



بررسی آزمایشگاهی اثر عدد فرود جریان و شیب طولی مخزن بر توزیع قائم سرعت و غلظت جریان گل آلود

شیوا کشتکار^۱، سید علی ایوبزاده^۲، بهار فیروزآبادی^۳، زهرا نور محمدی^۴

۱-دانشجوی کارشناسی ارشد رشته سازه های آبی دانشگاه تربیت مدرس

۲-استادیار گروه سازه های آبی دانشگاه تربیت مدرس

۳-دانشیار دانشکده مهندسی مکانیک دانشگاه صنعتی شریف

۴-دانشجوی کارشناسی ارشد رشته مهندسی مکانیک دانشگاه صنعتی شریف

ayyoub@modares.ac.ir

خلاصه

یکی از عواملی که به عمر اقتصادی سدها پایان می دهد، پدیده رسوبگذاری و انباشتگی مخزن از رسوبات ناشی از جریانات گل آلودی است که همراه با سیلاب وارد مخازن سدها می شود لذا شناخت فرآیندهای موثر در این نوع جریان برای محققین مرتبط به مدیریت مخازن و سدها از اهمیت ویژه ای برخوردار است. در این تحقیق اثر عدد فرود جریان گل آلودرودی در محدوده حالت های زیر تا فوق بحرانی (عدد فرود حدود ۰/۵ تا ۳) از طریق تغییر میزان بازشدگی دریچه ورودی و همچنین اثر تغییرات شیب کف کانال بر مشخصه های جریان گل آلود در حالت دو بعدی به صورت آزمایشگاهی بررسی شده است. این مطالعات در فومی به عرض ۳۰ سانتیمتر و بطول ۱۰ متر و با تزریق جریان گل آلود توسط دریچه ای در بالادست به زیر آب صاف مخزن، انجام شده است. مشخصه های مورد بررسی در این تحقیق شامل پروفیل های قائم سرعت و غلظت جریان گل آلود می باشند. نتایج حاصل از این مطالعه نشان می دهد که با کاهش شیب کانال مقادیر غلظت در توزیع قائم افزایش می یابند و همچنین این مقادیر در طول کانال از خود کاهش نشان می دهند. نتایج حاصل از توزیع قائم سرعت نشان می دهد که مقادیر سرعت در توزیع قائم در طول کانال کاهش می یابند و به همین ترتیب ارتفاع جریان گل آلود افزایش می یابد. همچنین با افزایش شیب کف کانال سرعت پیش روی جریان افزایش می یابد.

کلمات کلیدی: جریان گل آلود، جریان غلیظ، مخازن سدها، بررسی آزمایشگاهی، عدد فرود.

مقدمه

پدیده رسوبگذاری و انباشتگی رسوب در مخازن سدها مهمترین معضلی است که باعث کاهش عمر مفید سدها می گردد و در پی آن سرمایه های کلان ملی از دست می رود (تربن، ۱۳۸۳). کمیسیون بین المللی سدهای بزرگ (LCOLD)، (۱۹۸۸)، با در نظر گرفتن حجم موجود تمام سدهای دنیا اعلام کرده است که سالیانه به طور میانگین یک درصد از حجم مخازن کاسته می شود (Toniolo and Parker, 2003). بطور مثال رسوبگذاری در مخزن سد سفیدرود سالانه ۳۶/۵ میلیون متر مکعب (معادل ۲/۱ درصد کاهش حجم سالانه مخزن) از حجم ذخیره آن را کاهش می دهد. مخزن سد زونی روی رودخانه زونی در آمریکا حدود ۷۵ درصد ظرفیت خود را ظرف ۲۰ سال در اثر رسوبگذاری از دست داد. بطور مشابه مخزن ایچاری روی رودخانه تونز در هند پس از ۱۰ سال نزدیک به ۱۵ درصد ظرفیت خود را از دست داد. در ایالات متحده میزان رسوبگذاری در مخازن سدها سالیانه به 1200×10^6 تن می رسد (جاپللی، ۱۳۸۰). شناسایی روند رسوبگذاری، مقدار رسوبات ورودی ماهیانه و سالیانه و نحوه توزیع آن در دریاچه سدها از جمله مواردی هستند که می توانند در نحوه بهره برداری از سدها و نیز تخلیه جریانهای سیلابی نقش اساسی داشته باشند. در غالب موارد سعی می شود که با استفاده از نیروی هیدرودینامیکی آب، رسوبات ریزدانه خارج شوند. یکی از این روشها خارج کردن جریان سیلاب در قالب دینامیک جریانهای غلیظ می باشد. بنابراین بررسی و مطالعه حرکت جریانهای غلیظ در مخازن از نوع تحقیقاتی است که در جهت وصول به هدف فوق، اطلاعات گرانبهایی را در اختیار قرار خواهد داد. پی بردن به سرعت پیشروی و نحوه پخش جریانهای رسوبی که هنگام طغیان رودخانه ها و بلافاصله پس از برخورد با حجم آب مخزن بصورت توده ای از رسوبات و با پیروی از شیب کف مخزن بر روی آن و به سمت بدنه سد به جریان درمی آید، اساس مطالعات را تشکیل می دهد. هنگامی که جریان رودخانه با چگالی



بالاتری (نسبت به چگالی دریاچه یا مخزن) وارد این دریاچه یا مخزن با آب صاف ساکن می شود در غالب اوقات جریان گل آلود رودخانه به زیر آب مخزن یا دریاچه فرو می رود (Parker & Toniolo, 2006).

