



# Journal of Environmental Studies

Vol. 47, No. 1, Spring 2021

Journal Homepage: [www.Jes.ut.ac.ir](http://www.Jes.ut.ac.ir)

Print ISSN: 1025-8620 Online ISSN 2345-6922

## Investigation of Land-Use Changes and their Impacts on Soil Erosion in Baghmalek Basin using Artificial Neural Network and RUSLE Model

**Document Type**  
Research Paper

Mohammad Abiyat<sup>1</sup>, Mostefa Abiyat<sup>2\*</sup>, Morteza Abiyat<sup>2</sup>

**Received**  
February 16, 2021

1 Department of Natural Resources and Environment, Islamic Azad University, Science and Research Branch of Tehran (Khuzestan), Ahvaz, Iran

**Accepted**  
May 20, 2021

2 Department of Geography and Rural Planning, Faculty of Geographical Sciences and Planning, Isfahan University, Isfahan, Iran

DOI: [10.22059/JES.2021.324250.1008180](https://doi.org/10.22059/JES.2021.324250.1008180)

### Abstract

Increasing human exploitation and mismanagement of the natural environment has a great impact on intensifying soil erosion. The purpose of this study is to investigate land-use changes and their impacts on soil erosion and sediment production in Baghmalek basin. First, satellite images with the artificial neural network were classified and user changes in the years 2019-2002 were studied. Then soil erosion was calculated by the RUSLE model and sediment load was estimated. The results showed that residential areas, barren lands, and rainfed agriculture increased by 1722.69, 3445.39, and 2584.04 hectares, respectively, and increased water area, rangelands, and irrigated agriculture by 861.34, 6029.2, and 861.35 hectares, respectively. Have reduced area. Considering the average level of soil erosion of about 15 tons/ha/year, it was observed that in 2002 about 19.69 percent and in 2019 about 45.36 percent of the area erosion was more than acceptable. Also, the sediment delivery ratio was 0.12 to 0.23 and the maximum sediment load was 0.29 to 0.58 and the total sediment was 81051 to 313248. Based on the results, in the study period, the area of land-use classes with low erosion classes has been reduced and the area of high erosion classes has been increased, mainly to the erosion class of more than 20 tons/ha/year. Also, according to the erosion zoning maps in 2002 and 2019, the areas with the highest risk of erosion are mainly located in rangeland lands and rainfed agriculture.

**Keywords:** Land-Use, Soil Erosion, Artificial Neural Network, RUSLE, Baghmalek.

---

\* Corresponding Author:

Email: [mostefa.abiyat@gmail.com](mailto:mostefa.abiyat@gmail.com)

## Introduction

Soil erosion is a natural process that causes the level of soil loss by various environmental factors such as climate, soil, topography, and vegetation. However, human intervention can accelerate this process through land-use change and agricultural and construction activities. Therefore, today, soil erosion due to land-use change has become the most important issue of land degradation around the world, which results in landform change and disruption of the main functions of the ecosystem. These geomorphic reactions exacerbate soil erosion and increase the number of vulnerable areas. Recent studies have shown that the landscape characteristics of watersheds can explain about 65 to 74% of land-use changes in soil erosion and sediment yields; Because land-use reflects the interactions between humans and the environment and also describes the diverse human exploitation of space. The use of remote sensing data and GIS can provide a good understanding of how land-use changes and its optimal management. Also, by knowing the trend of land-use change, we can take steps towards balance and stability to prevent soil erosion and guide the ecosystem. Baghmalek Basin in Khuzestan province is one of the areas that are affected by human factors of soil erosion and factors such as land-use change, overgrazing, and interference in natural flood channels have intensified soil erosion and loss in the region. Degradation of rangeland lands and also lack of proper tillage operations on rainfed arable lands have been effective factors in erosion and sediment production in the region. In sloping areas, erosion has been rapid and accelerated, and erosion has filled irrigation canals. Also, due to the use of traditional methods in agriculture, the water stays on the soil for a long time and causes soil erosion and leaching downstream. In many parts of the basin, the land was not suitable for rainfed cultivation, but this type of cultivation was done in these areas and this action has caused the destruction and loss of soil in the basin. Therefore, according to the mentioned cases and also the importance of studying land-use change and their role in soil erosion over time and also emphasizing the efficiency and accuracy of the results of using remote sensing data and GIS, land-use changes in the basin Baghmalek and their role in soil erosion and sediment production (2019-2002) were studied.

## Materials and Methods

In this study, an artificial neural network method was used to classify images and prepare land-use maps. Multilayer perceptron was used to classify the neural network. RUSLE model was used to estimate the average annual soil erosion. To extract the final soil erosion map, first, all the factors of the RUSLE model including R, K, L, S, C, and P were converted into GRID format maps and 30-meter scale, and then by multiplying all these layers, the amount of erosion The soil was calculated at the pixel level and the final map of soil erosion in the study basin was obtained. In fact, during this process, the information in the layer-specific pixels identified based on the RUSLE model relationships was combined in the GIS software environment by the Raster Calculator tool. In order to explain the possibility of sedimentation of eroded material and its movement in the canal network and finally, in the outlets of the basin, the values of the SDR sediment delivery ratio of the study area are calculated. To evaluate the effect of land-use change on soil erosion, the land-use map was compared with the soil erosion map of the same year and for each cover layer, the amount of erosion and the area of erosion floor was determined, which is given in the results section.

## Discussion of Results

The results of land-use change showed that residential areas, barren lands, and rainfed agriculture increased by 1722.69, 3445.39, and 2584.04 hectares, respectively, and water zones, rangelands, and irrigated agriculture by 861.341, respectively, 42/6029 and 35/861 hectares have lost their area. Taking into account all the factors, the average landing limit is about 15 tons/ha/year, which for 2002 is 19.69 percent of the area and for 2019 about 45.36 percent of the area, the amount of erosion is more than acceptable have been. In this study, the sediment delivery ratio was between 0.12 to 0.23 and the maximum sediment load in the study area was between 0.29 to 0.58 and the total sediment was between 81051 to 313248. According to the results obtained in 2002, the area of floors of water zones, residential, barren lands, pastures, rainfed agriculture, and irrigated agriculture with erosion class of 10-15 ton/ha/year with an area of 818/28, 981/93, 83/83, respectively. 2454, 74/3927, 74/3927, and 05/4255 hectares, which have been changed to 654/62, 2490/24, 31109, 46/1582, 4418/70, and 4091/39 hectares

in 2019. Also in 2002, the area of floors of water zones, residential, barren lands, pastures, rainfed agriculture, and irrigated agriculture with erosion class of 15-20 ton/ha/year from 90/41, 826/89, 2067/23, 4/341, respectively, 57/3307 and 95/4702 hectares have been changed to 533,723, 52/1086, 49/2618, 00/3075, 01/3721, and 06/4522 hectares in 2019. The area of residential areas, barren lands, and rainfed agriculture with erosion class of more than 20 ton/ha/year from 361.76, 904.41, and 1447.06 hectares in 2002 to 475.35, 1145.59, and 1627.94, respectively. Hectares in 2019 have increased. Also, the classes of water zones, pastures, and irrigated agriculture with erosion class of more than 20 ton/ha/year from 1593.49, 7664.75, and 8286.15 hectares in 2002 to 1274.79, 5417.86, and 7967.45, respectively. Hectares in 2019 have decreased. The general results show that in the study period between 2002 and 2019, the area of land-use classes with low erosion class has decreased and the area of high erosion classes has increased, mainly to the erosion class of more than 20 tons/ha/year.

### Conclusions

The results showed that the increase of residential areas, rainfed agricultural lands, and barren areas, had a significant effect on increasing soil erosion in the study basin. According to the erosion maps obtained, the areas with higher erosion risk are mainly located in the rugged parts of the region. The results of estimating the criteria studied in the RUSLE method in the study basin indicate differences in soil properties and vegetation in different parts of the basin. According to the erosion zoning maps in the study area in 2002 and 2019, mainly the areas with the highest risk of erosion are located in rangeland lands and rainfed agriculture. The results of comparing the USDA, Vanoni, and Boyce methods with the amount of sediment load observations showed that the USDA model had better results in estimating the total sediment amount due to the low error rate compared to the Vanoni and Boyce methods. Also, comparing the total sediment estimated in the USDA method with the value obtained from the EPM method, shows the ability to combine the RUSLE and GIS models to estimate the amount of soil erosion and sediment load in the area.

## بررسی تغییرات کاربری اراضی و اثر آن بر روند فرسایش خاک در حوضه باغملک با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی و مدل RUSLE

محمد عبیات<sup>۱</sup>، مصطفی عبیات<sup>۲\*</sup>، مرتضی عبیات<sup>۲</sup>

۱ گروه مهندسی منابع طبیعی و محیط‌زیست، دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران (خوزستان)، اهواز، ایران  
۲ گروه جغرافیا و برنامه ریزی روستایی، دانشکده علوم جغرافیایی و برنامه‌ریزی، دانشگاه اصفهان، اصفهان، ایران

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۰/۲/۳۰

تاریخ وصول مقاله: ۱۳۹۹/۱۱/۲۸

### چکیده

بهره‌برداری روزافزون و مدیریت نادرست انسان بر محیط طبیعی تأثیر زیادی بر تشدید فرسایش خاک دارد. هدف پژوهش، بررسی تغییرات کاربری و تأثیر آن بر فرسایش خاک و تولید رسوب در حوضه باغملک است. ابتدا تصاویر ماهواره‌ای با شبکه عصبی مصنوعی طبقه‌بندی شده و تغییرات کاربری در سال‌های ۲۰۱۹-۲۰۲۰ بررسی گردید. سپس فرسایش خاک با مدل RUSLE محاسبه شده و میزان بار رسوب برآورد گردید. نتایج نشان داد که مناطق مسکونی، اراضی بایر و زراعت دیم به ترتیب ۱۷۲۲/۶۹، ۳۴۴۵/۳۹ و ۲۵۸۴/۰۴ هکتار افزایش مساحت و پهنه‌های آبی، مراتع و زراعت آبی به ترتیب ۸۶۱/۳۴، ۶۰۲۹/۲ و ۸۶۱/۳۵ هکتار، کاهش مساحت داشته‌اند. با در نظر گرفتن حد متوسط خاکسازای حدود ۱۵ تن در هکتار در سال، ملاحظه گردید که در سال ۲۰۰۲ حدود ۱۹/۶۹ درصد و در سال ۲۰۱۹ حدود ۴۵/۳۶ درصد از مساحت منطقه مقدار فرسایش از حد قابل قبول بیشتر بوده است. همچنین، نسبت تحویل رسوب بین ۰/۱۲ تا ۰/۲۳ و حداکثر بار رسوب بین ۰/۲۹ تا ۰/۵۸ و رسوب کل بین ۸۱۰۵۱ تا ۳۱۳۲۴۸ برآورد گردید. براساس نتایج به دست آمده، در دوره مورد مطالعه از مساحت طبقات کاربری دارای کلاس فرسایشی کم کاسته شده و به مساحت کلاس‌های فرسایشی زیاد و عمدتاً به کلاس فرسایشی بیش از ۲۰ تن در هکتار در سال افزوده شده است. همچنین، با توجه به نقشه‌های پهنه‌بندی فرسایش در سال ۲۰۰۲ و ۲۰۱۹، به طور عمده مناطق با بیشترین خطر فرسایش در کاربری‌های اراضی مرتعی و زراعت دیم قرار گرفته‌اند.

