

بررسی آزمایشگاهی عوامل موثر بر میزان تخلیه رسوبات در رسوب‌شویی تحت فشار

* صمد امامقلی‌زاده

استادیار گروه آب و خاک دانشگاه صنعتی شاهرود

تاریخ دریافت: ۸۵/۹/۱۸؛ تاریخ پذیرش: ۸۷/۶/۲

چکیده

در روش رسوب‌شویی تحت فشار، مقدار حجم رسوبات تخلیه‌شونده به پارامترهای مختلفی بستگی دارد که می‌توان به عمق آب داخل مخزن، دبی جریان خروجی از تخلیه‌کننده تحتانی، اندازه و نوع رسوبات تجمع‌یافته در داخل مخزن اشاره نمود. برای بررسی پارامترهای مذکور در این پژوهش یک مدل فیزیکی به طول ۷ متر، عرض ۱/۵ و ارتفاع ۱/۵ متر در دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز ساخته و با اجرای آزمایش‌های مختلف با استفاده از ۵ دبی، ۳ ارتفاع آب و با ۳ نوع دانه‌بندی رسوب (در مجموع ۴۵ آزمایش) به بررسی و مطالعه آن پرداخته شد. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که در رسوب‌شویی تحت فشار زمانی که تخلیه‌کننده تحتانی برای رسوب‌شویی باز می‌گردد، در جلوی آن یک مخروط رسوب‌شویی تشکیل می‌گردد. ابعاد مخروط رسوب‌شویی تشکیل شده به دبی خروجی از تخلیه‌کننده تحتانی، ارتفاع آب داخل مخزن و قطر رسوبات تجمع‌یافته در داخل مخزن بستگی دارد. به طوری که نتایج اندازه‌گیری نشان می‌دهد به ازای یک دبی ثابت، کاهش ارتفاع آب داخل مخزن موجب افزایش حجم و طول مخروط رسوب‌شویی می‌گردد. همچنین به ازای یک ارتفاع آب ثابت در داخل مخزن، افزایش دبی خروجی از تخلیه‌کننده تحتانی موجب افزایش میزان حجم و طول مخروط رسوب‌شویی می‌شود. علاوه بر آن کاهش قطر رسوبات در افزایش طول و حجم مخروط رسوب‌شویی تاثیر مثبت دارد. همچنین با استفاده از آنالیز ابعادی و تجزیه و تحلیل داده‌های حاصل از اجرای آزمایش‌ها و با به‌کارگیری نرم‌افزار SPSS، رابطه‌ای به صورت رگرسیون خطی چند متغیره $(L_f^* = 10.44 + 0.842 u^* - 0.412 H_R^* - 0.149 d_{50}^* \text{ و } V_f^* = 6.884 + 0.783 u^* - 0.468 H_R^* - 0.199 d_{50}^*)$ برای پیش‌بینی حجم و طول مخروط رسوب‌شویی ارائه گردید، که بالا بودن مقدار ضریب تبیین $R^2 = 0.87$ و $R^2 = 0.90$ به ترتیب برای حجم و طول مخروط رسوب‌شویی بیانگر عملکرد مناسب رابطه‌های پیشنهاد شده می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: رسوب‌شویی تحت فشار، رسوب، بررسی آزمایشگاهی، تخلیه‌کننده‌های تحتانی، مخازن سدها

مقدمه

در چند دهه اخیر، هر چند سدسازی از نظر کمی روند افزایشی داشته، به طوری که طی سال‌های ۱۹۰۰ تا ۱۹۵۰ میلادی تعداد سدهای بزرگ دنیا از ۴۲ سد به ۵۲۶۸ سد افزایش یافته و تعداد آنها در سال ۱۹۸۶ به بیش از ۳۹۰۰۰ مورد رسیده است (وایت، ۲۰۰۰)، ولی متأسفانه اکثر این سدها در دوره بهره‌برداری با مشکل رسوب‌گذاری مواجه می‌باشند. این مشکل به‌ویژه در مناطق استوایی و نیمه‌خشک به‌علت بالا بودن بده جریان رسوب مشهودتر به نظر می‌رسد (برانت، ۲۰۰۰)، تا آنجا که بر اساس گزارش کمیته بین‌المللی سدهای بزرگ در اثر رسوب‌گذاری هر ساله به‌طور متوسط بین ۰/۵ تا ۱ درصد (وایت، ۲۰۰۰)، تقریباً معادل 50 Km^3 از حجم کل ذخیره این سدها از دست می‌رود (محمود، ۱۹۸۷). هرگونه غفلت از این موضوع به‌ویژه در کشورهای خشک و نیمه‌خشک جهان مانند ایران، تهدید جدی برای زندگی نسل‌های آینده به‌شمار می‌رود. رسوب‌گذاری در مخازن سدها تهدیدی برای از بین رفتن عمر مفید آنها است و همچنین در بهره‌برداری از آنها مشکل ایجاد می‌کند (فرانک و همکاران، ۲۰۰۸). بنابراین مدیریت پایای^۱ مخزن، ایجاب می‌نماید که حجم ذخیره مفید مخزن که به‌وسیله انباشت رسوبات از دست می‌رود از طریق روش‌های رسوب‌زدایی حفظ و بازیافت گردد. به این ترتیب می‌توان با برطرف نمودن رسوبات نهشته شده، مخزن را احیا و ظرفیت ذخیره جدیدی ایجاد نمود (بروسرس و همکاران، ۱۹۸۲). برای رفع مشکل رسوب‌گذاری در مخازن سدها می‌توان از تکنیک‌های مختلفی استفاده نمود که برای مثال می‌توان به عبوردهی جریان غلیظ^۲، سیفون کردن^۳ و رسوب‌شویی هیدرولیکی^۴ اشاره نمود. به‌کارگیری مناسب این روش‌ها مستلزم شناخت توانایی و

محدودیت‌شان می‌باشد. بنا به اظهارات کیان (۱۹۸۲) در برخی موارد ساخت یک سد جدید ممکن است بسیار اقتصادی‌تر از کاهش رسوب‌گذاری یا برطرف نمودن مواد رسوبی باشد. در رسوب‌شویی هیدرولیکی رسوباتی که از قبل در داخل مخزن نهشته شده‌اند، به‌کمک باز نمودن تخلیه‌کننده‌های تحتانی (درکف یا رقوم پایین‌تر) دفع می‌شوند. رسوب‌شویی هیدرولیکی تکنیک جدیدی نیست، سابقه استفاده از این روش به سال‌های دور برمی‌گردد. برون (۱۹۴۳) اظهار می‌دارد که قدیمی‌ترین روش رسوب‌شویی را که در کشور اسپانیا D'Rohan به‌کار برد، مربوط به قرن شانزدهم است. از رسوب‌شویی می‌توان هم برای تخلیه رسوبات چسبنده^۵ ریزدانه (وایت، ۲۰۰۰) و هم برای رسوبات غیرچسبنده^۶ درشت دانه مانند شن و ماسه^۷ استفاده کرد (سوارنو و سیاریمان، ۲۰۰۸). از لحاظ بهره‌برداری رسوب‌شویی را می‌توان به دو دسته رسوب‌شویی آزاد^۸ و رسوب‌شویی تحت فشار^۹ تقسیم‌بندی نمود:

الف- رسوب‌شویی آزاد: اگر درحین رسوب‌شویی رقوم سطح آب مخزن پائین آورده شود، به طوری که پس از مدت زمانی آب مخزن با تخلیه‌کننده‌های تحتانی تخلیه شود و شرایط جریان رودخانه‌ای در مخزن ایجاد گردد؛ به‌عبارت دیگر جریان ورودی به مخزن مستقیماً از آن خارج گردد، به آن رسوب‌شویی آزاد می‌گویند.

ب- رسوب‌شویی تحت فشار: در رسوب‌شویی تحت فشار در جریان عمل رسوب‌شویی، معمولاً تخلیه‌کننده‌ها تحتانی سد برای مدت زمان معینی باز شده و سطح آب مخزن تقریباً ثابت نگه داشته می‌شود. زمانیکه آب از طریق تخلیه‌کننده‌های تحتانی خارج می‌گردد حرکت عمومی جریان آب به طرف تخلیه‌کننده‌های تحتانی موجب ایجاد نیروی فرساینده بر روی رسوبات نهشته شده می‌گردد، لذا همراه جریان

5- Cohesive Sediment

6- Non-Cohesive Sediment

7- Sand and Gravel

8- Free Flushing

9- Pressure Flushing

1- Sustainable Management

2- Density Current Venting

3- Siphoning

4- Hydraulic Flushing

رسوب‌شویی، به عنوان پارامتر مهم و موثر مدنظر قرار گیرند.

