

مقایسه نتایج برآورد هدررفت سالانه مدل RUSLE با داده‌های به‌دست‌آمده از میخ‌ها و کرت‌های فرسایش در حوضه آبخیز معرف خامسان

محسن خورسند^۱، عبدالواحد خالدی درویشان^{۲*} و مهدی غلامعلی فرد^۳

۱. دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس، نور

۲. استادیار، گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس، نور

۳. استادیار، گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تربیت مدرس، نور

(تاریخ دریافت ۱۳۹۵/۰۹/۱۰؛ تاریخ تصویب ۱۳۹۵/۱۰/۱۰)

چکیده

پژوهش حاضر به منظور مقایسه هدررفت خاک سالانه برآوردی مدل RUSLE با اندازه‌گیری‌های فرسایش به‌دست‌آمده از میخ‌ها و کرت‌های فرسایش در حوضه آبخیز معرف خامسان در استان کردستان انجام شد. بدین منظور هدررفت خاک سالانه به صورت توزیعی با استفاده از مدل RUSLE برآورد شد. سپس، به مدت یک سال (تیر ۱۳۹۴ تا خرداد ۱۳۹۵) نمونه‌برداری از رسوب معلق در ایستگاه هیدرومتری خروجی حوضه آبخیز انجام شد. همچنین فرسایش در میخ‌ها و کرت‌های مستقر در جهت‌های شمالی، غربی و شرقی در زیرحوضه شاهد در بازه زمانی مشابه اندازه‌گیری شد. نسبت تحویل رسوب از تقسیم بار کل رسوب حوضه آبخیز به فرسایش به‌دست‌آمده از سه روش RUSLE، میخ و کرت محاسبه شد. نتایج نشان داد در روش کرت، فرسایش تعمیم‌یافته به کل حوضه سالانه ۰/۰۶ تن در هکتار، بسیار کمتر از واقعیت و SDR بسیار زیاد و غیرمنطقی (۶۵۵ درصد) بود. همچنین در روش میخ، فرسایش تعمیم‌یافته به کل حوضه سالانه ۷۶/۷۹ تن در هکتار، بسیار بیشتر از واقعیت و نسبت تحویل رسوب بسیار کم (۰/۵۱ درصد) بود. حال آنکه در مدل RUSLE، نسبت تحویل رسوب قابل قبول‌تر ۲/۲۱ درصد به‌دست آمد و بنابراین فرسایش برآوردی مدل سالانه ۱۸/۵۳ تن در هکتار و به واقعیت نزدیک‌تر بود. بنابراین، تعمیم نتایج میخ‌ها و کرت‌ها فقط با لحاظ نسبت مساحت نمی‌تواند برآورد مناسبی برای فرسایش در سطح حوضه باشد. بررسی توپوگرافی حوضه آبخیز نشان داد مناطق کم‌شیب میانی و انتهایی حوضه آبخیز احتمالاً عامل اصلی تله‌اندازی رسوب و کاهش نسبت انتقال رسوب به خروجی حوضه آبخیز است.

کلیدواژگان: انتقال رسوب، تحویل رسوب، تله‌اندازی رسوب، نسخ مختلف USLE، هدررفت خاک.

مقدمه

کنده شدن ذرات خاک از محل اولیه و انتقال آنها به محیط جدید تحت تأثیر عوامل مختلف مثل آب، باد و دیگر عوامل طبیعی و مصنوعی را فرسایش گویند. خاک در زندگی انسان و موجودات دیگر به قدری اهمیت دارد که می‌توان آن را گوهر گران‌بهای طبیعت نام گذاشت. فرسایش خاک تهدیدی عمده برای پایداری اقتصادی و محیط زیستی جهانی است [۱]. ارزیابی و برآورد میزان فرسایش و تولید رسوب سالانه، به منظور اجرای برنامه‌های حفاظت خاک، تعیین روش‌های مبارزه با فرسایش و کاهش رسوب‌زایی ضرورت دارد [۲]. نبود و یا کمبود آمار و اطلاعات در زمینه فرسایش خاک و تولید رسوب در بسیاری از حوضه‌های آبخیز کشور، به‌کارگیری روش‌های تجربی مناسب برای برآورد فرسایش خاک و تولید رسوب را الزامی می‌کند.

پژوهش‌های گسترده‌ای در زمینه علت و برآورد فرسایش خاک در حوضه‌های آبخیز از اوایل قرن بیستم شروع شد و در نهایت به ارائه رابطه جهانی هدررفت خاک^۱ منجر شد [۳]. پژوهشگران متعددی مدل USLE را به دلیل کاربردی و قابل اعتماد بودن، مدلی عالی برای برآورد فرسایش خاک در نظر گرفته‌اند [۴]. اگرچه استفاده از USLE محدودیت‌های مختلف دارد، به دلیل اینکه در عین سادگی، روشی قوی است و مشکل دسترسی به داده‌ها را حل می‌کند، بنابراین در مناطق مختلف به‌طور گسترده استفاده شده است [۵]. به‌منظور کاهش محدودیت‌های مدل USLE و بهبود عملکرد آن، مدل RUSLE با استفاده از اطلاعات ایستگاه‌های هواشناسی نقاط بیشتری از جهان تهیه شد. نسخه تجدید نظر و به‌روزرسانی شده معادله جهانی هدررفت خاک^۲ به‌طور گسترده‌ای استفاده می‌شود. مدل RUSLE روشی است که بر پایه معادله تجربی جهانی هدررفت خاک بنا نهاده شده است. اعتقاد بر این است که هر جا مقادیر عددی عوامل در دسترس باشد، قابل اجراست [۶]. در مدل RUSLE با حفظ عوامل USLE تغییراتی در هر یک از عوامل آن صورت گرفته است که این مدل برای محاسبه فرسایش سطحی و شیاری استفاده می‌شود.

مشاهدات نشان می‌دهند تولید رسوب اندازه‌گیری شده در خروجی حوضه اغلب کمتر از میزان فرسایش خاک اندازه‌گیری شده به‌وسیله روش کرت مستقر روی دامنه است.

این بدان معناست که بسیاری از رسوبات در فاصله‌ای کوتاه جابه‌جا و سپس ترسیب می‌شوند. نسبت تحویل رسوب^۳ برای اصلاح اثر این کاهش استفاده شده است [۷]. این نسبت نشانگر بخشی از فرسایش است که در یک فاصله زمانی معین از حوضه آبخیز انتقال داده شده و به خروجی سطح بررسی شده رسیده است. هر قدر که حوضه آبخیز بزرگ‌تر می‌شود، اندازه‌گیری مستقیم رسوب تولیدشده حوضه به‌طور فزاینده‌ای دشوارتر است و استفاده از معادلات فرسایش خاک غیرقابل اعتمادتر می‌شود. به‌طور کلی، به دلیل اینکه با افزایش مساحت حوضه شیب متوسط آن کاهش می‌یابد، نسبت تحویل رسوب با افزایش اندازه حوضه کم می‌شود [۸]. در خصوص محاسبه نسبت تحویل رسوب علاوه بر اندازه‌گیری رسوب در خروجی سطح بررسی شده، برآورد و یا اندازه‌گیری مناسبی از فرسایش نیاز است. برای این منظور می‌توان از اندازه‌گیری فرسایش با استفاده از روش‌های موجود از قبیل کرت‌های فرسایش در واحدهای کاری مختلف و یا مدل برای برآورد فرسایش در مقیاس حوضه آبخیز بهره‌مند شد. در این زمینه، فن سنجش از دور^۴ تصاویر ماهواره‌ای می‌تواند از طریق ارائه داده‌های مکانی دقیق‌تر به افزایش صحت نتایج کمک کند. از ماهواره‌ها می‌توان اطلاعات مفیدی برای استفاده در مدل‌های فرسایش استخراج کرد [۹]. همچنین به‌منظور به‌کارگیری داده‌هایی از قبیل وضعیت کاربری اراضی و پوشش زمین و مدل رقومی ارتفاع^۵ و دیگر ویژگی‌های توپوگرافی در مدل‌های فرسایش خاک در مقیاس حوضه‌های آبخیز، می‌توان از سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی^۶ استفاده کرد [۱۰]. سامانه اطلاعات جغرافیایی نمایشی رقومی از حوضه آبخیز را مهیا می‌کند و نوعی فناوری است که برای ذخیره‌سازی، تغییر و نمایش داده‌های مکانی و غیرمکانی طراحی شده است و به ابزاری مهم در تجزیه و تحلیل فضایی عواملی مانند توپوگرافی، خاک، کاربری اراضی و پوشش زمین تبدیل شده است که می‌تواند در مدل‌سازی هیدرولوژیکی استفاده شود [۱۱]. در سال‌های اخیر پژوهش‌هایی برای امکان‌سنجی استفاده از مدل‌های USLE و RUSLE در برآورد نسبت تحویل رسوب به‌وسیله سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی صورت گرفته است.

