

بررسی تاثیر تراکم و آرایش بلوک‌های زبری با مانع روی کنترل پیشانی جریان غلیظ

سلیمان خسروپور^۱، سید محمود کاشفی پور^۲ و مهدی دریائی^{۳*}

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد سازه‌های آبی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

۲- استاد گروه سازه‌های آبی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

۳- استادیار گروه سازه‌های آبی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

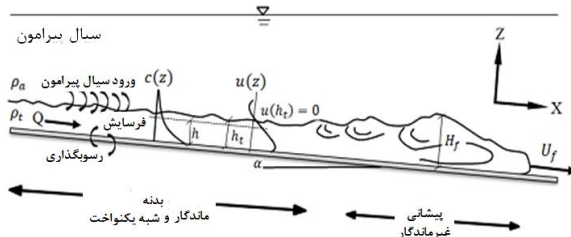
* m.daryae@scu.ac.ir

(دریافت مقاله: ۹۷/۱۱/۳۰؛ پذیرش مقاله: ۹۸/۰۳/۰۸)

چکیده- در تحقیق حاضر تاثیر همزمان تراکم و آرایش زبری کف به همراه مانع روی کنترل پیشانی جریان غلیظ بررسی شده است. آزمایش‌ها در فلومی به طول ۷۸۰ سانتیمتر، عرض ۳۵ سانتیمتر و ارتفاع ۷۰ سانتیمتر با ۲ نوع آرایش زبری (موازی و زیگزاگ)، ۴ تراکم زبری (۰، ۱۰، ۳۰ و ۵۰ درصد) و ۴ شیب طولی (۰، ۱/۵، ۲/۵ و ۳/۵ درصد) انجام شد. در تمامی آزمایش‌ها سیال غلیظ از نوع نمکی با غلظت ۲۰ گرم در لیتر در نظر گرفته شد. دو سری آزمایش به صورت کارگذاری زبری بدون مانع و با مانع و در مجموع ۵۶ آزمایش انجام شد. نتایج حاصل نشان داد که بیشترین درصد کنترل پیشانی جریان غلیظ در آرایش زیگ زاگ و برای تمامی شیب‌های مورد نظر در تراکم ۳۰ درصد و در آرایش موازی در تراکم ۱۰ درصد به وقوع پیوست. همچنین کارگذاری مانع در این حالات به همراه زبری میزان کنترل پیشانی جریان غلیظ را افزایش داد. به نحوی که متوسط درصد کنترل برای شیب‌های مورد نظر در آرایش زیگزاگ و تراکم ۳۰ درصد نسبت به حالت بدون زبری و شیب صفر درصد، برابر ۹۷ درصد شد که با کارگذاری مانع متوسط مقدار کنترل به ۱۶۳ درصد افزایش یافت. همچنین در آرایش موازی برای تراکم ۱۰ درصد این مقادیر به ترتیب برابر ۴۴ و ۷۴ درصد شد.

کلید واژگان: جریان غلیظ، شیب کف، آرایش زبری، تراکم زبری، درصد کنترل.

ثقل می‌باشد. در شکل ۱ شماتیکی از حرکت جریان غلیظ نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود جریان غلیظ از دو قسمت اصلی بدنه و پیشانی تشکیل شده است. دریایی و همکاران (۱۳۹۳a)، مطالعه‌ای روی تاثیر مانع و



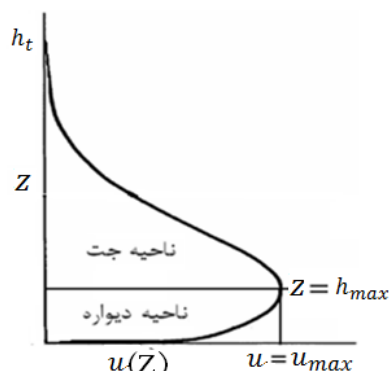
شکل ۱ شماتیک حرکت جریان غلیظ

۱- مقدمه

از جمله عوامل مهم در رسوبگذاری مخازن سد، پدیده جریان غلیظ می‌باشد. علت اصلی حرکت و توسعه یافتن جریان غلیظ، کاهش شتاب گرانشی است که ناشی از اختلاف چگالی سیال غلیظ و سیال پیرامون می‌باشد. بنابراین عامل اصلی حرکت جریان غلیظ کاهش شتاب ثقل بوده که به صورت رابطه (۱) بیان می‌شود:

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

در این معادله: g' : شتاب ثقل کاهش یافته، ρ_t : دانسیته سیال غلیظ، ρ_a : دانسیته سیال پیرامون و g : شتاب



شکل ۲ شماتیک پروفیل سرعت بدنه جریان غلیظ

Schleiss با انجام مطالعات آزمایشگاهی راه‌کارهایی جهت کنترل جریان غلیظ با استفاده از مانع نفوذپذیر و نفوذناپذیر و تاثیر هر کدام از این روش‌ها روی کنترل جریان غلیظ ارائه دادند و به این نتیجه رسیدند که مانع نفوذناپذیر تاثیر بیشتری در مهار جریان غلیظ دارد. Oehy et al. (2010) درباره تاثیر شیب بستر روی خصوصیات جریان غلیظ مطالعاتی انجام دادند. (2015) Ho and Lin به بررسی تاثیر شیب و پوشش گیاهی روی افت انرژی جریان غلیظ پرداختند و به این نتیجه رسیدند که بدون حضور پوشش گیاهی، سیال پیرامون منجر به ایجاد افت انرژی در جریان غلیظ می‌شود. Varjavand et al. (2015) اثر کارگذاری زبری‌هایی با شکل مخروطی و استوانه‌ای در کف را بر روی خصوصیات جریان غلیظ نمکی بررسی کرده به این نتیجه رسیدند جریان غلیظ ضمن عبور از روی آنها دچار پدیده برخاستگی می‌شود. (2017) Asghari Pari et al. اثر یک مانع با ارتفاع‌های مختلف در شیب‌های متفاوت را روی کنترل جریان غلیظ برای دو نوع رژیم از جریان غلیظ زیر بحرانی و فوق بحرانی مورد مطالعه قرار داده رابطه‌ای برای این منظور ارائه دادند. بر اساس مطالعات Long (1970) ارتفاع مانع لازم برای مهار کامل جریان غلیظ باید به طور متوسط حدود دو برابر ارتفاع بدنه جریان غلیظ باشد. احداث همچین مانعی در بالادست سد علاوه بر مسائل اقتصادی منجر به تجمع رسوبات پشت آن شده که در صورت تخریب آن حجم زیادی از رسوبات وارد مخزن سد می‌شوند. لذا ارائه راهکاری به منظور کاهش دادن ارتفاع مانع ضروری می‌باشد. بر همین اساس در تحقیق حاضر از

