

GES	Journal of Geography and Environmental Studies, 13 (49), Spring 2024 <a href="https://sanad.iau.ir/journal/ges">https://sanad.iau.ir/journal/ges</a> ISSN: 2008-7845 Doi: 10.71740/ges.2024.979037
-----	---

Research Paper

Received: 24 July 2023

Revised: 3 October 2023

Accepted: 14 December 2023

## **Evaluation of Soil Loss Rate in Land Uses of Nirchai Watershed Using RUSLE Model and Landsat Satellite Images (OLI)**

**Musa Abedini, Musa<sup>1</sup>, Amir Hesam Paseban<sup>2</sup>, Behrooz Nezafat Takleh<sup>2</sup>**

1. Professor, Department of Geography, Mohaghegh Ardabili University, Ardabil, Iran. (Corresponding Author)

E-Mail: [abedini@ma.ac.ir](mailto:abedini@ma.ac.ir)

2. Phd Student, Department of Geography, Mohaghegh Ardabili University, Ardabil, Iran.

### **Abstract:**

Soil erosion is a global problem that threatens water and soil resources, and land use changes are one of the important factors in soil erosion. The purpose of this research is to evaluate the amount of soil loss in the land uses of the Nirchai watershed using the RUSLE model in Ardabil province. In order to carry out this research, first, the satellite image of the studied area related to the year 1400 and the month of June was received from the American Geological Research Center, and after atmospheric and radiometric corrections, a land use map was prepared using the supervised classification method using the support vector machine method. Then the RUSLE model was used to estimate the erosion rate. SPSS 21, Excel, ArcGIS 5.4, Arhydro and ENVI 5.3 software were used to analyze and produce maps in this research. RUSLE model parameter layer includes rain erosion layer, soil layer, topography layer, vegetation layer and soil protection factor as well as various statistics related to rain gauge stations, hydrometry, topographic maps 1:50000, geology 1:100000 as well as DEM (20 meters area) and GIS geographic information system and remote sensing have been used. The results of this study showed that the average amount of annual soil erosion for the whole basin ranges from 0.5 to 14.25 tons per hectare per year. Also, the investigation of the regression relationships between the factors of RUSLE model and the amount of annual soil erosion showed that the topography factor (LS) with the highest value of the coefficient of determination  $R^2=0.93$  is the most important in estimating the annual soil erosion using the RUSLE model.

**Keywords:** Land use, erosion, support vector machine, Nirchai.

**Citation:** Abedini, M.; Paseban, A.H.; Nezafat Takleh, B. (2024), Evaluation of Soil Loss Rate in Land Uses of Nirchai Watershed Using RUSLE Model and Landsat Satellite Images (OLI), Journal of Geography and Environmental Studies, 13 (49), 6-20. Doi: 10.71740/ges.2024.979037

### **Copyrights:**

Copyright for this article is retained by the author (s), with publication rights granted to Journal of Geography and Environmental Studies. This is an open – access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>), which permits unrestricted use, distribution and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.



## ارزیابی میزان هدررفت خاک در کاربری‌های اراضی حوزه آبخیز نیرچای با استفاده از مدل RUSLE و تصاویر ماهواره‌ای لندست (سنجنده OLI)

موسی عابدینی<sup>۱</sup>، امیر حسام پاسبان<sup>۲</sup>، بهروز نظافت تکل<sup>۲</sup>

۱. استاد، گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

۲. دانشجوی دکتری، گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

### 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 است. هدف از این پژوهش ارزیابی میزان هدررفت خاک در کاربری‌های اراضی حوزه آبخیز نیرچای با استفاده از مدل RUSLE در استان اردبیل است. به منظور اجرای این تحقیق ابتدا تصویر ماهواره‌ای منطقه مورد مطالعه مربوط به سال ۱۴۰۰ و ماه خرداد از مرکز تحقیقات زمین‌شناسی آمریکا دریافت و پس از تصحیحات اتمسفری و رادیومتریک با استفاده از روش طبقه‌بندی نظارت‌شده به شیوه ماشین بردار پشتیبان اقدام به تهیه نقشه کاربری اراضی شد. سپس به منظور برآورد میزان فرسایش از مدل RUSLE استفاده شد. جهت تجزیه و تحلیل و تولید نقشه‌ها در اجرای این تحقیق نیز از نرم‌افزارهای ArcGIS 5.4، Excel، SPSS 21، Archydro و ENVI 5.3 استفاده شد. لایه پارامترهای مدل RUSLE شامل لایه فرساینده‌گی باران، لایه خاک، لایه توپوگرافی، لایه پوشش گیاهی و عامل حفاظتی خاک هم‌چنین آمارهای مختلف مربوط به ایستگاه‌های باران‌سنجی، هیدرومتری، نقشه‌های توپوگرافی ۱:۵۰۰۰۰، زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ هم‌چنین DEM (۲۰ متر منطقه) و نیز بهره‌گیری از سیستم اطلاعات جغرافیایی GIS و سنجش از دور استفاده شده است. نتایج این مطالعه نشان داد که مقدار متوسط فرسایش سالانه خاک برای کل حوضه در دامنه بین ۰/۵ تا ۱۴/۲۵ تن در هکتار در سال متغیر است. هم‌چنین بررسی روابط رگرسیونی بین فاکتورهای مدل RUSLE و مقدار فرسایش سالانه خاک نشان داد که فاکتور توپوگرافی (LS) با بالاترین مقدار ضریب تعیین  $R^2 = 0/93$  بیش‌ترین اهمیت را در برآورد فرسایش سالانه خاک به وسیله مدل RUSLE دارد.

**کلمات کلیدی:** کاربری اراضی، فرسایش، ماشین بردار پشتیبان، نیرچای.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۵/۰۲

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۷/۱۱

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۹/۲۳

نویسنده مسئول: موسی عابدینی، استاد، گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. abedini@ma.ac.ir

