

مقایسه کارایی مدل‌های WEPP و EPM در برآورد فرسایش خاک و میزان رسوبدهی حوضه آبخیز سولاچای

موسی عابدینی* - دانشیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، گرایش ژئومورفولوژی
سوسن طولابی - کارشناس ارشد ژئومورفولوژی، دانشگاه محقق اردبیلی

پذیرش مقاله: ۱۳۹۲/۰۱/۲۰ تأیید نهایی: ۱۳۹۲/۰۵/۱۲

چکیده

خاک یکی از مهم‌ترین منابع طبیعی هر کشور است. امروزه فرسایش خاک به‌منزله یک خطر جدی برای بخش کشاورزی مطرح است و بررسی فرسایش خاک و کنترل آن، امری بسیار ضروری در حوضه‌های آبخیز به‌شمار می‌رود. ارزیابی کمی و کیفی فرسایش خاک با استفاده از مدل‌های برآورد فرسایش و رسوب، یکی از راهکارهایی است که از طریق آن می‌توان فرسایش خاک را تا حدودی کنترل و مقدار آن را به حداقل رساند. هدف از این پژوهش، ارزیابی کارایی مدل‌های WEPP و EPM در برآورد فرسایش و رسوب حوضه آبخیز سولاچای است. روش کار در مدل WEPP بدین شرح است. پس از آنکه فایل‌های مربوط به هریک از پارامترهای مدل ساخته شدند، وارد نرم‌افزار GeoWEPP می‌شوند، سپس مدل WEPP از طریق نرم‌افزار فوق به اجرا درمی‌آید و در نهایت مقدار رسوب محاسبه می‌شود. مقدار فرسایش ویژه نیز با استفاده از ضریب نسبت تحویل رسوب (SDR) برآورد می‌شود. در مدل EPM نیز، ابتدا نقشه ضرایب تهیه شده و سپس با توجه به این ضرایب، نقشه شدت فرسایش ترسیم می‌شود. در نهایت مقدار فرسایش و رسوب تولیدشده با توجه به معادلات ارائه شده به‌دست خواهد آمد. مقدار رسوب مشاهده‌ای نیز با استفاده از گرادیان دبی و رسوب محاسبه شده است. مدل WEPP دارای سه روش دامنه، حوضه آبخیز و مسیرهای جریان است. مقدار رسوب برآوردشده به‌وسیله هریک از روش‌های فوق، به ترتیب ۰/۲۱۳، ۰/۱۷۸ و ۰/۷۸۵ با مدل EPM، ۰/۳۳ و برای رسوب مشاهده‌ای، ۰/۲۴۱ تن در هکتار در سال محاسبه شد. بنابراین نتیجه می‌گیریم که مقدار رسوب برآوردشده با مدل WEPP، به مقدار رسوب مشاهده‌ای نزدیک‌تر بوده و این مدل از کارایی بالاتری نسبت به مدل EPM در برآورد فرسایش خاک و رسوب منطقه مورد مطالعه برخوردار است.

کلیدواژه‌ها: حوضه آبخیز سولاچای، فرسایش خاک، میزان رسوبدهی، EPM، WEPP، ArcGIS.

مقدمه

آب و خاک از مهم‌ترین منابع طبیعی هر کشور شمرده می‌شوند و نقش اساسی در توسعه اقتصادی و پیشرفت جوامع دارند. فرسایش خاک^۱ و در نتیجه تولید رسوب، عاملی است که این منابع با ارزش را تهدید می‌کنند.

فرسایش خاک، به فرایندی اطلاق می‌شود که طی آن، ذرات خاک از بستر اصلی خود جدا شده و به کمک عوامل مختلفی چون آب، باد، نیروی ثقل، یخچال و انسان به مکانی دیگر حمل می‌شوند (اسمعیلی و عبداللهی، ۱۳۹۰: ۶۵؛ ضیائی، ۱۳۸۰: ۱۷۴). به این ذرات حمل شده و تجمع یافته رسوب گفته می‌شود. فرسایش خاک به مرور زمان، سبب کاهش حاصلخیزی زمین‌های زراعی شده و از این طریق خسارت‌های زیادی به بار می‌آورد. تولید رسوب نیز که در نتیجه فرسایش خاک به وجود می‌آید، از طریق تجمع رسوب‌ها، سبب کاهش عمر مفید سدها و دیگر مخازن آب شده و همچنین ظرفیت آبخیز را می‌رساند. مقدار تولید رسوب بستگی به خصوصیات آب‌وهوایی، نوع خاک، وضعیت پوشش گیاهی، کاربری اراضی، شیب، وضعیت توپوگرافی و وسعت حوضه‌ها دارد.

آثار و علائم فرسایش در اکثر نقاط ایران به سهولت به چشم می‌خورد و اکثر زمین‌های حاصلخیز کشور در معرض خطر فرسایش قرار دارند و به تدریج حاصلخیزی خود را از دست می‌دهند. به گفته مدیر کل دفتر حفاظت خاک و کنترل فرسایش، فرسایش خاک در کشور ایران ۱۵ تن در هکتار و در اروپا یک چهارم ایران است که حدود ۱۲۵ میلیون هکتار از حوضه‌های آبخیز کشور تحت تأثیر فرسایش آبی و ۳۳ میلیون هکتار تحت تأثیر فرسایش بادی است. میزان کل فرسایش خاک در جهان ۲۶ میلیارد تن برآورد می‌شود و سهم ایران از آن، در حدود ۲ میلیارد تن است (قاسمی، ۱۳۸۹: ۳). رودخانه‌های کشور ما در مقایسه با رودخانه‌های جهان، رسوب بالایی را حمل می‌کنند. این امر نشان‌دهنده شدت فرسایش و تولید رسوب و وضعیت نامناسب منابع طبیعی است. در حوضه آبخیز سولاجای نیز، عواملی مانند: توسعه بی‌رویه اراضی دیم، شخم‌زنی غیراصولی (شخم در جهت شیب)، چرای بیش از حد دام، بهره‌برداری بیش از حد از خاک برای کشاورزی و ایجاد شبکه ارتباطی، سبب افزایش و تشدید فرسایش خاک شده است. به همین دلیل برآورد فرسایش خاک و میزان رسوب خروجی حوضه ضرورت دارد.

بررسی منابع نشان می‌دهد که در داخل کشور پژوهش‌هایی درباره برآورد فرسایش و رسوب با مدل‌های WEPP^۲ و EPM^۳ بدین شرح انجام گرفته است. احمدی و همکاران (۱۳۸۶) میزان فرسایش و رسوب حوضه آبخیز باراریه نیشابور را با سه روش موجود در مدل WEPP، یعنی روش‌های دامنه، حوضه آبخیز و مسیرهای جریان برآورد کردند و میزان رسوب برآوردشده با این سه روش، به ترتیب ۸/۲۵، ۴/۰۸ و ۱۴/۲۴ تن در هکتار در سال بوده است. مقدار رسوب مشاهده‌ای ۱۱/۲ تن در هکتار در سال محاسبه شده بود، بنابراین به این نتیجه رسیدند که دو روش دامنه و مسیرهای

1. Soil Erosion

2. Water Erosion Prediction Project (به معنی پروژه پیش‌بینی فرسایش آبی)

3. Erosion Potential Method (به معنی مدل پتانسیل فرسایش)

جریان، به عدد رسوب مشاهده‌ای نزدیک‌تر بوده و روش‌هایی مناسب برای برآورد فرسایش و رسوب منطقه مورد مطالعه هستند. صادق‌زاده ریحان (۱۳۸۹)، فرسایش و رسوب اراضی ماری منطقه خواجه تبریز را با استفاده از مدل WEPP شبیه‌سازی کردند و به این نتیجه رسیدند که این مدل برای برآورد فرسایش و رسوب در منطقه مورد مطالعه مناسب است. صادق‌لو و همکاران (۱۳۹۰) با استفاده از مدل WEPP و نرم‌افزار GIS فرسایش و رسوب حوضه صوفی‌چای مراغه را ارزیابی و پهنه‌بندی کردند. محسنی و همکاران (۱۳۹۰) میزان دقت و کارایی مدل‌های EPM، MPSIAC، ژئومورفولوژی و هیدروفیزیکی را در برآورد فرسایش و رسوب حوضه کسلیان استان مازندران مورد ارزیابی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که مدل ژئومورفولوژی نسبت به سه مدل دیگر، مناسب‌ترین مدل با دقت و کارایی قابل ملاحظه است. عابدینی و همکاران (۱۳۹۲) میزان فرسایش و رسوب حوضه آبخیز مشکین‌چای اردبیل را با روش EPM برآورد کردند. نتایج حاصل از پژوهش آنها نشان‌دهنده فرسایش خیلی شدید در منطقه مورد مطالعه بود. طولابی (۱۳۹۲) فرسایش و رسوب حوضه آبخیز سولاچای اردبیل را با مدل‌های WEPP و EPM و روش GIS مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که مدل WEPP از کارایی بالاتری نسبت به مدل EPM در برآورد فرسایش و رسوب منطقه مورد مطالعه برخوردار است.

