



مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی فارس

پژوهش‌های آبخیزداری

شاپا: ۲۰۳۸-۲۹۸۱



مؤسسه تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی

برآورد فرسایش‌پذیری خاک در ایران با استفاده از پایگاه‌های داده مکانی SoilGrids و HWSD

مصطفی کابلی‌زاده^{۱*}، کاظم رنگزن^۲، شاهین محمدی^۳

- ۱- استادیار گروه سنجش از دور و GIS دانشکده‌ی علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز
- ۲- استاد گروه سنجش از دور و GIS دانشکده‌ی علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز
- ۳- دانشجوی دکتری گروه سنجش از دور و GIS دانشکده‌ی علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز

چکیده مبسوط

مقدمه و هدف

ایران از جمله کشورهایی است که فرسایش خاک در حال تبدیل شدن به یکی از مشکل‌های حاد زیست‌محیطی است و هر سال میلیون‌ها تن از خاک غنی و حاصلخیز به علت نبودن مدیریت درست و مناسب از کشور خارج و غیرقابل استفاده می‌شود. به منظور حفاظت مؤثر و جلوگیری از آثار نامطلوب فرسایش خاک نیاز است که عامل‌های تأثیرگذار در فرسایش خاک شناسایی و برآورد مناسبی از مقدار آن‌ها در سطح کشور گزارش شود. در این راستا پژوهش حاضر باهدف برآورد فرسایش‌پذیری خاک (عامل K) برای ژرفای صفر تا ۳۰ سانتی‌متری خاک در سطح کشور ایران انجام گرفت.

مواد و روش‌ها

برای این منظور از دو گروه داده شامل پایگاه داده هماهنگ خاک جهان (HWSD) و اطلاعات خاک جهانی شبکه‌بندی شده (SoilGrids) و همچنین نرم‌افزارهای RStudio و ArcGIS استفاده شد. برای محاسبه‌ی فرسایش‌پذیری خاک، ابتدا داده‌های جهانی خاک SoilGrids در چهار ژرفای صفر، پنج، ۱۵ و ۳۰ سانتی‌متری تهیه گردید و میانگین‌گیری انجام شد. از طرف دیگر پایگاه داده HWSD به صورت تصویربرداری برای ژرفای صفر تا ۳۰ سانتی‌متری به صورت یک لایه یکپارچه دریافت شد. سپس براساس مقدار کربن آلی، رس، شن و لای خاک از این داده‌ها با استفاده از معادله‌ی EPIC برای برآورد

نوع مقاله: پژوهشی

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: m.kabolizade@scu.ac.ir

استناد: کابلی‌زاده، م.، رنگزن، ک.، محمدی، ش. ۱۴۰۲. برآورد فرسایش‌پذیری خاک در ایران با استفاده از پایگاه‌های داده مکانی SoilGrids و HWSD. پژوهش‌های آبخیزداری، ۳۶ (۱): ۳۳-۱۳.

شناسه‌ی دیجیتال: 10.22092/WMRJ.2022.358115.1457

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۲/۲۳، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۱/۰۲/۱۹، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۳/۳۱، تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۱/۰۱

سال ۱۴۰۲، دوره‌ی ۳۶، شماره‌ی ۱، شماره‌ی پیاپی ۱۳۸، بهار ۱۴۰۲، صفحه‌های ۱۳ تا ۳۳.

ناشر: مرکز منطقه‌ای اطلاع‌رسانی علوم و فناوری

© نویسندگان



عامل فرسایش‌پذیری استفاده گردید و در نهایت برای ارزیابی اندازه‌ی اختلاف این دو پایگاه داده در برآورد عامل فرسایش‌پذیری، از شاخص‌های مجذور خطای نسبی (RE)، میانگین مطلق خطا (MAD) و جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) استفاده شد.

نتایج و بحث

نتایج نشان داد که مقدار متوسط درصد ذرات رس در سطح زیر آبخیزهای ایران بین ۱۵ تا ۳۲٪ متغیر و میانگین آن برای کل کشور ۲۳٪ است که در بین زیر آبخیزها، زیر آبخیزهای کرخه و کویر لوت به ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین درصد رس را دارند. مقدار متوسط درصد ذرات لای در سطح زیر آبخیزهای ایران بین ۱۹ تا ۴۵٪ متغیر و میانگین آن برای کل کشور ۳۲٪ است که در زیر آبخیزهای قره‌سو-گرگان رود و کویر لوت به ترتیب بیشینه و کمینه‌ی درصد ذرات لای گزارش شد. متوسط درصد ذرات شن در سطح زیر آبخیزهای ایران بین ۲۸ تا ۶۵٪ متغیر میانگین آن برای کل کشور ۴۴٪ است که زیر آبخیز کرخه و زیر آبخیز کویر لوت به ترتیب دارای کمینه‌ی و بیشینه‌ی درصد ذرات شن می‌باشند.

علت پایین بودن عامل فرسایش‌پذیری خاک در آبخیزهای گاوخونی و کویر لوت، بالابودن درصد شن است، این در حالی است که درصد شن در آبخیزهای کویر لوت و گاوخونی به ترتیب ۶۵ و ۴۷٪ از کل ذرات خاک را شامل می‌شود.

متوسط درصد کربن آلی در سطح آبخیزهای ایران بین ۰/۳ تا ۳/۹٪ متغیر است که به ترتیب این اندازه‌ها مربوط به زیر آبخیزهای هامون-هیرمند و رودخانه‌های بین سفیدرود و هراز می‌باشد، بنابراین، می‌توان بیان کرد که غالب آبخیزهای کشور از نظر درصد ماده آلی در شرایط نامناسبی قرار دارند. نتایج نشان داد که بخش‌های جنوب‌غربی، غرب و شمال شرقی کشور دارای بیشینه‌ی مقدار عامل فرسایش‌پذیری خاک بود و مناطق ایران مرکزی و بخش‌های بیابانی و کویری ایران به واسطه‌ی دارابودن درصد بیشتری از ذرات شن، فرسایش‌پذیری کمتری را دارند. در سطح آبخیز با استفاده از داده‌های SoilGrids، کم‌ترین اندازه‌ی متوسط فرسایش‌پذیری خاک ۰/۳۳ تن ساعت بر مگاژول میلی‌متر، مربوط به کویر لوت و بیش‌ترین مقدار آن ۰/۴۵ تن ساعت بر مگاژول میلی‌متر مربوط به زیر آبخیز حله بود. در زیر آبخیزهای درجه‌ی دو ایران، بیشینه و کمینه‌ی میانگین شاخص فرسایش‌پذیری خاک با داده‌های HWSO به ترتیب مربوط به آبخیزهای مند و گاوخونی با مقدار ۰/۴۲ و ۰/۳۳ تن ساعت بر مگاژول میلی‌متر بود. همچنین نتایج نشان داد که میانگین عامل فرسایش‌پذیری خاک در ایران با استفاده از دو پایگاه داده‌مکانی SoilGrids و HWSO به ترتیب ۰/۳۶/۰ و ۰/۳۸/۰ تن ساعت بر مگاژول میلی‌متر است.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

بررسی فرسایش‌پذیری خاک با داده‌های SoilGrids و HWSO در سطح زیر آبخیزها نشان داد که بیشینه و کمینه‌ی اندازه‌ی خطای نسبی به ترتیب در آبخیزهای اترک و بلوچستان جنوبی با مقدار ۲۱ و یک درصد می‌باشد و مقدار این خطا برای میانگین کشوری حدوداً پنج درصد است؛ بنابراین می‌توان این‌گونه استنباط نمود که اگرچه خطای بین دو پایگاه داده زیاد نیست اما داده‌های SoilGrids به دلیل پیوستگی و قدرت تفکیک مکانی بهتر، منبع مناسب‌تری برای مدل‌سازی‌های وابسته به منابع خاک و آب می‌باشند. این پایگاه داده با استفاده از نیم‌رخ‌های بیش‌تری مدل‌سازی شده (حدوداً ۱۵۰ هزار نیم‌رخ خاک در سطح جهان)، بنابراین دارای دقت مناسب می‌باشد.

بیان این نکته ضروری است که با هدف بهبود نتایج این پایگاه داده به‌وسیله‌ی داده‌های زمینی در بخش‌های مختلف کشور، بررسی نبودن قطعیت این داده‌ها به پژوهشگران متخصص در این زمینه توصیه می‌شود. قابل توجه است که برآورد فرسایش‌پذیری خاک در این پژوهش با استفاده از مدل EPIC انجام شد، درحالی‌که ارزیابی و مقایسه‌ی آن با دیگر مدل‌های برآورد فرسایش‌پذیری خاک در سطح کشور به دیگر پژوهشگران پیشنهاد می‌شود.

واژگان کلیدی: حفاظت خاک، سنجش‌از‌دور، فرسایش خاک، مدیریت آبخیز

مقدمه

به دلیل شستشوی خاک حاصلخیز بخش بزرگی از زمین‌های قابل کشت و حاصلخیز در حال نابودی می‌باشند. تشدید این فرایند می‌تواند به‌عنوان یک عامل محدودکننده و مانعی در انجام مدیریت درست زمین باشد (تیموریان و همکاران ۲۰۲۱). این فرایند باعث کاهش حاصلخیزی خاک و از بین رفتن عناصر

ایران از جمله کشورهایی است که فرسایش خاک در حال تبدیل شدن به یکی از مشکلات حاد زیست‌محیطی است و هر سال میلیون‌ها تن از خاک غنی و حاصلخیز به علت نبودن مدیریت درست و مناسب از کشور خارج و غیرقابل استفاده می‌گردد (خالدی‌درویشیان و همکاران ۲۰۲۱). از سوی دیگر،

محصولات ماهواره‌ای است (مغراوی و همکاران ۲۰۱۷؛ سپرو و همکاران ۲۰۱۸؛ فنزی و نگتار ۲۰۱۹؛ جهان‌دیده ۲۰۲۱؛ صالحی و همکاران ۲۰۲۲). برای دستیابی به نتایج مطمئن‌تر، بررسی ارتباط بین فرسایش پذیری و ویژگی‌های مؤثر بر آن با استفاده از روش‌های جدیدتر، از اهمیت بالایی برخوردار است زیرا امکان برآورد ویژگی‌های خاک و برآورد فرسایش‌پذیری خاک را با دقت قابل قبول در مناطق وسیع فراهم می‌کند (میلوارد و میرسی ۱۹۹۶؛ استواری و همکاران، ۲۰۲۲). با توجه شرایط کنونی تقاضای فزاینده‌ای برای اطلاعات دقیق خاک، به‌ویژه برای برآورد در سطح ملی و بین‌المللی وجود دارد (شارلمن و همکاران ۲۰۱۴؛ استوکن و همکاران ۲۰۱۵؛ شفرد و همکاران ۲۰۱۵؛ اکسوی و همکاران ۲۰۱۶). اطلاعات مکانی در مورد خصوصیت‌های خاک به‌احتمال زیاد در مناطق تحت‌تأثیر آب‌وهوا بسیار حیاتی می‌شود (پاگسون و همکاران ۲۰۱۲). اطلاعات خاک به‌ویژه برای هدف توسعه‌ی پایدار یکی از زمینه‌های اصلی مورد علاقه‌ی طرح مشارکت جهانی خاک فائو است (مونتانا‌رالا و ورگاس ۲۰۱۲). فولبرث و همکاران (۲۰۱۶) برای کاهش فاصله بین تقاضا و به‌منظور در دسترس قرار دادن پایگاه داده خاک مراکز بین‌المللی اطلاعات مرجع، اقدام به تولید پایگاه داده‌مکانی در سطح دنیا نموده‌اند که این داده‌ها در سراسر دنیا به‌وسیله‌ی پژوهشگران زیادی برای کاربردهای متنوع از جمله برآورد فرسایش‌پذیری خاک به کار گرفته شده است (لیانگ و همکاران ۲۰۱۹؛ کومار و هول ۲۰۲۱). در این راستا به چندین پژوهش که در این زمینه انجام شده است اشاره می‌گردد.

