



مدلسازی عددی انتقال رسوب و فرسایش کنار رودخانه‌ای در شرایط سیلابی مطالعه‌ی موردی: حوضه‌ی آبریز کشکان

احمد گودرزی^۱، حجت‌اله یونسی^{۲*}، بابک شاهی‌نژاد^۳، حسن ترابی پوده^۴

۱-دانشجوی دکترای سازه‌های آبی، دانشکده‌ی کشاورزی، دانشگاه لرستان، لرستان، ایران

۲-استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده‌ی کشاورزی، دانشگاه لرستان، لرستان، ایران

۳-استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده‌ی کشاورزی، دانشگاه لرستان، لرستان، ایران

۴-دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده‌ی کشاورزی، دانشگاه لرستان، لرستان، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۲/۰۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۳/۰۳

چکیده

اندازه‌گیری بار رسوبی در رودخانه‌ها معمولاً به اندازه‌گیری بار معلق محدود می‌شود؛ در نتیجه بهینه‌کردن منابع و کمینه‌کردن خسارت‌های ناشی از جریان در رودخانه‌ها از اهمیت بالایی برخوردار است. این تحقیق با هدف شبیه‌سازی سه بعدی جریان رودخانه‌ی کشکان در فصل بهار ۱۳۹۸ با استفاده از نرم‌افزار Mike3D.2018 انجام گرفت. برای این منظور با توجه به تهیه رقوم ارتفاعی (حاصل از نقشه‌برداری) از بستر و سیلاب‌دشت رودخانه مورد مطالعه به طول ۱۲۰۰ متر با مقیاس ۱:۱۰۰۰ جهت انجام مدل‌سازی عددی به نرم‌افزار HEC-RAS5.0.7 معرفی و وارد است. از داده‌های ایستگاه هیدرومتری کشکان-پلدختر برای برآورد سیلاب، رسوب معلق و رسوب انتقالی طی دوره‌های بازگشت ۲۵، ۲۰۰، ۱۰۰۰ و ۱۲۵۰ سال مورد استفاده قرار گرفت. نتایج مدل نشان داد که سیلاب در مقاطع عرضی مختلف ۱۲۰۰ و ۱۱۰۰ به بیشترین میزان و در مقاطع عرضی ۵۰ و ۳۵۰ در کمترین میزان بوده است. رسوب کل با استفاده از رابطه‌ی یانگ ۲۰۷/۴۵ میلیون تن در روز و بار معلق را با خطای ۱۱/۸۷ درصد شبیه‌سازی نموده و از مقایسه‌ی مقادیر با مقادیر مشاهداتی مشاهده شد که شبیه‌سازی در ایستگاه هیدرومتری کشکان پلدختر عملکرد بهتری نشان داد. همچنین نتایج نشان داد که حجم رسوبات معلق انتقالی در فروردین ماه (۵۱۳۲۷۷۹/۳۱) نسبت به سایر ماه‌های دی (۹۸۹۰/۵۵)، بهمن (۴۱۰۸۳/۷۳)، اسفند (۱۴۹۶۲۹/۷۵) و اردیبهشت (۱۱۲۶۱۷/۱۵) زیادت‌ر بوده و همچنین میزان رسوب در این ماه نسبت به متوسط رسوبات انتقالی در رودخانه کشکان حجم بسیار بالایی را داشته است.

کلمات کلیدی: بار رسوبی، بار معلق، مقاطع عرضی، حوضه آبریز کشکان.

۱-مقدمه

رودخانه‌ها همواره در پیدایش و توسعه‌ی جامعه بشری و ایجاد تمدن‌های مختلف، نقش قابل توجهی داشته‌اند و جزو شریان‌های حیاتی هر کشوری محسوب می‌شوند و بعضاً این منبع باعث نابودی و وارد شدن خسارت جبران‌ناپذیری نیز می‌گردد، به همین دلیل حفاظت و بهره‌برداری از آن‌ها بسیار مهم است (روشان و همکاران، ۱۳۹۲). یکی از اهداف مهم در مهندسی منابع آب، افزایش منافع و کاهش خسارات ناشی از جریان در رودخانه‌هاست. کنترل و کاهش خسارات وارده ناشی از سیلاب، رسوب‌گذاری و فرسایش به آبراهه‌ها، اراضی کشاورزی و سازه‌های آبی مستلزم این است که فرآیند فرسایش، انتقال رسوب و ته‌نشینی مواد رسوبی مورد مطالعه‌ی کامل قرار گیرد (رحمان و چاکرابرتی، ۲۰۲۰: ۲۳۶-۲۲۱). به‌طور کلی فرسایش و رسوب‌گذاری باعث تغییرات عمده‌ای در ظاهر و نحوه‌ی شکل‌گیری سرشاخه‌ها و مشخصات دیگر حوضه آبریز می‌شود (شیلد، ۱۹۳۶: ۲۲۴). رودخانه‌ها از جمله مواردی هستند که بر اثر این فرآیند، دچار تغییر و تحولات شدیدی می‌شوند. با توجه به اینکه در رودخانه‌ها همواره فرسایش و انتقال رسوب صورت می‌گیرد، بنابراین بررسی ظرفیت حمل رسوب جریان و مکانیسم انتقال رسوب در هیدرولیک رودخانه و مورفولوژی آن، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشد (روز، ۱۹۳۷: ۱۷۳-۱۴۸).

مقادیر بار رسوب معلق (SSL) در رودخانه‌ها می‌تواند از نظر زمان و مکان بسیار متغیر باشد و تعیین کمیت بار رسوب و جداسازی الگوهای خاص تشکیل‌دهنده‌ی آن‌ها دشوار می‌باشد (صادقی و مصطفی‌زاده، ۲۰۱۶). بدین منظور برای دسترسی به این لزوم می‌توان از روابط تجربی، مدل‌های آزمایشگاهی و مدل‌های عددی که قابلیت مدل کردن انتقال رسوب و پیش‌بینی را دارند، استفاده کرد. اسدی و همکاران^۱ (۱۳۹۶) در پژوهشی فرسایش و رسوب‌گذاری در بازه‌ای به طول ۱۲ کیلومتر از رودخانه تالار با استفاده از مدل HEC-RAS 4.0. مورد بررسی قرار دادند و میزان آورد رسوب برای ۱۰ سال آینده پیش‌بینی شد. نتایج نشان داد رابطه‌ی انتقال رسوب میر-پیتز-مولر تطابق بهتری با نتایج واقعی دارد و تغییرات پروفیل طولی رودخانه نشان داد بیشترین تغییرات در محدوده‌ی میانی بازه‌ی مطالعاتی رخ می‌دهد همچنین پیش‌بینی شد میزان رسوب خارج شده از بازه‌ی مورد مطالعه برای ۱۰ سال آینده به میزان ۳۴۸۵۳۴ تن می‌باشد. عرفانی پورقاسمی^۲ و همکاران (۱۳۹۸) در پژوهشی وضعیت فرسایش کناره‌ای در بازه‌ای به طول ۱۵ کیلومتر از رودخانه کشف‌رود مورد بررسی قرار دادند نتایج نشان داد در بین خصوصیات بررسی شده وضعیت شوری خاک ارتباط بیشتری با فرسایش کناره‌ای داشته و