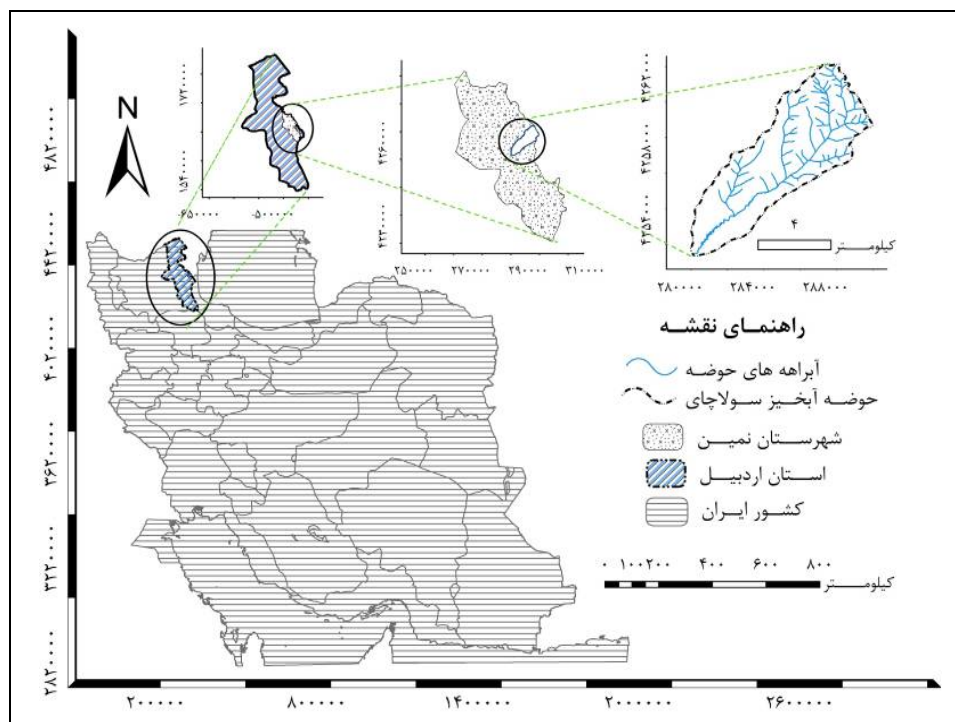
محققان و نویسندگان خارجی نیز پژوهش‌هایی را در ارتباط با برآورد فرسایش و رسوب با مدل‌های فوق انجام داده‌اند، از جمله: فانتی و وزولی^۱ (۲۰۰۷) برای محاسبه پتانسیل رسوب ورودی به دو دلتای برجیا و جورجیو^۲ در ایتالیا، از روابط تجربی عددی و مدل EPM استفاده کردند. نتایج پژوهش بیانگر دقیق بودن و برتری داشتن مدل EPM نسبت به روابط تجربی عددی در مناطق مورد مطالعه بود. پاندئی و همکاران^۳ (۲۰۰۸) از مدل WEPP برای بررسی فرسایش و رسوب حوضه‌هایی در هند استفاده کردند. نتایج نشان داد که رسوب برآوردشده با مقادیر ارائه‌شده به‌وسیله مدل، دارای همبستگی بسیار بالایی است. میلوسکی^۴ (۲۰۰۸) خطر فرسایش خاک حوضه آبخیز برجالنیکا^۵، در جمهوری مقدونیه را با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، روش EPM و ابزار GIS مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که GIS ابزاری ارزشمند برای پیش‌بینی و برآورد خطر احتمالی فرسایش خاک است. شن و همکاران^۵ (۲۰۰۹) میزان فرسایش خاک حوضه آبخیز ژانگ‌جیاچونگ را با دو مدل WEPP و SWAT مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که مدل WEPP نسبت به مدل SWAT نتایج بهتری از برآورد فرسایش خاک به‌دست می‌دهد. تازیولی^۶ (۲۰۰۹) از مدل EPM برای برآورد رسوب در یک حوضه آبخیز استفاده کرد. نتایج حاصل از پژوهش بیانگر مناسب بودن مدل برای منطقه مورد مطالعه بود. سینگ و همکاران^۷ (۲۰۱۱) مقدار رسوب و رواناب یک حوضه آبخیز در هیمالیای شرقی هند را با استفاده از مدل WEPP شبیه‌سازی کردند. نتایج نشان داد که مدل WEPP می‌تواند برای توسعه‌دادن شیوه‌های مدیریتی در

1. Fantti & Vezzoli
 2. Breggia & Greggio
 3. Pandey et al.
 4. Milevski
 5. Shen et al.
 6. Tazioli
 7. Singh et al.

شرایط بارندگی زیاد و شیب زیاد در هیمالیای شرقی مورد استفاده قرار گیرد. باقرزاده و منصوری دانشور (۲۰۱۱) میزان رسوب را با استفاده از مدل‌های EPM و PSIAC و روش GIS در مناطق نیمه‌خشک مورد بررسی قرار دادند. دفرشا و همکاران^۱ (۲۰۱۲) به بررسی پتانسیل رسوب و جریان رواناب حوضه رودخانه مارا (واقع در کنیا) با مدل‌های WEPP و EROSION 3D پرداختند. بنابراین با توجه به پژوهش‌های انجام گرفته فوق می‌توان بیان کرد که در بیش از ۹۰ درصد موارد، مدل EPM از کارایی به نسبت پایینی در برآورد فرسایش و رسوب حوضه‌های آبخیز برخوردار بوده و اما مدل WEPP، دارای توانایی بالایی در برآورد رسوب تولید شده و شبیه‌سازی آن است.

معرفی منطقه مورد مطالعه

حوضه آبخیز سولاچای، با مساحت ۴۳/۸۵ کیلومتر مربع در استان اردبیل، شرق شهرستان نمین و در بالادست روستای سولا واقع شده است. این حوضه در بین طول‌های جغرافیایی ۴۸ درجه و ۲۹ دقیقه و ۵ ثانیه تا ۴۸ درجه و ۳۳ دقیقه و ۴۷ ثانیه شرقی و عرض‌های جغرافیایی ۳۸ درجه و ۲۳ دقیقه و ۱۴ ثانیه تا ۳۸ درجه و ۴۱ دقیقه و ۴۳ ثانیه شمالی قرار گرفته و نقطه خروجی آن منتهی به ایستگاه هیدرومتری سولا است. متوسط ارتفاع حوضه ۱۵۴۹/۶۳ متر از سطح دریای آزاد است. شیب متوسط حوضه، ۱۴/۹۱ درصد است. میانگین بارندگی و درجه حرارت سالانه در آن به ترتیب ۳۳۷/۷۸ میلی‌متر و ۸/۴۲ درجه سانتی‌گراد است. شکل ۱، نقشه موقعیت حوضه آبخیز سولاچای را در شهرستان نمین، استان اردبیل و کشور ایران نشان می‌دهد.



شکل ۱. نقشه موقعیت جغرافیایی حوضه آبخیز سولاچای

مواد و روش‌ها

هدف اصلی این پژوهش، ارزیابی کارایی مدل‌های WEPP و EPM در برآورد فرسایش و رسوب حوضه آبخیز سولاچای است، به‌همین دلیل با توجه به ماهیت موضوع پژوهش، روش آن به‌صورت مورفومتری و کارهای میدانی، تجربی و آزمایشگاهی است و برای انجام آن چهار مرحله زیر انجام گرفت:

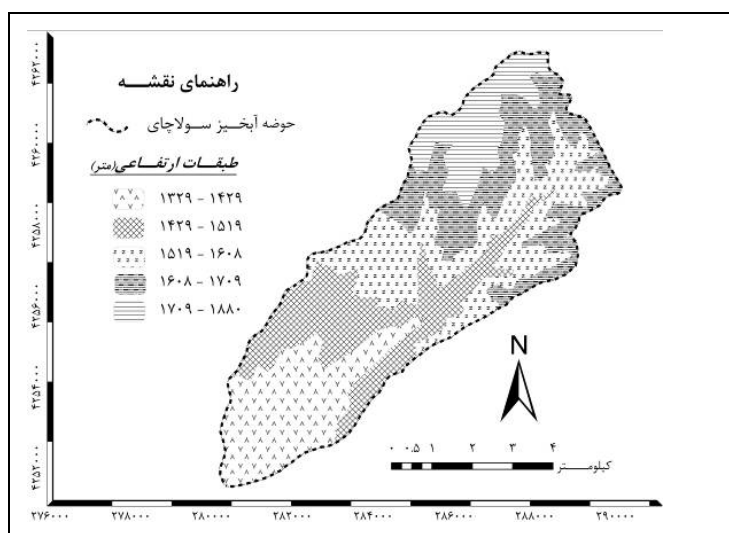
۱. جمع‌آوری و بررسی کتاب‌ها، پایان‌نامه‌ها، مقاله‌ها و هرگونه مطلب مرتبط با موضوع پژوهش؛
۲. مشاهده‌ها و بررسی‌های میدانی، نمونه‌برداری‌ها، اندازه‌گیری‌ها و کارهای آزمایشگاهی؛
۳. انجام محاسبات، پردازش، تجزیه و تحلیل داده‌ها در رایانه؛
۴. ارائه گزارش نهایی پژوهش.

