

معرفی و بررسی متداولترین روشهای تخمینی رسوبگذاری در مخازن سدها (مطالعه موردی: سد سفیدرود)

اشکان عظیمی کارگر^۱، حسین صدقی^۲

دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، دانشکده کشاورزی، گروه مهندسی آبیاری
ashkan_hydro@yahoo.com

خلاصه

در دوران بهره‌برداری از سدها نحوه پخش رسوبهای ورودی به مخازن سدها، در برآورد حجم مفید مخازن اهمیت می‌یابد. مهمترین روشهای معمول و متداول تخمینی در زمینه رسوب گذاری مخازن سدها، روش افزایش سطح و روش تجربی کاهش سطح می‌باشند. در این مقاله، روشهای متداول برای دستیابی به نحوه نشست رسوب در مخازن سدها نقل شده و نتایج کاربرد آنها با اندازه‌گیری صحرایی در مورد مخزن سد سفیدرود مقایسه شده است. گرچه انجام فقط یک مقایسه برای رسیدن به یک نتیجه کلی کافی نیست، لیکن مقایسه مزبور نشان داده است که می‌توان از روشهای ریاضی-تجربی، با اطمینان بالایی استفاده کرد.

کلمات کلیدی: رسوبگذاری، مخازن سدها، روش افزایش سطح، روش تجربی کاهش سطح

مقدمه

یکی از اساسی ترین مسائلی که در طراحی و ساخت سدها مطرح می گردد، تعیین میزان رسوب وارد شده به مخزن و به تبع آن عمر مفید سد می باشد، با ورود جریانات آبی به مخزن از پتانسیل انتقال ذرات توسط آب کاسته می شود و مقداری از مواد جامد معلق همراه آن ته نشین شده و در نتیجه از حجم مفید مخزن کاسته می شود. تعیین نحوه رسوبگذاری مواد در مخزن، برای تعیین محل دقیق قرار گیری دریاچه های تحتانی، آبگیرها، اسکله های قایقهای تفریحی و... از اهمیت ویژه ای برخوردار است. برای پیش بینی مقدار و چگونگی رسوبگذاری مواد جامد معلق در بستر دو روش عمده ساخت مدل‌های آزمایشگاهی و تهیه مدل‌های ریاضی وجود دارد که از بین این دو روش، استفاده از مدل فیزیکی به دلیل هزینه های سنگین، طولانی بودن مدت انجام، محدود بودن استفاده از مدل ساخته شده و سایر مسائل فقط در مواردیکه به دقت بالا نیاز باشد مورد توجه بوده و متعاقب این مسأله ارائه مدل‌های ریاضی و پیشنهاد فرمولهای تجربی و نیمه تجربی مختلف کمک فراوانی به جهت گیری مطالعات در این زمینه نموده است. یکی از مشکلات مهم تخمین و برآورد حجم رسوبگذاری در مخازن کشور، فقدان وجود روشهای تجربی و یا نیمه تجربی کالیبره شده با اطلاعات مخازن کشور می باشد که شاید یکی از دلایل آن عدم وجود اطلاعات کافی و یا عدم انجام عملیات هیدروگرافی در سالهای قبل در برخی مخازن بوده است. هدف اصلی این مقاله، معرفی و بررسی روشهای مختلف تجربی و نیمه تجربی موجود، در زمینه برآورد رسوبات مخازن سدها طی سالهای مختلف پس از بهره برداری بوده و در ادامه نتایج رسوبگذاری در مخزن سد سفیدرود در ۱۸ سال اول بهره برداری، قبل از انجام اولین عملیات شاس در این مخزن، با جدیدترین معادلات تجربی موجود مقایسه خواهد شد.

