

مقدمه

یکی از مهم‌ترین پدیده‌های مؤثر در رسوب‌گذاری مخازن، جریان‌های غلیظ می‌باشند. این جریان‌ها می‌توانند رسوبات همراه خود را تا دیواره سد برسانند [۲۵]. احداث سد یا هر سازه هیدرولیکی دیگر در مسیر رودخانه‌ها باعث به هم خوردن تعادل رسوبی در مسیر جریان گردیده و متعاقباً پروفیل طولی مسیر رودخانه را تغییر می‌دهد که ایجاد تعادل مجدد ممکن است سال‌ها به طول انجامد. جریان غلیظ و یا جریان چگال عبارت است از جریان به به علت اعمال نیروی ثقل بر روی اختلاف چگال دو سیال به وجود می‌آید [۵۰]. هنگام ورود جریان به مخزن سد به دلیل افزایش عمق که در بیش‌تر موارد توأم با افزایش عرض مقطع نیز می‌باشد، با تشکیل پدیده فرآب (افزایش سطح آب)، سرعت جریان کاسته شده و در نتیجه رسوب‌گذاری با روند بیش‌تری ادامه می‌یابد. مواد درشت‌دانه در مصب مخزن ته‌نشین شده و تشکیل دلتا را می‌دهند؛ در حالی که مواد ریزدانه عموماً با تشکیل جریان غلیظ و با حرکت در مجاورت بستر تا پشت دیواره سد پیش‌روی کرده و در محل حجم مرده مخزن انباشته می‌شود [۲۰]. بنا بر اعلام کمیسیون بین‌المللی سدهای بزرگ در سال ۱۹۸۸، با در نظر گرفتن حجم موجود تمام سدهای دنیا، سالیانه به‌طور میانگین یک درصد از حجم مخازن کاسته می‌شود [۴۵]. تشکیل دلتا و رسوب‌گذاری در مخزن مسائل و مشکلات فراوانی را به وجود می‌آورد که از آن جمله می‌توان به افزایش سطح آب دریاچه و در نتیجه افزایش تبخیر، کاهش حجم مخزن (به‌عنوان مهم‌ترین مسئله، مخصوصاً در سدهای مخزنی) و آسیب‌های حاصل از ورود مواد رسوبی درشت‌دانه به تأسیسات هیدرومکانیکی سد و نیروگاه‌های برقی آن اشاره کرد [۲۰]. یکی از راهکارها افزایش ارتفاع بدنه سد می‌باشد. اگرچه این راهکار می‌تواند برای یک دوره کوتاه مؤثر باشد، اما به‌عنوان یک راه حل دائمی نمی‌توان از آن استفاده نمود. از جمله راهکارهای دیگر افزایش ارتفاع سازه‌های آبخیزی و دریچه‌های تخلیه تحتانی می‌باشد. با این کار حجم مرده سد افزایش یافته و برای مدت معینی می‌توان رسوبات ته‌نشین شده را کنترل نمود. لذا ارائه راهکارهایی به‌منظور کنترل جریان غلیظ در محل سد ضروری می‌باشد [۹]. مدیریت یکپارچه رسوب به مفهوم در نظر گرفتن تمام جوانب مشکل رسوب و به کار بردن استراتژی‌های متناسب با شرایط حاکم بر منطقه مورد نظر، در جهت حل مشکل رسوب می‌باشد. به‌عبارت بهتر استراتژی ماندگار در مدیریت رسوب بایستی در مطالعه خود، همگام با مطالعه فرآیند

 مروری بر روش‌های کنترل جریان غلیظ ورودی به
 مخازن سدها در شرایط مختلف هیدرولیکی

مهدی دستورانی^۱، هادی رزاقیان^{۲*} و بهروز محسنی^۳
 تاریخ دریافت: ۹۸/۰۷/۲۶ تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۶/۰۱

چکیده

شرایط اقلیمی خشک و نیمه‌خشک و عدم هماهنگی زمانی بین آبدهی حوضه‌ها و مصارف، باعث شده تا مدیران آب به کمک فن سدها سعی در کنترل و نگهداری از منابع آب سطحی داشته باشند تا از این طریق بتوانند نیازهای آبی مختلف را با مدیریت و برنامه‌ریزی تأمین نمایند. اما رسوب‌گذاری در مخازن باعث کوتاه شدن عمر مفید سدها می‌شود. جریان‌های غلیظ از عوامل اصلی انتقال رسوب به مخازن محسوب می‌شوند که تا به حال عملکرد سدهایی مانند میناب، سفیدرود و... را مختل کرده است. جریان غلیظ علاوه بر کاهش حجم مخزن سد، با ورود ذرات رسوب باعث افزایش سرعت ساییدگی توربین، کاهش بازده آن و افزایش هزینه‌های نگهداری می‌شود. در حال حاضر سرعت تلفات حجم مخازن در اثر رسوب‌گذاری در مخازن بیش‌تر از سرعت ساخت مخازن جدید می‌باشد. از این رو افزایش عمر مفید سد و حفظ حجم ذخیره آن برای تداوم کنترل و بهره‌برداری از آب، در مهندسی منابع آب موضوعی مهم تلقی می‌گردد. شناخت خصوصیات جریان غلیظ در یک سد می‌تواند کمک شایانی جهت مدیریت و خروج این جریان‌ها از مخزن سد باشد. در این مقاله به بررسی جامعی از مطالعات انجام شده بر روی انواع روش‌های کنترل جریان غلیظ، کاربرد توأم روش‌ها در شرایط آزمایشگاهی، محدودیت‌های اجرایی آن‌ها پرداخته شده و پیشنهاداتی جهت انتخاب روش مناسب برای کنترل جریان غلیظ ارائه گردیده است.

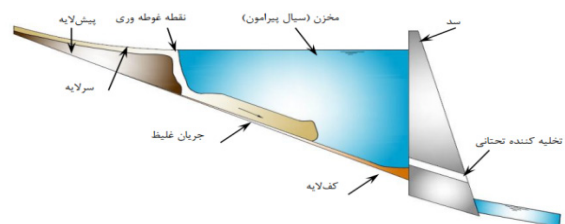
واژه‌های کلیدی: جریان غلیظ، رسوب‌گذاری، عمر مفید سد، مدیریت منابع آب.

۱- استادیار گروه مهندسی آب دانشکده کشاورزی دانشگاه بیرجند،
 *۲ و استادیار و مربی گروه کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه پیام نور، تهران،
 ایران. ۱۹۳۹۵-۴۶۹۷. Email: Hrazzaghan@yahoo.com

رسوب گذاری در مخزن، اثرات ناشی از رسوب گذاری را در مناطق پایین دست نیز لحاظ نماید [۳۵]. بررسی جریان های غلیظ در علوم مختلف، هم از لحاظ اقتصادی و هم از لحاظ زیست محیطی دارای اهمیت ویژه ای می باشد. به واسطه فراوانی این جریان ها در طبیعت، شناخت و بررسی ویژگی ها و عوامل مؤثر بر آن ها امری ضروری و اجتناب ناپذیر هستند. ایجاد مانع در مسیر جریان گل آلود میتواند بر مشخصات این جریان، از جمله میزان اختلاط و غلظت آن تأثیر داشته باشد [۱۴]. بیش تر مطالعات انجام شده روی بستر صلب بوده است و به طور مشخص اثر بستر متحرک و تشکیل فرم بستر روی مشخصات جریان غلیظ دیده نشده است [۴۲]. با توجه به مطالب فوق و با در نظر گرفتن تلفات کم تر آب، بررسی و مطالعه حرکت جریان های غلیظ می تواند اطلاعات باارزشی را در اختیار قرار دهد. لذا در این تحقیق ضمن بررسی روش های کنترل جریان غلیظ ورودی به مخازن سدها در شرایط مختلف هیدرولیکی، کاربرد توأم آن روش ها در شرایط آزمایشگاهی متفاوت و محدودیت های اجرایی روش ها پرداخته شده است.

