

مجله مخاطرات محیط طبیعی، دوره هشتم، شماره بیستم، تابستان ۱۳۹۸

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۶/۰۶/۲۹

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۷/۰۳/۲۷

صفحات: ۲۱ - ۳۸

برآورد فرسایش خاک با استفاده از مدل RUSLE و شناسایی مؤثرترین عامل آن در حوضه آبخیز دهکهان (جنوب کرمان)

کرامت نژاد افزلی^{۱*}، محمدرضا شاهرخی^۲، فاطمه بیاتانی^۳

چکیده

خاک یکی از مهم‌ترین عوامل تولید است که در زندگی اقتصادی و اجتماعی انسان تأثیر بسیار دارد. سطح زمین عموماً به‌وسیله خاک و دیگر نهشته‌های سطحی پوشیده شده است. فرسایش خاک یکی از مهم‌ترین مسائل و مشکلاتی است که امروزه با آن مواجه هستیم. بهره‌برداری‌های روزافزون و عدم مدیریت صحیح انسان بر محیط طبیعی تأثیر زیادی بر تشدید روند تخریب و فرسایش خاک دارد. در این تحقیق تحلیل پارامترهای مؤثر فرسایش و تولید رسوب در حوضه آبخیز دهکهان با مساحت ۹۹۲۳/۲ هکتار در جنوب استان کرمان با استفاده از مدل تجدیدنظر شده جهانی فرسایش خاک (RUSLE) مورد مطالعه قرار گرفت. داده‌ها و ابزارهای به‌کاررفته در تحقیق شامل داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی، مدل رقومی ارتفاع (DEM)، تصاویر ماهواره‌ای لندست ۲۰۱۵، سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) و سنجش‌ازدور (RS) می‌باشد. با بررسی عوامل مؤثر در این مدل، که شامل فاکتور فرسایش‌پذیری باران، فاکتور فرسایش‌پذیری خاک، فاکتور توپوگرافی و پوشش گیاهی می‌باشد، هدف از تحقیق حاضر برآورد میزان فرسایش سالانه خاک در منطقه مورد مطالعه می‌باشد. بر این اساس میزان فرسایش سالانه خاک در کل محدوده مطالعاتی از ۵۰ تن در هکتار در سال برآورد شده است. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد بیشترین تأثیر را در برآورد فرسایش سالانه خاک توسط مدل RUSLE، فاکتور توپوگرافی با بالاترین مقدار ضریب تبیین ۰/۹۶، داشته است. این تحقیق، مؤثر بودن فناوری‌های نوین سیستم اطلاعات جغرافیایی و سنجش‌ازدور را برای تخمین کمی مقادیر فرسایش خاک تأیید می‌کند.

واژگان کلیدی: فرسایش خاک، RUSLE، توپوگرافی، فرسایش‌پذیری، سیستم اطلاعات جغرافیایی، جنوب کرمان.

۱-استادیار گروه جغرافیا، دانشگاه جیرفت (نویسنده مسئول)

۲-مهندسی منابع آب، دانشگاه آزاد اسلامی کرمان

۳-دانشجوی دکتری اقلیم‌شناسی کشاورزی، دانشگاه حکیم سبزواری

k.nezhadafzali@ujiroft.ac.ir

Mahdishahrkhi@gmail.com

Fatembayatani@yahoo.com

مقدمه

امروزه پدیده‌ی فرسایش (اعم از آبی و بادی) به‌عنوان یکی از اصلی‌ترین فرآیندهای تخریب اراضی در مناطق مختلف دنیا از جمله ایران به شمار می‌آید (احمدی، ۱۳۸۷). فرسایش به فرآیندی گفته می‌شود که طی آن ذرات خاک از بستر اصلی جدا شده و به کمک یک عامل انتقال‌دهنده به مکانی دیگر حمل می‌شود (رفاهی، ۱۳۷۵). فرسایش خاک تأثیرات محیطی و ضررهای اقتصادی بسیار زیادی بر محصولات کشاورزی و ظرفیت مخازن سدها می‌گذارد و این موضوع مستقیم و غیرمستقیم بر کیفیت و آلودگی آب اثر می‌گذارد (پیمنتال و همکاران، ۱۹۹۵، پارک و همکاران، ۲۰۱۱). فرسایش خاک و پیامدهای ناشی از آن با تشدید بهره‌برداری انسان از طبیعت از اوایل قرن بیستم، اثرات منفی خود را بر اکوسیستم حیاتی وارد ساخته است. اثرات منفی ناشی از دخالت بشر نه‌تنها در محل وقوع خود، در حوضه‌ها و اراضی زراعی به‌صورت کاهش توان تولیدی و تخریب خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک بروز می‌کند بلکه در محل خارج از وقوع آن نیز به‌صورت انباشت بر روی اراضی مرغوب کشاورزی، مراتع، منابع ذخیره آب و کانال‌های آبیاری بیش از هر زمان دیگر مشهود است (ویشمایر^۱، ۱۹۹۴). اطلاعات در مورد حمل و انتقال رسوب و مواد مغذی از حوضه و فرآیندهای فرسایش‌دهنده آن از جمله ضروریاتی می‌باشد که جهت مدیریت آبخیز نیاز است (پیمنتال و همکاران، ۱۹۹۵). برنامه توسعه سازمان ملل (UNEP) فرسایش خاک در ایران را در حال حاضر نزدیک به ۲۰ تن در هکتار تخمین زده است که نسبت به ۱۰ سال گذشته ۱۰ تن در هکتار افزایش یافته است. مدل‌های زیادی جهت برآورد فرسایش خاک و توسعه طرح‌های مدیریتی فرسایش خاک ارائه شده‌اند که از مهم‌ترین این مدل‌ها می‌توان به معادله جهانی فرسایش خاک (USLE)، پروژه پیش‌بینی فرسایش آبی (WEPP)، ابزار ارزیابی خاک و آب (SWAT) و مدل اروپایی فرسایش خاک (EUROSEM) اشاره نمود (یو و روسول^۲، ۱۹۹۶؛ فلانگان و نارینگ^۳، ۱۹۹۵؛ آرنولد^۴ و همکاران، ۱۹۹۸؛ مورگان^۵ و همکاران، ۱۹۹۸). در طی ۴۰ سال اخیر، مدل USLE به دلیل داشتن محاسبات ساده، پرکاربردترین روش تخمین پتانسیل فرسایش خاک و برآورد تأثیرات عملیاتی مدیریتی مختلف بر آن بوده است و به دنبال آن، نسخه جدید مدل USLE بانام معادله جهانی تجدیدنظر شده هدر رفت خاک (RUSLE) توسعه یافته که برآوردهای دقیق‌تری از فاکتورهای R، K، C، P، L و فرسایش خاک انجام می‌دهد (رنارد^۶ و همکاران، ۱۹۹۱؛ وان رمورتال^۷ و همکاران، ۲۰۰۴). این مدل برای ارزیابی فرسایش خاک در حوزه‌های وسیع و کاربری‌های مختلف، از قبیل جنگل‌ها، مراتع و دیگر نواحی به‌کار می‌رود (ترانووا^۸ و همکاران، ۲۰۰۹). محققان زیادی با تلفیق

