

فرسایش توپوگرافی و بارش بودند. هم‌چنین نتایج نشان داد که میزان فرسایش و بار رسوب سالانه در منطقه مورد مطالعه ۷۴۶۱/۶۹ تن در سال می‌باشد و فرسایش سالانه دارای بیش‌ترین وزن (۰/۳۰۸) و فاکتور فرسایش‌پذیری خاک نیز کم‌ترین وزن (۰/۰۴) را دارد. نقشه نهایی خطر فرسایش نیز نشان داد که وسعت زیادی از منطقه مورد مطالعه از نظر فرسایش در کلاس با خطر زیاد (۲۸۵/۵ کیلومتر مربع) و بسیار زیاد (۴۷/۹ کیلومتر مربع) قرار دارد و این نشان می‌دهد که باید تصمیم مدیریتی جدی در منطقه گرفته شود. با توجه به نتایج این تحقیق لازم است که در منطقه مورد مطالعه عملیات حفاظتی مناسب صورت گیرد و این مکان‌ها می‌توانند از خروجی مدل RUSLE انتخاب شوند.

واژه‌های کلیدی: فرسایش خاک، مدل AHP، GIS، RUSLE، زیرحوزه رود ارس

مقدمه

فرسایش خاک فرایندی طبیعی است که در آن وسعت و میزان خسارت خاک توسط عوامل مختلف محیطی مانند آب و هوا، خاک، توپوگرافی و پوشش گیاهی کنترل می‌شود [۳۴، ۳۸، ۳۴، ۷]. با این حال، دخالت‌های انسان از طریق استفاده از زمین، جنگل‌زدایی، شیوه‌های کشاورزی و فعالیت‌های ساختمانی می‌تواند میزان فرسایش خاک را تسریع کند. در سطح جهانی، سطح کل زمین تحت تأثیر فرسایش آب ۱۰۹۴ میلیون هکتار است که وضعیت ۷۵۱ میلیون هکتار از آن به‌طور جدی وخیم شده است [۲۸]. از اوایل قرن بیستم، اثرات منفی ناشی از دخالت بشر نه تنها در محل ایجاد این تغییرات بلکه در حوزه‌های آبخیز به صورت کاهش توان تولیدی و تخریب خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک بروز می‌نماید، این اثرات در محل خارج از وقوع آن به‌صورت انباشت بر روی اراضی حاصل‌خیز کشاورزی، مراتع، منابع ذخیره آب و کانال‌های آبیاری و هم‌چنین ایجاد آلودگی توسط رسوبات و فلزات سنگین و مواد شیمیایی همراه آن، بیش از هر زمان دیگری مشهود است [۲۵] و علاوه بر این، فرسایش آبی یک مشکل جدی و مداوم در محیط زیست در بسیاری از نقاط جهان است که سالانه چندین میلیون هکتار از اراضی کشاورزی جهان بر اثر آن نابود می‌شوند [۱۹] بنابراین پیش‌بینی و تخمین میزان فرسایش خاک همواره یکی از متداول‌ترین روش‌ها در

برآورد رسوب سالانه و فرسایش خاک زیر حوزه آبخیز رود ارس با مدل تجربی RUSLE و داده‌های لندست ۸

سجاد روزبه کوهشاهی^{۱*}، کاکا شاهدی^۲، سیدکریم افشاری پور^۳

و سیدحسین روشن^۴

تاریخ دریافت: ۹۸/۰۴/۱۴ تاریخ پذیرش: ۹۹/۰۶/۰۱

چکیده

فرسایش خاک مشکلی بسیار جدی و ارزیابی آن در برنامه‌ریزی‌ها و عملیات حفاظتی در حوزه آبخیز بسیار مفید می‌باشد. جهت تخمین مقدار فرسایش خاک و ایجاد برنامه‌های مدیریت آن مدل‌های رایانه‌ای زیادی توسعه و استفاده شده است. اطلاعات مورد نیاز جهت مهار فرسایش خاک با بکارگیری معادله جهانی هدررفت خاک اصلاح شده امکان‌پذیر است. هدف این مطالعه، پیش‌بینی هدررفت سالانه خاک و بار رسوب با استفاده از معادله RUSLE در چهارچوب سامانه اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور در بخشی از حوزه آبخیز رودخانه ارس می‌باشد. نقشه فاکتورهای مدل RUSLE به ترتیب شامل فاکتور فرسایش‌پذیری باران (R)، فاکتور فرسایش‌پذیری خاک (K)، فاکتور طول شیب (L)، فاکتور درجه شیب (S)، فاکتور مدیریت پوشش (C) و فاکتور عملیات حفاظتی (P) با استفاده از فناوری‌های نوین سامانه اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور تهیه گردیدند. در نهایت نقشه خطر فرسایش نیز با استفاده از ادغام سامانه اطلاعات جغرافیایی و وزن‌های بدست‌آمده از فرایند تحلیل سلسه مراتبی (AHP) تهیه شد. نتایج نشان داد که مقادیر متوسط شاخص‌های C, L, S, K, R به ترتیب $0.07/0.44$ ، $20.7/44.3$ $(MJ/mmha \cdot hr^{-1}/year)$ ، $0.63/1$ ، $0.08/0.364$ ، $382/997$ $(t/ha \cdot MJ \cdot mm)$ ، $0.08/0.364$ ، $382/997$ $(t/ha \cdot MJ \cdot mm)$ ، $0.08/0.364$ ، $382/997$ $(t/ha \cdot MJ \cdot mm)$ در حوضه مورد مطالعه بوده و مهم‌ترین عوامل مؤثر در میزان

۱- دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، نویسنده مسئول: Email: rozbeh.koshahi@gmail.com

۲- دانشیار گروه علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

۳- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه سنجش از دور و جی آی اس، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران

۴- دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری

مدیریت منابع طبیعی به جهت کنترل بهره‌وری خاک در داخل حوضه و تخمین میزان رسوب و کیفیت آب در خارج از حوضه است [۲۹]. بنابراین، جلوگیری از این پدیده، به‌عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل محیطی، برای حفاظت از منابع و سرمایه طبیعی به شمار می‌رود [۳۳]. جهت برآورد فرسایش خاک و توسعه طرح‌های مدیریتی فرسایش خاک مدل‌های زیادی ارائه شده که از مهم‌ترین این مدل‌ها، می‌توان به معادله جهانی فرسایش خاک^۱ [۴۴]، پروژه پیش‌بینی فرسایش آبی^۲ [۱۲]، ابزار ارزیابی خاک و آب^۳ [۲] و مدل اروپایی فرسایش خاک^۴ [۳۳] اشاره نمود. در طی ۴۰ سال اخیر، مدل USLE به سبب داشتن محاسبات ساده، پرکاربردترین روش تخمین پتانسیل فرسایش خاک و برآورد تأثیرات عملیات‌های مدیریتی مختلف بر آن بوده است [۲۱] و به دنبال آن، نسخه جدید مدل USLE با نام معادله تجدیدنظر شده جهانی هدر رفت^۵ (RUSLE) توسعه یافته که برآوردهای دقیق‌تری از فاکتورهای P, C, K, R و فرسایش خاک انجام می‌دهد [۳۹]. انتخاب مناسب‌ترین مدل برای برآورد میزان فرسایش و رسوب به عوامل متعددی از جمله دسترسی به داده‌های ورودی و داده‌های مورد نیاز از حوزه آبخیز، و غیره بستگی دارد [۳۶]. در میان مدل‌های مختلف، USLE و RUSLE به دلیل ساختار مدل ساده و قوی خود و همچنین سازگاری با سامانه اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور، برای پیش‌بینی فرسایش خاک در مقیاس‌های مختلف مکانی مطلوبیت جهانی دارد [۴۷،۴۳،۳۵،۳۱،۲۹،۲۸،۲۵،۲۳،۲۰،۱۴،۱۰]. مطالعات زیادی برای برآورد میزان فرسایش خاک و تولید رسوب در حوزه‌های آبخیز با استفاده تلفیق تکنیک‌های سنجش از دور و GIS و مدل RUSLE انجام شده است و هرکدام سعی داشته‌اند که پارامترهای ورودی این مدل را با استفاده از عوامل و فاکتورهای غیرمستقیم استخراج شده از تصاویر ماهواره‌ای بدست آورند. در مطالعه‌ای بوگس و همکاران [۶] بر اساس مدل تجدیدنظر شده RUSLE خطر فرسایش خاک را با استفاده از داده‌های مدل رقومی ارتفاع و نقشه واحدهای زمین برآورد نمودند. بارتش و همکاران [۴] برای محاسبه فاکتورهای مورد نیاز RUSLE برای تعیین خطر فرسایش خاک کمپ ویلیامز، از فن GIS استفاده کردند. کولی و همکاران [۲۳] از مدل RUSLE برای برآورد میزان فرسایش خاک استفاده کردند، نتایج آن‌ها نشان از کارا بودن مدل در برآورد فرسایش خاک بود. چن و همکاران [۸] با استفاده از مدل RUSLE و فن سنجش از دور میزان ریسک فرسایش خاک را برآورد کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که ۴۷/۵ کیلومتر مربع (سه درصد) از حوزه آبخیز، فرسایش شدید (۹/۸۶ تن بر هکتار بر سال) داشته است و همچنین آن‌ها

