

Investigation of the Effect of Land Use Change on Soil Erosion and Sediment Production in Ramhormoz Basin Using Object-Oriented Classification and RUSLE Model

SAEID AMANPOUR¹, MOHAMMAD ABIYAT^{2*}, MAHMUD ABIYAT³, MAJEDEH ABIYAT¹

1. Department of Geography and Urban Planning, Faculty of Literature and Humanities, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.

2. Department of Environmental Sciences, Islamic Azad University, Khuzestan Science and Research Branch (Tehran), Ahvaz, Iran.

3. Department of Geography and Urban Planning, Faculty of Literature and Humanities, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran.

(Received: Jan. 4, 2021- Revised: Feb. 8, 2021- Accepted: Feb. 13, 2021)

ABSTRACT

Soil erosion is a global problem that threatens water and soil resources and land use change is one of the important factors in soil erosion. The purpose of this study is to evaluate the effect of land use change on soil erosion and sediment production in Ramhormoz basin in Khuzestan province. Landsat ETM+ (2002) and OLI (2019) images were used for this purpose. First, satellite images were classified using the Object Oriented Method (SVM) algorithm and the land use changes were studied during the years 2019-2002. Then the amount of soil erosion was calculated using the RUSLE model and the amount of sediment load in the area was estimated. The results showed that the residential areas, barren and rainfed cultivated lands increased by 3520.86, 7041.72 and 5281.29 hectares, respectively, and water bodies, pastures and irrigated lands have lost 1760, 43.02, 02.02, 12323 and 1760/43 hectares of their lands, respectively. The result of these changes in areas has been a decrease in natural soil cover and an increase in erosion in the region. Considering the landing limit of about one ton per hectare per year, it was found that the amount of erosion have been more than the acceptable level in 43.24 and 64.99% of the area in years 2002 and 2019, respectively. The results of calculations of sediment delivery ratio methods also showed that the rate of sediment delivery ratio varies from 0.07 to 0.28 and the maximum sediment load varies from 0.18 to 0.63 tons per hectare per year. Therefore, the results of this study clarify the need to address the issue of soil erosion in the region and to provide management solutions.

Keywords: Land Use, Erosion, Object-Oriented Classification, RUSLE, Ramhormoz.

*Corresponding Author's Email: m.abiat20@gmail.com

بررسی اثر تغییرات کاربری اراضی بر فرسایش خاک و تولید رسوب در حوضه رامهرمز با استفاده از طبقه‌بندی شی‌گرا و مدل RUSLE

سعید امانپور^۱، محمد عبیات^{۲*}، محمود عبیات^۳، ماجده عبیات^۱

۱. گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.
 ۲. گروه علوم محیط‌زیست، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات خوزستان (تهران)، اهواز، ایران.
 ۳. گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.
- (تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۱۰/۱۵ - تاریخ بازنگری: ۱۳۹۹/۱۱/۲۰ - تاریخ تصویب: ۱۳۹۹/۱۱/۲۵)

چکیده

فرسایش خاک یک مشکل جهانی است که منابع آب و خاک را تهدید می‌کند و تغییرات کاربری اراضی یکی از عوامل مهم در فرسایش خاک می‌باشد. هدف این پژوهش ارزیابی اثر تغییرات کاربری بر فرسایش خاک و تولید رسوب در حوضه رامهرمز در استان خوزستان می‌باشد. برای این کار از تصاویر ETM+ (۲۰۰۲) و OLI (۲۰۱۹) ماهواره لندست استفاده شد. ابتدا تصاویر ماهواره‌ای با الگوریتم ماشین بردار پشتیبان (SVM) روش شی‌گرا طبقه‌بندی شده و تغییرات کاربری در سال‌های ۲۰۱۹-۲۰۰۲ بررسی گردید. سپس فرسایش خاک با استفاده از مدل RUSLE محاسبه شده و میزان بار رسوب در منطقه برآورد گردید. نتایج پژوهش نشان داد که مناطق مسکونی، اراضی بایر و زراعت دیم به ترتیب به میزان ۳۵۲۰/۸۶، ۷۰۴۱/۷۲ و ۵۲۸۱/۲۹ هکتار افزایش مساحت داشته و پهنه‌های آبی، مراتع و زراعت آبی به ترتیب ۱۷۶۰/۴۳، ۱۲۳۲۳/۰۲ و ۱۷۶۰/۴۳ هکتار از مساحت خود را از دست داده‌اند. نتیجه تغییر این مساحت‌ها کاهش پوشش طبیعی خاک و افزایش فرسایش در منطقه بوده است. با در نظر گرفتن حد خاکسازي حدود یک تن در هکتار در سال ملاحظه گردید که برای سال ۲۰۰۲ حدود ۴۳/۲۴ درصد و برای سال ۲۰۱۹ حدود ۶۴/۹۹ درصد از مساحت منطقه مقدار فرسایش از حد قابل قبول بیشتر بوده است. نتایج محاسبات روش‌های نسبت تحویل رسوب نیز نشان داد میزان نسبت تحویل رسوب بین ۰/۰۷ تا ۰/۲۸ و حداکثر بار رسوب بین ۰/۱۸ تا ۰/۶۳ تن در هکتار در سال متغیر است. بنابراین نتایج این پژوهش، لزوم پرداختن به مسأله فرسایش خاک در منطقه و ارائه راهکارهای مدیریتی را روشن می‌کند.

واژه‌های کلیدی: کاربری اراضی، فرسایش، طبقه‌بندی شی‌گرا، RUSLE، رامهرمز.

مقدمه

مشکلات محیط‌زیستی برای انسان در سراسر جهان مانند سیستم‌های هشداردهنده عمل کرده و اثرات فعالیت‌های انسانی را بر روی خدمات اکوسیستمی، احیاء مدیریت و توان‌بخشی محیط، نشان می‌دهند (Haregeweyn et al., 2015; Zewdu et al., 2016). یکی از مخاطرات محیطی و بحران‌های اکولوژیکی که امروزه جهان با آن روبه‌رو است، پدیده تغییر کاربری اراضی می‌باشد (Mousavi et al., 2016). تغییر کاربری و پوشش زمین تحت تأثیر عوامل اقلیمی و شرایط ژئومورفولوژیکی مناطق می‌باشد (Sharma et al., 2011). نتایج تحقیقات در مناطق مختلف دنیا نشان می‌دهد که تغییر کاربری اکوسیستم‌های طبیعی به اکوسیستم‌های مدیریت شده، اثرات زیان باری بر خصوصیات خاک دارد. قطع یکسره درختان جنگل‌ها و تبدیل مراتع به اراضی

کشاورزی باعث تخریب یا اخلال در اکوسیستم‌های طبیعی و کاهش ظرفیت تولید فعلی یا آینده خاک می‌گردد. این امر می‌تواند به دلیل فرسایش، کاهش حاصل‌خیزی، تغییر در رطوبت خاک، شور شدن خاک و یا تغییر در فلور و فون خاک باشد (Niknahad Gharmakher and Maramaei, 2012).

تغییرات کاربری اراضی یکی از عامل‌های مهم در تغییر جریان هیدرولوژیک و فرسایش است و می‌توان با اطلاع از روند تغییرات کاربری اراضی در راستای هدایت اکوسیستم به سمت تعادل قدم برداشت (Mohammadnejad et al., 2019). اطلاعات ماهواره‌ای با توجه به اینکه توانایی پوشش سطح وسیعی از منطقه مورد مطالعه، فرآیند تکرارپذیری پردازش داده‌ها، به روز رسانی آن‌ها و زمان و هزینه اندک می‌تواند در تهیه نقشه‌ها و مدیریت آن مناطق کاربرد بهتری داشته باشد (Chaafjiri et al., 2013). Gross et al., 2006). در این بین تصاویر دوره‌ای ماهواره لندست،

آبخیز رود ورس استان قزوین به بررسی تأثیر کاربری اراضی بر فرسایش پرداختند و به این نتیجه دست یافتند که کاربری زراعت دیم از بیشترین و مراتع از کمترین پتانسیل جهت ایجاد فرسایش برخوردارند. (Mohammadnejad *et al.*, 2019). به بررسی روند تغییرات کاربری اراضی شهرستان نیر واقع در استان اردبیل و تأثیر آن بر فرسایش خاک (بین سال‌های ۲۰۱۶-۲۰۰۰) با استفاده از تکنیک سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی پرداختند. نتایج نشان داد که به طور عمده مناطق با طبقه بسیار پرخطر و پرخطر در هر دو دوره زمانی در کاربری‌های زراعت دیم و زراعت آبی- باغات قرار دارند. (Azarakhshi *et al.*, 2017). مطالعه‌ای در حوضه آبخیز صنوبر واقع در استان خراسان رضوی، به این نتیجه دست یافتند که بخش اعظم تغییرات کاربری اراضی رخ داده در منطقه، در زمینه تبدیل باغات به مرتع و زراعت به مرتع است که منجر به کاهش میزان فرسایش شده است. (Feizizadeh, 2017). تغییرات کاربری اراضی و نقش آن در فرسایش حوضه سد علویان در شهرستان مراغه استان آذربایجان شرقی را مورد بررسی قرار داد و نتیجه گرفت که تبدیل اراضی مرتعی پرتراکم به مراتع کم تراکم و زراعت دیم، مهمترین عامل در فرسایش منطقه مورد مطالعه می‌باشد. Asghari (2019). saraskanroud *et al.* به بررسی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از روش‌های پیکسل پایه و شیء‌گرا و تحلیل اثرات تغییر کاربری‌ها بر فرسایش خاک در شهرستان مراغه استان آذربایجان شرقی پرداختند. با توجه به نتایج پهنه‌بندی خطر فرسایش سال ۲۰۰۰ به ترتیب ۹/۰۸ و ۱۵/۸۸ درصد و با توجه به پهنه‌بندی فرسایش سال ۲۰۱۷ به ترتیب ۱۳/۶۶ و ۲۹/۷۶ درصد از مساحت شهرستان در دو طبقه بسیار پرخطر و پرخطر قرار دارند. همچنین نتایج تحقیق نشان داد که در دوره یاد شده، ضمن افزایش کاربری باغات متراکم، باغات کم تراکم، مسکونی و صنعتی، تخریب و تبدیل شدن اراضی مرتعی و اراضی دیم در سطح قابل توجهی صورت گرفته است که نقش مهمی در افزایش آسیب‌پذیری منطقه مورد مطالعه در مقابل فرسایش خاک دارد. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که پایش تغییرات کاربری اراضی با استفاده از روش‌های شیء‌گرا، در صورت رعایت کردن تمامی پارامترها نتایج مناسب‌تری ارائه می‌دهد.

