

پایش اثر تغییر کاربری اراضی بر روند فرسایش خاک با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای در شرق هرمزگان

مهرداد سلجوقی: دانشجوی دکتری بیابان‌زدایی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی دانشگاه هرمزگان و محقق مرکز آموزش و تحقیقات کشاورزی و

منابع طبیعی هرمزگان، بندرعباس، ایران

مرضیه رضایی*: استادیار گروه منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران

یحیی اسماعیل پور: استادیار گروه منابع طبیعی، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه هرمزگان، بندرعباس، ایران

نوع مقاله: پژوهشی

تاریخچه مقاله (تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۰/۱۲ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۲/۲۷)



[20.1001.1.22517812.1401.12.4.3.4](https://doi.org/10.22517/12.1401.12.4.3.4)

چکیده

تغییرات کاربری اراضی و پوشش زمین به دلیل تأثیر بر اکوسیستم‌های طبیعی، برای حفظ منابع طبیعی و برنامه‌ریزان استفاده از زمین به یک نگرانی تبدیل شده است. تحقیق حاضر با هدف ارزیابی اثر تغییر کاربری اراضی بر فرسایش خاک، با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست و مدل RUSLE در شهرستان سیریک انجام شد. به این منظور، نقشه کاربری اراضی با استفاده از تصاویر پیش پردازش شده سنجنده‌های TM و OLI به ترتیب برای سال‌های ۲۰۱۰ و ۲۰۱۹ و با روش طبقه‌بندی نظارت شده حداکثر احتمال تهیه شد. در مرحله بعد، فرسایش خاک با استفاده از معادله جهانی ارزیابی این فرسایش (RUSLE) برای سال‌های ۲۰۱۰ و ۲۰۱۹ محاسبه شد. نتایج تغییرات کاربری اراضی در بازه زمانی بین سال‌های ۲۰۱۰ و ۲۰۱۹ نشان داد که اراضی کشاورزی، اراضی لخت و شوره‌زار و مناطق مسکونی، به ترتیب افزایش ۵/۵۴، ۳/۲۷ و ۰/۲۳ درصدی داشت؛ این در حالی است که کاربری جنگل، مراتع و بسترهای آبی به ترتیب کاهش ۰/۰۱، ۷/۳۴ و ۱/۶۱ درصدی را از خود نشان داد. نتایج بررسی تغییرات مدل RUSLE بیانگر این مطلب است که در بازه زمانی سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۹، از مساحت کلاس فرسایش خاک خیلی کم حدود ۱۰/۵۶ درصد کاسته و به مساحت طبقات کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد به ترتیب حدود ۲/۰۷، ۲/۳۸، ۱/۱۳ و ۴/۹۹ درصد افزوده شد. بر این اساس، یافته‌های به دست آمده از افزایش فرسایش خاک در منطقه، تحت تأثیر عوامل اقلیمی همچون خشکسالی و تغییرات بارش و عوامل انسانی از قبیل تغییرات غیر اصولی کاربری اراضی و مدیریت نامناسب آب در حوضه‌های آبخیز بالا دست است. واژگان کلیدی: لندست، تخریب، RUSLE، سیریک، هرمزگان.

۱- مقدمه

تاریخ زیست بر روی کره زمین حاکی از این است که بشر همواره در معرض انواع بلایای طبیعی بوده است (Mayahi, 2021)، بخشی از این بلایا مربوط به عوامل و نوسان‌های اقلیمی مانند خشکسالی‌ها و بخشی مربوط به عوامل انسانی است (Obiahu, 2020). تغییر کاربری اراضی و پوشش زمین، یکی از مهم‌ترین مسائل زیست محیطی است که به نگرانی جهانی منجر شده است (Guan, 2011 & Ota, 2018). چنین تغییراتی معمولاً به وسیله فعالیت‌های انسانی مثل جنگل‌زدایی، شهرنشینی، تشدید کشاورزی، چرای مفرط و در پی آن، تخریب اراضی ایجاد می‌شود؛ با این حال، عوامل طبیعی نیز می‌تواند به این تغییرات منجر شود (Lambin, 2011). عواملی همچون کشاورزی و چرای مفرط، از عوامل عمده تخریب اراضی در مناطق خشک است. تغییرات در اثر دخالت انسان می‌تواند به تخریب منابع طبیعی منجر شود، همچنین عرضه مواد غذایی در این مناطق را تحت تأثیر قرار دهد که در نتیجه، عواقب سیاسی و اجتماعی جدی را به همراه خواهد داشت (Turner, 2007). فرسایش خاک به ویژه فرسایش حاصل از تغییرات کاربری پوشش زمین، موضوعی مهم است (Tadesse, 2017) که امروزه به نگرانی محققان و سیاست‌گذاران منجر شده است (Bagarello, 2012 & Klein, 2013). در بیشتر مناطق کره زمین به خصوص مناطق خشک و نیمه خشک، فرسایش خاک و تغییرات فیزیکی و شیمیایی آن، جدی‌ترین تهدید برای معیشت کشاورزی به شمار می‌رود که از دست دادن عناصر غذایی، ناپایداری خاک و کاهش عملکرد محصولات کشاورزی را در پی دارد (Obiahu, 2020 & Bagarello).

در دهه‌های گذشته، تغییر کاربری زمین از اراضی طبیعی مانند جنگل‌ها و ساواناها به سایر کاربری‌ها مانند اراضی کشاورزی، مراتع و سکونتگاه‌ها بسیار شدت گرفته است (Chen, 2014). پژوهش‌ها نشان می‌دهد که بین سال‌های ۱۹۸۰ تا ۲۰۰۰، بیش از ۵۵ درصد از زمین‌های کشاورزی جدید در سراسر مناطق استوایی، با از بین رفتن جنگل‌های طبیعی توسعه یافته است (Gibbs, 2010). بسیاری از پژوهش‌ها، تنها بر تغییرات کاربری اراضی و پوشش زمین تمرکز کرده است و کمتر به رابطه بین تغییرات کاربری اراضی و دیگر اثرات زیست محیطی به ویژه فرسایش خاک پرداخته است (Ruiyan, 2008). به طور کلی، دانشمندان فرسایش خاک را عمدتاً حاصل استفاده نادرست از زمین — که تأثیر شتاب‌دهنده‌ای بر فرایند فرسایش خاک دارد — می‌دانند (Chen, 2008). در سال‌های اخیر، بسیاری از پژوهش‌ها بر اثرات زیست محیطی فرسایش خاک تأکید کرده‌اند. تحقیقات متنوعی نشان دادند که بین تغییرات کاربری اراضی و فرسایش خاک رابطه قوی وجود دارد (Mutua, 2006 & Sharma, 2011). در بسیاری از مطالعات، برای محاسبه فرسایش خاک از مدل‌های مختلفی استفاده شده است؛ از جمله مدل اصلاح شده فرسایش جهانی خاک (RUSLE) که به صورت گسترده برای تخمین متوسط تلفات خاک در دراز مدت به کار می‌رود (Renard, 1997). مدل RUSLE، مقدار خاک هدر رفته از یک نوع خاک مخصوص را — که بتواند از حداکثر محصول برای ثبات و پایداری یک منطقه حمایت کند و برای طراحی سیستم‌های کاربری اراضی و حفاظتی مناسب باشد — محاسبه می‌کند. مطالعات مختلفی در این زمینه انجام شده است که از جمله آنها می‌توان به یافته‌های اثر تغییرات کاربری بر پتانسیل فرسایش ناخالص سالیانه در ارتفاعات Emilia – Romagna — که در منطقه‌ای در شمال مرکزی ایتالیا به وسیله مدل USLE بررسی شد — اشاره کرد. یافته‌ها نشان داد که علاوه بر این،

تغییرات کاربری تاریخی اراضی در ناحیه بولونیا تحت تأثیر فرسایش خاک ناخالص سالیانه بوده و این تغییرات، میزان فرسایش را در دهه اخیر افزایش داده است (Brath, 2002). در پژوهشی دیگر، به بررسی مکانی ریسک فرسایش سالانه خاک با استفاده از RUSLE و تکنیک GIS در حوضه Wadi Karaka پرداخته شد. یافته‌ها نشان داد که خطر فرسایش خاک بیش از ۳۱/۲٪ (۳۹۴۰/۵۶ هکتار) از طبقه شدید تا خیلی شدید است (Farhan, 2015). در پژوهش دیگر با هدف بررسی اثر فرسایش و تخریب اراضی بر کیفیت آب، پژوهشگران به این نتیجه رسیدند که فرسایش، به بروز اثرات محلی و خارجی بر اراضی و پهنه‌های آبی — به صورت کاهش کیفیت — منجر می‌شود (Issaka, 2017). همچنین اثر تغییرات کاربری و پوشش اراضی بر توان فرسایش خاک در اراضی کشاورزی بررسی شد و نتایج نشان داد که مقدار p به دست آمده ۰.۵۵، برای آزمون t زوجی دو دنباله بین میانگین پتانسیل فرسایش ریزحوضه‌ها در سال‌های ۱۹۸۹ و ۲۰۰۴ نیز بیانگر تغییری متوسط در پتانسیل فرسایش خاک حوضه در طول دوره مورد مطالعه است. همچنین انتقال سایر مقوله‌های پوشش کاربری اراضی به زمین‌های زراعی، از نظر هدررفت خاک برای حوضه آبخیز زیانبارترین بود؛ در حالی که جنگل به‌عنوان مؤثرترین مانع برای از دست دادن خاک عمل می‌کرد (Sharma, 2011). همچنین پژوهش سناریوهای تأثیر تغییرات کاربری بر فرسایش خاک، با استفاده از مدل CLUE-S و RUSLE در حوضه کازیلان در شمال ایران انجام شد. از مدل RUSLE برای برآورد فرسایش و اثر زمین در سال ۲۰۳۰ استفاده شد. نتایج نشان داد که CLUE-S برای مدل‌سازی کاربری زمین در آینده مناسب است (Zare, 2017). در دامنه‌های اراضی حوضه خامسان کردستان، کارایی مدل‌های RUSLE و RUSLE2 در برآورد هدررفت خاک ارزیابی شد. مقایسه یافته‌های تخمین‌های دو مدل نشان داد تغییراتی که در مدل RUSLE2 نسبت به RUSLE انجام شده، به برآوردهای بهتر مدل RUSLE2 منجر شده است. در دامنه‌ها با پوشش سنگی و مقادیر آهک بیشتر، کارایی دو مدل بدون واسنجی نسبت به دامنه‌های دیگر پایین‌تر بود (Khaleghpanah, 2018).