### کلید واژه

کاربری اراضی، فرسایش خاک، شبکه عصبی مصنوعی، RUSLE، باغملک.

### سرآغاز

Thomas et al., 2018). با این حال، مداخلات انسانی از

طریق تغییر کاربری زمین<sup>۲</sup> و فعالیت‌های کشاورزی و ساختمانی می‌تواند این جریان را تسریع بخشد (Vanacker et al., 2019; Diwediga et al., 2018; Borrelli et al., 2017). از این جهت، امروزه فرسایش خاک ناشی از تغییر کاربری زمین به مهم‌ترین

فرسایش خاک<sup>۱</sup>، یک فرآیند طبیعی است (Lee et al., 2020; Hancock et al., 2021) که سطح از دست رفتگی خاک توسط عوامل محیطی مختلف نظیر آب‌وهوا، خاک، توپوگرافی و پوشش گیاهی را موجب می‌شود (Chen et al., 2019).

Email: mostefa.abiyat@gmail.com

\* نویسنده مسئول:

DOI: [10.22059/JES.2021.324250.1008180](https://doi.org/10.22059/JES.2021.324250.1008180)

DOR: [20.1001.1.10258620.1400.47.1.5.1](https://doi.org/20.1001.1.10258620.1400.47.1.5.1)

(۲۰۱۷) 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. Chi و همکاران (۲۰۱۹) به بررسی اثرات تغییر کاربری زمین بر فرسایش بادی خاک در کشور چین پرداختند و به این نتیجه رسیدند که میانگین فرسایش خاک از سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۵ به نصف کاهش یافته است. در این کشور بین فرسایش خاک و انواع کاربری و پوشش زمین اختلاف زیادی مشاهده شد. Singh و همکاران (۲۰۲۰) 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. Babur و همکاران (۲۰۲۱) به بررسی خصوصیات فیزیکی شیمیایی خاک تحت تأثیر کاربری زمین پرداختند و به این نتیجه رسیدند که خاک‌های مرتعی به دلیل وجود مقدار زیاد رس در مقایسه با مناطق ساحلی که فرسایش بیشتری دارند، در برابر فرسایش مقاوم هستند. در ایران، اسفندیاری و همکاران (۱۳۹۳) در مطالعه‌ای در حوضه 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. اصغری سراسکانرود و همکاران (۱۳۹۶) به بررسی روند تغییرات کاربری اراضی شهرستان نیر واقع در استان اردبیل و تأثیر آن بر فرسایش خاک (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. آذرخشی و همکاران (۱۳۹۶) در 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،

مسئله تخریب زمین در سراسر جهان تبدیل شده که دگرگونی فرم اراضی و اختلال کارکردهای اصلی اکوسیستم از پیامدهای آن است (Paul et al., 2019). این واکنش‌های ژئومورفیکی، تشدید فرسایش خاک و افزایش تعداد مناطق آسیب‌پذیر را به همراه دارد (Assis et al., 2021; Zhen et al., 2020). در مطالعات اخیر بیان شده که خصوصیات چشم‌انداز حوضه‌های آبخیز می‌تواند حدود ۶۵ تا ۷۴ درصد تغییرات کاربری را در فرسایش خاک و بازده رسوب توضیح دهد (Ouyang et al., 2018)؛ زیرا کاربری اراضی بازتاب کنش‌های میان انسان و محیط‌زیست و نیز توصیف‌کننده نحوه بهره‌برداری متنوع انسان در فضا است (Ren et al., 2019). استفاده از داده‌های سنجش از دور<sup>۳</sup> و سیستم اطلاعات جغرافیایی<sup>۴</sup> می‌تواند شناخت مناسبی نسبت به چگونگی تغییرات کاربری اراضی و مدیریت بهینه آن ارائه دهد (Zare et al., 2017). همچنین، با اطلاع از روند تغییرات کاربری زمین می‌توان در راستای جلوگیری از فرسایش خاک و هدایت اکوسیستم، به سمت تعادل و پایداری قدم برداشت (Zhang et al., 2020; Han et al., 2020).

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 و همکاران (۲۰۱۱) به مدل‌سازی 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 و همکاران (۲۰۱۴) 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 و همکاران (۲۰۱۶) به بررسی تأثیر تغییرات کاربری زمین بر عملکرد فرسایش خاک در رودخانه سانفرانسیسکو 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 و همکاران

عواملی مانند تغییرات کاربری زمین، چرای بیش از حد دام و دخالت در مجاری طبیعی سیلاب به تشدید فرسایش و هدر رفت خاک در منطقه منجر شده است. تخریب اراضی مرتعی و همچنین انجام نشدن عملیات خاک‌ورزی مناسب بر روی اراضی زراعی دیم، از عوامل مؤثر بر فرسایش و تولید رسوب در منطقه بوده است. در نواحی شیب‌دار، فرسایش سریع و با شتاب بیشتری صورت گرفته و فرسایش موجب پر شدن کانال‌های آبیاری شده است. همچنین به دلیل استفاده از روش‌های سنتی در کشاورزی، آب مدت زمان زیادی بر روی خاک باقی می‌ماند و باعث فرسایش خاک و شسته شدن آن به پایین دست می‌شود. در بسیاری از نقاط حوضه، زمین برای کشت دیم مناسب نبوده، اما این نوع کشت در این مناطق انجام شده و این عمل باعث تخریب و هدر رفت خاک در حوضه گردیده است. لذا با توجه به 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 باغملک و نقش آن در فرسایش خاک و تولید رسوب (بین سال‌های ۲۰۱۹-۲۰۰۲ میلادی)، مورد مطالعه قرار گرفت.

## مواد و روش بررسی

### منطقه مورد مطالعه

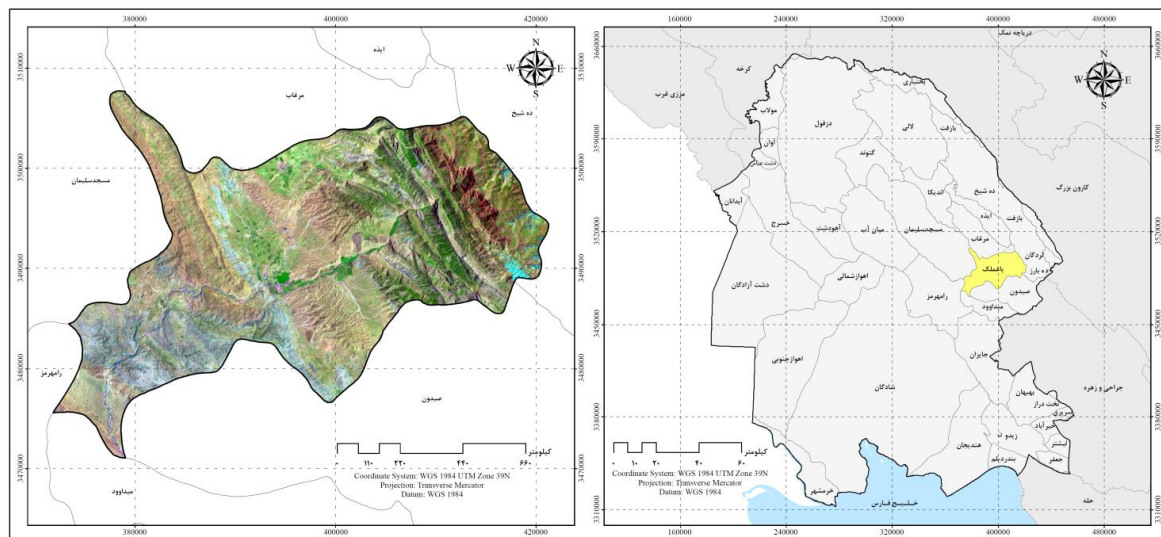
حوضه باغملک با مساحت ۸۶۱۳۴/۵۸ هکتار و موقعیت جغرافیایی ۴۹ درجه و ۳۹ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۱۰ دقیقه طول شرقی و ۳۱ درجه و ۲۲ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۴۱ دقیقه عرض شمالی، در شرق استان خوزستان قرار داشته و جزء نواحی خشک و نیمه بیابانی محسوب می‌گردد (شکل ۱). از نظر ژئومورفولوژی، نواحی شرقی و شمال شرق منطقه، کوهستانی و نسبتاً مرتفع بوده و بخش‌های غربی و جنوب غرب، هموار است. بخش وسیعی از منطقه از مارن‌های آهکی، ماسه‌سنگ‌های مارنی و آهکی، مارن‌های ژیسفر، لایه‌های انیدریتی، نمکی و طبقات کنگلومرایی با واکنش و مقاومت‌های متفاوت در برابر

در زمین تبدیل باغات به مرتع و زراعت به مرتع است که منجر به کاهش میزان فرسایش شده است. فیضی زاده (۱۳۹۶) 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. اصغری سراسکانرود و همکاران (۱۳۹۸) به بررسی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از روش‌های پیکسل‌پایه<sup>۵</sup> و شیء‌گرا<sup>۶</sup> 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. آزاد و همکاران (۱۳۹۹) به بررسی کاربری زمین و خصوصیات شیمیایی فیزیکی خاک بر سرعت آستانه فرسایش پرداختند و به این نتیجه رسیدند که بالاترین اثر خصوصیات فیزیکی متعلق به رطوبت و بیشترین اثر خصوصیات شیمیایی مربوط به ماده آلی و کربن آلی است. همچنین یافته‌ها نشان داد که بیشترین تأثیر بر سرعت آستانه مربوط به ماده آلی و کربن آلی است که این دو عامل در اثر وجود درختان و بوته‌ها به وجود می‌آید و می‌تواند تأثیر بسزایی در مقدار فرسایش خاک داشته باشد.

حوضه باغملک در استان خوزستان از جمله مناطقی است که تحت تأثیر عوامل انسانی فرسایش خاک قرار گرفته و

کشاورزی، مراتع، مناطق مسکونی و اراضی بایر، سطوح کاربری اراضی منطقه می‌باشند.

