مطالعه آزمایشگاهی تأثیر زبری بر روی پروفیلهای سرعت و غلظت بدنه جریان غلیظ رسوبی

مهدی دریائی ^۱، سیدمحمود کاشفیپور^{*۲} و مهدی قمشی ^۲ دانشجوی دکتری سازههای آبی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز ^۲ استاد گروه سازههای آبی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز

چکیدہ

در این تحقیق تأثیر زبری و شیب کف بر روی پروفیلهای سرعت و غلظت جریان غلیظ رسوبی در حالت زیر بحرانی مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل نشان دادند که زبری تأثیر قابل توجهی بر روی شکل عمومی پروفیل سرعت به ویژه در ناحیه دیواره خواهد داشت. معادلاتی به منظور تعیین ضرایب و توانهای معادلات تجربی پروفیل سرعت در جریان غلیظ برای دو ناحیه دیواره و جت با در نظر گرفتن زبری نسبی استخراج گردید که نتایج حاصل از تحلیل آماری آنها تطابق قابل قبولی را با اندازه گیریهای آزمایشگاهی نشان دادند. همچنین درصد تغییرات مشخصه ای پروفیل سرعت و غلظت نیز با در نظر گرفتن زبری نسبت به حالت بدون زبری محاسبه گردید. بررسی پروفیل های غلظت نشان داد که زبری تأثیر قابل توجهی روی پروفیل غلظت نیز با در نظر گرفتن زبری نسبت به حالت بدون زبری محاسبه گردید. بررسی پروفیل های غلظت نشان داد که زبری تأثیر قابل توجهی روی

واژگان کلیدی: جریان غلیظ رسوبی، پروفیل سرعت و غلظت، بدنه جریان غلیظ، زبری.

۱– مقدمه

جریان غلیظ جریانی با چگالی _۲ است که ذاتاً به دلیل اثر اختلاف چگالی دو سیال بر روی شتاب جاذبه به وجود میآید. شتاب ثقل مؤثر بر جریان که به عنوان نیروی محرک در جریان غلیظ مطرح میباشد به صورت زیر بیان می گردد:

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

که در این رابطه، g' شتاب ثقل کاهش یافته، ρ_a دانسیته سیال پیرامون و ρ_t دانسیته سیال غلیظ میباشد. در شکل (۱) شماتیکی از حرکت جریان غلیظ رسوبی ارائه شده است.

مطالعات بسیاری در خصوص شناخت پدیده جریان غلیظ صورت پذیرفته و روابط تجربی و تئوری زیادی جهت پیش بینی خصوصیات آن ارائه گردیده است. Ellison و همکاران [۴]، Altinakar (۳] Middleton (۲] دو همکاران [۶]، Kneller و همکاران [۵] و Buckee و همکاران [۶] در خصوص اندازه گیری پروفیل سرعت بدنه جریان غلیظ به صورت آزمایشگاهی مطالعاتی انجام دادند. XL و همکاران [۷] پروفیل سرعت را در شرایط صحرایی برداشت نمودند. Li و همکاران [۸] بر روی سرعت پیشانی جریان غلیظ در مقاطع متغیر مطالعاتی

انجام دادند. Akiyama و Stefan إسر روى فرسايش و رسوبگذاری در جریانات کدر مطالعاتی انجام دادند. Parker و همکاران [۱۰] و Garcia و Parker [۱۱] بر روی تشکیل فرم بستر با استفاده از جریان غلیظ نمکی مطالعاتی انجام دادند. Islam و Imran [۱۲] مطالعات آزمایشگاهی بر روی سرعت متوسط و ساختار تلاطم جریانات کدر پایستار انجام دادند. آن ها در انجام آزمایشات از سرعت سنج آکوستیک استفاده نمودند و با استفاده از نتایج حاصل سرعت متوسط، انرژی جنبشی توربولانت و تنشهای رینولدزی را استخراج نمودند. Gladstone و Pritchard [۱۳] بر روی الگوهای تهنشینی در جریانات کدر مطالعاتی انجام دادند. Sequeiros و همکاران [۱۴] بر روی مشخصات سرعت جریان غلیظ نمکی و رسوبی بر روی بستر متحرک مطالعاتی انجام دادند. آنها در آزمایشات خود دو رژیم جریان زیر بحرانی و فوق بحرانی را در نظر گرفتند. نتایج حاصل از تحقیقات آنها نشان دادند که بسته به رژیم جریان با گذشت زمان ممکن است بستر بدون تغییر ماندہ یا فرم بستر تشکیل شود که بر روی پروفیل عمودی سرعت تأثیر گذار خواهـد بود. Archive of SID

۲۰ / نشریه مهندسی عمران و محیط زیست، جلد ۴۵، شماره ۴، زمستان ۱۳۹۴، پیاپی ۸۱

مطالعه آزمایشگاهی تأثیر ...



