تخمین میزان رسوب‌دهی و فرسایش با استفاده از مدل‌های تجربی MPSIAC و FSM و روش اندازه‌گیری مستقیم (مطالعه موردی: حوضه‌ی آبخیز گابریک، جنوب شرق ایران)

شهروز شجاعی*: *دانشجوی دکتری رسوب‌شناسی، دانشگاه آزاد زاهدان ، زاهدان، ایران.*
محمدرضا نورا: *استادیار گروه زمین شناسی، دانشگاه آزاد زاهدان ، زاهدان، ایران.*
شهرام حبیبی‌مود: *استادیار گروه زمین‌شناسی، دانشگاه آزاد زاهدان ، زاهدان، ایران.*

تاریخچه مقاله (تاریخ دریافت: ۹۷/۸/۷ تاریخ پذیرش: ۹۷/۱۲/۱)

چکیده

با توجه به روند افزایشی فرسایش خاک و تولید رسوب در کشور، توسعه‌ی روش‌های ارزیابی کمی و کیفی فرسایش و رسوب ضروری است. هدف از این تحقیق، ارزیابی فرسایش و رسوب در حوضه‌ی آبریز گابریک است که با استفاده از دو مدل تجربی MPSIAC و FSM و روش اندازه‌گیری مستقیم انجام شد. بدین منظور، نقشه‌ی واحدهای هیدرولوژیک منطقه به عنوان نقشه‌ی پایه تهیه شد. در مدل MPSIAC، وضعیت فرسایش و تولید رسوب در هر واحد کاری بر حسب شدت و ضعف ۹ عامل محیطی و در روش FSM، تعیین شدت فرسایش با استفاده از محاسبه‌ی ۷ عامل محیطی ارزیابی شد. سپس لایه‌های مربوطه در محیط نرم‌افزار Arc GIS تهیه شد. در روش اندازه‌گیری مستقیم رسوب با استفاده از وسایل نمونه‌برداری و نرم‌افزار CIVIL 3D، به تخمین میزان رسوب‌دهی حوضه پرداخته شد. بر اساس نتایج، میزان رسوب کل حوضه با اعمال ضریب مربوطه با استفاده از دو مدل MPSIAC و FSM، به ترتیب ۴ و ۶/۳ تن در هکتار در سال برآورد شد و براساس ضریب رسوب‌دهی حوضه (R)، از لحاظ کیفی بخش اعظم حوضه در کلاس فرسایشی متوسط قرار گرفت. در روش اندازه‌گیری مستقیم با اعمال ضریب حجمی و آنالیز داده‌های صحرایی، میزان رسوب تجمعی ایستگاه معادل ۶/۹ تن در هکتار در سال برآورد شد. به طور کلی، با مقایسه‌ی نتایج به دست آمده می‌توان چنین استنباط کرد که مقادیر رسوب تولیدی به دست آمده از مدل FSM نسبت به MPSIAC، با روش اندازه‌گیری مستقیم مطابقت بیشتری دارد.

واژگان کلیدی: تخمین فرسایش و رسوب‌دهی، حوضه‌ی آبریز گابریک، روش مستقیم، مدل MPSIAC، مدل FMS.

۱- مقدمه

فرسایش خاک به عنوان یکی از مهم‌ترین مسایل زیست محیطی، تأثیرات مخربی بر زیست‌بوم‌های طبیعی و تحت مدیریت انسان دارد. پدیده‌ی فرسایش به کاهش حاصل‌خیزی خاک، تخریب زیست‌بوم‌های طبیعی همانند مراتع، جنگل‌ها و اراضی کشاورزی منجر می‌شود (Bayramin et al, 2003). از طرفی، با توسعه و پیشرفت بشر شدت

* نویسنده مسئول: shahrooz_shojaie@yahoo.com

فرسایش خاک افزایش یافته؛ به طوری که شدت این فرسایش در آسیا، آفریقا و آمریکای جنوبی با ۳۰ تا ۴۰ تن در هکتار در سال، بیشترین و در اروپا و آمریکای شمالی با ۱۳ تن در هکتار، کمترین است (Bayramin et al, 2003).

عوامل مختلفی در بروز و تشدید فرسایش نقش دارد که برخی از آنها طبیعی است و عمدتاً طی سالیان دراز به طور تدریجی اثر می‌گذارد و برخی نیز انسانی است که در تشدید فرسایش تأثیر دارد. در بررسی عوامل مؤثر بر فرسایش خاک، به صورت اساسی نمی‌توان عامل مشخص و معینی را به عنوان عامل اصلی فرسایش در یک منطقه معرفی کرد، بلکه شرایط فرسایش موجود در منطقه را باید معلول تأثیرات متقابل مجموعه عوامل و عناصر مؤثر در ایجاد فرسایش دانست؛ از قبیل عوامل اقلیمی، فرسایش‌پذیری خاک، شیب زمین، پوشش گیاهی، مدیریت با نحوه بهره‌برداری از اراضی و ... .

بر اساس گزارش فائو (F.A.O)، میزان فرسایش خاک در ایران بین ۳ تا ۴ میلیارد تن در سال است. فراوانی وقوع سیل‌های مخرب همراه با از دسترس خارج شدن حدود نیمی از ۴۱۳ میلیارد مترمکعب ریزش‌های جوی کشور، نابودی جنگل‌ها و مراتع، کاهش حاصلخیزی اراضی و سایر مسائل و مشکلات دیگر از جمله معضلاتی است که ضرورت توجه ویژه و جامع به حوضه‌های آبریز کشور و کنترل فرسایش و رسوب را نمایان می‌سازد.

مطالعات گسترده‌ای در ایران و جهان در خصوص مدل‌های MPSIAC و FSM صورت گرفته‌است؛ به طور مثال، محسنی و همکاران (۱۳۹۰) با هدف ارزیابی دقت و کارایی مدل‌های برآورد فرسایش و رسوب، چهار مدل EPM، MPSIAC، روش‌های ژئومورفولوژی و هیدروفیزیکی را در حوضه‌ی آبریز کسیلیان واقع در استان مازندران ارزیابی کرده‌اند. محمدی‌ها و همکاران (۱۳۹۰) در پژوهشی، به بررسی میزان فرسایش و تولید رسوب در حوزه‌ی آبخیز ایوانکی با استفاده از مدل‌های FSM، MPSIAC و ایستگاه رسوب‌سنجی پرداختند. در مطالعه‌ی دیگری در ایتالیا، دی‌ونت و همکاران (۲۰۰۶)، عامل ششم زمین‌لغزش را به مدل FSM اضافه کردند و با مقایسه‌ی نتایج حاصل از این مطالعه بدین نتیجه رسیدند که میزان رسوب‌دهی برآورد شده با این روش نسبت به روش قبلی، تطابق بیشتری با مقدار رسوب اندازه‌گیری شده در ایستگاه رسوب‌سنجی دارد. فرجی (۲۰۱۰)، رابطه‌ی شدت فرسایش و تولید رسوب با واحدهای ژئومورفولوژی و روش‌های EPM و MPSIAC را در حوضه‌ی بابااحمدی خوزستان بررسی کرد. بهنام و همکاران (۲۰۱۱) تحقیقاتی را به منظور بررسی و آنالیز میزان حساسیت مدل MPSIAC در ۶ حوضه‌ی آبخیز به نام‌های کورخانی و کندگلندوک، (در دو زیر حوضه) پگاه سرخ گتوند و نوجان (در سه زیرحوضه) و ایوانکی انجام دادند. غلامی و مصری علمداری (۲۰۱۳) طی پژوهشی در حوضه‌ی آبخیز نهند به منظور آنالیز حساسیت و اثر بخشی در مدل FSM و MPSIAC در برآورد بار رسوبی حوضه، مطالعات گسترده‌ای انجام دادند. پاره‌کار و همکاران (۲۰۱۳)، طی تحقیقی مدل MPSIAC را به منظور برآورد میزان تولید رسوب در کشور ایران ارزیابی کردند.

