

## Research Paper

# Investigation of the Performance of Permeable Obstacles on the Salty Head Density Current

Mehdi Derakhshannia<sup>1</sup>, Mehdi Ghomeshi<sup>2</sup>, Seyed Saeid Eslamian<sup>1,3\*</sup>, Seyed Mahmood Kashefipour<sup>2</sup>

1. Department of Civil Engineering, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran.

2. Department of Water Structures, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.

3. Department of Water Engineering, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

Received: 2020/10/02

Revised: 2021/01/03

Accepted: 2021/01/21

Use your device to scan and read the article online



DOI:

10.30495/wej.2021.26173.2269

**Keywords:** Density currents, Permeable obstacle, Head flux, Momentum

### Abstract

**Introduction:** Density currents are often the main cause of sediment transport in deep water and reservoirs. To prevent sedimentation in critical locations of dams, various methods have been proposed, including placing obstacles in the path of these currents.

**Methods:** In this study, the effect of discharge, inlet concentration, slope and height of trapezoidal permeable obstacle on the behavior of salt density current has been investigated experimentally. 72 experiments were performed with variable discharge of 0.7, 1.2 and 1.7 liters per second and variable concentrations of 20 and 25 g/l, slope of 0.5%, 1% and 1.5% and obstacle height of 1, 1.5 and 2 times the body of density current. The percentage of flux reduction was determined and the effect of other parameters was evaluated

**Findings:** The results showed that the three parameters of slope, concentration and inlet discharge are the factors affecting the momentum and by increasing each of these parameters, the efficiency of obstacle with heights of 1 and 1.5 times body density current decreases. In the case of obstacle with a height of 2 times the body, when the current collides with the obstacle, there is a lot of turbulence, which decreases the momentum of the current, and complete control is achieved.

**Conclusion:** Thus, the average percentage of flux reduction for the dimensionless ratio of height 1 is about 38%, for the dimensionless ratio of height 1.5 is about 52% and for the dimensionless ratio of height 2 is about 86%. Finally, linear and nonlinear regression of the average percentage of flux reduction head data was obtained.

**Citation:** Derakhshannia M, Eslamian S\_S, Ghomeshi M, Kashefipour S\_M. Investigation of the performance of permeable obstacles on the salty head density current. Water Resources Engineering Journal. 2021; 14(50): 31-44.

**\*Corresponding author:** Seyed Saeid Eslamian

**Address:** Department of Civil Engineering, Najafabad Branch, Islamic Azad University, Najafabad, Iran , and Department of Water Engineering, College of Agriculture, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

**Tell:** +989131157554

**Email:** saeid@iut.ac.ir

## Extended Abstract

### Introduction

Density current is caused by the effect of gravity on the concentration difference between two fluids (1), in fact the source of the formation of many deep valleys, to soil erosion by turbid currents. These flows in submarine valleys are also known as the main factors in the transfer of sediment from shallow to deep areas. Due to the erosive and sedimentary properties of turbid currents, these streams are the main cause of several problems in reservoirs. Due to the effect of these currents in nature, a lot of research has been done to solve these problems; one of the most practical methods is to make changes in the topography of the bed, such as building obstacles in the density current path. Accordingly, in this laboratory study, the authors have examined the percentage of density current control by making permeable obstacles.

### Materials and Methods

This study was conducted in a rectangular flume at the Shahid Chamran University of Ahvaz. The walls of this flume were made of glass so that the flow could be easily interpreted. Upstream of this flume there was a sliding valve, which divided the flume. In the upper part, density current was stored and in the lower part, it was filled with transparent fluid. There was a storage of density fluid, a cylindrical tank with a capacity of 3 m<sup>3</sup> and equipped with a mixer was used to mix the density current, salt and permanganate were used to prepare the density current, and after preparing the desired fluid by the pump, The fluid was transferred to the head tank, which was located at a height of 3 meters from the ground to allow flow with a fixed head throughout the test. An electromagnetic flowmeter with an accuracy of 0.001  $\frac{\text{lit}}{\text{sec}}$  was also used to measure the flow rate transmitted from the head tank to the flume. In this study, 18 experiments without obstacle and 54 experiments with obstacle

were performed. The obstacle was constructed at a distance of 2 meters from the valve using a metal mesh and a variable height. Two siphons were used to measure the concentration of density current at different heights. These siphons were installed before and after the obstacle at a distance of 1.5 and 2.5 meters from the inlet valve, respectively.

### Discussion

In this study, various parameters have been investigated and the results showed:

#### Height of obstacles

Increasing the height of the permeable obstacles results in better control of the density current head. Such that, the effect of the obstacles with the dimensionless ratio of height one and one and a half is relatively good and close to each other, but in the case of the obstacle with the dimensionless ratio of height two, the effect is very significant and in most experiments full control has been taken.

#### Input concentration

Increasing the concentration reduces the efficiency of the obstacles, except in the case of two obstacles, where increasing the concentration has improved the efficiency of the obstacles.

#### input discharge

At low discharges, the amount of current control by obstacles is not much different, but in high discharges, due to the high momentum increase, the current collision with the obstacle increases and a large part of the current passes through the obstacle, which decreases the efficiency of obstacles. However, in most of the experiments of dimensionless ratio of height 2, complete flow control has been achieved.

#### Flume slope

Increasing the slope such as flow and concentration is one of the parameters that increase the momentum of the current, which reduces the efficiency of the obstacles.

In the case of high obstacles, the effect of slope increase is neglectable.

### Conclusion

In this study, the effect of permeable obstacles with aggregate diameter of 0.5 cm on the head of density current under variable conditions such as inlet discharge, concentration, slope, and obstacle height was investigated. The main results of this article are as follows:

1- By dimensional analysis, a two-dimensional relation was obtained according to the studied parameters, which has provided the possibility of application and accurate flow analysis and comparison between the results of this research and other studies.

2- Increasing the dimensionless height ratio of the permeable trapezoidal obstacle used in this research improves the performance of the obstacles. The obstacle with one and a half is able to control the current of the head current on average 52%, but for the obstacle with two dimensionless height ratio, current control was in average more than 86%, and in most cases the current was fully controlled.

3. In general, increasing the dimensionless ratio of concentration, slope and dimensionless ratio of input flow reduces the efficiency of obstacles.

4- Obstacle with two dimensionless height ratio has a very big effect on the density current head and in most experiments it has been able to control the flow completely, only in experiments with high momentum part of the current was able to pass.

### Ethical Considerations compliance with ethical guidelines

The cooperation of the participants in the present study was voluntary and accompanied by their consent.

### Funding

No funding.

### Authors' contributions

Design and conceptualization: Mehdi Ghomeshi and Seyed Saeid Eslamian

Methodology and data analysis: Mehdi Derakhshannia

Supervision: Seyed Mahmood Kashefipour.

### Conflicts of interest

The authors declared no conflict of interest.

## مقاله پژوهشی

## بررسی نحوه کارایی موانع نفوذپذیر بر هد جریان غلیظ نمکی

مهدی درخشان‌نیا<sup>۱</sup>، مهدی قمشی<sup>۲</sup>، سید سعید اسلامیان<sup>۱\*</sup>، سید محمود کاشفی‌پور<sup>۲</sup>

۱. گروه مهندسی عمران، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران.

۲. گروه سازه‌های آبی، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.

۳. گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.

## چکیده

**مقدمه:** جریان‌های غلیظ اغلب عامل اصلی انتقال رسوب در آب‌های عمیق و مخازن می‌باشند. برای جلوگیری از رسوب در مکان‌های بحرانی سدها، روش‌های مختلفی از جمله قرار دادن موانع در مسیر این جریان‌ها ارائه شده است.

**روش:** براین اساس در این مطالعه اثر دبی، غلظت ورودی، شیب و ارتفاع موانع نفوذپذیر دوزنقه‌ای شکل بر رفتار جریان‌های غلیظ نمکی به صورت آزمایشگاهی مورد بررسی قرار گرفته است. ۲۲ آزمایش با دبی متغیر ۰/۷، ۱/۲ و ۱/۷ لیتر بر ثانیه و غلظت متغیر ۲۰ و ۲۵ گرم بر لیتر، شیب ۰/۵، ۱ و ۱/۵ درصد و ارتفاع مانع ۱، ۱/۵ و ۲ برابر بدنه جریان غلیظ انجام شد و براساس شار هد جریان مقادیر درصد کاهش هد تعیین و اثر سایر پارامترها مورد ارزیابی قرار گرفت.

**یافته‌ها:** نتایج نشان داد که سه پارامتر شیب، غلظت و دبی ورودی عوامل موثر بر مومنتم جریان بوده و با افزایش هر یک از این پارامترها، میزان کارایی موانع با نسبت بی‌بعد ارتفاع ۱ و ۱/۵ کاهش پیدا می‌کند اما در مانع با نسبت بی‌بعد ارتفاع ۲ عملکرد مانع بهتر بوده و هنگام برخورد جریان با مانع اغتشاش زیاد ایجاد شده که سبب کاهش چشمگیر هد جریان غلیظ می‌گردد.

