

بررسی الگوی رسوب گذاری رودخانه و مخزن سد کمال صالح با استفاده از مدل عددی GSTARS4.0

جواد مظفری*: دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی و محیط زیست، دانشگاه اراک، اراک

نوع مقاله: پژوهشی

تاریخچه مقاله (تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۵/۰۱ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۸/۱۷)



20.1001.1.22517812.1401.12.2.5.2

چکیده

با توجه به اهمیت کنترل و ذخیره منابع آب‌های سطحی و تأثیر رسوب گذاری مخازن سدها بر آن، در این پژوهش به بررسی عملکرد رسوب گذاری در رودخانه و سد کمال صالح با مدل Gstars4.0 پرداخته شد. برای این کار، بیش از ۳۵ کیلومتر از طول رودخانه بررسی شد. همچنین برای اجرای مدل و بررسی رسوب-گذاری مخزن، دو حالت حدی در نظر گرفته شد: یکی بیشترین مقدار سطح آب در سد (مخزن پر) و دیگری مخزن نیمه پر. سپس نرم افزار برای پنجاه سال اجرا شد و نتایج نشان داد که در حالت مخزن پر و نیمه پر، رسوب گذاری در مکان‌های متفاوتی روی خواهد داد. در حالت مخزن پر نیز رسوب گذاری در فاصله دورتری از سد و در انتهای مخزن انجام شد که دلیل این امر، عمق بیشتر آب و در نتیجه سرعت کمتر آن در حرکت به سمت سد است. در این حالت، جلوی جبهه رسوب گذاری در حدود هفت هزار متر با سد فاصله دارد؛ این در حالی است که برای مخزن نیمه پر، فاصله جبهه جلویی رسوب گذاری با دیواره سد تقریباً ۲۵۰۰ متر است. طولی از رودخانه که رسوب گذاری - در حالت مخزن پر و نیمه پر - در آن انجام می‌شود، به ترتیب ۳۲۴۳ و ۳۲۲۰ متر و حداکثر عمق رسوب گذاری به ترتیب، ۱۴/۴۶ و ۱۲/۷۹ متر است. بنابراین، به نظر می‌رسد که در طول رسوب گذاری و ارتفاع آن تفاوت چندانی وجود ندارد و فقط مکان رسوب گذاری جا به جا شده است که در مخزن سد نیمه پر، رسوب گذاری به بدنه سد نزدیک تر است. در عمل، جبهه رسوب گذاری می‌تواند با توجه به وضعیت بهره‌برداری در بین این دو حالت قرار گیرد؛ بنابراین، عملکرد بهره‌برداری از مخزن می‌تواند بر میزان رسوب گذاری مخزن و عمر مفید آن تأثیر زیادی داشته باشد.

واژگان کلیدی: پروفیل طولی رودخانه، رسوب گذاری، سد کمال صالح، شبیه‌سازی.

۱- مقدمه

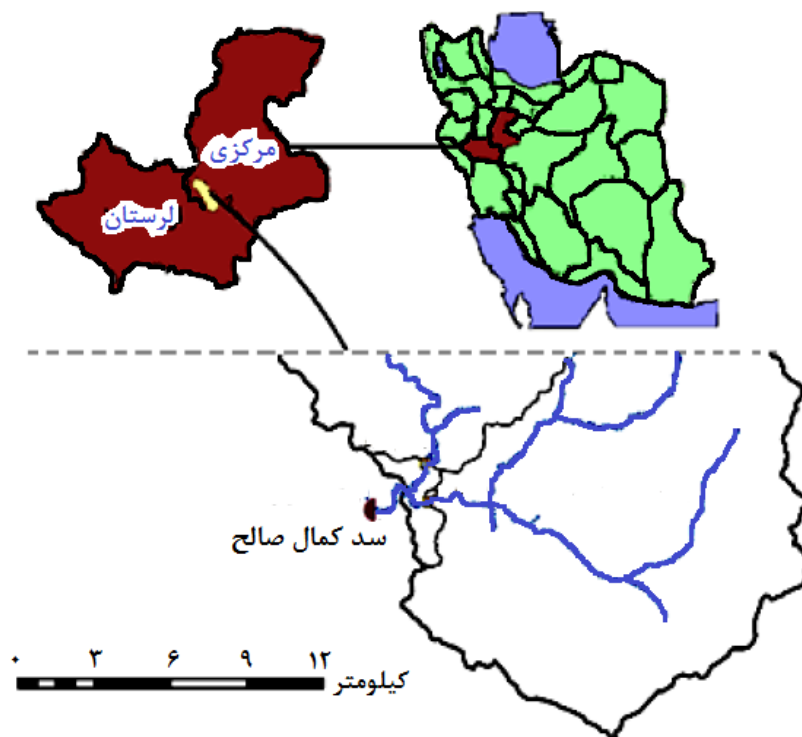
پیش‌بینی حجم مخازن سدها از رسوب، هزینه‌های زیادی را ایجاد می‌کند و می‌تواند به کاهش عملکرد و عمر بهینه مخازن سدها منجر شود. یکی از روش‌های تعیین عمر بهینه مخازن سدها، شبیه‌سازی رسوب‌گذاری آنها است. Zarrati و Etaat (2001)، با مقایسه قابلیت‌های مدل GSTARS 2.0 با مدل ریاضی FLUVIAL12 نتیجه گرفتند که دقت نتایج مدل GSTARS 2.0 در رودخانه‌های در حالت رژیم با بستر ریزدانه و درشت‌دانه، بهتر از FLUVIAL12 است. Hassanzade و Khankenedy (2008)، نتایج حاصل از کاربرد مدل Gstars3.0 را در رسوب‌گذاری مخزن سد علویان مراغه با داده‌های حاصل از آب‌نگاری مخزن مقایسه کردند و نتیجه گرفتند که این مدل در بررسی روند رسوب‌گذاری در مخزن، تطابق مناسبی نشان می‌دهد. Alami و همکاران (2008) با استفاده از مدل GSTARS3.0 و HEC-6، رسوب‌گذاری را در مخزن سد کارده شبیه‌سازی کردند. طبق نتایج، مدل GSTARS3.0 با معادله لارسن در مقایسه با محاسبات HEC-6، تطابق بهتری با داده‌های آب‌نگاری مخزن سد داشت. Houshmandzadeh و همکاران (2008) با مقایسه دو مدل HEC-6 و GSTARS3.0، به بررسی وضعیت رسوب‌گذاری سد کرخه پرداختند و دریافتند که مدل GSTARS-3 و تابع انتقال رسوب یانگ به دلیل لحاظ کردن بارشسته در محاسبات، نسبت به مدل HEC-6 برتری دارد. Francisco و همکاران (2008)، کاربرد مدل GSTARS3.0 را در حل مسائل رسوب مخازن و رودخانه بررسی کردند و نتایج از عملکرد مناسب مدل GSTARS حاکی بود. Shooshtari و همکاران (2010)، از مدل GSTARS3.0 برای ارزیابی تغییرات حجم ذخیره مفید آب مخزن سد استفاده کردند. Hassanzadeh و همکاران (2009) با استفاده از مدل GSTARS 2.0، الگوی رسوب‌گذاری را در مخزن سد در دست احداث زولاچای سلماس به دست آوردند و عمر مفید آن را برآورد کردند. Abood و همکاران (2009)، به مقایسه دو مدل HEC-6 و GSTARS به عنوان نرم‌افزارهای موفق در زمینه پیش‌بینی الگوی رسوب‌گذاری مخازن پرداختند. Qamashi و همکاران (2011)، وضعیت رسوب‌گذاری سد جیرفت را با استفاده از نرم‌افزار GSTARS3.0 بررسی کردند و دریافتند که به‌طور متوسط سالیانه حدود ۱/۲۳٪ از حجم اولیه مخزن کاسته می‌شود.

