

اولویت بندی حوزه های آبخیز بر مبنای وضعیت فرسایش با استفاده از مدل های تجربی EPM و MPSIAC (مطالعه موردی: حوزه آبخیز ارو)

رضا بیات*^۱، مریم رستمی^۲

تاریخ دریافت: ۹۴/۱۰/۱۵ تاریخ پذیرش: ۹۵/۲/۲

چکیده

بررسی و اولویت بندی مناطق مختلف بر اساس میزان فرسایش و رسوبدهی، می تواند منجر به تولید اطلاعات ارزشمندی برای عملی کردن طرح های جامع آبخیزداری، حفاظت خاک و کاهش خسارات انواع فرسایش در مناطق مورد مطالعه شود. پژوهش حاضر به منظور مقایسه دو مدل EPM و MPSIAC در برآورد فرسایش و رسوب و اولویت بندی واحدهای هیدرولوژیک موجود در حوزه آبخیز ارو واقع در استان تهران انجام شد. بخشی از اطلاعات مورد نیاز این پژوهش در زمینه ویژگی های طبیعی حوضه مذکور، از طریق مطالعات جامع آبخیزداری حوزه آبخیز حبله رود تامین و بخشی دیگر با کمک مطالعات صحرایی تهیه شد. با محاسبه فاکتورهای مورد نیاز در دو مدل EPM و MPSIAC میزان فرسایش با استفاده از این دو مدل برای تمامی واحدهای هیدرولوژیک موجود در این حوضه برآورد و بر اساس شدت رسوبدهی و فرسایش خاک در هر زیرحوضه، مقایسه و اولویت بندی انجام شد. در مدل MPSIAC میزان فرسایش ویژه ۴۵۱ و رسوب ویژه ۲۳۳ متر مکعب بر کیلومتر مربع در سال برآورد گردید. این در حالی است که میزان فرسایش و رسوب ویژه کل حوزه آبخیز در مدل EPM به ترتیب ۳۷۸ و ۲۰۰ متر مکعب بر کیلومتر مربع برآورد شد. از نظر توزیع مکانی، بیشترین سطح در مدل های مذکور به طبقه متوسط فرسایش و رسوب اختصاص داشت. نتایج نشان داد که در بیشتر طبقات فرسایش، مدل EPM و MPSIAC با هم انطباق خوبی ندارند. اولویت بندی واحدهای هیدرولوژیک موجود در این حوضه نشان داد که در مدل EPM واحد A4 و در مدل MPSIAC واحد A-1-4-3 بیشترین میزان فرسایش و رسوبدهی ویژه را به خود اختصاص می دهند.

کلمات کلیدی: اولویت بندی، حوزه آبخیز ارو، رسوب، فرسایش خاک، مدل EPM، مدل MPSIAC

^۱ عضو هیات علمی پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، تهران، ایران

نویسنده مسئول: bayat52@gmail.com

^۲ دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری دانشگاه تهران، ایران

مقدمه

فرسایش خاک به عنوان یکی از هزاران فرایند طبیعی، سالیان درازی است که فعال بوده، به طوری که هر ساله هزاران تن مواد جامد از سطح حوزه‌های آبخیز توسط آب، باد و ... شسته شده و از محلی به محل دیگر انتقال می‌یابند. امروزه عقیده بر این است که فرسایش خاک توسط آب یکی از عوامل مهم و اصلی تغییر منظر زمین، تخریب منابع زیست-محیطی و محدودکننده امکان دستیابی به امنیت غذایی و آب در جهان می‌باشد (۱۵). بنابراین مطالعات فرسایش خاک یکی از بررسی‌های پایه در مباحث مربوط به حفاظت خاک و آبخیزداری به شمار می‌آید و برای اجرا کردن برنامه‌های حفاظتی، تعیین روش‌های شناخت، کنترل و مبارزه با فرسایش امری ضروری است. هنگامی که بهره‌برداری از منابع خاک و آب مبتنی بر اصول صحیح و متناسب با توان‌های طبیعی و شرایط محیطی نباشد، فرسایش تخریب‌کننده حادث می‌شود (۸). در این وضعیت، خسارات بیشتری نسبت به فرایند طبیعی فرسایش وارد و خاک بیشتری از دست می‌رود.

بیشتر پژوهشگران فرسایش خاک معتقد به پیچیده بودن چگونگی ایجاد، رشد و گسترش انواع فرسایش در شرایط مختلف زمین‌محیطی و تحت اقدامات مختلف عامل انسان در بهره‌برداری از منابع خاک، آب و گیاه می‌باشند (۳). یکی از مباحث مهم در مطالعات فرسایش، شناسایی وضعیت موجود و تعیین سهم و شدت فرسایش در منطقه مورد مطالعه

می‌باشد. روش‌های پیش‌گیری و مبارزه با فرسایش در اشکال مختلف آن از قبیل سطحی، شیاری، خندقی، لغزشی و هم‌چنین بر اساس میزان فعال بودن هر یک از اشکال در مناطق مختلف متفاوت است. لذا نوع و شکل فرسایش، شدت و میزان فعال بودن هر یک و هم‌چنین عامل و یا عوامل تشدیدکننده فرسایش از مهم‌ترین فاکتورهای تعیین‌کننده در تصمیم‌گیری و انتخاب نوع عملیات حفاظتی می‌باشد. به‌طور کلی هدف از مطالعات فرسایش و رسوب در فاز تفصیلی-اجرایی یک حوزه آبخیز، شناخت دقیق اولویت‌ها، بررسی وضعیت فرسایش و برآورد فرسایش و رسوب جهت انجام اقدامات حفاظتی حوضه می‌باشد.

یکی از مشکلات اساسی برای تخمین میزان فرسایش و رسوب به منظور برنامه-ریزی‌های مربوط به بهره‌برداری از منابع آب و خاک، عدم وجود آمار به ویژه در حوزه‌های آبخیز کوچک می‌باشد، به طوری که در مدیریت حوزه‌های آبخیز و تدوین برنامه‌های حفاظتی کارشناسان و بهره‌برداران را با مشکل مواجه می‌سازد، بنابراین جهت تخمین و برآورد میزان فرسایش و رسوب در حوضه‌های فاقد آمار روابط تجربی ابداع شده است. اساس مدل‌های تجربی در نظر گرفتن تعدادی از عوامل مهم که در فرسایش خاک مؤثرند، می‌باشد و بر مبنای روش‌های مشاهده‌ای و اندازه‌گیری تجربی مدل را ارائه می‌دهند (۱). در مورد مدل‌های تجربی به خصوص

با مدل PSIAC در حوزه‌ی آبخیز شمال کارون به این نتیجه رسیدند که این مدل دارای همبستگی خوبی با مقدار رسوب حاصل از ایستگاه رسوب‌سنجی بوده است (۱۱). در پژوهشی در زیرحوضه‌ی اوزون‌دره از حوزه آبخیز قزل‌اوزن به این نتیجه رسیدند که مدل PSIAC با مقادیر اندازه‌گیری شده مطابقت خوبی داشته است و هم‌چنین مدل EPM را مناسب برای سایر مناطق مشابه منطقه‌ی تحقیق دانستند (۴).