با توجه به اینکه یکی از اهداف مهم در مدیریت حوضه‌های آبریز نظیر گابریک، جلوگیری از فرسایش خاک است، لذا بدین منظور می‌بایست فرسایش و رسوب موجود برآورد شود. با توجه به این نکته که برآورد و محاسبه‌ی واقعی رسوب مهار شده در سدهای احداث شده در خروجی حوضه و مقایسه‌ی آن با نتایج حاصل از

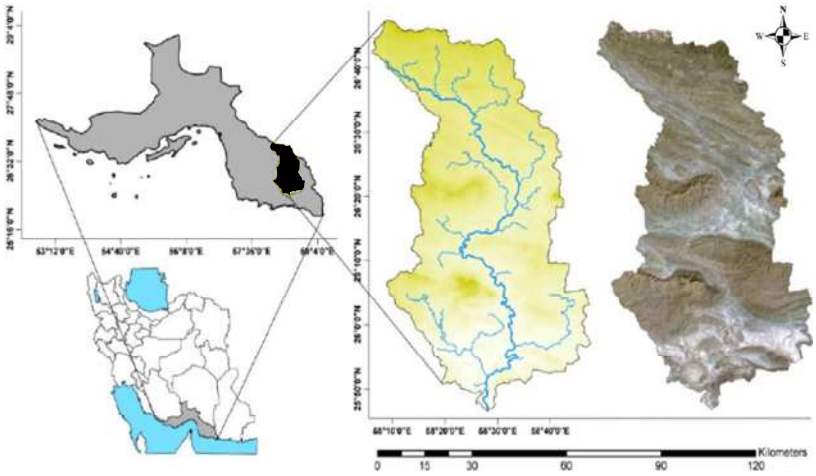
مدل‌های تجربی، بهترین روش برای تخمین میزان رسوب‌دهی در حوضه‌های فاقد ایستگاه رسوب‌سنجی نظیر حوضه گابریک است، یکی از فاکتورهای مهم در زمان طراحی سد یا سازه‌های رسوب‌گیر، برآورد رسوب تولیدی در حوزه‌ی آبریز مورد مطالعه می‌باشد. بنابراین، هر اندازه مقدار رسوب برآوردی ما به مقدار واقعی آن نزدیک‌تر باشد، قطعاً در زمان طراحی سد یا برنامه‌ریزی اجرایی در حوضه به لحاظ هزینه و رعایت اصول فنی و اقتصادی، عملکرد بهتر خواهد شد. با توجه به اینکه دقیق‌ترین راه برآورد رسوب، استفاده از آمار ایستگاه‌های رسوب‌سنجی است؛ لذا با توجه به فقدان امکانات فنی و تکنولوژی لازم و فقدان منابع اقتصادی و شرایط اجتماعی برای استقرار دستگاه‌های رسوب‌سنجی در خروجی کلیه‌ی حوضه‌ها و زیرحوضه‌ها، چاره‌ای جز استفاده از مدل‌های تجربی برآورد رسوب و فرسایش وجود ندارد. بنابراین، شناسایی پهنه‌هایی از حوضه که فرسایش قابل توجهی دارد و محاسبه‌ی مقدار رسوبی که به محل احداث سازه‌ها خواهند رسید، از مهم‌ترین اجزای مطالعات فرسایش و رسوب است. هدف از این پژوهش، ارزیابی کارایی مدل‌های تجربی MPSIAC[1] و F.S.M.[2] و روش اندازه‌گیری مستقیم در برآورد رسوب‌دهی و میزان فرسایش حوضه‌ی آبریز گابریک است.

۲- منطقه‌ی مورد مطالعه

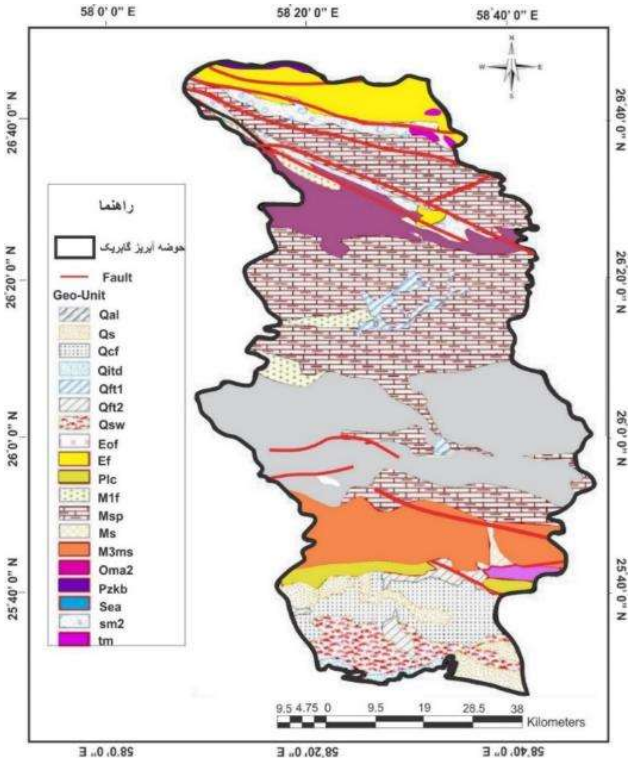
حوضه‌ی آبریز گابریک با مساحتی بالغ بر ۴۲۹۰/۳۵ کیلومتر مربع، در قسمت جنوب شرق استان هرمزگان (بندرجاسک) با دامنه‌ی ارتفاعی بین ۲۱۹۰ تا ۳۷ متر از سطح دریا در خروجی رودخانه‌ی گابریک در محل پرکوه قرار دارد و بخش‌های بشاگرد و مرکزی را در برمی‌گیرد. مهم‌ترین رودخانه‌ی جاری در سطح منطقه، رودخانه‌ی گابریک به طول ۲۰۸/۷ کیلومتر با میانگین آب‌دهی ۸۴ میلیون مترمکعب و با جهت جریان آب شمال به جنوب است که به عنوان یکی از رودخانه‌های مستقل حوضه‌ی آبریز بندرعباس- سدیج، از کوه‌های بشاگرد سرچشمه می‌گیرد و به دریای عمان وارد می‌شود (شکل ۱). این حوضه از شمال به استان کرمان، از غرب به شهرستان بندرعباس، از شرق به استان سیستان و بلوچستان و از جنوب به دریای عمان محدود می‌شود. مسیر اصلی دسترسی به این حوضه از طریق جاده‌ی بندرجاسک- انگهران است که از آنجا می‌توان به سایر بخش‌های حوضه دسترسی پیدا کرد (شکل ۲). از لحاظ شرایط اقلیمی، این منطقه جزء مناطق خشک و نیمه‌خشک تا فراخشک با میزان بارندگی سالیانه ۱۳۸ میلی‌متر و میانگین دمای متوسط ۲۶ درجه‌ی سانتیگراد در سال است (فریدی و رضایی، ۱۳۹۲).

از نظر زمین‌شناسی، مطالعه‌ی توالی سنگی حوضه‌ی آبریز گابریک نشان داد که واحدهای مارنی به عنوان لیتولوژی غالب در اکثر ستون‌های سنگ‌چینه‌ای در گستره‌ی حوضه‌ی آبریز رودخانه‌ی گابریک حضور دارند و در قالب واحدهای مارنی یا مارن ماسه‌ای، مارن سیلتی و مارن‌های آهکی رخنمون دارند. وجود مارن در واحدهای چینه‌شناسی سبب تسریع فرسایش سطحی زمین در مقابل نزولات جوی می‌شود. از نظر چینه‌شناسی، این حوضه عمدتاً از رخساره‌های آذرین و رسوبی متعلق به مزوزوئیک و سنوزوئیک به صورت ساختمان‌های چین‌خورده و گسل‌خورده و رخساره‌های رسوبی متعلق به دوره کواترنر تشکیل شده‌است (فریدی و همکاران، ۱۳۹۲). در شکل ۲، نقشه‌ی زمین‌شناسی حوضه‌ی گابریک آورده شده‌است.

[1] Modified Pacific Southwest inter-Agency Committee
[2] Factor Scoring Method



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی حوضه‌ی آبریز گابریک در استان هرمزگان و ایران.



