

بررسی سرعت بیشینه در بدنه جریان غلیظ بر روی بستر با زبری‌های استوانه‌ای

بهاره شیخی نژاد^{۱*}، مهدی قمشی^۲

* - نویسنده مسئول، دانشجوی کارشناسی ارشد سازه های آبی، دانشگاه شهید چمران اهواز. b.sheikhinejad@gmail.com

۲- استاد گروه سازه های آبی، دانشگاه شهید چمران اهواز.

تاریخ پذیرش: ۹۲/۷/۱۵

تاریخ دریافت: ۹۲/۴/۲۱

چکیده

رسوبگذاری در مخازن سدها سبب کاهش حجم ذخیره و در نتیجه کاهش عمر مفید مخزن خواهد شد. در مخازن سدها با عمق زیاد، جریان غلیظ معمولاً عامل انتقال و ته‌نشینی رسوبات است. اگر جریان غلیظ به طور کامل در مناطق میانی سد متوقف شود یا اجازه رسوبگذاری در نقاط حساس به آن داده نشود مقدار رسوبگذاری در پای دیواره سد کاهش یافته و در نتیجه وظایف اصلی سد مختل نخواهد شد. یکی از روش‌های تغییر هیدرولیک جریان غلیظ و کند کردن آن، زبر کردن بستر است. بنابراین در تحقیق حاضر سعی شده است پروفیل سرعت بدنه جریان غلیظ بر روی بستر با زبری‌های استوانه‌ای مورد بررسی قرار گیرد و رابطه‌ای برای سرعت بیشینه در بدنه جریان غلیظ ارائه شود. آزمایش‌ها در فلومی به عرض ۳۵ سانتی‌متر، ارتفاع ۷۰ سانتی‌متر و طول ۹ متر با تزریق جریان غلیظ نمکی در غلظت‌های ۱۰، ۱۵ و ۲۰ گرم بر لیتر و سه شیب ۰/۵، ۱/۲۵، ۲ درصد و زبری‌های استوانه‌ای با ارتفاع ۲۵، ۴۰ و ۵۵ میلی‌متر انجام شد. نتایج نشان می‌داد شیب بستر رابطه مستقیم با سرعت بدنه جریان غلیظ دارد، افزایش شیب باعث می‌شود سرعت بیشینه بدنه در ارتفاع پایین‌تری اتفاق افتد، زبری‌ها باعث کاهش سرعت بیشینه بدنه جریان غلیظ می‌شوند و افزایش ارتفاع زبری، تا حد معینی باعث کاهش سرعت بدنه می‌شود.

کلیدواژه‌ها: جریان غلیظ، سرعت بیشینه بدنه، زبری استوانه‌ای.

Investigate of Effect of Cylinder Roughness on Maximum Velocity of Density Current Body

B. Sheikhi Nejad¹, M. Ghomeshi²

1- M.s Student, Water Structures Engineering Department, Shahid Chamran University

2- Professor, Water Structures Engineering Department, Shahid Chamran University

Received: 12 July 2013 Accepted: 7 Oct. 2013

Abstract

Sedimentation in the dam reservoirs reduces storage volume sand as a result the useful life of the dam reduced. In deep dam reservoir the turbidity current usually are the reason of transport and deposition of sediment. If turbidity current completely stopped in middle regions of reservoir or not to allow deposition in sensitive areas, sediment deposition will decreased near dam wall and the main tasks of the dam will not be disrupted. Roughen the bed is a technique for changing the turbidity current hydraulic or slow it. Therefore in present research has been investigated the body velocity distribution of the density current on the bed with cylinder roughness and has been provided a relation for maximum velocity of body. A series of gravity currents experiment were performed into 35 cm width flume with 9 m length. The experiments developed as salinity fluid flow with 3 concentrations of 10, 15 and 20 lit/s in slop bed range of 0.5, 1.25 and 2% and 3 roughness height of 25, 40 and 55 mm. The result indicates that the bed slope is in direct relationship with body velocity. Increasing the bed slop causes the maximum body velocity is closer the bed. And increases Roughness height reduces body velocity to certain extent.

Keywords: Density current , Head velocity , Cylinder Roughness.

مقدمه

غلیظ به دلیل اینکه سیال پیرامون تأثیر کاهنده ای روی نیروی ثقل دارد، قابل نظر کردن نمی‌باشد. براین اساس شتاب ثقل موثر بر جریان که به عنوان نیروی محرک بر جریان مطرح می‌باشد به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$g' = \frac{\rho_t - \rho_a}{\rho_a} g \quad (1)$$

که در این رابطه g' : شتاب ثقل کاهش یافته، g : شتاب ثقل زمین، ρ_t و ρ_a : به ترتیب جرم مخصوص سیال محیطی و سیال غلیظ می‌باشند.

بسته به اختلاف جرم مخصوص سیال ورودی و سیال محیطی، جریان ممکن است به سه صورت زیرگذر، میان‌گذر و یا روگذر درآید. اگر جریان غلیظ ورودی نسبت به سیال ساکن دارای جرم مخصوص کمتری باشد به صورت روگذر و اگر جرم مخصوص بیشتری داشته باشد به صورت زیرگذر و اگر سیال ساکن دارای لایه بندی جرم مخصوص باشد جریان غلیظ جرم مخصوص مناسب محیط خود را پیدا خواهد کرد و به صورت میان‌گذر حرکت خواهد کرد.

نسبت نیروی اینرسی به ثقل در جریان‌های غلیظ عدد بی بعد فرود دنسومتریکی یا چگال می‌باشد که به صورت زیر تعریف می‌گردد:

$$Fr_d = \frac{U}{\sqrt{g'h \cos \alpha}} \quad (2)$$

که Fr_d : عدد فرود دنسومتریکی، U : سرعت متوسط، h : عمق جریان و α : زاویه بستر با افق می‌باشند. شکل متداول‌تر این عدد که در مطالعات جریان‌های غلیظ به کار می‌رود عدد ریچاردسون بوده که به صورت زیر می‌باشد:

$$Ri = \frac{1}{Fr^2} = \frac{g'h \cos \alpha}{U^2} \quad (3)$$

همانند جریان در کانال‌های باز می‌توان جریان غلیظ را در حالت $(Fr_d > 1)$ یا $(Ri < 1)$ فوق بحرانی و $(Fr_d < 1)$ یا $(Ri > 1)$ زیر بحرانی معرفی نمود.

