

بررسی آزمایشگاهی تغییر شکست شیب بستر بر خصوصیات جریان غلیظ

حسین بهرامی*، مهدی قمشی، سید محمود کاشفی پور

گروه سازه های آبی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز

چکیده

در این تحقیق سعی شد تا با ایجاد شکست شیب بستر که می تواند تداعی کننده وضعیت جریان در دلتای مخازن سدها و همچنین مصب باشد به بررسی تغییرات ایجاد شده در اثر جریان غلیظ بر روی خصوصیات جریان ورودی پرداخته شود. در این راستا، با ساخت یک مدل فیزیکی (فلومی به طول ۸ متر، عرض ۰/۵ متر و ارتفاع ۰/۸ متر) اثر شیب های متفاوت، تغییرات دبی و غلظت جریان غلیظ ورودی بر مشخصه های جریان غلیظ بررسی گردید. نتایج به دست آمده نشان داد که بیشترین تغییر در خصوصیات جریان غلیظ در قسمت شیب دار می باشد، به طوری که سرعت جریان در انتهای این ناحیه بین ۴۰ تا ۶۲ درصد نسبت به ابتدای آن افزایش می یابد. ارتفاع جریان نیز به دلیل کشش آب ساکن در طول فلوم همواره دارای روند افزایشی بوده و بیشترین افزایش در ناحیه شیب دار در حدود ۲ تا ۳/۵ برابر می باشد. همچنین میزان کشش آب ساکن علاوه بر عدد ریچاردسون (که در محدوده ۰/۶ تا ۴/۷ متغیر بود) به تغییرات ارتفاع آب مخزن نیز حساسیت زیادی دارد و رابطه ای نمایی در این خصوص پیشنهاد شده است.

واژگان کلیدی: شکست شیب، جریان غلیظ، مدل فیزیکی، عدد ریچاردسون، کشش آب ساکن

*نویسنده مسوول، پست الکترونیکی: hosseinba@yahoo.com

۱. مقدمه

اصولاً جریان غلیظ را می‌توان ورود یک سیال با جرم مخصوص معلوم به یک توده سیال با جرم مخصوص متفاوت، به دلیل تأثیر شتاب ثقل بر روی اختلاف جرم مخصوص توصیف کرد (Graf, 1998). اختلاف در جرم مخصوص ممکن است ناشی از مواد معلق، مواد محلول، دما و یا ترکیبی از آنها باشد (Graf, 1998). این جریان‌ها عامل اصلی انتقال رسوبات به داخل مخازن سدها، دریاچه‌ها و اقیانوس‌ها بوده که نیروی دراگ این جریان‌ها نیز غالباً پتانسیل تخریب بالایی را نیز دارا می‌باشد.

اولین مشاهدات جریان غلیظ در دریاچه جنوا توسط محققى به نام فارل در سال ۱۸۸۵ در کشور سوئیس گزارش شده است (Garcia, 1993). Fan (۱۹۶۰) در تحقیقات خود ظرفیت انتقال رسوب در جریان‌های غلیظ کدر را وابسته به اندازه ذرات دانست. او با استفاده از آزمایشات آزمایشگاهی نشان داد که ذرات بزرگتر بلافاصله ته نشین می‌گردند در صورتی که ذرات ریزتر با تغییرات ثابت منتقل می‌گردند (Chu et al., 1979). آلتیناکار و همکاران (۱۹۹۰) با بررسی‌های آزمایشگاهی، تأثیر یک شیب کم و رسوبگذاری ضعیف^۱ را روی رفتار رأس جریان‌های غلیظ تجزیه پذیر، مورد بررسی قرار دادند. گارسیا و پارکر (۱۹۹۳) پرش هیدرولیکی در جریان‌های غلیظ در ورودی تنگه به دلتا را مورد بررسی قرار دادند و نتیجه گرفتند که ضخامت رسوبات درست پایین دست پرش تمایل به افزایش دارد، در حالی که نسبت سرعت برشی بستر بلافاصله پشت پرش به سرعت سقوط ذرات کاهش می‌یابد. سزار و شلیس (۱۹۹۹) جهت بررسی

