

بررسی اثر عوامل مختلف بر میزان کشش آب ساکن در جریان‌های غلیظ

حسین بهرامی^{۱*}، مهدی قمشی^۲، سید محمود کاشفی پور^۲، علی اکبر صالحی نیشابوری^۳

۱. گروه سازه های دریایی، دانشکده مهندسی دریا، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر

۲. گروه سازه های آبی دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز

۳. گروه عمران دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس تهران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۷/۱۵

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱۲/۲۶

شناسه دیجیتال (DOI): [10.22113/jmst.2018.7776.1391](https://doi.org/10.22113/jmst.2018.7776.1391)

چکیده:

جریان های چگال از پدیده هایی است که بصورت های طبیعی و مصنوعی در بسیاری از علوم مربوط به سیالات به وقوع می پیوندد. شناخت چگونگی شکل گیری و حرکت آن در طبیعت کمک شایانی به بررسی تاثیر و نیز پیش بینی این پدیده به منظور کاهش خسارات و حتی استفاده مثبت از آن خواهد نمود. در این تحقیق سعی شده تا با ایجاد شیب های متفاوت در بستر یک مدل فیزیکی، به بررسی تغییرات ایجاد شده بر روی خصوصیات جریان ورودی با دبی و غلظت مختلف پرداخته شود. نتایج حاکی از آن است که که میزان کشش آب ساکن علاوه بر عدد ریچاردسون به شیب بستر نیز بستگی داشته؛ اما تغییرات غلظت جریان ورودی در محدوده انتخابی در تحقیق حاضر تاثیر چندانی بر شدت اختلاط ندارد. ضمناً سرعت جریان در اثر شیب بستر تا $1/62$ برابر و ارتفاع جریان نیز بدلیل کشش آب ساکن تا حدود $3/5$ برابر ثبت گردید.

واژگان کلیدی: جریان غلیظ، مدل فیزیکی، عدد ریچاردسون، کشش آب ساکن

* نویسنده مسئول، پست الکترونیک: hossein_bahrami1979@yahoo.com

۱. مقدمه

عمق آن ۱۵ متر می باشد (Garcia, 1992). Daly (1936) در مقاله خود، وجود بسیاری از دره‌ها در اعماق دریاها و اقیانوسها را در اثر وجود جریانهای غلیظ و تاثیر فرسایشی آنها دانسته است. در سال ۱۹۳۵ در مصب رودخانه ریو ماگدلنا در کشور کلمبیا، ۴۵۰ متر از موج شکن ساحلی در دریا فرو ریخت و در همان شب در فاصله ۲۴ کیلومتری از دهانه رودخانه در عمق ۱۵ کیلومتری در یکی از دره‌های زیر آب یک کابل واقع در دریا قطع شد. در حین ترمیم این پارگی مقداری علف که به دور کابل پیچیده شده بود پیدا شد بررسیها نشان داد که این نوع علف در حوالی موج شکن می روید لذا این نظریه بیان شد که در اثر فروریختن موج شکن در ساحل و ایجاد یک جریان غلیظ بسیار قوی این پارگی در فاصله ای دور از ساحل رخ داده است (Simpson, 1997). جریانهای غلیظ بعنوان یک مکانیسم مهم در حمل آبرفتها و تشکیل رسوبات لایه‌ای در کف اقیانوسها، فرسایش سواحل و ایجاد دره‌های دارای اشکال نامتعارف و برجسته در زیر آب (البته نه همه آنها) شناخته می‌شوند (Graf, 1992). یک جریان غلیظ زیرگذر را میتوان به چهار ناحیه مانند آنچه که در شکل (۱) نشان داده شده تقسیم نمود. منطقه اول، قسمت ورودی جریان که منطقه قبل از تداخل جریان با آب ساکن می باشد. منطقه دوم را ناحیه غوطه وری گویند؛ در یک نقطه از جریان به نام نقطه غوطه وری، اندازه حرکت جریان ورودی با نیروی فشاری ناشی از اختلاف چگالی جریان ورودی و آب ساکن به تعادل رسیده و جریان غلیظ زیر گذر پس از آن به زیر سطح آب ساکن رفته و به حرکت خود ادامه می دهد. منطقه سوم، بدنه جریان می باشد که به فاصله بین نقطه غوطه وری و رأس جریان اطلاق می گردد و منطقه چهارم، پیشانی یا رأس جریان غلیظ نامیده شده و به قسمت برجسته جلوی جریان اطلاق می گردد.

