

## Experimental Investigation on the Effects of Selective Withdrawal Gate on Venting of Turbid Density Current

M. Zayeri<sup>1\*</sup>, M. Ghomeshi<sup>2</sup>, M. Shafaei Bajestan<sup>2</sup>  
and A. Fathi<sup>3</sup>

### Abstract

Turbidity currents are one of the factors affecting sedimentation in reservoirs which reduces the water capacity of reservoirs and useful life of dams. Opening bottom gates is a conventional method for venting these currents preserving the useful volume of the reservoir. Choose suitable heights for gates on a dam has variety of functions in management of reservoirs and as well can have a major impact on the outflow water quality. This study have tried to investigate the effect of selective withdrawal on venting of turbid density current through reservoir's outlet. For this purpose four gates have been established on a wall at the end of a flume at heights of 5, 15, 25 and 40 percent of ambient fluid depth. The Turbidity current input with concentrations of 5, 15 and 30 g/L were injected with a constant volume flow rate. The results showed that when the gate was placed at 5 percent of the fluid depth, the amount of output concentration was averagely 10 percent higher than the concentration of input turbidity current. Keeping the gates open for longer durations has increased the venting efficiency to 40 percent in different depths.

**Keywords:** Turbid density current, Reservoir management, Venting efficiency, Reservoir outlet

Received: April 6, 2016

Accepted: July 24, 2016

## بررسی آزمایشگاهی تأثیر ارتفاع دریچه تخلیه کننده بر غلظت جریان غلیظ خروجی

محمد رضا زایری<sup>۱\*</sup>، مهدی قمشی<sup>۲</sup>، محمود شفاعی بجزستان<sup>۲</sup>  
و احمد فتحی<sup>۳</sup>

### چکیده

جریان‌های غلیظ یکی از عوامل مؤثر بر رسوب‌گذاری در مخازن سدهاست که یکی از مشکلات مهم در مدیریت منابع آب می‌باشند. گشودن دریچه‌های تحتانی سد، روش متداول تخلیه این جریان‌ها و حفظ حجم مفید مخزن می‌باشد انتخاب ارتفاع مناسب دریچه تخلیه جریان بر روی دیواره سد دارای کاربردهای مختلفی در مدیریت مخازن سدها دارد که می‌تواند بر کیفیت آب خروجی از سدها تأثیر عمده داشته باشد. بنابراین در این تحقیق سعی شده به بررسی تأثیر ارتفاع دریچه تخلیه کننده بر غلظت جریان غلیظ خروجی پرداخته شود. بدین منظور چهار دریچه در ارتفاعات ۵، ۱۵، ۲۵ و ۴۰ درصد نسبت به عمق سیال پیرامون بر روی یک دیواره در انتهای فلوم کار گذاشته شد. جریان غلیظ ورودی با سه غلظت ۵، ۱۵ و ۳۰ گرم در لیتر با یک دبی ثابت تزریق گردید. نتایج نشان می‌دهد که در موقعیت که دریچه در ارتفاعی نظیر ۵ درصد عمق سیال پیرامون قرار بگیرد مقدار غلظت خروجی به‌طور متوسط ۱۰ درصد بیشتر از غلظت متوسط جریان پشت دریچه می‌باشد و با افزایش مدت زمان باز نگه داشتن دریچه در اعماق مختلف به دلیل خروج جریان بیشتر، غلظت و در نتیجه راندمان تخلیه جریان غلیظ ۴۰ درصد افزایش می‌یابد.

**کلمات کلیدی:** جریان غلیظ، مدیریت مخازن، راندمان تخلیه، دریچه تخلیه کننده.

تاریخ دریافت مقاله: ۹۵/۱/۱۸

تاریخ پذیرش مقاله: ۹۵/۵/۳

1- Ph.D Student of Hydraulic Structures, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran. Email: m.zayeri@yahoo.com

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

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

\*- Corresponding Author

۱- دانشجوی دکتری سازه‌های آبی، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز، ایران.

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

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

\*- نویسنده مسئول

## ۱- مقدمه

هنگامی جریان حاوی رسوب از طریق رودخانه در یک سیلاب به مخزن سد می‌رسد به دلیل پایین بودن سرعت جریان، ذرات درشت رسوبی به شکل یک دلتا در بالادست مخزن سد ته‌نشین می‌گردند و ذرات ریزتر به صورت معلق به سمت دیواره سد انتقال می‌یابند با افزایش مقطع جریان و کاهش سرعت، حرکت این جریان به علت داشتن مقدار زیاد رسوب و در نتیجه چگالی بالاتر، جریان ورودی به صورت لایه‌ای خواهد شد و در نقطه با اعداد فرود دنسیمتریک بین ۰/۶ تا ۱ به سمت کف مخزن غوطه‌ور خواهد شد (Yu et al., 2004). بعد از غوطه‌ور شدن این جریان با نام جریان غلیظ در صورت تداوم سیلاب می‌تواند مسیر طولانی را طی کرده و خود را به دیواره سد برساند. شتاب ثقل مؤثر بر جریان که به عنوان نیروی محرک در جریان غلیظ مطرح می‌باشد به صورت زیر بیان می‌گردد:

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

که در این رابطه،  $g'$  شتاب ثقل کاهش یافته،  $\rho_a$  دانسیته سیال پیرامون و  $\rho_t$  دانسیته سیال غلیظ می‌باشد. در نزدیکی دیواره سد، جریان غلیظ به شکل یک دریاچه گل‌آلود (همانند شکل ۱) ذخیره خواهد شد که در صورت عدم تخلیه، ذرات ریز رسوبی همراه جریان می‌تواند ته‌نشین شده و باگذشت زمان تحکیم پیدا کنند که این امر منجر به کاهش ظرفیت ذخیره آب، آسیب به تجهیزات نیروگاه‌های برقایی، انسداد دریاچه‌های عمقی و آبگیرها می‌شود و ظرفیت برای تنظیم جریان، تولید انرژی و کنترل سیلاب کاهش یافته و بازده اقتصادی سدها به شدت پایین می‌آید (Fan and Morris, 2009).