مکانیسم جریان‌ات غلیظ و انتقال رسوب از رودخانه به دریاچه‌های مصنوعی، مدل فیزیکی جریان‌ات غلیظ را در یک فلوم آزمایشگاهی تهیه کرده و به موازات مطالعه آزمایشگاهی، مشاهدات صحرایی در یک مخزن و رودخانه اصلی ورودی به آن انجام دادند. Peakall و همکاران (۲۰۰۱) تغییرات زمانی یک جریان غلیظ کدر را مورد بررسی قرار داد و یک سری زمانی در این خصوص ارائه کردند. Choux و همکاران (۲۰۰۵) جهت مقایسه ساختار مکانی و زمانی جریان در غلظت پایین و بالا پروفیل‌های عمودی بی بعد سرعت، تلاطم، اندازه ذره و غلظت حجمی ذرات را در هر دو غلظت اولیه بدست آورده و با یکدیگر مقایسه نمودند. جریان‌های غلیظ اغلب سبب تشکیل کانال‌های زیرآبی در اقیانوس‌ها و دریاها شده که پس از یک شیب تند به مناطق کم شیب بدل می‌شود. این تغییر شیب در برخی موارد بصورت پلکانی و متداوم گزارش شده که بیانگر تغییر رژیم جریان در طول مسیر می‌باشد (Kostic and Parker, 2005). به هر حال سابقه مطالعات انجام شده در خصوص جریان‌های غلیظ را می‌توان به سه گروه فعالیت‌های آزمایشگاهی، مطالعات میدانی و نیز مدل‌های توسعه یافته ریاضی تقسیم بندی کرد که همگی در جهت شناخت بهتر و پیش بینی رفتار این پدیده پیچیده گام برداشته‌اند.

در بسیاری از موارد وقوع جریان‌های غلیظ در طبیعت، معمولاً جریان مذکور پس از طی یک شیب تند با انرژی بالا وارد گستره‌ای با شیب کم می‌گردد. در چنین حالتی که ممکن است حتی رژیم جریان نیز تغییر یابد، خصوصیات جریان تغییرات زیادی خواهد نمود. در این تحقیق سعی بر آن بوده که تا با ایجاد شکست شیب بر روی بستر، به بررسی خصوصیات جریان غلیظ پرداخته شود.

^۱ Weak Sedimentation

$$C_s U h = \int_0^{\infty} (u c_s) dz \quad (6)$$

در روابط فوق u و c_s به ترتیب سرعت و غلظت نقطه ای در پروفیل عمقی جریان غلیظ می‌باشند. به‌طور کلی در جریانهای غلیظ با مرزهای محدود از طرفین و در حالت یک‌بعدی و پایدار معادلات دیفرانسیلی حاکم (معادلات پیوستگی آب، رسوب و معادله اندازه حرکت) را می‌توان بصورت زیر نوشت (Garcia, 1993):

$$\frac{d}{dx}(U h) = E_w U \quad (7)$$

$$\frac{d}{dx}(C_s U h) = V_s (E_s - c_b) \quad (8)$$

$$(9)$$

$$\frac{d}{dx}(U^2 h) = -\frac{1}{2} g R \cos \theta \frac{d}{dx}(C_s h^2) + (g R C_s h) \sin \theta - u_*^2$$

که در آنها E_w ضریب کشش سیال پیرامون، E_s ضریب کشش رسوبات، c_b غلظت رسوبات نزدیک بستر، $R = \frac{\rho_s}{\rho_a} - 1$ و u_* سرعت برشی بستر می‌باشند. در حرکت یک جریان غلیظ بر روی بستری با شیب کف $S = tg \theta$ ، می‌توان عدد فرود دنسیمیتریک جریان غلیظ (F_{rd}) را به صورت زیر تعریف کرد.

$$F_{rd} = \frac{U}{\sqrt{g' h \cos \theta}} \quad (10)$$

عدد ریچاردسون که معادل عکس مجذور عدد فرود دنسیمیتریک بوده و در بررسی جریانهای چگال استفاده از آن بیشتر مرسوم است، با Ri نشان داده می‌شود (Turner, 1973).

$$Ri = \frac{g' h \cos \theta}{U^2} = \frac{1}{F_{rd}^2} \quad (11)$$

جریان غلیظ به شتاب ثقل موثر یا کاهش یافته که عامل حرکت در جریانهای غلیظ می‌باشد وابسته بوده که با رابطه زیر بیان می‌گردد (Graf, 1983):

$$(1)$$

$$g' = g(\rho_d - \rho_a) / \rho_a = g \frac{\Delta \rho}{\rho_a}$$

که در آن ρ_d جرم مخصوص جریان غلیظ، ρ_a جرم مخصوص متوسط سیال محیط و شتاب ثقل می‌باشند. اگر اختلاف جرم در سیال، ناشی از ذرات ریز معلق باشد، جریان غلیظ به وجود آمده را جریان گل آلود^۱ می‌نامند و جرم مخصوص آن توسط رابطه زیر بیان می‌شود (Graf, 1983):

