Iranian Hydraulic Association
Journal of Hydraulics
Vol. 20, No. 1, PP. 111-125, Spring 2025

Research Article
https://doi.org/10.30482/jhyd.2023.405101.1655

Investigation of the Effect of Side Plate Installation on Density Current Control

Shima Bahadori[1], Seyed Mahmood Kashefipour[2], Mehdi Daryaee[3]*, Mehdi Ghomeshi[2]

1- Phd student, Department of Hydraulic Structures, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.
2- Professor, Department of Hydraulic Structures, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.
3- Associate Professor, Department of Hydraulic Structures, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.

* **M.Daryaee@scu.ac.ir**

Received: 28 February 2024
Accepted: 26 June 2024
Discussion: 22 June 2025

J. Hydraul.
Iranian Hydraulic Association
Homepage: www.jhyd.iha.ir

Abstract

Introduction: The first and most effective measure to control the density current is to control the erosion of the watershed and trap the upstream sediments to prevent the production of the sediments caused by erosion. This method includes a wide range of measures such as soil protection operations with vegetation, settling of sediments with sedimentation ponds, construction of corrective dams and stabilization of the river bed and banks. However, part of the sediments enters the reservoir of the dam and move towards the body of the dam due to the density current phenomenon. Therefore, solutions to control these sediments have been presented by different researchers in the reservoir of the dam. An effective method that has been studied by other researchers is a method to control the density current using an obstacle. The effects of these obstacles have been extensively studied through numerical and laboratory research. However, identifying the optimal conditions for selecting the most efficient option in terms of density current control, ease of implementation, and cost-effectiveness remains an open and debated issue. It is crucial to use obstacles that that minimize the risk of flow blockage, are easy to implement, and provide greater stability. The purpose of this research is to investigate the effect of obstacles in the form of side plates against the density current and its control.

Methodology: The experiments were carried out in a flume with a length of 12 meters, a height of 80 cm and a width of 40 cm. The density current used in this research was considered to be a saline flow with a concentration of 20 g/liter. The obstacles were made of glass with a thickness of 4 mm. The depth of the ambient water in the experiments was constant and equal to 50 cm. Also, in all experiments, the inlet flow rate of density current and the slope of the floor were considered constant and horizontal. The height of obstacles (h) used in this research were considered to be 3, 6 and 9 cm. Obstacles were installed as side plates on both sides of the flume with an installation angle (θ) of 30, 60 and 90 degrees to the wall in such a way that their ends were on the middle axis of the flume and the distance between the ends of the obstacles (d) on the flume axis was fixed (10 cm) (Fig. 2). In the conducted experiments, the velocity of the flow Head and its depth concentration were measured at two depths of 4 and 6 cm, and the body concentration was measured at 7 points

in the depth. After collecting the samples, their salinity was measured using a salinity meter and converted to concentration in grams per liter using the salinity-concentration calibration chart. To determine the percentage of density current control by the obstacle, the reduction in its head flow before and after the obstacle was calculated and expressed as a percentage. To compare the efficiency of the side plates, experiments were also considered in the form of a blocked channel, in such a way that the width of the flume was completely closed by an obstacle with the same height considered, and to investigate the effect of obstacles on the concentration profile of the flow body.

Results and Discussion: Based on the observations, as the density current hits the row of side obstacles, part of the flow continues its path through the obstacles and another part climbs, after descending for a while, it joins the rest of the flow and continues the path. It continues with a lower velocity and concentration. This decrease in concentration occurs with the entry of the surrounding fluid into the density current due to spreading caused by the collision of the density current with obstacles. It can also be observed that the efficiency of the complete blockage mode in controlling the density current is nearly equal to that of plates with a 60-degree angle. However, the 60-degree angle offers advantages in terms of easier implementation, greater efficiency, improved stability of the obstacles, and a longer useful life. Moreover, it can be seen that in each installation angle, as well as in the case of complete blockage of the flume, with the increase in height, the percentage of density current control has increased, so that at a height of 9 cm, the amount of density current control at an angle of 60 degrees is about 80 is a percentage. Creating obstacles in Head of the density current, in addition to the effect on the forehead, also affects the concentration profile of its body. It can be seen that for all the operating conditions of the obstacles, the concentration of the thick flow body has decreased compared to the condition without obstacles. For all installation angles, the height of 3 cm has no significant effect on reducing the body concentration and the body profile in this case is close to the unobstructed state. By increasing the height of the obstacle in all working angles, the reduction of the concentration of the thick flow body is more. In such a way that at a height of 9 cm compared to the state where the flow passes without the presence of an obstacle, a large difference between the concentrations of the body in all four positions of the obstacle is observed.

Conclusion: It should be noted that under real conditions, the density current is in the form of sediments and creating obstacles in head of the flow will lead to a decrease in velocity and as a result sedimentation. Consequently, completely blocking the flow path will result in rapid sediment accumulation behind the obstacle, rendering it ineffective in restraining the head of the density current. with side plates, an empty space is created between them, allowing part of the flow to pass through. The results showed that the greatest effect of obstacles on the control of the thick flow head is in the case of installation angle of 60 degrees, and it is almost equal to the amount of control in the case of complete obstruction. Also, with the increase in the height of the obstacles, the amount of their installation in controlling the thick flow head increased in all cases. Furthermore, an analysis of the impact of obstacle installation on the concentration profile of the density current body showed that the greatest effect occurred at a 90-degree installation angle. As obstacle height increased, the concentration of the thick flow body decreased more significantly.

Keywords: Density current control, Side plates, concentration profile, storage capacity, Turbidity current Head.

انجمن هیدرولیک ایران
نشریه هیدرولیک
سال ۲۰، شماره ۱، صفحات ۱۱۱-۱۲۵، بهار ۱۴۰۴

مقاله پژوهشی
https://doi.org/10.30482/jhyd.2023.405101.1655

تاثیر نصب صفحات جانبی بر کنترل جریان غلیظ

شیما بهادری[۱]، سید محمود کاشفی‌پور[۲]، مهدی دریایی[۳*]، مهدی قمشی [۲]

۱- دانشجوی دکترا سازه‌های آبی، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.
۲- استاد گروه سازه‌های آبی، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.
۳- دانشیار گروه سازه‌های آبی، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.

[*] **M.Daryaee@scu.ac.ir**

دریافت: ۱۴۰۲/۱۲/۰۹، پذیرش: ۱۴۰۳/۰۴/۰۶، نقد و بررسی: ۱۴۰۴/۰۴/۰۱ وب‌گاه نشریه هیدرولیک: www.jhyd.iha.ir

چکیده: یکی از عوامل کاهش ظرفیت ذخیره‌سازی مخزن سد و کاهش عمر مفید آن، رسوب‌گذاری ناشی از جریان غلیظ می‌باشد. تاکنون روش‌های متفاوتی به منظور کنترل جریان غلیظ ارائه شده است. در تحقیق حاضر، تاثیر نصب صفحات جانبی روی کنترل پیشانی جریان غلیظ به‌عنوان یک روش جدید به‌صورت مدل فیزیکی در آزمایشگاه بررسی شده است. متغیرهای مورد بررسی در این تحقیق شامل ارتفاع نسبی صفحات جانبی۱/۵ ،۱، ۰/۵=h/H (h : ارتفاع مانع و H : ارتفاع بدنه جریان غلیظ) و زاویه نصب آنها نسبت به دیواره (۳۰، ۶۰ و ۹۰ درجه) بود، همچنین ۴ آزمایش با انسداد کامل مسیر جریان برای ارتفاع‌های مورد نظر و یک آزمایش بدون نصب صفحات به منظور مقایسه نیم‌رخ‌های غلظت بدنه جریان در حالات مختلف در نظر گرفته شد. نتایج حاصل نشان داد که برای تمام زوایای نصب، افزایش ارتفاع صفحات جانبی منجر به مهار پیشروی پیشانی جریان غلیظ شده و در نتیجه درصد کنترل آن افزایش یافته است. بیشترین تاثیر صفحات جانبی در زاویه نصب ۶۰ درجه بود که درصد کنترل به میزان تقریبا ۸۰ درصد حاصل شد. همچنین، نیم‌رخ غلظت بدنه جریان غلیظ در ارتفاع ۱/۵ برابر H و زاویه نصب ۹۰ درجه بیشترین تغییر را نسبت به حالت بدون نصب صفحات جانبی داشت.

کلیدواژگان: کنترل جریان غلیظ، صفحات جانبی، نیم‌رخ غلظت، ظرفیت ذخیره، پیشانی جریان غلیظ.