مروری بر مطالعات انجام شده

قدیمی ترین مشاهدات روی جریان های گل آلود دریاچه ای توسط فورل (Forel) در سال ۱۸۹۲ در دریاچه جنوا (Geneva) انجام شده است. مطالعات وی نشان داده که رودخانه رون مملو از رسوب به داخل دریاچه جریان می یابد و یک جریان گل آلود ایجاد می کند (De Cesare et al., 2001). بررسی های میدانی جریان گل آلود ناشی از حرکت این جریان در عمق زیاد و در زیر حجم وسیع آب بسیار مشکل و پرهزینه و مخرب است. همچنین به دلیل تقریبهای بسیار زیاد که در استخراج نتایج اعمال می شود بکار گیری آنها با عدم قطعیت زیادی همراه است (Bradford & Katopodes., 1999). براین اساس بیشتر بررسی های انجام شده بر روی جریان گل آلود به صورت آزمایشگاهی و یا مدلهای ریاضی می باشد. اکثر این بررسی ها به صورت دو بعدی می باشند که به عنوان نمونه می توان به تحقیقات (Altinaker et al, 1996)، (Yu et al, 2000)، (Lee & Yu., 1997) و (Bonnecase et al, 1993) اشاره کرد. بل در سال ۱۹۴۲ مطالعات آزمایشگاهی وسیعی را در زمینه بررسی جریان های گل آلود در فلوام های متعددی انجام داد و به اهمیت جریان های گل آلود در مساله رسوبگذاری مخازن پی برد و اینگونه بررسی ها از آن به بعد ادامه پیدا کرد. بررسی سه بعدی جریان گل آلود توسط (Alavian., 1986) انجام و ویژگی های جریان به خوبی استخراج شده است. در مطالعه دیگری عدد فرود تثبیت شده در نقطه پلانج، ۰/۶ ذکر شده است (Lee & Yu., 1997). نقش رسوبات ریز دانه در جریان های گل آلود و افزایش ظرفیت حمل رسوبات درشت دانه تر و ته نشینی آنها نیز مورد بررسی قرار گرفته است (Salaheldin et al, 2000). در تحقیق دیگری یک مدل عددی مربوط به جریان گل آلود ارائه شده و با نتایج حاصل از یک مدل آزمایشگاهی و مشاهدات میدانی مخزن (Lozzon) در آلپ کشور سوئیس مقایسه شده است (De Cesare et al, 2001). کوبو و ناکاجیما بر روی مدل آزمایشگاهی و شبیه سازی عددی آرایش موج رسوبی ناشی از جریان های گل آلود تحقیق کرده اند (Kubo & Nakajima., 2002). فلیکس و همکاران در یک مطالعه آزمایشگاهی اندازه گیری ترکیبی پرفیل سرعت و غلظت را در جریان گل آلود مورد بررسی قرار دادند اندازه گیری های توام سرعت و غلظت در جریان غلیظ نشان می دهد که همسویی تغییرات زمانی پروفیل عمودی سرعت و غلظت به مقدار غلظت جریان و شرایط جریان بستگی دارد (Felix et al., 2005). استوسک و زی مرمن، تبادل آب و رسوب را در یک دهانه جزر و مدی بندرگاه با استفاده از مدل سازی سه بعدی مورد بررسی قرار داده اند (Stoschek & Zimmermann., 2006). تحقیق دیگری توسط (Parker & Toniolo., 2006) نیز بر روی ضخامت جریان گل آلود و عدد فرود قبل و بعد نقطه پلانج انجام شده که در آن اعداد فرود به صورت توابعی که فقط به میزان درون آمیختگی سیال پیرامون ارتباط دارد ارائه گردیده است. فوکوشیما نیز آزمایشاتی در حرکت جریان گل آلود سه بعدی انجام داده است. نتایج وی نیز نشان می دهد که افزایش غلظت ورودی باعث افزایش گسترش عرضی می شود. اما در شیبهای بالا این افزایش غلظت تاثیر چندانی از خود نشان نمی دهد. آزمایشات فوکوشیما همچنین نشان می دهد که افزایش شیب کف و غلظت هر دو به سرعت پیشروی جریان و یا سرعت پیشانی می افزاید (Fukushima & Hayakawa, 1995). راد و فیروزآبادی اثر عوامل متعدد در مشخصه های جریان چگالی دو بعدی حاوی ذرات بصورت تجربی بررسی کرده اند. آنها همچنین با هدایت جریان در کانالی با پهنای کم تغییرات مشخصات جریان را بررسی نموده و با حالت عدم هدایت جریان مقایسه کرده اند (راد و فیروزآبادی، ۱۳۷۶). همچنین فیروزآبادی و همکاران تاثیر پارامترهای مختلف بر مشخصه های جریان غلیظ سه بعدی و مغشوش حاوی ذرات ریز را به روش تجربی مطالعه کرده اند (فیروزآبادی و همکاران، ۱۳۸۴). محمد نژاد و شمسانی مشخصه های جریان های غلیظ و نقش آن در رسوبگذاری دریاچه پشت سدها را مورد بحث و بررسی قرار داده اند و معادلات حاکم بر جریان را از روش تفاضل محدود و تکنیک رانگ گوتا مرتبه چهار حل کرده اند (محمد نژاد و شمسانی، ۱۳۸۱). احمدی رنای در مطالعات آزمایشگاهی خود تاثیر ایجاد مجرای خط القعر مخزن سدها را در میزان راندمان تخلیه جریان گل آلود مورد بررسی قرار داد (احمدی رنای، ۱۳۸۲). حسن پور حیدری در یک مطالعه آزمایشگاهی اثر طول مجرای خط القعر را بر راندمان تخلیه جریان گل آلود در مخازن سدها مورد بررسی قرار داد (حسن پور حیدری، ۱۳۸۳). مساله مهمی که در این خصوص وجود دارد این است که در جریان های گل آلود علاوه بر پیچیدگی ناشی از حضور ذرات بدلیل حرکت در زیر آب صاف و وجود بررش در فصل مشترک، تغییرات مرز کف بدلیل رسوبگذاری و یا رسوب برداری ناشی از شویندگی بستر، سقوط ذرات و تغییرات نیروی رانش، تداخل آب صاف در فصل مشترک جریان با آب صاف و نیز تداخل از بستر و عوامل متعدد دیگر پیچیده تر می شود (راد و فیروزآبادی، ۱۳۷۶). در بررسی حاضر به مطالعه آزمایشگاهی تاثیر ارتفاع بازشدگی دهانه ورودی بر پروفیل های سرعت و غلظت جریان های گل آلود در مخازن مسطیلی پرداخته شده است.

