

Experimental Study of Hydraulic Parameters in Density Current Due to Channel Constriction


Mohammad Hosseini¹, Mohammad Hadi Fattahi^{1,2*}, Saeid Eslamian^{1,3}

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

2- Department of Civil Engineering, Marvdasht Branch, Islamic Azad University, Marvdasht, Iran.

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

* m.fattahi@sci.iaun.ac.ir

Received: 28 July 2020, Accepted: 26 August 2020  J. Hydraul. Homepage: www.jhyd.iha.ir

Abstract

Introduction: Turbidity current plays the main role in the transfer and deposition of sediments in the dam reservoir, especially near the dam body at the site of its crucial structures, including bottom outlets and catchments; this is since the difference in the specific gravity or, indeed, the effect of the gravity acceleration on the difference in specific mass forms a density current. If the density difference is due to suspended materials, these currents are called turbidity. This study mainly aims to find a significant relationship between density current's hydraulic parameters, such as velocity, concentration, and thickness, understand the advance rate and the distribution of sedimentary currents, investigate the obstacle- shape (extended and local) effect in controlling turbidity current and its sedimentation pattern in the channel, and obtain a suitable dimensionless pattern of velocity and concentration of density current due to changes in the current hydraulic parameters.

Methodology: The experiments are performed in a flume of 8 m long, 35 cm wide, and 60 cm high at Shiraz University. The flume is characterized by the bed slope. Using a flowmeter, the input density current enters the channel, and a clean water source is used to balance the water table. The flume has a positive and negative sloping capability. A 500-liter reservoir is used to enter the density current. Density current consists of a head, body, and a series of dense fluid formed by sinking a heavy fluid in clean water, forehead, or head; it grows as it progresses. Further, due to the bed friction, its tongue or ness rises from the ground. The body is located behind, and its depth is less than half of the current forehead. The screened rock powder (100% sieve passage) with a specific gravity of 2.65 tm^{-3} is used as suspended sediments. In all experiments, the clean water has a density of 998.2 kg^{-3} , a slope of 1% and 3%, a discharge of 50 and 90 lmin^{-1} , and a concentration of 1005 and 1008 kg^{-3} . The inlet valve of the flume is devised for a density current of 1 cm. Samples were taken from 8 sections, started from 2.5 m of the inlet valve, and divided with 50 cm intervals from each other.

Results and Discussion: As the inlet discharge increases and the bed slope decreases, the profiles become more stable. Also, when the discharge of the input turbidity current is minimal, the profiles become more curved. An altitude with zero turbidity current's velocity represents the total thickness of the current; at higher altitudes, the velocity becomes negative to maintain current continuity, i.e., fluid above the current is not static and moves slowly upwards. In all experiments, the changes in the coefficient n are almost great and vary from

3.027 to 5.33 in different experiments. Such great changes in this coefficient can be due to the effect of bed shear on velocity profiles; an increase in the bed slope of the channel from 1% to 2% reduces the thickness of the turbidity current along the channel, increasing the current velocity. There are many changes in the wall region, and an increase in the concentration of the input turbidity current increases the drift current and the turbidity current's velocity. Furthermore, constriction causes the average velocity of density current to increase by 2.26 times and the concentration of accumulated current behind obstacles by 1.45 times.

Conclusion: An increase in the concentration of the input turbidity current increases the maximum velocity (in the velocity profiles). An increase in the maximum velocity of the turbidity current is more evident in currents with higher inlet discharge rather than others. Dimensional velocity profiles at the upper edge of the current show more dispersion due to the current temporary behavior in this region. The maximum velocity of the density current in the wall region is higher than in the jet region. For the dimensionless profile of velocity at the wall region, the best coefficient n is equal to 3.86, showing a high correlation of 0.878, and also for the jet region, the best coefficient α and β are equal to 0.412 and 1.343, respectively, with a correlation coefficient of 0.92. According to the results, local and extensive constriction increases the average velocity of the density current by 2.26 times and also the concentration of the current sediments behind the obstacles by 1.45 times; the trap efficiency of sediments is equal to 29.8%.

Keywords: Density current, Sediment, Constriction, Wall region, Trap efficiency.



© 2020 Iranian Hydraulic Association, Tehran, Iran.
This is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0 license)
(<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)

بررسی آزمایشگاهی فراسنجه‌های هیدرولیکی جریان چگال در نتیجه تنگ شدگی بدنه آبراهه

محمد حسینی^۱، محمد هادی فتاحی^{۲*}، سعید اسلامیان^۳

- ۱- گروه مهندسی عمران، واحد نجف آباد، دانشگاه آزاد اسلامی، نجف آباد، ایران.
 ۲- گروه مهندسی عمران، واحد مرودشت، دانشگاه آزاد اسلامی، مرودشت، ایران.
 ۳- گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران.

* m.fattahi@sci.iaun.ac.ir

دریافت: ۱۳۹۹/۰۵/۰۷، پذیرش: ۱۳۹۹/۰۶/۰۵ ☞ وب‌گاه نشریه هیدرولیک: www.jhyd.iha.ir

چکیده: جریان غلیظ یک حرکت نسبی است که بین دو لایه سیال که حتی دارای اختلاف کمی در چگالی هستند ایجاد شود، اختلاف در وزن مخصوص و یا در واقع تأثیر شتاب ثقل ناشی از اختلاف جرم مخصوص باعث ایجاد این گونه جریان‌ها می‌شود. در این پژوهش از مدل آزمایشگاهی با طول ۸ متر و عرض ۳۵ سانتی متر و ارتفاع ۶۰ سانتی متر استفاده شده است که به بررسی ارتباط بین فراسنجه‌های هیدرولیکی جریان و همچنین میزان انباشتگی رسوب‌ها در نتیجه تنگ‌شدگی‌های پیوسته و موضعی پرداخته شده است. نتایج نشان داد در رخ نماهای بی بعد سرعت، ضریب تغییرپذیری‌های ناحیه دیواره به نسبت زیاد بوده و از ۳/۰۲۷ تا ۵/۳۳ در آزمایش‌های مختلف متغیر می‌باشد تغییرپذیری‌های زیاد این ضریب بدلیل وجود تأثیر برش در کف بر روی رخ نماهای سرعت می‌باشد همچنین افزایش شیب کف آبراهه از ۱٪ به ۳٪ موجب کاهش ضخامت جریان گل آلود و در نتیجه سرعت جریان چگال افزایش می‌یابد. وجود تنگ شدگی پیوسته و موضعی باعث شد که سرعت جریان چگال پس از تنگ‌شدگی حدود ۲/۲۶ برابر افزایش یابد و برای کل مدل‌ها با همه‌ی حالت‌های مختلف میزان بازده تله اندازی رسوب‌ها برابر ۲۹/۸٪ می‌باشد.

کلید واژگان: جریان چگال، تنگ شدگی پیوسته و موضعی، سرعت بی بعد، ناحیه دیواره، راندمان تله‌اندازی.

