

برآورد مکانی و زمانی فرسایش خاک با استفاده از مدل RUSLE و سری‌های زمانی ماهواره لند ست (مطالعه موردی: مندرجان، اصفهان)

- ❖ شاهین محمدی*؛ دانشجوی دکتری سنجش از دور، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز
- ❖ حمیدرضا کریم زاده؛ استادیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان
- ❖ سعید پورمنافی؛ استادیار دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان
- ❖ سعید سلطانی کوپائی؛ استاد دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان

چکیده

خاک یکی از مهم‌ترین عوامل تولید است که در زندگی اقتصادی و اجتماعی انسان تأثیر بسیار دارد و فرایند فرسایش خاک یکی از مشکلات محیطی است که تهدیدی برای محیط زیست، منابع طبیعی و کشاورزی به شمار می‌رود. اطلاعات زمانی و مکانی از میزان هدر رفت خاک و تأثیرگذاری فرسایش خاک بر سرزمین در اقدامات مدیریتی، کنترل فرسایش خاک و مدیریت حوزه‌های آبخیز نقش مؤثری دارد؛ بنابراین، این پژوهش با هدف مطالعه برآورد مکانی و زمانی فرسایش خاک در دوره‌های ۱۹۹۴، ۱۹۹۹، ۲۰۰۸ و ۲۰۱۵ در زیر حوضه مندرجان با مساحت ۲۱۱۰۰ هکتار واقع در غرب استان اصفهان با استفاده از فن‌آوری‌های سنجش از دور (RS) و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) انجام گرفت. در پژوهش حاضر ضمن بررسی‌های میدانی، داده‌ها و اطلاعات مختلف شامل؛ لایه مدل رقومی ارتفاعی، تصاویر ماهواره‌ای، خاک و آمار مربوط به ایستگاه‌های باران‌سنجی به‌عنوان ابزار تحقیق مورد استفاده قرار گرفت. همچنین برآورد میزان فرسایش خاک در حوضه مطالعاتی با استفاده از مدل تجدیدنظر شده جهانی فرسایش خاک (RUSLE) انجام شد. نتایج این مطالعه نشان داد که مقدار فرسایش خاک در سال ۱۹۹۴، ۱۹۹۹؛ ۲۰۰۸؛ و ۲۰۱۵ به ترتیب ۰/۰۰۱ تا ۰/۰۰۱، ۰/۰۰۱ تا ۰/۰۰۱ و ۰/۰۰۱ تا ۰/۰۰۱ تن بر "هکتار در سال" به دست آمد. همچنین عامل پستی و بلندی در منطقه با ضریب همبستگی ۸۰ درصد بیشترین تأثیر را در برآورد میزان فرسایش سالانه خاک توسط مدل RUSLE داشته است. این پژوهش، مؤثر بودن فناوری‌های نوین سیستم اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور در شبیه‌سازی زمانی برای تخمین کمی، دقیق‌تر و نقطه به نقطه در کل منطقه برای به دست آوردن مقادیر فرسایش خاک را تأیید می‌کند.

کلید واژگان: مدل‌سازی، هدر رفت خاک، تغییرات پوشش زمین، حفاظت خاک، سد زاینده‌رود

۱. مقدمه

فرایند فرسایش خاک عبارت است از فرسودگی و هدر رفت مداوم خاک سطح زمین (انتقال یا حرکت آن از نقطه تشکیل به نقطه دیگر در سطح زمین) توسط یک عامل فرساینده همچون آب، باد یا یخچال [۳]. از جمله مسائل مهم در حفظ منابع آب در کشورها، پدیده انتقال بار رسوبات به رودخانه‌ها است که تحت تأثیر پدیده فرسایش خاک در سطح حوضه‌ها قرار دارد [۱۲]. اثرات منفی ناشی از دخالت بشر یا فرسایش تشدید می‌شود، نه تنها در محل وقوع خود (محل برداشت)، در حوضه‌ها و اراضی زراعی به صورت کاهش توان تولیدی و تخریب خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک بروز می‌نماید، بلکه در محل خارج از وقوع آن به صورت انباشت بر روی اراضی مرغوب کشاورزی، مراتع، منابع ذخیره آب و کانال‌های آبیاری و همچنین ایجاد آلودگی توسط رسوبات و فلزات سنگین و مواد شیمیایی همراه آن، امروزه بیش از هر زمان دیگری مشهود است [۱۲]. بررسی مقالات علمی نشان می‌دهد، حدود ۵۸ درصد از تخریب اراضی در جهان به علت فرسایش خاک بوده که بیشتر این تخریب، از زمان جنگ جهانی دوم رخ داده است و باعث کاهش ۱۷ درصدی تولید محصول و آسیب زیست‌محیطی شده است، بنابراین جلوگیری از این پدیده، به عنوان یکی از مهم‌ترین عوامل جهت حفاظت از منابع طبیعی به شمار می‌رود [۱۱].

در بین مدل‌های ارزیابی فرسایش خاک، در طی ۴۰ سال اخیر، مدل USLE^۱ به سبب داشتن محاسبات ساده پرکاربردترین روش تخمین پتانسیل فرسایش خاک بوده است. به دنبال آن، نسخه جدید مدل USLE با نام معادله تجدیدنظر شده جهانی هدر رفت خاک (RUSLE) توسعه یافته که برآوردهای دقیق‌تری از عامل‌های مؤثر در فرسایش خاک شامل P، K، C، R و انجام می‌دهد [۲۷]. مدل RUSLE دارای مزیت‌هایی است که نیازمند داده‌های پیچیده نبوده و این داده‌ها به آسانی در دسترس می‌باشند [۳۸]. به سبب این که سیستم اطلاعات

جغرافیایی (GIS) و سنجش از دور (RS)، امکان تجزیه و تحلیل داده‌های مکانی را فراهم می‌آورند، مدل RUSLE با سیستم اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور تلفیق شده است. در مطالعه حاضر برآورد میزان فرسایش خاک با استفاده از مدل RUSLE^۲ در محیط سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی مورد استفاده قرار گرفته به نحوی که قابلیت فرسایش خاک در هر نقطه حوضه مشخص شود. تحقیقات و بررسی‌های گسترده‌ای در زمینه علت و برآورد فرسایش خاک با استفاده از مدل‌های مختلف در سراسر جهان صورت گرفته [۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۹، ۱۰، ۱۴، ۲۰ و ۲۱] که در این راستا به چندین مطالعه که شباهت بیشتری با تحقیق حاضر دارد اشاره می‌شود. مطالعه‌ای در حوضه بالادست سد ایلام با استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی و مدل RUSLE برای تخمین میزان فرسایش خاک انجام گرفت که در نهایت مؤثر بودن RS و GIS را جهت تخمین کمی مقادیر فرسایش خاک را اثبات نمودند [۳ و ۴]. مطالعه‌ای با تلفیق مدل RUSLE و فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (AHP) به منظور پهنه‌بندی دقیق‌تر فرسایش خاک، در حوزه آبخیز ماملو در شرق تهران انجام گرفت [۱۳]. در حوزه آبخیز مندرجان با استفاده از مدل تجربی ICONA پهنه‌بندی فرسایش خاک مورد بررسی قرار گرفت [۱۹]. همچنین این محققان در مطالعه‌ای دیگر به کمک مدل فرسایش خاک CORINE وضعیت فرسایش خاک این حوزه آبخیز را مورد ارزیابی قرار دادند [۱۸]. در پژوهشی دیگر [۱۰] میزان فرسایش خاک شرق اصفهان با استفاده از مدل RUSLE مورد ارزیابی قرار گرفت. بر اساس نتایج به دست آمده میزان فرسایش سالانه خاک در کل منطقه مورد مطالعه صفر تا ۹۵ تن در هکتار در سال برآورد شد. مطالعه‌ای به منظور ارزیابی تأثیر تغییرات کاربری بر مقدار فرسایش خاک با استفاده از ۵ سناریوی تغییر کاربری حوزه آبخیز کلیسان در شمال ایران انجام گرفت که به

