



مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس

پژوهش‌های آبخیزداری

شاپا: ۲۰۳۸-۲۹۸۱



مادان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی

بررسی تغییرپذیری ماهانه فرسایش خاک در آبخیز معرف کسلیان با استفاده از مدل RUSLE

فاطمه سارونه^۱، عبدالواحد خالدی درویشان^{۲*}، وحید موسوی^۳

- ۱ - دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور
- ۲ - دانشیار گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور
- ۳ - استادیار گروه مهندسی آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تربیت مدرس، نور

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف

یکی از رایج‌ترین انواع نابودی خاک، فرسایش خاک به وسیله عوامل‌های باران و رواناب است. فرسایش خاک باعث کاهش کیفیت خاک در محل فرسایش می‌شود و رسوب به وجود آمده از فرسایش نیز باعث ایجاد مشکلاتی در درون و خارج از آبخیز می‌شود. به دلیل هزینه زیاد اندازه‌گیری فرسایش خاک و تولید رسوب، مدل‌های متنوعی برای برآورد شدت این متغیرها در مقیاس‌های مختلف مکانی و زمانی پیشنهاد شده است. از این میان معادله جهانی اصلاح‌شده هدررفت خاک (RUSLE) هم به دلیل وجود داده‌های لازم برای عامل‌های ورودی مدل و هم امکان اجرا به شکل توزیعی، به‌طور گسترده در همه نقاط جهان استفاده شده است.

مواد و روش‌ها

این پژوهش با هدف برآورد فرسایش خاک با استفاده از مدل RUSLE در مقیاس ماهانه در سال ۲۰۲۱ برای آبخیز معرف کسلیان انجام شد. ابتدا نقشه توزیعی پنج عامل مدل RUSLE تهیه شد. از آنجایی که متغیرهای

نوع مقاله: پژوهشی

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: vahedkhaledi@yahoo.com

استناد: سارونه، ف.، خالدی درویشان، ع.، موسوی، و. ۱۴۰۳. بررسی تغییرپذیری ماهانه فرسایش خاک در آبخیز معرف کسلیان با استفاده از مدل RUSLE. پژوهش‌های آبخیزداری، ۳۷ (۳): ۵۴-۷۵.

شناسه دیجیتال: 10.22092/WMRJ.2023.362691.1545

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۴/۱۰، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۵/۱۴، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۶/۳۰، تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۷/۰۱
پژوهش‌های آبخیزداری، سال ۱۴۰۳، دوره ۳۷، شماره ۳، شماره پیاپی ۱۴۴، پاییز ۱۴۰۳، صفحه‌های ۵۴ تا ۷۵.

© نویسندگان

ناشر: مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان فارس



پوشش گیاهی و بارش در مقیاس ماهانه تغییر قابل توجهی داشتند، تغییرات زمانی عامل‌های مزبور منجر به پویایی سامانه آبخیز و تغییرات ماهانه فرسایش خاک شد. همچنین، عامل‌های فرسایش‌پذیری خاک، پستی‌بلندی و مدیریت زمین به‌عنوان عامل‌های ایستا در نظر گرفته شد. سرانجام عامل‌های پنج‌گانه مدل در نرم افزار Arc GIS در یکدیگر ضرب شدند و نقشه‌های توزیعی فرسایش در مقیاس‌های ماهانه، فصلی و سالانه تهیه شد.

نتایج و بحث

با توجه به نقشه‌های توزیعی ماهانه، فصلی و سالانه فرسایش خاک، بیش‌ترین و کم‌ترین فرسایش ماهانه خاک به ترتیب ۱/۱۳ و ۰/۱۳ تن در هکتار در ماه‌های نوامبر و آوریل رخ داد. میانگین شدت فرسایش خاک در فصل بهار، تابستان، پاییز و زمستان به ترتیب ۱/۳۲، ۲/۷۴، ۲/۹۹ و ۱/۵۲ تن در هکتار به دست آمد. بنابراین، کم‌ترین فرسایش فصلی خاک به ترتیب در فصل بهار و زمستان و بیش‌ترین آن به ترتیب در فصل پاییز و تابستان رخ داده است. سرانجام می‌توان گفت فرسایش خاک در نیمه دوم سال بیش‌تر از نیمه اول، بود. میانگین شدت فرسایش خاک در آبخیز معرف کسلیان ۸/۵۶ تن در هکتار در سال برآورد شد.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

نتایج نشان داد فرسایش در بخش گسترده‌ای از آبخیز بررسی‌شده، کم بود و فقط دامنه‌های با شیب زیاد به‌ویژه با پوشش گیاهی کم شامل مراتع و زمین‌های زراعی رهاشده، مستعد فرسایش تشدید خاک بودند. بر اساس نتایج این پژوهش فرسایش خاک به دلیل تبدیل کاربری‌های جنگل و مرتع به زمین‌های کشاورزی و باغی و حتی مسکونی، افزایش یافت. سرانجام پیشنهاد می‌شود که با استفاده از راهکارهای مدیریتی و اقدام‌های حفاظت خاک به‌ویژه در دامنه‌ها و مناطق با شیب زیاد از تغییر کاربری زمین جلوگیری شود.

واژگان کلیدی: تغییر کاربری زمین، حفاظت خاک، فرسایش‌پذیری خاک، مدل‌های توزیعی، مدل RUSLE

مقدمه

و باعث کاهش منابع اقتصادی و افزایش سوء تغذیه در کشورهای مختلف می‌شود (گاین و همکاران ۲۰۱۷). به دلیل هزینه زیاد اندازه‌گیری فرسایش خاک و تولید رسوب، مدل‌های متنوعی برای برآورد شدت این متغیرها در مقیاس‌های مختلف مکانی و زمانی توسعه یافته است. (حاجی‌قلی‌زاده و همکاران ۲۰۱۸). با توجه به اهمیت حفاظت خاک و اهمیت بررسی و تعیین حساسیت خاک در مقابل عامل‌های فرسایش‌پذیری، پژوهشگران در زمینه‌های گوناگونی سعی کرده‌اند تا عامل‌های فرسایش را شناسایی کنند و مدل‌هایی را برای ارزیابی خاک ارائه دهند (بیاتی‌خطیبی ۲۰۱۶). مدل‌های فرسایش خاک ابزار اساسی برای ارزیابی دقیق و پیش‌بینی وضعیت شدت فرسایش خاک در مقیاس منطقه‌ای هستند (تیان و همکاران ۲۰۲۱). هم‌اکنون، روش‌های پرشماری برای برآورد فرسایش آبی خاک وجود دارد که با ورودی‌های متفاوت می‌توان فرسایش را برآورد کرد. معادله جهانی اصلاح‌شده هدررفت خاک (RUSLE) با سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) و سنسچ از دور (RS) تلفیق شده است و امکان تحلیل داده‌های مکانی را فراهم می‌آورد. این موضوع نیز موجب شده تا از این مدل

امروزه فرسایش خاک به‌عنوان خطری برای رفاه انسان و حتی برای حیات او به‌شمار می‌آید (حمزه و عرب‌خدری ۲۰۲۳). در میان فرآیندهای مختلف نابودی زمین‌ها، فرسایش خاک تهدیدی جدی برای حفاظت منابع آب و خاک کشورمان است. فرسایش، نتیجه اثر متقابل مجموعه‌ای از عامل‌های طبیعی و انسانی است که برحسب شرایط خاص منطقه، یک یا چند عامل، به‌عنوان عامل‌های اصلی و تعیین‌کننده اثرگذار هستند (محمدی و همکاران ۲۰۲۲). فرسایش خاک یک فرآیند طبیعی است که در آن وسعت و بزرگی از دست‌دادن خاک به‌وسیله عامل‌های مختلف محیطی مانند آب و هوا، خاک، پستی‌بلندی و پوشش گیاهی مهار می‌شود (ویش‌مایر و اسمیت ۱۹۷۸). آب و باد دو عامل اصلی ایجاد فرسایش خاک هستند (آلول و همکاران ۲۰۱۹). فرسایش آبی تحت تأثیر آب و هوا، پستی‌بلندی سطح زمین، سنگ‌شناسی، پوشش گیاهی و فعالیت‌های انسانی است (عثمان و همکاران ۲۰۲۳). برآورد تقریبی نشان می‌دهد که سالانه ۱۰ میلیون هکتار از زمین‌های زراعی جهان به دلیل فرسایش خاک نابود می‌شود. از این رو، تولیدات کشاورزی کاهش می‌یابد

خاک در دامنه‌های شیب‌دار شدید و در مناطق با پوشش گیاهی متراکم، ناچیز بود. در هند در آبخیز ناحیه الله‌آباد از ایالت اوتار پرادش، راوات و همکاران (۲۰۱۸) اندازه آسب‌پذیری در مقابل فرسایش خاک را با استفاده از RUSLE و GIS ارزیابی کردند. آنها نتیجه گرفتند که فرسایش خاک موجب کاهش پوشش گیاهی شد و حتی در مواردی رویش پوشش گیاهی را متوقف کرد. این پژوهشگران تأکید کردند که بررسی نقشه‌های خطر فرسایش در ایجاد رویکردهای بهتر برای برنامه‌ریزی زمین و محیط‌زیست مفید خواهد بود. در کشور نپال، کویرالا و همکاران (۲۰۱۹) با استفاده از مدل RUSLE اندازه سالانه هدررفت خاک را برآورد کردند. نتایج آنها بیانگر آن بود که کل منطقه بر اساس شدت فرسایش به شش طبقه فرسایش طبقه‌بندی شد و ۱۱٪ از منطقه در معرض خطر فرسایش بسیار شدید (بیشتر از ۸۰ تن در هکتار در سال) بود.