1- Wischmeier

2- Yu & Rosewell

3- Flanagan & Nearing

4- Arnold

5- Morgan

6- Renard

7- Van Remortel

8- Terranova

مدل‌های ارزیابی فرسایش و رسوب، GIS و RS به ارزیابی و پهنه‌بندی خطر فرسایش خاک پرداخته‌اند. وانگ^۱ و همکاران (۲۰۰۶) جهت تخمین فرسایش از داده‌های زمینی، تصاویر ماهواره‌ای لندست و مدل رقومی ارتفاع استفاده نموده‌اند. بر اساس یافته‌های این محققان این روش‌ها به‌طور قابل‌توجهی نتایج بهتری نسبت به روش‌های سنتی دارند. هویوس^۲ (۲۰۰۵) مدل‌سازی مکانی پتانسیل فرسایش خاک در حوزه‌های آبخیز واقع در کشور کلمبیا را با استفاده از مدل RUSLE به‌صورت کمی و کیفی انجام داد. نتایج وی نشان داد که همبستگی بین میزان فرسایش خاک و مقدار پوشش گیاهی بیشتر از ارتباط آن با عوامل دیگر مانند پستی‌وبلندی و فرساینده‌ی باران می‌باشد. دمیرسی و کارابرون^۳ (۲۰۱۲) فرسایش خاک حوزه آبخیز دریاچه بویوچک‌مس^۴ در شمال غرب ترکیه را با استفاده از مدل RUSLE برآورد کردند، بر اساس نتایج به‌دست‌آمده بیان کردند که نزدیک به ۵۰ درصد حوزه آبخیز نیاز به اقدامات حفاظتی جهت کاهش خطر فرسایش خاک دارد. گاناسری و رامش^۵ (۲۰۱۵) فرسایش خاک حوضه نرزاوازی^۶ هند را با استفاده از مدل RUSLE به‌دست‌آمده آوردند، بر اساس نتایج آن‌ها مقدار فرسایش سالانه خاک ۴۷۳/۳۳۹ تن در سال برآورد شد که به مقدار رسوب اندازه‌گیری شده (۴۴۱/۸۷۰ تن در سال) نزدیک می‌باشد. آرخی و همکاران (۱۳۸۹) در تحقیقی به‌منظور تخمین فرسایش خاک و بار رسوب در حوزه آبخیز بالادست سد ایلام با استفاده از مدل RUSLE انجام دادند، بر اساس نتایج به‌دست‌آمده میانگین بار رسوب سالانه در حوضه مورد مطالعه ۱۴/۷۵ تن در سال در هکتار برآورد شد که نزدیک به مقدار به‌دست‌آمده از ایستگاه رسوب سنجی سد ایلام (۱۶/۵۸ تن در هکتار در سال) بود. همچنین بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، فاکتور LS با ضریب همبستگی ۰/۷۷ بیشترین تأثیر را در برآورد فرسایش سالانه خاک توسط مدل RUSLE داشته است. رضایی و همکاران (۱۳۹۳) فرسایش خاک حوزه آبخیز گابریک جنوب خاوری استان هرمزگان را با استفاده از مدل RUSLE و فن‌آوری‌های GIS و RS برآورد نمودند، نتایج این تحقیق مؤثر بودن فناوری‌های نوین GIS و RS را برای تخمین مقادیر کمی فرسایش خاک تأیید می‌کند. بنابراین هدف این پژوهش برآورد میزان فرسایش خاک جنوب استان کرمان از طریق تلفیق مدل RUSLE، سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) و همچنین شناسایی مهم‌ترین فاکتور این مدل در هدر رفت خاک می‌باشد.

داده‌ها و روش‌ها

معرفی موقعیت منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه از نظر موقعیت جغرافیایی در محدوده طول شرقی ۴۲°، ۲۹°، ۵۷° تا ۲۲°، ۳۷°، ۵۷° و عرض شمالی ۰۳°، ۳۹°، ۲۷° تا ۰۹°، ۴۶°، ۲۷° واقع شده است. محدوده مطالعاتی از لحاظ تقسیمات کشوری در استان کرمان،

1-Wang

2-Hoyos

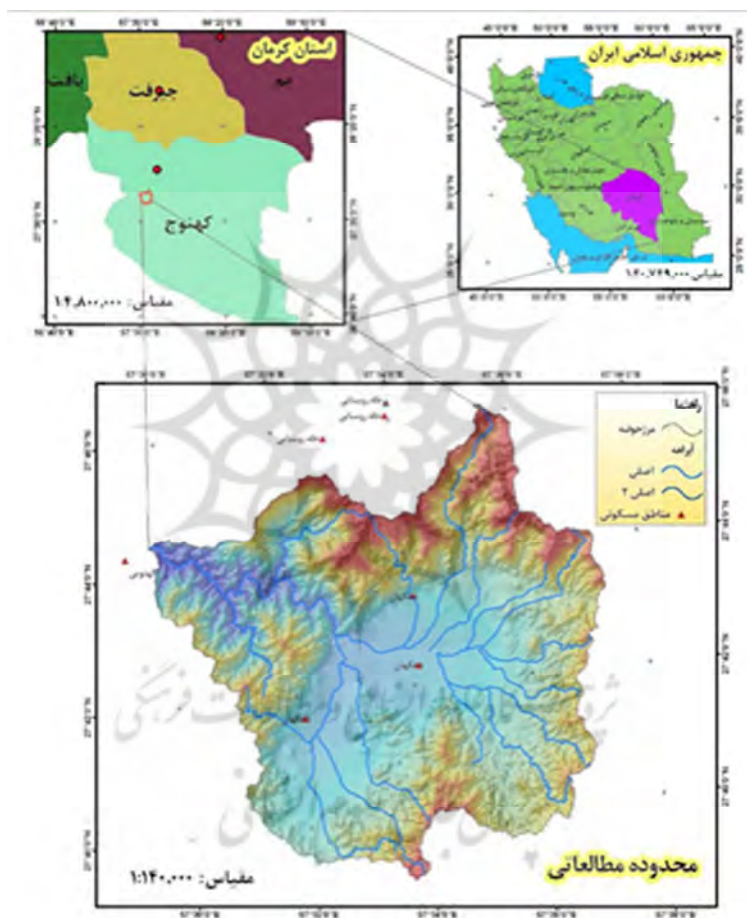
3-Demirci & Karaburun

4-Buyukcekmece

5-Ganasri & Ramesh

6-Nethravathi

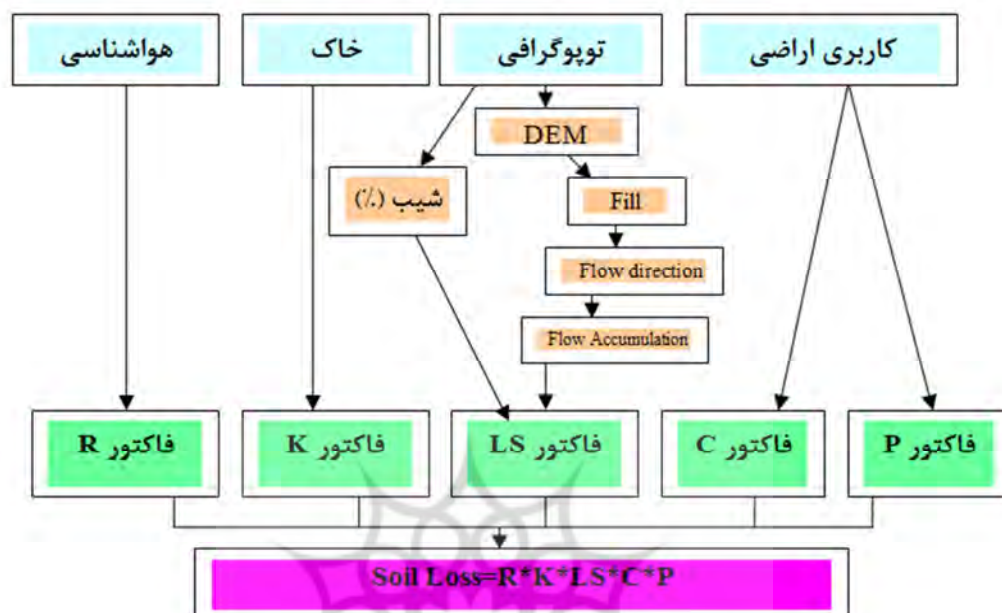
شهرستان منوجان، واقع شده است شکل (۱). این حوضه از سرشاخه‌های رودخانه رودان است که ارتفاعات مشرف به دره کندرکان واقع در قسمت شرقی حوضه و دره دهکهان واقع در بخش مرکزی و غربی، جزء محدوده آن می‌باشد. وسعت حوزه آبخیز دهکهان برابر $۹۹۲۳/۲$ هکتار ($۹۹/۲۳۲$ کیلومترمربع) می‌باشد. حداکثر و حداقل ارتفاع این حوضه به ترتیب ۱۳۰۵ و ۶۱۶ متر از سطح دریا با اختلاف ۶۸۹ متر است. میانگین بارندگی سالانه آن ۲۵۰ حدود میلی‌متر می‌باشد.



