

هیدروژئومورفولوژی، شماره ۱۷، زمستان ۱۳۹۷، صص ۲۱-۱

وصول مقاله: ۱۳۹۵/۰۲/۲۰ تأیید نهایی مقاله: ۱۳۹۷/۱۱/۳۰

برآورد میزان فرسایش خاک با استفاده از مدل (RUSLE) مطالعه‌ی موردی حوضه‌ی آبریز نورآباد ممسنی

لیلا گلی مختاری^۱

نجمه شفیعی^۲

ابوالفضل رحمانی^۳

چکیده

فرسایش یک پدیده‌ی طبیعی ناشی از حذف ذرات خاک توسط آب و یا باد و انتقال آنها به مناطق دیگر است و عوامل مختلف طبیعی و انسانی آن را تشدید می‌کند. از آنجایی که خاک یکی از مهم‌ترین منابع طبیعی هر کشور می‌باشد، فرایند فرسایش سبب تنزل خاک شده و خسارات جبران ناپذیری را بر جای می‌گذارد. تمرکز اصلی این تحقیق برآورد میزان فرسایش در حوضه‌ی آبریز نورآباد ممسنی واقع در شمال غرب استان فارس با استفاده از مدل (RUSLE) است. بررسی نقشه‌ی فاکتور فرساینده‌ی باران در سطح حوضه نشان داد که مقادیر این فاکتور از ۱۱ تا ۳۱ متغیر است. مقادیر فرساینده‌ی از قسمت‌های مرکزی حوضه تا نیمه‌ی شمالی روند کاهشی داشته و در قسمت‌های جنوبی که ارتفاعات و بارش بیشتر است، فرساینده‌ی افزایش یافته است. میزان فرسایش‌پذیری خاک حوضه از ۰/۲۵ تا ۰/۴۸ متغیر بوده است. نتیجه‌ی حاصل از بررسی فاکتور پوشش گیاهی نشان داد که مقادیر این فاکتور از ۰/۷ تا ۱/۳۵ متغیر است بخش عمده‌ای از نقش عوامل مخرب بر فرسایش آبی خاک، در اراضی دیم و مرتعی مربوط به عوامل انسانی می‌باشد. بررسی نقشه‌ی خطر فرسایش خاک که از ترکیب لایه‌های فرساینده‌ی، فرسایش‌پذیری خاک، توپوگرافی و پوشش گیاهی تولید گردید، نشان داد که میزان خطر فرسایش خاک در سطح حوضه بر حسب تن در هکتار در سال از ۸ تا ۷۵ متغیر است. مطابق نقشه‌ی خطر فرسایش

E-mail: l_mokgtari@hsu.ac.ir

۱- استادیار دانشگاه حکیم سبزواری (نویسنده‌ی مسئول).

۲- دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی دانشگاه حکیم سبزواری.

۳- دانش‌آموخته دکتری ژئومورفولوژی.

خاک تهیه شده، مناطق با خطر فرسایش تا زیاد، در بخش‌های جنوبی به علت ارتفاعات بیشتر، شیب تند و لیتولوژی مستعد، شدیدتر است. علاوه بر این، تحلیل رگرسیون از لایه‌های مختلف نشان داد که عامل طول شیب (LS) نقش بیشتری در فرسایش نسبت به بقیه عوامل دارد.

کلمات کلیدی: فرسایش، حفاظت خاک، حوضه آبریز نورآباد ممسنی، RUSLE

مقدمه

فرسایش خاک پدیده‌ای است که به طور معمول در بخش وسیعی از زمین رخ می‌دهد و تشدید این فرآیند می‌تواند به عنوان یک عامل محدودکننده، مانعی در انجام مدیریت دلخواه زمین باشد. فرسایش باعث کاهش حاصلخیزی خاک و متروک شدن مزارع گردیده و رسوب حاصل از آن در آبراهه‌ها و مخازن سدها ته‌نشین شده، ظرفیت آبریز آن‌ها را کاهش می‌دهد. فرسایش خاک یکی از مشکلات محیطی است که تهدیدی برای منابع طبیعی، کشاورزی و محیط زیست به شمار می‌رود. اطلاعات زمانی و مکانی از فرسایش خاک در اقدامات مدیریتی، کنترل فرسایش و مدیریت حوضه‌های آبخیز نقش مؤثری دارد (پراسانا کومار و همکاران^۱، ۲۰۱۱: ۲۱۰). بنابراین به منظور حفاظت مؤثر و جلوگیری از اثرات نامطلوب فرسایش نیاز است که فاکتورهای دخیل در فرسایش و میزان اثر آن‌ها شناسایی شود تا بتوان برآورد مناسبی از مقدار فرسایش در منطقه ارائه نمود. تاکنون روش‌های متعددی جهت برآورد فرسایش در مناطقی با ویژگی‌های مختلف معرفی شده است. مدل‌های ارائه شده در سه دسته مدل‌های تجربی، مدل‌های مفهومی و مدل‌های فیزیکی طبقه‌بندی شده‌اند. مدل‌های تجربی به دلیل سهولت استفاده و در دسترس بودن داده‌های مورد نیاز همیشه مورد توجه بوده‌اند و پیشرفت‌های چشمگیری نیز در توسعه این مدل‌ها وجود داشته است. معادله‌ی فرسایش جهانی خاک^۲ (USLE) یکی از مدل‌های تجربی است که برای پیش‌بینی تلفات در اراضی زراعی با شیب ملایم ارائه شده است، اما

۱-Prasannakumar et al.,

1- Universal Soil Loss Equation

معادله‌ی جهانی تلفات خاک اصلاح شده^۱ (RUSLE) برای کاربری‌های مختلف گسترش یافته است که شامل جنگل، مرتع، زراعی و اراضی بایر می‌باشد (بابائی و همکاران، ۱۳۹۵: ۱۶۵). مدل RUSLE شش فاکتور مشابه USLE داشته، اما برآوردهای دقیق‌تری از فاکتورهای فرساینده‌ی باران، فرسایش‌پذیری خاک، پوشش گیاهی و عملیات حفاظتی دارد و جهت پیش‌بینی تلفات خاک در مناطق گسترده‌تر و در شرایط مختلف پوشش مانند اراضی زراعی، جنگل، مرتع و جنگل‌های آسیب‌دیده توسعه یافته است این مدل فرسایش خاک را به صورت ترکیبی از شش فاکتور که نشان‌دهنده‌ی نیروی فرساینده‌ی باران، فرسایش‌پذیری خاک، طول و درجه‌ی شیب، سیستم کشت و عملیات مدیریتی است، تخمین زده و جهت پیش‌بینی تلفات خاک به کار می‌رود (ویشمایر و اسمیت^۲).

