بررسی کارایی توابع انتقال رسوب در مدل عددی GSTARS

فاطمه زهرا اسدی، رامین فضل‌اولی* و علیرضا عمادی[۱]

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۲/۲۷ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۱/۲۵)

چکیده

بررسی و شناخت مسائل مربوط به تغییرات رودخانه‌ها یکی از عوامل مهم در علوم هیدرولیک رسوب و مهندسی رودخانه است. این مطالعات می‌تواند به کمک مدل‌های فیزیکی، ریاضی و یا هردو انجام گیرد، ولی به‌دلیل محدویت‌های مالی و زمانی، مدل‌های ریاضی عمومی‌تر بوده و اغلب مورد استفاده قرار می‌گیرند. در پژوهش حاضر از مدل ریاضی GSTARS به‌منظور مطالعه فرسایش و رسوبگذاری و انتخاب مناسب‌ترین تابع در بازه‌ای به طول ۱۲/۵ کیلومتر از رودخانه تالار در استان مازندران استفاده شد. شبیه‌سازی مدل بر اساس داده‌های هندسی ۵۵ مقطع عرضی سال ۱۳۸۵، دبی روزانه ایستگاه هیدرومتری شیرگاه واقع در ابتدای بازه و مشخصات رسوب انجام شد. صحت‌سنجی مدل با استفاده از مقاطع عرضی نقشه‌برداری شده در سال ۱۳۹۰ نشان داد معادله انتقال رسوب یانگ، بیشترین تطابق را با واقعیت داشته و می‌تواند برای پیش‌بینی روند تغییرات بستر رودخانه مورد استفاده قرار گیرد. میزان رسوب خارج شده از بازه با استفاده از رابطه یانگ، معادل ۸۵۹۰ تن در سال برآورد شد. همچنین بررسی پروفیل طولی رودخانه با توابع انتقال رسوب مختلف نشان داد بازه مطالعاتی در محدوده انتهایی دارای روند فرسایشی بوده و قابلیت برداشت شن و ماسه را ندارد.

واژه‌های کلیدی: تغییرات بستر، رودخانه تالار، شبیه‌سازی عددی، فرسایش و رسوبگذاری، واسنجی رسوبی.

۱. گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری
*: مسئول مکاتبات: پست الکترونیکی: raminfazl@yahoo.com

مقدمه

رودخانه به‌عنوان سیستمی پویا، به‌طور پیوسته مکان و خصوصیات خود را برحسب زمان، عوامل طبیعی و گاه در اثر دخالت بشر تغییر می‌دهد. این منابع خدادای، تحت تأثیر پدیده فرسایش و رسوبگذاری دستخوش تغییرات گوناگونی می‌شوند که از آن جمله می‌توان به تغییر امتداد، جابه‌جایی‌های عرض و طولی، وقوع میان‌برها، تغییر نوع رودخانه، تغییر تراز بستر، تغییر دانه‌بندی و ویژگی‌های هندسی مسیر اشاره کرد. بررسی گزارش‌ها و نشریات نشان می‌دهد که در بسیاری از موارد پدیده فرسایش و رسوبگذاری و پیامدهای آن عامل اصلی در تخریب سازه‌های عرضی، تأسیسات هیدرولیکی و به‌ویژه سازه‌های حفاظت و اصلاح مسیر رودخانه بوده است (۱۲).

مطالعات فرسایش و رسوب ضمن شناخت و پیش‌بینی عملکرد رفتاری رودخانه این امکان را فراهم می‌آورد تا اثر اقدامات ساماندهی نیز مورد ارزیابی قرار گرفته و به‌کمک تشخیص عوامل ناپایداری بتوان معیارهای حفاظتی و اقدامات مهندسی مناسب را اعمال کرد.

با استفاده از مدل‌های فیزیکی- هیدرولیکی روابط تجربی متعددی برای بررسی و پیش‌بینی فرسایش و رسوبگذاری، ارائه شده است. این روابط که بر مبنای قوانین دینامیک و هیدرولیک هستند با درنظر گرفتن خصوصیاتی از قبیل دبی، سرعت، عمق و سطح مقطع جریان، دانه‌بندی بستر، قطر ذرات رسوب، وزن مخصوص، لزجت و دمای آب به‌دست آمده‌اند. داده‌های مورد استفاده در این معادلات بسیار زیاده بوده و در بسیاری از ایستگاه‌های آب‌سنجی چنین داده‌هایی به اندازه کافی یافت نمی‌شود و تنها اندازه‌گیری داده‌های دبی آب و دبی رسوب انجام می‌گیرد. این امر استفاده از این روابط را دچار مشکل می‌کند. بنابراین توسعه روش‌های کارآمد و دقیق برای برآورد میزان رسوب که محدودیت‌های مختلف نداشته باشد از اهمیت زیادی برخوردار است. به‌همین دلیل در چند دهه اخیر استفاده از مدل‌های کامپیوتری به نحو چشم‌گیری توسعه یافته که در نتیجهٔ آن روند انجام محاسبات آسان‌تر و انجام تحلیل‌ها بسیار دقیق‌تر شده است.

مدل‌های ریاضی شامل مدل‌های یک، دو و سه‌بعدی هستند. مدل‌های یک بعدی با توجه به فرضیات ساده آن، برای شبیه‌سازی رفتار رودخانه که بسیار پیچیده است، کافی نیستند ولی این مدل‌ها تحت شرایط خاص می‌توانند نتایج قابل قبولی ارائه داده و مورد استفاده قرار گیرند. مدل‌های دو و سه بعدی، دارای پیچیدگی بیشتری هستند (۹). همچنین با توجه به اینکه ابعاد واقعی سیستم در مدل‌های ریاضی شبیه‌سازی می‌شوند، این مدل‌ها با محدودیت مقیاس مواجه نیستند ولی به اطلاعات بیشتری برای واسنجی و صحت‌سنجی نیاز دارند.

سانی (۱۸) با استفاده از مدل GSTARS2.1 به شبیه‌سازی ۴۵ کیلومتر از رودخانه تانا و ۱۵ کیلومتر شاخه فرعی تیکا این رودخانه در کنیا پرداخت. هدف از این مطالعه در واقع بررسی توزیع زمانی و مکانی رسوبات ورودی به مخزن سد ماسینگا در پایین‌دست رودخانه تانا، بود. شبیه‌سازی با استفاده از ۸۶ مقطع برداشت شده در سال ۱۹۸۱ و داده‌های هیدرولیکی شامل دبی روزانه و دما در بالادست و سطح آب روزانه مخزن (در پایین‌دست بازه مورد مطالعه)، صورت گرفته و واسنجی مدل با داده‌های هیدروگرافی اکوساندر سال ۱۹۸۸ انجام گرفت.

