نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، سال دهم، شماره ۱، بهار ۱۴۰۲

صفحات ۱۷۵ - ۱۹۲

بررسی و مقایسه دو مدل EPM و MPSIAC در برآورد فرسایش و رسوب (مطالعه موردی: حوضه آدینه مسجد استان مرکزی)

محمد پورانوری؛ دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه اراک، اراک، ایران.

جواد مظفری[1]؛ دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه اراک، اراک، ایران

سید اسدا... محسنی موحد؛ دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه اراک، اراک، ایران

دریافت مقاله :۱۴۰۰/۰۹/۲۹ پذیرش نهایی: ۱۴۰۲/۰۳/۲۹

چکیده

فرسایش و به تبع آن تولید رسوب باعث هدر رفت هر ساله هزاران تن از اراضی حاصلخیز کشور است. لذا لازم است که حوزه‌های تولید رسوب با شدت و میزان آن شناسایی شوند تا بتوان اقدام به طرح‌های آبخیزداری در این مناطق نمود. هدف از این تحقیق مقایسه دو مدل EPM و MPSIAC در برآورد فرسایش و رسوب حوزه آدینه مسجد از زیر حوزه‌های حوزه آبخیز کمال‌صالح واقع در جنوب‌غربی استان مرکزی با مساحت ۱۱۳۷۴/۱۵ هکتار می‌باشد. بخشی از اطلاعات اولیه مورد نیاز مانند ویژگی‌های طبیعی و مورفولوژی حوزه از طریق مطالعات آبخیزداری و سایر اطلاعات از طریق پردازش تصاویر رقومی و مشاهدات و تهیه نقشه‌های مورد نیاز با استفاده از امکانات GIS برای تهیه فاکتورهای مورد نیاز مدل‌های EPM و MPSIAC به دست آمد. در مدل MPSIAC، میزان رسوب ویژه ۱۱۲/۷۱۳ (M³/Km²/year) و فرسایش ویژه ۳۷۵/۷۱ (M³/Km²/year) محاسبه شد، در مدل EPM میزان رسوب ویژه ۲۱۳/۹۵ (M³/Km²/year) و فرسایش ویژه ۳۹۵/۸۶ (M³/Km²/year) محاسبه شد. نتایج حاکی از این است که اگرچه دو مدل برای برآورد فرسایش و رسوب انطباق نسبی با هم دارند لکن نتایج حاصل از مدل MPSIAC با توجه به اینکه گستره‌ی بیشتری از عوامل دخیل را مورد ارزیابی قرار می‌دهد دارای کارایی بهتری نسبت به مدل EPM می باشد. بهرحال با توجه به فاصله نه چندان زیاد فرسایش برآوردی دو مدل، در صورتی که داده‌های مدل MPSIAC موجود نباشد، می‌توان از مدل EPM با داده‌های با سهولت دستیابی بیشتر استفاده کرد.

واژه های کلیدی: حوزه آبخیز، فرسایش و رسوب، مدل‌سازی.

[1]. نویسنده مسئول: Email: Javad_۳۷۰@yahoo.com

مقدمه

فرسایش خاک به فرایندی گفته می‌شود که طی آن ذرات و اجزاء خاک توسط یک عامل فرساینده از بستر اصلی خود جدا شده و به مکان دیگری منتقل می‌شوند. در فرآیند فرسایش خاک سه فاز مشخص و مجزای: ۱- جدا شدن ذرات خاک، ۲- انتقال ذرات و ۳- رسوب مواد حمل شده وجود دارد. (رفاهی، ۱۳۹۱). فرسایش پدیده ای است که از بدو شکل گیری زمین همواره با آن همراه بوده است. ولی طی قرون اخیر به دلیل افزایش جمعیت، محدودیت منابع، توسعه صنعتی و افزایش دخالت انسان در اکوسیستم های طبیعی روندی صعودی داشته است (فتح الله زاده و ثروتی، ۱۳۹۱). بنابراین فرسایش پیوسته در حال وقوع بوده است و در آینده نیز این پدیده مخرب همچنان ادامه خواهد داشت. امروزه کمتر منطقه ای را در سطح زمین می توان یافت که در معرض تخریب فرسایش قرار نگرفته باشد (مخدوم، ۱۳۸۱). مطالعه کمی و کیفی فرسایش در حوزه‌های آبخیز کشور و جلوگیری از به هدر رفتن یکی از غنی ترین و با ارزش ترین منابع طبیعی کشور یعنی خاک و مبارزه با این فرایند کمال اهمیت را دارد (طباطبائی و همکاران، ۱۳۹۲). پیچیدگی و تنوع عوامل مؤثر در فرسایش باعث شده است که ارائه روشی تحلیلی برای برآورد فرسایش میسر نگردد و بدین منظور روش‌های تجربی به کار گرفته می‌شود. از جمله این روش‌ها FAO، BLM[۲]، EPM، PSIAC & MPSIAC، RUSLE، MUSLE و ... می باشد. در زمینه فرسایش خاک چه به صورت کمی و چه به صورت کیفی مطالعه‌های فراوانی صورت گرفته است که نتایج قابل قبولی نیز داشته‌اند. آز آن جمله می‌توان به مطالعات بیات و همکاران(۱۳۹۹)، باقرزاده و دانشور (Bagherzadeh and Daneshvar, ۲۰۱۱)، پورکریمی و همکاران (Pourkarimi et al,۲۰۱۷)، سینگ و پاندا (Singh and Panda, ۲۰۱۷)، کیدان و همکاران (Kidane et al, ۲۰۱۹)، ، راجباشی و باتاچاریا (Rajbanshi and Bhattacharya,۲۰۲۰) اشاره کرد. مومی پور و تنگستانی (۱۳۸۴)، در مقایسه‌ای که بین مدل‌های EPM و PSIAC در حوزه آبخیز افزر در استان فارس به این نتیجه رسید که با توجه به اینکه در مدل EPM فقط چهار فاکتور دخالت دارد، نتایج حاصل از مدل پسیاک منطقی‌تر به نظر می‌رسد. تاجگردان و همکاران (۱۳۸۷)، در مطالعه برآورد فرسایش و رسوب با استفاده از مدل MPSIAC در حوزه آبریز زیارت میزان فرسایش حوزه را ۶۹۵/۵۸ تن در سال بدست آوردند و به این نتیجه رسیدند که با استفاده از برخی مشاهدات صحرایی و تصاویر ماهواره‌ای (در صورت صعب العبور بودن منطقه) می‌توان رسوب در حوزه مورد مطالعه را با دقت بالایی برآورد نمود. عینی (۱۳۹۰) مدل‌های MPSIAC، EPM و FAO را در برآورد میزان فرسایش و تولید رسوب در حوزه آبریز رود زرد در استان خوزستان با مساحت ۸۸۲ کیلومتر مربع به کار برد و به این نتیجه رسید که مدل MPSIAC دارای نتایج قابل قبول‌تری است نسبت به بقیه مدل‌ها است. تابش مقدم و لله گانی (۱۳۹۳) به بررسی تناسب مدل‌های MPSIAC و EPM در برآورد فرسایش و رسوب در سامانه اطلاعات جغرافیایی در حوزه زاخرد استان فارس پرداختند و نتیجه گرفتند مدل MPSIAC تناسب بیشتری با واقعیت نسبت به مدل EPMدارد. نیک نام و همکاران (۱۳۹۳) دو مدل EPM و MPSIAC را در برآورد فرسایش و رسوب در حوزه آبخیز مانشگی در رودان استان هرمزگان مورد ارزیابی و دریافتند نتایج مدل EPM برای شناسایی مناطق دارای فرسایش متوسط و زیاد قابل اطمینان نمی‌باشد. عفیفی (۱۳۹۵) فرسایش خاک و درجه رسوب‌دهی را در حوزه آبخیز نمدان با استفاده از مدل MPSIAC مورد بررسی قرار داد و نتایج نشان داد که علاوه بر تأثیر واحدهای سنگی سازنده بستر حوزه، نحوه ی پوشش و کاربری زمین

