

# استفاده از مدل شبیه ساز رسوب در تعیین عمر مفید مخزن

## سد اکباتان

سید احمد میرباقری<sup>۱</sup>، سیامک بوداقپور<sup>۲</sup> و سید آرمان هاشمی منفرد<sup>۳</sup>

### چکیده

پدیده‌های فرسایش و رسوبگذاری اثرات مخرب زیادی بر محیط زیست و زندگی انسان دارند. یکی از مهمترین اثرات آنها کاهش حجم مخازن سدها می‌باشد. زمانی که مخزن دیگر نتواند خدمت منظور شده از قبل را انجام دهد عمر مفید آن خاتمه یافته است. تاکنون مدل‌های متعددی برای شبیه سازی ورود رسوب به مخزن ارائه شده است که اکثر این مدلها بر پایه مشاهدات آزمایشگاهی می‌باشند. در این مقاله سد اکباتان به عنوان مطالعه موردی انتخاب شده است. ابتدا با استفاده از اندازه گیریهای مشخصات جریان در رودخانه اصلی، معادله پیوستگی رسوب ورودی به مخزن حل شده است. سپس با استفاده از معادله پیوستگی رسوب و چهار معادله انتقال مختلف، مقدار رسوب موثر در کاهش عمر مخزن بدست آمده است. این مقادیر جهت محاسبه کاهش حجم مخزن در یک دوره ۵۰ ساله، بکار رفته است که نشان می‌دهد روش انگلند-هنسن در مقایسه با معادلات دیگر از تطابق بیشتری با شرایط واقعی مخزن برخوردار بوده است. در پایان نیز با توجه به شرایط تعادل نهایی، پروفیل کف مخزن بدست آمده است. نتایج نشان می‌دهد که پس از این مدت رسوب زیادی در پای سد جمع شده و تا ۱۵ متر افزایش ارتفاع ایجاد شده است.

کلید واژه ها : رسوبگذاری، مدل ریاضی، مخزن سد، انتقال رسوب، سد اکباتان

### ۱ - مقدمه

این پدیده ها بخشی از طبیعت تکاملی زمین می‌باشند و می‌توانند تحت تاثیر فعالیت‌های انسانی هم قرار گیرند و در طول سالها باعث تغییر شرایط طبیعی شوند و موجبات ایجاد بلایای طبیعی را فراهم آورند.

سدها و مخازن با قطع جریان حرکت طبیعی آب و رسوبات را در سیستم تغییر می‌دهند. بعلاوه این که مخزن باعث کاهش سرعت آب می‌شود، ذرات رسوبی در داخل آن ته نشین می‌شوند. ته نشینی این رسوبات در مخزن باعث کاهش حجم زنده مخزن و تشکیل شکل دلتایی در قسمت ورودی مخزن می‌شود. اغلب وقتی مخزن تحت تاثیر نوسانات زیاد سطح آب باشد، مقدار زیادی از این رسوبات به داخل مخزن می‌روند و کارکرد مخزن را به مخاطره می‌اندازند و باعث ایجاد توده‌های رسوبی در مخزن و اختلال در کار توربینها و دریچه‌ها می‌شوند. از این رو ساخت و نگهداری سدها و مخازن نیازمند این است که مهندس طراح روابط انتقال رسوب منطبق با شرایط

رسوبگذاری شامل پدیده‌هایی مثل فرسایش، حمل، ته‌نشینی و اثر رسوبات بر آنها می‌باشد. این پدیده‌ها طبیعی می‌باشند و در طول عمر زمین وجود داشته‌اند و شکل کنونی آنها رقم زده‌اند. فرسایش و رسوب به عوامل متعددی مثل شرایط طبیعی، شکل زمین، خصوصیات آب و هوایی، هیدرولوژی منطقه، پوشش گیاهی، خصوصیات خاک و ... بستگی دارند.

مقاله در تاریخ ۸۶/۶/۵ دریافت و در تاریخ ۸۶/۱۲/۱۳ به تصویب نهایی رسید.

<sup>۱</sup> استاد، دانشکده عمران، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی (نویسنده مسئول)

پست الکترونیکی: mirbagheri@kntu.ac.ir

<sup>۲</sup> استادیار، دانشکده عمران، دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

<sup>۳</sup> دانشجوی کارشناسی ارشد، عمران - آب دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی

منطقه‌ای را بداند.