## مقدمه

فرسایش خاک، یک فرآیند طبیعی است. امروزه افزایش شدت فرسایش در حوضه‌های آبخیز و ترسیب رسوبات ناشی از آن در رودخانه‌ها، کانال‌های آبرسانی، اراضی زراعی و مخازن سدهای ذخیره آب به یکی از دغدغه‌های کشاورزان و مدیران ذی‌ربط در ایران و جهان تبدیل شده است (عابدینی و همکاران، ۱۳۹۲ و ۱۴۰۰). از این جهت امروزه فرسایش خاک ناشی از تغییر کاربری زمین به مهم‌ترین مسئله تخریب زمین در سراسر جهان تبدیل شده که دگرگونی فرم اراضی و اختلال کارکردهای اصلی اکوسیستم از پیامدهای این واکنش‌های ژئومورفیکی آن است (پائول و همکاران، ۲۰۱۹). این واکنش‌های ژئومورفولوژیکی تشدید فرسایش خاک و افزایش تعداد مناطق آسیب‌پذیر را به همراه دارد (آسیس و همکاران، ۲۰۲۱). در مطالعات اخیر بیان شده که خصوصیات چشم‌انداز حوضه‌های آبخیز می‌تواند حدود ۵۶ تا ۴۷ درصد تغییرات کاربری را در فرسایش خاک و بازده رسوب پاسخ دهد (اویانگ و همکاران، ۲۰۱۸). زیرا کاربری اراضی بازتاب کنش‌های میان انسان و محیط زیست و نیز توصیف‌کننده نحوه بهره‌برداری متنوع انسان از فضا است (رن و همکاران، ۲۰۱۹). تاکنون مطالعات متعددی در رابطه با موضوع تغییر کاربری‌ها و تأثیر آن بر فرسایش خاک در مناطق مختلف به انجام رسیده است. 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، در زمین تبدیل باغات به مرتع و زراعت به مرتع است که منجر به کاهش میزان فرسایش شده است. واعظی و همکاران (۱۳۹۶)، به ارزیابی مدل RUSLE همراه شده با سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در عرصه‌های زهکش کوچک در منطقه نیمه خشک شمال غربی ایران پرداختند و نتایج نشان داد میانگین هدر رفت خاک بر آوردی ۴۳/۶۸ تن در هکتار در سال در عرصه‌های زهکش بود. بر اساس نتایج به نظر رسید که از یک سو عوامل‌های فرسایش‌پذیری خاک، شیب و عملیات حفاظت خاک نقش موثری در بیش برآورد مدل دارند و از سوی دیگر متغیرهایی مانند شکل شیب و خصوصیات آبراهه وجود داشته باشند در تعیین هدر رفت خاک در منطقه موثر می‌باشند. عابدینی و یعقوب نژاداصل (۱۳۹۶)، پهنه‌بندی خطر فرسایش خاک در حوضه آبریز رودخانه بالیخلو (سد یامچی) را با استفاده از ترکیب فازی شاخص‌های تراکم شبکه زهکشی، بیش‌ترین میزان بارندگی روزانه، خاک، کاربری زمین، زمین‌شناسی، شیب، ارتفاع، انحناء پروفیل و انحنای پلانیمتریک استفاده کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که در حدود ۴۲/۱۶ درصد پهنه‌های با خطر فرسایش بسیار زیاد تا زیاد قرار گرفته است. این پهنه‌ها در واحدهای توپوگرافی دشت‌ها، کوه‌پایه‌ها، کوهستان‌های نسبتاً مرتفع و مرتفع واقع شده‌اند. هم‌چنین حدود ۲۶/۹۳ درصد در پهنه با خطر فرسایش متوسط قرار دارد و ۳۰/۸۸ درصد نیز در پهنه‌های با خطر فرسایش کم و بسیار کم قرار گرفته است. فیضی‌زاده (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 پر تراکم به مرتع کم تراکم و زراعت دیم مهم‌ترین عامل در فرسایش منطقه است. معتمدی و آذری (۱۳۹۷)، در پژوهشی ارتباط بین ویژگی‌های ژئومورفیک با رسوب آبخیز حوضه‌های منتخب خراسان رضوی پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که مقدار رسوب تولیدی با ضریب فرم حوضه و متوسط بارندگی سالانه، همبستگی مثبت داشته و در سطح ۵ درصد معنی‌دار بوده است. هم‌چنین پارامترهای مربوط به شکل حوضه شامل ضریب فرم حوضه، کشیدگی و شاخص شکل به ترتیب با ضریب همبستگی ۷۶/۸، ۷۶/۵، و ۷۲ درصد در کنار بارندگی سالانه با ضریب ۷۳/۹ درصد، بیش‌ترین همبستگی را با مقدار رسوب حوضه‌ها داشته‌اند. سراخانرود و همکاران (۱۳۹۹)، به بررسی تغییر کاربری اراضی با استفاده از روش‌های پیکسل پایه و شی‌گرا و تحلیل اثرات تغییر کاربری‌ها بر فرسایش خاک در شهرستان مراغه استان آذربایجان شرقی پرداختند. با توجه به

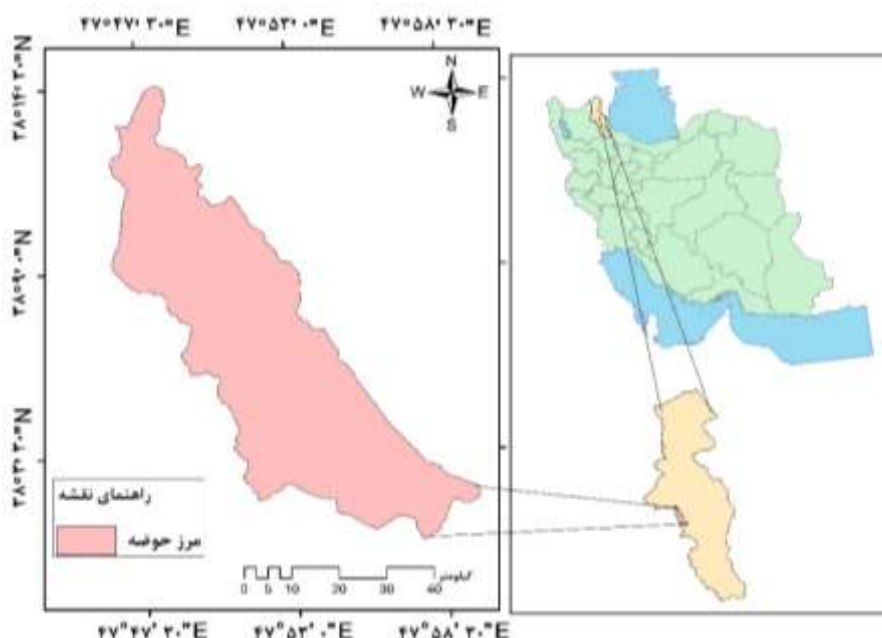
1. Paul et al
2. Ouyang et al
3. Ren et al

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 پر خطر و پرخطر قرار دارند. هم‌چنین نتایج نشان داد که در دوره یاد شده 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 این تحقیق نشان داد که پایش تغییرات کاربری اراضی با استفاده از روش شی‌گرا در صورت رعایت کردن تمامی پارامترها نتایج مناسب‌تری ارائه می‌دهد. مددی و همکاران (۱۳۹۹)، به بررسی ارتباط بین ویژگی‌های ژئومورفیک و میزان تولید رسوب در حوضه آبخیز نیرچای پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که از بین ۲۵ متغیر موثر بر تولید رسوب، چهار عامل مساحت، ضریب فرم حوضه، محیط و دبی به ترتیب ۳۷/۷۸، ۲۵/۴۷، ۱۸/۵۰ و ۱۱/۲۲٪ از واریانس تمامی متغیرهای پژوهش را تبیین کند. در نهایت نتایج آن‌ها حاکی از آن بود که مجموع همه عوامل موثر چهار عامل استخراج شده نهایی توانسته‌اند ۹۲/۹٪ از واریانس تمامی متغیرهای پژوهشی را تبیین کنند. امانپور و همکاران (۱۴۰۰) به بررسی اثر تغییر کاربری اراضی بر فرسایش خاک و تولید رسوب در حوزه رامهرمز با استفاده از طبقه‌بندی شی‌گرا و مدل RUSLE پرداختند و نتایج این تحقیق نشان داد که مناطق مسکونی، اراضی بایر و زراعت دیم در منطقه افزایش داشته و در مقابل پهنه‌های آبی، مراتع و زراعت آبی در منطقه کاهش یافته‌اند. نتیجه تغییر این مساحت‌ها کاهش پوشش طبیعی خاک و افزایش فرسایش در منطقه مورد مطالعه بود. دژبانی و همکاران (۱۴۰۰)، جهت تحلیل ارتباط بین تغییرات مکانی و زمانی کاربری اراضی و سنجه‌های سیمای سرزمین در حوضه آبخیز کوزه‌تپراقی، استان اردبیل پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که در سطح کلاس زراعت دیم حداکثر مقدار را در سنجه تراکم حاشیه و زراعت آبی حداکثر مقادیر را در سنجه‌های میانگین فاصله نزدیک‌ترین همسایه اقلیدسی، تعداد لکه و حاشیه کل در هر سه سال (۱۳۷۹، ۱۳۸۹، ۱۴۰۰) داشته‌اند. هم‌چنین در سطح سیما نیز شاخص تکه‌شدگی در سال ۱۳۸۹ نسبت به سال ۱۳۷۹ کاهش جزئی داشته و سپس در سال ۱۴۰۰ افزایش پیدا کرده است. سانتوس و همکاران (۲۰۱۷)، به بررسی تغییرات کاربری اراضی و نقش آن در فرسایش خاک در کشور برزیل پرداختند و نتایج نشان داد که سطح زمین‌های کشاورزی و مراتع کاهش یافته و میزان فرسایش در این مناطق ۱۰ برابر افزایش یافته است. چی و همکاران (۲۰۱۹)، به منظور 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. سینگ و همکاران (۲۰۲۰)، به بررسی تغییرات کاربری اراضی بر روی تالاب هارایک در ایالت پنجاب کشور هندوستان پرداخت و نتایج نشان داد که در طی بازه زمانی ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۸ تأثیرات منفی عوامل انسانی هم‌چون کشت بی‌رویه و عدم اختصاص حق‌آبه مورد نیاز تالاب سبب کاهش وسعت پهنه آبی و نیز فرسایش خاک شده است. راوات<sup>۱</sup> و همکاران (۲۰۱۸)، به منظور ارزیابی و اندازه‌گیری میزان آسیب‌پذیری فرسایش خاک در حوضه آبریز ناحیه الله‌آباد از ایالت اوتار پرادش هند را با استفاده از RUSLE و GIS انجام دادند. نتایج بررسی آن‌ها نشان داد که پوشش گیاهی فرسایش خاک را متوقف می‌کند. لذا با توجه به موارد ذکر شده و هم‌چنین اهمیت مطالعه تغییر کاربری‌ها و نقش آن در فرسایش خاک ارزیابی میزان هدررفت خاک در کاربری‌های اراضی حوضه آبخیز نیرچای با استفاده از مدل RUSLE مورد مطالعه قرار گرفت.