شکل ۱- شماتیکی از حرکت جریان غلیظ

حرکت جریان غلیظ رسوبی علاوه بر انتقال رسوبات موجب فرسایش بستر نیز میشود. نظر به این که عامل اصلی فرسایش، تنش برشی بوده و این پارامتر نیز تابعی از تغییرات سرعت در عمق میباشد، لذا مطالعه در خصوص پروفیل سرعت در جریان-های غلیظ امری اجتناب ناپذیر میباشد. لـذا هـدف از تحقیق حاضر بررسی تأثیر زبری بـر روی مشخصات پروفیل سرعت و غلظت در جریان غلیظ رسوبی میباشد.

۲- مشخصات پروفیل سرعت و غلظت در جریان غلیظ

شکل عمومی پروفیل سرعت و غلظت در شکل (۲) ارائه شده است. مشخصههای مهم موجود در این پروفیلها عبارتند از: u_{max} : سرعت ماکزیمم، h_{max} : ارتفاع متناظر با سرعت ماکزیمم c_{max} علظت متناظر برای سرعت ماکزیمم و h_i : ارتفاعی که در آن سرعت و غلظت صفر میشوند. h_i جرا که فرض بر این است، سیال پیرامون در حال سکون و آب تمیز میباشد. با توجه به پروفیل سرعت بدنه جریان غلیظ را میتوان به دو قسمت تقسیم کرد. قسمت اول از بستر تا



با توجه به این که تفکیک مرز جریان غلیظ از سیال پیرامون تا اندازهای مشکل میباشد، لذا روابط زیر به منظور تخمین ارتفاع، سرعت و غلظت متوسط بدنه جریان غلیظ مورد استفاده قرار می گیرد [۱]:

$$Uh = \int_{0}^{\infty} u dz = \int_{0}^{h_t} u dz \tag{(Y)}$$

$$U^{2}h = \int_{0}^{\infty} u^{2}dz = \int_{0}^{h_{t}} u^{2}dz$$
 (7)

$$C_s Uh = \int_0^\infty (uc_s) dz = \int_0^{h_t} (uc_s) dz$$
 (f)



شکل ۲- شماتیکی از پروفیل سرعت و غلظت در جریان غلیظ

$$\frac{u(z)}{u_{\max}} = \left(\frac{z}{h_{\max}}\right)^n \tag{(\Delta)}$$

توزیع سرعت در ناحیه جت از یک معادله شبه گوسین به صورت زیر پیروی می کند [۴]:

$$\frac{u(z)}{u_{\max}} = \exp\left[-\alpha_c \left(\frac{z - h_{\max}}{h - h_{\max}}\right)^m\right]$$
(8)

پروفیل غلظت در ناحیه دیواره از رابطه تجربی مشابه پروفیل سرعت در این ناحیه تبعیت میکند [۱۵]:

$$\frac{C_s(z)}{C_{\max}} = \left(\frac{z}{h_{\max}}\right)^{-\psi} \tag{Y}$$

همچنین توزیع غلظت در ناحیه جت از یک معادله شبه گوسین مشابه توزیع سرعت در این ناحیه به صورت زیر پیروی میکند [10]:

$$\frac{c_s(z)}{C_{\max}} = \exp\left[-\beta_c \left(\frac{z - h_{\max}}{h - h_{\max}}\right)^{\lambda_c}\right] \tag{A}$$

، m، α_c ، n، cte، k سرعت برشی، u_* ، u_* و λ_c و λ_c β_c ، ψ

Altinakar و همکاران [۴] با استفاده از نتایج آزمایشگاهی نسبت های مشخصههای پروفیل سرعت و غلظت را به صورت ارائه شده در جدول (۱) بیان کردند.

جدول ۱- نسبتهای مشخصه های پروفیل سرعت و غلظت [۴]

مطالعه آزمایشگاهی تأثیر ...