در جریان انتقال رسوب سه نظریه تا کنون ارائه شده است: نظریه جریان باگنولد<sup>۱</sup>،

نظریه توان واحد جریان یانگ<sup>۲</sup>

تئوری توان گرانشی ولیکانف<sup>۳</sup>

تئوری توان جریان بر اساس مفاهیم فیزیک عمومی پایه‌گذاری شده و به سادگی از تئوریهای مکانیک سیالات بدست آمده است. صحت و عمومیت نظریه توان دلیل اساسی است که معادلات انگلند - هانسن<sup>۴</sup> و ایکرز و وایت<sup>۵</sup> و یانگ نسبت به سایر معادلات نتایج بهتری بدهند. دلیل دیگر اینکه همه پارامترهای استفاده شده در این معادلات بی بعد هستند. بدین معنا که این معادلات نسبت به کوچک بودن ابعاد فلولم های آزمایشگاهی در مقایسه با رودخانه‌های طبیعی حساس نیستند.

نظریه احتمالاتی که توسط اینشتین در سال ۱۹۵۰ ارائه شد و بعدها توسط تعداد زیادی از محققین مورد استفاده قرار گرفت، صرفاً به منظور تشریح مراحل محاسبه انتقال رسوب بکار رفته و بدلیل پیچیدگی بسیار زیاد، در حل مسائل مهندسی بکار نمی رود. همچنین تعدادی از پارامترهایی که اینشتین از آنها استفاده کرد بر اساس مشاهدات محدود آزمایشگاهی بدست آمده‌اند. بعلاوه فرضیات و ساده‌سازی‌های زیادی توسط اینشتین و سایر محققین به منظور ارائه توابع مورد نظر بکار رفت. در مجموع روش اینشتین و سایر راه حل های اصلاح شده‌ای که بعد ارائه شد، از آنجا که اطلاعات و داده های وسیعی را می‌طلبند و در عین حال که پیچیده اند و نتایج دقیقی نیز دارند در حل مسائل مهندسی کاربرد چندانی ندارند [۱].

## ۲- مواد و روشها

### ۲-۱ معادلات انتقال رسوب

موضوع انتقال رسوب توسط مهندسان و زمین شناسان زیادی بررسی شده است. علوم انتقال رسوب برای تحلیل واکنش حوزه، هیدرولیک رودخانه اصلی حوزه و تغییرات دینامیکی حاصل از حوادث طبیعی و پاسخهای زیست محیطی بسیار مهم است. روشهای تئوری انتقال رسوب بر مبنای یک سری فرضیات می‌باشد. نرخ انتقال رسوبات یا بزرگی غلظت آنها می‌تواند با متغیرهایی مثل دبی آب،

سرعت جریان، شیب انرژی، تنش برشی، انرژی جریان، زبری نسبی، عدد فرود و ... تعیین شود. استفاده از این متغیرها بستگی به منطقه مورد مطالعه دارد. گاهی اوقات فقط دو یا سه تا از این متغیرها استفاده می‌شود. هر کدام از معادلات انتقال رسوب مطابق با شرایط و مناطق خاص خود می‌باشد و بر مبنای مسائل تئوری و بررسیهای آماری داده‌های اصلی و تطابق آن با داده‌های محلی می‌باشند. در حقیقت در برخی موارد یک سری از معادلات در یک محل خاص بی اعتبار است [۱].

گاهی اوقات بهتر است از دو معادله انتقال رسوب در یک محل استفاده شود. مثلاً از فرمول مایر- پیتر- مولر<sup>۶</sup> برای محاسبه بار بستر و از فرمول انشتین برای محاسبه بار معلق استفاده شود و نتایج هر دو با هم ترکیب شود و یک منحنی کلی برای بار بستر ارائه داد. این روش دقت زیادی ندارد ولی به مقدار زیاد در وقت و تحلیلهای کامپیوتری و طراحی صرفه‌جویی می‌شود. همچنین گاهی اوقات خصوصیات درمنطقه در حال بررسی وجود دارد که بر نتایج تاثیرگذار است ولی نمی‌توان به خوبی آنها را در معادلات وارد کرد.

اگر هیچیک از فرمولهای انتقال رسوب موجود نتایج رضایتبخشی نداشت، نتایج بدست آمده از رودخانه باید ملاک قرار گیرد. به این معنا که غلظت بار رسوب اندازه گیری شده در مقابل دبی آب، سرعت، شیب، عمق، تنش برشی، توان جریان، توان واحد جریان یا توان واحد جریان بی بعد رسم می‌شود. هر یک از منحنی‌ها که نقاط تجربی آنها کمترین پراکندگی را حول خط برازش یافته داشته باشند به عنوان منحنی سنج رسوب در ایستگاه مورد نظر بکار می‌رود.