نتایج ارزیابی پایگاه داده هماهنگ خاک جهان (HWSD) و اطلاعات خاک جهانی شبکه‌بندی شده (SoilGrids) سیلاتسا و همکاران (۲۰۲۰) نشان داد که پایگاه داده SoilGrids و HWSD در مقایسه با داده‌ی زمینی، به‌ترتیب ۱۵٪ کربن آلی را بیش‌تر و ۲۶٪ کم‌تر از مقدار واقعی برآورد کرده‌اند. خسروی‌اقدم و همکاران (۲۰۱۹) بیان کردند که مقدار عامل فرسایش‌پذیری خاک در آبخیز نازلو چای بین ۰/۲۹ تا ۰/۷۹ تن ساعت بر مگاژول میلی‌متر متغیر است. کیانی‌هرچکانی و همکاران (۲۰۱۹) و افزیمبو (۲۰۲۰) در مطالعاتی روش‌های مختلف زمین‌آمار را در برآورد فرسایش‌پذیری خاک ارزیابی کرده‌اند. تیان و همکاران (۲۰۲۲) با استفاده از ۱۰۱ نقطه نمونه‌برداری از ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک در جنوب‌شرقی چین، یک لایه از تغییرات پیوسته عامل فرسایش‌پذیری خاک ارائه کردند. ممدلی و گوجامانوف (۲۰۲۱) با استفاده از پایگاه داده خاک SoilGrids وضعیت فرسایش‌پذیری خاک را در یکی از زیر آبخیزهای کشور آذربایجان بررسی نموده‌اند. نتایج پژوهش لیانگ و همکاران (۲۰۱۹) نشان داد که پایگاه داده SoilGrids منبع مناسبی برای ارزیابی ویژگی‌های خاک است. با استفاده از پایگاه داده‌های خاک SoilGrids و

مفید در خاک شده و مواد معلق حاصل از آن در آبخیزهای سدها ته‌نشین می‌شود که منجر به کاهش ظرفیت آبخیزها و سدها خواهد شد. بررسی اطلاعات مکانی از فرسایش خاک در اقدام‌های مدیریتی، مهار کردن فرسایش و مدیریت آبخیزها نقش مؤثری دارد (پراسانا‌کومار و همکاران ۲۰۱۲)؛ بنابراین به‌منظور حفاظت مؤثر و جلوگیری از آثار نامطلوب فرسایش خاک نیاز است که عامل‌های تأثیرگذار در فرسایش خاک و اندازه‌ی اثر آن‌ها شناسایی شود تا بتوان برآورد مناسبی از مقدار آن در منطقه گزارش کرد (لی و همکاران ۲۰۲۲).

مسائل مربوط به فرسایش خاک و رسوب و تأثیر زیان‌آور آن‌ها بر منابع زیست‌محیطی و کشاورزی همواره از چالش‌های مطرح و مرتبط با این بخش است، بنابراین نیاز است برای نتایج مطلوب‌تر و انجام برنامه‌ریزی‌های مناسب‌تر، مطالعات مربوط به این بخش با دقت بیش‌تری انجام گیرد. از طرف دیگر کشور ایران یکی از کشورهایی است که به‌واسطه‌ی شرایط خاصی که دارد هر سال میلیاردها تن خاک از دست می‌دهد (محمدی و همکاران ۲۰۱۸)؛ بنابراین بررسی دقیق مشخصه‌های تأثیرگذار در فرسایش خاک به‌ویژه فرسایش‌پذیری خاک در برآورد اندازه دقیق فرسایش به‌منظور بررسی و اولویت‌بندی زیر آبخیز بسیار حیاتی است (باسکن ۲۰۲۱). تاکنون روش‌های متعددی جهت برآورد فرسایش در مناطقی با ویژگی‌های مختلف معرفی شده است. مدل‌های ارائه شده در سه دسته‌ی مدل‌های تجربی، مفهومی و فیزیکی طبقه‌بندی شده‌اند. مدل RUSLE یکی از مدل‌های تجربی است که بین پژوهشگران بیش‌ترین استفاده را داشته است و همواره مورد توجه بوده است (بنابویدز و همکاران ۲۰۱۸). برای برآورد دقیق اندازه‌ی فرسایش خاک با استفاده از این مدل لازم است که مقدرا نبودن قطعیت در عامل‌های مؤثر در این مدل‌ها را کاهش داد. یکی از این عامل‌ها فرسایش‌پذیری خاک است که متغیرهای مهم تأثیرگذار در آن عبارت از بافت، مقدار مواد آلی، اندازه و ثبات ساختمان در لایه سطحی، و اندازه نفوذ خاک که تحت‌تأثیر ماده آلی و آهک بافت خاک قرار می‌گیرند (توبال و همکاران ۲۰۱۸).

از طرف دیگر پژوهشگران، سال‌های زیادی سعی در برقراری رابطه بین فرسایش‌پذیری خاک با خصوصیات خاک نموده‌اند (کمالی و همکاران ۲۰۱۵؛ گاین و همکاران ۲۰۲۲). با توجه به اینکه نمونه‌برداری در کل منطقه نیاز به هزینه و زمان زیادی است (واعظی و همکاران ۲۰۰۸) از این‌رو با توجه به شرایط هر منطقه تعدادی نمونه برداشت شده و نتایج به‌دست آمده به کل منطقه بسط داده خواهد شد (نیک‌سرشت و همکاران ۲۰۱۹؛ میرزایی و همکاران ۲۰۱۹). برای برآورد فرسایش‌پذیری در سطح منطقه در منابع مختلف دو روش معمول به‌کار گرفته شده است که شامل روش‌های زمین‌آمار (رازدویک و همکاران ۲۰۲۱؛ خانچول و بوبیز ۲۰۱۹؛ دشموخ واهر ۲۰۱۴؛ سکوتی و همکاران ۲۰۰۷) و برقراری ارتباط بین داده‌ی زمینی و

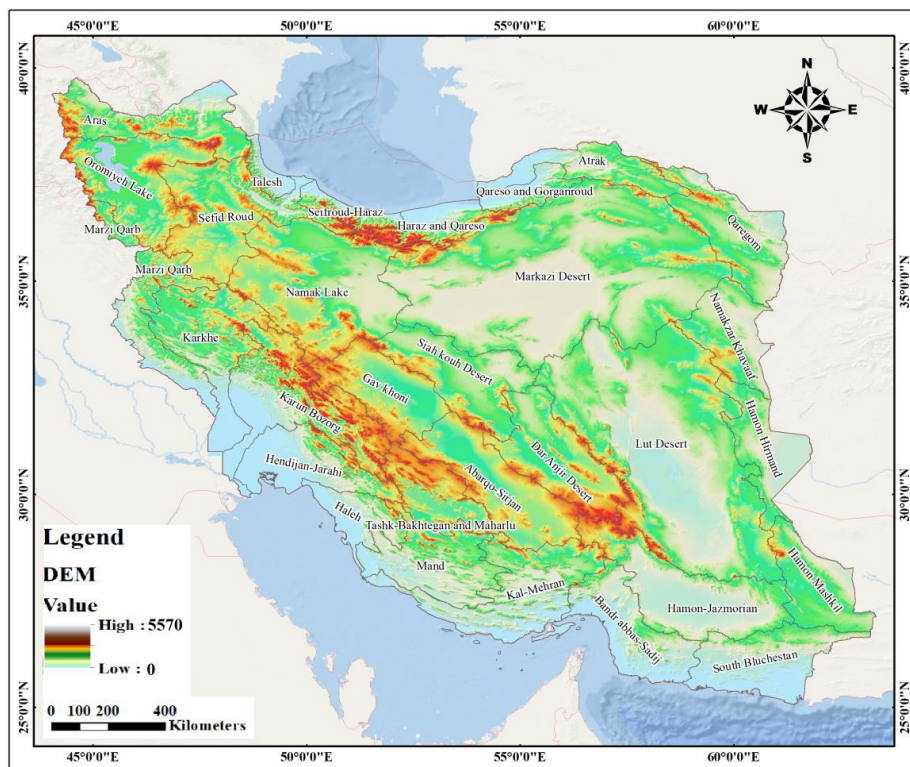
با هدف برآورد عامل فرسایش‌پذیری خاک در سطح کشور با استفاده از دو پایگاه داده خاک SoilGrids و HWSD انجام شد. سپس به منظور تجزیه و تحلیل بیشتر، شاخص‌های ارزیابی خطا بین این دو پایگاه داده نسبت به هم در سطح زیر آبخیزهای درجه دو برآورد گردید.

مواد و روش‌ها

کشور ایران با تنوع بسیار زیاد اقلیمی، خاکی، بوم‌شناختی و اقتصادی - اجتماعی مساحتی حدود ۱/۸۷۳ میلیون کیلومتر مربع دارد. این کشور بین طول جغرافیایی ۴۴ تا ۶۴ درجه شرقی و عرض جغرافیایی ۲۵ تا ۴۰ درجه شمالی واقع شده است (شکل ۱). اقلیم کشور ایران اغلب خشک و نیمه‌خشک و مقدار متوسط بارندگی آن ۲۵۰ میلی‌متر است. پستی و بلندی در ایران شامل جلگه‌های پست هم‌تراز دریا و حتی پایین‌تر از آن تا نواحی کوهستانی به بلندی چندین هزار متر است، به گونه‌ای که کمینه و بیشینه ارتفاع در کشور ۲۸ - متر و ۵۷۶۰ متر از سطح دریاست (محمدی و همکاران ۲۰۱۸).

HWSD برآورد مقدار فرسایش پذیری خاک برای هندوستان، برزیل و نیجریه به ترتیب به وسیله‌ی کومار و هول (۲۰۲۱)، دی‌فاریاگودای و همکاران (۲۰۲۱) و اپیلیتو و همکاران (۲۰۲۱) انجام شد.

بررسی منابع نشان می‌دهد در مطالعات خارج از کشور تهیه‌ی عامل فرسایش‌پذیری در سطح ملی و بین‌المللی به‌عنوان یکی از اصلی‌ترین لایه‌ها در برآورد فرسایش خاک بوده است. همچنین در یک دهه‌ی گذشته برای ارزیابی وضعیت خصوصیت‌های خاک به وسیله‌ی پژوهشگران در خارج از کشور، استفاده از پایگاه داده‌های جهانی خاک چشمگیر شده است. این در حالی است که در داخل کشور پژوهش‌هایی به منظور بررسی اندازه‌ی فرسایش‌پذیری خاک در نقاط مختلف به صورت پراکنده انجام شده است اما تا اکنون در اسناد موجود، تلاش جامعی در سطح کشور ایران به منظور ارزیابی پایگاه‌های داده جهانی خاک برای برآورد فرسایش‌پذیری نشده است، در صورتی که برآورد این عامل و ارزیابی این پایگاه‌های خاک بسیار مهم و حائز اهمیت است که ضرورت انجام این پژوهش را تأیید می‌کند؛ بنابراین این پژوهش



شکل ۱- نقشه‌ی مدل رقمی ارتفاع و موقعیت منطقه‌ی مورد پژوهش.

Figure 1- Map of Digital Elevation Model and Location of the Study Area.

از این دو پایگاه اطلاعاتی ارائه می‌گردد. با هدف تهیه‌ی لایه‌های خاک، پایگاه داده‌مکانی جهانی تحت عنوان HWSD در سال ۲۰۱۲ با ۱۵۰۰۰ واحد مختلف نقشه‌برداری خاک با اندازه‌ی سلول یک کیلومتر، تهیه و منتشر شد (وایدنر و همکاران ۲۰۱۴).