1 Universal Soil Loss Equation

2 Revised Universal Soil Loss Equation

۲. روش شناسی

۱،۲. معرفی منطقه مورد مطالعه

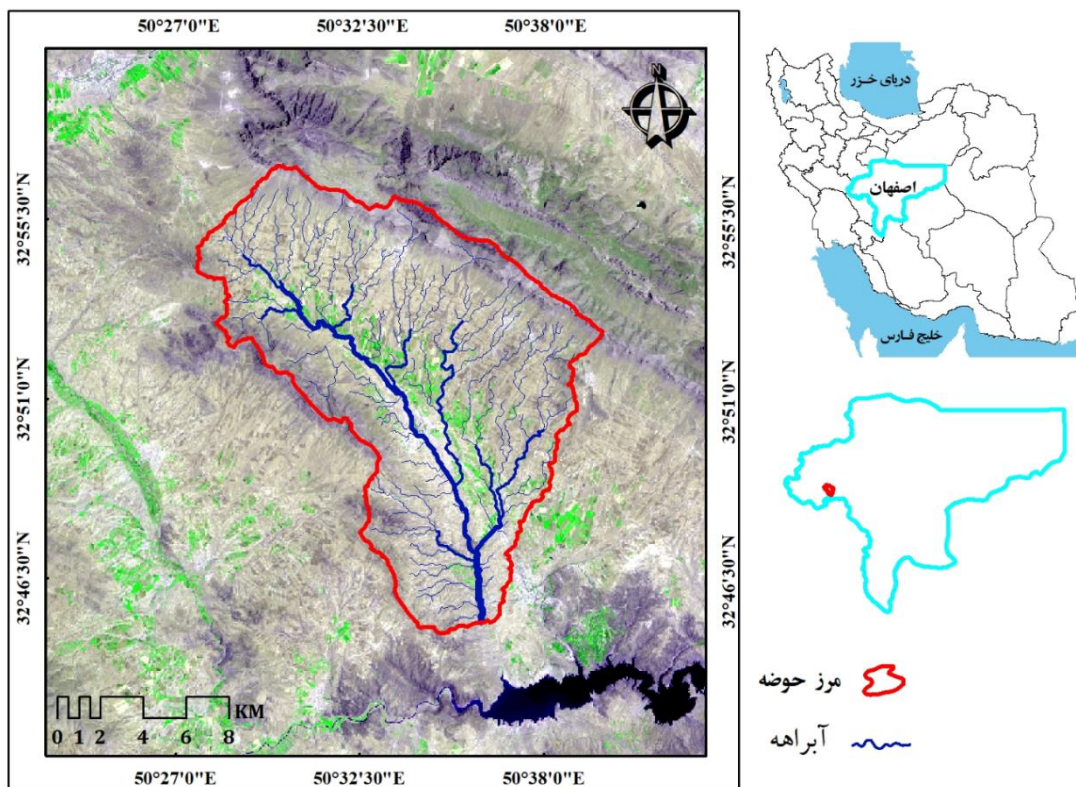
منطقه مورد مطالعه یکی از زیر حوضه‌های زاینده‌رود تحت عنوان حوزه آبخیز مندرجان یا پارسل B2 و در محدوده استان اصفهان هست. این منطقه بین طول جغرافیایی $50^{\circ} 07' 16''$ و $50^{\circ} 40' 34''$ شرقی می‌باشد و عرض جغرافیایی $32^{\circ} 04' 12''$ و $32^{\circ} 05' 48''$ شمالی و در غرب اصفهان قرار دارد (شکل ۱). مساحت منطقه در حدود ۲۱۱۰۰ هکتار می‌باشد. ارتفاع متوسط حوضه ۲۳۸۴ متر از سطح دریا است. منطقه مورد مطالعه از نظر تقسیمات تکتونیکی جزء زون سنندج - سیرجان محسوب می‌شود. به‌طور کلی منطقه به لحاظ کاربری اراضی تحت پوشش گیاهان مرتعی، باغات، کشاورزی آبی و دیم می‌باشد. مطالعه اراضی منطقه مطالعاتی حاکی از آن است که این اراضی بیشتر در وضعیت فقیر تا متوسط قرار داشته و فاقد اراضی مرتعی باکیفیت خوب تا عالی هستند. متوسط بارش منطقه ۴۲۰ میلی‌متر است [۳۲].

۲،۲. ابزار و داده‌های تحقیق

در این مطالعه لایه‌های مورد استفاده شامل نقشه مدل رقومی ارتفاعی منطقه (DEM) ۳۰ متری از ماهواره ASTER، لایه کاربری اراضی، اطلاعات اقلیمی ایستگاه‌های هواشناسی، تصاویر ماهواره لندست، اطلاعات مربوط به خاک منطقه می‌باشد. به‌منظور پردازش و آنالیز داده‌ها و اطلاعات به‌دست‌آمده از نرم‌افزارهای ArcGIS10.3، TAL، Jdirisi، Erdas Imaging2014، Microsoft Word و Minitab مورد استفاده قرار گرفت. در این مطالعه برای هر سال ۴ تصویر در فصل‌های مختلف دانلود گردید و یک تصویر به‌صورت متوسط پوشش گیاهی در هر سال به دست آمد که اطلاعات تصاویر مورد استفاده از ماهواره لندست در جدول ۱ ارائه گردید.

این نتیجه رسیدند هدر رفت خاک در آینده بیشتر از وضعیت کنونی خواهد بود، بنابراین برای کاهش مقدار فرسایش خاک منطقه مورد مطالعه باید برنامه‌های حفاظت خاک انجام گیرد [۴۰]. در نیجریه مطالعه‌ای با هدف تأثیر تغییر پوشش زمین بر مقدار فرسایش خاک انجام گرفت، آن‌ها در این پژوهش تصویر پوشش زمین ماهواره لندست را در ۳ دوره مورد بررسی قرار داده و مقدار فرسایش خاک را متناسب با تغییرات پوشش زمین برای نیجریه به دست آوردند [۲۵]. برای ارزیابی وضعیت فرسایش خاک در سطح کشور با استفاده از مدل RUSLE مطالعه‌ای انجام گرفت و محققان مؤثر بودن تلفیق این مدل با تکنیک‌های نوین سنجش از دور و سامانه اطلاعات مکانی را در برآورد هدر رفت خاک در مقیاس ملی تأیید کردند [۲۱].

در کشور ایران به دلیل کمبود ماده آلی خاک، پوشش گیاهی ضعیف، اقلیم خشک و نیمه‌خشک و توپوگرافی خاص کشور، سبب شده که وضعیت فرسایش خاک به یکی از مسائل زیست‌محیطی جدی تبدیل شود [۲۱]. همچنین، شیوه نامناسب کشاورزی (به‌عنوان مثال، کشت و زرع بیش از حد خاک و کشت اراضی شیب‌دار) باعث تسریع و تشدید فرسایش خاک شده است [۴]. این مشکل گسترده پایداری سد زاینده‌رود که منبع ذخیره آب برای استان اصفهان می‌باشد را تهدید نموده، زیرا هدر رفت خاک از دلایل اصلی ورود رسوب به مخزن سد و این فرآیند کیفیت آب منطقه را کاهش می‌دهد [۲۰]؛ بنابراین، این مطالعه با هدف ارزیابی مکانی و زمانی فرسایش خاک در حوزه آبخیز مندرجان (یکی از زیر حوضه‌های اصلی زاینده‌رود) انجام گرفت تا با آگاهی از وضعیت مکانی و زمانی فرسایش خاک به شکل مناسب‌تری وضعیت هدر رفت خاک منطقه را بررسی کرده و جهت حفاظت آب و خاک حوضه اقدام به عمل آورد.



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه (حوزه آبخیز مندرجان) در استان اصفهان

جدول ۱. اطلاعات تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده

ماهواره	سنجنده	ردیف	مسیر	تاریخ
لندست	TM	۳۷	۱۶۴	۱۹۹۴
	ETM+	۳۷	۱۶۴	۱۹۹۹
	TM	۳۷	۱۶۴	۲۰۰۸
	OLI	۳۷	۱۶۴	۲۰۱۵

۳،۲. روش تحقیق

در این مطالعه مدل تجدیدنظر جهانی فرسایش خاک RUSLE به منظور برآورد فرسایش خاک مورد استفاده قرار گرفت که لایه‌های آن را می‌توان با کمک تکنیک‌های سنسجش از دور و GIS به دست آورد. معادله جهانی فرسایش خاک (USLE) و نسخه تجدیدنظر شده آن (RUSLE)، جهت تخمین فرسایش خاک و طراحی برنامه‌های حفاظتی مورد استفاده قرار می‌گیرد [۲۷].