$$\rho_d = \rho_a + (\rho_s - \rho_a) C_s \quad (2)$$

که در آن ρ_s و C_s به ترتیب جرم مخصوص و غلظت متوسط حجمی رسوب می‌باشند. بدین ترتیب شتاب ثقل موثر در جریانهای گل آلود به صورت زیر خواهد بود:

$$g' = g \left(\frac{\rho_s - \rho_a}{\rho_a} \right) C_s \quad (3)$$

از آنجایی که مرز بین جریان غلیظ و سیال به خوبی قابل تشخیص نمی‌باشد، ارتفاع (h) و سرعت (U) و غلظت (C_s) متوسط جریان غلیظ در یک مقطع را می‌توان توسط روابط زیر بیان نمود (Garcia, 1993):

$$U h = \int_0^{\infty} u dz \quad (4)$$

$$U^2 h = \int_0^{\infty} u^2 dz \quad (5)$$

¹ Turbidity current

پدیده جریان غلیظ، سعی شد تا محدوده و وسیع تر و کاربردی تری از پارامترهای متغیر ذکر شده جهت انجام آزمایشات انتخاب گردد. مشخصات کلی مدل فیزیکی در شکل (۲) به صورت شماتیک نشان داده شده است. جریان غلیظ در یک مخزن با حجم تقریبی ۶/۵ متر مکعب توسط یک پمپ قوی (به منظور انجام عمل اختلاط نمک طعام و ماده رنگی) تهیه شد. پمپ یاد شده دو لوله خروجی داشت که یکی از آنها به مخزن ماده غلیظ جهت اختلاط و دیگری به یک مخزن با بار ثابت به منظور آرامش اولیه و نیز تنظیم دبی ورودی به فلوم وارد می شد. به منظور کنترل دقیق جریان ورودی از یک شیر فلکه تنظیم کننده و نیز دبی سنج دیجیتالی (با دقت اندازه گیری ۰/۰۱ لیتر بر ثانیه) استفاده شد. جریان غلیظ پس از تنظیم دبی توسط شیر فلکه از طریق یک لوله خروجی به مخزن جریان غلیظ پشت دریچه ورودی فلوم هدایت می گردید. پس از آماده سازی جریان غلیظ، فلوم آزمایش توسط آب زلال از طریق یک لوله جداگانه پر و در ارتفاع ۷۵ سانتیمتر ثابت نگه داشته می شد. سپس با باز کردن دریچه، جریان غلیظ وارد فلوم شده و طول آن را طی می کرد. جهت خروج جریان غلیظی که به انتهای فلوم می رسید نیز دریچه ای تعبیه شد. به منظور ثابت نگه داشتن ارتفاع آب زلال درون فلوم نیز از طریق مخزن جداگانه ای آب زلال به انتهای فلوم وارد و جهت جلوگیری از ایجاد تلاطم نیز تیغه آرام کننده ای در انتهای فلوم نصب گردید.

به منظور بررسی تغییر در خصوصیات جریان غلیظ در طول فلوم، چهار مقطع جهت اندازه گیری در محل های ابتدای شیب (محل شکست شیب)، انتهای شیب و دو مقطع نیز پس از شیب که هر کدام به ترتیب دارای فاصله ۲، ۴/۵، ۵ و ۶ متری از

در بسیاری از تحقیقات مقدار E_w ، عموماً بصورت تابعی از عدد ریچاردسون با فرمول کلی زیر بیان شده است:

$$E_w = \frac{a}{b + cR_i^d} \quad (12)$$

ضرایب a ، b ، c و d ، ضرایب تجربی بوده که از طریق آزمایش به دست می آیند. در خصوص ارتباط شدت اختلاط و عدد ریچاردسون معادلات متفاوتی ارائه شده است (Ashid and Egashira, 1975; Fukushima et al., 1985; Parker et al., 1987; Chikita, 1990; Ghomeshi, 1995).

۲. مواد و روش کار

آزمایش ها در فلومی با طول ۸ متر، عرض ۵۰ سانتیمتر و ارتفاع ۸۰ سانتی متر انجام گرفتند. به منظور ایجاد شرایط مورد نظر، با استفاده از یک گوه دوزنقه ای شکل بستر فلوم عملاً به سه ناحیه مطابق شکل (۱) تقسیم شد.