$\frac{c_b}{C_{\max}}$	$\frac{c_b^*}{C_s}$	$\frac{h_{\max}}{h}$	$\frac{u_{\text{max}}}{U}$	$rac{h_t}{h}$
٢	۱/۴	۰ /٣	١/٣	١/٣

۳- مواد و روشها

آزمایشات در فلومی به طول ۷۸۰ سانتیمتر، عرض ۳۵ سانتیمتر و ارتفاع ۷۰ سانتیمتر در آزمایشگاه هیدرولیک دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز انجام پذیرفت. ۴ اندازه ارتفاع زبری شامل (۰، ۱/۵، ۱ و ۱/۵ سانتی-متر) و ۴ شیب (۰، ۱/۵، ۲/۵ و ۳/۵ درصد) برای این آزمایشات در نظر گرفته شد. همچنین در کلیه آزمایشات دو غلظت ۱۰ گرم در لیتر ($\rho_t = 1008 kg/m^3$) در لیتر ($\rho_t = 1008 kg/m^3$) از جریان غلیظ رسوبی مورد استفاده قرار ($ho_t = 1017 \, kg/m^3$) گرفت. در مجموع ۳۲ سری آزمایش انجام شد. فلوم و تجهیزات مورد استفاده در شکل (۳) نشان داده شده است. جهت انجام آزمایشات ابتدا جریان غلیظ با مخلوط کردن آب و پودر سنگ به غلظت دلخواه درون مخزن شماره ۱ تهیه و توسط پمپ به مخزن شماره ۲ به منظور رسیدن به هد ثابت منتقل میشد، سپس با استفاده از یک شیر و دبی سنج الکترومغناطیس میزان جریان ورودی به درون فلوم کنترل می گردید. اندازه متوسط ذرات در حدود ۱۷ میکرومتر و ضریب یکنواختی (D_{50}) نر حدود ۴/۵ میباشد که نشاندهنده غیر ($\delta = \sqrt{\frac{D_{84}}{D_{14}}}$ يكنواخت بودن مصالح مورد استفاده مي باشد.

یروفیل سرعت جریان غلیظ توسط دستگاه DOP2000 اندازه گیری می شد. این دستگاه تنها مؤلفه افقی از بردار سرعت را در عمق اندازه گیری می کند. دستگاه شامل پروبهای ساطع کننده و دریافت کننده سیگنال می باشد که به آنها مبدل سیگنال گفته می شود. این دستگاه قادر به برداشت تعداد ۱۵۰ عدد سرعت لحظه ای در هر فاصله از پروب می باشد. در انجام آزمایشات پروب در ۱۳۳۰ از دریچه ورودی جریان غلیظ به درون فلوم قرار گرفت.

نظر به این که اهداف تحقیق حاضر بررسی تأثیر زبری در ناحیه دیواره بر روی خصوصیات پروفیل سرعت و غلظت می باشد لذا برای تعیین ارتفاعات زبری، ابتدا آزمایشی که در آن کمترین $z_{\rm max}$ شکل بگیرد با شیب طولی ۲/۵ درصد و غلظت ۲ گرم در لیتر ($\rho_t = 1017 \, kg / m^3$) انجام شد.



شکل ۳- نمایی از مخزن و فلوم

 z_{max} المندترین ارتفاع زبری مورد استفاده در این تحقیق از z_{max} در این حالت کمتر در نظر گرفته شده است. z_{max} برای شرایط این آزمایش معادل ۱/۷ سانتیمتر حاصل شد. در نتیجه برای این که کلیه زبریها در ناحیه دیواره قرار بگیرند ماکزیمم ارتفاع زبری برابر ۱/۵ سانتیمتر در نظر گرفته شده و سایر ارتفاعات زبری (۰، ۵/۰ و ۱ سانتیمتر) بر مبنای آن انتخاب گردید.

شیبهای مورد استفاده در آزمایشات (۰، ۱/۵، ۲/۵ و ۳/۵ درصد) بودهاند. انتخاب این شیبها به گونهای بوده است که



$$Fr_d = \frac{u}{\sqrt{g'h\cos\theta}} \tag{9}$$

در این رابطه heta شیب کف بستر میباشد.