شکل ۲: نقشه‌ی زمین‌شناسی حوضه‌ی آبریز گابریک.

۳- مواد و روش

در این پژوهش به منظور استفاده از سه روش MPSIAC، FSM و اندازه‌گیری مستقیم، از نقشه‌ها و گزارش‌های پایه‌ای موجود، اطلاعات ایستگاه‌های هواشناسی منطقه‌ی مورد مطالعه، مطالعات میدانی، ۴۲ برگ نقشه‌ی توپوگرافی رقومی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ برای چینه‌شناسی، لیتولوژی و ماهیت زمین‌شناسی منطقه تهیه شده توسط سازمان زمین‌شناسی کشور (شکل ۴ و جدول ۲)، نقشه‌های خاک‌شناسی، پوشش گیاهی، نقشه‌ی کاربری اراضی و DEM بهره گرفته شد. ذکر این امر لازم است که با استفاده از اطلاعات مذکور، حوضه‌ی گابریک به ۲ زیر حوضه تقسیم شد. واحدهای هیدرولوژیک به عنوان نقشه‌ی مبنا (واحد کاری) مورد استفاده قرار گرفت.

برآورد فرسایش و رسوب با استفاده از روش MPSIAC

در روش MPSIAC، تأثیر و نقش ۹ عامل مهم و مؤثر در فرسایش خاک و تولید رسوب (جدول ۱) در حوزه‌ی آبخیز ارزیابی می‌شود (احمدی، ۱۳۸۹). در این روش بسته به شدت و ضعف هر عامل، عددی به آن نسبت داده می‌شود. سرانجام با در نظر گرفتن مجموع اعداد به دست آمده در واحد هیدرولوژیکی حوضه برای عوامل مختلف، میزان رسوب‌دهی حوضه برآورد می‌شود؛ بنابراین، در ادامه ابتدا میزان رسوب در حوضه با استفاده از مدل ارزیابی سپس با توجه به نسبت تحویل رسوب، به ارزیابی میزان فرسایش پرداخته می‌شود.

جدول ۱: عوامل مؤثر در فرسایش خاک و تولید رسوب با نمرات مربوط در روش MPSIAC

ردیف	عوامل فرسایش خاک و تولید رسوب	نمره‌ی عامل در فرسایش
۱	زمین‌شناسی سطحی	۰- ۱۰
۲	خاک	۰- ۱۰
۳	آب و هوا	۰- ۱۰
۴	رواناب	۰- ۱۰
۵	پستی و بلندی	۰ - ۲۰
۶	پوشش زمین	(+۱۰)- (-۱۰)
۷	استفاده از زمین	(+۱۰)- (-۱۰)
۸	وضعیت فعلی فرسایش	۰ - ۲۵
۹	فرسایش رودخانه‌ای و حمل رسوب	۰ - ۲۵

وضعیت فعلی فرسایش در سطح حوضه‌ی آبخیز

به منظور بررسی نقش عامل فوق در تولید رسوب، فرسایش سطحی موجود در حوضه‌ی آبریز مانند فرسایش بارانی، ورقه‌ای، شیاری و خندقی ارزیابی می‌شود (به جز فرسایش موجود در آبراهه‌ها). برای تعیین امتیاز این عامل در روش جدید پسیاک، از فرم BLM ـ که شرایط طبیعی استاندارد ارائه شده‌است ـ استفاده شد. این فرم

دارای ۷ عامل است که هر یک از عوامل بسته به میزان تأثیر در فرسایش، بین صفر تا ۱۵ امتیاز کسب کرده‌است و مجموع عوامل فوق به ۱۰۰ می‌رسد. همه‌ی عوامل این فرم در عرصه، برای هر کدام از تیپ‌های گیاهی و کاربری‌های مختلف (زراعت آبی و دیم، باغ و...) تکمیل و مجموع عوامل ۷ گانه‌ی این فرم برای کاربری‌های مختلف در محیط Arc GIS به صورت یک لایه تعریف شد و آن‌گاه با تلفیق لایه‌ی فوق با لایه‌ی زیر حوضه‌ها، مجموع عوامل ۷ گانه‌ی این فرم برای هر کدام از زیر حوضه‌ها تعیین شد.

دفتر مدیریت اراضی آمریکا BLM، وضعیت فرسایش را بر حسب جمع نمرات عوامل ۷ گانه تعیین می‌کند که در جدول ۲ ارائه شده‌است. ارقام این جدول، وضعیت هر یک از واحدهای هیدرولوژیکی یا زیر حوضه‌های فرعی را از نظر فرسایش مشخص می‌سازد (احمدی، ۱۳۸۹).

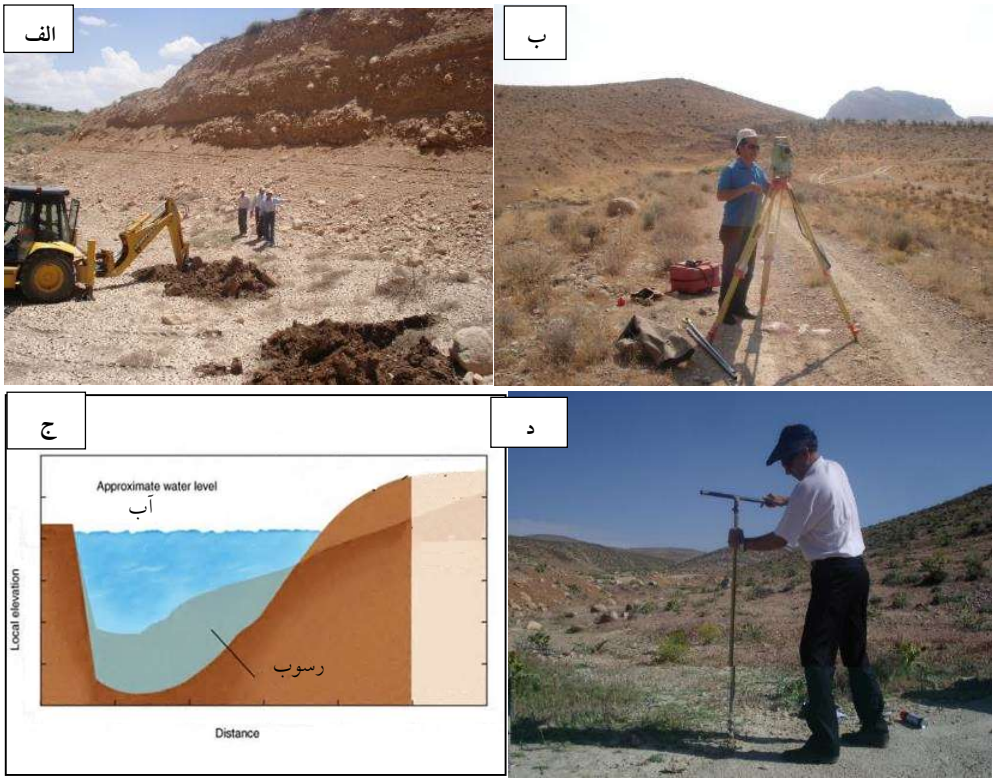
جدول ۲: وضعیت فرسایش بر حسب جمع نمرات عوامل هفت‌گانه

وضعیت فرسایش	جمع نمرات عوامل هفت گانه
جزئی	۰ - ۲۰
کم	۲۱ - ۴۰
متوسط	۴۱ - ۶۰
زیاد	۶۱ - ۸۰
خیلی زیاد	۸۱ - ۱۰۰