۱- مقدمه

احداث سدها با وجود سودمندی بسیار، می‌تواند پیامدهای منفی نیز داشته باشد از جمله این آثار، بر هم خوردن تعادل رسوبی رودخانه است. ساخت سد بر روی رودخانه، سطح مقطع موجود برای گذر جریان را افزایش داده که سبب کاهش سرعت جریان و ظرفیت حمل رسوب شده که منجر به رسوب‌گذاری در مخزن شود(Ramos, 2016). جریان غالب ورودی به مخزن سد، در هنگام رخداد سیلاب که نوعی از جریان غلیظ با غلظت رسوب بالا می‌باشد نیز از عامل‌های مهم در تغییر تعادل رسوبی و تشدید آن در مخزن سدها می‌تواند باشد. این عدم تعادل می‌تواند نتایج نامناسبی بر سازه سد، حجم مفید مخزن، عملکرد سازه‌های وابسته به آن از جمله توربین‌ها و همچنین پایین‌دست سازه ایجاد کند.

جریان غلیظ، جریانی است که در نتیجه نیروی شتاب ثقل بر اختلاف در چگالی دو سیال ایجاد شده و اختلاف چگالی بین دو سیال، عامل حرکت جریان است. Kolenburg (1977) رابطه ۱ را ارائه داد که در آن $\boldsymbol{\rho_t}$ چگالی سیال غلیظ، $\boldsymbol{\rho_a}$ چگالی سیال پیرامون، g شتاب ثقل و $\boldsymbol{g'}$ شتاب ثقل کاهش یافته می‌باشد (Daryaee, 2014).

$$g' = g\left(\frac{\rho_t - \rho_a}{\rho_a}\right) \quad (1)$$

در مخزن سد، جریان غلیظ، جریان ناشی از اختلاف چگالی بین آب گل‌آلود و آب زلال موجود است.

توده جریان غلیظ در مخزن سد دارای چهار ناحیه است:

ناحیه اول، قسمت ورودی جریان که چگالی یکسان دارد و پیش از تداخل با آب مخزن می‌باشد. ناحیه دوم، ناحیه غوطه‌وری است. در این نقطه از جریان، اندازه حرکت جریان ورودی با نیروی فشاری ناشی از اختلاف چگالی جریان ورودی و آب درون مخزن به تعادل رسیده و جریان غلیظ در یکی از سه حالت روگذر، میان‌گذر و زیرگذر به حرکت خود ادامه می‌دهد. ناحیه سوم، بدنه جریان است که به فاصله بین نقطه غوطه‌وری و پیشانی جریان گفته می‌شود. جریان در بدنه به طور معمول دائمی در نظر گرفته می‌شود و ناحیه چهارم، مهم‌ترین قسمت جریان غلیظ که توسط آن درون مخزن جریان می‌یابد، پیشانی جریان نامیده می‌شود (IR of Iran, Vice Presidency for Strategic Planning and Supervision, 2012). جریان در این ناحیه غیردائمی می‌باشد و نیروی محرک آن گرادیان فشار ناشی از اختلاف چگالی بین پیشانی و سیال پیرامونی می‌باشد. ساختار و ویژگی‌ها جریان غلیظ در شکل ۱ نشان داده شده است.

جریان غلیظ برای دهه‌های بسیاری به طور گسترده بررسی و ارزیابی عددی، آزمایشگاهی و میدانی قرار شده است.

نام جریان کدر طبق تحقیق Meiburg and Kneller(2010)، نخستین بار توسط Jhonson در سال 1939 بیان شده است. Chu et al. (1979)، یک بررسی و ارزیابی تحلیلی در رابطه با پویایی جریان غلیظ انجام دادند. معادلات حاکم عمومی را به دست آورده و یک مدل یک‌بعدی ارائه دادند. جریان مورد بررسی در ارزیابی آنان جریان پایدار بود و نشان دادند که چهار مرحله با توجه به تغییرپذیری‌های عدد فرود قابل تشخیص است: مرحله ایجاد جریان، مرحله جریان یکنواخت، مرحله پرش هیدرولیکی و مرحله فروپاشی جریان. آنان بیان کردند که پیشرفت جریان توسط چهار پارامتر مهار می‌شود: شار رسوب در نزدیکی بستر، شیب بستر، ورود آشفتگی آب و نیروی مقاومی‌که از بستر بر جریان وارد می‌شود.

Akiyama and Stefan (1985)، معادله‌های حاکم بر حرکت یک جریان غلیظ دوبعدی متغیر تدریجی را به‌دست آورده و به‌صورت عددی حل کردند. آنها بیان کردند که جریان‌های غلیظ یک نیروی مقاوم برشی روی بستر را تجربه می‌کنند. آنها می‌توانند بسته به شیب بستر و دیگر ذرات رسوبی ، فرساینده یا رسوب‌گذار، شتاب‌گیرنده یا با شتاب کاهشی باشند، همچنین می‌توانند فوق‌بحرانی باشند و توسط جریان بالادست مهار شوند و یا زیربحرانی باشند و تحت کنترل پایین‌دست باشند. Altinakar et al. (1996) در تحقیقی ساختار جریان غلیظ را بررسی کردند. بررسی‌های آنان شامل چند آزمایش جریان غلیظ با دو نوع رسوب بود. در طول این آزمایش‌ها، توزیع سرعت و غلظت به طور همزمان در سه مقطع اندازه گیری شد. نتایج نشان داد که توزیع سرعت بدون بعد نسبت به تغییرپذیری‌های زیاد در توزیع غلظت به نسبت ناحساس است، همچنین چند نسبت خاص به منظور برآورد تقریبی ساختار جریان در بدنه جریان غلیظ ارائه دادند.

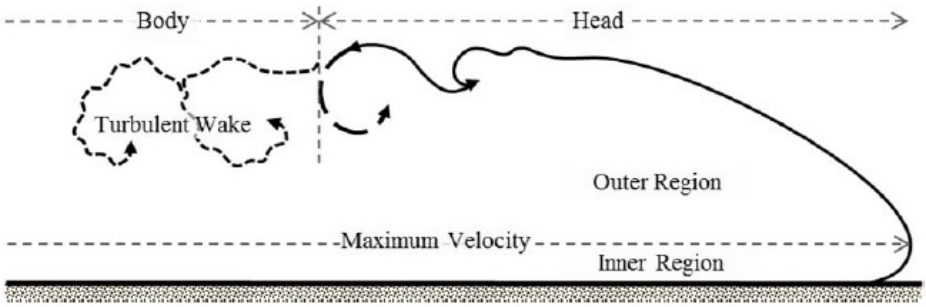


Fig.1 Components of a density current (Ramos, 2016)

شکل ۱ اجزای یک جریان غلیظ (Ramos, 2016)

De Cesare et al. (2001) هدف از پژوهش خود را کمک به درک پدیده فیزیکی جریان غلیظ در مخزن سد عنوان

کردند که شامل اندازه‌گیری‌های میدانی، شبیه‌سازی فیزیکی در آزمایشگاه و شبیه‌سازی عددی جریان بود. بررسی‌های آنان بر مبنای سیل هزار ساله در مخزن لوزان در سوییس بود. آنان از اندازه‌گیری‌های میدانی برای اعتبارسنجی شبیه‌سازی سه‌بعدی استفاده کردند. نتایج به دست آمده از مدل و اندازه‌گیری‌های میدانی نشان داد که جریان‌های غلیظ ناشی از سیلاب‌های عظیم می‌توانند حجم و مقدار قابل توجهی از رسوب‌های بستر را جذب کنند و آنها را درون جریان تا نزدیکی سد انتقال دهند. مدل عددی ارائه شده قادر به تعیین ویژگی‌ها و پیش‌بینی جریان غلیظ و برآورد زمان باز کردن دریچه‌های تحتانی برای تخلیه رسوب‌ها بود.