1. Universal Soil Loss Equation (USLE)
2. Water Erosion Prediction Project (WEPP)
3. Soil and Water Assessment Tool (SWAT)
4. European Soil Erosion Model (EUROSEM)
5. Revised Universal Soil Loss Equation

دریافتند که ترکیب سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در برآورد ریسک فرسایش بسیار مؤثر است. انصاری لاری و انصاری [۱] میزان فرسایش خاک و بار رسوب را با استفاده از مدل RUSLE و سامانه اطلاعات جغرافیایی در حوزه آبخیز قلعه‌چای تخمین زدند. آن‌ها نقشه عوامل مختلف مدل را در قالب نقشه در محیط GIS بدست آوردند و در نهایت نقشه خطر فرسایش خاک نشان داد که میزان هدررفت خاک در سطح دشت از صفر تا ۲/۲۲۵ تن در هکتار در سال متغیر است و منطقه مورد مطالعه جزء طبقات فرسایش خیلی کم تا کم قرار داشت و حداکثر بار رسوب ۰/۶۴ تن در هکتار در سال برآورد شد. رخبین و همکاران [۴۰] میزان فرسایش و تولید رسوب را با استفاده از سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی و مدل RUSLE در حوزه آبخیز لاورفین استان هرمزگان را برآورد کردند. داده‌های مورد نیاز مدل با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور آماده شدند. نتایج نشان داد که میزان خطر فرسایش خاک در سطح حوضه از صفر تا ۷۱۱۵ تن در هکتار در سال متغیر است. همچنین مناطق با فرسایش خیلی زیاد در قسمت‌های میانی حوضه بود که دارای شیب زیاد و فرسایش خندقی بودند. میانگین بار رسوب سالانه این حوضه ۹/۶ تن در هکتار در سال برآورد گردید. به‌طور کلی نتایج این تحقیق نشان داد که با تلفیق GIS، سنجش از دور و استفاده از مدل RUSLE در مناطق کشاورزی می‌توان مقادیر فرسایش خاک و بار رسوب را برآورد کرد و از نتایج آن برای مدیریت فرسایش استفاده نمود. با توجه به روند افزایش تغییرات کاربری در حوزه آبخیز رودخانه ارس و افزایش تدریجی بار رسوبی رودخانه به دلیل فرسایش خاک انجام این پژوهش ضرورت پیدا می‌کند. رودخانه ارس به‌عنوان مهم‌ترین منبع آبی برای کشاورزی در دشت حاصل‌خیز مغان به شمار می‌رود. هدف پژوهش حاضر مدل‌سازی میزان فرسایش خاک و بار رسوب زیرحوضه آبخیز رود ارس از طریق تلفیق مدل RUSLE، سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) و سنجش از دور (RS) و همچنین شناسایی مناطق جهت اجرای عملیات حفاظتی آب و خاک می‌باشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه بخشی از حوزه آبخیز رودخانه ارس یکی از حوضه‌های باز ایران است که در تقسیم‌بندی حوزه‌های آبخیز ایران، حوزه فرعی به‌شمار می‌رود و زیرمجموعه حوزه آبخیز دریای مازندران است. این حوزه بین عرض ۳۹° ۴۴' تا ۳۸° ۲۷' تا شمالی و طول ۴۸° ۲۲' و ۴۷° ۰۶' شرقی قرار دارد. مساحت این حوزه، ۷۶۴۰ کیلومتر مربع و رود اصلی آن، ارس است، ارس در بخش پایین‌دست خود بارها تغییر مسیر داده است بخصوص در دبی رودخانه بسیار سیلابی می‌شود. متوسط ارتفاع از سطح دریا این حوزه ۱۴۶۹ متر است. شکل (۱) موقعیت منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد.

هندسه دید سنجنده، اثر اتمسفر، روشنایی خورشید و اثر توپوگرافی برای باندهای اپتیک در نظر گرفته شود. برای این منظور از نرم افزار تصحیح اتمسفری ATCOR3 استفاده شده است. این نرم افزار از پایگاه داده مدل های انتقال تابش MODTRAN 5 استفاده می کند. نظر به اهمیت دقت تصحیح هندسی بر صحت نتایج، این تصاویر باید کاملاً از نظر هندسی بر یکدیگر منطبق باشند. بنابراین تصاویر با استفاده از نقاط کنترل استخراج شده از نقشه توپوگرافی شهری ۱:۲۵۰۰۰ با روش ثبت تصویر به نقشه در سامانه مختصات WGS84 و سامانه تصویر UTM زون ۳۸ تصحیح هندسی گردیدند.

پردازش تصاویر

پس از انجام تصحیح اتمسفری و هندسی تصاویر، جهت تولید نقشه های تعیین کاربری و استخراج شاخص NDVI در محیط نرم افزار ENVI 5.3 اقدام شد. به این منظور با برداشت نقاط کنترل زمینی، کلاس های مختلف کاربری تعریف شدند و سپس با استفاده از الگوریتم حداکثر احتمال طبقه بندی نظارت شده صورت گرفت. در تفکیک کاربری های مختلف از نقاط تعلیمی و تفسیر بصری به روش نظارت شده استفاده شد.

پس پردازش تصاویر

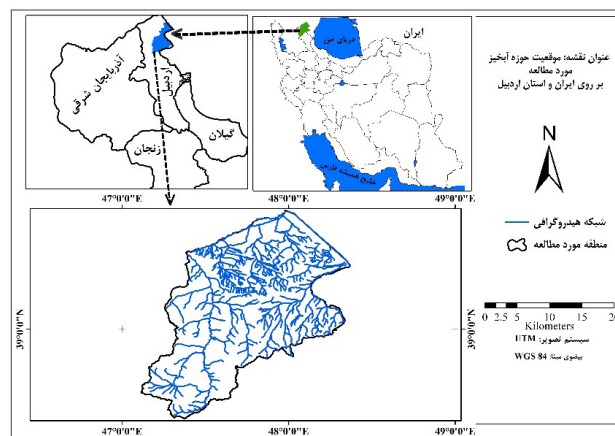
در این مرحله که آخرین مرحله فرآیند پردازش تصاویر محسوب می شود به ارزیابی و تحلیل نتایج پرداخته شد. در این تحقیق به منظور صحت سنجی نقشه های تولید شده از ضریب کاپا استفاده گردید.

