسوبات به مخازن سدها و دریاچه‌ها منتقل می‌شود جریان کدر (Turbidity current) می‌باشد.

جریان غلیظ یا جریان چگال (Gravity Current) جریانی با چگالی ρ_t است که ذاتاً به دلیل اثر اختلاف چگالی دو سیال بر روی شتاب جاذبه به وجود می‌آید. این بدین معنی است که نیروی ثقل به نسبت $\Delta\rho/\rho_a$ کاهش یافته است. در این رابطه

$\Delta\rho$ اختلاف چگالی جریان غلیظ با سیال پیرامون و ρ_a هم چگالی سیال پیرامون می‌باشد. جریان غلیظ شباهت‌های بسیاری با جریان در مجاری روباز دارد، با این تفاوت که در جریان‌های غلیظ سیال پیرامون، تأثیر کاهنده‌ای روی نیروی ثقل داشته و ضریب کاهش به صورت $\Delta\rho/\rho_a$ می‌باشد. بنابراین شتاب ثقل مؤثر بر جریان که به‌عنوان نیروی محرک در جریان غلیظ مطرح می‌باشد به صورت رابطه (۱) بیان می‌گردد.

$$g' = g \frac{(\rho_t - \rho_a)}{\rho_a} = g \frac{\Delta\rho}{\rho_a} = g C_s \frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_w} \quad (1)$$

در این رابطه، C_s : غلظت حجمی متوسط رسوبات غیر چسبنده، ρ_a : دانسیته سیال پیرامون، ρ_t : دانسیته سیال غلیظ، ρ_w : دانسیته آب می‌باشد. در زمینه جریان غلیظ و مسائل مرتبط با آن مطالعات فراوان و متنوعی صورت گرفته است. این مطالعات عموماً بر شناخت جریان غلیظ و تأثیر عوامل مختلف بر این پدیده و همچنین تحلیل و شناخت بیشتر اجزای جریان غلیظ و در نهایت بررسی کنترل و جلوگیری از انتقال جریان غلیظ به پایین دست متمرکز می‌شوند. در زمینه کنترل جریان غلیظ تاکنون روش‌ها و شیوه‌های متنوعی به کار گرفته شده است. از جمله می‌توان به استفاده از زبری، ترکیب مانع و زبری، استفاده از جابجایی هوا، استفاده از موانع (نفوذپذیر و نفوذناپذیر) و همچنین

برخورد با مانع به دست آورد. Rottman et al. (1985) به حل تحلیلی جریان دو فازی در شیب افقی با مانع در جریان دائمی و غیر دائمی پرداختند و نتیجه گرفتند که در صورتی که ارتفاع مانع دو برابر ارتفاع بدنه جریان باشد جریان به طور کامل مسدود می شود. Prinos (1999) مطالعاتی در خصوص تاثیر شکل مانع بر روی کنترل جریان غلیظ انجام داد. او در آزمایش‌های خود از دو مانع به شکل نیم‌دایره و مثلثی با ارتفاع یکسان استفاده نمود و به این نتیجه رسید که شکل مانع تأثیر معنی‌داری در کنترل جریان غلیظ نخواهد داشت. همچنین برای محدوده عدد فرود دنسی متریک $0.7 < Fr_d < 0.8$ در صورتی که ارتفاع مانع دو برابر ارتفاع بدنه جریان غلیظ باشد، جریان به صورت کامل مهار خواهد شد. Woods و Bursik (2000) به تأثیر ایجاد مانع و تنگ‌شدگی و بازشدگی کوچک بر کنترل نسبی جریان پرداختند و اعلام نمودند تنها زمانی مانع بر الگوی رسوب‌گذاری جریان مؤثر است که باعث توقف نسبی جریان شود. Schleiss و Oehy (2007) و Oehy (2003) مطالعاتی روی کنترل جریان غلیظ با استفاده از مانع غیر مشبک، مانع مشبک به صورت شبکه ژئوتکستایل عمودی، جت عمودی، جت ۴۵ درجه و دیوار حساب انجام دادند و نتیجه‌گیری نمودند که احداث مانع در جریان زیر بحرانی برای کنترل جریان مناسب است. Asghari Pari et al. (2017) در مطالعه‌ای به بررسی اثر ارتفاع مانع بر رسوب‌گذاری در مخازن سدها در جریان غلیظ پرداخت. اهداف اصلی و مهم این تحقیق بررسی و شناخت جریان غلیظ رسوبی و نمکی در شرایط مختلف ورودی با در نظر گرفتن اثر شیب، دبی و غلظت و بدون اثر مانع و سپس تعیین ارتفاع نسبی مانع برای توقف جریان غلیظ در شرایط زیر بحرانی و فوق بحرانی می‌باشد. همچنین در این تحقیق به بررسی شرایط رسوب‌گذاری در جریان غلیظ رسوبی و اثر کنترلی آن با مانع و مقایسه آن با جریان غلیظ نمکی پرداخته شد. در نهایت برای ارتفاع مانع برای کنترل جریان غلیظ نمکی و رسوبی روابطی ارائه شد. همچنین مشاهده شد که با افزایش شیب و تبدیل جریان از زیر بحرانی به فوق بحرانی، اثر ارتفاع مانع در توقف جریان کاهش می‌یابد. Kashefipour و Daryaee (2014) در مطالعه‌ای به بررسی آزمایشگاهی اثر شیب و زبری کف روی سرعت پیشانی و بدنه جریان غلیظ پرداختند. این مطالعه در چهار ارتفاع زبری و چهار شیب و دو غلظت انجام شد. نتایج حاصل نشان داد که با افزایش ارتفاع زبری، سرعت پیشانی و بدنه جریان غلیظ کاهش و با افزایش شیب بستر افزایش می‌یابد. همچنین افزایش شیب باعث کاهش تأثیر زبری در کم کردن سرعت بدنه و پیشانی می‌شود. Oehy et al. (2010) تأثیر جت را روی رفتار و همچنین کنترل جریان غلیظ مورد بررسی قرار دادند و نتایج حاصل را با نتایج دیگر محققین مقایسه نمودند. نتایج نشان داد که اثر جت مخالف بر کنترل جریان غلیظ بیشتر از جت عمودی می‌باشد.

استفاده از جت آب برای کنترل جریان غلیظ اشاره کرد. هنگامی که یک جریان غلیظ به یک مانع برخورد می‌نماید بسته به ارتفاع مانع و شرایط جریان حالت‌های مختلفی اتفاق می‌افتد که می‌توان آن‌ها را در چهار حالت کلی تقسیم بندی نمود. حالت اول زمانی است که ارتفاع مانع کم باشد. در این حالت جریان به طور کامل از روی مانع عبور می‌نماید. حالت دوم زمانی است که ارتفاع مانع به حدی برسد که کل جریان با عمق بحرانی از روی مانع عبور نماید. حالت سوم زمانی به وجود می‌آید که ارتفاع مانع به حدی برسد که امکان عبور کامل جریان حتی با عمق بحرانی امکان پذیر نباشد. در این حالت بخشی از جریان از روی مانع عبور نموده و بخشی دیگر به صورت یک موج داخلی یا پرش هیدرولیکی متحرک به سمت بالادست حرکت می‌نماید که این پرش موجب استهلاك انرژی و تنظیم شرایط جریان در بالادست و پایین دست می‌شود. حالت چهارم زمانی به وجود می‌آید که ارتفاع مانع به حدی افزایش یابد که کل جریان متوقف گردد (Asghari Pari et al., 2010). شکل (۱) به طور شماتیک برخورد یک جریان غلیظ با یک مانع را نشان می‌دهد. جریان عبوری از روی مانع با دو متغیر مستقل توصیف می‌شود، عدد فرود چگال جریان نزدیک شونده $Fr_{d1} = \frac{U_1}{\sqrt{g \cdot h_1}}$ و ضریب بدون بعد H_m که نسبت ارتفاع مانع به ارتفاع جریان ورودی می‌باشد $H_m = \frac{h_m}{h_1}$ با حل جریان به صورت دائمی می‌توان نشان داد که برای هر مقدار از عدد فرود چگال ورودی، ارتفاع نسبی از مانع ($H_m = H_{mc}$) وجود دارد که جریان بر روی مانع بحرانی می‌شود. با نوشتن معادله برنولی بین مقاطع یک و سه، می‌توان H_{mc} را تعیین نمود. این معادله توسط Long (1954) به صورت رابطه (۲) بیان شده است.

