دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز

بررسی الگوی رسوب‌گذاری مخزن سد شهید رجایی با استفاده از مدل عددی GSTARS3.0

هدی مسکار[۱] و رامین فضل‌اولی[۲]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
۲- استادیار دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، (نویسنده مسوول: r.fazlola@sanru.ac.ir)
تاریخ دریافت: ۹۱/۳/۱۰ تاریخ پذیرش: ۹۱/۶/۱۸

چکیده

یکی از اثرات مهم پس از ساخت سدها، مسئله رسوب‌گذاری در مخازن می‌باشد. این پدیده بهره‌برداری بهینه از حجم ذخیره شده در مخزن سد را با مشکلاتی مواجه می‌سازد. علاوه بر این، رسوب‌گذاری بر تولید انرژی، کشتیرانی، عملکرد توربین‌ها، تولید و تامین آب و ایمنی سدها تاثیرگذار است. در تحقیق حاضر، به‌منظور پیش‌بینی روند رسوب‌گذاری مخزن سد شهید رجایی، از مدل GSTARS3.0 به دلیل داشتن خاصیت نیمه دوبعدی و شبه‌پایدار، قابلیت شبیه‌سازی انتقال رسوب درحالت عدم تعادل و به‌کارگیری دامنه وسیعی از معادلات انتقال رسوب، استفاده شد. بعد از واسنجی مدل به کمک داده‌های هیدروگرافی مخزن سد شهید رجایی برای یک دوره ده ساله، مقدار و نحوه رسوب‌گذاری درمقطع طولی و مقاطع عرضی مخزن مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل از واسنجی مدل نشان داد، با انتخاب تابع یانگ ۱۹۷۹ به عنوان رابطه حمل رسوب، تعداد سه لوله جریان و ضریب زبری ۰/۰۴، نتایج مدل تطابق بهتری با نتایج واقعی دارد. همچنین نتایج شبیه‌سازی مدل نشان می‌دهد که پس از طی ۵۰ سال از زمان بهره‌برداری سد، حجم رسوبات انباشته شده در مخزن به حدود ۲۱ میلیون متر مکعب می‌رسد که تقریباً ۲۲٪ از حجم مفید مخزن را پر خواهد نمود.

واژه‌های کلیدی: سد شهید رجایی، شبیه‌سازی، رسوب‌گذاری، مخزن سد، Gstars3.0

مقدمه

با ورود رسوب و تجمع آن در مخزن سد، ظرفیت ذخیره موثر آب کاهش می‌یابد. این امر به نوبه خود باعث کاهش توان ذخیره آب و از دست رفتن ظرفیت تعدیل طغیان مخزن خواهد شد. اگر رسوب در نزدیکی بدنه سد تجمع یابد، امکان مدفون شدن تخلیه کننده‌های تحتانی و دریچه‌های آبگیر را سبب شده و همچنین بهره‌برداری آنها را با اشکال مواجه می‌سازد. به علاوه رسوبی که به خروجی‌های مربوط به آبگیر می‌رسد، می‌تواند توربین‌ها و حفاظ دریچه‌های تحتانی مخازن را

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-10-15]

دچار فرسایش و خوردگی کند. همچنین بار وارده به بدنه سد نیز افزایش می‌یابد. تغییرات رسوب مخزن به عواملی چون مقدار رسوبات تولید شده، سرعت انتقال رسوب، نوع رسوب، طریقه نهشت رسوبات، عملکرد مخزن، خصوصیات ژئومتریک مخزن و جریان متغیر رودخانه بستگی دارد (۵).

برآوردها نشان می‌دهد که سالانه بین ۰/۵ تا ۱ درصد از مجموع حجم مخازن سدهای دنیا به علت رسوب‌گذاری از دست می‌رود (۳، ۱۱). این میزان در بعضی از کشورها به بیش از یک درصد نیز می‌رسد. میزان فرسایش خاک حوزه‌های آبخیز در ایران نسبتا زیاد است که این امر اهمیت پرداختن به مسائل رسوب در مخازن سدها را دو چندان می‌کند. در ایران نرخ کاهش حجم مخازن در اثر رسوب‌گذاری به طور متوسط بین ۰/۵ تا ۰/۷۵ درصد تخمین زده می شود که به طور تقریبی معادل ۱۷۵ میلیون تا ۲۵۰ میلیون متر مکعب در سال است (۱۵).

شبیه‌سازی عددی روند رسوب‌گذاری هم در مرحله طراحی و هم در مرحله بهره‌برداری، کمک بسیاری به طراحی اولیه و مدیریت بهره‌برداری خواهد کرد که شامل پیش‌بینی رفتار رسوبی مخزن، پیش‌بینی نیازهای سازه‌ای، کمک به تنظیم دستورالعمل‌های اجرایی مدیریت رسوب و بهینه‌سازی عملیات تخلیه رسوب در زمان بهره‌برداری است. طی دو دهه اخیر مطالعات زیادی جهت کاربرد مدل‌های عددی در بررسی رسوب‌گذاری مخازن و انتقال رسوب در رودخانه‌ها و آبراهه‌های طبیعی انجام شده است که نتایج متفاوتی را درخصوص تطبیق مدل‌ها با شرایط واقعی در بر داشته است. برای مثال کریشناپان (۷) مقایسه‌ای بین دو مدل HEC-6 و MOBED-2 انجام داد که مقایسه وی شامل دو بخش بوده است، در بخش اول، تفاوت عمده بین دو مدل مذکور با بررسی معادلات پایه هر یک، بیان شد و در بخش دوم با مجموعه داده‌های ورودی یکسان، مقایسه‌ای بین قابلیت پیش بینی دو مدل برای شبیه‌سازی انتقال رسوب انجام شد.

داده‌های ورودی مربوط به بازه‌ای از رودخانه ساسکاچوان[1] جنوبی و سد گاردینار[2] بوده است. مقایسه پیش‌بینی دو مدل با داده‌های اندازه‌گیری شده نشان می‌دهد که قابلیت پیش‌بینی مدل MOBED-2 نسبت به مدل HEC-6 برتری دارد و مدل HEC-6 برای تعیین ضریب مانینگ و عرض بستر به واسنجی گسترده، سخت و زمان‌بر نیازمند است.