حوضه رامهرمز در استان خوزستان تحت تأثیر جبهه کوهستانی و پرشیب منطقه زاگرس و کمبود پوشش گیاهی، میزان فرسایش خاک در آن شدید است. همچنین فعالیت‌ها و اقدامات انسانی از جمله تغییرات کاربری زمین، چرای بی‌رویه دام‌ها، کشت مداوم بدون توجه به توان زمین و شخم غیراصولی، به تشدید فرسایش خاک در این منطقه منجر شده است. لذا با توجه به

یکی از مهمترین منابع داده‌ای برای مطالعه انواع مختلف تغییر کاربری و پوشش زمین می‌باشد و استخراج اطلاعات از تصاویر ماهواره‌ای به وسیله طبقه‌بندی، از پرکاربردترین روش‌های موجود است (Esmaeilpour *et al.*, 2019). انتخاب روش و الگوریتم کار جهت بازیابی و کشف این تغییرات اقدامی مهم و اساسی است (Kazeminia, 2018). روش‌های طبقه‌بندی، به عنوان روش‌هایی با ضریب اطمینان بالا نسبت به روش‌های دیگر استخراج اطلاعات استفاده می‌شوند (Vali *et al.*, 2019). اخیراً روش تقسیم‌بندی و طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای، تکنولوژی شیء‌گرا است (Khezri and Solaiman, 2017). طبقه‌بندی شیء‌گرا، فرآیندی است که کلاس‌های پوشش اراضی را به اشیاء تصویری ارتباط می‌دهد (Roostaei *et al.*, 2019) و در آن علاوه بر ارزش‌های عددی از اطلاعات مربوط به بافت، شکل و تن رنگ در فرآیند طبقه‌بندی استفاده می‌شود (Lu *et al.*, 2012 ; Lillesand *et al.*, 2015).

تاکنون مطالعات متعددی در رابطه با موضوع تغییر کاربری‌ها و تأثیر آن بر خطر فرسایش خاک در مناطق مختلف به انجام رسیده است. (Martínez-Murillo *et al.*, 2011) به مدل-سازی اثرات تغییرات کاربری زمین بر روی رواناب و فرسایش خاک در جنوب کشور اسپانیا پرداختند و به این نتیجه رسیدند که افزایش کشت دیم و تبدیل پوشش گیاهی به مناطق مسکونی و راه‌های ارتباطی به طور محسوسی باعث فرسایش خاک شده است. (Nalina *et al.*, 2014) به مطالعه تغییرات کاربری اراضی منطقه نیلجیس کشور هندوستان پرداختند. نتایج نشان داد که فعالیت کشاورزی در اراضی شیب‌دار کوهستانی طی این دوره به سرعت افزایش یافته است. (Da Silva *et al.*, 2016) به مطالعه تأثیر تغییرات کاربری زمین بر عملکرد فرسایش خاک در رودخانه سانفرانسیسکو در ایالات متحده آمریکا پرداختند و معتقدند که تغییرات کاربری اراضی باعث تغییر در دسترسی به منابع آب شده است و همین عامل باعث ایجاد کشت دیم و افزایش فرسایش در منطقه شده است. (Santos *et al.*, 2017) به بررسی تغییرات کاربری اراضی و نقش آن بر فرسایش خاک در کشور برزیل پرداختند و نتایج به دست آمده نشان داد که سطح زمین‌های کشاورزی و مراتع کاهش یافته و میزان فرسایش در این مناطق ۱۰ برابر افزایش داشته است. (Singh *et al.*, 2020) به بررسی تغییرات کاربری اراضی بر روی تالاب هارایک در ایالت پنجاب کشور هندوستان پرداختند. نتایج به دست آمده نشان داد که در طی بازه زمانی ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۸ تأثیرات منفی عوامل انسانی همچون کشت بی‌رویه و عدم اختصاص حق آبه مورد نیاز تالاب سبب کاهش وسعت پهنه آبی و نیز فرسایش خاک شده است. در ایران (Esfandiari *et al.*, 2014) در مطالعه‌ای در حوضه

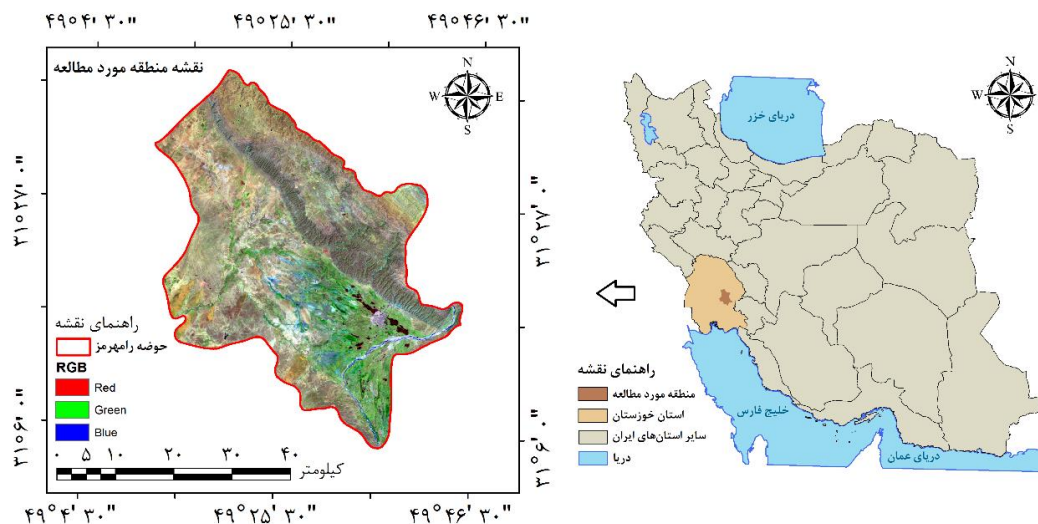
شرقی و ۳۱ درجه و ۴ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۳۹ دقیقه عرض شمالی، در شرق استان خوزستان قرار داشته و جزء نواحی خشک و نیمه بیابانی محسوب می‌گردد (شکل ۱). از نظر ژئومورفولوژی، نواحی شرقی و شمال شرق منطقه، نسبتاً مرتفع بوده و بخش‌های غربی و جنوب غرب، هموار است. بخش وسیعی از منطقه از مارن-های آهکی، ماسه‌سنگ‌های مارنی و آهکی، مارن‌های ژئوسفر، لایه‌های انیدریتی، نمکی و طبقات کنگلومرایی با واکنش و مقاومت‌های متفاوت در برابر فرآیندهای فرسایشی پوشیده شده است. بخش هموار نیز که سطح قابل توجهی را در بر گرفته است، سهم عمده‌ای از کاربری‌های کشاورزی را به خود اختصاص داده است. اراضی کشاورزی، مراتع، مناطق مسکونی و اراضی بایر، سطوح کاربری اراضی منطقه می‌باشند.

موارد ذکر شده و همچنین اهمیت مطالعه تغییر کاربری‌ها و نقش آن در فرسایش خاک در گذر زمان و نیز با تأکید بر بررسی کارایی و دقت نتایج حاصل از به کارگیری داده‌های سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، تغییرات کاربری اراضی در حوضه رامهرمز و نقش آن در فرسایش خاک و تولید رسوب (بین سال-های ۲۰۱۹-۲۰۲۰ میلادی)، مورد مطالعه قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

حوضه رامهرمز با مساحت ۱۷۶۰۴۳/۰۹ هکتار و موقعیت جغرافیایی ۴۹ درجه و ۱۱ دقیقه تا ۴۹ درجه و ۴۵ دقیقه طول



شکل ۱- موقعیت حوضه آبخیز رامهرمز در ایران و استان خوزستان

تفکیک ۳۰ مترمربع استفاده شد. تهیه تصاویر ماهواره‌ای، از سایت سازمان زمین‌شناسی ایالات متحده آمریکا (USGS) صورت گرفت. جمع‌آوری نمونه‌های تعلیمی نیز از طریق بازدید میدانی و ایجاد ترکیب‌های رنگی کاذب انجام شد. ضمن مشاهده و برداشت نمونه، داده‌های مورد استفاده با استفاده از دستگاه GPS کنترل شد که این اطلاعات، مناطق تعلیمی برای طبقه‌بندی بوده است. نقشه توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ از سازمان نقشه‌برداری ایران، نقشه بافت خاک از مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی استان خوزستان و داده‌های اقلیمی نیز از اداره هواشناسی استان خوزستان تهیه شد. جهت پردازش تصاویر ماهواره‌ای، از نرم‌افزارهای ENVI، eCognition و ArcGIS استفاده شد.

روش پژوهش

داده‌ها و ابزارهای مورد استفاده

تصاویر لندست طولانی‌ترین آرشیو از تصاویر جهانی با قدرت تفکیک متوسط، کالیبراسیون بالا، داده‌های چند طیفی از منابع منحصر بفرد برای برنامه‌ریزی کاربردی در مقیاس‌های مختلف، از جمله کاربری اراضی و پوشش اراضی، شناسایی تغییرات و نظارت بر پویایی اکوسیستم را شامل می‌شوند (Taherparvar et al., 2017). بنابراین در این پژوهش، از تصاویر ETM+ (۲۰۰۲) و OLI (۲۰۱۹) ماهواره لندست استفاده شده است (جدول ۱). همچنین از مدل رقومی ارتفاع (DEM) سنجنده ASTER با توان

جدول ۱- مشخصات تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده در پژوهش

داده‌های ماهواره‌ای	ردیف و گذر	ابعاد پوشش (کیلومتر)	تاریخ تصویر	فرمت
Landsat-7 ETM+	۳۸-۱۶۵	۱۸۵×۱۸۵	۲۸ می ۲۰۰۲	TIFF
Landsat-8 OLI	۳۸-۱۶۵	۱۸۵×۱۸۵	۱۵ ژانویه ۲۰۱۹	TIFF

پیش‌پردازش تصاویر

پس از تهیه تصاویر ماهواره‌ای، به بررسی زمین مرجع بودن و خطاهای ناشی از اعوجاج تصویر پرداخته شد. در این پژوهش از تصاویر Level-2 ماهواره لندست به دلیل زمین مرجع بودن و تطابق هندسی مناسب استفاده شد. بنابراین این سطح از داده‌ها نیازی به تصحیحات هندسی نداشت. برای تصحیح اتمسفریک نیز، از تکنیک کاهش پیکسل‌های تاریک استفاده شد. با این فرضیه که پیکسل تاریک با حداکثر احتمال، کمترین میزان انعکاس طیفی را دارد و متعلق به آب عمیق و سایه میان تصویر است که انعکاس آن صفر می‌باشد. زیرا در صورت وجود ذرات پراکنده در جو، پراکنش جوی باعث می‌شود که عملاً انعکاس طیفی پیکسل‌های تاریک صفر نباشد (Soffianian and Khodakarami, 2011). فرآیند تصحیح رادیومتریک تصاویر و رفع خطاهای اتمسفری روی آن‌ها، در محیط نرم‌افزار ENVI انجام شد.