آبود و همکاران (۱) به بررسی و ارزیابی مدل‌های مختلف برای شبیه‌سازی جریان آب و رسوب پرداختند و با بررسی نقاط ضعف و قوت، مدل‌های مناسب برای پیش‌بینی دقیق‌تر پدیده‌های مرتبط با انتقال رسوب را توصیه کردند. ایشان دو مدل GSTARS و HEC-6 را به‌عنوان نرم‌افزارهای موفق در زمینه پیش‌بینی الگوی رسوبگذاری مخازن پیشنهاد کردند.

زراتی و اطاعت (۲۱)، عملکرد مدل‌های ریاضی GSTARS2 و Fluvial12 را در شبیه‌سازی رفتار رودخانه‌ها مورد بررسی قرار دادند و این دو مدل را قادر به شبیه‌سازی تغییرات تراز و همچنین عرض آبراهه‌ها معرفی کرده و اظهار داشتند با اینکه معادلات این مدل‌ها یک‌بعدی هستند با کمک روابط اضافی قادر به شبیه‌سازی شبه سه بعدی رودخانه‌ها هستند.

گیبسون (۱۱) با استفاده از مدل HEC-RAS مدل‌سازی بستر

متحرک رودخانه کولیتز را انجام و اثرات رسوبگذاری درازمدت سیل در این رودخانه مورد ارزیابی قرار داد. او در پژوهش خود با توجه به بستر رودخانه کولیتز (وجود ماسه ریز، لای و شن) معادله انتقال رسوب لارسن را انتخاب کرده و واسنجی مدل را با چهار سری داده‌های هیدروگرافی برداشت شده از رودخانه انجام داد.

خدابخشی (۱۴) که در مطالعات خود به مقایسه مدل‌های HEC-RAS و GSTARS3 در شبیه‌سازی رفتار رودخانه سیستان پرداخت، با مقایسه نتایج بیان کرد که مدل GSTARS به‌دلیل بهره‌گیری از مفهوم لوله جریان، فرسایش و رسوبگذاری در مقاطع عرضی را بهتر از مدل HEC-RAS شبیه‌سازی کرده است.

البیاتی (۳) به مدل‌سازی و پیش‌بینی انباشت رسوب در مخزن سد کنیر در مالزی با استفاده از مدل GSTARS3 پرداخت. وی جهت تحلیل و نمایش نتایج از تلفیق نرم‌افزار GIS و GSTARS3 استفاده کرد. در مطالعه ایشان شبیه‌سازی برای ۱۶ سال و عملکرد مدل GSTARS3 با استفاده از شاخص‌های آماری MSE، MAPE و R^2 در رودخانه ترنگانو مورد ارزیابی و تأیید قرار گرفت. واسنجی مدل با استفاده از داده‌های عمق‌سنجی برای سال‌های ۱۹۹۴-۱۹۹۱ و صحت‌سنجی مدل با استفاده از اطلاعات عمق‌سنجی ۱۹۹۸-۱۹۹۵ انجام شد. نتایج نشان داد معادله یانگ ۲۰۰۰ با خطای حداکثر ۲۰ درصد نتایج قابل قبولی ارائه خواهد داد و می‌تواند در مطالعات این رودخانه مورد استفاده قرار گیرد.

عزیزیان و میر (۶) به مطالعه عددی پایداری کانال‌های آبرفتی مرکب با استفاده از نتایج تجربی و مدل GSTARS4 پرداختند. ایشان در مطالعات خود، نتایج حاصل از مدل آزمایشگاهی انجام شده توسط هیدرا (۲۰۰۲) را مدل‌سازی کرده و واسنجی مدل را بر اساس رقوم سطح آب، پارامترهای هندسی کانال، معادله‌های حمل رسوب و ضریب زبری انجام دادند. نتایج ایشان قابلیت و کارایی مناسب مدل ریاضی GSTARS4 در پیش‌بینی تغییرات طولی و عرضی تراز بستر کانال مرکب مورد تأیید قرار داد.

بایزیدی و کرمی (۸) در مطالعات خود برای پیش‌بینی روند رسوبگذاری در رودخانه قره‌سو از مدل GSTARS3 استفاده کردند. ایشان بازه‌ای به طول ۱۸ کیلومتر مشتمل بر ۶۰ مقطع عرضی درنظر گرفته و با بررسی روابط رسوبی مختلف مدل، رسوبات انتقال یافته برای ده سال آینده را پیش‌بینی کردند.

القاسمی و مهدی (۴) با استفاده از مدل SRH-2D شبیه‌سازی محل تلاقی دو رودخانه مانوآن و پتیت مانوآن واقع در کبک کانادا را انجام دادند. نرم‌افزار 2D-SRH که توسط مؤسسه USBR توسعه داده شده است هیدرولیک جریان و رسوب را به‌صورت دوبعدی برای سیستم‌های رودخانه‌های شبیه‌سازی می‌کند. در مدل‌سازی القاسمی ۴/۸ کیلومتر از شاخه پتیت مانوآن و ۳/۸ کیلومتر از رودخانه مانوآن درنظر گرفته شد. بستر رودخانه از جنس شن و ماسه بوده و معادلات انتقال رسوب انگلن مورد استفاده قرار گرفت. نتایج ایشان با مشاهدات انجام شده در محدوده، تطابق داشته و مدل ایجاد شده به‌طور صحیحی نشان داد در مناطقی که سرعت کم بوده رسوبگذاری و در مناطق با سرعت بیشتر فرسایش رخ می‌دهد.

جوشی و همکاران (۱۳) ضمن بیان فواید و لزوم انجام مطالعه فرسایش و رسوب در رودخانه‌های با قابلیت کشتیرانی، به بررسی بازه‌ای به طول ۸/۵ کیلومتر از رودخانه ماومی در ایالت اوهایو آمریکا با استفاده از سیستم آنالیز رودخانه HEC-RAS5 پرداختند. ایشان با انجام واسنجی و صحت‌سنجی و درنظر گرفتن شاخص‌های آماری همچون ضریب همبستگی (R^2)، نسبت مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE) به انحراف معیار (RSR)، ضریب نش‌ساتکلیف (NSE) و ... رابطه انتقال رسوب میرپیترمولر را انتخاب کردند. با استفاده از این رابطه بیشترین رسوبگذاری رودخانه در حدود ۰/۵ متر و حداکثر فرسایش انجام شده ۱/۵ متر تخمین زده شد.

