

مقایسه نتایج مدل ریاضی رسوبگذاری در مخزن سد علویان مراغه با داده‌های آبنگاری

یوسف حسن‌زاده^۱

اتابک فیضی خانکندی^۲

محمد تقی اعلمی^۳

(دریافت ۸۶/۸/۲۹ پذیرش ۸۷/۴/۱۳)

چکیده

رسوبگذاری در مخزن سد نه تنها سبب کاهش ظرفیت و عمر مفید مخزن می‌شود، بلکه ضمن ایجاد اشکالات عدیده در باز و بسته کردن دریچه‌های عمقی و نیمه عمقی سد، موجب افزایش سطح مخزن و مآلاً افزایش تبخیر و تلفات آب می‌شود. این مسائل، اهمیت بررسی پدیده انباشت رسوب در مخازن جهت پیش‌بینی نحوه توزیع رسوب و ارائه راهکارهای مدیریتی در کنترل مخازن را کاملاً مشهود می‌سازد. مدل‌های ریاضی یکی از ابزارهای مهم برای پیش‌بینی مقدار رسوبگذاری در مخازن سدهای ذخیره‌ای و برآورد عمر مفید آنهاست. این مدل‌ها مبتنی بر تحلیل معادلات حاکم بر پدیده‌های مؤثر در انتقال، توزیع، انباشت و آب شستگی رسوب می‌باشند. در مقاله حاضر، بعد از واسنجی مدل Gstars3.0 به کمک داده‌های آبنگاری مخزن سد علویان مراغه، نمودارهای حجم-سطح-ارتفاع و نحوه رسوبگذاری در مقطع طولی و مقاطع عرضی برای حالت‌های بستر اولیه، آبنگاری شده و نتایج حاصل از تحلیل پدیده رسوبگذاری به کمک مدل برای یک دوره ۵۰ ساله ترسیم و مورد مقایسه و ارزیابی قرار گرفته و عمر مفید مخزن برآورد شده است. نتایج محاسبات بیانگر آن است که پس از طی ۵۰ سال، حجم رسوبات انباشته شده در مخزن به حدود ۱۵ میلیون متر مکعب بالغ می‌شود که تقریباً معادل ۲۵ درصد ظرفیت مفید مخزن است.

واژه‌های کلیدی: مدل ریاضی، رسوبگذاری مخزن سد، سد علویان، مدل Gstars3.0.

Comparison of a Mathematical Sedimentation Model Results and Hydrographically Measured Data in Alavian Dam Reservoir

Yousef Hassanzadeh¹

Atabak Feizi khankandy²

Mohammad Tagi Alami³

(Received Nov. 20, 2007 Accepted July 3, 2008)

Abstract

Sedimentation in reservoirs not only reduces the storage capacity but also decreases the useful life of the reservoirs. It also creates problems in operation of bottom outlets and increases, the reservoir surface area and the evaporation loss. To alleviate these problems, it is necessary to investigate the sediment deposit distribution in an attempt to make predictions of that the process possible. Management measure are also required to control reservoir sedimentation. Mathematical models are used today to evaluate reservoir sedimentation rates and to predict the reservoir useful life. These models are based on the analysis of equations governing sediment transportation, distribution, deposition, and scouring. In this study, the hydrographical measured data obtained from Alavian Dam in Maragheh are first used to calibrate the mathematical model. Then, the Volume-Area-Height variation graphs and the manner of sedimentation along longitudinal and transversal sections are plotted, compared, and evaluated for the pre-sedimentation, post-sedimentation stages and the mathematical model results for a period of 50 years. The results obtained from this study shows that after 50 years of reservoir operation, the sediment deposit volume in the reservoir amounts to about 15 MCM, which accounts for 25 percent of the reservoir active capacity.

Keywords: Mathematical Model, Reservoir Sedimentation, Alavian Dam, Gstars3.0 Model.

1. Prof. of Civil Engineering, University of Tabriz, yhassanzadeh@Tabrizu.ac.ir

2. MSc. Graduate, Dept. of Civil Engineering, University of Tabriz

3. Assis. Prof. of Civil Engineering, University of Tabriz

۱- استاد دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تبریز، yhassanzadeh@Tabrizu.ac.ir

۲- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی عمران-آب، دانشگاه تبریز

۳- استادیار دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تبریز

چانگ و همکاران نیز در سال ۱۹۹۶ مکانیسم توزیع رسوبگذاری در رودخانه‌ها و مخازن سدها را با مدل Fluvial12 بیان نمودند [۱۰].

حسن زاده و اعلمی در سال ۱۹۹۷، تغییرات نیمرخ طولی بستر یک مدل هیدرولیکی را متعاقب احداث یک سد ذخیره‌ای در عرض آن از دیدگاه تئوری مورد تجزیه و تحلیل قرار داده و معادلات حاکم بر پدیده را با اعمال روش تفاضلات محدود مورد بررسی قرار دادند [۱۱]. دکسار^۵ و همکاران در سال ۲۰۰۱، تأثیرات آب گل آلود در روند رسوبگذاری در مخازن را با استفاده از یک مدل آزمایشگاهی و حل عددی جریان با ملحوظ داشتن سیلاب هزار ساله مخزن لوزان^۶ در آلپ سوئیس^۷ مورد مطالعه قرار دادند [۱۲].

فکس^۸ و همکاران در سال ۲۰۰۶، ضمن تبیین مکانیسم فرسایش ناشی از تغییرات غلظتهای جریانهای عرضی، یک معادله تجربی انتقال رسوب برای شرایط نامتعادل ارائه کردند [۱۳]. راونس^۹ در سال ۲۰۰۷، نتایج داده‌های اندازه‌گیری فرسایش و رسوبگذاری در داخل یک فلوم آزمایشگاهی را با نتایج مدل SEDFLUME مورد مقایسه قرار داد [۱۴].

مدل کامپیوتری Gstars^{۱۰}، مدل تعمیم یافته لوله جریان برای شبیه‌سازی رودخانه‌های آبرفتی است که ابتدا توسط مولیناس و یانگ^{۱۱}، جهت شبیه‌سازی شرایط جریان به روش شبه دو بعدی و شبیه‌سازی تغییر هندسی کانال به روش شبه سه بعدی در سال ۱۹۸۷ ابداع گردید [۱۵ و ۱۶]. این مدل توسط یانگ و همکارانش تجدید نظر و اصلاح گردید و با عنوان Gstars2.0 عرضه شد. لیکن این نسخه از مدل نیز توسط یانگ و سیموئز^{۱۲} بهبود یافت و در سال ۲۰۰۰ با نام Gstars2.1، که یک مدل عددی برای شبیه‌سازی جریان و رسوبگذاری در رودخانه‌های آبرفتی بزرگ بود، ارائه گردید [۱۷ و ۱۸].

شایان ذکر است که Gstars3^{۱۳} مدل تعمیم یافته انتقال رسوب برای شبیه‌سازی رودخانه‌های آبرفتی که آخرین نسخه (نسخه ۳) از سری مدل‌های عددی برای شبیه‌سازی انتقال جریان آب و رسوب در رودخانه آبرفتی می‌باشد در سال ۲۰۰۲ ارائه گردید [۱۷-۲۱].

بررسی نحوه پخش رسوبات ورودی به مخازن سدها جهت تعیین تراز آستانه دریاچه‌های عمقی و جانمایی آبگیرها حائز اهمیت فراوان است. به هنگام رسوبگذاری، مواد درشت دانه در فاصله‌ای دورتر از بدنه سد، با تشکیل دلتا در مصب مخزن انباشته می‌شوند؛ در حالی که مواد ریزدانه بلافاصله در بالادست سد، یعنی در محل حجم مرده مخزن ترسیب می‌شوند. از اثرات منفی رسوبگذاری در سدها، می‌توان کاهش حجم ذخیره آنها را نام برد. نتیجه بررسی‌ها نشان می‌دهد که سدهای بسیاری در اسپانیا، الجزایر، ترکیه و سایر کشورهای واقع در مناطق خشک و نیمه خشک در اثر رسوبگذاری و کاهش ظرفیت ذخیره، از بهره‌برداری خارج شده‌اند [۱-۴].