سها و همکاران (۲۰۲۲) برای محاسبه شدت فرسایش سالانه خاک در منطقه زیرآبخیز جامونای غربی از مدل RUSLE استفاده کردند. نتایج این پژوهش بیانگر آن بود که در اثر فرسایش سالانه خاک ۵۹۸۲۳۲ تن خاک از منطقه مطالعه‌شده هدر رفت. افزون بر این، در این پژوهش میانگین بالقوه شدت فرسایش خاک تقریباً ۲۹/۵ تن در هکتار در سال برآورد شد. در نیوزیلند در تعدادی از آبخیزها، دانون (۲۰۲۲) هدررفت خاک ناشی از فرسایش سطحی را مدل‌سازی کرد و عامل‌های مؤثر بر آن را در هر یک از کاربری‌های زمین‌ارزیابی کرد. در این پژوهش، اثرات چرای دام بر پوشش زمین (Cgr) و فرسایش‌پذیری خاک (Ktr) در چارچوب مدل RUSLE بررسی شد. اعتبارسنجی نتایج با استفاده از اندازه‌گیری‌های مستقیم رسوب و انگشت‌نگاری رسوب انجام شد. نتایج این بررسی نشان داد که رابطه میان نتایج برآوردی مدل و نتایج مشاهده‌ای، خطی قوی بود ($R^2=0.186$). سرانجام این پژوهشگران گزارش کردند که تأثیر عامل پستی‌بلندی بر فرسایش خاک به‌طور مستقیم از طریق شیب و همگرایی جریان بود و به‌طور غیرمستقیم نیز از طریق اثر بر فرسایش‌نگاری باران بود. در کشور تونس، سرباجی و همکاران (۲۰۲۳) خطر فرسایش خاک را با استفاده از مدل RUSLE ارزیابی کردند. نتایج این پژوهش نشان داد که تونس در معرض جدی خطر فرسایش آبی خاک است، به‌طوری‌که ۶/۴۳٪ از مساحت کل کشور هدررفت خاک بسیار زیادی (بیش از ۳۰ تن در هکتار در سال) دارد و ۴/۲۰٪ از مساحت کل کشور هدررفت خاک به اندازه ۲۰ تا ۳۰ تن در هکتار در سال دارد.

در ایران، ذبیحی و همکاران (۲۰۱۴) الگوهای مکانی

در مقیاس‌های مختلف به‌شکل گسترده استفاده شود (هویوس ۲۰۰۵؛ پاناگوس و همکاران ۲۰۱۵؛ محمدی و همکاران ۲۰۱۸).

هم‌اکنون، شاید بتوان گفت RUSLE پرکاربردترین مدل پیش‌بینی فرسایش خاک در سطح جهان است (ریس و همکاران ۱۹۹۳). در این پژوهش مدل RUSLE به‌عنوان نسخه اصلاح‌شده USLE برای پیش‌بینی فرسایش خاک سالانه به‌شمار می‌آید (حاجی و همکاران ۲۰۱۴). این مدل برآوردهای دقیق‌تری از عامل‌های R، K، C و P ارائه می‌دهد (محمدی و همکاران ۲۰۱۸). مدل RUSLE می‌تواند ظرفیت فرسایش خاک را به‌شکل توزیعی پیش‌بینی کند که برای شناسایی الگوی مکانی هدررفت خاک بسیار مفید است (شیند و همکاران ۲۰۱۰). در این شرایط، با ظهور سامانه اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور، مزایای پژوهش فرسایش خاک در مقیاس بزرگ می‌تواند با RUSLE سازگارتر باشد (ژانگ و همکاران ۲۰۱۹؛ اسلام و همکاران ۲۰۲۰؛ بهرا و همکاران ۲۰۲۰). سامانه اطلاعات جغرافیایی، تحلیل داده‌های مکانی را با سرعت بیشتر و به‌سادگی امکان‌پذیر کرده و مدیریت اطلاعات را ساده می‌کند (شی و همکاران ۲۰۰۴). در این راستا، با توجه به اهمیت روز افزون فرسایش خاک و با تأکید بر بررسی کارایی و تأثیر سامانه اطلاعات جغرافیایی، داده‌های سنجش از دور و مدل RUSLE، فرسایش خاک در مقیاس ماهانه در آبخیز کسلیان بررسی شد. نتایج این پژوهش می‌تواند برای پژوهشگران و مسئولان برای پهنه‌بندی فرسایش خاک استفاده شود.

تازه‌ترین نتایج پژوهش‌های استفاده از مدل RUSLE در جهان نشان‌دهنده کارایی مناسب این مدل برای برآورد فرسایش خاک در مقیاس‌های مختلف زمانی است. در جنوب غربی هند در آبخیز نترآواتی، گاناسری و رامش (۲۰۱۶) به‌وسیله معادله جهانی هدررفت خاک (RUSLE) در محیط GIS تلفات خاک را برآورد کردند. نتایج پژوهش آنها نشان داد که فرسایش کل سالانه خاک در ۴۷۲۳۳۹ تن در سال بود و رسوب اندازه‌گیری‌شده در طول سال آبی (۲۰۰۲-۲۰۰۳) نیز ۴۴۱۸۷۰ تن بود. در شرایطی که نرخ فرسایش خاک پیش‌بینی شده به‌دلیل افزایش سطح کشاورزی ۱۴۳۷۳/۵ تن در سال بود. این پژوهشگران گزارش کردند که بخش گسترده‌ای از آبخیز مزبور در طبقه احتمال کم بود و فقط بخش کوچکی در زیر طبقه احتمال زیاد و بسیار زیاد بود. در نیجریه نوگیو و همکاران (۲۰۱۸) با استفاده از مدل RUSLE و سنجش از دور تأثیر تغییر پوشش زمین بر اندازه فرسایش خاک را در چهار دوره بررسی کردند. آنها نتیجه گرفتند فرسایش

اعمال ضریب اصلاحی این مدل توانست اندازه میانگین فرسایش کل دوره را با خطای میان ۲ الی ۱۷٪ برآورد نماید.

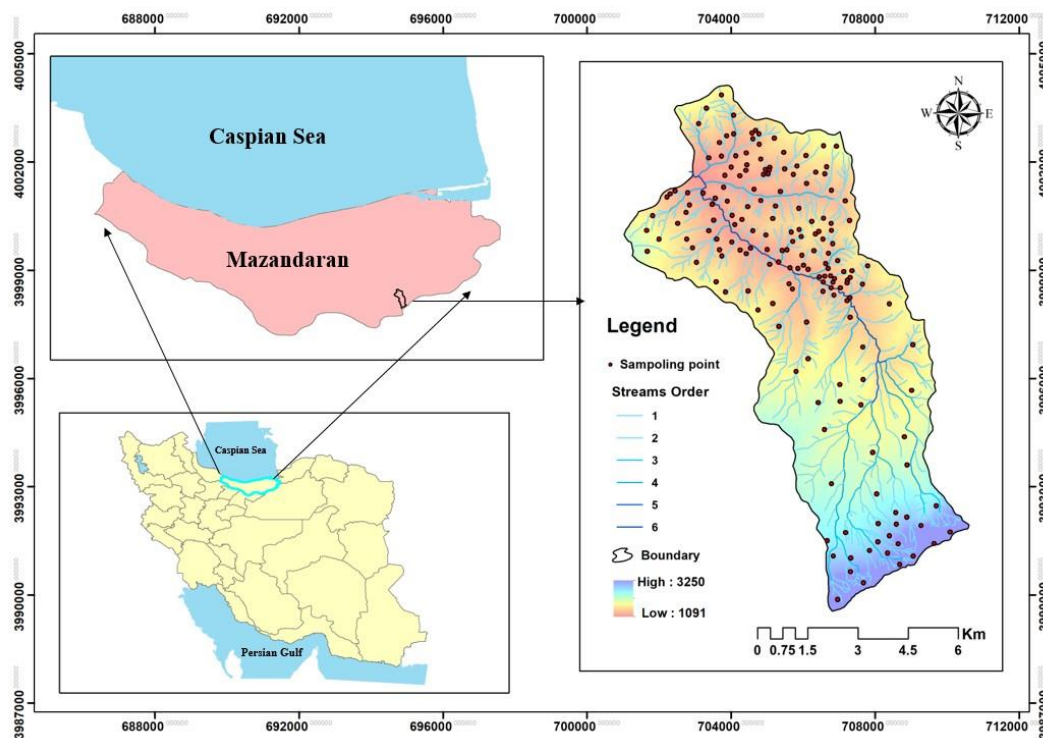
بر پایه نتایج پژوهش‌های انجام شده، صحت و دقت مدل RUSLE تأیید شده است. این مدل در تمام کاربری‌های زمین نتایج قابل قبولی داشته است. همچنین، پژوهش‌هایی در رابطه با پویایی عامل‌های فرسایش باران و پوشش گیاهی و تأثیر آن بر تغییرات فرسایش خاک انجام شده است. اما، پژوهش‌ها در مقیاس ماهانه بسیار کم است. از این رو بر اساس پوشش جنگلی، تغییرات کاربری زمین و شیوه‌های کشاورزی ناصحیح که به شکل پرشمار در سطح منطقه مطالعه شده مشاهده می‌شود، این پژوهش با هدف برآورد فرسایش خاک با استفاده از مدل RUSLE در مقیاس ماهانه در سال ۲۰۲۱ در آبخیز معرف کسلیان در استان مازندران انجام شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مطالعه شده

آبخیز معرف کسلیان یکی از سرشاخه‌های رود تالار است. این آبخیز میان عرض‌های جغرافیایی $35^{\circ} 58' 45''$ تا $36^{\circ} 07' 45''$ شمالی و طول‌های $53^{\circ} 10' 30''$ تا $53^{\circ} 17' 30''$ شرقی است. مساحت این آبخیز $67/5$ کیلومتر مربع است. این آبخیز میان بلندی‌های 1100 تا 2900 متری از سطح آب‌های آزاد است (سرتیپ و همکاران ۲۰۱۸) (شکل ۱). ایستگاه آب‌سنجی ولیک‌بن در خروجی این آبخیز در نزدیکی روستای ولیک‌بن و در بلندی 1200 متر از سطح دریا است. میانگین بارندگی در آبخیز 750 میلی‌متر است. بر پایه طبقه‌بندی دومارتن اقلیم منطقه مطالعه شده نیمه‌مرطوب تا بسیار مرطوب است. پوشش گیاهی غالب در این آبخیز پوشش جنگلی است که با گذشت زمان در اثر افزایش جمعیت روستاها از وسعت آن کاسته و بر وسعت کاربری‌های دیگر افزوده شده است (صادقی و همکاران ۲۰۱۴).

