

محاسبه آورد رسوب رودخانه کارون با استفاده از نرم افزار GSTARS3

زهرا شجاعیان^۱، حمیدرضا خدابخشی^۲

۱- دانش آموخته دکترای سازه های آبی، Z.shojaeian64@gmail.com

۲- معاونت طرح و توسعه شبکه های آبیاری و زهکشی سازمان آب و برق خوزستان

تاریخ دریافت: ۱۳۹۶/۰۷/۰۷

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۸/۰۱

چکیده

رسوب حمل شده توسط جریان آب عامل مهمی در شکل گیری ساختار هندسی و خصوصیات ریخت شناسی رودخانه ها تلقی می شود. در این مقاله، فرآیند رسوب گذاری رودخانه کارون در محدوده ایستگاه هیدرومتری اهواز تا فارسیات به طول حدود ۵۰ کیلومتر و با استفاده از نرم افزار GSTARS3 شبیه سازی گردید. هدف از این مطالعه انتخاب مدل ریاضی مناسب جهت برآورد نرخ انتقال رسوب به نحوی که قادر به شبیه سازی با دقت مناسب در رودخانه باشد. نتایج حاصل از واسنجی رسوبی مدل نشان می دهد که برای بازه مورد نظر رابطه رسوبی ایگر-وایت (۱۹۷۳) و (۱۹۹۰) مطابقت بهتری با شرایط موجود رودخانه کارون دارند. همچنین حجم رسوب ورودی از ایستگاه هیدرومتری اهواز و رسوب خروجی از ایستگاه هیدرومتری فارسیات را به ترتیب ۱۸/۲۵ و ۱۶/۶۵ میلیون متر مکعب در سال برآورد گردید که این نشان دهنده این است که این بازه به شدت رسوبگذار است.

واژه های کلیدی: ایستگاه هیدرومتری، رسوبگذاری، رودخانه کارون، مدل ریاضی GSTARS3، واسنجی

مقدمه

شرب و کشاورزی، رودخانه کارون دست خوش تغییرات زیادی گردیده و با مشکلات زیادی به خصوص در مناطق پایین دست مواجه شده است. طبق بررسی منابع موجود، اولین مطالعه مدون در زمینه وضعیت رسوب گذاری این رودخانه در محدوده موردنظر، در سال ۱۹۹۱ و به منظور ساماندهی رودخانه برای عبور سیلاب با حداقل رسوبگذاری انجام شده است (الخیرالله، ۱۹۹۲). سازمان آب و برق خوزستان (۲۰۰۲) در طرح جامع ساماندهی رودخانه های کارون و دز، وضعیت رسوب این دو رودخانه را از گتوند تا خلیج فارس به طول حدود ۴۰۰ کیلومتر با استفاده از مدل ریاضی HEC-6 مورد بررسی قرار داد. ترین (۲۰۰۴) به بررسی کیفی سه مدل ریاضی FIUVIAL12، SSIIM و

هیدرولیک انتقال رسوب دانشی است که چگونگی حرکت، فرسایش و رسوبگذاری موثر رسوبی در کانال ها و رودخانه ها را مورد بحث قرار می دهد. برای جلوگیری و یا به حداقل رساندن خسارات وارده باید سه فرآیند فرسایش، انتقال و نهشته شدن مواد رسوبی را مورد مطالعه قرار داد. به دلیل اهمیت مسئله رسوب، پژوهشگران همواره به بررسی این پدیده در رودخانه ها و مخازن سدها پرداخته اند.

