

## بررسی انواع و شدت فرسایش و تولید رسوب در زیر حوضه‌های آبخیز ناورود

طاهره فتح ا... زاده \*

دکترای ژئومرفولوژی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۴/۳/۱۱

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۱۲/۶

### چکیده

حوضه‌های آبخیز در ایران از نظر زمین شناسی، ناهمواری و اقلیم و سایر عوامل مؤثر در امر فرسایش بسیار متفاوت هستند، هدف از این پژوهش بررسی انواع فرسایش در حوضه آبخیز ناورود، بررسی شدت فرسایش، تولید رسوب و عوامل مؤثر در این رابطه است در این خصوص ویژگی‌های فیزیوگرافی، توپوگرافی، اقلیمی، زمین شناسی، ژئومرفولوژی، پوشش گیاهی، خاک، فرسایش و تولید رسوب به طور کلی بررسی شد. این حوضه دارای مساحتی در حدود ۲۶۵/۴۶ کیلومتر مربع است. هدف کلی پژوهش، بررسی میزان فرسایش و تولید رسوب در حوضه و پی بردن به مناطق حساس از نظر فرسایش است. برای رسیدن به هدف فوق از روش پتانسیل فرسایش (ای پی ام)<sup>۱</sup> استفاده شده است. ابزارهای گردآوری اطلاعات، عکس‌های هوایی، انواع نقشه‌ها، روش مشاهده و منابع کتابخانه‌ای هستند. در این مطالعه با استفاده از روش ای پی ام میزان فرسایش در هر یک از زیر حوضه‌ها (زیر حوضه) بررسی شده است. در رابطه با ژئومرفولوژی منطقه از ۱۵ نوع رخساره تشکیل شده است. با ادغام آنها با ساختار سنگ شناسی و مقاومت آنها در برابر فرسایش و تلفیق شیب به آنها ۱۰۴ واحد کاری به دست آمد. بررسی شدت فرسایش و تولید رسوب در هر واحد کاری با استفاده از روش تجربی EPM (کمی) صورت گرفت. براساس نتایج به دست آمده، زیر حوضه‌های شماره ۴ و ۵ از نظر شدت فرسایش بیشترین فرسایش را دارد (ضریب فرسایش ۰/۲۴ و ۰/۲۲). همچنین بیشترین رسوب زایی را نسبت به سایر زیر حوضه‌ها به خود اختصاص داده‌اند. علت زیاد بودن فرسایش ویژه و توان رسوب دهی در این زیر حوضه‌ها، نسبت به زیر حوضه‌های دیگر شیب زیاد و حساسیت سنگ‌ها نسبت به فرسایش، تغییر کاربری، تخریب جنگل و مرتع، جاده سازی است.

واژگان کلیدی: فرسایش، حوضه ناورود، تولید رسوب، روش ای پی ام.

### مقدمه

فرسایش، پدیده‌ای طبیعی است که از بدو شکل‌گیری زمین همواره با آن همراه بوده است. ولی طی قرون اخیر به دلیل افزایش جمعیت، محدودیت منابع، توسعه صنعتی و افزایش دخالت انسان در اکوسیستم‌های طبیعی روندی صعودی داشته

\* E-mail: taherehfatolahzadeh@yahoo.com

نویسنده مسئول: ۰۹۱۱۲۳۳۴۳۲۷

<sup>1</sup>. Erosion Potential Method

است(قدسی پور، ۱۳۷۹: ۱۴۳). هرچند قدمت فرسایش خاک برابر عمر کره زمین است ولی در قرن بیستم به دلیل افزایش جمعیت و استفاده بیش از حد، از زمین تخریب خاک سیر صعودی داشته است(احمدی، ۱۳۷۸: ۶۸۸).

همواره انتظار این بوده است که با به کارگیری روش‌های پیشرفته کشاورزی، تولید محصولات افزایش یابد ولی این افزایش متأسفانه با کاهش حاصل‌خیزی خاک در اثر فرسایش همراه بوده است(قدیری، ۱۳۶۸: ۴۶۹). بنابراین فرسایش پیوسته در حال وقوع بوده است و در آینده نیز این پدیده مخرب همچنان ادامه خواهد داشت. امروزه کمتر منطقه‌ای را در سطح زمین می‌توان یافت که در معرض تخریب فرسایش قرار نگرفته باشد(مخدوم، ۱۳۸۱: ۲۸۹). حفاظت خاک و مبارزه با فرسایش از ضروری‌ترین اقدام‌های زیر بنایی در هر کشور می‌باشد. اما برای مبارزه و به تبع آن موفقیت در مهار فرسایش خاک ضرورت دارد اقدام به شناخت و آگاهی از عوامل مؤثر بر فرسایش، دامنه و شدت تأثیر آنها و بالاخره الویت بندی مناطق از نظر شدت فرسایش و تولید رسوب شود اولین پژوهش‌های علمی در زمینه فرسایش در بین سال‌های ۱۸۷۷-۱۸۹۵ توسط ولنی دانشمندان آلمانی انجام گرفت(ولنی و همکاران، ۱۹۳۸: ۲۵۵).

در ایران توجه به این مسئله سابقه‌ای ۴۰ ساله دارد. در طی این مدت همواره روش‌های وارداتی برای برآورد میزان فرسایش بکار برده شده است. عمده این پژوهش‌های براساس روش‌ها و مدل‌های بدست آمده در شرایط کشورهای دیگر بوده و به صورت اقتباسی در ایران انجام شده است (قدسی پور، ۱۳۷۹: ۱۴۳). برای اندازه‌گیری شدت فرسایش در حوضه‌های آبخیز از روش‌های تجربی و یا نمونه برداری رسوب استفاده می‌شود(لال، ۱۹۸۸: ۲۴۴). به طوری کلی عوامل مختلفی در بروز و تشدید فرسایش نقش دارد که برخی از آنها جنبه مدیریتی داشته و می‌توان با اتخاذ و اجرای سیاست‌ها و راهبردهای علمی و عملی از بروز فرسایش جلوگیری کرد. بنابراین لازم است برای کنترل فرسایش آبی ابتدا اقدام به شناخت عوامل مدیریتی همراه با عوامل محیطی شود و با بررسی میزان نقش هر یک از آنها در بروز فرسایش راه حل‌های مناسب ارایه گردد(مورگان، ۱۹۹۵: ۱۹۸). فرسایش و کاهش حاصل‌خیزی خاک از جمله مسائلی است که دستیابی به توسعه کشاورزی پایدار و حفظ محیط زیست را با مشکل روبرو می‌سازد. شناخت و بررسی به دیگر سخن مطالعه کمی و کیفی فرسایش در حوضه آبخیز کشور و جلوگیری از به هدر رفتن یکی از غنی‌ترین و با ارزش‌ترین منابع طبیعی کشور یعنی خاک و مبارزه با این فرایند کمال اهمیت را دارد(ثروتی، ۱۳۸۱: ۱۲۹). با توجه به وجود دو گروه از مدل‌های برآورد فرسایش و رسوب شامل مدل‌های کمی و مدل‌های کیفی، آنچه که مهم است چگونگی تبدیل مقادیر کیفی فرسایش و رسوب به مقادیر کمی است. به طوری که هرچه عوامل در نظر گرفته شده در مدل‌های کمی پذیرتر باشند کمی کردن آنها با دقت زیاد ممکن و میسر می‌باشد(هان، ۱۹۸۲: ۵۳۳). مدل‌های مختلفی به مرور اصلاح شده و ضرایب و عوامل آنها به وسیله پژوهش‌های مختلف بررسی و اصلاح شده‌اند. به همین علت مدل‌های بسیاری توسعه یافته‌اند که هر یک تعدادی از عوامل مؤثر فرسایش و رسوب را در بر دارد (رفاهی، ۱۳۷۹: ۸۵). این روش با استفاده از اطلاعات حاصل از قطعه زمین‌های فرسایشی و اندازه‌گیری رسوب پس از ۴۰ سال پژوهش‌ها در کشور یوگسلاوی