داده‌ها

با توجه به هدف این پژوهش، برای بررسی اندازه‌ی فرسایش‌پذیری خاک از دو پایگاه داده‌مکانی HWSD و SoilGrids استفاده شد. در اینجا توضیحاتی در مورد هر کدام

- 1- Global Gridded Soil Information
- 2 - Harmonized World Soil Database

تهیه گردید تا مشخصات خصوصیت‌های فیزیکی و شیمیایی مورد استفاده در این پژوهش در ژرفا صفر تا ۳۰ سانتی‌متر میانگین‌گیری شود (شادمان‌پور و همکاران ۲۰۱۸؛ صدیقی و همکاران ۲۰۲۰). با این هدف و با توجه به دستورالعمل ارائه شده‌ی هنگل و همکاران (۲۰۱۷) با برنامه‌نویسی در محیط RStudio یک لایه‌ی رستری برای هر کدام از خصوصیت‌ها به‌صورت میانگین (ژرفای صفر تا ۳۰ سانتی‌متر) تهیه شد. از طرف دیگر پایگاه داده HWSO به‌صورت تصویربرداری برای ژرفا صفر تا ۳۰ سانتی‌متری به‌صورت یک لایه‌ی یکپارچه دریافت شد. سپس از این داده‌ها براساس مقدار کربن آلی، رس، شن و لای خاک با استفاده از معادله‌ی EPIC (ویلیام ۱۹۸۹) برای برآورد عامل فرسایش‌پذیری استفاده شدند. روش برآورد آن در رابطه‌ی ۱ ارائه شده است (یانگ و همکاران، ۲۰۱۸):

$$K = 0.1317 * \left(0.2 + 0.3 * e^{[-0.0256 * SAN * (1 - \frac{SAN}{100})]} \right) * \left(\frac{SIL}{CAL + SIL} \right)^{0.3} * \left[1 - \frac{0.25 * TOC}{TOC + e^{(0.712 - 2.55 * TOC)}} \right] * \left[1 - \frac{0.7 * (1 - SAN/100)}{(1 - SAN/100) + e^{(22.9 * (1 - \frac{SAN}{100}) - 5.51)}} \right] \quad (1)$$

که در آن K عامل فرسایش‌پذیری (تن ساعت بر مگاژول میلی‌متر) خاک است، SAN مقدار شن بر حسب درصد، SIL مقدار لای بر حسب درصد، CLA مقدار رس بر حسب درصد و TOC مقدار کربن آلی خاک است. نکته قابل توجه این است که پایگاه داده HWSO پس از محاسبه‌ی فرسایش‌پذیری خاک به شکل رستر تبدیل گردید تا این داده‌ها با هم قابل مقایسه شوند.

شاخص‌های ارزیابی خطا

ارزیابی خطا یکی از مراحل مهم در بررسی دقت مکانی اطلاعات سنجش‌ازدور است (رنگزن و همکاران ۱۳۹۸). بعد از مدل‌سازی، خطای پایگاه‌های داده‌مکانی خاک در برآورد عامل فرسایش‌پذیری نسبت به هم مقایسه گردید. برای این منظور متوسط این عامل برای هر زیر آبخیز به‌دست آمد و شاخص‌های مجذور خطای نسبی (RE) برای هر زیر آبخیز و شاخص‌های میانگین مطلق خطا (MAD) و جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) برای کل کشور با استفاده از رابطه‌های ۲ تا ۴ به‌دست آمد.

$$RE = \frac{|A_t - F_t|}{A_t} \quad (2)$$

$$MAD = \frac{\sum_{t=1}^n |A_t - F_t|}{n} \quad (3)$$

این پایگاه نتیجه همکاری بین فائو با مؤسسه بین‌المللی تجزیه‌وتحلیل سامانه‌های کاربردی (IIASA)، مرکز خاک بین‌المللی اطلاعات مرجع (ISRIC)، مؤسسه علوم خاک، آکادمی علوم چین (ISSCAS) و مرکز تحقیقات مشترک کمیسیون اروپا (JRC) می‌باشد. این اطلاعات در بسیاری از پژوهش‌ها در سطح دنیا برای ارزیابی خصوصیت‌های خاک مورد توجه پژوهشگران است (اهبرشت و همکاران ۲۰۲۱؛ فلورر و همکاران ۲۰۲۰؛ مارتین و هستینگس ۲۰۲۰). داده‌های پایگاه اطلاعاتی را می‌توان از پایگاه اینترنتی فائو به آدرس www.fao.org با اندازه سلول یک کیلومتر تهیه نمود. سپس به‌منظور تهیه یک پایگاه داده‌مکانی دقیق‌تر با توجه به اندازه دسترس بودن داده‌های خاک، مرکز ISRIC اطلاعات جهانی خاک را در یک سامانه تحت عنوان SoilGrids منتشر کرد. SoilGrids در سال ۲۰۱۴ اولین نسخه از پیش‌بینی وضعیت خاک را با وضوح فضایی یک کیلومتری منتشر کرد (هنگل و همکاران ۲۰۱۴). از زمان راه‌اندازی سامانه در سال ۲۰۱۴ نتایج پژوهش‌های گریفیت و همکاران (۲۰۱۶)، مولدر و همکاران (۲۰۱۶) و هنگل و همکاران (۲۰۱۷) مشخص کرد که این پایگاه داده دارای محدودیت‌هایی است. همچنین آنها گزارش کردند که این نسخه از پایگاه دارای خطاهایی بوده است و نبودن قطعیت در آن بالا است. در سال ۲۰۱۷ برای رفع خطاهای موجود و بهبود دقت در اطلاعات SoilGrids یک‌بار دیگر به منظور افزایش دقت پایگاه، مدل‌سازی، طراحی و انجام شد و نتیجه آن تهیه یک سامانه قوی‌تر با کیفیت داده و خروجی بهبودیافته بود (هنگل و همکاران ۲۰۱۷). در مدل‌سازی برای تهیه این نسخه از پایگاه از ۱۵۰ هزار نیم‌رخ خاک در سطح جهان و ۱۵۸ محصول سنجش از دوری برای دستیابی به ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک استفاده شد. در نهایت مشخصه‌های خاک پس از بهبود دقت در سال ۲۰۱۷ با نام SoilGrids به‌روز شده و با وضوح ۲۵۰ متر در سطح جهانی منتشر شد. برای دریافت داده می‌توان به پایگاه اینترنتی www.soilgrids.org مراجعه کرد.

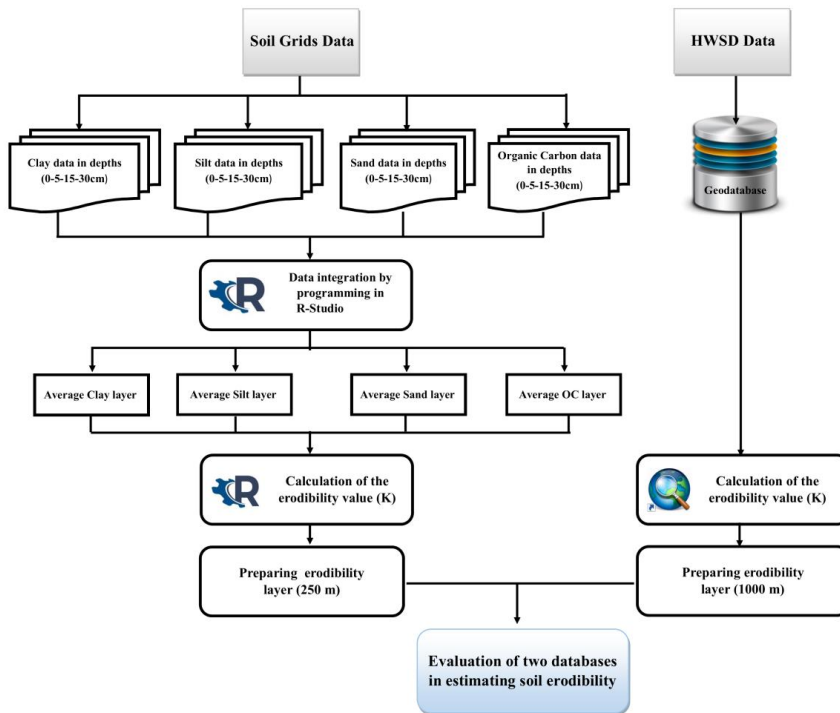
برآورد عامل فرسایش‌پذیری خاک

عامل فرسایش‌پذیری (K) سهولت جداشدن ذرات خاک در اثر ضربه قطرات باران و نیروی برشی رواناب است (بناویدز و همکاران ۲۰۱۸). همان‌طور که قبلاً نیز اشاره شد داده‌های مورد استفاده در این پژوهش از دو پایگاه اطلاعات جهانی خاک SoilGrids و HWSO به‌دست آمد. برای محاسبه‌ی فرسایش‌پذیری خاک، ابتدا داده‌های جهانی خاک SoilGrids در چهار ژرفای صفر، پنج، ۱۵ و ۳۰ سانتی‌متری برای هر لایه با شکل رستری به‌صورت مجزا

است و F_t داده‌های پیش‌بینی یا برآورد شده است که مقادیر داده‌های HWSD مد نظر قرار داده شد. n تعداد زیر آبخیز می‌باشد. در شکل ۲ نمودار جریان‌ی مراحل انجام پژوهش نشان داده شده است.

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{t=1}^n (A_t - F_t)^2}{n}} \quad (4)$$

در این رابطه‌ها A_t اندازه‌های مشاهداتی است که داده‌ها با قدرت تفکیک مکانی بهتر (SoilGrids) در نظر گرفته شده



شکل ۲- نمودار جریان‌ی برآورد شاخص فرسایش پذیری خاک.

Figure 2- The Flowchart of the Estimation of Soil Erodibility Factor.

شکل ۴- الف نشان داده شده است. نتایج این بخش نیز نشان می‌دهد که مقادیر کمینه و بیشینه‌ی این ذره خاک در سطح زیر آبخیزها، به ترتیب ۱۵ و ۳۲٪ است که بیش‌ترین و کم‌ترین متوسط درصد رس در زیر آبخیز کرخه و کویر لوت وجود دارد.

تغییرات درصد ذرات لای

نتایج تغییرات درصد ذرات لای در شکل ۳- ب نشان داده شده است. تغییرات مکانی این ذرات در رشته‌های البرز و زاگرس به‌طور معمول بیش‌تر از دیگر مناطق کشور است. از طرف دیگر با بررسی دقیق‌تر می‌توان متوجه شد که بخش غربی استان خوزستان و بخش شمال شرقی استان گلستان این خصوصیت بیشینه‌ی اندازه‌ی خود را دارد. شایان توجه است که تغییرات پیوسته‌ی این عامل در سطح سلول بین صفر تا ۶۲٪ متغیر است. همچنین نتایج میانگین درصد ذرات لای برای زیر آبخیزها در شکل ۴- ب نشان داده شده است. بررسی این نتایج نشان می‌دهد که متوسط این ذره از خاک برای زیر آبخیز ۳۲٪ و بیشینه و کمینه‌ی آن در سطح زیر آبخیزها به ترتیب مربوط به زیر آبخیزهای کویر لوت و قره‌سو گرگان رود با اندازه‌های ۱۹ و ۴۵٪ می‌باشند. هر چه مقدار لای بیش‌تر باشد، فرسایش‌پذیری خاک نیز افزایش می‌یابد، زیرا لای چسبندگی ندارد (مکواری

نتایج

در این پژوهش به‌منظور برآورد فرسایش‌پذیری خاک با دقت مکانی بالا، از داده‌های پایگاه اطلاعات جهانی خاک SoilGrids با اندازه‌ی سلول ۲۵۰ متر استفاده شد. کلیه‌ی داده‌های مربوط به نیم‌رخ‌های خاک از عمق ۰-۳۰ سانتی‌متر تهیه و با استفاده از نرم‌افزار R-Studio و ArcGIS تلفیق و ترکیب شد و در نهایت عامل فرسایش‌پذیری خاک در سطح کشور ایران برآورد گردید. در این بخش نتایج به‌دست آمده از این پژوهش به ترتیب آورده شده است.