مدل‌های ریاضی یکی از ابزارهای معمول امروزه برای پیش‌بینی مقدار و نحوه رسوبگذاری در مخازن، است. مدل‌های ریاضی نیز برای بررسی رسوبگذاری در مخازن سد به دو دسته مدل‌های تجربی و مدل‌های ریاضی مبتنی بر معادلات حاکم بر جریان و رسوب تقسیم می‌شود. مدل‌های تجربی براساس مشاهدات و اندازه‌گیریهای محلی از مخازن موجود پایه‌گذاری شده‌اند. این اطلاعات، رابطه بین پارامترهای مؤثر بر پدیده را به دست می‌دهد که از جمله این روابط، روش کاهش سطح را می‌توان نام برد. مدل‌های ریاضی، مبتنی بر معادلات حاکم بر جریان و رسوب و براساس حل ریاضی تمام پدیده‌های مؤثر در انتقال، توزیع و انباشت رسوب بنا نهاده شده‌اند [۵].

امروزه مدل‌های ریاضی مختلفی برای پیش‌بینی مقدار و نحوه رسوبگذاری در مخازن سدها ارائه شده‌اند که از جمله این مدل‌ها می‌توان به مدل Gstars3.0، HEC-6، Fluvial12 و SSIIM اشاره کرد.

محققان مختلفی از جمله کوئز^۱ و همکاران در سال ۱۹۸۰ و داودی و ونونی^۲ در سال ۱۹۸۶، کارهای انجام شده در مورد شبیه‌سازی عددی در هیدرولیک رسوب را مورد بررسی قرار داده‌اند و با اعمال فرضیات ساده‌کننده، معادلات حاکم بر روند رسوبگذاری و فرسایش را تحلیل کرده‌اند [۶ و ۷].

گیل^۳ در سال ۱۹۸۳، معادله خطی پخشی تشریح‌کننده روند رسوبگذاری و فرسایش را با سری فوریه و روشهای تابع خطا حل کرد [۸]. لین^۴ در سال ۱۹۸۷، راه‌های غیر خطی برای رسوبگذاری و فرسایش را که نسبت به راه‌های خطی تطابق بهتری با داده‌های آزمایشگاهی از خود نشان می‌دهند ارائه داد [۹].

¹ Cunge

² Dawdy and Vanoni

³ Gill

⁴ Lyn

⁵ De Cesare

⁶ Luzzon

⁷ Swiss Alp

⁸ Fox

⁹ Ravens

¹⁰ Generalized Stream Tube Model for Alluvial River Simulation (Gstars)

¹¹ Molinas and Yang

¹² Yang and Simoes

¹³ Generalized Sediment Transport Model for Alluvial River Simulation Version3.0

مدل مذکور توسط کلینو و اسیاد^۱ در سال ۲۰۰۲، به منظور تعیین وضعیت فرسایش و رسوبگذاری در رودخانه درنس که یکی از سرشاخه‌های رودخانه رون در کشور سوئیس می‌باشد، مورد استفاده قرار گرفته است. نتایج حاصله بیانگر آن است که رسوبات اندازه‌گیری شده با مقادیر محاسبه شده توسط مدل همخوانی خوبی از خود نشان داده است [۲۲].

در ایران نیز با توجه به موقعیت جغرافیایی کشور از یک سو و اهمیت کنترل و ذخیره منابع آبهای سطحی از سوی دیگر، بررسی مکانیسم رسوبگذاری از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. مدل‌های مختلف HEC-6، Gstars2.1 و River Intake در رسوبگذاری مخزن سد توسط اعلمی در سال ۱۳۸۳ مورد مطالعه و بررسی قرار گرفت و نتایج با داده‌های روش شبکه‌های عصبی مورد مقایسه و ارزیابی شد. نتایج حاکی از توانایی و سادگی مدل Gstars در مقایسه با سایر مدل‌های ریاضی می‌باشد [۲۳].

در مطالعه دیگری توسط تربن در سال ۱۳۸۳، سه مدل Gstars3.0، SSIIM، Fluvial12 و بررسی شد و در نهایت مدل Gstars3.0 نسبت به دو مدل دیگر برتر شناخته گردید [۲۴].

بررسی نحوه توزیع رسوب در سد مخزنی یامچی اردبیل با استفاده از مدل HEC-6 توسط منتظمی در سال ۱۳۸۵ انجام شد و با روشهای تجربی کاهش سطح و افزایش سطح مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج حاکی از دقت کمتر مدل HEC-6 نسبت به روشهای تجربی بود [۲۵].

بررسی روند رسوبگذاری سد کارده مشهد با مدل ریاضی Gstars3.0 توسط مرسولی در سال ۱۳۸۶ انجام گرفت و واسنجی و صحت سنجی نتایج مدل با دو دوره زمانی مختلف آبنگاری امکان پذیر گردید. نتایج، گویای انطباق خوب مدل Gstars3.0 با داده‌های اندازه‌گیری شده بود [۲۶].

در این تحقیق نتایج حاصل از کاربرد مدل ریاضی Gstars3.0 در رسوبگذاری مخزن سد علویان مراغه با داده‌های حاصل از آبنگاری مخزن مورد مقایسه و ارزیابی قرار گرفت و ضمن تبیین مکانیسم تغییرات پروفیل بستر نسبت به زمان و مکان، عمر مفید مخزن برآورد شد.

۲- رسوبگذاری در مخزن سد علویان

سد علویان در دامنه‌های جنوبی کوه سهند، در ۱۲۰ کیلومتری جنوب غربی تبریز و به فاصله ۳/۵ کیلومتری شهر مراغه بر روی رودخانه صوفی چای احداث شده است و یکی از بزرگ‌ترین سدهای خاکی آذربایجان شرقی محسوب می‌شود. مخزن این سد

دارای ظرفیت مفید ۵۷ میلیون متر مکعب است. طول دریاچه این سد، ۳/۵ کیلومتر می‌باشد. هدف اصلی احداث این سد، تأمین آب مورد نیاز کشاورزی در محدوده شهرستانهای مراغه و بناب با وسعتی برابر ۱۲۰۰۰ هکتار، تأمین بخشی از آب شرب شهرستان مراغه، تأمین آب مورد نیاز صنایع منطقه و کنترل سیلاب رودخانه صوفی چای می‌باشد [۲۷ و ۲۸].

۳- معادلات حاکم

۳-۱- معادله پیوستگی رسوب

در مدل Gstars3 که به صورت شبه دو بعدی عمل می‌کند، محاسبات روندیابی رسوب بر پایه اصل بقای جرم رسوب استوار است. معادله پیوستگی در جریان غیر دائمی یک بعدی به صورت زیر بیان می‌شود

$$\frac{\partial Q_s}{\partial x} + \eta \frac{\partial A_d}{\partial t} + \frac{\partial A_s}{\partial t} - q_{lat} = 0 \quad (1)$$

که در آن

η حجم رسوب در واحد حجم لایه بستر، A_d حجم رسوب بستر در واحد طول، A_s حجم رسوب معلق در مقطع عرضی در واحد طول، Q_s دبی حجمی رسوب و q_{lat} جریان رسوب جانبی می‌باشد. با فرض اینکه تغییر غلظت رسوب معلق در یک مقطع عرضی بسیار کوچک‌تر از تغییر بستر رودخانه باشد، یعنی

$$\frac{\partial A_s}{\partial t} \ll \eta \frac{\partial A_d}{\partial t} \quad (2)$$

