

## برآورد مکانی فرسایش خاک کشور ایران با استفاده از مدل RUSLE

شاهین محمدی<sup>۱</sup>، حمیدرضا کریمزاده<sup>۲\*</sup>، میثم علیزاده<sup>۳</sup>

۱. دانشجوی دکتری گروه سنجش از دور و سامانه اطلاعات مکانی، دانشکده علوم، دانشگاه شهید چمران اهواز

۲. استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان

۳. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان

(تاریخ دریافت ۱۳۹۶/۰۶/۰۱؛ تاریخ تصویب ۱۳۹۶/۱۱/۱۲)

## چکیده

فرسایش خاک از مهم‌ترین مسائل و مشکلاتی است که امروزه بشر با آن مواجه است. بنابراین، مدیریت خاک به منظور بهره‌برداری مطلوب و کاهش تخریب آن ضروری است. هدف از این تحقیق، برآورد فرسایش خاک کشور ایران به وسیله مدل RUSLE با استفاده از داده‌های سیستم اطلاعات مکانی (GIS) و سنجش از دور (RS) است. در مطالعه حاضر، با جمع‌آوری داده‌ها و اطلاعات مختلف شامل لایه‌های مدل رقومی ارتفاعی (DEM)، آمار بارندگی مربوط به ایستگاه‌های باران‌نگار، تصاویر ماهواره‌ای و خصوصیات خاک به‌عنوان ابزار تحقیق استفاده شده و میزان فرسایش خاک با استفاده از مدل RUSLE برآورد شد. مقادیر متوسط سالانه عامل‌های P، K، C، LS و R به ترتیب برابر با ۰/۶۵، ۰/۰۴، ۰/۴۶، ۰/۳ و ۱۹۵ ( $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{y}^{-1} \text{h}^{-1}$ ) هستند. نتایج پژوهش حاضر نشان داد متوسط فرسایش سالانه خاک در کشور ایران حدود ۲۴ تن بر هکتار بر سال است و عامل LS با ضریب همبستگی ۰/۶۶ بیشترین تأثیر را در برآورد فرسایش سالانه خاک توسط مدل RUSLE داشته است. همچنین، نتایج پژوهش نشان داد سالانه حدود چهار میلیارد تن خاک از اراضی کشور فرسایش یافته و قسمتی از آن وارد سامانه آب‌های جاری و دریا می‌شود که سبب کاهش کیفیت، آلودگی آب، کاهش حاصلخیزی خاک و کاهش سطح اراضی قابل کشت و در نهایت تخریب خاک می‌شود.

**کلیدواژگان:** پهنه‌بندی فرسایش خاک، حفاظت خاک، سیستم اطلاعات جغرافیایی، مدل‌سازی فرسایش.

## مقدمه

فرسایش خاک یکی از مسائل و مشکلات جدی حوضه‌های آبخیز ایران محسوب می‌شود و می‌توان از آن به‌عنوان یکی از موانع مهم برای دستیابی به توسعه پایدار کشاورزی و منابع طبیعی نام برد [۱]. آگاهی از میزان خطر فرسایش خاک در حوضه‌های آبخیز، امکان شناسایی نواحی بحرانی و اولویت‌بندی برنامه‌های مدیریتی و حفاظتی را فراهم می‌سازد. به علت اینکه اطلاعات صحیح و قابل قبولی از میزان کمی فرسایش خاک در حوضه‌های آبخیز وجود ندارد، قبل از تهیه نقشه کمی فرسایش خاک، اغلب به برآورد حساسیت یا پتانسیل مناطق مختلف حوضه از نظر شدت فرسایش خاک نیاز است [۲]. به دلیل وسعت زیاد اغلب حوضه‌های آبخیز در ایران، امکان اجرای طرح‌های حفاظتی و آبخیزداری در کل حوضه آبخیز وجود ندارد. بنابراین، برای افزایش عملکرد طرح‌های آبخیزداری ابتدا باید مناطق بحرانی از نظر پتانسیل فرسایش خاک، شناسایی و اولویت‌بندی شوند و سپس با اجرای برنامه‌های صحیح مدیریتی به ترتیب اولویت در کاهش و مهار فرسایش خاک مناطق سعی شود.

مدل کردن فرایندهای فیزیکی و پویا مانند فرسایش خاک با مشکلات و خطاهایی همراه است. در دسترس نبودن منابع داده‌ای صحیح، کیفیت داده‌های استفاده شده، مسئله مقیاس در مدل‌سازی، خطاهای اندازه‌گیری و پیچیدگی مدل از جمله مشکلاتی است که در مطالعات فرسایش خاک توسط بسیاری از پژوهشگران گزارش شده است [۳-۵]. نبود آمار دقیق از میزان کمی فرسایش، استفاده از مدل‌های برآورد فرسایش خاک را اجتناب‌ناپذیر می‌کند. مدل‌های فیزیکی فرسایش خاک موجود، هم از نظر تعداد و هم از جنبه دقت زمانی و مکانی متغیرها نیاز داده‌ای فراوان دارند؛ بنابراین فقدان و یا کمبود داده‌های ورودی موانعی را در کاربرد موفقیت‌آمیز مدل‌های فیزیکی برآورد فرسایش خاک به وجود می‌آورد. از طرف دیگر، مدل‌های تجربی با نیاز داده‌ای کم، برای مناطق ویژه‌ای واجد کورت‌های فرسایشی طراحی شده‌اند [۳ و ۴]. طی ۴۰ سال اخیر، مدل هدررفت جهانی خاک<sup>۱</sup> (USLE) به سبب داشتن محاسبات ساده و برآورد بهتر، پراستفاده‌ترین روش برای تخمین پتانسیل فرسایش خاک بوده است [۶]

و به دنبال آن نسخه توسعه‌یافته مدل یادشده برآوردهای دقیق‌تری از عوامل R، K، C، P و فرسایش خاک ارائه می‌دهد [۷]. از مزایای مدل تجدیدنظر شده هدررفت جهانی خاک (RUSLE) سهولت تحلیل نتایج و بی‌نیازی به داده‌های پیچیده برای برآورد میزان فرسایش خاک است که این داده‌ها به راحتی در دسترس و قابل تلفیق با GIS هستند. با استفاده از فن‌های سنجش از دور<sup>۲</sup> (RS) و سامانه اطلاعات جغرافیایی<sup>۳</sup> (GIS)، امکان برآورد فرسایش خاک و توزیع مکانی فرسایش و رسوب، با هزینه و دقت قابل قبول در مناطق وسیع وجود دارد [۸]. سامانه اطلاعات جغرافیایی، تجزیه و تحلیل داده‌های مکانی را با سرعت بیشتر و به‌سادگی امکان‌پذیر کرده و ترکیب اطلاعات گسترده در زمینه‌های مختلف و از منابع مختلف را ممکن و مدیریت اطلاعات را ساده می‌کند [۹]. این امر موجب شده تا مطالعاتی در مقیاس قاره‌ای، ملی و منطقه‌ای برای برآورد فرسایش خاک انجام گیرد که برخی از آنها به شرح زیرند:

در مقیاس ملی، لو و همکارانش [۱۰] به‌منظور برآورد فرسایش خاک با استفاده از مدل RUSLE، خاک کشور استرالیا را بررسی کردند. نتایج پژوهش آنها نشان داد مقدار متوسط فرسایش خاک کشور استرالیا ۴/۱ تن بر هکتار در سال است. همچنین، تینگ و همکارانش [۱۱] با هدف ارزیابی وضعیت فرسایش خاک کشور استرالیا، از مدل RUSLE استفاده کردند با این تفاوت که آنها در تحقیق خود از فن‌های نوین سنجش از دور بهره جستند. در این پژوهش از تصاویر ماهواره‌ای MODIS<sup>۴</sup> و TRMM برای برآورد عوامل پوشش گیاهی و فرسایش باران با مقیاس مکانی یک کیلومتر استفاده شد. در نهایت، نتایج پژوهش آنها نشان داد ۹۵ درصد از سطح کشور استرالیا مقدار متوسط فرسایش خاک ۱/۹ تن بر هکتار بر سال دارد. در مقیاس قاره‌ای نیز می‌توان به مطالعه روکس و همکارانش [۱۲] و پاناگوس و همکارانش [۱۳] اشاره کرد. روکس و همکارانش [۱۲] با هدف ارزیابی وضعیت فرسایش خاک با استفاده از مدل RUSLE افریقای جنوبی را بررسی کردند. آنها در مطالعه خود برای برآورد عامل پوشش گیاهی از سری تصاویر MODIS استفاده کردند.

2. Remote sensing  
3. Geographic Information System  
4. Tropical Rainfall Measuring Mission

1. Universal Soil Loss Equation

وضعیت فرسایش خاک با استفاده از مدل RUSLE در شمال تونس انجام دادند. آنها در این مطالعه مقدار متوسط فرسایش خاک را برای منطقه یادشده ۲۴ تن بر هکتار بر سال گزارش کردند. زارع و همکارانش [۲۰] در پژوهشی به منظور ارزیابی تأثیر تغییرات کاربری بر مقدار فرسایش خاک با استفاده از پنج سناریو تغییر کاربری حوضه آبخیز کسلیان در شمال ایران را بررسی کردند. آنها در پژوهش خود به این نتیجه رسیدند که هدررفت خاک در آینده بیشتر از وضعیت کنونی خواهد بود، بنابراین برای کاهش مقدار فرسایش خاک منطقه مطالعه شده باید برنامه‌های حفاظت خاک انجام شود. ناگو و همکارانش [۲۱] در مطالعه‌ای با هدف تأثیر تغییر پوشش زمین بر مقدار فرسایش خاک در نیجریه مطالعه کردند. آنها در این پژوهش تصویر پوشش زمین را در چهار دوره بررسی کردند. نتایج پژوهش آنها نشان داد در دامنه‌های شیب‌دار فرسایش خاک شدید و در مناطقی که پوشش گیاهی متراکم دارند، فرسایش ناچیزی رخ می‌دهد. ذبیحی و همکارانش [۲۲] به منظور مدل‌سازی فرسایش گالی در استان مازندران به مطالعه پرداختند. به این منظور، آنها ۱۰۹ گالی را در منطقه مشخص کردند و از ۷۰ درصد داده‌ها به عنوان داده ورودی و ۳۰ درصد برای اعتبارسنجی مدل بهره گرفتند. در نهایت، آنها بیان کردند که نقش حساسیت فرسایش گالی می‌تواند در برنامه‌ریزی‌های مدیریتی حفاظت خاک مفید واقع شود.