تغییرات درصد ذرات رس

نقشه‌ی تغییرات مکانی درصد ذرات رس در سطح کشور در شکل ۳- الف نشان داده شده است. پراکنش مکانی نشان می‌دهد که بیش‌ترین اندازه رس در دامنه‌های البرز و زاگرس وجود دارد و نواحی ایران مرکزی از مقادیر کم‌تری از درصد رس برخوردار می‌باشند. بررسی درصد رس در مقیاس سلول نشان می‌دهد که تغییرات این ذرات در کشور ایران بین صفر تا ۴۲٪ بوده است و مقدار متوسط کل رس در ایران ۲۳٪ است. همچنین نتایج متوسط درصد رس برای هر زیر آبخیز نیز در

به‌سهولت در اثر ضربه قطره‌های باران خرد می‌شوند (مکواری و همکاران ۲۰۰۳).

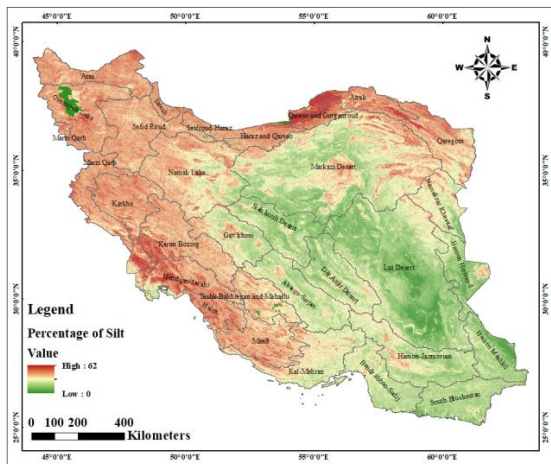
تغییرات درصد مقدار کربن آلی

بررسی‌های تغییرات مکانی مقدار کربن آلی در شکل ۳-د نشان داده شده است. تغییرات مکانی این خصوصیت نشان می‌دهد که اندازه‌های آن در مناطق جنگلی کشور، مخصوصاً دامنه‌های البرز به‌طور معمول بیش‌تر از دیگر نواحی کشور است. از طرف دیگر مقدار تغییرات این عامل در سطح سلول بین صفر تا ۲۰٪ نوسان می‌کند و مقدار میانگین کربن آلی خاک برای کل کشور حدود یک درصد است. یکی از روش‌های افزایش عملکرد، بهبود خصوصیت‌های تغذیه‌ای و فیزیکی خاک مزارع با افزودن ماده‌ی آلی به خاک می‌باشد. همچنین تغییرات میانگین ماده‌ی آلی (کربن آلی) هر زیر آبخیز را می‌توان در شکل ۴-د مشاهده نمود. نتایج این بخش از بررسی نشان می‌دهد که تغییرات کربن آلی در زیر آبخیزها از مقدار ۰/۳ تا ۳/۹٪ متغیر بوده است که به‌ترتیب این اندازه‌ها مربوط به زیر آبخیزهای هامون-هیرمند و رودخانه‌های بین سفید رود و هراز است. با توجه به نتایج به دست آمده مقدار ماده‌ی آلی پایدار در خاک‌های کشور به جز شمال، بسیار ناچیز بوده است و با مقدار بهینه‌ی آن (سه درصد) فاصله دارد. نتایج پژوهش‌های انجام گرفته در مناطق مختلف کشور نتایج این پژوهش را تأیید می‌کند (شیدای کرکچ و همکاران ۲۰۱۳؛ جعفری و همکاران ۲۰۰۶). از طرف دیگر با مصرف روزافزون کودهای شیمیایی و برگشت‌ندادن پس‌مانده‌های گیاهی به خاک و حتی سوزاندن آن‌ها، سالانه از مقدار ناچیز ماده‌ی آلی خاک‌های ایران کاسته می‌شود و خاک به کلوخه‌های غیرقابل نفوذ و غیرقابل برگشت تغییر شکل پیدا می‌کند.

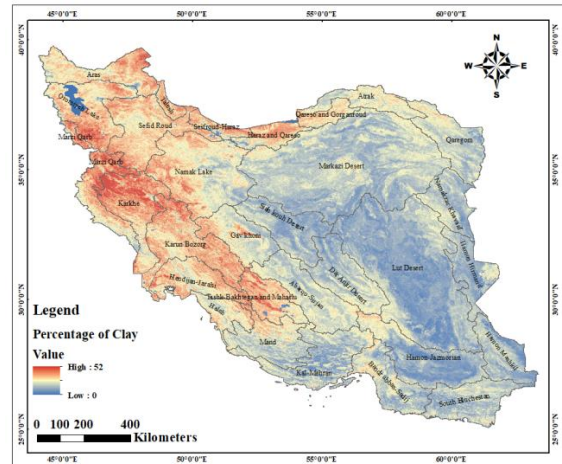
و همکاران ۲۰۰۳). خاک‌های لای معمولاً خوب دانه‌بندی می‌شوند، ولی در اثر مرطوب‌شدن، خاکدانه‌ها به‌سهولت شکسته و ذرات لای جدا و منتقل می‌شوند. خاک‌هایی که دارای ۴۰ تا ۶۰٪ لای هستند، جز فرسایش‌پذیرترین نوع خاک‌ها به‌شمار می‌آیند (رفاهی ۲۰۰۰) که در این پژوهش فقط دو آبخیز قره‌سو-گرگانرود و اترک در این دسته قرار می‌گیرند. البته لازم به ذکر است که ارتباط بین اندازه ذرات لای خاک و اندازه فرسایش‌پذیری تحت‌تأثیر اندازه‌ی مواد آلی و اندازه‌ی رس خاک نیز می‌باشد (بایوردی ۲۰۰۱).

تغییرات درصد ذرات شن

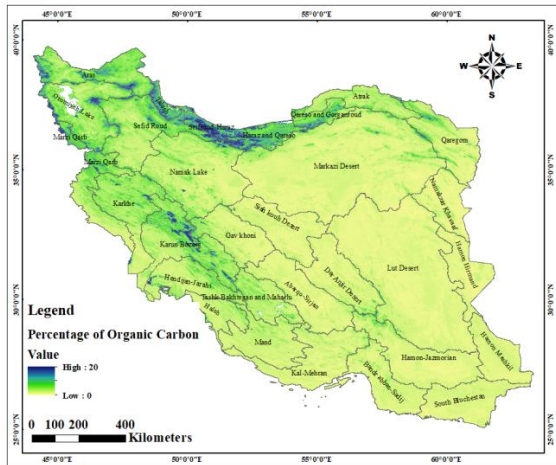
نتایج تغییرات درصد ذرات شن نیز در شکل ۳-ج در سطح کشور نشان داده شده است. بررسی این شکل نشان می‌دهد که بیش‌ترین اندازه‌ی این خصوصیت را می‌توان در بخش‌های ایران مرکزی مشاهده نمود و از طرف دیگر کمینه‌ی اندازه‌های آن نیز در مناطق غرب و شمالی کشور دیده می‌شود. دامنه‌ی تغییرات این ذرات در سطح سلول بین صفر تا ۹۲٪ می‌باشد. همچنین نتایج متوسط درصد ذرات شن نیز در شکل ۴-ج نشان داده شده است. تجزیه‌وتحلیل این نمودار نشان می‌دهد که تغییرات متوسط درصد شن در زیر آبخیزهای کشور ایران بین ۲۸ تا ۶۵٪ متغیر است که کمینه‌ی آن مربوط به زیر آبخیز کرخه و بیشینه‌ی آن نیز مربوط به زیر آبخیز کویر لوت و میانگین کلی این لایه در سطح زیر آبخیزها ۴۴٪ می‌باشد. از طرف دیگر با افزایش مقدار درصد شن، فرسایش‌پذیری خاک کاهش می‌یابد (وانگ ۲۰۱۲)، زیرا نفوذپذیری خاک را افزایش می‌دهد و از این رو از ایجاد رواناب سطحی جلوگیری می‌کند که بستگی به مقدار و اندازه شن دارد. همچنین، خاک‌هایی که دارای درصد شن خیلی ریز، لای زیاد و حاوی مواد آلی کم هستند، معمولاً خاکدانه‌های ناپایداری دارند. این نوع خاکدانه‌ها



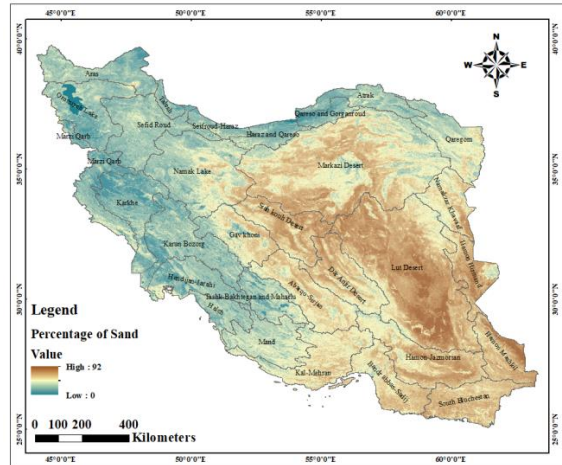
(b) ب



(a) الف



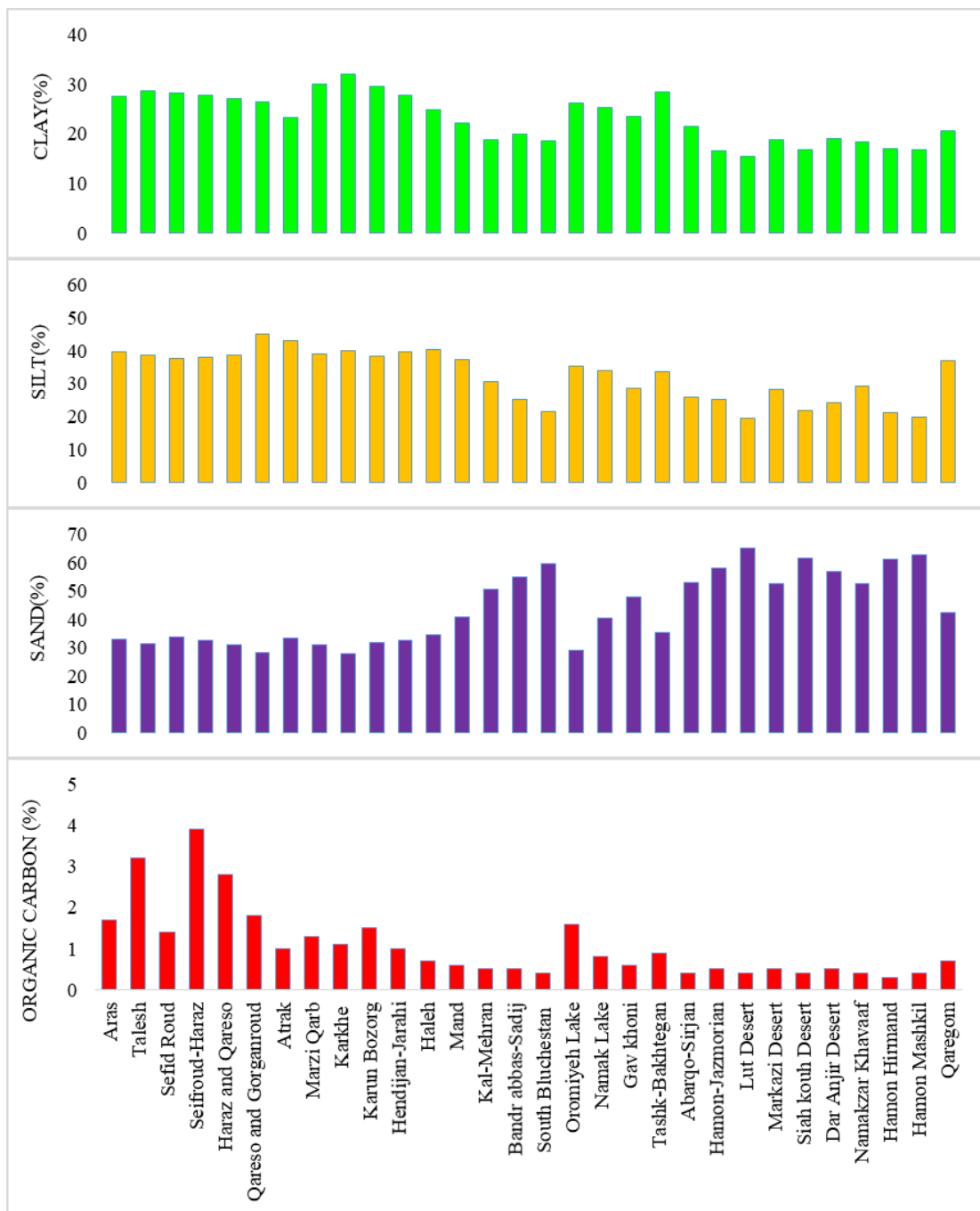
(d) د



(c) ج

شکل ۳- خصوصیت های خاک در عمق ۰-۳۰ سانتی متر با دقت مکانی ۲۵۰ متر: الف) نقشه ی میانگین درصد شن؛ ب) نقشه ی میانگین درصد لای؛ ج) نقشه ی میانگین درصد رس؛ د) نقشه ی میانگین درصد کربن آلی.