۱- مقدمه

جریان غلیظ می‌شود. اگر اختلاف چگالی و تراکم به علت مواد معلق باشد به این جریان‌ها، جریان‌های گل‌آلود می‌گویند. فرضیه‌هایی که می‌توان برای این گونه جریان‌ها در نظر گرفت از جمله سیال به صورت تراکم ناپذیر است، الگوی تشکیل جریان چگال با تغییر غلظت، دبی و شیب بستر ارتباط معنا داری دارد و جریان چگال تنها به صورت جریان گل آلود در نظر گرفته می‌شود. جریان‌های چگال نیز همانند بسیاری دیگر از پدیده‌های ژئوفیزیکی ماهیت غیر خطی داشته، سامانه‌های غیر خطی پدیده‌هایی پیچیده و حساس نسبت به شرایط اولیه می‌باشند که تغییر اندک در هر یک از عامل‌های موثر می‌تواند تأثیر گذاری قابل توجهی بر مجموعه رفتاری و الگوی جریان چگال بگذارد. از اهداف اصلی این تحقیق یافتن ارتباط معناداری

جریان گل‌آلود بیشترین نقش را در انتقال و ته‌نشینی رسوب‌ها در مخزن سد، و به‌ویژه در نزدیکی بدنه سد در محل سازه‌های حیاتی سد از جمله خروجی‌های زیرین و آبگیرها، دارد زبان‌های ناشی از رسوبگذاری ناشی از ورود جریان گل‌آلود، به‌طور عمده شامل پایین آمدن بازده اقتصادی و نیز میزان تولید آب و برق و کاهش عمر مفید سدها می‌باشد، و همچنین رسوبگذاری در مخزن مسئله‌های و مشکلات پر شماری را در طراحی و بهره‌برداری از سامانه‌های منابع آب ایجاد می‌کند، که از آن جمله کاهش عمر مفید سازه‌ها و تاسیسات موجود در بدنه سد می‌باشد. از آنجا که در عمل اختلاف در وزن مخصوص و یا در واقع تأثیر شتاب ثقل روی اختلاف جرم مخصوص باعث ایجاد

بین فراسنجه‌های هیدرولیکی جریان چگال مانند سرعت، غلظت و ضخامت و پی بردن به سرعت پیشروی و چگونگی پخش جریان‌های رسوبی برقرار کرد همچنین تاثیر شکل مانع (پیوسته و موضعی) در مهار جریان گل‌آلود و الگوی رسوبگذاری آن در آبراهه بررسی شده و به الگوی مناسب بی‌بعد سرعت و غلظت جریان چگال در نتیجه تغییرپذیری‌های فراسنجه‌های هیدرولیکی جریان دست یافت.

در بررسی آزمایشگاهی - عددی با در نظر گرفتن سه نوع جریان که شامل جریان غلیظ نمکی، جریان گل‌آلودی که تنها رسوبگذار است، و جریان گل‌آلودی که هم رسوبگذار است، و هم فرسایشی است آزمایش و بررسی شد (Imran et al., 2017). نتایج به دست آمده، گویای از این نکته هستند، که جهت مدل‌سازی جریان غلیظ نمکی (پایستار) مدل‌سازی بر مبنای عدد فرود چگالی جریان می‌بایست انجام پذیرد، اما برای مدل‌سازی جریان‌های گل‌آلودی که هم رسوبگذار بوده، و هم فرساینده بستر هستند، لازم است عدد رینولدز که در معادله‌های انتقال رسوب به جریان در نزدیکی بستر و همچنین معادله‌های سرعت سقوط ذرات نیز ظاهر می‌شوند، معیار مدل‌سازی قرار گیرد (Imran et al., 2017). در پژوهشی دیگر با استفاده از مدل ریاضی و با ترکیب مدل‌های جریان سطح آزاد و مدل جریان گل‌آلود و همچنین تبادل دبی بین سرشاخه اصلی رودخانه و شاخه‌های فرعی آن، فراسنجه‌های هیدرولیکی انتقال رسوب در مخزن‌های سدها بررسی شد (Wang et al., 2016). چگونگی رسوبگذاری جریان‌های گل‌آلود در بستر آبراهه بستگی به عدد رینولدز، عدد فرود چگالی جریان و همچنین غلظت جریان گل‌آلود دارد (Postma and Cartigny, 2014). در بررسی‌های آزمایشگاهی دیگری جریان گل‌آلود در نتیجه وجود بازدارنده‌هایی در بستر فلوم بررسی شده است. شکل بستر ایجاد شده ناشی از ته‌نشینی جریان گل‌آلود به کلی بستگی به شرایط دبی جریان داشته، و تحت تاثیر دبی به صورت پیوسته و یا آب نگار می‌باشد و ضخامت جریان گل‌آلود نیز به کلی به شکل بستر وابسته می‌باشد (Yokokawa et al., 2015). مدیریت رسوبگذاری و تاثیر آشفته‌گی جریان‌های گل‌آلود رسوبی و جریان‌های

غلیظ نمکی در آبراهه‌های مستقیم بررسی شده است (Shringarpure et al., 2016; Chamoun et al., 2016). با استفاده از ارزیابی عددی و آزمایشگاهی، الگوهای فرسایش و رسوبگذاری جریان‌های غلیظ در کانال‌های مستقیم محدود و نامحدود نیز بررسی شده است (Hoffmann et al., 2015; Peakall et al., 2015). با در نظر گرفتن تنگ‌شدگی موازی و همگرا در ورودی دریاچه آبراهه میزان‌های سرعت و غلظت سر جریان غلیظ در طول فلوم بررسی شده است (Akbarizadeh et al., 2020). نتایج بررسی آنان نشان داد تنگ‌شدگی موازی و همگرا در ابتدای آبراهه، باعث افزایش غلظت جریان غلیظ به ترتیب ۱/۲۵٪ و ۴/۱۳٪ در انتهای فلوم می‌شود، همچنین سرعت بار جریان در آبراهه موازی و همگرا به ترتیب ۸/۲۵٪ و ۷/۲۲٪ نسبت به حالت بدون تنگ‌شدگی، افزایش یافته است. با استفاده از نتایج بررسی‌های آزمایشگاهی و عددی، ویژگی‌های جریان‌های دو فازی بررسی شده است (Carrillo et al., 2020). آنان با بررسی روی سرعت در فصل مشترک سیال تمیز و غلیظ توانستند رابطه معناداری با ضریب همبستگی ۰/۸۶ را به دست آورند. وجود بازدارنده‌ها در کف آبراهه‌ها می‌تواند غلظت جریان چگال عبوری را حدود ۳۰ درصد کاهش دهد که این میزان بستگی به نوع دبی و شیب کف آبراهه دارد (Abhari et al., 2018; Farizan et al., 2018). محققان مختلفی بر روی جریان‌های چگال در آبراهه‌های مختلف در شرایط اولیه مختلف و وجود بازدارنده‌ها بررسی‌های خود را گسترش دادند (Mauti et al., 2020; Wu et al., 2019; Goodarzi et al., 2020).

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- نظریه جریان چگال

بدنه جریان غلیظ را می‌توان به دو ناحیه متمایز تقسیم‌بندی کرد: ناحیه دیوار و ناحیه جت که در شکل ۱ نمای کلی از آن را مشاهده می‌کنید. ارتفاع همانند سرعت بیشینه h_m این دو ناحیه را از هم جدا می‌کند. در ناحیه دیواره $(z < h_m)$ آشفته‌گی بدلیل اصطکاک بستر و ورود رسوب‌های بستری می‌باشد و در ناحیه جت $(z > h_m)$ آشفته‌گی بدلیل اصطکاک در مرز مشترک و ورود سیال محیطی می‌باشد.

