

## پیش‌بینی وضعیت رسوب‌گذاری در مخزن سد کرخه صفر

مهدی قمشی<sup>۱</sup> و عباس صدق‌آمیز<sup>۲</sup>

### چکیده

مخزن سد کرخه صفر با حجمی بالغ بر ۶/۹۵ میلیارد متر مکعب (در رقوم ۲۷۵ متر) بزرگترین مخزن در سطح کشور محسوب می‌شود که چندی پیش مورد بهره‌برداری قرار گرفت. در تحقیق حاضر که با هدف پیش‌بینی وضعیت رسوب‌گذاری در مخزن سد کرخه صفر صورت گرفته است از مدل HEC-6 (اداره مهندسی ارتش آمریکا) (۱۷) و مدل DEPO (۱۱) استفاده شده است. به منظور استفاده از این مدل‌ها حجم زیادی از اطلاعات شامل وضعیت هندسی مقاطع مخزن، آمار دبی جریان رودخانه، آمار دبی جریان-دبی رسوب، دانه‌بندی مواد معلق در جریان‌های مختلف، دانه‌بندی مواد بستر و برخی اطلاعات دیگر به کار گرفته شده‌اند. بعد از آماده‌سازی فایل‌های ورودی برای اجرای دو مدل با در دسترس بودن اطلاعات ورودی اقدام به اجرای آنها و مقایسه گرافیکی نتایج خروجی برای حالات مختلف شده است. به طور خلاصه می‌توان گفت که میزان رسوبات ورودی به مخزن به طور متوسط ۱۴/۷ میلیون متر مکعب در سال می‌باشد. با توجه به نتایج اجرای مدل‌ها، ضریب کاهش حجم سالانه مخزن ۰/۰۰۱۵۸ به دست آمده است. هم‌چنین در پایان دوره ۱۰۰ ساله، حجم مفید مخزن در حدود ۵/۸-۵/۴ میلیارد متر مکعب و فاصله پیشانی رسوب در دلتا از بدنه سد ۲۳-۱۸ کیلومتر می‌باشد. بنابراین پیشنهاد می‌شود که کلیه تأسیسات در محدوده بین دیواره سد و فاصله دلتای پیش‌بینی شده تعبیه شوند تا رسوب‌گذاری مشکلی برای آنها بوجود نیارد.

کلید واژه‌ها: سد کرخه صفر، رسوب‌گذاری، مدل، مخزن

### مقدمه

در پایین دست نیز زلال بودن آب خروجی از سد باعث افزایش پتانسیل فرسایش در رودخانه می‌گردد، که هر دو عامل فوق می‌توانند تأثیر چشم‌گیری بر تأسیسات هیدرولیکی نصب شده داشته باشند (۱). در ابتدا تحقیقات پیرامون رسوب‌گذاری در مخازن به روش‌های ساده تجربی محدود بود، اما این روش‌ها تمام انتظارات و شرایط را پوشش نمی‌دهند، زیرا پایه و اساس این گونه روش‌ها تنها یک سری اطلاعات مشاهده‌ای می‌باشد. بعد از مدتی، روش‌های ریاضی<sup>۳</sup> بر اساس حل یک سری از معادلات حاکم بر جریان و مراحل رسوب‌گذاری ارائه شدند. در مقایسه با

به منظور تأمین آب مورد نیاز شهرها، مراکز صنعتی و کشاورزی، کنترل سیلاب و تأمین الکتریسیته، نیاز به طراحی و ساخت سدهای بزرگ برای ذخیره آب در فصول سیلابی می‌باشد. با توجه به این که این سازه‌های هیدرولیکی در مسیر رودخانه بنا می‌شوند، طبیعتاً تعادل طبیعی رودخانه تا حد زیادی تحت تأثیر قرار می‌گیرد. در نتیجه وجود این تأسیسات، سرعت جریان آب کاهش می‌یابد و حجم زیادی از رسوبات در مخزن ته‌نشین می‌شود. این رسوبات ته‌نشین شده اثرات زیادی را در بالادست و پایین دست مخزن بر جای می‌گذارد. به طوری که در بالادست باعث کاهش حجم مخزن و

۱- هیات علمی دانشکده مهندسی علوم آب - دانشگاه شهید چمران اهواز

۲- دانشجوی سابق فوق لیسانس و هیات علمی دانشکده کشاورزی داراب دانشگاه شیراز (Abbas\_sedghamiz@yahoo.com)

3- Mathematic Methods

تاریخ دریافت: ۸۱/۹/۳۰

تاریخ پذیرش: ۸۵/۳/۲۹

کامپیوتری به نام HEC-6 را برای شبیه سازی رسوب گذاری و رسوب برداری در رودخانه ها و مخازن ارائه داده است. این مدل که یک مدل ریاضی یک بعدی می باشد و از مقبولیت نسبتاً زیادی بین محققان برخوردار است، به منظور پیش بینی حمل رسوبات مورد استفاده قرار می گیرد. در مدل HEC-6، جریان آب و رسوب در دو فاز مختلف روندیابی می شوند. ابتدا جریان آب از پایین دست به سمت بالا دست روندیابی می گردد و آن گاه فرایندهای مربوط به رسوب از بالا دست به سمت پایین دست صورت می پذیرد (۱۷). مدل دیگری نیز توسط هالی و همکاران<sup>۶</sup> برای شبیه سازی جریان غیر دائمی و حرکت رسوبات در شبکه کانال های مرکب با بستر متحرک ارائه شده است. این مدل همچنین قادر به روندیابی هیدرولیکی و شبیه سازی فرایند آرمورینگ<sup>۷</sup> می باشد، اما توانایی شبیه سازی فرایند رسوبات چسبنده و اثرات جریان های غلیظ را ندارد (۱۳).

مدل دیگری که علاوه بر فرایند رسوب گذاری، توانایی شبیه سازی فرایند رسوبات چسبنده را نیز دارد، مدل DEPO است که توسط قمشی<sup>۸</sup> (۱۱) ارائه گردیده است. این مدل که برای تحلیل یک بعدی مجاری روباز و مخازن سدها مورد استفاده قرار می گیرد، جریان آب و رسوب را در دو فاز مختلف روندیابی می کند به این ترتیب که ابتدا جریان آب از پایین دست به سمت بالا دست و آن گاه جریان رسوب از بالا دست به سمت پایین دست روندیابی می گردد. این مدل شبه دو بعدی است بدین ترتیب که ابتدا معادلات جریان ماندگار و غیر یکنواخت بصورت یک بعدی با روش گام به گام حل شده و سپس تغییرات رسوب با بکارگیری یکی از روابط هفت گانه حرکت رسوبات درشت

روش های تجربی<sup>۱</sup>، روش های ریاضی از قابلیت اطمینان بیشتری برخوردار می باشند.

