

ارزیابی اثرات تغییر کاربری اراضی بر فرسایش خاک با استفاده از مدل RUSLE در حوزه آبخیز چرداول در استان ایلام برای سالهای ۲۰۰۵ و ۲۰۲۰ پرداخته شده است.

مواد و روش‌ها

در پژوهش حاضر ابتدا عوامل مؤثر در مدل جهانی تجدید نظر شده فرسایش خاک به صورت لایه رستری تهیه شد. این عوامل شامل قدرت فرساینده‌ی باران، طول و درجه شیب، مدیریت پوشش گیاهی، فرسایش‌پذیری خاک و عملیات حفاظتی است. عامل فرساینده‌ی باران برای هر یک از ایستگاه‌های داخل و خارج از حوضه محاسبه شد و در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی با استفاده از روش پهنه‌بندی عکس فاصله لایه‌ی فرساینده‌ی باران تهیه شد. برای طول و درجه شیب از نقشه مدل رقومی ارتفاعی و نقشه جریان تجمعی استفاده شد. لایه فرسایش‌پذیری خاک با استفاده از نقشه بافت خاک حاصل شد. شاخص NDVI با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست هشت سنجنده OLI مربوط به سال ۲۰۲۰ و تصاویر ماهواره‌ای لندست پنج سنجنده ETM مربوط به سال ۲۰۰۵ و با استفاده از باندهای چهار و پنج (برای لندست هشت) و باندهای سه و چهار (برای لندست پنج) در نرم‌افزار سنچس از دور محاسبه شد و سپس عامل مدیریت زراعی در دو سال ۲۰۰۵ و ۲۰۲۰ حاصل شد. برای به دست آوردن عامل عملیات حفاظتی از نقشه کاربری اراضی در دو سال ۲۰۰۵ و ۲۰۲۰ استفاده شد و با توجه به هر کاربری ارزش حفاظتی آن مشخص شد. در مرحله بعد با ضرب این لایه‌ها در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی مقدار هدررفت سالیانه خاک برآورد شد. در نهایت به منظور تعیین مقدار فرسایش در هر کدام از کاربری‌ها در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی لایه فرسایش و کاربری مربوط به سال‌های ۲۰۰۵ و ۲۰۲۰ روی هم قرار داده شد.

نتایج و بحث

نتایج نشان داد که قدرت فرساینده‌ی باران ۲۲۰/۵ تا ۳۰۹/۸ مگاژول میلی‌متر بر هکتار ساعت، طول و درجه شیب صفر تا ۴۰۳/۷ در سطح پیکسل، مدیریت پوشش گیاهی ۰/۵۷ - ۰/۱۶ در سال ۲۰۰۵ و ۰/۶۱ - ۰/۱۸ در سال ۲۰۲۰، فرسایش‌پذیری خاک ۰/۰۶ - ۰/۰۳ تن هکتار ساعت بر هکتار مگاژول میلی‌متر و عملیات حفاظتی صفر تا یک برای هر دو سال ۲۰۰۵ و ۲۰۲۰ بودند. میانگین فرسایش در سال ۲۰۰۵، ۲۰/۲۳ تن بر هکتار در سال و این مقدار برای سال ۲۰۲۰، ۲۰/۱۳ تن بر هکتار در سال بود. اراضی بایر به

ارزیابی اثر تغییر کاربری اراضی بر فرسایش خاک با استفاده از مدل RUSLE در حوزه آبخیز چرداول ایلام

لیلا غلامی^{۱*}، عبدالواحد خالدی درویشان^۲، سعید درختی^۳
و محبوبه کیانی هرچگانی^۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۰/۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۱/۲۴

<https://doi.org/10.22034/18.65.1>

چکیده مبسوط

مقدمه

یکی از عوامل تأثیرگذار در کاهش تولیدات کشاورزی و تهدید امنیت غذایی فرسایش خاک است که در آن لایه حاصل‌خیز خاک از بین می‌رود. خطر فرسایش خاک بسته به توپوگرافی حوضه، ویژگی‌های خاک، شرایط آب و هوایی محلی، کاربری اراضی و شیوه‌های مدیریت زمین متفاوت است که تغییر کاربری اراضی به دلیل اینکه انسان در آن نسبت به سایر عوامل نقش بیش‌تری دارد؛ می‌تواند باعث تشدید فرسایش شود. تغییرات کاربری اراضی یکی از عوامل مهم در تغییر جریان هیدرولوژیکی و فرسایش خاک است. در اثر تغییر کاربری اراضی و تخریب پوشش گیاهی، قسمت اعظم نزولات تبدیل به رواناب شده، که علاوه بر هدررفت خاک و تولید رسوب باعث خسارات مالی و جانی فراوان ناشی از سیلاب نیز می‌شود. بنابراین، اطلاع از روند فرسایش در بازه‌های زمانی مختلف می‌تواند در تعیین الگوی پراکنش فرسایش و اثرات آن در گذر زمان کمک کند تا تصمیم‌گیران ضمن پایش و ارزیابی اقدامات انجام شده در زمینه حفاظت خاک و آب، تصمیمات مقتضی را برای شرایط فعلی و آتی حوزه‌های آبخیز اتخاذ کنند. بنابراین، در پژوهش حاضر به

۱- نویسنده مسئول، دانشیار، گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران. رایانامه: l.gholami@sanru.ac.ir

۲- دانشیار گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور، ایران.

۳- دانشجوی دکتری، گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.

۴- دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، کارشناس معاونت طرح و توسعه، آب منطقه‌ای اصفهان، اصفهان، ایران.

دلیل عدم وجود پوشش گیاهی، بیشترین مقدار فرسایش خاک را تولید می‌کند به طوری که مقدار آن از سال ۲۰۰۵ تا سال ۲۰۲۰ از ۰/۶۵ به ۳/۸ تن افزایش یافت و مناطق مسکونی به دلیل وجود حالت عایق و آسفالت و زهکش مناسب بیش‌تر نقش انتقال رواناب به اطراف را داشت. در مناطق کشاورزی به دلیل رعایت نکردن اصول کشت مناسب و استفاده نکردن از وسایل مناسب شخم در طی این دوره در معرض فرسایش قرار گرفته است. به طور کلی، نتایج نشان داد که مساحت طبقه فرسایش خیلی کم، کاهش یافته است و مساحت طبقات فرسایش کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد افزایش یافته است. از طرفی، نتایج نشان‌دهنده کارایی مدل تجربی RUSLE در حوضه است.

نتیجه‌گیری

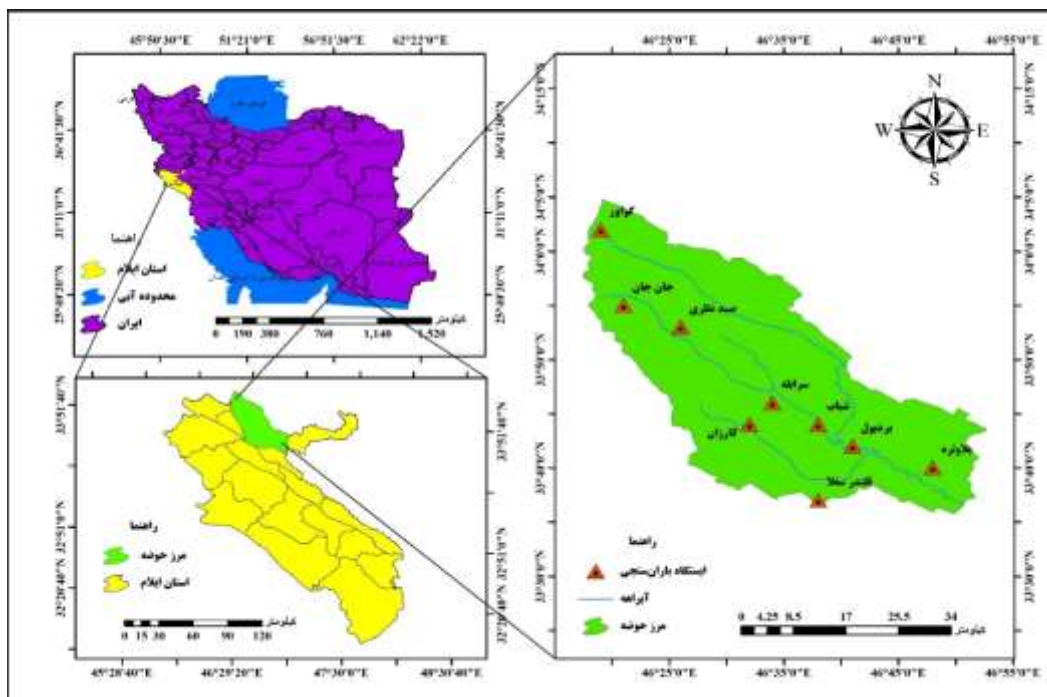
با توجه به تأثیرات گسترده فرسایش خاک بر جنبه‌های گوناگون زندگی انسان، پایش و ارزیابی مداوم آن می‌تواند به اتخاذ تصمیمات درست برای مقابله با این بحران کمک‌کننده باشد. در پژوهش حاضر از مدل RUSLE برای بررسی اثرات تغییر کاربری اراضی بر فرسایش خاک برای دو سال ۲۰۰۵ و ۲۰۲۰ در حوزه آبخیز چرداول استفاده شد. به طور کلی نتایج نشان داد که در حوضه مورد بررسی مقدار فرسایش از ۲۰۰۵ تا ۲۰۲۰ افزایش داشته است که بیان‌گر وضعیت خطرناکی برای حوضه در آینده است. بنابراین پیشنهاد می‌شود از عملیات حفاظت خاک و آب به‌ویژه در مناطق شیب‌دار و همچنین مناطق بالادست حوضه استفاده شود. همچنین باید با توجه به تغییر کاربری اراضی در حوزه آبخیز چرداول اقداماتی برای حفاظت خاک و آب در مناطق با پتانسیل فرسایشی بالا انجام شود. همچنین به نظر می‌رسد تصویب قوانین مناسب برای جلوگیری از تغییر کاربری اراضی می‌تواند به کاهش فرسایش خاک کمک کند اما به دلیل اینکه مهم‌ترین بخش حوزه آبخیز ساکنان آن هستند بنابراین این قوانین باید به گونه‌ای باشند که ضمن جلب مشارکت و رضایت مردم، تضمین‌کننده درآمد پایدار آن‌ها باشد. بنابراین توسعه سناریوهای مدیریتی در منطقه به مدیران منابع طبیعی در اولویتبندی و به‌کارگیری شیوه‌های مدیریتی مناسب در کنترل فرسایش خاک مناطق پرخطر حوضه چرداول کمک می‌کند.