رودخانه کارون از جمله رودخانه هایی است که بیشترین طرح ها و پروژه های سامان دهی رودخانه از قبیل احداث پل، کنترل سیلاب، کشتیرانی، بهینه سازی مدیریت منابع آب، بیلان رسوب و ... در آن در حال انجام است. در سال های اخیر به دلیل اجرای طرح های توسعه در زمینه های مختلف صنعت،

روشی عددی برای شبیه سازی انتقال رسوبات درشت دانه در رودخانه‌ها را ارائه نمود که قادر به تحلیل مسائل رسوب و هیدرودینامیک جریان بود. وی انتقال رسوبات مواد درشت دانه را با استفاده از معادله پارکر (۱۹۹۰) به دست آورد، هدف از این پژوهش تعیین میزان رسوبات وارده به مخزن سد و شبیه سازی الگوی رسوبگذاری در مخزن قبل از بهره‌برداری با استفاده از مدل ریاضی و روش کاهش سطح بود. السی و همکاران (۲۰۰۷) در مقاله‌ای به بررسی فرآیند رسوبگذاری در مخزن سدی با ارتفاع ۵۰ متر با استفاده از مدل سه بعدی پرداختند. در این مقاله، روند رسوبگذاری رودخانه کارون در محدوده شهر اهواز حداقل ایستگاه‌های هیدرومتری اهواز و فارسیات به طول حدود ۵۰ کیلومتر با استفاده از مدل ریاضی GSTARS3 شبیه سازی شده است. سپس برای اطمینان از دقت مدل ریاضی، اقدام به صحت سنجی شده است.

معرفی مدل ریاضی GSTARS3

GSTARS3 یکی از نرم‌افزارها از سری مدل‌های کامپیوتری لوله جریان به منظور شبیه‌سازی رودخانه‌های آبرفتی توسط اداره احیای اراضی آمریکا در جریان‌های ماندگار و شبه ماندگار تعمیم یافته است. در GSTARS3، محاسبات روندیابی بر پایه اصل بقای جرم رسوب می‌باشد. در جریان غیر دائمی یک بعدی، معادله پیوستگی رسوب عبارت است از:

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

که در آن، η : حجم رسوب در واحد حجم لایه بستر (منهای تخلخل)، A_d : حجم رسوب بستر در واحد طول، A_s : حجم رسوب معلق در مقطع عرضی در واحد طول، Q_s : دبی حجمی رسوب و q_{lat} : جریان رسوب جانبی، می‌باشد.

GSTARS3 پرداخت و در طی تحلیل خود به بررسی قابلیت‌های هر کدام از مدل‌های یاد شده پرداخت و در نهایت مدل GSTARS3 را نسبت به دو مدل دیگر برتر شناخت. زارع و شمسایی (۲۰۰۷) با استفاده از مدل GSTARS3 و تلفیق آن با سیستم اطلاعات جغرافیایی روند رسوبگذاری در مخزن سد سفیدرود را مورد مطالعه قرار دادند در این پژوهش روند رسوبگذاری با استفاده از مدل شبیه سازی گردید محل‌ها و میزان رسوبگذاری شناسایی و روند شکل‌گیری دلتای رسوب پیش‌بینی شد. سیدیان و شفاعی (۲۰۰۷) در مقاله خود به بررسی وضعیت رسوبگذاری سد و شمشگیر با استفاده از مدل GSTARS3 پرداختند و با استفاده از هیدروگرافی موجود و اطلاعات دیگر و واسنجی مدل وضعیت رسوبگذاری را در این سد پیش‌بینی نمودند با توجه به پژوهش آن‌ها ۸۰ درصد حجم سد در سال ۱۳۹۲ از رسوبات پر می‌شود. حسن زاده و همکاران (۲۰۰۸) به بررسی پدیده رسوب در مخزن سد علویان با به کارگیری مدل GSTARS3 پرداختند که محاسبات آن‌ها نشان داد که پس از طی ۵۰ سال حجم رسوبات انباشته شده در مخزن به حدود ۱۵ میلیون مترمکعب بالغ می‌شود که تقریباً معادل ۲۵ درصد ظرفیت مخزن می‌باشد. ظهیری و همکاران (۲۰۰۹) با استفاده از مدل ریاضی GSTARS3 حمل و ته‌نشینی رسوب را در طول رودخانه کارون حداقل ایستگاه‌های هیدرومتری اهواز تا فارسیات را بررسی نمودند. نتایج نشان داد که روابط رسوبی ایکرز-وایت، توفالتی و انگلوند-هانسن تغییرات پروفیل طولی بستر رودخانه را با دقت به نسبت خوبی برآورد می‌کنند. اوتمن و ونگ (۲۰۰۴) مدل GSTARS3 را برای شبیه سازی مراحل رسوبگذاری در رودخانه تیگریس در پایین دست سد ماسول در عراق مورد استفاده قرار دادند. نتایج حاصله بیانگر مطابقت خوب مدل با مقادیر واقعی رسوب بود به علاوه این که تغییرات در اندازه ذرات رسوبی در طول رودخانه را با استفاده از مدل شبیه سازی نمودند. یانتایو (۲۰۰۵) در مقاله خود

