



پیش بینی روند رسوبگذاری در مخزن سد علویان با استفاده از مدل Gstars3.0

یوسف حسن زاده^۱، آتابک فیضی خانکندی^۲

۱- استاد، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تبریز

۲- کارشناسی ارشد مهندسی عمران-آب، دانشگاه تبریز

Email: Atabak_feizi@yahoo.com

خلاصه

امروزه برای پیش بینی مقدار رسوبگذاری در مخازن سد های ذخیره ای و برآورد عمر مفید آنها یکی از ابزارهای مهم استفاده از مدل های ریاضی می باشد که مبتنی بر تحلیل معادلات حاکم بر پدیده های موثر در انتقال، توزیع، ته نشینی و آب شستگی رسوب بنا نهاده شده اند. در مقاله حاضر، بعد از کالیبره کردن مدل به کمک داده های هیدروگرافی مخزن سد علویان مراغه نحوه رسوبگذاری در مقطع طولی و مقاطع عرضی برای حالت های بستر اولیه، هیدروگرافی شده و نتایج حاصل از تحلیل پدیده رسوبگذاری به کمک مدل Gstars3.0 برای یک دوره ۹ ساله کالیبره و سپس برای یک دوره ۵۰ ساله ترسیم و مورد مقایسه و ارزیابی قرار گرفته و عمر مفید مخزن برآورد و ارائه شده است.

کلمات کلیدی: مدل ریاضی، رسوبگذاری مخزن سد، لوله های جریان، سد علویان

مقدمه

بررسی نحوه پخش رسوبات ورودی به مخازن سدها جهت تعیین تراز آستانه دریاچه های عمقی و جانمایی آبگیرها حائز اهمیت فراوان می باشد. به هنگام رسوبگذاری، مواد درشت دانه در فاصله ای دورتر از بدنه سد، با تشکیل دلتا در مصب مخزن ته نشین می شوند، در حالیکه مواد ریزدانه بلافاصله بالادست سد، یعنی در محل حجم مرده مخزن رسوبگذاری می شوند. از اثرات منفی رسوبگذاری در سدها، می توان کاهش حجم ذخیره آن ها را نام برد. نتیجه بررسی ها نشان می دهد 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 بهره برداری خارج شده اند [۱].

امروزه برای پیش بینی مقدار و نحوه رسوبگذاری در مخازن، یکی از ابزارهای معمول استفاده از مدل های ریاضی است. مدل های ریاضی نیز برای بررسی رسوبگذاری در مخازن سد به دو دسته مدل های تجربی و مدل های ریاضی مبتنی بر معادلات حاکم بر جریان و رسوب تقسیم می شود. مدل های تجربی براساس مشاهدات و اندازه گیری های محلی از مخازن موجود پایه گذاری شده اند و اطلاعات بدست آمده روابط بین پارامترهای موثر بر پدیده را بدست می دهد که از جمله این روابط، روش کاهش سطح را می توان نام برد. مدل های ریاضی، مبتنی بر معادلات حاکم بر جریان و رسوب و براساس حل ریاضی تمام پدیده های موثر در انتقال، توزیع، ته نشینی و آب شستگی رسوب بنا نهاده شده اند [۲]. در سال ۱۹۷۲، مدل کامپیوتری Fluvial توسط پروفسور Howard H. Chang [۳] نوشته و بسط داده شد. برنامه کامپیوتری Fluvial 12 یک مدل ریاضی است که برای روندیابی جریان رسوب در آبراهه، تغییرات عرض و تغییرات توپوگرافی بستر در نتیجه اثر انحناء توسط مدل شبیه سازی می شود.

در طی سال های ۱۹۷۶ تا ۱۹۹۳، مدل HEC-6 توسط مرکز هیدرولوژی مهندسی (HEC) تهیه شده است. HEC-6 فرسایش و رسوبگذاری را با شبیه سازی تداخل عمل بین خصوصیات هیدرولیکی جریان و سرعت حمل رسوب محاسبه می نماید و بر این فرض استوار است که شرایط تعادل بین حمل رسوب در کف و بستر در هر یک از مراحل زمانی ایجاد می شود [۴].