روشهای تخمینی تجربی و نیمه تجربی در زمینه رسوبگذاری در مخازن سدها

مهمترین اصل در برآورد تخمینی، استفاده از مشاهدات در مخازن مختلف و آنالیز نتایج بررسی های انجام شده می باشد. بطور کلی این روشها شامل روشهای تخمین کلی رسوبگذاری در مخازن سدها در سالهای بعد از بهره برداری، روشهای تخمین رسوبگذاری مکانی مخازن یا به عبارتی برآورد میزان رسوبات در فاصله X از بدنه سد بعد از t سال از شروع بهره برداری، روشهای تخمین رسوبات حوزه که به عوامل بسیاری نظیر وسعت حوزه، پوشش گیاهی، جنس خاک، دبی جریان و ... بستگی دارد، و همچنین روشهای تخمین ضریب به تله افتادن رسوبات در مخازن سد، می باشد که در برخی از این روشها اثر

^۱ دانشجوی کارشناسی ارشد سازه های آبی

^۲ استاد گروه مهندسی آبیاری

افزایش جرم حجمی رسوبات در اثر مرور زمان و در برخی دیگر اثر Land Sliding در نظر گرفته شده است. از مهمترین خصوصیات این روشها نیز می توان به معرفی برخی از شاخص های خاص جهت کالیبره کردن نتایج و یا ارائه فرمولهای ریاضی اشاره کرد.

مهمترین روشهای تخمینی در برآورد حجم و توزیع رسوبات مخازن سدها

تا کنون چندین روش برای برآورد نحوه توزیع رسوب در مخازن سدها ارائه شده است که اغلب آنها به صورت مدل‌های تجربی- ریاضی هستند که از این بین دو روش تجربی افزایش سطح^۱ و کاهش سطح^۲ نسبت به سایر روشها متداول ترند.

- روش افزایش سطح

روش افزایش سطح یکی از مشهورترین روشهای تجربی برای پیش بینی توزیع رسوبات است که در سال ۱۹۵۳ توسط کریستوفانو ارائه شد [۱]. در این روش فرض می شود که منحنی سطح- ارتفاع ثانویه (بعد از رسوبگذاری) موازی منحنی اولیه است. به عبارت دیگر فرض می شود که سطح رسوبات در تمام ارتفاعات ثابت بوده و حجم رسوبات در بالای ارتفاع صفر به صورت یکنواخت توزیع شده است. رابطه ریاضی این روش مطابق رابطه (۱) است [۱]:

$$S = A_0(H - Y_0) + V_0 \quad (1)$$

که در آن:

S: حجم رسوباتی که باید در مخزن توزیع گردد. H: عمق اولیه مخزن از کف رودخانه، Y₀: عمق رسوب در محل سد، A₀: مساحت اولیه مخزن در ارتفاع Y₀ و V₀: حجم رسوبات در ارتفاع Y₀ می باشد.

در این روش ابتدا باید ارتفاع صفر (Y₀) حدس زده شده و سپس از روی منحنی سطح- ارتفاع، مقادیر سطح و حجم مخزن قرائت شود. اگر حجم محاسبه شده و اندازه گیری شده یکسان باشند، حدس اولیه صحیح بوده و در غیر اینصورت باید ارتفاع صفر آنرا تغییر داد تا نهایتاً شرط فوق برقرار گردد. لازم به ذکر است که این روش فقط تخمینی از وضعیت رسوبات انباشته شده در یک دوره زمانی را به دست می دهد [۲].

- روش کاهش سطح

روش تجربی کاهش سطح، نخستین بار توسط بورلند و میلر (۱۹۵۸)، ارائه شد و متعاقباً توسط لارا (۱۹۶۲) و برتون (۱۹۷۸)، مورد بازنگری قرار گرفت [۳و۴]. این روش بر پایه مطالعات نتایج واقعی حاصل از مطالعه ۳۰ مخزن بزرگ آمریکا ارائه شده است. روش کاهش سطح بیانگر این مسأله است که توزیع رسوب در یک مخزن به شکل مخزن و حجم رسوبات ته نشین شده در آن بستگی دارد [۵]. در این روش مخازن به چهار تیپ استاندارد مطابق جدول ۱، طبقه بندی می شوند. در ای جدول پارامتر m عبارتست از عکس شیب خط نمودار عمق- ظرفیت که در مقیاس لگاریتمی رسم شده باشد [۶].