مدل RUSLE

معادله جهانی فرسایش خاک (USLE) و نسخه تجدیدنظر شده آن، در پیش بینی فرسایش خاک و طراحی برنامه های حفاظتی مورد استفاده قرار گرفت. مدل RUSLE، یک مدل برآورد فرسایش آبی است که با شش فاکتور فرسایشی زیر رابطه دارد [۴۴]:

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

در این رابطه، A: میانگین فرسایش خاک در واحد سطح (تن در هکتار در سال)، R: فاکتور فرساینده گی، K: فاکتور فرسایش پذیری خاک، L: فاکتور طول شیب، S: فاکتور درجه شیب، C: فاکتور عملیات مدیریتی و پوشش و در نهایت P: فاکتور عملیات حفاظتی می باشد. مقادیر S، L، C و P بدون واحد می باشند. برآورد فاکتورهای R، K، C و P به ترتیب از داده های بارش، نقشه های خاک، پردازش تصاویر ماهواره ای (فاکتورهای C و P) و مدل رقومی ارتفاعی به دست آمدند. به طور کلی روش پژوهش در شکل ۲ خلاصه شده است.



شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه

داده های مورد استفاده

جهت آماده سازی عوامل مدل RUSLE از نقشه توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰، نقشه قابلیت اراضی ۱:۸۰۰۰۰، داده های بارندگی ایستگاه های سینوپتیک سازمان هواشناسی کل کشور به صورت ماهانه، تصویر ماهواره ای لندست ۸ سنجنده OLI و مدل رقومی ارتفاعی^۱ سنجنده SRTM، نرم افزارهای ArcGIS، ENVI 5.3، ILWIS استفاده شده است. مشخصات تصویر ماهواره ای اخذ شده در زیر آمده است (جدول ۱).

جدول ۱: داده های مورد استفاده در پژوهش

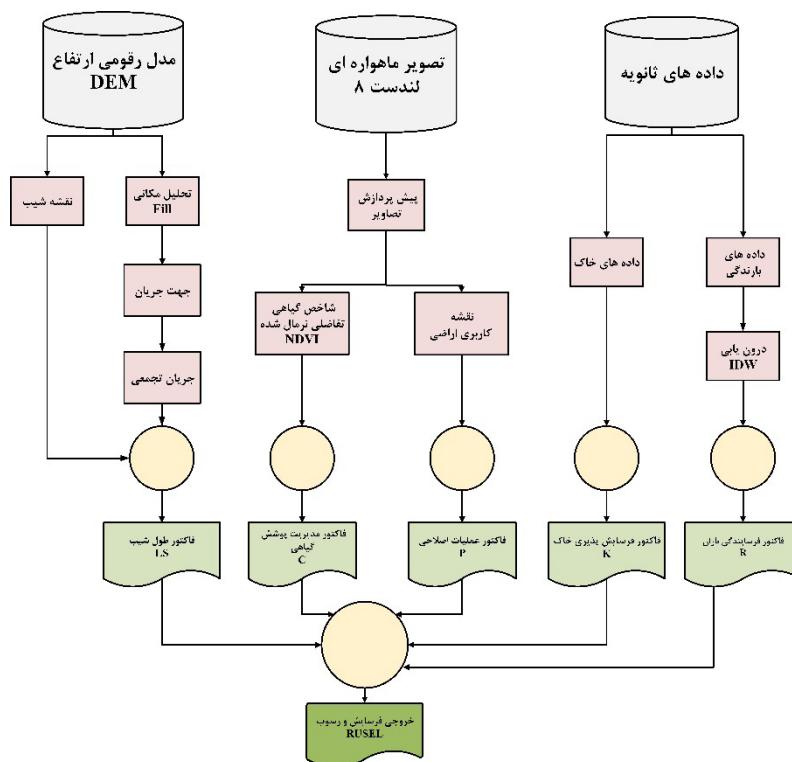
نوع داده	ماهواره	قدرت تفکیک	تاریخ (شمسی)
تصویر ماهواره ای	لندست ۸	۳۰ متر	۱۳۹۵/۱۰/۱۴
تصویر ماهواره ای	لندست ۸	۳۰ متر	۱۳۹۶/۰۲/۲۱
تصویر ماهواره ای	لندست ۸	۳۰ متر	۱۳۹۶/۰۳/۲۲
تصویر ماهواره ای	لندست ۸	۳۰ متر	۱۳۹۶/۰۴/۰۷
تصویر ماهواره ای	لندست ۸	۳۰ متر	۱۳۹۶/۰۵/۲۴
تصویر ماهواره ای	لندست ۸	۳۰ متر	۱۳۹۶/۰۶/۲۵
تصویر ماهواره ای	لندست ۸	۳۰ متر	۱۳۹۶/۰۹/۲۷
مدل رقومی ارتفاع	SRTM	۳۰ متر	---
نوع و بافت خاک	---	---	---
هواشناسی (سینوپتیک)	---	ماهانه	۹۶/۰۹-۹۵/۱۰

روش تحقیق

پیش پردازش تصاویر

قبل از انجام هرگونه پردازش روی تصاویر ماهواره ای، انجام تصحیحات رادیومتریکی الزامی است. برای رسیدن به این هدف باید

1. Digital Elevation Model



شکل ۲: فلوچارت انجام پژوهش

فاکتور فرسایش پذیری خاک (K): فاکتور فرسایش پذیری خاک (K)، استعداد خاک در فرسایش به وسیله آب باران و رواناب است، این فاکتور تابعی از بافت، ساختمان، میزان کربن آلی، مشخصات هیدرولیکی و رطوبت خاک می باشد [۵]. هم چنین این فاکتور همبستگی بالایی با نوع تیپ خاک دارد، که در مدل RUSLE از طریق نمودار تعیین می شود. هم چنین در برخی خاک ها می توان از رابطه جبری زیر استفاده شود [۴۴]:

رابطه (۵)

$$K = 2.73 \times 10^{-6} m^{1.14} (12 - a) + 3.25 \times 10^{-2} (b - 2) + 2.5 \times 10^{-2} (c - 3)$$

در این رابطه، m: قطر ذره (درصد سیلت + درصد شن خیلی ریز) × (درصد رس - 100)، a: درصد ماده آلی، b: کد ساختمان خاک و c: کلاس نفوذپذیری پروفیل خاک می باشند. در این تحقیق، فاکتور فرسایش پذیری خاک با استفاده از اطلاعات خاک حوزه آبخیز استخراج و نقشه فاکتور K در محیط GIS تهیه شد.

فاکتورهای طول شیب (L) و درجه شیب (S): فاکتور طول شیب و زبری شیب، معمولاً در یک شاخص واحد به عنوان LS ترکیب می شوند، و به عنوان عامل توپوگرافی تعریف شده است [۴۳]. طول شیب فاصله بین نقطه بالایی آغاز سراسیمه تا نقطه های است که شیب به حداقل خود می رسد و در این نقطه رسوبات ته نشین می شوند، در نتیجه تأثیرات ویژه توپوگرافی روی فرسایش خاک توسط فاکتور LS (بدون واحد) برآورد می گردد. در رابطه ۶ با محاسبه جهت جریان و جریان تجمعی می توان فاکتور طول شیب را محاسبه کرد [۱۷].

فاکتور فرسایش پذیری باران (R): فرسایش پذیری باران میزان اثر باران را بر فرسایش نشان می دهد، این فاکتور به مقدار، شدت و اندازه قطرات باران بستگی دارد [۴۶]. پژوهش های بسیاری همبستگی بالایی بین این فاکتور و فرسایش خاک را نشان دادند [۴۵، ۴۴، ۳۷]. در این پژوهش برای محاسبه فاکتور R، بعد از تعیین ایستگاه های مؤثر در منطقه مورد مطالعه، بارندگی ماهانه و سالانه برای دوره زمانی مورد مطالعه محاسبه گردید. هم چنین به علت کمبود ایستگاه سینوپتیک در منطقه مورد مطالعه ابتدا سطح تأثیر هر یک از ایستگاه ها اطراف با استفاده از پلیگون بندی تایسن در نرم افزار ArcGIS مشخص شد، در مرحله بعد با استفاده از ابزار spatial analysis در نرم افزار مذکور نقشه رستری بارندگی ماهانه مورد مطالعه تهیه گردید و سپس با استفاده از رابطه زیر، فاکتور R برای منطقه مورد مطالعه از داده های بارندگی به دست آمد. رابطه شاخص فورنیه (F)، به صورت زیر است [۳۷].

$$F = \frac{\sum_{i=1}^{12} p_i^2}{\sum_{i=1}^{12} p} \quad \text{رابطه (۲)}$$

در این رابطه، p_i : متوسط بارندگی (میلی متر) در ماه i و p متوسط بارندگی سالیانه (میلی متر) و F شاخص فورنیه است.

