

## بررسی آزمایشگاهی تأثیر نوع چیدمان موانع استوانه ای شکل بر سرعت و ضخامت بدنه جریان غلیظ نمکی

علی اکبر قربان مقدم<sup>۱\*</sup> و مهدی قمشی<sup>۲</sup>

۱- نویسنده مسئول، دانش آموخته کارشناسی ارشد سازه های آبی، دانشگاه شهید چمران اهواز

۲- استاد سازه های آبی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز

تاریخ پذیرش: ۹۳/۳/۲۶

تاریخ دریافت: ۹۱/۱۲/۱۷

### چکیده

جریان های غلیظ از جمله عوامل مهم در انتقال رسوبات به مصب دریاها و مخازن سدها می باشند. یکی از روش های کاهش و یا حذف اثر این جریان ها استفاده از مانع در مسیر آن ها می باشد. مانع می تواند بخشی از مسیر و یا تمام مسیر حرکت جریان غلیظ را مسدود نماید و در نتیجه رسوبات در مناطق دورتری نسبت به تأسیسات مهمی مانند آبگیر سدها ته نشین گردند. در این تحقیق، تأثیر موانع و همچنین نوع چیدمان موانع استوانه ای شکل بر بدنه جریان غلیظ به صورت آزمایشگاهی مورد مطالعه قرار گرفته است. موانع استوانه ای شکل با قطر و ارتفاع ثابت، با آرایش زیگزاکی روی بستر قرار داده شدند. آرایش زیگزاکی موانع در طول آزمایش-ها حفظ شده و فقط فاصله عرضی و طولی موانع از همدیگر جا به جا شده که منجر به ایجاد دو بستر با تراکم موانع یکسان و چیدمانی متفاوت شده است. نتایج نشان داد شدت اختلاط در بستر مانع دار نسبت به بستر بدون مانع افزایش داشته است، همچنین سرعت و ارتفاع راس جریان غلیظ در بستر مانع دار در حدود  $40\%$  درصد افت داشته است.

کلید واژه ها: جریان غلیظ، بدنه جریان، موانع استوانه ای شکل، چیدمان موانع.

## Experimental Study on The Arrangement Effect of Cylindrical Obstacles on Saline Density Current body

A. Ghorban Moghadam<sup>1\*</sup> and M. Ghomeshi<sup>2</sup>

1\* - Msc Student in Hydraulic Structures Department of Shahid Chamran University, Ahvaz, Iran

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

Received: 7 March 2013

Accepted: 16 June 2014

### Abstract

Density currents occur when fluid of one density propagates into a fluid of different density. These currents are the main cause for sediment transport in dam reservoirs and estuaries. The negative effects of density currents can be minimized using obstacles. The obstacles can totally or partially block density currents and thus sedimentation will occur far from the dams. In this paper, the effect of cylindrical obstacles and their arrangement on density current body is experimentally studied. Obstacles with constant diameter and height were glued on the bed in staggered form. The staggered form were constant during all the experiments, but transverse longitudinal distances between obstacles were variable. It caused two beds with different arrangement of obstacles. The results indicated that rate of mixing in bed with obstacles is greater than bed without obstacles. So velocity and height of head in bed with obstacles decrease about 40 percent.

**Keywords:** Density current, flow Body, Cylindrical obstacles, Obstacles arrangement.

## مقدمه

جریان غلیظ مورد آزمایش در این تحقیق را می توان ورود یک سیال با جرم مخصوص بیشتر به یک توده سیال نسبتاً ساکن با جرم مخصوص کمتر دانست. اختلاف در جرم مخصوص ممکن است ناشی از مواد معلق، مواد محلول، دما و یا ترکیبی از آنها باشد. از آنجایی که عملاً اختلاف در وزن مخصوص و یا در واقع تأثیر شناوری بر شتاب ثقل مؤثر باعث ایجاد این گونه جریان ها می شود، به این جریان ها جریان های ثقلی هم می گویند. در دریاچه ها و مخازن، ورود جریان های غلیظ فعالیت های بیولوژیکی را تحت تأثیر قرار می دهند و باعث رسوبگذاری در پشت دیواره سد می شوند که مشکلات عدیده ای را برای آبگیرها و دریچه های انتقال آب نیروگاه و ... به وجود می آورند. در اقیانوس ها جریان های غلیظ تأثیر به سزایی در توزیع رسوبات روی کف اقیانوس و شکل گیری توپوگرافی کف آنها دارد. در دریاها نیز ذرات با اندازه سیلت و رس به صورت بار معلق توسط رودخانه و به کمک جریان های غلیظ به ناحیه زیرین دریاها منتقل می شود و فعالیت بیولوژیکی را تحت تأثیر قرار می دهد. در شکل (۱)، حرکت جریان غلیظ یک بعدی با چگالی  $\rho_d = \rho_1$  با سرعت متوسط  $U$  در جهت  $X$  روی یک سطح شیب دار با زاویه  $\theta$  در زیر یک توده سیال ساکن عمیق تر با چگالی  $\rho_a = \rho_2$  نشان می دهد.

جریان غلیظ گرچه دارای شباهت هایی با جریان در مجاری روباز می باشد ولی با آن تفاوت اساسی دارد و این تفاوت از آنجا ناشی می شود که سیال اطراف تأثیر کاهنده ای روی نیروی ثقل دارد. شتاب ثقل مؤثر به صورت رابطه (۱) محاسبه می شود:

$$g' = g(\rho_1 - \rho_2) / \rho_2 \quad (1)$$

که  $g$ : شتاب ثقل و  $g'$ : شتاب ثقل کاهش یافته (مؤثر) می باشد. سکورس و همکاران<sup>(۱)</sup> (۲۰۱۰) به بررسی اثر اختلاط سیال پیرامون و زبری کف بر پروفیل های سرعت و غلظت پرداختند. نتایج آزمایش های آنها نشان می دهد، هنگامی که نرخ ورود سیال پیرامون به درون جریان غلیظ کم باشد (جریان زیر بحرانی)، پروفیل بدون بعد سرعت و غلظت در ناحیه بالای نقطه اوج در پروفیل سرعت حالتی ملایم دارند و این حالت زمانی که شدت اختلاط زیاد باشد (جریان فوق بحرانی) پروفیل های بدون بعد تغییرات سریعی خواهند داشت. حالت ایجاد شده در جریان فوق بحرانی ناشی از انتشار و پراکندگی و به عبارتی درهم شکستگی سطح بینایی به دلیل اختلاط زیاد می باشد. همچنین آنها نشان دادند که هرچه شدت اختلاط بیشتر شود، نقطه اوج پروفیل سرعت به کف نزدیک تر می شود، و از طرفی هر چه زبری با تنش برشی در کف افزایش یابد نقطه اوج پروفیل سرعت بالاتر رفته و پروفیل غلظت در ناحیه پایینی نقطه اوج همو نیزه تر می گردد.

اوهی و شلیس<sup>(۲)</sup> (۲۰۰۷) در بررسی آزمایشگاهی تأثیر موانع نفوذ پذیر و نفوذ ناپذیر نشان دادند که راندمان تله اندازی در موانع نفوذ ناپذیر چشمگیر می باشد و ارتفاع بهینه برای این موانع باید حداقل دو برابر ضخامت بدنه جریان غلیظ باشد. حالت بهینه موانع نفوذ پذیر برای تخلخل های ۳۶ تا ۴۱ درصد معرفی شد.

تینولیو و همکاران<sup>(۳)</sup> (۲۰۰۶) به بررسی راندمان تله اندازی رسوب در مخازن سدها پرداختند. آنها همچنین پروفیل غلظت قبل از مانع را در زمان های مختلف برداشت کردند و به این نتیجه رسیدند که به ازای دبی و غلظت ثابت ورودی، این پروفیل در طی زمان تغییر محسوسی ندارد. آنها با شبیه سازی عددی نیز نشان دادند که در اثر مرور زمان راندمان تله اندازی مانع کم می شود و رسوبات بیشتری اجازه عبور از مانع را پیدا می کنند.