برای آماده سازی مدل به ترتیب زیر عمل می‌شود:

ابتدا با داشتن دبی ماهیانه ورودی به مخزن و همچنین ضریب زبری معادل در طول مسیر رودخانه، پروفیل سطح آب از مقطع ورودی مخزن به سمت بالادست تعیین می‌شود.

$$E_{i,j}^k = y_{i,j}^k + \frac{Q_{i,j}^2}{2g(A_{i,j}^k)^2} \quad (1)$$

$$\Delta X_{i,j}^k = \frac{\Delta E_{i,j}^k}{S_0 - \bar{S}_{f,i,j}^k} \quad (2)$$

که در آن:

(۷)

$$\log(q_t)_{i,j}^k = 5.435 - 0.286 \log \frac{\omega d}{V_{i,j}^k} - 0.457$$

$$\frac{(U^*)_{i,j}^k}{\omega} + (1.799 - 0.409 \log \frac{\omega d}{V_{i,j}^k} -$$

$$0.314 \log \frac{(U^*)_{i,j}^k}{\omega}) \log \left( \frac{V_{i,j}^k S}{\omega} - \frac{(V_{Cr})_{i,j}^k S}{\omega} \right)$$

که در آن :

$q_t$  : غلظت وزنی بار کل رسوب ( صرفنظر از بار شسته )  
بر حسب  $ppm$  ،  $VS$  : توان واحد جریان ،  $U^*$  : سرعت برشی  
 $d$  : قطر میانگین دانه‌ها ،  $\omega$  : سرعت سقوط دانه‌ها  
 $V$  : لزجت سینماتیکی آب و  $V_{cr}$  : سرعت بحرانی می  
باشد.

روش انگلند-هنسن برای بدست آوردن دبی رسوب به  
صورت زیر می باشد :

$$(q_t)_{i,j}^k = \frac{0.05 \gamma_s \tau_0^{3/2}}{d_{s0}} \left( \frac{V_{i,j}^k}{\gamma_s - \gamma} \right)^2 \left( \frac{\gamma}{g} \right)^{0.5} (\lambda)$$

که در آن :

$q_t$  : دبی وزنی بار کل رسوب در واحد عرض آبراهه ،  $V$  :  
سرعت متوسط جریان ،  $\tau$  : تنش برشی در طول بستر ،  $d$  :  
میانگین قطر ذرات رسوبی ،  $\gamma_s$  و  $\gamma$  : بترتیب وزن  
مخصوص آب و رسوب و  $g$  : شتاب ثقل می باشد.  
همچنین رهیافت پیشنهادی ایکرز و وایت بصورت زیر می  
باشد :

$$(q_t)_{i,j}^k = \frac{(G_{gr})_{i,j}^k d \left( \frac{\gamma_s}{\gamma} \right)}{y_{i,j}^k \left( \frac{(U^*)_{i,j}^k}{V_{i,j}^k} \right)^n} \quad (9)$$

که در آن :

که  $G_{gr}$  : مقداری است که به قطر ذرات وابسته می باشد.  
همچنین توفالیتی با تقسیم کردن جریان به مقاطع مجزا  
وبدست آوردن مقدار دبی در هر مقطع مقدار دبی رسوب را  
به صورت زیر ارائه نمود :

$$(Q_{Ti})_{i,j}^k = B(q_{Bi} + q_{Sui} + q_{Smi} + q_{SLi})_{i,j}^k \quad (10)$$

$Q$  : دبی آب ،  $Y$  : عمق آب ،  $\Delta X$  : فاصله از مقطع ورودی  
مخزن ،  $S_0$  : شیب کف و  $S_f$  : شیب خط انرژی می باشد .

 $i$  : نشانگر سال $j$  : نشانگر ماه $k$  : نشانگر مقطع

اساس محاسبات روندیابی رسوب معادله تعادل جرم  
می باشد. در یک جریان یک بعدی یکنواخت معادله  
پیوستگی به صورت زیر می باشد:

$$\frac{\partial Q_s}{\partial X} + \eta \frac{\partial A_d}{\partial t} + \frac{\partial A_s}{\partial t} - q_{lat} = 0 \quad (3)$$

که در آن :

$\eta$  : تخلخل ،  $A_d$  : حجم رسوبات بستر در واحد طول ،  
 $A_s$  : حجم رسوبات معلق در واحد طول ،  $Q_s$  : دبی حجمی  
رسوب و  $q_{lat}$  : جریان ورودی رسوب می باشد.

