



مدیریت آب و آبیاری (نشریه علمی)

دوره ۱۱ ■ شماره ۱ ■ بهار ۱۴۰۰

صفحه‌های ۱-۱۴

DOI: 10.22059/jwim.2021.307350.811

مقاله پژوهشی:

بررسی اثر موانع نفوذپذیر بر شار هد جریان غلیظ نمکی

مهدی درخشانیان^۱، مهدی قمشی^{۲*}، سید سعید اسلامیان^۳، سید محمود کاشفی‌پور^۲

۱. دانشجوی دکتری، گروه مهندسی عمران، واحد نجف‌آباد، دانشگاه آزاد اسلامی نجف‌آباد، نجف‌آباد، ایران.

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

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

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۱۱/۱۶

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۹/۰۵/۱۶

چکیده

با توجه به هزینه بسیار زیاد ساخت سد، افزایش طول عمر این سازه عمرانی همواره موردنظر مهندسين آب بوده است. رسوبات ته‌نشین شده در اطراف دیواره سد سبب کاهش عمر مفید این سازه می‌شود. ساخت مانع در مسیر جریان‌های غلیظ و در میانه مخزن می‌تواند از نزدیک شدن جریان‌های غلیظ رسوبی به بدنه سد جلوگیری نموده و جریان را وادار به رسوب‌گذاری در میانه مخزن نماید و به این ترتیب می‌توان نواحی نزدیک دیواره سد را از مشکل رسوب‌گذاری تا حدی مصون نمود. در این پژوهش اثر موانع نفوذپذیر بر شار هد جریان غلیظ به صورت آزمایشگاهی مورد بررسی قرار گرفته است. طراحی مانع به صورت متخلخل به شکل ذوزنقه‌ای بوده و با ذرات شن با قطر یک سانتی‌متر پر شد و از نمک برای تهیه سیال غلیظ استفاده شد. در این آزمایش‌ها تأثیر دبی ورودی، شیب فلوم و ارتفاع موانع بر رفتار جریان غلیظ مورد بررسی قرار گرفت. با بررسی متغیرهای این پژوهش مشخص شد که درصد کاهش شار هد جریان غلیظ برای نسبت بی‌بعد ارتفاع ۱ بین ۳۳ تا ۶۱ درصد، برای نسبت بی‌بعد ارتفاع ۱/۵ بین ۴۳ تا ۶۳ درصد و برای نسبت بی‌بعد ارتفاع ۲ بین ۶۸ تا ۱۰۰ درصد می‌باشد، همچنین افزایش دبی و شیب ورودی باعث افزایش مومتم راس جریان شده و در نتیجه سبب کاهش کارایی موانع می‌شود. علاوه بر این در انتها به مدل‌سازی راس جریان غلیظ به صورت برازش خطی و غیرخطی پرداخته شد.

کلیدواژه‌ها: انتقال رسوب، جریان غلیظ، رسوب‌گذاری، موانع نفوذپذیر.

Investigation of the effect of permeable obstacle on the head Flux of salt density current

Mehdi Derakhshannia¹, Mehdi Ghomeshi^{2*}, Seyed Saeid Eslamian³, Seyed Mahmood Kashefipour²

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

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

3. Professor, Department of Water Engineering, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

Received: August 06, 2020

Accepted: February 04, 2021

Abstract

Due to the high cost of construction of the dams, increasing the lifespan of this construction structure has been considered by water engineers. Sediments near the dam wall reduce the useful life of this structure. Constructing obstacles in the path of density currents be one of the most widely used methods in controlling these sediments. In this study, the effect of permeable obstacles on density current head flux has been studied experimentally. The obstacles were made in the shape of trapezoid and were filled with sand particles with a diameter of one centimeter also salt were used to prepare the density current. In these experiments, the effect of inlet flow, flume slope and obstacle height on density current was investigated. Examining the variables of this study, it has been found that the reduction percentage of the density current head flux for the dimensionless ratio of height 1 is between 33.1 to 61%, for the dimensionless ratio of height 1.5 is between 43.2 to 63.3% and for the dimensionless ratio of height 2 is between 68.2 to 100%, also increasing the inlet flow ratio and flume slope increases the momentum of the current and thus reduces the efficiency of the obstacles. In addition, at the end, the density current head was modeled as linear and nonlinear regression.

Keywords: Density currents, Permeable obstacles, Sedimentation, Sediment transfer.

مقدمه

مقدار قابل‌توجهی رسوب سالانه توسط رودخانه‌ها به مخازن، دریاچه‌ها و دریاها منتقل می‌شود. مهم‌ترین دلیل کاهش عمر مفید سد، ته‌نشین شدن رسوبات در اطراف دیواره آن‌ها می‌باشد، بنابراین برای استفاده طولانی‌مدت از مخازن نیاز به مدیریت منابع آب است که این دست‌آورد با کنترل میزان رسوبات ورودی به مخزن و یا تخلیه آن‌ها به دست می‌آید. به‌طور متوسط میزان کاهش حجم مخازن موجود در سراسر جهان به دلیل رسوب‌گذاری بیش‌تر از افزایش ظرفیت مخازن جدید برای آبیاری، کنترل سیل و آبرسانی است (Parker et al., 1986). به همین دلیل در سال‌های اخیر پژوهش‌گران مطالعات بسیار زیادی را برای کنترل یا حذف رسوبات انجام داده‌اند. بیش‌تر این پژوهش‌ها بیانگر این امر بوده که جریان‌های کدر عامل اصلی انتقال رسوبات به مخازن و دریاچه‌ها می‌باشند (Inman et al., 1976). جریان‌های کدر به‌عنوان جریان‌های رسوبی در نظر گرفته می‌شوند (Johnson, 1967)، که حرکت آن‌ها به دلیل اختلاف چگالی با سیال شفاف پیرامونی می‌باشد، در حقیقت جریان‌های کدر متعلق به یک طبقه بزرگ‌تر از جریان‌ها، معروف به جریان‌های گرانشی یا غلیظ می‌باشند (Oehy et al., 2010). جریان‌های کدر را می‌توان در پدیده‌های طبیعی و مصنوعی مشاهده کرد (Simpson, 1982). وقوع گسترده چنین جریان‌هایی در طبیعت باعث شده که علاقه زیادی در بین مهندسان آب از جمله هیدرولیک، منابع آب، هیدرولوژی، رودخانه و زمین‌شناسان دریایی برای بررسی جریان‌های غلیظ در راستای اهداف عملی از جمله ایمنی کابل‌های زیر آب و خطوط لوله، کیفیت آب و رسوب مخازن ایجاد شود (Alavian et al., 1992). براین‌اساس بسیاری از کارهای پژوهشی در سال‌های اخیر به‌منظور بررسی عوامل مؤثر بر جنبه‌های هیدرولیکی جریان‌های