نرم افزار SSIIM در اوایل دهه نود توسط دکتر اولسن [۵] توسعه یافت. و در اواسط سال ۱۹۹۳ نسخه اول آن از طریق اینترنت قابل دسترسی برای عموم شد. پیشرفت این نرم افزار ادامه یافت تا آنجا که در سال ۱۹۹۴ نسخه 1.4 آن نیز تولید شد. مزیت اصلی SSIIM نسبت به سایر برنامه های دینامیک سیالات محاسباتی، قابلیت مدل سازی رسوب با بستر متحرک به خصوص در هندسه پیچیده است.

مدل کامپیوتری Gstars مدل تعمیم یافته لوله جریان برای شبیه سازی رودخانه آبرفتی است که ابتدا توسط Molinas and Yang [۶]، جهت شبیه سازی شرایط جریان به روش شبه دویعدی و شبیه سازی تغییر هندسی کانال به روش شبه سه بعدی در سال ۱۹۸۷ ابداع گردید. این مدل توسط یانگ و همکارانش تجدید نظر و اصلاح گردید و با عنوان Gstars2.0 عرضه شد. اما این نسخه از مدل نیز توسط Yang and Simoes [۷] بهبود یافت

۱- استاد دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه تبریز

۲- کارشناسی ارشد مهندسی عمران-آب، دانشگاه تبریز



و در سال ۲۰۰۰ و با نام Gstars2.1، که یک مدل عددی برای شبیه سازی جریان و رسوبگذاری در رودخانه های آبرفتی بزرگ می باشد، ارائه گردید. اما Gstars3.0¹ [۸,۹,۱۰,۱۱,۱۲] مدل تعمیم یافته انتقال رسوب برای شبیه سازی رودخانه های آبرفتی که آخرین نسخه (نسخه ۳) از سری مدل های عددی برای شبیه سازی انتقال جریان آب و رسوب در رودخانه آبرفتی می باشد در سال ۲۰۰۲ ارائه گردید. محققین مختلفی از جمله Cunge و همکاران [۱۳] (۱۹۸۰) و Dawdy and Vanoni [۱۴] (۱۹۸۶)، کارهای انجام شده در مورد شبیه سازی عددی در هیدرولیک رسوب را مورد بررسی قرار داده اند. علاوه بر این تعدادی حل تحلیلی با ساده کردن معادلات تشریح کننده روند رسوبگذاری و فرسایش ارائه کرده اند. Gill [۱۵] (۱۹۸۳)، معادله خطی پخشی تشریح کننده روند رسوبگذاری و فرسایش را با سری فوریه و روشهای تابع خطا حل کرد. اومیلیو و جین^۲ [۱۶] (۱۹۸۴)، یک معادله دیفرانسیل جزئی غیر خطی بیضوی را توسعه داده و آن را با استفاده از روش باقیمانده ها حل کرده و نتایج محاسباتی را با اطلاعات آزمایشگاهی مقایسه کردند. Lyn [۱۷] (۱۹۸۷)، راه حل های غیر خطی برای رسوبگذاری و فرسایش که نسبت به راه حل های خطی تطابق بهتری را با اطلاعات آزمایشگاهی نشان دادند ارائه داده است. چانگ و همکاران [۱۸] (۱۹۹۶)، نحوه توزیع رسوبگذاری در رودخانه ها و مخازن سد ها با مدل Fluvial12 را بهبود بخشیدند. حسن زاده و اعلمی [۱۹] (۱۹۹۷)، تغییرات پروفیل طولی بستر یک مدل هیدرولیکی را متعاقب احداث یک سد ذخیره ای 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. Chiu و همکاران [۲۰] (۲۰۰۰)، بر روی بررسی مدل های ریاضی در توزیع رسوبات با استفاده از حل معادلات انتقال رسوب به صورت متوسط گیری در عمق پرداختند. De Cesare و همکاران [۲۱] (۲۰۰۱)، بر روی تاثیرات آب گل آلود بر روی رسوبگذاری در مخازن با استفاده از یک مدل در مقیاس آزمایشگاهی و حل عددی جریان در روی سیلاب هزار ساله مخزن Luzzon در Swiss Alp پرداختند. Fox و همکاران [۲۲] (۲۰۰۶)، به مکانیسم فرسایش ناشی از غلظت، جریان های عرضی و گسترش یک معادله تجربی انتقال رسوب ناشی از رسوب نامتعادل پرداختند. Ravens [۲۳] (۲۰۰۷)، بر روی مقایسه دو روش اندازه گیری فرسایش و رسوبگذاری در حالت فلوام آزمایشگاهی و مقایسه نتایج با مدل SEDFLUME پرداخته است. در این تحقیق نتایج حاصل از کاربرد مدل ریاضی Gstars3.0 در رسوبگذاری مخزن سد علویان مراغه با داده های حاصل از هیدروگرافی مخزن مورد مقایسه و ارزیابی قرار گرفته و ضمن تبیین مکانیسم تغییرات پروفیل بستر نسبت به زمان و مکان، عمر مفید مخزن برآورد شده است.