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



شکل ۱. نقشه موقعیت منطقه مورد مطالعه

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 ماهواره لندست<sup>۷</sup>، طولانی‌ترین آرشیو از تصاویر جهانی با قدرت تفکیک متوسط، کالیبراسیون بالا، داده‌های چند طیفی از منابع منحصر به فرد برای برنامه‌ریزی کاربردی در مقیاس‌های مختلف، از جمله کاربری اراضی و پوشش اراضی، شناسایی تغییرات و نظارت بر پویایی اکوسیستم را شامل می‌شوند (ظاهرپور و همکاران، ۱۳۹۵). بنابراین در این پژوهش، از تصاویر TM (۱۹۸۹)، ETM+ (۲۰۰۲) و OLI (۲۰۱۹) ماهواره لندست استفاده شد (جدول ۱). همچنین از مدل رقومی ارتفاع (DEM)<sup>۸</sup> سنجنده ASTER با توان تفکیک

جدول ۱. مشخصات تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده در پژوهش

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

صورت گرفت. برای ثبت تصاویر و انطباق آن‌ها با یکدیگر از نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ (با استفاده از خطوط شبکه آبراهه‌ها) به عنوان نقشه مبنا استفاده شد. نخست تصویر سنجنده

## پیش‌پردازش تصاویر

در این پژوهش، پیش‌پردازش تصاویر ماهواره‌ای شامل تصحیحات هندسی و رادیومتریک، در محیط نرم‌افزار ENVI

ورودی، یک یا چند لایه نهفته و یک لایه خروجی تشکیل شده است (شکل ۲) که به ترتیب اطلاعات را دریافت و پردازش می‌کند و نمایش می‌دهند (Singh et al., 1999). در این پژوهش، برای طبقه‌بندی شبکه عصبی از پرسپترون چندلایه استفاده شد. ورودی شبکه، باندهای تصاویر مورد استفاده در طبقه می‌باشد. تعداد ۴ نرون ورودی شامل ۴ باند طیفی (باندهای ۱، ۲، ۳ و مادون قرمز) در نظر گرفته شد. خروجی شبکه نیز شامل دو پارامتر کدگذاری و استخراج کلاس می‌باشد. برای کدگذاری کلاس‌های خروجی از یک گره خروجی برای هر کلاس پوشش زمین استفاده شد. نرون‌های خروجی به تعداد شش عدد به منزله تعداد کلاس‌های طبقه‌بندی در نظر گرفته شد. براساس یافته‌های قبلی شبکه‌هایی با یک لایه پنهان برای طبقه‌بندی مناسب‌تر هستند و تعداد نرون‌های پنهان با آزمون و خطا تعیین و غالباً سه برابر تعداد نرون‌های ورودی انتخاب می‌شوند (Petropoulos et al., 2011). همچنین جهت ایجاد شبکه بهینه برای طبقه‌بندی تصاویر در این مطالعه سرعت یادگیری ۰/۲ و گشتاور ۰/۵ برای شبکه در نظر گرفته شد. پس از تهیه نقشه‌های کاربری اراضی، دقت طبقه‌بندی انجام شده با استفاده از ماتریس خطا، 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 به طور گسترده در سراسر جهان برای پیش‌بینی بلندمدت فرسایش شیب‌های و بین شیب‌ها در مقیاس مزرعه تا حوضه با انواع مختلف شیوه‌های مدیریتی استفاده شده است. بسیاری از پارامترها مانند شیب، جهت، نقشه‌های پوشش و کاربری اراضی به دست آمده از مدل رقومی ارتفاع (DEM) و تصاویر ماهواره‌ای می‌تواند به راحتی با RUSLE در این پژوهش، از داده‌های بارش روزانه با مقیاس زمانی ۱۰ دقیقه‌ای ایستگاه‌های هواشناسی منطقه برای محاسبه عامل فرساینده‌گی باران به صورت ماهانه استفاده گردید. این عامل از متوسط مجموع فرساینده‌گی رخدادهای باران در هر

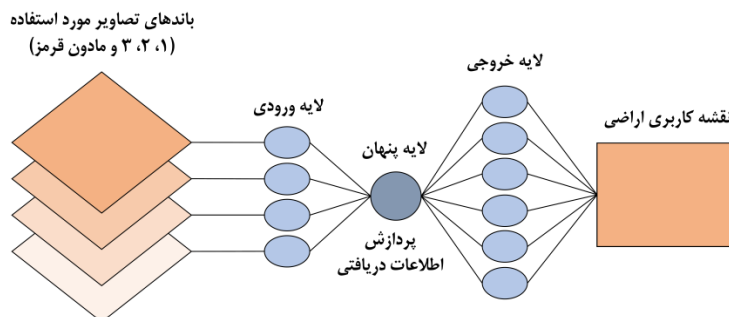
OLI با انتخاب ۱۵ نقطه مشترک با پراکنش مناسب در سیستم تصویر UTM به روش نزدیک‌ترین همسایه با RMSE برابر ۰/۳۵ مطابقت داده شد. در مرحله بعد، تصویر سنجنده ETM+ با استفاده از تصویر سنجنده OLI و با انتخاب ۲۰ نقطه کنترلی، هم مختصات شد. RMSE آن برابر ۰/۳۷ پیکسل به دست آمد. با توجه به نتایج به دست آمده، میزان خطای تصاویر ثبت شده، کمتر از ۰/۵ پیکسل می‌باشد. این میزان خطا مقدار قابل قبولی می‌باشد، اما با توجه به اینکه کم بودن خطای میانگین مربعات به تنهایی نمی‌تواند معیار مناسبی برای یافتن دقت هندسی باشد، تصاویر زمین مرجع شده با نقشه‌های توپوگرافی مقایسه شدند. برای این کار، از مطابقت عوارض مشخصی مانند رودخانه‌ها استفاده شد. خطای کم ثبت و انطباق مکانی عارضه‌های توپوگرافی با تصاویر، نشان‌دهنده دقت بالای تطابق هندسی انجام شده بود. برای تصحیح اتمسفریک از تکنیک کاهش پیکسل‌های تاریک (Dark Subtraction) در محیط نرم‌افزار ENVI 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 (سفیانیان و خداکرمی، ۱۳۹۰). در این مطالعه، از نقاطی در رودخانه‌های منطقه که دارای آب عمیق هستند، برای تصحیح اتمسفریک هر دو تصویر ماهواره‌ای و رفع خطاهای اتمسفری بر روی آن‌ها، استفاده شد.

### طبقه‌بندی شبکه عصبی مصنوعی (ANN)

در این پژوهش، جهت طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای و تهیه نقشه‌های کاربری اراضی، از روش شبکه عصبی مصنوعی<sup>۱۰</sup> استفاده شد. انواعی از روش‌های شبکه‌های عصبی مصنوعی برای طبقه‌بندی کاربری و پوشش اراضی وجود دارد (Wijaya, 2005) که از میان آن‌ها شبکه عصبی پرسپترون چندلایه‌ای، معمول‌ترین مدل مورد استفاده برای طبقه‌بندی تصویر در سنجش از دور است. یک پرسپترون چندلایه معمولاً از یک لایه



ماه برای دوره آماری ۱۳۷۴-۱۳۹۵ با استفاده از رابطه ۱ محاسبه شد (Wischmeier et al, 1978).



شکل ۲. ساختار شبکه چند لایه در پردازش تصاویر چندطیفی

۰/۰۴۰۵، ۱/۶۵۹ و ۰/۷۱۰۱ به ترتیب برای پارامترهای  $\alpha$ ،  $\beta$ ،  $\gamma$  و  $\gamma$  است که بعد از طبقه بندی خاک به طبقات بافتی با ضریب تبیین ۰/۹۸۳ ارائه شد. در این رابطه  $K_2$  عامل فرسایش پذیری خاک ( $t \text{ ha h ha}^{-1} \text{ MJ}^{-1} \text{ mm}^{-1}$ ) و  $D_g$  میانگین هندسی قطر ذرات برحسب میلی متر مستخرج از رابطه ۵،  $f_i$  اندازه ذرات به درصد و  $m_i$  میانگین حسابی ذرات بر حسب میلی متر است.

$$K_2 = \left\{ \alpha + \beta \exp \left( -\frac{1}{2} \left( \frac{\log(D_g) + \gamma}{\gamma} \right)^2 \right) \right\} \quad \text{رابطه (۴)}$$

$$D_g = \exp(0/01 \sum f_i \ln m_i) \quad \text{رابطه (۵)}$$

### فاکتور توپوگرافی (LS)

فاکتور درصد شیب، تابعی از درجه شیب و منعکس کننده اثر درجه شیب بر مقدار فرسایش است. فاکتور طول شیب نیز تابعی از طول شیب اندازه گیری شده برحسب متر است. حاصل ضرب دو فاکتور یاد شده، به عنوان فاکتور توپوگرافی (LS) شناخته می شود (ایوبی و همکاران، ۱۳۸۵). برای تهیه نقشه فاکتور توپوگرافی، از مدل رقومی ارتفاع ۳۰ متری منطقه استفاده شد (شکل ۲). فاکتور توپوگرافی نیازمند نقشه های تجمیع جریان و شیب است (Foster and Wischmeier, 1974) که این نقشه ها، از مدل رقومی ارتفاع منطقه استخراج و در نهایت با استفاده از رابطه ۶، فاکتور توپوگرافی به دست آمد (Moore and Burch, 1986).

$$R = (1/n) \times \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^{m_j} (EI30)K \quad \text{رابطه (۱)}$$

در این رابطه،  $R$  متوسط ارزش ماهیانه فرساینده برحسب MJ.mm.ha-1.h-1.month-1 برای دوره آماری،  $n$  تعداد سال های آماری،  $m_j$  تعداد حوادث فرساینده برای ماه  $z$  و  $EI30$  میزان فرساینده باران برای رخداد  $K$  می باشد. فرساینده باران برای هر رخداد بارش، براساس رابطه ۲ به دست می آید.

$$EI = EI30 = \left( \sum_{r=1}^0 er \text{ vr} \right) I30 \quad \text{رابطه (۲)}$$

در این رابطه،  $I30$  حداکثر شدت ۳۰ دقیقه ای در طول یک رخداد بارش،  $er$  انرژی جنبشی برحسب MJ ha-1 mm-1 و  $vr$  ارتفاع بارندگی برحسب میلی متر در طی دوره های تقسیم شده برای رخداد بارش می باشد. مقدار  $er$  با استفاده از رابطه ۳ برای مدل محاسبه شد (Brown and Foster, 1987).

$$er = 0.29[1 - 0.72 \exp(-0.05ir)] \quad \text{رابطه (۳)}$$

در این فرمول،  $ir$  شدت بارندگی در طی دوره های زمانی تقسیم شده برحسب mm.h-1 است.