مدل RUSLE، یک مدل برآورد هدر رفت خاک در فرایند فرسایش آبی است که با ۶ عامل مؤثر در فرسایش آبی خاک ارتباط دارد [۳۸] (رابطه ۱):

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

عامل فرساینده باران (R): فرساینده باران در این مدل بیانگر تنش اعمالی از طرف قطرات باران بر خاکدانه‌های سطح خاک می‌باشد و به منظور لحاظ تأثیر

و Q کلاس نفوذپذیری خاک می‌باشد [۳۵]. سپس برآورد مقدار عامل فرسایش‌پذیری برای هر نقطه با استفاده از تست نرمال بودن مورد بررسی قرار گرفت تا روش مناسب برای پهنه‌بندی فرسایش‌پذیری خاک منطقه انتخاب و سپس پهنه‌بندی شود.

$$K = \left[(2.1 * 10^{-4} * M^{1.14} (12 - OM) + 3.25(S - 2) + 2.5(Q - 3) / 100 \right] * 0.1317 \quad \text{رابطه ۵}$$

عامل توپوگرافی (LS): برای به دست آوردن عامل توپوگرافی روش‌های مختلفی پیشنهاد شده است [۳۷]، [۴۱] که اخیراً ابزاری به‌منظور برآورد دقیق‌تر این عامل ارائه گردید [۴۱]. ورودی این ابزار لایه مدل رقومی ارتفاعی می‌باشد که در این مطالعه DEM با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر از ماهواره STRM برای منطقه مورد مطالعه تهیه شد (شکل ۲).

عامل پوشش گیاهی (C): این عامل، بیانگر نسبت مقدار خاک از بین رفته از زمین زیر کشت (تحت کاربری مشخص)، به خاک فرسوده شده از همان قطعه زمین در طی آیش مداوم و عاری از پوشش یا بقایای گیاهی می‌باشد [۳۸]. پرکاربردترین معیار رویش گیاه، شاخص تفاضل پوشش گیاهی نرمال شده است که با استفاده از فناوری سنجش از دور به دست می‌آید. در این مطالعه ابتدا برای هر سال چند تصویر در ماه‌های مختلف تهیه و برای هر تصویر یک مقدار NDVI با استفاده از رابطه ۶ به دست آمد، با میانگین‌گیری ماه‌های مختلف در سال یک متوسط NDVI برای هر سال برآورد گردید. در مناطق خشک و نیمه‌خشک رابطه ۷ بهترین برآورد را در تخمین عامل پوشش گیاهی با استفاده از شاخص NDVI دارد [۷]؛ بنابراین با استفاده از رابطه زیر عامل پوشش گیاهی برای سال‌های مذکور تهیه شد [۳۶]:

$$NDVI = (NIR - R) / (NIR + R) \quad \text{رابطه ۶}$$

$$C = (-NDVI + 1) / 2 \quad \text{رابطه ۷}$$

اقلیم بر فرسایش خاک ارائه شد [۳۸]. برای انجام این تحقیق، داده‌های بارندگی برای یک دوره ۱۰ ساله (از سال ۱۳۸۴ تا ۱۳۹۳)، از ۱۴ ایستگاه باران‌سنجی موجود در داخل و اطراف حوضه، کسب شد (شکل ۲). با توجه به کامل بودن داده‌ها در دوره آماری مدنظر بازسازی داده‌ها صورت نگرفت. برای دست یافتن به عامل فرسایش‌پذیری در مناطقی که فاقد داده شدت می‌باشند شاخص اصلاح‌شده مناسب می‌باشد [۳، ۹]. با استفاده از رابطه ۲، شاخص فورنیه اصلاح‌شده برای ایستگاه‌ها به دست آمد [۲۶]:

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

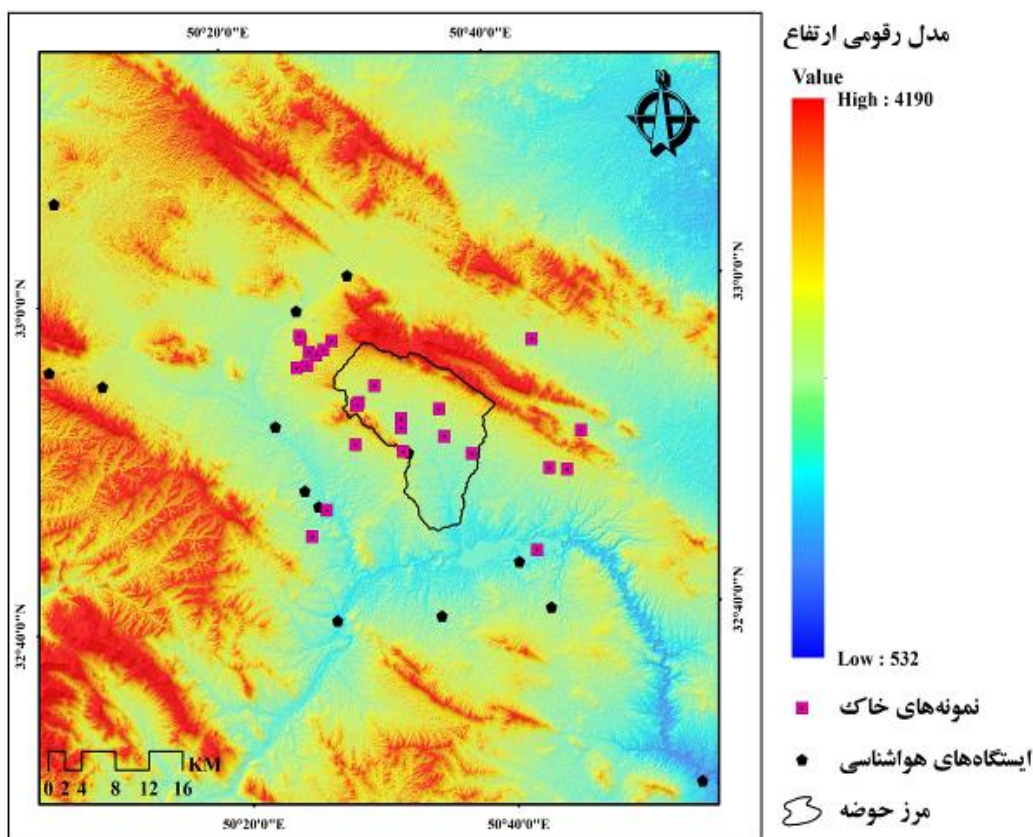
در این رابطه، p_i متوسط بارندگی (میلی‌متر) در ماه i و p متوسط بارندگی سالانه (میلی‌متر) است. در روابط ۳ و ۴ که برای مناطق فاقد داده‌های تفصیلی رگبار (شدت بارندگی) پیشنهاد شده، مقدار عامل R برای ایستگاه‌های شاخص برآورد شد [۲۶].

$$R = 0.07397 * F^{1.87} \quad F < 55 \text{mm} \quad \text{رابطه ۳}$$

$$R = 95.77 - 6.081 * F^2 \quad F \geq 55 \text{mm} \quad \text{رابطه ۴}$$

R: عامل فرسایش‌پذیری باران ($\text{MJ mm ha}^{-1} \text{y}^{-1} \text{h}^{-1}$).

عامل فرسایش‌پذیری خاک (k): فرسایش‌پذیری خاک بیانگر حساسیت ذاتی خاک به عوامل فرسایش‌دهنده است و سهولت جدا شدن ذرات خاک بر اثر انرژی جنبشی قطرات باران و انتقال آن‌ها به وسیله نیروی رواناب را نشان می‌دهد [۱۶ و ۳۴]. در تحقیق حاضر ۲۶ نمونه خاک در داخل و اطراف حوضه برداشت (شکل ۲) و سپس ویژگی‌های بافت و نفوذپذیری و مقدار ماده آلی خاک استخراج گردید. لذا پس از استخراج ویژگی‌های خاک از طریق رابطه ۵ [۳۸] مقدار فرسایش‌پذیری خاک برحسب تن در هکتار بر مگا ژول بر میلی‌متر به دست آمد که در این رابطه M (درصد شن + درصد شن ریز) (۱۰۰- درصد رس)، OM درصد ماده آلی خاک، S کد ساختمان خاک



شکل ۲. موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی و محل‌های نمونه‌های خاک برداشت‌شده و مدل رقومی ارتفاعی

عامل کمتر باشد، کارهای حفاظتی مؤثرتر و هدر رفت خاک کمتر است. چنانچه هیچ کار حفاظتی صورت نگرفته باشد مقدار آن یک در نظر گرفته می‌شود. عامل حفاظت منطقه بر اساس شیب و لایه کاربری اراضی منطقه به کمک جدول ۲ نیز تهیه شد [۳۳].