**نتیجه‌گیری:** به این صورت که نرخ متوسط کاهش شار هد برای نسبت بی‌بعد ارتفاع ۱ در حدود ۳۸ درصد و برای نسبت بی‌بعد ارتفاع ۱/۵ در حدود ۵۲ درصد و برای نسبت بی‌بعد ارتفاع ۲ در حدود ۸۶ درصد می‌باشد. در انتها به برآزش خطی و غیرخطی داده‌های درصد کاهش هد جریان غلیظ پرداخته شد.

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۷/۱۰

تاریخ داوری: ۱۳۹۹/۱۰/۱۳

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۱/۰۱

از دستگاه خود برای اسکن و خواندن مقاله به صورت آنلاین استفاده کنید



DOI:

10.30495/wej.2021.26173.2269

## واژه‌های کلیدی:

جریان‌های غلیظ، موانع نفوذپذیر، شار هد، مومنتم.

\* نویسنده مسئول: سید سعید اسلامیان

**نشانی:** گروه مهندسی عمران، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران و گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.

**تلفن:** ۰۹۱۳۱۱۵۷۵۵۴

**پست الکترونیکی:** saeid@iut.ac.ir

## مقدمه

در تحقیقی به بررسی رفتار جریان غلیظ پرداخت و برای این منظور متغیرهایی همچون غلظت و سرعت جریان غلیظ را مورد بررسی قرار داد. مشخص شد که عمق بدنه جریان غلیظ ۰/۳ تا ۰/۶ کل ارتفاع سیال شفاف در فلوم می‌باشد. (۱۹-۱۶) نیز به بررسی کارایی موانع بر کنترل جریان غلیظ پرداختند.

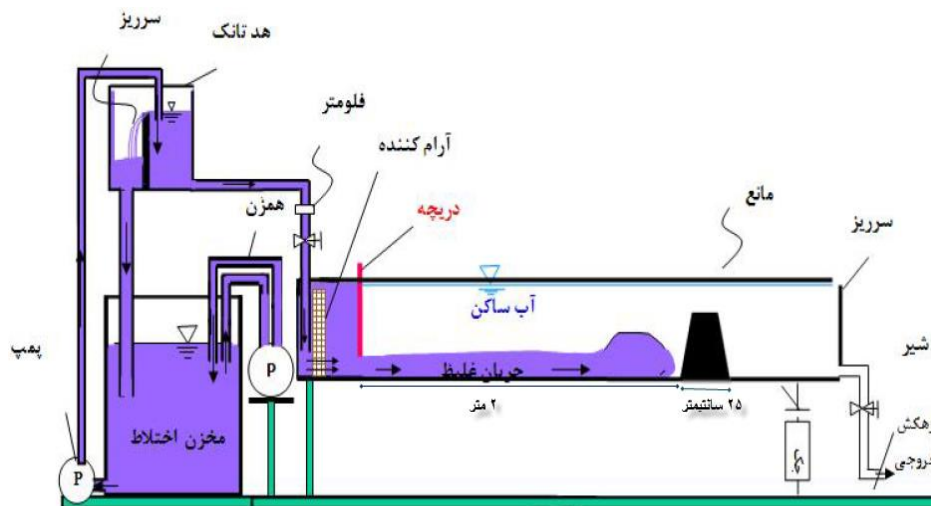
علت تمایل محققان به موانع نفوذپذیر بر این اساس می‌باشد که امکان ساخت مانع با استفاده از قلوه‌سنگ‌های موجود در اطراف سد با هزینه کم برای مهندسين در هنگام ساخت سد امکان‌پذیر می‌باشد اما همانطور که از مرور تحقیق‌های پیشین مشاهده شد، مطالعات اندکی در مورد تأثیر موانع نفوذپذیر بر کنترل جریان غلیظ انجام شده که بسیاری از آنها غیر قابل اجرایی بوده و بیشتر مناسب طرح‌های آزمایشگاهی می‌باشد. در این مطالعه از موانع نفوذپذیر با قابلیت اجرایی استفاده شده است، به این صورت که با استفاده از مش فلزی مواعنی به شکل دوزنقه ساخته و این موانع با دانه‌های شن با اندازه متوسط ۰/۵ سانتی‌متر پر شد علت استفاده از این ابعاد سنگ‌دانه، وجود قلوه‌سنگ‌هایی با ابعاد ۰/۵ متر در طبیعت بود و در صورت کارایی مناسب نتایج آزمایشگاهی، امکان استفاده از آنها در اجرا نیز می‌باشد در ضمن شیب‌بندی مناسب براساس ضوابط اجرایی برای ساخت کناره‌های مانع در نظر گرفته شد تا بتوان امکان ریزش سنگ‌دانه‌ها را نیز مورد ارزیابی قرار داد. براساس این طراحی تلاش شد تا به بررسی اثر موانع نفوذپذیر بر درصد کاهش شار هد جریان پرداخته شود که برای درک بهتر از کارایی آنها در شرایط مختلف برخی از پارامترهای مهم مانند غلظت، دبی ورودی، شیب و ارتفاع موانع نیز در نظر گرفته شده است.

## مواد و روش‌ها

این تحقیق در فلومی مستطیل شکل به طول ۷/۸ متر، عرض ۰/۳۵ متر و ارتفاع ۰/۷ متر که قابلیت تغییر شیب به میزان ۴ درصد را داشت انجام شد (شکل ۱). جداره‌های کناری این فلوم از جنس شیشه بود تا بتوان جریان را به راحتی رهگیری نمود. در بالادست این فلوم یک دریچه کشویی قرار داشت، این دریچه فلوم را به طور نابرابر تقسیم کرده که در بخش بالادست، سیال غلیظ ذخیره شده و در بخش پایین دست با سیال شفاف پر می‌شد همچنین در انتها فلوم سرریزی قرار داشت تا امکان تخلیه جریان اضافی مهیا شود. در مجاورت فلوم دو مخزن برای تهیه و ذخیره سیال غلیظ قرار داشت، مخزنی استوانه‌ای شکل به ظرفیت ۳ مترمکعب و مجهز به میکسر برای مخلوط کردن سیال غلیظ مورد استفاده قرار می‌گرفت، برای تهیه سیال غلیظ از نمک و پرمنگنات استفاده شد و پس از تهیه سیال مورد نظر توسط پمپ، سیال به هد تانک که در ارتفاع ۳ متری از کف زمین قرار داشت منتقل شده تا امکان ایجاد جریان با هد ثابت در تمام طول آزمایش مهیا شود. یک دی‌سنج الکترومغناطیسی با دقت یک‌هزارم لیتر در ثانیه نیز برای اندازه‌گیری دبی جریان منتقل شده از هد تانک به فلوم استفاده می‌شد.

جریان غلیظ به دلیل تأثیر نیروی جاذبه بر اختلاف چگالی بین دو سیال ایجاد می‌شو (۱)، در واقع منشأ شکل‌گیری بسیاری از دره‌های عمیق، به فرسایش خاک توسط جریان‌های کدر (که زیرمجموعه جریان‌های غلیظ می‌باشند) نسبت داده شده است (۲) همچنین این جریان‌ها در دره‌های زیردریایی به عنوان عوامل اصلی انتقال رسوب از مناطق کم-عمق به مناطق عمیق شناخته می‌شوند (۳). به دلیل ویژگی‌های فرسایشی و رسوبی جریان‌های کدر، این جریان‌ها دلیل اصلی مشکلات متعددی در مخازن مانند کاهش ظرفیت ذخیره‌سازی مخازن و انسداد دهانه‌های انتهایی می‌باشند (۴). چون امکان ایجاد جریان‌های کدر با سرعت‌های بالا در طبیعت وجود دارد، سالیانه خسارت‌های بسیاری بر تجهیزات نصب شده زیر آب ایجاد می‌شود (۵). با توجه به تأثیر این جریان‌ها در طبیعت، تحقیق‌های بسیار برای حل این مشکلات انجام شده که یکی از کاربردی‌ترین روش‌ها ایجاد تغییرات در توپوگرافی بستر می‌باشد، محققین برای این منظور مواعنی در مسیر این جریان‌ها (در مخازن سدها) قرار دادند، به دلیل اهمیت و کارایی وجود مانع در مسیر جریان‌های کدر، برخی از مطالعات آزمایشگاهی ساختار و رفتار این جریان‌ها را هنگام عبور از موانع مورد بررسی قرار داده‌اند، نتایج نشان داد که ایجاد مانع باعث تجمع ذرات معلق در بالادست آن شده که سبب افزایش طول عمر مخازن می‌شود (۶). اثرات موانع نفوذپذیر ژئوتکتستیل را بر جریان کدر مورد بررسی قرار داد، با تجزیه و تحلیل نتایج آزمایشگاهی و عددی مشخص شد که این موانع می‌توانند حرکت جریان‌های کدر را به میزان قابل توجهی کاهش دهند.