Figure 3- Soil Characteristics (0 to 30 cm) with a Spatial Resolution of 250 Meters; A) The Average Percentage of Sand; b) The Average Percentage of Silt; c) The Average Percentage of Clay; d) The Average Percentage of Organic Carbon.



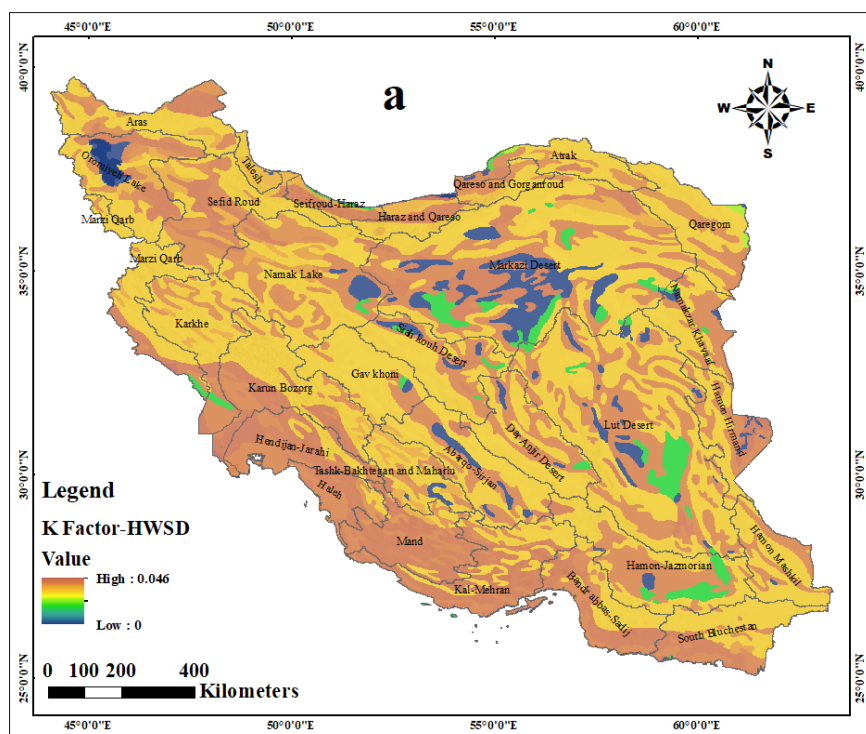
شکل ۴- میانگین خصوصیت‌های مؤثر در برآورد فرسایش‌پذیری خاک در زیر آبخیزهای درجه‌ی دو برای کشور ایران.
 Figure 4- The Average of the Characteristics in the Estimation of Soil Erodibility in the Sub-basins (Iran).

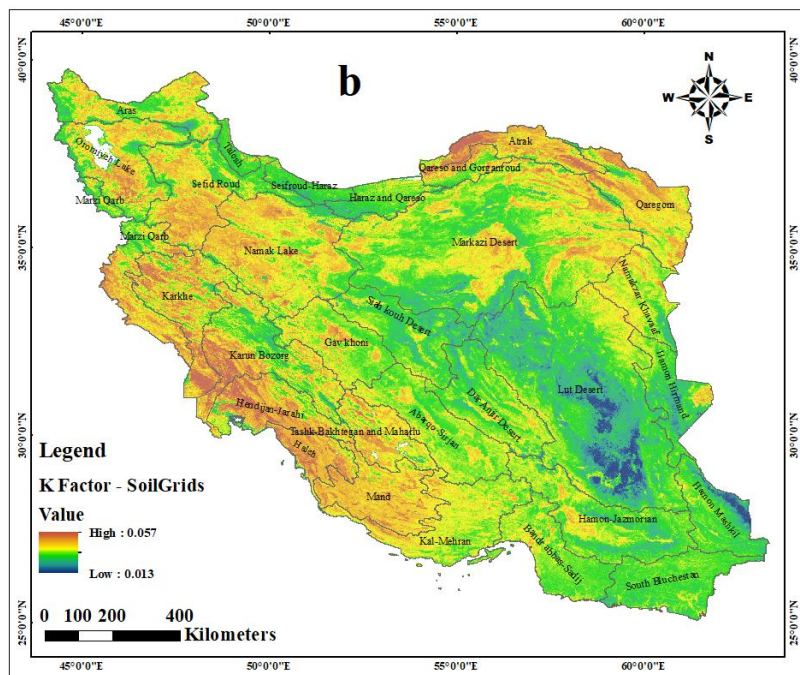
نشان‌دهنده‌ی اختلاف پنج درصدی این دو پایگاه داده مکانی در برآورد میانگین فرسایش‌پذیری خاک در سطح کشور می‌باشد.

نتایج این پژوهش با نتایج پژوهش محمدی و همکاران (۲۰۱۸) که با استفاده از پایگاه داده جهانی خاک HWSD، اندازه‌ی این عامل را برای کشور ایران ۰/۰۴ تن ساعت بر مگاژول میلی‌متر گزارش کردند هم‌خوانی دارد. لازم به ذکر است که اختلاف ۱۰٪ بین دو پژوهش محمدی و همکاران (۲۰۱۸) و پژوهش حاضر در پایگاه داده HWSD به دلیل تفاوت در انتخاب روش برآورد فرسایش‌پذیری خاک می‌باشد. به دلیل نبودن پایداری خاکدانه‌ها، در خاک‌های فرسایش‌پذیر، پراکنش‌پذیری غالباً زیاد است که این امر باعث تراکم خاک، کاهش نفوذپذیری، افزایش رواناب و در نهایت افزایش فرسایش خاک خواهد شد (لادو و همکاران ۲۰۰۴؛ یانکائوسکاس و همکاران ۲۰۰۸).

بررسی مکانی تغییرات فرسایش‌پذیری خاک

پس از تعیین ویژگی‌های مورد نیاز خاک برای برآورد فرسایش‌پذیری، نقشه‌ی فرسایش‌پذیری خاک کشور با استفاده از پایگاه داده مکانی HWSD و از رابطه‌ی ۱ برآورد و تهیه شد (شکل ۵ - الف). نتایج این پژوهش نشان می‌دهد دامنه‌ی تغییرات این عامل با استفاده از این پایگاه داده بین ۰/۰۱۷ تا ۰/۰۴۶ تن ساعت بر مگاژول میلی‌متر نوسان دارد. نقشه‌ی فرسایش‌پذیری خاک کشور با استفاده از پایگاه داده مکانی SoilGrids تهیه شد (شکل ۵ - ب). نتایج نشان داد که دامنه‌ی تغییرات این شاخص برای کشور ایران با استفاده از این پایگاه داده بین ۰/۰۱۳ تا ۰/۰۵۷ تن ساعت بر مگاژول میلی‌متر می‌باشد. همچنین متوسط این عامل برای منطقه‌ی مورد پژوهش با استفاده از این دو پایگاه داده مکانی HWSD و SoilGrids به ترتیب ۰/۰۳۶ و ۰/۰۳۸ تن ساعت بر مگاژول میلی‌متر است که





شکل ۵- نقشه‌ی فرسایش‌پذیری خاک کشور ایران: الف) با پایگاه داده HWSD با قدرت تفکیک مکانی ۱۰۰۰ متر، ب) با پایگاه داده SoilGrids با دقت مکانی ۲۵۰ متر.

Figure 5- Soil Erodibility Map of Iran: a) HWSD Database (1000m), b) SoilGrids Database (250m).

خاک بین یک تا ۲۱٪ در زیر آبخیزها متغیر است. بیش‌ترین اندازه‌ی خطای دو گروه داده در زیر آبخیز اترک با مقدار ۲۱٪ و کم‌ترین اندازه‌ی اختلاف با مقدار تقریباً یک درصد، در زیر آبخیز بلوچستان جنوبی مشاهده گردید. از طرف دیگر مقدار خطای دو شاخص RMSE و MAD بین این دو گروه داده برای کل ایران به ترتیب ۰/۰۰۴ و ۰/۰۰۳ می‌باشد.

پس از تهیه‌ی نقشه‌ی فرسایش‌پذیری خاک با استفاده از دو پایگاه داده مکانی HWSD و SoilGrids شاخص‌های ارزیابی خطا برای بررسی تفاوت‌های این دو گروه داده، در سطح زیر آبخیزها برآورد گردید و نتایج آن در جدول ۱ آورده شد. همان‌طور که نتایج نشان می‌دهد دامنه‌ی تغییرات خطای نسبی بین این دو گروه داده در محاسبه‌ی فرسایش‌پذیری

جدول ۱- ارزیابی شاخص‌های خطا در برآورد فرسایش‌پذیری خاک بین داده‌های HWSD و SoilGrids

Table 1- Evaluation of Error Indicators in Soil Erodibility Estimation Between SoilGrids and HWSD Data.

