

برآورد پتانسیل‌های رسوب‌دهی و فرسایش حوضه آبریز رودخانه روئین در استان خراسان شمالی با استفاده از مدل هیدرو فیزیکی (CSY)

غلامرضا مقامی مقیم* - دانشیار دانشکده علوم زمین، دانشگاه دامغان، دامغان، ایران.
مهدی فرخ اناری - دانش آموخته دوره کارشناسی ارشد سنجش از دور، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران.

پذیرش مقاله: ۱۴۰۳/۰۲/۱۷ تأیید نهایی: ۱۴۰۳/۰۶/۱۰

چکیده

امروزه فرسایش خاک از معضلات مهم جهان محسوب می‌شود و به دلیل مدت زمان طولانی تشکیل خاک در ایران، اهمیت این معضل در این کشور مهم‌تر به نظر می‌رسد. این فرایند همه ساله باعث تخریب اراضی، کاهش حاصلخیزی خاک و پر شدن مخازن سدها می‌گردد. بهترین مکان برای کنترل فرسایش، حوضه‌های آبریز می‌باشد. توجه به حوضه‌های آبریز در فرایند فرسایش به‌خصوص حوضه‌هایی که رودهای آن‌ها نقش مهمی در تهیه آب آشامیدنی مناطق مسکونی، کشاورزی و پروژه‌های آمایش رودخانه‌ای دارند ضروری است. در این تحقیق با استفاده از مدل‌های هیدرو فیزیکی (CSY) پتانسیل رسوب‌دهی زیر حوضه‌های حوضه آبریز رودخانه روئین در دامنه‌های جنوبی کوه‌های آلاداغ در شمال خاوری ایران محاسبه گردید. نتایج این تحقیق نشان داد عواملی چون وسعت، توپوگرافی، فرسایش‌پذیری، بارش و پوشش گیاهی زیر حوضه‌های این حوضه بیشترین تأثیر را در پتانسیل رسوب‌دهی زیر حوضه‌های این رود دارند همچنین پتانسیل فرسایش و رسوب‌دهی در تمامی زیر حوضه‌های این رودخانه یکسان نیست. بر این اساس پتانسیل رسوب‌دهی برای زیر حوضه روئین ۳۹۰/۰۵ تن معادل ۴۷/۸۴ درصد، برای زیر حوضه محمودی ۱۸۲/۰۴ تن معادل ۲۲/۳۲ درصد، برای زیر حوضه کلات ۱۴۳/۹۱ تن معادل ۱۷/۶۵ درصد و برای زیر حوضه شیرویه ۹۹/۲۲ تن معادل ۱۲/۱۷ درصد به دست آمد. بنابراین زیر حوضه‌های روئین و محمودی نسبت به دو زیر حوضه دیگر به فرایندهای فرسایش حساس‌تر بوده و باید با اجرای طرح‌های حفاظت از خاک و مدیریت مناسب فرایند فرسایش در آن به‌درستی مدیریت گردد.

واژگان کلیدی: فرسایش‌پذیری حوضه، مدل‌های کمی برآورد رسوب، حفاظت از خاک، پتانسیل رسوب‌دهی، رودخانه روئین

مقدمه

فرسایش عبارت است از جابجایی خاک از مکانی به مکان دیگر و به هر طریق ممکن، روند طبیعی این فرایند برای طبیعت لازم اما مقدار زیاد آن پیامدهای ناگواری چون پر شدن دریاچه سدها، کاهش حاصلخیزی خاک، افزایش بار رسوبی رودها و نابودی اکوسیستم‌ها را به دنبال خواهد داشت (بی‌غم و همکاران، ۱۴۰۱). فرسایش خاک به طور مستقیم و غیرمستقیم بر توسعه، بهره‌برداری و حفاظت از منابع آب و خاک یک منطقه اثرگذار است و موجب کاهش حاصلخیزی خاک می‌گردد (کیائو^۱ و همکاران، ۲۰۲۳).

آب و هوا، شکل زمین و ویژگی‌های خاک مهم‌ترین عوامل طبیعی و تغییرات کاربری زمین، ساختارها و الگوهای سیمای سرزمین به عنوان مهم‌ترین عوامل انسانی مؤثر در فرآیند فرسایش محسوب می‌شوند (لی^۲ و همکاران، ۲۰۲۲). امروزه افزایش ایستگاه‌های آبشناسی در حوضه‌های آبریز رودخانه‌ها اندازه‌گیری بار رسوبی آن‌ها را آسان نموده و اغلب رودخانه‌های جهان به این ایستگاه‌ها مجهز شده‌اند با تمام پیشرفت‌های ممکن در این زمینه هنوز برخی از حوضه‌های آبریز فاقد این ایستگاه‌ها هستند، مضاف بر این که این ایستگاه‌ها نمی‌توانند میزان فرسایش را در آینده پیش بینی نمایند (مقامی مقیم و همکاران، ۱۴۰۲). همچنین نصب دستگاه‌های اندازه‌گیری برای همه حوضه‌ها و زیر حوضه‌های آن‌ها ممکن نیست بنابراین برآورد میزان فرسایش و رسوب‌دهی حوضه آبریز با استفاده از مدل‌های تجربی می‌تواند برنامه‌ای مناسب برای حفاظت از خاک و پیشگیری از آثار مخرب فرسایش و کمک به کسب داده‌های مطمئن در ایستگاه‌ها تلقی گردد.

به دلیل سرعت بالای فرسایش و کندی تشکیل خاک مطالعه این فرایند سرعت بیشتری به خود گرفت. با ارائه چرخه فرسایش توسط موریس دیویس^۳ در سال ۱۸۸۴ فرایند فرسایش توجه بیشتر محققان را به سمت خود جلب نمود (شهداد، ۱۳۸۹). با گذشت زمان و افزایش فعالیت‌های کشاورزی فرسایش شدت بیشتری یافت و نیاز به مطالعات علمی در این زمینه افزایش یافت و حالت آکادمیک به خود گرفت و روش‌های تجربی متعددی از جمله روش MPSIAC، MUSLE، SWAT، EPM، wepp، ژئومورفولوژی، هیدرو فیزیکی، Musgrave و مدل‌های فراوان دیگری در زمینه^۴ ارائه گردید و محققانی چون گاوریلوویچ^۱ (۱۹۸۸)، ویس‌کمیر و اسمیت^۱ (۱۹۷۸) مسگریو^۴ (۱۹۴۷) گبهارت^۵ و جانسون^۶ (۱۹۸۲) در زمینه فرسایش مطالعاتی را انجام دادند (مقامی مقیم و همکاران، ۱۴۰۲).

به دلیل این که برای ارزیابی فرآیند فرسایش یک معادله جهانی واحدی مورد پذیرش قرار نگرفته است (آبرهارت^۷ و همکاران، ۲۰۰۸) به همین دلیل مدل‌ها و روش‌های زیادی برای برآورد رسوب و فرسایش در سراسر جهان ارائه شده است. توبال و همکاران^۷ (۲۰۱۸) میزان فرسایش خاک در حوضه وادی صحوات^۸ در الجزایر را با استفاده از معادله جهانی اصلاح شده تلفات خاک با کمک سنجش‌ازدور و GIS اندازه‌گیری و میزان تلفات سالانه خاک در این منطقه را بین ۰ تا ۲۵۵ تن در هکتار در سال برآورد نمود.

1. Qiao et al
2. Li et al.
3. Moris Davis
4. Musgrave
5. Gebhardt
6. Abrahart
7. Toubal et al
8. Sahouat

بوگیو^۱ و همکاران (۲۰۱۷) با مطالعه فرسایش خاک در کشور برزیل را در زمان بارندگی در شیب‌های متفاوت و مقایسه نتایج حاصله از این مطالعات با نتایج تخمینی USLE و RUSLE به این نتیجه رسیدند که مقادیر تخمینی به‌خصوص در مدل USLE کمتر از مقادیر اندازه‌گیری می‌باشد.