مطالعات انجام شده پیشین نشان می‌دهد یکی از مدل‌های مورد استفاده برای بررسی و پیش‌بینی انتقال رسوب در رودخانه‌ها مدل GSTARS است که با توجه به امکان دسترسی

آزاد و شبه دوبعدی بودن مدل می‌تواند مورد استفاده قرار گیرد. همچنین طبق بررسی‌های انجام شده رژیم جریان در رودخانه تالار همراه با رسوب بوده و تاکنون مطالعاتی در زمینه رسوب این رودخانه که یکی از رودخانه‌های دائمی و مهم شمال کشور است، انجام نگرفته است. بنابراین در پژوهش حاضر مطالعات رسوب این رودخانه با استفاده از مدل عددی انجام گرفته و کارایی روابط انتقال رسوب مختلف موجود در مدل GSTARS مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

رودخانه تالار

رودخانه تالار از بخش‌های شمالی رشته کوه‌های البرز سرچشمه گرفته و از شاخه‌های متعددی چون کبیر، سرخاب، بزلا، چرات، شش‌رودبار، کسیلیان، تجون و توجی تشکیل می‌شود. طول رودخانه ۱۵۰ کیلومتر و مساحت حوضه آبریز آن ۲۹۰۰ کیلومترمربع است. قسمت اعظم این حوضه در مناطق کوهستانی قرار داشته و پوشیده از جنگل است. پهنا و عمق رودخانه در قسمت‌های مختلف متفاوت بوده، پهنای متوسط آن ۶۰ متر و متوسط عمق آن ۲/۵ متر است. آب‌دهی رودخانه در ورود به دشت قابل ملاحظه بوده که بیشتر به مصارف کشاورزی می‌رسد (۱۷). بازه مطالعاتی بخشی از این رودخانه به طول ۱۲/۵ کیلومتر از محدوده شهر شیرگاه به‌سمت پایین‌دست است که در شکل ۱ موقعیت آن در تصویر هوایی آمده است.

مشخصات ایستگاه هیدرومتری شیرگاه واقع در ابتدای بازه مطالعاتی که در شبیه‌سازی مورد استفاده قرار گرفته در جدول ۱ آمده است

.

معرفی مدل GSTARS و معادلات حاکم

یکی از مدل‌های ریاضی در بخش هیدرولیک رسوب، مدل GSTARS (Generalized Sediment Transport model for Alluvial River Simulation) است. این مدل اولین بار توسط یانگ و مولیناس برای برای شبیه‌سازی رودخانه‌های آبرفتی تهیه شد و سپس نسخه‌های بعدی آن تحت عنوان GSTAR-1D، GSTARS2.0، GSTARS2.1، GSTARS3 و GSTARS4 معرفی شدند (۱۹).

محاسبات هیدرولیکی در GSTARS بر اساس جریان متغیر تدریجی است. رژیم جریان ترکیبی و پرش هیدرولیکی می‌تواند به‌وسیله انتخاب و کاربرد معادلات انرژی و مومنتم محاسبه شود. در بخش رسوب، اساس محاسبات روندیابی رسوب در مدل قانون بقای جرم است. در جریان غیرماندگار یک‌بعدی، رابطه پیوستگی رسوب می‌تواند به‌صورت رابطه ۱ نوشته شود:

$$\frac{\partial \mathrm{Q_s}}{\partial \mathrm{x}}+\eta\frac{\partial A_d}{\partial t}+\frac{\partial A_s}{\partial t}-q_s=0 \qquad (۱)$$

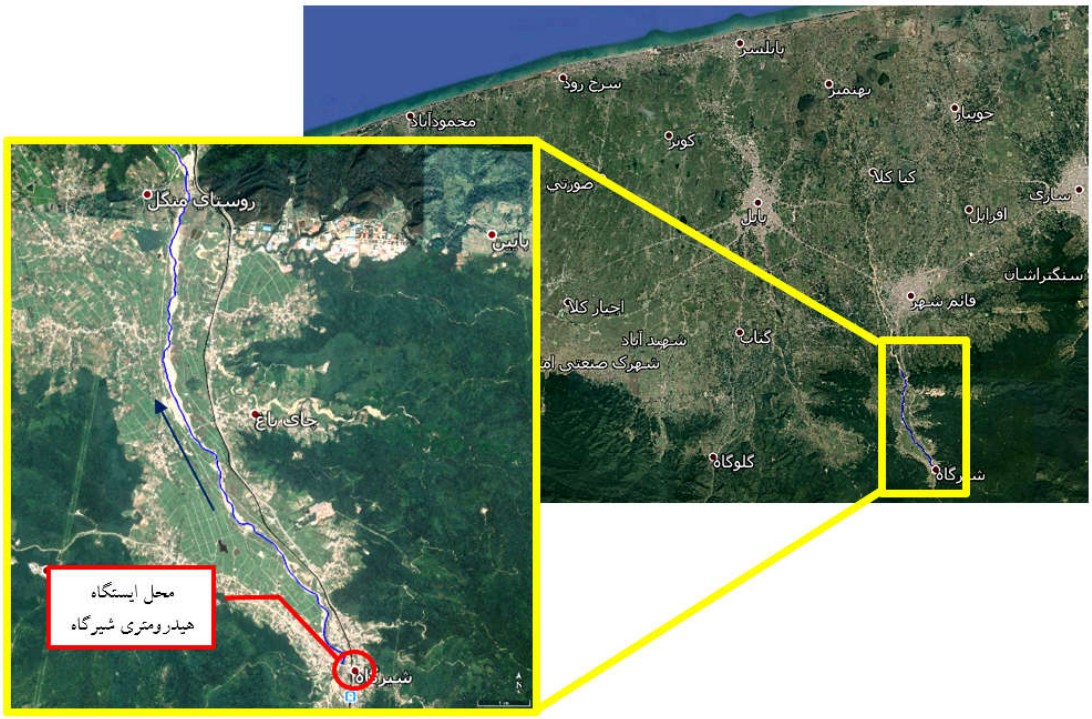
که در آن: η حجم رسوب در واحد حجم لایه بستر (تخلخل)، A_d حجم رسوبات بستر در واحد طول، As حجم رسوبات معلق در مقطع عرضی در واحد طول کانال، Q_s دبی حجمی رسوب و q_s رسوب جانبی ورودی.

برای ساده کردن این رابطه اولاً فرض می‌شود که تغییر در غلظت بار معلق در یک مقطع عرضی خیلی کمتر از تغییر بستر رودخانه است. ثانیاً پارامترهای توابع حمل رسوب طی یک گام زمانی، برای هر مقطع عرضی، ثابت فرض می‌شود. با این فرضیات رابطه به‌صورت رابطه ۲ ساده می‌شود:

$$\eta\frac{\partial A_d}{\partial t}+\frac{d\,Q_s}{\mathrm{dx}}=q_s \qquad (۲)$$

که رابطه غالب در GSTARS است و برای روندیابی رسوب در رودخانه‌ها و جریان به‌کار می‌رود (۱۹).