## روش تحقیق

### موقعیت منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز نیرچای از شمال با قله سبلان، از جنوب با حوضه امام چای، از شرق جوراب چای و سرعین و از غرب با حوضه بیوک و گردنه سایین هم جوار است. این حوضه با مختصات جغرافیایی ۴۷ درجه و ۴۶ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۱ دقیقه طول شرقی و ۳۸ درجه و ۱ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۱۵ دقیقه عرض شمالی در محدوده شهرستان‌های نیر و سرعین در استان اردبیل و سراب در استان آذربایجان شرقی واقع شده است. آبراهه اصلی این حوضه، رودخانه نیرچای به طول تقریبی ۴۲ کیلومتر می‌باشد که از زمین‌های پوشیده از برف توده آتشفشانی سبلان سرچشمه می‌گیرد. این رودخانه پس از زهکشی قسمت‌هایی از دامنه‌های جنوبی توده آتشفشانی سبلان و دریافت چندین انشعاب فرعی پس از عبور از شهر نیر به رودخانه بالخلی چای منتهی می‌شود. حداکثر ارتفاع حوضه ۴۴۰۰ متر، حداقل ارتفاع آن ۱۶۲۰ است و ارتفاع متوسط حوضه ۲۷۸۰ متر سطح دریا و شیب متوسط حوضه نیز ۳۸ درصد است (عابدینی و محمدزاده شیشه‌گران، ۱۴۰۱). در شکل ۱ موقعیت جغرافیایی حوضه آبخیز نیرچای ارائه شده است.



شکل (۱): موقعیت جغرافیایی حوضه آبخیز نیرچای در سطح کشور و استان اردبیل، منبع: نویسندگان

## مواد و روش‌ها

در این پژوهش، جهت تجربه تحلیل داده‌های بارش از داده‌های ایستگاه‌های باران‌سنجی سنین، سردابه، سرعین، آتشگاه، توتونسیر و یامچی استفاده گردید. لازم به ذکر است که کیفیت داده‌ای مورد استفاده، قبل از وارد شدن در مراحل تجزیه و تحلیل آماری، مورد بررسی قرار گرفت و پس از رفع نقایص آماری احتمالی و هم‌چنین بررسی پرت بودن داده‌ها، وارد مرحله تجزیه و تحلیل آماری شد. جهت بررسی نرمال بودن توزیع داده‌ها از آزمون کولموگروف اسمیرنوف<sup>۱</sup> استفاده گردید.

در پردازش تصاویر ماهواره‌ای، انتخاب زمان مناسب تصاویر اخذ شده جهت تهیه نقشه کاربری اراضی، بسیار مهم می‌باشد، بنابراین در پژوهش حاضر تصاویر سری لندست شامل لندست ۸ با سنجده OLI در شرایط بدون ابرناکی (باسکولاً<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۱۷) در

1. Kolmogrov-smirnov  
2. Basukala

اواخر خرداد (ماه June) سال ۱۴۰۰ شمسی (۲۰۲۱ میلادی) از طریق سایت نقشه‌برداری زمین‌شناسی آمریکا (USGS<sup>۱</sup>) دریافت شد. با توجه به فصل رویش گیاهان مرتعی و زمان‌بندی کشت و برداشت محصولات زراعی، به نظر می‌رسد که تصاویر مربوط به اواسط خرداد، برای تهیه نقشه کاربری اراضی مناسب باشد. تصویر سال ۱۴۰۰ مربوط به لندست ۸ است. اطلاعات این ماهواره دارای ۱۱ باند می‌باشد که باندهای ۱ تا ۶ و ۷ آن به‌عنوان باندهای طیفی به ترتیب داری قدرت تفکیک مکانی ۳۰ و ۶۰ متر می‌باشد. در این پژوهش اطلاعات تمامی باندهای طیفی تصویر مذکور جهت طبقه‌بندی کاربری اراضی مورد استفاده قرار گرفت. در جدول (۱) مشخصات تصویر ماهواره‌ای مورد استفاده ارائه شده است. هم‌چنین در این پژوهش از نرم افزارهای SPSS 21، Excel، 5.4، Arc GIS، ENVI 5.3 جهت تجزیه و تحلیل داده‌ها و تهیه نقشه‌ها استفاده گردید.

جدول (۱): مشخصات تصاویر ماهواره‌ای استفاده شده در پژوهش، منبع: سایت سازمان زمین‌شناسی آمریکا (USGS).

ماهواره	سنجنده	تاریخ میلادی	تاریخ شمسی	گذر	ردیف
لندست ۸	OLI	21 June 2021	۳۱ خرداد ۱۴۰۰	۱۶۷	۳۳

### پیش پردازش تصاویر

تصحیحات رادیومتریک شامل آن دسته از تصحیحات می‌باشند که تنها روی درجات خاکستری اعمال شده و فقط با تغییر مقادیر آن‌ها به صورت مجزا (به صورت پیکسل به پیکسل)، سعی در جبران بعضی خطاهای موجود دارند. از عمده موارد خطاهای رادیومتریکی عبارت‌اند از: خطوط جا افتاده، خطای نوار نوار شدن، خطاهای اتمسفری، خطاهای دستگامی و نویزها (کانتاکومار و نلامستی، ۲۰۱۵). پس از دریافت تصاویر ماهواره‌ای مذکور، کنترل کیفیت داده‌ها، وجود خطاهای اتمسفری، هندسی و رادیومتری با برنامه ENVI 5.3 مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به این که تصاویر دریافتی دارای سیستم مختصات بود و از صحت هندسی بالایی برخوردار بود، بنابراین نیازی به تصحیح هندسی نبود. در تمامی تصاویر دریافتی تصحیح رادیومتریک انجام شد. به منظور اطمینان از بازیابی دقیق اطلاعات طیفی تصاویر، جهت تصحیح اتمسفری اعمال گردید. اتمسفر زمین از ذرات مایع، جامد و گاز تشکیل شده است که بسیاری از این ذرات سبب جذب<sup>۲</sup>، انتشار<sup>۳</sup> و پراکندگی<sup>۴</sup> اپتیکی می‌شوند. سیگنال دریافتی در ماهواره، تابش نوری<sup>۵</sup> از سطح زمین و اتمسفر است که به صورت مستقیم از طریق سنسور ثبت می‌شود. تابش اندازه‌گیری شده در سنسور به تابش<sup>۶</sup> TOA معروف است. هدف از تصحیحات اتمسفری تبدیل تابش TOA اشیاء به بازتاب از سطح زمین است (کانتاکومار و نلامستی<sup>۷</sup>، ۲۰۱۵). زمانی که از تصاویر چندزمانه جهت طبقه‌بندی کاربری اراضی استفاده می‌گردد، توصیه شده است که تصحیح اتمسفری تصاویر انجام گردد (کانتاکومار و نلامستی، ۲۰۱۵) و از طرف دیگر برای محاسبه شاخص NDVI، تصحیح رادیومتریکی ضرورت دارد (نگوین و فام<sup>۸</sup>، ۲۰۱۶). بنابراین ابتدا جهت تصحیح رادیومتریکی، مقادیر<sup>۹</sup> DN تصویر به تابش<sup>۱۰</sup> کالیبره گردید (تاگر<sup>۱۱</sup> و همکاران، ۲۰۱۷)، سپس با استفاده از ماژول<sup>۱۲</sup> FLAASH تصحیح اتمسفری اعمال گردید (کانتاکومار و نلامستی،