در ایران نیز فرسایش و رسوب زایی یکی از مشکلات مهم در مدیریت حوضه‌های آبخیز کشور می‌باشد که آثار منفی خود را بر اکوسیستم حیاتی این کشور وارد ساخته است (علیپور و همکاران، ۱۳۹۵). اهمیت فرسایش خاک به دلیل کندی شکل‌گیری آن در ایران و کمبود ایستگاه‌های اندازه‌گیری رسوب سبب گسترش استفاده از روش‌های تجربی برآورد رسوب در ایران شده است. در مطالعه‌ای دیگر که با استفاده از مدل‌های WEPP و MPSIAC در مورد برآورد فرسایش در حوضه گوجان چال نمد در استان چهارمحال بختیاری انجام شد مقدار رسوب برآورد شده توسط مدل‌های WEPP و MPSIAC به ترتیب ۴/۱۴ و ۹/۱ تن در هکتار در سال می‌تعیین شد و مشخص گردید که مدل WEPP کارایی بهتری نسبت به مدل MPSIAC در برآورد رسوب منطقه مورد مطالعه دارد (پژوهش، ۱۳۹۷) (خسروی، ۱۳۹۰) با چند روش تجربی به مطالعه برآورد فرسایش در حوضه بابل رود پرداخت در این تحقیق مشخص گردید برای برآورد رسوب در هر یک از زیر حوضه‌ای این حوضه، روش خاصی کارایی بهتری دارند. همچنین معتمدی راد در مطالعه‌ای حوضه آبریز کال اسماعیل دره شهرستان شاهرود استان سمنان با استفاده از مدل جهانی تجدید نظر شده فرسایش خاک (RUSLE) میزان فرسایش رسوب در این حوضه را ۱۷،۱۹۷ تن در هکتار برآورد نمود و بر اساس معیارهای این روش حوضه مورد مطالعه در ردیف دارای فرسایش خیلی کم قرار گرفت (معتمدی راد، ۱۴۰۲). مختاری با استفاده از مدل تجربی RUSLE برای برآورد فرسایش در حوضه آبریز رودخانه بالارود در استان خوزستان به این نتیجه رسید که عامل فرسایش باران نقش مهمی در فرسایش و رسوب در این حوضه دارد (مختاری و همکاران، ۱۳۹۸). روستایی و همکاران (۱۴۰۱) ضمن مطالعه برآورد فرسایش در حوضه آبریز رودخانه زیمکان در شهرستان دالاهو استان کرمانشاه با دو مدل EPM, RUSLE به این نتیجه رسیدند که مدل RUSLE نسبت به مدل EPM جهت برآورد میزان فرسایش و رسوب در این حوضه قابل اعتمادتر می‌باشد.

پیش‌بینی دبی رسوبی با دقت بالاتر، از مهم‌ترین مولفه‌های فرآیندهای هیدرولوژیکی در مدیریت منابع آب می‌باشد. به دلیل پیچیدگی پدیده انتقال رسوب و وجود چندین پارامتر مؤثر در تخمین آن، تعیین روابط حاکم مشکل می‌باشد (ثاقبیان، ۱۴۰۰) به همین دلیل روش‌های متفاوتی در این زمینه مطرح شده است.

یکی از روش‌های جدید برآورد تجربی فرسایش در بین روش‌های مطرح در ایران که مورد توجه محققان ایرانی قرار گرفته، روش هیدرو فیزیکی (CSY) است که به دلیل سهولت در ایران مورد استفاده محققان قرار گرفته است. در مطالعه‌ای دیگر در حوضه کسبیلیان مازندران در مقایسه با روش ژئومورفولوژیکی نتایج حاصل از روش هیدرو فیزیکی فاصله بیشتری با آمار ثبت شده در ایستگاه هیدرومتریک این حوضه داشت (محسنی و همکاران، ۱۳۹۰). مقامی مقیم در رودخانه دامغان رود از این روش جهت برآورد پتانسیل‌های فرسایش استفاده نموده آن را روشی مناسب جهت برآورد رسوب به صورت نسبی در این حوضه دانست (مقامی مقیم و همکاران، ۱۴۰۲). این روش برای برآورد رسوب در رودخانه سامان رود از زیر حوضه‌های دریاچه قم نیز مورد استفاده قرار گرفت اما مشخص شد این روش در مقایسه با ژئومورفولوژیکی از دقت کم‌تری برخوردار است (حجازی و همکاران، ۱۳۹۸: ۹۳-۷۵). با این روش امکان شناسایی نقاط فرسایش پذیر حوضه‌های آبریز، با سهولت بیشتری صورت می‌گیرد، در نتیجه، برنامه‌ریزی برای نقاط پرخطر با دقت بیشتری انجام می‌شود (احمدی، ۱۳۸۶). رودخانه روئین یکی از حوضه‌های آبریز دامنه‌های جنوبی ارتفاعات آلاداغ در شمال شرقی ایران است که کمتر مورد توجه محققان قرار گرفته است. تنها مطالعات انجام شده در آن مطالعاتی بود که مقامی مقیم (۱۳۹۵) در مورد فعالیت‌های تکتونیکی این حوضه انجام داد و از نظر فعالیت‌های تکتونیکی آن را در ردیف مناطق فعال

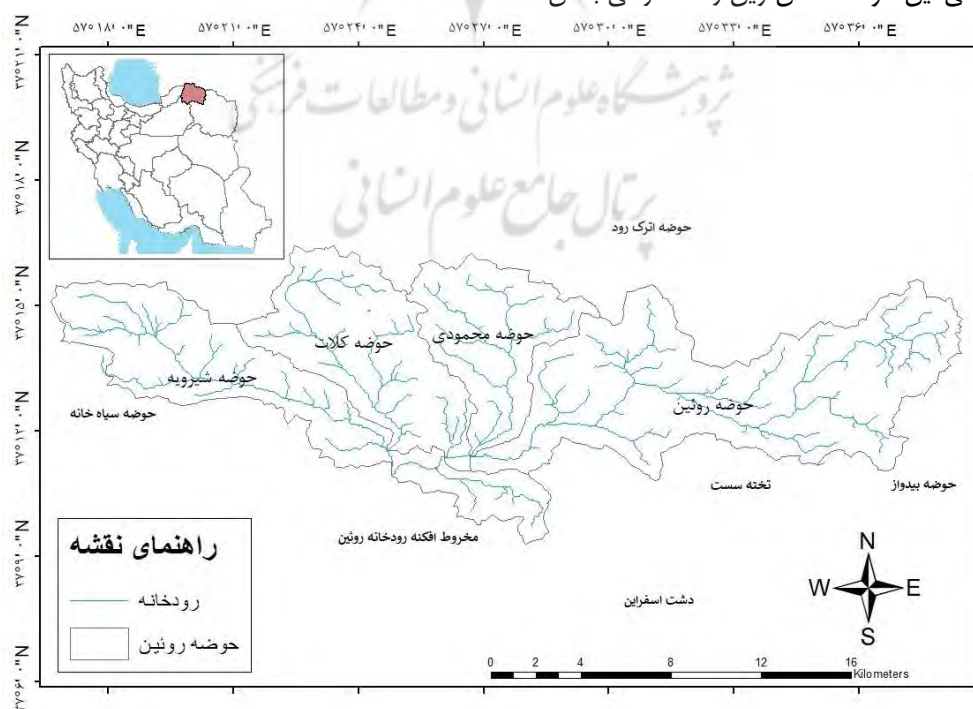
¹. Bagio et al

تکتونیکی قرار داد. انباشت فراوان رسوب در مخروط افکنده این رود نشان دهنده فرسایش شدید در حوضه آبریز آن است. علیرغم فرسایش شدید تابه‌حال پتانسیل رسوب‌دهی و فرسایشی آن مطالعه نشده است. تنها اطلاعات مربوط به اندازه‌گیری رسوب این رودخانه ایستگاه آشناسی آن است که در جنوب غربی روستای عراقی قرار دارد. که بار رسوبی این رود را به‌صورت کلی ثبت می‌نماید. به همین دلیل اطلاعات مربوط به پتانسیل فرسایش در زیر حوضه‌های این رود همچنان مجهول است. این امر می‌تواند مشکلات زیادی برای مردم ساکن در این منطقه به خصوص مجتمع صنعتی جنوب این حوضه به عنوان بزرگ‌ترین مجتمع صنعتی شمال شرق ایران ایجاد نماید. به همین دلیل محاسبه پتانسیل رسوب‌دهی آن جهت بهره‌برداری اصولی از منابع طبیعی و کاهش مضرات فرسایش ضروری است. در این تحقیق سعی بر این است تا پتانسیل رسوب‌دهی این رودخانه با استفاده از روش هیدروفیزیکی مورد بررسی قرار گیرد تا از نتایج آن جهت مدیریت و آمایش این حوضه مورد استفاده قرار گیرد همچنین با توجه به محدود بودن مطالعات انجام شده و کمبود داده‌های آماری و اطلاعات علمی درمورد این حوضه، انجام این تحقیق می‌تواند اطلاعات علمی در مورد حوضه‌های آبریز و منطقه مورد مطالعه را در علوم زمین افزایش دهد.