کلید واژه‌ها: تخریب زمین، تولید رسوب، حوزه آبخیز کوهستانی، معادله جهانی هدررفت خاک

مقدمه

فرسایش خاک یک فرآیند طبیعی است که لایه بالایی خاک را به دلیل فرسایش بادی و آبی از بین می‌برد [۳۴، ۵۱]. حذف لایه حاصلخیز خاک و تجمع رسوبات منجر به فرسایش خاک می‌شود [۳]. پیش‌بینی می‌شود که در هر سال حدود ۷۵ میلیارد تن از زمین‌های کشاورزی در سراسر جهان از بین می‌رود [۴۳]. از طرفی،

یکی از مخاطرات محیط‌زیستی که امروزه جهان با آن روبرو است، پدیده تغییر کاربری اراضی است [۳۹]. تغییرات کاربری اراضی یکی از عوامل‌های مهم در تغییر جریان هیدرولوژیک و فرسایش خاک بوده که می‌توان با اطلاع از روند تغییرات آن در راستای هدایت مدیریت بوم‌سازگان به سمت برقراری تعادل قدم برداشت [۴۰]. تغییر پوشش گیاهی و کاربری زمین بر روی بسیاری از فرآیندهای طبیعی نظیر فرسایش خاک و تولید رسوب، سیلاب و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک اثر می‌گذارد. از جمله تأثیرات اساسی نوع پوشش زمین بر فرآیندهای موجود در حوزه‌های آبخیز، نقش آن بر میزان فرسایش خاک است [۱۱]. فرسایش آبی در کشور از مشکلاتی است که پدیده تغییرات کاربری اراضی می‌تواند منجر به افزایش آن شود. این نوع فرسایش شامل دو فرآیند کاملاً متفاوت بوده که در مرحله اول ذرات خاک سطحی در اثر برخورد قطرات باران به سطح خاک متلاشی شده [۲۸] و مرحله دوم شامل حمل این ذرات متلاشی شده توسط رواناب سطحی است. از طرفی انتقال رسوبات حاصل از فرسایش و مواد مغذی و انواع آلاینده‌ها همراه با رسوبات به‌وسیله رودخانه‌ها باعث ایجاد مشکلات متعدد محیط‌زیستی خواهد شد [۳۸]. گزارش‌ها نشان می‌دهد حدود ۳۵ میلیون مترمربع از اراضی کشور ایران تحت تأثیر فرسایش آبی قرار دارد [۵۴]. به طور متوسط، فرسایش خاک در ایران سه برابر بیش‌تر از سایر کشورهای آسیایی و ۲۰ برابر میانگین جهانی است. فرسایش خاک در ایران هزینه زیادی دارد و تقریباً ۵۶ تا ۱۱۲ میلیارد دلار در سال است و بسته به میزان فرسایش خاک در هر سال این مقدار تغییر می‌کند [۴۷]. بنابراین، مطالعه فرسایش خاک و تولید رسوب در حوزه آبخیز یکی از ضروریات اساسی برای دستیابی به مدیریت یکپارچه زمین و حفاظت از آب و خاک است [۲۷]. نتایج تحقیقات در مناطق مختلف جهان نشان می‌دهد که تغییر کاربری بوم‌سازگان‌های طبیعی به بوم‌سازگان‌های مدیریت شده، اثرات زیان‌باری بر خصوصیات خاک دارد. قطع یکسره درختان و نیز تبدیل مراتع به اراضی کشاورزی باعث تخریب یا اختلال در بوم‌سازگان‌های طبیعی و کاهش ظرفیت تولید فعلی یا آینده خاک خواهد شد. این امر می‌تواند به دلیل فرسایش، کاهش حاصلخیزی، تغییر در رطوبت خاک، شور شدن خاک و یا تغییر در فلور و فون خاک باشد [۴۱]. نرخ فرسایش خاک شاخصی جامع برای ارزیابی درجه توسعه یافتگی و پایداری برنامه‌های مدیریتی سرزمینی کشورها است. از طرفی داشتن اطلاعات مکانی در ارتباط با پدیده‌ها این امکان را فراهم می‌کند که همبستگی بین پدیده‌ها و الگوی فضایی بین آن‌ها شناسایی شود. در نتیجه شناخت الگوی فضایی فرسایش خاک، کلیدی برای درک پویایی و شناسایی دلایل زیستی و غیرزیستی فرسایش خاک است و تعیین الگوی پراکنش شدت فرسایش و رسوب می‌تواند به ارائه راهکارهای مناسب برای کاهش و مقابله با فرسایش و رسوب در حوزه آبخیز کمک کند [۲۲]. بنابراین، تعیین عوامل مؤثر بر فرسایش و پیش‌بینی مقدار فرسایش خاک و رسوب در حوزه‌های آبخیز به‌منظور اجرای برنامه‌های حفاظت از خاک و تعیین روش‌های مبارزه با فرسایش



شکل ۱- نقشه موقعیت حوزه آبخیز چرداول در ایران و استان ایلام
 Fig. 1 The location map of Chardavol watershed in Iran and Ilam province.

و به طور گسترده در مقیاس حوزه آبخیز مورد استفاده قرار گرفته‌اند [۲۱]. در همین راستا GIS برای استخراج ضریب توپوگرافی (LS) با استفاده از داده‌های مدل رقومی ارتفاع (DEM)، درون‌یابی داده‌ها در قطعه‌های نمونه، محاسبه و نقشه‌برداری از دست دادن فرسایش خاک استفاده شده است [۳۶]. بسیاری از پژوهش‌ها با استفاده از RS و GIS، RUSLE به ارزیابی خطر فرسایش خاک منطقه‌ای در مقیاس سطح حوضه پرداختند [۱۳]. بنابراین مدل RUSLE همراه با داده‌های سنجش از دور و GIS، به‌عنوان روشی مؤثر برای ارزیابی و تحلیل توزیع مکانی و زمانی فرسایش در مقیاس سطح حوضه ثابت شده است. حوزه آبخیز چرداول با دارا بودن زمین‌های حاصل‌خیز و مناسب برای کشاورزی تحت تأثیر و تغییرات کاربری گسترده است. از طرف دیگر متغیر بودن عوامل محیطی تأثیرات گسترده‌ای بر خاک آبخیز گذاشته است که نیاز به پایش و ارزیابی فرسایش خاک در آن امری ضروری است. بنابراین پژوهش حاضر به بررسی روند تغییرات کاربری اراضی ایجاد شده و همچنین برآورد مقدار فرسایش خاک در دو بازه زمانی ۲۰۰۵ و ۲۰۲۰ می‌پردازد.

مواد و روش

منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز چرداول با مساحت ۱۳۶۷۸۵ هکتار و موقعیت جغرافیایی ۳۳ درجه و ۵۹ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۵ دقیقه شمالی و ۴۶ درجه و ۲۹ دقیقه تا ۴۶ درجه و ۹۱ دقیقه شرقی در شمال شرقی استان ایلام واقع شده است (شکل ۱). میانگین بارندگی منطقه ۴۹۹/۸ میلی‌متر و میانگین دما بلند مدت سالانه ۱۸/۵ درجه سانتی‌گراد است. از نظر توپوگرافی ارتفاع حوضه از ۷۳۱ تا ۲۶۳۷

و کاهش تولید رسوب ضروری و نخستین گام در ارائه راهکارهای حفاظت از خاک است [۲۵، ۱۸].

خطر فرسایش خاک بسته به توپوگرافی حوضه، ویژگی‌های خاک، شرایط آب و هوایی محلی، کاربری اراضی و شیوه‌های مدیریت زمین متفاوت است [۵۶]. چنین نمونه‌هایی از ارزیابی خطر فرسایش خاک بر چارچوب نیروی محرکه-فشار-وضعیت-تأثیر-پاسخ^۱ و ارزیابی اکولوژیکی-ریسک^۲ متمرکز هستند [۴۸]. ارزیابی‌های سنتی فرسایش خاک به‌ویژه در پیش‌بینی خطرات فرسایش خاک در گستره مکانی بزرگ (مثلاً مقیاس منطقه‌ای)، به کیفیت داده‌ها و ساختار مدل محدود می‌شود. مطالعات قبلی در مورد خطر فرسایش خاک به شدت بر فرسایش فعلی و ساکن خاک متمرکز شده‌اند و توجه کمی به زیان‌های آبی و پویای فرسایش خاک داشته‌اند [۴۶، ۱۹]. مدل‌های ریاضی متعددی جهت برآورد فرسایش خاک ارائه شده‌اند که در این میان از تعدادی از این مدل‌ها در ایران نیز استفاده می‌شود [۸، ۱۰]. از جمله این مدل‌ها می‌توان به مدل جهانی فرسایش خاک معادله جهانی هدررفت خاک^۳ [۵۳]، مدل جهانی خاک اصلاح شده MUSLE [۵۲] یا مدل جهانی تجدید نظر شده فرسایش خاک^۴ که برای تخمین فرسایش خاک در حوزه‌های آبخیز مورد استفاده قرار می‌گیرد اشاره نمود [۴، ۷، ۲۹]. در مقابل، USLE و RUSLE به‌عنوان رایج‌ترین مدل‌های تجربی، برای برآورد هدررفت فرسایش خاک توسعه یافته‌اند و نقش مهمی در بررسی فرسایش خاک دارند

1. Driving Force-Pressure-State-Impact-Response
2. Ecology-Risk Assessment
3. Universal Soil Loss Equation (USLE)
- 4 Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)

متر متغیر است و خاک منطقه دارای بافت لومی، سیلتی رسی و سیلتی لومی است. اراضی کشاورزی، جنگل، اراضی بایر، مرتع و مناطق مسکونی، سطوح کاربری اراضی منطقه هستند.

روش تحقیق

معادله RUSLE مشابه معادله جهانی فرسایش خاک (رابطه ۱) بوده اما اصلاحات مختلفی در تعیین عامل‌های آن صورت گرفته است [۳۲] که وابسته به نوع اراضی است و در اراضی کشاورزی مرتعی قابلیت استفاده دارد. همچنین در شرایط مختلف پوشش مانند اراضی زراعی، جنگل، مرتع و جنگل‌های آسیب دیده توسعه یافته است [۱۲].

$$P \times C \times S \times L \times K \times R = A \quad \text{رابطه (۱)}$$

که در آن A، مقدار خاک فرسایش یافته توسط فرسایش شیلیاری و ورقه‌ای (برحسب واحد جرم در واحد سطح و در واحد زمان) برحسب تن بر هکتار در سال است. R، عامل فرسایش باران برحسب مگا ژول میلی‌متر بر هکتار ساعت برای رخداد‌های بارندگی در یک سال به دست می‌آید. K، ضریب فرسایش‌پذیری خاک بوده و با توجه به جنس و ترکیبات خاک از نقشه‌های خاک‌شناسی به دست می‌آید. L، عامل طول شیب است و برابر نسبت فرسایش در طول شیب به فرسایش در کرت شاهد است. S، عامل شیب زمین است و عبارت از نسبت فرسایش در شیب موجود در زمین به مقدار فرسایش در کرت شاهد (شیب نه درصد) است. عامل شیب و طول شیب با استفاده از نقشه توپوگرافی و با بهره‌گیری از فن سیستم اطلاعات جغرافیایی به دست می‌آیند. C، عامل پوشش گیاهی بوده و عبارت است از فرسایش حاصل در زمین با پوشش گیاهی مشخص نسبت به مقدار فرسایش در شرایط پوشش و مدیریت کرت استاندارد که با توجه به نقشه پوشش گیاهی و کاربری اراضی منطقه تعیین می‌شود. P، عامل حفاظت خاک است و عبارت است از نسبت فرسایش در یک زمین حفاظت شده به مقدار فرسایش همان زمین که هیچ‌گونه عملیات حفاظتی در آن انجام نگرفته است [۲۲].