در GSTARS3 معادله (۴)، معادله حاکم برای روندیابی رسوبات در رودخانه‌ها و آبراهه‌ها می‌باشد.

منطقه مورد مطالعه

رودخانه کارون به طول بیش از ۱۰۰۰ کیلومتر و آبدهی حدود ۲۵ میلیارد مترمکعب در سال، بزرگترین و پرآب‌ترین رودخانه کشور می‌باشد. در شکل ۱ پلان رودخانه کارون در حدفاصل ایستگاه‌های هیدرومتری اهواز و فارسیات نشان داده شده‌است. رودخانه در این بازه دارای وضعیت متاندیری شدید است.

اولاً اگر فرض گردد که تغییر غلظت رسوب معلق در یک مقطع عرضی بسیار کوچک از تغییر بستر رودخانه باشد، یعنی:

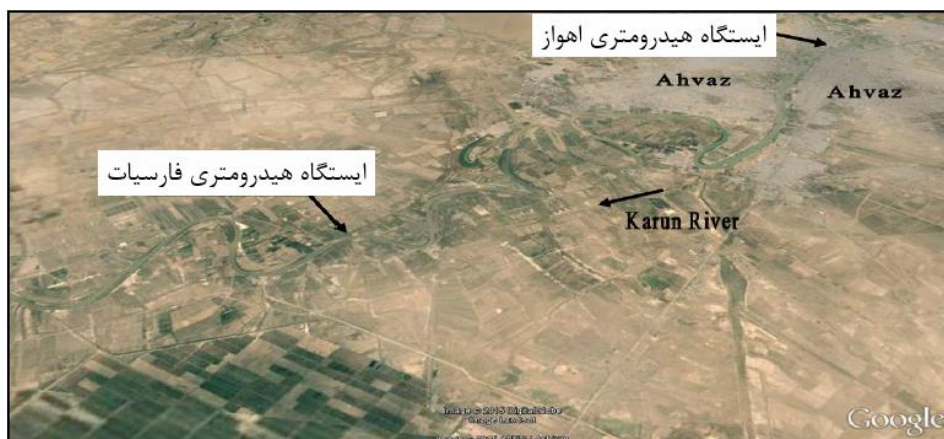
$$\frac{\partial A_s}{\partial t} \ll \eta \frac{\partial A_d}{\partial t} \quad (2)$$

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

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

با این فرضیات معادله ۱ به صورت زیر تبدیل می‌شود:

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



شکل ۱- پلان رودخانه کارون در حدفاصل ایستگاه‌های هیدرومتری اهواز و فارسیات

داده‌های هندسه کانال و ضریب زبری

اولین قدم در مدل کردن رودخانه با استفاده از GSTARS3 شامل تقریب بستر و ساحل کانال به صورت نیمه دو بعدی است. پلان عمومی رودخانه همراه با مقاطع عرضی آن به مدل معرفی می‌گردد. در این تحقیق، برای کالیبره کردن مدل ریاضی از تعداد ۶۰ مقطع عرضی که در سال ۱۳۹۰ برداشت شده‌اند و برای صحت‌سنجی مدل ریاضی از ۲۰ مقطع عرضی که در ابتدای سال ۱۳۹۴ برداشت شده‌اند استفاده شده‌است.