تعاریف و مفاهیم

جریان را براساس تغییرات چگالی در داخل آن، به دو دسته همگن و غیرهمگن (طبقه ای) می توان تقسیم کرد. در صورتی که در هر مکانی از جریان مقدار چگالی ثابت باشد، جریان از نوع همگن و اگر چگالی در هریک از جهات تغییر نماید، جریان از نوع طبقه ای است [۱۸]. اصولاً زمانی که سیال با یک جرم مخصوص به درون یک توده سیال با جرم مخصوص دیگر جریان یابد؛ پدیده جریان غلیظ اتفاق می افتد (شکل ۱).



شکل ۱: نمایی از فرآیند جریان غلیظ در مخزن سد [۱۶].

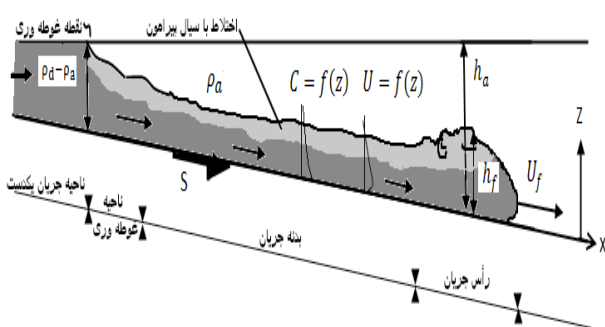
به عبارت دیگر جریان غلیظ به جریانی گفته می شود که یک سیال با سرعت مخالف صفر و چگالی متفاوت از چگالی سیالی که نسبتاً ساکن است، وارد آن شود و در امتداد یکی از لایه های سیال ساکن به حرکت خود ادامه دهد. این تعریف تمامی خصوصیات لازم برای تشکیل جریان غلیظ را در برمی گیرد [۲۰].

زمانی که جریانی از سیال با چگالی متفاوت وارد مخزن آب می شود؛ برحسب اختلاف چگالی بین دو سیال، سه نوع جریان می تواند شکل گیرد. اگر چگالی سیال ورودی به مخزن از چگالی آب موجود در مخزن کم تر باشد؛ لایه ای از سیال در راستای سطح

آزاد حرکت خواهد کرد که در این حالت جریان ورودی نامیده می شود. برعکس، اگر چگالی سیال ورودی از چگالی آب موجود در مخزن بیش تر باشد؛ در این حالت جریان زیررونده نامیده می شود. در نهایت اگر ناهمگنی آب درون مخزن مثلاً به دلیل اختلاف دما باشد؛ سیال ورودی در جهت لایه میانی حرکت خواهد کرد که در این حالت جریان میان رونده نامیده می شود [۳۲]. جریان مورد بحث در مخازن سدها غالباً جریان زیررونده می باشد. یک جریان غلیظ زیررونده دارای چهار ناحیه می باشد (شکل ۲): ناحیه قبل از ورود به مخزن، ناحیه غوطه وری، بدنه جریان و پیشانی جریان [۱۳]. پیچیدگی و گستردگی اجزا و عوامل مؤثر بر جریان غلیظ باعث شده تا تحقیقات مختلفی در زمینه جریان های غلیظ توسط پژوهشگران مختلف انجام گیرد.

مرور پژوهش های انجام شده جریان غلیظ

اولین مشاهده ثبت شده جریان غلیظ توسط محققى به نام فورل [۱۱] در دریاچه ژنو در کشور سوئیس گزارش شده است. برداشت توپوگرافی کف دریاچه در سال های بعد نشان داد که معبری به شکل فلوم با طول نه کیلومتر از مصب رودخانه تا درون دریاچه به وجود آمده است. عرض این فلوم ۲۰۰ متر و عمق آن ۱۵ متر بود [۱۲]. الیسون و ترنر [۱۰] نقش مهمی در درک مفاهیم اولیه جریان های غلیظ ایفا کردند. تئوری آن ها برای پیش بینی مشخصه حرکت جریان غلیظ، براساس این فرض بود که اختلاط بر رفتار جریان غلیظ حاکم بوده و تابعی از سرعت متوسط و عدد ریچاردسون لایه جریان می باشد. آن ها به طور تحلیلی و آزمایشگاهی اثبات کردند که در یک جریان دو بعدی، جریان بعد از مدت کمی به حالت تعادل رسیده و عدد ریچاردسون آن ثابت می شود.



شکل ۲: نمای اجزای تشکیل دهنده جریان غلیظ

تحلیل نقطه غوطه وری

سینگ و شاه [۴۳] در یک مطالعه آزمایشگاهی دریافتند که نقطه غوطه وری پایدار نبوده و به طرف پایین دست جریان حرکت می کند. موقعیتی که در آن نقطه غوطه وری شروع می شود؛ نقطه غوطه وری

اولیه و موقعیتی که در آن نقطه غوطه‌وری پایدار می‌گردد؛ نقطه غوطه‌وری پایدار نامیده می‌شود. هم‌چنین آن‌ها با انجام آنالیز ابعادی و با توجه به نتایج مطالعات خود رابطه (۱) را برای عمق تشکیل نقطه غوطه‌وری ارائه نمودند.

$$h_p = 1.85 + 1.3 \left(\frac{q_0^2}{g^2} \right)^{1/3} \quad (1)$$

این رابطه برای $\left(\frac{q_0^2}{g^2} \right)^{1/3} > 2 \text{ cm}$ ارائه شده است و واحد h_p سانتی‌متر می‌باشد. تونیولو و همکاران [۴۶] به تجزیه و تحلیل ناحیه غوطه‌وری و دینامیک ایجاد جریان پایاب در پایین‌دست نقطه غوطه‌وری پرداختند و در این راستا معادلات ناویر-استوکس را به صورت دو-بعدی تجزیه و تحلیل کردند. نتایج آن‌ها نشان داد خطوط جریان پایاب پس از نقطه غوطه‌وری با سطح آزاد زاویه ۵۷ درجه می‌سازند. هم‌چنین نتایج آن‌ها نشان داد که عدد فرود چگالی در نقطه غوطه‌وری و در پایین‌دست نقطه غوطه‌وری هر دو تابعی از ضریب اختلاط اولیه می‌باشند که آن نیز به شیب کف و میزان جریان ورودی ارتباط دارد. آن‌ها رابطه (۲) را برای محاسبه عمق جریان در نقطه غوطه‌وری پیشنهاد نمودند.

$$h_p = 1.8 \left(\frac{q_0^2}{g^2} \right)^{1/3} \quad (2)$$

گلیچ [۱۷] در پژوهشی به منظور بررسی ارتفاع نقطه غوطه‌وری آزمایش‌هایی با ایجاد جریان غلیظ نمکی و در شیب‌های متفاوت انجام داد. ایشان برای هر شیب، پنج دبی ورودی متفاوت و در هر دبی نیز چهار غلظت متفاوت از جریان غلیظ نمکی را مورد بررسی قرار داد. نتایج نشان داد که شیب اثر چندانی روی ارتفاع نقطه غوطه‌وری ندارد. با افزایش دبی ورودی جریان غلیظ با دانسیته مشخص به درون مخزن، مقدار ارتفاع نقطه غوطه‌وری برای شیب‌های مختلف افزایش می‌یابد.