1-Roshan
 2-Rahman and Chakrabarty
 3-Schields
 4-Rouse

5-Sadeghi and Mostafazadeh
 6-Asadi and et al.
 7-Pour Ghasemi

بقیه‌ی پارامترهای بررسی شده خاک تأثیر چندانی در فرسایش کناری نداشته است علاوه بر آن وضعیت پوشش گیاهی کف و کناره‌ها عامل دیگری است که در فرسایش کناری تأثیر داشته است. تیموری و آرمان^۱ (۱۳۹۹) در پژوهشی با استفاده از مدل HEC-RAS به بررسی وضعیت فرسایش و رسوب‌گذاری رودخانه شاهرود پرداختند. نتایج نشان داد معادله‌ی ایکرز - وایت با داشتن متوسط خطای ۱۶ درصد در بازه‌ی مورد بررسی نسبت به سایر توابع برآورد بهتری دارد. ایلدرومی^۲ (۱۴۰۰) وضعیت رسوب‌گذاری رودخانه‌ی ابروسد اکباتان استان همدان را با مدل ریاضی GSTARS شبیه‌سازی نمود نتایج نشان داد تراز مقطع عرضی رودخانه حدود ۲۴/۶ سانتی‌متر و با استفاده از روابط رسوبی توفالتی و یانگ به ترتیب ۲۲/۸ و ۲۰/۲ سانتی‌متر تغییر یافته که بیانگر مطابقت خوب مدل در ارزیابی و شبیه‌سازی تغییر مقطع عرضی در اثر فرسایش و رسوبگذاری می‌باشد. دوان و تان^۳ (۲۰۱۸) در پژوهشی با استفاده از نرم‌افزار MIKE21 به محاسبه و شبیه‌سازی با استفاده از داده‌های دو سیلاب بزرگ در استان کوانگ تری ویتنام در سال ۱۹۹۹ و ۲۰۰۵ پرداختند. نتایج نشان داد که ساخت و سازها، تأثیرات قابل توجهی در کاهش روند افزایشی فرسایش در بخش‌هایی از رودخانه داشتند. جوشی^۴ و همکاران (۲۰۱۹) برای توسعه‌ی آنالیز هیدرولیکی مدل انتقال رسوب از نرم‌افزار HEC-RAS استفاده کردند. داده‌های هندسی با استفاده از پسوند HEC-GeoRAS در ArcGIS از یک مدل ارتفاعی دیجیتالی با وضوح ۱۰ متر در ۱۰ متر تولید شد. نتایج نشان داد این مدل همراه با دانش محلی می‌تواند به کاهش مشکل ناشی از رسوب کمک کند.

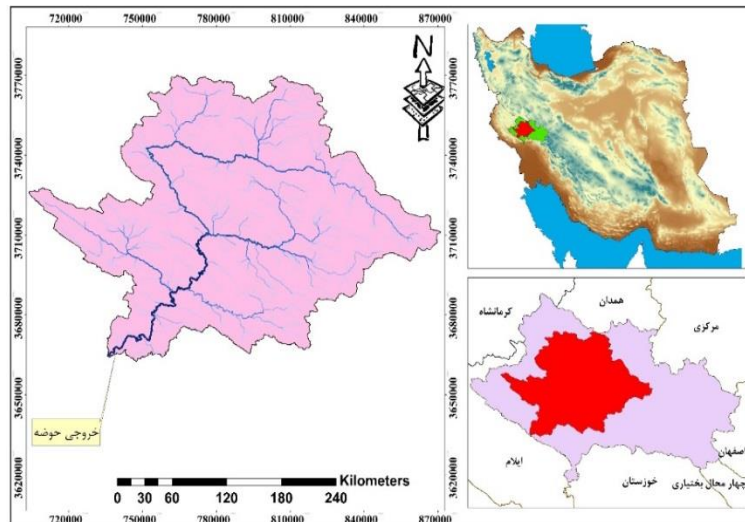
در مجموع با توجه به پژوهش‌های انجام شده، حوضه آبریز کشکان در استان لرستان هر ساله شاهد سیلاب‌های بزرگ با حجم رسوب انتقالی بسیار زیاد می‌باشد. در تحقیق حاضر برای بررسی ابعاد مختلف انتقال رسوب از حوضه‌ی آبریز مذکور، از نرم‌افزار Hec-Ras 5.0.7 جهت مدل‌سازی برآورد حجم رسوبات بالادست رودخانه‌ی کشکان استفاده شد. هم‌چنین با استفاده از آمار بلندمدت ایستگاه هیدرومتری کشکان - پلدختر انتقال رسوب و حجم آورد رسوب در شرایط سیلاب با دوره‌ی بازگشت‌های ۲۵، ۱۰۰ و ۱۰۰۰ ساله برای حوضه‌ی آبریز ایستگاه مذکور تجزیه و تحلیل و بررسی و سپس با سیلاب رخ داده شده در فصل بهار سال ۱۳۹۸ مقایسه شد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه‌ی مورد مطالعه

زیرحوضه‌ی آبریز کشکان که شهر پلدختر در خروجی آن واقع شده است، یکی از واحدهای هیدرولوژیکی حوضه‌ی آبریز کرخه بوده و در شرق آن واقع شده است. مساحت آن ۹۵۳۴ کیلومتر مربع است و حدود ۲۲

درصد مساحت حوضه‌ی کرخه و ۳۳ درصد مساحت استان لرستان را تشکیل می‌دهد. رودخانه‌ی کشکان از کوه‌های گرین واقع در شمال شهرستان الشتر سرچشمه می‌گیرد و در طول مسیر جریان، رودخانه‌های هرو، خرم‌آباد، چولهول و مادیان رود به آن افزوده می‌شود. این رودخانه در ۲۵ کیلومتری جنوب شهر پلدختر در پایین روستای چم‌مهر با رودخانه‌ی سیمره تلاقی پیدا می‌کند و بعد از پیوستن رودخانه زال به آن، رودخانه کرخه را تشکیل می‌دهد (سوری‌نژاد، ۱۳۸۰). موقعیت رودخانه کشکان در حوضه‌ی آبریز کرخه و استان لرستان در شکل ۱ نشان داده شده است.

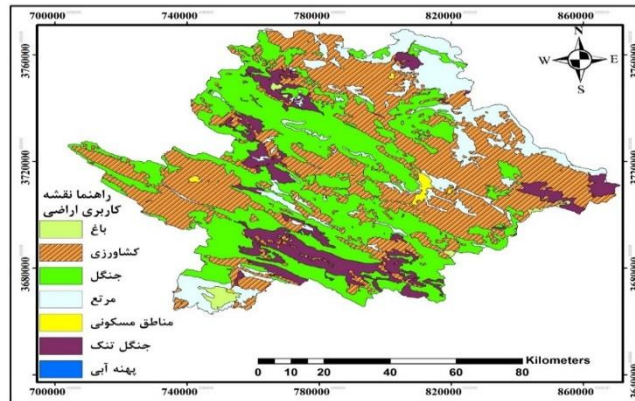


شکل (۱): منطقه‌ی مورد مطالعه

Fig (1): The Study area

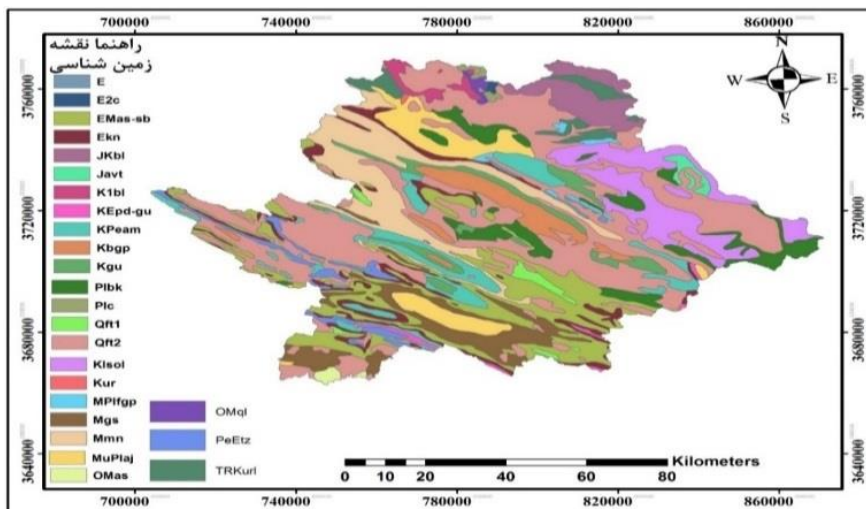
۲-۲- بررسی وضعیت پوشش گیاهی و کاربری اراضی حوضه‌ی آبریز رودخانه کشکان

سه کاربری عمده (کشاورزی، جنگل، مرتع) از نظر پوشش گیاهی در سطح حوزه تفکیک شده است. اراضی جنگلی بلوط به همراه سایر گونه‌های جنگلی حالت غالبی را داشته و گونه‌های مرتعی در درجه دوم اهمیت از لحاظ درصد تاج‌پوشش قرار داشتند و اراضی مرتعی حالت غالب داشته و گونه‌های جنگلی درختی و درختچه‌ای یا اصولاً حضور ندارند و یا در درجه دوم و سوم اهمیت قرار دارند. براساس شکل ۲ کاربری‌های مرتع، جنگل، اراضی نظامی، تأسیسات، زراعت، اراضی غیرمرتعی و جنگلی به ترتیب ۹۳۵۳۱، ۵۹۲۴۲۸، ۲۴۴۸، ۸۶۴، ۲۶۶۷۲۷ هکتار که هر کدام از آن‌ها به ترتیب ۹/۷۸، ۶۱/۹۷، ۲۶، ۹/۹، ۲۷/۰ درصد از کل حوضه‌ی آبریز را به خود اختصاص داده‌اند.