زبری بر کنترل پیشانی جریان غلیظ رسوبی انجام دادند و به این نتیجه رسیدند که کارگذاری زبری در بالادست مانع می‌تواند ارتفاع آن را برای مهار جریان غلیظ کاهش دهد. دریایی و همکاران (۱۳۹۳b) به بررسی آزمایشگاهی اثر شیب و زبری کف روی سرعت پیشانی جریان غلیظ رسوبی انجام دادند و به این نتیجه رسیدند که کارگذاری زبری تا حدود ۲۰ درصد منجر به کاهش سرعت پیشانی جریان غلیظ رسوبی می‌شود. مطالعه‌ای توسط قربانی مقدم و قمشی (۱۳۹۴) درباره تاثیر موانع استوانه‌ای شکل و نحوه آرایش آنها روی خصوصیات جریان غلیظ نمکی انجام شد. نتایج این مطالعه نشان داد که وجود مانع‌ها منجر به کاهش سرعت و ارتفاع پیشانی جریان غلیظ می‌شود. زینی‌وند و همکاران (۱۳۹۵) بررسی آزمایشگاهی روی اثر تخلخل صفحات نفوذ پذیر بر کنترل جریان غلیظ مطالعاتی انجام دادند و با استفاده از این روش میزان راندمان مهار جریان غلیظ را در حدود ۷۳ درصد تعیین کردند. خلیلی و همکاران (۱۳۹۵) درباره تاثیر پوشش گیاهی روی سرعت پیشانی جریان غلیظ نمکی، مطالعات آزمایشگاهی انجام داده و به این نتیجه رسیدند که کارگذاری پوشش گیاهی در مقابل جریان غلیظ، سرعت پیشانی تا ۲۸ درصد کاهش می‌یابد. شکل عمومی پروفیل سرعت در شکل ۲ ارائه شده است. مشخصه‌های مهم موجود در پروفیل سرعت عبارتند از u_{max} : سرعت ماکزیمم، h_{max} : ارتفاع متناظر با سرعت ماکزیمم، $u(Z)$: سرعت در هر ارتفاع از کف و h_t : ارتفاعی که در آن سرعت صفر می‌شود. چرا 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 h_{max} (ناحیه دیواره) و قسمت دوم از h_{max} تا h_t (ناحیه جت) (Altinakar et al., 1996).

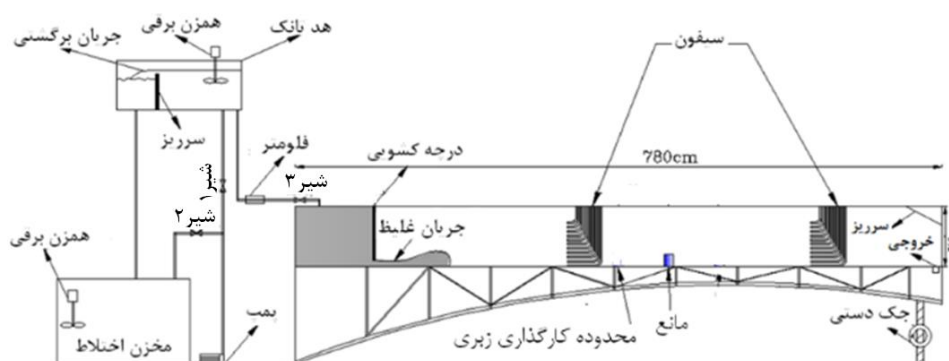
(2003) Morris and Alexander، مطالعاتی درباره اثر کارگذاری یک مانع گوه‌ای شکل با دیواره قائم در بالادست روی الگوی جریان غلیظ انجام داده به این نتیجه رسیدند که وجود یک مانع نسبتاً کوچک می‌تواند الگوی جریان و رسوب‌گذاری را تحت تاثیر قرار دهد. (2007) Oehy and

اختلاط تهیه و به وسیله‌ی پمپ به مخزن هد تانک جهت رسیدن به هد ثابت انتقال داده شد. بدین صورت که ابتدا شیر ۱ بسته و شیر ۲ باز نگه داشته می‌شد. با روشن شدن پمپ مخلوط آب و نمک به صورت گردشی در مخزن اختلاط، مخلوط می‌شد. همچنین به منظور اختلاط بهتر از یک همزن برقی نیز در این مخزن استفاده شد. پس از رسیدن سیال غلیظ به غلظت مورد نظر، شیر ۱ باز و شیر ۲ بسته می‌شد. بدین صورت مخلوط آب و نمک به هد تانک انتقال می‌یافت. فلوم مورد استفاده به وسیله‌ی یک دریچه کشویی به دو قسمت تقسیم می‌شد. سیال غلیظ تهیه شده به وسیله‌ی شیر ۳ با دبی ثابت که به وسیله‌ی دبی سنج الکترومغناطیس تنظیم می‌شد به قسمت بالادست دریچه منتقل می‌شد. هنگام انجام آزمایش دریچه به وسیله‌ی یک اهرم به مقدار مشخص باز شده و سیال غلیظ وارد آب زلال می‌شد.

مانعی با ارتفاعی برابر ارتفاع بدنه جریان غلیظ به همراه کارگذاری زبری در بالادست آن استفاده شد. با این فرض که زبری در بالادست مانع، بخشی از پیشانی جریان غلیظ را قبل از رسیدن به مانع مهار کرده در نتیجه برای کنترل مابقی جریان غلیظ نیاز به مانع با ارتفاع کمتری است. از طرفی آرایش و تراکم زبری در بالادست مانع، ممکن است تاثیر متفاوتی روی کنترل جریان غلیظ داشته باشد. بر همین اساس هدف اصلی از تحقیق حاضر بررسی تاثیر آرایش و تراکم زبری در بالادست مانع روی کنترل پیشانی جریان غلیظ می‌باشد.