Hassanzadeh و همکاران (2011)، به بررسی الگوی رسوب‌گذاری در مخزن سد شهید مدنی پرداختند. نتایج شبیه‌سازی نشان داد که در ترازهای بالای مخزن، مدل GSTARS3.0 تطابق مطلوبی را با روش تجربی کاهش سطح نشان می‌دهد. Mohammadi و Ebrahimzadeh (2013)، به شبیه‌سازی رسوب‌گذاری مخزن سد ماکو با استفاده از مدل‌های ریاضی GSTARS 3.0 و MIKE 3 پرداختند. نتایج حاصل از این مدل‌سازی، مقدار انباشت رسوب در سد ماکو را با نتایج حاصل از هیدروگرافی مخزن سد، تقریباً مشابه نشان داد. Helber و همکاران (2013)، به شبیه‌سازی رسوب‌گذاری با استفاده از مدل WASA-SED در سد باراسونای اسپانیا پرداختند. نتایج نشان داد که این مدل برای شبیه‌سازی رسوب‌گذاری در مخازن سدهایی که در حوضه‌های آبخیز با فرسایش‌پذیری بالا قرار گرفته‌اند، از دقت مناسبی برخوردار است. علاوه بر مطالعات مذکور،

پژوهش‌های زیادی در زمینه کاربرد GSTARS انجام شده که در آنها به روند مناسب پیش‌بینی رسوب-گذاری توسط این مدل اذعان شده است (Bayazidi and Karami, & Ranjbarnejad et al, 2016). Emamgholizadeh و همکاران (2019) با استفاده از مدل Hec-Ras، میزان رسوب ورودی به مخزن سد شیرین‌دره را پیش‌بینی کردند. نتایج شبیه‌سازی برای مدت زمان صد سال نشان داد که در این مدت، تقریباً ۷۳/۲ میلیون مترمکعب رسوب در مخزن سد انباشته خواهد شد که با هشتاد درصد حجم اولیه سد برابر خواهد بود. Lai و همکاران (2019) به بررسی ظرفیت انتقال جریان و رسوب با مدل سه بعدی با استفاده از معادلات حاکم بر جریان و رسوب معلق، به ارائه الگوریتم راه حل بهبود یافته پرداختند. نتایج آنها نشان داد که مدل، با داده‌های تجربی مطابقت خوبی دارد. Khanjani و همکاران (2020) با نرم‌افزار GSTARS2.1، به بررسی انتقال رسوب و تغییرات بستر رودخانه یلفان سد اکباتان هم‌مدان پرداختند. بررسی تغییرات مقاطع عرضی با نتایج حاصل از شبیه‌سازی مدل، مطابقت قابل قبولی را نشان می‌دهد. همچنین نتایج حاصل از بررسی خط القعر در مدل، بیانگر افزایش میزان رسوب‌گذاری به طرف پایین‌دست و بالابودن میزان فرسایش و کف کنی در بستر رودخانه در بالادست است. Regmi و همکاران (2021) با نرم‌افزار Hec-Ras، به مدل‌سازی رسوب‌گذاری سد کارنالی در نپال پرداختند و مدل را برای دوره‌های ۱۰، ۲۰، ۳۰، ۵۰، ۷۵ و ۱۰۰ اجرا کردند. نتایج نشان داد که بیشترین مقدار رسوب‌گذاری در فاصله ۵۰ تا ۱۱۵ کیلومتری سد رخ داد. همچنین بیشترین عمق رسوب‌گذاری، به میزان ۱۲۴ متر در دوره صد ساله رخ داده است و ۳۲ درصد از گنجایش مخزن از دست خواهد رفت. هدف از این پژوهش، پیش‌بینی روند رسوب‌گذاری مخزن سد کمال‌صالح با در نظرگیری دو حالت مخزن پر و نیمه‌پر با نرم‌افزار GSTARS 4.0 است.

۲- منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز سد کمال‌صالح با مساحت ۶۵۵ کیلومترمربع، در جنوب غرب استان مرکزی و شمال شرق استان لرستان قرار دارد و جزء سرشاخه‌های اصلی رودخانه تیره لرستان به شمار می‌رود. حداکثر ارتفاع آبخیز ۲۹۶۰، حداقل ارتفاع ۱۸۴۰، ارتفاع متوسط ۲۱۵۷ متر و شیب متوسط آبخیز ۲/۸٪ است. سد کمال‌صالح با ظرفیت ۱۱۰ میلیون مترمکعب، از نوع خاکی سنگریزه‌ای و با هسته رسی، بر روی رودخانه تیره دوآب و در طول جغرافیایی ۱۵°۴۹' و عرض ۳۷°۳۲' احداث شده است. ارتفاع سد از بستر رودخانه ۸۵ متر، طول تاج ۷۶۲ متر و عرض سد ۱۲ متر است. شکل ۱، موقعیت جغرافیایی این سد را نشان می‌دهد.



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی سد کمال صالح

۳- مواد و روش

۳-۱- مدل ریاضی Gstars-4

مدل Gstars، مدل تعمیم یافته انتقال رسوب برای شبیه سازی رودخانه های آبرفتی است که از سری مدل های عددی برای شبیه سازی انتقال جریان آب و رسوب در رودخانه های آبرفتی به شمار می رود و در گروه هیدرولیک رودخانه و رسوب گذاری مرکز خدمات فنی USBR، توسط Yang و Simoes (۲۰۰۲) نوشته شده است. نسخه چهار نرم افزار Gstars، توسط Yang و Ahn (۲۰۱۱) ارائه شده است. در Gstars، محاسبات روندیابی بر پایه اصل بقای جرم رسوب صورت می گیرد. در جریان غیردائمی یک بعدی، معادله پیوستگی رسوب عبارت است از:

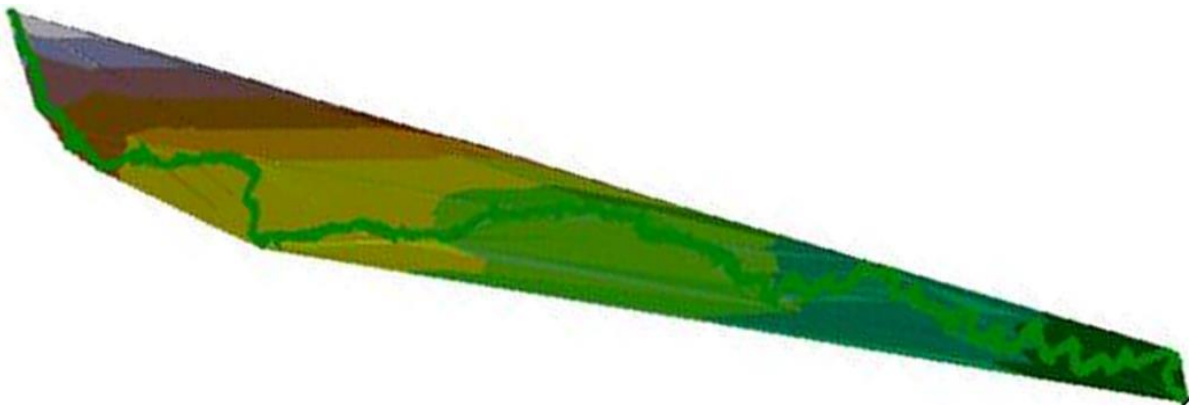
$$\frac{\partial Q_s}{\partial x} + \eta \frac{\partial A_d}{\partial t} + \frac{\partial A_s}{\partial t} - q_{lat} = 0 \quad \text{رابطه ۱}$$

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 است.

