



Evaluation of bottom outlet effect on the behavior of entered turbidity current into the Dez Dam reservoir

Hossein Aryaei¹ , Babak Lashkar-Ara²

¹ M.Sc. Graduated of Water and Hydraulic Structures Engineering, Civil Engineering Department, Jundi-Shapur University of Technology, Dezful, Iran. E-mail: hossein.aryaei@yahoo.com

² Corresponding Author, Associate Professor, Civil Engineering Department, Jundi-Shapur University of Technology, Dezful, Iran. E-mail: babak_lashkarara@yahoo.com

ABSTRACT

Introduction

Sediment deposition issues for reservoirs are important because the severe deposition could excessively decrease the reservoir lifecycle. Extreme storm events usually can carry a massive amount of sediment into reservoirs, and deposition will happen unless the incoming material can pass through sluice gates. When it comes with high concentration, the density current flow is prone to be generated, and the bottom outlets are the most effective sluice gate to release the sediment. Venting of turbidity currents is known as an efficient measure to prevent reservoir sedimentation and is applied in many reservoirs globally. It has several economic and ecological advantages compared with other evacuation methods. Dez Reservoir is one of the many reservoirs in Iran which suffer from sedimentation due to a lack of proper low-level outlet. Currently, the major issue which threatens the Dez Dam is the continual accumulation of silt in the reservoir near the dam endangering the operation of the entire hydraulic scheme. Mean annual sediment deposition in the reservoir is about 15 million tons. The elevation of sediment deposition has now reached to nearly 14 meters under the intakes of power stations (Research center of power Ministry, 2003). In this study, density current releasing through a proposed low-level outlet is considered as a proper solution to minimize the consequences of sedimentation.

Methodology

The aim of the study is to numerically assess the proposed low-level outlet. A high resolution 3-D numerical model is employed based on Navier-Stokes equations is employed to simulate the evolution of turbid density current in Dez Reservoir. First in order to calibrate the simulation model, several models including various roughness height in combination with RNG and LES turbulence models were employed. Then, the flow depth and velocity results were compared with field measurements (KWPA, 2007). In the next step, the proposed low-level outlet was added to the model and its impact on the behavior of turbidity current was investigated by using three turbidity current concentration and also three low-level outlet opening.

Results and discussion

The results indicated that using large eddy simulation turbulence model (LES) presents a higher accuracy than the simulation by comparing with the field measurements, so that the maximum error related to the calculation of the depth and velocity of the turbidity current is estimated to be 14.67 and 13.82%, respectively. In the next step, the proposed low-level outlet was added to the model and its impact on the behavior of turbidity current was investigated. Based on the simulated results the amount of sediments evacuated from the dam reservoir is directly related to the input concentration and the opening percentage of the low-level outlet. In such a way that by averaging the results for different inflow turbidity current concentrations, venting efficiency at the openings of 25%, 50% and 100% was calculated to be 15.4%, 20.8% and 25.1% respectively. In the next section of study, velocity profiles in the upstream sections of the low-level outlet were used in order to evaluate the water entrainment coefficient (E_w). It was found that as the opening low-level outlet increase from 25% to 50% and from 50% to 100%, the water entrainment coefficient increase 20% and 16% in average respectively.

Conclusions

In a general point of view, the numerical results show good accuracy in simulating the evolution of the density current in the reservoir. Based on the simulated results, as the turbid density current approaches the low-level, water entrainment coefficient increases in average. Moreover, water entrainment and also venting efficiency has direct relationship with low-level outlet opening and inflow density current concentration.

Keywords: Reservoir sedimentation, Turbidity current, Sediment management, Venting efficiency, Reservoir outlet

Article Type: Research Article

Article history: Received: 20 August 2023 **Revised:** 23 October 2023 **Accepted:** 11 November 2023 **ePublished:** 15 December 2023

Cite this article: Aryaei, H., & Lashkar-Ara, B. (2023). Evaluation of bottom outlet effect on the behavior of entered turbidity current into the Dez Dam reservoir, *Advanced Technologies in Water Efficiency*, 3(3), 20-36. DOI: 10.22126/ATWE.2023.9641.1061

Publisher: Razi University

© The Author(s).





فناوری های پیشرفته در بهره وری آب

شاپا الکترونیکی: ۴۹۶۴-۲۷۸۳

وبگاه نشریه: <https://atwe.razi.ac.ir>



ارزیابی تأثیر تخلیه کننده تحتانی بر رفتار جریان گل آلود وارد شده به مخزن سد دز

حسین آریایی^۱، بابک لشکرآرا^۲

^۱ دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی آب و سازه های هیدرولیکی، عمران دانشگاه صنعتی جندی شاپور، دزفول، ایران. رایانامه: hossein.aryaei@yahoo.com

^۲ نویسنده مسئول، دانشیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی جندی شاپور، دزفول، ایران. رایانامه: babak_lashkarara@yahoo.com

چکیده

تخلیه جریان غلیظ از طریق مجرای تخلیه کننده تحتانی سدها، به عنوان یک روش کارآمد در کاهش رسوب گذاری مخازن مطرح است. سد دز به واسطه عدم مدیریت حوزه آبخیز بالادست مخزن و فقدان دریچه تخلیه کننده تحتانی مناسب، با وضعیت نامطلوبی از نظر رسوب گذاری مواجه گردیده است. در این پژوهش به منظور عبور دهی رسوبات ورودی به مخزن سد، احداث مجرای تخلیه کننده جریان حاوی رسوب به عنوان یک راهکار علاج بخش پیشنهاد گردید. همچنین رفتار جریان گل آلود وارد شده به مخزن سد و میزان کارایی آن در عبور دهی رسوبات با استفاده از شبیه سازی عددی موردنرسی قرار گرفت. ابتدا به منظور واستحی مدل، الگوی جریان غلیظ شکل گرفته دون رون مخزن با استفاده از مدل های مختلف با ارتفاع زبری دیواره متفاوت و همچنین دو مدل تلاطمی RNG و LES شبیه سازی گردید و نتایج عمق و سرعت جریان با اندازه گیری های میدانی مقایسه شد. در گام بعد مجرای تخلیه کننده تحتانی در موقعیت پیشنهاد شده به مدل اضافه گردید و ارزیابی تأثیر احداث این تخلیه کننده بر رفتار جریان غلیظ ورودی به مخزن پرداخته شد. بررسی ها نشان داد میزان خروج رسوبات از مخزن سد ارتباط مستقیمی با غلظت ورودی و درصد بازشدن تخلیه کننده تحتانی دارد. به گونه ای که با متوسط گیری از نتایج در غلظت های ورودی مختلف، راندمان تخلیه رسوب در بازشدن های ۰/۲۵٪، ۰/۵۰٪ و ۰/۱۰٪ به ترتیب برابر ۴/۱۵، ۸/۲۰ و ۱/۲۵ درصد محاسبه گردید. در ادامه پروفیل هایی از سرعت جریان در مقاطع بالادست تخلیه کننده به منظور ارزیابی شدت اختلاط و میزان انحراف خطوط جریان برداشت گردید. به طور کلی با نزدیک شدن جریان به دهانه ورودی دریچه تخلیه، مقادیر حداکثر سرعت و همچنین شدت اختلاط سیال پیرامون به درون جریان غلیظ افزایش می یابد. همچنین با افزایش درصد بازشدن دریچه، میزان اثرگذاری مجرای تخلیه بر انحراف و شتاب گیری خطوط جریان گستردگر می شود.

واژه های کلیدی: رسوب گذاری مخزن، جریان غلیظ، مدیریت رسوب، راندمان تخلیه، تخلیه کننده تحتانی، شدت اختلاط

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

ساقمه مقاله: دریافت: ۲۹ مرداد ۱۴۰۲ اصلاح: ۰ آبان ۱۴۰۲ پذیرش: ۰ آبان ۱۴۰۲ چاپ الکترونیکی: ۳۴ آذر ۱۴۰۲

استناد: آریایی، ح، لشکرآرا، ب. (۱۴۰۲). ارزیابی تأثیر تخلیه کننده تحتانی بر رفتار جریان گل آلود وارد شده به مخزن سد دز، فناوری های پیشرفته در بهره وری آب، (۳)، (۳).

۳۶-۰، شناسه دیجیتال: 10.22126/ATWE.2023.9641.1061

نویسنده‌گان.

ناشر: دانشگاه رازی



مقدمه

یکی از مهمترین چالش‌ها و مشکلات موجود در مسیر سدسازی و نگهداری از آن‌ها پدیده رسوب‌گذاری در مخزن سد است. مواد رسوبی درشت‌دانه و ریزدانه که حاصل عمل فرسایش بستر رودخانه و حوضه آبریز بالادست سد است، توسط جریان آب رودخانه به صورت بار شسته، بار معلق و بار بستر حمل و به مخزن سد وارد می‌گردد. میزان فرسایش بستگی به عوامل متعددی همچون شرایط آب و هوایی، خصوصیات زمین‌شناسی منطقه، وضعیت توپوگرافی، پوشش گیاهی و نوع کاربرد اراضی دارد. هنگامی که رسوبات وارد مخزن سد می‌شود، به دلیل تغییر در شرایط هیدرولیکی جریان، ترسیب می‌شوند. این روند درنهایت منجر به کاهش ظرفیت ذخیره و از دست رفتن حجم مفید مخزن سد می‌گردد. علاوه بر آن، رسوب‌گذاری در مخزن پیامدهای دیگری نیز به همراه دارد که از آن جمله می‌توان به ورود رسوبات به دریچه‌های نیروگاه و اختلال در کار توربین‌ها و خوردگی آن‌ها، انسداد و گرفتگی آبگیرها، افزایش تراز بستر در بالادست مخزن و بهتیع آن گسترش دامنه و پهنه سیلان، افزایش بار اضافی بر روی بدنه سد و موارد دیگر اشاره نمود.