غلیظ به‌صورت آزمایشگاهی انجام شده است (Ellison and Turner, 1959). برخی محققان استراتژی‌های مختلفی را برای کاهش اثرات منفی جریان‌های کدر بر سازه‌های عمرانی یا ساخته دست بشر را بررسی نموده‌اند (Kochenderfer and Wheeler, 2019) در راستای جریان‌های غلیظ تحقیقات متنوعی بصورت عددی نیز ایجاد شده است (Pirnia et al., 2012; Mirzaei et al., 2015). استفاده از موانع یکی از مؤثرترین راه‌های کنترل جریان‌های غلیظ در میانه مخزن می‌باشد. با کنترل حرکت جریان‌های غلیظ، رسوبات قبل از رسیدن به بدنه سد ته‌نشین شده و به این ترتیب از رسوب‌گذاری در نقطه مهم و میانی مخزن جلوگیری می‌شود. بنابراین در سال‌های اخیر اثرات موانع بر رفتار جریان‌های غلیظ مورد توجه بسیاری از پژوهش‌گران هیدرولیک قرار گرفته است (Alexander and Morris, 1994). مطالعات پژوهش‌گران در مورد موانع نشان داده که پارامترهای مختلفی بر رفتار جریان‌های غلیظ مؤثرند از جمله ارتفاع موانع، غلظت، دبی ورودی و سرعت راس (Bühler et al., 2013).
De Cesare et al. (2008) اثرات موانع نفوذپذیر ژئوتکستیل بر جریان کدر را مورد بررسی قرار دادند، با تجزیه و تحلیل نتایج آزمایشگاهی و عددی مشخص شد که این موانع می‌توانند حرکت (شار) جریان‌های کدر را به میزان قابل‌توجهی کاهش دهند. Abhari et al. (2018) به بررسی آزمایشگاهی تأثیر ارتفاع موانع بر حرکت جریان‌های غلیظ و اثر دبی ورودی و غلظت جریان بر آن پرداختند. نتایج نشان داد که بازدهی موانع در آزمایش‌ها با غلظت زیاد بیش‌تر از غلظت کم می‌باشد. Farizan et al. (2019) تأثیر غلظت رسوب و ارتفاع مانع را بر ویژگی‌های جریان‌های غلیظ مورد مطالعه قرار دادند. نتایج نشان داد که افزایش ارتفاع مانع باعث کاهش شار رسوب عبوری و در نتیجه رسوب‌گذاری بیش‌تر در پشت

قرار گرفت. برای درک بهتر عملکرد این موانع، مقادیر سرعت، غلظت و ارتفاع راس جریان غلیظ قبل و بعد از موانع اندازه‌گیری شد.

مواد و روش‌ها

بیان مسأله

با توجه به این‌که سازه سد به‌عنوان پرهزینه‌ترین سازه عمرانی شناخته می‌شود، مهندسين راه‌کارهای بسیاری جهت افزایش طول عمر این سازه‌ها ارائه داده‌اند که کاربردی‌ترین این روش‌ها ساخت موانع می‌باشد. دلیل انتخاب موانع نفوذپذیر در این پژوهش، امکان ساخت موانع اجرایی با استفاده از لاشه سنگ‌های موجود در اطراف سد می‌باشد.

با شناخت جریان‌های غلیظ به‌عنوان عامل اصلی در انتقال رسوبات می‌توان به بررسی عملکرد موانع نفوذپذیر در کنترل جریان‌های غلیظ نمکی پرداخت.

جریان‌های غلیظ

جریان غلیظ از سه بخش راس، بدنه و نقطه غوطه‌وری تشکیل شده است. با تجزیه و تحلیل سرعت و توزیع غلظت مشخص شد که رسوبات در جریان‌های کدر به‌طور عمده توسط راس جریان حرکت کرده و در ناحیه نزدیک دیواره سد رسوب‌گذاری انجام می‌شود (Nomura *et al.*, 2019). برای درک بهتر این جریان‌ها، چگالی و شتاب گرانشی مؤثر بر جریان‌های غلیظ براساس روابط (1) و (2) ارائه شده است (Zeynivand *et al.*, 2016):

$$\rho_t = \rho_a + (\rho_s - \rho_a)C_s \quad (1)$$

$$\dot{g} = g \frac{(\rho_t - \rho_a)}{\rho_a} = g \frac{\Delta\rho}{\rho_a} = gC_s \frac{(\rho_s - \rho_w)}{\rho_w} \quad (2)$$

در روابط (1) و (2)، C_s متوسط غلظت حجمی رسوبات غیرچسبیده ($\frac{kg}{m^3}$)، ρ_t چگالی متوسط جریان غلیظ ($\frac{kg}{m^3}$)، ρ_a چگالی سیال پیرامون ($\frac{kg}{m^3}$)، ρ_s چگالی ذرات

موانع می‌شود. با این‌حال، در غلظت‌های ورودی پایین، ارتفاع موانع تأثیر معنی‌داری بر رفتار جریان‌های غلیظ نداشت. Prinos (1999) به بررسی اثر شکل مانع بر جریان غلیظ پرداخت. او متوجه شد که هندسه مانع بر سرعت راس جریان و نسبت جریان عبوری از روی مانع اثر قابل ملاحظه‌ای ندارد.

Woods *et al.* (1998) در پژوهشی آزمایشگاهی بر جریان غلیظ، بیان کردند که لازم است برای کنترل کامل برای جریان بحرانی ارتفاع مانع $\frac{2}{1}$ برابر عمق بحرانی باشد. Kaheh *et al.* (2012) به بررسی سرعت راس جریان غلیظ نمکی بر سطوح زیر پرداختند. متغیرهای مورد بررسی شامل اندازه سطوح زیر، دبی، غلظت و شیب بستر بود و اثر هرکدام بر سرعت پیشانی مورد بررسی قرار گرفت. Asghari *et al.* (2010) با استفاده از جریان غلیظ نمکی تغییرات ارتفاع مانع در کنترل جریان غلیظ را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که برای توقف جریان غلیظ با مانع در جریان زیر بحرانی ارتفاع مانع باید بین 2 تا $\frac{2}{75}$ برابر ارتفاع بدنه جریان غلیظ باشد.

همان‌طور که از مرور پژوهش‌های پیشین مشاهده می‌شود، مطالعات اندکی در مورد تأثیر موانع نفوذپذیر بر کنترل جریان غلیظ انجام شده است. مانع نفوذپذیر استفاده‌شده در پژوهش‌های گذشته از نوع صفحات ژئوتکستایل بوده و تأثیر این مانع بر رفتار جریان غلیظ با در نظر گرفتن تعدادی پارامتر انجام شده است، که کاربرد علمی - میدانی ندارد.

با توجه به پژوهش‌های ناچیز در این زمینه، در این مطالعه از موانع نفوذپذیر استفاده شد. بر این اساس که، بعد از طراحی اولیه با استفاده از مش فلزی موانعی به شکل دوزنقه ساخته و با شن به اندازه مشخص پر شد و سپس تأثیر برخی از پارامترهای مهم مانند دبی ورودی، شیب و ارتفاع موانع بر رفتار جریان غلیظ مورد بررسی

$$Te = \frac{(q_{in} - q_{out})}{q_{in}} = f\left(\frac{q_0}{q_{in}}, \frac{H}{h}, S\right) \quad (6)$$

کلیه آزمایش‌های این پژوهش در آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه شهید چمران اهواز انجام شد. برای انجام آزمایش‌ها از یک فلوم مستطیل شکل با طول ۷/۸ متر، عرض ۰/۳۵ متر و عمق ۰/۷ متر که قادر به تغییر شیب تا چهار درصد بود استفاده شد (شکل ۱). یک دریچه پلکسی کشویی در ابتدای فلوم قرار داده شد که سبب جدایی سیال غلیظ بالادست از سیال شفاف پایین دست می‌شد. برای کلیه آزمایش‌ها دریچه ورودی ۱۰ سانتی‌متر باز شده و تا انتها آزمایش در همین حالت باقی می‌ماند. در ابتدای هر آزمایش اختلاف دما بین دو سیال کنترل می‌شد تا از $\pm 0/5$ درجه سانتی‌گراد تجاوز نکند. در کنار فلوم مخزنی با حجم ۳۰۰۰ لیتر قرار داده شده بود که در آن سیال غلیظ با استفاده از پمپ اختلاط و هم‌زن تهیه می‌شد. برای انجام آزمایش ابتدا مخزن با آب شفاف به ارتفاع ۴۵ سانتی‌متر پر شده، سپس نمک و پرمنگنات (برای ردیابی جریان) اضافه شدند و برای ایجاد سیال یکنواخت از هم‌زن مخزن استفاده شد. سپس سیال غلیظ به مخزنی (هد تانک) نصب شده در ارتفاع سه متری از کف با حجم ۶۲۵ لیتر منتقل شد تا امکان استفاده از جریان تحت هد ثابت در آزمایش‌ها فراهم شود. یک دبی‌سنج الکترومغناطیسی با دقت ۰/۰۰۱ لیتر در ثانیه نیز برای اندازه‌گیری دبی جریان منتقل شده از هد تانک به فلوم استفاده شد و برای ثابت نگه داشتن ارتفاع آب شفاف در هنگام آزمایش‌ها مقداری آب از لوله آب شهری به کانال آزمایش هدایت شد.