تحلیل پیشانی و بدنه جریان غلیظ

دالی [۸] در مقاله خود وجود بسیاری از دره‌ها در اعماق دریاها و اقیانوس‌ها را در اثر وجود جریانات غلیظ و تأثیرات فرسایشی آن‌ها معرفی کرد. او در نتایج تحقیقات خود رابطه (۳) را برای پیشانی جریان غلیظ ارائه نمود.

$$U_f = C \sqrt{ms \Delta \rho} \quad (3)$$

در این رابطه U_f سرعت پیشانی جریان، m عمق متوسط هیدرولیکی، s شیب کف، C ضریب تجربی، $\Delta \rho$ اختلاف جرم مخصوص بین جریان غلیظ و سیال پیرامون آن است. کولگان [۲۷] رابطه (۴) را برای سرعت پیشانی جریان غلیظ نمکی ارائه نمود.

$$U_f = C_c \sqrt{g^1 H_f} \quad (4)$$

در این رابطه U_f سرعت پیشانی جریان، H_f ارتفاع پیشانی جریان، g^1 شتاب ثقل مؤثر، C_c ضریب تجربی می‌باشد. کولگان با انجام آزمایش‌های مختلف مقدار 0.7 را برای C_c پیشنهاد کرد. میدلتون [۳۳] با بررسی شکل پیشانی جریان غلیظ، ارتفاع پیشانی جریان

غلیظ را دو برابر ارتفاع بدنه جریان غلیظ و سرعت آن را کم‌تر از سرعت بدنه جریان غلیظ گزارش کرد. در آزمایشات وی شیب $0.04 < S < 0.08$ بود و ضریب تجربی از 0.65 تا 0.85 متغیر بوده است. وی در نهایت رابطه خود را به صورت رابطه (۵) ارائه نمود.

$$U_f = 0.75 \sqrt{g^1 H_f} \quad (5)$$

قمشی [۱۵] با استفاده از جریان غلیظ رسوبی و جریان غلیظ نمکی با شیب کف ثابت و برابر 0.0635 و استفاده از روابط سایر محققین برای سرعت پیشانی جریان غلیظ، رابطه (۶) و جهت تعیین ضریب کولگان بر اساس شیب بستر رابطه (۷) را ارائه نمود. هم‌چنین با انجام آزمایشاتی روی جریان غلیظ نمکی و رسوبی رابطه (۸) را برای شدت اختلاط ارائه نمود.

$$U_f = 0.72 \sqrt{g^1 H_f} \quad (6)$$

$$C = 1.04035 R_1^{0.0303} \quad (7)$$

$$E_{w} = \frac{0.0024}{R_1^{1.06}} \quad (8)$$

تأثیر شیب بستر بر جریان غلیظ

آلتیناکار و همکاران [۱] در یک‌سری آزمایش با شیب صفر تا 0.056 و با استفاده از گرد کوارتز با قطر متوسط 0.14 و 0.32 میلی‌متر در زمینه رسوب‌گذاری در مخازن سدها انجام دادند. آن‌ها دریافتند که رسوب‌گذاری، منجر به کاهش سرعت پیش‌روی جریان غلیظ و افزایش ابعاد پیشانی آن می‌شود. آن‌ها با انجام آزمایش روی شیب‌های $0.02 < S < 0.09$ و جریان غلیظ نمکی و کدر ریز دانه ($d_{50} = 0.14 \text{ mm}$) و درشت‌دانه ($d_{50} = 0.32 \text{ mm}$) نتیجه‌گیری نمود که تشابه نسبتاً خوبی بین پروفیل‌های سرعت در انواع مختلف جریان و در شیب‌های مختلف وجود دارد. هورش [۲۱] در نتایج تحقیق خود نشان داد که با صرف‌نظر کردن از خطوط جریان ناشی از شناوری، گرادیان فشار با لایه مرزی سازگار می‌باشد. در این مورد دو رژیم قابل تشخیص می‌باشد؛ منطقه‌ای که در آن توسعه جریان به‌وسیله شرایط اولیه کنترل می‌شود و منطقه کاملاً توسعه‌یافته که مستقل از شرایط اولیه می‌باشد. کاستیک و پارکر [۲۹] با استفاده از مواد ریز رسوبی به بررسی آزمایشگاهی تأثیر تغییر ناگهانی شیب بستر روی جریان غلیظ فوق بحرانی پرداختند. آن‌ها سعی کردند محل تشکیل پرش را تخمین بزنند و تا آنجا که می‌توانند از وقوع پرش جلوگیری کنند. سپس به تکرار آزمایشات با رسوبات درشت دانه‌تر پرداختند و تأثیر رسوب‌گذاری را روی عبور جریان بدون پرش یا محل تشکیل پرش ملاحظه نمودند. بهرامی و همکاران [۵] با ایجاد شکست شیب بستر که می‌تواند تداعی‌کننده وضعیت جریان در دلتای مخازن سدها و هم‌چنین مصب باشد؛ به بررسی تغییرات ایجادشده در اثر جریان غلیظ، روی خصوصیات جریان ورودی پرداختند. نتایج نشان داد که بیش‌ترین تغییر در خصوصیات جریان غلیظ در قسمت شیب‌دار می‌باشد. به‌طوری که سرعت جریان در

انتهای این ناحیه بین ۴۰ تا ۶۲ درصد نسبت به ابتدای آن افزایش می‌یابد. ارتفاع جریان نیز به دلیل کشش آب ساکن در طول فلوم همواره دارای روند افزایشی بوده و بیش‌ترین افزایش در ناحیه شیب‌دار در حدود دو تا سه و نیم برابر می‌باشد. کرم‌زاده و همکاران [۲۶] رفتار هیدرولیکی جریان‌های غلیظ در آزمایشگاه و در فلوم پر از آب با شیب متغیر را مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاصل نشان داد که در جریان‌های غلیظ با افزایش غلظت و شیب سرعت نیز افزایش می‌یابد. با بررسی نمودار عدد ریچاردسون در برابر شیب، مشخص شد شیب بحرانی جریان غلیظ در محدوده ۰/۰۰۸ تا ۰/۰۰۹ می‌باشد که این شیب از غلظت اولیه جریان مستقل می‌باشد. از شیب بحرانی به بعد، عدد ریچاردسون تقریباً ثابت و مستقل از غلظت اولیه می‌باشد.