که در این رابطه h ارتفاع میانگین جریان غلیظ β_c و γ_c ضریب تجربی هستند که به ترتیب برابر $1/3$ و $3/5$ می‌باشند (Altinakar et al., 1996)

در جریان‌های چگال به دلیل وجود فصل مشترک ناچیز بین سیال آب و سیال غلیظ برای بیان بهتر رابطه‌ها می‌توان از عدد ریچاردسون استفاده کرد. اختلاط در ناحیه‌ای که چگالی و سرعت تابعی از ارتفاع (Z) می‌باشد بهتر است اختلاط به جای عدد فرود چگالی توسط عدد گرادیان ریچاردسون بیان شود. رابطه g' شتاب ثقل کاهش یافته بواسطه شناوری می‌باشد و حرکت جریان چگالی به طور عمده به این فراسنجه بستگی دارد و به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$g' = \frac{(\rho - \rho_0)}{\rho_0} g \quad (5)$$

در این رابطه ρ چگالی سیال غلیظ و ρ_0 چگالی سیال محیط است. در مواردی که اختلاط ناچیز بوده و یک سطح مشترک مشخص و روشن وجود دارد عدد ریچاردسون می‌تواند بصورت زیر بیان کرد:

$$R_i = \frac{g'd \cos \theta}{u^2} \quad (6)$$

در این رابطه θ شیب و R_i توازن و بالانس بین نیروی ثقل موثر، عمود بر وجه مشترک و برش بین صفحه مشترک دو جریان را بیان می‌دارد. کاهش عدد ریچاردسون باعث افزایش میزان اختلاط در سطح مشترک جریان چگال با سیال محیط می‌گردد.

۲-۲- تنظیم‌های آزمایشگاهی

آزمایش‌ها در یک فلوم به طول ۸ متر، عرض ۳۵ سانتی متر و ارتفاع ۶۰ سانتی متر در دانشگاه شیراز انجام شده است. کف فلوم قابلیت شیب پذیری دارد و برابر شکل ۲ از یک منبع جریان غلیظ با استفاده از یک جریان سنج، جریان ورودی چگال وارد آبراهه شده و جهت تعادل قرار دادن سطح ایستابی از یک عدد منبع آب تمیز استفاده شده است فلوم دارای قابلیت شیب پذیری مثبت و منفی می‌باشد. از یک مخزن ۵۰۰ لیتری برای ورود جریان چگال استفاده شده است. همانطور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود جریان چگال تشکیل شده از یک هد(سر)، بدنه و دنباله‌ای از سیال

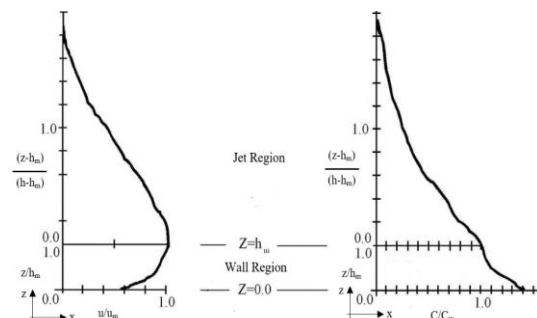


Fig. 1 Velocity and concentration profiles of density current (Altinakar et al., 1996)

شکل ۱ رخ نماهای سرعت و غلظت جریان غلیظ (Altinakar et al., 1996)

توزیع سرعت جریان غلیظ در هر یک از ناحیه‌های دیوار و جت با رابطه‌های زیر بیان می‌شود: در منطقه دیواره ($Z < h_m$) توزیع سرعت لگاریتمی است البته به طور کلی توزیع سرعت در این ناحیه به صورت یک رابطه توانی تجربی نیز بیان می‌شود:

$$\frac{u(z)}{u_m} = \left(\frac{z}{h_m}\right)^n \quad (1)$$

که در آن u_m سرعت بیشینه و h_m ارتفاع همانند این سرعت است. در برخی تحقیقات n برابر با ۶ پیشنهاد شده است (Altinakar et al., 1996). در ناحیه جت ($Z > h_m$) توزیع سرعت به تقریب گوسی است.

$$\frac{u(z)}{u_m} = \exp\left[-\alpha \left(\frac{z-h_m}{h-h_m}\right)^\beta\right] \quad (2)$$

در این رابطه $\alpha = 0.26$ و $\beta = 2/5$ پیشنهاد می‌شود (Altinakar et al., 1996). U و h به ترتیب عمق و سرعت میانگین جریان بوده است همچنین توزیع غلظت در جریان‌های غلیظ در ناحیه دیوار ($Z < h_m$) مانند رخ نما سرعت به صورت یک رابطه توانی تجربی نیز بیان می‌شود:

$$\frac{c(z)}{c_m} = \left(\frac{z}{h_m}\right)^{-n_c} \quad (3)$$

که در آن c_m غلظت در ارتفاع h_m که متناظر با سرعت بیشینه است و n_c یک مقدار تجربی است در ناحیه جت ($Z > h_m$) توزیع غلظت به تقریب گوسی است و از رابطه زیر بیان می‌شود:

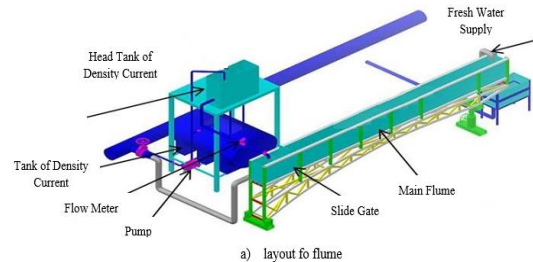
$$\frac{c(z)}{c_m} = \exp\left[-\beta_c \left(\frac{z-h_m}{h-h_m}\right)^{\gamma_c}\right] \quad (4)$$

۳- بحث و نتایج

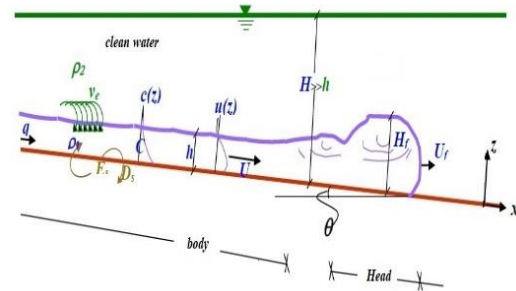
۳-۱- بررسی رخ نماهای سرعت

هنگامی که جریان چگال از زیر دریچه با توجه به دبی‌های مختلف وارد فلوم می‌شود به خاطر میزان ارتفاع بازشدگی دریچه، همواره پرفیل‌های هیدرولیکی پس از دریچه مشاهده می‌شود و برای اینکه الگوی شکل جریان به یک پایداری نسبی برسد و تکامل جریان چگال رخ دهد بهتر است موقعیت اندازه‌گیری رخ نماها در نیمه کامل باشد به همین دلیل بازدارنده‌هایی را در فاصله ۴/۵m از دریچه قرار داده شده است و ویژگی‌های جریان چگال را قبل و پس از بازدارنده (تنگ شدگی) بررسی می‌شود به همین دلایل رخ نماهای سرعت جریان چگال در فاصله ۵m از دریچه بررسی شده است که مشاهده اجمالی پروفیل‌ها نوع رژیم جریان را نشان می‌دهند. این موضوع بسیار تحت تاثیر شیب و دبی ورودی جریان می‌باشد، به گونه‌ای که با افزایش دبی ورودی و همچنین کاهش مقدار شیب کف آبراهه، رخ نماها حالت ایستاده‌تری دارند. همچنین هنگامی که دبی جریان گل آلود ورودی خیلی کوچک باشد، رخ نماها شکل خوابیده‌تری خواهند داشت. ارتفاعی که سرعت جریان گل آلود در آن ارتفاع صفر باشد را ضخامت کل جریان می‌نامند، و در ارتفاع‌های بالاتر از آن، برای حفظ پیوستگی جریان،

غلیظ که در نتیجه فروروی سیال سنگین به زیر آب صاف، پیشانی و یا هد تشکیل می‌شود و ضمن پیشروی رشد می‌کند. و در نتیجه اصطکاک کف زبانه یا دماغه آن، از زمین بلند می‌شود. و بدنه در پشت سر قرارداد که عمق آن کمتر و حدود نصف عمق پیشانی جریان است.