دو قسمت افقی ابتدایی و انتهایی به ترتیب دارای طول های ۲ و ۳/۵ متر و قسمت شیب دار میانی دارای طول قاعده ۲/۵ متر و ارتفاع (h_d) متغیر بود. به منظور ایجاد شیب های متفاوت ارتفاع یاد شده در سه حالت ۰/۲ متر، ۰/۳ متر و ۰/۴ متر تنظیم شد که به ترتیب زوایایی معادل ۴/۵۷، ۶/۸۴ و ۹/۰۹ درجه با افق ایجاد نمودند. تعداد ۲۷ آزمایش به گونه ای طراحی شد که در هر شیب، سه دبی متفاوت (دبی های ۰/۵، ۱ و ۱/۵ لیتر بر ثانیه) و در هر دبی نیز سه غلظت متفاوت از جریان غلیظ (با جرم حجمی ۱۰۰۷، ۱۰۱۴ و ۱۰۲۰ کیلوگرم بر متر مکعب) مورد ارزیابی قرار گرفت. در تحقیق حاضر با توجه به مطالعات انجام شده گذشته در خصوص

تغییرات سرعت در بخش شیب‌دار فلوم مشاهده شد به طوری که نسبت افزایش سرعت انتها به ابتدای شیب از $1/4$ برابر تا $1/62$ برابر ثبت گردید. در بستر افقی پس از شیب، تغییرات سرعت ناچیز و دارای روند کاهشی بود (شکل ۳).

۲-۳. تغییرات ارتفاع متوسط بدنه جریان

غلیظ

با توجه به ورود آب ساکن محیط پیرامون به بدنه جریان غلیظ، ارتفاع متوسط جریان همواره دارای روند افزایشی بود. بیشترین نسبت ارتفاع مربوط به ناحیه شیب‌دار بود که تغییرات نسبت ارتفاع را تا بیش از $3/5$ برابر نشان می‌داد. کاهش ناگهانی شیب (در ناحیه افق انتهای فلوم)، حتی در مواقعی که جریان دچار تغییر رژیم و ایجاد پرش هیدرولیکی نیز می‌شد باعث افزایش قابل ملاحظه ارتفاع جریان نگردید (شکل ۴).

۳-۳. تغییرات دبی

ماهیت جریان غلیظ باعث افزایش دبی جریان غلیظ در طول مسیر حرکت گردید. این افزایش دبی با توجه به تغییرات شدید سرعت و ارتفاع در ناحیه شیب‌دار بسیار زیاد بود به طوری که نسبت افزایش دبی در انتهای ناحیه شیب‌دار به ابتدای آن در حدود سه تا بیش از پنج برابر محاسبه شد.

۴-۳. تغییرات E_w

در تحقیقات متعددی ارتباط بین E_w و R_i نشان داده شده است. E_w عموماً به صورت تابعی از عدد ریچاردسون بیان شده است، $E_w = F(R_i)$. نتایج این مطالعه نیز نشان داد که یک ارتباط

ابتدای فلوم بوده، انتخاب و پروفیل عمقی سرعت جریان توسط یک دستگاه سرعت سنج اکوستیک پروفیلر (با دقت اندازه گیری 0.1 میلی متر بر ثانیه) با قرار دادن سنسورهای این دستگاه در سطح آب و در محور مرکزی فلوم برداشت گردید. به دلیل عدم ورود سنسورهای سرعت سنج به بدنه جریان، اختلاطی نیز ایجاد نمی‌شد. با توجه به اهداف تحقیق به منظور بررسی خصوصیات جریان، اندازه‌گیری‌ها پس از گذشت زمانی که جریان به حالت یکنواخت می‌رسید انجام گردید. جرم مخصوص جریان غلیظ نیز با استفاده از دستگاه هیدرومتر اندازه‌گیری شد.

۳. نتایج

به منظور محاسبه سرعت متوسط جریان غلیظ از تقسیم رابطه (۵) به (۴) استفاده و ارتفاع متوسط جریان نیز با تقسیم رابطه (۴) به سرعت متوسط بدست آمد. چنانچه مقاطع ورودی، ابتدای شیب، انتهای شیب و مقطع پس از شیب به ترتیب با زیرنویس‌های ۰، ۱، ۲، ۳ و ۴ نمایش داده شوند، جدول ۱ خصوصیات جریان از قبیل سرعت متوسط، ارتفاع متوسط و دبی (در عرض واحد) عبوری از هر مقطع را نسبت به مقطع قبل از خود بیان می‌کند.

