

بررسی آزمایشگاهی تاثیر زبری‌های مصنوعی بر روی نوسانات لحظه‌ای سرعت در جریان غلیظ نمکی

پیمان ورجاوند^{۱*} - علی حسین زاده دلیر^۲ - مهدی قمشی^۳ - داود فرسادی زاده^۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۱۲/۲۷

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۵/۲۳

چکیده

نوسانات لحظه‌ای سرعت نقش مهمی در انتقال مواد رسوبی معلق دارا می‌باشد. در تحقیق حاضر به بررسی آزمایشگاهی جریان‌های غلیظ نمکی بر روی بسترهای زبر مصنوعی پرداخته شده است. دو شکل زبری استوانه‌ای و مخروطی با سه ارتفاع زبری مورد استفاده قرار گرفته است. پروفیل سرعت با استفاده از دستگاه سرعت سنج صوتی بطوری برداشت گردید. پروفیل‌های قائم سرعت و غلظت به ترتیب در ۳ و ۴ مقطع در بدنه جریان برداشت گردید. نتایج نشان داد که افزایش ارتفاع زبری نسبتی تاثیر چندانی بر روی نوسانات لحظه‌ای سرعت در ناحیه اختلاط بدنه جریان غلیظ ندارد و همچنین تحلیل نوسانات لحظه‌ای سرعت بر روی بسترهای زبر در ناحیه اختلاط نشان داد که شدت تلاطم در جهت جریان در مرز بین بدنه جریان غلیظ و سیال پیرامون برای زبری‌های استوانه‌ای و مخروطی بترتیب حدود ۴۸ و ۳۲ درصد سرعت برشی می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: پروفیل سرعت، پروفیل غلظت، زبری نسبی، سیال غلیظ، شدت تلاطم

مقدمه

(۴). شاید مهمترین کاربرد جریان گل آلود در مخازن سدها می‌باشد که خود یکی از روش‌های مهم رسوب زدایی در مخازن به شمار می‌رود، به طوری که گارسیا (۶) از جریان گل آلود به عنوان روش عمومی جهت رسوب زدایی مخازن سدها نام برده است. بنابراین بررسی و مطالعه جریان‌های گل آلود و کسب دانش و اطلاعات کافی برای درک بهتر مسائل مربوط به رسوب گذاری در جهت حفظ و نگهداری مخازن موجود، کاملاً لازم و ضروری به نظر می‌رسد. حمل رسوبات در جریان‌های غلیظ رسوبی بشدت تحت تاثیر تلاطم موجود در بدنه جریان است که با توجه به دانه‌بندی رسوبات و میزان تلاطم، معلق ماندن و یا ته‌نشینی رسوبات را تعیین می‌نماید. ترنر (۱۳) جریان گل آلود را به خوبی و مفصلاً در کتاب خود تجزیه و تحلیل نمود. وی این جریان را برای سطح آزاد آرام و مغشوش بررسی کرده است که مورد مراجعه بسیاری از محققین پس از او قرار گرفته است. او خاطر نشان می‌کند که جریان سیال سنگین در زیر سیال سبک ساکن وجه تشابه بسیاری با جریان سطح آزاد دارد. گارسیا (۵) اثر تغییر شیب بر روی رفتار جریان گل آلود را به صورت آزمایشگاهی در حالت دو بعدی مورد بررسی قرار داد. فیروزآبادی و همکاران (۲) آزمایشات خود را با محلول آب نمک و جریان حاوی کائولن و پودر سنگ در غلظت‌های مختلف انجام دادند. نتایج حاصل از آزمایش‌ها نشان می‌دهد که

بطور کلی جریان چگال، جریان دو فازی است با اختلاف کمی در چگالی فازها، نظیر جریان مواد رسوبی معلق در آب. جریان‌های چگال به دو دسته جریان‌های چگالی پایستار^۵ یا فاقد ذره مانند جریان غلیظ نمکی و جریان‌های چگالی ناپایستار^۶ یا حاوی ذرات معلق قابل تقسیم است که در این صورت اصطلاحاً جریان گل آلود نامیده می‌شود (۸). این جریان‌ها اغلب در اقیانوس‌ها، دریاچه‌ها و مخازن سدها اتفاق می‌افتند و عامل انتقال رسوب به آب‌های عمیق‌تر می‌باشند (۱۱). یکی از عوامل موثر در عمر اقتصادی سدها پدیده رسوب گذاری و انباشتگی رسوب در مخازن آن‌ها است و این معضلی است که در طول زمان و به مرور عمر مخازن را به مخاطره انداخته و در پی آن منجر به از دست رفتن سرمایه‌های کلان ملی شده است

۱، ۲ و ۴- به ترتیب دانشجوی دکتری، استاد و دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز

(*)- نویسنده مسئول: (Email: pvarjavand@yahoo.com)

۳- استاد دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز

5- Conservative

6- Non conservative

در جهت بدنه جریان غلیظ و تاثیر زبری مصنوعی بر روی آن، به بررسی تاثیر این زبری‌ها بر قدرت حمل رسوبات پرداخته و میزان تشابه رفتار جریان غلیظ با رفتار کانال‌های روباز در زمینه حمل رسوبات مورد تحلیل قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