هم‌چنین می‌توان در این زمینه به مطالعات محمودآبادی و همکاران (۲۰۰۵)، دادرسی (۱۹۹۷)، ریونز و همکاران^۵ (۲۰۰۰)، صادقی (۲۰۰۵) اشاره نمود، که عمدتاً با استفاده از تکنیک‌های مختلف GIS نقشه وضعیت فرسایش را در منطقه مورد مطالعه خود تهیه کرده‌اند (۱۴، ۷، ۱۸ و ۲۰).

به‌طور کلی با توجه به این‌که شناسایی، بررسی و اولویت‌بندی مناطق مختلف بر اساس میزان فرسایش و رسوبدهی، می‌تواند منجر به تولید اطلاعات ارزشمندی برای اجرایی و عملی کردن طرح‌های جامع آبخیزداری، پیش‌بینی، مهار و کاهش خسارات انواع فرسایش در مناطق مورد مطالعه و مناطقی با شرایط مشابه شود، ضرورت دارد که این مسئله مورد توجه مسئولین و مورد مطالعه و بررسی قرار گیرد.

در تحقیق حاضر با توجه به رخداد و گسترش فرسایش آبی در حوضه ارو و با عنایت به اینکه انواع فرسایش در این منطقه با تغییر شکل

MPSIAC^۱ مطالعات زیادی در ایران انجام شده است که تقریباً در اکثر موارد تأیید و توصیه شده است (۱۹). پس از مدل مذکور از مدل EPM^۲ نیز استفاده زیادی توسط سازمان‌های مختلف صورت گرفته است (۱۰) و در ایران نیز پس از مدل پسیاک مورد استفاده قرار گرفته است (۱۶ و ۵).

فارگاس و همکاران (۱۹۹۷) روشی را ارائه نمودند که در آن با استفاده از دو عامل فرسایش‌پذیری نوع سنگ و تراکم زهکشی سعی در شناخت منابع منطقه‌ای رسوب‌زا (شدت فرسایش) در سطح منطقه‌ای نمودند (۹). بیات و همکاران (۲۰۰۱) با بررسی وضعیت فرسایش در استان لرستان به کمک RS و GIS و با کمک مدل EPM به این نتیجه رسیدند که عمده مناطق دارای اولویت جهت برنامه‌ریزی‌های مرتبط با حفاظت خاک و منابع طبیعی در جنوب و جنوب غرب استان پراکنده‌اند (۶).

در مطالعه‌ای مدل SATEEC^۳ در محیط سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS^۴) برای برآورد رسوب‌زایی و تهیه‌ی نقشه‌ی شدت فرسایش در زیرحوضه‌ی سد زاینده‌رود به کار برده شد. نتیجه نشان داد که مقادیر زیاد تولید رسوب و تمرکز فرسایش، در ارتفاعات و شیب‌های کناری آبراهه‌ها می‌باشد (۱۳). جلالیان (۱۹۹۲) در ارزیابی مقدار رسوبدهی

^۱-Modified Pasific Soutwest Inter-Agency Committee

^۲-Erosion Potential Method

^۳-Sediment Assessment Tool

^۴- Geographical Information Systems

^۵-Rinos et al.,

بر اساس اطلاعات موجود، میانگین بارندگی سالانه حوضه ۲۸۴/۳ میلی‌متر برآورد شده است. اقلیم حوضه در سیستم دوماتن در طبقه‌بندی نیمه‌خشک تا خشک قرار دارد. هویت اقلیمی زیرحوضه‌های حوزه آبخیز ارو به روش آمبرژه در اشکوب نیمه مرطوب سرد قرار دارد. آبراهه‌های اصلی حوزه آبخیز با جهت کلی شرق به جنوب غربی نزولات جوی را جمع‌آوری می‌کنند.

روش تحقیق

تهیه داده‌های مورد نیاز مدل‌های EPM و MPSIAC در این پژوهش، نقشه‌های توپوگرافی رقومی سازمان نقشه‌برداری، نقشه‌های زمین‌شناسی که توسط سازمان زمین‌شناسی و معادن کشور منتشر شده است، نقشه‌های موضوعی از منطقه شامل نقشه‌های خاکشناسی، پوشش گیاهی و تصویر ماهواره‌ای محدوده مورد مطالعه از سنجنده Land sat +ETM سال ۲۰۰۲، استفاده گردیده است. آمار ایستگاه‌های هواشناسی، باران‌سنجی مناطق مجاور حوزه آبخیز، ارتفاع رواناب سالانه، دبی اوج ویژه و اطلاعات مربوط به ارتفاع حوضه از جمله داده‌های مورد نیاز در مدل‌های EPM و MPSIAC می‌باشند که برای تهیه این داده‌ها از گزارش مطالعات جامع آبخیزداری حوزه آبخیز حبله‌رود استفاده گردید. لازم به ذکر است از آنجایی که حوزه آبخیز مطالعاتی فاقد ایستگاه هیدرومتری می‌باشد، لذا ضرورت دارد تا از روش‌های تجربی به منظور برآورد آبدی زیرحوضه‌های مطالعاتی استفاده گردد. برای تهیه لایه‌های اطلاعاتی از نرم‌افزار GIS در محیط Arc/GIS

ظاهری زمین همراه است و سبب تولید میزان قابل توجهی رسوب، تخریب اراضی، جاده‌ها، شبکه‌های آبیاری و پرشدن سدها می‌شوند (۲) سعی شده تا با استفاده از مطالعات صحرایی و داده‌های منتج از مدل‌های EPM و MPSIAC که در بسیاری از حوضه‌های کشور کارایی مناسبی نشان داده‌اند و با کمک سیستم اطلاعات جغرافیایی اقدام به بررسی و تجزیه و تحلیل و برآورد شدت فرسایش، میزان رسوبدهی و مقایسه‌ی نتایج حاصله از این دو مدل، جهت دستیابی به راه‌حل‌های راهبردی برای پیشگیری و مبارزه با این پدیده در این منطقه شود.