از جمله پارامترهای بدون بعد دیگر در جریان غلیظ که به منظور تعیین پایداری جریان غلیظ در مقابل اختلاط با سیال پیرامون استفاده می شود، عدد ریچاردسون می باشد. این عدد معکوس عدد فرود دنسیمتریک در جریان غلیظ می باشد.

به منظور تعیین عدد رینولدز جریان از رابطه (۱۰) استفاده گردید.

$$\operatorname{Re} = \frac{\rho_t U h}{\mu} \tag{(1.1)}$$

 μ و جرم واحد حجم اولیه جریان غلیظ و ρ_t در این رابطه جریان غلیظ میباشد. لزوجت دینامیکی جریان غلیظ میباشد.

مقطع زبریها مربعی به اندازه ۱/۵× ۱/۵ سانتیمتر مربع و آرایش آنها به صورت زیگزاگ با فاصله طولی و عرضی ۱/۵ سانتیمتر از همدیگر بوده است.

به منظور برداشت پروفیل غلظت بدنه جریان غلیظ لولههایی به قطر ۴ میلیمتر تهیه و در ۳/۵ متری از ابتدای ورودی جریان غلیظ به درون فلوم نصب گردید. این لولهها مطابق شکل (۴) به هم متصل شدند. به نحوی که فاصله مرکز لولهها از هم ۱۵ میلیمتر باشد.



شکل ۴- شماتیکی از تجهیزات اندازه گیری سرعت و غلظت

از انتهای هر لوله توسط سرنگ با حجم مشخص ۵۰ میلی-لیتر نمونهبرداری انجام شد. نمونهها بعد از برداشت در ظروف آزمایشگاهی که قبلاً وزن شده بودند ریخته شده و به مدت ۲۴ ساعت درون دستگاه آون قرار گرفتند. بعد از خشک شدن و توزین مجدد با مشخص بودن وزن رسوب موجود در نمونه و حجم نمونه، غلظت در هر ارتفاع حاصل می شد. در شکل (۴) به صورت شماتیک زبری، تجهیزات اندازه گیری سرعت و غلظت نشان داده شده است.

۴- نتایج و بحث

در جدول (۲) محدوده اعداد رینولدز و فرود دنسیمتریک برای پیشانی و بدنه جریان غلیظ ارائه شده است. همان طور که در این جدول مشاهده می شود در تحقیق حاضر تمامی آزمایشات در حالت زیر بحرانی و آشفته قرار دارند.

جدول ۲- محدوده اعداد فرود دنسیمتریک و رینولدز پیشانی و بدنه جریان غلیظ در آزمایشات

F	Re	F	r _d	
حداكثر	حداقل	حداكثر	حداقل	
46.7	777.	• / A	۰/٣	پیشانی جریان
36	71	• /Y	٠/٢	بدنه جريان

در شکلهای (۵) و (۶) پروفیلهای سرعت رسم شدهاند. همان طور که در این شکلها مشاهده میشود زبری باعث افزایش ارتفاع بدنه جریان غلیظ می شود. دلیل این پدیده را می-توان این گونه بیان کرد که کاهش شتاب ثقل در جریان غلیظ (رابطه (۱)) منجر به سبک شدن آن می شود. در نتیجه وجود زبری در مسیر جریان باعث می شود هنگام برخورد، ارتفاع بدنه جریان افزایش یابد. از جمله عوامل دیگر در افزایش ارتفاع بدنه جريان غليظ، كشش سيال پيرامون مي باشد. همچنين همان طور که در این شکل مشخص است در هر شیب و هر غلظت، افزایش ارتفاع زبری به واسطه ایجاد مقاومت در مقابل جریان منجر به کاهش سرعت ماکزیمم در پروفیل سرعت شده است. یکی دیگر از مواردی که می توان با توجه به این شکلها برداشت نمود کاهش تغییرات سرعت نسبت به ارتفاع (du/dh) با افزایش ارتفاع زبری میباشد. نظر به این که عامل مهم فرسایش بستر تنش برشی (7) میاشد و تنش برشی ارتباط مستقیم با تغییرات سرعت نسبت به ارتفاع ($\tau \propto du/dh$) دارد، لذا به نظر می سد ساخت زبری در کف منجر به کاهش فرسایش بستر ناشی از عبور جریان غلیظ شود.