اصغری پری (۱۳۸۸) با بررسی آزمایشگاهی جریان نمکی به بررسی ارتفاعی از مانع که باعث کنترل جریان غلیظ در شرایط مختلف ورودی (دبی، غلظت و شیب) شود، پرداخت. نتایج نشان داد که با افزایش شیب بستر، اثر مانع در توقف جریان غلیظ کاهش می یابد.

لمب و همکاران<sup>(۴)</sup> (۲۰۰۶) چند آزمایش را بر روی راندمان تله اندازی رسوبات توسط مدل فیزیکی یک حوضچه انجام دادند. آنها مشاهده کردند موقعی که جریان رسوبی به مانع می رسد مقداری از آن به علت داشتن مومنتم کافی از روی مانع عبور می کند و این در حالی است که بقیه به صورت یک موج متحرک به بالا منعکس می شود. در برخی مواقع این موج به دریچه می رسد و در برخی موارد موج بعد از طی فاصله ای به بالادست، در یک نقطه به موج ایستاده تبدیل می شود. آزمایش ها دارای غلظت اولیه پنج درصد بود. بعد از اینکه جریان دائمی می شد اقدام به نمونه گیری غلظت قبل و بعد از مانع و در فواصل مختلف زمانی می شد. ایشان بعد از تحلیل نمونه های به دست آمده به این نتیجه رسیدند که تغییرات زمانی غلظت جریان عبوری بعد از اینکه جریان دائمی شد، قابل ملاحظه نیست و همچنین دانه بندی رسوبات عبوری ریزتر و غلظت نیز به طور قابل ملاحظه ای کم می شود.

کوبو<sup>(۵)</sup> (۲۰۰۴) تأثیر توپوگرافی را به صورت آزمایشگاهی و عددی بر روی رسوب گذاری جریان های غلیظ بررسی کرد. وی آزمایش های خود را بر روی یک سری برآمدگی کوچک با ارتفاع ۱/۲ و ۳/۶ سانتی متر انجام داد و به این نتیجه رسید که رسوب گذاری به طور موضعی در بالادست برآمدگی ها افزایش می یابد و علت آن بلوک شدن قسمتی از جریان توسط مانع و کاهش سرعت در بالا دست این موانع است.

اوهی<sup>(۶)</sup> (۲۰۰۲) به تأثیر روش های مختلف از جمله احداث مانع، احداث مانع مشبک، جت آب ۴۵ درجه و ۹۰ درجه و دیواره حباب

2- Oehy and Schleiss

3- Toniolo *et al.*4- Lamb *et al.*

5- Kubo

6- Oehy

1- Sequeiros *et al.*

با استفاده از نظریه باکینگهام و با در نظر گرفتن سه متغیر  $U_b$ ،  $\rho_b$  و  $T$  به عنوان متغیرهای تکراری رابطه (۶) از رابطه (۵) استخراج می‌شود:

$$E_w = F(R_i, \frac{P}{T}, S) \quad (۶)$$

### مواد و روش‌ها

تجهیزات آزمایشگاهی شامل دو قسمت اصلی می‌باشد: فلوم و سیستم اختلاط. فلوم آزمایشگاه دارای ۷/۸ متر طول و ۳۵ سانتی متر عرض می‌باشد که قابلیت تغییر شیب تا ۴ درصد را دارد. فلوم توسط دریچه کشویی به دو قسمت تقسیم می‌شود. با سرریزی که در انتهای فلوم تعبیه شده است سطح آب درون فلوم در تراز ۶۶ سانتی متر ثابت گردید. تجهیزات اختلاط شامل دو مخزن می‌باشد که یکی روی زمین قرار دارد که به کمک پمپ در آن عمل اختلاط انجام می‌گیرد و دیگری در ارتفاعی بالاتر از فلوم قرار دارد و وظیفه تأمین فشار آبی ثابت سیال غلیظ برای انجام آزمایش‌ها را بر عهده دارد. پس از سرریز شدن آب درون مخزن بالا، سیال غلیظ به کمک لوله به پشت دریچه منتقل می‌شود. سیال تمیز هم از مخزنی با فشار آبی ثابت به جلوی دریچه منتقل می‌شود. پس از هم تراز شدن سطح سیال غلیظ پشت دریچه و آب درون فلوم، دریچه به صورت ناگهانی به میزان پنج سانتی متر باز می‌گردد. شماتیک تجهیزات اختلاط، تجهیزات فلوم و دریچه در شکل (۲) نشان داده شده است.

مجموعاً ۲۷ آزمایش با شیب‌های بستر ۰/۵، ۱/۲۵ و ۲ درصد و سیال غلیظ نمکی با غلظت‌های ۱۰، ۱۵ و ۲۰ گرم در لیتر در سه بستر مختلف انجام شد. دبی ورودی سیال غلیظ در تمام آزمایش‌ها با استفاده از دبی‌سنج الکترومغناطیس حدود یک لیتر بر ثانیه تنظیم می‌شد. با توجه به ناماندگاری جریان غلیظ تا حدود ۱/۵ متری از دریچه، موانع استوانه‌ای شکل از فاصله ۱/۵ متری دریچه نصب شدند. بستر با مانع به طول چهار متر تا فاصله ۵/۵ متری از دریچه ادامه پیدا کرد. موانع به کار برده شده از استوانه‌هایی از جنس پلیکا با قطر یک سانتی متر و ارتفاع ۳۰ سانتی متر انتخاب شدند و با آرایش زیگزاکی روی بستر قرار داده شدند. ارتفاع موانع طوری انتخاب شد که در کلیه آزمایش‌ها موانع غیر مستغرق بودند. نه آزمایش اول برای بستر مانع دار با چیدمان ۴×۸ (فاصله عرضی موانع از همدیگر ۴ و فاصله طولی آنها ۸ سانتی متر) و نه آزمایش بعدی برای چیدمان ۸×۴ (فاصله عرضی موانع از همدیگر ۸ و فاصله طولی آنها ۴ سانتی متر) طراحی شد. تعداد نه آزمایش هم با بستر صاف و بدون مانع با همان شیب‌ها و همان غلظت‌ها انجام پذیرفت. برای جلوگیری از کانالیزه شدن جریان، در تمام آزمایش‌ها، آرایش موانع به صورت زیگزاکی انتخاب شد. ابعاد هندسی موانع و شماتیک پلان بستر مانع دار به ترتیب در شکل‌های (۳) و (۴) نمایش داده شده‌اند.

بر کنترل جریان غلیظ در مخازن سدها پرداخت. او برای یک ارتفاع مانع و برای دو شیب صفر و ۴/۶۴ درصد به بررسی وضعیت جریان عبوری از مانع پرداخته و به طور کلی نتیجه‌گیری نمود که احداث مانع در جریان زیر بحرانی برای کنترل جریان مناسب است. قمشی (۱۹۹۵) با انجام آزمایش‌هایی بر روی جریان غلیظ نمکی و رسوبی و بر روی شیب کف ثابت و برابر ۰/۰۶۳۵ رابطه (۲) را برای شدت اختلاط ارائه نمود:

$$E_w = \frac{0.0024}{R_i^{1.06}} \quad (۲)$$

همچنین وی با لحاظ نمودن فرض الیسون و ترنر<sup>(۱۹۵۹)</sup> مبنی بر در نظر گرفتن ضریب اختلاط حداکثر ۰/۰۷۵ برای جت آزاد رابطه (۳) را مشابه با رابطه پارکر و همکاران<sup>(۱۹۸۷)</sup> ارائه نمود:

$$E_w = \frac{0.075}{(1 + 3051 R_i^{3.18})^{1/3}} \quad (۳)$$

حقی آبی<sup>(۲۰۰۴)</sup> تأثیر شیب کف را بر روی رفتار جریان غلیظ و اختلاط بدنه جریان غلیظ با جریان نمکی و رسوبی (درشت دانه و ریز دانه) بررسی و رابطه (۴) را برای ضریب ورود آب پیرامون ارائه نمود:

$$E_w = 0.023 R_i^{-1.0743} \quad (۴)$$

روابط بالا  $E_w$ : پارامتر شدت اختلاط و  $R_i$ : عدد ریچاردسون می‌باشد.