برای ساده کردن این معادله اول فرض می شود که تغییرات  
غلظت رسوب معلق در مقطع کمتر از بستر است. یعنی

$$\frac{\partial A_s}{\partial t} \ll \eta \frac{\partial A_d}{\partial t} \quad (4)$$

دوم اینکه در طول یک گام زمانی پارامترهای انتقال و  
مقطع ثابتند یعنی :

$$\frac{\partial Q_s}{\partial t} = 0 \quad \text{یا} \quad \frac{\partial Q_s}{\partial X} = \frac{dQ_s}{dX} \quad (5)$$

کلی به صورت زیر در می آید :

$$\eta \frac{\partial A_d}{\partial t} + \frac{dQ_s}{dX} = 0 \quad (6)$$

که معادله حاکم برای روند یابی رسوب می باشد [۲].

حال بایستی بار رسوب ورودی به مخزن توسط معادلات  
مختلف بر آورد شود. چهار معادله مختلف انتقال رسوب برای  
تخمین مقدار رسوب ورودی بکار رفته است. معادله یانگ،  
توفالیتی، انگلند-هنسن و ایکرز- وایت. هر کدام از این  
معادلات به پارامترهای متفاوتی بستگی دارند و بنابراین  
تخمین مقدار رسوب در آنها متفاوت است. در میان  
روشهای فوق تنها روش توفالیتی بر مبنای تئوری توان واحد  
نمی باشد. یانگ مقدار دبی رسوب را به صورت زیر محاسبه  
نمود :

انتقال رسوب اساساً به نرخ انرژی تلف شده در فرایند انتقال بستگی دارد و فرضیاتی که بر این مبنا استوارند از عمومیت و دقت بیشتری نسبت به دیگر فرضیات که نرخ انتقال را تابعی از دبی جریان، سرعت متوسط جریان، شیب خط انرژی و تنش برشی می‌دانند، برخوردارند. [۳]

### ۳- تخمین مقدار انباشتگی رسوب در مخزن

در تخمین مقدار رسوب انباشته شده در مخزن مهمترین عامل وزن مخصوص ذرات است. وزن مخصوص کل از ترکیب وزن مخصوصهای شن و سیلت و رس ورودی به مخزن محاسبه می‌گردد. از آنجا که رسوبگذاری در طول عمر مخزن اتفاق می‌افتد جهت محاسبه حجم کلی رسوبات مقادیر وزن مخصوص بایستی برای هر سال محاسبه گردد و این به علت فشرده‌گی است که به مرور زمان صورت می‌گیرد. مرحله بعدی تخمین رسوبگذاری در مخزن است. سرعت نهایی سقوط ذرات و سرعت متوسط جریان آب در مخزن در تعیین ضریب تله‌اندازی مخزن موثرند.

آنچه از فشرده‌گی ذرات مهم است نحوه بهره‌برداری از مخزن است. چراکه اگر هدف برقایی باشد چون سطح آب معمولاً ثابت است، این رسوبات همواره زیر آب هستند اما در سدهای کنترل سیلاب چون مخزن پر و خالی می‌شود، رسوبات تر و خشک می‌شوند و باعث فشرده شدن و تغییر چگالی آنها می‌شود.

ضریب تله‌اندازی یک مخزن با عمر آن کاهش می‌یابد زیرا رسوبات انباشته شده به مرور زمان باعث تقلیل ظرفیت مخزن می‌شوند. بنابراین پرشدن مخزن ممکن است زمان طولانی نیاز داشته باشد ولی به هر حال عمر مفید مخزن زمانی به پایان می‌رسد که دیگر مخزن نتواند خدمات در نظر گرفته شده‌اش را انجام دهد. برای بدست آوردن مقدار حجم مخزن در هر مقطع زمانی از وزن مخصوص ذرات و فشرده‌گی استفاده می‌شود.

(۱۱)

$$Cap_{i,j+1} = Cap_{i,j} - (Trap_{i,j} * Compac_{i,j})$$

$$Trap_{i,j+1} = Ration_{i,j+1} * (q_t)_{i,j+1} \quad (12)$$

مقادیر دبی رسوب در هر یک از مقاطع آبراهه می‌باشد.

بدین ترتیب پروفیل رسوب در رودخانه اصلی ورودی به مخزن در مقاطع مختلف تعیین شده است که مقدار دبی رسوب ورودی به مخزن در مقطع ورودی برای محاسبه مقدار انباشتگی بکار می‌رود [۲].