شکل (۲): نقشه کاربری اراضی حوضه‌ی آبریز کشکان
 Fig (2): Land use map of Kashkan catchment area

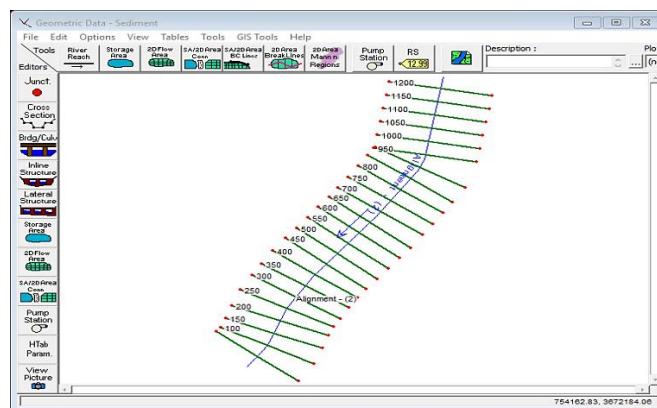
در محدوده‌ی مورد مطالعه در خط‌القدر دره‌ها و رودخانه‌های دز، سزار و بختیاری وجود دارد که در هنگام بارندگی‌های شدید مقداری آب به‌صورت موقت در آن جریان پیدا می‌کند. در کف آبراهه‌ها نیز این رسوبات آبرفتی جوان شامل شن و ماسه دیده می‌شود. این شن و ماسه‌ها متوسط تا ریزدانه و بیشتر از جنس آهک می‌باشند اما با خاک نیز مخلوط شده‌اند. هیچ‌گونه سیمانی آن‌ها را در برنگرفته است. وسعت و گسترش آن‌ها محدود است ولی ضخامت آن‌ها را بدون حفاری نمی‌توان به‌طور قطع تعیین کرد. این رسوبات در شکل ۳ نقشه زمین‌شناسی ارایه شده برای تونل با علامت Qal مشخص شده است.



شکل (۳): نقشه‌ی زمین‌شناسی حوضه‌ی آبریز کشکان
 Fig (3): Geological map of Kashkan catchment

۳-۲- داده‌های مورد استفاده

با توجه به تهیه‌ی رقوم ارتفاعی (حاصل از نقشه‌برداری) از بستر و سیلاب‌دشت رودخانه‌ی مورد مطالعه به طول ۱۲۰۰ متر با مقیاس ۱:۱۰۰۰ جهت انجام مدل‌سازی عددی به نرم‌افزار HEC-RAS5.0.7 معرفی و وارد گردید. شکل ۴ در زیر شماتیک رودخانه‌ی کشکان در بازه‌ی مورد مطالعه را به طول ۱/۲ کیلومتر نشان می‌دهد. شایان ذکر است که مقطع عرضی ۱۲۰۰ بالادست رودخانه و مقطع عرضی شماره ۵۰ پایین‌دست رودخانه و محل ایستگاه کشکان - پلدختر را نشان می‌دهد. همچنین با توجه به بازدید میدانی از محل فاصله مقاطع عرضی نسبت به یکدیگر ۵۰ متر جهت شبیه‌سازی در نظر گرفته شده است. پس از جمع‌آوری آمار و اطلاعات مشخص شد در حوضه آبریز رودخانه‌ی کشکان ۱۶ ایستگاه هیدرومتری موجود است، البته دو ایستگاه هیدرومتری چمشک و سیرپان در سال ۱۳۹۰ تأسیس شده‌اند و نمی‌توان از آن‌ها استفاده نمود.



شکل (۴): نقشه‌ی شماتیک رودخانه‌ی مورد مطالعه و مقاطع عرضی در نظر گرفته شده در محیط نرم‌افزار Hec-Ras5.0.7
Fig (4): Schematic map of the studied river and considered cross sections in Hec-Ras5.0.7 software environment

با توجه به جدول ۱، منحنی سنجه مدل حد وسط دسته‌ها دارای کمترین میانگین مربعات خطا و بهترین قابلیت پیش‌بینی است در نتیجه این مدل به عنوان مناسب‌ترین مدل برآورد رسوب معلق از میان مدل‌های مورد بررسی تعیین گردید. منحنی سنجه حاصل از روش حد وسط دسته‌ها برای بارمعلق در ایستگاه کشکان پلدختر در شکل ۵ آمده است.

جدول (۱): مقادیر میانگین مربعات خطا در مدل‌های مورد بررسی جهت تعیین برآورد رسوب معلق

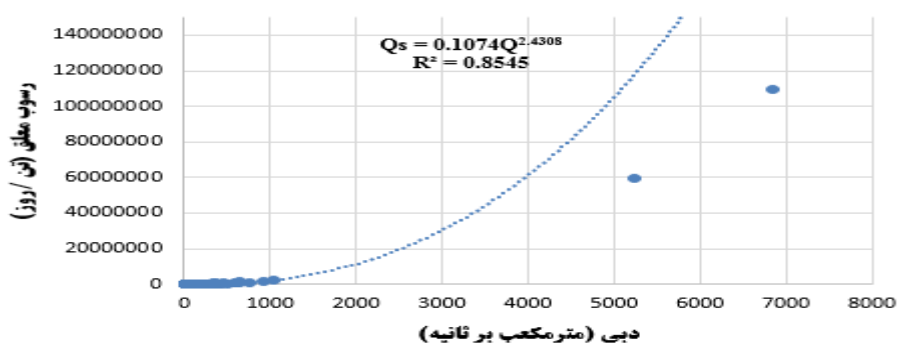
Table (1): Mean square error values in the studied models to determine the estimate of suspended sediment

ردیف	نام مدل	وضعیت تفکیک داده‌ها	ضریب همبستگی	MSIE	MSE
۱	خطی	همه داده‌ها	۰/۸۱۳	۰/۲۱	۰/۲۰
۲	حد وسط	همه داده‌ها	۰/۸۵۴	۰/۲۳	۰/۱۸۲
۳	ماهانه	فروردین	۰/۷۵۸	۰/۱۷۸	۰/۱۹۲
		اردیبهشت	۰/۸۰۴	۰/۲۵۴	
		خرداد	۰/۷۵۱	۰/۱۴۱	
		تیر	۰/۵۸۳	۰/۱۲۳	
		مرداد	۰/۴۹۴	۰/۱۸۱	
		شهریور	۰/۳۶۸	۰/۱۱۵	
		مهر	۰/۴۲۹	۰/۳۱۶	
		آبان	۰/۶۹	۰/۲۴۷	
		آذر	۰/۸۵۶	۰/۲۳۸	
		دی	۰/۸۵۱	۰/۱۶۷	
بهمن	۰/۸۹۱	۰/۲۴			
اسفند	۰/۸۶۴	۰/۲۳۱			

رابطه‌ی ۱ در زیر معادله توانی مربوط به داده‌های رسوبی با استفاده از حد وسط دسته‌ها می‌باشد.

$$Q_s = 0.1074Q^{2.4308} \quad (1)$$

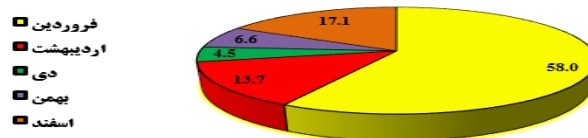
که در آن دبی جریان به صورت Q (m^3/s) و رسوب به صورت Q_s (ton/day) می‌باشد.