$$H_{mc} = 1 + \frac{Fr_{d1}^2}{2} - \frac{3}{2} Fr_{d1}^{\frac{2}{3}} \quad (2)$$

حال در صورتی که $H_m > H_{mc}$ باشد جریان به طور نسبی متوقف می‌شود. در این حالت یک موج داخلی یعنی پرش هیدرولیکی متحرک تشکیل می‌شود که به سمت بالادست با سرعت U_j حرکت می‌کند. اگر ارتفاع مانع به حدی برسد که از ارتفاع h_2 نظیر پرش هم بیشتر باشد آنگاه جریان کاملاً متوقف خواهد شد. Baines (1995) این شرایط را به صورت معادله (۳) بیان نمود.

$$Fr_{d1}^2 = (H_m - 1)^2 \left(\frac{H_m + 1}{2H_m} \right) \quad (3)$$

Young و Greenspan (1978) تأثیر مانع با زاویه‌های برخورد ۳۰، ۶۰ و ۹۰ درجه را با جریان حاصل از شکست یک مخزن بررسی نمودند. Long (1970) با صفر در نظر گرفتن سرعت حرکت موج داخلی به سمت بالادست (U_j) با استفاده از رابطه (۲) حل دائمی دیگری بدون توقف نسبی جریان غلیظ در

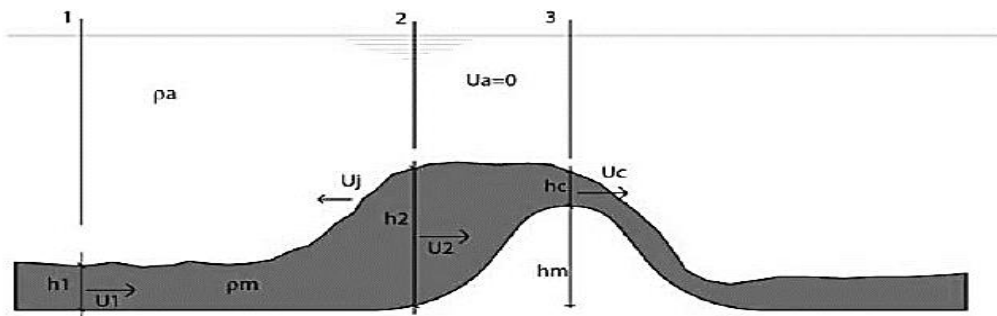


Fig. 1- Schematic representation of the collision between density current and obstacle (quoted from Oehy 2003)

شکل ۱- شماتیکی از برخورد جریان غلیظ با مانع (به نقل از Oehy 2003)

دبی جریان غلیظ یک لیتر بر ثانیه در نظر گرفته شد. فلوم مورد استفاده با یک دریچه در ابتدا به دو قسمت تقسیم و بدین وسیله جریان غلیظ از سیال پیرامون جدا شده و در هنگام شروع آزمایش با استفاده از یک اهرم این دریچه تا ارتفاع مشخص بالا رفته و جریان غلیظ وارد سیال پیرامون می‌شد. در جریان رسوبی پودر سنگ مورد استفاده دارای اندازه متوسط ذرات D_{50} در حدود ۱۷ میکرومتر، D_{84} در حدود ۶۳ میکرومتر، و D_{16} در حدود سه میکرومتر بود. شیب‌های مورد استفاده ۰/۵، ۱/۵ و ۲/۵ درصد بوده‌اند. غلظت‌های مورد استفاده ۱۰ و ۲۰ گرم در لیتر هم در آزمایش‌های نمکی و هم در آزمایش‌های رسوبی بودند. برای موانع سه ارتفاع ۰/۵، ۰/۷۵ و ۱ برابر بدنه جریان غلیظ در نظر گرفته شد. در بحث فواصل موانع نیز ۳ فاصله $D_1 = D_2$ و $\frac{D_1}{D_2} = 0.81$ و $\frac{D_1}{D_2} = 1.23$ در نظر گرفته شد. که D_1 فاصله مانع اول و دوم و D_2 فاصله بین مانع دوم و سوم بود. مبنای انتخاب فاصله موانع بدین گونه بود که در یک حالت فاصله سه مانع مساوی باشد، در یک حالت فاصله مانع اول و دوم بیشتر باشد و در حالت سوم نیز فاصله مانع دوم و سوم بیشتر باشد. در عین حال با توجه به طول فلوم آزمایشگاهی فرصت کافی برای تشکیل جریان غلیظ در قبل، بین و بعد از موانع نیز وجود داشته باشد. بر این اساس مقادیر فاصله موانع مطابق جدول شماره (۱) با انجام آزمایش‌های متعدد به دست آمد. در تمامی آزمایش‌ها با توجه به عدد فرود دنسیمیتریک رابطه (۴) جریان غلیظ در حالت زیربحرانی قرار داشت.

$$Fr_d = \frac{U}{\sqrt{g'hc\theta}} \quad (4)$$

در این رابطه θ زاویه شیب کف، U سرعت بدنه، h ارتفاع بدنه و g' شتاب ثقل کاهش یافته می‌باشد. در ابتدا نه آزمایش شاهد شامل شش آزمایش نمکی با سه شیب و دو غلظت و سه آزمایش رسوبی با یک غلظت و سه شیب انجام شد تا ارتفاع و سرعت متوسط بدنه جریان غلیظ با استفاده از

Zeinivand et al. (2014) به بررسی استفاده از صفحات مشبک برای کنترل جریان غلیظ نمکی پرداخت. در این مطالعه به برداشت و محاسبه دبی و غلظت جریان غلیظ در بالادست و پایین دست صفحه مشبک و بررسی تغییر این دو پارامتر، به همراه بررسی بار رسوبی، پرداخته شد و در ادامه عبور جریان غلیظ از صفحه مشبک و تشکیل مجدد ساختار آن و حجم سیال ورودی بررسی گردید. با توجه به تحقیقات صورت گرفته به منظور مهار کامل جریان غلیظ توسط مانع، باید مانعی با ارتفاع تقریباً دو برابر بدنه جریان غلیظ احداث نمود. افزایش ارتفاع مانع ممکن است از نظر اقتصادی مقرون به صرفه نباشد. از طرفی با افزایش ارتفاع مانع ممکن است پایداری آن از نظر سازه‌ای بعد از پر شدن مخزن آن توسط رسوبات حمل شده به وسیله جریان غلیظ دچار مخاطره گردد. هدف از این مطالعه استفاده از موانع متوالی با ارتفاع کمتر، که پایداری بیشتری داشته باشد، در کنترل جریان غلیظ می‌باشد. بدین منظور در شرایط مختلفی از نظر شیب و غلظت، سه ردیف مانع با ارتفاع‌ها و هم‌چنین فواصل مختلف در کنترل جریان‌های غلیظ در دو نوع رسوبی و نمکی استفاده شد.