اگر سیالی با دانسیته معلوم وارد یک سیال تقریباً ساکن با دانسیته متفاوت گردد، ممکن است بصورت زیرجریان (Underflow)، میان جریان (Interflow) یا روجریان (Overflow) درآید. وقوع هر کدام از این حالات بستگی به تفاوت دانسیته سیال ورودی و سیال ساکن دارد. به این جریانها، جریانهای غلیظ (Density Currents) یا جریانهای ثقلی (Gravity Currents) اطلاق می شود. تفاوت دانسیته ممکن است ناشی از درجه حرارت، مواد محلول، مواد معلق و یا ترکیبی از آنها باشد. اگر جریان غلیظ ورودی، به داخل سیال ساکن (Stagnant Fluid) $\rho_{in} = \rho_1$ ، $\rho = \rho_2$ ، دارای دانسیته کمتر از سیال ساکن باشد، بصورت روجریان و اگر دانسیته بیشتر داشته باشد بصورت زیر جریان و اگر سیال ساکن دارای لایه بندی دانسیته باشد، جریان غلیظ، دانسیته مناسب محیط خود را پیدا خواهد کرد و بصورت میان جریان حرکت خواهد کرد. این نوع جریانها در مخازن سدها، دریاچه ها و اقیانوسها بر انتقال، توزیع و رسوبگذاری ذرات رسوبی حاکم می باشند و تحت شرایط خاصی جریان غلیظ قادر به حمل ذرات سیلت و رس به فاصله دهها کیلومتر می باشد. شرایط جریان ورودی از نظر دبی و جرم مخصوص و نیز وضعیت ناهمواری های بستر از جمله محدودیتهایی است که میتواند بر نحوه حرکت جریان غلیظ و گسترش آن بسیار موثر باشد. در این تحقیق تغییرات جرم مخصوص و شیب بستر جریان مورد بررسی قرار می گیرد.

مشاهدات برای اولین بار نشان داد که رسوبات رودخانه رن که به دریاچه جنوا منتهی می شود باعث ایجاد جریانات غلیظ می گردد. برداشت توپوگرافی کف دریاچه در سالهای بعد نشان داد که معبری به شکل کانال با طول ۹ کیلومتر از مصب رودخانه تا درون دریاچه بوجود آمده است. عرض این کانال ۲۰۰ متر و

در معادلات (۴) تا (۶) پارامترهای E_w ضریب کشش سیال پیرامون (شدت اختلاط)، E_s ضریب کشش

$$R = \frac{\rho_s}{\rho_a} - 1$$

رسوبات، c_b غلظت رسوبات نزدیک بستر،

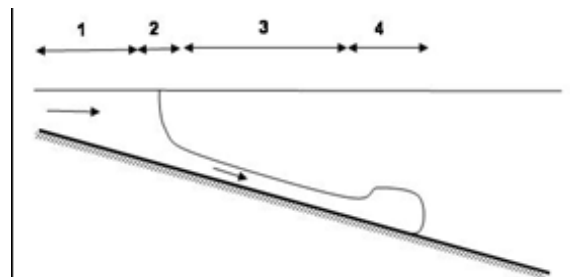
و u_* سرعت برشی بستر می‌باشند. شدت اختلاط در بدنه جریان غلیظ یک پارامتر مهم و تعیین کننده در حرکت جریان است که ناشی از ناپایداریها در حد فاصل جریان غلیظ و سیال ساکن بوده و بصورت نسبت سرعت اختلاط به سرعت متوسط بدنه جریان غلیظ تعریف می‌شود (Turner, 1973).