شکل (۵): منحنی سنج رسوب و معادله توانی آن برای تعیین بار معلق در ایستگاه کشکان - پلدختر

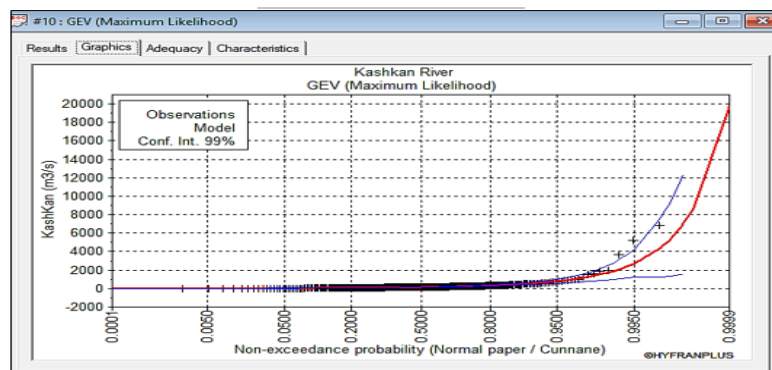
Fig (5): Sediment measurement curve and its power equation for determining the suspended load at Kashkan-Poldakhtar station

در ایستگاه آب‌سنجی کشکان پلدختر از سال آبی ۶۵-۱۳۶۴ تا ۹۹-۱۳۹۸ تعداد زیادی سیل در روزهای مختلف ثبت شده است اما در همه این سیلاب‌ها بر اساس آمار و اطلاعات موجود رسوب معلق اندازه‌گیری نشده است، لذا در این مطالعه سیلاب‌هایی که دارای رسوب اندازه‌گیری شده بودند مورد استفاده قرار گرفتند. تعداد سیلاب‌های مورد بررسی در این پژوهش ۱۵۰ مورد می‌باشد. که در اوایل فصل زمستان و اوایل بهار رخ داده است. توزیع وقوع سیلاب‌های دوره آماری در ماه‌های دی، بهمن، اسفند، فروردین و اردیبهشت می‌باشد (شکل ۶ و ۷). همچنین با اجرای نرم‌افزار HyfranPlus برای تعیین مناسب‌ترین توزیع آماری فراوانی سیلاب، سیلاب با دوره‌ی بازگشت‌های مختلف مورد تحلیل و بررسی قرار گرفت.



شکل (۶): توزیع وقوع ماه‌های سیلابی در طول دوره‌ی آماری (۶۵-۱۳۶۴ تا ۹۹-۱۳۹۸)

Fig (6): Distribution of the occurrence of flood months during the statistical period (1364-65 to 1398-99)



شکل (۷): تحلیل فراوانی حداکثر لحظه‌ای سیلاب ایستگاه کشکان - پلدختر بر اساس توزیع آماری برتر (GEV)

Fig (7): Maximum instantaneous frequency analysis of Kashkan-Poldakhtar station flood based on superior statistical distribution (GEV)

۴-۲- مدل Hec-Ras

مدل HEC-RAS یک سیستم جامع نرم‌افزاری می‌باشد که برای استفاده متقابل در محیط به صورت چندمنظوره طراحی شده است این نرم‌افزار امکان انجام محاسبات یک بعدی و دو بعدی در حالت جریان ماندگار و غیرماندگار را فراهم می‌سازد (سلطانی و همکاران، ۲۰۱۷: ۱۲۶-۱۴۲). این مدل نیز در طبقه‌بندی مدل‌های فرآیند محور قرار می‌گیرد. در HEC-RAS فرآیند اصلی محاسبات بر یک روش حل یک بعدی معادله‌ی انرژی استوار است.

معادله‌ی انرژی از یک سطح مقطع به سطح مقطع بعدی با استفاده از روش گام به گام استاندارد جهت محاسبه نیمرخ سطح آب حل می‌شود. محاسبات انتقال رسوب در مرز متحرک که این مولفه از سیستم مدل‌سازی برای شبیه‌سازی محاسبات انتقال رسوب در مرز متحرک یک‌بعدی که از آب‌شستگی و رسوب‌گذاری در طی دوره‌ی زمانی محدود ناشی می‌شود در نظر گرفته شده است. پتانسیل انتقال رسوب بر اساس اندازه‌ی ذرات محاسبه می‌شود که به موجب آن شبیه‌سازی دسته‌بندی و حفاظت هیدرولیکی امکان‌پذیر می‌گردد. داده‌های مورد نیاز برای اجرای محاسبات این مدل به دو دسته داده‌های هندسی (ژئومتریک) و داده‌های شرایط مرزی (داده‌های شرایط ماندگار) تقسیم‌بندی می‌شوند. داده‌های ژئومتریک پایه شامل داده‌های مقاطع عرضی (طول بازه، ضرایب کاهش انرژی و اطلاعات محل اتصال رودخانه‌ها) و داده‌های سازه هیدرولیکی یا پل‌ها (طول انشعابات، ضریب مانینگ، ضریب انبساط و انقباض، داده‌های اتصال یا پیوند جریان، رژیم جریان، داده‌های دبی) می‌باشد (راهنمای مطالعات فرسایش و رسوب در ساماندهی رودخانه‌ها، ۱۳۸۶).

تعیین بار کل با استفاده از معادلات تنوریک

روش مایر - پیتر مولر

معادله‌ی مایر - پیتر - مولر براساس بررسی‌های آزمایشگاهی و مطالعات میدانی به صورت معادله‌ی ۲ ارائه شده است:

$$\frac{q_b}{[g(G_s 1)d^3]^{0.5}} = g \left[\left(\frac{n^2}{n} \right)^{1.5} F_s 0.047 \right]^{1.5} \quad (2)$$

که در این رابطه:

q_b : بار بستر در واحد عرض (مترمکعب در ثانیه در متر)، g : شتاب ثقل (متر در مجذور ثانیه)، F_s : عدد شیلدز

که از رابطه‌ی $F_s = \frac{\otimes}{\geq (G_s \square)d}$ تعیین می‌شود، n^2/n فاکتور رپل نامیده می‌شود که در آن n^2 ضریب مانینگ دانه‌های بستر و n ضریب مانینگ بستر می‌باشد که مقدار آن از معادله‌ی ۲ به دست می‌آید:

$$n^2 = 0.034(d_{90})^{\frac{1}{6}} \quad (3)$$

در معادله‌ی ۳ قطر نظیر ۹۰ درصد ریزتر وزنی مواد رسوبی بستر می‌باشد (برحسب متر) بقیه پارامترها قبلاً تعریف شده‌اند (میر و مولر، ۱۹۴۸؛ ۲۴۵-۲۵۸).

روش انگلند-هانسن

معادله انگلند-هانسن برای تعیین بار کل به صورت زیر ارائه شده است:

$$\frac{q_{st}}{[g(G_s \square)d^3]^{0.5}} = \frac{0.13 \geq V^2}{sh} F_s^{2.5} \quad (۴)$$

$$Q_{st} = 8.64bq_{st} \quad (۵)$$

که در این رابطه:

q_{st} : بار کل در واحد عرض (نیوتن در ثانیه در متر)، b : عرض مجرا (متر) و Q_{st} : بار کل (تن در روز) می‌باشد. بقیه پارامترها قبلاً تعریف شده‌اند.

روش ایگرز - وایت

روش ایگرز - وایت برای تعیین بار کل به صورت معادله‌ی ۵ ارائه شده است:

$$Q_{st} = 8.64 \cdot 10^4 Q_d C_{st} \quad (۶)$$

که در این رابطه:

C_{st} : غلظت وزنی بار کل می‌باشد.

روش یانگ

یانگ دو رابطه، یکی برای نرخ انتقال ماسه و دیگری برای نرخ انتقال شن به صورت رابطه‌ی ۷ ارائه نموده که از جمع مقادیر حاصل از دو رابطه می‌توان بار کل (بار مواد بستر) جریان رودخانه را تعیین نمود.

رابطه‌ی نرخ انتقال ماسه (برای اندازه دانه‌های ۰/۰۶۲ تا ۲ میلی‌متر):

$$\begin{aligned} \text{Log } C_{ss} &= 5.435 * 0.286 \text{Log } \frac{wd}{V} * 0.457 \text{Log } \frac{U_*}{w} + \\ &((1.799 * 0.409 \text{Log } \frac{wd}{V} * 0.314 \text{Log } \frac{U_*}{w}) \\ &\text{Log } (\frac{VS}{w} \square \frac{V_{cr}S}{w})) \end{aligned} \quad (۷)$$

در صورتی که محدوده $\frac{U_*d}{V}$ باشد مقدار $\frac{V_{cr}}{w}$ از رابطه‌ی زیر تعیین می‌شود:

$$\frac{V_{cr}}{w} = \frac{2.5}{\text{Log}(U_*d/V) - 0.06} + 0.06 \quad (8)$$

و برای $70 \leq \frac{U_*d}{V}$ مقدار $\frac{V_{cr}}{w} = 2.05$ خواهد بود.