۳-۲- مراحل مدل‌سازی

الف) تهیه مقاطع عرضی

ابتدا نقشه TIN رودخانه تا مخزن، به طول ۳۵ کیلومتر با مقیاس ۱:۲۰۰۰ تهیه شد (شکل ۲).



شکل ۲: نقشه TIN رودخانه ورودی به مخزن سد کمال صالح

با توجه به نقشه TIN و به کمک نرم‌افزار ArcView، عوامل لازم مانند مقطع عرضی، سواحل، مسیر جریان و خط مرکزی، ترسیم و برای ورود به نرم‌افزار HEC-RAS خروجی گرفته شد. سپس از بخش گزارش HEC-RAS، به صورت فایل متنی برای استفاده در مدل GSTARS خروجی گرفته شد. در نهایت، پارامترهای مورد نیاز نرم‌افزار GSTARS وارد شد که عبارتند از:

NS: تعداد مقاطع عرضی و بیشترین تعداد نقاط به کار رفته شده در مقاطع عرضی، ST: موقعیت مکانی مقطع عرضی که فاصله از پایین‌ترین نقطه اجراست و تعداد نقاطی که مقطع عرضی را تشکیل داده است، ND: تعداد تقسیمات مقطع عرضی و فاصله آنها در عرض، XS: هندسه مقطع عرضی، RH: زبری هر بخش از مقطع عرضی، NT: تعداد لوله‌های جریان از یک تا پنج لوله، TL: شماره مقطع عرضی که دبی - اشل در آن مقطع اندازه‌گیری شده است، IT: تعداد تکرار روندیابی، SE: انتخاب شماره معادله رسوب مورد استفاده، SQ: دبی اشل، QS: رسوب بر حسب تن در روز، SF: تعداد کسرهای دانه‌بندی رسوب، SG: محدوده قطر کسر دانه‌بندی و جرم مخصوص خشک، NB: مقاطعی که در آنها دانه‌بندی داده شده است و BG: درصد هر کسر در دانه‌بندی.

با توجه به متغیر بودن میزان دبی در طول سال، وارد کردن یک مقدار ثابت برای آن، صحیح به نظر نمی‌رسد. برای حل این مسأله، مقدار دبی و رسوب در ایستگاه هیدرومتری برای سال‌های ۱۳۸۶ تا ۱۳۹۶ به نرم‌افزار وارد و برای پنج دوره متوالی ده ساله تکرار شد. به هر حال، مقادیر دبی در آینده به طور دقیق مانند مقادیر ورودی به نرم‌افزار نخواهد بود، اما باید در نظر گرفت در زمان‌های کم آبی که تقریباً انتقال رسوب وجود ندارد، نمی‌توان از دبی متوسط رودخانه - که به فرسایش و انتقال رسوب منجر می‌شود - استفاده کرد. همچنین در موارد سیلابی که انتقال رسوب شدید خواهد بود و تغییرات اصلی در مقاطع عرضی رخ خواهد داد،

استفاده از مقدار دبی متوسط رودخانه، وضعیت این تغییرات را نشان نمی‌دهد. بنابراین استفاده از آمار دبی در طول ده سال، تقریباً بر آیندی از وضعیت طبیعی رودخانه خواهد بود.

ب) تعیین ضریب زبری

با توجه به قضاوت‌های مهندسی مبتنی بر بازدهای صحرایی و با استفاده از جدول چاو و فرمول استریکلر که بر اساس دانه‌بندی است، ضریب زبری مانینگ تخمین زده شد (Chow, 1959) (شکل ۳). جدول ۱، مشخصات دانه‌بندی در محدوده مورد مطالعه را که در این پژوهش به دست آمده است، نشان می‌دهد.



شکل ۳: وضعیت زبری رودخانه

جدول ۱: مشخصات دانه‌بندی در محدوده مورد مطالعه

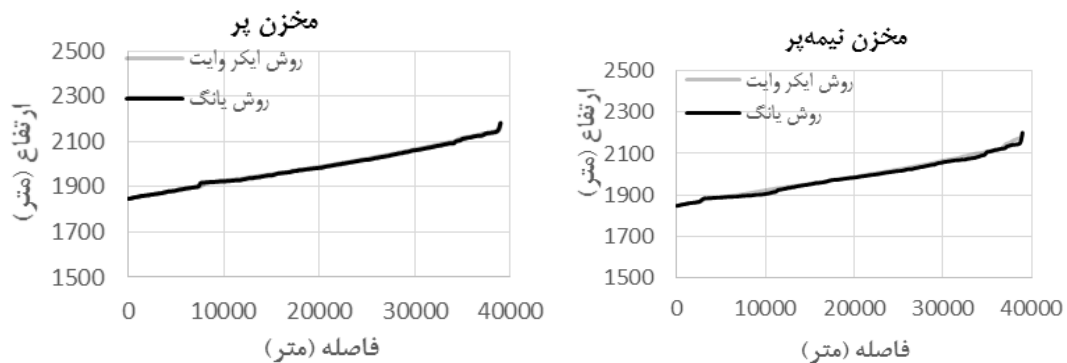
D ₁₀₀	D ₉₀	D ₈₄	D ₆₅	D ₆₀	D ₅₀	D ₃₅	D ₁₆	D ₁₀	قطر دانه‌بندی میلی‌متر
۹۲	۴۹/۹۷۷	۴۰/۷۴۶	۲۱/۲۷۲	۱۷/۴۱۶	۱۱/۴۸۲	۳/۵۰۸	۰/۷۰۲	۰/۲۷۷	

۴- یافته‌ها (نتایج)

بررسی تغییرات پروفیل طولی رودخانه

در نرم‌افزار GSTARS4، چهارده مدل رسوبی وجود دارد که می‌توان از آنها برای بررسی تغییرات رسوبی در رودخانه و میزان حمل رسوب استفاده کرد. با توجه به اینکه استفاده از این مدل‌ها می‌تواند بر روی نتیجه نهایی اثرگذار باشد؛ بنابراین، تغییرات پروفیل طولی رودخانه با انتخاب دو مدل رسوبی - که به شرایط رودخانه نزدیک‌تر بود - بررسی شد. مدل‌های مورد بررسی که بیشتر برای رودخانه‌های شنی و ماسه‌ای به کار می‌روند، عبارتند از: مدل ایگر، وایت و یانگ. مدل‌های ایگر و وایت برای رودخانه‌های ماسه‌ای و شنی و دانه‌بندی با قطر ۰/۰۶۵ تا ۳۲ میلی‌متر، و مدل یانگ برای رودخانه‌های ماسه‌ای و شنی با قطر بین ۲ تا ۳۲ میلی‌متر - متر کاربرد دارد (Yang and Ahn, 2011). نتایج تغییرات ایجاد شده با انتخاب دو مدل مذکور، در پروفیل طولی رودخانه در شکل ۴ ذکر شده است. بر اساس این شکل، بین دو مدل اجرا شده رسوبی به‌ویژه در نزدیکی