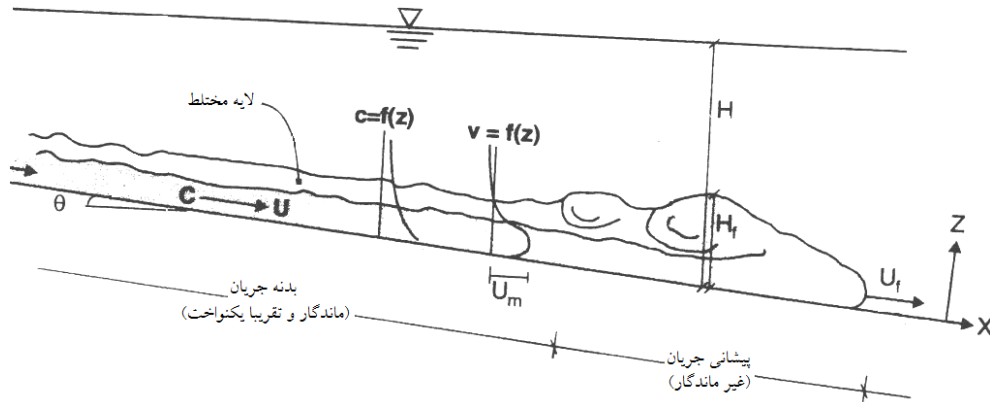
جریان غلیظ به واسطه رأس خود وارد سیال پیرامون می‌شود. بعد از عبور رأس جریان غلیظ و تلاطم‌های آن، جریان غلیظ حالت شبه یکنواخت پیدا کرده و ناحیه بدنه را تشکیل می‌دهد. برخلاف

جریان غلیظ و یا جریان چگال عبارت است از جریان یک سیال با جرم مخصوص معلوم در سیال دیگر با جرم مخصوص متفاوت. عامل ایجاد جریان، گرادیان افقی فشار است که خود ناشی از اختلاف جرم مخصوص بین دو سیال می‌باشد. این اختلاف جرم مخصوص می‌تواند ناشی از وجود مواد رسوبی در سیال، مواد محلول در سیال یا اختلاف دما بین دو سیال باشد. نمونه‌های طبیعی جریان غلیظ به وفور یافت می‌شوند که فعالیت‌های بشر نیز به انواع آنها افزوده است. حرکات بزرگ مقیاس هوای سرد، حرکت و پیشروی جبهه مه آلود، حرکت جریان مذاب ناشی از فعالیت آتشفشان در زیر دریا و سقوط بهمین نمونه‌های طبیعی از اینگونه جریان‌ها می‌باشند (پترز و ونارت، ۱۹۹۹). جریان‌های غلیظ عامل فرسایش دره‌های زیر دریاها و همچنین تشکیل گردابه‌های رسوبی بسیاری در دهانه دره‌ها هستند (سکیورس و همکاران، ۲۰۱۰). جریان کدر در مخازن سدها، نشست نفت در دریاها، حرکت و پخش گازهای تولید شده از واحدهای صنعتی و هدایت فاضلاب‌های شهری و صنعتی به دریاها و رودخانه‌ها نمونه‌هایی از جریان‌های غلیظ ایجاد شده بر اثر فعالیت‌های انسان می‌باشد (سیمپسون، ۱۹۹۷).

جریان ورودی به یک دریاچه یا مخزن غالباً دارای جرم مخصوص متفاوت نسبت به آب دریاچه یا مخزن می‌باشد. دلیل اختلاف می‌تواند تفاوت در دما، شوری و یا ذرات معلق باشد. حداکثر اختلاف در جرم مخصوص جریان غلیظ و سیال محیطی در زمان سیلاب اتفاق می‌افتد که نتیجه آن ایجاد یک دریاچه گل آلود و رسوبگذاری در نزدیکی سازه سد بوده؛ این امر عملکرد سازه‌های آبگیر و خروجی‌های کف را مختل می‌کند. روش‌های مختلفی برای کنترل جریان غلیظ وجود دارد. یکی از این روش‌ها هدایت جریان غلیظ به بیرون مخزن می‌باشد که این امر مستلزم رهاسازی جریان به پایین دست و از دست دادن مقدار زیادی آب است. اگر در مخازن نتوان از رهاسازی جریان به پایین دست استفاده کرد بهترین گزینه، جلوگیری از رسیدن جریان غلیظ به دیواره سد است تا بدین ترتیب از اثر رسوبگذاری این جریان‌ها در پای سد جلوگیری نمود. از جمله این روش‌ها می‌توان به ایجاد موانع نفوذپذیر، موانع نفوذناپذیر، ایجاد مخازن کوچک، استفاده از جت و ایجاد تلاطم در سیال پیرامون اشاره کرد.

حرکت جریان غلیظ دارای شباهت‌هایی به حرکت جریان در مجاری روباز است ولی با آن تفاوت اساسی نیز دارد. در جریان درون کانال‌های باز، هوا سیال پیرامون را تشکیل می‌دهد و از آنجا که تأثیر آن ناچیز است از آن صرف نظر می‌شود. ولی در جریان

- 1- Peters and Vonart
- 2- Sequeieos et al
- 3- Simpson



شکل ۱- شمای کلی از جریان غلیظ و قسمت‌های مختلف آن

در مقطع مستطیلی سرعت نفوذ سیال پیرامون به درون جریان غلیظ را می‌توان به صورت تابعی از سرعت متوسط افقی جریان غلیظ تعریف نمود (ترنر^۳، ۱۹۷۹):

$$\frac{\partial}{\partial x}(Uh) = -w_{hi} = E_w U \quad (۶)$$

که در این رابطه U : سرعت متوسط جریان غلیظ، h : ارتفاع بدنه جریان غلیظ، w_{hi} : سرعت نفوذ سیال پیرامون (سرعت عمودی سیال پیرامون) و E_w : ضریب کشش سیال پیرامون یا شدت اختلاط سیال محیطی می‌باشد.

اکثر محققین شدت اختلاط سیال محیطی را تابعی از عدد ریچاردسون معرفی می‌کنند و برخی دیگر علاوه بر عدد ریچاردسون آن را تابعی از ضریب درگ در بستر می‌دانند. شدت اختلاط سیال محیطی را می‌توان به صورت تفاضل محدود با داشتن اطلاعات سرعت و عمق در دو مقطع از جریان غلیظ با استفاده از رابطه زیر محاسبه نمود:

$$E_w = \left[\frac{2}{U_{i+1} + U_i} \right] \left[\frac{(Uh)_{i+1} - (Uh)_i}{x_{i+1} - x_i} \right] \quad (۷)$$

مروری بر تحقیقات انجام شده

مک‌کافری و همکاران^۴ (۲۰۰۳) به بررسی تغییرات مکانی و زمانی جریان کدر پرداختند. آنها وسایل اندازه‌گیری را در فلووم ثابت نگه داشته و مکان تغذیه جریان را در طول فلووم تغییر دادند. نتایج آنها نشان می‌داد که ارتفاع سرعت بیشینه، تقریباً در یک سوم ارتفاع از کف قرار داشته و این ارتفاع با گذشت زمان تغییر نمی‌کند، حداکثر اندازه ذرات

رأس، جریان در بدنه تقریباً دائمی است. در شکل (۱) شمای کلی جریان غلیظ نشان داده شده است. در این شکل محور x : امتداد کف کانال، محور z : راستای عمود بر جهت جریان، H : ارتفاع سیال محیطی، U_f : سرعت و ارتفاع رأس جریان غلیظ، U_m : سرعت بیشینه بدنه جریان غلیظ، C : غلظت جریان غلیظ و θ : زاویه شیب بستر می‌باشند.