(۸) در تحقیق آزمایشگاهی به بررسی عملکرد صفحات مستغرق در کنترل و حذف رسوب آبگیرهای منشعب از کانال‌های آبیاری پرداخت. (۹) به بررسی تأثیر هندسه زبری بر غلظت هد جریان غلیظ پرداخت. (۱۰) در تحقیق آزمایشگاهی با تعداد تست‌های زیاد به بررسی اثر ارتفاع‌های مانع و عدد فرود متفاوت ورودی بر جریان غلیظ پرداخت، با بررسی داده‌ها متوجه شدند که جریان غلیظ با عدد فرود ورودی کمتر، سریع‌تر نسبت به جریان غلیظ با عدد فرود بیشتر نسبت به وجود مانع واکنش نشان می‌دهد. (۱۱) در مطالعه‌ای آزمایشگاهی به بررسی دبی، غلظت، شیب و ارتفاع موانع بر جریان غلیظ پرداخت، نتایج نشان داد که افزایش ارتفاع موانع سبب کنترل بهتر جریان غلیظ می‌شود. (۱۲) در طرحی آزمایشگاهی به بررسی تأثیر زبری بر میزان اختلاط بین سیال شفاف و غلیظ در مرز دو سیال پرداخت. نتایج نشان داد که افزایش ارتفاع زبری کف تأثیر چندانی در ایجاد اختلاط در مرز دو سیال ندارد. (۱۳) در طرحی آزمایشگاهی به بررسی دو پارامتر زبری مصنوعی و تغییر ناگهانی در شیب بستر بر جریان کدر پرداخت. نتایج نشان داد که زبری مصنوعی نصب شده در بستر بر سرعت هد جریان کدر بسیار موثر می‌باشد. (۱۴) به بررسی اثر چند متغیر همچون تخلخل، زاویه نصب و ضخامت (بعد) موانع نفوذپذیر بر رفتار جریان غلیظ پرداختند. آنها بیان کردند که افزایش زاویه نصب سبب کاهش کارایی موانع می‌شود. (۱۵)

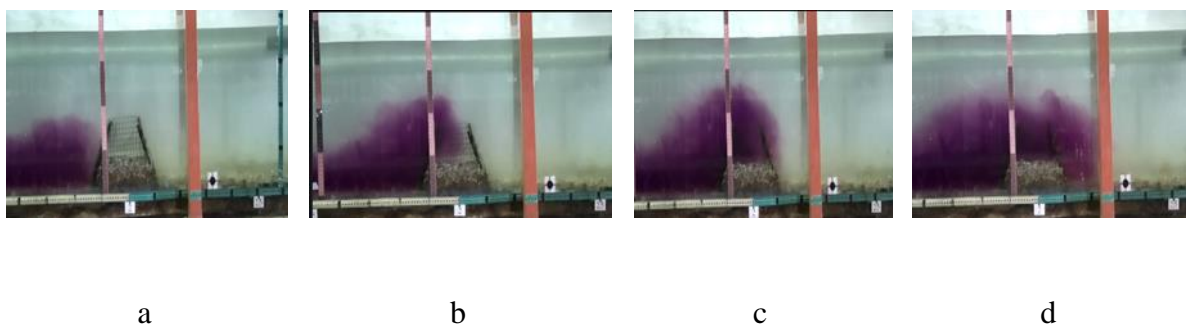


شکل ۱- شمای فلوم آزمایشگاهی (۲۰).

به ترتیب در فواصل  $1/5$  و  $2/5$  متری از دریچه ورودی نصب شدند. هر سیفون با ۱۴ نازل ورودی در مرکز محور عرضی فلوم قرار داده شد، به طوری که مرکز اولین ورودی نازل سدهدم سانتی متر بالاتر از بستر و فاصله بین نازلها یکونیم سانتی متر بود. قطر بیرونی لوله‌های مسی سیفون‌ها پنج میلی متر و قطر داخلی آنها سه میلی متر بود. غلظت نمک نمونه‌های جمع‌آوری شده با استفاده از ECسنج با دقت یکدهم میکروگرم بر سانتی متر اندازه گیری و ثبت می‌شد. روند حرکت جریان غلیظ برای تعیین سرعت و ارتفاع هد در تمامی آزمایش‌ها با دوربین دیجیتال فیلم برداری می‌شد. با باز شدن دریچه کشویی ورودی، به دلیل اختلاف چگالی بین آب شفاف و سیال غلیظ، جریان غلیظ تشکیل شده و به پایین دست فلوم حرکت می‌کرد. هنگامی که جریان غلیظ به اولین مانع می‌رسید (شکل ۲a)، کمی بالا رفته و سرعت هد کاهش می‌یافت (شکل ۲b) و اطراف مانع بصورت ابری شکل پر شده و سپس جریان مانع را با سرعت کمتر طی می‌نمود (شکل ۲c, d). به دلیل تنوع پارامترهای مورد بررسی در جدول (۱) به معرفی و نام‌گذاری آنها پرداخته شده است.

هنگامی هم ارتفاعی سیال در دو طرف دریچه به ارتفاع ۵۰ سانتی متر، دریچه به یکباره (برای ممانعت از خطای احتمالی) به اندازه ۱۰ سانتی متر باز شده و جریان غلیظ ایجاد می‌شد. حرکت این جریان در ابتدا با آشفتگی بسیار همراه بود اما بعد از طی فاصله یک متری از دریچه، روند ثابتی در شکل هد و بدنه جریان مشاهده شد. مانع در فاصله ۲ متری از دریچه با استفاده از مش فلزی به عرض ۲۵ سانتی متر و ارتفاع متغیر ساخته شد به گونه‌ای که عرض فلوم کاملاً پر شده و از عبور جریان از اطراف مانع جلوگیری شود. درون مانع با ذرات شن با قطر نیم سانتی متر پر شده و برای جلوگیری از ریزش ذرات، شیب دیوارها یک‌به‌یک در نظر گرفته شد. ۷۲ آزمایش جریان غلیظ نمکی با بررسی پارامترهای مختلفی از جمله غلظت (۲۰ و ۲۵ گرم برلیتر)، تغییرات شیب (نیم، یک و یکونیم درصد) و دبی (هفت‌دهم، یک‌ودو دهم، یک‌وهفت‌دهم لیتر در ثانیه) انجام شد. ۱۸ آزمایش بدون مانع (برای تعیین بدنه جریان) و ۵۴ آزمایش با مانع (با ارتفاع یک، یکونیم و دو برابر ارتفاع بدنه جریان غلیظ) انجام شد. حالت جریان در کلیه آزمایش‌ها به صورت زیربحرانی بود.

از دو سیفون برای اندازه گیری غلظت هد و بدنه جریان غلیظ در ارتفاع‌های مختلف استفاده شد. این سیفون‌ها قبل و بعد از مانع



شکل ۲- نمای جریان غلیظ (a-d) حرکت هد جریان غلیظ از روی مانع نفوذپذیر.

جدول ۱- معرفی پارامترهای مختلف اندازه گیری شده.

دبی (لیتر بر ثانیه)			غلظت (گرم بر لیتر)		شیب کف (درصد)			ارتفاع مانع (سانتی متر)		
Q <sub>1</sub>	Q <sub>2</sub>	Q <sub>3</sub>	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>	H <sub>1</sub>	H <sub>1.5</sub>	H <sub>2</sub>
۰/۷	۱/۲	۱/۷	۲۰	۲۵	۰/۵	۱	۱/۵	برابر ارتفاع بدنه جریان غلیظ	یکونیم برابر ارتفاع بدنه جریان غلیظ	دو برابر ارتفاع بدنه جریان غلیظ

## تحلیل ابعادی

با بررسی و مطالعه هد جریان غلیظ، پارامترهای موثر بر این جریان مشخص شدند که عبارتند از:  $q$  دبی ورودی  $(\frac{m^3}{s})$ ،  $q_{in}$  شار هد جریان قبل از مانع  $(\frac{m^3}{s})$ ،  $(q_{in}-q_{out})$  تغییر شار هد جریان در مسیر  $(\frac{kg}{m^3})$ ،  $C$  غلظت ورودی  $(\frac{kg}{m^3})$ ،  $C_f$  غلظت هد قبل از مانع  $(\frac{kg}{m^3})$ ،  $H$  ارتفاع مانع  $(m)$ ،  $h$  ارتفاع بدنه جریان غلیظ  $(m)$ ،  $d$  قطر سنگدانه‌ها  $(m)$ ،  $n$  تخلخل،  $g'$  شتاب ثقل کاهش یافته  $(\frac{m}{s^2})$  و  $S$  شیب کف کانال می‌باشد.