۳-۱. تغییرات سرعت متوسط

جریان غلیظ ایجاد شده پس از باز شدن دریچه و ورود به فلوم آزمایش، با کاهش سرعت مواجه گشت اما به دلیل گرادیان ناشی از تأثیر افتادگی بستر، سرعت متوسط مجدداً روند افزایشی به خود گرفت. این روند به طور عمومی با در نظر گرفتن شیب و غلظت ورودی ثابت، روند کاهشی متناسب با کم شدن دبی ورودی نشان می‌دهد. بیشترین

شیبدار با شیب‌های تند، پروفیل‌های سرعتی را ایجاد نموده که بیشترین تاثیر را بر روی لایه بینابینی (مرز بین جریان غلیظ و سیال ساکن پیرامون) می‌گذارند. آشفتگی ایجاد شده در مرز بین لایه‌ای به دلیل گرادیان سرعت در این ناحیه، در سطوح بالاتر نیز توسعه یافته و باعث افزایش قابل ملاحظه تنش‌های برشی و به تبع آن ارتفاع جریان غلیظ می‌گردد. به نظر می‌رسد انتقال آشفتگی و تنش‌های برشی ایجاد شده در لایه‌هایی با سرعت‌های مثبت و منفی در لایه بینابینی به‌گونه‌ای است که به خصوص در زمانی که نسبت عمق سیال پیرامون به ارتفاع سیال غلیظ در حال حرکت کمتر از عدد ۷ است، باعث افزایش قابل توجه پدیده اختلاط می‌گردد. به‌طوری‌که دبی جریان غلیظ افزایش چندین برابری می‌یابد. این تاثیر را می‌توان در تاثیرپذیری توام پارامتر شدت اختلاط از عدد ریچاردسون و نسبت عمق سیال پیرامون به ارتفاع سیال غلیظ (معادله ۱۴) مشاهده نمود. اگرچه در برخی منابع، از ارتفاع سیال ساکن پیرامون به‌عنوان یک عامل موثر بر خصوصیات جریان غلیظ نام برده شده است، اما تاکنون این ارتباط به صورت کمی و واضح عنوان نشده و نیاز به مطالعات بیشتر در این خصوص ضروری است. در مجموع می‌توان از مجموع آزمایشات انجام

شده نتایج زیر را به دست آورد:

- نسبت افزایش سرعت جریان غلیظ در انتها به ابتدای ناحیه شیبدار از حدود ۱/۴ برابر تا ۱/۶۲ برابر متغیر بود.

یک‌بعدی فقط با تعریف E_w به عنوان تابعی از پارامتر R_i امکان‌پذیر نمی‌باشد (شکل ۵).

نوع رابطه میان E_w و R_i عموماً بصورت معادله (۱۲) است که قبلاً توضیح داده شد. جهت تعیین دیگر پارامترهای موثر بر میزان ارتباط میان E_w و R_i پارامترهای بی‌بعد دیگری نیز تحلیل شدند. از جمله این پارامترها، نسبت ارتفاع کل آب مخزن (H) به ارتفاع جریان غلیظ در هر مقطع (h) بود که ارتباط مناسبی با E_w نشان می‌دادند. با استفاده از نرم‌افزار تحلیل آماری SPSS، نوع و نحوه ارتباط R_i و $\left(\frac{H}{h}\right)$ با E_w بررسی و پارامتر جدیدی به نام X با رابطه زیر تعریف گردید:

$$X = R_i^{-0.6} \cdot \left(\frac{H}{h}\right)^3 \quad (13)$$

چنانچه تغییرات X و E_w در شکل (۷) مشاهده می‌گردد که تابع عبوری از آن بصورت یک تابع نمایی است.

شکل (۷) بیان‌کننده تأثیر تغییرات شیب بستر یا به عبارتی تأثیر تغییرات ارتفاع آب بر روی خصوصیات جریان غلیظ می‌باشد. بنابراین رابطه پیشنهادی را می‌توان بصورت زیر ارائه نمود.

