

مطالعه آزمایشگاهی اثر جریان جت دایره‌ای بر رسوب‌شویی مخازن

زهرا مددی اسفاد¹، محمد مهدی احمدی^{2*} و مجید رحیم‌پور²

1- دانشجوی کارشناسی ارشد سازه‌های آبی، بخش مهندسی آب، دانشگاه شهید باهنر کرمان

2- دانشیار بخش مهندسی آب، دانشگاه شهید باهنر کرمان

* ahmadi_mm@uk.ac.ir

(دریافت مقاله: 96/9/19؛ پذیرش مقاله: 97/8/21)

چکیده - یکی از مشکلات جدی در بهره‌برداری از سدهای مخزنی، ته‌نشینی مواد رسوبی در مخزن آن‌هاست که مشکلات بهره‌برداری زیادی را در پی دارد. رسوبات ته‌نشین شده جایگزین ظرفیت مؤثر مخزن می‌گردند. در مدیریت صحیح مخازن استفاده از روش‌های کنترل و تخلیه رسوب از مخازن دارای اهمیت ویژه است. این پژوهش آزمایشگاهی با هدف بررسی تأثیر استفاده از جت مستغرق در جلوی مجرای تخلیه‌کننده تحتانی بر افزایش راندمان تخلیه رسوب حین عملیات رسوب‌شویی تحت فشار، انجام گرفته است. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که برای دستیابی به حداکثر راندمان در تخلیه رسوب در رسوب‌شویی تحت فشار با حضور جت، در یک سرعت معین جت در جریان‌های خروجی نسبی (Q_{outlet}/Q_i) برابر با 46-83 بهترین موقعیت قرارگیری جت نسبت به تخلیه‌کننده تحتانی فاصله دوبرابر قطر مجرای تخلیه‌کننده تحتانی می‌باشد و در جریان‌های خروجی نسبی (Q_{outlet}/Q_i) برابر با 120-157 بهترین موقعیت برای قرارگیری جت فاصله 2/5 برابر قطر مؤثر دهانه مجرای دریچه تخلیه می‌باشد.

کلیدواژگان: مدیریت منابع آب، هیدرولیک رسوب، جت مستغرق، راندمان رسوب‌شویی.

1- مقدمه

خاک، عبور دهی جریان غلیظ، رسوب‌شویی هیدرولیکی، استفاده از سیستم کنارگذر برای جریان‌های غلیظ، تخلیه رسوبات مخزن به وسیله ادوات مکانیکی مانند لایروبی و سیفون کردن (شهیرنیا و همکاران، 1393). یکی از رایج‌ترین روش‌ها برای حفظ ظرفیت ذخیره مخازن، تخلیه‌ی دوره‌ی رسوب با رسوب‌شویی تحت فشار است. رسوب‌شویی هیدرولیکی تحت فشار، یک روش مؤثر در بازیابی حجم مفید مخازن سد است. به ویژه این روش مدیریت رسوب برای مناطقی که از مشکل محدودیت منابع آبی رنج می‌برند، بسیار حائز اهمیت است.

مسئله رسوب به عنوان یکی از بزرگترین مشکلات بهره‌برداری از منابع آب‌های سطحی، بالخصوص مخازن سدها در جهان مطرح است، زیرا رسوب ورودی به این مخازن عامل محدودکننده‌ی عمر مفید و ظرفیت مؤثر مخازن سدها می‌باشد، بنابراین عدم توجه به این مسئله سبب اتلاف سرمایه می‌گردد. تاکنون راهکارهای مختلفی برای جلوگیری از ورود رسوب به مخازن و همچنین تخلیه رسوب در مخازن سدها پیشنهاد شده است که به طور خلاصه عبارت‌اند از: عملیات آبخیزداری و حفاظت

یافت. رجبی پور (1396) با طراحی سازه نیم استوانه افقی با باله و سازه نیم استوانه افقی با باله و لبه به بررسی حداکثر طول، عرض و عمق نسبی در دو حالت با و بدون گرفتگی دریچه تخلیه تحتانی پرداخت. نتایج حاصل از انجام آزمایش‌ها نشان می‌دهد که طول و حجم مخروط رسوب‌شویی در زمان استفاده از این سازه با باله و لبه بیشترین تغییر را نسبت به آزمایش شاهد داشته است. اما عمق مخروط رسوب‌شویی فقط در زمان استفاده از سازه با باله و لبه در حالت بدون گرفتگی دریچه تخلیه تحتانی نسبت به آزمایش شاهد 2/11 برابر افزایش یافت و در آزمایش‌های دیگر تقریباً ثابت و برابر با عمق در آزمایش شاهد بود.

بررسی سابقه تحقیق نشان می‌دهد که رسوب‌شویی هیدرولیکی تحت فشار یک روش بسیار مؤثر جهت بازیابی حجم ذخیره‌ی مخازن می‌باشد. به گونه‌ی که تشکیل مخروط آبستگي و خالی شدن رسوبات از همسایگی دریچه تحتانی خطر ورود رسوبات درشت‌دانه به آبگیر نیروگاه را به‌طور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌دهد، لذا استفاده از روش‌های مناسب و کار آمد برای افزایش محدوده تأثیر فرآیند رسوب‌شویی تحت فشار می‌تواند از کاهش حجم مفید مخزن جلوگیری نماید (توفیقی و همکاران، 1394). یکی از این گزینه‌ها استفاده از جت آب در جلوی مجرای تخلیه رسوب، جهت افزایش راندمان رسوب‌شویی و تخلیه رسوبات مخزن سد می‌باشد. جت‌ها یکی از معمول‌ترین جریان‌های موجود در طبیعت هستند که در اثر اندرکنش یک جریان با سرعت زیاد و ضخامت کم با محیط پیرامونی با سرعت کمتر و یا در حال سکون، توسعه می‌یابند. فرض بر این است که در این روش به دلیل قرارگیری جت در جلوی دهانه خروجی و معلق کردن رسوبات ته نشین شده، تخلیه رسوبات انباشته شده در کف مخزن، تحت رسوب‌شویی تحت فشار افزایش می‌یابد و راندمان رسوب‌شویی بهبود پیدا می‌کند. برخورد جت آب با مومنتم بالا به بستر رسوبی منجر به معلق شدن ذرات بستر و ایجاد یک حفره‌ی آبستگي موضعی می‌گردد (عبدی پور و همکاران 1394).