سابق به دست آمده و برای اولین بار در کنفرانس بین المللی رژیم رودخانه توسط گاوریلوویچ<sup>۲</sup> ارائه شده است (رفاهی، ۱۳۷۵، ۲۷۵). در ایران افراد زیادی به استفاده از روش مذکور به بررسی فرسایش تولید و رسوب پرداخته‌اند از جمله: سلاجقه و دلفاری (۱۳۸۶: ۲۷۰)، با مقایسه روش‌های کیفی ژئومورفولوژی و کمی EPM<sup>۳</sup> به این نتیجه رسیدند که روش ژئومورفولوژی به علت در نظر گرفتن عوامل بیشتر دخیل در فرسایش نسبت به روش EPM در زیر حوضه خسبان حوضه آبخیز طالقان نتایج بهتری را ارائه می‌دهد. همچنین نتایج آنها نشان می‌دهد که در ۴۵/۶۵٪ طبقات فرسایش مشخص شده حاصل از دو مدل مشابه بوده است. کریمی و همکاران (۱۳۸۶: ۲۸۶)، با کاربرد مدل SATEEC<sup>۴</sup> در محیط GIS<sup>۵</sup> اقدام به برآورد رسوب زایی و تهیه نقشه شدت فرسایش در زیر حوضه زاینده رود کردند و به این نتیجه رسیدند که مقادیر زیاد رسوب و تمرکز فرسایش، در ارتفاع‌ها و شیب‌های کناری آبراهه‌ها می‌باشد. همچنین این پژوهش نشان می‌دهد که استفاده از مدل SATEEC می‌تواند برآورد قابل قبولی از میزان فرسایش سطحی و شیاری در سطح حوضه‌های آبخیز کشور داشته باشد.

ثروتی (۱۳۹۰: ۱۵۷-۱۶۶) یافته‌های خود را در خصوص استفاده از مدل‌های تجربی و روش‌های چند متغیره در ارزیابی شدت فرسایش آبی در حوضه آبخیز باغره را مبین این می‌داند که با توجه به دقت طبقه بندی‌های انجام شده، مدل MPSIAC برای تعیین شدت فرسایش در منطقه از دقت بیشتر برخوردار است. محمدیان شوئیلی (۱۳۸۶) براساس مدل‌های رایج تجربی (پسیاک، ام پسیاک، ای پی ام) فرسایش و رسوب را در حوضه آبخیز گوهر رود برآورد کرده‌اند. نتایج مطالعات نشان داد، مقادیر حاصل از مدل ای پی ام با مقدار رسوب واقعی حوضه بسیار نزدیک و همسان می‌باشد. به این لحاظ این روش را برای محاسبه فرسایش - رسوب حوضه‌های مشابه گوهر رود که فاقد ایستگاه‌های رسوب سنجی می‌باشند، مناسب دانسته است.

یافته‌های پژوهش ثروتی و فتح‌ا... زاده (۱۳۸۲: ۱۵۵-۱۶۴) به بررسی فرسایش در حوضه آبخیز ماسوله رودخان، به نتایج مهم دست یافت که در گستره هر واحدکاری سرشت سنگ از نظر مقاومت در مقابل فرسایش بارزترین عامل بوده است و این مورد تقریباً در کلیه رخساره‌ها صادق است. تنگستانی<sup>۶</sup> (۲۰۰۶) حوضه آبریز افسر در جنوب غربی ایران را با استفاده از روش پتانسیل فرسایش (ای پی ام) و مدل پسیاک مورد مطالعه قرار داده است. نامبرده به این نتیجه رسیده که نتایج هر دو روش در مقایسه با مشاهدات زمینی قابل اطمینان است.

خدا بخش و همکاران (۱۳۸۸) برآورد میزان فرسایش و رسوب‌زایی در زیر حوضه سزار (حوضه آبریز سد دز) با استفاده از مدل‌های تجربی ای پی ام و ام پسیاک با کمک دانش فازی مقایسه کرده‌اند. این پژوهش نشان می‌دهد هر سه روش تمایل به بیش برآورد دارند. خدا بخشی و همکاران (۱۳۸۹) مطالعه فرسایش پذیری واحدهای سنگی و تولید

2 . Gavrilovic

3 .Erosion Potential Method

4 .Sediment Assessment Tool for Effective Control

5 .Geographic Information System

6 . Tangestani

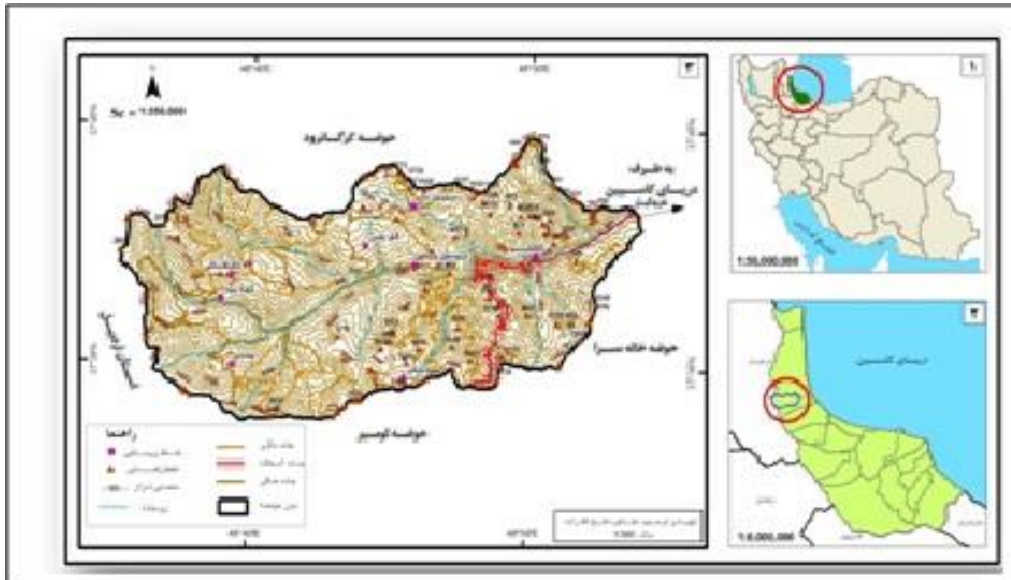
رسوب با استفاده از مدل ای پی ام، در بخشی از حوضه آبریز زاینده رود - حوضه حیدری در شمال شهرکرد مورد مطالعه قرار داده و به این نتیجه رسیده روش اندیس جواب بهتری می‌دهد. به طور کلی می‌توان گفت که از این روش برای تخمین شدت فرسایش در حوضه‌های آبخیز و عمل رسوب در رودخانه‌ها استفاده می‌شود و به وسیله آن می‌توان برآورد اولیه‌ای از میزان رسوب گذاری در مخزن سدّهای مخزنی به ویژه برآورد عمر مفید سدّها استفاده کرد (سبحانی، ۱۳۷۶، ۱۴۶).

