مقایسه مدلهای MPSIAC[1]، هیدروفیزیکی[2] و EPM[3] در تخمین فرسایش و بار رسوب با استفاده از GIS[4] (مطالعه موردی حوزه آبخیز نوژیان)

مسعود داوری، حسینعلی بهرامی، جمال قدوسی و ناصر طهماسبی‌پور*[5]

چکیده

فرسایش خاک را می‌توان به عنوان یکی از مهمترین موانع دستیابی به توسعه کشاورزی پایدار و منابع طبیعی دانست. رسوبات ناشی از فرسایش حوزه‌های آبخیز علاوه بر هدر رفت خاک و کاهش حاصلخیزی آن موجب کاهش کیفیت آب شده و عمر مفید سدها را به دلیل انباشت رسوبات در مخزن آنها به مخاطره می‌اندازد. حوزه آبخیز نوژیان که در استان لرستان واقع شده دارای ویژگیهای توپوگرافی، اقلیمی و سازندهای زمین‌شناسی خاصی می‌باشد که در ایجاد فرسایش و تولید رسوب نقش اساسی دارند. با توجه به موارد فوق، برای ارزیابی نتایج حاصل از بکار گیری مدل‌های تجربی، به عنوان منطقه تحقیق انتخاب گردیده و فرسایش و رسوب حوزه از نظر کیفی و کمی با استفاده از مدلهای MPSIAC، هیدروفیزیکی و EPM در محیط GIS مورد ارزیابی قرار گرفته است. در این راستا برای اجرای مدلهای انتخاب شده، پس از ورود لایه‌های اطلاعاتی به محیط GIS و وزن‌دهی آنها، از تلفیق این لایه‌ها در دو مدل EPM و MPSIAC به ترتیب 278 و 527 واحد همگن تفکیک گردیده سپس شدت فرسایش و تولید رسوب در این واحدهای همگن محاسبه شده است. به طوری که میزان رسوب برآورد شده با استفاده از مدلهای EPM و MPSIAC به ترتیب 4308/9 و 1439/01 $ty^{-1}km^{-2}$ بدست آمد. برای تخمین بار رسوب با استفاده از مدل هیدروفیزیکی، حوزه آبخیز نوژیان بر اساس روش کار به شش واحد هیدرولوژیکی تقسیم و میزان تولید رسوب در آنها برآورد گردید. میزان تولید رسوب برآورد شده با استفاده از مدل هیدروفیزیکی حدود 2536/1 $ty^{-1}km^{-2}$ بوده است. به منظور مقایسه نتایج، میزان رسوب اندازه‌گیری شده در ایستگاه هیدرومتری کشور (واقع در ایستگاه راه آهن روستای کشور) که حدود 2389 $ty^{-1}km^{-2}$ می‌باشد به عنوان سطح مقایسه در نظر گرفته شد. نتایج این تحقیق نشانگر این است که مقدار رسوب برآورد شده با استفاده از مدلهای EPM و MPSIAC نسبت به آمـــار رسوب به ترتیب 1/8 و 0/6 برابر است. در حالی که رسوب برآورد شده توسط مدل هیدروفیزیکی با نسبت 1/06 در مقایسه با دو مدل دیگر از دقت بیشتری برخوردار است. نتیجه بررسی‌های انجام شده در مورد اختلافهای 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.

واژه های کلیدی: فرسایش خاک، رسوبدهی، واحدهای همگن، واحـد هیـدرولوژیکی، MPSIAC، EPM، هیـدروفیزیکی، GIS

---

1. Modified Pacific Southwest Inter-Agency Committee.

2. مدل هیدرولوژیکی بررسی پتانسیل رسوبدهی

3. Erosion Potential Method.

4. Geographic Information System.

5- دانشجوی دکتری، استادیار گروه خاکشناسی دانشگاه تربیت مدرس، استادیار پژوهش مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری، و عضو هیئت علمی دانشگاه لرستان

*- وصول: 83/3/13 و تصویب: 83/10/24

مقدمه

نقش فرسایش خاک و تولید رسوب در کاهش حاصلخیزی و هدررفت خاک، پر شدن مخازن سدها، گرفتگی و انسداد مجاری آبیاری، آبراهه‌ها و رودخانه‌ها، گل‌آلود کردن آب رودخانه‌ها و کاهش کیفیت آن، آلودگی آبهای مناطق پایین دست و غیره بر کسی پوشیده نیست. برای جلوگیری و کاهش این اثرات نیاز به اقدامات حفاظت خاک و آبخیزداری و کنترل رسوب می‌باشد (حکیم خانی، 1381).

برای اجرا نمودن برنامه‌های حفاظتی و تعیین روشهای مبارزه با فرسایش و کنترل رسوب، همچنین محاسبه و طراحی دقیق حجم سدها در احداث سدهای مخزنی، ضرورت دارد حجم کل میزان تولید رسوب سالانه در یک حوزه آبخیز نیز ارزیابی و برآورد گردد. اگر در یک حوزه آبخیز آمار و اطلاعات مربوط به دبی آب و رسوب وجود داشته باشد محاسبه حجم کل رسوبدهی سالانه آن با استفاده از روشهای آماری امکان‌پذیر است، ولی عدم وجود آمار و اطلاعات در زمینه فرسایش خاک و تولید رسوب در بسیاری از حوزه‌های آبخیز کشور مانند اکثر آبخیزهای سایر کشورهای دنیا، کاربرد روشهای تجربی مناسب را برای برآورد شدت فرسایش خاک و رسوبزایی، الزامی می‌نماید (رفاهی، 1375).

گستردگی، تنوع و پویایی منابع طبیعی از یک سو، نیاز به تجزیه و تحلیلهای گوناگون و دستیابی سریع به اطلاعات به‌هنگام و صحیح و دسترسی به خروجیهای موردنیاز به صورت نقشه و جداول مربوط به آنها از سوی دیگر سبب گشته که متخصصین منابع طبیعی از بکار بستن روشهای سنتی و دستی جمع‌آوری، نگهداری ، تجزیه و تحلیل و ارائه اطلاعات به‌سوی روشهای مدرن، یعنی سیستم اطلاعات جغرافیایی سوق یابند.

سیستم اطلاعات جغرافیایی، یک پایگاه اطلاعات کامپیوتری برای داده‌های فضایی است که جهت دریافت، ذخیره‌سازی، ساخت و پردازش اطلاعات طراحی شده است. در این سیستم، داده‌ها به صورت رقومی نگهداری می‌شوند لذا ازنظر فیزیکی حجم کمتری نسبت به روش‌های سنتی اشغال می‌کنند. بنابراین امکان ذخیره اطلاعات به صورت رقومی و بهم پیوسته وجود داشته و حاصل کار به صورتهای مختلف مانند نقشه، جدول و نمودار بر روی مانیتور کامپیوتر رؤیت و به دیگر سیستم‌ها منتقل و یا چاپ و رسم می‌شوند. لذا در مطالعات فرسایش خاک و رسوبدهی حوزه‌های آبخیز، با استفاده از مقادیر عددی عوامل مؤثر در فرسایش خاک و تهیه لایه‌های اطلاعاتی موردنیاز می‌توان نقشه پهنه‌بندی قابلیت فرسایش خاک مناطق مختلف را بر اساس این سیستم‌ها محاسبه نمود (Arnov، 1375).

بر اساس برآوردی که توسط وزارت نیرو مبتنی بر آمار رسوب سنجی انجام شده، حوزه آبخیز نوژیان به رغم مساحت آن (حدود 2 درصد از کل مساحت حوزه آبخیز دز) حدود 6 درصد از بار رسوب معلق انتقال یافته به پشت سد دز را به خود اختصاص می‌دهد (رحمتی، 1376). وجود سازندهای حساس به فرسایش، استفاده غیر اصولی و نامناسب از اراضی، شیب زیاد و ویژگیهای اقلیمی منطقه از جمله عواملی هستند که موجب حاکمیت چنین شرایطی در حوزه آبخیز نوژیان شده است. لذا در انجام این تحقیق با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی می‌توان اهداف زیر را دنبال نمود.