Ohey et al. (2010) در تحقیقی آزمایشگاهی، از جت آبی به عنوان کنترل‌کننده جریان غلیظ استفاده کردند. این جت‌ها به صورت زاویه‌دار با بستر قرار گرفتند. نیمرخ‌های سرعت، سرعت پیشانی و تغییر و دگرگونی‌های رسوب بررسی شدند. نتایج نشان داد که در تنظیم‌های ویژه‌ای، جریان غلیظ را تا حدی می‌توان با صفحه جت متوقف کرد و دبی رسوب در پایین‌دست جت در مقایسه با حالت بدون استفاده از جت تا حدود دو برابر کاهش یافت. Ramos (2016) در تحقیقی آزمایشگاهی شناخت ویژگی‌های جریان غلیظ در هنگام ورود به مخزن سد را به منظور عملکرد پایدار سد در درازمدت ضروری دانست. تحقیق او شامل چند آزمایش در فلوم آزمایشگاهی بود تا رفتار جریان غلیظ را هنگام استفاده از روش مدیریت رسوب تخلیه رسوب‌ها بررسی کند. تمرکز او در این تحقیق بر نیم‌رخ قائم سرعت جریان و غلظت رسوب‌های معلق و همچنین الگوهای رسوبی در هنگام تخلیه رسوب‌ها بود. او به این نتیجه رسید که با وجود اینکه تخلیه رسوبات، آنها را به طور کامل از بین نمی‌برد، اما بر کاهش رسوب در مخزن ذخیره بسیار موثر است. Ohey and Schleiss (2007) مهار جریان غلیظ توسط مانع نفوذپذیر را به‌طور فیزیکی و عددی بررسی کردند. در مدل فیزیکی، توزیع سرعت و سیر تکاملی مکانی و زمانی رسوب‌ها اندازه‌گیری شد. مدل عددی مورد استفاده آنان یک مدل دوبعدی بود که بر مبنای حل جریان CFX-4.4 شبیه‌سازی شده بود. آنان نتیجه گرفتند که جریان غلیظ را می‌توان با اقدام‌های سازنده‌ای مانند ایجاد موانع، تحت‌تاثیر قرار داد. Asghari Pari et al. (2016) در یک تحقیق آزمایشگاهی ارتفاع مانع مناسب برای مهار جریان غلیظ زیربحرانی و فوق‌بحرانی را بررسی کردند. محدوده عدد فرود مورد بررسی از ۰/۷ تا ۱/۳۷ بود و شرایط جریان ورودی شامل دبی ورودی و غلظت تغییر داده شد تا موثرترین ارتفاع برای انسداد کامل جریان به دست آید. Goodarzi et al. (2020) با یک مدل عددی اثر ارتفاع و شکل هندسی مانع را روی ته‌نشینی رسوب‌ها و هیدرودینامیک جریان کدر در یک آبراهه کم‌عرض بررسی کردند. این مدل عددی بر مبنای مدل آشفتگی (LES) بود. نتایج نشان داد که سرعت جریان غلیظ و انتقال رسوب‌ها با افزایش ارتفاع مانع، کاهش می‌یابد و همچنین موانع مستطیلی شکل، اثر بارزتری بر انسداد جریان کدر داشتند که در نتیجه آن رسوب‌گذاری افزایش یافت. Khosropour et al. (2018) تاثیر همزمان تراکم و آرایش بلوک‌های زبری با مانع را در مهار جریان غلیظ در آزمایشگاه بررسی کردند. در این تحقیق، بلوک‌های زبری با دو آرایش موازی و زیگزاگ و ۴ تراکم زبری در نظر گرفته شد و شیب طولی متغیر و جریان غلیظ مورداستفاده از نوع جریان نمکی با غلظت ثابت بود. نتایج نشان داد که بیشترین درصد مهار پیشانی در آرایش زیگزاگ بود و کارگذاری مانع در این حالت همراه با زبری، میزان مهار آن را افزایش داد. Toozandejani et al. (2019) در تحقیقی با استفاده از مدل فیزیکی، اثر موانع متوالی را بر مهار جریان غلیظ نمکی و رسوبی بررسی کردند. آنان به این نتیجه رسیدند که وجود این موانع سبب مهار جریان غلیظ شده و رابطه‌هایی برای پیش‌بینی سرعت پیشانی و بدنه جریان غلیظ بر مبنای ارتفاع موانع و فاصله آنها و شیب و غلظت جریان ارائه دادند. Jahangir et al. (2020) به‌صورت آزمایشگاهی، تاثیر ضخامت و لایه دوم موانع نفوذپذیر شیاری و حفره ای بر مهار و تله‌اندازی جریان غلیظ را بررسی کردند. پارامترهای غلظت، تخلخل، زاویه و ضخامت با دو لایه مانع بررسی شد و فاصله بهینه مانع دوم از اول به دست آمد و به این نتیجه رسیدند که در شرایط همانند، همواره موانع حفره‌ای عملکرد بهتری از

موانع شیاری دارند.

همان‌طور که ذکر شد، از جمله پیامدهای جریان غلیظ، کاهش ظرفیت ذخیره‌سازی مخزن به دنبال رسوب‌گذاری در آن است که می‌تواند از مسئله‌های اساسی در یک سد مخزنی باشد و نیازمند راهکار در رابطه با مدیریت رسوب در مخزن سدهاست و با وجود بررسی‌های گسترده ای که در این زمینه صورت گرفته، همچنان موضوعی مورد بحث می‌باشد.

روش‌های مهار جریان غلیظ به اقدام‌هایی گفته می‌شود که بر روند حرکت جریان غلیظ به سمت پایین‌دست اثر می‌گذارند. این تاثیر می‌تواند به صورت کاهش سرعت جریان، توقف یا انحراف آن باشد. روش‌های مهار جریان غلیظ می‌تواند شامل روش‌های مدیریتی(غیرسازه‌ای) و سازه‌ای یا ترکیبی از آنها باشد که برای هر سد به طور خاص و با توجه به شرایط موجود آن انتخاب می‌شود.

نخستین و موثرترین اقدام به‌جهت مهار جریان غلیظ، مهار فرسایش حوضه آبریز و تله‌اندازی رسوب‌های بالادست به منظور جلوگیری از تولید رسوب‌های ناشی از فرسایش می‌باشد. این روش شامل طیف گسترده‌ای از اقدامات مانند عملیات حفاظت خاک با پوشش گیاهی، ته‌نشینی رسوبات با حوضچه‌های ترسیب، ساخت سدهای اصلاحی و پایدارسازی بستر و سواحل رودخانه می‌باشد.

به‌هرروی، بخشی از رسوبات وارد مخزن سد شده و در اثر پدیده جریان غلیظ به‌سمت بدنه سد حرکت می‌کنند. لذا راهکارهایی برای مهار این رسوب‌ها توسط محققان مختلف در مخزن سد ارائه شده است. از جمله اقدام‌ها برای مهار جریان غلیظ، استفاده از جت‌آب یا صفحه جت است که با قرارگیری در جلوی آبگیر با زاویه‌های مختلف، از ورود رسوب‌ها جلوگیری کند (Ohey et al., 2010).

AsghariPari and Mohagheghian (2014) نیز با مدلی عددی، ایجاد گودال حفاظتی در بستر رودخانه و مخزن را روشی برای مهار جریان غلیظ معرفی کردند.

Daryaee (2014)، روشی برای کنترل جریان غلیظ در مخزن سد ارائه داد که با استفاده از زبری در کف مخزن، سرعت جریان غلیظ را کاهش داد که درنتیجه آن اثر جریان غلیظ کمتر یا محل رسوبگذاری را از بدنه سد دورتر کرد.

روش موثر دیگری که توسط محققان دیگری مورد قرار گرفته است، روش کنترل جریان غلیظ با استفاده از مانع است. این موانع می‌توانند از شکل‌ها و مصالح و چیدمان متفاوتی ساخته و در مقابل جریان غلیظ نصب شوند.

Ohey (2003) موانعی به‌صورت صفحه برای انحراف جریان در نظر گرفت. Ohey and Schleiss (2007) از مانع نفوذپذیر استفاده کردند. Soler et al. (2017) موانع را به‌صورت استوانه‌های صلب عمودی درنظر گرفتند. Abhari et al. (2018) مانعی با شکل مثلثی و Habibmohammadi et al. (2016) موانع گابیونی را بررسی کردند.

اساس روش‌های مذکور، برهم‌زدن ساختار جریان غلیظ و برگشت دادن مقداری از آن می‌باشد.

طبق آنچه که ذکر شد ایجاد مانع در مقابل جریان غلیظ از جمله پرکاربردترین روش‌ها در مهار آن می‌باشد، بررسی تاثیر این موانع، تاکنون در تحقیقات عددی و آزمایشگاهی گسترده ای انجام گرفته اما یافتن شرایطی که از نظر کارایی در مهار جریان غلیظ، سهولت کاربرد و اجرا و مقرون‌به‌صرفه بودن به انتخاب گزینه مناسب منجر شود همچنان موضوعی باز و مورد بحث است. از آنجایی که روش‌های به‌کاررفته در تحقیقات گذشته از جمله ایجاد مانع به‌صورت میله با ارتفاع زیاد، صفحه مسدود کننده مجرا و موارد همانند در مقابل جریان می‌تواند امکان انسداد جریان را بالاتر برند، استفاده از موانعی که احتمال انسداد جریان را کمتر می‌نمایند و همچنین با توجه به ماهیت مخزن سد قابلیت اجرای سهل‌تری داشته باشند و از نظر سازه‌ای با تجمع رسوبات در پشت آنها، پایداری سازه‌ای آن به مخاطره نیفتد، اهمیت زیادی دارد. هدف از انجام این تحقیق بررسی اثر موانع به‌صورت صفحه‌های جانبی در مقابل جریان غلیظ و مهار آن است.