که در روابط فوق:

C_{tss} : غلظت ماسه (باربستر و بار معلق) بر حسب میلی‌گرم در لیتر، V_{cr} : سرعت آستانه حرکت مواد رسوبی (متر در ثانیه) و بقیه عوامل قبلاً تعریف شده‌اند.

$$\begin{aligned} \text{Log} C_{tsg} = & (6.681 - 0.633 \text{Log} \frac{wd}{V} - 4.8161 \text{Log} \frac{U_*}{w}) \\ & + ((2.784 - 0.409305 \text{Log} \frac{wd}{V} \\ & - 0.282 \text{Log} \frac{U_*}{w}) \text{Log} (\frac{VS}{w} - \frac{V_{cr}S}{w})) \end{aligned} \quad (9)$$

که در این رابطه:

C_{tsg} : غلظت شن (میلی‌گرم در لیتر) می‌باشد، بقیه‌ی عوامل قبلاً تعریف شده‌اند.
با مشخص شدن غلظت ماسه و شن غلظت بار کل C_{st} از رابطه زیر تعیین می‌شود:

$$C_{st} = C_{tss} + C_{tsg} \quad (10)$$

براساس کمیت C_{tsg} مقدار بار کل بر حسب تن در روز معادله ۱۰ به دست می‌آید:

$$Q_{st} = 0.0864 Q_d C_{st} \quad (11)$$

روش لارسن

معادله‌ی لارسن برای تعیین بار کل به صورت زیر می‌باشد:

$$C_{st} = 0.01\gamma \sum_i P_i \left(\frac{d_i}{h}\right)^{7/6} \left(\frac{\tau'}{\tau_{cr}} - 1\right) f\left(\frac{U^*}{w_i}\right) \quad (12)$$

$$\otimes^2 = 18V^2 \left(\frac{d_{50}}{h}\right)^{1/3} \quad (13)$$

$$Q_{st} = 8.64Q_d C_{st} \quad (14)$$

در این رابطه:

C_{st} : غلظت بارکل (نیوتن بر مترمکعب)، d_i : اندازه دانه‌های بستر در کلاس i (متر)، p_i : درصد دانه‌های بستر در کلاس i ، τ : تنش برشی مؤثر (نیوتن بر مترمربع)، w_i : سرعت سقوط دانه‌ها در کلاس i (متر در ثانیه)، Q_{st} : بارکل رسوب (تن در روز) و بقیه پارامترها قبلاً تعریف شده‌اند. تابع $f\left(\frac{U^*}{w_i}\right)$ با استفاده از تعیین شد.

نهایتاً خروجی آن نمودارهای مقاطع عرضی، نمودارهای منحنی سنجه آب و نمودارهای سه بعدی می‌باشد. ضریب زبری مانینگ و ضریب انقباض و انبساط به عنوان موارد کلیدی برای واسنجی و صحت‌سنجی مدل HEC-RAS مورد استفاده قرار می‌گیرند. به طوری که خروجی‌های مدل مانند دبی جریان و یا سطح تراز آب را با استفاده از این ضرایب با واقعیت تطبیق می‌دهند و با استفاده از معیارهای ارزیابی کارایی مدل مانند ناش ساتکلیف (Nash-Sutcliffe)، R-mod، ضریب تبیین (R)، ریشه‌ی میانگین مربعات خطا (RMSE)، میانگین مربعات خطا (MSE) میزان کارایی مدل در شبیه‌سازی رسوب معلق مورد ارزیابی قرار می‌گیرد (سالوتی و همکاران، ۲۰۱۲: ۲۴۵؛ سیلوا و همکاران، ۲۰۱۶: ۶۵-۸۶).

۳- نتایج و بحث

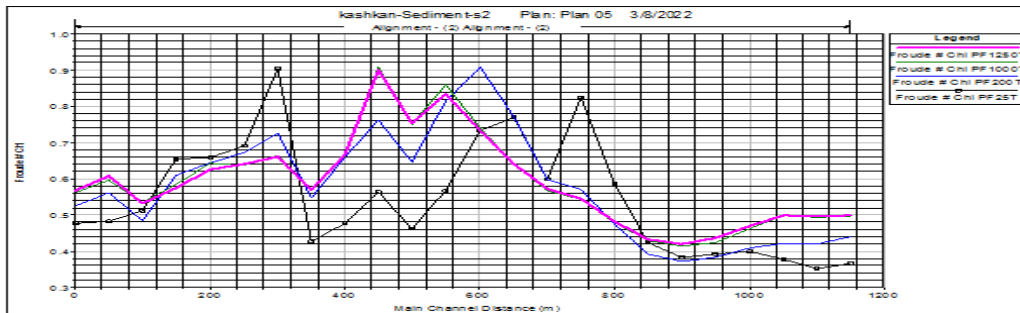
در این تحقیق شرایط هیدرولیکی رودخانه‌ی کشکان برای سیلاب سال ۱۳۹۸ با دوره‌ی بازگشت‌های مختلف با استفاده از مدل هیدرولیکی HEC-RAS شبیه‌سازی گردید. بدین ترتیب پس از تهیه‌ی مدل هندسی و شبیه‌سازی کلیه عوارض موجود در مسیر رودخانه و همچنین معرفی کلیه پارامترهای مورد نیاز در مدل، جریان آب رودخانه شامل مشخصات جریان در هر مقطع و پروفیل جریان در بستر رودخانه است که متوسط آنها در جدول ۲ ارائه شده است. همچنین شماتیک تغییرات سرعت جریان سیلابی، تغییرات عدد فرود و پهنه‌ی سیلابی

رودخانه در دوره‌های بازگشت مختلف ۲۵، ۲۰۰، ۱۰۰۰ و ۱۲۵۰ ساله در اشکال ۷ تا ۱۱ در مقاطع مختلف ارائه شده است.

جدول (۲): مشخصات هیدرولیکی مساحت و متوسط عرض پهنه سیلابی رودخانه‌ی کشکان

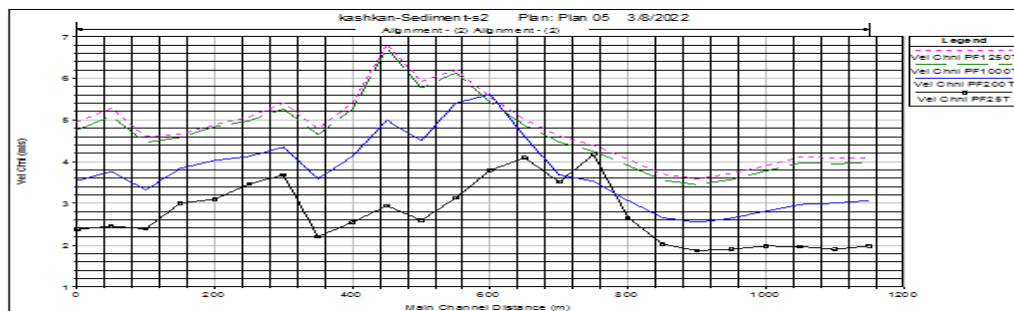
Table (2): Hydraulic characteristics of the area and average width of the Kashkan River flood zone

1250T	1000T	200T	25T	دوره‌ی بازگشت
۶۹۱۴	۶۱۸۰	۲۷۱۶	۸۹۶	دبی جریان (M^3/S)
۳۵۲۹۶	۳۲۸۳۴	۱۸۲۷۰	۸۳۸۵	مساحت پهنه سیلابی (M^2)
۲۱۵	۲۱۱	۱۷۲	۱۳۵	متوسط عرض رودخانه جهت عبور جریان سیلابی (M)
۱۰/۶۲	۹/۶۸	۶/۵۱	۳/۹۲	متوسط عمق جریان در حالت رخداد سیلاب (M)



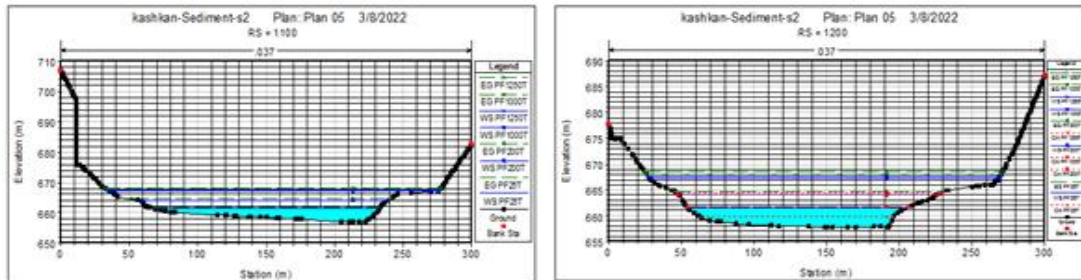
شکل (۸): شماتیک تغییرات عدد فرود در بستر رودخانه‌ی کشکان