آزمایش‌های تحقیق حاضر در آزمایشگاه مدل‌های فیزیکی و هیدرولیکی دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز انجام شده‌اند. فلوم با عرض ۳۵ و عمق ۷۰ سانتیمتر بطول ۸ متر می‌باشد. این فلوم امکان ایجاد جریان غلیظ بصورت رهاشدن ناگهانی^۱ را دارا می‌باشد. اندازه‌گیری پروفیل سرعت با استفاده از دستگاه سرعت سنج اکوستیک پروفایلر (DOP2000) انجام شده است، این دستگاه با استفاده از تغییر فاز در موج فراصوت پروفیل سرعت را برداشت می‌کند. تنظیمات دستگاه به گونه‌ای انجام شده است که در هر ثانیه تعداد ۲۹ مقدار سرعت لحظه‌ای را در هر محل اندازه‌گیری قرائت می‌کند. اندازه‌گیری پروفیل سرعت در ۴ مقطع به فواصل ۷۵، ۱۵۰، ۱۹۸ و ۲۲۵ سانتیمتر از ابتدای بستر زیر انجام گردید (شکل ۱ب). دبی جریان غلیظ با استفاده از یک دبی سنج الکترومغناطیس با دقت $\pm 0.5\%$ تا $\pm 0.8\%$ درصد اندازه‌گیری شد. نمونه برداری پروفیل غلظت از بدنه جریان غلیظ بوسیله یک سیفون با لوله‌هایی به قطر ۴ و به فاصله ۱۵ میلی‌متر در جهت قائم در ۳ مقطع به فواصل ۷۵، ۱۵۰ و ۲۲۵ سانتیمتر از ابتدای بستر زیر انجام شد. بازشدگی دریچه ابتدای فلوم با توجه به شرایط آزمایشگاه به منظور دسترسی هرچه بهتر به جریان یکنواخت ۵۰ میلی‌متر می‌باشد و فاصله شروع بستر زیر از دریچه ۱۵۰ سانتیمتر می‌باشد. به منظور ایجاد جریان غلیظ نمکی، از نمک پودری با چگالی ۱۸۲۵/۳۶ گرم در لیتر استفاده گردید. به منظور حصول اطمینان از عدم تاثیر دما در نتایج، دمای سیال غلیظ کنترل شده بطوریکه حداکثر اختلاف دمای آن با سیال پیرامون $\pm 0.5\%$ درجه سانتیگراد بوده است. زبری‌ها دارای دو شکل استوانه‌ای و مخروطی با ارتفاع‌های ۱۰، ۲۵ و ۴۰ میلی‌متر می‌باشد. فاصله طولی زبری‌ها ۷۵ و فاصله عرضی آنها ۳۰ میلی‌متر در نظر گرفته شد. طول بستر زیر ۴ متر و آرایش آنها ثابت و بصورت یگزاگ می‌باشد. شکل‌های ۱ج و ۱د زبری‌های مورد استفاده در تحقیق حاضر را نشان می‌دهد.

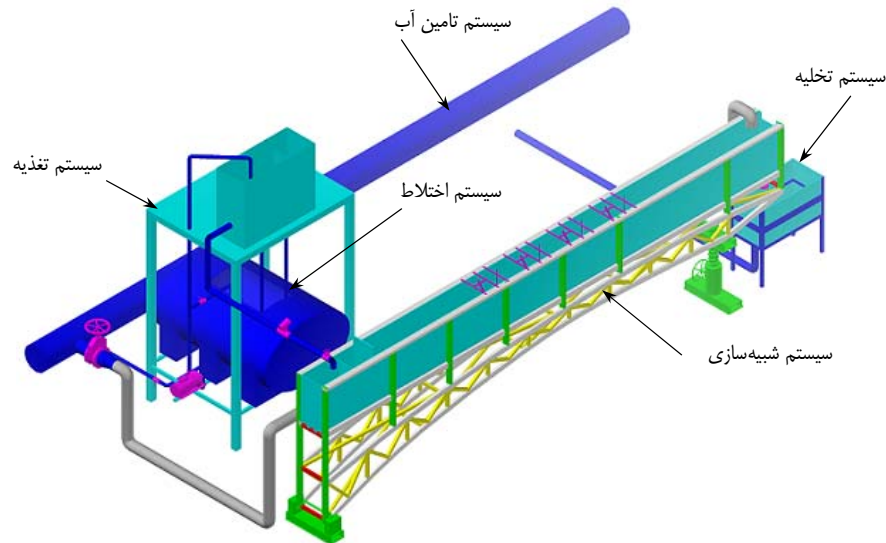
وجود ذرات، بر سرعت پیشروی جریان نسبت به جریان چگالی محلول آب نمک می‌افزاید و افزایش شیب بستر باعث افزایش سرعت پیشروی جریان می‌گردد. از طرف دیگر وجود ذرات در جریان و سقوط آن‌ها در طول مسیر باعث تغییر گرادیان چگالی شده و در نیروی رانش و افزایش آن مؤثر می‌باشد. وجود ذرات در جریان به اینرسی موضعی جریان افزوده و در نتیجه باعث افزایش سرعت متوسط آن می‌گردد. هورسج (۷) بصورت آزمایشگاهی به بررسی جریان غلیظ بر روی سطوح شیبدار پرداخت. نتایج نشان دادند که با صرف نظر کردن از خطوط جریان ناشی از شناوری، گرادیان فشار با لایه مرزی سازگار می‌باشد. در این مورد دو رژیم قابل تشخیص می‌باشد، منطقه‌ای که در آن توسعه جریان بوسیله شرایط اولیه کنترل می‌شود و منطقه کاملاً توسعه یافته که مستقل از شرایط اولیه می‌باشد. ایسلام و ایمران (۹) به بررسی پروفیل توزیع سرعت و غلظت و همچنین تلاطم در بدنه و پیشانی جریان غلیظ نمکی و رسوبی پیوسته بصورت آزمایشگاهی پرداختند. جریان از روی یک شیب به بستر افقی می‌رسد. پروفیل سرعت لحظه‌ای بوسیله دو دستگاه سرعت سنج صوتی اندازه‌گیری شده و با استفاده از نتایج بدست آمده پروفیل متوسط زمانی سرعت، انرژی جنبشی تلاطم و مولفه‌های تنش رینولدز استخراج شدند. پروفیل‌های تنش رینولدز و انرژی جنبشی تلاطم شباهت زیادی را در منطقه نزدیک دیواره نشان دادند. پروفیل عمودی انرژی جنبشی تلاطم دارای دو مقدار ماکزیمم در نزدیکی محل وقوع سرعت ماکزیمم بودند. نسبت مقدار ماکزیمم انرژی جنبشی تلاطم به متوسط آن تقریباً ۱/۵ بوده و مقدار انرژی جنبشی تلاطم در منطقه بین دو مقدار ماکزیمم تقریباً ۵۰٪ متوسط عمقی آن می‌باشد. نورمحمدی و همکاران (۱۰) ساختار جریان غلیظ رها شده بر روی بستر شیبدار را بصورت آزمایشگاهی مورد بررسی قرار دادند. با توجه به مشاهدات آزمایشگاهی اینطور نتیجه شد که اگر جریان غلیظ در یک کانال حرکت کند ممکن است که بدلیل پرش هیدرولیکی ضخامت آن افزایش یابد. این پدیده در حالات خاص جریان ورودی اتفاق می‌افتد و بر روی ساختار جریان شامل سرعت، ارتفاع جریان و تنش برشی بستر تاثیر محسوس می‌گذارد. افضل‌مهر و حیدرپور (۱)

در کتاب خود مقادیر بدون بعد $u^3 \left(\frac{\sqrt{u^2}}{u^*} \right)$ را در عمق برای کانال‌های باز بررسی نمودند و به این نتیجه رسیدند که نوسانات این مقادیر در عمق کم بوده و در سطح آزاد $\sqrt{u^3} = 0.6u^*$ می‌باشد. از آنجاییکه قدرت حمل رسوبات معلق در جریان وابسته به نوسانات سرعت و قدرت جریان می‌باشد و همچنین انتقال رسوبات بوسیله در مخازن سدها منشا مشکلات جدی بوده و طبق بررسی منابع انجام شده مطالعه آزمایشگاهی بر روی این موضوع انجام نشده است، در تحقیق حاضر سعی بر آن شده که با بررسی نوسانات لحظه‌ای سرعت

