

EXTENDED ABSTRACT

Experimental Study of Water Entrainment in Plunging Phenomena in Channel's Bend

R. Elahi¹, M. Ghomeshi² and M. Zayeri^{3*}

1- PhD student in Civil Engineering, Water Resources Engineering and Management, Faculty of Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.

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

3* - Corresponding Author, Assistant Professor, Department of Hydraulic Structures, Faculty of Water and Environmental Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran (m.zayri@scu.ac.ir).

ARTICLE INFO

Article history:

Received: 16 May 2021

Revised: 3 March 2022

Accepted: 6 March 2022

TO CITE THIS ARTICLE:

Elahi, R., Ghomeshi, M., Zayeri, M. (2024). 'Experimental Study of Water Entrainment in Plunging Phenomena in Channel's Bend', *Irrigation Sciences and Engineering*, 47(1), pp. 119-130. doi: 10.22055/jise.2017.21656.1581.

Keywords:

Plunging point, Turbidity current,

Mixing coefficient, Relative radius.

Introduction

Turbidity currents, or dense flows, occurs when a fluid moves within another fluid with different densities, also Turbidity Current occurs when a fluid with a higher or lower density than the ambient fluid enters a fluid with a different density. The main cause of this phenomenon is the effect of the difference in density on gravitational acceleration; hence, Turbidity Currents are also referred to as gravitational flows (Graf & Altinakar, 2003). Karamichemeh (2014) investigated the effect of slope and concentration on turbulent flows in the submerged region along a straight path. To achieve this, they conducted 60 experiments with four discharge rates ranging from 5.0 to 2.0 liters per second, four concentrations with volumetric mass of 1013, 1009, 1006, and 1016 kilograms per cubic meter, and three slopes of 8, 12, and 16 percent. The results of this study showed that with an increase in the Richardson number (inverse of the square root of the densimetric Froude number), the intensity of mixing decreases. Additionally, the intensity of mixing in the submerged region is greater compared to the intensity of mixing in the body region. Given the limited studies on the movement of Turbidity currents in curved paths, the aim of this research is to investigate the effect of bends on the Water Entrainment in the plunging region.

Methodology

A three-bend flume with 90-degree bends and radii of 40, 80, and 120 cm, height of 60 cm, and width of 20 cm, was used in the Hydraulic Laboratory of the Faculty of Water and Environmental Engineering of Shahid Chamran University of Ahvaz. In this flume, the turbidity current from the beginning of the flume entered a cavity with a depth of about 40 cm through a flexible and removable pipe with a diameter of 10 cm, and after filling the cavity and passing through three net-shaped relaxers, it entered the arch. At the end of the flume, clear water entered the flume; In such a way that the volume of the output turbidity current is almost equal to the input clear water. In order to create the immersion area, a 33% slope was created in the path of the arch by sand at the place of

the arches (separately); Also, to reduce the roughness of the floor, a piece of polished wood was used on the sands (Figure 1). In the current study, water and salt solution was used as a turbidity current, and to make this solution and transfer it to the flume, the mixing system includes a tank with a capacity of 2000 liters, a pump with a power of two horsepower in order to transfer the flow to the head tank (Head Tank) and The shaft and propeller along with the two horsepower engine were made to homogenize the water and salt mixture. The mentioned mixing system includes the mixing tank, pump, pipes and connections, as well as the tank head, which was responsible for creating a constant head from the turbidity current to be transferred to the flume.

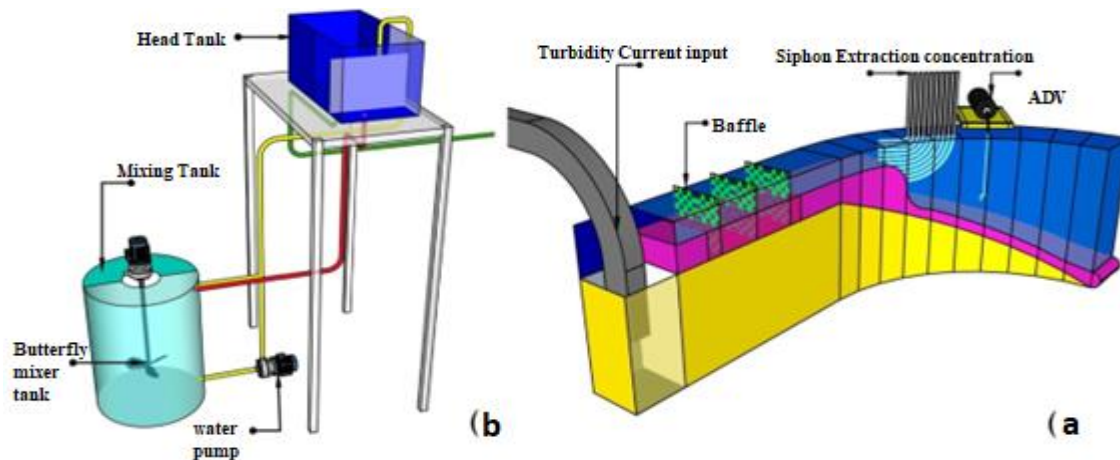


Fig. 1- a) view of the flow transfer system to the flume and how to measure the effective parameters b) A view of the Turbidity Current preparation and pumping system

Results and Discusspn

The maximum value of the initial mixing coefficient of the ambient fluid to the turbidity current is 0.4 which means that a maximum of 40% of the flow of the ambient fluid can enter the turbidity current in the plunging region. By increasing the radius of curvature and reducing the effect of centrifugal force, the transverse velocity (velocity perpendicular to the arc) decreases and this decrease causes an increase in the longitudinal velocity (velocity along the arc). An increase in the longitudinal velocity causes an increase in the momentum of the concentrated flow in the direction of the arc and more collisions between the concentrated flow and the ambient fluid. Therefore, in the third arc (the arc with a radius to width ratio of six) the highest longitudinal speed and the highest intensity of mixing occurred.