اطلاعات مورد نیاز

GSTARS3 محاسبات روندیابی رسوب و هیدرولیک را از هم جدا می‌کند و برنامه محاسبات را در دو مرحله انجام می‌دهد. مرحله اول محاسبات پروفیل سطح آب و مرحله دوم انجام محاسبات روندیابی رسوب است. فایل داده‌های ورودی در GSTARS3 به چهار دسته تقسیم می‌شود که شامل داده‌های هندسه کانال و ضریب زبری، داده‌های هیدرولیکی، داده‌های جریان و دانه‌بندی رسوب و گزینه‌های چاپ می‌باشد.

داده‌های هیدرولیکی

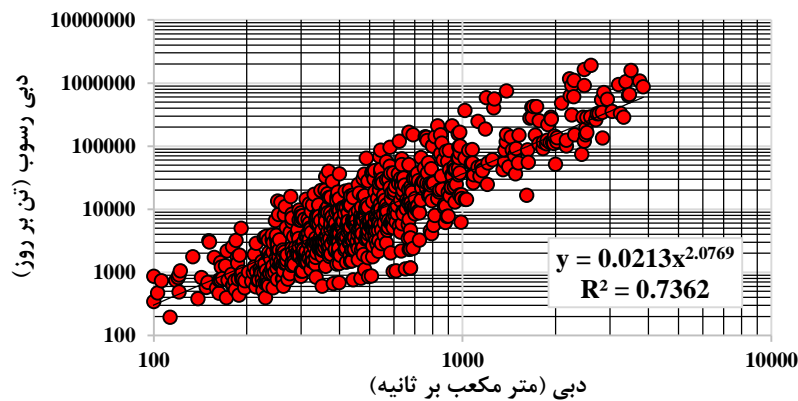
اطلاعات هیدرولیکی مورد نیاز مدل شامل هیدروگراف روزانه دبی جریان (از سال ۱۳۹۰ تا ۱۳۹۴) در ایستگاه بالادست (اهواز)، منحنی دبی-اشل در ایستگاه پایین دست (فارسیات)، ضرایب زبری و ضرایب افت می‌باشد.

در ایستگاه اهواز به عنوان اطلاعات ورودی بکار گرفته شد. در شکل (۲) منحنی سنجه رسوب برای سال‌های مختلف آورده شده است و دبی رسوب را بر اساس تابعی از دبی آب به صورت زیر بدست آورده‌است. که در آن $Q_s =$ دبی رسوب ورودی (تن/روز)، $Q_d =$ دبی آب (متر مکعب/ثانیه) می‌باشد.

داده‌های جریان رسوب

در بخش اطلاعات رسوبی، منحنی سنجه رسوب معلق و منحنی دانه بندی رسوبات (شکل‌های ۲ و ۳)

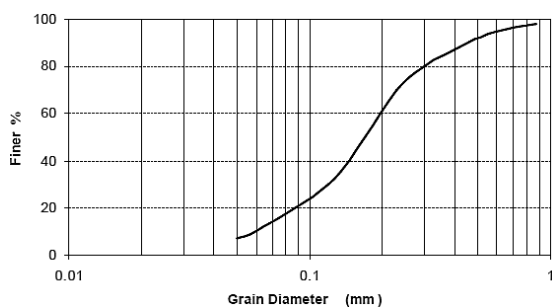
$$Q_s = 0.0213Q_d^{2.076} \quad (۱)$$



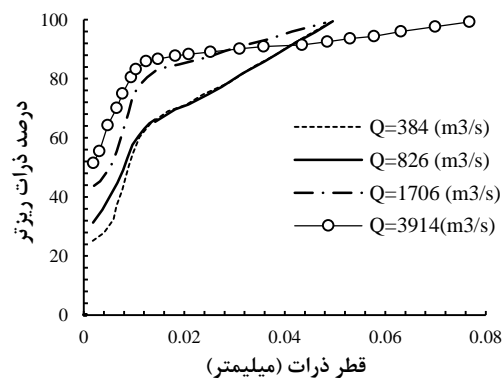
شکل ۲- منحنی سنجه رسوب معلق رودخانه کارون در ایستگاه اهواز

تحلیل قرار گرفته و در نهایت از متوسط آن‌ها در مدل استفاده شد. از طرف دیگر شکل شماره ۴ دانه‌بندی بار بستر رودخانه کارون را نشان می‌دهد.