$$R^2 = 0.83 \quad (14)$$

$$E_w = 2E - 13 \cdot [R_i^{-0.6} \cdot \left(\frac{H}{h}\right)^3]^{4.62}$$

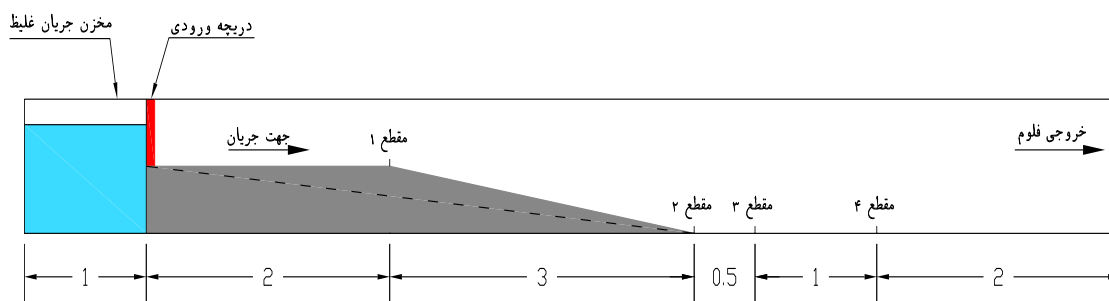
۴. بحث

تحقیق حاضر به منظور بررسی تغییر خصوصیات جریان غلیظ بر اثر شکست ناگهانی شیب بستر که در واقع شبیه‌سازی دلتای مخازن و مصب رودخانه‌هاست، انجام گردید. همان‌گونه که از نتایج برمی‌آید، تاثیر نیروی ثقل بر روی سطح

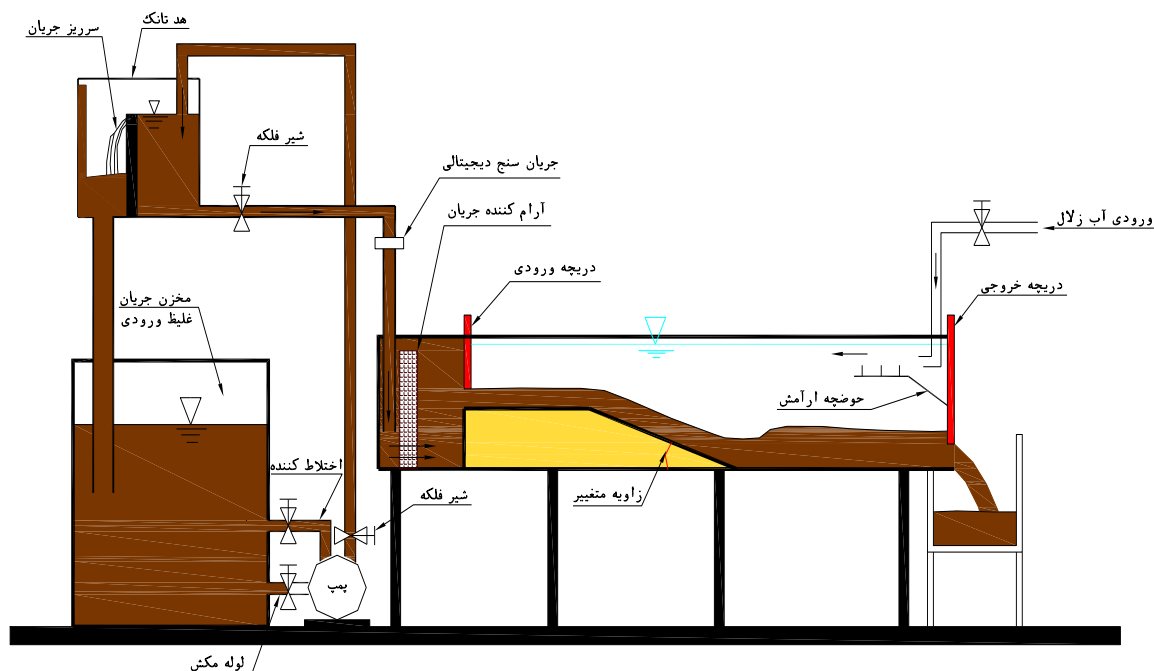
- ارتفاع متوسط جریان غلیظ همواره دارای روند افزایشی است. بیشترین نسبت ارتفاع مربوط به ناحیه شیبدار تا بیش از $3/5$ برابر بوده است.
- مقدار E_w علاوه بر R_i ، به ارتفاع آب مخزن نیز حساسیت قابل ملاحظه‌ای نشان داد و رابطه‌ای نمایی برای تعیین میزان کشش آب ساکن ارائه گردید.

