

استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی در برآورد فرسایش خاک و تولید رسوب حوزه آبخیز نوژیان (جنوب شرقی خرم آباد)

مسعود داوری^۱، حسینعلی بهرامی^{۲*}، جمال قدوسی^۳، ناصر طهماسبی پور^۴

۱- دانشجوی دکتری خاکشناسی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

۲- استادیار، رشته خاکشناسی، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ایران.

۳- استادیار پژوهش مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، تهران، ایران.

۴- عضو هیأت علمی آبخیزداری دانشگاه لرستان، لرستان، ایران.

پذیرش: ۸۴/۴/۲۲

دریافت: ۸۳/۷/۲۷

چکیده

فرسایش خاک یکی از عوامل اصلی در کاهش حاصلخیزی خاک، انباشت رسوبات در آبراهه‌ها، کانالهای آبیاری و رودخانه‌ها، کاهش ظرفیت مخازن سدها، تشدید وقوع سیلابهای مخرب و آلودگی محیط زیست می‌باشد. به منظور جلوگیری از پیامدهای منفی فرسایش خاک و تولید رسوب در حوزه‌های آبخیز ضرورت دارد تا مقدار رسوب و منبع تولید آن مشخص شود. از آنجایی که اکثر حوزه‌های آبخیز کشور بدون ایستگاههای رسوب‌سنجی می‌باشند، استفاده از مدل‌های ابداع شده در این زمینه در برآورد تولید رسوب الزامی می‌باشد. در این تحقیق که در حوزه آبخیز نوژیان واقع در جنوب شرقی خرم‌آباد انجام شده است، برآورد فرسایش و رسوب حوزه آبخیز نوژیان واقع در استان لرستان با استفاده از مدل MPSIAC^۱ و با بهره‌گیری از سیستم اطلاعات جغرافیایی GIS^۲ بررسی شده است. در این راستا برای اجرایی کردن مدل MPSIAC، پس از ورود لایه‌های اطلاعاتی به محیط GIS و وزن‌دهی آنها، از تلفیق این لایه‌ها، حوزه آبخیز مطالعه شده به ۵۲۷ واحد همگن تفکیک شد؛ سپس شدت فرسایش و تولید رسوب در این واحدهای همگن محاسبه شد. نتیجه به‌دست آمده نشانگر این است که میزان رسوب برآورد شده با استفاده از مدل MPSIAC حدود ۴۸۹۳۷۲/۲ تن در سال می‌باشد. با توجه به اینکه میزان رسوب اندازه‌گیری شده در محل ایستگاه هیدرومتری

E-mail: bahramih@modares.ac.ir

* نویسنده مسؤول مقاله:

1. Modified Pacific Southwest Inter-Agency Committee

2. Geographic Information System

کشور معادل ۸۱۲۴۱۰ تن در سال است، نسبت مقدار رسوب برآورد شده با استفاده از مدل MPSIAC به آمار رسوب اندازه‌گیری شده ۰/۶۰۲ برابر است. نتیجه بررسیهای انجام شده در مورد اختلاف موجود بیانگر این واقعیت است که کالیبره کردن مدل‌های تجربی از طریق اصلاح نارساییهای موجود در آنها در تطبیق با شرایط خارج از محل ابداع آنها امری ضروری و گریزناپذیر است. بنابراین، ضرورت دارد تا پیش از آنکه با اطمینان اقدام به رد یا قبول نتیجه حاصل از به‌کارگیری این مدل شود، در آبخیزهای معرف کشور، کالیبره کردن مدل در تطبیق کامل با شیوه‌های ابداع آن مد نظر قرار گرفته، سپس اقدام به واسنجی آن کرد.

کلید واژه‌ها: فرسایش خاک، رسوبدهی، حوزه آبخیز، واحدهای کاری همگن، GIS، MPSIAC.

۱- مقدمه

یکی از مسائل و معضلات جدی در بهره‌برداری پایدار از خاک، فرسایش است که آثار آن به‌طور مستقیم در کاهش حاصلخیزی و هدررفت خاک، برهم خوردن امنیت غذایی، گرفتگی و انسداد مجاری آبیاری، پر شدن مخازن سدها، آبراه‌ها و رودخانه‌ها، گل‌آلود کردن آب رودخانه‌ها و کاهش کیفیت آن، آلودگی آبهای مناطق پایین دست و تخریب محیط زیست قابل لمس و مشاهده می‌باشد. برای جلوگیری و کاهش این آثار، نیاز به اقدامات حفاظت خاک، آبخیزداری و کنترل رسوب می‌باشد [۱].

برای اجرا کردن برنامه‌های حفاظتی، تعیین روشهای مبارزه با فرسایش و کنترل رسوب، محاسبه حجم کل میزان تولید رسوب سالیانه در یک حوزه آبخیز ضروری است. اگر در حوزه آبخیز آمار و اطلاعات مربوط به دبی آب و رسوب وجود داشته باشد، محاسبه حجم کل رسوبدهی سالیانه آن با استفاده از روشهای آماری متداول امکانپذیر است، ولی عدم وجود آمار و اطلاعات در زمینه فرسایش و رسوب در بسیاری از حوزه‌های آبخیز کاربرد روشهای تجربی مناسب را برای برآورد شدت فرسایش خاک و رسوبزایی الزامی می‌کند [۲، ۳].

گسترده‌گی، تنوع آمار و اطلاعات مربوط به فرسایش و رسوب، نیاز به تجزیه و تحلیل‌های گوناگون و دستیابی سریع به اطلاعات به‌موقع و صحیح سبب شده که متخصصان منابع طبیعی از به‌کار بستن روشهای سنتی و دستی جمع‌آوری، نگهداری، تجزیه و تحلیل و ارائه اطلاعات صرف‌نظر کرده، به‌سوی روشهای جدید، یعنی سیستم اطلاعات جغرافیایی سوق پیدا کنند. سیستم اطلاعات جغرافیایی یک مجموعه ویژه کامپیوتری شامل: سخت‌افزار، نرم‌افزار، اطلاعات جغرافیایی و افراد متخصص است که جهت ذخیره‌سازی، به‌کارگیری، تجزیه و تحلیل اطلاعات جغرافیایی و نمایش اطلاعات فضایی استفاده می‌شود. در این سیستم، داده‌ها

به صورت رقومی نگهداری می‌شوند، در این صورت از نظر فیزیکی حجم کمتری نسبت به روشهای سنتی اشغال می‌کنند. بنابراین، امکان ذخیره اطلاعات به صورت رقومی و به هم پیوسته وجود داشته و حاصل کار به صورتهای مختلف مانند نقشه، جدول و نمودار روی مانیتور کامپیوتر رؤیت شده و به دیگر سیستمها منتقل و یا چاپ و رسم می‌شوند. لذا در مطالعه می‌توان فرسایش خاک و رسوبدهی حوزه‌های آبخیز را با استفاده از مقادیر عددی عوامل مؤثر در فرسایش خاک و تهیه لایه‌های اطلاعاتی مورد نیاز اندازه‌گیری و شاخص فرسایش خاک مناطق مختلف را بر اساس این سیستمها محاسبه کرد [۴، ۵].

بر اساس برآوردی که به وسیله وزارت نیرو مبتنی بر آمار رسوب سنجی انجام شده، حوزه آبخیز نوژیان به رغم مساحت کم آن (حدود ۲ درصد از کل مساحت حوزه آبخیز دز) حدود ۶ درصد از بار رسوب معلق انتقال یافته به پشت سد دز را به خود اختصاص می‌دهد [۶]. وجود سازندهای حساس به فرسایش، استفاده غیر اصولی و نامناسب از اراضی، شیب زیاد و ویژگیهای اقلیمی منطقه از جمله عواملی می‌باشند که موجب حاکمیت چنین شرایطی در حوزه آبخیز نوژیان شده است.

