برآورد دبی انتقال رسوب رودخانه شاهرود با استفاده از مدل ریاضی HEC-RAS

مریم تیموری یگانه[۱]،علی آرمان*[۲]

مقاله علمی پژوهشی

تاریخ ارسال:۱۳۹۸/۰۳/۰۴

تاریخ پذیرش:۱۳۹۸/۰۶/۳۰

چکیده

برآورد مقدار بار رسوبی که یک جریان مشخص قادر به حمل آن است، یکی از موضوعات اصلی تحقیقات رسوبی می-باشد. رودخانه شاهرود واقع در استان قزوین یکی از رودخانه‌های مهم استان قزوین می‌باشد که نقش مهمی در تامین آب کشاورزی منطقه بخصوص تامین آب سد سفید رود دارد.در تحقیق حاضربا استفاده از مدل HEC-RAS به بررسی وضعیت فرسایش و رسوبگذاری رودخانه شاهرود پرداخته شد. همچنین با استفاده از دبی های حداکثر اندازه گیری با طول دوره آماری ۲۵ ساله در ایستگاه هیدرومتری رجایی دشت واقع برروی رودخانه شاهرود و با استفاده از نرم افزار SMADA دبی با دوره بازگشتهای مختلف محاسبه وبرای شبیه سازی هیدرولیکی رود خانه مورد استفاده قرار گرفت. در نهایت مدل برای دبی ۲۵ ساله (۵۰۷/۹۳ متر مکعب بر ثانیه) اجرا گردید. بعد از کالیبره نمودن مدل برای شرایط هیدرولیکی رود خانه و مدل سازی شرایط جریان شبه غیرماندگار اطلاعات شرایط مرزی و عمق نرمال به مدل معرفی شد با استفاده از رابطه های انتقال رسوب ، ظرفیت انتقال رسوب رودخانه شاهرود محاسبه شد. مقایسه بین نتایج بدست آمده و داده های اندازه‌گیری شده نشان داد که معادله ایکرز – وایت با داشتن متوسط خطای ۱۶ درصد در بازه مورد بررسی نسبت به سایر توابع برآورد بهتری دارد.

واژه‌های کلیدی: رودخانه شاهرود،فرسایش ورسوبگذاری،مدل HEC-RAS

[۱] دانشجوی دکتری سازه های آبی دانشگاه رازی، کرمانشاه،ایران،m.yeganeh1390@gmail.com

[۲] استادیار گروه مهندسی آب دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران، ۰۹۱۸۳۳۳۸۲۷۲،Email:a.arman@razi.ac.ir (نویسنده مسئول)

مقدمه

یکی از مهمترین عوامل موثر در تغییرات و جابجایی رودخانه ها، فرآیند فرسایش و رسوبگذاری می باشد. بدلیل تاثیر بسیاری از عوامل در این فرآیند، تا کنون معادلات تجربی فراوانی در خصوص برآورد میزان حجم انتقال رسوب ارائه گردیده است که بدلیل تاثیر متفاوت عوامل گوناگون در فرآیند فرسایش و رسوبگذاری، گاهاً معادلات مختلف انتقال رسوب، نتایج متفاوتی را ارائه می دهند که این نتایج از رودخانه‌ای به رودخانه دیگر متفاوت است. تحقیقات متعددی با استفاده از نسخه‌های مختلف مدل HEC-RAS به منظور مطالعات فرسایش و رسوب رودخانه ها و مخازن سدها انجام پذیرفته است. گیبسون و همکاران (۲۰۰۶) ، قابلیت مدل HEC-RAS را برای محاسبات انتقال رسوب رودخانه مورد بررسی قرار دادند و نتایج این مدل را با مدل Hec-6 مقایسه کردند. ایشان نتیجه گرفتند مدل HEC-RAS در شبیه سازیها به طور کلی به خوبی اجرا شده و نتایج این مدل در مقایسه با Hec-6 در شرایط خاصی، کمی متفاوت بوده که به دلیل تفاوت در هیدرولیک مدل میباشد. امامقلی‌زاده و همکاران (۱۳۸۹) در تحقیقی به بررسی وضعیت فرسایش و رسوبگذاری رودخانه شیرین دره با استفاده از مدل HEC-RAS پرداختند. با استفاده از نتایج واقعی و مشاهده شده در رودخانه مذکور به بررسی میزان دقت و کارایی مدل عددی HEC-RAS برای بررسی ظرفیت انتقال رسوب رودخانه در بازه ابتدایی ،میانی ، و انتهایی پرداختند و نشان دادند که ظرفیت حمل رسوب رودخانه از بالادست به سمت پایین دست کاهش می یابد . بطوریکه متوسط ظرفیت حمل رسوب در بازه میانی و انتهای نسبت به بازه ابتدایی به ترتیب ۵/۱۹ و ۳/۵۲ درصد کاهش می یابد علت اصلی این کاهش شیب رود خانه میباشد که شیب رود خانه به ترتیب برابر است با ۲/۶۸ ،۱/۷۶ و ۰/۹۶ درصد است. اکبری و همکاران (۱۳۹۰) ترکیبهای مختلف معادلات انتقال رسوب و روشهای مختلف محاسبه سرعت سقوط ذرات در مدل HEC-RAS را در پیش بینی تغییر فرم بستر رودخانه بکار گرفتند و نتایج نشان داد که معادلات انتقال رسوب حساسیت چندانی به روش محاسبه سرعت سقوط ذرات در مدلسازی تغییر فرم بستر رودخانه ندارند و تفاوت عمده نتایج بستگی به نوع معادله انتقال رسوب دارد. پیرو و همکاران (۱۳۹۱) نیز، درتحقیقی نشان دادند که حجم متوسط رسوب خروجی از رودخانه با استفاده از مدلHEC-RAS **به** خوبی قابل محاسبه می‌باشد **.**همچنین، احمدیان و ناصری قلقاچی (۱۳۸۹) ، با بررسی معادلات انتقال رسوب با استفاده از مدل HEC-RAS نتیجه گرفتند که معادله لارسن، نتایج قابل قبول‌تری در برآورد رسوب رودخانه آجیچای دارد. اسدی و همکاران (۱۳۹۰)، نشان دادند که از بین معادلات انتقال رسوب موجود در مدل HEC-RAS **معادله** میر-پیتر-مولر، در رودخانه تالار، بیشترین تطابق را با واقعیت دارد و می‌تواند برای پیش بینی تغییرات در این رودخانه مورد استفاده قرار گیرد. رضایی مقدم و همکاران (۱۳۹۱) به بررسی خصوصیات مورفولوژیکی رودخانه پرداختند، و نشان دادند که این تغییرات می‌تواند به دلیل فرسایش کناری و جابجایی مرزهای رودخانه هر ساله سطح زیادی از اراضی کشاورزی، نواحی مسکونی و تاسیسات ساحلی را در معرض نابودی و تخریب قرار دهد.

