



## مزایا و معایب روش های رسوب زدایی سدهای مخزنی

سارا اقبالی<sup>۱\*</sup>، یونس بهاروند ایران نیا<sup>۲</sup>

۱- کارشناسی ارشد مهندسی سازه های آبی، دانشگاه لرستان

۲- کارشناسی ارشد مهندسی عمران، دانشگاه آزاد واحد بروجرد

\*Sarasaze68@Gmail.com

ارسال: خرداد ماه ۹۶ پذیرش: تیر ماه ۹۶

### چکیده

سدسازی به عنوان ابزاری برای مهار رودخانه ها و ذخیره آب به منظور استفاده شرب یا کشاورزی، تولید انرژی برقابی، کنترل سیلاب و جلوگیری از خسارات ناشی از آن، ایجاد فضاهای تفریحی و... از هزاران سال پیش مورد توجه بوده است. وضعیت منابع آب در جهان اهمیت حفظ و نگهداری و حتی افزایش حجم ذخیره را نشان می دهد. اگرچه سدسازی از نظر کمی روند افزایشی داشته ولی معضل رسوب گذاری همواره به عنوان مهم ترین عامل در کوتاه کردن عمر مفید سدها مطرح بوده است و سدهای مخزنی زیادی بدلیل پرشدن از رسوبات متروکه شده اند. نگاهی به سدهای مخزنی احداث شده در صد سال قبل در ایران نشان می دهد که اغلب مواقع سد به لحاظ انباشته شدن مخزن از رسوبات از حالت سودمند خارج شده و سازه سد پس از گذشت قرون متمادی و قرار گرفتن در معرض آسیب های ناشی از سیلاب، زلزله و... کماکان استوار و پابرجا مانده است و جزء میراث فرهنگی محسوب می گردد. در واقع یکی از عواملی که به عمر اقتصادی سدها پایان می دهد پدیده رسوب گذاری است و بر اساس گزارش کمیته بین المللی سدهای بزرگ در اثر رسوب گذاری هر ساله به طور متوسط بین ۰/۵ تا ۱ درصد و تقریباً معادل ۵۰ کیلومتر مکعب حجم کل ذخیره این سدها از بین می رود. هدف از این پژوهش بررسی روش های رسوب زدایی سدهای مخزنی و مزایا و معایب آن هاست.

کلمات کلیدی: رسوب، مخزن، رسوب زدایی، سدهای مخزنی، حجم مخزن.

### ۱. مقدمه

امروزه رسوب گذاری و تجمع رسوب در مخازن سدها در اکثر کشورها و مناطق جهان بعنوان یک چالش مهم مطرح می شود. رسوب گذاری در مخازن به شکل هایی اتفاق می افتد مانند: تشکیل دلتا در بالادست مخزن در اثر رسوب مواد درشت دانه موجود در جریان رودخانه ای، ته نشین شدن رسوبات ریزدانه در نزدیکی بدنه سد و جریان چگال رسوب به طرف بدنه سد رخ می دهد. هر یک از حالت های فوق الذکر در مخزن مشکلات و خساراتی به همراه خواهد داشت، از آن جمله: کاهش ظرفیت ذخیره مخزن، افزایش تبخیر از سطح مخزن به خاطر افزایش وسعت سطح آب مخزن، مختل کردن فعالیت کنترل سیلاب در اثر کاهش حجم مفید مخزن، بالا رفتن تراز آب مخزن و سیلابی شدن اراضی اطراف دریاچه سد، بالا آمدن تراز

سفره آب زیرزمینی و زه دار شدن اراضی اطراف دریاچه سد، ورود رسوبات به آبخیز توربین ها و در نتیجه سائیده شدن پره های توربین، ورود رسوبات به درزهای مربوط به دریچه در بدنه سد که باعث اختلال در عملکرد دریچه های تونل های آبخیزی و دریچه های آبخیزی دریچه های زیرین سد می شود، ورود و ته نشینی رسوب در تونل ها و کانالهای آبخیز که باعث کاهش ظرفیت انتقال و وارد آمدن خسارت به این سازه ها می شود [۱].

در کشورمان مطالعاتی در زمینه مبارزه با رسوب و روشهای رسوب زدایی انجام شده که از آن میتوان به موارد زیر اشاره نمود:

۱- مروری بر کاربرد رسوب شویی در مخازن سدها توسط سید حسین مهاجری که به بررسی رسوب شویی هیدرولیکی به طور موردی در سد سفیدرود پرداخته است.