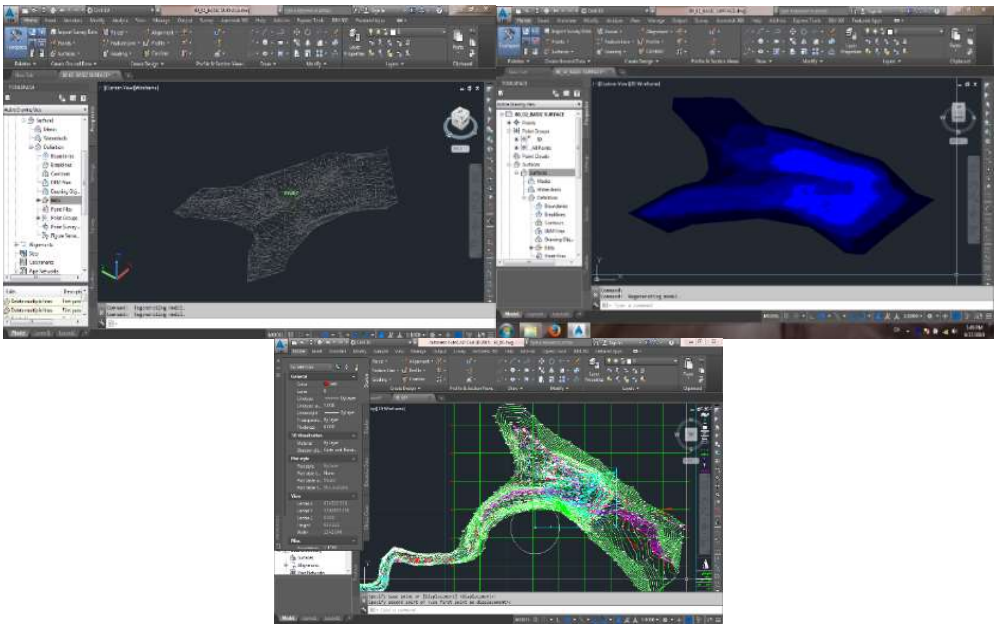
اندازه‌گیری به روش مستقیم رسوبات پشت چکدم‌ها و سد گابریک

به منظور اندازه‌گیری مستقیم رسوبات پشت چکدم‌ها (شکل ۶، د) و سد گابریک، در ابتدا با استفاده از مطالعات تفصیلی ـ اجرایی که توسط اداره‌ی مطالعات آبخیزداری ـ اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان هرمزگان (۱۳۹۱) انجام شده‌است، جمع‌آوری و تلفیق داده‌ها انجام شد و نقشه‌ی اجرایی سازه‌ها و فاکتورهای مورد مطالعه که شامل ۹ فاکتور مدل تجربی MPSIAC و ۷ عامل مدل تجربی FSM است، تهیه و نقشه‌های مربوطه و اطلاعات آنها تهیه شد. سپس با مقایسه‌ی نقشه‌های اجرایی، نسبت به برآورد میزان رسوب با مقایسه‌ی نقشه‌های سال‌های مختلف اقدام شد، اما به علت فقدان اطلاعات در سال‌های متمادی نسبت به برداشت رسوبات پشت سد و همچنین نیاز به برآورد حجم رسوبات انباشته شده‌ی پشت سازه‌های احداثی و افزایش دقت در برآورد رسوب با اجرای شبکه‌بندی در سطح رسوب مهار شده (۱۰*۱۰)، با حفر بیش از ۱۱۰ گمانه در سطح حدود یک هکتار رسوب با بیل مکانیکی و برآورد میزان رسوب در پشت ۷۰ چکدم احداث شده با استفاده از دستگاه آگر (شکل ۶، ج) و GPS و مترکشی اقدام شد. ذکر این امر لازم است که حداکثر عمق پروفیل‌ها ۵ متر می‌باشد. شکل ۶، تصاویری از عملیات انجام شده در منطقه را نشان می‌دهد. در این روش از نرم‌افزار CIVIL 3D 2015* به صورت مستقیم برای برآورد میزان رسوب پشت چکدم‌ها و سد بهره گرفته شد (شجاعی، ۱۳۹۷). با این نرم‌افزار، ابتدا کلیه‌ی اطلاعات نقاط نقشه‌برداری به لایه‌ای سه بعدی (surface) تبدیل شد (شکل ۷)، سپس نرم‌افزار با توجه به اختلاف بین لایه‌های نقشه‌برداری، میزان حجم را محاسبه کرد که در این تحقیق در قالب دو مرحله انجام شد؛ یک بار برای

محاسبه‌ی مجموع حجم رسوب و آب و بار دیگر برای محاسبه‌ی حجم آب و اختلاف این دو حجم مربوط به رسوبات محاسبه شده‌است. از این رو با توجه به محدودیت‌های نرم‌افزار، روشی که در این محاسبات به کار گرفته شد بدین گونه است که ابتدا مجموع حجم کل آب و رسوب، سپس حجم آب محاسبه و از مقدار اولیه کم شد؛ به این ترتیب، آنچه بر جای خواهد ماند حجم رسوبات است.



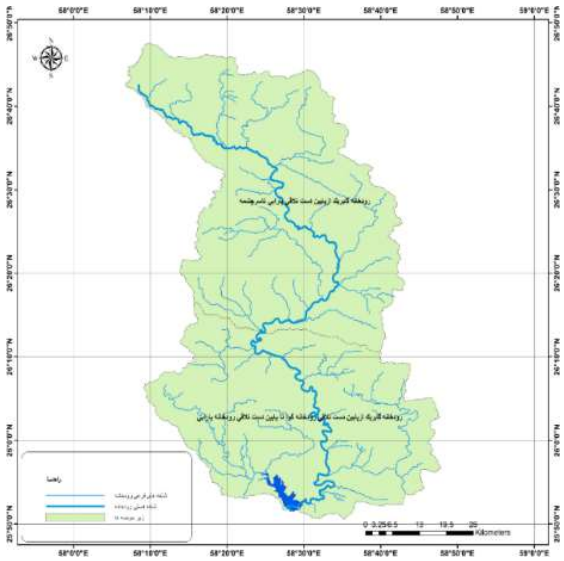
شکل ۶: الف) عملیات نقشه‌برداری در منطقه، ب) عملیات حفر گمانه در منطقه با استفاده از بیل مکانیکی، ج) استفاده از آگر در منطقه، د) پروفیل مقطع عرضی چکدم‌ها (متشکل از دو بخش است که پایین مقطع با رسوب پوشیده می‌شود و یک فضای خالی بر روی آن که در فصول بارانی می‌تواند توسط آب پر شود).



شکل ۷: نمایی از نرم‌افزار CIVIL3D درحین عملیات دفتری حوضه‌ی سد گابریک.

۴- نتایج و بحث

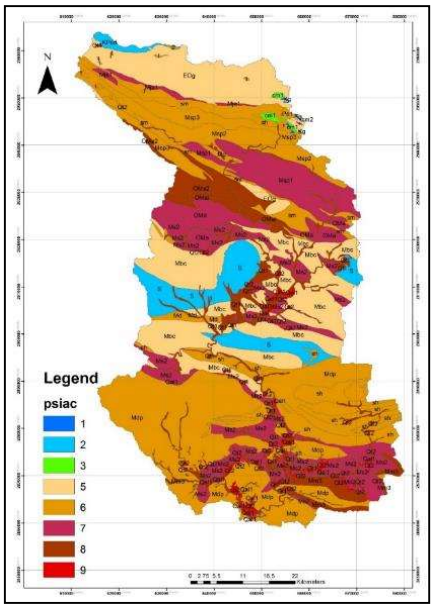
برای امتیازدهی به عوامل مورد نظر در مدل‌های تجربی MPSIAC و FSM، به نقشه‌ی واحد کاری (واحـدهای هیدرولوژیک) نیاز است. بدین منظور نقشه‌ی واحدهای کاری منطقه‌ی مورد مطالعه همان طور که در نقشه‌ی شـکل ۸ نشان داده شده‌است، تهیه شد.



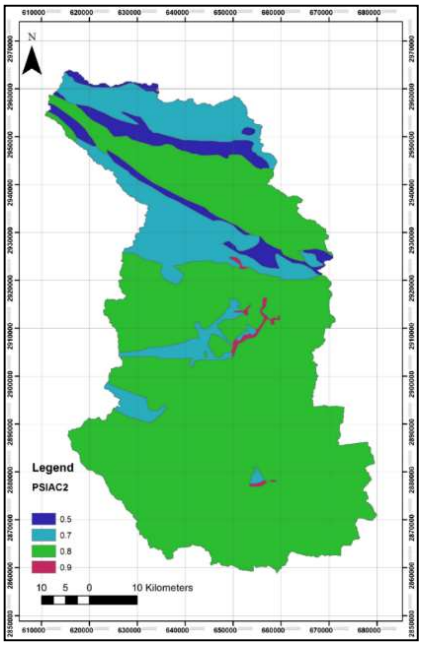
شکل ۸: واحدهای هیدرولوژیک منطقه.