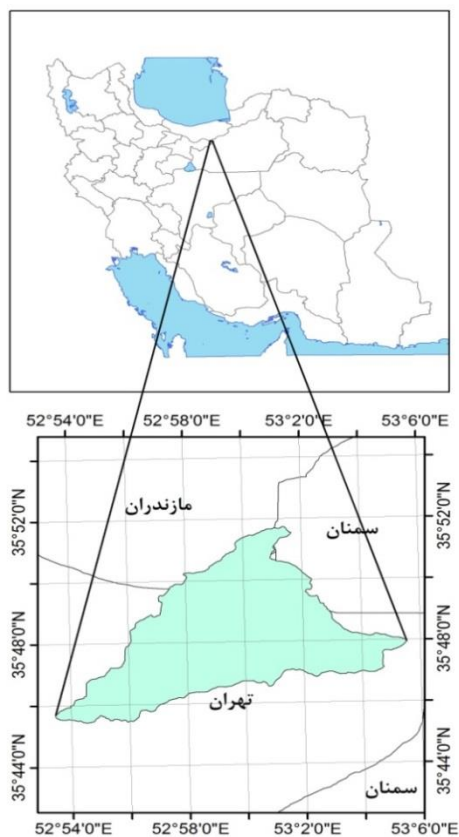
مواد و روشها

موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه محدوده مورد مطالعه در شرقی‌ترین بخش استان تهران، در حد فاصل ۵۲ درجه و ۵۳ دقیقه و ۳۷ ثانیه الی ۵۳ درجه و ۵ دقیقه و ۲۸ ثانیه طول شرقی و در حد فاصل ۳۵ درجه و ۴۵ دقیقه و ۱۷ ثانیه الی ۳۵ درجه و ۵۱ دقیقه و ۵۳ ثانیه عرض شمالی و در حوزه آبخیز کویر مرکزی واقع می‌باشد. این منطقه با مساحت ۸۷۵۴/۶ هکتار به لحاظ تقسیمات سیاسی در استان تهران و در توابع شهرستان فیروزکوه واقع است (شکل ۱).

از نظر طبیعی، حدود نیمی از حوضه آبخیز ارو، کوهستانی و عمدتاً دارای نقاط ارتفاعی در پیرامون حوضه می‌باشد. مرتفع‌ترین بلندی با ارتفاع بیش از ۳۳۰۰ متری در منتهی‌الیه شرقی حوضه قرار داشته و پست‌ترین نقطه با ارتفاع کمتر از ۲۱۰۰ متر در محل خروجی حوضه ارو قرار دارد.

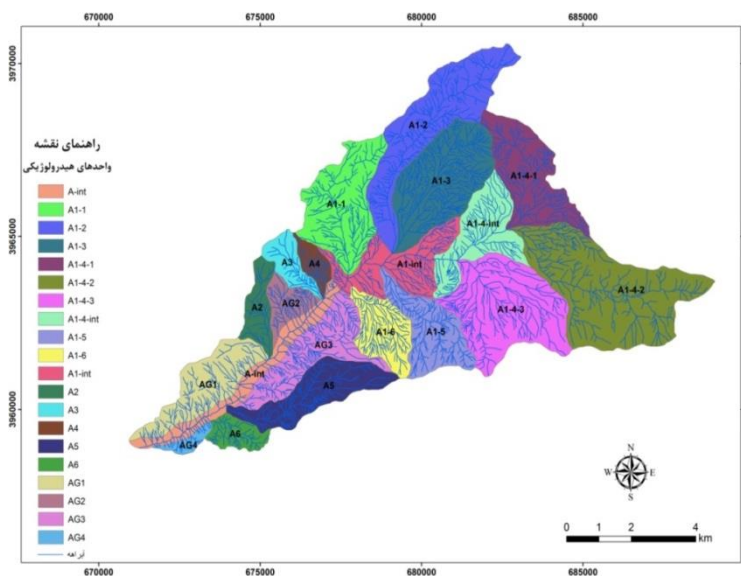
دور به بررسی دقیق تر و نتیجه بهتر دست یافت. با توجه به این که لایه های مؤثر در مدل EPM و MPSIAC زیاد می باشند و از این لایه ها نقشه شدت فرسایش و میزان رسوب - دهی تهیه می شود، لازم است که این لایه ها با هم همپوشانی شوند و در نهایت با ادغام لایه های اطلاعاتی به بررسی ویژگی های طبیعی حوزه آبخیز پرداخته شود.

رودخانه ها و آبراهه های اصلی و فرعی حوزه آبخیز ارو در شکل ۲ نمایش داده شده - است همان طور که ملاحظه می شود این حوزه به زیرحوضه ها (واحدهای هیدرولوژیک همگن) مربوطه تقسیم شده است. واحدهای دارای پسوند INT به عنوان واحدهای غیر هیدرولوژیک یا غیرمستقل و همچنین واحدهای با پسوند G نشانگر واحدهایی هستند که مستقیماً به آبکند می ریزند.



شکل ۱- موقعیت حوزه آبخیز ارو

استفاده شد تا از این طریق بتوان با استفاده از این ابزار و کمک گرفتن از داده های سنجش از



شکل ۲- حوزه ارو به همراه واحدهای هیدرولوژیک موجود در آن

مدل MPSIAC

از میان مدل‌های تجربی که به ایران وارد شده‌اند مدل PSIAC بیش از سایر مدل‌ها مورد توجه قرار گرفته است. این مدل از حدود ۳۰ سال پیش به ایران وارد شده و به استناد اینکه در مدل مذکور تعداد بیشتری از عوامل مؤثر در رخداد فرسایش لحاظ شده و در ضمن نتایج حاصل از بکارگیری این مدل در چند حوزه آبخیز جواب مناسبی داشته است مورد استفاده قرار گرفته و هنوز نیز مورد استفاده قرار می‌گیرد. مدل اولیه PSIAC اصلاح شده و مدل اصلاحی با عنوان MPSIAC ارائه شده است (۱۲). در این مدل با نمره‌دهی به هریک از عوامل نه‌گانه مؤثر بر رسوبدهی نسبت به برآورد کیفی و کمی تولید رسوب اقدام می‌شود. این عوامل شامل زمین‌شناسی سطحی، خاک، اقلیم، رواناب، توپوگرافی، پوشش زمین، کاربری اراضی، وضعیت فعلی فرسایش و فرسایش رودخانه‌ای و حمل رسوب می‌باشند. بر اساس بررسی‌های به عمل آمده از روی نقشه توپوگرافی، زمین‌شناسی، ارزیابی منابع و قابلیت منابع اراضی، عکس‌های هوایی و سایر منابع آماری موجود، اطلاعات پایه مورد نیاز آماده گردید. لازم به ذکر است در داخل و خروجی حوزه آبخیز مطالعاتی، هیچ‌گونه ایستگاه هیدرومتری وجود ندارد و با توجه به اینکه تولید رسوب وابستگی مستقیمی با خصوصیات حوضه دارد، لذا از آمار و اطلاعات ایستگاه‌های هیدرومتری مجاور منطقه طرح که با فاصله نسبتاً زیادی از خروجی قرار دارند نمی‌توان استفاده نمود. تولید رسوب از دو بخش بار معلق و بار بستر تشکیل شده است با توجه به خصوصیات حوضه مانند زمین‌شناسی، اقلیم، کاربری اراضی، مورفولوژی رودخانه، شیب و

نظر کارشناسی، بار بستر^۱ معادل ۰/۱۵ بار معلق در نظر گرفته شده است. هم‌چنین وزن مخصوص مواد معلق ۱/۲ و وزن مخصوص بار بستر ۲/۲ گرم بر سانتی‌متر مکعب در نظر گرفته شده است.