محققان مختلف با انجام آزمایشهای گوناگون بر روی جریانهای غلیظ با جرم مخصوصهای متفاوت، دریافتند ضریب شدت اختلاط E_w تابعی از عدد ریچاردسون می‌باشد (Ellison & Turner, 1959). با فرض اینکه شدت اختلاط متناسب با سرعت جریان غلیظ می باشد، تحقیقاتی توسط مدل فیزیکی بر روی جریانهای غلیظ انجام دادند. بر اساس نتایج آزمایشات آنها، با افزایش عدد ریچاردسون مقادیر شدت اختلاط کاهش سریع پیدا می‌کرد و هنگامی که عدد ریچاردسون ازمرز ۰/۸ می‌گذشت، می‌توان از مقدار شدت اختلاط صرفنظر کرد. عدد ریچاردسون از پارامترهای اساسی در جریان غلیظ عددی است که در واقع عکس مجذور عدد فرود می‌باشد (Turner, 1973). در جریان غلیظی که بر روی بستری با شیب کف $S = tg\theta$ در حرکت است، عدد فرود جریان غلیظ (F_{rd}) و عدد ریچاردسون (Ri) به صورت زیر تعریف می‌گردد:

$$F_{rd} = \frac{U}{\sqrt{g'h \cos\theta}} \quad (7)$$

$$Ri = \frac{g'h \cos\theta}{U^2} = \frac{1}{F_{rd}^2} \quad (8)$$

Parker.G.et al, 1987 نیز آزمایشهایی را بر روی جریانهای غلیظ رسوبگذار انجام دادند. آزمایشهای آنان بر روی دو شیب ۲/۸۶ درجه و ۴/۶ درجه بستر انجام شد. ماده مورد استفاده آنها ذرات شیشه و یا پودر



شکل (۱)، نواحی مختلف یک جریان غلیظ

از آنجاییکه مرز بین جریان غلیظ و سیال به خوبی قابل تشخیص نمی باشد، ارتفاع (h)، سرعت (U) و غلظت (C_s) متوسط جریان غلیظ در یک مقطع را می‌توان توسط روابط زیر بیان نمود (M.H.Garcia, 1993):

$$Uh = \int_0^{\infty} u dz \quad (1)$$

$$U^2 h = \int_0^{\infty} u^2 dz \quad (2)$$

$$C_s U h = \int_0^{\infty} (u c_s) dz \quad (3)$$

در روابط فوق u و c_s به ترتیب سرعت و غلظت نقطه‌ای در پروفیل عمقی جریان غلیظ می‌باشند. با توجه به اینکه تحقیق حاضر در خصوص بدنه جریان غلیظ است، به طور خلاصه معادلات حاکم بر بدنه این جریانها برای حالت یک بعدی، دائمی و ناپایدار بر روی شیب $S_f = \sin\theta$ را میتوان بصورت زیر نوشت:

$$(4)$$

$$\frac{d}{dx}(Uh) = E_w U$$

$$\frac{d}{dx}(C_s U h) = V_s (E_s - c_b) \quad (5)$$

$$\frac{d}{dx}(U^2 h) = -\frac{1}{2} g R \cos\theta \frac{d}{dx}(C_s h^2) + (g R C_s h) \sin\theta - u_{*b}^2 \quad (6)$$

ارتفاع اوج منحنی تخلیه جت نسبت به عدد فرود چگال، اختلاط بیشتر جریان جت با لایه های سطحی منبع آب پذیرنده ایجاد می شود. همچنین تأثیر عدد فرود چگال در افزایش طول طی شده ی منحنی های خروجی جتها در زوایای کمتر، بیشتر است.

۲. مواد و روش ها

آزمایشات در فلومی با طول ۸ متر، عرض ۵۰ سانتیمتر و ارتفاع ۸۰ سانتیمتر انجام شد. به منظور ایجاد شرایط متفاوت از نظر شیب کف، با استفاده از یک گوه دوزنقه‌ای شکل بستر فلوم عملاً به سه ناحیه تقسیم شد:

دو قسمت افقی ابتدایی و انتهایی به ترتیب دارای طولهای ۲ و ۳/۵ متر و قسمت شیبدار میانی دارای طول قاعده ۲/۵ متر و ارتفاع متغیر بود. به منظور ایجاد شیبهای متفاوت ارتفاع یاد شده در سه حالت ۰/۲ متر، ۰/۳ متر و ۰/۴ متر (به عبارتی شیبهای ۸، ۱۲ و ۱۶ درصد) تنظیم شد. آزمایشها به گونه‌ای انجام شد که در هر شیب، سه دبی متفاوت (دبی‌های ۰/۵، ۱ و ۱/۵ لیتر بر ثانیه) و در هر دبی نیز سه غلظت متفاوت از جریان غلیظ (با جرم حجمی ۱۰۰۷، ۱۰۱۴ و ۱۰۲۰ کیلوگرم بر متر مکعب) مورد ارزیابی قرار گرفت.

