

برآورد میزان فرسایش خاک در دشت مرودشت (استان فارس) با استفاده از مدل تجربی *RUSLE*

احمد انصاری لاری* - استادیار گروه جغرافیا (ژئومورفولوژی)، دانشگاه آزاد اسلامی واحد لارستان، لارستان، ایران
مریم انصاری - کارشناس ارشد ژئومورفولوژی دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

پذیرش مقاله: ۱۳۹۴/۰۷/۱۵ تأیید نهایی: ۱۳۹۵/۰۲/۰۷

چکیده

فرسایش خاک، نه تنها سبب فقیر شدن خاک و متروک شدن مزارع می‌گردد و از این راه، خسارت‌های جبران‌ناپذیری بر جای می‌گذارد؛ بلکه با رسوب‌گذاری در آبراهه‌ها، مخازن سدها و بنادر و کاهش ظرفیت آبگیری آن‌ها، زیان‌های فراوانی را موجب می‌گردد. پیش‌بینی فرسایش خاک، همواره یکی از متداول‌ترین روش‌ها در مدیریت منابع طبیعی به جهت کنترل بهره‌وری خاک در داخل حوضه و تخمین میزان رسوب و کیفیت آب در خارج از حوضه است. در این پژوهش به بررسی میزان فرسایش خاک دشت مرودشت با استفاده از مدل تجربی *RUSLE* در محیط (GIS) که شامل عامل فرساینده‌گی باران، عامل فرسایش‌پذیری خاک، عامل توپوگرافی و پوشش گیاهی می‌باشد، پرداخته شده است. در این تحقیق از اسناد و مدارک مختلف از جمله نقشه‌های ۱:۵۰۰۰۰ توپوگرافی، ۱:۱۰۰۰۰۰ زمین‌شناسی، خاک‌شناسی، کاربری اراضی، پوشش گیاهی، آمارهای مختلف مربوط به ایستگاه‌های باران‌سنجی و مدل ارتفاعی رقومی (DEM) به‌عنوان ابزار تحقیق مورد استفاده قرار گرفت. بررسی نقشه خطر فرسایش خاک نشان می‌دهد که میزان خطر فرسایش خاک در سطح دشت از صفر تا ۵۰ برحسب تن در هکتار در سال متغیر است. مطابق با این نقشه، بیش‌ترین قسمت منطقه مورد مطالعه، جزء طبقه فرسایشی خیلی کم تا کم قرار داشت که به‌طور عمده این کلاس‌ها در مرکز دشت واقع شده بودند. بیش‌ترین مناطق تحت خطر فرسایش بالا تا شدید، در مناطق با شیب زیاد دشت قرار داشتند.

واژگان کلیدی: فرسایش خاک، مدل *RUSLE* دشت مرودشت، سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS)

مقدمه

خاک محل زندگی کلیه موجودات زنده در سطح کره خاکی و اساس تجمیع تمدن مادی است (کردوانی، ۱۳۸۱: ۲). و به‌عنوان یکی از مهم‌ترین منابع طبیعی نقش بسیار عمده‌ای در زندگی انسان دارد ولی از زمانی که بشر زمین را به‌منظور تهیه مایحتاج خود مورد کشت و زرع قرارداد یا از آن به‌عنوان مرتع استفاده کرد زمین‌ها در معرض فرسایش شدید و سریع قرار گرفت (کردوانی، ۱۳۸۱: ۹۷) فرسایش خاک، نه‌تنها سبب فقیر شدن خاک و متروک شدن مزارع می‌گردد و از این راه، خسارت‌های جبران‌ناپذیری بر جای می‌گذارد؛ بلکه با رسوب‌گذاری در آبراهه‌ها، مخازن سدها و بنادر و کاهش ظرفیت آبیگری آن‌ها، زبان‌های فراوانی را موجب می‌گردد. فرسایش خاک، همواره در طی قرن‌های مختلف، یکی از خطرات جدی و تهدیدکننده‌ی رفاه و آبادی هر جامعه محسوب می‌شده است. بر پایه‌ی برآوردهای انجام‌شده، سالیانه چندین میلیون هکتار از اراضی کشاورزی جهان بر اثر فرسایش خاک به کام نابودی کشیده می‌شوند (صالحی و همکاران، ۱۳۹۴: ۲). بنابراین طرح‌ها و سیاست‌های کشاورزی و زیست‌محیطی که تغییراتی را در آمایش زمین به وجود می‌آورند، بر شدت فرسایش و میزان آن تأثیر دارند. این امر به این معنی است که سیاست‌گذاران و برنامه‌ریزان که طرح‌ها و تصمیماتشان در نحوه‌ی استفاده از زمین نقش تعیین‌کننده‌ای دارد، مستقیماً مسئول چگونگی کیفیت کنترل فرسایش هستند (هوک^۱، ۱۳۸۵: ۶۷). پیش‌بینی فرسایش خاک، همواره یکی از متداول‌ترین روش‌ها در مدیریت منابع طبیعی به جهت کنترل بهره‌وری خاک در داخل حوضه و تخمین میزان رسوب و کیفیت آب در خارج از حوضه است (مورگان و نئارینگ^۲، ۲۰۱۱). شدت فرسایش و وسعت آن در زمان‌ها و مکان‌های مختلف یکسان نبوده و به شرایط طبیعی، پستی و بلندی، خصوصیات خاک‌ها و چگونگی کاربری زمین مربوط است (شکوری، ۱۳۷۴: ۵۶). نزدیک به ۴۰ درصد مساحت کشور در ناحیه نیمه‌خشک قرار دارد (خاکساری فرد، ۱۳۷۳)، در این نواحی میزان فرسایش خاک به دلیل توزیع نامناسب بارندگی طی سال و ضعف پوشش گیاهی بیشتر است. مهار فرسایش خاک در این نواحی به‌ویژه در زمین‌های کشاورزی دارای اهمیت است (واعظی و همکاران، ۱۳۸۹: ۱۰۶).

یکی از مشکلات مطالعات فرسایش و رسوب کمبود آمار و اطلاعات موردنیاز می‌باشد. این مسئله در کشورهای درحال توسعه حادث‌تر بوده و کشور ما ایران از جمله کشورهایی است که با این معضل روبرو است. بنابراین به دلیل پیچیدگی فرایندها و کمبود آمار مناسب و فقدان ایستگاه‌های اندازه‌گیری و به‌منظور سهولت کار، اغلب مطالعات فرسایش و رسوب کشور با استفاده از روش‌های تجربی انجام می‌گیرد (قضاوتی و همکاران، ۱۳۹۱). اولین معادله‌ای که برای تخمین میزان فرسایش در یک شیب خاص پیشنهاد شد، معادله‌ی زینگ^۳ (۱۹۴۰) بود که در آن، تنها دو عامل درجه و طول شیب در نظر گرفته‌شده بودند. سپس، موسگراو^۴ (۱۹۴۷) عامل آب‌وهوا و اسمیت^۵ عامل پوشش گیاهی را نیز در این معادله دخالت دادند. بهترین فرمول برای برآورد فرسایش خاک، توسط ویشمایر^۶ و اسمیت در سال ۱۹۶۵ ارائه شد. این معادله که به فرمول جهانی فرسایش خاک نیز معروف می‌باشد مبنای تجربی دارد و بر اساس داده‌های صحرایی فراوان به‌دست‌آمده است (صالحی و همکاران، ۱۳۹۴: ۴۴). رابطه جهانی فرسایش خاک اصلاح‌شده (RUSLE^۷) نیز به‌عنوان مدل توسعه‌یافته USLE^۸ برای پیش‌بینی فرسایش خاک سالانه از یک سطح

^۱ Hook

^۲ Morgan & Nearing

^۳ Zingg

^۴ Musgrave

^۵ Smith

^۶ Wischmeier

^۷ Revised Universal Soil Loss Equation

^۸ Universal Soil Loss Equation (USLE)

