به نگارش : میر حسین سعیدي ، سودا مختاري نیا

مقدمه

رسوب گذاری در مخازن سد ها ، یکی از مشکلات اساسی است که اکثر سد ها در سراسر دنیا با آن مواجه هستند . این پدیده باعث ایجاد مشکلاتی از قبیل کاهش حجم مفید مخزن ، تشکیل جزایر رسوبی در محل ورودی رودخانه به مخزن ، اختلال در عملکرد دریچه های تحتانی ، عدم اطمینان پذیری در تولید انرژی برق آبی و کنترل سیلاب ، ایجاد نیروی مضاعف هنگام زمین لرزه ، اثرات زیست محیطی و افزایش کاذب سطح آب مخزن می شود . در اکثر سدهای ساخته شده ، در قسمت ورودی سیلاب به داخل مجاری تخلیه رسوب افت قابل توجهی بدلیل تغییر ناگهانی مقطع وجود دارد که باعث وقفه قابل ملاحظه ای در تخلیه رسوب است . در حین ساخت سدها باید با توجه به شکل مجاری تخلیه رسوب حالت تقعر در مخزن و در مقطع عرضی رودخانه رعایت گردد تا هدایت عمده رسوب ها به سمت دریچه های تخلیه رسوب براحتی امکان پذیر باشد . اگر چه در ظاهر این موضوع باعث کاهش قسمتی از حجم مخزن سد می گردد ولی در دراز مدت باعث افزایش حجم مفید ماندگار مخزن می گردد . آبخیز داری و توجه به شکل هندسی و بافت گیاهی حوضه های آبریز گام موثری در حفظ خاک و کنترل رسوب می باشد . اگر مانور های تخلیه رسوب به موقع و به طور اصولی صورت گیرد ، عمر مفید مخزن به طرز چشم گیری افزایش می یابد . این مقاله ترکیبی است از تجارب ارزشمند محققین و اساتید محترم که با توجه به کلیه موارد ، روش های تئوری خاصی نیز پیشنهاد شده است که ان شاالله موثر ومفید واقع گردد .

پیشینه تحقیق

جهانگیر و همکاران (1386) پروفیل رسوب در مخزن سد زولا چای را با استفاده از نرم آفزار HEC-RAS بررسی نمودند ، برای آماده سازی مدل ، حجم زیادی از اطلاعات شامل نقشه های توپوگرافی رودخانه زولا چای ، مشخصات مقاطع رودخانه در بالادست ، آمار مربوط به دبی روزانه رودخانه ، دبی رسوب ، دانه بندی مواد بستر و سایر اطلاعات مورد لزوم استفاده گردید و با شبیه سازی توسط نرم افزار مشاهده گردید ، که رسوب گذاری در بالادست سد زولا چای آغاز و تا نزدیک محور سد ادامه دارد . راهنمای مطالعات رسوب گذاری و رسوب زدایی مخازن سد ها نشریه شماره 589 معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی رئیس جمهور بررسی پوشش گیاهی حوضه های آبریز از جمله عوامل تاثیرگذار در تغذیه رسوبی رودخانه ها بوده و بر ظرفیت انتقال رسوب اثر می گذارد . با بررسی پوشش گیاهی می توان اطلاعاتی در زمینه نوع گیاهان بومی منطقه و امکان بذرپاشی و توسعه پوشش گیاهی در محدوده طرح به دست آورد. [3] موریس و همکاران (2020) طبقه بندي گزينه هاي مديريتی براي مبارزه با رسوبگذاري مخزن را طبقه بندي كردند.در اين مقاله به روشی بسيار ضروري اشاره می گردد ، كه رسوبات را قبل از ورود به نزديكی بدنه سد از مسير مخزن خارج و توسط يک مسير بای پس در پايين دست سد تخليه می كند . خواستار بروجنی و همکاران (1398) در خصوص فرایند ته نشینی رسوبات معلق در مخزن سد کرخه بررسی آزمایشگاهی نمودند که نتایج آن ها نشان می دهد که در حالتی که سرعت جریان بیشتر از 61,0 متر بر ثانیه باشد رسوبات به صورت معلق باقی مانده و ته نشین نمی شوند و همچنین در غلظت های رسوب بیشتر ، افزایش تنش برشی جریان در کاهش نرخ ته نشینی تاثیر بیشتری دارد . ترکمانزاد و همکاران (1394) کاربرد مدل Mike3 در شبیه سازی جریان گل آلود در مخازن سدها (مطالعه موردی سد سفیدرود) بررسی نمودند . نتایج نشان داده است که استفاده از روش تخلیه جریان های گل آلود در هنگام وقوع سیلاب برای رسوب زدایی رسوبات ورودی می تواند راه حل اثر بخشی برای رفع رسوب گذاری در سد سفید رود باشد و به عنوان کم هزینه ترین روش کاهش رسوبات در برنامه بهره برداری مخزن سد توصیه گردیده است . در نشریه شماره 643 معاونت برنامه ریزی و نظارت راهبردی رئیس جمهور در خصوص راهنمای شکل هندسی مقطع راستاي رودخانه توصیه گردیده که مشکل (تراز کاهی نیمرخ طولی می تواند از طریق سازه هاي كنترل شيب در فواصلی در طول کانال کنترل شود.در واقع سازه هاي كنترل كننده شيب مانند شيب شكنهاي كنترل شده يک شيب پايدار را در كانال توسعه می دهند.فاصله بين سازه ها قابل محاسبه بوده و عوامل اقتصادي و زيست محيطی در انتخاب آن موثر می باشند . همچنین افزایش رسوب ورودی را می توان از طریق تراز کاهی کانال بالادست ، از طریق سازه های کنترل شیب مانند شیب شکن های