در این تحقیق تأثیر موانع استوانه‌ای شکل و همچنین نوع چیدمان موانع بر مشخصات بدنه جریان غلیظ نمکی مورد بررسی قرار گرفته است. موانع با قطر یک سانتی‌متر و ارتفاع ۳۰ سانتی‌متر می‌باشند و با آرایش زیگزاکی در بستر قرار گرفته‌اند. ارتفاع موانع به‌گونه‌ای انتخاب شده است که همیشه از ضخامت بدنه جریان غلیظ بالاتر باشد.

### تحلیل ابعادی

پارامترهای موثر بر شدت اختلاط با رابطه (۵) بیان می‌شود:

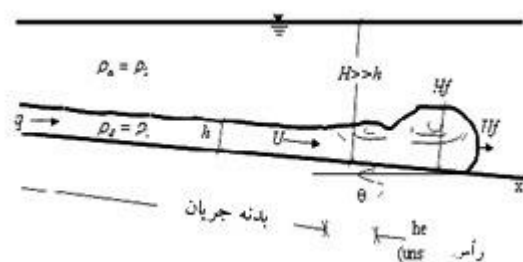
$$E_w = F(U_b, H_b, g', \rho_b, S, T, P, d) \quad (۵)$$

$E_w$ : شدت اختلاط،  $U_b$ : سرعت بدنه جریان غلیظ،  $H_b$ : ضخامت بدنه جریان غلیظ،  $g'$ : شتاب ثقل کاهش یافته،  $\rho_b$ : غلظت بدنه جریان غلیظ،  $S$ : شیب بستر،  $T$  و  $P$ : به ترتیب فاصله‌های طولی و عرضی مرکز به مرکز موانع،  $d$ : قطر موانع استوانه‌ای شکل که در طول تمام آزمایش‌ها ثابت بوده و می‌توان از آن صرف نظر نمود.

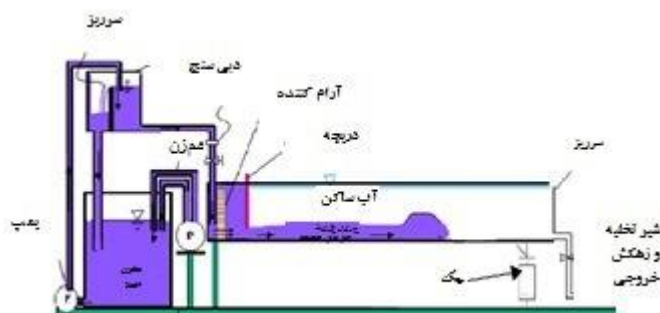
1- Ellison. and Turner

2- Parker et al.

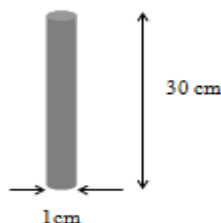
قربان مقدم و قمشی: بررسی آزمایشگاهی تأثیر نوع چیدمان موانع...



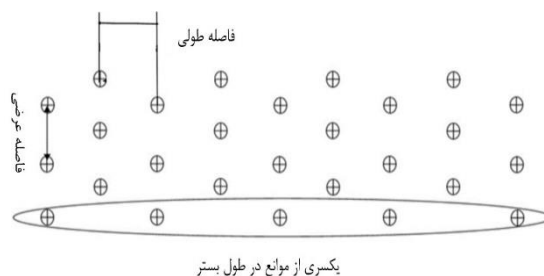
شکل ۱ - نمای شماتیک جریان غلیظ



شکل ۲ - شماتیک تجهیزات آزمایشگاهی



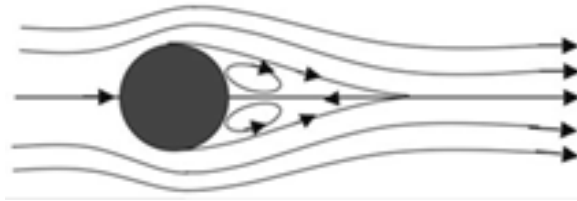
شکل ۳ - ابعاد هندسی موانع استوانه ای



شکل ۴ - شماتیک پلان بستر موانع دار

بودند برداشت شد. نمونه گیری از غلظت بدنه جریان غلیظ با استفاده از سیفون‌های نمونه گیری به‌طور مستقیم در چهار مقطع ذکر شده انجام پذیرفت. با توجه به اینکه اولین ردیف موانع ۱/۵ متر از دریاچه فاصله دارد، مقاطع یک، دو، سه و چهار به ترتیب ۰/۷۵، ۱/۵، ۲/۲۵ و ۳ متر از اولین ردیف موانع فاصله دارند.

دمای سیال غلیظ و سیال پیرامون در طول تمام آزمایش‌ها اندازه گیری و مشاهده شد که تغییرات آن بسیار ناچیز می‌باشد، به‌طور متوسط دمای هر دو سیال در حدود ۳۰ درجه سانتی‌گراد بود. ارتفاع و سرعت بدنه جریان غلیظ توسط سنسورهای دستگاه آکوستیک داپ ۲۰۰۰ در مقاطع یک، دو، سه و چهار که به ترتیب در فواصل ۰/۷۵، ۱/۵، ۲/۲۵، ۳، ۳/۷۵ و ۴/۵ متری از دریاچه نصب شده



شکل ۵ - ناحیه گردابه

$U_b/U_1$ : نسبت سرعت بدنه جریان غلیظ در مقاطع دو، سه و چهار به مقطع یک در سیال غلیظ نمکی تغییرات غلظت بدنه بسیار کم و قابل چشم پوشی است زیرا در سیال نمکی، تغییرات آن فقط در محدوده مرز دو سیال غلیظ و پیرامون به مقدار کم دیده می‌شود لذا تأثیر تغییرات غلظت بر بدنه جریان غلیظ به‌طور مستقیم بررسی نمی‌شود و تأثیر آن در عدد ریچاردسون لحاظ می‌گردد.

#### بررسی تغییرات سرعت بدنه جریان غلیظ

به منظور بررسی این موضوع، تغییرات سرعت بدنه جریان غلیظ در طول فلووم برای شیب‌های بستر ۱/۲۵ و ۲ درصد در جدول (۱) مشاهده می‌شود.

نتایج جدول (۱) نشان می‌دهد که در محدوده آزمایش‌های این تحقیق، روند تغییرات سرعت بدنه جریان غلیظ در طول فلووم برای شیب‌های بیشتر از ۰/۵ درصد نزولی است. با بررسی نتایج مشاهده می‌شود که بیشترین نرخ کاهش سرعت بدنه در چیدمان ۴×۸ رخ می‌دهد. با توجه به یکسان بودن تعداد موانع در هر دو چیدمان می‌توان گفت که نوع چیدمان موانع تأثیر به‌سزایی بر بدنه جریان غلیظ دارد. در مقایسه دو چیدمان ۸×۴ و ۴×۸، به علت بالا بودن احتمال برخورد خطوط جریان با موانع در چیدمان ۴×۸، تأثیر بیشتری نیز بر بدنه جریان غلیظ می‌گذارد.

نکته دیگری که در جدول (۱) مشاهده می‌شود این است که با افزایش شیب و یا افزایش غلظت سیال غلیظ، نرخ کاهش سرعت بدنه کاهش می‌یابد.