برای مثال کاربردی در استفاده از رسوب‌شویی تحت فشار می‌توان به سد دز اشاره نمود. سد دز از جمله سدهای مهم کشور است که متاسفانه به‌علت آبخیزداری نامناسب در حوضه آبریز، با مشکل تجمع رسوب در دهانه آبرگیر نیروگاه مواجه می‌باشد. رسوب‌گذاری بیش از ۱۵ میلیون مترمکعب در سال موجب شده که ظرفیت مخزن به‌طور قابل ملاحظه‌ای، کاهش یابد. به‌طوری‌که، براساس عملیات هیدروگرافی انجام شده در سال‌های ۱۳۵۱، ۱۳۶۲، ۱۳۷۶ و ۱۳۸۱ سطح رسوبات مخزن در نزدیکی بدنه سد سالانه ۲ متر افزایش می‌یابد. در حال حاضر رقوم رسوبات در فاصله تقریبی ۱۲ متری رقوم آبرگیرهای نیروگاه قرار گرفته است (امام‌قلی‌زاده و همکاران، ۲۰۰۵).

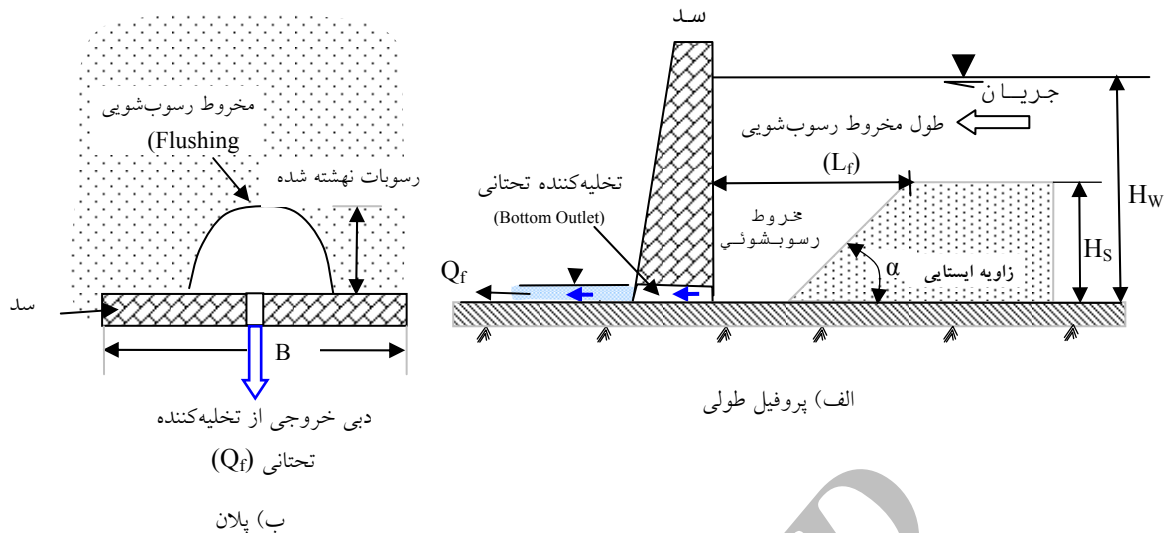
مواد و روش‌ها

الف- آنالیز ابعادی: حجم (V_f) و طول (L_f) مخروط رسوب‌شویی تشکیل‌شونده در رسوب‌شویی تحت فشار شامل، سرعت متوسط جریان آب خروجی از تخلیه‌کننده تحتانی (U_f) ارتفاع آب داخل مخزن (H_w)، ارتفاع رسوبات تجمع‌یافته در پشت مخزن (H_s)، قطر دریچه (D_G)، سرعت جریان آب خروجی از میان تخلیه‌کننده تحتانی ($u_f = \frac{Q_f}{\pi D_G^2 / 4}$)، که در آن Q_f دبی جریان آب خروجی از تخلیه‌کننده تحتانی می‌باشد، به‌دست می‌آید، شتاب ثقل (g)، چگالی رسوبات نهشته‌شده (ρ_s)، چگالی آب (ρ_w)، قطر متوسط رسوبات تجمع یافته (d_{50}) و لزجت دینامیکی سیال (μ) می‌باشد. در رابطه شماره (۱)، V_f تابعی است از:

$$V_f = f(u_f, H_w, H_s, D_G, g, \rho_s, \rho_w, d_{50}, \mu) \quad (1)$$

در رابطه شماره (۲)، L_f تابعی است از:

آب رسوبات نهشته شده از طریق تخلیه‌کننده‌های تحتانی خارج می‌گردد. در این روش پس از مدتی حفره یا چاله‌ای از آب‌شستگی به‌شکل مخروط یا قیف در جلوی دریچه تحتانی به‌وجود آمده و توسعه می‌یابد (شکل ۱). این روش معمولاً زمانی استفاده می‌شود که بخواهند رسوبات نهشته در اطراف ورودی آبرگیر را برطرف نمایند (موریس و فان، ۱۹۹۷). پدیده تشکیل مخروط رسوب‌شویی در رسوب‌شویی تحت فشار به‌وسیله محققانی مانند وایت و بتس (۱۹۸۴)، شن و همکاران (۱۹۹۳)، فانگ و کائو (۱۹۹۶)، اسپچورلین و همکاران (۲۰۰۴) گزارش شده است. مدت زمان لازم برای تشکیل کامل حفره آب‌شستگی و به‌پایداری رسیدن آن به نوع رسوبات، تراز آب مخزن و ارتفاع رسوبات تجمع‌یافته بالای تخلیه‌کننده تحتانی بستگی دارد و ممکن است از چند ساعت تا چند روز باشد. برای مثال آزمایش‌های انجام شده بر روی مدل مخزن جببدم^۱ در کشور سوئیس نشان داد که حفره آب‌شستگی پس از مدت زمان ۲ تا ۳ ساعت به حالت تعادل می‌رسد (موریس و فان، ۱۹۹۷). غلامی (۱۹۹۸) مطالعه آزمایشگاهی به‌منظور بررسی پارامترهای موثر در عملکرد مجرای رسوب‌شویی در سدهای انحرافی انجام داد. وی برای دست یافتن به اهداف تحقیق از رسوبات غیرچسبنده بین الک‌هایی با قطر مش ۰/۲۵ میلی‌متر و ۰/۸۵ میلی‌متر استفاده نمود. همچنین از سه دریچه به عرض‌های ۷، ۱۵ و ۲۰ سانتی‌متر و دو ارتفاع بازشدگی ۱۳ و ۸/۶ سانتی‌متر و دبی‌های ۱۲، ۱۸ و ۲۸ لیتر در ثانیه استفاده کرد. نتایج آزمایش‌های وی نشان داد که در جلوی تخلیه‌کننده تحتانی مخروط رسوب‌شویی تشکیل می‌گردد و گسترش آن در جهت طولی و عرضی مساوی هم بوده و به شکل یک نیم‌دایره می‌باشد. همچنین افزایش بازشدگی دریچه و افزایش عرض مجرای رسوب‌شویی اثر قابل ملاحظه‌ای در افزایش حجم رسوبات تخلیه‌شده دارد و لذا بایستی در طراحی



شکل ۱ - شماتیکی از مخروط رسوب شویی در سیستم رسوب شویی تحت فشار: (الف) پروفیل طولی (ب) پلان.

$$\frac{L_f}{D_G} = f\left(\frac{u_f}{\sqrt{g(G_s - 1)D_G}}, \frac{H_w}{H_s}, \frac{d_{50}}{D_G}\right) \quad (6)$$

در این تحقیق به مطالعه اثر پارامترهای دبی جریان آب خروجی از تخلیه کننده تحتانی، عمق آب داخل مخزن و قطر اندازه رسوب بر طول و حجم مخروط رسوب شویی پرداخته می شود.

ب- شرح مدل فیزیکی: برای شناخت پدیده رسوب شویی تحت فشار و رسیدن به اهداف این تحقیق به کارگیری مدل فیزیکی در نظر گرفته شده است. مدل در نظر گرفته شده در آزمایشگاه هیدرولیک دانشکده مهندسی علوم آب دانشگاه شهید چمران اهواز ساخته شد. مدل به شکل مکعب مستطیل با طول ۷ متر، عرض ۱/۵ متر و ارتفاع ۱/۵ متر ساخته شد. مدل دارای دو قسمت اصلی می باشد: ۱- قسمت ورودی مدل (ناحیه آرام کننده جریان) ۲- مخزن مدل ۳- حوضچه خروجی آب و رسوبات (شکل ۲). قسمت ورودی مدل دارای ابعادی به طول ۱ متر، عمق ۱/۵ متر و عرض ۱/۵ متر است. در این قسمت تلاطم جریان ورودی به مدل کنترل شده و جریان به صورت آرام وارد قسمت اصلی مدل (مخزن) می گردد. همچنین به منظور کنترل ارتفاع آب داخل مخزن، در قسمت ورودی مدل از سرریز استفاده گردید. زمانی که ارتفاع آب داخل مخزن از

$$L_f = f(u_f, H_w, H_s, D_G, g, \rho_s, \rho_w, d_{50}, \mu) \quad (2)$$

به کمک آنالیز ابعادی پارامترهای بدون بعد زیر حاصل می شوند:

$$\frac{V_f^{1/3}}{D_G} = f\left(\frac{u_f}{\sqrt{g(G_s - 1)D_G}}, \frac{H_w}{D_G}, \frac{H_s}{D_G}, \frac{d_{50}}{D_G}, \frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_w}, \frac{\rho_w u_f D_G}{\mu}\right) \quad (3)$$

$$\frac{L_f}{D_G} = f\left(\frac{u_f}{\sqrt{g(G_s - 1)D_G}}, \frac{H_w}{D_G}, \frac{H_s}{D_G}, \frac{d_{50}}{D_G}, \frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_w}, \frac{\rho_w u_f D_G}{\mu}\right) \quad (4)$$

در این معادله، G_s چگالی ذرات جامد رسوب می باشد.