کنترل شده کنترل نمود .

مواد و روش ها :

بخش اول) سد های ساخته شده :

شکل گیری رسوب در مخازن سدها به پارامتر های مختلفی بستگی دارد . در حالت کلی مطابق شکل زیر هرچه شیب رودخانه بیشتر شود بار رسوب نیز افزایش می یابد . شکل (1-1)
بر اساس نمونه برداری های انجام شده از کف مخازن ، که عمدتا دانه بندی از پایین به بالا در مقاطع عمودی رسوب و از بالادست به سمت بدنه رودخانه با کاهش قطر رسوب توام است (رابطه استوک در سرعت ته نشینی و مشاهدات تجربی) .

نمایش توزیع عمودی رسوب گذاری در مخزن شکل (1-2)
چهار نوع شکل رسوب گذاری با توجه به خصوصیات بستر رسوب رودخانه ، درصد رسوبات ریز دانه همراه جریان و نوع بهره برداری از مخزن بستگی دارد که ذیلا توضیح داده می شود :
1- **رسوب گذاری دلتایی :** که بیش تر شامل ذرات درشت دانه (شن و ماسه) و بخش سیلت می باشد .
2-**رسوب گذاری گوه ای :** بیش تر در مخازن کوچک و یا مخازن بزرگ که در زمان سیلاب سطح آب بسیار پایین آورده شود ، یا مخازنی که نوع رسوبات ریزدانه هستند اتفاق می افتد .

شکل (1-3)
رسوب گذاری مخروطی : نوع معمول رسوب گذاری در مخازن طویل می باشد . در این نوع رسوب گذاری دانه بندی رسوبات هر چه به سمت سد نزدیک تر شود ، ریزتر می گردد .