جدول ۱- تیپ استاندارد مخازن [۶]

تیپ استاندارد	نوع مخزن	پارامتر m
I	دریاچه معمولی (Lake)	۳/۵-۴/۵
II	سیلاب دشت تپه ای (Flood Plain)	۲/۵-۳/۵
III	کوهپایه ای (Hill)	۱/۵-۲/۵
IV	کوهستانی (Gorge)	۱-۱/۵

معادله بنیادی در روش کاهش سطح به صورت زیر است [۴]:

$$S = \int_0^{Y_0} A dy + \int_{Y_0}^H K dy \quad (2)$$

¹ Area Increment Method

² Empirical Area Reduction Method

که در آن:

S: حجم کل رسوبات ته نشین شده، H: عمق اولیه مخزن، Y_0 : عمق رسوب در پشت سد، A: سطح مخزن در ترازهای مختلف، dy: جزء ارتفاع، a: سطح نسبی رسوب که به ازای مقادیر مختلف عمق نسبی P قابل محاسبه است و K: ضریب تناسب برای تبدیل سطح نسبی رسوب به سطح واقعی است و از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$K = \frac{A_0}{a_0} \quad (3)$$

که در آن:

A_0 : سطح اولیه مخزن در تراز Y_0 و a_0 : سطح نسبی مخزن در تراز Y_0 است [4]. سطح نسبی رسوبات برای هریک از تیپ های مخزن در جدول ۲ ارائه شده است. ستون ۳ این جدول نشان دهنده روابط اصلاح شده می باشد [7].

جدول ۲- روابط بدست آمده توسط بورلند و میلر و روابط اصلاح شده برای مساحت نسبی رسوب [۷]

تیپ مخزن	بورلند و میلر	رابطه اصلاح شده
I	$a = 3.417P^{1.5}(1-P)^{0.2}$	$a = 5.074P^{1.85}(1-P)^{0.35}$
II	$a = 2.324P^{0.5}(1-P)^{0.4}$	$a = 2.487P^{0.57}(1-P)^{0.41}$
III	$a = 15.882P^{1.1}(1-P)^{2.3}$	$a = 16.967P^{1.15}(1-P)^{2.32}$
IV	$a = 4.2324P^{0.1}(1-P)^{2.5}$	$a = 1.486P^{-0.25}(1-P)^{1.34}$

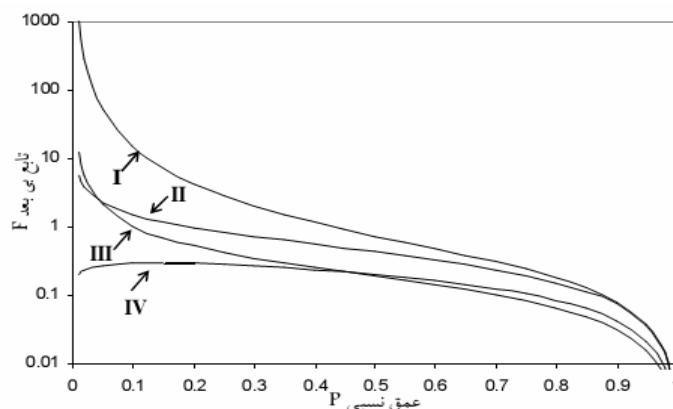
در روش کاهش سطح، گامهای زیر در تعیین چگونگی توزیع رسوبگذاری در مخزن سد، دنبال می شود [۸]:
گام اول: منحنی عمق مخزن در مقابل ظرفیت آن در مقیاس لگاریتمی رسم می گردد و به این ترتیب فاکتور شکل مخزن (m) تعیین و براساس آن تیپ مخزن از جدول ۱ مشخص می گردد.

گام دوم: مقادیر تابع بی بعد F برای مقادیر مختلف عمق نسبی P، از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$F = (S - V_h) / (HA_h) \quad (4)$$

که در آن:

F: تابع بی بعدی از کل رسوب ته نشین شده، ظرفیت، عمق و مساحت مخزن، S: حجم کل رسوب ته نشین شده، V_h : ظرفیت مخزن در مقادیر h، H: عمق اولیه مخزن و A_h : مساحت مخزن در مقادیر h می باشد.
گام سوم: مقادیر F برحسب عمق نسبی P و نیز رابطه F-P به دست آمده از شکل ۱، در یک دستگاه مختصات رسم می شود. نقطه برخورد این دو منحنی، مقدار صفر جدید را در محل سد مشخص می کند.