- عامل فرسایش‌پذیری باران

در داخل و نزدیکی حوضه مورد مطالعه ۱۲ ایستگاه باران‌سنجی (نه ایستگاه داخل و سه ایستگاه خارج حوضه) وجود دارد که با توجه به کامل بودن داده‌های این ایستگاه‌ها از سال ۱۳۸۰ تا سال ۱۳۹۹ نیازی به بازسازی داده‌های این ایستگاه‌ها نیست. بنابراین با استفاده از متوسط سالانه بارندگی و با توجه به رابطه (۲)، عامل فرسایش‌پذیری باران محاسبه می‌شود. نکته مهم در مورد رابطه (۲) این است که برای مناطقی با متوسط بارندگی سالانه تا ۳۵۰۰ میلی‌متر قابل استفاده است.

$$R = (P \times 0.38) + 81.5 \quad \text{رابطه (۲)}$$

که در آن P متوسط بارندگی سالانه (میلی‌متر) برای یک ایستگاه و R نیز فرسایش‌پذیری باران سالانه همان ایستگاه بر حسب مگاژول میلی‌متر

بر هکتار ساعت در سال است. پس از محاسبه عامل فرسایش‌پذیری با استفاده از رابطه ارائه شده برای ایستگاه‌های هواشناسی، این داده‌ها از طریق نرم‌افزار اکسل به نرم‌افزار ArcMap منتقل می‌شوند. سپس در مرحله بعد با استفاده از روش‌های پهنه‌بندی از حالت نقطه‌ای و گسسته به یک لایه سطحی و پیوسته تبدیل می‌شوند. از روش پهنه‌بندی عکس فاصله^۱ برای تهیه یک لایه رستری برای عامل R استفاده شد. برای پوشش بهتر مناطق مرزی ایستگاه‌هایی هم خارج از حوزه آبخیز مورد بررسی، در نظر گرفته شد تا درونیابی به نحو بهتری برای کل سطح انجام شود [۲۹].

- عامل فرسایش‌پذیری خاک

عامل K، فرسایش‌پذیری خاک به ازای واحد شاخص فرسایش باران است که در کرت استاندارد اندازه‌گیری می‌شود و اغلب با ویژگی‌های خاک تعیین می‌شود [۴۲]. در این پژوهش پس از تهیه نقشه خاک در سایت فائو و برش محدوده مورد نظر، با توجه به جدول (۱) مقدار K برای طبقات خاک تعیین شد. اعداد ارائه شده در جدول زیر براساس سیستم متریک نیستند و بایستی در عدد ۰/۱۳۱۷ ضرب شوند.

جدول ۱- عامل فرسایش‌پذیری انواع خاک [۲].

Table 1. Erodibility factor of the soil types.[2]

K	وضعیت خاک soil condition	K	وضعیت خاک soil condition
0.1	ارضای مقاوم به فرسایش Erosion resistant lands	0.5	خاک سطحی با پوشش سنگریزه‌ای Surface soil with gravel cover
0.42	خاک ماسه‌ای نرم Soft sandy soil	0.16	خاک ماسه‌ای sandy soil
0.42	خاک لومی با ماسه ریز Loamy soil with fine sand	0.17	خاک لومی شنی Sandy loam soil
0.37	خاک لومی Loamy soil	0.47	خاک سیلتی لومی Silty loam soil
0.37	خاک لومی رسی Clay loam soil	0.25	خاک سیلتی رسی Silty clay soil

- عامل توپوگرافی

طول شیب به فاصله میان نقطه شروع رواناب سطحی در آبخیز تا نقطه‌ای که شیب آنقدر کم می‌شود که مواد حمل شده در آن ته نشست شده و یا به نقطه‌ای که جریانات سطحی به یک نهر طبیعی وارد می‌شود، گفته می‌شود [۲۴]. همچنین عامل درصد شیب که تابعی از درجه شیب است، منعکس‌کننده اثر درجه شیب بر میزان فرسایش است [۱۶]. در این پژوهش مقدار LS با استفاده از نقشه رقومی ارتفاعی محاسبه شد به این ترتیب که با استفاده از نقشه مدل

1. Inverse Distance Weighting

رقومی ارتفاعی، نقشه جریان تجمعی تهیه شد و سپس با استفاده از رابطه (۳) مقدار LS در GIS و به کمک افزونه calculator Raster محاسبه شد [۲۹].

رابطه (۳)

$$LS = \text{power}[\text{Flow Accumulation}] \times \text{cell size} / 22.1, 0.4] \times \text{power}[\sin(\text{slope}) \times 0.01745 / 0.09, 1.3]$$

عامل مدیریت زراعی

برای محاسبه این عامل ابتدا تصاویر ماهواره‌های لندست ۸ سنجنده OLI مربوط به سال ۲۰۲۰ و تصاویر ماهواره‌های لندست ۵ سنجنده ETM مربوط به سال ۲۰۰۵ استخراج شد و سپس با استفاده از باندهای ۴ و ۵ (برای لندست ۸) و باندهای ۳ و ۴ (برای لندست ۵) در نرم‌افزار سنجنش از دور شاخص NDVI برای حوضه با استفاده از رابطه (۴) تعیین شد.

$$NDVI = \frac{BRED - BNIR}{BRED + BNIR}$$

که در آن BRED: باند قرمز، BNIR: باند مادون قرمز نزدیک هستند. در مرحله بعد برای به دست آوردن شاخص C از رابطه (۵) استفاده شد [۴۴]:

$$C = ((1 - NDVI) / 2)$$

رابطه (۵)

عامل مدیریت اراضی

عامل P، نسبت خاک فرسایش یافته در شرایط انجام عملیات حفاظتی به فرسایش ایجاد شده در شرایط استاندارد یعنی شخم در جهت شیب است [۴۵]. برای تهیه نقشه این عامل در سال ۲۰۰۵ و ۲۰۲۰ از نقشه کاربری اراضی استفاده شد و هر کاربری مطابق جدول (۲) ارزش گذاری شدند.

جدول ۲ - عامل مدیریت اراضی [۲۰؛ ۲۳؛ ۴۹؛ ۵۰]

Table 2. Land management factor [50; 49; 23; 20]

P-factor	کاربری اراضی	ردیف	P-factor	کاربری اراضی	ردیف
	Land use	Rank		Land use	Rank
0.25	مرتع Range	4	0.4	کشاورزی Agriculture	1
0	مسکونی Residential areas	5	1	اراضی بایر Bare lands	2
			0.1	جنگل Forest	3

کاربری اراضی

برای تهیه نقشه کاربری اراضی مربوط به سال‌های ۲۰۰۵ و ۲۰۲۰ تصاویر ماهواره لندست ۵ و ۸ استخراج شدند و با استفاده از روش طبقه‌بندی نظارت شده پنج کاربری جنگل، خاک لخت، مرتع، مناطق مسکونی و کشاورزی برای این دو دوره مشخص شد.

برآورد فرسایش در هر کاربری

پس از تهیه داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز به صورت لایه رستری و ضرب این لایه‌ها در هم با استفاده از تابع Analyst Spatial و انتخاب Calculator Raster در محیط ArcGIS مقدار هدررفت سالیانه خاک در دو سال ۲۰۰۵ و ۲۰۲۰ بر حسب تن بر هکتار در سال محاسبه شد (رابطه ۶ و ۷). سپس به منظور تعیین مقدار فرسایش در هر کدام از کاربری‌ها در محیط ArcGIS با استفاده از گزینه statistic zonal و لایه فرسایش و کاربری مربوط به ۲۰۰۵ و ۲۰۲۰ استخراج شد (رابطه ۸ و ۹).

$$A(2005) = R * K * LS * C(2005) * P(2005)$$

رابطه (۶)

$$A(2020) = R * K * LS * C(2020) * P(2020)$$

رابطه (۷)

$$AL(2005) = \text{Land use}(2005) + A(2005)$$

رابطه (۸)

$$AL(2020) = \text{Land use}(2020) + A(2020)$$

رابطه (۹)

نتایج و بحث

مقادیر عوامل مدل RUSLE

مقدار عامل فرسایش باران

حسب نتایج بدست آمده (جدول ۳)، مقدار عامل R برای ایستگاه‌های داخل حوضه از ۲۲۰/۵ تا ۳۰۹/۸ مگاژول میلی‌متر بر هکتار ساعت در سال متغیر است (شکل ۲). شمال غرب حوضه به دلیل ارتفاع زیاد، بالاترین مقدار R و در جنوب شرقی حوضه به دلیل ارتفاع کم، کم‌ترین مقدار را به خود اختصاص داده است. بالویی و همکاران [۶] در حوزه آبخیز دویرج ایلام نشان دادند که افزایش و کاهش عامل R با افزایش و کاهش ارتفاع در ارتباط است، که نتایج پژوهش حاضر با نتایج ایشان مطابقت دارد. گاناسرسی و رامش [۱۶] با استفاده از داده‌های بارش ماهانه در ۱۳ ایستگاه فرسایش باران بین ۲۹۰ تا ۴۷۰ مگاژول میلی‌متر بر هکتار ساعت در سال را محاسبه کردند. زندی و همکاران [۵۵] در حوزه آبخیز وازرود مازندران مقدار فرسایش باران را ۲۴۹ تا ۴۶۸ مگاژول میلی‌متر بر هکتار ساعت در سال محاسبه کردند. محمدی و همکاران [۳۶] نیز در حوزه آبخیز تالار مازندران مقدار فرسایش باران را بین ۲۰۹/۶۵ تا ۵۰۳/۲۴ برآورد کردند. که نتایج این محققین با نتایج پژوهش حاضر نیز همخوانی دارند. مطالعات زیادی بر تأثیر مهم بارندگی در فرآیند فرسایش خاک در حوزه‌های آبخیز مختلف تأکید کرده‌اند [۱۷، ۲۶].