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

روش تحقیق

در این تحقیق فاکتورهای مؤثر با استفاده از نقشه‌های توپوگرافی، داده‌های اقلیمی، خاک، کاربری و عملیات صحرایی به دست آمد. سپس با استفاده از نرم‌افزار ARCGIS و ARCHYDRO نقشه‌ها و تحلیل‌های مرتبط با آن‌ها تهیه گردید. در نمودار شماره (۱) مراحل اجرای مدل فرسایشی به‌کاررفته در این تحقیق نشان داده شده است.



نمودار شماره ۱: مراحل اجرای مدل RUSLE

برای برآورد فرسایش خاک در حوضه‌ی مورد مطالعه از مدل تجدیدنظر شده جهانی فرسایش خاک RUSLE برای برآورد فرسایش سالانه خاک استفاده شده است. این مدل تابعی از ۵ فاکتور ورودی شامل فرساینده‌ی باران (R)، فرسایش‌پذیری خاک (K)، توپوگرافی (LS)، پوشش گیاهی (C) و عملیات حفاظتی (P) است. حساسیت خاک به فرسایش تابعی از خصوصیات خاک است و تغییر خصوصیات خاک با کاربری اراضی و توپوگرافی در ارتباط است (پرادهان^۱ و همکاران، ۲۰۱۲). فرسایش خاک در منطقه مورد مطالعه بر اساس مدل RUSLE با استفاده از رابطه ۱ در محیط ArcGIS ۱۰ محاسبه شد.

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

در این رابطه A میانگین فرسایش خاک در واحد سطح (تن در هکتار در سال)، R فاکتور فرساینده‌ی باران (MJ mm) $ha^{-1}y^{-1}h^{-1}$ ، K فاکتور فرسایش‌پذیری خاک (t ha h ha⁻¹ MJ⁻¹ mm⁻¹)، LS فاکتور توپوگرافی، C فاکتور پوشش گیاهی، P فاکتور عملیات حفاظتی می‌باشد.

عامل فرساینده‌گی باران (R)

مفهوم عبارت فرساینده‌گی باران توسط ویشمایر و اسمیت به منظور لحاظ تأثیر اقلیم بر فرسایش خاک ارائه شد. پتانسیل باران در ایجاد فرسایش، فرساینده‌گی باران خوانده می‌شود که تابعی از خصوصیات فیزیکی بارندگی است و با انرژی مستقیم باران، انرژی جنبشی بارندگی و حداکثر شدت بارندگی ۳۰ دقیقه‌ای در ارتباط است (ویشمایر و اسمیت^۱، ۱۹۷۸). در منطقه مورد مطالعه ایستگاه‌های مجهز به باران‌نگار به اندازه کافی وجود ندارد، در صورت عدم وجود چنین ایستگاه‌هایی، معمولاً از شاخص‌های مبتنی بر مقادیر بارش‌های سالانه و ماهانه مثل شاخص فورنیه در مدل‌های USLE و RUSLE استفاده می‌شود (فرو^۲ و همکاران، ۱۹۹۱؛ رنارد و فریموند^۳، ۱۹۹۴؛ یو و روسول، ۱۹۹۶). بنابراین شاخص اصلاح‌شده فورنیه بر اساس رابطه ۲ برای تمامی ایستگاه‌ها محاسبه، سپس با جاگذاری این شاخص در رابطه ۳ و ۴ که برای مناطق فاقد داده‌های تفصیلی شدت بارندگی پیشنهاد شده است (رنارد و فریموند، ۱۹۹۴)؛ مقدار فاکتور R برای ایستگاه‌های هواشناسی (شکل ۲) برآورد گردید. ابتدا انتخاب ایستگاه‌های مناسب از نظر طول دوره آماری، انتخاب پایه زمانی مشترک، کنترل کیفی، همگن‌سازی و رفع نواقص قبل از محاسبه شاخص مبتنی بر مقدار بارندگی در ایستگاه‌های باران‌سنجی انجام شد. برای انجام این تحقیق، داده‌های بارش از دوره آماری ۱۰ ساله ایستگاه باران‌سنجی موجود در داخل و اطراف حوضه کسب شد

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

در این رابطه، P_i متوسط بارندگی (میلی‌متر) در ماه i و P متوسط بارندگی سالانه (میلی‌متر) است

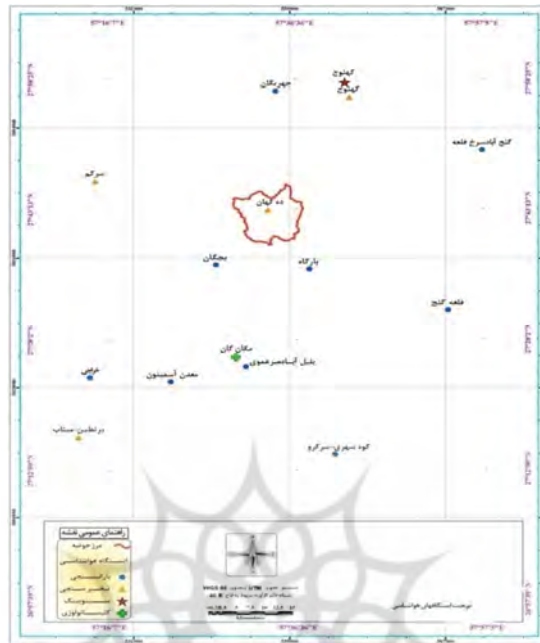
$$R = 0.07397 \times MFI^{1.847} \quad MFI < 55mm \quad \text{رابطه (۳)}$$

$$R = (95.77 - 6.081 \times F + 0.4770 \times MFI^2) / 1 \quad MFI \geq 55mm \quad \text{رابطه (۴)}$$

1- Wischmeier & Smith

2-Ferro

3-Renard & Freimund



شکل ۲: موقعیت ایستگاه‌های اطراف حوضه مورد مطالعه

فاکتور فرسایش‌پذیری خاک (K)