برای انجام آنالیز ابعادی روش‌های مختلفی تعریف شده‌اند که روش پی باینرگهام مرسوم‌تر می‌باشد، که با استفاده از این روش و با در نظر گرفتن  $h$ ،  $c$  و  $q_{in}$  به عنوان پارامترهای تکراری، پارامترهای بی‌بعد محاسبه شدند.

$$\left[ \frac{q_{in}-q_{out}}{q_{in}}, \frac{h_f^3 g}{q_{in}^2}, \frac{q}{q_{in}}, \frac{H}{h}, \frac{d}{h}, \frac{c}{h}, \frac{S}{c_f}, n \right] = 0 \quad (3)$$

در رابطه (۳) درصد کاهش شار هد جریان غلیظ و عدد فرود ورودی بدست آمد و بر این اساس رابطه (۴) ارایه شد.

$$Te = \frac{(q_{in}-q_{out})}{q_{in}} = f \left( Fr, \frac{q}{q_{in}}, \frac{H}{h}, \frac{d}{h}, \frac{c}{c_f}, S, n \right) \quad (4)$$

در رابطه (۴)  $Te$  درصد کاهش شار هد جریان غلیظ و  $q_{out}$  شار هد بعد از مانع در واحد عرض  $(\frac{m^3}{s})$  می‌باشد. در این مقاله چون قطر

سنگدانه‌ها و تخلخل موانع ثابت بوده و بازه عدد فرود بسیار نزدیک به هم می‌باشند از تحلیل آنها صرف نظر شده و به بررسی پارامترهای موثر همچون شیب، نسبت ارتفاع، نسبت غلظت و نسبت دبی  $(S, \frac{H}{h}, \frac{q}{q_{in}}, \frac{c}{c_f})$  بر شار هد جریان غلیظ پرداخته شد.

$$Te = \frac{(q_{in}-q_{out})}{q_{in}} = f \left( \frac{H}{h}, \frac{q}{q_{in}}, \frac{c}{c_f}, S \right) \quad (5)$$

## شار جریان

جریان غلیظ از سه بخش هد، بدنه و نقطه غوطه‌وری تشکیل شده است. محققین با بررسی سرعت و توزیع غلظت این جریان‌ها متوجه شدند که رسوبات به طور عمده توسط هد جریان غلیظ حرکت کرده در اطراف دیواره سد رسوب‌گذاری انجام می‌شود (۶). برای درک بهتر این جریان‌ها، چگالی و شتاب گرانشی موثر بر جریان‌های غلیظ براساس روابط (۶) و (۷) ارائه شده است:

$$\rho_t = \rho_a + (\rho_s - \rho_a) C_s \quad (6)$$

$$g = g \frac{(\rho_t - \rho_a)}{\rho_a} = g \frac{\Delta \rho}{\rho_a} = g C_s \frac{(\rho_s - \rho_w)}{\rho_w} \quad (7)$$

در روابط (۶) و (۷)،  $C_s$  متوسط غلظت حجمی رسوبات غیرچسبیده  $(\frac{kg}{m^3})$ ،  $\rho_t$  چگالی متوسط جریان غلیظ  $(\frac{kg}{m^3})$ ،  $\rho_a$  چگالی سیال پیرامون  $(\frac{kg}{m^3})$ ،  $\rho_s$  چگالی ذرات غیرچسبیده  $(\frac{kg}{m^3})$ ،  $\rho_w$  چگالی آب  $(\frac{kg}{m^3})$  و  $g'$  شتاب گرانشی موثر  $(\frac{m}{s^2})$  است.

توجه محققین در این مطالعه بر روی هد جریان‌های غلیظ (به عنوان اصلی‌ترین عامل تأثیرگذار در جابه‌جایی رسوبات) بوده است. در مطالعه جریان‌های غلیظ چندین پارامتر تأثیرگذار می‌باشند و با استفاده از شار هد امکان بررسی اثر تمامی پارامترها میسر می‌شود. برای این منظور از معادله (۸) استفاده شده است:

$$q = C_f U_f h_f \quad (8)$$

در معادله (۸)  $q$  شار هد در واحد عرض  $(\frac{cm^2}{s})$ ،  $C_f$  غلظت هد  $(\frac{gr}{cm^3})$ ،  $U_f$  سرعت هد  $(\frac{cm}{s})$  و  $h_f$  ارتفاع هد جریان  $(cm)$  است. با محاسبه مقادیر شار جریان قبل و بعد از مانع، امکان اندازه‌گیری درصد کاهش شار هد جریان غلیظ ( $Te$ ) میسر شد.

$$Te = \frac{(q_{in} - q_{out})}{q_{in}} * 100 \quad (9)$$

## نتایج

با استفاده از روابط (۸) و (۹) مقادیر شار هد بدست آمده و درصد کاهش شار محاسبه و در جدول (۲) ارائه شده است.

جدول ۲- مقادیر درصد کاهش شار هد جریان غلیظ.