شوشتری و همکاران (۱۳) به مقایسه برخی از مدل‌های انتقال رسوب در رودخانه و مخزن پرداختند و چون مدل GSTARS3.0، به داده‌های زیادی به منظور واسنجی نیازمند نمی‌باشد، مدل مذکور را پیشنهاد کردند و برای ارزیابی تغییرات حجم ذخیره‌ی مفید آب مخزن دز از مدل عددی GSTARS3.0 استفاده کردند. فان (۴)، با مقایسه و بررسی نرم افزارهای گوناگون اعلام کرد که با توجه به این‌که GSTARS3.0 بر پایه لوله‌های جریان و نظریه کمینه قدرت جریان شکل گرفته است و برای محاسبه پروفیل سطح آب از رابطه انرژی و مومنتم استفاده می‌کند و همچنین با دخالت

1- Saskatchewan
2- Gardinar

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-10-15]

دادن مفهوم روندیابی رسوب با نسبت اندازه ذرات، به‌کارگیری مفاهیم تشکیل و تخریب یک لایه حفاظتی[1]، تعدیل عرض کانال و پایداری شیب کناری کانال، مدل عددی مذکور برای حل بسیاری از مسائل مهندسی در حالت شبه دو بعدی و نیمه پایدار، مناسب است. آبوود و همکاران (۱) به مقایسه برخی از مدل‌های یک بعدی رسوب‌گذاری پرداختند و دو مدل GSTARS و HEC-6 را به عنوان نرم‌افزارهای موفق در زمینه پیش‌بینی الگوی رسوب‌گذاری مخازن پیشنهاد کردند. حسن‌زاده و خانکندی (۶)، بعد از واسنجی مدل GSTARS3.0 به کمک داده‌های آبنگاری مخزن سد علویان مراغه، نمودارهای حجم- سطح- ارتفاع و نحوه رسوب‌گذاری در مقاطع طولی و عرضی برای حالت‌های بستر اولیه، هیدروگرافی کرده و نتایج حاصل از تحلیل پدیده‌ی رسوب‌گذاری به کمک مدل برای یک دوره‌ی ۹ ساله کالیبره و سپس برای یک دوره‌ی ۵۰ ساله ترسیم و مورد ارزیابی قرار دادند. رنگین‌کمان و همکاران (۱۲)، با توسعه‌ی یک مدل کامپیوتری و با بهره‌گیری از مدل GSTARS3.0 به عنوان یک زیر برنامه، امکان شبیه‌سازی دراز مدت فرآیند رسوب‌گذاری و رسوب‌شویی در شرایط مختلف بهره‌برداری از مخزن با دقت قابل قبول را فراهم کردند. مدل‌های عددی در مقایسه با دیگر روش‌ها از نظر اقتصادی مقرون به صرفه‌تر هستند. در این مقاله به منظور بررسی روند رسوب‌گذاری مخزن سد شهید رجایی از مدل شبه دوبعدی GSTARS3.0 که یکی از پرکاربردی ترین مدل‌های بکار رفته در مسائل رسوبی مخازن سدها می‌باشد، استفاده شده است.

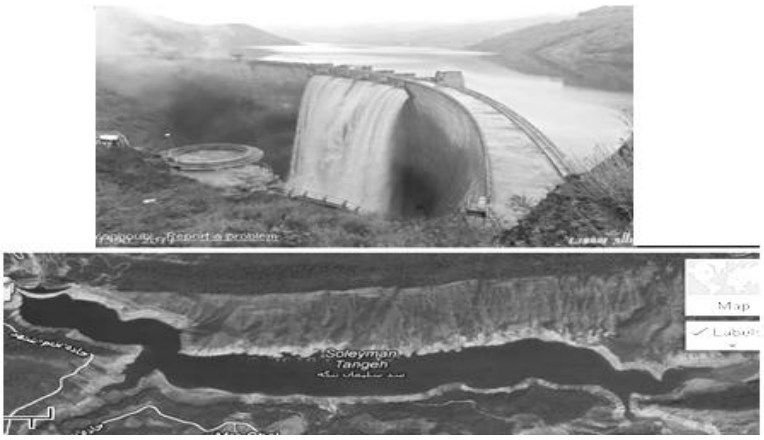
مواد و روش‌ها

مخزن سد شهید رجایی

سد بتنی دو قوسی شهید رجایی که از آن با عنوان سد سلیمان تنگه نیز یاد می‌شود در ۴۵ کیلومتری جنوب غربی ساری در جاده ساری به سمت سمنان بعد از روستای تاکام و در نزدیکی روستاهایی چون ورکی و افراچال در منطقه‌ای کوهستانی و سرسبز واقع شده است (شکل ۱). مخزن این سد دارای ظرفیت مفید ۱۶۰ میلیون متر مکعب می‌باشد. طول دریاچه این مخزن ۸۵۰۰ متر و مساحت آن ۵۲۰ هکتار می‌باشد. این سد دارای یک شاخه‌ی اصلی بنام سفیدرود و دو شاخه فرعی که به ترتیب اهمیت در آورد دبی و رسوب بنام‌های شیرین رود و دوآب می‌باشد. اهداف اصلی احداث این سد، تامین آب کشاورزی اراضی دشت تجن، کنترل طغیان و جلوگیری از خسارات ناشی از سیل، تامین آب آشامیدنی ساکنین محدوده طرح و تولید برق می‌باشد (۱۰).

1- Armoring layer

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-10-15]



شکل ۱- نمایش مخزن سد شهید رجایی و دو شاخه فرعی آن.