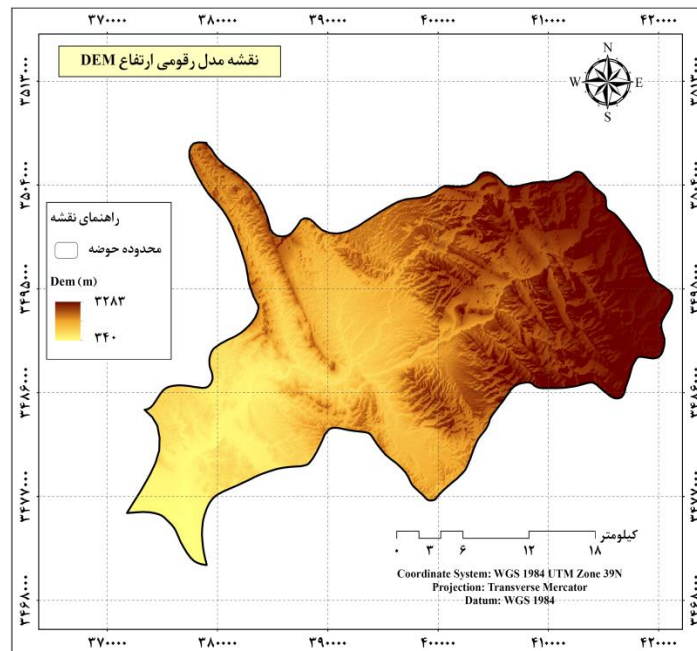
### فاکتور فرسایش پذیری خاک (K)

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 آن ها به وسیله نیروی رواناب را نشان می دهد. در این پژوهش از رابطه ۴ که توسط رامکنز و همکارانش برای محاسبه فرسایش پذیری خاک در معادله RUSLE ارائه شده، استفاده گردید (کیانی هرچگانی و همکاران، ۱۳۹۸). معادله حاصل ۲۲۵ داده جهانی خاک با مقادیر ۰/۰۰۳۴،

در پژوهش حاضر ۳۰ متر) و Slope شیب، به دست آمده از نقشه شیب می‌باشد. از عدد ۰/۰۱۷۴۵ برای تبدیل واحد به رادیان در محیط نرم‌افزار GIS استفاده می‌گردد.

رابطه (۶)  

$$[(\text{Flow Accumulation grid}) \times (\text{Cell Size} / 22.13)] 0.4 \times [\text{Sin}(\text{Slope grid} \times 0.01745) / 0.0896] 1.3 \text{ LS} =$$
 که در آن Flow Accumulation تجمع جریان به سمت بالای شیب برای هر سلول، Cell Size اندازه سلول‌های شبکه



شکل ۲. مدل رقومی ارتفاع منطقه

مقدار باند قرمز در تصاویر ماهواره‌ای است. از نظر بیوفیزیکی NDVI 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 (محمدی و همکاران، ۱۳۹۶).

### 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

### 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 است (Wischmeier and Smith, 1978). مقدار این عامل از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$C = \exp \left( -a \frac{NDVI}{\beta - NDVI} \right) \quad (\text{رابطه ۷})$$

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 سبزیگی گیاهی و فعالیت فتوسنتزی است و از پرکاربردترین شاخص‌های پوشش گیاهی است که به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$NDVI = (NIR - RED) / (NIR + RED) \quad (\text{رابطه ۸})$$

که در آن NIR مقدار باند مادون قرمز نزدیک و RED

۱۹۷۵ (رابطه ۱۱) و وانونی ۱۹۷۵ (رابطه ۱۲) استفاده شده است.

رابطه (۱۰)  $SDR = 0.5656A - 0.11$

رابطه (۱۱)  $SDR = 0.4724A - 0.125$

رابطه (۱۲)  $SDR = 0.3750A - 0.2382$

در سه معادله فوق A مساحت حوضه به کیلومتر مربع است. همچنین، برای اندازه‌گیری مقدار رسوب مشاهده‌ای از مقادیر نمونه‌برداری بار معلق نزدیک‌ترین ایستگاه هیدرومتری و رسوب‌سنجی که از نظر خصوصیات زمین‌شناسی و توپوگرافی و فیزیوگرافی شبیه به منطقه مورد مطالعه بوده، طی دوره آماری ۱۳۸۱-۱۳۹۹ واقع در خروجی حوضه با استفاده از منحنی‌های سنج (حد وسط دسته‌ها) استفاده گردید.

### اثر تغییر کاربری زمین 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

#### نتایج طبقه‌بندی 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 (شکل‌های ۳ و ۴) و مساحت هریک از کلاس‌ها برای هر سال مشخص گردید (جدول ۲). 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 صحت کلی نقشه‌های کاربری اراضی برای سال ۲۰۰۲ به ترتیب برابر ۰/۸۳ و ۰/۸۹ و برای سال ۲۰۱۹ به ترتیب برابر ۰/۹۲ و ۰/۹۵ به دست آمد. بنابراین، نقشه‌های کاربری اراضی هر دو سنجنده، از ضرایب کاپا و صحت کلی بالای ۰/۷۰ برخوردار بودند.

کرده‌اند. هرچه مقدار این عامل کمتر باشد، کارهای حفاظتی مؤثرتر و هدر رفت خاک کمتر است (محمدی و همکاران، ۱۳۹۶). 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 ۰/۱۷ و برای سایر طبقات پوشش اراضی ۱ در نظر گرفته شد.

### تهیه نقشه نهایی فرسایش خاک

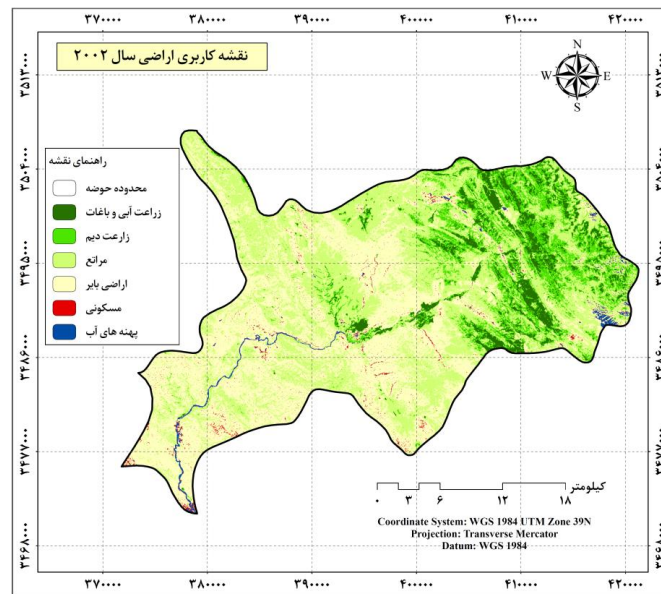
برای استخراج نقشه نهایی فرسایش خاک، نخست تمام فاکتورهای مدل RUSLE شامل R، K، L، S، C و P به صورت نقشه‌هایی با فرمت GRID و مقیاس ۳۰ متری تبدیل شد و سپس با حاصل ضرب تمام این لایه‌ها، میزان فرسایش خاک در سطح پیکسل محاسبه و نقشه نهایی فرسایش خاک در حوضه مورد مطالعه به دست آمد. در واقع طی این فرآیند، اطلاعات موجود در پیکسل‌های مختص به لایه‌ها که بر پایه روابط مدل RUSLE مشخص شده بود، در محیط نرم‌افزار GIS توسط ابزار Raster Calculator با هم تلفیق شدند. رابطه ۹، پارامترهای مدل RUSLE را نشان می‌دهد (Renard et al., 1997).

رابطه (۹)  $A = R.K.L.S.C.P$

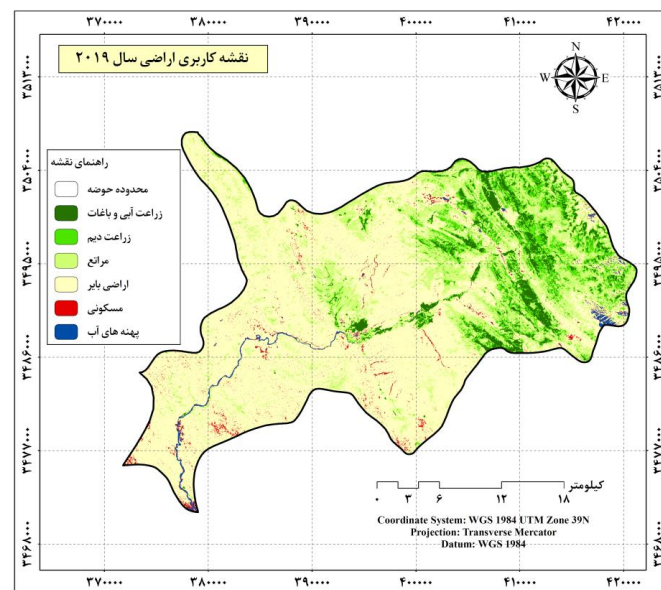
در این رابطه، A متوسط هدر رفت مکانی خاک، R عامل فرساینده‌گی باران، K فرسایش‌پذیری خاک، L طول شیب، S شدت شیب، C مدیریت پوشش گیاهی و P عامل حفاظتی است.

### بر آورد بار رسوب

نتایج پژوهش‌ها نشان داده که، کل فرسایش خاک در یک منطقه با مقدار بار رسوب در همان منطقه یکسان نمی‌باشد (آرخی و نیازی، ۱۳۸۹). به منظور تشریح امکان رسوب مواد فرسایش یافته و حرکت آن در شبکه کانال و در نهایت در خروجی‌های حوضه، مقادیر نسبت تحویل رسوب SDR منطقه مورد مطالعه محاسبه می‌گردد. در این مطالعه، از سه روش براساس مساحت USDA 1975 (رابطه ۱۰) بویس



شکل ۳. نقشه کاربری اراضی برای سال ۲۰۰۲



شکل ۴. نقشه کاربری اراضی برای سال ۲۰۱۹

جدول ۲. مساحت طبقات کاربری اراضی در هر سال و روند تغییرات آن‌ها

اختلاف مساحت (درصد)	سال ۲۰۱۹		سال ۲۰۰۲		طبقات کاربری اراضی
	درصد	هکتار	درصد	هکتار	
-۱	۴	۳۴۴۵/۳۸	۵	۴۳۰۶/۷۲	پهنه‌های آب
۲	۸	۶۸۹۰/۷۶	۶	۵۱۶۸/۰۷	مسکونی
۴	۱۹	۱۶۳۶۵/۵۷	۱۵	۱۲۹۲۰/۱۸	اراضی بایر
-۷	۱۷	۱۴۶۴۲/۸۷	۲۴	۲۰۶۷۲/۲۹	مراتع
۳	۲۷	۲۳۲۵۶/۳۳	۲۴	۲۰۶۷۲/۲۹	زراعت دیم
-۱	۲۵	۲۱۵۳۳/۶۴	۲۶	۲۲۳۹۴/۹۹	زراعت آبی و باغات
-	۱۰۰	۸۶۱۳۴/۵۸	۱۰۰	۸۶۱۳۴/۵۸	جمع

نبوده که در نتیجه باعث فرسایش، تخریب و کاهش تولید این اراضی شده است. به طور مثال، اکثر کشاورزان منطقه محصولات خود را (به ویژه گندم دیم) در شیب‌های نامناسب یعنی بالاتر از ۱۲ درصد کشت می‌کنند و عدم توجه به پتانسیل‌های موجود، موجب نابودی این اراضی شده است. فرسایش خاک در تغییر کاربری به مناطق مسکونی نرخ بالایی دارد. گسترش شهرنشینی و فعالیت‌های عمرانی از عوامل مهم پسرفت خاک‌ها بوده و با از بین بردن پوشش طبیعی خاک، سطوح غیرقابل نفوذ را افزایش می‌دهند. همچنین، با کاهش پوشش گیاهی مرتعی و در بعضی قسمت‌ها بایر ماندن زمین، خاک آن نواحی در معرض فرسایش بادی قرار می‌گیرد.

