

برآورد فرسایش و رسوب از طریق ارزیابی متغیرهای تأثیرگذار در حوضه آبریز کرگانرود

با استفاده از روش EPM

موسی عابدینی^{۱*}، رقیه فتحی جوکندان^۲، امیرحسام پاسبان^۳

۱. استاد، دانشگاه محقق اردبیلی، دانشکده علوم اجتماعی، گروه جغرافیای طبیعی، اردبیل، ایران.
۲. کارشناس ارشد، دانشگاه محقق اردبیلی، دانشکده علوم اجتماعی، گروه جغرافیای طبیعی، اردبیل، ایران.
۳. دانشجوی دکتری، دانشگاه محقق اردبیلی، دانشکده علوم اجتماعی، گروه جغرافیای طبیعی، اردبیل، ایران.

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۶/۲۶

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۶/۱۲

چکیده

فرسایش خاک پدیده‌ای اجتناب ناپذیر است که به طور جدی منابع آب و خاک را تهدید می‌کند و تابع عوامل مختلفی است که بر اساس شرایط خاص هر منطقه ممکن است یک یا چند عامل در تشدید آن مؤثر باشد لذا بررسی فرسایش خاک ارزیابی متغیرها و پارامترهای تأثیرگذار بر آن ضروری می‌باشد. هدف از این پژوهش برآورد فرسایش و رسوب از طریق ارزیابی متغیرهای تأثیرگذار در حوضه آبریز کرگانرود با استفاده از روش EPM می‌باشد. بنابراین در این پژوهش از مطالعات کتابخانه‌ای، میدانی همچنین جهت برآورد مدل کمی برآورد فرسایش و رسوب از نرم‌افزار ArcGIS استفاده شده است. با توجه به آن که در فرسایش خاک پارامترهای متعددی به صورت سیستمی تأثیر دارند و شناخت آن‌ها به عنوان فاکتورهای مؤثر بر میزان فرسایش و رسوب دارای اهمیت زیادی است لذا از بین روش‌های متعدد برآورد فرسایش و رسوب، مدل EPM، به دلیل مطابقت با شرایط آب و هوایی ایران، به عنوان تکنیک منتخب مورد استفاده قرار گرفته و پارامترهای محیطی در قالب این مدل قرار داده شده‌اند. نتایج حاکی از آن است که حوضه مورد مطالعه از نظر شدت فرسایش در طبقه چهار، یعنی فرسایش کم قرار گرفته است. میزان فرسایش کل و رسوب کل حوضه به ترتیب ۲۳۹۹۹۷/۶۸ و ۲۰۶۳۹۶/۳ مترمکعب در سال برآورد شد.

کلیدواژه‌ها: فرسایش، رسوبدهی، مدل EPM، حوضه کرگانرود.

فرسایش خاک، یک فرآیند طبیعی است که سطح از دست رفتگی خاک توسط عوامل محیطی مختلف نظیر آب و هوا، خاک، توپوگرافی و پوشش گیاهی را موجب می‌شود (عابدینی و همکاران، ۱۴۰۱). افزایش هدررفت خاک در حوضه‌های آبریز، چالشی مداوم است که با افزایش جمعیت و فشار وارده به منابع طبیعی و کشت و کارهای ناپایدار در خاک‌ها و اراضی شیب‌دار، موجب کاهش تولید در اراضی می‌گردد (معتمدی‌راد و همکاران، ۱۴۰۲). یکی از مهم‌ترین عوامل تخریب و کاهش باروری خاک، فرسایش خاک می‌باشد که امروزه در حال افزایش بوده و منجر به از دست رفتن خاک مرغوب کشاورزی می‌شود. رسوبات ناشی از فرآیند فرسایش باعث آلودگی آب‌ها، پر شدن مخازن سدها، افت حاصل‌خیزی خاک، کاهش آب‌های زیرزمینی، ایجاد سیلاب‌های خطرناک و طوفان‌های ماسه‌ای می‌شود، بنابراین مطالعه و شناسایی عوامل موثر بر این فرآیند برای آگاهی از میزان تولید رسوب سالیانه در حوضه‌های آبخیز ضروری می‌باشد. امروزه فرسایش تسریع یافته خاک به دلیل تاثیرات آن روی اقتصاد و محیط زیست به عنوان یک مشکل جهانی مطرح است. طبق برآورد سازمان خواروبار جهانی هر سال بیش از ۷۵ میلیارد تن خاک از سطح کره زمین فرسایش می‌یابد که برابر ۱۳۴ تن در هر کیلومترمربع است. در کشور ایران نیز سالیانه نزدیک ۲ میلیارد تن از خاکهای با ارزش هدر میرود که نشانگر بحرانی بودن وضعیت فرسایش و لزوم کنترل آن در ایران می‌باشد (مرادی و همکاران، ۱۳۹۴). در واقع موضوع فرسایش خاک یک مشکل جهانی است (عابدینی و همکاران، ۱۴۰۱). افزایش روزافزون جمعیت جهانی خصوصا از نیم قرن گذشته، دخالت شدید در منابع آب و خاک (فشار بر زمین)، موجب شده که مطالعات فرسایش خاک به عنوان یکی از مهمترین مسائل در ابعاد مختلف آن مانند عوارض زیست‌محیطی، توسعه پایدار کشاورزی و تولید غذا و غیره، هر چه بیشتر مورد توجه قرارگیرد (عابدینی، ۱۳۹۹). تاکنون مطالعات زیادی در رابطه با فرسایش و رسوب در داخل و خارج کشور انجام شده است برای مثال، Fantti and Vezzoli (۲۰۲۰) برای محاسبه پتانسیل رسوب ورودی به دو دلتای برجیا و جورجیو در ایتالیا از روابط تجربی عددی و مدل EPM استفاده کردند. نتایج پژوهش بیانگر دقیق بودن و برتری داشتن مدل EPM نسبت به روابط تجربی عددی در مناطق مورد مطالعه بود. Pandey و همکاران (۲۰۲۱) از مدل WEPP برای بررسی فرسایش و رسوب حوضه‌هایی در هند استفاده کردند. نتایج نشان داد که رسوب برآوردشده با مقادیر ارائه شده به وسیله مدل، دارای همبستگی بسیار بالایی است. Milevski (۲۰۲۲) خطر فرسایش خاک حوضه آبخیز برجانیکا در جمهوری مقدونیه را با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای روش EPM و GIS مورد بررسی قرار دادند و به این نتیجه رسیدند که GIS ابزاری ارزشمند برای پیشبینی و برآورد خطر احتمالی فرسایش خاک است. Tazioli (۲۰۲۲) از مدل EPM برای برآورد رسوب در یک حوضه آبخیز استفاده کرد. نتایج ایشان نشان داد که مدل EPM مناسب‌ترین مدل برای منطقه مورد مطالعه است. محسنی و همکاران (۱۳۹۰) میزان دقت و کارایی مدل‌های EPM، MPSIAC، ژئومورفولوژی و هیدروفیزیکی را در برآورد فرسایش و رسوب حوضه کسلیان استان مازندران ارزیابی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که مدل ژئومورفولوژی نسبت به سه مدل دیگر مناسب‌ترین مدل با دقت و کارایی قابل ملاحظه‌ای می‌باشد. نتایج حاصل از پژوهش نشان‌دهنده فرسایش خیلی شدید در منطقه مورد مطالعه بود. عابدینی و همکاران (۱۳۹۶) به مقایسه کارایی مدل‌های WEPP و EPM جهت برآورد فرسایش خاک و میزان رسوب‌دهی حوضه آبخیز سولاچای پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد مقدار