۲- روش پژوهش

۲-۱- تحلیل ابعادی

به منظور تحلیل ابعادی، پارامترهای موثر در فیزیک مسئله طبق رابطه ۲ در نظر گرفته شد.

$$f(Q_a, Q_b, \alpha, g, \rho_t, \rho_a, \upsilon, Q_i, \theta, d, h, H, B, U, h_f) = 0 \quad (2)$$

که Q_a دبی غلظت پیشانی جریان غلیظ پیش از مانع، Q_b دبی غلظت پیشانی جریان غلیظ پس از مانع، α شیب کف آبراهه، g شتاب ثقل، ρ_t چگالی سیال غلیظ، ρ_a چگالی سیال پیرامون، υ لزوجت، Q_i دبی جریان غلیظ ورودی، θ زاویه نصب صفحه‌های جانبی، d میزان بازشدگی بین صفحه‌های جانبی، h ارتفاع صفحه، H ارتفاع بدنه جریان غلیظ و B عرض آبراهه است. به منظور تحلیل ابعادی از روش باکینگهام استفاده شد. در این روش متغیرهای α، d و B ثابت و متغیرهای ρ، Q_i و g به‌عنوان متغیر تکراری درنظر گرفته شدند. در رابطه ۳ ΔQ میزان کاهش دبی غلظت پیشانی جریان غلیظ برحسب درصد و $\frac{h}{H}$ ارتفاع نسبی صفحه‌های جانبی می‌باشد.

$$\Delta Q = f\left(\theta, \frac{h}{H}, \frac{U}{\sqrt{g' h_f \cos\alpha}}, \frac{U h_f}{\upsilon}\right) \quad (3)$$

همچنین $Fr_d = \frac{U}{\sqrt{g' h_f \cos\alpha}}$ و $\mathrm{Re} = \frac{U h_f}{\upsilon}$ به ترتیب عدد فرود دنسیمتریک و عدد رینولدز پیشانی جریان غلیظ می‌باشد.

در تمامی آزمایش‌ها جریان زیربحرانی ($Fr_d < 1$) می‌باشد. همچنین با توجه به محدوده عدد رینولدز جریان در حالت آشفتگی بوده (Re>2000) لذا از این عدد صرفنظر شد. در نهایت رابطه ۴ حاصل شد.

$$\Delta Q = f\left(\theta, \frac{h}{H}\right) \quad (4)$$

۲-۲- روش انجام آزمایش

آزمایش‌ها در فلومی به طول ۱۲ متر، ارتفاع ۸۰ سانتی‌متر و عرض ۴۰ سانتی‌متر انجام شد. جریان غلیظ مورد استفاده در این تحقیق، جریان نمکی با غلظت ۲۰ گرم بر لیتر درنظر گرفته شد. موانع از جنس شیشه با ضخامت ۴ میلی‌متر ساخته شدند. عمق آب پیرامون(ساکن) در آزمایش‌ها ثابت و برابر ۵۰ سانتی‌متر بود. همچنین در همه‌ی آزمایش‌ها، دبی ورودی جریان غلیظ و شیب کف نیز ثابت و به‌صورت افقی در نظر گرفته شد. ارتفاع موانع (h) مورد استفاده در این تحقیق، بر مبنای نتایج بررسی‌های محققان پیشین (Asgharipari et al., 2016) که ارتفاع دو برابر ارتفاع بدنه جریان غلیظ را سبب توقف کامل جریان به‌دست آورده بودند و همچنین آزمایش‌های اولیه به‌ترتیب ۰/۵، ۱ و ۱/۵ برابر ارتفاع بدنه جریان غلیظ، به‌مقدار ۳، ۶ و ۹ سانتی‌متر درنظر گرفته شدند. موانع به‌صورت صفحه‌های جانبی در دو طرف فلوم با زاویه نصب ۳۰، ۶۰ (Θ) و ۹۰ درجه نسبت به دیواره به گونه‌ای نصب شدند که انتهای آنها روی محور میانی فلوم قرار داشت و فاصله بین انتهای موانع (d) روی محور فلوم ثابت و معادل ۱۰ سانتی‌متر در نظر گرفته شد (شکل ۲).

روش انجام آزمایش‌ها بدین صورت بود که در آغاز پایین‌دست دریچه ابتدایی فلوم از آب زلال تا عمق ۵۰ سانتی‌متر پر می‌شد. در این حالت شیر زهکش انتهایی بسته بود. پس از آن شیر ورودی سیال غلیظ باز شده و سیال غلیظ به‌درون محفظه قرار گرفته در بالادست دریچه ابتدایی فلوم وارد می‌شد. دبی ورودی سیال غلیظ با استفاده از یک دبی‌سنج الکترومغناطیسی، معادل ۰/۶ لیتر بر ثانیه، تنظیم می‌شد. پس از اینکه سطح سیال غلیظ و آب زلال در دو طرف دریچه ابتدایی برابر می‌شد، این دریچه به منظور تشکیل، توسعه کامل و تداوم جریان غلیظ تا دریچه خروجی به اندازه ۱۰ سانتی‌متر باز شده و جریان غلیظ شکل می‌گرفت. در آزمایش‌های انجام شده، سرعت و غلظت متوسط پیشانی جریان و همچنین غلظت عمقی بدنه اندازه‌گیری شدند. برای به‌دست آوردن سرعت متوسط پیشانی، جریان غلیظ عبوری، در همه آزمایش‌ها از آغاز باز کردن دریچه ابتدایی تا باز کردن شیر خروجی فیلم‌برداری شد و با استفاده از زمان‌سنج و فاصله‌های مشخص طی شده، سرعت میانگین پیشانی جریان به‌دست آمد. همچنین به منظور تعیین غلظت متوسط پیشانی جریان غلیظ با توجه به زمان محدود برای نمونه‌گیری و ارتفاع پیشانی، دو عمق ۴ و ۶ سانتی‌متر برای برداشت نمونه انتخاب شدند. غلظت بدنه جریان غلیظ در ۷ نقطه در عمق اندازه‌گیری شدند، برداشت غلظت‌های عمقی پیشانی و بدنه جریان غلیظ با استفاده از دو نمونه‌گیر

سیفونی (شکل ۳) انجام شد. یک نمونه‌گیر سیفونی در محلی پیش از موانع قرار گرفت تا غلظت پیشانی پیش از مانع را برداشت کند و یک نمونه‌گیر پس از موانع نصب شد تا غلظت پیشانی در همان عمق‌های پس از عبور از موانع برداشت شود. پس از برداشت نمونه‌ها با استفاده از سرنگ‌های متصل به نمونه‌گیرها، شوری آنها با استفاده از دستگاه شوری‌سنج خوانده شده و با نمودار واسنجی شوری- غلظت، تبدیل به غلظت با واحد گرم بر لیتر می‌شدند.

