فصلنامه علمی، پژوهشی زمین‌شناسی و محیط‌زیست
سال دوم، شماره ۲، زمستان ۱۳۸۷

بررسی روش‌های رسوب‌زدایی در سد سفیدرود و تعیین بهترین روش رسوب‌زدایی

رسول جانی[۱]، علی پناهی[۲]

۱- کارشناس ارشد عمران آب دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز

۲- دانشجوی دکتری جغرافیای طبیعی- دانشگاه آزاد اسلامی واحد تبریز

چکیده

براساس گزارش کمیته بین‌المللی سدهای بزرگ در حال حاضر بیش از ٤٠ هزار سد بزرگ در جهان وجود دارد که برای تأمین آب، تولید انرژی و کنترل سیلاب مورد استفاده قرار می‌گیرد. در اثر رسوب‌گذاری هر ساله به طور متوسط ۰/۵ تا ۱ درصد از حجم کل ذخیره این سدها از دست می‌رود. برای جبران این کاهش ظرفیت، نیاز است سالانه بین ۲۰۰ تا ٤٠٠ سد بزرگ در جهان ساخته شود، هرگونه غفلت از این موضوع به ویژه در کشورهای خشک و نیمه خشک جهان مانند ایران نه تنها مشکل را حادتر می‌نماید، بلکه چاره‌اندیشی آن را دشوار می‌سازد. در این تحقیق روشهای رسوب زدایی همچون روش لایروبی، جریان غلیظ و فلاشینگ در سد سفیدرود مورد مطالعه قرار گرفت. روش لایروبی به خاطر مشکلات اجرایی و مسائل اقتصادی مناسب نبود و روش جریان غلیظ به علت وجود یک سد موقتی در ۱۵۰ متری بالادست سد عامل محدود کننده ای برای استفاده بهینه از این روش بود و تنها روش فلاشینگ به شرط کاهش عوارض زیست محیطی مناسب تشخیص داده می شود.

واژگان کلیدی: رسوب زدایی، جریان غلیظ، لایروبی، رسوب شویی.

مقدمه

هم‌اکنون پیشنهاد ساخت سدهای بزرگ به علت پیامدهای گوناگون آن از جمله پیامدهای زیست‌محیطی کمتر مورد توجه قرار دارد که این امر موجب کاهش ساخت این گونه سدها در دهای آینده می‌شود. یکی از مناسب ترین گزینه‌ها برای حفظ منابع آبی پایدار، کاهش شدت رسوب‌گذاری در مخازن سدها با استفاده از روش‌های نوین می باشد. در حالی که گزینه‌های متفاوتی جهت خارج کردن و حذف رسوبات تجمع یافته در پشت سدها وجود دارد. رسوب‌زدایی با استفاده از گشودن دریچه‌های تحتانی فلاشینگ (Flushing) به عنوان روشی موثر جهت احیای حجم از دست رفته مخزن سد بدون تحمل هزینه‌های ناشی از روش‌های مکانیکی حذف رسوبات مطرح است. رسوب‌گذاری و تجمع رسوبات

در مخزن سدهایی که بر روی رودخانه‌های حاوی مقادیر قابل توجه رسوبات ساخته می شوند امری اجتناب ناپذیر می باشد و اولین نتیجه مهم آن کاهش ظرفیت و عمر مفید سد می باشد. انجام فعالیت‌های حفاظت آب و خاک گرچه ممکن است فرسایش از سطح حوضه های آبریز و نهایتاً انتقال رسوبات به مخزن سدها را کاهش دهد، اما در مورد حوضه های آبریز رودخانه‌های قزل اوزن و شاهرود با آن سطح وسیع و متنوع از لحاظ واحدهای زمین شناسی بسیار بعید به نظر می رسد که در شرایط کنونی جوابگوی مشکلات بوجود آمده در مخزن سد سفید رود باشد. برای جلوگیری از انباشته‌شدن رسوب در مخزن سد باید تمهیداتی را در نظر گرفت، این تمهیدات به طورعمده در سه مرحله باید اجرا شود که عبارت است از:

۱- کنترل مقدار رسوب ورودی به مخزن

برای پیش گیری از ورود رسوب به مخزن باید روش هایی مانند برنامه‌ریزی‌های آبخیزداری، احداث سدهای خشکه‌چین، گابیون‌بندی، کاشت نهال و ایجاد مناطق حفاظت شده در حوضه بالادست سد به کار گرفته شود.

۲- انتقال رسوب از بالا دست به پایین دست بدون ته‌نشین‌شدن در مخزن

می‌توان روش‌هایی هم‌چون احداث گذرگاه‌های فرعی و عبوردهی جریان‌های غلیظ را نام برد.

۳- خارج‌نمودن رسوبات انباشته‌شده از مخزن

روش‌های تخلیه‌ی رسوبات از مخازن که شامل لایروبی و فلاشینگ می شود.