سد در واقع در شمال استان خوزستان نیز از این قاعده مستثنی نیست. بر مبنای نتایج عملیات هیدرولوگی مخزن سد دز که در سال‌های ۱۳۵۱ توسط سازمان آب و برق خوزستان، ۱۳۶۱ توسط موسسه تماش و ۱۳۷۶ توسط شرکت دریانشیه به انجام رسیده و همچنین بر اساس آمار و اطلاعات دبی و رسوب ایستگاه تله زنگ، میزان رسوبات ورودی به مخزن سد بین ۱۵ تا ۲۰ میلیون مترمکعب در سال برآورد شده است (بصیرزاده و صمدی بروجنی، ۱۳۸۲) . به عبارت دیگر نرخ کاهش حجم سالیانه مخزن در اثر رسوب‌گذاری در حدود ۵/۰ درصد از حجم ذخیره کل مخزن است. این مسئله از آنجا ناشی می‌شود که عملیات آبخیزداری در حوضه آبریز آن بدروستی مدیریت نشده و موجبات فرسایش شدید خاک را به دنبال داشته است، علاوه بر آن مجاری تخلیه تحتانی با طرفیت کافی بهمنظور عبور دهی رسوبات ناشی از جریان‌های سیلانی پیش‌بینی و اجرانشده است. در حال حاضر، تراز رسوبات مخزن حدود ۴۰ متر بالاتر از رقوم دریچه‌های آبیاری بوده و تنها ۱۰ متر تا لبه آبگیر نیروگاه فاصله دارد. درصورتی که اقدام جدی در خصوص کاهش رسوب‌گذاری در مخزن به عمل نیاید، پیش‌بینی می‌شود در آینده نزدیک سطح رسوبات مخزن به رقوم آبگیر نیروگاه بررس و منجر به خروج نیروگاه از شبکه برق سراسری کشور گردد. لذا حفظ حجم مفید مخزن سد دز، تعدیل رسوبات ورودی به مخزن و همچنین تثبیت تراز فعلی رسوبات جهت ممانعت از ورود رسوب به آبگیرهای نیروگاه، امری لازم و ضروری است (شمعون و همکاران^۱، ۲۰۱۷ و مهران فر و همکاران^۲، ۲۰۲۳).

مشاهدات حاکی از آن است که جریان‌های گل‌آسود یکی از دلایل اصلی رسوب‌گذاری در مخزن این سد است (اشلایس و همکاران^۳، ۲۰۱۰)، لذا به کارگیری روش تخلیه جریان غلیظ برای عبور دهی رسوبات ناشی از جریان گل‌آسود سیلانی به خارج از مخزن سد می‌تواند منجر به کاهش نرخ رسوب‌گذاری گردد (ویلت و همکاران^۴، ۲۰۲۰). در این پژوهش، ایجاد ظرفیت تخلیه جریان غلیظ واردشده به مخزن سد دز به‌واسطه‌ی ایجاد یک مجرای تخلیه کننده تحتانی پیشنهادشده است. در این راستا تلاش گردید با بهره‌گیری از ابزار شبیه‌سازی عددی در جهت ارزیابی دقیق‌تر الگوی جریان غلیظ ورودی به مخزن در شرایط احداث تخلیه کننده تحتانی و میزان کارایی آن در عبور دهی رسوبات، گام برداشته شود.

مبانی نظری و پیشینه پژوهش

جریان‌های چگال یا غلیظ، که به آن‌ها جریان ثقلی نیز گفته می‌شود، جریان‌هایی هستند که برای اختلاف چگالی بین دو یا چند سیال مختلف، که روی یک سطح شیب دار جریان می‌یابند، پدیدار می‌شوند. اصولاً زمانی که سیالی با جرم مخصوص ($\rho_a + d_p$) به درون سیال دیگری با جرم مخصوص (ρ_b) جریان می‌یابد، پدیده جریان غلیظ اتفاق می‌افتد. اختلاف در چگالی ممکن است ناشی از اختلاف درجه حرارت، غلظت جسم جامد حل شده، شوری و یا ناشی از وجود سیالات مختلف باشد که در محیط اطراف جریان وجود دارند. جریان گل‌آسود نوعی از جریان غلیظ است که در آن مواد جامد ریز معلق لایه‌ای از رسوب با چگالی بیش تر از چگالی آب (سیال احاطه‌کننده محیط) ایجاد کرده و درروی شیب بستر به صورت ثقلی به سمت پایین دست حرکت می‌کند. جریان‌های گل‌آسود عمدتاً در شرایط سیلانی و هنگامی که رودخانه‌های ورودی به مخازن سدها حاوی مقدار زیادی رسوبات معلق بوده و عمق آب داخل مخزن به اندازه کافی زیاد باشد، رخ می‌دهند. به‌طور معمول بهنگام شکل‌گیری جریان غلیظ اختلاف چگالی d_p در محدوده بین ۳۰ تا ۲۰۰

¹ Chamoun et al

² Mehranfar et al

³ Schleiss et al

⁴ Wildt et al

گرم در لیتر قرار دارد. مهم‌ترین ظهور و کاربرد این جریان‌ها در دریاچه‌ها و مخازن سدها بوده و نقش بسیار مهمی در مدیریت رسوب مخزن دارد (گراف و آلتیناکار^۱، ۱۹۹۸).

فان و موریس^۲ (۱۹۹۲) اظهار داشتند که روش عبور دهی جریان غلیظ برای مخازن بزرگ که دارای طرفیت ذخیره چندین سال می‌باشد و همچنین پایین آوردن رقوم سطح آب در آن‌ها صورت نمی‌گیرد، روش مناسبی است.

زانگ و همکاران^۳ (۱۹۷۶) بیان داشتند از آنجاییکه در مدت زمان تخلیه جریان غلیظ ممکن است آبگیری نیز صورت گیرد، بنابراین این روش بیشتر در مناطق خشک که کمبود آب وجود دارد به طور گسترده می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد (به نقل از اووهی^۴، ۲۰۰۲).

اووهی (۲۰۰۲) اظهار می‌دارد که بهترین زمان انجام عبور دهی جریان غلیظ زمانی است که جریان ثقلی به بدنه سد رسیده باشد. در این روش زمان صحیح باز و بسته کردن دریچه‌ها بسیار مهم است، چراکه تأخیر زیاد در باز کردن دریچه‌ها یا ناکافی بودن مقدار بازشدنگی دریچه‌ها منجر به تخلیه بسیار کم رسوبات از سد خواهد شد. در عوض اگر دریچه‌ها خیلی زودتر از زمان مناسب بازشوند یا مقدار بازشدنگی آن‌ها خیلی زیاد باشد، در آن صورت آب بازرس ذخیره شده در مخزن را از دست خواهیم داد. طرفیت تخلیه کننده تحتانی بایستی به اندازه‌ای باشد که جریان غلیظ بتواند از آن خارج شود یعنی حداقل در حد دبی ورودی باشد.

اما مقامی زاده و همکاران^۵ (۲۰۱۸) چند استراتژی مختلف جهت مدیریت رسوب‌گذاری مخزن سد دز شامل مدیریت حوضه آبریز، فلاشینگ، تخلیه جریان غلیظ و ایجاد تونل کنارگذر را موردنظر قراردادند. نتایج حاکی از آن بود که تخلیه جریان غلیظ توسط دریچه‌های آبیاری می‌تواند رسوب‌گذاری را در مخزن سد دز به میزان ۱۱ تا ۱۵ درصد کاهش دهد. عملیات فلاشینگ تحت فشار باعث کاهش تراز رسوبات در نزدیکی آبگیر نیروگاه می‌گردد و در حدود ۲ درصد از رسوب‌گذاری در مخزن سد می‌کاهد. با احداث یک بند در ۹ کیلومتری بالادست سد و به کارگیری تکنیک باپیس، می‌توان از ورود ۱/۸ میلیون مترمکعب رسوب در سال به درون مخزن، ممانعت به عمل آورد. درنهایت اجرای استراتژی‌های مدیریت حوضه آبریز در زیر حوضه سزار، میزان ۱۵ درصد از ورود رسوبات به درون مخزن سد دز را کاهش خواهد داد.

رمضانی و قمشی (۱۳۹۰) میزان تأثیر جریان‌های غلیظ بر روند رسوب‌گذاری مخزن سد سفیدرود در یک دوره ۳۰ ساله را مورد ارزیابی قراردادند. نتایج آن‌ها نشان داد که در صورت خروج جریان‌های غلیظ از سد، بازده تله اندازی شاخه قزل اوزن حدود ۳۰ درصد و شاخه شاهروド 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 سالیانه مخزن در شاخه قزل اوزن از ۱/۰۷ به ۱/۷۳ در حدود ۰/۵۵ به ۰/۴۳ درصد کاهش می‌یابد.

زایری و قمشی (۱۳۹۸) از دو مدل یک بعدی و سه بعدی، جهت شبیه‌سازی پیشروعی جریان گل آلود ورودی به مخزن سد دز استفاده نمودند. در این پژوهش کمیت‌های هیدرودینامیکی جریان گل آلود شامل ارتفاع و سرعت متوسط جریان به دست آمده از مدل عددی محاسبه و با نتایج داده‌های اندازه‌گیری شده مقایسه گردید که برای سرعت متوسط حداقل خطای $6/3$ درصد و حداقل خطای $10/5$ مشاهده گردید. خطاهای مشاهده شده برای ارتفاع متوسط جریان حداقل $4/6$ و حداقل $8/7$ درصد است. از تحلیل مقادیر اندازه‌گیری شده و تخمین زده شده می‌توان بیان داشت که دبی‌های بین ۲۳۰ تا ۶۰۰ مترمکعب در ثانیه با غلظت رسوب $0/5$ تا $1/15$ گرم در لیتر جریان گل آلود ضعیفی ایجاد نموده‌اند، به طوری که این جریان‌ها توانسته‌اند خود را به دیواره سد برسانند. دبی‌های بیش از ۰۰۰ مترمکعب در ثانیه با غلظت رسوب بیش از $1/2$ گرم در لیتر جریان گل آلود نسبتاً قوی ایجاد نموده‌اند که توانسته‌اند خود را به دیواره سد برسانند.

