

نقش رسوب در بهره‌برداری از سدها

نسرین چالیک

کارشناس ارشد مهندسی عمران، معاون آموزشگاه، متوسطه دوره‌ی دوم، آموزش و پرورش شهرستان حمیدیه

چکیده

نگرانی‌های مربوط به رسوب و فرسایش برای همه سدهای موجود در برخی از کشورهای دنیا، شامل پر شدن سدها^۱ با رسوب، بهره‌برداری از نیروگاه‌های برق‌آبی و سدهایی با تجمع زیاد بار بستر و رسوبات معلق در سازه‌های آبگیر و تنظیم حداقل جریان-ها برای جلوگیری از فرسایش است. این ارائه‌ها مسائل و راه‌حلهایی را برای مقابله با رسوب‌گذاری و فرسایش مؤثر بر سدها و پروژه‌های برق‌آبی موردبحث قرار می‌دهند. مخازن نقش مهمی در تأمین آب موردنیاز انسان دارند. با این حال، رسوب‌گذاری قابلیت‌های ذخیره‌سازی را محدود می‌کند و خطر زیرساخت‌های قدیمی را افزایش می‌دهد. اهداف این مقاله ترکیب استراتژی‌های کلی مدیریت رسوب و تلاش‌های مدیریت رسوب به‌منظور شناسایی موانع مدیریت مؤثرتر رسوب در مخازن در سطح جهان است.

واژه‌های کلیدی: مدیریت رسوب، رسوب‌گذاری، پایداری، عمر مخزن، سدها

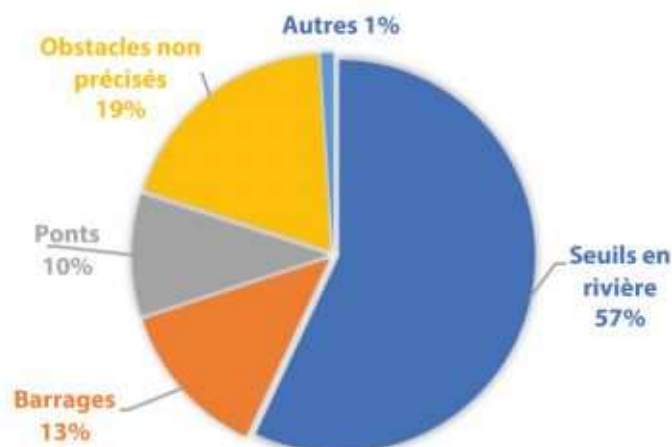
^۱ - Dams

۱- مقدمه

اگرچه رسوب‌گذاری^۲ مخازن جهان یک تهدید جدی برای پایداری انرژی آبی است، راهنمایی‌های محدودی در مورد بهترین روش برای رسیدگی به این مشکل وجود دارد. رسوب‌گذاری بر ایمنی سدها تأثیر می‌گذارد از جمله اینکه تولید انرژی، ذخیره‌سازی، ظرفیت تخلیه و قابلیت تضعیف سیل را کاهش و بارهای وارده بر سد و دروازه‌ها را افزایش می‌دهد، به تجهیزات مکانیکی آسیب می‌رساند و طیف وسیعی از اثرات زیست‌محیطی را ایجاد می‌کند.

این مقاله به بررسی مسائل مربوط به رسوب‌گذاری به‌عنوان ایمنی سد و محیط زیست، تاسیسات برق‌آبی می‌پردازد. در مورد تکنیک‌های مدیریت رسوب بحث می‌کند. و توضیح می‌دهد که چگونه می‌توان از آنها برای محدود کردن اثرات روی نیروگاه-های آبی استفاده کرد. چگونه رسوب‌گذاری مخزن و تکنیک‌های مدیریت مناسب بر عملیات سدها و تاسیسات برق‌آبی تأثیر می‌گذارد؟ محقق این موضوع قصد دارد و مطالعات موردی گویا، از جمله سه سد بزرگ جهان را ارائه می‌دهند.

۱-۱- سدها در مقیاس جهانی: برخی ارقام



شکل ۱. نوع موانع موجود در مسیرهای آب. سایر: دایک‌ها، کشاله‌های رودخانه، شبکه‌ها و مزارع پرورش ماهی.

در سطح جهان، ۴۸ درصد از رودخانه‌ها در حال حاضر تنظیم و/یا تکه تکه شده‌اند [1]. پس از رکود نسبی در ساخت و ساز در ۲۰ سال گذشته، افزایش بی سابقه‌ای در تعداد پروژه‌ها یا ساخت و سازهای این نوع سازه‌ها در سال‌های اخیر مشاهده شده است [2]. اگر نرخ فعلی ساخت و ساز حفظ شود، ۹۳ درصد رودخانه‌ها تا سال ۲۰۳۰۴ تنظیم و/یا تکه تکه خواهند شد.

۱-۲ نقش سدها

چندین نوع سدسازی وجود دارد:

• سازه‌های انعطاف‌پذیر مانند سد وزنی^۳ (همان ویژگی‌های سد قوسی)

^۲ - sedimentation

^۳ - backfill dam

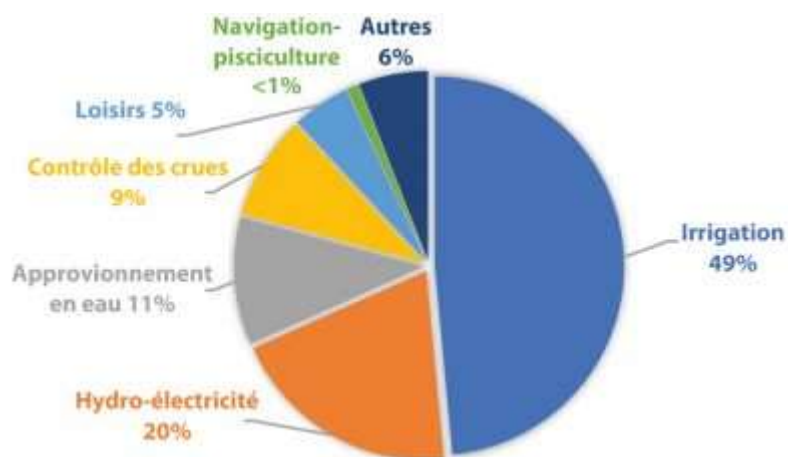
• سازه‌های صلب مانند سد قوسی^۴ (روی زمین استوار است؛ وزن آن به تنهایی برای مهار نیروی رانش شده توسط آب در مخزن کافی است؛ (شکل ۲)، سد قوسی (قوسی، رانش آب به کناره‌های دره و کرانه‌ها)، سد پایدار (دیوار بتنی بزرگ که بر تکیه‌گاه‌ها تکیه دارد و فشار آب را به سمت زمین می‌برد).



شکل ۲. نمونه ای از سد وزنی (Rochebut) مورد استفاده در نیروگاه برق آبی.

چنین سازه‌هایی برای اهداف مختلفی ساخته شده اند:

- ❖ برای تأمین آب آشامیدنی.
- ❖ برای آبیاری.
- ❖ برای تولید برق (عمدتاً از قرن ۲۰).
- ❖ افزایش جریان‌های کم آب و تنظیم سیل. برای این منظور، به‌عنوان مثال، رودخانه سن دارای سدهای مخزنی به نام "دریاچه‌های بزرگ سن" پس از سیل‌های بزرگ در آغاز قرن بیستم است.
- ❖ برای ناوبری داخلی [3]



شکل ۳. توزیع کاربردهای منحصربه‌فرد سد‌ها در سراسر جهان برای تأمین آب و فعالیت‌های صنعتی، به‌ویژه فعالیت‌های معدنی و متالورژی

⁴ - gravity dam

تقریباً نیمی از سدها یک هدف واحد دارند. بقیه کاربرد کم و بیش همه کاره دارند. بنابراین، امروزه برخی از سدها اغلب برای گردشگری (پایه های تفریحی^۵) هستند (شکل ۳). [4]

۳-۱ ته نشینی مخزنی

ته نشینی مخزنی فرآیندی است از فرسایش، حباب، انتقال، رسوب و تراکم رسوبات حمل شده به مخازن تشکیل و توسط سدها محصور شده است. در رودخانه های غیرقابل تنظیم و بالغ با حوضه های آبریز پایدار، فرآیندهای رسوبی نسبتاً متعادل هستند. ساخت سد سرعت جریان اب را کاهش و رسوب گذاری را آغاز یا تسریع می کند، و در نتیجه مواد به تدریج ریزتر رسوب می کنند (شکل ۴ را ببینید).