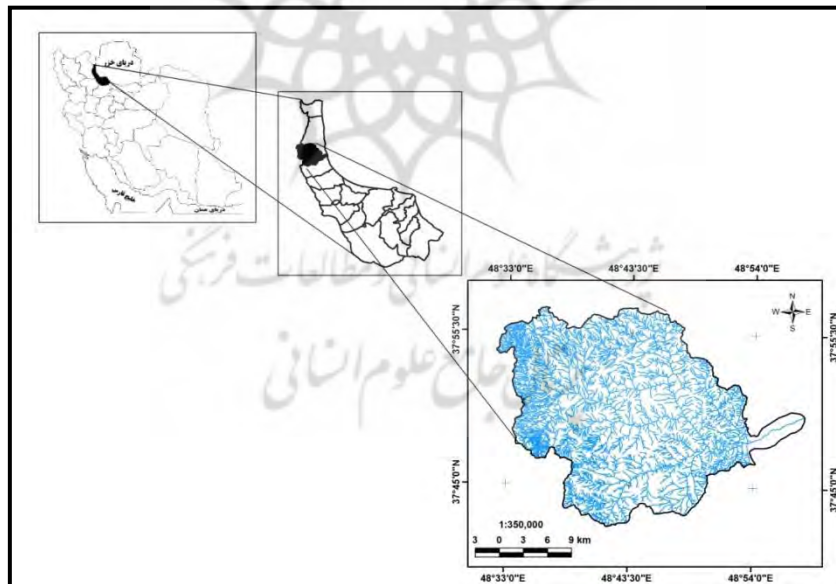
رسوب برآورد شده با مدل WEPP به مقدار رسوب مشاهده‌ای نزدیک‌تر بوده و این مدل از کارایی بالاتری نسبت به مدل EPM در برآورد فرسایش خاک و رسوب منطقه مورد مطالعه برخوردار است. دسترنج و همکاران (۱۳۹۴) در پژوهشی به مطالعه و برآورد فرسایش و رسوب حوزه زیدشت طالقان پرداختند. نتایج آن‌ها حاکی از این بود که حوضه آبخیز زیدشت از نظر فرسایش و تولید رسوب در وضعیت متوسط قرار داشته و میزان ضریب شدت فرسایش آن $Z=0/69$ است. عابدینی و طولایی (۱۳۹۶)، به منظور مدل‌سازی فرسایش خاک و تولید رسوب با سه مدل WEPP، EPM و Fournier در حوضه آبخیز سولاچای استان اردبیل پرداختند. نتایج حاصل از پژوهش نشان داد که مدل WEPP نسبت به دو مدل دیگر از کارایی بهتری در برآورد فرسایش و رسوب حوضه آبخیز سولاچای برخوردار است. جعفری و همکاران (۱۳۹۷) به ارزیابی کمی فرسایش آبی خاک در حوضه آبخیز بدرانلو با استفاده از مدل EPM پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که میانگین سالیانه فرسایش آبی خاک در حوضه حدود $23/73$ تن در هکتار است. همچنین در بین زیرحوضه‌ها، زیرحوضه ۴ واقع در مرکز حوضه با سالیانه حدود $63/89$ تن در هکتار بیشترین میزان فرسایش خاک را دارد. رجبی و همکاران (۱۳۹۸) کاربرد مدل EPM در ارزیابی فرسایش خاک را مورد مطالعه قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که مدل EPM با روش هیدرومتری در ایستگاه‌های پل دواب، توره، شازند و بازنه به ترتیب 86 ، 82 ، 48 و 79 درصد هم‌خوانی نشان می‌دهد. همچنین ارزیابی‌ها نشان می‌دهد که مدل EPM در برآورد حداکثر رسوب سالانه از دقت قابل قبولی برخوردار است. آرخی و بارانی (۱۴۰۱) مقایسه مدل‌های EPM و RUSLE در برآورد فرسایش و تولید رسوب با استفاده از GIS در حوضه چم گردلان استان ایلام پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که میزان رسوب برآوردی مدل RUSLE، $37/16$ تن در هکتار در سال و در روش EPM، $49/21$ تن در هکتار در سال برآورد گردید که با توجه به نزدیک‌تر بودن مقدار برآوردی RUSLE به مقدار رسوب مشاهده‌ای $58/16$ تن در هکتار در سال، کارایی مدل RUSLE در برآورد رسوب منطقه مورد مطالعه بیش‌تر است. عابدینی و همکاران (۱۴۰۱) نتایج این تحقیق نشان داد که علی‌رغم افزایش سطح اراضی زراعی دیم در منطقه به دلیل کاهش سطح اراضی بایر و تقویت پوشش گیاهی در این منطقه میزان فرسایش به میزان اندکی کاهش یافته است که این امر نشان دهنده تاثیر تغییرات کاربری اراضی به‌خصوص تقویت پوشش گیاهی در کنترل میزان فرسایش در منطقه مورد مطالعه است. عابدینی و همکاران (۱۴۰۲) در مورد تاثیر تغییرات کاربری اراضی در یک دوره بیست سال بر میزان فرسایش و رسوب حوزه رضی‌چای کار کرده‌اند، نتایج این تحقیق نشان داد که در طول بیست سال اخیر کاربری‌های مرتع، زراعت آبی، بایر در منطقه کاهش و در مقابل سطح اراضی زراعی دیم و مسکونی افزایش یافته است. در این بین بیشترین تغییر مربوط به افزایش $27/69$ هکتاری اراضی زراعی دیم در منطقه می‌شود. همچنین نتایج بررسی تغییرات فرسایش نشان داد میزان فرسایش از سال 1378 تا 1398 از $6/49$ به $6/46$ تن در هکتار در سال کاهش یافته است. عابدینی و همکاران (۱۴۰۱) در مورد فرسایش حوزه آبخیز رزن با استفاده از منطق فازی، مدل‌های EPM و BLM کار کرده‌اند. نتایج اعتبارسنجی مدل‌ها نشان داده که نتایج مدل EPM با داده‌های برداشت‌شده در مطالعه میدانی مطابقت بیشتری دارد که نشان‌دهنده دقت مدل EPM در بررسی فرسایش در منطقه مورد مطالعه است. براساس پهنه‌بندی صورت‌گرفته با استفاده از مدل EPM به ترتیب $28/44$ ، $32/16$ ، $39/40$ درصد از مساحت منطقه در کلاس‌های خطر خیلی کم، کم، متوسط قرار گرفته است. حوضه گرگانرود یکی از حوضه‌های مهم استان

گیلان هست و پتانسیل نسبتاً بالایی برای فرسایش خاک دارد. بنابراین هدف از این پژوهش برآورد فرسایش و رسوب از طریق ارزیابی متغیرهای تأثیرگذار در حوضه آبریز کرگانرود با استفاده از روش EPM می‌باشد.

روش تحقیق

موقعیت منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز کرگانرود با وسعتی معادل ۶۰۸/۳۹ کیلومتر مربع در شمال غرب استان گیلان در موقعیت جغرافیایی $37^{\circ}41'24''$ تا $37^{\circ}58'1''$ عرض شمالی و $48^{\circ}31'48''$ تا $48^{\circ}58'48''$ طول شرقی واقع شده است. این حوضه از سمت شمال با حوضه آبریز لیسار و از سمت جنوب با حوضه آبریز ناورود اسالم و از غرب با حوضه آبخیز آرپاجای و از مشرق با دریای خزر هم مرز می‌باشد. حداکثر و حداقل ارتفاع در سطح حوضه به ترتیب ۳۲۰۰ متر در خط الرأس شمال غربی و ۲۰- متر در خروجی حوضه می‌باشد. آبراهه اصلی حوضه نیز از ارتفاعات شمال غربی حوضه سرچشمه گرفته و در ابتدا با جهت شمال غربی - جنوب شرقی و سپس غربی - شرقی جریان یافته و نهایتاً به دریای خزر می‌ریزد. رودخانه اصلی حوضه، رودخانه کرگانرود است که از ارتفاعات شمال غرب حوضه سرچشمه می‌گیرد و طول آن ۵۵ کیلومتر است. رودخانه کرگانرود در ابتدا از شمال غرب به سمت جنوب شرق جریان یافته اما نهایتاً به سمت شرق جریان می‌یابد. مساحت حوضه با استفاده از نرم افزار Arc GIS ۳۹/۶۰۸ کیلومتر مربع برآورد گردید. متوسط ارتفاع حوضه ۱۳۸۲/۴۹ متر از سطح دریا می‌باشد. در شکل (۱) موقعیت جغرافیایی حوضه آبخیز کرگانرود در سطح کشور و استان گیلان ارائه شده است.