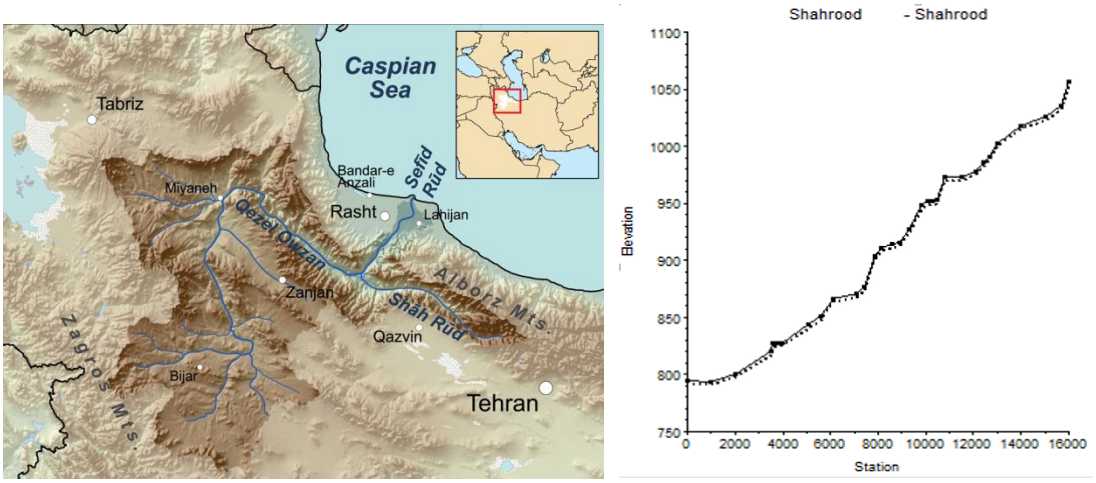
مواد و روشها

منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز رودخانه شاهرود با مساحت ۴۹۳۸ کیلومتر مربع در محل ورودی به سد سفید رود در شمال ایران و دشت قزوین و در دامنه جنوبی کوههای البرز قرار گرفته است . منطقه مطالعاتی از بخش شمالی به کوههای البرز و از ناحیه شرقی به حوضه آبریز رودخانه طالقان رود و الموت رود و ناحیه جنوبی به حوضه آبریز سرشاخه های شمالی دشت قزوین و از

غرب به پایاب حوضه آبریز سد سفید رود محدود می گردد. حوضه آبریز رودخانه شاهرود از بهم پیوستن رودخانه های طالقان رود و الموت رود تشکیل رودخانه شاهرود را داده که این رودخانه پس از گذر از شهر لوشان بهمراه شاخه رودخانه بزرگ قزل اوزن وارد مخزن سد سفید رود می شود.

در این تحقیق بازه ای ۱۶ کیلومتری شامل ۳۱ مقطع برداشت شده رودخانه شاهرود مورد بررسی قرار گرفت (شکل۱). از آمار هیدرولوژیکی ایستگاه رجایی دشت بمنظور شبیه سازی شبه غیر ماندگار هیدرولیک رودخانه شاهرود استفاده گردید. ضمنا از آمار حداکثر سیلابهای ثبت شده در این ایستگاه بمنظور تعیین دبی با دوره بازگشتهای مختلف از سال آبی ۶۳ لغایت سال آبی ۸۹ استفاده گردید. با استفاده از نرم افزار SMADAاقدام به تعیین دبی با دوره بازگشتهای ۲، ۳، ۵، ۱۰، ۲۵، ۵۰، ۱۰۰ و ۲۰۰ سال گردید. نتایج حاصل از شبیه سازی نشان داد که دبی های شبیه سازی شده بر طبق توزیع گامبل بهترین توزیع را دارند. با توجه به اینکه اغلب طرحهای مهندسی رودخانه بر مبنای دبی با دوره بازگشت ۲۵ سال بنا نهاده شده‌اند، در این تحقیق این دوره بازگشت مبنای شبیه سازی قرار گرفت. دبی با دوره بازگشت ۲۵ ساله این رودخانه ۵۰۷/۹۳ متر مکعب بر ثانیه بدست آمد.