فرسایش‌پذیری خاک بیان‌گر 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 (ویه^۱، ۲۰۰۲). فرسایش ناشی از ضربه قطرات باران به سطح خاک یا پاشمان خاک با شدت بارندگی و انرژی جنبشی آن رابطه مستقیم و با میزان رس موجود در خاک رابطه معکوس دارد (رفاهی، ۲۰۰۸). در این بخش از اطلاعات ۱۵ نمونه خاک برداشت‌شده از عمق صفر تا ۳۰ سانتی‌متری از واحدهای همگن (رخساره‌های ژئومورفولوژی) استفاده شد. اقدامات آزمایشگاهی شامل تعیین درصد رس سیلت و مقدار شن به روش الک صورت گرفت. سپس بر اساس مقادیر به دست آمده میزان فاکتور فرسایش‌پذیری خاک (K) با توجه به بافت خاک و با استفاده از رابطه ۵ و ۶ محاسبه شد (رنارد و همکاران، ۱۹۹۷).

$$K = 7.594 \left\{ 0.0034 + 0.0405 \exp - \left[\frac{1}{2} \left(\frac{\log D_g + 1.659}{0.7101} \right) \right]^2 \right\} \quad \text{رابطه (۵)}$$

$$D_g = \exp(0.01 \sum f_i \text{Ln} m_i) \quad \text{رابطه (۶)}$$

که در این رابطه D_g میانگین هندسی قطر ذرات خاک برحسب میلی‌متر می‌باشد f_i اندازه ذرات به درصد، m_i میانگین حسابی اندازه ذرات به میلی‌متر می‌باشد (شیرازی و بورسما^۱، ۱۹۸۴).

فاکتور توپوگرافی (LS)

یکی از فاکتورهای مؤثر در معادله جهانی تجدیدنظر شده خاک طول و تندی شیب می‌باشد. اثر طول و تندی شیب به‌عنوان فاکتور توپوگرافی (LS)، اثر میزان سرعت و پتانسیل فرساینده‌گی رواناب را نمایش می‌دهد. اگر شیب افزایش پیدا کند، انرژی رواناب ثابت باقی می‌ماند، اما به نسبت شتاب حمل، انرژی جنبشی رواناب افزایش پیدا می‌کند و هنگامی که شیب از ۱۵ درصد تجاوز کند انرژی جنبشی مهم‌تر از بارش است (روس^۲، ۱۹۹۶). فاکتور درصد شیب تابعی از درجه شیب و منعکس‌کننده اثر درجه شیب بر مقدار فرسایش است. فاکتور طول شیب نیز تابعی از طول شیب اندازه‌گیری شده برحسب متر است. حاصل ضرب دو فاکتور یاد شده، به‌عنوان فاکتور توپوگرافی (LS) شناخته می‌شود (ایوبی و همکاران، ۱۳۸۶). برای تهیه نقشه فاکتور توپوگرافی از مدل رقومی ارتفاع (DEM^۳) ۳۰ متری منطقه استفاده شد (شکل ۳). فاکتور توپوگرافی نیازمند نقشه‌های تجمع جریان و شیب است (فوستر و ویشمایر^۴، ۱۹۷۴). این نقشه‌ها از مدل رقومی ارتفاع منطقه بر اساس و به کمک تابع Spatial Analyses و افزونه Hydro tools به GIS استخراج و در نهایت با استفاده از رابطه ۷ فاکتور توپوگرافی به‌دست آمد (مور و بورچ^۵، ۱۹۸۶).

$$LS = \left[(\text{Flow Accumulation grid}) \times \frac{\text{Cell Size}}{22.13} \right]^{0.4} \times \left[\frac{\sin(\text{Slope grid} \times 0.01745)}{0.0896} \right]^{1.3} \quad (\text{رابطه } 7)$$

که در آن Flow Accumulation تجمع جریان به سمت بالای شیب برای هر سلول، Cell size اندازه سلول‌های شبکه (در این مطالعه ۳۰ متر) و slope شیب، به‌دست آمده از نقشه شیب می‌باشد. از عدد ۰/۰۱۷۴۵ برای تبدیل واحد به رادیان در محیط GIS استفاده می‌گردد.

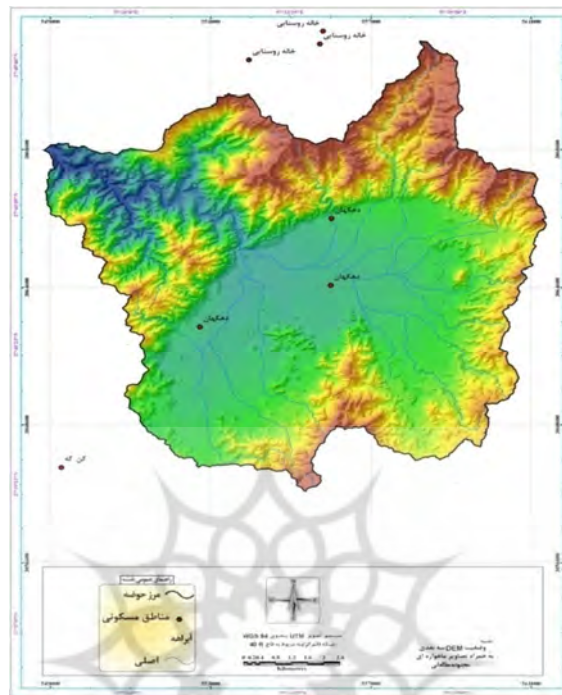
1-Shirazi & Boersma

2-Roose

3-Digital Elevation Model

4-Foster & Wischmeier

5-Moore & Burch



شکل ۳: نقشه DEM سه بعدی محدوده مطالعاتی

فاکتور پوشش گیاهی (C)

این فاکتور، بیانگر نسبت مقدار خاک از بین رفته از زمین زیر کشت، به خاک فرسوده شده از همان قطعه زمین در طی آیش مداوم و عاری از پوشش یا بقایای گیاهی می‌باشد. پرکاربردترین معیار رویش گیاه، شاخص تفاضل پوشش گیاهی نرمال شده است که با استفاده از فناوری RS به دست می‌آید. برای تهیه نقشه فاکتور پوشش گیاهی از شاخص تفاضل پوشش گیاهی نرمال شده (NDVI¹) استخراج شده از تصویر سنجنده ETMI مربوط به تاریخ به تاریخ ۱۰ تیرماه ۱۳۹۵ با شماره ردیف و گذر به ترتیب ۱۲۰ و ۲۹ استفاده شد. شاخص NDVI بر اساس رابطه ۸ در محیط ERDAS IMAGINE 2014 محاسبه شد.

$$NDVI = \frac{NIR-RED}{NIR+RED} \quad \text{رابطه (۸)}$$

در این رابطه RED مقدار بازتاب در محدوده باند قرمز و NIR مقدار بازتاب در باند مادون قرمز نزدیک است. مقدار این شاخص بین -۱ و +۱ تغییر می‌کند. مقدار این شاخص برای پوشش گیاهی متراکم به سمت +۱ میل می‌کند و برای آب، ابرها و برف مقدار آن منفی است. افزایش شادابی گیاهان و فتوسنتز در گیاهان موجب افزایش بازتاب

1-Normalized Difference Vegetation Index

مادون قرمز نزدیک می‌شود که این امر افزایش مقدار شاخص NDVI را به دنبال دارد (ثنایی نژاد و همکاران، ۲۰۰۸). مناطق فاقد پوشش گیاهی یا با پوشش گیاهی کم (مثل خاک‌های لخت، حومه شهرها)، همانند فعالیت غیر فتوسنتزی گیاهی (گیاهان دچار تنش یا مسن)، مقدار صفر یا منفی را نشان می‌دهند (نوحه‌گر و کاظمی، ۱۳۹۲). فاکتور پوشش گیاهی با استفاده از شاخص NDVI و رابطه ۹ محاسبه شد.

$$C = \exp(-2 \times NDVI / (1 - NDVI)) \quad \text{رابطه (۹)}$$

فاکتور حفاظت خاک (P)