### 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 ۴ ارائه شده است. همچنین به دلیل نرمال نبودن داده‌های بارندگی، نقشه فاکتور فرساینده‌گی با روش درونیابی IDW در محیط نرم‌افزار GIS، برای دوره آماری ۱۳۷۴-۱۳۹۵ تهیه شد که در شکل ۵ (الف) آورده شده است. مطابق این شکل، مقدار فاکتور R از  $128/2$  تا  $589/9$   $MJ\ mm\ ha^{-1}\ h^{-1}\ y^{-1}$  متغیر است که نمایانگر تغییرات زیاد این فاکتور در منطقه مورد مطالعه می‌باشد.

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  $1722/69$ ،  $3445/39$  و  $2584/04$  هکتار افزایش مساحت داشته و پهنه‌های آبی، مراتع و زراعت آبی به ترتیب  $861/34$ ،  $6029/42$  و  $861/35$  هکتار از مساحت خود را از دست داده‌اند. میزان تغییرات کاهشی و افزایشی در هریک از کاربری‌ها، تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر شدت فرسایش خاک خواهد داشت. یکی از عناصر اثرگذار بر فرسایش، پهنه‌های آبی و جریان‌ات آب رودخانه‌ای است. در منطقه مورد مطالعه، روند تغییرات پهنه‌های آبی، کاهشی بوده است؛ بدان معنا که در فاصله سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۹ میلادی حدود  $861/34$  هکتار از مساحت خود را تحت تأثیر عواملی مانند خشکسالی، تراکم جمعیت و افزایش برداشت، از دست داده‌اند. در واقع رودخانه‌ها و جریان‌ات سطحی آب، ضمن حرکت باعث فرسایش بستر خود می‌شوند و دائماً آن را عمیق‌تر و وسیع‌تر می‌کنند. فرسایش خندقی، از جمله انواع فرسایش آبی و تشدید شونده است که رخداد و گسترش آن موجب تغییرات بارز در منظر زمین و پسرفت اراضی و تخریب محیط‌زیست می‌شود. نتیجه نهایی فرسایش و حمل مواد توسط رودخانه‌ها و رواناب‌های سطحی، بر جای گذاشته شدن لایه‌هایی از رسوبات است. در منطقه مورد مطالعه مشاهده عینی و رجوع به گذشته نشان می‌دهد که زراعت آبی و دیم مرسوم بوده است. اما این استفاده‌ها در اکثر نقاط براساس خصوصیات اکوسیستم و توجه به توان طبیعی و اکولوژیکی آن

جدول ۳. برآورد فرساینده‌گی باران برای ایستگاه‌های هواشناسی

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

### فاکتور فرسایش پذیری خاک (K)

بر مبنای نتایج به دست آمده مقدار شاخص فرسایش پذیری خاک در منطقه مورد مطالعه برای سال ۲۰۰۲ بین ۰ تا ۰/۲۳ و برای سال ۲۰۱۹ نیز بین ۰ تا ۰/۳۵  $\text{MJ-1 mm-1 MG ha h ha-1}$  متغیر می‌باشد. در شکل ۵ (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 براساس رابطه ۶ با در نظر گرفتن کنش متقابل بین توپوگرافی و تجمع جریان آب برای منطقه مورد مطالعه محاسبه شد که در شکل ۵ (ت) آورده شده است. براساس این شکل مقدار فاکتور LS در منطقه مورد مطالعه بین ۰ تا ۴۶۲ متغیر می‌باشد.

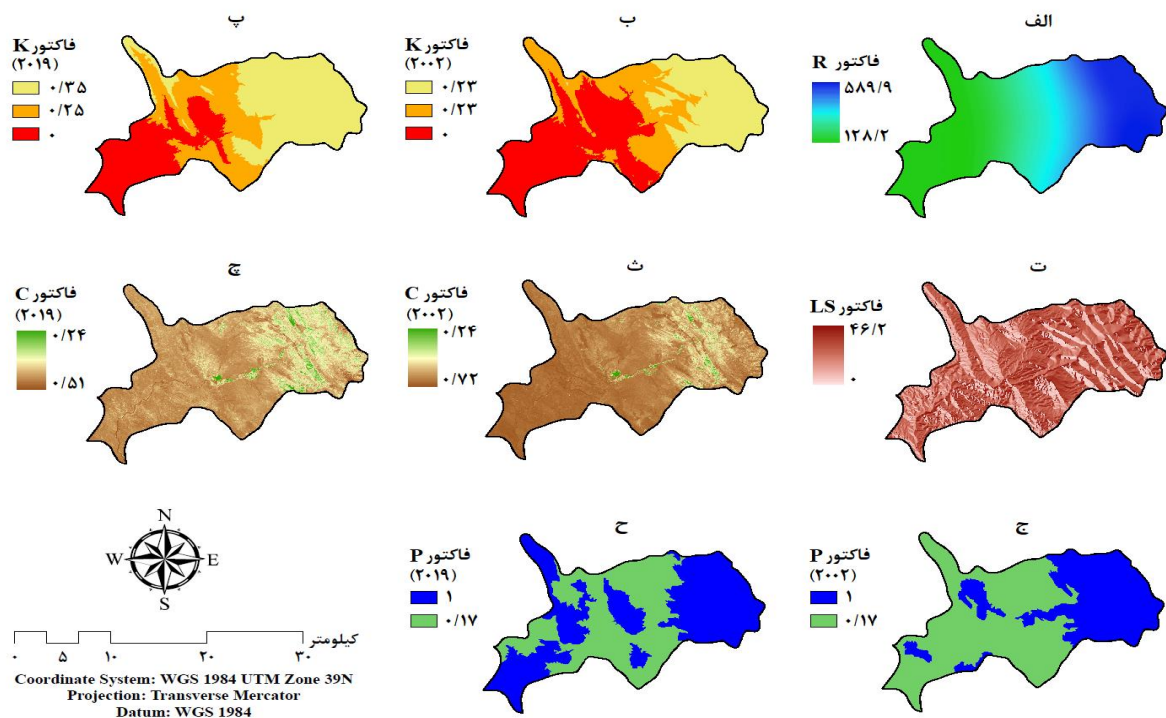
### فاکتور پوشش گیاهی (C)

نقشه فاکتور پوشش گیاهی با استفاده از شاخص NDVI و

براساس رابطه ۸ 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 ۵ (ث و چ) آورده شده است. براساس این شکل، مقدار فاکتور C برای سال ۲۰۰۲ بین ۰/۱۴ تا ۰/۷۲ و برای سال ۲۰۱۹ بین ۰/۲۴ تا ۰/۵۱ 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 عملیات حفاظتی (P)

نقشه فاکتور عملیات حفاظتی از طریق طبقه‌بندی مجدد طبقات پوشش گیاهی و اختصاص عدد مربوطه، تهیه شد که در شکل ۵ (ج و ح) آورده شده است. مقدار این فاکتور برای سال‌های ۲۰۰۲ و ۲۰۱۹ بین ۰/۱۷ تا ۱ برای منطقه مورد مطالعه به دست آمد.



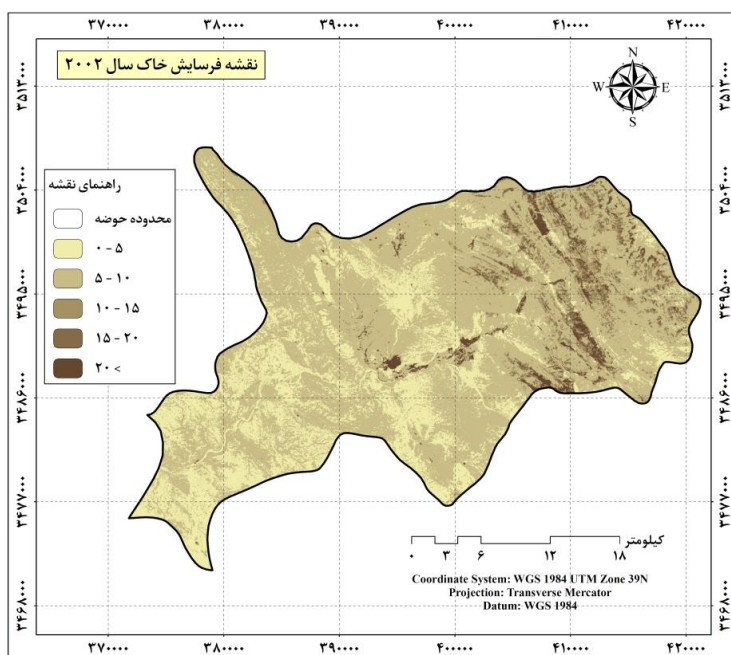
شکل ۵. نقشه فاکتورهای مدل RUSLE برای سال‌های ۲۰۰۲ و ۲۰۱۹

الف) نقشه فاکتور فرسایش پذیری خاک (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، (چ) نقشه فاکتور پوشش گیاهی برای سال ۲۰۱۹، (ج) نقشه فاکتور عملیات حفاظتی برای سال ۲۰۰۲، (ح) نقشه فاکتور عملیات حفاظتی برای سال ۲۰۱۹

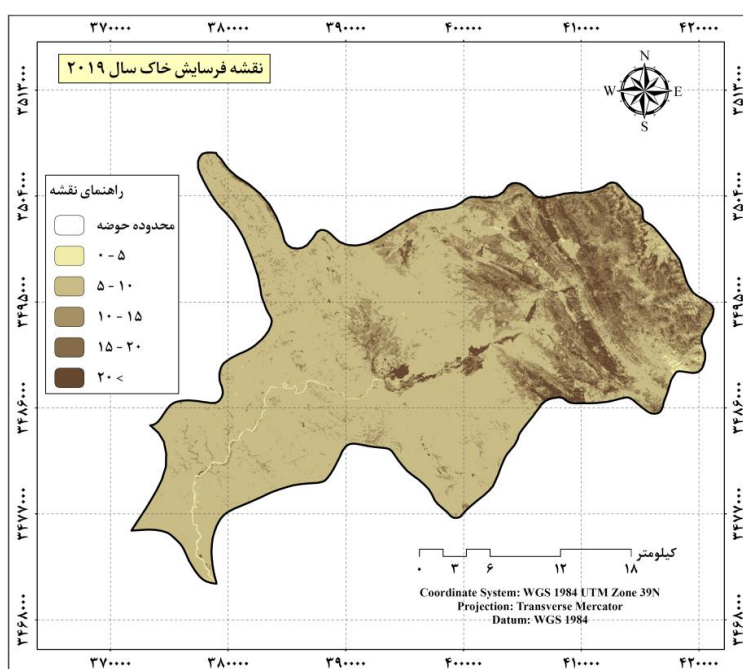
پنج کلاس خطر فرسایش طبقه‌بندی شد که در شکل‌های ۶ و ۷ نشان داده شده است. همچنین مساحت و درصد مساحت هر یک از کلاس‌های خطر فرسایش در منطقه مورد مطالعه در جدول ۴ آورده شده است. این جدول نشان‌دهنده افزایش فرسایش خاک در بازه بین سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۹ می‌باشد.