همچنین، مقدار فرسایش خاک در نقاط مختلف کشور با روش‌های دیگری برآورد شده است. خواجه‌وی و همکارانش [۲۳] مقادیر فرسایش و تلفات خاک در سطح کشور را با استفاده از روش سزیم ۱۳۷ و پلات آزمایشی در سطح ایران بررسی کردند. به این منظور، آنها حدود ۸۴۰ رقم اندازه‌گیری‌شده به روش سزیم ۱۳۷ و پلات‌های آزمایشی در ۳۱ سایت پژوهشی در سطح کشور را جمع‌آوری و بررسی کردند. آنها در پژوهش خود بیان کردند که وجود تفاوت چند صد برابری ارقام فرسایش حاصل از سزیم ۱۳۷ نسبت به تلفات خاک اندازه‌گیری‌شده در انتهای پلات‌ها، مانع از تلفیق این دو نوع داده می‌شود. در این میان، مطالعاتی با استفاده از روش سزیم ۱۳۷ انجام شده [۲۴-۲۸] که میزان فرسایش را بین یک تا ۸۷ تن در هکتار در سال و در مواردی تا ۲۰۰ تن در هکتار در

نتایج پژوهش آنها نشان داد بیشترین مقدار فرسایش خاک آفریقای غربی مربوط به استان‌های کیپ شرقی و لیمپوپو است. پانگوس و همکارانش [۱۳] به‌منظور پهنه‌بندی و برآورد مقدار فرسایش خاک با استفاده از مدل RUSLE و فن‌های سامانه اطلاعات مکانی و سنجش از دور (RS) قاره اروپا را بررسی کردند. آنها در این مطالعه از لایه‌هایی با قدرت تفکیک مکانی ۱۰۰ متر استفاده کردند. نتایج بررسی آنها نشان داد کمترین مقدار فرسایش آبی خاک در قسمت‌های شمالی اروپا و بیشترین مقدار هدررفت خاک در قسمت‌های جنوب و جنوب غربی قاره اروپا مشاهده می‌شود. همچنین، مدل یادشده مقدار متوسط فرسایش خاک را برای قاره اروپا ۲/۴۶ تن بر هکتار بر سال برآورد کرد. در نهایت، آنها به این نتیجه رسیدند که مدل یادشده توانایی مناسبی در برآورد وضعیت فرسایش خاک به‌خصوص در مناطق وسیع دارد. در سطح منطقه‌ای العبادی و همکارانش [۱۴] به‌منظور برآورد فرسایش خاک در یکی از زیرحوضه‌های عراق از مدل RUSLE استفاده کردند. آنها مقدار فرسایش خاک را برای منطقه مطالعه‌شده بین صفر تا ۲۴۴ تن بر هکتار در سال برآورد کردند. اسدی و همکارانش [۱۵] میزان فرسایش حوضه آبخیز ناورود در استان گیلان را بررسی کردند. نتایج پژوهش آنها نشان داد مقدار فرسایش بین صفر تا ۱۰۵۶ تن بر هکتار بر سال متغیر است. جعفریان و همکارانش [۱۶] به‌منظور شبیه‌سازی اثر عملیات اصلاح و احیای مراتع بر هدررفت خاک با استفاده از مدل RUSLE در استان مازندران پژوهش کردند. نتایج تحقیق آنها نشان داد متوسط فرسایش خاک بعد از عملیات حفاظت خاک ۲۴ درصد کاهش می‌یابد. موسوی‌نژاد و همکارانش [۱۷] وضعیت فرسایش خاک را با استفاده از تصاویر SPOT ۵ در چهل‌چای شهرستان مینودشت ارزیابی کردند. بر اساس نتایج این تحقیق، مناطق جنگلی انبوه فرسایش خاک کمتر از دو تن بر هکتار بر سال دارند. مغرووی و همکارانش [۱۸] در مطالعه‌ای با عنوان «تعیین ارزیابی فرسایش خاک با استفاده از فن‌های سنجش از دور و سامانه اطلاعات مکانی» کشور الجزایر را بررسی کرده‌اند. نتایج پژوهش آنها نشان داد مقدار فرسایش خاک در منطقه بین صفر تا ۲۰۰ تن بر هکتار بر سال متغیر است. گبی و همکارانش [۱۹] مطالعه‌ای به منظور بررسی

در سطح حوضه‌ای و ناحیه‌ای بوده و به‌صورت استانی و ملی انجام نشده است. با توجه به وضعیت فرسایش خاک در کشور، نیاز به جمع‌آوری اطلاعات در زمینه فرسایش خاک بیش از پیش احساس می‌شود؛ بنابراین استفاده از مدل‌ها با کاهش در هزینه و زمان می‌تواند به مدیران و تصمیم‌گیران کمک بسیار خوبی کند. بر این اساس، مطالعه حاضر با هدف برآورد مکانی فرسایش خاک در کشور ایران با استفاده از مدل RUSLE و ارزیابی وضعیت فرسایش خاک در استان‌های مختلف انجام شد تا با اولویت‌بندی مناطق حساس به فرسایش خاک و اعمال مدیریت صحیح، برای کاهش مقدار فرسایش خاک و رسوب کشور بتوان اقدام کرد. البته، در پژوهش‌های قبلی انجام‌شده در سطح قاره‌ای و ملی برای سایر مناطق از تصاویر MODIS (با قدرت تفکیک مکانی کم) برای برآورد عامل پوشش گیاهی استفاده شده است، اما در مطالعه حاضر تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ به کار گرفته شده که یک سنجنده متوسط مقیاس با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر است؛ بنابراین از لحاظ قدرت تفکیک مکانی نسبت به تصاویر سنجنده MODIS دقت مکانی بسیار بیشتری دارد و برآورد دقیق‌تری ارائه می‌دهد.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مطالعه‌شده

منطقه مطالعه‌شده در پژوهش حاضر کشور ایران را شامل می‌شود که بین طول جغرافیایی ۴۴ درجه تا ۶۴ درجه شرقی و عرض جغرافیایی ۲۵ تا ۴۰ درجه شمالی واقع شده است (شکل ۱). کشور ایران با تنوع بسیار زیاد اقلیمی، خاکی، اکولوژیک و اقتصادی-اجتماعی مساحتی حدود ۱/۸۷۳ میلیون کیلومتر مربع دارد. اقلیم کشور ایران اغلب خشک و نیمه‌خشک بوده و مقدار متوسط بارندگی کشور ایران ۲۵۰ میلی‌متر است. همچنین، از نظر پستی و بلندی ایران از جلگه‌های پست هم‌تراز دریا و حتی پایین‌تر از آن تا نواحی کوهستانی به ارتفاع چندین هزار متر تشکیل شده است، به‌گونه‌ای که کمینه و بیشینه ارتفاع در کشور ۲۸ و ۵۷۶۰ متر از سطح دریاست.

سال [۲۹] گزارش داده است. با این وجود، پلات‌های آزمایشی، بیشترین متوسط فرسایش را کمتر از یک تن در هکتار [۳۰ و ۳۱] و به‌ندرت تا ۵۰ تن در هکتار در سال گزارش می‌دهد [۳۲ و ۳۳]. حدود ۱۰۰ میلیون هکتار از اراضی ایران در معرض خطرات فرسایش و یا سایر انواع تخریب شیمیایی و فیزیکی قرار دارند [۳۴ و ۳۵]. فرسایش آبی از مهم‌ترین انواع تخریب زمین در بیشتر نقاط ایران است که سبب از بین‌بردن خاک‌های حاصلخیز و زمین‌های کشاورزی می‌شود [۳۶]. حدود ۳۵ میلیون مترمربع از اراضی کشور ایران تحت تأثیر فرسایش آبی قرار دارد [۳۵ و ۳۷]. به‌طور متوسط، فرسایش خاک در ایران سه برابر بیشتر از سایر کشورهای آسیایی و ۲۰ برابر میانگین جهانی است [۳۵]. فرسایش خاک در ایران هزینه زیادی دارد و تقریباً ۵۶ تا ۱۱۲ میلیارد دلار در سال است. بسته به میزان فرسایش خاک در هر سال، این میزان تغییر می‌کند. درخور توجه اینکه، میزان هزینه فرسایش خاک در ایران بیش از درآمد نفتی کشور است [۳۵]. شناخت توان طبیعی یک سامانه اکولوژیک و پویا برای مدیریت صحیح و جامع ضروری به نظر می‌رسد و به این منظور به‌کارگیری فن‌های نوینی همچون سامانه اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور موجب سرعت‌بخشیدن در شناخت، کنترل و مدیریت منابع طبیعی می‌شود. مطالعات انجام‌شده در ایران بیان می‌کند که اطلاعات آماری از فرسایش خاک کم است. از طرفی، کمبود آمار تحقیقاتی-کاربردی در زمینه ارزیابی کمی فرسایش خاک و تولید رسوب، کارشناسان بخش‌های مطالعاتی فرسایش خاک و تولید رسوب را وادار می‌کند تا در مناطق بدون آمار از فرمول‌های تجربی دیگر کشورها استفاده کنند [۳۸]. تهیه نقشه خطر پتانسیل فرسایش خاک برای ایران، به‌عنوان یک روش سریع و کاربردی برای تصمیم‌گیران و برنامه‌ریزان حفاظت خاک در ایران بسیار اهمیت دارد [۳۵، ۳۷ و ۳۹-۴۲]. بررسی پژوهش‌های انجام‌شده نشان می‌دهد محققان با استفاده از مدل تجربی RUSLE در مقیاس ملی [۱۰ و ۱۱] و قاره‌ای [۱۲ و ۱۳] اقدام به برآورد و تهیه نقشه پتانسیل خطر فرسایش کرده‌اند، اما مطالعات داخلی بیشتر



$$e_r = 0.29 \left[ 1 - 0.72 \exp(-0.05 i_r) \right] \quad (4)$$

در این فرمول  $i_r$  شدت بارندگی طی دوره‌های زمانی تقسیم شده بر حسب  $mm.h^{-1}$  است.

در پژوهش حاضر به منظور تکمیل داده‌های فرساینده‌گی و رفع نواقص آماری از روش همبستگی بین ایستگاه‌ها [۴۶ و ۴۸] استفاده شد. همچنین، از آنجا که داده‌های فرساینده‌گی نرمال نبودند و روش معکوس وزنی فاصله<sup>۳</sup> (IDW) نسبت به سایر روش‌های پهنه‌بندی میزان خطای RMSE کمتری داشت، برای تهیه نقشه فرساینده‌گی باران از روش IDW استفاده شد.

#### عامل فرسایش پذیری خاک (K)

فرسایش پذیری خاک بیان کننده حساسیت ذاتی خاک به فرسایش است و سهولت جدا شدن ذرات خاک بر اثر انرژی جنبشی قطرات باران و انتقال آنها به وسیله نیروی رواناب را نشان می‌دهد. در این مطالعه اطلاعات خاک ایران از پایگاه داده خاک‌های جهان<sup>۴</sup> (HWSD) استخراج شد [۴۹]. بنابراین، پس از تهیه لایه یادشده در نرم‌افزار ArcMap نمونه برداری مجدد شده و مانند سایر عوامل با اندازه سلول ۹۰ متر تهیه شد. بر اساس مقادیر درصدی شن، رس، سیلت و نیز درصد ماده آلی خاک میزان عامل فرسایش پذیری از طریق جدول ۱ به دست آمد [۵۰]؛ که برای تبدیل مقادیر آن به واحد متریک در ۰/۱۳۱۷ ضرب شد. در نتیجه، مقدار عامل فرسایش پذیری خاک بر حسب  $t h MJ^{-1} mm^{-1}$  به دست آمد (شکل ۴).