در این تحقیق حداقل مقدار پارامتر بدون بعد عدد

رینولدز^۱ که نشان دهنده نیروی لزجت می باشد، برابر با

$$\frac{\rho_w u_f D_G}{\mu} = 25478$$

و عدم تاثیر نیروی لزجت در این تحقیق می باشد.

همچنین با ترکیب دو پارامتر بدون بعد $\frac{H_w}{D_G}$ و $\frac{H_s}{D_G}$

می توان پارامتر $\frac{H_w}{H_s}$ را در رابطه های ۳ و ۴ جایگزین

نمود. همچنین با توجه به ثابت بودن مقدار پارامتر بدون

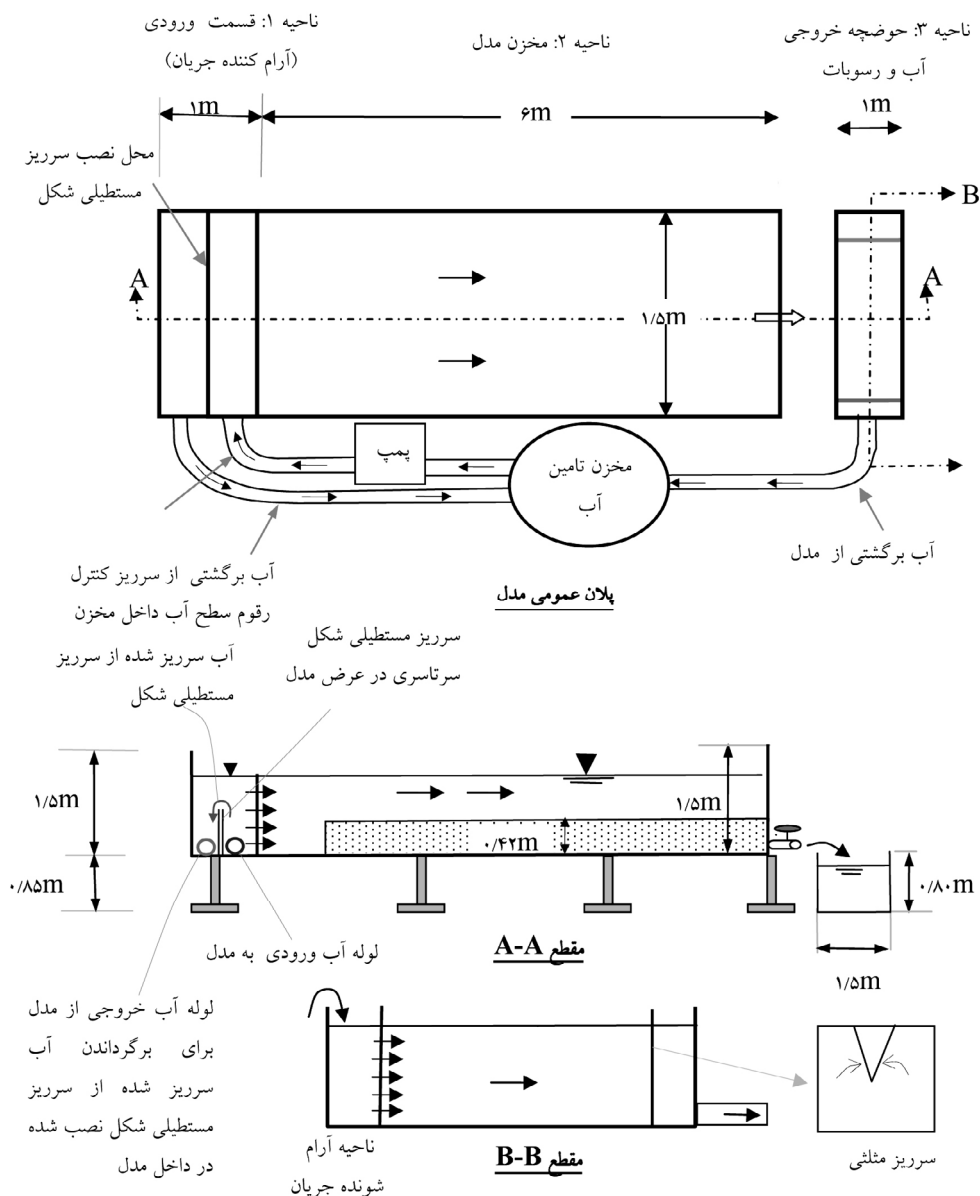
$$\text{بعد } \Pi_6 = \frac{\rho_s - \rho_w}{\rho_w} = 1.65 \text{ بنابراین خواهیم داشت:}$$

$$\frac{V_f^{1/3}}{D_G} = f\left(\frac{u_f}{\sqrt{g(G_s - 1)D_G}}, \frac{H_w}{H_s}, \frac{d_{50}}{D_G}\right) \quad (5)$$

مستطیل با ابعادی به طول ۱/۵ متر، عرض ۱ متر و ارتفاع ۰/۸۰ متر می‌شد که در پایین‌دست مدل قرار داده شده بود. رسوبات خروجی از تخلیه‌کننده تحتانی در داخل آن ته‌نشین شده و آب خروجی از آن به وسیله یک لوله ۵ اینچ به مخزن اصلی تامین آب برگشت داده می‌شد. برای اندازه‌گیری جریان خروجی از تخلیه‌کننده تحتانی از سرریز ۲۶ درجه استفاده گردید. شکل ۲ پلان مدل، پروفیل طولی و مقاطع عرضی همراه با جزئیات مربوط را نشان می‌دهد.

ارتفاع آب مورد نظر برای انجام آزمایش بیشتر شود، آب مازاد ورودی سرریز شده و به وسیله یک لوله ۳ اینچی به مخزن اصلی تامین آب برگشت داده می‌شد (شکل ۲ جانمایی سرریز را در مدل نشان می‌دهد). قسمت مخزن مدل (ناحیه ۲) دارای طول ۶ متر، ارتفاع ۱/۵ متر و عرض ۱/۵ متر بود.

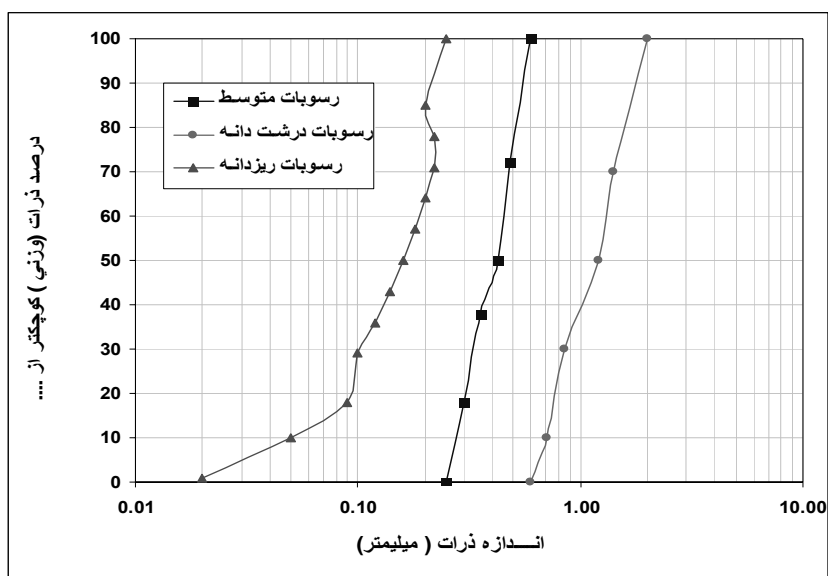
به منظور رسوب‌شویی، یک تخلیه‌کننده با مقطع دایره‌ای شکل (شیر ۲ اینچ) در مرکز مقطع خروجی با فاصله ۱۰ سانتی‌متر از کف قرار داده شد. رسوبات پس از خروج از تخلیه‌کننده تحتانی وارد مخزن مکعب



شکل ۲- پلان مدل، پروفیل طولی و مقاطع عرضی همراه با جزئیات مربوط.

یکنواختی ذرات، مصالح با روش الک کردن به دست آمد (شکل ۳). رسوبات مذکور به ترتیب دارای قطر متوسط ۱/۲، ۰/۴۲ و ۰/۲۷ میلی متر و ضریب یکنواختی کوچکتر از ۱/۵ بودند.

ج- رسوبات مورد استفاده و دانه بندی آن: برای انجام دادن آزمایش ها از رسوبات ماسه ای با سه نوع دانه بندی استفاده گردید: ۱- ماسه درشت (بین الک شماره ۱۰ و ۳۰) ۲- ماسه متوسط (بین الک شماره ۳۰ و ۶۰) ۳- ماسه ریز (ذرات ریزتر از الک شماره ۶۰). برای



شکل ۳- منحنی دانه بندی ذرات رسوبی مورد استفاده (درشت دانه، متوسط و ریزدانه).