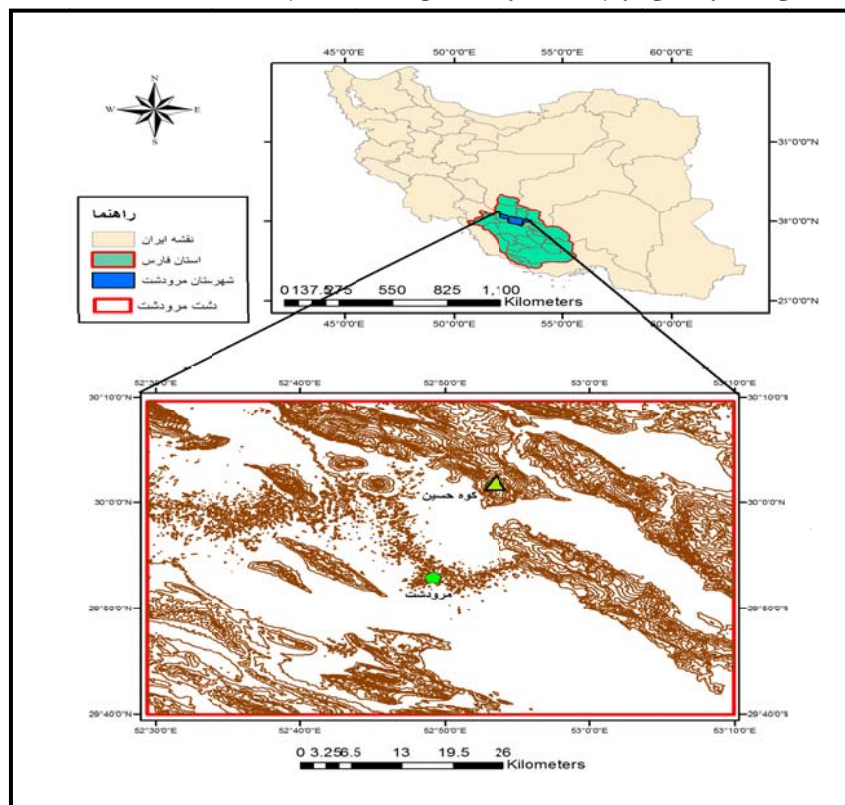
معین استفاده می‌شود (رنارد و فریدموند، ۱۹۹۴) که برآوردهای دقیق‌تری از فاکتورهای R, K, C, P و فرسایش خاک انجام می‌دهد (رنارد و همکاران، ۱۹۹۱) به سبب این که سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و سنجش‌ازدور (RS) امکان تجزیه و تحلیل داده‌های مکانی را فراهم می‌آورد (آرخی و نیازی، ۱۳۸۹: ۳). مطالعات گسترده‌ای در جهان و ایران در خصوص مدل RUSLE صورت گرفته است به‌عنوان مثال می‌توان به پژوهش‌های: بنگویی و همکاران (۱۹۹۴)، تیواری و همکاران (۲۰۰۰)، وانگ و همکاران (۲۰۰۳)، هویوس (۲۰۰۵)، مارکر (۲۰۰۶)، بونیلا و همکاران (۲۰۱۰)، فرهان و همکاران (۲۰۱۳)، کارالیو و همکاران (۲۰۱۴)، آرخی و نیازی (۱۳۸۹)، واعظی و همکاران (۱۳۸۹)، زندی و همکاران (۱۳۹۲)، رحیمی و مزبانی (۱۳۹۲)، رضایی و همکاران (۱۳۹۳)، رخبین و همکاران (۱۳۹۳) و... اشاره کرد.

دشت مرودشت به دلیل پوشیده شدن با آبرفت‌های رودخانه کُر، خاک مناسب و آب نسبتاً کافی، از جمله دشت‌های حاصل‌خیز زاگرس جنوب‌شرقی به شمار می‌رود. شرایط زیست‌محیطی مناسب باعث جایگزینی مراکز انسانی متعدد در این دشت گردیده، بطوریکه در سطح دشت حدود ۲۹۵ روستا مستقر شده‌اند. شهر مرودشت بعد از شهر شیراز در استان فارس، به دلیل دشت وسیع و حاصلخیز در منطقه، عمده‌ترین پایگاه جمعیتی استان به شمار می‌رود (راستی، ۱۳۸۸) که بررسی وضعیت فرسایش را در این منطقه، اجتناب‌ناپذیر ساخته است و تهیه‌ی نقشه‌ی شدت فرسایش امری ضروری به نظر می‌رسد. بنابراین، هدف این پژوهش مدل‌سازی میزان فرسایش خاک و بار رسوب دشت مرودشت از طریق مدل RUSLE با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) و همچنین شناسایی مناطق حساس به فرسایش جهت اجرای عملیات حفاظتی آب‌و خاک می‌باشد.

منطقه مورد مطالعه

دشت مرودشت در جنوب‌غربی کشور، در استان فارس، میان رشته‌کوه‌های زاگرس بین عرض‌های جغرافیایی $29^{\circ}40'$ تا $30^{\circ}10'$ و طول‌های جغرافیایی $52^{\circ}30'$ تا $53^{\circ}10'$ واقع شده، که به‌صورت چاله‌ای با راستای شمال‌غرب - جنوب‌شرق در زون زاگرس چین‌خورده - رورانده قرار دارد (شکل ۱). وسعت منطقه‌ی مورد مطالعه در حدود ۳۶۰۰ کیلومتر مربع است. منطقه مورد نظر از دو بخش کاملاً متمایز کوهستان و دشت تشکیل شده است که در حدود ۲۲۳۷ کیلومتر مربع (۶۲ درصد) از سطح منطقه را دشت و در حدود ۱۳۶۳ کیلومتر مربع (۳۸ درصد) از سطح منطقه را کوهستان، به‌صورت ناهمواری‌هایی در اطراف دشت، در بر گرفته است. دشت مرودشت تقریباً در بخش مرکزی حوضه آبخیز کُر و سیوند واقع شده و یکی از وسیع‌ترین دشت‌های منطقه و ایران محسوب می‌شود. محدوده دشت در حدفاصل کمربند زاگرس چین‌خورده و رورانده قرار دارد. روند عمومی دشت مطابق با چین‌خوردگی زاگرس با امتداد شمال‌غرب - جنوب‌شرق می‌باشد. پست‌ترین نقطه محدوده در حوالی روستای مقرب با ارتفاع ۱۵۶۶ متر و بلندترین نقطه ارتفاعی آن در ارتفاعات کوه حسین با ارتفاع ۲۸۰۰ متر از سطح دریا می‌باشد. شیب توپوگرافی محدوده، شمال‌غرب - جنوب‌شرق و جهت جریان‌های سطحی مطابق با شیب توپوگرافی است که به دریاچه بختگان منتهی می‌شود. شیب متوسط این دشت ۰/۰۵ درصد و در جهت شمال‌غرب به جنوب‌شرق است. دشت مرودشت در ابتدای حوضه کُر و سیوند دارای پهنای بیشتر و سطح ارتفاع بلندتری نسبت به قسمت‌های جنوبی بوده و به تدریج به سمت خط‌القدر، و نزدیک دریاچه بختگان علاوه بر کاهش ارتفاع از گستردگی آن نیز کاسته شده و شیب آن نیز ملایم می‌شود. اصلی‌ترین شبکه هیدروگرافی دشت مرودشت، رودخانه کُر است. این رودخانه از ارتفاعات شمال‌غربی استان فارس (ارتفاعات اقلید) سرچشمه گرفته و بعد از طی مسیر کوهستانی در مجاورت روستای درودزن (سد درودزن) وارد دشت می‌شود کل بارش سالانه به‌طور متوسط در شهرستان مرودشت حدود ۵۱۶ میلی‌متر است و تابستان‌ها نیز خشک است. میانگین سالانه دمای منطقه مرودشت ۱۷/۷ درجه سانتی‌گراد است. میانگین حداکثر دما ۲۳/۹ درجه سانتی‌گراد و میانگین حداقل

دمای منطقه ۱۱/۵ درجه سانتی‌گراد است. طبق ضریب خشکی دمارتن ($10 < I < 19/9$) منطقه مروودشت جزء مناطق نیمه‌خشک ایران محسوب می‌شود (محمدی و همکاران، ۱۳۸۹: ۱۴۷).



شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه

مواد و روش‌ها

در این روش پژوهش از نقشه‌های توپوگرافی منطقه به مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ شامل برگ‌های مروودشت I6549، فاروق IV6649، زرقان IV6549، کوشک III6550، سیوند II6550، سعادت‌شهر III6550، داریون II6549، رحمت‌آباد III6649 و شیراز III6549 جهت انجام تحلیل‌های توپوگرافی، بررسی شیب دامنه‌ها و شبکه هیدروگرافی، سطوح ارتفاعی و تحلیل‌های کمی و از نقشه‌های زمین‌شناسی شیراز و سیوند با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ برای چینه‌شناسی، لیتولوژی، ماهیت مواد، ساختمان زمین‌شناسی، همچنین از آمار بارندگی ایستگاه‌های هواشناسی اطراف محدوده حوضه، تصاویر ماهواره‌ای و نرم‌افزار ARC GIS 10.2 و مدل فرسایش خاک RUSLE برای برآورد میزان هدر رفت خاک استفاده شد.

مدل RUSLE یک مدل برآورد فرسایش آبی است که با شش عامل زیر رابطه دارد (ویشمایر و اسمیت^۱، ۱۹۷۸):

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

A: میانگین فرسایش خاک در واحد سطح (تن در هکتار)، R: عامل فرساینده باران ($MJ \text{ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1} \text{ y}^{-1}$), K: عامل فرسایش‌پذیری خاک ($Mg \text{ ha h ha}^{-1} \text{ Mj}^{-1} \text{ mm}^{-1}$), L: عامل طول شیب، S: عامل درجه شیب، C: عامل پوشش گیاهی و P: عامل اقدامات حفاظتی است. مقادیر C، S، L و P بدون واحد هستند.