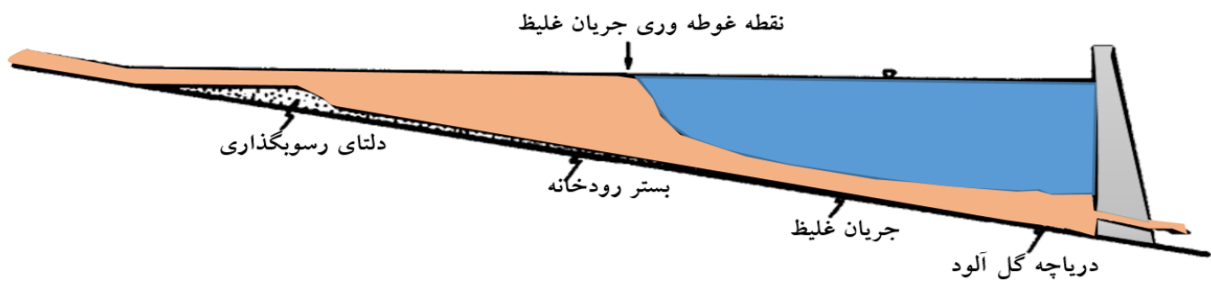
در حال حاضر متوسط سالانه کاهش حجم مفید مخازن در جهان به دلیل رسوب‌گذاری، بیشتر از تولید سالانه مخازن می‌باشد. در مخازن باریک با شیب بستر زیاد، جریان غلیظ معمولاً عامل انتقال و ته‌نشینی رسوبات است (Ohey, 2002).

کمیسیون بین‌المللی سدهای بزرگ اعلام کرده است که سالانه ۱ تا ۲ درصد از ظرفیت ذخیره مخازن سدهای دنیا در اثر رسوب‌گذاری از دست می‌رود (ICOLD, 1999). نرخ رسوب‌گذاری در مخازن ایران نیز سالانه حدود ۰/۵ تا ۰/۷۵ درصد ظرفیت اولیه تخمین زده شده است (Water Research Institute, 2000). در زمینه مطالعات میدانی Heidarnejad et al. (2009) یک استراتژی برای دبی جریان غلیظ

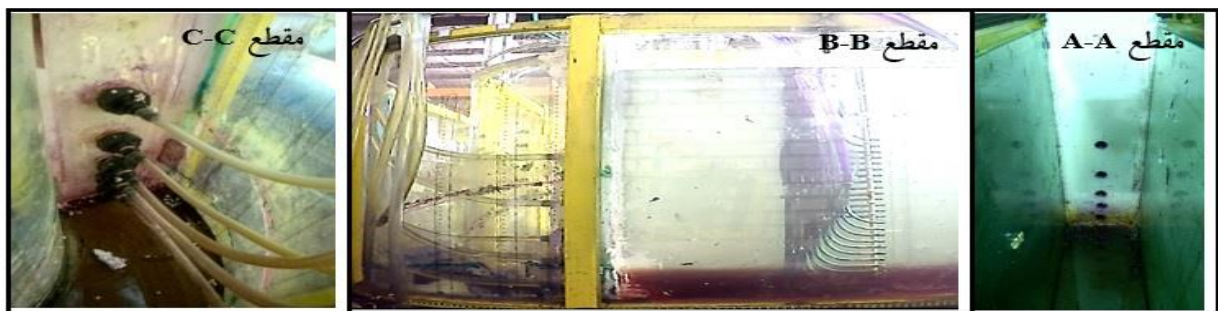
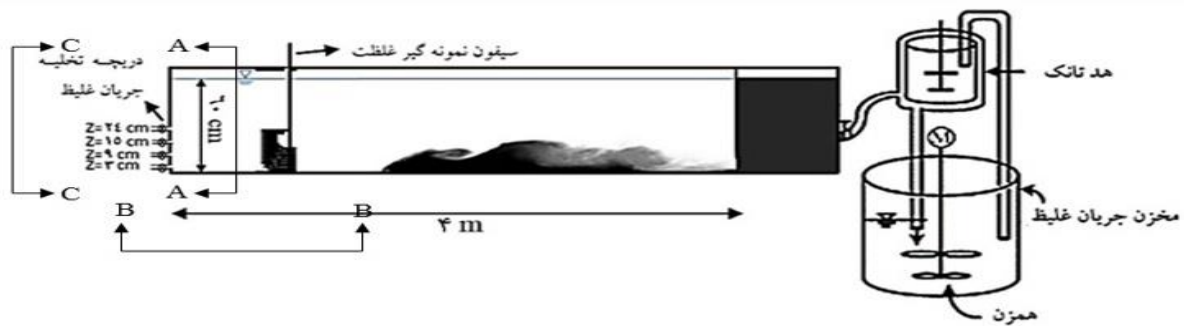
و آنالیز هیدرولیکی مخزن سد در توسعه دادند و در این راستا از مدل عددی نیز استفاده کردند. نتایج نشان دادند که با افزایش ارتفاع فوقانی مخزن از ۳۰۰ به ۳۵۲ متر، دبی جریان گل‌آلود عبوری از دریاچه‌های خروجی به ۷۸/۲ درصد افزایش می‌یابد. Ramezani and Ghomeshi (2011) میزان تأثیر جریان‌های غلیظ بر روند رسوبگذاری مخزن سد سفیدرود در یک دوره ۳۰ ساله را مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج آنها نشان داد که در صورت خروج جریان‌های غلیظ از سد، بازده تله‌اندازی شاخه قزل اوزن حدود ۳۰ درصد و شاخه شاهرود حدود ۲۰ درصد نسبت به حالتی که تأثیر این جریان‌ها نادیده گرفته شود، کاهش می‌یابد و در صورت خروج جریان‌های غلیظ از سد، متوسط کاهش حجم سالانه مخزن در شاخه قزل اوزن از ۱/۰۷ به ۰/۷۳ درصد و در شاخه شاهرود از ۰/۵۵ به ۰/۴۳ درصد کاهش می‌یابد. در خصوص بررسی پروفیل‌های غلظت برداشت شده از بدنه جریان غلیظ، Keshkar et al. (2010) به بررسی آزمایشگاهی تأثیر تغییرات ارتفاع بازشدگی دریاچه ورودی جریان گل‌آلود بر روی پروفیل‌های عمودی سرعت و غلظت جریان گل‌آلود پرداختند. نتایج آنها نشان می‌دهد که ارتفاع معادل سرعت متوسط جریان در ارتفاعی برابر با ۰/۸ ضخامت متوسط جریان و ارتفاع نظیر غلظت متوسط جریان در ارتفاعی معادل ۰/۳۵ تا ۰/۵ برابر ضخامت متوسط جریان اتفاق می‌افتد.