عامل کارهای حفاظتی (P): عامل کارهای حفاظتی را به‌عنوان مقدار خاک هدررفته در واحد سطح یک زمین حفاظت‌شده، به زمینی که لخت و در جهت تندترین شیب شخم‌خورده باشد، تعریف می‌شود [۳۸]. به‌طور عمده منظور از کارهای حفاظتی، کشت درروی خطوط تراز، کشت نواری و تراس‌بندی است. هر چه مقدار این

جدول ۲. عامل حفاظت خاک [۳۳]

عامل حفاظتی	شیب (درصد)	تیپ کاربری اراضی
۰/۱۰	۵-۰	کشاورزی
۰/۱۲	۱۰-۵	
۰/۱۴	۲۰-۱۰	
۰/۱۹	۳۰-۲۰	
۰/۲۵	۵۰-۳۰	
۰/۳۳	۱۰۰-۵۰	
۱	همه	کاربری‌های دیگر

۴,۲. اعتبار سنجی روش‌های درونیابی

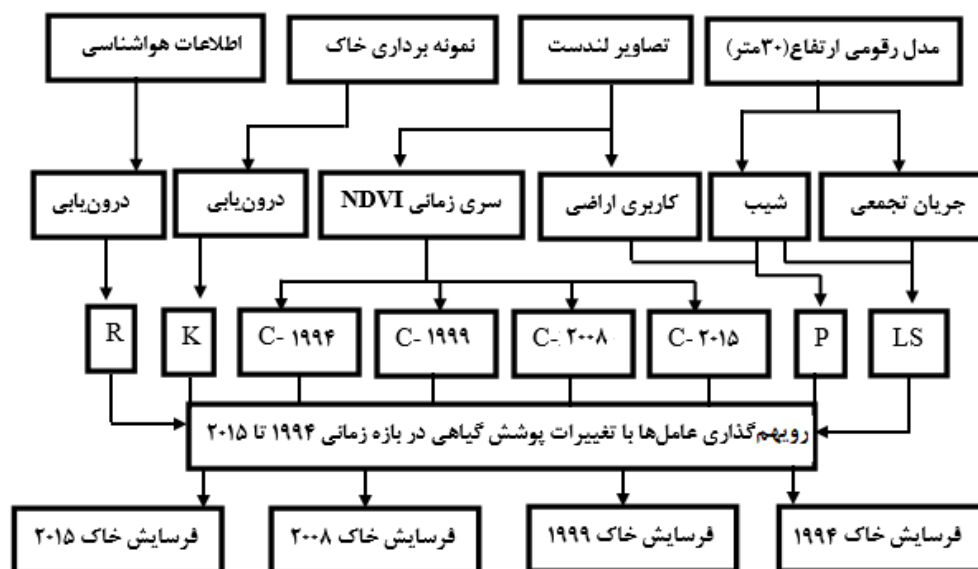
انتخاب نهایی روش بهینه درونیابی، بر اساس معیار شاخص ریشه دوم میانگین مربع خطا^۱ (RMSE) صورت می‌گیرد که در آن کمترین مربعات خطای هر برازش تعیین می‌گردد. در این روش ابتدا یکی از نقاط اندازه‌گیری را حذف نموده و سپس با استفاده از سایر نقاط و اعمال روش درونیابی موردنظر برای نقطه حذف‌شده، برآورد آماری به‌وسیله واریوگرام صورت می‌گیرد، در مرحله بعد این نقطه به محل خود برگردانده شده و نقطه بعدی حذف می‌گردد و به همین ترتیب برای تمام نقاط مشاهده‌ای یک برآورد نیز صورت می‌گیرد و شاخص خطا از طریق رابطه ۸ به دست می‌آید. در این تحقیق از واریوگرام مناسب با کمترین مقدار خطا تشخیص داده شد (جدول ۴).

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (z^*(s_i) - z(s_i))^2}{n}} \quad \text{رابطه ۸}$$

۲,۵. رگرسیون خطی ساده

به‌منظور تجزیه و تحلیل همبستگی بین عوامل مؤثر در فرسایش خاک، با استفاده از نرم‌افزار (۱۸/۲) Idirisi بین عوامل رگرسیون گرفته شد؛ بنابراین هدر رفت سالانه خاک به‌عنوان متغیر وابسته و عوامل فرساینده باران، فرسایش‌پذیری خاک، توپوگرافی، پوشش گیاهی و حفاظت خاک به‌عنوان متغیرهای مستقل در نظر گرفته شدند.

در این مطالعه عامل پوشش گیاهی در طی سال‌های ۱۹۹۴ تا ۲۰۱۵ به‌عنوان متغیر و سایر عوامل ثابت در نظر گرفته شدند تا اثر تغییرات پوشش گیاهی و پوشش سطح بر فرسایش خاک مورد بررسی قرار گیرد. پس از تهیه لایه اطلاعاتی مورد نیاز مدل، لایه‌ها به فرمت رستری با اندازه سلول ۳۰ متر با سیستم مختصات یکسان درآمد و با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS ۱۰/۳، برای برآورد فرسایش خاک در هم ضرب شدند. لایه فرسایش خاک به دست آمده برای هر سال بر حسب تن بر هکتار بر سال می‌باشد که برای درک بهتر موضوع مراحل انجام تحقیق به صورت کلی در شکل ۳ ارائه گردید.



شکل ۳. مراحل انجام تحقیق

^۱ Root Mean Square Error

۳. نتایج

فورنیه و مقدار فرساینده‌گی باران محاسبه گردید. مشخصات ایستگاه‌ها، شاخص فورنیه اصلاح‌شده و عامل فرساینده‌گی باران در این مطالعه در جدول ۳ ارائه شده است:

با استفاده از روابط مورد نیاز، برای ۱۴ ایستگاه هواشناسی در طی دوره آماری ۱۰ ساله مقادیر شاخص‌های

جدول ۳. محاسبه و برآورد F و R برای ایستگاه‌های بارندگی ($\text{MJ mm ha}^{-1} \text{y}^{-1} \text{h}^{-1}$)

ایستگاه	نام ایستگاه	ارتفاع (m)	F	R
۱	حیدری	۲۲۰۴	۸۱/۵۲	۱۶۱
۲	یانچشمه	۲۲۴۸	۶۶/۸۵	۱۰۵/۹
۳	سد زاینده‌رود	۲۱۰۰	۴۴/۲	۴/۷
۴	قلعه شاهرخ	۲۱۸۰	۶۸/۳۹	۱۱۱/۱۲
۵	اسکندری	۲۱۳۰	۷۲/۸۵	۱۲۷
۶	پل زمان خان	۱۸۱۰	۷۲/۰۹	۲۴/۲۳
۷	سواران	۲۱۵۰	۷۴/۲۳	۱۳۲/۱۵
۸	چادگان	۲۱۰۰	۶۱/۵۹	۸۹
۹	سینگرد	۲۱۰۰	۷۱/۷	۱۲۲/۸۲
۱۰	بادیجان	۲۳۰۰	۹۱/۱۳	۲۰۳/۶۶
۱۱	فریدون‌شهر	۲۴۹۰	۹۵/۶۲	۲۲۵/۳۶
۱۲	رزوه چادگان	۲۲۰۰	۶۸/۴	۱۱۱/۱۵
۱۳	داران	۲۳۰۰	۵۹/۷۶	۸۳/۵
۱۴	دامنه‌فریدن	۲۳۰۰	۶۷/۳۸	۱۰۷/۶۶

کریجینگ، روش کریجینگ ساده با واریوگرام نمایی کمترین درصد خطا را داشته و به‌عنوان روش برآورد عامل فرساینده‌گی مورد استفاده قرار گرفت. مطابق لایه فرساینده‌گی به‌دست‌آمده، مقدار این عامل از ۹۰/۵۷ تا $۱۱۱/۱$ ($\text{MJ mm ha}^{-1} \text{y}^{-1} \text{h}^{-1}$) متغیر می‌باشد.

با بررسی مقدار فرساینده‌گی ارائه گردیده برای ایستگاه‌های هواشناسی به دلیل اینکه مقدار چولگی کمتر از ۰/۵ می‌باشد (جدول ۴)؛ بنابراین داده‌ها نرمال می‌باشد که روش‌های کریجینگ مقدار ریشه متوسط مربع خطاها (RMSE) کمتری را دارند. همان‌طور که در جدول‌های ۵ و ۶ مشخص است در بین روش‌های معمول مورد استفاده

جدول ۴. خصوصیات آماری داده‌های عامل فرساینده‌گی باران

متغیر	توزیع داده	تعداد	میانگین	انحراف معیار	کشیدگی	چولگی
فرساینده‌گی	نرمال	۱۴	۱۲۲/۱	۵۲/۶۵	۳/۸۱	-۰/۰۰۹

جدول ۵. پارامترهای تأثیر قطعه‌ای و سقف واریوگرام به‌دست‌آمده برای واریوگرام‌های برآزش شده

مدل	اثر قطعه‌ای (CO) (mm) ^۲	حد آستانه $(\text{Co}+\text{C})$ (mm) ^۲	$(\text{CO}/\text{CO}+\text{C})\%$
نمایی	۰/۲۲۶	۰/۷۷۴	۰/۲۹۱
کروی	۰/۳۹۱	۰/۶۰۸	۰/۶۴۳
گوسی	۰/۵۲۹	۰/۴۰۷	۱/۳

جدول ۶. نتایج حاصل از ارزیابی دقت برای سه روش کریجینگ

روش	ریشه میانگین مربع خطاها (RMSE)
کریجینگ عمومی	۰/۹۹۹
کریجینگ ساده	۰/۹۲۳
کریجینگ جهانی	۰/۹۹۹

نرمال سازی دارند. نرمال سازی داده ها به روش کاکس-باکس^۱ در نرم افزار Minitab (۱۷/۲) انجام گرفت، اما از آنجایی که داده ها دوباره غیر نرمال بودند، بنابراین برای بازسازی داده های فرسایش پذیری منطقه، روش پهنه بندی IDW^۲ مورد استفاده قرار گرفت (شکل ۴).