مطالعه موردی رسوبگذاری در مخزن سد علویان

سد علویان در دامنه های 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 از جمله یکی از بزرگترین سدهای خاکی آذربایجان شرقی محسوب می شود. مخزن این سد دارای ظرفیت مفید ۵۷ میلیون متر مکعب می باشد. طول دریاچه این مخزن، ۳/۵ کیلومتر می باشد. اهداف 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 می باشد [۲۴,۲۵].

معادلات حاکم

معادله پیوستگی رسوب

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

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

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، می باشد.

با فرض به اینکه تغییر غلظت رسوب معلق در یک مقطع عرضی بسیار کوچکتر از تغییر بستر رودخانه باشد، یعنی:

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

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

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

¹ - Generalized Sediment Transport model for Alluvial River Simulation Version3.0

² - Jain and Avamillo

آنگاه معادله پیوستگی رسوب به صورت زیر بیان می شود:

$$\eta \frac{\partial A_d}{\partial t} + \frac{dQ_s}{dx} = q_{lat} \quad (۴)$$

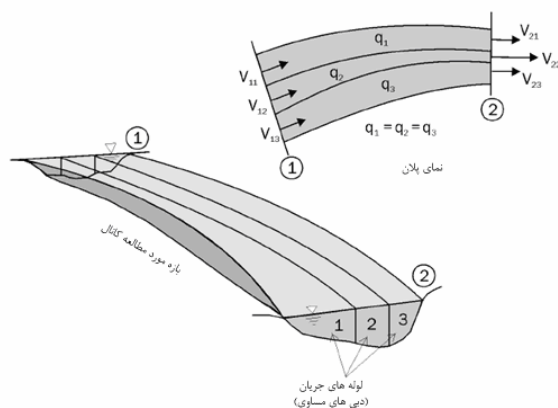
معادله فوق در Gstars3 رابطه حاکم در روندیابی رسوبات در رودخانه ها و آبراهه ها را بیان می کند. گفتنی است که فرضیات فوق هنگامی قابل اعمال است که تغییرات جزئی در هندسه مقطع عرضی وجود داشته باشد، یعنی فرسایش و رسوبگذاری قابل توجهی در هر گام زمانی رخ ندهد که این فرض امکان مجزا نمودن محاسبات روندیابی جریان آب و رسوب را فراهم می آورد. در عمل، این شرایط را فقط می توان با انتخاب گام زمانی به اندازه کافی کوچک، ایجاد نمود [۸].

در Gstars3، ابتدا نیمرخ های سطح آب و سپس مقاطع عرضی به چند مقطع با دبی های مساوی تقسیم گردیده و مطابق شکل (۱) به عنوان لوله های جریان فرض می گردند [۹].

در حقیقت لوله های جریان که تعداد آنها در Gstars3 حداکثر ۵ عدد می باشد همانند کانالهای یک بعدی معمولی با مشخصات هیدرولیکی معین عمل می کنند و محل های لوله های جریان در روندیابی رسوب در درون هر یک از آنها برای هر گام زمانی محاسبه و به صورت مستقل از هم انجام می گیرد.

ترکیب مواد بستر برای هر لوله جریان در آغاز هر گام زمانی محاسبه می گردد و همچنین محاسبات لایه بندی بستر و تشکیل سپر حفاظتی در بستر به صورت جداگانه برای هر لوله جریان انجام می گیرد.