### موقعیت حوضه آبخیز ناورود

این حوضه در دامنه‌های شرقی سلسله جبال البرز (رشته کوه‌های تالش) واقع گردیده است و از سمت شمال به حوضه آبریز کرگان‌رود، از جنوب به حوضه آبریز خاله سرا و دیناچال و از غرب به حوضه آبریز آریاچای و از شرق به دریا متصل شده است. راه دسترسی به حوضه از طریق جاده آسفالتی و توریستی اسالم به خلخال بوده و از کیلومتر ۶۰ جاده انزلی به تالش، منشعب می‌گردد. سرچشمه سرشاخه‌های اصلی رودخانه ناورود از دامنه‌های شرقی رشته کوه‌های تالش و کوه‌های حجاب، سلطه خونی، اسبه ریس، هفته خونی و بوغرداغ آغاز شده و بعد از پیوستن شاخه‌های فرعی دیگر، رودخانه در جهت غرب به شرق به مسیر خود ادامه داد و ۶ کیلومتر بعد از ایستگاه خرگیل، از شهر اسالم گذشته و پس از طی ۴ کیلومتر دیگر به دریای خزر می‌پیوندد. پرآب‌ترین شاخه‌های تشکیل دهنده جریان حوضه را رودخانه‌های کوره رود، بیلی، سوکله روبار، بیزه سه، دشت نسا، شالو، سئون سر، لاکه تاشون، دجوعش، وکش تشکیل داده که بیش از ۸۵٪ جریان رودخانه اصلی را به وجود می‌آورند. سرشاخه کوچک دیگر با نام‌های ماله روبار، عمبرابند و مشه که، بعد از ایستگاه خرگیل به شاخه اصلی اضافه می‌شوند.

حوضه آبخیز ناورود با مساحت حدود ۲۶۵/۴۶ کیلومترمربع، در منطقه غرب گیلان و در محدوده شهرستان تالش، بین طول‌های جغرافیایی ۴۸ درجه و ۳۵ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۵۴ دقیقه شرقی و عرض‌های جغرافیایی ۳۷ درجه و ۳۶ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۴۵ دقیقه شمالی قرار گرفته است (شکل ۱). این بخش حوضه به طور عمده کوهستانی می‌باشد که حداکثر و حداقل ارتفاع در آن به ترتیب ۳۰۱۶ و ۱۱۸ متر از سطح دریا می‌باشد. ارتفاع متوسط منطقه نیز ۱۵۶۷/۴۵ متر از سطح دریا است. طول رودخانه تا محل ایستگاه خرگیل حدود ۳۳/۲۸ کیلومتر است. منطقه پژوهش برای بررسی دقیق به ۱۱ زیر حوضه تقسیم شده است. از نظر سنگ شناسی حوضه مورد مطالعه از واحدهای مربوط به دوران پالئوزوئیک و مزوزوئیک و سنوزوئیک تشکیل شده است (درویش زاده، ۱۳۸۰: ۵۴۳). این حوضه از دو تیپ اراضی کوهستانی و تیپ جلگه‌ای فوقانی تشکیل شده است. حوضه مورد مطالعه به لحاظ پوشش گیاهی جزئی از جنگل‌های مرطوب ایران است و در ارتفاع‌ها دارای پوشش مرتعی (بیلاقی) است. کلاس بافت خاک این حوضه عمدتاً "لوم ماسه دار، لوم، لوم رس دار، لوم رس دار سیلتی، رس سیلت دار، رس است. حوضه آبخیز ناو رود شکل مستطیل دارد که رودخانه در وسط و موازات طول آن جریان دارد. رژیم رودخانه برفی - بارانی است و دارای دو دوره پربابی با طول مدت و

شدت کم و بیش مساوی است. شیب متوسط وزنی کل حوضه ۴۷/۲۰ می باشد. میانگین بارش سالانه در کل حوضه ۹۸۳ میلی متر بوده و اقلیم منطقه از روش دمارتن اصلاح شده در ارتفاعها مرطوب و سرد و در پایین دست خیلی مرطوب، از روش آمبرژه در ارتفاعات فوقانی مرطوب و در سطوح پایین خیلی مرطوب است.



شکل ۱: نقشه موقعیت حوضه آبخیز ناورود (مأخذ: نگارنده)

## روش پژوهش

به منظور اجرای برنامه های حفاظت خاک و تعیین روش های مبارزه با فرسایش و کاهش رسوب زایی می بایست حجم کل میزان تولید رسوب سالانه در حوضه مورد مطالعه ارزیابی و برآورد گردد (رفاهی، ۱۳۸۲، ۲۴۷). روند مطالعه منطقه مورد مطالعه، به شرح زیر انجام گرفته است:

- مطالعه عکس های هوایی، نقشه های زمین شناسی، نقشه های توپوگرافی و کاربری اراضی؛
- بررسی ژئومورفولوژی منطقه با استفاده از نقشه توپوگرافی، زمین شناسی و تفسیر عکس های هوایی، تصاویر ماهواره ای، نقشه مقدماتی ژئومورفولوژی تهیه و سپس با بررسی های میدانی، نقشه ژئومورفولوژی تکمیل می شود؛
- بررسی هر یک از رخساره های ژئومورفولوژی و تطبیق آن با نقشه کاربری اراضی و تهیه شکل های مختلف فرسایشی؛
- بررسی و مطالعه میدانی انواع فرسایش در حوضه آبخیز ناورود و اصلاح نقشه؛
- استنتاج کلی و و طبقه بندی فرسایش و آرایه نقشه فرسایش ویژه.