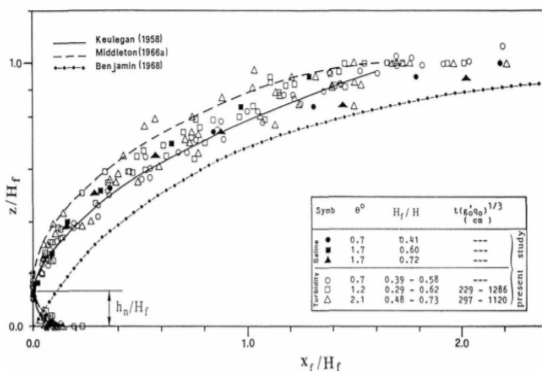
تأثیر توپوگرافی بر جریان غلیظ

بورسیک و وودز [۷] تعدادی آزمایش روی شکل توپوگرافی در مقیاس هندسی برای به‌دست آوردن شناختی از اصول کلی الگوی رسوب‌گذاری ایجادشده در اثر عبور جریان روی یک بستر با مانع انجام دادند. آن‌ها اثر برآمدگی‌های استوانه‌ای شکل کوچک را بررسی نمودند. از آنجا که ارتفاع مانع‌ها کم بود، حرکت برگشتی جریان به سمت بالادست رخ نداد و اثر قابل ملاحظه‌ای روی الگوی رسوب‌گذاری مشاهده نگردید. آن‌ها هم‌چنین اثر کاهش موضعی در عرض کانال را با ایجاد موانع نسبی در جریان بررسی نمودند. در برخی موقعیت‌ها موج‌هایی به‌سمت بالادست منتشر شده است. نتایج آزمایش‌ها نشان داد که الگوی رسوب‌گذاری ایجاد شده در جاهایی که موج تشکیل می‌شود، به‌طور قابل ملاحظه‌ای با جاهایی که موج تشکیل نشده است؛ تفاوت دارد. هم‌چنین تغییرات موضعی در شکل کانال باعث تغییرات قابل ملاحظه‌ای در تغییرات عمق رسوب‌گذاری در امتداد شیب می‌شود. کوبو [۲۰] تأثیرات توپوگرافی را به‌صورت آزمایشگاهی و عددی روی رسوب‌گذاری جریان غلیظ بررسی کرد. وی آزمایش‌های خود را روی یک سری برآمدگی با ارتفاع ۱/۲ و ۳/۶ سانتی‌متر انجام داد. نتایج وی نشان داد رسوب‌گذاری به‌طور موضعی در بالادست برآمدگی‌ها افزایش می‌یابد و علت آن انسداد قسمتی از جریان توسط مانع و کاهش سرعت در بالادست این مانع است.

کنترل جریان غلیظ توسط ایجاد مانع

روتمن و همکاران [۴۰] به حل تحلیلی جریان دو فازی در شیب افقی با مانع در جریان دائمی و غیر دائمی پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد در صورتی که ارتفاع مانع دو برابر ارتفاع بدنه جریان باشد؛ جریان غلیظ به‌طور کامل برگشت داده می‌شود. آلتینکار و همکاران [۱] با استفاده از داده‌های سایر پژوهشگران شکل پیشانی جریان غلیظ را به‌صورت بدون‌بعد ارائه کردند (شکل ۳). در تحقیق اصغری پری و همکاران [۴] به‌بررسی اثرات زاویه بالادست مانع و هم‌چنین عمق آب مخزن در کنترل جریان غلیظ با روش عددی اجزاء محدود

و با استفاده از نرم افزار ANSYS-CFX پرداخته شد. نتایج نشان داد که برای جریان‌های غلیظ زیربحرانی و فوق بحرانی، عملکرد مانع در کنترل جریان غلیظ با افزایش ارتفاع سطح آب ساکن درون مخزن کاهش می‌یابد. هم‌چنین هرچه زاویه بالادست مانع بیش‌تر باشد، میزان کنترل جریان توسط مانع بیش‌تر است. پرینوس [۳۹] اثر شکل مانع را با دو شکل نیم دایره‌ای و مثلثی با ارتفاع یکسان و برای حرکت دو- بعدی روی فلوم افقی، روی جریان غلیظ مطالعه نمود. او دریافت که هندسه این دو مانع روی سرعت پیشانی جریان و نسبت جریان عبوری از روی مانع اثر قابل ملاحظه‌ای ندارد. او هی و شلیز [۳۶] به‌بررسی آزمایشگاهی تأثیر موانع نفوذ و غیرقابل نفوذ روی جریان غلیظ پرداخته و نتایج را با شبیه‌سازی عددی مقایسه کردند. بر مبنای نتایج، موانع نفوذناپذیر تأثیر مناسبی روی جریان دارند. ارتفاع موانع باید طوری انتخاب شود که حداکثر ظرفیت در بالادست خود را ایجاد کرده و در نتیجه آن، راندمان تله‌اندازی جریان غلیظ بالادست مانع زیاد می‌گردد. بهترین حالت برای موانع نفوذپذیر برای تخلخل بین ۳۶ تا ۴۱ درصد و اندازه سائز شبکه با قطر هیدرولیکی ۰/۵ تا ۱/۲ میلی‌متر برآورد شد. طباطبایی [۴۴] در پژوهشی به‌بررسی تأثیر شش نوع آرایش پوشش گیاهی بر پیش‌روی پیشانی جریان غلیظ نمکی پرداخت. نتایج وی نشان داد که ایجاد پوشش گیاهی در برابر جریان غلیظ، باعث کاهش سرعت پیشانی آن می‌شود. وی راهکار اساسی جهت کنترل پیش‌روی جریان غلیظ و افزایش عملکرد آرایش پوشش گیاهی را کنترل جریان غلیظ روی شیب‌ها عنوان نمود. اصغری پری و محققیان [۳] به‌بررسی عددی اثر استفاده از موانع صفحه‌ای و موانع ستونی زیگزاگ با زوایای بدنه ۴۵، ۶۰ و ۹۰ درجه بر کنترل جریان غلیظ پرداختند. تحلیل نتایج آن‌ها با استفاده از نرم‌افزار ANSYS-CFX نشان داد



شکل ۳: پیشانی بی بعد جریان غلیظ [۱]

که در جریان‌های غلیظ زیربحرانی موانع ستونی با ارتفاع نسبی ۰/۵۲ برابر عمق جریان و با آرایش زیگزاگ می‌تواند موجب کاهش ۶۰ درصدی در دبی عبوری جریان غلیظ شود و با افزایش پنج برابری تراکم موانع، دبی عبوری جریان غلیظ شش درصد کاهش می‌یابد.