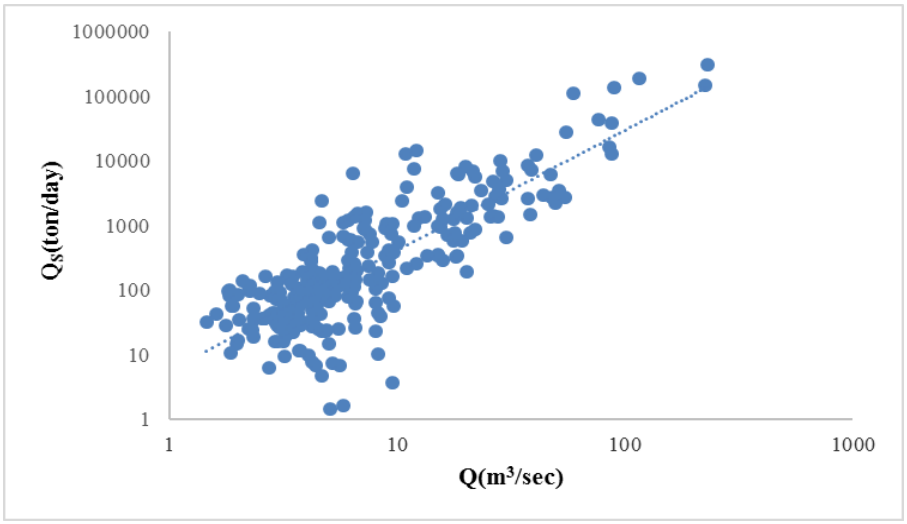


شکل۱-شمای کلی مسیر رودخانه

جدول (۱): خروجی نرم افزار SMADA برای دوره های بازگشت مختلف

دوره بازگشت (سال)	۲	۳	۵	۱۰	۲۵	۵۰	۱۰۰	۲۰۰
دبی (متر مکعب بر ثانیه)	۱۹۱/۹۵	۲۵۱/۹۲	۳۱۸/۴۱	۴۰۲/۱۴	۵۰۷/۹۳	۵۸۶/۴۱	۶۶۴/۳۱	۷۴۱/۹۳

همچنین در این تحقیق از آمار رسوب برداشت شده در محدوده مورد مطالعه که از شرکت آب منطقه ای قزوین اخذ شده، استفاده گردید . شکل (۲) نمودار دبی-دبی رسوب این رودخانه را ارائه می دهد:



شکل(۲): منحنی دبی-دبی رسوب رودخانه شاهرود

با توجه به اینکه بین دبی و دبی رسوب هر ایستگاه رابطه ای به فرم $Q_s = aQ^b$ وجود دارد، با توجه به نمودار شکل (۲) رابطه بین دبی و دبی رسوب در رودخانه شاهرود به صورت رابطه زیر استخراج می گردد:

(۱)

$$Q_s = 5.76 \times Q^{1.87}, R^2 = \%67$$

در رابطه فوق:Q: دبی رودخانه بر حسب متر مکعب بر ثانیه،Qs: دبی رسوب بر حسب تن در روز.

برای شرایط مرزی بالادست از منحنی سنجه رسوب و برای شرایط مرزی پایین دست از شرط بار تعادلی استفاده گردید. در نهایت مدل برای یک دوره زمانی ۳۰ روزه اجرا گردید. ، بر اساس شبیه سازی شبه غیر ماندگار، در اکثر مقاطع عرضی عدد فرود جریان نزدیک یک و یا بیش از یک می باشد که نشان می‌دهد رودخانه در وضعیت بحرانی و فوق بحرانی می باشد. نتایج حاصل از شبیه سازی رسوب و مقایسه سرعتهای محاسبه شده با معیار هالسترم برای مقاطع مختلف نشان می دهد که اکثر مقاطع عرضی رودخانه شاهرود در بازه مورد تحقیق در وضعیت فرسایش می باشند. جدول (۲) مقادیر حداکثر و حداقل پارامترهای هیدرولیکی را در طول رودخانه شاهرود برای دبی با دوره بازگشت ۲۵ ساله ارائه می دهد.

جدول (۲): مقادیر ماکزیمم و مینیمم پارامترهای هیدرولیکی برای دبی ۲۵ ساله در رودخانه شاهرود

پارامتر	مساحت	عرض سطح آب	سرعت	تنش برشی	عدد فرود	حداکثرعمق آب
واحد	متر مربع	متر	متر بر ثانیه	نیوتن بر متر مربع	-	متر
مقدار مینیمم	۱۱۶/۱۳	۶۰/۸۵	۰/۶۹	۵/۷۴	۰/۱۳	۰/۷
مقدار ماکزیمم	۷۳۶/۴۵	۵۲۴/۷۱	۴/۳۷	۳۲۵/۷۸	۱/۴۹	۵/۲۲

معادلات حاکم در مدل

نرم افزار HEC-RAS بطور همزمان و بصورت یک بعدی قابلیت تحلیل و آنالیز جریان های ثابت، متغیر تدریجی و انتقال رسوب را بصورت عددی دارد. در این مدل، جهت محاسبه پروفیل سطح آب، شبیه سازی بر اساس روش گام به گام استاندارد می باشد که در این روش بسته به نوع جریان، محاسبات از یکی از دو انتهای بازه در جریان فوق بحرانی از بالادست و در جریان زیر بحرانی از پایین دست شروع می شود و اساس روش بر مبنای رابطه (۲و۳) انرژی است.

(۲)

$$WS_2 + \frac{\alpha_2 v_2^{\,2}}{2g} = WS_1 + \frac{\alpha_1 v_1^{\,2}}{2g} + he$$

(۳)

$$h_e = L\bar{S}_f + c\frac{\alpha_2 v_2^{\,2}}{2g} - \frac{\alpha_1 v_1^{\,2}}{2g}$$

که در آن WS_1 : تراز سطح آب در مقطع اول، WS_2 : تراز سطح آب در مقطع دوم،V_1و V_2:سرعت جریان در مقاطع اول و دوم، α_1, α_2 : ضرائب تصحیح انرژی جنبشی در مقاطع اول و دوم، h_e : اتلاف انرژی بین دو مقطع،L: فاصله دو مقطع در امتداد بستر جریان،S_f: متوسط شیب خط انرژی بین دو مقطع،C: ضریب انبساط و انقباض مقطع رودخانه می باشد. معادله حاکم بر جریان غیر دائم یک بعدی عبارتند از معادلات پیوستگی (رابطه ۴) و مومنتوم (رابطه ۵) که در زیر بیان گردیده است:

(۴)

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial X} = q$$

(۵)

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial(\beta Q^2 / A)}{\partial x} + gA\frac{\partial h}{\partial x} + \frac{g}{C^2 AR} = 0$$

در معادله فوق:C: ضریب شزی، β : ضریب اندازه حرکت می باشد.