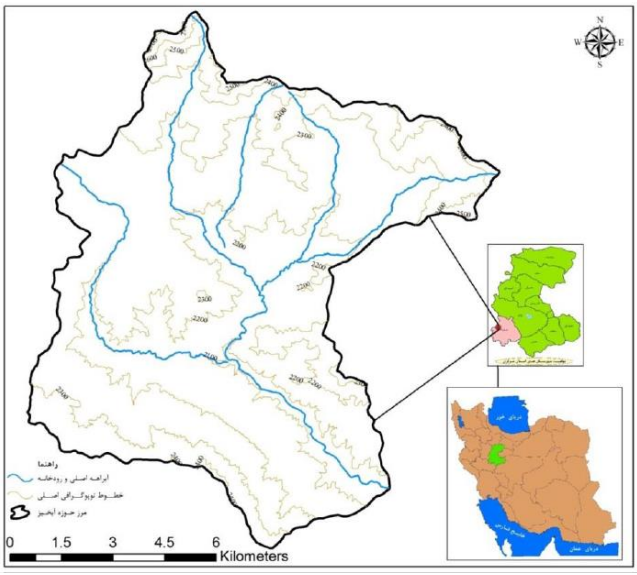
[۲]. Bureau of Land Management

تا حد زیادی در میزان رسوب‌دهی تأثیر گذار می‌باشد. ذاکری حسینی و همکاران (۱۳۹۵) کارایی روش MPSIAC را در مقایسه با روش‌های هیدرولوژیکی و هیدروگرافی برای برآورد حجم آورد رسوبی سد مسجد سلیمان بررسی کردند که نتایج بیانگر این بود که از مدل تجربی MPSIAC می‌توان برای زیر حوزه های فاقد آمار رسوب و به عنوان جایگزینی نسبتا قابل قبول به جای روش پر هزینه هیدروگرافی در سدها استفاده نمود. رمضانی و همکاران (۱۳۹۶) به نقش پارامترهای محیط طبیعی در میزان فرسایش و تولید رسوب به دو روش MPSIAC و EPM در حوزه آبخیز سد برنجستانک پرداختند که بر طبق یافته‌های آن‌ها میزان رسوب‌دهی سالانه در حوزه مذکور با روش MPSIAC برابر با ۲۲۱/۹۹ m^3/km^2 بوده و با روش EPM کل رسوب حوزه برابر با ۳۶۳/۷۱ m^3/km^2 می‌باشد که از نظر شدت فرسایش حوضه مورد مطالعه با توجه به هر دو روش در کلاس فرسایش کم قرار دارد. با توجه به آنچه گفته شد پژوهش حاضر بر اساس دو هدف عمده‌ی ذیل انجام گرفت: ۱- برآورد میزان فرسایش و رسوب در حوزه آبخیز آدینه مسجد با استفاده از مدل‌های تجربی EPM و MPSIAC و ۲- بررسی و مقایسه دو مدل و انتخاب مدل بهتر برای منطقه و اقلیم‌های مشابه. نکته ی جدید این کار این است در همچین منطقه ی کوهستانی مثل جنوب استان مرکزی این مقایسه انجام نشده بیشتر در مناطق دشت و جلگه انجام شده بود و در کوهستانی انجام نشده بود.

۲. داده ها و روش‌ها

- **قلمرو جغرافیایی مورد مطالعه**

حوزه آبخیز آدینه مسجد یکی از زیرحوزه‌های دز و زیر حوزه اصلی سد کمال‌صالح می باشد. حوضه سد کمال صالح جزء سرشاخه‌های اصلی رودخانه تیره لرستان به حساب می‌آید. شکل (۱) موقعیت منطقه مورد مطالعه را نسبت به استان مرکزی و کشور نشان می دهد. این حوزه با مساحت ۱۱۳۷۴/۱۵هکتار در فاصله ۲۸ کیلومتری شهرآستانه و درمحدوده ″۰۴ ،′۰۴ ،°۴۹ تا ″۲۷ ،′۱۲ ،°۴۹ طول شرقی و ″۴۹ ،′۴۶ ،°۳۳ تا ″۵۵ ،′۵۶ ،°۳۳ عرض شمالی قرار دارد. بلندترین ارتفاع منطقه، ۲۷۳۲ متر و کمترین ارتفاع منطقه، معادل ۲۰۳۶ متر از سطح دریا، شیب متوسط حوزه ۱۶/۸ درصد، میانگین بارندگی سالانه حوزه ۵۷۶/۱ میلی متر و میانگین دمای سالانه حوزه ۱۰/۶ درجه سانتیگراد می‌باشد. نزدیکترین ایستگاه هیدرومتری در پایین‌دست حوزه آدینه مسجد، ایستگاه حسن آباد می‌باشد. میزان متوسط رسوب در ایستگاه حسن آباد به طور میانگین در سال‌های ۱۳۸۶الی ۱۳۹۶، ۱۴۲ مترمکعب بر کیلومتر مربع در سال می‌باشد.



شکل ۱. نقشه موقعیت حوزه آبخیز آدینه مسجد در ایران و استان مرکزی

- **زمین شناسی حوزه**

ژئومرفولوژی حوزه شامل واحدهای سنگی کوهستان – تپه ماهور و دشت می‌باشد که دارای تیپ‌ها و رخساره‌های متعددی می‌باشند که در زیر توضیح داده می‌شوند.

- **تیپ کوهستان**

اراضی کاملاً تخریبی با پستی و بلندی بسیار شدید با شیب کلی بیش از ۲۵ درصد وگاهی ۸ تا ۲۵ درصد و فاقد جهت کلی می‌باشد. اختلاف ارتفاع بین بالاترین و پائین‌ترین نقطه این اراضی بیش از ۱۰۰ متر و عمدتاً بین ۵۰۰ تا۱۰۰۰ متر است. این تیپ شامل یک واحد اراضی با نماد ۱.۲ می‌باشد و این واحد با توجه به رخساره و جهت شیب و عمق خاک به سه اجزاء واحد اراضی به نام ۱.۲.۲ و ۱.۲.۳ و ۱.۲.۱ مجزا گردیده است. فرسایش در تیپ کوهستان به صورت سطحی می‌باشد و دارای خاک کم عمق غیر یکنواخت و میزان زیاد هرزآب سطحی و نفوذپذیری ضعیف می‌باشد. اجزاء واحد اراضی ۱.۲.۱ شامل کوه‌های مرتفع و ارتفاع ازسطح دریا ۲۴۰۰ تا ۲۷۶۰ متر و شیب ۳۰ تا۷۰ درصد است. این بخش عمده حوزه را در نیمه شمالی در بر می‌گیرد. اجزای واحد اراضی ۱.۲.۲ شامل کوه‌های مرتفع، ارتفاع ازسطح دریا ۲۲۰۰تا۲۵۰۰ متر و شیب اراضی ۴۰ تا۶۰ درصد است. این اجزا نیمه میانی تا شرقی حوزه را شامل می‌گردد. اجزا واحد اراضی ۱.۲.۳ شامل کوه‌های مرتفع، ارتفاع از سطح دریا ۲۳۰۰تا۲۴۰۰ متر و شیب اراضی ۲۰ تا۵۰ درصد است. این اجزا نیمه جنوبی حوزه را شامل می‌گردد فرسایش در این اجزا بصورت سطحی شیاری و کمی خندقی بوده و دارای کاربری مرتع و دیم می‌باشد. شکل (۲) نمونه‌ای از تیپ کوهستان در حوزه را نشان می‌دهد.