به منظور بررسی تغییر در خصوصیات جریان غلیظ در طول فلوم، چهار مقطع جهت اندازه‌گیری در فواصل افقی ۱، ۲، ۴/۵ و ۶ متری از ابتدای فلوم انتخاب و پروفیل عمقی سرعت جریان توسط یک دستگاه سرعت سنج اکوستیک پروفیلر (*Acoustic Doppler current profiler*) با قرار دادن سنسورهای این دستگاه در سطح آب و در خط مرکزی فلوم برداشت گردید. اندازه‌گیریها پس از گذشت زمانی که جریان به حالت یکنواخت می‌رسید انجام گردید. جرم مخصوص جریان غلیظ ورودی نیز با استفاده از دستگاه هیدرومتر اندازه‌گیری شد.

سیلیس بود. آنها با انجام آزمایشهایی روی بدنه جریان غلیظ رابطه‌ای را بصورت زیر برای شدت اختلاط ارائه کردند:

$$E_w = \frac{0.075}{(1 + 718 Ri^{2.4})^{0.5}} \quad (9)$$

Haghiabi, 2004 بر پایه آزمایشهایی که بر روی جریان غلیظ ناشی از مواد محلول (آب نمک) و بر روی شیبهای متغیر را انجام داد، رابطه‌ای را برای شدت اختلاط ارائه کرد:

$$E_w = \frac{0.0023}{Ri^{1.0743}} \quad (10)$$

Chikita K., 1990 تحقیقاتی را در ژاپن انجام داده و رابطه زیر را برای شدت اختلاط بدست آوردند:

$$E_w = 0.0087 \exp\left(-\frac{0.106}{Ri}\right) \quad (11)$$

به هر حال در بسیاری از تحقیقات مقدار E_w ، عموماً بصورت تابعی از عدد ریچاردسون با فرمول کلی زیر بیان شده است:

$$E_w = \frac{a}{b + c Ri^d} \quad (12)$$

ضرایب a ، b ، c و d ، ضرایب تجربی بوده که از طریق آزمایشات به دست آمده و مقادیر متفاوتی نیز داشته‌اند.

Bahrami H. et al, 2017 با بررسی خصوصیات جریان غلیظ با استفاده از مدل فیزیکی نشان دادند که بر اثر پرش هیدرولیکی در جریانهای چگال که موجب تشدید اختلاط با سیال پیرامون می شود، سرعت جریان پس از پرش در حدود ۱۴ تا ۱۹ درصد کاهش و عمق جریان ۲۱ تا ۳۲ درصد افزایش پیدا می کند. ضمن آنکه در برخی موارد بین نتایج رابطه تحلیلی پرش با داده های برداشتی تفاوت زیادی مشاهده شد.

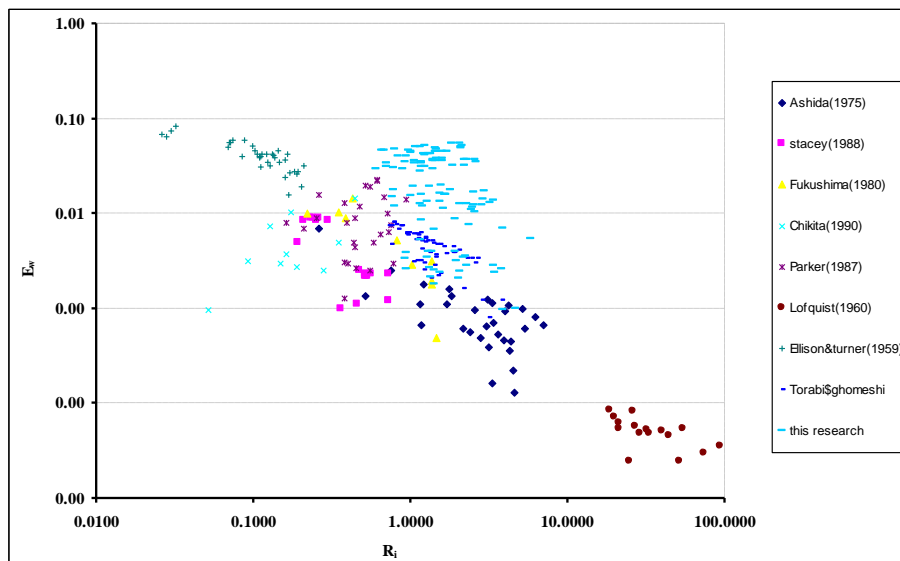
Ahadiyan J. et al, 2014 نحوه توزیع جریان جت غلیظ منفرد با استفاده از مدل فیزیکی را در زوایا، دبی ها و غلظتهای مختلف سیال جت بررسی نمودند. نتایج ایشان نشان داد که با افزایش پارامتر بدون بعد حداکثر