٤- کنترل مقدار رسوب ورودی به مخزن

رسوباتی که در مخزن سدها انباشته می‌شود حاصل فرسایش حوضه آبریز سدها به وسیله آبهای سطحی ناشی از آب باران و ریزش‌های شدید جوی می‌باشد. پس باید محل سد با توجه به توپوگرافی و پوشش گیاهی منطقه انتخاب شود. کنترل رسوب با کاهش فرسایش اراضی در حوضه آبریز، به عنوان یک روش پیش‌گیری به حساب می‌آید. در واقع کنترل فرسایش، در دو جهت حفاظت خاک اراضی و جلوگیری از انهدام سدها عمل می‌نماید. رسوبات حاصل از فرسایش حوزه‌های آبخیز پس از حمل توسط آبها، در مناطق کم شیب پایین دست بر جای گذاشته می‌شود. یکی از راه‌کارهای مناسب برای جلوگیری از این‌گونه معضلات احداث سازه‌های اصلاحی یا سدهای رسوب‌گیر (Chech dam) می‌باشد. [۷]

انتقال رسوب به پایین دست بدون ته‌نشینی در مخزن سد

الف- عملکرد مخزن در مواقع سیلابی

عملکرد مخزن سد در مواقع سیلابی در عبور دادن سیلاب به پایین دست قابل توجه است. برای این منظور پایین نگهداشتن تراز آب مخزن در فصول سیلابی و عبور سیلاب از مخزن با مانور دریچه‌های تحتانی و میانی حایز اهمیت می‌باشد. ولی اگر سیلاب در مخزن ذخیره شود در اثر برگشت آب (back water) که به خاطر بالا آمدن تراز آب در مخزن می‌باشد، مواد معلق سیلاب با کاهش سرعت سیل در مخزن رسوب خواهد کرد و مقدار کمی از مخزن خارج خواهد کرد. مانور مخزن با پائین آوردن تراز آب در خلال فصول سیلابی به منظور خارج

نمودن آب با غلظت رسوبی زیاد برای بسیاری از مخازن موجود در کشور چین یک عمل عادی و معمول است. از آن جایی که زمان سیلابی‌شدن، غلظت رسوبات ورودی به سد در شاخه صعودی هیدروگراف، روند افزایشی داشته و به مقدار حداکثر خود می‌رسد، اگر در این زمان آب از مخزن خارج شود مخزن با آب تمیزتر پر خواهد شد [۲].

ب- تخلیه جریان‌های غلیظ

تخلیه جریان‌های غلیظ از دیرباز به عنوان روشی مؤثر برای جلوگیری از رسوب‌گذاری در مخازن بوده است. جریان غلیظ زمانی در سد تشکیل می‌شود که جریان ورودی به سد دارای بار رسوبی بالا باشد، به علت بالا بودن غلظت و چگالی، جریان از زیر آب ذخیره‌شده در مخزن حرکت کرده و خود را به بدنه‌ی سد می‌رساند. عبوردهی جریان غلیظ بدان معنی است که جریان غلیظ تشکیل شده در سد را بتوان به وسیله‌ی تخلیه‌کننده‌های تحتانی از آن خارج کرد. از آن جایی که در مدت زمان تخلیه جریان غلیظ، امکان آبگیری نیز وجود دارد، این روش بیشتر در مناطق خشک که کمبود آب وجود دارد به طور گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرد [۱].

میزان رسوب خارج شده به وسیله جریان‌های غلیظ، وابسته به عوامل زیر است:

- توپوگرافی مخزن؛ یعنی طول، عرض و شیب بستر
- دبی جریان و رسوب ورودی
- شکل و ابعاد خروجی‌ها یعنی رقوم آستانه و ظرفیت تخلیه
- دبی شستشو و تراز آب در مخزن در خلال عملیات شستشو

ج- خارج نمودن رسوبات انباشته شده از مخزن (بازیافت ظرفیت مخزن)

۱- لایروبی

لایروبی (Dredging) روش گرانی جهت بازیافت ظرفیت ذخیره مخازن سدها به خصوص وقتی رسوبات خارج شده از مخزن را نتوان برای مصارف سودبخشی بکار برد، می باشد. هنگامی این روش توجیه‌پذیر خواهد بود که:

الف- رسوب شوئی یا فلاشینگ کارآمد نباشد.

ب- روش احداث گذرگاههای فرعی (By Passing) از لحاظ اقتصادی توجیه‌پذیر نباشد.

۲- روش فلاشینگ

رسوب‌زدایی به وسیله فلاشینگ یکی از اقتصادی‌ترین روش‌های تخلیه رسوب و بازیابی حجم ذخیره مخزن می‌باشد، با این روش می‌توان ظرفیت مخزن را با توجه به شرایط معین سازه‌ای، توپوگرافی و هیدرولوژی، بازیابی و تجدید کرد. در این شرایط ابعاد مناسب و شکل تخلیه‌کننده‌های تحتانی، طول، عرض و شیب کف مخزن و میزان دبی ورودی در طول عملیات رسوب‌شوئی از عوامل مهم می‌باشد [۱].

درصد تجدید و بازیابی ظرفیت مخزن با روش فلاشینگ یا رسوب‌شویی در مخازن کوچک و دره‌ای به خاطر این که قسمت اعظم رسوب ته‌نشین شده آن در نزدیکی سد می‌باشد، می‌تواند بسیار بالا باشد. فرسایش در خلال رسوب‌شویی در این نوع مخازن با

توجه به میزان دبی ورودی می‌تواند تا حد عرض کل دره عریض شود.