و همچنین در طی یک گام زمانی، پارامترهای تابع انتقال رسوب برای مقطع عرضی ثابت باقی بمانند، یعنی:

$$\frac{\partial Q_s}{\partial t} = 0 \quad \text{یا} \quad \frac{\partial Q_s}{\partial x} = \frac{dQ_s}{dx} \quad (3)$$

آنگاه معادله پیوستگی رسوب به صورت زیر بیان می‌شود

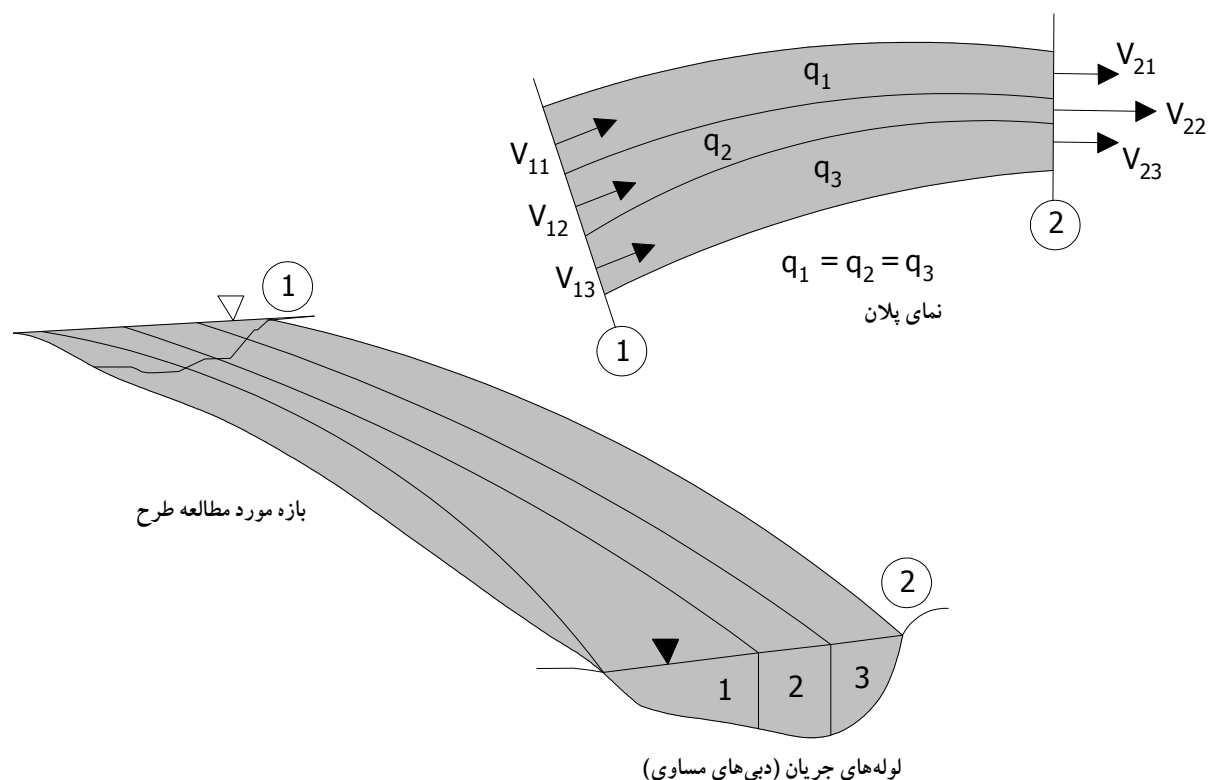
$$\eta \frac{\partial A_d}{\partial t} + \frac{dQ_s}{dx} = q_{lat} \quad (4)$$

معادله فوق در Gstars3 رابطه حاکم در روندیابی رسوبات در رودخانه‌ها و آبراهه‌ها را بیان می‌کند.

گفتنی است که فرضیات فوق هنگامی قابل اعمال است که در هندسه مقطع عرضی تغییرات جزئی وجود داشته باشد؛ یعنی فرسایش و رسوبگذاری قابل توجهی در هر گام زمانی رخ ندهد. این فرض امکان مجزا نمودن محاسبات روندیابی جریان آب و رسوب را فراهم می‌آورد. در عمل، این شرایط را فقط می‌توان با انتخاب گام زمانی به اندازه کافی کوچک، ایجاد نمود.

در Gstars3، ابتدا نیمرخیهای سطح آب و سپس مقاطع عرضی به چند مقطع با دبی‌های مساوی تقسیم گردیده و مطابق شکل ۱ به عنوان لوله‌های جریان فرض می‌گردند. در حقیقت لوله‌های جریان که تعداد آنها در Gstars3 حداکثر ۵ عدد می‌باشد همانند کانال‌های

¹ Cellino and Essyad



شکل ۱- نمایش نمایی مفهوم لوله‌های جریان مورد استفاده در Gstars3 [۱۷]

۲-۳- روندیابی مخزن

روندیابی مخزن با روش گام به گام استاندارد و با اعمال بعضی اصلاحات انجام می‌گیرد. درون زیر قطعه مخزن، دبی آب با یک میانگین وزنی با استفاده از دبی‌های جریان ورودی رودخانه و خروجی مخزن محاسبه می‌گردد. پارامتر وزنی برای هر مقطع عرضی، مساحتی از سطح مخزن است که به وسیله آن مقطع عرضی نشان داده شده است. به عنوان مثال، برای حالت نشان داده شده در شکل ۲، زیر قطعه مخزن در مقطع عرضی ۴ شروع می‌شود (زیر قطعه مخزن به وسیله مقاطع عرضی که خط القعرشان پایین‌تر از تراز مخزن است، تعریف می‌گردد). دبی Q_4 عبارت است از

$$Q_4 = Q_{in} - a_4(Q_{in} - Q_{out}) \quad (5)$$

که در آن، $a_4 = A_4 / A_{res}$ بوده و A_4 بیانگر سطح مخزن در مقطع عرضی ۴ و A_{res} مساحت کل سطح مخزن می‌باشد.

در حالت کلی داریم

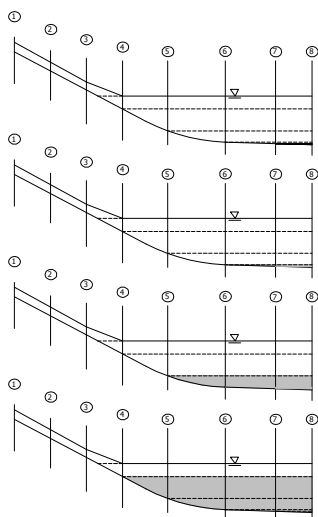
$$Q_j = Q_{in} - (Q_{in} - Q_{out}) \sum_{k=1}^j a_k \quad (6)$$

که در آن

یک بعدی معمولی با مشخصات هیدرولیکی معین عمل می‌کنند و محل‌های لوله‌های جریان در روندیابی رسوب در درون هر یک از آنها برای هر گام زمانی محاسبه و به صورت مستقل از هم انجام می‌گیرد.

ترکیب مواد بستر^۱ برای هر لوله جریان در آغاز هر گام زمانی محاسبه می‌شود و همچنین محاسبات لایه‌بندی بستر و تشکیل سپر حفاظتی در بستر به صورت جداگانه برای هر لوله جریان انجام می‌گیرد. تغییرات جانبی ترکیب مواد بستر نیز محاسبه شده و در محاسبات ترکیب مواد بستر و لایه‌بندی آن برای هر لوله جریان، منظور می‌گردند. این روش امکان محاسبه تغییرات پارامترهای هیدرولیکی و رسوبی مقطع عرضی را به روش نیمه دوبعدی فراهم می‌سازد. به عنوان مثال، ته‌نشینی و فرسایش می‌توانند در یک مقطع عرضی معلوم، به صورت همزمان رخ دهند. مدل‌های یک بعدی متداول، قادر به تحلیل این موقعیت نمی‌باشند، اما از آنجایی که فرسایش یا رسوبگذاری به صورت جداگانه درون هر لوله جریان محاسبه می‌گردد، در نتیجه Gstars3 می‌تواند این موقعیت را مدل کند [۱۷ و ۱۸].