### فرسایش سالانه خاک و تولید رسوب

جهت تهیه نقشه فرسایش سالانه خاک، نقشه فاکتورهای فرسایش‌پذیری خاک (R)، توپوگرافی (LS)، پوشش گیاهی (C) و عملیات حفاظتی (P) در محیط نرم‌افزار GIS براساس رابطه ۱ تلفیق شده و مقادیر هدر رفت سالانه خاک (A) به دست آمد. سپس نقشه سال‌های ۲۰۰۲ و ۲۰۱۹ به



شکل ۶. نقشه فرسایش خاک برای سال ۲۰۰۲



شکل ۷. نقشه فرسایش خاک برای سال ۲۰۱۹

جدول ۴. مساحت کلاس‌های طبقه‌بندی شده فرسایش خاک

درصد تغییرات	مساحت کلاس‌ها در سال ۲۰۱۹		مساحت کلاس‌ها در سال ۲۰۰۲		میزان فرسایش	کلاس فرسایش خاک (تن در هکتار در سال)
	درصد	کیلومتر مربع	درصد	کیلومتر مربع		
-۴/۴۲	۵/۲۲	۴۴۹۶/۲۳	۹/۶۴	۸۳۰۳/۳۷	بسیار کم	۵-۰
-۱۷/۳۱	۲۹/۸۱	۲۵۶۷۶/۷۲	۴۷/۱۲	۴۰۵۸۶/۶۱	کم	۱۰-۵
-۳/۹۲	۱۹/۶۳	۱۶۹۰۸/۲۲	۲۳/۵۵	۲۰۲۸۴/۶۹	متوسط	۱۵-۱۰
+۱۱/۶۸	۲۷/۱۱	۲۳۳۵۱/۰۸	۱۵/۴۳	۱۳۲۹۰/۵۷	زیاد	۲۰-۱۵
+۱۳/۹۹	۱۸/۲۵	۱۵۷۱۹/۵۶	۴/۲۶	۳۶۶۹/۳۳	بسیار زیاد	بیشتر از ۲۰
-	۱۰۰	۱۷۶۰۴۳/۰۹	۱۰۰	۸۶۱۳۴/۵۸	مجموع	

۰/۵۸ و رسوب کل بین ۸۱۰۵۱ تا ۳۱۳۲۴۸ برآورد گردید (جدول ۵). رسوب کل حاصل آمده با استفاده از مدل EPM با مساحت ۲۴۹/۵ کیلومتر مربع در حوضه آبخیز مورد مطالعه ۱۳۳۰۱۶۱ تن در سال است. این رقم در واحد سطح تقریباً ۵۳۳ تن در کیلومتر مربع در سال است (روستایی و همکاران، ۱۳۸۹). از آنجا که مقدار رسوب کل حاصل آمده با استفاده 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. در جدول ۵، نتایج مقایسه روش‌های USDA، وانونی و بویس با مقدار بار رسوب مشاهداتی نشان داده شده است. مقدار رسوب کل برآورد شده با روش‌های USDA، وانونی و بویس در حوضه مورد مطالعه در مقایسه با مقادیر مشاهداتی به ترتیب دارای خطای ۱۷/۸۸، ۴۵/۵۲ و ۲۹/۴۰ درصد بوده است؛ لذا مدل USDA با داشتن ۱۷/۸۸ درصد خطا در برآورد رسوب، برآورد نزدیکی با مقدار رسوب مشاهداتی داشته و مدل وانونی با ۴۵/۵۲ درصد خطا در برآورد رسوب، دارای خطای بیش برآوردی می‌باشد.

حد قابل قبول برای فرسایش مقداری است که در آن مقدار فرسایش بیشتر از مقدار خاکسازی نباشد و در واقع باید مقدار خاکسازی بیشتر از مقدار فرسایش باشد تا روند در جهت افزایش عمق خاک پیش برود. اظهار نظر در مورد مدت لازم برای تشکیل مثلاً یک سانتی‌متر خاک کار مشکلی است، زیرا خاک در نتیجه تأثیر پنج فاکتور خاکسازي (آب و هوا، موجودات زنده، پستی و بلندی، سنگ مادر و زمان) حاصل می‌شود. براساس اطلاعات موجود در این منطقه با در نظر گرفتن کلیه عوامل به طور متوسط حد خاکسازي حدود ۱۵ 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 ۱۹/۶۹ درصد از مساحت و برای سال ۲۰۱۹ در حدود ۴۵/۳۶ 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 ۰/۱۲ تا ۰/۲۳ و حداکثر بار رسوب در منطقه مورد مطالعه بین ۰/۲۹ تا

جدول ۵. میزان نسبت تحویل رسوب و بار رسوب و مقایسه مقادیر رسوب کل با مقادیر مشاهداتی

روش‌های نسبت تحویل رسوب	میزان نسبت تحویل رسوب	بار رسوب (تن در هکتار در سال)	رسوب کل (تن در سال)	مقدار مشاهداتی (اندازه‌گیری)	خطای نسبی (درصد)
USDA	۰/۲۳	۰/۵۸	۳۱۳۲۴۸	۲۵۷۲۱۴	۱۷/۸۸
وانونی	۰/۱۹	۰/۴۴	۲۳۲۲۳۷	۱۷۵۵۵۴	۴۵/۵۲
بویس	۰/۱۲	۰/۲۹	۸۱۰۵۱	۵۷۲۲۱	۲۹/۴۰

خاک در ارتباط با تغییرات کاربری اراضی برای سال‌های ۲۰۰۲ و ۲۰۱۹ در جداول ۶ و ۷ آورده شده است. با توجه به

**اثر تغییرات کاربری بر فرسایش خاک و تولید رسوب**  
اطلاعات مربوط به تغییرات مساحت کلاس‌های فرسایش



خاک منطقه مورد مطالعه که ۱۵ تن در هکتار در سال می‌باشد، جدول ۶ و ۷ برای کلاس‌های فرسایشی بیش از ۱۵ تن در هکتار در سال تشریح می‌گردد.

مساحت طبقات کاربری اراضی دارای کلاس فرسایشی ۵-، ۵-۱۰ و ۱۰-۱۵ در سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۹ مشاهده می‌شود که مساحت این طبقات به ترتیب کاهش ۴۲/۴، ۳۱/۱۷ و ۹۲/۳ درصدی را نشان می‌دهد. با در نظر گرفتن حد مجاز فرسایش

جدول ۶. مقدار مساحت هر کاربری در طبقات فرسایشی برای سال ۲۰۰۲

کاربری اراضی سال ۲۰۰۲ (هکتار)						میزان فرسایش	کلاس فرسایش خاک (تن در هکتار در سال)
زراعت آبی و باغات	زراعت دیم	مراتع	اراضی بایر	مسکونی	پهنه‌های آب		
۱۵۶۷/۶۵	۷۶۴۸/۷۵	۱۴۴۷/۰۶	۴۷۸۰/۴۷	۱۹۱۲/۱۹	۳۰۱/۴۷	بسیار کم	۵-۰
۳۵۸۳/۲۰	۴۳۴۱/۱۸	۳۳۰۷/۵۷	۲۷۱۳/۲۴	۱۰۸۵/۲۹	۶۸۹/۰۸	کم	۱۰-۵
۴۲۵۵/۰۵	۳۹۲۷/۷۴	۳۹۲۷/۷۴	۲۴۵۴/۸۳	۹۸۱/۹۳	۸۱۸/۲۸	متوسط	۱۵-۱۰
۴۷۰۲/۹۵	۳۳۰۷/۵۷	۴۳۴۱/۱۸	۲۰۶۷/۲۳	۸۲۶/۸۹	۹۰۴/۴۱	زیاد	۲۰-۱۵
۸۲۸۶/۱۵	۱۴۴۷/۰۶	۷۶۴۸/۷۵	۹۰۴/۴۱	۳۶۱/۷۶	۱۵۹۳/۴۹	بسیار زیاد	بیشتر از ۲۰

جدول ۷. مقدار مساحت هر کاربری در طبقات فرسایشی برای سال ۲۰۱۹

کاربری اراضی سال ۲۰۱۹ (هکتار)						میزان فرسایش	کلاس فرسایش خاک (تن در هکتار در سال)
زراعت آبی و باغات	زراعت دیم	مراتع	اراضی بایر	مسکونی	پهنه‌های آب		
۱۵۰۷/۳۵	۸۶۰۴/۸۴	۱۰۲۵/۰۰	۶۰۵۵/۲۶	۲۵۱۲/۵۸	۲۴۱/۱۸	بسیار کم	۵-۰
۳۴۴۵/۳۸	۴۸۸۳/۸۳	۲۳۴۲/۸۶	۳۴۳۶/۷۷	۱۴۲۶/۰۶	۵۵۱/۲۶	کم	۱۰-۵
۴۰۹۱/۳۹	۴۴۱۸/۷۰	۲۷۸۲/۱۵	۳۱۰۹/۴۶	۱۲۹۰/۲۴	۶۵۴/۶۲	متوسط	۱۵-۱۰
۴۵۲۲/۰۶	۳۷۲۱/۰۱	۳۰۷۵/۰۰	۲۶۱۸/۴۹	۱۰۸۶/۵۲	۷۲۳/۵۳	زیاد	۲۰-۱۵
۷۹۶۷/۴۵	۱۶۲۷/۹۴	۵۴۱۷/۸۶	۱۱۴۵/۵۹	۴۷۵/۳۵	۱۲۷۴/۷۹	بسیار زیاد	بیشتر از ۲۰