($ho_t = 1008 kg/m^3$) شکل ۵– پروفیلهای سرعت برای غلظت ۱۰ گرم در لیتر ($ho_t = 1008 kg/m^3$)



 $(\rho_t = 1017 \, kg/m^3)$ شکل -8 پروفیل های سرعت برای غلظت ۲۰ گرم درلیتر

همان طور که عنوان شد عامل اصلی حرکت جریان غلیظ، اختلاف غلظت آن با سیال پیرامون می باشد. با کاهش فرسایش بستر از تغذیه جریان غلیظ توسط مصالح کف کاسته می شود. این موضوع منجر به کاهش غلظت جریان غلیظ در مسیر حرکت و در نتیجه کاهش اختلاف غلظت سیال پیرامون و جریان غلیظ شده و لذا می توان این گونه برداشت نمود که وجود زبری در بستر با کاستن سرعت جریان غلیظ به واسطه ماهیت مقاومتی خود و کاهش فرسایش بستر، از اثرات مخرب حرکت جریان غلیظ مانند کاهش عمر مفید سدها به واسطه رسوبگذاری در مخازن آنها و وارد آمدن خسارت به تأسیسات جانبی سدها جلوگیری می کند.

همان طوری که در این شکلها ملاحظه می گردد، زبری باعث تغییر شکل پروفیل سرعت در جریان غلیظ می شود. نسبت مشخصههای اصلی سرعت در حالت $K_s = 0 \text{ (..., ..., ...)}$ (بدون زبری)، در جدول (۳) ارائه شده است. همان طور که مشاهده می شود این نسبت ها با نسبتهای حاصل از نتایج سایر محققین تقریباً مشابهت دارد. دلیل اختلاف در این حالت را می توان مربوط به شرایط آزمایشگاه و خصوصیات متفاوت مواد به کار برده در تهیه جریان غلیظ دانست.

سرعت در حالت	پروفيل	فصههای	نسبت مشغ	مدول ۳-
(ت حاف		- 0 am	

$K_s = 0 \text{ cm}$				
$\frac{h_{\text{max}}}{h}$	$\frac{u_{\text{max}}}{U}$	$\frac{h_t}{h}$		
n	U	n	1	
٠/٢٩	1/41	1/54		

درصد تغییرات ناشی از به کار بردن زبری در ناحیه دیواره تا ارتفاع ۱/۵ سانتیمتر بر روی مشخصههای پروفیل سرعت نسبت به حالت بدون زبری محاسبه و در جدول (۴) ارائه گردیده است. با توجه به این جدول ملاحظه می گردد که به کار بردن زبری تا ارتفاع ۱/۵ سانتیمتر در هر شیب تأثیر چندانی بر روی تغییرات مشخصه U سانتیمتر در هر شیب تأثیر چندانی بر روی تغییرات مشخصه افزایشی می باشد. همچنیین مشاهده می شود مشخصه صورت افزایشی می باشد. همچنین مشاهده می شود مشخصه می باشد. حال آن که مشخصه h_{\max}/h با تغییراتی در حدود می باشد. حال آن که مشخصه h_{\max}/h با تغییراتی در حدود باشد. دلیل تفاوت قابل توجه تغییرات از نار امی ا باشد. دلیل تفاوت قابل توجه تغییرات h_{\max}/h نسبت به که با توجه به شکلهای (۵) و (۶) افزایش ارتفاع زبری تا ۱/۵ سانتیمتر منجر به افزایش ارتفاع محل وقوع سرعت بیشینه

(h_{max}) به صورت قابل توجهی نسبت بـه سـایر مشخصـههـای پروفیل سرعت میشود.

همان طور که مشاهده شد، زبری تأثیر بسزایی بر روی شـکل پروفیل سرعت دارد. لذا منطقی به نظر می سد بر روی معادلات پروفیل سرعت در دو ناحیه دیواره و جت نیز تأثیر گذار باشد. بـه همین جهت با این فرض که شکل عمومی معادلات ثابـت است، ابتدا با استفاده از معادلات (۵) و (۶) و نتایج بـه دست آمـده در آزمایشگاه، ضرایب و توانهای این معادلات برای تمامی حـالات محاسبه گردید.