¹ Bed Material Composition



شکل ۳- نمایش حجمها برای تهیه جدول ظرفیت [۱۴]

۴- نحوه مدل سازی

در مطالعه موردی حاضر، برای معرفی هندسه مخزن به طول تقریبی ۳۵۰۰ متر به مدل، از نقشه‌های توپوگرافی مخزن با مقیاس ۱:۲۰۰۰ که از سازمان نقشه‌برداری کشور تهیه شده، استفاده گردیده است.

تعداد ۲۹ مقطع عرضی با فواصل تقریبی ۱۵۰ متر با توجه به توپوگرافی، به مدل معرفی شده است. نیمرخ عرضی هر مقطع نیز برحسب فاصله از نقطه مبنا در ساحل سمت چپ در جهت جریان و کد ارتفاعی بستر و موقعیت آن برحسب فاصله از سد، مشخص شده است.

مشخصات هیدرولیکی مورد نیاز برای مدل کردن مخزن عبارت‌اند از:

۱- ترازهای سطح آب متناسب با دبی جریانهای ورودی مخزن برای دوره‌های زمانی مورد نظر، که برای مخزن مورد مطالعه از دبی‌های متوسط ماهانه که در طول هر ماه ثابت فرض شده‌اند استفاده گردیده است. منحنی دبی-اشل مقطع در ورودی مخزن به عنوان شرط مرزی بالادست مدل برای محاسبات نیمرخ سطح آب در نظر گرفته شده است.

۲- در اینجا رابطه دبی جامد رسوبی به صورت تابعی از دبی جریان مایع با توجه به داده‌های آماری موجود به شرح زیر استخراج و به مدل معرفی شده است

$$Q_s = 7.06 Q_w^{2.36} \quad (10)$$

$$R^2 = 0.763$$

که در آن

اولین مقطع عرضی در زیر قطعه مخزن مطابق شکل ۲ می‌باشد. شایان ذکر است که

$$\sum_{k=i}^N a_k = 1 \quad (7)$$

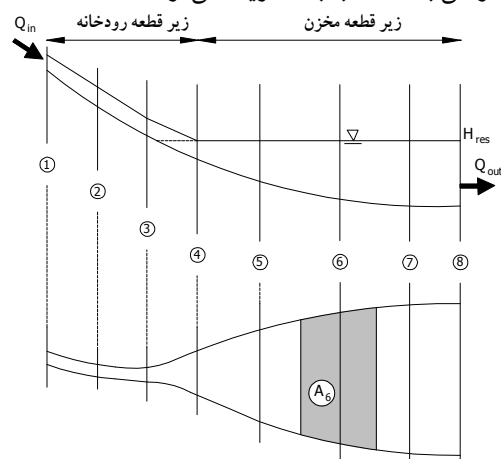
که در آن

N تعداد مقاطع عرضی در سد می‌باشد. ترازهای سطح آب در سد، با استفاده از روندیابی تراز مخزن روباز محاسبه می‌شود. با فرض اینکه سطح آب مخزن افقی است، داریم

$$Q_{in} - Q_{out} = \frac{\Delta V}{\Delta t} \quad (8)$$

که در آن

ΔV ، تغییر حجم آب مخزن در طی هر گام زمانی می‌باشد. در اینجا از تغییر ذخیره با استفاده از جدول ظرفیت برای تعیین تراز آب مخزن سد، H_{res} ، استفاده می‌شود. این جدول با روش درونیابی مطابق شکل ۳ به صورت نموداری تهیه می‌گردد. در این حالت مخزن به نوارهای افقی متوالی تقسیم گردیده و هر نوار، بلافاصله از خط القعر عرضی بالادست به بعد تعریف می‌گردد.



شکل ۲- نمایش زیر قطعات رودخانه و مخزن در روندیابی مخزن در مدل Gstars3 [۱۴]

هر کدام از حجمها نیز از رابطه زیر محاسبه می‌گردند

$$V_{i \rightarrow j} = \frac{1}{3} \Delta x_{ij} (A_i + A_j + \sqrt{A_i A_j}) \quad (9)$$

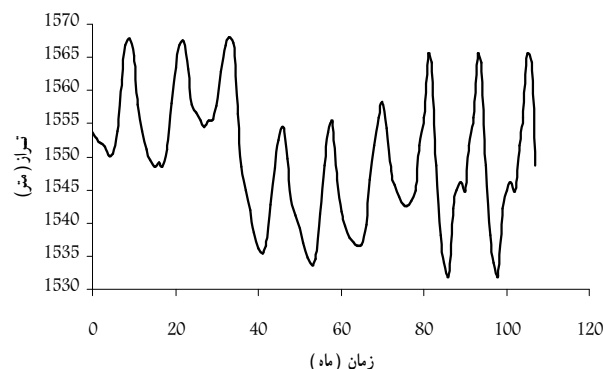
که در آن

$V_{i \rightarrow j}$ حجم واقع بین مقاطع عرضی i و j، Δx_{ij} فاصله بین مقاطع عرضی i و j و A_i مساحت مقطع عرضی i می‌باشد. شایان ذکر است که $H_{res} = f(V_{res})$ با توجه به داده‌های جدول ظرفیت و بدون لحاظ داشتن احجام مرده مخزن محاسبه می‌گردد.

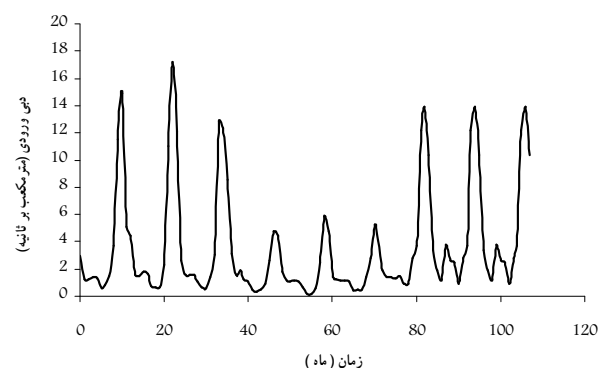
Q_s دبی رسوب برحسب تن بر روز و Q_w دبی آب برحسب مترمکعب بر ثانیه می باشد.

دانه بندی مواد متشکله بستر در مقاطع مختلف، با استفاده از منحنی دانه بندی بستر و همچنین دانه بندی مواد معلق تهیه و به مدل معرفی گردیده است.

در شکل های ۴ و ۵ با توجه به داده های آماری موجود ترازهای سطح آب مخزن سد و دبی جریان ورودی نسبت به زمان، استخراج و نمایش داده شده است.



شکل ۴- ترازهای سطح آب مخزن سد علویان نسبت به زمان



شکل ۵- دبی ورودی سد علویان نسبت به زمان

۴-۱- نحوه واسنجی هیدرولیکی جریان در مدل

برای واسنجی هیدرولیکی مدل از داده های دبی- اشل در ایستگاه هیدرومتری بالادست سد استفاده شده است. بدین ترتیب که با داشتن تراز سطح آب به ازای دبی های مختلف، مقدار ضریب مانینگ در مدل به نحوی انتخاب شد تا به ازای دبی معلوم ورودی، تراز سطح آب محاسبه شده توسط مدل با مقدار واقعی همخوانی داشته باشد.

۴-۲- نحوه واسنجی رسوب در مدل

در این مدل عوامل تأثیرگذار عبارت اند از: نوع معادله حمل رسوب،

تعداد لوله های جریان، تعداد محاسبات رسوب در هر گام زمانی، وضعیت حمل نامتعادل رسوب و پارامترهای آن، و در نهایت پارامترهای حمل رسوب چسبنده. حساسیت فرایند نسبت به تغییر این پارامترها از طریق آزمون و خطا بررسی می شود.