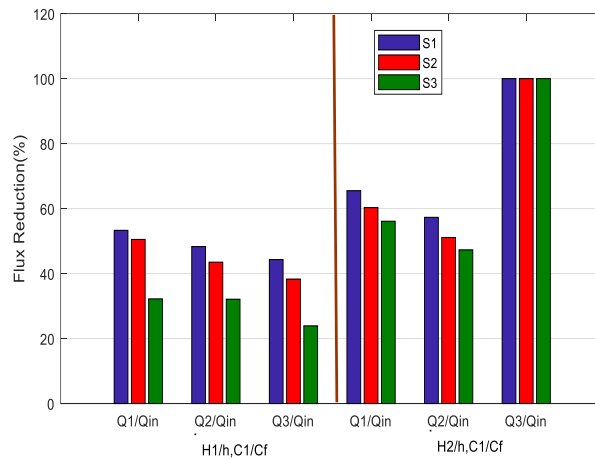
ارتفاع مانع	شیب (درصد)	آزمایش	غلظت (گرم بر لیتر)	دبی (لیتر بر ثانیه)	درصد کاهش شار
$\frac{H_1}{h}=1$	S <sub>1</sub>	۱	C <sub>1</sub> /C <sub>f</sub>	Q <sub>1</sub> /Q <sub>in</sub>	۵۳/۳
		۲	C <sub>1</sub> /C <sub>f</sub>	Q <sub>2</sub> /Q <sub>in</sub>	۵۰/۵
		۳	C <sub>1</sub> /C <sub>f</sub>	Q <sub>3</sub> /Q <sub>in</sub>	۳۲/۲
		۴	C <sub>2</sub> /C <sub>f</sub>	Q <sub>1</sub> /Q <sub>in</sub>	۴۸/۳
		۵	C <sub>2</sub> /C <sub>f</sub>	Q <sub>2</sub> /Q <sub>in</sub>	۴۲/۱
	S <sub>2</sub>	۶	C <sub>2</sub> /C <sub>f</sub>	Q <sub>3</sub> /Q <sub>in</sub>	۳۰/۳
		۷	C <sub>1</sub> /C <sub>f</sub>	Q <sub>1</sub> /Q <sub>in</sub>	۴۸/۳
		۸	C <sub>1</sub> /C <sub>f</sub>	Q <sub>2</sub> /Q <sub>in</sub>	۴۳/۵
		۹	C <sub>1</sub> /C <sub>f</sub>	Q <sub>3</sub> /Q <sub>in</sub>	۳۲/۱
		۱۰	C <sub>2</sub> /C <sub>f</sub>	Q <sub>1</sub> /Q <sub>in</sub>	۴۵/۳
	S <sub>3</sub>	۱۱	C <sub>2</sub> /C <sub>f</sub>	Q <sub>2</sub> /Q <sub>in</sub>	۳۹/۳
		۱۲	C <sub>2</sub> /C <sub>f</sub>	Q <sub>3</sub> /Q <sub>in</sub>	۳۷/۱
		۱۳	C <sub>1</sub> /C <sub>f</sub>	Q <sub>1</sub> /Q <sub>in</sub>	۴۴/۳
		۱۴	C <sub>1</sub> /C <sub>f</sub>	Q <sub>2</sub> /Q <sub>in</sub>	۳۸/۳
		۱۵	C <sub>1</sub> /C <sub>f</sub>	Q <sub>3</sub> /Q <sub>in</sub>	۲۳/۹
$\frac{H_{1.5}}{h}=1.5$	S <sub>1</sub>	۱۶	C <sub>2</sub> /C <sub>f</sub>	Q <sub>1</sub> /Q <sub>in</sub>	۳۹/۶
		۱۷	C <sub>2</sub> /C <sub>f</sub>	Q <sub>2</sub> /Q <sub>in</sub>	۲۳/۶
		۱۸	C <sub>2</sub> /C <sub>f</sub>	Q <sub>3</sub> /Q <sub>in</sub>	۲۱/۹
		۱۹	C <sub>1</sub> /C <sub>f</sub>	Q <sub>1</sub> /Q <sub>in</sub>	۶۶/۸
		۲۰	C <sub>1</sub> /C <sub>f</sub>	Q <sub>2</sub> /Q <sub>in</sub>	۶۱/۱
	S <sub>2</sub>	۲۱	C <sub>1</sub> /C <sub>f</sub>	Q <sub>3</sub> /Q <sub>in</sub>	۵۰/۹
		۲۲	C <sub>2</sub> /C <sub>f</sub>	Q <sub>1</sub> /Q <sub>in</sub>	۶۵/۱
		۲۳	C <sub>2</sub> /C <sub>f</sub>	Q <sub>2</sub> /Q <sub>in</sub>	۵۸/۳
		۲۴	C <sub>2</sub> /C <sub>f</sub>	Q <sub>3</sub> /Q <sub>in</sub>	۴۵/۴
		۲۵	C <sub>1</sub> /C <sub>f</sub>	Q <sub>1</sub> /Q <sub>in</sub>	۶۰/۱
	S <sub>3</sub>	۲۶	C <sub>1</sub> /C <sub>f</sub>	Q <sub>2</sub> /Q <sub>in</sub>	۵۷/۳
		۲۷	C <sub>1</sub> /C <sub>f</sub>	Q <sub>3</sub> /Q <sub>in</sub>	۴۶/۸
		۲۸	C <sub>2</sub> /C <sub>f</sub>	Q <sub>1</sub> /Q <sub>in</sub>	۵۸/۸
		۲۹	C <sub>2</sub> /C <sub>f</sub>	Q <sub>2</sub> /Q <sub>in</sub>	۵۳/۵
		۳۰	C <sub>2</sub> /C <sub>f</sub>	Q <sub>3</sub> /Q <sub>in</sub>	۴۱/۶
$\frac{H_2}{h}=2$	S <sub>1</sub>	۳۱	C <sub>1</sub> /C <sub>f</sub>	Q <sub>1</sub> /Q <sub>in</sub>	۵۶/۲
		۳۲	C <sub>1</sub> /C <sub>f</sub>	Q <sub>2</sub> /Q <sub>in</sub>	۵۲/۳
		۳۳	C <sub>1</sub> /C <sub>f</sub>	Q <sub>3</sub> /Q <sub>in</sub>	۳۹/۷
		۳۴	C <sub>2</sub> /C <sub>f</sub>	Q <sub>1</sub> /Q <sub>in</sub>	۵۳/۳
		۳۵	C <sub>2</sub> /C <sub>f</sub>	Q <sub>2</sub> /Q <sub>in</sub>	۴۴/۲
	S <sub>2</sub>	۳۶	C <sub>2</sub> /C <sub>f</sub>	Q <sub>3</sub> /Q <sub>in</sub>	۳۶/۶
		۳۷	C <sub>1</sub> /C <sub>f</sub>	Q <sub>1</sub> /Q <sub>in</sub>	۶۵/۵
		۳۸	C <sub>1</sub> /C <sub>f</sub>	Q <sub>2</sub> /Q <sub>in</sub>	۶۰/۳
		۳۹	C <sub>1</sub> /C <sub>f</sub>	Q <sub>3</sub> /Q <sub>in</sub>	۵۶/۱
		۴۰	C <sub>2</sub> /C <sub>f</sub>	Q <sub>1</sub> /Q <sub>in</sub>	۱۰۰
	S <sub>3</sub>	۴۱	C <sub>2</sub> /C <sub>f</sub>	Q <sub>2</sub> /Q <sub>in</sub>	۱۰۰
		۴۲	C <sub>2</sub> /C <sub>f</sub>	Q <sub>3</sub> /Q <sub>in</sub>	۱۰۰
		۴۳	C <sub>1</sub> /C <sub>f</sub>	Q <sub>1</sub> /Q <sub>in</sub>	۵۷/۳
		۴۴	C <sub>1</sub> /C <sub>f</sub>	Q <sub>2</sub> /Q <sub>in</sub>	۵۱/۱
		۴۵	C <sub>1</sub> /C <sub>f</sub>	Q <sub>3</sub> /Q <sub>in</sub>	۴۷/۳
S <sub>1</sub>	۴۶	C <sub>2</sub> /C <sub>f</sub>	Q <sub>1</sub> /Q <sub>in</sub>	۱۰۰	
	۴۷	C <sub>2</sub> /C <sub>f</sub>	Q <sub>2</sub> /Q <sub>in</sub>	۱۰۰	
	۴۸	C <sub>2</sub> /C <sub>f</sub>	Q <sub>3</sub> /Q <sub>in</sub>	۱۰۰	
	۴۹	C <sub>1</sub> /C <sub>f</sub>	Q <sub>1</sub> /Q <sub>in</sub>	۱۰۰	
	۵۰	C <sub>1</sub> /C <sub>f</sub>	Q <sub>2</sub> /Q <sub>in</sub>	۱۰۰	
	۵۱	C <sub>1</sub> /C <sub>f</sub>	Q <sub>3</sub> /Q <sub>in</sub>	۱۰۰	
	۵۲	C <sub>2</sub> /C <sub>f</sub>	Q <sub>1</sub> /Q <sub>in</sub>	۱۰۰	
	۵۳	C <sub>2</sub> /C <sub>f</sub>	Q <sub>2</sub> /Q <sub>in</sub>	۱۰۰	
	۵۴	C <sub>2</sub> /C <sub>f</sub>	Q <sub>3</sub> /Q <sub>in</sub>	۱۰۰	



### اثر ارتفاع موانع

با توجه به اهمیت تغییرات ارتفاع موانع بر جریان غلیظ عبوری، روند این تغییرات در شکل (۳) ارائه شده است. همان طور که در شکل (۳) نشان داده شده، افزایش ارتفاع مانع نفوذپذیر سبب کنترل بهتر هد جریان غلیظ می شود. با بررسی جدول (۲) مشخص شد که نرخ کاهش شار هد برای مانع با نسبت بی بعد ارتفاع یک بین  $21/9$  تا  $53/3$  و برای نسبت بی بعد ارتفاع یک و نیم بین  $36/6$  تا  $66/8$  و برای نسبت بی بعد

ارتفاع دو بین  $47/3$  تا  $100$  می باشد که روند بهبود کارایی موانع با افزایش ارتفاع در شکل (۳) بخوبی نشان داده شده است. تاثیر مانع با نسبت بی بعد ارتفاع یک و یک و نیم نسبتا خوب و نزدیک بهم می باشد اما در حالت مانع با نسبت بی بعد ارتفاع دو تاثیر بسیار چشم گیر بوده و در بیشتر آزمایش ها کنترل کامل صورت گرفته شده است. در واقع مانع با نسبت بی بعد ارتفاع ۲ روندی متفاوت با نسبت بی بعد ارتفاع ۱ و ۱.۵ داشته و به همین دلیل در بخش های بعد نیز متغیرها به صورت مجزا و در ارتفاع های مختلف مورد ارزیابی قرار گرفته است.

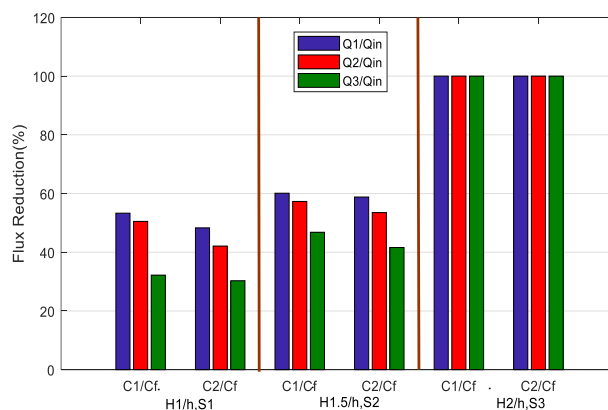


شکل ۳- تاثیر ارتفاع موانع بر جریان غلیظ

ضعیف تر می باشد شدت برخورد جریان به مانع کمتر بوده و اغتشاش زیادی رخ نمی دهد به همین دلیل جریان شکل خود را حفظ کرده و بخشی از آن از روی مانع عبور می کند اما در آزمایش ها با نسبت بی بعد غلظت زیاد  $(\frac{C_2}{C_f})$  هنگام برخورد هد با مانع اغتشاش بیشتری ایجاد شده که همین امر سبب بهم خوردن شکل جریان و کنترل چشمگیر هد جریان شده است. نرخ تاثیر افزایش نسبت غلظت هد به ترتیب برای موانع با نسبت بی بعد ارتفاع ۱ در حدود ۴۱ و ۳۶ بوده و برای موانع با نسبت بی بعد ارتفاع ۱/۵ در حدود ۵۵ و ۵۱ و برای موانع با نسبت بی بعد ارتفاع ۲ در حدود ۷۱ و ۱۰۰ بوده است. همان طور که مشخص است افزایش غلظت کارایی موانع را کاهش داده بجز در حالت  $(\frac{h_2}{H})$  که افزایش غلظت سبب بهبود کارایی موانع شده است.