مواد و روش‌ها

این تحقیق در آزمایشگاه مدل‌های فیزیکی و هیدرولیکی دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز و روی یک فلوم با عرض ۳۵ سانتی‌متر و طول کلی ۷/۸۱ متر و ارتفاع ۷۰ سانتی‌متر انجام شد. در این تحقیق از دو نوع جریان غلیظ نمکی و رسوبی استفاده شد. برای انجام آزمایش‌ها، ابتدا جریان غلیظ با مخلوط کردن آب و نمک برای جریان غلیظ نمکی و آب و پودر سنگ برای جریان رسوبی به غلظت دلخواه درون مخزن تهیه و توسط پمپ به یک مخزن به منظور رسیدن به هد ثابت منتقل شد، سپس با استفاده از یک شیر و دبی سنسج الکترومغناطیس میزان جریان ورودی به درون فلوم کنترل می‌شد. در آزمایش‌های جریان غلیظ نمکی، برای مشاهده و بررسی رفتار این جریان و فیلم برداری از آن، از ماده رنگی پرمگنات پتاسیم به منظور رنگی کردن جریان استفاده شد. در کلیه آزمایش‌های

تراز آب کالیبره گردید. در کلیه آزمایش‌ها دبی ورودی و خروجی یکسان بود، بنابراین تراز آب در فلوم در طول آزمایش ثابت ماند. به منظور تعیین میزان کنترل جریان غلیظ از دبی رسوبی پیشانی و دبی رسوبی بدنه جریان غلیظ استفاده شد. هم‌چنین تأثیر موانع بر تغییرات غلظت نیز مورد بررسی قرار گرفت. شار رسوبی پیشانی و بدنه جریان غلیظ رسوبی و نمکی مطابق رابطه‌های (۷) و (۸) تعیین گردید.

$$Q_{sp} = 10^{-6} U_f H_f BC_f \quad (7)$$

$$Q_{sb} = 10^{-6} U_h BC_b \quad (8)$$

در این روابط Q_{sp} شار رسوبی پیشانی (kg/s)، H_f ارتفاع پیشانی (cm)، U_f سرعت پیشانی (cm/s)، B عرض فلوم (۳۵ cm) و C_f هم غلظت پیشانی (gr/cm^3) و 10^{-6} ضریب تبدیل واحد می‌باشد. ارتفاع و سرعت پیشانی با استفاده از روش فیلم برداری و علامت‌گذاری فلوم استفاده شد. بدین صورت که فاصله طی شده توسط پیشانی جریان غلیظ در مدت زمان مشخص تعیین شده و سرعت پیشانی از تقسیم فاصله طی شده بر زمان حاصل می‌شد. Q_{sb} شار رسوبی بدنه، U سرعت بدنه و h ارتفاع بدنه که از روابط (۵) و (۶) تعیین می‌شوند. C_b هم غلظت بدنه می‌باشد و همراه با غلظت پیشانی از طریق نمونه‌گیرهایی که در قبل و بعد از موانع در فاصله ۲ و ۴/۵ متری از ابتدای فلوم وجود داشت تعیین شد. هر کدام از این نمونه‌گیرها شامل ۱۰ سیفون بوده که در ارتفاع ۱۵ میلی‌متری از هم قرار داشتند. با توجه به گذرا بودن پیشانی و نبود زمان کافی برای نمونه‌برداری در مورد غلظت پیشانی تنها از سیفون‌های شماره سه و پنج که در ارتفاع ۳/۴ و ۶/۴ سانتی‌متری از کف قرار داشتند استفاده شد. در اندازه‌گیری غلظت بدنه با توجه به پایدار بودن بدنه و فرصت کافی از هر ۱۰ سیفون نمونه‌برداری استفاده شد. در تعیین غلظت جریان غلیظ نمکی بلافاصله بعد از نمونه‌برداری بدون اینکه دما و شرایط محلول تغییر کند با استفاده از یک دستگاه EC متر که قبلاً در آزمایشگاه کالیبره شده و معادله غلظت آن رابطه (۹) محاسبه شده بود، استفاده شد.

$$C = -0.0009EC^2 + 0.51EC - 0.8862 \quad (9)$$

در این رابطه C غلظت بر حسب گرم در لیتر و EC هدایت الکتریکی نمونه بر حسب میلی‌زیمنس بر سانتی‌متر می‌باشد. در آزمایش‌های رسوبی بعد از نمونه برداری با حجم مشخص ۵۰CC به ظروف مخصوص توزین شده منتقل و سپس در داخل آون به مدت ۲۴ ساعت قرار داده و بعد از آن ظرف مجدداً وزن شده و غلظت بر حسب گرم در لیتر در هر ارتفاع محاسبه شد. در هر دو نوع آزمایش‌های رسوبی و نمکی پس از تعیین غلظت در هر

رابطه‌های (۵) و (۶) محاسبه شود و بر اساس آن ارتفاع موانع مشخص شود (Turner, 1973). پروفیل سرعت در دو مقطع، یکی در بالادست موانع و دیگری در پایین دست موانع و با استفاده از سرعت سنج اکوستیک DOP2000 اندازه‌گیری گردید.

$$\bar{U} = \frac{\int_0^{h_t} u^2 dz}{\int_0^{h_t} u dz} \quad (5)$$

$$\bar{h} = \frac{(\int_0^{h_t} u dz)^2}{\int_0^{h_t} u^2 dz} \quad (6)$$

در این روابط، U : سرعت متوسط بدنه جریان، h : ارتفاع متوسط بدنه، u : سرعت بدنه در هر فاصله از کف و h_t ارتفاعی از بدنه است که سرعت جریان غلیظ صفر می‌شود، می‌باشد. در نهایت با این شیب‌ها و غلظت‌ها ارتفاع متوسط بدنه برای جریان غلیظ نمکی ۵/۳ سانتی‌متر و ارتفاع متوسط بدنه در جریان رسوبی ۶/۱ سانتی‌متر محاسبه شد و بر این اساس، چهار ارتفاع مورد نیاز موانع لازم از جنس پلاکسی گلاس برش خورد. ارتفاع موانع بدین صورت در نظر گرفته شد که در نوع $H1$ ارتفاع هر سه مانع ۰/۵ برابر ارتفاع بدنه ($Hm = 0.5h$)، در نوع $H2$ ارتفاع هر سه مانع ۰/۷۵ برابر ارتفاع بدنه ($Hm = 0.75h$)، در نوع $H3$ ارتفاع هر سه مانع یک برابر ارتفاع بدنه ($Hm = 1h$) و در نوع $H4$ ارتفاع مانع اول نیم برابر، ارتفاع مانع دوم ۰/۷۵ برابر و ارتفاع مانع سوم نیز یک برابر ارتفاع بدنه جریان غلیظ باشد. با طول مفید فلوم یعنی هفت متر فواصل موانع به گونه‌ای در نظر گرفته شد که در بیشترین فاصله موانع بازهم طول کافی برای تشکیل جریان غلیظ بعد از موانع جهت اندازه‌گیری‌ها وجود داشته باشد در عین حال قبل از موانع نیز بتوان قبل از رسیدن موج برگشتی حاصل از برخورد با موانع، پروفیل سرعت و غلظت را برداشت نمود. برای فاصله موانع نیز سه چینش در نظر گرفته شد. با توجه به چهار نوع چینش ارتفاعی و سه نوع چینش فاصله‌ای موانع و نیز دو غلظت و سه شیب و دو نوع جریان رسوبی و نمکی در مجموع ۱۰۸ آزمایش به همراه نه عدد آزمایش شاهد انجام شد. لازم به ذکر است آزمایش‌های رسوبی تنها با یک غلظت انجام شد.