از آنجا که مرز بین جریان غلیظ و سیال پیرامون اغلب به دلیل وجود هاله‌ای از جریان غلیظ به خوبی قابل تشخیص نمی‌باشد، می‌توان در یک مقطع از جریان غلیظ (در مقطع مستطیلی) سرعت و ارتفاع متوسط بدنه را توسط روابط زیر تعریف کرد (الیسون و ترنر^۱، ۱۹۵۹):

$$\bar{h} = \frac{\left(\int_0^\infty u dz \right)^2}{\int_0^\infty u^2 dz} = \frac{\left(\int_0^{h_i} u dz \right)^2}{\int_0^{h_i} u^2 dz} \quad (۴)$$

$$\bar{U} = \frac{\int_0^\infty u^2 dz}{\int_0^\infty u dz} = \frac{\int_0^{h_i} u^2 dz}{\int_0^{h_i} u dz} \quad (۵)$$

که در این روابط \bar{h} : ارتفاع بدنه جریان غلیظ، \bar{U} : سرعت متوسط بدنه جریان غلیظ، u : سرعت نقطه‌ای و h_i : ارتفاعی که در آن سرعت صفر است می‌باشند.

سیال پیرامون به دلیل حرکت نداشتن، فشار استاتیکی بیشتری نسبت به جریان غلیظ که متحرک می‌باشد، دارد. بنابراین گرادیان فشار ایجاد شده باعث نفوذ سیال پیرامون به درون جریان غلیظ می‌گردد (گراف و آلتیناکار^۲، ۱۹۹۸).

توپوگرافی مثلثی به دلیل انسداد نسبی جریان در تاج مثلث و در نتیجه افزایش رسوب‌گذاری می‌باشد.

مواد و روش‌ها

تحلیل ابعادی به منظور توسعه مدل فیزیکی

از آنجا که هدف اصلی این تحقیق بررسی اثر زبری‌های مصنوعی بر سرعت بدنه جریان غلیظ تحت تأثیر پارامترهای مختلف است لذا متغیرهای قابل اندازه‌گیری و حاکم بر این پدیده را می‌توان به صورت زیر دسته بندی کرد:

$$U = f(g', q, h, k_s, s, \nu) \quad (9)$$

که در این رابطه U : سرعت بدنه جریان غلیظ، g' : شتاب ثقل کاهش یافته، q : دبی در واحد عرض جریان غلیظ، h : ارتفاع بدنه جریان غلیظ، k_s : ارتفاع زبری بستر، s : شیب بستر و ν : لزجت سینماتیک سیال غلیظ می‌باشند. با استفاده از تحلیل ابعادی به روش باکینگهام و با مروری بر مطالعات انجام شده توسط محققان دیگر پارامترهای بدون بعد به صورت زیر استخراج شدند:

$$f\left(\frac{U}{(g'q)^{\frac{1}{3}}}, \frac{g'h}{U^2}, \frac{Uh}{\nu}, \frac{k_s}{h}, s\right) = 0 \quad (10)$$

که در این رابطه $\frac{U}{(g'q)^{\frac{1}{3}}}$: سرعت بی بعد شده، $\frac{g'h}{U^2}$: بیانگر عدد ریچاردسون، $\frac{Uh}{\nu}$: عدد رینولدز جریان، $\frac{k_s}{h}$: زبری نسبی و s : شیب بستر است.

مدل فیزیکی

پس از تجزیه و تحلیل ابعادی و مشخص شدن پارامترهای مؤثر بر سرعت بدنه جریان غلیظ به منظور ایجاد شرایط مختلف جریان از فلومی به عرض ۳۵ سانتی‌متر، ارتفاع ۷۰ سانتی‌متر و طول ۹ متر و قابلیت تغییر شیب، در آزمایشگاه مدل‌های فیزیکی و هیدرولیکی دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز استفاده شد. شکل (۲) شماتیکی از فلوم مورد استفاده را نشان می‌دهد. آزمایش‌ها در سه غلظت ۱۰، ۱۵ و ۲۰ گرم بر لیتر و سه شیب ۰/۵، ۱/۲۵ و ۲ به روش ماتریسی انجام شد. برای ایجاد زبری از استوانه‌های پلاستیکی به قطر ۱۰ میلی‌متر و ارتفاع ۵۵، ۴۰، ۲۵ میلی‌متر استفاده گردید. فاصله مرکز به مرکز استوانه‌ها در هر ردیف ۳ سانتی‌متر و فاصله ردیف‌ها از هم ۷ سانتی‌متر

تقریباً در ارتفاع بیشینه سرعت دیده می‌شود و غلظت متوسط ذرات نیز با فاصله از کف فلوم کاهش می‌یابد.

اصغری پری (۱۳۸۸) به بررسی آزمایشگاهی ارتفاع موانع جهت کنترل جریان غلیظ در مخازن سد پرداخت. وی در تحقیق خود ۱۳۱ آزمایش با استفاده از جریان غلیظ نمکی و رسوبی تحت شرایط ورودی متفاوت و هشت مانع با ارتفاع‌های متفاوت انجام داد. آنان با ارائه رابطه زیر برای تخمین ارتفاع نسبی موانع نشان دادند که با افزایش شیب، عدد فرود دنسیومتریکی و نسبت ارتفاع جریان به عمق مخزن، ارتفاع نسبی مانع که باعث توقف جریان می‌شود افزایش می‌یابد:

$$H_m = 2.821(Fr_d) + 0.221(S) + 3.104(r) - 0.409 \quad (8)$$

که در این رابطه Fr_d : عدد فرود دنسیومتریکی، S : شیب کانال، r : نسبت ارتفاع جریان به عمق مخزن و H_m : ارتفاع نسبی موانع و برابر با نسبت ارتفاع موانع به ارتفاع بدنه جریان غلیظ می‌باشد.

سیکورس و همکاران (۲۰۱۰) با استفاده از جریان غلیظ رسوبی و نمکی بر روی بستر متحرک، شکل‌گیری فرم بستر را مورد مطالعه قرار داده و اثر زبری و فرم بستر ایجاد شده روی پروفیل‌های سرعت و مقدار افزایش غلظت از طریق بستر متحرک را مورد بررسی کیفی قرار دادند. آنها نشان دادند که شکل‌گیری فرم بستر در رژیم‌های مختلف با یکدیگر متفاوت بوده و اثر متفاوتی روی پروفیل سرعت در نزدیک بستر (بخش دیوار پروفیل سرعت جریان غلیظ) و فاصله عمودی محل قرارگیری سرعت بیشینه دارد.