فلاشینگ هیدرولیکی روش جدیدی نیست و سابقه استفاده از آن به سال‌های دور بر می‌گردد. قدیمی‌ترین روش فلاشینگ در کشور اسپانیا توسط دروهان (Drohan) مورد استفاده قرار گرفت [۸] و به قرن شانزدهم بر می‌گردد. در ارتباط با مؤثر بودن یا فقدان تأثیر روش فلاشینگ در دفع رسوبات نهشته شده در مخزن، نظرات متعددی وجود دارد، این که آیا روش فلاشینگ روش مؤثری برای دفع رسوبات در مخازن بزرگ می‌باشد، مبهم است. همچنین روش فلاشینگ تنها راه‌حل مناسب برای مخازنی می‌باشد که دارای مقدار آب ورودی اضافی به مخزن می‌باشد.

عوامل متعددی وجود دارد که مانع استفاده از روش فلاشینگ می‌شود. برای مثال می‌توان به آثار زیست‌محیطی آن مانند کشته‌شدن ماهی‌ها، ایجاد آلودگی در پایین‌دست در اثر رسوبات رهاشده و همچنین سایش دریچه‌های تحتانی در اثر غلظت بالای رسوبات، اشاره نمود.

از لحاظ بهره‌برداری، فلاشینگ را می‌توان به دو نوع فلاشینگ تحت فشار و فلاشینگ آزاد تقسیم نمود. در فلاشینگ تحت فشار، آب از طریق تخلیه‌کننده‌های تحتانی از سد خارج می‌شود. ولی سطح آب مخزن در رقوم بالا، ثابت می‌ماند. در فلاشینگ آزاد، آب مخزن به وسیله دریچه‌های تحتانی تخلیه‌شده و شرایط جریان رودخانه‌ای در مخزن ایجاد می‌شود. به عبارتی جریان ورودی به مخزن به طور مستقیم از آن خارج می‌شود. حداکثر رسوب خروجی مربوط به فلاشینگ آزاد است. دلایل این امر عبارت است از فرسایش لایه‌ای مربوط به دانه‌های بسیار ریز چسبنده رس‌دار در لایه فوقانی توده رسوبی نزدیک محل سد معلق شدن ذرات در اثر آشفته شدن جریان و همچنین فرسایش ایجاد شده در کف و دیواره‌های کانالهای ایجاد شده در توده رسوبی.

لانگ و زانگ (Lang&zang) در سال ۱۹۸۱ بیان داشتند، می‌توان با باز نمودن دریچه‌های تحتانی با سرعت کافی، شدت دبی خروجی از سد را با شدت سیلاب ورودی به سد برابر نمود. بنابراین با این کار اثر تاخیر حداقل شده و از این رو تغییر هیدروگراف سیلاب به حداقل خواهد رسید. بنابراین رسوبات خروجی از سد، شبیه به شرایط جریان طبیعی می‌شود. عملکرد بالا بر این حقیقت استوار است که حدود ۸۰ تا ۹۰ درصد جریان رسوبی، سالانه در بسیاری از مخازن در کشور چین در خلال ماه‌هایی اتفاق می‌افتد که فقط ۲۵ تا ۵۰ درصد از جریان ورودی در این ماهها رخ می‌دهد [11].

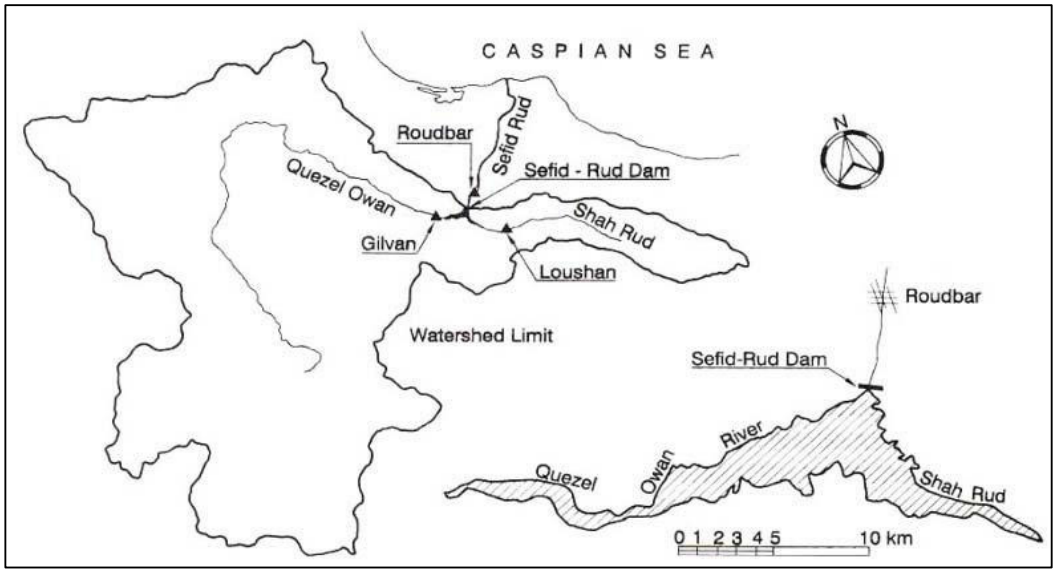
برانت (Brant) به نقل از برون (Broun) اظهار می‌دارد، بهترین زمان انجام عبوردهی جریان غلیظ، زمانی است که این جریان ثقلی به بدنه سد رسیده باشد [9].

