



جغرافیا و روابط انسانی، تابستان ۱۴۰۳، دوره ۷، شماره ۱، صص ۲۴۵-۲۲۳

برآورد میزان فرسایش و رسوب با استفاده از مدل‌های EPM و MPSIAC در حوضه

آبخیز تاجیار

موسی عابدینی^{۱*}، مرتضی قراچورلو^۲، ابوذر صادقی^۳

۱- استاد گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی. اردبیل

Email: Abedini@uma.ac.ir

۲- دارای مدرک دکتری ژئومورفولوژی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی. اردبیل

۳- دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی. اردبیل

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۵/۲۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۴/۰۵

چکیده

تحقیق حاضر با عنایت به اهمیت مسئله فرسایش خاک به خصوص در حوضه‌های کوهستانی کشور به منظور ارزیابی وضعیت فرسایش خاک در حوضه آبخیز تاجیار واقع در شمال غرب کشور صورت گرفت. در این راستا با استفاده از مدل‌های تجربی MPSIAC و EPM و با بهره‌گیری از قابلیت‌های سامانه اطلاعات جغرافیایی سعی گردید تا میزان فرسایش و رسوب‌دهی در حوضه مورد مطالعه برآورد گردد. داده‌های مورد استفاده شامل نقشه‌ها، تصاویر ماهواره‌ای، آمار ایستگاه‌های هواشناسی و هیدرومتری بود. نتایج به دست آمده نشان داد که تفاوت‌های قابل توجهی میان دو مدل مذکور از لحاظ مقدار فرسایش و رسوب برآوردی وجود دارد به طوری که میزان رسوب کل در مدل MPSIAC، برابر با ۷۶/۹۹۳۴۲ تن در سال و در مدل EPM، برابر با ۳۷/۱۶۰۸۹ تن در سال برآورد گردید و نشان داد که حوضه مورد مطالعه با اعمال روش MPSIAC در کلاس فرسایشی متوسط و با به کارگیری مدل EPM در کلاس فرسایشی کم قرار دارد. در نهایت نتایج تحقیق نشان داد که مدل MPSIAC به لحاظ دخیل کردن عوامل بیشتر و تاثیر دهی توامان عوامل از یک سو و دقت بیشتر جداول امتیاز دهی و معادلات مربوطه از سوی دیگر از کارایی بهتری نسبت به مدل EPM برخوردار می‌باشد. با این حال کالیبره کردن مدل مزبور در جهت کاهش خطاها و پیش بینی دقیق تر می‌تواند به نتایج بهتر و قابل اعتمادتری بینجامد.

کلمات کلیدی: حوضه آبخیز تاجیار، فرسایش، مدل‌های فرسایش، MPSIAC، EPM.

۱- مقدمه

حوضه‌های رودخانه‌ای که به حوضه‌های هیدروگرافی نیز مرسوم می‌باشند، عوامل فرسایشی بصورت سیستماتیک مرتبط به هستند. ارزش و اهمیت مطالعات حوضه‌های رودخانه‌ای به لحاظ افزایش روزافزون جمعیت و بستر بر آورد کننده نیازهای کشاورزی، دامداری و گسترش مناطق مسکونی و شبکه ارتباطی و سایر کاربریها روز به روز بیشتر معلوم می‌شود (عابدینی، ۱۳۸۸). ژئومورفولوژی زمین با گذشت زمان در حال تغییر است و در این میان فرسایش خاک یکی از مهم ترین پدیده های تأثیر گذار در تغییرات مورفولوژی سطح زمین میباشد. (عابدینی و همکاران، ۱۳۹۲).

خاک یک منبع طبیعی بسیار محدود است که فرآیندهای طبیعی و انسانی باعث آسیب‌رساندن به آن شده‌اند. تخریب خاک تبدیل به یکی از مهم‌ترین مسائل سیاسی-اقتصادی و محیط‌زیستی شده است زیرا منجر به کاهش بهره‌وری و کیفیت منابع خاکی می‌شود (یاداو^۱ و همکاران، ۲۰۲۱). توسعه پایدار بر اساس سه بعد اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی استوار است (سازمان ملل متحد^۲، ۲۰۱۵). با این حال، سیستم زمین و منابع طبیعی در حال رو به کاهش و تخریب محیطی است، از جمله تغییرات آب و هوا، بیابان‌زایی، خشکسالی، کمبود آب شیرین و از دست دادن تنوع زیستی. در سراسر جهان، ۱۷ فرایند تخریب زمین وجود دارد و فرسایش خاک یکی از مهمترین آنهاست (پراوالی^۳، ۲۰۲۱). فرسایش خاک یک مشکل محیطی جدی با تأثیر جهانی است و می‌توان آن را به عنوان یک تهدید با اثرات بلند مدت و شدت‌های متفاوت در مناطق مختلف در نظر گرفت (پاستور^۴ و همکاران، ۲۰۱۹). فرسایش خاک یک تهدید عمده جهانی برای اکوسیستم‌های زمینی است (بورلی^۵ و همکاران، ۲۰۲۰) که تأثیرات منفی قوی اقتصادی و محیطی را داراست، از جمله افزایش از دست دادن کربن کاهش بهره‌وری کشاورزی و آلودگی آبی (تونگ^۶ و همکاران، ۲۰۱۷). امروزه فرسایش خاکو از اتلاف این منابع ارزش حیاتی، زندگی بشریت را تهدید میکند؛ بنابراین ارزیابی فرسایش خاک و کنترل آن امری ضروری میباشد (عابدینی و طولابی، ۱۳۹۲ و ۱۳۹۶). بنابراین، برای دستیابی به اهداف توسعه پایدار، مهم است که مکان و شدت فرسایش و رابطه آن با عوامل

¹ Yadav et al

² United Nations

³ Pravalie

⁴ Pastor et al

⁵ Borrelli et al, 2020

⁶ Tong et al

تأثیرگذار کلیدی را درک کنیم (لی^۱ و همکاران، ۲۰۲۱). طبق پروژه ارزیابی جهانی تخریب زمین (GLADA) سازمان محیط زیست ملل متحد حدود ۱.۱ میلیارد هکتار از زمین‌های جهان به وسیله فرسایش خاک آسیب دیده‌اند، که ۴۸٪ آن در آسیا، ۲۱٪ در آفریقا، ۱۵٪ در آمریکای لاتین و کارائیب، ۱۰٪ در اروپا، ۸٪ در اقیانوسیه و ۵٪ در آمریکای شمالی قرار دارد (بای^۲ و همکاران، ۲۰۰۸). تغییرات آب و هوا و مدیریت اراضی به عنوان دو عامل اصلی فرسایش خاک شناخته شده‌اند، که به واسطه مقیاس جهانی تغییرات انسانی از آغاز قرن بیستم تقویت می‌شوند (بورلی و همکاران، ۲۰۲۰). سنگریزه رودخانه معمولاً به عنوان نشانه‌ای برای تغییر فرسایش در بلندمدت است (سان^۳ و همکاران، ۲۰۲۰). زیرا داده‌های بازده سنگریزه بیشتر در خروجی حوضه آبرگیری جمع‌آوری شده‌اند (وانگ^۴ و سان، ۲۰۲۱). بازده سنگریزه رودخانه می‌تواند نماینده‌ای از فرسایش خاک باشد (ژائو^۵ و همکاران، ۲۰۱۳). با این حال، ساخت سدها و مخازن بزرگ در رودخانه‌ها و گودال‌ها منجر به عدم اتصال فرسایش خاک در حوضه‌های آبرگیری از بازده سنگریزه در خروجی حوضه آبرگیری می‌شود (وانگ و همکاران، ۲۰۲۱). آزمایش‌های تجربی، مشاهدات میدانی، مطالعات ردیاب‌گر، نظارت از راه دور با استفاده از سنجش از دور و مدلسازی فرسایش نیز به طور معمول برای مطالعه نرخ فرسایش استفاده می‌شوند (رودریگوکومینو^۶، ۲۰۱۸). سه روش اول معمولاً محدود به مطالعات محدود مقیاس محلی و کوتاه مدت هستند تکنیک‌های سنجش از دور می‌توانند برای مطالعه فرسایش در مقیاس طولانی و بزرگ مناسب باشند. با این حال، داده‌های سنجش از دور تنها از دهه ۱۹۸۰ به بعد به صورت عمومی قابل دسترسی هستند (میلودوسکی^۷ و همکاران، ۲۰۲۰). که کاربرد آن‌ها را محدود به مطالعه فرسایش در قرن حاضر می‌کند. تلاش‌های مدل‌سازی برای ارزیابی نرخ فرسایش آبی در حال افزایش است، اما بیشتر کارها تمرکز خود را بر روی مقیاس‌های زیرحوضه و رویدادهای خاص می‌گذارند (لی و همکاران، ۲۰۱۷). پیامدهای مهم زیست محیطی فرسایش خاک شامل تخریب کیفیت آب، تخریب خاک، سیلاب و فاجعه‌های زمینی، و همچنین افزایش تولید، حمل و نقل و رسوب‌گذاری رسوب در دریاچه‌های طبیعی و مخازن آبی است (دپونتیس^۸ و همکاران، ۲۰۲۰). مسئله فرسایش خاک در کشور ما نیز که در منطقه خشک و نیمه خشک واقع شده و با کمبود منابع آبی