#### عامل توپوگرافی (LS)

طول شیب (L) عبارت است از فاصله افقی از مبدأ جریان بالادست دامنه تا جایی که تندی شیب (S) به مقدار درخور توجهی تغییر یابد، به طوری که عمل رسوب گذاری آغاز شود و با افزایش طول شیب، فرسایش خاک افزایش می‌یابد [۴۳]. در این مطالعه ابتدا ۱۲ لایه مدل رقومی ارتفاع (DEM) با اندازه سلول ۹۰ متر سنجنده SRTM کنار هم موزاییک شده و سپس اقدام به محاسبه عامل توپوگرافی شد. برای محاسبه عامل LS با استفاده از لایه DEM روابط ۵ تا ۸ استفاده شد [۱۱، ۴۳ و ۵۱]:

$ha^{-1} y^{-1}$ ،  $R$ : عامل فرساینده‌گی باران ( $MJ mm ha^{-1} h^{-1} y^{-1}$ )، عامل<sup>۲</sup> فرسایش پذیری خاک ( $t h MJ^{-1} mm^{-1}$ )،  $L$ : عامل طول شیب،  $S$ : عامل درجه شیب،  $C$ : عامل عملیات مدیریتی و پوشش گیاهی (پوشش سطح)  $P$ : عامل حفاظت سطح خاک است. مقادیر  $L$ ،  $S$ ،  $C$  و  $P$  بدون واحد هستند.

#### عامل فرساینده‌گی باران (R)

مفهوم عبارت فرساینده‌گی باران توسط ویشمایر و اسمیت [۴۳]، به منظور لحاظ تأثیر اقلیم بر فرسایش خاک ارائه شد. در این مطالعه، برای برآورد متوسط عامل فرساینده‌گی باران کشور ایران دوره مشترک آماری از سال ۱۳۶۳ تا ۱۳۸۲ به مدت ۲۰ سال انتخاب شد. عامل فرساینده‌گی باران کشور ایران توسط محققان زیادی بررسی شده است [۴۴-۴۶]؛ اما به روزترین و دقیق ترین پژوهش از نظر قدرت تفکیک زمانی و تعداد ایستگاه استفاده شده توسط ذبیحی و همکارانش (۱۳۹۴) انجام شده است. بنابراین، برای برآورد عامل فرساینده‌گی از مطالعه ذبیحی و همکاران [۴۶] استفاده شد و در مجموع ۷۰ ایستگاه برای پهنه‌بندی این عامل به کار برده شد. شاخص فرساینده‌گی در مدل RUSLE از متوسط مجموع فرساینده‌گی رخ داده‌های باران در هر سال به وسیله رابطه ۲ به دست می‌آید [۴۳]:

$$R = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \sum_{K=1}^{mj} (EI_{r,K}) \quad (2)$$

در اینجا  $n$  تعداد سال‌های آماری،  $m_j$  تعداد رخداد باران برای سال  $j$ ،  $EI_{30}$  میزان فرساینده‌گی برای هر رخداد باران ( $K$ )،  $R$  متوسط ارزش سالیانه فرساینده‌گی بر حسب  $MJ.mm.ha^{-1}.h^{-1}.yr^{-1}$  برای دوره آماری است. فرساینده‌گی باران برای هر رخداد بارش مطابق فرمول  $EI_{30}$  به دست می‌آید:

$$EI = EI_{r,K} = \left( \sum_{r=1}^n e_r v_r \right) I_r \quad (3)$$

که  $I_{30}$  بیشترین شدت ۳۰ دقیقه‌ای طی یک رخداد بارش،  $e_r$  انرژی جنبشی بر حسب  $MJ ha^{-1} mm^{-1}$  و  $v_r$  ارتفاع بارندگی بر حسب  $mm$  طی دوره‌های تقسیم شده برای رخداد بارش است. برای محاسبه  $e_r$  فرمول‌های متفاوتی ارائه شده است که در این مطالعه از رابطه ۴ یا فرمول [۴۷] برای محاسبه انرژی جنبشی استفاده شد:

3. Inverse distance weighting  
4. Harmonized World Soil Database

1. Erosivity  
2. Erodibility

جدول ۱. تعیین فرسایش‌پذیری به وسیله نوع بافت و مقدار ماده آلی خاک [۵۰]

مقدار ماده آلی (درصد)		نوع بافت
بیشتر از دو	کمتر از دو	
۰/۲۱	۰/۲۴	رسی
۰/۲۸	۰/۳۳	لومی - رسی
۰/۲۶	۰/۳۴	لوم
۰/۰۴	۰/۰۵	شنی - لومی
۰/۰۱	۰/۰۳	شنی
۰/۲	۰/۲	لومی - رسی - شنی
۰/۱۲	۰/۱۴	لومی - شنی
۰/۳۷	۰/۴۱	لومی - سیلتی
۰/۲۶	۰/۲۷	رسی - سیلتی
۰/۳	۰/۳۵	لومی - رسی - سیلتی
۰/۳۷	۰/۴۶	سیلتی
۰/۳۳	۰/۴۱	رسی - شنی

برای برآورد عامل پوشش گیاهی با استفاده از شاخص NDVI روابط متعددی ارائه شده است، اما با توجه به اینکه در کشور ایران تقریباً ۵۰ درصد بارندگی مربوط به فصل پاییز است و بارندگی شدت زیاد دارد؛ بنابراین رابطه لین و همکارانش [۵۲ و ۵۳] برآورد بهتری نسبت به سایر روش‌ها ارائه می‌دهد [۵۲] و عامل پوشش گیاهی از طریق معادله لین و همکارانش (رابطه ۱۰) استخراج شد [۵۳]:

$$C = (-NDVI + 1) / 2 \quad (10)$$

#### عامل حفاظتی خاک (P)

عامل حفاظتی را به‌عنوان مقدار خاک از بین‌رفته در واحد سطح یک زمین حفاظت‌شده، به زمین لخت و شخم‌خورده در جهت تندترین شیب، (از طریق کشت نواری، کشت تراس‌بندی و کشت روی خطوط هم‌تراز) تعریف کردند [۴۳]. در مناطقی که وسعت منطقه مطالعه شده زیاد باشد، عامل حفاظت خاک از طریق اثر خطوط هم‌تراز شیب بر مقدار فرسایش خاک بررسی می‌شود [۴۳ و ۵۴]، زیرا مناطق هم‌تراز شیب از نظر مقدار عامل حفاظت خاک، ارزش یکسانی به خود اختصاص می‌دهند [۴۳ و ۵۴]. برای به‌دست‌آوردن مقادیر عامل حفاظت خاک، از طریق خطوط هم‌تراز شیب، ویشمایر و اسمیت [۱۱] جدول ۲ را ارائه دادند [۱۱، ۴۳ و ۵۴]. بنابراین، پس از دریافت لایه DEM سنجنده STRM با اندازه پیکسل ۹۰ متر، لایه شیب برای کشور تهیه و سپس مطابق جدول ۲ طبقه‌بندی شد و هر طبقه شیب ارزش مختص به خود را گرفت.

$$L = \left[ \frac{(\text{Flow Accumulation}) * \text{Cell Size}}{22/1} \right]^m \quad (5)$$

$$m = \frac{\beta}{1 + \beta} \quad (6)$$

$$\beta = \frac{\sin \theta (\text{Slope} * 0.1745)}{[3 * (\sin \theta)^{1/8} + 0.56]} \quad (7)$$

$$S = \begin{cases} 10/8 \sin \theta + 0.3, & s < 9\% \\ 16/8 \sin \theta - 0.5, & s \geq 9\% \end{cases} \quad (8)$$

در اینجا  $\theta$  زاویه شیب برحسب درصد است. برای به‌دست‌آوردن عامل LS در محیط ArcMap از طریق لایه مدل رقومی ارتفاعی (DEM) ۹۰ متری کشور، دو لایه شیب و جریان تجمعی را ایجاد کرد و با قراردادن لایه‌های ایجادشده در روابط ۵ تا ۸ عامل LS به دست آمد.

#### عامل پوشش گیاهی (C)

این عامل، بیان‌کننده نسبت مقدار خاک از بین‌رفته از زمین زیر کشت به خاک فرسوده‌شده از همان قطعه زمین طی آیش مداوم و عاری از پوشش یا بقایای گیاهی است [۴۳]. پرکاربردترین روش برای تعیین معیار رویش گیاه، شاخص تفاضل پوشش گیاهی نرمال<sup>۱</sup> (NDVI) شده است که با تکیه بر فن‌های سنجنش‌ازدور به دست می‌آید. در این مطالعه ابتدا مقادیر NDVI کشور ایران با استفاده از ۱۳۰ عدد تصویر ماهواره‌ای لندست ۸ مربوط تیرماه ۱۳۹۳ در محیط نرم‌افزار Erdas2014 به دست آمد (رابطه ۹):

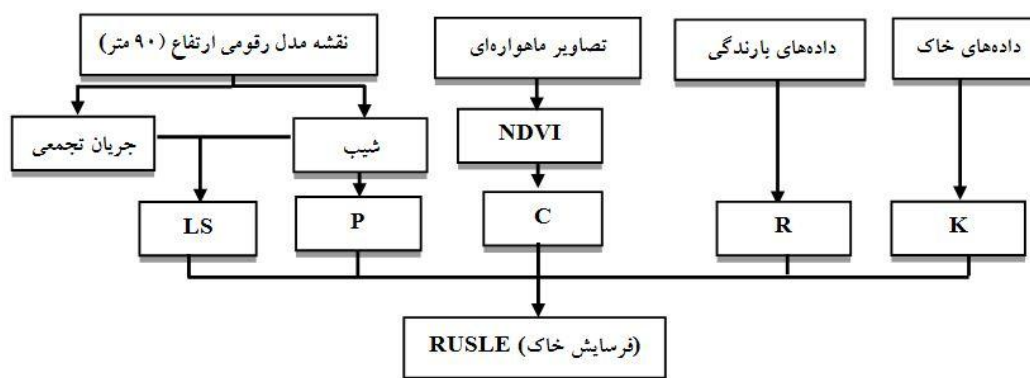
$$NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED) \quad (9)$$

1. Normalized Difference Vegetation Index

جدول ۲. عامل حفاظتی در شیب‌های مختلف [۱۱]

عامل P	شیب (درصد)
۰/۶	کمتر از ۳
۰/۵	۳-۶
۰/۵	۶-۹
۰/۶	۹-۱۲
۰/۷	۱۲-۱۵
۰/۸	۱۵-۲۰
۰/۹	۲۰-۲۵
۱	بیشتر از ۲۵

در این پژوهش پس از تهیه لایه‌های اطلاعاتی مورد نیاز مدل فرسایش خاک RUSLE و آماده کردن آنها به صورت لایه‌های رستری با اندازه سلول ۹۰ متر با استفاده از افزونه Spatial Analysis و گزینه Calculator Raster نقشه مقدار هدررفت سالانه خاک با توجه به رابطه ۱ استخراج شد. به بیان دیگر، شش لایه تهیه شده به صورت رستری در نرم افزار ArcGIS ۱۰/۳ در هم ضرب و یک نقشه با عنوان «نقشه فرسایش سالانه» برحسب تن بر هکتار بر سال به دست آمد (شکل ۲).