معرفی مدل GSTARS3.0 و معادلات حاکم

مدل کامپیوتری GSTARS3.0[1] مدل تعمیم یافته لوله جریان برای شبیه‌سازی رودخانه‌های آبرفتی است که توسط گروه هیدرولیک رودخانه و رسوب‌گذاری مرکز خدمات فنی USBR[2] تهیه شده است. مدل مذکور توانایی شبیه‌سازی شرایط جریان به روش نیمه دوبعدی و شبیه‌سازی تغییرات هندسی کانال به روش نیمه سه بعدی را دارد و برای حل مسائل پیچیده‌ی مهندسی رودخانه در جایی که محدودیت های اطلاعات و منابع وجود دارد می تواند مورد استفاده قرار گیرد. در مدل GSTARS3 برای محاسبه پروفیل سطح آب از هر دو رابطه ممنتم و انرژی استفاده می‌شود. این ویژگی به برنامه اجازه می دهد تا محاسبات پروفیل سطح آب را در ترکیبی از رژیم فوق بحرانی و زیر بحرانی انجام دهد. در این مدل از فرضیه لوله جریان استفاده می شود که این فرض در محاسبات روندیابی رسوب مورد استفاده قرار می گیرد و سبب می‌شود متغیرها در راستای عرضی مقاطع عرضی به روش نیمه دوبعدی محاسبه شود. محاسبات روندیابی رسوب با در نظر گرفتن برخی فرضیات ساده سازی شده و بر اساس رابطه زیر انجام می گیرد:

$$\eta \frac{\partial A_d}{\partial t} + \frac{dQ_s}{dx} = q_{lat} \qquad (۱)$$

که در آن، η حجم رسوبات در واحد حجم لایه بستر، A_d حجم رسوبات بستر در واحد طول، Q_S دبی حجمی رسوب و q_{lat} جریان رسوب جانبی، می‌باشد. مدل از تفاضلات محدود و روش صریح برای حل رابطه پیوستگی رسوب استفاده می‌کند (۱۶، ۱۷، ۱۸). از تئوری حداقل مجموع قدرت جریان برای محاسبه تعادل بین تغییرات عمق و عرض آبراهه در این مدل استفاده شده است و به‌کارگیری این تئوری به آبراهه این اجازه را می دهد که به عنوان یک متغیر مجهول عمل کند. در GSTARS3.0 از فرضیه حداقل شدت افت انرژی به عنوان نقطه شروعی برای بدست آوردن رابطه مستقل اضافی استفاده می‌گردد. بر اساس فرضیه حداقل شدت افت انرژی، وقتی که یک سیستم بسته و مستهلک کننده

1- Generalized Stream Tube for Alluvial River Simulation
2- U.S. Bureau of Reclamation

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-10-15]

انرژی به حالت تعادل دینامیکی خود می رسد، شدت افت انرژی آن باید در حداقل مقدار خود باشد.

$$¤ = ¤_w + ¤_z = \min \qquad (۲)$$

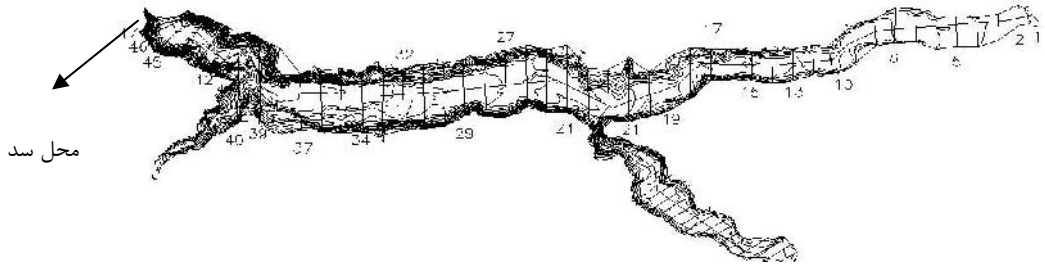
که ¤ شدت کل افت انرژی، $¤_w$ شدت افت انرژی ناشی از حرکت آب و $¤_z$ شدت افت انرژی ناشی از حرکت رسوبات می باشد. اگر سیستم در تعادل دینامیکی نباشد، شدت افت انرژی آن حداقل نمی باشد ولی تعدیل آن در جهتی است که افت انرژی خود را به حداقل رسانده و به تعادل برسد (۱۹، ۲۰).

نحوه ساخت مدل

در مطالعه مخزن سد شهید رجایی با استفاده از مدل GSTARS، داده‌های فایل ورودی در سه بخش ژئومتری، هیدرولوژی و رسوب قرار می‌گیرند که برای داده های ژئومتری از نقشه های توپوگرافی مخزن سد با مقیاس ۱/۱۰۰۰۰ و نقشه های ۱/۲۰۰۰ توپوگرافی مخزن در حالت هیدروگرافی پس از گذشت ده سال از آبگیری سد، استفاده شد.

داده‌های هیدرولوژی شامل دبی ماهانه ورودی به مخزن و تراز متوسط ماهانه مخزن در فاصله زمانی بهره‌برداری سد تا هیدروگرافی مخزن (برای تعریف شرایط مرزی) و درجه حرارت متوسط آب می‌باشد و داده های رسوبی شامل دبی رسوب و دبی آب ورودی به مخزن، دانه بندی رسوبات بستر در مقاطع مختلف و درصد رسوبات معلق ورودی برای کلاس بندی‌های تعیین شده ذرات می‌باشد.

برای معرفی هندسه مخزن به طول تقریبی ۸۵۰۰ متر، از ۴۷ مقطع به فاصله ۱۸۰ متر استفاده شد (شکل ۲). برای سهولت در شبیه‌سازی، از مدل کردن هندسی شاخه‌های فرعی صرف نظر شد. دو شاخه‌ی فرعی شیرین‌رود و دوآب بصورت جریان جانبی و در دو فایل جداگانه تعریف و سپس به مدل معرفی شدند.



شکل ۲- محل مقاطع بررسی شده مخزن سد شهید رجایی.