تأثیر تغییر مقطع عبوری بر جریان غلیظ

عمران و همکاران [۲۳] ورود جریان غلیظ از مقطع اصلی یک کانال مرکب را به قسمت پهنه‌بندی سیل را به صورت عددی و سه-بعدی مورد مطالعه قرار دادند. جریان درحالی که به طرف پایین دست حرکت می‌کند؛ به دلیل ورود سیال پیرامون به جریان غلیظ ضخامت بدنه آن افزایش می‌یابد. آن بخش از جریان که وارد بخش مرکب کانال می‌شود مانند جریان اصلی رفتار می‌کنند و ساختار عمودی آن مانند جریان اصلی می‌باشد. مقدار جریان عبوری از کانال فرعی به شدت تحت تأثیر شیب جانبی بخش پهنه‌بندی سیل است. ترابی‌پوده و همکاران [۴۷] تأثیر تغییرات میزان گذر جریان غلیظ و شیب بستر در میزان پخش و پراکندگی و سرعت جبهه جریان کدر و میزان اختلاط در یک مقطع واگرا توسط مدل فیزیکی و مدل ریاضی سه-بعدی را مورد تحقیق و بررسی قرار دادند. مشاهدات بیانگر افزایش سرعت بی‌بعد جبهه موج در مقطع واگرا می‌باشد. هم‌چنین اندازه‌گیری‌ها نشان داد که میزان اختلاط در بدنه جریان غلیظ در مقطع واگرا نسبت به مقطع ثابت با شدت بیش‌تری انجام می‌گیرد. عسگری [۲] در یک پژوهش میدانی به تأثیر زاویه واگرایی ورودی مخازن سدها بر میزان و الگوی پیش‌روی رسوب در مخازن سدهای لتیان، سفیدرود و دز پرداخته و رابطه‌ای بدون بعد برای پیش‌روی دلتای رسوبی در مخزن ارائه داد. نتایج پژوهش وی نشان داد تا سال ۱۳۸۵، ۳۵ درصد از حجم مخزن سد سفید رود در اثر رسوب‌گذاری پُر شده است که معادل کاهش سالانه ۰/۷ درصد از ظرفیت اولیه مخزن می‌باشد. روند پُرشدن مخزن نشان می‌دهد که حجم رسوب‌گذاری در سال‌های ابتدایی بیش‌تر و به تدریج با گذشت زمان کاهش می‌یابد.

جریان غلیظ عبوری از روی بستر متحرک

هوانگ و همکاران [۲۲] یک مدل عددی برای شبیه‌سازی جریان غلیظ عبوری از روی بستر متحرک، ارائه دادند. مدل ساختار عمودی غلظت و سرعت را هم‌زمان با تغییر در بستر ناشی از فرسایش و رسوب‌گذاری، شبیه‌سازی می‌کند. این مدل، معادلات متوسط رینولدزی ناویر-استوکس برای محلول رقیق را به روش حجم محدود حل می‌کند. سکروس و همکاران [۴۱]، نتایج ۷۴ آزمایش جریان غلیظ را روی بستر متحرک ارائه دادند. آزمایش‌ها برای جریان فوق‌بحرانی و زیربحرانی انجام شد و با توجه به شرایط آزمایش، تشکیل یا عدم‌تشکیل فرم بستر مورد مطالعه قرار گرفت. برای بستر صاف، محل وقوع حداکثر سرعت در پروفیل سرعت جریان فوق‌بحرانی بالاتر از جریان زیربحرانی بود و پروفیل غلظت در جریان زیربحرانی در نزدیکی بستر دارای تغییرات کم‌تر نسبت به جریان فوق‌بحرانی بود. فرم بستر تشکیل شده تأثیر زیادی روی پروفیل‌ها دارد؛ به‌ویژه در مورد جریان فوق‌بحرانی که باعث می‌شود محل تشکیل حداکثر سرعت در پروفیل سرعت بالاتر قرار گیرد و پروفیل غلظت در نزدیکی بستر را یکنواخت‌تر می‌کند. در مورد

جریان زیربحرانی، تشکیل فرم بستر روی پروفیل غلظت تأثیر چندانی ندارد، ولی باعث بالاتر رفتن محل تشکیل حداکثر سرعت می‌شود. در کل با افزایش عدد فرود دنیسی‌متریک جریان، محل تشکیل حداکثر سرعت پایین‌تر می‌آید.

تأثیر ایجاد زبری بر جریان غلیظ

لاروکا و همکاران [۳۱] با استفاده از شبیه‌سازی عددی و آزمایشگاهی نشان دادند که مقدار کاهش سرعت پیش‌روی جریان در زبری‌های مختلف یکنواخت نیست و پس از رسیدن به مقدار مشخصی، مقدار کاهش سرعت پیش‌روی ثابت است. کاهه و همکاران [۱۵] پس از انجام آنالیز ابعادی و بررسی تأثیر هر یک از پارامترهای بی‌بعد مؤثر، مدل رگرسیون خطی با ضریب همبستگی ۰/۹ و جذر میانگین مربعات خطای ۰/۰۳۷ و درصد خطای نسبی حدود ۱۰ درصد برای تخمین سرعت پیش‌روی جریان ارائه شد. با استانداردسازی داده‌ها به روش خطی و مدل رگرسیونی، تأثیر هر یک از پارامترهای شیب، زبری نسبی و دبی بی‌بعد جریان غلیظ روی سرعت پیش‌روی جریان محاسبه گردید. پورکاید و همکاران [۳۷] تأثیر همزمان زبری و شیب بستر روی سرعت پیشانی جریان غلیظ را مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاصل نشان داد که با افزایش ارتفاع زبری، سرعت پیشانی جریان غلیظ کاهش و با افزایش شیب، افزایش می‌یابد. ورجاوند و همکاران [۴۸] نشان دادند که افزایش ارتفاع زبری نسبی، تأثیر چندانی روی نوسانات لحظه‌ای سرعت در ناحیه اختلاط بدنه جریان غلیظ ندارد و هم‌چنین تحلیل نوسانات لحظه‌ای سرعت روی بسترهای زبر در ناحیه اختلاط نشان داد که شدت تلاطم در جریان در مرز بین بدنه جریان غلیظ و سیال پیرامون برای زبری‌های استوانه‌ای و مخروطی به ترتیب حدود ۴۸ و ۳۲ درصد سرعت برشی می‌باشد. پورکاید و همکاران [۳۸] در تحقیقی تأثیر هم‌زمان زبری، شیب بستر و غلظت روی سرعت متوسط بدنه جریان غلیظ را مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاصل نشان داد که با افزایش ارتفاع زبری، سرعت متوسط بدنه جریان غلیظ کاهش، با افزایش شیب، افزایش و با افزایش غلظت نیز سرعت متوسط بدنه افزایش می‌یابد. در انتها آن‌ها با استفاده از نرم‌افزارهای Datafit و SPSS رابطه (۹) را به منظور پیش‌بینی سرعت بدنه جریان غلیظ با در نظر گرفتن زبری و شیب و غلظت ارائه کردند:

$$U_b = [0.63 + 0.42(s) - \left(\frac{k_s}{H_b}\right)] \sqrt{g' H_b} \quad (9)$$

محققان و اصغری‌پری [۳۴] به بررسی اثر ایجاد زبری در مدیریت جریان غلیظ به کمک نرم‌افزار ANSYS-CFX پرداخته و نتیجه گرفتند که میزان مدیریت جریان غلیظ به وسیله زبری‌ها به نوع آرایش و ارتفاع زبری‌ها و ارتفاعی که سرعت بیشینه جریان غلیظ در آن رخ می‌دهد؛ وابسته است و چون زبری‌ها نمی‌توانند تمام جریان غلیظ را به طور نسبی متوقف کنند؛ نباید به تنهایی برای مدیریت جریان غلیظ مورد استفاده قرار گیرند.