(a)



(b)

Fig. 2 Schematic view and layout of flume
شکل ۲ نمای کلی از فلوم و حرکت جریان غلیظ

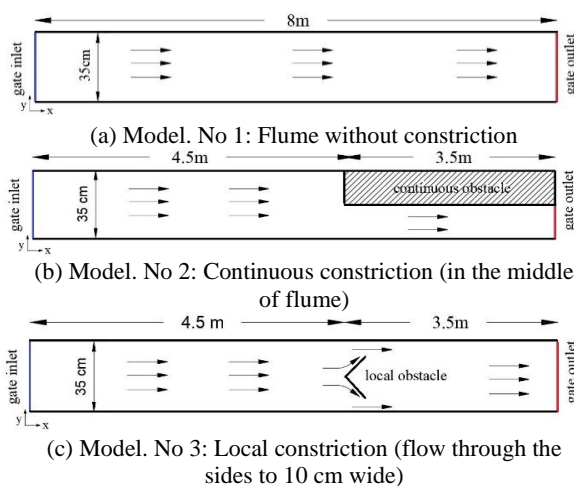


Fig. 3 Flume plan for density current (a) Without constriction, (b) Continuous constriction, (c) local constriction.

شکل ۳ نقشه فلوم جریان چگال (a) بدون تنگ شدگی، (b) تنگ شدگی موضعی پیوسته، (c) تنگ شدگی موضعی

از پودر سنگ الک شده (عبوری الک ۱۰۰) با وزن مخصوص $2/65 \text{ tm}^{-3}$ به عنوان مواد معلق رسوبی استفاده شده است. در آزمایش‌ها چگالی آب تمیز 998.2 kgm^{-3} می‌باشد و همچنین از شیب ۱ و ۳ درصد و دبی ۵۰ و ۹۰ لیتر بر دقیقه و چگالی ۱۰۰۵ و ۱۰۰۸ کیلوگرم بر مترمکعب استفاده شده است. دریچه ورودی فلوم برای عبور جریان چگال ۱ cm در نظر گرفته شده است. نمونه‌برداری‌ها در ۸ مقطع برداشته شده است که توسط یکسری سرنگ‌های سیفونی که به صورت عمقی در مرکز فلوم قرار می‌گیرد از بدنه جریان نمونه‌برداری شده است سیفون نمونه برداری در ۱۶ نقطه توسط شیلنگ‌هایی به سرنگ‌ها متصل است. نمونه‌برداری از فاصله ۲/۵ m دریچه ورودی آغاز شده و با فاصله‌های ۵۰ cm از یکدیگر تقسیم‌بندی شده است که در شکل شماره ۳ مشاهده می‌نمایید.

جدول ۱ میزان ورودی جریان چگال به فلوم

Table 1 Input values of density current to flume.

Model. No	Run Number	S (%)	ρ (kgm ⁻³)	g' (ms ⁻²)	Q (lmin ⁻¹)	u_0 (ms ⁻¹)	R_{i0}
1	1	1	1005	0.062	50	0.2381	0.01091
1	2	2	1005	0.062	50	0.2381	0.01091
1	3	3	1005	0.062	50	0.2381	0.0109
1	4	1	1008	0.091	50	0.2381	0.01611
1	5	2	1008	0.091	50	0.2381	0.0161
1	6	3	1008	0.091	50	0.2381	0.01609
1	7	1	1005	0.062	90	0.4286	0.00337
1	8	2	1005	0.062	90	0.4286	0.00337
1	9	3	1005	0.062	90	0.4286	0.00336
1	10	1	1008	0.091	90	0.4286	0.00497
1	11	2	1008	0.091	90	0.4286	0.00497
1	12	3	1008	0.091	90	0.4286	0.00496
2	13	1	1005	0.062	50	0.2381	0.01091
2	14	3	1005	0.062	50	0.2381	0.0109
2	15	1	1008	0.091	50	0.2381	0.01611
2	16	3	1008	0.091	50	0.2381	0.01609
2	17	1	1005	0.062	90	0.4286	0.00337
2	18	3	1005	0.062	90	0.4286	0.00336
2	19	1	1008	0.091	90	0.4286	0.00497
2	20	3	1008	0.091	90	0.4286	0.00496
3	21	1	1005	0.062	50	0.2381	0.01091
3	22	3	1005	0.062	50	0.2381	0.0109
3	23	1	1008	0.091	50	0.2381	0.01611
3	24	3	1008	0.091	50	0.2381	0.01609
3	25	1	1005	0.062	90	0.4286	0.00337
3	26	3	1005	0.062	90	0.4286	0.00336
3	27	1	1008	0.091	90	0.4286	0.00497
3	28	3	1008	0.091	90	0.4286	0.00496

برش در این دو مرز و گرادیان سرعت روی رخ نما های پیشنهادی تاثیرگذار خواهد بود، همان گونه که پیشتر نیز اشاره شد، کل رخ نما به دست آمده به دو رخ نما سرعت مستقل، یکی مربوط به مرز صلب پایینی و دیگری به مرز پخشندگی بالایی تقسیم شده و رفتار جریان در هر ناحیه روی رخ نما و رابطه پیشنهادی در نظر گرفته خواهد شد. در ناحیه درونی که در زیر سرعت بیشینه قرار دارند. درگ در مرز پایینی فراسنجه مهار کننده اصلی بوده و عبارت مناسب برای پروفیل سرعت یک توزیع لگاریتمی در جریان های طبقه ای می باشد (معادلات ۷ و ۸). برای همه آزمایش ها انجام گرفته تغییر پذیری های ضریب n به نسبت زیاد بوده و از ۰/۲۷ تا ۵/۳۳ در آزمایشات مختلف متغیر می باشد تغییر پذیری زیاد این ضریب می تواند بدلیل وجود تاثیر برش در کف روی رخ نما های سرعت بوده باشد، و ضریب α در محدوده ۰/۱۳ تا ۰/۸۴ متغیر می باشد. همچنین ضریب β در همه آزمایش ها در محدوده ۱/۱۸۵ تا ۱/۷۵۸ متغیر می باشد. در جدول ۲ خلاصه نتایج به دست آمده نشان داده

سرعت منفی خواهد بود، به این معنی که سیال بالای جریان ساکن نبوده و به سمت بالادست حرکت آرامی خواهد داشت. در رخ نما های خوابیده سرعت در ارتفاع پایین تری به این سرعت صفر خواهد رسید، یا در واقع ضخامت کل این گونه جریان ها (جریان در شیب کم و غلظت ورودی زیاد) کمتر از دیگر جریان ها می باشد. این موضوع در بررسی ضخامت های جریان گل آلود نیز بخوبی دیده شده است. در شکل ۴ نمونه ای از رخ نما های سرعت مشاهده می شود. رخ نما سرعت در نمودار شکل ۴ می تواند به شکل مطلوب و مناسبی بوسیله یک رخ نما بی بعد شده نمایش داده شود. به عبارت دیگر شکل بی بعد شده رخ نما سرعت برای همه ی آزمایش ها با شرایط اولیه مختلف مانند هم بوده و همه ی سرعت های بی بعد شده در یک محدوده مشخص و معینی پراکنده شده اند. رخ نما های سرعت بی بعد شده در لبه بالایی جریان پراکندگی بیشتری را نشان می دهند که این موضوع بواسطه رفتار ناپیوسته جریان در این ناحیه می باشد. از آنجایی که درگ در مرز بالایی و پایینی جریان و همچنین