بخش انتقال رسوب این معادله برای شبیه سازی یک بعدی ته نشین شدن رسوب و یا فرسایش و آبشستگی بستر در سال ۲۰۰۶ توسعه داده شده است. این بخش با استفاده از ۶ تابع مختلف برای انتقال رسوب که خلاصه مشخصات آنها در جدول (۳) آمده است، به بررسی نحوع انتقال رسوبات در رودخانه ها می پردازد.

جدول (۳): مشخصات توابع انتقال رسوب در نرم افزار HEC-RAS

معادله انتقال رسوب	سال	نحوه استخراج	دانه بندی	توضیحات	شرایط استفاده از رابطه
ایکرز - وایت	۱۹۷۳	آزمایشگاهی	ماسه- -شن	انتقال بار معلق(ریزدانه) تابعی از نوسانات آشفتگی جریان آب می باشد.انتقال بار بستر(درشت دانه) تابعی از تنش برشی اعمال شده بر روی رسوبات می باشد.	$0.04 < d < 7mm$, $1.0 < G_s < 2.7$ $0.07 < V < 7.1\ fps$, $0.01 < D < 1.4\ ft$ $0.00006 < S < 0.0037$, $0.23 < W < 4\ ft$ $46 < T < 89$ degrees F
انگلند-هانسن	۱۹۶۷	آزمایشگاهی	ماسه	برای رودخانه های ماسه ای که دارای بار معلق قابل توجه دارند کاربرد دارد	$0.19 < dm < 0.93$ mm , $0.65 < V < 6.34$ $0.19 < D < 1.31$ fps , $0.000055 < S < 0.019$ ft $45 < T < 93$ degrees F
لارسن (کوپلند)	۱۹۸۹	آزمایشگاهی -صحرایی	سیلت-شن	برای رودخانه های که دارای بار شنی دارند کاربرد دارد	$0.011 < dm < 29$ mm , $0.7 < V < 9.4$ fps $0.03 < D < 3.6$ ft , $0.00025 < S < 0.025$ $0.25 < W < 6.6$ ft , $46 < T < 83$ degrees F
میر-پیتر و مولر	۱۹۴۸	آزمایشگاهی	ماسه-شن	برای رودخانه های که دارای رسوبات درشت دانه دارند کاربرد دارد.	$0.4 < d < 29$ mm , $1.25 < s < 4.0$ $1.2 < V < 9.4$ fps , $0.03 < D < 3.9$ ft $0.0004 < S < 0.02$, $0.5 < W < 6.6$ ft
توفالتی	۱۹۶۸	آزمایشگاهی -صحرایی	ماسه	برآورد دبی رسوب بر اساس محاسبه ستونهای عمودی غلظت (تقسیم بندی آن به ٤ ناحیه) صورت می گیرد.	$0.062 < d < 4$ mm , $0.095 < dm < 0.76$ mm $0.7 < V < 7.8$ fps , $0.07 < R < 56.7$ ft $0.000002 < S < 0.0011$, $63 < W < 3640$ ft $32 < T < 94$ degrees F
یانگ	۱۹۸٤- ۱۹۷۳	آزمایشگاهی -صحرایی	ماسه-شن	برآورد دبی رسوب بر اساس قدرت جریان استوار است.	$0.15 < d < 1.7$ mm , $0.8 < V < 6.4$ fps $0.04 < D < 50$ ft , $0.000043 < S < 0.028$ $0.44 < W < 1750$, $32 < T < 94$ degrees F

یکی از قابلیتهای مدل HEC-RASبررسی قابلیت انتقال رسوب در رودخانه می باشد. برای بازه مورد مطالعه، **مدل** HEC-RAS با ۶ تابع انتقال رسوب : ایکرز-وایت، انگلوند-هانسن، توفالتی، یانگ، میر-پیتر و مولر، لارسن (کوپلند) برای رودخانه شاهرود اجرا گردید. نتایج اولیه نشان داد که رابطه یانگ عملا نتایج نادرستی از شبیه سازی انتقال رسوب را بدست می دهند. با توجه به عدم دسترسی به آمار رسوب مخزن سد و همچنین نبود ایستگاه هیدرومتری در پایین دست بازه مورد نظر، با استفاده از روش نسبت سطح حوزه آبریز رودخانه شاهرود به نسبت حوزه آبریز سد سفیدرود، می توان به نسبت دبی رسوب رودخانه شاهرود به دبی رسوب ورودی سد سفیدرود رسید. طبق مطالعات گذشته، حجم رسوب ورودی به مخزن سد سفیدرود معادل ۶ میلیون تن در سال می باشد. بر اساس شبیه سازی انتقال رسوب برای دبی متوسط رودخانه شاهرود که معادل ۱۹.۷۷ متر مکعب بر ثانیه می باشد، روش ایکرز-وایت با ۱۶ درصد خطا نسبت به حجم واقعی ورودی به سد، نزدیکترین روش انتقال رسوب برای رودخانه شاهرود می باشد. کل مساحت حوزه آبریز سفیدرود ۵۵۰۰۰ کیلومتر مربع، شامل حوزه آبریز قزل اوزن با مساحت ۵۰۰۰۰ کیلومتر مربع و حوزه آبریز شاهرود با مساحت ۵۰۰۰ کیلومتر مربع یکی از بزرگترین حوزه های آبریز کشور محسوب میشود .این دو رودخانه به طور متوسط سالانه ۴۳ میلیون تن رسوب را وارد مخزن سد سفیدرود می نمایند که از این مقدار ۳۵ میلیون تن از شاخه قزل اوزن، ۶ میلیون تن از شاخه شاهرود و ۲ میلیون تن از