رسوب گذاری یکنواخت یا نواری : هر چند که این نوع رسوب گذاری غیرمعمول است ، ولی ممکن است در مخازن کم عرض با تغییرات سطح آب زیاد اتفاق افتد . ایجاد یک سطح بتنی مقاوم با شکل تقعر روبه بالا در کف مخزن (مقطع عرضی رودخانه) که پایین ترین قسمت تقعر و شعاع تقعر، نزدیکترین حالت به ورودی تخلیه کننده های رسوب باشد و شعاع تقعر با فاصله گرفتن از ورودی مجرای تخلیه رسوب به سمت بالادست رودخانه افزایش یابد بهترین حالت ممکن جهت تخلیه موثر رسوبات می باشد . (شیب عرضی رودخانه کلا رسوب را به سمت تخلیه کننده هدایت میکند) . بهترین زمان برای تخلیه رسوب ، درحالت های سیلابی است که با توجه به سرعت و حجم مازاد آب و توربولانت بودن ، براي تخلیه رسوب ایده آل است . برای نیمرخ طولی رودخانه رعایت شیب کف تخلیه کننده از محل بدنه سد تا قسمت های بالا دست رودخانه هماهنگ با شیب رودخانه ضروری است . اگر شیب این مقطع در طول رودخانه کم باشد حرکت رسوبات در طول رودخانه سخت خواهد بود . براي ایجاد مسیر هدایت رسوب با تزریق بتن و یا دوغاب هماهنگ با دانه بندی هر قسمت از رسوب در عرض ، طول و ارتفاع می توانیم به حجم پایداری از رسوبات تثبیت شده در کف مخزن سد برسیم . بدون اتلاف وقت باید رسوباتی که کاملاً سخت نشده در قسمت مقطع تخلیه رسوب به سمت بالادست مخزن را شکل دهی کنیم تا مقطع برای کارگذاری قطعات پیش ساخته بتنی آماده گردد . همانطور که می دانیم قطعات پیش ساخته با دقت و استحکام خوبی می تواند ساخته شود . برای حمل آن نیز بدلیل غوطه ور بودن در داخل مخزن مشکل خاصی نخواهیم داشت . در صورت عدم استفاده از قطعات پیش ساخته می توان از بتن ریزی در محل مورد نظر و استفاده از قالب های خاص با طرح اختلاط مناسب نسبت انجام بتن ریزی در داخل مخزن به روش های مختلف عمل نمود . با هر دو روش فوق می توان یک سرسره و مسیر هموار برای رسوب به سمت دریچه تخلیه ایجاد نمود . درست است که در اثر ایجاد این سطح کمی از شیب رودخانه کم می گردد ولی در دراز مدت اثر قابل توجه این بستر صاف در تخلیه رسوب قابل توجه خواهد بود .

شکل (1-4)

به ظاهر حجم مخزن را کم کردیم ولی در واقع توانستیم کمی از رسوبات را در جاي خود میخکوب کنیم ولی

باکمک همان رسوب ها توانستیم با یک سرسره ، سایر رسوب هاي مزاحم را تخلیه کنیم در این حالت اتفاق عجیبی در حال رخ دادن است . سد قسمت قابل توجهی از رسوب هاي مازاد را میتواتند تخلیه کند و عمر مفید سد افزایش یافته است . و عملاً تاثیر رسوبات بعدي بر روي حجم مخزن و عمر مفید سد کمتر خواهد بود . اگر مقطع نامنظم قبلی و مقطع صاف جدید را در این کانال ایجاد شده مقایسه کنیم ، نتیجه خوبی قابل پیش بینی خواهد بود.

نکته مهم

ایجاد سطح تقعر وقتی اهمیت دارد که عمدتاً رسوب های ورودی به مخزن سد تا تراز کف دهانه تخلیه رسوب رسیده باشد . باید با توجه به شکل مقطع تخلیه رسوب در بدنه سد و در حرکت به سمت مخزن سد طوری باشد که حتی الامکان از ایجاد جریان توربولانت در ورودی مقطع جلوگیری کند . هر حرکت نامنظم جریان آب در این مقطع باعث کاهش قابل توجه فرآیند تخلیه موثر رسوبات خواهد بود . شکل مقاطع تیپ تبدیل در کانال های آبی در حالت های مختلف می تواند الگوی مناسبی جهت طراحی تبدیل در این حالت باشد .

بخش دوم) طراحی سد

با توجه به مراتب مذکور در بخش قبلی ، وقتی ما فضا و امکانات خیلی بهتری در حین ساخت داریم می توانیم همان شکل مقعر قبلی را با دقت بسیار بالا در مخزن سد ایجاد کنیم ، احداث کانال خاص تخلیه موثر رسوب در داخل مخزن سد هم زمان با اجرای قسمت های مختلف سد و قبل از آبگیری الزامی بوده و بسیار کم هزینه تر می باشد .

بخش سوم) ایجاد مسیر کنار گذر (bypass) رسوب :

یک سیستم بای پس رسوب ، در بالادست حجم ذخیره سازی یک ورودی کنترل شده دارد و رسوب گذاری و جریان های بزرگ پر از رسوب را به نقطه ای زیر سد هدایت می کند . سیستم های بای پس معمولاً از یک تونل بای پس رسوب تشکیل شده است ، اما می توان از یک کانال باز با ظرفیت بالا نیز استفاده کرد . این روش هم در مورد سد های ساخته شده و سد های در دست طراحی می تواند منظور و اجرا گردد .