شن و زائو (Shen&Zauo)، فرآیند عبوردهی جریان غلیظ سد نانگین واقع در کشور چین را مورد بررسی قرار دادند [12]. آنها اظهار داشتند که زمان دقیق باز و بسته‌کردن دریچه‌ها بسیار مهم می‌باشد. چرا که هر یک از دو عامل، (تأخیر خیلی ناچیز در باز کردن دریچه‌ها یا ناکافی بودن مقدار باز شدگی دریچه‌ها) منجر به تخلیه خیلی کم مقدار رسوبات از سد خواهد شد. همچنین اگر دریچه‌ها خیلی زودتر از زمان مناسب باز شود یا این که مقدار بازشدگی آنها خیلی زیاد باشد، در آن صورت آب با ارزش ذخیره شده از دست خواهد رفت.

روش

سد سفیدرود در شمال ایران در فاصله ۱۱۰ کیلومتری دریای خزر در محل تلاقی دو رودخانه قزل‌اوزن و شاهرود احداث شده است. اقلیم حوزه آبریز رودخانه سفیدرود، معتدله خشک و سطح حوزه آبریز آن اغلب لخت و بدون پوشش گیاهی و از خاک‌های فرسایش‌پذیر تشکیل شده است. شاخه قزل اوزن نسبت به شاخه شاهرود رسوبات بیشتری با خود حمل می کند. موقعیت مخزن سفیدرود و پلان آن در شکل(۱) ارایه شده است.

مساحی در سال ۱۹۸۰ نشان داد که ٤٠ درصد از حجم مخزن، در عملکرد ۱۷ ساله آن از بین رفته است بنابراین عملیات شستشوی رسوب به همراه تخلیه مخزن از سال ۱۹۸۰ (یعنی ۱۷ سال پس از بهره‌برداری نخستین) از زمانی‌که مخزن در تنظیم آب به منظور مصارف کشاورزی دچار نقصان و اختلال شده بود، آغاز گشت [۵،٤،۳ و ٦].



شکل ۱- موقعیت و پلان مخزن سد سفیدرود

بیشتر روش‌های رسوبزدایی در سد سفیدرود مورد مطالعه قرار گرفته است که در ذیل به توضیح و نتایج اخذ شده از آنها اشاره می شود.

جریان‌های غلیظ در مخزن سد سفید رود

شرایط توپوگرافی مخزن سفیدرود، به خصوص در امتداد شاخه شاهرود و نیز ابعاد و اشکال سیستم خروجی به کار گرفته شده در این سد برای تخلیه جریان‌های غلیظ ایده‌آل است. تخلیه تحتانی دارای ظرفیت تخلیه زیاد بوده که تقریباً در تراز کف طبیعی رودخانه قرار گرفته است.

از لحاظ قابلیت انجام این کار، ترتیب قرارگیری، جهت تخلیه جریان‌های غلیظ بسیار کارآمد بوده، در عین این‌که رسوبی وارد آبگیر نیروگاه نخواهد گردید،

لیکن وجود سد موقتی حدود ۱۵۰ متری بالادست سد اصلی بـا ارتفاعی برابر ۱۲ متـر از کف رودخانه که بـه هنگام ساخت سد آن را احداث کرده بودند عامل محدودکننده‌ای در استفاده بهینه از تخلیه تحتانی جهت عبور جریان‌های غلیظ در خلال عملکرد عادی مخزن (یعنی سالهای ۱۹۸۰-۱۹۶۲) می‌باشد.

اطلاعات جمع‌آوری شده در خلال یک عملیات آزمایشی از سیستم تخلیه که در جدول ۱ خلاصه شده است نقش تخلیه‌کننده‌های تحتانی را در خروج جریان‌های غلیظ نشان می‌دهد. مطابق این جدول دبی‌های حدود m^3/s ۱۰۰ از شاخه شاهرود و m^3/s ۳۰۰ از شاخه قزل‌اوزن حرکتی کافی برای جریان‌های غلیظ ایجاد می‌نماید تا به سد برسند (طول اصلی و شیب بستر مخزن سد سفیدرود برابر با ۲۴/۵ کیلومتر و ۰/۳۳٪ در طول شاخه قزل‌اوزن و ۱۳/۵ کیلومتر و ۰/۶۱٪ در طول شاخه شاهرود است).