شاخه های فرعی کوچک دیگر وارد می شوند .این میزان رسوب وارده مشکلات زیادی برای سد و تاسیسات وابسته به آن ایجاد نموده است. با استفاده از روش نسبت دبی ها که روشی هیدرولوژیکی است، می توان میزان آورد رسوبات به سد سفیدرود را بر اساس نسبت مساحت ها بدست آورد. همانگونه که پیشتر عنوان شد، مساحت کل حوزه آبریز سد سفید رود ۵۰۰۰۰ کیلومتر مربع و مساحت حوزه آبریز رودخانه شاهرود، ۵۰۰۰ کیلومتر مربع است یعنی نسبت مساحت حوزه رودخانه شاهرود به مساحت حوزه سد سفیدرود برابر ۰/۰۹ می باشد. با استفاده از روش نسبت دبی ها از روی نسبت مساحت ها می توان نتیجه گرفت که نسبت دبی رودخانه شاهرود به کل دبی ورودی به سد سفیدرود برابر ۰/۰۹ می باشد. براساس آمار هیدرولوژیکی رودخانه شاهرود، متوسط دبی ماهانه رودخانه شاهرود برابر ۱۹/۷۷ متر مکعب بر ثانیه می باشدکه دراین صورت حجم رسوبات ورودی ماهانه برابر۱۵۰۳.۵۴ متر مکعب بر ثانیه می باشدبا در نظر گرفتن تخلخل ۰/۳ برای رسوبات، میزان حجم رسوبات سالانه به سد سفید رود از شاخه شاهرود برابر ۵۹۰۱۴۳۷.۴۵تن بر سال است که با توجه به بیانات فوق حجم رسوبات ورودی به مخزن سد سفیدرود تقریبا برابر ۶ میلیون تن در سال بدست می آید که مطابق با نتایج ارائه شده در تحقیقات رمضانی و قمشی (۱۳۹۰) می باشد. بمنظور تعیین تابع انتقال رسوب منتخب در رودخانه شاهرود، مبنای ۶ میلیون تن در سال ملاک محاسبات ۶ تابع انتقال رسوب گفته شده قرار گرفت و در نهایت تابع انتقال رسوب ایکرز-وایت بعنوان تابعی که کمترین میزان اختلاف را با عدد ۶ میلیون تن در سال دارد، بشرح زیر انتخاب گردید.

محاسبات روش ایکرز-وایت:

رابطه ایکرز-وایت برای محاسبه میزان انتقال رسوب بشرح زیر است:

$$\frac{Q_t}{Q} = C\frac{D_m}{R}\left(\frac{V}{u_*}\right)^n\left(\frac{F_g}{A}-1\right)^m \quad (۶)$$

در رابطه فوق F_g: عدد حرکت می باشد که بصورت زیر بدست می آید:

$$F_g = \frac{u^n_*}{\sqrt{gD_m(\rho_s/\rho-1)}}\left[\frac{V}{\sqrt{32Log(10R/D_m)}}\right]^{1-n} \quad (۷)$$

در رابطه فوق ضرایب n, C, A و m از جداول مربوطه بدست می آیند.

با توجه به محاسبات صورت گرفته، پارامترهای روش ایکرز-وایت در جدول (۴) ارائه گردیده است.

جدول (۴): پارامترهای معادله ایکرز-وایت

پارامتر	C	n	A	m
مقدار	۰/۰۲۵	۰	۰/۱۷	۱/۵

در جدول (۵) نتایج حاصل از شبیه سازی شبه غیر ماندگار برای دبی ۲۵ ساله به روش ایکرز-وایت نشان داده شده است:

جدول ۵- نتایج حاصل از شبیه سازی شبه غیر ماندگار برای دبی ۲۵ ساله به روش ایکرز-وایت