لی و همکاران^۶ (۲۰۱۴) مخزن تیسنگون^۷ را با استفاده از ترکیب سه رویکرد آزمایشگاهی، تئوری و عددی عملیات تخلیه جریان غلیظ برای دو سیلاب مختلف موردنظر قراردادند. نتایج حاکی از آن بود در حالتی که این عملیات از طریق آبگیر و یا تخلیه کننده تحتانی صورت می‌پذیرد، راندمان اندازه‌گیری شده از ۱٪ تجاوز نمی‌کند؛ در حالی که سریز این سد می‌تواند رسوبات را با راندمان ۱۷٪ به سمت پایین دست منتقل کند.

¹ Graf & Altinakar

² Fan & Morris

³ Zang et al

⁴ Ohey

⁵ Emamgholizadeh et al

⁶ Lee et al

⁷ Tsengwen Reservoir

در مخزن سد سفیدرود واقع در شهر منجبل، میزان اثربخشی عملیات تخلیه جریان غلیظ در دو حالت مقایسه گردید. حالت اول تنها از طریق دریچه های ورودی نیروگاه، حالت دوم دریچه کننده تحتانی و دریچه های نیروگاه به صورت همزمان. نتایج نشان داد که راندمان تخلیه از ۲/۳ درصد در حالت اول به ۳۵ درصد در حالت دوم افزایش می یابد (موریس و فان، ۱۹۹۷). همچنین نتایج حاکی از آن است که رهاسازی جریان غلیظ از دریچه های تخلیه به افزایش عمر مفید مخزن این سد کمک شایانی می نماید.

امینی و همکاران^۱ (۲۰۱۷) در پژوهشی راندمان تخلیه جریان غلیظ را برای سد روبار لرستان مورد بحث بررسی قراردادند. بدین منظور، شبیه سازی های سه بعدی از جریان غلیظ در طول ۱۱ کیلومتر و فرایند خروج آن تحت ستاریوهای مختلف بازشدنی تخلیه کننده تحتانی، با استفاده از نرم افزار ANSYS CFX مدل سازی و اجرا گردید. آن ها برای محاسبه راندمان تخلیه جریان غلیظ، از دو مفهوم راندمان کلی و راندمان موضوعی استفاده نمودند. نتایج حاکی از آن بود که بازشدنی ۵۰٪ هر دو مجرای تخلیه کننده منجر به خروج ۳۵٪ از کل رسوبات وارد شده توسط جریان غلیظ ورودی به مخزن خواهد شد. علاوه بر آن پیش بینی می شود، باز کردن همزمان دو مجرای تخلیه در وضعیت ۵۰٪ بازشدنی و یا باز نمودن تنها یکی از مجراهای در وضعیت ۱۰۰٪ بازشدنی، بهینه ترین حالت را برای دست یافتن به راندمان تخلیه مناسب در عین حال هدر رفت آب کمتر در پی خواهد داشت.

هووانگ و همکاران^۲ (۲۰۰۵) یک مدل عددی برای شبیه سازی جریان غلیظ که از روی بستر متحرک عبور می کند ارائه دادند. مدل ساختار عمودی غلظت و سرعت را همزمان با تغییر در بستر که درنتیجه فرسایش و رسوب گذاری حاصل می گردد را شبیه سازی می کند. در این مدل معادلات متوسط رینولدزی ناویر- استوکس برای محلول رقیق را به روش حجم محدود حل می کند. نتایج نشان داد که در جریان غلیظ و کدر لایه بندی شده عدد اشمیت متلاطم باید بزرگ تر از یک باشد. همچنین در جریان زیر بحرانی ضریب اختلاط سیال پیرامون تقریباً ۱ یا ۲ برابر کوچک تر از جریان فوق بحرانی به دست آمد.

اسلوف^۳ (۱۹۹۱) طول مخزن سد، دبی سیلان ورودی به مخزن، ابعاد و رقوم ارتفاعی دریچه های خروجی را از عوامل مؤثر اصلی در فرایند تخلیه جریان غلیظ از دریچه تخلیه کننده تحتانی قلمداد نمود. بیسون^۴ (۱۹۹۷) علاوه بر موارد یاد شده توسط اسلوف، شیب مخزن سد، مدت زمان سیلان ورودی به مخزن، دبی خروجی و زمان باز کردن دریچه های تخلیه کننده تحتانی را عوامل مرتبط با ضریب تخلیه جریان غلیظ از دریچه تخلیه کننده تحتانی برشمرد.

روش پژوهش

سد بتني دو قوسی دز واقع در ۲۰ کیلومتری شمال شهرستان اندیمشک بر روی رودخانه دز روی سنگ هایی از جنس کنگلومرا ساخته شده است. طول تاج این سد ۲۱۲ متر و رقوم تاج سد ۳۵۴ متر از سطح دریا است، حداقل تراز بهره برداری سد در رقوم ۳۵۲ متر از سطح دریا است. سطح دریاچه در این رقوم به ۶۵ کیلومتر مربع می رسد که ظرفیت کل ۳/۳ میلیارد متر مکعب آب را دارد. حداقل تراز بهره برداری از مخزن ۳۱۰ متر و رقوم آستانه سریزها ۳۳۵ متر از سطح دریا است. دهانه آبگیر نیروگاه در رقوم ۲۷۵ متر از سطح دریا قرار دارد. این سد ۱۲۵ هزار هکتار از اراضی پایین دست را آبیاری می کند و نقش مهمی در کنترل سیلان های بالادست مخزن دارد. مساحت حوضه آبریز رودخانه تا محل احداث سد دز ۱۷۳۲۰ کیلومتر مربع و میزان متوسط دبی سالانه رودخانه در محل سد معادل ۲۳۰ متر مکعب در ثانیه است (زلقی و همکاران^۵، ۲۰۲۰).

¹ Amini et al

² Huang et al

³ Sloff

⁴ Basson

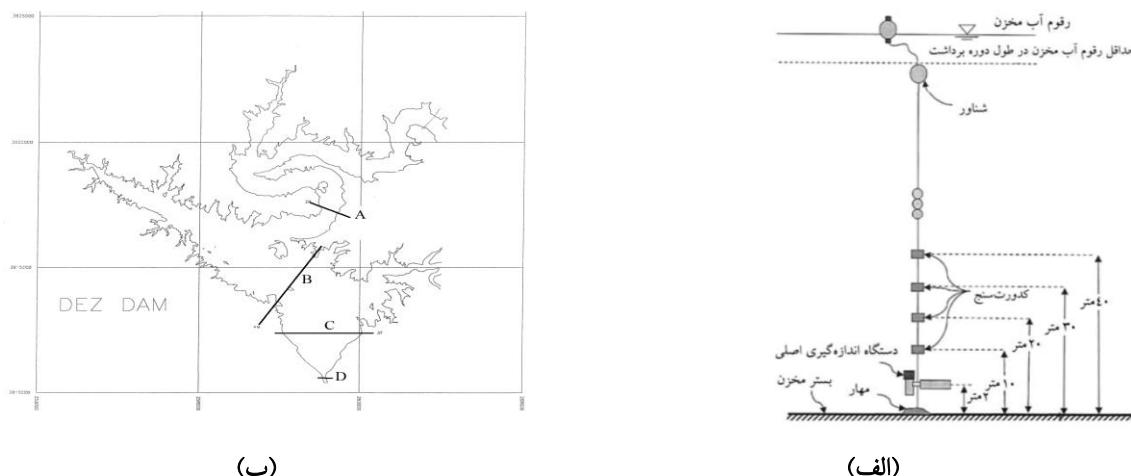
⁵ Zallaghi et al



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی مخزن سد دز

مطالعات اندازه‌گیری جریان غلیظ در مخزن سد دز توسط مرکز تحقیقات آب و شرکت سهامی آب و برق خوزستان، در دو نوبت صورت پذیرفت؛ نوبت اول از تاریخ ۹ دسامبر ۲۰۰۲ لغایت ۱ جولای ۲۰۰۳ و در نوبت دوم از تاریخ ۳۰ دسامبر ۲۰۰۶ لغایت ۱۰ مارس ۲۰۰۷ بدین منظور در مسیر خط القعر آبراهه و در ایستگاه‌هایی که موقعیت آن‌ها در شکل (۱) نشان داده شده، نسبت به‌اندازه‌گیری مشخصات جریان اقدام گردیده است. دستگاه‌های مورداستفاده چهت برداشت پارامترهای هیدرولیکی جریان گل آلود شامل دستگاه کدورت‌سنج، جریان سنج نقطه‌ای و نمونه‌بردار نانسن است. از ابزار RBR^۱ چهت ثبت پارامترهای درجه حرارت، هدایت الکتریکی، کدورت، از ابزار RCM ۹^۲ چهت ثبت سرعت و چهت جریان و اندازه‌گیری پارامترهای درجه حرارت، هدایت الکتریکی، کدورت و اکسیژن محلول در آب و از ابزار ADCP^۳ برای اندازه‌گیری و برداشت پروفیل قائم سرعت و چهت جریان مورداستفاده قرار گرفت. در شکل (۲) نحوه نمونه‌برداری پارامترهای جریان گل آلود در عمق‌های مختلف مخزن نشان داده شده است.