Althaus et al. (2015) با ایجاد جریان گردابی با استفاده از جت‌های دایره‌ای به تخلیه جریان‌های معلق و بررسی

رسوب‌شویی تحت فشار به‌نوعی از عملیات رسوب‌شویی اطلاق می‌شود که در طول مدت زمان انجام رسوب‌شویی رقوم سطح آب مخزن بالاتر از رقوم ارتفاعی بالای دریچه بوده و جریان خروجی از آن به صورت تحت فشار می‌باشد (نشریه 589 وزارت نیرو).

در زمینه رسوب‌شویی تحت فشار مطالعات مختلفی توسط محققان مختلف انجام گرفته است: (Atkinson 1996) رسوب‌شویی را بهترین روش بازیابی حجم ذخیره مخزن برمی‌شمرد. امام قلی زاده و همکاران (1386) با بررسی آزمایشگاهی رسوب‌شویی تحت فشار در سدهای مخزنی، روابط بدون بعدی را برای برآورد حجم مخروط رسوب‌شویی ارائه دادند و نتیجه گرفتند که ابعاد مخروط رسوب‌شویی با عمق آب داخل مخزن و اندازه نهشته در مخزن نسبت عکس و با دبی خروجی از تخلیه کننده نسبت مستقیم دارد. مشکاتی و همکاران (1388) تأثیر ابعاد دریچه تحتانی را بر ابعاد مخروط رسوب‌شویی در رسوب‌شویی تحت فشار به صورت آزمایشگاهی بررسی کردند. Fruchart and Camenen (2012) رسوب‌شویی را برای نگه‌داشتن مخازن در بهترین وضعیت بهره‌برداری ضروری می‌دانند.

Powell and Khan (2012, 2015) مشخصه‌های جریان و چگونگی انتقال رسوب را در بالادست دریچه‌های تخلیه دایره‌ای بررسی کردند و شکل‌گیری گردابه‌ها را در مجاورت این دریچه‌ها گزارش دادند و اظهار داشتند این گردابه‌ها عامل اصلی خروج رسوب از مخزن هستند. توفیقی و همکاران (1394) با بررسی آزمایشگاهی تأثیر توسعه مجرای تخلیه کننده در مخزن بر ابعاد مخروط رسوب‌شویی، تأثیر مثبت و محسوس توسعه مجرا بر ابعاد مخروط رسوب‌شویی را بیان کردند. مددی و همکاران (1395) تأثیر استفاده از سازه‌ی نوع سازه نیم استوانه افقی را بر راندمان تخلیه رسوب در حین رسوب‌شویی تحت فشار به‌صورت آزمایشگاهی مورد بررسی قرار دادند. در این راستا از سازه نیم استوانه افقی با چهار قطر و چهار طول نسبی مختلف استفاده شد. نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد که با کاربرد این سازه راندمان رسوب‌شویی 4/75 برابر شده است که با افزایش طول نسبی سازه، طول و عرض حداکثر نسبی مخروط رسوب‌شویی افزایش خواهد

در معادله‌ی فوق، $Re_j = \frac{\rho_w v_j d_j}{\mu}$ عدد رینولدز جت، $Fr_j = \frac{v_j}{\sqrt{g d_j}}$ عدد فرود جت و $G_s = \frac{\rho_s}{\rho_w}$ چگالی نسبی دانه‌های رسوب و $Re_{outlet} = \frac{\rho_w V_{outlet} D_{outlet}}{\mu}$ عدد رینولدز جریان خروجی و $Fr_{outlet} = \frac{V_{outlet}}{\sqrt{g D_{outlet}}}$ عدد فرود جریان خروجی می‌باشند. با توجه به مستغرق بودن جت نیروی ثقل اهمیت چندانی ندارد و می‌توان عدد فرود جت را حذف نمود. میزان G_s در طی آزمایش‌ها ثابت می‌باشد و نتایج این تحقیق برای رسوب غیر چسبنده اعتبار دارد. در این تحقیق مقادیر θ_j ، L ، B ، L ، θ_j ، h_w ، D_{outlet} ، D_{50} ، h_j و h_s در همه آزمایش‌های این پژوهش ثابت بوده است، همچنین از آنجا که حداقل مقدار عدد رینولدز خروجی برای تمام آزمایش‌ها بیش از 40000 می‌باشد، لذا رژیم جریان مشابه جریان طبیعی مجرای تخلیه شده، متلاطم بوده است و تحت تأثیر ویسکوزیته و عدد رینولدز قرار نمی‌گیرد. بنابراین حجم بی بعد رسوب‌شویی هیدرولیکی تحت فشار در این تحقیق را می‌توان به صورت رابطه 3 ارائه نمود.

$$\frac{V_f}{D_{outlet}^3} = F\left(\frac{d_j}{D_{outlet}}, \frac{L_j}{D_{outlet}}, \frac{h_j}{D_{outlet}}, \theta_j, Fr_{outlet}\right) \quad (3)$$

بر اساس رابطه فوق، پارامترهای مؤثر بر حجم مخروط رسوب‌شویی عبارتند از: قطر نسبی جت $\frac{d_j}{D_{outlet}}$ ، فاصله نسبی جت تا تخلیه کننده $\frac{L_j}{D_{outlet}}$ ، ارتفاع نسبی جت تا سطح رسوب $\frac{h_j}{D_{outlet}}$ ، زاویه جت θ_j ، Fr_{outlet} عدد فرود جریان خروجی.