الف- برآورد حجم رسوب تولیدی حوزه آبخیز نوژیان با استفاده از مدلهای EPM، MPSIAC و هیدروفیزیکی و مقایسه آن با آمار رسوب ایستگاه رسوب‌سنجی جهت تعیین دقت و صحت مدلها،

ب- طبقه‌بندی و تعیین واحدهای کاری از نظر پتانسیل تولید رسوب،

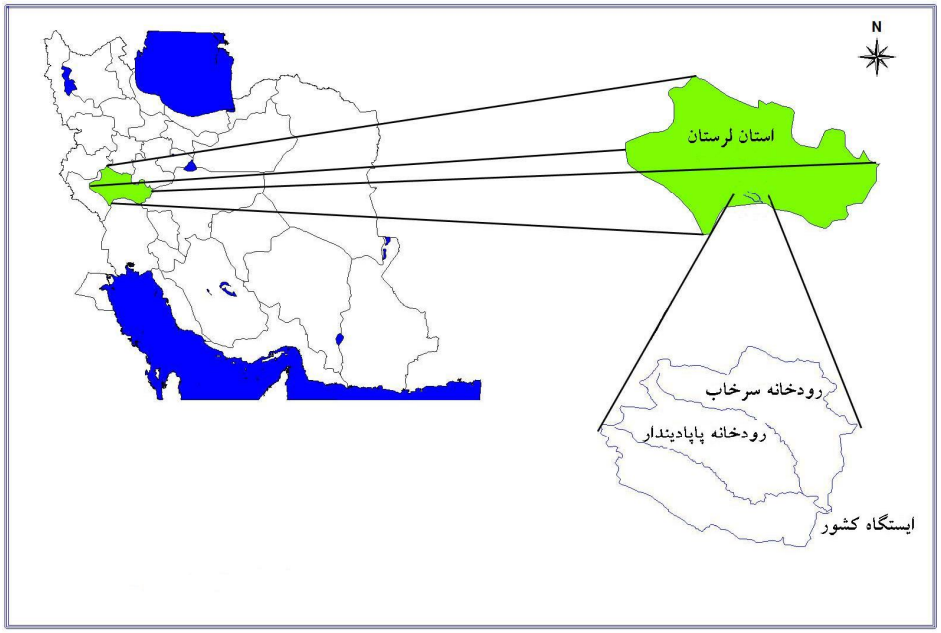
ج- شناسایی روش مناسبی برای تهیه نقشه‌های ذیربط با توجه به توانمندیها و قابلیت سیستم اطلاعات جغرافیایی.

شایان ذکر است که در خصوص مطالعات پیشین می‌توان به پژوهشهای انجام شده توسط باقرزاده کریمی

(1372)، فـــرجی (1373)، طهماسبی‌پور (1373)، اسدی (1374)، پاک‌پرور (1374)، شیخ حسنی (1374)، صارمی (1374)، نیـــــک‌جو (1374)، سرخوش (1375)، کوپایی (1376)، اعظمی راد (1377)، قادری چوکانلو (1377)، بیات (1378)، رزمجو (1379) و نبی‌پی لـــشکریان (1379)، آقا رضی و قدوسی (1380) و جعفری (1381) اشاره نمود. در هیچ یک از این مطالعات، سه مدل مذکور به صورت یکجا با هم مقایسه نشده اما در بیشتر این مطالعات به این نکته اشاره شده که مدل MPSIAC نسبت به دو مدل دیگر از دقت قابل قبولی برخوردار می‌باشد. همچنین در مطالعاتی که با بهره‌گیری از GIS انجام 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 می‌گردد.

موقعیت جغرافیایی و ویژگیهای عمومی منطقه تحقیق

حوزه آبخیز رودخانه سرخاب (حوزه آبخیز نوژیان) یکی از زیرحوزه های رودخانه دز می باشد که خروجی آن در ایستگاه راه آهن کشور در 73 کیلومتری شهرستان خرم آباد به رودخانه سزار منتهی می شود. این منطقه از نظر موقعیت جغرافیایی در حد فاصل ″06′08 °33 تا ″17′00 °33 عرض شمالی و ″23′14 °48 تا ″39′48 °48 طول شرقی واقع شده است. این حوزه آبخیز از شمال به کوه سفید و کوه کلا، از شمال شرق 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 پهلو محدود شده و مساحت آن حدود 340/07 کیلومتر مربع می باشد. ارتفاع بلندترین نقطه حوزه آبخیز 2991 متر و ارتفاع محل خروجی آن در محل ایستگاه راه آهن کشور 770 متر از سطح دریا است. شکل (1) موقعیت حوزه آبخیز نوژیان را نشان می دهد.



شکل 1- موقعیت مکانی حوزه آبخیز نوژیان

مواد و روش‌ها

مدل PSIAC در سال 1968 توسط کمیته مدیریت آب ناحیه جنوب غرب اقیانوس اطلس برای برآورد رسوب مناطق جنوب غرب آمریکا که دارای اقلیم خشک تا نیمه خشک می‌باشد ارائه شده است (Hadley، 1984). 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 بکارگیری مدل PSIAC نحوه نمره‌دهی به عوامل مدل است که کاملاً کیفی بوده و به قضاوت وتجربه کارشناس بستگی دارد. Johnson and Gebhardt (1982) با اصلاح مدل اولیه، تاحدودی این عیب را بر طرف کرده و روابطی را برای محاسبه نمره هر یک ازعوامل ارائه نمودند. مدل اصلاح شده به مدل MPSIAC معروف شده و در حال حاضر در ایران از این مدل بیشتر استفاده می‌شود. برای بکارگیری مدل MPSIAC لازم است حوزه آبخیز مورد مطالعه با توجه به هدف مورد نظر به واحدهای هیدرولوژیکی (زیرحوزه آبخیزها) یا اجزای واحد اراضی و یا واحدهای کاری همگن ژئومرفولوژی تقسیم شود. پس از تقسیم حوزه آبخیز به هر یک از واحدهای مذکور، نمرات عوامل نه گانه در هر یک از واحدهای کاری محاسبه می‌گردد. 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 (احمدی، 1374؛Clark، 1999).

$$Q_S = 18.6e^{0.0353R} \quad (3)$$

که در آن Qs میزان تولید رسوب سالانه (m^3/km^2) و R درجه رسوبدهی است که مساوی مجموع نمرات عوامل نه گانه می‌باشند.

مدل EPM با هدف بررسی شدت فرسایش خاک در کشور یوگسلاوی سابق بکارگرفته شده است. پیشینه معرفی مدل EPM به سال 1988 در کنفرانس بین‌المللی رژیم رودخانه توسط Gavrilovic در کشور چین باز می‌گردد. نتایج حاصله نشان‌دهنده اینست که با استفاده ازمدل EPM می‌توان علاوه بر تعیین شدت فرسایش در مقیاس حوزه آبخیز، مقدار رسوب را در زیرحوزه‌های آبخیز و قطعات نسبتاً کوچک اراضی نیز برآورد نمود. عوامل مؤثر در فرسایش خاک در این مدل عبارتند از وضعیت توپوگرافی، سنگ‌شناسی، خاک، نحوه استفاده از اراضی و عوامل اقلیمی. در این مدل برای تعیین شدت فرسایش از معادله زیر استفاده می‌شود:

$$Z = X_a Y(\varphi + I^{0.5}) \quad (2)$$

که در آن Z ضریب شدت فرسایش، Xa ضریب استفاده از زمین، Y ضریب حساسیت سنگ و خاک به فرسایش، φ ضریب فرسایش حوزه آبخیز و I شیب متوسط حوزه آبخیز می‌باشد. کلیه عوامل ذکر شده به طور معمول با تقسیم‌بندی حوزه آبخیز به واحدهای کاری همگن مورد مطالعه و بررسی قرار می‌گیرد. مقادیر مربوط به شرایط فرسایش حوزه آبخیز(φ)، ضریب استفاده از زمین (Xa) و ضریب حساسیت سنگ و خاک به فرسایش (Y) در جدولهای مربوط به مدل EPM ارائه شده است (مسلم کوپایی، 1376؛ Gavrilovic، 1988).

در مدل EPM برای تخمین متوسط سالانه رسوب ویژه در حوزه آبخیز از فرمول زیر استفاده می‌شود: (رفاهی،1375؛ احمدی، 1374)

$$Wsp = T.H.\pi.Z^{1.5}$$

که در آن Wsp متوسط سالانه رسوب ویژه ($m^3/km^2/y$)، T ضریب درجه حرارت که از رابطه $T = \left(\frac{t}{10} + 0.1\right)^{0.5}$ بدست می‌آید، t متوسط درجه حرارت سالانه(c°) در حوزه آبخیز می‌باشد، H

ارتفاع متوسط بارندگی سالانه در حوزه آبخیز (mm) و π عدد پی می‌باشد.

برای محاسبه دبی رسوب ویژه باید مقدار فرسایش ویژه را در «ضریب رسوبدهی» ضرب نمود: (رفاهی، 1375؛ مسلم‌کوپائی،1376)

$$GSP = Wsp \times Ru \quad (7)$$

که در آن GSP دبی رسوب ویژه ($m^3/km^2/y$)، WSP فرسایش ویژه ($m^3/km^2/y$) و Ru ضریب رسوبدهی است. «دبی رسوب کل» نیز مساوی حاصلضرب «دبی رسوب ویژه» در «مساحت کل» حوزه آبخیز می‌باشد، که با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$Gs = Gsp.S \quad (8)$$

که در آن Gs دبی رسوب کل (m^3/s)، Gsp دبی رسوب ویژه ($m^3/km^2/y$) و S مساحت حوزه آبخیز (km^2) است.