با استفاده از مش فلزی موانعی به عرض ۲۵ سانتی‌متر و ارتفاع متغیر ساخته شد به گونه‌ای که عرض فلوم کاملاً اشغال شده و از عبور جریان از اطراف موانع نیز جلوگیری شود. درون فضای خالی موانع از ذرات شن با قطر یک سانتی‌متر پر شد. برای جلوگیری از ریزش ذرات، شیب دیوارها یک‌به‌یک در نظر گرفته شده و موانع در فاصله دو متری از دریچه ورودی نصب شد.

غیرچسبنده $(\frac{kg}{m^3})$ ، چگالی آب $(\frac{kg}{m^3})$ و g' شتاب گرانشی مؤثر $(\frac{m^2}{s})$ است.

تحلیل ابعادی

از آنجایی که هدف این پژوهش بررسی اثر موانع بر جریان غلیظ می‌باشد بنابراین پارامترهای حاکم را می‌توان به صورت زیر در نظر گرفت:

$$f(q_0, q_{in}, q_{out}, H, h, g', d, S, n) = 0 \quad (3)$$

در این بخش برای آنالیز ابعادی ابتدا پارامترهای مستقل و وابسته جریان شناسایی شد، با بررسی‌های انجام شده مشخص شد که q_0 دبی ورودی $(\frac{m^3}{s})$ ، q_{in} شار هد جریان قبل از مانع $(\frac{m^3}{m})$ ، q_{out} شار هد جریان بعد از مانع $(\frac{m^3}{m})$ ، $(q_{in} - q_{out})$ تغییر شار هد جریان در مسیر $(\frac{m^3}{m})$ ، ارتفاع H مانع (m) ، h ارتفاع بدنه جریان غلیظ (m) ، d قطر سنگ‌دانه‌ها (m) و n تخلخل به عنوان پارامترهای وابسته جریان می‌باشند و g' شتاب ثقل کاهش یافته $(\frac{m}{s^2})$ و S شیب کف کانال پارامترهای مستقل می‌باشند با استفاده از روش پی‌باکینگهام و با در نظر گرفتن h و q_{in} به عنوان پارامترهای تکراری، پارامترهای بی‌بعد محاسبه شد.

$$f\left(\frac{q_{in} - q_{out}}{q_{in}}, \frac{h^3 g'}{q_{in}^2}, \frac{q_0}{q_{in}}, \frac{H}{h}, \frac{d}{h}, S, n\right) = 0 \quad (4)$$

در رابطه (۴) درصد کاهش شار هد جریان غلیظ و عدد فرود ورودی به دست آمد و بر این اساس رابطه (۵) ارائه شد.

$$Te = \frac{(q_{in} - q_{out})}{q_{in}} = f\left(Fr, \frac{q_0}{q_{in}}, \frac{H}{h}, \frac{d}{h}, S, n\right) \quad (5)$$

در رابطه (۵)، Te درصد کاهش شار هد جریان غلیظ و q_{out} شار هد بعد از مانع در واحد عرض $(\frac{m^3}{m})$ می‌باشد. در این پژوهش چون قطر سنگ‌دانه‌ها و تخلخل موانع ثابت بوده و بازه عدد فرود بسیار نزدیک به هم می‌باشد از تحلیل آن‌ها صرف نظر شد و به بررسی پارامترهای مؤثر هم‌چون شیب، نسبت ارتفاع و دبی $(\frac{H}{h}, \frac{q_0}{q_{in}})$ بر شار هد جریان غلیظ پرداخته شد.

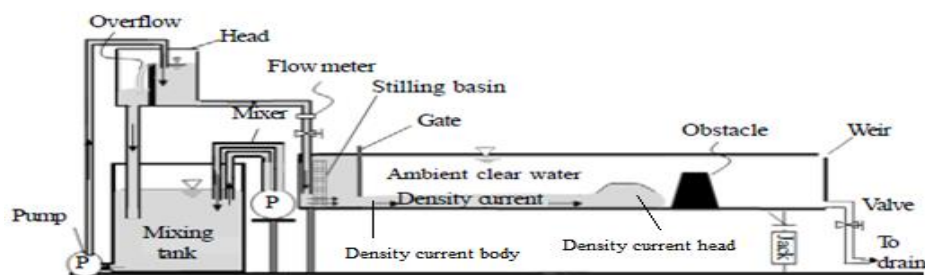


Figure 1. Sketch of experimental set-up (Asghari pari and Mohagheghian, 2015)

ورودی به‌ویژه در دبی‌های بالا، راس جریان غلیظ در ابتدا متلاطم بوده و ارتفاع قابل‌توجهی ایجاد می‌کند، به همین دلیل کلیه دستگاه‌های اندازه‌گیری و موانع با فاصله بیش از یک متر از دریچه ورودی نصب شدند تا جریان هنگام رسیدن به این وسایل توسعه‌یافته‌شده باشد. هنگام رسیدن جریان غلیظ به اولین مانع (شکل ۲a) کمی بالا رفته و سرعت راس جریان غلیظ کاهش می‌یافت (شکل ۲b) و با این سرعت کاهش‌یافته جریان از روی مانع عبور می‌کند (شکل ۲c, d).

همان‌طورکه در جدول بالا نشان داده شده است Q_1 ، Q_2 و Q_3 به ترتیب بیانگر دبی ۱، ۱/۵ و ۲ لیتر بر ثانیه بوده و S_1 ، S_2 و S_3 به ترتیب بیانگر شیب کف فلوم به مقدار ۰/۵، ۱ و ۱/۵ درصد بوده H_1 ، $H_{1.5}$ و H_2 به ترتیب بیانگر ارتفاع مانع ۱، ۱/۵ و ۲ برابر بدنه جریان غلیظ می‌باشد.

مطالعه حاضر روی راس جریان‌های غلیظ (به‌عنوان اصلی‌ترین عامل تأثیرگذار در جابه‌جایی رسوبات) متمرکز شده است. همان‌گونه که پیش‌تر گفته شد، در مطالعه جریان‌های غلیظ چندین پارامتر مهم تأثیرگذار می‌باشند و برای این‌که بتوان اثر پارامترهای مختلف را مورد ارزیابی قرار داد از شار هد جریان غلیظ استفاده شده که به صورت رابطه (۷) ارائه شده است:

$$q = C_f U_f h_f \quad (7)$$

پارامترهای مختلف اندازه‌گیری‌شده در این مطالعه در جدول (۱) ارائه شده‌اند.

۳۶ آزمایش جریان غلیظ نمکی با غلظت ورودی ثابت ۱۵ گرم در لیتر انجام شد و پارامترهایی هم‌چون شیب (۰/۵، ۱ و ۱/۵ درصد)، دبی (۱، ۱/۵ و ۲ لیتر در ثانیه) و مانع (با ارتفاع ۱، ۱/۵ و ۲ برابر ارتفاع بدنه جریان غلیظ) مورد بررسی قرار گرفت. نه آزمایش بدون مانع (برای تعیین بدنه جریان غلیظ) و ۲۷ آزمایش با مانع انجام شد. حالت جریان در کلیه آزمایش‌ها به صورت زیر بحرانی بود.