مواد و روش

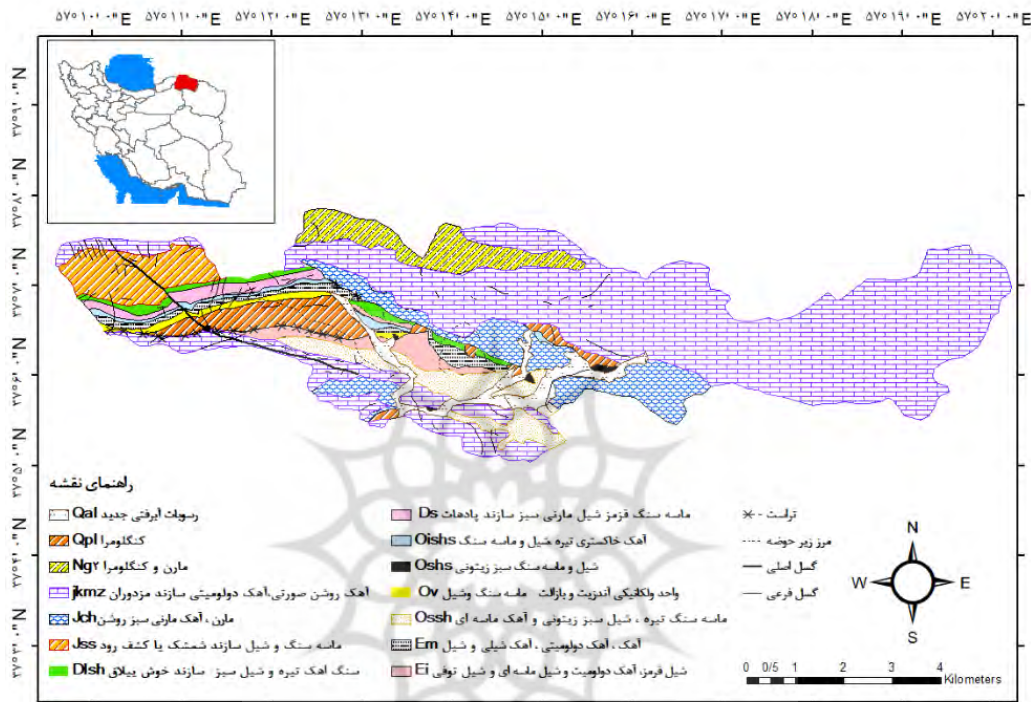
معرفی منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز روئین، در شمال شرقی ایران و در عرض $37^{\circ}06'$ تا $37^{\circ}16'$ شمالی و طول $57^{\circ}16'$ تا $57^{\circ}37'$ شرقی واقع شده و از شمال به حوضه اترک، از غرب به حوضه سیاه‌خانه، از شرق به حوضه بیدواز و از جنوب به دشت اسفراین محدود می‌شود. این حوضه $199,95$ کیلومترمربع وسعت دارد. روستاهای روئین، محمودی، عراقی، شیرویه و کلات مناطق مسکونی آن را تشکیل می‌دهند (شکل ۱). این حوضه از چهار زیر حوضه روئین، محمودی، کلات و شیرویه تشکیل شده است (شکل ۲). این چهار زیر حوضه در جنوب غربی روستای عراقی به یکدیگر می‌پیوندند. جاده اسفراین به جنورد در قسمت میانی این حوضه، آسان‌ترین راه دسترسی به آن است.



شکل (۱): نقشه موقعیت جغرافیایی حوضه آبریز رود خانه روئین (منبع: نویسنده ۱۳۹۳)

از نظر هیدرولوژیکی این حوضه در ایران مرکزی و از نظر زمین‌شناسی بخش وسیعی از آن در دامنه‌های جنوبی ارتفاعات آلاداغ در شمال شرقی ایران قرار می‌گیرد. سازندهای مزدوران (J-kmz)، چمن‌بید ویا دلیچای (Jch)، نئوژن (Ng2)، میلا (Em)، خوش بیلاق (Dl.sh)، پادها (Ds) و باروت (Ebt) مهم‌ترین سازندهای زمین‌شناسی آن را تشکیل می‌دهد. (جدول ۳) و (شکل ۲). بر اساس طبقه‌بندی اقلیمی دمارتن، آب و هوای آن از نوع نیمه‌خشک، متوسط دمای آن ۱۲ درجه سانتیگراد و متوسط بارش سالانه آن ۲۶۴ میلی‌متر است (سازمان هواشناسی ایران ۱۴۰۱-۱۳۵۴).



شکل (۲): نقشه زمین‌شناسی منطقه (منبع: نقشه زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ بجنورد)

داده‌ها و ابزار پژوهش

جهت انجام این تحقیق ابتدا منطقه مورد مطالعه با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰ سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح (۱۳۷۸) برگه‌های روئین وکی کی مرزبندی شد. اطلاعات مربوط به زمین‌شناسی با استفاده از نقشه زمین‌شناسی ۱/۱۰۰۰۰۰ ورقه بجنورد استخراج گردید، اطلاعات پوشش گیاهی منطقه به صورت مطالعات کتابخانه‌ای از اطلاعات و اسناد موجود در اداره کل منابع طبیعی استان خراسان شمالی و شهرستان اسفراین و اطلاعات هواشناسی از اداره آب‌وهوا شناسی شهرستان اسفراین استخراج شد همچنین جهت ترسیم نقشه خطوط همبارش منطقه مورد مطالعه، میانگین نقاط بارشی ۴ ایستگاه بارانسنج روئین، کلات، عراقی، شیرویه و تبخیر سنج بالاخوش در طول یک دوره ۵۰ ساله (۱۳۵۰-۱۴۰۰) دریافت شد و درونیابی با روش Inverse distance weighted (IDW) جهت یکپارچه‌سازی و تعمیم میانگین به پهنه‌های اطراف در نرم‌افزار ArcGIS 10.8 ترسیم گردید. تعاریف و مفاهیم مورد نیاز از کتاب‌ها، مجلات و سایت‌های اینترنتی مرتبط به صورت کتابخانه‌ای استخراج گردید. مطالعات میدانی جهت عکس برداری و مشاهده رسوبات در هریک از زیر حوضه‌ها، مطالعه پوشش گیاهی، مطالعه سازندهای زمین‌شناسی و تعیین ارتفاع برخی از نقاط به صورت پیمایشی و با کمک GPS مورد استفاده قرار گرفت. نقشه‌های مورد نیاز با نرم افزار ArcGIS 10.8 ترسیم گردید.

روش تحقیق

جهت برآورد پتانسیل‌های فرسایش در حوضه آبریز مورد مطالعه از روش هیدروفیزیکی استفاده شد این روش با مقایسه وضعیت هیدروفیزیکی زیر حوضه‌های یک حوضه مقدار نسبی رسوب را برای هر کدام از زیر حوضه‌ها مشخص می‌نماید. در این مدل ابتدا ضریب پتانسیل رسوب دهی (CSY^۱) را برای کلیه زیر حوضه‌های رودخانه روئین محاسبه و با استفاده از نتایج بدست آمده درصد پتانسیل رسوب‌دهی هر زیر حوضه تعیین شد (معادله ۱) (رفاهی، ۱۳۸۵: ۶۷۱).

$$Csy = A.R.E.V. P \quad \text{معادله (۱)}$$

در این مدل: A: مساحت حوضه، R: توپوگرافی حوضه، E: قابلیت فرسایش حوضه، V: پوشش گیاهی حوضه و P: متوسط بارش سالانه حوضه به میلی‌متر می‌باشد. بر اساس معادله (۱) ابتدا بایستی عامل مساحت زیر حوضه‌ها را بر اساس معادله ۲ تعیین نمود (احمدی، ۱۳۸۶: ۶۸۸).

$$a = A^S \quad \text{معادله ۲}$$

در این رابطه: A: مساحت حوضه (کیلومتر مربع) و S: ضریب تناسب می‌باشد. ضریب تناسب برای حوضه‌های کم وسعت و وسیع بین عدد ۱ تا ۰/۶ متغیر است. از آنجایی که برای طبقه‌بندی حوضه‌ها از نظر وسعت، تعاریف متفاوتی ارائه شده بهتر است این ضریب با استفاده از جدول ضرایب مشخص برای وسعت‌های متغیر (جدول ۱) استخراج شود.

جدول (۱): ضریب تناسب تجربی حوضه‌های فرعی (s) (احمدی، ۱۳۷۶)

ردیف	نسبت وسعت حوضه فرعی به حوضه اصلی	ضریب تناسب	نسبت وسعت حوضه فرعی به حوضه اصلی	ضریب تناسب
۱	۵ به ۱	۱	۱ به ۷۰	۰/۷
۲	۲۰ به ۱	۰/۹	۱ به پیش از ۱۰۰	۰/۶
۳	۵۰ به ۱	۰/۸		

عامل توپوگرافی (R) با استفاده از رابطه ۳ محاسبه می‌گردد (احمدی، ۱۳۸۶: ۶۸۹)

$$R = H/L \quad \text{معادله ۳}$$

در این رابطه: H: اختلاف حداقل و حداکثر ارتفاع حوضه و L: طول‌ترین محور حوضه به متر.

عامل فرسایش پذیری حوضه (E) با استفاده از رابطه ۴ به دست آمد

$$E = 1/A \sum_{n=1}^n en \quad \text{معادله ۴}$$

¹. Comparative Sediment Yield

در این رابطه A : وسعت زیر حوضه، e : ارزش کمی فرسایش پذیری لایه های سطح زمین است که مقدار آن با توجه مقاومت سازند بوده و متغیر است عدد آن ثابت نیست و با توجه به سازندهای موجود در یک محدوده از عدد ۱ به بالا ارزش گذاری می گردد و هرچه از یک بیشتر باشد مقاومت آن در برابر فرسایش کمتر خواهد بود.

a : وسعت لایه ها می باشد

عامل پوشش گیاهی (V) با استفاده از رابطه ۵ به دست آمد.

$$V = A \left(\frac{1}{\sum 1/n} \right) \quad \text{معادله ۵}$$

بر اساس این معادله: A : وسعت زیر حوضه، V : درصد تراکم گیاهی و a : وسعت هریک از تراکم‌های گیاهی می‌باشد. عامل بارش (P) میانگین سالانه بارش زیر حوضه ها است.