۲- مواد و روش‌ها

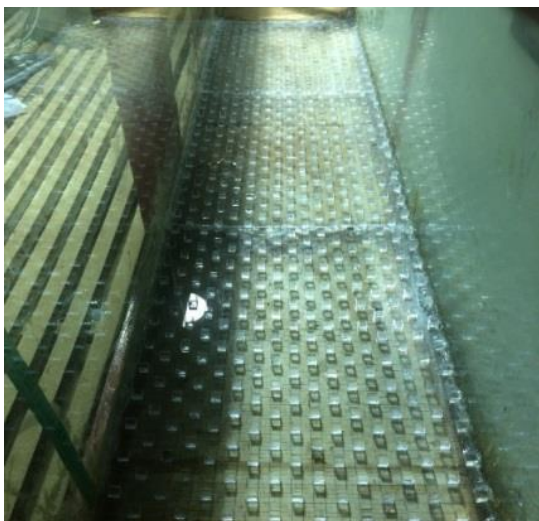
جهت انجام آزمایش‌ها از فلوم و تجهیزات نشان داده شده در شکل ۳ استفاده شد. روش کار به این صورت بود که ابتدا محلول آب و نمک با غلظت ۲۰ گرم بر لیتر در مخزن



شکل ۳ نمایی از مخزن و فلوم

می‌باشد. بر این مبنا ارتفاع ناحیه دیواره در حدود ۳ سانتیمتر تعیین شد که با توجه به انتخاب اندازه زبری (۱ سانتیمتر) همواره در ناحیه دیواره قرار می‌گیرد. جنس این بلوک‌ها از پلکسی گلاس انتخاب شد. برای چیدمان زبری‌ها از دو آرایش موازی و زیگزاگ استفاده گردید. تراکم‌های مورد استفاده در این تحقیق بر این اساس انتخاب شدند که اختلاف آنها به اندازه‌ای باشد تا بتوان تاثیر تغییرات تراکم زبری را روی پارامترهای مورد نظر به وضوح نشان داد. بر این مبنا و بر اساس ابعاد فلوم موجود سه تراکم ۱۰، ۳۰ و ۵۰ درصد مد نظر قرار گرفت.

در آزمایش‌ها به منظور ایجاد زبری از بلوک‌های مکعب شکل با ضلع ۱ سانتیمتر استفاده شد. ارتفاع زبری‌ها به نحوی انتخاب شد که همواره در ناحیه دیواره قرار گیرند. به دلیل اینکه آشفتگی جریان در ناحیه دیواره، تابع بستر است (Altinakar et al., 1996). برای این منظور پروفیل سرعت بدنه در حالت بیشترین شیب (۳/۵ درصد) در شرایط بدون زبری بستر و مانع که کمترین ارتفاع بدنه اتفاق می‌افتد با استفاده از دستگاه DOP2000 برداشت شد. این دستگاه قادر به برداشت ۱۵۰ پروفیل سرعت در مقطع و به صورت یک بعدی در زمان انجام آزمایش



شکل ۴ کارگذاری زبری با آرایش زیگزاگ و تراکم ۱۰ درصد

به منظور محاسبه شار پیشانی جریان غلیظ و میزان کنترل آن از روابط ۳ و ۴ استفاده شد.

$$Q_f = U_f \times H_f \times B \times C_f \quad (3)$$

$$\% \Delta Q_s = \frac{Q_b - Q_a}{Q_b} \times 100 \quad (4)$$

در این روابط Q_f : شار پیشانی جریان غلیظ $(\frac{gr}{s})$ ، B : عرض فلوم (cm) ، U_f : سرعت پیشانی جریان غلیظ $(\frac{cm}{s})$ ، C_f : متوسط غلظت حجمی پیشانی جریان غلیظ $(\frac{gr}{cm^3})$ ، $\% \Delta Q_s$: درصد کاهش شار پیشانی جریان غلیظ نمکی، Q_b : شار پیشانی جریان غلیظ قبل از کارگذاری زبری‌ها $(\frac{gr}{s})$ و Q_a : شار پیشانی جریان غلیظ بعد از کارگذاری زبری‌ها و مانع است. به منظور تعیین غلظت پیشانی از نمونه بردار سیفونی استفاده شد (شکل ۵). نحوه استفاده بدین صورت بود که انتهای هر کدام از لوله‌ها یک شیلنگ و در انتهای شیلنگ یک سرنگ قرار داشت. به محض رسیدن پیشانی، با استفاده از سرنگ نمونه برداری انجام می‌شد. نمونه برداری در دو نقطه از عمق در محل پیشانی جریان غلیظ (۲ و ۴ سانتیمتری از کف) انجام شده میانگین غلظت در آنها به عنوان غلظت پیشانی در آن نقطه لحاظ شد (دریائی و همکاران، ۱۳۹۳a).

همچنین یک حالت بدون زبری به عنوان شاهد در نظر گرفته شد. در شکل ۴ نمونه‌ای از کارگذاری زبری‌ها ارائه شده است. شیب‌های مورد نظر در این تحقیق بر این اساس انتخاب شدند که در تمام آزمایش‌ها جریان بر اساس عدد فرود دنسیمتریک (معادله (۲)) در حالت زیر بحرانی ($Fr_d < 1$) قرار داشته باشد.

$$Fr_d = \frac{U_f}{\sqrt{g' H_f \cos \theta}} \quad (2)$$

در این معادله θ : شیب کف، U_f : سرعت پیشانی و H_f : ارتفاع پیشانی می‌باشد. سرعت و ارتفاع پیشانی جریان غلیظ به وسیله‌ی فیلم‌برداری توسط دوربین دیجیتال تعیین شد. بدین صورت که روی شیشه و بدنه فلوم برچسب‌هایی در فواصل مشخص قرار داده شد. پس از مشاهده فیلم با استفاده از برچسب‌های موجود ارتفاع پیشانی تعیین شد. همچنین برای محاسبه سرعت پیشانی، زمان حرکت آن را در بین دو نقطه مشخص شده در فلوم تعیین شد و از تقسیم مسافت جا به جا شده به مدت زمان جا به جایی، سرعت آن به دست آمد. زبری‌ها در فاصله‌ی ۲/۵ متری از دریچه و به طول ۱/۵ متر کارگذاری شدند. دلیل کارگذاری زبری‌ها در این فاصله عدم تاثیر آشفتگی ناشی از باز شدن دریچه روی ساختار جریان غلیظ است. بخش اول آزمایش‌ها در خصوص تاثیر شیب، تراکم و آرایش زبری‌ها روی خصوصیات پیشانی جریان غلیظ بود. برای این قسمت با در نظر گرفتن آزمایش‌های شاهد تعداد ۲۸ آزمایش انجام شد. در بخش دوم آزمایش‌ها، تاثیر کارگذاری زبری با تراکم و آرایش‌های مختلف در شیب‌های متفاوت به همراه مانع روی کنترل جریان غلیظ مورد بررسی قرار گرفت. ارتفاع مانع برابر ارتفاع بدنه جریان غلیظ در نظر گرفته شد. دلیل این انتخاب بررسی تاثیر کارایی مانع با ارتفاع کمتر به همراه کارگذاری زبری با آرایش و تراکم متفاوت در بالادست آن روی کنترل پیشانی جریان غلیظ است. در همین راستا ارتفاع مانع با توجه به ارتفاع بدنه جریان غلیظ که از روی برچسب‌های موجود روی شیشه قرائت می‌شد، برابر ۵ سانتیمتر در نظر گرفته شد. این ارتفاع، متوسط ارتفاع بدنه برای شیب‌های مختلف در حالت بدون زبری است.