از دو سیفون برای اندازه‌گیری غلظت شار هد جریان غلیظ در ارتفاعات مختلف استفاده شد. سیفون‌ها برای نمونه‌گیری قبل و بعد از مانع استفاده می‌شدند تا از طریق آن‌ها غلظت جریان غلیظ اندازه‌گیری شود. هر سیفون با ۱۴ نازل ورودی در مرکز محور عرضی فلوم قرار داده شد، به‌طوری‌که مرکز اولین ورودی نازل ۰/۳ سانتی‌متر بالاتر از بستر و فاصله بین نازل‌ها ۱/۵ سانتی‌متر بود. سیفون‌ها از لوله‌های مسی با قطر بیرونی پنج میلی‌متر و قطر داخلی سه میلی‌متر ساخته شده بودند. غلظت نمک نمونه‌های جمع‌آوری‌شده با استفاده از ECسنج با دقت ۰/۱ میکروگرم بر سانتی‌متر اندازه‌گیری و ثبت می‌شد. حرکت جریان غلیظ برای تعیین سرعت و ارتفاع شار هد در تمامی آزمایش‌ها با دوربین دیجیتال فیلم‌برداری می‌شد.

با باز شدن دریچه کشویی ورودی و به دلیل اختلاف چگالی بین آب شفاف و سیال غلیظ، جریان غلیظ تشکیل شده و به سمت پایین دست فلوم حرکت می‌کرد. در قسمت



Figure 2. View of density current

Table 1. Introduction of various parameters measured in this research

Discharge (lit/sec)			Slope (Percentage)			Height (cm)		
Q ₁	Q ₂	Q ₃	S ₁	S ₂	S ₃	H ₁	H _{1.5}	H ₂
One	One and half	Two	Half	One	One and half	Obstacle with equal height of the current body	Obstacle height is one and half times of the height of the current body	Obstacle height is twice of the height of the current body

بیان‌گر شیب ۰/۵، ۱ و ۱/۵ درصد بوده و $\frac{Q_2}{Q_{in}}$ ، $\frac{Q_1}{Q_{in}}$ و $\frac{Q_3}{Q_{in}}$ به ترتیب نشان‌گر نسبت بی‌بعد دبی ۱، ۱/۵ و ۲ می‌باشد.

Table 2. Percentage of density current flux reduction in hitting with obstacles

Height of obstacle	Slope (percentage)	Run	Discharge (lit/sec)	Flux reduction (percentage)
$\frac{H_1}{h} = 1$	S ₁	1	Q ₁ /Q _{in}	61
		2	Q ₂ /Q _{in}	55.3
		3	Q ₃ /Q _{in}	48.4
	S ₂	4	Q ₁ /Q _{in}	51.69
		5	Q ₂ /Q _{in}	48.1
		6	Q ₃ /Q _{in}	42.3
	S ₃	7	Q ₁ /Q _{in}	41.3
		8	Q ₂ /Q _{in}	37.3
		9	Q ₃ /Q _{in}	33.1
$\frac{H_{1.5}}{h} = 1.5$	S ₁	10	Q ₁ /Q _{in}	63.3
		11	Q ₂ /Q _{in}	57.1
		12	Q ₃ /Q _{in}	50.3
	S ₂	13	Q ₁ /Q _{in}	56.7
		14	Q ₂ /Q _{in}	52.3
		15	Q ₃ /Q _{in}	48.21
	S ₃	16	Q ₁ /Q _{in}	51.3
		17	Q ₂ /Q _{in}	47.6
		18	Q ₃ /Q _{in}	43.2
$\frac{H_2}{h} = 2$	S ₁	19	Q ₁ /Q _{in}	100
		20	Q ₂ /Q _{in}	100
		21	Q ₃ /Q _{in}	100
	S ₂	22	Q ₁ /Q _{in}	100
		23	Q ₂ /Q _{in}	87.3
		24	Q ₃ /Q _{in}	79.5
	S ₃	25	Q ₁ /Q _{in}	76.6
		26	Q ₂ /Q _{in}	71.3
		27	Q ₃ /Q _{in}	68.2

در رابطه (۷)، q شار هد در واحد عرض (سانتی مترمربع بر ثانیه)، C_f غلظت راس (گرم بر سانتی مترمکعب)، U_f سرعت راس (سانتی متر بر ثانیه) است و h_f ارتفاع راس جریان (سانتی متر) است (Oehy et al., 2010). برای درک بهتر از کارایی موانع، میزان شار هد جریان غلیظ قبل و بعد از مانع در هر آزمایش اندازه‌گیری شد و برای این‌که بتوان به راحتی براساس پارامترهای بی‌بعد به ارزیابی آن پرداخت مقدار درصد کاهش شار جریان غلیظ براساس رابطه (۸) محاسبه شده است.

$$Te = \frac{(q_{in} - q_{out})}{q_{in}} * 100 \quad (8)$$

نتایج و بحث

کاهش شار هد

کنترل راس جریان به‌عنوان یکی از مهم‌ترین موضوع‌ها در بررسی حرکت جریان‌های غلیظ شناخته شده است و این امکان را ایجاد می‌کند تا درک درستی از عملکرد موانع به‌دست آید. براین اساس، با استفاده از رابطه (۷) مقادیر شار هد به‌دست‌آمده و درصد کاهش شار براساس رابطه (۸) محاسبه و در جدول (۲) ارائه شده است. در این جدول $\frac{H_1}{h}$ ، $\frac{H_{1.5}}{h}$ و $\frac{H_2}{h}$ به ترتیب بیان‌کننده نسبت بی‌بعد ارتفاع ۱، ۱.۵ و ۲ بوده و S_1 ، S_2 و S_3 به ترتیب

جریان (غلظت راس) را کاهش و کارایی موانع در کنترل آن را افزایش می‌دهد. با بررسی جدول (۲) کاملاً مشخص است که با افزایش نسبت بی‌بعد ارتفاع، راندمان موانع بهبود یافته و حتی برای حالت نسبت بی‌بعد ارتفاع دو برای مومتم کم (آزمایش‌های ۱۹ تا ۲۲) کنترل کامل انجام شده و جریانی از روی مانع عبور نمی‌کند، اما با افزایش مومتم به دلیل افزایش شیب و دبی ورودی (آزمایش‌های ۲۳ تا ۲۷) بخشی از جریان غلیظ قادر به عبور از روی مانع می‌باشد. در واقع برای جریان‌ها با مومتم کم، هنگام برخورد جریان به مانع غلظت بسیار کاهش پیدا کرده و تأثیر مانع بیش‌تر می‌باشد، اما در آزمایش‌ها با مومتم زیاد هنگام برخورد جریان به مانع پرشی رخ داده و بخش بیش‌تری از جریان از روی مانع عبور می‌کند.

اثر دبی ورودی

همان‌طورکه در مطالعات سایر پژوهش‌گران بیان شد، دبی ورودی یکی دیگر از عوامل مؤثر بر رفتار جریان غلیظ می‌باشد. بنابراین در این بخش تأثیر نسبت دبی ورودی به شار هد جریان قبل از مانع بر عملکرد موانع مورد بررسی قرار گرفته است. تأثیر تغییرات این نسبت بر رفتار جریان غلیظ در شکل (۴) نشان داده شده است.

در بخش‌های بعد براساس نتایج جدول (۲) به بررسی متغیرهای این پژوهش پرداخته شده است.

اثر نسبت ارتفاع موانع

با توجه به اهمیت تغییرات ارتفاع موانع بر جریان غلیظ عبوری، این تغییرات براساس نسبت ارتفاع مانع به ارتفاع بدنه جریان غلیظ در شکل (۳) ارائه شده است.

همان‌طورکه در شکل (۳) مشخص می‌باشد، افزایش نسبت ارتفاع مانع سبب کنترل بهتر جریان غلیظ می‌شود. نرخ کاهش شار هد برای نسبت بی‌بعد ارتفاع مانع یک بین ۳۳/۱ تا ۶۱ درصد، برای نسبت بی‌بعد ارتفاع مانع ۱/۵، بین ۴۳/۲ تا ۶۳/۳ درصد و برای نسبت بی‌بعد ارتفاع مانع ۲ بین ۶۸/۲ تا ۱۰۰ درصد می‌باشد.