اطلاعات آماری و مقدار عامل فرسایش پذیری خاک در جدول های ۷ و ۸ ارائه گردیده است. همان طور که از پارامترهای آماری (جدول ۷) نمایان است، داده های فرسایش پذیری دارای چولگی بیشتر از ۰/۵ می باشد، بدین معنی که داده های خاک نرمال نبوده و نیاز به

جدول ۷. آماره های توصیفی عامل فرسایش پذیری خاک در منطقه مورد مطالعه

متغیر	میانگین	حداقل	حداکثر	انحراف معیار	چولگی
فرسایش پذیری خاک (k)	۰/۰۴۸	۰/۰۳۲	۰/۰۵۱	۰/۰۰۴	-۲/۳

جدول ۸. مقادیر عامل فرسایش پذیری خاک در نقاط نمونه برداری شده ($t h Mj-1mm^{-1}$)

نقاط	بافت خاک	عامل فرسایش پذیری	نقاط	بافت خاک	عامل فرسایش پذیری
۱	silty clay loam	۰/۰۵	۱۴	Silty clay loam	۰/۰۵
۲	clay	۰/۰۵	۱۵	loam	۰/۰۴۵
۳	silty clay loam	۰/۰۴	۱۶	clay loam	۰/۰۴۵
۴	silty clay loam	۰/۰۵۱	۱۷	silty clay loam	۰/۰۵
۵	clay	۰/۰۵	۱۸	silty clay loam	۰/۰۴
۶	silty clay loam	۰/۰۵	۱۹	loam	۰/۰۵۱
۷	clay loam	۰/۰۵	۲۰	loam	۰/۰۵۱
۸	silty clay loam	۰/۰۵	۲۱	clay loam	۰/۰۵
۹	silty clay loam	۰/۰۴۵	۲۲	clay loam	۰/۰۴
۱۰	clay/clay loam	۰/۰۵	۲۳	silty loam	۰/۰۵
۱۱	sandy clam loam	۰/۰۵۱	۲۴	silty loam	۰/۰۴
۱۲	silty clay loam	۰/۰۵	۲۵	silty clay loam	۰/۰۴
۱۳	clay loam/loam	۰/۰۵	۲۶	clay loam	۰/۰۴

^۱ Cox-Box^۲ Inverse Distance Weighting

استفاده از رابطه ۱ و از طریق ضرب قطعی عوامل فرساینده‌گی (R)، فرسایش‌پذیری خاک (K)، توپوگرافی (LS)، پوشش گیاهی (C) و عملیات حفاظتی خاک (P) در محیط نرم‌افزار ArcGIS ۱۰/۳ محاسبه گردید. نقشه فرسایش خاک به دست آمده برای ۴ دوره در شکل ۷ ارائه شده و هر دوره به ۵ کلاس، از خیلی کم تا خیلی زیاد طبقه‌بندی و مساحت و درصد هر یک از کلاس‌ها در جدول ۹ آورده شد. همچنین نتایج حاصل از بررسی ضرایب رگرسیونی بین عوامل ورودی و خروجی مدل در جدول ۱۰ ارائه گردید.

عامل توپوگرافی، همان‌طور که در شکل ۴ دیده می‌شود مقدار آن از ۰/۰۱ تا ۸۸/۵ متغیر بوده، که در مناطق با شیب تند و ناهموار مقدار آن بیشتر بوده و در مناطق مسطح کمترین مقدار را دارا می‌باشد. عامل پوشش گیاهی از طریق متوسط NDVI در هر سال برای ۴ دوره به دست آمد. مقدار NDVI و عامل پوشش گیاهی در شکل‌های ۵ و ۶ ارائه گردید. همچنین عامل حفاظت خاک این حوضه بین ۰/۱ تا ۱ (مکان‌های بدون هیچ‌گونه عملیات حفاظتی) متغیر بوده و نحوه تغییرات آن در شکل ۴ نشان داده شد. فرسایش سالانه خاک با

جدول ۹. درصد کلاس‌های طبقه‌بندی شده میزان فرسایش خاک (تن بر "هکتار در سال") از ۱۹۹۴ تا ۲۰۱۵

کلاس‌ها	۱۹۹۴	۱۹۹۹	۲۰۰۸	۲۰۱۵
۵-۰ خیلی کم	۶۳/۹۴	۶۱/۸۵	۶۳/۳۵	۶۴/۶۷
۱۰-۵ کم	۱۲/۶۳	۱۲/۹۷	۱۲/۸۳	۱۲/۹
۲۰-۱۰ متوسط	۸/۴۴	۹/۴۲	۸/۷۳	۸/۰۳
۴۰-۲۰ شدید	۴/۴۸	۴/۷۲	۴/۵۱	۴/۳
> ۴۰ بسیار شدید	۱۰/۴۷	۱۱/۰۱	۱۰/۵۶	۱۰/۰۸

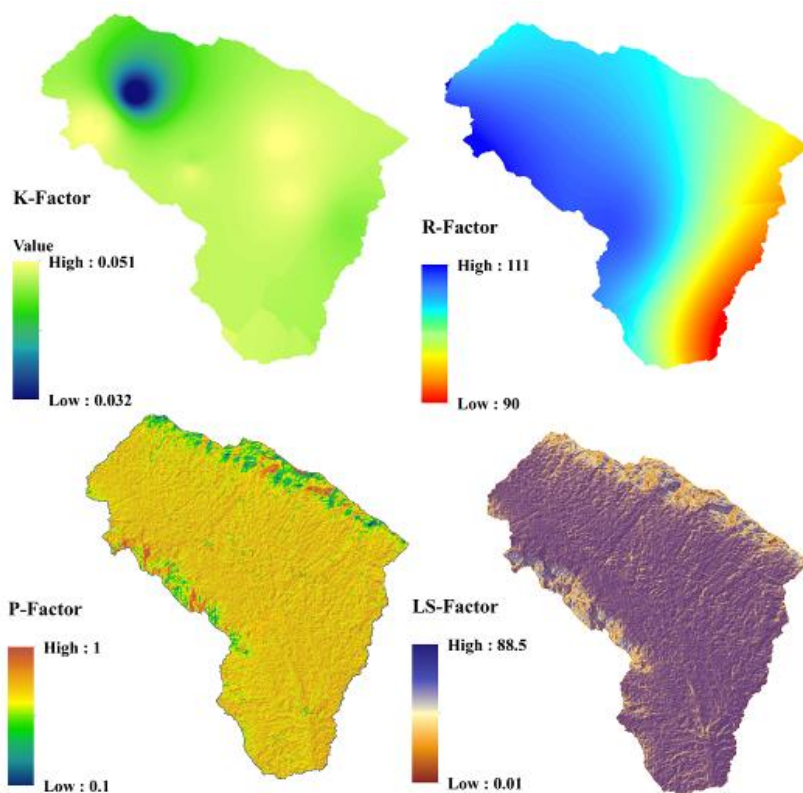
جدول ۱۰. روابط رگرسیونی بین میزان هدر رفت خاک و عوامل دخیل در مدل RUSLE

عامل‌های مدل RUSLE	رابطه رگرسیونی	همبستگی
C	$Y = -3/603 + 64/513 X$	۰/۲۹
K	$Y = 0/27 + 94/328 X$	۰/۲۴
LS	$Y = -7/271 + 22/357 X$	۰/۸۰
P	$Y = -3/476 + 169/681 X$	۰/۵۲
R	$Y = -0/83 + 0/364 X$	۰/۲۴