تغییرات جانبی ترکیب مواد بستر نیز محاسبه گشته و در محاسبات ترکیب مواد بستر و لایه بندی آن برای هر لوله جریان، منظور می گردند. این روش امکان محاسبه تغییرات پارامترهای هیدرولیکی و رسوبی مقطع عرضی را به روش نیمه دوبعدی فراهم می سازد. به عنوان مثال، ته نشینی و فرسایش می توانند در یک مقطع عرضی معلوم، به صورت همزمان رخ دهند. مدل های یک بعدی متداول، قادر به تحلیل این موقعیت نمی باشند، اما از آنجایی که فرسایش یا رسوبگذاری به صورت جداگانه درون هر لوله جریان محاسبه می گردد، در نتیجه Gstars3 می تواند این موقعیت را مدل کند [۸،۹].



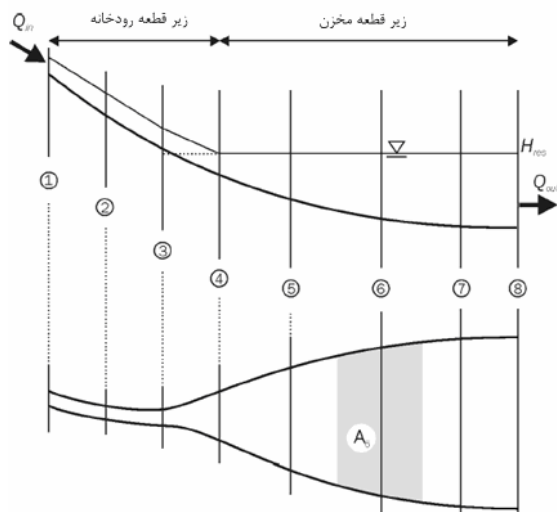
شکل (۱) نمایش شماتیک مفهوم لوله های جریان مورد استفاده در Gstars3 [۹]

روندیابی مخزن

روندیابی مخزن با روش گام به گام استاندارد و با اعمال بعضی اصلاحات انجام می گیرد. درون زیر قطعه مخزن، دبی آب با یک میانگین وزنی با استفاده از دبی های جریان ورودی رودخانه و خروجی مخزن، محاسبه می گردد. پارامتر وزنی برای هر مقطع عرضی، مساحتی از سطح مخزن است که بوسیله 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 بوسیله مقاطع عرضی که خط القعرشان پایین تر از تراز مخزن است، تعریف می گردد). دبی Q_4 عبارت است از:

$$Q_4 = Q_{in} - a_4(Q_{in} - Q_{out}) \quad (۵)$$

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 می باشد.



شکل (۲) نمایش زیر قطعات رودخانه و مخزن در روندیابی مخزن در مدل Gstars3 [۸].

در حالت کلی داریم:

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

که در آن $a_k = A_k / A_{res}$ بوده و A_k بیانگر سطح مخزن در مقطع k و A_{res} اولین مقطع عرضی در زیر قطعه مخزن مطابق شکل (۲) می باشد. شایان ذکر است که:

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

که در آن N تعداد مقاطع عرضی در سد می باشد. ترازهای سطح آب در سد، با استفاده از روندیابی تراز مخزن روباز، محاسبه می گردد. 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 می باشد. در اینجا از تغییر ذخیره با استفاده از جدول ظرفیت برای تعیین تراز آب مخزن سد، H_{res} ، استفاده می شود.

در این حالت مخزن به نوارهای افقی متوالی تقسیم گردیده و هر نوار، بلافاصله از خط القعر عرضی بالادست به بعد تعریف می گردد. هر کدام از حجم ها نیز از فرمول زیر محاسبه می گردند:

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

که در آن $V_{i \rightarrow j}$ حجم واقع بین مقاطع عرضی i ؛ j ؛ Δx_{ij} فاصله بین مقاطع عرضی i ؛ j ؛ A_i ؛ A_j مساحت مقطع عرضی i می باشد. شایان ذکر است که $H_{res} = f(V_{res})$ با توجه به داده های جدول ظرفیت و بدون ملحوظ داشتن احجام مرده مخزن محاسبه می گردد.