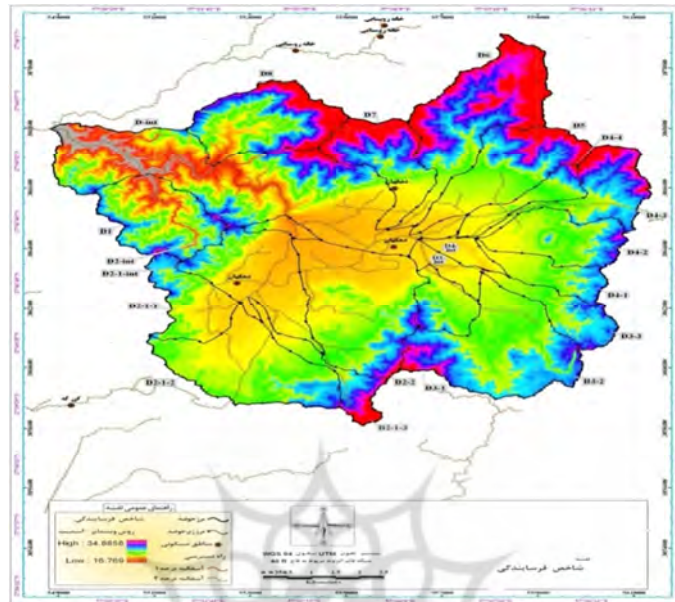
فاکتور عملیات حفاظتی خاک را به‌عنوان مقدار خاک از بین رفته در واحد سطح یک زمین حفاظت‌شده، به زمینی که لخت باشد و در جهت تندترین شیب شخم‌خورده باشد، تعریف نمودند. به‌طور عمده منظور از کارهای حفاظتی کشت در روی خطوط تراز، کشت نواری و ترانس‌بندی است. هر چه مقدار این فاکتور کمتر باشد کارهای حفاظتی مؤثرتر و هدر رفت خاک کمتر است (ویشمایر و اسمیت، ۱۹۷۸). به دلیل اینکه هیچ‌گونه اقدام حفاظتی در منطقه مطالعاتی صورت نگرفته است مقدار این فاکتور برای کل منطقه ۱ در نظر گرفته شد. در اینجا منظور از اقدامات حفاظتی بیشتر اقدامات سازه‌ای و روش‌های مناسب کشت و کار از جمله بر روی خطوط تراز، کشت نواری و ترانس‌بندی و ... است. البته عملیات حفاظتی دیگر مانند تناوب‌های حاوی علوفه، کود دادن، قرار دادن بقایای نباتی در سطح زمین و غیره مربوط به عامل مدیریت زراعی (C) می‌باشند.

نتایج و بحث

مشخصات ایستگاه‌های بارندگی و نتایج حاصل از محاسبه میزان شاخص فرساینده‌گی باران در ایستگاه‌های مورد مطالعه با استفاده از شاخص اصلاح‌شده فورنیه (رابطه ۲) و رابطه رنارد و فریموند (رابطه ۳) در جدول ۱ ارائه شده است. نقشه فاکتور R در شکل ۵ آورده شده است. مطابق این شکل، مقدار فاکتور R از ۱۶ تا $34 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ h}^{-1}$ γ^{-1} متغیر است که نمایانگر تغییرات کم این فاکتور در منطقه مورد مطالعه می‌باشد.

جدول ۱: برآورد MIF و R برای ایستگاه‌های هواشناسی

R	MIF	ارتفاع	نوع ایستگاه	Y	X	نام ایستگاه
۱۴/۱	۲۳/۶	۵۵۹	سینوپتیک	۵۷۴۲۱۳	۲۷۵۶/۱	کهنوج
۱۱/۲	۱۰/۱۲	۸۰۰	باران‌سنجی	۵۷۳۳۱۲	۲۷۴۳/۴	دهکهان
۱۰	۲۰/۹۸	۴۲۳	باران‌سنجی	۵۷۵۷۹۴۳	۲۷۴۳/۹	سرخ قلعه
۱۱/۶۴	۲۳/۲	۶۳۱	باران‌سنجی	۵۷۳۳۱۲	۲۷۴۳/۱	بارگاه
۱۰/۲	۲۰/۱۳	۴۲۱	باران‌سنجی	۵۷۵۸۰۴۳	۲۷۴۳/۸	قلعه گنج
۱۸/۴۰	۲۹/۹۴	۱۴۱	باران‌سنجی	۵۷۱۲۶/۸	۲۷۱۶/۴	میناب

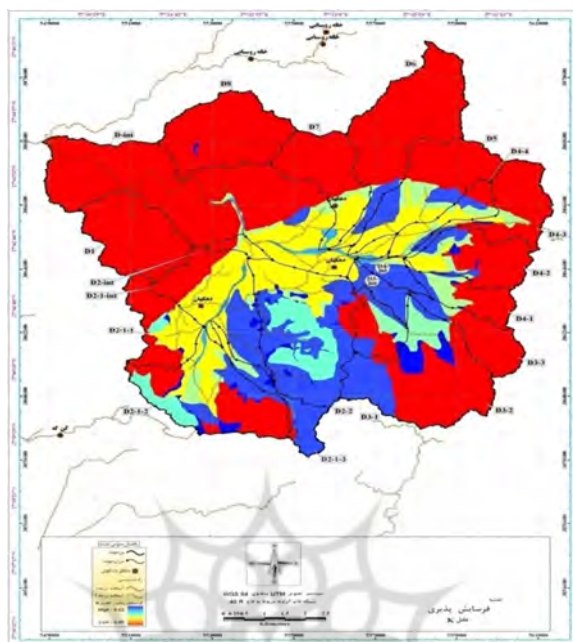


شکل ۵: نقشه فاکتور فرسایش باران (R)

نتایج حاصل از محاسبه میزان شاخص فرسایش پذیری برای نمونه‌های خاک با استفاده از رابطه ۵ و ۶ در جدول ۲ ارائه شده است. بر اساس شکل ۶ مقدار شاخص فرسایش پذیری خاک در منطقه مورد مطالعه از ۰/۵ تا ۰/۶۵ MG $ha h^{-1} MJ^{-1} mm^{-1}$ متغیر می‌باشد.

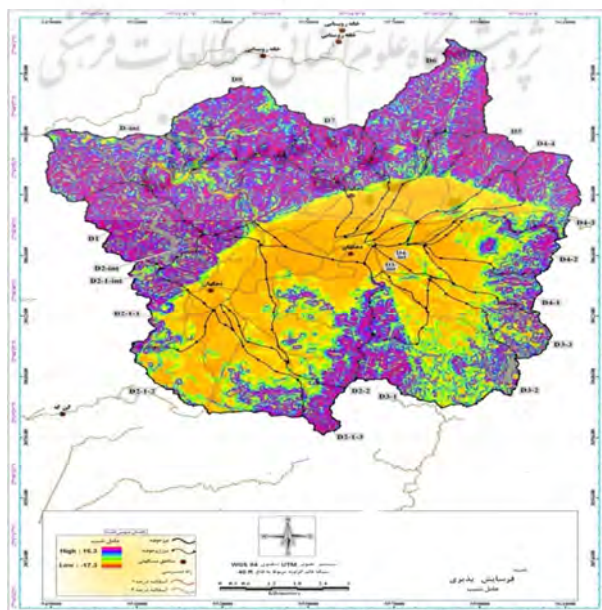
جدول ۲: میزان فاکتور فرسایش پذیری برای نقاط مورد بررسی