Fig (8): Schematic of landing number changes in Kashkan riverbed



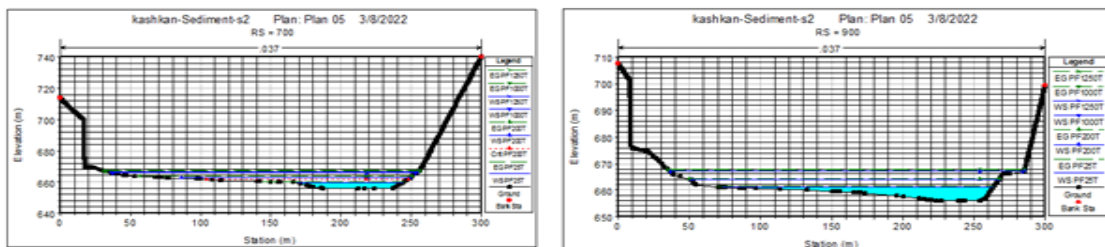
شکل (۹): شماتیک سرعت جریان سیلابی (متر بر ثانیه) بستر رودخانه‌ی کشکان

Fig (9): Schematic of flood flow velocity (m / s) of Kashkan riverbed



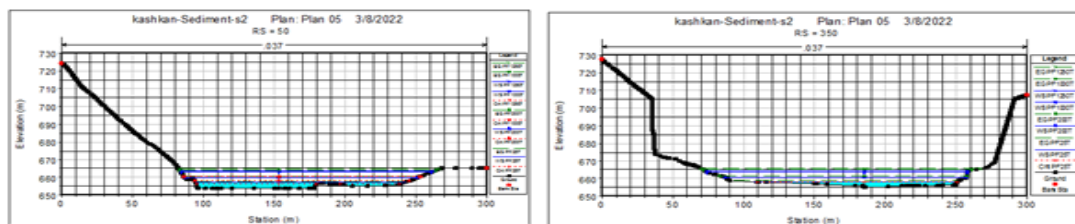
شکل (۱۰): تغییرات سطح جریان سیلابی در مقطع عرضی شماره ۱۲۰۰ در بازه ابتدایی (بالادست) و ۱۱۰۰ به سمت پایین دست رودخانه‌ی کشکان

Fig (10): Flood flow level changes in the cross section No. 1200 in the initial range (upstream) and 1100 downstream of the Kashkan River



شکل (۱۱): تغییرات سطح جریان سیلابی در مقطع عرضی ۹۰۰ به سمت پایین دست و ۷۰۰ به سمت پایین دست رودخانه‌ی کشکان

Fig (11): Flood flow level changes in the cross section of 900 downstream and 700 downstream of Kashkan River



شکل (۱۲): تغییرات سطح جریان سیلابی در مقطع عرضی شماره ۳۵۰ به سمت پایین دست رودخانه‌ی کشکان

Fig (12): Flood flow level changes in the cross section No. 350 downstream of Kashkan River

نتایج شبیه‌سازی بار کل رسوبی در مواقع سیلابی رودخانه‌ی کشکان با استفاده از روابط موجود در نرم‌افزار، بدست آمد. نتایج این شبیه‌سازی به صورت رسوب تجمعی بار کل در دوره‌ی آماری در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول (۳): نتایج مربوط به رسوب تجمعی سیلاب‌های دوره آماری، رودخانه کشکان

Table (3): Results related to cumulative sediment of floods of statistical period,

معادله	بار کل رسوب تجمعی سیلاب‌های دوره آماری (میلیون تن در روز)	بار بستر تجمعی سیلاب‌های دوره آماری (میلیون تن در روز)
انگلند و هانسن (۱۹۶۷)	۲۱۸/۱۵	۲/۲۷
توفالنتی (۱۹۶۸)	۱۵۳/۴۴	۳/۵۶
ایکرز و وایت (۱۹۷۳)	۲۳۳/۵۳	۲/۴۴
لارسن (۱۹۸۹)	۲۰۹/۲۵	۱/۴۳
یانگ (۱۹۷۳-۱۹۸۴)	۲۰۷/۴۵	۳/۰۷
مایر پیتر مولر (۱۹۴۸)	۱۲۶/۷۷	۲/۷۵

پس از محاسبه بار بستر و کاهش آن از میزان بار کل، رسوبات معلق بدست آمد و نتایج رسوب شبیه‌سازی شده این مرحله از هر رابطه با رسوب اندازه‌گیری شده در ایستگاه کشکان پلدختر مقایسه شد و درصد خطای آن بدست آمد (جدول ۴). شایان ذکر است که مقدار تجمعی بار معلق کل اندازه‌گیری شده (مشاهداتی) در طول دوره آماری مورد نظر برای ایستگاه کشکان پلدختر برابر با ۱۸۲/۷ میلیون تن در روز برآورد گردیده است.

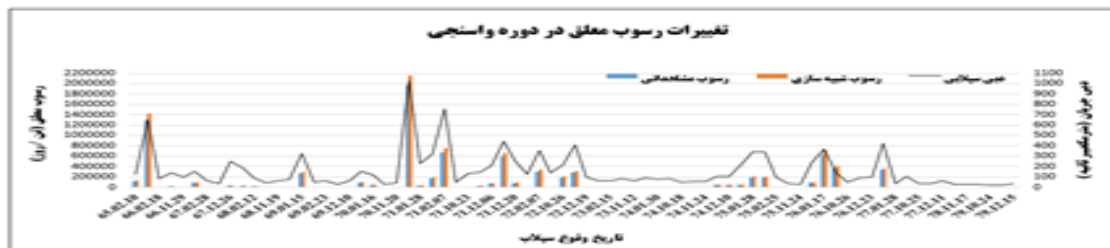
جدول (۴): نتایج مربوط به رسوب تجمعی بار معلق سیلاب‌ها در رودخانه‌ی کشکان

Table (4): Results related to the cumulative deposition of suspended loads of

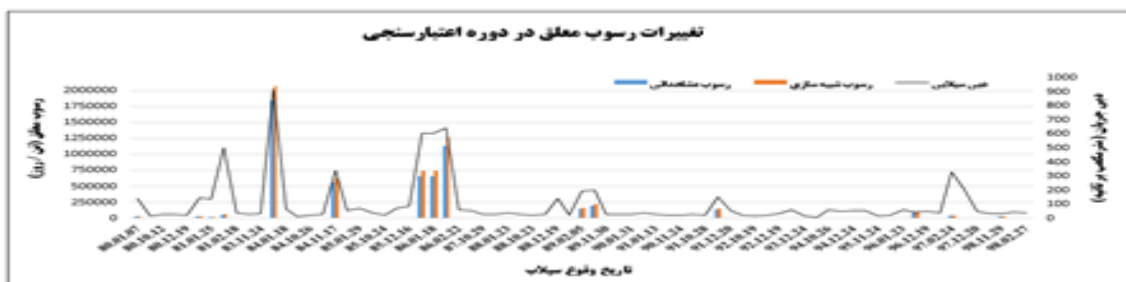
معادله	رسوب تجمعی بار معلق سیلاب‌ها (میلیون تن در روز)	درصد برآورد بار معلق نسبت به مقدار اندازه‌گیری ایستگاه	درصد خطای برآورد % (بارمعلق)
انگلند و هانسن (۱۹۷۲)	۲۱۵/۸۸	۱۱۸/۲۰	+۱۸/۲۰
توفالنتی (۱۹۶۹)	۱۴۹/۹۰	۸۲/۰۳	-۱۷/۹۰
ایکرز و وایت (۱۹۹۰)	۲۳۱/۰۹	۱۲۶/۴۰	+۲۶/۴۰
لارسن (۱۹۵۸)	۲۰۷/۸۲	۱۱۳/۷۴	+۱۳/۷۰
یانگ	۲۰۴/۴۰	۱۱۱/۸۷	+۱۱/۸۷
مایر پیتر مولر (۱۹۴۸)	۱۲۴/۰۱	۶۷/۸۷	-۳۲/۱۳

همان‌طور که در جدول ۴ مشاهده شد، با شبیه‌سازی رسوب کل از طریق رابطه‌های مذکور و جدا کردن بار معلق از آن‌ها، رابطه‌های انگلند و هانسن با خطای +۱۸/۲۰ درصد، ایکرز و وایت با +۲۶/۴۰ درصد، لارسن با +۱۳/۷۰ درصد، یانگ با ۱۱/۸۷ درصد بیشتر از رسوب اندازه‌گیری در ایستگاه برآورد شده است. هم‌چنین رابطه‌های توفالنتی با خطای -۱۷/۹۰ درصد، مایر پیتر و مولر با -۳۲/۱۳ درصد کمتر از رسوب اندازه‌گیری در ایستگاه، بار معلق را شبیه‌سازی کرده‌اند. بنابراین رابطه یانگ و لارسن نسبت به سایر رابطه‌ها قابلیت برآورد رسوب را در ایستگاه کشکان پلدختر دارد. رابطه یانگ رسوب کل را ۲۰۷/۴۵ میلیون تن در روز شبیه‌سازی