2-2- شرح مدل فیزیکی مخزن

آزمایش‌ها در آزمایشگاه تحقیقاتی هیدرولیک و سازه‌های آبی گروه مهندسی آب دانشگاه شهید باهنر کرمان در مخزنی به شکل مکعب مستطیل به طول، عرض و ارتفاع به ترتیب ۲۵۰، ۱۵۰، ۱۲۰ سانتی متر انجام گرفت. این مدل دارای سه قسمت اصلی است: 1- قسمت ورودی مدل (ناحیه آرام کننده جریان) 2- مخزن اصلی مدل و 3- ناحیه اندازه‌گیری جریان خروجی از مدل (حوضچه ته‌نشینی رسوبات). قسمتی از ضلع روبرویی و بخشی از ضلع جانبی مخزن از جنس شیشه ساخته شده، و سایر

الگوی جریان پرداختند و نتیجه گرفتند که راندمان خروج جریان گل آلود به میزان 1/5 تا 2 برابر افزایش می‌یابد. عبدی پور و همکاران (1394) به بررسی تأثیر قطر نازل و سرعت جت نیز پرداختند طبق نتایج آنها سرعت جت از بین پارامترهای متغیر بیشترین تأثیر را در رسوب‌شویی دارد.

در این تحقیق جانمایی جت منفرد نسبت به تخلیه کننده تحتانی در راستای افزایش راندمان رسوب‌شویی تحت فشار بصورت آزمایشگاهی بررسی گردیده است. نتایج این تحقیق بهترین جانمایی جت منفرد را در رسوب‌شویی تحت فشار مخازن مشخص کرده است.

2- مواد و روش‌ها

1-1- آنالیز ابعادی

هیدرولیک رسوب‌شویی تحت فشار مجزا از هیدرولیک جت می‌باشد اما میزان تخلیه رسوب از مجرا بستگی کاملی به هیدرولیک جت منفرد مستغرق دارد. بر این اساس راندمان رسوب‌شویی (V_f) به پارامترهای مشخصه زیر بستگی دارد. سرعت خروجی جت (V_j) ، قطر نازل جت (d_j) ، فاصله قرارگیری جت از تخلیه کننده‌ی تحتانی (L_j) ، زاویه نازل جت با محور افق (θ_j) ، ارتفاع ریزش جت تا سطح بستر رسوب (h_j) ، سرعت جریان خروجی (V_{outlet}) ، قطر تخلیه کننده‌ی تحتانی (D_{outlet}) ، ارتفاع رسوبات تجمع یافته پشت مخزن (h_s) ، ارتفاع آب مخزن (h_w) ، عرض مخزن (B) ، طول مخزن (L) ، چگالی رسوبات (ρ_s) ، چگالی آب (ρ_w) ، شتاب ثقل (g) ، اندازه میانه ذرات رسوبی (D_{50}) لزجت دینامیکی سیال (μ) بنابراین:

$$V_{F=} F(V_{outlet}, D_{outlet}, h_j, \rho_w, \rho_s, g, D_{50}, \mu, h_s, h_w, B, L, \theta_j, v_j, d_j) \quad (1)$$

با استفاده از تئوری باکینگهام، پارامترهای بی بعد مؤثر در رسوب‌شویی تحت فشار به صورت رابطه‌ی (2) محاسبه شد:

$$\frac{V_f}{D_{outlet}^3} = F\left(\frac{h_w}{h_s}, \frac{d_j}{D_{outlet}}, \frac{L_j}{D_{outlet}}, \frac{D_{50}}{D_{outlet}}, \frac{\rho_s}{\rho_w}, \frac{h_j}{D_{outlet}}, \theta_j, Fr_{outlet}, Re_{outlet}, Fr_j, Re_j\right) \quad (2)$$