اگر $F < 55 \text{ mm}$ باشد، R از رابطه زیر بدست می آید.

$$R_{\text{factor}} = (0.07397 \times F^{1.847}) / 17.2 \quad \text{رابطه (۳)}$$

و اگر $F \geq 55 \text{ mm}$ باشد، R از رابطه زیر قابل محاسبه است.

رابطه (۴)

$$R_{\text{factor}} = (95.77 - 6.081 \times F + 0.4770 \times F^{1.847}) / 17.2$$

ارزش عددی P	کلاس کاربری/ پوشش اراضی
۱	اراضی بایر
۰/۸	جنگل تنک
۱	اراضی آیش
۰/۸	جنگل با تراکم متوسط
۰/۸	جنگل باز
۱	بستر رودخانه

پهنه‌بندی خطر فرسایش با استفاده از فرایند تحلیل سلسه مراتبی: یکی از مراحل اصلی در فرایند پهنه‌بندی وزن‌دهی به معیارها است و این کار با استفاده از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره انجام می‌شود. یکی از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره، فرایند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) است، که چهارچوبی منطقی است که درک و تحلیل تصمیم‌گیری‌های پیچیده را با تجزیه آن به ساختاری سلسله مراتبی، آسان می‌کند [۴۱]. در این پژوهش ورودی‌های مدل RUSLE به‌عنوان معیار، برای تهیه نقشه خطر فرسایش در منطقه مورد مطالعه استفاده شد. فاکتور مدیریت پوشش گیاهی، فاکتور توپوگرافی، فاکتور عملیات حفاظتی، فاکتور فرساینده‌گی باران، فاکتور فرسایش‌پذیری خاک، میزان شیب و میزان فرسایش سالانه معیارهای انتخاب شده می‌باشند و برای بدست آوردن میزان تأثیر هر معیار در نقشه خروجی از روش تحلیل سلسه مراتبی استفاده شد. ماتریس مقایسات زوجی با استفاده از نظر کارشناسان بدست آمد. هم‌چنین تمامی لایه‌ها با استفاده توابع خطی نرمال و با استفاده تابع هم‌پوشانی وزن‌دار^۲ نقشه نهایی خطر فرسایش تهیه گردید.

نتایج

بسیاری از مطالعات نشان داده است که میزان فرسایش خاک در حوزه آبخیز بیش‌تر حساس به بارش است [۱۸،۹] و بارندگی روزانه شاخص بهتری برای تغییرات در میزان خاک است، هم‌چنین فرسایش توصیفی از توزیع فصلی میزان رسوب می‌باشد. بدست آوردن فاکتور فرساینده‌گی باران با استفاده از بارش سالانه به علت سهولت محاسبات و سازگاری بیش‌تر منطقه‌ای مزایای زیادی دارد. در پژوهش حاضر مقادیر تخمین زده شده R از ۲۷۴/۷۷۶ MJmm (MJmm.ha⁻¹/year که بیش‌ترین مقدار و ۱۶۷/۱۲۷ MJmm.ha⁻¹/year (۳ الف) نقشه فاکتور فرساینده‌گی باران را برای منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد. فاکتور فرسایش‌پذیری خاک K (شکل ۳ ب) به نوع خاک مربوطه بستگی دارد، مقادیر این فاکتور برای خاک‌های با نفوذپذیری بالا و با رطوبت پیشین کم پایین است. مقادیر فاکتور K در منطقه مورد

$$LS = \text{pow}[(\text{Flow Accumulation}) \times \text{cell size} / 22.1, 0.6] \times \text{pow}[\sin(\text{slope}) \times \frac{0.01745}{0.09}, 1.3] c$$

در این رابطه جریان تجمعی از جهت جریان و شیب با استفاده از مدل رقومی ارتفاع محاسبه می‌شود. فاکتور مدیریت پوشش (C): نشان‌دهنده تأثیر کشت و شیوه‌های مدیریت بر میزان فرسایش است، هم‌چنین چگونگی پتانسیل خسارت فرسایش در زمان‌های مختلف در زمینه کاربری زمین و پوشش آن در طول عملیات‌های کشت، ساخت و ساز و سایر فعالیت‌های مدیریتی را نشان می‌دهد [۴۴،۴۳،۵]. در مدل RUSLE، فاکتور پوشش گیاهی (C)، معمولاً براساس معادلات تجربی تعیین می‌گردد. یکی از مهم‌ترین شاخص‌های استخراج شده از تصاویر ماهواره‌ای شاخص تفاضل پوشش گیاهی نرمال شده است. این شاخص وضعیت و میزان پوشش گیاهی یک منطقه را نشان می‌دهد، و از دو باند قرمز در محدوده مرئی و مادون قرمز استفاده می‌کند. برای تصویر لندست این شاخص به صورت معادله (۷) به دست می‌آید.

$$NDVI = (IR - R) / (IR + R) \quad \text{رابطه (۷)}$$

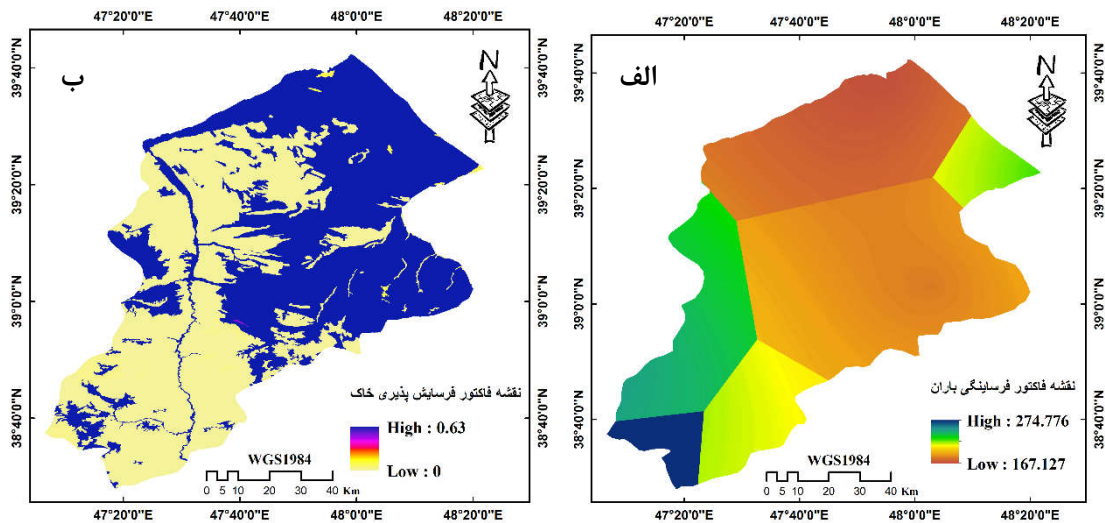
این شاخص مقادیری بین +۱ و -۱ دارد. مناطق با پوشش گیاهی کم یا بدون پوشش گیاهی مانند مناطق شهری و اراضی بایر معمولاً مقادیر NDVI بین ۰/۲ - ۰/۱ را نشان می‌دهند، بعد از انجام تبدیل خطی معکوس از نمونه‌های تعلیمی، رابطه بین NDVI و C می‌تواند به صورت زیر ایجاد گردد [۲۶].