شکل ۱- منحنی های تعیین عمق رسوب در پشت سدها [۹]

گام چهارم: تعیین حجم رسوب موجود در زیر تراز صفر مخزن با استفاده از منحنی ظرفیت- عمق مخزن و برآورد حجم رسوب در اعماق مختلف با استفاده از رابطه ۲.

روابط تجربی جدیدتر در زمینه برآورد حجم رسوبگذاری در مخازن سدها

در دو دهه اخیر، دو معادله مختلف به منظور تعیین حجم رسوبات سالیانه براساس مدلسازی های ریاضی- تجربی به دست آمده است [۱۰]. گالای و اوانس در سال ۱۹۸۹، با هدف تعیین حجم رسوبات سالیانه برحسب دبی متوسط جریان سالیانه، رابطه ای را بصورت زیر براساس کالیبراسیون مدل خود با دیتاهای فراوانی که از برخی کشورهای آسیایی از جمله هند، پاکستان و نپال جمع آوری شده بود، ارائه دادند:

$$V_s = 0.034Q^{1.13} \quad (5)$$

در این معادله V_s حجم رسوبات کل سالیانه ورودی به مخزن برحسب میلیون تن و Q متوسط دبی سالیانه برحسب مترمکعب بر ثانیه می باشد [۱۱]. رابطه دیگری که در سال ۱۹۹۷ توسط باسون و روزبوم و براساس مطالعاتی در آفریقای جنوبی و کالیبراسیون تعداد زیادی از مخازن این کشور ارائه شد، در واقع بسطی از رابطه ای است که در سال ۱۹۷۵ توسط روزبوم و برحسب ضرایب کلی ارائه شده بود. معادله ارائه شده در سال ۱۹۹۷ به صورت زیر می باشد:

$$(V_t / V_{50}) = 0.376 \ln(t / 3.5) \quad (6)$$

این معادله حجم رسوبگذاری در مخازن را t سال بعد از بهره برداری (با این فرض که هیچگونه فعالیتی برای کاهش یا تخلیه فیزیکی رسوبات طی این سالها در مخزن صورت نگرفته)، برحسب حجم رسوبات ۵۰ ساله نشان می دهد. همانطور که از رابطه فوق می توان استنتاج می شود، این رابطه برای t های بزرگتر از ۳/۵ سال معتبر است [۱۲]. امروزه این رابطه به عنوان یکی از معتبرترین معادلات حاکم بر رسوبگذاری مخازن در کشور آفریقای جنوبی استفاده می گردد و از آنجاییکه این روابط در دو دهه اخیر بدست آمده اند، در بخش بعد دقت آنها را در مورد رسوبگذاری در مخزن سد سفیدرود بررسی خواهیم کرد.

مورد مطالعاتی: سد سفیدرود

این سد روی رودخانه سفیدرود و در بین سالهای ۱۳۳۳ و ۱۳۴۱ در ۱ کیلومتری شهر منجیل در غرب گیلان بنا گردیده است. مشخصات فنی این سد در جدول ۲ ذکر شده است.

جدول ۲- مشخصات فنی سد سفیدرود [۱۳]

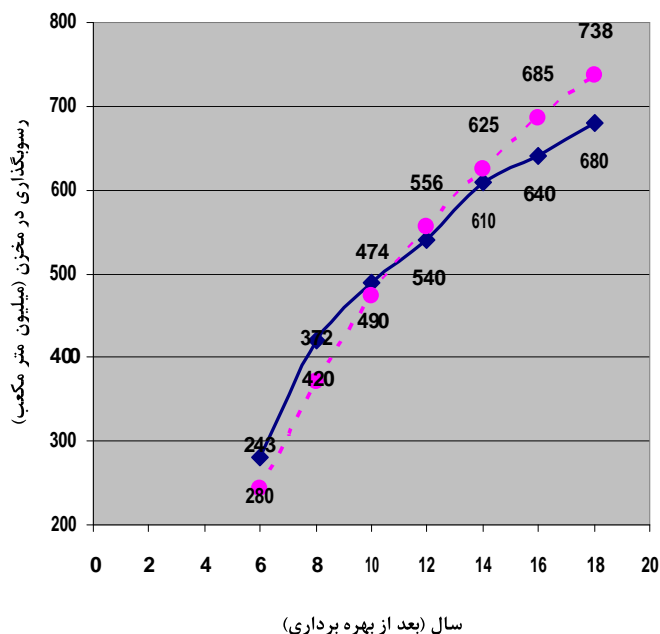
رودخانه	محل سد	نوع سد	طول تاج (متر)	ارتفاع از پی (متر)	گنجایش کل مخزن (میلیون متر مکعب)	گنجایش مفید (میلیون متر مکعب)
سفیدرود	منجیل	بتنی وزنی	۴۲۵	۱۶	۱۷۶۵	۱۱۵۸