۳- نتایج:

مختلف قبلی ارتباط بین شدت اختلاط و عدد ریچاردسون را همواره نشان داده و E_w عموماً بصورت تابعی از عدد ریچاردسون بیان شده است $E_w = F(R_i)$. لذا نحوه ارتباط این دو پارامتر بر اساس نتایج تحقیق حاضر و سایر محققین در شکل (۲) نشان داده شده است.

به منظور محاسبه سرعت متوسط جریان غلیظ از تقسیم رابطه (۲) به (۱) استفاده و ارتفاع متوسط جریان نیز با تقسیم رابطه (۱) به سرعت متوسط بدست آمد. مقدار شدت اختلاط نیز از اعمال رابطه (۴) بین دو مقطع متوالی محاسبه گردید.

- تاثیر عدد ریچاردسون بر شدت اختلاط؛ تحقیقات

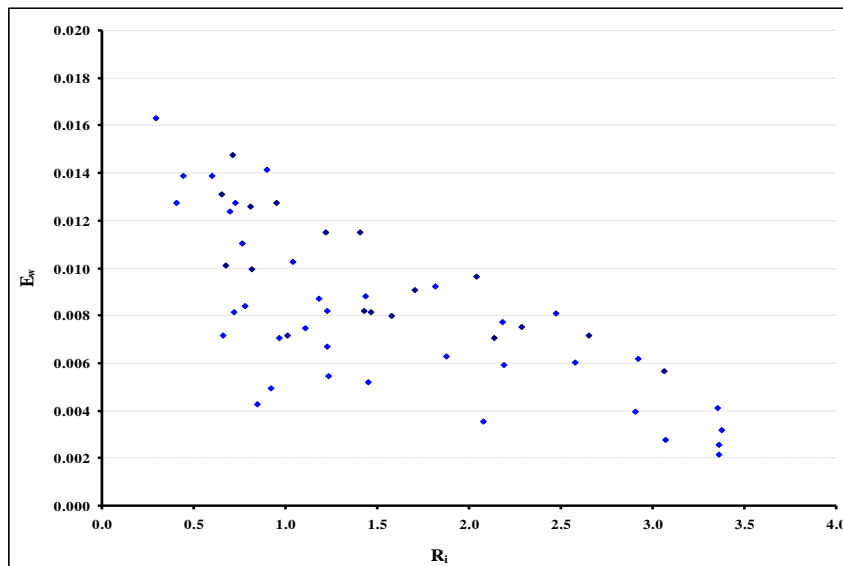


شکل (۲). سابقه تغییرات E_w در برابر عدد ریچاردسون و مقایسه با داده‌های تحقیق حاضر