1. United States Geological Survey
2. Absorption
3. Diffusion
4. Scattering
5. Emergent Radiation
6. Top of Atmosphere
7. Kantakumar and Neelamsetti
8. Nguyen and Pham
9. Digital Numbers
10. Radiance
11. Thakkar
12. Fast Line of sight Atmospheric Analysis of Spectral Hyper cubes

۲۰۱۵). این ماژول توانایی اصلاح طول موج در ناحیه مرئی و مادون قرمز نزدیک<sup>۱</sup> و مادون قرمز نزدیک موج کوتاه<sup>۲</sup> تا بالای ۳ میکرومتر را دارا می‌باشد (کانتاکومار و نلامستی، ۲۰۱۵). پارامترهای مورد نیاز برای تصحیح اتمسفری هم‌چون تاریخ و ساعت تصویربرداری از اطلاعات فایل متنی<sup>۳</sup> که ضمیمه تصاویر است، استخراج گردید.

### طبقه بندی ماشین بردار پشتیبان

با توجه به ویژگی‌های روش‌های مختلف، قابلیت‌های SVM به‌عنوان روشی کارا برای ارزیابی داده‌های طیفی مورد بررسی قرار گرفته است. این روش با استفاده از داده‌های آموزشی کم از خواص هندسی داده‌ها برای طبقه‌بندی استفاده می‌کند. هم‌چنین SVM از توابع کرنلی برای انتقال داده‌های غیرخطی در فضای ورودی به داده‌های خطی در فضای ویژگی استفاده می‌کند (زلفی باروق، ۱۳۹۰). این الگوریتم پس از یک طبقه‌بندی اولیه، با استفاده از کلاس هر پیکسل و همسایه‌هایش به صورت سلسله مراتبی تصمیم‌گیری می‌کند. تصمیم‌گیری در هر یک از سطوح این طبقه‌بندی‌کننده به‌وسیله یک ماشین بردار پشتیبان انجام می‌شود (مانترو<sup>۴</sup> و همکاران، ۲۰۰۵). الگوریتم SVM در واقع یک الگوریتم طبقه‌بندی‌کننده دودویی است که دو کلاس را با استفاده از یک مرز خطی از هم جدا می‌کند. در این روش با استفاده از تمامی باندها و یک الگوریتم بهینه‌سازی، نمونه‌هایی که مرزهای کلاس‌ها را تشکیل می‌دهند به دست می‌آورند، این نمونه‌ها را بردارهای پشتیبان گویند. تعدادی از نقاط آموزشی که کم‌ترین فاصله تا مرز تصمیم‌گیری را دارند می‌توانند به‌عنوان زیر مجموعه‌ای برای تعریف مرزهای تصمیم‌گیری و به‌عنوان بردار پشتیبان در نظر گرفته شوند (واپنیک و چرونونکیس<sup>۵</sup>، ۱۹۹۱).

### ۱. ارزیابی فرسایش خاک

در این پژوهش جهت برآورد میانگین سالانه فرسایش خاک از مدل RUSLE استفاده شد. مدل RUSLE تابعی از ۶ فاکتور ورودی شامل فرسایندها (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 (پرادهان<sup>۶</sup> و همکاران، ۲۰۱۲). فرسایش خاک بر اساس مدل RUSLE با استفاده از رابطه ۱، محاسبه می‌شود (ویشمایر و اسمیت<sup>۷</sup>، ۱۹۷۸):

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

در این رابطه A میانگین فرسایش خاک در واحد سطح (تن در هکتار در سال)، R فاکتور فرسایندها (باران  $\text{mm h}^{-1} \text{y}^{-1} \text{h}^{-1}$ )، K فاکتور فرسایش‌پذیری خاک ( $\text{t h MJ}^{-1} \text{mm}^{-1}$ )، LS فاکتور توپوگرافی، C فاکتور پوشش گیاهی و P فاکتور عملیات حفاظتی خاک می‌باشد. LS و C و P بدون واحد می‌باشند.

### ۲. عامل فرسایندها (R)

مفهوم فرسایندها (R) باران توسط ویشمایر و اسمیت به‌منظور لحاظ تاثیر اقلیم بر فرسایش خاک ارائه شد. پتانسیل باران در ایجاد فرسایش، فرسایندها (R) نامیده می‌شود که تابعی از خصوصیات فیزیکی بارندگی است و با انرژی مستقیم باران، انرژی جنبشی بارندگی و حداکثر شدت بارندگی ۳۰ دقیقه‌ای در ارتباط است (ویشمایر و اسمیت، ۱۹۷۸). در منطقه مورد مطالعه ایستگاه‌های

1. Near-Infrared  
2. Shortwave Infrared  
3. MTL  
4. Mantero  
5. Vapnik and Chervonenkis  
6. Pradhan  
7. Wischmeier and Smith

مجهز به باران‌نگار وجود ندارد، در صورت عدم وجود چنین ایستگاه‌هایی معمولاً از شاخص‌هایی مبتنی بر مقادیر بارش‌های سالانه و ماهانه مثل شاخص فورنیه در مدل‌های USLE و RUSLE استفاده می‌شود (رنارد و فرموند، ۱۹۹۴). بنابراین شاخص اصلاح شده فورنیه بر اساس رابطه ۲ برای تمامی ایستگاه‌ها محاسبه، سپس با جاگذاری این شاخص در رابطه‌های بعدی که برای مناطق فاقد داده‌های تفصیلی شدت بارندگی پیشنهاد شده است (رنارد و فریموند، ۱۹۹۴)؛ مقدار فاکتور R برای ایستگاه‌های هواشناسی برآورد گردید. ابتدا انتخاب ایستگاه‌های مناسب از نظر طول دوره آماری، انتخاب پایه زمانی مشترک، کنترل کیفی، همگن‌سازی و رفع نواقص قبل از محاسبه شاخص مبتنی بر مقدار بارندگی در ایستگاه‌های باران‌سنجی انجام شد. برای انجام این تحقیق داده‌های بارش از دوره آماری ۱۰ ساله ایستگاه باران‌سنجی موجود در داخل و اطراف حوضه کسب شد. سپس با استفاده از روابط (۴ و ۳ و ۲) مقدار R مورد محاسبه قرار گرفت.

$$MFI = \sum_{i=1}^{12} P_i^2 / P \quad (2)$$

که در این رابطه  $P_i$  متوسط بارندگی به میلی‌متر در ماه  $i$  و  $P$  متوسط بارندگی سالیانه (میلی‌متر) است.

$$R = 0.07397 \times MFI^{1.847} \quad MFI < 55 \text{ mm} \quad (3)$$

$$R = (95.77 - 6.081 \times F + 0.4770 \times MFI^2) / 1 \quad MFI \geq 55 \text{ mm} \quad (4)$$

در این رابطه  $R$  متوسط فرسایش بر حسب  $\text{Mj.mm.ha}^{-1}.\text{h}^{-1}.\text{month}^{-1}$  برای دوره آماری،  $n$  تعداد سال‌های آماری،  $m_j$  تعداد حوادث فرسایش برای ماه  $Z$  و  $EL30$  میزان فرسایش برای باران برای رخداد  $K$  است. فرسایش برای هر رخداد بارش بر اساس رابطه ۷ به دست می‌آید:

پس از محاسبه عامل  $R$  در سه ایستگاه باران‌سنجی مورد مطالعه، تغییرات مکانی آن با استفاده از روش درون‌یابی عکس فاصله وزنی ( $IDW^1$ ) مورد بررسی و نقشه تغییرات مکانی عامل  $R$  تهیه گردید.