حجم و ارتفاع رواناب منطقه با روش جاستین به ترتیب ۵/۴۹ میلیون متر مکعب و ۶/۲۷ سانتی‌متر محاسبه شده و مقدار دبی پیک بر اساس روش هیدروگراف سیل SCS با دور بازگشت دو ساله ۲/۳۸ متر مکعب در ثانیه برآورد شده است در روش MPSIAC با محاسبه مقدار بارندگی ۶ ساعته با دوره بازگشت ۲ سال بر حسب میلی‌متر امتیاز عامل اقلیم تعیین و محاسبه گردید که با توجه به عدم تنوع آن در منطقه، مقدار بارندگی ۶ ساعته با دوره بازگشت ۲ سال برابر ۹/۶ میلی‌متر و عدد ۱/۹۲ به عنوان امتیاز عامل آب و هوا لحاظ شد.

برآورد رسوبدهی ویژه با استفاده از مدل MPSIAC

پس از تعیین ۹ عامل در نظر گرفته شده در مدل MPSIAC و بدست آوردن مجموع نمرات آنها به منظور تعیین میزان فرسایش و رسوب‌زایی در هر یک از تیپ‌های فرسایشی و زیرحوضه‌ها از جدول کلاس رسوبدهی و فرسایش استفاده می‌شود. اما به منظور اعمال دقت بیشتر و پرهیز از اشتباه در عمل درون‌یابی و برون‌یابی برای برآورد تولید رسوب از رابطه بین درجه رسوبدهی و میزان تولید رسوب به شرح زیر استفاده به عمل می‌آید (۱۷ و ۵):

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

که در آن:

^۱ - Bed Load

ضریب حساسیت خاک به فرسایش (Y) و شیب متوسط حوزه (I) در واحدهای مختلف اراضی یا در شبکه‌های ایجاد شده در نقشه، مورد بررسی قرار می‌گیرند (۱۶).

به منظور تعیین ضریب شدت فرسایش هر کدام از واحدهای همگن هیدرولوژیکی از رابطه مقابل استفاده گردید (۱۷ و ۵):

$$Z = Y.Xa(\psi + I^{0.5})$$

با استفاده از مقدار Z محاسبه شده، متوسط سالانه فرسایش (WSP) محاسبه شد و در ادامه با محاسبه ضریب رسوبدهی میزان رسوب و نیز میزان رسوب ویژه مورد محاسبه قرار گرفت. جدول ۵ مقادیر محاسبه شده هر یک از پارامترهای ذکر شده را برای هر یک از واحدهای هیدرولوژیک حوزه آبخیز ارو نشان می‌دهد.

نتایج

مدل MPSIAC -

همان‌طور که در بالا هم توضیح داده شده است بر اساس نتایج حاصله از بخش‌های مطالعاتی مختلف و مشاهدات صحرائی و با استفاده از سیستم GIS امتیازبندی عوامل ۹ گانه به تفکیک واحدهای هیدرولوژیک موجود در این حوزه محاسبه گردید که در جدول ۱ ارائه شده است. هم‌چنین جدول ۲ میزان فرسایش و رسوب محاسبه شده در هر یک از واحدهای هیدرولوژیک را که با استفاده از مدل MPSIAC برآورد گردیده نشان می‌دهد.

Qs : میزان رسوبدهی سالانه بر حسب متر مکعب در کیلومتر مربع.

R : درجه رسوبدهی یعنی مجموع امتیازات عوامل مختلف در نظر گرفته شده در مدل MPSIAC. رابطه فوق با درجه همبستگی $r=0.9964$ از نظر آزمون آماری در سطح یک درصد معنی‌دار می‌باشد (۱۷ و ۵).

برآورد فرسایش ویژه با استفاده از مدل MPSIAC

نسبت تحویل رسوب یا SDR^1 در عمل ضریبی است بین فرسایش کل حوضه و بخشی که در سطح حوضه باقی مانده و از آن خارج نمی‌گردد. با در نظر گرفتن اینکه تمام خاک فرسایش یافته تبدیل به رسوب نشده و بخشی از آن پس از جابجایی و حرکت در قسمت دیگری از حوضه تثبیت می‌شود، SDR ضریبی است که نشان می‌دهد چه درصدی از فرسایش تبدیل به رسوب شده است.

در روش MPSIAC میزان SDR از روی نمودار لگاریتمی با توجه به مساحت حوضه یا واحدهای هیدرولوژیک و بافت خاک مشخص می‌گردد. در این گزارش میزان SDR از رابطه زیر محاسبه شده است (۲۱):

$$\text{Log SDR} = 1.8768 - 0.1491 \text{Log}^{10A}$$

A: مساحت حوضه یا واحد هیدرولوژیک بر حسب مایل مربع

مدل EPM

در این روش ۴ مشخصه شامل ضریب فرسایش حوزه آبخیز (ψ)، ضریب کاربری اراضی (Xa)