با برخورد جریان غلیظ به مانع بخشی از جریان از بالای مانع عبور کرده و بخشی به صورت جریان برگشتی به سمت بالادست فلوم حرکت می‌کند، در واقع ساخت مانع باعث افزایش نیروی مقاوم در برابر جریان غلیظ شده و همین امر سبب افزایش تنش برشی می‌شود، پارامتر مؤثر بر مقدار تنش ایجادشده، تغییرات ارتفاع مانع می‌باشد. به این صورت که هرچه ارتفاع مانع افزایش یابد، ناحیه اختلاط دو سیال افزایش یافته و همین امر شار هد

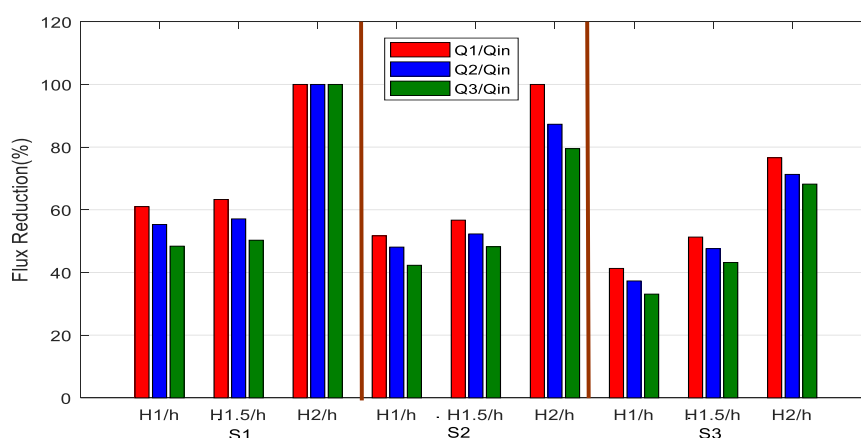


Figure 3. Effect of obstacles height on density current movement

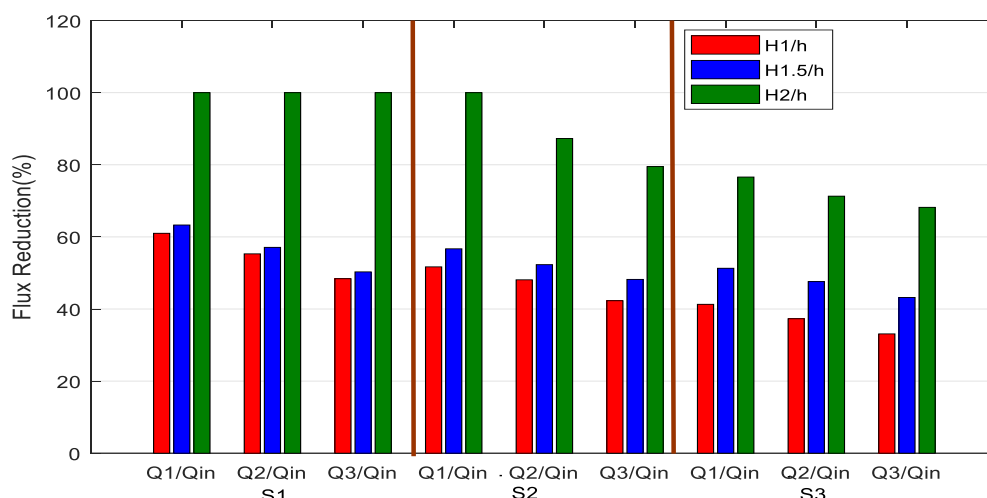


Figure 4. Effect of discharge on density current flux in different obstacle conditions

حالت گزری شکل خود را مطابق شکل (۱) حفظ کرده و به راحتی بخش زیادتری از جریان غلیظ را از روی مانع عبور دهد. در نسبت ارتفاع دو و شیب کم حالتی خاص رخ می‌دهد. به این صورت که هنگام برخورد جریان به مانع اغتشاش زیاد ایجاد شده و سیال شفاف زیادی وارد جریان غلیظ می‌شود و همین امر سبب کاهش بخش زیادی از غلظت راس جریان شده و مانع قادر به کنترل کامل جریان غلیظ می‌باشد، اما افزایش شیب، نیروی محرکه جریان غلیظ را افزایش داده و روندی هم‌چون سایر ارتفاع مانع مشاهده می‌شود که این روند در آزمایش‌های (۲۳ تا ۲۷) مشخص بوده و روند نزولی با افزایش دبی مشاهده می‌شود.

تأثیر شیب کف کانال

در این بخش به منظور بررسی دقیق‌تر تأثیر مانع نفوذپذیر بر کنترل جریان غلیظ، تأثیر شیب فلوم مورد بررسی قرار گرفته است. در این پژوهش از سه شیب ۰/۵، ۱ و ۱/۵ درصد برای کف فلوم استفاده شده است. روند تأثیر شیب بر کارایی مانع در شکل (۵) به خوبی نشان داده شده است.

با بررسی شکل (۴) مشخص شد که افزایش نسبت دبی ورودی به شار هد قبل از مانع سبب کاهش کارایی مانع می‌شود که این روند کاهشی با افزایش شیب بیشتر می‌شود. برای درک بهتر باید توجه داشت که کاهش شار هد جریان غلیظ نمکی تنها به دلیل ورود سیال شفاف به درون راس آن و کاهش غلظت رخ می‌دهد. طبق قانون پیوستگی سرعت و ارتفاع جریان نسبت عکس با هم دارند و با برخورد جریان غلیظ با مانع تنش برشی افزایش یافته و گرداب‌های عرضی و ناپایداری کلونین ایجاد می‌شود، این اغتشاش سبب ورود سیال شفاف بیشتری به راس جریان شده که باعث کاهش سرعت و غلظت راس جریان شده که همین امر سبب بهبود راندمان مانع می‌شود. افزایش نسبت دبی سبب می‌شود که هنگام برخورد جریان به مانع و ایجاد اغتشاش، سیال شفاف بیشتری وارد راس جریان شده و بخش بیشتری از شار هد جریان محو شود، اما از سویی دیگر به دلیل افزایش سرعت بدنه جریان غلیظ، شار هد جریان به طور مداوم و سریع توسط بدنه جریان تغذیه شده (غلظت راس کاهش زیاد پیدا نمی‌کند) همین امر سبب می‌شود که راس جریان

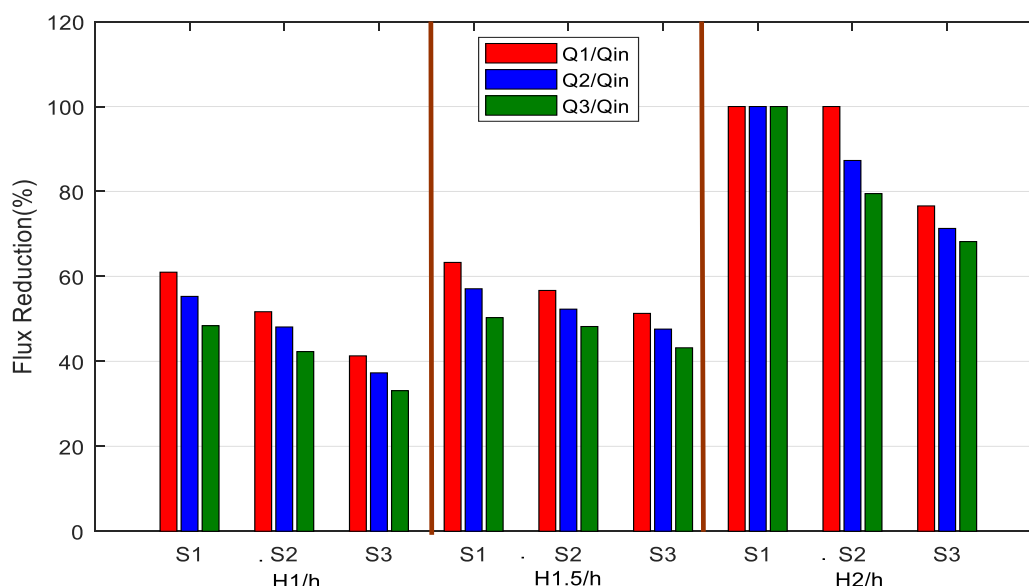


Figure 5. Effect of slope on density current flux in different obstacle conditions