مخزن سد تفاوت چندانی مشاهده نمی‌شود؛ به‌خصوص در بخش مخزن سد - که بررسی‌های اصلی در آن‌جا صورت می‌گیرد - جبهه رسوب‌گذاری با استفاده از هر دو مدل و برای هر دو حالت مخزن پر و نیمه‌پر، به صورت یکسان به دست آمد. پس می‌توان هر کدام از آنها را برای ادامه بررسی‌های رسوب‌گذاری در مخزن انتخاب کرد. بنابراین با توجه به مطالعات گذشته، از مدل یانگ به عنوان مدل پایه رسوبی برای محاسبات استفاده شد.



شکل ۴: وضعیت نهایی رسوب‌گذاری برای دو مدل رسوبی اجرا شده

شکل‌های ۵ و ۶، وضعیت رسوب‌گذاری و تغییرات پروفیل طولی رودخانه را با استفاده از مدل یانگ، برای دو حالت سد نیمه‌پر و پر به مدت پنجاه سال نشان می‌دهد. با توجه به شکل‌های مذکور، در حالت مخزن پر (شکل ۶) رسوب‌گذاری در فاصله دورتری از سد و در انتهای مخزن انجام شد که دلیل این امر، عمق بیشتر آب و در نتیجه سرعت کمتر آن در حرکت به سمت سد است. جلوی جبهه رسوب‌گذاری در این حالت، در حدود هفت هزار متر با سد فاصله دارد؛ این در حالی است که برای مخزن نیمه‌پر، بر طبق شکل ۵ جبهه جلویی رسوب‌گذاری تقریباً ۲۵۰۰ متر با دیواره سد فاصله دارد. بنابراین، تغییرات در سطح آب در طول بهره‌برداری از سد می‌تواند بر میزان رسوب‌گذاری در مخزن و عمر مفید آن تأثیر زیادی ایجاد کند. شکل ۵ نشان می‌دهد که بیشترین رسوب‌گذاری در فاصله ۳۰۶۵ متری سد واقع است و برابر با ۱۲/۷۹ متر می‌باشد.



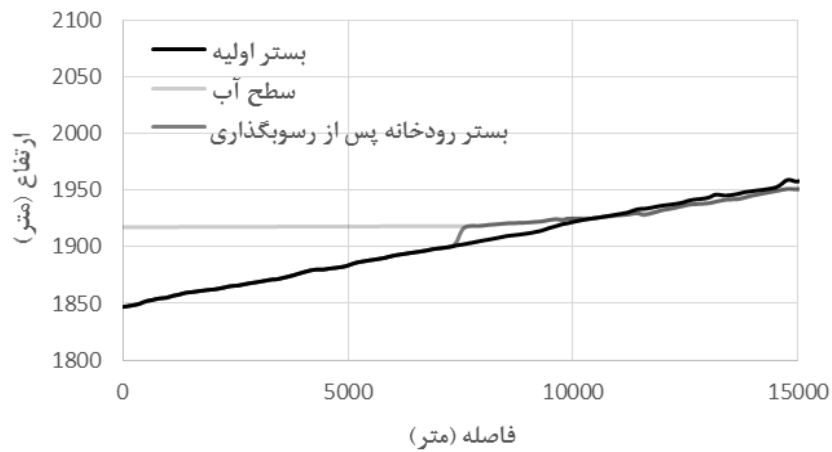
شکل ۵: وضعیت تغییرات بستر در مخزن سد در حالت سد نیمه پر

جدول ۲، میزان رسوب گذاری را نسبت به فاصله از پایین دست برای سد نیمه پر نشان می دهد. بر طبق جدول، رسوب گذاری از ۵۷۶۶ متر شروع شده و پس از گذشت ۲۷۰۰ متر فاصله به حداکثر مقدار رسوب گذاری رسیده است. پس از بیشترین مقدار رسوب گذاری با طی شدن فاصله ای در حدود ۸۹۰ متر، رسوب گذاری پایان می یابد. در فاصله ۲۵۴۷ متر به سد نیز رسوب گذاری تقریباً متوقف می شود؛ بدین معنی که با توجه به نوع رسوبات درشت دانه، رسوبات به دریچه ها نمی رسد، اما می تواند بخشی از حجم سد را پر کند.

جدول ۲: وضعیت رسوب گذاری در سد نیمه پر

ارتفاع رسوب گذاری (متر)	فاصله از سد (متر)
۰/۰۳	۵۷۶۶/۳
۱/۵۱	۵۲۱۴/۳
۲/۷۶	۵۰۲۰/۲
۴/۳۳	۴۸۹۴/۲
۵/۷	۴۵۷۴/۲
۶/۲۷	۴۴۳۷/۲
۶/۱۲	۴۱۹۱/۲
۹/۴۶	۳۷۹۳/۲
۱۰/۶	۳۶۴۰/۲
۱۱/۹۳	۳۴۳۵/۲
۱۲/۱۸	۳۲۸۱/۲
۱۲/۷۹	۳۰۶۵/۱
۵/۹۱	۲۷۷۹/۱
۰/۰۱	۲۵۴۷/۱

شکل ۶، تغییرات بستر را در حالت سد پر نشان می دهد. بیشترین رسوب گذاری در فاصله ۷۵۷۸ متری از پایین دست رخ داده که مقدار آن برابر با ۱۴/۴۶ متر است. جدول ۳، میزان رسوب گذاری در فواصل مختلف را نشان می دهد.



شکل ۶: وضعیت تغییرات بستر در مخزن سد در حالت سد پر

بر طبق جدول ۳، رسوب گذاری از ۱۰۴۸۰ متری شروع شده و پس از گذشت ۲۹۰۰ متر فاصله به بیشترین مقدار رسوب گذاری رسیده است.