جدول۱- نقش تخلیه کننده های تحتانی در تخلیه جریانات غلیظ در سد سفیدرود

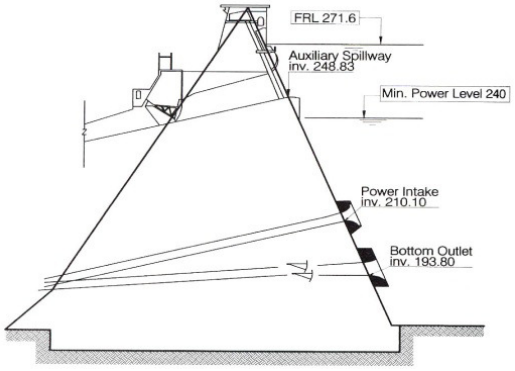
مراحل	تاریخ	دبی جریان ورودی (m^3/s)		مقدار آب خروجی (m^3/s)	تراز مخزن	حالت عملکرد	متوسط غلظت رسوب (gr/l)		
							ورودی		خروجی
		قزل اوزن	شاهرود				قزل اوزن	شاهرود	پایین دست
۱	۷۶/۶/۱-۲	۲۲۰ ۲۳۰	۶۱/۵ ۶۷/۸	۱۴۰ ۷۸	۲۵۸/۹۷ ۲۵۹/۴۰	دریچه های توربین ها باز دریچه‌های تحتانی بسته	۳/۰	۸/۰	۰/۱
۲	۷۳/۴/۱۲-۱۸	۳۳۰ ۳۲۰	۱۰۳/۷ ۸۵/۷	۱۳۰ ۱۲۵	۲۶۷/۲۰ ۲۶۷/۷۱		۳/۰	۹/۰	۰/۱
۳	۷۳/۵/۱۰	۱۹۰	۱۳۰/۹	۲۸۰	۲۷۲/۳۶		۱/۵	۱۶/۰	۰/۲
۴	۷۳/۴/۹-۱۰	۴۰۰ ۳۵۰	۱۲۶/۳ ۹۱/۹	۱۴۰ ۱۵۰	۲۶۳/۴۲ ۲۶۴/۱۶	دریچه های توربین باز و یک دریچه تحتانی باز	۸/۰	۳۰/۰	۱۰/۰
۵	۷۳/۵/۱۴-۱۵	۳۲۰ ۲۸۰	۱۱۸/۸ ۱۱۰/۶	۳۷۰ ۴۰۰	۲۷۲/۵۹ ۲۷۲/۶۲		۱۶/۰	۵/۰	۵/۰

روش لایروبی

پس از بازدید از سد سفیدرود، لایروبی حدود ۷۰۰mcm از توده‌های رسوبی و احداث تراس‌های هیدرولیکی در اطراف مخزن در حدود ٤٠ تا ۱۲۰ متری بالای تراز متوسط مخزن پیشنهاد شد که پس از برآورد اقتصادی، مخارج ۱۵۵ میلیون دلاری را در برداشت این هزینه در یک دوره ١٤ ساله، در سال بیستم با نرخ بازگشت ۸٪ جبران می‌شود. این طرح با بررسی‌های انجام شده در مورد سد سفیدرود غیراقتصادی و دارای مشکلات اجرائی تشخیص داده شد لیکن این روش برای مخازن کوچک وقتی عملیات تخلیه مخزن ممکن و اقتصادی باشد، قابل اجرا است.

رسوب‌زدایی از سد سفیدرود به روش فلاشینگ

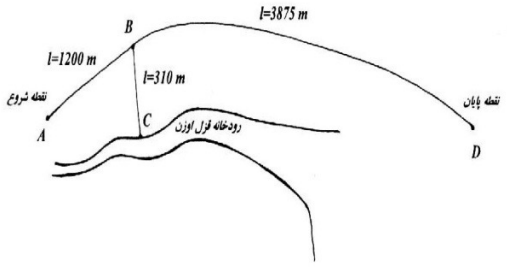
روش فلاشینگ در سد سفیدرود به خاطر تخلیه‌کننده‌های زیرین بزرگ با ظرفیت ۹۸۰ مترمکعب در ثانیه و رقوم آستانه‌ای در حدود بستر طبیعی رودخانه که مقطع عرضی سد در شکل۲ نشان داده شده است و پس از مطالعه گزینه‌های مختلف به منظور بازیابی و حفظ ظرفیت مخزن انتخاب شد.



شکل ۲- مقطع عرضی سد سفیدرود

تولید برق در خلال این دوره، متوقف و سعی شد تا مخزن تخلیه شود. بدین ترتیب رسوبات انباشته شده با استفاده از انرژی جنبشی جریان آب و با استفاده از ظرفیت زیاد تخلیه کننده‌های زیرین سد از مخزن شسته می‌شود.

بلافاصله پس از عملیات تخلیه مخزن، کانال‌ها در رسوبات انباشته شده و در طول شاخه‌های قزل اوزن و شاهرود ایجاد شد این کانال‌ها به سمت پایین دست تا محل تخلیه‌کننده‌های زیرین ادامه داشت. بستر و دیواره کانال‌ها ناپایدار بود که با انتقال آب به این کانال‌ها، کانال‌ها به سرعت عمیق و تعریض شده و بار رسوبی را تا حد ظرفیت حمل نهایی خود جابه‌جا می‌نمودند.طرح نهایی این کانال در شکل ۳ نشان داده شده است. مقدار فرسایش کانالی به دبی جریان ورودی بسیار حساس می باشد [۳،٤،٥و٦] .



شکل ۳- طرح نهایی کانال انتقال رسوب

تجزیه وتحلیل نتایج عملیات فلاشینگ

از آنجائی که عملیات شستشو و تخلیه مخزن سفیدرود در فصول پاییز و زمستان صورت می‌پذیرفت، دبی جریان ورودی مشاهده شده در خلال دوران رسوب شویی با جریان آزاد در حدود ۲۰- ۱۵ متر مکعب بر ثانیه بوده است که بسیار کمتر از دبی بهینه

برای ایجاد فرسایش کانالی (Channel Erosion) می‌باشد. بنابراین تأخیر انداختن عملیات شستشو با جریان آزاد تا دو ماه نخستین فصل سیلاب بهاره موجب بالارفتن راندمان عملیات شستشو خواهد شد. اما مخاطره پر نشدن مخزن بعد از این ماه‌ها عامل بازدارنده‌ای برای این کار است. در ضمن عملیات شستشو به همراه تخلیه مخزن با استفاده از تخلیه‌کننده زیرین در مقایسه با آنهایی که از تخلیه‌های میانی یا نیمه عمقی استفاده شده است، کارایی بیشتری داشته و دارای راندمان‌های بالاتر می‌باشد. علت این امر هم اثر منفی تشکیل برگشت آب در اثر استفاده از این تخلیه‌کننده‌ها است.