### تاثیر غلظت جریان ورودی

غلظت جریان ورودی یک پارامتر موثر بر عملکرد موانع می باشد، براین اساس در این تحقیق از غلظت های ۲۰ و ۲۵ گرم در لیتر استفاده شد. تاثیر نسبت بی بعد غلظت  $(\frac{C}{C_f})$  بر رفتار جریان غلیظ برای شیب ها، ارتفاع مانع و دبی های ورودی مختلف در شکل (۴) نشان داده شده است. افزایش نسبت بی بعد غلظت ورودی سبب افزایش سرعت و کاهش ارتفاع هد جریان می شود، در واقع با افزایش نسبت بی بعد غلظت، مومنتم جریان افزایش پیدا کرده و هنگام برخورد هد به موانع با نسبت بی بعد ارتفاع ۱ و ۱/۵ اغتشاش ایجاد شده و بخش زیادی از جریان به یکباره از بالای مانع عبور می کند اما برای مانع با نسبت بی بعد ارتفاع ۲ و برای نسبت بی بعد غلظت کم  $(\frac{C_1}{C_f})$  چون مومنتم



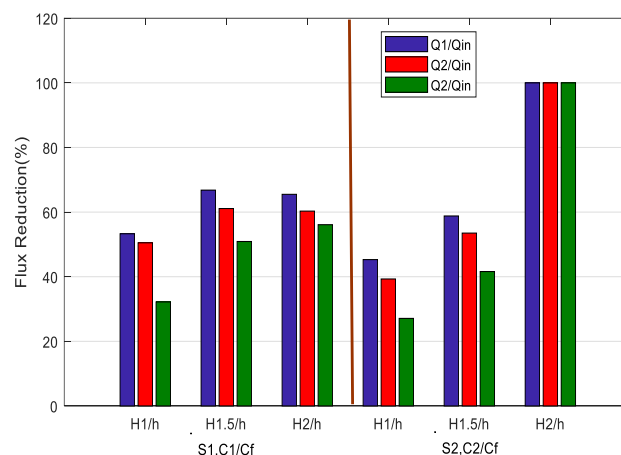
شکل ۴- تاثیر غلظت ورودی بر جریان غلیظ.

## اثر دبی ورودی

شد که در نسبت‌های بی‌بعد دبی کم  $\left(\frac{Q_1}{Q_{in}}, \frac{Q_2}{Q_{in}}\right)$  میزان کنترل جریان توسط موانع اختلاف چندانی نداشته اما در نسبت بی‌بعد دبی زیاد  $\left(\frac{Q_3}{Q_{in}}\right)$  به دلیل افزایش زیاد مومنتم شدت برخورد جریان با موانع افزایش یافته و بخش زیادی از جریان از روی موانع عبور می‌کند که این روند با افزایش ارتفاع موانع کاهش یافته و در بیشتر آزمایش‌های نسبت بی‌بعد ارتفاع ۲ کنترل کامل جریان صورت گرفته است. با بررسی تغییرات دبی در تمامی آزمایش‌ها مشخص شد که نرخ متوسط تاثیر نسبت بی‌بعد دبی  $\left(\frac{Q_1}{Q_{in}}\right)$  بر شار هد جریان ۶۵ درصد، برای  $\left(\frac{Q_2}{Q_{in}}\right)$  این مقدار ۶۰ بوده و برای  $\left(\frac{Q_3}{Q_{in}}\right)$  به ۵۲ کاهش یافته است.

همانطور که مطالعه‌های سایر محققان نشان داد، دبی ورودی یکی از عوامل تاثیرگذار بر رفتار جریان‌های غلیظ است بنابراین در این بخش تاثیر این پارامتر بر عملکرد موانع مورد بررسی قرار گرفته و میزان تاثیر تغییرات نسبت بی‌بعد دبی ورودی بر رفتار جریان غلیظ در شکل (۵) نشان داده شده است.

طبق جدول (۲) مشخص شد که نسبت بی‌بعد دبی ورودی بر کارایی موانع بسیار تاثیرگذار بوده و افزایش این پارامتر باعث افزایش مومنتم و کاهش کارایی موانع می‌شود که میزان اثرگذاری این پارامتر بیشتر از دو پارامتر شیب و غلظت می‌باشد. شکل (۵) با بررسی نتایج مشخص

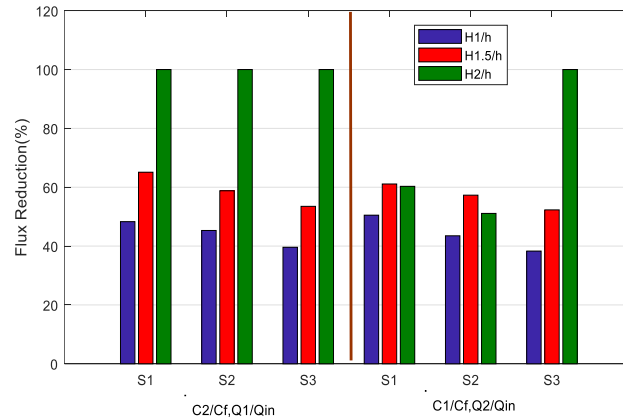


شکل ۵- اثر دبی ورودی بر جریان غلیظ.

با بررسی دقیق نتایج ارائه شده مشخص شد که سه پارامتر موثر بر مومنتم (شیب، غلظت و دبی) به تنهایی کارایی موانع را اندکی کاهش می‌دهند اما افزایش دو یا سه پارامتر بیان شده سبب کاهش بسیار زیاد کارایی موانع می‌شود به عنوان مثال با افزایش شیب در آزمایش‌های (۱، ۷) کارایی موانع ۵ درصد کاهش یافته اما با افزایش شیب و دبی در آزمایش‌های (۱، ۸) کارایی موانع ۱۰ درصد کاهش یافته و افزایش هم‌زمان شیب، دبی و غلظت در آزمایش‌های (۱، ۱۸) درصد کاهش ۳۲ درصد شده است که نشان از تاثیر بسیار بالای هم‌زمانی این سه پارامتر بر مومنتم جریان و کاهش کارایی موانع دارد. تنها تفاوت مربوط به مانع  $\left(\frac{h}{H}\right)$  بوده و زمانی که مومنتم بسیار زیاد می‌شود چون در این حالت هنگام برخورد هد به مانع اغتشاش بسیار زیاد رخ داده و شکل هد که عامل اصلی حرکت جریان می‌باشد بهم خورده و از سوی دیگر به دلیل ارتفاع زیاد مانع نیز امکان ایجاد پرش و عبور جریان از بخش فوقانی مانع نیز نمی‌باشد، در نتیجه در بسیاری از آزمایش‌ها کنترل کامل مشاهده شده است.

## تأثیر شیب کف کانال

در این بخش به منظور بررسی دقیق‌تر تاثیر موانع نفوذپذیر بر کنترل جریان غلیظ، اثر شیب بستر مورد بررسی قرار گرفته است. طبق شکل (۶) مشاهده می‌شود که افزایش شیب بستر سبب کاهش کارایی موانع می‌شود. افزایش شیب همچون دبی و غلظت از پارامترهایی است که سبب افزایش مومنتم جریان می‌شود که این افزایش مومنتم سبب ایجاد روندی مشابه در بخش‌های قبل شده که کارایی موانع را در نسبت ارتفاع‌های کم  $\left(\frac{h}{H}, \frac{h}{H}, \frac{h}{H}\right)$  کاهش و در نسبت بی‌بعد ارتفاع زیاد  $\left(\frac{h}{H}, \frac{h}{H}, \frac{h}{H}\right)$  تاثیر چندانی بر کارایی موانع نداشته است. نرخ کنترل شار هد جریان با افزایش شیب (برای سه شیب) در نسبت بی‌بعد ارتفاع یک به ترتیب ۴۳، ۴۰ و ۳۲ بوده و در نسبت بی‌بعد ارتفاع یک‌ونیم به ترتیب ۵۷، ۵۳ و ۴۸ بوده و در نسبت بی‌بعد ارتفاع دو به ترتیب ۸۰، ۷۵ و ۱۰۰ بوده که کاملاً مشخص است افزایش شیب تاثیر کاهشی داشته اما در مانع  $\left(\frac{h}{H}\right)$  افزایش شیب به بهبود کارایی موانع کمک کرده است.



شکل ۶- تأثیر شیب کف بر جریان غلیظ.

با بررسی‌های انجام شده مشخص شد که کارکرد موانع نفوذپذیر بهتر از سایر موانع و یا زبری کف می‌باشد، همچنین نتایج در مطالعه‌های مختلف تطابق بسیار نزدیکی بین موانع نفوذپذیر را نشان می‌دهد فقط کنترل کامل در تحقیق اصغری‌پری با موانع نفوذپذیر مشاهده شده است که دلیل آن استفاده از موانعی با ارتفاعی بیشتر از سایر تحقیق‌ها بوده است.

### مقایسه موانع مورد استفاده در طرح‌های مختلف

با بررسی جدول (۲) و نتایج بدست آمده مشخص شد که در تمامی ارتفاع‌ها به طور میانگین موانع نفوذپذیر دوزنقه‌ای قادر به کنترل هد جریان غلیظ در حدود ۵۹ درصد بوده اما در موانع با نسبت ارتفاع دو که عملکرد بسیار بهتر شده میزان متوسط کنترل هد جریان در حدود ۸۶ درصد بوده که بسیار چشم‌گیر می‌باشد. برای درک کارایی این موانع، نتایج حاصله با نتایج سایر محققان در جدول (۳) مورد بررسی قرار گرفته است.