روش اجرای مدل WEPP به این صورت بود که بعد از گردآوری و آماده‌سازی نقشه‌ها و اطلاعات و همچنین کارهای صحرائی مورد نیاز برای اجرای مدل، در مرحله اول اقدام به ایجاد فایل‌های مورد نیاز مدل شد. سپس این فایل‌ها وارد نرم‌افزار GeoWEPP شده و مدل WEPP از طریق این نرم‌افزار اجرا شد. در نهایت مقدار رسوب تولیدشده به‌دست آمد. مقدار فرسایش نیز از طریق ضریب نسبت تحویل رسوب (SDR)^۱ برآورد شد. روش اجرای مدل EPM نیز این‌گونه انجام گرفت که بعد از گردآوری نقشه‌ها و اطلاعات و همچنین کارهای صحرائی مورد نیاز برای اجرای مدل، در مرحله اول به تعیین ضرایب مدل و تهیه نقشه آنها با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS اقدام شد. سپس نقشه ضرایب در معادله مربوط به شدت فرسایش جای‌گذاری و در نتیجه، نقشه شدت فرسایش تهیه و از نظر کیفی طبقه‌بندی شد. در مرحله بعد متوسط فرسایش ویژه، دبی رسوب ویژه و رسوب کل با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS و نقشه شدت فرسایش منطقه مورد مطالعه محاسبه شد.

مواد و ابزار مورد نیاز که در جریان پژوهش مورد استفاده قرار گرفت، عبارتند از:

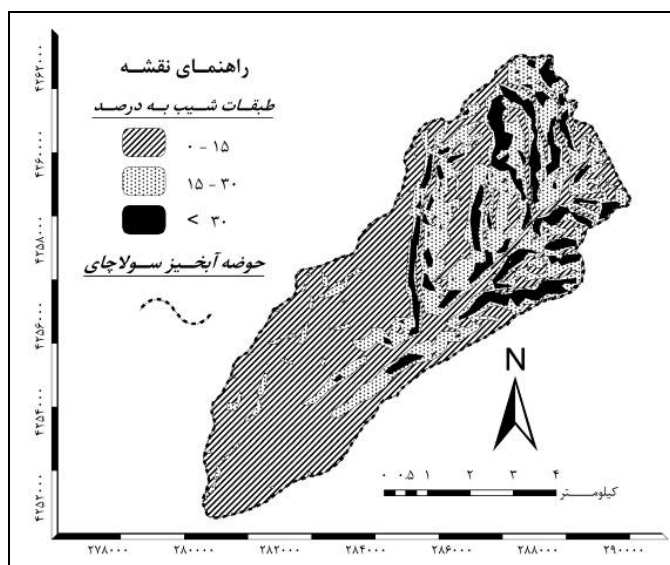
۱. نقشه توپوگرافی منطقه اردبیل (شیت ۱) و منطقه حیران با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ برای مشخص کردن مرز محدوده مورد مطالعه، تهیه نقشه‌های موضوعی، نقشه مدل رقومی ارتفاع، نقشه شیب و نقشه جهت شیب؛
۲. نقشه زمین‌شناسی منطقه اردبیل و منطقه آستارا با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، برای تهیه نقشه سازندهای حوضه و تعیین ضریب حساسیت سنگ و خاک به فرسایش در مدل EPM؛
۳. نقشه واحدهای ارضی استان اردبیل با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰، برای تعیین وضعیت خاک‌شناسی حوضه و همچنین ضریب حساسیت سنگ و خاک به فرسایش در مدل EPM؛
۴. داده‌های هیدرولوژی سازمان آب منطقه‌ای شهرستان اردبیل؛
۵. داده‌های اقلیمی اداره هواشناسی و سازمان آب منطقه‌ای شهرستان اردبیل (طی یک دوره آماری ده‌ساله: از سال ۱۳۷۸ تا ۱۳۸۸)؛
۶. نرم‌افزار ArcGIS برای رقومی‌سازی نقشه‌های استفاده‌شده و ارتباط با نرم‌افزار GeoWEPP

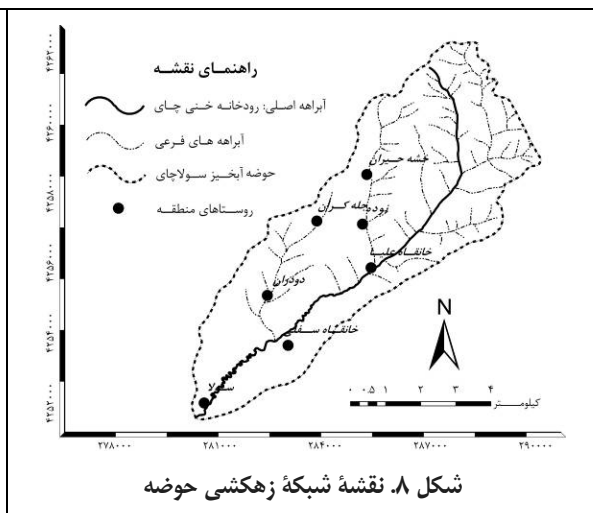
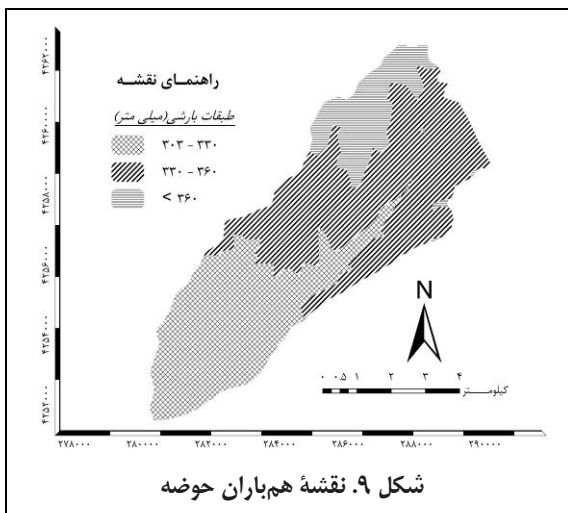
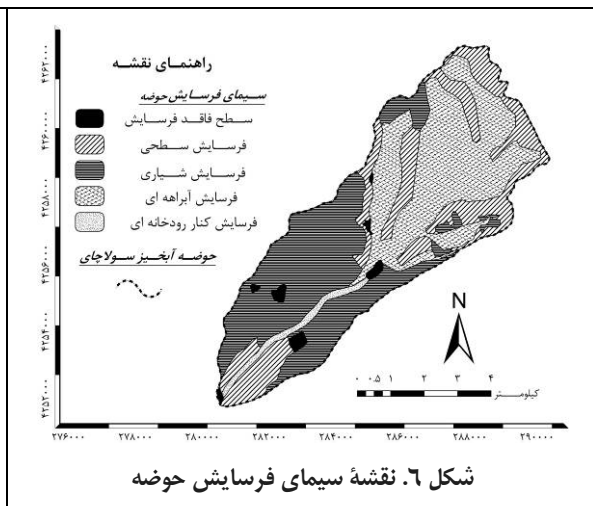
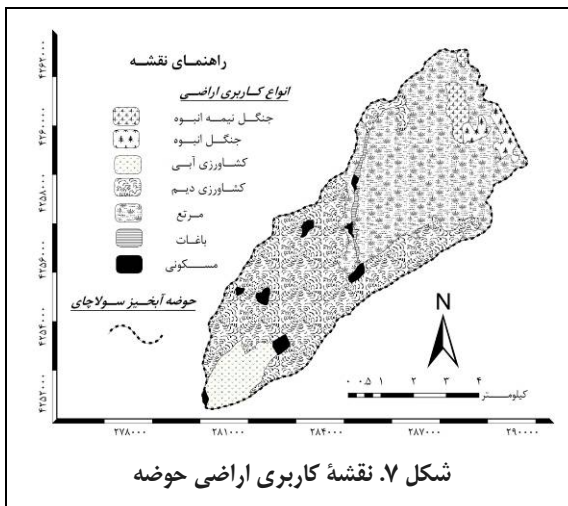
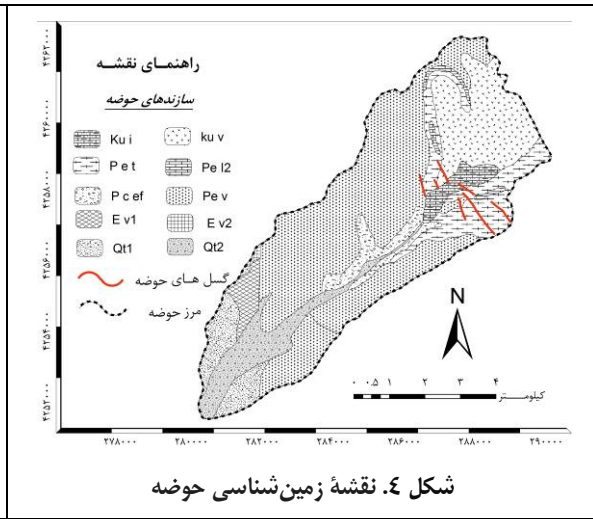
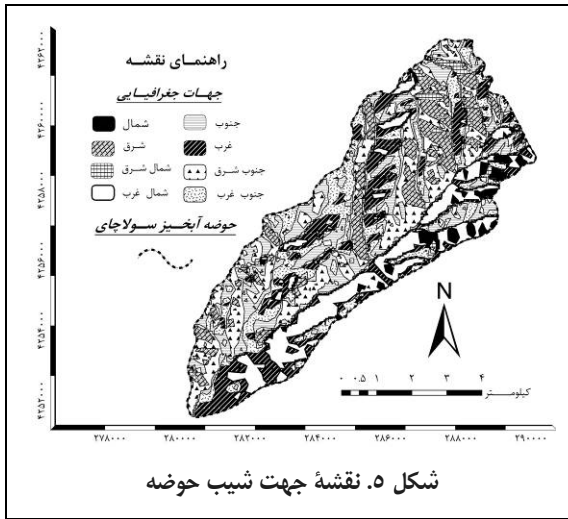
۷. نرم‌افزار GeoWEPP برای ساختن فایل‌های مورد نیاز مدل WEPP و ارتباط با نرم‌افزار ArcGIS؛
 ۸. نرم‌افزار Cligen برای ایجاد فایل اقلیم؛
 ۹. نرم‌افزار Excel و SPSS برای انجام تحلیل‌های آماری؛
 ۱۰. نرم‌افزار Google Earth، برای تهیه نقشه‌های سیمای فرسایش و کاربری اراضی منطقه؛
 ۱۱. دستگاه GPS، برای مشخص کردن موقعیت دقیق خروجی حوضه، کنترل مختصات قسمت‌های مختلف حوضه و ثبت نقاط نمونه‌برداری خاک؛
 ۱۲. مدل‌های WEPP و EPM برای برآورد فرسایش و رسوب منطقه مورد مطالعه.
- شکل‌های ۲ تا ۱۱، انواع نقشه‌های پایه تهیه‌شده برای برآورد فرسایش و رسوب با دو مدل WEPP و EPM در منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهند.