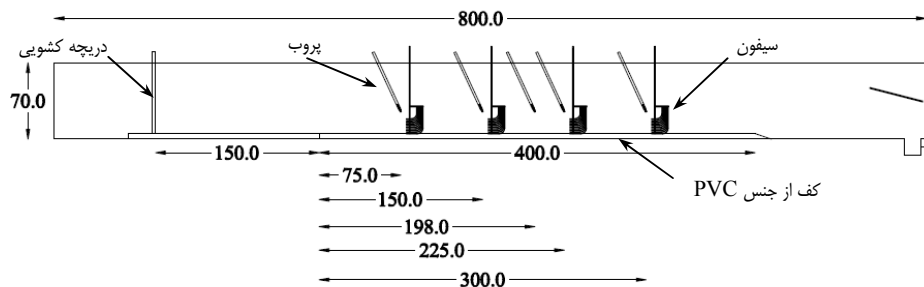
روش انجام آزمایش‌ها

سپس سیال پیرامون که همان آب خالص می‌باشد در فلوم تغذیه شده بطوریکه سطح آب آرام و بدون تلاطم بالا رود و همزمان با آن سیال غلیظ در پشت دریچه کشویی ابتدای فلوم تغذیه شده و سطح آن متناسب با سیال پیرامون بالا می‌آید. با ثابت شدن سطح سیال پیرامون (بواسطه سرریز انتهای فلوم) دبی سیال غلیظ به کمک دبی سنج الکترومغناطیس تنظیم شده و با یکسان شدن سطح سیال غلیظ و سیال پیرامون دریچه کشویی بصورت ناگهانی باز می‌شود. ابتدا پیشانی جریان و پس از آن دنباله و سپس بدنه جریان غلیظ شکل گرفته و پس از عبور جریان غلیظ از کانال و تخلیه آن در انتهای فلوم و ماندگار شدن جریان، پروفیل‌های غلظت و سرعت برداشت می‌گردند.

به منظور ایجاد سیال غلیظ از یک مخزن اختلاط به حجم مفید ۲ مترمکعب استفاده گردید. بدین منظور، مخزن مذکور با آب خالص به حجم ۲ مترمکعب پر شده و سپس متناسب با غلظت مورد نظر نمک به آن افزوده و شده و به کمک یک پمپ اختلاط، محلول آب و نمک ایجاد می‌گردید (به منظور اختلاط بهتر از روش همزدن دستی نیز استفاده گردید). در شکل ۱ الف سیستم کانال مورد استفاده و بخش‌های مختلف آن نشان داده شده‌اند. پس از اطمینان از اختلاط کامل سیال غلیظ، سیال غلیظ به هدتانک با حجم مفید ۴۰۰ لیتر منتقل گردیده که به کمک یک سرریز سطح سیال غلیظ در آن ثابت نگه‌داشته می‌شود (سیستم تغذیه در شکل ۱ الف).



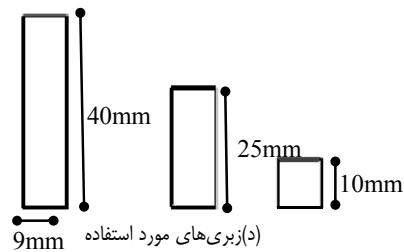
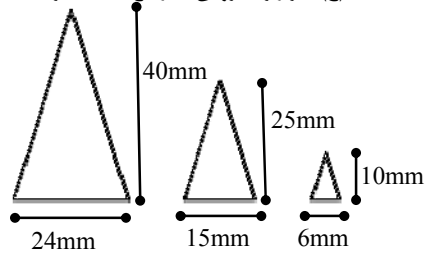
(الف) شکل گرافیکی کانال مورد استفاده



(ب) ابعاد کانال و فواصل تجهیزات اندازه‌گیری (اندازه‌ها به سانتیمتر)

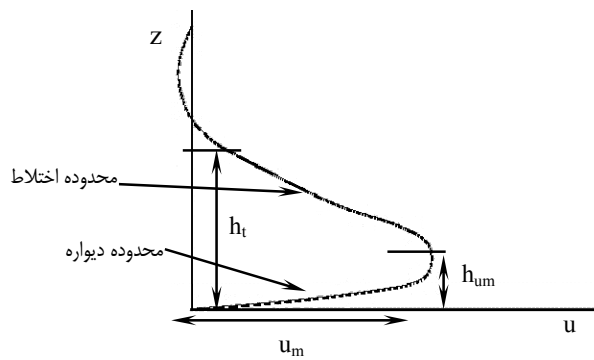


(ج) بستر زبر مخروطی به ارتفاع ۲۵ میلی‌متر



(د) زبری‌های مورد استفاده

شکل ۱- کانال و زبری‌های مورد استفاده



شکل ۲- پارامترهای مورد استفاده

از کف، u_m و h_{um} سرعت حداکثر و فاصله آن تا کف و h_t ضخامت بدنه جریان. جدول ۱ مشخصات آزمایشات انجام شده را نشان می‌دهد.

پارامترهای مورد استفاده در تحقیق حاضر به قرار شکل ۲ می‌باشند:

پارامترهای فوق عبارتند از: u سرعت متوسط زمانی در فاصله Z

جدول ۱- خلاصه مشخصات آزمایش‌های انجام شده

تعداد آزمایش	ارتفاع زبری (میلیمتر)	شکل زبری	عدد رینولدز $\times 10^3$	عدد فرود دنسیمتریک	شیب (%)	غلظت پشت دريچه (گرم در لیتر)	دبی (لیتر بر ثانیه)	سری آزمایش
۹	-----	-----	۲/۲-۵/۲	۰/۶۴-۱/۹۴	۰/۵۰-۱/۲۵-۲/۰۰	۱۰/۶۷-۲۰/۸۴	۰/۹۳۷-۱/۰۰۲	۱
۹	۱۰	مخروطی	۲/۹-۵/۳	۰/۵۵-۱/۲۶	۰/۵۰-۱/۲۵-۲/۰۰	۱۰/۲۶-۲۱/۸۰	۰/۹۷۵-۱/۱۰۸	۲
۹	۲۵	مخروطی	۳/۳-۴/۸	۰/۵۹-۰/۹۹	۰/۵۰-۱/۲۵-۲/۰۰	۱۰/۴۱-۲۰/۶۸	۰/۹۸۰-۱/۰۱۰	۳
۹	۴۰	مخروطی	۳/۳-۵/۲	۰/۴۲-۰/۸۰	۰/۵۰-۱/۲۵-۲/۰۰	۱۰/۷۲-۲۰/۴۱	۰/۹۶۶-۱/۰۳۷	۴
۹	۱۰	استوانه‌ای	۳/۱-۵/۶	۰/۵۲-۱/۳۴	۰/۵۰-۱/۲۵-۲/۰۰	۱۰/۰۴-۲۰/۵۱	۰/۹۹۰-۱/۰۱۲	۵
۹	۲۵	استوانه‌ای	۳/۲-۵/۲	۰/۴۶-۱/۰۴	۰/۵۰-۱/۲۵-۲/۰۰	۱۱/۰۹-۲۱/۴۲	۰/۹۶۰-۱/۰۶۶	۶
۹	۴۰	استوانه‌ای	۳/۶-۴/۵	۰/۴۰-۰/۸۴	۰/۵۰-۱/۲۵-۲/۰۰	۱۱/۲۵-۲۰/۸۴	۰/۹۸۶-۱/۰۴۶	۷

نتایج و بحث

در ابتدا به مقایسه پروفیل‌های سرعت نتیجه شده در تحقیق حاضر با تحقیقات صورت گرفته قبلی و پس از آن به بررسی پروفیل‌های نوسانات لحظه‌ای سرعت در حالات مختلف و مقایسه این نوسانات با جریان در کانال‌های روباز خواهیم پرداخت.

پروفیل سرعت

به منظور مقایسه پروفیل سرعت در تحقیق حاضر با نتایج محققین دیگر از معادله ۱ (سرعت در منطقه دیواره) و معادله ۲ (سرعت در منطقه اختلاط) استفاده گردید (۱۰).

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

$$\frac{u(z)}{u_m} = \exp \left[-\beta_v \left(\frac{z-h_m}{h_t-h_m} \right)^{\gamma_v} \right] \quad (2)$$

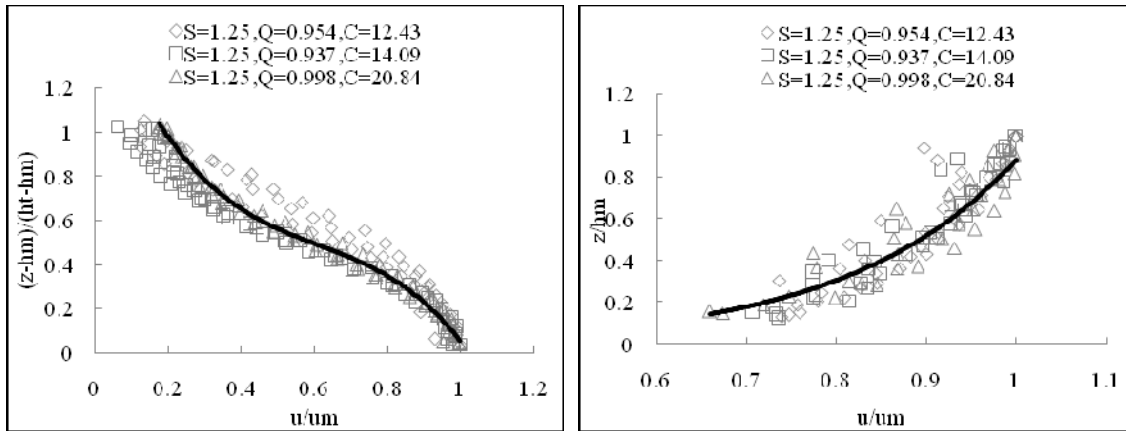
سرعت بدون بعد برای بستر صاف در شکل ۳ نشان داده شده است. (C بیانگر غلظت پشت دريچه می‌باشد).

جدول ۲ مقادیر ضرایب روابط ۱ و ۲ را برای تحقیق حاضر و محققین دیگر بیان می‌دارد. با توجه به جدول مذکور مشاهده می‌گردد که ضرایب روابط ۱ و ۲ برای بستر صاف در تحقیق حاضر نزدیک به تحقیقات صورت گرفته قبلی هستند و اختلاف مشاهده شده بیشتر ناشی از نوع جریان غلیظ است که در تحقیق حاضر بصورت نمکی بوده ولی در دیگر تحقیقات رسوبی می‌باشد، در تحقیق حاضر صرفاً از جریان غلیظ نمکی که غیر پایستار است استفاده شده است و در واقع این اختلاف بیان کننده اختلاف رفتار پروفیل سرعت در جریان غلیظ نمکی نسبت به نتایج حاصل از جریان غلیظ رسوبی در تحقیقات محققین دیگر است. از آنجاییکه این پروفیل‌های سرعت بدون بعد است این اختلاف ناشی شده بدلیل اختلاف شناوری دو نوع جریان

غلیظ و غیرپایستار بودن جریان غلیظ نمکی است. در واقع اختلاف بین جریان غلیظ نمکی و جریان‌های غلیظ رسوبی موجود در طبیعت، ناشی از اختلاف در شناوری و نوسانات چگالی می‌باشد، در مورد جریان‌های آشفتنه، اگر نوسانات لحظه‌ای سرعت به ۲۰ درصد سرعت متوسط برسد در چنین شرایطی نوسانات چگالی در عدد ماخ حدود یک شروع به تاثیر گذاری بر روی آشفتگی می‌کند (۱۲)، نظر به اینکه شروط ذکر شده در تحقیق حاضر ایجاد نشده‌اند، می‌توان از تاثیر نوسانات چگالی صرفنظر نموده و بنابراین نتایج حاصل قابل تعمیم به جریان‌های طبیعی هستند.

با افزایش ارتفاع زبری، ضخامت جریان زیاد شده و فاصله سرعت حداکثر از کف بیشتر می‌گردد که ضرایب نیز این روند را تایید می‌کنند. تغییرات ضریب در بستر زبر نسبت به بستر صاف α_v که مربوط به ناحیه دیوار سرعت است بیشتر از ضرایب دیگر می‌باشد و در عین حال با افزایش ارتفاع زبری پروفیل سرعت در ناحیه دیوار از کف جدا شده و در ناحیه اختلاط به سیال پیرامون نزدیک می‌گردد. تاثیر زبری استوانه‌ای نسبت به مخروطی در ارتفاع‌های مشابه بیشتر است که این مسئله ناشی از پدیده برخاستگی جریان است. این رفتار طبق بررسی منابع انجام شده تا بحال مشاهده نشده است. در تحقیق حاضر با عنوان پدیده برخاستگی نامگذاری^۱ گردید. در این پدیده بدلیل شناوری بسیار پایین جریان غلیظ و حضور مانع زبری در مسیر جریان، بخش عمده جریان غلیظ تمایل به جدا شدن از کف و عبور از روی زبری را دارد و لذا به این دلیل پروفیل سرعت بشدت تحت تاثیر این رفتار قرار گرفته است و در زبری به ارتفاع ۴۰ میلیمتر مشاهده گردیده و همچنین در زبری مخروطی نسبت به زبری استوانه‌ای شدیدتر است. لذا تغییر در ضرایب پروفیل سرعت در جدول ۲ تحت تاثیر این پدیده بوده که شکل زبری نیز بر روی آن موثر است.