مدل هیدروفیزیکی روشی است که برای تعیین مقدار نسبی رسوبدهی واحدهای هیدرولوژیک یک حوزه آبخیز در ایران بکار برده می‌شود. این مدل اولین بار در ایران توسط جزایری و ماجدی در سال 1361 معرفی شده و پایه و اساس آن مبتنی بر مقایسه وضعیت هیدروفیزیکی حاکم در واحدهای هیدرولوژیک و یا زیر حوزه‌های مختلف یک حوزه آبخیز و ارتباط آن با پتانسیل رسوبدهی می‌باشد. در این مدل ابتدا ضریب پتانسیل رسوبدهی (CSY) برای کلیه واحدهای هیدرولوژیک و یا زیر حوزه‌ها محاسبه می‌شود و سپس با استفاده از نتایج بدست آمده درصد پتانسیل رسوبدهی هر واحد هیدرولوژیک نسبت به پتانسیل رسوبدهی کل حوزه تعیین می‌شود (رفاهی، 1375؛ احمدی، 1374؛ جزایری، 1368). ضریب پتانسیل رسوبدهی (CSY) از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$CSY = a \cdot R \cdot E \cdot V \cdot P \quad (9)$$

که در آن a کمیت مؤثر فاکتور وسعت می باشد و برای کلیه حوزه‌های فرعی از طریق فرمول زیر محاسبه می‌گردد.

$$a = A^s \quad (10)$$

در این رابطه A وسعت حوزه آبخیز و S ضریب تناسب وسعت است که مقدار آن بین 0/6 تا 1 تغییر می کند. R نسبت پستی و بلندی با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی و از طریق فرمول زیر تعیین می‌شود.

$$R = H/L \quad (11)$$

که در آن H حداکثر اختلاف ارتفاع در یک حوزه آبخیز (m) و L حداکثر طول حوزه آبخیز (km^2) است.

Eعامل قابلیت فرسایش برای کلیه زیر حوزه‌های آبخیز از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$E = 1/A \Sigma_1^n e_n a_n \quad (12)$$

در این رابطه A وسعت حوزه آبخیز (km^2)، en کمیت قابلیت فرسایش که بوسیله سازندها و واحدهای خاکشناسی مختلف مشخص می‌شود و بر حسب میزان مقاومت سنگها و واحدهای خاک مقدار آن بین 1 تا 10 تغییر می‌کند a_n مساحت هر واحد سنگ شناسی و خاکشناسی با فرسایش پذیری e است و V عامل پوشش گیاهی است که از رابطه زیر تعیین می‌گردد:

$$v = A \frac{1}{\Sigma_1^n v_n a_n} \quad (13)$$

که در آن A مساحت حوزه آبخیز (Km^2)، Vn درصد تراکم گیاهی در هر تیپ گیاهی و a_n مساحت تیپهای گیاهی با درصد تراکم معین است. P عامل هیدرولوژیکی، که برای محاسبه آن متوسط بارندگی سالیانه در هر زیر حوزه استفاده می گردد.

سپس با استفاده از نتایج بدست آمده پتانسیل رسوبدهی هر واحد هیدرولوژیک (Csy_x) نسبت به پتانسیل رسوبدهی کل حوزه (Csy_{total}) تعیین می‌شود (رفاهی، 1375؛ احمدی، 1374؛ جزایری، 1368).

$$Sy\% = \frac{Csy_x}{Csy_{total}} \times 100 \quad (14)$$

در این تحقیق، نتایج حاصل از بکارگیری سه مدل EPM، MPSIAC و هیدرفیزیکی در برآورد فرسایش و تولید رسوب بررسی گردیده و برای تعیین دقت بکارگیری آنها با آمار رسوب‌سنجی مقایسه شده است.

از اینرو، با توجه به اهداف تحقیق حاضر، این تحقیق عملاً در شش مرحله به شرح ذیل اجرا شده است:

الف- تولید لایه اطلاعاتی مورد نیاز بر اساس عوامل لحاظ شده در هر یک از مدلهای MPSIAC، EPM و هیدروفیزیکی با استفاده از نقشه‌های پایه و با بهره‌گیری از فن GIS،

ب- تفکیک واحدهای همگن در هر یک از لایه‌های اطلاعاتی و تعیین امتیاز هر واحد بر اساس جداول و فرمولهای پیش بینی شده در هر یک از مدلها،

ج- تلفیق لایه‌های اطلاعاتی بر اساس عوامل لحاظ شده در هر یک از مدلهای EPM و MPSIAC برای تعیین واحدهای کاری و تعیین میزان رسوبدهی در هر یک از این واحدها بر اساس فرمولهای پیش‌بینی شده در این مدلها،

د- تعیین میزان تولید رسوب در شش زیر حوزه شناسایی شده با استفاده از روابط پیش‌بینی شده در مدل هیدروفیزیکی،

ه- برآورد میزان تولید رسوب برای شش زیر حوزه شناسایی شده با قرار دادن لایه مرز زیر حوزها در دو مدل EPM وMPSIAC برای مقایسه نتایج حاصل از این مدلها با مدل هیدروفیزیکی،

و- ارزیابی نتایج حاصل از بکارگیری سه مدل انتخابی از طریق مقایسه مقادیر برآورد فرسایش و تولید رسوب با مقادیر مشاهده ای و تجزیه و تحلیل نتایج برای دستیابی به هدف پیش بینی شده.

بنابراین برای انجام این تحقیق از مواد زیر استفاده شده است

1- آمار و اطلاعات حاصل از پژوهشهای قبلی حوزه آبخیز نوژیان در قالب اطلاعات تشریحی و توصیفی، جداول و نقشه‌ها،

2- لایه‌های اطلاعاتی مورد نیاز شامل لایه‌های زمین‌شناسی، خاک، خطوط هم‌بارش، رواناب، توپوگرافی، کاربری اراضی، پوشش زمین، اشکال فرسایش و فرسایش رودخانه‌ای که در اشکال (5) الی (12) ارائه شده است،

3- بسته‌های نرم‌افزاری GIS (Ilwis3.1[1]) و R2V.

اجرای مدل MPSIAC در محیط GIS

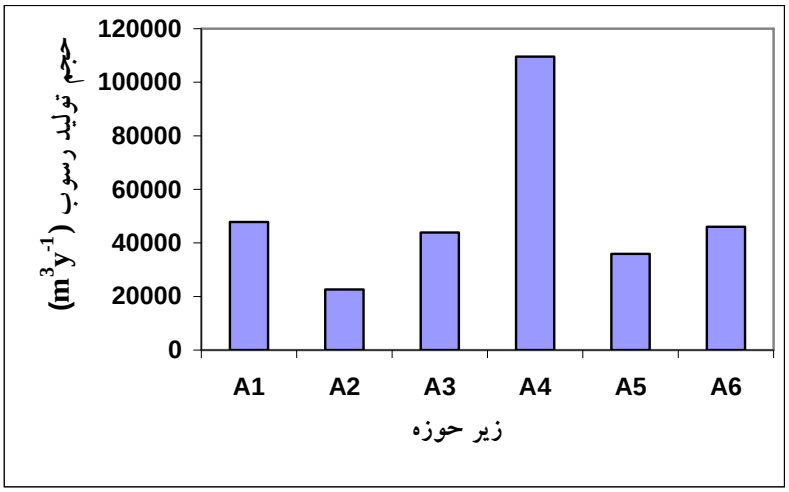
بکارگیری این مدل با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی مستلزم این است که برای هر عامل مؤثر در فرسایش، لایه اطلاعاتی مربوطه تهیه شود. لذا با استفاده از نقشه‌های پایه و با بهره‌گیری از نرم افزار Ilwis3/1، لایه‌های اطلاعاتی مورد نیاز شامل زمین‌شناسی، خاک، آب و هوا، رواناب، توپوگرافی، پوشش زمین، کاربری اراضی، وضعیت فعلی فرسایش و فرسایش رودخانه‌ای و حمل رسوب تهیه گردید. سپس واحدهای همگن در هریک از لایه‌های اطلاعاتی از هم تفکیک و امتیاز هر واحد بر اساس فرمول پیش‌بینی شده در روش پسیاک اصلاح شده به سیستم وارد گردید. لایه‌های اطلاعاتی فوق‌الذکر در شکلهای (5) الی (12) ارائه شده است. پس از وزن‌دهی لایه‌های اطلاعاتی از تلفیق آنها نقشه واحد کاری در مقیاس 1/50000 با 527 واحد بدست آمد. با توجه به اینکه در هر واحد کاری، وزن فاکتورهای لحاظ شده در مدل MPSIAC مشخص است می‌توان بسادگی آنها را با هم جمع نموده و مقدار درجه رسوبدهی (R) را در هر واحد کاری محاسبه کرد. یا به عبارتی وزنهای سلولی (Pixels) هم مختصات را با هم ترکیب و تلفیق نمود، تا لایه جدیدی به نام لایه درجه رسوبدهی حاصل گردد. سپس با استفاده از معادله (1) رسوب سالانه هر واحد برحسب متر مکعب در کیلومتر مربع در سال محاسبه و نقشه مربوطه (شکل 14) تهیه گردید. با احتساب وزن مخصوص رسوبات (در منطقه مورد مطالعه حدود 1/6 g/cm^3) رسوب ویژه بر حسب تن در کیلومتر مربع در سال بدست آمد. پس از تهیه نقشه میزان رسوبدهی حوزه با انداختن لایه مرز

1. Integrated Land and Water Information System

زیرحوزه‌ها برروی نقشه درجه رسوبدهی، رسوب ویژه هر یک از واحدها محاسبه گردید (جدول 1، شکل 2).