$$\% \Delta Q_s = f\left(\frac{U_f}{\sqrt{g' H_f \cos \theta}}, \beta, a, \frac{U_f H_f}{\vartheta}\right) \quad (7)$$

در این رابطه $Re_f = \frac{U_f H_f}{\vartheta}$ عدد رینولدز پیشانی جریان غلیظ و $Fr_d = \frac{U_f}{\sqrt{g' H_f \cos \theta}}$ (عدد فرود دنسیمیتریک) است. در تمام آزمایش‌ها $Re_f > 2000$ و $Fr_d < 1$ حاصل شد. بنابراین آزمایش‌ها در شرایط متلاطم و زیربحرانی قرار داشتند.

۳- نتایج و بحث

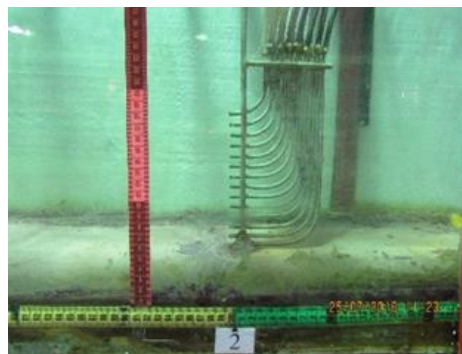
شکل ۶ تاثیر زبری‌ها بر روی حرکت پیشانی جریان غلیظ را به صورت کیفی نمایش می‌دهد. با توجه به این شکل تغییرات در ساختار پیشانی جریان غلیظ به دلیل آشفتگی ایجاد شده ناشی از کارگذاری زبری قابل مشاهده است.



(ب) بعد از رسیدن به زبری‌ها (الف) قبل از رسیدن به زبری‌ها

شکل ۶ تاثیر زبری‌ها بر روی پیشانی جریان غلیظ

شکل‌های ۷ و ۸ تاثیر آرایش و تراکم زبری در شیب‌های مختلف روی سرعت و ارتفاع پیشانی جریان غلیظ در حالت بدون مانع را نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که با قرار دادن زبری در مسیر جریان غلیظ از سرعت پیشانی کاسته شده و ارتفاع پیشانی افزایش می‌یابد. دلیل این پدیده این است که وجود زبری باعث ایجاد جریان‌های برگشتی و تلاطم در اثر برخورد جریان غلیظ شده این پدیده باعث افزایش اختلاط با سیال پیرامون، رقیق‌تر شدن جریان غلیظ، کمتر شدن اختلاف غلظت سیال غلیظ با سیال پیرامون و در نتیجه کاهش سرعت جریان غلیظ می‌شود. همچنین افزایش اختلاط و کم شدن اختلاف غلظت جریان غلیظ با سیال پیرامون باعث فاصله گرفتن سیال غلیظ از بستر و در نتیجه افزایش ارتفاع پیشانی جریان غلیظ می‌شود (Varjavand et al., 2015). با افزایش تراکم زبری از ۰ تا ۳۰ درصد در هر دو آرایش



شکل ۵ نمونه‌گیر سیفونی مورد استفاده

سپس میزان EC نمونه‌های به دست آمده با استفاده از دستگاه EC سنج اندازه‌گیری و با استفاده از رابطه (۵) میزان غلظت هر نمونه تعیین گردید. رابطه ۵ از کالیبره کردن EC سنج با اندازه‌گیری EC غلظت‌های مشخص از محلول آب و نمک در آزمایشگاه به دست آمد. بدین صورت که غلظت‌های مشخص از محلول آب و نمک، تهیه و EC آنها اندازه‌گیری شده و بر اساس اطلاعات حاصل این رابطه ارائه گردید. هدف از این کار تبدیل EC‌های اندازه‌گیری شده در حین آزمایش‌ها به غلظت بود.

$$C(\text{gr/lit}) = (0.0009EC^2) + (0.51EC) - 0.8862 \quad R^2 = 0.98 \quad (5)$$

در این رابطه EC هدایت هیدرولیکی بر حسب میکروموس بر سانتی‌متر می‌باشد.

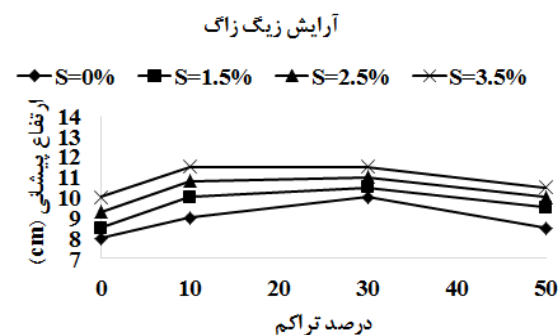
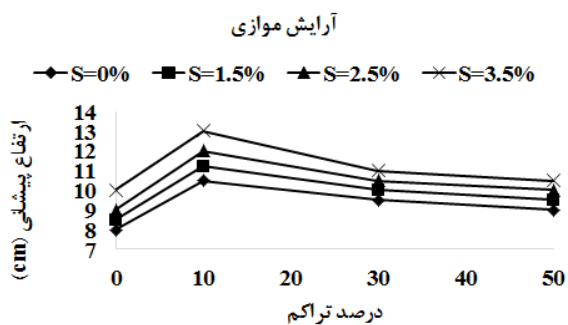
۲-۱- آنالیز ابعادی

پارامترهای موثر در تحقیق حاضر مطابق رابطه (۶) می‌باشد.

$$f\left(g, \rho_t, \rho_a, H_f, U_f, \vartheta, \theta, C_f, h_o, L_R, B, K_S, \beta, a, Q_f, Q_a, Q_b\right) = 0 \quad (6)$$

در این رابطه h_o : ارتفاع مانع، ϑ : لزجت سینماتیکی سیال غلیظ، L_R : طول کارگذاری زبری، K_S : ارتفاع زبری، β : آرایش زبری و a : تراکم زبری است. سایر پارامترها در قسمت‌های قبل معرفی شده‌اند. مقدار Q_f, h_o, L_R, B و K_S در طول آزمایش‌ها ثابت بوده، بنابراین از آنها صرف‌نظر شده است. با در نظر گرفتن ρ_t, U_f و H_f به عنوان متغیرهای تکراری و انجام آنالیز ابعادی به روش π باکینگهام پارامترهای بی بعد مطابق رابطه (۷) ارائه شد.