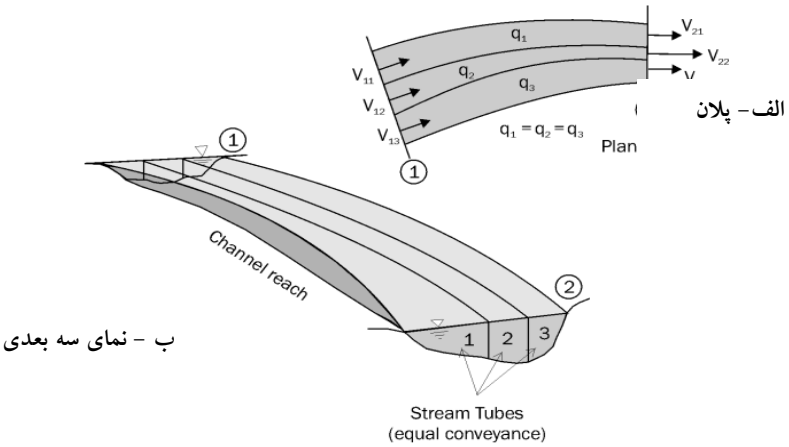
در این مدل، ابتدا نیمرخ‌های سطح آب محاسبه شده سپس مقاطع عرضی به چند مقطع با دبی مساوی مطابق شکل ۲ تقسیم می‌شوند. این مقاطع که دارای دبی‌های مساوی هستند، به‌عنوان لوله‌های جریان فرض شده و روندیابی رسوب درون هر لوله جریان، تقریباً مثل کانال‌های مستقل از هم انجام می‌گیرد. حداکثر تعداد لوله جریان در GSTARS2.1 پنج عدد است (۲۰).



شکل ۱. بازه مورد مطالعه و موقعیت ایستگاه هیدرومتری در تصویر هوایی

جدول ۱. مشخصات ایستگاه هیدرومتری شیرگاه

نام ایستگاه	موقعیت		سال تأسیس	ارتفاع از سطح آب‌های آزاد	نوع ایستگاه	تجهیزات
	Y	X				
شیرگاه	۴۰۱۸۷۸۵	۶۶۹۳۶۵	۱۳۲۹	۲۱۸	درجه یک	اشل، پل تلفریک و دیتالاگر



شکل ۲. نمایش شماتیک مفهوم لوله‌های جریان مورد استفاده در مدل GSTARS : الف) پلان و ب) نمای سه‌بعدی (Yang and Simões, 2000)

GSTARS2.1 یکی از نسخه‌های مدل ذکر شده با قابلیت واسط گرافیکی است که به‌دلیل سهولت وارد کردن داده‌های ورودی، در پژوهش حاضر مورد استفاده قرار گرفته است. این مدل نیز با وجود یک‌بعدی بودن قادر به شبیه‌سازی شبه دوبعدی و شبه سه‌بعدی تغییرات هندسه آبراهه است.

داده‌های مورد نیاز در مدل GSTARS2.1

داده‌های مورد نیاز این مدل برای شبیه‌سازی جریان و رسوب، عبارتند از: داده‌های هندسی، داده‌های هیدرولیکی و داده‌های رسوبی.

در بخش هندسی، پلان عمومی رودخانه همراه با مقاطع عرضی به مدل معرفی می‌شود. در مطالعه حاضر از اطلاعات ۵۵ مقطع عرضی حاصل از عملیات نقشه‌برداری در سال ۱۳۸۵ برای بازه‌ای به طول ۱۲/۵ کیلومتر استفاده شد.

در قسمت اطلاعات هیدرولیکی، دبی ماهانه ایستگاه هیدرومتری شیرگاه از سال ۱۳۸۵ تا سال ۱۳۹۰ با گام‌های زمانی ۳۰ روز به‌عنوان شرط مرزی بالادست به مدل معرفی شد. برای شرط مرزی پایین‌دست به‌دلیل عدم وجود ایستگاه هیدرومتری در پایین‌دست بازه مورد مطالعه، با درنظر گرفتن قابلیت‌های نرم‌افزار HEC-RAS، بازه مورد مطالعه با استفاده از این مدل در حالت ماندگار شبیه‌سازی و رابطه دبی- اشل استخراج شده در نرم‌افزار مذکور به‌عنوان شرط مرزی پایین‌دست در مقطع انتهایی برای مدل GSTARS مورد استفاده قرار گرفت.

بخش رسوب مدل شامل اطلاعات رسوب ورودی، دانه‌بندی بستر، دما، و پارامترهای مربوط به انتقال رسوبات چسبنده است. در این بخش منحنی سنجه رسوب معلق در ایستگاه شیرگاه مطابق با رابطه ۳ استخراج و به‌عنوان شرط مرزی ورودی مدل معرفی شد (شکل ۳).

$$Q_s=6.312\ Q_w^{1.97} \qquad (۳)$$

Q_s: دبی رسوب معلق Q_w: دبی آب

استفاده از رابطهٔ فوق با درجه آزادی ۸۰ و ضریب همبستگی ۰/۸۴۸ در دو سطح معنی‌دار ۱ و ۵ درصد، مورد تأیید قرار گرفت (۱۶).

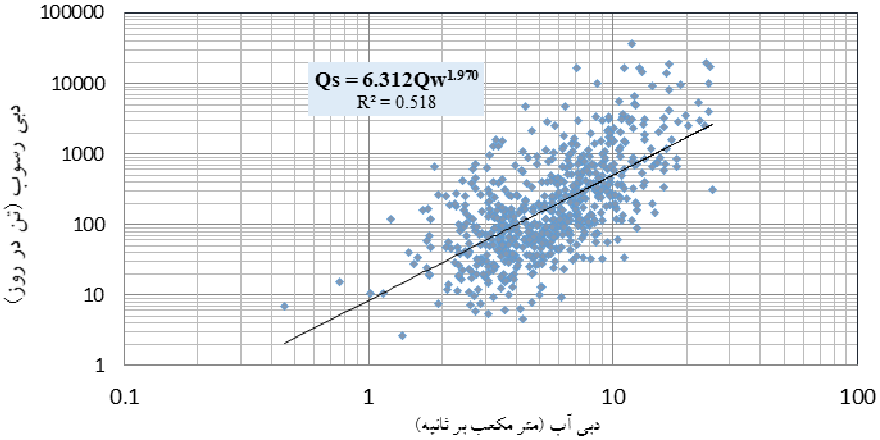
یکی دیگراز پارامترهای مهم در بخش رسوب منحنی دانه‌بندی بستر رودخانه است. نمودار دانه‌بندی بستر رودخانه در سه محدوده ابتدا، انتها و میانه بازه با انجام نمونه‌برداری و آزمایش الک در دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری توسط محقق به‌دست آمده و مورد استفاده قرار گرفت که نتایج در شکل ۴ آمده است.