شکل (3-1)

بخش چهارم) اصلاح مسیر رودخانه :

ایجاد بند های انحرافی کوتاه دارای حوضچه آرامش شبه طبیعی ، در بالادست مخزن سد و در فواصل خاص می تواند در کاهش حجم رسوب مخزن سد در نزدیکی بدنه سد موثر باشد . این کار قسمتی از رسوبات را ته نشین می کند و هم به دلیل افت سرعت آب در مسیر رودخانه باعث کاهش حجم رسوبات در نزدیکی بدنه سد می گردد .

شکل (4-1)

علاوه بر آن بدلیل بالا بردن سطح ایستابی ، در تغذیه سفره های زیر زمینی حوضه آبریز هم موثر خواهد بود . ایجاد توربین های متحرک افقی و یا سیستم های مشابه کوچک در مسیر رودخانه علاوه بر ایجاد انرژی الکتریکی باعث کاهش سرعت آب رودخانه و در نتیجه کاهش رسوب خواهد بود . محاسبه ، طراحی و اجرای مسیر های طولانی تر برای رودخانه مثل قوس های خاص با استفاده از روش های کناره سازی مختلف می تواند در کاهش سرعت جریان رودخانه و ته نشین شدن رسوب قبل از بدنه سد موثر باشد . محاسبه ، طراحی و اجرای سیستم استحصال و فروش مصالح داخل رودخانه در فاصله قابل توجه با بدنه سد در بالا دست مخزن سد ، در کاهش رسوب در نزدیکی بدنه سد موثر خواهد بود . به عنوان مثال یکی از شروط صدور مجوز احداث و بهره برداری محیط های تفریحی و یا هتل در نزدیکی مخازن سد یا رودخانه ها را می توان استفاده قابل توجه از مصالح رود خانه واقع در مخزن سد و در مسیر بالادست رودخانه قرارداد .

بخش پنجم) آبخیز داری

ایجاد مزارع از یک جهت افقی و بدون شیب (در جهت عمود بر شیب طبیعی زمین) یعنی مزارع پله ای و پوشش گیاهی مناسب باعث تثبیت زمین و کاهش قابل توجه رسوب در مواقع بارندگی و سیلابی خواهد بود .

شکل (5-1)

در مراتع و زمین های غیر کشاورزی در محدوده حوضه آبریز با استفاده از گونه گیاهان با ریشه مقاوم و حتی الامکان محلی و قابلیت تکثیر بالا نسبت به تثبیت خاک و جلوگیری از فرسایش و ایجاد رسوب اقدام نمود . البته کشت مکانیزه با ماشین آلات سبک بدون راننده و قابل کنترل و تجهیزات خاص می تواند خیلی اقتصادی تر باشد با همکاری "O.G.N " ها ، در مجتمع های فرهنگی ، ورزشی و یا تفریحی و یا افراد محلی ، می توان به عنوان یک اقدام عامه پسند با توزیع رایگان دانه یا نهال افراد جامعه را تشویق به کاشت در ارتفاعات و مناطق پر شیب حوضه آبریز نمود . با توضیح اهمیت آبخیزداری و فرهنگ سازی لازم می توان اراضی حساس را جهت این عملیات به گروه های فوق معرفی کرد که البته با استقبال عمومی همراه خواهد بود . این عمل تاثیر مهمی در تثبیت زمین در ارتفاعات شیب دار حوضه آبریز و کاهش رسوب خواهد داشت .

بخش ششم) استفاده از رسوبات ریز دانه و معلق

سیلت و لای و مواد معلق موجود در سیلاب ورودی به مخزن سد از نظر کشاورزی ، به عنوان یک خاک حاصل خیز به حساب آمده و می توان با مدیریت و جمع آوری قسمتی از این رسوبات و فروش آن در جهت کاهش رسوبات مخزن قدم دیگری برداشت . البته جهت استحصال مواد معلق ، استفاده از مواد منعقد کننده و یا سایر روش های ابتکاری مثل باردار کردن ذرات در صورت امکان و یا صافی های خاص متحرک می توان به نتیجه بهتری رسید .

بخش هفتم) ایجاد جریان توربولانت

در مواقع سیلابی ایجاد جریان توربولانت در معلق شدن رسوبات درشت تر و تخلیه بهتر رسوبات موثر خواهد بود .

