

DOI: [10.29252/ARIDBIOM.2023.19670.1924](https://doi.org/10.29252/ARIDBIOM.2023.19670.1924)

## تأثیر تغییر کاربری اراضی بر فرسایش خاک با استفاده از GIS و سنجش از دور بر مبنای مدل RUSLE (مطالعه موردی: شهرستان بهبهان) (مقاله پژوهشی)

- ۱- زینب طاهری بادی، دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی آبخیزداری، دانشگاه صنعتی خاتم الانبیاء بهبهان، بهبهان، ایران.  
 ۲- بهزاد متشفع\*، استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشگاه صنعتی خاتم الانبیاء بهبهان، بهبهان، ایران.  
 bmoteshaffeh@gmail.com  
 ۳- سیدحسین روشن، دانش‌آموخته دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران.

دریافت: ۱۴۰۱/۰۲/۲۴

پذیرش: ۱۴۰۱/۰۵/۱۰

### چکیده

فرسایش خاک یک خطر طبیعی و جهانی است که بطور جدی منابع آب و خاک را تهدید می‌کند. یکی از مهم‌ترین عوامل مؤثر در تشدید فرسایش خاک، تغییرات کاربری اراضی ناشی از فعالیت‌های بشری است. در این مطالعه تأثیر تغییر کاربری اراضی در فرسایش خاک شهرستان بهبهان با استفاده از مدل معادله جهانی اصلاح شده فرسایش خاک (RUSLE) در محیط سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) مورد بررسی قرار گرفت. برای استخراج نقشه نهایی فرسایش خاک، ابتدا عامل‌های مدل RUSLE شامل  $C, S, L, K, R$  و  $P$  برای دو سال ۲۰۰۰ و ۲۰۲۱ میلادی تهیه شد، سپس این مؤلفه‌ها به صورت نقشه‌هایی به فرمت GRID تبدیل و با حاصلضرب همه این مؤلفه‌ها در سطح پیکسل، میزان فرسایش خاک در سطح منطقه بدست آمد. نتایج نقشه فرسایش در دو سال ۲۰۰۰ و ۲۰۲۱ نشان داد که میزان فرسایش خاک با گذر زمان بیشتر شده است. در سال ۲۰۲۱ بیشترین مقدار فرسایش با استفاده از پیش‌بینی مدل RUSLE، منحصر به آبراهه‌ها و رودخانه‌هاست هر چند که فرسایش در کل منطقه به اشکال مختلف وجود دارد. همچنین بیشترین مساحت منطقه در طبقه خطر فرسایش کم قرار دارد که بایستی این مسأله را در برنامه‌ریزی‌ها مدنظر داشت. در بین عامل‌های مؤثر در فرسایش، عامل فرساینده‌گی باران در بخش‌های شمالی منطقه بالادست زیاد بوده است. نقشه‌های کاربری اراضی نیز نشان از کاهش پوشش گیاهی سطح زمین می‌دهد که باعث تغییر در میزان مؤلفه‌های مؤثر در مدل شده و میزان فرسایش در منطقه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. مساحت پوشش گیاهی در بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۱ کاهش یافته است و به مساحت مناطق مسکونی و اراضی زراعی افزوده شده است. نتیجه این تغییرات موجب کاهش پوشش طبیعی سطح خاک شده و در نتیجه شرایط برای وقوع فرسایش خاک ناشی از برخورد قطرات باران افزایش یافته است.

واژگان کلیدی: فرساینده‌گی باران، هدر رفت خاک، پوشش زمین، بهبهان.

### مقدمه

فرسایش خاک را می‌توان جزئی از عوامل مهم اثرگذار بر پایداری تولید محصولات کشاورزی دانست. بهبود دانش در مورد نرخ احتمالی فرسایش خاک در آینده که توسط فعالیت‌های انسانی تسریع می‌شود، هم برای سیاست‌گذاران درگیر در تصمیم‌گیری در مورد کاربری اراضی و همچنین برای مدل‌سازان سامانه زمین که به

فرسایش خاک مهم‌ترین عامل تخریب اراضی است که در اثر قطرات باران و رواناب سطحی موجب کنش، حمل و ته‌نشینی ذرات خاک می‌شود [۲۷]. این پدیده موجب کاهش حاصل‌خیزی خاک در اراضی کشاورزی و هدر رفت مواد مغذی، خالی‌شدن خاک از مواد معدنی، تخریب ساختمان و بافت خاک و کاهش ظرفیت ذخیره آب در خاک می‌شود [۱۳].

گردیده و به این ترتیب مطالعه آنها به جهت درک مسائل موجود و مدیریت آن ضروری است [۱].

هدف از برنامه‌ریزی مکانی شامل، توسعه ساختارهای محیطی، اجتماعی و اقتصادی است و هدف آن، بهره‌وری اقتصادی از زمین، نگهداری و حفظ شرایط پایدار جهت زندگی است. نوع و نحوه بهره‌برداری از زمین همراه با پیشرفت انسان تغییراتی کرده است و همواره جزء مباحث اساسی که مورد توجه علوم مختلف قرار گرفته است، به حساب می‌آید.

فرسایش تشدیدی خاک به‌عنوان مانع مهمی در دستیابی به توسعه کشاورزی و منابع طبیعی است. کاهش فرسایش خاک در حوزه‌های آبخیز از راهکارهای مناسب به‌منظور دستیابی به توسعه پایدار و کاهش هدر رفت منابع است. کاهش فرسایش خاک با استفاده از مدل‌های بهینه‌سازی در مدیریت منابع طبیعی یک الگوی مناسب مدیریتی در راستای حفظ منابع موجود به حساب می‌آید [۶]. فرسایش خاک زمانی اتفاق می‌افتد که انسان تعادل طبیعت را به هم می‌زند. انسان به‌منظور ادامه حیات به مواد غذایی نیاز دارد که در اثر وجود آب و خاک قابل تولید است [۲۵]. گسترش جمعیت و متعاقب آن، بهره‌برداری بی‌رویه و بدون توجه به حفظ منابع آب و خاک، در بلندمدت موجب بروز صدمات زیادی به منابع نام‌برده و در نتیجه تشدید فرسایش خاک و پایین آمدن سطح آب ذخایر زیرزمینی می‌شود [۷].

نحوه استفاده از زمین را کاربری اراضی می‌نامند. به بیان دیگر نوع فعالیتی که روی زمین انجام می‌شود و چگونگی اجرای آن با استفاده از برنامه‌ریزی کاربری زمین تعیین می‌شود. امروزه ترکیب فنآوری‌های سنجش از دور (RS) و سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) و مدل RUSLE در ارزیابی میزان هدر رفت خاک مبتنی بر سلول به سلول انجام می‌شود که اهمیت زیادی دارند [۱۰، ۱۴].

کبدی و همکاران به مدل‌سازی فرسایش خاک با استفاده از مدل RUSLE در محیط GIS برای حوزه آبخیز Beles در کشور اتیوپی پرداختند [۱۷]. آنها لایه‌های عوامل مختلف مدل RUSLE را در نرم‌افزار ArcMap باهم تلفیق کردند. نتایج آنها نشان داد که

دنبال کاهش عدم قطعیت در پیش‌بینی‌های جهانی هستند مهم است [۲۴].

فرسایش خاک یک مشکل جدی محیط زیستی است. تراکم زهکشی از مؤلفه‌های مهم مورفومتری حوزه آبخیز است که به‌عنوان شاخص بیان وضعیت آبراهه‌های حوزه، نفوذپذیری، توپوگرافی و فرسایش حوزه مورد استفاده قرار می‌گیرد [۹]. عوامل مختلفی شدت فرسایش خاک را تحت تأثیر قرار می‌دهند، از جمله آنها می‌توان به مؤلفه‌های بارش، توپوگرافی، خصوصیات خاک، تغییرات کاربری/پوشش گیاهی سطح زمین، سامانه کشاورزی و فعالیت‌های مدیریت اراضی اشاره کرد [۲۲، ۲۸].

تغییرات کاربری اراضی مرتع و جنگل موجب هدر رفت کربن آلی، تخریب ساختمان خاک، کاهش هدایت هیدرولیکی و افزایش چگالی ظاهری خاک، کاهش نفوذ آب در خاک، افزایش رواناب و در نهایت افزایش فرسایش خاک می‌گردد [۳۰]. شناسایی مناطقی از حوزه که تحت فرسایش خاک و تخریب اراضی قرار گرفته‌اند از نظر اجرای برنامه‌های حفاظتی و تعیین روش‌های مبارزه با فرسایش و کاهش رسوب ضروری و نخستین گام در راهکارهای حفاظت خاک و کاهش فرسایش است [۱۶].

با توجه به اهمیت برآورد و تجزیه و تحلیل میزان فرسایش خاک جهت حفاظت از منابع طبیعی و محیط‌زیست در حوزه‌های آبخیز، مدل‌ها و روش‌های نوین زیادی جهت برآورد کمی و کیفی هدر رفت خاک ارائه شده است که دارای اهداف و مقیاس‌های مکانی و زمانی متفاوتی هستند [۲۹]. نحوه استفاده از اراضی بر رواناب‌ها اثر گذاشته و به دنبال آن موجب فرسایش خاک و تولید رسوب می‌شود. از این رو، برنامه‌ریزی به منظور استفاده از اراضی روشی مهم برای جلوگیری از فرسایش خاک است [۳].