¹ - Sediment Delivery Ratio

جدول ۱- مقادیر میانگین فاکتورهای ۹ گانه روش MPSIAC به تفکیک زیر حوضه‌ها

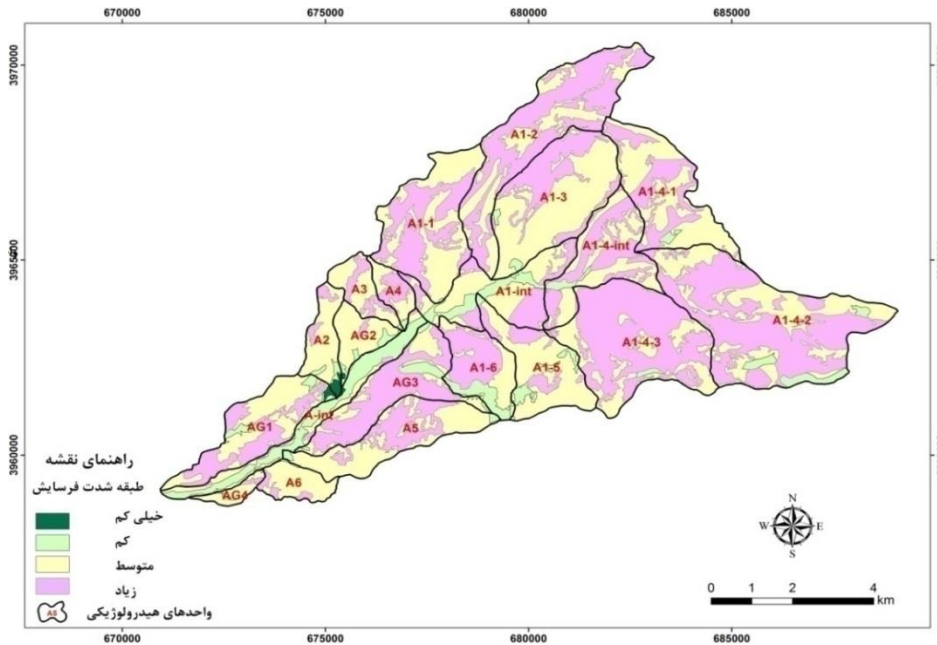
جمع کل Y	Channel Erosion Y9=1/67X9		Upland Erosion Y8=0/25X8		Land use Y7=200/2X7)		Ground Cover Y6=0/2X6		Topography Y5=0/33X5		Runoff Y4=0/2X4		Climate Y3=0/2X3		Soil Y2=16/67X2		Surface Geology Y1=X1		عوامل فرسایش خاک و تولید رسوب زیر حوضه
	Y9	X9	Y8	X8	Y7	X7	Y6	X6	Y5	X5	Y4	X4	Y3	X3	Y2	X2	Y1	X1	
71.5	6.1	3.6	17.9	71.8	14.0	29.9	7.8	38.9	10.1	30.7	3.5	17.7	1.92	9.6	3.5	0.21	6.7	6.7	A1-1
74.1	6.1	3.7	18.2	72.6	12.2	39.2	6.5	32.5	13.3	40.4	4.3	21.7	1.92	9.6	4.5	0.27	7.1	7.1	A1-2
68.7	5.6	3.3	15.1	60.4	12.0	40.0	6.4	32.1	10.3	31.3	4.0	20.2	1.92	9.6	5.4	0.32	8.0	8.0	A1-3
69.0	7.0	4.2	18.1	72.5	12.2	39.1	6.3	31.3	10.1	30.5	3.2	16.2	1.92	9.6	4.0	0.24	6.2	6.2	A1-4-1
70.1	5.9	3.5	17.9	71.5	10.8	46.2	5.6	27.8	14.3	43.4	6.0	29.8	1.92	9.6	3.3	0.20	4.4	4.4	A1-4-2
73.2	11.5	6.9	15.6	62.4	12.1	39.7	6.5	32.5	9.9	29.9	4.6	23.2	1.92	9.6	5.0	0.30	6.1	6.1	A1-4-3
70.0	8.3	5.0	18.0	71.9	12.2	39.2	6.5	32.3	10.2	30.9	1.3	6.7	1.92	9.6	4.5	0.27	7.1	7.1	A1-4-int
69.2	5.0	3.0	19.3	77.2	12.0	40.0	6.5	32.5	12.8	38.7	2.5	12.7	1.92	9.6	3.9	0.23	5.3	5.3	A1-5
72.4	6.0	3.6	19.0	75.8	13.2	33.8	7.5	37.5	11.6	35.2	1.9	9.7	1.92	9.6	4.4	0.26	6.9	6.9	A1-6
70.4	5.9	3.5	19.9	79.7	13.3	33.3	7.4	36.9	7.8	23.5	1.3	6.7	1.92	9.6	4.3	0.26	8.6	8.6	A1-int
66.2	5.9	3.5	17.0	68.0	11.1	44.4	6.0	30.2	12.0	36.5	1.2	6.2	1.92	9.6	3.5	0.21	7.6	7.6	A2
68.7	6.3	3.8	15.0	59.8	13.3	33.5	7.4	36.9	12.8	38.7	1.0	5.2	1.92	9.6	3.9	0.23	7.1	7.1	A3
69.2	6.3	3.8	13.9	55.5	13.6	31.8	7.6	37.9	11.6	35.2	0.7	3.7	1.92	9.6	5.6	0.34	8.0	8.0	A4
63.0	6.3	3.8	12.3	49.1	12.6	36.9	7.0	34.8	9.6	29.2	2.7	13.7	1.92	9.6	4.5	0.27	6.1	6.1	A5
63.5	7.7	4.6	14.2	57.0	14.0	30.0	7.8	39.2	5.7	17.2	0.9	4.6	1.92	9.6	4.2	0.25	7.1	7.1	A6
71.5	4.6	2.8	17.6	70.5	14.3	28.4	8.3	41.3	15.2	46.1	1.3	6.7	1.92	9.6	3.0	0.18	5.3	5.3	AG1
65.8	5.1	3.1	14.6	58.3	13.3	33.6	7.3	36.4	10.8	32.8	0.5	2.7	1.92	9.6	4.3	0.26	8.0	8.0	AG2
70.2	5.7	3.4	17.5	69.9	12.6	36.8	7.1	35.3	11.9	36	1.4	7.2	1.92	9.6	4.9	0.29	7.2	7.2	AG3
73.0	4.2	2.5	20.0	80.0	14.1	29.6	7.9	39.6	12.4	37.6	0.2	1.2	1.92	9.6	5.3	0.32	7.0	7.0	AG4
59.5	6.9	4.2	13.0	52.2	12.4	38.1	6.9	34.3	3.7	11.1	1.0	5.1	1.92	9.6	4.7	0.28	9.0	9.0	A-int

جدول ۲- میزان فرسایش و رسوب به تفکیک هر یک از واحدهای هیدرولوژیک با کمک مدل MPSIAC

حجم فرسایش سالانه m ³	حجم رسوب سالانه m ³	میانگین فرسایش ویژه m ³ /km ² .yr	SDR	میانگین رسوب ویژه m ³ /km ² .yr	مساحت %	مساحت ha	واحدهای هیدرولوژیک	ردیف
2763.3	1559.4	525.7	48.0	252.3	7.1	618.0	A1-1	1
3242.6	2072.8	569.4	46.4	264.2	9.0	784.5	A1-2	2
2318.1	1632.2	481.5	47.0	226.3	8.2	721.3	A1-3	3
2293.6	1303.5	478.9	48.7	233.2	6.4	558.9	A1-4-1	4
3020.3	2856.3	549.6	43.7	240.2	13.6	1189.3	A1-4-2	5
4630.4	2680.2	680.5	45.8	311.7	9.8	860.0	A1-4-3	6
2147.8	1041.6	463.4	50.2	232.6	5.1	447.7	A1-4-int	7
1557.7	807.4	394.7	51.0	201.3	4.6	401.1	A1-5	8
1828.2	686.3	427.6	53.1	227.0	3.5	302.3	A1-6	9
1785.1	929.9	422.5	50.4	212.9	5.0	436.7	A1-int	10
1454.0	393.9	381.3	57.2	218.1	2.1	180.6	A2	11
1933.5	390.6	439.7	58.6	257.7	1.7	151.6	A3	12
2022.7	280.4	449.7	62.1	279.3	1.1	100.4	A4	13
2053.9	1006.7	453.2	50.3	228.0	5.0	441.6	A5	14
1536.7	325.4	392.0	59.3	232.5	1.6	140.0	A6	15
2050.0	993.8	452.8	50.4	228.2	5.0	435.5	AG1	16
1170.0	314.1	342.1	58.3	199.4	1.8	157.5	AG2	17
2511.6	1169.2	501.2	50.0	250.6	5.3	466.6	AG3	18
956.9	119.7	309.3	67.2	207.9	0.7	57.6	AG4	19
923.4	489.6	303.9	53.1	161.4	3.5	303.4	A-int	20

نتایج این مدل بیشتر مساحت تحت پوشش این حوضه از شدت فرسایش زیاد و متوسط برخوردارند.