نحوه مدل سازی

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

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



مشخصات هیدرولیکی مورد نیاز برای مدل کردن مخزن عبارتند از:

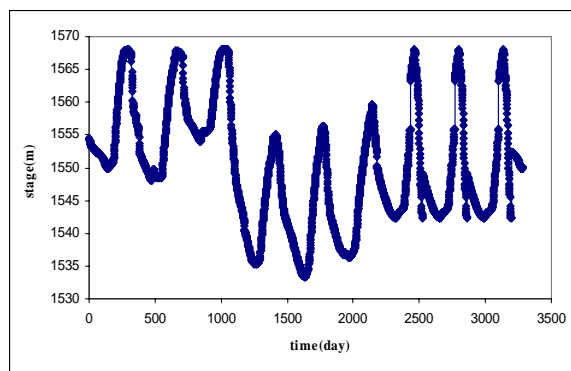
۱- ترازهای سطح آب متناسب با دبی جریانات ورودی مخزن برای دوره های زمانی مورد نظر، که برای مخزن مورد مطالعه از دبی های متوسط ماهانه که در طول هر ماه ثابت فرض شده اند استفاده گردیده است. منحنی دبی - اشل مقطع در ورودی مخزن به عنوان شرط مرزی بالادست مدل برای محاسبات پروفیل سطح آب در نظر گرفته شده است.

۲- در اینجا رابطه دبی جریان رسوبی به صورت تابعی از دبی جریان مایع با توجه به داده های آماری موجود استخراج و به مدل معرفی شده است

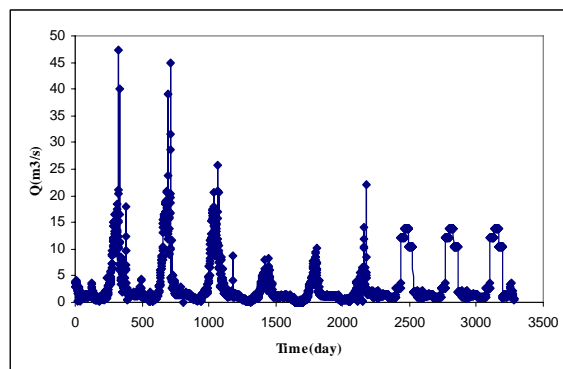
$$Q_s = 7.06Q_w^{2/36} \quad (10)$$

$$R^2 = .763$$

که در آن Q_s دبی رسوب بر حسب ton/day و Q_w دبی آب بر حسب m^3/s 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 (۳) و (۴) 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 (۳) ترازهای سطح آب مخزن سد علویان نسبت به زمان