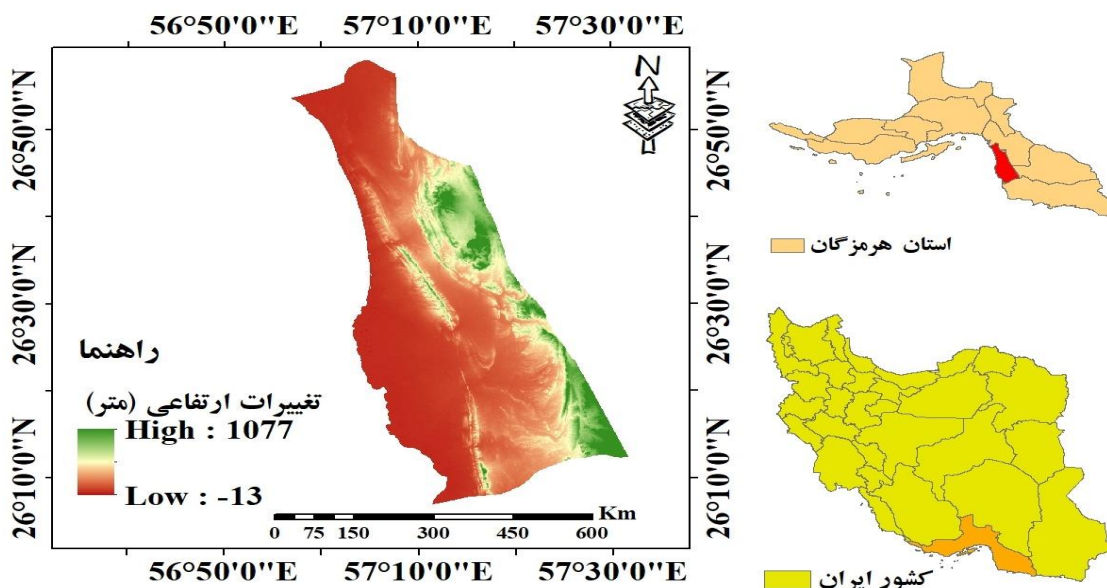
در ایران در دهه اخیر، تعدادی از پژوهشگران از برخی از مدل‌های تجربی فرسایش خاک استفاده کرده‌اند که برآورد فرسایش در برخی از این روش‌ها دشوار است؛ از این رو، ضرورت دستیابی به یک روش برآورد دقیق فرسایش مانند مدل RUSLE در کوتاه‌ترین زمان و با صرف هزینه کم و با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای منطقه می‌تواند به برآورد فرسایش بسیار کمک کند. بدین ترتیب به دلیل دقت بالا و صرف زمان کم، استفاده از داده‌های ماهواره‌ای برای برآورد فرسایش ضروری است. با توجه به پژوهش‌های ذکر شده، هدف پژوهش حاضر بررسی تأثیرات تغییرات کاربری با استفاده از تکنیک سنجش از دور و GIS بر فرسایش خاک با استفاده از مدل فرسایش خاک RUSLE است.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد پژوهش

سیریک، از شهرستان‌های استان هرمزگان در جنوب ایران است که در کرانه دریای عمان واقع شده است. این شهرستان از شمال به شهرستان میناب، از جنوب به جاسک، از شرق به بشاگرد و از غرب به دریای عمان محدود شده و در ۲۶ درجه

و ۱۵ دقیقه و ۴ ثانیه و ۲۶ درجه و ۵۵ دقیقه و ۳۰ ثانیه پهنای شمالی و ۵۷ درجه و ۵ دقیقه و ۳ ثانیه و ۵۷ درجه و ۲۵ دقیقه و ۰۷ ثانیه پهنای شرقی واقع شده است. مساحت این شهرستان، ۳۵۰۰ کیلومتر مربع و مرکز آن، شهر سیریک است. بررسی نوع اقلیم با شاخص خشکی دومارتن نشان داد که این منطقه در ردیف اقلیم خشک (بیابانی) قرار دارد. همچنین مطالعات نشان داد که تقریباً در ۹ ماه نخست سال، شرایط خشک و کم آب بر منطقه حکمفرماست. این منطقه، آب و هوایی گرم و مرطوب دارد و کمترین درجه هوا در زمستان به پنج درجه و در تابستان بعضی از مواقع به بالاترین درجه حرارت یعنی بیش از ۴۵ درجه می‌رسد. مشخصات آماری سرعت باد در این شهرستان بر اساس کیلومتر بر ساعت، با استفاده از پایگاه ECMWF سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۰ به طور میانگین در ژانویه ۸/۹ و در جولای ۱۱/۱ ارائه شده است (Rezai, 2021). به لحاظ ژئومورفولوژیکی به دلیل همجواری با دریا و خاک حساس به فرسایش در مجاورت تالاب بین‌المللی جنگل‌های ماندابی سیریک، نباکها با گونه چوج یا مسواک با نام علمی (*Salvadora persica* Linn) تشکیل شده است. شغل مردم این شهرستان، کشاورزی، صیادی و تجارت از طریق دریاست که بیشتر این تجارت‌ها به وسیله شناورهای چوبی لنج صورت می‌گیرد و با کشورهای حوضه خلیج فارس و دریای عمان انجام می‌شود. این شهرستان با داشتن جنگل‌های حرا، مزارع کشاورزی، باغ‌های سرسبز، طبیعت بیابانی و مناطق کم ارتفاع در کنار دریای عمان، یکی از مناطق گردشگرپذیر در هرمزگان است. فرهنگ مردم سیریک، ترکیبی از فرهنگ بندری و بلوچی است (Zerehi, 2022).



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی منطقه مورد پژوهش

۲-۲- داده‌های مورد استفاده

داده‌های ماهواره‌ای به کار رفته در پژوهش حاضر، شامل دو صفحه تصویر ماهواره‌ای لندست ۵ سنجنده TM مربوط به تاریخ ۲۰۱۰/۰۶/۱۷ و لندست ۸ سنجنده OLI مربوط به تاریخ ۲۰۱۹/۰۶/۱۰، با شماره ردیف و گذر به ترتیب ۱۵۹ و ۴۱-۴۲ است. همچنین از مدل رقومی ارتفاع (DEM) سنجنده ASTER با قدرت تفکیک سی متر مربع نیز استفاده شد. تصاویر ماهواره‌ای و مدل رقومی ارتفاع، از آرشیو پایگاه اینترنتی USGS (www.earthexplorer.usgs.gov) تهیه شد. نقشه

توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ از سازمان نقشه برداری ایران، داده‌های بافت خاک از سایت (<https://soilgrids.org/>) و ساخت و ترکیب لایه‌ها با استفاده از نرم‌افزارهای 2014 ERDAS IMAGINE، ENVI و ArcGIS انجام شد.

۳-۲- پیش پردازش تصاویر ماهواره‌ای

به منظور کنترل تصاویر ماهواره‌ای از نظر ثبت دقیق زمینی، تصحیح هندسی بر روی تصویر انجام شد. برای رسیدن به این منظور، از تصاویر سنجنده‌های TM و OLI به روش تصویر به تصویر با RMSE کمتر از ۰/۵ پیکسل زمین استفاده شد. از آنجا که تغییرات شرایط روشنایی، بر تابش واقعی رسیده به یک پیکسل تأثیر می‌گذارد؛ بنابراین، تصحیح اتمسفری باید بر روی تصاویر صورت گیرد. در تحقیق حاضر به منظور تصحیح اتمسفری، از افزونه ATCORE در نرم‌افزار 2014 ERDAS IMAGINE و فایل فراداده (Meta data) همراه تصاویر ماهواره‌ای استفاده شد (Rezai, 2022).

۴-۲- پردازش تصاویر ماهواره‌ای و تهیه نقشه پوشش اراضی

برای انتخاب نمونه‌های تعلیمی به منظور اجرای طبقه‌بندی نظارت شده، از عکس‌های هوایی، تصاویر Google Earth و نقاط برداشت شده با GPS در عملیات میدانی استفاده و تا حد ممکن سعی شد پراکنش نمونه‌های تعلیمی در سطح منطقه مطالعاتی، در داخل منطقه همگن و با پراکنش مناسب باشد. تعداد پیکسل‌های انتخاب شده در هر نمونه تعلیمی، حداقل باید به اندازه ده برابر تعداد باندهای طیفی تصویر مورد استفاده باشد (Sharma, 2011) که این نکته در پژوهش حاضر رعایت شد. به این منظور برای تهیه نقشه کاربری و پوشش اراضی، از زمین‌های کشاورزی هشتاد نمونه آموزشی، از زمین‌های لخت و شوره‌زار دویست نمونه، از جنگل پنجاه نمونه، از مراتع چهل نمونه، از مناطق مسکونی شصت نمونه و از بسترهای آبی چهل نمونه استفاده شد. برای روش طبقه‌بندی، از الگوریتم بیشترین شباهت (Ota, 2018) در محیط نرم‌افزار 2014 ERDAS IMAGINE استفاده شد. در این روش طبقه‌بندی با توجه به اینکه نقاط آموزش به طور دقیق انتخاب و به نرم‌افزار معرفی می‌شود، به عنوان روشی قدرتمند و در عین حال ساده شناخته شده است (Biro, 2013 & Paradahan, 2009). ترکیب باندهای مناسب برای طبقه‌بندی، از دستور Evaluate موجود در Signature Editor براساس بهترین میانگین جدایی^۱ مشخص شد. بر این اساس، برای طبقه‌بندی تصویر سنجنده TM از ترکیب باندهای ۱-۲-۳ و ۳-۴-۵ برای تصویر سنجنده OLI از ترکیب باندهای ۲-۳-۴ و ۳-۴-۵ استفاده و شش طبقه کاربری اراضی و پوشش زمین مشخص شد که شامل اراضی کشاورزی، جنگل، مراتع، اراضی لخت و شوره‌زار، مناطق مسکونی و بسترهای آبی بود.

۵-۲- ارزیابی صحت نقشه‌های پوشش اراضی

در تحقیق حاضر پس از طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای با استفاده از نمونه‌های تعلیمی — که در جریان طبقه‌بندی دخالت داده نشده‌اند — به ارزیابی صحت تصویر طبقه‌بندی شده پرداخته شد. به این منظور، با استفاده از ماتریس خطا و محاسبه ضرایب صحت کلی^۲ و ضریب کاپا^۳، صحت طبقه‌بندی ارزیابی شد. صحت کلی از جمع عناصر قطر اصلی ماتریس خطا بر تعداد پیکسل‌ها، طبق رابطه^۱ محاسبه شد (Ozemi, 2002):

¹ Best Average Separability

² Overall accuracy

³ Kappa coefficient

$$OA = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_{ii} \quad \text{رابطه ۱}$$

در این رابطه OA صحت کلی، N تعداد پیکسل‌های آزمایشی و $\sum P_{ii}$ جمع عناصر قطر اصلی ماتریس خطاست. شاخص کاپا، پیکسل‌های نادرست طبقه‌بندی شده را مدنظر قرار می‌دهد و صحت طبقه‌بندی را نسبت به یک طبقه‌بندی کاملاً تصادفی محاسبه می‌کند. شاخص کاپا براساس رابطه ۲ محاسبه شد (Huben, 2006):

$$Kappa = \frac{P_0 - P_c}{1 - P_c} \times 100 \quad \text{رابطه ۲}$$

در این رابطه P_0 درستی مشاهده شده و P_c توافق مورد انتظار است.

۲-۶- ارزیابی فرسایش خاک

در تحقیق حاضر برای برآورد میانگین سالانه فرسایش خاک، از مدل RUSLE استفاده شد. این مدل، تابعی از شش شاخص ورودی فرساینده‌گی باران (R)، فرسایش‌پذیری خاک (K)، طول و درجه شیب (LS)، مدیریت پوشش گیاهی (C) و عملیات حفاظتی (P) است. حساسیت خاک به فرسایش، تابعی از خصوصیات خاک است و تغییر این خصوصیات با کاربری اراضی و توپوگرافی مرتبط می‌باشد (Ozsmiet, 2002). فرسایش خاک براساس مدل RUSLE و با استفاده از رابطه ۳ محاسبه شد (Descheemaeker, 2008):

$$A = R \times K \times LS \times C \times P \quad \text{رابطه ۳}$$

در این رابطه A میانگین فرسایش خاک در واحد سطح (تن در هکتار در سال)، R شاخص فرساینده‌گی باران (MJ ha⁻¹ y⁻¹ h⁻¹ mm⁻¹), K شاخص فرسایش‌پذیری خاک (t h MJ⁻¹ mm⁻¹), LS شاخص توپوگرافی، C شاخص پوشش گیاهی و P شاخص عملیات حفاظتی است. شاخص‌های LS، C و P بدون واحد می‌باشد.

۲-۶-۱- شاخص فرساینده‌گی باران (R)

مفهوم عبارت فرساینده‌گی باران به‌منظور در نظر گرفتن تأثیر اقلیم بر فرسایش خاک، توسط ویشمایر و اسمیت ارائه شد. توان باران در ایجاد فرسایش، فرساینده‌گی باران خوانده می‌شود که تابعی از خصوصیات فیزیکی بارندگی است و با انرژی مستقیم باران، انرژی جنبشی بارندگی و حداکثر شدت بارندگی در ارتباط است (Zare, 2017). در پژوهش حاضر برای بررسی بارندگی، از داده‌های ماهانه ماهواره CHIRPS استفاده شد. این داده، با پیکسل سایز پنج کیلومتر برای کل سطح زمین قابل دسترس است. در این پژوهش داده‌های بارندگی با استفاده از نرم‌افزار GIS ریزمقیاس، سپس به‌منظور تعمیم داده‌های بارش نقطه‌ای به کل منطقه، از روش درون‌یابی IDW استفاده شد (Ahmadali, 2021). در نهایت، شاخص فرساینده‌گی باران (R) با استفاده از رابطه ۴ محاسبه شد (Ayobi, 2007):

$$R = 79 + 0.363 \times P \quad \text{رابطه ۴}$$

در این رابطه، $R =$ شاخص فرسایش و P متوسط بارندگی سالیانه (میلی متر) است.