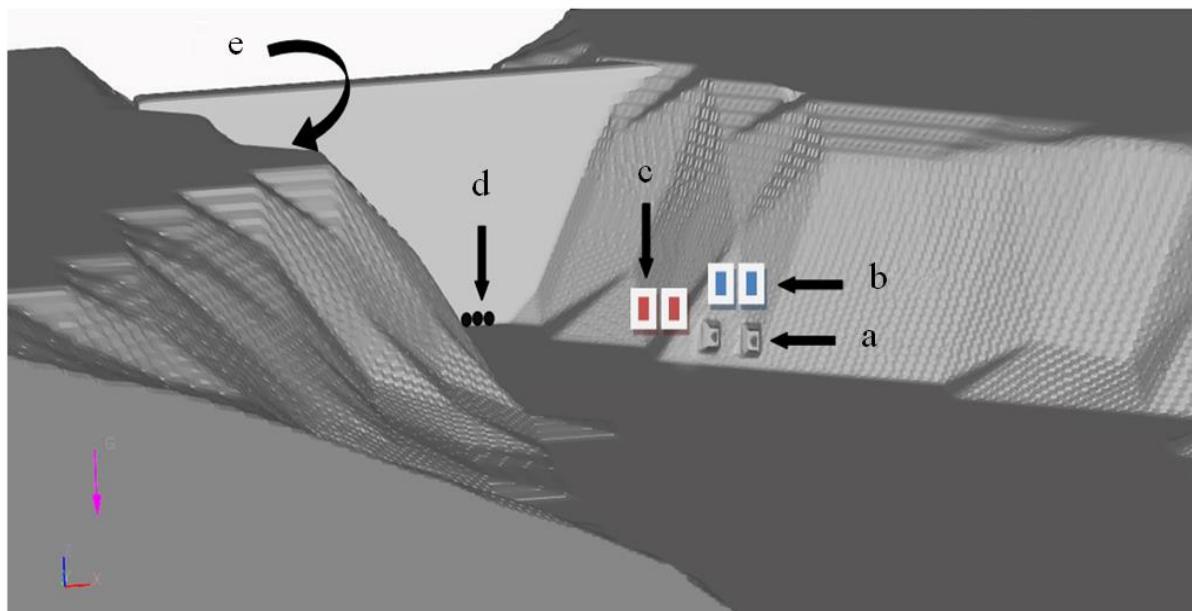
روی هم رفته در هر دو نوبت از اندازه‌گیری‌ها تعداد ۱۲ واقعه جریان غلیظ ثبت شده که بعضی از آن‌ها در همان ابتدای مخزن از بین رفته و تعدادی از آن‌ها نیز به دیواره سد رسیده‌اند و مقدار قابل توجهی از رسوبات را به دیواره سد رسانده‌اند. برای کالیبراسیون مدل، پروفیل غلظت رسوبات معلق حاصل از اندازه‌گیری‌های میدانی در ایستگاه‌های A و D با نتایج به دست آمده از شبیه‌سازی‌ها مورد مقایسه قرار گرفت. علت انتخاب ایستگاه‌های فوق در اختیار داشتن داده‌های کاملی از اندازه‌گیری غلظت رسوبات است.



شکل ۲. (الف) نحوه نصب دستگاه‌ها در مخزن سد دز، (ب) موقعیت ایستگاه‌های اندازه‌گیری

¹ Richard Brancier Research (RBR)² Recording Current Meter-Model 9 (RCM9)³ Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP)

جهت معرفی هندسه مخزن سد به مدل از نقشه‌های هیدروگرافی مخزن سد که توسط شرکت سهامی سازمان آب و برق خوزستان در سال ۱۳۸۹ به دست آمده بود استفاده گردید. همچنین جهت ایجاد مجرای تخلیه در هندسه کلی مخزن، با استفاده از مجموعه نرم‌افزار اتوکد، ابتدا هندسه سازه تخلیه‌کننده به صورت سه‌بعدی ترسیم شد و سپس در موقعیت پیشنهادی یعنی در زیر آبگیر نیروگاه دوم جانمایی گردید. لازم به ذکر است، بر اساس مطالعات توسعه نیروگاه دز، دهانه آبگیر نیروگاه دوم در تراز ۲۹۵ در نظر گرفته شده است. لذا در این پژوهش با توجه به تراز فعلی رسوابات (۲۶۰ متر)، مطابق شکل (۳) موقعیت تونل‌های تخلیه‌کننده جریان گل‌آورد در حدود ۴۰ متر بالا درست نیروگاه اول و در تراز ۲۶۵ متر با قطر داخلی ۹ متر پیشنهاد گردیده است.



شکل ۳. موقعیت قرارگیری (a) تخلیه‌کننده پیشنهادی، (b) آبگیر نیروگاه اول، (c) آبگیر نیروگاه دوم، (d) دریچه‌های آبیاری و (e) سرریزها

معادلات حاکم

معادله‌های حاکم که توسط مدل عددی حل می‌گردد، عبارت‌اند از (۱) معادله پیوستگی، (۲) معادلات ناویر استوکس برای جریان سیال به همراه فرضیات بوسینسک و (۳) معادلات انتقال برای کمیت اسکالار:

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + u_j \frac{\partial u_i}{\partial x_j} = - \frac{1}{\rho_r} \frac{\partial P}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} (S_{ij}) + g_i \frac{\rho - \rho_r}{\rho_r} \quad (2)$$

$$\frac{\partial \varphi}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i} (u_i \varphi) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\Gamma \frac{\partial \varphi}{\partial x_i} - \overline{u'_i \varphi'} \right) \quad (3)$$

در معادله‌های فوق u_i مؤلفه سرعت در جهت x_i ، P فشار کل، g_i شتاب ثقل در جهت x_i ، ρ چگالی که تابعی از دما و غلظت رسواب است، ρ_r چگالی سیال مبنای، Γ انتشار مولکولی کمیت اسکالار φ ، $u'_i \varphi'$ شار آشفتگی کمیت اسکالار φ و S_{ij} تانسور تنش بوده که برای جریان آشفته به صورت معادله (۴) بیان می‌شود:

$$S_{ij} = \left[\rho(v + v_t) \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \right] - \left[\frac{2}{3} \rho(k + v_t) \frac{\partial u_i}{\partial x_i} \delta_{ij} \right] \quad (4)$$

در معادله فوق v_t لزجت گردابهای است کهتابع خصوصیات جریان و آشفتگی است، δ_{ij} برای کاربردی کردن تعريف لزجت گردابهای استفاده می‌شود و k انرژی جنبشی آشفتگی بر واحد جرم است. در جریان‌های آشفته علاوه بر تنش برشی ناشی از مؤلفه متوسط جریان، تنش برشی دیگری ناشی از مؤلفه‌های نوسانی سرعت ایجاد می‌شود که به تنش‌های رینولدز معروف است و توسط رابطه (5) بیان می‌گردد:

$$S_{ij} = -\rho \overline{u_i' u_j'} = \rho v_t \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) - \frac{2}{3} \rho k \delta_{ij} \quad (5)$$

در معادله‌های فوق، انرژی جنبشی آشفتگی بر واحد جرم توسط رابطه (6) بیان می‌شود:

$$k = \frac{1}{2} \left(\overline{u_i'^2} + \overline{u_j'^2} + \overline{u_k'^2} \right) \quad (6)$$

شرایط مرزی و اولیه مدل

شرایط مرزی در این پژوهش به شرح زیر است:

Xmin: این مرز به عنوان مرز ورودی جریان به مخزن در نظر گرفته شده است. برای این مرز گزینه Specified pressure با تراز سطح آب ۳۵۲ متر که همان تراز نرمال سد دز است، در نظر گرفته شده است.

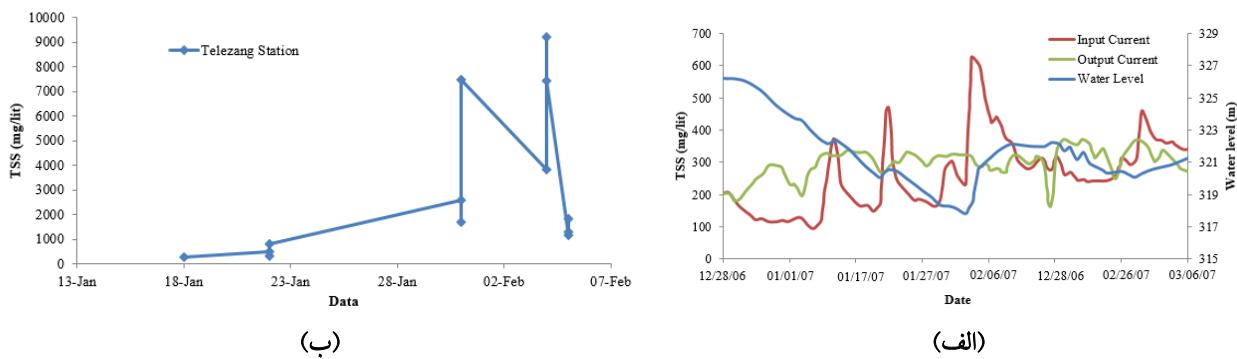
Xmax: این مرز به عنوان مرز خروجی جریان در نظر گرفته شده است. گزینه Out flow برای این مرز انتخاب گردید.

برای مرزهای Zmin، Ymin و Zmax شرایط مرزی Wall اتخاذ گردید.

Zmax: این سطح مرز مابین سیال و هوای آزاد را شامل می‌شود. گزینه Symmetry برای این مرز انتخاب شد.

شرایط اولیه متغیرهای هیدرودینامیکی در این شبیه‌سازی، از آنجایی که محدوده مورد بررسی مخزن یک سد است، از نوع فشار هیدرولیک استاتیک انتخاب گردید. همچنین ارتفاع اولیه سطح آب برابر با تراز نرمال مخزن ۳۵۲ متر در نظر گرفته شده است.

اطلاعات دبی متوسط روزانه به مخزن و تراز روزانه متوسط سطح آب در نزدیکی دیوار سد برای هر واقعه و هر ایستگاه توسط مؤسسه تحقیقات آب اندازه‌گیری شده است و به عنوان شرایط مرزی به مدل داده شده‌اند. شکل (۴، الف) نمونه‌ای از دبی ورودی را نشان می‌دهد. همچنین مؤسسه تحقیقات آب در نوبت دوم اندازه‌گیری غلظت رسوبات ورودی از ایستگاه هیدرومتری تله زنگ را به صورت همزمان انجام داد. در شکل (۴، ب) نمودار TSS در ایستگاه هیدرومتری تله زنگ نشان داده شده است. شایان ذکر است در همه روزها این اندازه‌گیری سه مرتبه صورت پذیرفت که مقادیر آن‌ها در گراف مشخص گردیده است (گزارش نهایی اندازه‌گیری جریان غلیظ در مخزن سد دز، ۱۳۸۸).



شکل ۴. (الف) هیدرو گراف ورودی به سد و خروجی از آن و تراز آب مخزن، (ب) نمودار TSS در ایستگاه هیدرومتری تلهزنگ

لازم به ذکر است، جهت انجام کلیه شبیه‌سازی‌ها از یک سیستم رایانه‌ای ۶۴ هسته‌ای و با مشخصات پردازنده مرکزی و حافظه ذخیره‌سازی Intel Xeon CPU E5-2680 v4 @ 2.4GHz, 60GB Memory گرفته شد.