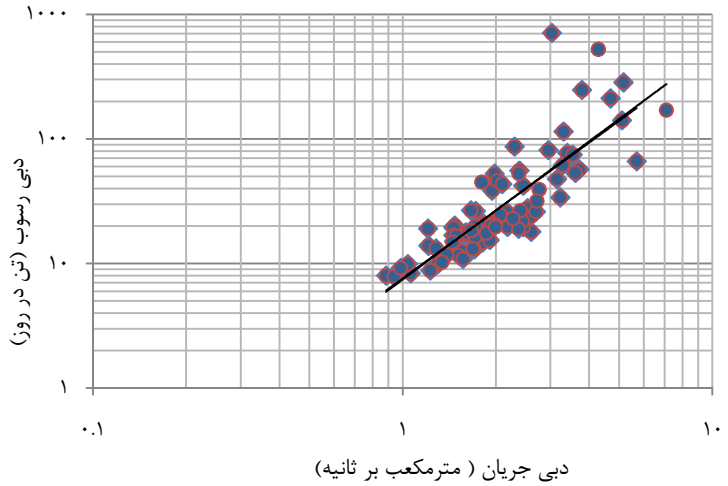
برای تعیین رابطه دبی آب ورودی به مخزن و دبی رسوبات برای شاخه اصلی از آمار ایستگاه هیدرومتری پروریج آباد واقع در ورودی مخزن، استفاده شد (شکل ۳) و برای شاخه‌های فرعی شیرین رود و دوآب به ترتیب آمار ایستگاه‌های علی‌آباد و دوآب بکار برده شدند. دبی رسوب به صورت تابعی از دبی جریان با توجه به داده‌های آماری موجود در

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-10-15]

شاخه اصلی به شرح زیر استخراج و به مدل معرفی شد.

$$Q_s = 8.432\ Q_w^{1.982} \quad R^2 = 0.72 \qquad (۳)$$

استفاده از رابطه فوق با درجه‌ی آزادی ۸۰ و ضریب همبستگی ۰/۸۴۸۵ در دو سطح معنی‌داری ۱٪ و ۵٪، بر اساس گزارش مهدوی (۹) مورد تایید قرار گرفت.



شکل ۳- منحنی دبی سنجه رسوبات در شاخه اصلی

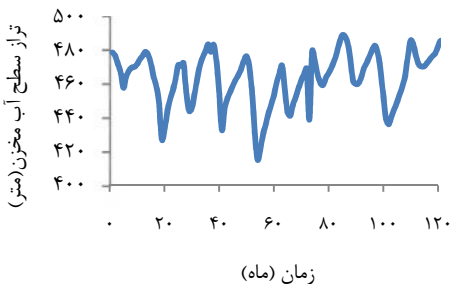
برای شاخه‌های فرعی نیز مقادیر دبی ماهانه و دبی رسوب متناظر، در فایل‌های جداگانه تهیه و به مدل معرفی شدند.

شرایط مرزی

در این مطالعه برای شرایط مرزی از داده‌های دبی ماهانه ورودی و تغییرات ماهانه تراز آب مخزن استفاده شد (شکل ۴).

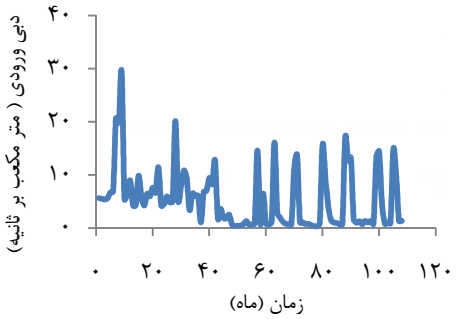
در شکل‌های ۵، ۶ و۷ با توجه به داده‌های آماری، دبی جریان ورودی نسبت به زمان برای هر سه شاخه نمایش داده شد.

دانه‌بندی مواد بستر در دو مقطع به فاصله‌های ۸۵۰۰ متر و ۵۲۰۰ متر از سد با استفاده از منحنی دانه‌بندی بستر و در ده کلاس و همچنین دانه بندی مواد معلق تهیه و به مدل معرفی شد.

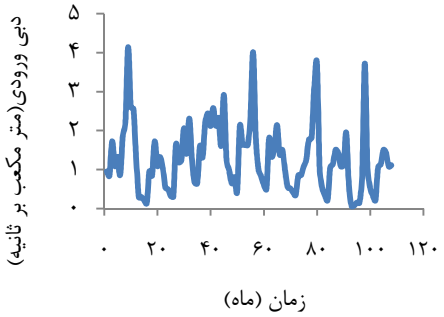


شکل ۴- تغییرات سطح آب مخزن نسبت به زمان

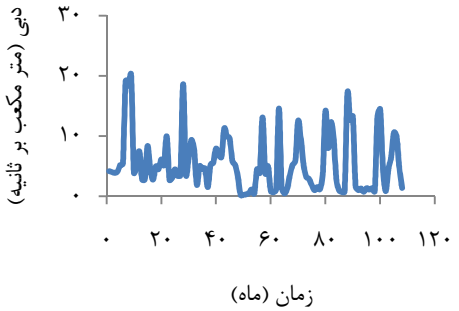
[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-10-15]



شکل ۵- تغییرات دبی ورودی سد شهید رجایی نسبت به زمان در شاخه اصلی



شکل ۶- تغییرات دبی در شاخه دوآب



شکل ۷- تغییرات دبی جریان در شاخه شیرین رود

نتایج و بحث

برای واسنجی مدل مذکور از نقشه‌های هیدروگرافی مخزن که بعد از حدود ده سال از زمان بهره‌برداری تهیه گردیده بود، استفاده شد. همچنین برای واسنجی ضریب زبری، مقایسه‌ای بین تراز آب بالادست مخزن در ایستگاه هیدرومتری پروریج آباد با تراز آب حاصل از اجرای مدل GSTARS صورت گرفت که بعد از واسنجی مدل، ضریب زبری ۰/۰۴ (با فرض زبری ثابت در بستر آبراهه اصلی و سواحل آن در کل مقاطع) پیشنهاد شد. همچنین برای انتخاب تابع انتقال رسوب مناسب و انتخاب تعداد لوله‌ی جریان که مهم ترین پارامترها در کالیبره مدل می‌باشند،

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-10-15]

۸ مدل انتخاب و با هم مقایسه شدند. رابطه یانگ-۱۹۷۹ و تعداد ۳ لوله جریان در این مطالعه که تطابق بهتری با هیدروگرافی داشته‌اند به عنوان بهترین پارامترهای ورودی شناخته شدند. در مبحث رسوب‌گذاری بیشترین عامل تاثیرگذار بر نتایج، تابع انتقال رسوب می‌باشد.