طول عمر یک مخزن سه مرحله است: [5]

- تجمع رسوب مستمر و سریع.
 - تعادل رسوبی جزئی، جایی که اغلب رسوبات ریز به تعادل می رسند اما رسوبات درشت به تجمع خود ادامه می دهند.
 - تعادل رسوب کامل، با ورودی و خروجی رسوب برابر برای اندازه همه ذرات.
- بسیاری از مخازن جهان در مرحله انباشت پیوسته هستند. بسیاری از آنها با تخمین نرخ رسوب به منظور ارائه یک استخر با حجم کافی برای دستیابی به عمر طراحی مشخص، طراحی شده اند [۶]. باین حال، این عمر طراحی معمولاً بسیار کمتر از آن چیزی است که واقعاً قابل دستیابی است. بنابراین، مدیریت مخازن برای دستیابی به تعادل رسوبی کامل به منظور به حداکثر رساندن عمر آنها ضروری است.



شکل ۴. رسوب مواد به تدریج ریزتر

مناطق در حال توسعه جهان که بیشترین بهره را از برق آبی دارند، اغلب مناطقی هستند که بالاترین میزان رسوب را دارند. [۷]. در این مناطق، توسعه پایدار برق آبی باید شامل در نظر گرفتن تکنیک های مدیریت رسوب^۶ در طول طراحی، ساخت و بهره برداری^۷ باشد.

⁵ - recreational bases

⁶ - sediment management techniques

۱-۴- استخراج رسوبات

به دلیل مشکلات در دستیابی به خاک‌های طبیعی مناسب برای ادغام، که منابع آن محدود و غیر قابل تجدید است، تحقیقات بر روی موادی که می‌تواند جایگزین آنها شود ادامه دارد [8.9]. زباله‌های صنعتی یک مثال معمولی است [7.8]. در این شرایط استفاده از رسوب کف مخازن سدها نیز قابل تامل است [10]. یکی از مشکلات اصلی مربوط به عملکرد مخازن، حفاظت از رسوبات است [11]. از آنجایی که در هر مخزن سد فرآیند لجن‌گذاری انجام می‌شود، استخراج رسوبات یکی از راه‌های بازیابی حجم از دست رفته و بازگرداندن عملکرد صحیح مخزن است [12].

لجن‌گذاری^۷ مخازن آب در نتیجه رسوب موادی که توسط سرشاخه‌ها حمل می‌شود باعث کاهش ظرفیت آنها می‌شود. شدت فرآیند گل و لای به سطح و توپوگرافی حوضه^۸، کاربری آن، انواع خاک و همچنین شدت و مدت بارندگی بستگی دارد. نوع و موقعیت مخزن و همچنین روش هیدرولوژیکی^۹ رودخانه نیز نقش مهمی ایفا می‌کند. بنابراین، با توجه به مدیریت آب مخزن، تعیین میزان فرآیند سیلتاسیون^{۱۰} و در نتیجه میزان مواد معدنی^{۱۱} و مواد آلی^{۱۲} ته نشین شده در مخزن مهم است. اعتقاد بر این است که اگر ظرفیت تا ۸۰ درصد کاهش یابد، مخزن عملکرد نگهداری خود را از دست می‌دهد [13].

رسوبات کف^{۱۴} به‌عنوان ضایعات طبقه بندی می‌شوند و هنگام استخراج باید دفع شوند. باین‌حال، اگر آنها به‌منظور مدیریت آب یا کاهش اثرات سیل، خشکسالی یا اصلاح در داخل آب‌های سطحی جابجا شوند، این رسوبات خطرناک نیستند [14]. ضمن توجه به پتانسیل استفاده از رسوبات کف، جنبه مهم دیگر آلودگی آنهاست. ترکیب شیمیایی رسوبات به نوع خاک‌های حوضه آبریز و کاربرد کشاورزی آنها و همچنین نوع صنعت موجود در منطقه بستگی دارد [15.16]. بنابراین، شناسایی ترکیب شیمیایی رسوبات کف با استفاده از آنالیزهای شیمیایی^{۱۵} و اکوتوکسیکولوژیکی^{۱۶}، نه تنها برای ارزیابی تخریب مخزن آب، بلکه برای تعیین کاربردهای بالقوه رسوبات استخراج شده مهم است [17-18]. همچنین تحقیقاتی در مورد فرآیندهای اکسیداسیون متان بی‌هوازی^{۱۷} انجام شده است که در رسوباتی که زیستگاه‌هایی را در مخازن سدهای آب شیرین با حجم کم ایجاد می‌کنند، رخ می‌دهد. این فرآیندها نقش مهمی در گرمایش جهانی دارند [19].

⁷ - construction and operation

⁸ - silting

⁹ - topography

¹⁰ - hydrological regime

¹¹ - siltation process

¹² - amount of mineral

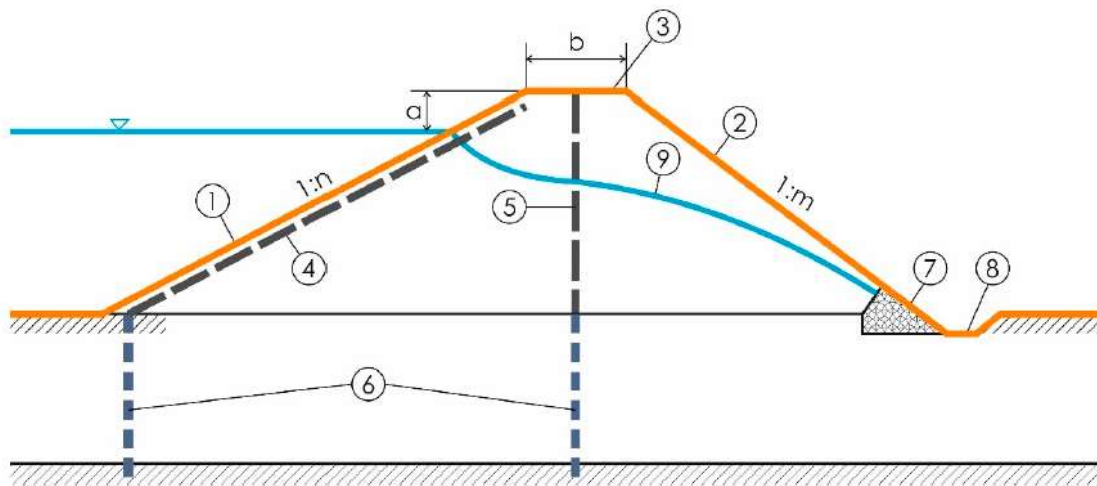
¹³ - organic material

¹⁴ - bottom sediments

¹⁵ - using chemical

¹⁶ - ecotoxicological

¹⁷ - anaerobic methane oxidation processes



شکل ۵. نمودار شماتیک سطح مقطع یک سیلاب شامل عناصر اصلی [20]. (۱) - شیب بالادست، (۲) - شیب پایین دست، (۳) - تاج، (۴) - صفحه محکم، (۵) - هسته محکم، (۶) - آب بندی زمین زیرین، (۷) - زهکشی، (۸) زهکشی گودال، (۹) - منحنی فرورفتگی در مورد یک خاکریز همگن (بدون هسته). (الف) - ذخیره ایمنی. (ب) - عرض تاج خاکریز، $(n:1)$ - شیب مایل به بالادست، (۱: متر) - شیب مایل به پایین دست.

رسوبات پایینی که واکنش خنثی یا قلیایی و محتوای بالای کسرهای ریز را نشان می دهند می توانند برای بهبود خواص فیزیکوشیمیایی خاک های سبک و اسیدی استفاده شوند [۲۱]. امکان استفاده کشاورزی از رسوبات عمدتاً با محتوای کم فلزات سنگین و همچنین محتوای مناسب از اشکال موجود منیزیم مرتبط است.