### ۲-۲ انتخاب تابع انتقال مناسب

بطور کلی روش مناسبی برای انتخاب بهترین معادله انتقال رسوب وجود ندارد ولی بر اساس بررسی‌های مختلف می‌توان گفت که نرخ انتقال رسوب و غلظت بارکل تابعی از توان واحد جریان است. دبی رسوب در آبراهه‌های طبیعی بغیر از متغیرهای قبلی به ضریب شکل، ضریب دانه‌بندی دانه‌های رسوب، درصدی از سطح بستر که با مواد درشت‌دانه پوشیده شده است، قابلیت انتقال دانه‌های درشت بستر، تغییرات بوجود آمده در چرخه هیدرولوژیکی، مقدار مواد ریزدانه و بار شسته انتقال یافته از بالادست، دمای آب، شکل هندسی آبراهه‌ها، شکل بستر و میزان آشفته‌گی جریان نیز بستگی دارد. به دلیل عدم قطعیت روش‌های ارزیابی دبی رسوب تحت وضعیتهای مختلف جریان و رسوب و شرایط مختلف هیدرولوژیکی، زمین شناسی و آب‌وهوایی، پیشنهاد یک فرمول کلی و جامع بسیار دشوار است.

برای تحلیل انتقال رسوب در یک منطقه بایستی ملاحظات زیر را در نظر گرفت:

. مطالعه تاریخچه هیدرولوژیکی سیستم برای درک بهتر پروسه فیزیکی و تغییرات سیستم که ممکن است اتفاق افتاده یا بیافتد

. بررسی خصوصیات حوزه و سیستم کانال برای ارزیابی واقعی بده رسوبی محل مورد نظر

. آزمون معادلات انتقال رسوب موجود و تعیین اینکه کدامیک برای منطقه مناسب تر است

. محاسبه نرخ انتقال با استفاده از معادلات انتخاب شده و مقایسه نتایج با داده‌های محلی

. انتخاب بهترین معادله انتقال رسوب که بیشترین تطابق را با شرایط منطقه دارد

کاهش سطح با در نظر گرفتن عوامل توزیع رسوب مثل شکل مخزن، نحوه بهره برداری از مخزن و نوع رسوب غالب مخزن دقت مناسبی دارد. محاسبات عمق رسوب و چگونگی توزیع آن در مخزن اولین بار توسط برلند و میلر ارائه گردید و سپس مودی اقدام به اصلاح آن نمود.

نظریه مینیمم توان واحد جریان اولین بار توسط یانگ در سال ۱۹۷۱ بر مبنای اصول اساسی ترمودینامیک ارائه شد. مطابق این نظریه در یک سیستم تحت موازنه دینامیکی:

$$\frac{dy}{dt} = \frac{dx}{dt} \frac{dy}{dx} = VS_{\min} \quad (15)$$

که در آن،  $\gamma$ ، انرژی پتانسیل در واحد وزن آب،  $x$ ، فاصله  $VS$ ، توان واحد جریان،  $t$ ، زمان می باشد.

کمترین مقدار توان مذکور برابر با عدد ثابتی است:

$$(gds)^{1/2} = a_{\min} = const \quad (16)$$

مقدار سرعت برشی در طول بستر یک مخزن از مقدار ثابتی برخوردار است. بطوریکه در فواصل مختلف از محل سد رابطه زیر برقرار است:

$$(gDS)^{1/2} = 6 * 10^{-3} m/s \quad (17)$$

هنگامی که توان واحد جریان به سمت مینیمم مقدار خود میل می کند، یا به عبارتی  $0 \rightarrow \frac{dQ}{dx}$ ، رابطه بین مساحت مقطع عرضی جریان و محیط خیس مقطع به صورت زیر در می آید:

$$\frac{dA}{dx} = \frac{A}{Q} \frac{dQ}{dx} + \frac{A}{3p} \frac{dp}{dx} = \frac{A}{3p} \frac{dp}{dx} \quad (18)$$

رابطه اخیر را می توان به منظور بیان مقدار مواد رسوبی ته نشین شده در مخزن به صورت تابعی از  $\frac{dp}{dx}$ ، بکار برد [۴].

## ۵- نتایج و بحث

برای بررسی عمر مخزن تحت تاثیر معادلات انتقال رسوب، سد مخزنی اکباتان در جنوب همدان انتخاب شده است. حجم مخزن این سد هشت میلیون مترمکعب در سال بهره برداری بوده است.