درصد پتانسیل رسوب‌دهی واحد هیدرولوژیک (sy) با استفاده از معادله ۶ محاسبه شد:

$$sy = 100 \times CSY / \text{کل حوضه} \quad \text{معادله ۶}$$

بحث و یافته‌ها

پتانسیل رسوب‌دهی حوضه‌ها رودخانه روئین

برای محاسبه نسبی رسوب در رودخانه روئین از مدل هیدروفیزیکی (CSY) استفاده شد (معادله ۱). در این مدل وسعت حوضه آبریز تاثیر گذارترین عامل می‌باشد مساحت حوضه آبریز رودخانه روئین و زیر حوضه‌های آن با استفاده از معادله ۲ و جدول ۱ محاسبه و در جدول ۲ درج گردید با توجه به وسعت کم زیر حوضه‌ها و جدول ۱ این ضریب برای زیر حوضه‌های این رودخانه ۱ در نظر گرفته شد با توجه به جدول و شکل ۲، زیر حوضه روئین با مساحت ۸۶/۲۵ کیلومتر مربع بیشترین و حوضه محمودی با ۳۲/۲ کیلومتر مربع کمترین مساحت را به خود اختصاص می‌دهند.

عامل توپوگرافی (R) با استفاده از رابطه ۳، نقشه ۱/۵۰۰۰۰ توپوگرافی و مساحی های میدانی بدست آمد (جدول ۲) و مقدار آن برای زیر حوضه روئین ۰/۰۶۹۵ برای محمودی ۰/۰۹۸۳ برای کلات ۰/۰۵۱۲۵ و برای شیرویه عدد ۰/۰۶۳۵ به دست آمد.

جدول (۲): عامل مساحت و توپوگرافی زیر حوضه های مورد مطالعه

ردیف	زیر حوضه	بیشترین ارتفاع	کمترین ارتفاع	طول بزرگترین محور حوضه (متر)	توپوگرافی	مساحت حوضه (km ²)	عامل مساحت (a)
۱	روئین	۲۷۶۰	۱۳۰۰	۲۱۰۰۰	۰/۰۶۹۵	۸۶/۲۵	۸۶/۲۵
۲	محمودی	۲۵۵۰	۱۳۷۰	۱۲۰۰۰	۰/۰۹۸۳	۳۲/۲	۳۲/۲
۳	کلات	۲۲۸۰	۱۴۶۰	۱۶۰۰۰	۰/۰۵۱۲۵	۳۵/۹۰	۳۵/۹۰
۴	شیرویه	۲۴۸۰	۱۴۰۰	۱۷۰۰۰	۰/۰۶۳۵	۴۵/۶	۴۵/۶

عامل فرسایش پذیری (E) با توجه به سازندهای زمین شناسی منطقه در مطالعات میدانی (جدول ۳)، استفاده از معادله (۴) و نقشه زمین شناسی حوضه (شکل ۵) به دست آمد و در جدول (۴-۴ تا ۴-۱) درج شد.

جدول (۳): سازندهای زمین شناسی حوضه آبریز رودخانه روئین و ارزش کمی در نظر گرفته شده برای آن

ردیف	علامت سازند	سن تقریبی	سنگ های تشکیل دهنده	نام سازند	ارزش کمی
۱	QaL	کواترنر	آبرفت جدید	واحد QaL	۱۲
۲	Qpl	کواترنر	کنگلومرا با سیمان آهکی ماسه ای	واحد Qpl	۱۲
۳	Ng2	پلیوسن	مارن و کنگلومرا	نئوژن	۱۱
۴	Ngc	پلیوسن	کنگلومرای نئوژن	نئوژن	۱۰/۵
۵	J-kmz	ژوراسیک	آهک دوشن تا صورتی و آهک دولومیتی	مزدوران یا لار	۹
۶	Dl.sh	دوین	ماسه سنگ ، شیل آهکی	واحد بالایی Dl.sh	۸
۷	O1sh.s	اردوین	آهک خاکستری، شیل و ماسه سنگ	واحد O1shs	۷
۸	Em	کامبرین	آهک، آهک دولومیتی، شیل	میلا	۶
۹	Jch	ژوراسیک	مارن، آهک مارنی آهک خاکستری روشن	چمن بید یا دلچای	۵/۵
۱۰	Jss	ژوراسیک	ماسه سنگ و شیل	شمشک یا کشف رود	۴
۱۱	Ds	دوین	ماسه سنگ قرمز و سفید، شیل مارنی سبز	پادها	۳/۵
۱۲	Osh.s	اردوین	شیل و ماسه سنگ سبز زیتونی	واحد Osh.s	۳
۱۳	ov	اردوین	اندزیت، بازالت و ماسه سنگ و شیل	واحد ولکانیک	۲
۱۴	Os.sh	اردوین	ماسه سنگ ، شیل سبز زیتونی و آهک ماسه ای	میلا	۲
۱۵	Ebt	کامبرین	شیل قرمز و سبز، شیل ماسه ای و شیل توفی	سازند باروت	۱/۵

جدول (۴-۱): میزان فرسایش پذیری سازندهای زیرحوضه روئین

ردیف	علامت سازند	سن تقریبی	سنگ های تشکیل دهنده	نام سازند	فرسایش پذیری	ارزش کمی	مساحت (km2)
۱	QaL	کواترنر	آبرفت جدید	واحد QaL	۰/۵۵۶	۱۲	۴
۲	Ng2	ترشیاری	مارن و کنگلومرا	نئوژن	۰/۴۴۶	۱۱	۳/۵
۳	Ngc	ترشیاری	کنگلومرای نئوژن	نئوژن	۰/۶۰۸	۱۰/۵	۵
۴	J-kmz	ژوراسیک	آهک دوشن تا صورتی و دولومیتی	مزدوران یا لار	۰/۲۶۰	۹	۶۰
۵	Dl.sh	دوین	سنگ آهک تیره و شیل سبز	خوش بیلاق	۰/۱۶۲	۸	۱/۷۵
۶	Jch	ژوراسیک	مارن، آهک مارنی، آهک خاکستری روشن	چمن بید یا دلچای	۰/۶۳۷	۵/۵	۱۰
۷	Osh.s	اردوین	شیل و ماسه سنگ سبز زیتونی	واحد Osh.s	۰/۰۶۹	۳	۲
جمع					۸/۷۳۸		۸۶/۲۵

جدول (۴-۲): فرسایش پذیری سازندهای زیر حوضه محمودی

ردیف	علامت سازند	سن تقریبی	سنگ های تشکیل دهنده	سازند	فرسایش پذیری	ارزش کمی	مساحت (km2)
۱	QaL	کواترنر	آبرفت جدید	واحد QaL	۰/۸۹۴	۱۲	۲/۴
۲	Qpl	پلیوسن	کنگلومرا با سیمان آهکی ماسه ای	واحد Qpl	۰/۷۵۴	۱۲	۲
۳	Ng2	پلیوسن	مارن و کنگلومرا	نئوژن	۱/۲۲۹	۱۱	۳/۶۰
۴	Ngc	پلیوسن	کنگلومرای نئوژن	نئوژن	۰/۶۸۴	۱۰/۵	۲/۱

۵	J-kmz	ژوراسیک	آهک روشن تا صورتی و دولومیتی	مزدوران یا لار	۴/۵	۹	۱۶/۱
۶	DI.shs	دونین	ماسه سنگ ، شیل آهکی	خوش بیلاق	۰/۳۴۷	۸	۱/۴۰
۷	Jch	ژوراسیک	مارن، آهک مارنی آهک خاکستری	چمن بید	۰/۴۶۱	۵/۵	۲/۷۰
۸	Osh.s	دونین	شیل و ماسه سنگ سبز زیتونی	واحد Osh.s	۰/۱۷۷	۳	۱/۹۰
۹	جمع				۹/۰۴۶		۳۲/۲

جدول (۴_۳): فرسایش پذیری سازند های زیر حوضه کلات

ردیف	علامت	سن	نوع سنگ	سازند	فرسایش پذیری	ارزش کمی	مساحت (km2)
۱	QaL	کواترنر	آبرفت جدید	واحد QaL	۱/۰۰۲	۱۲	۳
۲	Qpl	پلیوسن	کنگومرا با سیمان آهکی ماسه ای	Qpl	۱/۳۳۷	۱۲	۴
۳	Ng2	پلیوسن	مارن و کنگومرا	نئوژن	۱/۳۹۰	۱۱	۴/۵
۴	Ngc	پلیوسن	کنگومرای نئوژن	نئوژن	۰/۶۷۲	۱۰/۵	۲/۳
۵	J-kmz	ژوراسیک	آهک های به رنگ خاکستری	مزدوران یا	۲/۲۵۶	۹	۹
۶	DI.sh	دونین	آهک خاکستری ، شیل و ماسه سنگ	واحد DI.sh	۰/۵۵۷	۸	۲/۵
۷	Jch	ژوراسیک	مارن، آهک مارنی آهک خاکستری	چمن بید	۰/۷۶۶	۵/۵	۵
۸	Osh.s	دونین	شیل و ماسه سنگ سبز زیتونی	Dsh.s	۰/۲۲۹	۳	۲/۷
۹	Ebt	کامبرین	شیل قرمز و سبز، شیل ماسه ای	سازند باروت	۰/۱۰۴	۱/۵	۲/۹
جمع					۸/۳۱۳		۳۵/۹۰