بخش هشتم) سیستم نگهداري

در مواقع سیلابی باز کردن به وقع مسیر تخلیه رسوب در ایجاد جریان سریع در دریچه تخلیه رسوب و هم زمان ایجاد توربولانت در کف مخزن در فاصله مشخصی از دریچه برای تخلیه نمودن رسوبات درشت دانه تر بسیار ضروری است . برای ایجاد سیستم توربولانت می توان ابزار خاصی تعبیه کرد و تا حد امکان بهتر است عملیات نگهداری و باز کردن مسیر دریچه ها به صورت مانیتورینگ و کنترل از راه دور صورت گیرد . در مواقعی که برق مازاد بر مصرف شبکه وجود دارد ، بهترین زمان جهت یک ته نشینی ساده در پایین دست و پمپاژ آب کم رسوب به بالا دست جهت ایجاد توربولانت برای تخلیه بهتر رسوبات از دریچه های تخلیه رسوب است . البته با توجه به ساعات پیک مصرف برق و لزوم افزایش طول عمر مفید یک سد در سد هایی که تولید برق دارند بایستی یک حالت بهینه را مدیریت و اجرا کرد . البته تعبیه سیستم پمپاژ معکوس در سد هایی که تولید برق ندارند بایستی باتوجه به اهمیت سد و هزینه های انجام کار و سایر موارد مهم مثل آب کشاورزی بررسی و تصمیمگیری گردد . اگر این چرخه را ادامه دهیم می توانیم با جلو گیری از هدر رفت زیاد آب قسمت قابل توجهی از رسوبات را تخلیه کنیم .

بخش نهم) مدیریت مصرف بهینه آب

با توجه به اقلیم های متفاوت آب و هوایی در کشور بایستی تا حد امکان از سیستم های آبیاری کشاورزی با راندمان بالا و هماهنگ با اقلیم هر منطقه استفاده کرد و همزمان با مدیریت و قناعت در قسمت مصرف آب شرب ، آب در صنعت و در حالت کلی حجم آب مصرفی در بخش های مختلف را مدیریت نمود .

نتيجه گيري

براي عملياتی نمودن اين تئوری ، بايستی همکاری نزديکی بين اساتيد و محققين و افراد کليدی عرصه طراحی و اجرايی و حتی مديريت های کلان صورت گيرد . اميدواريم که در طراحی و احداث سد های با احتمال رسوب بالا موارد فوق منظور گردد و در سدهای احداث شده موجود تکنيک های شناسايی دانه بندی رسوب و بتن ريزی در شرايط خاص هر سد با روش های پيشرفته بهترين مسير تخليه رسوب در مخازن سد ها را فراهم آورد . روش های کنترل حجم رسوبات ورودی به مخازن سد ها بسيار موثر است و فرهنگ علمی و عمومی آبخيز داری و بذر پاشی و نهال کاری و در کنار آن استفاده صحيح و بهينه از آب بايد در سطوح سِنی و شغلی مختلف آموزش داده شود .

سپاسگزاری

در خاتمه از حمايت های مدير عامل محترم شرکت قالا جناب آقای مهندس رحيمی که سال ها دلسوزانه در عرصه سازندگی کشور نقش فعالی داشته اند و هميشه مشوق و راهنمای ما بوده اند ، نهايت تشکر را داريم . با تشکر از راهنمايی های آقای مهندس مجتبی جعفری و آقای دکتر نويد رضوی به اميد موفقيت و سلامتی برای کليه دست اندرکاران کنفرانس ، دانشمندان صنعت آب و خادمين عرصه سازندگی کشور .

منابع :

1 - حاجی پور بيرگانی ، احمد رضا و جاعل ، آرش ، (1396) ، مديريت و کنترل رسوب در مخزن سدهای ايران (مطالعه موردی سد گتوند عليا) ، دومين کنفرانس ملی هيدرولوژی ايران

2 - جهانگير ، ناصر و دانشفراز ، رسول و منازاده ، مريم و ماجدی اصل ، مهدی ، (2017) بررسی عددی پروفيل رسوب در پشت مخزن سد زولاچای سلماس ، با استفاده از مدل RAS-HEC پنجمين کنگره بين المللی مهندسی عمران ، معماری و توسعه شهری – دانشگاه شهيد بهشتی –تهران-ايران

3 - راهنمای مطالعات رسوب گذاری و رسوب زدايی مخازن سد ها (نشريه شماره 589 معاونت برنامه ريزي و نظارت راهبردي رييس جمهور