محاسبه راندمان دریچه تخلیه‌کننده تحتانی

با تعریف، راندمان تخلیه رسوپ (VE) عبارت است از نسبت جرم رسوپ خارج شده به جرم رسوپ ورودی به مخزن توسط جریان غلیظا در مدت زمان سیالاب. (موریس و فان، ۱۹۹۷ و لی و همکاران، ۲۰۱۴)

$$VE = \frac{M_{VENT}}{M_{TC}} = \frac{\int_{t=0}^{t=T} C_{VENT} Q_{VENT} dt}{\int_{t=0}^{t=T} C_{TC} Q_{TC} dt} \quad (7)$$

در رابطه فوق M_{VENT} و M_{TC} به ترتیب جرم کل رسوبات خروجی و ورودی، C_{TC} و C_{VENT} به ترتیب غلظت رسوبات خروجی و ورودی جریان غلیظ در لحظه t ، Q_{VENT} و Q_{TC} به ترتیب دبی خروجی و دبی جریان غلیظ ورودی به مخزن در لحظه t و T مدت زمان کل سیالاب است.

محاسبه شدت اختلاط در بدن جریان غلیظ

حرکت جریان غلیظ درون سیال پیرامون، باعث اختلاط جریان غلیظ و سیال پیرامون می‌گردد. درواقع شدت اختلاط ناشی از کشش سیال پیرامون و ورود آن از طریق حدفاصل جریان غلیظ و سیال پیرامون است و به صورت نسبت سرعت اختلاط به سرعت متوسط جریان غلیظ تعیین می‌شود (Turner^۱, ۱۹۷۳).

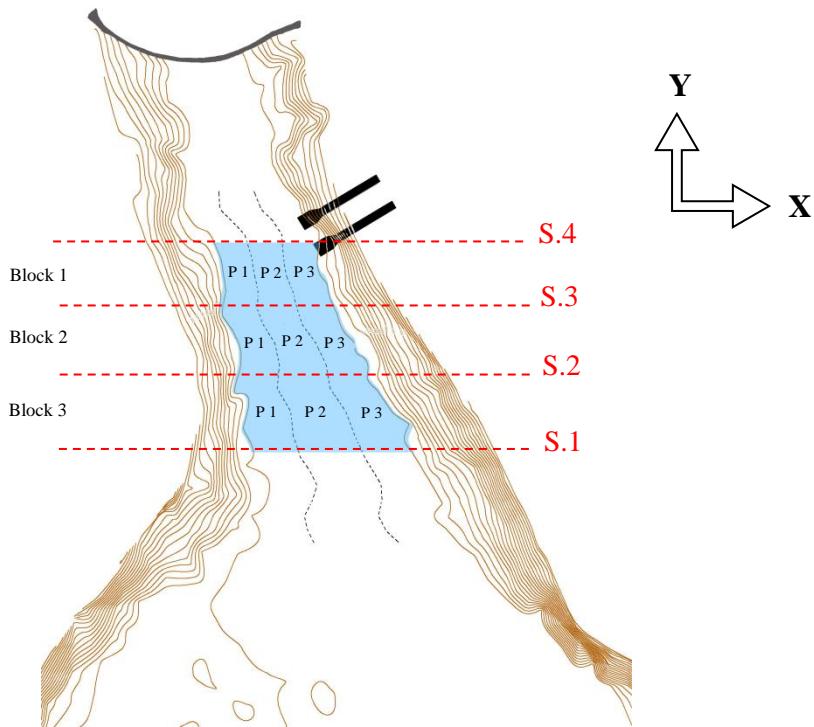
$$(E_w)_{j,j+1} = \left[\frac{2}{U_j + U_{j+1}} \right] \left[\frac{q_{j+1} - q_j}{x_{j+1} - x_j} \right] \quad (8)$$

در رابطه فوق j و $j+1$ نشان‌دهنده دو مقطع متواالی در مسیر جریان می‌باشند. حال با محاسبه مقادیر سرعت متوسط (U) و دبی در عرض واحد جریان (q) در دو مقطع متواالی، می‌توان میزان شدت اختلاط را با استفاده از رابطه فوق بدست آورد.

به منظور ارزیابی تأثیر احداث دریچه تخلیه‌کننده بر جریان غلیظ ورودی به مخزن، از سه غلظت ۱، ۴ و ۸ گرم در لیتر و سه بازشدگی ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ درصد دریچه تخلیه، به عنوان سناریوهای پژوهش برای محاسبه راندمان و همچنین تخمین شدت اختلاط سیال پیرامون در جریان غلیظ در بالادست تخلیه‌کننده استفاده شد. در این راستا مطابق شکل ۵، چهار مقطع عرضی در بالادست دریچه تخلیه در نظر گرفته شد. موقعیت مقطع S1 در فاصله ۱۲۰۰ متری، S2 در فاصله ۸۰۰ متری، S3 در فاصله ۵۰۰ متری و S4 در مجاورت دریچه تخلیه قرار

¹ Turner

دارد. برای افزایش دقت در محاسبه شدت اختلاط، هر یک از مقاطع مذکور به سه بخش مساوی تقسیم گردید. به عبارت دیگر، در هر مقطع سه پروفیل عمقی سرعت و سه دبی در واحد عرض برداشت گردید و در نهایت نسبت به پیش‌بینی شدت اختلاط بین مقاطع (بلوک ۱، ۲ و ۳) در نواحی p1، p2 و p3 پرداخته شد.

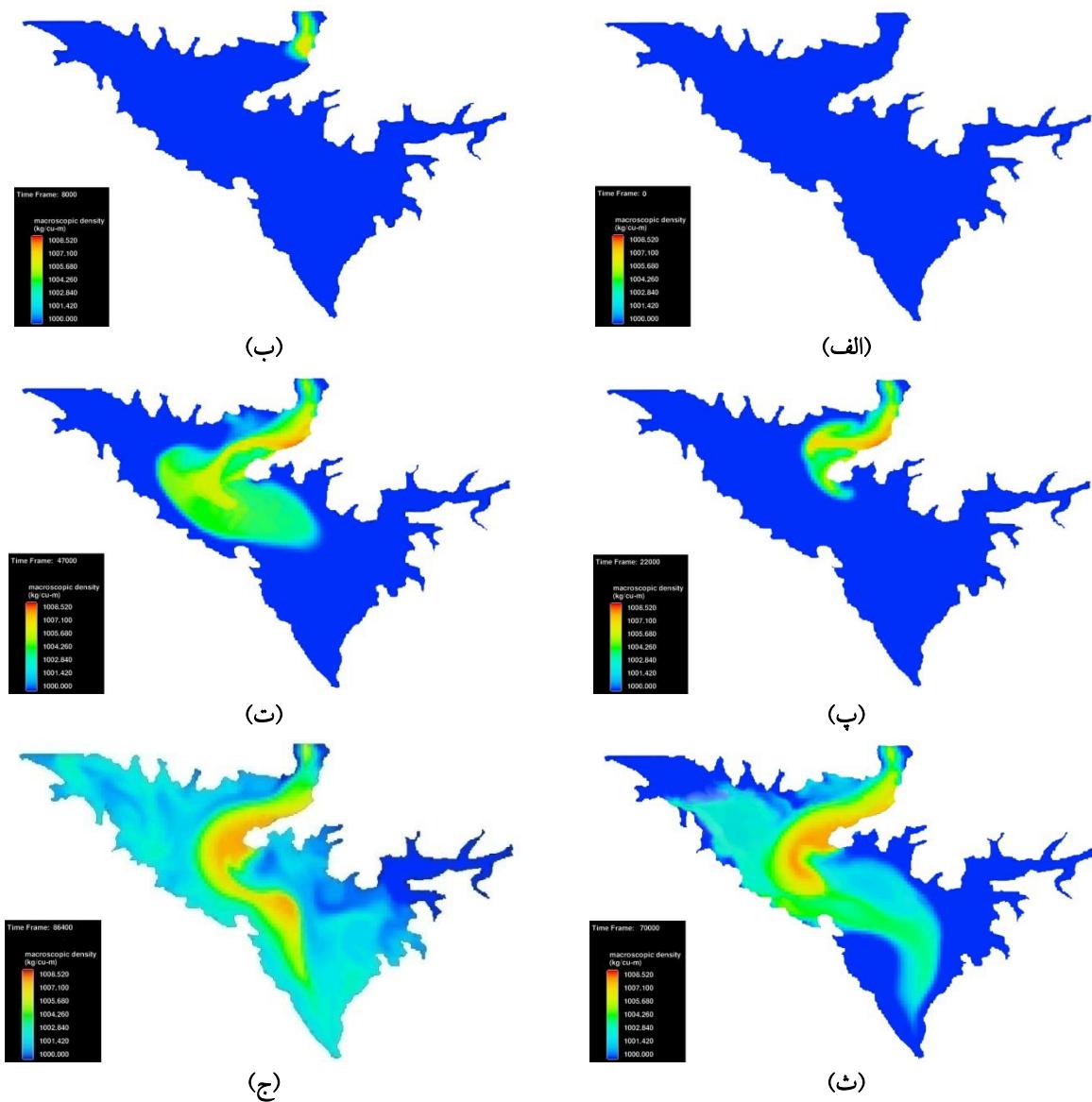


شکل ۵. موقعیت مقاطع عرضی بالادست دریچه تخلیه کننده تحتانی

یافته‌ها واسنجی مدل عددی

با توجه به اندازه‌گیری‌های صورت گرفته در مخزن سد که در تاریخ‌های ۲۰۰۳/۳/۲۷ تا ۲۰۰۳/۴/۲۴ و ۲۰۰۳/۴/۲۵ و ۲۰۰۳/۴/۲۶ شده است، هیدرو گراف‌های ورودی به مخزن در تاریخ‌های مذکور به عنوان مرز ورودی به مدل معرفی شد.