با توجه به اینکه اطلاعات منحنی دانه بندی مصالح بستر نقش مهمی در شبیه سازی جریان و رسوب دارد به همین علت منحنی‌های دانه بندی بار معلق در چند سال گذشته در شکل ۳ مورد تجزیه و



شکل ۴- دانه بندی بار بستر رودخانه کارون

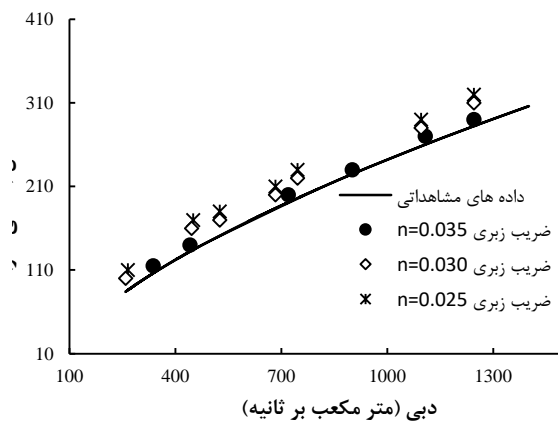


شکل ۳- دانه بندی بار معلق برای دبی‌های مختلف رودخانه

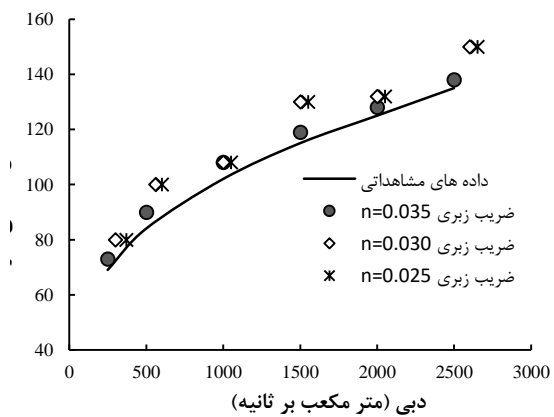
روش انجام تحقیق

کالیبراسیون هیدرولیکی مدل: هدف از کالیبراسیون هیدرولیکی مدل، تعیین ضریب زبری مانینگ بستر است. برای کالیبره کردن هیدرولیکی مدل و تعیین ضریب زبری مناسب از اندازه‌گیری دوره ای دبی - اشل در ایستگاه‌های هیدرومتری اهواز و فارسیات استفاده شد. با توجه به مقادیر مختلف ضریب زبری مانینگ در بستر رودخانه این ضریب در

بستر رودخانه طوری تغییر داده شد که تراز سطح آب محاسبه‌ای به ازای دبی‌های پایه و سیلابی منطبق بر تراز مشاهده‌ای در ایستگاه‌های هیدرومتری باشد. نتایج حاصل از کالیبراسیون مدل در زبری‌های مختلف در ایستگاه‌های فارسیات و اهواز به ترتیب در شکل‌های ۵ و ۶ ارائه شده‌است. همان‌طور که در نمودارها قابل مشاهده‌است مدل در زبری $0.35/0$ تطابق بهتری با داده‌های مشاهده‌ای دارد.



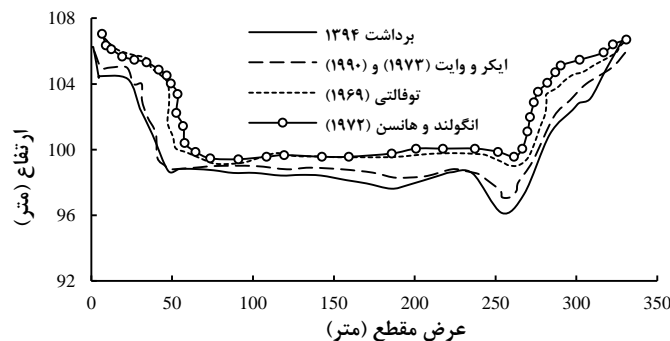
شکل ۶- واسنجی هیدرولیکی مدل ریاضی GSTARS3 در ایستگاه اهواز



شکل ۵- واسنجی هیدرولیکی مدل ریاضی GSTARS3 در ایستگاه فارسیات

ایستگاه در فروردین ۹۴ مقایسه گردید. با توجه به شکل (۷) مشخص می‌شود که بهترین معادله برای شبیه سازی انتقال رسوب در بازه مورد نظر رابطه رسوبی ایگر و وایت (۱۹۷۳) و (۱۹۹۰) می‌باشد.