شکل ۲. نمونه ای از اجزاء واحد اراضی تیپ کوهستان (۱.۲) موجود در حوزه

- **تیپ تپه‌ها**

تپه‌ها معمولاً معادل سطوح ژئومرفولوژیکی فرسایشی می‌باشند و شیب کلی این اراضی عموماً ۸-۲۵ درصد وگاهی تا ۴۰ درصد و فاقد جهت مشخصی است. اختلاف ارتفاع بین بالاترین و پائین ترین نقطه این اراضی بیش از ۱۰۰ متر و عمدتاً بین ۵۰ تا۵۰۰ متر است. این تیپ دارای یک واحد اراضی با نماد ۲.۲ می باشد که به دو اجزاء واحد اراضی با توجه به رخساره و جهت شیب و عمق خاک مجزا می‌شود. واحد اراضی ۲.۲.۱ شامل تپه‌های نسبتاً مرتفع و خاک کم عمق تا نیمه عمیق سنگریزه‌دار غیریکنواخت، شیب اراضی ۸ تا ۲۰ درصد و ارتفاع از سطح دریا ۲۲۰۰تا۲۴۰۰ متر است. فرسایش بصورت سطحی، شیاری وگالی دیده می‌شود و در حال حاضر عمدتاً تحت کاربری مرتع و دیم و باغ است. میزان هرزآب سطحی در این اراضی زیاد بوده و نفوذپذیری ضعیف اراضی موجب هرزآب زیاد در سطح اراضی شده و پوشش مرتعی نیز ضعیف می‌باشد. اجزا واحد اراضی ۲.۲.۲ شامل تپه‌های کم ارتفاع و ارتفاع از سطح دریا ۲۱۵۰ تا ۲۳۰۰ متر و شیب اراضی ۸ تا ۱۵ درصد است. این اجزا نیمه میانی تا جنوب حوزه دیده می‌شوند. فرسایش در این اجزا بصورت سطحی شیاری وگالی و دارای کاربری مرتع و دامنه‌ها دیم‌کاری غلات است. دارای خاک نیمه عمیق بوده و میزان هرزآب سطحی در این اراضی زیاد و نفوذپذیری متوسط تا زیاد می‌باشد. شکل (۳) نمونه‌ای از تیپ تپه را در حوزه نشان می‌دهد.

شکل ۳. نمونه ای از تیپ تپه در حوزه

- **تیپ فلات‌ها و تراس‌های فوقانی**

این تیپ شامل آبرفت‌های قدیمی بجا مانده بر اثر حرکت روانآب‌ها می‌باشد که به مرور زمان بجا گذاشته است. دارای شیب عمومی صفر تا ۵ درصد و پستی و بلندی کمتر از ۵۰ متر است. این تیپ به دو واحد اراضی ۳.۱.۱ و۳.۲.۱ مجزا شده است. اجزاء واحد اراضی ۳.۱.۱ شامل فلات‌های بسیار مرتفع با پستی و بلندی زیاد و متشکل از آبرفت قدیمی و واریزه با منشأ متفاوت دارای خاک نیمه عمیق سنگریزه‌دار، دارای فرسایش سطحی وگالی است. شیب عمومی ۵ تا ۸ درصد و بعضی قسمتها تا ۱۲درصد هم می‌رسد. در حال حاضر اراضی تحت کاربری دیم و باغ و اراضی آبی می‌باشد. میزان نفوذپذیری متوسط تا کم و هرزآب متوسط تا زیادی می‌باشد. این اجزا عمدتاً در میانه حوزه قرار دارند. اجزاء واحد اراضی ۳.۲.۱ شامل فلات‌هایی با پستی و بلندی کم و متشکل از آبرفت قدیمی و واریزه، دارای خاک نیمه‌عمیق سنگریزه‌دار و دارای فرسایش سطحی است و شیب عمومی ۲ تا ۵ درصد می‌باشد. در حال حاضر اراضی تحت کاربری باغ و اراضی آبی و دیم می‌باشد. میزان نفوذپذیری متوسط و هرزآب متوسط تا کم می‌باشد. شکل (۴) نمونه‌ای از تیپ فلات را نشان می‌دهد.

شکل ۴. نمونه‌ای از تیپ فلات در حوزه

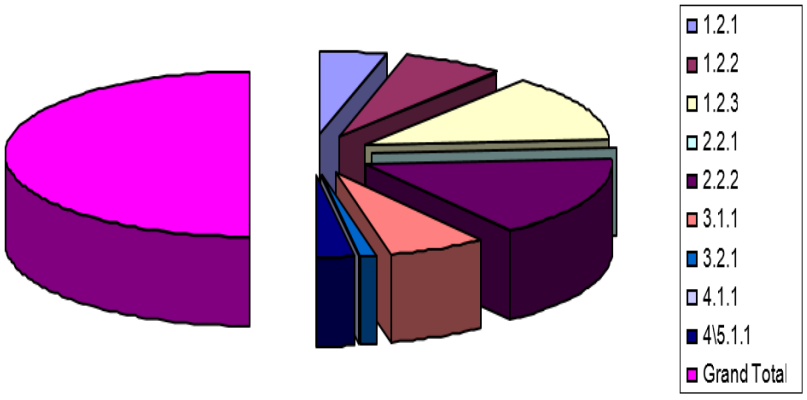
- **تیپ دشت دامنه‌ای**

این تیپ دارای یک واحد اراضی با نماد ۴.۱.۱ بوده و شامل دشت دامنه‌ای با کمی پستی و بلندی و شیب ۲ تا ۵ درصد می‌باشد. خاک عمیق این اراضی عمدتاً تحت کشت آبی ودیم است. با توجه به بافت نیمه‌سنگین تا متوسط خاک اراضی از لحاظ نفوذپذیری متوسط تا ضعیف و آبگذری عمقی نیز متوسط است. این اجزاء عمدتاً در اطراف روستای چهار چریک واقع است در صورت تامین آب برای کشت اراضی مناسبی برای توسعه کشت آبی است.