۲- بررسی رسوب شویی سد شهید عباسپور بر رسوب گذاری سد مسجد سلیمان و عمر مفید سد توسط سعید شیری

۳- تاثیر صفحات مستغرق در افزایش راندمان رسوب شویی مخزن سد توسط سمانه کریمی

## ۲. روش های رسوب زدایی مخازن سدها

کلیه روشهای مدیریت رسوب بطور کلی در چهار دسته زیر خلاصه میشوند:

- کاهش رسوب ورودی به مخزن
- کاهش نشست رسوبات در مخزن
- حذف رسوبات از مخزن
- جبران رسوبات تجمع یافته در مخزن

## ۳. کاهش رسوب ورودی به مخزن

این روش یک روش پیشگیرانه از ورود رسوب به مخزن سد می باشد و از جمله کارهایی که در این زمینه میتوان انجام داد: مدیریت حوضه آبریز، تله اندازی رسوبات در بالادست، قراردادن مخازن بدون جریان، حفظ و توسعه تالابهاست.

۱-۳) مدیریت حوضه آبریز در برگیرنده کنترل فرسایش یا تله اندازی رسوبات در حوضه آبخیز و سرشاخه ها و جلوگیری از ورود آنها به داخل مخزن میباشد. انجام این روش برای حوضه های آبخیز بزرگ بسیار پر هزینه بوده و در طولانی مدت جواب میدهد بطور کلی اقدامات زیر را می توان در مورد مدیریت حوضه آبخیز بیان نمود:

۲-۳) پوشش گیاهی: بطور کلی کاشت گیاهان و درختهای مناسب در حوضه آبخیز سدها موجب کاهش چشمگیری دراز بین رفتن خاک حوضه آبخیز شده و میتوان از انتقال آن به داخل رودخانه ها جلوگیری کرد. (این روش ها معمولا کم هزینه بوده و به مراقبت و نگهداری کم تری نیاز دارند. این روشها به خصوص در مناطق خشک و نیمه خشک، در سالهای اولیه، به مراقبت خیلی زیادی نیاز دارند.)

در این روش با ترمیم، احیا و زیاد کردن پوشش گیاهی حوضه آبریز، برخورد بارندگی و جویبارهای فرعی کوچک را با خاک کاهش داده و باعث کاهش فرسایش خاک حوضه و در نتیجه رسوبات ورودی به رودخانه میشوند. این روش نه تنها میزان رسوبات ورودی به مخزن را میکاهد بلکه باعث بیشتر شدن عمر مخزن هم میشود. همچنین با کاهش فرسایش خاکهای گرانبهای کشاورزی، اثرات مثبت اقتصادی را نیز به دنبال خواهد داشت.

عملیات آبخیزداری با روش سازه ای: این سازه ها به منظور کاهش حجم رواناب و سرعت آن و یا حفاظت خاک از تماس با آب جاری استفاده میشوند. (معمولا روش های سازه ای در مقایسه با سایر روش ها به هزینه ی بیش تری نیاز دارند، ضمن این که به مراقبت و نگه داری مداوم و نامحدود نیز نیاز دارند.) سازه های آبخیزداری از قبیل: انواع ترانس ها، بانکت ها، سدهای چپری و خشکه چین و... هستند.

۳-۳) تله اندازی رسوبات در بالادست یکی از روشهای مدیریت حوضه های آبخیز میباشد. سازه های هیدرولیکی که رسوبات را به دام می اندازند به کلاسهای زیر طبقه بندی میشوند:

□ فیلترهای طبیعی گیاهی: در بعضی شرایط، پوششهای گیاهی کنار رودخانه سرعت جریان آب را کاهش میدهند، لذا رسوبات را قبل از اینکه به مخزن وارد شوند به دام میاندازند.

□ سدهای موقتی: به منظور به دام انداختن مواد بستری و کاهش فرسایش طراحی میشوند. این سدها بیش تر از مصالح محلی (سنگ و سیمان، سنگ و گایون) احداث می شوند و معمولاً ارتفاع آنها از ۲ متر کوتاه تر است. فواصل این سدها ممکن است تا ۱۰۰ متر هم برسد و بیش تر برای کنترل شیب رودخانه احداث می شوند. این سازه ها به صورت متوالی طوری طراحی می شوند که شیب تند رودخانه را به شیب ملایمی تبدیل کنند تا با کاهش سرعت جریان، میزان حرکت بار بستر کاهش یابد و از کف کنی رودخانه جلوگیری شود.