روش افزایش سطح<sup>۲</sup> یکی از روش های تجربی است که توسط برلند و میلر<sup>۳</sup> (۹) ارائه شده است. اساس این روش بر این فرض مبتنی است که انباشت رسوبات در مخزن سد می تواند با کاهش سطح مخزن به اندازه معین در هر تراز تعیین شود. این روش فقط تخمینی از وضعیت رسوبات انباشته شده در یک دوره زمانی را به دست می دهد (۹). روش دیگری که به روش تجربی کاهش سطح<sup>۴</sup> مشهور است بر پایه مطالعات نتایج واقعی حاصل از ۳۰ مخزن بزرگ آمریکا ارائه شده است. در این روش بررسی ها نشان داده است که یک رابطه قطعی بین شکل مخزن و درصد رسوبات انباشت شده در اعماق مختلف مخزن وجود دارد (۲). بر خلاف روش های تجربی مدل های ریاضی بر اساس حل ریاضی تمام پدیده های مؤثر در انتقال، توزیع، ته نشینی و آب شستگی بنا نهاده شده اند. آسادا یک مدل ریاضی را برای رودخانه های کوهستانی و مخازن ارائه داد که اساس آن مدل، معادله خودش (آسادا) در انتقال رسوب بود. طرز عمل این مدل شبیه به روش های دیگر می باشد، بدین ترتیب که ابتدا پروفیل های برگشت آب برای شیب اولیه بستر به وسیله معادلات دائمی و غیر یکنواخت محاسبه می شوند. آنگاه میزان تغییر کف در یک محدوده زمانی با استفاده از معادله حمل رسوب و معادله پیوستگی رسوب محاسبه می گردد (۸). لوپز<sup>۵</sup> (۱۵) مدلی را ارائه داد که در آن هم از تئوری جت و هم از تئوری انتقال رسوب به منظور پیش بینی رسوب گذاری در مخازن استفاده شده است (۱۵). اداره مهندسی ارتش آمریکا نیز یک مدل

1- Empirical Method

2- Area -Increment Method

3- Borland & Miller

4- Empirical Area - Reduction Method

5- Lopez

6- Holly *et al.*

7- Armoring process

8- Ghomeshi

حقی آبی و همکاران<sup>۱</sup> (۱۲) در تحقیقی در خصوص پارامترهای موثر در جریان های غلیظ با استفاده از مشاهدات و اندازه گیری های آزمایشگاهی نشان دادند که این پدیده عمدتاً وابسته به پارامتری تحت عنوان عدد ریچاردسون و زاویه شیب کف می باشد. پارامترهای تأثیر گذار دیگر عبارتند از سرعت متوسط و عمق جریان در بخش یکنواخت جریان و چگالی نرمال شده سیال غلیظ می باشند.

#### معادلات سرعت سقوط ذرات رسوب

در مدل های جریان و رسوب معمولاً برای برآورد سرعت سقوط ذرات از روابط تجربی موجود استفاده می شود. همانطور که می دانیم سرعت سقوط ذرات کروی شکل با عدد رینالدز خیلی کوچک ( $R_e \leq 1$ ) توسط آقای استوکس بشکل زیر ارائه گردیده است.

$$V_f = \frac{gd^2(\rho_s - \rho_f)}{18\mu}$$

که در آن:

$$V_f = \text{سرعت سقوط}$$

$$g = \text{شتاب ثقل}$$

$$d = \text{قطر ذره}$$

$$\rho_s = \text{جرم مخصوص ذره}$$

$$\rho_f = \text{جرم مخصوص سیال}$$

$$\mu = \text{لزوجت سیال}$$

ذرات رسوب بصورت کاملاً کروی یافت نمی شوند لذا در محاسبات مربوط به رسوب از روابط دیگری که معمولاً برای ذرات طبیعی ارائه می شوند استفاده می گردد.

در مدل HEC-6 از دو روش توفالتی<sup>۲</sup> (۱۶) و ICWR (۱۴) بدین منظور استفاده شده اند. ذکر مراحل و جداول مربوط به هر دو روش فوق خارج از گنجایش این مقاله است و می توان برای جزئیات این روشها به منابع مربوطه مراجعه نمود.

دانه و معادلات حرکت و فرسایش رسوبات ریز دانه محاسبه شده و سپس در هر مقطع تغییرات نقاط مختلف بصورت دو بعدی انجام می گردد. از ویژگیهای مهم این مدل در نظر گرفتن جریانهای غلیظ رسوبی است که در مدل های دیگر چنین توانایی وجود ندارد. مدل با بررسیهای هیدرولیکی در صورت بوجود آمدن جریان غلیظ در مسیر حرکت جریان رودخانه به مخزن محاسبات جریان و رسوب محاسبات را از حالت عادی خارج و معادلات حرکت جریان غلیظ را برای ادامه محاسبات بکار خواهد گرفت. کردونی (۵) در تحقیقی تحت عنوان تعیین سهم سرشاخه های رودخانه دز در میزان رسوب گذاری مخزن سد دز، سرشاخه بختیاری را با سهمی در حدود ۶۷٪ به عنوان موثرترین سرشاخه در رسوب گذاری مخزن سد معرفی نمود. قمشی (۳) در تحلیل حساسیت مدل ریاضی HEC-6 با استفاده از اطلاعات صحرائی مربوط به سد شهید عباسپور، حساسیت این مدل را نسبت به تغییرات محدوده بستر متحرک، بسیار شدید و نسبت به تغییرات داده های رسوب و روش محاسبه سرعت سقوط ذرات قابل توجه دانست. همچنین در این تحقیق رفتار مدل نسبت به تغییر در دبی جریان، حساسیت متوسطی را نشان داد. قمشی و ترابی (۴) در پژوهش خود تحت عنوان ارزیابی کاربرد معادلات برآورد بار رسوبی در رودخانه های خوزستان نشان دادند که به طور کلی معادله هایی که مبتنی بر انرژی تبادل جریان می باشند برای رودخانه های خوزستان مناسب ترند. هادی زاده و قمشی (۷) در تحقیقی تحت عنوان بررسی میزان تأثیر جریان های غلیظ در روند رسوب گذاری در مخزن سد مارون نشان دادند که خروج کامل جریانات غلیظ از مخزن تأثیر بسیار چشمگیری در کاهش راندمان تله اندازی و کاهش حجم رسوب گذاری در مخزن خواهد داشت.