دوباره آن شده که به حفظ نیروی محرکه جریان کمک می‌کند و امکان عبور بخش بیشتری از جریان را از روی مانع مهیا کرده و در نتیجه بخشی از جریان از روی مانع عبور می‌کند. افزایش هم‌زمان نسبت دبی و شیب این روند را تشدید کرده و همان‌گونه که از نتایج جدول (۲) مشخص است، برای آزمایش‌های (۱۹) تا (۲۲) برای تمام دبی‌های ورودی، جریانی از روی مانع عبور نکرده است، اما با افزایش شیب و نسبت دبی مانع دیگر قادر به جلوگیری از عبور جریان نبوده و در آزمایش‌های (۲۳) تا (۲۷) روند نزولی با افزایش این دو پارامتر مشاهده می‌شود.

با بررسی جدول (۲) و تحلیل‌های انجام‌شده کاملاً مشخص است که به‌طور متوسط مانع نفوذپذیر مورد استفاده در این پژوهش در تمامی ارتفاع‌ها به‌طور میانگین قادر به کنترل راس جریان غلیظ در حدود ۶۱ درصد بود، اما در موانع با نسبت ارتفاع دو این مقدار به‌طور متوسط ۸۶ درصد بوده که بسیار چشم‌گیر می‌باشد. با بررسی نتایج این پژوهش با سایر پژوهش‌ها در جدول (۳) به ارزیابی دقیق‌تر کارایی این موانع پرداخته شده است.

در شکل (۵) مشاهده شد که افزایش شیب فلوام باعث کاهش کارایی موانع می‌شود. زیرا شیب کف فلوام هم‌چون دبی ورودی بر ممتوم جریان مؤثر بوده و این افزایش مومتوم در واقع سرعت حرکت جریان غلیظ را افزایش و ارتفاع آن را کاهش می‌دهد. برای تحلیل و درک دقیق‌تر این روند باید بیان کرد که در جریان‌ها با شیب کم، ارتفاع راس زیاد شده و بر این اساس، ارتفاع اختلاط بیش‌تر بین دو سیال ایجاد می‌شود، که همین امر سبب افزایش اصطکاک می‌شود و به‌دلیل سرعت کم راس، مقدار درون آمیختگی دو سیال که سبب ورود سیال شفاف به جریان غلیظ و کاهش غلظت راس شده بیش‌تر می‌شود که به‌نوبه خود سبب بهبود کارایی موانع در کنترل هد می‌شود. اما با افزایش شیب روند عکس شده و به‌دلیل کاهش ارتفاع اختلاط، جریان شفاف کم‌تری وارد جریان غلیظ می‌شود، که همین امر شکل راس را که عامل پیش‌برنده جریان بوده را اندکی به‌هم می‌زند. اما سرعت زیاد بدنه جریان به‌طور مداوم با تغذیه راس (از کاهش زیاد غلظت راس جلوگیری می‌کند)، سبب شکل‌گیری

Table 3. Comparison of current head reduction percentage with different other researches

Study	Year	Experiment conditions	Current head reduction percentage
Khosropour <i>et al.</i>	2019	Roughness and obstacle	81
Kordnaej <i>et al.</i>	2017	Permeable obstacle (stairs)	85
Zeynivand <i>et al.</i>	2016	Permeable plates	73
Mohammadi <i>et al.</i>	2016	Gabion obstacles (permeable)	79
Asghari pari and Mohagheghian	2015	Columnar obstacles	60
Asghari pari <i>et al.</i>	2010	permeable obstacles	100
Present research	2020	Trapezoidal permeable obstacles	86

(۶) مشخص شد که مقدار ضریب همبستگی داده‌های حاصل از برازش خطی $0/89$ بوده که نزدیک به ۱ می‌باشد و نشان از عملکرد مناسب این مدل دارد. پراکندگی اندک داده‌های صحت‌سنجی در اطراف خط $y = T$ نشان از دقت مناسب برازش خطی دارد.

طرح‌های مطالعاتی از این روش برای تخمین داده‌ها استفاده شود، که در بخش قبل این مقاله نیز مورد استفاده قرار گرفت. اما در واقع برازش خطی نمی‌تواند پیچیدگی داده‌های آزمایشگاهی را به‌خوبی نشان دهد و از این‌رو، در این بخش به برازش این داده‌ها با دو مدل غیرخطی نیز پرداخته شده و سپس عملکرد این مدل‌ها مورد مقایسه قرار گرفته است.

مدل چندجمله‌ای که یکی از مدل‌های غیرخطی مهم بوده و در پژوهش‌های مهمی از جمله *Asghari pari et al.* (2010) نیز برای برازش داده‌های آزمایشگاهی راس جریان غلیظ استفاده شده است، برای برازش داده‌های این مطالعه نیز مورد استفاده قرار گرفته است. فرم کلی این مدل در فرمول (۱۱) ارائه شده است.

$$Te = a_0 + a_1 \left(\frac{H}{h}\right)^{a_2} + a_3 \left(\frac{q_0}{q_{in}}\right)^{a_4} + a_5 (S)^{a_6} \quad (11)$$

سادگی و مؤثر بودن نسبی مدل خطی برای برازش داده‌های راس جریان سبب شده که در بسیاری از تعیین پارامترهای این مدل برای داده‌های موجود به‌دلیل غیرخطی بودن این مدل نسبت به ضرایب به سادگی امکان‌پذیر نمی‌باشد و نمی‌توان با روش مرسوم حداقل مربعات خطا این ضرایب را تعیین نمود.

با بررسی نتایج این پژوهش با سایر پژوهش‌ها کاملاً مشخص است که کارکرد موانع نفوذپذیر بهتر از به‌کاربردن سایر موانع و یا زبری کف می‌باشد. همچنین نتایج در مطالعات مختلف تطابق بسیار نزدیکی بین موانع نفوذپذیر را نشان می‌دهد. فقط پژوهش *Asghari pari et al.* (2010) با موانع نفوذپذیر کنترل کامل نشان داده که دلیل آن نیز استفاده از موانع با حداکثر ارتفاع $2/75$ برابر بدنه جریان غلیظ بوده که سبب شده با سایر پژوهش‌ها تفاوت داشته باشد.

در برازش داده‌ها به مدل‌سازی درصد کاهش هد جریان غلیظ به‌صورت خطی و غیرخطی پرداخته شده است. برای این منظور از ۸۰ درصد داده‌ها جهت واسنجی و از ۲۰ درصد باقیمانده برای صحت‌سنجی استفاده شده است.

اولین برازش انجام‌شده در این تحقیق به‌صورت خطی می‌باشد. فرم کلی برازش خطی برای این داده‌ها به‌صورت رابطه (۹) می‌باشد.