اگر میزان مشارکت روش‌های مختلف بهره‌وری از زمین بر میزان رسوبدهی مشخص و قابل اندازه‌گیری باشد، می‌توان با ارائه روش‌های مدیریتی برای بهره‌برداری از اراضی، از شدت فرسایش خاک جلوگیری کرد. میزان فرسایش و تولید رسوبی که بر اثر شرایط پیچیده حاکم بر حوزه‌های آبخیز در سطح آن ایجاد می‌شود، کنترل

آنها نقشه فرسایش خاک تهیه شد. نتایج بیانگر آن است که متوسط فرسایش خاک در کاربری فعلی ۱۲/۳ تن بر هکتار بر سال برآورد شد.

هدف این تحقیق بررسی تأثیر تغییر کاربری اراضی در فرسایش خاک با ترکیب فنآوری‌های سنجش از دور (RS)، سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) و مدل اصلاح شده جهانی فرسایش خاک (RUSLE) در شهرستان بهبهان است.

### مواد و روش‌ها

#### منطقه مورد مطالعه

شهرستان بهبهان یکی از شهرستان‌های استان خوزستان است. شهرت بهبهان به خاطر لایه‌های گازی زیرزمینی و مناطق نفت‌خیز، زمین‌های وسیع کشاورزی و فرآورده‌های لبنی مرغوب است. شهرستان بهبهان از طرف شمال و شمال شرقی به استان کهگیلویه و بویراحمد و از جنوب به استان بوشهر محدود می‌شود. این شهرستان بین طول ۰۹' تا ۵۰' و عرض ۳۲' تا ۳۰' شرقی و عرض ۳۲' تا ۳۰' شمالی قرار دارد.

حداکثر و حداقل متوسط دمای ماهانه در بهبهان به ترتیب ۴۵ و ۷/۱۳ درجه سانتی‌گراد در ماه‌های مرداد و دی است. میانگین حداقل دمای سالانه ۱۸/۱ درجه سانتی‌گراد و میانگین حداکثر دمای سالانه ۳۲/۳۷ درجه سانتی‌گراد است. اقلیم منطقه بر اساس روش دومارتن خشک است. شکل ۱ موقعیت شهرستان بهبهان در استان خوزستان و کشور ایران را نشان می‌دهد.

#### داده‌های مورد استفاده

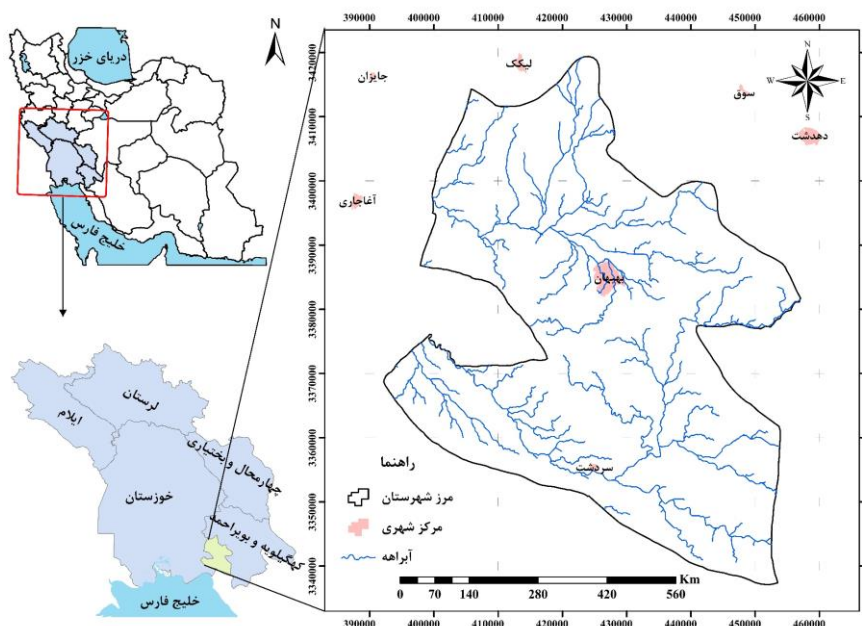
به منظور تهیه متغیرهای مدل RUSLE داده‌های مختلف از جمله تصاویر ماهواره‌های لندست ۸ (سنجنده OLI) و لندست ۵ (سنجنده TM)، محصولات بارندگی ماهواره TRMM، مدل رقومی ارتفاعی<sup>۱</sup> (DEM) و نقشه خاکشناسی منطقه استفاده شد (جدول ۱).

میانگین هدر رفت سالانه خاک به میزان ۱۳/۲ تن در هکتار سال است که بیش از حد تحمل هدر رفت خاک در ارتفاعات شمالی اتیوپی است و فرسایش خاک در دامنه‌های شیب‌دار و مناطق کوهستانی فاقد پوشش گیاهی زیاد بوده است.

کومار و همکاران در مطالعه خود، خطر فرسایش خاک در ایالت اوتاراکنند در منطقه هیمالیا هند با استفاده از مدل RUSLE را ارزیابی نمودند [۱۸]. مطالعه آنها حاکی از آن است که نرخ متوسط فرسایش سالانه خاک ۲۷/۴۵ تن در هکتار در سال برآورد شد. آنها بیان داشتند که در میان طبقات مختلف شیب، شیب‌های بسیار تند (بیش از ۶۰ درصد) بالاترین میانگین نرخ هدررفت خاک به میزان ۴۰/۱۱ تن در هکتار در سال را داشته‌اند که به میزان کل هدر رفت خاک ۲۸ میلیون تن بوده است.

اثر تغییرات کاربری اراضی بر روی فرسایش خاک در حوضه باغملک با بهره‌گیری از شبکه عصبی مصنوعی (ANN) و مدل RUSLE مورد بررسی قرار گرفت [۲]. بدین منظور کاربری اراضی در دو سال ۲۰۰۲ و ۲۰۱۹ بدست آمد و سپس عوامل مدل RUSLE برای هر دوره محاسبه گردید. نتایج نشان داد که میزان فرسایش با تغییرات کاربری افزایش یافته است و بیشترین خطر فرسایش در کاربری‌های مرتع و اراضی دیم رخ داده است. در مطالعه دیگری، اثر تغییرات کاربری اراضی بر فرسایش خاک و تولید رسوب در حوضه رامهرمز به روش طبقه‌بندی شیء‌گرا و مدل RUSLE بررسی شد [۴]. نقشه کاربری اراضی در سال‌های ۲۰۰۲ و ۲۰۱۹ به روش‌های ماشین بردار پشتیبان (SVM) شیء‌گرا بدست آمد. سپس با بهره‌گیری از مدل RUSLE میزان فرسایش و تولید رسوب برای این دو سال محاسبه شد. نتایج بیانگر کاهش پوشش گیاهی و افزایش فرسایش در منطقه بوده است.

قهرمان‌نژاد و همکاران تأثیر سناریوهای مختلف مدیریت کاربری اراضی بر میزان فرسایش خاک را با مدل USLE در حوضه کلیبرچای استان آذربایجان شرقی در چارچوب سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) ارزیابی کردند [۱۲]. پس از تهیه عوامل مدل USLE و اجرای آن، مقادیر متوسط هر کدام از عوامل محاسبه و از حاصل ضرب



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی شهرستان بهبهان در استان و کشور

جدول ۱- مشخصات داده‌های مورد استفاده در این تحقیق

منبع دریافت	سال	نام ماهواره	ردیف
<a href="https://earthexplorer.usgs.gov/">https://earthexplorer.usgs.gov/</a>	۲۰۲۱	لندست ۸	۱
<a href="https://earthexplorer.usgs.gov/">https://earthexplorer.usgs.gov/</a>	۲۰۰۰	لندست ۵	۲
<a href="https://disc.gsfc.nasa.gov/information?page=1&amp;project=TRMM,GPM&amp;keywords=precipitation">https://disc.gsfc.nasa.gov/information?page=1&amp;project=TRMM,GPM&amp;keywords=precipitation</a>	۲۰۲۱	TRMM	۳
<a href="https://earthexplorer.usgs.gov/">https://earthexplorer.usgs.gov/</a>	-	DEM	۴
اداره کل منابع طبیعی استان خوزستان	-	نقشه خاک‌شناسی	۵

## روش تحقیق

تحقیقات مختلف در زمینه علّت فرسایش خاک و برآورد آن توسط بسیاری از دانشمندان در سراسر جهان انجام شد. ویشمایر و اسمیت پس از حدود ۳۰ سال مطالعه در مورد فرسایش آبی در ۴۶ ایستگاه تحقیقاتی در ۲۶ ایالت مختلف آمریکا با شرایط مختلف جغرافیایی و آب و هوایی و با در نظر گرفتن نتایج بررسی‌های دیگران رابطه‌ای که به فرمول جهانی فرسایش خاک<sup>۱</sup> (USLE) معروف بود به صورت زیر ارائه کردند [۲۷]:

$$A = R.K.L.S.C.P \quad (1)$$

در رابطه فوق، تأثیر هر کدام از عوامل مؤثر در فرسایش خاک را با یک عدد مشخص می‌کنند. میزان

فرسایش از حاصل ضرب این اعداد بدست می‌آید. اجزای این معادله شامل:

A: میزان خاک فرسایش یافته توسط فرسایش سطحی و شیاری بر حسب جرم در واحد سطح و در واحد زمان است که در نظام متریک تن بر هکتار بر سال است؛ R: عامل فرساینده باران؛ K: عامل فرسایش‌پذیری خاک؛ L: عامل طول شیب که عبارت است از نسبت فرسایش در طول شیب به فرسایش در همان زمین و همان شیب ولی با طول ۲۲/۱ متر؛ S: عامل شیب زمین و عبارت است از نسبت فرسایش در شیب موجود در زمین به مقدار فرسایش در همان زمین و همان طول ولی با شیب ۹ درصد (یا ۵ درجه)؛ C: عامل پوشش گیاهی و عبارت است از فرسایش حاصل شده در زمینی با پوشش گیاهی مشخص نسبت به مقدار فرسایش در شرایط پوشش و مدیریت کرت استاندارد (کرت استاندارد یا مینا و یا شاهد؛

<sup>۱</sup>- Universal Soil Loss Equation

**عامل فرسایش پذیری خاک (K)**

ضریب K بیانگر مقاومت ذاتی خاک در برابر جدا شدن ذرات و انتقال آن توسط بارندگی است. محققان روش‌های مختلفی را برای تعیین فرسایش پذیری خاک پیشنهاد می‌کنند. رایج‌ترین روش استفاده از نومیوگراف فرسایش‌پذیری خاک است [۲۷].