1- Haghiabi et al.

2- Toffaleti

صفر انجام شده است. این سد مخزنی از جمله سدهای بزرگ جهان و بزرگترین سد ایران از لحاظ حجم دریاچه و طول تاج سد می باشد که به منظور توسعه آبیاری اراضی کشاورزی و تولید برق احداث گردیده است. محل احداث این سد در ۲۰ کیلومتری شمال غربی اندیمشک و روی رودخانه کرخه می باشد. این سد از نوع خاکی با هسته رسی می باشد و کل حجم بدنه آن برابر ۳۲ میلیون متر مکعب است. ارتفاع سد ۱۲۷ متر، طول تاج آن معادل ۳۰۳۰ متر، عرض تاج سد ۱۲ متر و عرض پی آن ۱۱۰۰ متر می باشد. حجم کل مخزن این سد در رقوم ۲۷۵ متر معادل ۶/۹۵ میلیارد متر مکعب محاسبه شده است. سرریز این سد از نوع شوت دریاچه دار با ظرفیت تخلیه جریانی به شدت ۱۸۳۹۵ متر مکعب در ثانیه می باشد. نیروگاه سد نیز از نوع سطحی با ظرفیت نصب ۴۰۰ مگاوات در نظر گرفته شده است (۶). شکل ۱ شمایی از بدنه سد را نشان می دهد.

در مدل DEPO برای سرعت سقوط از رابطه دیتریچ<sup>۱</sup> (۱۰) استفاده شده است. این رابطه به شکل زیر می باشد.

$$v_s = (gRvW_*)^{1/3}$$

که در آن:

$$\log(W_*) = -3.7617 + 1.92944 \log(D_*) - 0.09815 (\log(D_*))^2 - 0.00575 (\log(D_*))^3 + 0.00056 (\log(D_*))^4$$

و

$$D_* = \frac{g R D_g^3}{v^2}$$

$v_s$  = سرعت سقوط ذره

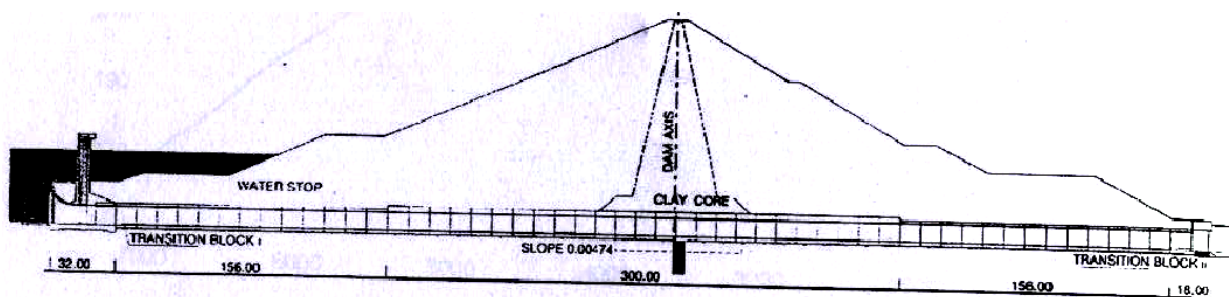
$R$  = وزن مخصوص ذرات در حالت شناور

$V$  = لزوجت سینماتیک

$D_g$  = اندازه هندسی ذره می باشند

### مشخصات سد کرخه

همانطور که اشاره شد تحقیق فوق با به کارگیری مدل های HEC-6 و DEPO در مخزن سد کرخه



شکل ۱ - شمایی از بدنه سد کرخه صفر

## مواد و روش ها

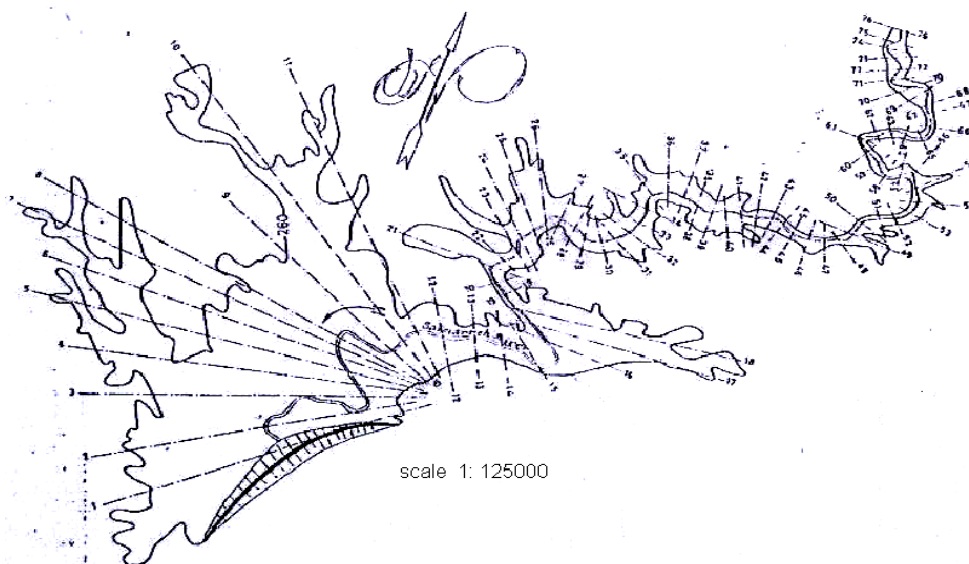
به منظور تشکیل فایل ورودی مدل‌ها بایستی مراحل متعددی طی گردد که هر کدام از این مراحل خود نیاز به تجزیه و تحلیل کامل و جامعی از اطلاعات مربوطه دارد. اولین اطلاعاتی که جهت تشکیل فایل ورودی استفاده می‌شود مربوط به مشخصات هندسی مقاطع مخزن می‌باشد. در این ارتباط مجموعاً از ۱۰۶ مقطع در طول مخزن استفاده شده که با فرمت خاصی به صورت طول، عرض و ارتفاع نقاط برای مدل تعریف شده است (شکل ۲). بخش دیگری که بعد از مشخصات هندسی مقاطع در فایل ورودی وارد می‌شود دانه بندی مواد معلق میباشد. بدین منظور ابتدا دبی جریان به چند کلاس مختلف تقسیم بندی گردید و آنگاه برای هر کلاس دبی، منحنی اندازه ذرات - درصد کوچکتر ترسیم شد و نهایتاً با توجه به این منحنی‌ها و جدول مربوط به دسته بندی ذرات رسوبی بر اساس راهنمای مدل HEC-6 دبی رسوب متعلق به هر دبی جریان