□ مخازن: مخازن معمولاً برای تله اندازی رسوبات طراحی و ساخته میشوند. در نتیجه، هر جا دو یا تعداد بیشتری مخزن پشت سر هم باشند، مخزن پایین دست از جمع آوری رسوبات توسط مخازن بالادست سود میبرند.

□ حوضه های نگاهداشت رسوب: یک حوضه طراحی شده برای تله اندازی رسوبات معلق (سیلت و رس) به منظور کنترل و بهبود کیفیت آب. حوضچه هایی هستند که به منظور ترسیب بخشی از مواد فرسایشی پایین دست مناطق نفوذناپذیر و در بالادست مخازن سدها ممکن است احداث شوند. از آنجاکه حجم این حوضچه ها به تدریج از رسوب پر می شود، تمهیدات لازم برای تخلیه ی آنها باید در زمان طراحی دیده شود. رسوب تولیدشده از مناطق غیرقابل نفوذ (مناطق کوهستانی پوشیده از سنگ و یا مناطق شهری) متفاوت از رسوب تولیدشده از خاک است. معمولاً، غلظت رسوب در این مناطق و در مراحل اولیه ی رواناب سطحی زیاد می باشد و سپس به تدریج از غلظت رسوب کاسته می شود. از این رو، حجم حوضچه باید طوری طراحی شود تا آن حجم رواناب اولیه را که دارای غلظت رسوب زیادی است، ذخیره نماید.

۴-۳) قرار دادن مخازن بدون جریان: گزینه دیگر ساخت مخزنی خارج از مسیر کانال اصلی جریان و پر کردن آن توسط انحراف جریان به آن میباشد. بدین ترتیب اصولاً اجازه میدهیم که آب صاف در طول شرایط غیرسیلابی به مخزن منحرف شود، در حالیکه جریانهای رسوبی از مخزن بایس میشوند. البته این روش تنها در موقعیت هایی امکان پذیر می باشد که بتوان در مجاورت رودخانه یا به موازات مخزن اصلی، گودال طبیعی یا یک حوضه ی کوچک در مجاورت رودخانه ی اصلی باشد که با احداث دایک بتوان حجم مشخصی را ذخیره کرد. ابعاد سرریز مخزن فرعی بزرگ نیست، چرا که میزان ورود آب به این مخزن از طریق سازه ی آبرگیر کنترل می شود. رسوبات نهشته در مخزن فرعی را می توان به روشهای مختلف تخلیه کرد زیرا این مخزن در بیش تر مواقع سال خشک می باشد. برای افزایش راندمان انتقال رسوب به مخزن فرعی، ضروری است که تاسیسات آبرگیری در محل قوس داخلی رودخانه ی اصلی احداث گردد.

۵-۳) حفظ، توسعه و احیای تالاب ها: تالاب ها محیطهایی هستند که مشخصاتشان چیزی میان خشکی و آب است. تالابها ممکن است همواره دارای آب باشند یا اینکه گاه خشک و گاه آبدار باشند. ارزش زیستی گیاهی و جانوری، ارزشهای اقتصادی و اجتماعی تالاب ها، تامین منابع انرژی، کنترل کننده سیلاب، جلوگیری از فرسایش سواحل، مکانی برای رسوب گیری، نگهدارنده مواد غذایی، بادشکن طبیعی، محلی برای تفریح و تفریح، صیدگاه طبیعی پرندگان و آبیان و میراث فرهنگی منحصر به فرد را از مهمترین ویژگی های تالاب ها می باشد. تالابها در بالادست مخازن رسوبات را از رودخانه ها حذف کرده، لذا از ورود آنها به مخزن جلوگیری میکنند. همچنین تالابها در پایین دست مخازن به تعدیل اثرات رسوبات رها شده کمک می کنند.