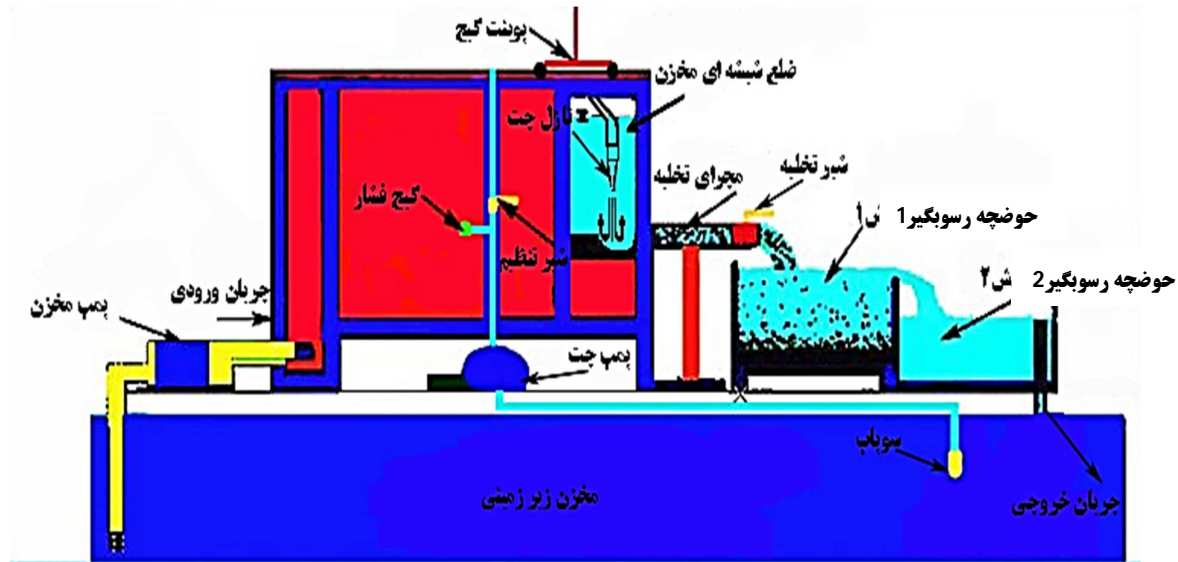
می‌باشد که در انتهای لوله رانش یک جت برنجی با قابلیت تغییر قطر دهانه خروجی نصب شده است. در کل این آزمایشات قطر جت برابر با 7/78 mm در نظر گرفته شده است (شکل 2).

رسوب مورد استفاده شامل رسوبات غیر چسبنده ماسه‌ای با اندازه متوسط 0/3 میلی متر و انحراف هندسی 2/24 می‌باشد.

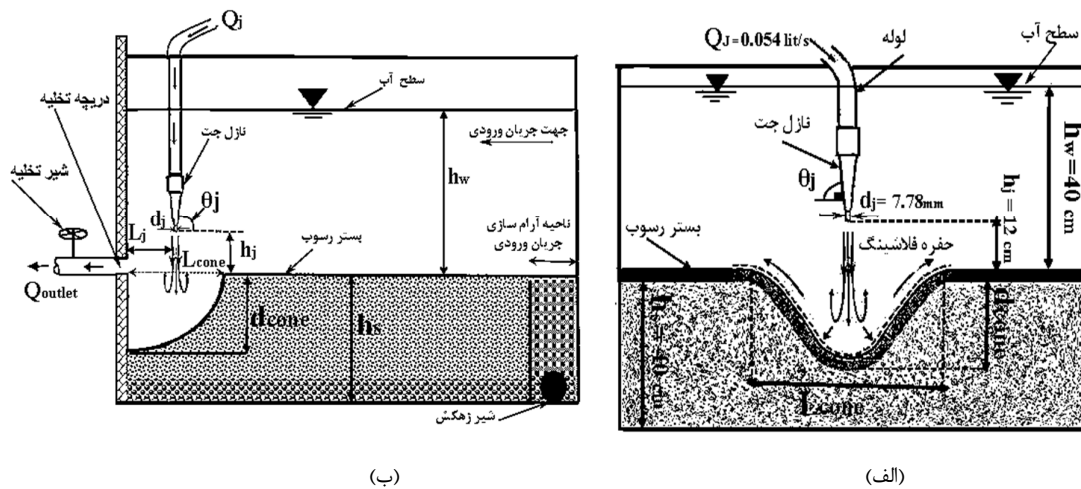
قسمت‌های مخزن از جنس ورقه‌های گالوانیزه فولادی می‌باشد. شماتیک از مجموعه تجهیزات در شکل 1 نشان داده شده است.

3-2- طراحی جت آب

اجزای سیستم جت شامل یک مخزن تامین آب، پمپ، لوله‌های مسیر مکش و رانش و فشارسنج و اتصالات



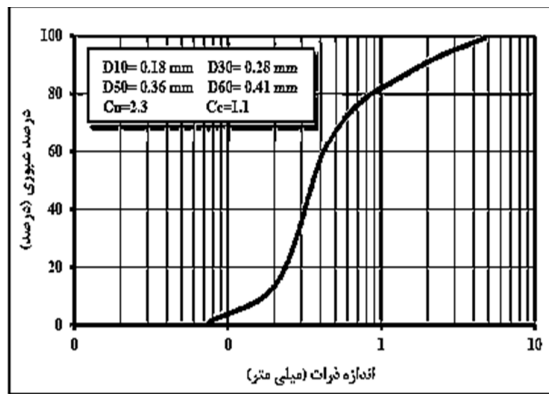
شکل 1 طرح کلی از نمای جانبی مدل آزمایشگاهی مورد استفاده



(ب)

(الف)

شکل 2 نمای توصیفی از مشخصات هیدرولیکی و هندسی جت ریزشی بر بستر رسوبی، الف- نمای عرضی جت ب- نمای طولی جت، و پارامترهای مؤثر بر فضای تحقیق



شکل 3 منحنی دانه‌بندی رسوبات مورد استفاده در آزمایش

رسوبات به ارتفاع 40 سانتی متر از کف مدل تا قسمت پایینی تخلیه کننده‌ی تحتانی (منطبق بر لبه‌ی پایینی تخلیه کننده‌ی تحتانی) انباشته شد. منحنی دانه بندی رسوب در شکل 3 نمایش داده شده است.

از یک ترازسنج آزمایشگاهی بادقت 0/1 میلی‌متر نصب شده بر روی مخزن با قابلیت حرکت در طول مخزن برای برداشت پروفیل کف مخزن استفاده گردید. پروفیل رسوبات کف قبل و بعد از آزمایش برداشت شده و حجم مخروط رسوب‌شویی با نرم افزار Surfer محاسبه گردید.