## محاسبه گردید.

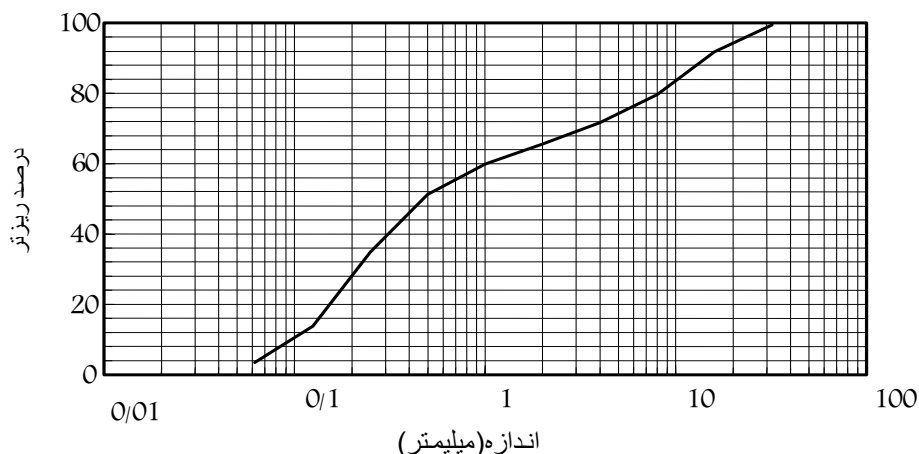
رابطه دبی-رسوب نیز با استفاده از آمار ۲۰ ساله موجود، بصورت زیر با ضریب همبستگی ۰/۹۲ تعیین گردید:

$$Q_s = 0.0677 Q_w^{2.2529} \quad (1)$$

که  $Q_w$  دبی جریان (مترمکعب بر ثانیه) و  $Q_s$  دبی رسوب (تن بر ثانیه) می‌باشد. این معادله به منظور محاسبه وزن مواد رسوبی متعلق به هر دبی ورودی به مخزن مورد استفاده قرار می‌گیرد. یکی دیگر از مهمترین پارامترهایی که در شبیه سازی وارد می‌شود، دانه بندی مواد بستر می‌باشد، که بر اساس آمار و اطلاعات موجود بصورت زیر نشان داده شده است (شکل ۳).



شکل ۲- شمایی از پلان مخزن به همراه موقعیت مقاطع



شکل ۳- منحنی دانه بندی مواد بستر در ایستگاه پای پل

پایین دست و تلفات تبخیر می باشد. به منظور برآورد میزان تبخیر در محدوده سد از آمار ایستگاه های تبخیر سنجی موجود در منطقه یعنی ایستگاه های سد دز و دهلران استفاده شده است. تغییرات تبخیر سالیانه نسبت به ارتفاع به صورت  $H/0.9$  -  $E_{pan}=3680$  با ضریب همبستگی  $0.946$  به دست آمده است (۶). در این معادله  $E_{pan}$  تبخیر از تشتک بر حسب میلی متر و  $H$  ارتفاع بر حسب متر می باشد. با بهره گیری از رابطه مذکور و با توجه به ارتفاع سطح آب دریاچه پشت سد، میزان تبخیر سالیانه از تشتک در محل سد برابر با  $3379/2$  میلی متر محاسبه شده است. نیاز آبی طرح نیز تنها شامل نیازهای کشاورزی می شود که با توجه به ناچیز بودن میزان آب زیر زمینی دشت ها می بایست تماماً توسط منابع سطحی تأمین گردد. جدول ۱ نیاز ماهیانه اراضی پایین دست سد را برای ماه های مختلف سال نشان می دهد (۶). با مشخص شدن متوسط ماهیانه تبخیر از سطح آزاد آب و میزان نیاز آبی الگوی کشت که معرف کل مصرف یا خروجی سیستم می باشند و همچنین با توجه به دبی جریان ورودی به سیستم می توان بر اساس فرمول بیلان آبی  $I - O = \Delta S$  که در آن  $I$  حجم

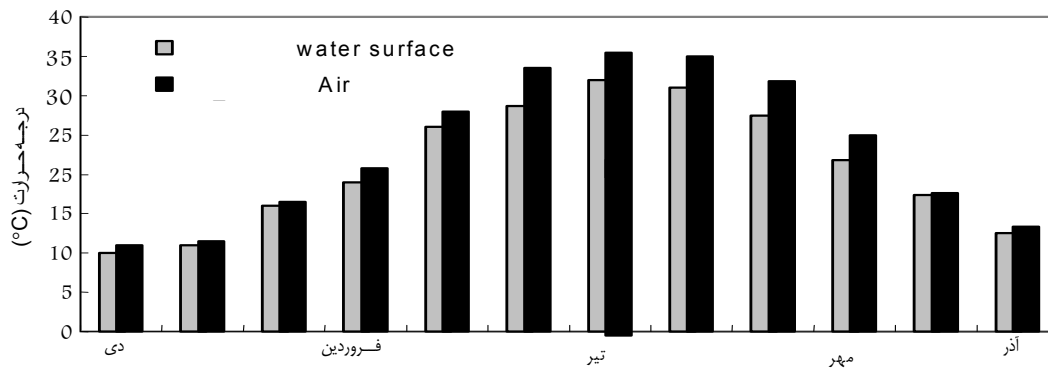
به منظور بررسی فرایند رسوب گذاری در مخزن سد کرخه صفر برای یک دوره ۱۰۰ ساله، وجود آمار ۱۰۰ ساله دبی جریان روزانه لازم می باشد. این در حالی است که آمار مورد نظر فقط برای مدت ۳۰ سال برای رودخانه کرخه موجود می باشد. اما از طرفی امکان دسترسی به آمار ۱۰۰ ساله جریان رودخانه کارون میسر است. بدین ترتیب، با استفاده از روش رگرسیون از آمار مشترک این دو رودخانه اقدام به تولید دبی جریان بلند مدت برای رودخانه کرخه شده است.

در انجام محاسبات مربوط به نحوه رسوب گذاری در مخازن توسط مدل HEC-6 بررسی تغییرات درجه حرارت در محل دریاچه به عنوان یکی دیگر از اطلاعات ورودی مورد نیاز است. شکل ۴ تغییرات درجه حرارت آب را نشان می دهد که به همراه این تغییرات برای هوا، بر اساس روابط ویژه ای و با بکار گیری درجه حرارت طولانی مدت هوا قبل از سال ۱۳۷۰ استخراج شده است (۶).