¹ Li et al

² Bai et al

³ Sun et al

⁴ Wang

⁵ Zhao et al

⁶ Rodrigo Comino

⁷ Milodowski et al

⁸ Depountis et al

روبروست به صورت یک نگرانی جدی مطرح بوده و در خور توجه اساسی است، به طوری که سالانه حدود دو میلیارد تن از خاک های حاصل خیز زراعی و مرتعی، در اثر بهره برداری نادرست و بارندگی شسته شده، از دست می رود (رنجبر، ۱۳۸۸). نظر به اهمیت مسأله فرسایش پژوهشگران در سراسر جهان، از دیر باز در پی این بوده اند تا با استفاده از روش های مختلف بتوانند میزان فرسایش را در اراضی مختلف محاسبه نمایند (ضیایی، ۱۳۸۹). در این میان مدل های تجربی به دلیل سادگی و قابلیت کاربرد آنها حتی با وجود تعداد محدود داده های ورودی رواج بیشتری یافته اند و هر چند توان پیش بینی این نوع معادلات محدود به منطقه ویژه ای است (موردی بودن) که برای آن جا توسعه داده شده اند (رومپی^۱، ۲۰۰۵؛ گروسو^۲ و همکاران، ۲۰۰۷). با این حال ضرورت توجه به مسئله فرسایش خاک و رسوب دهی حوضه های آبخیز و امر صرفه جویی در هزینه و زمان، استفاده از این مدل ها را قابل توجیه می سازد. از بین مدل های برآورد فرسایش و رسوب که در کشور ما بیشتر مورد استفاده واقع شده و نتایج نسبتا خوبی از آنها حاصل شده است می توان مدل فرسایش پسیاک اصلاح شده (MPSIAC) و مدل پتانسیل فرسایش (EPM) را ذکر نمود. از مزایای این مدل ها می توان به برآورد کیفی و کمی میزان فرسایش توسط آنها اشاره نمود. با این حال از آن جایی که عوامل دخیل در دو مدل یکی نبوده و امتیازها، دامنه امتیازات، روش امتیازدهی دو مدل با یکدیگر متفاوت است لذا نتایج رسوب برآوردی حاصل از دو مدل نیز متفاوت بوده است (بیات و همکاران، ۱۳۸۵).

عابدینی و همکاران (۱۳۹۶) در مورد پهنه بندی فرسایش خاک حوضه رودخانه بالخلوچای کار کرده اند و نتایج نشان داده که حدود ۲۶/۹۳ درصد از مساحت حوضه در محدوده با خطر فرسایش بسیار زیاد و زیاد و حدود ۳۰/۸۸ در محدوده با خطر فرسایش کم و بسیار کم قرار گرفته اند. آب و خاک، پایه و اساس حیات بشر به شمار می آیند.

پاسبان و همکاران (۱۴۰۱) در با استفاده از مدل RUSLE در مورد فرسایش خاک حوضه آبخیز بالخلوچای در استان را اردبیل کار کرده اند. نتایج تحقیق نشان داده که مقدار متوسط فرسایش سالانه خاک برای کل حوضه در دامنه بین ۶/۶۵ - تا ۱۴/۷۵ تن در هکتار در سال متغیر است. همچنین بررسی روابط رگرسیونی بین $2 =$

¹ Rompay

² Grauso et al

فاکتورهای مدل **RUSLE** و مقدار فرسایش سالانه خاک نشان داد که فاکتور توپوگرافی (**LS**) با بالاترین مقدار ضریب تعیین **R 95/0** بیشترین اهمیت را در برآورد فرسایش سالانه خاک به وسیله مدل **RUSLE** دارد.

عابدینی و همکاران (۱۴۰۱) در تحقیقی اقدام به پهنه‌بندی فرسایش حوضه آبریز رزن با استفاده از مدل‌های منطق فازی، **EPM** و **BLM** به برآورد شدت فرسایش نمودند. نتایج به دست آمده از مدل **EPM** نشان داد که شدت فرسایش حوضه مورد مطالعه در کلاس فرسایش متوسط قرار دارد.

عابدینی و همکاران (۱۴۰۱) به مطالعه فرسایش خاک و تولید رسوب با استفاده از مدل **MPSIAC** در زیر حوضه‌های آبخیز کوزه‌توپراقی پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که مقدار کل و متوسط فرسایش سالانه خاک حوضه به ترتیب برابر با ۰ تا ۵۷/۶۲ و ۱۱/۶۶ تن در هکتار در سال به دست آمد.

معدنچی و همکاران (۱۴۰۱) به بررسی تاثیر عملیات آبخیزداری بر تغییر فرسایش و کلاس رسوب‌دهی با استفاده از مدل **MPSIAC** در مناطق خشک پرداختند. بعد از تجزیه و تحلیل نتایج آماری نشان داد که اجرای عملیات حفاظتی تاثیر مثبت بر روی کاهش کلاس رسوب‌دهی و مقدار فرسایش داشته است. مودنی نقندر و همکاران (۱۴۰۱) به بررسی اثر اجرای عملیات آبخیزداری بر رواناب و فرسایش خاک در حوضه نخاب بشرویه پرداختند. نتایج نشان داد که فرسایش از ۱۰/۱۸ به ۹/۸ تن در هکتار در سال و رسوب‌دهی ویژه حوضه نیز از ۳/۱۶ به ۲/۹ تن در هکتار در سال کاهش پیدا کرده است.

رحمتی و همکاران (۱۴۰۰) در پژوهشی به بررسی تاثیر تغییرات کاربری اراضی بر فرسایش و سیل‌خیزی حوضه سقزچای در قبل و بعد از احداث سد شهید کاظمی پرداختند. با استفاده از داده‌ها هیدرومتری، رسوب، خاک، تصاویر ماهواره‌ای، نقشه‌های توپوگرافی و زمین‌شناسی با استفاده از مدل **SWAT** به این نتیجه رسیدند که شبیه‌سازی رسوب ماهانه حوضه آبریز سقزچای در دوره واسنجی طی سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۲ و در دوره صحت‌سنجی طی سال‌های ۲۰۱۲ تا ۲۰۱۶ نشان داد که مقدار ضریب تعیین برابر ۰/۷۴ ضریب راندمان نش - ساتکلیف ۰/۶۴ و مقادیر این ضرایب برای دوره صحت‌سنجی به ترتیب ۰/۷۶ و ۰/۶۸ بدست آمدند. همچنین مقدار **R-factor** برای دوره واسنجی برابر با ۱/۸ و **p-factor** برابر با ۰/۰۷۰ می‌باشد که در دوره صحت‌سنجی به ترتیب برابر با ۰/۰۸۶ و ۲/۵ بدست آمد.

کمال^۱ و همکاران (۲۰۲۳) به مطالعه ارزیابی میزان و شدت فرسایش آبی در حوضه رودخانه تودغا در کوهستان‌های بلند مرکزی آتلس مراکش با استفاده از دو مدل فرسایش مختلف، مدل EPM و مدل PAP/RAC پرداختند. از نتایج مدل‌سازی، مشخص شد که حوضه تحت تأثیر درجات متفاوتی از فرسایش قرار داشته است که از "بسیار کم" تا "بسیار شدید" متغیر بوده و با مدل‌های مختلف به تمایز محلی تعیین شده‌اند. مناطق فرسایش بسیار شدید در شمال غربی منطقه حوضه بر اساس هر دو مدل استفاده شده، ۹.۶۵٪ به طبقه‌بندی PAP/RAC و ۸.۵۶٪ EPM از کل منطقه را شامل می‌شوند.