با افزایش شیب یا غلظت سیال غلیظ در واقع ضخامت بدنه کم و سرعت آن بیشتر می‌شود. با افزایش سرعت بدنه، تنش برشی لایه مرزی بین دو سیال غلیظ و پیرامون افزایش می‌یابد و منجر به بالا رفتن اختلاط بین دو سیال در بستر بدون مانع و با مانع می‌شود. افزایش سرعت جریان منجر به افزایش شدت برخورد آن با موانع می‌شود و تلاطم و اختلاط را در سطح کم بالا می‌برد. همچنین افزایش سرعت جریان منجر به افزایش طول ناحیه وک پشت هر مانع می‌شود. در نتیجه با افزایش سرعت جریان احتمال حضور موانع پشت سر هم در ناحیه وک همدیگر بالا می‌رود و همین امر راندمان حضور موانع را کاهش می‌دهد تا حدی که بر افزایش شدت برخورد در سرعت‌های بالا غلبه می‌کند و منجر به پایین آمدن نرخ کاهش سرعت در شیب‌ها یا غلظت‌های بالاتر می‌شود.

#### نتایج و بحث

با قرار گرفتن هر مانع در مسیر خطوط جریان، یک ناحیه وک پشت مانع ایجاد می‌شود که طول این ناحیه با سرعت خطوط جریان ارتباط مستقیم دارد. در شکل (۵) ناحیه وک اطراف مانع استوانه‌ای شکل نشان داده شده است. خطوط جریان پس از واگرا شدن و گذر از طول مانع دوباره همگرا و در نهایت موازی می‌شوند. ناحیه وک، منطقه‌ای است که کمترین فشار هیدرودینامیکی را دارد.

با همگرا شدن و واگرا شدن خطوط جریان برخورد آنها باهم بیشتر شده و تلاطم و افت انرژی در جریان بیشتر می‌شود، هرچند شاید این تلاطم منجر به ایجاد امواج عرضی نیز گردد که در آن صورت آن قدر امواج عرضی ضعیف بودند که قابل رویت نبوده و تأثیری بر حرکت جریان غلیظ نداشتند. لذا برای اینکه بتوان همیشه خطوط جریان را در تلاطم نگه داشت می‌توان موانع را در انتهای ناحیه وک مانع دیگر قرار داد و از موازی شدن خطوط جریان جلوگیری کرد. طول ناحیه وک در واقع همان فاصله بهینه برای قرار گیری مانع بعدی می‌باشد که در شکل (۵) نشان داده شده است. با قرار گیری چندین ستون از این موانع در کنار هم شدت این تراکشن‌ها افزایش یافته و شدت اختلاط بالا می‌رود. دور شدن فاصله طولی موانع از فاصله بهینه منجر به کاهش راندمان حضور موانع می‌شود.

برخورد جریان به لایه مرزی ایجاد شده در اطراف هر مانع، موجب پدید آمدن نیروهای ناچیز اصطکاکی و مقاومتی می‌شود که هر چه تعداد موانع بیشتر باشد مجموع این نیروها افزایش می‌یابد و در کل باعث پس زدن جریان و ایجاد موج‌های کوچکی در سطح سیال می‌شود.

در طول آزمایش‌های این تحقیق، موانع با دو چیدمان متفاوت بر روی بستر قرار داده شدند. با توجه به اینکه تعداد موانع در آزمایش‌ها ثابت می‌باشد لذا تأثیر تراکم موانع بر بدنه جریان غلیظ از بین رفته است و مهمترین عامل مؤثر بر بدنه جریان نوع چیدمان موانع و فواصل طولی و عرضی آنها می‌تواند باشد.

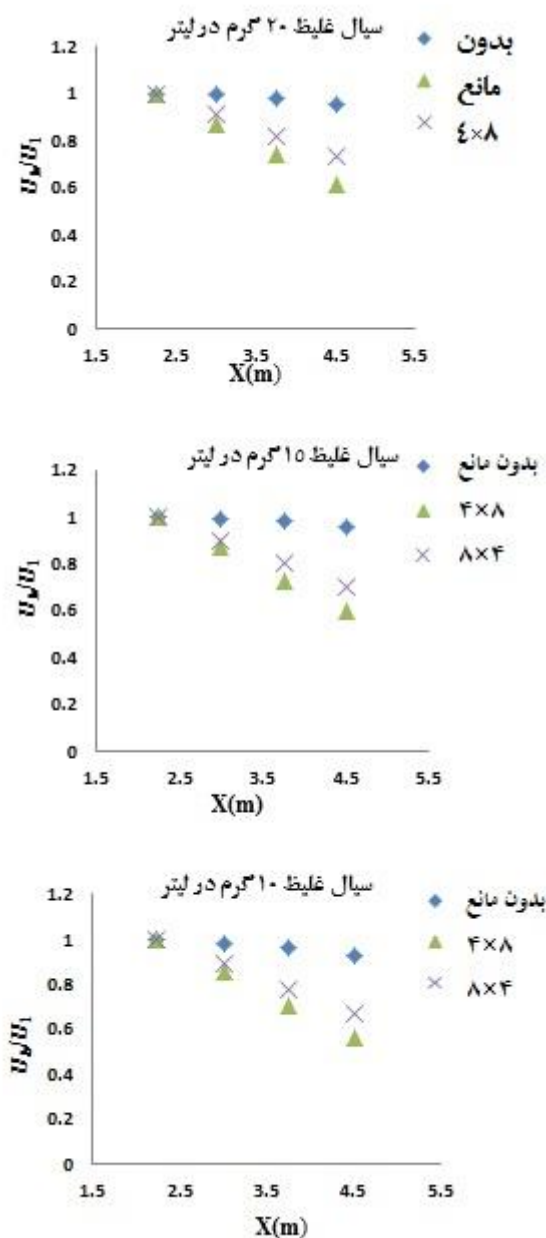
به منظور بررسی تغییرات ارتفاع و سرعت بدنه، پارامتر بی بعد ارتفاع و سرعت بدنه از نسبت این متغیرها در مقاطع دو، سه و چهار به مقطع یک به‌دست می‌آید.

$H_b/H_1$ : نسبت ضخامت بدنه جریان غلیظ در مقاطع دو، سه و چهار به مقطع ۱

قربان مقدم و قمشی: بررسی آزمایشگاهی تأثیر نوع چیدمان موانع...