و ۱۲۰ سانتی متر و ۱، ۳، ۴/۵، ۶ و ۸ لیتر در ثانیه. در مجموع برای هر دانه بندی رسوب ۱۵ آزمایش و در کل ۴۵ آزمایش انجام گرفت (جدول ۱).

د- چگونگی انجام آزمایش: برای دستیابی به اهداف این تحقیق آزمایش ها با سه نوع رسوب، سه ارتفاع آب و پنج دبی مختلف انجام گردید. سه ارتفاع آب و پنج دبی در نظر گرفته شده به ترتیب عبارتند از ۵۲، ۹۰

جدول ۱- تعداد آزمایش های در نظر گرفته شده و دیگر اطلاعات مربوط به هر آزمایش.

تعداد آزمایش در هر حالت	قطر تخلیه کننده تحتانی (سانتی متر)	ضخامت رسوب در مدل (سانتی متر)	تعداد ارتفاع آب مخزن	تعداد دبی ها	نوع رسوب	آزمایش ها در نظر گرفته شده
۱۵	۵	۴۲	۳	۵	مصالح نوع ۱	حالت ۱
۱۵	۵	۴۲	۳	۵	مصالح نوع ۲	حالت ۲
۱۵	۵	۴۲	۳	۵	مصالح نوع ۳	حالت ۳

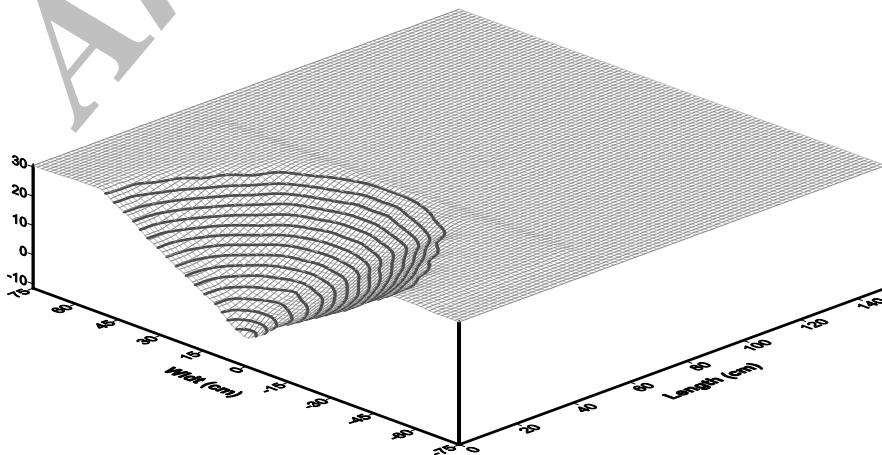
مقطع مستطیلی شکل به ابعاد ۵×۵ سانتی متر به آنها ضربات منظمی وارد می شد. ریختن رسوبات تا زمانی که ارتفاع نهایی آن در داخل مدل به ۴۲ سانتی متر برسد ادامه می یافت. در تمامی آزمایش ها این عمل به طور یکسان انجام می گردید تا تراکم رسوبات یکنواخت

نحوه انجام آزمایش ها به این صورت بود که در هر مرحله ابتدا رسوبات به صورت لایه لایه در داخل مدل ریخته می شد و برای اینکه در میان رسوبات هوا باقی نماند، ابتدا مقداری آب و سپس رسوبات ریخته می شد. بعد از ریختن هر لایه رسوب، با یک قطعه چوب با

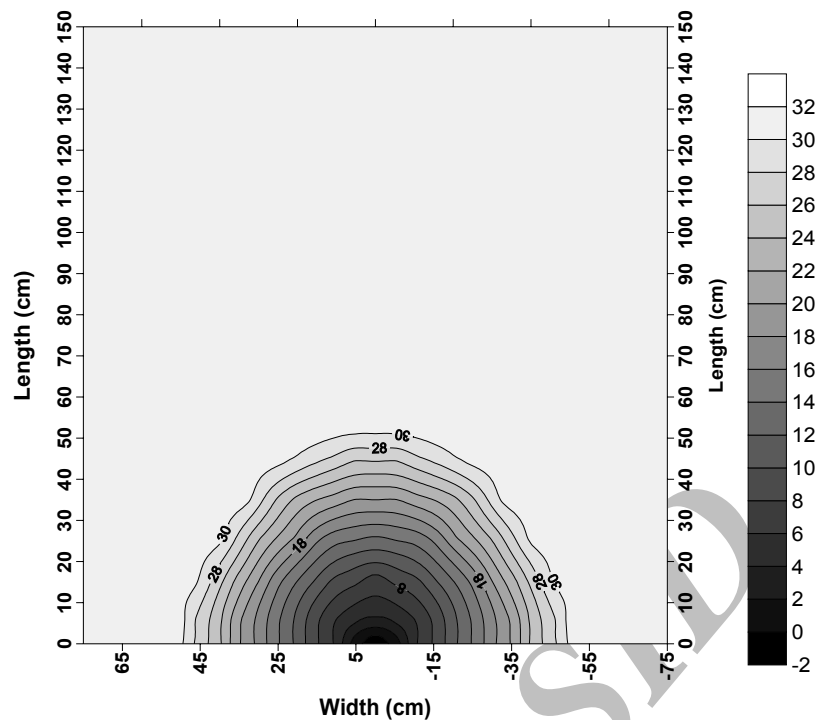
باشد. نتایج حاصل از اندازه‌گیری نسبت پوکی ($e = \frac{V_V}{V_S}$)

که در آن V_V حجم خلل و فرج و V_S حجم ذرات جامد رسوب می‌باشد) برای سه نوع رسوب مورد استفاده نشان می‌دهد که مقدار آنها تقریباً مساوی یکدیگر و برابر با ۰/۶ بوده است. پس از تنظیم ارتفاع آب مورد نظر در داخل مدل با استفاده از سرریز و شیر کنترل ورودی، تخلیه‌کننده انتهایی باز می‌گردد. در شروع آزمایش، زمانی که تخلیه‌کننده تحتانی باز می‌شد، رسوبات تحت فشار آب همراه جریان آب با غلظت خیلی بالا از دریچه‌ها خارج شده و با گذشت زمان غلظت خروجی کاهش می‌یافت. تمام آزمایش‌ها تا زمانی که حفره رسوب‌شویی به تعادل برسد (زمان تعادل زمانی است که مقدار غلظت رسوبات خروجی از تخلیه‌کننده ناچیز باشد) ادامه می‌یافت، به طوری که در انتهای آزمایش غلظت خروجی از تخلیه‌کننده ناچیز بود؛ مدت زمان انجام آزمایش برای شکل‌گیری مخروط رسوب‌شویی به دبی جریان خروجی و ارتفاع آب داخل مخزن بستگی دارد. در تمامی آزمایش‌های انجام شده در این تحقیق مقدار عمده رسوبات معمولاً بعد از ۱۰ تا ۱۵ دقیقه از شروع آزمایش از داخل مخزن خالی می‌گردد، ولی در جهت اطمینان تمامی آزمایش‌ها حدوداً به مدت یک ساعت انجام می‌گردد. پس از پایان یافتن آزمایش، برای اینکه شکل مخروط رسوب‌شویی تغییر نکند و

به صورت نهایی باقی بماند، ابتدا دریچه تخلیه رسوبات بسته می‌شد. برای تخلیه آب داخل مخزن از یک شیر ۳ اینچی که بدین منظور در قسمت ورودی مدل در نظر گرفته شده بود استفاده می‌گردید. آب داخل مخزن تا ارتفاع هم تراز رسوبات تخلیه می‌گردید و فقط آب داخل مخروط رسوب‌شویی باقی می‌ماند. سپس برای تخلیه آب داخل مخروط رسوب‌شویی، شیر تخلیه‌کننده انتهایی خیلی آرام باز می‌شد تا آب داخل مخروط بدون اینکه شکل مخروط تغییر کند. بسته به حجم مخروط این کار ممکن بود ساعت‌ها طول بکشد. تخلیه می‌گردید پس از تخلیه کامل مخروط، با استفاده از ارتفاع‌سنج نقطه‌ای با دقت یک میلی‌متر برداشت مقاطع عرضی در مدل انجام و سپس به منظور به دست آوردن حجم مخروط رسوب‌شویی در گزینه‌های مختلف، از نرم افزار Surfer 8.05 استفاده گردید. با استفاده از این نرم افزار و معرفی مقاطع عرضی برداشت شده حجم رسوبات شسته شده بدست آمد. شکل ۴ (الف و ب) به ترتیب نمای سه بعدی از مخروط رسوب‌شویی تشکیل شده در جلوی تخلیه‌کننده تحتانی و همچنین توپوگرافی از بستر رسوبات با دانه‌بندی متوسط (بین الگ شماره ۳۰ و ۶۰) را پس از انجام آزمایش با دبی ۶ لیتر در ثانیه و ارتفاع ۱۲۰ سانتی‌متر نشان می‌دهد.