طبقه‌بندی تصاویر و تهیه نقشه‌های کاربری اراضی

در این پژوهش، جهت طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای و تهیه نقشه‌های کاربری اراضی، از روش شیء‌گرا استفاده شد. فرآیند

طبقه‌بندی شیء‌گرا در سه مرحله کلی قابل انجام است که شامل سگمنت‌سازی (قطعه‌بندی)، طبقه‌بندی و ارزیابی صحت طبقه‌بندی می‌باشد (Salmani et al., 2019). برای سگمنت‌سازی، از الگوریتم چند تفکیکه استفاده شد. نرم‌افزار eCognition برای سگمنت‌سازی چند تفکیکه، از شاخصه‌های مقیاس، رنگ، شکل، نرمی، فشردگی و وزن‌های متناسب برای هریک از باندهای تصویری استفاده می‌نماید (Yarahmadi et al., 2020). در این پژوهش، براساس سعی و خطا و بررسی بصری نتیجه سگمنت‌سازی، مقادیر پارامترهای مقیاس، شکل و فشردگی تعیین شد. با تفسیر منحنی‌های انعکاس طیفی و همچنین ارزیابی هیستوگرام همبستگی نوارها، بهترین ترکیب نواری با کمترین ضریب همبستگی و بیشترین واریانس در بین ترکیبات باندی مختلف، برای طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای انتخاب شد. به منظور افزایش دقت طبقه‌بندی در پردازش شیء‌گرای تصاویر، شاخص NDVI به عنوان یک باند در ترکیب باندی مورد استفاده قرار گرفت. پس از انتخاب ترکیب نواری، اقدام به اعمال وزن برای نوارهای تصویر گردید (جدول ۲).

جدول ۲- وزن پارامترهای مؤثر در فرآیند سگمنت‌سازی

وزن ترکیب نواری	ترکیب نواری مناسب	فشردگی	شکل	مقیاس	تصویر ماهواره‌ای
۳۰:R, ۴۰:G, ۳۰:B	۳:R, ۵:G, ۵:NDVI, ۳:B	۰/۷	۰/۱	۲۰	ETM+ (۲۰۰۲)
۴:R, ۷:G, ۴:NDVI, ۴:B		۰/۴	۰/۱	۱۳۰	OLI (۲۰۱۹)

صحت کلی و آماره کاپا مورد ارزیابی قرار گرفت.

ارزیابی فرسایش خاک

در این پژوهش، جهت برآورد میانگین سالانه فرسایش خاک از مدل RUSLE استفاده شد. مدل RUSLE تابعی از شش فاکتور ورودی فرسایندهای 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 خصوصیات خاک با کاربری اراضی و توپوگرافی در ارتباط است (Pradhan et al., 2012). فرسایش خاک براساس مدل RUSLE با استفاده از رابطه ۱ محاسبه می‌شود (Wischmeier and smith, 1978).

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

در این رابطه، A میانگین فرسایش خاک در واحد سطح (t h⁻¹ year⁻¹)، R فاکتور فرسایندهای باران (MJ mm h⁻¹ year⁻¹)، K فاکتور فرسایش‌پذیری خاک (t h MJ⁻¹ mm⁻¹)، LS فاکتور توپوگرافی، C فاکتور پوشش گیاهی و P فاکتور عملیات حفاظتی

در مرحله پردازش شیء‌گرا، سگمنت‌های تصویری موجود براساس درجه عضویت آن‌ها به طبقات مختلف نسبت داده شد و هریک از شیء‌های تصویری در این روش براساس بیشترین درجه عضویت یک کلاس خاص و براساس منطق فازی، طبقه‌بندی شد (Brink et al., 2013). طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای با استفاده از پردازش شیء‌گرا تاکنون با بهره‌گیری از تکنیک‌های مختلف به طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار گرفته است (Salmani et al., 2019). صحت طبقه‌بندی و الگوریتم بکار رفته در طبقه‌بندی، نقش مهمی را در کاربرد و ارزش نقشه‌های ایجاد شده ایفا می‌کند (Brink et al., 2013). در این پژوهش، طبقه‌بندی تصاویر با الگوریتم ماشین بردار پشتیبان (SVM) در محیط نرم‌افزار eCognition با استفاده از نمونه‌های تعلیمی صورت گرفت و در آن شیء‌های تصویری براساس الگوریتم تعیین شده (چند تفکیکه) به کلاس‌های طبقه‌بندی اختصاص یافت. ارزیابی صحت، آخرین مرحله طبقه‌بندی تصویر در هر روشی می‌باشد (Yarahmadi et al., 2020). پس از تهیه نقشه‌های کاربری اراضی، دقت طبقه‌بندی انجام شده با استفاده از ماتریس خطا،

می‌باشد. LS ، C و P بدون واحد می‌باشند.

فاکتور فرساینده‌گی باران (R)

در این پژوهش، از داده‌های بارش روزانه با مقیاس زمانی ۱۰ دقیقه‌ای ایستگاه‌های منطقه مورد مطالعه (جدول ۳) برای محاسبه عامل فرساینده‌گی باران به صورت ماهانه استفاده گردید. این عامل از متوسط مجموع فرساینده‌گی رخدادهای باران در هر ماه برای دوره آماری ۱۳۹۵-۱۳۷۴ با استفاده از رابطه ۲ محاسبه شد (Wischmeier and Smith, 1978).

$$R = (1/n) \times \sum_{j=1}^n \sum_{K=1}^{mj} (EI_{30})_K \quad (\text{رابطه ۲})$$

در این رابطه، R متوسط فرساینده‌گی برحسب $MJ.mm.ha^{-1}.h^{-1}.month^{-1}$ برای دوره آماری، n تعداد سال‌های

آماري، mj تعداد حوادث فرساینده برای ماه j و EI_{30} میزان فرساینده‌گی باران برای رخداد K می‌باشد. فرساینده‌گی باران برای هر رخداد بارش، براساس رابطه ۳ به دست می‌آید.

$$EI = EI_{30} = (\sum_{r=1}^0 e_r v_r) I_{30} \quad (\text{رابطه ۳})$$

در این رابطه، I_{30} حداکثر شدت ۳۰ دقیقه‌ای در طول یک رخداد بارش، ER /انرژی جنبشی برحسب $MJ.HA^{-1}.MM^{-1}$ و VR /ارتفاع بارندگی برحسب میلی‌متر در طی دوره‌های تقسیم شده برای رخداد بارش می‌باشد. مقدار ER با استفاده از رابطه ۴ برای مدل محاسبه شد (BROWN AND FOSTER, 1987).

$$e_r = 0.29[1 - 0.72 \exp(-0.05 i_r)] \quad (\text{رابطه ۴})$$

در این فرمول، i_r شدت بارندگی در طی دوره‌های زمانی تقسیم شده برحسب $mm.h^{-1}$ است.

جدول ۳- مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی مورد استفاده در پژوهش

ردیف	نام ایستگاه	کد ایستگاه	موقعیت جغرافیایی		ارتفاع (متر)
			Y	X	
۱	هفتکل	۲۱-۱۱۸	۳۴۸۰۴۲۷	۳۵۹۰۵۴	۲۸۰
۲	سد انحرافی رامهرمز	۲۱-۶۸۷	۳۴۵۸۸۷۶	۳۷۶۰۷۸	۲۳۷
۳	اعلا	۲۱-۶۸۸	۳۴۷۱۴۹۶	۳۷۹۰۴۵	۳۵۶
۴	مال آقا	۲۲-۰۰۲	۳۴۹۵۹۸۰	۴۰۷۴۴۹	۱۸۰
۵	باغملک	۲۲-۰۰۴	۳۴۸۸۲۵۰	۳۹۴۸۵۰	۶۷۵
۶	قلعه تل	۲۲-۰۱۰	۳۴۸۰۱۱۰	۴۰۰۵۵۹	۹۰۰
۷	ماشین	۲۲-۰۱۱	۳۴۶۸۰۰۲	۳۷۸۵۳۹	۳۵۴
۸	چشمه شیرین	۲۲-۰۱۲	۳۵۰۰۶۴۸	۳۸۷۷۹۵	۸۱۰
۹	جوکنک	۲۲-۰۱۳	۳۴۶۸۱۳۴	۳۷۸۶۰۱	۳۳۰
۱۰	ده سادات	۲۲-۰۱۴	۳۴۸۳۶۰۳	۳۸۰۵۶۶	۴۵۰
۱۱	پاگچی رامهرمز	۲۲-۰۱۶	۳۴۶۴۰۴۰	۳۶۹۰۰۰	۴۰
۱۲	الگن	۲۲-۰۲۰	۳۴۴۴۵۰۱	۴۹۹۱۵۵	۱۰۸
۱۳	چم نظام	۲۲-۰۲۱	۳۴۵۷۰۹۵	۳۶۵۰۲۴	۱۹۰
۱۴	پا قلعه	۲۲-۰۵۳	۳۴۲۰۵۲۱	۴۴۲۶۷۰	۶۷۵

فاکتور فرسایش‌پذیری خاک (K)

عامل فرسایش‌پذیری 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 (کیانی هرچگانی و همکاران، ۱۳۹۷). در این پژوهش از رابطه ۵ که توسط رامکنز و همکارانش (Romkens et al., 1986) برای محاسبه فرسایش‌پذیری خاک در معادله $RUSLE$ ارائه شده، استفاده گردید. معادله به دست آمده حاصل ۲۲۵ داده جهانی خاک با مقادیر α ، β ، γ و χ ۰/۰۴۰۵، ۰/۰۳۴، ۰/۰۶۵۹ و ۰/۷۱۰۱ به ترتیب برای پارامترهای α ، β ، γ و χ است که پس از جمع‌آوری و طبقه‌بندی خاک به طبقات بافتی با ضریب تبیین ۰/۹۸۳ ارائه شد. در رابطه مذکور K_2 عامل فرسایش‌پذیری خاک D_g میانگین هندسی قطر ذرات

برحسب میلی‌متر مستخرج از رابطه ۶، f_i اندازه ذرات به درصد و m_i میانگین حسابی ذرات بر حسب میلی‌متر است.

$$K_2 = \left\{ \alpha + \beta \exp \left(-\frac{1}{2} \left(\frac{\log(D_g) + \chi}{\gamma} \right)^2 \right) \right\} \quad (\text{رابطه ۵})$$

$$D_g = \exp(0.01 \sum f_i \ln m_i) \quad (\text{رابطه ۶})$$

فاکتور توپوگرافی (LS)

فاکتور درصد شیب، تابعی از درجه شیب و منعکس‌کننده اثر درجه شیب بر مقدار فرسایش است. فاکتور طول شیب نیز تابعی از طول شیب اندازه‌گیری شده برحسب متر است. حاصل ضرب دو فاکتور یاد شده، به عنوان فاکتور توپوگرافی (LS) شناخته می‌شود (Ayoubi et al., 2008). برای تهیه نقشه فاکتور توپوگرافی، از مدل رقومی ارتفاع ۳۰ متری منطقه استفاده شد (شکل ۲). فاکتور توپوگرافی نیازمند نقشه‌های تجمیع جریان و شیب است (Foster and Wischmeier, 1974) که این نقشه‌ها، از مدل رقومی ارتفاع

بخشی از انرژی تابشی است که می‌تواند صرف فعالیت‌های فتوسنتزی گردد. مقدار NDVI می‌تواند بین -۱ تا +۱ تغییر کند. مقادیر منفی آن عموماً مفهوم اکولوژیکی خاصی ندارد. مقادیر بزرگتر آن با پوشش گیاهی فعال از نظر فتوسنتزی همبستگی دارد (Anderson et al., 1993). برای محاسبه شاخص NDVI از باندهای ۴ و ۵ تصویر لندست ۸ سال ۲۰۱۹ استفاده شده (رابطه ۹) و نقشه شاخص مذکور برای منطقه، با استفاده از نرم‌افزار ENVI به دست آمد (Mohammadi et al., 2017).