یکی دیگر از قسمت‌های ورودی مدل، انتخاب تعداد لوله‌های جریان است. استفاده بیش از یک لوله جریان مدل را در حالت شبه‌دوبعدی قرار می‌دهد. در مطالعه حاضر، شبیه‌سازی با تعداد مختلف لوله‌های جریان نشان داد انتخاب بیش از سه لوله تأثیری در نتایج حاصل ندارد بنابراین ۳ لوله جریان در انجام شبیه‌سازی مورد استفاده قرار گرفت. در این زمینه اون و همکاران که در مطالعات خود بخشی از رودخانه ناکدونگ کره را با استفاده از مدل GSTARS3 مورد مطالعه قرار دادند نیز تعداد سه لوله جریان را توصیه کرده و اظهار داشتند با افزایش تعداد لوله‌های جریان فرسایش در نزدیکی مرکز کانال بیشتر از حد تخمین زده می‌شود (۲).

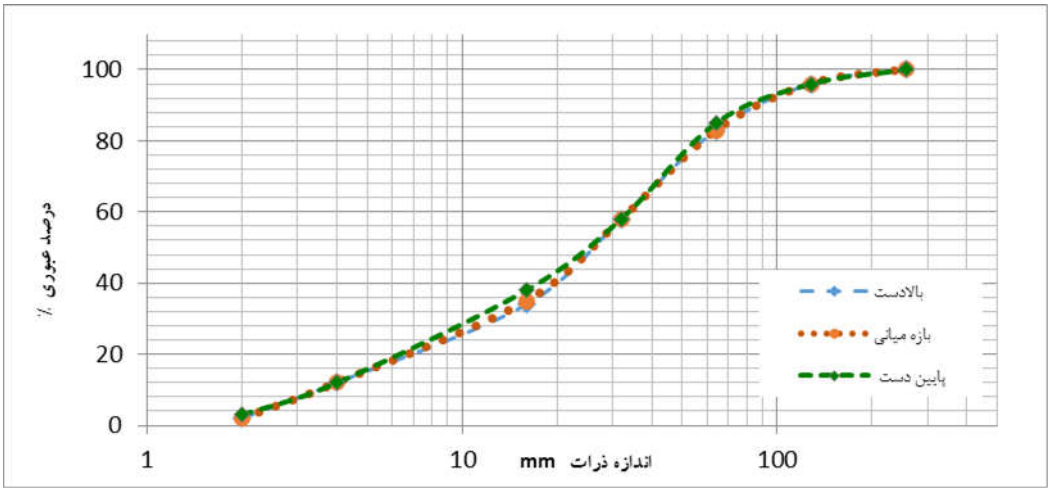
نتایج و بحث

واسنجی و صحت‌سنجی مدل ریاضی

در مدل‌سازی عددی، برای انجام صحیح محاسبات، تعداد زیادی از پارامترها می‌بایست به‌شکل مناسبی تعریف شوند. عملیات تطبیق پارامترها برای هماهنگی و سازگاری مدل در تولید داده‌هایی همانند نمونه اصلی سیستم، واسنجی مدل یا کالیبره کردن آن می‌گویند. صحت‌سنجی مدل که به نوعی تأیید مدل نیز است، شامل اثبات اینکه مدل کالیبره شده، برای شرایط شناخته شده در یک دورهٔ زمانی متفاوت و پارامترهای فیزیکی و توابع تغییر داده شده برای شرایط مورد نظر در دورهٔ زمانی جدید به درستی کار می‌کند.



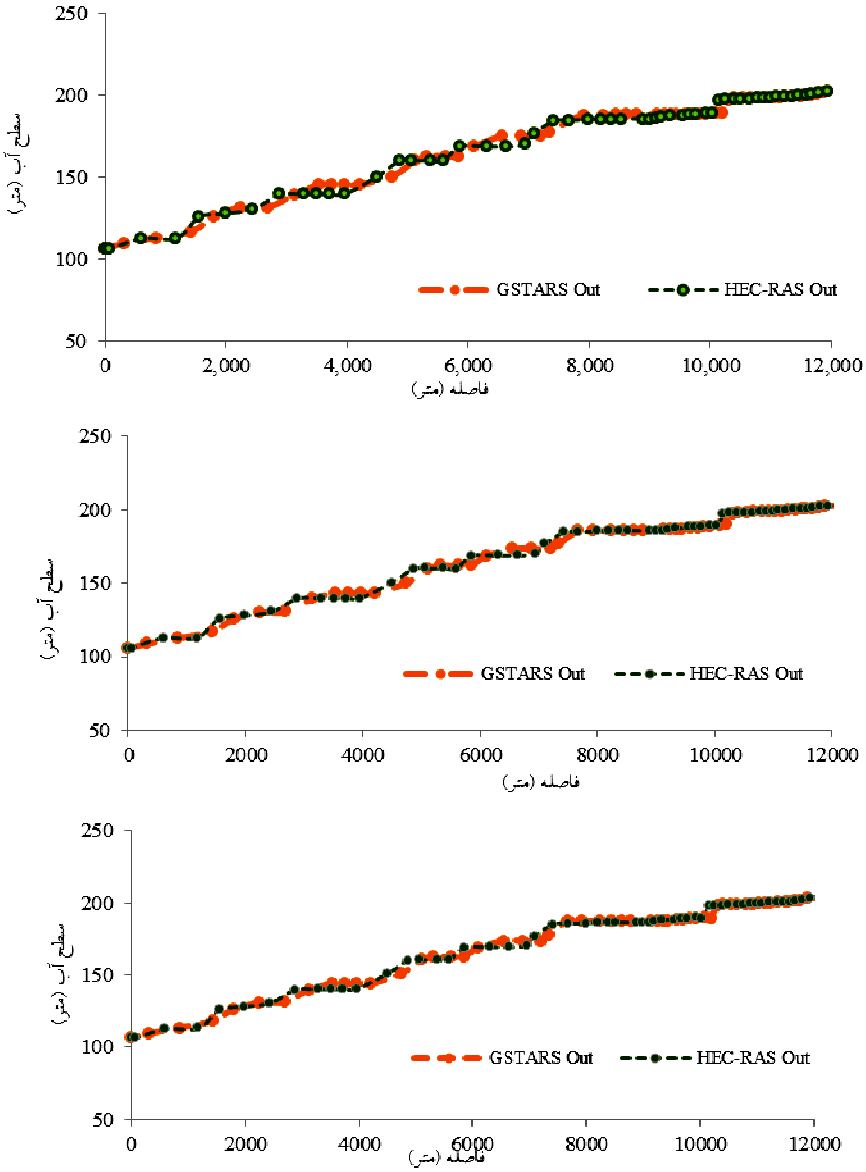
شکل ۳. منحنی دبی سنجه رسوب در ایستگاه شیرگاه



شکل ۴. منحنی‌های دانه‌بندی بستر در بازه مورد مطالعه (رنگی در نسخه الکترونیکی)