ناتاشا^۲ و همکاران (۲۰۲۲) با استفاده از GIS و روش EPM و بدون مشاهده میدانی از فرسایش، با تکیه بر نقشه‌برداری و تصاویر ماهواره‌ای، نقشه‌های فرسایش برای سال‌های ۱۹۷۰ و ۲۰۱۸ برای بخشی از منطقه پیرامونی بلگراد ایجاد شد. تحلیل آماری برای سال‌های ۱۹۷۰ و ۲۰۱۸ درجه قابل قبولی از قابلیت اعتماد ($p < 0.05$) از ضرایب میانگین فرسایش منطقه به دست آمده از نقشه‌های فرسایشی که از مواد نقشه‌برداری و تصاویر ماهواره‌ای بدون مشاهده میدانی ایجاد شده بودند تعیین کرد. بدون توجه به روش تعیین ضریب میانگین فرسایش، کاهش قابل توجهی در از دست دادن خاک مشاهده شد، از ۱۰.۶۴ تا ۵.۹۷ تن در هکتار در سال بود.

اناجی^۳ و همکاران (۲۰۲۲) به مطالعه فرسایش خاک با استفاده از روش (EPM) در باسین اوآمانا که در مراکش پرداختند. نتایج به دست آمده با استفاده از نرم‌افزار GIS ارزیابی و مقایسه شدند. معیار انتخاب دو زیر حوضه مورد مطالعه عبارتند از: محل قرارگیری متفاوت در داخل حوضه اوآمانا، استفاده از زمین، شیب‌ها و سنگ‌شناسی. حوضه آبخیز تیگرت (a) که در بخش پایین دست واقع شده است، به‌طور متوسط با نرخ کمتر از ۳۹۰۰۷ متر مکعب در کیلومتر مربع در سال فرسوده شده است. از طرفی دیگر، حوضه آبخیز وانروئود (b) در بخش بالادست حوضه مورد مطالعه قرار دارد و به دلیل تأثیرات سنگ‌شناسی، شیب‌ها و استفاده از زمین بسیار فرسوده شده است. علاوه بر این، در این حوضه (b) نرخ فرسایش خاک تولیدی از ۲۲۲ تا بیش از ۱۶۴۴۲۰ متر مکعب در کیلومتر مربع در سال متغیر است.

¹ Kamal et al

² Natasa et al

³ Ennaji et al

مورات و عبدا^۱ (۲۰۲۲) به بررسی فرسایش سد مادرا در غرب آناتولیای ترکیه با استفاده از روش MPSIAC مورد بررسی قرار دادند. در روش MPSIAC، از نه پارامتر مختلف (سنگ شناسی، اقلیم، پوشش زمین و کاربری زمین، چگالی زهکشی، قابلیت فرسایش خاک، زمین شناسی، نسبت پوشش، فرسایش سطحی) استفاده کردند. طبق معادله پیش‌بینی فرسایش MPSIAC، مشخص شده که منطقه مورد مطالعه با شدت متوسط (۲۲.۵ تن هکتار در سال) با فرسایش روبرو است.

ژوان^۲ و همکاران (۲۰۲۱) در تحقیقی اقدام به بررسی روش‌های مدیریت، حفاظت و کنترل رواناب‌ها و فرسایش خاک نمودند. نتایج نشان داده که در تمامی روش‌های مدیریت حفاظتی اعمال شده، فرسایش با کاهش میانگین به ترتیب ۶۷٪ و ۸۰٪ نسبت به کنترل‌ها همراه بوده است. استفاده از کشاورزی با پوشش گیاهی (cover cropping) کاهش بزرگتری را در فرسایش فراهم می‌کند، بنابراین تأکید بر اهمیت حفظ پوشش گیاهی پایدار روی خاک‌ها است. خاک‌های با بافت خشک و متوسط نسبت به خاک‌های بافت ریز کاهش بیشتری در فرسایش دارند.

نظر به اهمیت منابع آب و خاک در رشد و توسعه اقتصادی کشور و نیز به دلیل کمبود مطالعات فرسایش و رسوب در حوضه‌های آبخیز منتهی به دشت سراب، پژوهش حاضر سعی داشت تا با مقایسه مدل‌های برآورد فرسایش EPM و MPSIAC به نتایج بهتری در جهت تعیین میزان فرسایش خاک در حوضه مورد (تاجیار) تحقیق دست یابد.

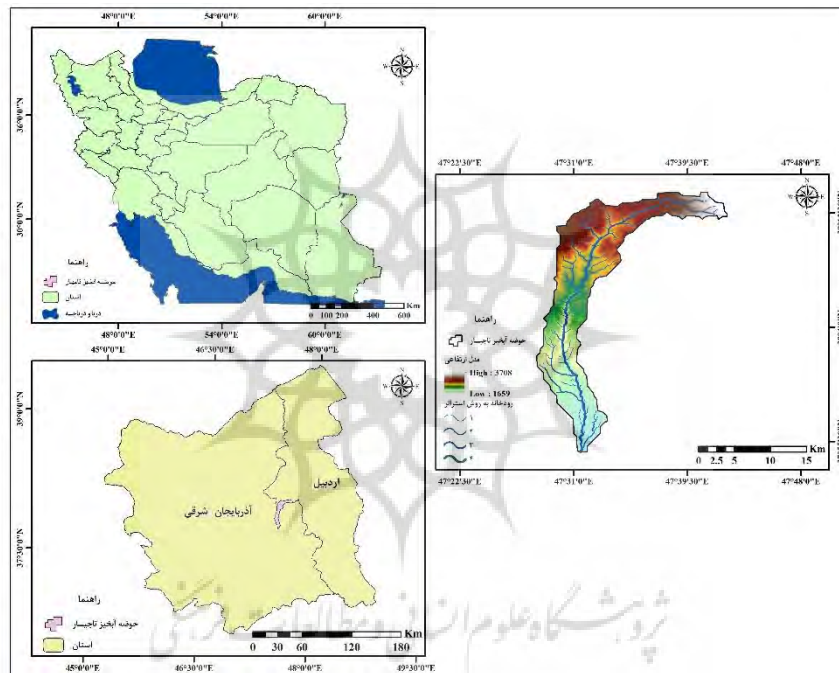
۲- منطقه مورد مطالعه

حوضه آبخیز تاجیار به مساحت ۱۸۸/۶۱ کیلومتر مربع در مختصات جغرافیایی ۳۷° ۵۵' ۲۳" تا ۳۸° ۱۳' ۴۷" عرض شمالی و ۴۷° ۲۸' ۲۰" تا ۴۷° ۴۲' ۳۰" طول شرقی واقع گردیده است (شکل ۱). حوضه مزبور که قسمت اعظم آن در استان آذربایجان شرقی (شهرستان سراب) و بخش‌هایی از بالادست آن در استان اردبیل (شهرستان مشگین شهر) جای گرفته است به عنوان یک حوضه کوهستانی از زیرحوضه‌های حوضه آبریز آجی‌چای محسوب شده و از ارتفاعات جنوب‌غربی سبلان سرچشمه می‌گیرد. دامنه ارتفاعی حوضه از ۳۷۴۲ متر در قسمت کوهستانی تا ۱۶۵۳ متر در قسمت دشتی متغیر است. به دلیل حاکمیت سنگ‌های آذرین (آندزیت، داسیت، تراکی آندزیت، تراکی

¹ Murat and Abdullah

² Xuan et al

بازالت و جریان های گدازه) در محدوده مورد مطالعه، شبکه رودخانه‌ای نتوانسته به خوبی توسعه یافته و مسیرهای آبراه‌ای چندی برای خود حفر بکند. در نتیجه حوضه مزبور با تراکم زهکشی نسبتاً ضعیف به صورت حوضه‌ای کشیده ظاهر شده و از عرض کمی برخوردار می‌باشد. شیب متوسط حوضه برابر با ۲۲ درصد بوده و دامنه‌ای از صفر تا ۱۳۷ درصد را نشان می‌دهد. حوضه تاجیار با میانگین دمای سالانه برابر با ۹/۳ درجه سانتی‌گراد و میانگین بارندگی سالانه برابر با ۳۵۲/۴ میلی‌متر بر اساس روش طبقه‌بندی اقلیمی دومارتن در منطقه نیمه خشک (سرد) واقع شده است. حوضه مزبور از مراتع نسبتاً خوبی در قسمت‌های بالادست و کوهستانی برخوردار بوده و در قسمت‌های میانی با غلبه اراضی بایر و در پایین دست با غلبه اراضی کشاورزی دیم و آبی مشخص می‌باشد.