2-4- روش انجام تحقیق

در ابتدای هر آزمایش رسوبات به مخزن منتقل شده و پس تراز در کف مخزن، مخزن بصورت تدریجی تا تراز مشخص از آب پر می‌گردد سپس شیر خروجی مجرای تخلیه به میزان مشخص برای تنظیم دبی تخلیه تعیین شده باز می‌گردد. در آزمایشات جت، بعد از نصب جت در مکان مشخص، پمپ جت راه اندازی و فرایند رسوب‌شویی ادامه یافت. شکل 4. تصویری از مخزن و بستر رسوبی را نشان می‌دهد. جت به جریان کم عرض و پر سرعت گفته می‌شود.



شکل 4 تصویر آماده سازی رسوب بستر

آزمایش‌های این تحقیق به سه گروه آزمایشات راه اندازی، شاهد و جت تقسیم بندی می‌شود. در آزمایشات راه‌اندازی زمان انجام هر آزمایش، نحوه اندازه‌گیری پروفیل حفره رسوب‌شویی و مقدار متغیرها و محدوده تغییرات آنها و مقادیر ثابت آزمایشات تعیین شد. در این آزمایش‌ها زمان لازم برای انجام هر آزمایش 5 ساعت تعیین شد. در آزمایشات شاهد فرایند رسوب‌شویی بدون کاربرد جت به ازای دبی تخلیه کننده (2/5, 4/5, 6/5, 8/5) با بار آبی 40 سانتی متر بر روی مجرای تخلیه و ارتفاع رسوب 40 سانتی متر صورت پذیرفت. در آزمایشات جت فرایند رسوب‌شویی با کارکرد جت به ازای متغیرهای جت و دبی تخلیه متفاوت بررسی گردید. مشخصات هیدرولیکی آزمایشات جت در جدول 1 تنظیم شده است. در شکل 5 تصویری از برخورد جت به ذرات رسوب و معلق شدن ذرات رسوبی نشان داده شده است.



شکل 5 تصویری از برخورد جت به ذرات رسوب و معلق شدن ذرات رسوبی به جهت تخلیه از مجرای تخلیه تحتانی مخزن

جدول 1 مشخصات هیدرولیکی آزمایش‌های جت

Q_j (lit/s)	T_c (h)	L_j (cm)	θ_j	d_j (mm)	h_j (cm)	h_s (cm)	h_w (cm)	Q_{outlet} (lit/s)	نوع متغیر آزمایش
0/054	5	28,24,20,16	90	7/78	12	40	40	2/5, 4/5, 6/5, 8/5	RUN

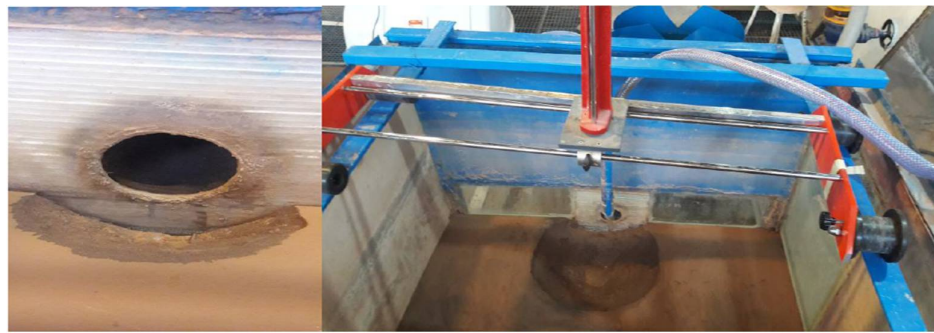
3- بحث و نتایج

جت نشان می‌دهد. همان‌طور که در نمودارهای شکل 8، مشاهده می‌شود با افزایش عدد فرود جریان خروجی، عمق نسبی مخروط رسوب‌شویی $d_{\text{cone}}/D_{\text{outlet}}$ (حداکثر عمق مخروط به قطر مجرای تخلیه) و حجم مخروط رسوب‌شویی روند افزایش خطی دارد.

در آزمایش‌های رسوب‌شویی با جت، فاصله جت از مجرای تخلیه (L_j) بعنوان مهمترین پارامتر مؤثر بر ابعاد مخروط رسوب‌شویی مشخص گردید. نتایج حاصله از انجام آزمایش‌ها در جدول 2 ذکر شده است. با توجه به این داده‌ها، افزایش فاصله جت از مجرای تخلیه منجر به کاهش میزان تخلیه رسوب می‌گردد.

بر اساس مشاهدات آزمایشگاهی، هنگامی که رسوب‌شویی هیدرولیکی تحت فشار در حالت شاهد (بدون جت) انجام می‌شود فقط قسمتی از اطراف مجرای تخلیه تحتانی و اندکی پایین‌تر از کف مجرای تخلیه رسوب تخلیه شده (در حالت بیشترین دبی تخلیه محدوده تأثیر در حدود یک برابر قطر مجرای تخلیه تحتانی بوده است) و پس از مدت کوتاهی رسوب‌شویی به حالت تعادل می‌رسد و توسعه حفره رسوب‌شویی متوقف خواهد شد. در شکل 6 تصویری از مخروط رسوب شوی پس از انجام آزمایش در حالت‌های شاهد و جت نشان داده شده است.