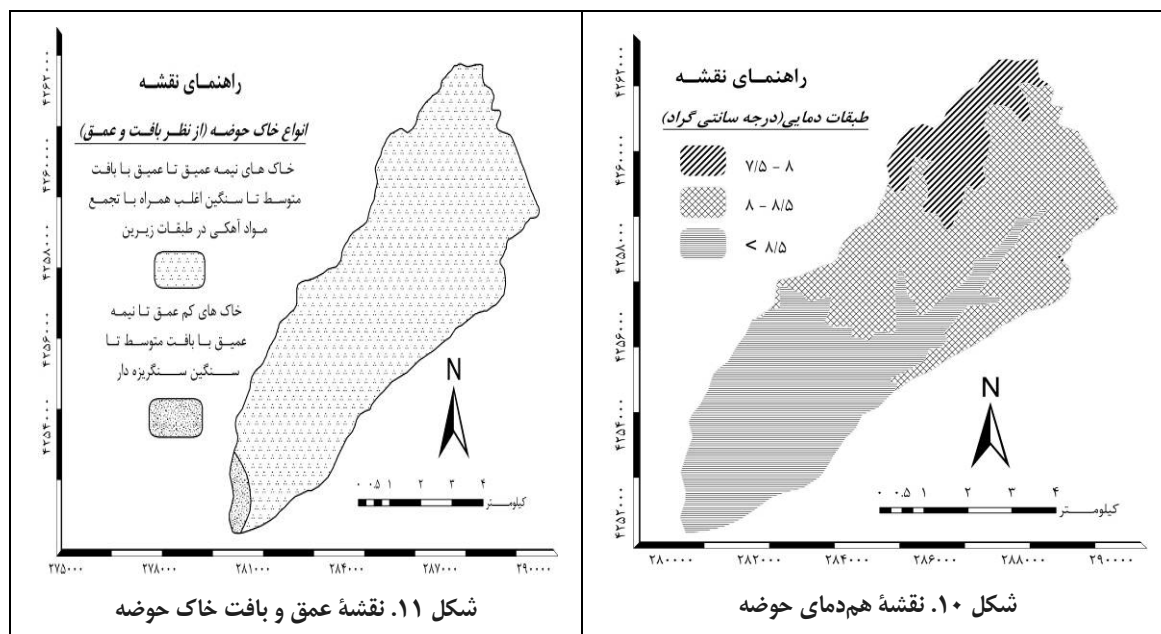


شکل ۲. نقشه طبقات ارتفاعی حوضه

شکل ۳. نقشه شیب حوضه







* راهنمای نقشه زمین‌شناسی حوضه:

KUI: سنگ آهک کریستالیزه و سنگ آهک‌های مارنی نازک لایه

Pecf: کنگلومرای پلی‌ژئیک (سازند فجن)

PeI2: سنگ آهک

Ev2: اولیوین بازالت

Qt2: مخروط‌افکنه‌ها و پادگانه‌های آبرفتی جوان (نهبشته‌های دشت)

Ev1: گدازه‌های برشی، برش‌های ولکانیکی عمدتاً با قطعات پیروکسن آندزیت و بازالت و کمتر گدازه‌های جریان پیروکسن آندزیت

منبع: سازمان زمین‌شناسی کشور، نقشه زمین‌شناسی منطقه اردبیل و منطقه آستارا در مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰

یافته‌های پژوهش

برآورد فرسایش و رسوب با استفاده از مدل WEPP

مدل WEPP^۱، روش نوینی پیش‌بینی فرسایش است که سازمان حفاظت خاک آمریکا آن را برای نخستین بار در سال ۱۹۸۵ پایه‌گذاری کرده است (رفاهی، ۱۳۸۸: ۳۵۳). این مدل قابلیت برآورد رسوب با سه روش حوضه آبخیز، دامنه و مسیرهای جریان را دارد. عوامل مورد نیاز مدل WEPP که در قالب فایل‌های کامپیوتری وارد نرم‌افزار GeoWEPP می‌شوند، عبارتند از: توپوگرافی، خاک، اقلیم، مدیریت و آبراهه. برای عامل توپوگرافی، دو عامل شیب و جهت شیب را مدنظر قرار داده و برای ورود اطلاعات آنها به داخل مدل، از نرم‌افزار GeoWEPP استفاده شد. عامل شیب در دو فایل وارد شد: یکی در فایل شیب (اندازه شیب دامنه) و دیگری فایل آبراهه (مقدار شیب آبراهه). اطلاعات شیب به وسیله نقشه مدل رقومی ارتفاع (به فرمت GISASCII) و به صورت پروفیل طولی وارد نرم‌افزار شد. بنابراین برای این کار، ابتدا مسیر آبراهه‌ها مشخص شد، سپس مقطع مناسبی برای هر دامنه روی نقشه توپوگرافی انتخاب و بعد از آن، به کمک نرم‌افزار

1. Water Erosion Prediction Project (به معنی پروژه پیش‌بینی فرسایش آبی)

ArcGIS اقدام به رسم پروفیل مربوطه شده است. در نهایت، اعداد به دست آمده وارد جدول موجود در فایل شیب شد. برای عامل خاک مواردی چون: درصد رس، درصد ماسه، درصد سنگریزه، درصد مواد آلی، ظرفیت تبادل کاتیونی، بافت خاک، جریان هیدرولیکی مؤثر، تنش برشی بحرانی، فرسایش پذیری شیاری، فرسایش پذیری بین شیاری، درصد سطح اشباع اولیه و درصد آلیبدو در نمونه‌ها مورد بررسی قرار گرفته است. جداول ۱ و ۲، به ترتیب نتایج آزمایش‌های انجام شده و عوامل محاسبه شده برای فایل خاک در حوضه آبخیز سولاچای را نشان می‌دهند.