واسنجی ضریب زبری در مدل GSTARS

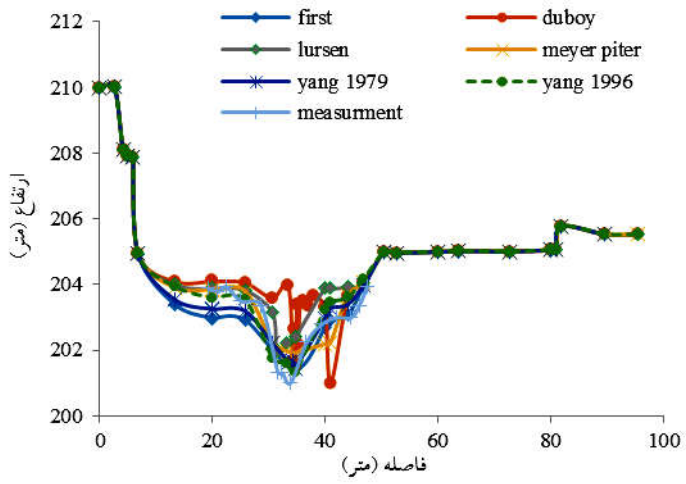
ضریب زبری، مهم‌ترین ضریب هیدرولیکی در انواع مطالعات هیدرولیک رودخانه است که تأثیر مشخصی بر نتایج خواهد داشت. در مطالعه حاضر با داشتن قطر D_{50} مصالح بستر و استفاده از روابط تجربی مختلف و بازدید از بازه مورد مطالعه، مقدار ضریب زبری اولیه برای سواحل و بستر رودخانه درنظر گرفته شد. برای واسنجی ضریب زبری با توجه به عدم وجود ایستگاه هیدرومتری کافی و یا داده هیدروگرافی برداشت شده سطح آب از مدل HEC-RAS کمک گرفته شد. به این ترتیب که ابتدا واسنجی و صحت‌سنجی ضریب زبری در مدل HEC-RAS انجام گرفت (۵). در ادامه شبیه‌سازی هیدرولیکی بازه برای دبی‌های مختلف (محدوده دبی‌های متعارف رودخانه تالار) در مدل GSTARS انجام شده و سطح آب به‌دست آمده با نتایج حاصل از دو مدل مقایسه و مورد تأیید قرار گرفت (شکل ۵). نتایج نشان‌دهنده این بوده که تغییرات محسوسی در پروفیل سطح آب وجود نداشته و ضریب زبری انتخاب شده برای مدل GSTARS نیز می‌تواند مورد استفاده قرار بگیرد.



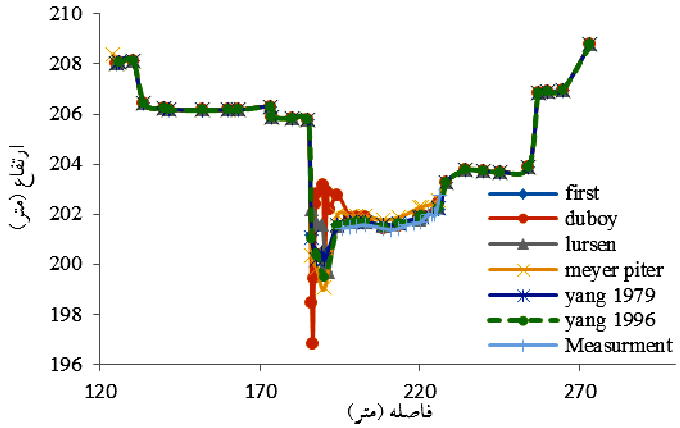
شکل ۵ مقایسه سطح آب محاسبه شده توسط توسط دو مدل برای: الف) دبی ۵ مترمکعب بر ثانیه، ب) دبی ۱۵ مترمکعب بر ثانیه و ج) دبی ۳۰ مترمکعب بر ثانیه (رنگی در نسخه الکترونیکی)

واسنجی و صحت‌سنجی رسوبی مدل GSRATS 2.1

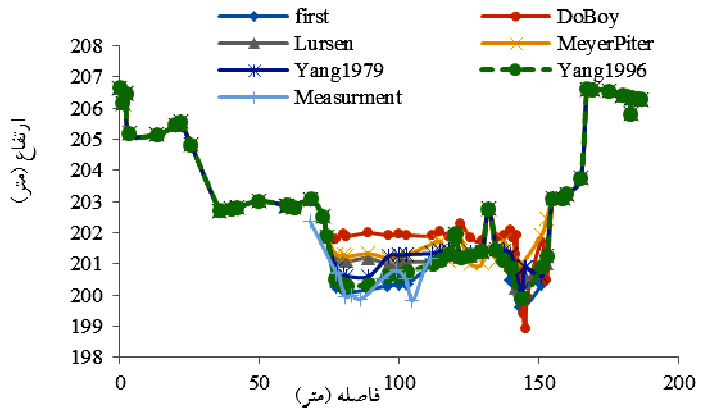
مطالعات انجام شده نشان می‌دهد فرسایش و رسوبگذاری در مقاطع عرضی، نسبت به معادلات انتقال رسوب مختلف دارای حساسیت است (۱۱). دقت روندیابی رسوب، به معادله حمل رسوب به‌کار رفته بستگی دارد. با توجه به اینکه رودخانه تالار در بازه مورد مطالعه دارای بستری از جنس شن و ماسه است است از تعداد کل ۱۴ رابطه انتقال رسوب موجود در مدل GSTARS2.1، تعداد ۵ رابطه شامل روابط: یانگ ۱۹۷۹، یانگ ۱۹۹۶، میرپیتر، لارسن و دوبویی، انتخاب و مدل با انتخاب هر یک از این روابط اجرا شد. واسنجی رسوبی مدل با مقایسه تغییرات بستر حاصل از شبیه‌سازی و واقعیت رودخانه انجام گرفت. برای این کار از مشخصات سه مقطع که در سال ۱۳۹۰ توسط نویسندگان مقاله حاضر نقشه‌برداری شد، استفاده شد (شکل‌های ۶ تا ۸).