جدول (۴_۴): فرسایش پذیری سازند های زیر حوضه شیرویه

ردیف	علامت	سن	سنگ های تشکیل دهنده	سازند	فرسایش پذیری	ارزش کمی	مساحت (km2)
۱	Ng2	پلیوسن	مارن و کنگومرا	نئوژن	۰/۷۷۱	۱۱	۳/۲۰
۲	J-kmz	ژوراسیک	آهک های خاکستری	مزدوران یا لار	۱/۳۸۱	۹	۷
۳	D1sh	دونین	سنگ آهک تیره و شیل	خوش بیلاق	۰/۴۲۱	۸	۲/۴۰
۴	O1shs	اردوئین	آهک خاکستری، شیل و ماسه	واحد O1shs	۳/۱۰۰	۷	۲/۲۰
۵	Em	کامبرین	آهک، آهک دولومیتی، شیل	میلا	۰/۳۹۴	۶	۳
۶	Jch	ژوراسیک	مارن، آهک آهک خاکستری	چمن بید	۰/۴۱۰	۵/۵	۳/۴۰
۷	Jss	ژوراسیک	ماسه سنگ و شیل	شمشک	۰/۸۳۳	۴	۹/۵
۸	Ds	دونین	ماسه سنگ، شیل مارنی سبز	پادهات	۰/۲۸۳	۳/۵	۳/۷۰
۹	Os.sh	اردوئین	ماسه سنگ تیره و شیل سبز	میلا	۰/۲۴۱	۲	۵/۵
۱۰	ov	اردوئین	آندزیت، بازالت و ماسه سنگ	واحد ولکانیک	۰/۰۷۸	۲	۱/۸۰
۱۱	Ebt	کامبرین	شیل قرمز و ماسه ای	سازند باروت	۰/۱۲۸	۱/۵	۳/۹۰
جمع					۸/۰۴		۴۵/۶

مطالعه فرسایش پذیری منطقه مورد مطالعه (جدول ۵) نشان داد زیر حوضه محمودی با ۹/۰۴۶ نسبت به سه زیر حوضه دیگر از حساسیت بالاتر و زیر حوضه شیرویه با ۸/۰۴ از حساسیت کمتری نسبت به فرسایش برخوردار است.

جدول (۵): قابلیت فرسایش پذیری زیر حوضه های رودخانه روئین

زیر حوضه	روئین	محمودی	کلات	شیرویه
قابلیت فرسایش (E)	۸/۷۳۸	۹/۰۴۶	۸/۳۱۳	۸/۰۴

عامل پوشش گیاهی (V) با استفاده از رابطه ۵ محاسبه گردید (جدول ۶).
جدول (۶-۱): پوشش گیاهی زیر حوضه روئین (منبع: منابع طبیعی خراسان شمالی)

ردیف	نوع پوشش گیاهی	درصد Vn تراکم	an: وسعت پوشش گیاهی	Vn an	مساحت K۲	V=A (1/Σ1nvnan)
۱	درمنه کوهی	۴۲	۲۱/۱۵	۸۸۸/۳	۸۶/۲۵	۰/۰۲۸۱۰۱۴۳
۲	درمنه و اسپرس	۲۰	۸/۴۰	۱۶۸		
۳	انواع گون	۴۰	۱۵/۴۱	۶۱۶/۴		
۴	درمنه دشتی	۵/۰۴	۴/۲۰	۲۱/۱۶۸		
۵	کاسنی	۳۵	۳/۵	۱۲۲/۵		
۶	اراضی باغی	۸۳	۹/۷۵	۸۰۹/۲۵		
۷	زمین های زراعی	۵۳	۷/۵۴	۳۹۹/۶۲		
۸	اراضی جنگلی	۸	۴/۳۰	۳۴/۴		
۹	اراضی فاقد پوشش گیاهی یا با پوشش گیاهی کم	۰/۸	۱۲	۹/۶		
۱۰	جمع			۳۰۶۹/۲۳۸		۰/۰۲۸۱۰۱۴۳

جدول (۶-۲): پوشش گیاهی زیر حوضه محمودی (منبع: منابع طبیعی خراسان شمالی)

ردیف	نوع پوشش گیاهی	درصد Vn	an: وسعت پوشش گیاهی	Vn an	مساحت K۲	V=A (1/Σ1nvnan)
۱	درمنه کوهی	۴۲	۸/۴۶	۳۵۵/۳۲	۳۲/۲	۰/۰۲۴۴۵۳۵۹
۲	کلاه میرحسن	۴۰	۵/۲۲	۲۰۸/۸		
۳	گون	۴۰	۲	۸۰		
۴	زرشک	۲۸	۰/۸۰۰	۲۲/۴		
۵	اراضی باغی	۸۳	۵	۴۱۵		
۶	زمین های زراعی	۵۳	۴/۲۲	۲۲۳/۶۶		
۷	اراضی جنگلی	۸	۲	۸		
۸	اراضی فاقد پوشش گیاهی یا با پوشش گیاهی کم	۰/۸	۴/۵	۳/۶		
۹	جمع			۱۳۱۶/۷۸		۰/۰۲۴۴۵۳۵۹

جدول (۳-۶): پوشش گیاهی زیر حوضه کلات (منبع: منابع طبیعی خراسان شمالی)

ردیف	نوع پوشش گیاهی	Vn در صد	an: وسعت پوشش گیاهی	Vn an	مساحت K۲	V=A (1/Σ1nvnan)
۱	درمنه کوهی	۴۲	۸/۴۶	۳۵۵/۳۲	۳۵/۹۰	۰/۰۲۵۲۹۳۸۰۳۷
۲	کلاه میرحسن	۴۰	۶/۱۴	۲۴۵/۶		
۳	گون	۴۰	۳/۲۰	۱۲۸		
۴	زرشک	۲۸	۱/۹	۵۳/۲		
۵	اراضی باغی	۸۳	۴/۲۰	۳۴۸/۶		
۶	زمین های زراعی	۵۳	۵	۲۶۵		
۷	اراضی جنگلی	۸	۲/۵	۲۰		
۸	اراضی فاقد پوشش گیاهی یا با پوشش گیاهی کم	۰/۸	۴/۵	۳/۶		
۹	جمع			۱۴۱۹/۳۲		۰/۰۲۵۲۹۳۸۰۳۷

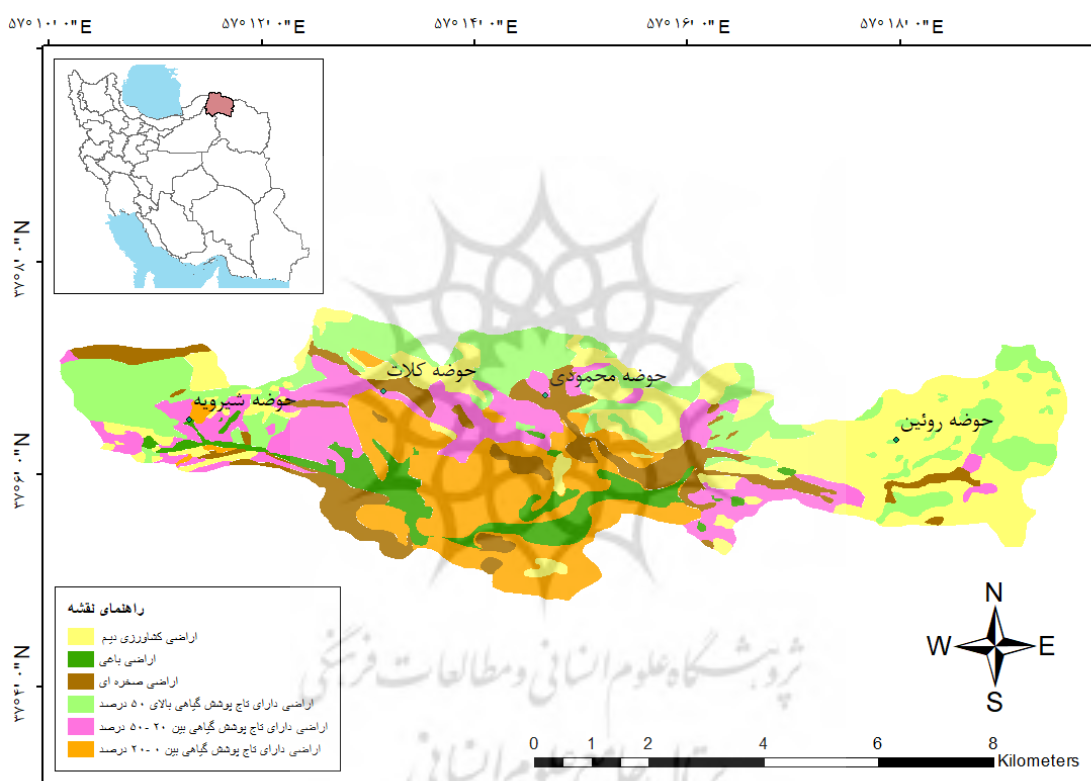
جدول (۴-۶): پوشش گیاهی زیر حوضه شیرویه (منبع: منابع طبیعی خراسان شمالی)