اطلاعات مربوط به منحنی بهره برداری از دیگر پارامترهای اساسی می باشد. منظور از منحنی بهره برداری، تعیین تراز سطح آب و نوسانات آن در طول زمان با توجه به جریان ورودی به مخزن، نیاز

زمانی نمود. با محاسبه  $\Delta S$  از فرمول فوق به منظور تبدیل آن به ارتفاع، می‌توان از نمودار سطح-حجم-ارتفاع اولیه مخزن استفاده نمود.

آب ورودی،  $O$  حجم آب خروجی و  $\Delta S$  تغییرات حجم آب مخزن می‌باشد، مبادرت به محاسبه تراز سطح آب دریاچه پشت سد در دوره‌های مختلف



شکل ۴- تغییرات درجه حرارت در محل سد کرخه صفر

می‌شود که اختلاف دو مدل از نظر راندمان تله اندازی رسوبات، که مربوط به ذرات رس می‌شود، اثر خود را در چگونگی پروفیل‌های تشکیل شده در مخزن گذاشته است به طوری که دلتای رسوبات برای مدل DEPO نسبت به مدل HEC-6 به بدنه سد نزدیک تر است.

#### ج- منحنی سطح- حجم - ارتفاع

این منحنی به لحاظ اهمیتی که از جهت برخورد اجرایی با مسئله بهره برداری از مخزن سد در آینده دارد، برای دوره های مختلف ۲۰، ۴۰، ۶۰، ۸۰ و ۱۰۰ ساله در دو مدل بررسی شده است که در اینجا تنها به نمایش یکی از آنها که مربوط به اجرای مدل HEC-6 برای دوره ۶۰ ساله می‌باشد، اکتفا می‌گردد (شکل ۷).

#### د- تغییرات حجم مخزن نسبت به زمان

طبیعی است که حجم مخزن سد با گذشت زمان کاهش می‌یابد. این کاهش حجم با توجه به عواملی از قبیل شدت جریان سیلاب‌ها و مدت تداوم آنها، وضعیت حوزه، زمان وقوع سیلاب‌ها و عوامل دیگر حادث می‌شود. جدول ۴ و شکل‌های ۸ و ۹ روند تغییرات حجم مخزن را در پایان دوره‌های مختلف برای دو مدل نشان

#### نتایج و بحث

در این بخش نتایج مربوط به اجرای مدل‌های HEC-6 و DEPO، برای یک دوره ۶۰ ساله از آغاز بهره‌برداری از سد ارائه می‌گردد. عمده موضوعاتی که در نتایج خروجی مد نظر می‌باشند شامل چگونگی توزیع و پروفیل رسوبات ته‌نشین شده در طول مخزن، راندمان تله‌اندازی و منحنی‌های سطح - حجم - ارتفاع مخزن پس از رسوب گذاری می‌باشند.

#### الف - پروفیل‌های مخزن پس از ته نشینی

پس از اجرای دو مدل و تحلیل و بررسی فایل‌های خروجی به دست آمده اقدام به ترسیم تغییرات کف مخزن و تعیین پروفیل‌های مخزن پس از ته نشینی رسوبات شده است. اشکال ۵ و ۶ این پروفیل‌ها را نشان می‌دهند.

#### ب - راندمان تله‌اندازی

به منظور روشن‌تر شدن نتایج خروجی مدل‌ها و نتیجتاً قضاوت دقیق‌تر، نیاز به بررسی بازده (راندمان) تله‌اندازی می‌باشد. جداول ۲ و ۳ مقادیر راندمان تله‌اندازی را برای ذرات مختلف و همچنین به صورت کلی ارائه داده اند. با دقت در مقادیر آورده شده در جداول ۲ و ۳ و همچنین اشکال ۵ و ۶ دیده

جدول ۱- حجم آب مورد نیاز ماهیانه برای کل اراضی

ماه	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند
مصرف (میلیون متر مکعب)	۴۶۱ / ۶	۱۱۶	۸۲	۴۹ / ۷	۱۳۲ / ۹	۲۵۰ / ۴
ماه	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور
مصرف (میلیون متر مکعب)	۳۲۳	۴۳۴ / ۲	۲۶۷	۸۳۷ / ۶	۹۳۳ / ۶	۶۳۰

جدول ۲- مقادیر راندمان تله اندازی برای ذرات مختلف (بر حسب درصد)

ماسه		سیلت		رس	
HEC-6	DEPO	HEC-6	DEPO	HEC-6	DEPO
۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۹۷/۳	۹۹/۹

جدول ۳- مقادیر راندمان کلی تله اندازی (بر حسب درصد)

گزینه	راندمان تله اندازی (%)	رسوبات خروجی (میلیون متر مکعب)	رسوبات ورودی (میلیون متر مکعب)
HEC-6	۹۸/۶	۱۳ / ۹	۹۹۰
DEPO	۹۹/۹۶	۰/۳۸۴	۹۶۰

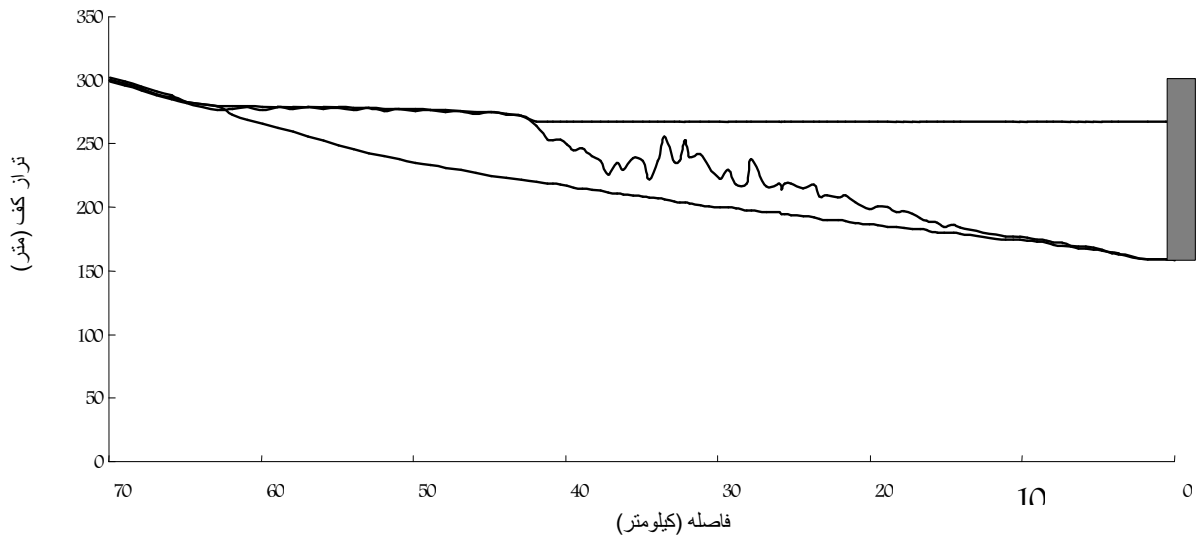
جدول ۴- برآورد حجم مخزن در پایان دوره‌های مختلف (میلیون متر مکعب)