۲-۶-۲- عامل فرسایش پذیری خاک (k)

عامل فرسایش پذیری خاک بیانگر حساسیت ذاتی خاک به فرسایش است و سهولت جدا شدن ذرات خاک بر اثر انرژی جنبشی قطرات باران و انتقال آنها به وسیله نیروی رواناب را نشان می‌دهد. در تحقیق حاضر، عامل فرسایش پذیری خاک یا رابطه ۵ بر اساس بافت خاک و درصد ماده آلی آن محاسبه شد (Ozemi, 2002):

رابطه ۵

$$K = 0.1317 \times \left(0.2 + 0.3 \times e^{\left[-0.0256SAN \left(1 - \frac{SIL}{100} \right) \right]} \times \left(\frac{SIL}{CLA + SIL} \right) \right) \times \left[1 - \frac{0.25 \times TOC}{TOC + e^{(3.72 - 2.95 \times TOC)}} \right] \\ \times \left[1 - \frac{0.7 \times SN_1}{SN_1 + e^{(22.9 \times SN_1 - 5.51)}} \right]$$

k عامل فرسایش پذیری خاک، Toc مواد آلی خاک، SAN % شن، $SN_1 = 1 - \frac{SAN}{100}$ رس، CLA % رس، SIL % سیلت.

۲-۶-۳- شاخص توپوگرافی (LS)

شاخص درصد شیب، تابعی از درجه شیب و بیانگر اثر درجه شیب بر مقدار فرسایش است. شاخص طول شیب نیز تابعی از طول شیب اندازه گیری شده بر حسب متر است. حاصل ضرب دو شاخص یاد شده، به عنوان شاخص توپوگرافی (LS) شناخته می‌شود. برای تهیه نقشه شاخص توپوگرافی، از مدل رقومی ارتفاع سی متری منطقه استفاده (شکل ۱) و با استفاده از نرم افزار SAGA محاسبه گردید.

۲-۶-۴- عامل پوشش گیاهی (C)

شاخص پوشش گیاهی بیانگر نسبت مقدار خاک از بین رفته از زمین زیر کشت، به خاک فرسوده شده از همان قطعه زمین در طی آیش مداوم و عاری از پوشش یا بقایای گیاهی است (Tadesse, 2017). عامل پوشش گیاهی، بر اساس نقشه کاربری اراضی و با استفاده از جدول ۱ به دست آمد.

جدول ۱: ارزش شاخص C برای طبقات پوشش اراضی منطقه (Sharma et al, 2011)

ارزش عددی شاخص P	کشاورزی	اراضی	جنگل	مراتع	اراضی لخت و شوره زار	مناطق مسکونی	بسترهای آبی
۰/۵	۰/۰۰۱	۰/۳۲	۱	۰	۰	۰	۰

۲-۶-۵- شاخص عملیات حفاظتی خاک (P)

شاخص عملیات حفاظتی خاک را چنین تعریف کرده‌اند: مقدار خاک از بین رفته در واحد سطح یک زمین حفاظت شده، به زمینی که لخت باشد و در جهت تندترین شیب شخم خورده باشد (Ekrami, 2021). به طور عمده منظور از

کارهای حفاظتی کشت در روی خطوط تراز، کشت نواری و تراس‌بندی است. هر چه مقدار این شاخص کمتر باشد، کارهای حفاظتی مؤثرتر است و هدر رفت خاک کمتر (Ozesmi, 2002). در پژوهش حاضر، مقادیر شاخص P از طریق طبقه‌بندی مجدد هر تیپ پوشش زمین و براساس مقادیر ارائه شده در جدول ۲ تعیین شد. با توجه به اینکه در منطقه هیچ گونه عملیات اصلاحی و مدیریتی صورت نگرفته بود، ارزش P تنها براساس پوشش اراضی تعیین شد.

جدول ۲: ارزش شاخص P برای طبقات پوشش اراضی منطقه (Renard, 1997)

ارزش عددی شاخص P	اراضی کشاورزی	جنگل	مراکز	اراضی لخت و شورزار	مناطق مسکونی	بسترهای آبی
۰/۵	۱	۱	۱	۱	۱	۱

برآورد فرسایش خاک با استفاده از مدل RUSLE

برای تهیه نقشه فرسایش سالانه خاک برای سال‌های ۲۰۱۰ و ۲۰۱۹، نقشه شاخص‌های فرسایش باران (R)، فرسایش‌پذیری خاک (K)، توپوگرافی (LS)، مدیریت پوشش گیاهی (C) و عملیات حفاظتی (P) با استفاده از GIS و براساس رابطه ۳ در محیط GIS با عملگرهای تلفیق OVERLAY شدند و مقادیر هدر رفت سالانه خاک (A) برحسب تن در هکتار در سال تعیین، سپس با استفاده از جدول ۳ در پنج کلاس طبقه‌بندی شد.

جدول ۳: کلاس‌های مختلف مدل فرسایش خاک (Renard, 1997)

فرسایش خاک	خیلی کم	کم	متوسط	زیاد	خیلی زیاد
کلاس فرسایش	۰-۵	۵/۱-۱۰	۱۰/۱-۲۵	۲۵/۱-۳۵	۳۵/۱<

۷-۲- بررسی اثر تغییر کاربری اراضی و پوشش زمین بر جریان فرسایش خاک

برای مشخص کردن تأثیر تغییر کاربری اراضی بر جریان فرسایش خاک، مقدار فرسایش سالانه در هر کاربری به دست آمد و با همدیگر مقایسه شد.

۳- نتایج

۳-۱- ارزیابی صحت طبقه‌بندی

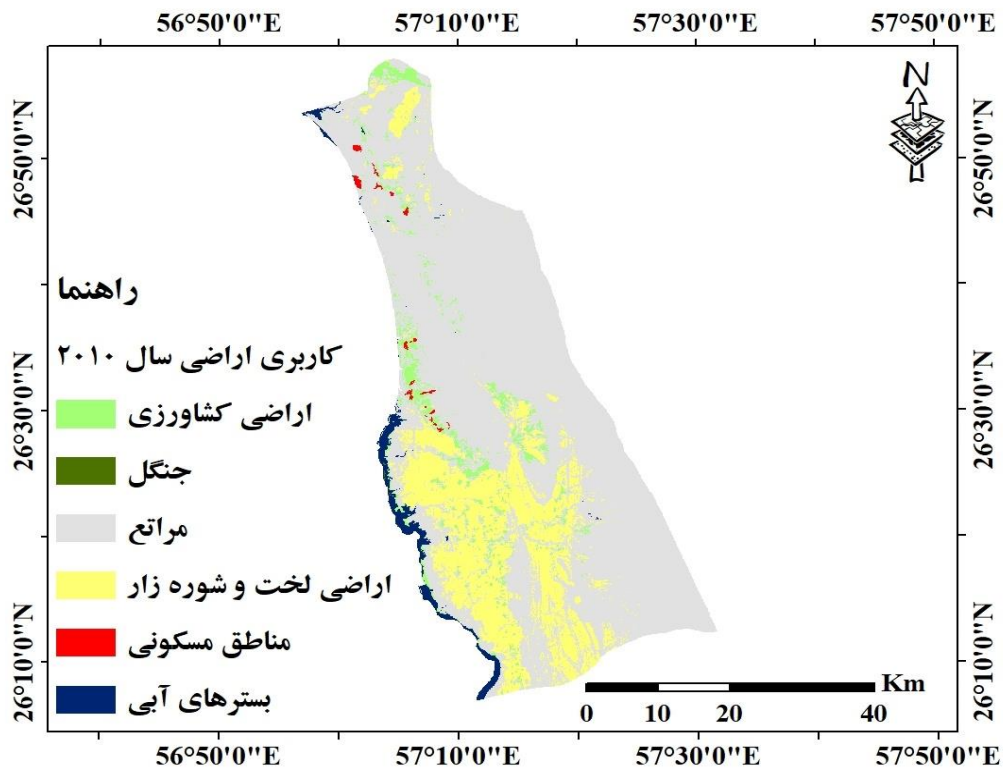
دقت طبقه‌بندی تصاویر با بهره‌گیری از نمونه‌های آموزشی و ماتریس خطا، و محاسبه شاخص‌های آماری دقت کلی و ضریب کاپا (Rezai, 2022) انجام شد (جدول ۴). با استفاده از نتایج به دست آمده، دقت کلی و ضریب کاپا برای سال ۲۰۱۰ به ترتیب ۰/۹۲ و ۰/۹۰ و برای سال ۲۰۱۹ نیز به ترتیب ۰/۹۳ و ۰/۹۱ است.

جدول ۴: آزمون دقت کلاس‌های کاربری اراضی و پوشش زمین

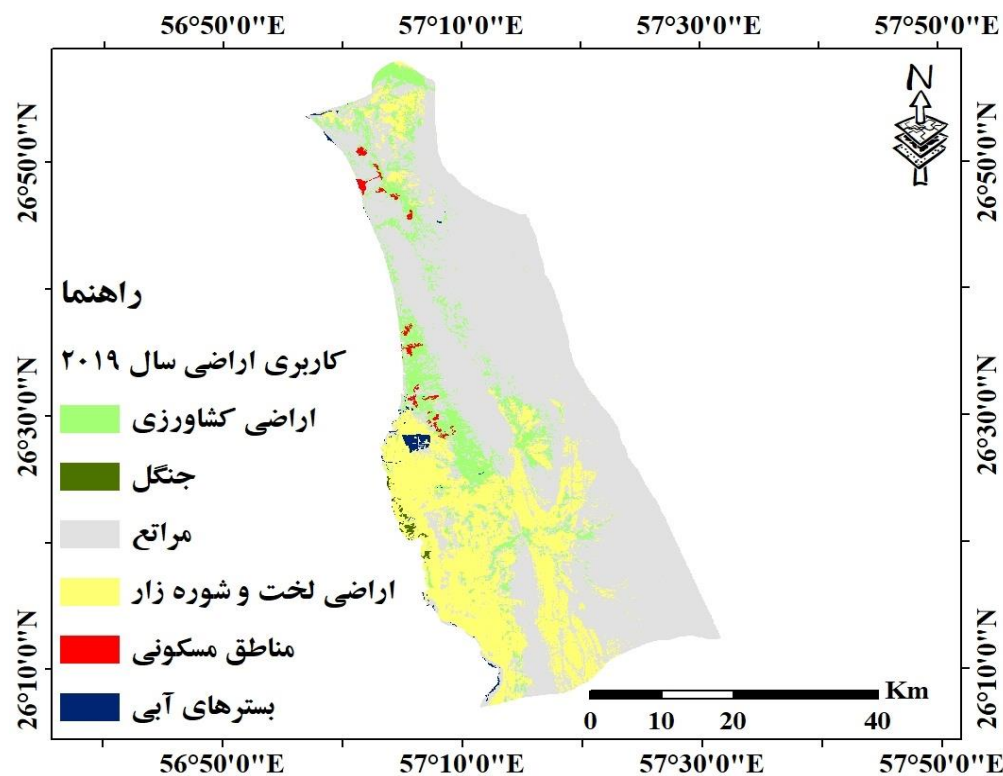
کاربری اراضی	تصویر سال ۲۰۱۰		تصویر سال ۲۰۱۹	
	صحت کاربر	صحت تولید کننده	صحت کاربر	صحت تولید کننده
اراضی کشاورزی	۸۵	۹۸	۸۳	۸۰
جنگل	۹۷	۸۹	۸۷	۸۹
مراتع	۹۲	۹۰	۸۸	۸۶
اراضی لخت و شورزار	۹۸	۹۰	۹۷	۹۷
مناطق مسکونی	۸۸	۹۱	۹۸	۹۰
بسترهای آبی	۱۰۰	۹۱	۹۷	۹۵
	صحت کلی ۰/۹۲	ضریب کاپا ۰/۹	صحت کلی ۰/۹۳	ضریب کاپا ۰/۹۱

۲-۳- ارزیابی کاربری اراضی

بررسی نتایج تغییرات کاربری اراضی در شکل (۲ و ۳) و جدول ۵ نشان داد که کاربری اراضی منطقه، تغییرات چشمگیری داشته‌است؛ به گونه‌ای که در این بازه زمانی، اراضی کشاورزی ۵/۵۴ درصد افزایش داشته و از ۴/۲۴ درصد در سال ۲۰۱۰، به ۹/۷۸ درصد در سال ۲۰۱۹ رسیده‌است. همچنین اراضی لخت و شورزار و مناطق مسکونی نیز در این بازه زمانی به ترتیب ۳/۲۷ و ۰/۲۳ درصد افزایش داشت؛ این در حالی است که کاربری جنگل، مراتع و بسترهای آبی در همین بازه زمانی به ترتیب ۰/۰۱، ۷/۳۴ و ۱/۶۱ درصد کاهش داشت.