عامل فرسایش باران در مقیاس‌های زمانی متفاوت را تحلیل کردند و نشان دادند که اندازه میانگین سالانه عامل فرسایش باران در کشور $30/31$ تن متر سانتی‌متر بر هکتار ساعت است. در غرب استان ارومیه در آبخیز روضه‌چای، حاجی و همکاران (۲۰۱۸) اندازه فرسایش خاک در کاربری‌های مختلف با استفاده از مدل RUSLE را ارزیابی و مقایسه کردند. نتایج این پژوهش نشان داد که اندازه میانگین فرسایش خاک آبخیز مزبور $13/1$ تن در هکتار در سال بود. آنها بیش‌ترین اندازه میانگین فرسایش خاک در کاربری‌های مرتع با پوشش متوسط و مرتع با پوشش متراکم را به ترتیب $16/73$ و $14/53$ تن بر هکتار در سال برآورد کردند. در آبخیز معرف خامسان، خالدی‌درویشان و همکاران (۲۰۲۱) تغییرات مکانی-زمانی فرسایش خاک در دو سال آبی ۹۵-۱۳۹۴ و ۹۷-۱۳۹۶ را با استفاده از مدل RUSLE را ارزیابی کردند و دریافتند که فرسایش خاک در فصل زمستان با اندازه‌های $3/94$ و $4/59$ تن در هکتار به ترتیب 49 و 74 ٪ از کل فرسایش دو سال بررسی شده را به خود اختصاص داد. قویمی‌پناه و همکاران (۱۴۰۱) در پژوهشی از مدل RUSLE برای برآورد شدت فرسایش و رسوب در آبخیز کن واقع در استان تهران استفاده کردند. نتایج این پژوهش نشان داد که میانگین شدت فرسایش و رسوب آبخیز کن به ترتیب برابر با 9 تن در هکتار و $3/2$ تن در هکتار بود. همچنین پاسبان و همکاران (۲۰۲۲) اندازه فرسایش خاک در آبخیز بالیخوچای در استان اردبیل را به وسیله مدل RUSLE مورد ارزیابی قرار دادند. نتایج این مطالعه نشان داد که اندازه میانگین سالانه فرسایش خاک برای کل آبخیز در دامنه میان $6/65$ تا $14/75$ تن در هکتار در سال متغیر است. نور و همکاران (۲۰۲۳) در پژوهشی به برآورد فرسایش خاک و نسبت تحویل رسوب با استفاده از مدل RUSLE در پایگاه پژوهش‌های حفاظت خاک سنگانه پرداختند. نتایج حاکی از آن بود که برآوردهای مدل RUSLE از وضعیت فرسایش و رسوب با نتایج داده‌های کرت‌های فرسایشی تطابق نداشت. اما پس از



شکل ۱- موقعیت آبخیز معرف کسلیان در استان مازندران و ایران.

Figure 1- Location of the Kasilian representative watershed in Mazandaran Province and Iran.

معادله جهانی اصلاح شده هدررفت خاک (RUSLE) معادله جهانی هدررفت خاک (USLE) در سال ۱۹۴۷ به وسیله سازمان تحقیقات کشاورزی ایالات متحده آمریکا برای برآورد اندازه فرسایش سطحی ارائه شد (ویشمایر و اسمیت ۱۹۷۸). در معادله جهانی اصلاح شده هدررفت خاک می توان لایه های ورودی را به شکل توزیعی با کمک روش های GIS و RS به دست آورد (رنارد و فریدمند ۱۹۹۴). فرسایش خاک در مدل RUSLE از حاصل ضرب پنج عامل و به شکل رابطه ۱ برآورد می شود.

$$A=R \times K \times LS \times C \times P \quad (1)$$

A: میانگین سالانه هدررفت خاک در واحد سطح (تن در هکتار در سال)، R: عامل فرسایش باران (مگاژول میلی متر در هکتار بر ساعت در سال)، K: عامل فرسایش پذیری خاک (تن در ساعت بر مگاژول بر میلی متر)، L: عامل طول شیب، S: عامل درجه شیب، C: عامل مدیریت زراعی (مدیریت پوشش گیاهی)، P: عامل مدیریت زمین است.

در این میان عامل های C، LS و P بدون واحد هستند. عامل LS عامل پستی بلندی مدل است و با استفاده از نقشه پستی بلندی به دست می آید. عامل های C و P به ترتیب اثر حفاظتی پوشش زمین و اقدام های حفاظتی در

داده های استفاده شده

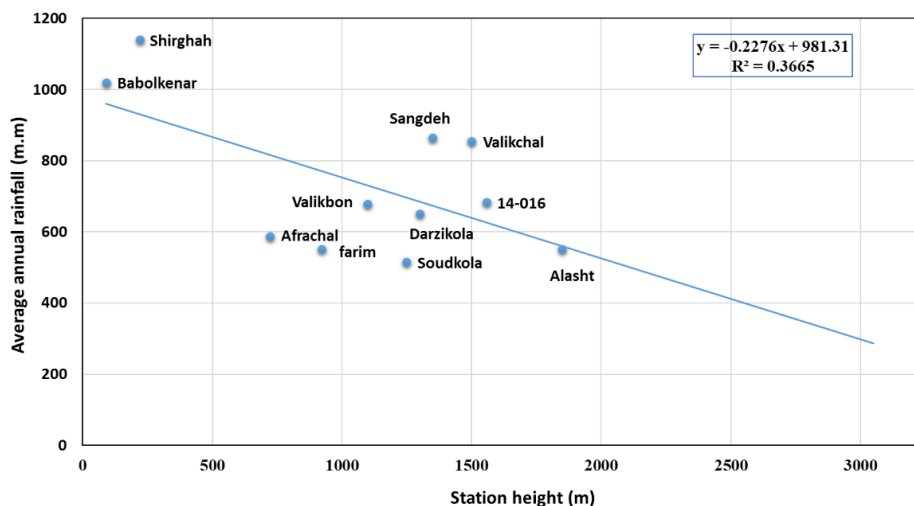
در این پژوهش از داده های ماهانه و سالانه بارندگی در پنج ایستگاه باران سنجی در درون و نزدیک به آبخیز استفاده شد. ابتدا لایه مدل رقومی ارتفاع (DEM) با دقت مکانی ۱۲/۵ متر از سنجنده ALOS از پایگاه زمین شناسی آمریکا تهیه شد. برای تهیه نقشه عامل پستی-بلندی (LS) نیز از این مدل رقومی ارتفاع استفاده شد. سپس، با استفاده از تصاویر ماهواره لندست ۹ در سال ۲۰۲۱ برای منطقه مطالعه شده که از تارنمای سازمان زمین شناسی ایالات متحده آمریکا دریافت شده بود و نمونه های تعلیمی جمع آوری شده با بازده های میدانی از منطقه مزبور، نقشه کاربری زمین تهیه شد. همچنین ضمن بازدید از آبخیز، از خاک سطحی در همه کاربری های زمین نمونه برداری با پراکنش مناسب انجام شد. سپس نمونه های خاک به آزمایشگاه منتقل شد و متغیرهای لازم برای برآورد عامل فرسایش پذیری خاک (K) اندازه گیری شد. در این پژوهش از نرم افزار Arc GIS ۱۰٫۸ برای تهیه تمام نقشه های عامل ها و تحلیل نتایج آن ها استفاده شد. برای تهیه لایه پوشش گیاهی و کاربری زمین نیز از نرم افزار ENVI 5.6 استفاده شد. سرانجام محاسبات آماری نیز با استفاده از نرم افزار EXCEL 2016 انجام شد.

۱۹۷۸). با توجه به نبود اطلاعات داده‌های باران‌نگاری در آبخیز مطالعه‌شده، داده‌های میانگین ماهانه و سالانه بارندگی ایستگاه‌های باران‌سنجی درون و اطراف آبخیز مطالعه‌شده در سال ۲۰۲۱ جمع‌آوری شد (جدول ۱). سپس با استفاده از معادله شیب بارندگی (شکل ۲)، اندازه میانگین سالانه بارندگی برای نقاط بلندی نقشه DEM به‌دست آمد و نقشه توزیعی اندازه میانگین سالانه بارندگی به فرسایندهای سالانه باران تبدیل شد. سرانجام از نسبت بارندگی ماهانه به سالانه در ایستگاه سنگده که در مرکز آبخیز بود، نقشه‌های توزیعی فرسایندهای باران به‌شکل ماهانه در نرم‌افزار Arc GIS 10.8 به‌دست آمد و این نقشه‌ها برای مقیاس فصلی و سالانه با هم جمع شدند.

برابر فرسایش خاک را شبیه‌سازی می‌کنند. از آنجایی که عامل‌های فرسایندهای باران و مدیریت زراعی در مقیاس ماهانه قابل تغییر بودند، به‌عنوان متغیرهای زمانی مؤثر در فرسایش در این مدل در نظر گرفته شدند. به‌عبارت دیگر عامل‌های بارش و پوشش گیاهی در مقیاس ماهانه تغییر قابل توجهی داشتند و به‌منظور بررسی تغییرات زمانی فرسایش (ماهانه و فصلی) در این مدل به‌عنوان عامل‌های پویا در نظر گرفته شدند (مددی و همکاران ۲۰۲۳).

عامل فرسایندهای باران (R)

شرایط فرسایشی خاک با برخورد قطره‌های باران با خاک سطحی و تبدیل انرژی جنبشی به جابجایی ذرات خاک تعیین می‌شود. بنابراین فرسایندهای باران با افزایش شدت بارندگی افزایش می‌یابد (ویشمایر و اسمیت



شکل ۲- رابطه میان میانگین بارندگی و بلندی ایستگاه‌های باران‌سنجی (معادله شیب بارندگی).

Figure 2- The relationship between the average rainfall and the height of the rain gauge stations (The rainfall gradient equation).

ماهانه باران، ضریب پوشش برف با در نظر گرفتن پوشش برف به‌دست آمده از تصویرهای ماهواره‌ای در هر ماه، اصلاح شد. به‌عبارت دیگر، در شرایطی که در تصویر مربوط به یک ماه مشخص یک پیکسل پوشیده از برف بود، فرسایندهای باران آن پیکسل در آن ماه، صفر اعمال شد.

$$R = (0.38 P) + 81.5 \quad (2)$$

R: میانگین سالانه فرسایندهای باران (مگاژول میلی‌متر بر هکتار ساعت) و P: میانگین سالانه بارندگی است (خرسند و همکاران ۲۰۱۵). پس از تهیه نقشه توزیعی عامل فرسایندهای

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی آبخیز معرف کسلیان.

Table 1- Characteristics of the weather stations of Kasilian representative watershed.