۱-۵ تأثیرات مختلف رسوب

۱-۵-۱ تأثیر رسوب بر تولید

سالانه حدود ۰.۵ تا ۱ درصد از حجم کل ۶۸۰۰ کیلومتر مکعب آب ذخیره شده در مخازن در سراسر جهان در نتیجه رسوب گذاری از بین می رود [5]. ذخیره سازی فعلی معادل سطوحی است که نزدیک به ۶۰ سال پیش وجود داشته است [5]. از دست دادن ذخیره سازی مخزن^{۱۸}، انعطاف پذیری در تولید را کاهش می دهد و بر اطمینان تأمین آب تأثیر می گذارد. بدون ذخیره سازی، تاسیسات برق آبی^{۱۹} به طور کامل به جریان های فصلی وابسته هستند. این جریان ها ممکن است در صورت نیاز به انرژی رخ ندهند و یکی از مزایای کلیدی که انرژی آبی نسبت به سایر انرژی های تجدیدپذیر فراهم می کند حذف می شود. رسوبات تخلیه شده از یک سد بالادست در یک سیستم آبخاری می تواند سطح آب دنباله را افزایش دهد و تولید برق را کاهش دهد. این امر بر پتانسیل تولید همه نیروگاه ها در آبخار تأثیر می گذارد و احتمال سیل نیروگاه را افزایش می دهد [22].

¹⁸ - reservoir storage

¹⁹ - hydropower facilities

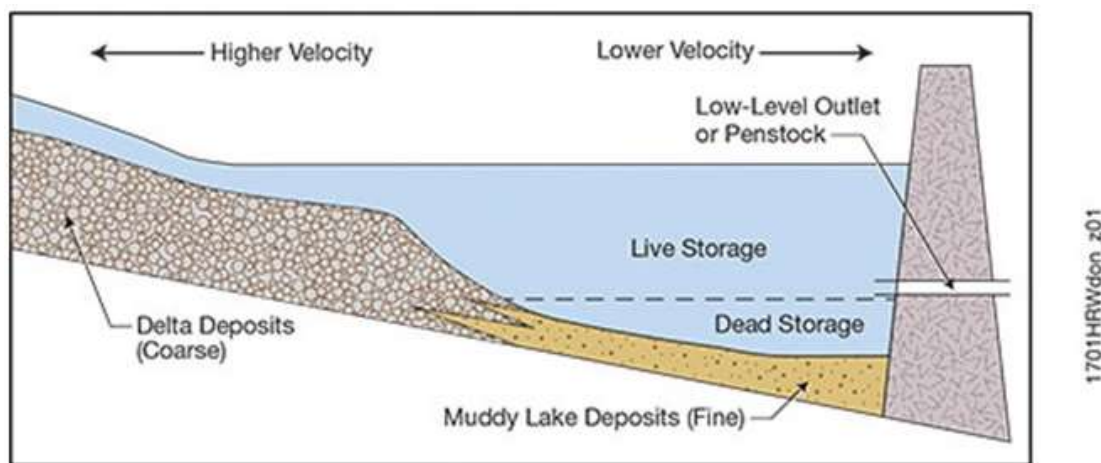
۱-۵-۲ تاثیر رسوب بر پایداری

بارهای رسوبی معمولاً به عنوان فشار ساکن خاک در حالت سکون ایده آل می شوند. دفترچه راهنمای طراحی دفتر احیای سدهای کوچک ایالات متحده پیشنهاد می کند که رسوبات را معادل سیالی با ضریب فشار ضمنی حدود ۰,۳۹ و ضریب اصطکاک داخلی حدود ۳۷ درجه در نظر بگیرید.

باین حال، خواص واقعی رسوب مخزن می تواند به طور قابل توجهی متفاوت باشد. رسوبات ریزدانه^{۲۰} تجمع نشده احتمالاً مقاومت برشی کمتر و ضریب فشار در حالت سکون بالاتری دارند، در حالی که یک مخزن پر از رسوبات درشت تر ممکن است مقاومت برشی بالاتری داشته باشد.

معیارهای منتشر شده با توجه به تغییرات بالقوه در فشارهای بالابر ناشی از رسوب گذاری، اغلب این واقعیت را نادیده می گیرند که رسوبات ریزدانه ممکن است به همان روشی که یک پتوی بالادست مهندسی شده^{۲۱} انجام می شود، بالارفتگی را کاهش دهد. برعکس، در مواردی که جریان کدر بزرگ وجود دارد، فشارهای بالابرنده بالاتری انتظار می رود تا زمانی که ذرات به اندازه کافی برای تشکیل یک پتو ته نشین شوند.

در طی یک رویداد لرزه ای، این احتمال وجود دارد که رسوبات مایع شده به سرعت به حالت اولیه خود بازگردند و منجر به اتلاف سریع فشار منافذ شود. بنابراین، تخصیص خودکار فشارهای بالابرنده در این مورد ممکن است تعیین کننده باشد. ملاحظات طراحی که معمولاً مورد استفاده قرار می گیرند می توانند برخی موارد بار قابل قبول را حذف کنند. به عنوان مثال، شکست شیب رسوب زیر آب می تواند باعث امواج سطحی شود، که بارگذاری اضافی، امواج فشار هیدرودینامیکی و بارگذاری اینرسی را از توده متراکم سیال خاک-آب اضافه می کند. پدیده دیگری که معمولاً نادیده گرفته می شود مربوط به جریان های کدورت در مخازن است. چنین سیال کدر با بار رسوبی ۱۰۰ میلی گرم در لیتر می تواند حدود ۶ درصد سنگین تر از آب شفاف باشد.



شکل ۶. نمایه رسوب مخزن معمولی؛ به طور معمول، رسوب در مخزن پشت سد به شکل مواد به تدریج ریز تر می

شود، که با نزدیک شدن جریان ها به سد رسوب می کند. (برگرفته از: Morris, G.L. and J. Fan,

1998) *Reservoir Sedimentation Manual*, McGraw-Hill, New York,

²⁰ - fine-grained sediments

²¹ - engineered upstream blanket

زمین لغزش های زیردریایی به دلیل پتانسیل آنها برای ایجاد امواج سونامی به طور گسترده مورد مطالعه قرار می گیرند. با این حال، طراحان همچنین باید این پتانسیل را در نظر بگیرند که شکست جبهه دلتایی با شیب تند می تواند بارگذاری را افزایش دهد و امواج فشاری ایجاد کند که ممکن است رسوبات ریزتر را در نزدیکی پنجه زمین لغزش، سیال کند. با پیشروی رسوب به سمت سد، پتانسیل مشکلات به تدریج افزایش می یابد.

غالباً فرض بر این است که در هنگام زلزله، رسوبات کاملاً مایع می شوند، استحکام خود را از دست می دهند و بار هیدرواستاتیکی سیال متراکمی را بر روی سد اعمال می کنند. با این حال، این درجه از سیال شدن به احتمال زیاد در یک مخزن پر از مواد درشت امکان پذیر نیست. طراحان همچنین اغلب تصور می کنند که سیال متراکم کاملاً سیال شده بر اساس فرمول وسترگارد به بارگذاری فشار هیدرودینامیکی کمک می کند و مبنای فیزیکی استخراج آن را نادیده می گیرد. در واقع، سؤالی در مورد کاربرد فرمول وسترگارد برای فشارهای هیدرودینامیکی وجود دارد.

طراحی ها همچنین باید درجه اشباع رسوبات را در نظر بگیرند. هنگامی که رسوبات مخزن به طور کامل اشباع می شوند، حداقل میرایی سیستم تحت بارگذاری دینامیکی وجود دارد. با این حال، کاهش قابل توجهی در شتاب زمانی رخ می دهد که رسوبات تا حدی اشباع شوند [23.24]. برای پی های صلب، فشارهای هیدرودینامیکی در پایه سد زمانی که رسوبات به طور کامل اشباع می شوند، اندکی کاهش می یابد، اما در صورت اشباع جزئی افزایش می یابد [24].

اشباع جزئی پاسخ سیستم به حرکت افقی زمین را افزایش می دهد. ۵. ضخامت رسوب مهم است، به خصوص زمانی که رسوبات تا حدی اشباع شده باشند. ۵. لایه های نازک حداقل، منجر به جذب حرکات افقی می شوند که عمدتاً به دلیل مدول الاستیسیته نسبتاً بالا و ضریب تضعیف پایین است [۲۵]. در طول چرخه حیات مخزن، با ادامه تجمع رسوبات، این سیستم تغییر می کند. عوامل مهم دیگر عبارتند از چگالی رسوب، تراکم پذیری و فشار آب منفذی [26.23].