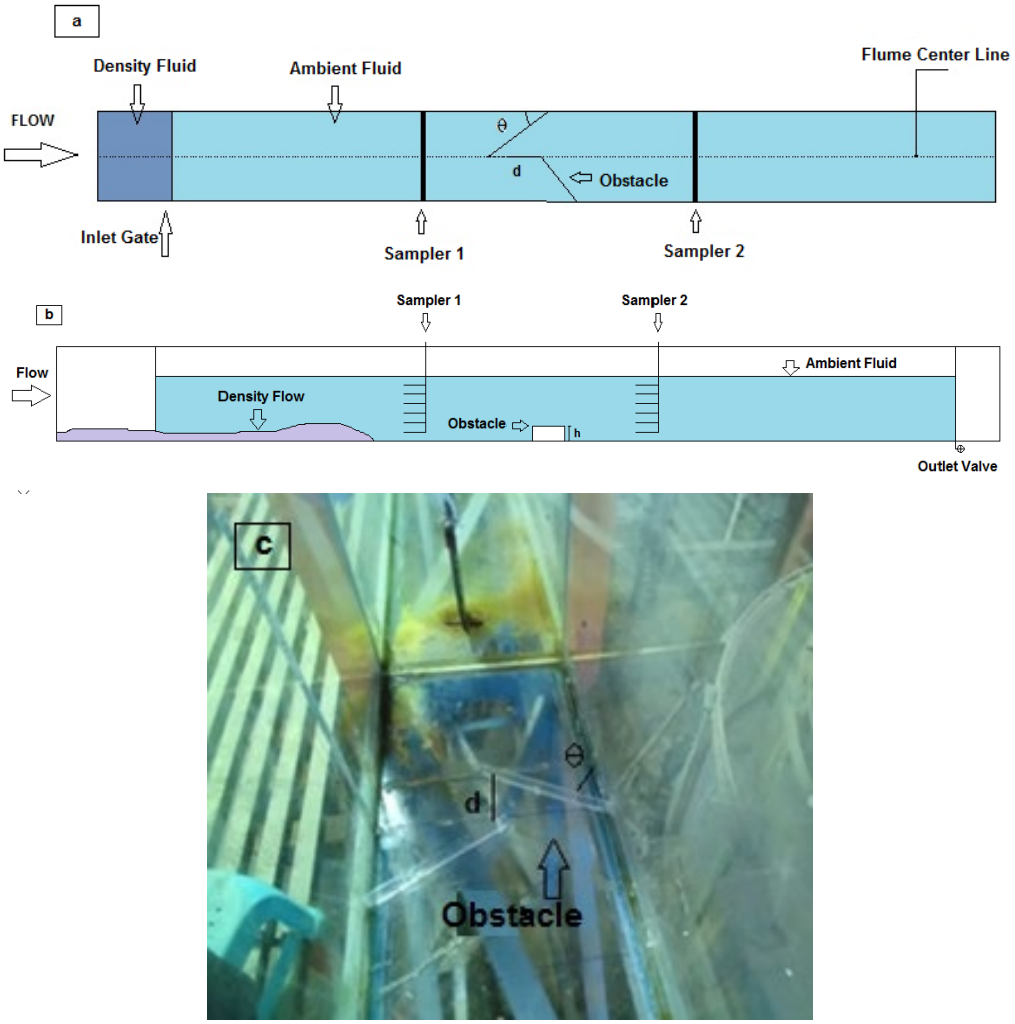


Fig 2. Installation of side plates as obstacle a)view from above b)side view c)glassy plates in the flume

شکل ۲ چگونگی قرارگیری موانع به صورت صفحه‌های جانبی a- نما از بالا b- نما از کنار c- صفحه‌های شیشه ای در فلوم

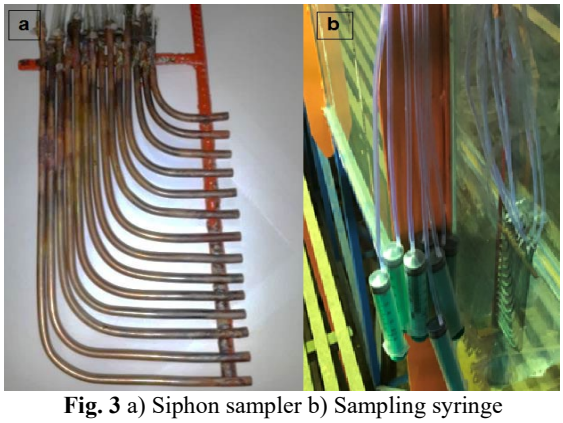


Fig. 3 a) Siphon sampler b) Sampling syringe

شکل ۳ a) نمونه‌گیر سیفونی b) سرنگ نمونه‌گیری

به منظور به‌دست آوردن میزان مهار جریان غلیظ توسط مانع، میزان کاهش دبی پیشانی آن پیش و پس از مانع محاسبه شده و با استفاده از رابطه ۵ به درصد تبدیل شد.

$$\Delta Q = \frac{Q_b - Q_a}{Q_a} * 100 \quad (5)$$

که در این رابطه، $\mathbf{Q_b}$ میزان دبی پیشانی پیش از مانع، $\mathbf{Q_a}$ میزان دبی پیشانی پس از مانع و $\mathbf{\Delta Q}$ میزان کاهش دبی پیشانی جریان غلیظ بر حسب درصد است. میزان دبی از رابطه ۶ محاسبه شده است.

$$Q = U * B * h_f * C \quad (6)$$

در رابطه بالا، Q میزان دبی پیشانی جریان غلیظ(گرم بر لیتر)، U سرعت متوسط پیشانی جریان غلیظ، h_f ارتفاع پیشانی جریان غلیظ، C میانگین غلظت حجمی‌پیشانی جریان غلیظ و B عرض فلوم است.

برای مقایسه کارایی صفحه‌های جانبی، آزمایش‌هایی به صورت مجرای بسته شده نیز در نظر گرفته شدند، به این صورت که عرض فلوم با یک مانع با همان ارتفاع در نظر گرفته شده به طور کامل بسته می‌شد و برای بررسی اثر موانع بر نیم‌رخ غلظت بدنه جریان غلیظ، از آزمایش جریان غلیظ بدون مانع به عنوان شاهد استفاده شد.

۳- نتایج و بحث

بنا بر مشاهده‌ها هنگامی‌که جریان غلیظ زیرگذر به ردیف موانع جانبی برخورد می‌کند، بخشی از جریان از بین موانع به مسیر خود ادامه می‌دهد و بخشی دیگر صعود می‌کند، سپس به سمت پایین حرکت می‌کند و دوباره به بقیه جریان پیوسته و مسیر را با سرعت و غلظت کمتری ادامه می‌دهد، این کاهش غلظت با ورود سیال پیرامون به درون جریان غلیظ به دلیل پخش شدن ناشی از برخورد جریان غلیظ با موانع رخ می‌دهد. نمایی از برخورد جریان با ردیف مانع در شکل ۴ نشان داده شده است.

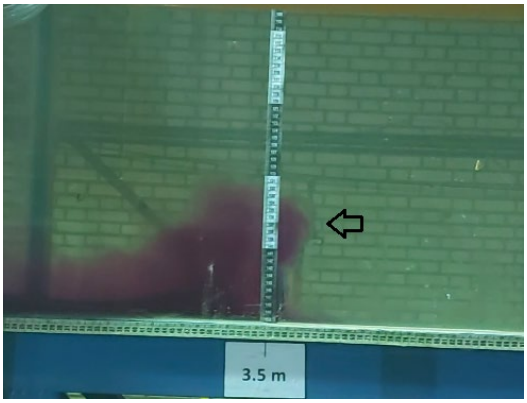


Fig. 4 The rise of density current after hitting the obstacle

شکل ۴ بالا رفتن جریان غلیظ پس از برخورد به مانع

۳-۱- تاثیر زاویه نصب روی مهار دبی پیشانی جریان غلیظ

در شکل ۵ تغییرات درصد کنترل پیشانی جریان غلیظ نسبت به تغییرات زاویه نصب موانع نشان داده شده است.

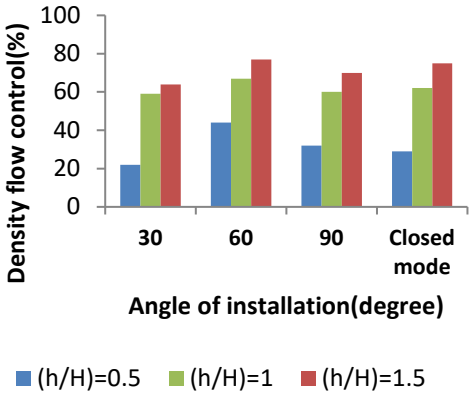


Fig. 5 The effect of plate installation angle on the control of density current

شکل ۵ تاثیر زاویه نصب صفحات بر درصد مهار دبی پیشانی جریان غلیظ

همان‌طور که مشاهده می‌شود برای هر ارتفاع از موانع، کمترین و بیشترین میزان مهار به ترتیب مربوط به زوایای نصب ۳۰ و ۶۰ درجه می‌باشد. درصد مهار طبق رابطه ۵، تابع دبی پیشانی جریان غلیظ است که این دبی طبق رابطه ۶ تابعی از سرعت پیشانی، ارتفاع و غلظت آن می‌باشد. بنا بر مشاهده‌ها و یافته‌ها، با افزایش زاویه نصب از ۳۰ درجه به ۶۰ درجه، مدت زمان برخورد پیشانی جریان غلیظ با موانع به دلیل کاهش طول کمتر از زاویه ۳۰ درجه است، لذا پیشانی جریان سریع‌تر تحت تاثیر قرار