Conclusions

The phenomenon of turbidity current occurs when a fluid moves inside another fluid due to the difference in density. When the density of the fluid is greater than the density of the ambient fluid, underflow occurs. In turbidity currents in the contact area of the flow with the ambient fluid, the instability of the flow at the boundary between the two layers causes the ambient fluid to enter the turbidity current. The submergence zone is one of the four areas of underpass turbidity currents, which has the highest amount of ambient fluid entering into the turbidity current. In this research, the behavior of concentrated salt flows in arches was studied. The results show that the increase in the radius of curvature leads to a decrease in the centrifugal force and an increase in the speed in the direction of the flow, and this causes an increase in the mixing intensity. As the density of the turbidity current increases, the tendency of still clear water to penetrate into it decreases. Also, in the context of the ambient fluid entering the turbidity current, a relationship has been presented that

shows that a maximum of 40% of the ambient fluid discharge can enter the turbidity current in the plunging region.

Acknowledgement

This article has been prepared from the results of the MSc. thesis of the first author and with the support of the university's research unit through the third author's Grant (SCU.WH1402.43525) by which the authors thank and appreciate the university's vice chancellor for research. We are grateful to the Research Council of Shahid Chamran University of Ahvaz for financial support. In addition, the spiritual support of the scientific center "Improvement and maintenance of irrigation and drainage networks" is thanked and appreciated.

References

- 1-Graf, W. H., & Altinakar, M. S. (2003). *Fluvial hydraulics: Flow and transport processes in channels of simple geometry* (Reprint). Wiley.
- 2- Karamichameh, D., Ghomeshi, M., Golmaee, H. and Shahnazari, A., 2014. Experimental study on the characteristics of plunge region of saline density current. *Irrigation Sciences and Engineering*, 36(4), pp.9-18. DOR: 20.1001.1.25885952.1392.36.4.2.9.



© 2024 Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran. This article 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 کشش آب در ناحیه غوطه‌وری جریان‌های غلیظ در محل قوس‌ها

رضا الهی^۱، مهدی قمشی^۲ و محمدرضا زایری^{۳*}

- ۱- دانشجوی دکتری عمران مهندسی و مدیریت منابع آب، دانشکده مهندسی، دانشگاه شهید چمران اهواز.
 ۲- استاد گروه سازه‌های آبی، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.
 ۳- نویسنده مسئول، استادیار گروه سازه‌های آبی، دانشکده مهندسی آب و محیط زیست، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.
 (m.zayri@scu.ac.ir)

پذیرش: ۱۴۰۰/۱۲/۱۵

بازنگری: ۱۴۰۰/۱۲/۱۲

دریافت: ۱۴۰۰/۰۲/۲۶

چکیده

پدیده جریان غلیظ زمانی رخ می‌دهد که سیالی به دلیل اختلاف چگالی درون سیال دیگر حرکت کند. هنگامی که چگالی سیال بیشتر از چگالی سیال پیرامون باشد، جریان زیرگذر رخ می‌دهد. در جریان‌های غلیظ در ناحیه تماس جریان با سیال پیرامون، ناپایداری جریان در مرز بین دو لایه عامل ورود سیال پیرامون به درون جریان غلیظ می‌شود. ناحیه غوطه‌وری یکی از نواحی چهارگانه جریان‌های غلیظ زیرگذر است که بیشترین میزان ورود سیال پیرامون به درون جریان غلیظ را داراست. در این تحقیق رفتار جریان‌های غلیظ نمکی در قوس‌ها مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد که افزایش شعاع انحنا منجر به کاهش نیروی گریزازمرکز و زیاد شدن سرعت در راستای جریان گشته و این امر افزایش شدت اختلاط را موجب می‌شود. هر قدر بر چگالی سیال غلیظ افزوده شود تمایل آب زلال ساکن برای نفوذ به درون آن کاهش می‌یابد. همچنین در زمینه ورود سیال پیرامون به درون جریان غلیظ رابطه‌ای ارائه شده است که نشان می‌دهد حداکثر ۴۰ درصد دبی سیال پیرامون می‌توان وارد جریان غلیظ در ناحیه غوطه‌وری گردد.

کلیدواژه‌ها: ناحیه غوطه‌وری، مدل فیزیکی، عدد ریچاردسون، شدت اختلاط.

مقدمه

جریان غلیظ یا جریان چگال، در اثر حرکت یک سیال درون سیال دیگر با چگالی متفاوت به وجود می‌آید. زمانی که سیالی با جرم مخصوص بیشتر یا کمتر از سیال پیرامونی ($\rho \pm \rho_d$) وارد یک سیال با جرم مخصوص ρ می‌شود، پدیده جریان غلیظ رخ می‌دهد. علت اصلی وقوع این پدیده تأثیر اختلاف جرم مخصوص بر روی شتاب ثقل است، از این رو جریان‌های غلیظ را جریان‌های ثقلی نیز می‌نامند (Graf & Altinakar, 2003).

یک جریان غلیظ زیرگذر دارای چهار ناحیه شامل ۱- ناحیه قبل از ورود به مخزن (جریان یکدست) ۲- ناحیه غوطه‌وری ۳- بدنه جریان ۴- پیشانی (رأس) جریان. بوده که این نواحی در شکل (۱) به صورت شماتیک نشان داده شده‌اند (Lee and Yu, 1997). جریان غلیظ در قسمت انتهایی جریان، دارای یک پیشانی و یا یک هد غلطان است و بعد از آن بدنه جریان قرار دارد. جریان در پیشانی غیردائمی بوده و نیروی محرک آن گرادین فشار ناشی از اختلاف دانسیته بین پیشانی و سیال پیرامون است و با پیشروی جریان رشد می‌کند؛

اما جریان در بدنه، جریان دائمی در نظر گرفته می‌شود و نیروی محرک بدنه، نیروی ثقل مؤثر است. در ادامه جریان در ناحیه

قوطه‌وری قرار دارد که شبه دائمی در نظر گرفته می‌شود و بیشترین میزان اختلاط جریان غلیظ با سیال پیرامون در این ناحیه رخ می‌دهد (Shekholeslami and Ghomeshi, 2017).

میزان اختلاط سیال غلیظ با سیال پیرامون به وسیله پارامتری به نام شدت اختلاط (نسبت تغییرات دبی جریان غلیظ بین دو مقطع به دبی اولیه جریان غلیظ، $\gamma = \frac{\Delta q}{q_0}$) بیان می‌شود. شدت اختلاط در واقع نسبت اختلاط دبی خروجی جریان غلیظ و دبی ورودی به دبی ورودی جریان غلیظ است (Parker and Toniolo, 2007).