دوره (سال)	مدل HEC6	مدل DEPO
۰	۶۹۴۳/۷	۶۹۴۳/۷
۲۰	۶۶۳۱/۸	۶۴۵۳/۷
۴۰	۶۴۱۲/۳۶	۶۱۸۵/۲
۶۰	۶۲۲۷/۴۳	۵۹۶۱/۹
۸۰	۶۰۷۳/۸	۵۷۷۵/۹
۱۰۰	۵۸۴۶/۲	۵۴۸۳/۵

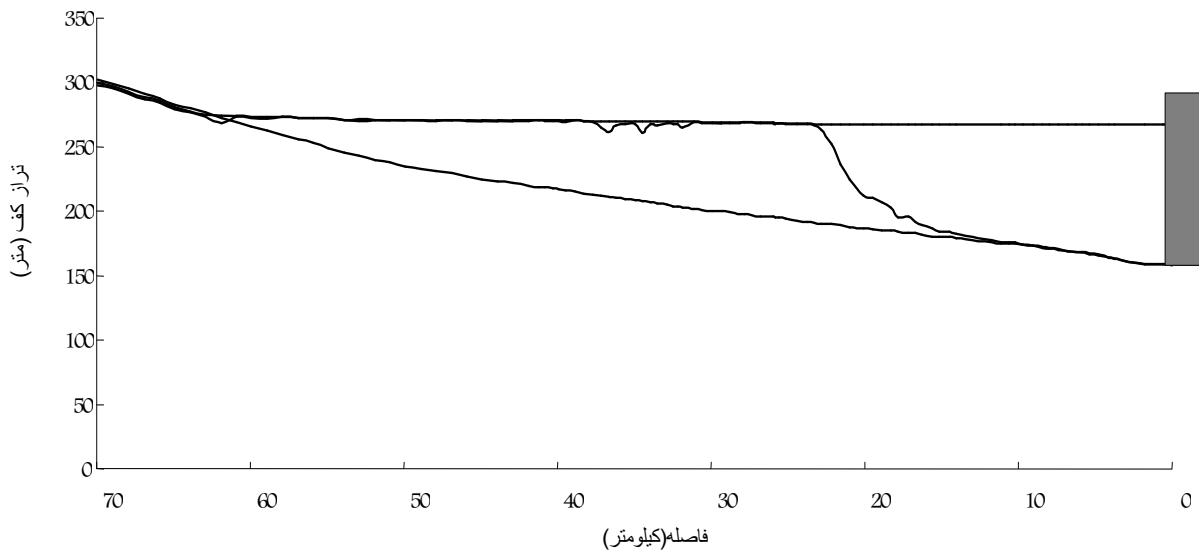


ضریب کاهش حجم سالیانه مخزن ۰/۰۰۱۵۸ به دست می‌آید. همچنین در پایان دوره ۱۰۰ ساله، حجم کل مخزن در حدود ۵/۸ - ۵/۴ میلیارد متر مکعب برآورد می‌شود.

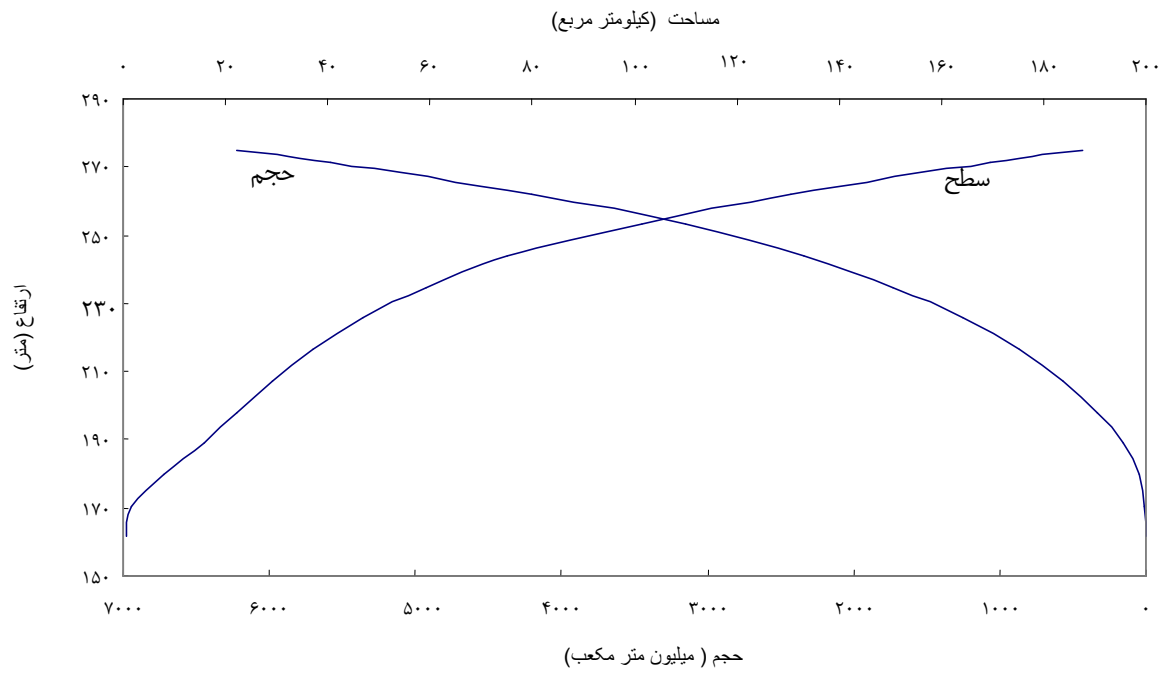
می‌دهند. با توجه به جدول ۴ و اشکال ۸ و ۹ می‌توان گفت که مخزن سد کرخه صفر با حجمی بالغ بر ۶/۹۵ میلیارد متر مکعب (در رقوم ۲۷۵ متر) به طور متوسط به میزان ۱۴/۷ میلیون متر مکعب در سال رسوب ورودی دارد. با توجه به نتایج مذکور