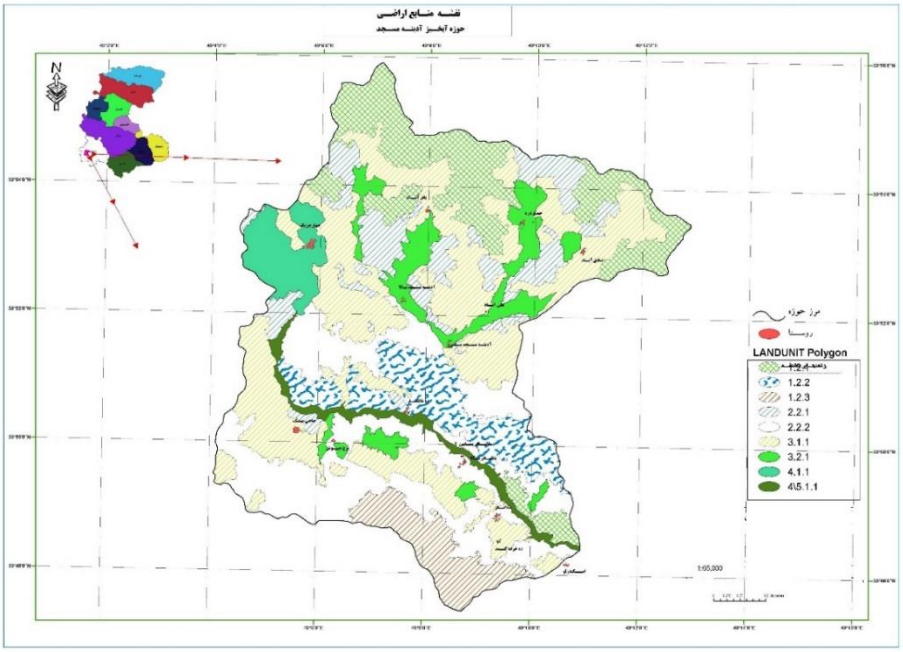
- **تیپ دشت‌های رسوبی**

اجزاء واحد اراضی ۱.۱. ۴/۵ شامل دشت آبرفت رودخانه‌ای با کمی پستی و بلندی و شیب ۱ تا ۲ درصد و خاک عمیق سنگریزه می‌باشد که بستر سنگلاخ رودخانه را شامل می‌گردد. این اجزا قسمت میانی تا خروجی را شامل می‌گردد و کاربری

فعلی اراضی، آبی و باغ است. شکل (۵) نمودار دایره‌ای مساحت هر یک از منابع اراضی و شکل (۶) نقشه واحدهای اراضی را نشان می‌دهد. همان طور که مشاهده می‌شود به طور کلی حوزه آدینه مسجد از پنج تیپ اصلی کوهستان، تپه‌ها، فلات‌ها و تراس‌های فوقانی، دشت دامنه‌ای و دشت‌های رسوبی تشکیل شده است. بیشترین مساحت تیپ‌ها، فلاتها و تراس‌های فوقانی با ۴۱۶۱/۵۲ هکتار و کمترین مساحت تیپ‌ها، تیپ واریزه‌های بادبزنی شکل سنگریزه‌دار با ۲۵۰/۳۷ هکتار می‌باشد.



شکل ۵. نمودار دایره‌ای مساحت هر یک از منابع اراضی



شکل ۶. نقشه واحدهای اراضی

- **مدل‌های مورد استفاده**

در روش MPSIAC تأثیر و نقش ۹ عامل و در روش EPM، ۴ عامل مهم و موثر در فرسایش خاک و تولید رسوب درحوزه، ارزیابی و بسته به شدت و ضعف هر عامل، امتیاز یا عددی برای آن در نظر گرفته شد. از مجموع امتیازها یا عددهای به دست

آمده برای عوامل مختلف، میزان رسوب دهی حوزه محاسبه می‌شود. در ابتدا لازم است که هر یک از عوامل ۹ گانه در محیط GIS تهیه شود. نسخه اولیه مدل MPSIAC، مدل PSIAC نام داشت. این مدل مبتنی بر ۹ عامل زمین شناسی، خاک، آب و هوا، رواناب، پستی و بلندی، پوشش گیاهی، کاربری زمین‌ها، فرسایش فعلی حوزه و فرسایش موجود در آبراهه‌های حوزه است و برای هر عامل امتیازی در نظر می‌گیرند. جانسون و گمبرت (Jhonson and Gembhart,۱۹۸۲) اصلاحاتی در این مدل به وجود آوردند و آن را فرمول اصلاح شده پسیاک MPSIAC نامیدند و مدل را از حالت کیفی به صورت کمی تبدیل کردند. جدول (۱) عوامل مؤثر در مدل MPSIAC و چگونگی امتیاز دهی به آن را مشخص می‌کند.

جدول ۱. روابط تعیین نمره یا امتیاز هر یک از عوامل ۹ گانه در مدل MPSIAC

ردیف	عوامل موثر در فرسایش و تولید رسوب	محاسبه امتیاز در روش MPSIAC	شرح پارامتر ها
۱	زمین شناسی	$y_۱ = x_۱$	$x_۱$ شاخصی از فرسایش زمین شناسی که بر اساس خصوصیات سختی، هوازدگی، شکستگی و نوع سنگ
۲	خاک	$y_۲ = ۱۶.۶۷x_۲$	$x_۲$ ضریب فرسایش پذیری خاک در معادله جهانی تلفات خاک.
۳	آب و هوا (اقلیم)	$y_۳ = ۰.۲x_۳$	$x_۳$ مقدار بارندگی ۶ ساعته با دوره بازگشت دو ساله (میلی متر).
۴	رواناب	$y_۴ = ۰.۲\ x_۴$	$x_۴$ برابر با مجموع ارتفاع رواناب سالانه (میلیمتر) ضربدر ۰/۰۳ و دبی پیک سالانه (متر مکعب در ثانیه در کیلومتر مربع) ضربدر ۵۰
۵	پستی و بلندی (شیب)	$y_۵ = ۰.۳۳\ x_۵$	$x_۵$ برابر با شیب متوسط حوزه بر حسب درصد.
۶	پوشش گیاهی	$y_۶ = ۰.۲\ x_۶$	$x_۶$ برابر است با درصد خاک لخت
۷	کاربری زمین ها	$y_۷ = ۲۰ - ۰.۲\ x_۷$	$x_۷$ برابر است با درصد تاج پوشش گیاهی.
۸	وضعیت فعلی فرسایش (فرسایش بالادست)	$y_۸ = ۰.۲۵\ x_۸$	$x_۸$ برابر با مجموع نمرات عامل سطحی خاک (S.S.F) است.
۹	فرسایش رودخانه‌ای و حمل رسوب	$y_۹ = ۱.۶x_۹$	$x_۹$ نمره مربوط به فرسایش خندقی در عامل سطحی خاک.