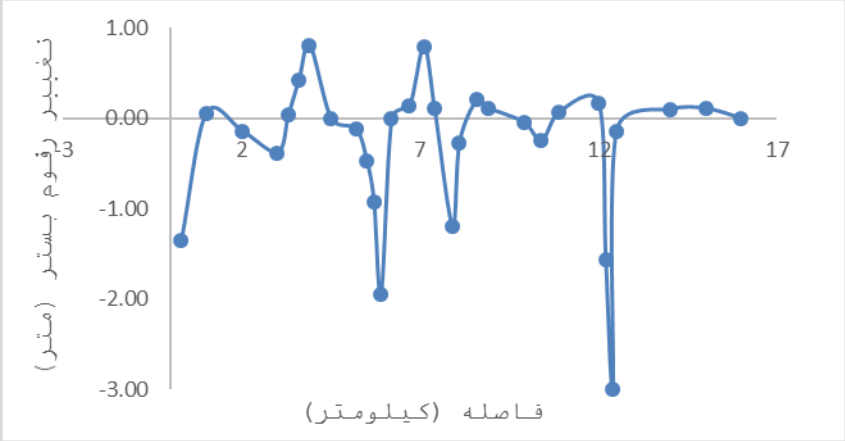
حجم رسوب محاسباتی (تن در روز)	تغییرات تراز کف (متر)	تراز کف محاسباتی (متر)	تراز کف (متر)	مقطع عرضی
۱۴۷۰/۰۶	-۲/۷۴	۱۰۵۳/۲۶	۱۰۵۶	۳۱
۵۹۵۵۴۳/۹	-۱/۳۵	۱۰۳۳/۵۶	۱۰۳۵	۳۰
۴۱۳۳۳۳/۱	۰/۰۶	۱۰۵۵/۵۶	۱۰۲۵/۶	۲۹
۵۴۲۷۷۵.۶	-۰/۱۴	۱۰۱۵/۸۶	۱۰۱۶	۲۸
۵۷۴۳۸۶/۲	-۰/۳۸	۱۰۰۲/۶۲	۱۰۰۳	۲۷
۴۹۵۸۴۲/۶	۰/۰۳	۹۹۱/۰۳	۹۹۰	۲۶
۴۳۵۰۵۲/۳	۰/۴۳	۹۸۶/۴۳	۹۸۵	۲۵
۲۱۷۱۱۷/۱	۰/۸۱	۹۷۸/۸۱	۹۷۷	۲۴
۱۲۳۱۳۸/۲	۰/۰۰	۹۷۳	۹۷۲	۲۳
۲۲۰۷۱۴/۷	-۰/۱۲	۹۷۲/۸۸	۹۷۲	۲۲
۴۲۴۱۰۴/۱	-۰/۴۷	۹۵۲/۵۳	۹۵۲	۲۱
۵۱۱۳۰۱/۶	-۰/۹۳	۹۵۱/۰۵	۹۵۲	۲۰
۵۷۴۵۲۲/۳	-۱/۹۴	۹۵۰/۰۶	۹۵۲	۱۹
۶۵۷۲۶۴/۷	۰/۰۰	۹۴۸/۵	۹۴۸	۱۸
۴۹۶۹۲۹/۶	۰/۱۴	۹۷۲/۱۴	۹۲۷	۱۷
۳۸۷۶۱۳/۱	۰/۷۹	۹۱۶/۱۶	۹۱۵	۱۶
۳۵۰۷۲۴/۴	۰/۱۰	۹۱۴/۱۰	۹۱۴	۱۵
۵۲۱۰۵۵/۶	-۱/۱۹	۹۰۹/۸۱	۹۱۰	۱۴
۶۵۰۴۵۷/۳	-۰/۲۷	۹۰۳/۷۳	۹۰۳	۱۳
۴۴۶۵۸۱/۶	۰/۲۱	۸۷۶/۷۱	۸۷۶	۱۲
۲۹۶۳۲۱/۶	۰/۱۲	۸۷۱/۱۲	۸۷۱	۱۱
۳۶۱۱۱۹/۵	-۰/۰۴	۸۶۵/۴۶	۸۶۵/۵	۱۰
۴۴۳۴۷۱/۴	-۰/۲۵	۸۵۰/۷۵	۸۵۱	۹
۳۴۵۸۴۶/۵	۰/۰۷	۸۴۴/۰۷	۸۴۴	۸
۳۰۳۹۹۸/۴	۰/۱۷	۸۲۸/۱۸	۸۲۷	۷
۴۲۲۸۶۸/۸	-۱/۵۷	۸۲۶/۴۳	۸۲۷	۶
۵۲۸۸۴۳/۹	-۳/۰۰	۸۲۴	۸۲۷	۵
۶۱۰۶۲۰/۱	-۰/۱۴	۸۱۹/۸۶	۸۲۰	۴
۲۷۱۱۷۰/۵	۰/۱۰	۸۰۱/۱	۸۰۱	۳
۱۵۶۰۶۷/۵	۰/۱۱	۷۹۴/۱۱	۷۹۴	۲
۶۹۶۴۹/۶۶	۰/۰۰	۷۹۵	۷۹۵	۱

پس از بدست آوردن ضرائب معادله ایکرز-وایت، حجم رسوب سالانه برآورد شده از این روش برابر ۶.۸۲ میلیون تن در سال بدست می آید. این میزان برآورد تقریبا با میزان حجم ورودی سالانه رسوب شاخه شاهرود تقریبا ۱۶ درصد اختلاف دارد که نزدیکترین برآورد به میزان رسوب واقعی است. جدول (۶) حجم رسوب سالانه برآورد شده توسط هر یک از روشها و اختلاف آن را با میزان واقعی (۶ میلیون تن در سال) نشان می دهد.

جدول ۶- نتایج حاصل ازشبیه سازی روشهای مختلف و میزان درصد اختلاف آنها با مقدار واقعی

روش	میزان حجم برآورد شده سالانه (میلیون تن در سال)	درصد اختلاف
ایکرز-وایت	۶/۸۲	۱۶
انگلوند-هانسن	۷/۳۵	۲۰
توفالتی	۹/۱۴	۳۵
لارسن	۹/۸۶	۴۱
میر-پیتر-مولر	۱۱/۲۵	۴۸

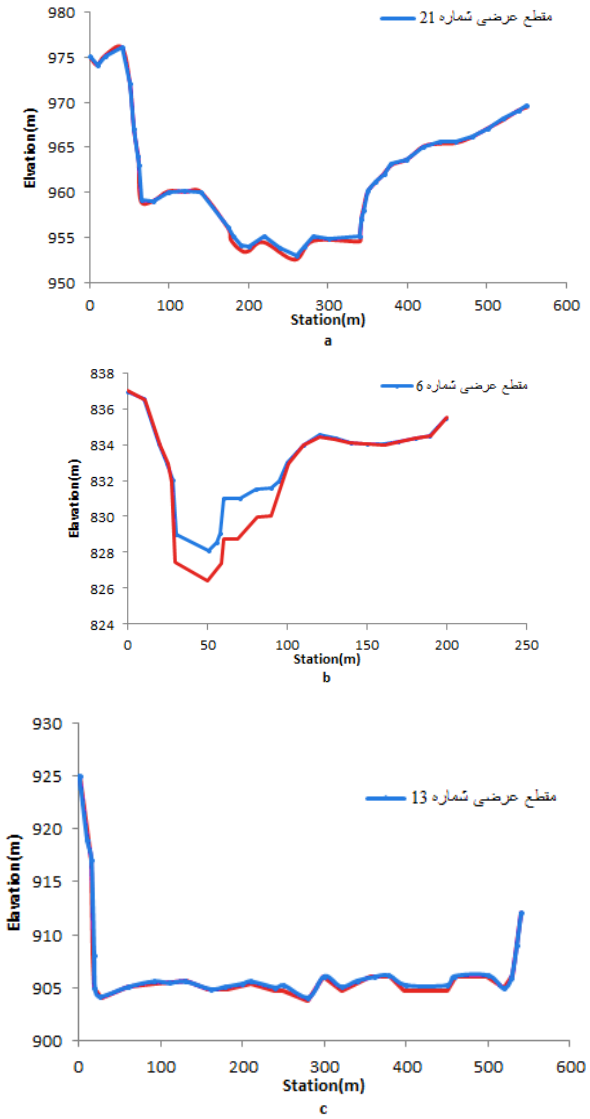
با توجه به درصد اختلاف هر یک از روشهای فوق با مقدار رسوب وارد شده سالانه به سد، روش ایکرز-وایت با ۱۶ درصد اختلاف در برآورد رسوب سالانه بعنوان معادله انتقال رسوب حاکم در رودخانه شاهرود معرفی می گردد.