ارزیابی فرسایش و رسوب حوضه با استفاده از مدل MPSIAC

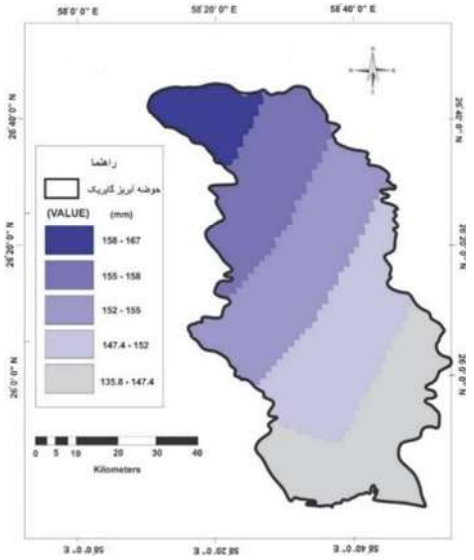
بررسی عوامل ۹ گانه برای ارزیابی فرسایش و رسوب‌دهی با استفاده از مدل MPSIAC در حوضه‌ی گابریک نشان داد که برای عامل زمین‌شناسی با توجه به امتیاز اختصاص‌یافته به هر یک از سازندهای زمین‌شناسی حوضه‌ی آبریز گابریک، رتبه‌ی متوسط با گسترش ۱۶۰۱ کیلومترمربع بیشترین گسترش را در منطقه به خود اختصاص داده‌است (شکل ۹). برای محاسبه‌ی امتیاز عامل خاک و تعیین مقدار عددی عامل فرسایش‌پذیری خاک در هر یک از واحدهای اراضی بر اساس رابطه‌ی ویشمایر (Wischmeier, 1971)، امتیاز عامل فرسایش‌پذیری خاک محاسبه و به نقشه‌ی رستری تبدیل شد. سپس پهنه‌بندی عامل فرسایش‌پذیری خاک در حوضه‌ی آبریز سد گابریک صورت گرفت. شکل ۱۰، پهنه‌بندی عامل فرسایش‌پذیری خاک را در حوضه‌ی آبریز گابریک با استفاده از مدل MPSIAC نشان می‌دهد (نقشه‌ی فرسایش خاک بر پایه‌ی نقشه‌ی وزارت جهادکشاورزی تهیه و رقومی شده‌است). در مطالعه‌ی آب و هوا و اقلیم‌شناسی برای ارزیابی عامل آب و هوای منطقه‌ی مورد مطالعه، نقشه‌ی مقدار بارندگی سالانه در حوضه‌ی آبریز گابریک تهیه (شکل ۱۱) و طبق روش دومارتن، اقلیم منطقه اقلیم خشک (شجاعی، ۱۳۹۷) تعیین شد. مقدار امتیاز عامل جریان‌های سطحی (رواناب) برای حوضه‌ی آبریز گابریک از طریق بررسی دبی ویژه، شدت، تداوم و تکرار طغیان‌ها و گروه هیدرولوژیک خاک تعیین شد. در این بین، دبی ویژه یا آب‌دهی در واحد زمان و سطح، معیار مناسبی برای ارزیابی عامل رواناب بود (جدول ۱۰). پس از بررسی خصوصیات فیزیوگرافیک حوضه و نقشه‌ی شیب، امتیاز عامل توپوگرافی به صورت وزنی محاسبه شد و بر اساس این امتیاز مشخص شد که سطح عمده‌ی حوضه را تپه‌ها و قلل مرتفع تشکیل می‌دهد (شکل ۱۲). از مهم‌ترین موارد عامل پوشش زمین می‌توان به نوع، ارتفاع و تراکم پوشش گیاهی، همچنین مرحله‌ی رشد گیاه اشاره کرد. با توجه به کاربری ذکر شده و بازدید میدانی، بخش عمده‌ی حوضه را مراتع با تراکم ضعیف یا اراضی سنگی و جنگلی تنک تشکیل می‌دهند (شکل ۱۳). همچنین ارزیابی عامل کاربری اراضی در حوضه‌ی آبریز گابریک نشان داد که مراتع و اراضی درخت‌کاری شده به ترتیب بیشترین کاربری‌ها را در منطقه تشکیل داده‌اند. برای بررسی نقش عامل ارزیابی فرسایش سطحی در تولید رسوب با استفاده از مدل B.L.M، انواع فرسایش موجود در حوضه مانند فرسایش ورقه‌ای، شیاری و خندقی ارزیابی شد. از این نظر، فرسایش در حوضه به صورت فرسایش سطحی و شیاری مشاهده شد (شکل ۱۴). در ارزیابی فرسایش رودخانه‌ای در حوضه‌ی گابریک، دو پدیده‌ی فرسایش کناری و حمل رسوب توسط سیلاب مد نظر قرار گرفته شد.



شکل ۹: امتیاز عامل زمین‌شناسی در مدل MPSIAC .



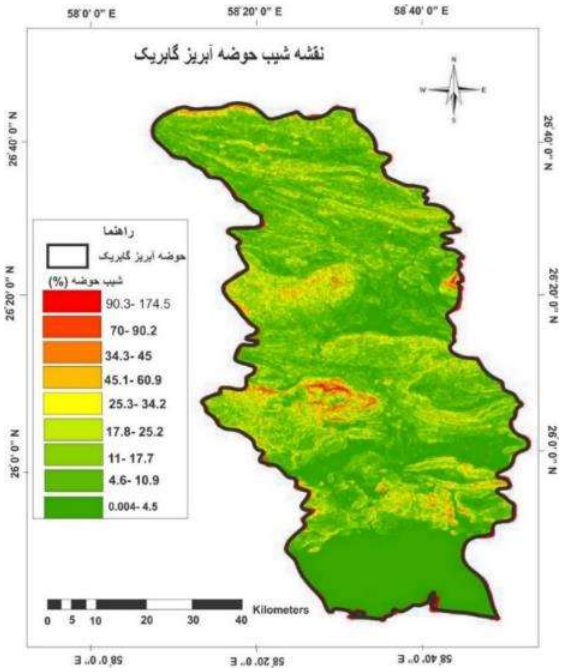
شکل ۱۰: امتیاز عامل فرسایش‌پذیری خاک در مدل MPSIAC.



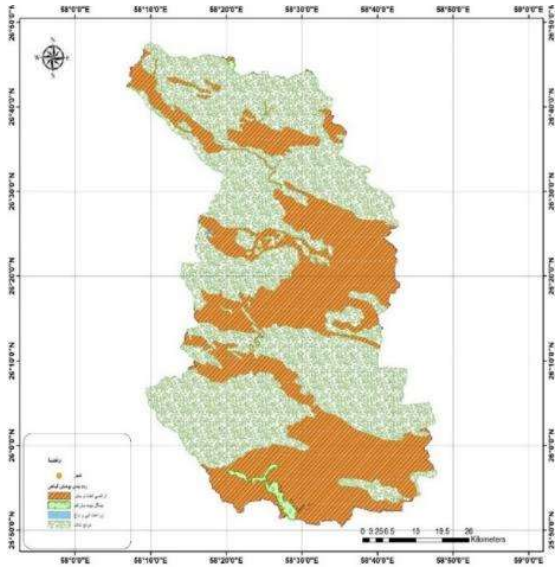
شکل ۱۱: امتیاز عامل آب و هوا در مدل MPSIAC.