Station	Elevation (m)	Rainfall 2021(m.m)
Sangdeh	1350	863.88
Soudkola	1250	514.98
Darzikola	1300	650.26
Valikbon	1100	678.09
Valikchal	1500	854.24

سازمان زمین‌شناسی ایالت متحده آمریکا برای پایه زمانی ماهانه در سال ۲۰۲۱ با بیشترین سطح پوشش گیاهی و کشاورزی و کمترین سطح پوشش ابرناکی، برای آبخیز مطالعه شده تهیه شد. سپس، عامل C به شکل توزیعی با استفاده از رابطه ۵ (دوریکان و همکاران ۲۰۱۴) محاسبه شد. رابطه اندازه C با NDVI خطی معکوس بود و اندازه‌های نزدیک به صفر نشان‌دهنده خاک لخت و اندازه‌های نزدیک به یک نشان‌دهنده تراکم پوشش زیاد بودند. برای محاسبه این عامل از تصویرهایی با کمترین ابرناکی استفاده شد که از نظر پوشش نیز معرف آن زمان از سال بودند (خالدی‌درویشان و همکاران ۲۰۲۱).

$$C = \frac{-NDVI+1}{2} \quad (5)$$

عامل مدیریت زمین (P)

به منظور لحاظ کردن ماهیت حفاظتی برخی از کاربری‌های زمین در مهار فرسایش، نقشه این عامل بر اساس نقشه کاربری زمین به شکل توزیعی تهیه شد. به عبارت دیگر، اندازه‌های مختلف P میان صفر (شرایط حفاظت کامل) و یک (شرایط بدون حفاظت) برای کاربری‌های مختلف در نظر گرفته شد (تروه و همکاران ۱۹۸۰؛ خرسند و همکاران ۲۰۱۵). نقشه کاربری زمین با روش دستی و با دقت زیاد در محیط نرم‌افزار Google Earth با تصویر مربوط به سال ۲۰۲۱ رقومی و طبقه‌بندی شد. سپس، در نرم‌افزار Arc GIS به شکل توزیعی تهیه شد. به منظور افزایش دقت کار از نقاط برداشت‌شده زمینی با GPS در سطح آبخیز، برای تطبیق نقاط میدانی با تصویر ماهواره‌ای استفاده شد. با بازدید میدانی از منطقه مطالعه شده مشخص شد که در بخش‌هایی از آبخیز نیز عملیات ترانس‌بندی انجام شده است. از این رو، اندازه‌های عامل P در نقشه نهایی لحاظ شد. اندازه‌های عامل P در جدول ۲ بر اساس عملیات حفاظتی و کاربری‌های زمین‌های آبخیز محاسبه شده است.

عامل فرسایش‌پذیری خاک (K)

در این پژوهش، محاسبه عامل فرسایش‌پذیری خاک با استفاده از نتایج آزمایش نمونه‌های خاک برداشت شده (مجموع درصد سیلت و شن خیلی ریز، درصد شن، درصد مواد آلی خاک، ساختمان و نفوذپذیری خاک) از منطقه مطالعه شده و رابطه ۳ انجام شد (ویشمایر و اسمیت ۱۹۷۸). سپس، اندازه K با روش درون‌یابی (IDW) تعیین شد و نقشه این عامل به شکل توزیعی تهیه شد.

$$S = 0.1317 \times \frac{(2.1 \times 10^{-4} \times (12 - OM) \times M^{1.14} + 3.25(S - 2) + 25 \times (P - 3))}{100}$$

OM: درصد ماده آلی، M: مجموع درصد سیلت و شن ریز ضرب در (درصد رس - ۱۰۰)، S و P: به ترتیب شاخص‌های مربوط به ساختمان و نفوذپذیری خاک است.

عامل طول و تندی شیب (LS)

عامل طول و تندی شیب به عنوان عامل پستی‌بلندی با استفاده از رابطه ۴ محاسبه شد (ویشمایر و اسمیت ۱۹۷۸).

$$LS = \left(\frac{\lambda}{22.13}\right)^{0.4} \left(\frac{\sin\theta}{0.09}\right)^{1.4} \quad (4)$$

λ : طول شیب (متر)، S: زاویه شیب (درجه) است. در این پژوهش نقشه عامل LS به شکل توزیعی در محیط نرم‌افزار Arc GIS 10.8 با استفاده از DEM با تفکیک مکانی ۱۲/۵ متر تهیه شد (خالدی‌درویشان و همکاران ۲۰۲۱).

عامل مدیریت زراعی (مدیریت پوشش گیاهی) (C)

به منظور تهیه نقشه عامل C ابتدا اندازه‌های شاخص بهنجارشده پوشش گیاهی NDVI با استفاده از تصویرهای ماهواره‌ای لندست ۹ و سنجنده OLI از تارنمای

جدول ۲- اندازه‌های عامل مدیریت زمین (P) در کاربری‌های مختلف زمین.

Table 2- Land management (P) values in different land uses.

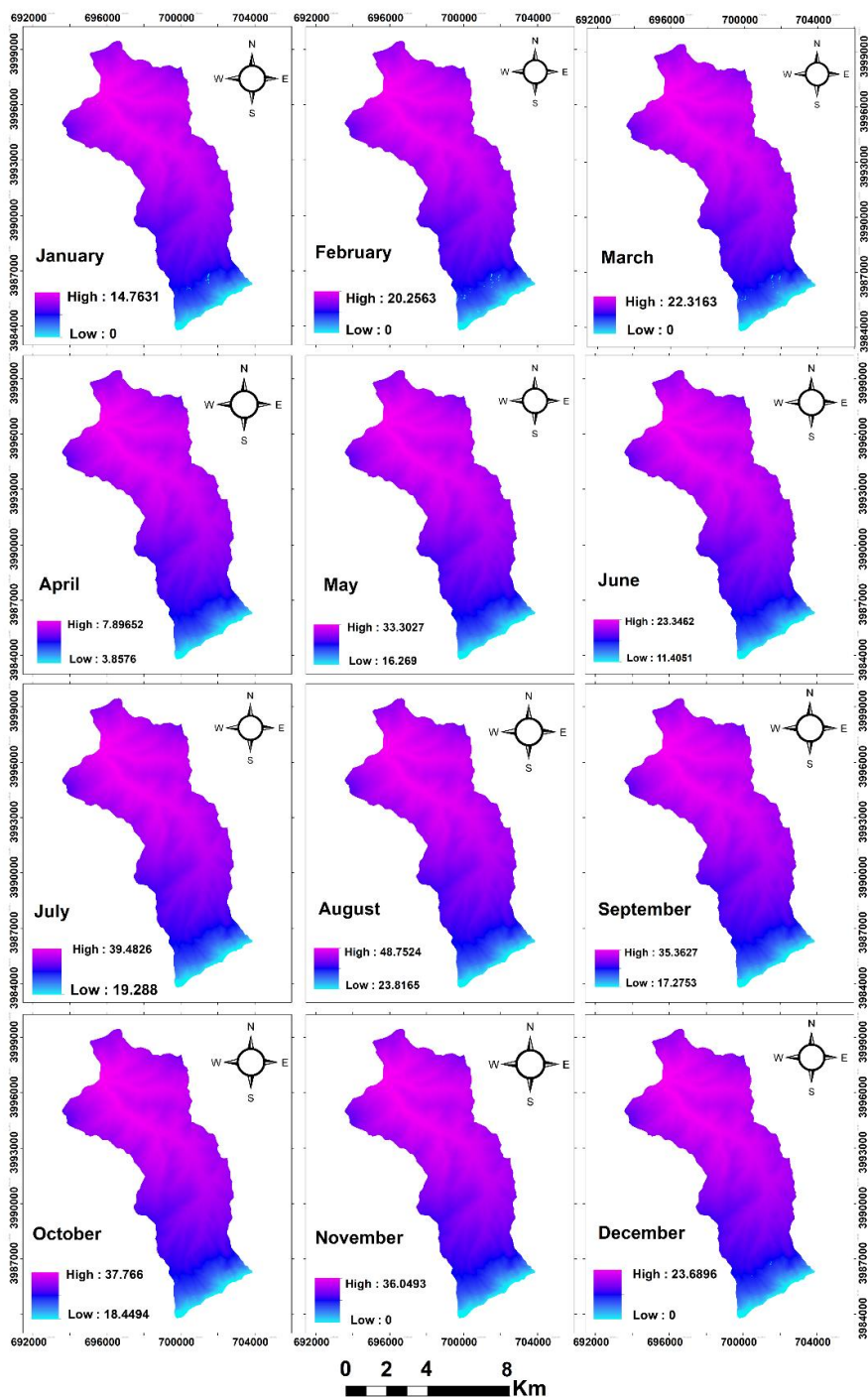
Land use	P value
Urban associated areas	0.4
Agriculture	0.7
Rangeland	0.6
Rock	1
Forest	0.1

یکدیگر ضرب شدند و نقشه توزیعی هدررفت خاک در مقیاس ماهانه تهیه شد. سرانجام نقشه توزیعی هدررفت خاک در مقیاس‌های فصلی و سالانه نیز به ترتیب از جمع ماه‌های مرتبط با هر فصل و جمع همه ماه‌های سال به دست آمد.

نتایج و بحث

نقشه‌های ماهانه عامل فرساینده‌ی باران با در نظر گرفتن ضریب اصلاحی برف در سال ۲۰۲۱ در شکل ۳ نشان داده شده است. بر پایه نقشه‌های فرساینده‌ی باران، توزیع مکانی و زمانی عامل فرساینده‌ی باران در کل آبخیز یکنواخت نبود. بیش‌ترین و کم‌ترین اندازه ضریب فرساینده‌ی باران به ترتیب در شش ماه دوم و شش ماه اول سال رخ داد.