بایر و زراعت دیم دارای کلاس فرسایشی بیش از ۲۰ تن در هکتار در سال به ترتیب از ۳۶۱/۷۶، ۹۰۴/۴۱ و ۱۴۴۷/۰۶ هکتار در سال ۲۰۰۲ به ۴۷۵/۳۵، ۲۶۱۸/۴۹ و ۱۱۴۵/۵۹ هکتار در سال ۲۰۱۹ افزایش پیدا کرده است. همچنین طبقات پهنه‌های آب، مراتع و زراعت آبی دارای کلاس فرسایشی بیش از ۲۰ تن در هکتار در سال به ترتیب از ۱۵۹۳/۴۹، ۷۶۴۸/۷۵ و ۸۲۸۶/۱۵ هکتار در سال ۲۰۰۲ به ۱۲۷۴/۷۹، ۵۴۱۷/۸۶ و ۷۹۶۷/۴۵ هکتار در سال ۲۰۱۹ کاهش پیدا کرده است. نتایج کلی گویای این مطلب است که در بازه مورد مطالعه بین سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۹ از مساحت طبقات کاربری اراضی دارای کلاس فرسایشی کم کاسته شده و به مساحت کلاس‌های فرسایشی زیاد و عمدتاً به کلاس فرسایشی بیش از ۲۰ تن در هکتار در سال افزوده شده است. عامل فرساینده باران در بخش‌های

براساس نتایج به دست آمده در سال ۲۰۰۲ مساحت طبقات پهنه‌های آب، مسکونی، اراضی بایر، مراتع، زراعت دیم و زراعت آبی دارای کلاس فرسایشی ۱۰-۱۵ تن در هکتار در سال به ترتیب دارای مساحت ۸۱۸/۲۸، ۹۸۱/۹۳، ۲۴۵۴/۸۳، ۳۹۲۷/۷۴، ۳۹۲۷/۷۴ و ۲۵۵/۰۵ هکتار بوده‌اند که به ۶۵۴/۶۲، ۱۲۹۰/۲۴، ۴۰۹۱/۳۹ و ۴۴۱۸/۷۰ 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 ۲۰-۱۵ تن در هکتار در سال به ترتیب از ۹۰۴/۴۱، ۸۲۶/۸۹، ۲۰۶۷/۲۳، ۴۳۴۱/۱۸، ۳۳۰۷/۵۷ و ۴۷۰۲/۹۵ هکتار به ۷۲۳/۵۳، ۱۰۸۶/۵۲، ۳۷۲۱/۰۱، ۳۰۷۵/۰۰ و ۴۵۲۲/۰۶ هکتار در سال ۲۰۱۹ تغییر پیدا کرده است. مساحت مناطق مسکونی، اراضی

فعلی آن زیاد می‌باشد.

### بحث و نتیجه‌گیری

یافته‌های تحقیق نشان داد که افزایش مناطق مسکونی، اراضی زراعی دیم و نواحی بایر، تأثیر بسزایی در افزایش فرسایش خاک حوضه مورد مطالعه داشته است. این موضوع با نتایج پژوهش Martínez-Murillo و همکاران (۲۰۱۱) که افزایش کشت دیم و تبدیل پوشش گیاهی به مناطق مسکونی را عامل فرسایش معرفی کرده‌اند، و مطالعه Feizizadeh (۲۰۱۷) که تبدیل اراضی مرتعی پرتراکم به مراتع کم تراکم و زراعت دیم را مهم‌ترین عامل در فرسایش منطقه بیان نموده است، تطابق دارد. تبدیل اراضی مرتعی به کشاورزی، فعالیت کشاورزی در نقاط شیب‌دار موجب افزایش هدر رفت خاک گردیده است که این موضوع با نتایج مطالعه Nalina و همکاران (۲۰۱۴) همخوانی دارد.

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 برآورد معیارهای مورد بررسی در روش RUSLE در حوضه مورد مطالعه نشان داد که فاکتور فرسایش‌پذیری خاک برای سال ۲۰۰۲ بین ۰ تا ۰/۲۳ و برای سال ۲۰۱۹ بین ۰/۳۵ تا ۰/۳۵  $\text{MJ}^{-1} \text{mm}^{-1} \text{ha}^{-1} \text{h}^{-1} \text{MG}$  و معیار پوشش گیاهی برای سال ۲۰۰۲ بین ۰/۱۴ تا ۰/۷۲ و برای سال ۲۰۱۹ بین ۰/۲۴ تا ۰/۵۱ در نوسان است که بیانگر تفاوت در خصوصیات خاک و پوشش گیاهی در نقاط مختلف حوضه است. با توجه به نقشه‌های پهنه‌بندی فرسایش در منطقه مورد مطالعه در سال ۲۰۰۲ و ۲۰۱۹، به طور عمده مناطق با بیشترین خطر فرسایش در کاربری‌های اراضی مرتعی و زراعت دیم قرار گرفته‌اند. نتایج مقایسه روش‌های USDA، وانونی و بويس با مقدار بار رسوب مشاهداتی نشان داد که مدل USDA به دلیل داشتن مقدار کم خطا در مقایسه با روش‌های وانونی و بويس، نتایج بهتری را در برآورد مقدار رسوب کل داشته است. همچنین، مقایسه رسوب کل برآورد شده در روش USDA با

غربی حوضه به دلیل نزدیک بودن به آبراه‌ها 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 حوضه با 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 و تولید رسوب 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 آبراه‌های در حوضه باغملک به شدت و گسترده‌گی فرسایش سطحی و شیباری نیست. وجود مناطق پرشیب با خاک کم‌عمق در نیمه فوقانی حوضه، باعث کاهش شدت فرسایش آبراه‌های و تولید رسوب در آن شده است. در این مناطق وجود بیرون‌زدگی‌های سنگی در بستر آبراه‌ها باعث تثبیت نسبی آن‌ها شده است و غالباً آبراه‌های 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 حوضه این نتیجه حاصل می‌شود که فرسایش‌پذیری منطقه به دلیل حساسیت زیاد سازندهای تشکیل‌دهنده آن به فرسایش، پوشش گیاهی ضعیف و تخریب شده، شیب زیاد به ویژه در مناطق شمالی و شمال شرقی حوضه، توسعه اشکال فرسایشی از جمله فرسایش سطحی، شیباری، خندقی و آبراه‌های و در بعضی مناطق هم عدم تناسب بین توان منطقه و کاربری

مانند آبیاری تحت فشار، پوشش دائمی خاک با بقایای گیاهی، شخم عمود بر جهت شیب، تناوب کشت و ترانس‌بندی اثربخشی زیادی دارند؛ این روش‌ها برای اراضی شیب‌دار واقع در مناطق شرقی حوضه، مناسب هستند. همچنین با روش‌هایی مانند کپه‌کاری و نهال‌کاری و با کشت گیاهانی که نسبت به تنش‌های حیاتی و غیرحیاتی مقاوم هستند، می‌توان نسبت به احیاء و اصلاح مراتع حوضه اقدام کرد.

### یادداشت‌ها

1. Soil Erosion
2. Land-use change
3. Remote sensing
4. Geographic information system
5. Pixel-based method
6. Object-oriented method
7. United States geological survey
8. Landsat satellites
9. Digital elevation model
10. Artificial neural network

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 منطقه را نشان می‌دهد.

یافته‌های پژوهش نشان‌دهنده تأثیر زیاد عوامل انسانی و نحوه استفاده از اراضی در فرسایش منطقه است. کاربری اراضی موجود در حوضه مورد مطالعه در شرایط فعلی برای کاهش میزان فرسایش خاک و بار رسوب مناسب نبوده و باید اقدامات مدیریتی و رویکرد آمایشی جهت تغییر در ترکیب کاربری اراضی و بهینه‌سازی آن با توجه به استعداد و پتانسیل اراضی منظور گردد. براساس نتایج پژوهش شایگان و همکاران (۱۳۹۰) بهینه‌سازی کاربری اراضی در حوضه طالقان، علاوه بر کاهش فرسایش خاک، میزان سوددهی را نیز افزایش داده است. اراضی شیب‌دار در معرض فرسایش واقع در مناطق مرتفع، باید به کشت باغات دیم تبدیل شود و شخم زدن در اراضی با کشت دیم باید به صورت عمودی و در جهت شیب باشد. روش‌هایی

### فهرست منابع

- آذرخشی، م.، الف.، مساعدی، م.، بشیری، ا.، اوجاقلو شهابی. ر. (۱۳۹۶). اثر تغییرات بارش و کاربری اراضی بر تولید رسوب؛ مطالعه موردی: حوضه آبخیز صنوبر تربت حیدریه. علوم و مهندسی آبخیزداری، ۱۱(۳۷): ۲۵-۳۳.
- آرخی، ص.، نیازی، ی. (۱۳۸۹). بررسی کاربرد GIS و RS برای تخمین فرسایش خاک و بار رسوب با استفاده از مدل RUSLE؛ مطالعه موردی: حوضه بالادست سد ایلام). پژوهش‌های حفاظت آب و خاک (علوم کشاورزی و منابع طبیعی)، ۱۱(۲): ۱-۲۷.
- اسفندیاری، م.، معینی، ا.، مقدسی، ر. (۱۳۹۳). بررسی تأثیر کاربری اراضی و پوشش گیاهی بر اشکال فرسایش و میزان تولید رسوب؛ مطالعه موردی: حوضه آبخیز رود ورس استان قزوین. جغرافیایی سرزمین، ۱۱(۴۲): ۵۱-۶۲.
- اسمعیل‌پور، ف.، سرایی، م.ح.، رضایی، م.ر. اسمعیل‌پور، ن. (۱۳۹۷). پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی و تعیین الگوی رشد شهری با استفاده از مدل زنجیره‌ای مارکوف و تصاویر ماهواره‌ای چندزمانه، مورد پژوهی: شهر اراک. کاوش‌های جغرافیایی مناطق بیابانی، ۷(۱): ۱۱۳-۱۴۷.
- اصغری سراسکانرود، ص.، محمدنژاد آروق، و.، امامی، ه. (۱۳۹۸). بررسی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از روش‌های پیکسل پایه و شیء‌گرا و تحلیل اثرات تغییر کاربری‌ها بر فرسایش خاک؛ مطالعه موردی: شهرستان مراغه. پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی، ۱(۱): ۱۶۰-۱۷۸.