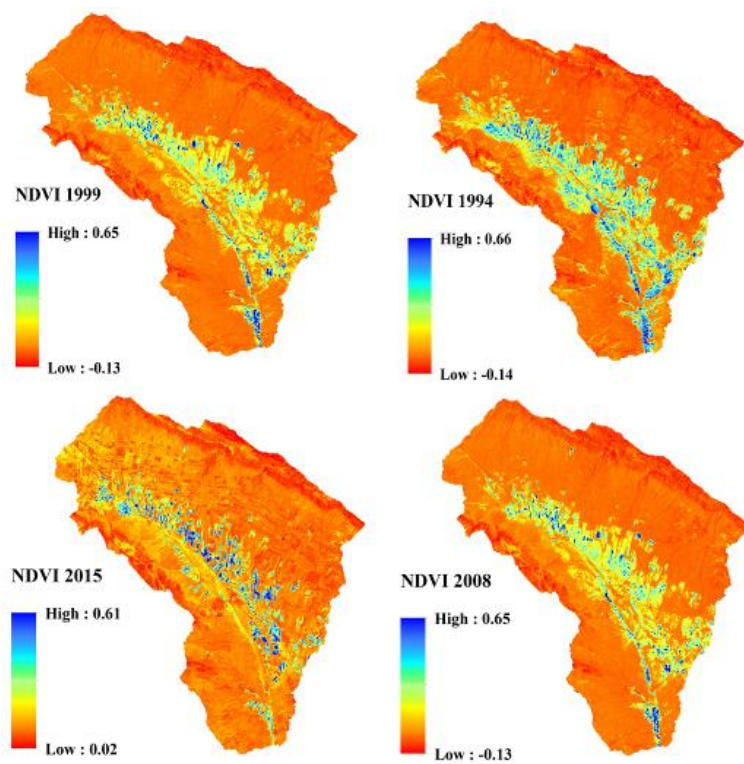
پژوهش ارزیابی کمی مکانی و زمانی هدر رفت خاک در حوزه آبخیز مندرجان با استفاده از مدل RUSLE و به کمک فناوری‌های نوین GIS و RS صورت گرفت. مطالعات زیادی در زمینه ارزیابی عامل فرساینده‌گی در داخل و خارج کشور در مقیاس جهانی، بین‌المللی، ملی و منطقه‌ای انجام گرفته است [۲۱، ۲۴، ۲۹، ۳۰، ۳۱، ۳۹].

۴. بحث و نتیجه‌گیری

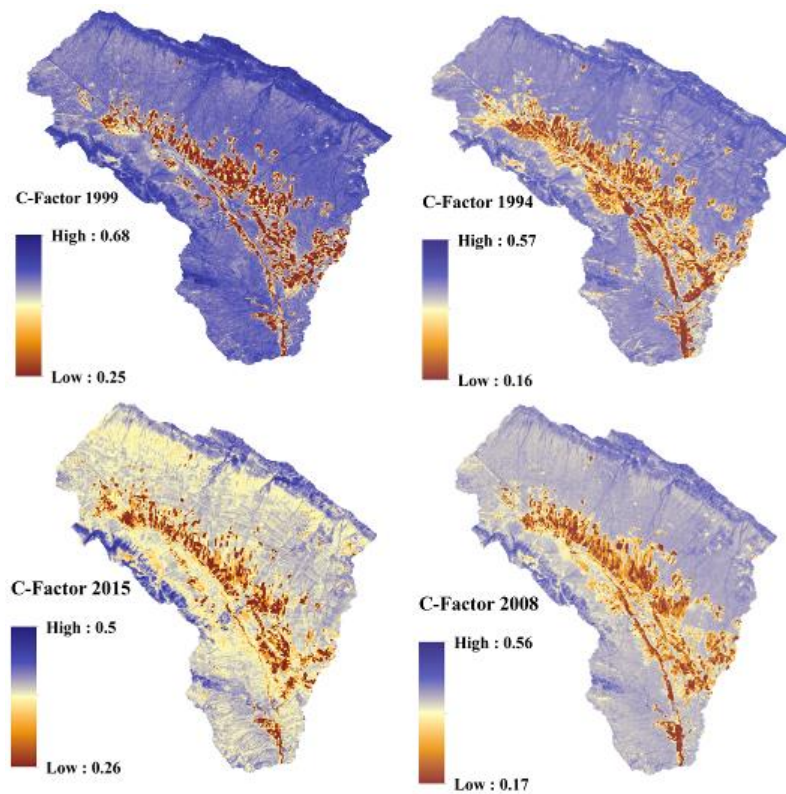
فرسایش خاک، مخصوصاً در کشورهای در حال توسعه روند افزایشی دارد. فرسایش خاک تشدید شونده باعث از بین رفتن خاک‌های کشاورزی، فقیر شدن ظرفیت تولیدی خاک‌ها و آلودگی آب‌های طبیعی و پر شدن سریع سدها در اثر رسوب‌گذاری می‌شود. در این



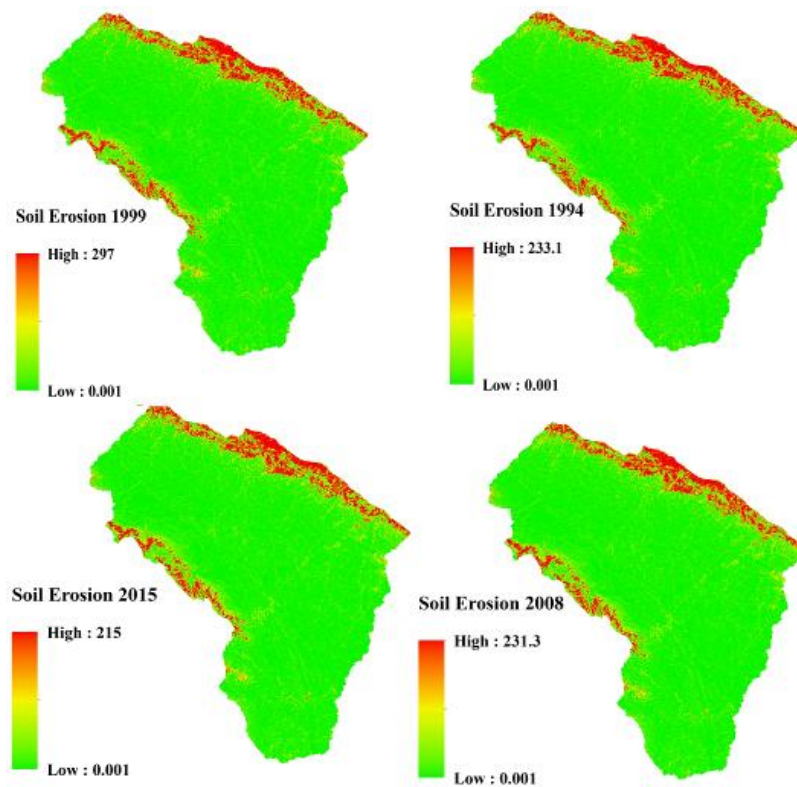
شکل ۴. نقشه‌های عوامل ثابت مدل (K و P, R, LS) در حوزه آبخیز مندرجان



شکل ۵. نقشه‌های NDVI حوزه آبخیز مندرجان از ۱۹۹۴ تا ۲۰۱۵



شکل ۶. نقشه‌های عامل پوشش گیاهی حوزه آبخیز مندرجان در طی سال‌های ۱۹۹۴ تا ۲۰۱۵



شکل ۷. نقشه‌های میزان فرسایش خاک حوزه آبخیز مندرجان در طی سال‌های ۱۹۹۴ تا ۲۰۱۵ برحسب تن بر "هکتار در سال"

به دلیل اقلیم و موقعیت مکانی متفاوت در مناطق مختلف کره زمین، مقدار حداکثر و حداقل فرسایندهی به طور قابل توجهی متفاوت می باشد. در سطح کشور مقدار متوسط این عامل برای قسمت های شرق و جنوب شرقی کشور حداقل و در شمال، شمال غرب و غرب کشور حداکثر می باشد [۲۱، ۲۴، ۳۹]. مقدار متوسط فرسایندهی به دست آمده در پژوهش حاضر برای حوزه آبخیز مندرجان $10.5 (MJ \text{ mm } h^{-1} y^{-1})$ می باشد که در مقایسه با سایر مطالعات انجام شده در ارتباط با فرسایندهی در سطح کشور می توان نتیجه گرفت که این منطقه از نظر عامل فرسایندهی باران، فرسایندهی کمتری نسبت به مناطق غرب و شمال غرب کشور دارد زیرا بارش این مناطق کمتر و اغلب با شدت کم می باشد و این در حالی است که در مناطق غربی کشور اغلب بارش شدید و به صورت رگباری می باشد. با بررسی بیشتر نقشه عامل فرسایندهی باران در سطح حوضه مشخص شد که عامل فرسایندهی از جنوب شرقی به شمال غربی به صورت پیوسته افزایش پیدا می کند و بیشترین مقدار این عامل را می توان در قسمت های شمال غرب حوضه مشاهده کرد. همچنین نتایج پهنه بندی این عامل نشان داد که بهترین روش برای پهنه بندی عامل فرسایندهی روش کریجینگ ساده با واریوگرام نمایی می باشد و این در حالی است که رضائی و همکاران (۲۰۱۵) روش کریجینگ معمولی را مناسب ترین روش جهت پهنه بندی عامل فرسایندهی بیان کردند، بنابراین بهترین روش به منظور پهنه بندی، بسته به نوع داده و ماهیت داده و منطقه مورد مطالعه می تواند متفاوت باشد [۲۸].