قابلیت کاربرد بین‌المللی و مقایسه نتایج را دارد و در بسیاری از نقاط جهان پذیرفته شده و به کار رفته است. ورودی‌های مدل در دسترس هستند و مدل می‌تواند بر پایه سلول به سلول فرسایش را پیش‌بینی نماید (شیندل، ۲۰۱۰)^۳ و هنگامی که تلاش می‌کنیم الگوهای هدر رفت خاک را در یک منطقه بزرگ شناسایی کنیم کاربرد زیادی دارد. مدل RUSLE در سطح بین‌المللی بسیار مورد استفاده قرار گرفته همچنین در ایران نیز توسط محققان به کار برده شده است. کولیو همکاران^۴ ۲۰۰۹ برای برآورد فرسایش در سطح حوضه‌های آبخیز از RUSLE استفاده نموده و کارا بودن این روش را با تطابق با نتایج زمینی اثبات نمودند. فو و همکاران^۵ (۲۰۱۱: ۲۹۳)، با بررسی کمی بارش، پوشش گیاهی و خاک، مناطقی با حساسیت بالا به فرسایش را شناسایی کرده و با عملیات

۱- Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE)

۲- Wischmeier & Smith

۳- Shindle et al.,

۴- Kouli et al.,

۵- Fu et al.,

محافظتی و جلوگیری از هدر رفت حدود ۵ میلیون تن خاک در سال در زمینه‌ی پیشگیری از فرسایش خاک نمونه اجرایی موفق‌ی را انجام دادند.

پورعبدالله (۱۳۸۴: ۱۱) از دو مدل RUSLE و SWAT2000 جهت مدل‌سازی رسوب و مقایسه‌ی نتایج آنها با مقادیر واقعی در زیرحوضه‌ی امامه از حوضه‌ی سد لتیان استفاده کرد و به این نتیجه رسید که مدل RUSLE و SWAT2000 به ترتیب مقدار رسوب سالانه را حدود ۵ برابر و ۱۲۱ درصد مقدار واقعی نشان می‌دهند. راشکی (۱۳۸۵: ۱۱) برآورد توزیعی فرسایش و رسوب سالانه را با مدل‌های RUSLE و SEDD با استفاده از تکنیک‌های زمین‌آمار و سیستم اطلاعات جغرافیایی در حوضه‌ی آبخیز کهنوک خاش انجام داد و به این نتیجه رسید که میزان رسوب بر آوردی در مقایسه با مقدار واقعی رسوب هم‌خوانی دارد و می‌توان این مدل‌ها را برای حوضه‌های مشابه به کار برد. اسدی و همکاران (۱۳۸۹: ۱) از GIS RS و مدل RUSLE برای ارزیابی و پهنه‌بندی خطر فرسایش در حوضه‌ی آبخیز ناورود استفاده کردند و نتایج آنها نشان داد که میزان فرسایش در حوضه از صفر تا ۸۰۰ تن در هکتار در سال متغیر است. کرم و همکاران (۱۳۸۹: ۷۳) با استفاده از RUSLE و فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی به برآورد و پهنه‌بندی فرسایش خاک در حوضه‌ی آبخیز ماملو در شرق تهران پرداختند و به این نتیجه رسیدند که این دو روش ابزارهای قدرتمندی برای برآورد، نمایش و پهنه‌بندی میزان فرسایش خاک هستند. آرخی و نیازی (۱۳۸۹) در حوضه‌ی بالادست سد ایلام از تکنیک‌های سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی و مدل RUSLE برای تخمین فرسایش خاک و بار رسوب استفاده کردند و در نهایت مؤثر بودن GIS و RS را جهت تخمین کمی مقادیر فرسایش خاک، بار رسوب و همچنین مدیریت فرسایش اثبات نمودند. کمانگر و همکاران (۱۳۹۴)، به ارزیابی معادله جهانی فرسایش خاک اصلاح شده (RUSLE) با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور (مطالعه‌ی موردی حوضه‌ی آبخیز سیخوران هرمزگان) پرداختند و نتایج حاصل از پژوهش نشان داد که، بیشترین میزان فرسایش متوسط سالیانه در حوضه‌ی آبخیز سیخوران، مربوط به مناطق جنوبی است.

همچنین عامل طول و درجه‌ی شیب بیشترین همبستگی را با فرسایش خاک در حوضه‌ی مورد مطالعه نشان داد. انصاری لاری و انصاری (۱۳۹۵)، به بررسی برآورد میزان فرسایش خاک در مرودشت (استان فارس) با استفاده از مدل تجربی RUSLE پرداختند و نشان دادند که میزان خطر فرسایش خاک در سطح دشت از صفر تا ۵۰ تن در هکتار در سال متغیر است. با توجه به یافته‌های پیشین هدف از این تحقیق ترکیب مدل RUSLE با روش‌های GIS, RS برای برآورد توزیع مکانی فرسایش خاک در مقیاس حوضه‌ای (حوضه‌ی آبخیز نورآباد ممسنی) و تعیین مناطقی با ریسک فرسایش بالا است. همچنین تحلیل اثر عوامل مختلف و تعیین مهم‌ترین عامل در هدر رفت خاک منطقه از جمله اهداف این تحقیق است.