جدول ۱۰: مقدار امتیاز عامل رواناب

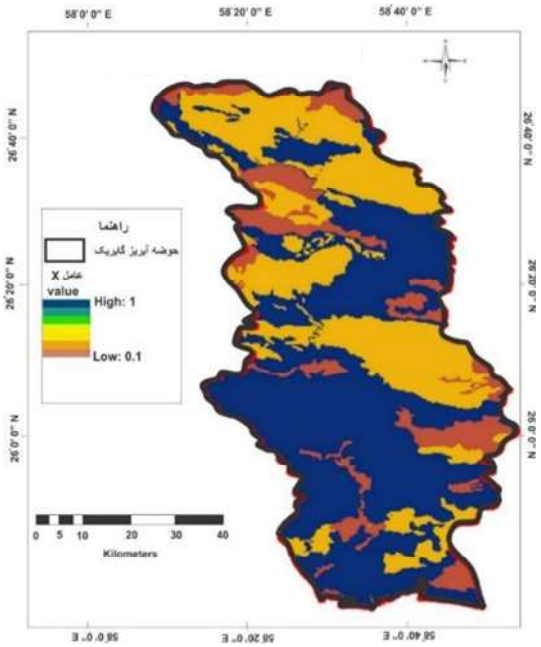
زیر حوضه	ارتفاع رواناب (میلی‌متر)	مساحت (Km^2)	دبی پیک (s/m^3)	دبی پیک ($s^2/km/m^3$)	X4
A	۱۵۸/۹	۲۳۰۰/۷	۱/۴	۶/۱	۴
B	۱۷۵/۴	۱۷۰/۷	۱/۲	۱/۲	۵/۲



شکل ۱۲: عامل شیب (توپوگرافی) در مدل MPSIAC.



شکل ۱۳: امتیاز عامل پوشش زمین در مدل MPSIAC.



شکل ۱۴: امتیاز عامل فرسایش سطحی در مدل MPSIAC.

در نهایت با تجمیع امتیازات عوامل ۹ گانه، درجه‌ی رسوب‌دهی (R) برای حوضه‌ی آبریز گابریک به دست آمد (جدول ۳). درجه‌ی رسوب‌دهی حوضه به میزان ۶۸/۶ محاسبه شد و درجه‌ی‌رسوب‌دهی زیرحوضه‌ها در جدول ۴ نشان داده شد.

جدول ۳: مقادیر درجه‌ی رسوب‌دهی در حوزه‌ی آبریز سد گابریک

X1	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	R	Qs(ton/ha/year)
۱/۹	۱۲/۱۲	۶/۴	۳/۹	۶/۳	۵/۱	۱۴/۷	۱۰/۹	۷/۳	۶۸/۶	۳/۱

جدول ٤- مقادیر درجه‌ی رسوب‌دهی در زیرحوزه‌های آبریز سد گابریک

زیر حوضه	درجه‌ی رسوب‌دهی
A	۹۲/۶
B	۶۹/۳۸

تعیین رسوب ویژه

در ادامه، با تعیین درجه‌ی رسوب‌دهی (R)، و استفاده از رابطه‌ی (۱) رسوب ویژه در حوضه و زیرحوضه‌های مطالعاتی محاسبه گردید.

رابطه (۱):

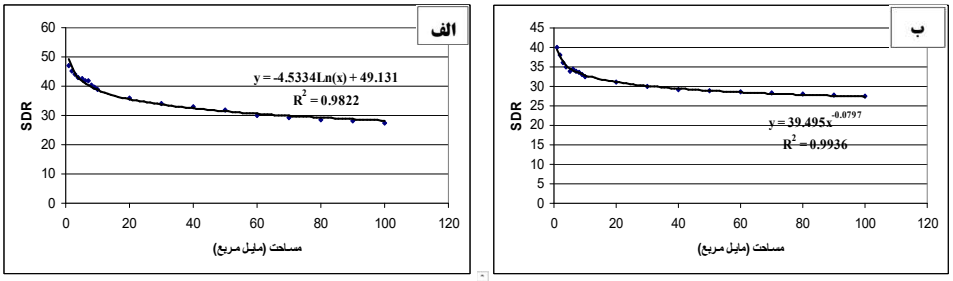
$Q_s=۲۵۳/۰e^{۰/۰۳۶R}$ و $Q_s=۷۷/۳۸e^{۰/۰۳۵۳R}$

R درجه‌ی رسوب‌دهی، و Q_s دبی رسوب می‌باشد. این مقدار برای حوضه برابر ۱/ ۳ تن در هکتار در محاسبه شد. با توجه به جدول (۱۲)، زیر حوضه‌ی B بیشترین، و زیر حوضه‌ی A، کمترین میزان رسوب و همچنین زیر حوضه‌ی A کمترین میزان فرسایش را به خود اختصاص دادند.

ضریب رسوب‌دهی

در حوضه‌ی آبریز گابریک با توجه به این که بافت خاک در اکثر نقاط متوسط تا سبک است از معادله خاک‌های متوسط تا درشت برای محاسبه‌ی SDR استفاده شد در نتیجه میزان SDR برای حوضه‌ی مورد مطالعه ۰/۳۲ برآورد شد.

در شکل (۱۵) ارتباط SDR با مساحت حوزه به ترتیب برای خاک‌های ریز تا متوسط بافت و متوسط تا درشت بافت ترسیم شده و معادله تبدیل آن نیز درج شده است.



شکل ۱۵- الف) رابطه SDR با مساحت در حوضه های با خاک با بافت ریز تا متوسط ب) رابطه نسبت تحویل رسوب SDR با مساحت در حوضه های با خاک با بافت متوسط تا درشت (رفاهی، ۱۳۷۵)

در مجموع، بر اساس محاسبات انجام شده میزان رسوب حوضه به روش MPSIAC حدود ۳/۱ تن در هکتار در سال تخمین زده شد. بر این اساس در هر سال حدود ۸۸۸۶/۹ تن رسوبات معلق به نقطه‌ی تمرکز حوضه خواهد رسید. همچنین با توجه به ضریب تحویل رسوب حوضه (۰/۳۲)، میزان فرسایش برابر با ۹/۶ تن در هکتار در سال می‌باشد.

رسوب کل

با توجه به این که نوع سازند زمین‌شناسی تأثیر عمده‌ای در تولید بار بستر دارد، تلاش شد تا سهم سازندهای مختلف در حوضه بدست آید و بر اساس یک تخمین کارشناسی برای رسوب‌خیزی بار بستر برای هر سازند، سهم نسبی سازندها در بار بستر حوضه محاسبه شود. سازندهایی که چهره‌های فرسایش مکانیکی شامل انواع ریزش‌ها را از خود نشان می‌دهند، سهم افزون‌تری در تولید بار بستر بر عهده دارند. اما ترتیب نزولی سهم بار بستر سازندها

لزوماً با ترتیب نزولی حساسیت سازندها به فرسایش یکسان نیست؛ چرا که سازندهای حساس به فرسایش دارای سنگ‌شناسی از نوع مارن، سنگ لای، شیل، گچ و دیگر اجزایی هستند که نتیجه‌ی فرسایش بر روی آنها، رهاسازی رسوبات ریز دانه است که رسوب معلق را تشکیل می‌دهد (جدول ۵).

جدول ۵: مقادیر نسبت بار کف و رسوب کل براساس پراکنش سازندهای زمین‌شناسی در حوزه‌ی آبریز سد گابریک

درصد وزنی بار بستر	رسوب ویژه (تن/هکتار/سال)		رسوب کل (تن/هکتار/سال)	رسوب کل (تن/سال)
	بار معلق	بار بستر		
۰/۳	۳/۱	۰/۹	۴	۱۱۳۷۸

ارزیابی فرسایش و رسوب حوضه با استفاده از مدل FSM

با استفاده از مدل FSM، نرخ فرسایش‌پذیری، نسبت تحویل رسوب و رسوب تولید شده در آبخیز مورد مطالعه به ترتیب ۱۶۸/۹، ۰/۳۲ و ۶/۳ تن در هکتار در سال برآورد شد. نتایج این بررسی‌ها در جدول ۶ ارائه شده‌است.