3. Sediment Delivery Ratio (SDR)
4. Remote Sensing (RS)
5. Digital Elevation Model (DEM)
6. Geographic Information System (GIS)

1. Universal Soil Loss Equation (USLE)
2. Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)

و سامانه اطلاعات جغرافیایی در مقایسه با نتایج دیگر مدل‌های برآورد فرسایش، عملکرد مناسب‌تری دارد. بدین‌منظور Abdul Rahman و همکارانش نیز با مطالعه‌ای در حوضه آبخیز Bhavani در هند به برآورد متوسط هدررفت خاک سالانه با استفاده از مدل RUSLE و در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی پرداختند [۱۷]. ایشان تهیه نقشه‌های تغییرات مکانی هدررفت سالانه خاک در سطح حوضه آبخیز را به‌عنوان یکی از دستاوردهای استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی در تلفیق با مدل‌های هدررفت خاک عنوان کردند. در داخل کشور نیز Zandi و همکارانش با استفاده از مدل RUSLE و بهره‌گیری از قابلیت‌های سامانه اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور، توزیع مکانی هدررفت خاک در حوضه آبخیز وازرود در استان مازندران را با دقت ۹۰ درصد تعیین کردند [۱۸]. Rahimi و Mazbani تغییرات فرسایش حوضه آبخیز سیوند طی سال‌های ۱۹۸۸ تا ۲۰۰۹ را با استفاده از مدل RUSLE و بهره‌گیری از تصاویر ماهواره‌ای TM^۱ برای سال ۱۹۹۸ و ETM^۲ برای سال ۲۰۰۹ ارزیابی کردند [۱۹]. Rokhbin و همکارانش در مطالعه و بررسی فرسایش خاک و بار رسوب حوضه آبخیز لاورفین استان هرمزگان از مدل USLE در چارچوب سامانه اطلاعات جغرافیایی استفاده کردند [۲۰]. همه نقشه‌های C, LS, K, R و P در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی تهیه و سپس با هم تلفیق شدند. بررسی نقشه خطر فرسایش نشان داد میزان خطر فرسایش خاک در سطح حوضه سالانه از صفر تا ۷۱۱۵ تن در هکتار متغیر بوده است. مقایسه متوسط بار رسوب برآوردشده در روش‌های USDA^۳، MPSIAC^۴، EPM^۵ با نتایج RUSLE نشان داد تلفیق مدل RUSLE با سامانه اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور به افزایش قابلیت آن در برآورد میزان فرسایش و بار رسوب منجر شد. Rezaei و همکارانش به برآورد فرسایش خاک با استفاده از مدل RUSLE و شناسایی مؤثرترین عامل آن در حوضه آبخیز گابریک در استان هرمزگان پرداختند [۲۱]. نتایج این پژوهش ضمن تأیید قابلیت فراوان سامانه اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور را برای ایجاد داده‌های مورد نیاز ورودی به

بدین‌منظور Pandey و همکارانش [۱۲] در هندوستان برای شناسایی مناطق بحرانی فرسایش خاک در حوضه‌های کوچک کشاورزی از USLE، سامانه اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور استفاده کردند. نتایج نشان داد در مناطق مختلف اختلاف رسوب برآوردی مدل نسبت به مقادیر مشاهده‌ای از ۱/۳۷ تا ۱۳/۸ درصد متغیر بوده است. همچنین Weifeng و [Bingfang ۱۰] با بررسی فرسایش خاک و نسبت تحویل رسوب با استفاده از سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی نشان دادند از جمله مزیت‌های این روش استفاده از نوعی چارچوب سامانه اطلاعات جغرافیایی مبتنی بر داده‌های رستری است که بررسی تأثیر یک عامل منفرد بر کل معادله را ممکن می‌سازد و به‌آسانی می‌توان با داده‌های به‌هنگام‌شده نتایج را بهبود بخشید. Kouli و همکارانش [۱۳] در جزیره Crete در شمال غرب چین از مدل RUSLE در چارچوب سامانه اطلاعات جغرافیایی و با به‌کارگیری سنجش از دور به‌منظور برآورد فرسایش خاک استفاده کردند. نتایج نشان داد فرسایش خاک برآوردی RUSLE در منطقه مد نظر با نتایج به‌دست‌آمده در حوضه‌های مدیرانه با ویژگی‌های مشابه مطابقت دارد. Bahadur [۱۴] با استفاده از سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی پتانسیل فرسایش خاک در حوضه آبخیزی واقع در شمال تایلند را پهنه‌بندی کرد. حوضه بررسی‌شده به‌دلیل ناهمگنی از لحاظ هیدرولوژیکی، توپوگرافی و جغرافیایی به شبکه‌ای از واحدهای همگن تفکیک و سپس فرسایش خاک در هر واحد با استفاده از مدل USLE برآورد شد. نتایج نشان داد بیشترین شدت فرسایش ناشی از تغییر الگوی کشت در منطقه است. Prasannakumar و همکارانش خطر فرسایش خاک در زیرحوضه آبخیز کوچک کوهستانی Karela در کشور هندوستان را با استفاده از مدل RUSLE و سامانه اطلاعات جغرافیایی برآورد کردند و به این نتیجه رسیدند که برآورد فرسایش خاک با روش RUSLE و سامانه اطلاعات جغرافیایی مبتنی بر سنجش از دور اگر با بررسی نمونه‌های میدانی همراه شود، می‌تواند سبب افزایش توانایی و دقت نتایج شود [۱۵]. Farhan و همکارانش فرسایش خاک را در حوضه آبخیز Kufranja واقع در شمال اردن با استفاده از مدل RUSLE و سامانه اطلاعات جغرافیایی برآورد کردند و برای اعتبارسنجی مدل نتایج به‌دست‌آمده را با برآوردهای دیگر مدل‌ها در شمال اردن مقایسه کردند [۱۶]. نتایج نشان داد نتایج مدل RUSLE مبتنی بر سنجش از دور

1. Thematic Mapper (TM)
2. Enhanced Thematic mapper plus (ETM⁺)
3. United States Department of Agriculture (USDA)
4. Modified Pacific Southwest Inter Agency Committee (MPSIAC)
5. Erosion Potential Method (EPM)

شده است [۲۶]. این حوضه در زون ۳۸، در حد واسط ۴۷ درجه و ۴۵ دقیقه تا ۴۷ درجه، ۱۰ دقیقه و ۴۴ ثانیه طول شرقی و ۳۴ درجه، ۵۷ دقیقه و ۵۱ ثانیه تا ۳۵ درجه ۱ دقیقه و ۲۹ ثانیه شمالی واقع شده است (شکل ۱) [۲۶].