شکل ۲. نمودار مراحل انجام کار [۲۳]

و بلندی ایران در شکل ۵ نشان داده شده است. مقدار این عامل از ۰/۱ تا ۲۴۱۲۷ متغیر است. کمترین مقدار عامل توپوگرافی مربوط به مناطق مسطح و بیابانی (مناطق مرکزی ایران) و بیشترین مقدار آن مربوط به نواحی مرتفع (رشته‌کوه‌های البرز و زاگرس) است. به همین دلیل، عامل یادشده در رشته‌کوه‌های البرز و زاگرس بیشترین مقدار و در نواحی بیابانی و مرکزی کشور کمترین مقدار را به خود اختصاص می‌دهد. به بیان دیگر، تأثیر عامل توپوگرافی در مناطق مسطح کم می‌شود و در مناطق مسطح بیشتر نوع خاک و مقدار پوشش گیاهی بر مقدار فرسایش خاک تأثیرگذار خواهد بود. شاخص پوشش گیاهی بین صفر تا یک متغیر بود که در نواحی شمالی کشور، که جنگل متراکم دارد، ارزش آن صفر و در نواحی بیابانی، که فاقد پوشش گیاهی است، ارزش آن یک است (شکل ۶). همان طور که مشاهده می‌شود در شکل ۷ لایه حفاظت خاک ارائه شده است که هرچه قدر ارزش عددی این لایه کمتر باشد یعنی عوامل حفاظتی خاک نقش بیشتری در حفظ خاک در مقابل فرسایش آبی دارند. در صورتی که منطقه هیچ‌گونه عامل

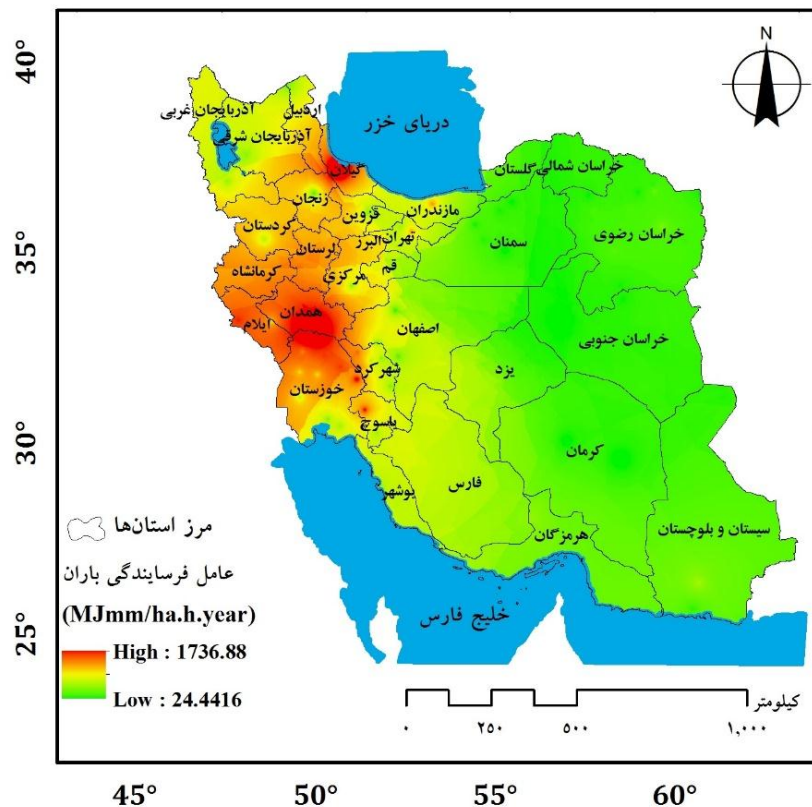
### یافته‌ها

نتایج این مطالعه به صورت نقشه عوامل مؤثر در فرسایش خاک به کمک مدل RUSLE به ترتیب شامل نقشه‌های عامل فرسایش باران (R)، فرسایش‌پذیری خاک (K)، پستی و بلندی (LS)، مدیریت زراعی (C) و شاخص حفاظت خاک (P) در شکل‌های ۳ تا ۸ ارائه شده است. مقدار شاخص فرسایش‌پذیری برای ایران از ۲۴ تا ۱۷۳۶ ( $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{y}^{-1} \text{h}^{-1}$ ) متغیر بود که در نواحی غربی و شمال غرب بیشترین مقدار را به خود اختصاص دادند (شکل ۳). در شکل ۴ عامل فرسایش‌پذیری برای کشور ایران قابل مشاهده است. خاک‌های تشکیل شده در زمین‌ریخت‌های کشور ایران، بیشتر فرسایش‌پذیرند، زیرا بیشتر بافت‌های غالب خاک‌های ایران در طبقه سوم با میزان مواد آلی کمتر از ۲ درصد قرار می‌گیرند. بنابراین، این خاک‌ها نسبتاً به فرسایش حساس اند و خاک‌های مناطق شمالی کشور به مراتب نسبت به خاک‌های جنوبی، فرسایش‌پذیری کمتری دارند. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد میزان فرسایش‌پذیری خاک‌های ایران از صفر (مناطق فاقد خاک) تا  $۰/۰۴۴$  ( $\text{t h MJ}^{-1} \text{mm}^{-1}$ ) متغیر است. شاخص پستی

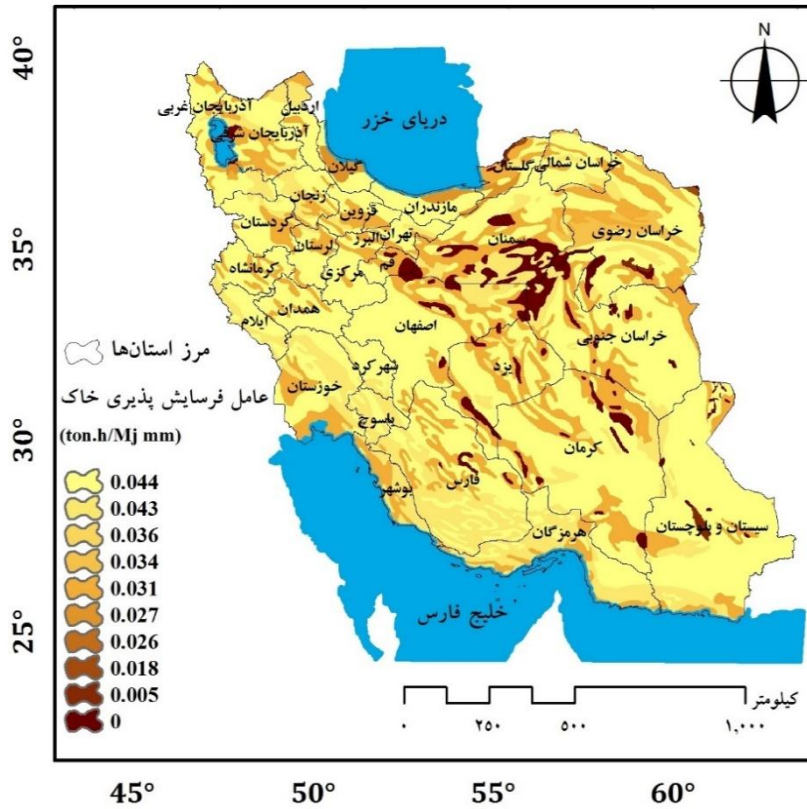


طریق مدل RUSLE برای کشور ایران حدود چهار میلیارد تن است. بنابراین، با در نظر داشتن مساحت خشکی کشور می‌توان به مقدار متوسط فرسایش خاک، ۲۴ تن بر هکتار بر سال رسید. از آنجا که اندازه سلول‌های لایه فرسایش خاک و سایر لایه‌ها ۹۰ متری است، می‌توان گفت که مقیاس نقشه‌ها و اعداد ارائه‌شده در این پژوهش حدود ۱/۲۵۰۰۰۰ است. همچنین، نتایج رگرسیون خطی ساده را می‌توان در جدول ۴ مشاهده کرد. رگرسیون بین عوامل و لایه فرسایش خاک ایران نشان داد عامل توپوگرافی یا پستی و بلندی با ضریب همبستگی ۰/۶۶ بیشترین نقش را در ایجاد فرسایش آبی خاک در ایران دارد. به این معنا که رشته‌کوه‌های البرز و زاگرس علت اصلی افزایش فرسایش آبی خاک در کشور ایران است. همان‌طور که از جدول ۳ مشاهده می‌شود، حدود ۸۰ درصد از سطح اراضی کشور مقدار فرسایش خاک کمتر از ۲۵ تن بر هکتار بر سال دارند. به بیان دیگر، ۲۰ درصد از سطح کشور فرسایش خاک بیش از ۲۵ تن در هکتار بر سال دارند که بیشتر نواحی غربی، شمال و شمال غربی کشور را شامل می‌شود.

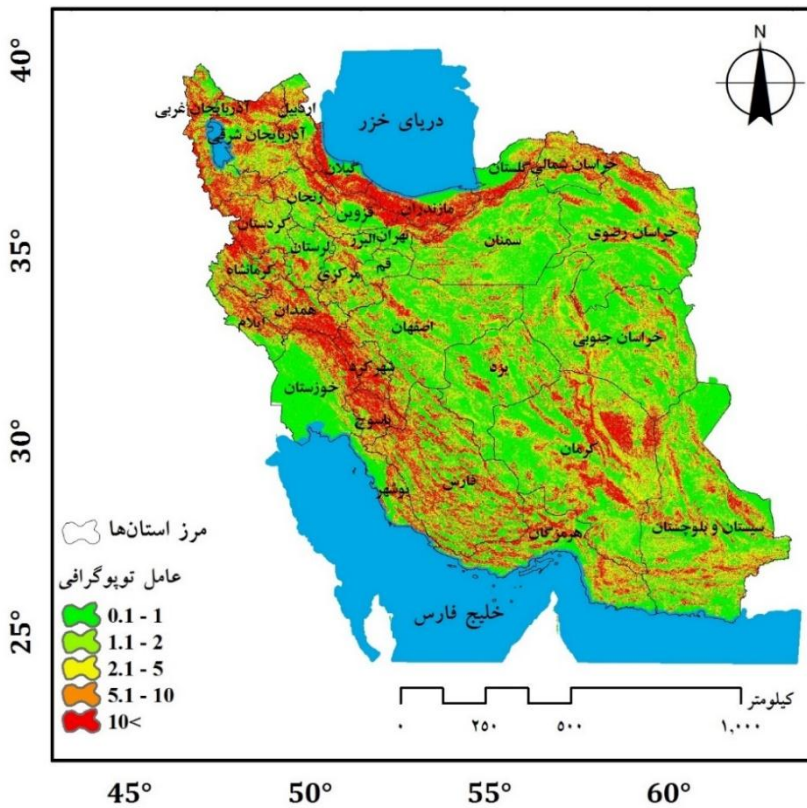
حفاظتی نداشته باشد، مقدار آن را یک در نظر می‌گیرند. نتیجه به‌دست‌آمده از بررسی عامل حفاظت خاک نشان داد مقدار این عامل از ۰/۵ تا یک متغیر است. چون شرایط آب و هوایی قسمت بیشتر کشور خشک و نیمه‌خشک است، کوه‌ها یا پوشش گیاهی ندارند و یا نقاطی هم که شرایط آب و هوایی آن اقتضا می‌کند که باید پوشش گیاهی غنی باشد، اغلب بر اثر استفاده بی‌رویه انسان و حیوان لخت یا کم‌گیاه شده است. فقر یا نبود پوشش گیاهی و همچنین خشکی خاک و باران‌های تند و درشت (به‌خصوص در نواحی غرب و شمال غربی) و دیگر شرایط نامساعد سبب شده است که در نقاط مختلف خاک‌ها به‌شدت فرسایش یابد [۵۵]. بنابراین، پس از تلفیق اطلاعات به‌دست‌آمده از لایه‌ها (شاخص‌های مختلف مؤثر در میزان فرسایش خاک) شکل ۹ به وجود آمد که بیان‌کننده میزان فرسایش خاک برآوردشده به‌وسیله مدل RUSLE در کشور ایران است. نقشه فرسایش خاک برآوردشده در ۱۰ طبقه مطابق جدول ۳ طبقه‌بندی شد (از کمتر از ۰/۵ تا بیش از ۲۵ تن در هکتار در سال). مطابق پژوهش انجام شده مجموع فرسایش خاک به‌دست‌آمده از