ردیف	نوع پوشش گیاهی	Vn درصد تراکم	an: وسعت پوشش گیاهی	Vn an	مساحت K۲	V=A (1/Σ1nvnan)
۱	درمنه کوهی	۴۲	۱۸	۷۵۶	۴۵/۶	۰/۰۲۶۶۵۲۱۷۱۶
۲	کنگر	۲۸	۱/۲۲	۳۴/۱۶		
۳	کلاه میرحسن	۴۰	۶/۲۲	۲۴۸/۸		
۴	گون	۴۰	۳/۲۶	۱۳۰/۴		
۵	فستوکا	۳۱	۰/۴۵	۱۳/۹۵		
۶	اراضی باغی	۸۳	۳	۲۴۹		
۷	زمین های زراعی	۵۳	۴/۸	۲۵۴/۴		
۸	اراضی جنگلی	۸	۲/۴۰	۱۹/۲		
۹	اراضی فاقد پوشش گیاهی یا با پوشش گیاهی کم	۰/۸	۶/۲۵	۵		
۱۰	جمع		۴۵/۶	۱۷۱۰/۹۳		۰/۰۲۶۶۵۲۱۷۱۶

جدول (۵-۶): عامل پوشش گیاهی زیرحوضه های مورد مطالعه

زیرحوضه	حوضه روئین	حوضه محمودی	حوضه کلات	حوضه شیرویه
عامل پوشش گیاهی (۷)	۰/۰۲۸۱۰۱۴۳	۰/۰۲۴۴۵۳۵۹	۰/۰۲۵۲۹۳۸۰۲۷	۰/۰۲۶۶۵۲۱۷۱۶

عامل پوشش گیاهی در زیرحوضه های منطقه به ترتیب اهمیت برای زیرحوضه روئین ۰/۰۲۸۱۰۱۴۳، زیرحوضه شیرویه ۰/۰۲۶۶۵۲۱۷۱۶، زیرحوضه کلات ۰/۰۲۵۲۹۳۸۰۲۷ و زیرحوضه محمودی ۰/۰۲۴۴۵۳۵۹ (جدول ۶ و شکل ۳ و ۴) محاسبه گردید.



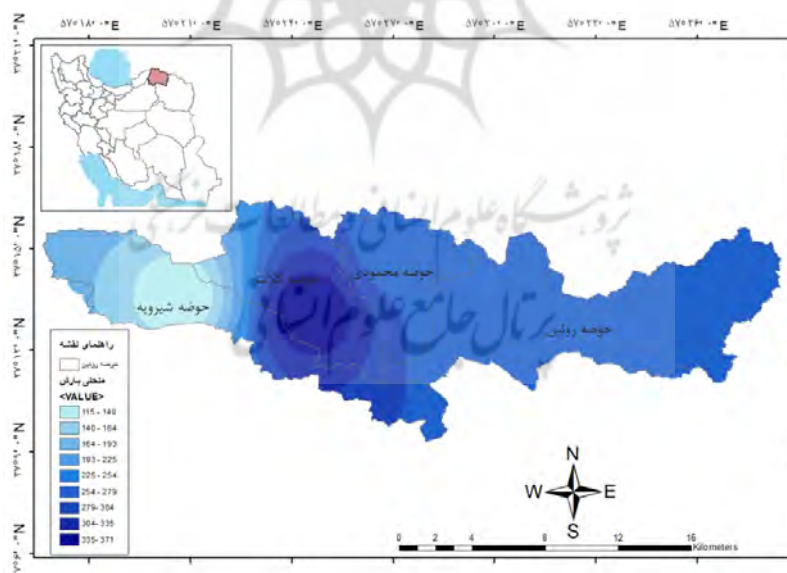
شکل ۳- نقشه کاربری اراضی و پوشش گیاهی حوضه آبریز رودخانه روئین

دلیل پوشش گیاهی زیاد در زیرحوضه روئین این است که بخش وسیعی از کاربری اراضی آن به فعالیت های باغداری اختصاص یافته است. درحوضه شیرویه هم علیرغم بارش کم پوشش گیاهی زیاد برآورد شد دلیل بالا بودن پوشش گیاهی در این حوضه قرار گرفتن بخش وسیعی از این حوضه در محدوده پارک ملی و منطقه حفاظت شده سالوک می باشد (شکل ۴ بالا سمت چپ).



شکل ۴- پوشش گیاهی در زیر حوضه‌های رودخانه روئین (بالا سمت راست) زیر حوضه روئین، (بالا سمت چپ) زیر حوضه شیرویه (پایین سمت راست) زیر حوضه کلات و (پایین سمت چپ) زیر حوضه محمودی

عامل بارش (P) با توجه به داده‌های پنجاه ساله سازمان آب و هواشناسی ایران (۱۳۵۰-۱۴۰۰) ایستگاه باران سنج‌های روئین، عراقی، کلات و شیرویه و ایستگاه تبخیر سنج بالاخوش (جدول ۷) و شکل (۵) مورد بررسی قرار گرفت. بارش متوسط سالانه در حوضه کلات ۳۷۲، در روئین ۲۶۵، در محمودی ۲۶۰ و در شیرویه ۱۶۰ میلی‌متری باشد (شکل ۵). بر این اساس زیر حوضه کلات پرباران‌ترین و حوضه شیرویه کم‌باران‌ترین زیر حوضه منطقه مورد مطالعه می‌باشد.



شکل (۵): نقشه خطوط همبارش حوضه آبریز رودخانه روئین (منبع نویسنده ۱۴۰۰) بر اساس داده‌های پنجاه ساله (۱۳۵۰-۱۴۰۰) ایستگاه‌های باران سنج روئین، عراقی، کلات، شیرویه و ایستگاه تبخیر سنج بالاخوش
جدول (۷): متوسط بارش سالانه حوضه‌های مورد مطالعه

زیرحوضه	روئین	محمودی	کلات	شیرویه
میزان بارش (P)	۲۶۵	۲۶۰	۳۷۲	۱۶۰

با محاسبه پارامترهای فوق در حوضه مورد نظر ضریب پتانسیل رسوب‌دهی برای هر یک از زیر حوضه‌ها محاسبه شد (جدول ۸) براین اساس پتانسیل سالانه تولید رسوب در این حوضه ۸۱۵/۲۷ تن برآورد می‌شود که این مقدار در زیر حوضه

های این رودخانه یکسان نیست. زیر حوضه روئین با ضریب رسوب‌دهی $390/05$ بیشترین و شیرویه با ضریب رسوب‌دهی $99/27$ کمترین پتانسیل رسوب‌دهی را در بین زیر حوضه‌های حوضه آبریز رودخانه روئین دارند. جدول (۸): ضریب پتانسیل رسوب‌دهی حوضه‌های مورد مطالعه

زیر حوضه	روئین	محمودی	کلات	شیرویه	جمع رسوب سالانه
sy	تن $390/05$	تن $182/04$	تن $143/91$	تن $99/27$	$815/27$

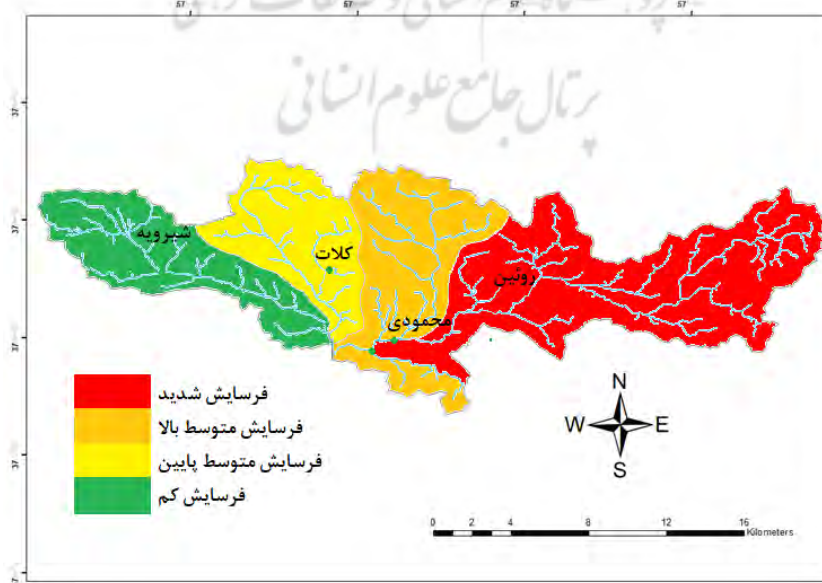
همچنین مقایسه آمار ایستگاه آبشناسی این حوضه مقدار سالانه رسوب حمل شده در این حوضه را سالانه 4374 تن ثبت نموده است (آب منطقه ای خراسان، $1350-1384$ - آب منطقه ای خراسان شمالی، $1384-1399$). این حجم از رسوب بیش از ۵ برابر پتانسیل های رسوب زایی این حوضه می‌باشد این تفاوت گویای این مطلب است که رسوبات حمل شده در این حوضه بیش از ۵ برابر مقدار برآورد می باشد. بنابراین بایستی اقدامات مناسب جهت کنترل آن انجام گیرد.