داده‌های مورد نیاز برای اجرای مدل از جمله داده‌های مختص به خاک، پوشش گیاهی و کاربری اراضی از مطالعات تفصیلی اجرایی حوضه آبخیز معرف خامسان [۲۶]، نقشه توپوگرافی و مدل رقومی ارتفاع از سازمان نقشه‌برداری کشور و تصاویر ماهواره‌ای Landsat ماه‌های بررسی شده به صورت رایگان از سایت رسمی USGS دانلود شد. در نهایت، داده‌های بارش ایستگاه باران‌نگاری حوضه آبخیز خامسان از اداره منابع طبیعی استان کردستان تهیه شد. در دامنه‌های شمالی، شرقی و غربی زیرحوضه آبخیز شاهد و نمونه تعداد ۱۸ کرت با ابعاد تقریباً مشابه با کرت‌های استفاده‌شده در تهیه معادله جهانی هدررفت خاک نصب شده است. در پژوهش حاضر از داده‌های تعداد نه کرت موجود در زیرحوضه آبخیز شاهد همراه با داده‌های میخ‌های فرسایش در کنار کرت‌ها برای اندازه‌گیری فرسایش استفاده شد.

روش پژوهش

مدل RUSLE نوعی مدل برآورد فرسایش آبی در اراضی کشاورزی و همچنین مرتعی است که با شش عامل فرسایشی رابطه دارد (رابطه ۱) و می‌تواند به منظور برآورد فرسایش در پایه‌های زمانی مختلف به کار برده شود [۶].

$$A=R.K.L.S.C.P \quad (1)$$

در این معادله A، میانگین فرسایش خاک در واحد سطح در پایه زمانی مد نظر است که در پژوهش حاضر براساس پایه زمانی سالانه (سالانه تن در هکتار) برآورد شد.

عامل R: عامل فرساینده باران، نشان‌دهنده پتانسیل فرسایش ناشی از بارش باران در پایه زمانی مد نظر است. داده ایستگاه باران‌نگاری واقع در حوضه معرف خامسان که به صورت فواصل زمانی ۱۰ دقیقه‌ای ثبت می‌شود در پایه زمانی مد نظر جمع‌آوری شد. براساس راهنمای مدل رگبارهایی که مقدار ارتفاع بارندگی تجمعی آنها کمتر از ۱۲/۷ میلی‌متر بوده و بیش از شش ساعت با رگبار دیگر فاصله داشته باشند، حذف می‌شوند، مگر اینکه مقدار بارش طی ۱۵ دقیقه حداقل ۶/۳ میلی‌متر یا حداکثر شدت ۱۵ دقیقه‌ای آن ۲۴ میلی‌متر در ساعت یا بیشتر باشد [۲۷].

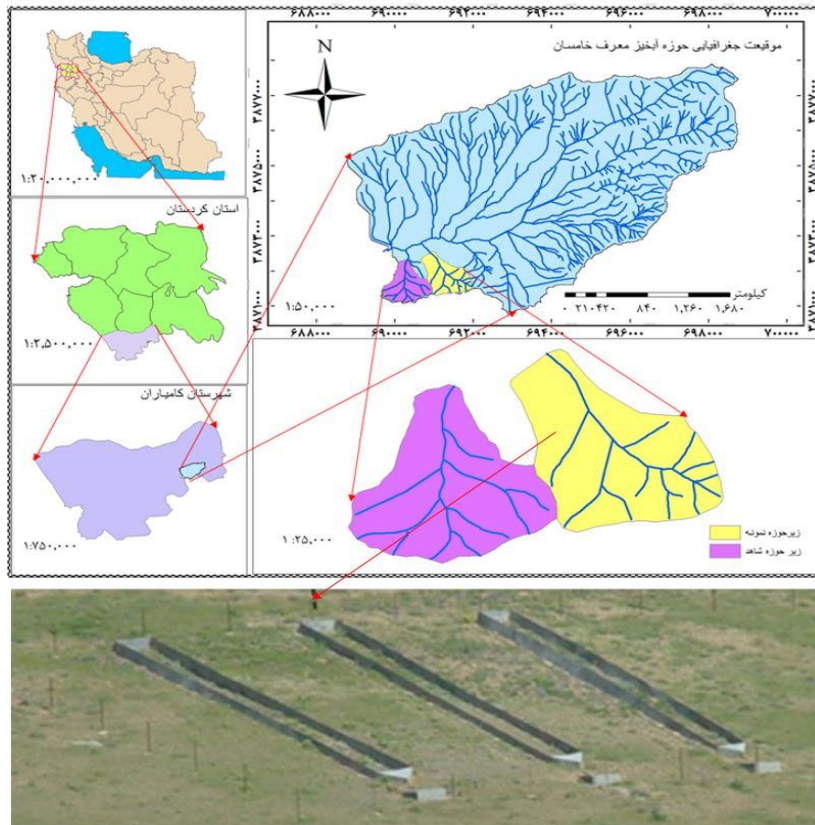
RUSLE، نشان‌دهنده کیفیت مناسب و قابلیت به‌روزرسانی زیاد برای داده‌های خروجی بود.

درباره نسبت تحویل رسوب در پایه‌های زمانی رگبار و سالانه نیز پژوهش‌هایی صورت گرفته‌اند که بیشتر از مدل‌های تجربی برای برآورد نسبت تحویل رسوب رگبار و یا متوسط سالانه نسبت تحویل رسوب استفاده کرده‌اند [۲۲] و [۲۳]. نتایج برخی پژوهش‌ها [۲۲، ۲۳ و ۲۴] نشان داد نسبت تحویل رسوب در طول هر رگبار متغیر است و Ramos-Scharron و McDonald نیز نشان دادند بار رسوبی برآوردشده به وسیله نسبت تحویل رسوب از آبخیزی به آبخیز دیگر تغییر می‌کند [۲۵]. بررسی سوابق نشان می‌دهد در مناطق مختلف جهان مقدار فرسایش و نسبت تحویل رسوب با استفاده از مدل‌های تجربی مبتنی بر سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی برآورد شده است و تعیین اعتبار آنها نیز از طریق مقایسه با فرسایش و رسوب گزارش‌شده از دیگر مدل‌های تجربی و در مواردی نیز با مقادیر مشاهداتی انجام شده است. همچنین مقایسه نتایج مدل‌های برآورد فرسایش، رسوب و نسبت تحویل رسوب با مقدار اندازه‌گیری‌شده آن کمتر مورد توجه قرار گرفته است. بنابراین، هدف از پژوهش حاضر، مقایسه مقدار برآوردی فرسایش مدل RUSLE با مقادیر مشاهده‌ای فرسایش به روش‌های کرت‌ها و میخ‌های فرسایش^۱ و همچنین محاسبه و مقایسه نسبت تحویل رسوب به دست آمده از سه روش یادشده است. بدین منظور رسوب خروجی حوضه آبخیز معرف خامسان به صورت روزانه و به مدت یک سال از تاریخ ۲۰۱۵/۷ تا ۲۰۱۶/۶ (تیر ۱۳۹۴ تا خرداد ۱۳۹۵) اندازه‌گیری شد و همچنین داده‌های مشاهده‌ای فرسایش به روش‌های میخ‌ها و کرت‌های فرسایش حوضه آبخیز در بازه زمانی مشابه تهیه و نتایج مقایسه و تحلیل شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مطالعه‌شده

حوضه آبخیز معرف خامسان با مساحت ۴۳۵۰/۴۹ هکتار در ۲۵ کیلومتری شمال شهرستان کامیاران در استان کردستان واقع شده است. بیشترین ارتفاع از سطح دریا ۲۳۸۰ متر و کمترین آن ۱۵۷۲ متر است. متوسط بارندگی و دمای سالانه به ترتیب ۳۴۵/۲ میلی‌متر و ۱۳/۲ درجه سانتی‌گراد برآورد



شکل ۱. موقعیت حوضه معرف خامسان و زیرحوضه‌های نمونه و شاهد و نمایی از کرت‌های فرسایش