برای محاسبه عامل K رابطه‌ای که حاصل ۲۲۵ داده جهانی خاک است به صورت زیر ارائه شده است [۲۳].

$$K_2 = \left\{ \alpha + \beta \exp \left( -\frac{1}{2} \left( \frac{\log(D_g) + \chi}{\gamma} \right)^2 \right) \right\} \quad (3)$$

$$D_g = \exp(0/01 \sum f_i \ln m_i) \quad (4)$$

مقادیر  $\alpha$ ،  $\beta$ ،  $\chi$  و  $\gamma$  به ترتیب برابر با ۰/۰۰۳۴، ۰/۰۴۰۵، ۱/۶۵۹ و ۰/۷۱۰۱ است که پس از جمع‌آوری و طبقه‌بندی خاک به طبقات بافتی با ضریب تبیین ۰/۹۸۳ ارائه شد.  $K_2$  عامل فرسایش‌پذیری خاک ( $t \text{ ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ ) و  $D_g$  میانگین هندسی قطر ذرات بر حسب میلی‌متر،  $f_i$  اندازه ذرات به درصد و  $m_i$  میانگین حسابی ذرات بر حسب میلی‌متر است.

در این مطالعه ابتدا نقشه خاک منطقه از نقشه جهانی خاک که توسط سازمان خواربار و کشاورزی ملل متحد (FAO) تهیه شده بود، استخراج شد و سپس با استفاده از ویژگی‌های بافت و ساختار خاک مقدار K برای هر واحد بدست آمد.

**عامل توپوگرافی (LS)**

عامل LS اثرات طول شیب و شدت شیب را بر فرسایش خاک توصیف می‌کند. مقادیر L و S نسبی هستند و نشان می‌دهند که طول شیب خاص و شدت آن تا چه حد فرسایش‌پذیر است [۲۷].

جهت تهیه نقشه طول و درصد شیب از مدل رقومی ارتفاع منطقه استفاده شد. به این منظور، ابتدا نقشه‌های شیب و تجمع جریان تولید شد و پس از آن، با استفاده از رابطه زیر عامل LS تهیه شد [۲۱، ۱۱]:

کرتی است فاقد پوشش، که در جهت شیب شخم خورده و به صورت آیش دائمی است. مساحت این کرت ۰/۰۱ ایکر، شیب آن ۹ درصد و عرض آن ۶ فوت یا ۱/۸۳ متر بوده و طول آن ۷۲/۶ فوت یا ۲۲/۱۳ متر است) که در جهت شیب شخم خورده است؛ P: عامل حفاظت خاک بوده و عبارت است از نسبت فرسایش یک زمین حفاظت شده به مقدار فرسایش همان زمین که هیچ‌گونه عملیات حفاظتی در آن انجام نگرفته است یعنی کشت و کار در امتداد ردیف‌های شیب است.

مدل USLE توسط پژوهشگران مختلفی در سراسر دنیا مورد ارزیابی قرار گرفت و بدلیل محدودیت‌هایی که عامل فرسایش‌پذیری باران (R) در آن برای برآورد فرسایش خاک داشت، این معادله بازنگری شد و بصورت  $MUSLE^1$  ارائه شد که در آن فرسایش‌پذیری باران بر مبنای خصوصیات رواناب پایه‌گذاری شد [۲۷].

در ادامه مطالعات در سال‌های بعد، مدل جهانی هدررفت خاک توسعه داده شده و بصورت معادله جهانی هدررفت خاک اصلاح شده  $RUSLE^2$  ارائه شد که در کنار تغییرات در محاسبه انرژی جنبشی باران، عامل فرسایش‌پذیری خاک (K) نیز اصلاح شد [۲۷]. نحوه تهیه شش عامل مدل  $RUSLE$  در زیر آمده است.

**عامل فرسایش‌پذیری باران (R)**

این عامل به عنوان قدرت فرسایش‌پذیری باران از انرژی جنبشی بارش متوسط سالانه قابل محاسبه است. برای ایجاد لایه R از تصاویر ماهواره‌ای TRMM استفاده شد. برای تبدیل داده‌های تصاویر TRMM (مربوط به سال ۲۰۲۱) به مقدار بارش در سطح منطقه از رابطه زیر استفاده شد [۱۵]:

$$R = -8.12 + (0.562 \times P) \quad (2)$$

که در آن؛ P: میانگین بارندگی طولانی مدت سالانه است.

<sup>1</sup>- Modified Universal Soil Loss Equation

<sup>2</sup>- Revised USLE

(۵)

$$LS = \left[ (\text{Flow Accumulation}) \times \left( \frac{\text{Cell Size}}{22.13} \right)^{0.4} \times \left[ \frac{\text{Sin(Slope)}}{0.0896} \right]^{1.3} \right]$$

### عامل عملیات حفاظتی خاک (P)

ضریب P نشان‌دهنده نسبت هدررفت خاک پس از اجرای عملیات حفاظتی به از دست دادن خاک در زمین کشت ردیف‌های مستقیم و در جهت تندترین شیب تعریف می‌شود [۲۷]. در این مطالعه برای محاسبه عامل P ابتدا نقشه پوشش زمین بدست آمد و بر اساس آن ارزش این عامل برای سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۲۱ تعیین شد.

### تهیه نقشه کاربری اراضی

به منظور تهیه نقشه کاربری اراضی در دو سال ۲۰۰۰ (۱۳۷۹) و ۲۰۲۱ (۱۴۰۰) از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ سنجنده OLI استفاده شد (جدول ۲).

جدول ۲- مشخصات تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده برای تهیه لایه کاربری اراضی

ردیف	نوع ماهواره و سنجنده	تاریخ تصویر	ردیف	گذر
۱	لندست ۸، سنجنده	۲۰۲۱/۰۳/۲۱	۳۹	۱۶۵
۲	OLI	۲۰۲۱/۰۳/۳۰	۳۹	۱۶۴
۳	لندست ۵، سنجنده	۲۰۰۰/۰۳/۲۷	۳۹	۱۶۵
۴	TM	۲۰۰۰/۰۳/۲۰	۳۹	۱۶۴

این تصاویر از سایت سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده (USGS) اخذ شد. سپس با استفاده از نرم‌افزار ENVI 5.3 پردازش‌های اولیه شامل تصحیحات رادیومتریکی و اتمسفری روی آنها انجام شد. در آخر، با استفاده از روش طبقه‌بندی نظارت شده، حداکثر احتمال<sup>۲</sup> طبقه‌بندی تصاویر انجام شد و لایه کاربری اراضی برای منطقه مورد مطالعه استخراج شد. به منظور ارزیابی نقشه تولید شده از ضریب کاپا و صحت کلی استفاده شد.

### تهیه نقشه فرسایش خاک

بعد از تهیه نقشه عامل‌های مدل RUSLE که پیش‌تر شرح داده شد، جهت تهیه نقشه فرسایش متوسط سالانه خاک در منطقه مورد مطالعه، نقشه عامل‌های فرسایش‌پذیری باران (R)، فرسایش‌پذیری خاک (K)، توپوگرافی (LS)، پوشش گیاهی (C) و عملیات حفاظتی (P) با استفاده از

### عامل پوشش گیاهی (C)

این عامل بیانگر نسبت مقدار خاک از بین رفته از زمین زیرکشت، به خاک فرسوده شده از همان قطعه زمین در طی آیش مداوم و عاری از پوشش یا بقایای گیاهی است [۲۷]. مقدار عامل C تحت تأثیر پوشش سطح زمین است به طوری که در زمین‌های کاملاً لخت برابر ۱ و در سطوح پوشیده از آب و زمین‌های دارای پوشش گیاهی برابر صفر است [۲۰].

بدلیل تغییرات زمانی و مکانی این مؤلفه، محققان سعی کردند از داده‌های سنجنش از دور و تصاویر ماهواره‌ای و تهیه نقشه‌های کاربری اراضی این مؤلفه را استخراج کنند [۸]. به این منظور از رابطه زیر می‌توان استفاده کرد:

$$C = \exp \left( -a \frac{NDVI}{\beta - NDVI} \right) \quad (۶)$$

که در آن؛ NDVI: شاخص تفاوت پوشش گیاهی نرمال شده<sup>۱</sup> و  $\alpha-2$  و  $\beta-1$  مؤلفه‌هایی هستند که شکل رابطه منحنی بین NDVI و C را مشخص می‌کنند. شاخص NDVI شاخص از سبزی‌نگی گیاهی و فعالیت فتوسنتزی است و یکی از پرکاربردترین شاخص‌های پوشش گیاهی است که به صورت زیر تعریف می‌شود [۵]:

$$NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED) \quad (۷)$$

که در آن، NIR: مقدار باند مادون قرمز نزدیک و RED مقدار باند قرمز در تصاویر ماهواره‌ای است. در این مطالعه از تصاویر ماهواره‌های لندست ۸ (سنجنده OLI) و لندست ۵ (سنجنده TM) برای تهیه NDVI در محیط نرم‌افزار ENVI 5.3 استفاده شد.