1- Lifting Phenomena



ب) محدوده اختلاط - معادله ۴

ف) محدوده دیواره - معادله ۳

شکل ۳- سرعت بدون بعد برای بستر صاف

جدول ۲- مقادیر ضرایب روابط ۱ و ۲

γ_v	β_v	α_v		
۲/۰۰	۱/۴۰	۶/۰۰	بستر صاف	آلتینکار و همکاران (به نقل از نورمحمدی و همکاران (۱۰))
۲/۰۴	۲/۰۰	۵/۹۳	بستر صاف	
۱/۵۹	۱/۷۹	۳/۸۳	زبری مخروطی (10mm)	
۱/۸۰	۱/۶۹	۳/۰۱	زبری مخروطی (25mm)	
۱/۷۲	۱/۷۳	۱/۹۹	زبری مخروطی (40mm)	تحقیق حاضر
۱/۴۴	۲/۰۱	۴/۶۴	استوانه‌ای (10mm)	
۲/۰۵	۱/۳۲	۲/۶۸	استوانه‌ای (25mm)	
۲/۱۸	۱/۳۲	۲/۰۴	استوانه‌ای (40mm)	

معادله خطی محاسبه شده‌اند. شکل ۴ الف مقادیر بدون بعد u^* را در شرایط بستر صاف برای شیب ۲ درصد و سه غلظت مختلف نشان می‌دهد. مشاهده می‌گردد که تغییرات مقادیر بدون بعد u^* در عمق زیاد بوده که بیانگر جریان لایه‌ای می‌باشد بطوریکه لایه‌های سیال برخلاف جریان در کانال‌های روباز، با حداقل تبادل مومنوم با یکدیگر به حرکت خود ادامه می‌دهند و در مورد شکل‌های ۴ ب و ج که بترتیب برای زبری استوانه‌ای و مخروطی به ارتفاع ۱۰ میلی‌متر بر روی بستر با شیب ۲٪ آورده شده است، مشاهده می‌گردد که مقادیر نوسانات u^* با افزایش غلظت افزایش می‌یابند و زبری بستر بر روی نوسانات مقادیر بدون بعد u^* دارای غلظت بیشتر تاثیر بیشتری دارد که دلیل آن بیشتر بودن غلظت بدنه و افزایش شتاب ثقل تحت تاثیر شناوری و در نتیجه آن افزایش تاثیر زبری بر روی تبادل مومنوم در لایه‌های سیال می‌باشد. این رفتار در زیر محل تشکیل سرعت حداکثر ($Z/h_{um}=1$) مشهودتر است. همچنین مشاهده می‌گردد که در ناحیه اختلاط، رفتار نوسانات مقادیر بدون بعد u^* با کانال روباز تشابه بیشتری دارد. منظور از رفتار نزدیکتر نوسانات سرعت لحظه‌ای در بستر زبر به جریان کانال باز نسبت به بستر صاف، در واقع گرایش

پروفیل بدون بعد شدت تلاطم

به منظور بی‌بعدسازی u^* ، از سرعت برشی (u^*) استفاده شده است. در ناحیه دیواره که در زیر سرعت ماکزیمم قرار دارد عبارت مناسب برای پروفیل سرعت یک توزیع لگاریتمی به شکل زیر در جریان‌های طبقه‌ای می‌باشد (۳).

$$u(z) = \frac{u^*}{k} \left(\ln \frac{z}{z_0} + \alpha \frac{zk\beta}{u_*^3} \right) \quad (۳)$$

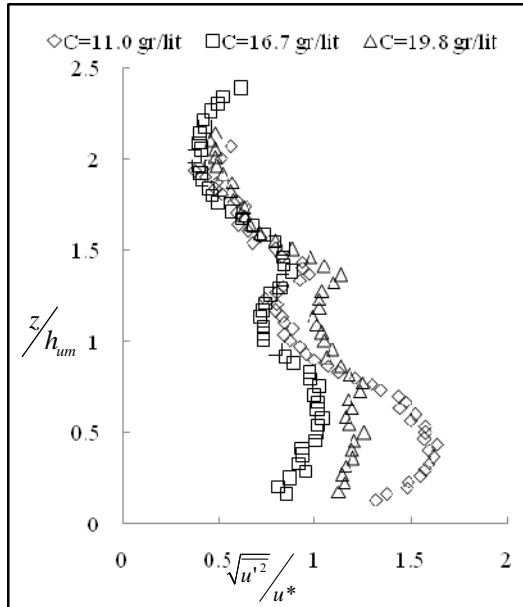
که در آن u^* سرعت برشی، k ثابت فون-کارمن بوده که مقدار آن ۰/۴۱-۰/۴ می‌باشد، Z_0 ارتفاع زبری معادل با سرعت صفر و α یک ثابت تجربی است، β شار رسوبات کاهش یافته و $u(z)$ سرعت متوسط زمانی در ارتفاع Z می‌باشد. با توجه به اینکه آزمایشات تحقیق حاضر از نوع جریان غلیظ نمکی بوده ($\beta=0$) و همچنین مقادیر u^* ، k و Z مخالف صفر می‌باشند، ترم دوم در سمت راست معادله ۳ حذف شده و معادله به معادله توزیع سرعت پرائنل تبدیل می‌شود.

$$u(z) = \frac{u^*}{k} \ln \frac{z}{z_0} \quad (۳)$$

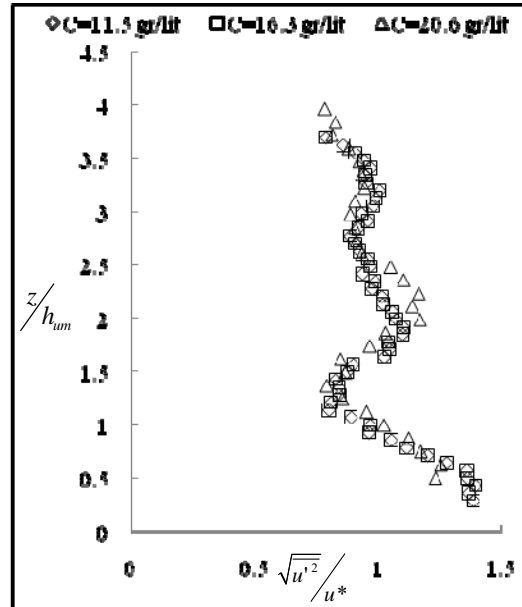
مقادیر سرعت برشی با استفاده از معادله ۴ و با کمک برآزش

می‌کند ولی در مورد جریان غلیظ بدلیل چشمگیر بودن تنش برشی بین سیال غلیظ و سیال پیرامون این پروفیل دارای نوسان بیشتری بوده و در این شرایط برای بستر صاف مقدار نوسان آن بیشتر از بستر زبر است.