پس از تعیین ضریب رسوب‌دهی برای زیر حوضه‌های حوضه آبریز روئین درصد پتانسیل رسوب‌دهی واحد هیدرولوژیک (sy) با استفاده از رابطه ۶ محاسبه شد (جدول ۹) بر این اساس زیر حوضه روئین با $47/84$ بیشترین درصد و شیرویه با $12/17$ کمترین درصد رسوب‌دهی را دارند.

جدول (۹): درصد پتانسیل رسوب‌دهی و فرسایش حوضه‌های مورد مطالعه

زیر حوضه	روئین	محمودی	کلات	شیرویه
CSy	$47/84$	$22/32$	$17/65$	$12/17$

با توجه به مطالعات میدانی و نقشه پتانسیل رسوب‌دهی (شکل ۷) و محاسبات انجام شده در مورد مساحت، پوشش گیاهی، ضریب فرسایش پذیری، بارش سالانه و توپوگرافی زیر حوضه‌های حوضه آبریز رودخانه روئین، مشخص شد در بین زیر حوضه‌های این حوضه پتانسیل رسوب‌دهی در زیر حوضه روئین با $47/84$ درصد حداکثر و در زیر حوضه شیرویه با $12/17$ حداقل می‌باشد از این رو زیر حوضه‌های روئین و محمودی نیاز به محافظت بیشتری در برابر فرایندهای فرسایشی دارد.



شکل (۶): نقشه پتانسیل رسوب‌دهی زیر حوضه‌های رودخانه روئین

نتیجه‌گیری

هر چند رودخانه روئین دارای ایستگاه آبسنجی بوده و داده‌های این ایستگاه می‌تواند اطلاعات مناسبی در زمینه برآورد رسوب در اختیار محققان قرار دهد اما این اطلاعات در حدی نیست که پتانسیل‌های رسوب‌دهی را برای این حوضه مشخص نماید. همچنین آمار ثبت شده مربوط به کل حوضه آبریز این رودخانه بوده و سهم هر کدام از زیر حوضه‌ها از رسوب ثبت شده مشخص نیست بنابراین استفاده از مدل‌های تجربی برآورد رسوب برای پاسخگویی به سوالات متعدد در مورد رسوبات حمل شده در زیرحوضه‌های این حوضه ضروری است. یکی از روش‌های تجربی مرسوم در این زمینه روش هیدروفیزیکی می‌باشد. بر اساس نتایج حاصل از این روش در زیر حوضه‌های حوضه آبریز رودخانه روئین، پتانسیل رسوب‌دهی برای زیر حوضه روئین $390/05$ تن معادل $47/84$ درصد، برای زیر حوضه محمودی $182/04$ تن معادل $22/32$ درصد، برای زیر حوضه کلات $143/91$ تن معادل $17/65$ درصد و برای زیر حوضه شیرویه $99/27$ تن معادل $12/17$ درصد برآورد گردید. براین اساس پتانسیل رسوب‌دهی در زیر حوضه روئین بالاتر از زیرحوضه‌های دیگر است دلیل پتانسیل زیاد فرسایش در این زیر حوضه، وسعت زیاد، بارش بیشتر، ضریب فرسایش‌پذیری بالا و توپوگرافی نسبتاً خشن آن می‌باشد. در مقابل زیر حوضه شیرویه کمترین پتانسیل رسوب‌دهی را دارد، دلیل کم بودن ضریب فرسایش در این زیر حوضه، حساسیت کم سازندهای زمین‌شناسی، بارش و وسعت کم و واقع شدن آن در پارک ملی سالوک است اقدامات محافظتی سازمان محیط‌زیست و منابع طبیعی در این حوضه پوشش گیاهی آن را حفظ نموده و این عامل تا حدودی توانسته فرایندهای فرسایشی را در این زیر حوضه کنترل نماید. از نظر پتانسیل فرسایش‌پذیری زیر حوضه محمودی در رده دوم قرار دارد و نسبت به زیر حوضه‌های شیرویه و کلات پتانسیل فرسایشی بیشتری دارد دلیل پتانسیل بالای فرسایش در این زیر حوضه فرسایش‌پذیری زیاد سازندهای زمین‌شناسی و پوشش گیاهی کمتر این زیر حوضه است بخش وسیعی از این زیر حوضه زیر کشت محصولات کم بازده دیمی است همچنین اصول شخم، کاشت و برداشت در این زیرحوضه استاندارد نیست و همین عامل پتانسیل فرسایش در این زیر حوضه را افزایش داده است. هر چند در اغلب مطالعات بارش به عنوان مهم‌ترین عامل مؤثر در فرسایش محسوب می‌گردد اما در این مطالعه مشخص شد علیرغم این که زیرحوضه کلات پربارش‌ترین زیر حوضه محسوب می‌شود اما به دلیل پوشش گیاهی و سازندهای مقاوم به فرسایش، از پتانسیل‌های رسوب‌دهی متوسطی برخوردار است. مقایسه نتایج حاصل از این روش و آمار ثبت شده در ایستگاه آبشناسی این حوضه تفاوت زیادی را نشان داد این تفاوت نشانه ضعف این مدل نیست برعکس حاکی از دقت بالای آن است این روش پتانسیل‌های رسوب برای این حوضه را مشخص می‌کند تفاوت زیاد در نتایج این روش و آمار ثبت شده در ایستگاه هیدرومتریک این رود نشان‌دهنده خطر بالای فرسایش در این حوضه است به عبارتی، این تفاوت به محقق این پیام را می‌رساند که در حال حاضر فرسایش در این حوضه فراتر از حد طبیعی آن است همچنین علاوه بر وسعت و بارش در این روش می‌توان به تأثیرات مثبت و منفی دخالت‌های انسان در افزایش و کاهش پتانسیل فرسایش پی برد. اقدامات مثبت انسانی در زیر حوضه‌های کلات و شیرویه باعث کاهش و اقدامات منفی انسانی در زیر حوضه‌های روئین و محمودی پتانسیل رسوب‌دهی این دو زیر حوضه را افزایش داده است. بر اساس نتایج مطالعات میدانی زیر حوضه روئین و محمودی بیشترین تأثیرات را از فعالیت‌های انسانی پذیرفته درحالی که حوضه شیرویه به دلیل واقع شدن بخشی از آن در منطقه حفاظت شده سالوک و زیر حوضه کلات به دلیل محافظت توسط سازمان منابع طبیعی از پتانسیل فرسایشی کم‌تری برخوردار هستند. همانطور که از ماهیت این مدل پیداست این مدل برای برآورد عددی و مطلق فرسایش مناسب نیست اما برای پیش‌بینی فرسایش در حوضه‌ها روش خوبی محسوب می‌شود همچنین نتایج این روش می‌تواند با شناسایی پتانسیل فرسایش در هر زیر حوضه یک رود هزینه‌های کنترل فرسایش در یک حوضه را کاهش دهد. بنابراین می‌توان از آن به عنوان ابزاری دقیق برای پهنه‌بندی خطر فرسایش در حوضه‌های آبریز استفاده نمود دقت بالای این روش در برآورد پتانسیل فرسایش در مطالعات انجام شده توسط میرزائی و همکاران در حوضه آبریز کرج (۱۳۸۸)، نژاد سلیمان در حوضه آبریز کارده در استان خراسان رضوی (۱۳۹۵) و مقامی مقیم

در حوضه دامغان رود (۱۴۰۲) همخوانی دارد. در مقابل در برخی از مطالعات انجام شده محققان انتظار برآورد میزان مطلق رسوب را دارند در نتیجه در مقایسه با برداشت‌های میدانی نظری موافق با آن نداشته و آن را برای برآورد رسوب مناسب نمی‌دانند حال این که هدف این روش تخمین میزان فرسایش نیست بلکه تخمین پتانسیل فرسایشی است که می‌تواند در آینده در یک حوضه و زیرحوضه‌های آن اتفاق بیافتد. با توجه به اینکه مجموع پتانسیل سالانه رسوب در این حوضه ۸۱۵/۲۷ و متوسط سالانه رسوب اندازه گیری شده در این حوضه ۴۳۷۴ تن ثبت شده و این مقدار ۵ برابر پتانسیل‌های رسوب زایی آن است این تفاوت نشان دهنده این است که فرسایش در این حوضه فراتر از حد طبیعی آن می باشد بنابراین پیشنهاد می‌گردد در این حوضه به خصوص زیر حوضه‌های روئین و محمودی که از پتانسیل بالای رسوب زایی برخوردارند اقدامات پیشگیرانه و کنترل کننده فرسایش به عمل آید.