جدول ۱. نتایج آزمایش‌های انجام شده برای فایل خاک در حوضه آبخیز سولاچای

| زیر حوضه‌ها | عمق افق خاک (میلی متر) | ماسه (%) | رس (%) | مواد آلی (%) | ظرفیت تبادل کاتیونی (میلی‌اکی‌والان در ۱۰۰ گرم خاک) | سنگریزه (%) |
|-------------|---------------------------|-------------|-----------|-----------------|--|----------------|
| ۱ | ۳۰۰ | ۴۴ | ۳۶.۳۰ | ۱ | ۳۶.۹۰ | ۱ |
| | ۵۰۰ | ۴۵.۲۶ | ۳۷.۸۹ | ۰.۹ | ۳۶.۷۹ | ۱.۳ |
| ۲ | ۳۵۰ | ۵۵.۸۰ | ۲۱.۳۱ | ۰.۹ | ۳۷.۹۴ | ۱ |
| | ۵۲۰ | ۵۷.۱۰ | ۲۲.۱۵ | ۰.۷ | ۳۷.۸۵ | ۱.۲ |
| | ۶۳۰ | ۵۹.۰۸ | ۲۳.۶۹ | ۰.۵۳ | ۳۷.۷۱ | ۱.۴ |
| ۳ | ۲۰۰ | ۴۹.۷۵ | ۳۸.۴۵ | ۰.۶ | ۲۴ | ۱ |
| | ۳۰۰ | ۵۱.۹۵ | ۳۹.۶۹ | ۰.۴۳ | ۲۳.۹۱ | ۱.۱ |
| ۴ | ۴۰۰ | ۴۲.۳۲ | ۱۰.۵۰ | ۰.۳ | ۱۵.۹۲ | ۱ |
| | ۶۰۰ | ۴۳.۵۵ | ۱۱.۴۹ | ۰.۱۶ | ۱۵.۶۵ | ۱.۲ |
| ۵ | ۱۵۰ | ۱۱.۲۴ | ۸۵.۲۰ | ۰.۱ | ۵۶.۳۰ | ۱.۵ |
| | ۲۰۰ | ۱۲.۹۱ | ۵۹.۴۷ | ۰.۰۳ | ۵۶.۱۹ | ۲.۴ |
| ۶ | ۲۰۰ | ۵۲.۰۷ | ۳۴/۲۳ | ۱ | ۲۷.۲۸ | ۱.۵ |

جدول ۲. نتایج عوامل محاسبه شده برای فایل خاک در حوضه آبخیز سولاچای

| زیر حوضه‌ها | F | E | D | C | B | A | بافت |
|-------------|------|------|---------|---------|------|-----|-------------|
| ۱ | ۰.۷۳ | ۴ | ۷۵۹۰۰۵۱ | ۰.۰۰۲۱ | ۳.۶ | ۰.۵ | رسی شنی |
| ۲ | ۰.۴۳ | ۵.۷ | ۵۱۶۷۶۷۰ | ۰.۰۰۳۵ | ۳.۴ | ۰.۵ | لوم رسی شنی |
| ۳ | ۰.۳۵ | ۳.۴۱ | ۷۰۰۰۳۰۴ | ۰.۰۰۲۱ | ۳.۹ | ۰.۸ | رسی شنی |
| ۴ | ۰.۱۳ | ۳.۴۶ | ۹۸۳۵۷۰۰ | ۰.۰۰۱۷ | ۱.۰۹ | ۱.۲ | لومی |
| ۵ | ۰.۰۲ | ۵.۸۲ | ۲۷۷۵۴۱۸ | ۰.۰۰۰۸ | ۳.۵ | ۰ | رسی |
| ۶ | ۰.۸۱ | ۹.۸۹ | ۴۵۶۰۶۳۴ | ۰.۰۰۰۱۲ | ۴.۳ | ۰.۷ | لوم رسی شنی |

A: جریان هیدرولیکی مؤثر (mm/hr)

B: تنش برشی بحرانی (n/m^2)

C: فرسایش پذیری شیاری (s/m)

D: فرسایش پذیری بین شیاری برحسب کیلوگرم در ثانیه در متر به توان ۴

E: سطح اشباع اولیه برحسب درصد

F: آلیبدو برحسب درصد

از آنجا که منطقه فاقد ایستگاه هواشناسی بود، اطلاعات مربوط به فایل اقلیم از ایستگاه تبخیرسنجی و باران‌سنجی نمین - که به لحاظ توپوگرافی و موقعیت جغرافیایی نزدیک‌ترین ایستگاه به منطقه بود - با طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۲۸ دقیقه و ۳ ثانیه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۸ درجه و ۲۴ دقیقه و ۵۱ ثانیه شمالی و ارتفاع متوسط ۱۴۰۵ متر از سطح دریا، به دست آمد. شاخص‌های مورد نیاز برای فایل اقلیم عبارتند از: متوسط بارندگی ماهانه، انحراف معیار بارندگی، ضریب چولگی بارندگی، احتمال یک روز مرطوب بعد از یک روز مرطوب، احتمال یک روز مرطوب بعد از یک روز خشک، میانگین دمای حداقل، انحراف معیار دمای حداقل، میانگین دمای حداکثر و انحراف معیار دمای حداکثر. جدول ۳، نتایج حاصل از محاسبات پارامترهای اقلیمی مورد نیاز برای فایل اقلیم در حوضه آبخیز سولاچای را نشان می‌دهد.

جدول ۳. نتایج عوامل محاسبه‌شده برای فایل اقلیم در حوضه آبخیز سولاچای طی یک دوره آماری ده‌ساله (۱۳۷۸ تا ۱۳۸۸)

| پارامترها | ژانویه | فوریه | مارس | آوریل | می | ژوئن | جولای | اگوست | سپتامبر | اکتبر | نوامبر | دسامبر |
|-----------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|---------|-------|--------|--------|
| A | ۰.۹۳ | ۰.۸۵ | ۱.۲۴ | ۱.۶۶ | ۱.۴۴ | ۰.۴۲ | ۰.۳۹ | ۰.۱۷ | ۰.۴۹ | ۱.۰۸ | ۱.۲۳ | ۰.۹۵ |
| B | ۰.۷۴ | ۰.۴ | ۰.۷۹ | ۰.۷۶ | ۰.۹۶ | ۰.۳۶ | ۰.۵۲ | ۰.۱ | ۰.۵۲ | ۰.۹۸ | ۰.۶۹ | ۰.۵۴ |
| C | ۰.۹۶ | ۰.۳۱ | ۱.۲۵ | ۰.۶۹ | ۱.۱۸ | ۱.۲ | ۱.۶۹ | ۰.۰۷۵ | ۱.۳ | ۰.۷۱ | ۰.۱۵ | ۰.۵۲ |
| D | ۰.۳ | ۰.۲۲ | ۰.۴۲ | ۰.۵۴ | ۰.۴۹ | ۰.۲۳ | ۰.۲۴ | ۰.۳۳ | ۰.۲۳ | ۰.۴۳ | ۰.۳۵ | ۰.۳۶ |
| E | ۰.۱۵ | ۰.۲۱ | ۰.۲ | ۰.۲۹ | ۰.۲۳ | ۰.۱۱ | ۰.۱ | ۰.۰۶ | ۰.۱۴ | ۰.۱۷ | ۰.۱۸ | ۰.۱۷ |
| F | ۲۲.۰۱ | ۲۳.۶۸ | ۳۰.۳۲ | ۳۵.۹ | ۴۲.۹ | ۴۸.۵ | ۵۴.۵۳ | ۵۶.۴۶ | ۵۳.۴۷ | ۴۷.۷۳ | ۳۷.۲۵ | ۲۷.۸۹ |
| G | ۶.۸۲ | ۴.۷۳ | ۳.۷۷ | ۳.۷۳ | ۲.۳۳ | ۱.۳ | ۱.۴ | ۱.۴۹ | ۱.۸۴ | ۲.۶۳ | ۲.۵۵ | ۴.۶۷ |
| H | ۴۱.۸۴ | ۴۳.۸۴ | ۵۲.۲۶ | ۵۹.۰۱ | ۶۵.۷۳ | ۷۲.۷۵ | ۷۵.۱۴ | ۷۸.۲ | ۷۴.۵۷ | ۶۹.۷۱ | ۵۸.۱۹ | ۴۷.۲۸ |
| Q | ۵.۷ | ۴.۰۸ | ۵.۳۵ | ۵.۲۸ | ۳.۴۶ | ۲.۷۱ | ۲.۲۸ | ۲.۴۲ | ۱.۷۵ | ۳.۸۴ | ۳.۹۹ | ۶.۳۳ |

A: متوسط بارندگی ماهانه به اینچ

F: میانگین دمای حداقل (فارنهایت)

B: انحراف معیار بارندگی (ماهانه)

G: انحراف معیار دمای حداقل

C: ضریب چولگی بارندگی (ماهانه)

H: میانگین دمای حداکثر (فارنهایت)

D: احتمال یک روز مرطوب بعد از یک روز مرطوب

Q: انحراف معیار دمای حداکثر

E: احتمال یک روز مرطوب بعد از یک روز خشک

فایل مدیریت و پوشش گیاهی نیز، شامل مجموعه‌ای از شیوه‌های مدیریتی و خصوصیات گیاه و روش‌های خاک‌ورزی مورد استفاده در منطقه است. برای ساختن این فایل، اطلاعات مربوط به سه پنجره مدیریت و اعمال انجام‌شده روی زمین، شرایط ابتدایی و خصوصیات فیزیولوژیکی و فنولوژیکی گیاهان غالب تکمیل شد. اعمال انجام‌شده روی زمین شامل مواردی چون، کشت روی خطوط تراز، چرا، زهکشی، آبیاری، کاربرد علف‌کش‌ها، افزایش بقایای گیاهی، برداشتن بقایای گیاهی و سوزاندن است که اطلاعات مربوط به هر یک از این کارها و زمان انجام آنها، در پنجره مربوط به آن وارد شد. منظور از شرایط ابتدایی، وضعیت پارامترهای ورودی در اول ژانویه است که برخی از این اطلاعات