شکل ۶. واسنجی روابط رسوبی مختلف در مدل GSTARS برای مقطع عرضی ۵۴ (رنگی در نسخه الکترونیکی)



شکل ۷. واسنجی روابط رسوبی مختلف در مدل GSTARS برای مقطع عرضی ۵۲ (رنگی در نسخه الکترونیکی)



شکل ۸. واسنجی روابط رسوبی مختلف در مدل GSTARS برای مقطع عرضی ۵۱ (رنگی در نسخه الکترونیکی)

جدول ۲. مقادیر خطای استاندارد به‌دست آمده برای روابط انتقال رسوب مختلف مورد استفاده در مقاطع ۵۱، ۵۲ و ۵۴

مقطع	lursen	DoBoy	Meyer pitter	Yang 1996	Yang 1979
51	0.688	0.655	0.655	0.654	0.665
52	1.293	1.298	1.297	1.201	1.302
54	0.798	0.743	1.026	0.637	0.733

جدول ۳. مقادیر خطای استاندارد به‌دست آمده برای روابط انتقال رسوب مختلف در مقطع ۵۳

مقطع	lursen	DoBoy	Meyer pitter	Yang 1996	Yang 1979
53	1.061	0.929	0.943	0.912	0.932

برای مقایسه نتایج میزان خطای استاندارد STE هر یک از توابع انتقال رسوب و داده‌های واقعی برداشت شده بستر رودخانه با استفاده از رابطه ۴ محاسبه و نتایج در جدول ۲ ارائه شده است که در آن X_{oi} و X_{ti} به‌ترتیب مقادیر داده مشاهده‌ای و داده به‌دست آمده حاصل از شبیه‌سازی سری داده‌ها و N تعداد داده‌ها است (۱۵).

$$STE = \left[\frac{\sum_{i=1}^{i=n}(x_{oi} - x_{ti})^2}{(n-1)}\right]^{1/2} \qquad (۴)$$

همان‌طور که در جدول ۲ آمده است، معادله یانگ ۱۹۹۶ دارای میزان خطای استاندارد کمتری بوده و به مقادیر واقعی نزدیک‌تر است. در بخش صحت‌سنجی نیز مطابق با جدول ۳ از داده‌های مقطع ۵۳ استفاده شد که تطابق بیشتر معادله یانگ ۱۹۹۶ با مقادیر واقعی را مورد تأیید قرار می‌دهد (شکل ۹).

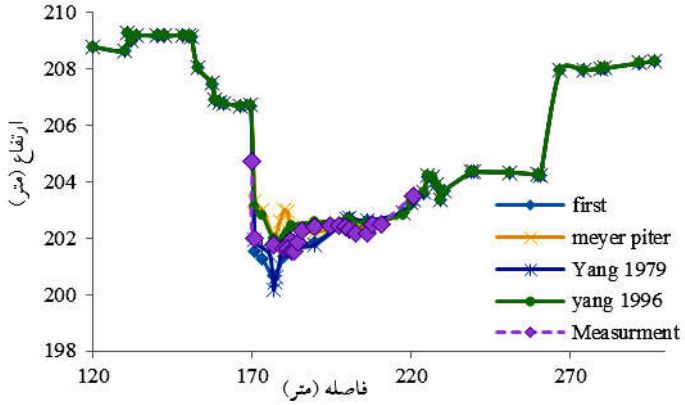
تغییرات بستر رودخانه

در شکل ۱۰ تغییرات پروفیل طولی رودخانه با استفاده از معادلات انتقال رسوب مورد استفاده، ارائه شده است. بررسی نتایج حاصل از توابع مختلف نشان می‌دهد رابطه دوبوی بیشترین خطا را دارد و میزان فرسایش و افتادگی بستر را بسیار زیاد نشان می‌دهند که این میزان تغییرات با توجه به مشاهدات و بازدیدهای میدانی انجام شده غیرقابل قبول است. استفاده از معادله ایکرز و وایت کمترین تغییرات پروفیل طولی رودخانه را خواهد داشت. همچنین در تمامی روابط بخش اعظم نیمه انتهایی بازه در حال فرسایش است.

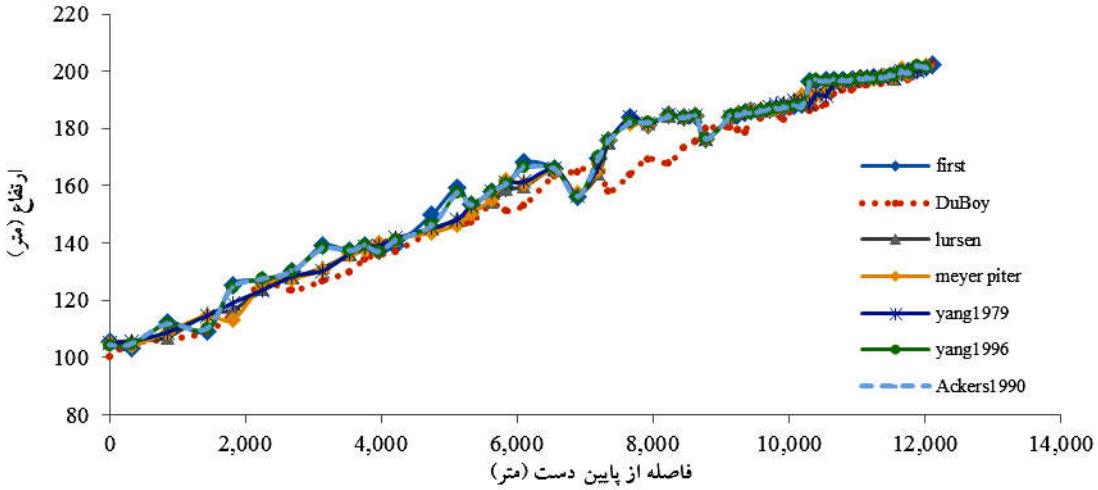
نتیجه‌گیری

مدل‌سازی انجام شده نشان داد شبیه‌سازی رسوبی رودخانه تالار با استفاده از مدل GSTARS2.1 نتایج قابل قبولی ارائه کرده که با دقت به‌نسبت خوبی با داده‌های واقعی در چهار مقطع نقشه‌برداری شده در سال ۱۳۹۰ برابری می‌کند. بایزیدی و کرمی (۹) نیز در مطالعات خود توانایی مدل GSTARS در شبیه‌سازی تغییرات پروفیل طولی و عرضی رودخانه مورد تأیید قرار دادند.

انتخاب صحیح تابع انتقال رسوب مهم‌ترین تأثیر را در برآورد صحیح حجم رسوب و شبیه‌سازی دارد. با به‌کار گیری توابع انتقال رسوب مختلف مشخص شد معادله انتقال یانگ ۱۹۹۶ بیشترین انطباق را با واقعیت داشته و می‌تواند برای پیش‌بینی



شکل ۹. صحت‌سنجی مدل GSTARS برای مقطع عرضی ۵۳ (رنگی در نسخه الکترونیکی)



شکل ۱۰. پروفیل طولی رودخانه با استفاده از توابع انتقال رسوب مختلف (رنگی در نسخه الکترونیکی)

تغییرات این رودخانه مورد استفاده قرار گیرد. بطنی و همکاران (۷) نیز با مقایسه نتایج به‌دست آمده از شبیه‌سازی رسوبی با مقادیر مشاهداتی در روخانه گاوه‌رود، تابع انتقال رسوب یانگ ۱۹۷۹را بهترین معادله برای شبیه‌سازی انتقال رسوب، معرفی کردند.