فاکتور عملیات حفاظتی خاک (P)

عامل کارهای حفاظتی را به عنوان مقدار خاک از بین رفته در واحد سطح یک زمین حفاظت شده، به زمینی که لخت باشد و در جهت تندترین شیب و شخم خورده باشد، تعریف کرده‌اند. هرچه مقدار این عامل کمتر باشد، کارهای حفاظتی مؤثرتر و هدررفت خاک کمتر است (Mohammadi et al., 2018). در پژوهش حاضر مقدار فاکتور P براساس پوشش اراضی و از طریق طبقه‌بندی مجدد هر تیپ پوشش زمین تعیین شد. در منطقه مورد مطالعه هیچگونه عملیات اصلاحی و مدیریتی صورت نگرفته است. بنابراین ارزش P برای مراتع ۰/۱۵ و برای سایر طبقات پوشش اراضی ۱ در نظر گرفته شد.

از طرفی باید نسبت تحویل رسوب SDR برای منطقه مورد نظر برای برآورد میزان رسوب انتقالی به خروجی‌های منطقه محاسبه گردد (Jae Kyoung et al., 2005). در این مطالعه از سه روش براساس مساحت USDA 1975 (رابطه ۱۰) بویس ۱۹۷۵ (رابطه ۱۱) و وانونی ۱۹۷۵ (رابطه ۱۲) استفاده شده است.

$$SDR = 0.5656A^{-0.11} \text{ (رابطه ۱۰)}$$

$$SDR = 0.4724A^{-0.125} \text{ (رابطه ۱۱)}$$

$$SDR = 0.3750A^{-0.2382} \text{ (رابطه ۱۲)}$$

در سه معادله فوق A مساحت حوضه به کیلومتر مربع است.

بررسی اثر تغییرات کاربری اراضی بر فرسایش خاک

جهت ارزیابی اثر تغییرات کاربری اراضی بر فرسایش خاک، نقشه کاربری اراضی هر سال با نقشه فرسایش خاک همان سال مقایسه شده و برای هر طبقه پوشش، میزان فرسایش و مساحت طبقه فرسایش مشخص شد که در بخش نتایج آورده شده است.

نتایج و بحث

نتایج طبقه‌بندی شیء‌گرای تصاویر ماهواره‌ای

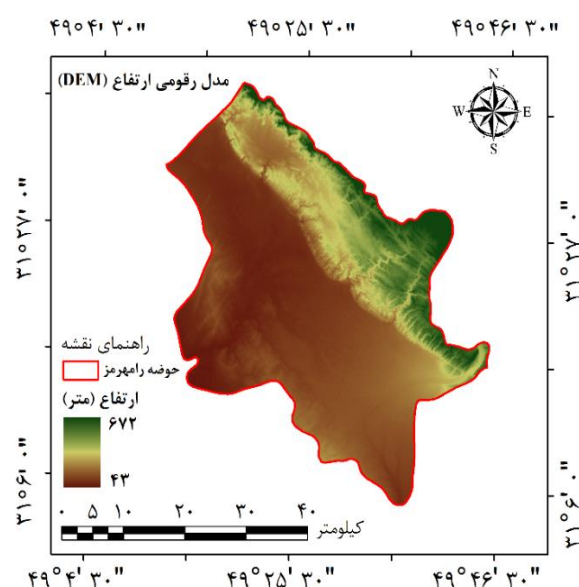
پس از طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای، نقشه‌های کاربری اراضی به دست آمده به شش کلاس پهنه‌های آب، مسکونی، اراضی بایر، مراتع، زراعت دیم و زراعت آبی و باغات تفکیک شده (شکل ۳) و

منطقه استخراج و در نهایت با استفاده از رابطه ۷، فاکتور توپوگرافی به دست آمد (Moore and Burch, 1986).

رابطه (۷)

$$LS = [(Flow\ Accumulation\ grid) \times (Cell\ Size / 22.13)]^{0.4} \times [Sin(Slope\ grid \times 0.01745) / 0.0896]^{1.3}$$

که در آن Flow Accumulation تجمع جریان به سمت بالای شیب برای هر سلول، Cell Size اندازه سلول‌های شبکه (در پژوهش حاضر ۳۰ متر) و Slope شیب، به دست آمده از نقشه شیب می‌باشد. از عدد ۰/۱۷۴۵ برای تبدیل واحد به رادیان در محیط GIS استفاده می‌گردد.



شکل ۲- مدل رقومی ارتفاع منطقه

فاکتور پوشش گیاهی (C)

فاکتور پوشش گیاهی 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 می‌باشد (Wischmeier and Smith, 1978). مقدار عامل پوشش گیاهی از رابطه زیر محاسبه می‌شود (Van Der Knijff et al., 2000):

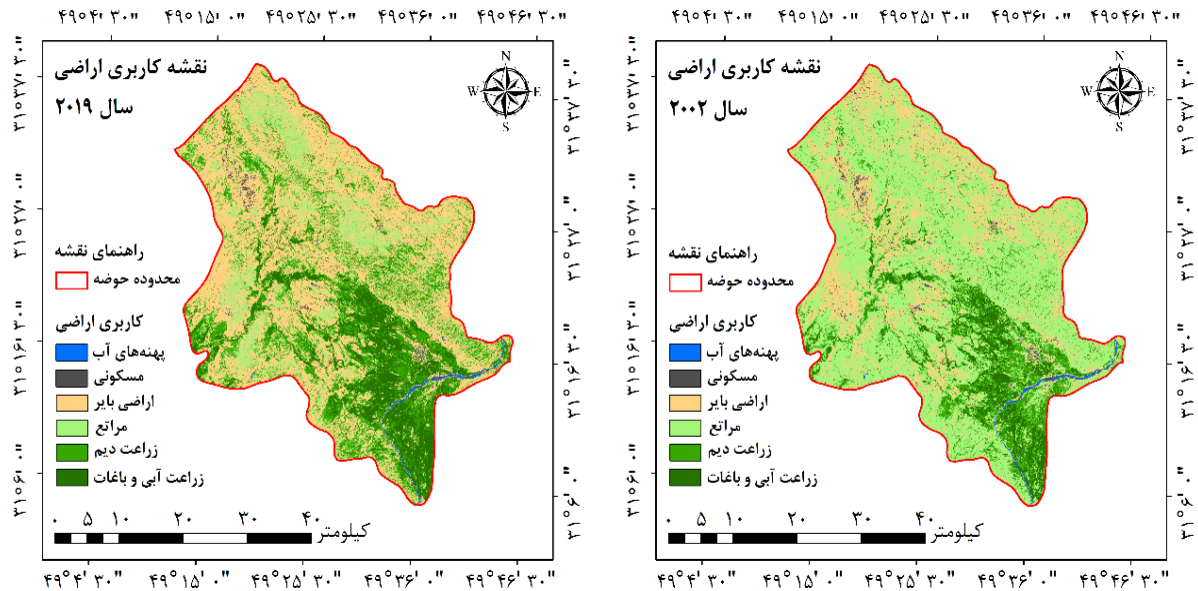
$$C = \exp\left(-a \frac{NDVI}{\beta - NDVI}\right) \text{ (رابطه ۸)}$$

که در آن NDVI شاخص تفاوت پوشش گیاهی نرمال شده و $\alpha-2$ و $\beta-1$ پارامترهایی هستند که شکل رابطه منحنی بین NDVI و C را مشخص می‌کنند. شاخص NDVI شاخصی از سبزی‌نگی گیاهی و فعالیت فتوسنتزی است و یکی از پرکاربردترین شاخص‌های پوشش گیاهی است که به صورت زیر تعریف می‌شود (Anderson et al., 1993):

$$NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED) \text{ (رابطه ۹)}$$

که در آن NIR مقدار باند مادون قرمز نزدیک و RED مقدار باند قرمز در تصاویر ماهواره‌ای است. از نظر بیوفیزیکی NDVI

صحت کلی نقشه‌های کاربری اراضی برای سال ۲۰۰۲ به ترتیب برابر ۰/۸۱ و ۰/۸۷ و برای سال ۲۰۱۹ به ترتیب برابر ۰/۹۱ و ۰/۹۶ به دست آمد. بنابراین، نقشه‌های کاربری اراضی هر دو سنجنده، از ضرایب کاپا و صحت کلی بالای ۰/۷۰ برخوردار بودند.