ساختار جریان های غلیظ

جریان غلیظ به جرابی گفته می شود که یک سیال با سرعت مخالف صفر و چگالی متفاوت از چگالی سیالی که نسبتا 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 بر می گیرد (احمدی رنای،



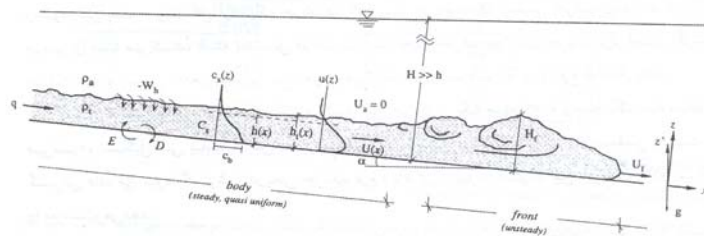
۱۳۸۲). جریان وزنی^۱ یا ثقلی^۲ (جریان دو فازی) جریانی با چگالی (ρ_t) است که ذاتاً در اثر اختلاف چگالی ($\Delta\rho$) بر روی شتاب جاذبه (g) بوجود می آید. این جریان مادامیکه جاذبه بوسیله نسبت $\Delta\rho/\rho_a$ کاهش یافته است رخ می دهد.

$$g' = g \left(\frac{\rho_t - \rho_a}{\rho_a} \right) = g \frac{\Delta\rho}{\rho_a} \quad (1)$$

در واقع جاذبه کاهش یافته نیروی محرکه جریان وزنی بوده و به صورت ذیل بیان شده است. که ρ_t چگالی متوسط جریان و ρ_a ، چگالی سیال پیرامون^۳ است (Graf & Altinaka., 1998). بطور کلی جریان غلیظ جریان دو فازی است و با اختلاف کمی در چگالی فاذا مانند آب سرد و گرم و مخلوط آب و گل می تواند به وجود آید. باید توجه کرد که جریان آب و هوا به دلیل اینکه نسبت چگالی های آنها حدود ۱۰۰۰ است، جریان غلیظ محسوب نمی گردد و علاوه بر این هر دو سیال در جریان غلیظ باید قابل امتزاج باشند. اختلاف چگالی ها تابعی از عواملی است مانند اختلاف درجه حرارت یا نمک و رسوب موجود در آن و وابستگی به فشار و الاستیسته سیالهای تحت بررسی ندارد (فیروزآبادی، ۱۳۷۸). اختلاف چگالی بین سیال جریان غلیظ و سیال محیطی ساکن ممکن است ناشی از عوامل متعددی باشد که این عوامل عبارتند از اختلاف در درجه حرارت، وجود رسوبات معلق، مواد جامد حل نشده، تفاوت شوری و... (Altinakar et al 1990). جریان غلیظ حاوی ذرات جامد معلق جریان گل آلود (Turbidity Current) نامیده می شود (Turner, 1973). حدود این اختلافات توسط گراف (Graf & Altinakar., 1998) به شکل زیر بیان شده است:

$$\begin{aligned} \Delta\rho &= 2 [kg / m^3] && ۱- درجه حرارت \\ \Delta\rho &= 20 [kg / m^3] && ۲- شوری \\ \Delta\rho &= 20 - 130(200) [kg / m^3] && ۳- گل آلود \end{aligned}$$

در $\Delta\rho = 20 - 130, [kg / m^3]$ مخلوط آب - رسوب، رفتار سیال شبه نیوتنی داشته و اختلاف میان چگالی مخلوط و آب قابل توجه است $\Delta\rho(130(kg / m^3))$. از این رو انتقال رسوبات، به عنوان بار معلق غلیظ در نزدیکی بستر و بعنوان جریان های گل آلود مورد بحث قرار خواهد گرفت (Graf, 1971). در حالت های (۱) و (۲) جریان دارای رفتاری نیوتنی است.