جدول ۳- مقایسه نتایج درصد کاهش هد جریان غلیظ با سایر محققان.

تحقیق	سال ارایه	شرایط آزمایش	درصد کنترل جریان غلیظ
(۲۱)	۱۳۹۷	زبری و مانع	۸۱
(۲۲)	۱۳۹۶	مانع (پلکان) نفوذپذیر	۸۵
(۲۳)	۱۳۹۵	صفحات نفوذپذیر	۷۳
(۲۴)	۱۳۹۵	موانع گابیونی (نفوذپذیر)	۷۸.۸
(۲۵)	۱۳۹۴	موانع ستونی شکل	۶۰
(۲۰)	۲۰۱۰	موانع نفوذپذیر	۱۰۰
تحقیق حاضر	۱۳۹۹	موانع نفوذپذیر دوزنقه‌ای شکل	۸۶

حاصل شدند. در شکل (۷) صحت‌سنجی مدل خطی با ۲۰ درصد داده‌ها ارایه شده است. مقدار جذر میانگین مربعات خطا در این روش برای داده‌های صحت‌سنجی ۰.۱۶۴۵ و مقدار ضریب همبستگی داده‌ها ۰.۸۰۸۵۲ بوده که نزدیک به ۱ می‌باشد و نشان از کارایی مناسب این مدل دارد.

یکی از مدل‌های غیرخطی پرکاربرد در برازش داده‌ها مدل چند جمله‌ای بوده و در تحقیق‌های مهمی از جمله (20) نیز برای برازش داده‌های آزمایشگاهی هد جریان مورد استفاده قرار گرفته است. فرم کلی این مدل در رابطه (۱۰) ارایه شده است.

$$Te = a_0 + a_1 \left(\frac{H}{h}\right)^{a_2} + a_3 \left(\frac{C_0}{C_f}\right)^{a_4} + a_5 \left(\frac{q_0}{q_{in}}\right)^{a_6} + a_7 (s)^{a_8} \quad (10)$$

### برازش داده‌های هد جریان غلیظ

در این بخش به برازش خطی و غیر خطی داده‌ها پرداخته شده است. براین اساس از ۸۰ درصد داده‌های به دست آمده در این تحقیق برای واسنجی و از ۲۰ درصد باقی‌مانده جهت صحت‌سنجی استفاده شده است. فرم کلی مدل خطی درصد کاهش هد جریان غلیظ بر اساس ورودی‌های متناظر در رابطه (۹) ارایه شده است.

$$Te = a_0 + a_1 \frac{H}{h} + a_2 \frac{C_0}{C_f} + a_3 \frac{q_0}{q_{in}} + a_4 s \quad (9)$$

برازش داده‌های آزمایشی به روش حداقل مربعات خطا انجام شده است، این روش از موثرترین و مرسوم‌ترین روش‌های برازش خطی می‌باشد. ضرایب مدل خطی به صورت

$$a_0 = 0.1645, a_1 = 1.0472, a_2 = -0.0826, a_3 = 0.1955, a_4 = -0.2783$$

$$\text{cost} = \sqrt{\sum_{i=1}^n e_i^2} \quad (12)$$

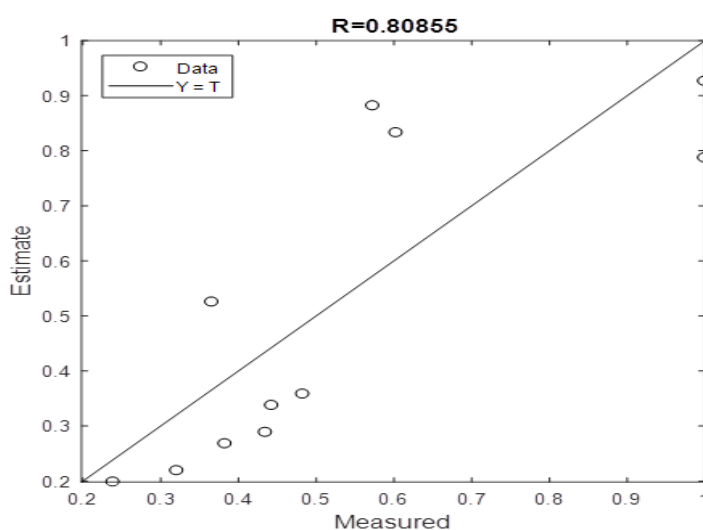
که  $n$  بیان کننده تعداد داده‌های موجود می‌باشد. بر این اساس با استفاده از تابع هزینه مذکور در بهینه سازی ضرایب، مدل مورد نظر بدست می‌آید. ضرایب مدل غیرخطی با استفاده از الگوریتم بهینه سازی ژنتیک به صورت زیر تعیین می‌شود. در شکل (۸) نتایج صحت‌سنجی مدل پیشنهادی و ضرایب بدست آمده با استفاده از ۲۰ درصد داده‌ها نشان داده شده است.

تعیین ضرایب در روش غیرخطی چندان آسان نبوده و امکان استفاده از روش حداقل مربعات خطا نمی‌باشد. یکی از روش‌های موثر در تخمین ضرایب مدل غیرخطی روش‌های مبتنی بر بهینه سازی می‌باشد. به این منظور در این بخش از روش بهینه‌سازی هوشمند ژنتیک جهت تعیین ضرایب استفاده شده است. مقدار خطای برازش غیرخطی از رابطه (۱۱) تعیین می‌شود.

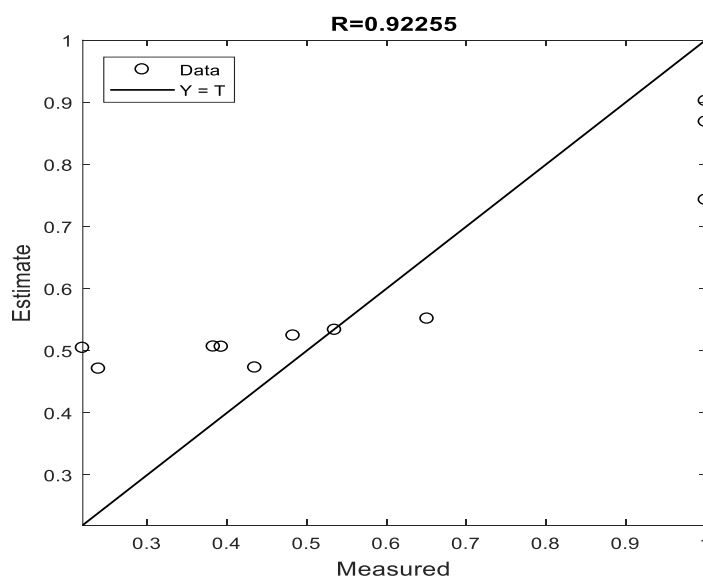
$$e = a_0 + a_1 \left(\frac{H}{h}\right)^{a_2} + a_3 \left(\frac{C_0}{C_f}\right)^{a_4} + a_5 \left(\frac{q_0}{q_m}\right)^{a_6} + a_7 (S)^{a_8} - T_e \quad (11)$$

سپس تابع هزینه با استفاده از رابطه (۱۱) به صورت رابطه (۱۲) ارایه شده است.

$$a_0=0.2917, a_1=0.6982, a_2=1.4042, a_3=0.0182, a_4=111.2237, a_5=0.1617, a_6=0.3392, a_7=-0.4709, a_8=0.9139$$



شکل ۷- مقایسه نتایج آزمایشگاهی با نتایج مدل سازی خطی



شکل ۸- مقایسه نتایج آزمایشگاهی با نتایج مدل سازی غیرخطی

۵- به طور کلی افزایش نسبت بی بعد غلظت، شیب و نسبت بی بعد دبی ورودی سبب کاهش کارایی موانع می شود.

۶- مانع با نسبت بی بعد ارتفاع دو تاثير بسيار زيادي بر هد جريان غليظ داشته و در بسياري از آزمايش ها توانسته جريان را كاملا كنترل كند، فقط در آزمايش ها با مومنتم خيلي كم كه ارتفاع هد زياد است و مومنتم خيلي زياد نيست بخشي از جريان قادر به عبور بوده است.

۷- برآزش خطی و غیرخطی مقادیر درصد کاهش هد جریان غلیظ انجام شد و نتایج نشان از عملکرد مناسب مدل خطی و غیرخطی در مدل سازی داده ها دارد.

### پیشنهادها

بررسی های انجام شده در این مطالعه با توجه به ثابت بودن فاصله مانع تا دریچه انجام شد و بهتر است در تحقیق های دیگر محققین تغییرات فاصله مانع را نیز مورد بررسی قرار دهند.