بنابراین در انجام این تحقیق با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی، اهداف زیر مد نظر است.
الف: برآورد حجم رسوب تولیدی حوزه آبخیز نوژیان با استفاده از مدل MPSIAC و مقایسه آن با آمار رسوب ایستگاه رسوب‌سنجی جهت تعیین دقت و صحت مدل؛
ب: طبقه‌بندی و مشخص کردن واحدهای ناحیه‌ای از نظر پتانسیل تولید رسوب؛
ج: شناسایی روشی مناسب برای تهیه نقشه‌های مربوط با توجه به توانمندیها و قابلیت سیستم اطلاعات جغرافیایی.

در خصوص مطالعات انجام شده در رابطه با برآورد فرسایش و تولید رسوب با استفاده از GIS می‌توان به پژوهشهای انجام شده به وسیله باقرزاده کریمی با عنوان بررسی کارایی مدل‌های برآورد فرسایش و رسوب با تکنیکهای سنجش از دور و GIS در مطالعات فرسایش خاک، شیخ حسنی تحت عنوان بررسی پتانسیل تولید رسوب در حوزه آبخیز سد طالقان با ارزیابی مدل MPSIAC با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی، کاهکش تحت عنوان ارزیابی قابلیت فرسایش خاک با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور: حوزه آبریز دریاچه سد دز، رحمت‌نیا با عنوان ارزیابی قابلیت فرسایش خاک با استفاده از سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی: زیرحوزه‌های غرب و جنوب غرب قره‌سو، فرج‌زاده و همکاران تحت عنوان پهنه‌بندی قابلیت فرسایش خاک براساس MPSIAC در حوزه آبریز آق لاقان چای با استفاده از تکنولوژی سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی و جعفری با عنوان برآورد کیفی و کمی فرسایش خاک و تولید رسوب حوزه چیخواب با استفاده از سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی اشاره کرد. در تمامی مطالعات بیان

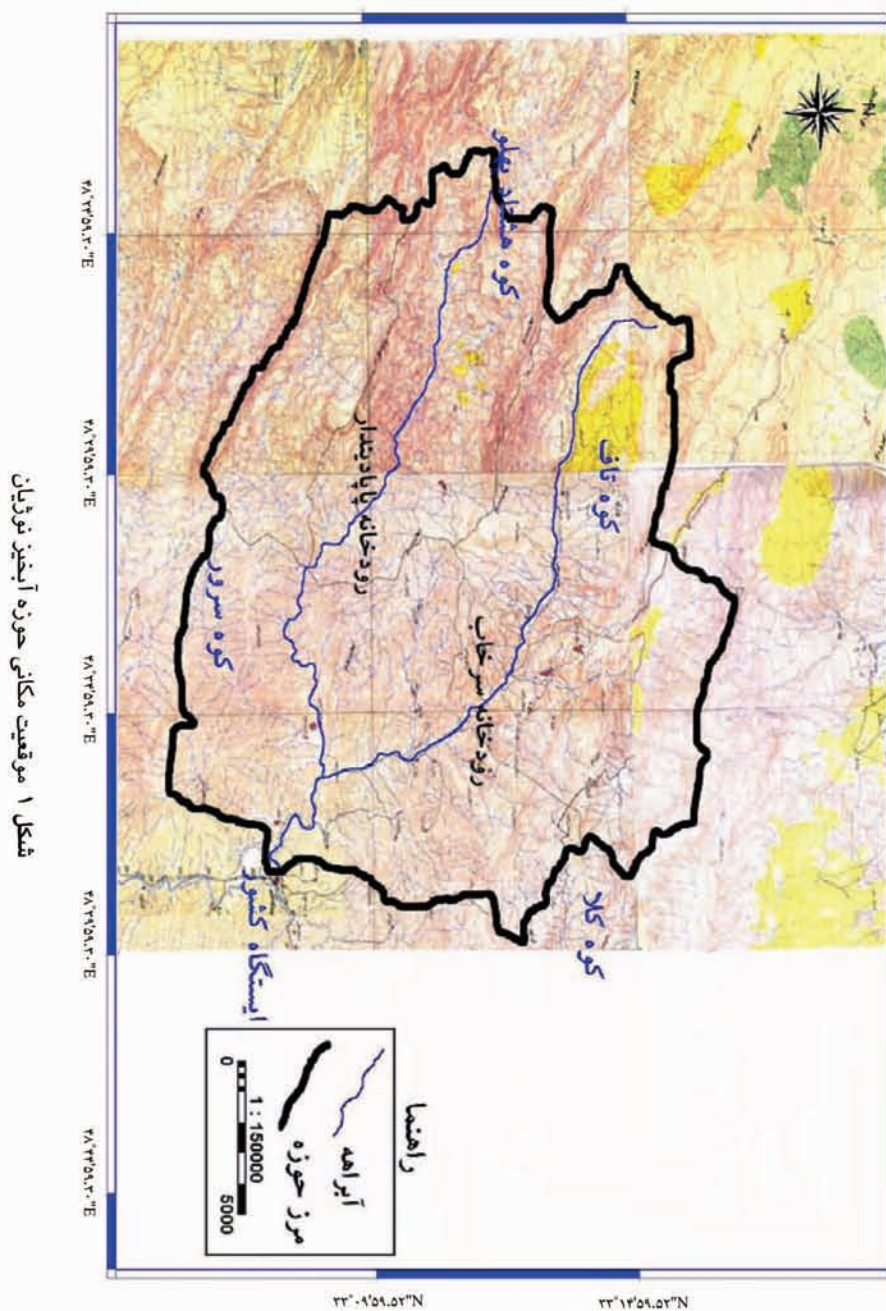
شده، صرفنظر از نتایج به دست آمده در رابطه با مقادیر فرسایش و تولید رسوب به این نکته تأکید شده است که استفاده از فناوریهای نوین شامل سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی در مقایسه با روشهای سنتی موجب دستیابی به نتایج دقیقتر و صرفه‌جویی قابل ملاحظه در زمان می‌شود [۷، ۸، ۹، ۱۰، ۱۱، ۱۲].

۲- موقعیت جغرافیایی و ویژگیهای عمومی منطقه تحقیق

حوزه آبخیز رودخانه سرخاب (حوزه آبخیز نوژیان) یکی از زیرحوزه‌های رودخانه دز می‌باشد که خروجی آن در ایستگاه راه آهن کشور در ۷۳ کیلومتری شهرستان خرم آباد به رودخانه سزار منتهی می‌شود. این منطقه از نظر موقعیت جغرافیایی در حد فاصل $33^{\circ}06'08''$ تا $33^{\circ}17'00''$ عرض شمالی و $48^{\circ}23'14''$ تا $48^{\circ}39'48''$ طول شرقی واقع شده است. این حوزه آبخیز از شمال به کوه سفید و کوه کلا، از شمال‌شرق به کوه تاف، از شرق و جنوب شرق به رودخانه دز و کوه چلن، از جنوب به کوه سرور و از غرب به کوه هشتاد پهلوی محدود شده است و مساحت آن حدود $340/07$ کیلومتر مربع می‌باشد. ارتفاع بلندترین نقطه حوزه آبخیز ۲۹۹۱ متر و ارتفاع محل خروجی آن در محل ایستگاه راه آهن کشور ۷۷۰ متر از سطح دریا است. شکل ۱ موقعیت حوزه آبخیز نوژیان را نشان می‌دهد.