<sup>2</sup>- Maximum Likelihood

<sup>1</sup>- Normalized Difference Vegetation Index

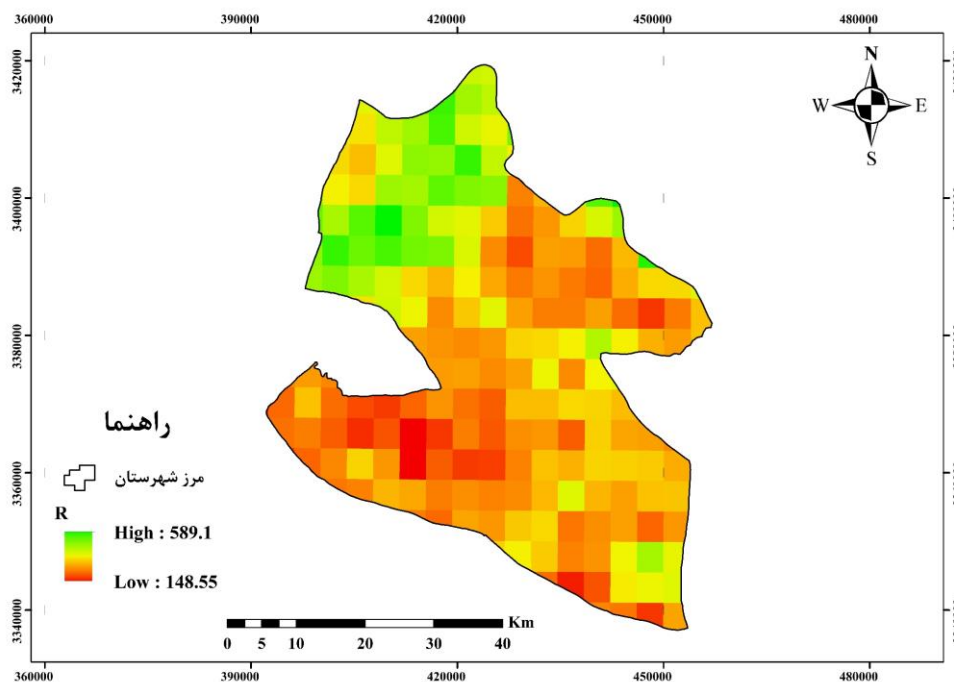
### نتایج

#### عامل فرساینده‌گی باران (R)

فرساینده‌گی باران به جدا شدن و انتقال ذرات خاک در اثر برخورد قطرات باران و رواناب، در درجه اول به شدت و میزان بارندگی بستگی دارد. برای تهیه لایه فرساینده‌گی باران در سطح منطقه مورد مطالعه، ابتدا داده‌های ماهواره TRMM برای منطقه اخذ شد سپس با استفاده از رابطه (۲) مقدار فرساینده‌گی باران در سطح منطقه بدست آمد (شکل ۲).

ابزار Raster Calculator و بر اساس رابطه (۱) با هم تلفیق شدند و مقدار هدررفت سالانه خاک (A) برای سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۲۱ بدست آمد.

فرسایش خاک یک فرآیند طبیعی است که در طول زمان رخ می‌دهد و بیشتر نگرانی‌ها در مورد فرسایش مربوط به فرسایش تسریع شونده است، جایی که میزان طبیعی فرسایش به طور قابل توجهی توسط فعالیت‌های انسانی افزایش یافته است. فرسایش خاک محدودیت‌های شدیدی را برای استفاده پایدار از زمین‌های کشاورزی ایجاد می‌کند، زیرا بهره‌وری خاک در مزرعه را کاهش می‌دهد و باعث تجمع رسوبات و مواد شیمیایی کشاورزی در آبراه‌ها می‌شود.



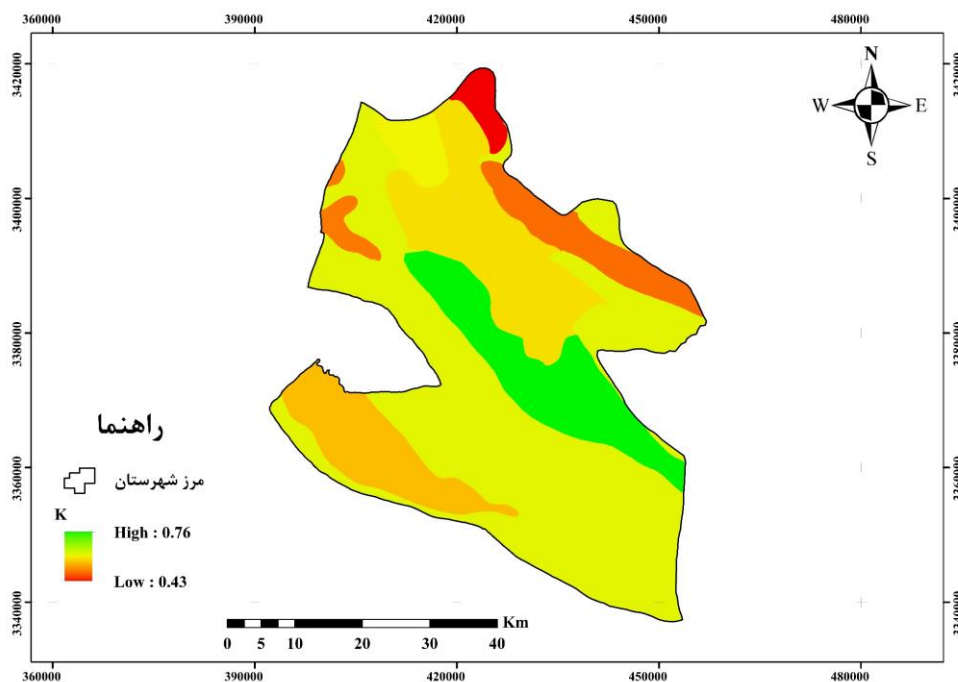
شکل ۲- نقشه توزیع مکانی عامل فرساینده‌گی باران (R) در سطح منطقه مورد مطالعه

#### عامل توپوگرافی (LS)

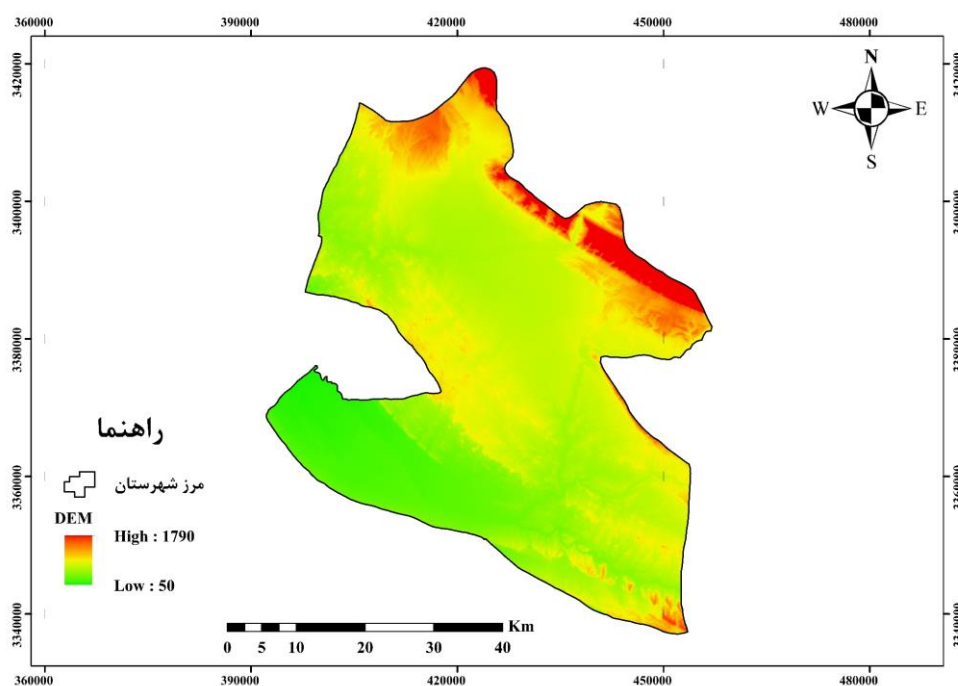
در این عامل اثر طول شیب و میزان درصد شیب بر روی فرسایش بررسی می‌گردد. میزان درصد شیب بر اساس لایه رقومی ارتفاع (شکل ۴) تهیه شد و سپس برای تولید لایه مربوط به عامل LS از لایه تجمع جریان و بر اساس رابطه (۵) اقدام شد (شکل ۵).

#### عامل فرسایش پذیری خاک (K)

این عامل بیشتر به خصوصیات خاک در مقابله با جدا شدن توسط قطرات باران و رواناب بستگی دارد. برای تهیه این عامل خصوصیات خاک از جمله بافت و نوع آن در نظر گرفته شد. بر این اساس، عامل K برای انواع خاک‌ها در منطقه مورد مطالعه تهیه شد (شکل ۳).