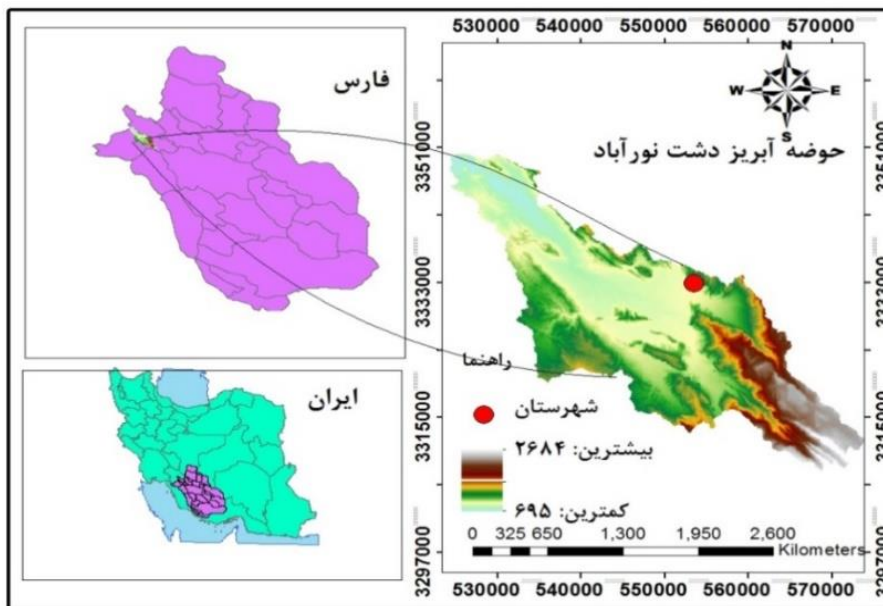
مواد و روش‌ها

موقعیت جغرافیایی محدوده‌ی مورد مطالعه

محدوده‌ی مورد مطالعه از لحاظ تقسیمات واحدهای زمین‌شناسی ایران در زون زاگرس چین خورده واقع شده است و روند کلی امتداد چین‌خوردگی‌ها شمال‌غرب- جنوب‌شرق می‌باشد. ارتفاعات حاشیه دشت معمولاً از طاق‌دیس‌هایی تشکیل یافته که گاهی توسط گسل‌های بزرگ جابجا شده است محدوده‌ی نورآباد از طرف شمال با شهرستان مصیری، از طرف جنوب با دشت قائمیه، از طرف غرب با دشت ماهور میلانی و از سمت شرق با دشت فهلیان در ارتباط است. دشت نورآباد در محدوده‌ی جغرافیایی ۱۵' تا ۵۱' تا ۴۶'، ۵۱° طول شرقی و ۵۵'، ۲۹° تا ۱۷'، ۳۰° عرض شمالی واقع شده است (باقری‌نژاد، ۱۳۹۰: ۳۵).

جهت تهیه‌ی نقشه‌های حوضه‌ی مورد مطالعه، از نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰، نقشه‌ی زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰، تصاویر گوگل ارث، تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸، لایه خاک‌شناسی، داده‌های بارش ماهانه و سالانه ایستگاه‌های سینوپتیک و باران‌سج استفاده

شده است. در این پژوهش از روش پهنه‌بندی کریجینگ^۱، به منظور تهیه لایه‌ی فرساینده‌ی باران، از روش تحلیل رگرسیون در نرم‌افزار ادریسی جهت ارتباط بین متغیر وابسته و متغیرهای مستقل و همچنین تأثیر بیشترین عامل در میزان هدر رفت سالانه خاک استفاده شده است. در مدل رگرسیونی هدر رفت سالانه خاک به عنوان متغیر وابسته و فاکتورهای فرساینده‌ی باران، فرسایش‌پذیری خاک، توپوگرافی و پوشش گیاهی به عنوان متغیرهای مستقل در نظر گرفته شدند.



شکل (۱) موقعیت حوضه‌ی آبریز دشت نورآباد ممسنی

۱- Kriging

همانطور که قبلاً عنوان گردید مدل استفاده شده در این پژوهش، مدل فرسایش جهانی RUSLE می‌باشد. مدل راسل از ۶ فاکتور به شرح زیر تشکیل شده است (ویشمایر و اسمیت، ۱۹۷۸).

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

A : فرسایش خاک در واحد سطح است، R : عامل فرساینده‌گی باران، K عامل فرسایش پذیری خاک، L عامل طول شیب، S عامل درجه شیب، C عامل پوشش و در نهایت P عامل عملیات حفاظتی می‌باشد.

فاکتور فرساینده‌گی باران (R)

فرساینده‌گی باران نیروی محرکه یا عامل فرسایش‌زا در جداسازی و انتقال ذرات خاک در ارتباط با فرسایش آبی است (لای و الیوت^۱، ۱۹۹۴: ۹۴۵). فرسایش بارانی موجب هدر رفت خاک، آسیب به کشاورزی و زیربناها می‌شود و آلودگی آب را به دنبال دارد. محاسبه شاخص فرساینده‌گی باران نیازمند وجود باران‌نگار در محدوده می‌باشد. با توجه به این که در حوضه‌ی مورد مطالعه تعداد ایستگاه‌های مجهز به باران‌سنج به اندازه‌ی کافی نیست از شاخص‌های مبتنی بر مقادیر بارش سالانه و ماهانه در معادله‌های جهانی فرسایش خاک و تجدیدنظر شده آن استفاده گردید. از رابطه‌ی (۲) شاخص اصلاح شده فورنیه (MFI) برای تمامی ایستگاه‌ها محاسبه شد سپس با جای‌گذاری این شاخص در رابطه‌ی (۳) که توسط رنارد برای مناطق فاقد داده‌های تفصیلی رگبار پیشنهاد شده است، مقدار فاکتور (R) برای ایستگاه‌های شاخص برآورد گردید (رنارد و فریرا^۲، ۱۹۹۴).

$$MFI = \sum_{i=1}^{12} pi^2 / P \quad \text{رابطه‌ی (۱)}$$

۱- Lai and Elliot

۲- Renard and Ferreira

در رابطه‌ی (۱)، pi متوسط بارندگی (mm) در مرطوب‌ترین ماه، P متوسط بارندگی سالانه (mm) است. برای هر سال یک شاخص حساب شده است و سپس از آن متوسط گیری گردید. به این نحو که مجذور بارندگی هر ماه در هر سال محاسبه شده و با تقسیم مجموع آنها به بارندگی همان سال، مقدار شاخص اصلاح شده فورنیه سال یاد شده به دست آمده است. برای به دست آوردن شاخص متوسط ایستگاه از مقادیر شاخص یاد شده در طول دوره‌ی آماری میانگین‌گیری شده است. بنابراین برای محاسبه فاکتور R با توجه به رابطه‌ی ۲ و ۳ پس از تعیین ایستگاه‌های اطراف محدوده‌ی بارندگی ماهانه و سالانه در این ایستگاه‌ها بازسازی شد (رینارد و فریرا، ۱۹۹۴: ۴۶).

$$R=(0.07397*MIF^{1.847}) \quad (MIF < 55) \quad \text{رابطه‌ی (۲)}$$

$$R=(95.77-6.081*MFI+0.477*MFI^2) \quad (MIF > 55) \quad \text{رابطه‌ی (۳)}$$

– فاکتور فرسایش‌پذیری خاک (k)

ضریب K سهولت جدا شدن ذرات خاک در اثر ضربه‌ی قطرات باران و نیروی برشی رواناب را نشان می‌دهد (ویهی^۱، ۲۰۰۲: ۱۰۱). فرسایش‌پذیری خصوصیتی از خاک است که میزان حساسیت آن در برابر جدا شدن و انتقال توسط عوامل فرسایش‌دهنده را بیان می‌کند. بخشی از این حساسیت ناشی از مواد مادری خاک‌ها به ویژه در مناطق خشک است و میزان حساسیت به خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و بیولوژیکی خاک‌ها وابسته است (صالحی و همکاران، ۱۳۹۴: ۴۹). عامل فرسایش‌پذیری در مدل $RUSLE$ را می‌توان از طریق منحنی‌های مربوطه تعیین کرد. مورگان ضریب فرسایش‌پذیری (k) برای خاک‌های مختلف را ارائه کرده که در جدول (۱) نمایش داده شده است (احمدی، ۱۳۸۸: ۵۰۷). اطلاعات مورد نیاز از لایه‌ی خاک محدوده‌ی مورد مطالعه به دست آمده است.