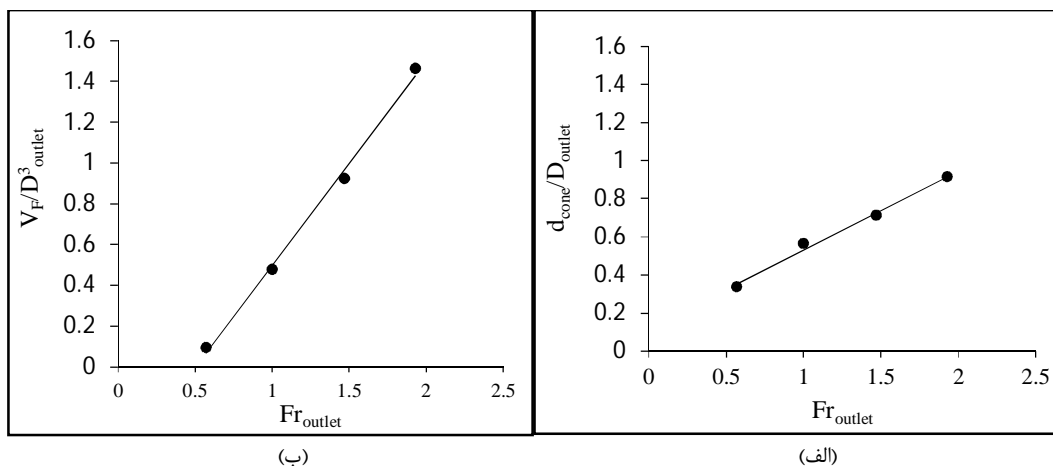
شکل 7 تغییرات نسبی مخروط رسوب‌شویی را بدون کارکرد



(ب)

(الف)

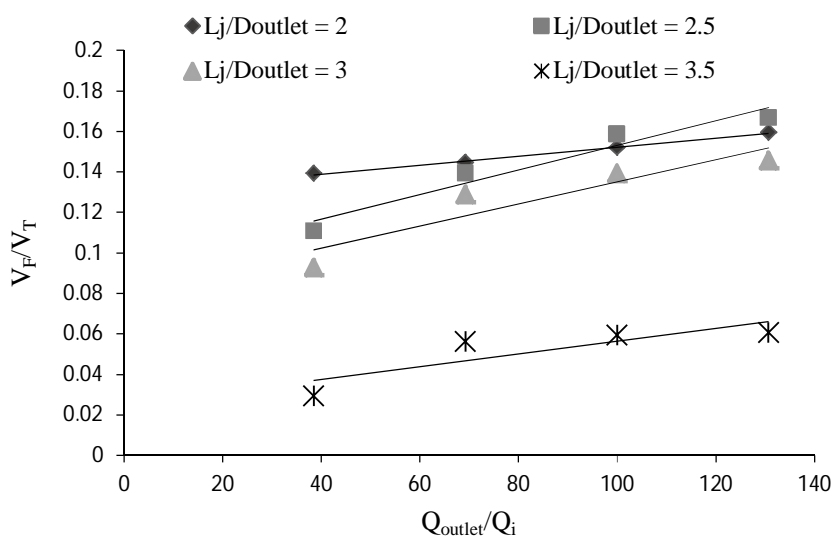
شکل 6 نمایشی از ابعاد مخروط رسوب‌شویی الف- آزمایش با حضور جت ب- در حالت شاهد



(ب)

(الف)

شکل 7 الف- تغییرات نسبی عمق مخروط رسوب‌شویی نسبت به عدد فرود مجرای تخلیه ب- تغییرات نسبی حجم مخروط رسوب‌شویی نسبت به عدد فرود جریان خروجی (در حالت شاهد)



شکل 8 نمودار بی بعد تغییرات راندمان رسوبشویی نسبت به موقعیت و دبی جت

جدول 2 پارامترهای اندازه گیری شده مربوط به ابعاد نسبی و حجم مخروط رسوبشویی در آزمایشات با حضور جت

Q_{outlet} (Lit/s)	2/5	4/5	6/5	8/5	
L_{cone}/D_{outlet}	$L_j/D_{outlet} = 2$	4/4	4/6	4/8	5/1
	$L_j/D_{outlet} = 2/5$	4/6	5/4	5/4	5/5
	$L_j/D_{outlet} = 3$	4/4	4/9	4/9	5/3
	$L_j/D_{outlet} = 3/5$	3/8	4/4	4/4	4/8
W_{cone}/D_{outlet}	$L_j/D_{outlet} = 2$	4/3	5	6/5	7/5
	$L_j/D_{outlet} = 2/5$	4/4	4/3	6/5	7
	$L_j/D_{outlet} = 3$	4	4/4	5	5/3
	$L_j/D_{outlet} = 3/5$	1/9	3/5	3/8	4/3
d_{cone}/D_{outlet}	$L_j/D_{outlet} = 2$	1/7	1/8	1/9	2/1
	$L_j/D_{outlet} = 2/5$	1/3	1/6	2	2/2
	$L_j/D_{outlet} = 3$	1/1	1/3	1/6	1/7
	$L_j/D_{outlet} = 3/5$	0/6	0/9	1	1/1
V_f (cm ³)	$L_j/D_{outlet} = 2$	83543	86719	91246	95730
	$L_j/D_{outlet} = 2/5$	66492	83505	95177	99946
	$L_j/D_{outlet} = 3$	54682	77419	83627	87358
	$L_j/D_{outlet} = 3/5$	17605	33704	35682	36371