۳- مواد و روشها

مدل PSIAC در سال ۱۹۶۸م. برای برآورد رسوب مناطق جنوب غرب آمریکا (که دارای اقلیم خشک تا نیمه خشک می‌باشد)، ارائه شده است [۱۳؛ ۱۴، صص ۱-۱۴]. این مدل با لحاظ کردن نه عامل مؤثر در فرسایش و تولید رسوب، شامل زمین‌شناسی سطحی، خاک، اقلیم، رواناب، شیب، پوشش زمین، کاربری اراضی، وضعیت فعلی فرسایش و فرسایش رودخانه‌ای و حمل رسوب بیش از سایر مدلها در ایران مورد توجه قرار گرفته است. یکی از مهمترین ایرادها در به‌کارگیری مدل PSIAC نحوه نمره‌دهی به عوامل مدل است که کاملاً کیفی بوده و به قضاوت و تجربه کارشناس بستگی دارد. جانسون و گبهارت (۱۹۸۲) با اصلاح مدل اولیه، تاحدودی این عیب را بر طرف کرده و روابطی را برای محاسبه نمره هر یک از عوامل ارائه کردند (جدول ۱). مدل اصلاح شده به مدل MPSIAC معروف شد و در حال حاضر در ایران بیشتر استفاده می‌شود [۱۲]. برای به‌کارگیری مدل MPSIAC، لازم است تا حوزه آبخیز مطالعه شده با توجه به هدف مورد نظر به واحدهای هیدرولوژیکی (زیرحوزه آبخیزها) یا اجزای واحد اراضی و یا واحدهای کاری همگن ژئومورفولوژی تقسیم شود. پس از تقسیم حوزه آبخیز به هر یک از واحدهای مذکور، نمرات عوامل نه گانه در هر یک از واحدهای کاری محاسبه شد.



شکل ۱ موقعیت مکانی حوزه آبخیز نوزیان

جدول ۱ روابط تعیین نمره عوامل نه‌گانه مدل MPSIAC [۳]

ردیف	عامل	مهمترین خصوصیات مورد نظر
۱	زمین‌شناسی سطحی ^۱	$X_1, Y_1 = X_1$ شاخصی از فرسایش زمین‌شناسی که بر اساس خصوصیات سختی، هوازنگی، شکستگی و نوع سنگ از گزارشهای زمین‌شناسی به دست می‌آید.
۲	خاک ^۲	$X_2, Y_2 = 16/67 X_2$ ضریب فرسایش‌پذیری خاک (K) در معادله جهانی پرورده تلفات خاک (USLE) است.
۳	اقلیم ^۳	$X_3, Y_3 = 0/2 X_3$ مقدار بارندگی حدود ۶ ساعت با دوره بازگشت دو ساله به میلیمتر که از آمار هواشناسی به دست می‌آید.
۴	رواناب ^۴	$X_4, Y_4 = 0/2 X_4$ برابر با مجموع ارتفاع رواناب سالیانه به میلیمتر ضربدر $0/3$ و دبی جریان اوج سالیانه به متر مکعب در ثانیه در کیلومتر مربع ضربدر ۵۰ می‌باشد.
۵	پستی و بلندی ^۵	$X_5, Y_5 = 0/33 X_5$ تندی شیب به درصد است.
۶	پوشش زمین ^۶	$X_6, Y_6 = 0/2 X_6$ برابر با درصد خاک لخت می‌باشد.
۷	کاربری اراضی ^۷	$X_7, Y_7 = 20-0/2 X_7$ برابر با درصد تاج پوشش گیاهی است.
۸	وضعیت فعلی فرسایش ^۸	$X_8, Y_8 = 0/25 X_8$ برابر با مجموع نمرات عامل سطحی خاک (SSF) است که از روش دفتر مدیریت اراضی آمریکا (BLM) به دست می‌آید.
۹	فرسایش رودخانه‌ای و حمل رسوب ^۹	$X_9, Y_9 = 1/67 X_9$ برابر با نمره فرسایش خندقی عامل سطحی خاک (SSF) است.

مجموع این نمرات مشخص کننده نمره مربوط به درجه رسوبدهی و شدت فرسایش در هر یک از واحدها خواهد بود. بعد از تعیین درجه رسوبدهی و شدت فرسایش، در مدل MPSIAC برای تعیین میزان رسوب از رابطه زیر استفاده می‌شود [۱۵؛ ۱۶، صص ۱۴۵-۱۴۶].

1. surface geology
2. soil
3. climate
4. runoff
5. topography
6. ground cover
7. land use
8. upland erosion
9. channel erosion and sediment transport

$$Q_s = 0.1886e^{0.253R} \quad (1)$$

در این رابطه Q_s میزان تولید رسوب (t/ha) و R درجه رسوبدهی یا مجموع نمرات عوامل نه‌گانه می‌باشد. بعد از تعیین درجه رسوبدهی R و میزان تولید رسوب، با استفاده از جدول ۲ می‌توان کلاسهای فرسایش و رسوبدهی را تعیین کرد.

جدول ۲ کلاسهای فرسایش و شدت رسوبدهی در مدل MPSIAC

امتیاز (R)	رسوبدهی (m^3/km^2)	کلاس فرسایش و رسوبدهی
>۱۰۰	>۱۴۲۹	خیلی زیاد
۷۵-۱۰۰	۴۷۶-۱۴۲۹	زیاد
۵۰-۷۵	۲۳۸-۴۷۶	متوسط
۲۵-۵۰	۹۵-۲۳۸	کم
۰-۲۵	<۹۵	جزئی

بنابراین برای انجام این تحقیق از مواد زیر استفاده شده است:

۱- آمار و اطلاعات حاصل از پژوهشهای قبلی حوزه آبخیز نوژیان در قالب اطلاعات، جدولها، نقشه‌ها و شکلها؛

۲- نقشه‌های پایه شامل نقشه‌های توپوگرافی با مقیاسهای ۱:۵۰۰۰۰ و ۱:۲۵۰۰۰۰ سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح و سازمان نقشه‌برداری کشور، عکسهای هوایی ۱:۵۵۰۰۰ سال ۱۳۳۵ و ۱:۲۰۰۰۰ سال ۱۳۴۶ منطقه مطالعه شده، نقشه‌های زمین‌شناسی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ و ۱:۱۰۰۰۰۰ سازمان زمین‌شناسی کشور، نقشه ارزیابی منابع و قابلیت استفاده از اراضی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ مؤسسه تحقیقات خاک و آب وزارت جهاد کشاورزی، آمار و اطلاعات هواشناسی تهیه شده از سازمان هواشناسی کشور و آمار هیدرومتری تهیه شده از شرکت توسعه منابع آب (تماب) وابسته به وزارت نیرو؛

۳- بسته‌های نرم‌افزاری GIS (ILWIS۲/۱) و R۲۷.

با توجه به اهداف تحقیق حاضر در قالب بررسی نتیجه حاصل از به‌کارگیری مدل MPSIAC در برآورد فرسایش و تولید رسوب و مقایسه آن با آمار رسوب‌سنجی به منظور تعیین دقت به‌کارگیری آن، این تحقیق به طور عملی به شرح ذیل اجرا شده است:

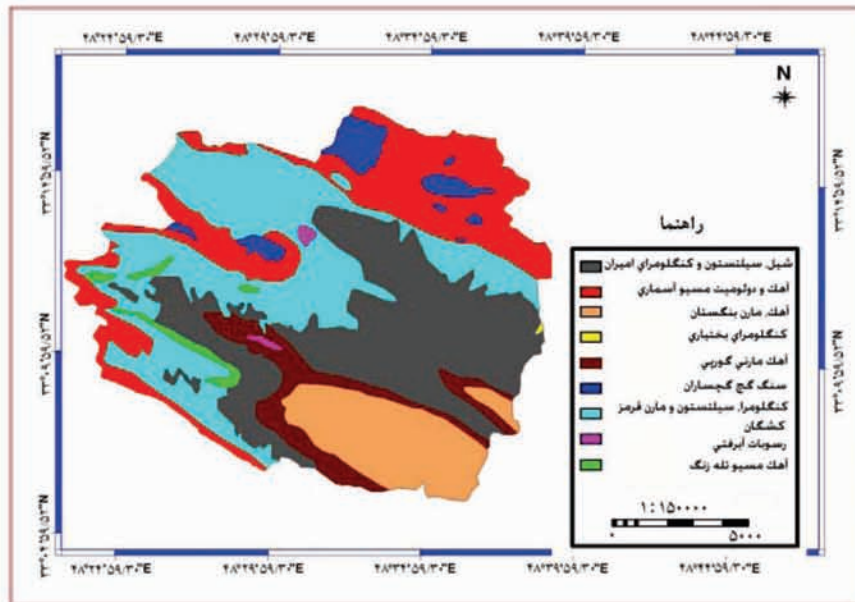
- الف- تولید لایه‌های اطلاعاتی مورد نیاز بر اساس عوامل لحاظ شده در مدل با استفاده از نقشه‌های پایه و با بهره‌گیری از فن GIS؛
- ب- تفکیک واحدهای همگن در هر یک از این لایه‌های اطلاعاتی و تعیین امتیاز هر واحد براساس جدولها و فرمولهای پیش‌بینی شده در مدل (جدول ۱)؛
- ج- تعیین واحدهای کاری از طریق تلفیق لایه‌های اطلاعاتی و تعیین میزان رسوبدهی در هر یک از این واحدها بر اساس فرمول پیش‌بینی شده در مدل (رابطه ۱)؛
- د- برآورد مقدار تولید رسوب برای شش زیرحوزه شناسایی شده با قرار دادن لایه مرز زیر حوزه‌ها روی لایه رسوبدهی تولید شده؛
- ه- ارزیابی نتایج حاصل از به‌کارگیری مدل از طریق مقایسه مقادیر رسوب برآورد شده به‌وسیله مدل با مقادیر رسوب اندازه‌گیری شده و تجزیه و تحلیل نتایج برای دستیابی به هدف پیش‌بینی شده.

۴- اجرای مدل MPSIAC در محیط GIS

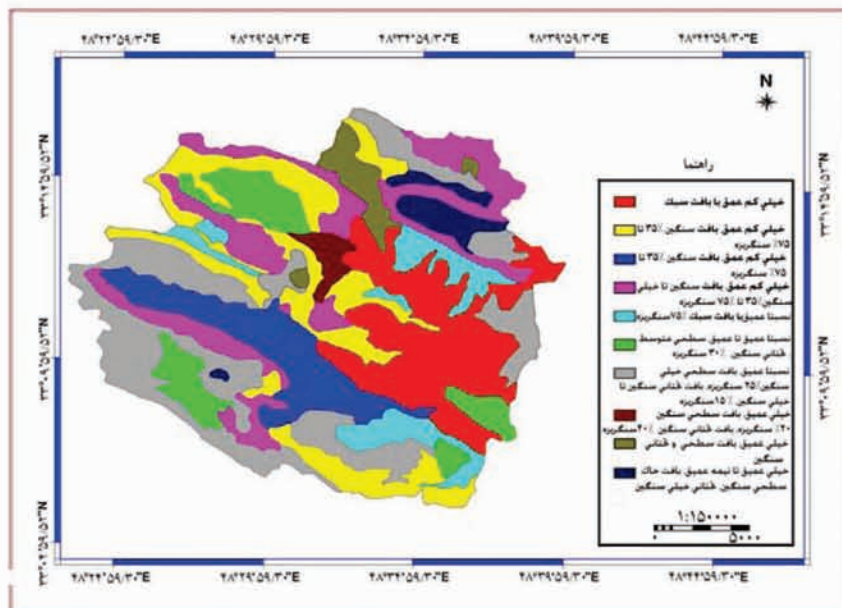
هدف از این پروژه، اجرا کردن مدل MPSIAC با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی و محاسبه فرسایش خاک و همچنین تولید رسوب می‌باشد. این قسمت شامل وارد کردن داده‌ها به محیط GIS، مدیریت داده‌ها، تولید لایه‌های اطلاعاتی و تعیین واحدهای همگن در هر یک از لایه‌ها، وزندهی به واحدهای همگن با استفاده از فرمولهای مدل MPSIAC، رستری کردن لایه‌های وزنی و در نهایت همپوشانی لایه‌های وزنی، استخراج نقشه میزان رسوبدهی و شدت فرسایش حوزه آبخیز می‌باشد. بنابراین، اجرا کردن این مدل در محیط GIS شامل مراحل به شرح زیر می‌باشد.

۴-۱- تهیه لایه‌های اطلاعاتی

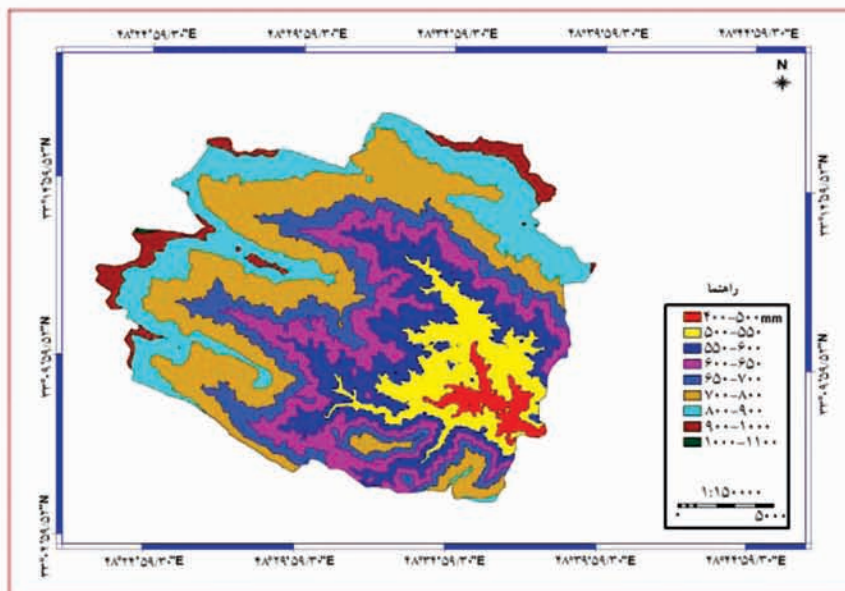
به‌کارگیری این مدل با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی مستلزم این است که برای هر عامل مؤثر در فرسایش خاک و تولید رسوب، لایه اطلاعاتی مربوط تهیه شود. لذا با استفاده از نقشه‌های پایه و با بهره‌گیری از نرم‌افزار ILWIS۳/۱، لایه‌های اطلاعاتی مورد نیاز شامل زمین‌شناسی، خاکشناسی، آب و هوا، رواناب، توپوگرافی، پوشش زمین، کاربری اراضی، وضعیت فعلی فرسایش و فرسایش رودخانه‌ای و حمل رسوب تهیه شد (شکل‌های ۲ - ۹).