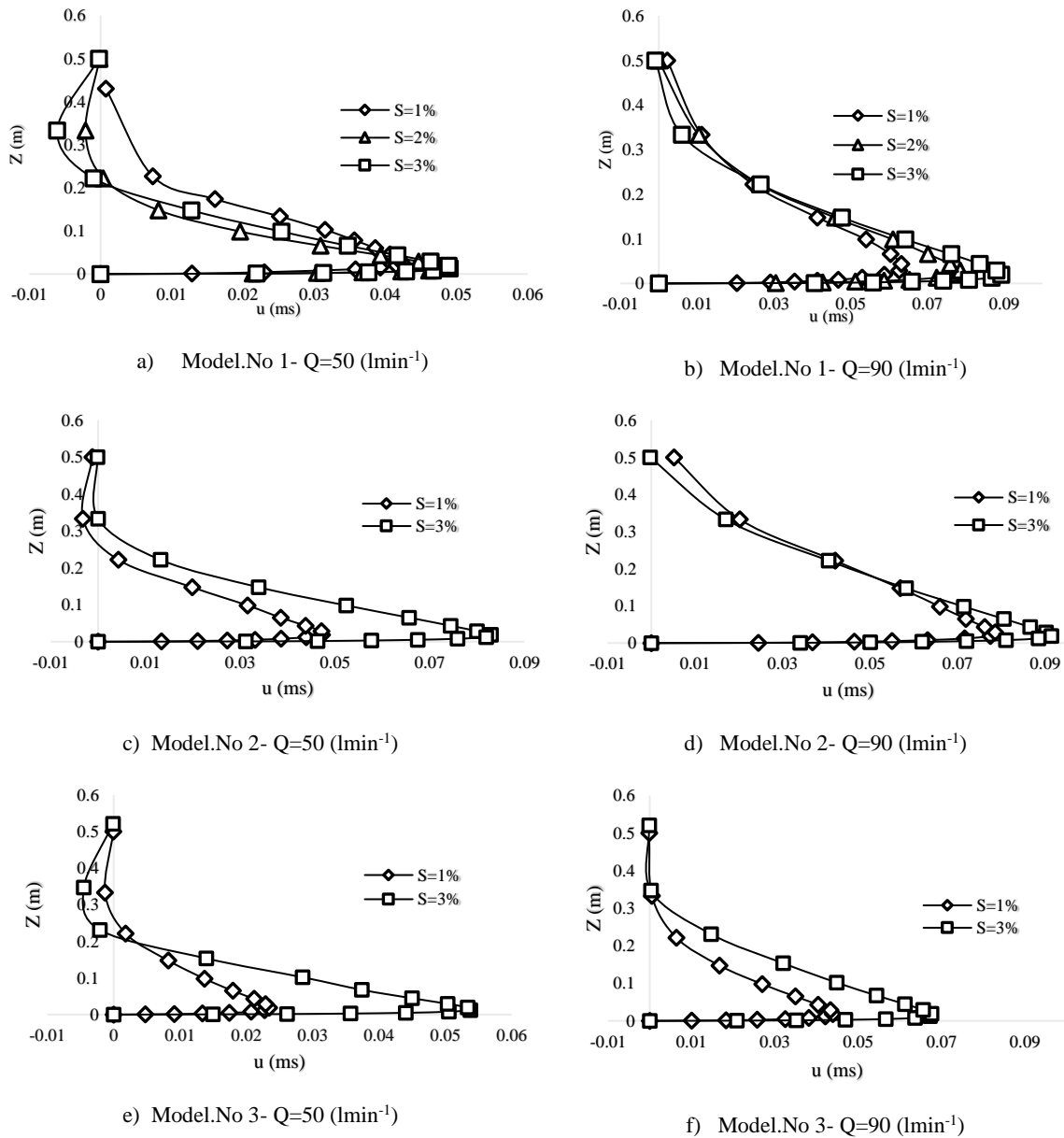


Fig. 4 Diagram of the velocity profiles at a distance of 5 m from the gate with a density of 1005 kgm^{-3} .

شکل ۴ نمودار رخ نماهای سرعت در فاصله ۵m از دریچه با چگالی ۱۰۰۵ kgm^{-3} و دبی ۵۰ lmin^{-1}

جدول ۲ ضریب‌های بی‌بعد سرعت در فاصله ۵ m از دریچه

Table 2 Dimensional coefficients of velocity at a distance of 5 m from gate.

Inflow Type	Initial condition			Jet Region		Wall Region
	Q (lmin^{-1})	ρ (kgm^{-3})	S %	α	β	n
Model.No (1)	50~90	1005~1008	1~2~3	0.434	1.316	4.05
Model.No (2)	50~90	1005~1008	1~3	0.313	1.34	3.97
Model.No (3)	50~90	1005~1008	1~3	0.479	1.463	3.53
Total	50~90	1005~1008	1~2~3	0.412	1.343	3.86

با $۳/۸۶$ که همبستگی بالایی به میزان $۰/۸۷۸$ را نشان می‌دهد و همچنین برای ناحیه جت میانگین ضریب α و β

شده است. از مقایسه کلی همه‌ی حالت‌ها برای رخ نما بی‌بعد سرعت در ناحیه دیواره میانگین، ضریب n برابر است

ناحیه دیواره:

$$\frac{u(z)}{u_m} = \left(\frac{z}{h_m}\right)^{3.86} \quad (7)$$

ناحیه جت:

$$\frac{u(z)}{u_m} = \exp\left[-0.412\left(\frac{z-h_m}{h-h_m}\right)^{1.343}\right] \quad (8)$$

به ترتیب برابر ۰/۴۱۲ و ۱/۳۴۳ با ضریب همبستگی ۰/۹۲ را نشان می‌دهد. در شکل ۵ برای همه‌ی آزمایش‌ها در شرایط مختلف نمودار ناحیه دیواره و ناحیه جت آن ترسیم شده است که با رابطه‌های ۷ و ۸ بیان شده است.

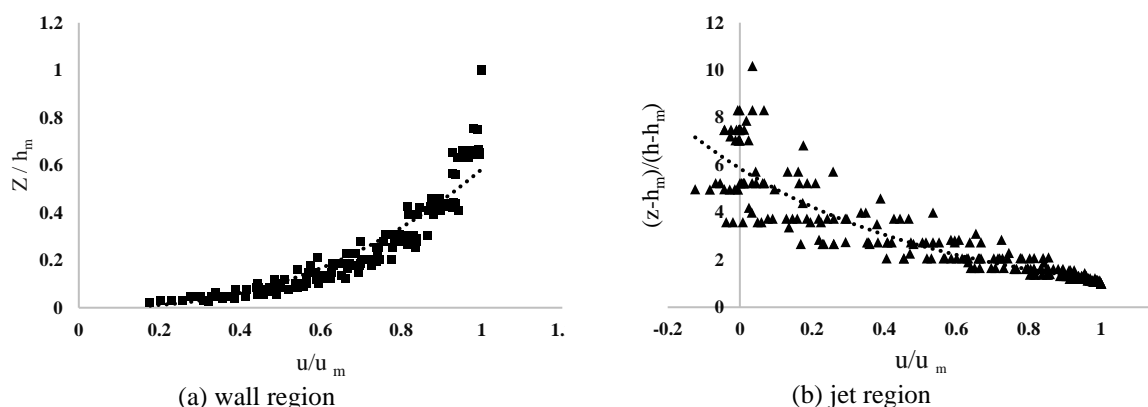


Fig. 5 Diagram of dimensionless velocity for jet and wall regions in all modes at 5 m distance.