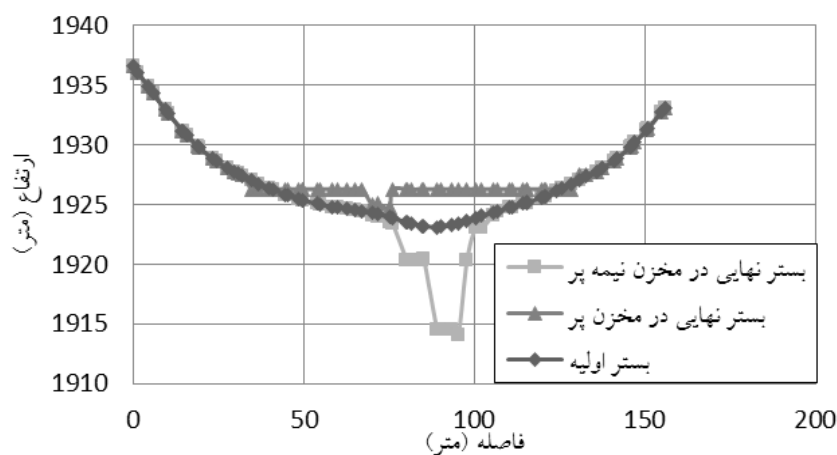
جدول ۳: وضعیت رسوب گذاری در سد پر

فاصله از پایین دست (متر)	ارتفاع رسوب گذاری (متر)
۱۰۴۸۰	۰
۱۰۲۷۶	۰/۶۷
۱۰۱۲۶	۱/۶۵
۹۹۷۵/۵	۲/۹۱
۹۸۶۰/۵	۴/۰۴
۹۷۶۸/۵	۳/۲۵
۹۶۱۸/۵	۶/۱
۹۴۳۶/۵	۷/۲
۹۳۰۰/۵	۸/۱۲
۹۱۷۴/۴	۸/۸۸
۹۰۰۱/۴	۹/۵۸
۸۷۶۲/۴	۱۰/۳۹
۸۵۳۱/۴	۱۱/۱
۸۳۴۱/۴	۱۱/۹۱
۸۱۲۴/۴	۱۲/۹۷
۸۰۲۰/۴	۱۳/۰۸
۷۹۰۰/۴	۱۳/۶
۷۵۷۸/۴	۱۴/۴۶
۷۳۹۶	۲/۲۶
۷۲۳۶	۰

پس از بیشترین مقدار رسوب گذاری با طی شدن فاصله ای در حدود ۳۴۰ متر، رسوب گذاری به پایان می رسد؛ بنابراین رسوب گذاری در مخزن سد پر، ۴۷۱۴ متر زودتر از سد نیمه پر شروع می شود و ۴۶۹۰ متر زودتر به پایان می رسد. طولی از رودخانه که رسوب گذاری در حالت سد پر انجام می شود، ۳۲۴۳ متر و حداکثر عمق آن ۱۴/۴۶ متر و برای سد نیمه پر، ۳۲۲۰ متر و حداکثر عمق آن ۱۲/۷۹ متر است. بنابراین، به نظر می رسد که در میزان رسوب گذاری از نظر فاصله رسوب گذاری و ارتفاع آن، تفاوت چندانی وجود ندارد و تنها مکان رسوب گذاری جابه جا شده که در مخزن سد نیمه پر، رسوب گذاری به بدنه سد نزدیک تر شده است. دلیل دورتر بودن رسوب گذاری در مخزن سد پر به بدنه سد، کاهش شیب سطح آب در فواصل دورتر از سد و در نتیجه کاهش سرعت آب است؛ بنابراین پیش از رسیدن جریان به نزدیکی سد، ته نشین شدن رسوبات آغاز می شود.

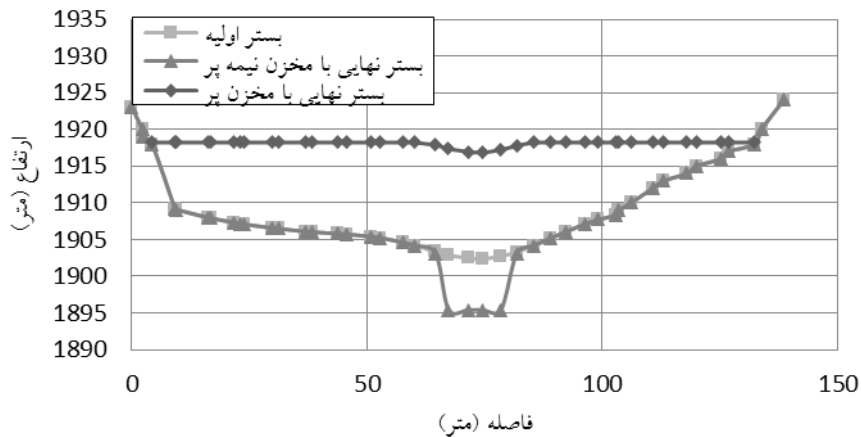
بررسی تغییرات پروفیل عرضی رودخانه

شکل ۷، روند تغییرات بستر را در فاصله ده کیلومتری از مخزن نشان می دهد که در مخزن پر، رسوب گذاری و در مخزن نیمه پر فرسایش ایجاد خواهد شد. میزان فرسایش برای مخزن نیمه پر، نزدیک به هشت متر به دست آمده است. رسوب گذاری برای حالت سد پر در بیشترین مقدار آن در حدود سه متر است. همچنین عرض رسوب گذاری در حدود هشتاد متر خواهد بود. بنابراین، تأثیر مخزن سد و آب برگشتی از آن در این مقطع عرضی به وجود آمده است.



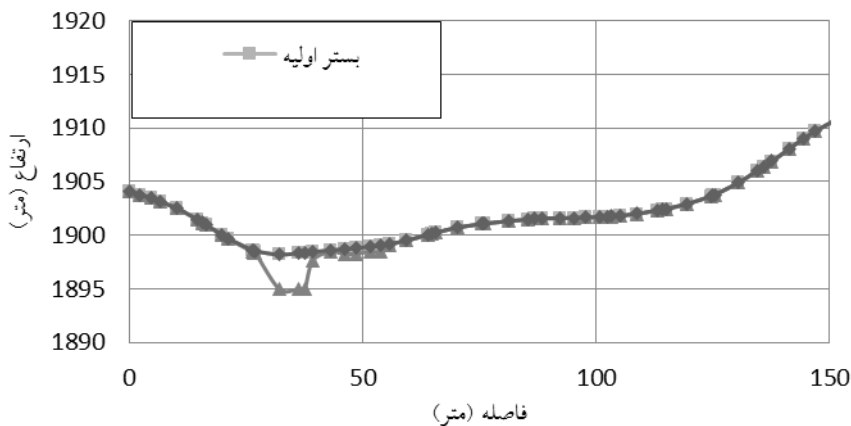
شکل ۷: روند تغییرات مقطع عرضی در فاصله ده کیلومتری سد

شکل ۸، روند تغییرات بستر رودخانه را در فاصله ۷/۵ کیلومتری از پایین دست نشان می دهد. سد در حالت نیمه پر، در این مقطع عرضی نیز به رسوب گذاری نرسیده است و تغییرات خاصی را به جز فرسایش در شانزده متر از عرض نشان نمی دهد. اما در حالت سد پر، در حدود ۱۲۸ متر از عرض به عمق تقریبی چهارده متر دارای رسوب گذاری است که تقریباً بیشترین مقدار رسوب گذاری در این حالت بوده است.