ایسلام و ایمران^۱ (۲۰۱۰) به بررسی آزمایشگاهی پروفیل سرعت و غلظت و همچنین تلاطم در بدنه و پیشانی جریان غلیظ نمکی و رسوبی پرداختند. در تحقیق آنها جریان از روی یک شیب به بستر افقی می‌رسد. سپس پروفیل سرعت لحظه‌ای به وسیله دو دستگاه سرعت سنج صوتی اندازه‌گیری شده و با استفاده از نتایج به دست آمده پروفیل متوسط زمانی سرعت، انرژی جنبشی تلاطم و مؤلفه‌های تنش رینولدز استخراج شدند. پروفیل‌های تنش رینولدز و انرژی جنبشی تلاطم شباهت زیادی را در منطقه نزدیک دیواره نشان دادند.

کوبو^۲ (۲۰۰۴) تأثیر توپوگرافی بستر را روی رسوب‌گذاری جریان غلیظ رسوبی زیربحرانی مورد بررسی قرار داد. آزمایش‌ها برای توپوگرافی مثلثی شکل و بستر شیب‌دار که به یک بستر افقی می‌رسد انجام شدند. نتایج نشان داد که یک افزایش موضعی در توزیع رسوب‌گذاری در پایین‌دست شیب و در شیب بالادست مثلث‌ها ایجاد می‌شود. افزایش رسوب‌گذاری در بالادست

سانتی‌متر بود و اولین مقطع ۲ متر از دریاچه فاصله داشت. در همان مقاطع از بدنه جریان غلیظ نمونه برداری شد. در طول تمام آزمایش‌ها برای اطمینان از اینکه جریان تنها ناشی از اختلاف جرم مخصوص است دمای جریان غلیظ و سیال پیرامون اندازه‌گیری می‌شد.

نتایج و بحث

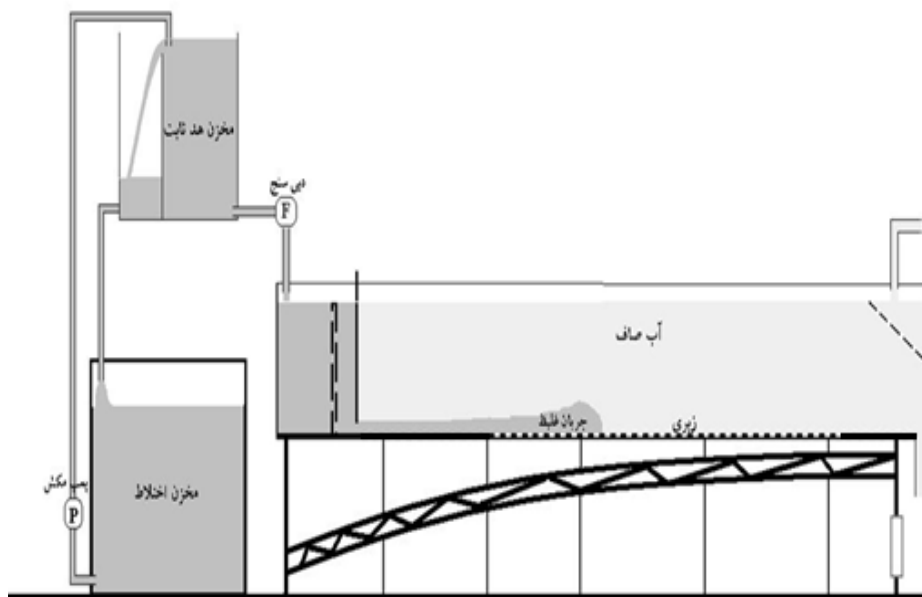
همان‌طور که در بخش‌های قبل اشاره شد، حرکت جریان غلیظ به دلیل گرادیان افقی فشار است و اختلاط سیال محیطی و اصطکاک بستر روی آن تأثیر به‌سزایی دارند. در تحقیق حاضر به منظور بررسی تأثیر زبری‌های استوانه‌ای روی سرعت بدنه جریان غلیظ در شرایط متفاوت جریان ورودی، با در نظر گرفتن اثر زبری و مقایسه آن با بستر صاف تعدادی آزمایش نمکی به روش ماتریسی انجام پذیرفت. پروفیل‌های سرعت مربوط به مقطع دو برای محاسبات مورد استفاده قرار گرفتند. سرعت متوسط بدنه و ارتفاع متوسط بدنه با استفاده از روابط (۴) و (۵) محاسبه شدند. با توجه به پروفیل‌های رسم شده در شکل‌های (۴) تا (۷) که برای نمونه آورده شده‌اند، افزایش شیب کانال باعث افزایش سرعت بیشینه بدنه جریان غلیظ می‌شود، زیرا افزایش شیب کانال جزء مؤثر نیروی وزن ($g' \sin \theta$) را افزایش می‌دهد. همچنین با توجه به جدول (۱) افزایش شیب باعث می‌شود سرعت بدنه جریان غلیظ در ارتفاع پایین‌تری به مقدار بیشینه خود برسد.

بود. نحوه چیدمان زبری‌ها به صورت شطرنجی بود که در طول تمام آزمایش‌ها تغییر نمی‌کرد. شکل (۳) نمونه‌ای از زبری‌های مورد استفاده را نشان می‌دهد. دبی در طول تمام آزمایش‌ها ثابت و برابر ۰/۷ لیتر بر ثانیه بود.

برای شبیه‌سازی جریان غلیظ مانند مخزن سد، سیال محیطی از انتها وارد فلوم می‌شد و ارتفاع آن توسط سرریز تعبیه شده در انتهای فلوم ثابت نگه‌داشته می‌شد. در یک متری ابتدای کانال دریاچه‌ای نصب شده تا توسط آن سیال غلیظ و سیال پیرامون از هم جدا شوند. دریاچه از نوع کشویی با اهرم طراحی شده بود تا بتوان آن‌را به‌صورت آبی و با بازشدگی مناسب گشود. برای کاهش تلاطم سیال غلیظ ورودی قبل از دریاچه از صفحات سوراخ‌داری به عنوان آرام‌کننده استفاده شد. زبری‌ها از فاصله ۱/۵ متری دریاچه ورودی تا انتهای فلوم ادامه داشتند.