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی حوضه آبخیز تاجیار

۳- مواد و روش

در پژوهش حاضر از منابع مختلف کتابخانه‌ای از جمله نقشه‌ها، تصاویر ماهواره‌ای و آمار ایستگاه‌های اقلیمی و هیدرومتری استفاده به عمل آمد که شرح جزئیات آن در جدول (۱) آمده است. مراحل کار بدین صورت بود که پس از استخراج پارامترهای دخیل در فرسایش و تولید رسوب در قالب لایه‌های اطلاعاتی مورد نیاز در هر یک از مدل‌های MPSIAC و EPM و وزن دهی به آن‌ها، کار تبدیل لایه‌ها از حالت برداری به رستری (اندازه پیکسل‌ها

۳۰ در ۳۰ متر در نظر گرفته شد) انجام گرفت. در گام بعدی از طریق روی هم گذاری لایه‌های رستری، نقشه پهنه‌بندی میزان فرسایش و رسوب‌دهی بر اساس نمره Z در مدل EPM و نمره R در مدل MPSIAC تهیه گردید. در انتها با استفاده از روابط مربوطه که در قسمت تشریح مدل‌ها آورده شده است اقدام به محاسبه میزان متوسط فرسایش و رسوب‌دهی در حوضه آبخیز مورد مطالعه گردید. لازم به ذکر است به دلیل این که حوضه مورد مطالعه از شکل کشیده ای برخوردار بوده و تقسیم آن به زیرحوضه‌های آبخیز غیر اصولی و ناکارآمد می‌نمود اساس کار بر تقسیم حوضه به واحدهای ارضی استوار گردید، به طوری که با تقسیم بندی حوضه به ۶ واحد ارضی، نمره دهی عوامل وضعیت فرسایشی حوضه، پوشش زمین، درصد اراضی لخت و فرسایش پذیری خاک نیز بر اساس واحدهای مزبور انجام پذیرفت.

در انجام تحقیق از نرم افزار سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) جهت آماده سازی لایه‌ها، تجزیه و تحلیل آن‌ها و ارائه نقشه‌های شدت فرسایش بهره گرفته شد. همچنین از نرم افزار پردازش تصویر ماهواره ای Envi جهت استخراج درصد پوشش گیاهی (شاخص NDVI) و درصد اراضی لخت و از نرم افزار Excel جهت تهیه نمودارهای مربوطه و انجام پاره‌ای محاسبات استفاده به عمل آمد.

جدول ۱: داده‌های مورد استفاده و کاربرد آن‌ها جهت استخراج پارامترهای دخیل در مدل‌های فرسایش

پارامترهای استخراج شده در مدل فرسایش		داده‌ها
MPSIAC	EPM	
تعیین حدود حوضه و استخراج آبراهه‌ها، خصوصیات حوضه (مساحت، ارتفاع، شیب)	تعیین حدود حوضه و استخراج آبراهه‌ها، خصوصیات حوضه (مساحت، محیط، ارتفاع، شیب، طول حوضه)	مدل رقومی ارتفاع Aster (قدرت تفکیک ۳۰ متر)
واحدهای سنگ شناسی حوضه	واحدهای سنگ شناسی حوضه	نقشه زمین شناسی (به مقیاس ۱/۱۰۰۰۰۰)
کاربری اراضی، پوشش زمین، وضعیت فرسایشی حوضه	کاربری اراضی، وضعیت فرسایشی حوضه	تصویر ماهواره ای ETM
وضعیت فرسایشی حوضه	وضعیت فرسایشی حوضه	تصویر ماهواره‌ای گوگل ارث

نقشه قابلیت اراضی	تیپ و واحدهای اراضی	تیپ و واحدهای اراضی، فرسایش پذیری خاک
آمار ایستگاه هیدرومتری	-	دبی (روزانه، ماهانه، اوج)، ارتفاع رواناب
آمار ایستگاه باران سنجی	بارش متوسط سالانه	حداکثر بارندگی ۶ ساعته با دوره بازگشت ۲ ساله
آمار ایستگاه سینوپتیک	دمای متوسط سالانه	-

مدل برآورد فرسایش EPM

مدل EPM با استفاده از اطلاعات پلات‌های فرسایش و اندازه‌گیری رسوب پس از ۴۰ سال تحقیقات در کشور یوگسلاوی سابق ابداع شده است. این مدل اولین بار در سال ۱۹۸۸ توسط گاوریلویچ در کنفرانس بین‌المللی رودخانه در کشور چین ارائه شده است. روش کار بدین صورت است که ابتدا شدت فرسایش حوضه به صورت کیفی با استفاده از معادله زیر محاسبه می‌شود:

(۱)

$$Z = Y \cdot Xa (\Psi + I^{0/5})$$

که در آن: Z، ضریب شدت فرسایش؛ Xa، ضریب استفاده از زمین؛ Y، ضریب حساسیت خاک و سنگ به فرسایش؛ Ψ ، ضریب فرسایش، و I، شیب متوسط حوضه آبخیز می‌باشد. جهت پهنه‌بندی شدت فرسایش بر اساس نمره Z از جدول زیر استفاده می‌گردد.

جدول ۲: طبقات شدت فرسایش و مقادیر آن ها در مدل EPM (رفاهی، ۱۳۸۵)

مقادیر متوسط (Z)	مقادیر حد	طبقه بندی شدت فرسایش
۱/۲۵	$Z > 1$	خیلی شدید
۰/۸۵	$1 > Z > 0/71$	شدید
۰/۵۵	$0/7 > Z > 0/41$	متوسط
۰/۳	$0/2 > Z > 0/2$	کم
۰/۱	$Z > 0/19$	خیلی کم

سپس برای به الگو درآوردن ارتباط ضریب فرسایش (Z) با مقدار کمی فرسایش (فرسایش ویژه) از معادله زیر استفاده می شود:

(۲)

$$W_{sp} = T.H.Z^{1/5}.\pi$$

$$T = \left(\frac{t}{10} + 0.1\right)^{0.5}$$

(۳)

که در آن: W_{sp} ، متوسط میزان فرسایش ویژه بر حسب متر مکعب در کیلو متر مربع در سال؛ T ، ضریب درجه حرارت؛ π ، ضریب ثابت برابر با $3/14$ ؛ H ، متوسط بارندگی سالانه در حوضه آبخیز بر حسب میلی متر و t ، درجه حرارت متوسط سالانه در حوضه بر حسب سانتی گراد می باشد. در گام آخر میزان رسوبدهی ویژه و رسوبدهی کل به ترتیب بر اساس معادله‌های زیر به دست می آید:

$$G_{sp} = W_{sp} . Ru \quad (۶)$$

$$G_s = G_{sp} . A \quad (۷)$$

که در آن: G_{sp} ، دبی رسوب ویژه بر حسب متر مکعب در کیلومتر مربع در سال؛ G_s ، دبی رسوب کل بر حسب متر مکعب در سال؛ W_{sp} ، مقدار فرسایش ویژه بر حسب متر مکعب در کیلومتر مربع در سال؛ A ، مساحت حوضه بر حسب کیلومتر مربع و R_u ، ضریب رسوب‌دهی یا ضریب نگه‌داشت مواد فرسایش یافته است که از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$R_u = \frac{4(P.D)^{0.5}}{L+10} \quad (8)$$

$$D = D_{av} - D_o$$

که در آن: P ، محیط حوضه آبخیز بر حسب کیلومتر؛ L ، طول حوضه یا بزرگ‌ترین آبراهه بر حسب کیلومتر؛ D ، اختلاف ارتفاع بر حسب کیلومتر؛ D_{av} ، ارتفاع متوسط حوضه بر حسب کیلومتر؛ و D_o ، ارتفاع نقطه خروجی حوضه بر حسب کیلومتر است. با توجه به این که مقدار ضریب رسوب‌دهی (R_u) محاسبه شده از طریق رابطه فوق در اکثر حوضه‌ها بیشتر از واحد است و این مسئله با توجه به ماهیت ضریب رسوب‌دهی امکان پذیر نمی‌باشد (۵) از این رو جهت تعیین این ضریب از رابطه ابداع شده توسط رنفرو در سال ۱۹۷۵ (به نقل از پژوهش و همکاران (۱۳۹۰)) استفاده شد که در قسمت تشریح مدل MPSIAC آورده شده است.