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

با استفاده از معیار حداقل مربعات خطا، مقادیر ضرایب به‌صورت زیر به‌دست می‌آیند.

$$a_0 = 34.33, a_1 = 40.49 \quad (10)$$

$$a_2 = -18.38, a_3 = -9.85$$

رابطه (۹) بیان‌کننده ارتباط پارامترهای بی‌بعد هم‌چون نسبت ارتفاع، نسبت دبی و شیب با مقدار درصد کاهش شار هد می‌باشد. در شکل (۶) صحت‌سنجی برازش خطی با ۲۰ درصد داده‌ها نشان داده شده است. براساس شکل

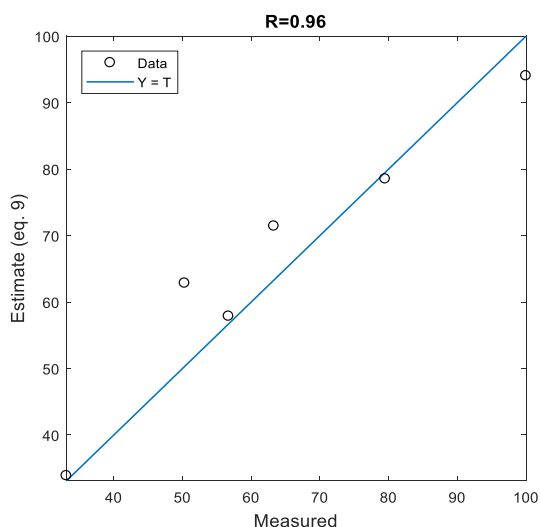


Figure 7. Polynomial nonlinear model regression

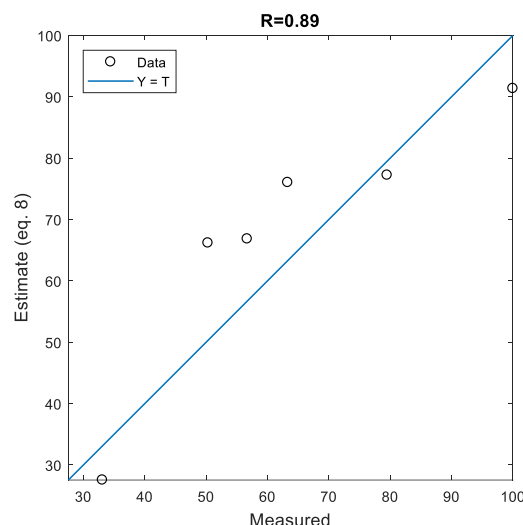


Figure 6. Comparison of laboratory results with the results of linear model

همان‌طورکه از شکل (۷) مشخص است مقدار ضریب همبستگی ۰/۹۶ بوده که نزدیک به ۱ می‌باشد و نشان از کارایی و عملکرد مناسب این مدل دارد. از دیگر مدل‌های غیرخطی مورد استفاده در برازش داده‌های مختلف، مدل نمایی می‌باشد. مدل نمایی عملکرد مناسبی در مدل‌سازی جریان‌های غلیظ داشته و فرم کلی مدل نمایی در رابطه (۱۵) ارائه شده است.

$$Te = a_0 + a_1 \exp(a_2 \frac{H}{h}) + a_3 \exp(a_4 \frac{q_0}{q_{in}}) + a_5 \exp(a_6 S) \quad (15)$$

براساس رابطه (۱۵) مشخص است که این مدل نیز نسبت به ضرایب غیرخطی بوده و بر این اساس لازم است برای به‌دست‌آوردن ضرایب از روش‌های بهینه‌سازی استفاده شود. خطای مدل‌سازی از رابطه (۱۶) به‌دست می‌آید.

$$e = a_0 + a_1 \exp(a_2 \frac{H}{h}) + a_3 \exp(a_4 \frac{q_0}{q_{in}}) + a_5 \exp(a_6 S) - T_e \quad (16)$$

تابع هزینه نیز به‌صورت رابطه (۱۳) در نظر گرفته می‌شود. در این مدل نیز برای به‌دست‌آوردن ضرایب به بهینه‌سازی تابع هزینه با استفاده از الگوریتم ژنتیک

تخمین ضرایب براساس روش‌های بهینه‌سازی یکی از مؤثرترین روش‌های تخمین ضرایب مدل غیرخطی می‌باشد. در نتیجه در این بخش به تخمین ضرایب با استفاده از الگوریتم بهینه‌سازی ژنتیک پرداخته شده است. خطای مدل‌سازی با استفاده از رابطه (۱۲) مشخص شده است.

$$e = a_0 + a_1 (\frac{H}{h})^{a_2} + a_3 (\frac{q_0}{q_{in}})^{a_4} + a_5 (S)^{a_6} - T_e \quad (12)$$

با استفاده از رابطه (۱۲) تابع هزینه به‌صورت رابطه (۱۳) تعریف شده است.

$$\text{cost} = \sqrt{\sum_{i=1}^n e_i^2} \quad (13)$$

که n بیان‌کننده تعداد داده‌های موجود می‌باشد. براساس این تابع هزینه و الگوریتم ژنتیک معرفی شده، ضرایب مدل غیرخطی به‌صورت رابطه (۱۴) به‌دست می‌آیند.

$$a_0 = 1.369, a_1 = 0.548, a_2 = 6.229 \quad (14)$$

$$a_3 = 31.047, a_4 = -0.464,$$

$$a_5 = 16.065, a_6 = -1.167$$

در شکل (۷) صحت‌سنجی مدل پیشنهادی و ضرایب به‌دست‌آمده با استفاده از ۲۰ درصد داده‌ها ارائه شده است.

بیش‌تر بوده و میزان خطا آن نیز کم‌ترین بوده است، که نشان از عملکرد و قابلیت بهتر این مدل نسبت به سایر مدل‌ها دارد. بنابراین در این مطالعه مدل غیرخطی چند جمله‌ای پیشنهاد می‌شود.

Table 4. Comparison of different modeling of density current head

Criterion	Linear model	Polynomial nonlinear model	Exponential nonlinear model
RMSE	10.226	4.179	7.619
R	0.89	0.96	0.94

نتیجه‌گیری

در این مطالعه اثر موانع نفوذپذیری بر شار هد جریان غلیظ تحت تأثیر پارامترهای مختلفی از قبیل دبی ورودی، شیب و ارتفاع مانع بررسی شد. نتایج اصلی حاصله از این پژوهش به شرح زیر است:

۱- با استفاده از تحلیل ابعادی پارامترهای مؤثر بر درصد کاهش شار جریان غلیظ مشخص شد، که براساس تأثیر شیب، نسبت ارتفاع و نسبت دبی مورد ارزیابی قرار گرفت.

۲- با افزایش ارتفاع مانع نفوذپذیر، میزان کارایی موانع بهبود پیدا می‌کند. به‌طوری‌که مانع با نسبت بی‌بعد ارتفاع یک، توانایی کنترل شار هد جریان به میزان حداکثر ۵۶ درصد را دارد، اما مانع با نسبت ارتفاع دو، اجازه عبور شار هد را از روی مانع نمی‌دهد.

۳- شار جریان غلیظ بر کارایی موانع بسیار مؤثر می‌باشد و با بررسی جدول (۲) مشخص شد که با افزایش دو پارامتر نسبت دبی و شیب کف فلوم مقدار شار هد جریان افزایش می‌یابد که همین امر سبب کاهش کارایی موانع می‌شود.

۴- با این‌که هر پارامتر (دبی و شیب) سبب افزایش مومتم جریان می‌شود، اما اثر هر یک به‌تنهایی چندان تأثیرگذار نبوده و افزایش هم‌زمان این پارامترها تأثیر بیش‌تری دارد.

پرداخته شده است. با بهینه‌سازی تابع هزینه ضرایب مدل غیرخطی به‌صورت داده‌های زیر به‌دست می‌آیند.

$$a_0 = 28.963, a_1 = 0.928, a_2 = 1.959, \\ a_3 = 129.998, a_4 = -4.393, \\ a_5 = 149.721, a_6 = -2.794$$

نمودار صحت‌سنجی مدل غیرخطی نمایی به‌دست‌آمده

با ۲۰ درصد داده‌هایی که در صحت‌سنجی استفاده‌شده در شکل (۸) ارائه شده است.