پرش هیدرولیکی در جریان غلیظ

گارسیا و پارکر [۱۳] آزمایش‌هایی را روی پرش هیدرولیکی در جریان غلیظ در ورودی تنگه به دلنا انجام دادند و نتایج نشان داد که ضخامت رسوبات در پایین دست پرش تمایل به افزایش دارد. در حالی که نسبت سرعت برشی بستر بلافاصله پشت پرش به سرعت سقوط ذرات کاهش می‌یابد. کریمیان [۲۷] در پژوهش خود نشان داد که پرش هیدرولیکی تشکیل شده، در تمامی آزمایش‌ها در محدوده تغییر شیب زیاد به شیب کم (در طول یک تا سه متری از ابتدای کانال) رخ می‌دهد. هم‌چنین درصد تغییرات مقادیر ارتفاع، سرعت و دبی در واحد عرض در مقطع ثانویه پرش نسبت به مقطع اولیه عبارتند از:

* ارتفاع جریان از ۵۶ تا ۲۱۱ درصد و به‌طور میانگین ۱۲۱/۳ درصد افزایش می‌یابد.

* سرعت جریان از ۲۷/۱۶ تا ۵۷/۵ درصد و به‌طور میانگین ۴۰/۸ درصد کاهش می‌یابد

* دبی در واحد عرض از ۶/۵ تا ۷۱ درصد و به‌طور میانگین ۲۸/۵ درصد افزایش می‌یابد.

هم‌چنین به‌طور کلی نتیجه گرفت که در شیب‌ها و غلظت‌های متفاوت با افزایش دبی، ارتفاع و سرعت پیشانی جریان غلیظ بیش‌تر می‌شود و اعماق اولیه و ثانویه پرش تغییر چندانی نداشته، ولی عمق ثانویه پرش کم‌تر شده و محل وقوع پرش به سمت پایین ناحیه شیب‌دار انتقال پیدا می‌کند.

حقیقی [۱] در پژوهشی با طراحی، ساخت و تجهیز مدل آزمایشگاهی به تأثیر غلظت بار رسوبی روی مشخصات پرش هیدرولیکی پرداخت. نتایج حاصل از پژوهش وی بیانگر اثرگذاری محسوس غلظت بر مشخصات پرش هیدرولیکی در دامنه اعداد فرود بالا می‌باشد. به‌نحوی که با افزایش غلظت تا حدود ۱۳ درصد وزنی، به‌میزان ۱۴ درصد از عمق ثانویه و حدود ۱۲ درصد از طول پرش هیدرولیکی ایجاد شده کاسته می‌شود. هم‌چنین با افزایش غلظت، میزان افت نسبی انرژی افزایش می‌یابد؛ به‌طوری که بار رسوبی، افت انرژی نسبی پرش هیدرولیکی را به‌میزان ۸ درصد نسبت به آب صاف افزایش می‌دهد. برهمند و همکاران [۶] در تحقیقی با استفاده از آنالیز ابعادی و روش خود تشابهی ناقص، پرش هیدرولیکی در جریان‌های غلیظ ورودی به مخازن سدها و دریاچه‌ها را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج آزمایش‌ها، نشان‌دهنده دقت و کارایی مناسب معادله جدید به‌دست آمده نسبت به معادله کلاسیک می‌باشد. به‌عبارت دیگر، نمی‌توان از تأثیر اختلاط سیال محیطی با جریان غلیظ و هم‌چنین از تأثیر زبری بستر روی مقدار نسبت عمق‌های مزدوج پرش، حتی در مقادیر کوچک صرف نظر نمود.

بحث و نتیجه‌گیری

یکی از چالش‌های مهمی که عملکرد و وظایف مخازن پشت سدها را تهدید می‌کند؛ مسأله ته‌نشین شدن رسوبات می‌باشد. باتوجه

به آسیب‌ها و خسارات روز افزون ورود جریان‌های غلیظ به مخازن سدها و دانش کافی پیرامون جریان‌های غلیظ پیشنهاد می‌شود که جهت محافظت از مخازن موجود، از این دانش استفاده گردد. از آنجایی که این جریان‌ها از فاصله‌های بسیار دور (چندین کیلومتر) تا مجاورت سد می‌توانند امتداد داشته باشند؛ هدایت به‌موقع آن‌ها از خروجی‌های عمقی مخزن می‌تواند مقدار رسوب‌گذاری را در مخزن سد کاهش دهد. هنگامی که جریان غلیظ به مخزن می‌رسد، متغیرهای زیادی (درجه حرارت جریان چگال، آب مخزن، غلظت مواد معلق، توزیع اندازه ذرات، ساختار رسوبات، دبی جریان غلیظ، عمق کانال و مخزن، شیب بستر، لایه‌بندی مخزن و تراز سطح آب) بر رفتار مواد معلق یا محلول در جریان و هم‌چنین مشخصات جریان تأثیرگذار است. اهمیت نسبی هر یک از این عوامل روی تولید و رفتار جریان غلیظ متفاوت می‌باشد. یکی از بهترین روش‌هایی که در کنترل پیش‌روی جریان غلیظ می‌تواند مؤثر واقع شود؛ جلوگیری از تغذیه این جریان می‌باشد. پوشش گیاهی در مرحله تغذیه جریان غلیظ بسیار مؤثر است. به‌طوری که می‌توان مهم‌ترین عامل کنترل را پوشش گیاهی بیان کرد. محققان نشان دادند که پوشش گیاهی حتی در مراحل دیگر مانند حمل و غیره نیز تأثیر به‌سزایی دارد. پوشش گیاهی بعد از نقطه غوطه‌وری، مهم‌ترین عامل کاهش سرعت جریان غلیظ و در نتیجه رسوب‌گذاری است. روش‌های مختلف دیگری نیز برای جلوگیری از ورود رسوبات و تخلیه آن‌ها وجود دارد؛ اما به‌دلیل هزینه نسبتاً زیاد این روش‌ها، در اغلب موارد سعی می‌شود که با استفاده از نیروی هیدرودینامیکی آب، رسوبات ریزدانه خارج شوند. ناهمواری‌های مورد بررسی به دو دسته زبری و مانع تقسیم می‌شوند که زبری‌های مورد تحقیق دارای اشکال مختلف مانند صفحات دو بعدی مثلثی، نیم‌دایره و چهارگوش می‌باشند. دسته دوم شامل موانع می‌باشد. موانع برخلاف زبری‌ها که ارتفاع در آن بی‌تأثیر است؛ فقط بر مبنای ارتفاع متفاوت می‌باشند. احداث مانع در برابر جریان غلیظ اولاً باعث می‌گردد بخش زیادی از رسوب پشت مانع ته‌نشین شود و ثانیاً بخشی از جریان نیز که از روی مانع عبور کرده است؛ به‌دلیل کاهش چگالی نسبی (عامل حرکت) مستهلک می‌گردد. هنگامی که یک جریان به مانع برخورد می‌نماید بسته به ارتفاع مانع و شرایط جریان حالت‌های مختلفی اتفاق می‌افتد که می‌توان آن‌ها را در چهار حالت کلی زیر تقسیم‌بندی نمود:

حالت اول زمانی است که ارتفاع مانع کم باشد. در این حالت جریان به‌طور کامل از روی مانع عبور می‌کند.