شکل (۱) - نمودار یک جریان گل آلود (Graf & Altinaka., 1998).

جریانهای طوفانی، جبهه های هوای سرد و جبهه های نسیم دریایی و اقیانوسها جریانهای غلیظی هستند که بخاطر کم بودن دمایشان در قسمتی از اتمسفر شکل می گیرند. طوفانهای شن و گرد و غبار همانند بهمن مثلهایی از شکل گیری جریان غلیظ با ذرات معلق در هوا هستند. در دهانه های رودخانه های بزرگ پیشروی آب شور به سمت خشکی در زمانهای سیلابی می تواند شکل معینی از حرکت جبهه جریان غلیظ را داشته باشد (Alavian et al., 1992). در اقیانوسها جریان های چگالی یا ثقلی بوسیله شوری و یا غیر همگنی ناشی از درجه حرارت تشکیل می شود و یا بصورت جریان های دوغ آبی با ذرات معلق (turbidity current) هستند که در آنها اختلاف چگالی از گل ولای و ماسه معلق ایجاد شده و نیروی رانش بوجود می آورد. خطوط حاوی کف در سطح اقیانوس ممکن است نشاندهنده زبانه یک جریان چگالی باشد که متناوباً توسط فرایندهای جزر و مدی آورده می شوند. در کف اقیانوس ها حرکت گل و لای از

¹ - Density Current
² - Gravity Current
³ - Ambient fluid



جریان های ثقلی است که وقوع آن قطعی شده است. وقوع حرکت رسوبات در کف دریا و وجود ارگانسیم ها و هوادهی در عمق زیاد و نزدیک کف دلایل وجود جریان های ثقلی است. دانستن سرعت این جریان ها می تواند کمک بزرگی در درک پروسه های تشکیل آبراهه های زیردریایی باشد. در زمین لرزه ای که در سال ۱۹۲۹ میلادی بشدت ۷ ریشتر در شمال New Foundland رخ داد و بعنوان زمین لرزه Grand-Banks مشهور شده جلگه ای ژرف از جریان گل آلود به سمت جنوب اقیانوس در طول ۲۰۰ کیلومتر به راه افتاد. در صد کیلومتر اول حرکت این جریان شتابدار بوده و توانسته شوینده بستر کف باشد و کف دره را کنده و با خود تا فاصله ۲۰۰ کیلومتر ببرد. با از دست دادن سرعت در صد کیلومتر دوم مواد سنگین رسوب نموده و جریان در نهایت محو شده است (راد و فیروزآبادی، ۱۳۷۶).

تجهیزات آزمایشگاهی و روش انجام آزمایشات

این تحقیق به صورت آزمایشات دو بعدی، در آزمایشگاه هیدرولیک رسوب گروه سازه های آبی دانشگاه تربیت مدرس، انجام شده است. جهت انجام این آزمایشات از فلوم شیب پذیر به عنوان مدل مخزن سد استفاده شده است. ابعاد این فلوم به ترتیب طول، عرض و ارتفاع برابر است با ۱۰/۳، ۰/۴۵ و ۰/۴۵ متر می باشد که دیواره های آن در طول ۱۰ متر دارای شیشه شفاف به منظور مشاهده جریان از هر دو طرف می باشد. قبل از شروع آزمایش مخزن زمینی پمپ و مخزن هوایی اختلاط رسوب، از مخلوط حاوی ذرات ریز دانه پودر سیلیس با قطر دانه بندی ۳۰ میکرون پر می شوند. پمپ لجن کش موجود در مخزن زمینی مخلوط را به مخزن هوایی منتقل می کند. سرریز موجود در بدنه مخزن هوایی امکان ایجاد هد ثابت را به ما می دهد و همچنین وجود دو همزن در این مخزن مانع از رسوبگذاری ذرات در مخزن می شود. جهت اندازه گیری پروفیل های سرعت و تنش های رینولدزی از دستگاه سرعت سنج صوتی بنام (Vectrino+)، ساخت شرکت (Nortek) از کشور نروژ و برای اندازه گیری پروفیل های غلظت از نمونه گیرهای مخصوص استفاده شده است که می توانند غلظت را در ۷ نقطه از عمق جریان اندازه گیری کنند. این اندازه گیری های در دو ایستگاه ۳ متری و ۶ متری از ابتدای کانال صورت گرفته است. مراحل انجام آزمایشات بدین شرح است که بعد از پر شدن فلوم از آب صاف، جریان حاوی ذرات بعد از مخزن ایجاد هد ثابت، به قسمتی از کانال وارد می شود که از بقیه کانال، توسط دریچه ای که ارتفاع بازشدگی تحتانی آن قابل تنظیم می باشد جدا شده است (در این تحقیق تاثیر میزان این بازشدگی را بر پروفیل های سرعت و غلظت مشاهده خواهیم کرد) و آب زلال به این قسمت راه ندارد. زمانی که سطح مخلوط گل آلود هم سطح با آب صاف کانال اصلی شود، توسط همین دریچه قابل تنظیم زیر گذر جریان گل آلود در زیر آب صاف به کلنال اصلی وارد می شود و در انتهای کانال به صورت سیفونی تخلیه می شود.