نتایج تحقیق نشان داد که میزان شاخص فرسایش پذیری خاک حوضه از ۰/۰۳ تا ۰/۰۵۱ متغیر بوده و متوسط آن ۰/۰۴،

$t \text{ h } MJ^{-1} \text{ mm}^{-1}$ بوده است. از آنجا که بیشتر خاک های منطقه بافت سیلتی و لومی داشته و حساس به فرسایش می باشند بنابراین خاک منطقه فرسایش پذیری زیادی داشته و انواع اشکال فرسایش خاک از جمله؛ فرسایش های ورقه ای، شیاری و حتی گالی در منطقه دیده می شود [۲۰،

۲۳]. همان طور که در شکل های ۴ و ۵ دیده می شود رابطه عامل پوشش گیاهی با NDVI معکوس می باشد بدین معنی که هرچه قدر NDVI به ۱ نزدیک تر شود تراکم پوشش گیاهی بیشتر شده که تراکم بالای پوشش گیاهی سبب کاهش فرسایش خاک می شود، بنابراین عامل C با افزایش پوشش گیاهی مقدار آن کاهش می یابد [۳، ۹ و ۱۵]. مقدار عامل C بین ۰/۱۶ تا ۰/۶۸ از سال ۱۹۹۴ تا ۲۰۱۵ متغیر می باشد. با بررسی شرایط اقلیمی منطقه در سال ۱۹۹۹ و ۲۰۰۰ یک کمبود بارش در منطقه مشاهده گردید که سبب کاهش و تضعیف پوشش گیاهی منطقه شده [۱۷]، در نتیجه آن، سطح خاک لخت و در مقابل ریزش های جوی حساسیت بیشتری پیدا نموده که در نهایت منجر به افزایش فرسایش خاک منطقه شده است. همان طور که در شکل های ۴ و ۵ هم مشاهده می شود اثر بارش و خشک سالی بر مقدار پوشش گیاهی به وضوح دیده می شود و در سال ۱۹۹۹ پوشش گیاهی قسمت زیادی از مرتع منطقه تضعیف شده است. به طوری که از سال ۱۹۹۴ تا ۱۹۹۹، درصد مساحت اراضی که در کلاس های فرسایش خاک کم و خیلی کم قرار می گیرند کاهش و سپس با افزایش بارش در طی سال های ۲۰۰۸ و ۲۰۱۵ درصد این اراضی افزایش می یابد و این در ارتباط با مساحت اراضی که در کلاس های فرسایش زیاد و خیلی زیاد قرار می گیرند روند کاملاً عکس دارد (جدول ۹). حال با توجه به خشک سالی که در طی سال ۱۸-۲۰۱۷ رخ داده و ایران مرکزی نسبت به متوسط بارش میان مدت نیز بارش کمتری دریافت نموده است، اثر کمبود بارش را بر میزان پوشش گیاهی و افزایش حساسیت پذیری خاک و بالتبع آن افزایش میزان فرسایش خاک را در طی سال های آتی شاهد خواهیم بود. پوشش گیاهی به عنوان عامل حفاظتی در گروه سوم از عوامل مؤثر در فرسایش خاک طبقه بندی می شود، به طوری که از برخورد مستقیم قطرات باران (گروه انرژی) بر خاکدانه های سطحی (گروه مقاومت) جلوگیری می کند و از طرف دیگر با افزایش میزان مواد آلی خاک باعث افزایش ثبات خاکدانه و بالتبع آن افزایش مقاومت برشی خاک و تقابل بهتر در مورد تنش های اعمالی خواهد

۱۵ درصد نیز تحت خطر فرسایش زیاد و خیلی زیاد قرار دارند که در قسمت‌های مرتفع غرب و شمالی حوضه واقع شده‌اند. مطابق نقشه خطر فرسایش خاک تهیه شده، مناطق با خطر فرسایش متوسط تا زیاد، عمدتاً در قسمت‌های ناهموار و مرتفع منطقه که دارای شیب زیادی هستند قرار دارند. مناطق با خطر فرسایش خاک خیلی زیاد نیز شامل مناطقی است که اغلب فاقد پوشش گیاهی و یا با تراکم کم می‌باشد. این مناطق عمدتاً دارای بارش‌های شدید و در اراضی با شیب بسیار تند واقع شده‌اند که قسمت‌های شمالی حوضه و غرب حوضه جزء این مناطق می‌باشند. پژوهش‌هایی [۱۸ و ۱۹] با استفاده از مدل‌های CORINE و ICONA به منظور بررسی وضعیت فرسایش خاک حوزه آبخیز مندرجان انجام گرفت. نتایج این تحقیقات نیز نشان داد که مقدار فرسایش خاک در مناطق مرتفع و بایر شدید بوده و در مناطق مسطح که دارای پوشش گیاهی مناسبی بوده مقدار هدر رفت خاک کاهش می‌یابد که با نتایج به دست آمده در این تحقیق هم‌خوانی دارد. همچنین در تحقیقی دیگر [۲۰] که به منظور ارزیابی فرسایش خاک و رسوب در این حوضه انجام گرفت، مشخص گردید که برداشت خاک عمدتاً در قسمت‌های شمالی و مرتفع حوضه رخ داده و اغلب در قسمت‌های کم ارتفاع و مسطح حوضه ته‌نشست می‌یابند که نتایج به دست آمده در این تحقیق [۲۰] با نتایج تحقیق حاضر همسو می‌باشد. در نهایت باید ذکر نمود با توجه به اینکه ایجاد پایگاه داده از طریق روش‌های قدیمی، بسیار وقت‌گیر و خسته‌کننده و غیرعملی می‌باشد بنابراین GIS و RS می‌توانند به صورت مؤثر، در توسعه راهکارهای مدیریتی و فراهم آوردن گزینه‌های انتخابی برای مدیران، جهت حل مشکل فرسایش خاک به کار گرفته شود.

شد. به عبارتی پوشش گیاهی در دراز مدت باعث کاهش فرسایش پذیری خاک نیز خواهد شد. عامل توپوگرافی از ۰/۰۰۱ تا ۸۸/۵ در سطح منطقه متغیر بوده که نقاط مرتفع و شیب‌دار بیشترین مقدار را در این عامل به خود گرفته‌اند و ارزش‌های پایین برای نقاط پست و کم شیب می‌باشد. همان‌طور که نتایج رگرسیون در جدول ۸ قابل‌رویت هست عامل توپوگرافی با همبستگی ۰/۸۰ بیشترین تأثیر را در مقدار فرسایش خاک در منطقه داشته است. بنابراین می‌توان به اهمیت طرح‌های آبخیزداری مانند تراس‌بندی و ایجاد بانکت در اراضی شیب‌دار که سبب شکست شیب و کاهش فرسایش خاک می‌شود، پی برد. تغییرات عامل حفاظت خاک منطقه نیز از ۰/۱ تا ۱ متغیر بوده و متوسط آن ۰/۲۶ می‌باشد که مقدار ۱ این عامل برای مناطق فاقد عملیات حفاظتی و ۰/۱ مربوط به زمین‌های کشاورزی تسطیح شده و کم شیب می‌باشد. با بررسی میزان فرسایش خاک حوضه مشاهده گردید که بیشترین مقدار فرسایش خاک مربوط به سال ۱۹۹۹ بوده زیرا در این سال پوشش گیاهی ضعیف و کم تراکم و به دنبال آن فرسایش خاک افزایش یافته است. همچنین در طول دوره آماری کمترین مقدار فرسایش خاک در سال ۲۰۱۵ مشاهده گردید. در دو دهه اخیر به‌منظور تثبیت خاک و کاهش هدر رفت خاک، عملیات آبخیزداری مکانیکی و بیولوژیکی نظیر بانکت، علوفه کاری و خشکه‌چین در برخی از مناطق حوضه انجام شد [۸] که در صورت تداوم این طرح‌ها می‌توانند در سال‌های آتی سبب کاهش مقدار فرسایش خاک در سطح اراضی حوضه شوند. این مطالعه نشان داد که بیشترین قسمت حوضه (حدود ۷۵ درصد) جزء طبقه فرسایشی خیلی کم تا کم بوده و عمده این دو طبقه در بخش‌های مرکزی و قسمت‌های کم ارتفاع حوضه قرار گرفته‌اند. همچنین حدود

References

- [1] Al-Abadi, A., Ghalib, H. and Al-Qurnawi, W. (2016). Estimation of soil erosion in northern Kirkuk governorate using RUSLE, remote sensing and GIS. *Carpathian journal of earth and environmental sciences*, 11(1), 153-166.