جدول (۱) درصد فرسایش انواع خاک‌ها، ماخذ: (احمدی، ۱۳۸۸: ۵۰۷)

| K | وضعیت خاک | K | وضعیت خاک |
|------|-----------------------|------|-----------------------------|
| ۰/۱ | اراضی مقاوم به فرسایش | ۰/۵ | خاک سطحی با پوشش سنگریزه‌ای |
| ۰/۴۲ | خاک ماسه‌ای نرم | ۰/۱۶ | خاک ماسه‌ای |
| ۰/۴۲ | خاک لومی با ماسه ریز | ۰/۱۷ | خاک لومی شنی |
| ۰/۳۷ | خاک لومی | ۰/۴۷ | خاک سیلتی لومی |
| ۰/۳۷ | خاک لومی رسی | ۰/۲۵ | خاک سیلتی رسی |

- فاکتور طول شیب (LS)

این فاکتور اثر طول و تندی شیب به عنوان عامل توپوگرافی، میزان، سرعت و پتانسیل فرسایش را نشان می‌دهد. طول شیب عبارت است از فاصله‌ی افقی از مبدا جریان بالادست دامنه تا جایی که تندی شیب به مقدار قابل ملاحظه‌ای تغییر یافته است به طوری که عمل رسوب‌گذاری آغاز می‌شود یا جریان‌های روی دامنه در یک کانال معین ادغام و متمرکز می‌شود (USDA¹: 2002: 26). در این فاکتور لایه شیب و لایه جهت جریان تجمعی از طریق لایه‌ی DEM محدود می‌شده و با جایگذاری آن در رابطه‌ی (۴) لایه‌ی مورد نظر تهیه می‌شود.

$$LS = \text{Flow accumulation (cell size/22.13)}^{0.4} * \text{Slope (۴)}$$

$$(0.01745/0.0896)$$

Flow accumulation: لایه‌ی تجمع جریان، slope: لایه شیب که از لایه‌ی dem تهیه شده است.

- فاکتور پوشش گیاهی (C)

فاکتور C مربوط به عامل پوشش گیاهی است و عبارت است از نسبت مقدار فرسایش خاک از منطقه در حالت زراعت و مدیریت خاص نسبت به خاک از دست رفته در کرت‌های آزمایشگاهی در همان شرایط آیشی که ضریب K مورد ارزیابی قرار گرفته است (شارما^۱ و همکاران، ۲۰۱۰). پوشش گیاهی منطقه از طریق شاخص گیاهی NDVI^۲ به دست آمد (امیت^۳، ۲۰۱۰). برای محاسبه‌ی شاخص NDVI، تصاویر ماهواره‌ای ETM لندست منطقه با شماره وردیف ۱۶۳ و ۳۹ در ۸ باند تهیه شد و با بررسی باندهای مختلف تصویر، مناسب‌ترین ترکیب باندی به صورت ترکیبی از باندهای ۳ و ۴ انتخاب گردید. شاخص NDVI حوضه با استفاده از نرم‌افزار ENVI استخراج شد. این شاخص نشان‌دهنده درصد تراکم پوشش گیاهی در منطقه است (تاگر^۴، ۱۹۷۹: ۱۵۰).

$$\text{رابطه‌ی (۵)} \quad \text{NDVI} = (B4 - B3) / (B4 + B3)$$

B4: باند ۴، B3: باند ۳، فاکتور C از نمایه NDVI با استفاده از رابطه‌ی (C) در محیط نرم‌افزار ArcGIS برآورد شده است.

$$\text{رابطه‌ی (۶)} \quad C = \left[\exp a \frac{\text{NDVI}}{B - \text{NDVI}} \right]$$

که در آن a و B پارامترهای بدون واحد هستند و مقادیر آن‌ها برابر ۲ و ۱ می‌باشد (وان درکنیزف^۵، ۱۹۹۹: ۳).

- عامل حفاظت خاک (P)

به‌طور عمده، منظور از کارهای حفاظتی، کشت در روی خطوط تراز، کشت نواری و تراس بندی است. دیگر عملیات حفاظتی مانند تناوب‌های زراعی، کود دادن، قراردادن

1- Sharma

2- Normalized Difference Vegetation Index

3- Ahmed

۴- Tucker

5- Van der Knijff

بقایای گیاهی در سطح زمین و غیره، مربوط به عامل مدیریت زراعی می‌باشند. چنانچه هیچ کار حفاظتی صورت نگرفته باشد مقدار آن یک است (مقصودی و همکاران، ۱۳۹۲: ۹۰).

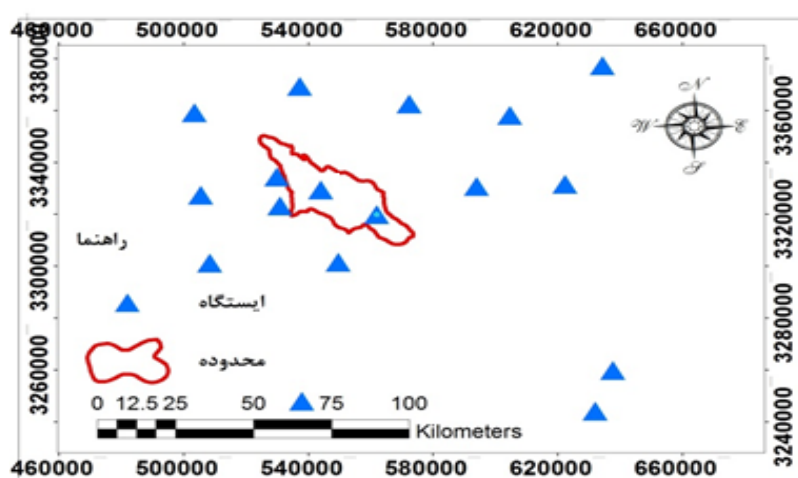
بحث و نتایج

در این پژوهش به منظور محاسبه شاخص‌های رنارد و فورنیه نیازمند داده‌های بارندگی مرطوب‌ترین ماه برای هر سال و بارندگی متوسط سالانه ایستگاه‌ها به صورت جدا هستیم. با توجه به جدول (۲) با استفاده از داده‌های بارش محدوده‌ی شاخص‌های رنارد و فورنیه هر ایستگاه طی ۲۰ سال آماری تهیه شد و در مرحله‌ی بعد فاکتور R طبق فرمول محاسبه گردید و با استفاده از روش کریجینگ نقشه‌ی فرساینده‌ی باران محدوده‌ی مورد مطالعه تهیه شد. نتایج نشان می‌دهد که میزان فرساینده‌ی در بخش‌های جنوبی حوضه بیشتر است و به سمت شمال حوضه، این مقدار کاهش می‌یابد. میزان فرساینده‌ی در ارتباط با ناهمواری حوضه است که در بخش جنوبی میزان ناهمواری و ارتفاع بیشتر می‌باشد.