مدل برآورد فرسایش MPSIAC

مدل MPSIAC صورت اصلاح شده مدل پسیاک است که برای اولین بار در سال ۱۹۶۸ از سوی کمیته مدیریت آب آمریکا برای محاسبه شدت تولید رسوب در مناطق خشک و نیمه خشک غرب ایالات متحده ارائه گردید. این مدل بر اساس امتیاز دهی به ۹ عامل موثر در فرسایش و تولید رسوب شامل زمین‌شناسی سطحی، خاک، آب و هوا، رواناب، توپوگرافی، پوشش گیاهی، کاربری اراضی، وضعیت فعلی فرسایش، فرسایش رودخانه‌ای استوار است (جدول ۳).

جدول ۳: روابط تعیین نمره عوامل نه گانه و شرح آن‌ها در مدل MPSIAC (احمدی، ۱۳۸۶)

ردیف	عامل	تشریح عامل و معادله مربوط
		$Y1 = X1$
۱	زمین‌شناسی سطحی ($X1$)	شاخصی از فرسایش زمین‌شناسی که بر اساس خصوصیات سختی، هوازدگی، شکستگی و نوع سنگ از گزارش‌های زمین‌شناسی به دست می‌آید.
		$Y2 = 16/67 X2$
۲	خاک ($X2$)	ضریب فرسایش‌پذیری خاک (K) در معادله جهانی فرسایش (USLE)

$Y_2 = 0/2 X_3$	آب وهوا (X3)	۳
مقدار بارندگی ۶ ساعته با دوره بازگشت دو ساله به میلی متر		
$Y_4 = 0/2 X_4$	رواناب (X4)	۴
ارتفاع رواناب سالانه (میلی متر) ضرب در $0.1/0.3 +$ دبی اوج ویژه سالانه (متر مکعب در ثانیه در کیلومتر مربع) ضرب در ۵۰		
$Y_5 = 0/33 X_5$	پستی و بلندی (X5)	۵
شیب متوسط حوضه یا واحد ارضی به درصد		
$Y_6 = 0/2 X_6$	پوشش زمین (X6)	۶
درصد خاک لخت		
$Y_7 = 20 - 0/2 X_7$	کاربری ارضی (X7)	۷
درصد تاج پوشش گیاهی		
$Y_8 = 0/25 X_8$	وضعیت فعلی فرسایش (X8)	۸
مجموع نمرات عامل سطحی خاک (SSF) در روش مدیریت اراضی آمریکا (BLM)		
$Y_9 = 1/67 X_9$	فرسایش رودخانه‌ای (X9)	۹
نمره عامل فرسایش خندقی در روش مدیریت اراضی آمریکا (BLM)		

روش محاسبه میزان فرسایش و رسوب‌دهی در مدل پسیاک اصلاح شده بدین صورت است که پس از تعیین امتیاز ۹ عامل در نظر گرفته شده و به دست آوردن مجموع نمرات آن‌ها (R)، برای برآورد میزان تولید رسوب از معادله زیر استفاده می‌شود:

(۹)

$$Q_s = 38.77e^{0.0353R}$$

که در آن: Q_s ، تولید رسوب سالانه بر حسب متر مکعب در کیلومتر مربع در سال؛ e، عدد نپرین برابر با ۲/۷۱۸۲۸۱۸۲۸؛ و R، درجه رسوب‌دهی (مجموع امتیازات عوامل نه گانه) می باشد. جهت پهنه‌بندی فرسایش بر اساس نمره R از جدول راهنمای زیر استفاده می‌گردد.

جدول ۴: کلاس‌های شدت فرسایش در مدل MPSIAC (احمدی، ۱۳۸۶)

تولید رسوب		حاصل جمع اعداد بدست آمده از نه عامل	طبقه بندی شدت
Ton/Km2	M3/Km2	موثر در فرسایش (R)	فرسایش
> ۲۵۰۰	> ۱۴۵۰	> ۱۰۰	خیلی زیاد
۱۵۰۰ - ۲۵۰۰	۴۵۰ - ۱۴۵۰	۷۵ - ۱۰۰	زیاد
۵۰۰ - ۱۵۰۰	۲۵۰ - ۴۵۰	۵۰ - ۷۵	متوسط
۲۰۰ - ۵۰۰	۹۵ - ۲۵۰	۲۵ - ۵۰	کم
< ۲۰۰	> ۹۵	۰ - ۲۵	خیلی کم

در گام بعدی پس از برآورد رسوب‌دهی سالانه حوضه (QS)، جهت دستیابی به فرسایش سالانه حوضه بایستی اقدام به محاسبه نسبت تحویل رسوب (SDR) نمود که در تحقیق حاضر از روش رنفرو (۱۹۷۵)، به نقل از پژوهش و همکاران) جهت محاسبه میزان SDR بهره گرفته شد:

$$\log A \cdot 0.1419 - 1/7930 \log SDR = \quad (10)$$

که در آن: A، مساحت زیرحوضه بر حسب کیلومتر مربع می باشد. آن گاه با در دست داشتن میزان SDR برآورد شده و نیز میزان رسوب‌دهی ویژه (QS)، از طریق معادله زیر فرسایش ویژه حوضه (Es) نیز محاسبه می‌شود.

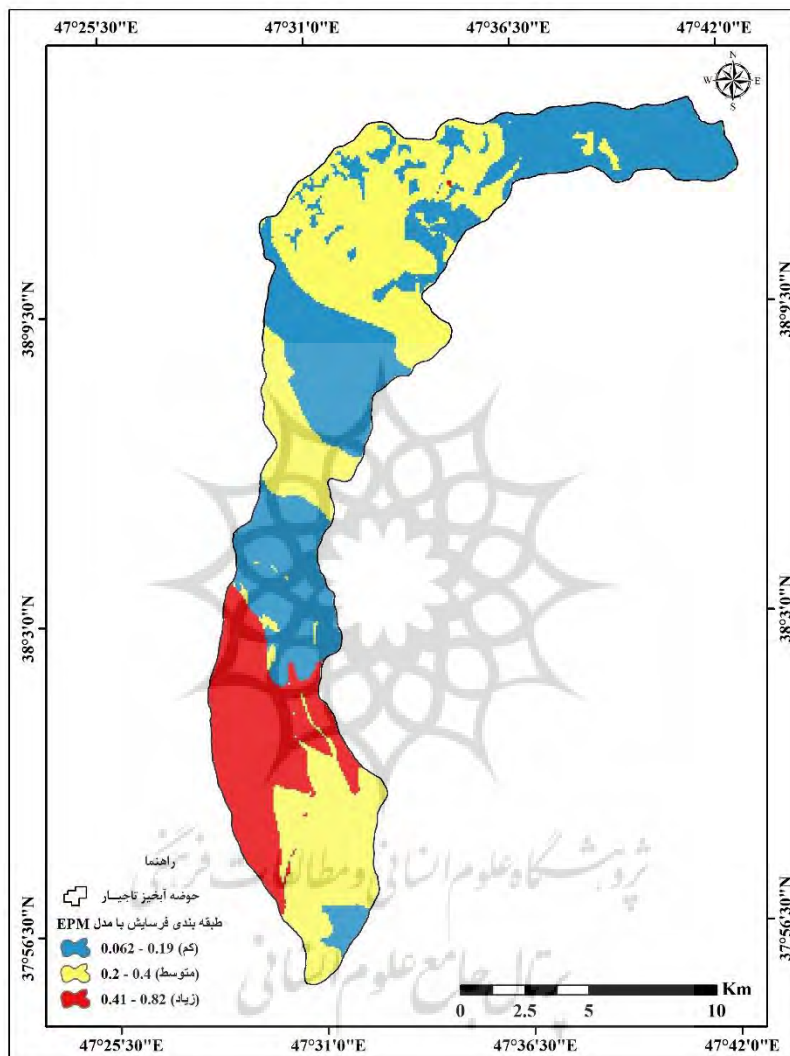
$$E_s (m^3 / km^2 / yr) = \frac{Q_s (m^3 / km^2 / yr)}{SDR} \quad (11)$$

۴- یافته‌ها (نتایج)

نتایج برآورد فرسایش و رسوب با استفاده از مدل EPM

نتایج حاصل از محاسبه میزان فرسایش به روش EPM نشان داد که بیشتر مساحت حوضه مورد مطالعه در دو کلاس فرسایشی خیلی کم (۴۱ درصد) و کم (۴۲ درصد) و کل حوضه در کلاس فرسایشی کم قرار گرفته است. ۱۷ درصد از وسعت حوضه نیز در وضعیت متوسط فرسایشی قرار دارد. آن چه که از نقشه شدت فرسایش به دست آمده (شکل ۲) برمی‌آید نیز موید این مطلب بوده و به غیر از پراکنش‌هایی که بیشتر متاثر از فاکتور کاربری اراضی (وجود پوشش مرتعی در بخش‌های بالا دست حوضه) است، کلاس‌های فرسایشی در سایر نقاط حوضه مشخص می‌باشد. نکته قابل توجهی که در نقشه پهنه‌بندی

به چشم می‌خورد این است که با وجود شیب نسبتاً زیاد نقاط مرتفع و بالادست حوضه، نقش عامل سنگ شناسی (مقاوم بودن سازندها) باعث قرارگیری این بخش در کلاس فرسایشی خیلی کم شده است. به علاوه، بررسی لایه‌های مربوط به عوامل دخیل در مدل نشان داد که اثر عامل شیب در جدایش دو کلاس فرسایشی خیلی کم و کم مشهود است.