- **تعیین فرسایش ویژه با استفاده از مدل MPSIAC و نسبت تحویل رسوب SDR**[۳]

هدف اصلی مطالعات فرسایش و رسوب دهی در هر حوزه تعیین میزان فرسایش می‌باشد. معمولا تمام خاک فرسایش یافته به رسوب تبدیل نمی‌گردد، به این معنی که خاک‌های برداشت شده در سطح حوزه ممکن است از مکانی به مکان دیگر در داخل حوزه جابه‌جا شوند و یا در گودی‌ها و ناهمواری‌های موجود در سطح حوزه انباشته شوند و به خروجی حوزه نرسند که در نتیجه میزان خاک فرسایش یافته در هر حوزه بیشتر از میزان مواد حمل شده در مقطع رودخانه می‌باشد (عینی، ۱۳۹۰). با داشتن نسبت تحویل رسوب SDR که از روی بافت خاک و واحدهای اجزای اراضی تعیین می‌شود و با مقدار رسوب تحویل شده، می‌توان میزان خاک فرسایش یافته را به دست آورد.

$$\text{مقدار خاک فرسایش شده در بالادست آن نقطه} = \frac{\text{مقدار رسوب حمل شده به یک نقطه}}{SDR} \qquad \text{رابطه (۱)}$$

[۳]. Sediment Delivery Ratio

- **مدل EPM:**

روش EPM برای اولین بار در سال ۱۹۸۸ در کنفرانس بین المللی رژیم رودخانه توسط گاوریلوویچ[۴] ارائه گردید. با استفاده از مدل EPM علاوه بر تعیین شدت فرسایش و میزان حمل رسوب در رودخانه‌ها، می‌توان برآورد از میزان بار رسوب‌گذاری در پشت سدهای مخزنی در دست مطالعه را انجام داد. در این روش چهار مشخصه اصلی شامل ضریب فرسایش حوزه آبخیز (Ψ)، ضریب کاربری اراضی (X_a) ضریب حساسیت سنگ و خاک به فرسایش (Y) و شیب متوسط حوزه (I) در سطح حوزه در نقشه، مورد بررسی قرار می‌گیرد. بر اساس امتیازهای این چهار عامل مقدار Z یا ضریب شدت فرسایش از شکل (۳) به دست می آید. با قرار دادن مقدار Z کلاس فرسایش برای هر واحد اراضی یا شبکه تعیین می‌گردد. سپس میزان فرسایش از رابطه (۲) و میزان رسوب در حوزه با استفاده از رابطه (۳) برآورد می‌شود.

در این روش برای به الگو در آوردن ارتباط ضریب فرسایش با مقدار کمی فرسایش (یا به تعبیری فرسایش ویژه) معادله زیر ارائه شده است:

$$W_{sp} = T \times H \times \pi \times Z^{۲/۳}$$ رابطه (۲)

که در آن :

W_{sp} – میانگین سالانه فرسایش ویژه $(m^۳/Km^۲/yr)$

T- ضریب درجه حرارت که از رابطه $T = (t/۱۰ + ۰/۱)^{۰/۵}$ به دست می‌آید و در آن t میانگین درجه حرارت سالانه در حوزه آبخیز به درجه سانتیگراد می‌باشد.

H- ارتفاع متوسط بارندگی سالانه حوزه آبخیز بر حسب میلی متر

Z- ضریب شدت فرسایش است که از نمودار مربوطه (رفاهی، ۱۳۹۱) تعیین می‌گردد.

پس از تعیین درجه رسوب‌دهی برای منطقه مورد مطالعه کلاس رسوب‌دهی مطابق جدول زیر برای مدل EPM به دست می‌آید (احمدی، ۱۳۸۵). برای تعیین فرسایش ویژه برای یک حوزه میانگین وزنی Z را برای حوزه محاسبه کرده و سپس میانگین‌های سالانه بارندگی و درجه حرارت (ضریب درجه حرارت) را برای حوزه بدست آورده و در معادله فوق قرار می‌دهیم. عدد محاسبه شده بیان کننده مقدار خاکی است که از بستر خود جدا شده و انتقال یافته است. اما همه این مواد به نقطه خروجی نخواهد رسید. مدل EPM بر خلاف مدل MPSIAC میزان محاسبه شده تا این لحظه را فرسایش ویژه تلقی می‌کند. و تا رسیدن به رسوب ویژه مرحله دیگری باقی دارد.

در روش EPM برای برآورد میزان رسوب ویژه در حوزه آبخیز از رابطه زیر استفاده می‌شود:

$$G_{sp} = W_{sp} R_u$$ رابطه (۳)

که در آن:

G_{sp} : رسوب ویژه حوزه بر حسب متر مکعب بر کیلومتر مربع در سال.

W_{sp} : میانگین سالانه فرسایش ویژه بر حسب متر مکعب بر کیلومتر مربع در سال.

۴. Gavirlovic

ضریب رسوب‌دهی حوزه یا ضریب نگهداشت مواد فرسایش یافته می‌باشد. این ضریب معین می نماید که چه میزان مواد رسوبی از نقطه خروجی خارج می‌شود و مقدار آن از رابطه زیر حاصل می‌شود:

$$R_u = \frac{۴\,(P \times D)^{۰/۵}}{L+۱۰}$$ رابطه (۴)

که در آن:

P- محیط حوزه به کیلومتر.

L- طول حوزه به کیلومتر. (لازم به ذکر است که منظور فاصله‌ی بین ابتدا و انتهای حوزه است)

D- متوسط اختلاف سطح در حوزه به کیلومتر که از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود:

$$D = D_{av} - D_{۰}$$ رابطه (۵)

شرح و تفسیر نتایج

در جدول (۲) امتیاز هر یک از فاکتورهای مربوط به مدل MPSIAC، آورده شده است. همانطور که ملاحظه می‌شود با توجه به میزان فاکتور R وضعیت کلاس فرسایش حوزه در مدل MPSIAC در رده‌ی کم قرار می‌گیرد.

جدول ۲. میانگین ضرایب R در حوزه آدینه مسجد در مدل MPSIAC

زمین‌شناسی $X_۱$	خاک X_2	آب و هوا X_3	روان‌آب X_4	شیب X_5	پوشش زمین X_6	کاربری اراضی X_7	وضعیت فرسایش X_8	فرسایش رودخانه‌ای X_9	مجموع امتیاز R
۴/۱۶۶	۷/۹۵	۶/۱۲	۴/۹۶	۵/۵۴	۱/۹	۲/۰۶	۸/۸۵	۸/۳۵	۵۰/۰۴۷

امتیازدهی عوامل نه گانه MPSIAC در کل حوزه و در همه‌ی زیر حوزه‌ها و مقدار رسوب ویژه سالیانه بر اساس رابطه اصلاح شده MPSIAC ($Q_s = ۱۸.۶\, e^{۰.۰۳۶\, R}$) و همچنین فرسایش ویژه با توجه به مقدار نسبت تحویل رسوب (SDR) و شدت و کلاس رسوب‌دهی برای کل حوزه محاسبه شد.

$$Q_s = ۱۸.۶\, e^{۰.۰۳۶\, R}$$ رابطه (۶)

$$Q_s = ۱۸.۶\, e^{۰.۰۳۶ \times ۵۰.۰۴۷} = ۱۱۲.۷۱۳\ m3/\ km^۲/year \xrightarrow{\rho=۱۳۶۰\ kg/m^۳} Q_s = ۱.۵۳۳\ ton/ha/year$$

- **نتایج برآورد فرسایش و رسوب در مدل EPM:**

همانطور که ملاحظه می‌شود مقدار Z در این مدل ۰/۳۲ به دست آمد که در کلاس‌بندی میزان فرسایش مدل EPM، این حوزه در کلاس متوسط قرار دارد.