^۱. Wischmeier and Smith

عامل فرساینده‌گی باران (R)

این عامل، بیانگر فاکتور فرسایش دهندگی باران یا معیار فرسایش برای مدت بارندگی موردنظر است که قدرت فرسایش یک باران مشخص را تعیین می‌کند که این شاخص (EI_{30}) از ترکیب انرژی جنبشی باران (E) و بیشترین شدت بارندگی ۳۰ دقیقه‌ای منطقه (I_{30}) به دست می‌آید (صالحی و همکاران، ۱۳۹۴: ۴۶). برای مناطقی که جزئیات داده‌های اقلیمی وجود ندارد، R را می‌توان با استفاده از اصلاح‌شده شاخص فورنیر تخمین زد (هوی و همکاران، ۲۰۱۰: ۹۴۴). بنابراین برای محاسبه فاکتور R پس از تعیین ایستگاه‌های اطراف منطقه موردنظر، بارندگی ماهانه و سالیانه در این ایستگاه‌ها بازسازی شد. شکل ۲ موقعیت ۱۲ ایستگاه مورد استفاده واقع شده در این مطالعه را نشان می‌دهد. در مرحله بعد با استفاده از معادله زیر، شاخص فورنیر و فاکتور R برای تمام ایستگاه‌ها محاسبه شد. رابطه شاخص فورنیر F به صورت زیر (رابطه ۲) می‌باشد.

$$F = \frac{\sum_{i=1}^{12} P_i^2}{\sum_{i=1}^{12} P} \quad \text{رابطه ۲}$$

در اینجا P_i متوسط بارندگی ماهانه (میلی‌متر) و P متوسط بارندگی سالیانه (میلی‌متر) است که با استفاده از رابطه شماره ۲ شاخص فورنیر برای ایستگاه‌ها تخمین زده شد سپس با جای گذاری شاخص فورنیر در روابط زیر (رابطه ۳ و ۴) که توسط رنارد و فریموند^۱ (۱۹۹۴) برای مناطق فاقد داده‌های تفصیلی رگبار (شدت بارندگی) پیشنهاد شده، مقدار فاکتور R برای ایستگاه‌ها برآورد شد.

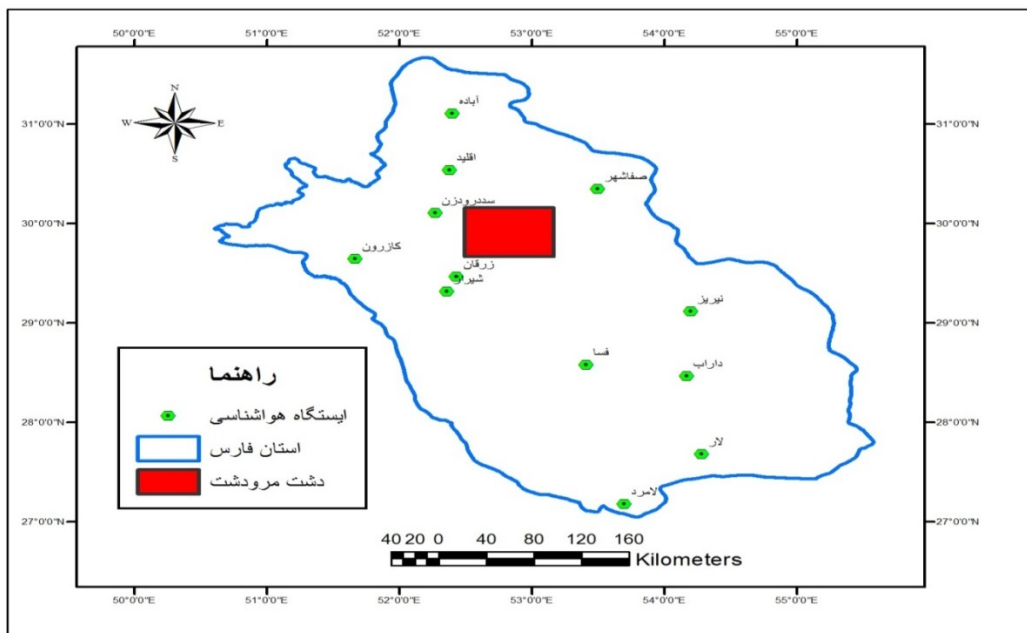
$$R\text{-Factor} = (0.07397 \times F^{1.847}) / 17.2 \quad F < 55 \text{ mm} \quad \text{رابطه ۳}$$

$$R\text{-Factor} = (95.77 - 6.081 \times F + 0.4770 \times F^2) / 17.2 \quad F \geq 55 \text{ mm} \quad \text{رابطه ۴}$$

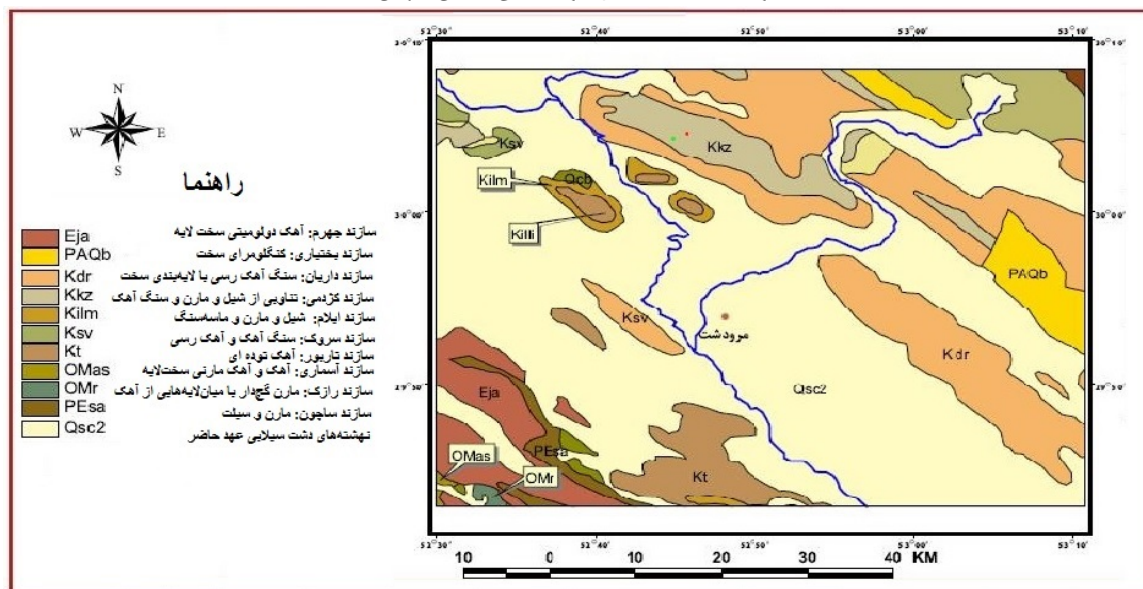
عامل فرسایش پذیری خاک (K)

فرسایش پذیری، خصوصیتی از خاک است که میزان حساسیت آن در برابر جدا شدن و انتقال توسط عوامل فرسایش دهنده (قطره‌های باران و روان آب) را بیان می‌کند. بخشی از این حساسیت، ناشی از مواد مادری خاک‌ها، به ویژه در مناطق خشک، می‌باشد و به خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک‌ها وابسته است (صالحی و همکاران، ۱۳۹۴: ۴۹). عامل فرسایش پذیری در مدل RUSLE را می‌توان از طریق منحنی‌های مربوطه تعیین کرد. مورگان برای ضریب فرسایش پذیری (K) خاک‌های مختلف اعدادی را پیشنهاد کرده است که در جدول (۱) نشان داده شده است (احمدی، ۱۳۸۸: ۵۰۷). در این پژوهش اطلاعات مورد نیاز از نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ زمین‌شناسی (شکل ۳)، لایه خاکشناسی منطقه و گزارش تفصیلی دشت مرودشت (راستی، ۱۳۸۸) استخراج و پس از آن نقشه عامل K در GIS آماده‌سازی شد.