شکل ۲: نقشه تغییرات کاربری اراضی ۲۰۱۰



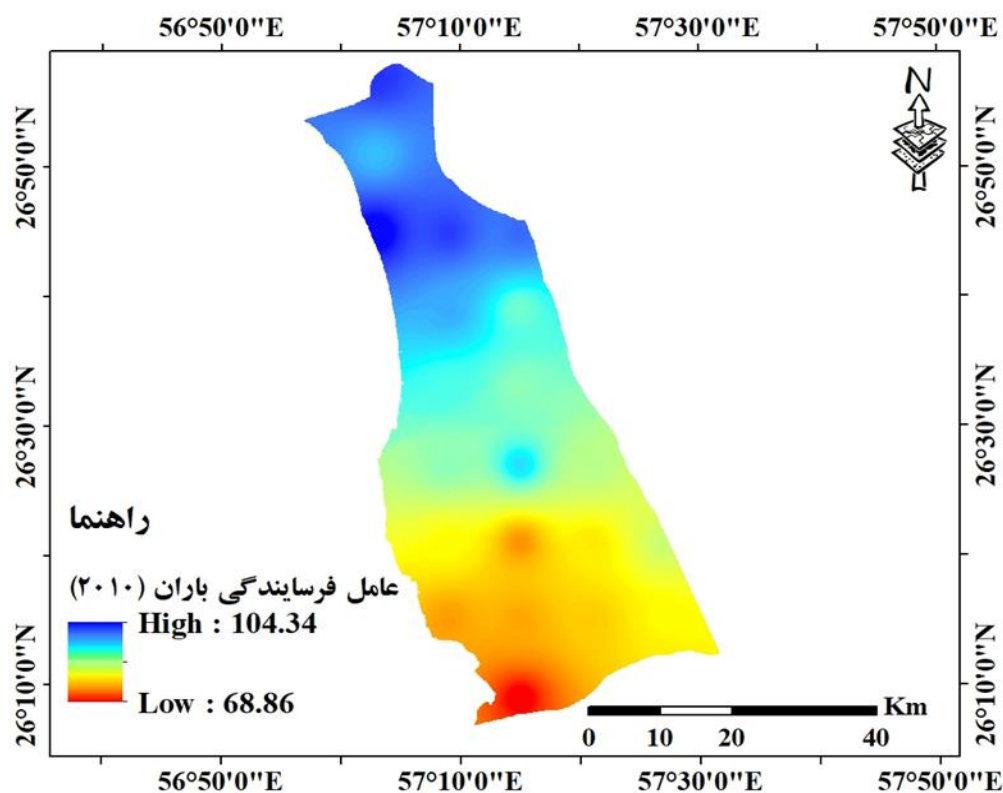
شکل ۳: نقشه تغییرات کاربری اراضی ۲۰۱۹

جدول ۵: مساحت و درصد مساحت طبقه‌های کاربری اراضی

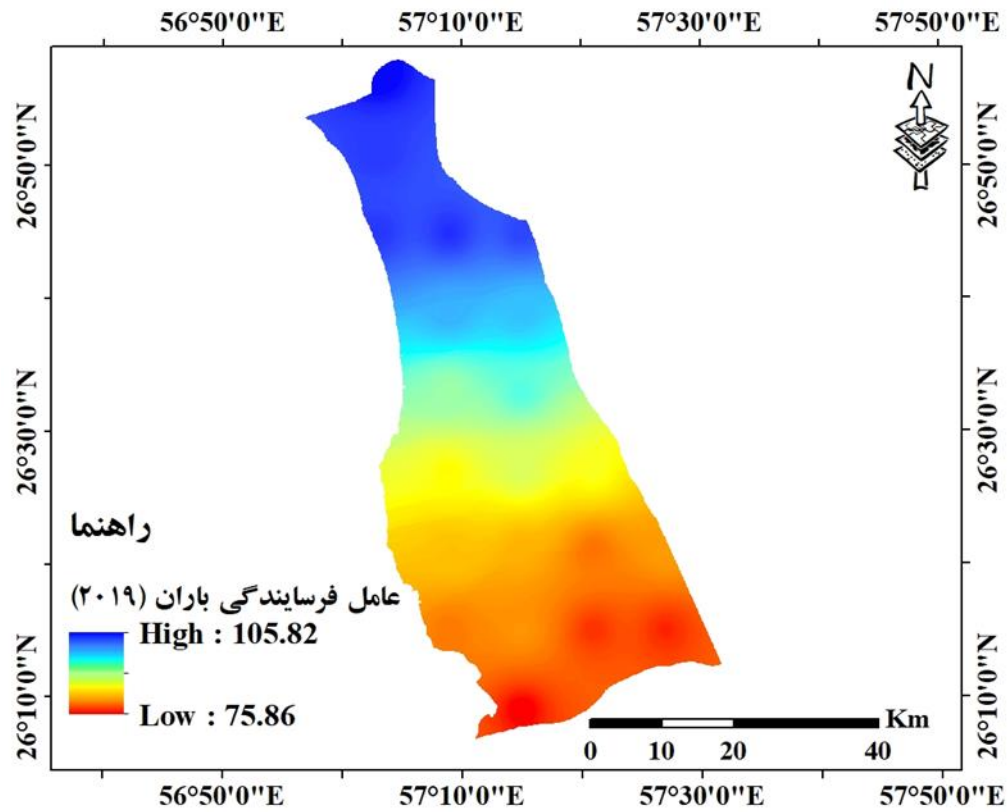
اختلاف (%) ۱۳۶۸-۱۳۸۲	درصد مساحت	۱۳۸۲	درصد مساحت	۱۳۶۸	طبقه کاربری اراضی
۵/۵۴	۹/۷۸	۲۲۴۲۰/۹۹	۴/۲۴	۹۷۱۳/۹۳	اراضی کشاورزی
-۰/۰۱	۰/۰۲	۴۰/۳۹	۰/۰۳	۵۸/۷۰	جنگل
-۷/۴۳	۶۵/۲۵	۱۴۹۶۱۴/۲۵	۷۲/۶۸	۱۶۶۶۴۸/۶۲	مراع
۳/۲۷	۲۳/۸۷	۵۴۷۳۱/۷۵	۲۰/۶۰	۴۷۲۳۰/۳۴	اراضی لخت و شورزار
۰/۲۳	۰/۵۶	۱۲۹۱/۶۱	۰/۳۳	۷۵۳/۰۹	مناطق مسکونی
-۱/۶۱	۰/۵۲	۱۱۸۴/۰۲	۲/۱۳	۴۸۷۸/۳۲	بسترهای آبی

۳-۳- شاخص فرساینده‌گی (R)

نتایج حاصل از محاسبه میزان شاخص فرساینده‌گی باران در منطقه برای سال‌های ۲۰۱۰ و ۲۰۱۹، در شکل ۴ و ۵ آورده شده‌است. براساس این شکل‌ها، مقدار شاخص R برای سال ۲۰۱۰ از ۶۸/۸۶ تا ۱۰۴/۳۴ و برای سال ۲۰۱۹ بین ۷۵/۸۶ تا ۱۰۵/۸۲ $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{h}^{-1} \text{y}^{-1}$ متغیر است.



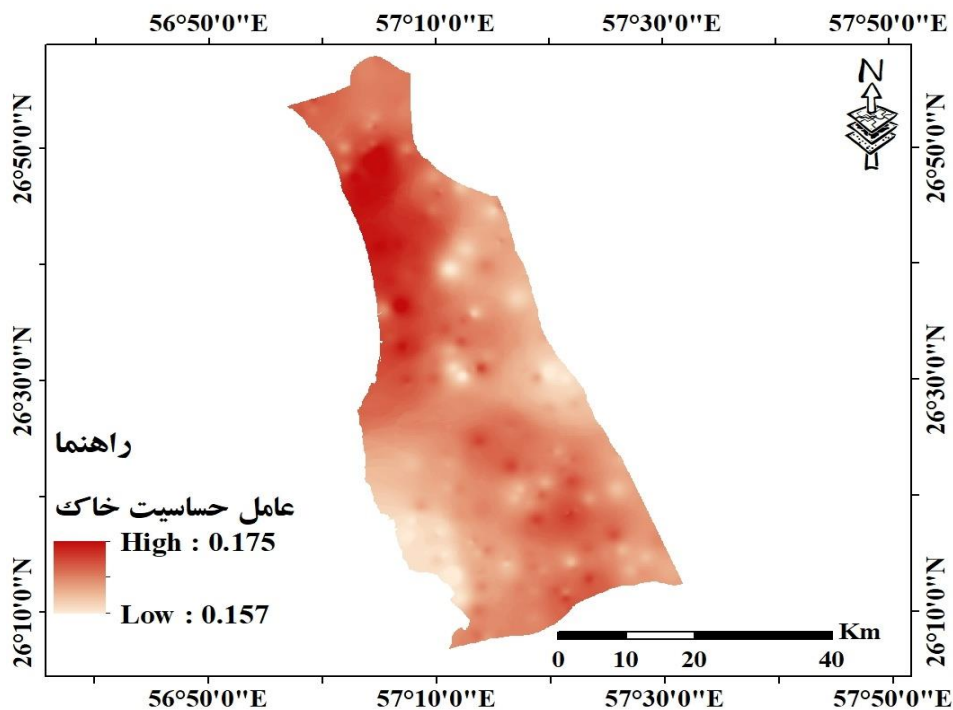
شکل ۴: نقشه شاخص فرساینده‌گی باران، ۲۰۱۰



شکل ۵: نقشه شاخص فرساینده‌گی باران، ۲۰۱۹

۳-۴- شاخص فرسایش پذیری خاک (K)

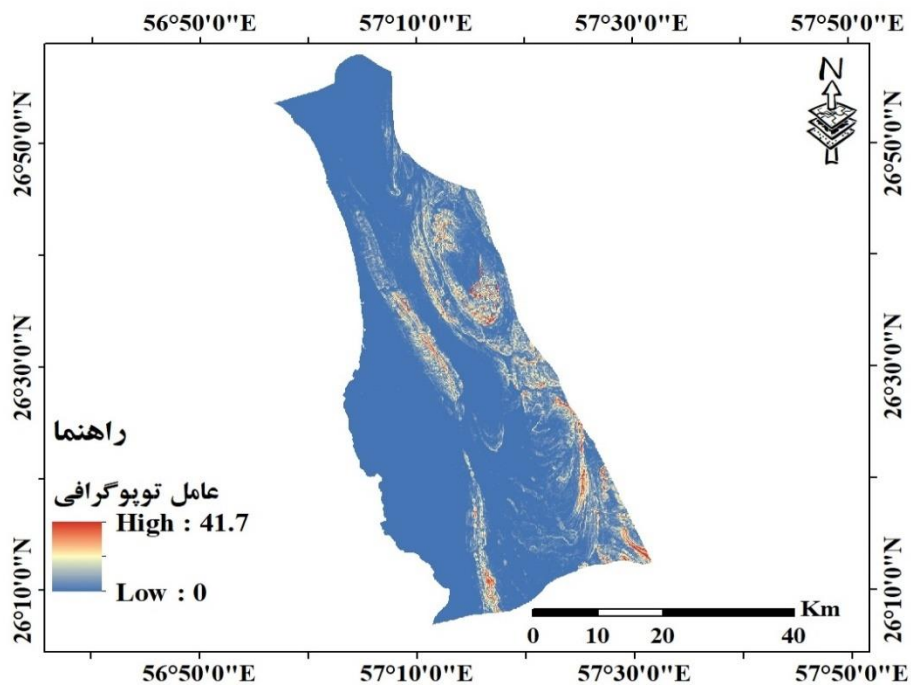
مقدار شاخص فرسایش‌پذیری خاک در منطقه (شکل ۷) بین $0/۱۷۵-۰/۱۵۷ \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1} \text{ MG ha h ha}^{-1}$ متغیر است.