جدول ۱- تغییرات سرعت بدنه جریان غلیظ برای شیب بستر ۱/۲۵ و ۲ درصد

$U_b/U_1$	فاصله از		شیب بستر (%)	چیدمان موانع	$U_b/U_1$	فاصله از		شیب بستر (%)	چیدمان موانع	$U_b/U_1$	فاصله از		شیب بستر (%)	چیدمان موانع
	مبدا (m)	غلظت سیال (g/l)				مبدا (m)	غلظت سیال (g/l)				مبدا (m)	غلظت سیال (g/l)		
۱	۲/۲۵	۱۰	۱/۲۵		۱	۲/۲۵	۱۰	۱/۲۵		۱	۲/۲۵	۱۰	۱/۲۵	
-/۱۸۶	۳	۱۰	۱/۲۵		-/۹۲	۳	۱۰	۱/۲۵		-/۹۹	۳	۱۰	۱/۲۵	
-/۷۳	۳/۷۵	۱۰	۱/۲۵		-/۸۵	۳/۷۵	۱۰	۱/۲۵		-/۹۶	۳/۷۵	۱۰	۱/۲۵	
-/۶۰	۴/۵	۱۰	۱/۲۵		-/۷۷	۴/۵	۱۰	۱/۲۵		-/۹۲	۴/۵	۱۰	۱/۲۵	
۱	۲/۲۵	۱۵	۱/۲۵		۱	۲/۲۵	۱۵	۱/۲۵		۱	۲/۲۵	۱۵	۱/۲۵	
-/۱۸۷	۳	۱۵	۱/۲۵		-/۹۳	۳	۱۵	۱/۲۵		-/۹۷	۳	۱۵	۱/۲۵	
-/۷۵	۳/۷۵	۱۵	۱/۲۵		-/۱۸۶	۳/۷۵	۱۵	۱/۲۵		-/۹۴	۳/۷۵	۱۵	۱/۲۵	
-/۶۳	۴/۵	۱۵	۱/۲۵		-/۷۹	۴/۵	۱۵	۱/۲۵		-/۹۱	۴/۵	۱۵	۱/۲۵	
۱	۲/۲۵	۲۰	۱/۲۵		۱	۲/۲۵	۲۰	۱/۲۵		۱	۲/۲۵	۲۰	۱/۲۵	
-/۱۸۱	۳	۲۰	۱/۲۵		-/۹۳	۳	۲۰	۱/۲۵		-/۹۸	۳	۲۰	۱/۲۵	
-/۷۶	۳/۷۵	۲۰	۱/۲۵		-/۱۸۷	۳/۷۵	۲۰	۱/۲۵		-/۹۲	۳/۷۵	۲۰	۱/۲۵	
-/۶۴	۴/۵	۲۰	۱/۲۵		-/۱۸۱	۴/۵	۲۰	۱/۲۵		-/۹۰	۴/۵	۲۰	۱/۲۵	
۱	۲/۲۵	۱۰	۲	۸×۴	۱	۲/۲۵	۱۰	۲	۴×۸	۱	۲/۲۵	۱۰	۲	بستر بدون مانع
-/۱۸۱	۳	۱۰	۲		-/۹۳	۳	۱۰	۲		-/۹۷	۳	۱۰	۲	
-/۷۶	۳/۷۵	۱۰	۲		-/۱۸۷	۳/۷۵	۱۰	۲		-/۹۶	۳/۷۵	۱۰	۲	
-/۶۴	۴/۵	۱۰	۲		-/۱۸۱	۴/۵	۱۰	۲		-/۹۰	۴/۵	۱۰	۲	
۱	۲/۲۵	۱۵	۲		۱	۲/۲۵	۱۵	۲		۱	۲/۲۵	۱۵	۲	
-/۹	۳	۱۵	۲		-/۹۴	۳	۱۵	۲		-/۹۷	۳	۱۵	۲	
-/۸	۳/۷۵	۱۵	۲		-/۱۸۹	۳/۷۵	۱۵	۲		-/۹۲	۳/۷۵	۱۵	۲	
-/۷	۴/۵	۱۵	۲		-/۱۸۳	۴/۵	۱۵	۲		-/۱۸۹	۴/۵	۱۵	۲	
۱	۲/۲۵	۲۰	۲		۱	۲/۲۵	۲۰	۲		۱	۲/۲۵	۲۰	۲	
-/۱۸۹	۳	۲۰	۲		-/۹۵	۳	۲۰	۲		-/۹۶	۳	۲۰	۲	
-/۷۹	۳/۷۵	۲۰	۲		-/۹۰	۳/۷۵	۲۰	۲		-/۹۰	۳/۷۵	۲۰	۲	
-/۶۸	۴/۵	۲۰	۲		-/۱۸۵	۴/۵	۲۰	۲		-/۱۸۹	۴/۵	۲۰	۲	



شکل ۶- نمودار تغییرات سرعت بدنه جریان غلیظ برای شیب بستر ۰/۵ درصد

در چیدمان ۴×۸ از موانع نرخ کاهش سرعت در طول فلوم بیشتر از چیدمان ۸×۴ می‌باشد که یکی از دلایل این روند همان افزایش تنش برشی در لایه مرزی و افزایش شدت اختلاط در آن لایه در چیدمان ۴×۸ می‌باشد.

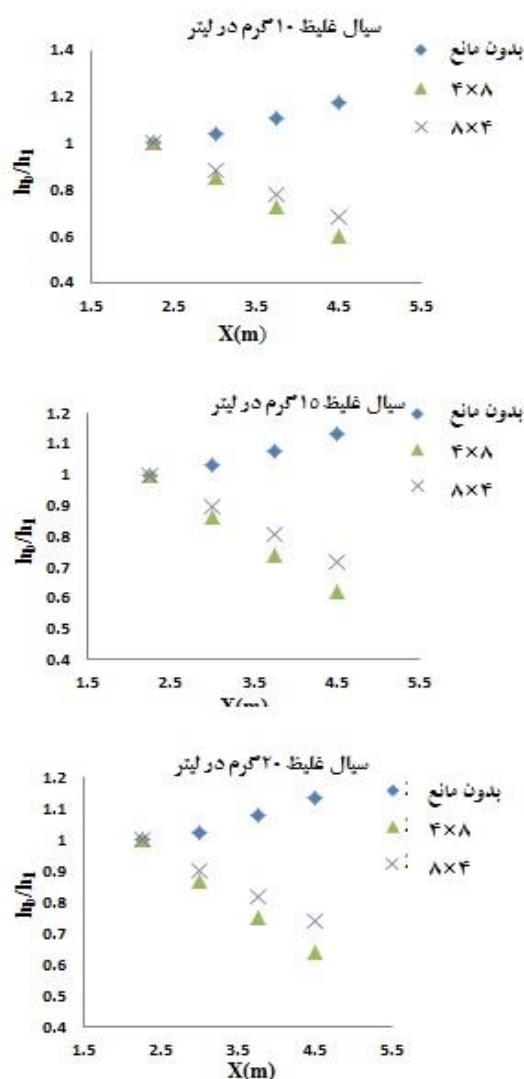
#### بررسی تغییرات ضخامت بدنه جریان غلیظ

به منظور بررسی دقیق این موضوع تغییرات ضخامت بدنه برای شیب بستر ۱/۲۵ درصد در نمودار شکل (۷) رسم شده است.

پارامتر بی بعد سرعت نسبی بدنه جریان غلیظ در چهار مقطع مذکور برای آزمایش‌های با شیب بستر ۰/۵ در صد و سیال غلیظ ۱۰، ۱۵ و ۲۰ گرم در لیتر در نمودار شکل (۶) در برابر فاصله مقاطع از دریچه رسم شده است.

نمودارهای شکل (۶) نشان می‌دهد که در بستر بدون مانع و بستر با مانع به دلیل اختلاط در لایه مرزی سیال پیرامون و سیال غلیظ، سرعت بدنه جریان غلیظ در طول فلوم روند کاهشی دارد اما به دلیل افزایش تنش برشی در لایه مرزی در بستر مانع دار، نرخ کاهش آن در بستر با مانع بیشتر از بستر بدون مانع می‌باشد.

قربان مقدم و قمشی: بررسی آزمایشگاهی تأثیر نوع چیدمان موانع...



شکل ۷- نمودار تغییرات ضخامت بدنه جریان نمکی در شیب بستر ۱/۲۵ درصد

دلیل حضور موانع شدت اختلاط در بستر مانع دار آن قدر بالا می رود که منجر به کاهش دبی عبوری بدنه می شود و بر اثر کاهش دبی عبوری، سرعت بدنه و ارتفاع آن کاهش می یابد. نرخ کاهش ضخامت بدنه در بستر با موانع ۴×۸ بیشتر از چیدمان ۸×۴ می باشد. در چیدمان ۴×۸ راندمان حضور موانع بالا است که منجر به افزایش شدت اختلاط و کاهش بیشتر ضخامت بدنه می گردد. در هر دو چیدمان، تعداد موانع ثابت است و فقط فاصله های عرضی و طولی موانع بر جریان تأثیر گذارند. نتایج نشان داد تأثیر فاصله طولی موانع بیشتر از فاصله عرضی آنها است. لذا با زیاد شدن فاصله طولی موانع در چیدمان ۴×۸ که همراه با کاهش فاصله عرضی بوده مشاهده می شود که نرخ کاهش ضخامت بدنه جریان غلیظ بالا می رود اما در چیدمان ۸×۴ با توجه پایین بودن فاصله طولی و افزایش فاصله عرضی نرخ کاهش ضخامت بدنه کم می شود.

تغییرات نسبی ضخامت بدنه جریان نمکی یا به عبارتی تغییرات نرخ کاهش سرعت بدنه در جدول (۲) برای شیب بستر ۰/۵ و ۲ درصد برای سیال غلیظ ۱۰، ۱۵ و ۲۰ گرم در لیتر نشان داده شده است.