### ۳. عامل 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). مورگان برای ضریب فرسایش‌پذیری خاک‌های مختلف اعدادی را پیشنهاد نموده است که در جدول (۲)، نشان داده شده است (احمدی، ۱۳۸۸). به‌منظور تهیه نقشه عامل فرسایش‌پذیری خاک (K) از نقشه بافت خاک ۱:۲۵۰۰۰۰ ایران و اطلاعات جدول (۳)، استفاده گردید.

جدول (۲): ضریب فرسایش‌پذیری خاک (K)، منبع: احمدی، ۱۳۸۸

K	وضعیت خاک	K	وضعیت خاک
۰/۱	اراضی مقاوم به فرسایش	۰/۵	خاک سطحی با پوشش سنگریزه‌ای
۰/۴۲	خاک‌های ماسه‌ای نرم	۰/۱۶	خاک‌های ماسه‌ای
۰/۴۲	خاک‌های لومی با ماسه بسیار ریز	۰/۱۲	خاک‌های لومی شنی
۰/۳۷	خاک‌های لومی	۰/۴۸	خاک‌های سیلتی لومی
۰/۳۷	خاک‌های لومی رسی	۰/۲۵	خاک‌های سیلتی رسی



### ۳. 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 اندازه‌گیری شده برحسب متر است. حاصل ضرب دو فاکتور یاد شده، به عنوان فاکتور توپوگرافی شناخته می‌شود (ایوبی و همکاران، ۲۰۰۸). برای تهیه نقشه فاکتور توپوگرافی، از مدل رقومی ارتفاعی منطقه استفاده شد. فاکتور توپوگرافی نیازمند نقشه‌های تجمیع جریان و شیب است که از نقشه مدل رقومی ارتفاعی استخراج می‌شوند و در نهایت با استفاده از رابطه ۵، فاکتور توپوگرافی به دست می‌آید.

(۵)

$$LS=[(\text{Flow accumulation grid}) \times (\text{cell size}/22.13)]^{0.4} \times [\text{Sin}(\text{slope grid} \times 0.01745)/0.0896]^{1.3}$$

که در آن Flow Accumulation تجمع جریان به سمت بالای شیب برای هر سلول، Cell Size اندازه سلول‌های شبکه و Slope شیب، به دست آمده از نقشه شیب می‌باشد. از عدد  $0.01745$  برای تبدیل واحد به رادیان در محیط GIS استفاده می‌گردد.

### ۴. 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 (ویشمیر و اسمیت، ۱۹۷۸). مقدار عامل پوشش گیاهی از رابطه ۶، محاسبه می‌شود (ون در نیف<sup>۱</sup> و همکاران، ۲۰۰۰).

(۶)

$$C=\exp(-\alpha \text{NDVI}/\beta-\text{NDVI})$$

که در آن NDVI شاخص تفاوت پوشش گیاهی نرمال شده  $\alpha-2$  و  $\beta-1$  پارامترهایی هستند که شکل رابطه منحنی بین NDVI و C را مشخص می‌کنند. در پژوهش حاضر نقشه عامل پوشش گیاهی (C) با استفاده از شاخص پوشش گیاهی سال ۱۴۰۰ و رابطه ۶ تهیه گردید.

### ۵. عامل 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 (محمدی<sup>۲</sup> و همکاران، ۲۰۱۸). و لذا از آنجا که عامل حفاظت P در صورت نبود اطلاعات کافی درباره چگونگی مدیریت اراضی می‌تواند از معادله حذف شود (ویشمایر و اسمیت، ۱۹۷۸). در این تحقیق نیز به دلیل نبود اطلاعات کافی عامل P محاسبه نشده است.

پس از تهیه نقشه‌های ۵ عامل مدل RUSLE، با ترکیب مقادیر عامل‌های مذکور نقشه فرسایش خاک در سال ۱۴۰۰ تهیه گردید.

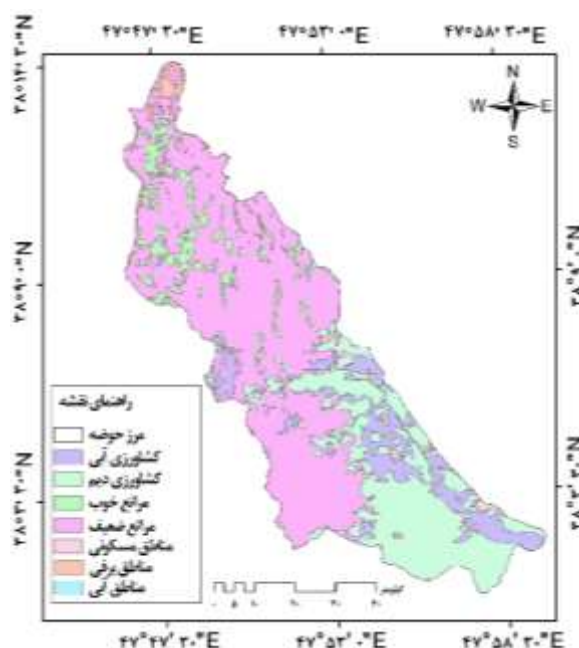
### آزمون همبستگی پیرسون

گسترده‌ترین کاربرد شاخص آماری همبستگی دو متغیری، ضریب همبستگی گشتاوری پیرسون است که به طور معمول همبستگی پیرسون نامیده می‌شود. ضریب پیرسون نشان می‌دهد که تا چه اندازه بین متغیرهای کمی رابطه خطی وجود دارد. کاربرد اصلی ضریب پیرسون زمانی است که متغیرها از نوع پارامتری باشند. به این معنا که توزیع نرمال داشته باشند و در سطح فاصله‌ای یا نسبی باشند. البته زمانی که متغیرها از نوع شبه‌فاصله‌ای باشند (هر متغیر، ترکیبی از چند متغیر ترتیبی باشد که اصطلاحاً به آن مقیاس‌های تراکمی می‌گویند)، برخی از پژوهشگران از ضریب پیرسون استفاده می‌کنند. برخی از محققین استفاده از ضریب پیرسون برای

یک متغیر دو ارزشی و یک متغیر فاصله‌ای یا نسبی را هم مجاز شمرده‌اند. تفسیر همبستگی پیرسون زمانی که یکی از متغیرها دو ارزشی (فقط شامل دو سطح) اما متغیر دیگر کمی است نیز می‌تواند منطقی باشد (مردیان و همکاران، ۱۳۸۹).

## نتایج

نتایج طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای: پس از طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای، نقشه کاربری اراضی به‌دست آمده به هفت کلاس پهنه‌های آب، برفی، مسکونی، کشاورزی آبی، کشاورزی دیم، مراتع خوب و ضعیف تفکیک شد (شکل ۲). صحت نقشه‌های به‌دست آمده با استفاده از ۱۰۰ نقطه کنترل زمینی و تصویر رنگی کاذب همان سال مورد بررسی قرار گرفت. در این پژوهش، ضرایب کاپا و صحت کلی نقشه‌های کاربری اراضی برای سال ۲۰۲۱ به ترتیب برابر ۰/۹۵ و ۹۶/۶۷ به‌دست آمد.



شکل (۲): نقشه کاربری اراضی (سال ۲۰۲۱) حوضه آبخیز نیرچای، منبع: نویسندگان

شاخص فرساینده‌گی باران (R): مشخصات ایستگاه‌های باران سنجی و نتایج حاصل از محاسبه میزان شاخص فرساینده‌گی باران در ایستگاه‌های مورد مطالعه با استفاده از شاخص اصلاح شده فورنیه رابطه (۶) در طی دوره آماری ۱۰ ساله در جدول (۳) ارائه شده است. همچنین نقشه فاکتور فرساینده‌گی باران (R) در شکل (۳، الف) ارائه شده است.