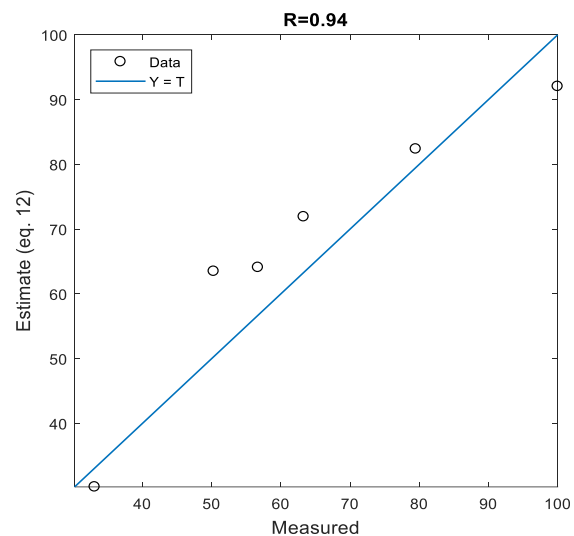


Figure 8. Exponential nonlinear model regression

با بررسی شکل (۸) مشخص می‌شود که مقدار ضریب همبستگی ۰/۹۴ بوده که نزدیک به ۱ است. هم‌چنین پراکندگی داده‌های صحت‌سنجی در اطراف خط $y = T$ کم بوده است، که نشان از کارایی و عملکرد مناسب این مدل دارد.

همان‌طور که پیش‌تر بیان شد مدل‌سازی خطی دقت بالایی ندارد، اما برای درک بهتر به مقایسه مدل‌های خطی و غیرخطی در جدول (۴) پرداخته شده است.

با بررسی مقادیر برازش و میزان خطا برای سه مدل در جدول (۴) کاملاً مشخص می‌باشد که مقدار همبستگی در مدل غیرخطی چند جمله‌ای نسبت به سایر مدل‌ها

- Jets opposing turbidity currents and open channel flows. *Journal of Hydraulic Engineering*, 139(1), 55-59.
7. De Cesare, G., Oehy, C., & Schleiss, A. (2008). *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.
 8. Ellison, T.H., & Turner, J.S. (1959). Turbulent entrainment in stratified flows. *Journal of Fluid Mechanics*, 6(3), 423-448.
 9. Farizan, A., Yaghoubi, S., Firoozabadi, B., & Afshin, H. (2019). Effect of an obstacle on the depositional behaviour of turbidity currents. *Journal of Hydraulic Research*, 57(1), 75-89.
 10. Inman, D. L., Nordstrom, C. E., and Flick, R. E. (1976). Currents in submarine canyons: An air-sea-land interaction. *Annual Review of Fluid Mechanics*, 8(1), 275-310.
 11. Johnson, D. W. (1967). *The origin of submarine canyons: a critical review of hypotheses*. New York, USA: Hafner Publishing Company.
 12. Kaheh, M., Ghomeshi, M., & Jahromi, S.M., (2012). *Experimental investigation of gravity current dynamics on rough beds*. Doctoral dissertation. Ph.D. Thesis, Chamran University. Ahwaz, Iran.
 13. Khosropour, S., Kashifipour, S.M., & Daryaei, M. (2019). Investigation of the effect of density and arrangement of rough blocks with obstacle on the control of density current head, *Journal of Hydraulic*, 14 (2), 115-105. (In Persian).
 14. Kochenderfer, M. J., & Wheeler, T. A. (2019). *Algorithms for optimization*. Stanford: Mit Press.
 15. Kordnaej, M., AsghariPari, S.A., Sajadi, M.S., & Shafaei Bajestan, M. (2017). Laboratory comparison of the effect of porous obstacle and porous stepped obstacle in the control of density current, *Journal of Marine Science and Technology*, 16 (4), 96-86. (In Persian).
 16. Mirzaei, Qh., ValiSamani J.M., & Mazaheri, M. (2015). Flood control and management with a powerful simulator of unstable currents in the river. *Journal of Water and Irrigation Management*, 5 (1), 96-81. (In Persian).
 17. Mohammadi, M. A. H., Asghari Pari, S.A., & Sajjadi, S. M. (2016). Laboratory study of the effect of height, shape and location of gabion obstacles in controlling dense sediment current, *Journal of Soil and Water Conservation Research*, 23 (4), 265-251. (In Persian).
- ۵- مانع نفوذپذیر دوزنقه‌ای پر شده با سنگ‌دانه با قطر یک سانتی‌متر با ارتفاع دو برابر بدنه جریان غلیظ تأثیر بسیار زیادی بر شار هد جریان غلیظ داشته و در بسیاری از آزمایش‌ها توانسته جریان را کاملاً کنترل کند، فقط در آزمایش‌ها با مومنتم بالا بخش کوچکی از جریان قادر به عبور از روی مانع می‌باشد.
- ۶- برازش داده‌ها به صورت خطی و غیرخطی به دست آمد و نتایج حاصل مقایسه شدند و مشخص شد که مدل چندجمله‌ای یعنی رابطه (۹) بالاترین دقت را در مدل‌سازی داده‌های شار هد جریان غلیظ در اختیار قرار می‌دهد.

تعارض منافع

هیچ‌گونه تعارض منافع توسط نویسندگان وجود ندارد.

منابع

1. Abhari, M. N., Iranshahi, M., Ghodsian, M., & Firoozabadi, B. (2018). Experimental study of obstacle effect on sediment transport of turbidity currents. *Journal of Hydraulic Research*, 56(5), 618-629.
2. Alavian, V., Jirka, G. H., Denton, R. A., Johnson, M. C., & Stefan, H. G. (1992). Density currents entering lakes and reservoirs. *Journal of Hydraulic Engineering*, 118(11), 1464-1489.
3. Alexander, J., & Morris, S. (1994). Observations on experimental, nonchannelized, high-concentration turbidity currents and variations in deposits around obstacles. *Journal of Sedimentary Research*, 64(4a), 899-909.
4. Asghari Pari, S.A., & Mohagheghian, S.M. (2015). Numerical study of the effect of using plate obstacle and oblique columnar obstacles in controlling density current, *Iranian Journal of Irrigation and Drainage*, 9 (2), 357-366. (In Persian).
5. Asghari Pari, S.A., Kashifipour, S.M., Ghomeshi, M., & Bajestan, M. S. (2010). Effects of obstacle heights on controlling turbidity currents with different concentrations and discharges. *Journal of Food, Agriculture and Environmen.*, 8(2), 930-935.
6. Bühler, J., Oehy, C., & Schleiss, A. J. (2013).

18. Nomura, S., Hitomi, J., De Cesare, G., Takeda, Y., Yamamoto, Y., & Sakaguchi, H. (2019). *Sediment mass movement of a particle-laden turbidity current based on ultrasound velocity profiling and the distribution of sediment concentration*. Geological Society, London, Special Publications, 477(1), 427-437.
19. Oehy, C. D., De Cesare, G., & Schleiss, A. J. (2010). Effect of inclined jet screen on turbidity current. *Journal of Hydraulic Research*, 48(1), 81-90.
20. Parker, G., Fukushima, Y., & Pantin, H. M. (1986). Self-accelerating turbidity currents. *Journal of Fluid Mechanics*, 171, 145-181.
21. Pirnia, S. P., Wali Samani, J., & monaem, M. J. (2012). Spatial and temporal study of salinity infiltration in tidal river using COHERENS model: a case study of Bahmanshir river. *Journal of Water and Irrigation Management*, 3(1), 13-27. (In Persian).
22. Prinos, P. (1999). *Two-dimensional density currents over obstacles*. In proceedings of the 28th IAHHR Congress, Graz, Austria.
23. Simpson, J. E. (1982). Gravity currents in the laboratory, atmosphere, and ocean. *Annual Review of Fluid Mechanics*, 14(1), 213-234.
24. Woods, A.W., Bursik, M.I., & Kurbatov, A.V. (1998). The interaction of ash flows with ridges, *Bull Volcano*. 160, 38-51.
25. Zeynivand, M., Kashfipour, S. M., & Qomshi, M. (2016). Laboratory study of the effect of permeability of permeable plates on concentrated flow control, *Journal of Irrigation Science and Engineering*, 40(1), 24-13. (In Persian).