۴-۳- تئوری محاسبه جریان غلیظ

یکی از قابلیت های مدل Gstars3.0 این است که برای غلظت های بالا از مواد ریزدانه (جریان غلیظ) قابل تعمیم است و برای بیان مفهوم نهشته شدن مواد ریزدانه از مفهوم سرعت سقوط استفاده می شود.

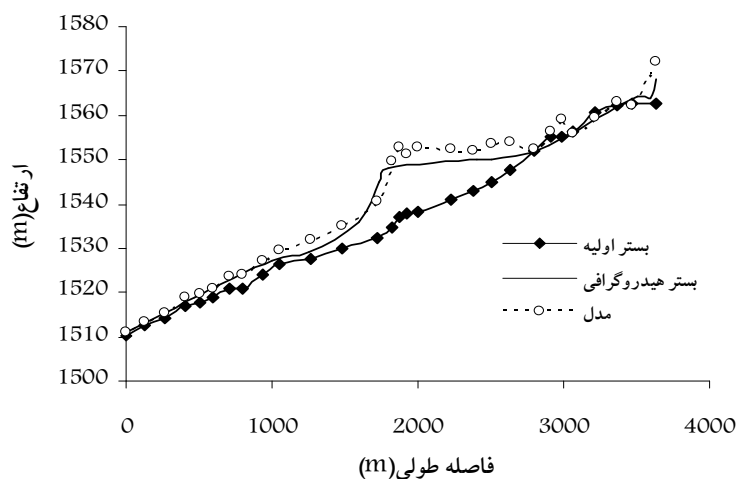
در این مدل از رکوردی مانند CH برای در نظر گرفتن محاسبات جریان غلیظ استفاده می شود. پارامترهایی که در این رکورد به کار گرفته می شوند برای محاسبات سرعت سقوط ذرات رسوبی چسبنده قابل کاربرد می باشند [۱۷].

۵- تجزیه و تحلیل نتایج حاصل از مدل

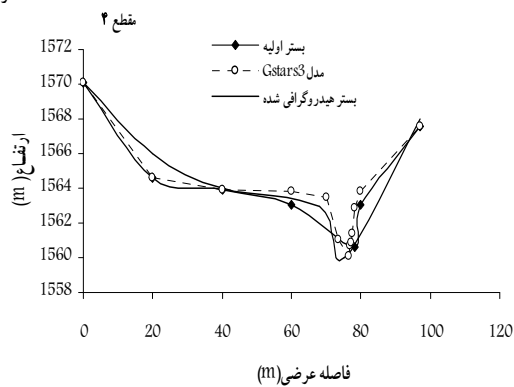
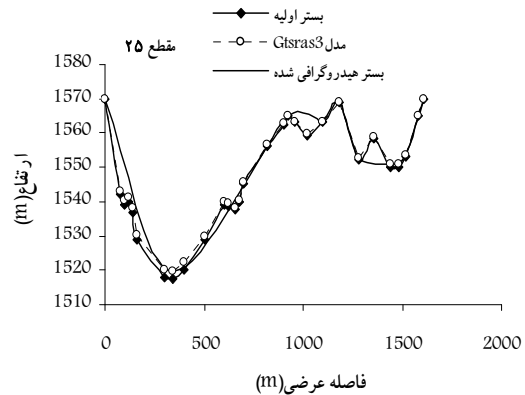
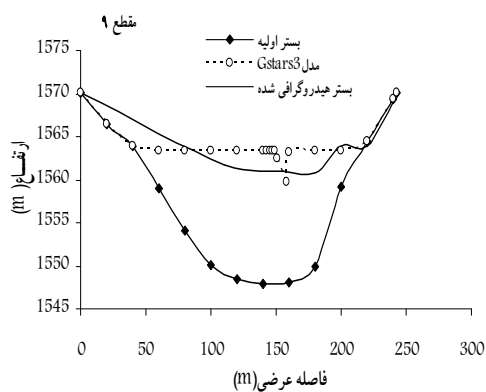
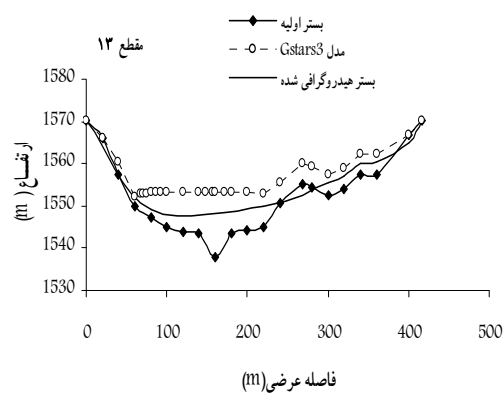
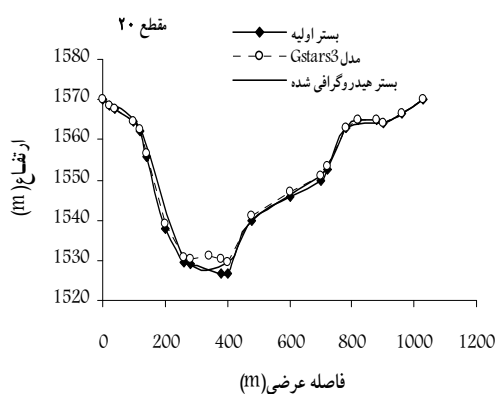
تصحیح مدل شامل مراحل شناخت پارامترها، تعیین حساسیت مدل نسبت به پارامترها و بالاخره کالیبراسیون مدل می باشد. با توجه به وجود نیمرخ رسوبگذاری در مخزن سد علویان در حالت هیدروگرافی پس از گذشت ۹ سال از آبیگری سد، از این نیمرخ برای کالیبراسیون مدل Gstars3.0 استفاده شد. شبیه سازی با این مدل با استفاده از مفهوم سه لوله جریان، دبی های ورودی و ترازهای سطح آب ماهانه، رابطه دبی- رسوب و معادله لارسن در سال ۱۹۸۹ برای یک دوره زمانی ۹ ساله صورت گرفته است.

در شکل ۶ نیمرخ طولی رسوب در مخزن سد و در شکل ۷ نیمرخ عرضی رسوب در مقاطع مختلف مخزن برای حالت های مختلف بستر اولیه، آبنگاری شده و نتایج حاصل از مدل Gstars3.0 نشان داده شده است. همان گونه که از شکل ۶ پیداست، مواد درشت دانه با تشکیل دلتا در بالادست مخزن و در مصب رودخانه نهشته می شوند. مواد ریزدانه نیز با تشکیل جریان غلیظ در مجاورت بستر و تا ناحیه بالادست سد که مقطع عریض می شود، جریان یافته و نهشته می شوند [۲۹].

شکل ۷ و جدول ۱، نتایج مدل با داده های آبنگاری مورد مقایسه قرار گرفته است. همان طور که از شکل و داده های جدول مذکور پیداست در مقاطع ۹ و ۱۳ واقع در محدوده دلتا اختلاف مقادیر مدل و داده های آبنگاری حداکثر به حدود ۲۰ درصد می رسد در حالی که در مقاطع ۲۴، ۴ و ۲۵ واقع در خارج از محدوده دلتا، این اختلاف بین ۹ تا ۱۹ درصد تغییر می کند.