MAD	RMSE	RE	Absolute Error	F _t (HWSD)	A _t (SoilGrids)	Name of Basins	Row
		7.837	0.003	0.036	0.039	Aras	1
		5.378	0.002	0.034	0.036	Talesh	2
		8.464	0.003	0.037	0.040	Sefid Roud	3
		9.416	0.003	0.039	0.035	Seifroud-Haraz	4
		2.246	0.001	0.037	0.036	Haraz and Qareso	5
		12.663	0.005	0.036	0.041	Qareso - Gorganroud	6
		21.059	0.009	0.035	0.044	Atrak	7
		17.287	0.007	0.034	0.041	Marzi Qarb	8
		19.188	0.008	0.035	0.043	Karkhe	9
		10.194	0.004	0.037	0.041	Karun Bozorg	10
		7.358	0.003	0.040	0.044	Hendijan-Jarahi	11
		9.504	0.004	0.041	0.045	Haleh	12
		5.472	0.002	0.041	0.043	Mand	13
		2.463	0.001	0.039	0.040	Kal-Mehran	14
		2.313	0.001	0.038	0.037	Bandr abbas-Sadij	15
0.003	0.004	0.837	0.000	0.036	0.036	South Bluchestan	16
		8.105	0.003	0.037	0.040	Oromiyeh Lake	17
		12.095	0.005	0.036	0.041	Namak Lake	18
		14.943	0.006	0.033	0.039	Gav khoni	19
		15.823	0.007	0.035	0.042	Tashk-Bakhtegan	20
		7.293	0.003	0.035	0.038	Abarqo-Sirjan	21
		6.343	0.002	0.034	0.037	Hamon-Jazmorian	22
		3.882	0.001	0.035	0.033	Lut Desert	23
		8.314	0.003	0.035	0.038	Markazi Desert	24
		1.169	0.000	0.035	0.035	Siah kouh Desert	25
		4.300	0.002	0.035	0.036	Dar Anjir Desert	26
		8.624	0.003	0.036	0.039	Namakzar Khavaaf	27
		5.219	0.002	0.037	0.035	Hamon Hirmand	28
		2.538	0.001	0.035	0.034	Hamon Mashkil	29
		17.288	0.007	0.035	0.042	Qaregom	30

بحث و نتیجه‌گیری

نشان می‌دهد که کم‌ترین اندازه‌ی متوسط فرسایش‌پذیری خاک در سطح آبخیز با استفاده از داده‌های SoilGrids با مقدار ۰/۰۳۳ تن ساعت بر مگاژول میلی‌متر، مربوط به کویر لوت و بیش‌ترین اندازه‌ی آن ۰/۰۴۵ تن ساعت بر مگاژول میلی‌متر مربوط به زیر آبخیز حله می‌باشد. در زیر آبخیزهای درجه‌ی دو ایران، بیشینه و کمینه‌ی میانگین شاخص فرسایش‌پذیری خاک با داده‌های HWSD به ترتیب مربوط به آبخیزهای مند و گاوخونی با مقدار ۰/۰۳۳ و ۰/۰۴۲ تن ساعت بر مگاژول میلی‌متر می‌باشد. علاوه بر این میانگین عامل فرسایش‌پذیری

در این پژوهش به منظور برآورد عامل فرسایش‌پذیری خاک از پایگاه داده‌مکانی SoilGrids و HWSD استفاده گردید و نتایج حاصل از این برآورد با هم مقایسه شد. بررسی تغییرات عامل فرسایش‌پذیری خاک در شکل ۵ نشان می‌دهد که بیشینه‌ی مقدار این عامل در بخش‌های جنوب‌غربی، غرب و شمال‌شرقی کشور بوده و مناطق ایران مرکزی و بخش‌های بیابانی و کویری ایران به واسطه‌ی داشتن درصد بیش‌تری از ذرات شن، فرسایش‌پذیری کم‌تری را دارند. همچنین نتایج

زراعی با مشکل مواجه و کیفیت خاک به شدت کاهش خواهد یافت (لعل ۲۰۱۵؛ میرزاشاهی ۲۰۱۷). متوسط درصد کربن آلی در زیر آبخیزهای هامون-هیرمند و رودخانه‌های بین سفیدرود و هراز، به ترتیب بین ۰/۳ تا ۳/۹ متغیر است. از این رو، می‌توان بیان کرد که غالب آبخیزهای کشور از نظر درصد ماده‌ی آلی در شرایط نامناسبی قرار دارند. در نتیجه به منظور کاهش اندازه‌ی فرسایش‌پذیری خاک و به دنبال آن کاهش اندازه‌ی هدررفت سالانه‌ی خاک پیشنهاد می‌گردد که از طریق اقدام‌های حفاظت خاک مقدار ماده‌ی آلی یا پوشش سطحی خاک افزایش یابد (نزیمانا و همکاران ۲۰۱۷؛ نیاود و همکاران ۲۰۱۸). پژوهشگرانی گزارش کردند که در کاربری مرتع تخریب شده فرسایش‌پذیری خاک بیش‌تر از کاربری مرتع بود که این امر به دلیل بیش‌تر بودن جرم‌مخصوص‌ظاهری خاک، کم‌تر بودن مقدار ماده‌ی آلی و مقاومت برشی سطحی در خاک‌های این کاربری‌ها است. احتمالاً دلیل کم‌بودن مقدار ماده‌ی آلی در مرتع تخریب شده، چرای زود هنگام و بیش از حد دام‌ها در این نوع کاربری است (کرمی و همکاران ۲۰۱۸). از این رو، به منظور کاهش اندازه‌ی فرسایش‌پذیری خاک، مدیریت صحیح چرای دام توصیه می‌گردد. از طرف دیگر، این ویژگی تحت تأثیر گروه‌های آب‌شناسی خاک بوده و به‌طور کلی با کاهش نفوذپذیری منطقه، فرسایش‌پذیری خاک نیز افزایش می‌یابد (خسروی‌اقدم ۲۰۱۹). به‌طوری‌که خاک‌هایی با بافت رسی و ریز، نیاز به پوشش بیش‌تری نسبت به خاک‌هایی با بافت درشت و شنی دارند (آدمی و خالدی‌درویشیان ۲۰۲۱). در خاک‌های گرانیتی، عمدتاً بافت خاک بیش‌ترین تأثیر را بر اندازه‌ی فرسایش‌پذیری خاک دارد و بین عامل‌های مؤثر در برآورد فرسایش‌پذیری خاک لای مهم‌ترین ویژگی می‌باشد، در حالی‌که در سنگ‌های آهکی عامل فرسایش‌پذیری عمدتاً به اندازه‌ی ماده‌ی آلی خاک وابسته است (لیو و همکاران ۲۰۲۰). می‌توان گزارش کرد که در سطح زیر آبخیزها، اختلاف مقدار متوسط برآورد شده فرسایش‌پذیری خاک با دو پایگاه داده جهانی زیاد نبوده و هر دو پایگاه منبع قابل اعتمادی برای برآورد عامل فرسایش‌پذیری خاک می‌باشند. اما آزان‌جاکه پایگاه داده خاک SoilGrids دارای قدرت تفکیک مکانی بهتری است و به‌صورت پیوسته تغییرات فرسایش‌پذیری را نشان می‌دهد نتایج بهتری را نسبت به پایگاه داده خاک HWSO نشان داد. پایگاه داده مکانی SoilGrids بیش از ۱۵۰ هزار نمونه‌ی نیم‌رخ برای مدل‌سازی به کار گرفته و دقت و اعتبار این داده‌ها، از داده‌های HWSO به مراتب بیش‌تر و بهتر است (هنگل و همکاران ۲۰۱۷). پایگاه داده SoilGrids از لحاظ تعداد نمونه و روش‌های مورد استفاده برای تهیه‌ی نقشه‌ی جهانی ویژگی‌های خاک، هم‌چنان در حال توسعه و تکمیل شدن است تا اندازه‌ی نبودن قطعیت در برآورد این مشخصه‌ها کم‌تر گردد (پوگیو و همکاران ۲۰۲۱). بررسی

خاک در ایران با استفاده از دو پایگاه داده مکانی HWSO و SoilGrids به ترتیب ۰/۰۳۶ و ۰/۰۳۸ تن ساعت بر مگاژول میلی‌متر بوده است.

بررسی‌ها نشان داد که در سطح زیر آبخیزهای ایران، مقدار متوسط درصد ذرات رس بین ۱۵ تا ۳۲٪ متغیر بوده و میانگین آن برای کل کشور ۲۳٪ است. در بین زیر آبخیزها در زیر آبخیز کرخه و کویر لوت به ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین درصد رس وجود دارد. ذرات رس در ایجاد حالت چسبندگی خاک، تشکیل خاکدانه و پایداری آن نقش مهمی دارند (کیندایکی و بن ۲۰۰۲)، به‌طوری‌که اگر اندازه رس خاک از ۱۰٪ کم‌تر باشد، غالباً ساختمانی به‌وجود نخواهد آمد و اگر هم ساختمانی تشکیل شود، ذرات خاک چسبندگی زیادی نداشته و در اثر فرسایش به سرعت پراکنده می‌شوند. از طرفی اگر اندازه رس خاک از ۴۰٪ فراتر رود، خاکدانه‌های کوچکی ایجاد می‌شوند که به آسانی فرسوده می‌شوند (فولن و کات، ۲۰۰۴) که در این شرایط فرسایش هزار دره رخ خواهد داد (اسماعیل‌نژاد و همکاران ۲۰۲۱).

در سطح زیر آبخیزهای ایران، مقدار متوسط درصد ذرات لای بین ۱۹ تا ۴۵٪ متغیر بوده و میانگین آن برای کل کشور ۳۲٪ است. در زیر آبخیزهای قره‌سو-گرگان رود و کویر لوت به ترتیب بیشینه و کمینه‌ی درصد ذرات لای مشاهده شد. در آبخیزهای حله و مند مقدار ماده‌ی آلی کم‌تر از یک درصد بوده و مقدار متوسط لای در این آبخیزها حدوداً ۴۰٪ می‌باشد. هر چه مقدار لای بیش‌تر باشد، فرسایش‌پذیری خاک نیز افزایش می‌یابد، زیرا لای چسبندگی ندارد (بونبلا و جانسون ۲۰۱۲؛ یانگ و همکاران ۲۰۱۷). در سطح زیر آبخیزهای ایران، متوسط درصد ذرات شن بین ۲۸ تا ۶۵٪ متغیر بوده و میانگین آن برای کل کشور ۴۴٪ است، که کمینه‌ی آن به زیر آبخیز کرخه و بیشینه‌ی آن به زیر آبخیز کویر لوت اختصاص داشت. دلیل کم‌بودن اندازه‌ی فرسایش‌پذیری خاک در آبخیزهای گاوخونی یا کویر لوت، بالا بودن درصد شن در این آبخیزها است. درصد شن در آبخیز کویر لوت و گاوخونی به ترتیب ۶۵٪ و ۴۷٪ از کل ذرات خاک را شامل می‌شود. اگرچه اندازه‌ی ماده آلی خاک در این آبخیزها نیز به شدت پایین است اما اثر درصد شن بر اندازه‌ی فرسایش‌پذیری خاک بر خصوصیت ماده‌ی آلی غلبه کرده است و سبب شده که اندازه فرسایش‌پذیری خاک در این آبخیزها بسیار کم شود. در این زمینه مطالعات زیادی به تأثیر درصد شن بر کاهش اندازه‌ی فرسایش‌پذیری اشاره نموده‌اند (رازدویک و همکاران ۲۰۲۱). با توجه به اینکه ماده‌ی آلی یکی از شاخص‌های مهم کیفیت خاک است بنابراین افزایش این ماده در خاک سبب کاهش اندازه‌ی فرسایش‌پذیری خاک خواهد شد. علاوه بر این، براساس مطالعات میدانی صورت‌گرفته، چنانچه کربن آلی خاکی کم‌تر از دو درصد باشد کارکردهای خاک از نظر زیست‌محیطی و

شده (حدوداً ۱۵۰ هزار نیم‌رخ خاک در سطح جهان) دارای دقت مناسب می‌باشند، ولی بیان این نکته ضروری است که با هدف بهبود نتایج این پایگاه داده به‌وسیله داده‌های زمینی در بخش‌های مختلف کشور، بررسی نبودن قطعیت این داده‌ها به پژوهشگران متخصص در این زمینه پیشنهاد می‌شود. قابل توجه است که برآورد فرسایش‌پذیری خاک در این پژوهش با استفاده از مدل EPIC انجام شده است، درحالی‌که ارزیابی و مقایسه‌ی آن با دیگر مدل‌های برآورد فرسایش‌پذیری خاک در سطح کشور می‌تواند مورد توجه پژوهشگران قرار گیرد.

سپاس‌گزاری

این پژوهش با حمایت‌های مالی و پشتیبانی معاونت پژوهشی و فناوری دانشگاه شهید چمران اهواز در قالب پژوهانه‌ی شماره SCU.EG1400.26151 انجام شده‌است. نویسندگان این پژوهش از سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد (FAO) و مرکز بین‌المللی مرجع و اطلاعات خاک (ISRIC) برای در اختیار گذاشتن داده‌های ارزشمند خاک، تقدیر و تشکر می‌کنند.