منابع

- احمدی، ح. (۱۳۸۶). ژئومورفولوژی کاربردی، ج ۱، فرسایش آبی، انتشارات دانشگاه تهران، ۶۸۸ ص.
- احمدی م. مختاری د. حجازی. ا. و نیک‌سرشت. م (۱۳۹۶). مقایسه مدل‌های WEPP و هیدروفیزیکی برای برآورد میزان فرسایش خاک و تولید رسوب (مطالعه موردی: حوضه‌ی آبخیز چرداول). پژوهش‌های فرسایش محیطی. ۱۳۹۶؛ ۷ (۳) ۱-۲۴:
- بی غم. علی. حجازی. ا. رضایی مقدم. م. ح. یاراحمدی. ج. و کرمی. ف. (۱۴۰۱). شبیه سازی وضعیت آتی فرسایش و رسوب تحت تاثیر تغییرات اقلیمی (حوضه آبخیز حاجیلر). هیدروژئومورفولوژی. ۱۳۳۹؛ ۱۲۶-۱۰۷.
- پژوهش، م. (۱۳۹۷). مقایسه کارایی مدل WEPP و MPSIAC با مقدار رسوب مشاهده‌ای در برآورد فرسایش خاک و میزان رسوب مطالعه موردی: (حوضه آبخیز گوجان چال نمد استان چهارمحال و بختیاری) پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی؛ ۴ (۴) ۱۵۰-۱۶۵.
- ثاقبیان، س.م (۱۴۰۰). تخمین بار معلق رسوبی با استفاده از روش‌های هوشمند تلفیقی با در نظر گرفتن عدم قطعیت مدل. آب و خاک، ۳۵(۴)، 475-488. doi: 10.22067/jsw.2021.68665.1021.
- حجازی، ا، فرجی منفرد، ا، احمدی، م. بررسی پتانسیل رسوبدهی و فرسایش خاک با روش هیدروفیزیکی و مقایسه آن با روش ژئومورفولوژی مطالعه موردی: حوضه سامان (نوبران، استان مرکزی). فضای جغرافیایی. ۱۳۹۸؛ ۱۹ (۶۸) ۷۵-۹۳
- حق‌آبی، ا.ح، جوادعی علمی، ب، و حسینیان، ا. (۱۳۹۸). بررسی هیدرولیکی - مورفولوژیکی اثرات برداشت مصالح رودخانه ای برکف کنی و فرسایش کناری رودخانه (مطالعه موردی رودخانه خرم آباد)، پژوهش آب ایران. ۱۳۰۱(۴) ۱-۱۰.
- خسروی، خ، صفری، ع، حبیب نژاد روشن، م، محمودی، ن. (۱۳۹۰) ارزیابی کارایی روش‌های مختلف تجربی برآورد فرسایش و رسوب با مقادیر مشاهده‌ای (مطالعه موردی: حوضه آبخیز بابلرود، استان مازندران) پژوهش‌های فرسایش محیطی، ۱ (۴) ۳۲-۵۲
- ذاکری نژاد و فلاح، س. (۱۴۰۲). ارزیابی خطر فرسایش آبی با استفاده از ترکیب مدل تجدید نظر شده‌ی جهانی فرسایش خاک (RUSLE) و نقشه تراکم خندقی در حوضه آبخیز علامرودشت استان. پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی ۱۱ (۴) ۱۸۹-۲۰۹
- رفاهی، ح.ق. (۱۳۸۵): فرسایش آبی و کنترل آن. چاپ چهارم، انتشارات دانشگاه تهران. ص ۶۷۱
- روستایی، ش، شیرزادی، ه، و حجازی، ا (۱۴۰۱). برآورد میزان فرسایش و تخمین رسوب با مقایسه مدل‌های تجربی (محدوده مورد مطالعه حوضه رودخانه زیمکان شهرستان دالاهو استان کرمانشاه). (پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی). doi: 10.22034/gmpj.2023.368266.1386
- سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح (۱۳۷۸). نقشه توپو گرافی ۱:۵۰۰۰۰ برگه‌های روئین (برگ III ۷۴۶۴) و کی کی (برگ IV ۷۴۶۴)

- شرکت آب منطقه ای خراسان شمالی، ۱۳۸۴-۱۳۵۰
- شرکت آب منطقه ای خراسان ۱۳۸۳-۱۳۹۹
- شهداد، ف. (۱۳۸۹). نقش ویلیام موریس دیویس در جغرافیای آمریکا. فصلنامه رشد آموزش جغرافیا، دوره ۲۴، شماره ۴، صص ۲۱-۱۶
- علی پور، ح، ملکیان، آ، خیرخواه زرکش، م، و قره چلو، س. (۱۳۹۵). برآورد شدت فرسایش و رسوب حوضه آبخیز ایور با استفاده از روش تجربی MPSIAC جغرافیا و توسعه، ۱۴ (۴۵)، ۲۴۳-۲۶۸.
- محسنی، ب، قدوسی، ج، احمدی، ح، طهماسبی، ر. (۱۳۹۰). ارزیابی دقت و کارایی مدل‌های EPM، MPSIAC، ژئومورفولوژی و هیدروفیزیکی در برآورد فرسایش و رسوب حوضه معرف کسلیان استان مازندران. نشریه جغرافیا و توسعه، ۹ (۲۲)، ۱۰۷-۱۲۷
- مختاری، داود، ولیزاده کامران، خلیل و مرادی مطلق، احسان، (۱۳۹۸). بررسی نقش تغییر روش‌های درون یابی برای تولید عامل R در برآورد فرسایش خاک حوضه‌های آبریز به روش (RUSLE مطالعه موردی: حوضه آبریز بالارو، پژوهشهای ژئومورفولوژی کمی، ۸ (3)، 222-241.
- معتمدی راد، م. زنگنه اسدی، م. ع. عجم، ح. (۱۴۰۲). 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)، ۱۴۷-۱۶۵.
- مقامی مقیم، غ. ر. (۱۳۹۵). تأثیر فعالیت‌های تکتونیکی در ریخت‌شناسی حوضه‌ی آبریز رودخانه‌ی روئین در شمال شرق ایران، جغرافیا و توسعه، ۱۴ (۴۳)، ۷۱-۹۰.
- مقامی مقیم، غ. ر. هراسانی، ی.، بیانیان، ش. (۱۴۰۲). برآورد پتانسیل‌های رسوب‌دهی و و فرسایش حوضه آبریز رودخانه دامغان رود با استفاده از مدل هیدروفیزیکی (CSY) هیدروژئومورفولوژی ۱۰ (۳۵)، ۴۷-۶۵.
- میرزائی، ا، شعاعی، ض، جلالی، ن، اسلامی، ع (۱۳۸۸). ارزیابی فرسایش و رسوب‌دهی در حوضه آبخیز کرج با استفاده از مدل هیدروفیزیکی. مهندسی و مدیریت آبخیز، 53-60، 1(1).
- نژاد سلیمانی، ح، قلی زاده، و، نداف سنگانی، م. ۱۳۹۵. بررسی پتانسیل تولید رسوب به روش هیدروفیزیکی با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) در حوضه آبریز کارده. اولین همایش ملی جغرافیا، محیط زیست، امنیت و گردشگری
- Abrahart, R.J., See, L.M., Heppenstall, A.J., & White, S.M. (2008). Neural network estimation of suspended sediment: potential pitfalls and future directions, *Practical hydroinformatics*, 4(16), 139-161.
- Bagio, B., Bertol, I., Wolschick, N.H., Schneiders, D., and Santos, M.A.D.N.D., 2017. Water Erosion in Different Slope Lengths on Bare Soil. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, 41.
- Johnson, C. W., Gebhardt, K. A., (1982) Predicting sediment yields from sage brush rangeland in, *Proceedings of the workshop on estimating erosion and sediment yield on rangeland. Tucson Aritong, March 1982. V.5. Department of agriculture ARM-W-26. P. 145- 156.*
- Gavrilovic Zoran. (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. 18–20 May. Wallingford, England 1988 pp. 411–422.*
- Qiao, X., Li, Z., Lin, J., Wang, H., Zheng, S., Yang, S. (2023). Assessing current and future soil erosion under changing land use based on InVEST and FLUS models in the Yihe River Basin, North China. *International Soil and Water Conservation Research*.
- Li, N., Zhang, Y., Wang, T., Li, J., Yang, J., Luo, M. 2022. Have anthropogenic factors mitigated or intensified soil erosion over the past three decades in South China? *Journal of Environmental Management*, 302: 114093.

- Musgrave, G. W. (1947). *The quantitative evaluation of factors in water erosion: a first approximation*. *Journal of soil and water conservation*, 2, 133-138.
- Toubal, A.K., Achite, M., Ouillon, S., Dehni, A. 2018. *Soil erodibility mapping using the RUSLE model to prioritize erosion control in the Wadi Sahouat basin, north-west of Algeria*. *Environmental Monitoring and Assessment* 190(4): 210.
- Wischmeier, W.H., & Smith, D. (1978). *predicting rainfall erosion. Losses: a guide to* Washington, Dc, 5
- Zonta, R., Collavini, P., Collavini, L., and Zuliani, A. (2005). *The effect of floods on the transport of suspended sediments and contaminants: A case study from the estuary of the Dese River (Venice Lagoon, Italy)*. *Environment International Journal*. 31 :7.94