میزان خطای استاندارد STE برای هریک از توابع انتقال رسوب از فرمول زیر محاسبه شد و در جدول (۱) آورده شده است.

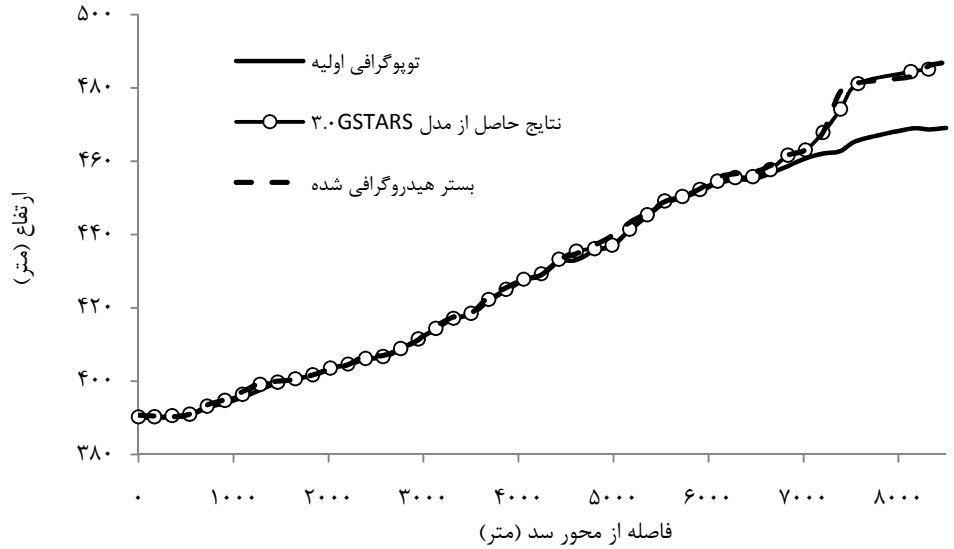
$$STE = \left(\frac{1}{n-1}\sum_{n=1}^{n}(X_{oi} - X_{Ti})^2\right)^{0.5} \quad (۴)$$

که در آن X_{oi} و X_{Ti} به ترتیب مقادیر تجربی و تئوری سری داده‌های هیدرولوژیکی و n تعداد سال‌های آماری می‌باشد (۸).

جدول ۱- میزان خطای STE برای هریک از توابع انتقال رسوب

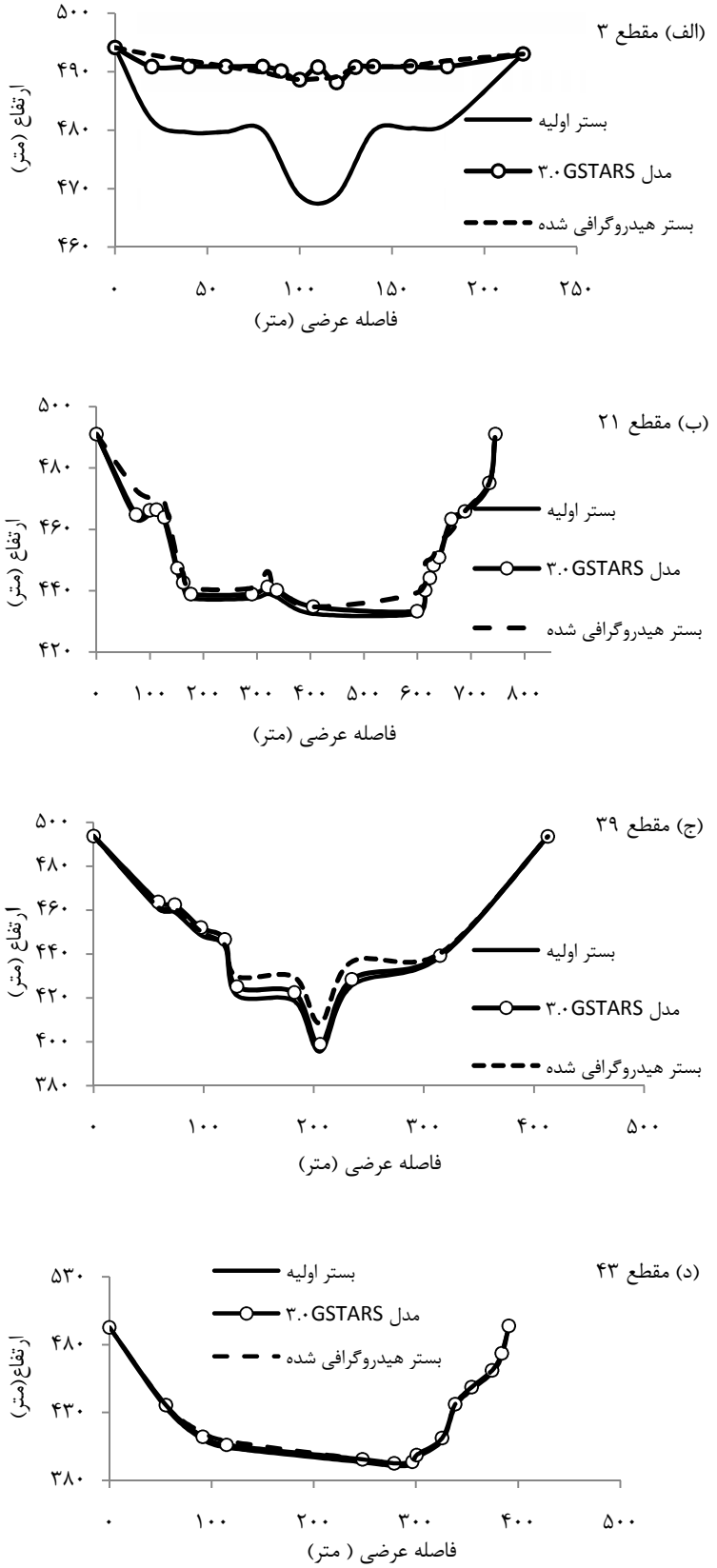
رابطه انتقال رسوب	لارسن	انگلوند و هانسن	ایکرز و وایت	یانگ ۱۹۷۳	یانگ ۱۹۷۹	ایکرز و وایت اصلاح شده	دوبوی	لارسن اصلاح شده
STE	۲/۷۰	۷/۵۲	۵/۷۱	۲/۴۸	۱/۰۵	۳/۵۴	۱/۷۳	۲/۱۳