شکل ۳- نقشه‌های کاربری اراضی سال‌های ۲۰۱۹ و ۲۰۰۲

جدول ۴- مساحت طبقات کاربری اراضی در هر سال و روند تغییرات آن‌ها

طبقات کاربری اراضی	سال ۲۰۱۹		سال ۲۰۰۲		اختلاف مساحت (درصد)
	درصد	هکتار	درصد	هکتار	
پهنه‌های آب	۴	۷۰۴۱/۷۲	۵	۸۸۰۲/۱۵	-۱
مسکونی	۸	۱۴۰۸۳/۴۴	۶	۱۰۵۶۲/۵۸	+۲
اراضی بایر	۱۹	۳۳۴۴۸/۱۸	۱۵	۲۶۴۰۶/۴۶	+۴
مراتع	۱۷	۲۹۹۲۷/۳۲	۲۴	۴۲۲۵۰/۳۴	-۷
زراعت دیم	۲۷	۴۷۵۳۱/۶۳	۲۴	۴۲۲۵۰/۳۴	+۳
زراعت آبی و باغات	۲۵	۴۴۰۱۰/۷۷	۲۶	۴۵۷۷۱/۲۰	-۱
جمع	۱۰۰	۱۷۶۰۴۳/۰۹	۱۰۰	۱۷۶۰۴۳/۰۹	-

GIS، برای دوره آماری ۱۳۷۴-۱۳۹۵ تهیه شد که در شکل (۴-الف) آورده شده است. مطابق این شکل، مقدار فاکتور R از ۱۲۸/۲ تا ۵۸۹/۹ $\text{MJ mm ha}^{-1} \text{h}^{-1} \text{y}^{-1}$ متغیر است که نمایانگر تغییرات زیاد این فاکتور در منطقه مورد مطالعه می‌باشد.

فاکتور فرسایش‌پذیری خاک (K)

براساس نتایج به دست آمده مقدار شاخص فرسایش‌پذیری خاک در منطقه مورد مطالعه برای سال ۲۰۰۲ بین ۰ تا ۰/۲۴ و برای سال ۲۰۱۹ بین ۰ تا ۰/۳۴ $\text{MJ}^{-1} \text{mm}^{-1} \text{h}^{-1} \text{ha}^{-1} \text{MG}$ متغیر می‌باشد. در شکل (۴-ب و پ)، نقشه توزیع مکانی فاکتور K برای سال‌های ۲۰۰۲ و ۲۰۱۹ آورده شده است.

فاکتور توپوگرافی (LS)

نقشه فاکتور توپوگرافی با استفاده از مدل رقومی ارتفاع منطقه و

مساحت هریک از کلاس‌ها برای هر سال مشخص گردید (جدول ۴). صحت نقشه‌های به دست آمده برای سال‌های ۲۰۰۲ و ۲۰۱۹ با استفاده از ۱۰۰ نقطه کنترل زمینی و تصویر رنگی کاذب همان سال‌ها مورد بررسی قرار گرفت. در این پژوهش، ضرایب کاپا و

نتایج حاصل از بررسی روند تغییرات کاربری اراضی در بازه زمانی سال‌های ۲۰۱۹-۲۰۰۲ نشان می‌دهد که مناطق مسکونی، اراضی بایر و زراعت دیم به ترتیب به میزان ۳۵۲۰/۸۶، ۷۰۴۱/۷۲ و ۵۲۸۱/۲۹ هکتار افزایش مساحت داشته و پهنه‌های آبی، مراتع و زراعت آبی به ترتیب ۱۷۶۰/۴۳، ۱۲۳۲۳/۰۲ و ۱۷۶۰/۴۳ هکتار از مساحت خود را از دست داده‌اند.

تهیه نقشه فاکتورهای مدل RUSLE

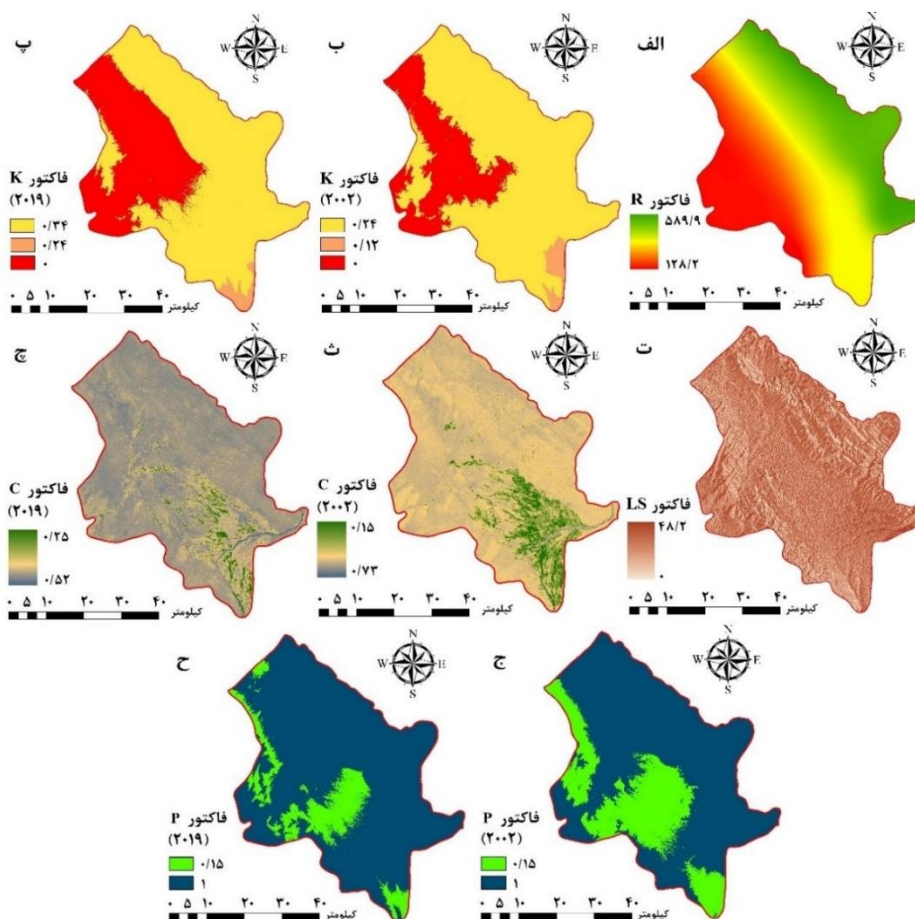
فاکتور فرساینده‌گی (R)

نتایج حاصل از محاسبه میزان شاخص فرساینده‌گی باران برای ۱۴ ایستگاه هواشناسی مورد مطالعه (جدول ۳)، در جدول (۵) ارائه شده است. همچنین به دلیل نرمال نبودن داده‌های بارنده‌گی، نقشه فاکتور فرساینده‌گی با روش درون‌یابی IDW در محیط نرم‌افزار

براساس رابطه ۵ با در نظر گرفتن کنش متقابل بین توپوگرافی و تجمع جریان آب برای منطقه مورد مطالعه محاسبه شد که در شکل (۴-ت) آورده شده است. براساس این شکل مقدار فاکتور LS در منطقه مورد مطالعه بین ۰ تا ۴۸/۲ متغیر می‌باشد.

جدول ۵- برآورد فرساینده‌گی باران برای ایستگاه‌های هواشناسی

ردیف	نام ایستگاه	فاکتور R (MJ mm ha ⁻¹ h ⁻¹ y ⁻¹)	ردیف	نام ایستگاه	فاکتور R (MJ mm ha ⁻¹ h ⁻¹ y ⁻¹)
۱	هفتکل	۴۵۱/۳	۸	چشمه شیرین	۲۱۵/۵
۲	سد انحرافی رامهرمز	۳۹۶/۷	۹	چوکنک	۲۰۳/۶
۳	اعلا	۵۱۱/۱	۱۰	ده سادات	۱۹۸/۴
۴	مال آقا	۴۸۹/۸	۱۱	پاگچی رامهرمز	۱۲۸/۲
۵	باغملک	۵۵۳/۵	۱۲	الگن	۳۸۳/۷
۶	قلعه تل	۵۸۹/۹	۱۳	چم نظام	۵۶۲/۱
۷	ماشین	۲۳۸/۹	۱۴	پا قلعه	۳۹۵/۷



شکل ۴- الف) نقشه فاکتور فرساینده‌گی باران، ب) نقشه فاکتور فرسایش پذیری خاک برای سال ۲۰۰۲، پ) نقشه فاکتور فرسایش پذیری خاک برای سال ۲۰۱۹، ت) نقشه فاکتور توپوگرافی، ث) نقشه فاکتور پوشش گیاهی برای سال ۲۰۰۲، ج) نقشه فاکتور پوشش گیاهی برای سال ۲۰۱۹، چ) نقشه فاکتور عملیات حفاظتی برای سال ۲۰۰۲، ح) نقشه فاکتور عملیات حفاظتی برای سال ۲۰۱۹

چ) آورده شده است. براساس این شکل، مقدار فاکتور C برای سال ۲۰۰۲ بین ۰/۱۵ تا ۰/۷۳ و برای سال ۲۰۱۹ بین ۰/۲۵ تا ۰/۵۲ متغیر می‌باشد. نقشه این فاکتور نشان می‌دهد که بیشترین مقدار این فاکتور در مناطق فاقد پوشش گیاهی و بایر است و کمترین مقدار آن در مناطق با پوشش متراکم است.

فاکتور پوشش گیاهی (C)

نقشه فاکتور پوشش گیاهی با استفاده از شاخص NDVI و براساس رابطه ۶ برای منطقه مورد مطالعه محاسبه شد. در واقع این فاکتور به طور کامل رابطه معکوسی با شاخص NDVI دارد. نقشه فاکتور پوشش گیاهی برای سال‌های ۲۰۰۲ و ۲۰۱۹ در شکل (۴-ث و

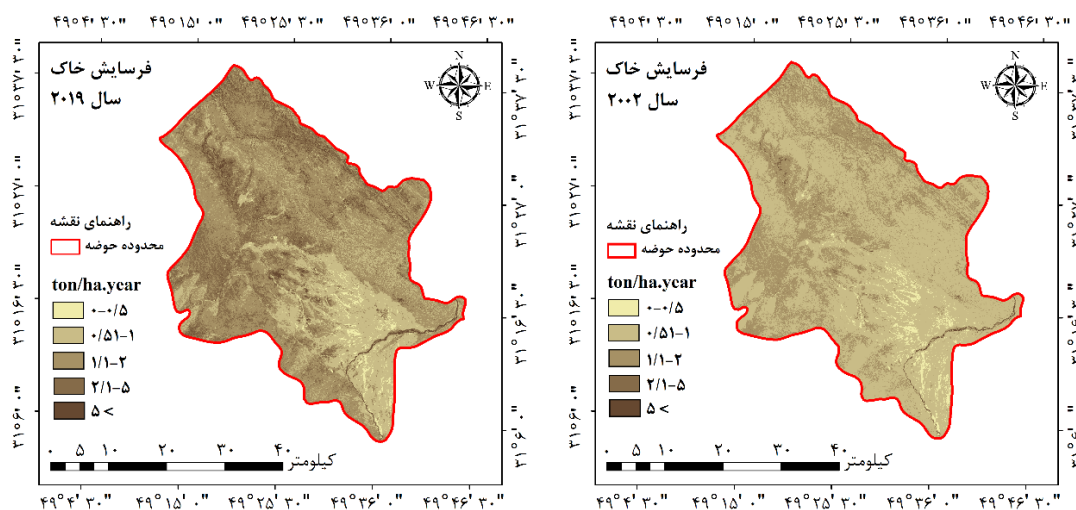
فاکتور عملیات حفاظتی (P)

نقشه فاکتور عملیات حفاظتی از طریق طبقه‌بندی مجدد طبقات پوشش گیاهی و اختصاص عدد مربوطه براساس اطلاعات جدول (۴) تهیه شد که در شکل (۴-ج و ح) آورده شده است. مقدار این فاکتور برای سال‌های ۲۰۰۲ و ۲۰۱۹ بین ۰/۱۵ تا ۱ برای منطقه مورد مطالعه به دست آمد.