جدول ۶: نتایج مدل FSM در برآورد حجم رسوب‌دهی سالانه‌ی حوضه و زیرحوزه‌های آبریز سد گابریک

	پارامترها	زیرحوضه A	زیرحوضه B
عوامل مؤثر	توپوگرافی	۴۳۳۱۴	۴۳۳۴۴
	پوشش گیاهی	۴۳۱۹۲	۲
	فرسایش خندقی	۴۳۲۲۱	۴۳۳۴۴
	سنگ شناسی	۴۳۱۶۰	۴۳۲۲۲
	شکل حوضه	۱	۳
	اقلیم	۲	۲
	عملیات حفاظتی	۲	۲
	نرخ فرسایش‌پذیری (FSM Index)	۱۹۰۸۵	۶/۲۱۶
	مساحت (کیلومتر مربع)	۴۳۲۸۴	۴۳۱۰۹
	نرخ فرسایش‌پذیری (تن در کیلومتر مربع)	۲۰۶۲۱۲	۳۸۶۱۵۴
	نسبت تحویل رسوب (SDR)	۰/۳۸	۰/۲۶
	رسوب تولید شده (تن در کیلومتر مربع)	۶/۹۳۶	۹/۷۶۸
	رسوب تولید شده (تن در هکتار)	۴۳۱۹۹	۴۳۲۸۸

اندازه‌گیری مستقیم رسوبات در محل ایستگاه هیدرومتری گابریک

در این روش، میزان رسوب تجمعی ایستگاه معادل ۶/۹ تن در هکتار در سال برآورد شد. در جدول ۷ برای مقایسه و بررسی نتایج به دست آمده، حجم رسوبات حاصل از مدل‌های تجربی و اندازه‌گیری مستقیم حوضه‌ی آبریزگابریک ارائه شده‌است.

جدول ۷: حجم رسوبات حاصل از مدل‌های تجربی و اندازه‌گیری مستقیم حوضه‌ی آبریزگابریک

حجم رسوبات سالیانه (تن در هکتار در سال)			
MPSIAC	FSM	اندازه‌گیری مستقیم (مخزن)	اندازه‌گیری مستقیم (ایستگاه)
۳/۴	۹/۴	-	۰/۱
۳/۳	۷/۷	-	۰/۵
۳/۲	۲۵/۲	-	۰/۲
۲/۳	۲۸/۴	-	۰
۳/۱	۲۳/۳	-	۰/۱
۳/۳	-	-	۰/۳
۴	۶/۳	۶/۹	۰/۳

حجم رسوبات در طول ۱۳ سال (متر مکعب)			
MPSIAC	FSM	چکدم	مخزن
۱۲۳۷۰۶/۹	۱۹۳۲۸۸/۴	۹۹۱۰/۸	۲۰۴۷۲۷/۱
			۲۱۴۶۳۷/۹

مجموع رسوبات چکدم و سد (تن درهکتار درسال)	۶/۹۷

۵- نتیجه‌گیری

به طور کلی بر اساس مدل MPSIAC و با اعمال ضریب مربوطه، میزان رسوب تولیدی ۴ تن در هکتار در سال و با مدل تجربی FSM، میزان رسوب تولیدی ۶/۳ تن در هکتار در سال تخمین زده شد و در روش اندازه‌گیری مستقیم با اعمال ضریب حجمی و آنالیز داده‌های صحرایی، میزان رسوب تجمعی ایستگاه معادل ۶/۹ تن در هکتار در سال برآورد شد. از مقایسه‌ی نتایج به دست آمده می‌توان چنین نتیجه گرفت که مقادیر رسوب تولیدی به دست آمده از مدل FSM نسبت به مدل MPSIAC، با اندازه‌گیری فرسایش و رسوب به روش مستقیم

مطابقت بیشتری دارد که این امر بیانگر تطابق بهتر مدل FSM با روش اندازه‌گیری مستقیم فرسایش و رسوب در منطقه‌ی مورد مطالعه است. ذکر این امر لازم است که استفاده از این روش در زیرحوضه‌های کوچک، منطقی به نظر نمی‌رسد و دلیل آن مکانیسم معادله‌ی برآورد نرخ است؛ زیرا مساحت زیر حوضه‌ی مورد مطالعه در مخرج حاصل ضرب ۷ عامل محیطی (FSM) در این مدل قرار می‌گیرد؛ بدین صورت که هر چه مساحت منطقه‌ی مورد مطالعه کوچک‌تر باشد، نرخ فرسایش‌پذیری زیادتر می‌شود و در زیرحوضه‌های کمتر از ۱۰۰ هکتار، در حد تصاعدی افزایش می‌یابد که این امر منطقی نمی‌باشد. طبعاً این مدل برای مناطقی با شرایط اکولوژیکی مشابه از جمله شرایط اقلیمی و بیولوژیکی با تحقیقات انجام شده همسو است. همچنین براساس این نتایج می‌توان چنین اظهار نظر کرد که از لحاظ کیفی بخش اعظم حوضه در کلاس فرسایشی متوسط قرار می‌گیرد.

نتایج این تحقیق با نتایج تحقیق محمدی‌ها و همکاران در سال (۱۳۹۲) در حوضه‌ی آبریز ایوانکی ـ که مدل‌های تجربی برآورد رسوب MPSIAC، FSM را با میزان رسوب در ایستگاه رسوب‌سنجی مقایسه کرد ـ و مطالعه‌ی بی‌پی لشکریان (۱۳۹۲) به منظور ارزیابی مدل FSM با ۹ سد کوتاه در استان سمنان و با بررسی هارگوین و همکاران در سال (۲۰۰۵) در حوضه‌های شمال اتیوپی، همچنین با پژوهش‌های بهنام و همکاران در سال (۲۰۱۱) و غلامی و مصری‌علمداری در سال (۲۰۱۳) در حوضه‌ی سهند مطابقت دارد. با توجه به اینکه اقلیم منطقه‌ی مورد تحقیق نیمه مرطوب و مدیترانه‌ای است، در بررسی تحقیقات مشابه، این وجه تشابه می‌تواند یکی از عوامل تطابق مدل FSM در حوضه‌ی مورد مطالعه با روش اندازه‌گیری مستقیم برآورد میزان فرسایش و رسوب باشد. همچنین طبق بررسی‌های انجام شده در نتایج تحقیقات مشابه، مدل MPSIAC در مناطق خشک و نیمه خشک همچنین حوضه‌های بدون آمار از نتیجه‌ی مطلوب‌تری در مقایسه با مدل FSM برخوردار بوده‌است که با تحقیقات صادقی (۱۳۷۲)، بیات (۱۳۷۸)، عسکری (۱۳۸۶) و امیری (۱۳۸۸) مطابقت دارد.

منابع

1. Ahmadi, H., & A. Mohammadi., (2010). Evaluation of sediment estimation of E.P.M and P.S.I.A.C models using geomorphology method (Case study: Dehnamak Watershed). *Scientific Journal of Rangeland and Desert Researches of Iran*. 3(17), 340-352. (In Persian).
2. Amiri, F., 2009. Comparison of the efficiency of two models of MPSIAC and EPM in estimating erosion and sediment production (Case study, Ghareh Aghaj Basin), *Journal of Agricultural Diversity*, 6(2), 129-144. (In Persian).
3. Askari, Sh.; Servati, M.; Jafari, M.; & J. Olad, 2007. Modeling of soil erosion and sediment production in Gol-Gol province. Fourth National Conference on Watershed Management Science and Engineering with Watershed Management. (In Persian).
4. Bayat, R., 1999. Investigating the efficiency of sediment production maps using MPSIAC and EPM Models in Taleghan Basin using GIS, Graduate Diploma, Department of Soil Science, School of Agriculture, University of Tehran. (In Persian).
5. Bipi-Lashkarian, S.; Asgarhashemi, S.; & S. Shadfar, 2013. Evaluation of FSM model for estimating total sediment in Semnan Province, *Scientific and Research Journal of Watershed Engineering and Management*, 5(1), 51-57.
6. Behnam, N.; Parehkar, M.; & E. Pazira, 2011. Sensitivity analysis of MPSIAC model, *Journal of rangland science*, 1(4).