همچنین بیشینه ابعاد حفرة رسوبشویی در جریان خروجی نسبتی (Q_{outlet}/Q_i) برابر با 157 در موقعیت نسبی $L_j/D_{outlet} = 2/5$ و کمینه ابعاد مخروط رسوبشویی در جریان خروجی نسبتی (Q_{outlet}/Q_i) برابر با 46 و در موقعیت $L_j/D_{outlet} = 3/5$ اتفاق افتاده است. شکل 9 تغییرات راندمان رسوبشویی در آزمایشات جت را نشان می‌دهد، به طور کلی راندمان رسوبشویی (حجم رسوبات خروجی V_f به حجم کل رسوبات ته نشین شده در

این در حالی است که در دی‌های نسبی (Q_{outlet}/Q_j) 120-157 در ابتدا با افزایش مشخصه هندسی بی بعد L_j/D_{outlet} از 2 به 2/5 راندمان رسوب‌شویی به میزان 1/04 برابر افزایش می‌یابد اما به تدریج همچنان با افزایش فاصله قرارگیری جت نسبت به تخلیه کننده‌ی تحتانی از 2/5 تا 3/5 راندمان رسوب‌شویی به میزان 2/74 برابر کاهش می‌یابد. بنابراین به طور کلی در یک دی نسبی (Q_{outlet}/Q_j) ثابت با افزایش فاصله قرارگیری جت نسبت به تخلیه کننده‌ی تحتانی راندمان رسوب‌شویی کاهش می‌یابد.

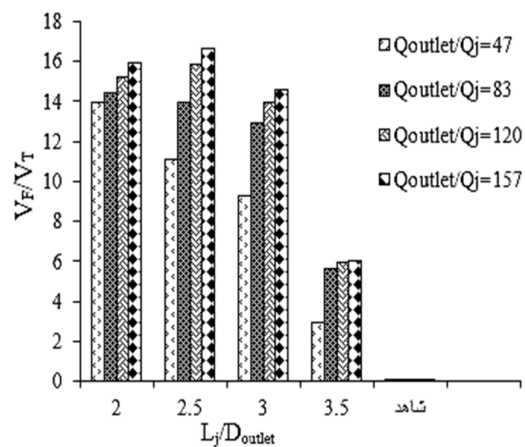
4- نتیجه‌گیری

در این مطالعه آزمایشگاهی به منظور افزایش راندمان رسوب‌شویی تحت فشار استفاده از جت منفرد مستغرق در جلوی مجرای تخلیه رسوب بررسی گردید. هدف تحقیق یافتن بهترین جانمایی جت برای افزایش راندمان رسوب‌شویی بوده است. نتایج به دست آمده تأثیر مثبت استفاده از جت را در افزایش راندمان عملیات رسوب‌شویی نشان داد.

طبق نتایج به دست آمده ارتباط بین پارامتر فاصله جت آب از مجرای تخلیه رسوب و حجم مخروط رسوب‌شویی معکوس است طبق آزمایشات انجام شده میزان حجم رسوب‌شویی در فاصله نسبی $L_j/D_{outlet} = 2$ نسبت به فاصله نسبی $L_j/D_{outlet} = 3/5$ در کمترین دی تخلیه نسبی (Q_{outlet}/Q_j) 5/6 برابر و در بیشترین دی تخلیه نسبی 2/4 برابر شده است در یک جریان خروجی نسبی (Q_{outlet}/Q_j) ثابت، هرچه عملیات رسوب‌شویی هیدرولیکی توسط جت در فاصله کمتری از تخلیه کننده‌ی تحتانی رخ دهد، ابعاد حفره رسوب‌شویی بزرگتر خواهد بود، زیرا با کاهش فاصله جت آب از مجرای تخلیه رسوب مخزن میزان سرعت و قدرت مکش دریاچه تخلیه رسوب نسبت به ذرات رسوب بیشتر شده و ذرات رسوب فرصت ته‌نشینی در داخل مخزن را پیدا نمی‌کنند و توسط گردابه‌هایی که در زیر مجرای تخلیه شکل می‌گیرند با قدرت مکش مجرای تخلیه به خارج از مخزن منتقل می‌شوند و رسوب بیشتری تخلیه می‌شود بنابراین در رسوب‌شویی تحت فشار توسط جت برای داشتن بیشینه راندمان، بهتر است جت را در موقعیت $2D_{outlet}$ تا $2/5D_{outlet}$

مخزن (V_T) در حضور جت با افزایش پارامتر مشخصه جریان Q_{outlet}/Q_j در یک L_j/D_{outlet} ثابت افزایش می‌یابد. اما با افزایش مشخصه هندسی L_j/D_{outlet} در یک Q_{outlet}/Q_j ثابت، راندمان رسوب‌شویی کاهش می‌یابد. اما با توجه به نمودار، بیشترین مقدار راندمان رسوب‌شویی $(\frac{V_F}{V_T} = 0/16)$ در موقعیت $L_j/D_{outlet} = 2/5$ در حالت D_{outlet} 2/5 رخ داده است. به طوری که در دی تخلیه نسبی ماکزیمم با افزایش فاصله نسبی جت از 2 به 3/5 راندمان رسوب‌شویی به میزان 2/63 برابر کاهش می‌یابد. که با دور شدن فاصله جت از مجرای تخلیه تحتانی، جت دیگر تأثیری بر عملکرد رسوب‌شویی نخواهد داشت و کارایی خود را از دست خواهد داد. به طوری که رسوبات معلق شده در اثر جت دوباره در اطراف حفره ایجاد شده ته‌نشین خواهند شد. زیرا با افزایش فاصله قرارگیری جت نسبت به موقعیت $2D_{outlet}$ قدرت مکش مجرای تخلیه رسوب نسبت به ذرات رسوب کمتر شده و رسوب کمتری تخلیه می‌گردد که این موضوع در نمودار شکل 8 قابل ملاحظه می‌باشد.