شکل ۶: نقشه شاخص فرسایش پذیری خاک

۵-۳- شاخص توپوگرافی (LS)

نقشه شاخص توپوگرافی با استفاده از مدل رقومی ارتفاع در شکل ۷ نشان می‌دهد که مقدار این شاخص بین ۰ تا ۴۱/۷ متغیر است.

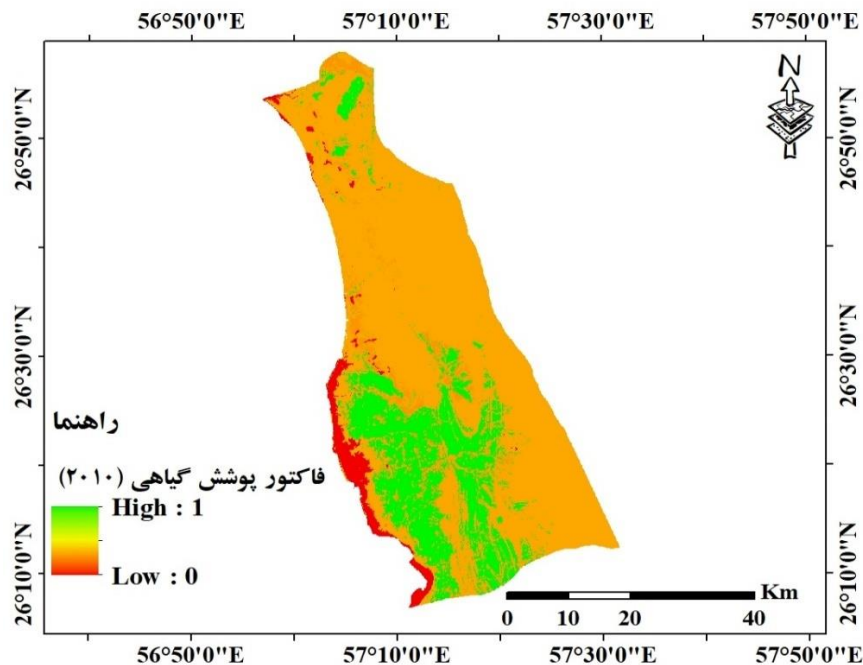


شکل ۷: نقشه شاخص توپوگرافی سیریک

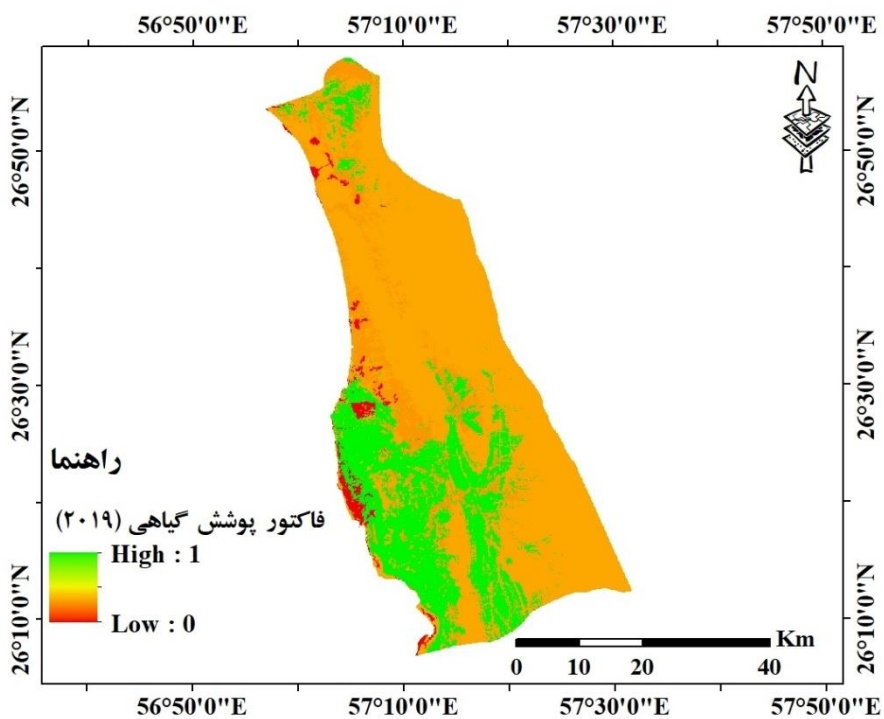
۳-۶- شاخص پوشش گیاهی (C)

نقشه شاخص پوشش گیاهی بر اساس شکل‌های ۸ و ۹، به ترتیب مقدار فاکتور C برای سال ۲۰۱۰ و ۲۰۱۹ بین ۰-۱

متغیر بود.



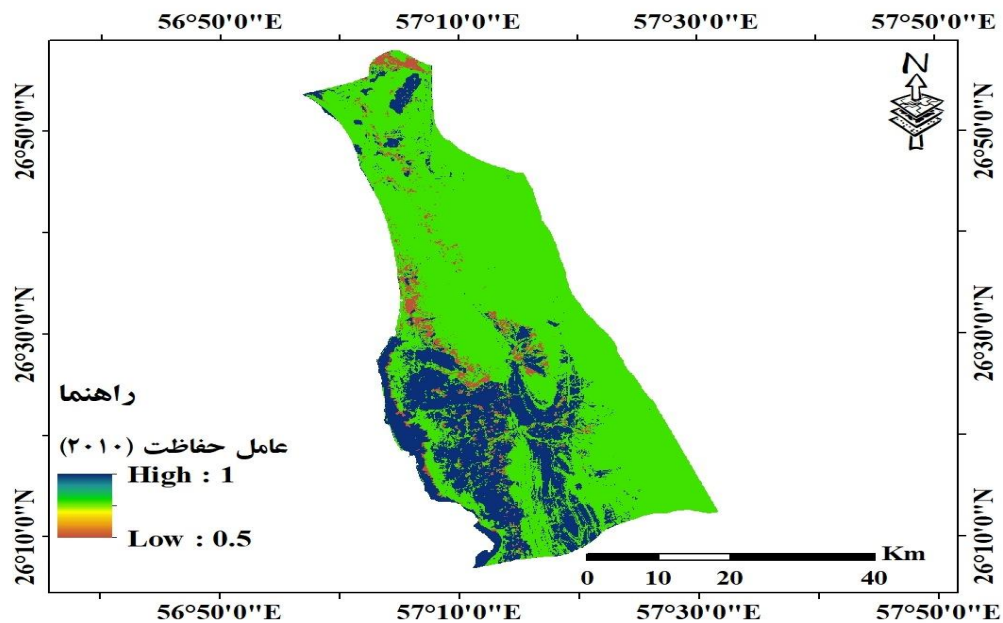
شکل ۸: شاخص پوشش گیاهی برای سال ۲۰۱۰



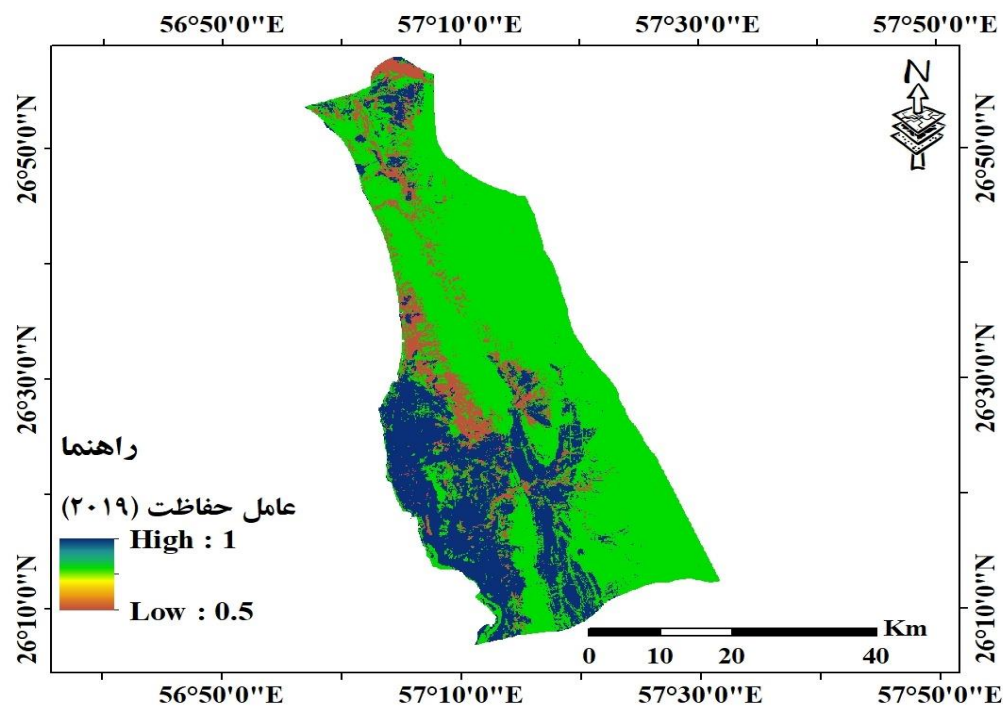
شکل ۹: شاخص پوشش گیاهی برای سال ۲۰۱۹

۷-۳- شاخص عملیات حفاظتی (P)

نقشه شاخص P، از طریق طبقه‌بندی مجدد طبقات پوشش اراضی براساس جدول ۳ ایجاد شد. مقدار این شاخص برای منطقه در سال‌های ۲۰۱۰ و ۲۰۱۹، بین ۰/۵-۱ به دست آمد.