نقاط	بافت	ماسه	سیلت	شن	میانگین هندسی ذرات	K فاکتور
۱	SIL	۵	۷۶	۲۷	۰/۰۶	۰/۵
۲	SIL	۵	۷۶	۲۷	۰/۰۶	۰/۵
۳	CL	۴۰	۳۷	۳۰	۰/۰۲	۰/۳۹
۴	S	۲	۱	۱۰۰	۰/۷	۰/۱۶
۵	S	۲	۱	۱۰۰	۰/۷	۰/۱۷
۶	SIL	۲۰	۵۵	۳۵	۰/۰۴	۰/۵
۷	S	۲	۲	۱۰۰	۰/۷	۰/۱۸
۸	LS	۲۲	۲۳	۵۰	۰/۰۷	۰/۱۴
۹	SIL	۱	۵۳	۴۶	۰/۱۱	۰/۵
۱۰	S	۱	۱	۹۸	۰/۷	۰/۱۸
۱۱	LS	۲۶	۲۶	۵۴	۰/۰۹	۰/۱۴
۱۲	SL	۸	۳۲	۶۲	۰/۲	۰/۱۴
۱۳	LS	۳	۱۶	۸۲	۰/۵	۰/۱۴
۱۴	L	۱۹	۳۸	۴۶	۰/۰۹	۰/۳۵
۱۵	LS	۱۴	۳۶	۵۴	۰/۱۵	۰/۱۵



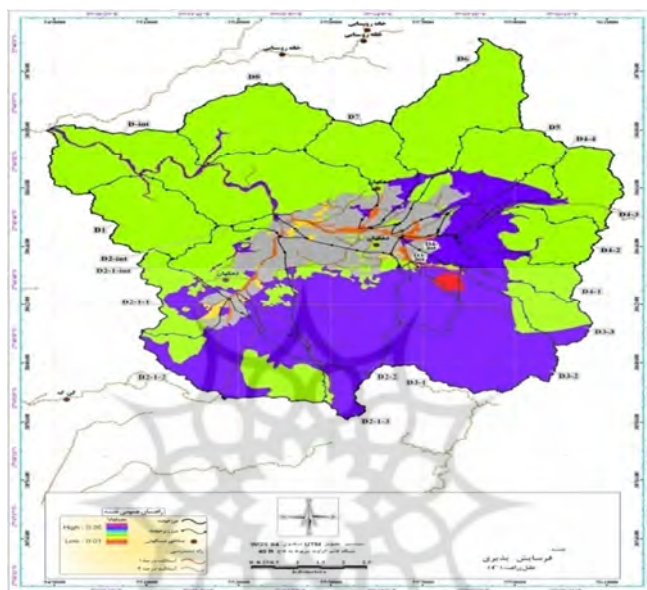
شکل ۶: نقشه فاکتور فرسایش پذیری خاک (K)

نقشه فاکتور توپوگرافی (LS) منطقه مورد مطالعه با تهیه و ایجاد لایه‌های لازم، بر اساس رابطه ۷ به دست آمد که در شکل ۷ آورده شده است. بر اساس این شکل مقدار فاکتور LS در منطقه مورد مطالعه از صفر تا ۱۶/۷ متغیر می‌باشد.



شکل ۷: نقشه فاکتور توپوگرافی (LS)

نقشه فاکتور پوشش گیاهی (C) بر اساس رابطه ۸ و ۹ تهیه گردید که در شکل ۸ آورده شده است. بر اساس این شکل مقدار فاکتور C بین ۰/۰۸ تا ۱ متغیر است. با توجه به عدم انجام اقدامات حفاظتی در منطقه مورد مطالعه، مقدار فاکتور P برای کل منطقه یک در نظر گرفته شد.

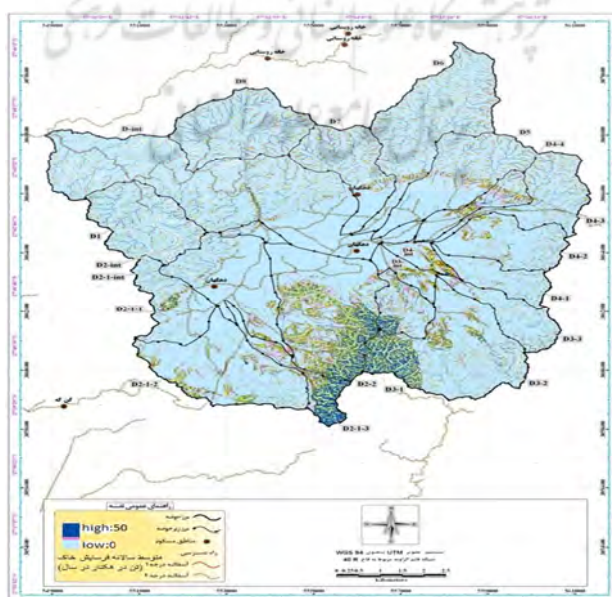


شکل ۸: نقشه فاکتور پوشش گیاهی (C)

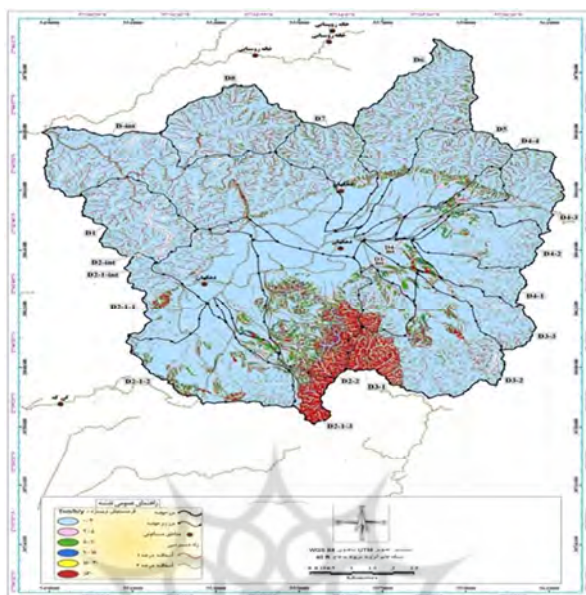
جهت تهیه نقشه فرسایش سالانه خاک نقشه فاکتور R (شکل ۵)، نقشه فاکتور K (شکل ۶)، نقشه فاکتور LS (شکل ۷)، نقشه فاکتور C (شکل ۸) و فاکتور P در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی و بر اساس رابطه ۱ در همدیگر ضرب شده و مقادیر هدر رفت سالانه خاک (A) برحسب تن در هکتار در سال به دست آمد. نقشه به دست آمده، در شکل ۹ آورده شده است. بر اساس این نقشه مقادیر فرسایش خاک در منطقه مورد مطالعه بین صفر تا ۵۰ تن در هکتار در سال متغیر می‌باشد. این میزان فرسایش سالانه در حوضه مورد مطالعه با توجه به ویژگی‌های منطقه در مقایسه با دیگر مناطق کشور با همین مدل مثل منطقه گابریک میزان فرسایش سالیانه خاک را ۳۲۶ تن در هکتار در سال (رضایی و همکاران، ۱۳۹۳). همچنین در حوضه آبخیز کن بین صفر تا ۹۵ تن در هکتار در سال برآورد شده است (بابایی و همکاران، ۱۳۹۴) زیاد می‌باشد. نرخ متوسط فرسایش خاک در جهان ۵ تا ۶ تن بر هکتار در سال است، این در حالی است که این رقم در ایران ۱۶،۷ تن بر هکتار است. فرسایش خاک از جمله نگرانی‌های عمده در حوضه کشاورزی و توسعه روستایی است. کشور ایران با وسعت یک میلیون و ۶۴۸ هزار کیلومترمربع، که ۱۱ درصد این وسعت تحت کشاورزی، ۵۰ درصد چراگاه‌های دائمی، ۹ درصد جنگل‌ها و بیشه‌زارها و ۳۰ درصد را اراضی دیگر در بر گرفته است. از سوی دیگر، متوسط بارندگی در ایران ۲۴۰ میلی‌متر است که کمتر از یک سوم متوسط بارندگی جهان است. طبق گزارش فائو یا سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد حدود ۳۶ درصد از کل زمین‌ها و ۶۰ درصد از خاک‌های کشاورزی در ایران در معرض فرسایش هستند. در این میان، عمده‌ترین دلیل فرسایش شدید خاک در