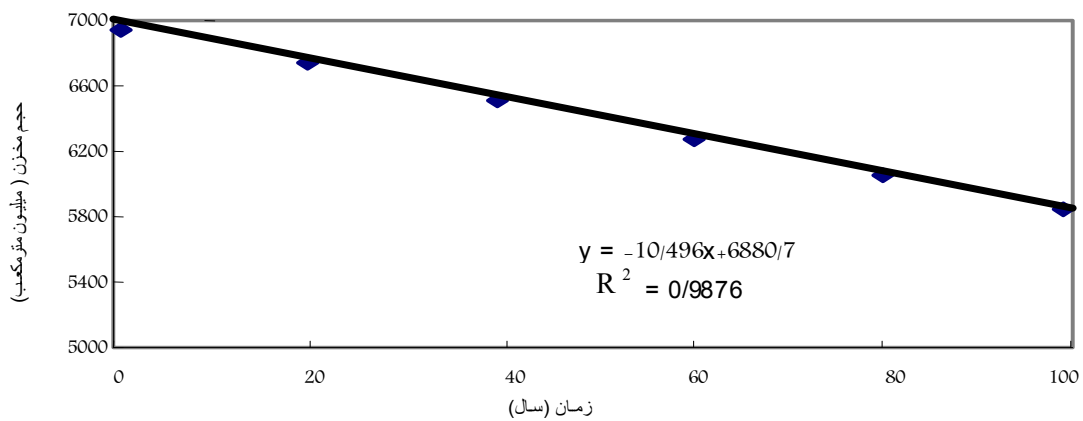
شکل ۵- پروفیل مخزن مربوط به اجرای مدل Hec-6



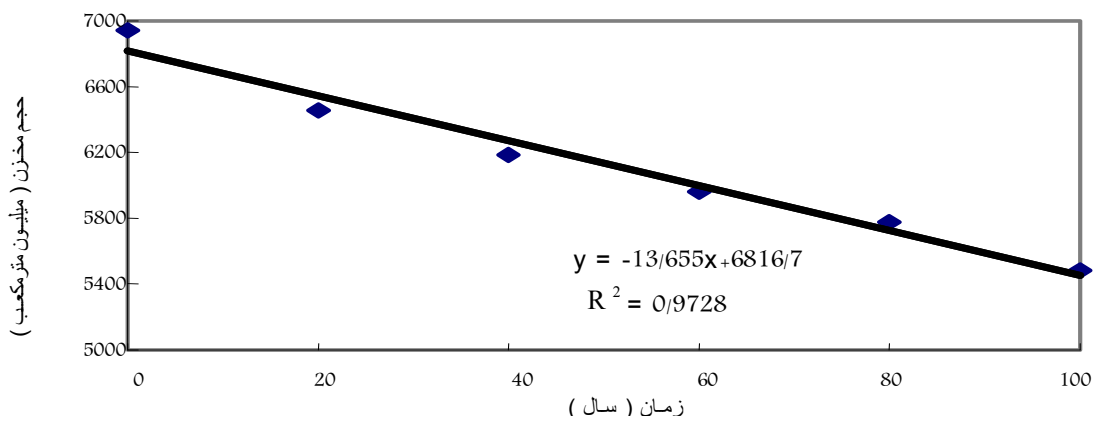
شکل ۶- پروفیل مخزن مربوط به اجرای مدل DEPO



شکل ۷- منحنی سطح - حجم - ارتفاع مخزن حاصل از اجرای ۶۰ ساله مدل HEC-6



شکل ۸- تغییرات حجم مخزن نسبت به زمان برای مدل HEC-6



شکل ۹- تغییرات حجم مخزن نسبت به زمان برای مدل DEPO

## نتیجه گیری

با توجه به جدول ۳ و شکل‌های مربوط به پروفیل ۶۰ ساله مخزن (اشکال ۵ و ۶) دیده می‌شود که عمده حجم باقی مانده پس از این دوره، بین بدنه سد و پیشانی رسوب قرار دارد و این محدوده به طور متوسط در فاصله ۲۰ تا ۴۰ کیلومتری از بدنه سد قرار دارد. با توجه به این اطلاعات بعید به نظر می‌رسد که مخزن پس از این دوره قادر به انجام وظایف خود نباشد. از طرفی نه تنها حجم رسوباتی که خود را به بدنه سد می‌رساند بسیار ناچیز است و عمق چندان‌ی ندارند، بلکه حتی اگر تحت شرایطی مثلاً در اثر پدیده جریان‌ات غلیظ، این رسوبات به صورت انبوه پشت بدنه سد جمع شوند، چنانچه در تراز پایین‌تر از دریچه‌های آبیاری و نیروگاه قرار گیرند، انجام وظیفه مخزن مورد شک و تردید قرار نمی‌گیرد. صرف نظر از اهمیت تجمع رسوبات در پشت بدنه سد، یکی از تأثیرات رسوب‌گذاری افزایش تراز سطح آب مناطق بالا دست مخزن نمی‌باشد. به منظور بررسی این موضوع کافی است که تراز سطح آب مخزن در ابتدای بهره‌برداری و بعد از سپری شدن یک دوره ۶۰ ساله پس از بهره‌برداری، در ناحیه مقاطع بالادست مخزن مورد بررسی قرار گیرد. به این جهت از نتایج خروجی مدل HEC-6 استفاده شده است. نتایج حاکی از آن است که تراز سطح آب مخزن برای دبی ۴۳/۳ مترمکعب در ثانیه در حد واسط مقاطع ۹۰ تا ۱۰۶ (حدود ۱۹ کیلومتری از ابتدای مخزن در بالادست) افزایش قابل توجهی داشته است، به طوری که حداکثر اختلاف تراز سطح آب در مقطع شماره ۹۴ به وقوع پیوسته است که حدوداً برابر ۱۶/۷۶ متر می‌باشد. یعنی اینکه تراز سطح آب در این مقطع نسبت به ابتدای دوره بهره‌برداری حدود ۱۶/۷۶ متر افزایش یافته است. این مسئله مسلماً حائز اهمیت می‌باشد، چرا که باعث می‌شود تا در زمان سیلاب اراضی وسیع‌تری در بالادست مخزن به زیر آب بروند. از طرفی همانطور که نشان داده شد، بین دبی رسوب و دبی جریان یک