شکل ۳- نقشه عامل K در سطح منطقه مورد مطالعه



شکل ۴- لایه مدل رقومی ارتفاع (DEM) منطقه مورد مطالعه

### عامل پوشش گیاهی (C)

پوشش گیاهی نقش مهمی در جلوگیری از برخورد مستقیم قطرات باران با سطح خاک دارند و از این طریق موجب کاهش فرسایش خاک در سطح منطقه می‌شوند. عامل C بر اساس میزان سطح پوشش گیاهی در منطقه و بر اساس رابطه (۶) با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای مورد

استفاده (جدول ۱) برای دو سال ۲۰۰۰ و ۲۰۲۱ بدست آمد (شکل‌های ۶ و ۷).

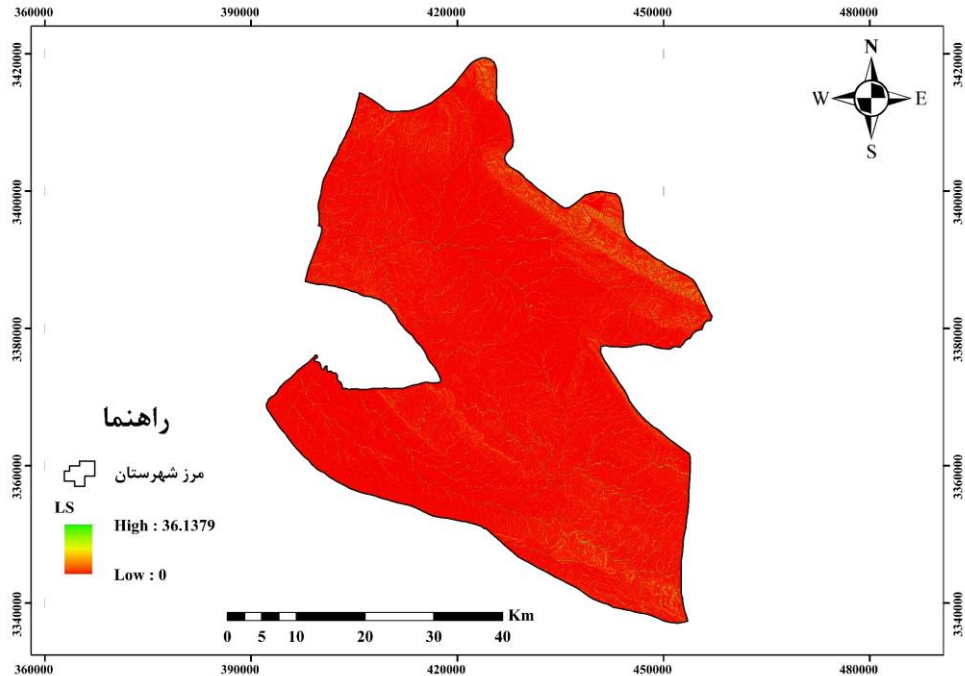
### عامل عملیات حفاظتی خاک (P)

این عامل به فعالیت‌های انسانی در زمینه مدیریت زمین اشاره دارد. فعالیت‌هایی که به منظور کاهش فرسایش در

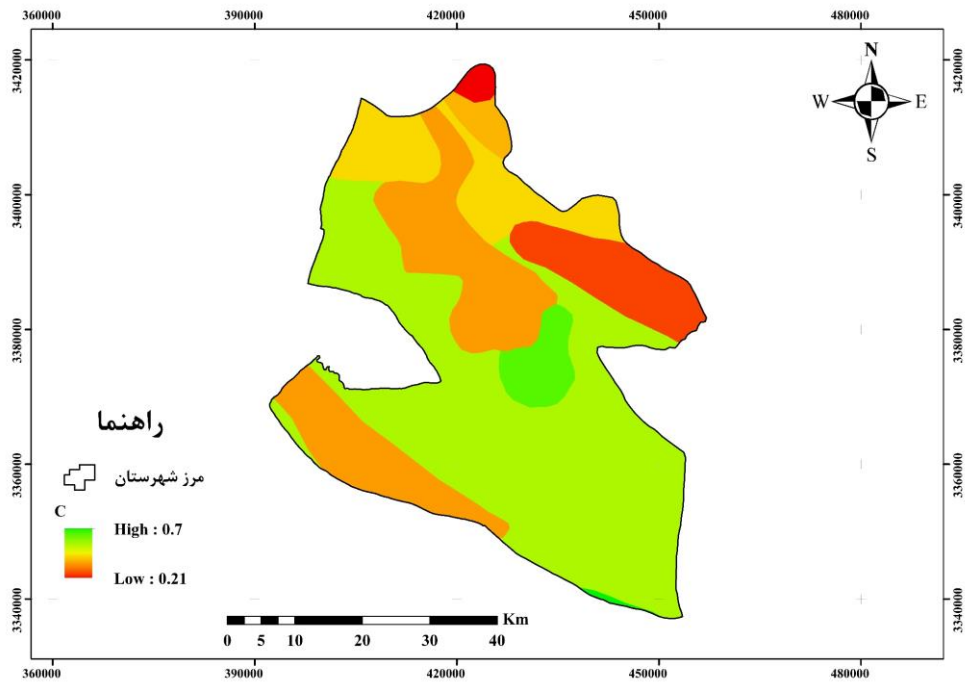


ضعیفی در آن انجام شده است. در آخر، این نقشه بر اساس ارزیابی پوشش زمین و فعالیت‌های مدیریتی و حفاظتی که در سطح منطقه انجام شده، بدست آمد (شکل‌های ۸ و ۹).

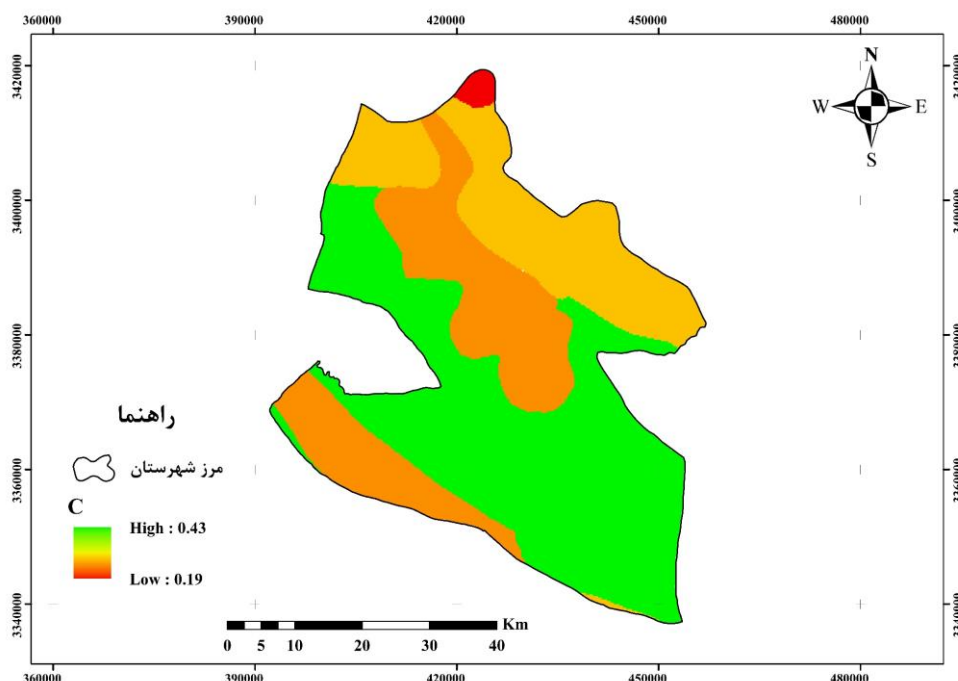
سطح منطقه انجام می‌شوند. محدوده تغییرات این عامل بین صفر تا یک است که مقدار صفر مربوط به مناطقی است که فعالیت‌های حفاظتی خوبی انجام شده و یک اشاره به مناطقی دارد که فعالیت‌های مدیریتی و حفاظتی



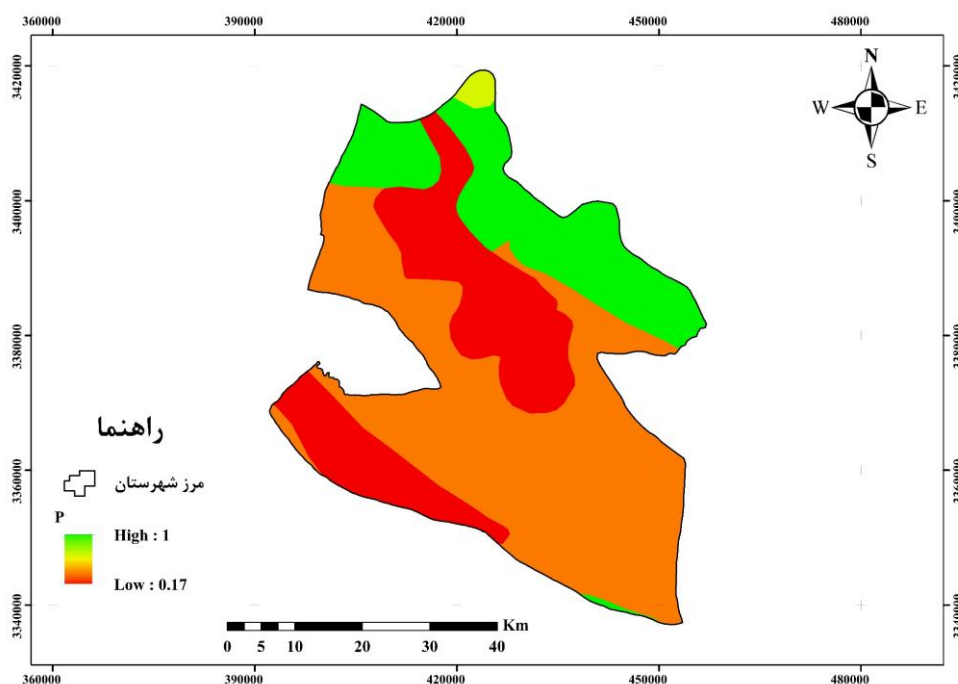
شکل ۵- نقشه عامل LS در منطقه مورد مطالعه