^۱ . Renard and Freidmund



شکل ۲: موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی استان فارس



شکل ۳: نقشه زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

جدول ۱: فرسایش‌پذیری خاک (K)

K	وضعیت خاک	K	وضعیت خاک
۰/۱	اراضی مقاوم به فرسایش	۰/۵	خاک سطحی با پوشش سنگریزه‌ای
۰/۴۲	خاک‌های ماسه‌ای نرم	۰/۱۶	خاک‌های ماسه‌ای
۰/۴۲	خاک‌های لومی با ماسه بسیار ریز	۰/۱۲	خاک‌های لومی شنی
۰/۳۷	خاک‌های لومی	۰/۴۸	خاک‌های سیلت لومی
۰/۳۷	خاک‌های لومی رسی	۰/۲۵	خاک‌های سیلته رسی

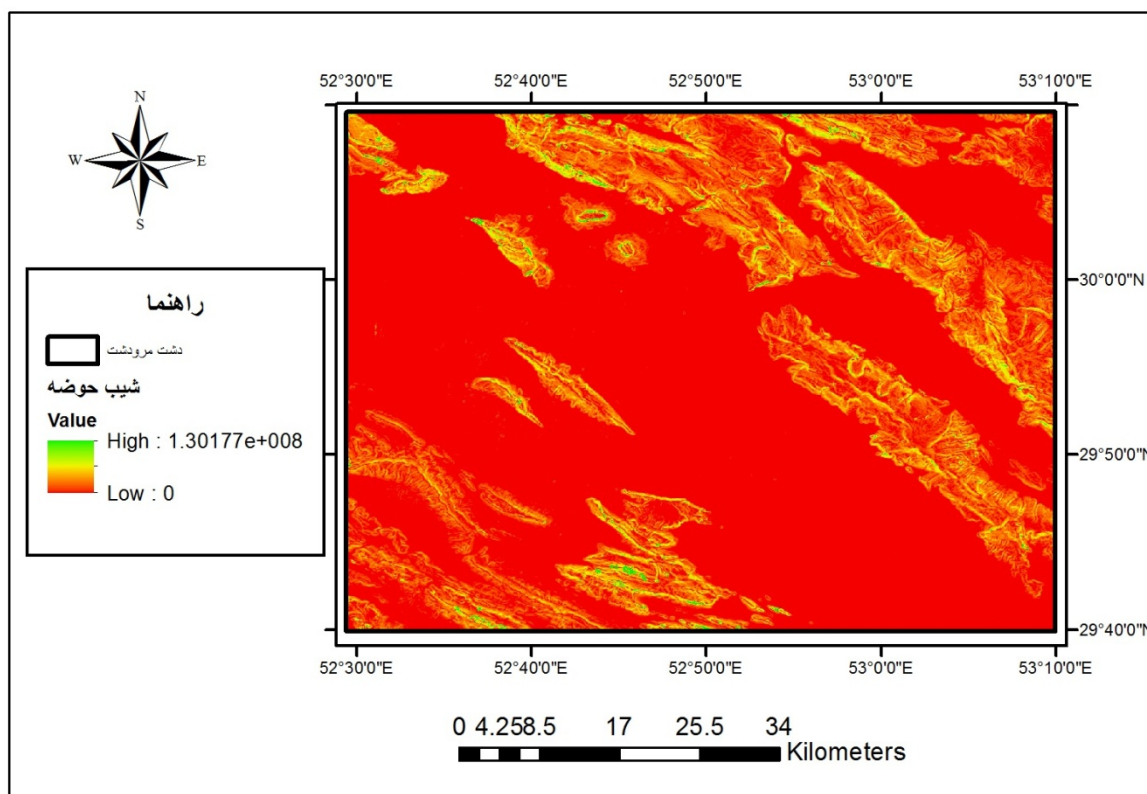
منبع احمدی، ۱۳۸۸: ۵۰۷

عامل طول شیب (L) و درجه شیب (S)

به‌طور کلی، هرچه طول شیب، زیادتر باشد؛ شدت فرسایش بیشتر می‌شود. میزان فرسایش در طول یک شیب، یکنواخت نمی‌باشد و به‌طور معمول، در قسمت‌های انتهایی، بیشتر است (صالحی و همکاران، ۱۳۹۴: ۵۸). فاکتورهای L و S در مدل RUSLE، بیانگر تأثیر توپوگرافی بر روی فرسایش خاک می‌باشد. ثابت‌شده که افزایش در طول شیب و درجه شیب می‌تواند سرعت جریان آب را در سطح زمین افزایش دهد و باعث تشدید فرسایش خاک شود (هان و همکاران^۱، ۱۹۹۴). در این پژوهش با استفاده از DEM منطقه در محیط Arc GIS، در قسمت extension Arc Hydro تحلیل‌های مربوط به ویژگی‌های فیزیکی از جمله طول شیب حوضه به دست آمد. همچنین درجه و درصد شیب حوضه از روی DEM منطقه استخراج گردید (شکل ۴) که در قسمت تحلیل مکانی^۲ به دست آمد. به‌طور کلی می‌توان هر یک از عوامل طول شیب و درجه شیب را باهم در نظر گرفت که آن را با علامت LS نشان می‌دهند (رحیمی و مزبانی، ۱۳۹۲: ۸). برای به دست آوردن ضریب LS از فرمول زیر در محیط Raster Calculator استفاده می‌نماییم. در این فرمول، S درصد شیب زمین می‌باشد که عامل درجه‌ی شیب (S) از طریق فرمول زیر قابل محاسبه است (صالحی و همکاران، ۱۳۹۴: ۵۸).

$$LS = \frac{\sqrt{L}}{22.13} (0.065 + 0.045 * S + 0.0065 * S^2) \quad \text{رابطه (۵)}$$

که L طول شیب برحسب متر و S درجه شیب زمین می‌باشد (احمدی، ۱۳۸۸).



شکل ۴: نقشه شیب دشت مرو دشت

^۱ Haan et al

^۲ Spatial Analys

عامل پوشش گیاهی (C)

این عامل، بیانگر نسبت مقدار خاک از بین رفته از زمین زیرکشت، به خاک فرسوده شده از همان قطعه زمین در طی یک آیش مداوم و عاری از پوشش یا بقایای گیاهی می‌باشد (صالحی و همکاران، ۱۳۹۴: ۶۰). در مدل RUSLE عامل پوشش گیاهی معمولاً بر اساس معادله‌های تجربی تعیین می‌شود (ویشمایر و اسمیت، ۱۹۷۸)، که این عامل با توجه به نقشه پوشش گیاهی و کاربری اراضی منطقه تعیین می‌گردد (پورعبدالله و تجرشی، ۱۳۸۴ به نقل از رخبین و همکاران).

جدول ۲: مدیریت پوشش (C)

عامل C	کاربری اراضی / گروه‌های پوششی
۰/۹۹	شهری
۰/۰۲	جنگل‌های تخریب‌شده
۰/۱۱	دشت / مرتع
۰/۱۶	کشاورزی (پراکنده، تنک)
۰	تشکیلات آبی
۰/۹۹	اراضی فاقد پوشش

عامل حفاظت خاک (P)

به‌طور عمده، منظور از کارهای حفاظتی، کشت در روی خطوط تراز، کشت نواری و تراس‌بندی است. دیگر عملیات حفاظتی مانند تناوب‌های زراعی، کود دادن، قراردادن بقایای گیاهی در سطح زمین و غیره، مربوط به عامل مدیریت زراعی (C) می‌باشند (صالحی و همکاران، ۱۳۹۴: ۶۳). چنانچه هیچ کار حفاظتی صورت نگرفته باشد مقدار آن یک در نظر گرفته می‌شود، در بعضی مواقع در صورت نبود اطلاعات کافی در مورد نحوه مدیریت اراضی از معادله حذف می‌شود.

از طرفی، باید نسبت تحویل رسوب SDR برای منطقه موردنظر برای برآورد میزان رسوب انتقالی به خروجی‌های منطقه محاسبه گردد (لیم و همکاران، ۲۰۰۵: ۶۷). در این مطالعه از سه روش بر اساس مساحت USDA 1975، بویس ۱۹۷۵ و وانونی ۱۹۷۵ استفاده شده است (رابطه ۶ و ۷ و ۸).

$$\text{SDR} = 0.5656A^{-0.11} \quad \text{رابطه ۶ (رابطه USDA)}$$

$$\text{SDR} = 0.4724A^{-0.125} \quad \text{رابطه ۷ (رابطه بویس)}$$

$$\text{SDR} = 0.3750A^{-0.2382} \quad \text{رابطه ۸ (رابطه وانونی)}$$

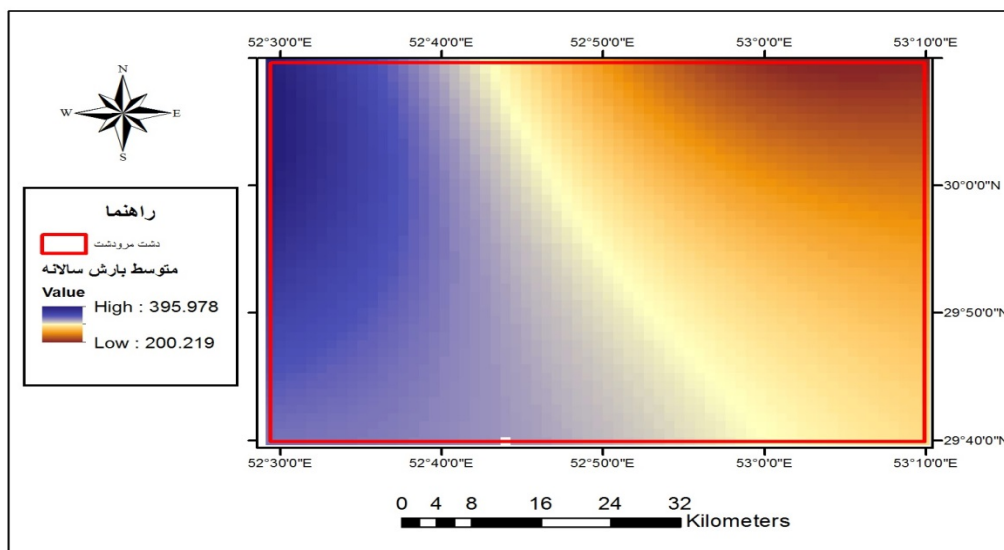
در سه معادله فوق A مساحت حوضه به کیلومتر مربع است.