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی حوضه آبریز کرگانرود در سطح کشور و استان گیلان

در راستای رسیدن به هدف که شناسایی و مدیریت محیط در نواحی جغرافیایی با دید ژئومورفولوژی و نگرش سیستمی است (مقصودی و همکاران، ۱۳۸۸). به مطالعه حوضه ای و انتخاب مدلی از فرسایش پرداخته شده که برخی پارامترهای محیطی تأثیر گذار بر روی فرسایش را مد نظر قرار داده است. روش کار در این پژوهش مبتنی بر مطالعات کتابخانه‌ای، میدانی، ابزاری و تجربی به همراه تجزیه و تحلیل دقیق داده‌ها و اطلاعات موجود می‌باشد. در راستای

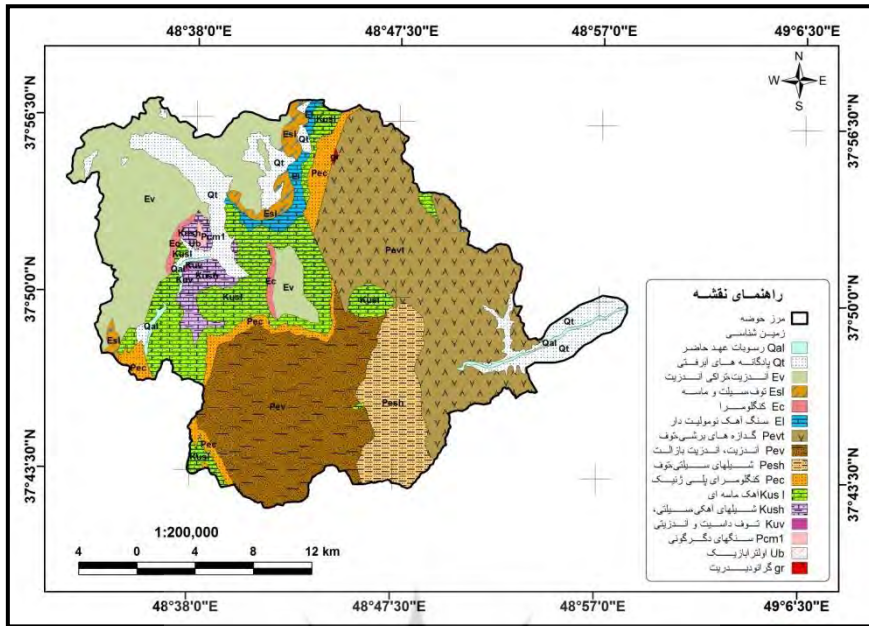
مبانی نظری مرتبط با موضوع، از روش کتابخانه‌ای و جهت انطباق پدیده‌های ثبت شده بر روی نقشه‌ها با واقعیت موجود از روش میدانی استفاده شده است. برای نیل به هدف و جهت پیشبرد تحقیق نقشه‌های توپوگرافی، زمین شناسی، خاک، پوشش گیاهی و کاربری اراضی در مقیاس‌های مختلف مورد استفاده قرار گرفته است. ضمناً از تصاویر ماهواره ای لندست سنجنده ETM+ سال ۲۰۰۵ جهت تهیه نقشه‌های رخساره‌های فرسایشی و وضعیت فعلی فرسایش و همچنین شناخت و اشراف بر منطقه استفاده شده است. برای تهیه لایه‌های اطلاعاتی و تهیه پایگاه داده‌ها و نقشه‌های رقومی ثانویه ای مانند شیب و جهات شیب نیز از نرم افزار Arc GIS و در نهایت و در راستای هدف تحقیق با به کارگیری مدل تجربی EPM، اقدام به برآورد میزان فرسایش و نقشه پهنه بندی فرسایش در سطح حوضه شده است. که برای این منظور ابتدا نقشه‌های پایه و ثانویه و لایه‌های مورد نیاز ایجاد شده‌اند و سپس در محیط Arc map با بر روی هم قرارگیری آنها و ایجاد نقشه پهنه بندی و برآورد فرسایش در حوضه اقدام شده است تا بتوان با اشراف بر فاکتورهای مؤثر در فرسایش و سایر اطلاعات به دست آمده و با یک دید ژئومورفولوژیکی به تجزیه و تحلیل نتایج اقدام کرد.

ارزیابی متغیرها

زمین شناسی حوضه

حوضه مورد مطالعه به عنوان بخشی از ارتفاعات چین خورده و شکسته تالش محسوب می‌شود و از ویژگی‌های زمین شناسی و چینه شناسی آن پیروی کرده و توسط گسل تالش از فرونشست خزر جدا شده است. بررسی چینه شناسی از روی نقشه زمین شناسی موجود نشان می‌دهد که این حوضه با برونزدی از یک مجموعه ی دگرگونی در بخش زیرین آغاز گشته و سپس با سنگ‌های رسوبی مربوط به بخش بالایی کرتاسه و سنگ‌های آتشفشانی و آتشفشانی- رسوبی پالئوژن ادامه می‌یابد و سرانجام با جوانترین رسوبات و پادگانه-های آبرفتی کواترنر پایان می‌یابد. واحدهای سنگی دوران اول (پالئوزوئیک) شامل مجموعه دگرگونی های پرموکرپونیفر می‌باشد که پی سنگ ارتفاعات تالش و حوضه کرگانرود را تشکیل می‌دهد. سنگ‌های رسوبی دوران دوم این حوضه نیز به دلیل نبود چینه‌ای از اواخر پالئوزوئیک تا کرتاسه فوقانی، متعلق به کرتاسه فوقانی می‌باشد. از سنگ‌های مربوط به سنوزوئیک، می توان به سنگ‌های مربوط به پالئوژن و رسوبات کواترنری اشاره نمود که بیشترین سطح حوضه را در بر گرفته و شامل ماسه سنگ‌های توفی، توف‌های برشی و گدازه-های آندزیتی و رسوبات کواترنری عهد حاضر می باشد. از آن جایی که سنگ‌ها یکی از بحث‌های اساسی موضوع فرسایش هستند که تأثیر و میزان فرسایش‌پذیری آنها، وابسته به جنس سنگ و شدت عوامل تخریب است (معمد، ۱۳۷۴) لازم است پراکندگی و نوع آنها در سطح حوضه شناخته شود. حوضه مورد مطالعه دارای چین خوردگی‌ها و گسل‌های متعدد می‌باشد که رفتار گسل‌ها باعث ایجاد اختلاف سطح شده و در شکل‌گیری و تحول حوضه و میزان فرسایش آن عامل مهمی بوده است. در شکل (۲) نقشه زمین شناسی

حوضه مورد مطالعه و در جدول (۱) مساحت و درصد گسترش سازندهای لیتولوژی در حوضه کرگانرود ارائه شده است.