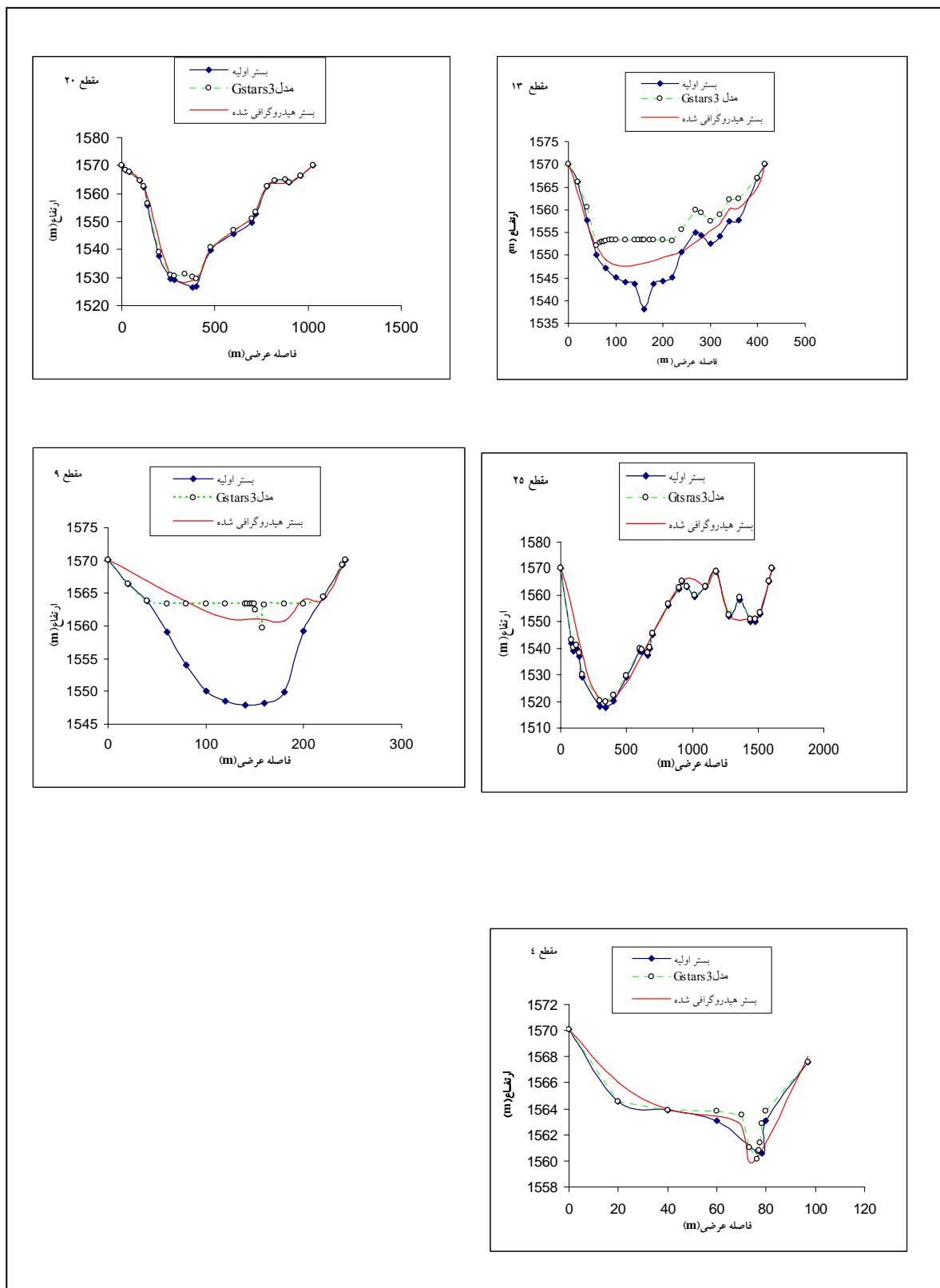
شکل (۴) دبی ورودی سد علویان نسبت به زمان

نتایج حاصل از مدل

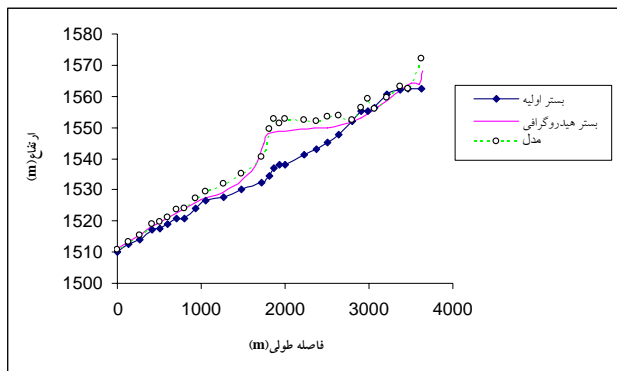
تصحیح مدل شامل مراحل شناخت پارامترها ، تعیین حساسیت مدل نسبت به پارامترها و بالاخره کالیبراسیون مدل می باشد. چون پروفیل رسوبگذاری در مخزن سد علویان درحالت هیدروگرافی بعد از ۹ سال از آبیگری سد موجود می باشد، از این پروفیل برای کالیبراسیون مدل Gstars3.0 استفاده شده است. شبیه سازی با این مدل با استفاده از مفهوم سه لوله جریان، دبی های ورودی و ترازهای سطح آب ماهانه ، رابطه دبی _ رسوب و معادله لارسن (۱۹۸۹) برای یک دوره زمانی ۹ ساله صورت گرفته است.

در شکل (۵) پروفیل طولی رسوب در مخزن سد و در شکل (۶) پروفیل عرضی رسوب در مقاطع مختلف مخزن برای حالت های مختلف بستر اولیه ، هیدروگرافی شده و نتایج حاصل از مدل Gstars3.0 نشان داده شده است.