یافته‌های تحقیق

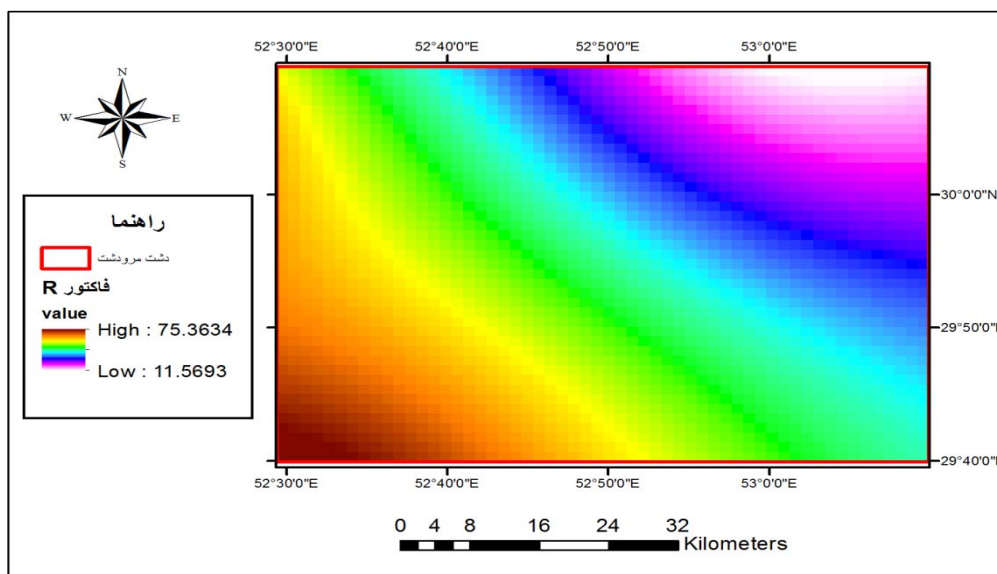
مقدار فرساینده باران با استفاده از شاخص فورنیر (رابطه ۲) و رابطه رنارد و فریموند (رابطه ۳ و ۴) برای ۱۲ ایستگاه مورد مطالعه محاسبه شد. مقادیر محاسبه شده در جدول ۳ نشان داده شده است. نقشه فاکتور R با روش IDW تهیه و در شکل ۵ نشان داده شده است. مطابق نقشه، مقدار این عامل از ۱۱/۵۶۹۳ تا ۷۵/۳۶۳۴ $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{h}^{-1} \text{y}^{-1}$ متغیر است که فرساینده به سمت شمال شرقی منطقه مورد مطالعه روند کاهشی داشته و در قسمت جنوب غربی بیشتر می‌باشد.

جدول ۳: برآورد F و R برای ایستگاه‌های بارندگی

نام ایستگاه	طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	ارتفاع	F	R
شیراز	۵۲ ۳۶	۲۹ ۳۲	۱۴۸۴	۶۰/۵	۸۵/۶۹
آباده	۵۲ ۴	۳۱ ۱۱	۲۰۳۰	۲۱/۱۶	۱/۲
داراب	۵۴ ۱۷	۲۸ ۴۷	۱۰۹۸	۵۲/۵۹	۶/۴۹
فسا	۵۴ ۴۱	۲۸ ۵۸	۱۲۸۸	۵۸/۴۳	۷۹/۶
لامرد	۵۳ ۷	۲۷ ۱۸	۴۱۱	۵۳/۴۳	۶/۷
لار	۵۴ ۱۷	۲۷ ۴۱	۷۹۲	۳۵/۹۶	۳/۲۱
نیریز	۵۴ ۲	۲۹ ۱۲	۱۶۳۲	۴۷/۲	۵/۳
سد درودزن	۵۲ ۲۷	۳۰ ۱۱	۱۶۵۲	۵۸/۴۳	۷۹/۶
زرقان	۵۲ ۴۳	۲۹ ۴۷	۱۵۹۶	۶۰/۶	۸۶
اقلید	۵۲ ۳۸	۳۰ ۵۴	۲۳۰۰	۵۴/۶۹	۷
صفاشهر	۵۳ ۵	۳۰ ۳۵	۲۲۵۱	۲۶/۶	۱/۸
کازرون	۵۱ ۳۹	۲۹ ۳۶	۸۴۰	۵۰/۵۳	۶



شکل ۴: نقشه بارش سالانه دشت مرودشت به روش درون‌یابی IDW



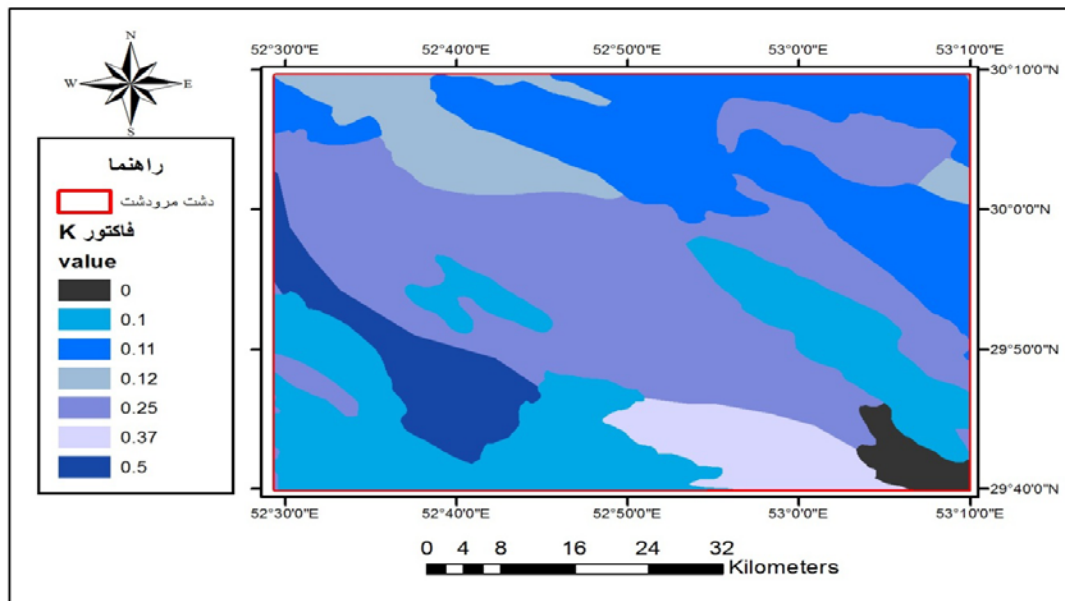
شکل ۵: نقشه عامل R

نتایج حاصل از محاسبه میزان شاخص فرسایش پذیری خاک با استفاده از جدول ۱ ارائه گردیده است. متوسط مقدار K در حوضه مورد مطالعه بین ۰/۱ تا ۰/۵ متغیر است (شکل ۶). رسوبات آبرفتی دوران چهارم که شامل نهشته‌های کواترنر می‌شوند گسترش نسبتاً وسیعی در منطقه دارند که شامل آبرفت‌های دشت، تراس‌ها و چاله‌های انباشتی است. این نهشته‌ها که از فعالیت فرسایشی و کاوشی رودخانه‌ها و عقب‌نشینی آب‌ها در طی کواترنر حاصل شده‌اند در اکثر قسمت‌های دشت گسترش یافته‌اند در حالت کلی این نهشته‌ها دارای بافت سست و نرم بوده و مساحت بیشتری از محدوده مورد مطالعه را در برمی‌گیرند. این رسوبات شامل رس و سیلت و نمک و شن و ماسه می‌باشد که بیشتر در مرکز دشت گسترش دارند.