## بحث اصلی

برای این کار روش های متعددی وجود دارد. در روش EPM که در آن Z ضریب شدت فرسایش، Xa ضریب استفاده از زمین، Y ضریب حساسیت سنگ و خاک به فرسایش،  $\phi$  ضریب فرسایش حوزه آبخیز و I شیب متوسط حوضه بر

حسب درصد است با استفاده از جدول ضریب فرسایش (احمدی، ۱۳۷۸: ۵۴۶) می‌توان ضریب فرسایش حوضه را بدست آورد که آوردن این جدول‌ها در این‌جا به دلیل محدودیت تعداد صفحه‌ها مقدور نمی‌باشد با توجه به این جدول‌ها میزان ضریب فرسایش در هر یک از این زیر حوضه‌ها محاسبه و نتایج حاصله در شکل ۳ نمایش داده شده است. در هر یک از زیر حوضه‌ها یا ضریب شدت Z بر اساس چهار عامل فوق، مقدار فرسایش، متوسط سالانه رسوب ویژه (میزان رسوب تولید شده در واحد سطح) و مقدار رسوب تولید شده در طول سال در سطح زیر حوضه‌ها و بالاخره در کل حوضه محاسبه شده است. همچنین برای تکمیل اطلاعات و برداشت نمونه خاک، سازندهای سطحی و تطابق یافته‌ها با طبیعت از روش مشاهده نیز استفاده گردید. در کنار روش‌های بالا از روش کتابخانه‌ای و روش آزمایشگاهی نیز استفاده شده است. همان طوری که در بالا ذکر شد، برای سهولت و دقت کار در بدست آوردن میزان فرسایش و تولید رسوب، ابتدا کل حوضه ناورود را به یازده زیر حوضه تقسیم کردیم. سپس عوامل مؤثر در تولید رسوب در این روش در هر یک از این حوضه‌ها مورد مطالعه قرار گرفت. در مرحله آخر میزان فرسایش و تولید رسوب با استفاده از فرمول‌ها و ضرایب مربوطه بدست آمده است که در زیر به بررسی هر یک از عوامل چهار گانه خواهیم پرداخت.

### – مطالعات سنگ شناسی

سنگ‌ها متشکل از کانی‌ها می‌باشند، اما فرسایش یک سنگ ارتباط کاملاً مستقیمی با فرسایش یکایک کانی‌ها به طور مجزا ندارد (جرارد، ۱۹۸۸ : ۳۱۹). هوازگی به طور کلی تغییر شکل سنگ‌ها در نتیجه عوامل آب و هوایی مؤثر بر روی آنها است (الیر، ۱۹۷۹ : ۳۰۴). سختی یا مقاومت سنگ نشان دهنده مقاومت سنگ نسبت به سایش، خرد شدن و ضربه دیدن است. سختی سنگ به وسیله ترکیب کانی شناسی آن مشخص می‌شود. هوازگی شیمیایی اثر مهم بر روی سختی دارد چون هوازگی شیمیایی اغلب باعث ایجاد مواد نرم تر می‌شود (کولمن و دیتز، ۱۹۹۰). ویژگی‌های سنگ شناسی مشخص کننده این است که تا چه حد حوضه آبخیز از نظر سنگ‌شناسی تنوع دارد و سنگ‌های موجود در مقابل یکی از عوامل مهم فرسایش دهنده سنگ‌ها یعنی عامل هوازگی چگونه مقاومت می‌نمایند (فیض نیا، ۱۳۷۴ : ۹۵ – ۱۱۶). با مطالعه سنگ شناسی، سرشت طبیعت و ساختار سنگ شناسی مقاومت سنگ‌ها، نسبت به عوامل تخریب و فرسایش مشخص شد. بر همین اساس حوضه ناورود از نظر سنگ شناسی به سه کلاس (X, Y, Z) طبقه بندی شده است (جدول ۱).

جدول ۱: واحدهای سنگ شناسی منطقه مورد مطالعه

ردیف	واحد سنگ شناسی	علامت
۱	شیل‌های سیلتی، توف، گدازه بازالتی (pesh) و کنگلومرای پلی ژنتیک (pec)	X
۲	آهک ماسه‌ایی (kush) و شیل‌های آهکی سیلتی تا ماسه‌ایی و آهک خاکستری (kush)	Y
۳	گدازه‌های برشی، گدازه، توف آندزیت (pevt) و آندزیت، آندزیت بازالت (pev) و سنگ‌های اولترابازیک، عمدتاً سرپانتین (ub) و سنگ‌های دگرگونه با درجه بالا، مسکویت، بیوتیت، شیبست (pcm1)	Z

مأخذ: نگارنده

## - بررسی شیب

شیب از عوامل مهم در مطالعات ژئومورفولوژی است به طوری که پس از تعیین رخساره با دخالت دادن شیب واحدکاری که پایه مطالعات محسوب می شود به دست می آید. براساس نقشه توپوگرافی حوضه مورد مطالعه، شیب حوضه تعیین شد که در جدول ۲ نشان داده شده است.