متوسط حجم جریان سالیانه سد سفیدرود ۴/۹ میلیارد متر مکعب (حدود ۱۵۵ متر مکعب بر ثانیه) می باشد [۱۳]. این سد در میان ۴۲ سد بزرگ کشور بعد از سدهای کارده، جیرفت و طرک، رتبه چهارم را در کشور در زمینه نرخ سالیانه کاهش حجم دارا است. در این بخش با توجه به اطلاعات مربوط به رسوبگذاری سد سفیدرود در ۱۸ سال اول بهره برداری (قبل از اولین دوره شاس ۱۳۵۹) [۱۴] و معادلات ارائه شده در بخش قبل، به بررسی رسوبگذاری در مخزن سد سفیدرود می پردازیم. با استفاده از رابطه ۵ مقدار متوسط رسوبات سالیانه حدود ۱۰/۲ میلیون تن برای مخزن سد سفیدرود برآورد می گردد که این مقدار در مقایسه با مقادیر متوسط واقعی یعنی حدود ۴۸ میلیون تن، بسیار متفاوت است. این موضوع نشان دهنده نیاز به بررسی بیشتر در زمینه بکارگیری روابط ارائه شده برای مخازن کشور است. شکل ۲ وضعیت رسوبگذاری در مخزن سد سفیدرود را در مجاورت بدنه سد نشان می دهد.



شکل ۲- وضعیت رسوبگذاری در مخزن سد سفیدرود [۱۳]

براساس گزارشهای موجود، پیش بینی اولیه عمر مفید سد سفیدرود حدود ۱۱۰ سال بوده است [۱۳] در حالیکه مشاهدات ۱۸ سال اول این سد نشان داده، در صورتیکه عملیات تخلیه رسوبات انجام نگیرد، این رقم بسیار کمتر از مقدار پیش بینی شده خواهد بود. با این حال، با استفاده از رابطه شماره ۶ و در نظر گرفتن اطلاعات موجود از وضعیت رسوبگذاری ۱۸ سال اول سد سفیدرود و با اینترپلاسیون غیر خطی، حجم رسوبات ۵۰ ساله در حدود یک میلیارد و دویست میلیون متر مکعب به عنوان مبنای مقایسه برآورد شده است؛ همانگونه که از شکل ۳ می توان دریافت، مقادیر رسوبگذاری پیش بینی شده در مخزن سد، با استفاده از رابطه شماره ۶ (خط چین)، تطابق تقریباً خوبی با مقادیر واقعی رسوبگذاری در ۱۸ سال اول بهره برداری (خط توپر) دارد. نکته قابل توجه این است که نتایج بررسی ها فقط برای ۱۸ سال اول مورد آنالیز قرار گرفته و دلیل ان عدم هرگونه مدیریت کاهش یا تخلیه رسوب در مخزن در دوران مذکور می باشد و چنانچه هیچگونه عملیات رسوب زدایی از مخزن این سد که از سال ۱۳۵۹ آغاز شده است انجام نمی شد، دو منحنی مذکور پس از گذشت حدوداً ۵۰ سال از شروع بهره برداری با یکدیگر تلاقی می کردند. اما به دلیل عملیات شاس در سالهای پیاپی، ظرفیت مخزن بطور مؤثری علاوه بر حدود دویست میلیون متر مکعب بازیابی، در حدود یک میلیارد و دویست میلیون متر مکعب در سالهای اخیر ثابت مانده است [۱۳].