شکل ۴ الف- نمای سه بعدی از بستر رسوبات با دانه‌بندی متوسط (بین الگ شماره ۳۰ و ۶۰) پس از انجام آزمایش با دبی ۶ لیتر در ثانیه و ارتفاع آب ۱۲۰ سانتی‌متر.



شکل ۴ ب- توپوگرافی بستر رسوبات با دانه بندی متوسط (بین الک ۳۰ و ۶۰) پس از انجام آزمایش با دبی ۶ لیتر در ثانیه و ارتفاع آب ۱۲۰ سانتی متر.

تخلیه کننده تحتانی برابر یک لیتر در ثانیه و ارتفاع آب داخل مخزن ۱۲۰ سانتی متر بود. همچنین مقدار حداکثر طول مخروط رسوبشویی مربوط حالتی بود که رسوبات مورد استفاده از نوع ریزدانه، مقدار دبی خروجی از تخلیه کننده تحتانی برابر ۸ لیتر در ثانیه و ارتفاع آب داخل مخزن ۵۲ سانتی متر بود.

حجم و طول مخروط رسوبشویی به عوامل دبی خروجی از تخلیه کننده تحتانی، ارتفاع آب داخل مخزن و قطر رسوبات بستگی دارد که تأثیر هر کدام از آنها در ادامه بررسی شده است:

الف- تأثیر دبی خروجی از تخلیه کننده تحتانی بر روی حجم و طول مخروط رسوبشویی:

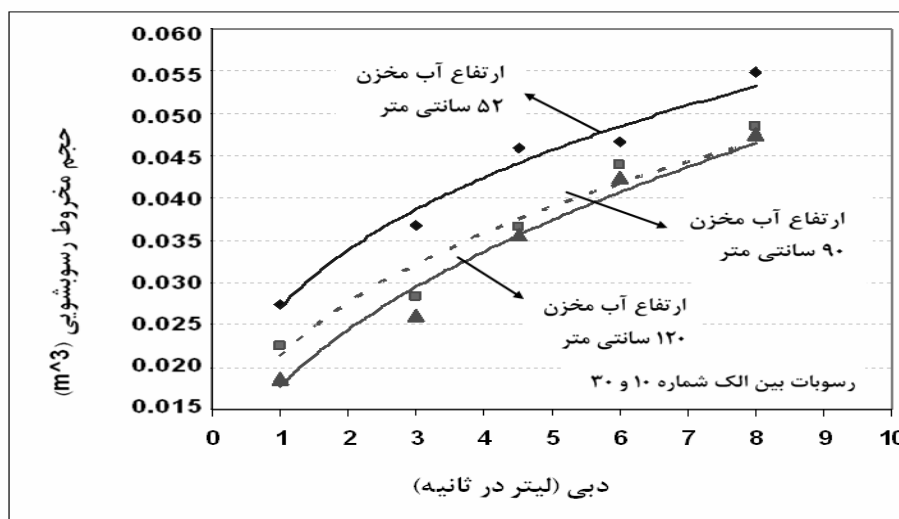
الف- ۱- ارتباط بین حجم مخروط رسوبشویی و دبی خروجی از تخلیه کننده تحتانی: زمانی که دریاچه های تحتانی برای رسوبشویی بازمی گردد، رسوبات نهشته شده تحت فشار آب همراه آب خروجی از تخلیه کننده خارج می شوند. در این حالت فرسایش

نتایج و بحث

آزمایش های انجام شده با ۵ دبی خروجی، ۳ ارتفاع آب، و ۳ قطر اندازه رسوب نشان می دهد، زمانی که تخلیه کننده تحتانی برای رسوبشویی باز می گردید، در تمامی آزمایش ها در داخل مخزن و در مجاورت تخلیه کننده مخروط رسوبشویی تشکیل می شد و تا زمانی که ارتفاع آب مخزن بالاتر از ارتفاع رسوبات بود مخروط بعد از مدتی به تعادل رسیده و پیشروی آن متوقف می شد. پیش از این تشکیل مخروط رسوبشویی را در رسوبشویی تحت فشار محققانی مانند وایت و بتس (۱۹۸۴)، شن و همکاران (۱۹۹۳)، موریس و فان (۱۹۷۷) فانک و کائو (۱۹۹۶) و اسچورلین و همکاران (۲۰۰۴) نیز گزارش داده بودند. حداقل و حداکثر گسترش طولی مخروط رسوبشویی (L_r) به ترتیب ۴۴ و ۶۳/۵ سانتی متر اندازه گیری شد. مقدار حداقل طول مخروط رسوبشویی در شرایطی ایجاد می شد که رسوبات مورد استفاده از نوع درشت دانه، مقدار دبی خروجی از

رسوبات نوع ۱: در این حالت برای انجام دادن آزمایش‌ها از رسوبات درشت‌تر با دانه‌بندی بین الک شماره ۱۰ و ۳۰ استفاده گردید. پس از انجام آزمایش‌ها به‌گونه‌ای که در مراحل قبل شرح داده شد، با استفاده از داده‌های به‌دست آمده، رابطه بین دبی و حجم رسوب‌شویی در سه ارتفاع آب ۵۲، ۹۰ و ۱۲۰ سانتی‌متر بررسی شده که نتایج آن در شکل ۵ آمده است.

پس‌رونده^۱ اتفاق می‌افتد که از نزدیکی دریچه شروع شده و به سمت بالادست مخزن حرکت می‌کند. ولی از آنجایی که ارتفاع آب مخزن ثابت است، میزان پیشروی تا حدی ادامه یافته و پس از آن متوقف می‌گردد. به‌منظور بررسی ارتباط بین حجم رسوب‌شویی و دبی تخلیه‌کننده تحتانی آزمایش‌ها به‌صورتی که قبلاً شرح داده شده‌اند با سه ارتفاع آب ۵۲، ۹۰ و ۱۲۰ سانتی‌متر و هر یک با دبی‌های ۳،۱، ۶،۴/۵ و ۸ لیتر در ثانیه انجام گرفت. نتایج به‌دست آمده برای هر نوع دانه‌بندی و ارتفاع آب مخزن به تفکیک در ادامه آمده است.



شکل ۵ - رابطه بین حجم مخروط رسوب‌شویی و دبی تخلیه‌کننده تحتانی در ارتفاع آب‌های ۵۲، ۹۰ و ۱۲۰ سانتی‌متر (مصالح نوع ۱).

به طوری که در شکل ۵ نشان داده شده است، می توان برای حالتی که دانه بندی رسوبات از نوع ماسه درشت (بین الک ۱۰ و ۳۰) باشد، بین حجم رسوب شویی (V_f) و دبی خروجی از تخلیه کننده تحتانی (Q_f) در سه ارتفاع آب مخزن ۵۲، ۹۰ و ۱۲۰ سانتی متر، روابط همبستگی زیر را برآزش نمود:

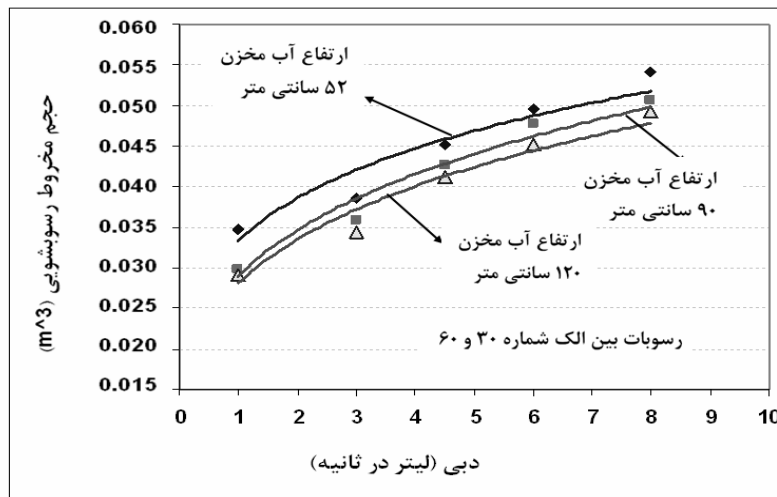
ارتفاع مخزن ۵۲ سانتی متر

$$V_f = 27026 Q_f^{0.3256}, R^2 = 0.9757 \quad (1)$$

ارتفاع مخزن ۹۰ سانتی متر

$$V_f = 21226 Q_f^{0.3773}, R^2 = 0.9404 \quad (2)$$

ارتفاع مخزن ۱۲۰ سانتی متر
 $V_f = 17713 Q_f^{0.4637}, R^2 = 0.9665 \quad (3)$
 رسوبات نوع ۲: در این حالت برای انجام دادن آزمایشها از ماسه متوسط با دانه بندی بین الک شماره ۳۰ و ۶۰ استفاده گردید. با استفاده از داده های به دست آمده رابطه بین دبی رسوب شویی و حجم رسوب شویی در سه ارتفاع آب ۵۲، ۹۰ و ۱۲۰ سانتی متر در شکل ۶ آمده است.



شکل ۶- رابطه بین حجم مخروط رسوب شویی و دبی تخلیه کننده تحتانی در ارتفاع آب های ۵۲، ۹۰ و ۱۲۰ سانتی متر (مصلح نوع).