**۴. کاهش نشست رسوبات در مخزن**

۱-۴) عبور دادن رسوبات : روشی است که اجازه می‌دهد رواناب های بزرگ، که معمولاً بار رسوبی بالایی را حمل میکنند، از میان مخزن پس از اینکه مخزن بطور جزئی یا کامل کاهش تراز داد، جریان یابند. و هدف این روش بهبود ظرفیت انتقال رسوبات در مخزن به منظور کاهش نشست رسوبات و حداکثر کردن عبور رسوبات میباشد. جریانهای رسوبی شدید از طریق دریاچه های تخلیه کننده تحتانی موجود در سد به رودخانه پایین دست انتقال داده میشوند. این روش همچنین میتواند رسوباتی که از قبل در مخزن ته نشین شده اند حرکت دهد، اما این هدف اصلی نیست. زمان مناسب عبوردهی رسوبات زمانی است که جریان با غلظت بالا توسط جریان سیلابی وارد سد میشود.

۲-۴) تخلیه رسوب با استفاده از روش جریان غلیظ : درفصول سیلابی که با بارش شدید باران در حوضه های بالادست توام است، حوضه آبخیز دارای سطح خشک و پوشش گیاهی اندکی است و به همین دلیل حجم بسیار زیادی از رسوبات حوضه به صورت معلق همراه با رواناب ناشی از بارندگی وارد رودخانه می شوند. جریان ورودی به مخزن دارای غلظت بالایی از مواد رسوبی بوده و با کاهش سرعت در مخزن سد، مواد معلق در کف مخزن به شکل جریان گلی به سمت بدنه سد جریان می یابد که به آن جریان غلیظ می گویند. در مخازن عمیق و با شیب طولی زیاد جریان غلیظ اهمیت بیشتری می یابد. در این مخازن دریاچه های تخلیه تحتانی تحت فشار بالایی قرار داشته و با سرعت زیادی می توانند رسوبات را منتقل کنند. شیب تند مخزن نیز باعث سرعت زیاد رسوبات می شود. این روش برای مخازن بزرگی که دارای ظرفیت ذخیره چندین ساله می باشند و همچنین پایین آوردن رقوم سطح آب در آنها صورت نمی گیرد روش مناسبی برای رسوب زدایی است. از آنجایی که در مدت تخلیه جریان غلیظ ممکن است آبرگیری نیز صورت بگیرد این روش بیشتر در مناطق خشک که کمبود آب وجود دارد به طور گسترده نیز می تواند مورد استفاده قرار گیرد [۲].

۳-۴) احداث کنارگذر لوله ای : کنار گذر لوله ای روش دیگری برای خروج رسوبات نهشته شده در داخل مخزن می باشد. در این روش رسوبات نهشته شده در مخازن بالا دست مخزن اصلی را می توان از طریق لوله ای که از میان دریاچه های تحتانی سد به طرف پایین دست هدایت می شود، تخلیه نمود. در این روش لوله به صورت دائمی قرار می گیرد و استفاده از آن برای خروج مواد رسوبی (حداکثر به اندازه ماسه) به صورت ثقلی مناسب است. این روش در سد اسپنسر در رودخانه نیوبرارا استفاده شده است. برای راندمان بیش تر در این روش، لوله در قسمت مکش باید قابلیت جابه جا شدن را داشته باشد و ضمناً برای شرایطی که امکان ورود شن وجود داشته باشد، برای تامین سرعت جریان بیش تر نصب پمپ ضروری است.

۴-۴) رسوب زدایی با استفاده از تونل کنارگذر : از جمله روش هایی که در تعدادی از مخازن سدها استفاده شده است، قرار دادن دهانه تونل در محل ورودی رودخانه به مخزن واحداث آن تا پایین دست سد می باشد. بدین ترتیب در زمان های سیلابی که رودخانه بخش عمده ای از رسوبات را به همراه دارد، رسوب می تواند از این مجرا به پایین دست سد منتقل گردد. با این روش از تاثیر منفی عملیات رسوب زدایی در پایین دست جلوگیری می شود و تقریباً شرایط انتقال رسوب به شرایط قبل از احداث سد برمی گردد. البته موفقیت این سیستم بستگی به شرایط هیدرولیکی، هندسه مخزن، مسایل زیست محیطی، شرایط پایین دست و مسایل بهره برداری دارد. این سیستم در انتقال ذرات ریزدانه غیرچسبنده بسیار موثر می باشد. یکی دیگر از روشها می تواند نصب لوله شکاف دار در بستر مخزن باشد. شکاف به صورت طولی بوده و رسوبات از این شکاف وارد لوله و نهایتاً به خارج هدایت می شوند.