جدول (۲) محاسبه و برآورد بارش فاکتورهای R و MFI

| MFI | R | بارش (mm) | X | Y | ایستگاه |
|-------|-------|-----------|--------|--------|------------|
| ۶۰/۵ | ۸۵/۶۹ | ۳۸۰ | ۵۲° ۳۶ | ۲۹° ۳۲ | شیراز |
| ۵۰/۵۳ | ۶ | ۴۲۰ | ۵۱° ۳۹ | ۲۹° ۳۶ | کازرون |
| ۴۹/۷ | ۵ | ۱۶۶ | ۵۱° ۳۱ | ۳۰° ۱۴ | مصیری |
| ۵۱/۴ | ۷ | ۲۳۱ | ۵۲° ۰۷ | ۲۸° ۴۸ | فراسیند |
| ۵۴ | ۶/۹ | ۶۷۰ | ۵۱° ۳۲ | ۳۰° ۰۴ | نورآباد |
| ۶۰/۶ | ۸۶ | ۲۳۶ | ۵۲° ۴۲ | ۲۹° ۴۶ | زرقان |
| ۵۴/۶۹ | ۷ | ۴۲۱ | ۵۲° ۰۴ | ۳۰° ۵۲ | اقلید |
| ۵۸/۴۳ | ۷۹/۶ | ۳۹۰ | ۵۲° ۲۷ | ۳۰° ۱۱ | سد درورزن |
| ۵۹ | ۷ | ۴۵۴ | ۵۱° ۵۷ | ۳۰° ۱۰ | دشمن زیاری |
| ۳۸ | ۶/۵ | ۶۲۰ | ۵۱° ۵۷ | ۲۹° ۵۹ | میشان |
| ۶۲ | ۸ | ۳۸۱ | ۵۱° ۳۶ | ۳۰° ۱۹ | جوزار |
| ۶۳ | ۹ | ۴۵۴ | ۵۱° ۴۲ | ۳۰° ۱۳ | مهرنجان |

| | | | | | |
|----|-----|-----|--------|-------|---------|
| ۵۷ | ۷ | ۳۸۱ | ۵۱°۴۲ | ۲۹°۵۹ | میشان |
| ۵۹ | ۶ | ۵۰۰ | ۵۲°۰۲۲ | ۳۰°۱۴ | چهارطاق |
| ۵۵ | ۶/۵ | ۴۹۴ | ۵۱°۱۲ | ۳۰°۲۴ | بابامیر |

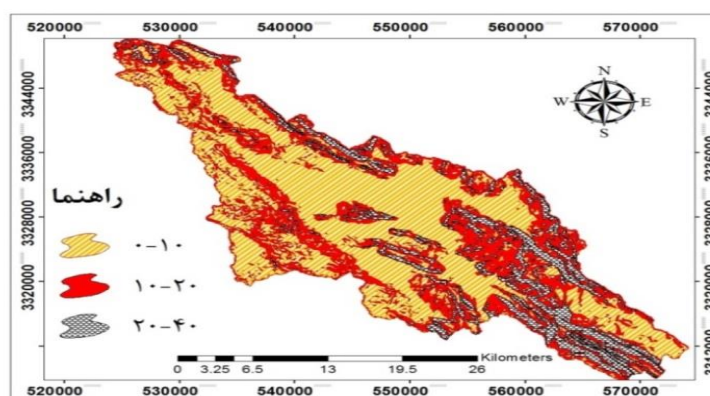


شکل (۲) نقشه‌ی موقعیت ایستگاه‌ها در حوضه‌ی آبریز نورآباد ممسنی

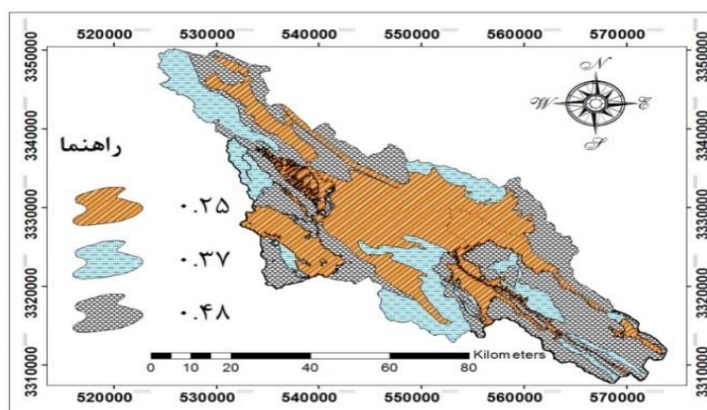
نقشه‌ی عامل توپوگرافی محدوده از طریق لایه‌ی شیب حوضه و لایه‌ی جریان تجمعی از طریق روش شبیه‌سازی حوضه‌های آبریز تهیه شد. میزان طول شیب از ۰ تا ۴۰ متغیر است که این میزان در بخش‌های جنوبی دشت که از رسوبات آهکی و ارتفاع زیاد شکل گرفته بیشتر است و هرچه به بخش مرکز و شمالی حوضه پیش می‌رویم ارتفاع کاهش و به تبع آن طول شیب هم کاهش می‌یابد. در بخش‌های مرکزی حوضه به علت کاهش میزان ارتفاع، شیب هم کاسته شده است شکل (۳).

لایه‌ی فاکتور k در محدوده‌ی مورد مطالعه از طریق گزارش تفضیلی خاک و گروه هیدرولوژیکی خاک در دشت نورآباد تهیه شد که میزان آن با توجه به جدول (۱) از ۰/۲۵ تا ۰/۴۸ متفاوت است. بیشترین میزان این عامل در بخش جنوبی می‌باشد.