در کلیه آزمایش‌ها دمای مخزن جریان غلیظ در فلوم و دمای آب ساکن اندازه‌گیری گردید تا اطمینان حاصل شود که جریان غلیظ تنها ناشی از تفاوت غلظت میان جریان رسوبی و آب شفاف باشد. تفاوت دما حداکثر در حد یک درجه سانتی‌گراد باقی ماند. چگالی جریان غلیظ و آب ساکن با هیدرومتر اندازه‌گیری گردیده است. جهت دقت بیشتر در آزمایش‌ها خصوصاً محاسبه سرعت پیشانی جریان، دریچه به گونه‌ای طراحی و اجرا گردید، که به‌طور آنی به اندازه مورد نظر باز گردد. برای کنترل دبی ورودی به فلوم از دبی سنج الکترومغناطیس استفاده شد و شیر خروجی با توجه به

در این رابطه ΔQ_S درصد کاهش شار رسوبی جریان غلیظ هم برای پیشانی و هم برای بدنه، Q_{S1} دبی رسوبی قبل از موانع و Q_{S2} دبی رسوبی بعد از موانع می باشد. در شکل (۲) شماتیک کلی از فلوم و سایر تاسیسات مربوطه آزمایشگاهی و محل نصب موانع و پروبها آمده است.

نتایج و بحث

در کلیه آزمایشهای نمکی محدوده اعداد رینولدز بین ۲۵۰۰ تا ۳۵۰۰ و در جریانهای رسوبی بین ۳۱۰۰ تا ۳۹۰۰ بود. همچنین محدوده اعداد فرود دنسیمتریک نیز در جریان نمکی بین ۰/۵۱ تا ۰/۷۶ و در جریان رسوبی بین ۰/۵۶ تا ۰/۷۷ بود. بنابراین تمامی آزمایشها در حالت زیربحرانی و آشفته قرار داشتند. در جدول (۲) میزان کنترل پیشانی و در جدول (۳) میزان کنترل بدنه جریان غلیظ توسط سه مانع نشان داده شده است. در جداول شماره (۴) و (۵) نیز میزان کنترل جریان غلیظ رسوبی توسط موانع ارائه شده است.

ارتفاع پروفیل غلظت آزمایش مورد نظر رسم شده و سپس میانگین غلظت بدنه مشخص می شد. هر آزمایش با پنج حرف مشخص می شد. حرف G، غلظت، حرف S، شیب، حرف L، نوع فاصله، حرف H، نوع چیدمان ارتفاعی موانع و حرف R، در انتهای نام آزمایش که در صورت وجود، مشخص کننده رسوبی بودن آزمایش می باشد. به عنوان مثال آزمایش G1S3L2H3 یعنی آزمایش نمکی که غلظت آن شماره ۱ یعنی ۱۰ گرم بر لیتر، شیب آن شماره سه یعنی ۲/۵ درصد، نوع فاصله شماره دو و نوع ارتفاع هم شماره سه می باشد.

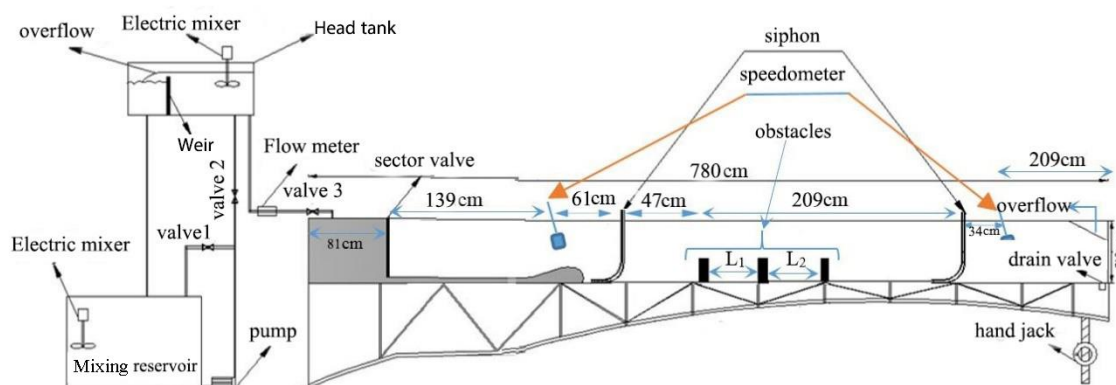
پس از مشخص شدن سرعت و غلظت پیشانی و سرعت و غلظت بدنه، دبی رسوبی قبل و بعد از موانع با استفاده از روابط (۷) و (۸) مشخص شده و میزان کنترل دبی رسوبی موانع با استفاده از رابطه (۱۰) مشخص شد.

$$\% \Delta Q_S = \frac{Q_{S1} - Q_{S2}}{Q_{S1}} \times 100 \quad (10)$$

جدول ۱- ارتفاع و فواصل موانع در آرایشهای مختلف

Table 1- Height and distances of obstacles in different arrangements

length	D1(cm)	D2(cm)	D1/D2	Height	(Hm ₁)	(Hm ₂)	(Hm ₃)
L1	50	50	1	H1	0.5	0.5	0.5
L2	65	80	0.81	H2	0.75	0.75	0.75
L3	80	65	1.23	H3	1	1	1
				H4	0.5	0.75	1



شکل ۲- شماتیکی از نمای کلی تاسیسات آزمایشگاهی و محل قرارگیری پروبها و سیفونها

Fig. 2- Schematic representation of the general view of laboratory facilities and the location of probes and siphons

جدول ۲- نتایج کنترل پیشانی جریان غلیظ نمکی توسط سه مانع

Table 2- The results of control head of salt density current by three obstacles

H	L	G1%			G2%			Average	Average lengths
		S1	S2	S3	S1	S2	S3		
H1	L1	70.4	64.3	60	75.8	69.3	64.6	67.4	72.7
	L2	76.2	70.2	65.9	82.2	75.6	71	73.5	
	L3	79.9	73.8	69.5	86.1	79.7	75	77.3	
H2	L1	75.2	69.2	64.8	81.1	74.5	69.9	72.4	77.8
	L2	81.8	75	70.7	87.4	80.9	76.2	78.5	
	L3	84.7	78.8	74.4	91.3	84.8	80.1	82.3	
H3	L1	89.8	79.2	71.5	95	90.3	83.2	84.8	90.4
	L2	93.1	89.8	82.3	97	92.9	89.6	90.7	
	L3	98.2	97.3	86.6	99	97.2	94.6	95.5	
H4	L1	76.9	70.9	66.5	82.9	76.4	71.7	74.2	79.5
	L2	82.9	76.7	72.4	89.2	82.7	78.4	80.3	
	L3	86.4	80.4	76.1	93.2	86.6	82	84.1	
Average		82.9	77.1	71.7	88.4	82.6	78	80.1	80.1