**۵. حذف رسوبات از مخزن**

۱-۵) رسوب زدایی هیدرولیکی : رسوب زدایی هیدرولیکی و یا عملیات شاس به زبان فرانسه به عملیاتی اطلاق می شود که با باز کردن تخلیه کننده های تحتانی در کف یا رقوم پایین تر رسوبات نهشته شده در بستر مخزن در اثر فرسایش کنده شده و به

همراه جریان آب از مخزن خارج شود. در ابتدای باز کردن دریچه های تخلیه کننده تحتانی به منظور رسوب زدایی، رسوبات تجمع یافته تحت فشار آب از مخزن تخلیه می گردد ولی چنان چه سطح آب مخزن تا حد دریچه ها پایین آورده شود، رسوبات در اثر فرسایش پس رونده به دلیل جریان های رودخانه ای کنده شده و به بیرون هدایت می شوند. در این روش که از انرژی جریان آب برای تخلیه رسوبات استفاده می گردد می توان بخشی از حجم ذخیره مخزن را که در اثر انباشت رسوبات از دست رفته است احیا نمود و ظرفیت ذخیره جدیدی را ایجاد کرد. این روش از دیرباز معمول بوده است. قدیمی ترین روش رسوب زدایی در کشور اسپانیا در قرن شانزدهم میلادی تجربه شده است. از رسوب شویی می توان هم برای تخلیه رسوبات چسبنده ریز دانه (ویت، ۲۰۰۰) و هم برای رسوبات غیر چسبنده درشت دانه مانند شن و ماسه استفاده کرد. (سوارنو و سیاریمان، ۲۰۰۸) [۳].

۲-۵) خاکبرداری: خاکبرداری رسوبات از مخازن با استفاده از تجهیزات زیاد پر هزینه میباشد. علاوه بر این، هزینه های بالای کارگر و جاده و تعمیر تجهیزات میتواند خاکبرداری را نسبت به لایروبی بسیار گرانتر کند. برای اینکه رسوبات را از مخزن تخلیه کنیم باید حداقل کاهش تراز بصورت جزئی در مخزن برای مدت طولانی انجام گیرد، در نتیجه این امر ظرفیت ذخیره مخزن را کاهش داده و باعث تأثیر بر روی استفاده از آب خواهد شد. خاکبرداری و لایروبی به یک محل موقت و یا دائمی برای ذخیره کردن رسوبات نیاز دارند.

۳-۵) رسوب زدایی با استفاده از روش سیفون: استفاده از سیستم سیفون از جمله روش های اقتصادی لایروبی مخازن سدهای کوچک و متوسط می باشد که امروزه در سطح گسترده ای استفاده می شود. استفاده از روش سیفون برای مخازن کوچکتر از صد میلیون مترمکعب مناسب است. روش سیفون ممکن است به صورت روگذر یعنی لوله انتقال از روی سد عبور کند یا به صورت زیرگذر یعنی عبور از لوله از محل دریچه های تحتانی باشد.

۴-۵) لایروبی: رسوبزدایی مخازن سدها به روش لایروبی مکانیکی یکی از نتیجه بخشترین و غیر اقتصادیترین روشها و در مقابل روش تخلیه جریان گل آلود در مواقع سیلابی یکی از اقتصادیترین روشها برای تخلیه رسوبات مخازن سدها است. راندمان تخلیه جریانهای گل آلود وابستگی زیادی به توپوگرافی مخازن سدها بخصوص توپوگرافی کف مخازن دارد. لایروبی وسیله ای برای کندن مصالح بستر دریا یا رودخانه و حمل آنها به سطح آب به منظور انتقال به محل دفع می باشد. وظیفه اصلی یک لایروب در چرخه لایروبی انجام مرحله حفاری مصالح می باشد ولی برخی از انواع آنها توانایی حمل و دفع مصالح را نیز دارند. عوامل متعددی بر عملکرد دستگاه لایروب تأثیرگذار خواهند بود که مهمترین آنها عبارتند از: نوع مصالح و مقدار آنها، عمق لایروبی، فاصله تا محل دفع، شرایط محیطی محل پروژه، میزان آلودگی رسوبات، روش دفع، نرخ کاری مورد نیازانتخاب لایروب مناسب برای هر طرح که نیازمند شناخت ویژگی ها و محدودیت های انواع لایروب میباشد تا بتوان اقدام به انتخاب بهترین گزینه موجود صورت گیرد. لایروب ها را با توجه به روش حفاری می توان به دو گروه اصلی مکانیکی و هیدرولیکی طبقه بندی نمود. علاوه بر این برای انجام لایروبی های خاص، لایروبیهای ویژه ای به کار می رود که می توان آنها را تحت عنوان "لایروبیهای خاص" قرار داد [۴].