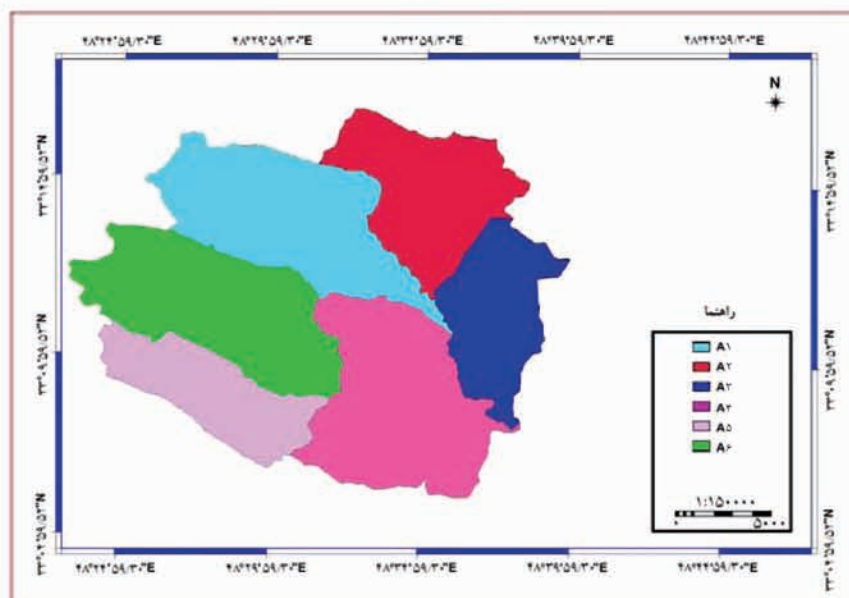
شکل ۲ نقشه زمین‌شناسی حوزه آبخیز نوژیان



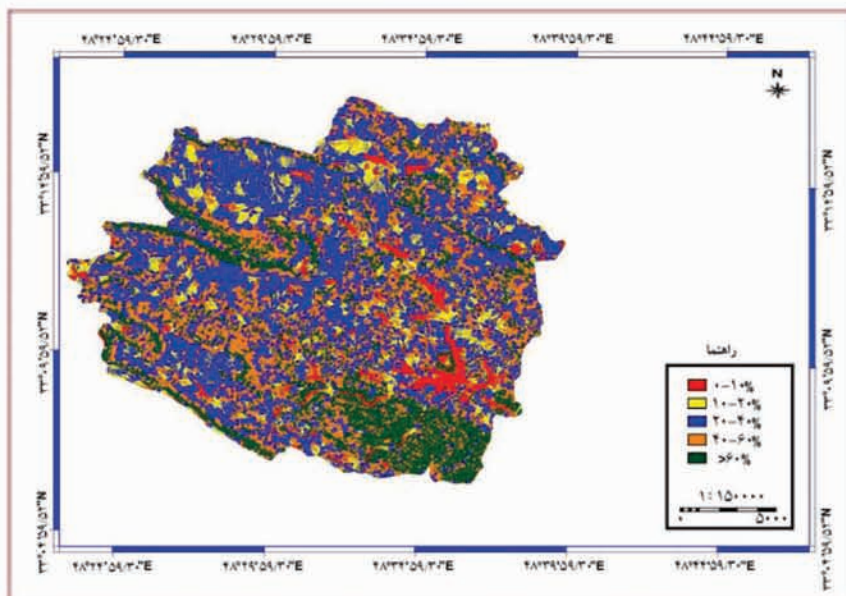
شکل ۳ نقشه خاک‌شناسی حوزه آبخیز نوژیان



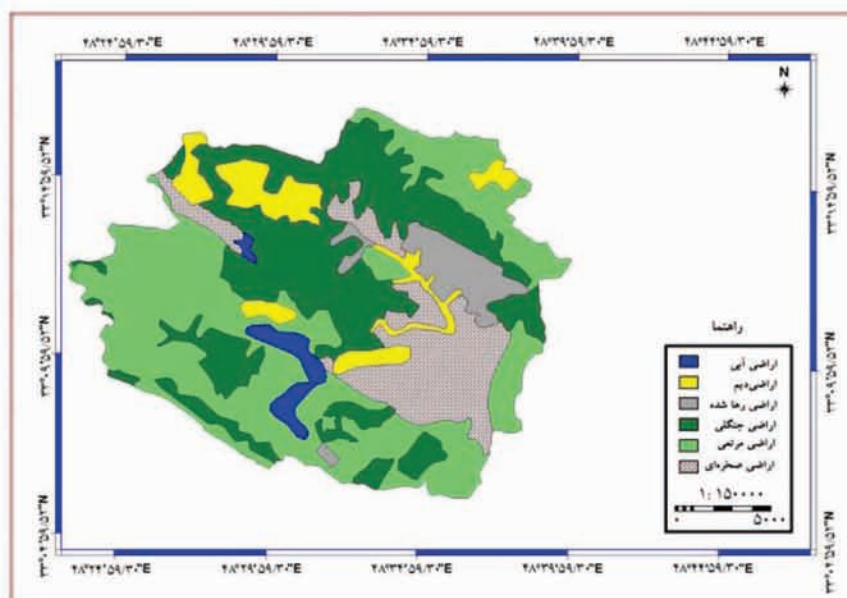
شکل ۴ نقشه خطوط هم‌باران حوزه آبخیز نوژیان



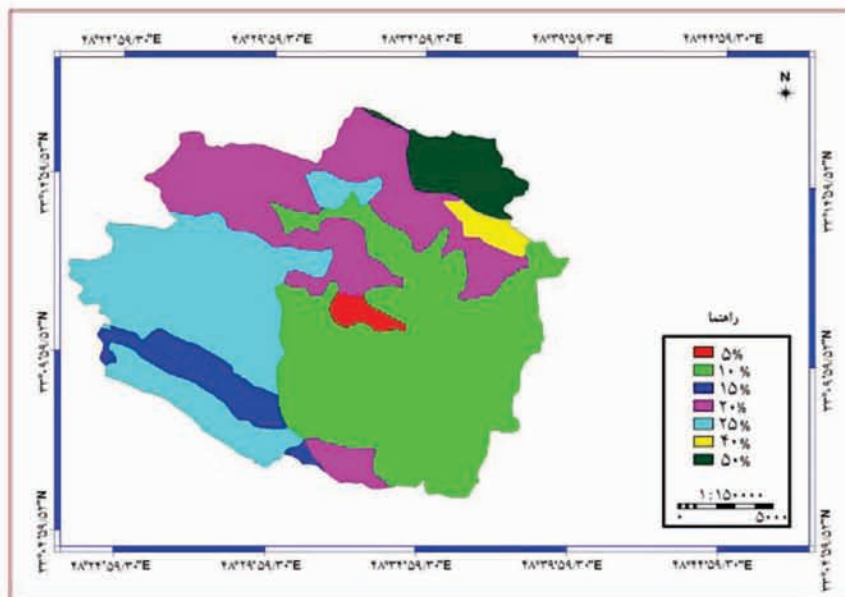
شکل ۵ نقشه واحدهای هیدرولوژیک حوزه آبخیز نوژیان



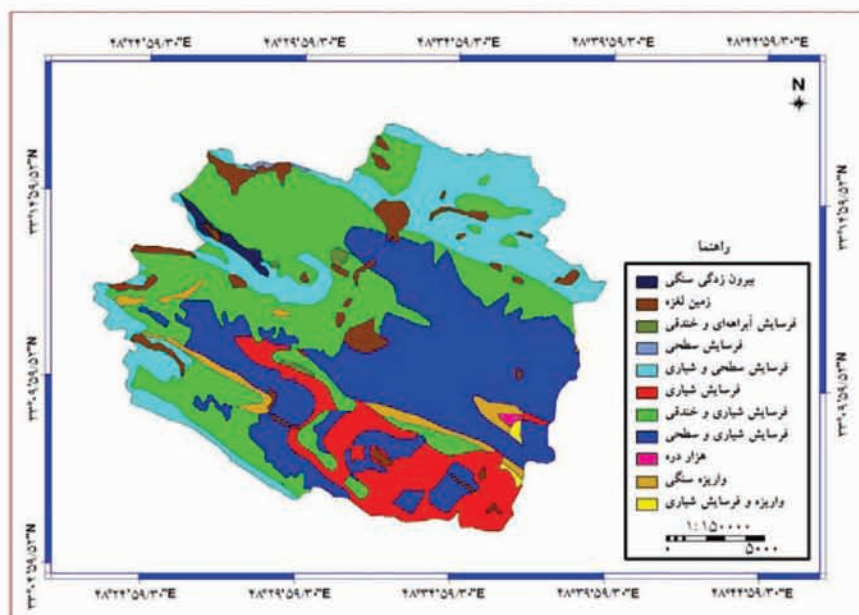
شکل ۶ نقشه شیب حوزه آبخیز نوژیان



شکل ۷ نقشه استفاده از اراضی حوزه آبخیز نوژیان



شکل ۸ نقشه درصد پوشش گیاهی حوزه آبخیز نوژیان



شکل ۹ نقشه وضعیت فعلی فرسایش در حوزه آبخیز نوژیان

۴-۲- وزندهی به لایه‌های اطلاعاتی

واحدهای همگن در هریک از لایه‌های اطلاعاتی از هم تفکیک و امتیاز هر واحد بر اساس فرمول پیش‌بینی شده در روش MPSIAC به سیستم وارد شد. در جدول ۳ امتیاز مربوط به عوامل نه‌گانه مدل MPSIAC ارائه شده است.