عامل مدیریت زمین با شرط ثابت بودن کاربری زمین و انجام اقدام‌های حفاظت خاک در آبخیز از عامل‌های ایستا در مدل به‌شمار می‌آید. در این پژوهش اندازه این عامل میان ۰/۱ تا ۱ متغیر بود. هر چه اندازه آن کم‌تر باشد بیانگر آن است که نقش حفاظتی کاربری زمین و یا اقدام‌های انجام‌شده حفاظت خاک در مقابل فرسایش، بیش‌تر است. در مقابل هر چه اندازه عامل مدیریت زمین بیش‌تر و نزدیک به یک باشد بیانگر آن است که نقش حفاظتی کاربری زمین و یا اقدام‌های انجام‌شده حفاظت خاک در منطقه کم‌تر است. به عبارت دیگر، کم‌ترین اندازه عامل مدیریت زمین مربوط به مناطق جنگلی و بیش‌ترین اندازه آن مربوط به رخنمون‌های سنگی و خاک‌های بدون پوشش در بالادست آبخیز بودند. پس از تهیه نقشه عامل‌های مدل RUSLE برای هر ماه، تمام این عامل‌ها در محیط نرم‌افزار Arc GIS

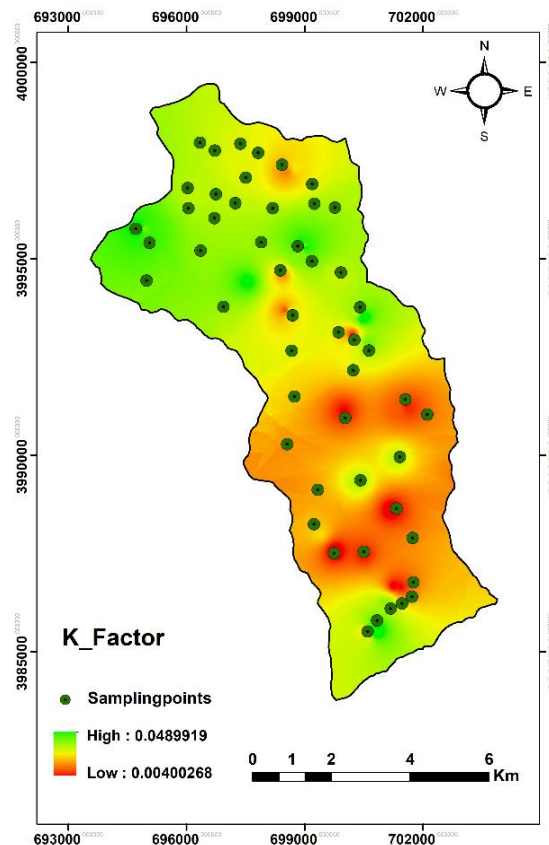


شکل ۳- نقشه‌های ماهانه عامل فرسایش باران (R) (مگاژول میلی‌متر بر هکتار ساعت) سال ۲۰۲۱ در آبخیز معرف کسلیان.

Figure 3- Monthly maps of the rainfall erosivity factor (R) (MJ mm ha⁻¹ h⁻¹) (2021) in Kasilian representative Watershed.

ساعت بر مگاژول میلی‌متر) متغیر بود. کم‌ترین و بیش‌ترین اندازه این عامل به ترتیب مربوط به مناطق جنگلی و مناطق پایین‌دست آبخیز (زمین‌های کشاورزی و مرتعی) بود.

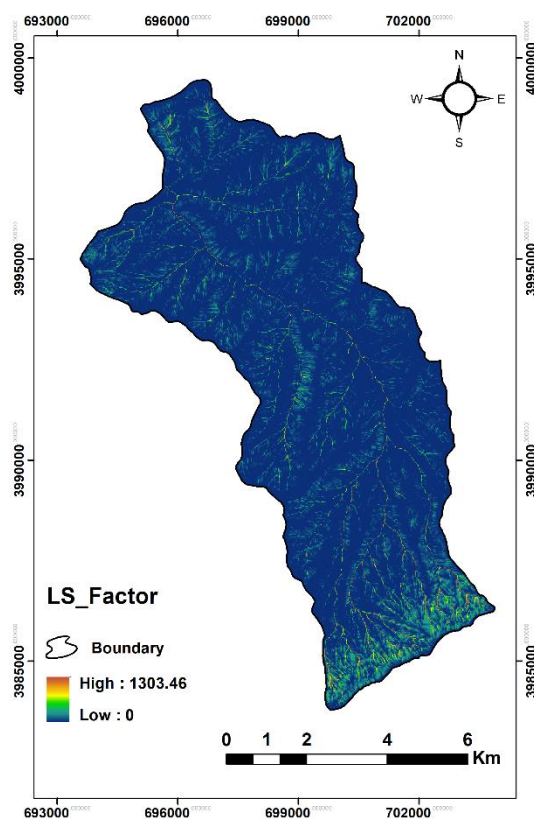
در این پژوهش در مدل RUSLE عامل فرسایش‌پذیری خاک از عامل‌های ایستا بود که در نقشه توزیعی آن در شکل ۴ نشان داده شده است. نتایج نقشه فرسایش‌پذیری خاک نشان داد که اندازه این عامل در سطح آبخیز از ۰/۰۴ تا ۰/۰۴ (تن)



شکل ۴- نقشه‌ی عامل فرسایش‌پذیری خاک (K) (تن ساعت بر مگاژول میلی‌متر) در آبخیز معرف کسلیان.
 Figure 4- Soil erodibility factor (K) map ($t h MJ^{-1} mm^{-1}$) in Kasilian representative watershed.

اندازه‌ی آن در مناطق کم‌شیب پایین‌دست (با رنگ تیره‌تر) بود. به عبارت دیگر بیشترین تأثیر عامل پستی‌بلندی در مناطق پرشیب و بالادست آبخیز بود و کم‌ترین تأثیر این عامل در مناطق پایین‌دست بود. البته در بخش‌های پایین‌دست آبخیز نیز دامنه‌های پرشیب زیادی وجود داشت که از نظر پستی‌بلندی میان این دو اندازه مشخص شدند.

در این پژوهش در مدل RUSLE عامل پستی‌بلندی نیز از عامل‌های ایستا و بدون تغییرات زمانی بود که نقشه‌ی توزیعی آن در شکل ۵ نشان داده شده است. بر پایه‌ی نقشه‌ی عامل پستی‌بلندی، اندازه‌ی این عامل در آبخیز معرف کسلیان میان صفر تا $1303/46$ متغیر بود. بیش‌ترین اندازه‌ی این عامل در مناطق پرشیب بالادست (بلندی‌های جنوبی آبخیز با رنگ روشن‌تر) و کم‌ترین

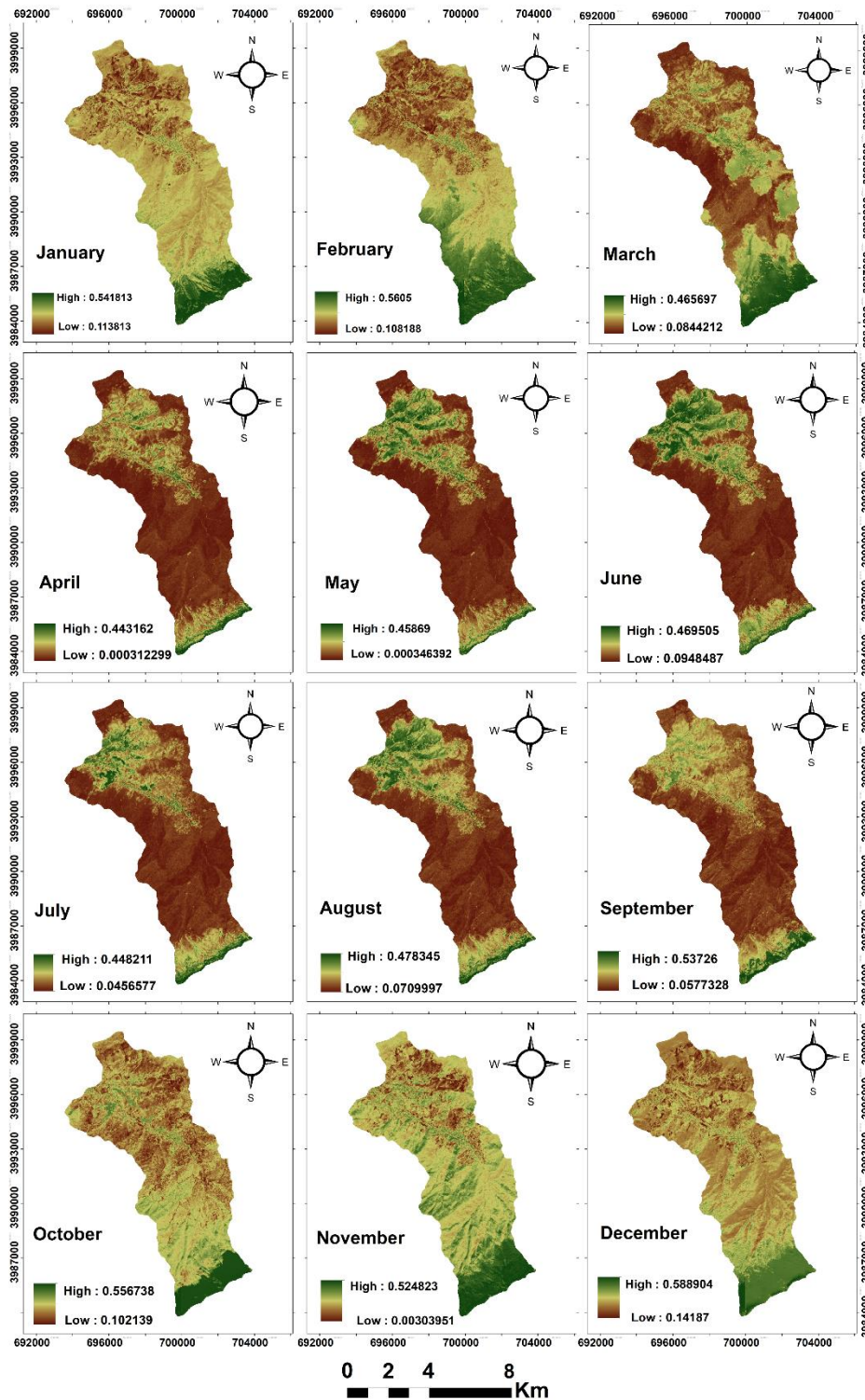


شکل ۵- نقشه عامل پستی‌بلندی (LS) در آبخیز معرف کسلیان.

Figure 5- Topographic factor (LS) map in Kasilian representative watershed.

و اندازه پوشش گیاهی متفاوت بود. به عبارت دیگر، اندازه‌های متفاوت دمای منطقه در ماه‌های گوناگون سال دلیل تغییرات پوشش گیاهی در این آبخیز بود. کم‌ترین اندازه پوشش گیاهی در منطقه در سه ماه دوم و سوم (بهار و تابستان) و بیش‌ترین آن در ماه‌های ژانویه و فوریه و سه ماه آخر (پاییز و زمستان) سال ۲۰۲۱ مشاهده شد.