جدول ۳- نتایج کنترل بدنه جریان غلیظ نمکی توسط سه مانع

Table 3- The results of control body of salt Density Current by three obstacles

H	L	G1%			G2%			Average	Average lengths
		S1	S2	S3	S1	S2	S3		
H1	L1	62.2	48.5	42.8	69.3	64.6	51.6	56.5	61.5
	L2	62.4	49.3	94.4	75.2	65.7	52.2	59.1	
	L3	74.1	65.2	55.7	79.3	73.1	65.8	68.9	
H2	L1	63.8	49.5	44.0	70.5	65.5	52.5	57.6	63.8
	L2	64.0	58.9	49.3	73.4	65.6	55.0	61.1	
	L3	81.2	65.6	62.6	83.6	76.6	67.1	72.8	
H3	L1	66.5	53.0	46.5	73.5	67.5	54.5	60.3	76.1
	L2	68.8	64.1	53.4	75.9	70.9	61.3	65.7	
	L3	81.8	70.3	63.3	87.6	76.3	72.4	75.3	
H4	L1	65.0	51.0	45.0	71.5	66.5	53.4	58.7	64.1
	L2	71.2	60.3	52.7	76.6	65.9	62.4	64.8	
	L3	73.9	60.7	58.7	79.8	75.3	64.3	68.7	
Average		69.6	58.1	52	76.4	69.5	59.4	64.1	64.1

جدول ۴- نتایج کنترل پیشانی جریان غلیظ رسوبی توسط سه مانع

Table 4- The results of control head of salt Density Current by three obstacles

H	L	G2%			Average	Average lengths
		S1	S2	S3		
H1	L1	74.3	68.1	63.7	68.7	74.0
	L2	80.3	74.2	69.8	74.8	
	L3	84.1	78.0	73.6	78.6	
H2	L1	80.9	74.8	70.4	75.4	80.7
	L2	87.1	80.9	76.5	81.5	
	L3	90.8	84.6	80.3	85.2	
H3	L1	89.5	83.6	84.2	85.8	90.3
	L2	93.9	88.1	86.5	89.5	
	L3	99.2	95.1	92.3	95.5	
H4	L1	82.8	76.7	72.3	77.3	82.6
	L2	89.0	82.8	78.4	83.4	
	L3	92.7	86.6	82.2	87.2	
Average		87.1	81.1	77.5	81.9	81.9

جدول ۵- نتایج کنترل بدنه جریان غلیظ رسوبی توسط سه مانع

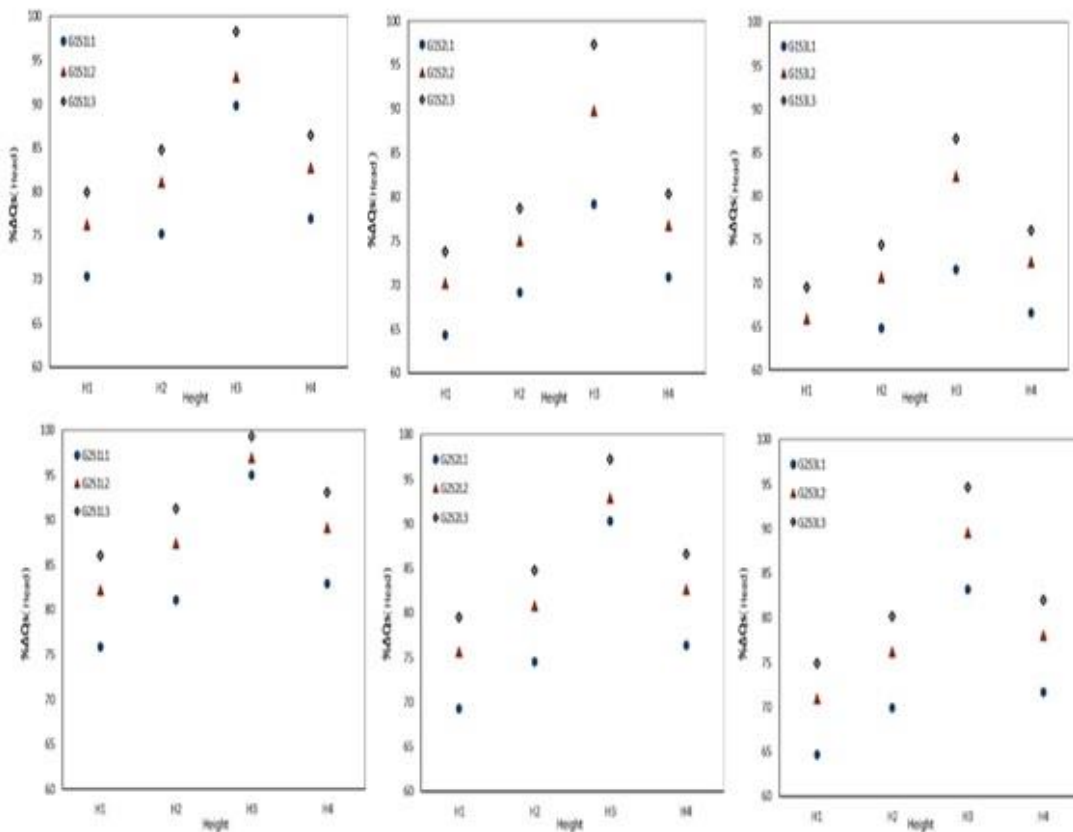
Table 5- The results of control the body of sediment Density Current by three obstacles

H	L	G2			Average	Average lengths
		S1	S2	S3		
H1	L1	52.0	42.0	36.0	43.3	53.3
	L2	60.0	49.2	45.0	51.4	
	L3	76.7	63.9	55.2	65.4	
H2	L1	51.0	43.0	36.0	43.3	56.3
	L2	65.3	51.4	48.6	55.1	
	L3	87.7	70.9	61.7	70.4	
H3	L1	80.8	74.3	60.0	71.7	57.7
	L2	97.7	74.4	64.4	72.8	
	L3	91.1	79.4	75.3	81.9	
H4	L1	53.0	44.0	38.0	45.0	58.9
	L2	69.2	55.5	50.5	58.4	
	L3	80.1	76.0	63.7	73.8	
Average		69.8	60.3	52.8	61.0	61.0