عبارتند از: تراکم حجمی خاک خشک، تاج پوشش، جمع بارندگی، جرم کل ریشه مرده. خصوصیات فیزیولوژیکی و فنولوژیکی گیاهان غالب نیز شامل مواردی چون، ضریب تاج پوشش، ضریب ارتفاع تاج پوشش، نسبت انرژی به بیوماس، قطر ساقه گیاه در بلوغ و بردباری گیاه به خشکی است. فایل آبراهه شامل اطلاعاتی چون، خاک آبراهه، شیب آبراهه، مدیریت آبراهه و نوع آبراهه است. سه بخش اول همانند قبل عمل شد و برای تعیین نوع آبراهه، یک سری اطلاعات شامل شکل آبراهه، شیب اصطکاک، نوع بخش کنترلی در خروجی آبراهه (در صورت وجود)، شیب کناره در پنجره مربوط به آن وارد شد. پس از تهیه و ورود اطلاعات فایل‌های فوق در نرم‌افزار، شبکه آبراهه‌ها و دامنه‌های منتهی به هر آبراهه به وسیله نرم‌افزار GEOWEPP تهیه شدند و مدل WEPP از طریق نرم‌افزار GEOWEPP اجرا شد. در نهایت مقدار رسوب به دست آمد.

مدل WEPP، فرسایش را به صورت کمی برآورد نمی‌کند، اما ضریب نسبت تحویل رسوب (SDR) را با توجه به ویژگی‌های خاک و هیدرولیک رسوب حوضه، محاسبه می‌کند. بنابراین فرسایش ویژه و کل، از روی ضریب SDR شدند که برای روش‌های حوضه آبخیز، مسیرهای جریان و دامنه به ترتیب ۰/۷۷۳، ۰/۷۷۸ و ۰/۸۳۹ به دست آمد. با تقسیم این مقادیر بر رسوب ویژه، فرسایش ویژه برآورد شد. فرسایش کل نیز با توجه به فرسایش ویژه و مساحت منطقه مورد مطالعه به دست آمد. جدول ۴ نتایج حاصل از برآورد فرسایش و رسوب حوضه آبخیز سولاچای با مدل WEPP را نشان می‌دهد.

جدول ۴. نتایج حاصل از برآورد فرسایش و رسوب حوضه آبخیز سولاچای با مدل WEPP

| روش‌های موجود در مدل WEPP | | | پارامتر (واحد) |
|---------------------------|---------------|------------|---------------------------|
| دامنه | مسیرهای جریان | حوضه آبخیز | |
| ۰.۲۱۳ | ۰.۷۸۵ | ۰.۱۷۸ | رسوب ویژه (ton/ha/year) |
| ۸۲۸.۷۶ | ۳۰۵۴.۳۵ | ۶۹۲.۵۸ | رسوب کل (ton/year) |
| ۰.۲۵۳ | ۱.۰۰۸۹ | ۰.۲۳ | فرسایش ویژه (ton/ha/year) |
| ۹۸۴.۳۹ | ۳۹۲۵.۵ | ۸۹۴.۹ | فرسایش کل (ton/year) |

برآورد فرسایش و رسوب با استفاده از مدل EPM

مدل EPM نخستین بار در سال ۱۹۵۲، برای بررسی شدت فرسایش خاک کشور یوگسلاوی سابق، در مؤسسه جاروسلاو سرنی^۱ مورد استفاده قرار گرفته است (احمدی، ۱۳۹۰: ۵۴۵). برآورد مقدار رسوب تولیدشده با استفاده از مدل فوق، طی دو مرحله "تعیین ضریب شدت فرسایش" و "محاسبه رسوب حمل شده" صورت گرفت. برای تعیین ضریب شدت فرسایش حوضه، نقشه ضرایب فرسایش حوضه، استفاده از زمین و حساسیت سنگ و خاک و همچنین شیب متوسط حوضه تعیین و با محاسبه وزنی، مقدار متوسط ضرایب محاسبه شدند. پس از تعیین ضرایب چهارگانه و جای گذاری نقشه ضرایب در رابطه ۱، نقشه ضریب شدت فرسایش به دست آمد.

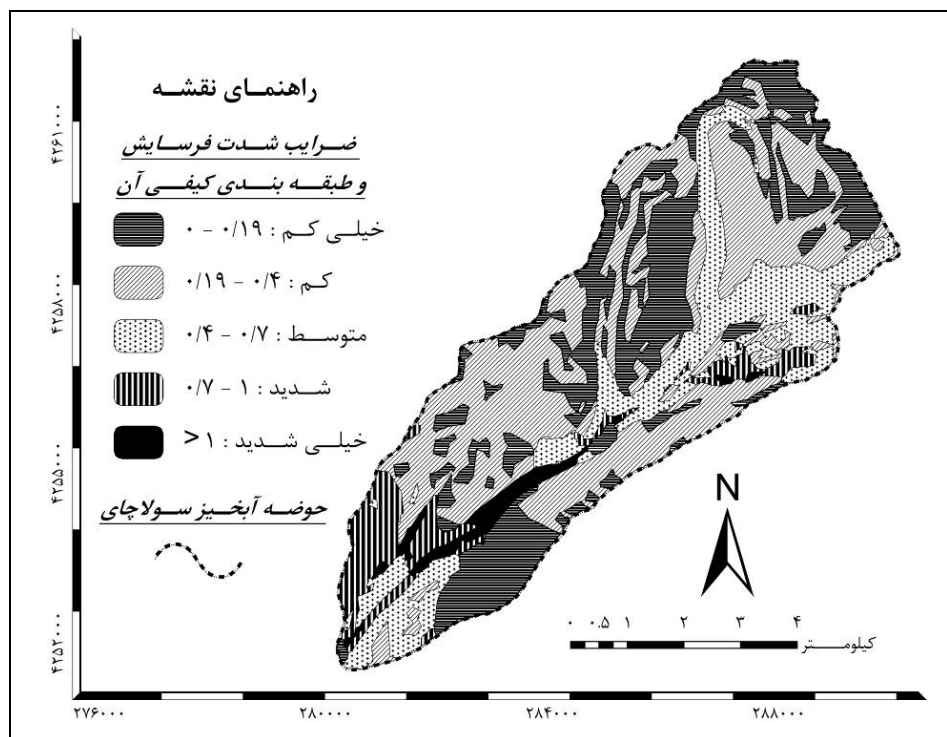
$$Z = Y \times X_a (\psi + I^{0.5}) \quad \text{رابطه ۱}$$

که در آن، Z : ضریب شدت فرسایش حوضه آبخیز، Y : ضریب حساسیت سنگ و خاک به فرسایش، X_a : ضریب استفاده از زمین یا کاربری اراضی، ψ : ضریب فرسایش حوضه آبخیز و I : شیب متوسط حوضه به درصد است. (رفاهی، ۱۳۸۸: ۳۰۸).

جدول ۵، متوسط ضرایب مدل EPM و شکل ۱۲، نقشه ضریب شدت فرسایش حوضه آبخیز سولاچای و طبقه‌بندی کیفی آن با مدل EPM را نشان می‌دهد.

جدول ۵. متوسط ضرایب مدل EPM در حوضه آبخیز سولاچای

| پارامترها | متوسط ضریب فرسایش | متوسط ضریب استفاده از زمین | متوسط ضریب حساسیت سنگ و خاک به فرسایش | شیب متوسط (درصد) | متوسط ضریب شدت فرسایش |
|-----------|-------------------|----------------------------|---------------------------------------|------------------|-----------------------|
| ضرایب | ۰.۶ | ۰.۵ | ۰.۵ | ۱۴.۹۶ | ۰.۳۴ |



شکل ۱۲. نقشه ضریب شدت فرسایش حوضه آبخیز سولاچای و طبقه‌بندی کیفی آن با مدل EPM

در مرحله بعد، متوسط سالانه فرسایش ویژه، دبی رسوب ویژه و رسوب کل حوضه برآورد شد. برای برآورد متوسط سالانه فرسایش ویژه، از رابطه ۲ استفاده شده است.

$$W_{SP} = T \times H \times Z^{1.5} \times Pi \quad \text{رابطه ۲}$$

که در آن W_{SP} : مقدار فرسایش برحسب متر مکعب در سال در کیلومتر مربع، H : متوسط بارندگی سالانه حوضه به میلی‌متر، T : ضریب درجه حرارت که از رابطه ۳، به دست می‌آید و در این رابطه t : متوسط درجه حرارت سالانه حوضه به درجه سانتی‌گراد، Z : ضریب شدت فرسایش و Pi : ۳/۱۴ است (احمدی، ۱۳۹۰: ۵۴۹).