این وابستگی به ویژگی های رسوب، یک مورد قوی برای اندازه گیری و گنجاندن آنها به عنوان بخشی از طراحی ایجاد می کند [۲۴]. با این حال، طراحی ها قبل از وقوع رسوب انجام می شود و همان رسوباتی که در شرایط عادی پایدار هستند و انرژی را در کف مخزن جذب می کنند، می توانند مایع شوند. به همین دلیل، استفاده از ضریب بازتاب کف مخزن باید به طور منطقی با ارزیابی رفتار رسوب مخزن و پایش مداوم مرتبط باشد.

۱-۵-۳ تاثیر رسوب بر قابلیت تخلیه

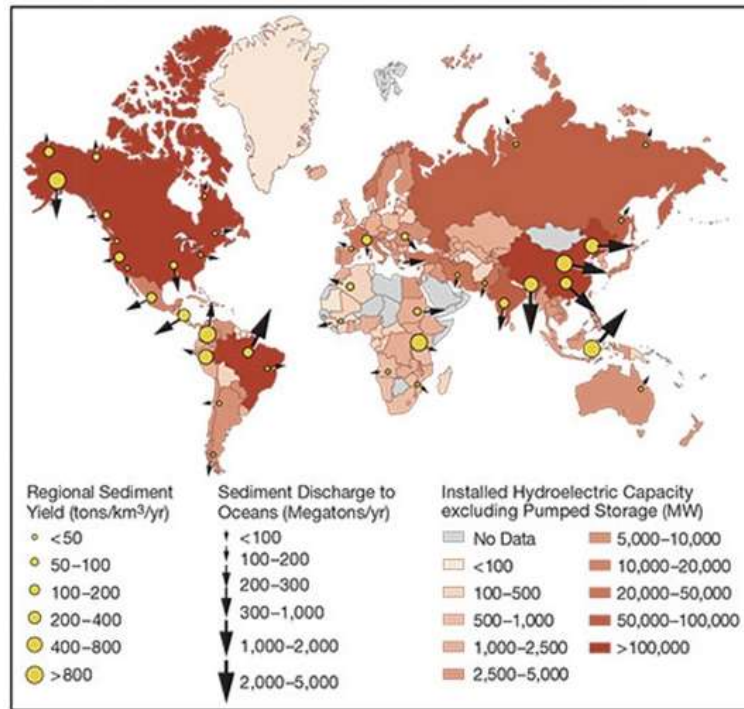
رسوبات اغلب خروجی های سطح پایینی را که برای تخلیه مخزن طراحی شده اند مسدود می کنند. با ادامه رسوب گذاری، امکان گرفتگی تونل های سرریز یا مجراهای دیگر وجود دارد [23].

کاهش ظرفیت سرریز می تواند در نتیجه از دست دادن عمق، هنگام رسیدن جبهه رسوب به سد رخ دهد. مخزن به دره ای پر از دلتا تبدیل می شود که مسیر پرپیچ و خمی را طی می کند به طوری که موج سیل گسترش نمی یابد تا مسیر سیلاب را امکان پذیر کند.

۱-۵-۴ تاثیر رسوب بر تجهیزات

رسوب می تواند به توربین ها و سایر تجهیزات مکانیکی از طریق فرسایش پوشش اکسید روی پره ها آسیب برساند و منجر به بی نظمی های سطحی و آسیب جدی مواد شود. فرسایش پایدار می تواند منجر به طولانی شدن زمان خاموشی برای تعمیر و نگهداری یا جایگزینی شود [27].

عوامل زیادی میزان سایش مکانیکی را تعیین می کنند. نوع رسوب و خصوصیات فیزیکی از اهمیت ویژه ای برخوردار است. رسوبات زاویه ای متشکل از مواد معدنی [25] - مانند کوارتز^{۲۲}، فلدسپات و تورمالین^{۲۳} - مشکل ساز^{۲۴} هستند. علاوه بر این، پارامترهای عملیات هیدرولیکو تاسیسات مانند سرعت جریان، سر هیدرولیک^{۲۵}، توربولانس^{۲۶}، سرعت چرخش توربین و مواد توربین بر حساسیت سایشی تاثیر می گذارند. توربین های ضربه ای، مانند پلتون^{۲۷} یا تورگو، نسبت به توربین های واکنشی حساس تر به سایش هستند. با این حال، تعویض دنده و جایگزینی نوک سوزن/حلقه^{۲۸} صندلی با توربین های پلتون^{۲۹} بسیار آسان تر است. بنابراین، ممکن است بر اساس هزینه کلی چرخه عمر ترجیح داده شوند.



شکل ۷. مقایسه پتانسیل هیدروالکتریک و تولید رسوب؛ مناطق در حال توسعه جهان که بیشترین بهره را از تولید برق آبی می برند، اغلب مناطقی هستند که بالاترین میزان رسوب را دارند. (داده های ظرفیت نصب شده و داده های بازده رسوب اقتباس شده از گزارش وضعیت انرژی برق آبی ۲۰۱۵ انجمن بین المللی انرژی آبی، شکل اقتباس شده.)

²² - quartz

²³ - feldspar and tourmaline

²⁴ - problematic

²⁵ - hydraulic head

²⁶ - turbulence

²⁷ - Pelton

²⁸ - tip/seat

²⁹ - Pelton turbine

سایش را می توان با انتخاب فلزات برای افزایش مقاومت در برابر فرسایش و/یا با کاهش حجم رسوبات ریز که به تجهیزات مکانیکی می رسد کاهش داد. گیاهان اغلب برای حذف بیشتر ذرات درشت رسوب طراحی شده اند. با این حال، حتی سیلت می تواند باعث ساییدگی قابل توجهی شود در صورتیکه محتوای کوارتز و هد فشار به اندازه کافی بالا باشد. [28]

نیروگاه برق آبی ۱۵۰۰ مگاواتی Nathpha Jhakri در هند از چهار محفظه خاک زدایی استفاده کرد که در حذف رسوبات درشت تر موفق بودند. با این حال، آسیب ناشی از ذرات ریز آنقدر شدید بود که بخش هایی از توربین ها باید ظرف یک سال تعویض می شد.

موادی که معمولاً در نیروگاه های برق آبی مستعد رسوب استفاده می شوند، فولادهای ضد زنگ هستند که برای سخت شدن و افزایش حفاظت در برابر سایش، تحت عملیات حرارتی قرار می گیرند. محافظت از تجهیزات مکانیکی در برابر سایش رسوب را می توان با پوشش های سطح سخت رنگ ها یا خمیرهای سرامیکی یا با آلیاژهای رو به سخت انجام داد. تحقیقات نشان داده است که وقتی از کامپوزیت های مبتنی بر کاربید تنگستن به عنوان پوشش سطحی استفاده می شود، مقاومت در برابر سایش رسوب بهبود یافته است [27]. در انجام چنین ارزیابی هایی، توجه به این واقعیت مهم است که با پر شدن مخزن، سایش افزایش می یابد. برای ارزیابی فرکانس تعمیر توربین می توان از روش نوزاکی استفاده کرد. این روش غلظت مؤثر رسوب، اندازه و شکل ذرات، مواد توربین و هر پوششی را در نظر می گیرد. طراحی توربین باید سرعت پیک را برای کاهش اثرات به حداقل برساند. برای توربین پلتون، جت های کمتر و سطوح های دهنده بزرگ تر با شعاع بزرگ تر، نیروهای گریز از مرکز بین رسوب و سطوح راه انداز را کاهش می دهند. صرف نظر از توربین انتخاب شده، طرح ها باید مسائلی مانند سهولت حذف رانر^{۳۰} را برای نگهداری در آینده در نظر بگیرند.

۱-۵-۵ اثرات رسوبات بر محیط زیست^{۳۱}

هر سدی باعث درجاتی از رنج رسوب در پایین دست می شود. گونه های گیاهی و جانوری به تغییر در رژیم های عرضه و جریان رسوب حساس هستند [23-29]. افزایش غلظت رسوب می تواند آب های گل آلود با ناحیه سرخوشی کوچک تر ایجاد کند. این باعث کاهش بهره وری گیاه می شود و بر گونه های ماهی و پرندگان تأثیر منفی می گذارد و باعث ساییدگی آبشش های ماهی می شود، در نتیجه پتانسیل بیماری یا مرگ و میر را افزایش می دهد. کدورت همچنین می تواند باعث اختلال بینایی برای ماهی های شکارچی شود و بر عادات غذایی^{۳۲} آنها تأثیر بگذارد.