خطای نسبی میانگین برآورد فرسایش‌پذیری خاک با استفاده دو گروه داده نشان داد که بیش‌ترین و کم‌ترین خطا نسبی به‌ترتیب با اندازه‌های ۰/۸ و ۲۱٪ مربوط به آبخیزهای بلوچستان جنوبی و اترک است و مقدار این اختلاف برای میانگین کشوری حدوداً پنج درصد است، بنابراین اهمیت این موضوع زمانی آشکار می‌گردد که اثر این دو پایگاه داده‌مکانی، بر روی برآورد فرسایش خاک بررسی گردد. نتایج مطالعاتی که به‌وسیله‌ی دیگر پژوهشگران با هدف مقایسه‌ی این دو پایگاه داده خاک در دیگر مناطق انجام شده است نشان داد که پایگاه SoilGrids برآورد دقیق‌تری از واقعیت زمینی دارد (سیلاتسا و همکاران ۲۰۲۰؛ ممدلی و گوجامانوف ۲۰۲۱؛ دی‌فاریاگودای و همکاران ۲۰۲۱). در نتیجه بررسی و اندازه‌گیری زمینی نیم‌رخ‌های خاک و پردازش این داده‌ها، یک بخش بسیار مهم، زمان‌بر و هزینه‌بردار است. علاوه بر این، در بعضی از زیر آبخیزها اطلاعات مناسبی برای ویژگی‌های خاک و اندازه‌ی فرسایش‌پذیری وجود ندارد، از این‌رو یافته‌های این پژوهش می‌تواند به‌عنوان منبعی برای برآورد اندازه‌ی فرسایش‌پذیری خاک در زیر آبخیزهایی که فاقد این اطلاعات می‌باشند به‌کار گرفته شود. اگرچه این داده‌ها به‌وسیله‌ی نیم‌رخ‌های زمینی برداشت و مدل‌سازی

فهرست منابع

- Aksoy E, Yigini Y, Montanarella L. 2016. Combining soil databases for topsoil organic carbon mapping in Europe. *PLoS ONE*, 11(3):1-17.
- Baskan O. 2021. Analysis of spatial and temporal changes of RUSLE-K soil erodibility factor in semi-arid areas in two different periods by conditional simulation. *Archives of Agronomy and Soil Science*, pp. 1-13. <https://doi.org/10.1080/03650340.2021.1922673>.
- Benavidez R, Jackson B, Maxwell D, Norton K. 2018. A review of the (Revised) universal soil loss equation ((R) USLE): with a view to increasing its global applicability and improving soil loss estimates. *Hydrology and Earth System Sciences*, 22(11): 6059-6086.
- Bonilla CA, Johnson OI. 2012. Soil erodibility mapping and its correlation with soil properties in Central Chile. *Geoderma*, 189(11): 116-123.
- Bybord M. 2001. *Soil physics*. Tehran University Press, 671 p. (In Persian).
- Dami M, Khaledi Darvishan A. 2021. Evaluation of runoff components in laboratory plots with straw conservation treatment. *Watershed Management Research Journal*, 34(1): 112-125. (In Persian).
- DE Faria Godoi R, Rodrigues DB, Borrelli P, Oliveira PTS. 2021. High-resolution soil erodibility map of Brazil. *Science of the Total Environment*, 781(10): 1-10.
- Deshmukh K, Aher S. 2014. Particle size analysis of soils and its interpolation using GIS technique from Sangamner area, Maharashtra, India. *Int J Environ Sci*, 3(10): 32-37.
- Efthimiou N. 2020. The new assessment of soil erodibility in Greece. *Soil and Tillage Research*, 204(10): 1-17.
- Ehbrecht M, Seidel D, Annighofer P, Kreft H, Kohler M, Zemp DC, Puettmann K, Nilus R, Babweteera F, Willim K, Stiers M, Soto D, Boehmer HJ, Fisichelli N, Burnett M, Juday G, Stephens SL, Ammer C. 2021. Global patterns and climatic controls of forest structural complexity. *Nature Communications*, 12(1):1-12.
- Esmaelnejad L, Ramezanpour H, Seyedmohammadi J. 2015. Various erosional forms in marly lands with different physical properties and clay mineral variations in southern Guilan Province. *Watershed Engineering and Management*, 7(4): 523-535. (In Persian).
- Fluhrer A, Jagdhuber T, Akbar R, Neill PE, Entekhabi D. 2020. Simultaneous retrieval of surface roughness parameters for bare soils from combined active-passive microwave SMAP observations. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 59(10): 8182-8194.
- Folberth C, Skalský R, Moltchanova E, Balkovič J, Azevedo L, Obersteiner M, Van Der M. 2016. Uncertainty in soil data can outweigh climate impact signals in global crop yield simulations. *Nature Communications*, 7(1): 1-13.
- Fullen MA, Catt JA. 2004. *Soil management: Problems and Solutions*. Arnold, London, 269 p.
- Gayen A, Haque SM. 2022. Soil erodibility assessment of laterite dominant sub-basin watersheds in the humid tropical region of India. *CATENA*, 213(6): 1-15.
- Griffiths RI, Thomson BC, Plassart P, Gweon HS, Stone D, Creamer RE, ... & Bailey MJ. 2016. Mapping and validating predictions of soil bacterial biodiversity using European and national scale datasets. *Applied Soil Ecology*, 97(1): 61-68.
- Hengl T, Mendes de Jesus J, Heuvelink GB, Ruiperez Gonzalez M, Kilibarda M, Blagotić A, ... & Kempen B. 2017. Soil grids 250 m: Global Gridded Soil Information Based on

- Machine Learning. PLoS one, 12(2): 1–40.
- Hengl T, Mendes de Jesus J, MacMillan RA, Batjes NH, Heuvelink GBM, Ribeiro E, Alessandro Samuel-Rosa A, Kempen B, Leenaars J, Walsh M, Gonzalez M. 2014. Soil grids 1km global soil information based on automated mapping. PLoS ONE, 9(8):1–17.
- Ippolito TA, Herrick JE, Dossa EL, Garba M, Ouattara M, Singh U, Neff JC. 2021. A comparison of approaches to regional land-use capability analysis for agricultural land-planning. Land, 10(5): 1–23.
- Jafari M, Azarnivand H, Souri M, Sardar Abadi M. 2007. Study of organic matter variation agricultural lands (Case study : Kermanshah Province). Pajouhesh & Sazamdegi, 19(2): 19–24. (In Persian).
- Jahandideh M, Amirian-Chakan A, Faraji M, Jafarizadeh M. 2021. Soil erodibility and its spatial variation in areas under erosion control measures in Behbahan Region. Applied Soil Research, 9(3): 73–88. (In Persian).
- Jankauskas B, Jankauskiene G, Fullen M. 2008. Soil erosion and changes in the physical properties of Lithuanian Eutric Albeluvisols under different land use systems. Soil and Plant Science Journal, 58(1): 66–76.
- Kamali K, Ardakani AJ, Eslami M. 2015. The relationship determine between measured soil erodibility using simulator and wischmeier nomograph and bisal method. Watershed Management Research Journal, 28(2): 66–72. (In Persian).
- Karami E, Ghorbani Dashtaki S, Khalilimoghadam B. 2018. Effects of land management on soil erodibility-A case study in part of Zayandeh-Rood watershed. Journal of Agricultural Engineering Soil Science and Agricultural Mechanization (Scientific Journal of Agriculture), 40(2): 105–119. (In Persian).
- Khaledi Darvishan A, Sadeghi SHR, Homae M, Arabkhedri M. 2021. Sediment budgeting in laboratory plots under rainfall simulation. Watershed Management Research Journal, 34(2): 15–31. (In Persian).
- Khanchoul K, Boubehziz S. 2019. Spatial variability of soil erodibility at El Hammam catchment, northeast of Algeria. Environment & Ecosystem Science, 3(1), 17–25.
- Khosraviaqdam K, Momtaz H, Asadzadeh F. 2019. Estimation of soil erodibility factor of USLE model and its relationship with landscape features in some parts of Nazzlo-Chay basin, Iran. Applied Soil Research, 7(1): 31–43. (In Persian).
- Kiani Harchegani M, Sadeghi S, Falahatkar S. 2019. Comparative analysis of soil erodibility factor in Shazand Watershed. Iranian Journal of Ecohydrology, 6(1): 153–163. (In Persian).
- Lado M, Paz A, Ben-Hur M. 2004. Organic matter and aggregate size interactions in infiltration, seal formation, and soil loss. Soil Science Society of America Journal, 68(5): 935–942.
- Lal R. 2015. Sequestering carbon and increasing productivity by conservation agriculture. Journal of Soil and Water Conservation, 70(3): 55–62.
- Lee S, Chu ML, Guzman JA, Flanagan D. C. 2022. Modeling soil erodibility and critical shear stress parameters for soil loss estimation. Soil and Tillage Research, 218(4): 1–18.
- Liang Z, Chen S, Yang Y, Zhou Y, Shi Z. 2019. High-resolution three-dimensional mapping of soil organic carbon in China: Effects of soilgrids products on national modeling. Science of the Total Environment, 685 (10): 480–489.
- Liu M, Han G, Li X, Zhang S, Zhou W, Zhang Q. 2020. Effects of soil properties on K factor in the granite and limestone regions of China. International Journal of Environmental Research and Public Health, 17(3): 1–13.
- Mammadli N, Gojamanov M. 2021. High-resolution soil erodibility K-factor estimation

- using machine learning generated soil dataset and soil pH levels. *Geodesy and Cartography*, 70(1):1–12.
- Maquaire O, Malet J, Remaitre A, Locat J, Klotz S, Guillon J. 2003. Instability conditions of marly hillslopes: towards landsliding or gullyng? The case of the Barcelonnette Basin, South East France. *Engineering Geology*, 70(1): 109–130.
- Meghraoui M, Habi M, Morsli B, Regagba M, Seladji A. 2017. 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*, 34(1): 205–214.
- Millward A, Mersey J. 1999. Adapting the RUSLE to model soil erosion potential in a mountainous tropical watershed. *Catena*, 38(2): 109–129.
- Mirzaee S, Ghorbani-Dashtaki S, Kerry R. 2019. Comparison of a spatial, spatial and hybrid methods for predicting inter-rill and rill soil sensitivity to erosion at the field scale. *Catena*, 188(5): 1–10.
- Mirzashahi K. 2017. Periodic study of soil organic carbon in plains of Khuzeestan and providing extensions. *Land Management Journal*, 5(1): 1–12.
- Mohammadi Sh, Karimzadeh H, Alizadeh M. 2018. Spatial estimation of soil erosion in Iran using RUSLE model. *-Iranian Journal of Ecohydrology*, 5(2): 551–569. (In Persian).
- Montanarella L, Vargas R. 2012. Global governance of soil resources as a necessary condition for sustainable development. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 4(5):559–564.
- Mulder V, Lacoste M, Richer-de Forges A, Martin M, Arrouays D. 2016. National versus global modelling the 3D distribution of soil organic carbon in mainland France. *Geoderma*, 263(3):16–34.
- Nikseresht F, Honarbakhsh A, Oštovari Y, Afzali SF. 2019. Model development to predict CEC using the intelligence data mining approaches. *Commun. Soil Sci. Plant Anal*, 50(17): 2178–2189.
- Nyawade S, Karanja N, Gachene C, Parker M, Schulte-Geldermann E. 2018. Susceptibility of soil organic matter fractions to soil erosion under potato-legume intercropping systems in central Kenya. *Journal of Soil and Water Conservation*, 73(5): 567–576.
- Nzeyimana I, Hartemink AE, Ritsema C, Stroosnijder L, Lwanga EH, Geissen V. 2017. Mulching as a strategy to improve soil properties and reduce soil erodibility in coffee farming systems of Rwanda. *Catena*, 149(1): 43–51.
- Oštovari Y, Moosavi AA, Mozaffari H, Poppiel RR, Tayebi M, Demattê JA. 2022. Soil erodibility and its influential factors in the Middle East. In *Computers in Earth and Environmental Sciences*, Elsevier, pp: 441–454.
- Phinzi K, Ngetar N. S. 2019. The assessment of water-borne erosion at catchment level using GIS-based RUSLE and remote sensing: A review. *International Soil and Water Conservation Research*, 7(1): 27–46.
- Poggio L, De Sousa LM, Batjes NH, Heuvelink G, Kempen B, Ribeiro E, Rossiter D. 2021. Soil grids 2.0: Producing soil information for the globe with quantified spatial uncertainty. *Soil*, 7(1): 217–240.
- Pogson M, Hastings A, Smith P. 2012. Sensitivity of crop model predictions to entire meteorological and soil input datasets highlights vulnerability to drought. *Environmental Modelling- Software*, 29(1):37– 43.
- Prasannakumar V, Vijith H, Abinod S, Geetha N. 2012. Estimation of soil erosion risk within a small mountainous sub-watershed in Kerala, India, using revised universal soil loss equation (RUSLE) and geo-information technology. *-Geoscience Frontiers*, 3(2): 209–215.
- Radziuk H, Świtoniak M, Nowak M. 2021. Microscale spatial variation of soil erodibil-