بررسی نتایج جدول (۲) نشان می دهد که تغییرات ضخامت بدنه جریان غلیظ در بستر بدون مانع در تمام شیب های آزمایش و هم چنین همه غلظت های سیال غلیظ، افزایشی است اما در بستر با مانع کاملاً روند کاهشی دارد. در بستر بدون مانع به دلیل اختلاط کمی که در لایه مرزی سیال غلیظ و سیال پیرامون رخ می دهد ضخامت بدنه جریان غلیظ افزایش و سرعت آن کاهش می یابد، هم چنین با افزایش شیب و یا افزایش غلظت سیال غلیظ به دلیل بالا رفتن تنش برشی ناشی از حرکت سیال غلیظ در لایه مرزی سیال غلیظ و سیال پیرامون، این روند شدت می گیرد. تغییرات ضخامت بدنه جریان غلیظ در بستر با مانع روند کاهشی دارد. به

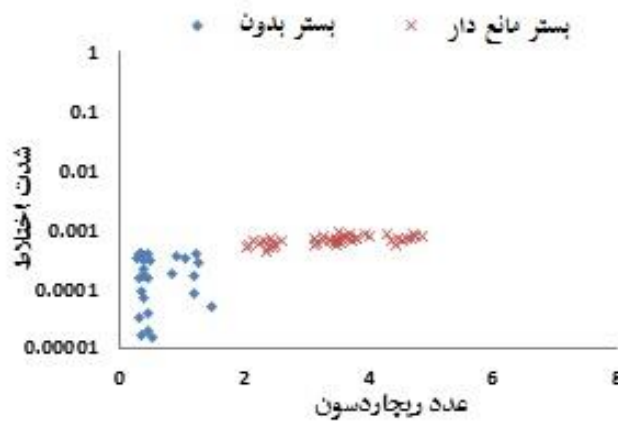


جدول ۲- تغییرات ضخامت بدنه جریان نمکی

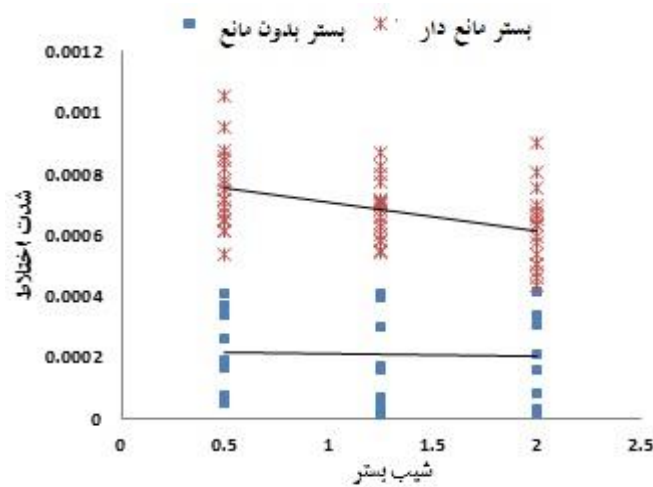
چیدمان موانع	شیب (بستر (%))	غلظت سیال (g/l)	فاصله از مبدا (m)	$H_2/H_1$	چیدمان موانع	شیب (بستر (%))	غلظت سیال (g/l)	فاصله از مبدا (m)	$H_2/H_1$	چیدمان موانع	شیب (بستر (%))	غلظت سیال (g/l)	فاصله از مبدا (m)	$H_2/H_1$
۱	۰/۵	۱۰	۲/۲۵	۱	۱	۰/۵	۱۰	۲/۲۵	۱	۱	۰/۵	۱۰	۲/۲۵	۱
۰/۸۳	۰/۵	۱۰	۳	۰/۸۹	۳	۰/۵	۱۰	۳	۱	۳	۰/۵	۱۰	۳	۱
۰/۶۹	۰/۵	۱۰	۳/۷۵	۰/۸۱	۳/۷۵	۰/۵	۱۰	۳/۷۵	۱/۱	۳/۷۵	۰/۵	۱۰	۳/۷۵	۱/۱
۰/۵۵	۰/۵	۱۰	۴/۵	۰/۷۳	۴/۵	۰/۵	۱۰	۴/۵	۱/۱۷	۴/۵	۰/۵	۱۰	۴/۵	۱/۱۷
۱	۰/۵	۱۵	۲/۲۵	۱	۲/۲۵	۰/۵	۱۵	۲/۲۵	۱	۲/۲۵	۰/۵	۱۵	۲/۲۵	۱
۰/۸۴	۰/۵	۱۵	۳	۰/۹۰	۳	۰/۵	۱۵	۳	۱/۰۲	۳	۰/۵	۱۵	۳	۱/۰۲
۰/۷۱	۰/۵	۱۵	۳/۷۵	۰/۸۲	۳/۷۵	۰/۵	۱۵	۳/۷۵	۱/۰۴	۳/۷۵	۰/۵	۱۵	۳/۷۵	۱/۰۴
۰/۵۸	۰/۵	۱۵	۴/۵	۰/۷۴	۴/۵	۰/۵	۱۵	۴/۵	۱/۱۸	۴/۵	۰/۵	۱۵	۴/۵	۱/۱۸
۱	۰/۵	۲۰	۲/۲۵	۱	۲/۲۵	۰/۵	۲۰	۲/۲۵	۱	۲/۲۵	۰/۵	۲۰	۲/۲۵	۱
۰/۸۵	۰/۵	۲۰	۳	۰/۹۱	۳	۰/۵	۲۰	۳	۱/۰۳	۳	۰/۵	۲۰	۳	۱/۰۳
۰/۷۲	۰/۵	۲۰	۳/۷۵	۰/۸۳	۳/۷۵	۰/۵	۲۰	۳/۷۵	۱/۰۸	۳/۷۵	۰/۵	۲۰	۳/۷۵	۱/۰۸
۰/۶۰	۰/۵	۲۰	۴/۵	۰/۷۶	۴/۵	۰/۵	۲۰	۴/۵	۱/۱۷	۴/۵	۰/۵	۲۰	۴/۵	۱/۱۷
۱	۲	۱۰	۲/۲۵	۱	۲/۲۵	۲	۱۰	۲/۲۵	۱	۲/۲۵	۲	۱۰	۲/۲۵	۱
۰/۸۶	۲	۱۰	۳	۰/۹۲	۳	۲	۱۰	۳	۱/۰۲	۳	۲	۱۰	۳	۱/۰۲
۰/۷۵	۲	۱۰	۳/۷۵	۰/۸۶	۳/۷۵	۲	۱۰	۳/۷۵	۱/۰۵	۳/۷۵	۲	۱۰	۳/۷۵	۱/۰۵
۰/۶۳	۲	۱۰	۴/۵	۰/۷۹	۴/۵	۲	۱۰	۴/۵	۱/۲۰	۴/۵	۲	۱۰	۴/۵	۱/۲۰
۱	۲	۱۵	۲/۲۵	۱	۲/۲۵	۲	۱۵	۲/۲۵	۱	۲/۲۵	۲	۱۵	۲/۲۵	۱
۰/۸۸	۲	۱۵	۳	۰/۹۲	۳	۲	۱۵	۳	۱/۰۳	۳	۲	۱۵	۳	۱/۰۳
۰/۷۷	۲	۱۵	۳/۷۵	۰/۸۷	۳/۷۵	۲	۱۵	۳/۷۵	۱/۰۶	۳/۷۵	۲	۱۵	۳/۷۵	۱/۰۶
۰/۶۷	۲	۱۵	۴/۵	۰/۸۲	۴/۵	۲	۱۵	۴/۵	۱/۲۵	۴/۵	۲	۱۵	۴/۵	۱/۲۵
۱	۲	۲۰	۲/۲۵	۱	۲/۲۵	۲	۲۰	۲/۲۵	۱	۲/۲۵	۲	۲۰	۲/۲۵	۱
۰/۸۸	۲	۲۰	۳	۰/۹۳	۳	۲	۲۰	۳	۱/۰۳	۳	۲	۲۰	۳	۱/۰۳
۰/۷۸	۲	۲۰	۳/۷۵	۰/۸۸	۳/۷۵	۲	۲۰	۳/۷۵	۱/۱۲	۳/۷۵	۲	۲۰	۳/۷۵	۱/۱۲
۰/۶۹	۲	۲۰	۴/۵	۰/۸۳	۴/۵	۲	۲۰	۴/۵	۱/۳	۴/۵	۲	۲۰	۴/۵	۱/۳