- [2] Amsalu, T. and Mengaw, A. (2014). GIS based soil loss estimation using rusle model: the case of jabi tehinan woreda Ethiopia. *Natural Resources*, 5(11), 616-625.
- [3] Arekhi, S. and Niazi, Y. (2010). Assessment of GIS and RS applications to estimate soil erosion and sediment loading by using RUSLE model (Case Study: upstream basin of Ilam dam). *Journal of Soil and Water Conservation*, 17 (2), 1-27.
- [4] Arekhi, S., Niazi, Y. and Kalteh, A. (2012). Soil erosion and sediment yield modeling using RS and GIS techniques: a case study, Iran. *Arabian Journal of Geosciences*, 5(2), 285-296.
- [5] Asadi, H., Vazifehdust, M., Mousavi, S.A. and Honarmand, M. (2010). Assessment of soil erosion risk and revised universal soil loss equation, GIS and RS in the Navrood watershed.
- [6] Demirci, A. and Karaburun, A. (2012). Estimation of soil erosion using RUSLE in a GIS framework: a case study in the Buyukcekmece Lake watershed, northwest Turkey. *Environ Earth Sci*, 66, 903–913.
- [7] Durigon, V. L., Carvalho, D. F., Antunes, M., Oliveira, P. and Fernandes, M. (2014). NDVI time series for monitoring RUSLE cover management factor in a tropical watershed. *International Journal Remote Sensing*, 35(2), 441-453.
- [8] Eskandari, M., Dastorani, M., Fattahi, A. and Nasri, M. (2012). Assessment of the effects of Watershed management activities done on the flow regime. 3rd National Conference on Comprehensive Water Resources Management In date 10 - 11 September. Sari, Iran.
- [9] Fathizad, H., Karimi, H. and Alibakhshi S. M. (2014). The estimation of erosion and sediment by using the RUSLE model and RS and GIS techniques (Case study: Arid and semi-arid regions of Doviraj, Ilam province, Iran). *International Journal of Agriculture and Crop Sciences*, 7(6), 304-314.
- [10] Habashi, Kh., Mohammadi, Sh., Karimzadeh, H.R. and Pourmanafi, P. (2018). Assessment soil erosion risk in kohpayeh - segzi plain using Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). *Journal of Natural Environmental Hazards*, 7(15), 161-178.
- [11] Hengl, T. (2006). Finding the right pixel size. *Computers & Geosciences*, 32(9), 1283- 1298.
- [12] Karam, A., Safarian, A. and Hajjah Frooshnia, H. (2010). Estimation and zoning soil erosion in the Mamlou watershed (East of Tehran) by using the revised universal soil loss equation and AHP. *earth science researchs*, 1 (2), 73-86.
- [13] Kinnell, P. (2000). Applying the USLE-M within the agricultural non-point source pollution model. *Environmental Modelling & Software*, 15(3), 331-341.
- [14] Lal, R., Blum, W., Valentin, C. and Stewart, B. (1997). *Methods for assessment of soil degradation*. 1st edition, CRC press.
- [15] Lin, C. (1997). A study on the width and placement of vegetated buffer strips in a mudstone-distributed watershed. *Journal China Soil Water Conservation*, 29 (3), 250–266.
- [16] Mahdavi, M. (2009). *Applied hydrology*. Tehran University Press.
- [17] Mohammadi, Sh., Habashi, Kh. and Pourmanafi, S. (2018). Monitoring and prediction land use/ land cover changes and its relation to drought (Case study: sub-basin Parsel B2, Zayandeh Rood watershed). *Jorunal Of RS & GIS for Natural Resources*, 9(1), 24-39.
- [18] Mohammadi, S., Karimzadeh, H. R. and Habashi, K. (2017). Soil erosion assessment using CORINE model (case study: the Zayandehroud basin, Menderjan sub-basin), The 1st International Conference Of SilkGIS, 24-26 May, Isfahan University of Technology, Esfahahan, Iran.
- [19] Mohammadi, S., Karimzadeh, H. R. and Habashi, K. (2017). Soil erosion assessment using ICONA model (case study: the Zayandehroud basin, Menderjan sub-basin), The 1st International Conference Of SilkGIS, 24-26 May, Isfahan University of Technology, Esfahahan, Iran.
- [20] Mohammadi, S., Karimzadeh, H. R. and Habashi, Kh. (2018). Assessment soil erosion and deposition in the menderjan watershed using USPED and RUSLE models in the environment of geographical information system (GIS). *DEEJ*, 6 (17) 43-56.
- [21] Mohammadi, Sh., Karimzadeh, H. R. and Alizadeh, M. (2018). Spatial estimation of soil erosion in Iran using RUSLE model. *Iran Journal of Eco Hydorolgy*, 5(2), 551-569.

- [22] Moore, I. and Wilson, J. (1993). Length-slope factors for the Revised Universal Soil Loss Equation: Simplified method of estimation. *Journal Soil and Water Conservation*, 47, 423-428.
- [23] Nasri, M., Feiznia, S., Jafari, M. and Ahmadi, H. (2012). Application of Gully and Rill Erosion Indicators for Estimating Soil Loss Using GIS Techniques. *Desert*, 17(2), 119-128.
- [24] Niknammi, D. and Mehdian, M. (2015). Rainfall erosivity mapping in Iran, *Journal of Watershed Engineering and Management*, 6(4), 364-376.
- [25] Nwaogu, C., Okeke, O. J., Adu, S. A., Babine, E. and Pechanec, V. (2017). Land Use land cover change and soil-gully erosion relationships: a study of Nanka, south-eastern nigeria using geoinformatics. *Dynamic in GIScience*, 305-319
- [26] 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), 287-306.
- [27] Renard, K. G., Foster, G. R., Weesies, G. A., McCool, D. K. and Yoder, D. (1997). Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE), Washington, DC: United States Department of Agriculture.
- [28] Rezaei, P., Faridi, P., Ghorbani, M. and Kazemi, M. (2014). Estimating of soil erosion by using RUSLE model and identifying of the most effective factor in Gabric-southeast watershed basin of the Hormozgan province. *Journal of Quantitative Geomorphology*, 3 (1), 97-113.
- [29] Sadeghi, S. H. and Tavangar, S. (2015). Development of stationnal models for estimation of rainfall erosivity factor in different timescales. *Natural Hazards*, 77(1), 429-443.
- [30] Sadeghi, S. H. R. and Hazbavi, Z. (2015). Trend analysis of the rainfall erosivity index at different time scales in Iran. *Natural Hazards*, 77(1), 383-404.
- [31] Sadeghi, S. H., Zabihi, M., Vafakhah, M. and Hazbavi, Z. (2017). Spatiotemporal mapping of rainfall erosivity index for different return periods in Iran. *Natural Hazards*, 87(1), 35-56.
- [32] Shayesteh, A., karimzadeh, H.R. and Soltani, S (2008). Evaluation of land use changes by using Landsat data, Case Study: Menderjan Watershed, Isfahan Province. A thesis at Isfahan University of Technology, Department of natural resources. *Rangeland and Watershed group*, 55-65p.
- [33] Shirazi, M.A. and Boersma, L. (1984). a unifying quantitative analysis of soil texture. *Soil Science Society of America Journal*, 48,142-147.
- [34] Teng, H., Rossel, V., Shi, Z., Behrens, T., Chappell, A. and Bui, E. (2016). Assimilating satellite imagery and visible–near infrared spectroscopy to model and map soil loss by water erosion in Australia. *Environmental Modelling & Software*, 77, 156-167.
- [35] Tucker, C.J. (1979). Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment*, 8, 127-150.
- [36] Van Remortel, R. D., Maichle, R. and Hickey, R. (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), 1043-1053.
- [37] Wischmeier, W. H. and D. D. Smith. (1978). Predicting rainfall erosion losses-A guide to conservation planning. USDA, Science and Education Administration, USA.
- [38] Zabihi, M., Sadeghi, S.H.R. and Vafakhah, M. (2015). Spatial analysis of rainfall erosivity index patterns at different time scales in Iran. *Watershed Engineering and Management*, 7(4), 442-457.
- [39] Zare, M., Samani, A. N., Mohammady, M., Salmani, H. and Bazrafshan, J. (2017). Investigating effects of land use change scenarios on soil erosion using CLUE-s and RUSLE models. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 14(9), 1905-1918.
- [40] Zhang, H., Wei, J., Yang, Q., Baartman, J., Gai, L., Yang, X., Li, S., Yu, J., Ritsema, C. J. and Geissen, V. (2017). An improved method for calculating slope length (λ) and the LS parameters of the Revised Universal Soil Loss Equation for large watersheds. *Geoderma*, 308, 36-45.