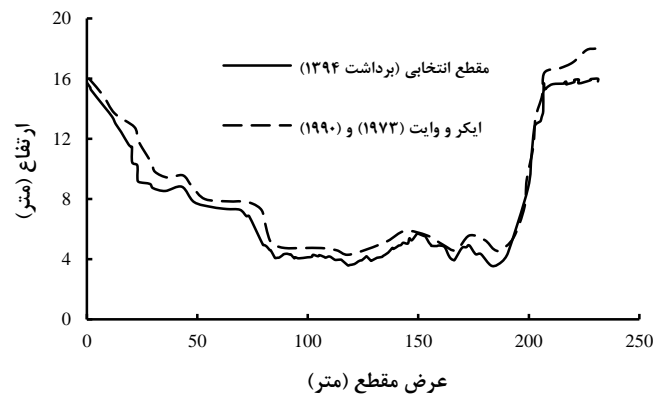
کالیبراسیون رسوبی مدل: جهت کالیبره کردن مدل از نظر رسوبی ابتدا تغییرات مقطع عرضی رودخانه کارون در محل ایستگاه هیدرومتری اهواز به ازای روابط تجربی مختلف موجود در مدل ریاضی GSTARS3 شبیه سازی شده و با مقطع عرضی این



شکل ۷- واسنجی روابط رسوبی مختلف برای مقطع عرضی ایستگاه اهواز

محاسبه شده توسط مدل عددی و رابطه بدست آمده انتقال رسوب ایگر و وایت مقایسه شده است. همانطور که در شکل (۸) مشاهده می‌شود نتایج محاسباتی مدل ریاضی به ازای رابطه ایگر و وایت مطابقت خوبی با مقطع عرضی برداشت شده در سال ۱۳۹۴ دارد.

صحت سنجی مدل ریاضی: برای صحت سنجی مدل از یک مقطع عرضی در حد فاصل ایستگاه‌های هیدرومتری فارسیات و اهواز استفاده شده است و تغییرات تراز بستر این مقطع را با نتایج



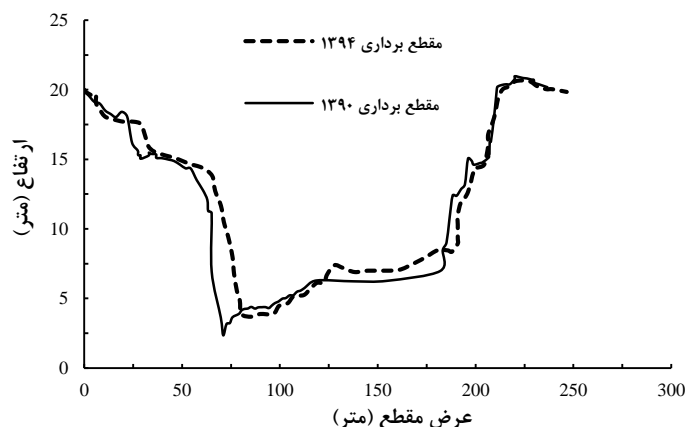
شکل ۸- مقایسه تغییرات محاسبات و مشاهداتی تراز بستر یکی از مقاطع عرضی رودخانه کارون در محدوده شهر اهواز

بررسی رسوب گذاری کارون در طول دوره ۴ ساله

به منظور بررسی وضعیت رسوبگذاری کارون از دو مقطع برداری مختلف در سال‌های ۱۳۹۴ و ۱۳۹۰ استفاده شده است. نتایج این مقایسه در شکل (۹) نشان داده شده است میزان متوسط رسوب گذاری در طول ۴ سال، با استفاده از رابطه رسوبی ایگر و وایت حدود ۶۰ سانتی‌متر بدست آمده است. که میزان متوسط رسوبگذاری حدوداً ۱۵ سانتی متر در سال حاصل خواهد شد که با بررسی تاریخی مقاطع کارون هم خوانی کامل دارد.