## ۶. جبران رسوبات تجمع یافته در مخزن

۱-۶) توسعه سد: بزرگ کردن یک سد موجود برای جبران ذخیره از دست رفته میتواند یک روش مناسب و بطور موقت جایگزین ذخیره از دست رفته توسط رسوبات باشد. افزایش ارتفاع سد تنها در حدود چند فوت میتواند حجم ذخیره قابل توجهی را ایجاد نماید.

۶-۲) تخریب سد: گاهی سدهایی که بدلیل انباشته شدن از رسوبات از درجه کاربری ساقط شده و دیگر توانایی ذخیره حجم مورد نیاز آب و کنترل سیلاب را ندارند و همچنین روش های رسوب زدایی در مورد آنها جوابگو نمی باشد تخریب می شوند.

۶-۳) ساخت یک سد جدید: برای بدست آوردن حجم ذخیره ای که در رسوب گذاری یک سد از بین رفته می توان گاهی به ساخت یک سد جدید فکر کرد ولی عواملی وجود دارد که مانع از ساخت سد جدید می شوند که از آن جمله می توان به کمبود ساختگاه های مناسب زمین شناسی، هزینه های بالای ساخت، عوامل منفی زیست محیطی و غیره اشاره نمود.

## ۷. روش های رسوب زدایی سدهای ایران

به عنوان نمونه چند سد در ایران و روش رسوب زدایی آنها در ذیل آورده شده است

• سد دز: این سد از جمله سدهای مهم کشور می باشد که متاسفانه با مشکل تجمع رسوب مواجه می باشد. رسوب گذاری بیش از ۱۵ میلیون متر مکعب در سال موجب شده است که رسوبات درشت دانه در ابتدای مخزن ته نشین شده و با تشکیل دلتا به سمت سد پیشروی کنند. به طوری که عملیات آبنگاری انجام شده در سال های مختلف نشان می دهد رسوب گذاری در مخزن سد دز موجب پیشروی دلتا به اندازه ۵۰۰ تا ۱۰۰۰ متر در سال شده است. باتوجه به مطالعات و شرایطی که سد دز داشت بهترین روش برای رسوب زدایی روش رسوب شویی هیدرولیکی تحت فشار بود. در سد دز انجام رسوب زدائی تحت فشار از زمان بهره برداری (۱۳۴۲) تا سال ۱۳۸۲ هفت بار انجام شد. رسوب زدایی تحت فشار در این سد باعث خروج ۳۰۰ هزار متر مکعب رسوب از مخزن سد گردید.

• سد سفیدرود: این سد از نوع بتنی پشت بنددار می باشد و در نزدیکی شهرستان منجیل استان گیلان قرار دارد. این سد دارای ارتفاع ۱۰۶ متر است و با هدف کشاورزی، شرب و تولید انرژی احداث و در سال ۱۳۴۱ مورد بهره برداری قرار گرفته است. متاسفانه به دلیل آورد بالای رسوب رودخانه های منتهی به مخزن سد، سالانه حجم زیادی از رسوب در مخزن آن نهشته می شود به طوری که درصد تلفات حجم مخزن به دلیل نهشته شدن رسوب برابر ۲/۰۸ درصد یعنی دو برابر نرخ متوسط در ایران و چهار برابر نرخ متوسط جهانی است. یکی از اقدامات بسیار موثر برای احیاء بخشی از ظرفیت سد در چهار دهه گذشته انجام عملیات رسوب زدایی هیدرولیکی آزاد موسوم به عملیات شاس بوده است. با انجام اقدامات تکمیلی میزان رسوب خروجی از ۱۴ به ۴۴ میلیون تن در سال افزایش یافته است به طوریکه میزان راندمان تله اندازی در طول ۷ سال عملیات شاس با اقدامات تکمیلی ۹۶٪ بوده است. در سد سفیدرود عملیات شاس در حدود ۱۵ روز طول می کشد و پس از باز شدن دریچه ها حدود پنج روز طول می کشد که رسوبات کنده شده به دریچه سد برسند و البته در این مدت حجم قابل ملاحظه ای آب هدر می رود.