حالت دوم زمانی است که ارتفاع مانع به‌حدی برسد که کل جریان با عمق بحرانی از روی مانع عبور کند.

حالت سوم زمانی به‌وجود می‌آید که ارتفاع مانع به حدی برسد که امکان عبور کامل جریان حتی با عمق بحرانی امکان پذیر نباشد. در این حالت بخشی از جریان از روی مانع عبور نموده و بخشی دیگر به‌صورت یک موج داخلی یا پرش هیدرولیکی متحرک به سمت بالادست حرکت می‌نماید که این پرش موجب استهلاک انرژی و

topography on sedimentation from particle-laden turbulent density currents. *Journal of Sedimentary Research*, 70(1).

8. Daly R.A. 1936. Origin of submarine canyons. *American Journal of Science*, 186:401-420.

9. Daryae M., Kashefipour S.M. and Ghomeshi M. 2017. Investigating the phenomenon of concentrated flow in dam reservoirs and its control strategies. 16th Iranian Hydraulic Conference, Ardabil, Iran. (In Persian).

10. Ellison T.H. and Turner J.S. 1959. Turbulent Entrainment in Stratified Flows. *Journal of Fluid Mechanics*. 6:423-448.

11. Forel F.A. 1892. The orie du ravin souslacustre. Le' man, F. Rouge, Lausanne, Switzerland, 1:381-386.

12. Garcia M. H. 1993. Hydraulic jumps in sediment-driven bottom currents. *Journal of Hydraulic Engineering*, 119(10):1094-1117.

13. Garcia M. and Parker G. 1993. Experiments on the entrainment of sediment into suspension by a dense bottom current. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 98(C3):4793-4807.

14. Givehchi M., Pirzadeh B. and Safari S. 2019. Numerical study of the effect of trapezoidal obstacle in the mixing of muddy flow. *Journal of Water Resources Engineering*, 12(43):153-166. (In Persian).

15. Ghomeshi M. 1995. Reservoir sedimentation modeling. Ph.D. Thesis, University of Wollongong, Australia.

16. Ghomeshi M. 2012. Recognizing and Managing Concentrated Flows in Dams Reservoirs. Workshop on How to Manage Sedimentary Concentrate Flow in Dams. Ministry of Energy, Khuzestan Water and Power Organization.

17. Golach h. 2011. Relationship between the height of a dense current immersion point and the current profile. M.Sc., Shahid Chamran University of Ahvaz.

18. Graf W.H. and Altinakar M.S. 1998. Fluvial hydraulics: Flow and transport processes in channels of simple geometry. Chapter 7. Wiley, New York.

19. Haqiqi S. 2011. Investigation of hydraulic jump in thick current. M.Sc., Khaje Nasir Tusi University.

20. Hassanzadeh Y. and Ghalami V. 2004. Investigation of sedimentation process in sacred dam reservoir of Ardabil and estimation of shelf life of reservoir. First National Congress of Civil Engineering. Sharif University of Technology, Tehran.

تنظیم شرایط جریان بالادست و پایین دست می شود. حالت چهارم زمانی به وجود می آید که ارتفاع مانع به حدی افزایش یابد که کل جریان متوقف گردد. ایجاد موانع می تواند به صورت تکی یا انبوه، غیرقابل نفوذ و یا نفوذپذیر باشد. محققان نشان دادند که موانع تا ارتفاع ۱/۲۶ برابر بیشینه ارتفاع جریان غلیظ، ۸۰ درصد رسوبات چه معلق و چه محلول در پشت مانع می مانند و اگر ارتفاع مانع به حداقل ۲/۱ برابر بیشینه ارتفاع جریان غلیظ برسد ۱۰۰ درصد رسوبات پشت مانع رسوب می کنند. از عوامل محدودکننده در استفاده از موانع برای کاهش یا کنترل حرکت جریان غلیظ، می توان به ایجاد مخاطرات زیست محیطی، نیاز به تعمیر و نگهداری و جمع شدن آب در پشت موانع اشاره کرد. به منظور اقتصادی نمودن طرح ها و افزایش تأثیر روش های کاهش یا کنترل حرکت جریان های غلیظ می توان با تغییر چیدمان و آرایش های خاص (ایجاد پوشش گیاهی، زبری و موانع)، نسبت به ایجاد این موارد در رودخانه اقدام نمود.

منابع

1. Altinakar M.S., Graf W.H. and Hopfinger E.J. 1990. Weakly depositing turbidity current on a small slope. *Journal of Hydraulic Research*. 28(1): 55-80.

2. Asgari, M. R. 2011. Investigation of the Influence Divergence Angle of Dam Reservoirs on Deposition Rate and Pattern of Reservoir Deposition in the Reservoir (Case Study: Sefidrood, Latian, Minab and Dez Dam Reservoirs), MSc Thesis, Tarbiat Modares University.

3. Asghar Perry S.A. and Mohaqqueqian S. M. 2015. Numerical Investigation of the Effect of Plate Barrier and Oblique Column Barriers on Concentrated Flow Control. *Journal of Irrigation and Drainage*, 9 (2): 366-357.

4. Asghari Perry S. A., Yazdanfar Sh. and Kordnaeij M. 2016. Numerical investigating effect of obstacle's upstream angle and water depth of reservoir on controlling turbidity current. *Journal of water and soil knowledge*, 26(2):207-219. (In Persian).

5. Bahrami H., Ghomashi M. And Kashefipour M. S. 2009. Experimental study of bed slope failure change on thick flow characteristics. *Journal of Marine Science and Technology*. 8 (3): 76-67.

6. Berahmand N., Ajel A. and Seyedian M. 2012. A New Equation for Calculating Concentrated Depth Ratios in Hydraulic Jump Created in Concentrated Currents Passing on Flat and Rough Substrates. 11th Iranian Hydraulic Conference. University of Uremia, Uremia.