شکل ۵ نمودار بی بعد سرعت برای ناحیه جت و دیواره برای همه‌ی حالت‌ها در فاصله ۵m

شکل ۶ نمودار رخ نمای بی بعد غلظت نشان داده شده است در قسمت a با فرض دبی و غلظت ورودی یکسان، نمودار نشان می‌دهد افزایش شیب بستر فلوم در ناحیه دیواره نسبت به ناحیه جت ملموس تر است از سوی دیگر افزایش شیب کف آبراهه از ۰/۱ به ۰/۲ موجب کاهش ضخامت جریان گل آلود در طول آبراهه می‌شود، که در نتیجه آن سرعت جریان از خود افزایش نشان می‌دهد و در قسمت b تنها در ناحیه دیواره تغییر پذیری زیادی داشته و افزایش غلظت جریان گل آلود ورودی باعث افزایش نیروی رانش شده و افزایش سرعت جریان گل آلود را در پی خواهد داشت در قسمت c هم در ناحیه دیواره هم در ناحیه جت با تغییر و افزایش دبی ورودی، تغییر پذیری کاهش می‌یابد به میزان ۰/۲۷٪ در الگوی رخ نمای غلظت مشاهده می‌شود در قسمت d و e نمودار مدل شماره ۱ در همه‌ی تغییر حالت‌های دبی، شیب و غلظت جریان نشان داده شده است هنگامی که شیب کف کانال و چگالی ورودی جریان ثابت باشد با افزایش دبی ورودی از ۵۰ به ۹۰ لیتر بر دقیقه، در نتیجه تنگ شدگی پیوسته و موضعی به ترتیب الگوی رخ نمای غلظت را نسبت به حالت

۲-۳- بررسی رخ نماهای غلظت

در همه‌ی رخ نماهای غلظت یک لایه‌بندی در غلظت جریان مشاهده می‌گردد. به عبارت دیگر لایه زیرین و زیرین چگال با گرادیان غلظت بالا در بخش پایینی جریان، بین بستر تا تراز بیشینه سرعت ($0 < z < h_m$) و یک لایه نزدیک به همگن با غلظت و چگالی کمتر که با سیال ساکن بالایی مخلوط می‌شود، در بخش بالایی جریان در فاصله $(h_m < z < h_t)$ بخوبی قابل مشاهده است. رخ نماهای غلظت در جریان‌های گل آلود پیچیدگی خاصی دارند. این موضوع بواسطه اندرکنش رسوب‌های معلق با جریان می‌باشد. در این جریان‌ها نوع تیپ رخ نمای غلظت به صورت توزیع پلکانی بوده که در جریان‌های فرا بحرانی مشاهده می‌شود به طور معمول در جریان‌های فرسایشی و یا جریان‌هایی که نرخ درون آمیختگی در مرز بالائی جریان زیاد باشد قابل مشاهده است. در این گونه جریان‌ها گرادیان غلظت در نزدیکی کف و ترازهای پائینی جریان بیشینه بوده و پس از آن تا ارتفاع متوسط جریان (h) این گرادیان رو به کاهش می‌باشد و در محدوده ارتفاع کل جریان (h_t) و در ناحیه اختلاط و برش به سمت صفر میل می‌کند. در

خود نشان می‌دهد. با افزایش شیب آبراهه از ۱٪ به ۳٪ میزان پراکندگی ۳۶٪ افزایش می‌یابد اما با افزایش چگالی ورودی جریان چگال از 1005 kgm^{-3} به 1008 kgm^{-3} این میزان پراکندگی ۱۴٪ درصد کاهش می‌یابد.

بدون تنگ شدگی $14/5$ و $17/3$ کاهش می‌دهد. همچنین در نمودار کلی f که همه‌ی داده‌های آزمایشگاهی است، رخ نمای غلظت جریان چگال در ناحیه جت پراکندگی بیشتری با میزان ۴۳٪ نسبت به ناحیه دیواره از

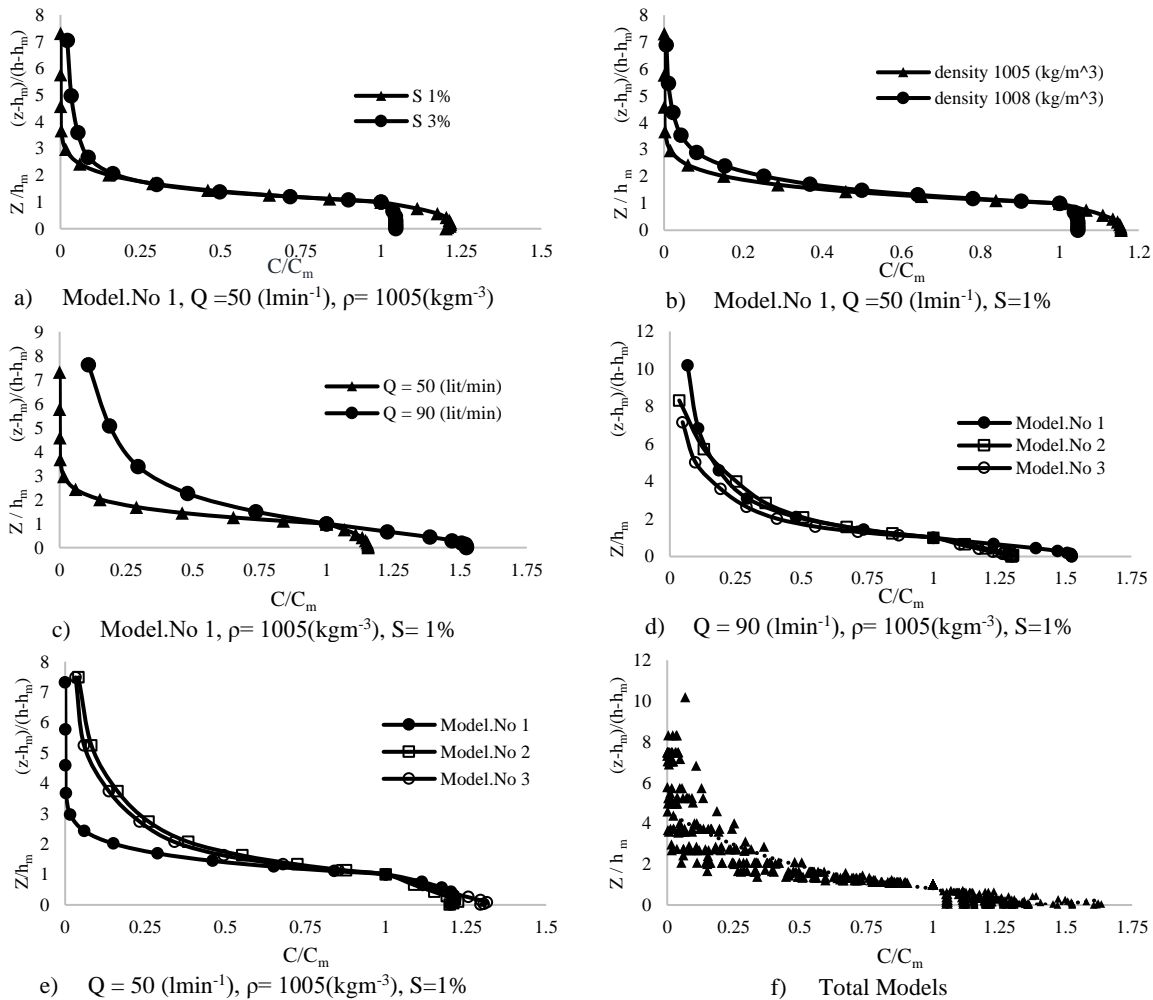


Fig. 6 Dimensionless profile of concentration.