شکل ۶- نیمرخ طولی رسوبگذاری در مخزن سد علویان بعد از ۹ سال رسوبگذاری



شکل ۷- تغییرات نیمرخ عرضی مخزن سد علویان ناشی از رسوبگذاری در مقاطع مختلف

جدول ۱- مقایسه آماری بین نتایج مدل و داده‌های واقعی در مقاطع عرضی

فاصله از محور سد (متر)	شماره مقطع	فاصله عرضی مقطع (متر)	ارتفاع بستر از سطح دریا به دست آمده از مدل Gstars3.0 (متر)	ارتفاع بستر از سطح دریا به دست آمده از داده‌های آبنگاری (متر)	خطا (درصد)	میانگین خطا (درصد)	بیشینه خطا (درصد)
۳۲۱۸	۴	۰	۱۵۷۰/۰۸	۱۵۷۰/۰۸	۰	۳	۹
		۲۰	۱۵۶۴/۵۸	۱۵۶۶/۰۰	۹		
		۴۰	۱۵۶۳/۸۸	۱۵۶۴/۰۰	۱		
		۶۸	۱۵۶۳/۴۹	۱۵۶۳/۰۰	۳		
		۷۵	۱۵۶۰/۱۱	۱۵۶۰/۰۰	۱		
۲۶۳۸	۹	۹۷	۱۵۶۷/۵۸	۱۵۶۸	۳	۶	۱۷
		۰	۱۵۷۰/۰۸	۱۵۷۰/۰۸	۰		
		۱۱۰	۱۵۶۳/۳۸	۱۵۶۱/۷۵	۱۰		
		۱۵۵	۱۵۶۹/۷۳	۱۵۶۱/۰۰	۸		
		۱۸۰	۱۵۶۳/۴۰	۱۵۶۰/۷۵	۱۷		
۱۹۹۵	۱۳	۲۰۰	۱۵۶۳/۴۰	۱۵۶۴	۴	۱۲	۲۰
		۲۲۰	۱۵۶۴/۳۸	۱۵۶۴	۲		
		۲۴۰	۱۵۶۹/۳۸	۱۵۶۹	۲		
		۲۴۲	۱۵۷۰/۰۸	۱۵۷۰	۱		
		۰	۱۵۷۰/۰۸	۱۵۷۰/۰۸	۰		
۱۰۴۷	۲۰	۸۰	۱۵۵۲/۱۵	۱۵۴۹	۲۰	۳	۱۵
		۲۲۰	۱۵۵۳/۰۷	۱۵۵۰	۲۰		
		۳۰۰	۱۵۵۷/۴۷	۱۵۵۵/۴۷	۱۳		
		۳۲۰	۱۵۵۸/۹۴	۱۵۵۶/۹۴	۱۳		
		۳۴۰	۱۵۶۲/۲۴	۱۵۶۰/۲۴	۱۳		
۵۰۶	۲۵	۳۶۰	۱۵۶۲/۳۸	۱۵۶۰/۳۸	۱۳	۶	۱۹
		۴۰۰	۱۵۶۶/۸۸	۱۵۶۴/۸۸	۱۳		
		۴۱۶	۱۵۷۰/۰۸	۱۵۷۰/۰۸	۰		
		۰	۱۵۷۰/۰۸	۱۵۷۰/۰۸	۰		
		۱۲۰	۱۵۶۲/۶۵	۱۵۶۲/۶۵	۰		
۳۲۱۸	۴	۲۶۰	۱۵۳۰/۹	۱۵۳۰/۹	۰	۳	۱۵
		۴۰۰	۱۵۳۱/۷۶	۱۵۲۹/۴۶	۱۵		
		۴۸۰	۱۵۴۱/۹۵	۱۵۴۰	۱۳		
		۷۰۰	۱۵۵۰/۹۴	۱۵۵۰/۹۴	۰		
		۷۲۰	۱۵۵۳/۴۸	۱۵۵۳/۴۸	۰		
۵۰۶	۲۵	۷۸۰	۱۵۶۲/۷۸	۱۵۶۲/۷۸	۰	۶	۱۹
		۹۰۰	۱۵۶۴/۰۸	۱۵۶۴/۰۸	۰		
		۹۶۰	۱۵۶۶/۳۸	۱۵۶۶/۳۸	۰		
		۱۰۲۹	۱۵۷۰/۰۸	۱۵۷۰/۰۸	۰		
		۰	۱۵۷۰/۰۸	۱۵۷۰/۰۸	۰		
۵۰۶	۲۵	۳۴۰	۱۵۱۷/۸۱	۱۵۱۹/۸۱	۱۳	۶	۱۹
		۹۲۰	۱۵۶۳/۰۸	۱۵۶۵/۰۸	۱۳		
		۱۱۰۰	۱۵۶۰/۰۸	۱۵۶۳/۰۸	۱۹		
		۱۱۸۰	۱۵۶۹/۰۸	۱۵۶۹/۰۸	۰		
		۱۲۸۰	۱۵۵۲/۷۴	۱۵۵۲/۷۴	۰		
۵۰۶	۲۵	۱۴۴۰	۱۵۴۷/۷۴	۱۵۵۰/۷۴	۱۹	۶	۱۹
		۱۴۸۰	۱۵۵۰/۷۴	۱۵۵۰/۷۴	۰		
		۱۵۲۰	۱۵۵۳/۵۴	۱۵۵۳/۵۴	۰		
		۱۶۰۹/۴	۱۵۷۰/۰۸	۱۵۷۰/۰۸	۰		
		۰	۱۵۷۰/۰۸	۱۵۷۰/۰۸	۰		

آبنگاری به دلیل درشت دانه بودن ذرات تطابق بهتری را نشان می‌دهد و بر اساس نتایج ارائه شده در جدول ۱ بیشینه خطای ایجاد شده، ۹ درصد و میانگین خطا ۳ درصد می‌باشد.

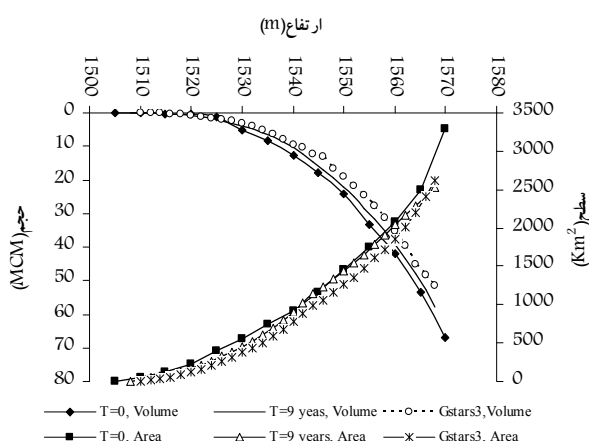
در مقطع ۴ واقع در فاصله ۳۲۱۸ متری از محل سد، به دلیل کاهش عرض مقطع، سرعت جریان افزایش یافته و باعث ایجاد فرسایش در آن مقطع شده است. نتایج حاصل از مدل و داده‌های

موردی انجام شده منطقی‌ترین الگوی رسوب، الگوی رسوبگذاری می‌باشد که از انتخاب تابع حمل رسوب لارسن در سال ۱۹۸۵ از مدل حاصل می‌گردد.

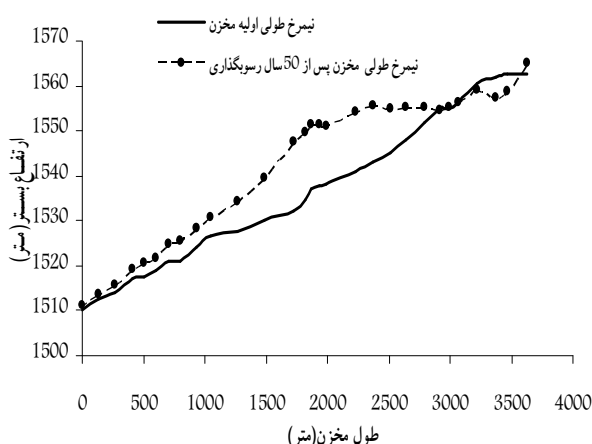
• از میان پارامترها و داده‌های ورودی مدل، تغییر در دمای آب، کمترین تأثیر را بر نتایج می‌گذارد و مدل به تغییر دما (در محدوده دماهای معمول و منطقی محیط مورد مطالعه) حساسیت زیادی ندارد.