جدول (۳): محاسبه و برآورد عامل R برای ایستگاه‌های باران‌سنجی حوضه آبخیز عموقین، منبع: نویسندگان

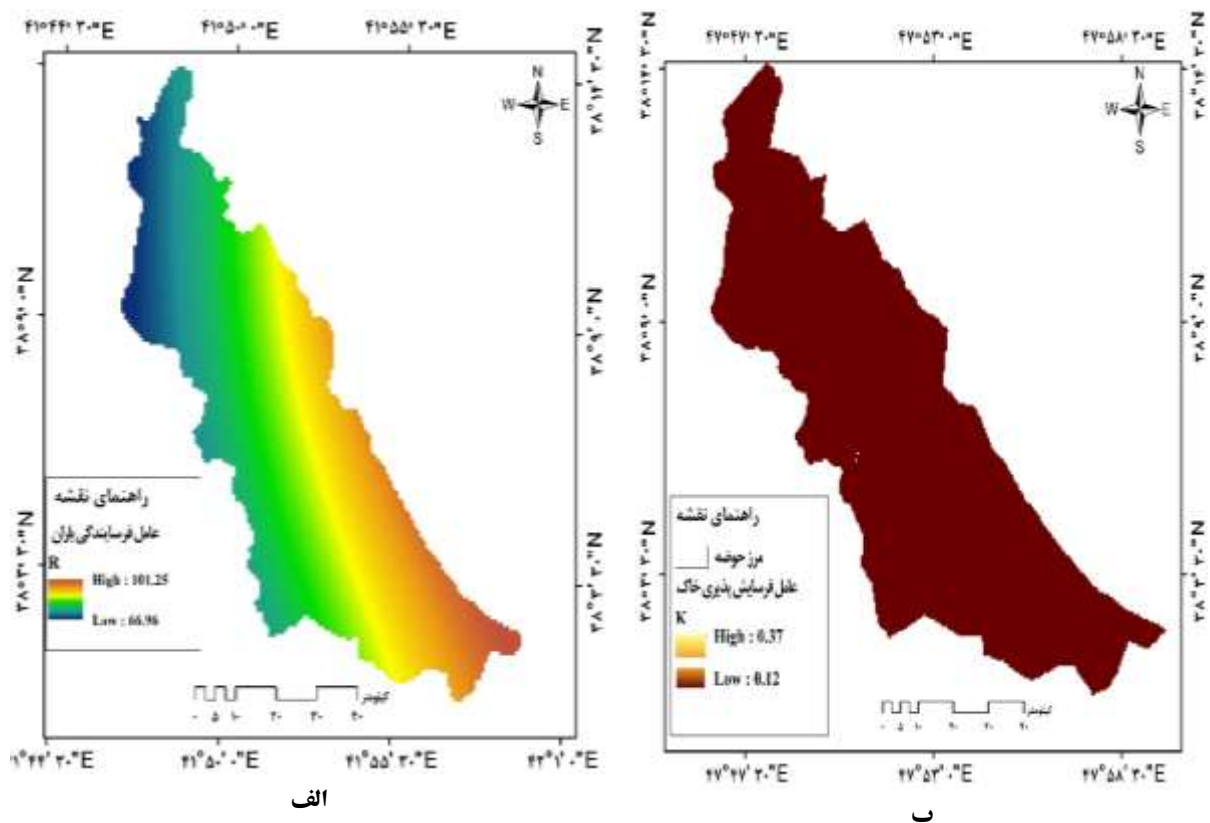
R	ایستگاه	ردیف
۱۰۱/۲۵	آتشگاه	۱
۸۱/۲۷	سئین	۲
۹۵/۳۴	سردابه	۳
۶۶/۹۶	یامچی	۴
۸۳/۵۹	توتونسیز	۵

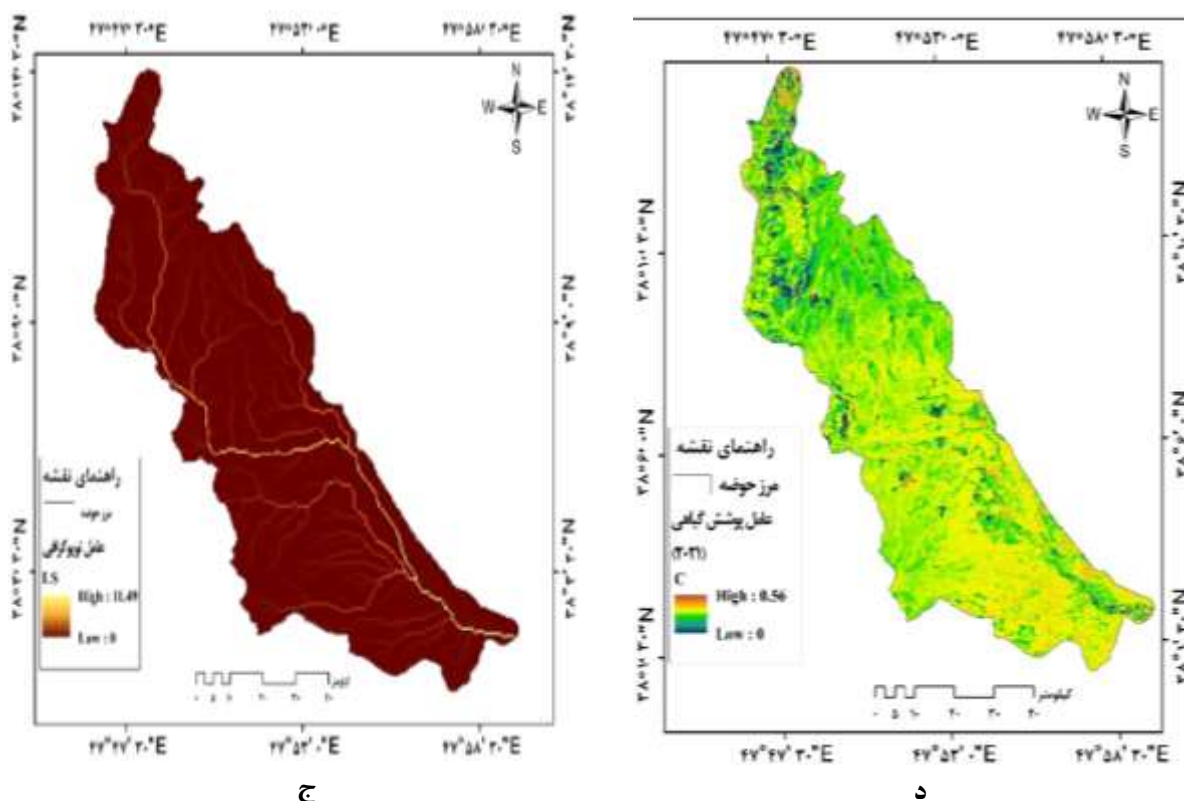
عامل فرسایش پذیری خاک (K): اطلاعات مورد نیاز از گزارش تفصیلی حوزه آبخیز نیرچای استخراج گردید و پس از آن نقشه عامل K با توجه به جدول (۱) و مطالعات سایر محققین در محیط ArcGIS تهیه شد. نقشه عامل فرسایش پذیری خاک در شکل ۳ (ب) ارائه شده است. براساس شکل (۳، ب) مقدار شاخص فرسایش پذیری خاک (K) برای حوزه نیرچای بین ۰/۱۲ تا ۰/۳۷ متغیر می‌باشد.