نقشه عامل مدیریت زراعی (مدیریت پوشش گیاهی) به شکل ماهانه تهیه شد. بر پایه شکل ۶ اندازه‌های این عامل نزدیک به صفر تا نزدیک به یک بود. اندازه‌های نزدیک به صفر و نزدیک به یک این عامل به ترتیب نشان‌دهنده بیش‌ترین و کم‌ترین اندازه پوشش گیاهی بودند. بر اساس نقشه ماهانه عامل مدیریت زراعی (مدیریت پوشش گیاهی) در آبخیز مزبور این عامل در تمام ماه‌های بررسی شده، یکسان نبود. زیرا تراکم

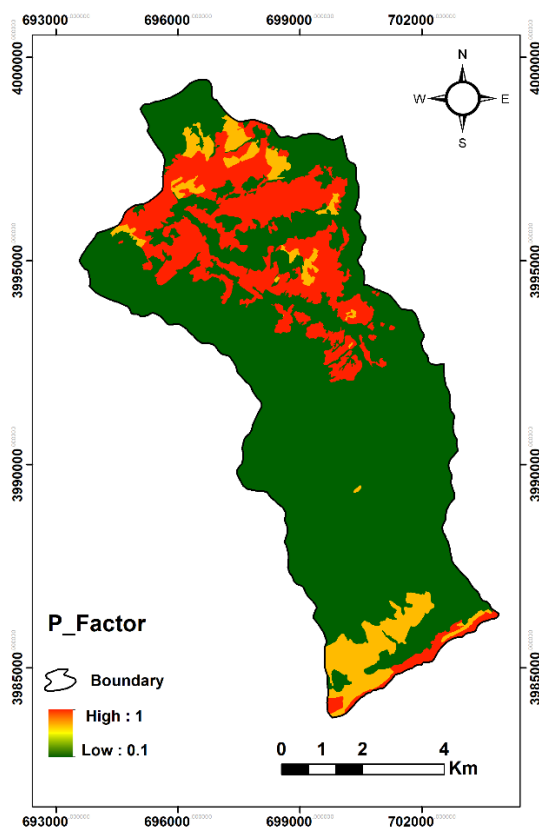


شکل ۶- نقشه‌های ماهانه عامل مدیریت زراعی (C) سال ۲۰۲۱ در آبخیز معرف کسلیان.

Figure 6- Monthly maps of cover factor (C) (2021) in Kasilian representative watershed.

آمد. به عبارت دیگر کم‌ترین و بیش‌ترین اندازه این عامل به ترتیب مربوط به زمین‌های جنگلی (با رنگ سبز) و زمین‌های بایر (با رنگ قرمز) بود.

نقشه عامل مدیریت زمین (P) در آبخیز معرف کسلیان در شکل ۷ نشان داده شده است. بر پایه نقشه عامل مدیریت زمین کم‌ترین اندازه این عامل مربوط به مدیریت زمین ۰/۱ بود و بیش‌ترین اندازه آن ۱ به دست

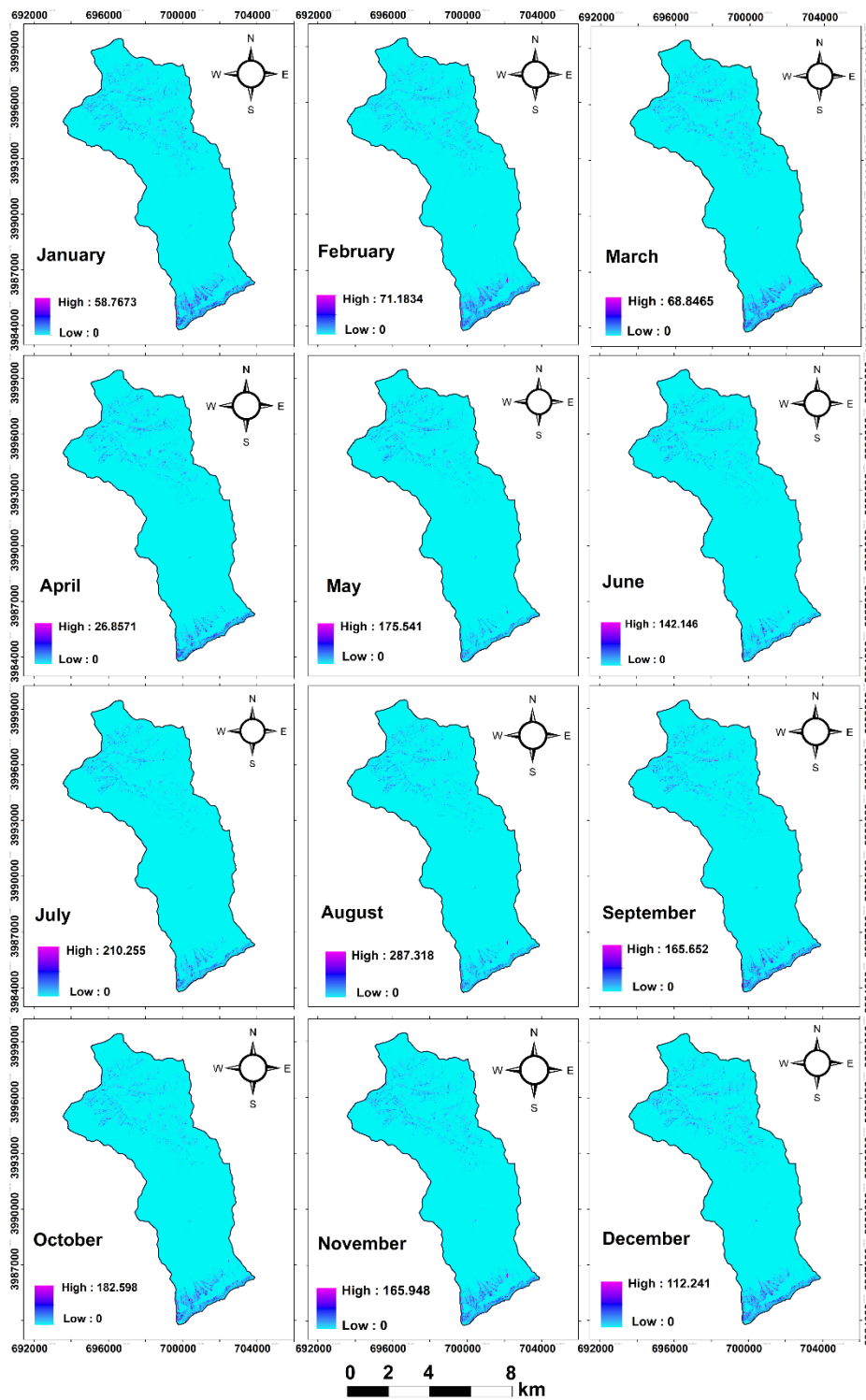


شکل ۷- نقشه عامل مدیریت زمین (P) در آبخیز معرف کسلیان.

Figure 7- Land management factor (P) map in Kasilian representative watershed.

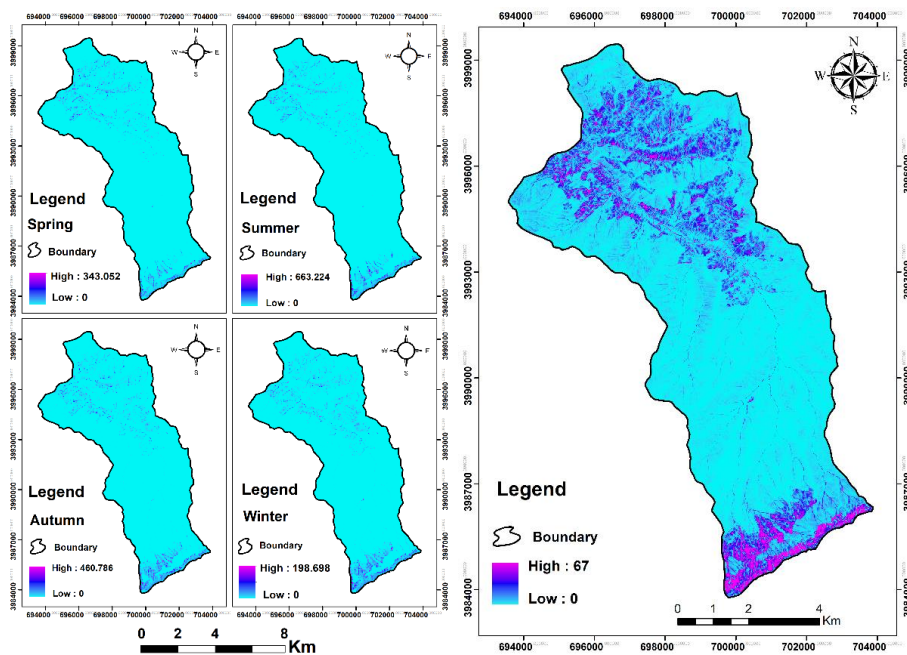
همچنین، نقشه‌های میانگین فصلی و سالانه فرسایش نیز در شکل ۹ نشان داده شده است.

سرانجام نقشه‌های توزیعی همه عامل‌های مدل در هم ضرب شدند و نقشه‌های میانگین ماهانه فرسایش در سال ۲۰۲۱ تهیه شد که در شکل ۸ نشان داده شده است.



شکل ۸- نقشه‌های ماهانه فرسایش خاک (تن در هکتار در سال) در آبخیز معرف کسلیان.

Figure 8- Monthly soil erosion maps (tons per hectare per year) in Kasilian representative watershed.



شکل ۹- نقشه‌های فرسایش فصلی خاک (راست) و سالانه (چپ) (تن در هکتار در سال) در آبخیز معرف کسلیان.

Figure 9- Seasonal (right) and annual (left) soil erosion maps (tons per hectare per year) in Kasilian representative watershed.

فرسایش در آبخیز معرف کسلیان به ترتیب در جدول ۳ و ۴ آورده شده است.

نتایج میانگین هر یک از عامل‌های پنج‌گانه مدل RUSLE و نتایج برآورد میانگین ماهانه، فصلی و سالانه

جدول ۳- نتایج میانگین ماهانه هر یک از عامل‌های مدل RUSLE در آبخیز معرف کسلیان.

Table 4- Results of the average monthly input factors of the RUSLE model in Kasilian representative watershed.