هکتار میلی‌متر ساعت) و ΔVr تداوم رگبار (ساعت) است. مقدار e_r براساس i_r شدت رگبار (میلی‌متر در ساعت) از رابطه ۵ به‌دست می‌آید:

$$e_r = 0.29 [1 - 0.72 \exp(-0.05 i_r)] \quad (5)$$

براساس رابطه ۵ عامل فرساینده‌گی باران در نقطه ایستگاه کليماتولوژی حوضه آبخیز خامسان برآورد شد. سپس با توجه به دامنه تغییرات ارتفاع از سطح دریا در این حوضه (۱۵۷۷-۲۳۸۱ متر) و تأثیر این عامل بر پراکنش مقدار بارندگی، با استفاده از اطلاعات موقعیت، بارش و ارتفاع ایستگاه‌های هواشناسی جنوب استان کردستان، رابطه بین بارش و ارتفاع از سطح دریا به‌دست آمد. سپس با در نظر گرفتن رابطه بین بارش و عامل فرساینده‌گی باران (رابطه ۲)، نقشه پراکنش عامل R با استفاده از نقشه خطوط توپوگرافی تهیه شد [۲۸]. سپس در نرم‌افزار ArcGIS نسخه ۱۰/۴/۱ نقشه عامل R به‌صورت رستری تهیه شد.

عامل K: عامل فرسایش‌پذیری خاک، عبارت است از میزان هدررفت خاک در هر بارش در واحد شاخص فرسایش است و به مواد آلی، ترکیب خاک، نفوذپذیری و ساختار مقطع

برای محاسبه انرژی جنبشی رگبارها (E) و بیشترین شدت ۳۰ دقیقه‌ای آنها (I_{30}) از داده‌های باران‌نگاری استفاده شد. مقدار R در مدل RUSLE براساس شاخص فرساینده‌گی (I_{30}) مطابق روش ارائه‌شده از رابطه ۲ محاسبه شد [۶].

$$R = \frac{\sum_{i=1}^j (EI_{30})_i}{N} \quad (2)$$

که در آن $(EI_{30})_i$ شاخص فرساینده‌گی رگبار i (مگاژول میلی‌متر بر هکتار ساعت)، Z تعداد رگبارهای طی دوره N سال، E انرژی جنبشی رگبار (مگاژول بر هکتار) و I_{30} بزرگ‌ترین شدت ۳۰ دقیقه‌ای (میلی‌متر در ساعت) است. کل انرژی جنبشی رگبار (E) نیز از رابطه ۳ محاسبه می‌شود:

$$E = KE.d \quad (3)$$

که در آن KE انرژی رگبار در واحد عمق باران (مگاژول بر هکتار میلی‌متر) و d عمق رگبار (میلی‌متر) است. مقدار KE از رابطه ۴ به‌دست می‌آید:

$$KE = \sum_{i=1}^j e_r \Delta Vr \quad (4)$$

e_r انرژی رگبار در واحد عمق و مدت باران (مگاژول بر

$$NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED) \quad (۸)$$

در این رابطه NIR مقدار باند مادون قرمز نزدیک و RED مقدار باند قرمز است [۲۹].

در پژوهش حاضر از تصاویر ماهواره‌ای لندست سنجنده OLI استفاده شد و با توجه به اینکه تقریباً ۵۰ درصد از بارندگی در حوضه آبخیز خامسان مربوط به فصل پاییز است و بارندگی با شدت زیاد دارد از رابطه Durigon و همکارانش [۳۰] استفاده شد که برای مناطق بارندگی با شدت زیاد است (رابطه ۹).

$$C = \frac{-NDVI + 1}{2} \quad (۹)$$

عامل P: Wischmeier و Smith عامل مدیریت اراضی را به عنوان مقدار هدررفت خاک در واحد سطح یک زمین حفاظت‌شده به زمینی تعریف کردند که لخت باشد و در جهت تندترین شیب شخم خورده باشد [۳]. به‌طور عمده منظور از کارهای حفاظتی، کشت روی خطوط تراز، کشت نواری و تراس‌بندی است. هرچه مقدار این عامل کمتر باشد، کارهای حفاظتی مؤثرتر و هدررفت خاک کمتر است. چنانچه هیچ‌گونه کار حفاظتی صورت نگرفته باشد، مقدار این عامل یک در نظر گرفته می‌شود. در بخش‌هایی از حوضه آبخیز خامسان عملیات حفاظتی بانک‌بندی انجام شده است که مقادیر مناسب این نوع عملیات حفاظتی با استفاده از جدول‌های مربوط به آن در نظر گرفته شد. سایر مناطق حوضه کاربری‌های متنوعی دارند. این کاربری‌ها براساس فعالیت‌هایی که در آنها صورت می‌گیرد از لحاظ حفاظت خاک در سطح مختلفی قرار دارند. در پژوهش حاضر براساس یافته‌های Troeh و همکارانش [۳۱] برای هر کاربری مقدار مناسب عامل P در نظر گرفته شد. پس از اینکه نقشه‌های هر یک از عوامل مدل RUSLE در پایه زمانی یک‌ساله تهیه شدند، در نرم‌افزار ArcMap نسخه ۱۰/۴/۱ در یکدیگر ضرب و نقشه هدررفت خاک سالانه تهیه شد.

برای اندازه‌گیری بار معلق حوضه، برداشت نمونه آب و رسوب معلق با روش انتگراسیون عمقی [۳۲] با ظروف یک‌لیتری در خروجی حوضه آبخیز معرف خامسان به‌مدت یک سال (در ماه‌ها و فصول دارای بارندگی) به‌صورت روزانه انجام شد. برای اندازه‌گیری غلظت رسوب معلق از روش تخلیه آب استفاده شد [۲۲ و ۳۳]. برای این کار هر نمونه آب و رسوب به‌مدت ۲۴ ساعت ساکن قرار داده شد. سپس تا حد

عرضی آن بستگی دارد [۳]. عامل فرسایش‌پذیری K با استفاده از نمودار [۶] به‌روش تریسمی برآورد شد. در این روش فرسایش‌پذیری به عوامل مجموع درصد سیلت و شن خیلی ریز، درصد شن، درصد مواد آلی خاک، ساختمان خاک و نفوذپذیری خاک بستگی دارد.

واحدهای اراضی حوضه آبخیز خامسان براساس مشخصات پوشش خاکی، نوع مواد اولیه تشکیل‌دهنده خاک، شیب، ارتفاع از سطح دریا، پوشش گیاهی، نوع فرسایش و شدت آن، پستی و بلندی و شکل قله، آب و هوا، قابلیت اراضی و نیز تشریح پروفیل‌های خاک تفکیک شده‌اند [۲۶]. برای هر یک از اجزای اراضی با استفاده از داده‌های خاک و به کمک نمودار [۶] مقدار عامل K تعیین و نقشه عامل K نیز به‌صورت رستری تهیه شد.

عامل توپوگرافی (LS): عامل طول و تندی شیب در معادله RUSLE به‌عنوان عامل توپوگرافی در نظر گرفته می‌شود که طول شیب عبارت است از فاصله افقی از مبدأ جریان بالادست دامنه تا قسمتی از دامنه که شیب به مقدار شایان توجهی کاهش یابد و عمل رسوب‌گذاری آغاز شود یا اینکه جریان به درون کانال متمرکز شود. اغلب L و S همراه با یکدیگر به‌صورت LS و به نام عامل توپوگرافی در نظر گرفته شده و با استفاده از روابط ۶ و ۷ محاسبه می‌شوند [۳].

$$LS = \left(\frac{\lambda}{22/13} \right)^{1/5} (10/8 \sin \theta + 0.03) \quad s \leq 9\% \quad (۶)$$

$$LS = \left(\frac{\lambda}{22/13} \right)^{1/5} \left(\frac{\sin \theta}{0.0896} \right)^{1/4} \quad s > 9\% \quad (۷)$$

در این معادلات λ طول شیب است. در پژوهش حاضر با استفاده از نرم‌افزار SAGA GIS و با استفاده از مدل رقومی ارتفاع ۱۰ متر منطقه به‌عنوان ورودی نقشه عامل LS تولید شد.