کرده و بار معلق را با خطای $11/87+$ درصد، به رسوب اندازه‌گیری شده در ایستگاه هیدرومتری کشکان پلدختر نزدیک‌تر است. و بیشترین خطا را رابطه مایر پیتر مولر داشته است. شایان ذکر است رابطه لارسن نیز با توجه به درصد خطای پایین نیز جهت برآورد رسوب شبیه‌سازی شده قابل توجیه و استفاده می‌باشد اما به دلیل دقت بالاتر (با توجه به نتایج درصد خطا) رابطه‌ی ینگ جهت مدلسازی عددی در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفته است. در این پژوهش علاوه بر برآورد سیلاب، شبیه‌سازی رسوب معلق در رودخانه‌ی کشکان در زمان سیلاب‌ها در سال ۱۳۹۸ توسط مدل HEC-RAS شبیه‌سازی گردید و برای مقایسه تغییرات مربوط به رسوب شبیه‌سازی شده‌ی هر سیلاب و مقادیر اندازه‌گیری شده آن در ایستگاه هیدرومتری کشکان پلدختر طی دو دوره‌ی واسنجی (از سال ۱۳۶۵ تا ۱۳۷۹) و دوره‌ی اعتبارسنجی (از سال ۱۳۸۰ تا سال ۱۳۹۸) انجام شد. نحوه شبیه‌سازی آن‌ها در هر یک از این سیلاب‌ها در شکل‌های ۱۳ تا ۱۵ با در نظر گرفتن سیلاب فروردین ماه ۱۳۹۸ و بدون در نظر گرفتن سیلاب ۱۳۹۸ آورده شده است.



شکل (۱۳): تغییرات رسوب معلق شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده در ایستگاه پلدختر واسنجی
Fig (13): The change of suspended sediment simulated and measured at Poldakhtard



شکل (۱۴): تغییرات رسوب معلق شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده در ایستگاه کشکان پلدختر در دوره اعتبارسنجی (بدون در نظر گرفتن سیلاب فروردین ماه ۱۳۹۸)

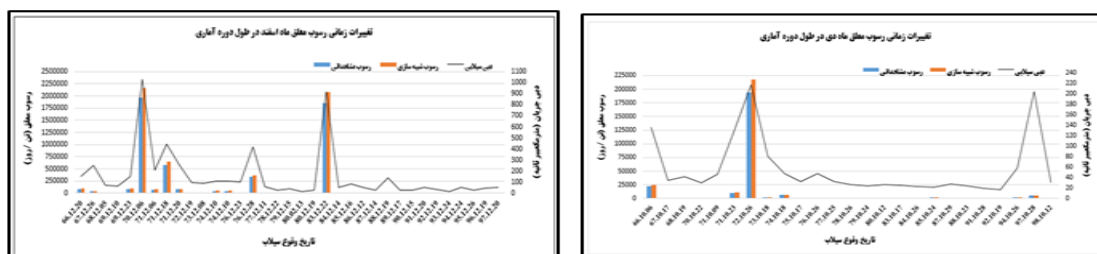
Fig (14): The change of suspended sediment c simulated and measured at Kashkan Poldakhtardar station during the validation period (excluding floods in April 2017)



شکل (۱۵): تغییرات رسوب معلق شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده در ایستگاه کشکان پلدختردار دوره‌ی اعتبارسنجی با در نظر گرفتن سیلاب فروردین ۱۳۹۸

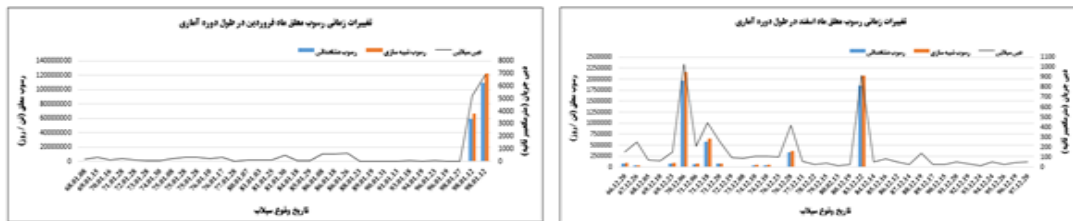
Fig (15): The change of suspended sediment simulated and measured at Kashkan Poldakhtardar station during the validation period taking into account the flood of April 2017

هم‌چنین علاوه بر شبیه‌سازی سیلاب و رسوب معلق در رودخانه‌ی کشکان به شبیه‌سازی رسوب انتقالی در ماه‌های دی، بهمن، اسفند، فروردین و اردیبهشت پرداخته شد و مقادیر شبیه‌سازی شده با مقادیر اندازه‌گیری شده مقایسه گردید. همانطور که در شکل ۱۶-الف ملاحظه می‌شود با افزایش دبی جریان میزان رسوب معلق انتقالی نیز افزایش و با کاهش دبی رسوب معلق انتقالی نیز کاهش یافته است. در دی ماه در کل دوره‌ی آماری دارای کمترین حجم آورد رسوب معلق نسبت به سایر ماه‌های سیلابی (ماه‌های مورد بررسی) بوده است، شکل ۱۶-ب. مقدار رسوب حداقل و حداکثر شبیه‌سازی شده سیلاب‌ها در ماه‌های اسفند دوره آماری بیشتر از رسوب اندازه‌گیری شده (مشاهداتی) در ایستگاه می‌باشد شکل ۱۷-الف. مقدار رسوب حداقل و حداکثر شبیه‌سازی شده سیلاب‌ها در ماه‌های فروردین دوره آماری بیشتر از رسوب اندازه‌گیری شده (مشاهداتی) در ایستگاه می‌باشد، شکل ۱۷-ب. مقدار رسوب حداقل و حداکثر شبیه‌سازی شده سیلاب‌ها در ماه‌های اردیبهشت دوره آماری بیشتر از رسوب اندازه‌گیری شده (مشاهداتی) در ایستگاه می‌باشد (شکل ۱۸).



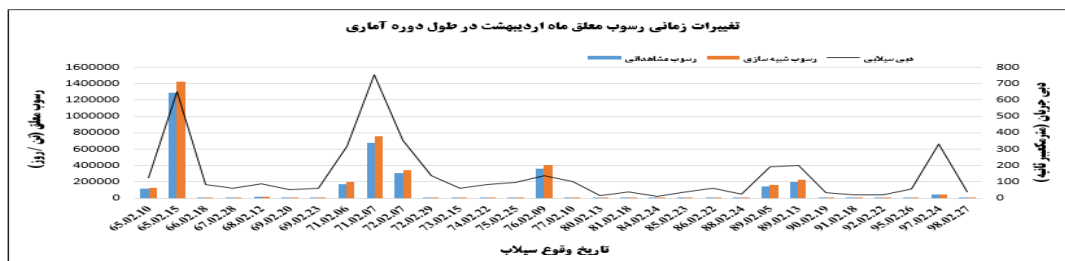
شکل (۱۶): نحوه شبیه‌سازی رسوب معلق سیلاب‌های ماه‌های دی و بهمن ۱۳۹۸

Fig (16): How to simulate the suspended sediment of January and February floods 2017



شکل (۱۷): نحوه شبیه‌سازی رسوب معلق سیلاب‌های ماه‌های اسفند و فروردین ۱۳۹۸

Fig (17): How to simulate the suspended sediment of the floods of March and April 2017



شکل (۱۸): نحوه شبیه‌سازی رسوب معلق سیلاب‌های ماه‌های اردیبهشت ۱۳۹۸

Fig (18): How to simulate the suspended sediment of the May floods 2017

بطور کلی همانطور که در نمودار قابل مشاهده است حجم رسوبات معلق انتقالی در فروردین ماه که میزان بارش زیاد است نسبت به سایر ماه‌های دیگر زیادتر بوده و این میزان نسبت به متوسط رسوبات انتقالی در رودخانه‌ی کشکان حجم بسیار بالایی را داشته است.