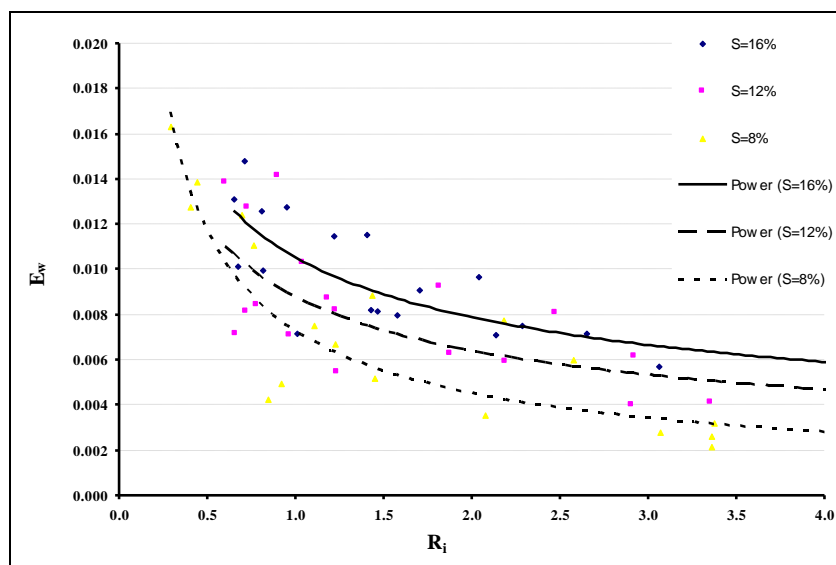
تغییرات شدت اختلاط نسبت به عدد ریچاردسون بررسی شد:

- بررسی تغییرات E_w با R_i ناشی از تغییرات شیب؛ ارتباط بین شدت اختلاط و عدد ریچاردسون برای کلیه داده‌های برداشت شده در ناحیه شیدار فلوم آزمایش در شکل (۳) نشان داده شده است. چنانچه تغییرات E_w با R_i در شیب‌های متفاوت به‌گونه‌ای ترسیم گردد که نقاط متناظر دارای جرم حجمی و دبی اولیه ثابت باشند، روند تغییرات مطابق شکل (۴) خواهد بود.

نتایج حاصله از کلیه داده‌ها، وجود یک روند کاهشی شدت اختلاط با افزایش عدد ریچاردسون را نشان می‌دهد؛ لیکن پراکندگی در میان نتایج هر تحقیق کاملاً مشهود است. که خود می‌تواند ناشی از شرایط اولیه متفاوت جریان ورودی و نیز تفاوت در شرایط بستر جریان باشد. برای همین منظور تغییرات شدت اختلاط برای حالت‌های تغییرات شیب و جرم مخصوص جریان ورودی بصورت مجزا نیز بررسی شد. جهت بررسی تأثیر شرایط اولیه غلظت و شیب بر روی پارامتر شدت اختلاط، پس از دسته‌بندی داده‌ها براساس شیب و جرم حجمی جریان غلیظ ورودی؛



شکل (۳) ارتباط E_w و R_i در جریان غلیظ نمکی برای همه شیبها



شکل (۴) تأثیر تغییر شیب در روند تغییرات E_w با R_i در جریان غلیظ نمکی

ریچاردسون در نظر گرفته شود، رابطه حاکم بر کلیه داده‌ها را می‌توان بصورت زیر تعریف نمود:

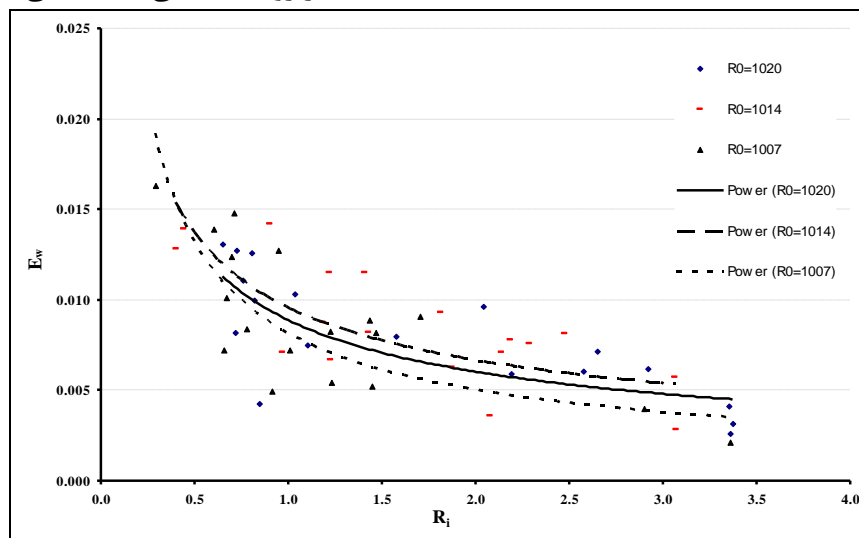
$$E_w = 0.011R_i^{-0.637} \cdot S^{0.076} \quad (13)$$