- اصغری سراسکانرود، ص.، آقایی، ل.، پیروزی، ا. (۱۳۹۶). بررسی تغییرات کاربری اراضی و تأثیر آن بر فرسایش با استفاده از GIS و RS؛ مطالعه موردی: شهرستان نیر. *سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی*، ۸(۴): ۴۹-۶۲.
- ایوبی، ش.ا.، خرمالی، ف.، شتایی جویباری، ش. (۱۳۸۵). استفاده از تکنیک زمین آمار در تعیین مناسب‌ترین ابعاد سلول مدل رقومی زمین برای برآورد مشخصه توپوگرافی مدل برآورد فرسایش RUSLE در منطقه تاش علیا استان گلستان. *پژوهش و سازندگی در منابع طبیعی*، ۲۰(۷۷): ۱۲۲-۱۲۹.
- روستایی، ش.، نیکجو، م.ر.، حبیب زاده، ا. (۱۳۸۹). بررسی فرسایش‌پذیری اراضی در حوضه آبخیز بجوش چای با استفاده از تئوری فازی و سیستم اطلاعات جغرافیایی. *جغرافیا و برنامه‌ریزی*، ۱۵(۳۳): ۱۴۷-۱۷۳.
- سفیانیان، ع.، خداکرمی، ل. (۱۳۹۰). تهیه نقشه کاربری اراضی با استفاده از روش طبقه‌بندی فازی؛ مطالعه موردی: سه زیر حوضه آبخیز کبودر آهنگ، رزن قهاوند و خونجین تلخاب در استان همدان. *آمایش سرزمین*، ۳(۴): ۹۵-۱۱۴.
- شایگان، م.، علیمحمدی، ع.، منصوریان، ع. (۱۳۹۱). بهینه‌سازی چندهدفه تخصیص کاربری اراضی با استفاده از الگوریتم NSGA-II. *سنجش از دور و GIS ایران*، ۴(۲): ۱-۱۸.
- طاهرپور، م.، پیرمردیان، ن.، وظیفه‌دوست، م. (۱۳۹۵). مقایسه روش‌های پرکردن پیکسل‌های فاقد داده در تصاویر ماهواره لندست ETM+7 در برآورد نقشه ضریب گیاهی. *تحقیقات آب و خاک ایران*، ۴۷(۴): ۶۶۵-۶۷۶.
- فیضی زاده، ب. (۱۳۹۶). مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی و اثرات آن بر سیستم فرسایش در حوضه سد علویان با استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی. *هیدروژئومورفولوژی*، ۴(۱۱): ۲۱-۳۸.
- کیانی هرچگانی، م.، صادقی، ح.ر.، فلاحتکار، س. (۱۳۹۸). تحلیل مقایسه‌ای عامل فرسایش‌پذیری خاک در حوضه آبخیز شازند. *اکوهیدرولوژی*، ۶(۱): ۱۵۳-۱۶۳.
- محمدی، ش.، کریم‌زاده، ح.ر.، حبشی، خ. (۱۳۹۶). ارزیابی فرسایش خاک و رسوب حوضه آبخیز مندرجان با استفاده از مدل‌های USPED و RUSLE در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی. *مهندسی اکوسیستم بیابان*، ۶(۱۷): ۴۳-۵۶.
- Anderson, G. L., Hanson, J. D., & 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.
- Assis, K. G. O., da Silva, Y. J. A. B., Lopes, J. W. B., Medeiros, J. C., Teixeira, M. P. R., Rimá, F. B., & Singh, V. P. (2021). Soil loss and sediment yield in a perennial catchment in Southwest Piauí, Brazil. *Environmental Monitoring and Assessment*, 193(1), 1-11.
- Babur, E., Uslu, Ö. S., Battaglia, M. L., Diatta, A., Fahad, S., Datta, R., Fahad, S., Datta, R., Hye, M., Hussain, G.S & Danish, S. (2021). Studying soil erosion by evaluating changes in physico-chemical properties of soils under different land-use types. *Saudi Society of Agricultural Sciences*, 20(3): 190-197.
- Borrelli, P., Robinson, D. A., Fleischer, L. R., Lugato, E., Ballabio, C., Alewell, C., Meusburger, K., Modugno, S., Schütt, B., Ferro, V., Bagarello, V., Van Oost, K., Montanarella, L., & Panagos, P. (2017). An assessment of the global impact of 21st century land-use change on soil erosion. *Nature Communications*, 8(1), 1-13.
- Brink, A. B., Bodart, C., Brodsky, L., Defourney, P., Ernst, C., Donney, F., Lupi, A., & Tuckova, K. (2013). Anthropogenic pressure in East Africa monitoring 20 years of land-cover changes by means of medium resolution satellite data. *Applied Earth Observation and Geoinformation*, 28(1): 60-69.
- Brown, L. C., & Foster, G. R. (1987). Storm erosivity using idealized intensity distributions. *Transactions of the ASAE*, 30(2): 379-0386.

- Chen, J., Xiao, H., Li, Z., Liu, C., Wang, D., Wang, L., & Tang, C. (2019). Threshold effects of vegetation coverage on soil erosion control in small watersheds of the red soil hilly region in China. *Ecological Engineering*, 132, 109-114.
- Chi, W., Zhao, Y., Kuang, W., & He, H. (2019). Impacts of anthropogenic land-use/cover changes on soil wind erosion in China. *Science of the Total Environment*, 668, 204-215.
- Da-Silva, V. P. R., Silva M. T., & 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.
- Diwediga, B., Le, Q. B., Agodzo, S. K., Tamene, L. D., & Wala, K. (2018). Modelling soil erosion response to sustainable landscape management scenarios in the Mo River Basin, Togo, West Africa. *Science of the Total Environment*, 625, 1309-1320.
- Foster, G., & Wischmeier, W. (1974). Evaluating irregular slopes for soil loss prediction, *Transactions of the ASAE*, 17(2): 305-0309.
- Han, J., Ge, W., Hei, Z., Cong, C., Ma, C., Xie, M., Liu, B., Feng, W., Wang, F., & Jiao, J. (2020). Agricultural land-use and management weaken the soil erosion induced by extreme rainstorms. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 301, 107047.
- Hancock, G. R., Ovenden, M., Sharma, K., Rowlands, W., Gibson, A., & Wells, T. (2020). Soil erosion: The impact of grazing and regrowth trees. *Geoderma*, 361, 114102.
- Lee, S., Chu, M. L., Guzman, J. A., & Botero-Acosta, A. (2021). A comprehensive modeling framework to evaluate soil erosion by water and tillage. *Environmental Management*, 279, 111631.
- Lillesand, T., Kiefer, R. W., & Chipman, J. (2015). Remote Sensing and Image Interpretation. *John Wiley and Sons*, 736 p.
- Lu, D., & Weng, Q. (2007). A survey of image classification methods and techniques for improving classification performance. *Remote Sensing*, 28(5): 823-870.
- Martínez-Murillo, M. J. F., Lopez Vicente MPoesen, J., & Ruiz Sinoga, J. D. (2011). Modelling the effects of land-use changes on runoff and soil Erosion in two Mediterranean catchments with active gullies (South of Spain). *Landform Analysis*, 17(1): 99-104.
- Moore, I. D., & Burch, G. J. (1986). Physical basis of the length-slope factor in the Universal Soil Loss Equation, *Soil Science Society of America Journal*, 50(5): 1294-1298.
- Nalina, P., Meenambal, T., Sathyanarayan, S. R. (2014). Land-use land-coer dynamics of nilgiris district, India inferred from satelliti imageries. *Applied Sciences*, 3(11): 455-461.
- Ouyang, W., Wu, Y., Hao, Z., Zhang, Q., Bu, Q., & Gao, X. (2018). Combined impacts of land-use and soil property changes on soil erosion in a mollisol area under long-term agricultural development. *Science of the total environment*, 613, 798-809.
- Paul, S. S., Li, J., Li, Y., & Shen, L. (2019). Assessing land-use/land-cover change and soil erosion potential using a combined approach through remote sensing, RUSLE and random forest algorithm. *Geocarto International*, 36, 1-15.
- Petropoulos, G., Kontoes, P., & Keramitsoglou, C. (2011). Burnt area delineation from a unitemporal perspective based on Landsat TM imagery classification using support vector machines. *Applied Earth Observation and Geoinformation*, 13(1), 70-80.
- Pradhan, B., Chaudhari, A., Adinarayana, J., & Buchroithner, M. F. (2012). Soil erosion assessment and its correlation with landslide events using remote sensing data and GIS: Penang Island, Malaysia. *Environmental Monitoring and Assessment*, 184(2): 715-727.
- Renard, K., Foster, G., Weesies, G., McCool, D., Yoder, D. (1997). Predicting soil erosion by water: a guide to conservation planning with the Revised Universal Soil Loss Equation (RUSLE). *US Departmentof Agriculture (Ed.)*, Agricultural Handbook. US Department of Agriculture, Washington. 703: 1-251.
- Ren, Y., Lü, Y., Comber, A., Fu, B., Harris, P., & Wu, L. (2019). Spatially explicit simulation of land-use/land-cover changes: Current coverage and future prospects. *Earth Science Reviews*, 190, 398-415.
- Roose, E. (1996). Land husbandry: components and strategy. *FAO Rome*.

- Santos, J. C. N., Andrade, E. M., Medeiros, P. H. A., & 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., Agarwal, S., Joshi, P. K., & Roy, P. S. (1999). Biome level classification of vegetation in western India, an application of wide field view sensor (WiFS). In Joint Workshop of ISPRS Working Groups I/1, I/3 and IV/4: *Sensors and Mapping from Space*, Hanover (Germany) (pp. 27-30).
- Singh, S., Bhardwaj, A., & Verma, V. K. (2020). Remote sensing and GIS based analysis of temporal land-use/land-cover and water quality changes in Harike wetland ecosystem, Punjab, India. *Environmental Management*, 262, 110355.
- Thomas, J., Joseph, S., & Thrivikramji, K. P. (2018). Assessment of soil erosion in a tropical mountain river basin of the southern Western Ghats, India using RUSLE and GIS. *Geoscience Frontiers*, 9(3), 893-906.
- Vanacker, V., Ameijeiras-Mariño, Y., Schoonejans, J., Cornélis, J. T., Minella, J. P., Lamouline, F., Vermeire, M. L., Campforts, B., Robinet, J., Van de Broek, M., Delmelle, P., & Opfergelt, S. (2019). Land-use impacts on soil erosion and rejuvenation in Southern Brazil. *Catena*, 178, 256-266.
- Wijaya, A. (2005). Application of multi-stage classification to detect illegal logging with the use of multi-source data. *International Institute for Geo-Information Science and Earth Observation*, Enschede, The Netherlands.
- Wischmeier, W. H., & Smith, D. D. (1978). Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning. Department of Agriculture. *Science and Education Administration*, No. 537.
- Xiao, Yang, Guo, B., Lu, Y., Zhang, R., Zhang, D., Zhen, X., Chen, S., Wu, H., Wei, C., Yang, L., Zhang, Y., Zang, W., Huang, X., Sun, G., & Wang, Z. (2021). Spatial temporal evolution patterns of soil erosion in the Yellow River Basin from 1990 to 2015: impacts of natural factors and land-use change. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 12(1), 103-122
- Zare, M., Samani, A. N., Mohammady, M., Salmani, H., & Bazrafshan, J. (2017). Investigating effects of land-use change scenarios on soil erosion using CLUE-s and RUSLE models. *environmental science and technology*, 14(9), 1905-1918.
- Zhang, Y., Zhang, X., Bi, Z., Yu, Y., Shi, P., Ren, L., & Shan, Z. (2020). The impact of land-use changes and erosion process on heavy metal distribution in the hilly area of the Loess Plateau, China. *Science of The Total Environment*, 718, 137305.
- Zhen, L., Ishwaran, N., Luo, Q., Wei, Y., & Zhang, Q. (2020). Role and significance of restoration technologies for vulnerable ecosystems in building an ecological civilization in China. *Environmental Development*, 34, 100494.