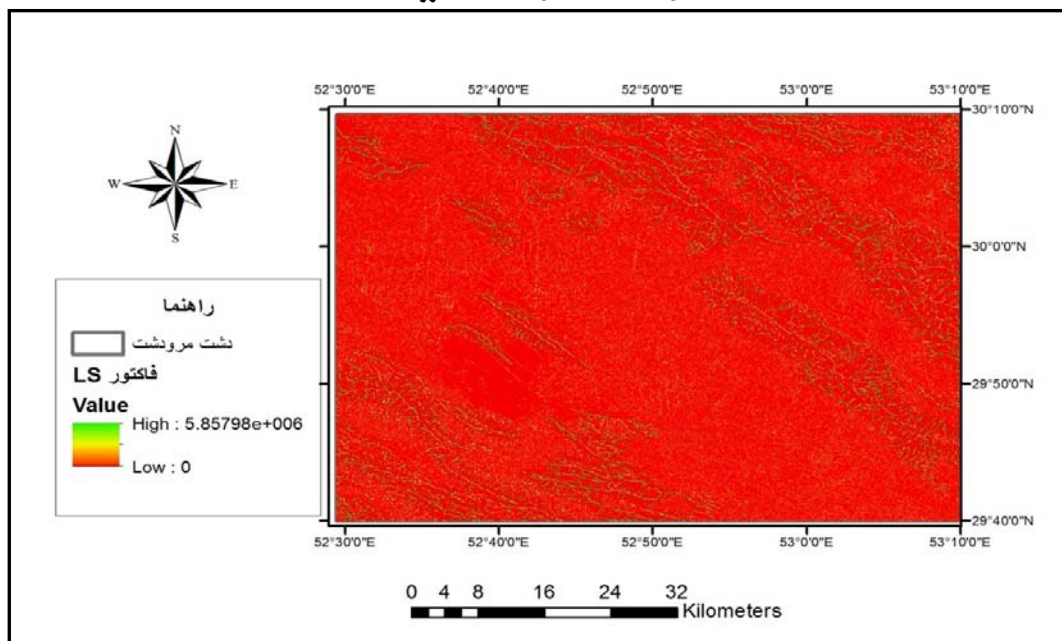
نقشه توپوگرافی منطقه مورد مطالعه به منظور ایجاد نقشه طول شیب و درجه شیب مورد استفاده قرار گرفت. این عامل با استفاده از رابطه (۵) و همچنین، استفاده از نقشه طبقات ارتفاعی (DEM) منطقه مورد نظر، نقشه جهت جریان و پس‌از آن، نقشه جریان تجمعی تهیه شد که مقدار عامل LS بین ۰ تا ۵۱/۵۲۸۱ متغیر است (شکل ۷) که در مناطق با شیب تند و ناهموار مقدار آن بیشتر است.

برای تهیه نقشه عامل C از نقشه کاربری اراضی (شکل ۸) و پوشش گیاهی منطقه استفاده شد. با استفاده از منابع موجود، طبقه‌بندی کاربری اراضی و پوشش گیاهی انجام پذیرفت که مقدار آن برای دشت مروودشت بین ۰/۰۲ تا ۰/۹۹ متغیر است. نقشه عامل C نشان می‌دهد که بیش‌ترین مقدار این پارامتر در مناطق بدون پوشش گیاهی است و کم‌ترین مقدار آن در مناطقی است که پوشش متراکم وجود دارد که با رنگ روشن‌تر مشخص است (شکل ۹).

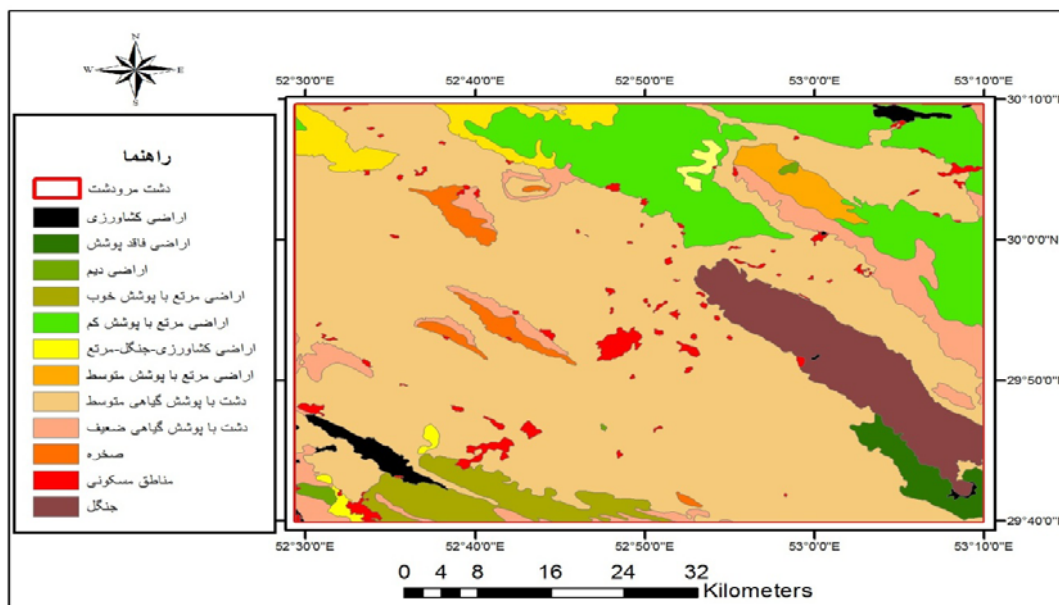
با توجه به عدم انجام اقدامات حفاظتی مشخص در منطقه، مقدار فاکتور P یک در نظر گرفته شده است.