7. De Vente, J.; Poesen, J.; Bazzoffi, P.; van Rompaey, A.; & G. Verstraeten, 2006. Predicting catchment sediment yield in Mediterranean environments: the importance of sediment sources and connectivity in Italian drainage basins, *Earth Surface Processes and Landforms*, (31), 1017-1034.
8. Faraji, M.; Arzani, H.; Tavili, A.; & J. Feghhi, 2010. Potential of rain-fed farming in abandoned dryfarmings based on climatic and pHysical factors (Case study: Taleghan Basin), *Journal of Rangeland*, 3(1), 90-106.
6. Faridi, P.; Rezaei, P.; Gorbani, M.; & M. Kazemi, 2013. Application of GIS in modeling rainfall erosivity factor (Case study: Gabric Watershed- Hormozgan province East South), *Journal of Environmental Erosion Research*, (10), 39-51. (In Persian).
7. Gholami, A., & P. Mesri Alamdari., (2013). The sensitivity analysis and efficiency of FSM and MPSIAC models for estimating sediment load. 3rd international conference on civil. *transport and environment engineering (ICCTEE)*. Bankok. Tailand.
8. Haregeweyn, N.; Poesen, J.; Nyssen, J.; Verstraeten, G.; Vente, J.D.; Govers, G.; Deckers, S.; & J. Moeyersons, 2005. Specific sediment yield in Tigray-Northern Ethiopia: Assessment and semi-quantitative modeling, *GeomorpHology*, (69), 315-331.
9. Iran Engineering Consulting Engineers. 2009. Erosion and sediment estimation report of Gabriel Watershed, Directorate of Natural Resources of Hormozgan Province, 779 p. (In Persian).
10. Mohammadiha, Sh.; Pirvan, H.; Mousavi-Harami, S. R.; Feyznia, S.; & R. bayat, 2013. Estimation of erosion and sediment yield of Iwanaki watershed using FSM, MPSIAC and sedimentation station, *Synthesis and Sedimentology Research*, 27 (4), 48-31. (In Persian).
11. Mohseni, B.; Goddosi, J.; Ahmadi, H.; & R. Tahmasebi, 2011. Evaluating the accuracy and efficiency of EPM, MPSIAC, geomorphologic and hydrophysical models in estimating erosion and sedimentation of Chisilian basin in Mazandaran province, *Journal of Geography and Development*, (22), 127-107. (In Persian).
12. Parehkar, A.; Behnam, N.; & M. Shokrabadi, 2013. An investigation survey on MPSIAC model to predict sediment yield in Iran, *Research journal of environmental and earth science*, (5), 342-349.
13. Refahi, H., 1996. Water erosion and its control, Tehran, Tehran University Press. (In Persian).
14. Sadegi, H., 1993. Comparison of several estimates of erosion and sediment in the Ozone Valley Basin, Proceedings of the National Seminar on Optimizing Land Use Policies and Methods. (In Persian).
15. Shojaie, Sh.; Noura, M. R.; & Sh. Habibi, 2018. Sedimentology, Geomorphology and erodibility of lithological units and sediment estimate of Gabric drainage basin South east Iran, P.H.D thesis, Science department, Zahedan Azad University, 237p. (In Persian).
16. Wischmeier, W. H.; Johnson, C. B.; & B. V. Cross, 1971. A soil erodibility nomagragh for farmland and constraction sites, *Journal of Soil Water cons*, 26(5), 189-193.

Estimation of sedimentation and erosion using MPSIAC, FSM and direct measurement methods in Gabric watershed, South-eastern of Iran

Shahrooz Shojaei[1]: PhD candidate in Sedimentology, Department of Geology, Islamic Azad University, Zahedan Branch
Mohammadreza Noura: Assistant professor, Department of Geology, Islamic Azad University, Zahedan Branch
Shahram Habibi Mood: Assistant professor, Department of Geology, Islamic Azad University, Zahedan Branch

Article History (Received: 2018/10/29 Accepted: 2019/02/20)

Extended abstract

1- Introduction

Soil erosion, as one of the most important environmental problems in the world, has a devastating effect on all life, natural resources and it's under human management. Considering that one of the important goals in the management of drainage of basins such as Gabric basin is preventing soil erosion, and also one of the important factors when designing dam or sedimentation structures, is estimating sediment production in the drainage basin, the estimation and calculation of the actual sediment deposited in the constructed dams at the basin outlet, and comparing it with the results of the empirical models, is the best method for estimating the sediment yield in the basins lacking sediment station such as Gabric basin.Therefore, if the amount of estimated sediment is closer to its actual value, it will definitely perform better at the time of designing the dam or planning in the basin in terms of cost and observance of technical and economic principles. In this regard, this study aimed at evaluating empirical models of MPSIAC and F.S.M. and direct measurement method for estimating sediment yield and erosion in the Gabric basin.

2- Methodology

In this research, in order to determine the data and estimate the score of each of the required parameters by three methods of MPSIAC and FSM methods and direct measurement, the existing basic maps and reports, the information of meteorological stations of the studied area, field studies, 42 sheets of digital topographic map with 1: 25000 scale for the study of stratigraphy, lithology, geology of the area, pedology maps, vegetation cover, land use map and area DEM (using ArcGIS 10.2 software) have been used.

In the MPSIAC model, using the sum of the scores obtained in the basin unit map for 9 important factors influencing soil erosion and sediment production, the layers of these factors were prepared in ArcGIS software, and then the map of sedimentation rate (R) gains to the basin. In the FSM mqqodel, after determining the score of 7 factors in the basin unit's map and preparing the layers of these factors, the maps of these 7 factors were introduced and, with their multiplication, the erodability index (FSM Index), and, using the relation of the FSM method, the erosion rate is estimated in terms of tons per kilometer for the basin. Finally, by applying the coefficient of sediment delivery ratio obtained by the MPSIAC method, the sediment production rate of the basin and sub-basins is calculated.

In the direct measurement method for measuring the sediments behind the checkdems and Gabric dam, more than 110 boreholes were drilled with mechanical excavator at a surface of about one hectare of sediment. Also, the estimation of the sediment content behind the

[1] . **shahrooz_shojaie@yahoo.com**

70 founded checkdems was done using an Agro device, a GPS device and also meter. In this method, the CIVIL 3D 2015 software has been used to estimate the volume of reservoir sediments (Shojaei, 2018).

3- Results

Using MPSIAC model, the sedimentation rate (R) in the Gabric basin was 68.6 and the specific sedimentation for the basin was equal to 3.1 tons per hectare per year. On the other hand, due to the fact that the soil texture in most parts of the Gabric basin is moderated to light, the equation of medium to coarse-grained soils is used to calculate the sedimentation coefficient (SDR). This amount was estimated 0.32 for the studied basin. The total sediment in the Gabric basin, due to the major contribution of each formation in the production of bed load, is 11378 tons per year and the total sediment due to the specific sediment (suspension load of 3.1 and bed load of 9 tons per hectare per year and weight percentage of bed load of 0.3) was estimated 4 tons per hectare per year.

Using the FSM model to estimate the erosion rate in the Gabric Basin, the erodability rate is 168.9 and the sediment delivery ratio is 0.32, and produced sediment is 6.6 tons per hectare per year.

In the direct measurement method, the total estimated sediment content at the hydrometric station and Gabric dam during the execution time of the project is equal to 214637.9 m^3, respectively, the amount of sediment during the same time interval through the MPSIAC and FSM methods was estimated to be 9.33103 and 193288.4 m^3. In direct measurement method, by applying volumetric coefficient and field data analysis, the cumulative sediment concentration of the station and the dam site was estimated to be 6.9 tons per hectare per year.

4- Discussion & Conclusions

By comparing the results obtained from the two empirical models with the direct measurement method, it can be concluded that the produced sediment yields from the FSM model are closer and superior to the MPSIAC model compared with the direct measurement of erosion and sediment, which could indicate a better match between the FSM model and direct measurements of erosion and sedimentation in this region. In addition, based on these results, it can be argued that in terms of quality, most of the basin is in a moderate erosion class.

Key Words: Estimation of sedimentation and Erosion, Gabric drainage Basin, Direct measurement, MPSIAC model, FMS model**.**