در شکل (۶) توزیع غلظت بار معلق و نحوه حرکت جریان گلآلود در مخزن سد ذ مربوط به سیالاب مورخه ۲۰۰۳/۳/۲۷ نمایش داده شده است. با توجه به هیدرو گراف سیالاب ورودی جریان گلآلود، مسیر ۲۲ کیلومتری تا بدن سد را در زمان تقریبی یک روز طی خواهد کرد.

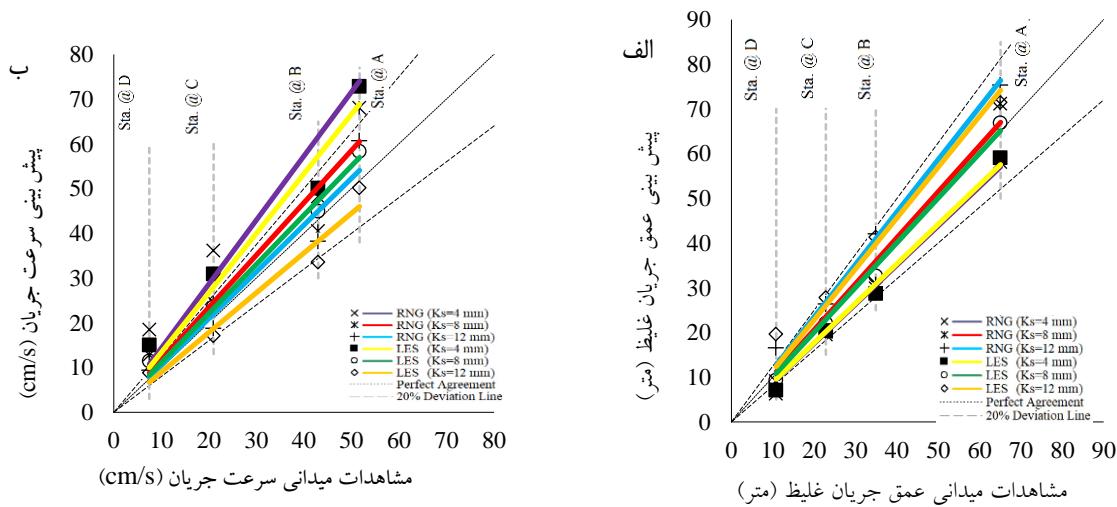


شکل ۶. پیشوی جریان غلیظ ورودی به مخزن سد دز و نحوه توزیع بار معلق پس از وقوع سیلاب مورخه ۲۰۰۳/۰۳/۲۷ در زمان:

بهمنظر واسنجی مدل، مقادیر عمق و سرعت جريان غليظ پيشبياني شده حاصل از شبيه‌سازی عددی با مشاهدات ميداني در ايستگاه‌های اندازه‌گيري A, B, C و D مقایسه گردید. بدین منظور با تعیير ارتفاع زبری ديواره مخزن (KS) و همچنین استفاده از مدل‌های تلاطمی مختلف، اقدام به تدقیق نتایج واسنجی گردید. سپس با تجزیه و تحلیل آماری و تعیین توابع خطای حاصل از پيش‌بینی مقادیر عمق و سرعت جريان غليظ نظير حداکثر خطا (ME)، جذر ميانگين مربعات خطا (RMSE) و ميانگين خطای مطلق (MAE) به ارزیابی، کارایی، بخش‌های مختلف صحت‌سنجی، برداخته خواهد شد.

برای نمونه، نمودارهای شکل (۷) محدوده پراکندگی مقادیر پیش‌بینی شده عمق و سرعت جریان غلیظ اندازه‌گیری شده را در مقابل نتایج حاصل از مشاهدات میدانی در تاریخ ۲۷/۰۳/۲۰۱۳ نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌گردد استفاده از مدل تلاطمی LES و اختصاص زیری دیواره مخزن معادل $K_s = 8\text{mm}$ در تخمین عمق، نتایج نزدیکتری با مشاهدات میدانی دارد. از طرفی در پیش‌بینی مقدار سرعت، مدل آشفتگی RNG و زیری دیواره $K_s = 12\text{mm}$ نتایج مطلوب‌تری ارائه می‌دهد. با توجه به جدول (۱) حداکثر خطای مربوط به محاسبه عمق و سرعت به ترتیب پرای ۶/۲۷ درصد و ۹/۴۳ درصد است.

تجزیه و تحلیل آماری گویای این مطلب است که نتایج پیش‌بینی شده حاصل از انتخاب مدل تلاطمی شبیه‌سازی گردابه‌های بزرگ (LES) و همچنین اختصاص ارتفاع زبری دیواره معادل ۸ میلی‌متر، هماهنگی مطلوبی با داده‌های میدانی گزارش شده دارد.



شکل ۷. مقایسه نتایج پیش‌بینی شده و مشاهدات میدانی (الف) عمق و (ب) سرعت جریان غلیظ در تاریخ ۲۰۰۳/۰۳/۲۷

جدول ۱. توابع خطی حاصل از نتایج پیش‌بینی شده در مقابل مشاهدات میدانی در تاریخ ۲۰۰۳/۰۳/۲۷

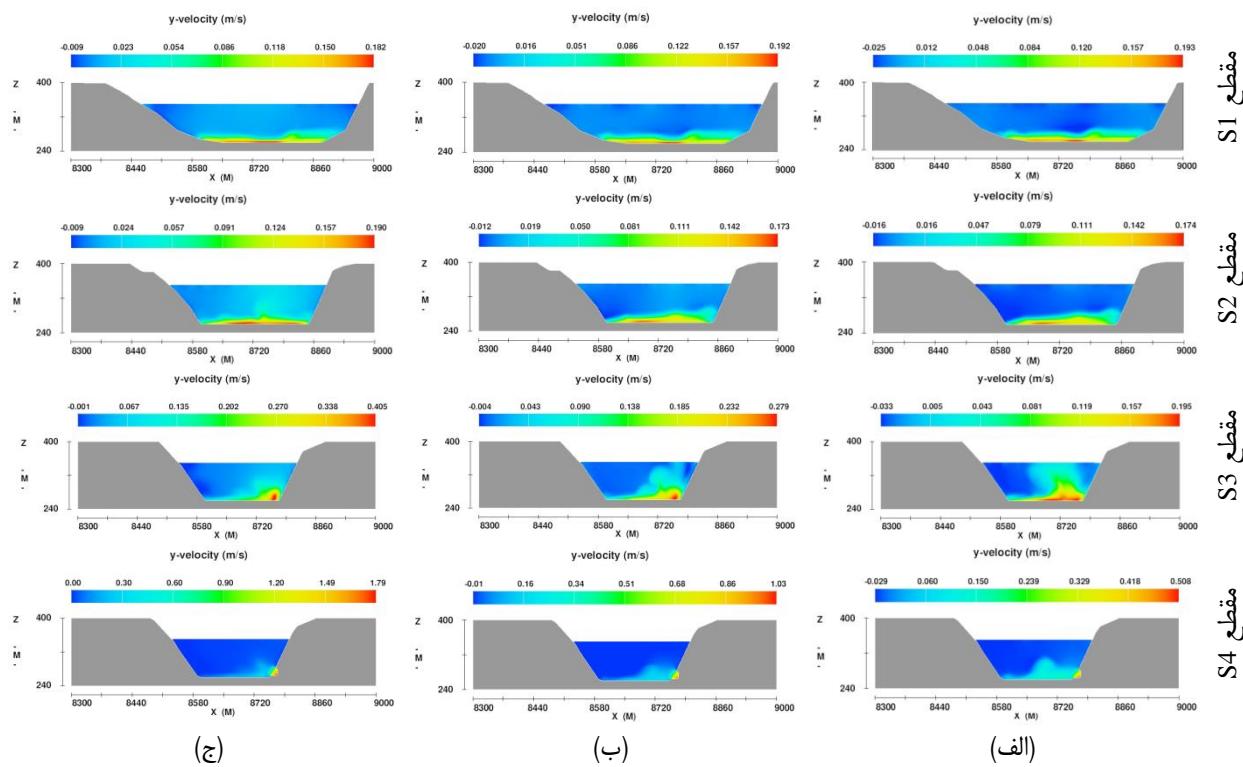
پارامتر	مدل تلاطمی	ارتفاع زبری (میلی‌متر)	ME	MAE	RMSE
عمق	RNG	4	10.89	4.94	5.10
	RNG	8	7.94	3.14	3.29
	RNG	12	9.50	6.66	7.10
	LES	4	9.17	4.58	4.84
	LES	8	6.27	1.61	1.69
	LES	12	8.97	7.07	7.22
سرعت	RNG	4	11.28	15.31	17.80
	RNG	8	10.45	6.97	8.91
	RNG	12	8.73	4.47	5.31
	LES	4	10.14	11.46	12.81
	LES	8	9.96	3.80	4.21
	LES	12	9.43	4.04	5.20

مجموعه محاسبات حاصل از توابع خطی برای کلیه تاریخ‌های مذکور حاکی از آن است که نتایج پیش‌بینی شده حاصل از انتخاب مدل تلاطمی شبیه‌سازی گردابه‌های بزرگ (LES) و همچنین اختصاص ارتفاع زبری دیواره معادل ۸ میلی‌متر، هماهنگی مطلوبی با داده‌های میدانی گزارش شده دارد. لازم به ذکر است حداقل خطا محاسبه شده در مقادیر پیش‌بینی شده سرعت و عمق جریان، به ترتیب ۱۴/۶۷ و ۱۳/۸۲ درصد است.

تأثیر احداث تخلیه کننده بر روند سرعت جریان گل‌آلود

همان‌طور که بیان گردید، سازه آبگیر مجرای تخلیه کننده رسوبات، به لحاظ موقعیت هندسی در زیر سازه‌های آبگیر نیروگاه دوم و در تراز ۲۶۵ متر در نظر گرفته شده است. در زمان تخلیه جریان غلیظ به‌واسطه انحراف خطوط جریان به سمت تخلیه کننده، الگوی جریان واردی به مخزن علی‌الخصوص در فواصل نزدیک به بدنه سد تحت الشعاع قرار خواهد گرفت.