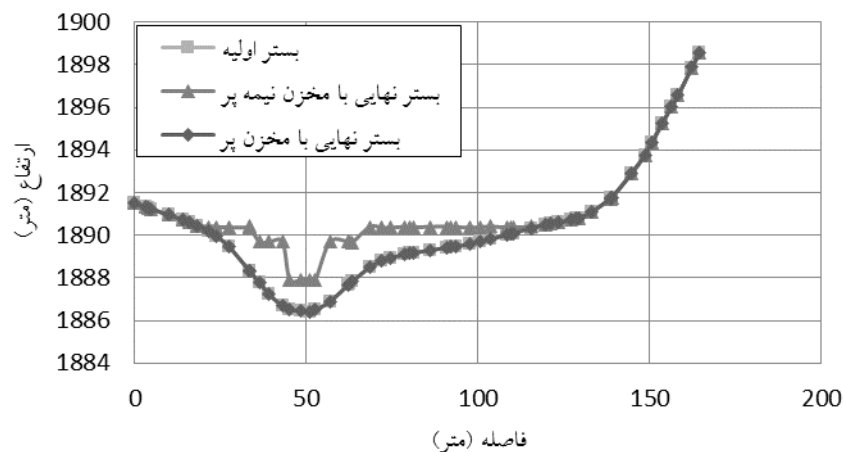
شکل ۸: روند تغییرات مقطع عرضی در فاصله ۷/۵ کیلومتری از سد (حداکثر رسوب گذاری در حالت پر)

شکل ۹، روند تغییرات بستر رودخانه را در فاصله هفت کیلومتری پایین دست نشان می‌دهد. میزان فرسایش در حالت سد نیمه پر، به عرض دوازده متر رسیده است که عمق تقریبی سه متر دارد. در حالت مخزن پر نیز بستر نهایی، هم تراز با بستر اولیه و بدون تغییر مانده است؛ این در حالی است که در پانصد متر بالاتر از آن، بیشترین مقدار رسوب گذاری به وجود آمده بود. این مسأله نشان می‌دهد که جبهه رسوب گذاری با توجه به جریان آب در این ناحیه متوقف شده است.



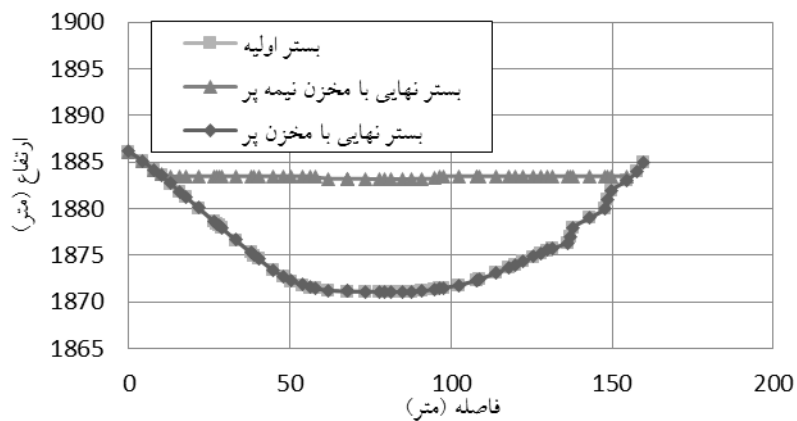
شکل ۹: روند تغییرات مقطع عرضی در فاصله هفت کیلومتری از سد

شکل ۱۰، روند تغییرات بستر رودخانه را در فاصله ۵/۵ کیلومتری پایین دست نشان می‌دهد. با توجه به فقدان تغییر تراز بستر برای حالت سد پر در این مقطع عرضی و در چند مقطع عرضی قبلی، به نظر می‌رسد میزان آب برگشتی در سد سبب شده است که رسوب گذاری خاصی در این بخش از رودخانه مشاهده نشود. اما در این مقطع عرضی، رسوب گذاری با عمق تقریبی ۱/۴ متر و عرض ۹۳ متر برای سد نیمه پر مشاهده می‌شود.



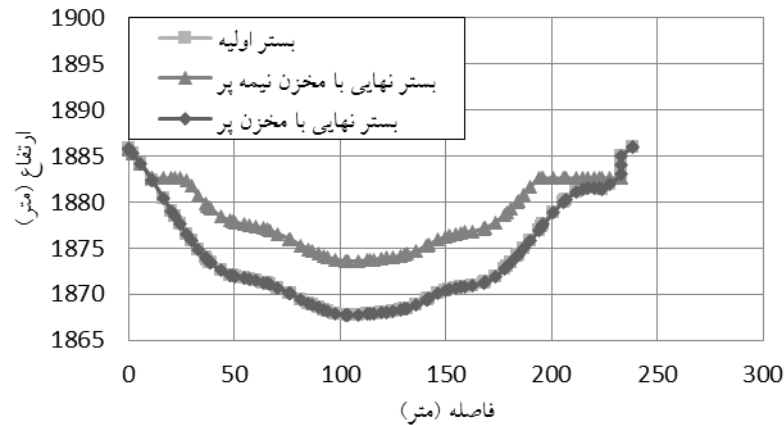
شکل ۱۰: روند تغییرات مقطع عرضی در فاصله ۵/۵ کیلومتری از سد

شکل ۱۱، روند تغییرات بستر رودخانه را در فاصله سه کیلومتری پایین دست نشان می دهد. عمق رسوب گذاری در این حالت برای سد نیمه پر به بیشترین مقدار خود رسیده و تقریباً معادل ۱۲/۸ متر است و عرض آن نیز به ۱۴۰ متر رسیده است.



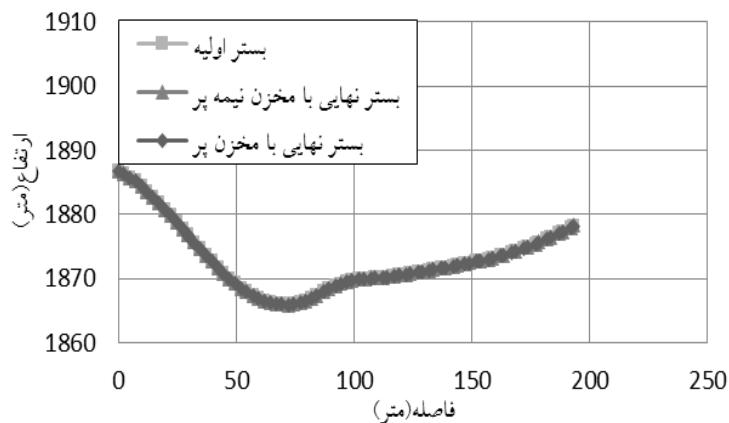
شکل ۱۱: روند تغییرات مقطع عرضی در فاصله سه کیلومتری از سد (حداکثر رسوب گذاری در حالت نیمه پر)

شکل ۱۲، روند تغییرات بستر رودخانه را در فاصله ۲/۸ کیلومتری پایین‌دست نشان می‌دهد. عمق رسوب‌گذاری تقریباً به پنج متر می‌رسد؛ بنابراین، نزدیک به ۷/۸ متر از عمق رسوب‌گذاری نسبت به مقطع عرضی پیشین - که دویست متر بالاتر است - کاهش خواهد یافت. این مسأله نشان می‌دهد که این محدوده، بخشی از جبهه جلویی رسوب-گذاری برای حالت سد نیمه‌پر به شمار می‌رود و رسوب‌گذاری به سرعت در حال کاهش یافتن است.