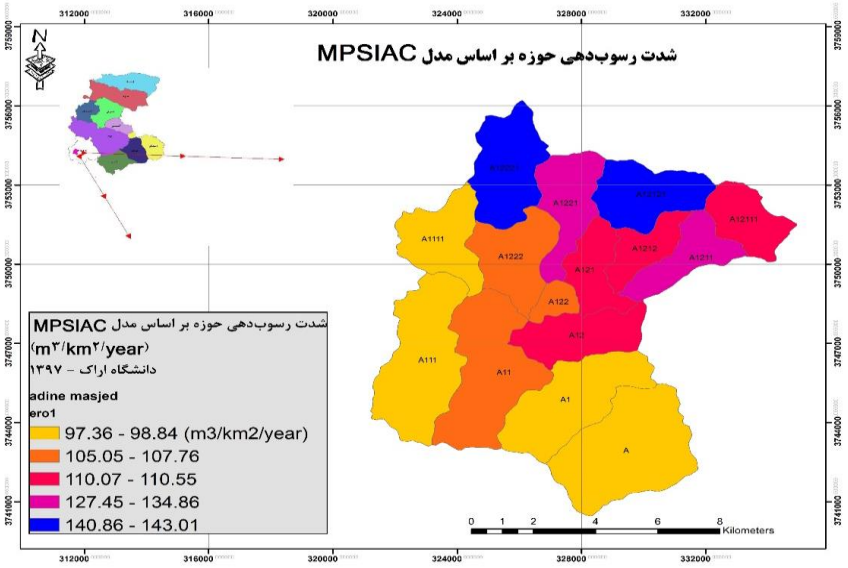
$$W_{sp} = ۳۹۵.۸۶\ m^۳/Km^۲/year \xrightarrow{\rho=۱۳۶۰\ kg/m^۳} W_{sp} = ۵.۳۸\ ton/ha/year$$

جدول (۳) خلاصه‌ی مقادیر پارامترهای اندازه گیری شده و محاسبات مدل‌های EPM و MPSIAC را در حوزه نشان می‌دهد. بر طبق جدول (۳)، مهمترین عوامل ایجاد فرسایش حوزه در مدل MPESIAC، وضعیت فرسایش حوزه (۸/۸۵)، فرسایش رودخانه‌ای (۸/۳۵) و عامل خاک بوده است. عامل فرسایش حوزه که متاثر از فرسایش‌های بارانی، ورقه‌ای، شیاری و خندقی می‌باشد یکی از عوامل تعیین کننده در فرسایش مدل می‌باشد که می‌تواند تا امتیاز ۲۵ را به خود اختصاص دهد. بنابراین امتیاز ۸/۸۵ این عامل نشاندهنده این است که فرسایش حوزه چندان شدید بنظر نمی‌رسد. عامل پوشش زمین (۱/۹) و کاربری اراضی (۲/۰۹) نیز کمترین مقادیر تاثیرگذار در فرسایش را نشان می‌دهند. این مساله نشاندهنده این است که کاربری اراضی مناسب بوده و خسارت شدیدی را به حوزه از نظر فرسایش وارد نکرده است. در مدل EPM ضریب حساسیت خاک به فرسایش ۰/۹ می‌باشد که بیشترین تاثیر را در فرسایش نشان داده است و نشاندهنده حساسیت نسبی سازندهای حوزه به فرسایش می‌باشد. البته باید درنظر داشت که این ضریب نیز عدد بزرگی را نشان نمی‌دهد و حساسیت سازندها نسبت به فرسایش در رده شدید قرار نمی‌گیرد. عامل موثر دیگر در فرسایش، کاربری اراضی می‌باشد که عدد ۰/۴۵ را نشان می‌دهد. نتایج دو مدل نشاندهنده این است که فرسایش در مدل MPSIAC، ۳۷۵/۷۱ و در مدل EPM ۳۹۵/۵۶ متر مکعب در کیلومتر مربع می‌باشد که تفاوت زیادی را نشان نمی‌دهند.

جدول ۳. خلاصه ی محاسبات مربوط به مدل EPM و MPSIAC در حوزه آدینه مسجد

محاسبات مدل EPM		محاسبات مدل MPSIAC	
ضریب فرسایش حوزه آبخیز	۰/۲۵	زمین شناسی سطحی	۴/۱۶۶
ضریب کاربری اراضی	۰/۴۵	خاک	۷/۹۵
ضریب حساسیت خاک به فرسایش	۰/۹	آب و هوا	۶/۱۲
ضریب توپوگرافی (شیب متوسط حوزه)	۰/۱۷	رواناب	۴/۹۶
ضریب شدت فرسایش	۰/۲۸	توپوگرافی	۵/۵۴
میانگین دمای سالانه (سانتیگراد)	۱۳/۶	کاربری اراضی	۲/۰۶
ارتفاع متوسط بارندگی سالانه (mm)	۵۷۶/۱	پوشش زمین	۱/۹
شدت رسوبدهی ($m^3/km^2/year$)	۲۱۳/۹۵	وضعیت فرسایش حوزه	۸/۸۵
فرسایش ($m^3/km^2/year$)	۳۹۵/۸۶	فرسایش رودخانه‌ای	۸/۳۵
کلاس رسوب‌دهی	متوسط(III)	درجه رسوبدهی (مجموعه عوامل نه گانه)	۵۰/۰۴۷
		شدت رسوبدهی ($m^3/km^2/year$)	۱۱۲/۷۱۳
		نسبت تحویل رسوب	۳۰
		فرسایش ($m^3/km^2/year$)	۳۷۵/۷۱
		کلاس رسوب دهی	کم (II)

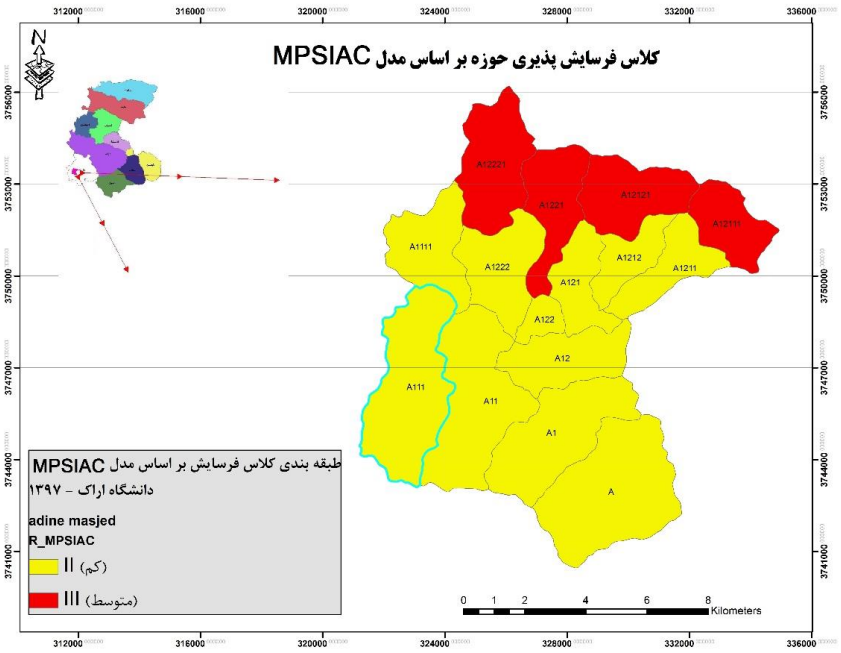
کلاس رسوب‌دهی حوزه در روش MPSIAC با درجه رسوب‌دهی R=۵۰/۰۴۷ در کلاس رسوب‌دهی کم (II) قرار گرفت و در روش EPM کلاس فرسایش حوزه در کلاس متوسط (III) قرار گرفت. در شکل (۷) شدت رسوب‌دهی حوزه بر اساس مدل MPSIAC به تفکیک زیر حوزه‌ها بر حسب $m^3/km^2/year$ نشان داده شده است.