بستر بدون مانع

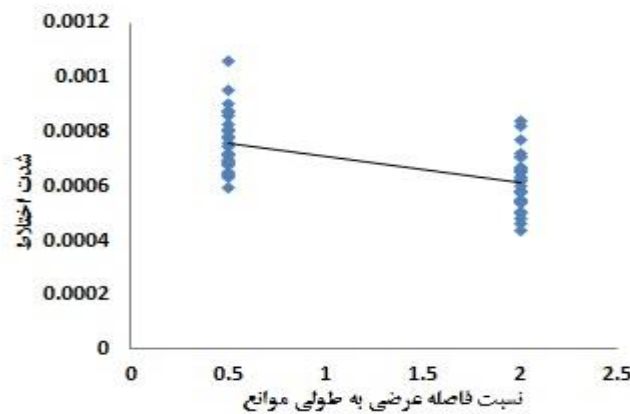
قربان مقدم و قمشی: بررسی آزمایشگاهی تأثیر نوع چیدمان موانع...



شکل ۸- رابطه شدت اختلاط با عدد ریحاردسون



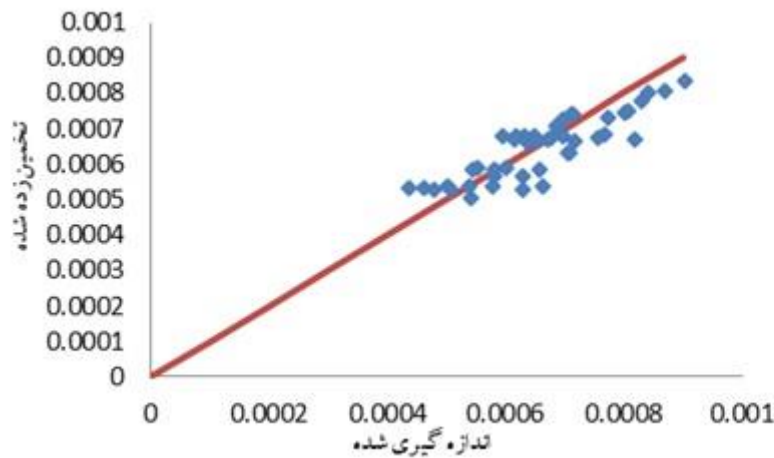
شکل ۹- رابطه شدت اختلاط با شیب بستر جریان



شکل ۱۰- تغییرات شدت اختلاط نسبت به تغییرات فواصل طولی و عرضی موانع

حول موانع کمک می‌کند. هم چنین با افزایش سرعت جریان در شیب‌ها و غلظت‌های بالا احتمال حضور موانع در ناحیه وک افزایش می‌یابد و می‌تواند عاملی باشد برای کاهش راندمان حضور موانع.

با تغییر فاصله طولی موانع در واقع احتمال حضور مانع در ناحیه وک مانع دیگر تغییر می‌کند. علت بالا بودن راندمان موانع در چیدمان ۴×۸ می‌تواند نزدیک بودن فاصله طولی موانع به فاصله بهینه که همان طول ناحیه وک است، باشد. افزایش تعداد موانع در عرض نیز به تلاطم و برهم زنی خطوط جریان در منطقه واگرایی



شکل (۱۱) مقایسه نتایج آزمایشگاهی با نتایج رابطه (۸)

$$E_w = 0.0004 \times Ri^{-0.436} \quad R^2 = 0.39 \quad (7)$$

در تحقیقات گذشته با توجه به نوع آزمایش‌ها و نوع موانع استفاده شده در آزمایش‌ها، رابطه بین عدد ریچاردسون و شدت اختلاط رابطه‌ای معکوس بود اما در این تحقیق نتایج آزمایش‌ها نشان داد با توجه به نوع موانع، رابطه مستقیم بین آن دو برقرار شده است. علت این موضوع را می‌توان استفاده از موانع استوانه‌ای شکل بیان نمود. زیرا موانع استوانه‌ای با ایجاد ناحیه وک و متلاطم تأثیر به‌سزایی بر بدنه جریان غلیظ می‌گذارند. به‌طور خلاصه می‌توان کاهش سطح برخورد جریان با موانع، افزایش سرعت جریان، کم شدن احتمال برخورد خطوط جریان با موانع و یا بالا رفتن احتمال حضور موانع در ناحیه وک در شیب‌ها و غلظت‌های بالا را علت ایجاد این رابطه بیان نمود.

#### بررسی رابطه شدت اختلاط و شیب بستر

به منظور بررسی رابطه عدد ریچاردسون با شدت اختلاط نمودار شکل (۹) رسم شده است که شدت اختلاط را برحسب شیب برای دو بستر مانع دار و یک بستر بدون مانع برای سیال غلیظ با غلظت‌های ۱۰، ۱۵ و ۲۰ گرم در لیتر نشان می‌دهد. برای هر شیب بستر سه آزمایش با سه غلظت متفاوت انجام پذیرفت لذا علت تغییرات عمودی شدت اختلاط در یک شیب، تغییرات غلظت سیال غلیظ می‌باشد.

تغییرات غلظت سیال غلیظ مستقل از تغییرات شیب می‌باشد که تأثیر آن در عدد ریچاردسون در نظر گرفته شد.

در نمودار شکل (۹) مشاهده می‌شود که شدت اختلاط در بستر مانع دار در همه شیب‌ها، بیشتر از بستر بدون مانع می‌باشد. با افزایش شیب بستر جریان، سرعت بدنه جریان غلیظ زیاد و ارتفاع آن کم می‌شود و نشان داده شد که با افزایش سرعت بدنه و

#### بررسی رابطه شدت اختلاط و عدد ریچاردسون:

با توجه به اینکه جریان غلیظ، جریان ناماندگاری می‌باشد لذا برای برقراری رابطه بین عدد ریچاردسون و شدت اختلاط با خطاهای زیادی مواجه هستیم. با توجه به اینکه تغییرات عدد ریچاردسون کم و هم چنین تمام آزمایش‌ها در بازه کوچکی از عدد رینولدز انجام پذیرفته است لذا با در نظر گرفتن مقداری خطا و فرض بر ماندگار بودن جریان در بازه‌های ۷۵ سانتی‌متری مقدار شدت اختلاط محاسبه شده است. نمودار شکل (۸) رابطه بین شدت اختلاط و عدد ریچاردسون را برای بستر بدون مانع و بستر با مانع در دو چیدمان متفاوت همچنین در شیب‌های مختلف بستر و غلظت‌های مختلف سیال غلیظ نشان می‌دهد.

با توجه به شکل (۸) مشاهده می‌شود که میانگین شدت اختلاط در بستر مانع دار بیشتر از بستر بدون مانع می‌باشد. همچنین با افزایش عدد ریچاردسون یا به عبارتی کاهش عدد فرود، شدت اختلاط افزایش یافته است. پراکندگی عدد ریچاردسون بیشتر تحت تأثیر غلظت‌های متفاوت سیال غلیظ و هم چنین تغییرات شیب بستر می‌باشد. شدت اختلاط در بستر با چیدمان ۴×۸ بیشتر از چیدمان ۸×۴ می‌باشد. با توجه به یکسان بودن تعداد موانع در هر دو چیدمان، نزدیک شدن فاصله طولی موانع به فاصله بهینه در چیدمان ۴×۸ منجر به برخورد بیشتر خطوط جریان با موانع می‌شود و فشار هیدرودینامیکی بر تعداد بیشتری از موانع وارد می‌شود در نتیجه تلاطم و اختلاط خطوط جریان بالا می‌رود.