میزان رسوب خارج شده از بازه با استفاده از رابطه یانگ ۱۹۹۶ معادل ۸۵۹۰ تن در سال است که برای مقایسه نتایج مدل‌سازی با داده‌های واقعی لازم است در محدوده مورد مطالعه ایستگاه‌های رسوب‌سنجی برقرار و رسوب خروجی از بازه ثبت شوند.

همچنین بررسی تغییرات بستر رودخانه تالار نشان داد فرسایش، فرایند غالب در محدوده مطالعاتی است. کلیه روابط رسوبی مورد استفاده در این پژوهش نیز همین فرایند را پیش‌بینی کردند. بنابراین به‌منظور جلوگیری از بروز اثرات منفی، برداشت شن و ماسه در این بازه از رودخانه مورد مطالعه توصیه نمی‌شود. در پایان پیشنهاد می‌شود برای مطالعات دقیق‌تر شبیه‌سازی بازه مطالعاتی با مدل‌های دو بعدی و شبه دوبعدی دیگر نیز انجام و مقایسه صورت گیرد.

منابع مورد استفاده

1. Abood, M. M. T., A. H. Mohammed, A. Ghazali and M. Rodzi. 2009. Review study and assessment for sedimentation models applied to impounding reservoirs. *Journal of Engineering and Applied Sciences* 4(2): 152-160.
2. Ahn, J., J. M. Lee, Y. D. Kim and B. Kang. 2019. Effect of climate change on long-term riverbed change using GSTARS model in Nakdong river, Korea. *Journal of Civil Engineering*. 23: s1849–1859.
3. Albayati, M. A. 2014. Modeling sediment accumulation at kenyir reservoir using GSTARS3. *International Journal of Computational Engineering Research (IJCER)* 4(10): 2250-3005.
4. AlQasimi, E. and T. Mahdi. 2019. Rivers' confluence morphological modeling using SRH-2D. Proceedings of 2019 International Workshop on Natural Hazards, Pico Island, Portugal.
5. Asadi, F. Z., R. Fazloula and A. R. Emadi. 2017. Investigation of the river bed changes using HEC-RAS4.0 Model Case study: Talar river. *Journal of Watershed Management Research* 8(15): 25-35. (In Farsi).
6. Azizyan, Gh. R. and R. Mir. 2015. Numerical study of stability of alluvial compound channels using empirical results. *Journal of Water and Soil Conservation* 22:1. 71-89. (In Farsi).
7. Batny, A., S. H. Golmaee and M. Kh. Zia Tabar Ahmadi. 2015. The study of sediment transport and the changes of river bed using Gstars3 Mathematical model (Case study: Gaveh Roud River). *Journal of Water and Soil Conservation* 22(1): 191-210. (In Farsi).
8. Bayazidi, M. and N. Karami. 2017. Predicting sedimentation trend in Qareso River using GSTARS3 model. *Journal of Environment and Water Engineering* 3(1): 66-80. (In Farsi).
9. Chang, H. H., L. Harrison, W. Lee and S. Tu. 1996. Numerical modeling for sediment pass through reservoirs. *Journal of Hydraulic Engineering ASCE* 122(7): 381-388.
10. Derakhshan, M. 2009. Simulate the behavior of erosion and sedimentation in Ajichay River from GSTARS3 model. M.Sc. Thesis. Mazandaran University. (In Farsi).
11. Gibson, S. 2010. Mobile bed modeling of the Cowlitz River using HEC-RAS: assessing flooding risk and impact due to system sediment. 2nd Joint Federal Interagency Conference, Las Vegas.
12. Hey, R. D. 1986. River response to hydraulic structures. UNESCO. Paris.
13. Joshi, N., G. R. Lamichhane, M. Rahaman, A. Kalra and S. Ahmad. 2019. Application of HEC-RAS to study the sediment. Proceeding of 2019 World Environmental and Water Resources Congress, Pittsburgh, Pennsylvania, U.S.A
14. Khodabakhshi, F. 2012. Comparison of HEC-RAS and GSTARS3 models in the simulation of Sistan River behavior. MSc Thesis, University of Zabol, Department of Water and Soil. (In Farsi).
15. Lapin L. L. 1983. Probability and Statistic for Modern Engineering. 2nd edition, PWS-KENT Publishing Company Boston.
16. Mahdavi, M. 2006. The Applied Hydrology. Volume1. 6 th edition, The Tehran University Book co. (In Farsi).
17. Ministry of Energy. Mazandaran Regional Water. 2009. Engineering comprehensive study of River East Mazandaran province morphology Report. Volume1: Talar River. (In Farsi).
18. Saenyi, W. W. 2003. Temporal and spatial sediment modelling in massing reservoir, Kenya. *Die Bodenkultur* 54(4): 207-213.
19. Yang, C. T. and J. Ahn. 2011. User's manual for GSTARS 4. Hydro Science and Training Center Colorado State University.
20. Yang, C. T. and F. J. M. Simões. 2000. User's manual for GSTARS 2.1. U.S. Bureau of Reclamation Technical Service Center. Denver. Colorado.
21. Zarrati, A. and A. Etaat. 2010. Comparison of Fluvial-12 and Gstars 2.0 math performance in river behavior simulation. Proceeding of 2nd Congress of Iran Hydraulic, Tehran, Iran. (In Farsi).

Journal of Water and Soil Science
Vol. 25, No. 3, Fall 2021, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran.

Evaluation of Efficiency of Sediment Transfer Functions in GSTARS Numerical Model

F. Z. Asadi, R. Fazloula* and A. R. Emadi[1]

(Received: May 16-2020; Accepted: February 13-2021)

Abstract

Investigating and understanding river change issues is one of the important factors in sediment hydraulic sciences and river engineering. These studies can be done with the help of physical, mathematical models, or both, but due to financial and time constraints, mathematical models are more general and often used. In this study, the GSTARS model was used to investigate erosion and sedimentation and select the most appropriate function in 12.5 km in length from the Talar river in Mazandaran Province. Simulation using the 55 sections taken in 2006, the daily flow data of the hydrometric station of the Shirgah, located at the beginning of the rich and characteristics of the river sediment, was done. The calibration and validation of the model with cross sections taken in 2012 showed that Yang's sediment transport equation has the highest correlation with reality and can be used to predict river change. The amount of sediment depleted from the case study using the Yang equation is estimated at 8590 tons per year. Also, the study of longitudinal profiles of the river with different sediment transfer functions showed that the study reach at the end range has an erosion trend and is not capable of sand and gravel mining.

Keywords: Bed changes, Talar river, Numerical simulation, Erosion and sedimentation, Sediment calibration

1. Water Engineering Department, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran.
Corresponding author, Email: raminfazl@yahoo.com