از دیگر نتایج بدست

آمده که ناشی از افزایش شیب بستر است، میتوان به وقوع بیشترین تغییرات سرعت در بخش شیبدار فلوم اشاره کرد بطوریکه نتایج آزمایشات نسبت افزایش سرعت انتها به ابتدای شیب را از ۱/۴ متوسط جریان

شکل (۴) نشان می‌دهد، در شرایط اولیه یکسان، با افزایش شیب بر میزان شدت اختلاط افزوده می‌گردد. بنابراین عامل شیب می‌تواند به عنوان یکی دیگر از پارامترهایی باشد که بر شدت اختلاط اثر بگذارد. بعنوان مثال میزان این تاثیر در شدت اختلاط را میتوان در عدد ریچاردسون حدود ۱، از مقدار ۰/۰۰۴ برای شیب ۸ درصد تا مقدار ۰/۰۱۳ در شیب ۱۶ درصد مشاهده کرد. چنانچه شدت اختلاط تابعی از شیب و عدد

بطوریکه نسبت افزایش دبی در انتهای ناحیه شیبدار به ابتدای آن در حدود سه تا بیش از پنج برابر می باشد. - بررسی تغییرات E_w با R_i ناشی از تغییرات غلظت؛ چنانچه تغییرات E_w با R_i در غلظت‌های متفاوت به‌گونه‌ای ترسیم گردد که نقاط متناظر دارای شیب و دبی اولیه ثابت باشند، روند تغییرات مطابق شکل‌های (۵) خواهد بود. براساس شکل (۵) در نقاط متناظر با شرایط اولیه یکسان، شدت اختلاط بر اساس تغییرات غلظت از روند مشخصی تبعیت نمی‌کند.



شکل (۵) تأثیر تغییر غلظت در روند تغییرات E_w با R_i در جریان غلیظ نمکی

بود. ارتفاع متوسط جریان همواره دارای روند افزایشی است. بیشترین نسبت ارتفاع مربوط به ناحیه شیبدار تا بیش از $3/5$ برابر بوده است. افزایش سرعت بدلیل افزایش شیب بوده ولی افزایش ارتفاع جریان ناشی از تاثیر قابل ملاحظه اثر اختلاط جریان غلیظ با محیط پیرامون و افزایش چند برابری میزان کشش آب ساکن می باشد.

- مقدار E_w علاوه بر R_i ، به شیب بستر جریان نیز بستگی دارد بطوریکه در یک عدد ریچاردسون ثابت در شیبهای بیشتر شدت اختلاط بیشتری انتظار می‌رود. این افزایش

همواره دارای روند افزایشی است. بیشترین نسبت ارتفاع مربوط به ناحیه شیبدار بوده و تغییرات نسبت ارتفاع را تا بیش از $3/5$ برابر نشان برابر تا $1/65$ برابر نیز نشان می‌دهد. با توجه به ورود آب ساکن محیط پیرامون به بدنه جریان غلیظ، ارتفاع می‌دهد. ماهیت جریان غلیظ باعث افزایش دبی جریان غلیظ در طول مسیر حرکت می‌شود. این افزایش دبی با توجه به تغییرات شدید سرعت و ارتفاع در ناحیه شیبدار بسیار زیاد بوده

۴. بحث و نتیجه گیری

تحقیق حاضر به منظور بررسی تاثیر عوامل مختلف بر میزان کشش آب ساکن در جریان غلیظ انجام گردید. بدین منظور با استفاده از ایجاد مدل فیزیکی مورد نظر، آزمایشات متعدد به گونه‌ای انجام شد که در سه تغییر شیب با زوایای مختلف، دبی‌های مختلف جریان غلیظ به میزان 0.5 ، 1 و 1.5 لیتر بر ثانیه با جرم حجمی 1007 ، 1014 و 1020 کیلوگرم بر متر مکعب برای هر آزمایش به کار گرفته شد. مهمترین نتایج بدست آمده به شرح ذیل است:

- نسبت افزایش سرعت انتها به ابتدای ناحیه شیبدار از حدود $1/4$ برابر تا $1/62$ برابر متغیر

- تغییرات غلظت سیال ورودی در محدوده انتخاب شده در این تحقیق تاثیر قابل تمایزی در میزان شدت اختلاط ایجاد نکرد.