به منظور تحلیل دقیق این روش، به طور موردی مقدار رسوب شسته شده در سال ۱۳۸۳ با استفاده از نرم‌افزار Gstars 2.0 محاسبه شد. شکل‌های ۵، ٦ و ۷ حاصل تحلیل نرم‌افزاری فرسایش پس رونده کانال در گام‌های زمانی مختلف می باشد.

در این اشکال فرسایش در ابتدا، وسط و انتهای کانال نشان داده شده است. چنانچه مشاهده می‌شود بیشترین فرسایش در دوره ۳۰ تا ٤۰ روز می‌باشد و این به خاطر افزایش چشم‌گیر دبی، در این گام زمانی است. به طوری که شاهد دبی ٦۹ مترمکعب در این دوره می‌باشیم.

نمودارهای تهیه شده حاکی از آن است که ابعاد کانال‌ها پس از فرسایش به طور متوسط در حدود مقدار گزارش شده بدست آمده اند. نرم‌افزار Gstars مقدار رسوبات خروجی را ٤/٦٦ میلیون تن محاسبه کرده است و کارشناسان سدسفید رود مقدار رسوبات فرسایش‌یافته را حدود ۵ میلیون تن و عرض و عمق متوسط کانال را به ترتیب بعد از پایان عملیات ۹۰ و ۱۱/۵ مترگزارش نموده اند.

میزان رسوب ورودی سالیانه که از مخزن به بیرون رانده شده در خلال دو دوره عملکرد نرمال و فلاشینگ از روی داده‌های آماری در شکل ۸ نشان داده شده است. همان‌طوری که از شکل مشخص است فلاشینگ سال‌های ۱۹۸۳ و ۱۹۸٦ موجب بازیافت ظرفیت مخزن شده است.

با توجه به شکل ۹ می‌توان روند افزایشی چشم‌گیری برای نسبت رسوب خروجی به رسوب ورودی مشاهده کرد. این شکل موفقیت‌آمیز بودن روند رسوب‌زدایی در سد سفیدرود را که از سال ۱۳٦۰ شروع شد، نشان می دهد.

عوارض ناشی از رسوب‌زدایی سد سفیدرود

رسوب‌زدایی از سد سفیدرود همه ساله در پایان فصل زراعی صورت می‌گیرد. میلیون‌ها تن خاک زمین‌های زراعی، جنگل‌ها و مراتع که بر اثر فرسایش آبی شسته شده است بر اثر عملیات فلاشینگ وارد دریا می‌شود. در طی رسوب‌زدایی که از سال ۱۳۵۹ تا کنون صورت گرفته می‌توان به دو اثر زیست‌محیطی زیر اشاره می‌شود.

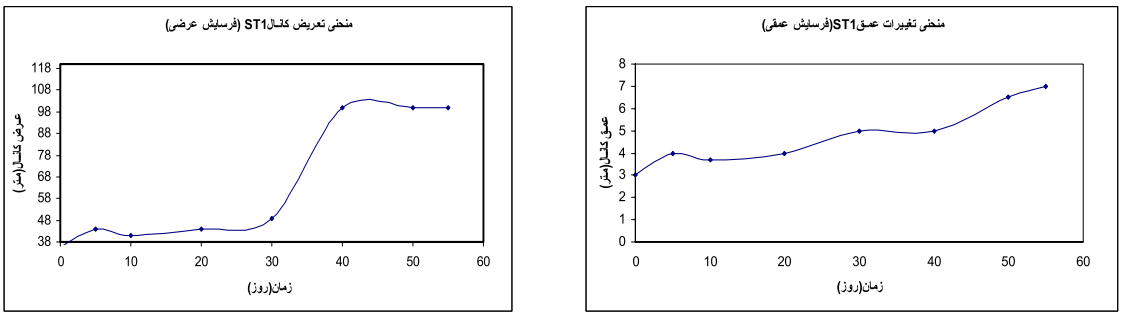
الف – آثار زیست‌محیطی کوتاه مدت

در رسوب‌زدایی سال ۱۳۸۳ میلیون‌ها قطعه ماهی از انواع زردپر، کپور معمولی، اسبله، آمور، فیتوتفاک و کپور چکه تلف شدند. هم‌چنین طی بررسی‌های به عمل‌آمده در مهرماه سال ۱۳۸٤ در قبل و بعد از عملیات فلاشینگ، غلظت مواد جامد معلق از حداقل ۰/۰۵۵ گرم در لیتر به حداکثر ۳۰۰ گرم در لیتر و اکسیژن محلول در آب به صفر رسیده است. از طرفی عملیات فلاشینگ در فصول پاییز و زمستان که فصول