شکل ۷. شدت رسوب‌دهی حوزه بر اساس مدل MPSIAC

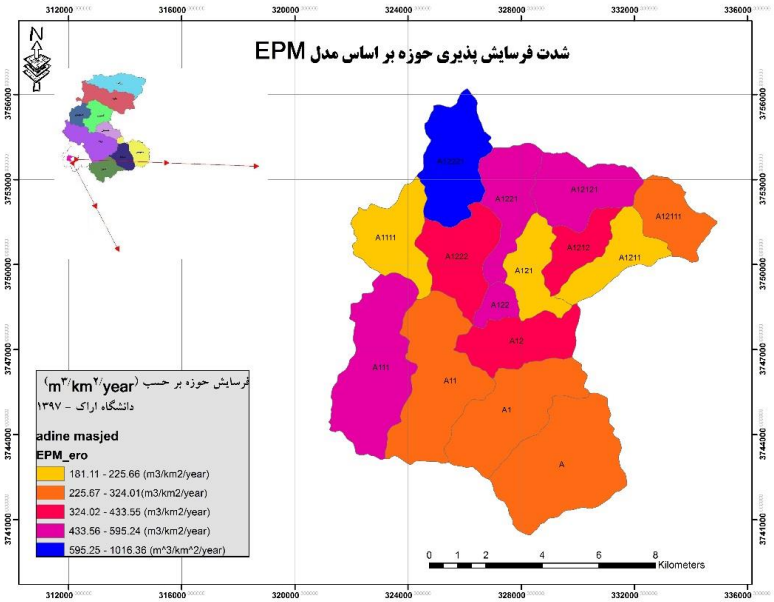
طبق شکل، شدت رسوبدهی در شمال حوزه ۱۴۰ تا ۱۴۳ $m^3/km^2/year$ می‌باشد و بیشترین مقدار را به خود اختصاص داده است. دلیل این امر این است که فرسایش سطحی در شمال حوزه بیشترین مقادیر را دارد. کمترین مقدار فرسایش نیز در جنوب و غرب دیده می‌شود. بیشتر این مناطق اراضی کشاورزی هستند و نشان‌دهنده رعایت اصول کاربری اراضی در منطقه می‌باشد.

در شکل (۸) کلاس بندی فرسایش حوزه با میزان فرسایش کم و متوسط نشان داده شده است. به جز بخشی از مناطق شمال حوزه که فرسایش متوسط را نشان می‌دهد، تمام حوزه در وضعیت فرسایش کم نشان داده شده است.



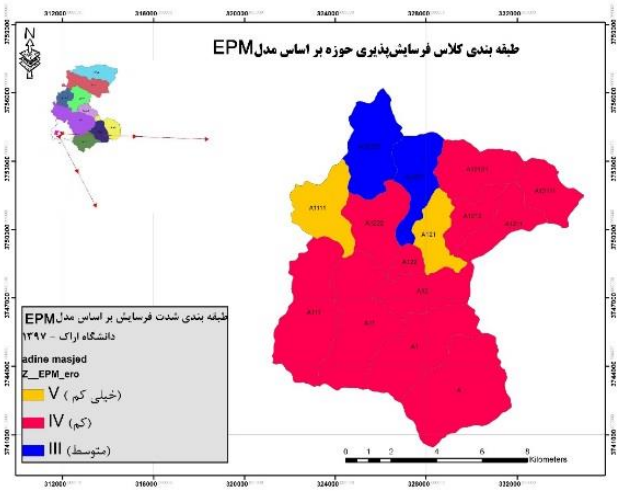
شکل ۸. کلاس‌بندی فرسایش حوزه بر اساس مدل MPSIAC

در شکل (۹) شدت فرسایش پذیری حوزه بر اساس مدل EPM بر حسب $m^3/km^2/year$ نشان داده شده است. بر طبق این شکل، شدت رسوبدهی بیشتر از ۵۹۵ $m^3/km^2/year$ در شمال غربی بوجود آمده است. این منطقه در مدل MPSIAC نیز دارای شدت رسوبدهی بالاتر از مناطق دیگر بوده است. البته مدل EPM مقدار رسوب بیشتری را برای این منطقه پیش‌بینی کرده است. دیگر مناطق شمالی نیز از نظر میزان شدت رسوبدهی در این شکل با مدلMPSAIC تطابق نسبی را نشان می‌دهند.



شکل ۹. شدت فرسایش پذیری حوزه بر اساس مدل EPM

کمترین میزان فرسایش در شکل (۹) نیز مربوط به مناطق جنوبی است که این بخش نیز بین دو مدل دارای انطباق است. اما در منطقه جنوب غربی شدت رسوبدهی در دو مدل متفاوت پیش‌بینی شده است. بطوریکه در مدل EPM شدت رسوبدهی در رده بالاتر و در مدل MPESAIC در رده کم به دست آمده است. در شکل (۱۰) کلاس بندی فرسایش پذیری حوزه بر اساس مدل EPM نشان داده شده است. به غیر از بخشی از شمال حوضه که دارای فرسایش متوسط است، بیشتر مناطق حوضه دارای فرسایش کمی می‌باشد.



شکل ۱۰. کلاس بندی فرسایش پذیری حوزه بر اساس مدل EPM

نتیجه گیری

پژوهش حاضر به مقایسه دو مدل MPSIAC و EPM در برآورد فرسایش و رسوب در حوزه آبخیز آدینه مسجد در جنوب غربی استان مرکزی پرداخته است و در این راستا از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) بهره گرفته است. در مدل MPSIAC، میزان رسوب ویژه ($M^3/Km^2/year$) ۱۱۲/۷۱۳ و فرسایش ویژه ($M^3/Km^2/year$) ۳۷۵/۷۱ محاسبه شد. همچنین در مدل EPM میزان رسوب ویژه و فرسایش ویژه به ترتیب ($M^3/Km^2/year$) ۲۱۳/۹۵ و ($M^3/Km^2/year$) ۳۹۵/۸۶ محاسبه شد. با توجه به میزان رسوب اندازه‌گیری شده در ایستگاه هیدرومتری پایین‌دست، مدل MPSIAC تخمین دقیق‌تری را ارائه داده است. البته باید در نظر گرفت که میزان فرسایش در دو روش تفاوت زیادی را نشان نمی‌دهد. کلاس فرسایش حوزه آدینه مسجد در مدل MPSIAC در رده کم و در مدل EPM در ردیف فرسایش متوسط قرار می‌گیرد. در مدل MPSIAC حدود ۲۳ درصد سطح حوزه در کلاس فرسایش متوسط قرار می‌گیرد که عمدتا در قسمت‌های مرتفع و بالایی حوزه با شیب زیاد که مبدأ روان‌آب و ورودی حوزه هستند، قرار می‌گیرد و میزان فرسایش و تولید رسوب در این مناطق بیشتر از سایر نقاط است و مابقی سطح حوزه در کلاس فرسایش کم قرار می گیرد همانطور که گفته شد فرسایش کناره‌ای (آبراهه‌ای) و وضعیت فعلی فرسایش سطح حوزه مهم‌ترین عوامل در فرسایش منطقه و تولید رسوب می باشد. نتایج حاکی از این است که اگرچه دو مدل برای برآورد فرسایش و رسوب انطباق نسبی با هم دارند لکن نتایج حاصل از مدل MPSIAC با توجه به اینکه گستره‌ی بیشتری از عوامل دخیل را مورد ارزیابی قرار داده است دارای اطمینان بیشتری نسبت به مدل EPM می‌باشد و لذا مدل MPSIAC برای تخمین میزان رسوب سالانه ورودی به مخزن سد کمال می تواند صالح مفید باشد. به هرحال با توجه به اینکه نتایج حاصل از دو مدل تفاوت زیادی با هم نداشتند لذا برای حوزه‌های فاقد داده‌های کمی و آمار می‌توان از مدل