انتخاب ارتفاع مناسب دریاچه تخلیه جریان بر روی دیواره سد دارای کاربردهای مختلفی در مدیریت مخازن سدها دارد که می‌تواند بر کیفیت آب خروجی از سدها تأثیر عمده داشته باشد. جهت کنترل رسوب‌گذاری جریان غلیظ در برخی از مخازن با باز نمودن به موقع دریاچه تخلیه کننده دیواره سد، ممکن است تا بیش از نیمی از بار کل رسوبی در یک سیلاب را نیز خارج نمود. که بازده ای بیشتر در این عمل وابسته به انتخاب درست ارتفاع دریاچه و باز نمودن دریاچه دارد. (Morris and Fan, 2009).

Lee et al. (2013) مطالعاتی آزمایشگاهی در زمینه تأثیر ارتفاع تخلیه کننده بر مقدار غلظت جریان غلیظ پرداخت و نتایج مدل خود را با مدل عددی سه بعدی بر روی سد زنگون در تایلند مقایسه نمود. همانطور که عنوان شد رسوبگذاری در مخازن سدها علاوه بر از بین بردن عمر مفید آنها باعث ایجاد خسارات جبران ناپذیری به سازه‌های جانبی سدها مانند آبگیرها، دریاچه‌های تخلیه تحتانی و تاسیسات تولید انرژی خواهد شد.



شکل ۱- شمای کلی از چگونگی پیشروی جریان‌های غلیظ در مخازن سدها



شکل ۲- طرح شماتیک از فلوم مورد استفاده و تجهیزات آزمایشگاهی

## ۲- مواد و روش‌ها

تحقیق حاضر در یک فلوم آزمایشگاهی به طول ۴ متر و عرض ۲۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۷۰ سانتی‌متر و شیب صفر در آزمایشگاه مدل‌های فیزیکی دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه چمران اهواز انجام گرفت. آزمایش‌ها به صورت جریان غلیظ نمکی با سه غلظت ۵، ۱۵ و ۳۰ گرم در لیتر صورت پذیرفت. در تمامی آزمایش‌ها سطح آب ۶۰ سانتی‌متر تنظیم گردید. در دیواره انتهایی فلوم ۵ دریچه خروجی دایره‌ای شکل به قطر ۲ سانتی‌متر در چهار ارتفاع ۳، ۹، ۱۵ و ۲۴ سانتی‌متری (به ترتیب ۵، ۱۵، ۲۵ و ۴۰ درصد عمق آب) از کف فلوم تعبیه شد. جهت یکسان نمودن نیروی مکش از هر دریچه لوله‌ای به طول ۲ متر به هر دریچه خروجی نصب گردید و محل ارتفاع خروجی جریان غلیظ از این لوله‌ها در یک ارتفاع ثابت قرار داده شد. مقدار دبی خروجی جریان غلیظ در این حالت از هر دریچه برابر با ۰/۱۵ مترمکعب بر ساعت

جریان غلیظ ضمن حرکت باعث ایجاد فرسایش در بستر شده و پس از رسیدن به نزدیکی بدنه سد با کاهش سرعت منجر به رسوبگذاری در این ناحیه می‌شود. با توجه به اهمیت پدیده جریان غلیظ در حرکت رسوبات در مخازن سدها، شناخت این پدیده و ارائه راهکارهایی به منظور کنترل آن امری اجتناب ناپذیر می‌باشد. در طی ۶۰ سال گذشته عمده مطالعات انجام شده به صورت تحلیلی یا آزمایشگاهی بر روی حداکثر ارتفاع بالآمدگی جریان غلیظ پشت سد نسبت به دریچه تخلیه کننده و یا قطر و مشخصات دریچه تخلیه کننده جریان غلیظ صورت گرفته است (Bohan and Grace (1973), Lawrence and Imberger (1979), Hino and Onishi (1980), Spigel and Farrant (1984), Wood (2001) از این رو در این مقاله به بررسی تأثیر ارتفاع‌های مختلف خروجی یک تخلیه کننده بر روی غلظت جریان غلیظ خروجی پرداخته شده است.

آن افزایش می‌یابد (شکل ۳-ه). سرانجام شرایط تعادلی جریان بسته به ارتفاع دریچه تخلیه کننده به وجود خواهد آمد و ارتفاع جریان غلیظ به یک ارتفاع ثابت می‌رسد (شکل ۳-و). پارامترهای مورد استفاده در تحقیق حاضر در شکل ۴ نشان داده شده‌اند.

پارامترهای فوق عبارت‌اند از  $H$  عمق سیال پیرامون،  $q_0$  و  $q_L$  به ترتیب دبی جریان غلیظ ورودی و خروجی،  $Z$  ارتفاع دریچه تخلیه کننده جریان غلیظ،  $h_L$  و  $C_L$  ضخامت و غلظت متوسط‌گیری شده جریان غلیظ قبل از دریچه تخلیه کننده است که جهت محاسبه آن از روابط زیر استفاده گردید: (Lee et al., 2013)