جدول ۳ امتیاز عوامل نه‌گانه مدل MPSIAC در زیر حوزه‌های آبخیز نوژیان

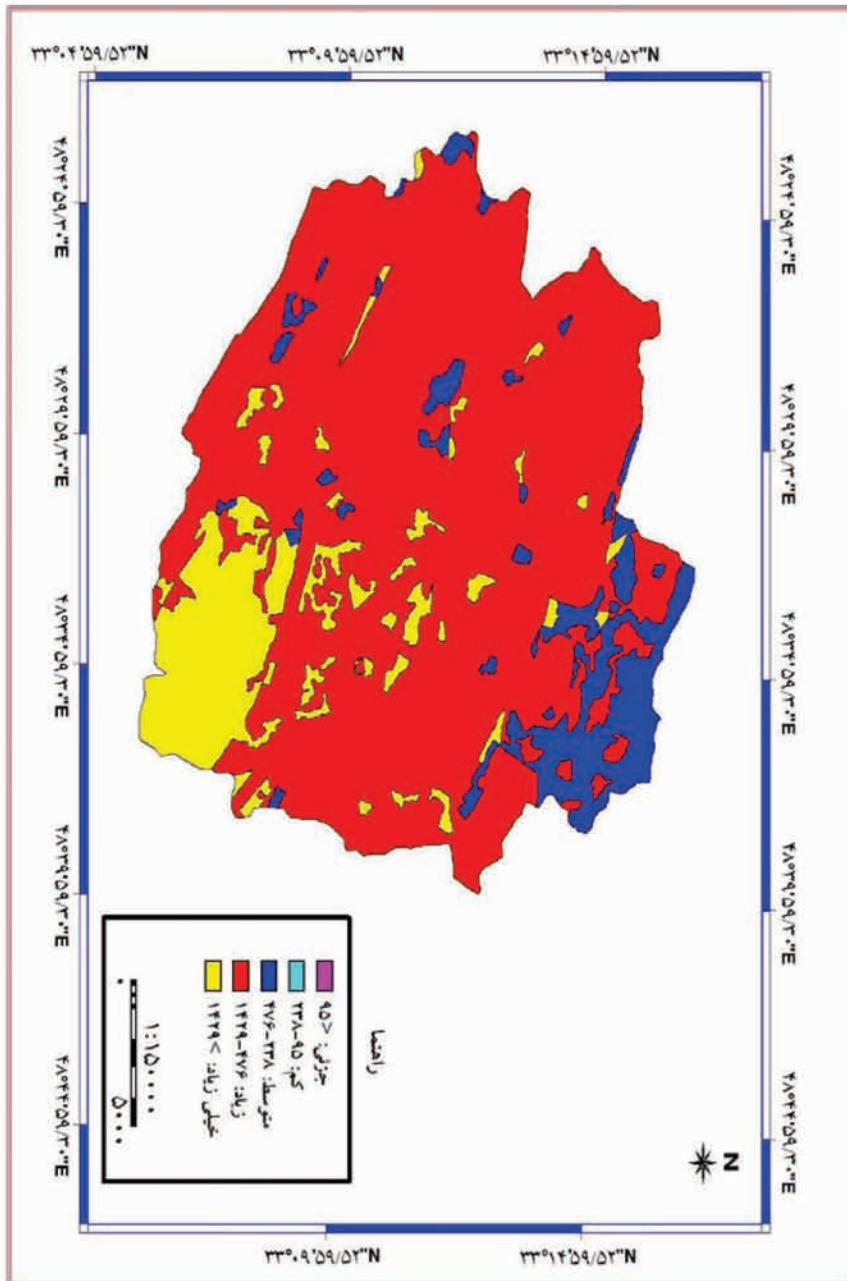
امتیاز عامل	زیر حوزه					
	A۶	A۵	A۴	A۳	A۲	A۱
زمین‌شناسی	۷/۷۰۷۴	۷/۴۶۳۷	۸/۷۴۰۵	۷/۹۰۰۶	۶/۰۳۰۶	۷/۳۵۶۴
خاک	۲/۹۵۵۸	۲/۹۱۳۹	۳/۰۴۷۹	۲/۷۶۰۵	۳/۰۹۵۸	۳/۲۳۸۳
رواناب	۷/۵۲۰	۷/۶۹۴	۷/۹۵۸	۷/۲۷۳	۷/۴۴۵	۷/۶۸۸
شیب	۱۲/۱۳	۱۲/۰۱	۱۲/۲۵	۱۵/۶۷	۱۳/۹۲	۱۴/۰۳
پوشش زمین	۷	۱۳	۱۸	۱۶	۲/۶	۴/۵
استفاده از اراضی	۱۵/۶۳	۱۶/۱۸	۱۷/۸۸	۱۷/۲۱	۱۴/۰۶	۱۶/۰۸
وضعیت فعلی فرسایش	۱۹/۲۵	۲۱/۵	۲۲/۵	۲۲	۱۷/۲۵	۱۹/۷۵
فرسایش رودخانه‌ای و حمل رسوب	۲۱/۳	۲۱/۳	۲۵	۲۳/۳	۲۱/۷	۲۵/۰۵

۴-۳- تلفیق لایه‌های وزنی و تولید لایه رسوبدهی

پس از وزندهی و نهایی‌سازی لایه‌های اطلاعاتی، از تلفیق آنها نقشه واحد کاری با ۵۲۷ واحد به‌دست آمد. با توجه به اینکه در هر واحد کاری، فاکتورهای لحاظ شده در مدل MPSIAC مشابه بوده و وزن هر کدام از آنها مشخص است، می‌توان بسادگی آنها را با هم جمع کرده و مقدار درجه رسوبدهی R را در هر واحد کاری محاسبه کرد یا به عبارتی وزنه‌های سلولی^۱ هم مختصات را با هم ترکیب و تلفیق کرد، تا لایه جدیدی به نام لایه درجه رسوبدهی حاصل شود. به این ترتیب با جمع نمرات به‌دست آمده، درجه رسوبدهی برای واحدهای کاری محاسبه شد. سپس رسوب سالیانه هر واحد برحسب متر مکعب در کیلومتر مربع (در سال) محاسبه و نقشه مربوط به آن تهیه شد (شکل ۱۰). با احتساب وزن مخصوص رسوبات (در منطقه مطالعه شده حدود $1/6 \text{ g/cm}^3$) رسوب ویژه بر حسب تن در هکتار در سال به‌دست آمد.