ایران، از بین رفتن پوشش گیاهی است. می‌توان گفت تقریباً در همه مراتع، چرای بی‌رویه باعث فرسایش خاک شده به طوری که تراکم دام در آن‌ها دو تا شش برابر ظرفیت چرای موجود است. در چنین وضعیتی عجیب نیست که فرسایش خاک در ایران چند برابر متوسط جهانی است، این اتفاق در حالی رخ داده است که خاک به‌عنوان یکی از مهم‌ترین عناصر کشاورزی، برای احیای مجدد به زمان طولانی نیاز دارد. بر اساس گزارش مطالعات آبخیزداری استان، میزان فرسایش خاک در بیش از ۶ میلیون هکتار از سطح حوزه‌های آبخیز استان افزون بر ۲۰ تن در هکتار در سال و در برخی از حوزه‌های آبخیز نظیر بخش‌های زیادی از حوزه‌های آبخیز شرق استان در سازندهای مارن مکران این میزان بالغ بر ۳۰ تن در هکتار در سال و به‌طور میانگین میزان متوسط فرسایش خاک در استان کرمان ۲۸/۲ تن در هکتار در سال برآورد گردیده است. بر این اساس میزان فرسایش خاک در استان کرمان بیش از متوسط کشوری و جهانی است. شدت زیاد فرسایش در استان کرمان متأثر از چهار عامل اصلی شامل؛ نوع رژیم بارندگی رگباری با شدت زیاد، گسترش سازندهای زمین‌شناسی حساس به فرسایش به‌ویژه مارن‌های مکران و سازندهای میشان، وضعیت توپوگرافی و شیب زمین و همچنین تراکم ضعیف تاج پوشش گیاهی (درصد بالای اراضی لخت و فاقد پوشش گیاهی) می‌باشد.

در مرحله بعد نقشه فرسایش سالانه خاک به ۵ کلاس خطر طبقه‌بندی شد (شکل ۱۰). مساحت و درصد مساحت هریک از کلاس‌های خطر فرسایش خاک در منطقه مورد مطالعه در جدول (۳) آورده شده است. کلاس فرسایشی خیلی کم بیش از ۹۰ درصد مساحت منطقه مورد مطالعه را شامل می‌شود. این کلاس متعلق به مناطق کم شیب و کوهستانی می‌باشد. کلاس فرسایشی زیاد و خیلی زیاد تنها ۳/۶ درصد از مساحت منطقه را شامل می‌شود که در قسمت‌های شمال شرقی منطقه واقع شده است.



شکل ۹: نقشه فرسایش سالانه خاک



شکل ۱۰: نقشه پهنه‌بندی فرسایش سالانه خاک

جدول ۶: درصد مساحت کلاس‌های طبقه‌بندی شده فرسایش

کلاس	متوسط سالانه هدر رفت خاک (تن در هکتار در سال)	درصد مساحت
خیلی کم	۰-۳	۹۰/۹۴
کم	۳-۵	۳/۷۲
متوسط	۵-۱۰	۱/۷۱
زیاد	۱۰-۱۵	۱/۲۶
خیلی زیاد	بیشتر از ۱۵	۲/۳۴

نقشه فاکتور توپوگرافی (LS) منطقه مورد مطالعه با تهیه و ایجاد لایه‌های لازم، بر اساس رابطه ۷ به دست آمد که در شکل ۷ آورده شده است. بر اساس این شکل مقدار فاکتور LS در منطقه مورد مطالعه از صفر تا ۱۶/۷ متغیر می‌باشد.

نتیجه‌گیری

فرسایش خاک، مخصوصاً در کشورهای در حال توسعه روند افزایشی دارد. فرسایش باعث از بین رفتن خاک‌های کشاورزی، فقیر شدن ظرفیت تولیدی خاک‌ها و آلودگی آب‌های طبیعی در اثر رسوبگذاری می‌شود و مخاطرات زیست‌محیطی را به وجود می‌آورد. بنابراین ارزیابی صحیح پدیده فرسایش خاک می‌تواند برای مدیران به منظور ایجاد استراتژی‌ها و برنامه‌ها جهت کنترل فرسایش مفید و سودمند باشد. در این تحقیق ارزیابی کمی فرسایش خاک در حوضه دهکهان با استفاده از مدل RUSLE و فناوری‌های نوین RS و GIS صورت گرفت. بررسی نقشه فاکتور فرساینده‌گی باران در سطح منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد که مقادیر این فاکتور بین ۱۶ تا $34 \text{ MJ mm ha}^{-1} \text{ y}^{-1} \text{ h}^{-1}$

^۱ متغیر است. میزان فرسایش پذیری خاک منطقه مورد مطالعه نیز بین ۰/۵ تا ۰/۶۵ $t ha h ha^{-1} MJ^{-1} mm^{-1}$ متغیر می‌باشد. کمترین و بیشترین میزان فرسایش پذیری خاک در منطقه مورد مطالعه به ترتیب مربوط به بافت‌های شنی لومی و سیلتی می‌باشد. نتیجه حاصل از بررسی فاکتور توپوگرافی نشان می‌دهد که مقدار این فاکتور در منطقه مورد مطالعه بین صفر تا ۱۶/۷ متغیر می‌باشد. ارتفاعات شمال شرق و شمال غرب منطقه به دلیل شیب زیاد بیشترین مقدار عامل توپوگرافی و بخش‌های مرکزی منطقه کمترین مقدار این عامل را دارا می‌باشند. نقشه فرسایش خاک منطقه از ترکیب پنج لایه تولید شده شامل لایه‌های فرسایش‌پذیری باران، فرسایش‌پذیری خاک، توپوگرافی، پوشش گیاهی و عملیات حفاظتی در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی تولید گردید، نتایج نشان داد که مقادیر فرسایش خاک در منطقه مورد مطالعه از صفر تا ۵۰ تن در هکتار در سال متغیر است. بررسی روابط رگرسیونی بین فاکتورهای مدل RUSLE و مقدار فرسایش سالانه خاک نشان داد که فاکتور توپوگرافی با بالاترین مقدار ضریب تعیین ($R^2=0/9$) بیشترین اهمیت را در برآورد فرسایش سالانه خاک با مدل RUSLE دارد. فاکتورهای فرسایش‌پذیری باران، پوشش گیاهی و فرسایش‌پذیری خاک به ترتیب در اولویت‌های دوم تا چهارم قرار می‌گیرند. بر اساس نتایج به دست آمده مشخص شد که فرسایش با شدت زیاد و خیلی زیاد در قسمت‌های شمال شرقی منطقه رخ می‌دهد. پدیده فرسایش خاک سبب از بین رفتن مراتع، کاهش حاصلخیزی خاک اراضی باغی و کشاورزی می‌شود. همچنین رسوبات حاصل از فرسایش قسمت‌های شمال شرقی منطقه در اثر عامل شیب و سیلاب از طریق آبراهه‌ها خود را به سمت مناطق دشتی رسانده و سبب خسارت به اراضی کشاورزی موجود در مناطق دشتی می‌شود. بر اساس نتایج به دست آمده از این تحقیق انجام اقدامات حفاظتی از قبیل بذرپاشی گونه‌های بومی در عرصه‌های مرتعی، جلوگیری از چرای مفراط و جلوگیری از بوته‌کنی جهت تقویت پوشش گیاهی منطقه، شخم زدن زمین‌های کشاورزی عمود بر جهت شیب منطقه مورد مطالعه ضروری می‌باشد. در این مطالعه سعی شد از قابلیت‌های GIS برای ایجاد داده‌های مورد نیاز مدل RUSLE استفاده شود. نتایج این تحقیق قابلیت بالای GIS را برای ایجاد داده‌های مورد نیاز مدل RUSLE نشان داد. بنابراین فناوری‌های نوین مثل GIS می‌توانند به صورت مؤثر در توسعه راهکارهای مدیریتی و فراهم آوردن گزینه‌های انتخابی برای مدیران، جهت حل مسئله فرسایش خاک به کار گرفته شوند.