شکل ۶ نمودار رخ نمای بی بعد غلظت

۳-۳- بررسی فراسنجه‌های هیدرولیکی جریان چگال

با در نظر گرفتن تنگ شدگی موضعی و پیوسته در آبراهه، فراسنجه هیدرولیکی جریان چگال شامل سرعت و غلظت پیش از تنگ شدگی و پس از تنگ شدگی بررسی شد که در جدول ۳ مشاهده می‌شوند. با ایجاد تنگ شدگی سرعت جریان چگال پس از آن افزایش و غلظت آن کاهش می‌یابد و این به دلیل انباشتگی جریان پشت بازدارنده‌ها می‌باشد همچنین تنگ شدگی باعث می‌شود که به طور میانگین

از مقایسه کلی حالت‌ها برای رخ نمای بی بعد غلظت در ناحیه دیواره بهترین ضریب α برابر است با $0/1$ همچنین برای ناحیه جت بهترین ضریب β و γ به ترتیب برابر $1/15$ و $0/8$ با ضریب همبستگی $0/94$ را نشان می‌دهد. ناحیه دیواره:

$$\frac{C(z)}{C_m} = \left(\frac{z}{h_m}\right)^{-0.1} \quad (9)$$

ناحیه جت:

$$\frac{C(z)}{C_m} = \exp \left[-1.15 \left(\frac{z-h_m}{h-h_m} \right)^{0.8} \right] \quad (10)$$

ریچاردسون کاهش می‌یابد و با در نظر گرفتن همهی حالت‌ها آزمایش، ضریب همبستگی خوبی با میزان ۰/۸۳ برقرار شده است و به طور میانگین برای کل مدل‌ها با همهی حالت‌ها مختلف حدود ۲۹/۸٪ از رسوب‌ها جریان غلیظ پشت بازدارنده انباشته شده‌اند.

$$T_e = 57.34 Ri^{-0.709} \quad (11)$$

سرعت جریان چگال ۲/۲۶ برابر افزایش پیدا کند و غلظت جریان انباشته شده پشت بازدارنده‌ها حدود ۱/۴۵ برابر افزایش یابد. برای ارتباط انباشتگی رسوب‌ها با فراسنجه‌های هیدرولیکی جریان چگال از معیار ریچاردسون و بازده تله‌اندازی رسوب‌ها استفاده شده است. در نمودار شکل ۷ مشاهده می‌شود که با افزایش بازده تله‌اندازی، عدد

جدول ۳ میزان اندازه‌گیری شده پیش و پس از تنگ شدگی

Table 3 Measured values before and after constriction.

Inflow Type	Exp.No	Initial condition			Before constriction 400 cm		After constriction 500 cm		Te (%)	R _i
		Q (lmin ⁻¹)	ρ (kgm ⁻³)	S %	u (ms ⁻¹)	C (gl ⁻¹)	u' (ms ⁻¹)	C' (gl ⁻¹)		
Model. No (2)	13	50	1005	1	0.0156	2.22	0.0344	1.84	17.1	4.44
	14	50	1005	3	0.0269	2.89	0.0585	1.95	32.3	2.52
	15	50	1008	1	0.0141	3.16	0.0479	2.62	17.1	4.13
	16	50	1008	3	0.0284	3.98	0.0659	2.73	31.3	3.42
	17	90	1005	1	0.0278	2.48	0.064	1.83	26.1	2.84
	18	90	1005	3	0.0333	3.13	0.071	2.15	31.3	2.12
	19	90	1008	1	0.0276	3.71	0.0736	3.03	18.3	4.24
	20	90	1008	3	0.0409	4.97	0.0831	2.89	41.8	1.75
Model. No (3)	21	50	1005	1	0.0197	2.45	0.0457	1.93	20.9	4.26
	22	50	1005	3	0.0289	2.84	0.056	1.83	35.6	2.31
	23	50	1008	1	0.0218	3.5	0.0615	2.81	19.6	5.38
	24	50	1008	3	0.0326	4.88	0.0784	3.23	33.8	2.86
	25	90	1005	1	0.0319	2.33	0.0662	1.68	27.8	2.17
	26	90	1005	3	0.0416	3.51	0.0742	1.85	47.2	1.33
	27	90	1008	1	0.0341	3.34	0.0652	2.27	32	2.02
	28	90	1008	3	0.0449	4.54	0.0745	2.46	45.9	1.28

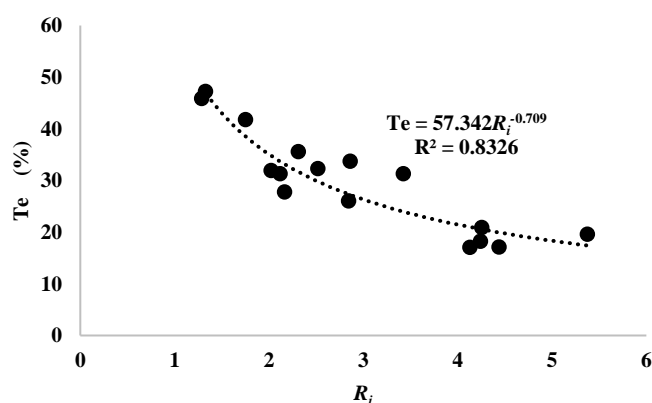


Fig. 7 Trap efficiency changes against the Richardson number.

شکل ۷ تغییر پذیری بازده تله‌اندازی در برابر عدد ریچاردسون

هایی برای ارتباط بین فراسنجه‌های هیدرولیکی جریان چگال دست یابیم. نتایج نشان داد که افزایش غلظت جریان گل‌آلود ورودی منجر به کاهش عدد فرود چگالی جریان در ورود به کانال می‌شود. این پدیده ایجاد پرش هیدرولیکی

۴- نتیجه‌گیری

در این تحقیق، تلاش بر آن شد که با بررسی و ارزیابی آزمایشگاهی جریان چگال در آبراهه، حالت‌های مختلف و با در نظر گرفتن تغییر پذیری ورودی جریان غلیظ به معادله

C_m	غلظت جریان چگال متناظر بر سرعت بیشینه (gl^{-1})
d	ضخامت جریان چگال (m)
g	شتاب ثقل (ms^{-2})
g'	شتاب کاهش ثقل (ms^{-2})
h	ارتفاع جریان غلیظ (m)
h_m	ارتفاع جریان غلیظ متناظر با سرعت بیشینه (m)
Q	دبی ورودی جریان غلیظ ($lmin^{-1}$)
R_i	عدد ریچاردسون
S	شیب بستر کانال (%)
Te	راندمان تله اندازه‌ی رسوبات ($1 - C_2/C_1$)
u	سرعت جریان غلیظ در راستای کانال (ms^{-1})
u_m	سرعت بیشینه جریان چگال (ms^{-1})
z	فاصله عمقی جریان غلیظ (m)
α, β, γ, n	ضرائب ثابت
θ	زاویه کف کانال
ρ	چگالی سیال غلیظ (kgm^{-3})
ρ_0	چگالی سیال محیط (kgm^{-3})

۶- سپاسگزاری

بدینوسیله از آقای دکتر بنان رئیس محترم دانشکده عمران شیراز، جناب آقای دکتر طالب بیدختی، جناب آقای نیاکام مسئول محترم آزمایشگاه آب و هیدرولیک و هیئت داوران که ما را در انجام و ارتقاء کیفی این پژوهش یاری کرده‌اند، تشکر و قدردانی می‌شود.