در نهایت، رسوب حامل اولیه آلاینده های معلق مانند نیتروژن^{۳۳}، فسفر و فلزات سنگین^{۳۴} است [29].

رسوبات آزاد شده در نتیجه مدیریت رسوب یا شکست سد ممکن است اثرات زیست محیطی داشته باشد که می تواند برای دهه ها باقی بماند.

³⁰ - runner

³¹ - environment

³² - feeding habits

³³ - nitrogen

³⁴ - phosphorous and heavy metals

۱-۶- مدل سازی عددی^{۳۵} استراتژی های رسوب گذاری و مدیریت رسوب

ابزارهای مختلفی برای شبیه سازی هیدرومورفولوژیکی^{۳۶} به منظور بهینه سازی مدیریت مخزن در دسترس است:

- مدل HEC-RAS نظام مهندسی ارتش ایالات متحده دارای یک ماژول محاسبه انتقال رسوب مرز متحرک است که اخیراً برای شبیه سازی فرآیندهای رسوب گذاری ناشی از توسعه نیروگاه آبی در منیتوبا شمالی^{۳۷} استفاده شده است [30].
- MIKE ۲۱ یک مدل هیدرودینامیکی^{۳۸} دو بعدی است که برای شبیه سازی فرآیندهای رسوب گذاری استفاده می شود که برای ارزیابی الگوهای رسوب گذاری و شبیه سازی نتایج عملیات شستشوی آبی در سد Boegoeberg در آفریقای جنوبی مورد استفاده قرار گرفت [31].
- مدل هیدرودینامیکی، انتقال رسوب و زیستگاه فیزیکی FAST برای شبیه سازی فرآیندهای مورفولوژیکی^{۳۹} و تغییرات زیستگاه ماهی در رودخانه های آبرفتی استفاده می شود [32]. این مدل برای پیش بینی شرایط هیدرومورفولوژیکی و بهینه سازی روش های شستشوی رسوب قبل از ساخت تأسیسات جدید نیروگاه های آبی در رودخانه نیل استفاده شد.

۱-۷- راه حل های مدیریت رسوب

توسعه و حفظ ذخیره سازی پایدار برای برآوردن نیازهای جهانی مستلزم گنجاندن شیوه های مدیریت رسوب مخزن در زمان ایده پردازی پروژه و در طول چرخه عمر آن است. این شیوه ها بسته به سطح تسهیلات متفاوت است. برای پروژه های رودخانه ای، مدیریت رسوب به منظور حذف رسوباتی است که می توانند باعث ساییدگی توربین ها و مسدود شدن ورودی های آب خنک کننده^{۴۰} شوند. در یک پروژه ذخیره سازی^{۴۱}، این هدف و افزایش طول عمر مخزن کلیدی است. برای ذخیره آب، استراتژی های مدیریت رسوب برای افزایش طول عمر مخزن را می توان به سه دسته طبقه بندی کرد:

- آنهایی که مقداری از رسوب را از طریق یا اطراف مخزن منحرف می کنند.
- آنهایی که رسوبات قبلاً ته نشین شده را حذف یا مرتب می کنند.
- آنهایی که میزان رسوبی که از بالادست به مخزن می رسد را به حداقل می رساند.

بسیاری از اپراتورهای سد تکنیک های مدیریت رسوب را برای دستیابی به این اهداف طراحی کرده اند. برخی از نمونه ها در زیر توضیح داده شده است. [33]

۱-۷-۱- دور زدن^{۴۲}

دور زدن رسوب در جریان، بخشی از آب مملو از رسوب را در اطراف مخزن منحرف می کند، معمولاً از سرریزی استفاده می کند که در جریان های زیاد و زمانی که غلظت رسوب بالا است کار می کند. از یک مخزن خارج از جریان می توان استفاده کرد به گونه ای که فقط آب زلال از روی یک سرریز کنارگذر منحرف شود. یک مخزن خارج از جریان معمولاً ظرفیت محدودی دارد و فقط می تواند رسوبات حمل شده توسط جریان های بالاتر را حذف کند.

³⁵ - Numerical modeling

³⁶ - hydromorphological simulation

³⁷ - northern Manitoba

³⁸ - hydrodynamic model

³⁹ - morphological

⁴⁰ - cooling water

⁴¹ - storage project

⁴² - Bypassing

باین حال، میزان رسوب معلق و بار بستر را به مخزن کاهش می‌دهد [34]. مزیت های دیگر عبارتند از این واقعیت که مخزن و سد دور از کانال اصلی رودخانه قرار دارند، که اجازه می‌دهد تا کمترین اختلال در گونه های آبی و زیستگاه ایجاد شود و نیاز به سرریزهای بزرگ روی رودخانه کاهش یابد. از سوی دیگر، مخازن خارج از جریان معمولاً اجازه حداکثر کردن ظرفیت تولید را نمی‌دهند، به‌ویژه در مناطقی که وابسته به جریان‌های بالای جریان هستند که در یک دوره زمانی کوتاه اتفاق می‌افتند [23].

دور زدن رسوب در مناطقی با نقش برجسته که در آن جریان های مملو از رسوب به طور مؤثر از طریق تونل یا کانال انحراف انجام می‌شود، بهترین کار را انجام می‌دهد. دور زدن در سدهایی که روی خم رودخانه قرار دارند مقرون به صرفه است، زیرا این امکان را برای یک انحراف نسبتاً کوتاه بین سرریز و سمت پایین دست سد فراهم می‌کند [34].

۱-۷-۲- مسیریابی Sluicing/Drawdown

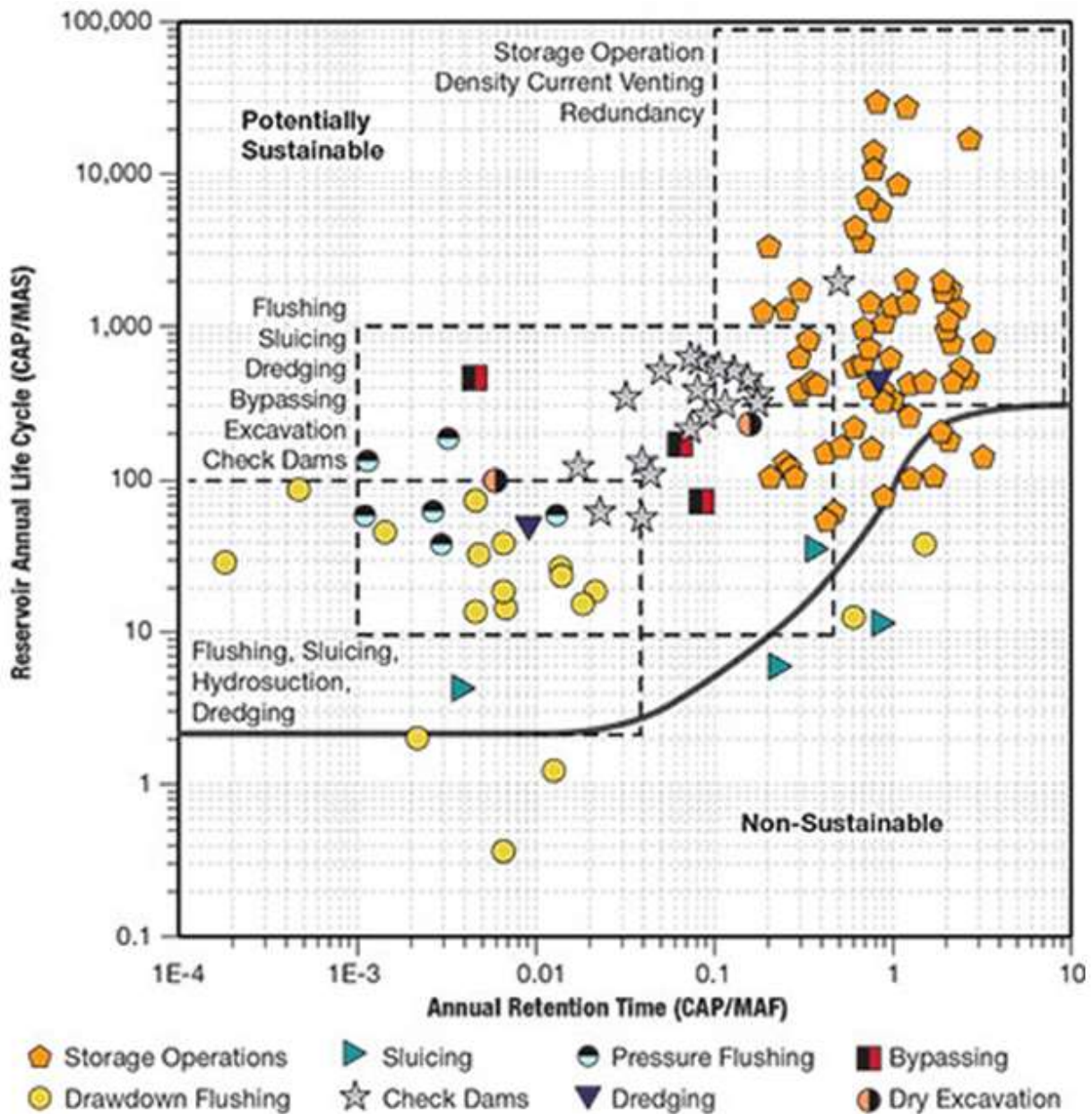
این تکنیک شامل پایین آوردن سطح آب مخزن قبل از جریان های زیاد است به طوری که آب و رسوب می‌توانند از طریق سرریز با سرعت بالا هدایت شوند. پر کردن مجدد در طول اندام عقب‌نشینی هیدروگراف سیلاب^{۴۳} رخ می‌دهد. [34] [23] روش‌های آب‌بندی به ویژگی‌های هیدرولوژیکی تأسیسات و اندازه مخزن بستگی دارد.