Turner (1979) اختلاط جریان غلیظ با سیال پیرامون را ناشی از ناپایداری بین سطح تماس جریان غلیظ و سیال پیرامون دانست و آن را تابعی از نسبت سرعت جریان به شتاب ثقل کاهش یافته بیان نمود. Akiyama و Stefan (1984) با بررسی روابط تئوری و مقایسه آن‌ها با مقادیر اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه و سد ولینگتون، دو عامل شیب و شدت اختلاط (در ناحیه غوطه‌وری) را در پدیده غوطه‌وری مؤثر دانستند. آن‌ها پدیده غوطه‌وری را چنین توصیف کردند: جریان ورودی در محل غوطه‌وری، سیال پیرامونی را به سمت جلو رانده و در حین حرکت در زیر آن، سیال پیرامون به سمت نقطه‌ی غوطه‌وری کشیده می‌شود.

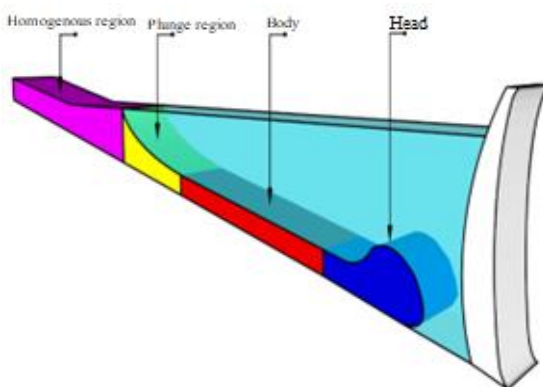


Fig. 1- Schematic of a Turbidity Current
شکل ۱- شمای یک جریان غلیظ (جریان کدر)

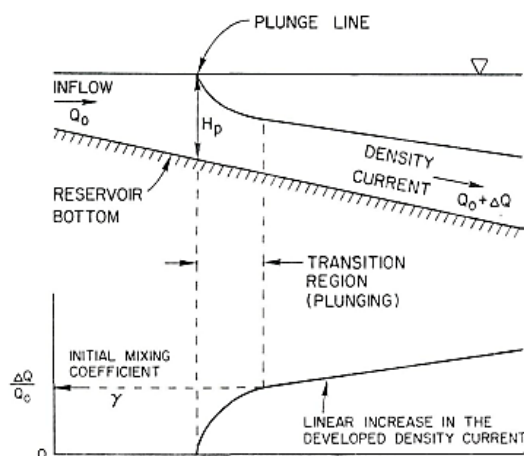


Fig. 2- Schematic of the amount of Ambient Flow fluid entering in different areas of Turbidity flow movement (Farrell and Stefan, 1988)

شکل ۲- شماتیک مقدار ورود سیال پیرامون به در نواحی مختلف حرکت جریان غلیظ – (Farrell and Stefan, 1988)

در زمینه شدت اختلاط سیال پیرامون در ناحیه غوطه‌وری مطالعه‌های کمی صورت گرفته است. Farrell و Stefan (1988) با فرض ناپایداری جریان غلیظ و انتخاب مدل $k - \epsilon$ به‌عنوان مدل آشفتگی، روابطی را در مختصات قطبی برای توصیف حرکت جریان غلیظ در مخازن سدها بیان کردند. آن‌ها همچنین به بررسی ورود سیال پیرامونی به درون جریان غلیظ مطابق شکل (۲) در ناحیه غوطه‌وری پرداختند و با مقایسه عدد فرود دنسیومتریکی $(Fr_d = \frac{U}{\sqrt{g'D}})$ با ضریب شدت اختلاط (γ) ، رابطه (۱) را برای ضریب شدت اختلاط اولیه به دست آوردند (شکل ۳).

در زمینه شدت اختلاط سیال پیرامون در ناحیه غوطه‌وری مطالعه‌های کمی صورت گرفته است. Farrell و Stefan (1988) با فرض ناپایداری جریان غلیظ و انتخاب مدل $k - \epsilon$ به‌عنوان مدل آشفتگی، روابطی را در مختصات قطبی برای توصیف حرکت جریان غلیظ در مخازن سدها بیان کردند. آن‌ها همچنین به بررسی ورود سیال پیرامونی به درون جریان غلیظ مطابق شکل (۲) در ناحیه غوطه‌وری پرداختند و با مقایسه عدد فرود دنسیومتریکی $(Fr_d = \frac{U}{\sqrt{g'D}})$ با ضریب شدت اختلاط (γ) ، رابطه (۱) را برای ضریب شدت اختلاط اولیه به دست آوردند (شکل ۳).

$$\gamma = 0.00175Ri^{-0.19} \quad R^2 = 0.66 \quad (2)$$

$$\gamma = 0.5(Fr_d - 0.7) \quad (1)$$

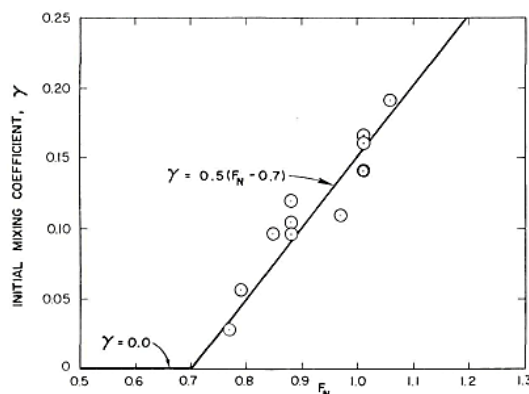


Fig 3- Comparison of initial mixing intensity coefficient with densimetric Froude number (Farrell and Stefan, 1988)

شکل ۳- مقایسه ضریب شدت اختلاط اولیه با عدد فرود دنیومتریکی (Farrell & Stefan, 1988)