همان گونه که در شکل ۶ نشان داده شده است در حالتی که دانه بندی رسوبات از نوع ماسه متوسط (بین الک شماره ۳۰ و ۶۰) باشد، می توان برای سه ارتفاع آب مخزن ۵۲، ۹۰ و ۱۲۰ سانتی متر بین حجم رسوب شویی و دبی روابط همبستگی زیر را برآزش نمود.

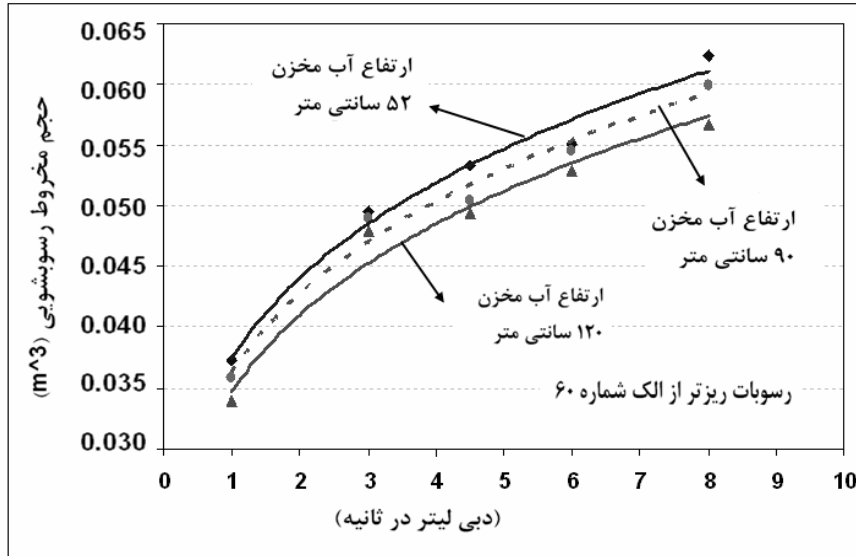
ارتفاع آب مخزن ۵۲ سانتی متر

$$V_f = 33352 Q_f^{0.2115}, R^2 = 0.9079 \quad (4)$$

ارتفاع آب مخزن ۹۰ سانتی متر

$$V_f = 33352 Q_f^{0.2115}, R^2 = 0.9079 \quad (5)$$

ارتفاع آب مخزن ۱۲۰ سانتی متر
 $V_f = 28938 Q_f^{0.2611}, R^2 = 0.9589 \quad (6)$
 رسوبات نوع ۳: در این حالت برای اجرای آزمایشها از ماسه ریز (با دانه بندی ریزتر از الک شماره ۶۰) استفاده گردید. رابطه بین دبی رسوب شویی و حجم رسوب شویی در سه ارتفاع آب مخزن ۵۲، ۹۰ و ۱۲۰ سانتی متر آب در شکل ۷ آمده است.



شکل ۷ - رابطه بین حجم رسوب شویی و دبی تخلیه کننده تحتانی در ارتفاع آب های ۵۲، ۹۰ و ۱۲۰ سانتی متر (مصلح نوع ۳).

می باشد (شکل ۱). چراکه با دانستن حد تاثیر رسوب شویی می توان محدوده شعاع تاثیر مخروط رسوب شویی را به دست آورد و از چگونگی گسترش طولی مخروط تشکیل شده در جلوی تخلیه کننده تحتانی آگاهی یافت. بدین منظور در پایان هر آزمایش طول مخروط رسوب شویی اندازه گیری می شد.

برای بررسی ارتباط بین حد رسوب شویی، دبی تخلیه کننده تحتانی، ارتفاع آب و دانه بندی رسوبات آزمایش ها به روشی که قبلا شرح داده شده اند با سه ارتفاع آب ۵۲، ۹۰ و ۱۲۰ سانتی متر و هر کدام با دبی های ۱، ۳، ۴/۵، ۶ و ۸ لیتر در ثانیه انجام گرفت. با استفاده از داده های به دست آمده، رابطه بین دبی رسوب شویی و حد تأثیر رسوب شویی برای هر دانه بندی بررسی شده که نتایج به دست آمده به تفکیک در شکل های ۸ تا ۱۰ آمده است.

با توجه به شکل ۷ و با استفاده از داده های به دست آمده بین حجم رسوب شویی (V_f) و دبی خروجی از تخلیه کننده تحتانی (Q_f) در سه ارتفاع آب مخزن ۵۲، ۹۰ و ۱۲۰ سانتی متر می توان روابط همبستگی زیر را برآزش نمود:

ارتفاع مخزن ۵۲ سانتی متر

$$V_f = 37444 Q_f^{0.2356}, R^2 = 0.9856 \quad (7)$$

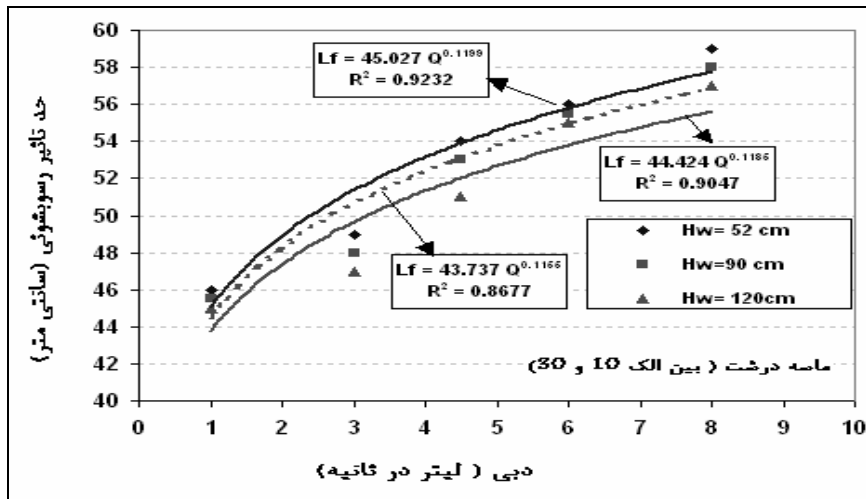
ارتفاع مخزن ۹۰ سانتی متر

$$V_f = 36272 Q_f^{0.236}, R^2 = 0.9811 \quad (8)$$

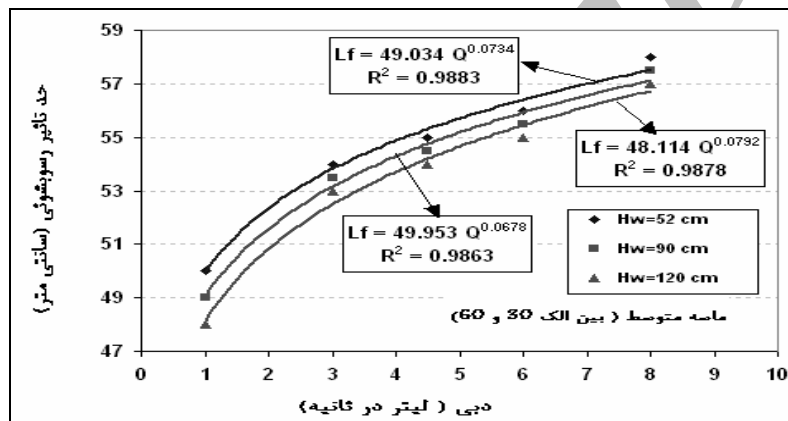
ارتفاع مخزن ۱۲۰ سانتی متر

$$V_f = 34706 Q_f^{0.2417}, R^2 = 0.9724 \quad (9)$$

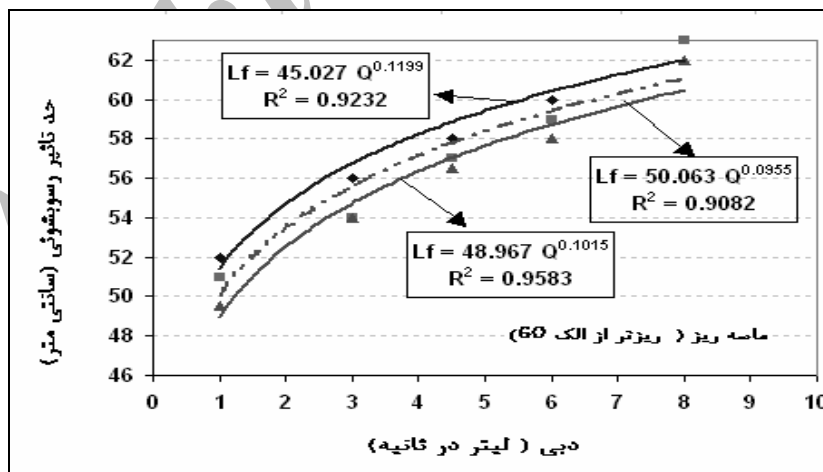
الف-۲- ارتباط بین طول مخروط رسوب شویی و دبی خروجی از تخلیه کننده تحتانی: در رسوب شویی تحت فشار علاوه بر دانستن حجم رسوب شویی، دانستن مقدار حد رسوب شویی (L_f) نیز پارامتر مفیدی



شکل ۸- رابطه بین حد تاثیر رسوب شویی و دبی تخلیه کننده تحتانی در ارتفاع آب های ۰.۵۲، ۹۰ و ۱۲۰ سانتی متر برای رسوبات نوع ۱ (رسوبات با دانه بندی بین الگ شماره ۱۰ و ۳۰).