۱-۷-۳ لایروبی^{۴۴}

لایروبی می‌تواند کارآمد باشد، اما در طول عمر پروژه تأثیر خواهد داشت و می‌تواند اثرات هزینه ای قابل توجهی داشته باشد. به‌عنوان مثال، لایروبی ۶ میلیون متر مکعب رسوب در مخزن لویزا در پورتوریکو در سال ۱۹۹۷ هزینه ای معادل ۱۰ دلار در هر مترمربع داشت [22-23].

⁴³ - flood hydrograph

⁴⁴ - Dredging



شکل ۸. تکنیک های مدیریت رسوب مربوط به عمر مخزن و زمان نگهداری ۱۰۰,۰۰۰؛ حفاری خشک انتخاب روش بهینه مدیریت رسوب برای یک مخزن را می توان بر اساس تجربه قبلی و عوامل دیگر، مانند نسبت حجم مخزن به میانگین ورودی سالانه رسوب و زمان نگهداری تخمین زد.

۱-۷-۴ فلاشینگ^{۴۵}

فلاشینگ شامل تخلیه مخزن با باز کردن خروجی های پایینی و اجازه دادن به جریان ورودی برای شستشوی رسوب است [23-34]. اثربخشی متفاوت است، اما به طور کلی، تنها یک "هسته"^{۴۶} از رسوب در امتداد کانال اصلی تالوگ^{۴۷} شسته می شود. رسوبات طرفین مخزن در جای خود باقی می ماندند. [23]

⁴⁵ - Flushing

یک روش جایگزین، شستشوی فشاری است که در آن مخزن قبل از شستشو تا حدی پایین می‌آید. این رسوبات درشت بالادست را نزدیکتر به سد توزیع می‌کند و اثرات آنها را کاهش می‌دهد، اما اغلب رسوبات ریزتر را پاک نمی‌کند. شستشوی فشار نیز برای توزیع مجدد رسوب استفاده می‌شود و آنها را به مکان‌های کمتر حساس منتقل می‌کند.

۱-۷-۵ مهار فرسایش^{۴۸}

بسیاری از حوزه‌های آبخیز به دلیل استفاده از زمین و سایر اعمال انسانی، دچار فرسایش زیادی می‌شوند. تکنیک‌های کاهش فرسایش به سه دسته ساختاری یا مکانیکی^{۴۹}، رویشی و عملیاتی^{۵۰} تقسیم می‌شوند [22]:

اقدامات سازه‌ای یا مکانیکی:

مانند تراس‌ها، کانال‌های انتقال، سدهای بازرسی و رسوب گیر ها. [22-34]. سرعت جریان زمینی یا کانالی را کاهش می‌دهند، ذخیره سطح را افزایش می‌دهند و در نتیجه بار رسوب را در زهکشی آب^{۵۱} کاهش می‌دهند. کنترل فرسایش رویشی از توانایی طبیعی گیاهان برای محدود کردن فرسایش بهره می‌برد. بویژه شیوه‌های کشاورزی که تولید رسوب را به حداقل می‌رساند مؤثر هستند.

اقدامات عملیاتی:

مدیریت و سازماندهی، از طریق برنامه ریزی فرسایش را به حداقل می‌رساند. مثال‌ها شامل زمان‌بندی کار ساخت‌وساز به‌گونه‌ای است که بل برنامه‌ریزی برداشت الوار^{۵۲} مطابق با شرایط مساعد خاک^{۵۳} فرسایش به حداقل برسد [22].

مدیریت فرسایش: ^{۵۴}

شاید به طور گسترده توصیه شده اما ضعیف ترین روش مدیریت رسوب است زیرا استفاده کنندگان از زمین ممکن است هیچ مزیت مستقیمی از کنترل بازده رسوب مشاهده نکند [23].

۱-۸- انتخاب روش‌های بهینه مدیریت رسوب

عملکرد مناسب مدیریت رسوب تابعی از عمر مخزن که به صورت زیر بیان شده می‌باشد. نسبت حجم مخزن (CAP) به معنای ورودی سالیانه رسوب به مخزن، (MAS) و زمان ماندن به‌عنوان تابعی از نسبت CAP به میانگین جریان ورودی سالانه (MAF) نشان داده می‌شود. انتخاب روش‌های بهینه مدیریت رسوب را می‌توان بر اساس تجربه قبلی و این عوامل تخمین زد (شکل ۸ را ببینید).

⁴⁶ - core

⁴⁷ - original channel thalweg

⁴⁸ - Erosion control

⁴⁹ - structural or mechanical

⁵⁰ - vegetative and operational

⁵¹ - runoff

⁵² - timber

⁵³ - soil

⁵⁴ - Erosion management

۱-۹- مطالعات موردی

مطالعات موردی مورد بحث در زیر طیف وسیعی از نگرانی‌های مدیریت رسوب و همچنین راهبردهای اتخاذ شده برای کاهش آنها را نشان می‌دهد.

۱-۹-۱- سد مرتفع اسوان، مصر^{۵۵}

پروژه سد بلند اسوان ۲۱۰۰ مگاواتی بر روی رودخانه نیل در مصر، سدی به ارتفاع ۱۱۱ متر است که مخزن ۱۳۰ کیلومتر مکعبی را دارای آب است [35].

قبل از ساخت این سد، رودخانه نیل به طور متوسط ۱۰۶×۱۰۰ تن رسوب در سال را به دلتای رود نیل در دریای مدیترانه منتقل می‌کرد. امروزه، با راندمان به دام انداختن ۹۹ درصد [36]، رسوب کمی به دلتا می‌رسد. ۱۶ و ۱۵ در حالی که انتظار نمی‌رود ظرفیت ذخیره زنده مخزن دریاچه ناصر/نوبیا در بالادست سد بلند اسوان تا ۳۰۰ تا ۴۰۰ سال ۱۷ دیگر به خطر بیفتد، اثرات نامطلوب پایین دست به طور گسترده گزارش شده است ۱۵. فرسایش در امتداد سواحل مدیترانه مصر برای قرن‌ها ادامه داشته است، اما به دام افتادن رسوبات با افزایش سطح دریا و سایر عوامل برای تشدید مشکلات فرسایش سواحل ترکیب شده است [35].