جدول ۲: کلاس شیب منطقه مورد مطالعه

کلاس شیب	۱	۲	۳	۴	۵
درصد شیب	۰-۵	۵-۱۰	۱۰-۲۰	۲۰-۴۰	> ۴۰

مأخذ: نگارنده

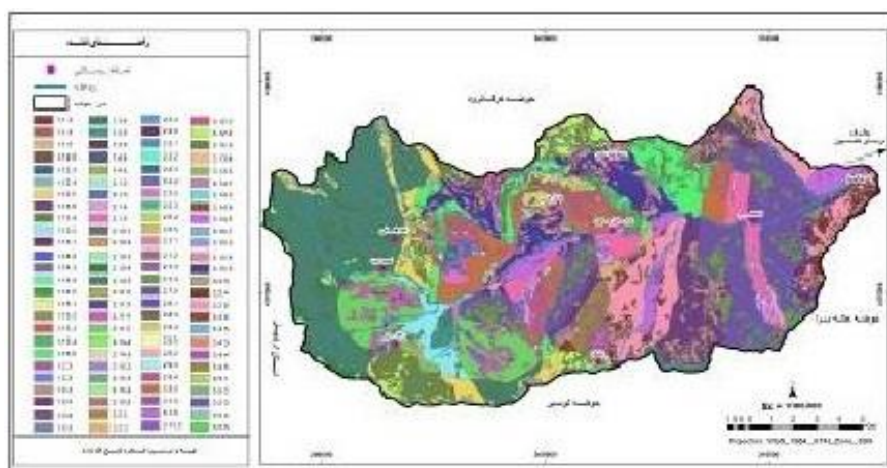
## - مطالعات ژئومورفولوژی

شناخت ویژگی‌های زمین شناسی سطحی، حوضه آبخیز برای ارزیابی فرسایش و تولید رسوب دارای اهمیت ویژه‌ای می‌باشد (مقیم و محمودی، ۱۳۸۳: ۱۶۹). اطلاع از چگونگی فرسایش و توانایی حمل رسوب در آبراهه‌های مختلف حوضه از جمله مواردی است که باید مورد نظر قرار گیرد. با تفسیر عکس‌های هوایی، کلیه عوارض موجود در هر واحد سنگ مشخص و ناهمواری‌ها براساس علایم استاندارد ترسیم شد. به طوری که در هر واحد سنگ بر اساس شکل ناهمواری، شکل تخریب و نوع فرسایش به تیپ‌هایی تقسیم و هر تیپ بر مبنای تغییراتی که در آن وجود دارد به محدوده‌های کوچک‌تری به نام رخساره تفکیک شد که نتیجه آن در جدول ۳ ارایه گردیده است. برای محاسبه و برآورد فرسایش و رسوب با استفاده از مدل EPM لازم است ابتدا نقشه‌های مورد نیاز شامل نقشه رخساره‌های ژئومورفولوژی، سنگ‌شناسی و شیب تهیه شود. تا با ادغام این نقشه‌ها، نقشه واحد کاری بدست آید که به توان ضریب فرسایش حوضه آبخیز را تعیین کرد و ضریب شدت فرسایش با استفاده از روش EPM مشخص گردد. در نقشه واحد کاری مقدماتی تعداد واحدهای کاری با توجه به تنوع سنگ شناسی منطقه مورد مطالعه و وجود رخساره‌های مختلف، زیاد می‌باشد. با استفاده از نقشه حساسیت سنگ‌ها و سازندها به فرسایش و قطع دادن آن با نقشه رخساره‌های فرسایشی، نقشه واحدهای کاری نهایی تهیه و در هر واحد شیب متوسط در نظر گرفته می‌شود. نتیجه مطالعات ژئومورفولوژی نشان داد که حوضه مورد مطالعه، از ۱۵ نوع رخساره ژئومورفولوژی و ۱۰۴ واحدکاری تشکیل شده است. نقشه واحدکاری بر گرفته از سه کد می‌باشد کد اول کلاس زمین شناسی، کد دوم رخساره‌های ژئومورفولوژی و کد سوم شیب منطقه مورد مطالعه می‌باشد (احمدی، ۱۳۷۸: ۵۴۵) (شکل ۲).

جدول ۳: رخساره‌های ژئومرفولوژی منطقه مورد مطالعه

ردیف	ویژگی‌های فرسایش در رخساره یا واحد کاری	علامت
۱	دامنه منظم	M
۲	فرسایش آبراهه‌ای	A
۳	فرسایش سطحی بدون پوشش گیاهی	F1
۴	فرسایش سطحی با پوشش گیاهی نیمه متراکم	F2
۵	فرسایش سطحی لکه‌ای	F3
۶	فرسایش رودخانه‌ای	R
۷	حرکات توده ایی	MM
۸	فرسایش انحلالی	K
۹	فرسایش سطحی با پوشش گیاهی نیمه متراکم و فرسایش انحلالی	F2 K
۱۰	فرسایش سطحی لکه‌ای و فرسایش انحلالی	F3K
۱۱	فرسایش انحلالی و فرسایش سطحی بدون پوشش گیاهی	KF1
۱۲	فرسایش آبراهه‌ای و فرسایش سطحی بدون پوشش گیاهی	AF1
۱۳	فرسایش آبراهه‌ای و فرسایش سطحی لکه ای	AF3
۱۴	فرسایش سطحی با پوشش گیاهی نیمه متراکم و فرسایش آبراهه‌ای	F2A
۱۵	فرسایش سطحی لکه‌ای و فرسایش آبراهه ای	F3A

مأخذ: نگارنده



مأخذ: نگارنده

شکل ۲: نقشه واحدهای کاری (ژئومرفولوژی) حوضه آبخیز ناورود

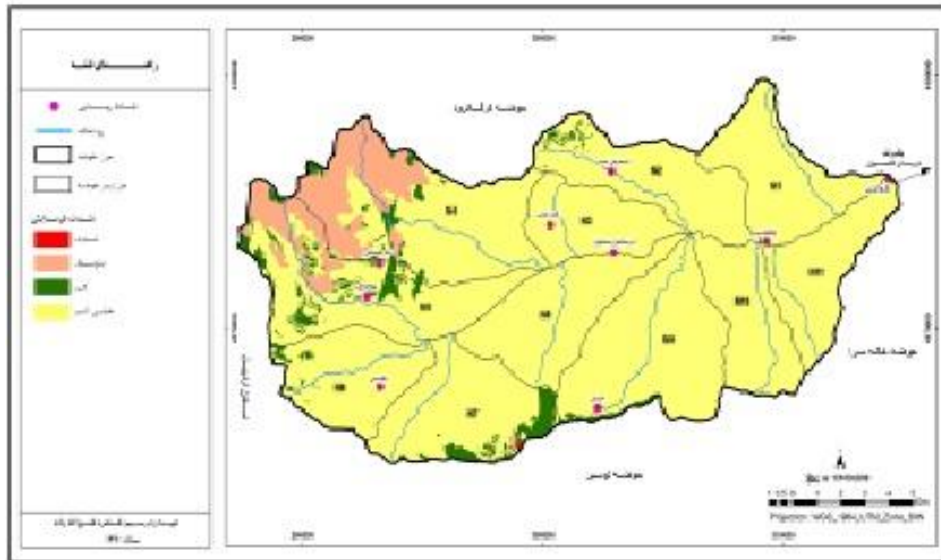
### – بررسی شدت فرسایش حوضه آبخیز ناورود با استفاده از روش EPM

در این روش چهار عامل، ضریب فرسایش، ضریب استفاده از زمین، ضریب حساسیت خاک به فرسایش و شیب متوسط حوضه مشخص می‌شود. شدت فرسایش در حوضه مورد مطالعه با استفاده از رابطه زیر تعیین شد.

$$Z = Xa. Y (\phi + I \frac{1}{2})$$

که در آن Z ضریب شدت فرسایش، Xa ضریب استفاده از زمین، Y ضریب حساسیت سنگ و خاک به فرسایش،  $\phi$  ضریب فرسایش حوزه آبخیز و I شیب متوسط حوضه بر حسب درصد است. سپس محاسبه شدت فرسایش صورت گرفته و نقشه فرسایش تهیه شد. برآورد ضریب شدت فرسایش در هر زیر حوضه در جدول ۴ نشان داده شده است (شکل ۳).





شکل ۳: نقشه فرسایش پذیری حوضه آبخیز ناورود (مأخذ: نگارنده)

### - فرسایش ویژه

فرسایش ویژه، مقدار فرسایش ویژه سالیانه بر حسب متر مکعب در کیلومتر مربع در سال است. با استفاده از رابطه زیر، مقدار فرسایش ویژه زیر حوضه‌ها مشخص شد که در جدول ۵ ارایه شده است (شکل ۴).

$$Wsp = T.H.Z^{2/3} * pi$$

$Wsp$  = فرسایش ویژه سالیانه بر حسب متر مکعب در کیلومتر مربع در سال،  $H$  = متوسط مقدار بارندگی سالیانه بر حسب

میلی متر،  $Z$  = ضریب شدت فرسایش،  $Pi$  = عدد ثابت (۳،۱۴).

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

$T$  = ضریب درجه دما که از معادله روبرو بدست می‌آید:

محاسبه فرسایش ویژه در سطح هر زیرحوضه آبخیز انجام می‌شود و سپس از مجموع آنها مقدار فرسایش ویژه برای کل حوضه آبخیز محاسبه می‌شود.