با دقت در شکل (۸) می‌توان بیان نمود که در مقاطع S1 و S2 با افزایش میزان بازشدگی دریچه تخلیه، تغییرات قابل ملاحظه‌ای در سرعت جریان مشاهده نمی‌گردد. در حالی که در مقطع S3 با افزایش میزان بازشدگی دریچه از ۲۵٪ به ۵۰٪ و همچنین از ۵۰٪ به ۱۰۰٪ ماکریم سرعت به ترتیب افزایش ۴۳ و ۴۵ درصدی را در پی خواهد داشت؛ اما در مقطع S4 با توجه به موقعیت استقرار آن در مجاورت مجرای تخلیه، با افزایش بازشدگی دریچه از ۲۵٪ به ۵۰٪ و همچنین از ۵۰٪ به ۱۰۰٪، آهنگ افزایش ماکریم سرعت به ترتیب ۱۰۲ و ۷۴ درصد پیش‌بینی گردید.



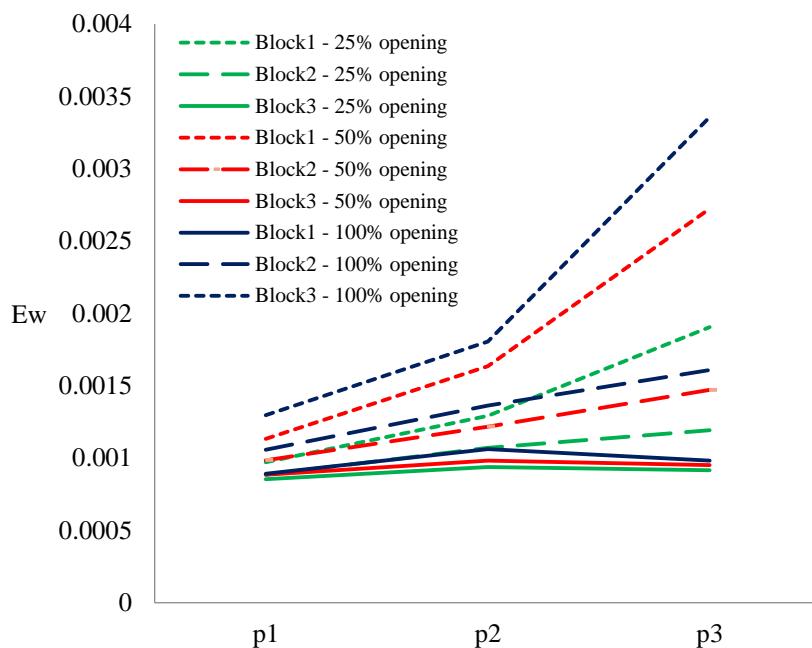
شکل ۸. پروفیل عرضی سرعت در مقاطع مختلف به ازای بازشدگی (الف) ۲۵٪ (ب) ۵۰٪ (ج) ۱۰۰٪

تأثیر درصد بازشدگی در شدت اختلاط

همان‌طور که پیش‌تر بیان شد، شدت اختلاط ناشی کشش سیال پیرامون و ورود آن از طریق حدفاصل جریان غلیظ و سیال پیرامون است و به صورت نسبت سرعت اختلاط به سرعت متوسط جریان غلیظ تعریف می‌شود؛ بنابراین می‌توان افزایش میزان شدت اختلاط را به مثابه افزایش آشفتگی در جریان و معیاری بر کاهش آهنگ رسوب‌گذاری در مخزن سد تلقی گردد.

نمودار شکل (۸) به منظور بررسی اثر میزان گشودگی دریچه تخلیه بر شدت اختلاط جریان غلیظ ترسیم گردیده است. در این نمودار مقادیر شدت اختلاط در محدوده‌های p1، p2 و p3 که واقع در حدفاصل مقاطع S1، S2، S3 و S4 است، به ازای درصد بازشدگی‌های مختلف محاسبه گردید. با توجه نمودارهای شکل (۹) در همه بازشدگی‌ها، تغییرات عرضی شدت اختلاط در بلوک ۱ تقریباً ثابت بود و در بلوک ۲ افزایش اندکی دیده شد. این امر می‌تواند گواهی بر تأثیر اندک اثر بازشدگی دریچه بر میزان شدت اختلاط در این نواحی باشد؛ اما در بلوک ۳ به ویژه در نواحی p2 و p3 افزایش قابل توجهی در شدت اختلاط جریان شاهد هستیم. علت این امر آن است که افزایش میزان بازشدگی دریچه منجر به انحراف بیش‌تر خطوط جریان به‌طرف تخلیه کننده می‌شود و به دنبال آن سرعت جریان افزایش می‌یابد.

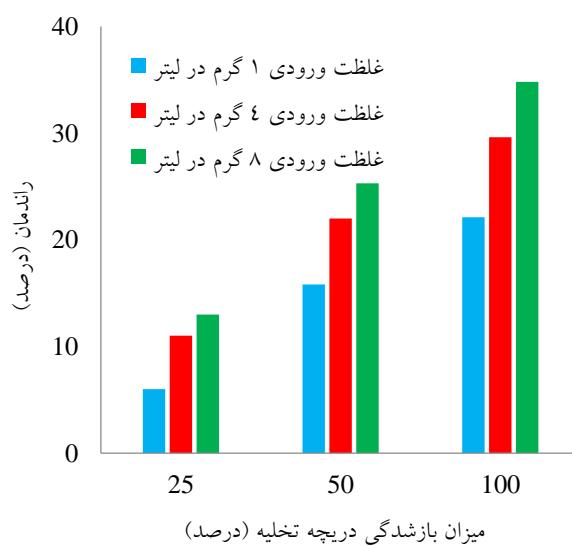
با متوسطگی ای از مقادیر شدت اختلاط، به طور کلی می‌توان به این نتیجه پی برد که با افزایش درصد بازشدگی میزان شدت اختلاط افزایش می‌یابد. آهنگ تغییرات شدت اختلاط به گونه‌ای است که با تغییر درصد بازشدگی از ۲۵٪ به ۵۰٪ به ۲۰٪ درصد و با تغییر درصد بازشدگی از ۵۰٪ به ۱۰۰٪ به ۱۶٪ درصد افزایش می‌یابد.



شکل ۹. محاسبه شدت اختلاط در بازشدگی‌های مختلف

راندمان دریچه تخلیه‌کننده تحتانی

همان‌طور که پیش‌تر بدان اشاره شد، راندمان تخلیه رسوب (VE) از نسبت جرم رسوب خارج شده به جرم رسوب ورودی به مخزن توسط جریان غلیظ در مدت زمان انجام عملیات تخلیه محاسبه می‌شود؛ بنابراین با استخراج مقادیر پیش‌بینی شده دبی و غلظت رسوب خروجی از تخلیه‌کننده و با دانستن دبی و غلظت ورودی اقدام به محاسبه راندمان می‌گردد. نتایج حاصل از محاسبه راندمان در شرایط مختلف میزان بازشدگی دریچه و همچنین غلظت‌های ورودی متفاوت در نمودار شکل (۱۰) قابل مشاهده است.



شکل ۱۰. محاسبه راندمان تخلیه رسوب از دریچه تخلیه‌کننده

با توجه به نمودار فوق، می‌توان دریافت که با افزایش میزان بازشده‌گی دریچه از 25% به 50% درصد، راندمان تخلیه رسوبات به طور متوسط 35 درصد و با افزایش میزان بازشده‌گی دریچه از 50% به 100% درصد، به طور متوسط راندمان 21 درصد افزایش می‌یابد. به طور کلی با افزایش غلطت در یک بازشده‌گی ثابت، در راندمان تخلیه افزایش نسبی مشاهده گردید؛ اما با افزایش بازشده‌گی دریچه، خطوط جریان بیشتری به سمت مجرای تخلیه منحرف می‌گردد و افزایش قابل توجه در راندمان خروج رسوبات را به دنبال دارد. با این حال در بازشده‌گی 100% هدر رفت آب زلال مخزن به حداکثر می‌رسد که این موضوع از منظر مدیریت آب مخزن سد می‌تواند بسیار حائز اهمیت باشد.

بحث

عدم پیش‌بینی دریچه تخلیه‌کننده تحتانی مناسب در مخزن سد ذیکی از مهم‌ترین عواملی است که موجب تشدید راندمان تله اندازی رسوبات و از دست رفتن حجم آن شده است. بالا آمدن تراز رسوبات و به دنبال آن اتمام عمر مفید سد ذی، تبعات غیرقابل جبران اجتماعی و اقتصادی به دنبال خواهد داشت که از آن جمله می‌توان به کاهش سطح زیر کشت تابستانه و بیکاری دهها هزار نفر شاغل در بخش کشاورزی شهرستان‌های پایین‌دست، وقوع سیلاب‌های مهلك، احتمال افزایش شوری رودخانه کارون بزرگ و از دست رفتن 520 مگاوات طرفیت برق درنتیجه کاهش توانایی کنترل فرکانس برق سراسر کشور اشاره نمود.

در این پژوهش، احداث و استقرار مجرای تخلیه رسو بدر زیر ورودی تونل آبر نیروگاه باهدف تثبیت تراز فعلی رسوبات نهشته شده و تخلیه سیلاب‌های حاوی ذرات رسوی به پایین‌دست سد، به عنوان یک رویکرد کارآمد در مدیریت رسو مخزن سد ذی پیشنهاد گردیده است. در این راستا تلاش گردید با بهره‌گیری از ابزار مدل سازی عددی در جهت ارزیابی دقیق تر الگوی جریان غلیظ ورودی به مخزن در شرایط احداث تخلیه‌کننده تحتانی و میزان تأثیر آن در خروج رسوبات، گام برداشته شود. لذا پس از واسنجی مدل، شبیه‌سازی‌ها باهدف بررسی میزان شدت اختلاط سیال به درون جریان غلیظ در بالادست دریچه و همچنین محاسبه راندمان تخلیه رسو با به کارگیری سه وضعیت بازشده‌گی دریچه (25% ، 50% و 100% درصد) و سه غلطت ورودی 1 ، 4 و 8 گرم در لیتر صورت پذیرفت.