عامل C: عامل مدیریت زراعی نشان‌دهنده تأثیرات پوشش گیاهی و بیانگر اثر کشت و شیوه‌های مختلف مدیریتی بر نرخ هدررفت خاک است. یکی از معیارهای پرکاربرد رویش گیاهی، شاخص تفاضل پوشش گیاهی نرمال شده NDVI^۱ است که با استفاده از فناوری سنسجس از دور به‌دست می‌آید. برای محاسبه NDVI تفاوت بازتاب بین مادون قرمز نزدیک و قرمز در نظر گرفته و با استفاده از رابطه ۸ محاسبه می‌شود.

مدل (RUSLE) و فرسایش مشاهده‌ای روش میخ‌ها و کرت‌های فرسایش، نسبت تحویل رسوب [۱۸] به‌صورت رابطه ۱۰ محاسبه شد.

$$SDR = \frac{Y}{E} \quad (۱۰)$$

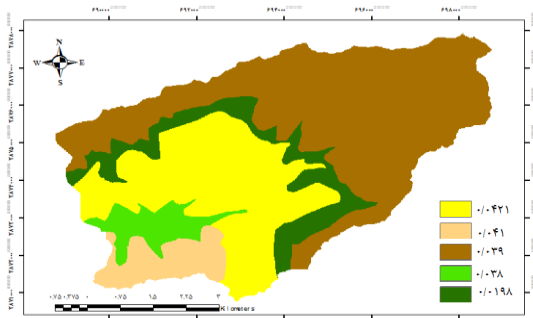
که در آن Y متوسط رسوب مشاهداتی در سطح حوضه آبخیز و E متوسط فرسایش رخ داده در همان سطح و در بازه زمانی مشابه (یک سال) است.

نتایج و بحث

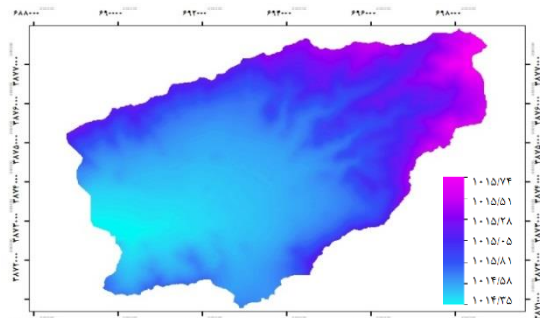
نقشه‌های عوامل فرساینده باران (R)، فرسایش‌پذیری خاک (K)، توپوگرافی (LS)، مدیریت زراعی (C) و مدیریت اراضی (P) به ترتیب در شکل‌های ۲-۶ ارائه شده‌اند.

امکان آب روی آن تخلیه و رسوب باقی‌مانده درون ظروف فلزی با وزن مشخص منتقل و به مدت ۲۴ ساعت در آون به دمای ۱۰۵ درجه سانتی‌گراد قرار داده شدند [۳۴ و ۳۵] و پس از توزین مجدد و با کم کردن وزن اولیه ظرف فلزی، مقدار غلظت رسوب معلق در واحد لیتر به‌دست آمد. سپس با توجه به دبی روزانه آب، دبی رسوب روزانه محاسبه و از مجموع رسوب روزانه متوسط، رسوب سالانه محاسبه شد. مقدار بار بستر از ضریب بار کف ثابت برابر درصدی از بار معلق [۳۲] در نظر گرفته شد و با بار معلق جمع و در نهایت رسوب‌دهی متوسط سالانه حوضه محاسبه شد.

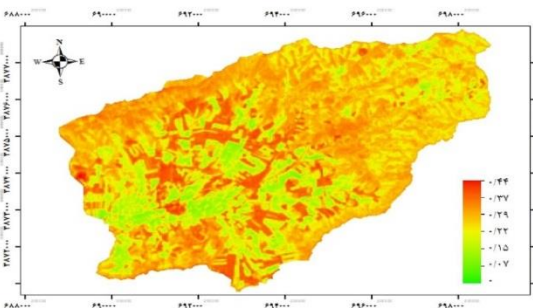
در مرحله بعد با در نظر گرفتن رسوب خروجی حوضه آبخیز معرف خامسان و مقادیر فرسایش برآوردی (حاصل