تقدیر و تشکر

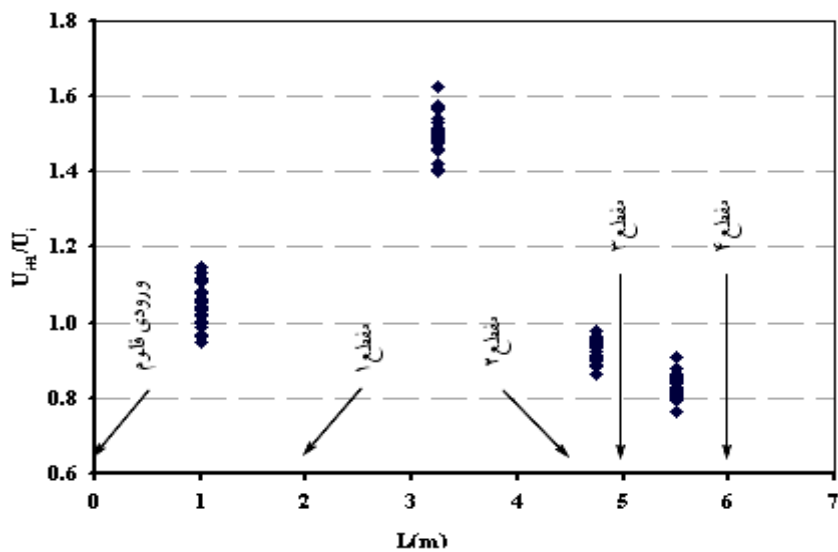
از دفتر تحقیقات سد و نیروگاه سازمان آب و برق خوزستان به دلیل حمایت مالی بخشی از هزینه‌های این تحقیق سپاسگزاری می‌شود.



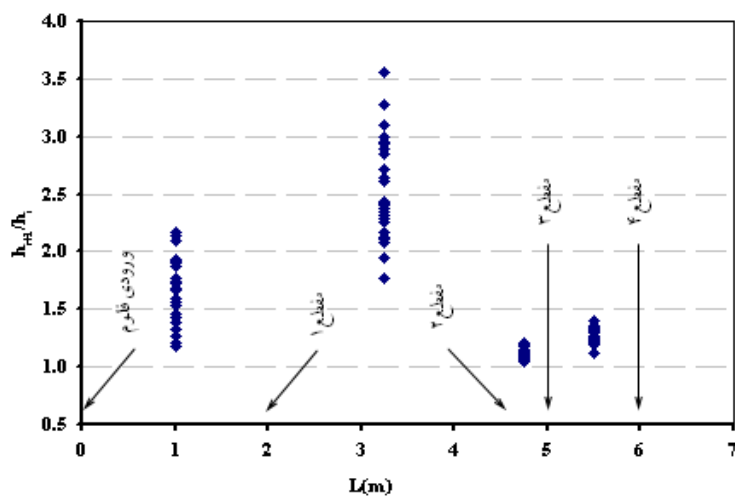
شکل ۱. نمایی از فلوم استفاده شده در تحقیق حاضر



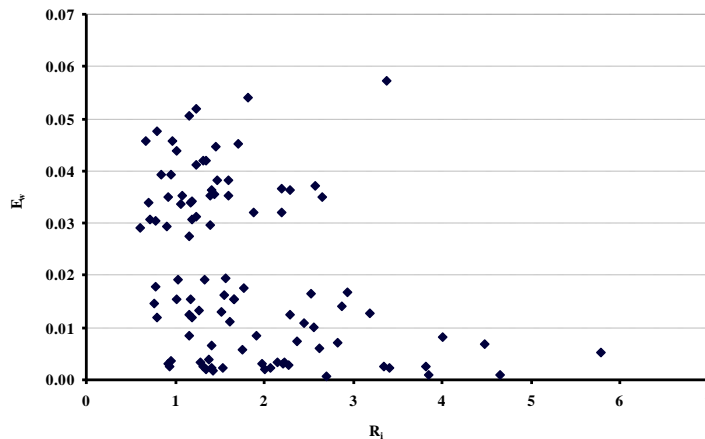
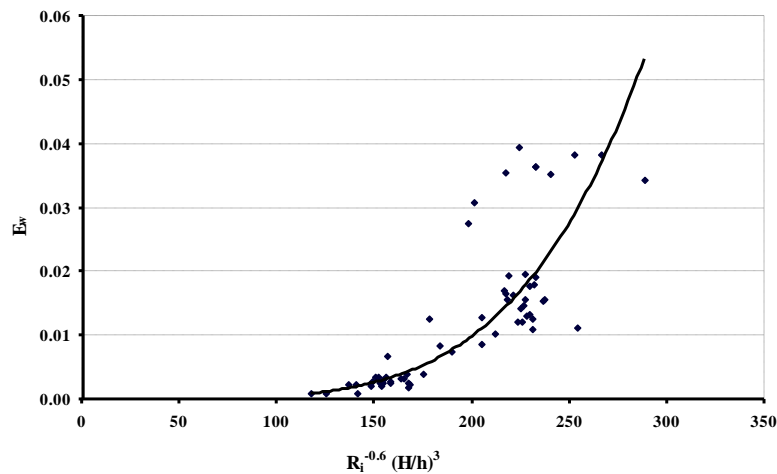
شکل ۲. شماتیک فلوم و تاسیسات استفاده شده در انجام آزمایشات