بیشتر مشاهده می‌شود. به عبارت دیگر می‌توان این گونه بیان کرد که بیشترین تاثیر زبری روی ارتفاع پیشانی در حالت موازی، در کمترین تراکم آن اتفاق می‌افتد.



شکل ۸ روند تغییرات ارتفاع پیشانی جریان غلیظ در آرایش زبری موازی و زیگزاگ برای شیب‌های مختلف کف در حالت بدون مانع

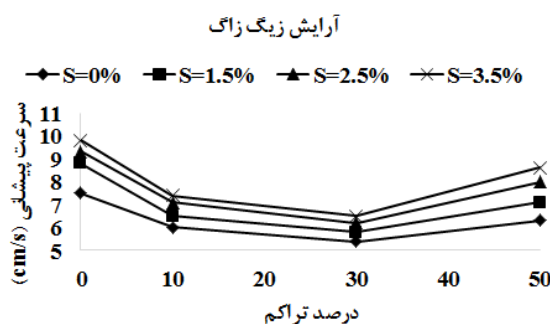
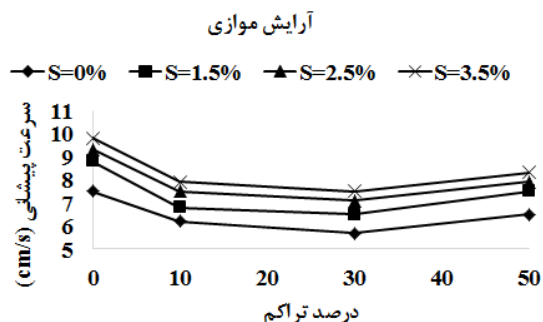
به منظور مشاهده نتایج کمی درصد تغییرات سرعت و ارتفاع پیشانی در شرایط مختلف آزمایش، جدول (۱) ارائه شده است. اعداد این جدول نسبت به حالت شیب صفر درصد و بدون زبری (حالت شاهد) محاسبه شده است. اعداد مثبت درون جدول بیانگر افزایش و اعداد منفی بیانگر کاهش می‌باشند. به عنوان مثال در تراکم ۳۰ درصد برای آرایش زیگزاگ و در شیب ۱/۵ درصد میزان سرعت و ارتفاع پیشانی نسبت به حالت شاهد به ترتیب ۲۳ درصد کاهش و ۳۱ درصد افزایش یافته است.

۳-۱- کنترل پیشانی جریان غلیظ

الف- بدون کارگذاری مانع

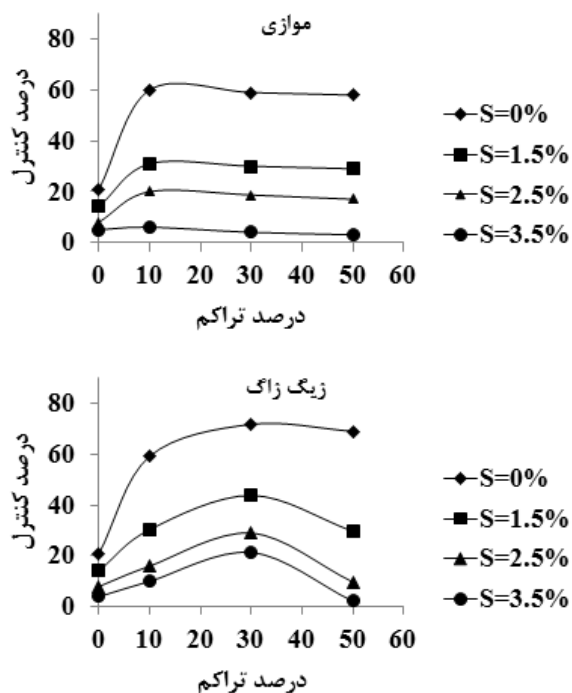
تغییرات حاصل از تاثیر تراکم و آرایش زبری در حالت بدون مانع روی کنترل پیشانی جریان غلیظ در شکل ۹ نشان داده شده است. در خصوص کنترل پیشانی جریان

موازی و زیگزاگ سرعت پیشانی کاهش و از تراکم ۳۰ درصد به بعد سرعت پیشانی افزایش می‌یابد. دلیل این پدیده را می‌توان اینگونه توجیه نمود که از تراکم ۳۰ درصد به بالا کف به حالت سطح صاف میل کرده و سرعت پیشانی به دلیل آشفتگی کمتر ناشی از این سطح روند افزایشی خواهد داشت.



شکل ۷ روند تغییرات سرعت پیشانی جریان غلیظ در آرایش زبری موازی و زیگزاگ برای شیب‌های مختلف کف در حالت بدون مانع

در خصوص تغییرات ارتفاع پیشانی همانطور که در شکل ۹ مشاهده می‌شود، در حالت موازی با افزایش تراکم از ۰ تا ۱۰ درصد ارتفاع پیشانی افزایش و پس از آن روندی نسبتاً کاهشی به خود می‌گیرد. حال آنکه در حالت زیگزاگ با افزایش تراکم از ۰ تا ۳۰ درصد ارتفاع پیشانی افزایش پیدا کرده و پس از آن روند کاهشی آغاز می‌شود. دلیل این پدیده را می‌توان این گونه توجیه کرد که در حالت زیگزاگ آشفتگی ایجاد شده در جریان نسبت به حالت موازی بیشتر است. در نتیجه پدیده‌ی درون آمیختگی سیال پیرامون و به دنبال آن افزایش ارتفاع پیشانی در این حالت بیشتر می‌باشد (Kashefipour 2017). لذا با افزایش تراکم در حالت زیگزاگ تغییرات



شکل ۹ بررسی تاثیر تراکم و آرایش زبری روی کنترل پیشانی جریان غلیظ در حالت بدون مانع.

رسوبات را نیز به همراه داشته که این خود منجر به کاهش بیشتر غلظت و سرعت جریان غلیظ رسوبی گشته، در نتیجه میزان مهار جریان غلیظ در حالت جریان غلیظ رسوبی نسبت به جریان غلیظ نمکی با کارگذاری زبری بیشتر خواهد بود. همچنین با توجه به شکل ۱۰ میزان مهار جریان غلیظ با افزایش شیب کاهش می یابد. دلیل این پدیده را می توان این گونه عنوان نمود که در شیب های بیشتر سرعت جریان غلیظ افزایش یافته، لذا زمان کمتری برای دخول سیال پیرامون و کاهش غلظت جریان غلیظ وجود دارد.