شکل ۱۲: روند تغییرات مقطع عرضی در فاصله ۲/۸ کیلومتری از سد

شکل ۱۳، روند تغییرات بستر رودخانه را در فاصله ۲/۵ کیلومتری پایین‌دست نشان می‌دهد. در این مقطع عرضی برای حالت سد نیمه پر مانند سد پر، رسوب‌گذاری وجود نخواهد داشت و ابتدای جبهه رسوب‌گذاری در این منطقه واقع شده است. فاصله این منطقه با حداکثر عمق رسوب‌گذاری، نزدیک به پانصد متر است که تغییرات سریع عمق رسوب-گذاری را در فاصله‌ای کوتاه نشان می‌دهد. نتایج نشان می‌دهد که میزان سطح آب در سد، می‌تواند بر مکان رسوب-گذاری در مخزن آن تأثیر زیادی بگذارد. البته باید در نظر گرفت که سد معمولاً در حالت پر قرار ندارد، ولی برای تعیین رسوب‌گذاری در حالت‌های حدی، دو حالت سد پر و نیمه پر در نظر گرفته شده است. بنابراین، جبهه رسوب-گذاری می‌تواند با توجه به وضعیت بهره‌برداری در بین این دو حالت قرار گیرد.



شکل ۱۳: روند تغییرات مقطع عرضی در فاصله ۲/۵ کیلومتری از سد

۵- بحث و نتیجه‌گیری

در این پژوهش به بررسی وضعیت رسوب‌گذاری در مخزن سد کمال‌صالح با مدل GSTARS پرداخته شد. Zarrati و Etaat (2001)، Hassanzade و Khankenedy (2008)، Francisco و همکاران (2008) و Abood و همکاران (2009)، GSTARS را به عنوان نرم‌افزاری موفق در زمینه پیش‌بینی الگوی رسوب‌گذاری مخازن پیشنهاد کردند. همچنین Houshmandzadeh و همکاران (2008)، از تابع انتقال رسوب یانگ به دلیل لحاظ کردن بار شسته شده، به عنوان تابعی مناسب نام بردند که در این پژوهش نیز از آن - که برای بستر درشت‌دانه پژوهش مناسب است - استفاده شد. برای اجرای این کار، بیش از ۳۵ کیلومتر از رودخانه در نظر گرفته شد. برای اجرای مدل و بررسی رسوب‌گذاری، دو حالت برای سطح آب درون سد در نظر گرفته شد؛ یکی حالت بیشترین مقدار سطح آب در سد (سد پر) و دیگری سد نیمه‌پر بود. Khosropoor و Banihashemi (2008) برای بررسی رسوب‌گذاری در مخزن سد، ۴۵ سال را برای اجرا در نظر گرفته‌اند و Montazemi و Alami (2010) و Imamgholizadeh و همکاران (2019) نیز به ترتیب ۶۰ و ۱۰۰ سال را در نظر گرفته‌اند.

در این پژوهش با توجه به عمر مفید سد - که به طور متوسط پنجاه سال در نظر گرفته می‌شود - پنجاه سال برای اجرای نرم‌افزار در نظر گرفته شد. نتایج اجرای مدل نشان داد که برای حالت سد پر و نیمه پر، مکان رسوب‌گذاری متفاوت خواهد بود؛ به طوری که در حالت سد پر، رسوب‌گذاری تقریباً از فاصله ۱۰۴۸۰ متری سد آغاز شد و تا ۷۲۳۶ متری ادامه یافت و سپس متوقف شد. اما برای سد در حالت نیمه‌پر، رسوب‌گذاری از ۵۷۶۶ متر شروع شد و تا ۲۵۴۷ متری ادامه یافت. بنابراین، رسوب‌گذاری در مخزن سد پر در حدود ۴۷۱۴ متر زودتر شروع می‌شود و در حدود ۴۶۹۰ متر فاصله از پایین دست، زودتر به پایان می‌رسد. فاصله‌ای که رسوب‌گذاری در حالت سد پر انجام می‌شود، ۳۲۴۳ متر و حداکثر عمق آن، ۱۴/۴۶ متر و برای سد نیمه‌پر، ۳۲۲۰ متر و حداکثر عمق آن، ۱۲/۷۹ متر است. بنابراین، به نظر می‌رسد که در میزان رسوب‌گذاری از نظر فاصله رسوب‌گذاری و ارتفاع آن، تفاوت چندانی وجود ندارد و تنها مکان رسوب‌گذاری جابه‌جا شده که در مخزن سد نیمه پر، رسوب‌گذاری به بدنه سد نزدیک‌تر است. این مسأله نشان می‌دهد که میزان سطح آب در سد، می‌تواند بر رسوب‌گذاری در مخزن آن تأثیر زیادی بگذارد. البته باید در نظر گرفت که سد معمولاً در حالت پر قرار ندارد، ولی برای تعیین رسوب‌گذاری در حالت‌های حدی، دو حالت سد پر و نیمه پر در نظر گرفته شد. بنابراین، جبهه رسوب‌گذاری می‌تواند با توجه به وضعیت بهره‌برداری در بین این دو حالت قرار گیرد. بررسی وضعیت رسوب‌گذاری در سد می‌تواند مدت زمان پرشدن مخزن سد و در نتیجه عمر مفید آن را نشان دهد. Imamgholizadeh و همکاران (2019) در پیش‌بینی میزان رسوب ورودی به مخزن سد شیرین‌دره نتیجه گرفتند که هشتاد درصد حجم اولیه سد، پس از صد سال پر خواهد شد؛ بدین معنی که این سد پس از این مدت دیگر قابل استفاده نخواهد بود. بنابراین، با توجه به اهمیت سد کمال‌صالح در تأمین آب شرب منطقه، باید وضعیت رسوب‌گذاری آن در طول زمان بررسی و برای افزایش عمر مفید سد، تمهیدات لازم در نظر گرفته شود.

منابع

1. Abood, M. M.; Mohammed, T.; Ghazali, A.; & 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.; Marsuli, R.; & 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. Bayazidi, M., & N. Karami., (2017). Estimation of sedimentation process in Ghareh Souz using GSTARS3 model. *Environmental and water engineering Journal*. 1, 66-80. (In Persian)
4. Chow, V. T., 1959. Open-channel hydraulics: New York, McGraw-Hill, 680 p.
5. Francisco, J.; SIMÕES, M.; & C. Yang, 2008. GSTARS computer models and their applications, *International Journal of Sediment Research*, 23(4), 299-315.
6. Emamgholizadeh, S.; Khademi, N.; & H. Hosini, 2020. Prediction of Input Sediment to the Shirin-Darreh Dam Reservoir Using HEC-RAS Numerical Model. *jwmr*, 11 (21), 208-222. (In Persian)
7. Hassanzade, Y., & 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)
8. Hasanzadeh, Y.; Abbaspour, M.; & S. Farzin, 2011. Investigation of the sedimentation pattern in dam reservoir using the GSTARS3.0 mathematical model (Case study: Shahid Madani Dam), 4th Iranian Water Resources Management Conference, Tehran, Amirkabir University of Technology. (In Persian)
9. Hassanzadeh, Y.; Nourani, V.; & M. Ampouram, 2009. Simulation of sedimentation in storage reservoirs using Gstars 2.0 mathematical model and its comparison with the results of the experimental method of surface degradation, 8th International River Engineering Conference, Ahwaz, Shahid Chamran University of Ahvaz. (In Persian)
10. Helber, S.; Parvaresh, A.; & J. Farhoudi, 2014. Simulation of Sedimentation in Dams Reservoirs Using the WASA-SED Model (Case Study of Barasona-Spain Dam), *Journal of Water and Soil Science*, 24 (3), 161-173.
11. Houshmandzadeh, M.; Mahmoudian Shooshtari, M.; & M. Vaksashifi Pour, 2008. Comparison of HEC-6 and GSTARS-3 software for estimating sediment in Karkheh Dam. 14th National Civil Engineering Students Conference, Semnan, Semnan University. (In Persian)
12. Khanjani, M.; Ilderimi, A.; & H. Noori, 2020. Determination of the Best Model to Estimate Suspended Sediment Load in Yalfan River, Ekbatan Dam, Hamadan Province, *Quantitative geomorphological research*, 9 (3), 50-69. (In Persian)
13. Khosropour, H., & M. Bani Hashemi., (2008), Investigation of Sedimentation in Karkheh Dam Reservoir Using Numerical Model and Presenting Solutions for Sedimentation Management in Reservoir, Second National Conference on Dam and Hydropower Plants, Tehran. (In Persian)
14. Lai, Y. G., & K. Wu., (2019). A Three-Dimensional Flow and Sediment Transport Model for Free-Surface Open Channel Flows on Unstructured Flexible Meshes, *Fluids*, 4(1), 18-27.
15. Mohammadi, F., & A. Ebrahimzadeh., (2013). simulation of sedimentation in the Maku Dam reservoir with MIKE3 and GSTARS 3.0 software, 7th National Civil Engineering Congress, Zahedan, Sistan and Baluchestan University. (In Persian)
16. Montazemi Novin, M., & M. Aalami., (2010). Investigation of sediment distribution in the reservoir level of Yamchi Ardebil dam with the help of software and methods of reducing and increasing the level and comparing the obtained results, 5th National Congress of Civil Engineering, Mashhad. (In Persian)