۱-۹-۲- سد دز، ایران

پروژه برق‌آبی ۵۲۰ مگاواتی دز در جنوب غربی ایران دارای یک سد قوسی بتنی به ارتفاع ۲۰۳ متر است. رسوب‌گذاری مخزن باعث شده است که بستر رودخانه در سال حدود ۲ متر افزایش یابد و در نتیجه ۱۹ درصد از ذخیره مخزن در طول ۴۰ سال فعالیت آن را از بین ببرد. از سال ۲۰۱۶، بستر مخزن در ۱۲ متری ورودی‌های برق قرار داشت، به طوری که ممکن است ظرف یک دهه رسوب به داخل تونل‌ها کشیده شود. راهبردهای مدیریت رسوب در نظر گرفته شده برای پروژه دز شامل آبخیزداری^{۵۶}، شستشوی رسوبات^{۵۷}، لایروبی تاکتیکی^{۵۸} در نزدیکی آبگیرها و افزایش ارتفاع سد بود. راه حل بهینه برای شستشوی رسوب تعیین شد که با استفاده از تغییرات عملیات نیروگاه و سرریز مدیریت می‌شود. مسئله دیگر این واقعیت بود که رسوبات از سطح خروجی‌های سطح پایین بالاتر رفته بودند. از آنجایی که جداسازی رسوبات از طریق دریچه‌های هاول-بانگر^{۵۹} خطر آسیب به دریچه‌ها را ایجاد می‌کرد، یک مدل فیزیکی برای ارزیابی جایگزینی این دریچه‌ها با دروازه‌های دریچه شعاعی^{۶۰} ساخته شد. نتایج نشان داد که دسترسی به پایین دست رودخانه نمی‌تواند میزان آبرفتگی مرتبط با این اصلاح را تحمل کند، بنابراین دریچه‌های هاول-بانگر با مواد مقاوم در برابر سایش دوباره طراحی شدند [37].

⁵⁵ - Aswan High Dam

⁵⁶ - watershed management

⁵⁷ - sediment flushing

⁵⁸ - tactical dredging

⁵⁹ - Howell-Bunger

⁶⁰ - radial sluice gates

۱-۹-۳- سه دره^{۶۱}، چین

در چین، گستردگی این موضوع منجر به توسعه نوآوری در مدیریت رسوب شده است. چهار استراتژی اصلی مدیریت رسوب اتخاذ شده است [33].

آنها عبارتند از: ذخیره‌سازی شفاف و رهاسازی کدورت^{۶۲}، رهاسازی جریان های کدورت^{۶۳}، شستشوی رسوب^{۶۴}، و لایروبی^{۶۵}. پروژه ۲۲۵۰۰ مگاواتی سه دره بر روی رودخانه یانگ تسه بزرگترین تاسیسات برق‌آبی جهان است. بخش ذخیره مرده مخزن ۳ Three Gorges (۱۷ میلیارد مترمکعب) به گونه ای طراحی شده است که در حدود ۱۲۰ تا ۱۵۰ سال با رسوب پر شود. ۲۲ میلیارد متر مکعب باقیمانده قرار است برای مدت نامعلومی با فلاشینگ حفظ شود. در طول فصل سیل‌های ژوئن تا سپتامبر، زمانی که ۵۰ تا ۶۰ درصد رواناب سالانه بسیاری از رسوبات رودخانه‌های چین را منتقل می‌کند، اپراتور مخزن را پایین می‌آورند و آب شفاف‌تری را برای بقیه سال حفظ می‌کنند. این استراتژی برای کاهش اثرات رسوب در هر دو سد Three Gorges و مخزن Sanmenxia با نیروگاه ۴۰۰ مگاواتی مؤثر بوده است [38].

۲- نتیجه‌گیری

از مخازن جهان برای اهداف بسیاری استفاده می‌شود، از جمله برای تأمین آب قابل اعتماد، انرژی آبی و کاهش سیل. انرژی آبی پایدار مستلزم پرداختن به موضوع مهم رسوب‌گذاری مخازن است. این مقاله فرآیندهای رسوب‌گذاری را توصیف و بررسی کرده است، و اثرات کلیدی رسوب‌گذاری بر سدها را شناسایی می‌کند و تکنیک‌هایی را ارائه می‌کند که می‌توان برای رسیدگی به این اثرات استفاده کرد. همچنین رسوب می‌تواند بر تولید برق‌آبی به دلیل از بین رفتن ذخیره‌سازی مخزن و/یا آسیب به اجزای مکانیکی تاسیسات تأثیر بگذارد. رسوبات ته نشین شده در مخازن ممکن است بر ایمنی سدها تأثیر بگذارد و بدون مدیریت صحیح، تأثیر منفی بر محیط زیست بگذارد. روش‌های مدیریت رسوب در سه دسته کلی قرار می‌گیرند: روش‌هایی که رسوب را به اطراف یا از طریق مخزن منحرف می‌کنند، روش‌هایی که رسوبات ته‌نشین‌شده را حذف می‌کنند، و روش‌هایی که در وهله اول میزان رسوب به تاسیسات را به حداقل می‌رسانند. انواع استراتژی‌های مدیریت رسوب در سراسر جهان مورد استفاده قرار گرفته‌اند که بسیاری از پیاده‌سازی‌های موفق مستند شده‌اند. این بحث نیاز به مدیریت مناسب رسوب در سدها را برجسته می‌کند و نشان می‌دهد که چگونه می‌توان از طریق در نظر گرفتن نگرانی‌های مربوط به رسوب از اولین مرحله طراحی تا ساخت و بهره‌برداری به این امر دست یافت.

⁶¹ - Three Gorges

⁶² - storing the clear and releasing the turbid

⁶³ - releasing turbidity currents

⁶⁴ - sediment flushing

⁶⁵ - dredging

منابع:

- [1]McCully, P., (2001). *Silenced rivers: the ecology and politics of large dams*. Zed Books Publisher
- [2]Zarfl, C., Lumsdon, A.E., Berlekamp, J., Tydecks, L., Tockner, K., (2015). A global boom in hydropower dam construction. *Aquatic Sciences*, 77, 161-170
- [3]Szal, D.; Gruca-Rokosz, R. Anaerobic oxidation of methane in freshwater sediments of Rzeszów reservoir. *Water* 2020, 12, 398. [CrossRef]
- [4]Grill, G., Lehner, B., Lumsdon, A.E., MacDonald, G.K., Zarfl, C., Lierman, C.R. (2015). An index-based framework for assessing patterns and trends in river fragmentation and flow regulation by global dams at multiple scales. *Environmental Research Letters*, 10, 1-15.
- [5]Szara, M.; Baran, A.; Klimkowicz-Pawlas, A.; Tarnawski, M. Ecotoxicological characteristics and ecological risk assessment of trace elements in the bottom sediments of the Rożnów reservoir (Poland). *Ecotoxicology* 2020, 29, 45–57. [CrossRef] [PubMed]
- [6]Launay, M., Le Coz, J., Diouf, S., Camenen, B., Thollet, F., Coquery, M., 2019. Reevaluation des apports moyens de matieres en suspension de l'Arve au Rhone [Re-estimation of mean suspended solid delivery of the Arve River to the Rhone River]. *La Houille Blanche* 2, 89–100. <https://doi.org/10.1051/lhb/2019019> (article in French).
- [7]Diouf, S., 2017. Barrages de Verbois et Chancy-Pougny - Abaissements de mai 2016 - Tome 1 : bilan hydraulique et sedimentaire. SIG (report in French), 37 pp.
- [8]Tarnawski, M.; Baran, A.; Koniarz, T.; Wyrębek, M.; Grela, J.; Piszczek, M.; Koroluk, A. The possibilities of the environmental use of bottom sediments from the silted inlet zone of the Rożnów Reservoir. *Geol. Geophys. Environ.* 2017, 43, 335–344. [CrossRef]
- [9]Park, J.; Son, Y.; Noh, S.; Bong, T. The suitability evaluation of dredged soil from reservoirs as embankment material. *J. Environ. Manag.* 2016, 183, 443–452. [CrossRef]
- [10] Ipsita, P.; Surabhi, J.; Sarat, K.; Jayabalan, R. Characterization of red mud as a structural fill and embankment material using bioremediation. *Int. Biodeterior. Biodegrad.* 2017, 119, 368–376. [CrossRef]
- [11] Zydroń, T.; Gruchot, A. Influence of Moisture and Compaction on Shear Strength and Stability of Embankments from Ash-Slag Mixture. (In Polish: Wpływ wilgotności i zagęszczenia na wytrzymałość na ścinanie popioło-zużli i stateczność budowanych z nich nasypów). *Annu. Set Environ. Prot. Rocznik Ochrony Środowiska* 2014, 16, 498–518.
- [12] Gruchot, A. Utilisation of Coal Mining Wastes and Fuel Ashes for Engineering Purposes as a Factor of Environmental Development and Protection. (In Polish: Utylizacja Odpadów Powęglowych i Poenergetycznych do Celów Inżynierskich Jako Czynniki Kształtowania i Ochrony Środowiska); *Zeszyty Naukowe (Rozprawy)*, 410; Uniwersytet Rolniczy im. Hugona Kołłątaja: Kraków, Poland, 2016; p. 533.
- [13] Gwózdź, R. Geotechnic properties of sediment deposited in the Rożnowskie lake and the possibility of using it in municipal waste disposal site soil construction. (In Polish: Właściwości geotechniczne osadów zdeponowanych w jeziorze rożnowskim oraz możliwości ich wykorzystania do budowy przesłon mineralnych w składowiskach odpadów komunalnych). *Czasopismo Techniczne- Środowisko* 2008, 1, 13–23.
- [14] Dysarz, T.; Wicher-Dysarz, J. Analysis of Flow Conditions in the Stare Miasto Reservoir Taking into Account Sediment Settling Properties. *Annu. Set Environ. Prot. Rocznik Ochrony Środowiska* 2013, 15, 584–605.