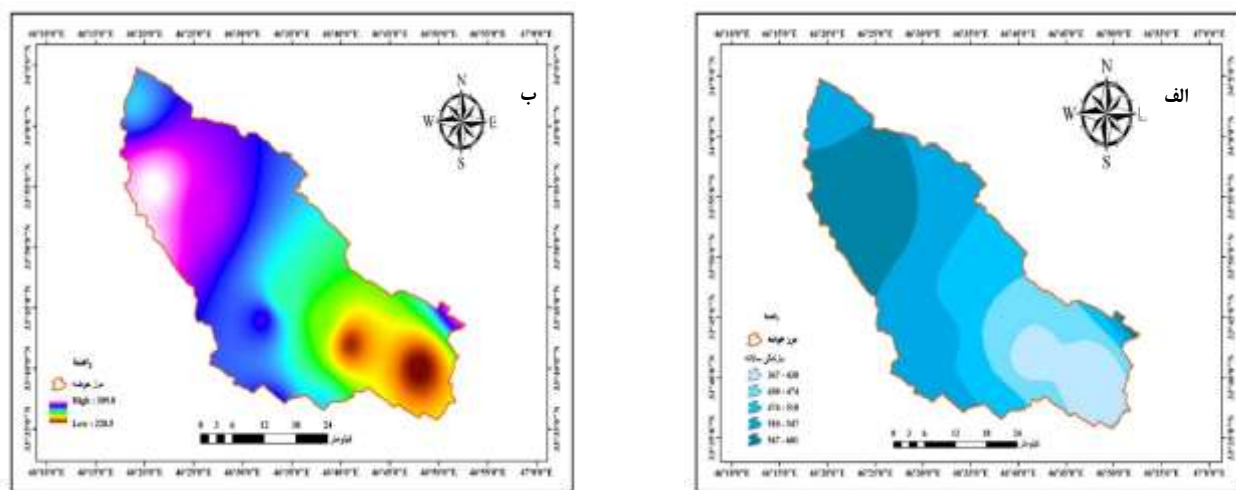
مقدار عامل فرسایش پذیری خاک

بافت خاک منطقه هم از سه طبقه لومی، سیلتی رسی و سیلتی لومی تشکیل شده است. کم‌ترین مقدار عامل فرسایش پذیری ۰/۰۳ و بیش‌ترین مقدار ۰/۰۶ تن هکتار ساعت بر هکتار مگاژول میلی‌متر به ترتیب در شمال و جنوب حوضه است. مقادیر بیشتر K نشان‌دهنده

جدول ۳- مقدار عامل R در ایستگاه‌های مختلف

Table 3. Value of R factor in the different stations

R MJmm/ha	ایستگاه Station	ردیف Rank	R MJmm/ha	نام ایستگاه Station name	ردیف Rank
309.8	جان جان Janjan	7	220.5	بلاوتره Belavatareh	1
285.6	کارزان Karazan	8	226.6	بردبول Bardbol	2
266.7	سرابله Sarableh	9	317.5	چهار مله Chehar meleh	3
293.5	صید نظری Seidnazari	10	314.4	ایوان غرب Ivan gharb	4
255.5	شباب Shabab	11	273.2	قلندر سفلا Gholandor sofa	5
291.3	طولاب Tolab	12	273.8	گواور Govavor	6



شکل ۲- متوسط بارندگی سالانه (الف) و عامل فرساینده‌گی باران (ب) در حوزه آبخیز چرداول

Fig 2. Average of annual precipitation(a) and Erosivity of rain factor(b) in Chardavol watershed

عامل مدیریت زراعی

در آبخیز چرداول مقدار شاخص مدیریت زراعی در سال ۲۰۰۵ بین ۰/۱۶ تا ۰/۵۷ و در سال ۲۰۲۰ بین ۰/۱۸ تا ۰/۶۱ است (شکل ۵). عامل C رابطه معکوس با NDVI دارد و با افزایش در شاخص NDVI میزان عامل C کاهش می‌یابد [۳۵].

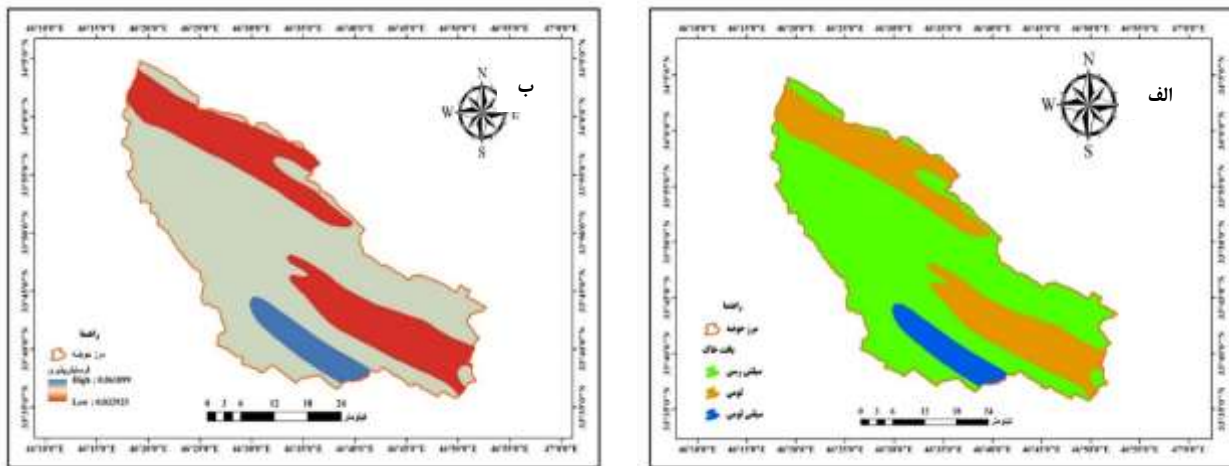
عامل حفاظت خاک

عامل حفاظت خاک نشان‌دهنده نسبت هدررفت خاک است و برای تأثیرات مثبت و شیوه‌های کنترل استفاده می‌شود که اثر نفوذ بر پتانسیل فرسایش رواناب بهوسیله کنترل الگوهای زهکشی و کاهش غلظت رواناب، سرعت رواناب و نیروهای هیدرولیکی رواناب در خاک را نشان می‌دهد. پس از تهیه نقشه کاربری اراضی برای دو دوره و با توجه به جدول (۲) تهیه شد (شکل ۶).

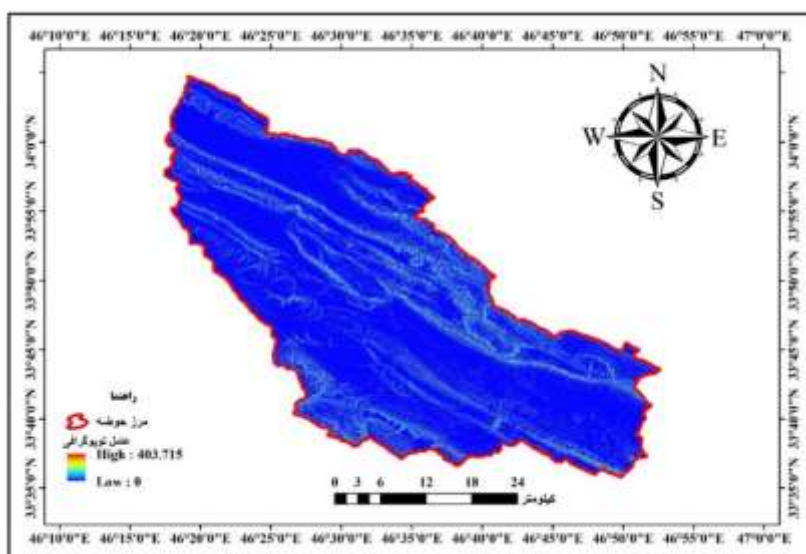
بیشتر بودن ذرات بسیار ریز شن و سیلت است که در نهایت سبب افزایش فرسایش‌پذیری خاک می‌شود [۱۷، ۳۶].

مقدار عامل توپوگرافی

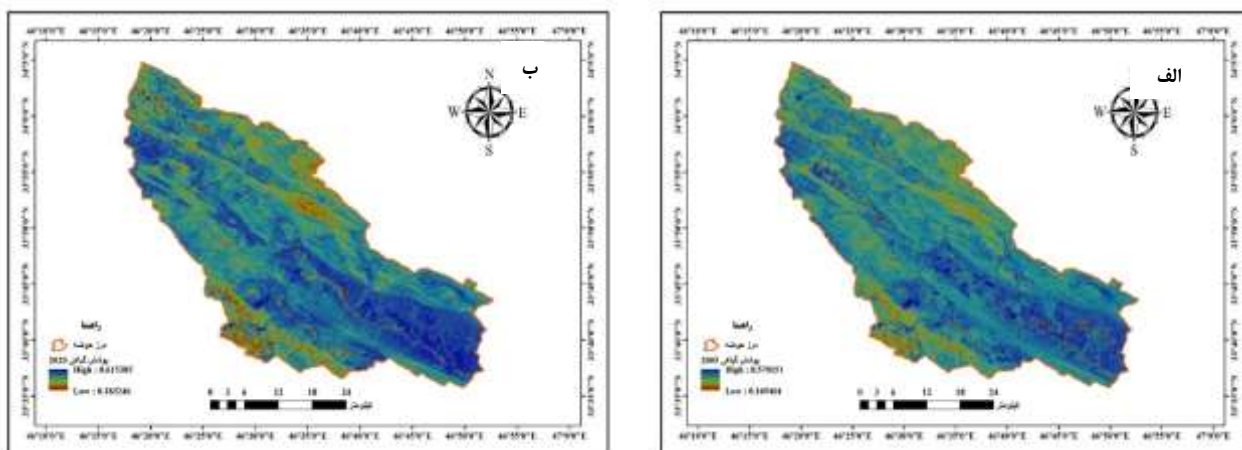
مقدار عامل LS در حوضه مورد مطالعه بین صفر تا ۴۰۳/۷۱۵ در سطح پیکسل متغیر است (شکل ۴). اراضی هموار کم‌ترین و اراضی کوهستانی دارای بیش‌ترین مقدار LS هستند. با توجه به این که هر منطقه توپوگرافی خاص خود را دارد و از طرفی این عامل بی بعد است در مطالعات مختلف دامنه متفاوتی دارد. به‌طور کلی افزایش طول و درصد شیب به علت تشدید سرعت و قدرت فرساینده‌گی جریان سطحی مقدار فرسایش خاک را در واحد سطح افزایش می‌دهد [۱۴، ۵۱].