شیب باعث آشفته‌گی بیشتر در لایه بینابینی مرز جریان غلیظ و سیال پیرامون شده و میزان شدت اختلاط را تحت تاثیر قرار داده است.

منابع

- Ahadiyan.J, Mohhamadi.F, Bahrami.H. 2014, Effect of vertical angle and hydraulic properties on flow distribution of single dense jet using physical model, journal of Marine Science and Technology.
- Bahrami.H, Ghomeshi.M, Kashefipour.M, salehi.A.A, 2017, Investigation of characteristics of density current because of regime changes, journal of Marine Science and Technology.
- Chikita K., 1990, Sedimentation by river – induced Turbidity currents; field measurements and interpretation, Sedimentology, vol. 37, pp. 891-905.
- Daly R.A., 1936, Origin of submarine canyons. American Journal of Science, vol. 31, pp. 401 – 420.
- Ellison T.H., Turner J.S. , 1959, Turbulent entrainment in stratified flow, Journal of Fluid Mechanics, Vol. 6, No. 3, pp. 423.
- Garcia M.H. , 1992, Turbidity currents , Encyclopedia of Earth system Science, Vol. 4, pp. 399-408.
- Garcia,M.H, 1993, Hydraulic jumps in sediment-driven bottom currents. J.Hydraul.Eng., 119, 1094–1117.
- Graf, W.H. , 1992, Storage losses in reservoirs, International Water Power & Dam Construction, Vol. 36, No. 4.
- Haghiabi, A. H., 2004, The study of bed slope effect on velocity and concentration profiles of density currents, Ph.D. Thesis, Shahid Chamran University, Ahwaz,Iran.
- Parker G., Garcia M., Fukushima Y. , 1987, Experiments on turbidity currents over an erodible bed, Journal of Hydraulic Research, Vol. 25, No. 1.
- Simpson J.E. , 1997, Gravity currents in the environment and the laboratory, Cambridge University Press.
- Turner, J.S., 1973, Buoyancy effects in fluids, Cambridge University Press, London, England.

Investigation of the effect of various factors on density currents entrainment

Hossein bahrami^{2*}, Mehdi ghomeshi², Seyed Mahmoud kashefi por³, Seyed Ali Akbar Salehi Neyshabouri⁴

1. Department of Marine Structures, Faculty of Engineering, Khorramshahr University of marine science and technology
2. Department of hydraulic structure, Faculty of water science engineering, shahid chamran University, Ahwaz.
3. Department of hydraulic structure, Faculty of water science engineering, shahid chamran University, Ahwaz.
4. Department of Hydraulic Structures, Faculty of Civil Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran.

Abstract

Dense currents are phenomena that occur naturally and artificially in many fluids science. Understanding how it forms and moves in nature will help investigate the impact and predict this phenomenon to reduce damage and even improve the condition. In this study, by creating different slopes in the bed of a physical model, the flow rate and inlet flow concentration were also changed. The results indicate that the entrainment value in addition to the Richardson number depends on the bed slope, but the changes in the concentration of flow in the selected range in the present study have little effect on the entrainment. Meanwhile, the velocity and height of the flow increased by 1.62 and 3.5 times respectively due to the increase of bed slope.

Keywords: Density current, Physical modeling, Richardson number, Entrainment

Fig (1). Different regions of a thick stream

Fig (2). The history of variations of 22 against the Richardson number and comparison with the data of the present study

Fig (3). Relationships 22 and 33 in the salty dense flow for all slopes

Fig (4). The effect of slope change in the process of changes of 22 and 33 in the salty dense flow

Fig (5). The Effects of Concentration Change in Changes of 22 and 33 in the salty dense flow

*Corresponding author E-mail: hossein_bahrami1979@yahoo.com