شکل ۳- مقایسه حجم واقعی و تخمینی رسوبگذاری در مخزن سد سفیدرود در ۱۸ سال اول بهره برداری (رابطه Rooseboom, ۱۹۹۷)

نتیجه گیری

احداث سد بر روی یک رودخانه منجر به رسوبگذاری در مخزن می شود. پیش بینی مقدار و نحوه توزیع رسوب برای طراحان سدها، به منظور تعیین آستانه دریاچه های عمقی و آنگیر و بررسی تعادل و پایداری سد اهمیت فراوانی دارد. تا سال ۲۰۰۰ میلادی، فرایند رسوبگذاری باعث از دست رفتن در حدود ۵۶۷ کیلومتر مکعب و به عبارتی در حدود ۱۰٪ حجم کل مخازن دنیا شده است [۱۵]. داشتن آشنایی کامل با روش های تجربی و نیمه تجربی و تلفیق معادلات و روشهای ریاضی و آنچه که در واقعیت در مخازن سدها از نظر رسوبگذاری اتفاق افتاده، می تواند بهترین راهکار برای تخمین حجم از دست رفته مخازن به واسطه ته نشست رسوبات باشد. در این راستا، بکارگیری روابط موجود در سایر کشورها در تخمین میزان رسوبگذاری و گاهاً عدم دقت مناسب آنها در مقایسه با مقادیر واقعی، برای برآورد حجم از دست رفته مخازن کشور، لزوم تعمیم روابط موجود و یا گسترش و ارائه روابط جدید و کالیبره شده با اطلاعات مربوط به حوزه های داخل کشور را مورد توجه قرار می دهد. امید است این پژوهش گامی نو برای فعالیتهای گسترده تر در این راستا باشد.

مراجع

- ۱- موسوی، س.ف. و صمدی بروجنی، ح. (۱۳۷۵) ارزیابی توزیع رسوب در مخازن سدهای کوچک منطقه چهار محال و بختیاری. *مجله آب و فاضلاب*، ۱۸، ۱۳-۴.
- 2- Borland, W.M. and Miller, C.R. (1958) Distribution of Sediment in Large Reservoirs. *Journal of the Hydraulics Division*, 84, 1-18.
- 3- Annandale, G.W. (1987) Reservoir Sedimentation. *Development in Water Science*, 29, 221.
- 4- Borland, W.M. and Miller, C.R. (1971) River Mechanics. *Chapter B29: Reservoir Sedimentation*, water resources publication.
- ۵- قمشی، م. (۱۳۶۸) بررسی و پیش بینی وضعیت رسوبگذاری در مخزن سد دز. *پایان نامه کارشناسی ارشد*، گروه آبیاری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران، اهواز.
- ۶- قمشی، م. (۱۳۸۱) تحلیل حساسیت مدل ریاضی HEC-6 با استفاده از داده های صحرایی. *مجله علمی کشاورزی اهواز*، ۲۴(۲)، ۱۱۸-۱۰۱.
- 7- United States Bureau of Reclamation (1962) Revision of the Procedure to compute Sediment Distribution in Large Reservoirs. *Sedimentation Section*, Hydrology Branch.
- 8- Yang, C.T. (1996) Sediment Transport: Theory and Practice. *McGraw Hill*, New York, 396.
- 9- Strand, R.I. and Pemberton, E.L. (1982) Reservoir Sedimentation. *U.S. Bureau of Reclamation*, Denver, Colorado.
- 10- Batuca, D.G. and Jordaan, J.M. (2000) Silting and Desilting of Reservoirs. Netherlands.
- 11- Galay, V.J. and B. (1989) Sediment Yield and Mean Annual Discharge from Watersheds in the Indian Subcontinent. *International symposium on sediment transport modeling*, New Orleans, Louisiana.
- 12- Basson, G.R. and Rooseboom, A. (1997) Dealing with Reservoir Sedimentation. *Project K5/580*, South African Water Research Commission.
- ۱۳- امور مطالعات آب و خاک (۱۳۶۲) گزارش رسوبات سد سفیدرود. *شرکت سهامی آب منطقه ای شمال*، گیلان، ایران.
- 14- Ranjbar, H. and Tolouie, E. (2005) Sefidrud Reservoir Desiltation. *Guilan Regional Water Board*, Iran.
- 15- White, R. (2001) Excavation of Sediment from Reservoirs. *Thomas Telford Ltd*, UK.

This document was created with Win2PDF available at <http://www.daneprairie.com>.
The unregistered version of Win2PDF is for evaluation or non-commercial use only.