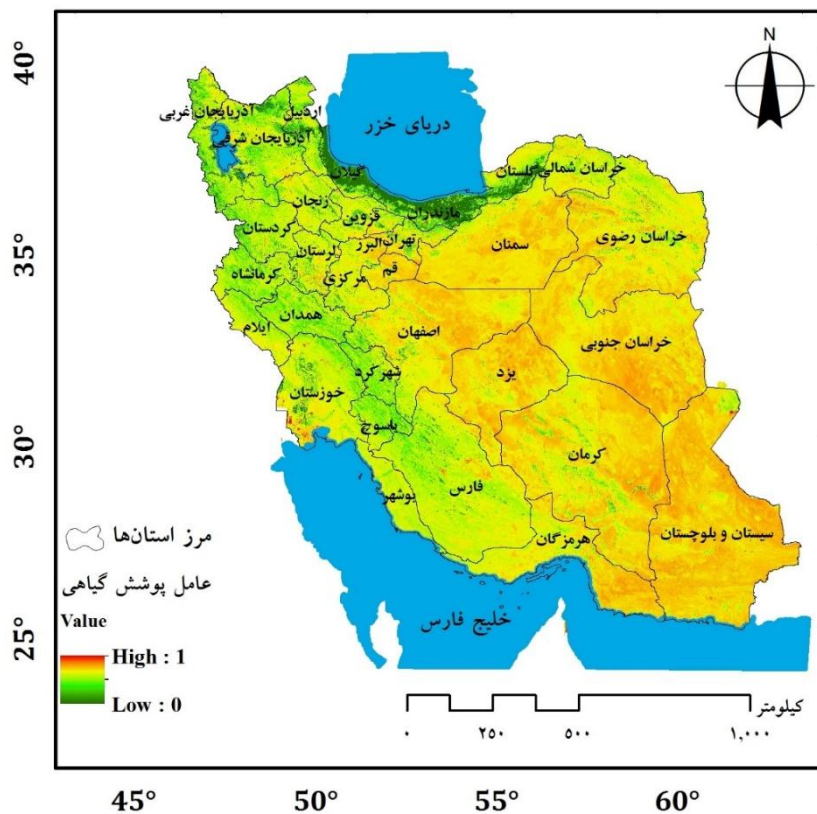
شکل ۳. نقشه فرساینده‌گی (MJmm/ha.h.year) ایران



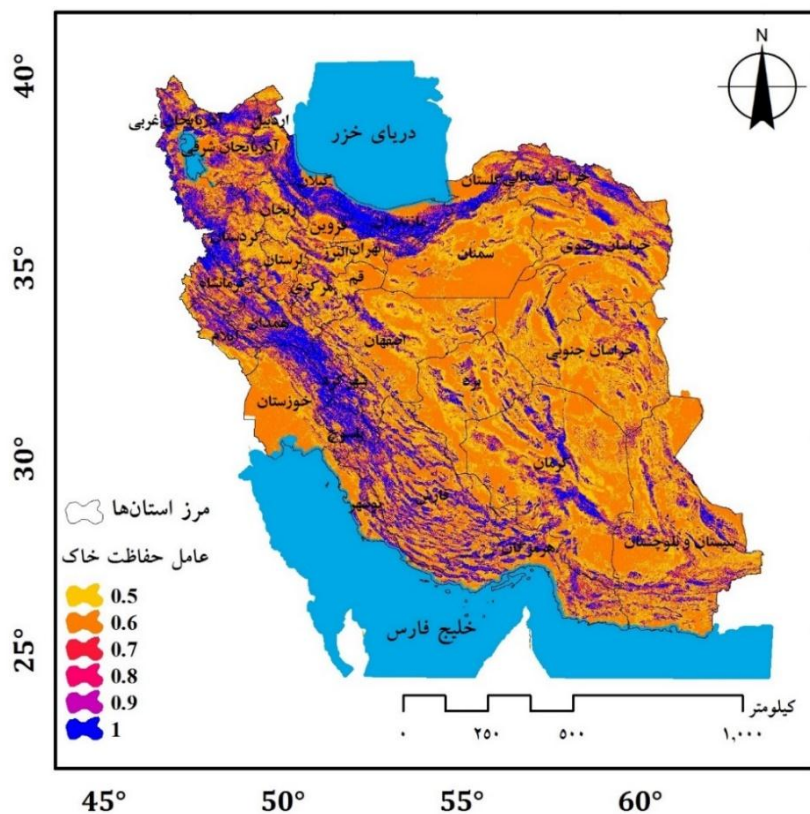
شکل ۴. نقشه عامل فرسایش پذیری خاک (ton.ha/MJ. Mm) ایران



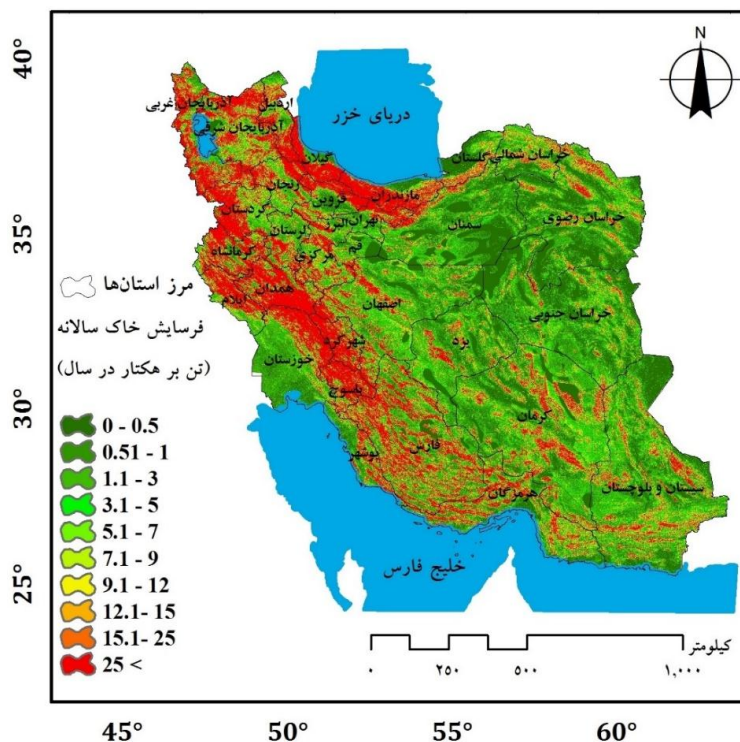
شکل ۵. نقشه عامل توپوگرافی ایران



شکل ۶. نقشه عامل پوشش گیاهی ایران



شکل ۷. نقشه عامل حفاظت خاک ایران



شکل ۸. نقشه فرسایش خاک (تن بر هکتار بر سال) ایران با استفاده از مدل RUSLE

جدول ۳. طبقه‌های فرسایش خاک و مساحت هر طبقه

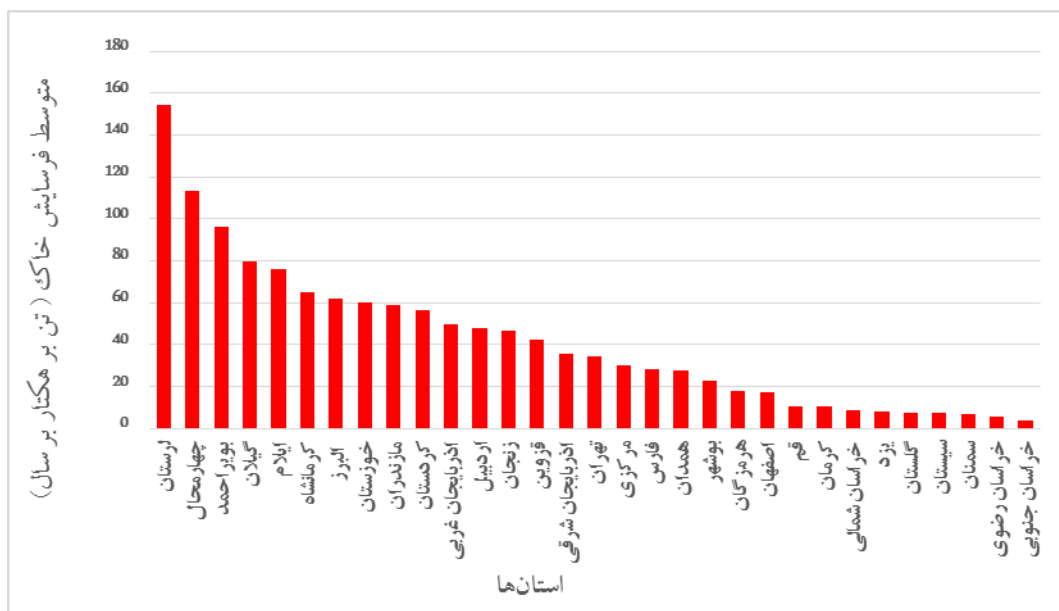
مناطق آبی	مساحت (کیلومتر مربع)	مساحت (درصد)
مناطق آبی	۲۵۸۰۰۰	-
۰-۰/۵	۲۷۱۷۸۹	۱۶/۸
۱-۰/۵	۱۹۲۸۰۸	۱۲
۳-۱	۳۲۸۳۱۵/۳	۲۰/۳
۵-۳	۱۴۰۱۷۱	۸/۶
۷-۵	۸۵۱۲۴	۵/۲
۹-۷	۵۹۹۶۴	۳/۷
۱۲-۹	۶۵۳۹۱	۴
۱۵-۱۲	۴۸۷۰۸	۳
۲۵-۱۵	۱۰۵۸۱۶	۶/۵
بیش‌تر از ۲۵	۳۱۶۸۹۳	۱۹/۶

جدول ۴. مشخصات آماری عوامل دخیل در مدل RUSLE برای کشور ایران

عوامل	حد بالا	حد پایین	میانگین	ضریب همبستگی
R	۱۷۳۶	۲۴	۱۹۵	۰/۰۲۱
K	۰/۰۴۴	۰	۰/۰۴	۰/۰۲۶
LS	۲۴۱۲۷	۰/۱	۶/۳۵	۰/۰۶۶
C	۱	۰	۰/۴۶	۰/۰۲۷
P	۱	۰/۵	۰/۶۵	۰/۰۶

دو تن در هکتار بر سال است. آگاهی از مقدار متوسط فرسایش خاک و وضعیت هدررفت خاک برای هر یک از استان‌های کشور توان مدیریت و برنامه‌ریزی را برای الگوی صحیح مبارزه با فرسایش خاک افزایش می‌دهد. در نقاط شمالی، شمال غربی و غرب کشور همچنین در مناطق کوهستانی بیشتر فرسایش آبی و در نقاط مرکزی، جنوبی و جنوب شرقی فرسایش آبی و بادی حکم فرماست. در مناطق خشک و بیابانی کشور مانند دشت لوت و حوالی جنوبی دشت کویر و غیره فرسایش بادی نیز بسیار شدید است.