شکل ۶- عامل پوشش گیاهی (C) سال ۲۰۲۱ در سطح منطقه مورد مطالعه



شکل ۷- عامل پوشش گیاهی (C) سال ۲۰۰۰ در سطح منطقه مورد مطالعه



شکل ۸- نقشه عامل عملیات حفاظتی خاک (P) سال ۲۰۲۱ در منطقه مورد مطالعه

### نتایج تلفیق لایه‌ها و تهیه نقشه نهایی فرسایش

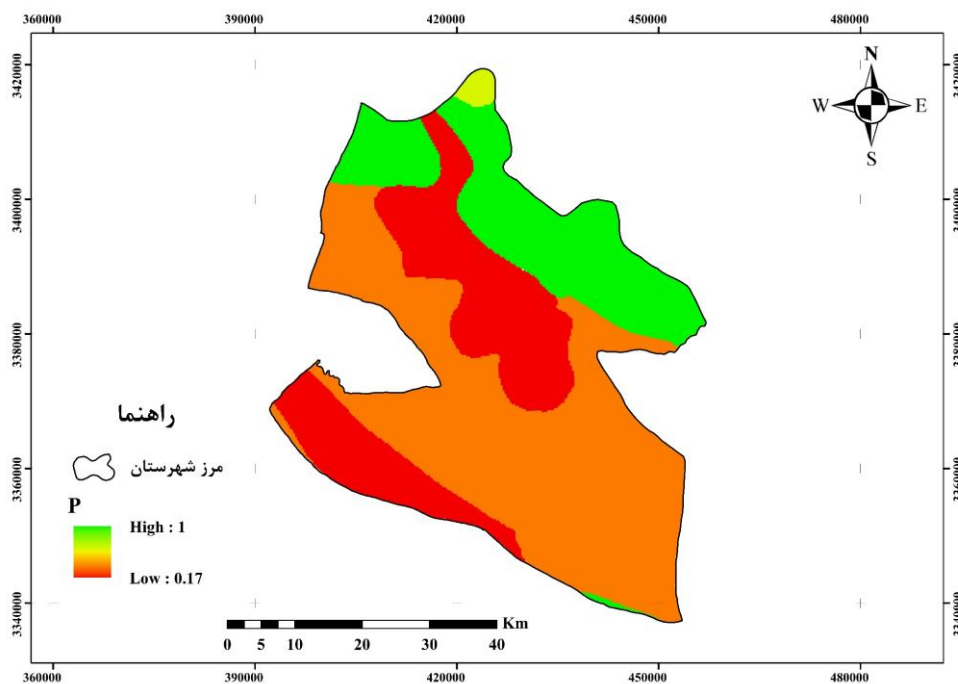
#### خاک بر اساس مدل RUSLE

بعد از این که کلیه عامل‌های مدل RUSLE به صورت نقشه‌هایی با فرمت رستری تهیه شدند با در نظر گرفتن رابطه مدل RUSLE با حاصل ضرب تمام این نقشه‌ها با هم با استفاده از ابزار Raster Calculator نقشه نهایی

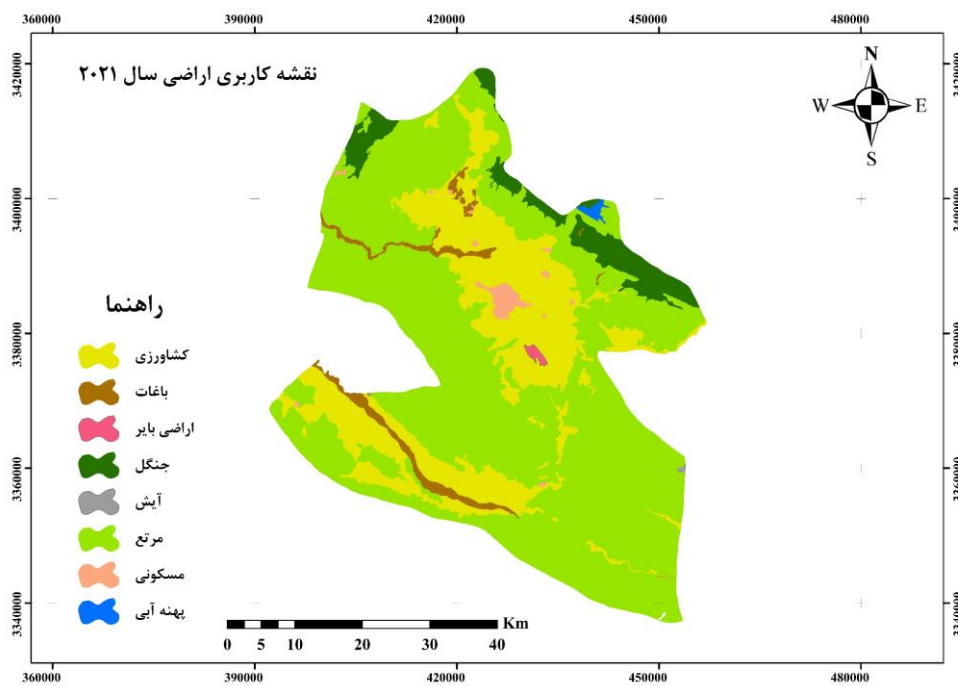
### تغییرات کاربری اراضی از ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۱

به منظور بررسی تغییرات کاربری اراضی از تصاویر ماهواره‌ای منطقه مورد مطالعه در دو سال ۲۰۰۰ و ۲۰۲۱ استفاده شد (شکل‌های ۱۰ و ۱۱). نتایج درصد گسترش هر کدام از کاربری‌ها در جدول ۳ قابل مشاهده است.

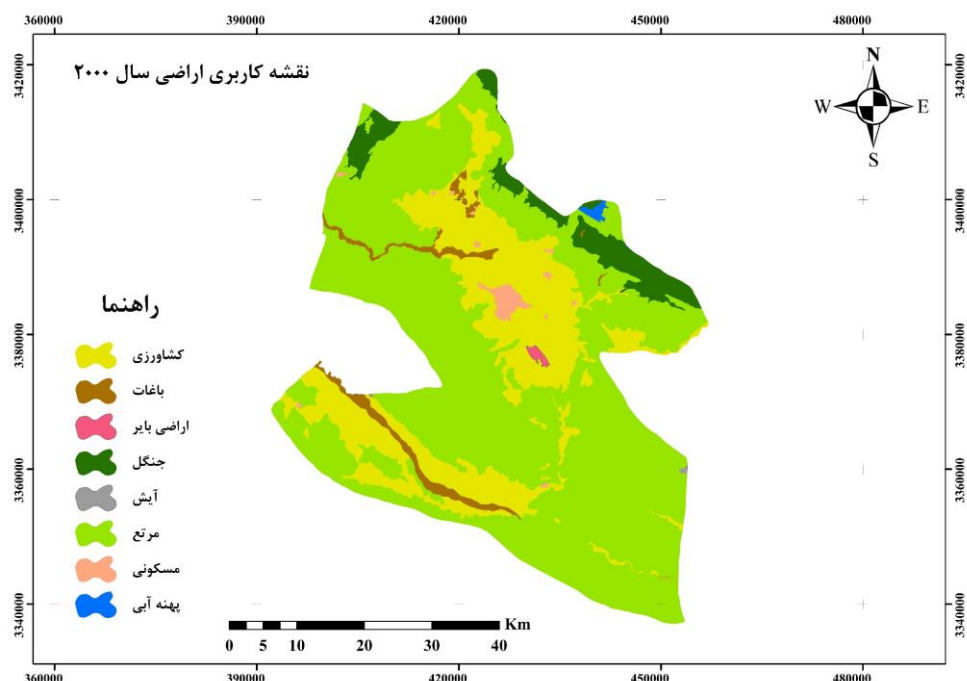
فرسایش برای منطقه مورد مطالعه در دو سال ۲۰۰۰ و ۲۰۲۱ بدست آمد (شکل‌های ۱۲ و ۱۳).



شکل ۹- نقشه عامل عملیات حفاظتی خاک (P) سال ۲۰۰۰ در منطقه مورد مطالعه



شکل ۱۰- نقشه کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه در سال ۲۰۲۱



شکل ۱۱- نقشه کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه در سال ۲۰۰۰

جدول ۳- مساحت کاربری‌های مختلف در دو سال مورد بررسی

ردیف	نام کاربری	مساحت کلاس‌های کاربری در سال ۲۰۰۰		مساحت کلاس‌های کاربری در سال ۲۰۲۱		درصد تغییرات
		درصد	کیلومتر مربع	درصد	کیلومتر مربع	
۱	کشاورزی	۲۴/۷۹	۷۰۹/۴۰	۲۴/۹۴	۰/۵۹	
۲	باغ‌ها	۲/۴۷	۷۰/۷۱	۲/۴۸	۰/۳۵	
۳	اراضی فاقد پوشش	۰/۱۸	۵/۲۴	۰/۱۸	۰/۰۰	
۴	جنگل	۵/۲۵	۱۴۹/۲۸	۵/۲۴	-۰/۰۰۲	
۵	اراضی آیش	۰/۰۴	۱/۲۴	۰/۰۴	۰	
۶	مراتع	۶۶/۲۴	۱۸۷۹/۰۴	۶۶/۰۷	-۰/۰۰۲	
۷	مسکونی	۰/۸۰	۲۳/۲۱	۰/۸۱	۰/۰۱۹	
۸	پهنه آبی	۰/۱۹	۵/۶۴	۰/۲۰	۰/۰۳۳	

### بحث و نتیجه‌گیری

تغییرات کاربری اراضی یکی از عوامل مهم در تغییر جریان هیدرولوژیک و فرسایش خاک در حوزه آبخیز است. اطلاع از میزان تغییرات و نوع آن در هر منطقه برای برنامه‌ریزی مبارزه و جلوگیری از فرسایش خاک بسیار مفید خواهد بود. مهم‌ترین منبع داده برای مطالعه تغییرات کاربری اراضی تصاویر ماهواره‌ای چند زمانه می‌باشند.