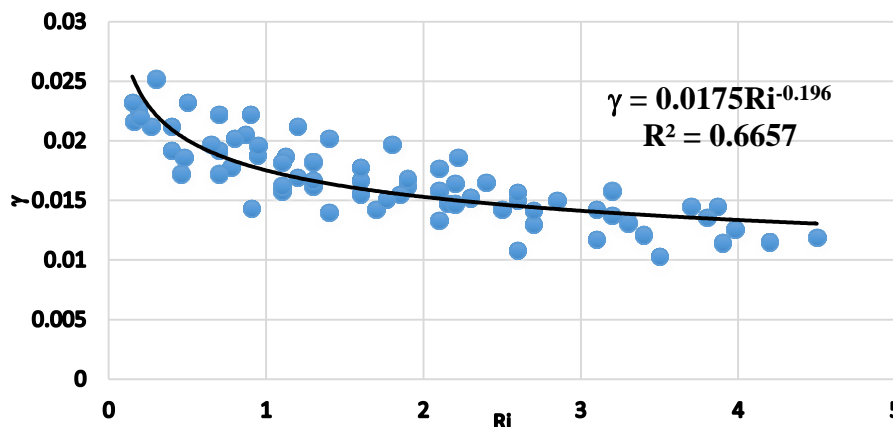


Fig 4- Relationship between Entrainment intensity and Richardson number in the Plunging zone (Karamichemeh et al., 2014)

شکل ۴- رابطه بین شدت اختلاط و عدد ریچاردسون در ناحیه غوطه‌وری (Karamichemeh et al., 2014)

هدف از انجام این تحقیق بررسی تأثیر قوس بر شدت اختلاط در ناحیه غوطه‌وری است.

مواد و روش‌ها

تحلیل ابعادی

متغیرهای موجود برای آنالیز ابعادی شدت اختلاط جریان غلیظ و سیال پیرامون در این آزمایش‌ها مطابق رابطه (۴) است:

$$f(S_0, b, r_m, \theta, g, \rho_d, \rho_a, U, v, q_0, h, f_t) = 0 \quad (4)$$

Ghasemi et al. (2011) به بررسی خصوصیات ناحیه غوطه‌وری جریان‌های غلیظ در مسیر مستقیم پرداختند. بدین منظور ۲۰ آزمایش با ۴ شیب ۰/۵، ۱، ۱/۵ و ۲ درصد با تغییر دبی و غلظت جریان ورودی، در هر شیب پنج آزمایش انجام دادند. آن‌ها شدت اختلاط جریان غلیظ با سیال پیرامون در ناحیه غوطه‌وری را ۴۰ درصد تا ۴۳ درصد اختلاط کل به دست آوردند. آن‌ها همچنین رابطه (۳) را بین شدت اختلاط (γ) و عدد ریچاردسون (Ri) به دست آوردند؛ همچنین به واسطه در نظر گرفتن شیب کمتر نسبت به تحقیق کریمی چمه، ضریب عدد ریچاردسون (Ri) عدد منفی بزرگتری به دست آمده؛ این بدان معناست که هر چه شیب کمتر باشد، شدت اختلاط نیز کمتر می‌شود.

$$\gamma = 0.0017Ri^{-1.042} \quad R^2 = 0.95 \quad (3)$$

مرکزی خم (θ) و نیز شیب کف فلوم (S_0) ثابت بوده و تنها شعاع انحنای فلوم تغییر می‌کند؛ بنابراین تأثیر تغییرات آن در این تحقیق بررسی نمی‌گردد. از آنجاکه آزمایش‌های این تحقیق در فلوم و در شرایط جریان آزاد و تغییرات کم‌دمایی صورت پذیرفت و از طرفی پس از محاسبه عدد رینولدز (Re) جریان غلیظ مشاهده شد که عدد رینولدز در این آزمون همواره در محدوده جریان متلاطم قرار داشت، همانند کار دیگر محققین از بررسی اثر آن صرف‌نظر شد Mansouri Hafshejani et al, (2012) Kaheh et al Torabi Poudeh et al, (2014) Mehdi et al, (2016) (2007) و Varjavand et al (2016) همچنین به دلیل صاف و صیقلی بودن بستر از تأثیر تغییرات ضریب اصطکاک کف (f_t) صرف‌نظر می‌گردد.

با توجه به مطالب گفته‌شده پارامترهای بدون بعد مؤثر را می‌توان به صورت رابطه (۷) نوشت:

$$f\left(\frac{r_m}{b}, Ri, \gamma\right) = 0 \quad (7)$$

مدل فیزیکی

در انجام آزمایش‌ها از یک فلوم با سه قوس ۹۰ درجه با شعاع‌های ۴۰، ۸۰ و ۱۲۰ سانتی‌متر، ارتفاع ۶۰ و عرض ۲۰ سانتی‌متر، مطابق با جدول (۱) در آزمایشگاه هیدرولیک دانشکده مهندسی آب و محیط زیست دانشگاه شهید چمران اهواز استفاده گردید (شکل ۶).

که در آن S_0 شیب کف، b عرض فلوم، r_m شعاع قوس، θ ، زاویه قوس، g ، شتاب جاذبه، ρ_d جرم واحد حجم (چگالی) سیال غلیظ، ρ_a چگالی سیال پیرامونی، U سرعت متوسط بدنه جریان غلیظ، v لزجت سینماتیکی جریان غلیظ، q_0 دبی ورودی جریان غلیظ، h ارتفاع بدنه جریان غلیظ و f_t ضریب اصطکاک کف است (شکل ۵). با استفاده از آنالیز ابعادی به روش باکینگهام و انتخاب پارامترهای ρ_d ، U ، g به عنوان پارامترهای تکراری، اعداد بدون بعد زیر حاصل می‌شود:

$$f\left(S_0, \frac{r_m}{b}, \theta, \frac{U^2}{g'h}, \frac{\rho_a - \rho_d}{\rho_a}, \frac{q_0}{Uh}, \frac{Uh}{v}, f_t\right) = 0 \quad (8)$$

با معرفی $g' = \frac{\rho_a - \rho_d}{\rho_a} g$ ، $\gamma = \frac{q - q_0}{q_0}$ و $Re = \frac{Uh}{v}$ (به ترتیب شتاب ثقل کاهش یافته، ضریب شدت اختلاط و عدد رینولدز) و وارد نمودن آن‌ها در رابطه (۵) می‌توان اعداد بدون بعد را به صورت زیر بازنویسی نمود.

$$f\left(S_0, \frac{r_m}{b}, \theta, \frac{U^2}{g'h}, \gamma, Re, f_t\right) = 0 \quad (6)$$

که در این رابطه $\frac{q - q_0}{q_0}$ ضریب شدت اختلاط (γ) است. همچنین می‌توان به جای $\left(\frac{U^2}{g'h}\right)$ می‌توان عدد ریچاردسون ($Ri = Fr_d^{-2} = \left(\frac{U^2}{g'h}\right)^{-1}$) را وارد رابطه (۶) کرد. در این تحقیق زاویه