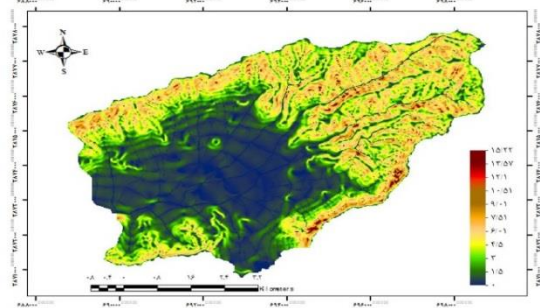
شکل ۳. نقشه عامل فرسایش‌پذیری خاک K



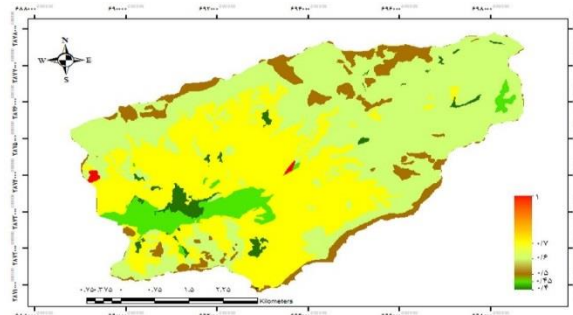
شکل ۲. نقشه عامل فرساینده باران R



شکل ۵. نقشه عامل مدیریت زراعی C



شکل ۴. نقشه عامل توپوگرافی LS

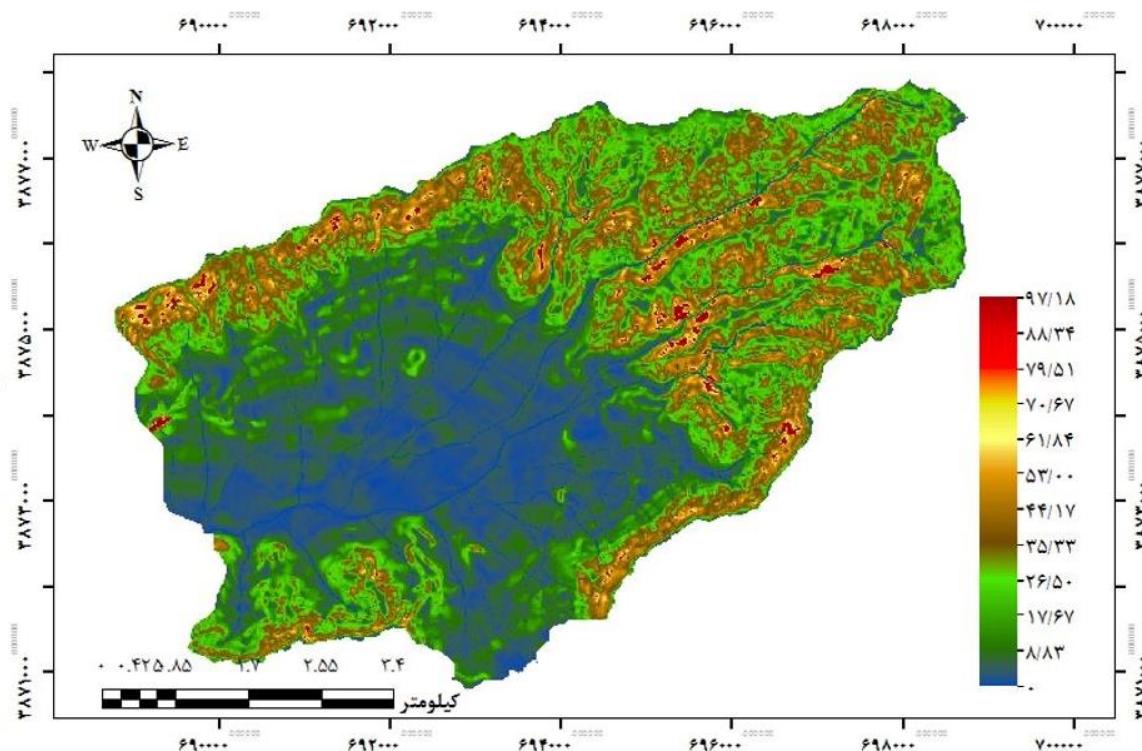


شکل ۶. نقشه عامل مدیریت عملیات حفاظتی P

رسوب خروجی در پایه زمانی یک سال به دست آمد و در جدول ۱ ارائه شد. مقدار رسوبدهی سالانه حوضه آبخیز خامسان (رسوب معلق) ۱۴۲۳/۲۳۷ تن در سال بود که با تقسیم بر مساحت آن (۴۳۵۰/۴۹ هکتار) رسوبدهی معلق ویژه حوضه براساس سالانه تن در هکتار محاسبه شد. سپس بار کف نیز به مقدار ۲۰ درصد بار معلق در نظر گرفته شد [۳۲].

هدررفت سالانه خاک برآوردی مدل RUSLE:

همان‌طور که در روش پژوهش ارائه شد، با ضرب شش عامل فرساینده‌گی باران، فرسایش‌پذیری خاک، طول و تندگی شیب، مدیریت زراعی و مدیریت اراضی، نقشه هدررفت سالانه خاک در مدل RUSLE برآورد شد (شکل ۷). نتایج فرسایش برآوردی مدل RUSLE و فرسایش مشاهده‌ای با روش‌های میخ‌ها و کرت‌های فرسایش و



شکل ۷. نقشه فرسایش برآوردی مدل RUSLE در پایه زمانی یک‌ساله

جدول ۱. فرسایش برآوردی و مشاهده‌ای و رسوبدهی ویژه حوضه آبخیز خامسان (تن در هکتار در سال)

فرسایش برآوردی برای کل حوضه	فرسایش مشاهده‌ای تعمیم داده شده به کل حوضه	رسوبدهی ویژه (بار معلق + بار کف)
مدل RUSLE	روش میخ‌های فرسایش	$0/327 + (0/2 \times 0/327)$
۱۸/۵۳	۷۶/۷۹	۰/۳۹۳
	روش کرت‌های فرسایش	
	۰/۰۶	

چراکه هدررفت خاک توسط رواناب بسیار کمتر صورت می‌گیرد و فرایند غالب حداقل در بخش زیادی از بالادست کرت، پاشمان است [۳۶]. مجموع عوامل یادشده سبب می‌شود شرایطی برای تراکم بیشتر پوشش گیاهی کرت‌ها فراهم شود که پوشش گیاهی به نوبه خود موجب کاهش اثر فرساینده‌گی باران و در نهایت موجب کاهش فرسایش اراضی محصور درون کرت‌ها می‌شود. همچنین در روش میخ

همان‌گونه که در جدول ۱ مشاهده می‌شود در روش کرت فرسایش، به دلیل محصور بودن و جلوگیری از ورود رواناب بالادست به آن و نیز افزایش تراکم پوشش گیاهی به دست آمده از قرق، فرسایش تعمیم یافته به کل حوضه (۰/۰۶ تن در هکتار در سال) بسیار کمتر از واقعیت برآورد شد. واردنشدن رواناب بالادست به کرت شرایطی را ایجاد می‌کند که قابل تعمیم به کل دامنه‌های حوضه آبخیز نیست

موارد محدودی همراه با نشانه‌هایی از فرسایش شیلی است و بنابراین مقدار فرسایش بیشتر از سطح محصور کرت بوده است. این نتایج با یافته‌های [۳۷] و [۳۶] مبنی بر اینکه در بالادست دامنه‌ها پاشمان و در پایین‌دست دامنه رواناب عامل غالب جدایش و انتقال ذرات خاک هستند و هر چه طول دامنه بیشتر باشد، عمق رواناب و احتمال وقوع فرسایش بین شیلی و سطحی و یا حتی شیلی بیشتر است، هم‌خوانی دارد.

حال آنکه در مدل RUSLE به دلیل کاربرد توزیعی در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی و در نظر گرفتن تمام سطح حوضه در محاسبه هدررفت خاک سالانه، فرسایش برآوردی به مقدار سالانه ۱۸/۵۳ تن در هکتار به واقعیت منطقه نزدیک‌تر و رقمی قابل قبول است. در این مدل عوامل اصلی تأثیرگذار در فرسایش برای هر نقطه از سطح حوضه آبخیز با سنجش تصاویر ماهواره‌ای و در مراحل مختلف برآورد فرسایش صحت داده‌های ورودی در سامانه اطلاعات جغرافیایی بررسی می‌شود.

با توجه به مقادیر فرسایش و رسوب ارائه‌شده در جدول ۱، مقدار نسبت تحویل رسوب با در نظر گرفتن فرسایش برآوردی RUSLE و مشاهده‌ای میخ‌ها و کرت‌ها محاسبه شد (جدول ۲).

فرسایش، به دلیل وجود منابع خطای متعدد در اندازه‌گیری و فرایندهای یخ‌زدگی و ذوب مجدد خاک و تأثیر حضور سنگ‌ریزه در قرائت ارتفاع میخ‌ها، فرسایش تعمیم‌یافته به کل حوضه (۷۶/۷۹ تن در هکتار در سال) بسیار بیشتر از واقعیت برآورد شد. فرسایش خاک اندازه‌گیری‌شده در روش میخ‌های فرسایش حدود ۱۲۸۰ برابر فرسایش خاک اندازه‌گیری‌شده در روش کرت‌های فرسایش است؛ ضمن اینکه به دلایل گفته‌شده، نتایج هر دوی این روش‌ها غیرمنطقی است و قابل قبول نیست. نکته مهم اینکه برخلاف شرایط کرت، سطح میدان‌های میخ فرسایش محصور نیست و می‌تواند تحت تأثیر پاسخ هیدرولوژیکی و رواناب دامنه بالادست خود قرار گیرد. فاصله بالادست دامنه تا میخ‌های فرسایش در میدان‌های میخ مختلف نیز زیاد است و همین امر سبب شده مقدار حجم و عمق رواناب در سطح میدان‌های میخ بیشتر شود و نیروی رواناب به‌عنوان عامل اصلی فرسایش بین شیلی، همراه با پاشمان در جدایش و حمل ذرات سطح خاک مشارکت کرده است. از طرف دیگر، ضخامت متوسط رواناب موجب شده است که در جهت کاهش نیروی تخریبی قطرات باران هنگام برخورد به سطح خاک و در نتیجه کاهش پاشمان عمل کند [۲، ۳۷، ۳۸، ۳۹، ۴۰، ۴۱ و ۳۶]. به همین دلیل فرسایش غالب در سطح میدان میخ بین شیلی (سطحی) و یا حتی در

جدول ۲. نسبت تحویل رسوب یک‌ساله با استفاده از فرسایش برآوردی مدل RUSLE و روش‌های مشاهده‌ای میخ‌ها و کرت‌های فرسایش

روش برآورد یا اندازه‌گیری فرسایش	مدل RUSLE	میخ‌های فرسایش	کرت‌های فرسایش
نسبت تحویل رسوب (درصد)	۲/۱۲	۰/۵۱	۶۵۵