$$C = ((1 - NDVI) / 2) \quad \text{رابطه (۸)}$$

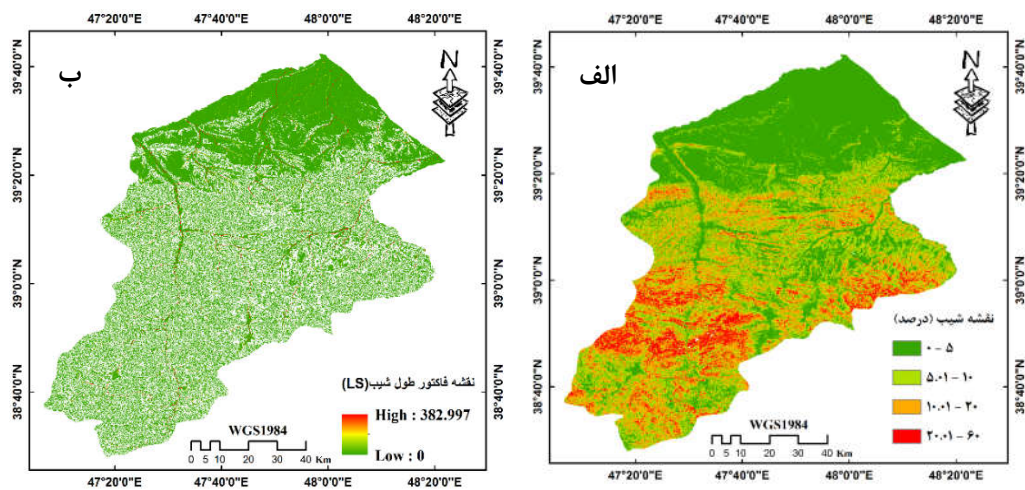
در نتیجه مقدار C در هر سلول می‌تواند مورد محاسبه قرار گیرد. لازم به ذکر است به دلیل آن که مقادیر فاکتور C، بین صفر و یک می‌باشد، مقدار صفر به پیکسل‌های با مقادیر منفی و عدد یک به پیکسل‌هایی با مقدار بیش‌تر از یک اختصاص داده شد. در این پژوهش، نقشه فاکتور C براساس NDVI تهیه گردید.

فاکتور عملیات حفاظتی (P): فاکتور P نشان‌دهنده اهمیت عملیات حفاظتی است که میزان فرسایش را با تغییر الگوی جریان، درجه یا جهت رواناب سطحی و کاهش نرخ رواناب کاهش می‌دهد. فاکتور عملیات حفاظتی به‌عنوان نسبت بین فرسایش خاک در یک عملیات حفاظتی خاص به فرسایش در شرایط شخم در جهت شیب است [۴۴،۱۳]. در این مطالعه، فاکتور P بر اساس جدول ۲ از طریق طبقه‌بندی مجدد هرکلاس پوشش مشخص شد. با توجه به این که در منطقه مورد مطالعه اطلاعاتی در مورد عملیات حفاظتی در دسترس نبود، ارزش P تنها براساس کاربری و پوشش اراضی مختلف تعیین شده است.

1. Analytic Hierarchy Process
2. Weighted Overlay



شکل ۳: (الف) نقشه فاکتور فرسایشی باران (ب) نقشه فاکتور فرسایش پذیری خاک



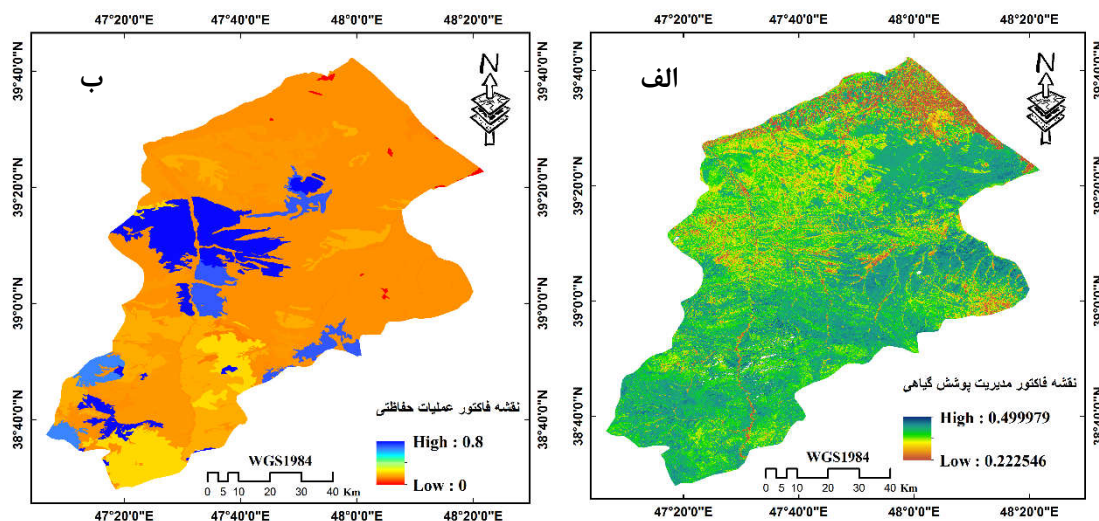
شکل ۴: (الف) نقشه شیب (ب) نقشه فاکتور توپوگرافی

چنین اطلاعاتی است. در این پژوهش با استفاده از شاخص‌های سنجش از دور (معادله ۷ و ۸) فاکتور مدیریت پوشش گیاهی استخراج گردید. شکل (۵ الف) فاکتور مدیریت پوشش گیاهی را در منطقه مورد نشان می‌دهد. فاکتور عملیات حفاظتی، نشان دهنده نسبت هدر رفت خاک است و برای تأثیرات مثبت و شیوه‌های کنترل استفاده می‌شود که اثر نفوذ بر پتانسیل فرسایش رواناب را به وسیله کنترل الگوهای زهکشی و کاهش غلظت رواناب، سرعت رواناب و نیروهای هیدرولیکی رواناب در خاک نشان می‌دهد. مقدار ضریب فاکتور P بین صفر و یک، مقادیر نزدیک به صفر نشان دهنده حفاظت خوب است و مقادیر نزدیک به یک نشان دهنده حفاظت ضعیف است. از آنجائیکه کمبود داده‌های میدانی مربوط به اقدامات حفاظت شده در حوزه مورد مطالعه وجود دارد. بنابراین، مقدار فاکتور P با استفاده نقشه کاربری اراضی و جدول (۲) بدست آمد. شکل (۵ ب) نشان‌دهنده فاکتور عملیات حفاظتی است.

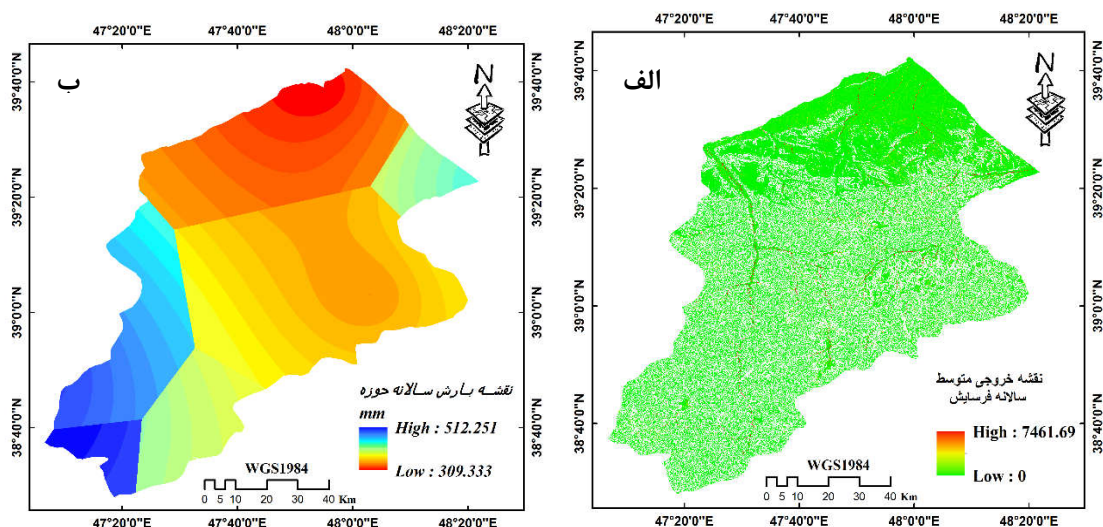
مطالعه تغییرات زیادی نداشته زیرا در این منطقه خاک وضعیت همگن و یکنواختی دارد میزان تغییرات این فاکتور در منطقه مورد مطالعه بین ۰ تا ۰/۶۳ است.