در هر آزمایش، سه بازه ۷۵ سانتی‌متری برای تعیین شدت اختلاط انتخاب شد. با توجه به تعداد ۱۸ آزمایش برای بستر مانع دار رابطه (۷) با استفاده از ۵۴ سری داده به کمک نرم‌افزار spss برازش شد:

قربان مقدم و قمشی: بررسی آزمایشگاهی تأثیر نوع چیدمان موانع...

برای آزمون رابطه فوق از ۲۵ درصد نتایج آزمایشگاهی استفاده شد. نمودار شکل (۱۱) بین نتایج آزمایشگاهی و نتایج حاصل از رابطه (۸) رسم شده است.

### نتیجه گیری

با قرار گرفتن موانع در بستر جریان غلیظ در اطراف هر مانع ناحیه متلاطم و وک ایجاد می‌شود که برخورد جریان با ناحیه متلاطم حول مانع منجر به تلاطم و برهم زنی جریان در مقیاس بسیار کوچک می‌شود. قرار گرفتن موانع در انتهای ناحیه وک مانع دیگر باعث تشدید شدت برخورد خطوط جریان با مانع می‌شود و تلاطم و برهم زنی جریان حداکثر می‌شود. قرار گرفتن موانع در ناحیه ورتکس مانع دیگر، راندمان حضور مانع را به حداقل می‌رساند. سرعت بدنه جریان غلیظ در بستر مانع دار مانند بستر بدون مانع روند کاهشی دارد اما نرخ کاهش آن در بستر مانع دار بیشتر از بستر بدون مانع می‌باشد. نرخ کاهش سرعت بدنه جریان غلیظ در چیدمان ۴×۸ بیشتر از چیدمان ۸×۴ می‌باشد و تا حدود ۴۵ درصد در محدوده آزمایش‌های این تحقیق افت داشته است. ضخامت بدنه جریان غلیظ در بستر بدون مانع به دلیل اختلاط کم بین سیال غلیظ و سیال پیرامون در طول فلوم روند افزایشی دارد اما در بستر مانع دار به دلیل شدت اختلاط بالا، روند کاهشی دارد و حدوداً تا ۴۰ درصد کاهش می‌یابد. نرخ کاهش ضخامت بدنه در چیدمان ۴×۸ بیشتر از چیدمان ۸×۴ می‌باشد. نرخ کاهش ارتفاع و سرعت در بستر مانع دار در چیدمان مختلف با افزایش شیب بستر و هم چنین افزایش غلظت سیال غلیظ کاهش می‌یابد. شدت اختلاط در بستر مانع دار بیشتر از بستر بدون مانع می‌باشد. شدت اختلاط در چیدمان ۴×۸ نسبت به چیدمان ۸×۴ بیشتر است. با افزایش شیب و افزایش غلظت سیال غلیظ، شدت اختلاط کاهش می‌یابد. رابطه شدت اختلاط با عدد ریچاردسون یک رابطه مستقیم می‌باشد لذا در بستر مانع دار با افزایش عدد ریچاردسون شدت اختلاط بالا می‌رود.

کاهش ضخامت بدنه، نرخ کاهش سرعت و ضخامت بدنه کاهش می‌یابد و به دنبال آن شدت اختلاط سیال غلیظ با سیال پیرامون کاهش می‌یابد. شدت اختلاط در بستر با چیدمان ۴×۸ بیشتر از چیدمان ۸×۴ می‌باشد لذا تأثیر فاصله طولی موانع بیشتر از فاصله عرضی آنها است و هم چنین در چیدمان ۴×۸ احتمال برخورد جریان با موانع و تلاطم ناشی از آن بالا رفته است.

### بررسی رابطه شدت اختلاط و پارامتر $\frac{P}{T}$

با توجه به اینکه قطر موانع در طول تمام آزمایش‌ها ثابت و برابر یک سانتی‌متر بود لذا از تأثیر تغییرات آن در محدوده آزمایش‌های این تحقیق صرف نظر شده است و تغییرات فاصله طولی و عرضی موانع با پارامتر بی بعد  $\frac{P}{T}$  مورد بررسی قرار می‌گیرد. تغییرات فاصله عرضی و طولی موانع بیانگر نوع چیدمان موانع می‌باشد. با حفظ آرایش زیگزاکی موانع و تعداد آنها در تمام آزمایش‌ها، تأثیر تراکم موانع و کانالیزه شدن جریان از بین رفته است. شکل (۱۰) تغییرات شدت اختلاط را در برابر تغییرات فواصل طولی و عرضی موانع نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد که با افزایش فاصله طولی موانع که همراه می‌باشد با کاهش فاصله عرضی آنها، شدت اختلاط افزایش یافته است.

لذا در نمودارها کاملاً مشخص است که کاهش فاصله عرضی، همراه با افزایش فاصله طولی موانع و کاهش فاصله طولی در یک چیدمان با افزایش فاصله عرضی موانع همراه است. در چیدمان ۴×۸ با توجه به اینکه احتمال حضور موانع در برابر خطوط جریان بالا می‌رود، شدت اختلاط بالا رفته است. با استفاده از ۷۵ درصد نتایج آزمایشگاهی برای بستر مانع دار، رابطه (۸) بین شدت اختلاط و پارامترهای موثر بر آن به کمک نرم افزار spss برآزش داده شد. به دلیل خطاهایی که در محاسبه شدت اختلاط پذیرفته شد، دقت رابطه کمی پایین می‌باشد اما برای به دست آوردن روند تغییرات مناسب می‌باشد:

$$E_w = 0.0005 \times Ri^{0.23} \times S^{-0.074} \times \frac{p}{T}^{-0.104} \quad R^2 = 0.72 \quad (8)$$

### منابع

۱- اصغری پری، س.ا.، ۱۳۸۸. بررسی اثر ارتفاع مانع بر رسوب گذاری مخزن در جریان غلیظ. رساله دکتری رشته سازه های آبی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز.

- 2- Ellison, T.H. and j.s. Turner. 1959. Turbulent entrainment in stratified flow. Journal of Fluid Mechanics, 6(3): 423-448.
- 3- Ghomeshi, M. 1995. Reservoir sedimentation modelling. Ph.D. Thesis, University of Wollongong, Australia.

- 4- Hagiabi, A.H. 2004. Bed slope effect on velocity and concentration profiles of density currents, Ph.D. Thesis, Faculty of Water Sciences Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran.
- 5- Kubo, Y. 2004. Experimental and numerical study of topographic effects on deposition of two-dimensional, particle-driven density currents, *Journal of Sedimentary Geology*, 164: 311-326.
- 6- Lamb, M.P. Toniolo, H. and G. Parker. 2006. Trapping of sustained turbidity currents by intraslope minibasins. *Journal of Sedimentology*, 53:147-160.
- 7- Sequeiros, O., Spinewine, B., Beaubouef, R., Sun, T., Garcia, M. 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*, 143(7):127-111.
- 8- Oehy C.D. and A.J. Schleiss. 2007. Control of turbidity currents in reservoirs by solid and permeable obstacles. *Journal of Hydraulic Engineering*, 133(6):637-648.
- 9- Oehy, Ch. 2002. Effects of obstacles and jets on reservoir sedimentation due to turbidity currents. Communication No. 15 of The Laboratory of Hydraulic Structures LCH, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne EPFL, Switzerland
- 10-Parker, G., Garcia, M. and Y. Fukushima. 1987. Experiments on turbidity currents over an erodible bed. *Journal of Hydraulic Research*, 25(1): 117-124.
- 11-Toniolo, H. Parker, G. Voller, V. and R. Beaubouef. 2006. Depositional turbidity current in diapiric minibasins on the continental slope: experiments numerical simulation and upscaling. *Journal of Sedimentary Research*, 76(5): 798-818.