### - محاسبه ضریب رسوبدهی در هر زیرحوضه

نسبت مقدار مواد فرسایش یافته که در هر مقطع توسط رودخانه حمل می‌شود به مقدار فرسایش کل در سطح حوضه آبخیز را ضریب رسوبدهی می‌گویند که مقدار خاک فرسایش یافته در حوضه آبخیز که وارد جریان‌های رودخانه نمی‌شود، به مقدار زیادی به توپوگرافی، شکل و بزرگی حوضه آبخیز بستگی دارد. در مدل EPM برای محاسبه ضریب رسوبدهی از رابطه ذیل بدست می‌آید:

$$RU = \frac{4(p \times D)^{0.5}}{L + 10}$$

$RU =$  ضریب رسوب‌دهی،  $P =$  طول محیط حوضه آبخیز به کیلومتر،  $L =$  طول حوضه آبخیز به کیلومتر،  $D =$  اختلاف ارتفاع به کیلومتر که از رابطه ذیل محاسبه می‌گردد و  $D_{av} =$  ارتفاع متوسط حوضه آبخیز،  $D_o =$  ارتفاع نقطه خروجی است.

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

#### - دبی رسوب ویژه

به مقدار رسوب تولید در واحد سطح یک حوضه آبخیز، دبی رسوب ویژه گفته می‌شود. جهت محاسبه دبی ویژه می‌توان مقدار فرسایش ویژه را در ضریب رسوب‌دهی ضرب کرد. برای محاسبه رسوب ویژه از رابطه زیر استفاده می‌شود، که  $GSP =$  دبی رسوب ویژه، برحسب مترمکعب در سال در کیلومتر مربع،  $WSP =$  مقدار فرسایش ویژه بر حسب مترمکعب در سال در کیلومتر مربع،  $RU =$  ضریب رسوب‌دهی حوضه آبخیز.

$$GSP = WSP.RU$$

#### - رسوب کل

برای محاسبه رسوب کل می‌توان دبی رسوب ویژه را در مساحت کل حوضه آبخیز ضرب کرد و  $GS =$  دبی رسوب کل بر حسب متر مکعب در سال،  $GSP =$  دبی رسوب ویژه برحسب متر مکعب در سال در کیلومتر مربع،  $A =$  مساحت حوضه آبخیز برحسب کیلومتر مربع است.

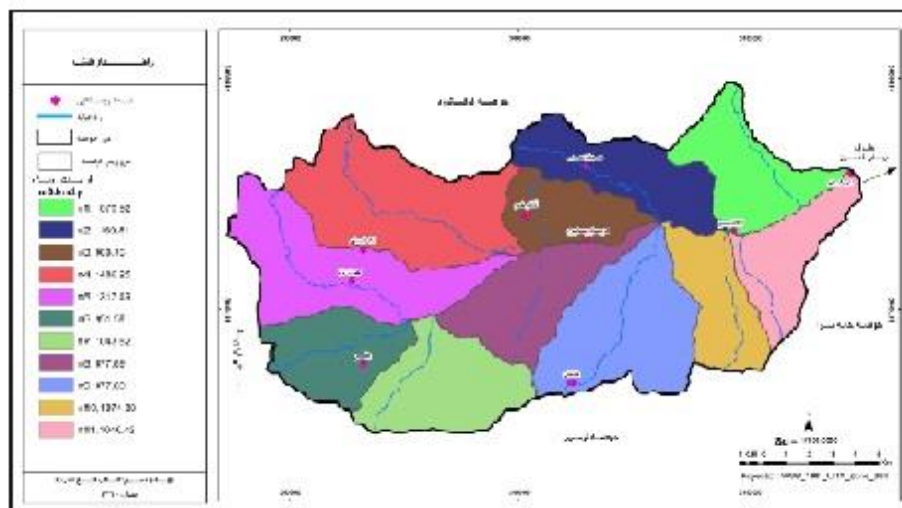
$$GS = GSP.A$$

بدیهی است که پس از محاسبه میزان رسوب کل در هر زیر حوضه آبخیز، از مجموع رسوب کل آنها معادل رسوب کل حوضه آبخیز به شرح زیر خواهد بود (جدول ۴) (احمدی، ۱۳۷۸: ۵۴۵-۵۵۱).

$$GS_t = GS_1 + GS_2 + \dots + G$$

جدول ۴: مقادیر محاسبه شده ضریب شدت فرسایش، فرسایش ویژه، رسوب ویژه و رسوب کل با استفاده از مدل EPM در زیر حوضه‌ها

زیر حوضه	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	کل حوضه
میزان درصد متوسط شیب	۳۷,۵۶	۵۸,۸۹	۳۴,۷۹	۶۴,۲۸	۹۶,۶۲	۶۴,۸۱	۳۶,۲	۳۹,۳۴	۵۰,۶۹	۵۵,۹۷	۴۰,۸۷	۴۷/۲۰
متوسط درجه حرارت سالانه	۱۳,۱	۱۲,۶	۱۱,۳	۱۰,۲	۹,۵	۹,۷	۱۰,۱	۱۱	۱۱	۱۲,۴	۱۲,۸	۱۰
ارتفاع متوسط بارندگی mm	۱۱۲۲	۱۰۹۳	۱۰۱۶	۹۵۲	۹۱۳	۹۲۳	۹۵۰	۱۰۰۳	۱۰۰۳	۱۰۸۲	۱۱۰۹	۹۶۰
محیط حوضه آبخیز	۳۴,۴۲	۲۶,۰۵	۱۸,۳۱	۳۳,۵۴	۳۵,۱۶	۱۹,۴۴	۲۲,۶۳	۲۶,۳۳	۲۶,۳۷	۲۰,۲۲	۲۲,۱۶	۸۳,۷۴
طول آبراهه اصلی km	۶,۹	۸,۰۶	۳,۵۴	۱۲,۶۰	۱۰,۶۸	۷,۲۹	۶,۰۶۱	۵,۲۶	۹,۸۶	۶,۸۹	۵,۴۲	۰,۰۳۳
اختلاف ارتفاع حوضه km	۱,۱۲	۱,۶۲	۱,۴۷	۲,۰۱	۲,۳۳	۱,۶۸	۱,۴۸	۱,۶۸	۱,۶۹	۱,۴۲	۱,۳۱	۲,۰۸۹
شدت فرسایش Z	۰,۰۷	۰,۰۹	۰,۰۸	۰,۲۴	۰,۲۲	۰,۱۱	۰,۱۲	۰,۰۷	۰,۰۷	۰,۰۸	۰,۰۷	۰,۱۳
فرسایش ویژه	۷۴,۹۶	۱۰,۴۴۳	۷۷,۰۷	۳۵۶,۷۰	۲۸۹,۸۵	۱۰۴,۶۷	۱۲۵,۲۳	۶۱,۴۵	۶۱,۴۵	۸۵,۹۵	۷۳,۲۵	۱۴۲,۰۰
ضریب درجه حرارت	۱,۱۵	۱,۱۳	۱,۰۷	۱,۰۱	۰,۹۸	۰,۹۹	۱,۰۱	۱,۰۵	۱,۰۵	۱,۱۲	۱,۱۴	۱,۰۰
ضریب رسوبدهی حوضه	۱,۲۴	۱,۴۴	۱,۵۳	۱,۴۳	۱,۲۳	۱,۳۲	۱,۴۴	۱,۷۵	۱,۳۴	۱,۲۷	۱,۴۰	۶,۲۱
مساحت حوضه km <sup>2</sup>	۲۰,۷۱	۲۲,۲۷	۱۵,۸	۳۹,۵۷	۳۴,۳	۱۸,۹۵	۲۴,۸۲	۲۲,۵۲	۳۳,۹۱	۱۶,۹۴	۱۷,۴۲	۲۶۵,۴۶
دبی رسوب ویژه	۹۳,۰۴	۱۵۰,۵۸	۱۱۸,۲۱	۵۱۱,۳۹	۴۹۷,۰۹	۱۳۸,۴۵	۱۸۰,۶۶	۱۰۷,۲۴	۸۲,۶۳	۱۰۹,۴۴	۱۰۰,۲۶۳	۸۸۱,۹۳
دبی رسوب کل	۱۹۲۶,۷۷	۳۳۵۳,۵۱	۱۸۶۷,۷۱	۲۰۲۳۵,۸۳	۱۷۰۵۰,۳۳	۲۶۲۲,۶۱	۴۴۸۳,۹۳	۲۴۱۵,۰۱	۲۷۱۹,۲۵	۱۸۵۴,۰۰	۱۷۸۷,۸۸	۶۰۳۱۷,۰۸