در شکل ۸ پروفیل طولی رسوب در مخزن سد و در شکل ۹ پروفیل عرضی رسوب در مقاطع مختلف برای حالت بستر اولیه، هیدروگرافی شده و نتایج حاصل از مدل GSTARS3.0 نشان داده شد. مطابق شکل ۸ مواد درشت دانه با تشکیل دلتا در بالادست مخزن و در مصب رودخانه ته نشین می‌شوند و مواد ریزدانه با جریان به پایین دست فرستاده می‌شوند و در جایی که مقطع عریض می‌شود ته نشین می‌گردند.



شکل ۸- پروفیل طولی رسوبگذاری مخزن شهید رجایی بعد از گذشت ده سال از زمان بهره برداری

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-10-15]



شکل ۹- تغییرات پروفیل عرضی مخزن سد شهید رجایی ناشی از رسوب‌گذاری در مقاطع ۳، ۲۱، ۳۹ و ۴۳

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-10-15]

در محدوده شاخه فرعی شیرین رود به دلیل ورود رسوبات شیرین رود به مخزن در فاصله ۴۶۱۰ متری از سد رسوبگذاری تا محدوده‌ی ۴۰۰ متری افزایش می یابد.

همچنان که در مقاطع عرضی مشخص است هرچه به محدوده سد نزدیک‌تر می شویم از شدت رسوب‌گذاری کاسته و همچنین رسوبات ریزدانه‌تر می‌شوند. مقطع ۲۱ مربوط به مقاطعی از مخزن است که شاخه شیرین رود بر رسوب‌گذاری آن تاثیرگذار بوده که افزایش رسوب‌گذاری در آن مشهود است. مقطع ۳۹ در فاصله ۱۴۶۵ متری از سد واقع شده که مربوط به اتصال شاخه فرعی دوآب به رودخانه تجن است که افزایش رسوب‌گذاری را نشان می دهد. در مقطع ۴۳ که در فاصله ۷۲۳ متری از سد واقع شده مشخص است که از مقدار رسوب‌گذاری در پای سد به شدت کاسته شده است. با توجه به مقادیر خطای STE (جدول ۲)، مشهود است در مقاطعی که در محدوده تشکیل دلتا (مقاطع ۱ الی ۱۷) و نزدیک بدنه سد (مقاطع ۴۵ الی ۴۷) قرار دارند. نتایج حاصل از مدل با نتایج هیدروگرافی اندکی اختلاف نشان می دهد که قابل قبول است و بدان معنی است که مدل تطابق خوبی با حالت هیدروگرافی نشان می دهد.

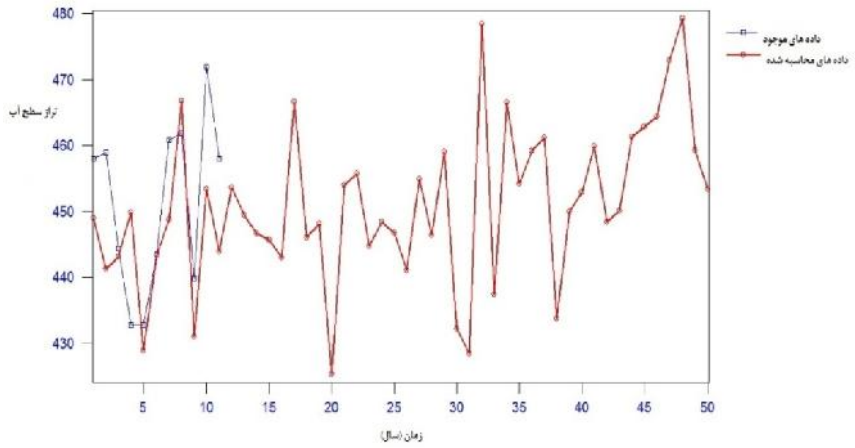
جدول ۲- محاسبه خطای STE بین نتایج مدل با تابع انتقال یانگ و نتایج آبنگاری در مقاطع عرضی