عامل توپوگرافی (LS): نقشه عامل توپوگرافی (LS) حوزه مورد مطالعه با تهیه و ایجاد لایه‌های لازم براساس رابطه ۷ به دست آمد که در شکل (۳، ج) ارائه شده است. براساس شکل (۳، ج)، مقدار عامل LS برای حوزه آبخیز نیرچای در دامنه بین ۰ تا ۱۱/۴۹ متغیر می‌باشد که در دامنه‌های پرتیب به خصوص اطراف آبراه‌ها به دلیل کوهستانی بودن حوزه مورد مطالعه این مقدار بیش‌تر است.

عامل پوشش گیاهی (C): نقشه عامل پوشش گیاهی C حوزه آبخیز نیرچای براساس رابطه ۴ و ۵ تهیه شد که در شکل (۳، د) ارائه شده است. براساس شکل (۳، د)، مقادیر عامل C از ۰ الی ۰/۵۶ متغیر می‌باشد. به‌طور کلی می‌توان گفت حوزه آبخیز نیرچای به دلیل وسعت بیش‌تر اراضی جنگلی مقادیر کم‌تری از مقدار C را دارد و بیش‌ترین مقدار در نواحی شمالی و نواحی مرکزی به دلیل اراضی مرتعی دیده می‌شود.

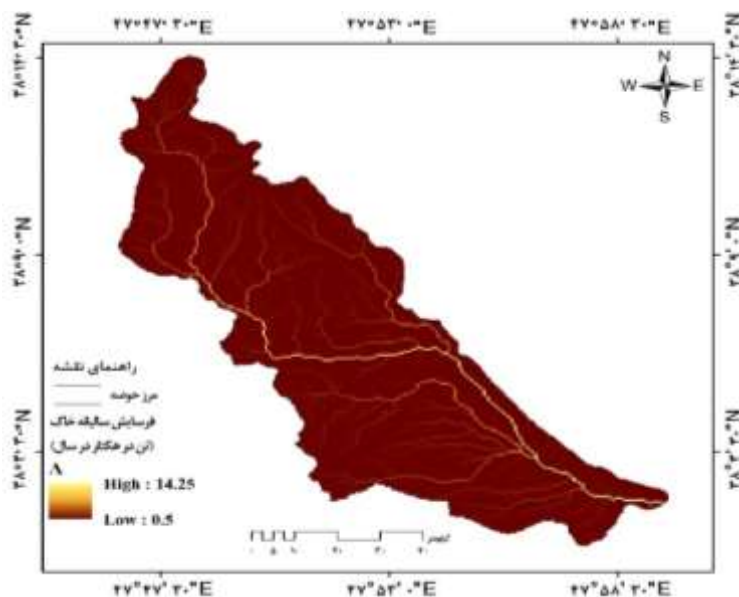
با توجه به عدم انجام اقدامات حفاظتی در منطقه مورد مطالعه، مقدار فاکتور P برای کل منطقه ۱ در نظر گرفته شد.





شکل (۳): الف) عامل فرسایش‌گری باران (R)، ب) عامل فرسایش‌پذیری خاک (K)، ج) عامل توپوگرافی (LS)، د) عامل پوشش گیاهی (C)، حوضه آبخیز نیرچای، منبع: نویسندگان

نقشه فرسایش خاک (RUSLE): جهت تهیه نقشه فرسایش متوسط سالانه خاک از حاصل ضرب فاکتورهای فرسایش‌گری باران (R)، فرسایش‌پذیری خاک (K)، مدیریت پوشش گیاهی (C)، توپوگرافی (LS)، و عملیات حفاظت (P) براساس رابطه ۱ در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) محاسبه شد و مقادیر هدررفت سالانه خاک (A) بر حسب تن در هکتار در سال به دست آمد. نقشه به دست آمده در شکل (۳) ارائه شده است. بر اساس شکل (۳) مقادیر نقشه فرسایش سالانه خاک در حوضه نیرچای بین ۰/۵ الی ۱۴/۲۵ تن در هکتار در سال در سطح پیکسل متغیر می‌باشد.



شکل (۴): نقشه فرسایش سالیانه خاک (بر حسب تن در هکتار در سال) حوضه آبخیز نیرچای، منبع: نویسندگان

طبق گزارش فائو حدود ۳۶ درصد از کل زمین‌ها و ۶۰ درصد از خاک‌های کشاورزی در ایران در معرض فرسایش هستند. در این میان عمده‌ترین دلیل فرسایش شدید خاک در ایران، از بین رفتن پوشش گیاهی است که می‌توان گفت تقریباً در همه مراتع چرای بی‌رویه باعث فرسایش خاک شده به طوری که تراکم دام در آن‌ها دو تا شش برابر ظرفیت چرای موجود است. بنابراین در چنین وضعیتی عجیب نیست که فرسایش خاک در ایران چند برابر متوسط جهانی است، این اتفاق در حالی رخ داده است که خاک به‌عنوان یکی از مهم‌ترین عناصر کشاورزی برای احیای مجدد به زمان طولانی نیاز دارد (نژادافضلی و همکاران، ۱۳۹۸).

## نتیجه‌گیری

کاربری اراضی، یکی از عوامل مهم در ایجاد فرسایش خاک است و در سال‌های اخیر، تاثیر متقابل تغییر کاربری اراضی و فرسایش خاک به یک نگرانی عمده زیست‌محیطی تبدیل شده است. با توجه به اهمیت موضوع، در پژوهش حاضر نیز ارزیابی میزان هدررفت خاک در کاربری‌های اراضی حوزه آبخیز نیرچای با استفاده از مدل RUSLE مورد بررسی قرار گرفته است. بدین منظور ابتدا نقشه کاربری اراضی با استفاده از تصویر ماهواره‌ای لندست 8 OLI و با استفاده از الگوریتم ماشین بردار پشتیبان در هفت کلاس پهنه‌های آب، برفی، مسکونی، کشاورزی آبی، کشاورزی دیم، مراتع خوب و ضعیف طبقه‌بندی گردید. صحت کلی و ضریب کاپا برای نقشه کاربری اراضی تهیه شده به ترتیب برابر ۰/۹۵ و ۹۶/۶۷ درصد به دست آمد. سپس نقشه‌های عوامل R، K، LS، C و P مدل RUSLE در محیط GIS تهیه و پس از تلفیق این لایه‌ها از طریق Raster Calculator در محیط Arcmap نقشه متوسط فرسایش سالانه خاک برای کل حوضه آبخیز نیرچای بین ۰/۵ تا ۱۴/۲۵ تن در هکتار در سال محاسبه شد. نتایج ارزیابی نقشه هدررفت خاک بر روی کاربری‌های اراضی منطقه مورد مطالعه نشان داد که کاربری اراضی دیم با میانگین فرسایش خاک ۰/۸۵ تن در هکتار در سال دارای بیش‌ترین هدررفت خاک و مراتع خوب با میانگین فرسایش ۰/۳۵ تن در هکتار در سال دارای کم‌ترین هدررفت خاک را در بین سایر کاربری‌های موجود در منطقه را دارا می‌باشند. در این پژوهش سعی شد از قابلیت‌های GIS برای ایجاد داده‌های مورد نیاز مدل RUSLE استفاده شود. در نهایت پیشنهاد می‌گردد، با تعیین ظرفیت چرای، مدیریت پوشش گیاهی، روند تغییرات کاربری اراضی در حوزه آبخیز نیرچای کنترل و در جهت احیا، اصلاح و توسعه مراتع گام برداشته شود. بنابراین انتظار می‌رود، این مطالعه و نتایج حاصل از این پژوهش راه‌گشایی برای اعمال مدیریت بهتر و علمی‌تر مدیران و برنامه‌ریزان ذیصلاح در این زمینه گردد.