رابطه توانی (معادله ۱) وجود دارد که نشان می‌دهد افزایش دبی جریان باعث افزایش دبی رسوب با شدت بیشتری می‌شود. بر اساس رابطه (۱) و منحنی‌های "درصد ذرات معلق - اندازه ذرات" که برای محدوده‌های مختلف دبی جریان محاسبه و ترسیم شده‌اند، قادر خواهیم بود تا میزان دبی رسوب و درصد ذرات مختلف را در هر محدوده دبی محاسبه نماییم. نتایج نشان می‌دهند که با افزایش دبی، درصد ذرات ریز دانه کاهش و بر درصد ذرات درشت دانه افزوده می‌شود. البته این امر طبیعی است چرا که با افزایش دبی جریان، قدرت حمل ذرات درشت‌تر از بستر رودخانه افزایش می‌یابد و ممکن است درصد قابل توجهی از ذرات را به خود اختصاص دهد. به منظور کاهش رسوبات ورودی به مخزن می‌توان اقدام به عملیات آبخیزداری نمود که مسلماً این عملیات در افزایش حجم مفید مخزن در آینده اثر بسزایی خواهد داشت. این عملیات شامل دو جنبه می‌باشد:

- ۱- افزایش پوشش گیاهی در سطح حوزه.
- ۲- احداث حوضچه‌های ته‌نشینی متوالی در مسیر رودخانه به مخزن سد.

اولین جنبه از این عملیات که افزایش سطح پوشش گیاهی می‌باشد، عمدتاً بر ورود ذرات ریز دانه و دومین جنبه بر میزان ورود ذرات درشت دانه به مخزن اثر می‌گذارد.

کیفیت آب خروجی از سد و اثرات آن بر بستر رودخانه در پائین دست نیز قابل بررسی می‌باشد. با توجه به جداول مربوط به راندمان تله اندازی مشخص می‌شود که آب خروجی از سد کم و بیش زلال و بدون ذرات رسوبی می‌باشد. چنین آبی با کیفیت ذکر شده، دارای پتانسیل شستشوی نسبتاً زیادی می‌باشد و در صورت جاری شدن در پایین دست سد باعث شستشوی بستر رودخانه می‌گردد و در حقیقت رودخانه را از حالت تعادل طبیعی خود خارج می‌سازد.

### سپاسگزاری

که در امر دسترسی به اطلاعات مورد نیاز کمال همکاری را مبذول داشته اند و همچنین از کلیه کسانی که به طرق مختلف در پیشبرد اهداف این تحقیق یاری رسان ما بوده اند، تشکر و قدردانی می گردد.

بدین وسیله از جناب آقای دکتر شفاعی بجنستان استاد محترم دانشگاه شهید چمران اهواز که همواره با راهنمایی های ارزنده خود نقش مؤثری در بهبود کیفیت کار داشته اند و آقای مهندس فیروزبخت کارشناس ارشد محترم سازمان آب و برق خوزستان

### منابع

۱. شفاعی بجنستان، م. (۱۳۷۱). هیدرولیک رسوب، دانشگاه شهید چمران اهواز، ۳۵۰ ص.
۲. 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، ۱۵۰ ص.
۳. قمشی، م. (۱۳۸۱). تحلیل حساسیت مدل ریاضی HEC-6 با استفاده از داده های صحرائی. مجله علمی کشاورزی اهواز، جلد ۲۴ شماره ۲، صص ۱۰۱ تا ۱۱۸.
۴. قمشی، م و ترابی پوده، ح (۱۳۸۱). ارزیابی کاربرد معادله های برآورد باررسوبی در رودخانه های خوزستان، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، جلد ششم، شماره اول، صص ۱۳ تا ۳۰.
۵. کردونی، م. (۱۳۸۰). تعیین سهم سرشاخه های رودخانه دز در میزان رسوب گذاری مخزن سد دز. پایان نامه کارشناس ارشد، دانشگاه شهید چمران اهواز، ۱۲۵ ص.
۶. مهندسین مشاور مهتاب قدس (۱۳۶۵). مطالعات سد مخزنی کرخه صفر، گزارش منابع آب.
۷. هادی زاده، ع و قمشی، م (۱۳۸۲). بررسی میزان تأثیر جریانات غلیظ بر روند رسوب گذاری در مخزن سد مارون. مجموعه مقالات چهارمین کنفرانس هیدرولیک ایران، دانشگاه شیراز، صص ۱۴۷ تا ۱۵۵.
8. Asada, H., 1973. "Prediction of Sediment Bed Profile in Reservoir and River Bed Deformation: A Practical Method and Some Examples of Calculation", Transaction of the Eleventh International Congress on Large Dams, Q40-R26 Paper, pp: 381-402.
9. Borland, W. M., and Miller, C. R., 1958. "Distribution of Sediment in Large Reservoirs", Journal of the Hydraulics Division., 84:1-18 .
10. Dietrich, W. E., 1982. "Settling Velocity of Natural Particles," Water Resources Research, 18( 6): 1615-1626.
11. Ghomeshi, M., 1995. "Reservoir Sedimentation Modeling", Ph.D. Thesis, University of Wollongong, Australia, 219 p.

12. Haghiabi, A. H., Ghomeshi, M., and Kashefipour, S. M, 2004. "On Hydrodynamics of a Density current on an Incline", Asian journal of water, environment and pollution, 2(1):1-8.
13. Holly, F. M., Yang, J. C., Schwarz, P., Schaefer, J., Hsu, S. H., and Einhelling, R. 1990. "Numerical Simulation of Unsteady Water and Sediment Movement in Mobile-Bed Channels", IIHR Report, No. 343, Iowa Institute of Hydraulic Research, The University of Iowa, 327 p.
14. Interagency Committee on Water Resources (ICWR), "Report No. 12: Some Fundamentals of Particle Size Analysis", Measurement and Analysis of Sediment Loads in Streams, Subcommittee on Sedimentation, Dec. 1957, 109 p.
15. Lopez, J. L. 1978. "Mathematical Modeling of Sediment Deposition in Reservoirs", Hydrology Papers, Colorado State University, 95: 63 p.
16. Toffaleti, F. B. 1968. "A Procedure for Computation of Total River Sand Discharge and Detailed Distribution, Bed to Surface" Technical Report 5, U.S.Army Corps of Engineers Water Ways Experiment Station, Wicksburg, Miss.177 p.
17. Us Army Corps of Engineers, August 1993. HEC-6 (Software for Simulation of Scour and Deposition in Rivers and Reservoirs).164 p.