۷- منبع‌ها

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

Akbarizadeh, M., Saffarian, M.R. and Ghomeshi, M. (2020). Experimental Investigation of Sediment Accumulation Reduction in Reservoirs Due to Turbidity Currents with Channel Insertion at the Entrance, *International Journal of Civil Engineering*, 18(1), 37-47.

Altinakar, M.S., Graf, W.H. and Hopfinger, E.J. (1990). Weakly depositing turbidity current on a

کوچکتری را برای رسیدن جریان های فرا بحرانی به حالت فرو بحرانی می طلبد. پرش هیدرولیکی کوچکتر منجر به کاهش ضخامت جریان گل آلود می شود. سرعت جریان در این حالت به دو دلیل از خود افزایش نشان خواهد داد، نخست به دلیل کاهش ضخامت جریان و حفظ رابطه پیوستگی جریان و دیگری بدلیل افزایش نیروی ثقل که در نتیجه افزایش غلظت بوجود آمده است. در این حالت گرچه ممکن است پدیده درون آمیختگی باعث رقیق تر شدن جریان شود، اما غلظت جریان گل آلود ورودی تاثیر غالب را بر هیدرودینامیک جریان خواهد داشت. افزایش شیب کف آبراهه باعث ایجاد سرعت بیشتر جریان چگال و کاهش ضخامت جریان می شود همچنین افزایش میزان غلظت جریان گل آلود ورودی باعث افزایش سرعت بیشینه در رخ نما های سرعت می شود. این میزان افزایش در سرعت بیشینه جریان گل آلود در جریان هایی با دبی ورودی بالاتر بارزتر می باشد. رخ نماهای سرعت بی بعد شده در لبه بالایی جریان پراکنندگی بیشتری را نشان می دهند که این موضوع بواسطه رفتار ناپیوسته جریان در این ناحیه می باشد. برای رخ نمای بی بعد سرعت در ناحیه دیواره بهترین ضریب n برابر است با $3/86$ که دارای همبستگی بالایی به میزان $0/878$ را نشان می دهد و همچنین برای ناحیه جت بهترین ضریب α و β به ترتیب برابر $0/412$ و $1/343$ با ضریب همبستگی $0/92$ را نشان می دهد و برای رخ نمای بی بعد غلظت در ناحیه دیواره بهترین ضریب α برابر است با $0/1$ همچنین برای ناحیه جت بهترین ضریب β و γ به ترتیب برابر $1/15$ و $0/8$ با ضریب همبستگی $0/94$ را نشان می دهد. همچنین اثر تنگ شدگی موضعی و پیوسته نشان داد که تنگ شدگی به طور میانگین سرعت جریان چگال را $2/26$ برابر افزایش و همچنین غلظت رسوب های جریان در پشت بازدارنده ها را $1/45$ برابر افزایش می دهد و میزان بازده تله اندازه‌ی رسوب ها برابر $29/8$ % می باشد.

۵- فهرست نشانه‌ها

C	غلظت جریان چگال (gl^{-1})
C_1	غلظت جریان چگال قبل از مانع (gl^{-1})
C_2	غلظت جریان چگال بعد از مانع (gl^{-1})

- their deposits-A synthesis. *Journal of Geology*, 42(11), 987–990.
- Shringarpure, M., Cantero, M.I. and Balachandar, S. (2016). Analysis of turbulence suppression in sediment-laden saline currents. 7th International Conference on Fluid Mechanics, ICFM7, 126(10), 16-23.
- Straub, K., Mohring, D., Buttles, J., Mcelory, B. and Pirmez, C. (2011). Quantifying the influence of channel sinuosity on the depositional mechanics of channelized turbidity currents: A laboratory study. *Journal of Marine and Petroleum Geology*, 28(3), 744-760.
- Wang, Z., Xia, J., Li, T., Deng, S. and Zhang, J. (2016). An integrated model coupling open-channel flow, turbidity current and flow exchanges between main river and tributaries in Xiaolangdi Reservoir, China. *Journal of Hydrology*, 543(2), 548-561.
- Wu, C.S. and Dai, A. (2019). Experiments on two-layer stratified gravity currents in the slumping phase, *Journal of Hydraulic Research*, 57(4), 115-131.
- Yokokawa, M., Shozakai, D., Higuchi, H., Hughes Clarke, and Izumi, N. (2015). Experimental study on cyclic steps formed by surge-type turbidity currents. American Geophysical Union, Fall Meeting.
- small slope, *Journal of Hydraulic Research*, 28(1), 55-80.
- Carrillo, J., Castillo, L., Marco, F. and Garcia, J. (2020). Experimental and Numerical Analysis of Two-Phase Flows in Plunge Pools. *Journal of Hydraulic Engineering*, 146(6), 4-11.
- Chamoun, S., Cesare, G. and Schleiss, A. (2016). Managing reservoir sedimentation by venting turbidity currents: A review, *International Journal of Sediment Research*, 31(3), 195-204.
- Cortes, A., Rueda, F. and Wells, M. (2014). Experimental observations of the splitting of a gravity current at a density step in a stratified water body. *Journal of Geophysical Research Geophys.*, 119(2), 1038-1053.
- Ezz, H. and Imran, J. (2013). Experimental modeling of depositional turbidity currents in a sinuous submarine channel, *Journal of Sedimentary Geology*, 290(10), 175–187.
- Farizan, A., Yaghoubi, S., Firoozabadi, B. and Afshin, H. (2018). Effect of an obstacle on the depositional behaviour of turbidity currents. *Journal of Hydraulic Research*, 57(1), 75-89.
- Goodarzi, D., Sookhak, K., Khavasi, E. and Abolfathi, S. (2020). Large eddy simulation of turbidity currents in a narrow channel with different obstacle configurations. *Scientific Reports*, 10, 45-58.
- Hoffmann, G., Azadani, M. and Meiburg, E. (2015). Sediment wave formation caused by erosional and depositional turbidity currents: A numerical investigation. *Journal of Procedia IUTAM*, 15(3), 26-33.
- Huang, H., Imran, J. and Pirmez, C. (2012). The depositional characteristics of turbidity currents in submarine sinuous channels *Journal of Marine Geology*, 329-331(5), 93-102.
- Imran, J., Khan, S.M., Pirmez, C. and Parker, G. (2017). Froude scaling limitations in modeling of turbidity currents. *Journal of Environmental Fluid Mechanics*, 17(1), 159–186.
- Mauti, G., Stolle, J., Takabatake, T., Nistor, L., Goseberg, N. and Mohammadian, A. (2020). Experimental Investigation of Loading due to Debris Dams on Structures, *Journal of Hydraulic Engineering*, 146(5), 92-113.
- Peakall, J. and Sumner, E. (2015). Submarine channel flow processes and deposits: A process-product perspective. *Journal of Geomorphology*, 244(1), 95-120.
- Postma, G. and Cartigny, M.J.B. (2014). Supercritical and subcritical turbidity currents and