شکل (۳):مقادیر متوسط تغییر رقوم بستر در محل مقاطع عرضی رودخانه شاهرود

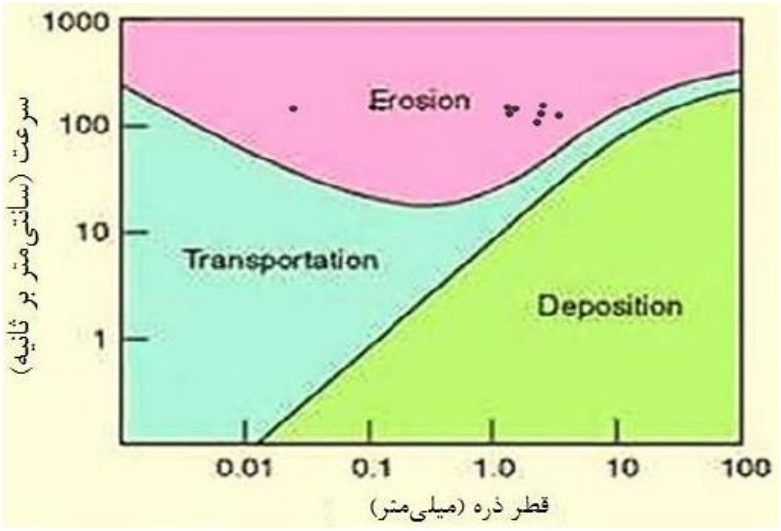
در شکل (۴) مقاطع عرضی انتخابی این بازه پس از شبیه سازی شبه غیر ماندگار ارائه می گردد.

.



شکل(۴): نتایج حاصل از شبیه سازی شبه غیر ماندگار برای مقاطع عرضی انتخابی

بمنظور تعیین فرسایش، رسوبگذاری و یا تعادل رودخانه با توجه به نتایج اجرای مدل برای دبی با دوره بازگشت ۲۵ سال و تعیین سرعت متوسط رودخانه در ۳۱ مقطع رودخانه، از نمودار هالستروم مطابق شکل (۵) استفاده گردید. با توجه به این شکل، نتایج در جدول (۷) آورده شده است.



شکل ۵- وضعیت مقاطع رودخانه در نمودار هالستروم (۱۹۳۵)

جدول(۷): وضعیت فرسایش یا رسوبگذاری هر یک از مقاطع با استفاده از معیار هالستروم

وضعیت رودخانه در بستر	قطر ذرات (میلی متر)	سرعت جریان (متر بر ثانیه)	مقطع عرضی
فرسایش	۰/۰۴	۳/۴۶	۳۱
فرسایش	۰/۰۴	۳/۸۹	۳۰
فرسایش	۰/۰۴	۲/۵۱	۲۹
فرسایش	۰/۰۴	۳/۶۷	۲۸
فرسایش	۰/۰۴	۴/۳۷	۲۷
فرسایش	۰/۰۴	۳/۲۲	۲۶
فرسایش	۰/۰۴	۴/۲۴	۲۵
فرسایش	۰/۰۴	۲/۸۶	۲۴
فرسایش	۰/۰۴	۱/۳۷	۲۳
فرسایش	۰/۰۴	۲/۵۷	۲۲
فرسایش	۰/۰۴	۲/۲	۲۱
فرسایش	۰/۰۴	۲/۶۳	۲۰
فرسایش	۰/۰۴	۴/۰۴	۱۹
فرسایش	۰/۰۴	۳/۰۳	۱۸
فرسایش	۰/۰۴	۲/۵۴	۱۷
فرسایش	۰/۰۴	۳/۷	۱۶
فرسایش	۰/۰۴	۱/۵۱	۱۵
فرسایش	۰/۰۴	۴/۲۹	۱۴
فرسایش	۰/۰۴	۲/۲۲	۱۳
فرسایش	۰/۰۴	۲/۷۳	۱۲
فرسایش	۰/۰۴	۱/۴۷	۱۱
فرسایش	۰/۰۴	۲/۶۹	۱۰
فرسایش	۰/۰۴	۳/۰۸	۹
فرسایش	۰/۰۴	۲/۱۱	۸
فرسایش	۰/۰۴	۱/۲	۷
فرسایش	۰/۰۴	۲/۷۴	۶
فرسایش	۰/۰۴	۴/۲	۵
فرسایش	۰/۰۴	۲/۸۳	۴
فرسایش	۰/۰۴	۲/۱۴	۳
انتقال	۰/۰۴	۰/۶۹	۲
فرسایش	۰/۰۴	۲/۲	۱