شکل ۴: نقشه فرسایش ویژه به روش EPM حوضه آبخیز ناورود (مأخذ: نگارنده)

### – برآورد رسوب

با توجه به این که در حوضه آبخیز ناورود دستگاه اندازه گیری رسوب موجود بوده است، رسوب بدست آمده از روش EPM ۷۸۴۱۳ تن در سال بوده (در جدول ۴ مقدار دبی رسوب کل حوضه ۶۰۳۱۷,۸۴ متر مکعب در سال می‌باشد برای تبدیل آن به تن در سال، عدد فوق را در جرم حجمی رسوب یعنی ۱۳۰۰ ضرب و عدد بدست آمده به کیلوگرم را تبدیل به تن می‌کنیم تا وزن رسوب برحسب تن بدست آید) و رقم بدست آمده از آمار رسوب ایستگاه خرچگیل (خروجی حوضه) ۸۰۵۵۲ تن در سال است. از طریق آزمون آماری، کنترل نهایی صورت گرفت، لذا عدد به دست آمده از مدل EPM از نظر آماری در سطح ۹۵٪ معنی دار می‌باشد.

### نتیجه گیری

هدف از این پژوهش بررسی انواع فرسایش در حوضه آبخیز ناورود، بررسی شدت فرسایش، تولید رسوب و عوامل مؤثر در این رابطه است در این خصوص ویژگی‌های فیزیوگرافی، توپوگرافی، اقلیمی، زمین شناسی، ژئومورفولوژی، پوشش گیاهی، خاک، فرسایش و تولید رسوب به طور کلی بررسی شد. براساس مطالعه انجام شده در حوضه آبخیز ناورود تغییر کاربری اراضی جنگل و تخریب مراتع از دلایل عمده فرسایش منطقه می‌باشد. بررسی نقاط مشخص شده حساس به فرسایش در حوضه نشان می‌دهد که این نقاط عمدتاً در مناطق پر شیب که تخریب جنگل و مرتع در آنها صورت گرفته است مشاهده می‌شود. نتایج بدست آمده از روش ژئومورفولوژی برای تعیین مقدار رسوب با استفاده از مدل EPM نشان می‌دهد که زیر حوضه‌های ۴ و ۵ بیشترین مقدار فرسایش از نظر شدت و بیشترین مقدار رسوب را نسبت به سایر زیر حوضه‌ها به خود اختصاص داده است. در این زیر حوضه‌ها ضریب فرسایش به ترتیب ۰/۲۴ و ۰/۲۲ و مقدار رسوب زایی کل سالانه به ترتیب ۲۰۲۳۵/۸۳ و ۱۷۰۵۰/۳۳ مترمکعب است. از دلایل آن شیب زیاد، تغییر کاربری و تخریب جنگل و مرتع و جاده سازی جهت توسعه راه‌های ارتباطی روستایی و بهره‌برداری در جنگل و ساختار سنگ شناسی حساس به فرسایش می‌باشد.

عوامل غیر طبیعی در حوضه ناورود شامل نحوه بهره‌برداری از اراضی، تغییر کاربری و تبدیل اراضی، دامداری آزاد و سنتی در جنگل‌ها و مراتع منطقه، قطع بی رویه درختان جنگلی برای مصارف متنوع؛ تعلیف دام و در مواردی قاچاق چوب، تبدیل اراضی جنگلی به مناطق مسکونی و اراضی زراعی و در مواردی توسعه راه‌های ارتباطی روستایی و بهره‌برداری در جنگل می‌باشد. مهمترین پدیده‌های فعال غیر طبیعی که در حال حاضر موجب بروز شرایط حاد فرسایش در منطقه شده است و باید مدیریت و برنامه‌ریزی شود شامل:

- ساماندهی جنگل نشینان و دامداران و ممانعت از بهره‌برداری گسترده و وسیع و بدون رعایت اصول بهره‌برداری از منابع جنگلی که یکی از عوامل مؤثر در تخریب و بروز پدیده فرسایش فعال می‌باشد؛
  - جلوگیری از تمرکز و تجمع مراکز مسکونی و جمعیتی به صورت موقت و دائمی که سطح وسیعی از اراضی جنگل را اشغال و تخریب نموده است؛
  - ممانعت از احداث و توسعه جاده‌های جنگلی و راه‌های ارتباطی روستایی که سطح وسیعی از اراضی جنگلی را تخریب و در بروز پدیده‌های فرسایش دلیل بسیار تأثیر گذار است؛
  - جلوگیری از توسعه اراضی کشاورزی در بخش‌های مختلف باغداری و زراعت غلات و حبوبات و غیره که ضمن تخریب اکوسیستم جنگل موجب تغییر رژیم هیدرولوژیکی و آبدهی حوضه شده و از طرفی تولید و بروز پدیده‌های حرکت توده‌ای و فرسایش را فراهم می‌نماید؛
  - ممانعت از بهره‌برداری گسترده و وسیع در اراضی شیب جنگلی که با توجه به میزان و حجم بارندگی سالانه موجب تشدید فرسایش می‌شود؛
- احیاء و بازسازی مناطق تخریب شده جنگلی با کاشت گونه‌های بومی تا هم از نظر ذخائر ژنتیکی تغییری در تیپ‌های جنگلی ایجاد نگردد و هم مناطق در حال تخریب بازسازی حفاظت شود.