در این مطالعه تغییرات کاربری اراضی در طول دو دوره سال ۲۰۰۰ و ۲۰۲۱ مورد بررسی قرار گرفت و تأثیر آن بر فرسایش خاک با استفاده از مدل فرسایش خاک جهانی

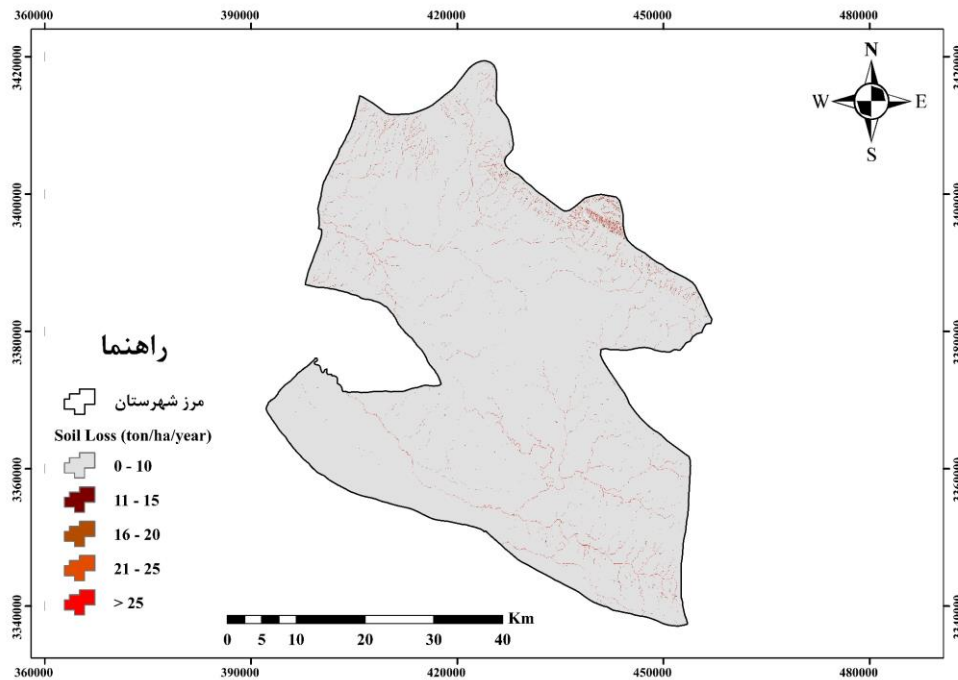
### نتایج تلفیق لایه‌ها و تهیه نقشه نهایی فرسایش

#### خاک بر اساس مدل RUSLE

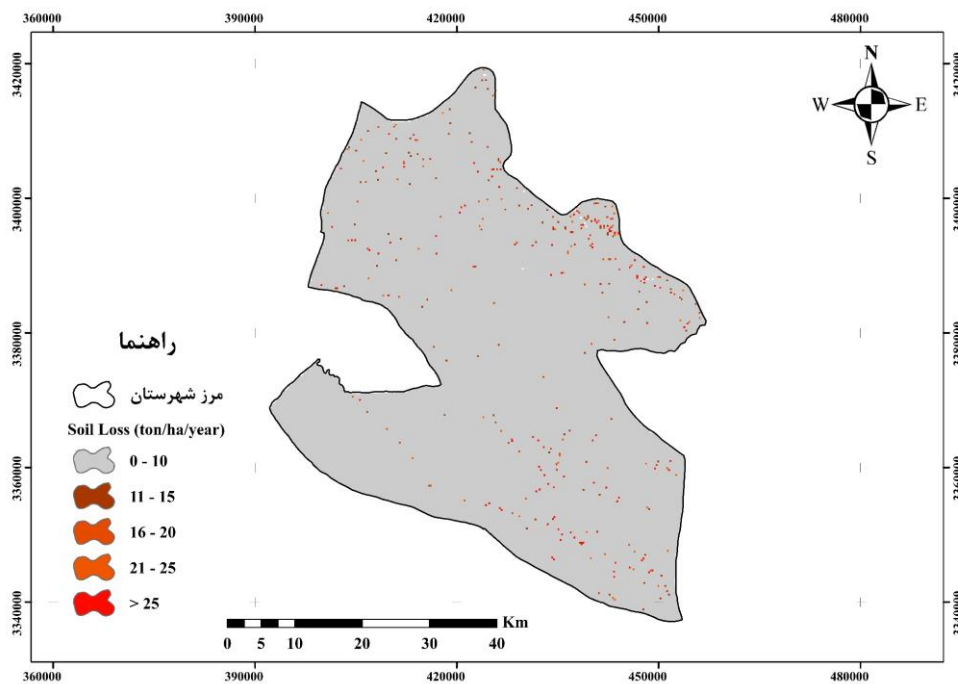
بعد از این که کلیه عامل‌های مدل RUSLE به صورت نقشه‌هایی با فرمت رستری تهیه شدند، با در نظر گرفتن رابطه مدل RUSLE با حاصل ضرب تمام این نقشه‌ها نقشه نهایی فرسایش برای منطقه مورد مطالعه در دو سال ۲۰۰۰ و ۲۰۲۱ بدست آمد (شکل‌های ۱۲ و ۱۳).

همچنین نتایج تغییرات کاربری بیانگر افزایش سطح اراضی مسکونی است. با کاهش سطح پوشش گیاهی و افزایش سطوح غیرقابل نفوذ، شرایط برای کاهش نفوذ بارش به خاک و افزایش رواناب مهیا شده و در نتیجه افزایش فرسایش خاک امکان‌پذیر خواهد شد.

اصلاح شده (RUSLE) در شهرستان بهبهان، استان خوزستان مورد بررسی و مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان داد که تغییرات مساحت طبقات کاربری مراتع و جنگل‌های موجود در منطقه از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۱ کاهش داشته است و سطح اراضی کشاورزی افزایش یافته است.



شکل ۱۲- نقشه فرسایش خاک سال ۲۰۲۱ در منطقه مورد مطالعه



شکل ۱۳- نقشه فرسایش خاک سال ۲۰۰۰ در منطقه مورد مطالعه

زمین‌شناسی نیز در این عامل دارای تأثیرات مهمی است. بر اساس مؤلفه‌های در نظر گرفته در مدل RUSLE مؤلفه LS دارای اهمیت بالایی است.

به‌طور کلی، می‌توان نتیجه‌گیری کرد که تغییرات کاربری اراضی موجب ایجاد تغییر در میزان مؤلفه‌های مؤثر در مدل شده و در نتیجه میزان فرسایش در منطقه را تحت تأثیر قرار می‌دهد. بر اساس جدول ۲ مساحت پوشش گیاهی در بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۱ کاهش یافته است و به مساحت مناطق مسکونی و اراضی زراعی افزوده شده است. نتیجه این تغییرات موجب کاهش پوشش طبیعی سطح خاک شده و در نتیجه شرایط برای وقوع فرسایش خاک ناشی از برخورد قطرات باران افزایش می‌یابد که نتایج این بخش با نتایج مطالعه [۴، ۱۹] مطابقت دارد.

## References

- [1]. Abdoalmohamdi, S., Ildoromi, A., & Heshmati, M. (2021). The Effect of Land Use Change on Some Physical and Chemical Properties of Soil in the Halshi Watershed, Kermanshah. *Journal of Geography and Planning*, 25(75), 171-180. (in Farsi).
- [2]. Abiyat, M., Abiyat, M., & Abiyat, M. (2021). Investigation of Land-Use Changes and their Impacts on Soil Erosion in Baghmalek Basin using Artificial Neural Network and RUSLE Model. *Journal of Environmental Studies*, 47(1), 89-110. (in Farsi).
- [3]. Ahmadi, M., Minaei, M., Ebrahimi, O., & Nikseresht, M. (2020). Evaluation of WEPP and EPM for improved predictions of soil erosion in mountainous watersheds: A case study of Kangir River basin, Iran. *Modeling Earth Systems and Environment*, 6, 2303-2315.
- [4]. Amanpour, S., Abiyat, M., abiyat, M., & Abiyat, M. (2021). Investigation of the Effect of Land Use Change on Soil Erosion and Sediment Production in Ramhormoz Basin Using Object-Oriented Classification and RUSLE Model. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 52(3), 635-649. (in Farsi).
- [5]. Anderson, G. L., Hanson, J. D., & Haas, R. H. (1993). Evaluating Landsat Thematic Mapper derived vegetation indices for

نتایج نقشه فرسایش در دو سال ۲۰۰۰ و ۲۰۲۱ نشان می‌دهد که میزان فرسایش خاک بیشتر شده است. در سال ۲۰۲۱ بیشترین مقدار فرسایش با استفاده از پیش‌بینی مدل RUSLE، بیشتر منحصر به آبراهه‌ها و رودخانه‌ها است هرچند که در کل، فرسایش را در همه منطقه مورد مطالعه به اشکال مختلف داریم.