نتیجه‌گیری

با توجه الگوی جریان شکل‌گرفته در مخزن سد ذی (شکل ۶) مشاهده می‌شود که پیش از رسیدن جریان گل‌آвод به بدنه سد، پیشانی جریان گل‌آвод از نزدیکی جناح سمت چپ بالادست سد گذر می‌کند؛ بنابراین می‌توان اظهار داشت که قرارگیری سازه تخلیه رسو در آن جناح، امکان عبور دهی جریان حاوی رسوبات معلق را با راندمان بالاتری فراهم می‌آورد. با این حال استقرار مجرای تخلیه رسو در جناح سمت راست و در موقعیت زیر سازه آبگیر نیروگاه دوم علاوه بر عبور دهی بخشی از جریان گل‌آвод ورودی به مخزن، از ورود رسوبات به آبگیرهای نیروگاه ممانعت به عمل می‌آورد.

تجزیه و تحلیل آماری حاصل از واسنجی مدل حاکی از آن است که نتایج پیش‌بینی شده توسط شبیه‌سازی عددی هماهنگی مطلوبی با داده‌های میدانی گزارش شده دارد. به‌گونه‌ای که انتخاب مدل تلاطمی شبیه‌سازی گردابه‌های بزرگ (LES) و همچنین اختصاص ارتفاع زبری دیواره مخزن، معادل 8 میلی‌متر، عمق و سرعت جریان غلیظ را به ترتیب با حداکثر خطای $14/67$ و $13/82$ درصد تخمین زده می‌شود.

میزان خروج رسوبات از مخزن سد ارتباط مستقیمی با غلطت ورودی و درصد بازشده‌گی تخلیه‌کننده تحتانی دارد. با متوسط گیری از نتایج در غلطت‌های ورودی مختلف، نسبت غلطت خروجی از دریچه تخلیه به غلطت ورودی مخزن در بازشده‌گاهی 25% و 50% و 100% به ترتیب برابر $15/4$ ، $20/8$ و $25/1$ درصد محاسبه گردید.

در ارتباط با تأثیر احداث تخلیه‌کننده برشد اختلاط، می‌توان گفت به طور کلی با تزدیک شدن جریان به دهانه ورودی دریچه تخلیه، شدت اختلاط سیال پیرامون به درون جریان غلیظ افزایش می‌یابد. آهنگ تغییرات شدت اختلاط به‌گونه‌ای است که با تغییر درصد بازشده‌گی از 25% به 50% به طور متوسط 20 درصد و با تغییر درصد بازشده‌گی از 50% به 100% به طور متوسط 16 درصد افزایش می‌یابد.

با افزایش درصد بازشده‌گی دریچه، میزان اثرگذاری مجرای تخلیه بر انحراف و شتاب‌گیری خطوط جریان گستردگرتر می‌شود. به‌گونه‌ای که در مقطع S3 با افزایش میزان بازشده‌گی دریچه از 25% به 50% و همچنین از 50% به 100% درصد افزایش می‌یابد. در صدی را در پی خواهد داشت؛ اما در مقطع S4 با توجه به موقعیت استقرار آن در مجاورت مجرای تخلیه، با افزایش بازشده‌گی دریچه از 25% به 50% و همچنین از 50% به 100% آهنگ افزایش ماکزیمم سرعت به ترتیب 102 و 74 درصد پیش‌بینی گردید.

منابع

- بصیر زاده، حبیب ا...، و صمدی بروجنی، حسین. (۱۳۸۲). امکان‌سنجی هدایت جریان‌های غلیظ مخزن سد دز به سمت مجاري سرریز با استفاده از شافت قائم مستعرق، ششمین کنفرانس بین‌المللی مهندسی عمران، اصفهان، ایران. <https://civilica.com/doc/914>
- رمضانی، یوسف، و قمشی، مهدی. (۱۳۹۰). بررسی میزان تأثیر جریان‌های غلیظ بر روند رسوب‌گذاری مخزن سد سفیدرود، نشریه آبخواد علوم و صنایع کشاورزی(۴)، ۲۵، ۸۷۶-۸۸۰. <https://doi.org/10.22067/jsw.v0i0.10250>
- بی‌نام. گزارش نهایی اندازه‌گیری جریان غلیظ در مخزن سد دز، مرکز تحقیقات آب و شرکت سهامی آب و برق خوزستان، ایران.
- فاضلی، میثم، و قمی، راحله. (۱۴۰۰). بررسی عددی تخلیه جریان پر رسوب رودخانه در زمان سیالاب از مخزن سدها (مطالعه موردي سد روبار). نشریه سد و نیروگاه برق‌آبی ایران، ۱۸(۳۱)، ۷۴-۸۶. <http://dorl.net/dor/20.1001.1.23225882.1400.8.31.4.3>
- زایری، محمد رضا، و قمشی، مهدی. (۱۳۹۸). مدل‌سازی عددی جریان گل‌آلود در مخزن سد دز، نشریه مهندسی عمران و محیط‌زیست، ۴۹(۱)، ۷۷-۸۸. [10.22034/ceej.2019.8958](https://doi.org/10.22034/ceej.2019.8958)

References

- Amini, A., Venuleo, S., Chamoun, S., De Cesare, G., Schleiss, A., & Takhtemina, F. (2017). Investigation of venting turbidity currents in the Rudbar-Lorestan reservoir in Iran. In Abstract Book of the 85th ICOLD Annual Meeting. <https://infoscience.epfl.ch/record/229961?ln=en>
- Basirzadeh, H., Samadi-Boroujeni, H. (2003). Feasibility of diverting turbidity currents of Dez dam reservoir toward weir tunnels using a submerged vertical shaft. 6th International Conference on Civil Engineering, Isfahan, Iran. <https://civilica.com/doc/914> [In Persian]
- Basson, G. A. (1997). Dealing with Reservoir Sedimentation. Water Research Commission Report, 1–4. <https://cir.nii.ac.jp/crid/1573105974285976704>
- Chamoun, S., De Cesare, G., & Schleiss, A. J. (2017). Management of turbidity current venting in reservoirs under different bed slopes. Journal of environmental management, 204, 519-530. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.09.030>
- Emamgholizadeh, S., Bateni, S.M., & Nielson, J.R. (2018). Evaluation of different strategies for management of reservoir sedimentation in semi-arid regions: a case study (Dez Reservoir). Lake and reservoir management, 34(3), 270-282. <https://doi.org/10.1080/10402381.2018.1436624>
- Fan, J., & Morris, G.L. (1992). Reservoir sedimentation. II: Desiltation and long-term storage Engineering. Journal of Hydraulic, 118(3), 370-384. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9429\(1992\)118:3\(370\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(1992)118:3(370))
- Fazeli, M., & Ghomi, R. (2022). Numerical study of river sediment venting during flood from the reservoir of dams (Case study of Rudbar dam). Iranian Dam and Hydroelectric Powerplant, 8(31), 74-86. <https://dorl.net/dor/20.1001.1.23225882.1400.8.31.4.3> [In Persian]
- Graf, W.H., & Altinakar M.S. (1998). Fluvial Hydraulics: Flow and Transport Processes in Channels of Simple Geometry. John Wiley and Sons, Ltd, England.
- Huang, H., Imran, J. & Pirmez, C. (2005). Numerical model of turbidity currents with a deforming bottom boundary. Journal of Hydraulic Engineering, 131(4), 283-293. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9429\(2005\)131:4\(283\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(2005)131:4(283))
- Research Center Power Ministry. (2003). Turbidity Current measurement report of Dez Dam Reservoir. Khuzestan Water and Power Authority, Iran. [In Persian]

- Lee, F.Z., Lai, J.S., Tan, Y.C., & Sung, C.C. (2014). Turbid density current venting through reservoir outlets. KSCE Journal of Civil Engineering, 18(2), 694-705. <https://doi.org/10.1007/s12205-014-0275-y>
- Mehranfar, N., Kolahdoozan, M., & Faghihirad, S. (2023). Development of multiphase solver for the modeling of turbidity currents (the case study of Dez Dam). International Journal of Multiphase Flow, 168, 104586. <https://doi.org/10.1016/j.ijmultiphaseflow.2023.104586>
- Oehy, Ch. (2002). Effects of obstacles and jets on reservoir sedimentation due to turbidity currents, Communication No. 15 of the Laboratory of Hydraulic Structions LCH, Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne EPFL, Switzerland. <https://infoscience.epfl.ch/record/116164>
- Ramezani, Y., & Ghomeshi, M. (2011). Effect of Turbidity Currents on Sedimentation Process in Sefidroud Dam. Water and Soil, 25(4), pp. 874-880. <https://doi.org/10.22067/jsw.v0i0.10250> [In Persian]
- Slooff, C. J. (1991). Communications on Hydraulic and Geotechnical Engineering. Delft, Netherlands: Faculty of Civil Engineering, Delft Univ. of Technology. <http://resolver.tudelft.nl/uuid:27232f02-0e81-43ac-bebf-8e2459d6f076>
- Schleiss, A., De Cesare, G., & Jenzer Althaus, J.M.I. (2010). Reservoir sedimentation threatens the sustainable use of hydropower. Wasser, Energie, Luft–Eau, énergie, air, 102(1), 31-40. <https://infoscience.epfl.ch/record/147714>
- Turner, J.S. (1973). Buoyancy Effects in Fluids. Cambridge University Press London, U.K, 178-181. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511608827>
- Wildt, D., Hauer, C., Habersack, H., & Tritthart, M. (2020). CFD modelling of particle-driven gravity currents in reservoirs. Water, 12(5), 1403. <https://doi.org/10.3390/w12051403>
- Zallaghi, E., Akhoond-Ali, A. M., & Ashrafi, S. M. (2020). Dataset on sensitivity of water-energy nexus to Dez Dam power plant operation. Data in brief, 30, 105454. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2020.105454>
- Zayeri, M., Ghomeshi, M. (2019). Numerical Modeling of Turbid Density Current in Dez Reservoir. Journal of Civil and Environmental Engineering, 49, 1(94), 77-88. <https://doi.org/10.22034/ceej.2019.8958> [In Persian]