همچنین شکل ۳ طبقات شدت فرسایش محاسبه شده بر اساس این مدل را نمایش می دهد. همان گونه که در شکل مشاهده می شود بر اساس



شکل ۳- طبقه بندی شدت فرسایش در حوضه ارو بر اساس مدل MPSIAC

برای هر یک از واحدهای هیدرولوژیک موجود در حوضه ارو ارائه می دهد.

مدل EPM

جدول ۳ پارامترهای ورودی و خروجی این مدل را

جدول ۳- مقادیر پارامترهای اندازه گیری شده در روش EPM

واحدهای هیدرولوژیک	ضریب فرسایش مشاهده ای (Ψ)	ضریب استفاده از زمین (Xa)	ضریب حساسیت سنگ و خاک (Y)	شیب متوسط (%)	ضریب شیب (%) (I)	ضریب شدت فرسایش (Z)	ضریب دما	متوسط سالیانه دما (T) (درجه سانتیگراد)	متوسط سالیانه بارندگی (R) (میلیمتر)	فرسایش ویژه (Wsp) (m ³ /km ² .yr)	ضریب تبدیل رسوب (SDR)	رسوب دهی ویژه (Gsp) (m ³ /km ² .yr)
A1-1	0.578	0.461	1.151	29.1	0.507	0.571	0.695	3.8	447.56	448.6	48.01	215.5
A1-2	0.568	0.389	1.215	36.6	0.576	0.525	0.703	3.9	462.92	401.0	46.41	186.3
A1-3	0.509	0.385	1.381	29.8	0.498	0.522	0.707	4.0	453.88	388.9	46.96	182.6
A1-4-1	0.600	0.376	1.069	29.4	0.509	0.443	0.707	4.0	456.76	311.0	48.70	151.4
A1-4-2	0.616	0.336	0.753	40.6	0.616	0.317	0.709	4.0	439.20	217.9	43.75	95.5
A1-4-3	0.645	0.389	1.052	27.9	0.487	0.449	0.703	3.9	433.20	329.0	45.81	151.0
A1-4-int	0.602	0.387	1.215	28.0	0.480	0.490	0.707	4.0	445.32	347.0	50.25	174.2
A1-5	0.508	0.389	0.908	36.2	0.576	0.386	0.688	3.7	428.00	278.6	51.04	142.1
A1-6	0.514	0.445	1.178	33.2	0.547	0.587	0.679	3.6	426.86	471.1	53.13	249.8
A1-int	0.488	0.438	1.475	22.4	0.418	0.559	0.694	3.8	438.81	425.8	50.43	214.5
A2	0.556	0.362	1.304	34.7	0.565	0.542	0.662	3.4	428.54	380.0	57.16	216.2
A3	0.623	0.438	1.216	35.9	0.575	0.628	0.675	3.6	437.26	473.3	58.60	277.8
A4	0.607	0.450	1.382	34.6	0.567	0.724	0.679	3.6	437.09	579.4	62.13	358.5
A5	0.575	0.415	1.040	28.4	0.504	0.459	0.656	3.3	415.55	295.5	50.35	148.7
A6	0.648	0.465	1.218	16.5	0.365	0.575	0.645	3.2	407.09	366.4	59.26	216.2
AG1	0.510	0.488	0.899	42.0	0.631	0.489	0.654	3.3	414.81	377.3	50.45	192.6
AG2	0.446	0.433	1.370	31.2	0.526	0.565	0.667	3.4	430.32	397.7	58.28	231.7
AG3	0.584	0.421	1.243	34.8	0.566	0.612	0.663	3.4	422.21	442.5	49.96	221.6
AG4	0.471	0.469	1.205	36.5	0.584	0.601	0.652	3.3	404.88	413.5	67.23	268.7
A-int	0.268	0.410	1.543	10.5	0.296	0.366	0.659	3.3	417.48	219.8	53.11	116.3

هم‌چنین شکل ۴ طبقات فرسایش بدست آمده در حوضه ارو را بر اساس این مدل نشان می‌دهد. همان‌طور که در نقشه مشاهده می‌شود بیشتر مساحت حوضه با این روش نیز تحت فرسایش بالا و متوسط قرار دارد. جدول ۴ و ۵ حاوی اطلاعاتی است که نمایان‌گر درصد تحت پوشش هر یک از کلاس‌های فرسایش و رسوبدهی در حوضه ارو می‌باشد. همان‌گونه که ملاحظه می‌شود بر اساس نتایج حاصل از هر دو مدل حدود نیمی از مساحت تحت پوشش این حوضه از نظر شدت رسوبدهی در کلاس کم و از نظر شدت فرسایش در کلاس متوسط قرار گرفته است.

بررسی شدت فرسایش بر اساس مدل MPSIAC نشان دهنده قرارگیری نیم دیگر حوضه در کلاس زیاد می‌باشد این در حالی است که بر اساس مدل EPM نیم دیگر حوضه بین کلاس‌های خیلی کم، کم و زیاد با مقادیری که در جدول ۴ دیده می‌شود تقسیم شده است.

نتایج حاصل از مطالعه شدت رسوبدهی نیز بر اساس مدل MPSIAC نشان‌دهنده قرارگیری تقریباً نیم دیگر حوضه در کلاس متوسط می‌باشد و براساس مدل EPM نیم دیگر حوضه در کلاس‌های خیلی کم و متوسط می‌باشد.