نتایج حاصل از این پژوهش نشان می‌دهد که بیشترین مساحت منطقه در طبقه خطر کم قرار دارد که بایستی این مسأله را در برنامه‌ریزی‌ها مدنظر داشت و این میزان فرسایش را کاهش داد.

در بین مؤلفه‌های مؤثر در فرسایش که مدل RUSLE در نظر گرفته، عامل فرساینده‌گی باران در بخش‌های شمالی منطقه بالا بوده است. بر اساس شکل ۱۲ بیشترین میزان فرسایش در آبراهه‌هاست که نوع سازند

- estimating above-ground biomass on semiarid rangelands. *Remote sensing of environment*, 45(2), 165-175.
- [6]. Aneseyee, A. B., Elias, E., Soromessa, T., & Feyisa, G. L. (2020). Land use/land cover change effect on soil erosion and sediment delivery in the Winike watershed, Omo Gibe Basin, Ethiopia. *Science of the Total Environment*, 728, 138776.
- [7]. Bai, L., Wang, N., Jiao, J., Chen, Y., Tang, B., Wang, H., & Wang, Z. (2020). Soil erosion and sediment interception by check dams in a watershed for an extreme rainstorm on the Loess Plateau, China. *International Journal of Sediment Research*, 4(35): 408-416.
- [8]. Bewket, W., & Teferi, E. (2009). Assessment of soil erosion hazard and prioritization for treatment at the watershed level: case study in the Chemoga watershed, Blue Nile basin, Ethiopia. *Land Degradation & Development*, 20(6), 609-622.
- [9]. Dasti, A., Ansari, M.R., Zoratipour, A. & Naserin, A. (2019). Water erosion, flooding and soil and water protection - investigation of the relationship between drainage density and specific soil erosion intensity in the watershed (case study: Zard River watershed, Khuzestan province). The 16th Congress of Soil Sciences of Iran. 10(2), 15-22. (in Farsi).

- [10]. Erkossa, T. , Wudneh, A. , Desalegn, B. , Taye, G. , 2015. Linking soil erosion to on-site financial cost: lessons from watersheds in the Blue Nile basin. *Solid Earth*, 6, 765-774.
- [11]. Foster, G.R. & Wischmeier, W. (1974). Evaluating irregular slopes for soil loss prediction. *Transactions of the ASAE*, 17(2), 305-0309.
- [12]. Ghahremannejad, E., Nazarnejad, H. & Miryaghubzadeh, M. (2018). Effect of different land-use management scenarios on soil erosion using USLE model in Kalaybarchay watershed. *Journal of Water and Soil Resources Conservation*, 7(2), 94-104. (in Farsi).
- [13]. Gopalakrishnan, T., & Kumar, L. (2021). Linking long-term changes in soil salinity to paddy land abandonment in Jaffna Peninsula, Sri Lanka. *Agriculture*, 11(3), 211.
- [14]. Haregeweyn, N., Tsunekawa, A., Poesen, J., Tsubo, M., Meshesha, D.T., Fenta, A.A., Nyssen, J. & Adgo, E. (2017). Comprehensive assessment of soil erosion risk for better land use planning in river basins: a case study of the Upper Blue Nile River. *Science of the Total Environment*, 574, 95–108.
- [15]. Hurni, H. (1985). Erosion-Productivity-Conservation Systems in Ethiopia. Proceedings of 4th International Conference on Soil Conservation, Maracay, Venezuela, 3-9 November 1985, 654-674.
- [16]. Jozi, S.A. & Moradi Majd, N. (2015). Evaluation of main factors affecting soil erosion in FAO method using TOPSIS technique. *Journal of Conservation and Utilization of Natural Resources*, 4(1), 79-99. (in Farsi).
- [17]. Kebede, Y.S., Endalamaw, N.T., Sinshaw, B.G., & Atinkut, H.B. (2021). Modeling soil erosion using RUSLE and GIS at watershed level in the upper beles, Ethiopia. *Environmental Challenges*, 2, 100009.
- [18]. Kumar, S., & Hole, R. M. (2021). Geospatial modelling of soil erosion and risk assessment in Indian Himalayan region—A study of Uttarakhand state. *Environmental Advances*, 4, 100039.
- [19]. Martínez-Murillo, J.F., López-Vicente, M., Poesen, J., & Ruiz-Sinoga, J.D. (2011). Modelling the effects of land use changes on runoff and soil erosion in two Mediterranean catchments with active gullies (South of Spain). *Landform Analysis*, 17, 99-104.
- [20]. Mengistu, D., Bewket, W., & Lal, R. (2015). Soil erosion hazard under the current and potential climate change induced loss of soil organic matter in the Upper Blue Nile (Abay) River Basin, Ethiopia. In Sustainable intensification to advance food security and enhance climate resilience in Africa (pp. 137-163). Springer, Cham.
- [21]. Moore, I. D., & Burch, G. J. (1986). Physical basis of the length-slope factor in the universal soil loss equation. *Soil Science Society of America Journal*, 50(5), 1294-1298.
- [22]. Panagopoulos, Y., Dimitriou, E., & Skoulikidis, N. (2019). Vulnerability of a northeast Mediterranean island to soil loss. Can grazing management mitigate erosion? *Water*, 11(7), 1491.
- [23]. Römken, M.J.M., Prasad, S.N., & Poesen, J.W.A. (1986). *Soil erodibility and properties*. 492-504.
- [24]. Sadhasivam, N., Bhardwaj, A., Pourghasemi, H.R., & Kamaraj, N.P. (2020). Morphometric attributes-based soil erosion susceptibility mapping in Dnyanganga watershed of India using individual and ensemble models. *Environmental Earth Sciences*, 14(79), 1-28.
- [25]. Sarmadi Sayfi, A., Soltani, F. and Falahatti, N. (2020). Analysis of factors affecting soil erosion in the Aghagir watershed of Qazvin, the fourth international conference on modern researches in agricultural engineering, *Environment and natural resources*, 8(5), 102-110. (in Farsi).
- [26]. Wang, B., Zheng, F., & Römken, M. J. (2013). Comparison of soil erodibility factors in USLE, RUSLE2, EPIC and Dg models based on a Chinese soil erodibility database. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B—Soil & Plant Science*, 63(1), 69-79.
- [27]. Wischmeier, W. H., & Smith, D. D. (1978). Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning (No. 537). Department of Agriculture, Science and Education Administration.

- [28]. Yang, X. (2014). Deriving RUSLE cover factor from time-series fractional vegetation cover for hillslope erosion modelling in New South Wales. *Soil Research*, 52(3), 253-261.
- [29]. Zareei, Sh., Ghabel Nezam, A. & Mostafazadeh, R. (2019). Analysis of soil erosion using the SEIM model in the sub-watersheds of Iril, Ardabil, the first international conference and the fourth national conference on the protection of natural resources and environment, 114-122 . (in Farsi).
- [30]. Zolfaghari, A., & Hajabbasi, M. (2008). The effects of land use change on physical properties and water repellency of soils in Lordegan forest and Freidunshar pasture. *Water and Soil*, 22(2), 251-262 .(in Farsi).



## **Assessment The Impact of Land use Changes on Soil Erosion using GIS and Remote Sensing Based on The RUSLE Model (Case Study: Behbahan County) (Research Paper)**

- 1- Zaynab Taheri Babadi, M.Sc. of Watershed Engineering, Department of Rangeland and Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Khatam Al-Anbia University of Technology Behbahan, Behbahan, Iran.
- 2- Behzad Moteshaffeh\*, Assistant Professor, Department of Rangeland and Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Behbahan Khatam Alanbia University of Technology, Behbahan, Iran. [bmoteshaffeh@gmail.com](mailto:bmoteshaffeh@gmail.com)
- 3- Seyed Hussein Roshan, Ph.D., Watershed Management Science and Engineering, Department of Watershed Management Engineering, Faculty of Natural Resources, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Sari, Iran.

Received: 14 May 2022

Accepted: 01 Aug. 2022

### **Abstract**

Soil erosion is a natural and global threat to water and soil resources. One of the most important effective factors in increasing soil erosion is changes in land use due to human activities. In this study, the impact of land use change on soil erosion in the town of Behbahan was studied using the RUSLE model in the Geographic Information System (GIS). In order to extract the final soil erosion map, the parameters of the RUSLE model consisting of R, K, L, S, C and P were first prepared for the years 2000 and 2021. These parameters were then converted into GRID format and the soil erosion map was obtained at the pixel level in the area by several of the parameters. Results from the erosion map in 2000 and 2021 indicated that the extent of soil erosion has increased over time. In 2021, the highest amount of erosion using the RUSLE model prediction is more exclusive to streams and rivers, although there is erosion across the region in different forms. The largest area in the region is classified as low erosion risk, which should be considered in planning. Among the effective erosion factors, the rain-induced erosion factor was high in the northern parts of the upstream region. Land use maps also show reduced vegetation at the soil surface. It causes a change in the number of efficient parameters in the model and thereby affects the amount of erosion in the region. Vegetation cover decreased from 2000 to 2021. The area of residential and agricultural land has increased, resulting in a reduction in natural land surface cover, and as a consequence, soil erosion conditions due to the impact of raindrops are increasing.

**Keywords:** Rain erosivity, Soil losses, Land cover, Behbahan.