جدول ۴- درصد تغییرات مشخصههای پروفیل سرعت با ارتفاع

زبری ۱/۵ سانتیمتر نسبت به حالت بدون زبری

$rac{h_{\max}}{h}$	$\frac{u_{\max}}{U}$	$\frac{h_t}{h}$
+٩۶	+۲	$-\Delta$

سپس با استفاده از ۲۰ درصد اطلاعات موجود روابطی به منظور تعیین این ضرایب و توانها به صورت تابعی از زبری نسبی (k,/h) در دو ناحیه دیواره و جت ارائه شد. همچنین ۳۰ درصد اطلاعات باقیمانده نیز جهت بررسی دقت روابط ارائه شده مورد استفاده قرار گرفت.

$$n = 0.23e^{\frac{5.27\frac{k_s}{h}}{h}} \tag{11}$$

$$\alpha_c = 1.75e^{-2.74\frac{k_s}{h}} \tag{11}$$

$$m = 1.11e^{2.37\frac{k_s}{h}} \tag{11}$$

روابط فوق برای شرایط زیر بحرانی، مـتلاطم، محـدوده عـدد ریچاردسون (۵/۶–۰/۷) و محدوده شیب (۰- ۳/۵ درصد) معتبـر میباشد.

به منظور بررسی دقت روابط (۱۱) تا (۱۳) از روشهای آماری که در زیر ارائه شدهاند استفاده گردید: ۱) R² و a که به ترتیب عبارتند از مجذور ضریب همبستگی و

شیب خط رگرسیون ($\alpha = X_m/X_p$). دقت پیش بینی هر شیب خط رگرسیون ($\alpha = X_m/X_p$). دقت پیش بینی هر رابطه به پارامترهای فوق بستگی دارد. بدین صورت که هرچه R^2 و α به یک نزدیکتر باشند، رابطه بهتر میتواند مقادیر ضریب شدت اختلاط را تخمین بزند.

$$\% E = \frac{\sum_{i=1}^{N} |X_{mi} - X_{pi}|}{\sum_{i=1}^{N} X_{mi}} \times 100$$
 (14)

۳) متوسط مجذور مربعات خطا (RMSE) که به صورت زیر تعریف شده است:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N} (X_{mi} - X_{pi})^2}{N}}$$
(\delta)

که در این روابط، N تعداد دادهها، X_m متغیر اندازه گیری شده در آزمایشگاه و X_p متغیر پیش بینی شده توسط فرمول می- باشد. در هر فرمول که مقادیر محاسبه شده برای B و RMSE به صفر نزدیک تر باشد، دقت آن بالاتر است. خلاصه نتایج تحلیل آماری در جدول (۵) ارائه شده است.

جدول ۵- نتایج حاصل از تحلیل آماری در روال تست روابط (۱۱) تا (۱۳)

RMSE	% <i>E</i>	α	R^2	
۰/۰۹	18	٠/٨۴	•/84	رابطه (۱۱)
•/17	۷	٠/٩٩	۰/۸۱	رابطه (۱۲)
•/\)	۶	٠/٩٩	• /YY	رابطه (۱۳)

با توجه به جدول فوق مشاهده می شود که این روابط دقت نسبتاً قابل قبولی در پیش بینی ضرایب و توانهای معادلات پروفیل سرعت در دو ناحیه دیواره و جت به صورت تابعی از زبری نسبی را دارا می باشند. در شکل (۲) با استفاده از روابط (۱۱) تا (۱۳) و رسم پروفیل بدون بعد سرعت در حالت بدون زبری (۱۳) و رسم پروفیل بدون بعد سرعت در حالت بدون زبری (۵ م ایسهای بین نتایج حاصل از تحقیقات Altinakar و همکاران [۴]، Hosseini و همکاران [۱۵] و نتایج حاصل از تحقیق حاضر صورت گرفت.





شکل ۷- مقایسه مدل ارائه شده با استفاده از روابط (۱۱) تا (۱۳) در حالت بدون زبری و تحقیقات سایرین

همان طور که در این شکل مشاهده می شود، نتایج حاصل از این تحقیق تقریباً با نتایج حاصل از محققین مذکور مشابه می-باشد. دلیل اختلاف موجود بین نتایج را می توان به اختلاف در مواد مورد استفاده و شرایط متفاوت انجام آزمایشات دانست. به منظور بررسی تأثیر زبری بر روی پروفیل غلظت، در دو شیب • منظور بررسی تأثیر زبری بر روی پروفیل غلظت، در دو شیب • فلظت در ارتفاعات زبری مورد نظر گردید. نتایج حاصل در شکل (۸) ارائه شده است.