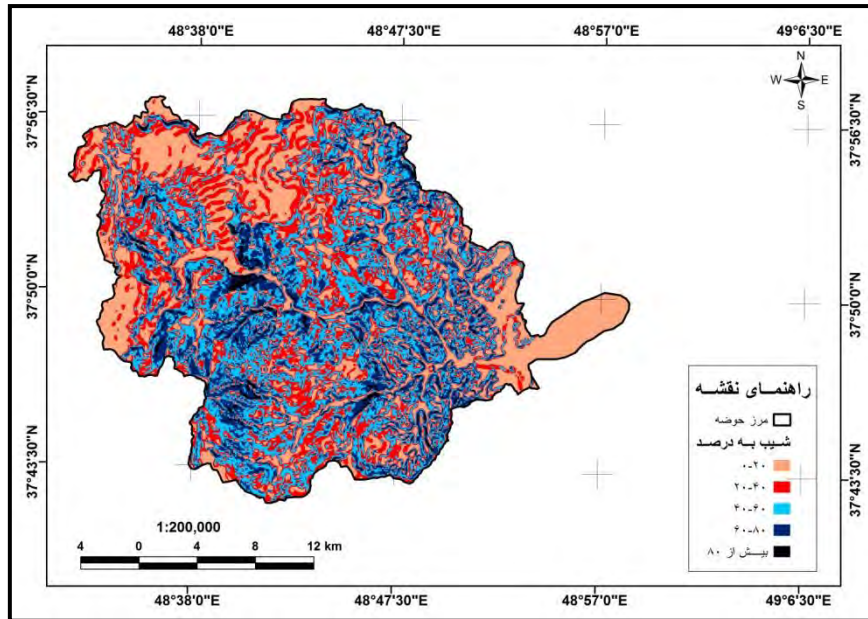
شکل ۲: نقشه زمین شناسی حوضه آبخیز کرگانرود

جدول ۱: مساحت و درصد گسترش سازندهای لیتولوژی در حوضه

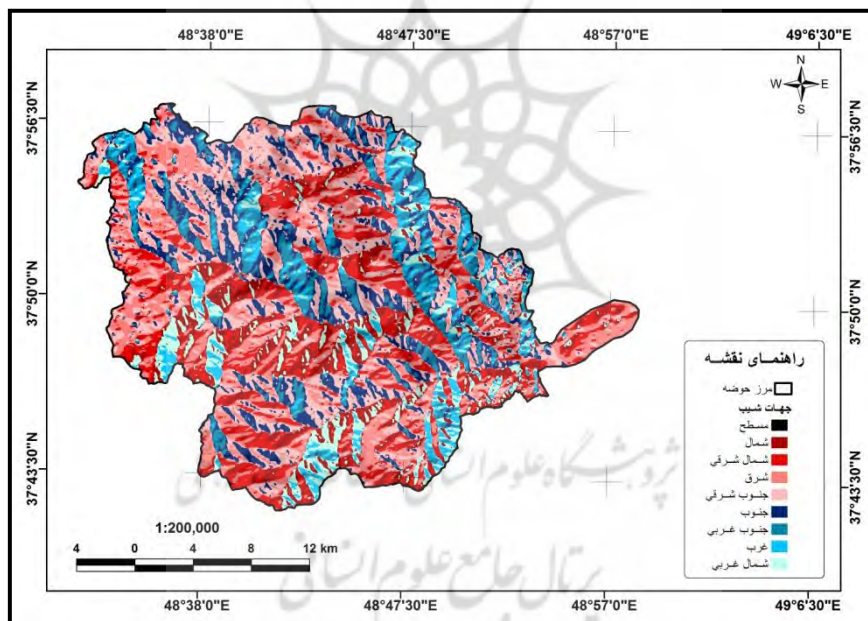
دوران زمین شناسی	واحد زمین شناسی	لیتولوژی	مساحت به کیلومتر مربع	مساحت به درصد
دوران اول (پالئوژنیک)	Pc ^{m1}	۶- سنگهای دگرگونی با درجه ی بالا	۰/۹۱	۰/۱۵
	ub	۵- اولترابازیک و بازیک	۰/۰۵	
دوران دوم (مزوزوژنیک)	ku ^{sh}	۶- شیل های آهکی سیلتی تا ماسه ای و آهک خاکستری	۱۳/۶۹	۱۴/۲۳
	ku ^v	کریستال توف داسیت و آندزیت	۰/۲۳	
	ku ^{s1}	۷- آهک ماسه ای	۷۲/۷۱	
دوران سوم (سنوزوژنیک)	pe ^c	۸- کنگلومرای پلی ژنیک	۲۲/۵۷	۸۵/۶۲
	pe ^{sh}	۹- شیل های سیلتی، توف، گدازه های آندزیتی با لکه های آهکی تیره	۴۵	
	pe ^{vt}	گدازه های برشی، گدازه، توف آندزیتی	۱۵۵/۲۷	
	pe ^v	۱۰- آندزیت، آندزیت بازالت	۱۱۵/۱۱۲	
	E ^C	۱۱- کنگلومرا	۴/۰۸	
	E ^l	۱۲- سنگ آهک نومولیت دار	۸/۰۶	

۱۱	توف، سیلت و ماسه ی توفی سبز خاکستری بالای های نازک آهک	E ^۱
۱۰۳/۴	۱- مگاپورفیریک یا پورفیریک، آندزیت و تراکی آندزیت	E ^v
۵۲	پادگانه های آبرفتی و مخروط افکنه ها	Q ^t
۴/۳	رسوبات عهد حاضر	Q ^{a۱}

وضعیت توپوگرافی حوضه: عامل توپوگرافی و به تبعیت از آن عامل شیب تأثیر بسزایی در سرعت جریان‌های سطحی حوضه دارند. حوضه مورد مطالعه دارای سه واحد توپوگرافیکی جلگه ساحلی، کوهپایه و کوهستان نسبتاً مرتفع می‌باشد که ۹۴/۲۵ درصد از آن را واحد کوهستان نسبتاً مرتفع به خود اختصاص داده است و شیب متوسط آن ۴۷/۸۱ درصد می‌باشد. اغلب رودخانه‌های حوضه، در قعر دره‌های V شکل با دیواره‌های پر شیب در حال حرکت هستند که عمق و شکل دره‌ها گویای جوانی رودها و فعال بودن آنهاست. به دلیل شیب تند دامنه‌ها و همچنین رسیدن به نیمرخ تعادل، رودخانه‌ها بستر خود را به شدت حفر کرده‌اند. هرچه به سمت خروجی حوضه پیش می‌رویم از شیب دامنه و قدرت حمل آب کاسته شده و رودها در بستری کم عمق و عریض جریان یافته اند زیرا با کم شدن شیب آب بیشتر انرژی خود را صرف فرسایش کناری رود می‌کنند. حداکثر و حداقل ارتفاع در سطح حوضه به ترتیب ۳۲۰۰ متر در خط الرأس شمال غربی و ۲۰- متر در خروجی حوضه می‌باشد. آبراهه اصلی حوضه نیز از ارتفاعات شمال غربی حوضه سرچشمه گرفته و در ابتدا با جهت شمال غربی - جنوب شرقی و سپس غربی - شرقی جریان یافته و نهایتاً به دریای خزر می‌ریزد. با توجه به اینکه اکثریت سطح حوضه جزء اراضی با ارتفاع متوسط و بالا می‌باشد و شیب متوسط آن بیش از ۴۰ درصد می‌باشد، لذا یکی از عوامل بسیار مهم و مؤثر در میزان فرسایش و رسوب حوضه می‌باشد. نقشه شیب حوضه با استفاده از تحلیل گر GIS و از روی مدل ارتفاعی (DEM) ترسیم گردید (شکل ۳). بر اساس نقشه شیب، حد شیب حوضه بین ۰ تا ۱۴۷ درصد و شیب متوسط آن ۴۷ درصد می‌باشد. کمترین میزان آن در بخش‌های شرقی، غربی و شمالی حوضه مشاهده می‌شود و دامنه‌هایی با شیب ۴۰ تا ۶۰ درصد و بیش از ۸۰ درصد به ترتیب بیشترین و کمترین سطح حوضه را به خود اختصاص داده‌اند. علاوه بر شیب، عامل جهات شیب نیز در یک حوضه آبریز حائز اهمیت می‌باشد و بر روی فرایندهای هیدرولوژیک مؤثر بر فرسایش مانند ذوب برف‌ها و تنوع پوشش گیاهی تأثیر می‌گذارد (علیزاده، ۱۳۸۱). طبق نقشه جهات شیب حوضه (شکل ۴) جهات شرقی، جنوب شرقی و شمال شرقی حوضه از پراکندگی بیشتری و جهات غربی شمال غربی از پراکندگی کمتری برخوردار می‌باشند و سطوح مسطح نیز بخش بسیار اندکی از حوضه را به خود اختصاص داده‌اند. در شکل (۳ و ۴) نقشه‌های شیب و جهت شیب ارائه شده است.