نتایج حاصل از مدل برای سد در زیر آورده شده است. شکل های (۱) و (۲) مقدار دبی رسوب در سال های کم آبی و پر آبی مخزن را نشان می دهد. از آنجا که نتایج بدست آمده

$$Ration_{i,j+1} = \frac{Cap_{i,j+1}}{q_{i,j+1}} \quad (13)$$

$$Cap_{i+1,1} = Cap_{i,12} \quad (14)$$

که در آن:

$Cap_{i,j}$ : مقدار حجم مخزن در سال  $i$  ام و ماه  $j$  ام

$Trap_{i,j}$ : ضریب تله اندازی در سال  $i$  ام و ماه  $j$  ام

$Compac_{i,j}$ : ضریب فشردگی مصالح

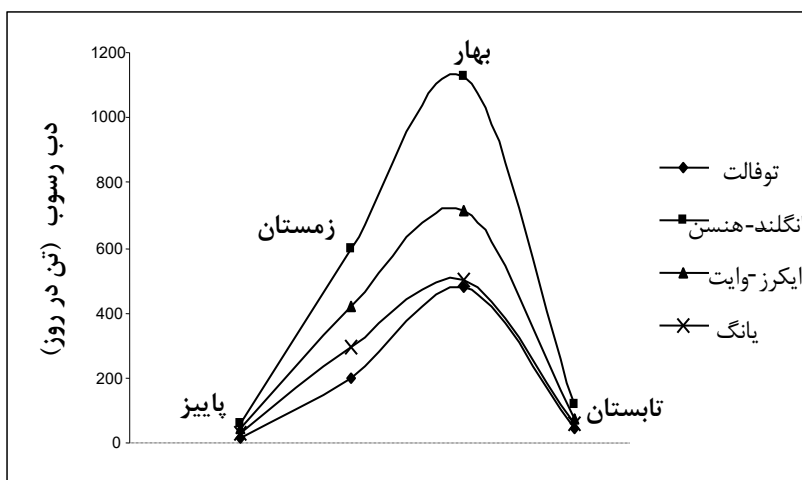
$Ration_{i,j}$ : ضریبی است که از معادله (۱۳) بدست می آید [۳].

## ۴- توزیع رسوبگذاری در مخزن

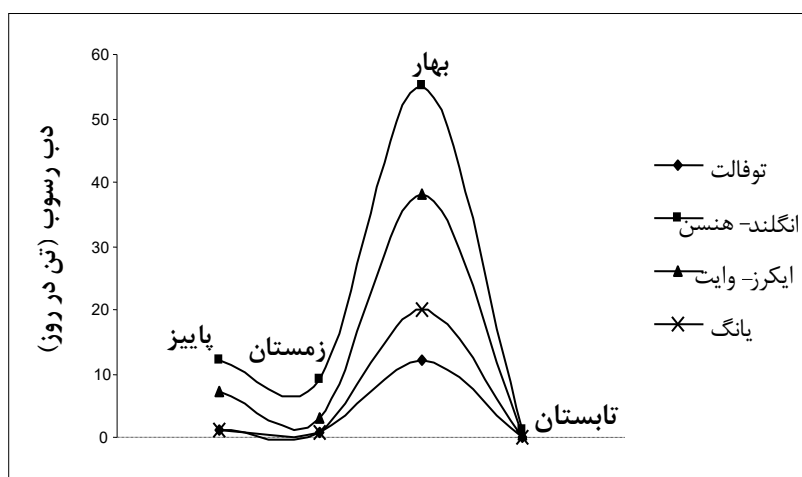
زمانی تصور می شد که رسوبات ورودی در گودترین قسمت مخزن ته نشین می شوند اما اکنون به خوبی روشن گردیده است که بخشی از کل رسوبات در مخزن مرده و بخش عمده آنها در مخزن زنده سد که در حقیقت حجم مفید دریاچه سد را تشکیل می دهد تجمع پیدا می کنند. در طراحی سدها تعیین رقوم استقرار دریاچه های آبیاری و محل توربین ها و همچنین پیش بینی ارتفاعات رسوبات ته نشین شده در کنار سد ضروری و لازم می باشد. روشهای مختلفی از قبیل مطالعات صحرایی (عمق یابی، حفر چاهک در رسوبات و ...)، روشهای هیدرولیکی، ریاضی و تجربی در تعیین و یا تخمین توزیع رسوب بکار برده می شوند. مطالعات صحرایی دقیق ترین روش موجود می باشد که با آن می توان حجم و نحوه توزیع رسوبات در مخزن را بر حسب دقت ابزار کار تعیین نمود اما این روش نیاز به هزینه، دقت، نیروی انسانی و تجهیزات پیشرفته دارد. روشهای هیدرولیکی اگرچه دقت قابل قبولی دارند اما پیچیدگی کار آنها از کاربرد گسترده شان می کاهد. روشهای ریاضی و تجربی به جهت سادگی کار و هزینه های کم و دقت قابل قبولشان توجیه پذیرترند. از جمله این روشها روش ریاضی افزایش سطح و روش تجربی کاهش سطح می باشند. روش افزایش سطح به دلیل فرضیات ساده کننده مثل فرض ترسیب یکنواخت رسوب در تمام مخزن، دقت کمتری نسبت به روش کاهش سطح دارد. روش تجربی