نتایج حاصل از آزمایشات

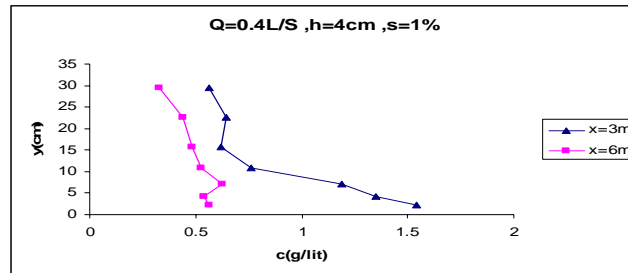
آزمایشات این تحقیق در دبی ۰/۴ لیتر بر ثانیه و در دو شیب ۱٪ و ۲٪ انجام گردیده است. دو ارتفاع بازشدگی ۲ و ۴ سانتی متر برای دریچه ورودی که متناظر با دو مقدار برای عدد فرود جریان ورودی بوده تنظیم شده است. با توجه به مقدر عدد فرود یکی از حالات شامل جریان زیر بحرانی و دیگری شامل جریان فوق بحرانی می باشد. بعنوان نمونه زمانی که ارتفاع بازشدگی دریچه زیر گذر ۲ سانتی متر و شیب کف کانال ۲ درصد می باشد عدد فرود جریان ورودی ۱/۱۴ و زمانی که ارتفاع بازشدگی دریچه ۴ سانتی متر و شیب کف کانال ۱ درصد باشد عدد فرود جریان ورودی ۰/۴۱ و جریان ورودی زیر بحرانی خواهد بود. ذیلا نتایج حاصل از اندازه گیری پروفیل غلظت و توزیع قائم سرعت افقی جریان در دو بخش ارائه می گردد.

نتایج حاصل از اندازه گیری پروفیل غلظت

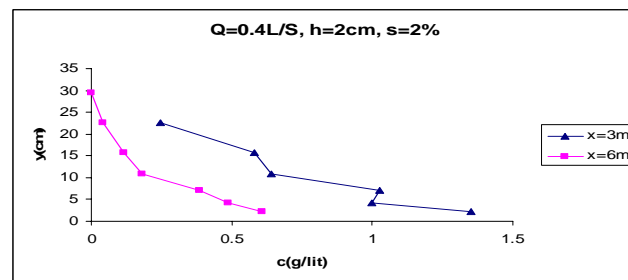
نتایج حاصل از اندازه گیری های پروفیل غلظت در دو حالت زیر و فوق بحرانی در شکل های ۳ تا ۶ ارائه شده است. مقایسه پروفیل های غلظت در هر آزمایش در دو موقعیت ۳ و ۶ متری نشان می دهد که غلظت در طول کانال کاهش می یابد و در متوسط غلظتها در ایستگاه ۳ متری تقریباً ۳ برابر متوسط غلظتها در ایستگاه ۶ متری می باشد. این کاهش غلظت در جریان های گل آلود امری طبیعی و در اثر پدیده درون آمیختگی ذرات آب صاف با جریان گل آلود در طول کانال می باشد (شکل های ۲ و ۳). مقایسه پروفیل های غلظت در اعداد فرود فوق و زیر بحرانی نشان می دهد که در ابتدای کانال یعنی ایستگاه ۳ متری پروفیل های غلظت اختلاف چندانی با هم ندارند اما این اختلاف در ایستگاه ۶ متری از ابتدای کانال به خوبی دیده می شود. بطوری که در ایستگاه ۶ متری و در حالتی که شیب کانال ۱٪ و ارتفاع بازشدگی دریچه ورودی ۴ سانتی متر است (زمانی که فرود جریان ورودی زیر بحرانی می باشد) غلظت ها مقادیر بیشتری نسبت به حالتی که شیب کف کانال ۲٪ و ارتفاع بازشدگی دریچه ورودی ۲ سانتی متر است (یعنی زمانی که فرود جریان ورودی فوق بحرانی می باشد) دارند. این نتیجه را نیز می توان با پدیده درون آمیختگی ذرات آب در جریان گل آلود توجیه کرد. زمانی که میزان درون آمیختگی ذرات آب کمتر باشد افزایش ارتفاع جریان و کاهش میزان غلظت کمتر می گردند. نتایج بدست آمده نیز مطالب فوق را تصدیق می کنند چراکه در شیب کمتر بدلیل کاهش میزان درون آمیختگی ذرات آب پروفیل های غلظت در مقادیر بیشتری از حالتی که شیب کف کانال بیشتر است دارا می باشند. نکته قابل توجه اینکه این مساله با افزایش طول کانال خود را بیشتر نشان می دهد (شکل های ۴ و ۵). نکته دیگری که از گرافهای غلظت به دست می آید اینست