جدول ۴- طبقات شدت فرسایش در حوزه آبخیز ارو

درصد نسبت به کل حوضه در مدل	مساحت ha (بر اساس مدل EPM)	درصد نسبت به کل حوضه در مدل MPSIAC	مساحت ha (بر اساس مدل MPSIAC)	محدوده میزان فرسایش m ³ /km ² .yr	کلاس فرسایش	شدت رسوبدهی	ردیف
16.9	1480	0.2	19	<95	I	خیلی کم	1
10.9	952	6.6	575	95-238	II	کم	2
47.5	4159	48.5	4245	238-476	III	متوسط	3
24.7	2164	44.7	3917	476-1429	IV	زیاد	4

جدول ۵- طبقات شدت رسوبدهی در حوزه آبخیز ارو

درصد نسبت به کل حوضه در مدل EPM	مساحت ha (بر اساس مدل EPM)	درصد نسبت به کل حوضه در مدل MPSIAC	مساحت ha (بر اساس مدل MPSIAC)	محدوده میزان رسوبدهی m ³ /km ² .yr	کلاس رسوبدهی	شدت رسوبدهی	ردیف
23.1	2025	3.3	292	<95	I	خیلی کم	1
53.0	4644	55.7	4879	95-238	II	کم	2
23.3	2039	40.9	3585	238-476	III	متوسط	3
0.5	47	-	-	476-1429	IV	زیاد	4

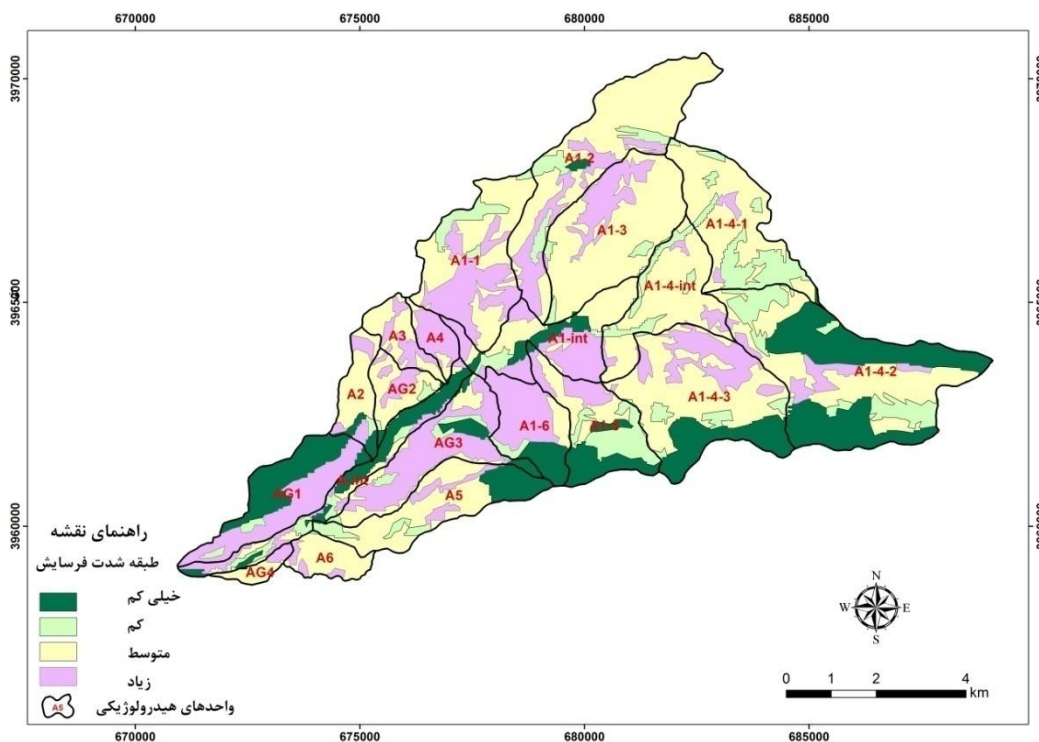
اولویت‌بندی واحدهای هیدرولوژیک در میزان رسوب و فرسایش با استفاده از مدل MPSIAC و EPM

همان‌گونه که در قبل هم بیان شده است با استفاده از روش تجربی MPSIAC و توسط

سیستم GIS میزان فرسایش و رسوب به تفکیک واحدهای هیدرولوژیک محاسبه و تعیین گردید. اولویت‌بندی واحدهای هیدرولوژیک موجود در این حوضه بر اساس داده‌های کمی موجود در جدول ۲ و ۳، نشان‌دهنده اولویت واحدهای

این حوضه می باشد. هم چنین بررسی میزان رسوب تولیدی نشان می دهد واحدهای A-int, AG2 و A1-5 کمترین میزان تولید رسوب را در منطقه مورد مطالعه دارند.

هیدرولوژیک A1-1، A3، A1-2، A4، A1-4-3، AG3، A1-4-2 از نظر میزان رسوب تولیدی جهت اعمال برنامه های مدیریتی، اقدامات حفاظتی و برنامه ریزی های لازم و عملیات آبخیزداری نسبت به دیگر واحدهای هیدرولوژیک



شکل ۴- طبقه بندی شدت فرسایش در حوضه ارو بر اساس مدل EPM

به ترتیب بیشترین مقادیر را به خود اختصاص داده اند.

بحث و نتیجه گیری

سوابق نشان می دهد تغییر کاربری، افزایش تعداد دام، عدم مدیریت آب و بهره برداری بیش از ظرفیت از مراتع به عنوان سوخت و علوفه به کمک وضعیت تکتونیک و زمین شناسی باعث شده تا شرایط فرسایش به سرعت تغییر یابد و در دو دهه اخیر گسترش اشکال مختلف فرسایش به ویژه فرسایش آبکندی در این منطقه با سرعت زیادی اتفاق بیفتد. شرایط کوهستانی و دامنه های

بررسی میزان فرسایش واحدهای هیدرولوژیک حوضه ارو بیان گر اولویت داشتن واحدهای A1-3، AG3، A1-1، A1-4-2، A1-2، A1-4-3، A1-4-1 نسبت به دیگر واحدهای همگن موجود در این حوضه از منظر مدیریت می باشد. هم چنین واحدهای A-int و AG2 و AG4 کمترین میزان فرسایش برخوردارند.

اطلاعات به دست آمده از انجام بررسی ها بر اساس مدل EPM نیز نشان می دهد که از نظر تولید رسوب واحدهای A4، A3، AG4، A1-6 و از نظر فرسایش واحدهای A3، A4 و A1-6

بیشتر واحدهای هیدرولوژیکی نیز اختلاف زیادی بین نتایج خروجی دو مدل مشاهده می‌گردد. به علت تطابق وضعیت زمین‌شناسی سازندهای موجود در منطقه مورد مطالعه از نظر فرسایش‌پذیری و تولید رسوب، با نتایج خروجی از مدل MPSIAC و با توجه به دخالت دادن فاکتورهای محیطی بیشتری در این مدل نسبت به مدل EPM که تنها با ۴ فاکتور محاسبات را انجام می‌دهد می‌توان گفت مدل MPSIAC وضعیت فرسایش و رسوب را در حوزه آبخیز مورد مطالعه و واحدهای موجود در آن به طور موثرتری نشان می‌دهد و داده‌های خروجی از این مدل از صحت بیشتری برخوردار بوده و قابل استنادتر می‌باشند. یکی از دلایل اختلاف بین دو مدل مورد بررسی این است که مدل EPM پتانسیل فرسایش در حوزه‌های آبخیز را بررسی می‌کند و در مناطق با فرسایش زیاد از دقت آن کاسته می‌شود. از این‌رو با توجه به قرارگیری بیشتر مساحت تحت پوشش این حوضه در کلاس فرسایش زیاد و متوسط این اختلاف معنی‌دار در خروجی دو مدل EPM و MPSIAC در بیشتر واحدهای هیدرولوژیکی حوضه مورد بررسی قابل توجه می‌باشد.