$$h_L = \frac{\int_0^\delta 2czdz}{\int_0^\delta czdz} \quad (2)$$

$$C_L = \frac{\int_0^\delta czdz}{h_L} \quad (3)$$

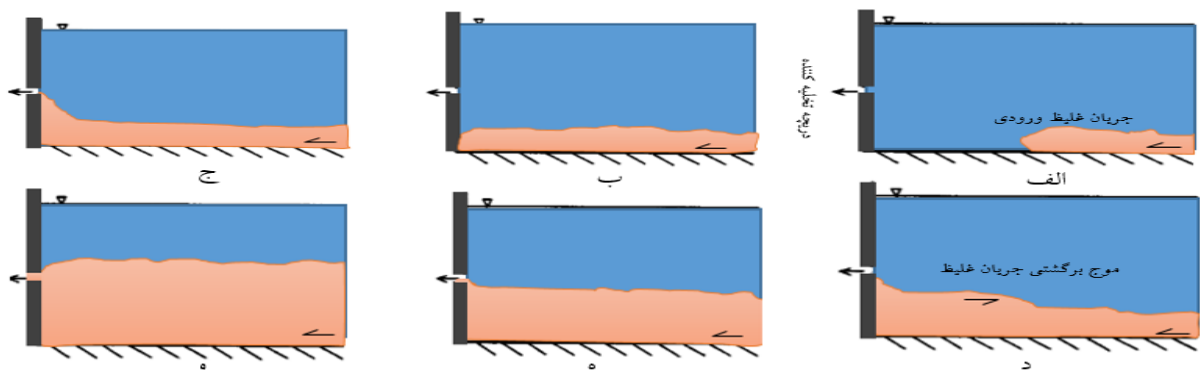
که در روابط فوق  $c$  مقدار غلظت جریان غلیظ در ارتفاع  $z$  از بدنه جریان غلیظ و پارامتر  $\delta$  ارتفاعی است که غلظت جریان غلیظ در آن نقطه تقریباً برابر صفر می‌شود.

### ۳- نتایج و بحث

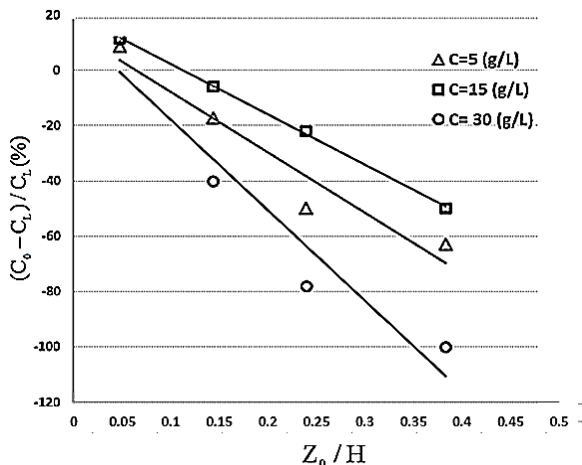
#### ۳-۱- بررسی غلظت ورودی و خروجی جریان غلیظ

با توجه به مطالبی که بیان گردید هدف این مقاله بررسی تأثیر ارتفاع دریچه تخلیه کننده بر غلظت جریان غلیظ خروجی می‌باشد تا بتوان ارتفاعی بهینه و مناسب جهت مدیریت تخلیه این نوع جریان در مخازن سدها پیشنهاد نمود.

اندازه‌گیری شد و دبی ورودی جریان غلیظ نیز همین مقدار با استفاده از یک دبی سنج الکترومغناطیسی با دقت  $\pm 0.05$  لیتر بر ثانیه تنظیم گردید. شکل ۲ نمای شماتیک از فلوم و تجهیزات آزمایشگاهی را نشان می‌دهد. به منظور ایجاد جریان غلیظ نمکی، از پودری نمکی با چگالی  $1758/34$  گرم در لیتر استفاده گردید. سرعت سیال پیرامون با توجه به دریچه انتهایی صفر در نظر گرفته شده است. مقدار عدد فرود دنسیمیتریک در محدوده  $0.09$  تا  $0.11$  بوده است. نمونه برداری از پروفیل غلظت از بدنه جریان غلیظ به وسیله یک سیفون با لوله‌های به قطر  $4$  و به فاصله  $15$  میلی‌متر در جهت قائم در فاصله  $30$  سانتی در بالادست دیواره انتهایی فلوم مطابق شکل ۲ انجام می‌گردید که برای هر آزمایش در مدت زمان  $20$  دقیقه  $12$  نمونه (به ترتیب در زمان‌های  $1, 2, 3, 4, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 17, 20$  دقیقه از رسیدن جریان غلیظ به پشت دریچه) برداشت می‌گردید. به منظور حصول اطمینان از عدم تأثیر دما در نتایج، دمای سیال غلیظ کنترل شده به طوری که حداکثر اختلاف دمای آن با سیال پیرامون حداکثر  $0.5$  درجه سانتی‌گراد بوده است. نحوه انجام آزمایش‌ها بدین شکل بود که ابتدا شیر تخلیه دریچه‌ای مورد نظر باز شده و سایر دریچه بسته می‌گردید سپس مقدار غلظت جریان غلیظ خروجی تخلیه کننده و سیفون پیش از دریچه به طور هم‌زمان برداشت می‌گردید. در شکل ۳ تغییرات زمانی حرکت جریان غلیظ در برخورد با دریچه تخلیه کننده نشان داده شده است. زمانی که هد جریان غلیظ به دیواره سد می‌رسید (شکل ۳-ب) انرژی جنبشی آن به انرژی پتانسیل تبدیل شده و ارتفاع آن تحت تأثیر نیروی مکش از دریچه و نیروی پتانسیل افزایش می‌یابد (شکل ۳-ج). بسته به سرعت جریان غلیظ ورودی بخشی از جریان به صورت یک موج به سمت بالادست (ورودی جریان غلیظ) باز می‌گردد (شکل ۳-د). با گذشت زمان پیشانی جریان غلیظ متراکم می‌گردد و از آنجا که همه جریان غلیظ نمی‌تواند از دریچه تخلیه گردد غلظت



شکل ۳- تغییرات زمانی نحوه برخورد جریان غلیظ به دیواره و تخلیه آن از دریچه

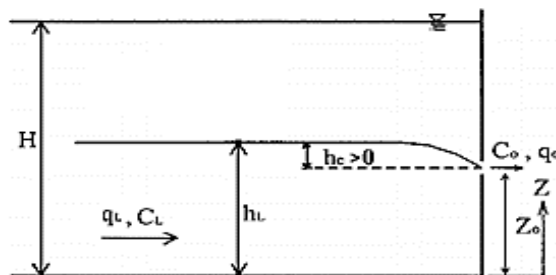


شکل ۶- درصد کاهش نسبی غلظت جریان غلیظ خروجی نسبت به موقعیت‌های دریاچه تخلیه کننده