- ity factor (K) in a young hummocky moraine landscape in Northern Poland. *Bulletin of Geography. Physical Geography Series*, 21(1): 5–16.
- Radziuk H, Świtoniak M. 2021. Soil erodibility factor (K) in soils under varying stages of truncation. *Soil Sci Ann*, 72(1): 1–8.
- Rangzan K, Kabolizade M, Rahshidian M, Delfan H. 2019. Modeling and zoning water quality parameters using Sentinel-2 satellite images and computational intelligence. *Journal of RS and GIS for Natural Resources*, 10(4): 21–37. (In Persian).
- Refahi HG. 1996. Soil erosion by water and conservation. Tehran University Press, pp. 141–147. (In Persian).
- Refahi HG. 2000. Water erosion and conservation. Tehran University Press, 551 p. (In Persian).
- Salehi-Varnousfaderani B, Honarbakhsh A, Tahmoures M, Akbari M. 2022. Soil erodibility prediction by Vis-NIR spectra and environmental covariates coupled with GIS, regression and PLSR in a watershed scale, Iran. *Geoderma Regional*, 28(2): 1–9.
- Scharlemann JPW, Tanner EVJ, Hiederer R, Kapos V. 2014. Global soil carbon: Understanding and managing the largest terrestrial carbon pool. *Carbon Management*, 5(1): 81–91.
- Sedighi F, Khaledi Darvishan A, Zare M. 2020. Assessment of the slope gradient on the estimated erosion and sediment delivery ratio by using Cs137 in the Khamsan representative watershed. *Watershed Management Research Journal*, 33(3): 2–19. (In Persian).
- Sepuru T, Dube T. 2018. An appraisal on the progress of remote sensing applications in soil erosion mapping and monitoring. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 9(1): 1–9.
- Shademanpour A, Taghizadeh R, Tazeh M, Nabiollahi K. 2018. Spatial variability prediction of soil erodibility index using digital soil mapping technique in Baneh city Kanisef region. *Applied Soil Research*, 6(2): 15–26. (In Persian).
- Sian).
- Sheidaye Karkaj E, Mofidi Chelan M, Akbarlou M, Motamedi J. 2014. Investigation on changes in soil organic matter and nutrient elements under various grazing intensities (Case study: Chaharbagh mountain rangelands of Golestan Province). *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 20(4): 720–732. (In Persian).
- Shepherd A, Littleton E, Clifton-Brown J, Martin M, Hastings A. 2020. Projections of global and UK bioenergy potential from miscanthus x giganteus-feedstock yield, carbon cycling and electricity generation in the 21st century. *GCB Bioenergy*, 12(4): 287–305.
- Shepherd KD, Shepherd G, Walsh MG. 2015. Land health surveillance and response: A framework for evidence-informed land management. *Agricultural Systems*, 132(1): 93–106.
- Silatsa FB, Yemefack M, Tabi FO, Heuvelink GB, Leenaars JG. 2020. Assessing country-wide soil organic carbon stock using hybrid machine learning modelling and legacy soil data in Cameroon. *Geoderma*, 367: 1–13.
- Sokouti Xing YZ, Yue Y, Xu D, Kai M, Herbert S. 2007. Spatial variability of nutrient properties In block soil Of Northeast China. *Pedosphere*, 17(1): 19–29.
- Stockmann U, Padarian J, McBratney A, Minasny B, De Brogniez D, Montanarella L. 2015. Global soil organic carbon assessment. *Global Food Security*, 6(3): 9–16.
- Teimurian T, Nazari Samani A, Feiznia S, Ahmadaali K, Soleimanpour S. 2021. Determining the spatial distribution of gully erosion probability using the maxEnt model in Fars Province. *Watershed Management Research Journal*, 35(2): 2–15. (In Persian).
- Tian Z, Liu F, Liang Y, Zhu X. 2022. Mapping soil erodibility in southeast China at 250 m resolution: Using environmental variables and random forest regression with limited samples. *International Soil and Water Conservation Research*, 10(1): 62–74.

- Toubal AK, Achite M, Ouillon S, Dehni A. 2018. Soil erodibility mapping using the RUSLE model to prioritize erosion control in the Wadi Sahouat Basin, North-West of Algeria. *Environmental Monitoring and Assessment*, 190(4):1–22.
- Vaezi AR, Bahrami H, Sadeghi SHR, Mahdian MH. 2008. Study of factors affecting erodibility based on the universal soil loss equation in calcareous soils, *Journal of Agric. Science Natural Resource*, 14(5):1–14. (In Persian).
- Wakindiki I, Ben-hur M. 2002. Soil mineralogy and texture effects on crust micromorphology, infiltration and erosion. *Soil Science Society of America Journal*, 66(3):597–605.
- Wang L, Yan M, Zhang Q, Zhikaun J. 2012. Effects of vegetation restoration on soil physical properties in the wind–water roasion region of the northern loess Plateau of China. *Soil, Air and Water*, 40(1): 7–15.
- Wieder WR, Boehnert J, Bonan GB. 2014. Evaluating soil biogeochemistry parameterizations in earth system models with observations, *Global Biogeochem Cycles*, 28(3): 211–222.
- Williams J. 1989. EPIC-the erosion-productivity impact calculator. USDA, National Agricultural Library.
- Yang X, Gray J, Chapman G, Zhu Q, Tulau M, McInnes-Clarke S. 2017. Digital mapping of soil erodibility for water erosion in New South Wales, Australia. *Soil Research*, 56(2): 158–170.
- Yang Y, Zha R, Shi Z, Rossel R, Wan D, Liang Z. 2018. Integrating multi-source data to improve water erosion mapping in Tibet, China. *Catena*, 169(10): 31–45.



Estimation of Soil Erodibility (K-factor) Using SoilGrids and HWSD Spatial Databases

Mostafa Kabolizadeh^{*1}, Kazem Rangzan², Shahin Mohammadi³

1- Assistant Professor of Department of Remote Sensing and GIS, Faculty of Earth Sciences, Shahid Chamran University of Ahvaz

2- Professor of Department of Remote Sensing and GIS, Faculty of Earth Sciences, Shahid Chamran University of Ahvaz

3- Ph.D. Student of Department of Remote Sensing and GIS, Faculty of Earth Sciences, Shahid Chamran University of Ahvaz

Extended Abstract

Introduction and Objective

Iran is one of the countries that soil erodibility is becoming one of the acute environmental problems and every year millions of tons of fertile soil are left unusable due to lack of proper management. In order to effectively protect and prevent the adverse effects of soil erosion, it is necessary to identify the factors affecting soil erosion and provide an appropriate estimate of their amount in the country. In this regard, the present study was conducted to estimate soil erodibility (K-factor) for a soil depth of 0-30 cm in Iran.

Materials and Methods

For this purpose, two database were used, including the Harmonized World SoilDatabase (HWSD) and global gridded soil information (SoilGrids), as well as RStudio and ArcGIS software. First, SoilGrids data was prepared at four depths of 0, 5, 15 and 30 cm and averaging was done. Also, the HWSD database was received in vector format for a depth of 0 to 30 cm. Finally, these data have been used to estimate the erodibility factor based on the soil content of organic carbon, clay, sand and silt using the EPIC equation. Finally, Relative Error (RE), Median Absolute Deviation (MAD) and Root Mean Square Error (RMSE) were calculated to compare two databases.

Results and Discussion

Assessments indicate that the average percentage of clay particles in the sub-basins of Iran varies between 15 and 32% and the average for the whole country is 23%. On the other hand, the average percentage of silt particles in the sub-basins of Iran varies between 19 and 45%, and the average for the whole country is 32%, among which the maximum and minimum percentage of silt particles are in

Article Type: Research Article

*Corresponding Author E-mail: m.kabolizade@scu.ac.ir

Citation: Kabolizadeh, M., Rangzan, k., Mohammadi, M. 2023. Estimation of Soil Erodibility (K-factor) Using SoilGrids and HWSD Spatial Databases. *Watershed Management Research*. 36(1): 13-33.

DOI: 10.22092/WMRJ.2022.358115.1457

Received: 14 March 2022, **Received in revised form:** 09 May 2022, **Accepted:** 21 June 2022, **Published online:** 21 March 2023

Watershed Management Research, VOL. 36, No.1, Ser. No: 138, Spring 2023, pp. 13-33.

Publisher:

© Author(s)



the sub-basins of Qarasu-GorganRoud and Kavir Lut, respectively. Also, the average percentage of sand particles in the sub-basins of Iran varies between 28 and 65, and on the other hand, the average for the whole country is 44%, the minimum of which is related to the sub-basin of Karkheh and the maximum is related to the sub-basin of Kavir Lut. In Gavkhouni and Kavir Lut sub-basins, the reason the low soil erodibility factor is the high percentage of sand in these sub-basins, so that the percentage of sand in the Lut and Gavkhouni basins is 65 and 47% of the total soil particles, respectively. Considering that the average percentage of organic carbon in the sub-basins of Iran varies between 0.3 and 3.9, respectively, these values are related to the sub-basins of Hamun-e-Hirmand and Sefidroud-Haraz, so it can be said that the majority of the country's sub-basins are in poor conditions in terms of the percentage of organic matter. The results show that the southwestern, western and northeastern parts of the country have the maximum amount of soil erodibility factor, and the central Iran and desert parts of Iran have lower erodibility due to having a higher percentage of sand particles. Also, the results show that the lowest average amount of soil erodibility at the sub-basin scale using SoilGrids data with a value of 0.033 (ton*h/Mj*mm) is related to Lut Desert and also its maximum value is 0.045 (ton*h/ Mj*mm) related to it is the sub-basin of Haleh.

In addition, the maximum and minimum values of the erodibility index with the HWSD data as an average of the basins of Iran are corresponding to the Mand and Gavkhouni sub-basins, respectively, with values of 0.042 and 0.033 (ton*h/ Mj*mm). So, the results showed that the average soil erodibility factor in Iran using two the HWSD and SoilGrids databases was 0.036 and 0.038 (ton*h/ Mj*mm) respectively.

Conclusion and Suggestions

The study of soil erodibility with the data of SoilGrids and HWSD at the sub-basins scale showed that the maximum and minimum RE in Atrak and South Balochestan sub-basins are 21 and 1 percent, respectively, and the amount of RE is about 5% for the country average; Therefore, it can be concluded that although the RE between the two databases is not high, SoilGrids data is a more suitable source for soil and water resource modeling due to its continuity and better spatial resolution. Finally, it should be said that although this database is modeled using a larger number of profiles (about 150,000 soil profiles in the world), so they have appropriate accuracy. However, it is necessary to state that investigating the uncertainty of these data in order to improve the results of this database in order to improve the results of that in different parts of the country is recommended to researchers and researchers. Also, it is noteworthy that the EPIC model was used to estimate soil erodibility in this study, while its evaluation and comparison with other soil erodibility estimation models in the country is suggested to other researchers and experts.

Keywords: Remote sensing, soil conversation, soil erosion, watershed management