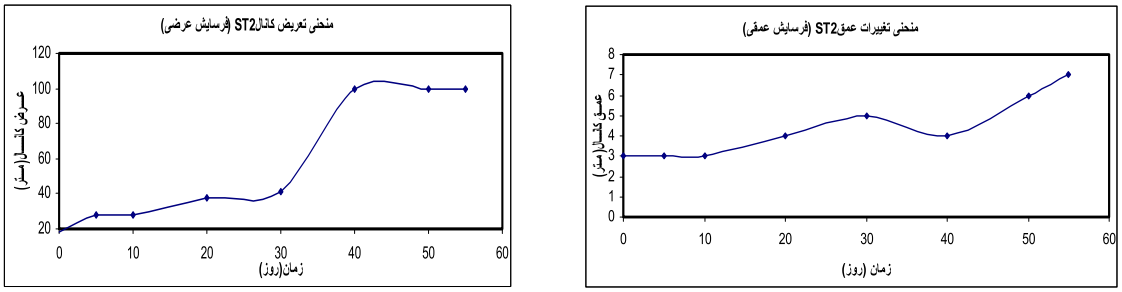
مهاجرت ماهیان خاویاری برای تخم‌ریزی در رودخانه‌ی سفیدرود است، انجام می‌شود. نشست رسوبات در کف رودخانه‌ها، محل تخم‌گذاری ماهی‌ها را نابود کرده و باعث تخریب زیستگاه آنها می‌شود. بنابراین قبل از تخلیه کامل رسوبات از پشت سد برای صید ماهیان و پیش‌گیری از تلفات آنان باید هماهنگی‌های لازم با اداره کل شیلات صورت گیرد[۸].

ب- آثار زیست‌محیطی بلند مدت

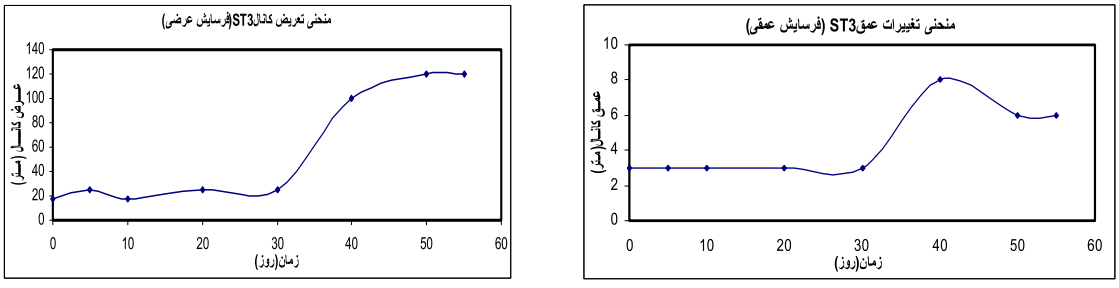
از آثار بلند مدت می توان به تغییر بستر رودخانه از حالت سنگی به شنی، بالا آمدن بستر رودخانه و تشکیل دلتاهای رسوبی بر اثر فرسایش بادی و انتشار آن در هوا و همچنین تجمع رسوبات در مصب رودخانه و تغییر جهت مسیر رودخانه اشاره نمود [۸].



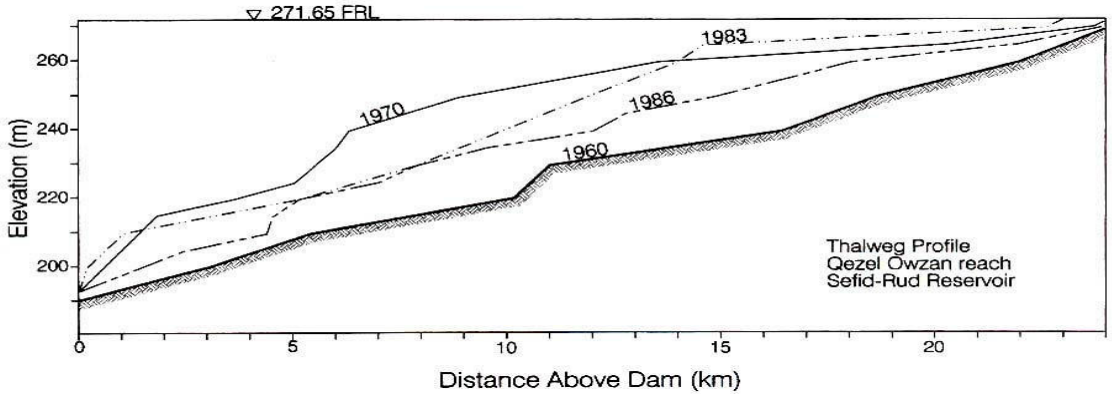
شکل ۵- منحنی فرسایش عرضی و عمقی کانال در ایستگاه نخست



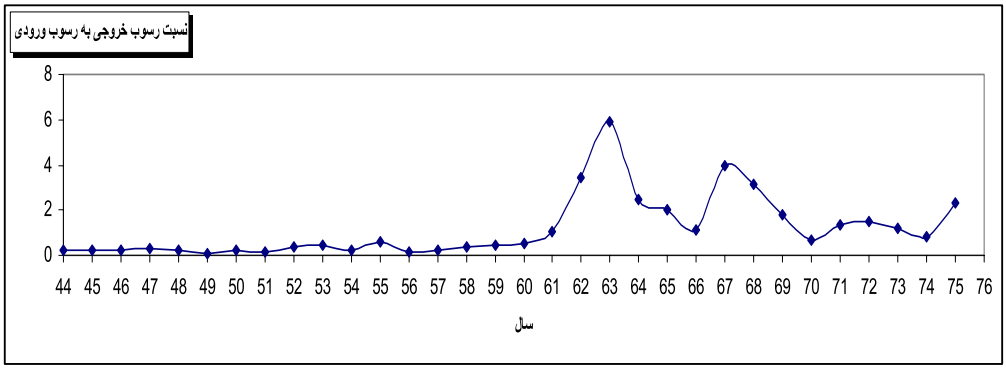
شکل٦- منحنی فرسایش عرضی و عمقی کانال در ایستگاه دوم