شکل ۷ تغییرات زمانی مقدار متوسط غلظت ورودی و خروجی جریان غلیظ در ارتفاع‌های مختلف دریاچه را نشان می‌دهد. دلیل داشتن شیب مثبت در نمودار غلظت ورودی می‌توان بیان داشت که بر اساس ارتفاعی که تخلیه کننده داشته است مقدار غلظتی در انتهای فوم تخلیه نمی‌شود و با گذشت زمان غلظت آن بیشتر می‌گردد. با افزایش زمان در موقعیت‌های که ارتفاع دریاچه تخلیه نسبت به عمق آب بیشتر از ۵ درصد باشد برای همه مقادیر غلظت ورودی مطابق شکل ۷ مقدار غلظت جریان در پشت دریاچه نیز افزایش یافته است همان‌طور که مشاهده می‌شود در همه نتایج برای موقعیت ارتفاعی ۳ سانتی‌متری دریاچه (یا نسبت  $z/H=0.05$ ) مقدار غلظت خروجی به‌طور متوسط ۱۰ درصد بیشتر از غلظت جریان غلیظ پشت دریاچه می‌باشد. که دلیل این امر هم بالا بودن غلظت در لایه‌های پایانی جریان غلیظ می‌باشد. زمانی که دریاچه که در ارتفاع ۹ سانتی‌متری و یا بالاتر از آن قرار داده شده تخلیه جریان غلیظ را انجام دهد مقدار غلظت خروجی کمتر از غلظت ورودی خواهد شد.

### ۳-۲- راندمان تخلیه جریان غلیظ

استمرار و حرکت جریان غلیظ جاری تا جایی ادامه پیدا می‌کند که از بالادست خود تغذیه شود و با از بین رفتن سیلاب متوقف می‌شود و بخشی از آن در طول مسیر مخزن باقی‌مانده و ته‌نشین می‌گردد. به‌عنوان یک تقریب حداکثر مقدار جریان غلیظی که می‌تواند تخلیه گردد از مقدار حجم جریان غلیظی که باقی‌مانده کمتر خواهد بود.

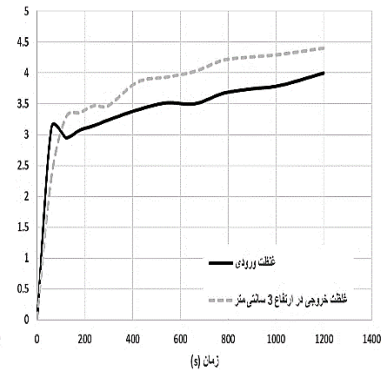
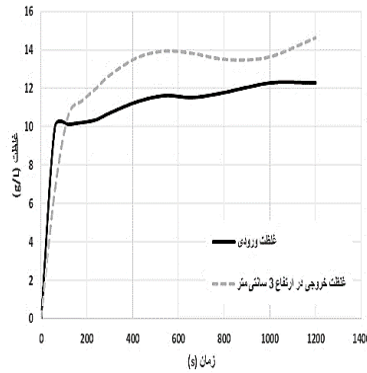
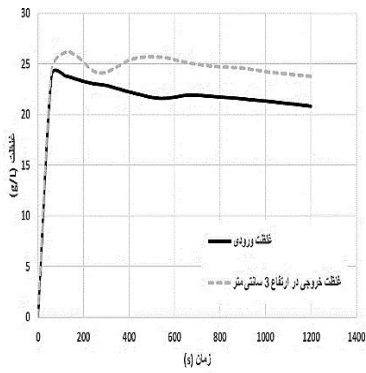


شکل ۴- پارامترهای جریان غلیظ در برخورد با دریاچه تخلیه کننده

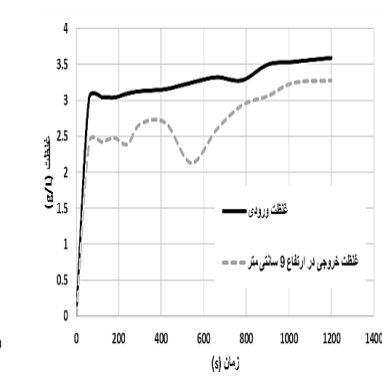
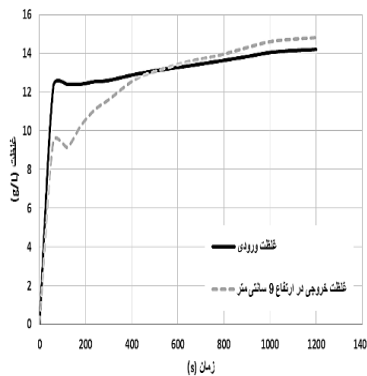
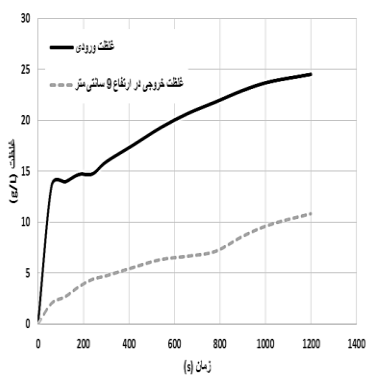
در شکل ۵ تخلیه جریان غلیظ ایجاد شده پشت دریاچه در موقعیت ۹ سانتی‌متری از کف نشان داده شده است. در شکل ۶ میانگین کاهش غلظت جریان غلیظ خروجی به ورودی دریاچه نسبت به موقعیت دریاچه نشان داده شده است. با توجه به پروفیل جریان غلیظ هر چه دریاچه تخلیه کننده در کف قرار بگیرد مقدار متوسط غلظت جریان خروجی نیز بیشتر خواهد گردید ولی این مسئله در صورت عدم مدیریت صحیح در باز نمودن دریاچه سبب ته نشین شدن ذرات رسوبی و مسدود شدن دریاچه می‌گردد. در شکل ۶ همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزایش ارتفاع دریاچه از کف مقدار جریان غلیظ برای هر مقدار غلظت ورودی کاهش می‌یابد. بطور تقریبی می‌توان بیان داشت در موقعیتی که دریاچه در  $Z_0 / H = 0.1$  قرار گرفته باشد مقدار متوسط جریان غلیظ ورودی با غلظت خروجی یکسان خواهد گردید که می‌تواند به عنوان ارتفاعی بهینه جهت تخلیه جریان غلیظ بیان شود.