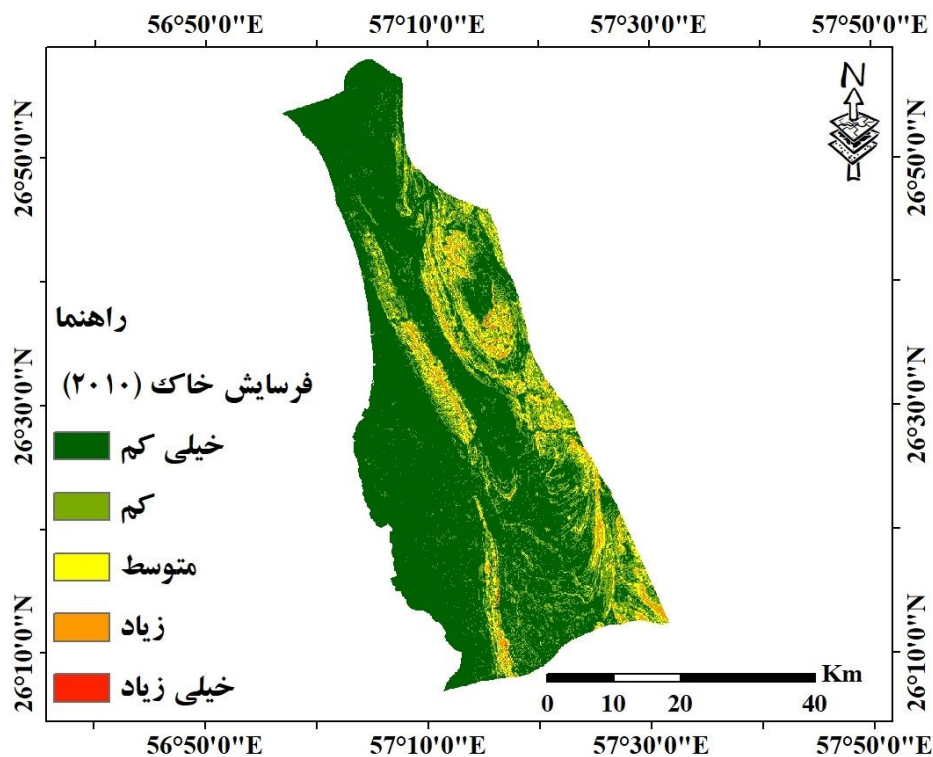
شکل ۱۰: نقشه شاخص عملیات حفاظتی برای سال ۲۰۱۰



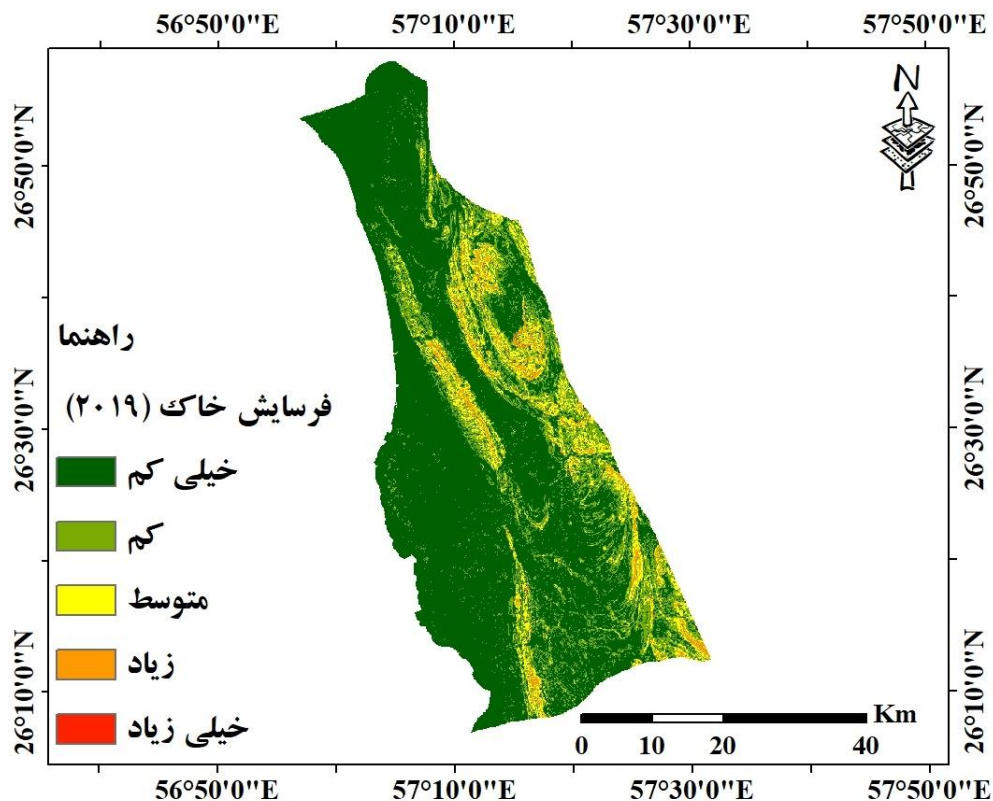
شکل ۱۱: نقشه شاخص عملیات حفاظتی برای سال ۲۰۱۹

۳-۸- فرسایش سالانه خاک

فرسایش خاک برای سال‌های ۲۰۱۰ و ۲۰۱۹، به پنج کلاس خطر فرسایش طبقه‌بندی شد که در شکل‌های ۱۲ و ۱۳ نشان داده شده‌است. همچنین مساحت و درصد مساحت هر یک از کلاس‌های فرسایش خاک در جدول ۶ ذکر شده‌است. براساس نتایج به دست آمده برای سال ۲۰۱۰، کلاس خیلی کم فرسایشی حدود ۸۳/۹۸ درصد، طبقه کم حدود ۹/۶۵ درصد، کلاس متوسط حدود ۳/۳۳ درصد، کلاس زیاد حدود ۲/۲۲ درصد و کلاس فرسایشی خیلی زیاد حدود ۰/۸۲ درصد فرسایش خاک منطقه را داشت. همچنین در سال ۲۰۱۹، کلاس خیلی کم فرسایشی حدود ۷۳/۴۲ درصد، کلاس کم حدود ۲/۰۷ درصد، کلاس متوسط حدود ۲/۳۸ درصد، کلاس زیاد حدود ۱/۱۳ درصد و کلاس فرسایشی خیلی زیاد حدود ۴/۹۹ درصد از فرسایش خاک منطقه را به خود اختصاص داد. نتایج ارزیابی تغییرات صورت گرفته در بازه زمانی بین سال‌های ۲۰۱۰ و ۲۰۱۹ بیانگر این مطلب است که مساحت کلاس خیلی کم فرسایشی، حدود ۱۰/۵۶ درصد کاهش داشته‌است؛ این در حالی است که کلاس کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد فرسایش حدود ۲/۰۷، ۲/۳۸، ۱/۱۳ و ۴/۹۹ درصد افزایش داشته‌است.



شکل ۱۲: نقشه فرسایش خاک برای سال ۲۰۱۰



شکل ۱۳: نقشه فرسایش خاک برای سال ۲۰۱۹

جدول ۶: مساحت کلاس‌های فرسایش سالانه خاک (تن در هکتار در سال)

کلاس فرسایش خاک	۲۰۱۰		۲۰۱۹		درصد تغییرات ۲۰۱۰-۲۰۱۹
	مساحت	درصد مساحت	مساحت	درصد مساحت	
۰-۵	۱۹۲۵۵۲	۸۳/۹۸	۱۶۸۳۳۴	۷۳/۴۲	-۱۰/۵۶
۵/۱-۱۰	۲۲۱۳۱	۹/۶۵	۲۶۸۷۵	۱۱/۷۲	۲/۰۷
۱۰/۱-۲۵	۷۶۳۸	۳/۳۳	۱۳۰۹۲	۵/۷۱	۲/۳۸
۲۵/۱-۳۵	۵۰۷۹	۲/۲۲	۷۶۶۷	۳/۳۴	۱/۱۳
۳۵<	۱۸۸۳	۰/۸۲	۱۳۳۱۵	۵/۸۱	۴/۹۹

۹-۳- بررسی اثر تغییر پوشش اراضی بر جریان فرسایش خاک

کلاس‌های مختلف فرسایش خاک برای طبقات کاربری اراضی و پوشش زمین در سال‌های ۲۰۱۰ و ۲۰۱۹، در جدول ۷ آورده شده‌است. براساس یافته‌ها، کلاس اراضی کشاورزی تغییراتی را در توزیع مساحت کلاس‌های فرسایش در طول دوره نشان داد؛ به طوری که کلاس فرسایشی کمتر از پنج تن در هکتار در سال ۲۰۱۰ و ۲۰۱۹، به ترتیب مقدار ۹۹/۸۳ و ۹۹/۷۰ بود. این بازه زمانی، کاهش ۰/۱۴ درصدی را در مساحت این کلاس فرسایشی نشان داد. کلاس فرسایشی ۵/۱-۱۰

برای سال‌های ۲۰۱۰ و ۲۰۱۹، به ترتیب حدود ۰/۰۸ و ۰/۲۳ بود که افزایش ۰/۱ درصدی داشت؛ این در حالی است که کلاس فرسایشی ۲۵-۱۰/۱، در این سال‌ها به ترتیب ۰/۰۵ و ۰/۰۹ را نشان داد که افزایش ۰/۰۴ درصدی داشت. کلاس‌های ۲۵-۳۵ و <۳۵، در بازه زمانی سالهای ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۹ در این کاربری هیچ تغییری نشان نداد. اراضی جنگلی نیز در کلاس خیلی کم (کمتر از پنج تن در هکتار در سال) فرسایش گرفت. در پوشش زمین مراتع، کلاس فرسایشی کمتر از پنج تن در هکتار در سال ۲۰۱۰ و ۲۰۱۹ به ترتیب مقدار ۷۹/۰۱ و ۶۲/۷۸ درصد را نشان داد که این بازه زمانی، کاهش ۱۶/۲۴ درصدی را در این مساحت کلاس فرسایشی داشت. کلاس فرسایشی ۱۰-۵/۱ در بازه زمانی سالهای ۲۰۱۰ تا ۲۰۱۹، افزایش ۲/۸۴ درصدی داشت؛ به طوری که در سال‌های ۲۰۱۰ و ۲۰۱۹ به ترتیب از ۲۱۰۳۸ هکتار به ۲۳۱۴ هکتار رسید. همچنین کلاس فرسایشی ۲۵-۱۰/۱، در این سال‌ها به ترتیب ۴/۴۶ و ۸/۲۲ درصد از منطقه را در بر گرفت که افزایش ۳/۷۶ درصدی داشت. کلاس‌های ۳۵-۲۵ و <۳۵ نیز در این کاربری، به ترتیب افزایش ۱/۹۸ و ۷/۶۶ درصدی داشت که کلاس ۳۵-۲۵، از ۴۹۴۰ هکتار در سال ۲۰۱۰ به ۷۳۹۷ هکتار در سال ۲۰۱۹ رسید؛ این در حالی است که کلاس <۳۵ تن در هکتار، از ۱۵۷۳ هکتار در سال ۲۰۱۰ به ۱۲۸۸۱ هکتار در سال ۲۰۱۹ تغییر کرد.

در پوشش اراضی لخت و شوره‌زار کلاس فرسایشی کمتر از پنج تن در هکتار در سال ۲۰۱۰ و ۲۰۱۹، به ترتیب مقدار ۹۶/۳۲ و ۹۰/۵۹ درصد را نشان داد که این بازه زمانی بیانگر کاهش ۵/۷۲ درصد در مساحت کلاس فرسایشی است. کلاس فرسایشی ۱۰-۵/۱، افزایش ۴/۴۲ درصدی داشت؛ به طوری که در سال‌های ۲۰۱۰ و ۲۰۱۹ به ترتیب از ۱۰۹۰ هکتار به ۳۶۸۵ هکتار رسید. کلاس فرسایشی ۲۵-۱۰/۱ نیز در این سال‌ها به ترتیب ۰/۴۲ و ۱/۴۱ درصد از منطقه را در بر گرفت که افزایش ۰/۹۹ درصدی داشت. همچنین کلاس‌های ۳۵-۲۵ و <۳۵ در این بازه زمانی در این کاربری، به ترتیب افزایش ۰/۲۰ و ۰/۱۲ درصدی داشت که کلاس ۳۵-۲۵ از ۱۳۸ هکتار در سال ۲۰۱۰ به ۲۶۸ هکتار در سال ۲۰۱۹ رسید؛ این در حالی است که کلاس فرسایشی بیشتر از ۳۵ تن در هکتار، از ۳۱۰ هکتار در سال ۲۰۱۰ به ۴۲۵ هکتار در سال ۲۰۱۹ تغییر کرد. کلاس فرسایش در کاربری‌های مناطق مسکونی و بسترهای آبی، در بازه زمانی ذکر شده در کلاس خیلی کم فرسایش قرار گرفت.