### ملاحظات اخلاقی پیروی از اصول اخلاق پژوهش

همکاری مشارکت کنندگان در تحقیق حاضر به صورت داوطلبانه و با رضایت آنان بوده است.

### حامی مالی

هزینه تحقیق حاضر توسط نویسندگان مقاله تامین شده است.

### مشارکت نویسندگان

طراحی و ایده پردازی: مهدی قمشی، سید سعید اسلامیان

روش شناسی و تحلیل داده ها: مهدی درخشان نیا

نظارت و نگارش نهایی: سید محمود کاشفی پور.

### تعارض منافع

بنابر اظهار نویسندگان، مقاله حاضر فاقد هرگونه تعارض منافع بوده است.

### References

- Assier RS, C. M, P. H. Numerical Simulation of Submarine Landslides and Their Hydraulic Effects. J Waterw Port, Coastal, Ocean Eng. 1997 Jul 1;123(4):149-57.
- Li G, Piper DJW, Campbell DC, Mosher D. Turbidite deposition and the development of canyons through time on an intermittently glaciated continental margin: The Bonanza Canyon system, offshore eastern Canada. Mar Pet Geol. 2012;29(1):90-103.
- Stagnaro M, Bolla Pittaluga M. Velocity and concentration profiles of saline and turbidity currents flowing in a straight channel under quasi-uniform conditions. Earth Surf Dyn. 2014 Mar 25;2(1):167-80.
- Toniolo H, Parker G, Voller V, Beaubouef

همانطور که از شکل (۸) مشخص است مقدار جذر میانگین مربعات خطا ۰.۱۱۰۵ و مقدار ضریب همبستگی ۰.۹۲۲۵۵ بوده که نزدیک به یک می باشد و نشان از عملکرد مناسب این مدل دارد. با بررسی برآزش خطی و غیرخطی انجام شده مشخص شد که مقدار ضریب همبستگی روش غیرخطی بیشتر بوده و مقدار خطای آن نیز کمتر می باشد که نشان از عملکرد بهتر روش غیرخطی نسبت به خطی در مدل سازی داده های درصد کاهش هد جریان غلیظ دارد.

### بحث و نتیجه گیری

در این مطالعه اثر موانع نفوذپذیری با قطر سنگ دانه ۰/۵ سانتی متر بر هد جریان غلیظ تحت شرایط متغیر از قبیل دبی ورودی، غلظت، شیب، و ارتفاع مانع بررسی شد. نتایج اصلی این مقاله به شرح زیر است:

۱- با تحلیل ابعادی انجام شده رابطه ای بی بعد با توجه به پارامترهای مورد بررسی بدست آمد، که امکان کاربرد و تحلیل دقیق جریان و مقایسه بین نتایج این تحقیق و سایر تحقیق ها را مهیا کرده است.

۲- افزایش نسبت بی بعد ارتفاع مانع نفوذپذیر دوزنقه ای مورد استفاده در این تحقیق سبب بهبود کارایی موانع می شود به طور مثال مانع با نسبت بی بعد ارتفاع یک به طور میانگین ۳۸ درصد و مانع با نسبت بی بعد ارتفاع یک و نیم به طور میانگین ۵۲ درصد قادر به کنترل شار هد جریان می باشد اما برای مانع با نسبت بی بعد ارتفاع دو کنترل بیشتر از ۸۶ درصد بوده که در واقع در بیشتر حالت ها کنترل کامل مشاهده شد.

۳- مومنتم جریان غلیظ بسیار بر کارایی موانع موثر می باشد و با بررسی جدول (۲) مشخص شد که سه پارامتر دبی، غلظت و شیب کف فلوم سبب افزایش مومنتم جریان شده و بر عملکرد موانع موثر می باشند.

۴- با اینکه هر پارامتر (دبی، غلظت و شیب) سبب افزایش مومنتم جریان می شود اما اثر هر یک به تنهایی چندان تاثیر گذار نبوده و افزایش همزمان این پارامترها میزان کارایی موانع را به شدت کاهش می دهد.

### RT. Depositional Turbidity Currents in Diapiric Minibasins on the Continental Slope: Experiments—Numerical Simulation and Upscaling. J Sediment Res. 2006 May 1;76(5):798-818.

- Dengler AT, Wilde P, Noda EK, Normark WR. Turbidity currents generated by Hurricane Iwa. Geo-Marine Lett. 1984;4(1):5-11.
- Nomura S, Hitomi J, De Cesare G, Takeda Y, Yamamoto Y, Sakaguchi H. Sediment mass movement of a particle-laden turbidity current based on ultrasound velocity profiling and the distribution of sediment concentration. Geol Soc London, Spec Publ. 2019;477(1):427-37.
- De Cesare G, Oehy C, Schleiss A. Experiments on turbidity currents influenced by solid and permeable

- obstacles and water jet screens. In: 6th ISUD-International Symposium on Ultrasonic Doppler Methods for Fluid Mechanics and Fluid Engineering. Czech Technical University in Prague-Institute of Hydrodynamics AS CR, vvi; 2008.
8. Davoodi L, Shafai Bejestan M. Application of submerged vanes for sediment control at Intakes from Irrigation trapezoidal channels. *Water Irrig Manag.* 2012;1(2):59-71. [In Persian].
  9. Nasrollahpour R, Ghomeshi M. Effect of roughness geometry on characteristics of density currents head. *Indian J Sci Technol.* 2012;5(12):3783-7.
  10. Oshaghi MR, Afshin H, Firoozabadi B. Experimental investigation of the effect of obstacles on the behavior of turbidity currents. *Can J Civ Eng.* 2013 Feb 25;40(4):343-52.
  11. Abhari MN, Iranshahi M, Ghodsian M, Firoozabadi B. Experimental study of obstacle effect on sediment transport of turbidity currents. *J Hydraul Res.* 2018 Sep 3;56(5):618-29.
  12. Kooti F, Kashefipour SM. Sensitivity of the head velocity in density currents to the various initial conditions. *ISH J Hydraul Eng.* 2018 Jan 2;24(1):74-80.
  13. Baghalian S, Ghodsian M. Experimental study on the effects of artificial bed roughness on turbidity currents over abrupt bed slope change. *Int J Sediment Res.* 2020;35(3):256-68.
  14. Jahangir A, Esmaili K, Maghrebi MF. Experimental Investigation of Porosity, Installation Angle, Thickness and Second Layer of Permeable Obstacles on Density Current. *Int J Eng.* 2020;33(9):1710-20.
  15. Jinchao X, Yun L, Guoxiang X, W. MB, H. MG. Numerical Simulation of Turbidity Current in Approach Channels with a Closed End. *J Waterw Port, Coastal, Ocean Eng.* 2020 Sep 1;146(5):4020036.
  16. Koohandaz A, Khavasi E, Eyvazian A, Yousefi H. Prediction of particles deposition in a dilute quasi-steady gravity current by Lagrangian markers: effect of shear-induced lift force. *Sci Rep.* 2020;10(1):16673.
  17. Goodarzi D, Sookhak Lari K, Khavasi E, Abolfathi S. Large eddy simulation of turbidity currents in a narrow channel with different obstacle configurations. *Sci Rep.* 2020;10(1):12814.
  18. Soler M, Colomer J, Folkard A, Serra T. Particle size segregation of turbidity current deposits in vegetated canopies. *Sci Total Environ.* 2020;703:134784.
  19. Huang S, Huang W, Shen Q. Effects of Bottom Obstacle Structure on Density-Induced Flow. *IOP Conf Ser Earth Environ Sci.* 2020;455:12024.
  20. Asghari Pari SA, Kashefipour SM, Ghomeshi M, Shafai-Bajestan M. Effects of obstacle heights on controlling turbidity currents with different concentrations and discharges. *J Food, Agric Environ.* 2010;8(2):930-5.
  21. khosropour soleyman, Kashefipour SM, Daryaee M. Investigating the Effect of the Density and Pattern of Roughness Blocks with Obstacle on the Control of Density Current Head. *J Hydraul.* 2019;14(2):105-15. [In Persian].
  22. Kordnaej M, Asgharipari SA, Sajadi MS, Shafaei Bajestan M. Laboratory comparison of the effect of porous obstacle and porous stepped obstacle in the control of density current. *J Mar Sci Technol.* 2017;16(4):86-96. [In Persian].
  23. Zeynivand M, KashefiPour SM, Ghomeshi M. Laboratory Investigation The Effect of Porosity of Permeable Obstacle on Control of Gravity Current. *J Irrig Sci Eng.* 2017;40(1):13-24. [In Persian].
  24. Mohammadi MAH, Pari SAA, Sajjadi SM. Experimental Investigation of the effects of Gabion Obstacle's Height, Shape and distance of obstacle from entrance to Control the Turbidity Current. *J Water Soil Conserv.* 2016;23(4):251-65. [In Persian].
  25. Asghari Pari SA, Mohagheghian SM. Numerical study of the effect of using plate obstacle and oblique columnar obstacles in controlling density current. *Iran J Irrig Drain.* 2015;9(2):357-66. [In Persian].