مقدار متوسط فرسایش خاک در هر یک از استان‌های کشور به دست آمد که نتایج آن در شکل ۹ قابل مشاهده است. نتایج نشان داد بیشترین مقدار فرسایش خاک در استان‌های غرب و شمال غربی (لرستان، ایلام و...) و کمترین مقدار فرسایش آبی خاک در استان‌های شرقی (خراسان جنوبی، خراسان رضوی و سیستان و بلوچستان) دیده می‌شوند. بیشترین مقدار فرسایش آبی خاک در استان لرستان با متوسط ۱۵۳ تن در هکتار بر سال و کمترین مقدار فرسایش آبی خاک استان خراسان جنوبی با متوسط



شکل ۹. متوسط فرسایش خاک بر حسب تن بر هکتار بر سال در سطح هر استان

دیده می‌شود. به دلیل اقلیم و موقعیت مکانی متفاوت در مناطق مختلف کره زمین، مقدار حداکثر و حداقل فرسایش بومی به‌طور درخور توجهی متفاوت است. به‌طور کلی، می‌توان گفت که مقدار متوسط عامل فرسایش سالانه کشور ایران در شرق و جنوب شرقی حداقل و در شمال غرب و غرب کشور بیشترین خطر فرسایش بومی وجود دارد. این پژوهش با پژوهش‌های پیشین [۴۶، ۵۶، ۶۱ و ۶۲] از نظر چگونگی توزیع عامل فرسایش بومی باران در کشور هم‌خوانی دارد. صادقی و حزابوی [۵۸] در بررسی عامل فرسایش بومی استفاده از ۱۸ ایستگاه متوسط این عامل را برای کشور ایران ۱۲۳ ( $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ ) گزارش کردند و نیز بیان کردند بیشترین مقدار فرسایش بومی در بین ایستگاه‌های یادشده مربوط به ایستگاه انزلی با مقدار  $1150 \text{ MJ mm ha}^{-1}$

### بحث و نتیجه‌گیری

فرسایش خاک، به‌خصوص در کشورهای در حال توسعه روند افزایشی دارد. فرسایش تشدید می‌شود سبب از بین رفتن خاک‌های کشاورزی، فقیر شدن ظرفیت تولیدی خاک‌ها و آلودگی آب‌های طبیعی بر اثر رسوب‌گذاری می‌شود. در این پژوهش ارزیابی کمی فرسایش خاک با استفاده از مدل RUSLE و فناوری‌های نوین GIS و RS صورت گرفت.

مطالعات زیادی در زمینه شاخص فرسایش بومی در مقیاس جهانی [۵۶]، قاره‌های مانند اروپا [۵۷] در مقیاس ملی ایران [۴۴-۴۶ و ۵۸ و ۵۹] و در مقیاس منطقه‌ای؛ در جنوب سیدنی [۶۰] انجام شده است. بعضی از پژوهش‌ها بیشترین ارزش را در زمستان و پاییز [۱۳] و در بعضی مطالعات بیشترین ارزش در مارس و کمترین ارزش در ژوئیه [۴۵]

معنای اثر مثبت پوشش گیاهی در کنترل فرسایش خاک منطقه است و در نهایت به جلوگیری از هدررفت خاک منجر می‌شود. بنابراین، در مناطق مرکزی ایران، که مقدار این عامل زیاد است، نشان‌دهنده پوشش گیاهی ضعیف و در نتیجه عدم حفاظت خاک به وسیله پوشش گیاهی است. به بیان دیگر، رابطه بین عامل پوشش گیاهی (C) و شاخص گیاهی نرمال شده (NDVI)، عکس هم است. این قسمت از تحقیق با پژوهش‌های انجام شده [۶۳-۶۵] مطابقت دارد. هرچقدر مقدار این عامل کمتر باشد، با ثابت در نظر گرفتن سایر پارامترها مقدار فرسایش خاک کاهش می‌یابد. همان‌طور که نتایج جدول ۴ و شکل ۶ نشان می‌دهد کشور ایران از لحاظ پوشش گیاهی فقیر است، در نتیجه مقدار متوسط این عامل زیاد است که در نهایت سبب افزایش فرسایش خاک در کشور ایران به خصوص در نقاط بدون پوشش گیاهی می‌شود.

طبق آخرین گزارش سازمان خواروبار کشاورزی، میزان فرسایش کشور ما در سال ۱۳۶۴ حدود ۳/۵ میلیارد تن بر هکتار در سال تخمین زده شده است که با توجه به مساحت کشور، میزان فرسایش ۲۲ تن بر هکتار بر سال خواهد بود [۶۶]. بررسی‌ها نشان می‌دهند مقدار فرسایش در کشور، از حداقل یک میلیارد تا نزدیک به پنج میلیارد تن در سال گزارش شده است (با توجه به آمار و اطلاعات ارائه شده از سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور، جمع‌آوری شده به وسیله مؤسسه تحقیقات خاک و آب) [۶۷ و ۶۸]. همچنین، منابع دیگر میزان فرسایش خاک در سطح ۱۲۵ میلیون هکتار از حوضه‌های آبخیز کشور را حدود ۲۵ تا ۳۰ تن در هکتار در سال تعیین کرده است [۶۹]. در تحقیق حاضر مقدار فرسایش خاک به صورت متوسط ۲۴ تن بر هکتار بر سال برآورد شد که با توجه به مساحت کشور جمعاً حدود چهار میلیارد تن بر هکتار بر سال هدررفت خاک در ایران مشاهده می‌شود که با مقایسه نتایج حاضر با گزارش فائو در سال ۱۳۶۴ [۶۶] اختلاف در برآورد فرسایش خاک تقریباً نزدیک است. بنابراین، متوسط فرسایش خاک از ۳۰ سال پیش تا کنون افزایش یافته است. همچنین با مقایسه مقدار فرسایش خاک برآورد شده در این مطالعه با گزارش‌های ارائه شده به وسیله مؤسسه تحقیقات آب و خاک [۶۷ و ۶۸] هم‌خوانی دارد. این در حالی است که میانگین فرسایش در سطح کشور، با استفاده از مدل EPM حدود شش تن در

$h^{-1} yr^{-1}$ ) و کمترین آن برای ایستگاه بم با اندازه ۲۰ (MJ  $mm ha^{-1} h^{-1} yr^{-1}$ ) است. نیک‌کامی و مهدیان [۴۴] با استفاده از ۷۸ ایستگاه مقدار عامل فرساینده را ۳۰۸ (MJ  $mm ha^{-1} h^{-1} yr^{-1}$ ) گزارش دادند و بیان کردند که بیشترین مقدار آن در انزلی با اندازه ۲۰۱۰ ( $2010 MJ mm ha^{-1} h^{-1} yr^{-1}$ ) و کمترین مقدار فرساینده در ایستگاه بم با اندازه ۲۵ (MJ  $mm ha^{-1} h^{-1} yr^{-1}$ ) مشاهده شد. همچنین، پاناگوس و همکارانش [۵۶] در بررسی فرساینده در سطح جهان از ۳۶۲۵ ایستگاه باران‌نگاری استفاده و میزان فرساینده باران را در آنها به دست آوردند. تحلیل این نقشه در سطح قاره‌ای بیشترین میزان را به ترتیب در امریکای جنوبی، آفریقا، اقیانوسیه، آسیا، امریکای شمالی و اروپا نشان می‌دهد که مقدار متوسط فرساینده برای کشور ایران ۲۲۰ (MJ  $mm ha^{-1} h^{-1} yr^{-1}$ ) به دست آمده در پژوهش حاضر برای کشور ایران ۱۹۵ (MJ  $mm ha^{-1} h^{-1} yr^{-1}$ ) است که در مقایسه با سایر مطالعات می‌توان مشاهده کرد که مطالعه حاضر کمترین اختلاف را با مقدار گزارش شده در سطح بین‌المللی دارد و دلیل شباهت نزدیک در برآورد فرساینده برای کشور ایران در این دو مطالعه به این دلیل است که داده استفاده شده در مطالعه حاضر و مطالعه جهانی فرساینده برای کشور ایران هر دو از مطالعه ذبیحی و همکارانش [۴۶] استفاده شده است. در نتیجه، مطابقت مقدار فرساینده در این پژوهش با مقدار برآورد جهانی برای کشور ایران به معنای تطابق این مطالعه با مطالعه ذبیحی و همکارانش [۴۶] است و دلیل اختلاف جزئی بین این دو مطالعه را می‌توان مقیاس مکانی متفاوت (در سطح ملی و بین‌المللی) دانست. همچنین، از نظر مقدار کمینه فرساینده در این مطالعه با مطالعات انجام شده توسط صادقی و حزب‌اوی [۵۸] و داودی و نیک‌کامی [۴۴] هم‌راستاست، زیرا مطالعه حاضر نیز همانند مطالعات انجام شده در ایستگاه بم را کمترین مقدار فرساینده با اندازه ۲۴ ( $24 MJ mm ha^{-1} h^{-1} yr^{-1}$ ) گزارش می‌دهد و دلیل اختلاف در بیشینه و متوسط فرساینده در این مطالعات با مطالعه حاضر به دلیل تفاوت در ایستگاه‌های استفاده شده و بازه زمانی متفاوت در بررسی این عامل است.

همان‌طور که از شکل ۶ پیداست، مقدار شاخص پوشش گیاهی (C) از صفر تا یک متغیر است. کاهش مقدار عامل پوشش گیاهی در جنگل‌های شمالی کشور به

فراهم است، پوشش گیاهی مستقر و به‌عنوان عامل حفاظتی سبب کاهش تنش برشی قطرات باران خواهد شد، ولی آنچه عملاً رخ خواهد داد، تأثیر بیشتر عامل فرساینده در تنش برشی اعمال بر سطح خاک نسبت به عامل حفاظتی پوشش گیاهی است. از طرف دیگر، مناطق مرکزی ایران به علت کمبود رطوبت و نبود پوشش گیاهی مناسب، خاک، از یک‌طرف فرسایش‌پذیر و از طرف دیگر، با نبود عامل‌های حفاظتی مواجه‌اند. مناطق مرکزی ایران جزء خشک‌ترین مناطق کشور و گاه جهان هستند. این مناطق از یک طرف با کمبود بارش و از طرف دیگر با بارندگی‌های با شدت زیاد در مدت زمان کم مواجه‌اند. بنابراین، در صورت وقوع رگبارها که به‌ندرت انجام می‌گیرد به دلیل شدت زیاد آنها، در این مناطق رواناب‌های زیادی ایجاد و میزان هدررفت خاک افزایش می‌یابد. مشخصه دیگر این مناطق، وجود خاک حساس، سست، خشک و بدون پوشش گیاهی مناسب برای مهار فرسایش بادی است. این مناطق بیشتر مسطح هستند و بنابراین بادها عمدتاً سرعت زیاد و بیش از حد سرعت آستانه و فرساینده‌اند. بر این اساس، زمانی‌هایی که این مناطق بارش ندارند به دلیل خشک‌بودن خاک‌های سطحی فرسایش بادی غالب خواهد شد و مقدار فرسایش بادی میزان زیادی از خاک‌های منطقه را فرسوده کرده و هدر خواهد داد (شکل ۸). همچنین، خاک‌های ایران مقاومت لازم در برابر تنش‌های واردشده به‌وسیله آب یا باد را نداشته و کیفیت ساختمان مناسبی ندارند. کیفیت ساختمان مناسب مستلزم حفاظت از خاک است، یعنی مواد آلی آن حفظ شود و دچار شوری یا سدیمی شدن نشود. متأسفانه، کشاورزی‌های داخل کشور اغلب اصولی و حفاظتی نیست (به‌طور مثال، شخم در جهت شیب، جمع‌آوری کاه و کلش باقی‌مانده در اراضی کشاورزی، استفاده از کودهای شیمیایی که سبب تخریب ساختمان خاک می‌شوند).