7. Bursik M.I. and Woods A.W. 2000. The effects of

- reservoir turbidity current. *Journal of Hydraulic Engineering*, 123(6):520-528.
33. Middleton G.V. 1966. Experiments on density and turbidity currents: II. Uniform flow of density currents. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 3(5):627-637.
34. Mohaqqeqian S. M. and Asghar Perry S.A. 2013. Investigation of the effect of roughness on thick flow control by CFD. 12th Iranian Hydraulic Conference. College of Agriculture, University of Tehran, Karaj.
35. Morris G.L. and Fan J. 1998. *Reservoir sedimentation handbook: design and management of dams, reservoirs, and watersheds for sustainable use*. McGraw Hill Professional, New York.
36. Oehy C. and Schleiss A, 2007. Control of turbidity currents in reservoirs by solid and permeable obstacles. *Journal of Hydraulic Engineering*, 133(6):637-648.
37. Pourkid S., Hassounizadeh H., Kashefipour M. and Daryaei, m. 2012. Investigation of Simultaneous Effect of Longitudinal Slope and Roughness on Front Speed of Sedimentary Concentrated Flow Using Physical Model. 9th International Seminar on River Engineering, Shahid Chamran University, Ahvaz.
38. Pourkid S., Hasounizadeh H., Kashfipour M. and Kayd khordeh A. 2013. Experimental study of the effect of roughness, slope, and concentration on the mean velocity of sedimentary thick body. First National Conference on Water Crisis. Islamic Azad University of Khorasgan Branch, Isfahan.6.
39. Prinos P. 1999. Two-dimensional density currents over obstacles. In Proc., 28th IAHR Congress Graz, Austria.
40. Rottman J.W., Simpson J.E., Hunt J.C.R. and Britter, R.E. 1985. Unsteady gravity current flows over obstacles: Some observations and analysis related to the phase II trials. *Journal of Hazardous Materials*, 11:325-340.
41. Sequeiros O.E., Spinewine B., Beaubouef R.T., Sun T., Garcia, M.H. and Parker G. 2010. Characteristics of velocity and excess density profiles of saline underflows and turbidity currents flowing over a mobile bed. *Journal of Hydraulic Engineering*, 136(7):412-433.
42. Sharifnezhad A., Kashefipour S. M. and Ghomeshi M. 2019. Experimental Analysis on the Water Entrainment of Turbidity Current over a Mobile Bed. *Journal of Water and Soil Science (Science and Technology of Agriculture and*
21. Horsch G.M. 2004. The structure of two-dimensional, steady, miscible laminar density currents flowing down an incline. *Journal of Hydraulic Research*, 42(2):173-181
22. Huang H., Imran J. and Pirmez C. 2005. Numerical model of turbidity currents with a deforming bottom boundary. *Journal of Hydraulic Engineering*, 131(4):283-293.
23. Imran J., Kassem A. and Khan S.M. 2004. Three-dimensional modeling of density current. I. Flow in straight confined and unconfined channels. *Journal of Hydraulic Research*, 42(6):578-590.
24. Kahe M. Ghomeshi M. and Jahromi h. 2011. Experimental study of thickness advance velocity on rough surfaces. *Irrigation Science and Engineering (Journal of Agricultural Science)*. 35 (1): 109-101.
25. Kamaei K. and M. Ghomeshi. 2019. The Laboratory Study of the Interflow Density Current Head Velocity in a Fluid with Saline stratification. *Journal of Irrigation Sciences and Engineering (JISE)*, 42(4):137-152.
26. Karamzadeh N., Mahmoudian Shoushtari M., Ghomeshi M. and Doostkam M. 2012. In vitro study of the mixing intensity of dense currents with static fluid mass. 9th International Seminar on River Engineering. Shahid Chamran Ahvaz University.
27. Karimian, M. 2010. Characteristics of hydraulic jump in concentrated flow. M.Sc., Shahid Chamran Ahvaz University.
28. Keulegan G.H. 1958. Forces on cylinder and plates in an oscillating fluid. *Journal of Research of the National Bureau of Standards*, 60(5):423-440.
29. Kostic S. and Parker G. 2006. The response of turbidity currents to a canyon-fan transition: internal hydraulic jumps and depositional signatures. *Journal of Hydraulic Research*, 44(5):631-653.
30. Kubo Y.S. 2004. Experimental and numerical study of topographic effects on deposition from two-dimensional, particle-driven density currents. *Sedimentary Geology*, 164(3):311-326.
31. La Rocca M., Adduce C., Sciortino G. and Pinzon, A.B. 2008. Experimental and numerical simulation of three-dimensional gravity currents on smooth and rough bottom. *Physics of Fluids*, 20(10).
32. Lee H.Y. and Yu W.S. 1997. Experimental study of

48. Varjavand P., Hosseinzadeh Dalir A., Ghomeshi M. And Farsadizadeh D. 2013. Experimental study of the effect of artificial roughness on instantaneous velocity fluctuations in the concentrated salt flow. *Journal of Soil and Water Sciences*, 27 (4): 849-839.
49. Woods A.W., Bursik M.I., and Kurbatov, A.V. 1998. The interaction of ash flows with ridges. *Bulletin of Volcanology*, 60(1):38-51.
50. Zayeri M. and M. Ghomeshi. 2017. Numerical Analysis on the Effects of Porous Plate to Control Turbidity Currents. *Journal of Irrigation and Water Engineering Research*, 8(29):18-29. (In Persian).
- Natural Resources). 23(1):279-291. (In Persian).
43. Singh B. and Shah C.R. 1971. Plunging phenomenon of density currents in reservoirs. *La Houille Blanche*, 1:59-64.
44. Tabatabai S. M. 2014. Effect of substrate gradient and vegetation composition on in vitro concentration. M.Sc., Birjand University.
45. Toniolo H. and Parker G. 2003. 1D numerical modeling of reservoir sedimentation. In Proc., IAHR Symposium on River, Coastal and Estuarine Morph dynamics. Barcelona, Spain. (p. 457-468).
46. Toniolo H., Parker G. and Voller V. 2007. Role of ponded turbidity currents in reservoir trap efficiency. *Journal of Hydraulic Engineering*, 133(6):579-595.
47. Torabi Poodeh H., Moghaddam M., Fathi Moghaddam M., Ghomashi M. And Shafae Bejistan M. 2007. Investigation of the velocity front mixing intensity of inlet currents to a divergent cross section. *Iranian Water Resources Research*, 3 (2): 67-56.



Abstract

A review of Methods for Coping with High Current in Different Hydraulic Conditions

M. Dastourani¹, H. Razaghian^{*2} and B. Mohseni³

Received: 2019/10/18 Accepted: 2020/08/22

Dry and semi-dry climate and lack of coordination between the time of discharge basins and expenses have been caused that managers try to control and maintenance of surface water resources through fun dams, so in way, they can meet various water needs by management and planning. But always sedimentation in reservoirs shortens the useful life of the dam. Viscous flows are the main factors of sediment transport tanks, it has been disrupted the performance of dams such as the dose, Minab and Sefidrud, so far. In addition to reducing the volume of the reservoir, viscous flows increase the speed of attrition's turbines and decrease their efficiency and increases maintenance costs. Also, it can be followed by risk of clog ponds, bottom outlet structures or damaging to valves, has been designed for sedimentation. At the moment, the rate of loss of reservoir volume due to sedimentation in reservoirs more quickly builds new reservoirs. Hence, increasing the useful life of dams and maintaining storage volumes in water resources engineering is a vital issue for the continued operation of water control. Knowledge about the turbidity currents properties can help to manage and release these currents from dam reservoirs. In this paper, a comprehensive investigation on the studies of various methods against turbidity currents, combination methods in experimental conditions and limitations in filed applications were carried out. Also, suggestions were presented for further research on selecting methods for controlling turbidity currents.

Keywords: Dam reservoirs, Sedimentation, Turbidity currents, Water resources management.

1. Assistant Professor Department of Water Engineering Faculty of Agriculture University of Birjand

2. Corresponding author and Assistant Professor of the Faculty of Agricultural Sciences, Department of Natural Resources and environmental Engineering, Payam -e-Noor University, 19395-4697, Tehran, I.R. of Iran. hazzaghian@yahoo.com

3. A member of the Faculty of Agricultural Sciences, Department of Natural Resources and environmental Engineering, Payam -e-Noor University, 19395-4697, Tehran, I.R. of Iran.