بطوریکه از شکل (۵) پیداست مواد درشت دانه با تشکیل دلتا در بالادست مخزن و در مصب رودخانه ته نشین می شوند. مواد ریزدانه نیز با تشکیل جریان غلیظ در مجاورت بستر و تا ناحیه بالادست سد که مقطع عرضی می شود، جریان یافته و ته نشین می شوند [۲۶].



شکل (۶) تغییرات پروفیل عرضی مخزن سد علویان ناشی از رسوبگذاری در مقاطع مختلف بعد از ۹ سال رسوبگذاری



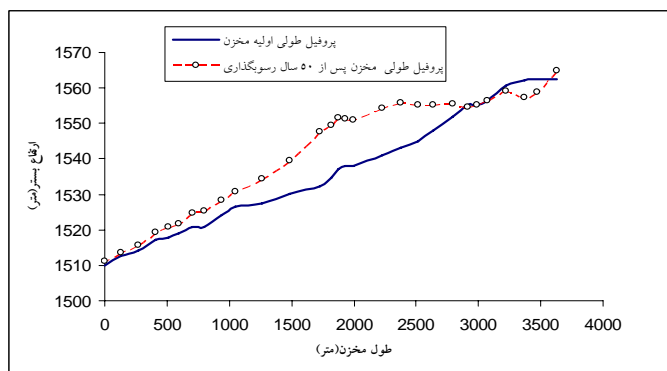
شکل (۵) پروفیل طولی رسوبگذاری در مخزن سد علویان بعد از ۹ سال رسوبگذاری

شکل (۶)، نشان می‌دهد مقطعی که در محدوده تشکیل دلتا قرار دارند، نتایج حاصل از مدل با نتایج حاصل از هیدروگرافی اندکی اختلاف نشان می‌دهد که قابل قبول است ولی در خارج این محدوده، مدل تطابق بهتری با حالت هیدروگرافی نشان می‌دهد. در مقطع ۴ واقع در فاصله ۳۲۱۸ متری از سد، به دلیل کاهش عرض مقطع، سرعت جریان افزایش یافته و باعث ایجاد فرسایش در این مقطع شده است. نتایج حاصل از مدل و واقعیت تطابق بهتری را نشان می‌دهد.

در مقاطع ۹ و ۱۳ که به ترتیب در فواصل ۲۶۳۸ و ۱۹۹۵ متری از سد قرار گرفته‌اند، نتایج حاصل از مدل و واقعیت نیز در حد قابل قبول بدست آمده است.

در مقاطع ۲۰ و ۲۵ که به ترتیب در فواصل ۱۰۴۷ و ۵۰۶ متری از محل سد واقع شده‌اند به دلیل افزایش عرض مقطع و ملاً کاهش سرعت جریان، ته نشینی رسوبات که اغلب به شکل مواد ریزدانه هستند بیشتر به چشم می‌خورد.

شکل (۷) پیش بینی شبیه سازی مدل برای روند رسوبگذاری در یک دوره زمانی ۵۰ ساله سد را نشان می‌دهد. به طوری که این شکل نشان می‌دهد قسمت اعظم رسوبات که اغلب درشت دانه هستند در ابتدای مخزن با تشکیل دلتا ته نشین می‌شوند. در پائین دست نیز تجمع رسوبات ریزدانه انجام می‌گیرد که توسط جریان های 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 بهره برداری این مخزن حدود ۲۵ درصد از حجم مفید آن کاسته می‌شود.



شکل (۷) تغییرات پروفیل طولی ناشی از رسوبگذاری در مخزن سد علویان پس از ۵۰ سال

نتیجه گیری

از آنچه بیان شد چنین استنتاج می‌شود که:

- 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٪ حجم مفید مخزن می‌باشد.

- مدل Gstars3.0، تطابق بهتری را به جهت شبه دویعدی بودن مدل، برای بررسی روند رسوبگذاری در مخزن نشان می‌دهد و از این مدل می‌توان برای مطالعه مکانیسم رسوبگذاری در سایر سد های کشور نیز استفاده نمود.