جدول 1- محاسبه ضریب رسوبدهی و تولید رسوب با استفاده از مدل MPSIAC در زیر حوزه‌های منطقه مورد مطالعه

زیر حوزه	R	مساحت (ha)	مساحت (km^2)	$Q_s(m^3/km^2)$	$Q_s(t/ha)$
A1	99/80	7066/92	70/6692	675/10	10/82
A2	88/20	5078/05	50/7805	445/27	7/12
A3	112/78	4002/33	40/0233	1078/43	17/25
A4	122/85	7227/82	72/2782	1549/90	79/24
A5	108/40	3815/64	38/1564	920/62	14/72
A6	99/82	6816/69	68/1669	676/12	10/82
کل حوزه	105/40	34007/45	340/0745	899/52	14/39



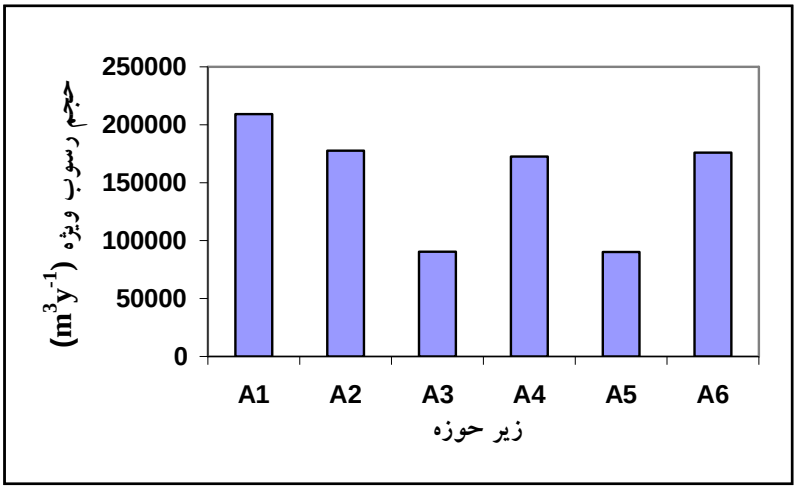
شکل2- مقادیر تولید رسوب در زیرحوزه‌های آبخیز نوژیان با استفاده از مدل MPSIAC

اجرای مدل EPM در محیط GIS

عواملی که در مدل EPM از آنها برای برآورد پتانسیل فرسایش و تولید رسوب استفاده می‌شود عبارت از توپوگرافی، زمین‌شناسی، خاکشناسی، استفاده از اراضی و وضعیت فعلی فرسایش می‌باشد. بنابراین با به‌کارگیری سیستم اطلاعات جغرافیایی، برای هر عامل لایه اطلاعاتی مربوطه تهیه شد. سپس واحدهای همگن در هریک از لایه‌های اطلاعاتی از هم تفکیک و امتیاز هر واحد بر اساس جداول پیش‌بینی شده در مدل EPM به سیستم وارد گردید. پس از وزن‌دهی لایه‌های اطلاعاتی، از تلفیق آنها نقشه واحد کاری با 278 واحد بدست آمد. با توجه به اینکه در هر واحد کاری، وزن عوامل لحاظ شده در مدل EPM مشخص است از اینرو با استفاده از رابطه (2) ضریب شدت فرسایش (Z) در هر واحد کاری محاسبه گردید. پس از تهیه نقشه شدت فرسایش (شکل 13)، با انداختن لایه مرز زیرحوزه‌ها برروی این نقشه مقدار ضریب شدت فرسایش (Z) برای هر زیر حوزه محاسبه و با بدست آوردن ضریب شدت فرسایش (Z) با استفاده از رابطه (3) مقدار فرسایش ویژه (WSP) محاسبه گردید. با اعمال ضریب رسوبدهی و مساحت، رسوب ویژه و رسوب کل در هر زیر حوزه با استفاده از روابط (4) و (5) محاسبه شده که نتایج در جدول(2) آمده است. شکل (3) مقادیر رسوب کل زیر حوزه‌های آبخیز نوژیان را نشان می‌دهد.

جدول 2- نتایج محاسبه فرسایش و رسوب با استفاده از مدل EPM در زیر حوزه‌های آبخیز نوژیان

نام زیر حوزه	ضریب فرسایش (Z)	فرسایش ویژه (WSP) ($m^3km^{-2}y^{-1}$)	رسوب ویژه (GSP)	دبی رسوب کل (Gs) (m^3y^{-1})
A1	1/33	3075/16	2960/05	209184/6
A2	1/08	2835/95	3497/78	177617/6
A3	1/07	2571/39	2257/38	90347/9
A4	1/38	2803/15	2387/66	172575/8
A5	1/07	2746/50	2362/60	90148/2
A6	1/17	2905/99	2581/76	175990/7



شکل 3- مقادیر رسوب کل در زیر حوزه های آبخیز نوژیان با استفاده از مدل EPM

اجرای مدل هیدروفیزیکی در محیط GIS

اساس این روش بر پایه مقایسه وضعیت هیدروفیزیکی در واحدهای هیدرولوژیک و ارتباط آن با پتانسیل رسوبدهی استوار است، بنابراین عوامل لحاظ شده در این مدل در قالب واحدهای هیدرولوژیک تعیین می‌شود (احمدی، 1374). در این تحقیق با استفاده از نقشه زیرحوزه‌ها، هر یک از واحدهای هیدرولوژیک آبخیز نوژیان در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی تفکیک شده و با تعیین عوامل مربوط به مدل شامل مساحت، توپوگرافی، قابلیت فرسایش، پوشش گیاهی و نزولات جوی در هر یک از آنها میزان فرسایش و تولید رسوب در زیرحوزه‌ها و کل حوزه برآورد گردید. شایان ذکر است که بمنظور انتخاب بهترین گزینه برای تعیین عامل قابلیت فرسایش بر مبنای تفسیر نقشه خاکشناسی و نقشه زمین‌شناسی، نسبت به اصلاح و اختصاص کمیتهای فرسایش‌پذیری متناسب با هر یک از واحدهای خاکشناسی و زمین‌شناسی اقدام شد. برای تعیین پتانسیل رسوبدهی در مدل هیدروفیزیکی از رابطه (6) استفاده گردید. بدیهی است نتیجه‌ای که از این طریق برای هر یک از زیرحوزه‌های آبخیز به دست می‌آید به تنهایی دارای ارزش نمی‌باشد. ولی مقایسه ضرایب به دست آمده نسبت به هم یا نسبت به مجموع آن، بیانگر نسبت پتانسیل رسوبدهی هر حوزه به حوزه‌های دیگر یا نسبت به کل رسوبدهی

حوزه آبخیز می‌باشد. از اینرو با مقایسه ضریب رسوبدهی هر زیرحوزه آبخیز نسبت به ضریب رسوبدهی کل حوزه، درصد پتانسیل رسوبدهی هر زیرحوزه آبخیز از طریق رابطه (7) محاسبه شد.

در منطقه مورد مطالعه بعد از اینکه مقادیر هر کدام از فاکتورهای هیدروفیزیکی مشخص گردید، نسبت به انتخاب بهترین گزینه جهت اعمال مدل به شرح زیر اقدام گردید که نتایج در جداول (3 و 4) ارائه شده است.

الف- استفاده از نقشه قابلیت فرسایش بر مبنای تفسیر نقشه خاکشناسی با احتساب ضریب توپوگرافی R^2،

ب- استفاده از نقشه قابلیت فرسایش بر مبنای تفسیر نقشه خاکشناسی با احتساب ضریب توپوگرافی R،

ج- استفاده از نقشه قابلیت فرسایش بر مبنای تفسیر نقشه زمین‌شناسی با احتساب ضریب توپوگرافی R^2،

د- استفاده از نقشه قابلیت فرسایش بر مبنای تفسیر نقشه زمین‌شناسی با احتساب ضریب توپوگرافی R.

بر اساس آمارهای مربوط به دبی‌های رسوب اخذ شده از سازمان منابع آب وزارت نیرو (تماب) طی سالهای آبی 1342 لغایت 1382، مقدار بار رسوب معلق خارج شده از حوزه آبخیز نوژیان حدود 20/310/255 تن بوده است. همچنین طبق بازدیهای صحرایی و بررسی شرایط مختلف آبدهی رودخانه و اندازه و بافت ذرات رسوبی و مواد متشکله بستر، نسبت بار کف 20% در نظر گرفته شده است. بنابراین با در نظر گرفتن 20% بار کف، رسوبدهی حوزه آبخیز نوژیان 24/372/306 تن بوده است. به این ترتیب با احتساب طول دوره آماری ثبت داده‌های رسوب‌سنجی، میانگین رسوب سالیانه حوزه 812410 تن بوده که معادل 2389 تن در کیلو مترمربع در سال در حوزه آبخیز نوژیان است.