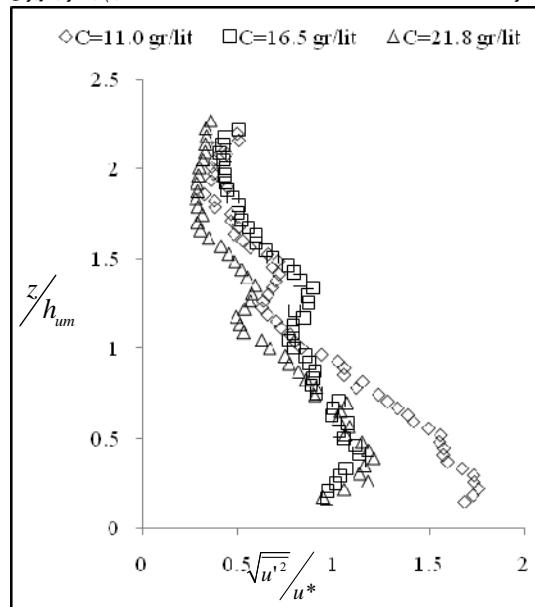
پروفیل بدون بعد u^* به یک مقدار ثابت در مرز بین سیال غلیظ و سیال پیرامون بدنه جریان غلیظ است که در بستر صاف این مقدار نوسان بیشتری نسبت به بستر زبر دارد درحالیکه در جریان کانال روباز بدلیل ناچیز بودن تنش برشی بین آب و هوا و ناچیز بودن جریان‌های چرخشی سطح آب، در مرز بین آن دو این پروفیل به مقدار ثابت میل



(ب) بستر با زبری استوانه‌ای به ارتفاع ۱۰ میلیمتر



(الف) بستر صاف



(ج) بستر با زبری مخروطی به ارتفاع ۱۰ میلیمتر

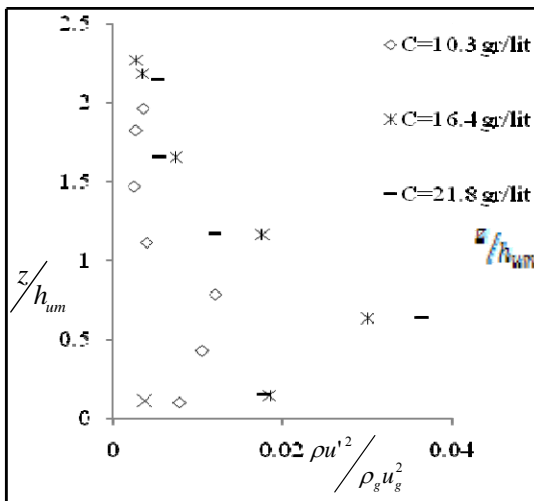
شکل ۴- مقادیر بدون بعد u^* برای شیب ۲ درصد

مقدار بی‌بعد تنش قائم کاسته می‌شود. با حضور زبری مخروطی به ارتفاع ۱۰ میلی‌متر (شکل ۵ب) مشاهده می‌گردد که شکل پروفیل تنش تغییر کرده و دارای مقدار حداکثر در نزدیکی بستر می‌باشد، این مقدار حداکثر در محلی تشکیل شده است که برای تمامی آزمایش‌ها در بالای زبری می‌باشد، در شرایط بستر صاف، از آنجاییکه در نزدیکی جدار، تنش برشی از جدار به سیال وارد می‌شود، نوسانات سرعت بیشتر هستند ولی با زبر شدن بستر پروفیل تنش قائم رینولدز تغییر شکل می‌دهد و مقدار حداکثر آن از بستر فاصله گرفته است، این رفتار در واقع به دلیل ایجاد سیال ساکن در فضای بین زبری‌ها و در نتیجه آن کمتر شدن نوسانات سرعت در محدوده مذکور می‌باشد.

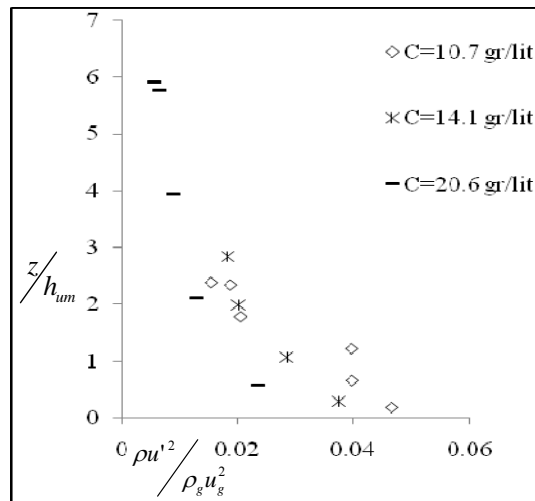
در نزدیکی مرز بین بدنه جریان غلیظ و سیال پیرامون، بدلیل وجود تلاطم و ناپایداری لایه‌بندی برای بسترهای زیر استوانه‌ای و مخروطی شکل، مقادیر $\sqrt{u^3}$ به ترتیب حدود ۰/۴۸ و ۰/۳۲ سرعت برشی می‌باشد.