شکل ۲: نقشه شدت فرسایش به روش EPM در حوضه آبخیز تاجیار (ماخذ: نگارندگان)

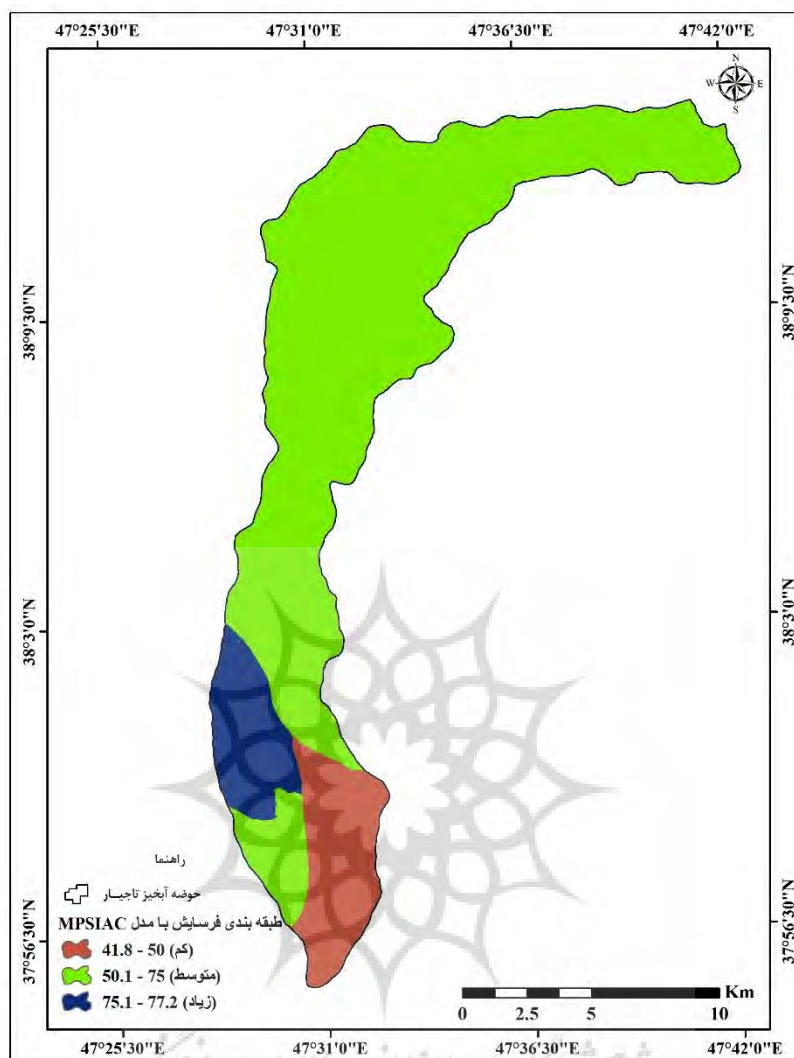
جدول ۵- مقادیر متوسط فرسایش و رسوبدهی حاصل از مدل EPM در حوضه آبخیز تاجیار (ماخذ: نگارندگان)

متوسط نمبره Z	کلاس فرسایش و رسوبدهی	فرسایش ویژه	رسوب ویژه	متر مکعب در کیلومتر مربع در سال	رسوب کل	فرسایش ویژه	رسوب ویژه	متر مکعب در کیلومتر مربع در سال	فرسایش ویژه	رسوب ویژه	متر مکعب در کیلومتر مربع در سال	تین در سال	رسوب کل
۰/۲۶	کم	۱۴۹/۶۵	۵۶/۸۷	۱۰۷۲۶/۲۵	۱۶۰۸۹/۳۷	۲۲۴/۴۷	۸۵/۳						

اما نتایج نهایی حاصل از محاسبه میزان فرسایش و رسوبدهی در حوضه مورد مطالعه (جدول ۵) نشان داد که متوسط فرسایش ویژه در حوضه آبخیز تاجیار برابر با ۱۴۹/۶۵ متر مکعب در کیلومتر مربع در سال، متوسط رسوبدهی ویژه برابر با ۵۶/۸۷ متر مکعب در کیلومتر مربع در سال و رسوب کل ۱۰۷۲۶/۲۵ متر مکعب در سال می‌باشد. با استفاده از مقادیر مذکور و با در نظر گرفتن میانگین جرم مخصوص رسوب برابر با ۱۵۰۰ کیلوگرم در متر مکعب، مقدار فرسایش ویژه، رسوب ویژه و رسوب کل بر حسب تن به دست آمد.

نتایج برآورد فرسایش و رسوب با استفاده از مدل MPSIAC

نتایج حاصل از اعمال روش MPSIAC در حوضه مورد مطالعه حاکی از وضعیت متوسط حوضه به لحاظ میزان فرسایش و رسوبدهی می‌باشد و نقشه به دست آمده (شکل ۴) نیز به خوبی نشان می‌دهد که قسمت اعظم حوضه (۶۸ درصد) در کلاس فرسایشی متوسط قرار گرفته است. بقیه مساحت حوضه به کلاس‌های فرسایشی زیاد (۲۰ درصد) و کم (۱۲ درصد) اختصاص یافته است. با این وجود بایستی توجه داشت که دامنه تغییرات در کلاس فرسایشی متوسط زیاد بوده و قابل مقایسه با دامنه تغییر دو کلاس دیگر نیست و شاید بتوان گفت که تقسیم دوباره کلاس فرسایشی متوسط به صورت جداگانه (در قالب ۳ طبقه) نتایج بهتر و واقع بینانه تری را ارائه دهد. در هر حال به نظر می‌رسد که نقش کاربری اراضی در نقشه خروجی موثرتر از بقیه عوامل بوده است به طوری که اراضی بایر و صخره‌ای (کوهستانی) در کلاس متوسط، اراضی کشاورزی آبی و باغات در کلاس کم و اراضی دیم کشاورزی که در آنها آثار فرسایش بیشتر به چشم می‌خورد در کلاس فرسایشی زیاد قرار گرفته‌اند. در مقام بعدی عامل سنگ شناسی و خاک نقش خود را به صورت ناهمگونی‌ها و پراکنش‌های موجود در نقشه پهنه‌بندی شده آشکار ساخته است.



شکل ۴: نقشه شدت فرسایش به روش MPSIAC در حوضه آبخیز تاجیکار (ماخذ: نگارندگان)

میزان متوسط رسوب ویژه در حوضه مورد مطالعه برابر با $351/14$ متر مکعب در کیلومتر مربع در سال و متوسط فرسایش ویژه آن برابر با 924 متر مکعب در کیلومتر مربع برآورد گردید. سایر مقادیر فرسایش و رسوب دهی بر حسب واحد تن در جدول ۶ مشاهده می شود.