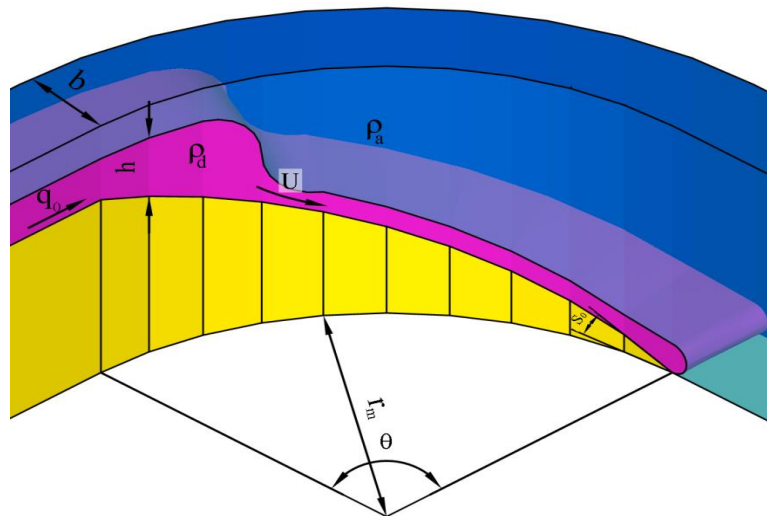


Fig 5- A view of the effective parameters in the current research

شکل ۵-نمایی از پارامترهای مؤثر در تحقیق حاضر

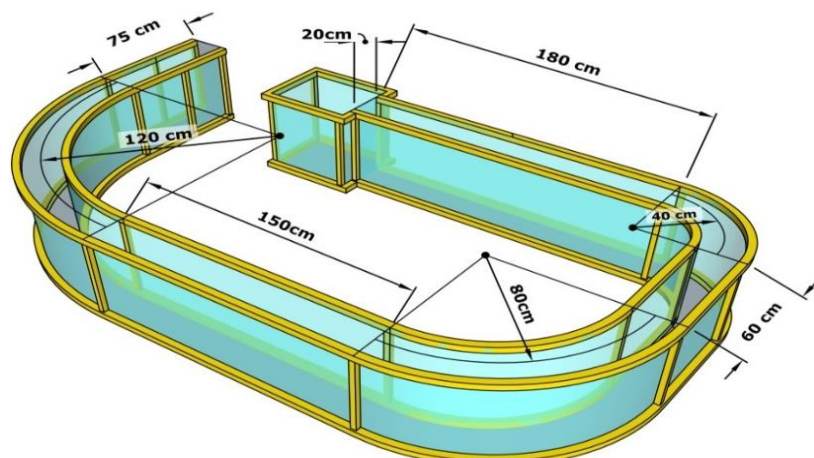


Fig 6- An overview of the Flume used in this research

شکل ۶- نمایی از فلوم مورد استفاده در تحقیق حاضر

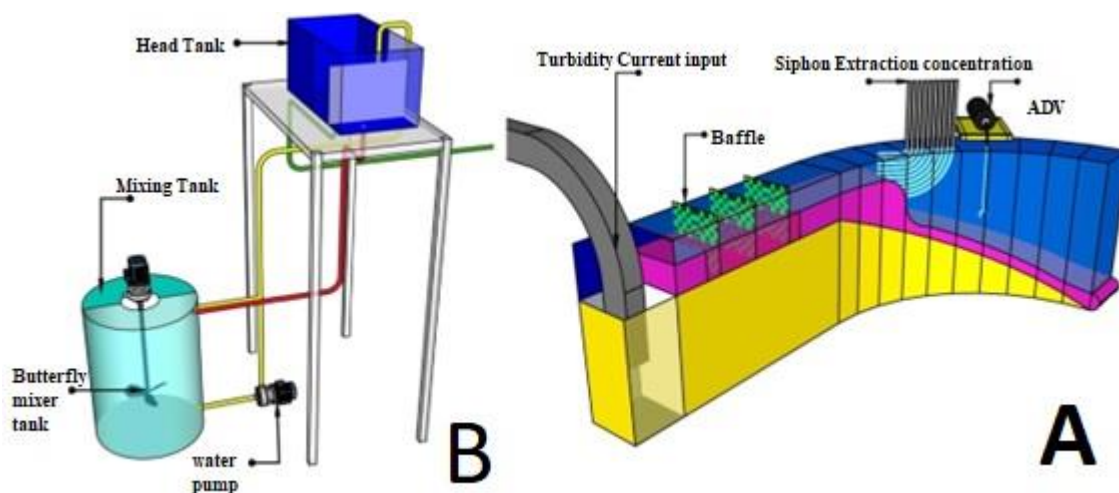


Fig 7- A) A view of the flow transfer system to the flume and how to measure the effective parameters
B) A view of the Turbidity Current preparation and pumping system

شکل ۷- الف) نمایی از سیستم انتقال جریان به فلوم و نحوه اندازه‌گیری پارامترهای مؤثر ب) نمایی از سیستم تهیه و پمپاژ

سیال غلیظ

در مطالعه حاضر از محلول آب و نمک به‌عنوان سیال غلیظ استفاده گردید که برای ساخت این محلول و انتقال آن به فلوم، سیستم اختلاط، شامل مخزنی با ظرفیت ۲۰۰۰ لیتر، پمپی با قدرت دو اسب بخار به‌منظور انتقال جریان به هد تانک (Head Tank) و شفت و پروانه به همراه موتور دو اسب بخار به‌منظور همگن‌سازی مخلوط آب و نمک ساخته شد. سیستم اختلاط اشاره‌شده شامل مخزن اختلاط، پمپ، لوله‌ها و اتصالات و همچنین هد تانک که عمل ایجاد هد ثابت از سیال غلیظ جهت انتقال به فلوم بر عهده داشت، صورت گرفت (شکل ۷-ب).