شکل ۳: نقشه شیب حوضه آبخیز کرگانرود



شکل ۴: جهت شیب حوضه آبخیز کرگانرود

اقلیم حوضه: یکی از موارد بسیار مهمی که در طرحهای آبخیزداری حائز اهمیت می باشد نقش اقلیم و شرایط آب و هوایی در میزان فرسایش و تولید رسوب حوضه می باشد. لذا جهت بررسی عناصر اقلیمی نظیر بارندگی و درجه حرارت و تعداد روزهای یخبندان از داده های ایستگاه های پیرامون حوضه استفاده شده است. در حوضه مورد مطالعه علاوه بر عوامل اقلیمی و جریانات جوی، عامل ارتفاع و فاصله از دریا نقش مهمی را در تعیین پهنه های آب و هوایی و همچنین مقدار و نوع بارش های جوی در سطح حوضه ایفا می نمایند و تابعی از همدیگر می باشند. همچنین دره کرگانرود با جهت تقریباً غربی شرقی نیز عاملی تأثیرگذار در پراکنش بارندگی حوضه می باشد. این دره با هدایت رطوبت دریای خزر تا ارتفاعات حدود ۲۰۰۰ متری سبب بارندگی بیشتر شده و پوشش جنگلی انبوه تا نیمه انبوه را

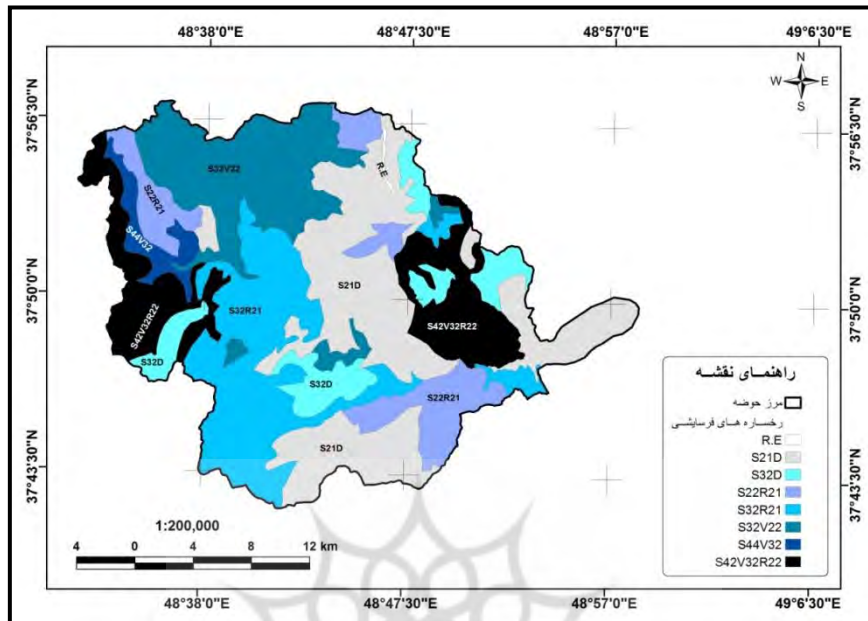
پدید آورده است. متوسط بارندگی سالانه حوضه ۱۰۵۸/۷ میلیمتر می‌باشد. فصل پائیز و بالاخص مهرماه پرباران‌ترین و فصل بهار کم باران‌ترین فصل سال می‌باشد. همجواری حوضه مورد مطالعه با منبع رطوبتی دریای خزر و به دلیل خواص فیزیکی آب که تعدیل‌کننده شرایط اقلیمی است، باعث کاهش دامنه نوسانات دمایی شده است که با افزایش ارتفاع به دلیل دور شدن از منبع رطوبتی، این نوسانات افزایش می‌یابد و باعث بروز درجه حرارت‌های منفی می‌شود دوام برف در ارتفاعات حوضه از اواخر پائیز و در طول زمستان و وجود گونه‌های سردسیری نظیر فندق بیانگر درجه حرارت‌های منفی می‌باشد. متوسط دمای سالانه حوضه ۱۲/۴ درجه سانتیگراد می‌باشد. سردترین ماه‌ها در این حوضه دی و بهمن و گرمترین ماه‌ها تیر و مرداد می‌باشند. در دامنه‌های شمالی البرز و حوضه مورد مطالعه به عنوان یکی از زیر سیستم‌های آن، به علت تأثیر دریای خزر که موجب اعتدال توده‌های هوا و همچنین پوشش گیاهی انبوه شده است، تعداد روزهای یخبندان کمتر می‌باشد. میانگین تعداد روزهای یخبندان سالانه حوضه ۱۱ روز می‌باشد که آن هم در زمستان و اواخر پائیز اتفاق می‌افتد. در حالت کلی نوع اقلیم حوضه کرگانرود بر اساس طبقه‌بندی‌های اقلیمی دومارتن و سلیمانوف خیلی مرطوب می‌باشد.

برآورد میزان فرسایش و رسوب حوضه با استفاده از مدل EPM

این روش با استفاده از اطلاعات حاصل از قطعه زمینهای فرسایشی و اندازه‌گیری رسوب پس از ۴۰ سال تحقیق در کشور یوگسلاوی سابق بدست آمده است و برای اولین بار در سال ۱۹۸۸ در کنفرانس بین‌المللی رژیم رودخانه توسط گاوریلوویچ ارائه گردیده است (رفاهی، ۱۳۸۸). عوامل فرسایش خاک در این مدل عبارتند از: وضعیت توپوگرافی، زمین شناسی، نحوه استفاده از اراضی و وضعیت فعلی فرسایش. با این روش می‌توان علاوه بر تعیین شدت فرسایش و میزان حمل رسوب در زیرحوضه‌ها و قطعات نسبتاً کوچک اراضی، نقشه‌ی فرسایش خاک را نیز تهیه نمود. واحدکاری منتخب برای بدست آوردن فرسایش حوضه، رخساره‌های فرسایشی می‌باشد که در شکل ۵ آورده شده است. این رخساره‌های فرسایشی دارای تعاریف زیر می‌باشند:

- رخساره‌ی فرسایشی R.E: فرسایش ناچیز همراه با فرسایش شیاری.
- رخساره فرسایشی S21D: فرسایش سطحی کم در کمتر از ۲۵ درصد از سطح رخساره همراه با فرسایش واریزه ای.
- رخساره فرسایشی S32D: فرسایش سطحی متوسط در ۲۵ تا ۵۰ درصد از سطح رخساره همراه با فرسایش واریزه ای.
- رخساره فرسایشی S22R21: فرسایش سطحی کم در ۲۵ تا ۵۰ درصد از سطح رخساره همراه با فرسایش شیاری کم در ۲۵ درصد از سطح رخساره.
- رخساره فرسایشی S32R21: فرسایش سطحی متوسط در ۲۵ تا ۵۰ درصد از سطح رخساره همراه با فرسایش شیاری کم در کمتر از ۲۵ درصد از سطح رخساره.
- رخساره فرسایشی S32V22: فرسایش سطحی متوسط در ۲۵ تا ۵۰ درصد از سطح رخساره همراه با فرسایش آبراهه ای کم در ۲۵ تا ۵۰ درصد از سطح رخساره.
- رخساره فرسایشی S44V32: فرسایش سطحی زیاد در بیش از ۷۵ درصد از سطح رخساره همراه با فرسایش آبراهه‌ای متوسط در ۲۵ تا ۵۰ درصد از سطح رخساره

- رخصاره فرسایشی $S_{42}V_{32}R_{22}$: فرسایش سطحی زیاد در ۲۵ تا ۵۰ درصد از سطح رخصاره همراه با فرسایش آبراهه‌ای متوسط در ۲۵ تا ۵۰ درصد از سطح رخصاره و فرسایش شیاری کم در ۲۵ تا ۵۰ درصد از سطح رخصاره. در شکل (۵) نقشه رخصاره های فرسایشی حوضه کرگانرود نشان داده شده است.



شکل ۵: رخصاره های فرسایشی حوضه آبخیز کرگانرود

پس از مشخص کردن واحد کاری، چهار مشخصه ضریب فرسایش (Ψ)، ضریب کاربری اراضی (Xa)، ضریب حساسیت خاک به فرسایش (Y) و شیب متوسط به درصد (I) در واحدهای کاری ایجاد شده، مورد بررسی قرار گرفته و با توجه به جداول مربوطه امتیازدهی شده و نتایج در جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۲: مقدار ضریب شدت فرسایش در رخصاره ها

Z	I	Ψ	Y	Xa	رخصاره‌ی فرسایشی
۰/۲۱	۵۰	۰/۶۵	۰/۶۳	۰/۲۵	R.E
۰/۱۸	۴۰/۶۱	۰/۳۵	۰/۷۷	۰/۲۴	S₂₁D
۰/۲۱	۴۷/۲۴	۰/۴۵	۰/۷۵	۰/۲۵	S₃₂D
۰/۲	۵۶/۰۳	۰/۵۵	۰/۷۵	۰/۲۱	S₂₂R₂₁
۰/۲۶	۴۰/۶۲	۰/۶	۰/۸۵	۰/۲۵	S₃₂R₂₁
۰/۲۷	۴۴/۳۲	۰/۵۵	۰/۷۲	۰/۳۲	S₃₂V₂₂
۰/۱۷	۵۱/۱۶	۰/۱۵	۰/۸	۰/۲۵	S₄₄V₃₂
۰/۲۷	۴۵/۷۹	۰/۶۵	۰/۶۳	۰/۳۳	S₄₂V₃₂R₂₂

اقتباس از: رفاهی، ۱۳۸۸

برای تعیین فرسایش ویژه‌ی یک حوضه، میانگین وزنی Z را برای حوضه محاسبه کرده و سپس میانگین‌های سالانه‌ی بارندگی و درجه حرارت (ضریب درجه حرارت) را برای حوضه بدست آورده و در رابطه‌ی ۲ قرار می‌دهیم.

$W_{sp} = T.H. \cdot Z^{1.5}$ EMBED Equation.3

رابطه‌ی ۲:

که در آن:

W_{sp} میانگین سالانه‌ی فرسایش ویژه برحسب متر مکعب در کیلومتر مربع در سال، Z ضریب شدت فرسایش، T ضریب درجه حرارت که از رابطه‌ی $T = \left(\frac{t}{10 + 0.1}\right)^{0.5}$ بدست می‌آید و در آن t میانگین درجه حرارت سالانه به درجه‌ی سانتیگراد می‌باشد و H ارتفاع متوسط بارندگی سالیانه برحسب میلیمتر و π عدد پی معادل $3/14$ می‌باشد.

با توجه به اینکه میانگین درجه حرارت سالانه‌ی حوضه $12/4$ درجه‌ی سانتیگراد و متوسط بارندگی سالانه‌ی آن نیز $1058/7$ میلیمتر می‌باشد، میانگین سالانه‌ی فرسایش ویژه‌ی حوضه $394/48$ متر مکعب در کیلومتر در سال محاسبه گردید.

به این ترتیب با محاسبه‌ی میانگین سالانه‌ی فرسایش ویژه، مقدار فرسایش سالانه‌ی حوضه از رابطه‌ی زیر بدست می‌آید:

$$V_p = F \cdot W_{sp} \text{ رابطه‌ی ۳:}$$

که در آن:

V_p فرسایش حوضه برحسب متر مکعب در سال، F مساحت حوضه برحسب کیلومتر مربع، W_{sp} میانگین سالانه‌ی فرسایش ویژه برحسب متر مکعب در کیلومتر مربع در سال می‌باشد.

بنابراین با در دست داشتن ضریب شدت فرسایش و مساحت حوضه مقدار V_p برای حوضه‌ی مورد مطالعه $239997/68$ متر مکعب در سال محاسبه گردید.

مقدار W_{sp} محاسبه شده در رابطه‌ی بالا، بیان کننده مقدار خاکی است که از بستر خود جدا شده و انتقال یافته است. اما همه‌ی این مواد فرسایش یافته به خروجی حوضه نمی‌رسد و آن مقدار خاک فرسایش یافته که به رسوب خروجی تبدیل خواهد شد بستگی به متغیرهای مختلفی دارد که در واقع بر نسبت رسوبدهی حوضه تأثیر می‌گذارند. در این مدل از ضریبی برای تبدیل میزان فرسایش به رسوب استفاده می‌شود که ضریب رسوبدهی حوضه نامیده می‌شود و از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌گردد:

$$R_u = 4(P \times D)^0 \cdot \frac{5}{L+10} \text{ رابطه‌ی ۴:}$$

که در آن:

R_u ضریب رسوبدهی، P محیط حوضه برحسب کیلومتر، L طول حوضه برحسب کیلومتر، D اختلاف ارتفاع برحسب کیلومتر می‌باشد که از رابطه‌ی زیر بدست می‌آید:

$$D = D_{av} - D_0 \text{ رابطه‌ی ۵:}$$

که در آن:

D_0 ارتفاع نقطه خروجی حوضه برحسب کیلومتر، D_{av} ارتفاع متوسط حوضه برحسب کیلومتر می‌باشد.

پس از محاسبه‌ی D ، با قرار دادن آن در رابطه‌ی ۴، ضریب رسوبدهی حوضه بدست می‌آید.

حال با داشتن ضریب رسوبدهی و فرسایش ویژه، می‌توان رسوب ویژه را از رابطه‌ی زیر بدست آورد:

$$G_{sp} = W_{sp} \times R_u \text{ رابطه‌ی ۶:}$$

که در آن:

G_{sp} رسوب ویژه حوضه برحسب متر مکعب در کیلومتر مربع در سال، W_{sp} فرسایش ویژه حوضه برحسب متر مکعب در کیلومتر مربع در سال، R_u ضریب رسوبدهی حوضه می‌باشد.