• انتخاب تعداد لوله‌های جریان در مدل‌سازی مهم است. در مطالعه موردی انجام شده تعداد سه لوله جریان در فایل ورودی در نظر گرفته شده و لذا تغییرات بستر در هر دو جهت قائم و جانبی توسط مدل شبیه‌سازی شده است.

• هرچه تعداد روندیابی رسوب در طول یک گام زمانی بیشتر باشد، توزیع رسوبات در داخل مخزن را بهتر پیش‌بینی می‌کند ولی در برآورد حجم کل رسوب تأثیری ندارد.



شکل ۸- نمودار مقایسه‌ای تغییرات حجم-سطح-ارتفاع



شکل ۹- تغییرات نیمرخ طولی ناشی از رسوبگذاری در مخزن سد علویان پس از ۵۰ سال

در مقاطع ۹ و ۱۳ که به ترتیب در فواصل ۲۶۳۸ و ۱۹۹۵ متری از سد قرار گرفته‌اند، اختلاف نتایج حاصل از مدل و داده‌های اندازه‌گیری شده، به ترتیب خطای بیشینه به اندازه ۱۷ درصد و ۲۰ درصد و میانگین خطا به اندازه ۶ و ۱۲ درصد مشاهده می‌شود.

در مقاطع ۲۰ و ۲۵ که به ترتیب در فواصل ۱۰۴۷ و ۵۰۶ متری از محل سد واقع شده‌اند، به دلیل افزایش عرض مقاطع و مآلاً کاهش سرعت جریان، نهشته شدن رسوبات که اغلب به شکل مواد ریزدانه هستند، بیشتر به چشم می‌خورد و به ترتیب خطای بیشینه به اندازه ۱۵ درصد و ۱۹ درصد و میانگین خطا به اندازه ۳ درصد و ۶ درصد را به وجود می‌آورد.

در شکل ۸ تغییر حجم مخزن برای یک دوره زمانی شبیه‌سازی نمایش داده شده است. چنانکه از این شکل پیداست، با گذشت زمان، در اثر نهشته و انباشته شدن مواد رسوبی، حجم مفید مخزن به طور محسوس کاهش یافته است. در این شکل، رابطه حجم-ارتفاع-سطح مخزن برای حالت‌های قبل از رسوبگذاری، رسوبگذاری (حالت آبنگاری) و نتایج حاصل از مدل Gstars3.0، ارائه و مورد مقایسه و ارزیابی قرار گرفته است. از بررسی شکل مذکور چنین استنباط می‌شود که مدل از قابلیت خوبی برای پیش‌بینی روند رسوبگذاری در مخزن برخوردار است. با توجه به محاسبات انجام شده در جدول ۲ بیشینه خطای حاصل از مدل با نتایج آبنگاری در حدود ۲۱ درصد و میانگین خطا ۱۰ درصد می‌باشد که برای شبیه‌سازی مدل و در مقایسه با کار دیگران که میانگین خطای ۷ درصد را به دست آورده‌اند، قابل قبول تلقی می‌شود [۲۶].

شکل ۹، پیش‌بینی شبیه‌سازی مدل برای روند رسوبگذاری در یک دوره زمانی ۵۰ ساله سد را نشان می‌دهد. همان‌گونه که این شکل نشان می‌دهد، قسمت اعظم رسوبات که اغلب درشت دانه هستند در ابتدای مخزن با تشکیل دلتا نهشته می‌شوند. در پایین دست نیز تجمع رسوبات ریزدانه انجام می‌گیرد که توسط جریانهای غلیظ حمل می‌شوند. نتیجه محاسبات، حجم مخزن را پس از طی ۵۰ سال، ۴۵ میلیون متر مکعب نشان می‌دهد، بدین معنی که پس از طی ۵۰ سال از عمر بهره‌برداری این مخزن، حدود ۲۵ درصد از ظرفیت مفید آن کاسته می‌شود.

۶- نتیجه‌گیری

• نتایج محاسبات بیانگر آن است که پس از طی ۵۰ سال، حجم رسوبات انباشته شده در مخزن به حدود ۱۵ میلیون متر مکعب بالغ می‌شود که تقریباً معادل ۲۵ درصد ظرفیت مفید مخزن است.

• نتایج اجرای مدل ریاضی Gstars3.0 نشان می‌دهد که مدل نسبت به تابع انتقال رسوب دارای بالاترین حساسیت می‌باشد. در مطالعه

جدول ۲- اختلاف حجمی مقادیر حاصل از مدل با نتایج آبنگاری

ارتفاع از سطح دریا (متر)	حجم مخزن (میلیون متر مکعب) در مدل Gstars 3.0	حجم مخزن (میلیون متر مکعب) در واقعیت	خطا (درصد)	میانگین خطا (درصد)	پیشینه خطا (درصد)
۱۵۱۲	۰/۰۴	۰/۰۴۷۹۴۹	۰/۱۷		
۱۵۱۴	۰/۱۳۸۹۹۴	۰/۱۷۵۱۵۷	۰/۲۱		
۱۵۱۶	۰/۲۶۱۳۸۸	۰/۳۳۲۰۲۴	۰/۲۱		
۱۵۱۸	۰/۴۵۷۲۹۸	۰/۵۵۵۹۶۸	۰/۱۸		
۱۵۲۰	۰/۷۱۷۱۲۳	۰/۸۴۹۶۰۱	۰/۱۶		
۱۵۲۲	۱/۰۷۵۴۸۷	۱/۲۱۷۳۸۴	۰/۱۲		
۱۵۲۴	۰/۵۱۶۵۳۳	۱/۶۸۴۴۹۲	۰/۱۰		
۱۵۲۶	۲/۰۷۹۳۲۴	۲/۲۷۴۰۷۶	۰/۰۹		
۱۵۲۸	۲/۵۵۲۳۵۵	۲/۹۸۰۶۳۸	۰/۱۴		
۱۵۳۰	۳/۳۲۹۷۲۲	۳/۸۱۸۸۸۸	۰/۱۳		
۱۵۳۲	۴/۱۱۹۱۹۶	۴/۷۹۳۶۴	۰/۱۴		
۱۵۳۴	۵/۲۴۴۶۹۹	۵/۹۱۱۲۸۵	۰/۱۱		
۱۵۳۶	۶/۳۲۷۶۶۱	۷/۲۰۴۳۳۴	۰/۱۲		
۱۵۳۸	۷/۹۹۷۳۸۱	۸/۶۹۰۴۷۶	۰/۰۸		
۱۵۴۰	۹/۳۵۰۹۲۵	۱۰/۳۸۸۴۴۴	۰/۱۰	۳۱	۲۱
۱۵۴۲	۱۰/۲۷۴۸۶۴	۱۲/۳۱۶۹۲۵	۰/۱۷		
۱۵۴۴	۱۲/۱۶۶۹۹۸	۱۴/۴۷۵۹۶۷	۰/۱۶		
۱۵۴۶	۱۳/۲۳۱۱۳۳	۱۶/۸۳۸۸۷۳	۰/۲۱		
۱۵۴۸	۱۶/۴۷۶۷۹۹	۱۹/۳۹۲۰۸۱	۰/۱۵		
۱۵۵۰	۱۸/۹۴۴۲۹۱	۲۲/۱۵۳۲۲۶	۰/۱۴		
۱۵۵۲	۲۱/۶۶۴۳۰۴	۲۵/۱۲۷۴۱	۰/۱۴		
۱۵۵۴	۲۴/۶۱۱۶۵۳	۲۸/۳۲۰۶۳۶	۰/۱۳		
۱۵۵۶	۲۷/۸۰۵۳۲۵	۳۱/۷۵۵۷۲۴	۰/۱۲		
۱۵۵۸	۳۱/۳۲۸۵۲۸	۳۵/۴۳۹۴۹۳	۰/۱۲		
۱۵۶۰	۳۵/۳۰۱۸۶۳	۳۹/۳۷۹۵۰۴	۰/۱۰		
۱۵۶۲	۳۹/۴۸۶۱۹۸	۴۳/۵۸۵۱۶۴	۰/۰۹		
۱۵۶۴	۴۴/۹۶۳۴۵۹	۴۸/۰۳۴۱۵۹	۰/۰۶		
۱۵۶۶	۴۸/۳۶۲۵۱	۵۲/۷۲۴۵۷۵	۰/۰۸		
۱۵۶۸	۵۱/۵۲۲۱۱	۵۷/۶۷۰۲۱۹	۰/۱۱		

۷- پیشنهادها

- جهت مقایسه نتایج مدل Gstars3.0 و برآورد دقیق تر رسوبگذاری، می توان از مدل های دو بعدی نظیر River Intake و یا مدل های سه بعدی نظیر SSIIM در رسوبگذاری در مخازن استفاده کرد و نتایج حاصله را با مقادیر واقعی اندازه گیری شده و نتایج مدل Gstars3.0 مقایسه کرد.
- مدل Gstars3 قابلیت محاسبات فرسایش و رسوبگذاری را دارد.