در این فلوم، سیال غلیظ از قسمت ابتدایی فلوم توسط لوله‌ای انعطاف‌پذیر و قابل جابجایی به قطر ۱۰ سانتی‌متر وارد یک حفره به عمق حدودی ۴۰ سانتی‌متر شد و پس از سرریز شدن از حفره و عبور از سه آرام‌کننده توری شکل وارد قوس شد. در انتهای فلوم، آب زلال وارد فلوم شد؛ به‌نحوی که میزان سیال غلیظ خروجی با آب زلال ورودی تقریباً برابر باشد. به‌منظور ایجاد ناحیه غوطه‌وری، در مسیر قوس شیب ۳۳ درصد به‌وسیله ماسه در محل قوس‌ها (به‌طور جداگانه) ایجاد شد؛ همچنین برای کاهش اثر زبری کف، از قطعه یکپارچه چوبی صیقل داده‌شده بر روی ماسه‌ها استفاده شد (۷-الف).

جدول ۱- برنامه آزمایش‌های انجام‌شده

Table 1- Range of data collected in the present study

description	number of change states	Parameter
straight path $\frac{R}{B} = 2,4,6$	1+3	Radius of relative curvature
10 cm on the straight path	1	fluid water level
5, 7.5, 10, 12.5 g/l	4	Concentration (grams per liter)
1, 1.5, 2, 2.5 L/s	4	flow rate (liters per second)
	64	total number of tests performed

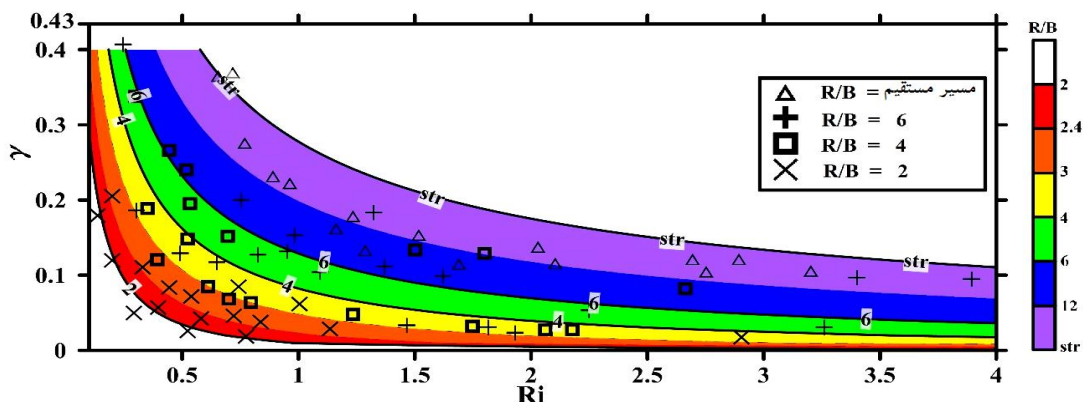


Fig 8- The change of mixing intensity coefficient against Richardson's number in the present research

شکل ۸- تغییر ضریب شدت اختلاط در مقابل عدد ریچاردسون در تحقیق حاضر

حداکثر مقدار ضریب اختلاط اولیه سیال پیرامون به جریان غلیظ ۰/۴ بوده شکل (۹)، این بدان معنی است که حداکثر ۴۰ درصد دبی سیال پیرامون می‌توان وارد جریان غلیظ در ناحیه غوطه‌وری گردد این مقدار با نتایج تحلیلی صورت گرفته توسط Dai و García (2010) مطابقت دارد. در Fig 10 - The effect of the transverse speed on the value of the longitudinal speed at a Q=1 L/s and a concentration of 5 g/L a) Speed along the length of the arc b) Speed along the (width of the arc (Cm/S)

شکل (۱۰) تأثیر شعاع قوس بر پروفیل سرعت را می‌توان مشاهده نمود. با افزایش شعاع انحنا و کاهش تأثیر نیروی گریز از مرکز، سرعت عرضی (سرعت در راستای عمود بر قوس) کاهش می‌یابد و این کاهش سبب افزایش سرعت طولی (سرعت در راستای قوس) می‌شود. افزایش سرعت طولی سبب افزایش مومنتوم جریان غلیظ در راستای قوس و برخورد بیشتر جریان غلیظ با سیال پیرامونی می‌شود؛ بنابراین در قوس سوم (قوس با نسبت شعاع به عرض شش بیشترین سرعت طولی و بیشترین شدت اختلاط رخ داده است.

قبل از ورود جریان به فلوم، دبی جریان به‌وسیله دبی سنج اندازه‌گیری شد. در قوس به‌واسطه شیب ایجاد شده، جریان در نقطه‌ای غوطه‌ور شد. با غوطه‌ور شدن جریان، سرعت جریان به‌وسیله دستگاه سرعت‌سنج (adv) در مش‌بندی و زوایای مشخص برداشت شد (مش‌بندی افقی بافاصله یک سانتی‌متری از هم و مش‌بندی عمودی بافاصله ۲/۵ سانتی‌متری از هم). سپس غلظت جریان به‌وسیله سیفون در نقاط مشخص برداشت شد. همچنین برای تعیین محل غوطه‌وری از دوربین نصب‌شده روی فلوم (GoPro) استفاده شد.

نتایج و بحث

به‌منظور بررسی تأثیر شعاع انحنا بر روی ضریب اختلاط، نتایج به‌دست‌آمده برای ضریب اختلاط در برابر عدد ریچاردسون برای تمامی مسیرها در شکل (۸) و در رابطه (۸) آورده شده است. همچنین لازم به ذکر است که رابطه (۸) براساس ۷۰ درصد داده‌ها برآورد شده و با ۳۰ درصد باقیمانده صحت سنجی شده است.

$$\gamma = 0.75 Ri^{-1/4} - 1.15 \left(\frac{R}{B} \right)^{-1/3} \quad R^2 = 0.82 \quad (8)$$

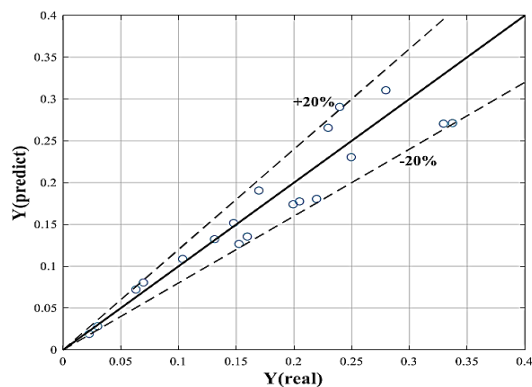


Fig 8- Verification of the results obtained from equation (8)