خطوط برازش داده شده با توجه به معادله (۸) به صورت نمایی میباشند. همان طور که در این شکل مشاهده می شود، با افزایش ارتفاع زبری از غلظت جریان در عمق کاسته می شود. دلیل این پدیده را می توان این گونه عنوان کرد که کاهش

سرعت جریان غلیظ به واسطه وجود زبری منجر به تهنشینی رسوبات شده که این موضوع باعث کاهش غلظت در عمق می-شود. لذا منطقی به نظر میرسد که با افزایش ارتفاع زبری میزان کاهش سرعت و به دنبال آن میزان نشست رسوبات و کهش غلظت در عمق افزایش یابد. نسبت مشخصههای اصلی غلظت در حالت در عمق افزایش یابد. نسبت مشخصههای اصلی غلظت در حالت $K_s = 0$ cm حالت همان طور که مشاهده میشود، این نسبتها با نسبتهای حاصل از نتایج سایر محققین تقریباً مشابهت دارد. دلیل اختلاف در این حالت را نیز میتوان مربوط به شرایط آزمایشگاه و خصوصیات متفاوت مصالح به کار برده در تهیه جریان غلیظ دانست.

جدول ۶- نسبت مشخصههای پروفیل غلظت در حالت

(تحقيق حاضر) $K_s = 0 \text{ cm}$

$c_b/C_{\rm max}$	c_b/C_s	
۱/۵۶	۱/۵۵	

درصد تغییرات ناشی از به کار بردن زبری در ناحیه دیواره تا ارتفاع ۱/۵ سانتیمتر بر روی مشخصههای پروفیل غلظت نسبت به حالت بدون زبری محاسبه و در جدول (۲) ارائه گردیده است



($ho_t = 1008 \ kg \ m^3$) شکل ۸– پروفیل
های غلظت برای غلظت ۱۰ گرم درلیتر ($ho_t = 1008 \ kg \ m^3$)

- وجود زبری به دلیل کاهش سرعت جریان غلیظ، تهنشینی رسوبات و کاهش غلظت در عمق را به همراه خواهد داشت. - تغییرات ناشی از وجود زبری بر روی ۴۰ ، ۴۰ درصد و بر روی ۴۴۷ درمد میباشد که با توجه به توضیحات فوق میتوان دلیل آن را افزایش ₆ و کاهش _s 2 و _{Cmax} به واسطه افزایش ارتفاع زبری دانست.

8- مراجع

- Ellison, T. H., Turner, J. S., "Turbulent Entrainment in Stratified Flows", Journal of Fluid Mechanics 1959, 6 (3), 423-448.
- [2] Lofquist, K., "Flow and Stress near an Interface between Stratified Liquids", Physics of Fluids, 1960, 3, 158.
- [3] Middleton, G. V., "Sediment Deposition from Turbidity Currents", Annual Review of Earth and Planetary Sciences, 1993, 21, 89-114.
- [4] Altinakar, M. S., Graf, W. H., Hopfinger, E. J., "Flow Structure in Turbidity Currents", Journal of Hydraulic Research, 1996, 34 (5), 713-718.
- [5] Kneller, B. C., Bennett, S. J., McCaffrey, W. D., "Velocity Structure, Turbulence and Fluid Stresses in Experimental Gravity Currents", Journal of Geophysical Research, 104 (C3), 1999, 5381-5391.
- [6] Buckee, C., Kneller, B., Peakall, J. "Turbulence Structure in Steady", Solute-Driven Gravity Currents, Blackwell, Oxford, UK, 2009, pp 173-187.
- [7] Xu, J. P., Noble, M. A., Rosenfeld, L. K., "In-Situ Measurements of Velocity Structure within Turbidity Currents", Geophysical Research Letters, 2004, 31 (9), 16-31.
- [8] Li, T., Zhang, J. H., Tan, G. M., Ma, H. B., Li, S. X., "Study on Turbidity Current Head Going Through the Changing Width Section. Procedia Environmental Sciences", 2012, 13, 214-220.
- [9] Akiyama, J., Stefan, H., "Turbidity Current with Erosion and Deposition", Journal of Hydraulic Engineering, 1985, 111 (12), 1473-1496.
- [10] Parker, G., Garcia, M., Fukushima, Y., Yu, W., "Experiments on Turbidity Currents Over an Erodible Bed", Journal of Hydraulic Research, 1987, 25 (1), 123-147.
- [11] Garcia, M., Parker, G., "Experiments on the Entrainment of Sediment into Suspension by a Dense Bottom Current", Journal of