شکل ۹- رابطه بین حد تاثیر رسوب شویی و دبی تخلیه کننده تحتانی در ارتفاع آب های ۰.۵۲، ۹۰ و ۱۲۰ سانتی متر برای رسوبات نوع ۲ (رسوبات با دانه بندی بین الگ شماره ۳۰ و ۶۰).



شکل ۱۰- رابطه بین حد تاثیر رسوب شویی و دبی تخلیه کننده تحتانی در ارتفاع آب های ۰.۵۲، ۹۰ و ۱۲۰ سانتی متر برای رسوبات نوع ۳ (رسوبات با دانه بندی بین الگ شماره ۳۰ و ۶۰).

ثابت در مخزن، دبی خروجی از تخلیه کننده تحتانی افزایش می یابد، میزان کارایی رسوب شویی (از لحاظ

همان طوری که شکل های ۵، ۶ و ۷ نشان می دهد، در رسوب شویی تحت فشار زمانی که به ازای یک ارتفاع آب

بنابراین در رسوب‌شویی تحت فشار برای افزایش حجم رسوب‌شویی بهتر است تا جایی که شرایط بهره‌برداری مخزن اجازه می‌دهد، ارتفاع آب مخزن را کاهش داد. به عبارت بهتر توصیه می‌شود در مخزنی که امکان انجام رسوب‌شویی آزاد وجود ندارد، رسوب‌شویی تحت فشار، زمانی صورت گیرد که رقوم سطح آب مخزن در پایین‌ترین حد بهره‌برداری باشد. بنابراین به عنوان یک نتیجه کلی می‌توان گفت که در استفاده از رسوب‌شویی تحت فشار باید تراز آب مخزن تا حد ممکن پایین باشد و یا اینکه زمان انجام عملیات رسوب‌شویی مصادف با رسیدن رقوم سطح آب به حداقل‌تر از بهره‌برداری مخزن انتخاب شود و ضمناً در حین عملیات، تخلیه‌کننده‌های تحتانی با حداکثر ظرفیت عمل کنند.

ج- تأثیر دانه‌بندی رسوبات بر روی حجم و طول مخروط رسوب‌شویی: همان‌طور که قبلاً ذکر شد برای اجرای آزمایش‌ها از سه نوع دانه‌بندی استفاده گردید: ۱- ماسه درشت (بین الک ۱۰ و ۳۰) ۲- ماسه متوسط (بین الک ۳۰ و ۶۰) ۳- ماسه ریز (ذرات ریزتر از الک ۶۰).

نتایج حاصل از انجام آزمایش‌ها نشان می‌دهد زمانی که دانه‌بندی از حالت ماسه درشت به ماسه متوسط و سپس به ماسه ریزدانه تغییر پیدا کرد، مقدار حجم و طول رسوب‌شویی افزایش یافت. به طوری که مقایسه نتایج به دست آمده نشان می‌دهد تغییر دانه‌بندی از رسوبات ماسه ریز به ماسه متوسط موجب کاهش حجم و طول رسوب‌شویی به طور متوسط به ترتیب به مقدار ۱۶/۱۲ و ۵ درصد گردید. همچنین تغییر دانه‌بندی از حالت ماسه ریز به ماسه درشت موجب کاهش حجم و طول رسوب‌شویی به طور متوسط به ترتیب به مقدار ۲۵/۰۲ و ۸/۷۳ درصد شد.

حجم رسوبات تخلیه‌شده و طول موثر رسوب‌شویی) نیز افزایش می‌یابد. به طوری که وقتی دبی خروجی از تخلیه‌کننده تحتانی از ۱ به ۸ لیتر در ثانیه افزایش یافت، به طور متوسط حجم رسوب‌شویی برای سه ارتفاع آب مخزن آزمایش‌شده برای رسوبات درشت‌دانه (بین الک شماره ۱۰ و ۳۰) ۱۲۳/۴ درصد، برای رسوبات متوسط (بین الک شماره ۳۰ و ۶۰) ۶۴/۵۷ و برای رسوبات ریزدانه (ریزتر از الک ۶۰) ۸۴/۶ درصد افزایش می‌یابد. همچنین طول رسوب‌شویی نیز مطابق با شکل‌های شکل‌های ۷، ۸ و ۹ برای رسوبات درشت دانه ۲۷/۴۷ درصد، برای رسوبات متوسط ۱۷/۳۷ درصد و برای رسوبات ریزدانه ۲۳/۶۳ درصد افزایش پیدا می‌کند. به عبارت بهتر برای داشتن حداکثر راندمان در رسوب‌شویی تحت فشار بهتر است تا جایی که شرایط بهره‌برداری مخزن اجازه می‌دهد، دریچه‌های تخلیه‌کننده با حداکثر ظرفیت خود مورد بهره‌برداری قرار بگیرند.

ب- تأثیر ارتفاع آب داخل مخزن بر روی حجم و طول مخروط رسوب‌شویی: چنان‌که در شکل‌های ۵، ۶ و ۷ نشان داده شده است، زمانی که ارتفاع آب مخزن کاهش می‌یابد، به ازای یک دبی ثابت، راندمان رسوب‌شویی تحت فشار در دفع رسوبات نهشته‌شده بیشتر می‌گردد. به طوری که وقتی ارتفاع آب مخزن از ۱۲۰ سانتی‌متر به ۵۲ سانتی‌متر (۴۳ درصد) کاهش می‌یافت، به طور متوسط میزان حجم رسوب‌شویی در حالتی که رسوبات درشت دانه بودند (رسوبات بین الک شماره ۱۰ و ۳۰) به مقدار ۲۸/۴ درصد، برای رسوبات متوسط (رسوبات بین الک شماره ۳۰ و ۶۰) مقدار ۱۲/۱۷ درصد و برای رسوبات ریزدانه (ریزتر از الک شماره ۶۰) به مقدار ۷/۰۸ افزایش می‌یافت. همچنین طول رسوب‌شویی نیز برای رسوبات درشت دانه ۳/۵۴ درصد، برای رسوبات متوسط ۲/۳۰ و برای رسوبات ریزدانه ۳/۴۶ درصد افزایش می‌یافت.

$$d_{50}^* = \frac{d_{50}}{D_G} H_R^* = \frac{H_w}{H_s}$$

و نهایتاً بهترین رابطه رگرسیون خطی چند متغیره برای حجم و طول مخروط رسوب‌شویی به صورت معادله‌های (۷) و (۸) با ضرایب جدول (۲) استخراج شد:

$$V_f^* = \alpha + \beta u^* + \gamma H_R^* + \eta d_{50}^* \quad (۷)$$

$$L_f^* = \alpha + \beta u^* + \gamma H_R^* + \eta d_{50}^* \quad (۸)$$

د- آنالیز رگرسیون خطی برای ارائه رابطه بدون بعد برای پیش‌بینی طول و حجم مخروط رسوب‌شویی: برای به‌دست آوردن رابطه کلی و بدون بعد برای محاسبه طول و حجم مخروط رسوب‌شویی، همه داده‌های مربوط به ۴۵ آزمایش شامل دبی جریان آب خروجی از تخلیه‌کننده تحتانی، عمق آب داخل مخزن و قطر اندازه رسوب به صورت عددهای بدون بعد

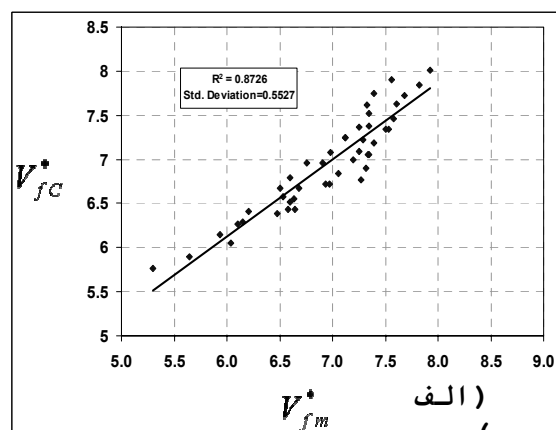
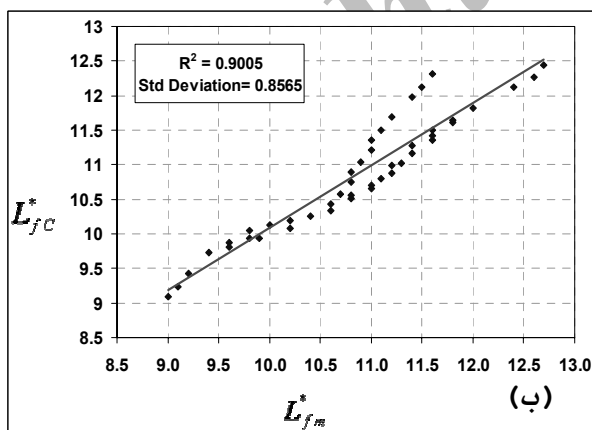
$$u^* = \frac{u_f}{\sqrt{g(G_s - 1)D_G}} \quad L_f^* = \frac{L_f}{D_G} \quad V_f^* = \frac{V_f^3}{D_G^3}$$

جدول ۲- مقادیر ضرایب رابطه خطی حجم و طول مخروط رسوب‌شویی.