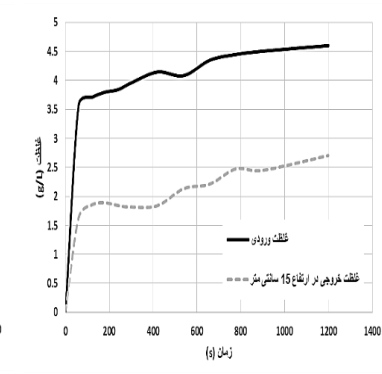
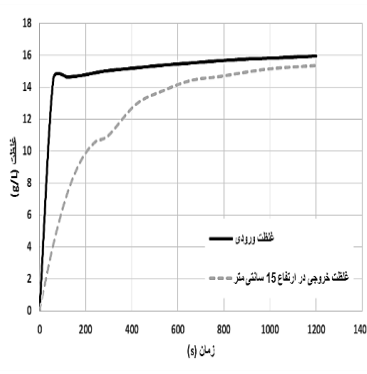
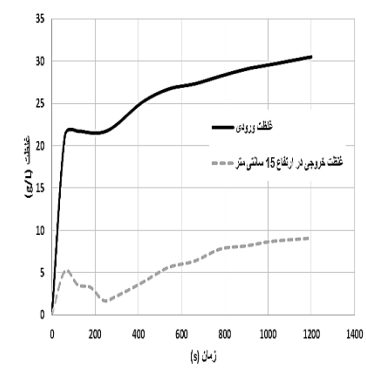
شکل ۵- نمونه‌ای از جریان غلیظ ایجاد شده پشت دریاچه در ارتفاع ۹ سانتی‌متری

$C_L = 30 \text{ (g/L)}$  $C_L = 15 \text{ (g/L)}$  $C_L = 5 \text{ (g/L)}$  $z/H =$ 

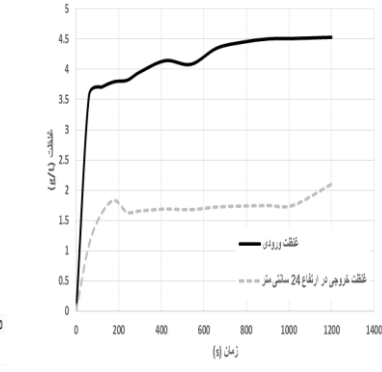
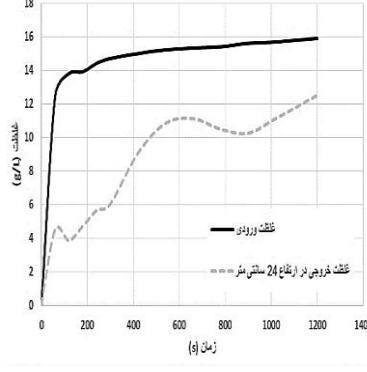
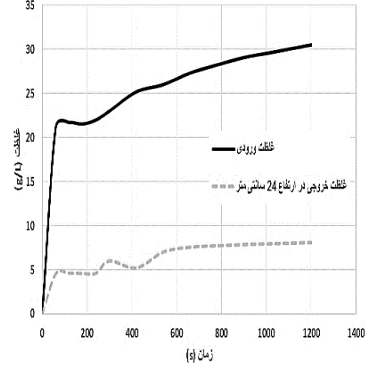
0.05



0.15



0.25

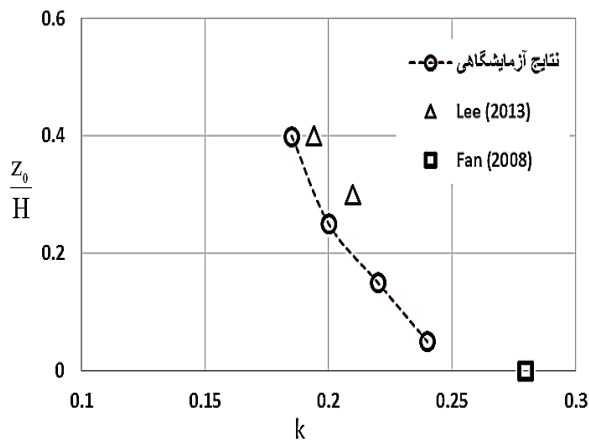


0.4

### شکل ۷- تغییرات زمانی غلظت ورودی و خروجی جریان غلیظ در ارتفاع‌های مختلف دریچه

تحقیقات منابع آب ایران، سال دوازدهم، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۵  
Volume 12, No. 3, Fall 2016 (IR-WRR)

مختلف ضریب  $k$  در مقابل موقعیت‌های دریچه در شکل ۸ ارائه شده است.



شکل ۸- تغییرات ضریب  $k$  در معادله ۴ نسبت به موقعیت‌های دریچه تخلیه کننده

با توجه به شکل ۸ پارامتر رابطه ضریب  $k$  در معادله نسبت به عدد بی‌بعد ارتفاع دریچه تخلیه کننده نسبت به عمق جریان به صورت زیر بیان می‌گردد

$$K = 0.26(1 - \frac{Z_0}{H}) \quad (6)$$

رابطه فوق با ضریب همبستگی ۰/۹۷ و میانگین مربعات خطای ۰/۰۶ تخمین مناسبی از مقدار غلظت جریان غلیظ خروجی از دیواره سد ارائه می‌دهد. با ترکیب روابط ۶ و ۷ رابطه پیش‌بینی غلظت خروجی از دیواره به صورت زیر بازنویسی می‌گردد.

$$C_e = 0.26(1 - \frac{Z_0}{H}) C_L \left[ \frac{(S-1)gh_C^5}{q_L^2} \right]^{\frac{1}{5}} \quad (7)$$