با توجه به جداول (3، 4 و5) و مقایسه نتایج حاصل از نقشه زمین‌شناسی نسبت به نقشه خاکشناسی، ملاحظه می‌شود که نتیجه برآورد فرسایش و رسوب با بکارگیری مدل هیدروفیزیکی با استفاده از نقشه قابلیت فرسایش بر مبنای نقشه زمین‌شناسی و اعمال ضریب توپوگرافی R^1 دارای تطبیق و سازگاری بیشتری با مقادیر ثبت شده رسوب در حوزه آبخیز نوژیان می‌باشد. شکل (15) نقشه پتانسل رسوبدهی حوزه آبخیز نوژیان را نمایش می‌دهد.

جدول 3- مقادیر ضریب، درصد پتانسیل رسوبدهی و رسوبدهی واقعی حوزه آبخیز نوژیان با استفاده از مدل هیدروفیزیکی (بر مبنای تفسیر نقشه زمین‌شناسی با احتساب ضریب توپوگرافی R^1 و R^2

علامت زیر حوزه	ضریب پتانسیل رسوبدهی (CSY)		درصد پتانسیل رسوبدهی (SY)		مقدار رسوبدهی واقعی			
					حوزه آبخیز(t/y)		در واحد سطح (t/km²/y)	
	احتساب ضریب R^1	احتساب ضریب R^2	احتساب ضریب R^1	احتساب ضریب R^2	احتساب ضریب R^1	احتساب ضریب R^2	احتساب ضریب R^1	احتساب ضریب R^2
A1	142640/43	14702/22	16/53	13/15	134361/19	106830/67	1901/27	1511/70
A2	89387/52	15831/83	10/36	14/16	84199/23	115038/75	1685/10	2265/41
A3	146644/54	23019/93	17/00	20/58	138132/89	167269/60	3451/31	4179/31
A4	234597/40	26569/66	27/20	23/76	220980/73	193062/92	3057/36	2671/11
A5	96535/46	12842/66	11/19	11/48	90932/28	93318/55	2383/15	2445/69
A6	152664/75	18838/97	17/70	16/84	143803/67	136889/50	2109/58	2008/15
	862470/13	111805/30						

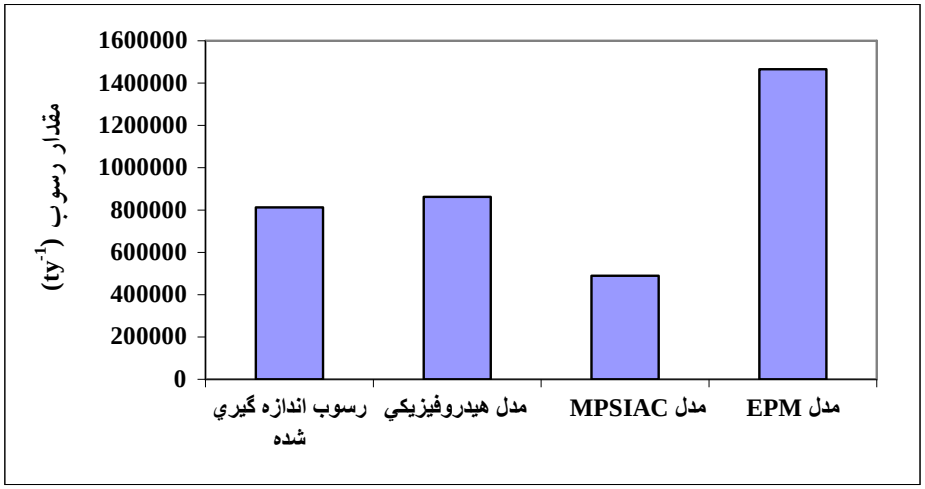
جدول 4- مقادیر ضریب، درصد پتانسیل رسوبدهی و رسوبدهی واقعی حوزه آبخیز نوژیان با استفاده از مدل هیدروفیزیکی (بر مبنای تفسیر نقشه خاکشناسی با احتساب ضریب توپوگرافی R^1 و R^2

علامت زیر حوزه	ضریب پتانسیل رسوبدهی (CSY)		درصد پتانسیل رسوبدهی (SY)		رسوبدهی واقعی			
					حوزه آبخیز(t/y)		در واحد سطح (t/km²/y)	
	احتساب ضریب R^1	احتساب ضریب R^2	احتساب ضریب R^1	احتساب ضریب R^2	احتساب ضریب R^1	احتساب ضریب R^2	احتساب ضریب R^1	احتساب ضریب R^2
A1	178793/93	18428/63	84/15	60/12	128685/75	102290/50	1821/48	1447/46
A2	116371/09	20611/02	31/10	80/14	83759/50	114404/09	1649/87	2252/91
A3	211202/66	33154/13	27/18	65/22	152083/15	184026/22	3799/16	4597/98
A4	347961/59	39408/88	83/30	92/26	250466/00	218744/00	3465/97	3026/42
A5	97241/05	12936/53	61/78	84/8	70005/40	71805/87	1834/78	1881/88
A6	176857/93	21824/43	67/15	91/14	127304/65	121139/31	1867/89	1777/10
	1128428/27	146363/64						

مقایسه نتایج برآورد فرسایش و رسوب با استفاده از مدلهای EPM، MPSIAC و هیدروفیزیکی با مقدار رسوب اندازه‌گیری شده در این پژوهش مقادیر فرسایش و رسوب برآورد شده در قالب واحدهای کاری (واحدهای همگن) EPM و MPSIAC جهت همخوانی با مقادیر برآورد شده با استفاده از مدل هیدروفیزیکی به واحدهای هیدرولوژیک (زیر حوزه‌های آبخیز) تبدیل گردیده و با آمار رسوب اندازه‌گیری شده مقایسه شده است که نتیجه آن در شکل (4) ارائه شده است. همان‌طور که در شکل (4) نشان داده شده است رسوب تخمینی با استفاده از مدلهای EPM و MPSIAC به ترتیب برابر 1465384/1 و 489372/3 تن در سال برآورد گردیده است. رسوب برآورد شده با استفاده از مدل MPSIAC، 0/62 برابر آمار رسوب مشاهده‌ای و رسوب برآورد شده با مدل EPM حدود 1/8 برابر مقدار رسوب مش‌اهده‌ای بوده است. این در حالی است که مقدار رسوب برآوردی با استفاده از مدل هیدروفیزیکی برابر 862470/1 تن بوده که در مقایسه با مقدار رسوب حدود 1/06 برابر بیشتر از آن بوده است. با توجه به مقایسه بین روشهای EPM، MPSIAC و هیدروفیزیکی با آمار رسوب مشاهده‌ای می‌توان نتیجه گرفت که مدل هیدروفیزیکی دارای دقت بیشتری در مقایسه با مدلهای EPM و MPSIAC بوده است.

جدول 5- مقایسه مقادیر رسوب برآورد شده با استفاده از مدل هیدروفیزیکی با مقادیر رسوب اندازه‌گیری شده

مبنا / رسوبدهی (t/y)	R^1	R^2	مقدار رسوب اندازه‌گیری شده (t/y)	نسبت مقدار رسوب برآورد شده به مقدار رسوب اندازه گیری شده	
				R^1	R^2
تفسیر نقشه زمین‌شناسی	862470/13	111805/30	812410	1/06	0/14
تفسیر نقشه خاکشناسی	1128428/27	146363/64		1/39	0/18



شکل 4- مقایسه مقادیر برآورد شده تولید رسوب با استفاده از مدلهای انتخابی با آمار رسوب اندازه‌گیری شده

بحث و نتیجه‌گیری

هر چند نتایج حاصله از برآورد تولید رسوب با بکارگیری مدلهای EPM، MPSIAC و هیدروفیزیکی با میانگین تولید رسوب اندازه‌گیری شده مقایسه و چنین نتیجه‌گیری شد که رسوب برآورد شده توسط مدل هیدروفیزیکی به مقدار رسوب آندازه‌گیری شده نزدیکتر است. اما نتیجه به دست آمده را نمی‌توان به عنوان شاخص قابل قبولی برای تأیید دقت یا عدم دقت مدل‌های مورد بحث قلمداد نمود. زیرا به استثنای مدل هیدروفیزیکی که در داخل کشور ابداع شده (احمدی، 1374)، مدلهای EPM و MPSIAC در کشورهایی با شرایط اقلیمی و ویژگیهای زمین محیطی متفاوت ابداع شده‌اند. بنابراین ضرایب و عوامل لحاظ شده در هر یک از این مدلها به احتمال زیاد با شرایط ایران سازگاری و مطابقت کامل ندارد. به عنوان مثال، جدول تعیین مقادیر ضریب حساسیت سنگ و خاک به فرسایش در مدل EPM، به دلیل اینکه شرایط هوازدگی و فرسایش طبیعی سنگها و سازندهای زمین‌شناسی در نقاط مختلف یکسان نمی‌باشد و جداول ارائه شده در این زمینه برای منطقه یوگسلاوی تهیه گردیده، بنابراین بی‌تردید در مناطق دیگر ممکن است کفایت نیازها را ننموده و مقادیر فرسایش و رسوب برآوردی با این مدل در تطبیق با واقعیتها نباشد. این موضوع نیز در رابطه با وضعیت حساسیت سنگها و خاکها به فرسایش به دلیل کامل نبودن جدول مورد استفاده برای تعیین امتیاز مربوط به این عامل صدق می‌کند.