برآورد فرسایش سالانه خاک و تولید رسوب

جهت تهیه نقشه فرسایش متوسط سالانه خاک، نقشه فاکتورهای فرسایش‌دگی (R)، فرسایش‌پذیری خاک (K)،

توپوگرافی (LS)، پوشش گیاهی (C) و عملیات حفاظتی (P) در محیط نرم‌افزار GIS براساس رابطه ۱ تلفیق شده و مقادیر هدررفت سالانه خاک (A) به دست آمد. سپس نقشه سال‌های ۲۰۰۲ و ۲۰۱۹ به پنج کلاس خطر فرسایش طبقه‌بندی شد که در شکل (۵) نشان داده شده است. همچنین مساحت و درصد مساحت هریک از کلاس‌های خطر فرسایش در منطقه مورد مطالعه در جدول (۶) آورده شده است. این جدول نشان‌دهنده افزایش فرسایش خاک در بازه بین سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۹ می‌باشد.



شکل ۵- نقشه‌های فرسایش خاک برای سال‌های ۲۰۱۹ و ۲۰۰۲

جدول ۶- مساحت کلاس‌های طبقه‌بندی شده فرسایش خاک

میزان حساسیت	کلاس فرسایش خاک (تن در هکتار در سال)	سال ۲۰۰۲		سال ۲۰۱۹		درصد تغییرات
		مساحت (کیلومتر مربع)	مساحت (درصد)	مساحت (کیلومتر مربع)	مساحت (درصد)	
بسیار کم	۰-۰/۵	۱۶۹۷۰/۵۵	۹/۶۴	۹۱۸۷/۶۱	۵/۲۲	-۴/۴۲
کم	۰/۵۱-۱	۸۲۹۵۱/۵۰	۴۷/۱۲	۵۲۴۶۷/۹۵	۲۹/۸۱	-۱۷/۳۱
متوسط	۱/۱-۲	۴۱۴۵۸/۱۵	۲۳/۵۵	۳۴۵۵۰/۳۵	۱۹/۶۳	-۳/۹۲
زیاد	۲/۱-۵	۲۷۱۶۳/۴۵	۱۵/۴۳	۴۷۷۱۵/۷۴	۲۷/۱۱	+۱۱/۶۸
بسیار زیاد	بیشتر از ۵	۷۴۹۹/۴۴	۴/۲۶	۳۲۱۲۱/۴۴	۱۸/۲۵	+۱۳/۹۹
	مجموع	۱۷۶۰۴۳/۰۹	۱۰۰	۱۷۶۰۴۳/۰۹	۱۰۰	-

خاکسازي حدود یک تن در هکتار در سال در نظر گرفته شده و اگر این مقدار را حد قابل قبول بدانیم، ملاحظه خواهیم کرد که برای سال ۲۰۰۲ حدود ۴۳/۲۴ درصد از مساحت و برای سال ۲۰۱۹ در حدود ۶۴/۹۹ درصد از مساحت منطقه مقدار فرسایش از حد قابل قبول بیشتر بوده و بنابراین نتایج این پژوهش لزوم پرداختن به مسأله فرسایش خاک در منطقه و ارائه راهکارهای مدیریتی را روشن می‌کند. در این پژوهش میزان نسبت تحویل رسوب بین ۰/۰۷ تا ۰/۲۸ و حداکثر بار رسوب در منطقه مورد

حد قابل قبول برای فرسایش مقداری است که در آن مقدار فرسایش بیشتر از مقدار خاکسازي نباشد و در واقع باید مقدار خاکسازي بیشتر از مقدار فرسایش باشد تا روند در جهت افزایش عمق خاک پیش برود. اظهارنظر در مورد مدت لازم برای تشکیل مثلاً یک سانتی‌متر خاک کار مشکلی است، زیرا خاک در نتیجه تأثیر پنج فاکتور خاکسازي (آب‌وهوا، موجودات زنده، توپوگرافی، سنگ مادر و زمان) حاصل می‌شود. براساس اطلاعات موجود در این منطقه با در نظر گرفتن کلیه عوامل به طور متوسط حد

از مدل USDA تقریباً نزدیک به مقدار رسوب کل مدل EPM بود، این روش به عنوان روش بهتر برای محاسبه نسبت تحویل رسوب انتخاب شد.

اثر تغییرات کاربری بر فرسایش خاک و تولید رسوب

اطلاعات مربوط به تغییرات مساحت کلاس‌های فرسایش خاک در ارتباط با تغییرات کاربری اراضی برای سال‌های ۲۰۰۲ و ۲۰۱۹ در جداول (۸ و ۹) آورده شده است. با توجه به مساحت طبقات کاربری اراضی دارای کلاس فرسایشی ۰-۰/۵، ۰/۵-۱ و ۱-۲ در سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۹ مشاهده می‌شود که مساحت این طبقات به ترتیب کاهش ۴/۴۲، ۱۷/۳۱ و ۳/۹۲ درصدی را نشان می‌دهد. با در نظر گرفتن حد مجاز فرسایش خاک منطقه مورد مطالعه که یک تن در هکتار در سال می‌باشد، جداول (۷ و ۸) برای کلاس‌های فرسایشی بیش از یک تن در هکتار در سال تشریح می‌گردد.

مطالعه بین ۰/۱۸ تا ۰/۶۳ و رسوب کل بین ۸۱۰۵۰ تا ۳۱۳۲۵۰ برآورد گردید (جدول ۷).

جدول ۷- روش‌های نسبت تحویل رسوب و بار رسوب حوضه رامهرمز (مأخذ:

نگارندگان، ۱۳۹۹)

روش‌های نسبت تحویل رسوب	میزان نسبت تحویل رسوب	بار رسوب (تن در هکتار در سال)	رسوب کل (تن در سال)
USDA	۰/۲۸	۰/۶۳	۳۱۳۲۵۰
وانونی	۰/۲۰	۰/۴۸	۲۳۲۲۴۰
بویس	۰/۰۷	۰/۱۸	۸۱۰۵۰

رسوب کل به دست آمده با استفاده از مدل EPM با مساحت ۲۴۹/۵ کیلومتر مربع در حوضه آبخیز مورد مطالعه ۱۳۳۰۱۶/۱ تن در سال است. این رقم در واحد سطح تقریباً ۵۳۳ تن در کیلومتر مربع در سال می‌باشد (روستایی و همکاران، ۱۳۸۹). از آنجایی که مقدار رسوب کل به دست آمده با استفاده

جدول ۸- مقدار مساحت هر کاربری در طبقات فرسایشی برای سال ۲۰۰۲

کلاس فرسایش (تن در هکتار در سال)	کاربری اراضی سال ۲۰۰۲ (هکتار)					
	پهنه‌های آب	مسکونی	اراضی بایر	مراتع	زراعت دیم	زراعت آبی و باغات
۰-۰/۵	۶۱۶/۱۵	۳۹۰۸/۱۵	۹۷۷۰/۳۹	۲۹۵۷/۵۲	۱۵۶۳۲/۶۳	۳۲۰۳/۹۸
۰/۵-۱	۱۴۰۸/۳۴	۲۲۱۸/۱۴	۵۵۴۵/۳۶	۶۷۶۰/۱۰۵	۸۸۷۲/۵۷	۷۳۲۳/۳۹
۱/۱-۲	۱۶۷۲/۴۱	۲۰۰۶/۸۹	۵۰۱۷/۲۳	۸۰۲۷/۵۶	۸۰۲۷/۵۶	۸۶۹۶/۵۳
۲/۱-۵	۱۸۴۸/۴۵	۱۶۹۰/۰۱	۴۲۲۵/۰۳	۸۸۷۲/۵۷	۶۷۶۰/۱۰۵	۹۶۱۱/۹۵
بیشتر از ۵	۳۲۵۶/۸۰	۷۳۹/۳۸	۱۸۴۸/۴۵	۱۵۶۳۲/۶۳	۲۹۵۷/۵۲	۱۶۹۳۵/۳۴

جدول ۹- مقدار مساحت هر کاربری در طبقات فرسایشی برای سال ۲۰۱۹

کلاس فرسایش (تن در هکتار در سال)	کاربری اراضی سال ۲۰۱۹ (هکتار)					
	پهنه‌های آب	مسکونی	اراضی بایر	مراتع	زراعت دیم	زراعت آبی و باغات
۰-۰/۵	۴۹۲/۹۲	۵۲۱۰/۸۷	۱۲۳۷۵/۸۳	۲۰۹۴/۹۱	۱۷۵۸۶/۷۰	۳۰۸۰/۷۵
۰/۵-۱	۱۱۲۶/۶۸	۲۹۵۷/۵۲	۷۰۲۴/۱۲	۴۷۸۸/۳۷	۹۹۸۱/۶۴	۷۰۴۱/۷۲
۱/۱-۲	۱۳۳۷/۹۳	۲۶۷۵/۸۵	۶۳۵۵/۱۵	۵۶۸۶/۱۹	۹۰۳۱/۰۱	۸۳۶۲/۰۵
۲/۱-۵	۱۳۷۸/۷۶	۲۲۵۳/۳۵	۵۳۵۱/۷۱	۶۲۸۸/۷۴	۷۶۰۵/۰۶	۹۲۴۲/۲۶
بیشتر از ۵	۲۶۰۵/۴۴	۹۸۵/۸۴	۲۳۴۱/۳۷	۱۱۰۷۳/۱۱	۳۳۲۷/۲۱	۱۶۲۸۳/۹۸