شماره مقطع	فاصله مقطع از سد (متر)	فاصله عرضی مقطع (متر)	تراز بستر بعد از ده سال با مدل Gstars3.0 (متر) در نقطه واقع در خط القعر	تراز بستر بعد از ده سال با داده‌های هیدروگرافی (متر)	خطای STE
۱	۸۵۰۰	۱۰۰	۴۸۸/۳۶	۴۸۷/۰۰	۱/۱۰
۳	۸۱۳۰	۲۲۱	۴۸۴/۴۰	۴۸۳/۱۰	۱/۰۱
۵	۷۷۶۰	۲۱۵	۴۸۳/۲۳	۴۸۱/۶۲	۲/۳۱
۷	۷۳۹۰	۲۷۵	۴۷۴/۲۱	۴۷۹/۱۰	۱/۱۴
۹	۷۰۲۰	۲۳۰	۷۶۳/۰۹	۴۶۳/۱۰	۱/۰۵
۱۱	۶۶۵۰	۲۶۸	۴۵۷/۷۰	۴۵۸/۸۱	۱/۷۳
۱۳	۶۲۸۰	۲۵۱	۴۵۵/۵۴	۴۵۶/۵۹	۱/۰۶
۱۵	۵۹۱۰	۲۹۹	۴۵۲/۲۸	۴۵۲/۵۰	۱/۲۹
۱۷	۵۵۴۰	۲۲۴	۴۴۹/۱۴	۴۴۹/۰۰	۲/۵۴
۱۹	۵۱۷۰	۴۲۸	۴۴۱/۴۱	۴۴۳/۳۰	۴/۳۹
۲۱	۴۸۰۰	۳۸۹	۴۳۶/۱۱	۴۳۷/۱۰	۴/۱۴
۲۳	۴۴۲۵	۷۴۵	۴۳۳/۲۶	۴۳۳/۲۰	۳/۷۳
۲۵	۴۰۵۵	۴۹۲	۴۲۷/۷۸	۴۲۷/۸۰	۲/۴۲
۲۷	۳۶۸۵	۵۵۰	۴۲۲/۲۸	۴۲۳/۰۰	۱/۸۵
۲۹	۳۳۱۵	۴۶۵	۴۱۷/۱۲	۴۱۷/۵۰	۲/۴۲
۳۱	۲۹۴۵	۵۲۸	۴۱۱/۵۰	۴۱۱/۳۰	۲/۲۷
۳۳	۲۵۷۵	۴۹۸	۴۰۶/۶۶	۴۰۷/۰۰	۱/۹۸
۳۵	۲۲۰۵	۴۹۳	۴۰۴/۶۴	۴۰۴/۵۰	۲/۵۰
۳۷	۱۸۲۳	۴۹۶	۴۰۱/۶۹	۴۰۱/۷۰	۴/۰۴
۳۹	۱۴۶۵	۷۱۹	۳۹۹/۷۰	۴۰۰/۰۰	۴/۹۳
۴۱	۱۰۹۵	۴۱۲	۳۹۶/۳۸	۳۹۷/۱۰	۳/۰۰
۴۳	۷۲۳	۴۱۸	۳۹۳/۱۴	۳۹۳/۵۰	۲/۵۰
۴۵	۳۵۳	۴۵۰	۳۹۰/۵۸	۳۹۰/۳۰	۱/۲۰
۴۷	۰	۴۴۶	۳۹۰/۲۲	۳۹۰/۷۰	۱/۱۵

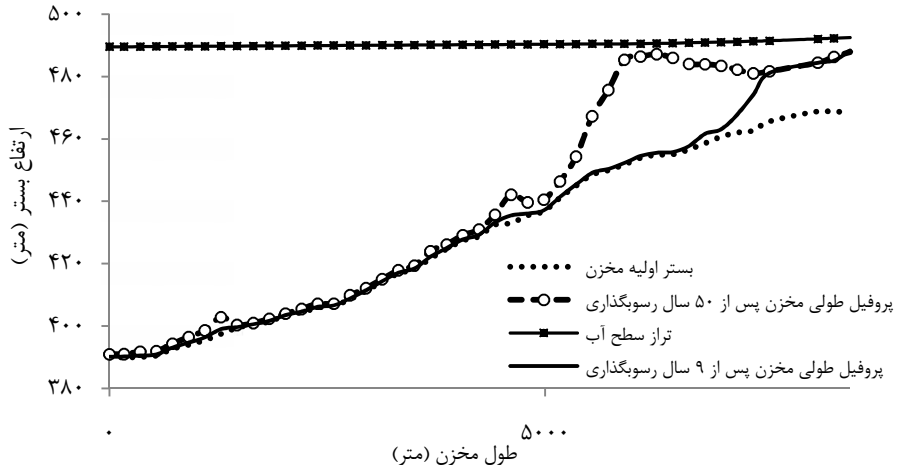
[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-10-15]

ولی در محدوده‌ی شاخه‌های فرعی این اختلاف بیشتر می‌شود. برای پیش‌بینی الگوی رسوبی مخزن بعد از گذشت ۵۰ سال از زمان بهره‌برداری سد، تراز سطح آب مخزن، داده‌های ورودی دبی و دبی سنجه برای سه شاخه با مدل SAMS2007 ایجاد و برای شبیه‌سازی به مدل معرفی شد (۱۴). برای نمونه در شکل ۱۰ داده‌های تراز سطح آب مخزن بعد از گذشت ۵۰ سال از زمان بهره‌برداری برای ماه مرداد نشان داده شده است.

پیشروی دلتای رسوبی بعد از گذشت ۵۰ سال از زمان بهره برداری مخزن در شکل ۱۱ نشان داده شده است.



شکل ۱۰- داده‌های تراز سطح آب مخزن بعد از گذشت ۵۰ سال از زمان بهره‌برداری برای ماه مرداد



شکل ۱۱- تغییرات پروفیل طولی ناشی از رسوبگذاری در مخزن سد شهید رجایی پس از ۵۰ سال

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-10-15]

قسمت اعظم رسوبات در فاصله ۶ کیلومتری از سد با تشکیل دلتای نهشته می‌شوند. همچنین نتیجه محاسبات، حجم رسوبات مخزن را پس از طی ۵۰ سال، ۲۱ میلیون مترمکعب، نشان می دهد. بدین معنی که پس از طی ۵۰ سال از زمان بهره‌برداری این مخزن حدود ۲۲ درصد از حجم مفید آن کاسته می‌شود. با توجه به خطای متوسط ۱۹٪ برای شبیه‌سازی رسوب‌گذاری مخزن سد شهید رجایی با استفاده از مدل GSTARS3.0 و در مقایسه با کار دیگران که میانگین خطای ۷ الی ۲۱٪ را به‌دست آورده‌اند، شبیه‌سازی سد شهید رجایی با مدل مذکور، قابل قبول تلقی می‌شود (۲، ۶، ۱۲). در انتها می‌توان اذعان داشت که مدل رسوبی GSTARS3.0 به علت شبه‌دو بعدی بودن، تطابق بهتری را نسبت مدل‌های یک بعدی نشان می‌دهد. ولی به دلیل محدودیت آن در شاخه‌های فرعی پیشنهاد می‌شود، برای مدل کردن بهتر شاخه‌های فرعی مقایسه‌ای با نتایج GSTARS4.0 نیز صورت گیرد.