از مدل بصورت ماهیانه بوده است، برای نشان دادن نتایج سعی شده تا از میانگین ماههای آماری در یک فصل استفاده شود.

همانطور که انتظار می‌رود با افزایش مقدار دبی آب ورودی به مخزن، دبی رسوب ورودی به مخزن نیز افزایش یافته است ولی این تنها عامل موثر در تعیین میزان بده رسوبی نیست بلکه بسته به نوع معادله پارامترهای مختلفی در آن تاثیر دارند.

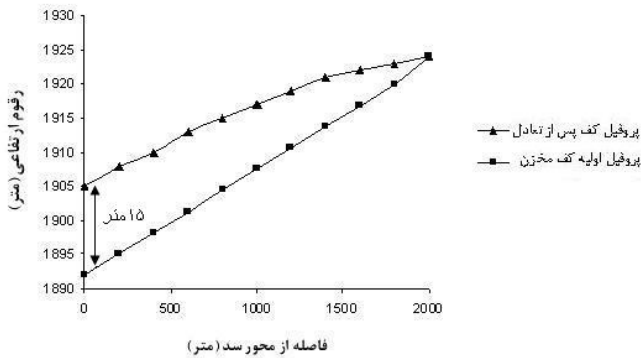


شکل ۱ دبی رسوب در سال پر آبی



شکل ۲ دبی رسوب در سال کم آبی

مخزن تمایل دارد خود را به سمت کف رودخانه سوق دهد. با توجه به اینکه طول مخزن ۲۰۰۰ متر است، این طول به ۱۰ قسمت ۲۰۰ متری تقسیم شده که حجم رسوب ته نشین شده بین مقاطع نیز در شکل (۴) زیر آمده است.



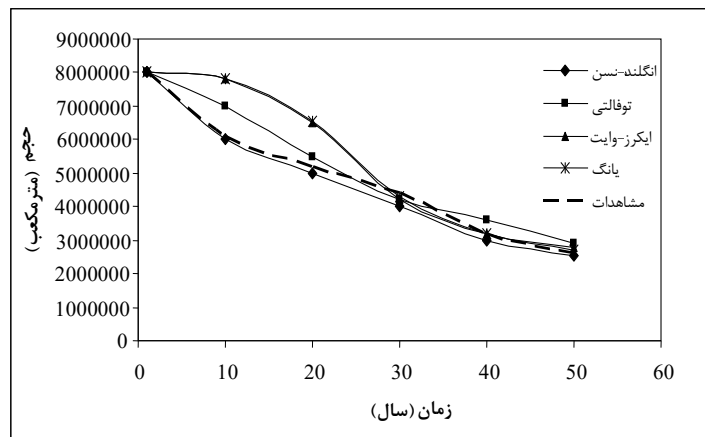
شکل ۴ پروفیل متعادل شده کف مخزن

## ۶- نتیجه گیری

در این مقاله اثر رسوبات بر کاهش عمر مفید مخازن مورد بررسی قرار گرفته است. برای این منظور سد اکباتان واقع در ۱۱ کیلومتری جنوب همدان به عنوان مطالعه موردی انتخاب شده است. اثر ۴ معادله انتقال رسوب متفاوت بر روی این مخزن بررسی شده است و کاهش عمر مفید به صورت تابعی از زمان بدست آمده است. همچنین اثر رسوب بر مخزن در ایجاد پروفیل متعادل شده رسوب در کف مخزن مورد بررسی قرار گرفته است. مقدار دبی رسوب در یک ایستگاه در نزدیکی مخزن اندازه گیری شده است. این اندازه گیری ها اغلب گسسته و ناقص است. در یک سری نقاط محدود می توان نتایج مدل را با اندازه گیریهای واقعی مقایسه نمود. با توجه به نتایج بدست آمده می توان گفت که:

انتخاب معادله انتقال رسوب مناسب دقیقاً به شرایط محلی بستگی دارد مثلاً برای مخزن مورد نظر روش انگلند-هنسن بیشترین تطابق را با نتایج واقعی برداشته دارد. از این رو منحنی کاهش عمر مخزن نیز در روش انگلند-هنسن نیز نسبت به بقیه از کاهش مناسب تری برخوردار است.