نیست [۳۷]. نتایج نسبت تحویل رسوب فرسایش برآوردی مدل RUSLE نسبت به دو روش دیگر بهتر و نزدیک‌تر به منطق حاکم بر فرایند فرسایش و انتقال رسوب است [۱۰]. همان‌طور که در جدول ۲ مشاهده می‌شود به‌زای فرسایش برآوردی حوضه آبخیز خامسان با مدل RUSLE حدود ۲/۱۲ درصد رسوب به خروجی حوضه می‌رسد. البته، با در نظر گرفتن فرسایش برآوردی مدل RUSLE برای محاسبه نسبت تحویل رسوب نیز مقدار این نسبت بسیار کم است و قابل قبول نیست. بررسی توپوگرافی حوضه آبخیز نشان داد مناطق کم‌شیب میانی و انتهایی حوضه آبخیز احتمالاً عامل اصلی تله‌اندازی رسوب و کاهش نسبت انتقال رسوب به

نسبت تحویل رسوب با استفاده از فرسایش مشاهده‌ای کرت‌های فرسایش ۶۵۵ درصد است که بیانگر این است که رسوب خروجی از حوضه آبخیز ۶/۵۵ برابر بیشتر از فرسایش خاک اندازه‌گیری‌شده در کرت‌هاست. این نسبت‌ها نشان‌دهنده خطای زیاد در نظر گرفتن و تعمیم رسوب خروجی کرت‌ها به‌عنوان فرسایش برای کل حوضه آبخیز است و دلایل این خطا قبلاً گفته شد [۳۶ و ۴۲]. همچنین در روش میخ‌های فرسایش نیز نسبت تحویل رسوب بسیار کم و بیانگر آن است که تنها ۰/۵۱ درصد از فرسایش خاک به خروجی حوضه می‌رسد که این مقدار نیز غیرمنطقی است و با هیچ‌یک از مدل‌های تخمین نسبت تحویل رسوب سازگار

فرسایش شده است و بنابراین نمی‌توان به‌سادگی و فقط با در نظر گرفتن نسبت مساحت کرت به حوضه آبخیز، نتایج را تعمیم داد. نتایج به‌دست‌آمده در حوضه آبخیز خامسان نشان داد در صورتی که فقط با در نظر گرفتن نسبت مساحت کرت به مساحت حوضه، نتایج هدررفت خاک از کرت و یا تغییرات عمق خاک اطراف میخ‌های فرسایش به کل حوضه تعمیم داده شود، نتایج به‌ترتیب با بیش تخمینی و یا کم تخمینی زیادی همراه خواهد بود. با توجه به نتایج و تحلیل ارائه‌شده، ارائه هرگونه راه‌کار و عملیات حفاظتی با استفاده از تعمیم خطی داده‌های کرت‌ها و میخ‌های فرسایش به کل حوضه آبخیز با شکست همراه است. این در حالی است که سالانه هزینه زیادی صرف نگهداری و آماربرداری از کرت‌ها و میخ‌های فرسایش و به‌دست‌آوردن این داده‌ها می‌شود.

منابع

- [1]. Rahman, M.R., Shi, Z.H., and Chongfa, C., 2009. Soil erosion hazard evaluation-an integrated use of remote sensing, GIS and statistical approaches with biophysical parameters towards management strategies. *Ecological Modelling*, 220(13): 1724-1734.
- [2]. Refahi, H. (1996). Water erosion and its control. Tehran University Press. 167P. (In Persian).
- [3]. Wischmeier, W.H., and Smith, D.D., 1978. Predicting rainfall erosion losses - A guide to conservation planning. *Agricultural Handbook No. 537*. United States Department of Agriculture Washington DC, 58 P.
- [4]. Oliveira, P.T.S., Wendland, E., and Nearing, M.A. 2013. Rainfall erosivity in Brazil: A review. *Catena*, 100: 139-147.
- [5]. Gitas, I.Z., Douros, K., Minakou, C., Silleos, G.N., and Karydas, C.G., 2009. Multi-temporal soil erosion risk assessment in N. Chalkidiki using a modified USLE raster model. *EARSeL Proceedings*, 8(1): 40-52.
- [6]. Renard, K.G., Foster, G.R., Weesies, G.A., and McCool, D.K., 1996. Predicting soil erosion by water. A guide to conservation planning with the revised universal soil loss equation (RUSLE). *Agricultural Handbook 703*. US Govt Print Office, Washington, DC, 383 P.
- [7]. Lu, H., Moran, C.J., and Prosser, I.P., 2006. Modelling sediment delivery ratio over the Murray Darling Basin. *Environmental Modelling and Software*, 21(9): 1297-1308.

خروجی حوضه آبخیز است. رواناب از دامنه‌های پرشیب به نسبت زیاد به یک‌باره وارد منطقه کم‌شیب و دشت میانی حوضه آبخیز می‌شود و به دلیل کاهش شدید سرعت و انرژی رواناب، درصد شایان توجهی از بار معلق ته‌نشین می‌شود [۳]. به همین دلیل احتمالاً حجم زیادی از رسوب در این مناطق به دام می‌افتد و در نهایت رسوبی که به خروجی حوضه می‌رسد، درصد کمی از فرسایش است.

در پژوهش حاضر همچنین مدل RUSLE نیز برای برآورد هدررفت سالانه خاک حوضه آبخیز خامسان استفاده شد. اعتقاد بر این است که هر جا مقادیر عددی عوامل در دسترس باشد، مدل RUSLE قابل اجرا و دارای نتایج قابل قبول است [۶]. مدل RUSLE در مناطق مختلف جهان با شرایط متفاوت آب و هوایی، خاک و مدیریت زراعی بررسی شده و نتایج نشان داده است که این مدل بهترین روش برای برآورد روند فرسایش خاک است [۲۸]. تأکید شده است که با استفاده از مدل RUSLE با صرف کمترین هزینه و زمان می‌توان به نتایج بهتری نسبت به روش‌های اندازه‌گیری در مقیاس کوچک دست یافت. نتایج پژوهش حاضر ضمن تأیید نتایج یادشده در خصوص کارایی مدل RUSLE، بر اصلاح آماربرداری از کرت‌ها و میخ‌های فرسایش برای کاهش منابع خطا و به‌ویژه امکان‌سنجی و روش صحیح تعمیم نتایج به کل حوضه آبخیز تأکید دارد. همچنین به منظور سرعت‌بخشیدن به ارزیابی و پایش در پایه زمانی کوتاه‌تر و گستره وسیع‌تری از کشور، لازم است تلفیقی از داده‌های مشاهده‌ای نقطه‌ای از قبیل میخ و کرت و نتایج برآوردی مدل‌های توزیعی به‌صورت مکمل و با لحاظ مقیاس مد نظر قرار داده شوند.

نتیجه‌گیری

هدف از پژوهش حاضر صحت‌سنجی روش‌های معمول اندازه‌گیری و برآورد فرسایش در حوضه‌های معرف زوجی کشور بود که به‌صورت موردی حوضه آبخیز معرف خامسان بررسی شد. نتایج به‌دست‌آمده نشان داد از طرفی منابع خطای اندازه‌گیری در روش‌های معمول استفاده‌شده شامل روش کرت‌ها و میخ‌های فرسایش بسیار زیاد است و در مواردی شرایط فرسایشی بررسی‌شده در کرت‌ها و سطوح میخ‌گذاری شده با حالت متوسط سطح حوضه آبخیز تفاوت زیادی دارند. از طرف دیگر، تغییر مقیاس از کرت به دامنه و حوضه آبخیز موجب تغییر در شدت و سهم فرایندها و انواع