جدول ۷: مقدار مساحت (هکتار) هر کاربری در طبقات فرسایشی

۲۰۱۹		۲۰۱۰		کلاس فرسایش	
درصد مساحت	مساحت	درصد	مساحت		
۹۹/۷۰	۲۱۸۰۰	۹۹/۸۳	۹۶۷۵	خیلی کم	اراضی کشاورزی
۰/۲۳	۴۰	۰/۰۸	۸	کم	
۰/۰۹	۲۰	۰/۰۵	۵	متوسط	
۰/۰۱	۲	۰/۰۱	۱	زیاد	
۰/۰۲	۴	۰/۰۲	۲	خیلی زیاد	
۱۰۰	۲۱۸۶۶	۱۰۰	۹۶۹۱	جمع	
۱۰۰	۴۶۱	۱۰۰	۵۶	خیلی کم	جنگل
۱۰۰	۴۶۱	۱۰۰	۵۶	جمع	
۶۲/۷۸	۹۳۹۷۷	۷۹/۰۱	۱۳۱۷۲۲	خیلی کم	مراتع
۱۵/۴۶	۲۳۱۴۰	۱۲/۶۲	۲۱۰۳۸	کم	
۸/۲۲	۱۲۳۰۹	۴/۴۶	۷۴۳۸	متوسط	
۴/۹۴	۷۳۹۷	۲/۹۶	۴۹۴۰	زیاد	
۸/۶۰	۱۲۸۸۱	۰/۹۴	۱۵۷۳	خیلی زیاد	
۱۰۰	۱۴۹۷۰۴	۱۰۰	۱۶۶۷۱۱	جمع	
۹۰/۵۹	۴۹۵۹۶	۹۶/۳۲	۴۵۴۳۱	خیلی کم	اراضی لخت و شوره‌زار
۶/۷۳	۳۶۸۵	۲/۳۱	۱۰۹۰	کم	
۱/۴۱	۷۷۳	۰/۴۲	۲۰۰	متوسط	
۰/۴۹	۲۶۸	۰/۲۹	۱۳۸	زیاد	
۰/۷۸	۴۲۵	۰/۶۶	۳۱۰	خیلی زیاد	
۱۰۰	۵۴۷۴۷	۱۰۰	۴۷۱۶۹	جمع	
۱۰۰	۱۲۸۵	۱۰۰	۷۵۳	خیلی کم	مناطق مسکونی
۱۰۰	۱۲۸۵	۱۰۰	۷۵۳	جمع	
۱۰۰	۱۲۱۵	۱۰۰	۴۹۰۰	خیلی کم	بسترهای آبی
۱۰۰	۱۲۱۵	۱۰۰	۴۹۰۰	جمع	

۴- بحث و نتیجه‌گیری

فرسایش خاک یکی از مشکلات محیطی است که تهدیدی برای منابع طبیعی، کشاورزی و محیط زیست محسوب می‌شود (Zerehi, 2022) و از اصلی‌ترین فرایندهای تخریب در مناطق مختلف دنیا از جمله ایران است (Patil, 2013 & Brath, 2002). در پژوهش حاضر، تأثیر تغییر کاربری اراضی با استفاده از تصاویر ماهواره‌اندست بر جریان فرسایش خاک حاصل از مدل RUSLE بررسی شد. براساس نتایج به‌دست آمده از ارزیابی تغییرات کاربری اراضی، اراضی مرتعی و اراضی لخت و شوره‌زار بیش از ۸۶ درصد از شهرستان سیریک را در بر گرفته‌است. همچنین در طول دوره ۹ سال، کاربری اراضی منطقه تغییرات چشمگیری داشت؛ به طوری که اراضی کشاورزی، اراضی لخت و مناطق مسکونی به ترتیب ۵/۵۴، ۳/۲۷ و ۰/۲۳ درصد افزایش یافت؛ این در حالی است که پوشش اراضی جنگل، مراتع و بسترهای آبی به ترتیب کاهش ۰/۰۱، ۷/۳۴ و ۱/۶۱ درصدی را از خود نشان داد. همچنین اختلاف ارتفاع حداقل و حداکثر در این منطقه زیاد بود؛ به طوری که حداقل و حداکثر ارتفاع در این منطقه به ترتیب ۱۳- و ۱۰۷۷ متر بود. از طرف دیگر، جریان بارندگی در این منطقه کاهش و به صورت شدید و رگباری بود؛ بنابراین، شهرستان سیریک منطقه‌ای مستعد برای فرسایش آبی است. براساس نتایج بالویی و همکاران (2021) تغییرات شدید بارندگی و اختلاف ارتفاع زیاد، به شدت بر فرسایش خاک تأثیرگذار بود که با تغییرات در بارندگی، این تغییرات ارتفاعی به خوبی بر میزان فرسایش مشهود خواهد بود (Balouei, 2021). همچنین متوسط شاخص فرسایش باران (R) از ۸۶/۹۴ $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{h}^{-1} \text{y}^{-1}$ در سال ۲۰۱۰ به ۹۰/۸۰ $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{h}^{-1} \text{y}^{-1}$ رسیده‌است. براساس نتایج محمدی و همکاران (2018) و میاحی و همکاران (2021)، حوضه‌هایی که بارندگی شدید و رگباری دارند با تأثیر مستقیم بر شاخص فرسایش باران، توان افزایش فرسایش خاک نیز افزایش خواهد داشت (Mohammadi, 2018 & Mayahi, 2021). نتایج بررسی مدل RUSLE نشان داد که در این بازه زمانی، کلاس خیلی کم کاهش و سایر کلاس‌های فرسایش افزایش قابل چشمگیری داشت؛ به طوری که کلاس فرسایش خیلی زیاد افزایشی نزدیک به پنج درصد از خود نشان داد. همچنین تغییرات طبقات فرسایش، در دو کاربری مراتع و اراضی لخت و شوره‌زار بیشتر مشهود بود؛ زیرا در این بازه زمانی، اراضی مرتعی کاهش و اراضی لخت و شوره‌زار افزایش داشت. براساس یافته‌ها، کاهش در پوشش گیاهی به خصوص در مناطق خشک و نیمه خشک، به افزایش میزان هدر رفت خاک منجر خواهد شد؛ زیرا پوشش گیاهی به عنوان عامل محافظت‌کننده خاک در برابر برخورد مستقیم باران، به کاهش نیروی فرسایش باران منجر می‌شود و از هدررفت خاک جلوگیری می‌کند (Obiahu, 2020). بنابراین با از بین رفتن پوشش گیاهی و تغییرات کاربری اراضی، امکان برخورد مستقیم بارندگی با سطح خاک فراهم می‌شود و برداشت خاک توسط آب و حمل آن در جهت شیب را به همراه دارد (Eskandari Damaneh, 2021). پژوهش مشابهی توسط Ota و همکاران (2018) نشان داد که تغییر در شیب، به ایجاد تفاوت در خواص شیمیایی و فیزیکی خاک منجر می‌شود که تغییر در مواد مغذی خاک و افزایش هدر رفت آن را به همراه دارد (Ota, 2018). پژوهش‌های دیگری توسط آبیت (2011) و ولکا (2015) نشان داد در مناطقی که شاخص LS بالا و پوشش گیاهی ضعیف باشد، معمولاً میزان از

دست دادن خاک زیاد تا خیلی زیاد است (Abate, 2011 & Wolka, 2015). از سوی دیگر، رشد اخیر جمعیت به ایجاد سکونتگاه‌های بیشتر، تغییرات کاربری بیشتر برای کشاورزی و سوخت خانگی در منطقه منجر شد که فرسایش خاک را نیز تشدید کرد (Adediji, 2013). بنابراین، علت این افزایش فرسایش و هدر رفت را می‌توان به عوامل اقلیمی مانند خشکسالی، دخالت‌های انسانی در طبیعت و مدیریت نادرست آن نسبت داد. نتایج حاصل از تحقیق حاضر، لزوم پرداختن به کاربرد داده‌های ماهواره در برآورد اطلاعات دقیق، از میزان هدر رفت خاک و ارائه راه‌حل‌های حفاظتی و مدیریتی برای مقابله با آن را روشن می‌کند (Descheemaeker, 2008).

در جمع‌بندی کلی، فرسایش خاک در منطقه تحت تأثیر عوامل اقلیمی همچون خشکسالی، تغییرات بارش و عوامل انسانی بود. از عوامل انسانی تأثیرگذار بر فرسایش در این منطقه، تغییرات غیر اصولی کاربری اراضی و مدیریت نامناسب آب در حوضه‌های آبخیز بالا دست است. هنگامی که مردم پوشش اراضی مرتع را به اراضی کشاورزی و دامپروری به ویژه شترداری تغییر دادند، فرسایش شدیدی در منطقه ایجاد شد. سیریک بعد از جاسک، بیشترین نفرات شتر را دارد و شترداری و پرورش آن در این منطقه رایج است. دام سنگین مازاد بر ظرفیت تولید مراتع، بیشترین ضربه را به خاک‌کنده‌های خاک وارد نموده و پس از لگدکوبی خاک و تخریب خاک‌کنده‌ها، طی باد، فرسایش بادی آغاز می‌شود. اگرچه خشکسالی و تغییرات نزولات جوی از عوامل مؤثر بر فرسایش در سیریک است، نقش تغییر پوشش زمین و استفاده نامناسب از اراضی نیز یکی از مهم‌ترین عوامل تشدید فرسایش در این منطقه است.

منابع

1. Abate, S., 2011. Estimating soil loss rates for soil conservation planning in the Borena Woreda of South Wollo highlands, *Ethiopia. J. Sus. Dev. Afr*, 2(1), 13-19.
2. Adediji, A.; Jeje, L. K.; & M. O. Ibitoye, 2013. Urban development and informal drainage patterns: Gully dynamics in Southwestern Nigeria, *Applied Geography*, 40, 90-102.
3. Ahmadali, K.; Eskandari Damaneh, H.; Ababaei, B.; H. Eskandari Damaneh, 2021. Impact of drought on rain fall use efficiency in different climatic zones and land uses in Iran, *Arabian Journal of Geosciences*, 14(2), 1-15.
4. Ayubi, Sh. A.; Khormali, F.; & Sh. Joybari, 2007. Using Geostatistical Technique to Determine the Most Appropriate Cell Dimensions Digital Model م Land for Estimation of Topographic Characteristics (LS) Model of RUSLE Erosion Estimation Model in Upper Tash Region (Golestan Province), *Research and construction in natural resources*, 77(1), 129-122.
5. Bagarello, V.; Di Stefano, C.; Ferro, V.; Giordano, G.; Iovino, M.; & V. Pampalona, 2012. Estimating the USLE soil erodibility factor in Sicily, south Italy, *Applied Engineering in Agriculture*, 28(2), 199-206.
6. Balouei, F.; Mohammadi, Sh.; & S. Soltani kopaei, 2021. Effect of Vegetation and Conservation Factor On Soil Erosion Using RUSLE Model in Doiraj Basin of Ilam Province, 10 (31), 59-70.
7. Biro, K.; Pradhan, B.; Buchroithner, M.; & F. Makeschin, 2013. Land use/ Land cover change analysis and its impact on soil properties in the northern part of Gadarif region, Sudan, *Land Degradation & Development*, 24(1), 90-102.
8. Brath, A.; Castellarin, A.; & A. Montanari, 2002. Assessing the effects of land-use changes on annual average gross erosion, *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, 6(2), 255-265.