Year	Month	R (MJ mm ha ⁻¹ h ⁻¹)	K (t h MJ ⁻¹ mm ⁻¹)	LS	C	P
2021	January	12.90	0.02	15.59	0.34	0.26
	February	17.70			0.32	
	March	19.50			0.22	
	April	6.90			0.13	
	May	29.14			0.15	
	June	20.42			0.19	
	July	34.54			0.17	
	August	42.66			0.19	
	September	30.94			0.20	
	October	33.04			0.31	
	November	31.52			0.36	
	December	20.70			0.37	

اگرچه داده‌های دمای خاک در سطح آبخیز هم می‌تواند به خوبی نقشه فرسایش‌پذیری خاک را اصلاح کند، اما متأسفانه این داده‌ها در آبخیز بررسی شده در دسترس نبود. با لحاظ کردن ضریب اصلاحی برف به وسیله کاهش عامل فرسایش باران در ماه‌های سرد سال، نقشه نهایی فرسایش مربوط به این ماه‌ها اصلاح شد (محمدی و همکاران ۲۰۲۱).

هم‌چنین بر اساس رنگ‌بندی نقشه‌های اندازه فرسایش خاک می‌توان نتیجه گرفت که بیشترین فرسایش در دامنه‌ها و بلندی‌های بالادست و هم‌چنین زمین‌های

بر اساس نقشه‌های فرسایش ماهانه، فصلی و سالانه خاک، بیشترین و کمترین فرسایش به ترتیب در شش ماه دوم و شش ماه اول سال ۲۰۲۱ رخ داده است. کمترین فرسایش سالانه خاک به ترتیب در فصل‌های بهار و زمستان و بیشترین آن به ترتیب در فصل‌های پاییز و تابستان رخ داده است. در فصل زمستان، وجود پوشش برف در سطح گسترده‌تری از آبخیز و به‌ویژه در بلندی‌های جنوبی و بالادست آن، سبب شد تا اندازه عامل فرسایش باران کاهش یابد. بنابراین، فرسایش خاک کمتر برآورد شد. در حقیقت فرسایش خاک کمتری نیز رخ داده بود.

ماهانه تغییر قابل توجهی داشتند، عامل‌های فرساینده‌ی باران و مدیریت پوشش گیاهی به‌عنوان عامل‌های پویا و منشأ تغییرات ماهانه فرسایش خاک در نظر گرفته شدند. با توجه به نقشه‌های توزیعی ماهانه، فصلی و سالانه فرسایش خاک، بیش‌ترین و کم‌ترین فرسایش ماهانه خاک به ترتیب در ماه‌های نوامبر و آوریل رخ داد. کم‌ترین فرسایش سالانه خاک به ترتیب در فصل‌های بهار و زمستان و بیش‌ترین آن به ترتیب در فصل‌های پاییز و تابستان رخ داده است. سرانجام می‌توان گفت فرسایش خاک در نیمه دوم سال بیش‌تر از نیمه اول، رخ داده است. شدت فرسایش سالانه خاک در سال ۲۰۲۱ در آبخیز معرف کسلیان ۸/۵۶ تن در هکتار برآورد شد. نتایج این پژوهش نشان داد فرسایش در بخش گسترده‌ای از آبخیز معرف کسلیان به‌ویژه در مناطق پوشیده از جنگل در نیمه جنوبی آبخیز، کم بود و فرسایش تشدیدی خاک فقط در دامنه‌های با شیب زیاد (مراع و زمین‌های زراعی رهاشده) که پوشش گیاهی کم‌تری داشتند، رخ داد. بنابراین می‌توان گفت تبدیل کاربری‌های جنگل و مرتع به زمین‌های کشاورزی و باغی و حتی مسکونی دلیل مهم افزایش میانگین سالانه فرسایش خاک در آبخیز معرف کسلیان بود.

پیشنهاد می‌شود که با استفاده از راهکارهای مدیریتی (جلوگیری از تغییر کاربری زمین و مدیریت زمین‌های زراعی با هدف ایجاد پوشش گیاهی روی سطح خاک در ماه‌های تیر و مرداد که فرساینده‌ی باران بیش‌ترین اندازه است) و انجام اقدام‌های حفاظت خاک (به‌ویژه در دامنه‌ها و مناطق با شیب زیاد)، از افزایش فرسایش خاک جلوگیری شود.

کشاورزی روی دامنه‌ها، رخ داده است. این یافته می‌تواند به سبب شیب زیاد و شخم در جهت شیب باشد. از این رو می‌توان گفت نقشه فرسایش خاک به دست آمده در این پژوهش با دو نقشه پستی‌بلندی و کاربری زمین بیش‌تر مطابقت دارد؛ یعنی در سطح آبخیز مزبور عامل شیب در پراکنش مکانی اندازه‌های فرسایش خاک اثرگذار بود، در حالی که نوع کاربری زمین و به‌ویژه تغییرات زمانی پوشش گیاهی در هر کاربری در پراکنش زمانی اندازه‌های فرسایش خاک تأثیرگذار بود. این نتایج با یافته‌های پژوهش‌های خالدی‌درویشان و همکاران ۲۰۲۱؛ آلفا و همکاران ۲۰۲۲؛ مرچن و همکاران ۲۰۲۳؛ الیکا و همکاران ۲۰۲۳ هم‌راستا است. سرانجام می‌توان نتیجه گرفت تغییرات زمانی عامل فرساینده‌ی باران در طول ماه‌هایی از سال با حضور پوشش گیاهی کافی و مناسب در سطح خاک هم‌زمان نبود و این موضوع سبب شد تا بیش‌ترین فرساینده‌ی باران در این ماه‌ها رخ دهد. به بیان دیگر بیش‌ترین فرساینده‌ی ماهانه باران به ترتیب در ماه‌های اوت و جولای رخ داد، در حالی که پوشش سطح خاک به‌ویژه در زمین‌های زراعی در این زمان از سال مناسب و کافی نبود و نتوانست به‌خوبی در مقابل برخورد قطرات باران مقاومت کند. در نتیجه شدت فرسایش ماهانه خاک در این دو ماه نسبتاً زیاد برآورد شد.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

در این پژوهش فرسایش خاک با استفاده از معادله جهانی اصلاح‌شده هدررفت خاک (RUSLE) در مقیاس ماهانه برای آبخیز معرف کسلیان برآورد شد. از آنجایی که متغیرهای پوشش گیاهی و بارش در مقیاس

- Alewel C, Borrelli P, Meusburger K, Panagos P. 2019. Using the USLE: Chances challenges and limitations of soil erosion modelling. In *Soil Water Conserve Research*, 7(3): 203-225.
- Allafta H, Opp C. 2022. Soil erosion assessment using the RUSLE model, remote sensing and GIS in the Shatt Al-Arab basin (Iraq-Iran). *Applied Sciences*, 12(15): 7776.
- Ansari A, Tayfur G. 2023. Comparative analysis of estimation of slope-length gradient (LS) factor for entire Afghanistan. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 14(1): 2200890.
- Baiati Khatibi M. 2016. Assessment and predicting of soil erosion risk at semi-arid mountain: Integration of the USLE Model and GIS Technique for soil conservation planning (Case study: Sareskandarchy Catchement), *Eastern Slope. Geography and Planning*, 19(54): 61-81. (In Persian).
- Behera M, Sena DR, Mandal U, Kashyap PS, Dash SS. 2020. Integrated GIS-based RUSLE approach for quantification of potential soil erosion under future climate change scenarios. *Environmental Monitoring and Assessment*, 192(11): 1-18.
- Donovan M. 2022. Modelling soil loss from surface erosion at high-resolution to better understand sources and drivers across land uses and catchments; A national-scale assessment of Aotearoa, New Zealand. *Environmental Modelling and Software*, 147, 105228.
- Durigon VL, Carvalho DF, Antunes MAH, Oliveira PTS, Fernandes MM. 2014. NDVI time series for monitoring RUSLE cover management factor in a tropical watershed. *International Journal of Remote Sensing*, 35(2): 441-453.
- Ganasri BP, Ramesh H. 2016. Assessment of soil erosion by RUSLE model using remote sensing and GIS-A case study of Nethravathi Basin. *Geoscience Frontiers*, 7(6): 953-961.
- Gayen A, Saha S. 2017. Application of weights-of-evidence (WoE) and evidential belief function (EBF) models for the delineation of soil erosion vulnerable zones: A study on Pathro river basin, Jharkhand, India. *Modeling Earth System and Environment*, 3, 1123-1139.
- Ghavimippanah MH, Gholami L, Ghavimippanah MR. 2022. Estimation of soil erosion using RUSLE Model and determination of direct and Indirect damages in Kan Watershed. *Journal Watershed Management Science*, 16(56): 42-52. (In Persian).
- Gupta S, Kumar S. 2017. Simulating climate change impact on soil erosion using RUSLE model - A case study in a watershed of mid-Himalayan landscape. *Journal of Earth System Science*, 126, 43.
- Haji Kh, Esmaali-Ouri A, Mostafazadeh R, Nazarnejad H. 2014. Preparation and assessment of soil erosion map of Rozechai Urmia Watershed using GIS and RUSLE model. *The 2th National Conference on Protection of Natural Resources and Environment*, Ardabil, pp. 1-7. (In Persian).
- Haji Kh, Esmali-Ouri A, Mostafazadeh R, Nazarnejad H. 2018. Determining soil erosion rate in different landuses using RUSLE model in the Rozechai Water-