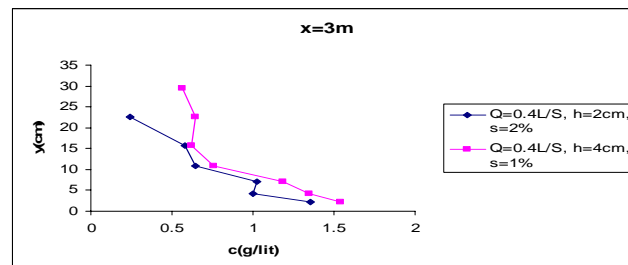
که در فرود بالاتر از یک احتمالاً پرش هیدرولیکی داخلی اتفاق افتاده است. به همین دلیل جریان پس از عبور از دریاچه به زیر بحرانی تبدیل شده و با سرعت کم ادامه داده است. اگرچه این نکته را می توان به شیب کمتر و یا سرعت ورودی کمتر نیز نسبت داد. هر دو حالت در ورود جریانی مغشوش با عدد رینولدز ۱۳۰۰ داشته اند. لذا بین دو عدد بدون بعد شیب و عدد فرود اختلاف چندانی نمی توان در جهت حاکمیت بر جریان چگال آزمایش شده قائل شد. احتمالاً باید آزمایشهایی با محدوده اعداد فراد وسیعتر ترتیب داد تا حاکمیت اعداد بدون بعد را بتوان مشخص نمود.



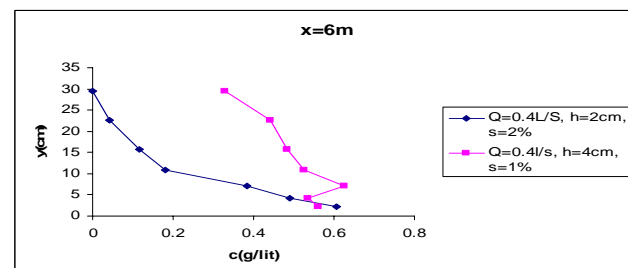
شکل (۲) - پروفیل غلظت در دو ایستگاه ۳ و ۶ متری در عدد فرود ۱/۱۴



شکل (۳) - توزیع قائم غلظت در دو ایستگاه ۳ و ۶ متری در عدد فرود ۰/۴۱



شکل (۴) - توزیع قائم غلظت در ایستگاه ۳ متری در دو عدد فرود ۱/۱۴ و ۰/۴۱

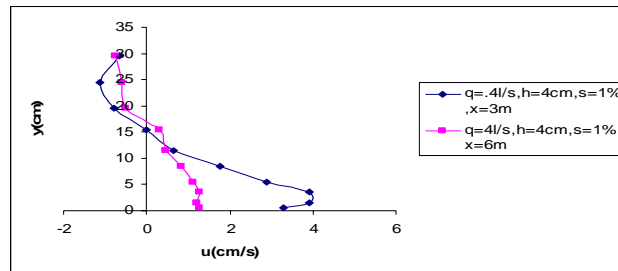


شکل (۵) - توزیع قائم غلظت در ایستگاه ۶ متری در دو عدد فرود ۱/۱۴ و ۰/۴۱

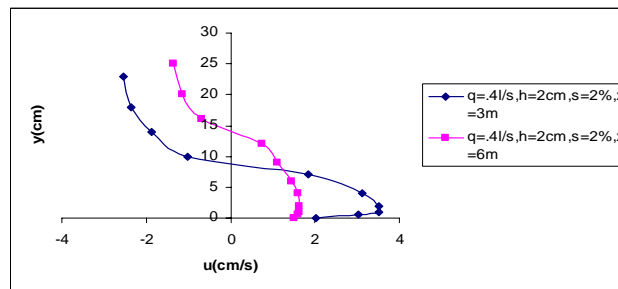


نتایج حاصل از اندازه گیری پروفیل سرعت

مقایسه نتایج حاصل از اندازه گیری پروفیل های سرعت در هر آزمایش و در دو موقعیت نشان می دهد که مقادیر سرعت در طول کانال کاهش می یابند. این نتیجه هم برای جریانی که در ورودی بصورت زیر بحرانی و هم برای جریانی که در ورودی فوق بحرانی بوده بدست آمده است. همچنین شکل های ۶ و ۷ نشان می دهند که ارتفاع جریان گل آلود (ارتفاعی که سرعت در آن ارتفاع صفر است) در طول کانال افزایش داشته است. این مطلب با توجه به افزایش میزان آب وارد شده به جریان (پدیده درون آمیختگی) در طول کانال قابل توجیه می باشد.