فاکتور توپوگرافی نشان‌دهنده تأثیر طول شیب در فرایند فرسایش است. فاکتور LS با استفاده از شیب (شکل ۴ الف) حوزه، جهت جریان و جریان تجمعی محاسبه شد و با توجه به شکل (۴ ب) که نقشه فاکتور LS را در منطقه مورد مطالعه نشان می‌دهد با افزایش جریان تجمعی مقادیر این فاکتور نیز افزایش پیدا می‌کند میزان تغییرات این فاکتور از صفر برای مناطق سبز رنگ تا ۳۸۲/۹۹۷ برای مناطق قرمز رنگ است. مقادیر بیشینه این فاکتور در طول رودخانه و مسیل‌ها اتفاق می‌افتد به طوریکه با توجه به شیب منطقه در شیب‌های کم مقدار این فاکتور به حداقل می‌رسد.

اطلاعات کاربری زمین درک بهتری از جنبه‌های بهره‌برداری از زمین را ارائه می‌دهد. سنجش از دور تکنیک بالقوه‌ای برای استخراج



شکل ۵: (الف) نقشه فاکتور مدیریت پوشش گیاهی (ب) نقشه فاکتور عملیات حفاظتی



شکل ۶: (الف) نقشه خروجی متوسط سالانه فرسایش (ب) بارش سالانه منطقه مورد مطالعه از سال ۱۳۹۵-۱۳۹۶

برآورد پتانسیل فرسایش و رسوب سالانه

با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی و تجزیه و تحلیل آن ارزیابی برای برآورد فرسایش و رسوب، به صورت توزیع مکانی پیکسل به پیکسل برای منطقه مورد مطالعه انجام گرفت. شکل (۶ الف) بار رسوب سالانه منطقه مورد مطالعه را نشان می‌دهد. بیشترین مقدار بار رسوب سالانه در مسیر آبراهه‌های اصلی و درجه بالا (مناطق قرمز رنگ در شکل ۶ الف) دیده می‌شود. نرخ فرسایش در دوره مورد بررسی ۷۶۶۱/۶۹ تن در سال برآورد شده است، متأسفانه به علت نبود و دسترسی به ایستگاه‌های اندازه‌گیری بار رسوب در این منطقه امکان ارزیابی نتایج با میزان واقعی بار رسوب سالانه وجود نداشت. اما همان‌طور که در مقدمه ذکر شد، دقت و

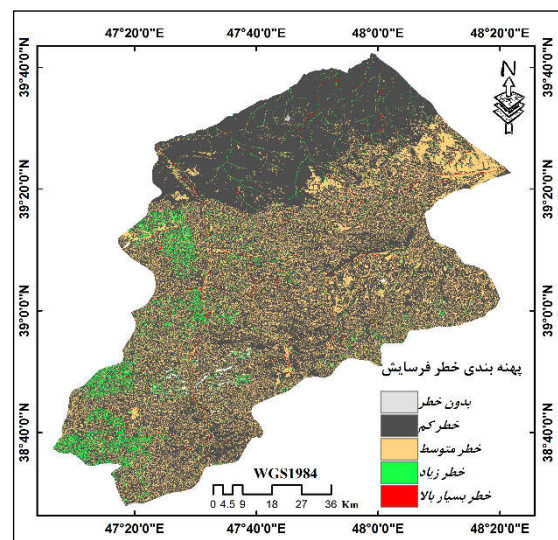
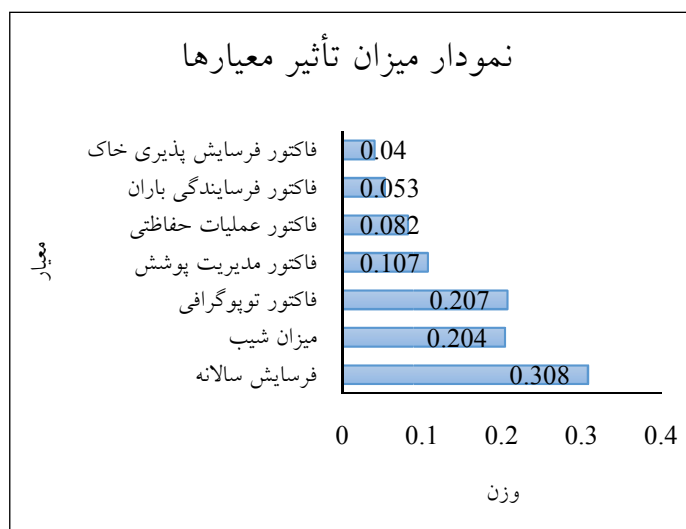
صحت نتایج خروجی مدل RUSLE در مطالعات بسیاری به اثبات رسیده است.

مقایسه نتایج و اطلاعات منطقه مورد مطالعه با مطالعات دیگر نشان می‌دهد که با در نظر گرفتن میزان بارندگی کم‌تر در منطقه ارس نسبت به مناطق ذکر شده در جدول ۲، متوسط فرسایش سالانه خاک بیش‌تر می‌باشد. بر اساس فاکتور P نیز همان‌طور که در جدول مشخص است کم‌ترین مقدار در منطقه مورد مطالعه بوده است که بیانگر نوع مدیریت اراضی در منطقه ارس می‌باشد.

پس از تحلیل نتایج بدست آمده از مدل RUSLE با استفاده از پارامترهای این مدل و روش فرایند تحلیل سلسله مراتبی و همچنین تلفیق آن با سامانه اطلاعات جغرافیایی، نقشه نهایی خطر

جدول ۲: مقایسه خروجی‌های بدست آمده در حوزه آبخیز ارس با سایر مطالعات انجام شده در جهان

مرجع	فاکتور R	فاکتور LS	فاکتور K	فاکتور C	فاکتور P	ارتفاع (متر)	بارندگی (میلی‌متر)	مساحت (کیلومتر مربع)	متوسط سالانه فرسایش $t\ ha^{-1}\ yr^{-1}$
حوزه آبخیز رود ارس	۲۷۴/۷۷۶	۳۸۲/۹۹۷	۰/۶۳	۰/۴۹۹	۰/۸	۲۹۲۴	۵۱۲/۲۵۱	Max	۷۴۶۱/۶۹
	۱۶۷/۱۲۷	.	.	۰/۲۳۳	.	۱۴	۳۰۹/۳۳۳	Min	
حوزه آبخیز نترآواتی، هند [۱۵]	۴۷۱۱/۴	۹۲/۷۷۴	۰/۴۴	۰/۶۳	۱	-	۵۴۴۶/۷	Max	۱۵/۱۲
	۲۹۴۸/۱۶	.	۰/۱۰	.	۱	-	۳۴۰۸/۲۸	Min	
حوزه آبخیز موتیراپوژا، هند [۴۳]	۱۳۲۰	۵۸/۵۹	۰/۰۷۴	۱/۱۲	۱	۲۶۹۰	۹۴۹	Max	۱۴/۳۶
	۳۳۷	۰/۰۷	۰/۰۲۴	.	۰/۲۵	۷۴۰	۱۴	Min	
حوزه آبخیز کوگا، اتیوپی [۱۶]	۹۴۵/۴	۱۰۹	۰/۲۵	۱	۱	۳۱۳۱	۲۰۰۰	Max	۴۷
	۷۱۵/۵۸	.	.	.	۰/۱	۱۸۸۵	۱۹۶۹	Min	



شکل ۷: (الف) نمودار اوزان بدست آمده فرایند تحلیل سلسله مراتبی (ب) نقشه خطر فرسایش منطقه مورد مطالعه

معیارهای توپوگرافی با وزن ۰/۲۰۷ و معیار شیب با وزن ۰/۲۰۴ اهمیت تقریبی یکسانی دارند و همچنین فاکتور فرساینده‌گی باران و عملیات حفاظتی به ترتیب ۰/۰۵۳، ۰/۰۸۲ وزن دارند.