پروفیل بدون بعد تنش قائم رینولدز

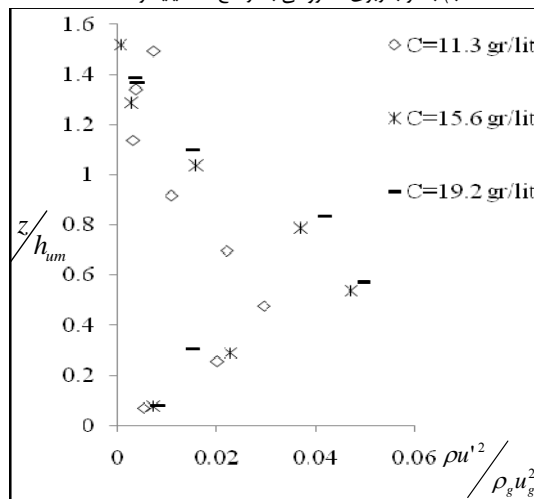
شکل ۵الف مقادیر بدون بعد تنش قائم رینولدز (ρu^2) را در جهت قائم در بدنه جریان غلیظ و بر روی بستر صاف نشان می‌دهد. برای بی‌بعد سازی از پارامترهای سرعت زیر درپچه (u_g) و چگالی سیال غلیظ پشت درپچه (ρ_g) استفاده شده است. در این شکل نشان دهنده می‌شود که با فاصله گرفتن از بستر،



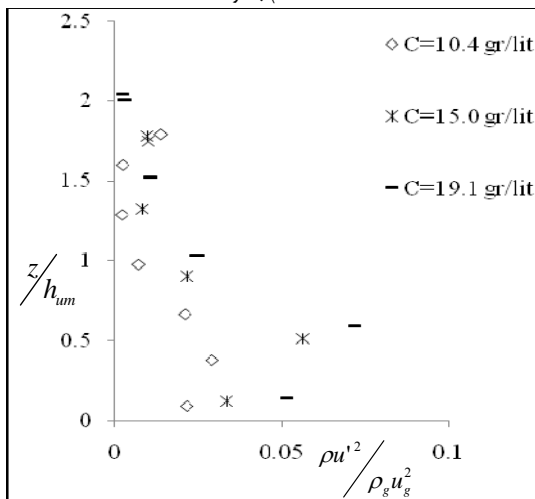
ب) بستر با زبری مخروطی به ارتفاع ۱۰ میلی‌متر



الف) بستر صاف



د) بستر با زبری مخروطی به ارتفاع ۴۰ میلی‌متر



ج) بستر با زبری مخروطی به ارتفاع ۲۵ میلی‌متر

شکل ۵- مقادیر پروفیل بدون بعد تنش قائم رینولدز

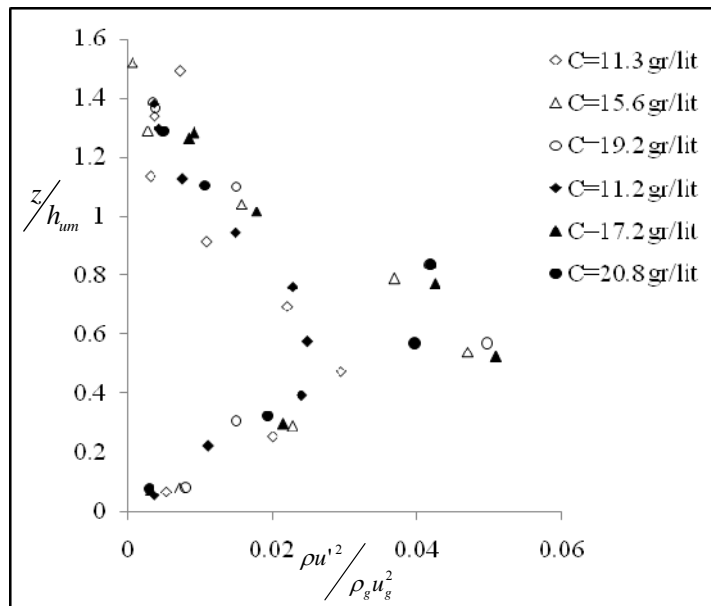
نوسانات لحظه‌ای سرعت

شکل ۷ مقادیر بدون بعد متوسط گیری شده عمقی نوسانات سرعت را در محدوده دیواره و اختلاط برای زبری‌های مخروطی نشان می‌دهد، که در آن با افزایش ارتفاع زبری نسبی، در ناحیه دیواره، بازه تغییرات مقادیر متوسط نوسانات سرعت تغییر کرده بطوریکه در زبری ۱۰ میلی‌متر مقادیر این نوسانات کوچکتر از زبری ۲۵ میلی‌متر می‌باشد. می‌توان گفت که با افزایش ارتفاع زبری مقادیر متوسط نوسانات سرعت افزایش یافته که در نتیجه آن قدرت حمل رسوبات معلق توسط جریان زیاد می‌شود. این رفتار در زبری با ارتفاع ۴۰ میلی‌متر مشاهده نشده بطوریکه در این ارتفاع زبری نسبت به زبری با ارتفاع ۲۵ میلی‌متر بازه تغییر متوسط نوسانات سرعت مشابه تغییر چندانی نداشته است که دلیل آن وجود پدیده برخاستگی در این ارتفاع زبری بوده که در حاصل آن کاهش نوسانات سرعت در ناحیه بین زبری‌ها می‌باشد. ولی در تمامی مقادیر زبری نسبی، نوسانات سرعت در نزدیکی دیواره بیشتر از ناحیه اختلاط می‌باشد.

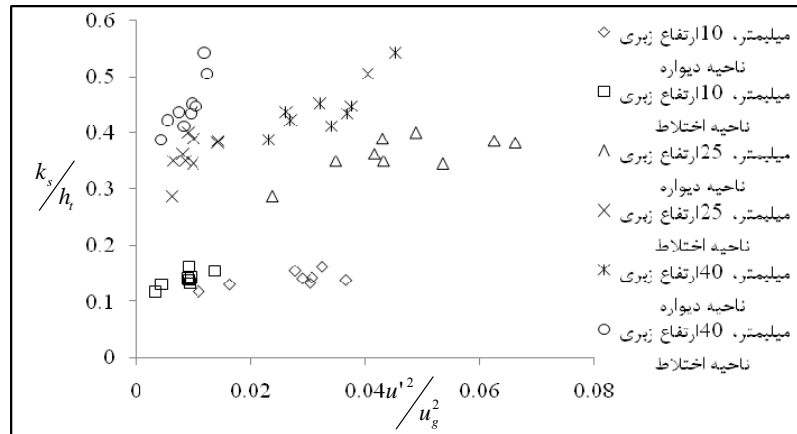
نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر با استفاده از جریان غلیظ نمکی به بررسی مقادیر نوسانات لحظه‌ای سرعت (u') پرداخته شد. این نوسانات در حمل رسوبات در بدنه جریان غلیظ دارای اهمیت می‌باشند.