شکل ۹- صحت‌سنجی نتایج به‌دست آمده از رابطه (۸)

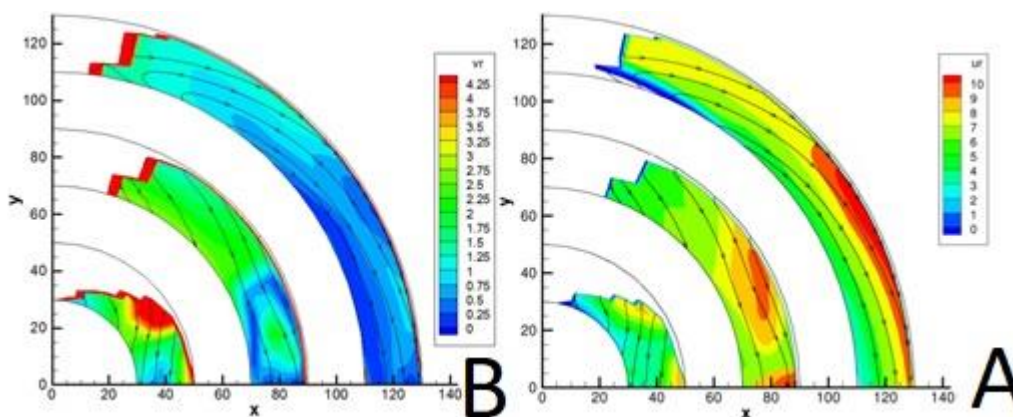


Fig 10 - The effect of the transverse speed on the value of the longitudinal speed at a $Q=1$ L/s and a (concentration of 5 g/L a) Speed along the length of the arc b) Speed along the width of the arc (Cm/S)

شکل ۱۰- تأثیر سرعت عرضی بر مقدار سرعت طولی در دبی ۱ لیتر بر ثانیه و غلظت ۵ گرم بر لیتر الف) سرعت در راستای طول قوس ب) سرعت در راستای عرض قوس (سرعت‌ها برحسب سانتی‌متر بر ثانیه است)

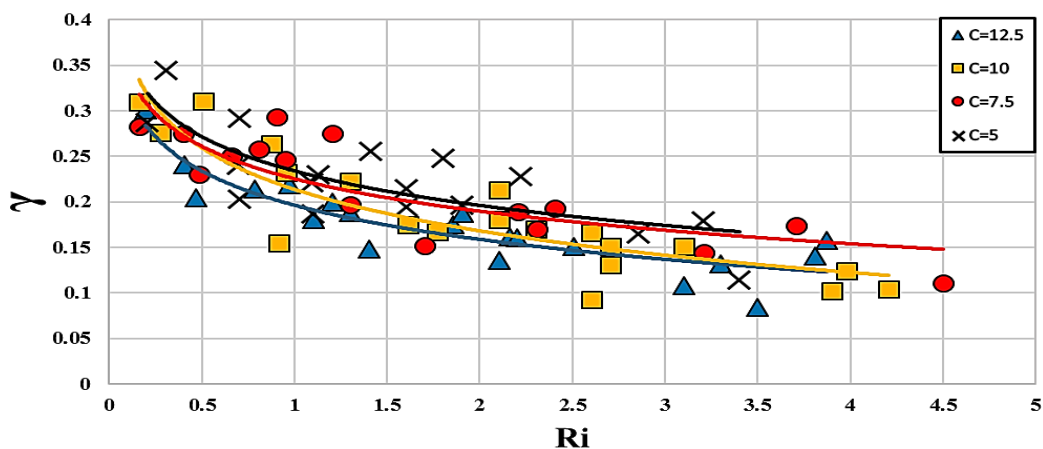


Fig 11 - The effect of changing concentration on γ versus Ri in concentrated flow

شکل ۱۱- تأثیر تغییر غلظت در روند تغییرات γ در مقابل Ri در جریان غلیظ

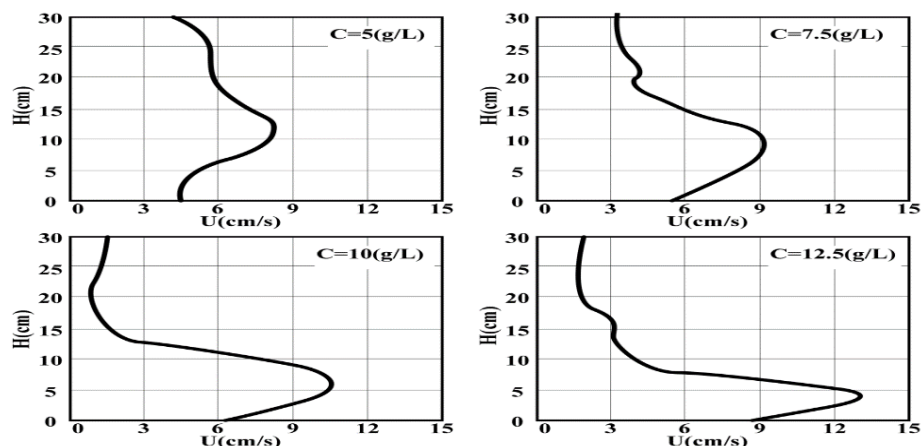


Fig. 12 - The effect of concentration on the longitudinal velocity profile at the end of the bend for a $Q=2.5$ L/s and a radius of 6 (measured velocity profile in the middle of the arch)

شکل ۱۲- تأثیر غلظت بر پروفیل سرعت طولی در انتهای خم به ازای دبی ۲,۵ لیتر بر ثانیه و شعاع به عرض ۶ (پروفیل سرعت اندازه گیری شده در میانه قوس)

نتیجه گیری

در این تحقیق به بررسی تأثیر قوس بر خصوصیات جریان غلیظ در ناحیه غوطه‌وری پرداخته شد. آزمایش‌ها نشان داد با افزایش شعاع انحنا به دلیل کاهش نیروی گریز از مرکز و افزایش سرعت طولی جریان غلیظ، شدت اختلاط جریان غلیظ با سیال پیرامونی افزایش می‌یابد؛ همچنین با افزایش غلظت جریان به دلیل افزایش پایداری بدنه جریان و متمایل شدن موقعیت سرعت بیشینه به سمت بستر و در نتیجه کاهش سطح تماس توده سیال غلیظ با سیال پیرامونی، شدت اختلاط کاهش می‌یابد؛ از این رو در یک عدد ریچاردسون برابر در جریان غلیظ با غلظت بالاتر، شدت اختلاط کمتری را در مقایسه با جریان غلیظ با غلظت کمتر شاهد بودیم.