ب- با کارگذاری مانع

نتایج حاصل از تاثیر کارگذاری مانع به همراه زبری با آرایش و تراکم مختلف روی کنترل پیشانی جریان غلیظ در شکل ۱۰ ارائه شده است. همانطور که مشاهده می شود، کارگذاری مانع در تمامی حالات میزان کنترل پیشانی جریان غلیظ را افزایش داده است. به عنوان مثال در حالت زیگزاگ برای شیب صفر درصد و برای افزایش تراکم تا ۳۰ درصد، درصد کنترل شار پیشانی جریان غلیظ به همراه مانع به میزان تقریبی

جدول ۱ تغییرات مقادیر سرعت و ارتفاع پیشانی جریان غلیظ نسبت به حالت شاهد (بدون زبری و شیب صفر درصد) در حالت بدون مانع

	آرایش موازی		آرایش زیگزاگ		
	U_f	H_f	U_f	H_f	
بدون زبری	$S = 0\%$	-	-	-	
	$S = 1.5\%$	۱۷	۶	۱۷	۶
	$S = 2.5\%$	۲۴	۱۳	۲۴	۱۶
	$S = 3.5\%$	۳۱	۲۵	۳۱	۲۵
$\alpha = 10\%$	$S = 0\%$	-۱۷	۳۱	-۲۰	۱۳
	$S = 1.5\%$	-۹	۴۰	-۱۳	۲۵
	$S = 2.5\%$	۰	۵۰	-۵	۳۵
	$S = 3.5\%$	۵	۶۳	-۱	۴۲
$\alpha = 30\%$	$S = 0\%$	-۲۴	۱۹	-۲۸	۲۵
	$S = 1.5\%$	-۱۳	۲۵	-۲۳	۳۱
	$S = 2.5\%$	-۵	۳۱	-۱۷	۳۸
	$S = 3.5\%$	۰	۳۸	-۱۳	۴۴
$\alpha = 50\%$	$S = 0\%$	-۱۳	۱۳	-۱۶	۶
	$S = 1.5\%$	۰	۱۹	-۵	۱۹
	$S = 2.5\%$	۵	۲۵	۷	۲۵
	$S = 3.5\%$	۱۱	۳۱	۱۵	۳۱

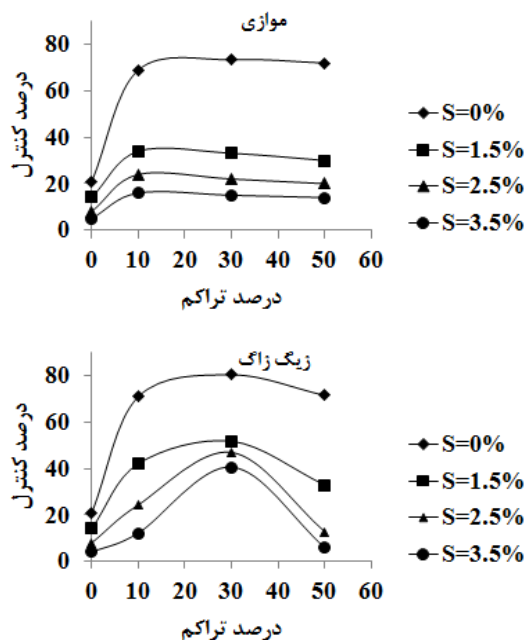
غلیظ در حالت موازی با افزایش تراکم زبری از صفر درصد تا ۱۰ درصد و در حالت زیگزاگ با افزایش تراکم زبری از صفر درصد تا ۳۰ درصد، میزان کنترل جریان غلیظ افزایش و پس از آن روندی ثابت و یا کاهشی به خود می گیرد.

به عنوان مثال در حالت زیگزاگ برای شیب صفر درصد برای افزایش تراکم تا ۳۰ درصد، درصد کنترل پیشانی جریان غلیظ نسبت به حالت شاهد به میزان تقریبی ۱۸۷ درصد افزایش پیدا کرده است. با توجه به تاثیر سرعت، غلظت و ارتفاع پیشانی در محاسبه شار پیشانی جریان غلیظ (رابطه ۳)، می توان این پدیده را نیز با دلایل مشابه عنوان شده در قسمت قبل توجیه کرد. لازم به ذکر است در طبیعت، جریان غلیظ عمدتاً به صورت رسوبی است. در نتیجه علاوه بر دلایل مذکور، کاهش سرعت ایجاد شده در جریان غلیظ رسوبی توسط زبری ها، ته نشین شدن

جدول ۲ درصد تغییرات کنترل پیشانی جریان غلیظ نسبت به حالت شاهد بدون کارگذاری زبری و مانع با شیب صفر درصد

حالت زیگزاگ با تراکم زبری ۳۰ درصد				
شیب (درصد)	۰	۱/۵	۲/۵	۳/۵
بدون مانع	+۱۸۷	+۸۷	+۶۸	+۴۴
با مانع	+۲۸۵	+۱۴۸	+۱۲۵	+۹۵
درصد تغییرات	+۹۸	+۶۱	+۵۸	+۵۱
حالت موازی با تراکم زبری ۱۰ درصد				
شیب (درصد)	۰	۱/۵	۲/۵	۳/۵
بدون مانع	+۱۸۷	+۴۸	-۵	-۵۶
با مانع	+۲۳۰	+۸۲	+۲۰	-۳۸
درصد تغییرات	+۴۳	+۳۴	+۲۵	+۱۹