پرشیب به همراه حساسیت واحدهای زمین‌شناسی موجود و فعالیت نامتناسب انسان به تشدید شرایط کمک نموده و هر ساله سیلاب‌های بیشتر و مخرب‌تری را در منطقه به وجود می‌آورد که نتیجه آن افزایش مناطق تحت تاثیر فرسایش و شدت گرفتن میزان رسوبدهی در این منطقه می‌باشد. بارزترین اشکال ژئومورفولوژیکی موجود در حوضه شامل اشکال دره‌های فرسایشی، دشت‌های فرسایشی، واریزه‌های موضعی، زمین‌لغزش، انواع اشکال فرسایشی بارانی، شیاری، خندقی، کناره‌ای و انحلالی می‌باشد. از این‌رو پژوهش حاضر به مقایسه دو مدل MPSIAC و EPM در برآورد فرسایش و رسوب در حوزه آبخیز ارو پرداخته و در این راستا از سیستم اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور بهره گرفته است. در مدل MPSIAC میزان فرسایش ویژه ۴۵۱ و رسوب ویژه ۲۳۳ متر مکعب بر کیلومتر مربع در سال محاسبه شد. این در حالی است که میزان فرسایش ویژه و رسوب ویژه کل حوزه آبخیز در مدل EPM به ترتیب ۳۷۸ و ۲۰۰ متر مکعب بر کیلومتر مربع در سال محاسبه شده است.

همان‌طور که ملاحظه می‌شود نتایج استخراج شده از انجام این دو مدل در کل حوضه مورد مطالعه نشان‌دهنده وجود اختلاف در مقادیر محاسبه شده می‌باشد. مقایسه مقادیر فرسایش و رسوب هر یک از واحدهای همگن موجود به‌طور متناظر نمایان‌گر انطباق خوب این مقادیر در برخی واحدها در هر دو مدل می‌باشد ولی در

References

1. Ahmadi H., M. R. Servati., A. M. Noormohamady, 2011, Sediment And Erosion Estimation Using EPM And MPSIAC, Using Geomorphological Method And GIS In Baghareh (Torbate Heydarieh) Catchment Basin, Journal of Geographical Science, (Issue 7).
2. Burkard, M.B., Kostaschuck, R. A., 1995; Initiation and evolution of gullies along the shore line of lake Huron. J. Geomorphology. Vol.14: pp 211 - 219.
3. Bobrovistkaya, N.N.2000; Hydrological, meteorological and morphological aspects of studying gully erosion in period of global change. Elsevier, Catena Verlag. Cremlingen.
4. Bagherzadeh Karimi, M., Evaluation of models to predict of the erosion and sedimentation, and the techniques of remote sensing and GIS in soil erosion studies (2002). Master Thesis, Tarbiat Modarres University.
5. Bayat, R., Refahi, A., Darvishsefat, a., and Sarmadian, F., Evaluation of efficiency of the MPSIAC and EPM models in the sediment estimating (Taleghan basin), (2001), Journal of Agricultural Science, Faculty of Agriculture, Tehran University, Vol 1, N 32.
6. Bayat, R., Jafari Ardakani, A., and Shahkarami, A. Review the situation of erosion in the Lorestan province with RS and GIS (2011), Journal of natural ecosystems, Second year, second issue, Winter 1390..
7. Dadrasi, S, A, 1997, Erosion Assessment in the badland catchments of western Zanjan valley, using RS and GIS, MSc Thesis, ITC, Enschede, The Netherlands, 112
8. Ezechi, J.I.2000; The influence of runoff, lithology and water table on the dimensions and rate of gullyng Processes in Eastern, Nigeria. Elsevier, Catena Verlag. Cremlingen (Web-Site).
9. Fargas, D., Martinez, J. A, and Poch. R.M (1997). Identification of Critical Sediment Source Area at Regional Level, Journal of Physics & Chemistry of the earth, 22 (3-4).
10. Gavrilovic. Z., 1988, The Use of an Empirical Method (Erosion Potential Method) for Calculating Sediment Production and Transportation in Unstudied or Torrential streams International Conference of River regime, 17-20May, Wallingford, England 1988 pp, 411-422.
11. Jalalian, A., Quantitative and qualitative studies of soil erosion in the northern watershed of the Karoon river (1992), Third Congress of Soil Science, Faculty of Agriculture, Tehran University and Institute of Soil and Water.
12. Johnson, C.W. and Gebhardt, K. A. 1982. Predicting sediment yields from rangelands. In proceedings of workshop on estimating erosion and sediment yield on rangelands, Tucson, Arizona, March 1981 US Department of Agriculture, Agriculture Reviews and Manuals, Western Series , No. 26, P. 145-146.
13. Karimi, H., Vardajani, S., Application of SATEEC models in GIS for the estimation of sediment and preparing the erosion map in the Zayandehrood subbasins (2007)., Proceedings of the Fourth National Conference on Science and Watershed Engineering, Iran, Natural Resources Faculty of Tehran University.
14. Mahmoodabadi, M., Refahi, H., Charkhabi, A., Preparation of the soil erosion map using Landsat satellite ETM+ images and geographic information system in the Golabad Isfahan basin (2005), Proceedings of the Fourth Geomatics.
15. Mortezaei, M., Quantitative assessment of the effects of environmental variables on the gully erosion (2005), PhD thesis., Faculty of Agriculture and Natural Resources, Tehran, Islamic Azad University, Science and Research, 154 pages.

16. Refahi, H., Nemati, M.R., Applying the EPM method to the study of erosion and sediment yield in the Alamut basin. Iranian Journal of Agricultural Sciences 26 (2): 32-45.
17. Refahi, H., Water Erosion and conservation (2006), Publication of Tehran University, Fifth Edition, 671 pages.
18. Rinos, M. H., M. S. P. Aggarwal and R. P. Desilva, 2000, Application of Remote Sensing and GIS on soil erosion assessment at Bata River Basin, India. Department of Agricultural Engineering, Faculty of Agriculture.
19. Salajegheh, A., and Delfari, S., Comparison of qualitative and quantitative geomorphology methods for estimating erosion and sediment (Case study: Khusban basins of Taleghan catchment) (2007), Abstract Proceedings of the Fourth National Conference on Science and Engineering, watershed management, Iran. Natural Resources Faculty of Tehran University.
20. S. H. R. Sadeghi: A Semi- Detailed technique for Soil Erosion Mapping Basad on BLM and Satellite Image A puplications, J.Agric. Sci.Technol. (2005): 133-142.
21. Tajgardan, T., Ayubi, SH., and Juibari, SH., Estimation of erosion and sediment using satellite and GIS data and MPSIAC models (Case Study: Ziarat Basin) (2008), Journal of Research and conservation in natural resource, No. 79.