سیال غلیظ با غلظت مورد نظر درون مخزن اختلاط حل می‌شد و با حل کردن ماده رنگی پرمنگنات پتاسیم که باعث تغییر در هدایت الکتریکی سیال غلیظ نمی‌شد، از سیال پیرامون قابل تفکیک بود. محلول آماده شده با استفاده از پمپ به مخزنی که در آن ارتفاع آب ثابت نگه‌داشته می‌شد انتقال می‌یافت. این مخزن ثابت به دو بخش تقسیم شده است تا امکان سرریز کردن سیال اضافی وجود داشته باشد و سیال غلیظ به صورت ثقیل وارد فلوم شود. برای اطمینان از اینکه سیال غلیظ تنها به دلیل اختلاف جرم مخصوص وارد سیال محیطی شود، دریاچه زمانی باز می‌شد که سطح سیال محیطی و سیال پیرامون برابر باشند.

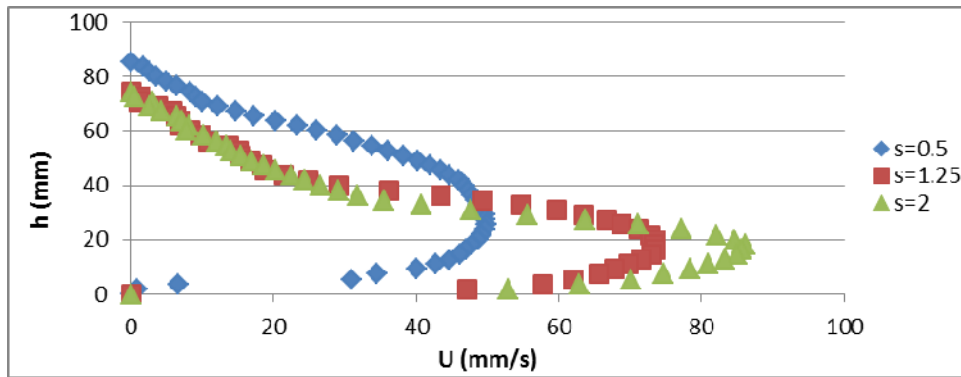
پروفیل سرعت بدنه در چهار مقطع در طول زبری‌ها با استفاده از سرعت سنج اکوستیک اندازه‌گیری شد. فاصله مقاطع از هم ۶۰



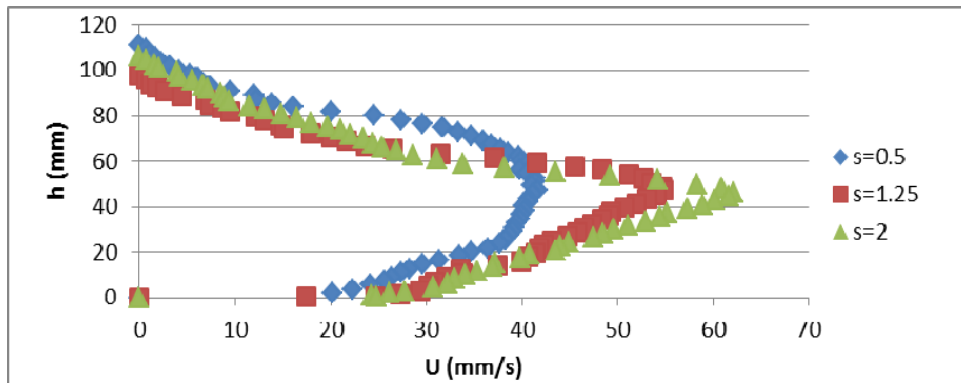
شکل ۲- شماتیک فلوم مورد استفاده



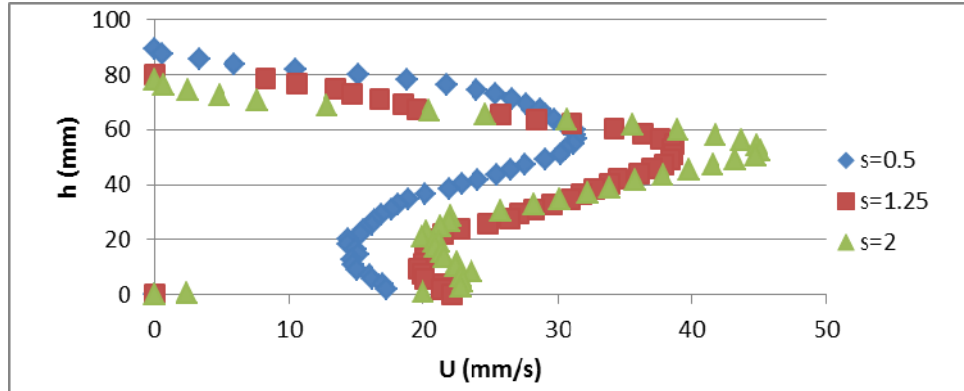
شکل ۳- زبری‌های مورد استفاده



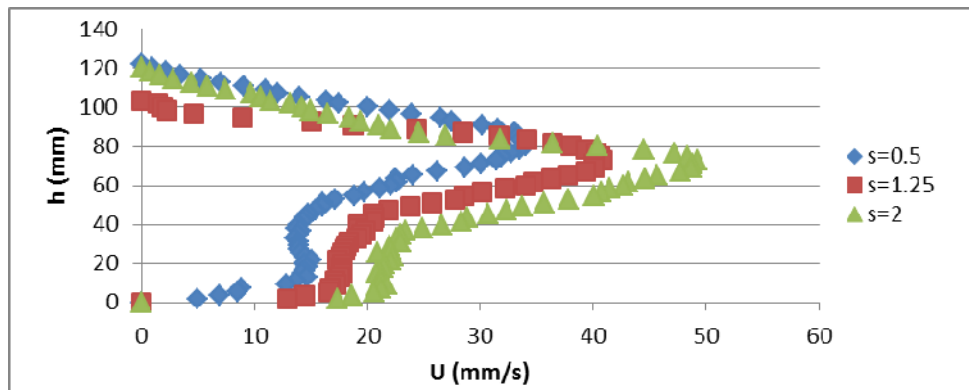
شکل ۴- پروفیل سرعت بدنه جریان غلیظ در غلظت ۱۰ گرم بر لیتر و بستر صاف



شکل ۵- پروفیل سرعت بدنه جریان غلیظ در غلظت ۱۰ گرم بر لیتر و زبری ۲/۵ سانتی‌متر



شکل ۶- پروفیل سرعت بدنه جریان غلیظ در غلظت ۱۰ گرم بر لیتر و زبری ۴ سانتی‌متر



شکل ۷- پروفیل سرعت بدنه جریان غلیظ در غلظت ۱۰ گرم بر لیتر و زبری ۵/۵ سانتی‌متر

جدول ۱- سرعت بیشینه بدنه و فاصله آن از بستر در غلظت ۱۰ گرم بر لیتر

ارتفاع زبری		۰		۲/۵ سانتی‌متر		۴ سانتی‌متر		۵/۵ سانتی‌متر	
شیب (درصد)	سرعت (متر بر ثانیه)	ارتفاع (میلی‌متر)	سرعت (متر بر ثانیه)	ارتفاع (میلی‌متر)	سرعت (متر بر ثانیه)	ارتفاع (میلی‌متر)	سرعت (متر بر ثانیه)	ارتفاع (میلی‌متر)	سرعت (متر بر ثانیه)
۰/۵	۴۹/۸۲	۲۵/۴۸	۴۱/۶۱	۴۷/۳۱	۳۱/۴۳	۵۶/۴۱	۳۴/۰۹	۸۱/۸۸	۳۴/۰۹
۱/۲۵	۷۳/۴۸	۲۰/۰۲	۵۴/۸۲	۴۶/۹۵	۳۸/۷۱	۵۴/۷۵	۴۰/۸۲	۷۲/۸۸	۴۰/۸۲
۲	۸۶/۱۸	۱۸/۱۹	۶۲/۲۱	۵۶/۳۱	۴۵/۰۹	۵۲/۵۸	۴۹/۲۶	۷۰/۷۸	۴۹/۲۶