مانع به میزان ۴۳ درصد کنترل را افزایش داده و میزان کنترل را به ۲۳۰ درصد افزایش داده است. همانطور که در شیب صفر درصد اتفاق می‌افتد. همچنین با افزایش شیب، تاثیر مانع در کنترل پیشانی جریان غلیظ کاهش می‌یابد. به این دلیل که با افزایش شیب سرعت پیشانی افزایش یافته و میزان بیشتری از جریان غلیظ از روی مانع عبور خواهد کرد. دریائی و همکاران (۱۳۹۳a) میزان کنترل پیشانی جریان غلیظ رسوبی را با کارگذاری زبری در دوطرف مانع در حدود ۱۰۰ درصد تعیین کردند. در تحقیق حاضر بیشترین میزان کنترل پیشانی جریان غلیظ حدود ۸۱ درصد و مربوط به حالت تراکم زبری ۳۰ درصد و آرایش زیگزاگ می‌باشد. دلیل این اختلاف را می‌توان اینگونه توجیه کرد که در میزان کنترل جریان غلیظ رسوبی علاوه بر دلایل عنوان شده در قسمت های قبل، مسئله نشست رسوبات نیز دخیل است. اصغری‌پری و محققان (۱۳۹۳) با استفاده از مدل عددی نشان دادند که با حفر گودال با شکل‌های مختلف در مسیر جریان غلیظ می‌توان در حالت زیربحرانی تا حدود ۸۴ درصد جریان غلیظ را کنترل کرد که تقریباً با نتایج حاصل از تحقیق حاضر مشابه است. تاثیر میزان کنترل پیشانی جریان غلیظ نمکی در مطالعات زینی‌وند و همکاران (۱۳۹۵) با استفاده از صفحات مشبک در حدود ۷۳ درصد تعیین شد که در مقایسه با نتایج حاصل از تحقیق حاضر



شکل ۱۰ بررسی تاثیر تراکم و آرایش زبری روی کنترل پیشانی جریان غلیظ در حالت با مانع.

۲۸۵ درصد افزایش پیدا کرده که نسبت به حالت بدون مانع در شرایط مشابه ۹۸ درصد افزایش پیدا کرده است. دلیل این پدیده پخش شدن جریان غلیظ پس از برخورد با مانع بوده که منجر به دخول هر چه بیشتر سیال پیرامون به درون پیشانی جریان غلیظ و رقیق تر شدن آن می‌شود. علاوه بر آن پس از برخورد جریان غلیظ با مانع، جریان برگشتی نیز به وقوع پیوسته که خود این پدیده نیز تا حد زیادی منجر به مهار پیشانی جریان غلیظ می‌شود. همانطور که عنوان شد بیشترین تاثیر مانع در شیب‌های مورد نظر برای آرایش زیگزاگ در تراکم ۳۰ درصد و برای آرایش موازی در تراکم ۱۰ درصد می‌باشد. لذا در جدول ۲ میزان تغییرات درصد کنترل پیشانی جریان غلیظ نسبت به حالت شاهد (بدون کارگذاری زبری و مانع با شیب صفر درصد) برای حالت زیگزاگ در تراکم ۳۰ درصد و برای آرایش موازی در تراکم ۱۰ درصد در حالت بدون مانع و با مانع در شیب‌های مختلف ارائه شده است. به عنوان مثال در شیب صفر درصد برای حالت موازی در تراکم ۱۰ درصد، میزان کنترل با کارگذاری زبری در حالت بدون مانع نسبت به حالت شاهد به میزان ۱۸۷ درصد افزایش پیدا کرده است. در همین حالت، کارگذاری

کارگذاری زبری کرد. می‌توان از شمع‌کوبی در بالادست مانع به صورت زیگزاگ به عنوان زبری استفاده کرد. ارتفاع مانع و زبری را نیز می‌توان با استفاده از اطلاعات موجود از جریان غلیظ که در مخازن سدهای دیگر با شرایط مشابه اتفاق افتاده به صورت تقریبی برآورد کرد.

۵- فهرست علائم

g	شتاب ثقل
g'	شتاب ثقل کاهش یافته ثقل
ρ_t	دانسیته سیال غلیظ
ρ_a	دانسیته سیال پیرامون
Fr_d	فرد دینسمتریک
U_f	سرعت پیشانی
H_f	ارتفاع پیشانی
θ	زاویه شیب کف
C_f	متوسط غلظت پیشانی جریان غلیظ
Q_f	شار پیشانی جریان غلیظ
B	عرض فلوم
ϑ	لزجت سینماتیکی سیال غلیظ
Re_f	عدد رینولدز پیشانی جریان غلیظ
EC	ضریب هدایت هیدرولیکی
h_o	ارتفاع مانع
L_R	طول کارگذاری زبری
K_S	ارتفاع زبری
β	آرایش زبری
a	تراکم زبری
Q_a	شار پیشانی جریان غلیظ بعد از مانع
Q_b	شار پیشانی جریان غلیظ قبل از زبری
$\% \Delta Q_s$	درصد کنترل پیشانی جریان غلیظ

۶- مراجع

اصغری پری، س.ا. محققیان، س.م. (۱۳۹۳). " بررسی عددی تأثیر ایجاد گودالهای حفاظتی در بستر بر مهار کردن جریان غلیظ"، مجله مهندسی منابع آب، دوره ۷، شماره ۲۳، ۱-۱۲.

تاثیر نسبتاً کمتری روی کنترل پیشانی جریان غلیظ دارد. اصغری پری و محققیان (۱۳۹۴) با استفاده از مدلسازی عددی کارگذاری موانع ستونی با ارتفاع ۰/۵۲ برابر بدنه جریان غلیظ و با آرایش زیگزاگ حدود ۶۰ درصد از جریان غلیظ رسوبی را مهار کردند که این روش نیز تاثیر کمتری نسبت به روش استفاده شده در تحقیق حاضر دارد. کردنائیج و همکاران (۱۳۹۶) با استفاده از پلکان نفوذپذیر با ارتفاع ۱/۱۷ برابر پیشانی جریان غلیظ، میزان درصد کنترل جریان غلیظ را برابر ۸۵ درصد تعیین نمود. البته خاطر نشان می‌شود تفاوت در نتایج تا حدی ممکن است مربوط به شرایط آزمایش و مواد به کار رفته در تهیه جریان غلیظ باشد.

۴- نتیجه‌گیری

همانطور که گفته شد هدف از تحقیق حاضر بررسی تاثیر آرایش و تراکم زبری در بالادست مانع روی کنترل پیشانی جریان غلیظ است. بر این اساس دو سری آزمایش در حالت کارگذاری زبری بدون مانع و به همراه مانع انجام شدند. نتایج حاصل نشان داد که در هر دو آرایش زیگزاگ و موازی با افزایش تراکم تا ۱۰ درصد برای شیب‌ها سرعت پیشانی کاهش یافت. همچنین برای آرایش زیگزاگ با افزایش تراکم تا ۳۰ درصد و برای آرایش موازی با افزایش تراکم تا ۱۰ درصد ارتفاع پیشانی افزایش یافت. بیشترین تاثیر کارگذاری زبری به تنهایی در کنترل پیشانی جریان غلیظ برای حالت زیگزاگ در تراکم ۳۰ درصد با مقدار متوسط ۹۷ درصد و در حالت موازی با تراکم ۱۰ درصد با مقدار متوسط ۴۴ درصد برای شیب‌های مورد نظر حاصل شده که نشان دهنده تاثیر بیشتر آرایش زیگزاگ نسبت به موازی در کنترل پیشانی جریان غلیظ می‌باشد. کارگذاری مانع به همراه زبری تاثیر بسزایی در افزایش مهار پیشانی جریان غلیظ داشته که مقدار آن برای حالت زیگزاگ در تراکم ۳۰ درصد با مقدار متوسط ۶۷ درصد و در حالت موازی با تراکم ۱۰ درصد با مقدار متوسط ۳۱ درصد برای شیب‌های مورد نظر حاصل شد. به منظور استفاده از روش ارائه شده در مقاله حاضر جهت مهار پیشانی جریان غلیظ می‌توان قبل از آگیری سد در بالادست آن اقدام به احداث یک مانع به همراه

استوانه‌ای شکل"، مجله پژوهش آب ایران، دوره ۹، شماره ۳، ۱۱۱-۱۲۰.