نتیجه‌گیری

امروزه پدیده فرسایش خاک و تولید رسوب به‌عنوان یکی از جدی‌ترین مشکلات کشورهای در حال توسعه و بسیاری از کشورهای توسعه یافته به شمار می‌رود و نقش مهمی در تخریب زمین‌های کشاورزی و تخریب راه‌ها و جاده‌ها، پر شدن مخزن سدها، آلودگی آب رودخانه‌ها دارد. استفاده از مدل‌های تجربی برای تخمین میزان فرسایش و تولید رسوب در دنیا در دهه‌های اخیر مورد استفاده

فرسایش (شکل ۷ ب) بدست آمد. با توجه به شکل تقریباً ۵۲۸۴/۷۵ کیلومترمربع از خاک منطقه از نظر خطر فرسایش در کلاس با خطر کم یا بی‌خطر قرار دارد و همچنین ۱۹۷۱/۶۴ کیلومترمربع در کلاس متوسط و ۲۸۵/۵ کیلومترمربع نیز در کلاس خطر زیاد قرار دارد، کلاس خطر بسیار زیاد در این منطقه ۴۷/۹ کیلومترمربع است. با توجه به نتایج بدست آمده از تحلیل نقشه نهایی خطر فرسایش پیشنهاد می‌شود که عملیات حفاظتی در مناطق با خطر بسیار زیاد و عملیات اصلاحی در مناطق با خطر زیاد انجام شود. در بررسی اوزان بدست آمده از فرایند تحلیل سلسله مراتبی (شکل ۷ الف)، معیار خروجی فرسایش بیش‌ترین وزن (۰/۳۰۸) و فاکتور فرسایش‌پذیری خاک به علت همگن بودن منطقه کم‌ترین وزن (۰/۰۴) را دارد.

Conservation and Management (Published). Netherlands, Springer, ISBN 978-1-4020-8709-7.

6. Boggs, G., C. Devonport, K. Evans and P. Puig. 2001. GIS-based rapid assessment of erosion risk in a small catchment in the wet/dry tropics of Australia. *Land Degradation & Development*, 12(5): 417-434.

7. Butt, M.J., A. Waqas, R. Mahmood and H.R. Group. 2010. The combined effect of vegetation and soil erosion in the water resource management. *Water resources management*, 24(13): 3701-3714.

8. Chen, T., R. Niu, P. Li, L. Zhang and B. Du. 2011. Regional soil erosion risk mapping using RUSLE, GIS, and remote sensing: a case study in Miyun Watershed, North China. *Environmental Earth Sciences*, 63(3): 533-541.

9. Dabral, P., N. Baithuri and A. Pandey. 2008. Soil erosion assessment in a hilly catchment of North Eastern India using USLE, GIS and remote sensing. *Water Resources Management*, 22(12): 1783-1798.

10. Demirci, A. and A. Karaburun. 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): 903-913.

11. Deore, S. 2005. Prioritization of micro-watersheds of upper Bhama Basin on the basis of soil erosion risk using remote sensing and GIS technology. Ph. D. Thesis, Department of Geography, University of Pune.

12. Flanagan, D.C. and M.A. Nearing. 1995. USDA water erosion prediction project: hillslope profile and watershed model documentation. NSERL Report No.10. USDA-ARS National soil Erosion Research Laboratory, West Lafayette, IN, 298p.

13. Foster, G. and W. Wischmeier. 1974. Evaluating irregular slopes for soil loss prediction. *Transactions of the ASAE*, 17(2): 305-309.

14. Galdino, S., E.E. Sano, R.G. Andrade, C.R. Grego, S.F. Nogueira, C. Bragantini and A. H. Flosi. 2016. Large-scale Modeling of Soil Erosion with RUSLE for Conservationist Planning of Degraded Cultivated Brazilian Pastures. *Land degradation & development*, 27(3): 773-784.

15. Ganasri, B. and H. Ramesh. 2016. Assessment of soil erosion by RUSLE model using remote sensing and GIS-A case study of Nethravathi Basin. *Geoscience Frontiers*, 7(6): 953-961.

قرار گرفته است. هر چند مدل‌های تجربی فرسایش خاک نسبتاً ساده و برای تفسیر فیزیکی آسان می‌باشند و نیاز به حداقل منابع ورودی دارند، اما می‌توانند به طور دقیق در مناطق در معرض خطر فرسایش بکار روند. هدر رفت خاک و تولید رسوب در حوزه آبخیز رودخانه ارس با استفاده از RUSLE در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) و سنجش از دور (R.S) مورد بررسی قرار گرفت. در این مدل مجموعه داده‌های بارندگی، اطلاعات خاکشناسی، کاربری اراضی و پستی و بلندی در نظر گرفته می‌شود. که کلیه داده‌های بعد از دریافت از سازمان‌های متولی، مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند و نقشه کلیه عوامل در محیط نرم‌افزارهای ArcGIS و ENVI تهیه شدند در نهایت نقشه‌های مورد نظر در محیط نرم‌افزار ArcGIS تلفیق شدند. از تحلیل نتایج این مدل در منطقه مورد مطالعه نرخ فرسایش خاک تقریباً ۷۴۶۱/۶۹ تن در هکتار در سال برآورد شد. همچنین نتایج نشان داد که در این منطقه مهم‌ترین عوامل مؤثر در میزان فرسایش توپوگرافی و بارش هستند که با نتایج توماس و همکاران [۴۳] و رخبین و همکاران [۴۰] مطابقت دارد. با توجه به نتایج این تحقیق لازم است که در منطقه مورد مطالعه عملیات حفاظتی مناسب صورت گیرد و این مکان‌ها می‌توانند از خروجی مدل RUSLE انتخاب شوند. نقشه نهایی خطر فرسایش نیز بیانگر اینست که وسعت زیادی از منطقه مورد مطالعه از نظر فرسایش در کلاس با خطر زیاد (۲۸۵/۵ کیلومتر مربع) و بسیار زیاد (۴۷/۹ کیلومتر مربع) قرار دارد و این نشان می‌دهد که باید تصمیم مدیریتی جدی در منطقه اتخاذ شود.

منابع

1. Ansari Lari, A and M. Ansari. 2017. Examining the Usage of GIS in Estimating Soil Erosion and Sediment Yield Using RUSLE Model (Case study: Ghale chay Basin, Iran). *Journal of Geography and Regional Development*, 14(2): 155-173.

2. Arnold, J.G., Srinivasan, R., Muttiah, R.S. and J.R. William. 1998. Large Area Hydrologic Modeling and Assessment Part I: Model Development. *Journal of the American Water Resources Association*, 34(1): 73-89.

3. Avwunudiogba, A. and P.F. Hudson, 2014. A review of soil erosion models with special reference to the needs of humid tropical mountainous environments. *European Journal of Sustainable Development*, 3(4): 299-310.

4. Bartsch, K.P., H. Van Miegroet, J. Boettinger and J.P. Dobrowolski. 2002. Using empirical erosion models and GIS to determine erosion risk at Camp Williams, Utah. *Journal of soil and water conservation*, 57(1): 29-37.

5. Blanco-Canqui, H. and R. Lal. 2008. Principles of Soil

Mapping soil erosion risk in Rondonia, Brazilian Amazonia: using RUSLE, Remote Sensing and GIS. *Land Degradation & Development*, 15(5): 499-512.

29. Mallick, J., Y. Alashker, S.A.D. Mohammad, M. Ahmed and M.A. Hasan. 2014. Risk assessment of soil erosion in semi-arid mountainous watershed in Saudi Arabia by RUSLE model coupled with remote sensing and GIS. *Geocarto International*, 29(8): 915-940.

30. Merritt, W.S., R.A. Letcher and A.J. Jakeman 2003. A review of erosion and sediment transport models. *Environmental Modelling & Software*, 18(8-9): 761-799.

31. Millward, A.A. and J.E. Mersey. 1999. Adapting the RUSLE to model soil erosion potential in a mountainous tropical watershed. *Catena*, 38(2): 109-129.

32. Morgan, R.P.C. and M.A. Nearing. 2011. The future role of information technology in erosion modeling-Hand Book of Erosion Modeling, 324-338.