ضرایب	α	β	γ	η
حجم مخروط رسوب‌شویی	۶/۸۸۴	۰/۷۸۳	-۰/۴۶۸	-۰/۱۹۹
طول مخروط رسوب‌شویی	۱۰/۴۴۰	۰/۸۴۲	-۰/۴۱۲	-۰/۱۴۹

رسوب‌شویی محاسباتی (L_{fc}^* و V_{fc}^*) برای تمامی آزمایش‌ها نشان می‌دهد.

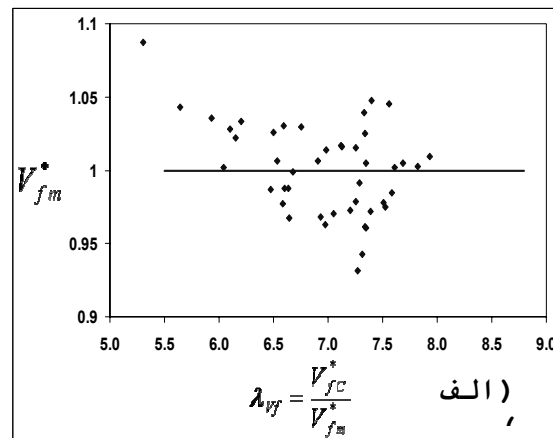
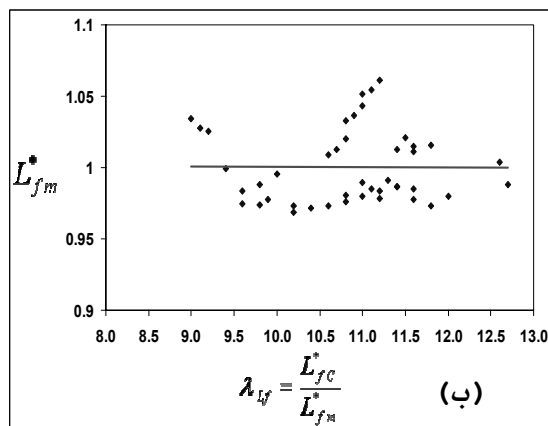
شکل ۱۱ پارامتر بدون بعد حجم و طول مخروط رسوب‌شویی اندازه‌گیری شده (L_{fm}^* و V_{fm}^*) را در مقابل پارامتر بدون بعد حجم و طول مخروط



شکل ۱۱- پارامتر بدون بعد حجم و طول مخروط رسوب‌شویی اندازه‌گیری شده (L_{fm}^* و V_{fm}^*) در مقابل پارامتر بدون بعد حجم و طول مخروط رسوب‌شویی محاسباتی (L_{fc}^* و V_{fc}^*).

بدون بعد حجم و طول مخروط رسوب‌شویی اندازه‌گیری شده (L_{fm}^* و V_{fm}^*) نشان می‌دهد:

شکل ۱۲، تغییرات پارامترهای بدون بعد $\lambda_{L_{fm}} = \frac{L_{fc}^*}{L_{fm}^*}$ و $\lambda_{V_{fm}} = \frac{V_{fc}^*}{V_{fm}^*}$ را در مقابل پارامترهای



شکل ۱۲- تغییرات پارامترهای بدون بعد $\lambda_{L_{fm}} = \frac{L_{fc}^*}{L_{fm}^*}$ و $\lambda_{V_{fm}} = \frac{V_{fc}^*}{V_{fm}^*}$ در مقابل پارامترهای بدون بعد حجم و طول مخروط رسوب‌شویی اندازه‌گیری شده (L_{fm}^* و V_{fm}^*).

به‌دست آمده، که بالا بودن آنها بیانگر عملکرد مناسب رابطه‌های پیشنهاد شده برای پیش‌بینی حجم و طول مخروط رسوب‌شویی می‌باشد.

مقدار ضریب تبیین برای رابطه‌های رگرسیون خطی چند متغیره پیشنهاد شده برای حجم و طول مخروط رسوب‌شویی به ترتیب $R^2 = 0/87$ و $R^2 = 0/90$

منابع

- 1.Brandt, S.A. 2000. A review of reservoir desiltation. International Journal of Sediment Research. 321-342.
- 2.Breusers, H, N.C., Klaassen, G.J., Brakel, J., and Van Roode F.C., 1982. Environmental impact and control of reservoir sedimentation. Fourteenth International Congress on Large Dams, Transactions, Rio de Janeiro, Brazil, 3: 353-372.
- 3.Brown, C.B. 1943. The Control of Reservoir Silting. United States Department of Agriculture, Miscellaneous Publication, 521: 166p
- 4.Emamgholizadeh, S., Samadi_Borujeni and H., Bina, M. 2005. Flushing of the Sediments near the Power Intakes in the Dez Reservoir. International Conference of River Baian Management, Italy, 621-631.
- 5.Fang, D., and Cao, S. 1996. An experimental study on scour funnel in front of a sediment flushing outlet of a reservoir. Proceedings of the 6th Federal Interagency Sedimentation Conference, Las Vegas, March 10-14: 1.78-1.84.
- 6.Francke, T., Mamede, G., López-Tarazón, J.A., Batalla, R.J. 2008. Assessment of sediment yield and reservoir siltation using non-parametric regression and numerical modeling. Journal of Geophysical Research, 10: 201-208.
- 7.Gholami, E. 1998. Investigation of the effective parameters in the design of flushing outlet of the diversion dam and investigation of design criteria. MSc Thesis. Tarbiat Modares University of Tehran, 210p.
- 8.Mahmoud, K. 1987. Reservoir sedimentation: Impact, extent, and mitigation. Techn. Paper No.71, The World Bank, Washington D.C., USA, 118p.

9. Morris, L.M., and Fan, J. 1997. Reservoir Sedimentation Handbook. design and management of dams, reservoirs and watershed for sustainable use. McGraw Hill, New York, 748p.
10. Qian, N. 1982. Reservoir sedimentation and slope stability; technical and environmental effects. Fourteenth International Congress on Large Dams, Transactions, Rio de Janeiro, Brazil, 3-7 May, No. 3: 639-690.
11. Scheuerlein, H., Tritthart, M., and Nunez Gonzalez, F. 2004. Numerical and physical modeling concerning the removal of sediment deposits from reservoirs. Conference proceeding of Hydraulic of Dams and River Structures, Tehran, Iran, 245-254.
12. Shen, H.W., Lai, J.S., and Zhao, D. 1993. Hydraulic desiltation for noncohesive sediment. Proceedings of the 1993 Annual ASCE Hydraulic Engineering Conference, San Francisco, H.W. Shen, S.T. Su, and F. Wen, eds, :119-124.
13. Soewarno and syariman, P. 2008. Sedimentation control: part ii. Intensive measures the inside of the Mrica Reservoir, Central Java. Journal of Applied Sciences in Environmental Sanitation, 3 (1): 1-8.
14. SPSS for Windows, Rel. 11.0. 2002. Chicago: SPSS Inc.
15. Surfer. 2002. Golden software, Colorado, Golden software version 8.05, Inc.
16. White, W.R., and Bettess, R. 1984. The feasibility of flushing sediments through reservoirs. Challenges in African Hydrology and Water Resources, Proceedings of the Harare Symposium, July, D.E. Walling, S.S.D. Foster, P. Wurzel, eds, IAHS Publication, No.144: 577-587.
17. White, W.R. 2000. Flushing of sediments from reservoirs. ICOLD, World Register of Large Dams, HR Wallingford, UK, 166p.

Archive of SID

The Experimental investigation of the effects of pressure flushing on flushed sediment through storage reservoir

***S. Emamgholizadeh**

Asistant prof., Dept. of Water and Soil, Shahrood University of Technology

Abstract

In the pressure flushing the amount of the flushed sediments depend on many parameters such as water depth in the reservoir, outflow discharge through bottom outlets, kind and particle size of the deposited sediments. In this study the effects of these parameters was investigated. In this research, laboratory experiments were performed to investigate the flushing process during pressure flushing. Therefore a physical model was constructed at Shahid Chamran university, Ahvaz. The overall dimensions of the flume were, 7m long, 1.5m wide and height. The experiments were carried out with 5 outflow discharge, 3 water depths, and 3 size of sediment. In general 45 experiments were carried out. The results of these experiments show that when outlet was opened, sediments near outlet released under the water pressure and a after some minutes a scour cone was developed around the outlet. The results of this study show that for a constant water depth, the increasing of the outflow discharge would cause the scour cone volume and its length was increased. Also the decreasing of the particle sediments has positive effect on the increasing of the scour cone volume and its length. Based on the non-dimensional analysis and statistical analysis with SPSS software, relations as linear multiple regression are offered for determining of the scour cone volume and its length with $R^2=0.87$ and $R^2=0.90$, respectively. According to the coefficients of correlation indices, multiple regression models have a high prediction performance.

Keywords: pressure flushing, sediment, laboratory experiments, bottom outlets,

* - Corresponding Author ; E-mail: s_gholizadeh517@yahoo.com