جدول ۶: مقادیر متوسط فرسایش و رسوب‌دهی حاصل از مدل MPSIAC در حوضه آبخیز تاجیار (ماخذ:

نگارندگان)

متوسط نمره R	کلاس فرسایش و رسوب‌دهی	فرسایش ویژه	رسوب ویژه	رسوب کل	متر مکعب در کیلومتر مربع در سال	فرسایش ویژه	رسوب ویژه	رسوب کل	متر مکعب در سال	تن در کیلومتر مربع در سال	فرسایش ویژه	رسوب ویژه	رسوب کل	تن در سال	رسوب کل
۵۷/۵	متوسط	۹۲۴	۳۵۱/۱۴	۶۶۲۲۸/۵۱	۱۳۸۶	۵۲۶/۷۱	۵۲۶/۷۱	۶۶۲۲۸/۵۱	۳۵۱/۱۴	۲۱۴	۸۵/۳	۵۲۶/۷۱	۶۶۲۲۸/۵۱	۲۱۴	۹۹۳۴۲/۷۶

در انتها مقایسه‌ای بین مقادیر برآوردی رسوب‌دهی ویژه با متوسط رسوب‌دهی ویژه حاصل از مطالعه عرب خدری و همکاران (۱۳۸۳) که در مقیاس کشور ایران انجام شده بود، به عمل آمد تا دید بهتری از وضعیت فرسایش و رسوب‌دهی حوضه مورد مطالعه ارائه گردد. در تحقیق ایشان میزان متوسط رسوب‌دهی ویژه برای حوضه های آبخیز داخل کشور برابر با ۲۱۴ تن در کیلومتر مربع در سال به دست آمد. بنابراین چنان چه مقادیر برآوردی حاصل از روش EPM را ملاک قرار دهیم بایستی گفت که میزان متوسط رسوب‌دهی ویژه در حوضه آبخیز تاجیار (۸۵/۳ تن در کیلومتر مربع در سال) کمتر از متوسط رسوب‌دهی ویژه در مقیاس کشور است، اما در صورتی که مقادیر برآوردی حاصل از روش MPSIAC را ملاک عمل قرار دهیم می‌توان گفت که متوسط رسوب‌دهی ویژه در حوضه آبخیز تاجیار (۵۲۶/۷۱ تن در کیلومتر مربع در سال) بیشتر از متوسط رسوب‌دهی ویژه در مقیاس کشور است. هر چند که مطالعات ایشان در حوضه‌های با مساحت بسیار متفاوت انجام پذیرفته است و مقایسه‌ای این چنین شاید خالی از اشکال نباشد اما آن چه که در این جا مهم بوده و بایستی به آن توجه نمود برآورد بهتر و قابل استناد تر میزان فرسایش و رسوب‌دهی توسط مدل MPSIAC نسبت به مدل EPM می‌باشد که با رجوع به نقشه‌های مربوطه و تصاویر ماهواره‌ای، این موضوع مشخص گردید.

۵- بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به اهمیت مسئله فرسایش خاک به خصوص در حوضه‌های کوهستانی کشور جهت ارزیابی وضعیت فرسایش خاک در حوضه آبخیز تاجیار بعمل آمد. در مجموع نتایج حاصل از دو مدل نشان از تفاوت نسبتاً زیاد آن‌ها با یکدیگر داشت به طوری که اعمال روش EPM به تقسیم حوضه در سه کلاس فرسایشی خیلی کم، کم و متوسط انجامید. در این روش متوسط رسوب‌دهی ویژه برابر با ۱۴۹/۶۵ متر مکعب در کیلومتر مربع در سال برآورد گردید که نشان داد کل حوضه در کلاس فرسایشی کم قرار دارد. در حالی که با به کارگیری روش MPSIAC مشخص شد محدوده مورد مطالعه به سه کلاس فرسایشی

کم، متوسط و زیاد قابل تقسیم بوده و کل حوضه نیز با متوسط رسوب‌دهی ویژه برابر با ۳۵۱/۱۴ متر مکعب در کیلومتر مربع در سال در کلاس فرسایشی متوسط قرار گرفت. اگرچه مقایسه نتایج حاصل از این دو مدل به دلایل مختلف از جمله متفاوت بودن خصوصیات فیزیوگرافیک مناطقی که مدل‌های مزبور در آن جا ابداع شده‌اند، تفاوت در تعداد پارامترهای دخیل در مدل، رسایی یا نارسایی گزینه‌های جداول مربوط به عوامل، دامنه امتیازدهی عوامل و نحوه امتیازدهی به آن‌ها بر اساس معادلات مربوط خالی از اشکال نباشد، با این حال نتایج به دست آمده در مراحل مختلف این تحقیق نیز نشان داد که اعمال مدل MPSIAC از یک سو به دلیل کامل بودن جدول امتیازدهی عوامل در این مدل نسبت به مدل EPM از اعمال سلیقه شخصی کاسته و از سوی دیگر با توجه به دخالت عوامل بیشتر در مدل پسیاک اصلاح شده (MPSIAC) نسبت به مدل پتانسیل فرسایش (EPM)، از نقش برتر عوامل نسبت به هم تا حدودی کم شده و تاثیر توامان عوامل در تهیه نقشه نهایی بیشتر به چشم می‌خورد، از این رو نتایج حاصله از دقت بیشتری برخوردار بوده و قابل اعتمادتر می‌باشد. در انتها با توجه به نتایج حاصله، ضرورت توجه به وضعیت فرسایشی حوضه آبخیز تاجیار به خصوص در زمین‌های کشاورزی دیم محسوس بوده و در رتبه بعدی بایستی به فرسایش پذیری مناطق کوهستانی و بایر در جاهایی که از خاک تکامل نیافته و ضعیفی برخوردارند توجه ویژه‌ای مبذول نمود. با در نظر گرفتن اقتصاد مبتنی بر کشاورزی و دامداری در منطقه مورد مطالعه، رعایت اصول صحیح بهره‌برداری از زمین‌های کشاورزی و مراتع کوهستانی ضروری می‌نماید که این امر مشارکت توام نهادهای دولتی و مردمی را می‌طلبد.

فهرست منابع

- احمدی، حسن. ۱۳۸۶. ژئومورفولوژی کاربردی (فرسایش آبی). دانشگاه تهران، نوبت چاپ پنجم، صص ۷۱۴.
- بیات، رضا؛ رفاهی، حسینقلی؛ درویش صفت، علی اصغر و سرمدیان، فریدون. ۱۳۸۰. بررسی کارایی مدل‌های EPM و MPSIAC در برآورد رسوب حوضه آبخیز طالقان به کمک GIS. علوم کشاورزی ایران، سال ۱۳۸۰، دوره ۳۲، شماره ۱، صص ۲۰۳-۲۱۷.
- پاسبان، امیرحسام؛ عابدینی، موسی؛ فروتن، مهدی (۱۴۰۱). ارزیابی و تحلیل میزان تاثیر کاربری اراضی بر فرسایش خاک با استفاده از مدل تجربی (RUSLE) مطالعه موردی: حوضه آبخیز بالیخلوچای، استان اردبیل. جغرافیا و روابط انسانی، زمستان ۱۴۰۱، دوره ۵، شماره ۳، صص ۲۵۸ - ۲۳۸.
- حسینقلی، رفاهی. ۱۳۹۴. فرسایش آبی و کنترل آن. دانشگاه تهران. صص ۶۷۴.

رحمتی، فاطمه؛ رضایی مقدم، محمد حسین و نیکجو، محمد رضا (۱۴۰۰). بررسی تاثیر تغییرات کاربری اراضی بر فرسایش و سیل خیزی حوضه سقز چای قبل و بعد از احداث سد شهید کاظمی با استفاده از مدل Arc SWAT، جغرافیا و روابط انسانی، تابستان ۱۴۰۰، دوره ۴، شماره ۱، صص ۱۴۴-۱۲۷.

رنجبر، محسن، ۱۳۸۸. آبخیزداری. آبیژ. صص ۱۹۴.

ضیایی، حجت اله، ۱۳۸۹. اصول مهندسی آبخیزداری. تالیف، انتشارات دانشگاه امام رضا. صص ۵۴۲.

عابدینی، موسی، پاسبان، امیرحسام و بهروز نظافت تکل (۱۴۰۲) ارزیابی و تهیه نقشه کاربری اراضی حوضه آبخیز نیرچای با استفاده از روش شیء گرا. جغرافیا و روابط انسانی، بهار، دوره ۵، شماره ۴، صص ۳۲۸-۳۱.

عابدینی، موسی؛ ابوالفتحی، داریوش و رئیس، مریم. ۱۴۰۱. پهنه بندی فرسایش حوضه آبریز رزن با استفاده از مدل های منطق فازی، EPM و BLM در محیط GIS. جغرافیا و توسعه، شماره ۶۸، پاییز ۱۴۰۱، صص ۶۹-۴۹.

عابدینی، موسی؛ جوادی علی بابالو، سجاد؛ مصطفی زاده، رئوف و پاسبان، امیرحسام. ۱۴۰۱. اولویت بندی زیرحوضه های آبخیز کوزه توپراقی بر اساس فرسایش خاک و تولید رسوب با استفاده از پسیاک اصلاح شده (MPSIAC) در محیط GIS. مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، دوره ۱۳، شماره ۴۹، صص ۳۹-۱۸.

عابدینی، موسی. (۱۳۸۸) بررسی کمی مسائل هیدروژئومورفولوژیکی رودخانه لیکوان چای با تاکید بر فرسایش خاک و رسوبدهی (جنوب شرق اردبیل)، فصلنامه علمی- پژوهشی جغرافیا و توسعه. شماره (۱۵) ۸۸ - ۷۱.