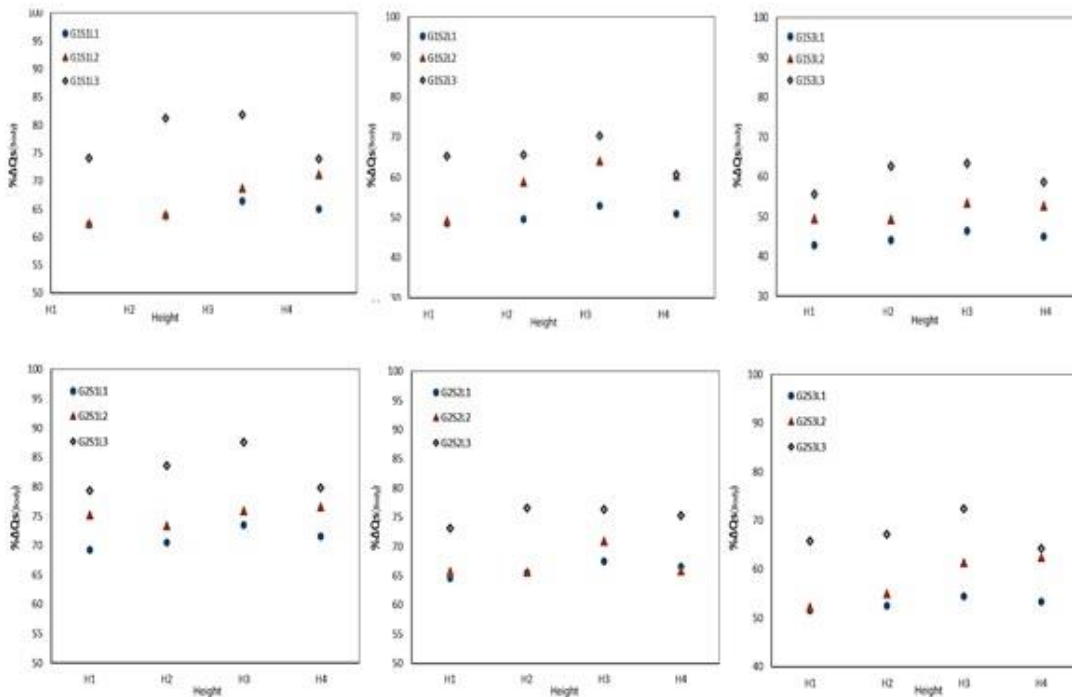
و هم در جریان رسوبی مدل H4 داشته است. در این مدل ارتفاع مانع اول ۰/۵، مانع دوم ۰/۷۵ و مانع سوم نیز یک برابر بدنه جریان غلیظ می‌باشد. این مدل در بحث کنترل پیشانی جریان نمکی به‌طور میانگین ۷۹/۵۴ درصد و کنترل پیشانی جریان رسوبی ۸۲/۶۱ درصد کارایی داشته است. کارایی این نوع مدل از مدل H2 که در آن ارتفاع هر سه مانع ۰/۷۵ ارتفاع بدنه جریان غلیظ است نیز بیشتر می‌باشد. در هر دو نوع آزمایش‌های رسوبی و نمکی نتایج مشابهی هم در کنترل بدنه و هم در کنترل پیشانی حاصل شد. در تمامی آزمایش‌ها ابتدا مدل H3 و سپس H4 و بعد H2 و H1 به‌ترتیب بیشترین تأثیر را در کنترل پیشانی و بدنه جریان غلیظ داشته است. به‌منظور درک بهتر تأثیر سایر پارامترها مانند شیب، غلظت و فاصله موانع بر کنترل بار رسوبی پیشانی و بدنه جریان غلیظ، نمودارهای این تغییرات با استفاده از جداول (۲) تا (۵) رسم شد و در شکل‌های (۳) تا (۶) نشان داده شده است.

بررسی تأثیر ارتفاع موانع بر کنترل بار رسوبی

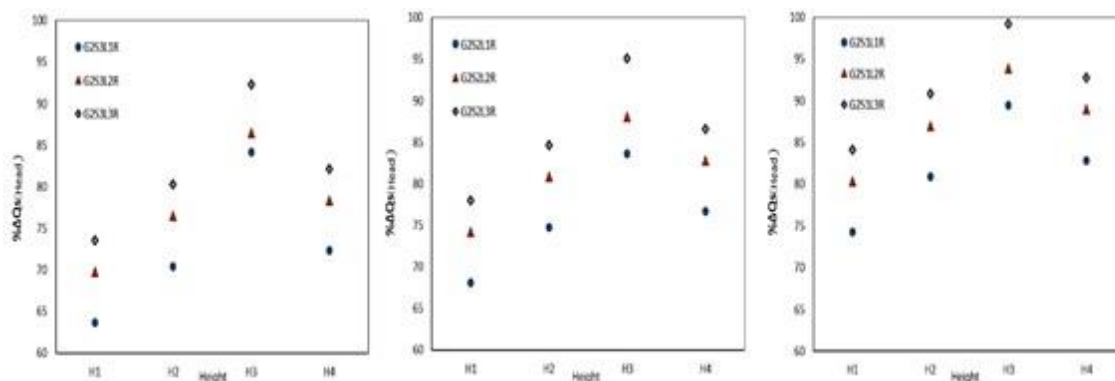
همان‌طور که از جداول (۲) تا (۵) مشاهده می‌شود استفاده از سه مانع تأثیر زیادی در کنترل بار رسوبی جریان غلیظ دارد. به طوری که در مدل ارتفاعی H3 و در شیب S1 و غلظت G2 (۲۰ گرم در لیتر) و چپش فاصله‌ای L3 در جریان نمکی و رسوبی ۹۹ درصد دبی رسوبی پیشانی کنترل شده است. آنچه که از این جداول دریافت می‌شود این است که در بین چهار مدل ارتفاعی برای موانع، بیشترین کاهش را مدل H3 که در آن هر سه مانع، ارتفاعی برابر با بدنه جریان غلیظ داشتند، داشته که در بحث کنترل پیشانی جریان نمکی به‌طور میانگین ۹۰/۳۹ درصد و کنترل پیشانی جریان رسوبی ۹۰/۲۶ درصد کارایی داشته است. در کنترل بدنه نیز به کار بردن سه مانع با ارتفاع برابر بدنه جریان غلیظ یعنی مدل H3 در جریان نمکی به‌طور میانگین ۶۷/۰۹ و در جریان رسوبی ۷۵/۴۸ درصد کارایی داشته است. بعد از مدل H3 بیشترین تأثیر را در کنترل پیشانی و بدنه هم در جریان نمکی



شکل ۳- تغییرات درصد کنترل پیشانی جریان غلیظ در انجام آزمایش های نمکی
 Fig. 3- percentage variation in the control head of Density Current during salt tests

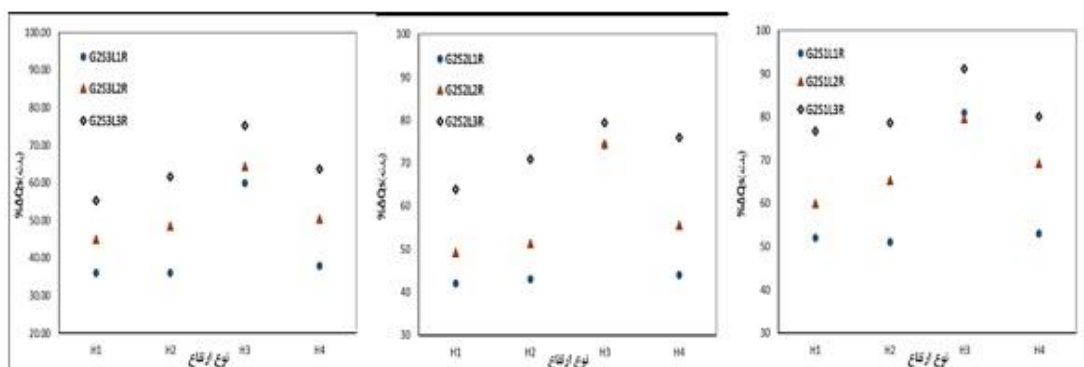


شکل ۴- تغییرات درصد کنترل بدنه جریان غلیظ در انجام آزمایش های نمکی
 Fig. 4- percentage variation in the control body of Density Current during salt tests



شکل ۵- تغییرات درصد کنترل پیشانی جریان غلیظ در انجام آزمایش‌های رسوبی

Fig. 5- percentage variation in the control head of Density Current during sediment tests



شکل ۶- تغییرات درصد کنترل بدنه جریان غلیظ در انجام آزمایش‌های رسوبی

Fig. 6- percentage variation in the control body of Density Current during sediment tests