بررسی نتایج نشان می‌دهد بیشترین مقدار فرسایش آبی خاک در استان‌های لرستان، چهارمحال و بختیاری، کهگیلویه و بویراحمد، گیلان، ایلام کرمانشاه، البرز با مقدار متوسط بیش از ۶۰ تن بر هکتار بر سال رخ می‌دهد، مقدار متوسط فرسایش آبی خاک در استان‌های هرمزگان، اصفهان، قم و کرمان با مقدار متوسط کمتر از ۲۰ تن بر هکتار بر سال مشاهده می‌شود. همچنین، کمترین مقدار متوسط فرسایش آبی خاک در استان‌های خراسان جنوبی،

هکتار در سال گزارش شده است [۷۰]. پراکندگی ارقام ارائه‌شده از میزان فرسایش، در زمینه روش‌های مستقیم برآورد فرسایش نیز صدق می‌کند [۷۱]. مقدار فرسایش خاک برآوردشده (۲۴ تن بر هکتار در سال) حدود ۱۵ برابر بیشتر از حد خاک‌سازی است که وضعیت شدید فرسایش خاک در سطح کشور ایران را نشان می‌دهد. مهدیان [۷۲] در مطالعه‌ای مقدار متوسط فرسایش خاک را برای اغلب زیرحوضه‌ها ایران بین هشت تا ۱۶ تن بر هکتار در سال برآورد کرد که تا حدی با پژوهش حاضر مطابقت دارد، زیرا قسمت بیشتر ایران (حدود ۷۵ درصد) مقدار فرسایشی کمتر از ۲۰ تن بر هکتار در سال هدررفت خاک دارند. همچنین، کارایی مناسب مدل RUSLE در ارزیابی وضعیت فرسایش خاک در سطح‌های وسیع و با تفاوت اقلیمی زیاد را می‌توان با پژوهش‌های انجام‌شده [۱۱، ۱۲ و ۱۳] تأیید کرد. با مقایسه مقدار فرسایش خاک در مطالعه حاضر با مطالعات انجام‌شده در کشور استرالیا و قاره اروپا می‌توان نتیجه گرفت که وضعیت فرسایش خاک در ایران بحرانی است و جزء کشورهای قرار می‌گیرد که مقدار فرسایش آبی آن بسیار زیاد است. از مطالعات انجام‌شده داخل کشور با هدف برآورد فرسایش خاک با مدل RUSLE در مقیاس منطقه‌ای که کاربرد مناسب این مدل را برای برآورد فرسایش در حوضه‌های داخل ایران تأیید کردند، می‌توان به پژوهش‌های [۳، ۱۵، ۱۶، ۱۷، ۲۰، ۶۴، ۶۵، ۷۳ و ۷۴] اشاره کرد. مطابق این مطالعه حدود ۳۰ درصد از اراضی کشور ایران فرسایشی کمتر از یک تن بر هکتار در سال دارند (جدول ۳) که در محدوده فرسایش کم قرار می‌گیرد، زیرا این مقدار هدررفت تقریباً برابر با حد خاک‌سازی سالانه بوده و طبیعی است. همان‌طور در شکل ۸ مشخص است، این مناطق نیاز به عملیات آبخیزداری ندارند زیرا خطر فرسایش کم است. همچنین، مقدار فرسایش خاک حدود ۲۰ درصد از سطح اراضی کشور از ۲۵ تن در هکتار در سال تجاوز می‌کند (جدول ۳). اغلب این مناطق در شمال، شمال غربی و غرب کشور واقع شده‌اند و توصیه می‌شود که در این مناطق علاوه بر عملیات بیولوژیک، عملیات مکانیکی نیز برای کاهش و کنترل فرسایش آبی خاک انجام شود. دلیل افزایش مقدار فرسایش خاک در مناطق شمالی و شمال غرب کشور، بارش زیاد و تغییر کاربری اراضی در بخشی از این اراضی است. در این مناطق با توجه به اینکه رطوبت لازم برای رشد و نمو گیاه

- erosion index. *Journal of Watershed Management Researches*. 2010; 89: 44-51 (In Persian).
- [3]. Erfanian M, Ghaharrahmani P, Saadat H. Assessment of soil erosion risk using a fuzzy model in Gharnaveh watershed. *Journal of Water and soil Conservation*. 2015; 6(21): 135-154 (In Persian).
- [4]. Nigel R, Rughooputh SD. Soil erosion risk mapping with new datasets: An improved identification and prioritisation of high erosion risk areas. *Catena*. 2010; 82(3):191-205.
- [5]. Dabral PP, Baithuri N, Pandey A. Soil erosion assessment in a hilly catchment of north eastern India using USLE, GIS and remote sensing. *Water Resources Management*. 2008; 22(12):1783-98.
- [6]. Kinnell PI. AGNPS-UM: applying the USLE-M within the agricultural non-point source pollution model. *Environmental Modelling & Software*. 2000; 15(3):331-41.
- [7]. Renard KG, Foster GR, Weesies GA, Porter JP. RUSLE: Revised universal soil loss equation. *Journal of soil and Water Conservation*. 1991; 46(1):30-3.
- [8]. Wang G, Gertner G, Fang S, Anderson AB. Mapping multiple variables for predicting soil loss by geostatistical methods with TM images and a slope map. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*. 2003; 69(8):889-98.
- [9]. Shi ZH, Cai CF, Ding SW, Wang TW, Chow TL. Soil conservation planning at the small watershed level using RUSLE with GIS: a case study in the Three Gorge area of China. *Catena*. 2004; 55(1):33-48.
- [10]. Lu D, Li G, Valladares GS, Batistella M. Mapping soil erosion risk in Rondonia, Brazilian Amazonia: using RUSLE, remote sensing and GIS. *Land Degradation & Development*. 2004; 15(5):499-512.
- [11]. Teng H, Rossel RA, Shi Z, Behrens T, Chappell A, Bui E. Assimilating satellite imagery and visible-near infrared spectroscopy to model and map soil loss by water erosion in Australia. *Environmental Modelling & Software*. 2016; 77:156-67.
- [12]. Le Roux JJ, Morgenthal TL, Malherbe J, Pretorius DJ, Sumner PD. Water erosion prediction at a national scale for South Africa. *Water SA*. 2008; 34(3):305-14.
- [13]. Panagos P, Borrelli P, Poesen J, Ballabio C, Lugato E, Meusburger K, Montanarella L, Alewell C. The new assessment of soil loss by

خراسان رضوی، سمنان و سیستان مشاهده می‌شود که مقدار متوسط آنها کمتر از ۱۰ تن بر هکتار بر سال است (شکل ۹). اگرچه مقدار هدررفت خاک به وسیله آب در استان‌های خراسان جنوبی، کرمان و سیستان و بلوچستان کم است، این مناطق از نظر فرسایش بادی بسیار مستعد بوده و جزء بیابانی‌ترین مناطق ایران و گاه جهان هستند. بنابراین، لازم است وضعیت هدررفت خاک به وسیله باد نیز بررسی شود تا بتوان از وضعیت فرسایش خاک به وسیله باد در سطح کشور اطلاع حاصل کرد و با مدیریت صحیح برای کاهش فرسایش بادی خاک اقدام کرد.

در فرسایش سطحی یا بین شیبی یک لایه از خاک سطح زمین فرسوده می‌شود. از آنجا که فرسایش خاک سبب هدررفت خاک و انتقال رسوب که سرشار از نیتروژن، فسفر و آلاینده‌های محصولات کشاورزی به دریا و مناطق پست و آب‌های جاری می‌شود، تأثیر منفی بر اکو سامانه‌های دریایی و حوضچه‌های آبی بسته و باز می‌گذارد و موجب کاهش عمق خاک زراعی، کاهش حاصلخیزی، کاهش رطوبت و تخریب ساختمان خاک می‌شود. بنابراین، کاهش مقدار فرسایش خاک و جلوگیری از انتقال رسوب می‌تواند از تأثیرات منفی که سبب از بین رفتن حاصلخیزی خاک، آلودگی آب‌های سطحی و زیرزمینی جلوگیری کرده و زیان‌های اقتصادی و اجتماعی را کاهش دهد. مدل RUSLE برای توصیف و مقایسه نسبی فرسایش خاک در مناطق بزرگ با داده‌های پراکنده مفید است. استفاده از RS و GIS در برآورد فرسایش رسوب علاوه بر قابلیت تهیه نقشه از منطقه برای مدیریت بهتر، قابلیت به‌روزرسانی سریع و بالا را نیز دارد. در نهایت، این پژوهش مؤثر بودن استفاده از فناوری‌های سنجش از دور (RS) و سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) در مطالعات منابع طبیعی، به خصوص برآورد و ارزیابی مقدار فرسایش خاک را نشان داد.

#### منابع

- [1]. Schwab GO, Fangmeier DD, Elliot WJ, Frevert RK, Leonard RA. Soil and water conservation engineering. *Journal of Environmental Quality*. 1994; 23(2):390.
- [2]. Naderi F, Karimi H, Naseri B. Soil erosion potential zoning in Aseman Abad watershed by water erosion in Europe. *Environmental Science & Policy*. 2015; 54:438-47.