محاسبه میزان رسوبگذاری در محدوده ایستگاه فارسیات-اهواز توسط مدل GSTARS3

بعد از کالیبراسون هیدرولیکی و رسوبی و صحت سنجی حال می‌توان این مدل را برای پیش بینی و محاسبه دبی کل رسوب انتقالی از رودخانه در محل ایستگاه اهواز استفاده نمود که در نتیجه حجم رسوب ورودی و خروجی از ایستگاه هیدرومتری اهواز و فارسیات با استفاده از مدل GSTARS3 به ترتیب برابر با ۱۸/۲۵ و ۱۶/۶۵ میلیون متر مکعب در سال محاسبه گردید از اینرو حجم رسوبگذاری در محدوده بین ایستگاه‌های فارسیات و اهواز ۱/۵۸ میلیون متر مکعب در سال برآورد گردید.

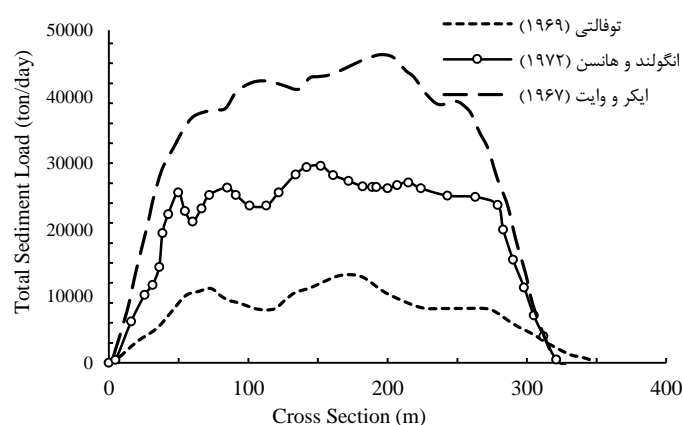


شکل ۹- مقایسه مقاطع رودخانه کارون در سال های ۱۳۹۴ و ۱۳۹۰ در محل پل پنجم

هانسن و توفالتی برای دبی سیلابی ۱۴۰۰ مترمکعب بر ثانیه ارائه شده است. همان طور که مشاهده می شود روابط ایگر- وایت و توفالتی به ترتیب بیش ترین و کمترین مقدار دبی رسوب را به ازای هر دبی جریان برآورد نموده اند.

پیش بینی آورد رسوب در ایستگاه اهواز در شرایط سیلابی

در شکل (۱۰) نتایج توزیع عرضی دبی رسوب در رودخانه کارون در محل ایستگاه هیدرومتری اهواز با استفاده از ۳ رابطه رسوبی ایگر و وایت، انگلوند -



شکل ۱۰- نتایج توزیع عرضی دبی کل رسوب به دست آمده از ۳ رابطه تجربی در ایستگاه اهواز دبی ۱۴۰۰ مترمکعب بر ثانیه

رودخانه، دبی کل رسوب انتقالی از ایستگاه در هر دبی جریان به دست می آید. نتایج این محاسبه برای ۴ دبی جریان به کمک ۳ رابطه رسوبی ایگرز- وایت، انگلوند - هانسن و توفالتی در جدول ۱ ارائه شده است.