عابدینی، موسی. (۱۳۸۴)، پژوهشی در فرسایش خندقی ارتفاعات جنوب غرب دشت هادیشهر شمال غرب آذربایجان شرقی از طریق روشها و تکنیکهای جدید «فصلنامه علمی- پژوهشی جغرافیا و توسعه. شماره (۶). ۱۳۳-۱۳۱.

عابدینی، موسی و سوسن طولابی. (۱۳۹۲)، مقایسه کارایی مدل های WEPP و EPM در برآورد فرسایش خاک و میزان رسوبدهی حوضه آبخیز سولاچای، مجله انجمن ژئومورفولوژی ایران شماره (۱) ۷۹-۹۶.

عابدینی، موسی و سوسن طولابی. (۱۳۹۶)، مدلسازی فرسایش خاک و تولید رسوب با سه مدل WEPP، EPM و Fournier در محیط GIS (مطالعه موردی: حوضه آبخیز سولاچای- اردبیل)، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، شماره (۱۲۵)، ۱۰۵-۹۳.

عابدینی، موسی و نازیلا یعقوب نژاد. (۱۳۹۶)، ارزیابی و پهنه‌بندی خطر فرسایش خاک در حوضه آبخیز رودخانه بالیخلو (سدیامچی) با استفاده از مدل-فازی، پژوهشهای ژئومورفولوژی کمی، سال ششم، شماره (۱). ۱۵۵-۱۳۷.

عابدینی، موسی، شبرنگ، شنو، اسمعیلی، ابذر. (۱۳۹۲)، بررسی میزان فرسایش خاک و رسوبدهی در حوضه آبخیز مشکین چای به روش EPM. فصلنامه جغرافیا و توسعه، سال یازدهم، شماره (۳۰). ۱۰۰-۸۷.

معدنچی، پیمان؛ شاهی، کاکا و سعیدیان، حمزه. ۱۴۰۱. بررسی تاثیر عملیات آبخیزداری بر تغییر فرسایش و کلاس رسوبدهی، با استفاده از مدل تجربی MPSIAC در منطقه نیمه خشک. پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز، سال سیزدهم، شماره ۲۵، صص ۴۹-۴۰.

مؤذنی نقندر، سعیدرضا؛ علیخانی، فائزه و حاتمی یزد، ابوزر. ۱۴۰۱. بررسی اثر اجرای عملیات آبخیزداری بر رواناب و فرسایش خاک (مطالعه موردی: حوضه نخاب بشرویه). مرتع و آبخیزداری، مجله منابع طبیعی ایران، دوره ۷۵، شماره ۲، صص ۳۱۷-۲۹۹.

Bai, Z. G., Dent, D. L., Olsson, L., & Schaepman, M. E. (2008). Global assessment of land degradation and improvement: 1. Identification by remote sensing (No. 5). ISRICWorld Soil Information.

Borrelli, P., Robinson, D.A., Panagos, P., Lugato, E., Yang, J.E., Alewell, C., et al., 2020. Land use and climate change impacts on global soil erosion by water (2015–2070). Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A. 117 (36), 21994–22001.

Depountis, N., Michalopoulou, M., Kavoura, K., Nikolakopoulos, K., Sabatakakis, N. Estimating Soil Erosion Rate Changes in Areas Affected by Wildfires. ISPRS Int. J. Geo-Inf. 2020, 9, 562.

- Ennaji, N., Ouakhir, H., Halouanm., S and Abahrour., M. 2022. Assessment of soil erosion rate using the EPM Model: case of Ouaoumana basin, Middle Atlas, Morocco. *Environment and Natural Resources*, 1090. pp 1-14.
- Grauso, S., A. Pagano, G. Fattoruso, P. De Bomis, F. Onori, P. Regina and C. Tebano. 2007. Relations between climatic–geomorphological parameters and sediment yield in a mediterranean semi-arid area (Sicily, southern Italy). *Environmental Geology*. 54: 219–234.
- Kamal, E., Soukaina, M., Mustapha, I., Kamal, A., Tamer, A., Mohamed, A., 2023. Integrating Erosion Potential Model (EPM) and PAP/RAC Guidelines for Water Erosion Mapping and Detection of Vulnerable Areas in the Toudgha River Watershed of the Central High Atlas, Morocco. *Land* 2023, 12, 837. Pp 1-24.
- Li, P., Holden, J., Irvine, B., Mu, X., 2017. Erosion of northern hemisphere blanket peatlands under 21st-century climate change. *Geophys. Res. Lett.* 44 (8), 3615–3623.
- Li, Y., Zhang, X., Cao, Z., Liu, Z., Lu, Z., Liu, Y., 2021c. Towards the progress of ecological restoration and economic development in China's Loess Plateau and strategy for more sustainable development. *Sci. Total Environ.* 756, 143676.
- Milodowski, D.T., Hancock, S., Silvestri, S., Mudd, S.M., 2020. Linking life and landscape with remote sensing. In: Tarolli, P., Mudd, S.M. (Eds.), *Remote Sensing of Geomorphology* 23. Elsevier, pp. 129–182.
- Murat, F and Abdullah, S., 2022. Comparative Erosion Analysis with MPSIAC & RUSLE Methods: Madra Dam Basin. *Jeomorfolojik Araştırmalar Dergisi / Journal of Geomorphological Researches*, 2022 (8): 28-47.
- Natasa, V, Mirjana, T., and Desanaka, S., 2022. Erosion Map Reliability Using a Geographic Information System (GIS) and Erosion Potential Method (EPM): A Comparison of Mapping Methods, BELGRADE Peri-Urban Area, Serbia. *Land*, 11, 1096, pp 1-18.
- Pastor, A.V., Nunes, J.P., Ciampalini, R., Koopmans, M., Baartman, J., Huard, F., Calheiros, T., Le-Bissonnais, Y., Keizer, J.J., Raclot, D. Projecting Future Impacts of Global Change Including Fires on Soil Erosion to Anticipate Better Land Management in the Forests of NW Portugal. *Water* 2019, 11, 2617.
- Pravalie, R., 2021. Exploring the multiple land degradation pathways across the planet. *Earth-Sci. Rev.* 220, 103689.

Rodrigo-Comino, J., 2018. Five decades of soil erosion research in "terroir". The state-of-the-art. *Earth-Science Reviews* 179, 436–447.

Rompaey, A.V., P. Bazzoffi, R.J.A. Jones and L. Montanarella. 2005. Modeling sediment yields in Italian catchments. *Geomorphology*. 65: 157–169.

Sun, P., Wu, Y., Wei, X., Sivakumar, B., Qiu, L., Mu, X., et al., 2020. Quantifying the contributions of climate variation, land use change, and engineering measures for dramatic reduction in streamflow and sediment in a typical loess watershed, China. *Ecol. Eng.* 142, 105611.

Tong, Y., Zhang, W., Wang, X., Couture, R.-M., Larssen, T., Zhao, Y., et al., 2017. Decline in Chinese lake phosphorus concentration accompanied by shift in sources since 2006. *Nat. Geosci.* 10 (7), 507–511.

United Nations, 2015. Transforming our world: The 2030 Agenda for Sustainable Development. United Nations General Assembly, New York.

Wang, H., Sun, F., 2021. Variability of annual sediment load and runoff in the Yellow River for the last 100 years (1919–2018). *Sci. Total Environ.* 758, 143715.

Wang, X., Wang, Z., Xiao, J., He, M., Zhang, F., Pan, Y., et al., 2021. Soil erosion fluxes on the central Chinese Loess Plateau during CE 1811 to 1996 and the roles of monsoon storms and human activities. *Catena* 200, 105148.

Xuan, D., Jinshi, J., Can, D., Ryan, D. 2021. Conservation management decreases surface runoff and soil erosion. *International Soil and Water Conservation Research* 10 (2022) 188-196.

Yadav GS, Das A, Kandpal B K, Babu S., Lal Rattan, Datta M, Das B, Singh R, Singh VK, Mohapatra KP, Chakraborty M. 2021. The food-energy-water-carbon nexus in a maize-maize-mustard cropping sequence of the Indian Himalayas: An impact of tillage-cum-live mulching. *Renew. Sust. Energ. Rev.*

Zhao, G., Mu, X., Wen, Z., Wang, F., Gao, P., 2013. Soil erosion, conservation, and environment changes in the Loess Plateau of China. *Land Degrad. Dev.* 24 (5), 499–510.