- shed Urmia Iran. *Journal of Conservation and Exploitation of Natural Resources*, 7(1): 173-189. (In Persian).
- Hajjizadeh M, Melesse AM, Fuentes HR. 2018. Erosion and sediment transport modelling in shallow waters: A review on approaches models and applications. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15, 518. (In Persian).
- Hoyos N. 2005. Spatial modeling of soil erosion potential in a tropical watershed of the Colombian Andes. *Catena*, 63(1): 85-108.
- Islam MR, Jaafar WZW, Hin LS, Osman N, Karim MR. 2020. Development of an erosion model for Langat river basin Malaysia adapting GIS and RS in RUSLE. *Applied Water Science*, 10(7): 1-11.
- Khaledi Darvishan A, Faraji J, Gholami L, Khorsand M. 2021. Spatio-temporal variation of soil erosion in Khamsan representative watershed using RUSLE. *Watershed Engineering and Management*, 13(3): 534-547. (In Persian).
- Khorsand M, Khaledi-Darvishan A, Gholamali Fard M. 2015. The sensitivity of the annual erosion estimation map of the RUSLE Model to the methods of preparing the agricultural management factor map (C) in the Khamsan watershed. The 6th National Conference on Sustainable Agriculture and Natural Resources, Tehran, pp. 1-9. (In Persian).
- Koirala P, Thakuri S, Joshi S, Chauhan R. 2019. Estimation of soil erosion in Nepal using a RUSLE modeling and geospatial tool. *Geosciences*, 9, 147.
- Madadi A, Pasban A, Nezafat takle B. 2023. Investigating and evaluating the amount of soil loss in the land uses of the Atashgah watershed using the RUSLE Model and Landsat satellite images (OLI meter). *Journal of Environmental Science Studies*, 8(2): 6612-6625. (In Persian).
- Merchán L, Martínez-Graña AM, Alonso Rojo P, Criado M. 2023. Water erosion risk analysis in the Arribes del Duero Natural Park (Spain) using RUSLE and GIS techniques. *Sustainability*, 15, 1627.
- Mohammadi Sh, Balouei F, Haji Kh, Khaledi Darvishan A, Karydas CG. 2021. Country-scale spatio-temporal monitoring of soil erosion in Iran using the G2 model. *International Journal of Digital Earth*, 14(8): 1019-1039.
- Mohammadi Sh, Karimzadeh H, Habashi K. 2022. Assessment soil erosion and deposition in the Menderjan Watershed using USPED and RUSLE models in the environment of geographical information system (GIS). *Desert Ecosystem Engineering*, 6(17): 43-56. (In Persian).
- Mohammadi Sh, Karimzadeh H, Pourmanafi S, Soltani S. 2018. Spatial and temporal evaluation of soil erosion using RUSLE model Landsat satellite image time series (Case study: Menderjan, Isfahan). *Journal of Range and Watershed Management*, 71(3): 759-774. (In Persian).
- Noor H, Arabkhedri M. 2023. Prediction of soil erosion and sediment delivery ratio using RUSLE at Sanganeh soil conservation research station. *Water and Soil Management and Modelling*, 3(1): 42-53. (In Persian).
- Nwaogu C, Okeke OJ, Assuah Adu S, Babine E, Pechanec V. 2018. Land use-land cover change and soil-gully erosion relationships: A study of Nanka South-Eastern Nigeria using geoinformatics. In *Dynamics in GIScience 4*. Springer Inter-

- national Publishing, pp. 305-319.
- Olika G, Fikadu G, Gedefa B. 2023. GIS based soil loss assessment using RUSLE Model: A case of Horo district, western Ethiopia. *Heliyon*, 9, e13313.
- Othman AA, Ali SS, Salar SG, Obaid AK, Al-Kakey O, Liesenberg V. 2023. Insights for estimating and predicting reservoir sedimentation using the RUSLE-SDR approach: A case of Darbandikhan Lake Basin, Iraq-Iran. *Remote Sensing*, 15, 697.
- Panagos P, Ballabio C, Borrelli P, Meusburger K, Klik A, Rousseva S, Tadić M P, Michaelides S, Hrabalíková M, Olsen P, Aalto J, Lakatos M, Rymaszewicz A, Dumitrescu A, Beguería S, Alewell Ch. 2015. Rainfall erosivity in Europe. *Science of the Total Environment*, 511: 801-814.
- Pasban A, Abedini M, frotan M. 2022. Evaluation and analysis of the impact of land use on soil erosion using the RUSLE experimental model (Case study: Balikhlochai Watershed, Ardabil Province). *Geography and Human Relationships*, 5(3): 238-258. (In Persian).
- Rawat KS, Singh SK. 2018. Appraisal of soil conservation capacity using NDVI model-based C factor of RUSLE model for a Semi-Arid ungauged watershed: A case study. *Water Conservation Science and Engineering*, 3(1): 47-58.
- Renard KG, Freidmund JR. 1994. Using monthly precipitation data to estimate the R-factor in the RUSLE. *Journal of Hydrology*, 157(1-4): 287-306.
- Rezaei M, Qargharechi Sh, GHaneei Motlagh GHR, Ayubi ShA. 2016. Estimation of soil erosion in Ziarat Basin using RUSLE model. 10th Iran Soil Science Congress, Karaj, pp. 1161-1163. (In Persian).
- Risse LM, Nearing MA, Laflen JM, Nicks AD. 1993. Error assessment in the universal soil loss equation. *Soil Science Society of America Journal*, 57(3): 825-833.
- Saadati H, Gholami SA, Sharifi F, Ayubzadeh SA. 2016. Investigating the effects of land use change on the surface runoff of the simulation model. *Journal Natural Resources of Iran*, 59(2): 301-313. (In Persian).
- Sadeghi SH, Moatamednia M, Moradi H. 2014. Variability of main unit hydrograph components of Kasilian Watershed in different effective precipitation time bases. *Journal of Water and Soil Conservation*, 21(4): 247-260. (In Persian).
- Saha M, Sauda SS, Real HRK, Mahmud M. 2022. Estimation of annual rate and spatial distribution of soil erosion in the Jamuna basin using RUSLE model: A geospatial approach. *Environmental Challenges*, 8, 100524.
- Sartip F, Radmanesh F, Zarei H, Salari jazi M. 2018. Automatic calibration of the continuous HMS-SMA Rainfall-Runoff model using the metaheuristic algorithm (Case study: Kasilian Basin). *Irrigation Sciences and Engineering*, 41(3): 15-28. (In Persian).
- Serbaji MM, Bouaziz M, Weslati O. 2023. Soil water erosion modeling in Tunisia using RUSLE and GIS integrated approaches and Geospatial Data. *Land*, 12(3): 548.
- Shi ZH, Cai CF, Ding SW, Wang TW, Chow TL. 2004. Soil conservation planning at the small watershed level using RUSLE with GIS: a case study in the three gorge area of China. *Catena*, 55(1): 33-48.
- Shinde V, Tiwari KN, Singh M. 2010. Prioritization of micro watersheds on the basis of soil erosion hazard using remote sensing and geographic information system. *International Journal of Water Resources and Environmental Engineering*, 2(3): 130-136.

- Tian P, Zhu Z, Yue Q, He Y, Zhang Z, Hao F, Liu M. 2021. Soil erosion assessment by RUSLE with improved P factor and its validation: Case study on mountainous and hilly areas of Hubei Province China. *International Soil and Water Conservation Research*, 9(3): 433-444.
- Troeh FR, Hobbs JA, Donahue RL. 1980. *Soil and water conservation for productivity and environmental production*. Prentice-Hall, 780 p.
- Wischmeier WH, Smith DD. 1978. Predicting rainfall erosion losses: A guide to conservation planning. *Agriculture Handbook* No. 537 p. USDA, Washington, DC.
- Zabihi M, Sadeghi SHR, Vafakhah M. 2014. Spatial analysis of rainfall erosivity index patterns at different time scales in Iran. *Journal of Watershed Engineering and Management*, 7(4): 422-457. (In Persian).
- Zhang K, Chao L, Wang Q, Huang Y, Liu R, Hong Y, Tu Y, Qu W, Ye J. 2019. Using multi-satellite microwave remote sensing observations for retrieval of daily surface soil moisture across China. *Water Science and Engineering*, 12(2): 85-97.



Investigating the Monthly Variability of Soil Erosion in the Kasilian Representative Watershed Using RUSLE Model

Fatemeh Sarouneh¹ , Abdulvahed Khaledi Darvishan^{*2} , Vahid Mousavi³ 

1- Former M.Sc. Student, Department of Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University Noor, Iran

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

3- Assistant Professor, Department of Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Noor, Iran

Extended Abstract

Introduction and Goal

One of the most common types of soil degradation is soil erosion under the influence of rain and runoff factors. Soil erosion reduces the quality of the soil in the place of erosion, and also the sediment resulting from erosion causes problems inside and outside the watershed. Due to the high cost of measuring soil erosion and sediment yield, various models have been developed to estimate the intensity of these variables in different spatial and temporal scales. Among these, the revised universal soil loss equation (RUSLE) has been widely used in all parts of the world for reasons including the availability of data required for model input factors and the possibility of implementing it in a distributed format.

Materials and Methods

The present study was conducted in order to estimate soil erosion using the RUSLE model on a monthly scale for 2021 in the Kasilian Watershed. First, a distribution map of the five factors of the RUSLE model was prepared. Since the variables of vegetation cover and precipitation have a significant change on a monthly scale, therefore, the temporal changes of the mentioned factors lead to the dynamics of the watershed system and the monthly changes of soil erosion. Furthermore, soil erodibility factors, topography and land management were considered as static factors. Finally, the five factors of the model were multiplied together in Arc GIS software and erosion distribution maps were prepared on monthly, seasonal and annual scales.

Article Type: Research Article

*Corresponding Author E-mail: vahedkhaledi@yahoo.com

Citation: Sarouneh, F., Khaledi Darvishan, A., Mousavi, V. 2024. Investigating the Monthly Variability of Soil Erosion in the Kasilian Representative Watershed Using RUSLE Model. *Watershed Management Research*. 37(3):54-75.

DOI: 10.22092/WMRJ.2023.362691.1545

Received: 01 July 2023, **Received in revised form:** 05 August 2023, **Accepted:** 21 September 2023

Published online: 22 September 2024

Watershed Management Research, VOL. 37, No.3, Ser. No: 144, Autumn 2024, pp.54-75.

Publisher: Fars Agricultural and Natural Resources Research and Education Center © Author(s)



Results and Discussion

According to the monthly, seasonal and annual distribution maps of soil erosion, the highest and lowest monthly soil erosion occurred in November and April with values of 1.13 and 0.13 tons per hectare, respectively. Also, the average intensity of soil erosion in spring, summer, autumn and winter seasons was 1.32, 2.74, 2.99 and 1.52 tons per hectare respectively. Therefore, spring and winter seasons respectively had the least and autumn and summer seasons had the highest Contribution in the annual soil erosion. It can also be said that more soil erosion has occurred in the second half of the year compared to the first half. Finally, the average intensity of soil erosion in the Kasilian Watershed was estimated at 8.56 tons per hectare per year.

Conclusion and Suggestions

The results showed that a large part of the study watershed has low erosion and only the steep slopes, especially with low vegetation, including rangelands and abandoned agricultural lands, are prone to accelerated soil erosion. Specifically, soil erosion has increased due to the conversion of forest and rangeland into agricultural and orchard and even residential land. Finally, it is suggested to prevent the land use change by using land management solutions and soil conservation measures, especially in high slopes.

Key Words: Distributed models, land use change, RUSLE model, soil conservation, soil erodibility