17. Qamashi, M.; Jahanshahi, M.; & M. Zayeri, 2011. Projection of sedimentation process in Jiroft Dam reservoir using GSTAR3 model, *Journal of Irrigation Science and Engineering*, 35 (3), 1-10. (In Persian).
18. Ranjbarnejad, A.; Hassanzade, Y.; & A. Mojtahedi, 2016. Estimation of sediment flow entering the reservoir of Sattarkhan dam and mechanism of sediment distribution in a reservoir by numerical method. 2nd International Conference of Research Findings in Civil Engineering, Architecture and Urban management, International Federation of Inventors of the World (IFIA), Tehran. (In Persian)
19. Regmi, R. K., 2021. Sedimentation Modeling of Karnali Chisapani Multipurpose Project Reservoir, *Nepal. J. Inst. Eng. India Ser. A*, 102, 815-827.
20. Shooshtari, M. M.; Adib, A.; & 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.
21. Yang, C., & J. Ahn., (2011). User's manual for GSTARS4, U.S. Hydro science and training Center, Colorado State University, USA, 430 pp.
22. Yang, C., & J. Simoes., (2002). User's manual for GSTARS3, U.S. Bureau of Reclamation, and Technical Service Center, and Denver, Colorado, USA, 345 pp.
23. Zarrati, A., & A. Etaat., (2001). Comparison of performance of Fluvial 12 and Gstars 2 mathematical models in the simulation of river behavior. Third Iranian Hydraulic Conference, Tehran University, Tehran. (In Persian)

Investigation of Sedimentation Pattern of the River and Reservoir of Kamal-Saleh Dam Using Numerical Model GSTARS4.0

Javad Mozaffari¹: Associate professor, Water Science & engineering Department, Faculty of Agriculture & Environment, Arak University

Article History (Received: 2021/07/23

Accepted: 2021/11/8)



20.1001.1.22517812.1401.12.2.5.2

Extended abstract

1- Introduction

Accumulation of sediments in dam reservoirs is one of the most important problems in the operation and maintenance of reservoir dams and this phenomenon reduces the useful life of dams. Reservoir sediment changes depend on factors such as the amount of sediment, sediment transport rate, sediment type, reservoir performance, reservoir characteristics and river flow. With the entry of sediment and its accumulation in the reservoir of the dam, the effective water storage capacity decreases. This in turn will reduce water storage capacity and loss of reservoir flood capacity. If sediment accumulates near the dam body, it may cause the bottom drains of the intake valves to be buried and can also impede their operation. In addition, sediment can erode the turbines and the lower valves of the reservoirs. The load on the dam body also increases. In this study, the sedimentation situation in the reservoir of Kamal Saleh Dam during the next 50 years will be investigated.

1- Methodology

More than 35 km of the river was considered for simulation. By entering the TIN map into Arc VIEW GIS software, information related to preparing the map for entering into Hec-Ras software was added with the help of Hec-Georas extension. This information included drawing lines related to the coasts, drawing lines related to the flood plain, drawing cross sections and drawing the central line. By entering the information into Hec-Ras software, REPORT output was taken in this software. In this output, the information is obtained as a text file. Therefore, they can be used to enter the text file of GSTARS4 software. In the next step, the required information was entered into GSTARS4 software. This information included 171 cross sections. Also information such as manning roughness, river flow and sediment, sediment model and stage-discharge were considered. To run the model and investigate sedimentation, two modes were considered for examining the water level inside the dam. One mode was the maximum water level in the dam (full dam) and the other was semi-full dam. Due to the water level inside the dam, sedimentation can change in these two cases. Finally, the software was run for 50 years of sedimentation. There are 14 models for sediment transport in GSTARS4 software among which the Acker and the Yang models had a suitable grain size diameter range to be used. The results showed that the use of two models will have similar results and the changes related to erosion, sedimentation and sedimentation front near the reservoir will give similar results for the two models. Therefore, the Yang model was used to continue the work.

3-Results

The results of model showed that for full and semi-full dam conditions, the sedimentation location will be different, so that in full sediment dam condition, it starts approximately from 10480 meters distance from dam and continues up to 7236 meters and then stops. But for the

¹ Corresponding Author: Javad_370@yahoo.com

dam in the semi-full state, the sedimentation starts from 5766 meters and continues up to 2547 meters distance from dam. Therefore, sedimentation in the full dam reservoir starts about 4714 meters earlier and also ends earlier at about 4690 meters distance from the downstream. The distance that sedimentation is done in the case of full dam is 3243 meters and its maximum depth is 14.46 meters and for semi-full dam is 3220 meters and its maximum depth is 12.79 meters. Investigation of the cross sections showed that at a distance that sedimentation occurred in the case of a full dam (10.5 to 7 km), not only sedimentation did not occur for the semi-full dam, but also erosion is observed in the river. Of course, this erosion was obtained in a small width of the river (approximately 20 meters in width). On the other hand, if the Acker-White model was used to investigate sedimentation in the reservoir, erosion in this area was almost not observed in the case of a semi-full dam. Therefore, erosion in this area can be neglected for the semi-full dam and the cross section can be considered for the semi-full dam with the same initial bed. Also, due to the small width of erosion, it can be prevented by erosion control methods.

4- Discussion & Conclusions

It seems that there is not much difference in the amount of sedimentation in terms of sedimentation distance and its height, and only the sedimentation location has been moved, which in the semi-full dam reservoir, sedimentation is closer to the dam. This shows that the level of water in the dam can have a great impact on sedimentation in its reservoir. Of course, it should be noted that the dam is usually not in full state, so to determine the deposition, two states of full and semi-full dams were considered. Therefore, the deposition front can be placed between these two modes according to the operating condition.

Key Words: Longitudinal river profile, Sedimentation, Kamal Saleh dam, Simulation.