- [8]. Kasai, M., Marutani, T., Reid, L.M., and Trustrum, N.A., 2001. Estimation of temporally averaged sediment delivery ratio using aggradational terraces in headwater catchments of the Waipaoa River, North Island, New Zealand. *Earth Surface Processes and Landforms*, 26(1): 1-16.
- [9]. Vrieling, A., 2006. Satellite remote sensing for water erosion assessment: A review. *Catena*, 65(1): 2-18.
- [10]. Weifeng, Z., and Bingfang, W., 2008. Assessment of soil erosion and sediment delivery ratio using remote sensing and GIS: a case study of upstream Chaobaihe River catchment, north China. *International Journal of Sediment Research*, 23(2): 167-173.
- [11]. Jain, S.K., Kumar, S., and Varghese, J., 2001. Estimation of soil erosion for a Himalayan watershed using GIS technique. *Water Resources Management*, 15(1): 41-54.
- [12]. Pandey, A., Chowdary, V.M., and Mal B.C., 2007. Identification of critical erosion prone areas in the small agricultural watershed using USLE, GIS and remote sensing. *Water Resources Management*, 21(4): 729-746.
- [13]. Kouli, M., Soupios, P., and Vallianatos, F. 2009. Soil erosion prediction using the revised universal soil loss equation (RUSLE) in a GIS framework, Chania, Northwestern Crete, Greece. *Environmental Geology*, 57(3): 483-497.
- [14]. Bahadur, K.K., 2009. Mapping soil erosion susceptibility using remote sensing and GIS: a case of the Upper Nam Wa Watershed, Nan Province, Thailand. *Environmental Geology*, 57(3): 695-705.
- [15]. Prasannakumar, V., Vijith, H., Abinod, S., and Geetha, N., 2012. Estimation of soil erosion risk within a small mountainous sub-watershed in Kerala, India, using Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) and geo-information technology. *Geoscience Frontiers*, 3(2): 209-215.
- [16]. Farhan, Y., Zregat, D. and Farhan, I., 2013. Spatial estimation of soil erosion risk using RUSLE approach, RS, and GIS techniques: a case study of Kufranja Watershed, Northern Jordan. *Journal of Water Resource and Protection*, 5(12): 1247.
- [17]. Abdul Rahaman, S., Aruchamy, S., Jegankumar, R. and Abdul Ajeez, S., 2015. Estimation of Annual Average Soil Loss, Based on RUSLE Model in Kallar Watershed, Bhavani Basin, Tamil Nadu, India. *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol II-2/W2: 207-214.
- [18]. Zandi, J., Habibnezhad, M. and Solaimani, K., 2013. Assessment of Soil Erosion Risk Map and its relationship with environmental factors (case study: Vazrud watershed, Mazandaran). *Rangeland Watershed Management*, 66(3): 401-415. (In Persian).
- [19]. Rahimi, Kh., and Mazbani, M., 2013. Assess changes Sivand basin erosion during the years 1988 to 2009 using the model RUSLE. *Journal of Environmental Erosion Research*, 3(1): 1-18. (In Persian).
- [20]. Rokhbin, M., Nohegar, A., Kamali, A.R., and Habibollahian, M.H., 2014. Evaluating the Amount of Erosion and Sediment in Lavarefin Watershed (Hormozgan Province) By Using Remote sensing (RS), Geographic Information System (GIS), and Empirical Model (RUSLE). *Geographical Research*, 29(114): 89-104.
- [21]. Rezaei, P., Faridi, P., Ghorbani, M., Kazemi, M., 2014. Soil erosion using models and identify the most effective factor in watershed RUSLE Gabric-southeast province. *Quantitative geomorphological researches*, 3(1): 97-113. (In Persian)
- [22]. Sadeghi, S.H.R., Gholami L., and Khaledi Darvishan A., 2008. Compare Estimation Methods of delivery Chhlgzy watershed dam winter storm in Kurdistan. *Journal of Water and Soil (Agricultural Sciences and Technology)*, 22(1): 141-150. (In Persian)
- [23]. Gholami, L., Sadeghi, S.H.R., and Khaledi Darvishan, A., 2009. Modeling Storm-Wise Sediment Delivery Ratio Model in Chehelgazi Watershed by using Climatic and Hydrologic Characteristics. *Agricultural Sciences and Natural Resources*, 16(2): 253-260. (In Persian)
- [24]. Chang, M. 2006. *Forest hydrology: an introduction to water and forest*. Second Edition, Iowa State University, 474 P.
- [25]. Ramos-Scharron, C.E., and MacDonald, L.H. 2007. Development and Application of a GIS-Based Sediment Budget Model, *Environmental Management*, 84(2): 157-172.
- [26]. General Office of Natural Resources, Kurdistan Province, 2014. Final Report of Watershed Management Studies of Khamsan Representative Watershed, 124 P.
- [27]. Renard, K.G., Foster, G.R., Weesies, G.A., McCool, D.K. and Yoder D.C., 1997. *Predicting Soil Erosion by Water: A Guide to Conservation Planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)* (Agricultural Handbook 703). US Department of Agriculture, Washington, DC, 404 P.

- [28]. Cooper, K., 2011. Evaluation of the Relationship between the RUSLE R-Factor and Mean Annual Precipitation. http://www.engr.colostate.edu/~pierre/ce_old/Projects/linkfiles/CooperR-factor-Final.pdf (last access: 15 January 2015), 2011.
- [29]. Patil, R.J., and Sharma, S.K., 2013. Remote Sensing and GIS based modeling of crop/cover management factor (C) of USLE in Shakker river watershed. International Conference on Chemical, Agricultural and Medical Sciences (CAMS-2013) Dec. 29-30, 2013 Kuala Lumpur, Malaysia, 4 P.
- [30]. Durigon, V.L., Carvalho, D.F., Antunes, M.A.H., Oliveira, P.T.S. and Fernandes, M.M., 2014. NDVI time series for monitoring RUSLE cover management factor in a tropical watershed. International Journal of Remote Sensing, 35(2): 441-453.
- [31]. Troeh, F.R., Hobbs, J.A. and Donahue, R.L., 1980. Soil and water conservation for productivity and environmental protection. 3rd Edition. Prentice-Hall, Inc. 624 P.
- [32]. Mahdavi, M. (2011) Applied Hydrology. Vol. 2, 7th Edition, Tehran University Press, 437 P. (In Persian).
- [33]. Walling, D.E., Collins, A. L., Sickingabula, H.M., and Leeks, G.J.L., 2001. Integrated assessment of catchment suspended sediment budgets: a Zambian example. Land Degradation and Development, 12(5): 387-415.
- [34]. Romkens, M.J., Helming, K., and Prasad, S.N., 2002. Soil erosion under different rainfall intensities, surface roughness, and soil water regimes. Catena, 46(2): 103-123.
- [35]. Hartanto, H., Prabhu, R., Widayat, A.S., and Asdak, C., 2003. Factors affecting runoff and soil erosion: plot-level soil loss monitoring for assessing sustainability of forest management. Forest Ecology and Management, 180(1): 361-374.
- [36]. Khaledi Darvishan, A., Sadeghi, S.H., Homaei, M., and Arabkhedri, M., 2014. Measuring sheet erosion using synthetic color-contrast aggregates. Hydrological Processes. 28(15): 4463-4471.
- [37]. Mutchler, C. and Larson, C., 1971. Splash Amounts from Waterdrop Impact on a Smooth Surface. Water Resources Research, 7: 195-200.
- [38]. Zachar, D., 1982. Soil Erosion. Elsevier. Bratislava, Czechoslovakia, 548 P.
- [39]. Auerswald, K., 1993. Influence of Initial Moisture and Time since Tillage on Surface Structure Breakdown and Erosion of a Loessial Soil. Catena Supplement, 24: 93-101.
- [40]. Kinnell, P.I.A., 2005. Raindrop-Impact-Induced Erosion Processes and Prediction: A Review. Hydrological Processes, 19: 2815-2844.
- [41]. Ghahramani, A. Ishikawa, Y., Gomi, T. Shiraki, K., and Miyata, Sh., 2011. Effect of Ground Cover on Splash and Sheetwash Erosion over a Steep Forested Hillslope: A Plot-Scale Study. Catena, 85: 34-47.
- [42]. Parsons, A.J. and Stone, P.M., 2006. Effects of Intra-Storm Variations in Rainfall Intensity on Interrill Runoff and Erosion. Catena, 67: 68-78.