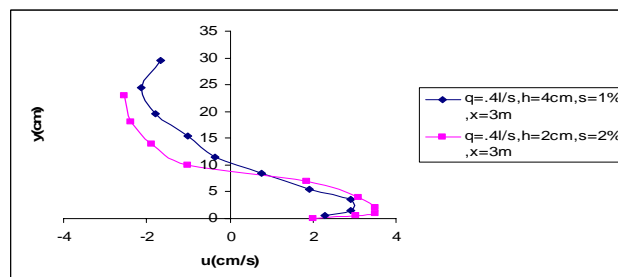


شکل (۶) - توزیع قائم سرعت در دو موقعیت ۳ و ۶ متری در عدد فرود ورودی ۴/۱

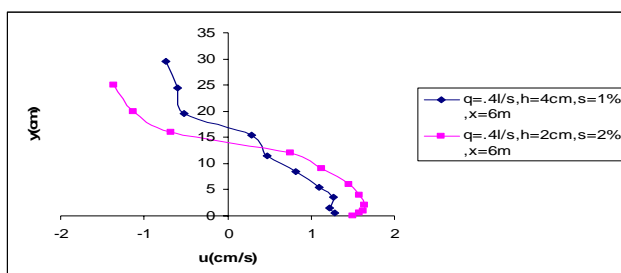


شکل (۷) - توزیع قائم سرعت در دو موقعیت ۳ و ۶ متری در عدد فرود ورودی ۱/۱۴

مقایسه نتایج حاصل از اندازه گیری پروفیل های سرعت در فرودهای ورودی زیر و فوق بحرانی نشان می دهد که با افزایش شیب کف کانال سرعت پیش روی جریان نیز افزایش پیدا کرده است (شکل های ۸ و ۹). این دو شکل نشان می دهند که در شرایطی که جریان با عدد فرود فوق بحرانی وارد کانال گردیده پروفیل های سرعت مقادیر بیشتری را نسبت به حالتی که جریان با فرود زیر بحرانی وارد کانال شده است، دارا می باشند. اما نکته قابل توجه این است که این افزایش سرعت را نمی توان به اعداد فرود جریان ورودی نسبت داد. در حالتی که جریان با فرود فوق بحرانی وارد کانال می شود، مشاهده شده است که پس از طی مسافت کوتاهی پرش هیدرولیکی اتفاق افتاده است و جریان خود را از حالت فوق بحرانی به زیر بحرانی رسانده است. افزایش شیب می تواند دلیل اصلی این افزایش سرعت پیش روی جریان در این آزمایشات باشد. مشاهده دقیق تر این شکل ها همچنین نشان می دهد که با افزایش شیب و در نتیجه افزایش سرعت ارتفاع جریان گل آلود کاهش می یابد.

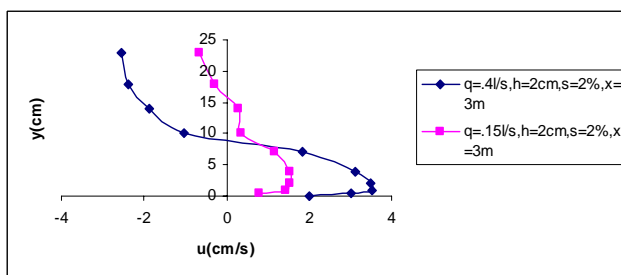


شکل (۸) - توزیع قائم سرعت در دو عدد فرود ورودی ۱/۴۱ و ۱/۱۴ در موقعیت ۳ متری



شکل (۹) - توزیع قائم سرعت در دو عدد فرود ورودی ۰/۴۱ و ۱/۱۴ در موقعیت ۶ متری

مقایسه نتایج حاصل از اندازه گیری پروفیل های سرعت در دبی های متفاوت (شکل ۱۰) نشان می دهد که با ثابت نگه داشتن کلیه پارامترها و تنها افزایش دبی سرعت پیش روی جریان به مقدار قابل ملاحظه ای افزایش می یابد. شکل ۱۰ همچنین نشان می دهد که ارتفاع جریان گل آلود در موقعیت ۳ متری در آزمایشی که دبی بیشتر بوده، مقدار کمتری را به خود اختصاص داده است. این مطلب نشان می دهد که کاهش دبی باعث افزایش میزان پدیده درون آمیختگی ذرات آب به جریان گل آلود می گردد.



شکل (۱۰) - توزیع قائم سرعت در دو دبی ۰/۱۵ و ۰/۴ در موقعیت ۳ متری

نتیجه گیری

آزمایشات دو بعدی انجام شده در جریان های گل آلود نشان می دهند که:

- ۱- غلظت در طول کانال بدلیل پدیده درون آمیختگی ذرات آب به جریان گل آلود کاهش می یابد. همچنین با کاهش شیب مقادیر غلظت افزایش می یابد و این افزایش غلظت در شیب های کمتر در طول کانال خود را بیشتر نشان می دهد.
- ۲- نتایج حاصل از پروفیل های سرعت نشان می دهند که چه در زمانی که جریان با فرود زیر بحرانی و چه در زمانی که جریان با فرود فوق بحرانی وارد کانال می گردد، مقادیر سرعت پیشروی جریان در طول کانال به مقدار قابل ملاحظه ای کاهش می یابند و این جریان از نوع کاهنده و رسوبگذار می باشد.
- ۳- گرچه تغییرات ارتفاع جریان گل آلود در طول آزمایشات ثبت نشده است اما ترسیم پروفیل های سرعت نشان می دهند که ارتفاع جریان گل آلود بدلیل وجود پدیده درون آمیختگی در طول کانال افزایش می یابد.
- ۴- با افزایش شیب کانال سرعت پیشروی جریان افزایش می یابد و ارتفاع جریان گل آلود از خود کاهش نشان می دهد.
- ۵- با افزایش دبی سرعت پیش روی جریان به مقدار قابل ملاحظه ای افزایش می یابد. همچنین این امر کاهش ارتفاع جریان گل آلود را در پی دارد.

مراجع

- ۱- احمدی زانی، م، (۱۳۸۲). تاثیر ایجاد مجرای خط القعر مخازن سدها بر راندمان تخلیه جریان گل آلود. پایان نامه کارشناسی ارشد رشته تاسیسات آبیاری، دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس.