مراجع

- ۱- شفاعی بجستان، م. (۱۳۸۴). هیدرولیک رسوب. انتشارات دانشگاه شهید چمران.
- ۲- 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.
- 3.Chang,H.H.(1988). Fluvial Processes in River Engineering.”John wiley and Sons, NewYork.
- 4.U.S.Army Corps of Engineering .(1993). Hydrologic Engineering Center(HEC), (HEC), Hec-6. Scour and Deposition in Rivers and Reservoirs. User's Manual ,Davis,CA.
- 5.Olsen, N.R.B.(2005). A three-Dimensional Numerical Model for Simulation of Sediment Movement In water Intakes With Multiblock Option. User's Manual.
- 6.Molinas, A., Yang, C.T.(1998).User's Manual for Gstars2.0 (Generalized Stream Tube for Alluvial River Simulation, Version 2.0) USBR.
- 7.Molinas, A., Yang, C.T.(2002).User's Manual for Gstars2.1 (Generalized Stream Tube for Alluvial River Simulation, Version 2.1) USBR.
- 8.Yang, C.T., Simoes , F.J.M.(2002). User's Manual for Gstars3.0 (Generalized Stream Tube for Alluvial River Simulation, Version 3.0) USBR.
- 9.Yang, C.T., Simoes, F.J.M., Huang,J.&Greimann,B.(2006). Generalized Sediment Transport Models for Alluvial Rivers and Reservoirs. US- China Workshop on advanced computational Modeling in Hydroscience&Engineering, September, 19- 21, Oxford, Mississippi, USA.
- 10.Yang, C.T., Simoes, F.J.M.(2006). Application of Gstars to River Sedimentation Studies..
- 11.Yang, C.T., Simoes, F.J.M. (2002). A Numerical Model for Reservoirs Sedimentation (Gstars3.0).
- 12.Yang, C.T., Simoes, F.J.M. (1998). Simulation and Prediction of River Morphologic changes using Gstars2.0.
- 13.Cunge,J.A.,Holly,F.M.Jr.,and Verway,A.(1980). Practice aspects of computational river hydraulics.Ritman,London
- 14.Dawdy,D.R.and Vanoni,V.A.(1986). Modeling alluvial channels. *Water Resources Research*, 22, NO.9:71S-81S
- 15.Gill.M.A.(1983). Diffusion Model for aggrading channels.*Jour.Hydraulic and Research Inter.Assoc.Hydraulic Research*,21,No.5:369-78.
- 16.Aramillo,W.F.and Jain(1984). Aggradation and Degradation of Engrs.110,No.8:1072-85
- 17.Lyn,D.A.(1987). Unsteady Sediment Transport Modeling.*Jour.Hydraulic Engineering,American Institiue of Aeronautics Astronautics Paper*.65-354
- 18.Chang,H.H.,Harrison,L.L.,Lee,W.,and Tu.S.(1996). Numerical Modeling for Sediment –Pass-Through Reservoirs. *Journal of Hydraulic Engineering*.July.
- 19.Chiu,C.C.,Jin,W.,and Chen,Y.C.(2000).“Mathematical Models of Distribution of Sediment Concentration.” *Journal of Hydraulic Enginnering*.January.
- ۲۰- حسن زاده، ی.، علمی، م. ت. (۱۳۷۶). “مدل ریاضی رسوبگذاری در مخازن سدها.” مجله دانشکده فنی دانشگاه تبریز، شماره ۱۸، پائیز ۱۳۷۶.
- 21.De Cesare,G.,Schleiss,A.,and Hermann,F.(2001). Impact Of Turbidity Currents on Reservoir Sedimentation. *Journal of Hydraulic Engineering*.January.
- 22.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*.ASCE.November,December.
- 23.Ravens,T.M.(2007). Comparation of Two Techniques to Measure Sediment Erodibility in the Fox river,Wisconsin. *Journal of Hydraulic Enginnering*.January. ASCE.
- ۲۴-روابط عمومی آب منطقه ای آذربایجان شرقی و اردبیل. (۱۳۸۵). “گزارش سد علویان مراغه.”
- ۲۵- شرکت مهندسی مشاور مهتاب قدس. (۱۳۷۳). “خلاصه گزارش سد علویان.”
- ۲۶- فیضی خانکندی، ا. (۱۳۸۶). “بررسی روند رسوبگذاری در کارائی سد مخزنی علویان با مدل ریاضی” پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشکده فنی مهندسی، دانشگاه تبریز.