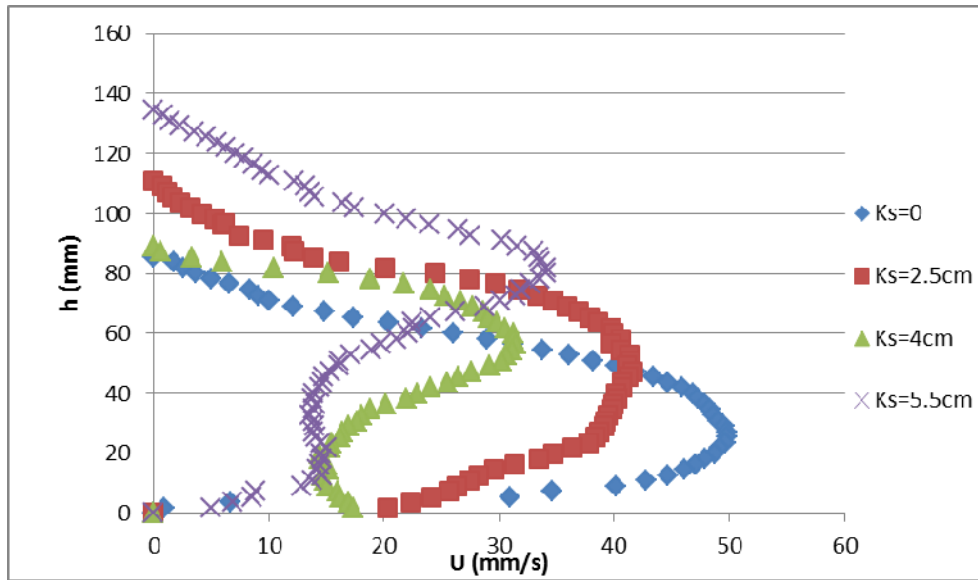
پیرامون به داخل جریان غلیظ بسیار مؤثر بوده و باعث رقیق‌تر شدن سیال غلیظ و به تبع آن کاهش سرعت می‌شود. در بستر زبر، زبری‌ها باعث به دام افتادن سیال پیرامون در فاصله بین آنها می‌شوند و آشفته‌گی ایجاد شده در پشت آنها باعث اختلاط بیشتر سیال پیرامون می‌شود. علاوه بر این زبری‌ها باعث افزایش ضریب اصطکاک و در نتیجه افزایش تنش برشی به عنوان عامل مقاومت در برابر جریان می‌شوند.

شکل (۸) همچنین نشان می‌دهد سرعت بیشینه بدنه جریان غلیظ با افزایش ارتفاع زبری‌ها کاهش می‌یابد و این کاهش تا زبری ۴ سانتی‌متر ادامه دارد.

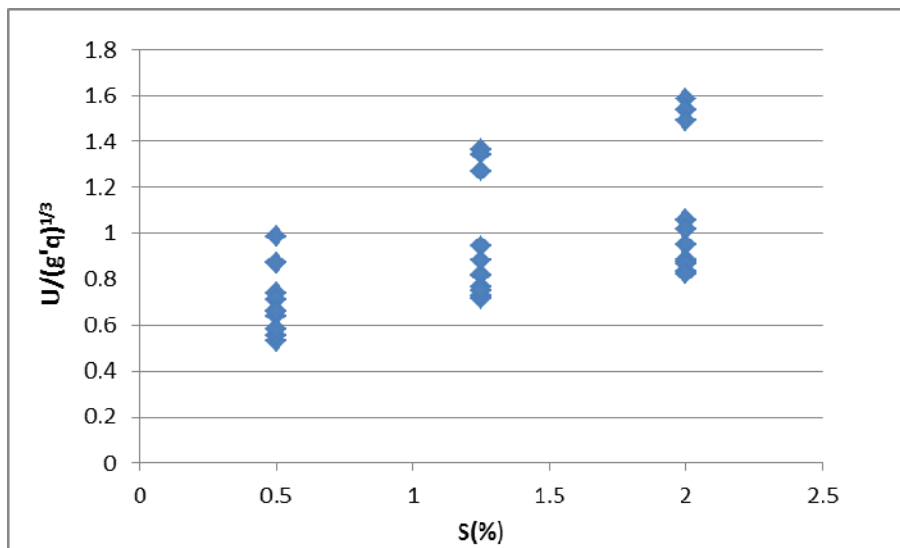
در شکل (۸) پروفیل‌های سرعت بدنه جریان غلیظ برای غلظت ۱۰ گرم بر لیتر و شیب ۰/۵ درصد در زبری‌های مختلف برای نمونه آورده شده است. باتوجه به این پروفیل‌ها می‌توان گفت زبری نسبت به بستر صاف باعث کاهش سرعت بیشینه بدنه جریان غلیظ می‌شوند. همچنین افزایش ارتفاع زبری سرعت بیشینه را کاهش می‌دهد. با توجه به نتایج، عدد رینولدز قطری در تمام آزمایش‌ها بین ۲۵۰ تا ۸۰۰ متغیر بوده است. بنابراین اصطکاک و اختلاف فشار بین دو طرف استوانه‌ها هر دو در ایجاد نیروی کشش مؤثر بوده‌اند. جدایی جریان و منطقه گردابی که در اثر اختلاف فشار پشت استوانه‌ها ایجاد می‌شود، در کشش سیال

بدنه جریان غلیظ در تمام آزمایش‌های انجام شده در این تحقیق، نمودار هریک از پارامترهای مستقل در مقابل پارامتر بی‌بعد سرعت بیشینه بدنه جریان غلیظ $(\frac{U_m}{g'q})^{1/3}$ در شکل‌های (۹) تا (۱۱) رسم شده‌اند. به دلیل اینکه عدد رینولدز جریان در تمام آزمایش‌ها از ۲۵۰۰ تا ۴۵۰۰ متغیر بود، آزمایش‌ها در محدوده جریان آشفته قرار داشتند و لذا از اثر رینولدز صرف نظر گردید.