در نقاطی که رخساره، بیرون‌زدگی سنگی و توده سنگی وجود دارد فرسایش در آنها کم است، با توجه به اینکه این مناطق در شیبهای زیاد قرار گرفته‌اند معمولاً برآورد تولید رسوب در مدل EPM بیشتر از مقدار واقعی است. این موضوع در آبخیز نوژیان مصداق داشته و شاید یکی از دلایل اختلاف فاحش بین مقدار فرسایش و رسوب برآورد شده با مقدار فرسایش و رسوب اندازه‌گیری شده مربوط به این محدودیت باشد. نکته دیگری که باید ذکر نمود این است که مدل EPM تله اندازی را در حوزه آبخیز در بر نمی‌گیرد که خود ممکن است سهم قابل توجهی از رسوب برآورد شده توسط مدل را به خود اختصاص دهد.

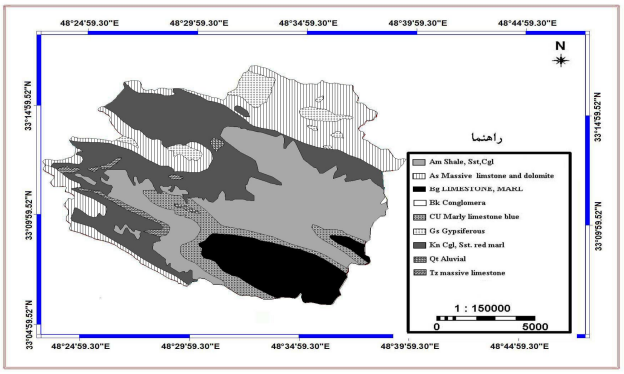
در مدل MPSIAC نیز با توجه به تنوع سازندهای زمین‌شناسی، جدول ارائه شده برای تعیین امتیاز عامل زمین‌شناسی سطحی پاسخگوی نیازها نمی‌باشد. علاوه بر این بیشتر روابط رگرسیونی ارائه شده در مدل MPSIAC نیز به صورت خطی است، در حالی که مسئله خطی بودن رابطه بین فرسایش و عوامل لحاظ شده در مدل نمی‌تواند با توجه به اصول و مفاهیم ثابت شده در مورد پدیده

فرسایش درست باشد (رفاهی، 1375). همچنین در مدل MPSIAC برای تعیین عامل خـــاک از ضـریب فرسایش‌پذیری خاک (K) در معادله جهانی تلفات خاک استفاده می‌شود که در آن تأثیر سنگ و سنگریزه در فرسایش‌پذیری مدنظر قرار نمی‌گیرد. در حالی که این خصوصیت در مناطق دارای سنگ و سنگریزه می‌تواند اثر قابل توجهی بر کاهش میزان فرسایش‌پذیری خاک داشته باشد. از طرف دیگرشاخص‌هایی که در مدل MPSIAC برای اقلیم (مقدار بارش 6 ساعته با دوره بازگشت دو ساله) و رواناب (ارتفاع رواناب سالانه و دبی جریان اوج سالانه) در نظر گرفته شده است تنها برای مناطق دارای رژیم بارانی مناسب بوده و منطبق با شرایط آب و هوای دارای رژیم‌های برفی و بارانی نیست (حکیم‌خانی، 1381). در آبخیز نوژیان به دلیل ریزش برف به ویژه در اواخر فصل پاییز و در طول زمستان و ماندگاری برف در مناطق کوهستانی تا اواسط فصل بهار که مستند بر آمار هواشناسی منطقه است، به طور معمول سیلابهای شدید و روانابهای پرحجم در اثر ذوب برف و ریزش بارندگی در مواقعی که زمین پوشیده از برف است حاصل می‌شوند. بدیهی است در چنین شرایطی نمی‌توان انتظار داشت که بگارگیری این مدل دارای نتیجه مطلوب باشد. علاوه بر این درصد تاج پوشش گیاهی به‌عنوان شاخص کاربری اراضی در نظر گرفته شده است.

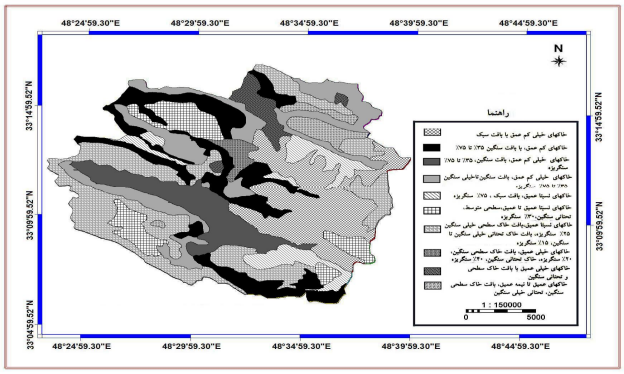
ولی این شاخص تنها برای اراضی مرتعی مناسب بوده و برای سایر کاربریها از جمله جنگل و اراضی کشاورزی که دارای ویژگیهای خاصی از نظر تاج پوشش گیاهی هستند، مناسب نیست (احمدی، 1374). در منطقه مورد مطالعه با توجه به وجود پهنه‌های تحت پوشش جنگل و گستره اراضی زراعی، این موضوع در عدم برآورد مطلوب فرسایش و رسوب بی تأثیر نبوده است. افزون بر این در مناطق سنگلاخی و سنگ و سنگریزه‌دار که درصد خاک لخت و پوشش گیاهی کم است عامل کاربری نمی‌تواند منعکس کننده تأثیر این عامل در رخداد فرسایش باشد. در چنین مناطقی به دلیل محافظت خاک توسط سنگ و سنگریزه امکان رخداد فرسایش و تولید رسوب بسیار کم است (رفاهی، 1375). بنابراین ممکن است که اختلاف موجود بین مقادیر رسوب برآوردی با استفاده از مدلهای EPM و MPSIAC با آمار رسوب مشاهده ای، ناشی از عدم فراگیری و جامعیت مدلهای مذکور با شرایط مختلف حوزه آبخیز باشد.علاوه بر این ممکن است که این اختلاف، ریشه در عدم انجام اندازه گیریهای دقیق، کافی و مستمر در ایستگاه رسوب سنجی داشته باشد.

در مدل هیدروفیزیکی علی‌رغم اینکه مقدار رسوب برآورد شده توسط مدل، در مقایسه با نتایج مربوط به مدلهای EPM و MPSIAC به مقدار رسوب اندازه‌گیری شده نزدیک‌تر است، اما نمی‌توان تنها به این دلیل مدل هیدروفیزیکی را به عنوان مناسب‌ترین مدل در نظر گرفت. زیرا چنانچه مقادیر رسوب برآورد شده با مدل هیدروفیزیکی بدون تطبیق با آمار رسوب در نظر گرفته شود، در این صورت ملاحظه می‌شود که با توجه به جدول (5) مقدار رسوب برآورد شده توسط مدل بین حداقل 111805 تا حداکثر 1128428 تن در سال تغییر می‌کند. بدیهی است چنانچه مقدار بار کف با توجه به وضعیت زمین‌شناسی، اقلیم، توپوگرافی، خصوصیات هیدرولیکی آبراهه‌ها و رودخانه سرخاب و حمل رسوبات بیشتر از 20 درصد درنظر گرفته شود، در این‌صورت نیز نمی‌توان به صحت و درستی نتیجه حاصل از مدل اطمینان کافی داشت. به خصوص اینکه در این مدل نیز، نظرات کارشناس و در نتیجه مهارت و تجربه در تعیین عامل قابلیت فرسایش در نتیجه‌ای که به دست می‌آید بسیار مؤثر است.