L2 ۸۲/۲۷ درصد و مدل L3 نیز به طور میانگین ۸۳/۶۲ درصد مؤثر بوده است. در کنترل بدنه جریان غلیظ رسوبی مدل L1 ۵۰/۸۴ درصد، مدل L2 ۵۹/۴۳ درصد و مدل L3 هم ۷۲/۷۲ درصد کارایی داشته‌اند. همان‌طور که از شکل‌های (۳) تا (۶) نیز دیده می‌شود در تمامی آزمایش‌ها در ارتفاع و شیب و غلظت ثابت هم در کنترل پیشانی و هم در کنترل بدنه مدل L3 از L2 و L1 مؤثرتر بوده است. می‌توان دریافت که با افزایش فاصله موانع به دلیل استهلاك انرژی جریان و کاهش سرعت و نیز رسوب‌گذاری جریان، میزان کنترل جریان غلیظ افزایش می‌یابد. در مدل‌های L2 و L3 با اینکه فاصله بین مانع اول و آخر یکسان است ولی در مدل L3 فاصله بین مانع اول و دوم بیشتر از مانع دوم و سوم است و در عین حال کارایی آن نیز بیشتر است که این امر هم در آزمایش‌های رسوبی و هم نمکی مشاهده شد. این نشان دهنده این است که در استفاده از سه مانع فاصله مانع اول و دوم مهم‌تر و تأثیرگذارتر از فاصله مانع دوم و سوم است. پس افزایش فاصله موانع منجر به کنترل بیشتر جریان غلیظ می‌شود و چنانچه فاصله مانع اول و دوم نیز بیشتر از فاصله مانع دوم و سوم باشد این کنترل بیشتر است. دلیل این امر این است که با افزایش فاصله

آنچه از این نمودارها دریافت می‌شود این است که بیشترین تأثیر را در کنترل جریان غلیظ به ترتیب مدل H3، سپس مدل H4، بعد مدل H2 و در نهایت مدل H1 داشته است. از نتایج مدل H4 نیز می‌شود اینگونه نتیجه گرفت که چنانچه موانع متوالی غیر هم اندازه مانند این مدل استفاده شود یعنی از کوچک به بزرگ، بازده موانع در کنترل جریان غلیظ از اینکه سه مانع با ارتفاع ۰/۷۵ برابر ارتفاع بدنه جریان غلیظ استفاده نمود بیشتر است.

بررسی تأثیر فاصله موانع بر کنترل جریان غلیظ

با توجه به جداول (۲) تا (۵) و نیز شکل‌های (۳) تا (۶) مشاهده می‌شود که در تمام آزمایش‌ها کارایی مدل L3 از مدل‌های L2 و L1 بیشتر است. در آزمایش‌های نمکی مدل L1 به طور میانگین ۷۴/۷۳ درصد، مدل L2 به‌طور میانگین ۸۰/۷۸ درصد و مدل L3 به‌طور میانگین ۸۴/۸۲ درصد در کنترل پیشانی جریان غلیظ مؤثر بوده‌اند. در کنترل بدنه جریان غلیظ نمکی نیز به‌طور میانگین مدل L1 ۵۸/۲۸ درصد، مدل L2 ۶۲/۶۶ درصد و مدل L3 هم ۷۱/۴۳ درصد کارایی داشته‌اند. در کنترل جریان غلیظ رسوبی نیز در کنترل پیشانی مدل L1 ۷۶/۷۸ درصد، مدل

سو ارتفاع بدنه جریان کاهش می‌یابد که این امر باعث می‌شود تأثیر موانع افزایش یابد و از سوی دیگر با افزایش غلظت به‌طور کلی میزان بار رسوبی عبوری افزایش می‌یابد. Asghari Pari et al. (2010) در کنترل جریان غلیظ رسوبی نیز در بحث غلظت همین نتیجه را بیان کرد. بنابراین افزایش غلظت از یک سو کنترل را افزایش و از سوی دیگر کاهش می‌دهد. بنابراین در این آزمایش‌ها مشاهده شد که تأثیر افزایشی آن بر کنترل جریان غلیظ بیشتر است. Zeinivand et al. (2014) در بررسی استفاده از صفحات مشبک در کنترل جریان غلیظ گزارش کرد با افزایش غلظت، راندمان صفحات در کنترل جریان غلیظ افزایش می‌یابد.

نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر با استفاده از مدل فیزیکی به بررسی اثر موانع متوالی هم اندازه و غیر هم اندازه در کنترل جریان غلیظ نمکی و رسوبی در شرایط مختلف دبی و شیب پرداخته شد. در این تحقیق از چهار نوع مدل ارتفاعی، سه نوع مدل فاصله برای موانع در سه شیب و دو غلظت استفاده شد. آزمایش‌ها در دو نوع رسوبی و نمکی انجام شد. در مجموع ۱۰۸ آزمایش انجام گردید. نه عدد آزمایش نیز بدون مانع و جهت تعیین ارتفاع بدنه در شیب‌ها و غلظت‌های مختلف انجام شد. از انجام آزمایش‌ها نتایج زیر حاصل شد:

۱- استفاده از موانع متوالی با ارتفاع کم به جای یک مانع با ارتفاع زیاد یعنی تقریباً دو برابر ارتفاع جریان غلیظ به منظور بلوک کامل، تا حد زیادی دبی رسوبی جریان غلیظ را کاهش داده و موجب کنترل جریان غلیظ می‌گردد.

۲- بیشترین تأثیر را در کنترل جریان غلیظ، استفاده از موانعی با ارتفاع یک برابر ارتفاع بدنه جریان غلیظ دارد به‌طوری که تا ۹۹/۳ درصد دبی رسوبی پیشانی جریان غلیظ را کاهش داد. نتایج همچنین نشان داد که چنانچه موانع متوالی از کوچک به بزرگ و مانع اول دارای ارتفاع ۰/۵ برابر و مانع دوم دارای ارتفاع ۰/۷۵ برابر و مانع سوم دارای ارتفاع یک برابر ارتفاع بدنه جریان غلیظ باشند، به طور میانگین حدود ۱/۰۲ برابر حالتی که از سه مانع با ارتفاع ۰/۷۵ برابر ارتفاع بدنه جریان غلیظ استفاده شود، تأثیر دارد. این نسبت در آزمایش‌های رسوبی نیز تأیید شد.

۳- هر چه فاصله موانع افزایش یابد تأثیر موانع متوالی در کنترل جریان غلیظ افزایش می‌یابد. در فاصله کلی ثابت یعنی فاصله بین مانع اول و سوم ثابت باشد چنانچه فاصله مانع اول و دوم بیشتر از مانع دوم و سوم باشد اثر موانع نسبت به حالتی که فاصله مانع دوم و سوم بیشتر باشد، بیشتر است.

۴- با افزایش شیب از صفر تا ۲/۵ درصد اثر موانع متوالی در کنترل جریان غلیظ به دلیل افزایش سرعت جریان و کاهش رسوب گذاری، کاهش می‌یابد.

۵- با افزایش غلظت در شرایط آزمایشگاهی این تحقیق، تأثیر موانع متوالی در کنترل بار رسوبی جریان غلیظ افزایش می‌یابد.