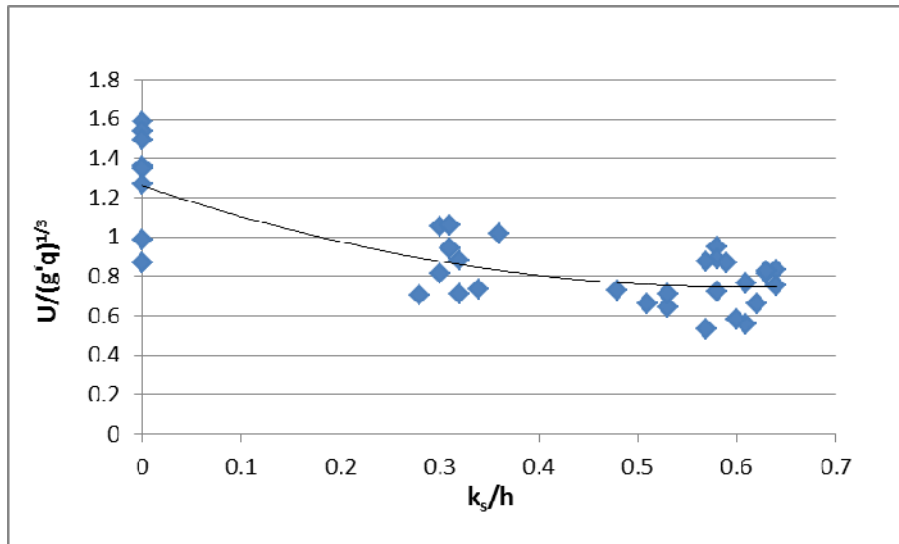
اما افزایش ارتفاع زبری از ۴ سانتی‌متر به ۵/۵ سانتی‌متر باعث کاهش سرعت بیشینه بدنه جریان غلیظ نشده است. بنابراین کاهش سرعت بیشینه بدنه توسط زبری به ارتفاع آن وابسته است و تا اندازه مشخصی، زبری‌ها باعث کاهش سرعت بیشینه بدنه شده و از آن به بعد با افزایش ارتفاع زبری سرعت جریان تفاوت چندانی نمی‌کند و جریان تمایل دارد از روی زبری‌ها حرکت کند که با توجه به شکل (۱۰) می‌توان زبری نسبی ۰/۵ را معیاری برای این رفتار جریان غلیظ در نظر گرفت. به منظور بررسی اثر هریک از پارامترهای بی‌بعد شیب، زبری نسبی، عدد ریچاردسون و عدد رینولدز کانال روی بیشینه سرعت



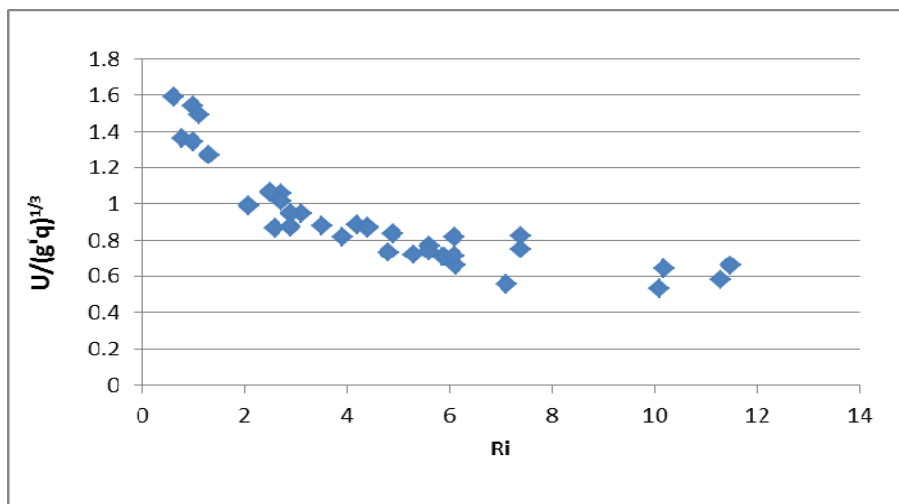
شکل ۸- پروفیل‌های اندازه‌گیری شده در زبری‌های مختلف در غلظت ۱۰ گرم بر لیتر و شیب ۰/۵ درصد



شکل ۹- نمودار تغییرات سرعت بیشینه بی‌بعد بدنه جریان غلیظ در مقابل تغییرات شیب کانال



شکل ۱۰- نمودار تغییرات سرعت بیشینه بی بعد بدنه جریان غلیظ در مقابل تغییرات زبری نسبی



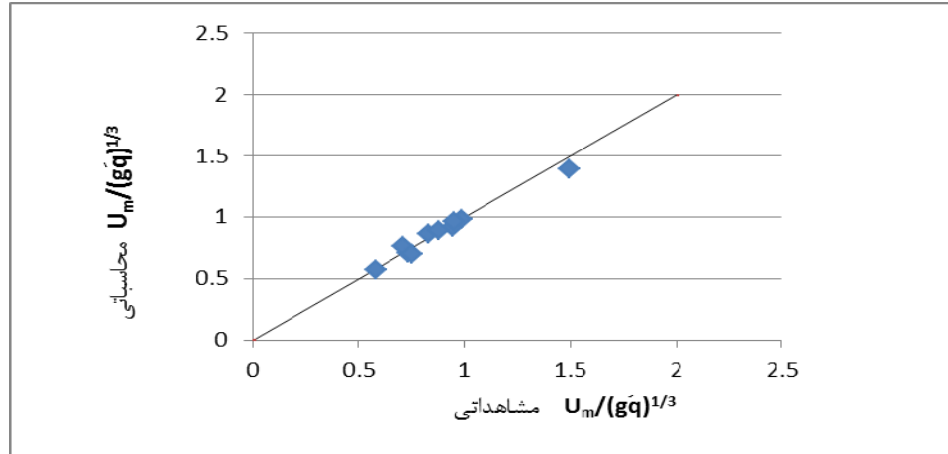
شکل ۱۱- نمودار تغییرات سرعت بیشینه بی بعد بدنه جریان غلیظ در مقابل تغییرات عدد ریچاردسون

$$\frac{U_m}{(g'q)^{1/3}} = -0.302\left(\frac{k_s}{h}\right) + 0.554(Ri)^{-0.722} + 0.15S + 0.577 \quad (11)$$