1. Pixels

شکل ۱۰ نقشه شدت فرسایش و رسوبی حوضه آبخیز نوزیان با استفاده از مدل MPSIAC

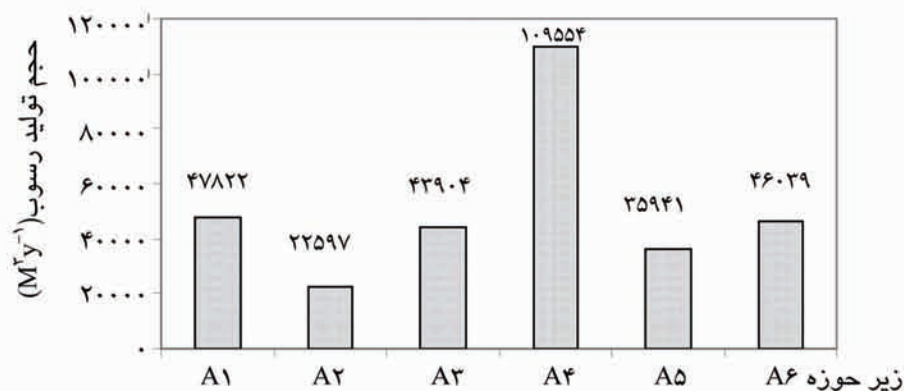


۴-۴- تعیین کلاسهای فرسایش خاک و تولید رسوب

پس از تهیه نقشه میزان رسوبدهی حوزه، با انداختن لایه مرز زیرحوزه‌ها روی این نقشه، درجه رسوبدهی و رسوب ویژه هر یک از واحدها محاسبه شد. نتایج مربوط به محاسبات ضریب رسوبدهی، مقادیر تولید رسوب و شدت فرسایش در جدول ۴ و شکل‌های ۱۰ و ۱۱ ارائه شده است.

جدول ۴ محاسبه ضریب رسوبدهی و تولید رسوب با استفاده از مدل MPSIAC در زیر حوزه‌های منطقه مطالعه شده

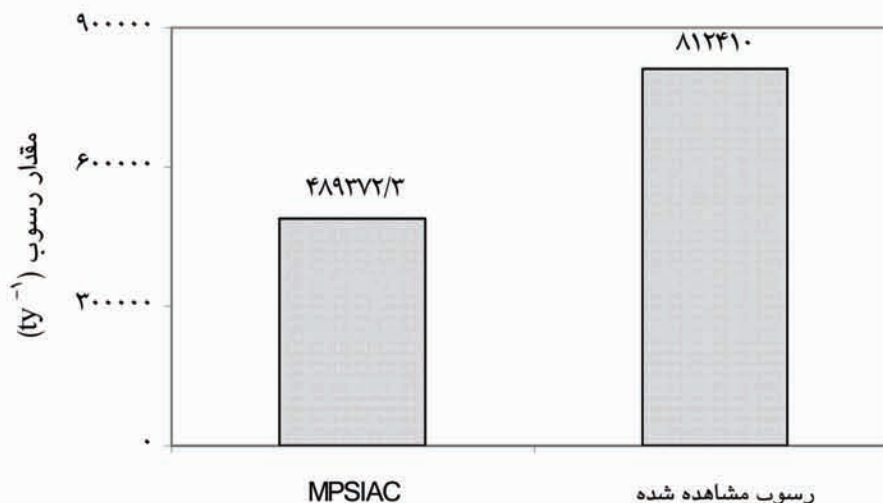
زیر حوزه	R	کلاس فرسایش	مساحت (ha)	مساحت (km ^۲)	Qs m ^۳ /km ^۲	Qs (t/ha)
A۱	۹۹/۸۰	زیاد	۷۰۶۶/۹۲	۷۰/۶۶۹۲	۶۷۵/۱۰	۱۰/۸۲
A۲	۸۸/۲۰	زیاد	۵۰۷۸/۰۵	۵۰/۷۸۰۵	۴۴۵/۲۷	۷/۱۲
A۳	۱۱۲/۷۸	خیلی زیاد	۴۰۰۲/۳۳	۴۰/۰۲۳۳	۱۰۷۸/۴۳	۱۷/۲۵
A۴	۱۲۲/۸۵	خیلی زیاد	۷۲۲۷/۸۲	۷۲/۲۷۸۲	۱۵۴۹/۹۰	۷۹/۲۴
A۵	۱۰۸/۴۰	خیلی زیاد	۳۸۱۵/۶۴	۳۸/۱۵۶۴	۹۲۰/۶۲	۱۴/۷۲
A۶	۹۹/۸۲	زیاد	۶۸۱۶/۶۹	۶۸/۱۶۶۹	۶۷۶/۱۲	۱۰/۸۲
کل حوزه	۱۰۵/۴۰	خیلی زیاد	۳۴۰۰۷/۴۵	۳۴۰/۰۷۴۵	۸۹۹/۵۲	۱۴/۳۹



شکل ۱۱ مقادیر برآورد رسوب تولید شده در هر یک از زیرحوزه‌های آبخیز نوژیان با استفاده از مدل MPSIAC

۵- مقایسه رسوب برآورد شده به روش MPSIAC با آمار رسوب مشاهده‌ای

بر اساس تجزیه و تحلیل آمارهای کسب شده از وزارت نیرو، مقدار بار رسوب معلق خارج شده از حوزه، طی یک دوره سی‌ساله بالغ بر ۲۰۳۱۰۲۵۵ تن گزارش شده است [۱۷]. اگر به‌طور متوسط میزان ۲۰٪ بار کف در نظر گرفته شود، باید مقدار ۴۰۶۲۰۵۱ تن بار کف به میزان رسوب معلق اضافه کرد که حاصل ۲۴۳۷۲۳۰۶ تن در طول یک دوره سی‌ساله مجموع بار معلق و بار کف انتقال یافته از حوزه می‌باشد. به این ترتیب با احتساب دوره آماری سی ساله، میانگین رسوب سالیانه حوزه آبخیز بالغ بر ۸۱۲۴۱۰ تن است که معادل ۲۳۸۹ تن در کیلومترمربع می‌باشد. در این صورت مقدار ذکر شده به عنوان مقدار مینا برای مقایسه نتایج برآورد فرسایش و رسوب مدل انتخابی قلمداد شده است. با توجه به اینکه رسوب تخمینی در مدل MPSIAC معادل ۴۸۹۳۷۲/۳ تن در سال است. از جدول ۴ و شکل ۱۲ می‌توان نتیجه گرفت که رسوب برآورد شده به‌وسیله مدل ۰/۶۰۲، برابر رسوب اندازه‌گیری شده در ایستگاه رسوب‌سنجی می‌باشد. به عبارت دیگر، مقدار رسوب سالیانه که به‌وسیله مدل MPSIAC برآورد شده، حدود ۳۲۳۰۲۸ تن از مقدار رسوب اندازه‌گیری شده کمتر است.



شکل ۱۲ نمودار مقایسه رسوب برآورد شده از مدل MPSIAC با آمار رسوب اندازه‌گیری شده

۶- نتیجه‌گیری

نتیجه به دست آمده را نمی‌توان به مفهوم رد یا تأیید مدل MPSIAC قلمداد کرد؛ زیرا این مدل در کشوری با شرایط اقلیمی و ویژگی‌های زمین محیطی متفاوت ابداع شده است. از این رو به احتمال زیاد ضرایب و عوامل لحاظ شده در این مدل با شرایط ایران مطابقت کامل ندارد. لذا آنچه می‌تواند قابل ذکر باشد، این است که بخش اعظم اشتباه در برآورد رسوب به وسیله مدل MPSIAC مربوط به عدم کالیبره شدن آن در شرایط مختلف ایران از جمله حوزه آبخیز نوژیان می‌باشد. بنابراین با توجه به نتایج تجزیه و تحلیل‌های انجام شده، می‌توان گفت اگر چه استفاده از مدل MPSIAC با بهره‌گیری از سیستم اطلاعات جغرافیایی نتوانسته مقدار واقعی فرسایش و رسوب حوزه آبخیز مطالعه شده را برآورد کند اما این نتیجه توانمندی‌های این سیستمها را در تجزیه و تحلیل اطلاعات رد نمی‌کند. توانایی‌های سیستم اطلاعات جغرافیایی در تهیه و ذخیره کردن لایه‌های اطلاعاتی و امکان روی هم‌گذاری و قطع دادن این لایه‌ها، از جمله محاسن استفاده از تکنیک GIS در دستیابی سریع به خروجی‌های مورد نیاز می‌باشد. استفاده از روشهای دستی (روی هم‌گذاری و قطع دادن لایه‌ها با استفاده از میز نور و دستیابی به خروجی‌های مورد نیاز) - علاوه بر نیاز به هزینه و زمان زیاد- دقت این مطالعات را ندارد؛ زیرا که در این مطالعات، دقت در حد پیکسل یا واحد سلولی بوده که در روشهای دستی، این بعد سلولی نمی‌تواند به این نحو مورد تجزیه و تحلیل قرار گیرد.