- [15] Łajczak, A. Studium nad Zamulaniem Wybranych Zbiorników Zaporowych w Dorzeczu Wisły; Monografie Komitetu Gospodarki Wodnej PAN; Oficyna Wydawnicza PWN, Zeszyt 8: Warszawa, Poland, 1995.
- [16] Batuca, G.D.; Jordaan, M.J. Silting and Desilting of Reservoirs; A.A. Balkema: Rotterdam, The Netherlands, 2000.
- [17] Journal of Laws. Dz.U. z 2014 r., poz. Rozporządzenie Ministra Środowiska z dnia 9 grudnia 2014 r. w sprawie katalogu odpadów.1923. Available online: <https://dziennikustaw.gov.pl/DU/rok/2014/pozycja/1923> (accessed on 10 September 2020).
- [18] Journal of Laws. Dz.U. z 2013 r., poz. 21. Ustawa z dnia 14 grudnia 2012 r. o odpadach z późniejszymi zmianami. Available online: <https://dziennikustaw.gov.pl/DU/rok/2013/pozycja/21> (accessed on 10 September 2020).
- [19] Sojka, M.; Siepak, M.; Gnojska, E. Assessment of heavy metal concentration in bottom sediments of Stare Miasto pre-dam reservoir on the Powa River. (In Polish: Ocena zawartości metali ciężkich w osadach dennych wstępnej części zbiornika retencyjnego Stare Miasto na rzece Powie). Annu. Set Environ. Prot. Rocznik Ochrona Środowiska 2013, 15, 1916–1928.
- [20] Zhang, Y.; Zhang, X.; Bi, Z.; Yu, Y.; Shi, P.; Ren, L.; Shan, Z. The impact of land use changes and erosion process on heavy metal distribution in the hilly area of the Loess Plateau, China. Sci. Total Environ. 2020, 718. [CrossRef] [PubMed]
- [21] Augustyniak, R.; Grochowska, J.; Łopata, M.; Parszuto, K.; Tandyrak, R. Characteristics of bottom sediments in polish lakes with different trophic status. In Polish River Basins and Lakes—Part I. The Handbook of Environmental Chemistry; Korzeniewska, E., Harnisz, M., Eds.; Springer: Cham, Switzerland, 2020; p. 86. [CrossRef]
- [22] Reservoir Sedimentation Manual, McGraw-Hill, New York, 1998.
- [23] Bougacha, S., and J. Tassoulas, “Seismic Response of Gravity Dams II: Effects of Sediments,” Journal of Engineering Mechanics, Volume 117, No. 8, 1991, pages 1839-1850.
- [24] Dominguez, J., R. Gallego, and B. Japon, “Effects of Porous Sediments on Seismic Response of Gravity Dams,” Journal of Engineering Mechanics, Volume 117, No. 8, 1997, pages 302-311.
- [25] Hatami, K., “Effect of Reservoir Bottom on Earthquake Response of Concrete Dams,” Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Volume 16, 1997, pages 407-415.
- [26] Gogoi, I., and D. Maity, “Influence of Sediment Layers on Dynamic Behavior of Aged Concrete Dams,” Journal of Engineering Mechanics, Volume 133, No. 4, 2007, pages 400-413
- [27] Dorij, U., and R. Ghomaschi, “Hydro Turbine Failure Mechanisms: An Overview,” Engineering Failure Analysis, Volume 44, 2014, pages 136-147.
- [28] Annandale, G., G. Morris, and P. Karki, “Sediment Management at Reservoirs and Hydropower Plants: World Bank Technical Note,” Proceedings of 84th ICOLD Meeting, International Commission on Large Dams, Paris, 2016.
- [29] Ahmari, H., et al, “Assessment of Erosion and Sedimentation for Hydropower Projects on the Lower Nelson River, Manitoba,” Canadian Dam Association, Montreal, Quebec, Canada, 2013.
- [30] Kenny, S., et al, “Assessment of Impacts to the Sedimentation Environment for the Keeyask Generating Station Project using Numerical Modelling,” Proceedings of 2014

Canadian Dam Association Conference, Canadian Dam Association, Montreal, Quebec, Canada, 2014.

[31] Sawadogo, O., and G. Basson, "2D Hydrodynamic Modelling of Sediment Deposition Processes and Flushing Operation of Boegoeberg Dam, South Africa," Proceedings of 2016 ICOLD Conference, International Commission on Large Dams, Paris, 2016.

[32] Bui, M., and P. Rutschmann, "Numerical Modelling for Reservoir Sedimentation Management," Proceedings of Sixth International Conference on Water Resources and Hydropower Development in Asia, 2016.

[33] Poulier, G., Launay, M., Le Bescond, C., Thollet, F., Coquery, M., 2019. Combining flux monitoring and estimation to establish annual budgets of suspended particulate matter and associated pollutants in the Rhone River from Lake Geneva to the Mediterranean Sea. *Sci. Total Environ.* 658, 457–473. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2018.12.075>.

[34] Kondolf, G., et al, "Sustainable Sediment Management in Reservoirs and Regulated Rivers: Experiences from Five Continents," *Earth's Future*, Volume 2, 2014, pages 256-280.

[35] Abd-El Monsef, H., S. Smith, and K. Darwish, "Impacts of the Aswan High Dam After 50 Years," *Water Resources Management*, Volume 29, 2015, pages 1873-1885.

[36] NAIADES, 2019. Benzo[a]pyrene concentrations in SPM at Pougny (- in French). <http://www.naiades.eaufrance.fr/acces-donnees#/physicochimie/operations?debut=1401-01-2003&fin=1431-12-2018&stations=1406065700¶metres=141115&fractions=1442>. (Accessed 20 May 2019).

[37] Hauer, C., Wagner, B., Aigner, J., Holzapfel, P., Flödl, P., Liedermann, M., Tritthart, M., Sindelar, C., Pulg, U., Klösch, M., Haimann, M., Donnum, B.O., Stickler, M., Habersack, H., 2018. State of the art, shortcomings and future challenges for a sustainable sediment management in hydropower: a review. *Renew. Sustain. Energy Rev.* 98, 40–55. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.08.031>.

[38] Wang, Z., and C. Hu, "Strategies for Managing Reservoir Sedimentation," *International Journal of Sediment Research*, Volume 24, 2009, pages 369-384.

The Role of Sediment in the Operation of Dams

Nasrin Chalik

M.A. in Civil Engineering, Deputy of School, Secondary School, Hamidieh County Education

Abstract

Concerns about sediment and erosion for all dams in some countries of the world include filling dams with sediment, exploiting hydroelectric power plants and dams with high accumulation of bed load and suspended sediments in catchment structures and setting minimum flows to prevent erosion. These presentations discuss problems and solutions to deal with sedimentation and erosion affecting dams and hydroelectric projects. Reservoirs play an important role in the development of water needed by humans. However, sedimentation limits storage capabilities and increases the risk of old infrastructure. The objectives of this paper are to combine general sediment management strategies and sediment management efforts in order to identify more effective sediment management barriers in reservoirs globally.

Keywords: Sediment Management, Sedimentation, Stability, Reservoir Life, Dams