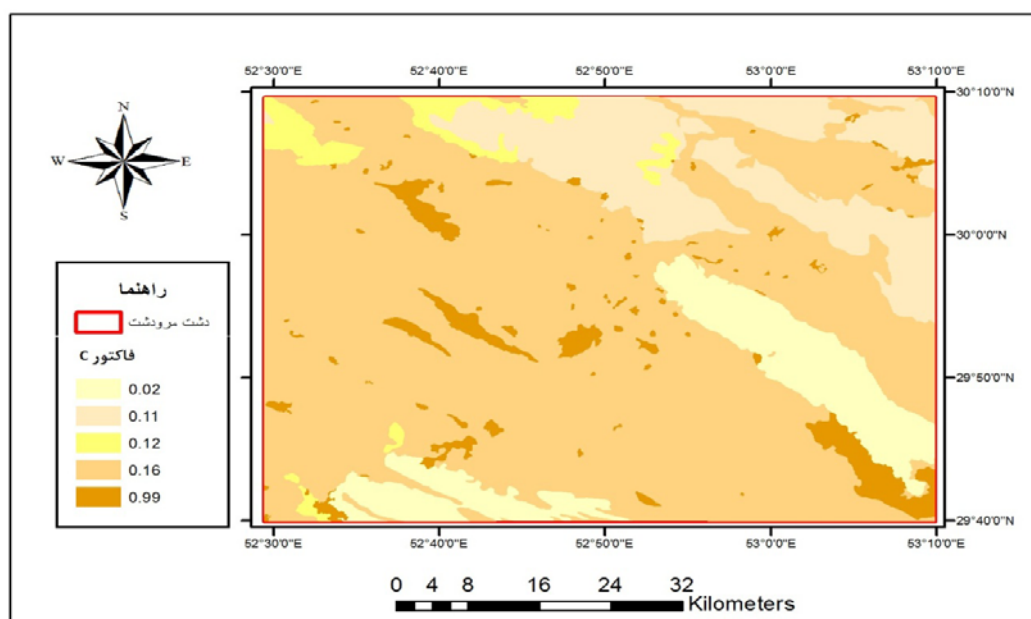
شکل ۶: نقشه عامل K دشت مرودشت



شکل ۷: نقشه عامل LS دشت مرودشت



شکل ۸: نقشه کاربری اراضی دشت مروودشت



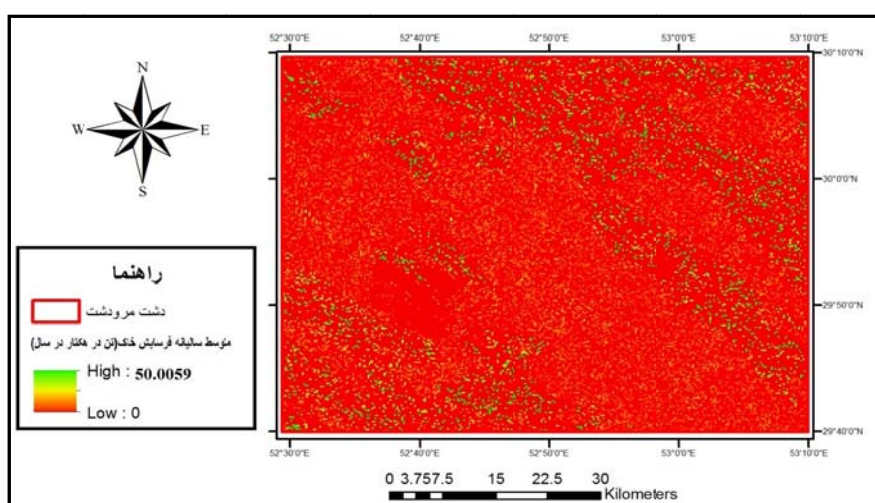
شکل ۹: نقشه عامل C دشت مروودشت

فرسایش متوسط سالانه خاک از طریق حاصل ضرب عامل فرساینده گیاهی باران (R)، عامل فرسایش پذیری خاک (K)، عامل طول شیب (L) و درجه شیب (S)، عامل پوشش گیاهی (C) و عامل حفاظت خاک (P)، با استفاده از رابطه ۱ در اکستشن Raster calculator در محیط نرم افزار Arc GIS 10.2 محاسبه شد. نقشه به دست آمده از این مدل، در شکل ۱۰ نشان داده شده است. مقادیر فرسایش خاک در منطقه مورد مطالعه بین صفر تا ۵۰ تن در هکتار در سال در سطح پیکسل متغیر می باشد. متوسط و انحراف معیار آن به ترتیب ۰/۱۶ و ۰/۶۳ تن در هکتار در سال تعیین شد. مرحله بعد نقشه فرسایش سالانه خاک به ۵ کلاس خطر طبقه بندی شده است (شکل ۱۱). فراوانی هر یک از کلاس های خطر در شکل ۱۲ و مساحت و درصد هر یک از کلاس های خطر در جدول ۵ نشان داده شده است. بیشترین قسمت حوضه مورد مطالعه، جزء طبقه فرسایشی خیلی کم تا کم (۹۸ درصد) قرار داشت که به طور عمده این

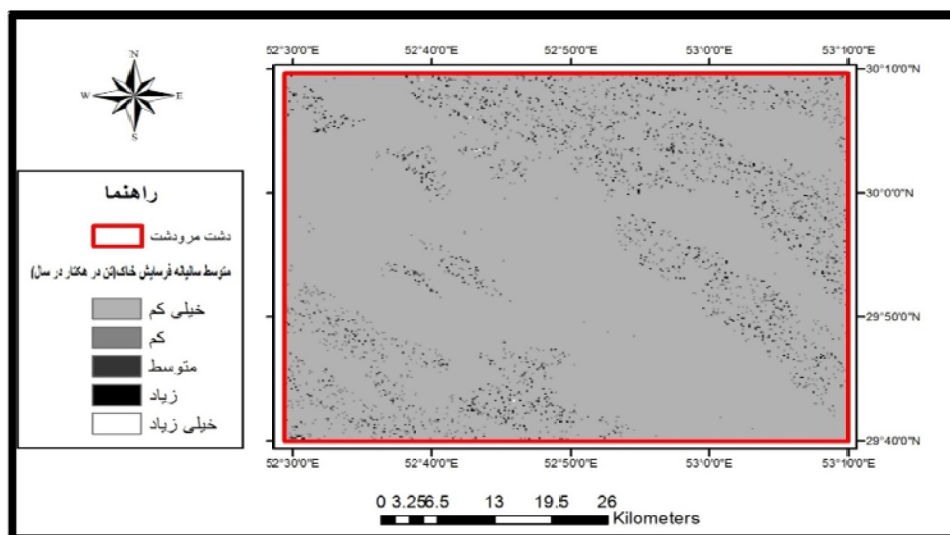
کلاس‌ها در مرکز حوضه واقع شده بودند. حدود ۰.۵ درصد دشت مروذشت نیز تحت خطر فرسایش بالا تا شدید قرار داشت که از این بین، بیش‌ترین مناطق تحت خطر فرسایش بالا تا شدید، در مناطق با شیب زیاد دشت قرار داشتند.

جدول ۴: عامل‌های مدل RUSLE دشت مروذشت

عامل C	عامل LS	عامل K	عامل R	
۰/۰۲	۰	۰/۱	۱۱/۵۶۹۳	حداقل
۰/۹۹	۵۱/۵۲۸۱	۰/۵	۷۵/۳۶۳۴	حداکثر
۰/۱۷۴	۰/۱۰۳	۰/۱۹۷	۴۳/۵۷۱	میانگین



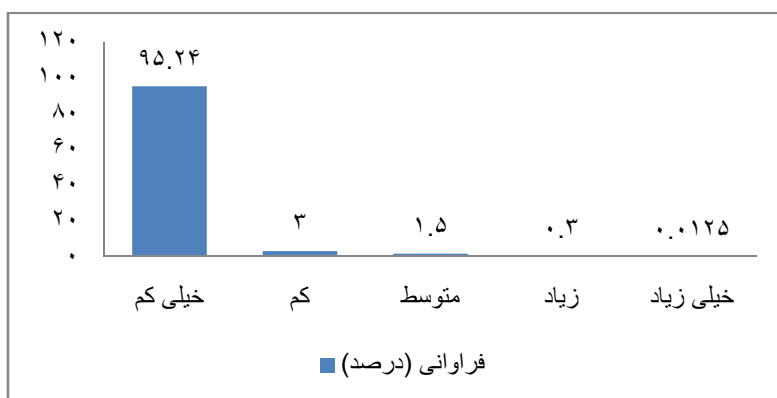
شکل ۱۰: نقشه فرسایش سالیانه خاک دشت مروذشت



شکل ۱۱: نقشه طبقه‌بندی شده فرسایش سالیانه خاک دشت مروذشت

جدول ۵: میزان فرسایش به تفکیک کلاس شیب

کلاس	مساحت (Km ²)	درصد
خیلی کم	۳۴۵۱/۶۴	۹۵/۲۴
کم	۱۰۵/۸۳	۳
متوسط	۵۴/۹۶	۱/۵
بالا	۱۰/۹۷	۰/۳۰
شدید	۰/۴۵	۰/۰۱۲۵



شکل ۱۲: میزان فراوانی کلاس‌های خطر فرسایش

در این پژوهش، میزان نسبت تحویل رسوب بین ۰/۰۵ تا ۰/۲۳ و حداکثر بار رسوب در منطقه مورد مطالعه بین ۲/۵ تا ۱۱/۵ متغیر است (جدول ۶).

جدول ۶: روش‌های نسبت تحویل رسوب و بار رسوب دشت مروذشت

روش‌های نسبت تحویل رسوب	میزان نسبت تحویل رسوب	بار رسوب (تن در هکتار در سال)	رسوب کل (تن در سال)
USDA	۰/۲۳	۱۱/۵	۴۱۴۰۰۰۰
وانونی	۰/۱۷	۸/۵	۳۰۶۰۰۰۰
بویس	۰/۰۵	۲/۵	۹۰۰۰۰۰

نتیجه‌گیری

فرسایش خاک، همواره در طی قرن‌های مختلف، یکی از خطرات جدی و تهدیدکننده‌ی رفاه و آبادی هر جامعه محسوب می‌شده است. در این پژوهش به بررسی فرسایش خاک دشت مروذشت با استفاده از مدل RUSLE در محیط GIS پرداخته شده است. دشت مروذشت دارای توپوگرافی بسیار متغیر است این امر با گستره صفر تا ۵۱/۵ عامل LS مشخص است. بررسی نقشه فاکتور فرساینده‌ی باران در سطح حوضه نشان داد مقدار این عامل از ۱۱/۵۶۹۳ تا ۷۵/۳۶۳۴ MJ mm ha⁻¹ h⁻¹ y⁻¹ متغیر است که فرساینده‌ی به سمت شمال شرقی منطقه مورد مطالعه روند کاهشی داشته و در قسمت جنوب غربی بیشتر می‌باشد. برای تهیه نقشه عامل C از نقشه کاربری اراضی و پوشش گیاهی منطقه استفاده شد. مقادیر این فاکتور از ۰/۰۲ تا ۰/۹۹ متغیر است که بیانگر پوشش گیاهی خوب حوضه می‌باشد. بیشتر خاک‌های منطقه از رسوبات آبرفتی دوران چهارم که شامل نهشته‌های کواترنر می‌شوند تشکیل شده است شامل رس و سیلت و نمک و شن و ماسه می‌باشد که بیشتر در مرکز دشت گسترش دارند.