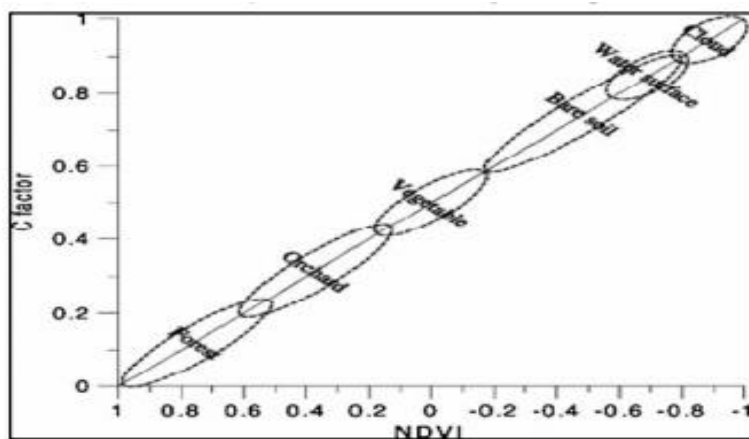
نقشه‌ی فاکتور C براساس رابطه‌ی ۵ و ۶ تهیه گردید. مقدار C با NDVI رابطه‌ی خطی معکوس دارد (شکل ۵)، یعنی وقتی مقدار NDVI به سمت ۱- نزدیک می‌شود منطقه فقیر از پوشش گیاهی و وقتی به سمت ۱ نزدیک می‌شود منطقه دارای پوشش گیاهی می‌باشد (لین و همکاران، ۲۰۰۲: ۱۴۷) مقادیر بیشتر ضریب C نشان‌دهنده‌ی پوشش کمتر و در نتیجه خطر بیشتر فرسایش خاک است مقدار فاکتور C بین ۰/۷ تا ۱/۳۵ متغیر می‌باشد که در مناطق با پوشش بیشتر دارای مقدار کمتری است. کمترین مقادیر ضریب C در اراضی باغی و آبی و بیشترین مقادیر در بخش‌های مرکزی (مراتع ضعیف و متوسط و مناطق بدون پوشش) منطقه‌ی مورد مطالعه وجود دارد (شکل ۶)



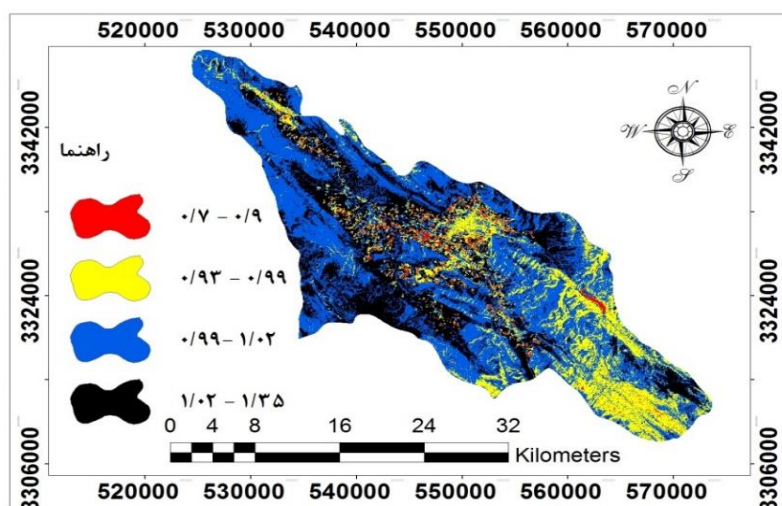
شکل (۳) فاکتور LS حوضه‌ی دشت نورآباد



شکل (۴) نقشه‌ی خاک حوضه‌ی آبریز دشت نورآباد

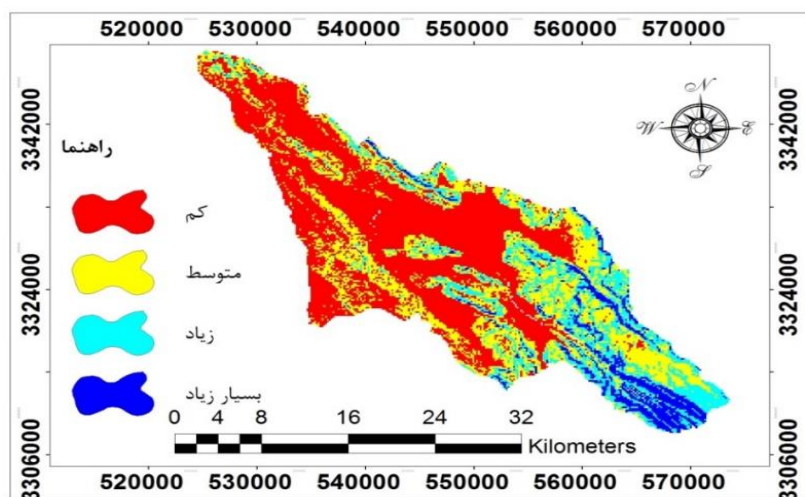


شکل (۵) رابطه‌ی فاکتور C و NDVI (لین و همکاران، ۲۰۰۲: ۱۴۷)



شکل (۶) نقشه‌ی فاکتور C حوضه‌ی آبریز دشت نورآباد

فرسایش متوسط سالانه‌ی خاک از طریق حاصل ضرب فاکتورهای فرساینده‌ی (R)، فاکتور فرسایش‌پذیری خاک (K)، فاکتور توپوگرافی (LS)، فاکتور مدیریت پوشش گیاهی (C) و فاکتور عملیات حفاظتی (P) و با استفاده از رابطه‌ی (۱) در محیط نرم‌افزار ArcGIS محاسبه شد. نقشه‌ی به دست آمده از این معادله در شکل (۷) نشان داده شده است. مقادیر فرسایش در حوضه‌ی مورد مطالعه از ۶ تا ۷۵ تن در هکتار در سال در سطح پیکسل متغیر است. با توجه به جدول (۳)، حدود ۴۸ درصد از منطقه جزء طبقه‌ی فرسایشی کم می‌باشد که به طور عمده این کلاس‌ها قسمت عمده‌ای از حوضه را در برمی‌گیرد. حدود ۲۸ درصد از محدوده در فرسایش متوسط قرار دارد و حدود ۲۳ درصد حوضه نیز تحت خطر فرسایش زیاد و بسیار زیاد قرار دارد که این بخش قسمت‌های جنوبی حوضه واقع شده است.