شکل ۳- نقشه بافت خاک (الف) و نقشه فرسایش پذیری خاک (ب) در آبخیز چرداول
 Fig 3. Soil texture map)a (and Soil erodibility map)b (in Chardavol watershed



شکل ۴- نقشه عامل پستی و بلندی در آبخیز چرداول
 Fig 4. Topographic factor in Chardavol watershed



شکل ۵- عامل مدیریت اراضی برای سال ۲۰۰۵ (الف) و عامل مدیریت اراضی برای سال ۲۰۲۰ (ب) در آبخیز چرداول
 Fig 5. Land management factor in)2005 a (and Land management factor in)2020 b (in Chardavol watershed

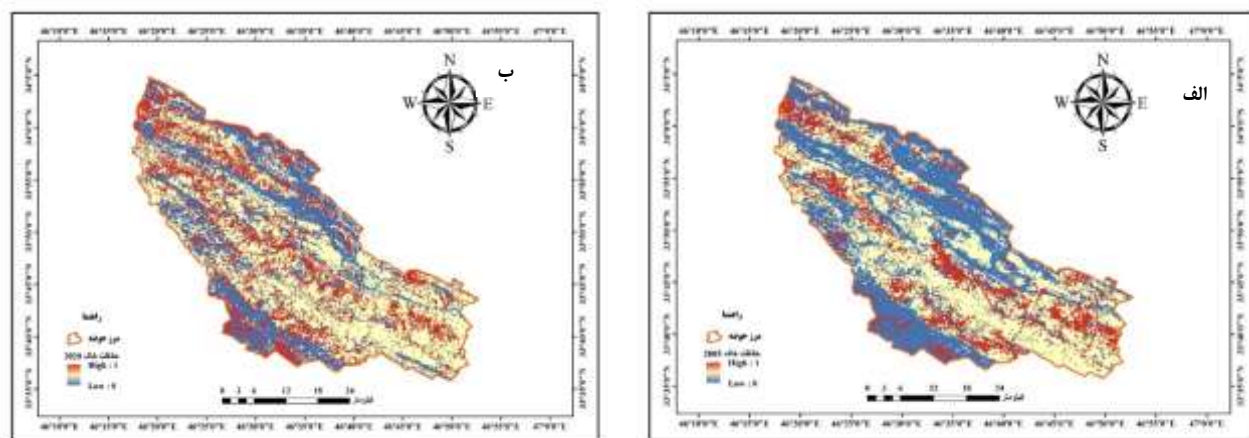
کاربری اراضی -

مسکونی، مرتع و اراضی بایر روند افزایشی و کاربری جنگل روند کاهشی داشتند. در هر دو سال کاربری مرتع بیشترین و مناطق مسکونی کمترین مساحت را به خود اختصاص داده است. جدول (۵) نیز خلاصه‌ای از مدل RUSLE را نشان می‌دهد. سه عامل بسیار مهم شامل تغییرات کاربری اراضی، تغییرات پراکنش زمانی بارش و همچنین، دما موجب تغییر در چرخه انجماد ذوب و وضعیت و مراحل زیستی پوشش گیاهی شده و در نهایت، میزان فرسایش خاک را تعیین میکنند. در دهه‌های اخیر تغییر اقلیم همراه با افزایش دما باعث تقویت مطالعات در خصوص فرآیندهای هیدرولوژیک در مناطق مستعد کوهستانی شده است [۹].

پهنه‌بندی خطر فرسایش در سال‌های ۲۰۰۵ و ۲۰۲۰

شکل (۸) نقشه‌های توزیعی (الف-ب) و طبقه‌بندی شده (ج-د) فرسایش خاک برای سال‌های ۲۰۰۵ و ۲۰۲۰ در آبخیز چرداول را نشان می‌دهد. همچنین جدول (۶) مساحت طبقات خطر فرسایش در سال ۲۰۰۵ و ۲۰۲۰ در حوزه آبخیز چرداول را نشان می‌دهد.

پس از تهیه نقشه کاربری اراضی به روش طبقه‌بندی نظارت شده در سال‌های ۲۰۰۵ و ۲۰۲۰، پنج کاربری اراضی شامل جنگل، کشاورزی، خاک لخت، مرتع و مناطق مسکونی مشخص شد (شکل ۷). به منظور بررسی صحت طبقه‌بندی انجام شده، ضریب کاپا برای هر دو دوره استخراج شد. کاپا، یک آزمون آماری برای ارزیابی میزان صحت طبقه‌بندی است که مقایسه‌ای بین حالت تصادفی و زمان طبقه‌بندی است و مقدار آن از -۱ تا +۱ است. مقدار +۱ یعنی طبقه‌بندی خیلی خوب، مقدار صفر یعنی طبقه‌بندی خوب نیست و -۱ یعنی اینکه طبقه‌بندی تصادفی است [۱]. مقدار ضریب کاپا در پژوهش حاضر برای سال ۲۰۰۵ و ۲۰۲۰ به ترتیب ۹۱/۸۶ و ۹۳/۴۷ محاسبه شد. این مقادیر علاوه بر تأیید صحت طبقه‌بندی انجام شده نشان‌دهنده این است که تصاویر ماهواره‌ای با دقتی قابل قبول قادر به تهیه نقشه‌های کاربری اراضی است. جدول (۴) میزان تغییرات کاربری اراضی بین سال‌های ۲۰۰۵ و ۲۰۲۰ را نشان می‌دهد. بر اساس این جدول کاربری‌های کشاورزی، مناطق



شکل ۶- نقشه عامل حفاظت خاک برای سال ۲۰۰۵ (الف) و نقشه عامل حفاظت خاک برای سال ۲۰۲۰ (ب) در آبخیز چرداول

Fig 6. Soil conservation map in 2005 a (and Soil conservation map in 2020 in Chardavol watershed

جدول ۴- میزان تغییرات کاربری اراضی بین سال‌های ۲۰۰۵ و ۲۰۲۰ در حوزه آبخیز چرداول

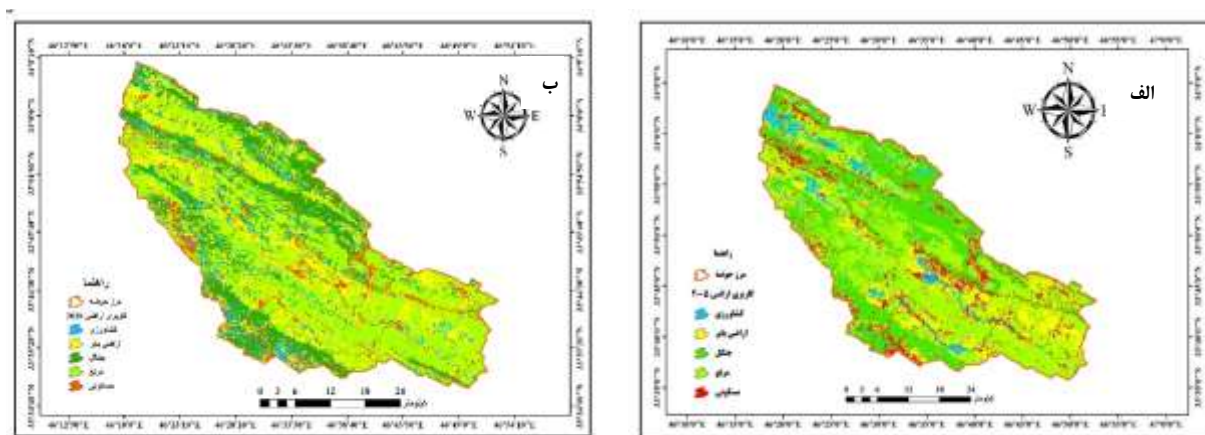
Table 4. Value of land use changes between 2005 and 2020 in Chardavol watershed

نوع کاربری	مساحت در سال ۲۰۰۵ (هکتار)	مساحت در سال ۲۰۲۰ (هکتار)	میزان تغییرات (هکتار)	روند تغییرات
Land use type	Area in 2005 (ha)	Area in 2020 (ha)	Value of changes (ha)	Trend of changes
کشاورزی	8277	10076	1799	+
Agriculture				
اراضی بایر	17684	24169	6485	+
Bare lands				
جنگل	43312	28521	14791	-
Forest				
مرتع	57144	62549	5405	+
Range				
مسکونی	10368	11469	1101	+
Residential				
مجموع	136785	136785	---	---
Sum				

در شکل (۹) درصد مساحت طبقات فرسایش در سالهای ۲۰۰۵ و ۲۰۲۰ برای حوضه مورد بررسی ارائه شده است. جدول (۷) نیز مقادیر فرسایش در کاربری‌های مختلف برای سال‌های ۲۰۰۵ و ۲۰۲۰ در آبخیز چرداول را نشان می‌دهد.

جدول ۵- مقادیر مربوط به عامل‌های مدل RUSLE در حوزه آبخیز چرداول
Table 5. Values relate to factors of RUSLE model in Chardavol watershed

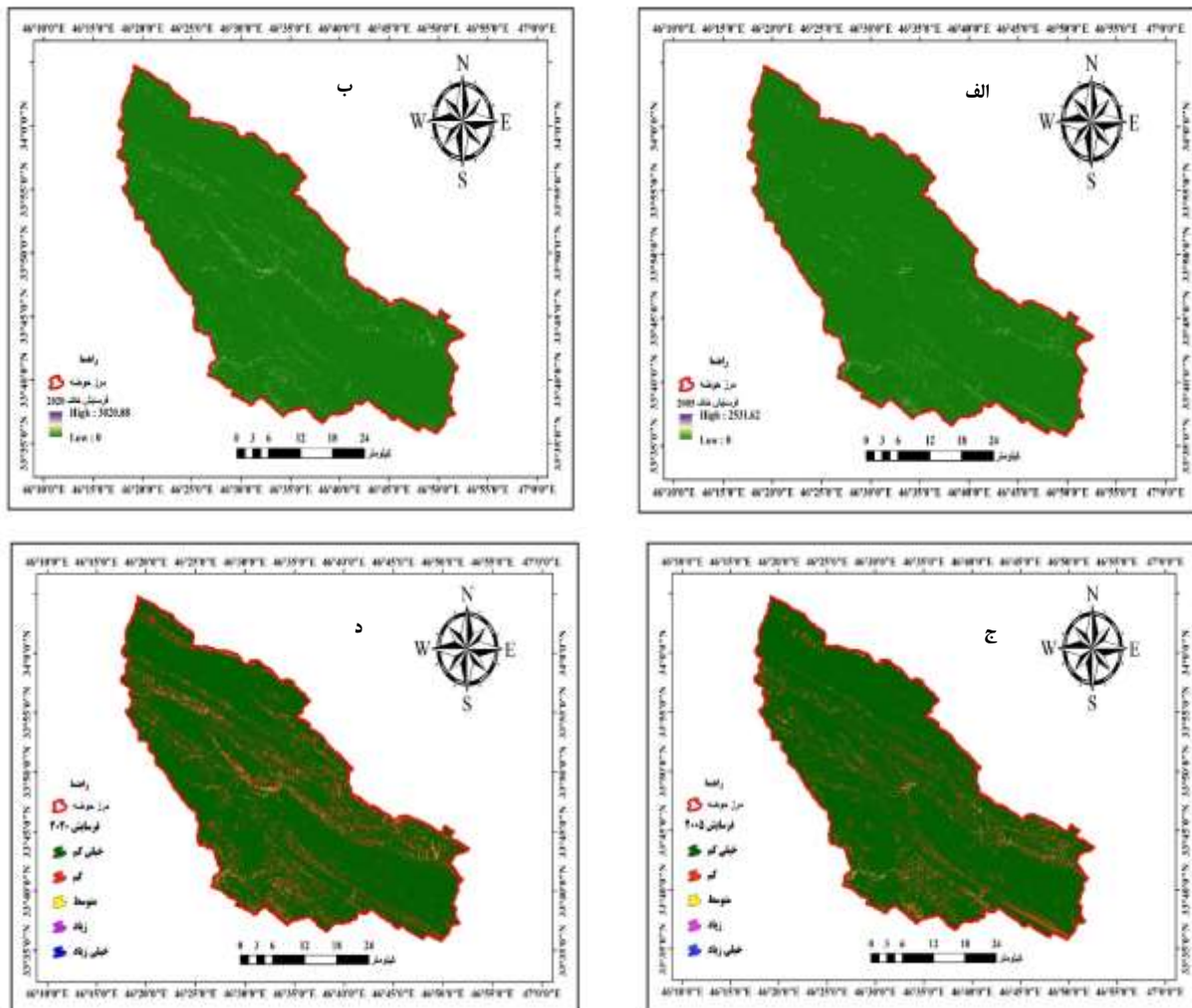
طول شیب Length of slope	فرسایش پذیری خاک Erodibility of soil	فرساینده‌گی باران Erosivity of rain	پوشش گیاهی Vegetation cover		حفاظت خاک Soil conservation		میزان تغییرات Value of changes (ha)
			سال ۲۰۲۰ Year 2020	سال ۲۰۰۵ Year 2005	سال ۲۰۲۰ Year 2020	سال ۲۰۰۵ Year 2005	
0.00	0.03	220.50	0.18	0.16	0.00	0.00	حداقل Min
403.72	0.06	309.80	0.61	0.57	1.00	1.00	حداکثر Max
11.65	0.04	272.80	0.47	0.41	0.35	0.28	میانگین Mean
22.22	0.008	19.80	0.02	0.02	0.32	0.29	انحراف معیار Standard deviation