با فاصله گرفتن از بستر بدلیل اینکه تاثیر زبری کاهش یافته است، به مقدار تنش قائم رینولدز افزوده شده تا زمانیکه با عبور از زبری‌ها، مقدار این تنش بشدت زیاد شده است. این افزایش ناگهانی در آزمایشات با غلظت بالا بر روی بستر زبر، بیشتر می‌باشد. با نزدیک شدن به سیال پیرامون از مقدار تنش قائم کاسته شده است. شکل-های ۵ ج و د تغییرات این پارامترها را برای زبری‌های مخروطی به ارتفاع ۲۵ و ۴۰ میلی‌متر نشان می‌دهد که در این شکل‌ها نیز با افزایش ارتفاع زبری محل شکل گیری سرعت حداکثر بالاتر می‌رود. در صورت عدم وجود سرعت لغزشی و زمانیکه مقدار $\partial u/\partial y$ زیاد باشد، آشفتگی زیاد شده و در نتیجه آن مقدار تنش قائم رینولدز نیز افزایش می‌یابد (۱۲)، این رفتار در تحقیق حاضر در نزدیکی دیواره در بستر صاف مشاهده می‌شود ولی در مورد بسترهای زبر، با توجه به پروفیل سرعت، تغییرات سرعت در محدوده زبری‌ها کمتر شده و در نتیجه آن مقدار تنش قائم رینولدز در این فاصله نیز کم شده است. شکل ۶ مقدار پروفیل تنش بی‌بعد قائم رینولدز را برای بستر زبر به ارتفاع ۴۰ میلی‌متر نشان می‌دهد. مشاهده می‌گردد که پروفیل تنش در بستر زبر استوانه‌ای تقریباً مشابه حالت متناظر زبری مخروطی بوده ولی مقدار حداکثر تنش بی‌بعد قائم رینولدز برای زبری‌های استوانه‌ای و مخروطی با هم تفاوت دارند. در واقع شکل زبری در حداکثر مقادیر تنش بدون بعد قائم رینولدز تاثیر دارد.



شکل ۶- مقادیر پروفیل بدون بعد تنش قائم رینولدز برای بستر با زبری به ارتفاع ۴۰ میلی‌متر (علامت توپر: زبری استوانه‌ای، علامت توخالی: زبری مخروطی)



شکل ۷- مقادیر متوسط گیری شده عمقی نوسانات سرعت در محدوده دیواره و اختلاط برای زبری‌های مخروطی

دیواره و ناحیه اختلاط، مشخص گردید که افزایش زبری نسبی در زبری‌هایی که پدیده برخاستگی در آنها اتفاق نیافتاده است، باعث افزایش بازه مقادیر متوسط نوسانات سرعت شده، ولی وقوع برخاستگی این روند تغییرات را بسیار کمتر نموده بطوریکه با افزایش زبری نسبی، بازه مقادیر متوسط نوسانات سرعت تغییر چندانی نخواهد نمود.

نتایج آزمایش‌ها نشان داد که پروفیل عمقی نوسانات لحظه‌ای سرعت در ناحیه اختلاط بستر زبر نسبت به بستر صاف تشابه بیشتری به جریان در کانال‌های روباز دارد که دلیل آن ناپایداری لایه‌بندی سیال و در نتیجه آن تبادل مومنتوم بیشتر بین آنها می‌باشد. شکل کلی پروفیل تنش قائم رینولدز در بستر صاف با بستر زبر کاملاً متفاوت بوده و با حضور زبری مقدار این تنش افزایش یافته است. با بررسی نتایج متوسط گیری شده مقادیر نوسانات سرعت در نزدیکی

منابع

- ۱- افضل‌ی مهر ح. و حیدرپور م. ۱۳۸۰. مبانی هیدرودینامیک کانال‌های باز. انتشارات ارکان. اصفهان. ایران.
- ۲- فیروزآبادی ب.، فرهانی ه.ب. و راد م. ۱۳۸۰. هدایت و تغییر هیدرودینامیک جریان چگالی گل آلود. مجله بین المللی علوم مهندسی. ۱۲(۴):۱۲۱-۱۳۰.
- 3- Altinakar M.S., Graf W.H. and Hopfinger E.J. 1996. Flow structure in turbidity currents, Journal of Hydraulic Research, IAHR, (3):713-718.
- 4- Fan J. and Morris G.L. 1992. Reservoir sedimentation. I: Delta and density current deposits, Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 118(3):354-369.
- 5- Garcia M.H. 1993. Hydraulic jumps in sediment-driven bottom currents, Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 119(10): 1094-1117.
- 6- Garcia M.H. 1994. Depositional turbidity currents laden with poorly sorted sediment, Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, 120(11):1240-1263.
- 7- Horsch G.M. 2004. The structure of two-dimensional, steady, miscible laminar density currents flowing down an incline, Journal of Hydraulic Research, IAHR, 42(2):173-181.
- 8- Huppert H. and Simpson J.E. 1980. The slumping of gravity currents, Journal of Fluid Mechanics, 99: 785-799.
- 9- Islam M.A. and Imran J. 2010. Vertical structure of continuous release saline and turbidity currents, Journal of Geophysical Research, 115:1-14.
- 10- Nourmohammadi Z., Afshin H. and Firoozabadi B. 2011. Experimental observation of the flow structure of turbidity currents, Journal of Hydraulic Research, IAHR, 40(2):168-177.
- 11- Parker G., Fukushima Y. and Pantin H.M. 1986. Self-accelerating turbidity currents, Journal of Fluid Mechanics, 171:145-181.
- 12- Schlichting H. 1979. Boundary-Layer theory. Seventh Edition, McGraw-Hill press, U.S.A.
- 13- Turner J.S. 1973. Buoyancy effects in fluids. Cambridge University Press, London, U.K.



Experimental Study on the Effects of Artificial Bed Roughness on Instantaneous Velocity Fluctuations of Saline Density Currents

P. Varjavand^{1*}- A. Hosseinzadeh Dalir²- M. Ghomeshi³- D. Farsadizadeh⁴

Received: 17-03-2013

Accepted: 14-08-2013

Abstract

Instantaneous velocity fluctuations are very important in suspended sediment load transportation. In this study experiments were performed to investigate the effects of artificial bed roughness on the instantaneous velocity fluctuations of saline density currents. Conic and cylindrical shapes of roughness with three heights were used. Velocity profiles were measured with an acoustic profiler velocity meter. Velocity and concentration profiles were measured in 3 and 4 cross-sections, respectively. The results show that increasing in relative roughness height has a little impact on instantaneous velocity fluctuations in the entrainment region of the body of current. Also results of the instantaneous velocity fluctuations profile on the rough bed show that turbulence intensity at the boundary of the ambient fluid and body of the current for cylindrical and conic roughness were 48 and 32 percent of shear velocity, respectively.

Keywords: Concentration profile, Dense fluid, Relative roughness, Turbulence intensity, Velocity profile

1,2,4- PhD Candidate, Professor and Associate Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, University of Tabriz

(*- Corresponding Author Email: pvarjavand@yahoo.com)

3- Professor, Faculty of Water Science Engineering, Shahid Chamran University of Ahwaz