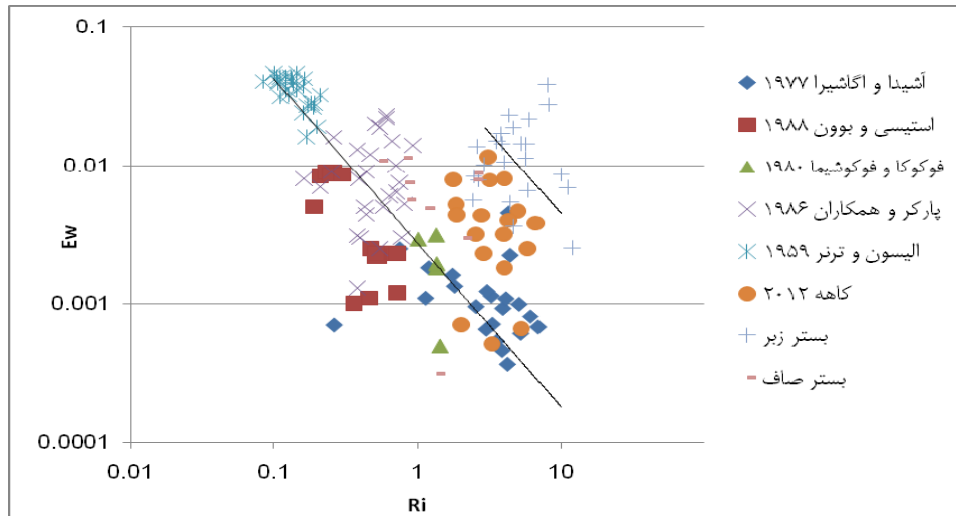
$$R^2 = 0.97$$

برای محاسبه رابطه رگرسیونی بالا، ۸۰ درصد داده‌های آزمایشگاهی مورد استفاده قرار گرفتند و ۲۰ درصد باقی‌مانده برای آزمون صحت سنجی به کار رفتند. نتیجه این آزمون به صورت نمودار شکل (۱۲) ارائه می‌شود. این شکل نشان می‌دهد رابطه (۱۱) تخمین مناسبی از سرعت بیشینه بدنه جریان غلیظ ارائه می‌دهد.

با توجه به نمودارها رابطه پارامترهای بی بعد مستقل $\frac{k_s}{h}$, S با پارامتر وابسته سرعت بی بعد به صورت خطی می‌باشد. با بررسی‌های انجام شده مشخص شد بهترین رابطه بین عدد ریچاردسون با سرعت بی بعد رابطه توانی است. بنابراین به منظور تخمین سرعت بیشینه در بدنه جریان غلیظ مدل رگرسیونی که بر اساس پارامترهای بی بعد مورد بررسی ایجاد شد به صورت زیر می‌باشد.



شکل ۱۲- مقادیر مشاهده‌ای و محاسباتی بیشینه سرعت بی‌بعد بدنه جریان غلیظ



شکل ۱۳- مقادیر شدت اختلاط در مقابل عدد ریچاردسون در بستر صاف و زیر و مقایسه آن با نتایج محققین دیگر

- در مقایسه با بستر صاف، زبری باعث کاهش سرعت بیشینه بدنه جریان غلیظ می‌شود، زیرا اولاً زبری‌ها با افزایش ضریب اصطکاک و در نتیجه افزایش تنش برشی به‌عنوان عامل مقاومت در برابر جریان باعث کاهش سرعت بیشینه بدنه جریان غلیظ شده، ثانیاً آشفتگی بوجود آمده در اثر برخورد جریان با زبری‌ها باعث افزایش ورود سیال پیرامون به داخل جریان غلیظ و در نتیجه کاهش غلظت آن می‌شوند که این خود باعث کاهش سرعت بیشینه بدنه جریان غلیظ می‌شود.

- کاهش سرعت بیشینه بدنه در بستر زیر به ارتفاع زبری بستگی دارد و به طوری که می‌توان تخمین زد بعد از زبری نسبی ۰/۵ سرعت بیشینه بدنه تغییر چندانی نمی‌کند و جریان تمایل دارد از روی زبری‌ها حرکت کند.

در شکل (۱۳) نمودار تغییرات شدت اختلاط در مقابل تغییرات عدد ریچاردسون در دو حالت بستر صاف و زیر همراه با نتایج حاصل از تحقیقات سایر محققین آورده شده است. با توجه به شکل در بستر صاف نتایج حاصل از این تحقیق با نتایج حاصل از تحقیقات سایر محققین تطابق خوبی را نشان می‌دهد. همچنین نتایج نشان می‌دهند زبری‌ها باعث افزایش اختلاط سیال پیرامون می‌شوند.

نتیجه‌گیری

با توجه به تحقیق انجام شده نتایج به شرح زیر خلاصه می‌گردند:

- افزایش شیب بستر باعث افزایش سرعت بیشینه جریان غلیظ می‌شود که دلیل آن می‌تواند افزایش جزء مؤثر نیروی وزن $(g' \sin \theta)$ باشد.
- افزایش شیب باعث می‌شود محل تشکیل سرعت بیشینه بدنه جریان غلیظ به بستر نزدیک‌تر شود.

منابع

- ۱- اصغری‌پری، ا. ۱۳۸۸. بررسی اثر ارتفاع مانع بر رسوب‌گذاری مخزن در جریان غلیظ. رساله دکتری، رشته سازه‌های آبی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز.
- 2- Ashida, K. and G. Egashira. 1977. Basic study on turbidity currents. Proceeding, JSCE, 237: 37-50
- 3- Ellison, T. H. and J. S. Turner. 1959. Turbulent entrainment in stratified flow. Journal of Fluid Mechanics, 6 (3): 432-448
- 4- Graf, W. H. and M. S. Altinakar. 1998. Fluvial hydraulics, flow and transport processes in channels of simple geometry. John Wiley and Sons, Ltd, England.
- 5- Islam, M. A. and J. Imran. 2010. Vertical structure of continuous release saline and turbidity currents. Journal of Geophysical Research, 115:1-14.
- 6- Kubo, Y. 2004. Experimental and numerical study of topographic effects on deposition from two-dimensional, particle-driven density currents. Journal of Sedimentary Geology, 164:311-326.
- 7- McCaffrey, W. D., Choux, C. M. A., Baas, J. H. and P. D. W. Haughton. 2003. Spatial-temporal evolution of velocity structure, concentration and grain size stratification within experimental particulate gravity currents, Marine and Petroleum Geology, 20: 851-860.
- 8- Peters, W. D. and J. E. S. Venart. 1999. Rough-surface gravity current flows. Ph.D. Thesis, Department of Mechanical Engineering, University of New Brunswick.
- 9- Sequeiros, O. E., Spinewine, B., Beaubouef, R. T., Garcia, M. H. and G. Parker. 2010. Characteristics of velocity and excess density profiles of saline underflows and turbidity Currents flowing over a mobile bed. Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 136(7): 412-433.
- 10- Simpson, J. E. 1997. Gravity currents: In the environmental and laboratory. Cambridge University Press.
- 11- Turner, J. S. 1979. Buoyancy effects in fluids. Cambridge University Press London, U.K.