شکل ۷- نقشه کاربری اراضی در سال ۲۰۰۵ (الف) و نقشه کاربری اراضی در سال ۲۰۲۰ (ب) در آبخیز چرداول
Fig 7. Land use map in 2005 a (and Land use map in 2020 b) in Chardavol watershed

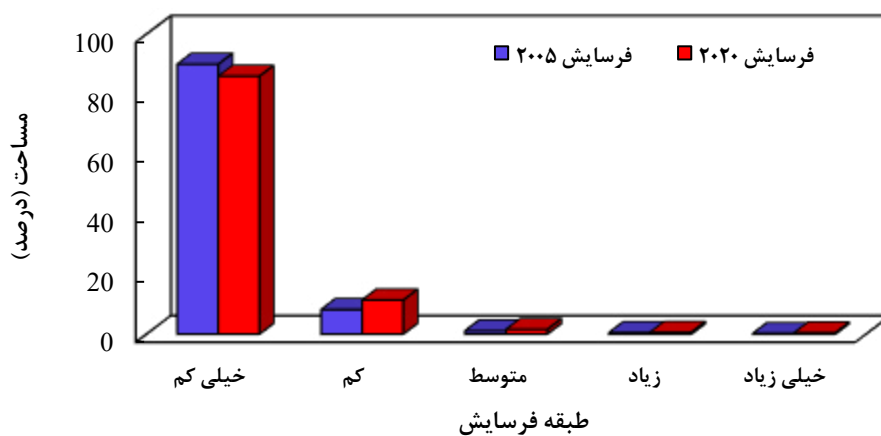
جدول ۶- مساحت طبقات خطر فرسایش در سال ۲۰۰۵ و ۲۰۲۰ در حوزه آبخیز چرداول
Table 6. Area of erosion risk classes in 2005 and 2020 in Chardavol watershed

میزان تغییرات (هکتار) Value of changes (ha)	مساحت طبقه در سال ۲۰۲۰ Class area in 2020		مساحت طبقه در سال ۲۰۰۵ Class area in 2005		خطر فرسایش Risk of erosion
	درصد Percentage	هکتار Hectares	درصد Percentage	هکتار Hectares	
-7827.14	86	117968.2	90	123059.2	خیلی کم Very low
+7678.76	11.4	15905	8.2	11262.1	کم Low
+1468.46	1.6	2598.1	1.1	1614.4	متوسط Medium
+ 432.16	0.6	817.6	0.5	513.4	زیاد High
+ 161.76	0.4	561.3	0.2	335.9	خیلی زیاد Very high



شکل ۸- نقشه‌های توزیعی و طبقه‌بندی شده فرسایش خاک برای سال ۲۰۰۵ (الف - ب) و نقشه‌های توزیعی و طبقه‌بندی شده فرسایش خاک برای سال ۲۰۲۰ (ج - د) در آبخیز چرداول

Fig 8. Distribution and classification maps of soil erosion for 2005 (a-b) and distribution and classification maps of soil erosion for 2020 (c-d) in Chardavol watershed



شکل ۹- درصد مساحت طبقات فرسایش در سالهای ۲۰۲۰ و ۲۰۰۵ در حوزه آبخیز چرداول

Fig 9. The percentage of the area of erosion classes in 2005 and 2020 in Chardavol watershed.

جدول ۷- مقادیر فرسایش خاک در کاربری‌های مختلف در سال‌های ۲۰۰۵ و ۲۰۲۰ در آبخیز چرداول
Table 7. Values of soil erosion in different uses in 2005 and 2020 in Cherdavol watershed

کاربری اراضی Land use	سال ۲۰۰۵ Year 2005				سال ۲۰۲۰ Year 2020				
	مساحت(هکتار) Area(ha)	حداقل Min	حداکثر Max	میانگین Mean	فرسایش(تن هکتار در سال) erosion(t ha ⁻¹ y ⁻¹)	مساحت(هکتار) Area(ha)	حداقل Min	حداکثر Max	میانگین Mean
کشاورزی Agriculture	8277	0	945.8	9.3	0.65	10076	0	1293.2	11.4
اراضی بایر Bare lands	17684	0	2531.6	40.6	6.2	24169	0	3020.8	49.0
جنگل Forest	43312	0	274.5	9.4	3.4	28521	0	314.8	9.7
مرتع Range	57144	0	683.1	10.9	5.2	62549	0	852.8	12.7
مسکونی Residential	10368	0	0	0	0	11469	0	0	0

لخت (اراضی بایر) به دلیل عدم وجود پوشش گیاهی و شیب، بیش‌ترین مقدار فرسایش را تولید می‌کند به طوری که مقدار آن از سال ۲۰۰۵ تا سال ۲۰۲۰ از ۰/۶۵ به ۳/۸ تن افزایش یافته است و مناطق مسکونی به دلیل وجود حالت عایق و آسفالت و زهکش مناسب بیش‌تر نقش انتقال رواناب به اطراف را دارند و انتقال ذرات خاک صورت نگرفته است. در مناطق کشاورزی به دلیل رعایت نکردن اصول کشت مناسب و استفاده نکردن از وسایل مناسب شخم در طی این دوره در معرض فرسایش قرار گرفته است. نتایج نشان داد که استفاده از مدل‌های تجربی مثل RUSLE کارایی لازم جهت برآورد میزان فرسایش در حوضه مورد بررسی را دارند که با مطالعات [۳۱، ۲۹، ۳] همخوانی دارد.

نتیجه‌گیری

با توجه به تأثیرات گسترده فرسایش خاک بر جنبه‌های گوناگون زندگی انسان، پایش و ارزیابی مداوم آن می‌تواند به اتخاذ تصمیمات درست برای مقابله با این بحران کمک‌کننده باشد. در پژوهش حاضر از مدل RUSLE برای بررسی اثرات تغییر کاربری اراضی بر فرسایش خاک برای دو سال ۲۰۰۵ و ۲۰۲۰ در حوضه آبخیز چرداول استفاده شد. بدین منظور با استفاده از عامل‌های مدل RUSLE شامل فرساینده‌گی باران، فرسایش‌پذیری خاک، توپوگرافی، پوشش گیاهی و حفاظت خاک و تلفیق آن‌ها در محیط ArcGIS نقشه فرسایش خاک برای دو سال ۲۰۰۵ و ۲۰۲۰ محاسبه و توزیع مکانی فرسایش در حوضه به دست آمد. نتایج نشان داد که میانگین فرسایش در سال ۲۰۰۵، ۱۳/۲۳ تن بر هکتار در سال و این مقدار برای سال ۲۰۲۰، ۲۰/۱۳ تن بر هکتار در سال است. در مرحله بعد با تلفیق نقشه‌های فرسایش خاک و کاربری اراضی سال‌های ۲۰۰۵ و ۲۰۲۰ مقدار فرسایش برای هر کدام از کاربری‌ها در این دو سال محاسبه شد که

پس از تهیه عوامل مدل RUSLE برای دو سال ۲۰۰۵ و ۲۰۲۰ با توجه به رابطه (۶ و ۷) این عوامل در هم ضرب و نقشه پهنه‌بندی خطر فرسایش در پنج طبقه خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد (صفر تا ۲۵۳۱/۶۲ برای سال ۲۰۰۵ و صفر تا ۳۰۲۰/۸۸ تن بر هکتار در سال برای سال ۲۰۲۰) تهیه شد. با توجه به نقشه فرسایش حوزه آبخیز چرداول میانگین فرسایش در سطح حوضه برای سال ۲۰۰۵ مقدار ۱۳/۲۳ و برای سال ۲۰۲۰ مقدار ۲۰/۱۳ تن بر هکتار در سال برآورد شد. مزبانی و همکاران [۳۵] در مطالعه‌ای در حوزه آبخیز سیکان مقدار فرسایش خاک را ۱۷/۶۲ تن بر هکتار در سال برآورد کرد. همچنین محمدی و همکاران [۳۷] نیز در پژوهشی فرسایش خاک را در مقیاس کشور ایران حدود ۲۴ تن بر هکتار در سال و بیش‌ترین مقدار فرسایش خاک را در بسیاری از مناطق زاگرس بالاتر از ۶۰ تن بر هکتار در سال برآورد کرده است که این مقدار بیش‌تر از حوزه آبخیز چرداول است. دامنه تغییرات زیاد این فرسایش خاک به‌ویژه در مناطق کوهستانی به‌عنوان دلیل اصلی اثرگذاری آن در الگوی مکانی فرسایش در تعدادی از پژوهش‌های پیشین ذکر شده است [۱۵، ۲۹، ۳۲، ۵۷، ۵۸].