شکل (۷) نقشه‌ی فرسایش حوضه‌ی آبریز نورآباد ممسنی

تحلیل رگرسیون از جمله تحلیل‌های پر کاربرد در آمار است که به منظور تعیین ارتباط بین متغیرهای مستقل و وابسته این تحلیل مورد استفاده قرار گرفت. متوسط فرسایش سالانه به عنوان متغیر وابسته و فاکتورهای فرساینده‌ی باران، فرسایش خاک، پوشش گیاهی، توپوگرافی به عنوان متغیر وابسته مورد استفاده قرار گرفتند و معادله‌ی رگرسیونی ارائه شده در جدول (۴)، ضریب هر یک از متغیرهای مستقل و عدد ثابت را نشان می‌دهد. این ضریب نشان‌دهنده‌ی اثر متغیر مستقل بر متغیر وابسته می‌باشد و میزان تغییرپذیری متغیر وابسته را بر مبنای متغیر مستقل نشان می‌دهد. همانطور که از مقادیر R^2 پیداست فاکتور توپوگرافی با بالاترین مقدار یعنی ۰/۹۶، بیشترین تأثیر را در برآورد فرسایش سالانه‌ی خاک توسط مدل RUSLE داشته است. فاکتورهای C ، R و K به ترتیب در اولویت‌های بعدی قرار می‌گیرند. بدین معنی که ۹۶ درصد هدر رفت سالانه خاک توسط عامل توپوگرافی قابل توجیه می‌باشد.

جدول (۳) درصد و مساحت کلاس‌های طبقات مختلف فرسایش

| مساحت (%) | مساحت | کلاس |
|-----------|-------|-----------------|
| ۴۸/۲ | ۳۴۱ | کم ۶-۱۷ |
| ۲۸/۵ | ۲۰۲ | متوسط ۱۷-۲۸ |
| ۱۶/۲ | ۱۱۵ | زیاد ۲۸-۴۲ |
| ۶/۹ | ۴۱ | خیلی زیاد ۲۸-۷۵ |

جدول (۴) رابطه‌ی رگرسیونی بین پارامترها

| فاکتورهای RUSLE | رابطه رگرسیونی | R ² |
|-----------------|-----------------------|----------------|
| LS | $Y = 4.1 + 0.60 X$ | 0.96 |
| R | $Y = 10 + 1.5 X$ | 0.86 |
| C | $Y = 5.5 + 0.34 X$ | 0.81 |
| K | $Y = 24.587 + 0.47 X$ | 0.56 |

فرسایش شیاری فرسایش خندقی در محدوده‌ی حوضه

در منطقه‌ی مورد مطالعه این نوع فرسایش در اراضی شیب‌دار تپه‌های مارنی که دارای خاک‌های کم‌عمق و عاری از پوشش گیاهی است، مشاهده می‌شود. این نوع فرسایش در این اراضی در زمانی که شدت بارندگی از شدت نفوذپذیری خاک بیشتر باشد، آب‌های اضافی فرصت تجمع در گودال‌های سطحی را نداشته و به سمت پایین حرکت می‌کند و روان‌آب حاصله پس از پیمودن مسافتی به نام مسافت بحرانی، به ارتفاعی خواهد رسید که تنش برشی آن قادر به ایجاد شیار خواهد بود، در این حالت روان‌آب سطحی در شیارها متمرکز خواهد شد و در صورت عدم جلوگیری از آن به تدریج باعث عمیق و عریض شدن شیارها می‌شود. این نوع فرسایش، منطقه‌ی محدودی از حوضه را به خود اختصاص داده است شکل (۸). عامل اصلی این فرسایش آب است در محدوده‌ی حوضه فرسایش خندقی بیشتر در سازند گچساران و میشان با شدت کم تا زیاد مشاهده شده‌است در بخش غربی حوضه به صورت محدودی این نوع فرسایش به چشم می‌خورد شکل (۸).



شکل (۸) فرسایش شیاری در غرب حوضه / شکل (۹) فرسایش خندقی در سازند گچساران

نتیجه‌گیری

خاک یکی از مهم‌ترین عوامل تولید است که در زندگی اقتصادی و اجتماعی انسان تأثیر بسیار دارد. سطح زمین عموماً به وسیله‌ی 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. پدیده‌ی فرسایش با کاهش حاصلخیزی خاک فرسایش خاک، باعث تخریب اکوسیستم‌های طبیعی نظیر مراتع و جنگل‌ها و اکوسیستم‌های کشاورزی مخصوصاً در کشورهای در حال توسعه روند افزایشی دارد. فرسایش تشدید می‌شود باعث از بین رفتن خاک‌های کشاورزی، فقیر شدن ظرفیت تولیدی خاک‌ها و آلودگی آب‌های طبیعی در اثر رسوب‌گذاری می‌شود. می‌گردد در این پژوهش ارزیابی کمی فرسایش در حوضه‌ی آبخیز نورآباد با استفاده از مدل RUSLE و فناوری‌های GIS و RS صورت گرفت. بررسی نقشه‌ی فاکتور فرساینده‌ی باران در سطح حوضه نشان داد که مقادیر این فاکتور از ۱۱ تا ۳۱ متغیر است. مقادیر فرساینده‌ی از قسمت‌های مرکزی حوضه تا نیمه‌ی شمالی روند کاهشی داشته و در قسمت‌های جنوبی که ارتفاعات و بارش بیشتر است، فرساینده‌ی افزایش یافته است. میزان فرسایش‌پذیری خاک حوضه از ۰/۲۵ تا ۰/۴۸ متغیر بوده است. نتیجه‌ی حاصل از بررسی فاکتور پوشش گیاهی نشان

داد که مقادیر این فاکتور از ۰/۷ تا ۱/۳۵ متغیر است بخش عمده‌ای از نقش عوامل مخرب بر فرسایش آبی خاک، در اراضی دیم و مرتعی مربوط به عوامل انسانی است. بررسی نقشه‌ی خطر فرسایش خاک که از ترکیب لایه‌های فرساینده‌ی، فرسایش‌پذیری خاک، توپوگرافی و پوشش گیاهی تولید گردید، نشان داد که میزان خطر فرسایش خاک در سطح حوضه بر حسب تن درهکتار در سال از ۸ تا ۷۵ متغیر است. مطابق نقشه‌ی خطر فرسایش خاک تهیه شده، مناطق با خطر فرسایش تا زیاد، عمدتاً در قسمت‌های ناهموار منطقه قرار دارند. همچنین می‌توان به اثر فرساینده‌ی باران در افزایش فرسایش مناطق جنوبی حوضه که خطر فرسایش متوسط تا زیاد دارند، اشاره نمود. همچنین مناطقی با خطر فرسایش خیلی زیاد نیز شامل مناطقی است که پوشش اندک (مرتعی) دارند. نتایج این تحقیق قابلیت بالای سیستم اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور را برای ایجاد داده‌های مورد نیاز جهت ایجاد فاکتورهای RUSLE نشان داد که نتیجه آن به دست آمدن اطلاعات خروجی با کیفیت و قابلیت به‌روزرسانی بالا بود. بنابراین GIS و RS می‌توانند به صورت مؤثر، در توسعه‌ی راهکارهای مدیریتی و فراهم آوردن گزینه‌های انتخابی برای مدیران، جهت حل مسئله فرسایش خاک به کار گرفته شود.