در اجرای مدل MPSIAC لازم است که حوزه آبخیز به واحدهای کاری یا واحدهای ژئومورفولوژی همگن تفکیک شود. در روشهای دستی و سنتی، تعیین واحدهای کاری به صورت سلیقه‌ای و با روی هم‌گذاری تعدادی از لایه‌های پایه همچون شیب، اجزای واحد اراضی، زمین‌شناسی و... صورت می‌گیرد؛ سپس با متوسط‌گیری وزنی هر یک از عوامل لحاظ شده در مدل، وزن هر واحد تعیین می‌شود که این عمل منشأ بروز خطاهایی در نتیجه می‌شود. از سوی دیگر عدم امکان کار روی واحدهای کوچک و حذف تأثیر این واحدها در نتایج برآوردی مورد نظر نیز ایجاد خطا خواهد کرد. در صورتی که استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی، نقش اعمال سلیقه‌های شخصی را در تلفیق لایه‌های اطلاعاتی و تعیین واحدهای کاری به مقدار قابل توجهی کاهش و نقش واحدهای کوچک را اعمال خواهد کرد. به این ترتیب صرف‌نظر از دقت مدل به کار رفته، چنانچه داده‌های ورودی مربوط به هر یک از عوامل لحاظ شده در مدل برآورد فرسایش و رسوب بدرستی وارد محیط GIS شوند، خروجی‌های به دست آمده در مشخص کردن مقدار فرسایش و رسوب دارای دقت بالایی می‌باشند.

همچنین با توجه به اینکه در نقشه میزان رسوبدهی و شدت فرسایش، هر پیکسل دارای مقدار می‌باشد. لذا در هر نقطه، می‌توان شدت فرسایش و میزان رسوبدهی را برآورد کرده و نقاط بحرانی را به‌طور دقیق تعیین و اقدامات حفاظتی و کنترلی لازم را اعمال کرد.

علاوه بر این با تشکیل بانک اطلاعات جغرافیایی از منطقه مطالعه شده، هر زمان امکان بهره‌گیری، تصحیح، بازسازی، بازیابی و نمایش اطلاعات فضایی و خصیصه‌ای در مقیاس مورد نظر وجود داشته و در صورت هرگونه تغییر در سیمای طبیعی حوزه، با دخالت آنها می‌توان نتایج جدیدتر را اخذ کرد. با این کار، اعمال روشهای مبارزه و جلوگیری از هدر رفت خاک با بینش و شناخت کامل انجام می‌پذیرد و حصول نتایج واقعی امکانپذیرتر می‌شود.

با شرح مطالب فوق، پیشنهاد می‌شود که سایر مدل‌های برآورد فرسایش و رسوب نیز در محیط GIS اجرا شده و با مقایسه نتایج به دست آمده، محدودیتها و محاسن استفاده از تکنیک GIS با دقت و فراگیری بیشتری برای کاربران مشخص شود.

۷- منابع

- [1] Morgan R. P. C.; Soil erosion and conservation; Crainfield University, British, 1995.
- [۲] حکیم‌خانی ش.؛ مروری بر مطالعات و پایان‌نامه‌های انجام شده بر روی مدل تجربی PSIAC در ایران و بررسی ایرادهای وارده بر آنها و تهیه دستورالعمل استفاده از آن؛ (سمینار دوره دکتری آبخیزداری)، دانشگاه تهران، ۱۳۸۱.
- [۳] رفاهی ح.؛ فرسایش آبی و کنترل آن؛ انتشارات دانشگاه تهران، ۱۳۷۵.
- [۴] آرنوف ا.؛ سیستمهای اطلاعات جغرافیایی؛ ترجمه: سازمان نقشه برداری کشور، ۱۳۷۵.
- [5] Burrough P.A.; Principle of geographic information systems for land resource assessment; Oxford, Clarendon, 1993.
- [۶] رحمتی ع. ا.؛ «بررسی پتانسیل رسوبدهی در حوزه‌های فرعی رودخانه سرخاب کشور (حوزه نوژیان) آبخیز دز با استفاده از مدل هیدروفیزیکی»؛ پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشگاه تهران، ۱۳۷۶.

[۷] باقرزاده کریمی م.؛ «بررسی کارایی مدل‌های برآورد فرسایش و رسوب و تکنیک‌های سنجش از دور و GIS در مطالعات فرسایش خاک»؛ پایان‌نامه کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳۷۲.

[۸] شیخ‌حسینی ح.؛ «بررسی پتانسیل تولید رسوب در واحدهای فرسایشی حوزه آبخیز سد مخزنی طالقان»؛ پایان‌نامه کارشناسی ارشد جغرافیای طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳۷۴.

[۹] کاهکش م.؛ ارزیابی قابلیت فرسایش خاک با استفاده از سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور مطالعه موردی حوزه آبریز دریاچه سد دز؛ پایان‌نامه کارشناسی ارشد جغرافیای طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳۷۵.

[۱۰] رحمت‌نیا ع.؛ ارزیابی قابلیت فرسایش خاک با استفاده از سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی مطالعه موردی زیرحوزه‌های غرب و جنوب غرب قره‌سو؛ پایان‌نامه کارشناسی ارشد جغرافیای طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، ۱۳۷۶.

[۱۱] فرج‌زاده م.؛ سبجانی ب.؛ پهنه‌بندی قابلیت فرسایش خاک بر اساس مدل پسیاک اصلاح شده در حوزه آبریز آق‌لاقان چای با استفاده از تکنولوژی سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی؛ نشریه علمی-پژوهشی مدرس علوم انسانی، انتشارات دانشگاه تربیت مدرس ش ۸، پاییز ۱۳۷۷.

[۱۲] جعفری م.؛ برآورد کمی و کیفی فرسایش و رسوب حوزه آبخیز رودخانه چیخواب با استفاده از GIS؛ پایان‌نامه کارشناسی ارشد مهندسی عمران-سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی، ۱۳۸۱.

- [13] Clark K. B.; An estimate of sediment yield for two small watershed in a geographic information system. M. Sc. Thesis, *Geography*, University of New Mexico, 1999.
- [14] Hadley R. F.; Measuring and predicting soil erosion; In, R. F. Hadley and D. E. Walling, (Eds), *Erosion and Sediment Yields Some Methods of Measurement and Modeling; GeoBooks*, Norwich, UK, 1984.
- [۱۵] احمدی، ح؛ ژئومورفولوژی کاربردی؛ ج ۱ (فرسایش آبی)، انتشارات دانشگاه تهران، ۱۳۷۴.
- [16] Johnson C.W, Gebhardt K. A.; Predicting sediment yields from rangelands; In *Proceedings of Workshop on Estimating Erosion and Sediment Yield on Rangelands*, Tucson, Arizona, March 1981 US Department of Agriculture, *Agriculture Reviews and Manuals, Western Series, No. 26*, (1982).
- [۱۷] سازمان تحقیقات منابع آب (تاماب). «گزارش رسوب رودخانه سرخاب کشور، بولتن منابع آب»، ۱۳۷۴.