۴- نتیجه‌گیری

بررسی تعیین حریم و بستر رودخانه به معنای تعریف دقیق بخش‌های مطالعات آن و روابط صحیح بین این اجزا است که می‌تواند نقش کلیدی در برآورد صحیح حریم رودخانه داشته باشد که شامل دو رکن بکارگیری آمار و اطلاعات صحیح و بهره‌گیری از روش‌های دقیق می‌باشد. همچنین با توجه به اهمیت تعیین پهنه‌های سیلابی با دوره بازگشت‌های مختلف برای جلوگیری از خطرات سیلاب‌ها و سازماندهی و بهسازی رودخانه و با مشخص نمودن وضعیت تأسیسات موجود در مجاور رودخانه‌ها، نیاز به انجام مطالعات هیدرولیک جریان رودخانه و تعیین پهنه‌بندی سیلاب با دوره‌ی بازگشت‌های مختلف می‌باشد (اریک و همکاران، ۱۹۹۹: ۲۶-۳۷؛ کامان و اسفندیار، ۲۰۱۱: ۳۶-۵۲). مدلی که برای این منظور استفاده شده مدل HEC-RAS می‌باشد، که از مدل‌های معتبر برای محاسبات هیدرولیک آبراهه‌های طبیعی است که با شبیه‌سازی یک بعدی رودخانه‌ها امکان محاسبات جریان‌های

پایدار و ناپایدار را به راحتی مهیا می‌سازد. نتایج شبیه‌سازی با مدل HEC-RAS برای رودخانه‌ی کشکان نشان داد که از بین روابط مختلف روابط انگلند و هانسن، توفالتی، ایکرز و وایت، لارسن، یانگ و مایر پیتر مولر برای رسوب کل بهترین عملکرد را داشتند و از بین این روابط یانگ به میزان $207/45$ تن در روز برآورد شد. اعلمی و همکاران (۱۳۸۸) با استفاده از این مدل مسئله فرسایش و رسوب‌گذاری در بستر رودخانه در پایاب مخزن سد شهید مدنی مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که معادله‌ی انتقال رسوب لارسن نتایج قابل قبول‌تری در مقایسه با سایر معادلات برآورد نمودند. داس و سیل (۲۰۱۷) به برآورد میزان انتقال رسوبات در رودخانه‌ی باراک با استفاده از HEC-RAS پرداختند. نتیجه نشان داد که این مدل با معادله انتقال رسوب ایکرزوایت عملکرد خوبی دارد و حرکت تخلیه رسوب را بهتر توصیف کرد. حامد (۲۰۱۶) در تحقیقی به تجزیه و تحلیل هیدرولیکی جهت تخمین میزان انتقال رسوب رودخانه‌ی فرات در یک محدوده‌ی مشخص در (شهر ال-هندیا) با استفاده از بسته نرم‌افزاری HEC-RAS 4.1 پرداخت. فرمول‌های مدل‌سازی با نتایج میدانی مقایسه شدند. نزدیک‌ترین فرمول به نتایج، فرمول لارسن به دست آمد، در حالی که فرمول ایکرزوایت یک فرمول ضعیف بود، در صورتی که نمونه‌های دیگر، نتایج کمتری نسبت به مقادیر میدانی با کمی هم‌گرایی در برخی از این نتایج به دست آمدند که از طریق روش آماری حاصل گردید.

۵-منابع

- Alami, M. T., Ahmadian M., Timurid Moghaddam, A. (2008). Estimation of changes in Shahid Madani dam downstream using HEC-RAS4.0 software. *8th International Seminar on River Engineering, Shahid Chamran University of Ahvaz*.
- Andam, K.S. (2003). Comparing physical habitat condition in forest and non-forested streams. Msc Thesis, *University of Vermont, USA, 136 pp*.
- Asadi, F, Fazla Vali, R., Emadi, A., Asadi, M. (2016). Investigation of river bed changes using HEC-RAS 4.0 mathematical model Case study: Hall. *Watershed Management Research Encyclopedia, 8 (15): 25-35*.
- Bathurst R.D. Hey. (1987). Sediment transport in gravel-bed rivers, *John Wiley*.
- Das, B. and B.S. Sil. (2017). Assessment of sedimentation in Barak River Reach using HEC-RAS. *In Development of Water Resources in India, 75: 95-102*.
- Das, B. and B.S. Sil. (2017). Assessment of sedimentation in Barak River Reach using HEC-RAS. *In Development of Water Resources in India, 75: 95-102*.
- Doan, B. and Tran, B.S. (2018). Assessment of sedimentation in Barak River Reach using HEC-RAS. *In Development of Water Resources in India, 75: 95-102*.
- Eric Tate, M.S.E., and Maidment, D. (1999). Floodplain Mapping using HEC-RAS and ArcViewGIS, Bureau of Engineering Research, *The University of Texas, Austin, 223 pp*.
- Guide to erosion and sediment studies in river management. (2012). *Office of Technical Standards and Criteria. Publication No. 383, Ministry of Energy, 185*.
- Hameed, L.K. (2016). Estimating of Sediment Transport Rates for Euphrates River in Al-Hindiya City Using HEC-RAS Model. *The Arab Journal of Sciences & Research Publishing, 2(3): 77-90*.
- Hameed, L.K. (2016). Estimating of Sediment Transport Rates for Euphrates River in Al-Hindiya City Using HEC-RAS Model. *The Arab Journal of Sciences & Research Publishing, 2(3): 77-90*.
- Ildermi, A. (2021). Simulation sedimentation status of Ebru river of Ekbatan dam in Hamedan Using GSTARS 2.1 mathematical model. *Journal of Hydrogeomorphology, 9 (30): 22-36*
- Johnson, G.D., Strickland, M., and Byyok, D. (1999). Quantifying impacts to riparian wetlands associated with reduced flow along the Greybull River, *Wyoming. Wetland, 19: 71-77*.
- Joshi, N., Lamichhane, G.R., Rahaman, M.M., Kalra, A. and Ahmad, S. (2019). May. Application of HEC-RAS to Study the Sediment Transport Characteristics of Maumee River in Ohio. In World Environmental and Water Resources Congress: Hydraulics, Waterways, and Water Distribution Systems Analysis (pp. 257-267). Reston, VA: *American Society of Civil Engineers*.

- Kamanbedast, A., and Esfandiar, Y. (2011). Investigation and study of morphological changing of rivers using HEC-GeoRAS and Mike 11 Software. *World Applied Sciences Journal*, 13(5): 1253-1258.
- Meyer-Peter, E., and R. Mueller. (1948). Formulas for bed-load transport. Int.
- Mokhtari, D., Mohammadzadeh Golani, F., Nikjoo, M., Asgari, Sh. (2016). Estimates of Erosion Sediment of Gavi River Catchment Using Mpsiac Method in GIS Environment. *Journal of Hydrogeomorphology*. 3 (6): 1-16
- Pour Ghasemi, V., Dastorani, M.T., Haji Biglo, M. (2018). Assessing the relationship between some soil properties and the severity of lateral erosion in parts of the Kashfar River. *14th National Conference on Watershed Management Science and Engineering of Iran, Urmia*.
- Rahman, S.A., and Chakrabarty, D. (2020). Sediment Transport Modelling in an alluvial river with Artificial Neural Network. *Journal of Hydrology*, p.125056.
- Roshan, H., Vahabzadeh, GH., Solemani, K., Farhadi, R. (2012). Simulation of river hydraulic behavior using HEC-RAS model in GIS case study: Bashar River, Kohgiluyeh and Boyer-Ahmad provinces). *Watershed Management Research Journal*. 4 (7): 70-84.
- Rouse, H. (1937). Modern conceptions of the mechanics of turbulence, *Trans. Am. Soc. Civ. Eng*, 102, 463– 543.
- Sadeghi S. H. R., Mostafazadeh R. (2016). Triple diagram models for changeability evaluation of precipitation and flow discharge for suspended sediment load in different time scales. *Environmental Earth Science*. 75(9).
- Salvetti M. V. Guillard H. and Billanceri, M. (2012). Sediment transport models for Shallow Water Equations, *University of Pisa*.
- Schiolds A. (1936). *Anwendung der Ahnlichketsmechnik und der Turbulenz*.
- Silva, F. G., de Oliveira Sousa, P. H. G., and Siegle, E. (2016). Longshore transport gradients and erosion processes along the Ilha Comprida (Brazil) beach system. *Ocean dynamics*, 66(6-7): 853-865.
- Soltani, P., Askar, M. B., Bahrami, H., and Pour, S.H. (2017). Evaluation of Sediment Transport in the Naiband Gulf Area Using Mike21. *Open Journal of Geology*, 7(02): 182-193.
- Teymori Yeganeh, M., Arman, A. (2019). Estimation of Shahroud river sediment transfer flow using HEC-RAS mathematical model. *Iranian Journal of Water Irrigation Engineering*. 10 (4): 18-32.