منابع

- آرخی، صالح، نیازی، یعقوب (۱۳۸۹)، بررسی کاربرد RS و GIS برای تخمین فرسایش خاک و بار رسوب با استفاده از مدل RUSLE مطالعه موردی: حوضه‌ی بالادست سد ایلام، مجله‌ی پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، شماره‌ی ۲، صص ۲۷-۱.
- احمدی، حسن (۱۳۸۸)، ژئومورفولوژی کاربردی، انتشارات دانشگاه تهران: چاپ ششم، صص ۵۰۷.
- اسدی، حسین؛ وظیفه‌دوست، مجید؛ موسوی، ع. و هنرمند، محدثه (۱۳۸۹)، ارزیابی و پهنه‌بندی خطر فرسایش خاک با استفاده از معادله‌ی جهانی تلفات خاک اصلاح شده، سامانه

- اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور در حوضه آبخیز ناورود، شرکت سهامی آب منطقه- ای گیلان، اسفند ماه ۱۳۸۹، صص ۱۳-۱.
- انصاری لاری احمد، انصاری مریم (۱۳۹۵). برآورد میزان فرسایش خاک در دشت مرودشت (استان فارس) با استفاده از مدل تجربی **RUSLE**. پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، شماره ۴، صص ۱۴۹-۱۳۴.
- بابائی، مهناز؛ حسینی، سیدزین‌العابدین؛ نظری، علی‌اکبر و سیدعلی المدرسی (۱۳۹۵)، پهنه- بندی فرسایش خاک با استفاده از مدل **RUSLE 3D**. مطالعه‌ی موردی حوضه آبریز کن، مهندسی و مدیریت آبخیز، جلد ۸، شماره ۲، صص ۱۸۱-۱۶۵.
- پورعبدالله، مهدی (۱۳۸۴). مقایسه‌ی مدل‌های **SWAT** و **RUSLE** در تخمین فرسایش حوضه‌ای، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، استاد راهنما: دکتر مسعود تجربی، دانشکده‌ی مهندسی عمران دانشگاه صنعتی شریف، گرایش محیط زیست، ص ۱۲۲.
- صالحی، محمدحسن؛ اسفندیارپور بروجنی، عیسی؛ مهاجر، رضا و محسن باقری بداغ‌آبادی (۱۳۹۴)، حفاظت آب و خاک تکمیلی، چاپ دوم، انتشارات دانشگاه پیام نور.
- کرم، امیر؛ صفریان، آمنه و شیلا حجه فروش‌نیا (۱۳۸۹)، برآورد و پهنه‌بندی فرسایش خاک در حوضه ماملو (شرق تهران) با استفاده از روش‌های معادله‌ی اصلاح شده جهانی فرسایش خاک و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی، پژوهش‌های دانش زمین، شماره ۲، صص ۸۶-۷۳.
- کمانگر، محمد؛ فرج‌زاده بداغی، منوچهر مرضیه و پیمان کرمی (۱۳۹۳). واسنجی معادله‌ی جهانی فرسایش خاک اصلاح (**RUSEL**) با استفاده از سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور (مطالعه‌ی موردی حوضه آبخیز سیخوران هرمزگان)، فصلنامه‌ی علمی- پژوهشی فضای جغرافیایی، صص ۲۰۷-۱۹۱.
- مقصودی، مهران؛ گورابی، ابوالقاسم و سحر دارابی شاه‌مارابی (۱۳۹۲). بررسی تأثیر عامل پوشش گیاهی بر فرسایش آبی مطالعه‌ی موردی: حوضه آبخیز رزین، پژوهش‌های فرسایش محیطی، سال سوم، شماره ۹، صص ۹۸-۸۳.

- Fu, B.J., et al., (2011), **Assessing the soil erosion control service of ecosystems change in the Loess Plateau of China**, *Ecology, Complex*, No.8, PP. 284–293.
- 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.
- Moore, I.D., and Wilson, J.P. (1993), **Length-slope factors for the Revised Universal Soil Loss Equation: Simplified method of estimation**, *J. Soil and Water Conservation*, No.47, PP. 423-428.
- Kouli, M., Soupios, P., Vallianatos, F., (2009), **Soil erosion prediction using the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE) in a GIS framework, Chain, Northwestern Crete, Greece**, *Environment Geology*, No. 57, PP. 483–492.
- Lin, C., Lin, W., Chou, W. (2002), **Soil erosion prediction and sediment yield estimation: the Taiwan experience**, *Soil Tillage Res*, No. 68, PP. 143–152.
- Lal, R., W. Elliot, (1994), **Erodibility and erosivity**, In: **Lal, R. (ed.), Soil erosion research methods**, *Soil and Water Conservation Society*, Ankeny, PP.181-208.
- Lu, D., Li, G., Valladares, G., Batistella, M. (2011), **Mapping Prasannakumar, V., Vijith, H., Geetha, N., 2011, 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**, *Geosci. Front.*, No.3, PP. 209–215.
- Rosewell, C. (1996), **A robust estimator of the R factor for the Universal Soil Loss Equation**, *Trans Am Soc Agric Eng.*, Vol. 39, No. 2, PP. 559-561.
- Renard, K.G., and V.A. Ferreira (1993), **RUSLE model description and database sensitivity**, *Journal of Environmental Quality*, No. 458-466.

- Sharma, A., and N.T. Kamlesh., (2010), **Effect of land use & land cover change on soil erosion potential in a agricultural watershed**, Environ Monit Assesspp .PP.789-801.
- Tucker, C.J. (1979), **Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation**, Remote Sensing of Environment, Vol. 8, PP. 127-150.
- Van der Knijff, J.M., Jones, R.J.A., Montanarella, L. (2000), **Soil Erosion Risk Assessment in Europe, EUR 19044 EN**. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg, PP. 34.
- Veihe. A., (2002), **The spatial variability of erodibility its relation to soil types, a study from northernGhana**, Geoderma, No.106, PP.101-120.
- Wischmeier, W.H., & Smith, D.D., (1978), **Predicting rainfall erosion, losses: a guide toconservation planning, Agriculture Handbook**, Vol. 537. US Department of Agriculture, Washington, DC, PP. 58-77.