33. Morgan, R.P.C., J. Quinton, R. Smith, G. Govers, J. Poesen, K. Auerswald, G. Chisci, D. Torri and M. Styczen. 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): 527-544.

34. Mutua, B., A. Klik and W. Loiskandl. 2006. Modelling soil erosion and sediment yield at a catchment scale: the case of Masinga catchment, Kenya. *Land degradation and development*, 17(5): 557-570.

35. Naqvi, H.R., J. Mallick, L.M. Devi and M.A. Siddiqui. 2013. Multi-temporal annual soil loss risk mapping employing revised universal soil loss equation (RUSLE) model in Nun Nadi Watershed, Uttarakhand (India). *Arabian Journal of Geosciences*, 6(10): 4045-4056.

36. Ranzi, R., T.H. Le and M.C. Rulli. 2012. A RUSLE approach to model suspended sediment load in the Lo river (Vietnam): Effects of reservoirs and land use changes. *Journal of Hydrology*, 422: 17-29.

37. Renard, K.G. and J.R. Freimund. 1994. Using monthly precipitation data to estimate the R-factor in the revised USLE. *Journal of hydrology*, 157(1-4): 287-306.

38. Renard, K.G., G.R. Foster, G.A. Weesies, D.K. McCool and D.C. Yoder. 1997. Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the revised universal soil loss equation (RUSLE). Vol. 703. Washington,

16. Gelagay, H.S. and A.S. Minale. 2016. Soil loss estimation using GIS and Remote sensing techniques: A case of Koga watershed, Northwestern Ethiopia. *International Soil and Water Conservation Research*, 4(2): 126-136.

17. Griffin, M., D. Beasley, J. Fletcher and G. Foster. 1988. Estimating soil loss on topographically non-uniform field and farm units. *Journal of Soil and Water Conservation*, 43(4): 326-331.

18. Jain, S.K., S. Kumar and J. Varghese. 2001. Estimation of soil erosion for a Himalayan watershed using GIS technique. *Water Resources Management*, 15(1): 41-54.

19. Jetten, V. and D. Favis-Mortlock. 2006. Modelling soil erosion in Europe. *Soil erosion in Europe*, 695-716.

20. Karamesouti, M., G.P. Petropoulos, I.D. Papanikolaou, O. Kairis and K. Kosmas. 2016. Erosion rate predictions from PESERA and RUSLE at a Mediterranean site before and after a wildfire: Comparison and implications. *Geoderma*, 261: 44-58.

21. Kinnell, P.I.A. 2000. AGNPS-UM: applying the USLE-M within the agricultural non-point source pollution model. *Environmental Modelling and Software*, 15(3): 331-341.

22. Kinnell, P. 2010. Event soil loss, runoff and the Universal Soil Loss Equation family of models: A review. *Journal of hydrology*, 385(1-4): 384-397.

23. Kouli, M., P. Soupios and F. Vallianatos. 2009. Soil erosion prediction using the revised universal soil loss equation (RUSLE) in a GIS framework, Chania, Northwestern Crete, Greece. *Environmental Geology*, 57(3): 483-497.

24. Lal, R. 2001. Soil degradation by erosion. *Land degradation and development*, 12(6): 519-539.

25. Lal, R. 1998. Soil erosion impact on agronomic productivity and environment quality. *Critical reviews in plant sciences*, 17(4): 319-464.

26. Lin, C.-Y. 1997. A study on the width and placement of vegetated buffer strips in a mudstone-distributed watershed. *Journal of Soil and Water Conservation Taichung*, 29(3): 250-266.

27. Lørup, J. K. and M. Styczen 1996. Soil Erosion Modeling [J]. *Water Science and Technology Library*, 22: 93-120.

28. Lu, D., G. Li, G.S. Valladares and M. Batistella. 2004.

44. Wischmeier, W.H. and D.D. Smith. 1978. Predicting rainfall erosion losses-a guide to conservation planning. Predicting rainfall erosion losses-a guide to conservation planning. U.S. Department of Agriculture, Agriculture Handbook No. 537.
45. Yu, B. and C. Rosewell. 1996. Technical notes: A robust estimator of the R-factor for the universal soil loss equation. Transactions of the ASAE, 39(2): 559-561.
46. Yue-Qing, X., S. Xiao-Mei, K. Xiang-Bin, P. Jian and C. Yun-Long. 2008. Adapting the RUSLE and GIS to model soil erosion risk in a mountain's karst watershed, Guizhou Province, China. Environmental monitoring and assessment, 141(1-3): 275-286.
47. Zerihun, M., M.S. Mohammedyasin, D. Sewnet, A. A. Adem and M. Lakew. 2018. Assessment of soil erosion using RUSLE, GIS and remote sensing in NW Ethiopia. Geoderma Regional, 12: 83-90.
39. Renard, K.G., G.R. Foster, G.A. Weesies and J.P. Porter. 1991. RUSLE: Revised universal soil loss equation. Journal of Soil and Water Conservation, 46(1): 30-33.
40. Rokhbin, M., Nohegar, A., Kamali, A.R. and M. Habiballahian. 2014. Evaluating the Amount of Erosion and Sediment in Lavarefin Watershed (Hormozgan Province) By Using Remote sensing (RS), Geographic Information System (GIS), and Empirical Model (RUSLE). Geographical Researches, 29(3): 89-104.
41. Saaty, T. L. 2008. Decision making with the analytic hierarchy process. International journal of services sciences, 1(1): 83-98.
42. Salehi, M.H., R. Mohajer, I. Esfandiyar Brojeni and M. Bagheri Badaghabadi. 2015. Water and Soil Conservation. Second Edition, PayamNoor University Press, 197pp. (In Persian).
43. Thomas, J., S. Joseph and K. Thrivikramji. 2017. Assessment of soil erosion in a tropical mountain river basin of the southern Western Ghats, India using RUSLE and GIS. Geoscience Frontiers, 9(3): 893-906.

DC: United States Department of Agriculture, 407pp.



Abstract

Estimation of Annual Sediment and Soil Erosion in the Aras River Subbasin with the RUSLE Experimental Model and Landsat 8 Data

S. R. Koooshahi^{*1}, K. Shahedi², S. K. Afshari Pour³ and S. H. Roshun⁴

Received: 2019/07/05 Accepted: 2020/08/22

Soil erosion is a very serious problem and its assessment in planning and conservation operation in the watershed is very useful. To estimate soil erosion and to establish soil erosion management plans, many computer models have been developed and used. The information needed to control soil erosion is possible by applying the revised universal soil loss equation. The aim of this study, prediction of annual soil loss and sediment load using RUSLE in geographic information system and remote sensing environment. RUSLE factors map including rainfall erosivity (R), soil erodibility (K), slope length (L), slope steepness (S), cover management (C) and support practice factor (P) were prepared using geographic information system and remote sensing. Finally, the erosion risk map was prepared using the integration of the geographic information system and weights obtained from the Analytical Hierarchy Process (AHP) process. The results showed that the mean values of R, K, LS, C and P indices were 207.443 (MJ / mmha-1hr-1 / year-1), 0.63 (t / ha, MJ.mm), 382.997, 0.364, 0.8 (t/year) in the studied basin and the most important factors in the amount of soil erosion were topography and precipitation factors. Also, the results showed that the annual erosion and sediment load in the study area was 7461.69 tons per year and the annual erosion had the highest weight (0.308) and the soil erodibility factor had the lowest weight (0.04). The final erosion risk map also showed that the large area of the studied area is eroded in a high-risk class (285.5 km²) and very high (47.9 km²), indicating that a serious management decision to be taken in the region. According to the results of this research, it is necessary to carry out appropriate protection in the area and these sites can be selected from the output of the RUSLE model.

Keywords: Soil erosion, RUSLE Model, AHP, GIS, Aras river sub basin

1. Ph.D. Student in Watershed Management and Engineering Science, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Corresponding Author: rozbeh.koshahi@gmail.com

2. Associate Professor, Department of Watershed Management and Engineering Science, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University.

3. M.Sc. Student, Department of Remote Sensing and GIS, Faculty of Geography, University of Tehran.

4. Ph.D. Candidate in Watershed Management and Engineering Science, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University.