در نهایت نقشه‌های موردنظر در محیط GIS تهیه و باهم تلفیق شدند. بررسی نقشه خطر فرسایش خاک نشان می‌دهد که میزان خطر فرسایش خاک در سطح حوضه برحسب تن در هکتار در سال از صفر تا ۵۰ متغیر است. مطابق با این نقشه، بیش‌ترین قسمت حوضه مورد مطالعه، جزء طبقه فرسایشی خیلی کم تا کم (۹۸ درصد) قرار داشت که به‌طور عمده این کلاس‌ها در مرکز حوضه واقع شده بودند. حدود ۰.۵ درصد دشت مرودشت نیز تحت خطر فرسایش بالا تا شدید قرار داشت که از این بین، بیش‌ترین مناطق تحت خطر فرسایش بالا تا شدید، در مناطق با شیب زیاد دشت قرار داشتند. نتایج محاسبات روش‌های نسبت تحویل رسوب نشان می‌دهد، میزان نسبت تحویل رسوب بین ۰/۰۵ تا ۰/۲۳ و حداکثر بار رسوب در منطقه مورد مطالعه بین ۲/۵ تا ۱۱/۵ تن در هکتار در سال متغیر است.

منابع

- آرخی، ص، نیازی، ی، ۱۳۸۹، بررسی کاربرد *GIS* و *RS* برای تخمین فرسایش خاک و بار رسوب با استفاده از مدل *RUSLE* (مطالعه موردی: حوضه بالادست سد ایلام)، مجله پژوهش‌های حفاظت آب‌و خاک، جلد هفدهم، شماره دوم، صص ۱-۲۷
- احمدی، ح، ۱۳۸۸، ژئومورفولوژی کاربردی، انتشارات دانشگاه تهران: چاپ ششم.
- خاکسار فرد، م، ۱۳۷۳، تلفات آب و روش‌های کاهش آن. مجله آب و محیط‌زیست، نشریه علمی آب و فاضلاب کشور. جلد ۹. شماره ۳. صص ۳۹-۴۳.
- راستی، ع، ۱۳۸۸، پژوهشی در ژئومورفولوژی دشت مرودشت، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه تبریز، دانشکده جغرافیا
- رحیمی، خ، مزبانی، م، ۱۳۹۲، ارزیابی تغییرات فرسایش حوزه آبخیز سیوند طی سال‌های ۱۹۹۸ تا ۲۰۰۹ با استفاده از مدل *RUSLE* فصلنامه پژوهش‌های فرسایش محیطی، سال سوم، شماره ۹، صص ۱-۱۸
- رخبین، م، نوحه‌گر، ا، کمالی، ع، حبیب‌اللهیان، م، ۱۳۹۳، برآورد میزان فرسایش و تولید رسوب در حوضه آبخیز لاور فین (استان هرمزگان) با استفاده از سنجش‌ازدور (*RS*)، سیستم اطلاعات جغرافیایی (*GIS*)، و مدل تجربی (*RUSLE*)، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، سال ۲۹، شماره سوم، شماره پیاپی ۱۱۴، صص ۸۹-۱۰۴
- رضائی، پ، فریدی، پ، قربانی، م، کاظمی، م، ۱۳۹۳، برآورد فرسایش خاک با استفاده از مدل *RUSLE* و شناسایی مؤثرترین عامل آن در حوضه آبخیز گابریک- جنوب خاوری استان هرمزگان، پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، سال سوم، شماره ۱، صص ۹۷-۱۱۳
- زندی، ج، سلیمانی، ک، حبیب‌نژاد روشن، م، ۱۳۹۲، اولویت‌بندی نواحی کنترل فرسایش خاک با استفاده از تکنیک‌های ارزیابی چند معیاره و *GIS*، جغرافیا و توسعه، شماره ۳۱، صص ۹۳-۱۰۶
- شکوری، ب، ۱۳۷۴، فرسایش خاک و پیامدهای آن در اکوسیستم، مجله آب، خاک و ماشین شماره ۶
- صالحی، م، اسفندیارپور بروجنی، ع، مهاجر، ر، باقری بداغ آبادی، م، ۱۳۹۴، حفاظت آب‌و خاک تکمیلی، چاپ دوم، انتشارات دانشگاه پیام نور
- قضاوتی، ر، ولی، ع، مقامی، ی، عبدی، ژ، شرفی، س، ۱۳۹۱، مقایسه مدل‌های *PSIAC*، *EPM*، *MPSIAC*. در برآورد فرسایش و رسوب با استفاده از *GIS*، جغرافیا و توسعه، 27، صص ۱۱۷-۱۲۶
- کردوانی، پ، ۱۳۸۱، حفاظت خاک، چاپ هفتم، انتشارات دانشگاه تهران
- محمدی، ح، رنجبر، ف، سلطانی، م، ۱۳۹۰، ارزیابی پتانسیل‌های اقلیمی کشت زعفران در شهرستان مرودشت، مجله جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، سال ۲۲، شماره پیاپی ۴۳، شماره ۳، صص ۱۴۳-۱۵۴

- واعظی، ع، بهرامی، ح، صادقی، ح.ر، مهدیان، م. ح، ۱۳۸۹، برآورد عامل فرسایش پذیری K با استفاده از مدل $RUSLE$ در بخشی از خاک‌های ناحیه نیمه‌خشک در شمال غربی ایران، مجله پژوهش‌های حفاظت آب‌و خاک، جلد هفدهم، شماره سوم صص ۱۰۵-۱۳۴
- هوک، ج.ام. ترجمه زمردیان، م، ۱۳۸۵، ژئومورفولوژی در برنامه‌ریزی محیطی، چاپ دوم، انتشارات سمت
- *BENKOBI LAKHDAR, M.J. TRLICA, AND JAMES L. SMITH, 1994, Evaluation of a refined surface cover subfactor for use in RUSLE, J. Range Manage. 47:74-78*
- *Bonilla Carlos A., José L. Reyes, and Antoni Magri, 2010, WATER EROSION PREDICTION USING THE REVISED UNIVERSAL SOIL LOSS EQUATION (RUSLE) IN A GIS FRAMEWORK, CENTRAL CHILE, CHILEAN JOURNAL OF AGRICULTURAL RESEARCH 70(1):159-169*
- *Carvalho Daniel Fonseca, Valdemir Lucio Durigon, Mauro Antonio Homem Antunes, Wilk Sampaio de Almeida and Paulo Tarso Sanches de Oliveira, 2014, Predicting soil erosion using Rusle and NDVI time series from TM Landsat 5, Pesq. agropec. bras., Brasília, v.49, n.3, p.215-224*
- *Farhan Yahya, Dalal Zregat, Ibrahim Farhan, 2013, Spatial Estimation of Soil Erosion Risk Using RUSLE Approach, RS, and GIS Techniques: A Case Study of Kufranja Watershed, Northern Jordan, Journal of Water Resource and Protection, 2013, 5, 1247-1261*
- *Haan, C.T., Barfield, B.J., and Hayes, J.C., 1994, Design hydrology and sedimentology for small catchments. Academic Press, San Diego, 588p.*
- *Hoyos, N, 2005, Spatial modeling of soil erosion potential in a tropical watershed of the Colombian Andes. Catena, 63: 85-108*
- *Hui, Li., Chen Xiaoling, Kyoung Jae Lim & Myung Sagong, 2010, Assessment of Soil Erosion and Sediment Yield in Liao Watershed, Jiangxi Province, China, Using USLE, GIS, and RS. Journal of Earth Science. vol 21. No 6. PP 941-95*
- *Lim Jae Kyoung., Myung Sagong, Bernard Engel, Zhenxu Tang, Joongdae Choi & Ki-Sung Kim, 2005, GIS-based Sediment assessment tool. Sciencedirect. Catena. volume 64. PP 61-80*
- *Marker, M, 2006, Assessment of land degradation susceptibility by scenario analysis: a case study in Southern Tuscany, Italy, Geomorphology, Vol. 93, PP. 120-129.*
- *Morgan & Nearing et al, 2011, The future role of information technology in erosion modeling- Hand Book of Erosion Modeling.*
- *Renard, K.G., Foster, G.R., Weesies, G.A., and Porter, J.P, 1991, RUSLE: revised universal soil loss equation. soil loss equation. J. Soil and Water Conservation, 46: 1 . 30-33.*
- *Renard, K.G. and Freidmund, J.R, 1994, Using monthly precipitation data to estimate the R-factor in the RUSLE, J. Hydro. 157: 287-306*
- *Tiwari. A.K, Riss. L.M, Nearing. M.A, 2000, Evaluation of WEPP and its comparison with USLE and RUSLE, American society of Agriculture Engineers, vol.43(5):1129-1135*
- *Wang, G., Gertner, G., Fang, S., & Anderson, AB, 2003, Mapping multiple variables for predicting soil loss by geostatistical methods with TM images and a slope map. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol. 69, PP. 889-898.*