9. Buttafuoco, G.; Conforti, M.; Aucelli, P. P. C.; Robustelli, G.; & F. Scarciglia, 2012. Assessing spatial uncertainty in mapping soil erodibility factor using geostatistical stochastic simulation, *Environmental Earth Sciences*, 66(4), 1111-1125.
10. Chen, J.; Sun, B. M.; Chen, D.; Wu, X.; Guo, L. Z.; & G. Wang, 2014. Land use changes and their effects on the value of ecosystem services in the small Sanjiang plain in China, *The scientific world journal*, 2014.
11. Descheemaeker, K.; Poesen, J.; Borselli, L.; Nyssen, J.; Raes, D.; Haile, M.; ... & J. Deckers, 2008. Runoff curve numbers for steep hillslopes with natural vegetation in semi-arid tropical highlands, northern Ethiopia, *Hydrological Processes: An International Journal*, 22(20), 4097-4105. *Desert Ecosystem Engineering Journal*, 10 (31), 59-70.
12. Ekrami, M.; Mahdavi, R.; Rezai, M.; Vagharfard, H.; & J. Barkhori, 2021. Zoning of rangeland drought vulnerability in arid and semi-arid regions Case study: (Pishkuh watershed of Yazd province), *Iranian Journal of Range and Desert Research*, 27(3), 577-595.
13. Eskandari Damaneh, H.; Khosravi, H.; Habashi, K.; Eskandari Damaneh, H.; & J. P. Tiefenbacher, 2021. The impact of land use and land cover changes on soil erosion in western Iran, *Natural Hazards*, 1-21.
14. Farhan, Y., & S. Nawaiseh., (2015). Spatial assessment of soil erosion risk using RUSLE and GIS techniques. *Environmental Earth Sciences*. 74(6), 4649-4669.
15. Gibbs, H. K.; Ruesch, A. S.; Achard, F.; Clayton, M. K.; Holmgren, P.; Ramankutty, N.; & J. A. Foley, 2010. Tropical forests were the primary sources of new agricultural land in the 1980s and 1990s, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 107(38), 16732-16737.
16. Guan, D.; Li, H.; Inohae, T.; Su, W.; Nagaie, T.; & K. Hokao, 2011. Modeling urban land use change by the integration of cellular automaton and Markov model, *Ecological Modelling*, 222 (20), 3761-3772.
17. Houben, P.; Hoffmann, T.; Zimmermann, A.; & R. Dikau, 2006. Land use and climatic impacts on the Rhine system (RheinLUCIFS): Quantifying sediment fluxes and human impact with available data, *Catena*, 66 (1), 42-52.
18. Issaka, S., & M. A. Ashraf., (2017). Impact of soil erosion and degradation on water quality: a review. *Geology, Ecology, and Landscapes*. 1(1), 1-11.
19. Klein, J.; Jarva, J.; Frank-Kamenetsky, D.; & I. Bogatyrev, 2013. Integrated geological risk mapping: a qualitative methodology applied in St. Petersburg, Russia, *Environmental earth sciences*, 70(4), 1629-1645.
20. Khaleghpanah, N.; Sharafa, M.; Asadi, H.; Gorji, M.; & M. Davari, 2018. Comparison and evaluation of RUSLE and RUSLE2 models in soil loss estimation at rangrland hillslopes of Khamesan watershed Kurdistan, *Journal of Soil research, water and soil science*, 32(2), 203-219.
21. Lambin, E. F., & P. Meyfroidt., (2011). Global land use change, economic globalization, and the looming land scarcity. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 108(9), 3465-3472.
22. Mayahi, J.; Eskandari dameneh, H.; & A. Zarasvandi, 2021. Assessments Land Cover change Effects on Soil Erosion Trend in Hoor al-Azim wetland, Southwestern of Iran, *Journal of Natural Environmental Hazards*, 10(27), 107-122.
23. Mohammadi, S.; Karimzadeh, H.; & M. Alizadeh, 2018. Spatial estimation of soil erosion in Iran using RUSLE model, *Iranian journal of Ecohydrology*, 5(2), 551-569.
24. Mutua, B.; Klik, A.; & W. Loiskandl, 2006. Modelling soil erosion and sediment yield at a catchment scale: the case of Masinga catchment, Kenya, *Land degradation & development*, 17 (5), 557-570.

25. Obiahu, O. H.; Kalu, A. I.; & N. Uchechukwu, 2020. Effect Of Tectona Grandis Biochar on Soil Quality Enhancement and Yield Of Cucumber (Cucumis Sativus L) In Highly-Weathered Nitisol, Southeastern Nigeria, *Journal of Wastes and Biomass Management (JWBM)*, 2(2), 41-48.
26. Ota, H. O.; Aja, D.; Agama, I. K.; Okolo, C. C.; Ogbodo, E. N.; & C. N. Mbah, 2018. Effect of land use types and slope gradient on soil physico-chemical properties in upper eyiohia river watershed Afikpo North, Southeastern Nigeria, *Acad. Res. J. Agri. Sci. Res*, 6(8), 475-487.
27. Ozesmi, S. L., & M. E. Bauer., (2002). Satellite remote sensing of wetlands. *Wetlands ecology and management*. 10(5), 381-402.
28. Patil, R. J., & S. K. Sharma., (2013). Remote Sensing and GIS based modeling of crop/cover management factor (C) of USLE in Shakker river watershed. *In International conference on chemical, agricultural and medical sciences (CAMS-2013) Dec* (pp. 29-30).
29. Pradhan, B., & Z. Suleiman., (2009). Landcover mapping and spectral analysis using multi-sensor satellite data fusion techniques: case study in Tioman Island, Malaysia. *Geomatics*. 3(2), 71-78.
30. Renard, K. G.; Foster, G. R.; Weesies, G.; Mccool, D.; & D. Yoder, 1997. Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). US Department of Agriculture, Agricultural Research Service Washington.
31. Rezai, M., & F. Zerehi., (2022). Spatial distribution and stability of accumulated sediments around *Salvadora persica* L. and *Alhaji camelorum* L. and modeling of prediction of its change. *Desert Management*. 9(4) 39-52.
32. Ruiyan, W.; Gengxing, Z.; Wei, Z.; Xicun, Z.; Jieyong, W.; & Q. Yuanwei, 2008. Assessment of the impacts of land use on regional ecological environmental vulnerability, *Transactions of the Chinese society of agricultural engineering*, 12(1), 2-19.
33. Sharma, A.; Tiwari, K. N.; & P. Bhadoria, 2011. Effect of land use land cover change on soil erosion potential in an agricultural watershed, *Environmental Monitoring and Assessment*, 173 (1-4), 789-801.
34. Tadesse, L.; Suryabagavan, K.; Sridhar, G.; & G. Legesse, 2017. Landuse and landcover changes and Soil erosion in Yezat Watershed, North Western Ethiopia, *International Soil and Water Conservation Research*.
35. Turner, B. L.; Lambin, E. F.; & A. Reenberg, 2007. The emergence of land change science for global environmental change and sustainability, *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(52), 20666-20671.
36. Wolka, K.; Tadesse, H.; Garedew, E.; & F. Yimer, 2015. Soil erosion risk assessment in the Chaleleka wetland watershed, *Central Rift Valley of Ethiopia. Environ Syst Res*, 4, 5.
37. Zare, M.; Samani, A. N.; Mohammady, M.; Salmani, H.; & J. Bazrafshan, 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.
38. Zerehi, F., & M. Rezai., (2022). Changes in sand dune expansion and wind surface cover in deserts adjacent to wetland ecosystems. *Journal of Environmental Erosion Research*. 12(1), 95-112.

Monitoring the Effect of Land Use Change on Soil Erosion Process Using Satellite Data in the East of Hormozgan

Mehrdad Salghoghi: *Ph.D of Desert Control and management, Natural Resources engineering group, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Hormozgan, Hormozgan, Iran*

Marzieh Rezai*: *Assistant Professor, Natural Resources engineering group, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Hormozgan, Hormozgan, Iran*

Yahya Esmailpoor: *Assistant Professor, Natural Resources engineering group, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Hormozgan, Hormozgan, Iran*

Article History (Received: 2022/01/2

Accepted: 2022/05/17)



[20.1001.1.22517812.1401.12.4.3.4](https://doi.org/10.1001.1.22517812.1401.12.4.3.4)

Extended abstract

1- Introduction

The history of life on Earth suggests that humans have always been exposed to a variety of natural disasters (Mayahi, 2021). Some of these disasters are related to climatic factors and fluctuations such as droughts and some are related to human factors (Obiahu, 2020). Land use change and land cover are among the most important environmental issues that have caused global concern (Ota, 2018). Such changes are usually caused by human activities such as deforestation, urbanization, agricultural intensification, overgrazing, and subsequent land degradation. In addition to, natural factors can also lead to these changes. Factors such as intensive agriculture and overgrazing are major causes of land degradation in arid areas. Changes due to human intervention can lead to the destruction of natural resources. Currently, land use changes from natural lands such as forests and savannas to other uses such as agricultural lands, pastures and settlements have intensified (Chen, 2014).

2- Methodology

2.1 Data used

The satellite data used in the present study include two satellite images of Landsat 5TM sensors dated 06/17/2010 and Landsat 8, OLI sensors dated 10/06/2019 with row and transit numbers 159 and 41-42. The digital elevation model (DEM) of ASTER sensor with a resolution of 30 square meters was also used. Satellite imagery and digital elevation models were obtained from the archives of the USGS Web site. 1: 25000 topographic maps from Iran Mapping Organization were used as well. Furthermore, layer construction and composition were performed using ERDAS IMAGINE 2014, ENVI and ArcGIS software.

2-2 Preprocessing of satellite images

In order to control the satellite image in terms of accurate ground recording, geometric correction was performed on the image. To achieve this, images from TM sensors and the OLI sensors were referenced. Because changes in lighting conditions affect the actual radiation reaching to a pixel, atmospheric correction must be made on the images. In the present study, in order to perform atmospheric correction, ATCORE plugin in ERDAS IMAGINE 2014 software and metadata file along with satellite images were used (Iranmehr, 2014).

2-3 Processing satellite images and preparing land cover maps

*: Corresponding Author: m.rezai@hormozgan.ac.ir

In order to select educational samples in order to perform supervised classification, aerial photographs, Google Earth images and GPS captured points were used in field operations. The distribution of educational samples in the study area was homogeneous and with proper distribution to the extent possible. The number of pixels selected in each training sample should be at least ten times the number of spectral bands used in the image (Sharma, 2011), which was observed in the present study. The appropriate band composition for classification was determined from the Evaluate command in the Signature Editor based on the Best Average Separability. Based on this, a band composition was used to classify the TM sensor image and a band composition of 2357 for the OLI sensor image.

2-4 Assessing the accuracy of land cover maps

In the present study, after classifying the satellite images, the accuracy of the classified image was evaluated using educational samples that were not involved in the classification process. For this purpose, the classification accuracy was evaluated by using the error matrix and calculating the overall accuracy coefficients and Kappa coefficient.

In order to determine the effect of land use change on soil erosion, the amount of erosion per year in each land use was obtained and compared with each other.

3- Results

3.1 Classification accuracy assessment

In the present study, the accuracy of image classification was performed by using educational samples and the error matrix and calculating the statistical indicators of overall accuracy and kappa coefficient (Table 4). Using the obtained results, the overall accuracy and kappa coefficient in 2010 are 0.92 and 0.90, respectively, and for 2019 are 0.93 and 0.91, respectively.

3-2 Land use assessment

Examination of the results of land use changes in Figures 3 and 4 as well as Table 5 shows that the land use of the region has changed significantly to the extent that in this 9-year period agricultural land has increased by 54.5 percent from 4.24 percent. The percentage in 2010 has reached 9.78 percent in 2019. Bare and saline lands and residential areas also increased by 3.27 and 0.23 percent, respectively, while forests, pastures and aquifers decreased by 0.01, 7.34 and 1.61 percent, respectively.

4-Discussion and conclusion

Soil erosion is one of the environmental problems that is a threat to natural resources, agriculture and the environment and it is considered one of the main land degradation processes in different parts of the world, including Iran (Patil, 2013 & Brath, 2002). According to the results of Miah et al. (2021), basins that have heavy rainfall and showers with a direct impact on rain erosion index will increase the potential for soil erosion (Mohammadi, 2018 & Mayahi, 2021). The results showed that, the erosion class showed a very high increase of nearly 5%. Also, these changes in erosion in the use of pastures and bare and saline lands have been more evident because, in this period, rangelands have decreased and bare and saline lands have increased. According to the findings, the decrease in vegetation due to vegetation degradation, especially in arid and semi-arid areas, will increase soil loss because vegetation as a protective factor of soil against direct rainfall reduces the erosive force of rain and loss (Obiahu, 2020). Therefore, with the loss of vegetation and land use changes, the possibility of direct rainfall colliding with the soil surface provides the soil to be harvested by water and transported in the direction of the slope. Consequently, soil losses become significant (Descheemaeker, 2008). A similar study by Ota et al. (2018) showed that changes in slope cause differences in chemical and physical properties of soil that lead to changes in soil nutrients and, thus, increase soil loss (Ota, 2018).

Keywords: Landsat, LS, RUSLE, Sirik, Hormozgan