همچنان که در شکل (۱) و (۲) مشاهده می شود روش توفالتی نسبت به سایر روشها دبی رسوب کمتری می دهد. برعکس در همان فصول روش انگلند-هنسن بیشترین مقدار را به خود اختصاص می دهد. بعلاوه مشخص است که در دبی های پایین، نتایج روش یانگ و توفالتی به هم نزدیک می شود. بنابراین بطور متوسط بیشترین مقدار دبی رسوب را بترتیب روش انگلند-هنسن، ایگرز-وایت، یانگ و توفالتی دارند. در مواردی که دبی خیلی پایین است، روش ایگرز-وایت مقدار رسوب را به خوبی تعیین نمی کند. همچنین در مقایسه با آمار واقعی روش انگلند-هنسن نتایج بهتری می دهد. کاهش حجم مخزن نیز در شکل (۳) نشان داده شده است.



شکل ۳ مقایسه روشها در کاهش عمر مخزن

برای روش توفالتی دو میلیون و هشتصد هزار مترمکعب بوده است. با توجه به آمار رسوب بیشترین کاهش حجم را روش انگلند-هنسن و کمترین کاهش را روش توفالتی دارد که نتایج روش انگلند-هنسن بیشتر به واقعیت نزدیک است. نکته دیگر اینکه در سالهای اولیه آماری مقدار کاهش حجم بدست آمده از روش توفالتی نسبت به روش یانگ و ایگرز-وایت بیشتر است در صورتی که در سالهای آخر عکس این مساله می باشد. که نشان می دهد تاثیر مقدار دبی آب ورودی به مخزن در تعیین بده رسوب توسط این معادلات بسیار زیاد می باشد. مدل، پروفیل کف مخزن را زمانیکه ورودی و خروجی مخزن به تعادل می رسد نشان می دهد (شکل ۴). نتایج نشان می دهد که در هنگام تعادل در پای سد ۱۵ متر افزایش ارتفاع ایجاد شده است و کف

## مراجع

- [1] Daryl B Simons and Faut Senturk., "*Sediment Transport Technology*", Water Resource Publications, 1992.
- [2] Chih Ted Yang and J.M.Simoos, "*Generalized Sediment Transport Model for Alluvial River Simulation*", Version 3.0, Us Department of Interior Bureau of Reclamation, Technical service center, December 2002.
- [۳] سید امیر امامی، انتقال رسوب، انتشارات جهاد دانشگاهی دانشگاه امیر کبیر، ۱۳۷۹.
- [4] W.R.White. "*Sediment Problems in River Basins*", UNESCO, 1982.
- [5] T.Blench. "*Mobile Bed Fluviology*", University of Alberta, 1969.
- [6] W.R.Blain and E.Cobreara, "*Fluid Flow Modeling/ Computer Techniques and Applications*", 1992.
- [7] R.Ariatharai and M.Arthur and R.B.krone. "*Mathematical Model of Estuarial Sediment Transport*", U.S.Army Waterways Experiment Station, October 1977.
- [8] Harcio Toniolo And Gary Parker "*1D Numerical modeling of Reservoir Sedimentation*" IAHR Symposium on River, Coastal and Morphodynamics ,Barcelona ,spain,2003, pp 457-468.

روش توفالتی در مقایسه با سه روش دیگر دبی رسوب کمتری می‌دهد. همچنین وقتی دبی ورودی به مخزن کاهش پیدا می‌کند نتایج چهار روش (مخصوصاً روش یانگ و توفالتی) به هم نزدیک تر می‌شود که این نشان می‌دهد در دبی های پایین نتایج روشهای نامبتنی بر تئوری توان واحد جریان به سمت روشهای مبتنی بر آن میل می‌کند. تفاوت عمده نتایج حاصل از معادلات انتقال رسوب و آمار برداشت شده نشان داده است که این معادلات در دبی‌های زیاد مقدار رسوب را بیشتر از مقدار واقعی و در دبی‌های کم این مقدار را کمتر محاسبه می‌کنند.

## ۷- پی نوشت

- <sup>1</sup>bagnold (1966)  
<sup>2</sup> yang (1973)  
<sup>3</sup> velikanov (1954)  
<sup>4</sup> england & hansen (1972)  
<sup>5</sup> ackers & white(1973)  
<sup>6</sup> mayer-peter/muller(1950)