### ۳-۴- تأثیر ارتفاع دریچه بر ضخامت جریان غلیظ

به منظور مطالعه تأثیر ارتفاع دریچه بر ضخامت جریان غلیظ در شکل ۹ ارتفاع جریان غلیظ محاسبه شده در مقابل غلظت جریان غلیظ در وضعیت‌های مختلف دریچه تخلیه نشان داده شده است. همان‌گونه که مشاهده می‌شود با افزایش غلظت جریان غلیظ ورودی ارتفاع جریان غلیظ کاهش یافته است. که این امر به این دلیل است که اختلاف چگالی بین جریان غلیظ و سیال آب پیرامون آن با افزایش غلظت جریان ورودی افزایش می‌یابد که بیانگر افزایش مقدار نیروی ثقل مؤثر و سبب متراکم شدن جریان غلیظ می‌گردد (Yu et al. 2000).

### جدول ۱- راندمان تخلیه جریان غلیظ در شرایط مختلف ارتفاعی دریچه‌های تخلیه کننده نسبت به زمان

(Morris and Fan 2009) رابطه زیر را به عنوان بازدهی تخلیه یک دریچه سد معرفی نمودند.

$$V_e = \frac{\sum_{i=0}^T C_{oi} \times Q_{oi}}{\sum_{i=0}^T C_{ui} \times Q_{ui}} \quad (4)$$

که در این رابطه  $C_{oi}$  غلظت جریان غلیظ خروجی در زمان  $i$   $Q_{oi}$  دبی جریان غلیظ خروجی در زمان  $i$   $C_{ui}$  غلظت جریان غلیظ قبل از دریچه در زمان  $i$  و  $Q_{ui}$  دبی جریان غلیظ ورودی در زمان  $i$  و  $T$  کل مدت زمان سیلاب می‌باشد. راندمان تخلیه جریان غلیظ در شرایط مختلف ارتفاعی دریچه‌های تخلیه کننده در جدول ۱ نشان داده شده است همان‌طور که مشاهده می‌شود با کاهش ارتفاع دریچه‌ها، راندمان تخلیه جریان غلیظ به مراتب بیشتر می‌شود که این افزایش راندمان به دلیل بالا بودن غلظت جریان غلیظ در لایه‌های پایینی می‌باشد.

همچنین در هر سناریو، با افزایش مدت زمان باز نگه داشتن دریچه‌ها به دلیل خروج جریان بیشتر، غلظت و در نتیجه راندمان تخلیه در همه موقعیت‌های ارتفاعی دریچه ۴۰ درصد افزایش می‌یابد

### ۳-۳- پیش‌بینی غلظت جریان غلیظ خروجی

(Fan 2008) رابطه زیر را جهت پیش‌بینی غلظت جریان غلیظ خروجی معرفی نمود:

$$C_e = K C_L \left[ \frac{(S-1)gh_C^5}{q_L^2} \right]^{\frac{1}{5}} \quad (5)$$

که در این رابطه  $h_C$  اختلاف بین ضخامت جریان غلیظ با موقعیت دریچه و  $S$  چگالی ویژه می‌باشد. (شکل ۴) (Fan 2008) مقدار ضریب  $K$  را در یک مطالعه آزمایشگاهی با جریان غلیظ نمکی برای حالتی که دریچه در کف دیواره قرار گرفته شده باشد در محدوده ۰/۲۱۳ تا ۰/۲۸۹ تخمین زد.

(Lee et al. 2013) این مقدار ضریب  $k$  را در بررسی عددی بر روی سد تسینگون در دو حالت نسبت ارتفاع دریچه به عمق آب ۰/۳ و ۰/۴ به ترتیب ۰/۲۱ و ۰/۱۹۴ پیش‌بینی نمود. در تحقیق حاضر جهت ارائه رابطه‌ای مناسب جهت پیش‌بینی غلظت جریان غلیظ خروجی مقادیر

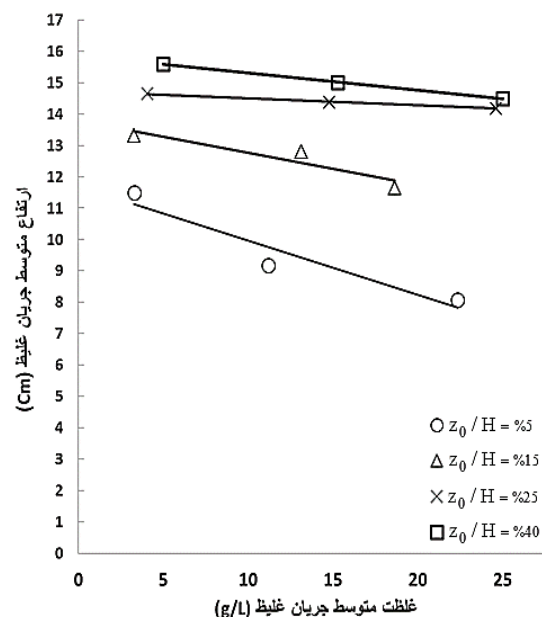
راندمان تخلیه جریان غلیظ ( $V_e$ )				زمان (s)	راندمان تخلیه جریان غلیظ ( $V_e$ )				زمان (s)
%40 =	%25 =	%15 =	%5 = $\frac{z_0}{H}$		%40 =	%25 =	%15 =	%5 = $\frac{z_0}{H}$	
۰/۶	۰/۶۶	۱/۰۰	۱/۱۲	۵۴۰	۰/۴۲	۰/۵۷	۰/۷۷	۰/۸	۶۰
۰/۶۴	۰/۷	۱/۰۱	۱/۲	۶۶۰	۰/۴۴	۰/۵۷	۰/۷۸	۱/۰۸	۱۲۰
۰/۶۷	۰/۷۴	۱/۰۲	۱/۱۴	۷۸۰	۰/۴۵	۰/۶۳	۰/۸۲	۱/۰۹	۱۸۰
۰/۷	۰/۷۶	۱/۰۳	۱/۱۳	۹۰۰	۰/۴۷	۰/۶۵	۰/۸۸	۱/۱	۲۴۰
۰/۷۲	۰/۷۹	۱/۰۴	۱/۱۱	۱۰۲۰	۰/۵۱	۰/۶۹	۰/۹۲	۱/۰۷	۳۰۰
۰/۷۵	۰/۸	۱/۰۴	۱/۱۲	۱۲۰۰	۰/۵۵	۰/۷۲	۰/۹۸	۱/۱۳	۴۲۰