با توجه به این جدول مشاهده می شود که تغییرات میزان مشخصه c_b/C_s حدود ۴۰ درصد و به صورت افزایشی و مشخصه مشخصه $c_b/C_{\rm max}$ نیز در حدود ۴۷ درصد و به صورت افزایشی می اشد که با توجه به توضیحات فوق می توان دلیل آن را افزایش c_b و کاهش c_s و $C_{\rm max}$ به واسطه افزایش ارتفاع زبری دانست.

جدول ۷- درصد تغییرات مشخصههای پروفیل غلظت با ارتفاع

زبری ۱/۵ سانتیمتر نسبت به حالت بدون زبری

$c_b/C_{\rm max}$	c_b/C_s
+ 41	+۴۰

لازم به ذکر است به دلیل این که جهت رسم پروفیلهای غلظت در هر حالت تنها از ۱۰ نقطه در عمق نمونهبرداری صورت گرفته است، لذا به دلیل کم بودن دادهها در دو ناحیه دیواره و جت، ضرایب و توانها در معادلات (۲) و (۸) تعیین نگردید.

۵- نتیجهگیری

در تحقیق حاضر تأثیر زبری در ناحیه دیواره بر روی مشخصات پروفیلهای سرعت و غلظت جریان غلیظ رسوبی در حالت زیر بحرانی مورد بررسی قرار گرفت. برای این منظور با در نظر گرفتن ۴ شیب (۰، ۱/۵، ۲/۵ و ۲/۵ درصد)، ۴ اندازه ارتفاع زبری (۰، ۱/۵، ۱ و ۱/۵ سانتیمتر) و در نظر گرفتن دو غلظت ۱۰ گرم در لیتر (۵/۱ سانتیمتر) و در نظر گرفتن دو غلظت ۱۰ گرم در لیتر ($\rho_t = 1008 kg/m^3$) و ۲۰ گرم در لیتر ۱۳ سری آزمایش انجام و نتایج زیر حاصل گردید:

- وجود زبری بر روی شکل عمومی پروفیل سـرعت بـه خصـوص در ناحیه دیواره تأثیر بسزایی دارد.

- افزایش ارتفاع زبری منجر به کاهش du/dh در پروفیل سرعت میشود که به نظر میرسد این موضوع منجر به کاهش فرسایش بستر میشود.

– زبری بر روی مقدار ضرایب و توانهای معادلات تجربی پروفیل سرعت تأثیر قابل توجهی دارد.

- بیشترین میزان تأثیر افـزایش زبـری بـر روی h_{\max}/h (۹۶ - درصد) میباشد. حال آن که این تغییرات بـر روی u_{\max}/U درصد) میباشد. حال آن که این تغییرات بـر روی h_t/h درصد میباشد. دلیل ایـن تفاوت در در ماید افزایش h_{\max} به صورت قابـل تـوجهی نسـبت بـه سایر مشخصههای پروفیل سرعت میباشد.

Geophysical Research, Oceans 98, no. C3, 1993, 4793-4807.

- [12] Islam, M. A., Imran, J., "Vertical Structure of Continuous Release Saline and Turbidity Currents", Journal of Geophysical Research: Oceans (1978-2012), 2010, 115 (C8), 3357-3369.
- [13] Gladstone, C., Pritchard, D., "Patterns of Deposition from Experimental Turbidity Currents with Reversing Buoyancy" Sedimentology, 2010, 57 (1), 53-84.
- [14] Sequeiros, O. E., Spinewine, B., Beaubouef, R. T., Sun, T., García, M. H., Parker, G., "Characteristics of Velocity and Excess Density Profiles of Saline Underflows and Turbidity Currents Flowing Over a Mobile Bed", Journal of Hydraulic Engineering, 2010, 136 (7), 412-433.
- [15] Hosseini, S. A., Shamsai, A., Ataie-Ashtiani, B., "Synchronous Measurements of the Velocity and Concentration in Low Density Turbidity Currents using an Acoustic Doppler Velocimeter", Flow Measurement and Instrumentation, 2006, 17 (1), 59-68.