۸۸۷۲/۵۷، ۶۷۶۰/۰۵ و ۹۶۱۱/۹۵ هکتار به ۱۳۷۸/۷۶، ۲۲۵۳/۳۵، ۵۳۵۱/۷۱، ۶۲۸۸/۷۴، ۷۶۰۵/۰۶ و ۹۲۴۲/۲۶ هکتار در سال ۲۰۱۹ تغییر پیدا کرده است. مساحت مناطق مسکونی، اراضی بایر و زراعت دیم دارای کلاس فرسایشی بیش از ۵ تن در هکتار در سال به ترتیب از ۷۳۹/۳۸، ۱۸۴۸/۴۵ و ۲۹۵۷/۵۲ هکتار در سال ۲۰۰۲ به ۹۸۵/۸۴، ۲۳۴۱/۳۷ و ۳۳۲۷/۲۱ هکتار در سال ۲۰۱۹ افزایش پیدا کرده است. همچنین طبقات پهنه‌های آب، مراتع و زراعت آبی دارای کلاس فرسایشی بیش از ۵ تن در هکتار در سال به ترتیب از ۳۲۵۶/۸۰، ۱۵۶۳۲/۶۳ و ۱۶۹۳۵/۳۴ هکتار در سال ۲۰۰۲ به ۲۶۰۵/۴۴، ۱۱۰۷۳/۱۱ و ۱۶۲۸۳/۹۸

براساس نتایج به دست آمده در سال ۲۰۰۲ مساحت طبقات پهنه‌های آب، مسکونی، اراضی بایر، مراتع، زراعت دیم و زراعت آبی دارای کلاس فرسایشی ۱-۲ تن در هکتار در سال به ترتیب دارای مساحت ۱۶۷۲/۴۱، ۲۰۰۶/۸۹، ۵۰۱۷/۲۳، ۸۰۲۷/۵۶، ۸۰۲۷/۵۶ و ۸۶۹۶/۵۳ هکتار بوده‌اند که به ۸۳۳۷/۹۳، ۲۶۷۵/۸۵، ۶۳۵۵/۱۵، ۵۶۸۶/۱۹، ۹۰۳۱/۰۱ و ۸۳۶۲/۰۵ هکتار در سال ۲۰۱۹ تغییر یافته است. همچنین در سال ۲۰۰۲ مساحت طبقات پهنه‌های آب، مسکونی، اراضی بایر، مراتع، زراعت دیم و زراعت آبی دارای کلاس فرسایشی ۵-۲/۱ تن در هکتار در سال به ترتیب از ۱۸۴۸/۴۵، ۱۶۹۰/۰۱، ۴۲۲۵/۰۳،

هکتار در سال ۲۰۱۹ کاهش پیدا کرده است.

نتایج حاصل از این پژوهش نشان می‌دهد که بیشترین مساحت حوزه در خطر فرسایش کم قرار دارد؛ اما حدود ۵/۲۲ درصد از مساحت منطقه در خطر فرسایش بسیار کم واقع شده است؛ که این مسئله را باید مدیریت کرد. عامل فرساینده باران در بخش‌های غربی حوزه به دلیل نزدیک بودن به آبراهه‌ها و تشکیل رسوب‌های آبرفتی بیشتر در معرض فرسایش خاک قرار می‌گیرد. بر پایه اطلاعات زمین‌شناسی منطقه نهشته‌های آبرفتی در این محدوده به شدت وجود دارد. این تشکیلات رسوب‌های آبرفتی بستر و تراس‌های حاشیه رودخانه مخروط افکنه‌ها، نهشته‌های آبرفتی جوان و قدیم و انواع رسوب‌های پهنه دشت شامل رس، سیلت، پهنه‌های گلی و نمکی و حتی رسوب‌های که تا حدی توسط عامل باد نیز جابه‌جا شده‌اند در این دسته جای داده شده‌اند. در این نهشته‌ها با کاهش اندازه دانه‌ها میزان نفوذپذیری مؤثر کاهش و بر میزان حساسیت به فرسایش افزوده می‌شود. در قسمت بالادست حوزه به توجه به افزایش ارتفاع و تراکم توپوگرافی که دارا است عامل طول و درجه شیب در بین عوامل مدل RUSLE بیشترین تأثیر را در میزان فرسایش خاک دارد. بخشی از سطوح منطقه که دارای شیب تند می‌باشند و غالباً دارای خاک کم‌عمق و پوشش گیاهی ضعیف هستند و همچنین بخش‌هایی که دارای سازندهای بسیار حساس به فرسایش می‌باشند و درصد تاج پوشش ضعیف دارند در مجموع به عنوان مناطق با حساسیت بسیار بالا محسوب می‌شوند. فرسایش آبراهه-ای در حوزه رامهرمز به شدت و گستردگی فرسایش سطحی و شیاری نیست. وجود مناطق پرشیب با خاک کم‌عمق در نیمه فوقانی حوزه باعث کاهش شدت فرسایش آبراهه‌ای در آن شده است. در این مناطق وجود بیرون‌زدگی‌های سنگی در بستر آبراهه‌ها باعث تثبیت نسبی آنها شده است و غالباً آبراهه‌های اصلی که در مناطق کم شیب و خاک‌های نسبتاً عمیق جریان دارند در بخش‌هایی از طول مسیر خود از نظر فرسایشی فعال هستند. همچنین با توجه به میزان رسوب به دست آمده برای کل حوزه این نتیجه حاصل می‌شود که فرسایش‌پذیری منطقه به دلیل حساسیت زیاد سازندهای تشکیل دهنده آن به فرسایش، پوشش-گیاهی ضعیف و تخریب شده، شیب زیاد به ویژه در مناطق شمالی و شمال شرقی حوزه، توسعه اشکال فرسایشی از جمله فرسایش سطحی، شیاری، خندقی و آبراهه‌ای و در بعضی مناطق هم عدم تناسب بین توان منطقه و کاربری فعلی آن زیاد می‌باشد.

نتیجه‌گیری

فرسایش خاک، یک مشکل جهانی است که به طور جدی منابع

آب و خاک را تهدید می‌کند و تغییرات کاربری اراضی یکی از عامل‌های مهم در فرسایش خاک می‌باشد. استفاده از تکنیک پردازش شیء‌گرا در این پژوهش نشان دهنده کارایی بالای تکنیک به کار رفته در زمینه مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی می‌باشد که این موضوع با نتایج مطالعه Asghari saraskanroud *et al.* (2019) تطابق دارد. در مرحله سیگمنت‌سازی تصاویر ماهواره‌ای، وزن‌های در نظر گرفته شده برای پارامترهای مقیاس، شکل، فشردگی و باندهای تصویری، به شکل کاملاً محسوسی در وضوح و کیفیت تصویر تأثیر گذاشته و از این یافته می‌توان به توجیه افزایش کیفیت سیگمنت‌سازی به خوبی استفاده کرد. همچنین، استفاده از شاخص NDVI در مراحل سیگمنت‌سازی و طبقه‌بندی تصاویر، موجب افزایش صحت نقشه‌های کاربری اراضی به دست آمده گردید. براساس نتایج به دست آمده از پژوهش حاضر، در محدوده زمانی بین سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۹ مساحت پوشش گیاهی مرتعی، زراعت آبی و پهنه‌های آب کاهش یافته و به مساحت مناطق مسکونی، اراضی زراعی دیم و مناطق بایر افزوده شده است. نتیجه تغییر این مساحت‌ها، کاهش پوشش طبیعی خاک و افزایش درصد فرسایش در منطقه گردیده است. این موضوع با نتایج مطالعه Martínez-Murillo *et al.* (2011) که افزایش کشت دیم و تبدیل پوشش گیاهی به مناطق مسکونی را عامل فرسایش معرفی کرده‌اند، و مطالعه Feizizadeh. (2017) که تبدیل اراضی مرتعی پرتراکم به مراتع کم تراکم و زراعت دیم را مهمترین عامل در فرسایش منطقه بیان نموده است، تطابق دارد. هرچه تراکم پوشش گیاهی بیشتر و شامل گیاهان با ریشه بلند و چندساله باشد، به عنوان یک عامل کاهش دهنده سرعت فرسایش عمل می‌کند. در طول دوره زمانی مورد مطالعه چرای مفرط و بی‌رویه دام به شدت از مقاومت خاک در برابر فرسایش کاسته و موجب افزایش سطوح بایر در منطقه شده است. از طرفی کاهش مساحت پهنه‌های آبی، نقش مستقیمی بر تخریب پوشش گیاهی و کاهش سطح آن داشته است. عوامل انسانی مانند رشد ساخت-وسازها، موجب فشردگی و متراکم شدن خاک شده و فعالیت بیولوژیک خاک را در شهرها و حاشیه آن‌ها مختل کرده است. همچنین در دوره زمانی مورد مطالعه تبدیل اراضی مرتعی به کشاورزی، فعالیت کشاورزی در اراضی شیب‌دار و شخم در جهت شیب موجب افزایش هدررفت خاک گردیده است که این موضوع با نتایج مطالعه Nalina *et al.* (2014) همخوانی دارد. بدین دلیل که جمعیت شهرها در حال افزایش است، توسعه فعالیت‌های کشاورزی برای رفع نیازهای مردم نیز ضروری می‌باشد. با توجه به اینکه رکن اساسی کشاورزی در اراضی زراعی، وجود خاک و آب مناسب است، معمولاً اراضی مرتعی، قابل دسترس‌ترین اراضی

مقایسه رسوب کل برآورد شده در روش USDA با مقدار به دست آمده از روش EPM برگرفته از پژوهش روستایی و همکاران (۱۳۸۹)، قابلیت تلفیق مدل RUSLE و GIS را جهت برآورد میزان فرسایش خاک و بار رسوب را نشان می‌دهد. نتایج این پژوهش قابلیت بالای سیستم اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور را برای ایجاد داده‌های مورد نیاز جهت ایجاد فاکتورهای مدل RUSLE نشان داد که نتیجه آن به دست آمدن اطلاعات خروجی با کیفیت و قابلیت بروزرسانی بالا بود. به نظر می‌رسد لازم است تا جهت حفظ عرصه‌های طبیعی، تثبیت و قانونی کردن کاربری اراضی، کنترل فرسایش و اقداماتی برای حفاظت خاک و آب در مناطق با پتانسیل فرسایشی بالا، در چارچوب طرح‌های حفاظتی در دستور کار متخصصین و مدیران اراضی قرار گیرد. از طرف دیگر نهادهای مدنی و سازمان‌های دولتی و غیردولتی در منطقه می‌توانند در امر نظارت بر تغییرات کاربری اراضی، اعمال مدیریت نمایند.