تشکر و قدردانی

این مقاله با حمایت واحد پژوهشی دانشگاه از طریق پژوهانه نویسنده سوم به شماره (SCU.WH1402.43525) تهیه شده که بدینوسیله نویسندگان از معاونت پژوهشی دانشگاه شهید چمران اهواز تشکر و قدردانی میکنند.

در شکل (۱۱) تأثیر تغییر غلظت در روند تغییرات ضریب اختلاط با عدد ریچاردسون در جریان غلیظ نمکی نمایش داده شده است. همان‌طور که در شکل (۱۱) نشان داده شده است با کاهش غلظت جریان غلیظ، شدت اختلاط جریان غلیظ با سیال پیرامونی افزایش می‌یابد؛ علت این پدیده را می‌توان در شکل (۱۲) مشاهده نمود. همان‌گونه که مشاهده می‌گردد با افزایش غلظت، بیشینه سرعت طولی جریان غلیظ در انتهای خم افزایش می‌یابد؛ علت این امر را می‌توان به افزایش مؤلفه وزن سیال در اثر افزایش غلظت نسبت داد؛ همچنین به دلیل زیاد بودن غلظت جریان غلیظ در نزدیکی بستر موقعیت حداکثر سرعت جریان با افزایش غلظت به سمت بستر منتقل می‌شود. با توجه به کاهش ارتفاع جریان و نیز کاهش شدت اختلاط به ازای افزایش غلظت آن، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که هر قدر بر چگالی سیال غلیظ افزوده شود تمایل آب زلال ساکن برای نفوذ به داخل آن کاهش می‌یابد و سیال بر روی بستر خود به سمت پایین دست می‌لغزد.

منابع

- 1- Akiyama, J., & Stefan, H. G. (1984). Plunging Flow into a Reservoir: Theory. *Journal of Hydraulic Engineering*, 110(4), 484–499. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9429\(1984\)110:4\(484\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(1984)110:4(484)).
- 2- Dai, A., & García, M. H. (2010). Energy Dissipative Plunging Flows. *Journal of Hydraulic Engineering*, 136(8), 519–523. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)HY.1943-7900.0000176](https://doi.org/10.1061/(ASCE)HY.1943-7900.0000176).
- 3- Farrell, G. J., & Stefan, H. G. (1988). Mathematical modeling of plunging reservoir flows. *Journal of Hydraulic Research*, 26(5), 525–537. <https://doi.org/10.1080/00221688809499191>.

- 4- Ghasemi, N. afrin, Shushtri, M. M., & Dehghani, R. (2011). *Laboratory investigation of static water tension in Turbidity Current and mixing in the immersion zone*. The 6th National Congress of Civil Engineering. <https://en.civilica.com/doc/120786/>.
- 5- Graf, W. H., & Altinakar, M. S. (2003). *Fluvial hydraulics: Flow and transport processes in channels of simple geometry* (Reprint). Wiley.
- 6- Kaheh, M., Ghomeshi, M., & Mousavi Jahromi, S. H. (2012). Experimental Investigation of Gravity Current Frontal Velocity on Rough Beds. *Irrigation Sciences and Engineering*, 35(1), 101–109. https://jise.scu.ac.ir/article_10504_en.html
- 7- Karamichemeh D, Shahnazari A, Golmaei H, & Ghomeshi M. (2014). *EXPERIMENTAL STUDY ON THE CHARACTERISTICS OF PLUNGE REGION OF SALINE DENSITY CURRENT*. 36(4), 0–0. <https://www.sid.ir/paper/359064/fa>
- 8- Lee, H.-Y., & Yu, W.-S. (1997). Experimental Study of Reservoir Turbidity Current. *Journal of Hydraulic Engineering*, 123(6), 520–528. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9429\(1997\)123:6\(520\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(1997)123:6(520))
- 9- Mansouri Hafshejani, M., Ghomeshi, M., Shafae Bajestan, M., & Ahadiyan, J. (2016). Estimation of Relative Head Velocity of Density Current When Ambient Water Flowing in Same Direction of Density Current. *Irrigation Sciences and Engineering*, 39(4), 193–200. <https://doi.org/10.22055/jise.2016.12507>
- 10- Mehdi, G., Ali, H. D., Peyman, V., & Davood, F. (2014). *EXPERIMENTAL STUDY ON THE EFFECTS OF ARTIFICIAL BED ROUGHNESS ON HYDRAULIC PARAMETERS OF SALINE DENSITY CURRENTS*. 37(3), 95–105. <https://www.sid.ir/paper/217167/fa>
- 11- Parker, G., & Toniolo, H. (2007). Note on the Analysis of Plunging of Density Flows. *Journal of Hydraulic Engineering*, 133(6), 690–694. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9429\(2007\)133:6\(690\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(2007)133:6(690))
- 12- Sheikholeslami, M., Ghomeshi, M. (2017). 'Experimental Study of Radius of Curvature Influence On Density Current Behavior in 90 Degree Bend', *Irrigation Sciences and Engineering*, 40(1), pp. 131-143. doi: 10.22055/jise.2017.12672. (in persain)
- 12- Torabi Poudeh, H., Fathi Moghadam, M., Ghomeshi, M., & Shafai-Bajestan, M. (2007). Head Velocity and Entrainment of Density Current in an Expansion Reach. *Iran-Water Resources Research*, 3(1), 56–67. https://www.iwrr.ir/article_15478_en.html.
- 13- Turner, J. S. (1979). *Buoyancy Effects in Fluids*. Cambridge University Press.
- 14- Varjavand, P., Ghomeshi, M., Hosseinzadeh, A., Dalir, & Farsadizadeh, D. (2016). Experimental Investigation of lifting phenomenon in Sediment-Laden Density Currents. *Irrigation and Drainage Structures Engineering Research*, 17(67), 129–144. <https://www.magiran.com/paper/1668255/experimental-investigation-of-lifting-phenomenon-in-sediment-laden-density-currents?lang=en>