با توجه به نمودار فوق می توان نتیجه گیری نمود که همه مقاطع عرضی رودخانه شاهرود در ازای دبی با دوره بازگشت ۲۵ سال (۵۰۷.۹۳ متر مکعب بر ثانیه) به استثنای مقطع عرضی به شماره ۲ در وضعیت فرسایش هستند. با توجه به شیب عمومی رودخانه در بازه مورد بررسی (شیب ۰/۰۱)، نتایج بدست آمده از معیار هالستروم مطابق انتظار می باشد. همچنین با بررسی معیار شیلدز در مقاطع مختلف، می توان نتیجه گیری کرد که در تمام مقاطع، عدد رینولدز برشی بیشتر از ۴۰۰ می باشد و مقدار θ بزرگتر از ۰/۰۵۶

می باشد. بعبارت دیگر، طبق معیار شیلدز، کلیه مقاطع در وضعیت فرسایش می باشند

نتیجه گیری و پیشنهادات

در این تحقیق که بررسی فرسایش و رسوبگذاری رودخانه شاهرود با استفاده از مدل HEC-RASصورت گرفت، با استفاده از نتایج واقعی و مشاهده شده در رودخانه مذکور، به بررسی میزان دقت و کارایی مدل عددی HEC-RAS پرداخته شد و نتایج زیر بدست آمد:مقایسه دبی رسوب اندازه گیری شده با استفاده از ۶ تابع انتقال رسوب نشان می دهد که روش ایکرز-وایت با متوسط خطای ۱۶ درصد در بازه مورد بررسی نسبت به سایر توابع برآورد بهتری دارد.بررسی وضعیت فرسایش، رسوبگذاری و تعادل رودخانه شاهرود در بازه مورد بررسی و مقایسه آن با معیارهای هالستروم و شیلدز نشان می دهد که برای دبی ۲۵ ساله، تقریبا تمامی مقاطع در وضعیت فرسایش می باشند که با توجه به شیب عمومی رودخانه در بازه مورد نظر، این نتیجه قبل از اجرای شبیه سازی رسوب مدل قابل پیش بینی بود.با توجه به اینکه در پایین دست بازه مورد نظر سد سفیدرود قرار دارد و همچنین با توجه به اینکه در این بازه تابع انتقال رسوب ایکرز-وایت نسبت به سایر توابع انتقال رسوب بهتری را برآورد نموده است، بر این اساس پیشنهاد می شود جهت شناخت پتانسیل میزان انتقال رسوب از این مدل در مناطق مختلف رودخانه و همچنین برای برآورد میزان رسوبات ورودی به مخزن از این رابطه استفاده گردد.

منابع

پیرو، م.، قمشی، م.، نوحانی، ا.، روانسالر، م. ۱۳۹۱ .بررسی وضعیت رسوب بستر رودخانه با مدل عددی HEC- RAS ،مطالعه موردی رودخانه بشار یاسوج. همایش ملی انتقال آب بین حوضه¬ای (چالشها و فرصتها) دانشگاه شهرکرد.

امامقلی زاده، ص.، شیردل، س.، گنجویان، م.، محمدیون، م.، فتحی مقدم، م. ۱۳۸۹ .بررسی وضعیت فرسایش و رسوبگذاری رودخانه شیرین دره با استفاده از مدل ریاضی HEC- RAS مجله مهندسی آب، شماره ۱ ،دوره ۱ ،ص ۱۹-۳۴.

احمدیان، م. و ر. ناصری قلقاچی. ۱۳۸۹ .تعیین مناسبترین معادله برای برآورد با رسوبی رودخانه مطالعه موردی رودخانه آجیچای. نهمین کنفرانس هیدرولیک ایران. دانشگاه تربیت مدرس.

اکبری، غ.، م. فغفور مغربی و ص. تارم. ۱۳۹۰ .بررسی ترکیب معادالت انتقال رسوب و روشهای محاسبه سرعت سقوط ذرات در مدلسازی تغییر فرم بستر رودخانه. ششمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه سمنان.

اسدی،ف.، فضلا ولی، ر.، عمادی،ع.، و اسدی، م. ۱۳۹۰. شبیه سازی هیدرولیک رسوب در رودخانه با استفاده از مدل ریاضی HEC-RAS مطالعه موردی: رودخانه تالار. سومین همایش ملی مدیریت جامع منابع آب، ساری: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری.

رضایی مقدم، م.، روتی، م.، و اصغری سراسکانرود، ص. ۱۳۹۱. بررسی شکل هندسی رودخانه قزل اوزن با تاکید بر عوامل ژئومورفولوژیک و زمین شناسی. مجله جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، سال ۲۳، پیاپی ۴۶، شماره ۲، صص ۱۴-۱.

Gibson, S. 2006. 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, NV. 9 pp

Estimation of Shahrood River Sediment Transport Using HEC-RAS Model

Maryam Teymouri Yeganeh [1] , Ali Arman[*, 2]

Abstract

Estimating the amount of sediment load that a specific stream can carry is one of the main subjects of sedimentary research. Shahroud River in Qazvin province is one of the important rivers in Qazvin Province which plays an important role in providing agricultural water in the region, especially providing water to the Sefid Rud dam. In this study, using the HEC-RAS model to study the erosion and sedimentation status of Shahrood River paid. Also, using maximum discharge measurements with a 25-year statistical period in Rajai Dasht hydrometric station located on Shahroud River and using Smada software discharg with different return periods and for calculating the hydraulic modeling of the river, were used. Finally, the model was run for 25 years (507.93 cubic meters per second). After calibrating the model for river hydraulic conditions and modeling inappropriate inappropriate flow conditions, the boundary information and depth were introduced into the model. Using the transfer of sediment ratios, the sedimentation capacity of Shiroud River was calculated. Comparison between the obtained results and the measured data showed that the Ackers-White equation with a mean error of 16% in the range was better than other functions.

Keywords: Shahroud River, erosion, HEC-RAS model

[1] PhD Student, Water Science Engineering Department. Razi University. Kermanshah .Iran (Email:m.yeganeh1390@gmail.com)

[2] Assistant Professor, Water Science Engineering Department. Razi University. Kermanshah .Iran. (*- Corresponding Author Email: a.arman@razi.ac.ir)