لذا پیشنهاد می شود که مدل مذکور، جهت رسوب شویی^۱ مخازن نیز مورد استفاده قرار گیرد.

۸- تقدیر و تشکر

این مقاله با حمایت مالی و اعتبار ویژه پژوهشی دانشگاه تبریز تهیه گردیده است. بدین وسیله از معاونت محترم پژوهش و فناوری دانشگاه تبریز تقدیر و تشکر به عمل می آید.

¹ Flashing

۹- مراجع

- ۱- شفاعی بجستان، م. (۱۳۸۴). *هیدرولیک رسوب*، انتشارات دانشگاه شهید چمران اهواز.
- ۲- صمدی بروجنی، ح.، و موسوی، س. ف. (۱۳۷۷). "یک مدل ریاضی جهت برآورد مقدار رسوبگذاری در مخازن سدهای کوچک (فاقد آمار)". م. آب و فاضلاب، ۲۶، ۲۹-۲۴.
- ۳- شمسایی، ا.، و چشمه کبودی، ا. (۱۳۸۱). "پیش‌بینی عددی درازمدت رسوب در سد مخزنی اکباتان". م. آب و فاضلاب، ۴۳، ۳۷-۲۸.
- ۴- موسوی، س. ف.، حیدرپور، م.، و شعبانلو، س. (۱۳۸۵). "بررسی رسوب در مخزن سد زاینده‌رود با استفاده از مدل‌های تجربی افزایش و کاهش سطح". م. آب و فاضلاب، ۵۷، ۸۶-۸۲.
- ۵- حسن زاده، ی. (۱۳۷۸). "اثر رسوبگذاری در کاهش ظرفیت مخازن سدها". مجموعه مقالات چهارمین کارگاه آموزشی کمیته تخصصی هیدرولیک در سدها، کمیته ملی سدهای بزرگ ایران.
- 6- Cunge, J. A., Holly, F. M., and Verwey, A. (1980). *Practice aspects of computational river hydraulics*, Rirtman, London.
- 7- Dawdy, D. R., and Vanoni, V. A. (1986). "Modeling alluvial channels." *Water Resources Research*, 22 (9), 71-81.
- 8- Gill, M. A. (1983). "Diffusion model for aggrading channels." *J. Hydrulic and Research Inter. Assoc. Hydrulic Research*, 21 (5), 369-378.
- 9- Lyn, D. A. (1987). "Unsteady sediment transport modeling." *J. Hydrulic Engineering*, 113 (1), 1-15.
- 10- Chang, H. H., Harrlson, L. L., Lee, W., and Tu, S. (1996). "Numerical modeling for sediment-pass-through reservoirs." *Journal of Hydraulic Engineering*, 122 (7), 381-388.
- ۱۱- حسن‌زاده، ی.، و اعلی، م. ت. (۱۳۷۶). "مدل ریاضی رسوبگذاری در مخازن سدها". م. دانشکده فنی، دانشگاه تبریز، ۲۳-۳۱.
- 12- De Cesare, G., Schleiss, A., and Hermann, F. (2001). "Impact of turbidity currents on reservoir sedimentation." *Journal of Hydraulic Engineering*, 127 (1), 6-16.
- 13- Fox, G. A., Wilson, G. V., Periketi, R. K., and Cullum, R. F. (2006). "Sediment transport model for seepage erosion of stream bank sediment." *Journal of Hydraulic Engineering*, 11 (6), 603-611.
- 14- Ravens, T. M. (2007). "Comparison of two techniques to measure sediment erodibility in the Fox river, Wisconsin." *Journal of Hydraulic Engineering*, 133 (1), 111-115.
- 15- Molinas, A., and Yang, C. T. (1998). *User's manual for Gstars2.0 (Generalized Stream Tube for Alluvial River Simulation, Version 2.0)*, USBR.
- 16- Molinas, A., and Yang, C. T. (2002). *User's manual for Gstars2.1 (Generalized Stream Tube for Alluvial River Simulation, Version 2.1)*, USBR.
- 17- Yang, C. T., and Simoes, F. J. M. (2002). *User's manual for Gstars3.0 (Generalized Stream Tube for Alluvial River Simulation, Version 3.0)*, USBR.
- 18- Yang, C. T., Simoes, F. J. M., Huang, J., and Greimann, B. (2006). "Generalized sediment transport models for alluvial rivers and reservoirs." *US-China Workshop on Advanced Computational Modeling in Hydrosience & Engineering*, September, 19-21, Oxford, Mississippi, USA.
- 19- Yang, C. T., and Simoes, F. J. M. (1998). "Application of Gstars to river sedimentation studies." 9th ISAS, Civil Engineering Department, Colorado State University, Fort Collins.
- 20- Yang, C. T., and Simoes, F. J. M. (2002). *A numerical model for reservoirs sedimentation (Gstars3.0)*, Civil Engineering Department, Colorado State University, Fort Collins.
- 21- Yang, C. T., and Simoes, F. J. M. (1998). "Simulation and prediction of river morphologic changes using Gstars2.0." *US-China Workshop on Advanced Computational Modeling in Hydrosience & Engineering*, September, 19-21, Oxford, Mississippi, USA.
- 22- Cellino, M., and Essyad, K. (2002) "Reduction of sediment deposition by introducing an artificial Stony Bank. A practical example in upper Rhone river, Switzerland." *Proc. of the International Conference on Fluvial Hydrulic*, Louvain, Belgium, 951-959.
- ۲۳- اعلی، م. ت. (۱۳۸۳). "بررسی مدل‌های ریاضی رسوبگذاری مخازن و مقایسه آن با روش‌های شبکه عصبی مصنوعی". پایان‌نامه دکتری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه تبریز.
- ۲۴- ترین، س. ع. (۱۳۸۳). "شبیه‌سازی رسوبگذاری در مخزن سدها با استفاده از مدل‌های یک بعدی، شبه دو بعدی و سه بعدی". پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده عمران، دانشگاه تربیت مدرس، تهران.
- ۲۵- منتظمی نوین، م. (۱۳۸۵). "بررسی نحوه توزیع رسوب در سطح مخزن سد یامچی به روش مدل HEC-6". پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه تبریز.
- ۲۶- مرسولی، ر. (۱۳۸۶). "کاربرد دبی ویژه دراز مدت رسوبات رودخانه در تحلیل رسوبگذاری مخازن سدها". پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه تبریز.
- ۲۷- روابط عمومی آب منطقه‌ای آذربایجان شرقی و اردبیل. (۱۳۸۵). *گزارش سد علویان مراغه*.
- ۲۸- شرکت مهندسین مشاور مه‌آب قدس. (۱۳۷۳). *خلاصه گزارش سد علویان*.
- ۲۹- فیضی‌خانکندی، ا. (۱۳۸۶). "بررسی روند رسوبگذاری در کارایی سد مخزنی علویان با مدل ریاضی". پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه تبریز.