EPM برای برآورد فرسایش و رسوب با داده‌های کم‌تر و سهولت دستیابی بیشتر استفاده کرد. نتایج نشان داد که عوامل فرسایش آبراهه‌ای و وضعیت سیمای فرسایش حوزه بیشترین تأثیر را در فرسایش حوزه داشته‌اند که می‌توان بسترهای کناری آبراهه‌ها را با اقداماتی مثل سنگچین نمودن و احداث بند تقویت نمود تا جلوی فرسایش خاک به میزان قابل توجهی گرفته شود.

منابع

احمدی، حسن. ۱۳۸۵. *ژئومورفولوژی کاربردی، جلد ۱، فرسایش آبی*. چاپ چهارم. انتشارات دانشگاه تهران.

بیات، رضا؛ محمود عرب خدری و نجمه بهنام. ۱۳۹۹. بررسی کارآیی مدل‌های MPSIAC و EPM در تعیین وضعیت فرسایش حوزه آبخیز شهریار. نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی. ۱:۳-۱۶.

تابش مقدم، محمدتقی؛ لله گانی، بختیار. ۱۳۹۳. بررسی تناسب مدل‌های EPM و MPSIAC در برآورد فرسایش و رسوب در سامانه اطلاعات جغرافیایی مطالعه موردی حوزه زاخرد استان فارس. *اولین همایش ملی توسعه پایدار منابع طبیعی تجدید شونده*. همدان.

تاجگردان، تکتم؛ شمس ا... ایوبی و شعبان جویباری. ۱۳۸۷. برآورد فرسایش و رسوب به کمک داده‌های ماهواره‌ای سامانه اطلاعات جغرافیایی با استفاده از مدل MPSIAC (مطالعه موردی حوزه آبخیز زیارت). *پژوهش و سازندگی*. **۲۱**: ۳۷-۴۵.

ذاکری حسینی، فاطمه؛ رضایی، خلیل و محمود شفاعی بجستان. ۱۳۹۵. ارزیابی کارایی روش MPSIAC در مقایسه با روش‌های هیدرولوژیکی و هیدروگرافی برای محاسبه حجم آورد رسوبی سد مسجد سلیمان. *مجله زمین شناسی کاربردی پیشرفته* **۹۵**: ۵۱-۶۱.

رفاهی، حسینقلی. ۱۳۹۱. *فرسایش آبی و کنترل آن*. چاپ هفتم. انتشارات دانشگاه تهران.

رمضانی، بهمن؛ هدی ابراهیمی و لیلا حق پرست مژدهی. ۱۳۹۶. نقش پارامترهای محیط طبیعی در میزان فرسایش و تولید رسوب به دو روش MPSIAC و EPM (مطالعه موردی حوزه آبخیز سد برنجستانک). *مجله مهندسی جغرافیایی سرزمین*. **۲**: ۴۹-۵۹.

طباطبایی، محمودرضا؛ کاکا شاهدی و کریم سلیمانی. ۱۳۹۲. مدل شبکه عصبی مصنوعی برآورد غلظت رسوب معلق رودخانه ای به کمک تصاویر سنجنده مودیس. *نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)*. **۲۷**: ۱۹۳-۲۰۴.

عفیفی، محمدابراهیم. ۱۳۹۵. ارزیابی فرسایش خاک و درجه رسوب دهی در حوزه ی آبریز نمدان با استفاده از مدل MPSIAC و GIS. *فصلنامه جغرافیایی سرزمین*. **۵۵**: ۵۶-۵۸.

علیزاده، امین. *اصول هیدرولوژی کاربردی*. ۱۳۹۰. چاپ سی و دوم. انتشارات دانشگاه امام رضا.

عینی، خدیجه. ۱۳۹۰. ارزیابی مدل های MPSIAC , EPM و FAO در برآورد میزان فرسایش و تولید رسوب حوزه آبریز رود زرد با استفاده از GIS. پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه شهید چمران اهواز.

فتح الله زاده، طاهره و محمد رضا ثروتی. ۱۳۹۱. مطالعه و برآورد کیفی فرسایش در رخساره های ژئومرفولوژی با روش FAO در حوزه آبخیز ناورود. *فصلنامه جغرافیایی سرزمین*، **۳۴**: ۶۵-۷۴.

مخدوم، مجید. ۱۳۸۱. *شالوده آمایش سرزمین* انتشارات دانشگاه تهران.

مومی پور، مهدی؛ مجید هاشمی تنگستانی.۱۳۸۴. *برآورد فرسایش خاک حوزه اوجان چای با استفاده از تکنیک‌های دورسنجی و GIS*، همایش ژئوماتیک، سازمان نقشه برداری کشور.

نیکنام، ابوذر؛ حسین محسنی زاده و عماد فهیم، ع. ۱۳۹۳. مقایسه دو مدل EPM و MPSIAC در براورد فرسایش و رسوب در حوزه آبخیز ماشنگی(رودان،استان هرمزگان). *دومین همایش سراسری کشاورزی و منابع طبیعی پایدار*. تهران، موسسه آموزش عالی مهر اروند.

Bagherzadeh A.; and M. R. Daneshvar. ۲۰۱۱. Sediment yield assessment by EPM and PSIAC models using GIS data in semiarid region. *Front. Earth Sci*ence. ۵: ۲۰۷– ۲۱۶.

Jhonson, C. W. and A. C. Gembhart. ۱۹۸۲. Predicting sediment yield from sagerbrush range lands. *USDA - SEA - ARM Western series*. ۲۶: ٤٤-٥٢.

Kidane M.; A. Bezie, N. Kesete and T. Tolessa. ۲۰۱۹. The impact of land use and land cover (LULC) dynamics on soil erosion and sediment yield in Ethiopia. Heliyon, ۱۲: e۰۲۹۸۱.

Pourkarimi M.; S. Mahmoudi, M. Masihabadi., E. Pazira and A. Moeini. ۲۰۱۷. Use of MPSIAC and EPM to estimate sediment yield and erosion-a case study of a watershed of the second urban phase, Mashhad, Khorasan Province. Agri. Forest. ٦٣: ۲۰۱-۲۱.

Rajbanshi J. and S. Bhattacharya.۲۰۲۰. Assessment of soil erosion, sediment yield and basin specific controlling factors using RUSLE-SDR and PLSR approach in Konar river basin, India. *Journal of Hydrology*. ٥٨٧:١٢٤٩٣٥.

Singh G. and R. K. Panda. ۲۰۱۷. Grid-cell based assessment of soil erosion potential for identification of critical erosion prone areas using USLE, GIS and remote sensing: A case study in the Kapgari watershed, India. Int. *Soil Water Conservation Resources*. ٣: ۲۰۲–۲۱۱.