شکل ۷- منحنی فرسایش عرضی و عمقی کانال در ایستگاه سوم



شکل۸- پروفیل کف رودخانه در مخزن بالادست



شکل۹- نسبت رسوب خروجی به رسوب ورودی

نتیجه‌گیری

اصولاً با فرسایش شدید خاک ضربه مهلکی به اقتصاد کشاورزی وارد می‌شود. از طرفی با تجمع رسوب در مخازن سدها، باعث کاهش ظرفیت ذخیره‌های آب و نابودی سرمایه‌های ملی می‌شود. لذا جهت حفظ سرمایه ملی اما با مدیریت آبخیزداری بهتر، می‌توان ابتدا با تقویت پوشش گیاهی در ناحیه‌ی بالادست حوزه آبگیر و سپس با انتخاب روش‌های رسوب‌زدایی مناسب، هم از رسوب‌گذاری در سدها جلوگیری کرد و هم از تخریب‌های محیط‌زیستی کاست.

در این تحقیق نیز از سه روش رسوب‌زدایی استفاده گردید که روش لایروبی در مورد سد سفیدرود غیراقتصادی و دارای مشکلات اجرائی تشخیص داده شد روش جریان غلیظ بعلت وجود یک سد موقتی در ۱۵۰ متری بالادست سد عامل محدود کننده‌ای برای استفاده بهینه از این روش بود و تنها روش فلاشینگ به شرطی که به کاهش عوارض زیست محیطی آن توجه شود مناسب تشخیص داده شد. برای کاهش عوارض زیست‌محیطی این روش می‌توان زمان مناسبی برای عملیات فلاشینگ انتخاب کرد و یا اینکه مسیر اصلی حرکت رسوبات خروجی از سد را به مخزن

موقتی کوچکی هدایت کرده و بعد از ته نشین شدن حجمی از این رسوبات در آن مخزن، به رودخانه انتقال داده شود. با این کار می توان بخش اعظمی از رسوبات را مهار کرد، اما باید مساله اقتصادی محل و توپوگرافی مخزن موقت به طور کامل مورد مطالعه قرار گیرد.

منابع

۱- امامقلی زاده، بینا؛ طلوعی، س (۱۳۸٤)؛ نخستین همایش مدیریت رسوب، دانشگاه اهواز، ص ۷۰-۵۷.

۲- ثاقبیان، سیدمهدی (۱۳۸۲)؛ کارآیی روش فلاشینگ در کنترل رسوبات مخازن، پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد، دانشکده عمران دانشگاه تبریز، ص ۸-۵.

۳- شرکت آب منطقه ای استان گیلان، (۱۳٦٦)؛ گزارش توجیهی عملیات رسوب زدایی از مخزن سد سفیدرود، کمیته رسوب‌زدایی سد سفیدرود، ص ٤۲-۳۷.

٤- شرکت آب منطقه ای استان گیلان (۱۳۷۹)؛ گزارش توجیهی عملیات شاس سد مخزنی سفیدرود، امور سدهای گیلان، ص ۱۲۰-۱۱۷.

۵- شرکت آب منطقه‌ای استان گیلان (۱۳۸۱)؛ گزارش عملیات رسوب‌زدایی‌از سد تاریک، کمیته رسوب‌زدایی آب منطقه‌ای گیلان، ص ۷۰-۳۲.

٦- شرکت آب منطقه ای استان گیلان (۱۳۸۳)؛ گزارشات متفرقه عملیات رسوب‌زدایی از مخزن سد سفیدرود، کمیته رسوب‌زدایی سد سفیدرود.

۷- کلهری، کاظم (۱۳۷۸)؛ مطالعات آبخیزداری و بهره‌برداری بهینه از مخازن سدها، کمیته‌ی ملی سدهای بزرگ ایران.

۸- مهرداد، میرعبدالحمید؛ لشته نشایی، م؛ فیروزفر، ع (۱۳۸۱)؛ بررسی عملکرد عملیات تکمیلی شاس در رسوب-زدایی از مخزن سد سفیدرود، مجموعه‌ی مقالات ششمین سمینار بین‌المللی مهندسی رودخانه، دانشگاه اهواز، ص ۸۰۹-۸۰۳.

9- Brandr S.A., (2000); International Journal of sediment, vol.15, No.311-324

10- Brown C.B. (1943); The control of Reservoir Silting. United States Department of Agriculture, Miscellaneous publication, No.521, Washington, D.C., 166pp.

11- Long Y, and Zhang Q. (1981); Sediment regulation problems in Sanmenxia reservoir. Water supply and management, vol. 5(4/5), pp.351-360

12- Shen H.W.,Lai J.S. and Zhao D.(1993); Hydraulic desiltation for noncohesive sediment Proceeding of the Annual ASCE Hydraulic Engineering conference,San Francisco, H.W.Shen,S.T.Su,and F.Wen, eds,pp.119-124