- [14]. Al-abadi A.M, Ghalib HB, Al-qurnawi Ws. Estimation of soil erosion in northern Kirkuk governorate, Iraq using RUSLE, remote sensing and GIS. *Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences*. 2016; 11(1):153-66.
- [15]. Asadi H, Honarmand M, Vazifedoust M, Moussavi A. Assessment of changes in soil erosion risk using RUSLE in Navrood watershed, Iran. *Journal of Agricultural Science and Technology*. 2017; 19(1):231-44.
- [16]. Jafarian Z, Beshtar B, Kaviani A. Simulation effects of improvement and restoration operations of rangeland on soil loss using RUSLE model. *Physical Geography Research Quarterly*. 2017; 49:55-69. (Persian)
- [17]. Mousavinejad SH, Habashi H, Kiani F, Shataee SH, Abdi O. Evaluation of soil erosion using imagery SPOT5 satellite in Chehel chi catchment of Golestan Province. *Journal of Wood & Forest Science and Technology*, 2017; 24 (2): 73-86.
- [18]. Meghraoui M, Habi M, Morsli B, Regagba M, Seladji A. Mapping of soil erodibility and assessment of soil losses using the RUSLE model in the Sebaa Chioukh Mountains (northwest of Algeria). *Journal of Water and Land Development*. 2017; 34(1):205-213.
- [19]. Gaubi I, Chaabani A, Mammou AB, Hamza M. A GIS-based soil erosion prediction using RUSLE model (Lebna watershed, Cap Bon, Tunisia). *Natural Hazards*. 2017; 86(1):219-239
- [20]. Zare M, Samani AN, Mohammady M, Salmani H, Bazrafshan J. Investigating effects of land use change scenarios on soil erosion using CLUE-s and RUSLE models. *International Journal of Environmental Science and Technology*. 2017; 14(9):1905-18.
- [21]. Nwaogu C, Okeke OJ, Adu SA, Babine E, Pechanec V, editors. Land use land cover change and soil-gully erosion relationships: A study of Nanka, South-Eastern Nigeria using geoinformatics. *Proceedings of GIS Ostrava*; 2017: Springer.
- [22]. Zabihi M, Mirchooli F, Motevalli A, Darvishan AK, Pourghasemi HR, Zakeri MA, et al. Spatial modelling of gully erosion in Mazandaran Province, northern Iran. *Catena*. 2018; 161:1-13.
- [23]. Khajavi E, ArabKhedri M, Mahdian M.H and Shadfar S. Investigation of water erosion and soil loss values with using the measured Data from Cs-137 method and experimental plots in Iran. *Journal of watershed Management Research*. 2015; 6(11):137-51.
- [24]. Khaledian H. The survey of sediment and erosion with EPM model and Cs-137 and sediment data. MSc Thesis in Natural Resource. Tehran University. 1995, 159 pp. (In Persian)
- [25]. Mahmoodi M. Feasibility study on generalization of the results of Cs-137 method for estimating surface erosion for homogenous region. MSc Thesis in Soil Science. Tarbiat Modarres University. 1996, 195 pp (In Persian).
- [26]. Mesbah S.H. The study of erosion and sediment of Bardekal watershed with using EPM and Cs-137 method. M.Sc. Thesis in Natural Resource, Tehran University. 1996, 176 pp. (In Persian).
- [27]. Shahoe S. The study of different landscapes of land degradation and the estimation its roll in change soil properties, decrease of productivity power and how to use of hill slope in Gorganrood watershed. PhD Thesis in Soil Science, Tehran University. 1996, 312 pp. (In Persian)
- [28]. Yousofkalafi S. Measurement of surface erosion with Cs-137. MSc Thesis in Natural Resources, Tarbiat Modarres University. 1994, 211 pp. (In Persian).
- [29]. Honarjoo N, Mahmoodi Sh, Charkhabi A.H, Ghafoorian H, AliMohammadi, A. The use of Cs-137 for measuring erosion and sediment in Gorgak watershed. *Journal of Nuclear Science and Technology*. 2005, 34: 39-45. (In Persian).
- [30]. Jafari Ardakani A, Partovi A, Peyrovan H R, Ghoddosi J. Effect of gypsum in different slopes on discharge and unstable soil erosion. *Soil conservation and watershed management institute*; 2003, 48 pp. (In Persian).
- [31]. Nabaei MG, Ghodoosi J. Assessment of badlands stabilization methods in SefidRood watershed. *Soil conservation and watershed management institute*. 1997, 41 pp. (In Persian)
- [32]. Agharazi, H, Ghodoosi J, Poormatin A. 2003. Measured erosion and runoff on standard plots for evaluating universal soil loss equation. *Soil Conservation and Watershed Management Institute*, 102 pp. (In Persian).
- [33]. Nikkami D, Jafari Ardakani A, Bayat Movahed F, Razmjoo P. The Effects of Plough on Soil Erosion and Determining Land Slope Threshold for Dry Farming. *Soil Conservation and Watershed Management Institute*. 2005, 49 pp. (In Persian)
- [34]. Kheyroodin H. Modeling soil erosion in Iran. *Innovat International Journal of Medical & Pharmaceutical Sciences*, 2016; 1(1):1-12.

- [35]. Sadeghi SHR. Soil erosion in Iran: state of the art, tendency and solutions. *Transcultural Studies*. 2017; 63(3).
- [36]. Maerker M, Sommer C, Zakerinejad R, Cama E. An integrated assessment of soil erosion dynamics with special emphasis on gully erosion: Case studies from South Africa and Iran. *EGU General Assembly Conference Abstracts*; 2017.
- [37]. Zakerinejad R, Maerker M. An integrated assessment of soil erosion dynamics with special emphasis on gully erosion in the Mazayjan basin, southwestern Iran. *Natural Hazards*. 2015; 79(1):25-50.
- [38]. Refahi H. *Water erosion and Conservation*, 5nd ed. Tehran: Tehran University Press, 1385 (In Persian).
- [39]. Singh VP, Frevert DK. *Watershed modeling*. World Water & Environmental Resources Congress; 2003.
- [40]. Emadodin I, Narita D, Bork HR. Soil degradation and agricultural sustainability: an overview from Iran. *Environment, development and sustainability*. 2012; 14(5):611-25.
- [41]. Eskandarie, B. Country report on history and status of soil survey in Iran. In: *GSP regional workshop*, Jordan, Amman 1-5 April 2012, 25p.
- [42]. Sadeghi H.R, A Cerdà. Soil erosion in Iran: Issues and solutions. *EGU General Assembly Conference Abstracts*; 2015.
- [43]. Wischmeier WH, Smith DD. *Predicting rainfall erosion losses-a guide to conservation planning*. Predicting rainfall erosion losses-a guide to conservation planning. Washington: US Department of Agriculture; 1978.
- [44]. Niknammi D, Mehdian M. Rainfall erosivity mapping in Iran. *Journal of Watershed Engineering and Management*. 2015; 6(4): 364-376.
- [45]. Sadeghi SHR, Tavangar S. Development of stationnal models for estimation of rainfall erosivity factor in different timescales. *Natural Hazards*. 2015; 77(1):429-43.
- [46]. Zabihi M, Sadeghi S.H.R, Vafakhah M. Spatial analysis of rainfall erosivity index patterns at different time scales in Iran. *Watershed Engineering and Management*; 2015, 7(4): 442-457. (In Persian)
- [47]. Brown LC, Foster GR. Storm erosivity using idealized intensity distributions. *Transactions of the ASAE*. 1987; 30(2):379-0386.
- [48]. Mahdavi, M. *Applied hydrology*. Tehran University Press. 2009, 342 p (in Persian).
- [49]. FAO/IIASA/ISRIC/ISSCAS/JRC. *Harmonized World Soil Database (version 1.2)*. FAO, Rome, Italy and IIASA, Laxenburg, Austria. 2012.
- [50]. Roose E. *Land husbandry: components and strategy*. FAO soils bulletin, 1996.
- [51]. Renard KG. *Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the revised universal soil loss equation (RUSLE)*, 1997.
- [52]. Anache JA, Bacchi CG, Alves-Sobrinho T. Modeling of (R) USLE C-factor for pasture as a function of Normalized Difference Vegetation Index. *Eur Int J Sci Technol*. 2014; 3(9):214-21.
- [53]. Lin CY, Lin WT, Chou WC. Soil erosion prediction and sediment yield estimation: the Taiwan experience. *Soil and Tillage Research*. 2002; 68(2):143-52.
- [54]. Drzewiecki W, Węzyk P, Pierchalski M, Szafrńska B. Quantitative and qualitative assessment of soil erosion risk in Małopolska (Poland), supported by an object-based analysis of high-resolution satellite images. *Pure and Applied Geophysics*. 2014; 171(6):867-95.
- [55]. Kardavani, P. *Conservation Soil*, 8th ed. Tehran: Tehran University Press, 1384. (In Persian).
- [56]. Panagos P, Borrelli P, Meusburger K, Yu B, Klik A, Lim KJ, et al. Global rainfall erosivity assessment based on high-temporal resolution rainfall records. *Scientific Reports*. 2017; 7(1):4175.
- [57]. Panagos P, Ballabio C, Borrelli P, Meusburger K, Klik A, Rousseva S, Tadić MP, Michaelides S, Hrabalíková M, Olsen P, Aalto J. Rainfall erosivity in Europe. *Science of the Total Environment*. 2015; 511:801-14.
- [58]. Sadeghi SH, Hazbavi Z. Trend analysis of the rainfall erosivity index at different time scales in Iran. *Natural Hazards*. 2015; 77(1):383-404.
- [59]. Sadeghi SH, Zabihi M, Vafakhah M, Hazbavi Z. Spatiotemporal mapping of rainfall erosivity index for different return periods in Iran. *Natural Hazards*. 2017; 87(1):35-56.
- [60]. Yang X, Yu B, Xie X. Predicting changes of rainfall erosivity and hillslope erosion risk across greater Sydney Region, Australia. *International Journal of Geospatial and Environmental Research*. 2015; 2(1):2.

- [61]. HakimKhani Sh, Mahdian M H, Arabkhedri M, Ghorbanpour D. Investigation of rainfall erosivity in the country. 3rd National Conference of Erosion and Sediment, Tehran. August 27-30.2005; 434-440 (in Persian).
- [62]. Masudian, S.A. Iran weather. Mashhad Sharie Toos Press, 2011. P.242 (In Persian).
- [63]. Yue-Qing X, Xiao-Mei S, Xiang-Bin K, Jian P, Yun-Long C. Adapting the RUSLE and GIS to model soil erosion risk in a mountains karst watershed, Guizhou Province, China. Environmental monitoring and Assessment. 2008; 141(1):275-86.
- [64]. Arekhi S, Niazi Y, Kalteh AM. Soil erosion and sediment yield modeling using RS and GIS techniques: a case study, Iran. Arabian Journal of Geosciences. 2012; 5(2):285-96.
- [65]. Fathizad H, Karimi H, Alibakhshi SM. The estimation of erosion and sediment by using the RUSLE model and RS and GIS techniques (Case study: Arid and semi-arid regions of Dovoraj, Ilam province, Iran). International Journal of Agriculture and Crop Sciences. 2014; 7(6):303.
- [66]. Bafkar A, Mojaradi H. Conservation of water and soil, 1st ed., Kermanshah: Razi University Press, 1385. (In Persian)
- [67]. Roozitalab M.H. General characteristics of soils in Iran, a review of the productive potential and its limitations. Daneshmand Magazine. 1990; 28: 18-26.
- [68]. Studies and research institute for planning and agricultural economics. Seminar on water and agricultural, conference on the challenges and prospects for the development of Iran. Institute of education and research management and planning, dependent on management and planning organization of Iran. 2002; 28-49 pp. (in Persian)
- [69]. Forest, range and watershed management organization. Development document of natural. 2008.
- [70]. Forest, range and watershed management organization. Landscape study of watersheds. Deputy of watershed management, watershed annual report, 2007. 27 pp. (In Persian)
- [71]. Arabkhedri, M. Investigating of suspended sedimentation in watersheds of Iran. Journal of Iran Water Resource, 2005. 2: 51-61 (In Persian).
- [72]. Mahdian M. H. Study of Lands degradation in Iran. Proceedings of the third national conference of erosion & sediment. Tehran, Iran, 2004; 226-231 (In Persian).
- [73]. Rezaei P, Faridi P, Ghorbani M, Kazemi M. Estimating of soil erosion by using RUSLE model and identifying of the most effective factor in Gabric-southeast watershed basin of the Hormozgan province. Journal of Quantitative Geomorphology, 2014; 3 (1): 97-113 (In Persian).
- [74]. Khorsand M, Khaledi Darvishan A, Gholamali Fard M. Evaluation of estimation of annual soil erosion of the RUSLE model with data obtained from pin and erosion plots in the watershed of Khamessan. Eco Hydrology Journal, 2017; 3(4):669-680 (In Persian).