کننده در ارتفاعی نظیر ۱۰ درصد عمق آب قرار گرفته باشد مقدار متوسط غلظت جریان غلیظ ورودی با غلظت خروجی یکسان خواهد گردید. برای موقعیت‌های بالاتر دریاچه این مقدار غلظت کاهش و موقعیت‌های پایین‌تر مقدار غلظت خروجی افزایش می‌یابد. همچنین در هر موقعیت قرارگیری دریاچه تخلیه کننده، با افزایش مدت زمان باز نگه داشتن دریاچه‌ها به دلیل خروج غلظت بیشتر، راندمان تخلیه در همه ارتفاعات موقعیت دریاچه ۴۰ درصد افزایش می‌یابد.

### ۵- مراجع

- Bohan JP, Grace JL (1973) Selective withdrawal from man-made lakes: Hydraulic laboratory investigation. Tech. Rep. H-73-4. US Army Engineer, Waterways Experiment Station, Vicksburg, US
- Fan J, Morris GL (2009) Reservoir sedimentation. II: Reservoir desiltation and long-term storage capacity, ASCE, Journal of Hydraulic Engineering, 118(3):354-369
- Fan JH (2008) Stratified flow through outlets. Journal of Hydroenvironment Research, 2(1):3-18
- Flix M, Sturton S, Peakall J (2005) Combined measurements of velocity and concentration in experimental turbidity currents. Journal of Sedimentary Geology, 179:31-47
- Forel FA (1892) Theorie du ravin souslacustre, Le leman, F. Rouge, Lausanne. Switzerland, 34:381-386
- Harleman DRF, Elder RA (1965) Withdrawal from two-layer stratified flow. Journal of Hydraulic Division 91(4):43-58

همچنین در شکل ۹ مشاهده می‌شود با کاهش ارتفاع تخلیه کننده جریان غلیظ شیب منحنی ارتفاع جریان غلیظ نسبت به غلظت جریان غلیظ پشت دریاچه افزایش یافته است.



شکل ۹- نمودار تغییرات ضخامت جریان غلیظ در مقابل غلظت جریان غلیظ در وضعیت‌های مختلف دریاچه تخلیه

### ۴- نتیجه گیری

هدف از انجام این تحقیق بررسی تأثیر ارتفاع دریاچه تخلیه کننده جریان غلیظ بر روی غلظت جریان می‌باشد که یکی از پارامترهای مهم در طراحی مدیریت مخازن سدها می‌باشد. همان‌گونه که نتایج آزمایشگاهی این تحقیق نشان می‌دهد در موقعیتی که دریاچه تخلیه

- Ohey CD (2002) Effects of obstacles and jets on reservoir sedimentation due to turbidity currents. Communication 15, A.J. Schleiss, ed., Laboratory of Hydraulic Constructions, Ecole Polytechnique Fe'derale de Lausanne, Lausanne, Switzerland
- Ramezani Y, Ghomeshi, M (2011) Evaluation of Effect of Turbidity Currents on Sedimentation Process in Sefidrood Reservoir, Journal water and soil 25(4):874 -880
- Sequeiros OE, Cantero MI, Garcia MH (2009) Sediment management by jets and turbidity currents with application to a reservoir for flood and pollution control in Chicago, Illinois, Journal of Hydraulic Research, 47(3):340-348
- Spigel RH, Farrant B (1984) Selective withdrawal through a point sink and pycnocline formation in a linearly stratified flow. Journal of Hydraulic Research 22 (1):35-51
- Wang ZY, Hu CH, (2009) Strategies for managing reservoir sedimentation. International Journal of Sediment Research, 24 (4):369-384
- Water Research Institute (2000) Sedimentation in the reservoir of large dams, Ministry of Energy, Iran
- Wood IR (2001) Selective withdrawal from two-layer fluid. Journal of Hydraulic Division, ASCE 104 (12):1647-1659
- Yu WS, Hsu SM, Fan K (2004) Experiments on selective withdrawal of a codirectional two-layer flow through a line sink. Journal of Hydraulic Division, ASCE 130(12):1156-1166
- Yu WS, Lee HY, Hsu SM (2000) Experiments on deposition behavior of fine sediment in a reservoir. J. Hydraul Eng 126(12):912-920
- Hay AE (1987) Turbidity currents and submarine channel formation in rupert inlet. Journal of Geophysical Research 92:2883-2900
- Hino M, Onishi S (1980) Axis-symmetric selective withdrawal: Summary. Department of Civil Engineering, Tokyo Institute of Technology 21:107-122 (in Japanese)
- ICOLD (1999) World register of dams, Update. International Commission on Large Dams, Paris
- Jirka GH (1979) Supercritical withdrawal from two-layered fluid systems. Part 1:Two-dimensional skimmer wall. Journal of Hydraulic Research 17(1):43-51
- Lawrence GA, Imberger J (1979) Selective withdrawal through a point sink in a continuously stratified fluid with a pycnocline. Department of Civil Engineering, University of Western Australia, Australia 79:100-112
- Lee HY, Yu WS (1997) Experimental study of reservoir turbidity current. Journal Hydraul. Eng 123(6):520-528
- Keshkar SH, Ayobzadeh A, Firozabadi B (2010) Laboratory examination the impact of changes of inlet valve opening height on vertical profiles of velocity and concentration of turbidity current, Seventh Conference of Hydraulic Iran
- Lee F, Lai J, Tan Y, Sung C (2013) Turbid density current venting through reservoir outlets. KSCE Journal of Civil Engineering 18(2):694-705
- Morris, G, Fan J (2009) Reservoir sedimentation handbook: Design and management of dams, reservoirs, and watershed for sustainable use. McGraw-Hill, New York