$$T = (t/10 + 0.1)^{0.5} \quad \text{رابطه ۳}$$

مقدار W_{SP} محاسبه شده در رابطه ۲، بیان کننده مقدار خاکی است که از بستر خود جدا شده و انتقال یافته است، اما همه این مواد فرسایش یافته به خروجی حوضه نمی‌رسد و آن مقدار خاک فرسایش یافته که به رسوب خروجی تبدیل خواهد شد، بستگی به متغیرهای مختلفی دارد که در واقع بر ضریب رسوب‌دهی حوضه تأثیر می‌گذارد (قنبرزاده و غلامرضایی، ۱۳۸۸: ۱۹۷). ضریب رسوب‌دهی حوضه یا ضریب نگهداشت مواد فرسایش یافته، معین می‌کند که چه میزان مواد رسوبی از نقطه خروجی، خارج می‌شود و مقدار آن از رابطه ۴ حاصل شده است.

$$R_u = 4(P \times D)^{0.5} / L + 10 \quad \text{رابطه ۴}$$

که در آن، R_u : ضریب رسوب‌دهی حوضه، L : طول حوضه به کیلومتر، P : محیط حوضه به کیلومتر و D : اختلاف ارتفاع به کیلومتر است که از رابطه ۵، به دست آمد. در این رابطه D_{av} : ارتفاع متوسط حوضه آبخیز و D : ارتفاع نقطه خروجی رودخانه است (رفاهی، ۱۳۸۸: ۳۱۲).

$$D = D_{av} - D \quad \text{رابطه ۵}$$

دبی رسوب ویژه حوضه آبخیز از رابطه ۶ به دست آمد که در آن، G_{sp} : رسوب ویژه برحسب متر مکعب در سال در کیلومتر مربع، W_{sp} : فرسایش ویژه برحسب متر مکعب در سال در کیلومتر مربع و R_u : ضریب رسوب‌دهی حوضه آبخیز است.

$$G_{sp} = W_{sp} \times R_u \quad \text{رابطه ۶}$$

مقدار رسوب کل حوضه از رابطه ۷ به دست آمد که در آن، G_s : رسوب کل برحسب متر مکعب در سال در کیلومتر مربع، G_{sp} : رسوب ویژه برحسب متر مکعب در سال در کیلومتر مربع و A : مساحت حوضه آبخیز به کیلومتر مربع است (احمدی، ۱۳۹۰: ۵۵۰ و ۵۵۱).

$$G_s = G_{sp} \times A \quad \text{رابطه ۷}$$

جدول ۶ عوامل محاسبه شده برای برآورد فرسایش و رسوب و جدول ۷، نتایج حاصل از برآورد فرسایش و رسوب حوضه آبخیز سولاچای با مدل EPM را نشان می‌دهد.

جدول ۶. پارامترهای مورد نیاز برای محاسبه رسوب حمل‌شده در حوضه آبخیز سولاچای با مدل EPM

| عوامل | مقادیر | عوامل | مقادیر |
|-----------------------------------|--------|---|---------|
| متوسط بارندگی سالانه (H) میلی‌متر | ۳۳۷.۷۸ | ارتفاع متوسط حوضه آبخیز (D_{av}) به متر | ۱۵۴۹.۶۳ |
| متوسط دمای سالانه $^{\circ}C (t)$ | ۸.۴۲ | ارتفاع نقطه خروجی رودخانه (D) به متر | ۱۳۲۹ |
| ضریب درجه حرارت (T) | ۰.۹۱ | اختلاف ارتفاع (D) به کیلومتر | ۰.۲۲ |
| متوسط ضریب شدت فرسایش (Z) | ۰.۳۴ | مساحت حوضه آبخیز (A) به کیلومتر مربع | ۴۳.۸۵ |
| طول حوضه (L) به کیلومتر | ۱۳.۳۵ | ضریب رسوب‌دهی حوضه (R_{II}) | ۰.۴۵ |
| محیط حوضه (P) به کیلومتر | ۳۲.۹۸ | | |

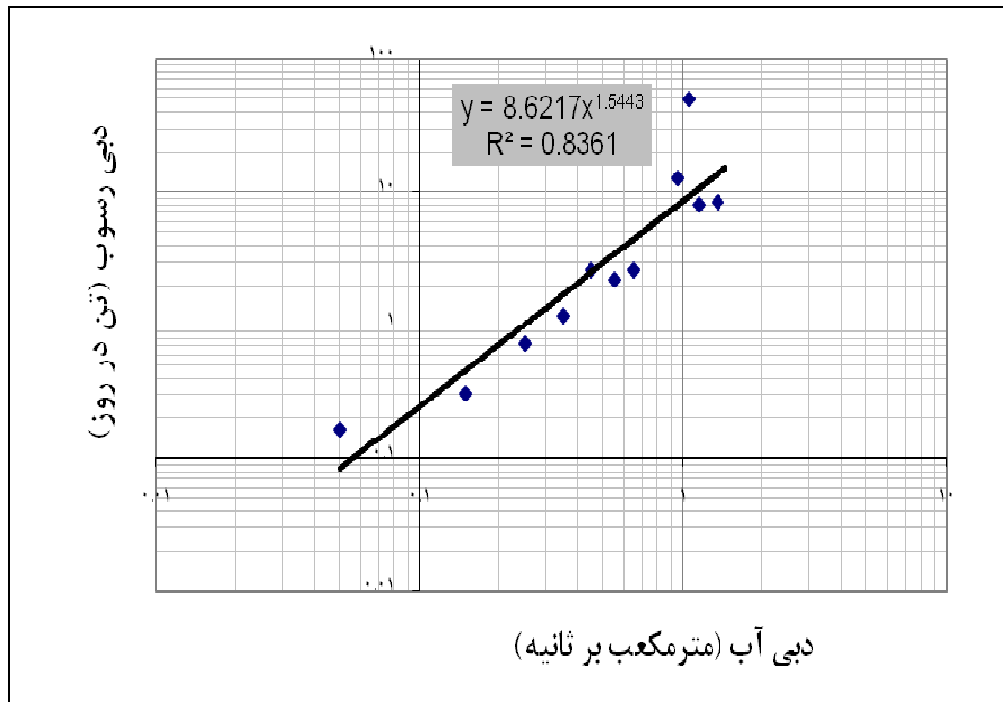
جدول ۷. نتایج حاصل از برآورد فرسایش و رسوب حوضه آبخیز سولاچای با مدل EPM

| واحد | متوسط سالانه فرسایش ویژه (W_{SP}) | متوسط دبی رسوب ویژه (G_{SP}) | رسوب کل حوضه (G_S) |
|-----------------|---------------------------------------|----------------------------------|------------------------|
| $m^3/km^2/year$ | ۲۱۷.۳۵ | ۹۷.۴۲ | ۴۲۷۱.۸۴ |
| $ton/km^2/year$ | ۷.۴۳ | ۳.۳۳ | ۱۴۶.۱۲ |
| $ton/year$ | ۳۲۶.۰۲ | ۱۴۶.۱۳ | ۶۴۰۷.۸۰ |
| $ton/ha/year$ | ۰.۰۷۴ | ۰.۰۳۳ | ۱.۴۶ |

بررسی صحت پیش‌بینی‌های انجام‌شده به‌وسیله مدل‌ها

برای بررسی صحت پیش‌بینی انجام‌شده، از آمار نمونه‌برداری بار معلق ایستگاه هیدرومتری سولا^۱ که تنها ایستگاه موجود در منطقه بود (طی یک دوره آماري سیزده‌ساله از ۱۳۷۵ تا ۱۳۸۸) استفاده شد. اطلاعات ایستگاه هیدرومتری سولا، شامل دو فایل اطلاعات دبی (برداشت‌های روزانه از دبی رودخانه برحسب متر مکعب بر ثانیه) و اطلاعات رسوب (برداشت‌های موردی بار معلق برحسب میلی‌گرم بر لیتر) بود. برای محاسبه رسوب تولیدشده رودخانه (رسوب مشاهده‌ای) باید رسوب معلق و رسوب بستر موجود در رودخانه محاسبه شوند. برای ترسیم نمودار دبی و رسوب از روش متوسط دسته‌ها با ضریب FAO اصلاح‌شده استفاده شد. در این روش ابتدا دبی‌های موردی برداشت‌شده به دسته‌های مختلف تقسیم‌شدند و سپس در هر دسته، متوسط دبی و رسوب محاسبه شد. شکل ۱۳ نمودار سنج رسوب حوضه آبخیز سولاچای را نشان می‌دهد.

۱. ایستگاه هیدرومتری سولا: با طول جغرافیایی ۴۸ درجه و ۲۹ دقیقه و ۴ ثانیه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۸ درجه و ۲۳ دقیقه و ۱۴ ثانیه شمالی و ارتفاع متوسط ۱۳۵۲ متر از سطح دریا.



شکل ۱۳. نمودار دبی - رسوب حوضه آبخیز سولاچای

با توجه به نمودار دبی - رسوب (شکل ۱۳) رابطه میان دبی و رسوب در حوضه آبخیز سولاچای با کمک رابطه ۸، محاسبه شد.

$$Q_s = 8.621 \times Q_w^{1.5443} \quad \text{رابطه ۸}$$

که در آن Q_s : رسوب برحسب تن در روز و Q_w : دبی برحسب متر مکعب بر ثانیه است. با استفاده از رابطه ۸ و اطلاعات روزانه برداشت شده دبی، رسوب معلق تولیدی (مشاهده‌ای) در روزهای مختلف محاسبه شد. مقدار رسوب مشاهده‌ای برآورد شده برای حوضه آبخیز سولاچای در جدول ۸ آمده است.