Altinakar, M.S. Graf, W.H. and Hopfinger, E.J., (1996). "Flow structure in turbidity currents". *Journal of Hydraulic Research*, 34 (5): 713-718.

Asghari Pari, S.A. Kashefipour, S.M. and Ghomeshi, M., (2017). "An experimental study to determine the obstacle height required for the control of subcritical and supercritical gravity currents". *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, 21(9): 1080-1092.

Ho, HC. Lin, YT. (2015). "Gravity currents over a rigid and emergent vegetated slope", *Advances in Water Resources*, 76: 72-80.

Kashefipour, S.M. Daryaei, M. and Ghomeshi, M., (2017). "Effect of bed roughness on velocity profile and water entrainment in a sedimentary density current". *Canadian Journal of Civil Engineering*, 45(1): 9-17.

Long, RR. (1970). "Blocking effects in flow over obstacles", *Tellus* 22: 471-480.

Morris, SA. Alexander, J. (2003). "Changes in flow direction at a point caused by obstacles during passage of a density current", *Journal of Sedimentary Research*, 73: 621-629.

Oehy, CD. Schleiss, AJ. (2007). "Control of turbidity currents in reservoirs by solid and permeable obstacles", *Journal of Hydraulic Engineering*, 133 (6): 637-648.

Oehy, CD. De Cesare, G. Schleiss, AJ. (2010). "Effect of inclined screen on turbidity current", *Journal of Hydraulic Research*, 48 (1): 81-90.

Varjavand, P. Ghomeshi, M. Dalir, AH. Farsadizadeh, D. Gorgij, AD. (2015). "Experimental observation of saline underflows and turbidity currents, flowing over rough beds", *Canadian Journal of Civil Engineering*, 42 (11): 834-844.

اصغری پری، س.ا. محققیان، س.م. (۱۳۹۴). "بررسی عددی اثر استفاده از مانع صفحه‌ای و موانع ستونی مورب در کنترل جریان غلیظ"، نشریه آبیاری و زهکشی ایران، دوره ۹، شماره ۲، ۳۵۷-۳۶۶.

دریائی، م. کاشفی پور، س. م. قمشی، م. (۱۳۹۳a). "بررسی اثر مانع و زبری در کنترل جریان غلیظ رسوبی"، نشریه دانش آب و خاک، دوره ۲۴، شماره ۴، ۹-۱.

دریائی، م. کاشفی پور، س. م. قمشی، م. (۱۳۹۳b). "بررسی آزمایشگاهی اثر شیب و زبری کف بر روی سرعت پیشانی و بدنه جریان غلیظ رسوبی"، نشریه علوم و مهندسی آبیاری دانش آب و خاک، دوره ۳۷، شماره ۳، ۲۱-۳۱.

زینی‌وند، م. کاشفی پور، س. م. قمشی، م. (۱۳۹۵). "بررسی آزمایشگاهی اثر تخلخل صفحات نفوذ پذیر بر کنترل جریان غلیظ"، نشریه علوم و مهندسی آبیاری، دوره ۴۰، شماره ۱، ۱۳-۲۴.

خلیلی، آ. اکبرپور، ا.، خزیمه نژاد، ح.، ورجاوند، پ. (۱۳۹۵) "مطالعه آزمایشگاهی سرعت پیشانی جریان غلیظ نمکی تحت تاثیر پوشش گیاهی"، نشریه علوم و مهندسی آبیاری، دوره ۳۹، شماره ۱، ۱۵۵-۱۶۶.

کردنائیج، م. اصغری پری، س.ا. سجادی، س.م. شفافی بجزستان، م. (۱۳۹۶) "مقایسه آزمایشگاهی اثر مانع متخلخل و مانع پلکانی متخلخل در کنترل جریان غلیظ"، مجله علوم و فنون دریایی، دوره ۱۶، شماره ۴، ۸۶-۹۶.

قربانی مقدم، ع.ا. قمشی، م. (۱۳۹۴). "بررسی آزمایشگاهی کنترل جریان غلیظ نمکی به کمک مانع‌های

Investigating the Effects of the Density and Pattern of Roughness Blocks with Obstacle on the Control of Density Current Head

Soleyman Khosropour¹, Seyed Mahmood Kashefipour² and Mehdi Daryaei^{3*}

1- M.Sc. Student, Faculty of Water Sciences Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.

2- Professor, Faculty of Water Sciences Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.

3- Assistant Professor, Faculty of Water Sciences Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

*m.daryaei@scu.ac.ir

Abstract

The present paper investigates the simultaneous effects of the density and pattern of bed roughness with obstacle on the control of a dense current head. The measurements were conducted in a flume (length 720 cm, width 35 cm, and height 70 cm) using two roughness patterns (parallel and zigzag), and with four roughness densities (0%, 10%, 30%, and 50%). In all the tests series, the dense fluid was assumed to be of the salt type with a density of 20 g/lit. Two series of tests were performed using rough surfaces with and without obstacle. In total, 56 tests were conducted. The results showed that in all of the tests with slope, for the zigzag pattern, the highest control for the head of the dense current occurred at a density of 30%; while this density value was 10% for the parallel pattern. Moreover, using an obstacle in addition to roughness increased the control of the density current head. The mean control percentage in the tested slopes was 97% for the zigzag pattern at a density of 30% compared to the mode without roughness and with a zero percent slope. However this mean control percentage increased to 163% by implementing an obstacle. Furthermore, in the parallel pattern with a density of 10%, the mean control percentage for the modes without and with an obstacle were respectively 44% and 74%.

Keywords: Density current, Bed slope, Roughness pattern, Roughness density, Control percentage.