گرفته، میزان پخشیدگی پیشانی افزایش یافته و در نتیجه میزان غلظت و سرعت پیشانی جریان با سرعت بیشتری کاهش یافته و درصد مهار آن افزایش می‌یابد. اما در زاویه ۳۰ درجه، مدت زمان برخورد جریان با مانع بیشتر است، به صورتی که در قسمت ابتدایی، جریان پس از برخورد با مانع پخش شده ولی تا رسیدن بقیه جریان به مانع، به دلیل بیشتر بودن زمان، جریان فرصت شکل‌گیری دوباره خواهد داشت. اما با افزایش زاویه از ۶۰ به ۹۰ درجه، این روند تکرار نشده است، علت آن را می‌توان با استفاده از رابطه ۶ و همچنین اثر طول صفحه‌ها شرح داد، با افزایش زاویه از ۶۰ به ۹۰، میزان غلظت پیشانی به دلیل برخورد کامل پیشانی به مانع کاهش یافته، اما بر مبنای اندازه‌گیری‌های انجام شده میزان سرعت پیشانی کاهش نیافته و همچنین میزان کاهش ارتفاع پیشانی نیز نسبت به حالت برخورد با زاویه ۶۰ درجه کمتر شده است، بنابراین طبق رابطه ۵، میزان مهار زاویه ۶۰ درجه بیشتر است. برای مثال، با افزایش زاویه برای ارتفاع ۳ سانتی متر، میزان کاهش غلظت در زاویه ۳۰ ، ۶۰ و ۹۰ درجه به ترتیب ۲۴، ۲۹ و ۳۳ درصد بوده، اما میزان کاهش سرعت پیشانی جریان غلیظ ۲۶، ۳۱ و ۲۷ درصد بوده است که در نتیجه آن، میزان مهار جریان غلیظ در زاویه ۶۰ درجه بیشترین میزان را بوجود آورده است.

همچنین مشاهده می‌شود که کارایی حالت انسداد کامل در مهار جریان غلیظ تا حدودی با صفحه‌های با زاویه ۶۰ درجه برابر است، اما برتری زاویه ۶۰ درجه نسبت به حالت انسداد کامل در این است که مهار جریان غلیظ با صفحه‌های زاویه‌دار نسبت به بستن کل مجرا، از نظر اجرایی آسان‌تر است و همچنین احتمال ته‌نشینی جریان غلیظ در پشت مانعی که مجرا را بسته بیشتر است که به دنبال آن کارایی و پایداری موانع و همچنین عمر مفید آنها تحت‌تاثیر قرار می‌گیرد.

۳-۲- تاثیر ارتفاع مانع روی کنترل دبی پیشانی جریان غلیظ

از شکل ۵ مشاهده می‌شود که در هر زاویه نصب و همچنین حالت انسداد کامل مجرا، با افزایش ارتفاع، درصد مهار جریان غلیظ افزایش یافته است، به صورتی که در ارتفاع ۹ سانتی متر، میزان مهار جریان غلیظ در زاویه ۶۰ درجه حدود ۸۰ درصد می‌باشد. پس از برخورد جریان غلیظ به مانع، بخشی از آن از روی مانع و بخشی از آن از میان صفحه‌های عبور می‌کند(نقطه ۲ در شکل ۶- a)، بخشی هم به‌سمت بالا حرکت کرده و به صورت پخش شده به کف فلوم باز می‌گردد(نقطه ۱ شکل ۶- a) و قسمتی از جریان غلیظ نیز پشت صفحات متوقف می‌شود و مقداری از آن به صورت موج برگشتی به سمت بالا دست می‌رود(شکل ۶- b) و سپس دوباره جریان غلیظی با سرعت و غلظت کمتر به سمت پایین‌دست حرکت می‌کند. بنا بر مشاهده‌ها و یافته‌ها، هر چه ارتفاع صفحه‌ها بیشتر باشد، مقدار جریانی که پشت مانع متوقف می‌شود و همچنین پخشیدگی جریان غلیظ که منجر به از بین رفتن ساختار جریان غلیظ می‌شود بیشتر شده و در نتیجه میزان ورود سیال پیرامون به درون جریان غلیظ افزایش یافته که به دنبال آن سرعت و غلظت پیشانی جریان غلیظ

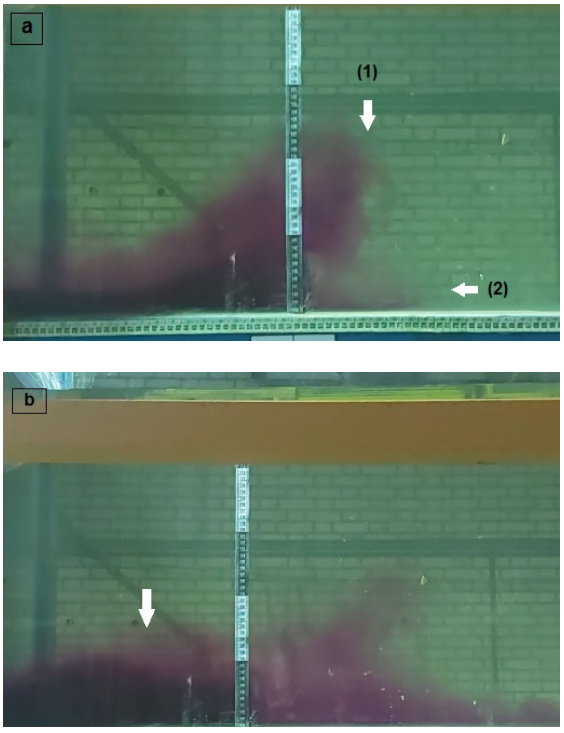


Fig. 6 a,b) Components of density current after hitting the obstacle

شکل ۶ a- لحظه برخورد جریان غلیظ با مانع(قسمت ۱ بخشی از جریان که پس از برخورد به مانع به بالا می‌رود. قسمت ۲ بخشی از جریان که از روی مانع یا از میان آن می‌گذرد.) b- متوقف شدن بخشی از جریان غلیظ پشت مانع

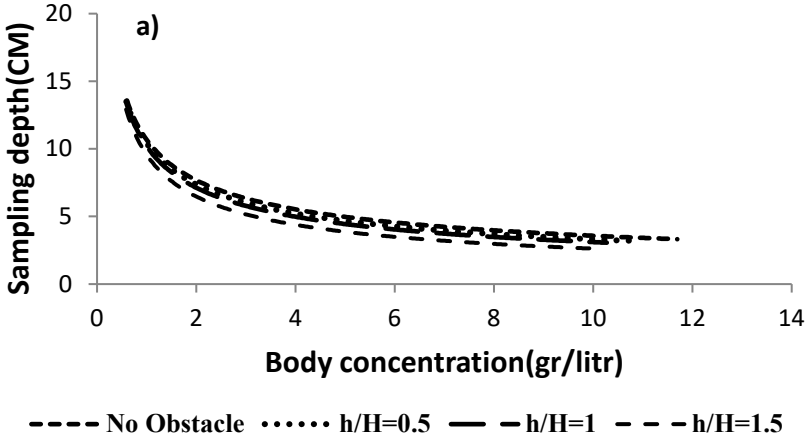
کاهش می‌یابد.

همان‌طور که بیان شد، با افزایش ارتفاع مانع، میزان جریان غلیظ متوقف شده و ارتفاع صعود پیشانی جریان افزایش یافته و میزان جریان باقی مانده عبوری، جریانی با غلظت و سرعتی کمتر نسبت به پیش از مانع خواهد بود، به گونه ای که در ارتفاع ۳ سانتی متر، میزان کاهش غلظت و سرعت پیشانی در زاویه ۶۰ درجه به ترتیب۲۹ و ۳۱ درصد و این میزان در ارتفاع ۹ سانتی متر و زاویه همانند به ۸۰ و ۴۴ درصد می‌رسد.

۳-۳- اثرگذاری مانع بر نیم‌رخ غلظت بدنه جریان غلیظ

نیم‌رخ‌های غلظت بدنه جریان غلیظ برای همه‌ی سناریوهای مورد بررسی در این تحقیق، در شکل ۷ رسم شده است.