جدول ۸. مقایسه آمار مشاهده‌ای رسوب با مقادیر برآوردشده با دو مدل WEPP و EPM

| رسوب مشاهده‌ای | روش EPM | روش‌های موجود در مدل WEPP | | | نوع پارامتر (واحد) |
|----------------|---------|---------------------------|---------------|------------|----------------------------|
| | | دامنه | مسیرهای جریان | حوضه آبخیز | |
| ۰.۲۴۱ | ۰.۰۳۳ | ۰.۲۱۳ | ۰.۷۸۵ | ۰.۱۷۸ | رسوب ویژه (ton/ha/year) |
| ۱۰۲۳ | ۶۴۰۷۸۰ | ۸۲۸.۷۶ | ۳۰۵۴.۳۵ | ۶۹۲.۵۸ | رسوب کل (ton/year) |

بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به اینکه هدف اصلی این پژوهش ارزیابی کارایی مدل‌های WEPP و EPM در برآورد فرسایش و رسوب حوضه آبخیز سولاچای است، به‌همین دلیل ابتدا مقدار فرسایش خاک و تولید رسوب سالانه منطقه مورد مطالعه با دو مدل فوق برآورد شد و سپس نتایج این دو مدل با میانگین رسوب اندازه‌گیری‌شده در ایستگاه هیدرومتری سولاچای برای ارزیابی کارایی هریک از مدل‌های استفاده‌شده در پژوهش، مقایسه شد. جدول ۸ نتایج این مقایسه را نشان می‌دهد.

همان‌طور که در جدول ۸ مشاهده می‌شود، مقدار رسوب تولیدشده به‌وسیله روش‌های موجود در مدل WEPP، یعنی حوضه آبخیز، مسیرهای جریان و دامنه به‌ترتیب برابر با ۰/۱۷۸، ۰/۷۸۵ و ۰/۲۱۳ تن در هکتار در سال به‌دست آمد. از میان این سه روش، روش‌های دامنه و حوضه آبخیز به مقدار رسوب مشاهده‌ای نزدیک‌تر بوده و نسبت به روش مسیرهای جریان نتایج قابل قبول‌تری را ارائه داده‌اند. مقدار رسوب ویژه برآوردشده با استفاده از مدل EPM، نیز ۰/۰۳۳ تن در هکتار در سال برآورد شد که این مقدار اختلاف زیادی با رسوب مشاهده‌ای دارد و بیانگر این است که این مدل به‌دلیل محدود بودن عوامل آن از کارایی پایینی برخوردار است. در مجموع نتیجه می‌گیریم که مدل WEPP نسبت به مدل EPM از کارایی بالاتری در برآورد فرسایش خاک و میزان رسوب‌دهی حوضه آبخیز سولاچای برخوردار است. اگر مقدار رسوب برآوردشده در حوضه آبخیز سولاچای را با رسوب برآوردشده در دیگر حوضه‌های آبخیز کشور مقایسه کنیم، به این نتیجه می‌رسیم که مقدار فرسایش و رسوب منطقه بسیار ناچیز است که دلایل آن را می‌توان شیب کم، ارتفاع کم، پوشش گیاهی غنی و شدت کم بارندگی‌ها در منطقه مورد مطالعه دانست.

منابع

- Abedini, M., 2012, **Survey Soil Erosion and Sediment Production in Basmanjchai Watershed With Emphasis On Indicators of Hydroclimatical, Tectonic and Rain Erosivity**, Journal of Region Geography of Environment, Vol. 2, No. 3, PP. 1-20.
- Abedini, M., Shabrang, SH., Esmali, A., 2013, the **Evaluation of Soil Erosion and Sediment Meshkinchai Watershed to EPM Method**, Geography and Development Quarterly, Vol. 11, No. 30, PP. 87-100.
- Ahmadi, H., 2011, **Applied Geomorphology (Water Erosion)**, Vol. 1, 7th Edition, University of Tehran Press, Tehran, Iran.
- Ahmadi, H., Jafari, M., Golkarian, A., Abrisham, E., Laflan, J., 2007, the **Estimate Erosion and Sediment Using WEPP Model (Case Study: Bar-Erieh Watershed, Neishaboor)**, Research and Development Quarterly, No. 75, PP. 162-172.
- Amore, E., Modica, C., Nearing, M. A., Santoro, V., 2004, **Scale Effect in USLE and WEPP Application for Three Sicilian Basins**, Journal of Hydrology, Vol. 293, No. 1-4, PP. 100-114.
- Bagherzade, A., Mansouri Daneshvar, M. R., 2011, **Sediment Yield Assessment by EPM and PSIAC Models Using GIS Data in Semi-Arid Region**, Front, Earth Sci, Vol. 5, No. 2, PP. 207-216.

- Defersha, M. B., Melesse, A. M., McClain, M. E., 2012, **Watershed Scale Application of WEPP and EROSION 3D Models For Assessment of Potential Sediment Source Areas and Runoff Flux in the Mara River Basin, Kenya**, Catena, Vol. 95, PP. 63-72.
- Esmali, A., and Abdollahi, KH., 2011, **Watershed Management & Soil Conservation**, University of Mohaghegh Ardabili Publications, Ardabil, Iran.
- Ghanbarzade, H., Gholamrezai, M., 2007, **the Estimated of Potential Erosion and Sediment Using EPM Model in Arekamar Watershed in Fariman Using GIS**, Geographic Sciences Quarterly, No. 7 & 8, PP. 187-206.
- Ghasemi, M., 2010, **Modeling the Erosion of Surface Formations and Sediment Yield in Hana Dam Watershed Using Modified MPSIAC Method and Geography Information System (GIS)**, Thesis of M.Sc. Physical Geography, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran.
- Milevski, I., 2008, **Estimation of Soil Erosion Risk in the Upper Part of Bregalnica Watershed – Republic of Macedonia, Based on Digital Elevation Model and Satellite Imagery**, 5th International Conference on Geographic Information Systems (ICGIS-), 2-5 July 2008 at Fatih University in Istanbul, Turkey.
- Mohseni, B., Ghodosi, J., Ahmadi, H., Tahmasebi, R., 2011, **the Evaluation the Accuracy and Efficiency EPM, MPSIAC, Geomorphology and Hydrophysical Models in Estimate Erosion and Sediment (Reagent Watershed: Kasilian of Mazandaran Province)**, Geography and Development Quarterly, Environment Hazards, Vol. 9, No. 22, PP. 107-127.
- Pandey, A., Chowdary, V. M., Mal, B. C., Billib, M., 2008, **Runoff and Sediment Yield Modeling From a Small Agricultural Watershed in India Using the WEPP Model**, Journal of Hydrology, Vol. 348, No. 3-4, PP. 305-319.
- Rafahi H., 2009, **Water Erosion and Conservation**, 5th Edition, University of Tehran Press, Tehran, Iran.
- Renard, K.G., Ston, J.J., 1982, **Sediment Yield from Small Semiarid Rang Land Watersheds**, USDA-SEA-ARM Quarterly, No. 26, PP. 129-144.
- Sadeghlo, M., Saedi, S., Yarahmadi, J., 2011, **Application GIS and WEPP Model in Identification, Zonation and Assessment of Areas of Erosion and Sediment and its Depositions of in Sofichai Watershed**, 5th Sepecial Conference of Environmental Engineering, Tehran, Iran.
- Sadeghzade Reihan M., 2010, **Study the Process of Erosion and Sediment Using Simulation the WEPP Process Model in of Lands the Marly Khaje of Tabriz**, Thesis of M.Sc. Pedology, Supervisor: Mohamad Taher Nezami, Islamic Azad University of Karaj, Karaj, Iran.
- Shen, Z. Y., Gong, Y. W., Li, Y. H., Hong, Q., Xu, L., Liu, R. M., 2009, **A Comparison of WEPP and SWAT For Modeling Soil Erosion of the Zhangjiachong Watershed in the Three Gorges Reservoir Area**, Agricultural Water Management, Vol. 96, No. 10, PP. 1435-1442.

Singh, R. K., Panda, R. K., Satapathy, K. K., Ngachan, S. V., 2011, **Simulation of Runoff and Sediment Yield From A Hilly Watershed in the Eastern Himalya India Using the WEPP Model**, Journal of Hydrology, Vol. 405, No. 3-4, PP. 261-276.

Tazioli, A., 2009, **Evaluation of Erosion in Equipped Basins: Preliminary Results of A Comparison Between the Gavrilovic Model and Direct Measurements of Sediment Transport**, Environ Geol, Vol. 5, No. 56, PP. 825-831.

Ziai, H., 2002, **Principles of Engineering Watershed Management**, University of Emam Reza Publications, Mashhad, Iran.