سرانجام برای به دست آوردن رسوب کل حوضه نیز از رابطه‌ی زیر استفاده شده است:

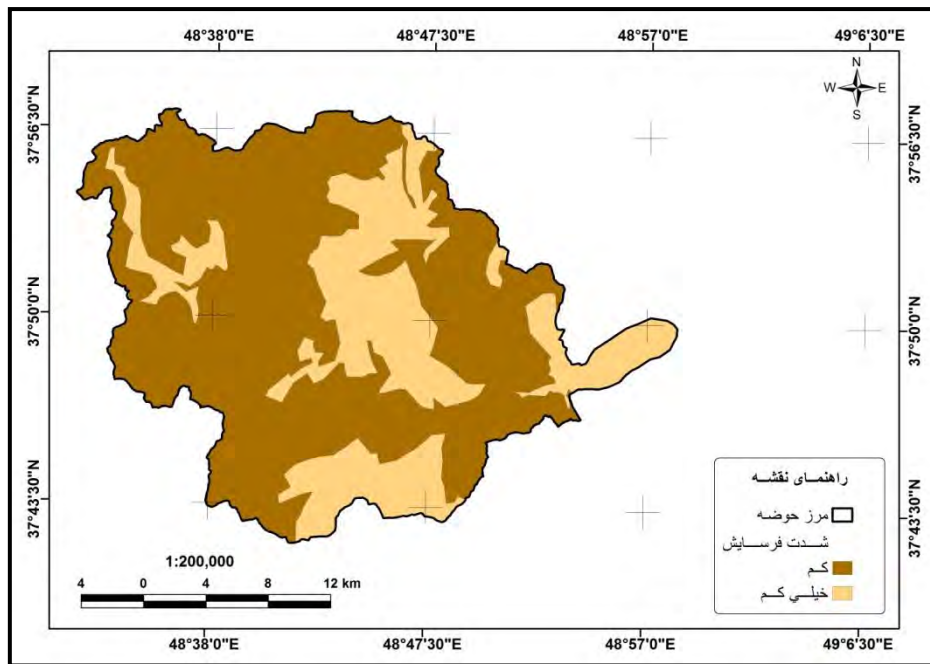
$$G_s = G_{sp} \times A \quad \text{رابطه‌ی ۷:}$$

که در آن:

G_s رسوب کل حوضه بر حسب متر مکعب در سال، G_{sp} رسوب ویژه بر حسب متر مکعب در کیلومتر مربع در سال، A مساحت حوضه بر حسب کیلومتر مربع می‌باشد

نتایج

در مدل EPM به منظور برآورد فرسایش و رسوب، شرایط محیطی حوضه مدنظر قرار می‌گیرد. بنابراین شرایط محیطی حوضه (متغیرها) با تأثیرات متفاوت خود در فرسایش و تولید رسوب حوضه، نقش خود را به صورت ارزش‌های متفاوت در مدل ارائه می‌نمایند. طبق جدول شماره‌ی ۱ قسمت اعظم حوضه شامل رسوب‌های توفی و آذرآواری و بعد آن گدازه‌های آندزیتی و سنگ آهک می‌باشد. در راستای ارتباط با موضوع مورد بررسی باید اشاره نمود که به لحاظ لیتولوژی و سنگ‌شناسی بخش اعظم حوضه شامل سازندهای بسیارمقاوم و مقاوم به فرسایش می‌باشد که بهره برداری‌های غیر اصولی انسان به همراه شرایط اقلیمی حوضه (بارندگی فراوان) و انواع هوازدگی‌های موجود آن‌ها را مستعد فرسایش می‌سازد. شیب حوضه در اغلب قسمت‌های آن چشمگیر است. به طوری که دامنه‌هایی با شیب ۴۰ تا ۶۰ درصد بیشترین سطح حوضه را به خود اختصاص داده اندر و شیب متوسط حوضه ۴۷ درصد می‌باشد. بالا بودن شیب حوضه، وجود بارندگی فراوان تقریباً در طول سال و خاکی با نفوذپذیری متوسط باعث افزایش جریان سطحی شده و پایداری خاک را کاهش می‌دهد و زمینه را برای پیدایش اشکال فرسایشی فراهم می‌آورد. در مورد پوشش گیاهی حوضه نیز باید اشاره کرد که ۵۳/۶ درصد از سطح حوضه دارای جنگل‌های پهن برگ متراکم شامل افرا، راش، بلوط و غیره و ۳۰/۵ درصد آن دارای مراتع مشجر و غیرمشجر می‌باشد که روز به روز تخریب ناشی از چرای مفرط دام و قطع بی رویه‌ی درختان میزان و نقش آن به عنوان مانع در مقابل فرسایش کاهش می‌دهد. به دلیل تراکم انبوه پوشش گیاهی و سازندهای نسبتاً مقاوم از بین اشکال حاصل از فرسایش، فرسایش سطحی یا ورقه‌ای بیش از بقیه‌ی اشکال فرسایشی در سطح حوضه قابل مشاهده می‌باشد. در شکل (۶) نقشه شدت فرسایش حوضه آبخیز کرگانرود نشان داده شده است.



شکل ۶: نقشه شدت فرسایش حوضه آبخیز کرگانرود

در نهایت جهت باآورد فرسایش و رسوب اقدام به تهیهی نقشه‌ی پهنه بندی فرسایش شده است. نتایج حاصل از تهیهی لایه‌های اطلاعاتی مربوطه و نقشه‌ی پهنه بندی فرسایش گویای فرسایش کم در حوضه می‌باشد. بدین صورت که متوسط ضریب شدت فرسایش حوضه ۰/۲۲ بدست آمد که با توجه به جدول طبقه بندی شدت فرسایش، کلاس فرسایش‌پذیری خاک در گروه چهار یعنی فرسایش کم قرار دارد. بر اساس نقشه‌ی پهنه بندی فرسایش دو کلاس فرسایشی کم و خیلی کم مشخص شده است. کلاس فرسایشی خیلی کم ۱۸۵/۶۵ کیلومترمربع معادل ۳۰/۵ درصد از مساحت حوضه. کلاس فرسایشی کم ۴۲۲/۶۹ کیلومترمربع معادل ۶۹/۵ درصد از مساحت حوضه را در بر گرفته اند. میزان فرسایش ویژه و رسوب ویژه کل حوضه به ترتیب ۳۹۴/۴۸ و ۳۳۹/۲۵ مترمکعب در کیلومتر در سال و میزان فرسایش و رسوب کل حوضه نیز به ترتیب ۲۳۹۹۹۷/۶۸ و ۲۰۶۳۹۶۷/۳ مترمکعب در سال برآورد شد.

نتیجه گیری

از آنجایی که روش‌ها و فنون جمع‌آوری آمار و اطلاعات مورد نیاز و تجزیه و تحلیل آن‌ها نقش بسزایی در انجام پروژه‌های تحقیقاتی و حتی مطالعاتی هستند و نیل به اهداف تعیین شده دارند در این پژوهش هم جهت افزایش دقت در برآورد میزان رسوب و فرسایش حوضه آبخیز کرگانرود از GIS استفاده شد. سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی به لحاظ قدرت بالای تجزیه و تحلیل اطلاعات پایه به ویژه در بحث فرسایش و رسوب و تعداد زیاد لایه‌ها پس از تفکیک مناطق با رسوبدهی مختلف از یکدیگر و مشخص کردن نقش واحدها با تولید نقشه حساسیت به فرسایش مناطق مختلف فرسایش را از نظر کیفی و کمی طبقه‌بندی کرده و امکان تفکیک و اولویت‌بندی مناطق حساس به فرسایش را با توجه به اهداف مختلف فراهم می‌آورند. بنابراین در این پژوهش از مطالعات کتابخانه‌ای، میدانی همچنین جهت برآورد مدل کمی برآورد فرسایش و رسوب از نرم‌افزار ArcGIS استفاده شده است. با توجه به آن‌که در فرسایش خاک پارامترهای متعددی به صورت سیستمی تأثیر دارند و شناخت آن‌ها به عنوان فاکتورهای مؤثر بر میزان فرسایش و رسوب دارای اهمیت زیادی است لذا از بین روش‌های متعدد برآورد فرسایش و رسوب مدل EPM

به دلیل مطابقت با شرایط آب و هوایی ایران، به عنوان تکنیک منتخب مورد استفاده قرار گرفته و پارامترهای محیطی در قالب این مدل قرار داده شده‌اند. نتایج حاکی از آن است که حوضه مورد مطالعه از نظر شدت فرسایش در طبقه چهار، یعنی فرسایش کم قرار گرفته است. میزان فرسایش کل و رسوب کل حوضه به ترتیب ۲۳۹۹۹۷/۶۸ و ۲۰۶۳۹۶/۳ مترمکعب در سال برآورد شد.