مساحت طبقات خطر در جدول (۶) و شکل (۸) نشان داد در هر دو سال طبقه خیلی کم بیش‌ترین و طبقه خیلی زیاد کم‌ترین مساحت را به خود اختصاص داده‌اند. اما به‌طور کلی میزان تغییرات مساحت طبقات به گونه‌ای است که مساحت طبقه خیلی کم، کاهش یافته است اما سایر طبقات فرسایش، از سال ۲۰۰۵ تا سال ۲۰۲۰ افزایش یافته‌اند. برای برآورد مقدار فرسایش در کاربری‌های مختلف نقشه‌های فرسایش و کاربری اراضی برای سال‌های ۲۰۰۵ و ۲۰۲۰ با استفاده از گزینه table as statistic Zonal در محیط ArcGIS با هم تلفیق شدند (جدول ۷). نتایج نشان داد که میزان فرسایش در کاربری‌های کشاورزی و خاک لخت افزایش یافته است. که خاک

4. Amanpoor, S. Abiat, M. Abiat, M. and Abiat, M. 2021. Investigation of the Effect of Land Use Change on Soil Erosion and Sediment Production in Ramhormoz Basin Using Object-Oriented Classification and RUSLE Model. Research of Soil and Water Iran. 52(3):635-649. (In Persian)

5. Bahadur, KK. 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.

6. Baloi, F. Mohammadi, SH. Soltani Kopai, S. 2020. Simulating effects of land use change on erosion using RUSLE model in Doviraj watershed of Ilam province. Engineering of Dessert Ecosystem. 10(31): 59-70. (In Persian)

7. Bartsch, KP. Van Miegroet, H. Boettinger, J. and Dobrowolski, JP. 2002. Using empirical erosion models and GIS to determine erosion risk at Camp Williams, Utah. Journal of Soil and Water Conservation. 57(1): 29-37.

8. Bezak, N. Mikoš, M. Borrelli, P. Alewell, C. Alvarez, P. Anache, J. and et al. 2021. Soil erosion modelling: A bibliometric analysis. Environmental Research. 197, 111087.

9. Bloomfield, JP. Jackson, CR. and Stuart, ME. 2013. Changes in groundwater levels, temperature, and quality in the UK over the 20th century: an assessment of evidence of impacts from climate change. Living with Environmental Change Report, UK. 114 pages.

10. Borrelli, P. Alewell, C. Alvarez, P. Anache, JAA. Baartman, J. Ballabio, C. and et al. 2021. Soil erosion modelling: A global review and statistical analysis. Science of the Total Environment. 780, 146494.

11. Bruce, RR. Langdale, GW. East, LJ. and Miller, WP. 1995. Surface soil degradation and soil productivity restoration and maintenance. Soil Science. 59: 654-660.

12. Chakroun, H. Bonn, F. and Fortin, JP. 1993. Combination of single storm erosion and hydrological models into a geographic information system, Farm Land Erosion: In Temperate Plains Environment and Hills. 261-270.

13. Chen, T. Niu, R. Li, P. Zhang, L. and Du, B. 2011. Regional soil erosion risk mapping using RUSLE, GIS, and remote sensing: a case study in Miyun Watershed, North China. Environment Earth Science. 541 – 533 :63.

14. Fallah suraki, M. Kaviani, A. and Omidvar, E. 2015. Zoning of soil erosion hazard in the Haraz watershed model RUSLE2. th National Conference on climate change and engineering sustainable agriculture and natural Resources. (Tehran). In Persian

بیشترین مقدار فرسایش در هر دو سال در اراضی بایر و کمترین مقدار آن در مناطق مسکونی به دست آمد. به طور کلی نتایج نشان داد که در حوضه مورد بررسی مقدار فرسایش از ۲۰۰۵ تا ۲۰۲۰ افزایش داشته است که بیانگر وضعیت خطرناکی برای حوضه در آینده است. بنابراین پیشنهاد می‌شود از عملیات حفاظت خاک و آب به‌ویژه در مناطق شیب‌دار و همچنین مناطق بالادست حوضه استفاده شود. همچنین باید باتوجه به تغییر کاربری اراضی در حوزه آبخیز چرداول اقداماتی برای حفاظت خاک و آب در مناطق با پتانسیل فرسایشی بالا انجام شود. نتایج به‌دست آمده نقشه فرسایش خاک در این تحقیق علاوه بر توسعه سناریوهای مدیریتی در منطقه به مدیران منابع طبیعی در اولویت‌بندی و بهکارگیری شیوه‌های مدیریتی مناسب در کنترل فرسایش خاک مناطق پرخطر حوضه چرداول کمک می‌کند.

سپاسگزاری

در نهایت نویسندگان مقاله بر خود واجب دانسته تا از دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری در جهت فراهم نمودن امکانات پژوهشی در راستای انجام هزینه‌های طرح پژوهشی به شماره ۱۴۰۱-۰۴ تشکر نمایند.

تضاد منافع نویسندگان

«نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که هیچ‌گونه تضاد منافی در خصوص نگارش و انتشار مطالب و نتایج این پژوهش ندارند.»

دسترسی به داده‌ها

«داده‌ها و نتایج استفاده شده در این پژوهش از طریق مکاتبه با نویسنده مسئول در اختیار قرار خواهد گرفت.»

مشارکت نویسندگان

لیلا غلامی: مفهوم‌سازی، راهنمایی، کنترل نتایج، ویرایش و بازبینی مقاله
عبدالواحد خالدی‌درویشان: راهنمایی، ویرایش و بازبینی مقاله، کنترل نتایج

سعید درختی: انجام تحلیل‌های نرم‌افزاری/آماري، نگارش نسخه اولیه مقاله

محبوبه کیانی‌هرچگانی: مشاوره، بازبینی متن مقاله

منابع مورد استفاده

1. Abbas, Z. and Jaber, HS. 2020. Accuracy assessment of supervised classification methods for extraction land use maps using remote sensing and GIS techniques. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 159-166:(1)745.

2. Ahmadi, H. 2009. Applied geomorphology. 6th edition. Tehran University Press.

3. Allafta, H. and Opp, C. 2022. Soil erosion assessment using RUSLE model, remote sensing and GIS in the Shatt Al-Arab basin. Applied Sciences(Switzerland). 12(15): 7776.

27. Khaledi Darvishan ,AV .Sadeghi ,SHR .Homaei ,M .and Arabkhedri ,M .2014 .Measuring sheet erosion using synthetic color-contrast aggregates .Hydrological Processes4463- : (15)28 . .25 .4471
- 28 .Khaledi Darvishan ,AV .Homayonfar ,V .and Sadeghi ,SHR. .2016The impact of standard preparation practice on the runoff and soil erosion rates under laboratory conditions .Solid Earth:(5)7 . .1302 -1293
- 29 .Khaledi Darvishan ,AV .Faraji ,J .Gholami ,L .and Khorsand, M .2021 .Spatial-temporal changes of soil erosion in Khamsan watershed using RUSLE model. Watershed engineering and management. 13(3): 534-547 Z. (In Persian)
30. King, C. Baghdadi, N. Lecomte, V. and Cerdan, O. 2005. The application of remote-sensing data to monitoring and modelling of soil erosion. *Catena*. 62(2): 79-93.
31. Khorsand, M. Khaledi Darvishan, AV. Gholamalifard ,M. .2016Comparing the results of estimating the annual loss of the RUSLE model with the data obtained from the pegs and erosion plots in the Khamsan watershed. *EcoHydrology*. 3(4): 669-680. (In Persian)
32. Laflen, JM. Lane, LG. and Foster, GR. 1991. A new generation of erosion prediction technology. *Journal of Soil and Water Conservation*. 46(1): 34-38.
33. Markose, VJ. and Jayappa, KS. 2016. Soil loss estimation and prioritization of sub-watersheds of Kali River Basin, Karnataka, India, using RUSLE and GIS. *Environmental Monitoring and Assessment*. 188(4): 1-16.
34. Marzen, M. Iserloh, T. Fister, W. Rodrigo-Comino, J. and B.Ries, J. On-Site water and wind erosion experiments reveal relative impact on total soil erosion. *Geosciences (Switzerland)*. 9 (11): 1–20.
35. Mezbani, M. Rezaei Moghadam, MH. and Hejazi, A. 2012. Assessment of soil erosion risk in land uses using RUSLE (Case study: Sikan basin). *ography and natural hazards*. 37: 41-63. (In Persian)
36. Mohammadi, M. Fallah, M. Kavian, A. Gholami, L. and Omidvar, A. 2016. Application of the RUSLE model in determining the spatial distribution of soil loss. *EcoHydrology*. 4(3): 645-658.
37. Mohammadi, SH. Karmzadeh, HR. Alizadeh, M. 2017. Spatial estimation of soil erosion in Iran using RUSLE model. *EcoHydrology*. 5(2):551-569. (In Persian)
38. Mohammadi, M. Khaledi Darvishan, AV. and Bahramifar, N. 2019. Spatial distribution and source identification of heavy metals
- 15 .Fu ,BJ .Zhao ,WW .Chen ,LD .Zhang ,QJ .Lü ,YH .Gulinck, H .and et al .2005 .Assessment of soil erosion at large watershed scale using RUSLE and GIS :a case study in the Loess Plateau of China .*Land Degradation and Development*.73-85 :(1)16 .
- 16 .Ganasri ,BP .and Ramesh H .2016 .Assessment of soil erosion by RUSLE model using remote sensing and GIS :A case study of Nethravathi Basin .*Geoscience Frontiers*.953-961 :(6)7 .
- 17 .Getachew ,H .and Melesse ,A .2015 .Effects of Land Use Change on Sediment and Water Yields in Yang Ming Shan National Park ,Taiwan .*Environments*.2:32-42 .
- 18 .Haji ,KH .Esmaeli Ori ,A .Mostafazadeh ,R .and Nazarnejad, H .2014 .Preparation and assessment of soil erosion map of Urmia Chai watershed using GIS and RUSLE .The2 th national conference on protection of natural resources and environment .Mohaghegh Ardabili university 6 .pages) .In Persian(
- 19 .Huang ,W .Ho ,HC .Peng ,Y .and Li ,L .2016 .Qualitative risk assessment of soil erosion for karst landforms in Chahe town, Southwest China :A hazard index approach .*Catena*.184-193 :144 .
- 20 .Ibrahim ,AL .Yaakub ,SS .Mohammad Khan ,NL .Huey ,TT. .2012Application of geographic information system in soil erosion prediction .The33 RD Asian conference on remote sensing.
- 21 .Jain ,S .and Kumar S .2001 .Estimation of Soil Erosion for a Himalayan Watershed Using GIS Technique .*Water Resources Management*.41-54 :(1)15 .
- 22 .Javandoost ,H .Ongh ,M .Hasanalizadeh ,M .and Skooti, R .2013 .Evaluating erosivity of rain using geostatic algorithm for assessment erosion in WaTEM/SEDEM model in Rozeh chay .The 15th conference of civil engineering students across the country, Uromia university 11 .pages) .In Persian(
- 23 .Jiu ,J .Wu ,H .Li ,S .2019 .The Implication of Land-Use/ Land-Cover Change for the Declining Soil Erosion Risk in the Three Gorges Reservoir Region ,China .*International Journal of Environmental Research and Public Health*.1-16 ;2019 .
- 24 .Jose ,A .MartõÁñez ,C .IneÁs ,B .and SaÁnchez ,A.2000 . Impact assessment of changes in land se/conservation practices on soil erosion in the PenedeÁs-Anoia vineyard region .*Soil & Tillage Research*.101-106 :57 .
- 25 .Jozi ,SN .and Moradi Majd ,N .2014 .Evaluation of factors affecting the severity of soil erosion in the six-factor method of FAO using the TOPSIS technique .*Protection and exploitation of natural resources* .79-100 :(1)4 .In Persian(
- 26 .Kamaludin ,K .Lihan ,T .Ali Rahman ,Z .Mustapha ,M .Idris, W .Rahim ,S .2013 .Integration of remote sensing ,RUSLE and GIS to model potential soil loss and sediment yield) SY .(*Hydrology*