ایجاد موانع در مقابل جریان غلیظ، افزون بر تاثیر روی پیشانی روی نیم‌رخ غلظت بدنه آن نیز تاثیرگذار است. با بررسی شکل ۷، این موضوع دریافت می‌شود که برای همه‌ی حالت‌ها کارگذاری موانع، کاهش غلظت بدنه جریان غلیظ نسبت به حالت بدون مانع رخ داده است. برای همه‌ی زوایای نصب، ارتفاع ۳ سانتی‌متر تاثیر معنی‌داری در کاهش غلظت بدنه نداشته و نیم‌رخ بدنه در این حالت به حالت بدون مانع نزدیک است. با افزایش ارتفاع مانع در تمام زوایای کارگذاری، کاهش غلظت بدنه جریان غلیظ بیشتر شده است. به گونه‌ای که در ارتفاع ۹ سانتی متر نسبت به حالتی که جریان بدون حضور مانع عبور می‌کند، اختلاف زیادی بین غلظت‌های بدنه در هر چهار حالت قرار گیری مانع مشاهده می‌شود. به عنوان مثال برای ارتفاع ۹ سانتی‌متر در زاویه نصب ۶۰ درجه، میزان غلظت در ارتفاع ۴ سانتی‌متری کف به میزان ۴۷ درصد نسبت به حالت بدون مانع کاهش یافته است. همچنین مشاهده می‌شود زاویه‌های نصب ۹۰ درجه و ۳۰ درجه به ترتیب بیشترین و کمترین تاثیر را در کاهش غلظت بدنه داشته‌اند. به گونه‌ای که میزان غلظت در ارتفاع ۴ سانتی‌متری کف برای زاویه‌های نصب ۹۰ درجه و ۳۰ درجه به ترتیب معادل ۶۷ درصد و ۲۸ درصد نسبت به حالت بدون مانع کاهش یافته است. بنابر آنچه در بخش پیش بیان شد، بالا رفتن بخشی از جریان پس از برخورد با مانع و همچنین عبور جریان از بین صفحه‌ها منجر به ورود سیال پیرامون به درون جریان غلیظ شده که این اختلاط بین جریان غلیظ و سیال پیرامون سبب کاهش غلظت جریان و در نتیجه آن کاهش غلظت بدنه می‌شود. بخشی از جریان غلیظ نیز به صورت موج برگشتی به سمت بالادست حرکت می‌کند که در زمان برگشت با سیال پیرامون نیز اختلاط پیدا می‌کند، این موج برگشتی سبب افزایش ارتفاع بدنه جریان غلیظ و در نتیجه کاهش غلظت آن خواهد شد. این افزایش ارتفاع در شکل ۸ نشان داده شده است. تاثیر زاویه نصب صفحه‌ها بر کاهش غلظت بدنه جریان غلیظ در ارتفاع مانع ۳ سانتی‌متر معنی‌دار نبود، اما در ارتفاع ۶ و ۹ سانتی متر این تاثیر قابل مشاهده بود.



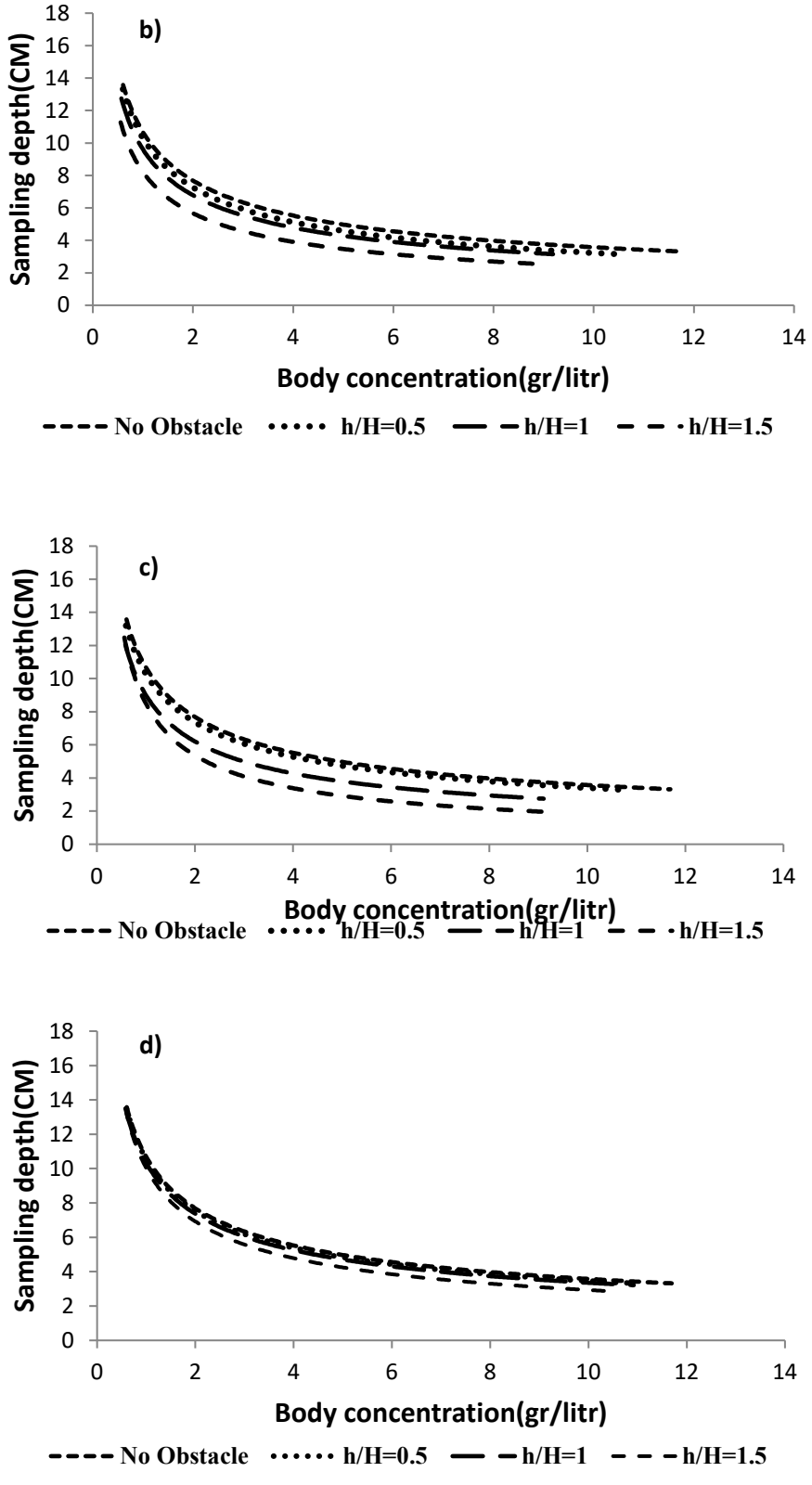


Fig. 7 Density current body profiles a- angle of 30 degrees b- angle of 60 degrees c- angle of 90 degrees d- closed mode

شکل ۷ نیم‌رخ غلظت بدنه جریان غلیظ a- زاویه ۳۰ درجه b- زاویه ۶۰ درجه c- زاویه ۹۰ درجه d- انسداد کامل

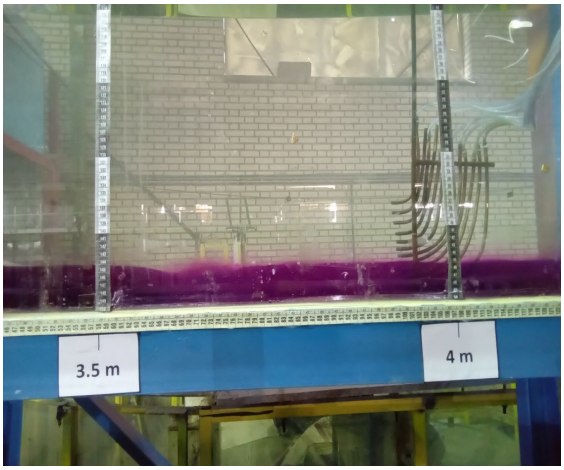


Fig. 8 Increasing in body height by backflow

شکل ۸ افزایش ارتفاع بدنه پس از بازگشت بخشی از جریان برخورد کرده به مانع و مخلوط با سیال پیرامون

۴- نتیجه گیری

ایجاد مانع در مقابل جریان غلیظ از جمله پرکاربردترین روش‌ها در کنترل آن می‌باشد. بررسی تاثیر این موانع، تاکنون در تحقیقات عددی و آزمایشگاهی گسترده‌ای انجام گرفته اما یافتن شرایطی که از نظر کارایی در کنترل جریان غلیظ، سهولت کاربرد و اجرا و مقرون‌به‌صرفه بودن به انتخاب گزینه مناسب منجر شود همچنان موضوعی باز و مورد بحث است. از آنجایی که روش‌های به کار رفته در بررسی‌های گذشته مانند ایجاد مانع مسدود کننده مجرا با ارتفاع زیاد و موارد همانند که جریان غلیظ را به طور کامل متوقف می کنند، می‌تواند امکان انسداد جریان را بالاتر برده و به دنبال آن پایداری سازه دچار مخاطره می‌شود. لذا استفاده از موانعی که احتمال انسداد جریان را کمتر می‌نمایند و همچنین با توجه به ماهیت مخزن سد قابلیت اجرای آسان‌تری داشته باشند و از نظر سازه‌ای با تجمع رسوب‌ها در پشت آنها، پایداری سازه‌ای آن به مخاطره نیفتد، اهمیت زیادی دارد. هدف از انجام این تحقیق بررسی اثر موانع به صورت صفحه‌های جانبی در مقابل جریان غلیظ و کنترل سرعت و غلظت پیشانی آن است.