مانع اول و دوم جریانی که از مانع دوم عبور کرده و به مانع سوم می‌رسد دارای سرعت و انرژی کمتری است و خود این اتفاق امکان مستهلک شدن جریان بعد از مانع سوم به دلیل کاهش سرعت و غلظت که عامل حرکت جریان غلیظ می‌باشد را افزایش می‌دهد. AsghariPari و Mohagheghian (2014) در یک شبیه سازی عددی جریان غلیظ نیز به همین نتایج دست یافتند.

بررسی تأثیر شیب بر کنترل جریان غلیظ

در جداول (۲) تا (۵) در انتهای هر ستون که شامل S1، S2 و S3 می‌باشد میانگین کنترل پیشانی و بدنه جریان غلیظ آورده شده است. با توجه به این جداول و شکل‌های (۳) تا (۶) مشاهده می‌شود که در تمام آزمایش‌ها با افزایش شیب، تأثیر موانع در کنترل جریان غلیظ کاهش می‌یابد به‌طوری که در آزمایش‌های نمکی در شیب S1 یعنی شیب صفر کنترل پیشانی ۸۵/۶۳ درصد، در شیب S2 یعنی شیب ۱/۵ درصد به‌طور میانگین ۷۹/۸۴ درصد و در شیب S3 یعنی شیب ۲/۵ درصد به‌طور میانگین ۷۴/۸۶ درصد بوده است. در کنترل بدنه این مقادیر در شیب صفر ۷۲/۹۶ درصد، در شیب ۱/۵، ۶۳/۷۵ درصد و در شیب ۲/۵ درصد هم ۵۵/۶۶ درصد بدست آمدند. در جریان غلیظ رسوبی در کنترل پیشانی شیب صفر، ۸۷/۱ درصد، در شیب ۱/۵ درصد، ۸۱/۱۱ درصد و در شیب ۲/۵ درصد، ۷۷/۵ درصد کارایی داشته‌اند. از نظر کنترل دبی بدنه جریان غلیظ رسوبی این موانع در شیب صفر ۶۹/۸ درصد، در شیب ۱/۵ درصد، ۶۰/۳۳ درصد و در شیب ۲/۵ درصد هم ۵۲/۸۶ درصد تأثیر داشته‌اند. مشاهده می‌شود که هم در آزمایش‌های نمکی و هم در آزمایش‌های رسوبی افزایش شیب در تمام ارتفاع‌ها و فاصله‌ها و غلظت‌ها باعث کاهش عملکرد موانع در کنترل بار رسوبی پیشانی و بدنه جریان غلیظ می‌شوند. دلیل این پدیده را می‌توان کاهش سرعت در شیب صفر درصد و افزایش میزان تنشینی رسوبات از جریان غلیظ و به تبع آن کاهش 'g' (عامل حرکت جریان غلیظ) نسبت به شیب ۲/۵ درصد دانست.

بررسی تأثیر غلظت بر کارایی موانع متوالی

در این تحقیق در انجام آزمایش‌های جریان غلیظ نمکی از دو غلظت استفاده شد. غلظت اول (G1) ۱۰ گرم در لیتر و غلظت دوم (G2) ۲۰ گرم در لیتر. با توجه به ۷۲ آزمایشی که با این دو غلظت انجام گردید مشاهده شد که با افزایش غلظت، تأثیر موانع بر کنترل جریان غلیظ افزایش می‌یابد. این روند در جداول (۲) تا (۵) و نیز شکل‌های (۳) تا (۶) به وضوح دیده می‌شود. در کنترل دبی پیشانی جریان غلیظ در غلظت ۱۰ گرم در لیتر کارایی موانع به‌طور میانگین ۷۷/۱۵ درصد و در غلظت ۲۰ گرم در لیتر به‌طور میانگین ۸۲/۹۷ درصد بوده است. در کنترل دبی بدنه نیز کارایی موانع در غلظت ۱۰ گرم در لیتر ۵۹/۴۸ و در غلظت ۲۰ گرم در لیتر ۶۸/۳۹ درصد بوده است. با افزایش غلظت جریان غلیظ از یک

تشکر و قدردانی

و محیط زیست دانشگاه شهید چمران اهواز برای در اختیار گذاشتن امکانات و شرایط لازم در این تحقیق تشکر می‌نمایند.

نویسندگان از مسئولین دانشگاه لرستان و دانشگاه شهید چمران اهواز مخصوصاً مسئولین و کارکنان دانشکده مهندسی آب

References

- 1- Asghari Pari, S. A., Kashefipour, S.M., Ghomeshi, M. and Shafaie Bajestan, m., 2010. Effects of obstacle heights on controlling turbidity currents with different concentrations and discharges. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, 8 (2), pp. 930 - 935.
- 2- Asghari Pari, S. A., Mohagheghian, S.M., 2014. Numerical analysis the effect of distance variations for uniform and non-uniform successive obstacles and specify priority of them in control of density current. In First National Conference on Challenges on Water resources & Agriculture, Esfahan, Iran. (In Persian).
- 3- Asghari Pari, S. A., Kashefipour, S.M., Ghomeshi, M., 2017. An experimental study to determine the obstacle height required for the control of subcritical and supercritical gravity currents. *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, 21(9), pp. 1080-1092.
- 4- Baines, P. G., 1995. *Topographic Effects in Stratified Flows*. Cambridge University Press.
- 5- Bursik, M. I. and Woods, A., 2000. The effect of topography on sedimentation from particle-laden turbulent density currents. *Journal of Sedimentary Research*, 70(1), pp.53-63.
- 6- Greenspan, H.P. and Young, R.E., 1978. Flow over a containment dyke. *Journal of Fluid Mechanics*, 87(1), pp.179-192.
- 7- Kashefipour, S.M. and Daryaei, M., 2014. Experimental study on control of sedimentary density current by rough bed and obstacle. *Journal of Applied Hydrology*, 1(2), pp. 11-17.
- 8- Long, R. R., 1954. Some aspects of the flow of stratified fluids. II.Experiments with a two-fluid system. *Tellus*, pp.97-115.
- 9- Long, R., 1970. Blocking effects in flow over obstacles. *Tellus*, 22(5), pp.471-480.
- 10- Oehy, C. D., 2003. *Effects of obstacles and jets on reservoir sedimentation due to turbidity currents*. Communication No.15 of the Laboratory of Hydraulic Structures LCH. Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne EPFL, Switzerland.
- 11- Oehy, C. D. and Schleiss, A.J., 2007. Control of turbidity currents in reservoirs by solid and permeable obstacles. *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, 133(6), pp. 637-648.
- 12- Oehy, C. D., Cesar, G. D. and Schleiss, A. J., 2010. Effect of inclined jet screen on turbidity current. *Journal of Hydraulic Research*, IAHR, 48(1), pp. 81-90.
- 13- Prinos, P., 1999, August. Two-dimensional density currents over obstacles. Proc. In 28th IAHR Congress CD-ROM (pp. 22-27).
- 14- Rottman, J.W., Simpson, J.E., Hunt, J.C.R. and Britter, R.E., 1985. Unsteady gravity current flows over obstacles: Some observations and analysis related to the phase II trials. *Journal of Hazardous Materials*, 11, pp.325-340.
- 15- Turner, J. S., 1973. Buoyancy effects in fluids. Cambridge University Press London, U.K., pp. 178-181.
- 16- Zeinivand, M., Kashefipour, S.M. and Ghomeshi, M., 2014. Laboratory Investigation The Effect of Porosity of Permeable Obstacle on Control of Gravity Current. *Irrigation Sciences and Engineering*, 40(1), pp. 13-24. (In Persian).