## منابع

- ۱- احمدی، حسن، (۱۳۷۸): ژئومورفولوژی کاربردی، جلد ۱ (فرسایش آبی)، چاپ دوم، تهران، انتشارات دانشگاه تهران، ص ۵۵۱-۵۴۵.
- ۲- ثروتی، محمد رضا، (۱۳۸۱): ژئومورفولوژی منطقه‌ای ایران، انتشارات سازمان جغرافیایی، ص ۱۲۹.
- ۳- ثروتی، محمد رضا، نظری سامانی، علی اکبر، نورمحمدی، علی محمد، (۱۳۹۰): به کارگیری مدل‌های تجربی و روش‌های آماری چند متغیره در ارزیابی شدت فرسایش آبی (بررسی موردی: حوضه باغره خراسان رضوی) مجله منابع طبیعی ایران (نشریه مرتع و آبخیزداری) دوره ۶۴، شماره ۲، ص ۱۶۶.
- ۴- ثروتی، محمد رضا، فتح ... زاده، طاهره، (۱۳۸۲): بررسی انواع فرسایش در حوضه آبخیز ماسوله رودخان (استان گیلان)، مجله منابع طبیعی ایران، جلد ۵۶، شماره ۳، ص ۱۵۵-۱۶۴.
- ۵- خدابخش، سعید، محمدی، اکبر، رفیعی، بهروز، بزرگ‌زاده، عیسی. (۱۳۸۸): مقایسه برآورد میزان فرسایش و رسوب‌زایی در زیر حوضه سزا (حوضه آبریز سد دز) با استفاده از مدل‌های تجربی EPM, MPSIAC با کمک دانش فازی، فصل‌نامه زمین شناسی ایران، سال سوم، شماره دوازدهم، ص ۵۱-۶۱.

- ۶- خدابخشی، زینب، ارزانی، ناصر، عبدالهی، خدایار، داودیان، علیرضا (۱۳۸۹): مطالعه فرسایش پذیری واحدهای سنگی و تولید رسوب با استفاده از مدل EPM به کمک GIS در بخشی از حوضه آبریز زاینده رود - حوضه حیدری در شمال شهرکرد، پژوهش‌های چینه نگاری و رسوب شناسی، سال بیست و ششم، شماره پیاپی ۳۹، شماره دوم، ص ۳۳-۴۸.
- ۷- درویش زاده، علی، (۱۳۸۰): زمین شناسی ایران، انتشارات امیرکبیر، ص ۵۴۳.
- ۸- رفاهی، حسینقلی، (۱۳۷۹): فرسایش آبی و کنترل آن، چاپ اول، تهران، انتشارات دانشگاه تهران، ص ۸۵.
- ۹- رفاهی، حسینقلی، (۱۳۷۵): فرسایش آبی و کنترل آن، چاپ اول، تهران، انتشارات دانشگاه تهران، ص ۲۷۵.
- ۱۰- رفاهی، حسینقلی، (۱۳۸۲): فرسایش آبی و کنترل آن، چاپ اول، تهران، انتشارات دانشگاه تهران، ص ۲۴۷.
- ۱۱- سازمان زمین شناسی کشور (۱۳۷۱): نقشه زمین شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ خلخال - رضوانشهر.
- ۱۲- سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح (۱۳۷۲): نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰۰ خلخال و اسالم.
- ۱۳- سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح (۲۰۰۲): عکس‌های هوایی ۱:۴۰۰۰۰۰ منطقه.
- ۱۴- سبحانی، بهروز (۱۳۷۶): تجزیه و تحلیل قابلیت رسوب دهی حوضه آبخیز آق لاقان چای با استفاده از سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، قدوسی، جمال، دانشگاه تربیت مدرس گروه جغرافیا، ص ۲۱۰.
- ۱۵- سلاجقه، علی، دلفاری، صادق. (۱۳۸۶): مقایسه روش‌های کیفی ژئومرفولوژی و کمی EPM در برآورد فرسایش و رسوب (مطالعه موردی: زیر حوضه خوسبان حوضه آبخیز طالقان، چکیده مقالات چهارمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، مدیریت حوضه‌های آبخیز، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تهران، ص ۲۷۰).
- ۱۶- فیض نیا، سادات، (۱۳۷۴): مقاومت سنگ‌ها در مقابل فرسایش در اقلیم مختلف ایران، مجله منابع طبیعی ایران، شماره ۴۷، ص ۹۵-۱۱۶.
- ۱۷- قدسی پور، حسن، (۱۳۷۹): فرایند تحلیل سلسله مراتبی، مرکز نشر دانشگاه صنعتی امیر کبیر، ص ۱۴۳.
- ۱۸- قدیری، حسین، (۱۳۶۸): حفاظت خاک، چاپ دوم اهواز، انتشارات دانشگاه شهید چمران اهواز، ص ۴۶۹.
- ۱۹- کریمی، حسین و حسین کریمی وردنجانی و سیف ا... قربانی (۱۳۸۶): کاربرد مدل SATEEC در محیط GIS در برآورد رسوب زایی و تهیه نقشه شدت فرسایش زیر حوضه آبخیز زاینده رود، چکیده مقالات چهارمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ص ۲۸۶.
- ۲۰- محمدیان شوئیلی، محمد حسن، سرور، جلیل الدین، (۱۳۸۶): روش‌های برآورد فرسایش و رسوب براساس مدل‌های رایج تجربی (EPM, PSIAC, MPSIAC) در حوضه آبخیز گوهر رود، مجموعه مقالات چهارمین همایش ملی علوم مهندسی آبخیزداری ایران مدیریت حوضه‌های آبخیز، تهران، دانشگاه تهران، ص ۱۷۶-۱۵۷.
- ۲۱- مخدوم، مجید. (۱۳۸۱): شالوده آمایش سرزمین، چاپ پنجم، انتشارات دانشگاه تهران، ص ۲۸۹.
- ۲۲- مقیمی، ابراهیم، محمودی، فرج ا...، (۱۳۸۳): روش پژوهش در جغرافیای طبیعی، نشر قومس، ص ۱۶۹.
- 23- Colman, S. M. & D. P. Dethier, (1990): Rates of Chemical Weathering of Rocks and Minerals.
- 24- Gerrard, A. j., (1988): Rocks and Landforms, Unwin Hyman Pub. Co., 319 Pp.
- 25- Hann. C. T. & Others. Hydrologic Modeling of Small Watersheds, American society of Agriculture. Engine. 1982. 533 p.
- 26- Lal, R., (1988): Soil erosion research methods, Soil and Water Conservation Society, 244pp.
- 27- Morgan. R.P.C. (1995): Soil Erosion and Conservation. John Willey and Sons. Now
- 28- Ollier, C.D., (1979): Weathering, Longman Group Limited, 304 pp.
- 29- Wollny, Ewold, Baver, L.D. (1938): Apioneer in Soil and Water Conservation Research. Soilsoci. Soc. Am. Proc. 3:330-333.
- 30- Tangestani, Majid H (2006): Comparison of EPM and PSIAC Models in GIS for Erosion and Sediment Yield Assessment in a Semiarid Environment: Afzal Catchments, Fars Province, Iran, Journal of Asian Earth Sciences, Vol. 27, Issue 5, P.585- 597.