در این تحقیق تاثیر زاویه نصب و ارتفاع صفحه‌های جانبی روی مهار پیشانی جریان غلیظ بررسی شد. نصب صفحه‌های جانبی به دلیل افزایش طول برخورد پیشانی با مانع در مهار آن موثر است. باید توجه داشت در شرایط واقعی جریان غلیظ به صورت رسوبی بوده و ایجاد موانع در مقابل جریان منجر به کاهش سرعت و در نتیجه نشست رسوب‌ها خواهد شد، لذا با انسداد کامل مسیر جریان فضای پشت مانع در مدت کوتاهی از رسوب پر شده و کارایی مانع نصب شده در مهار پیشانی جریان غلیظ از دست خواهد رفت، ولی در صفحه‌های جانبی که به صورت زاویه‌دار نصب شده‌اند، یک فضای خالی بین صفحه‌های ایجاد شده که بخشی از جریان از آن عبور می‌کند. نتایج نشان داد که بیشترین تاثیر موانع روی مهار پیشانی جریان غلیظ در حالت زاویه نصب ۶۰ درجه بوده و تا حدودی با میزان مهار در حالت انسداد کامل برابر است. لذا می‌توان از نصب صفحه‌های جانبی با زاویه به عنوان یک روش جایگزین استفاده کرد. همچنین با افزایش ارتفاع موانع، میزان تاثیر نصب آنها در مهار پیشانی جریان غلیظ در همه‌ی حالت‌ها افزایش یافت. بررسی تاثیر نصب موانع روی شکل نیم‌رخ غلظت بدنه جریان غلیظ نشان داد که بیشترین تاثیر مربوط به زاویه نصب ۹۰ درجه می‌باشد و با افزایش ارتفاع مانع، میزان غلظت بدنه جریان غلیظ بیشتر کاهش یافته است. خاطر نشان می‌شود کارآیی صفحه‌های جانبی معرفی شده در این تحقیق و یا هر مانع دیگری در مخزن سد به منظور کنترل جریان غلیظ با توجه به پدیده رسوبگذاری ممکن است در طول زمان کاهش یابد. ولی استفاده از این روش‌ها در زمان در همین مدت زمان می‌تواند سرعت روند رسوبگذاری در مخزن را کاهش دهد. از سوی دیگر همان‌طور که ذکر شد، اقدامات گوناگونی به منظور کنترل جریان غلیظ در مخازن سدها می‌تواند صورت گیرد که استفاده همزمان از این روش‌ها می‌تواند مدت زمان عملکرد آنها و در نتیجه کارآیی آنها را افزایش دهد.

۵- فهرست نشانه‌ها

EC	میزان شوری
g'	شتاب ثقل کاهش یافته
g	شتاب ثقل
h	ارتفاع مانع
d	فاصله بین انتهای موانع
ΔQ	میزان کاهش دبی پیشانی جریان غلیظ
Q_b	میزان دبی پیشانی جریان غلیظ قبل از مانع
Q_a	میزان دبی پیشانی جریان غلیظ بعد از مانع

دبی پیشانی جریان غلیظ	Q
ارتفاع پیشانی جریان غلیظ	h_f
غلظت متوسط حجمی پیشانی جریان غلیظ	C
سرعت میانگین پیشانی جریان غلیظ	U
عرض فلوم	B
چگالی سیال غلیظ	ρ_t
چگالی سیال پیرامون	ρ_a
زاویه نصب صفحات	θ

۶- سپاسگزاری

بدین وسیله از حمایت مالی معاونت پژوهش و فناوری دانشگاه شهید چمران اهواز در قالب پژوهانه GN:(SCU.WH1401.31370) در انجام این تحقیق قدردانی می‌شود.

۷- منبع‌ها

Abhari, M.N., Iranshahi, M., Ghodsian, M. & Firoozabadi, B. (2018). Experimental study of obstacle effect on sediment transport of turbidity currents. *J. of Hydraulic Research*, *56*(5), 618-629.

Altinakar, M.S., Graf, W.H. & Hopfinger. E.J. (1996). Flow structure in turbidity currents, *J. Hydraulic Research*, *34*(5), 713-718.

Akiyama, J. & Stefan, H. (1985). Turbidity current with Erosion and Deposition, *J. Hydraulic Engineering, 111*(12), 1473-1496.

Asghari Pari, S.A., Kashefipour, S.M. & Ghomeshi. M. (2016). An experimental study to determine the obstacle height required for the control of subcritical and supercritical gravity currents, *European Journal of Environmental and Civil Engineerin, 21*(9), 1-13.

Asghari Pari, S.A. & Mohagheghian, S.M. (2014). Numerical investigation of the effect of creating protective pits in the bed on restraining the thick flow, *J. Water Resources Engineering*, *7*(23), 1-12.

Chu, F.H., Pilkey, W.D. & Pilkey, O.H. (1979). An analytical study of turbidity current steady flow, *Marine Geology*, *33*, 205-220.

Daryaee, M. (2014). Experimental investigation on the effect of roughness and obstacle on the control of density current, PhD Thesis, Faculty of water and environmental sciences, Shahid Chamran University of Ahwaz, Iran, P 141. (In Persian)

De Cesare, G., Schleiss, A. & Hermann, F. (2001). Impact of turbidity currents on reservoir sedimentation, *J. of Hydraulic Engineering*, *127*(1), 6-16.

Goodarzi, D., Sookhak Lari, K., Khavasi, E. & Abolfathi, S. (2020). Large eddy simulation of turbidity currents in a narrow channel with different obstacle configurations, *Scientific Report*, *10*, 12814, https://doi.org/10.1038/s41598-020-68830-5.

Habibmohammadi, M.A., Asghari Pari, S.A. & Sajjadi, S.M. (2016). Experimental Investigation of the effects of Gabion Obstacle' s Height, Shape and distance of obstacle from entrance to Control the Turbidity Current, *J. of Water and Soil Conservation*, *23*(4), 251-265.

Islamic Republic of Iran, Vice Presidency for Strategic Planning and Supervision. (2012). Guideline for Dams Reservoirs Sedimentation and Desiltation Studies, No. 589.

Jahangir, A., Esmaili, K. & Faghafour Maghrebi, M. (2020). Experimental Investigation Effect of the Porosity and Angle of Permeable Obstacles on Density Current Sedimentation, *AmirKabir Journal of Civil Engineering*, *52*(6), 1455-1468.

Khosropour, S., Kashefipour, S.M. & Daryaee, M. Investigating the Effects of the Density and Pattern of Roughness Blocks with Obstacle on the Control of Density Current Head, *J of Iranian Hydraulic Association*, *14*(2), 105-115. (In Persian)

Meiburg, E. & Kneller, B. (2010). Turbidity Currents and Their Deposits*, Annual Review of Fluid Mechanics*, *42*, 135-156.

N.Abhari, M., Iranshahi, M., Ghodsian, M. & Firoozabadi, B. (2018). Experimental study of obstacle effect on sediment transport of turbidity currents, *J of Hydraulic Research*, *56*(5), 618-629.

Ohey, C.D. (2003). Effects of obstacles and jets on reservoir sedimentation due to turbidity current. PhD Thesis. EPFL.

Ohey, C.D. & Schleiss, A.J. (2007). Control of turbidity currents in reservoirs by solid and permeable obstacles, *J of Hydraulic Engineering*, *133*, 637-648.

Ohey, C.D., De Cesare, G. & Schleiss, A. (2010). Effect of inclined jet screen on turbidity current, *J of Hydraulic Research*, *48*(1), 81-90.

Ramos-Villanueva, M. (2016). Experimental Study of Reservoir Turbidity Currents Venting, PhD Thesis, University of Illinois.

Soler, M., Colomer, J., Serra, T., Casamitijana, X.

& Folkard, A. (2017). Sediment deposition from turbidity currents in simulated aquatic vegetation canopies, *J of the International Association of Sedimentologists*, *64*(4), 1132-1146.

Toozandejani, M., Haghiabi, A.H., Kashefipour, S.M. & Torabipoodeh, H. (2019). Experimental Investigation of the Effect of Height and Distance of Successive Obstacles on Head and Body Velocities in Sedimentary and salty Density Current, *Iranian Journal of Irrigation and Water Engineering*, *10*(37), 35-51. (In Persian)

© 2025 The Author(s). Published by Iranian Hydraulic Association, Tehran, Iran. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (http://creativecommons.org/licenses/by/4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.