• سد تاریک: طرح لایروبی سیفونی در ایران و در سد انحرافی تاریک در سال ۱۳۵۱ آزمایش شده است که به دلیل نوع خصوصیات رسوبی نهشته شده و تحکیم این رسوبات و بار آبی نسبتاً کم نتیجه مطلوبی نداشته است [۵].

## ۷. نتیجه گیری

مهمترین جنبه های قابل بررسی هر یک از روشهای ارائه شده برای برخورد با مشکل رسوبگذاری را میتوان بشرح زیر معرفی کرد.

- بازدهی
- هزینه های طرح
- سازگاری طرح با ساختمان سد

- عدم بروز مشکلات در پایین دست سد
- قابلیت انطباق طرح در مخازن و سدهای گوناگون
- دوام کاربری طرح

بررسی دقیق هر یک از روشهای ذکر شده در بخش قبل در چارچوب عناوین فوق خارج از حدود این مطالعه می باشد. با این حال میتوان گفت که همانطور که بوضوح پیداست هیچ یک از روشهای فعلی تخلیه رسوب تمام جنبه های فوق الذکر را حتی در حد متوسط نیز تامین نمی کنند.

جدول ۱- مقایسه بین روش های مبارزه با رسوب در مخزن

روش رسوب زدایی	بازدهی	هزینه طرح	سازگاری طرح با ساختمان سد	مشکلات پایین دست	قابلیت انطباق طرح	دوام کاربری
احیای پوشش گیاهی در حوضه بالادست	متوسط	زیاد	عالی	بدون مشکل	عالی	عالی
ایجاد حوضچه های رسوب گیر بر روی شاخه های فرعی رودخانه	متوسط	زیاد	عالی	بدون مشکل	عالی	کم
روندبایی رسوبات در مخازن سدها	کم	کم	عالی	کمی مشکل آفرین	خوب	عالی
خروج سریع آب مخزن (فلاشینگ)	زیاد	کم	کم	مشکل آفرین	خوب	خوب
استفاده از جریان غلیظ برای خروج رسوبات	کم	کم	عالی	بدون مشکل	کم	عالی

در مجموع بکار بردن هر یک از روشهای ذکر شده مستلزم شناخت کاملشان از جهت توانایی و محدودیت‌هایشان میباشد، بطوریکه گاهی اوقات ممکن است بکار بردن این روشها در برخی از مخازن سدها اقتصادی نباشد. در برخی موارد ساخت یک سد جدید ممکن است بسیار اقتصادتر از کاهش رسوبگذاری یا بر طرف نمودن مواد رسوبی باشد [۶].

## ۸. مراجع

1. Graf, W.H.:1984, Hydraulics of Sediment Transport, McGraw-Hill, New York.
۲. سیدامین اصغری پری؛ سید محمود کاشفی پور و مهدی قمشی، ۱۳۸۸، بررسی اثر غلظت جریان در کنترل جریان غلیظ با مانع در مخازن سدها، هشتمین سمینار بین المللی مهندسی رودخانه، اهواز، دانشگاه شهید چمران اهواز
۳. امام قلی زاده، ص: ۱۳۸۶، بررسی و ارزیابی انجام فلاشینگ تحت فشار در سدهای مخزنی، پایان نامه دکتری، دانشکده مهندسی علوم آب، دانشگاه شهید چمران اهواز.
۴. رهنمایی، د: ۱۳۷۴، رسو بگذاری در مخازن سدها، آب و توسعه، وزارت نیرو، س ۳، ش ۱، ص ۱۱۰-۱۴۰
۵. رهنمایی، د: ۱۳۷۴، رسو بگذاری در مخازن سدها، آب و توسعه، وزارت نیرو، س ۳، ش ۱، ص ۱۴۵-۱۷۰
6. White, W. R.:۲۰۰۰, Flushing of Sediments from Reservoirs, Thematic Review IV.S, World Commission on Dams