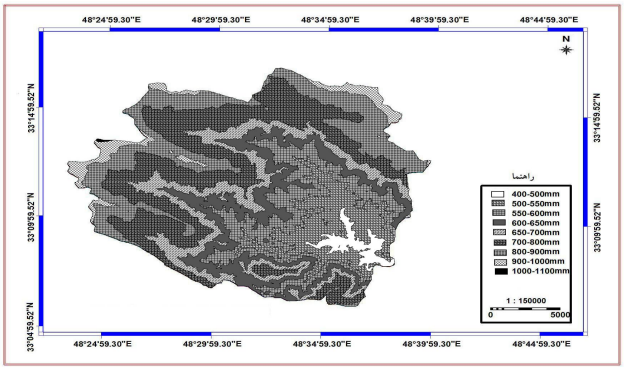
با شرح مطالب فوق آنچه که می‌تواند قابل ذکر باشد این است که بخش اعظم خطا و اشتباه در برآورد رسوب توسط مدلهای تجربی مربوط به عدم کالیبره شدن آن با خصوصیات حوزه‌های آبحیز می‌باشد. از این‌رو ضرورت دارد چنین مدلهایی قبل از بکارگیری در برنامه های کنترل فرسایش، آبخیزداری وکنترل رسوب کالیبره شوند. به طوری که تنها در این صورت است که می‌توان اقدام به واسنجی مدل نمود و صحت و دقت مدل را مورد ارزیابی قرار داد. بنابراین با توجه متفاوت بودن نتایج حاصل از پژوهشهای انجام شده، می‌توان نتیجه گرفت که آنچه که در زمینه ارزیابی مدلهای تجربی فرسایش و رسوب آنهم در قالب مطالعات موردی در زمینه معرفی مناسب ترین مدل انجام شده است نمی تواند به مفهوم تأیید استفاده از مدلها در طرحهای مهم اجرایی کشور باشد و در استفاده از آنها باید نهایت احتیاط را رعایت نمود.



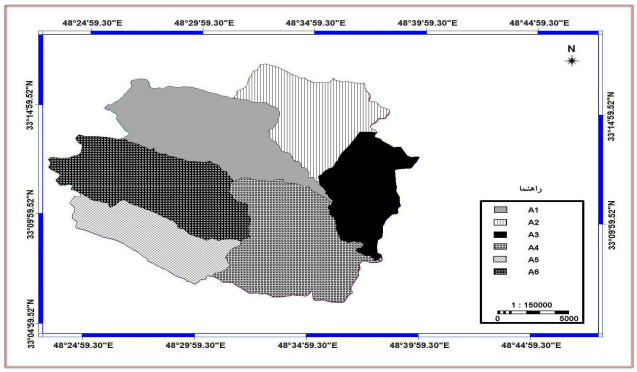
شکل 5- نقشه زمین‌شناسی حوزه آبخیز نوژیان



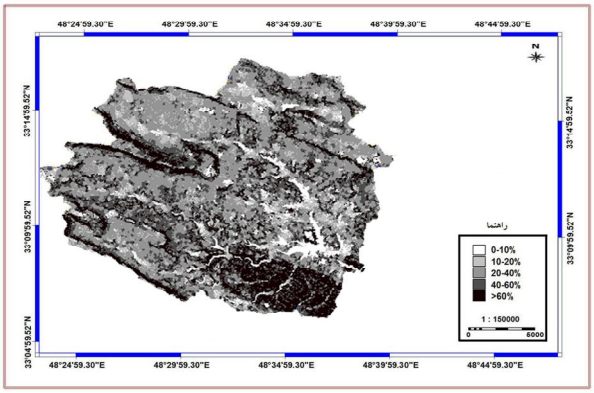
شکل 6- نقشه خاک‌شناسی حوزه آبخیز نوژیان



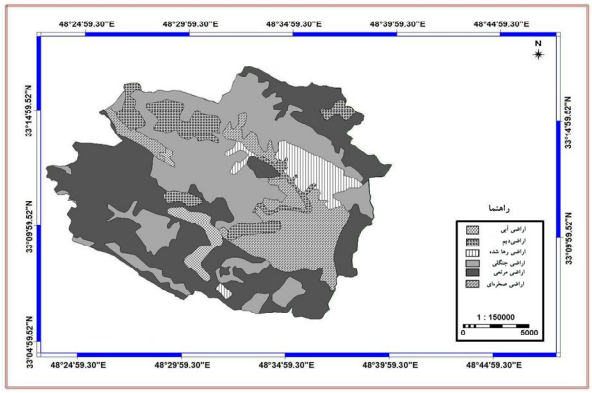
شکل 7- نقشه خطوط هم‌باران حوزه آبخیز نوژیان



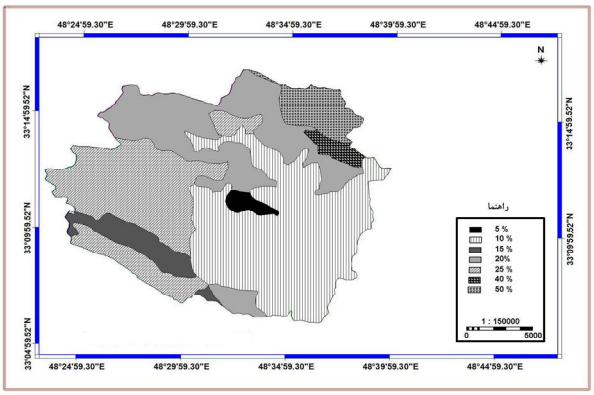
شکل 8- نقشه واحدهای هیدرولوژیک حوزه آبخیز نوژیان



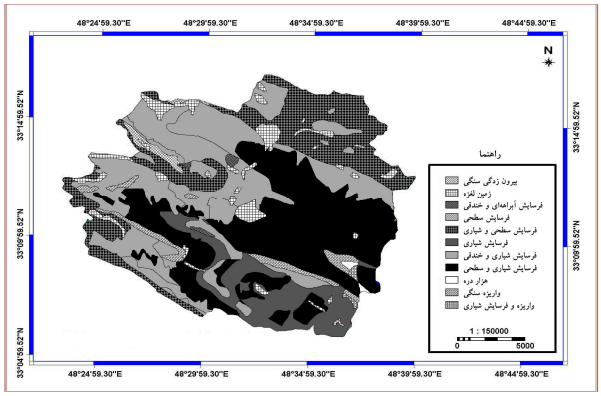
شکل 9- نقشه شیب حوزه آبخیز نوژیان



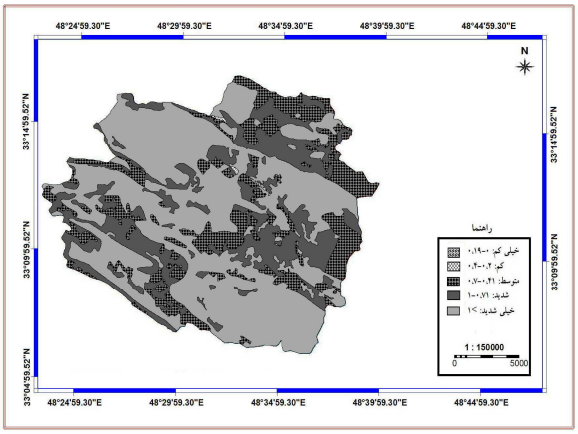
شکل 10- نقشه استفاده از اراضی حوزه آبخیز نوژیان



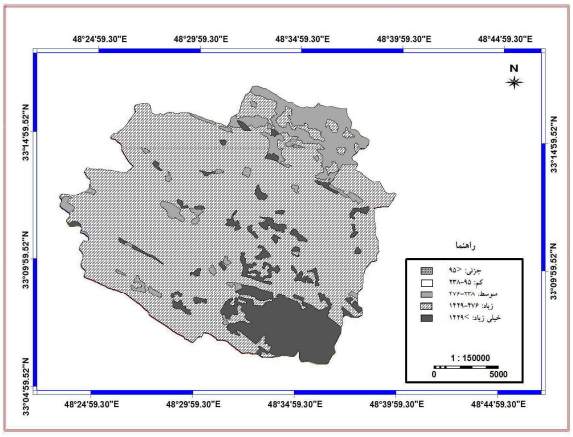
شکل 11- نقشه درصد پوشش گیاهی حوزه آبخیز



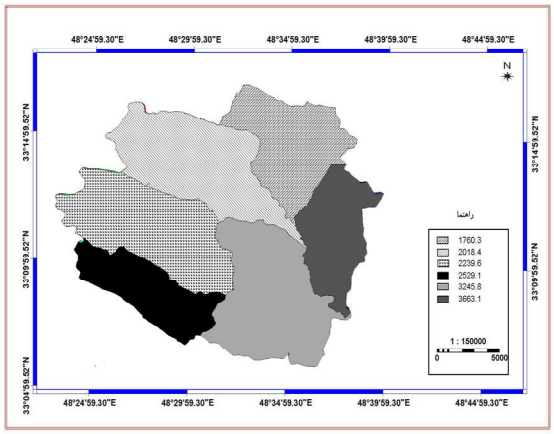
شکل 12- نقشه وضعیت فعلی فرسایش در حوزه آبخیز نوژیان



شکل 13- نقشه شدت فرسایش برآورد شده در حوزه آبخیز نوژیان با استفاده از مدل EPM



شکل 14- نقشه شدت فرسایش و رسوبدهی حوزه آبخیز نوژیان با استفاده از مدل MPSIAC



شکل 15- نقشه پتانسیل رسوبدهی حوزه آبخیز نوژیان با استفاده از مدل هیدروفیزیکی

فهرست منابع:

1. آقارضی، حشمت الله؛ قدوسی، جمال (1380). بررسی رابطه کاربری اراضی و شیب با فرسایش خاک و تولید رسوب، مجموعه مقالات همایش ملی مدیریت اراضی- فرسایش خاک و توسعه پایدار، اراک، بهمن، 1380، صفحه 369-362.
2. احمدی، حسن (1374). ژئومورفولوژی کاربردی، جلد اول (فرسایش آبی)، انتشارات دانشگاه تهران.
3. آرنوف، استان (1375). سیستمهای اطلاعات جغرافیایی، ترجمه سازمان نقشه برداری کشور.
4. اسدی، سید مجتبی (1374). بررسی کاربرد روش PSIAC در برآورد فرسایش و رسوب زیرحوزه B2 آبخیز سد زاینده‌رود اصفهان با بهره‌گیری از روش کیفی ژئومورفولوژی، (پایان‌نامه کارشناسی ارشد)، دانشگاه تهران.
5. اعظمی‌راد، محمود (1377). بررسی پتانسیل رسوبدهی در حوزه آبخیز سد کارده (با استفاده از روش هیدروفیزیکی)، (پایان‌نامه کارشناسی ارشد)، دانشگاه تهران.
6. باقرزاده کریمی، مسعود (1372). بررسی کارایی مدلهای برآورد فرسایش و رسوب و تکنیکهای سنجش از دور و GIS در مطالعات فرسایش خاک، (پایان‌نامه کارشناسی ارشد)، دانشگاه تربیت مدرس.
7. بیات، رضا (1378). بررسی کارایی مدلهای MPSIAC و EPM در برآورد فرسایش و رسوب حوزه آبخیز طالقان رودبه کمک GIS، (پایان‌نامه کارشناسی ارشد)، دانشگاه تهران.

8. پاک‌پرور، مجتبی (1374). ارزیابی روشهای PSIAC و EPM در برآورد رسوب و تعیین پراکنش فرسایش در قسمتی از حوزه سد لتیان، (پایان‌نامه کارشناسی ارشد)، دانشگاه تهران.
9. جزایری، بهمن؛ ماجدی، محمود (1361). بررسی پتانسیل رسوبدهی در مناطق مختلف حوزه آبریز با استفاده از یک مدل هیدرولوژیکی، گزارش ارائه شده در" سمینار علوم زمین" سازمان زمین شناسی کشور.
10. جعفری، محمد رضا (1381). برآورد کمی و کیفی فرسایش و رسوب حوزه آبخیز رودخانه چیخواب با استفاده از GIS. (پایان‌نامه کارشناسی ارشد)، دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی.
11. حکیم‌خانی، شاهرخ (1381). مروری بر مطالعات و پایان‌نامه‌های انجام شده بر روی مدل تجربیPSIAC در ایران و بررسی ایرادهای وارده بر آنها و تهیه دستورالعمل استفاده از آن، (سمینار دوره دکتری آبخیزداری)، دانشگاه تهران.
12. رزمجو، پیمان (1379). بررسی کارایی روش PSIAC در برآورد فرسایش و رسوب در سه حوزه آبخیز سدهای کرج، لار و لتیان، (پایان‌نامه کارشناسی ارشد)، دانشکده علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.
13. رفاهی، حسینقلی (1375). فرسایش آبی و کنترل آن، انتشارات دانشگاه تهران.
14. سرخوش، احمد (1375). بررسی کارایی مدل MUSLE در برآورد رسوب و مقایسه آن با مدل MPSIAC در حوزه آبخیز درکه، (پایان‌نامه کارشناسی ارشد)، دانشگاه تهران.
15. شیخ‌حسنی، حسین (1374). بررسی پتانسیل تولید رسوب در واحدهای فرسایشی حوزه آبخیز سد مخزنی طالقان، (پایان نامه کارشناسی ارشد)، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه تربیت مدرس.
16. صارمی، حسین (1374). بررسی پتانسیل فرسایش و رسوب حوزه مرکزی سد درودزن با استاده از مدلهای تجربی و ریاضی، (پایان نامه کارشناسی ارشد)، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم انسانی، دانشگاه آزاد نجف آباد.
17. طهماسبی‌پور، ناصر (1373). کاربرد و ارزیابی مدل جدید پسیاک (MPSIAC) برای تهیه نقشه فرسایش و رسوب در حوزه آبخیز جاجرود (لوارک) با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)، (پایان‌نامه کارشناسی ارشد)، دانشگاه تربیت مدرس.
18. فرجی، محمد (1373). بررسی رابطه شدت فرسایش و تولید رسوب با واحدهای ژئومورفولوژی (کیفی) و روشهای PSIAC و EPMدر حوزه بابا احمدی خوزستان، (پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته آبخیزداری)، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران.
19. فرهادی‌نژاد، طاهر؛ غیومیان، جعفر؛ شریعت رضوی، محسن (1381). ارزیابی خطر زمین لغزش در حوزه نوژیان (سرخاب). با استفاده از GIS، طرح تحقیقاتی مرکز تحقیقات منابع طبیعی و امور دام استان لرستان.
20. قادری چوکانلو، حسن (1377). برآورد میزان فرسایش و تخمین بار رسوب با استفاده از مدلهای تجربی در حوزه آبخیز قزلقان، (پایان‌نامه کارشناسی ارشد)، گروه جغرافیا، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی.
21. مسلمی کوپایی، عبدالحمید (1376). بررسی فرسایش و رسوب به روش EPM و روش ژئومورفولوژی در حوزه‌های آبخیز درکه و سولقان، (پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته آبخیزداری)، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران.
22. نپی لشکریان، سعید (1379). بررسی اثرات کاربری اراضی در فرسایش خاک و رسوبدهی حوزه آبخیز ماسوله رودخانه در گیلان، (پایان نامه کارشناسی ارشد)، دانشکده مرتع و آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.
23. نیکجو، محمدرضا (1374). ارزیابی کاربرد مدل PSIAC در برآورد فرسایش و رسوب حوزه آبخیز دریان‌چای، (پایان‌نامه کارشناسی ارشد)، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس.

24. Clark, K. B. (1999). An estimate of sediment yield for two small watershed in a Geographic Information System. M. Sc. Thesis, Geography, University of New Mexico.
25. Gavrilovic, Z. (1988). The use of an empirical method production and transportation in unstudied or torrential streams. Proceeding of International Conference on River Regime. 18-2 May 1988. Published by john Wiley and sons. Paper 12. P: 411-422.
26. Hadley, R. F (1984). 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, P. 1-14.
27. Johnson, C.W and Gebhardt, K. A (1982). 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, P. 145-146.

Comparing MPSIAC, Hydrophysical and EPM Models for Soil Erosion Rate and Sediment Yield Estimation Using GIS: (A Case Study in Nojian Watershed)

M. Davari, H. A. Bahrami, J. Ghoddousi, N. Tahmasebi Pour[6]

Abstract

Soil erosion can be considered as one of the most important obstacles in the way of sustainable development of agriculture and natural resources. The sediment from the erosion of watersheds, in addition to soil loss and decline in soil fertility, causes the reduction of water quality and endangers the effective life of reservoirs because of sedimentation. The Nojian watershed, located in Lorestan province, has physiographic and topographic features with specific geological formations that have a basic role in soil erosion and sediment yield pProcesses. Thus, to assess the results of empirical models, this watershed was selected as research area. In this investigation, the erosion and sediment yield of watershed was evaluated qualitatively and quantitatively by using MPSIAC (modified Pacific Southwest Inter-Agency Committee), EPM (Erosion Potential Method) and Hydrophysical models in the program of GIS. To run the selected model, after introducing the information layers into the GIS program and combining the layers in MPSIAC and EPM models, the given catchments were divided into 527 and 278 homogeneous units, respectively. Then, erosion rate and sediment yield were estimated in these homogeneous units. The amounts of sediment yield were estimated to be 1465348.1 and 489372.2 t/y by using MPSIAC and EPM models. For estimating sediment yield by Hydrophysical model, Nojian watershed was divided into 6 hydrological units based on method and amount of sediment that were estimated in these units. The amount of sediment estimated by using Hydrophysical model was 862470.1 t/y. For comparison of the models results, a figure of 81240 t/y, or the amount of sediment measured in hydrometric station was considered as the control level. The outcome of the research showed that estimating sediment by using EPM and MPSIAC models were 1.8 and 0.6 times those of measured amounts, respectively. On the other hand, estimating sediment yield by Hydrophysical model was more accurate as it was only 1.06 times the measured amounts. The results of the assessment on observed differences show that calibration of the empirical models is needed first to resolve the limitation of the models with regard to the existing conditions of the watersheds. Otherwise, the use of the models cannot yield accurate results.

Keywords: Water erosion; Erosion models, Sediment yield; Erosion Potential Method; Modified Pacific Southwest Inter-Agency Committee, Hydrophysical model.

1- PhD student, Tarbiat Modarres University; Assistant Professor, Tarbiat Modarres University; Research Assistant, Soil Conservation and Watershed Management Research Center; and Researcher, Lorestan University, respectively.