- ۲-ترین، ع، (۱۳۸۳). شبیه سازی عددی رسوبگذاری در مخازن سدها با مدل‌های یک بعدی، شبه دو بعدی و سه بعدی. پایان نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی عمران، سازه های هیدرولیکی، دانشکده فنی دانشگاه تربیت مدرس.
- ۳-چاپلقی، ا، (۱۳۸۰). بررسی راندمان تله اندازی رسوب در سدهای تاخیری با استفاده از مدل فیزیکی. پایان نامه کارشناسی ارشد تاسیسات آبیاری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تربی مدرس.
- ۴- حسن پور حیدری، ی، (۱۳۸۳). مطالعه آزمایشگاهی اثر طول مجرای خط القعر بر راندمان تخلیه جریان گل آلود در مخازن سدها. پایان نامه کارشناسی ارشد رشته سازه های آبی دانشکده کشاورزی دانشگاه تربیت مدرس.
- ۵-راد، م، فیروزآبادی، ب، (۱۳۷۶). بررسی تجربی و عددی جریان غلیظ و کاربرد آن در رسوب زدایی مخازن سدها. طرح پژوهشی، وزارت نیرو، سازمان مدیریت منابع آب.
- ۶-راد، م، فیروزآبادی، ب، (۱۳۷۶). بررسی تجربی و عددی جریان غلیظ و کاربرد آن در رسوب زدایی مخازن سدها. طرح پژوهشی، وزارت نیرو، سازمان مدیریت منابع آب.
- ۷- فیروز آبادی، ب، (۱۳۷۸). بررسی تجربی و تئوری جریان های مطبق و تهیه مدل ریاضی از جریان های چگالی حاوی ذرات. پایان نامه دکتری رشته مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی شریف.
- ۸- فیروز آبادی، ب، موسوی حکمتی، س، م، ر و راد، م، (۱۳۸۴). بررسی تجربی ساختار جریان گل آلود سه بعدی مغشوش. مجله هیدرولیک، جلد اول شماره دوم، پاییز ۱۳۸۴، ۲۹-۴۴.
- ۹- محمد نژاد، ب و شمسایی، ا، (۱۳۸۱). بررسی نقش جریان های غلیظ در رسوبگذاری دریاچه سدها. مجموعه مقالات ششمین کنفرانس مهندسی رودخانه، دانشگاه شهید چمران اهواز، ۲۷۷-۲۸۵.

- 10-Alavian, V., (1986)., "Behavior of Density Current on an Incline "*J. Hydr. Eng., ASCE* , V118.
- 11-Alavian, V. Jiraka, G. H. Denton, R. A. Johnson, M. C. and Stefan, H. G. (1992)., " Density Current Entering Lakes and Reservoirs". *J. Hydr. Eng*, 118(11):1464-1489.
- 12-Altinakar, M. S, Graf, W. H. et Hopfinger, E. J. (1990)., "Weakly Depositing Turbidity Current on Small Slopes", *J. Hydr. Res.*, V.28/1, NL.
- 13-Bradford, S. F., Katopodes, N. D. (1999)., "Hydrodynamics of Turbid Underflows ,I: Formulation and Numerical Analysis", *J. Hydr. Eng., ASCE*,125(10),1006-1015.
- 14-Cesare, G. D., Schleiss, A., Hermann, F., (2001)., "Impact of Turbidity Current on Reservoir Sedimentation ",*J of Hydr. Eng.*, 127(1),6-16.
- 15-Flix, M., Sturton, S., Peakall, J., (2005)., "Combined Measurements of Velocity and Concentration in Experimental Turbidity Currents", *Journal of Sedimentary Geology* ,V(179),31-47.
- 16-Fukushima, Y., and Hayakawa, N., (1995)., "Dynamic of three Dimensional Inclined Thermal ", *J. Hydr. Eng.*, ASCE, V.121,N.8.
- 17-Graf, W. H., (1971;1984)., "Hydraulics of Sediment Transport",*Mc Graw-Hill, New-York*.
- 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-Kubo, Y, Nakajima, T., (2002)., "Laboratory Experiments and Numerical Simulation of Sediment-Wave Formation by Turbidity Current", *Journal of Marine Geology* ,V (192) ., 105 -121.
- 20-Lee, H. Y, Yu, W. S., (1997)., "Experimental Study of Reservoir Turbidity Current "., *J. Hydr. Eng, ASCE*, V(123),N6.520-528.
- 21-Salaheldin, T. M., Imran, H., Chaudhry, M. H., Reed, C., (2000)., "Role of Fine-Grained Sediment in Turbidity Current Flow Dynamics and Resulting Deposits", *Journal of Marine Geology*,V(171).,21-38.
- 22-Stoschek, O., Zimmermann, C., (2006)., "Water Exchange and Sedimentation in an Estuarine Tidal Harbor Using Three-Dimensional Simulation", *J. Waterway, ASCE*. 132(5) , 410 -414.
- 23-Toniolo, H and Parker, G., (2003)., "1D numerical modeling of reservoir sedimentation Proceeding", *IAHR symposium on River, Coastal and Estuarine Morphodynamics, Barcelona , Spain, 2003*, 457-468.
- 24-Turner, J. S., (1973)., "Buoyancy Effects in Fluids",*Cambridge University Press, London, U.K*