شکل ۳. تغییرات نسبت سرعت‌های متوسط در طول فلوم



شکل ۴. تغییرات نسبت ارتفاع متوسط در طول فلوم

شکل ۵. تغییرات E_w در برابر عدد ریچاردسونشکل ۷. تغییرات E_w در برابر پارامتر X

Chikita, K. 1990. Sedimentation by river-induced Turbidity currents, field measurements and interpretation. *Sediment.* 37: 891-905.

Choux, C.M.A., Bass, J.H., McCaffrey, W.D. and Haughton, P.D.W. 2005. Comparison of Spatio-temporal evolution of experimental particulate gravity flows at two different initial concentrations, based on velocity, grain size and density data. *Sediment. Geol.* 179: 49-69.

Chu, F.H., Pilkey W.D. and Pilkey O.H. 1979. An analytical study of turbidity current steady flow. *Mar. Geol.* 33: 205-220.

منابع

ترابی پوده، ح. ۱۳۷۸. ارزیابی معادلات برآورد رسوبات معلق در رودخانه‌های استان خوزستان. پایان نامه دکترای سازه های آبی، دانشکده علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز.

Altinakar, M.S., Graf, W.H. and Hopfinger E.J. 1990. Weakly depositing turbidity current on a small slope. *J. Hydraul. Res.* 28: 5580-

Ashida, K. and Egashira, S. 1975. Basic study on turbidity currents. *Proceedings of Japan Society of Civill Engineers*, pp: 37-50.

submarine channels. *J. Sediment. Res.* 70: 434-448.

Turner, J.S. 1973. Buoyancy effects in fluids. Cambridge University Press, Cambridge, England, pp:412.

De Cesare, G. and Schleiss, A. 1999. Turbidity current monitoring in a physical model flume using ultrasonic doppler method. In: Second international symposium on ultrasonic Doppler methods for fluid mechanics and fluid engineering, Switzerland, pp: 61-64.

Ellison, T.H. and Turner J.S. 1959. Turbulent entrainment in stratified flow. *J. Fluid Mech.* 6: 423-448.

Fan, J. 1960. Experimental Studies on density current. *Sci. Sinica* 9: 275-303.

Fukushima, Y., Parker, G. and Pantin H.M. 1985. Prediction of ignitive turbidity currents in Scripps submarine canyon. *Mar. Geol.* 67: 55-81.

Garcia, M.H. 1993. Hydraulic jumps in sediment-driven bottom currents. *J. Hydraul. Eng.* 119: 1094-1117.

Ghomeshi, M. 1995. Reservoir sedimentation Modeling. Ph.D thesis, University of Wollongong, Australia, pp 219.

Graf, W.H. and Altinakar, M.S. 1998. Fluvial hydraulics: Flow and transport processes in channels of simple geometry. John Wiley and Sons, London, GB, pp 681.

Graf, W.H. 1983. Hydraulics of reservoir sedimentation. *Int. Water Power . Dam Constr.* 35: 45-52.

Graf, W.H. 1983. The behavior of silt-laden current. *Int. Water Power Dam Constr.* 35: 33-38.

Kostic, Parker 2005. The Response of Turbidity Currents to a Canyon-Fan Transition. Internal Hydraulic Jumps and Depositional Signatures, National Center for Earth-surface Dynamics, St. Anthony Falls Laboratory, University of Minnesota, Minneapolis, MN, 55414, USA.

Lofquist, K. 1960. Flow and stress near an interface between stratified liquids. *Phys. Fluids* 3: 158- 169.

Parker, G., Garcia, M. and Fukushima, Y. 1987. Experiments on turbidity currents over an erodible bed. *J. Hydraul. Res.* 25: 123-147.

Peakall, J., McCaffrey, W.D. and Kneller, B.C. 2000. A process model for the evolution, morphology and architecture of sinuous