"هیچ‌گونه تعارض منافع بین نویسندگان وجود ندارد"

REFERENCES

- Anderson, G.L., Hanson, J.D., and Hass R.H. (1993). Evaluating landsat thematic mapper derived vegetation indices for estimating above-ground biomass on semiarid rangelands. *Remote Sensing of the Environment*. 45(2): 165-175.
- Asghari saraskanroud, s., Aghayary, L., and Pirouzi, E. (2018). Study of land use change and its effect on erosion in Nir city using GIS and RS (Case study: Nir county). *RS and GIS for Natural Resources*. 8(4): 49-62. (In Farsi).
- Ayoubi, Sh., Khormali, F., and Shataee, Sh. (2008). Optimal resolution investigation of digital elevation models by geostatistical technique to compute topographic factor (LS) for RUSLE equation in Talesholia district, Golestan province. *Journal of Research and construction in natural resources*. 20(77): 122-129. (In Farsi).
- Azarakshhi, M., Mosaedi, A., Bashiri, M., and Ojaghlo Shahabi, R. (2017). The Effects of precipitation and land use changes on sediment yield (Case study: Senobar watershed- Torbat Heydarieh). *Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering*. 11(37): 25-33. (In Farsi).
- Brink, A.B., Bodart, C., Brodsky, L., Defourney, P., Ernst, C., Donney, F., Lupi, A., and Tuckova, K. (2013). Anthropogenic Pressure in East Africa-Monitoring 20 Years of Land Cover Changes by Means of Medium Resolution Satellite Data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*. 28(1): 60-69.
- Brown, L.C., and Foster, G.R. (1987). Storm erosivity using idealized intensity distributions. *Transactions of the ASAE*. 30(2): 379-0386.
- Chaafjiri, F.S., Karimzadegan, H., Hashemi, S.A., and Abed, M.H. (2013). Study of Land Use Changes in AmirKelayeh Wetland using Remote Sensing Techniques (From 1981 to 2011), *Bull. Env, Pharmacol, Life Sci*. 2(9): 91-96.
- Da Silva, V.P.R., Silva M.T., and De Souza, E.P. (2016). Influence of land use change on sediment yield: A case study of the submiddle of the Sao Francisco River Basin. *Soil and Water Engineering*. 36 (6): 1005-1015.
- Esfandiari, M., Moeini, A., and Moqadasi, R. (2014). Effect of land use and vegetation on erosion forms and sediment production (Case Study: Watershed Vers Qazvin province). *Journal of Territory (sarzamin)*. 11(42): 51-62. (In Farsi).
- Esmailpour, F., Saraei, M.H., Rezaei, M.R., and Esmailpour, N. (2019). Prediction of Land Use Change and Determination of Urban Growth Patterns Using Markov Chain Model and Multi-Chip Satellite Images: A Case Study of Arak City. *Journal of Geographical Exploration of Desert Areas*. 7(1): 113-147. (In Farsi).
- Feizizadeh, B. (2017). Modeling the Trends of the Land Use/Cover Change and Its Impacts on the Erosion System of the Allavian Dam Based on the Remote Sensing and GIS Techniques. *Journal of Hydrogeomorphology*. 3(11): 21-38. (In Farsi).
- Foster, G., and Wischmeier, W. (1974). Evaluating irregular slopes for soil loss prediction, *Transactions of the ASAE*. 17(2): 305-0309
- Gross, J., Nemani, R., Turner, W., and Melton, F. (2006). Remote sensing for the national parks. *Park Science*. 24(1): 30-36.
- Haregeweyn, N., Tsunekawa, A., Nyssen, J., Poesen, J., Tsubo, M., Tsegaye Meshesha, D., Schütt, B., Adgo, E., and Tegegne, F. (2015). Soil erosion and

برای تبدیل شدن به اراضی زراعی هستند. لذا در سطح حوضه مطالعاتی نیز کاربری مراتع در طی سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۹ به میزان ۱۲۳۲۳/۰۲ هکتار کاهش یافته و به زمین زراعی تبدیل شده است. باید توجه داشت که تغییر کاربری اراضی مرتعی در زمین‌های کشاورزی به ویژه در مناطق پرشیب، علاوه بر فرسایش خاک به جاری شدن سیل نیز منجر خواهد شد و کیفیت خاک را نیز تحت تأثیر قرار خواهد داد. با توجه به نقشه‌های پهنه‌بندی فرسایش در منطقه مورد مطالعه در سال ۲۰۰۲ و ۲۰۱۹، به طور عمده مناطق با بیشترین خطر فرسایش در کاربری زراعت آبی و مناطق با کمترین خطر فرسایش در پهنه‌های آبی قرار گرفته‌اند. همچنین براساس نقشه‌های فرسایش به دست آمده، مناطق با خطر فرسایش بالاتر عمدتاً در بخش‌های ناهموار منطقه قرار گرفته‌اند. یکی از عواملی که باعث افزایش تولید رسوب می‌شود، نحوه استفاده از اراضی است. نتایج محاسبات روش‌های نسبت تحویل رسوب نشان می‌دهد میزان نسبت تحویل رسوب بین ۰/۰۷ تا ۰/۲۸ و حداکثر بار رسوب بین ۰/۱۸ تا ۰/۶۳ متغیر است.

- conservation in Ethiopia: A review. *Progress in Physical Geography*. 39(6): 750-774
- Kazeminia, A. (2018). Application of Remote Sensing and GIS in the Investigating Vegetation Coverage. *Journal of Surveying Engineering and Spatial Information*. 9(1): 75-85. (In Farsi).
- Khezri, M., and Solaiman, K. (2017). Application of satellite images to prepare land use map of Ghezel Ozan watershed using fusion technique and object-oriented processing. *Journal of Application of GIS and Remote Sensing in Planning*. 8(3): 13-21. (In Farsi).
- Lillesand, T., Kiefer, R.W., and Chipman, J. (2015). Remote Sensing and Image Interpretation. John Wiley and Sons, 736 p.
- Jae Kyoung, L., Sagong, M., Engel, B., Tang, Z., Choi, J., and Kim, K. S. (2005). GIS-based Sedimen Assessment Tool. Sciencedirect. *Catena*. 64: 61-80.
- Lu, D., Li, G., Moran, E., Freitas, C., Dutra, L., and Sant'Anna, S. (2012). A Comparison of Maximum Likelihood Classifier and Object-Based Method Based on Multiple Sensor Datasets for Landuse/Cover Classification in the Brazilian Amazon. *Proceedings of 4th Geographic Object-Based Image Analysis (GEOBIA)*, Rio de Janeiro. Brazil: 7-9.
- Mohammadi, M., Fallah, M., Kavian, A., Gholami, L., and Omidvar, E. (2017). The Application of RUSLE Model in Spatial Distribution Determination of Soil loss Hazard. *Journal of Echo Hydrology*. 3(4): 645-658. (In Farsi).
- Mohammadi, S., Karimzadeh, H.R., and Habashi, K. (2018). Assessment Soil Erosion and Deposition in the Menderjan Watershed Using USPED and RUSLE Models in the Environment of Geographical Information System (GIS). *Desert Ecosystem Engineering Journal*. 6(17): 43-56. (In Farsi).
- Mohammadnejad, V., Asghari, S., and emam, H. (2019). Investigation Land use change with Use of a Pixel-based method and Object-Oriented Method and Analysis of the Effect of Land Use Change on Soil Erosion (case Study of Maragheh County). *Quantitative Geomorphological research*. 8(1): 160-178. (In Farsi).
- Moore, I.D., and 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.
- Mousavi, H., Ranjbar, A., and Haseli, M. (2016). Monitoring and Trending of LandUse Changes in Abarkooh Basin using Satellite Images (1976-2014). *Journal of Geographical Data (SEPEHR)*. 25(97): 129-146. (In Farsi).
- Nalina, P., Meenambal, T., Sathyanarayan, S.R. (2014). Land use land cover dynamics of nilgiris district, India inferred from satelliti imageries *American Journal of Applied Sciences*. 3(11): 455-461.
- Martínez-Murillo, M.J.F., Lopez Vicente MPoesen, J., and 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(1): 99-104
- Niknahad Gharmakher, H., and Maramaei, M. (2012). Effects of land use changes on soil properties (Case Study: the Kechik catchment). *Journal of Soil Management and Sustainable*. 1(2): 81-96. (In Farsi).
- Pradhan, B., Chaudhari, A., Adinarayana, J., and Buchroithner, M.F. (2012). Soil erosion assessment and its correlation with landslide events using remote sensing data and GIS: a case study at Penang Island, Malaysia. *Environmental monitoring and assessment*. 184(2): 715-727.
- Roostaei, S., Mokhtari, D., Valizadeh Kamran, K., and Khodaei Geshlag, L. (2019). Comparison of Pixel-based Algorithm (maximum likelihood) and Object-based Method (Support Vector Machine) in Classification of Land Use (Ahar-Varzeghan Area). *Quantitative Geomorphological research*. 8(1): 118-129. (In Farsi).
- Salmani, S., Ebrahimi, H., Mohammadzade, K., and Valizadeh Kamran, K. (2019). Evaluating efficiency of object-based classification techniques used to extract land use from IKONOS satellite imageries. *Journal of Geographical Data (SEPEHR)*. 28(111): 205-215. (In Farsi).
- Santos, J.C.N., Andrade, E.M., Medeiros, P.H.A., and Joao, M. (2017). Land use impact on soil erosion at different scales in the Brazilian semi-arid. *Revista Ciencia Agronomica*. 48(2): 251-260
- Singh, S., Bhardwaj, A., and Verma, V. (2020). Remote sensing and GIS based analysis of temporal land use/land cover and water quality changes in Harike wetland ecosystem, Punjab, India. *Journal of Environmental Management*. 262: 11035
- Sharma, A., Tiwari, K.N., Bhadoria, P. (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.
- Soffianian, A.R., and Khodakarami, L. (2011). Land Use Mapping Using Fuzzy Classification: Case Study in Three Catchment Areas in Hamedan Province. *Journal of Town and Country Planning*. 3(4): 95-114. (In Farsi).
- Taherparvar, M., Pirmoradian, N., and Vazifedoust, M. (2017). Comparison of gap filling methods in Landsat 7 ETM+ images to estimate crop coefficient. *Iranian journal of soil and water research*. 47(4): 665-676. (In Farsi).
- Vali, A.A., Mousavi, H., and Abbasi, H. (2019). Analysis and evaluation of landuse changes trend in Mobarakeh in order to achieve the sustainable development. *Journal of Urban Social Geography*. 6(2): 73-86. (In Farsi).
- Van der Knijff, J.M., Jones, R.J.A., and Montanarella, L. (2000). Soil Erosion Risk Assessment in Europe. European Soil Bureau.
- Wischmeier, W.H., and Smith, D.D. (1978). Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation

- planning. Department of Agriculture. Science and Education Administration. No. 537.
- Yarahmadi, J., Rostamizad, Gh. and Saei, H. (2020). Detection of changes in forest cover by object-oriented method using satellite images in IlgenehChay watershed of Arasbaran forest. *Protection and exploitation of Hyrcanian forests*. 1(2): 59-70. (In Farsi).
- Zewdu, S., Suryabhagavan, K., and Balakrishnan, M. (2016). Land-use/land-cover dynamics in Sego Irrigation Farm, southern Ethiopia: A comparison of temporal soil salinization using geospatial tools. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*. 15(1): 91-97.