نمودار شکل 9 تغییرات راندمان رسوب‌شویی را نسبت به جانمایی جت نشان می‌دهد؛ بر این اساس در دی‌های نسبی (Q_{outlet}/Q_j) 46-83 با افزایش مشخصه هندسی بی بعد L_j/D_{outlet} از 2 به 3/5 راندمان رسوب‌شویی به میزان 2/57 برابر کاهش می‌یابد تا به یک مقدار تقریباً ثابتی (0/056) می‌رسد به طوری که در موقعیت $L_j/D_{outlet} = 2$ بیشترین راندمان را داشته است.



شکل 9 مقایسه تغییرات راندمان رسوب‌شویی با مشخصه هندسی L_j/D_{outlet} در حالت جت و شاهد

رسوب‌شویی تحت فشار در سدهای مخزنی با استفاده از مدل فیزیکی"، تحقیقات منابع آب ایران، سال سوم، شماره 10، ص.ص. 47-29.

توفیقی، س؛ محمد ولی سامانی، ج؛ ایوب زاده، س. ع. (1394). "رسوب‌شویی تحت فشار با توسعه مجرای تخلیه کننده تحتانی در مخزن سد"، مجله علمی پژوهشی عمران مدرس، دوره 15، شماره 2، ص.ص. 127-136.

رجبی پور، ن. (1396). "مدل سازی فیزیکی انسداد دریچه تخلیه سدها و ارائه راهکارهای برون رفت از آن"، پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید با هنر کرمان.

شهرینیا، م؛ ایوب زاده، س. ع؛ محمد ولی سامانی، ج. (1393). "بررسی تأثیر تراز رسوب مخزن بر راندمان رسوب زدایی تحت فشار"، مجله هیدرولیک، دوره 9، شماره 1، ص.ص. 36-52.

عبدی پور، ا؛ احمدی، ح؛ شمسایی، ا. (1394). "بررسی و ارزیابی اثر جت در فلاشینگ تحت فشار مخازن سدهای برق آبی"، نشریه سد و نیروگاه برق آبی، سال دوم، شماره 7، ص.ص. 45-58.

مددی، م. (1395). "بررسی آزمایشگاهی راهکارهای افزایش راندمان تخلیه رسوب از مخازن در هنگام عملیات شاس، رساله دکتری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید با هنر کرمان.

مشکاتی شه میرزادی، م. ا؛ دهقانی، ا. ا؛ امام قلی زاده، ص؛ مساعدی، ا. (1388). "تأثیر ابعاد دریچه تحتانی بر حجم و ابعاد مخروط آبشستگی در رسوب‌شویی تحت فشار"، هشتمین سمینار بین‌المللی مهندسی رودخانه، دانشگاه شهید چمران اهواز.

وزارت نیرو (1391). "راهنمای مطالعات رسوب گذاری و رسوب زدایی مخازن سدها"، نشریه 589، ص. 302.

Althaus, J.M. Cesare, G.D. Schleiss, A.J. (2015). "Sediment evacuation from reservoirs through intakes by jet-induced flow". J. Hydraulic Eng. 141, pp. 401-407.

Atkinson, E. (1996). "The feasibility of flushing sediment from reservoirs." Report OD/ITM 54, HR Wallingford, UK.

Fruchart, F. and Camenen, B. (2012). "Reservoir sedimentation: different type of flushing-friendly flushing example of Genissiat dam flushing". In ICOLD International Symposium on Dams for a changing world (pp. 6-p).

Powell, D.N. and Khan, A.A. (2012). "Scour upstream of a circular orifice under constant head". J.Hydraulic Res., 50, pp. 28-34.

نصب شود.

5- فهرست علائم

B	عرض مخزن
C_c	ضریب انحنای رسوبات
C_u	ضریب یکنواختی رسوبات
D_{50}	اندازه میانه ذرات رسوبی
Fr_j	فرود جت
Fr_{outlet}	فرود جریان خروجی
d_{cone}	عمق مخروط رسوب‌شویی
d_j	قطر نازل جت
D_{outlet}	قطر دریچه تخلیه
g	شتاب ثقل
G_s	چگالی ذرات رسوبی
h_j	ارتفاع ریزش جت تا سطح بستر
h_s	ارتفاع رسوبات تجمع یافته پشت مخزن
h_w	ارتفاع آب داخل مخزن
L	طول مخزن
L_{cone}	طول مخروط رسوب‌شویی
L_j	فاصله جت از تخلیه کننده‌ی تحتانی
Q_j	دبی جت
Q_{outlet}	دبی جریان خروجی
Re_j	رینولدز جت
Re_{outlet}	رینولدز جریان خروجی
T_e	زمان رسیدن به تعادل
V_f	رسوب‌شویی
V_j	سرعت جت
V_{outlet}	سرعت جریان خروجی
V_T	حجم کل رسوبات داخل مخزن
W_{cone}	عرض مخروط رسوب‌شویی
X, Y, Z	محورهای مختصات

علائم یونانی

θ_j	زاویه نازل جت با محور افق
μ	لزجت دینامیکی سیال
ρ_s	چگالی رسوبات
ρ_w	چگالی آب

6- منابع

امام قلی زاده، ص؛ بینا، م؛ جهانی، ح. (1386). "بررسی و ارزیابی

scour conditions”. J. Hydraulic Eng., 141(2), p.04014076.

Powell, D.N. and Khan, A.A. (2015). “Flow field upstream of an orifice under fixed bed and equilibrium