- 49 .Shicheng ,L .Zhaofeng ,W .and Yili ,Z .2017.Crop cover reconstruction and its effects on sediment retention in the Tibetan Plateau for .2000–1900 J .Geography Science.786-800 :(7)27 .
- 50 .United States Department of Agriculture ,USDA.1981 . Hndbook no.282 .
- 51 .Wahala ,SS .Kazemi ,JH .Tariq ,A .2023 .Mapping and monitoring of spatio-temporal land use and land cover changes and relationship with normalized satellite indices and driving factors. Geology ,Ecology and Landscapes.1-17 :
- 52 .Williams ,JR .1975 .Sediment routing for agricultural watersheds .Water Resources Bulletin.974 -965 :11 .
- 53 .Wischmeier ,WH .1978 .Smith ,DD .Predicting rainfall erosion ,losses :a guide to conservation planning ,Agriculture Handbook ,Vol .537 .US Department of Agriculture ,Washington, DC.58-77 .
- 54 .Zakerinejad ,R .and Maerker ,M .2015 .An integrated assessment of soil erosion dynamics with special emphasize on gully erosion in the Mazayjan basin ,southwestern Iran .Natural Hazards.25-50 :(79)1 .
- 55 .Zandi ,J .Soleimani ,K .and Habibnejad Roshan ,M.2013 . Prioritizing of areas of soil erosion control using techniques of multi-criteria evaluation and GIS .Geography and Development.) .31:93-105In Persian(
- 56 .Zare ,M .Samani ,AN .Mohammadi ,M .Salmani ,H .and Bazrafshan ,J .2017 .Investigating effects of land use change scenarios on soil erosion using CLUE-s and RUSLE models. International Journal of Environmental Science and Technology. .1905-1918 :(9)14
- 57 .Zhou ,P .Luukkanen ,O .Tokola ,T .Nieminen ,J .2008 .Effect of vegetation cover on soil erosion in a mountainous watershed. Catena.319-325 :(3)75 .
- 58 .Zhang ,X .Li ,Z .Tang ,Z .Zeng ,G .Huang ,J .Guo ,W .and et al .2013 .Effects of water erosion on the redistribution of soil organic carbon in the hilly red soil region of southern China. Geomorphology.137-144 :197 .
- (As, Cr, Cu and Ni) at sub-watershed scale using geographically weighted regression. International Soil and Water Conservation Research. 7 (3): 308–315.
39. Mousavi, H. Ranjbar, A. and Haseli, M. 2014. Monitoring and evaluation of land use changes in Abarkouh area using satellite images (1976-2014). Sepehr Geographical Information 25(97): 129-146. (In Persian)
40. Nazari Samani, AA. Ghorbani, M. and Kohbanani, HR. 2010. Evaluation of the trend of land use changes in the Taleghan watershed in the period from 1366 to 1380. Rangeland. 4(3): 442-451.
41. Niknehad, H. and Marameaei, M. 2012. Effects of land use changes on soil characteristics in Kechik watershed. Soil sustainability and management. 1(2): 715-727. (In Persian)
42. Parysow, P. Wang, GX. Gertner, G. and Anderson, AB. 2003. Spatial uncertainty analysis for mapping soil erodibility based on joint sequential simulation. Catena. 53: 65-78.
43. Pimentel, D. and Burgess, M. 2013. Soil erosion threatens food production. Agriculture (Switzerland). 3(3): 443-463.
44. Rezaei, P. Faridi, P. Ghorabani, M. and Kazemi, M. 2013. Estimating soil erosion using the RUSLE model and identifying its most effective factor in the Gabrik watershed-south-eastern Hormozgan province. Quantitative Geomorphology Research. 3(1): 97-113. (In Persian)
45. Renard, KG. and Freimund, JR. 1994. Using monthly precipitation data to estimate the R factor in the revised USLE. Journal of Hydrology. 157: 287-306.
- 46 .Rompaey ,A .Szilassi ,P .Jordan G .and Csillage ,G.2002 . Impacts of historical land use changes on erosion and agricultural soil properties in the Kali Basin at Lake Balaton ,Hungary .Science Direct.96-108 :(3)68 .
- 47 .Sadeghi ,SHR .Mostafazadeh ,R .and Saedaldin ,A.2014 . Sediment response and sediment measurement rings to the type and spatial distribution of land use .Watershed engineering and management) .15-26 :(1)7 .In Persian(
48. Schowanek ,D .David ,H .Francaviglia ,R .Hall ,J .Kirchmann, H .Krogh ,PH .and et al .2007 .Probabilistic risk assessment for linear alkylbenzene sulfonate) LAS (in sewage sludge used on agricultural soil .Regul .Toxicol .Pharm.259–245 :49 .

Evaluating the Effect of Land use Change on Soil Erosion Using the RUSLE Model in the Chardavol Watershed of Ilam

Leila Gholami¹, Abdulvahed Khaledi Darvishan², Saeid Derakhti³ and Mahboobeh Kiani Harchegani⁴

Received: 2023-12-25 Accepted: 2024-2-13

Extended Abstract

Introduction

The soil erosion is one of the effective factors in reducing agricultural production and threatening food security, in which the soil fertile layer is destroyed. The risk of soil erosion is different depending on the watershed topography, soil characteristics, conditions of local weather, land use and methods of land management, which the land use change can be exacerbated. Land use changes are one of the important factors in changing hydrological flow and soil erosion. As a result of land use change and vegetation destruction, a large part of the rainfall has turned into runoff, which in addition to soil loss and sediment production, causes a lot of financial and human losses caused by floods. Therefore, the knowledge from erosion process in different time periods can help in determination of the distribution pattern of erosion and its effects over time. So that, the decision-makers, while monitoring and evaluating the conducted measures about the soil and water conservation take the appropriate decisions for the current and future conditions of watersheds. Therefore, in the present study, the effects of land use change on soil erosion have been evaluated using the RUSLE model in Chardavel watershed of Ilam province for the years 2005 and 2020.

Materials and methods

In the present study, the effective factors in the Revised Universal Soil Loss Equation were prepared in the form of raster layer. These factors include the rainfall erosivity, length and degree of slope, vegetation management, soil erodibility and conservation operations. The factor of rainfall erosivity was calculated for each of the stations inside and outside the watershed and the erosivity layer was prepared in the GIS environment, by using the Inverse Distance Weighting method. For the length and degree of slope were used from the digital elevation model map and cumulative flow map. The layer of soil erodibility was obtained using the soil texture map. The NDVI index was calculated using Landsat 8 of OLI sensor (2020) and satellite images of five ETM Landsat satellite images (2005) and using bands of 4 and 5 (for Landsat 8)

1. Associate Professor, Corresponding Author, Department of Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran. Email: l.gholami@sanru.ac.ir

2. Associate Professor, Department of Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Noor, Iran.

3. Ph.D. Student, Department of Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran

4. Ph.D. in Watershed Management Sciences & Engineering, Expert of Planning and Development Deputy, Esfahan Regional Water. Esfahan, Iran.

and bands of 3 and 4 (for Landsat 5) in the remote sensing software, and then, the management factor was obtained in years of 2005 and 2020. In order to obtain the factor of conservation operation, the land use map was used for years of 2005 and 2020, and according to each land use was determined the its conservation value. In the next step, the amount of annual soil loss was estimated by multiplying these layers in the GIS environment. Finally, to determine the amount of erosion in each of land uses, the layers of erosion and land use placed on top of each other to the years of 2005 and 2020.

Results and discussion

The results showed that the rainfall erosivity was from 220.5 to 309.8 MJ mm ha⁻¹ h⁻¹, the length and degree of slope were 0 – 403.7 at the pixel level, the vegetation management was 0.16 - 0.57 (in year of 2005) and 0.18 - 0.61 (in year of 2020), the soil erodibility was 0.03 - 0.06 t. ha h ha⁻¹ MJ⁻¹ mm⁻¹ and protection operation was 0-1 for both years of 2005 and 2020. The average erosion was 13.23 t ha⁻¹. year⁻¹ for year of 2005 and this value was 20.13 t ha⁻¹ year⁻¹ for year of 2020. The barren land uses due to the lack of vegetation produces the highest amount of erosion, so that its amount has increased years of 2003 to 2005 from 0.65 to 3.8 t, and residential areas due to the presence insulation, asphalt and proper drainage have the more role of transferring runoff. In agricultural areas, it has been exposed to erosion during this period due to not following the principles of proper cultivation and usage of proper tools.

Conclusion

Considering the extensive effects of soil erosion on various aspects of human life, its continuous monitoring and evaluation can help to make the right decisions to confronting with this crisis. In the present study, the RUSLE model was used to investigate the effects of land use change on soil erosion for the years of 2005 and 2020 in Chardavol watershed. In general, the results showed that the erosion amount has increased in the studied watershed from 2005 to 2020, which it indicates that there is the dangerous situation for the watershed in the future. Therefore, it is suggested to use soil and water conservation operations, especially in the steep areas and also in the upstream areas of the watershed. Also, according to the change of land use in Chardavol watershed, the measurements should be taken for soil and water conservation in areas with high erosion potential. It also seems that the adoption of appropriate laws to prevent land use change can help reduce soil erosion. But, because the most important part of the watershed are its residents, these laws should be in such a way that while attracting people's participation and satisfaction, it guarantees their stable income. Therefore, the development of management scenarios in the region will help natural resource managers in prioritizing and usage of appropriate management methods in controlling soil erosion in high-risk areas of Chardavol watershed.

Keywords: *land degradation, sediment production, mountain watershed, Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE), Sediment Yield.*



Acknowledgement

We would like to express our sincere gratitude to the Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University (SANRU) for the financial and logistical supports (with number of 04-1401-15) who significantly contributed during the research project.

Conflicts of interest

The authors of this article declared no conflict of interest regarding the authorship or publication of this article.

Data Availability Statement:

The datasets are available upon a reasonable request to the corresponding author.

Authors' contribution

Liela Gholami: Conceptualization, Supervision, Control result, Editing and revising the manuscript

Abdulvahed Khaledi Darvishan: Supervision, Editing and revising the manuscript, Control result

Saeid Derakhti: Statistical analyses, Writing the first version of the manuscript

Mahboobeh Kiani Harchegani: Supervision, Revision of the manuscript text