منابع

1. Abood, M.M., T. Mohammed, A.H. Ghazali and A. Rodzi Mahmud. 2009. Review study and assessment for sedimentation models applied to impounding reservoirs. Journal of Engineering and Applied Sciences, 4(15): 152-160.
2. Alami, M.T., R. Marsuli and A.H. Asadyani. 2008. Application and evaluation GSTARS3.0 model in simulation of reservoir sedimentation, Case Study: Karde Dam. 4th Congress of Civil Engineering, Tehran, Iran, 8 pp. (In Persian)
3. Atkinson, E. 1995. A numerical model for predicting sediment exclusion at intakes, HR Wallingford, 56 pp.
4. Fan S.S. 1988. twelve selection computer stream sedimentation models developed in the United States. Interagency Advisory Committee on Water Data, Subcommittee on Sedimentation, 1st edition Federal Energy Regulatory Commission, Washington, D.C, 552 pp.
5. Frentte, M. and P.Y. Julien. 1996. Physical processes governing reservoir sedimentation processes. International conference on reservoir sedimentation, Vol. 1. 121-142 pp. Colorado State University, Fort Collins, Colorado.
6. Hassanzade, Y. and A. Khankenedy. 2008. Comparison of a mathematical sedimentation model results and hydrographically measured data in Alavian dam reservoir. The Journal of Water and Wastewater, 67: 47-48. (In Persian)
7. Krishnappan, B.G. 1985. Comparison of MOBED-2 and HEC-6 river flow models, Canadian Journal of Civil Engineering, 12: 464-471.
8. Lapin, L.L. 1983. Probability and statistics for modern engineering, 2nd edition, PWS-KENT Publishing Company Boston, 810 pp.
9. Mahdavi, M. 2006. The applied hydrology, Volume 1, 6th edition, Tehran University press. 227 pp. (In Persian)
10. Mazandaran Regional Water Co. 2008. The report of Shahid Rajayee dam, 102: 064-071. (In Persian)

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-10-15]

11. Palmieri, A., F. Shah, G.W. Annandale and A. Dinar. 2003. Erosion and sedimentation by high-energy density turbidity flows on steep slopes. The Journal for Erosion and Sediment Control Professionals, 13: 102-116.
12. Ranginkaman, M.H., M. Ghomeishi and M. Mahmoudian. 2009. Development of a computer model for simulating long-term investments and deposits of sediment laundering flow in reservoirs. The 8th Conference of Hydraulic, 9 pp. Tehran, Iran. (In Persian)
13. Shooshtari, M.M, A. Adib and M.H. Ranginkaman. 2010. Evaluation of variation of useful storage of reservoir in stream dams by GSTARS3 software, African Journal of Agricultural Research, 5(1): 60-69.
14. Sveinsson, O.G.B., J. D. Salas, W.L. Lane and D.K. Ferevert. 2007. User's manual for SAMS2007, U.S. Department of Civil and Environmental Engineering, Computing Hydrology Laboratory and Denver, Colorado, USA, 123 pp.
15. Tolouee, E. 2005. Design and operation of dams and reservoir in point of view of deposition. The first Conference of Deposition Management, 97: 15-18. Ahwaz, Iran. (In Persian)
16. Yang, C.T. and F.J.M. Simoes. 1998. Application of Gstars to River Sedimentation Studies. 9th ISAS, Civil Engineering Department, Colorado State University, Fort Collins, 8 pp.
17. Yang, C.T. and F.J.M. Simoes. 1998. Simulation and prediction of river morphologic changes using Gstars2.0. US-China Workshop on Advanced Computational Modeling in Hydroscience & Engineering, Oxford, Mississippi, USA, 11 pp.
18. Yang, C.T. and F.J.M. Simoes. 2002. Numerical model for reservoirs sedimentation, Civil Engineering Department, Colorado State University, Fort Collins, 139: 018-032.
19. Yang, C.T. and F.J.M. Simoes. 2002. User's manual for GSTARS3, U.S. Bureau of Reclamation, Technical Service Center, and Denver, Colorado, USA, 345 pp.
20. Yang, C.T. and F.J.M. Simoes. 2006. Generalized sediment transport models for alluvial rivers and reservoir. US-China Workshop on advanced computational modeling in hydroscience & engineering, Oxford, Mississippi, USA, 10 pp.

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-10-15]

Investigation of Sedimentation Pattern in the Shahid Rajaee Reservoir Using GSTAR3.0 Numerical Model

Hoda Meskar[1] and Ramin Fazloula[2]

1- MSc Student, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University
2- Assistant Professor, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University (Corresponding author: r.fazlola@sanru.ac.ir)
Received: May 30, 2012 Accepted: September 8, 2012

Abstract

Sedimentation problem in the reservoirs is one of the important effects after dam's construction. This phenomenon encounters optimum utilization of the volume stored in the dam's reservoir with some problems. Moreover sedimentation affects on the energy production, navigation, turbine's operation, production and supplying the water and dam's safety. In this research, for predicting of the sedimentation trend of Shahid Rajaee Reservoir, the GSTARS3.0 model was used due to half 2D and semi stable properties, ability for simulation of the sediment transport in imbalance status and using wide range of sediment transport equations. After calibration model with 10 years hydrography data of the Shahid Rajaee Reservoir, the amount and manner of sedimentation along the longitudinal and cross sections of the reservoir was investigated. The calibration results showed that the selecting Yang (1979) model as sediment transport formula, 3 number of flow pipe and roughness coefficient of 0.04, the model has the best agreement with real satiation. Also simulation results of the model shown that after 50 years from dam operation, the volume of the deposited sediments in the reservoir will reach to 21MCM that will occupy about %22 of the useful volume of the reservoir.

Keywords: Shahid Rajaee Dam, Simulation, Sedimentation, Dam Reservoir, GSTARS3.0

[Downloaded from jwmr.sanru.ac.ir on 2026-10-15]