با استفاده از توزیع عرضی دبی رسوب به دست آمده از روابط تجربی مختلف، دبی کل رسوب رودخانه قابل محاسبه است. در حقیقت با محاسبه مجموع دبی های رسوب انتقالی در هر بخش یا المان از عرض

جدول ۱- نتایج دبی رسوب (تن بر روز) به دست آمده از روابط انتقال رسوب در ایستگاه اهواز به ازای ۴ دبی جریان

دبی جریان (متر مکعب بر ثانیه)				
۱۴۰۰	۱۰۰۰	۷۲۴	۴۵۰	رابطه رسوبی
۲۵۶۰۰۰	۱۵۹۴۵۶	۵۶۷۰۰	۱۹۴۸۵	ایکر و وایت (۱۹۶۷)
۱۷۵۰۰۰	۹۵۴۵۳	۱۲۵۰۴	۸۶۵۰	انگولند و هانسن (۱۹۷۲)
۹۵۴۸۲	۳۴۶۰۰	۸۹۴۰	۶۴۴۵	توفالتی (۱۹۶۹)

نتیجه گیری

مختلف موجود در مدل نشان داد که بهترین معادله برای شبیه سازی انتقال رسوب در بازه مورد نظر رابطه رسوبی ایکر و وایت (۱۹۷۳) و (۱۹۹۰) می باشد. ۳- میزان آورد رسوب با استفاده از مدل GSTARS3 از ایستگاه هیدرومتری اهواز به محدوده مورد مطالعه حدود ۱۸/۲۵ میلیون متر مکعب در سال برآورد شده است.

۱- مدل ریاضی GSTARS3 برای سیلاب رخ داده در بهار سال ۱۳۹۵ (با حداکثر دبی ۱۴۰۰ مترمکعب بر ثانیه) کالیبره گردید نتایج حاصل از کالیبراسیون مدل نشان می دهد که به ازای ضریب زبری مانینگ ۰/۰۳۵ پروفیل سطح آب محاسباتی با مقادیر واقعی رقوم سطح آب اندازه گیری شده در دبی سیلاب ۱۴۰۰ متر مکعب بر ثانیه تطابق بهتری دارد. ۲- نتایج حاصل از واسنجی هیدرولیک رسوب در مدل ریاضی GSTARS3 به ازای روابط تجربی

منابع

- 1-Alkhairolah, L. 1992. Investigation on impacts of Karun river training works on sedimentation rate of river in vicinity of Ahwaz, 2nd River Engineering conference, Ahwaz, Pp: 6-13. (In Persian).
- 2-Elci, S., Paul, A., and Hayter, J. 2007. Influence of stratification and shoreline erosion on reservoir sedimentation patterns. J. Hydraul. Engin. ASCE. 3: 255-266.
- 3-Hasanzadeh, Y., Feizi Khankandy, A., and Alami, M.T. 2008. Comparison of a mathematical sedimentation model results and hydrographically measured data in Alavian dam reservoir. J. Water Waste Water. 19: 67. 47-57. (In Persian).
- 4-Khozestan Water and Power Authority (KWPA). 2002. Karun river training project, Erosion and Sedimentation Report, DezAb Consulting, 230p. (In Persian).
- 5-Othman, K.I., and Wang, D. 2004. Application of GSTARS 2.1 model for degradation in alluvial channels. Proceeding of the 9th International Symposium on River Sedimentation, Yichang, China. Pp: 1532-1537.
- 6-Seyedian, S.M., and Shafaei Bajestan, M. 2007. Investigation of sediment distribution in Voshmgir dam reservoir using GSTARS3 model, 7th International River Engineering Conference, Shahid Chamran University, 9p. (In Persian).
- 7-Tarbon, S.A. 2004. Simulation of sedimentation in dam reservoirs using one, semi-two and three dimensional models. M.Sc. Thesis. Department of Civil Engineering, Tarbiat Moddares University, 96p. (In Persian).

- 8-Yantao, C. 2005. Numerical model of sediment pulses and sediment-supply disturbances in mountain Rivers. J. Hydraul. Engin. ASCE. 8: 646-656.
- 9-Zahiri, A., Shahinejad, B., and Rostami, S. 2009. Simulation of Karoun River sedimentation using GSTARS 2.0 (a reach between Ahwaz and Farsiat hydrometric stations). J. Water Soil Cons. 16: 4. 25-42. (In Persian).
- 10-Zare, S., and Shamsaee, A. 2007. Numerical investigation of morphological changes in reservoirs affected by sedimentation with GSTARS3 model and GIS, 7th International River Engineering Conference, Shahid chamran University, 10p. (In Persian).