منابع

- آرخی، ص.، بارانی، ح. ۱۴۰۱. مقایسه مدل‌های **RUSLE** و **EPM** در برآورد فرسایش و تولید رسوب با استفاده از **GIS** (مطالعه موردی: حوضه چم‌گردلان استان ایلام)، جغرافیا و مخاطرات محیطی، DOI.2022.75260.1176/۱۰.۲۲۰۶۷
- جعفری، ت.، ناعمی تبار، م.، ذاکریان، ا. ۱۳۹۵. ارزیابی کمی فرسایش آبی خاک با مدل **EPM** (مطالعه موردی: حوضه آبخیز بدرانلو)، جغرافیا و برنامه ریزی محیطی، ۲۹(۲): ۱۵۸-۱۴۱.
- دسترنج، ع.، اسدی نلیوان، ا.، فلاح، س.، صالح نسب، ا.، جعفری، ش. ۱۳۹۴. برآورد فرسایش و رسوب سالانه با استفاده از مدل **EPM** و **GIS** (مطالعه موردی: حوزه زیدشت، طالقان)، هیدروژئومورفولوژی، ۴: ۳۹-۵۵.
- رجبی، ع.م.، یآوری، ع.، سلوکی، ح. ۱۳۹۸. کاربرد مدل **EPM** در ارزیابی فرسایش خاک (مطالعه موردی: حوضه شازند، سد ساوه)، زمین شناسی ایران، ۱۳(۵۰): ۹۸-۸۹.
- رفاهی، ح. ۱۳۸۸. فرسایش آبی و کنترل آن، تهران، انتشارات دانشگاه تهران، چاپ ششم.
- عابدینی، م.، ابوالفتحی، د.، رئیسی، م. (۱۴۰۱). پهنه‌بندی فرسایش حوزه آبخیز رزن با استفاده از منطق فازی، مدل‌های **EPM** و **BLM** در محیط **GIS**. مجله جغرافیا و توسعه، شماره ۲۰(۶۸)، صص ۶۲-۸۶.
- عابدینی، م.، بهرامی‌نیا، ف.، م. صطفی‌زاده، ر.، پا سبان، ا.ح. (۱۴۰۲). بررسی تاثیر تغییرات کاربری اراضی در یک دوره بیست سال بر میزان فرسایش و رسوب حوزه رضی‌چای. فصلنامه جغرافیا و مطالعات محیطی، سال دوازدهم، شماره ۴۵، صص ۱۳۳-۱۱۴.
- عابدینی، م.، طولایی، س. ۱۳۹۶. مدلسازی فرسایش خاک و تولید رسوب با سه مدل **EPM**، **WEPP**، **Fourrier**، در محیط **GIS** (مطالعه موردی: حوضه آبخیز سولاچای- اردبیل)، تحقیقات جغرافیایی، ۳۲(۲): ۹۳-۱۰۵.
- عابدینی، م.، جوادی ع. ب.، س. م. صطفی‌زاده، ر.، پا سبان، ا.ح. (۱۴۰۱). اولویت‌بندی زیرحوضه‌های آبخیز کوزه‌توپراقی 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 ۱-۱۱۴.

- عابدینی، م.، جوادی ع. ب.، س.، م. مصطفی زاده، ر.، پا سبان، ا.ح. (۱۴۰۱). ارتباط شاخص‌های پوشش گیاهی و ژئومورفیک با مقادیر فرسایش و رسوب در حوزه آبریز کوزه توپراقی. هیدروژئومورفولوژی، شماره ۳۲، سال نهم، صص ۱۲۸-۱۰۵.
- علیزاده، امین. ۱۳۸۱. اصول هیدرولوژی کاربردی، مشهد، چاپ پانزدهم، انتشارات آستان قدس رضوی، ص ۴۱۹.
- محسنی، ب.، قدوسی، ج.، احمدی، ح.،، طهماسبی، ر. ۱۳۹۰. ارزیابی دقت و کارایی مدل‌های EPM، MPSIAC، ژئومورفولوژی و هیدروفریزیک در برآورد فرسایش و رسوب (حوضه معروف کسلیان استان مازندران)، جغرافیا و توسعه، ۲۲: ۱۲۷-۱۰۷.
- معتمد، ا. ۱۳۷۴. رسوب شناسی. چاپ چهارم، تهران انتشارات دانشگاه تهران، ۸۳ صفحه.
- معتمدی راد، م.، زنگنه اسدی، م.، عجم، ح. ۱۴۰۱. بررسی میزان فرسایش خاک و تولید رسوب با استفاده از مدل RUSLE و روش پسیاک اصلاح شده (مطالعه موردی: حوضه آبریز کال اسماعیل دره شهرستان شاهرود استان سمنان)، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، ۱۱(۴): ۱۶۵-۱۴۷.
- مقصودی، م.، یمانی، م.، سالاری، م. ۱۳۸۸. برآورد فرسایش و رسوب از طریق ارزیابی متغیرهای تأثیرگذار در حوضه بخیز وزنه با استفاده از GIS. فصلنامه‌ی جغرافیا و توسعه، ۱۶: ۱۳۴-۱۱۹.
- Devent, 1. J. Poesen and G. Verstraeten., 2003. The Application of Semi-qualitative Methods and Reservoir Sedimentation Rates for Understanding Spatial Variability of Sediment Yield in Mediterranean Environments. Geophysical Research Abstracts. Vol15, p347.
- Fanetti, D. and Vezzoli, L. 2020. Sediment Input and Evolution of Lacustrine Deltas: The Breggia and Greggio Rivers Case Study (Lake Como, Italy), Quaternary International, 173: PP 113-124.
- Merrit, W.S., Letcher, R.A. and Jakeman A.J., 2003. A review of erosion and sediment transport models. Environmental modeling and software, Vol18. pp:761-799.
- Milevski, I., 2022. Estimation of Soil Erosion Risk in the Upper Part of Bregalnica Watershed – Republic of Macedonia, Based on Digital Elevation Model and Satellite Imagery, 5th International Conference on Geographic Information Systems (ICGIS-), 2-5 July 2008 at Fatih University in Istanbul, Turkey.
- Pandey, A., Chowdary, V. M., Mal, B. C., Billib, M., 2021. Runoff and Sediment Yield Modeling From a Small Agricultural Watershed in India Using the WEPP Model, Journal of Hydrology, Vol. 348, No. 3-4, PP. 305-319.
- Rorke, B. Bryan., 2000, Soil erodibility and processes of water erosion on hillslope, Geomorphology, Vol 32, pp 385-415.
- Tazioli, A., 2022. Evaluation of Erosion in Equipped Basins: Preliminary Results of A Comparison Between the Gavrilovic Model and Direct Measurements of Sediment Transport, Environ Geol, Vol. 5, No. 56, PP. 825-831.