منابع:

- احمدی، حسن (۱۳۸۷). ژئومورفولوژی کاربردی - فرسایش بادی. جلد دوم، انتشارات دانشگاه تهران. صفحه ۷۰۶.
- رفاهی، حسینقلی (۱۳۷۵). فرسایش آبی و کنترل آن - انتشارات دانشگاه تهران - صفحه ۵۵۱.
- ایوبی، شمس‌الله، خرمالی فرهاد، جویباری، شعبان شتابی (۱۳۸۶). استفاده از تکنیک زمین‌آمار در تعیین مناسب‌ترین ابعاد سلول مدل رقومی زمین برای برآورد مشخصه توپوگرافی (LS) مدل برآورد فرسایش RUSLE در منطقه تاش علیا (استان گلستان)، پژوهش و سازندگی در منابع طبیعی. شماره ۷۷، صفحه ۱۲۹-۱۲۲.
- آرخی، صالح، نیازی، یعقوب (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 آب و خاک. سال ۱۷. جلد ۲. صفحه ۲۷-۱.

رضایی، پیمان، فریدی، پروانه، قربانی، منصور، کاظمی، محمد (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 ۳. شماره ۱. صفحه ۹۷-۱۱۳.

نوحه‌گر، احمد، کاظمی، محمد (۱۳۹۲). ارزیابی خطر فرسایش آبی با استفاده از مدل ICONA (مطالعه موردی: حوزه آبخیز تنگ بستانک شیراز)، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی. شماره ۲۸. صفحه ۱۴-۱.

Arnold, J.G, Srinivasan, R. Muttiah, R.S. Williams, J.R. (1998), Large area hydrologic modeling and assessment part I: Model development 1, Wiley Online Library.

Demirci, A. Karaburun, A. (2012), Estimation of soil erosion using RUSLE in a GIS framework: a case study in the Buyukcekmece Lake watershed, northwest Turkey. *Environmental Earth Sciences*, 66(3), pp. 903-913.

Flanagan, D. Nearing, M. (1995), USDA-Water Erosion Prediction Project: Hillslope profile and watershed model documentation, NSERL report.

Hoyos, N. (2005), Spatial modeling of soil erosion potential in a tropical watershed of the Colombian Andes. *Catena*, 63(1), pp.85-108.

Ganasri, B. Ramesh, H. (2015), Assessment of soil erosion by RUSLE model using remote sensing and GIS-A case study of Nethravathi Basin, *Geoscience Frontiers*.

Morgan, R. Quinton, J. Smith, R. Govers, G. Poesen, J. Auerswald, K. Chisci, G. Torri, D. Styczen, M. (1998), The European Soil Erosion Model (EUROSEM): a dynamic approach for predicting sediment transport from fields and small catchments. *Earth surface processes and landforms*, 23(6), pp.527-544.

Park, S. Oh, C. Jeon, S. Jung, H. Choi, C. (2011), Soil erosion risk in Korean watersheds assessed using the revised universal soil loss equation. *Journal of Hydrology*, 399(3), pp.263-273.

Pimentel, D. Harvey, C. Resosudarmo, P. Sinclair, K. (2012), Soil erosion assessment and its correlation with landslide events using remote sensing data and GIS: a case study at Penang Island Malaysia. *Environmental monitoring and assessment*, 184(2), pp. 715-727.

Renard, K.G. Freimund, J.R. (1994), Using monthly precipitation data to estimate the R-factor in the revised USLE. *Journal of hydrology*, 157(1), pp. 287-306.

Terranova, O. Antronico, L. Coscarelli, R. Iaquina, P. (2009), Soil erosion risk scenarios in the Mediterranean environment using RUSLE and GIS: an application model for Calabria (southern Italy). *Geomorphology*, 112(3), pp.228-245.

Wang, E. Xin, C. Williams, J.R. Xu, C. (2006), Predicting soil erosion for alternative land uses. *Journal of environmental quality*, 35(2), pp.459-467.

Wischmeier, W.H., & Smith, D.D. (1994), Predicting rainfall erosion. losses: a guide to conservation planning, *Agriculture Handbook*, Vol. 537. US Department of Agriculture, Washington, DC, 58p.

Van Remortel, R.D. Maichle, R.W. Hickey, R.J. (2004), Computing the LS factor for the Revised Universal Soil Loss Equation through array-based slope processing of digital elevation data using a C++ executable. *Computers & Geosciences*, 30(9), pp. 1043-1053.

Yu, B. Rosewell, C. (1996), Technical Notes: A Robust Estimator of the R-factor for the Universal Soil Loss Equation. *Transactions of the ASAE*, 39(2), pp.559-561.

Assessment soil erosion using RUSLE model and identification the most effective factor in Dekhan watershed basin of southern Kerman

Keramat Nezhadafzali*¹, Mohammadreza Shahrokhi², Fateme Bayatani³

Received: 20-09-2017

Accepted: 17-06-2018

Abstract

The soil is one of the most important factors of production that has a great influence on human economic and social life. The surface of the earth is generally covered by soil and other surface deposits. Soil erosion is one of the most important problems and problems we face today. Increasing exploitation and lack of proper human management of the natural environment have a great effect on the intensification of soil degradation and erosion processes. In this research, the effective parameters analysis of erosion and sediment production in Dakehah basin with a total area of 9923.2 ha in southern Kerman province was studied using the Revised Universal Soil Erosion Model (RUSLE). Data and tools used in the research include data from meteorological stations, digital elevation model (DEM), ETM 2015 satellite imagery, GIS and remote sensing (RS) It should be. By studying the effective factors in this model, which includes rainfall erosivity factor, soil erodibility factor, topographic factor, and vegetation, the purpose of this study is to estimate the annual soil erosion in the study area. The erosion rate of the basin is estimated. Accordingly, annual soil erosion in the whole study area is estimated at 67 tons per hectare per year. The results of this study show that the highest effect on the estimation of erosion, a topographic factor with the highest coefficient of explanation was 92.6 In this research, the effectiveness of RUSLE technologies of annual soil erosion is confirmed by the new model of GIS and remote sensing for quantitative estimation of soil erosion values.

Keywords: Soil erosion, RUSLE, topography, erosion, GIS, southern Kerman.

¹*- Assistant Professor of Geography, Jiroft University, Jiroft, Iran

²- Water Resources Engineering, Azad University, Kerman, Iran

³- PhD Student of Climatology, Hakim Sabzevari University, Iran