## منابع

- احمدی، حسن (۱۳۸۸). ژئومورفولوژی کاربردی (فرسایش آبی). چاپ ششم. تهران: انتشارات دانشگاه تهران.
- آذرخشی، مریم و دیگران (۱۳۹۶). اثر تغییرات بارش و کاربری اراضی بر تولید رسوب؛ مطالعه موردی: حوضه آبخیز صنوبر تربت حیدریه. علوم و مهندسی آبخیزداری. ۱۱ (۳۷)، ۳۳-۲۵.
- ایوبی، شمس‌اله؛ خرمالی، فرهاد؛ شتابی‌جویباری، شعبان (۱۳۸۶). استفاده از تکنیک زمین‌آمار در تعیین مناسب‌ترین ابعاد سلول مدل رقومی زمین برای برآورد مشخصه توپوگرافی (LS) مدل برآورد فرسایش (RUSLE) در منطقه تاش علیا (استان گلستان). پژوهش و سازندگی. ۲۰ (۴)، ۱۲۲-۱۲۹.
- زلفی‌باروق، مینا (۱۳۹۰). بررسی و پیاده‌سازی روش SVM برای تصاویر ماهواره‌ای. پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی عمران - سنجش از دور. دانشکده فنی و مهندسی دانشگاه اصفهان. اصفهان. ایران.
- عابدینی، موسی؛ طولابی، سوسن (۱۳۹۲). مقایسه کارایی مدل‌های WEPP و EPM در برآورد فرسایش خاک و میزان رسوبدهی حوضه آبخیز سولاچای. پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی. ۲ (۱)، ۹۶-۷۹.

- عابدینی، موسی؛ شبرنگ، شنو؛ اسمعیلی، اباذر (۱۳۹۲). بررسی میزان فرسایش خاک و رسوبدهی در حوضه آبخیز مشکین چای به روش EPM. *جغرافیا و توسعه*. ۱۱ (۳۰)، ۱۰۰-۸۷.
- عابدینی، موسی (۱۴۰۰). بررسی کمی فرسایش خندقی و رسوبدهی با استفاده از شاخص‌های فرسایش‌نگاری باران، مورفومتری و رگرسیون خطی در حوضه آبخیز هرزند چای. *نشریه تخریب و احیاء اراضی طبیعی*. ۳ (۳)، ۱۱۱-۱۰۰.
- عابدینی، موسی؛ یعقوب نژاد، نازیلا (۱۳۹۶). ارزیابی و پهنه‌بندی خطر فرسایش خاک در حوضه آبخیز رودخانه بالیخلو (سد یامچی) با استفاده از مدل فازی. *پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمی*. ۶ (۱)، ۱۵۵-۱۳۷.
- عبیات، محمد؛ عبیات، مصطفی؛ عبیات، مرتضی (۱۴۰۰). بررسی تغییرات کاربری اراضی و اثر آن بر روند فرسایش خاک در حوضه باغملک با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی و مدل RUSLE. *محیط شناسی*. ۴۷ (۱)، ۹۱-۷۳.
- فیضی‌زاده، بختیار (۱۳۹۶). مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی و اثرات آن بر سیستم فرسایش در حوضه سد علویان با استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور و GIS. *هیدروژئومورفولوژی*. ۳ (۱۱)، ۳۸-۲۱.
- کیانی‌هرچگانی، محبوبه؛ صادقی، سیدحمیدرضا؛ فلاحت‌کار، سامره (۱۳۹۸). تحلیل مقایسه‌ای عامل فرسایش‌پذیری خاک در حوضه آبخیز شازند. *اکوهیدروولوژی*. ۱ (۶)، ۱۶۳-۱۵۳.
- محمدی، شاهین و دیگران (۱۳۹۷). برآورد مکانی و زمانی فرسایش خاک با استفاده از مدل RUSLE و سری‌های زمانی ماهواره لندست، مندرجان، اصفهان، مرتع و آبخیزداری. *مجله منابع طبیعی ایران*. ۷۱ (۳)، ۷۷۴-۷۵۹.
- مددی، عقیل و دیگران (۱۳۹۹). بررسی ارتباط بین ویژگی‌های ژئومورفیک و میزان تولید رسوب در حوضه آبخیز نیرچای. *فصلنامه تحقیقات جغرافیایی*. ۳۶ (۱)، ۳۴-۲۳.
- مرادیان، مهدی و دیگران (۱۳۸۹، اردیبهشت). کاربرد روش آنالیز ناحیه‌ای در برآورد رسوب معلق سالانه، مطالعه موردی حوضه سد کمال صالح استان مرکزی. *ششمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی*. دانشگاه تربیت مدرس. نور. ایران.
- معمودی، راضیه؛ آذری، محمود (۱۳۹۷). ارتباط بین ویژگی‌های ژئومورفیک با رسوب آبخیز (مطالعه موردی: زیرحوضه‌های منتخب خراسان رضوی). *پژوهش‌های فرسایش محیطی*. ۲۸ (۴)، ۱۰۱-۸۲.
- نژاداف‌ضلی، کرامت؛ شاه‌رخی، محمدرضا؛ بیاتانی، فاطمه (۱۳۹۸). برآورد فرسایش خاک با استفاده از مدل RUSLE و شنا سایی موثرترین عامل آن در حوضه آبخیز دهکان (جنوب کرمان). *مخاطرات محیط طبیعی*. ۸ (۲۰)، ۳۸-۲۱.
- واعظی، علی‌رضا؛ عباسی، محمد؛ حاجی‌ملکی، خالد (۱۳۹۶). ارزیابی مدل RUSLE همراه شده با سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در عرصه‌های زهکش کوچک در منطقه نیمه خشک، شمال‌غربی ایران. *علوم و مهندسی آبخیزداری ایران*. ۱۱ (۳۸)، ۱۰-۱.
- Assis, K. G. O. et al (2021). Soil loss and sediment yield in a perennial catchment in Southwest Piauí, Brazil. *Environmental Monitoring and Assessment*. 193 (1), 1-11.
- Chi, W. et al (2019). Impacts of anthropogenic land-use/cover changes on soil wind erosion in China. *Science of the Total Environment*. 668 (5), 204-215.
- Kantakumar, L.N. & Neelamsetti, P. (2015). Multi-temporal land use classification using hybrid approach. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*. 18 (2), 289-295.
- Mantero, P. et al (2005). Partially supervised classification of remote sensing images through SVM-based probability density estimation, *IEEE Trans. on Geoscience and Remote Sensing*. 43 (3), 559-570.
- Nguyen, T.T.H & Pham, T.T.T. (2016). Incorporating ancillary data into Landsat 8 image classification process: a case study in Hoa Binh. *Vietnam. Environmental Earth Sciences*. 75 (5), 430.
- Ouyang, W. et al (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. et al (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.
- Pradhan, B. et al (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.

Rawat, K.S. & Singh, S. K. (2018). Appraisal of soil conservation capacity using NDVI model-based C factor of RUSLE model for a Semi Arid ungauged watershed: A case study. *Water Conservation Science and Engineering*. 3 (1), 47-58.

Ren, Y. et al (2019). Spatially explicit simulation of land-use/landcover changes: Current coverage and future prospects. *Earth Science Reviews*. 190, 398-415.

Renard, K.G. & Freidmund, J.R. (1994). Using monthly precipitation data to estimate the R-factor in the RUSLE, National Agricultural Library. *Journal of Hydrology*. 157, 287-306.

Santos, J.C.N. et al (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. & 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.

Thakkar, A.K., et al (2017). Post-classification corrections in improving the classification of land use/land cover of arid region using RS and GIS: The case of Arjuni watershed, Gujarat, India. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*. 20 (1), 79-89.

Van der Knijff, J.M.; Jones, R.J.A. & Montanarella, L. (2000). Soil Erosion Risk Assessment in Europe. *European Soil Bureau*. 1-34.

Vanacker, V. et al (2019). Land-use impacts on soil erosion and rejuvenation in Southern Brazil. *Catena*. 178, 256-266.

Wischmeier, W.H., & Smith, D.D. (1978). Predicting rainfall erosion, losses: a guide to conservation planning. *United States Department of Agriculture Handbook, Washington DC*. 537, 13-27.

#### نحوه ارجاع به مقاله:

عابدینی، موسی؛ پاسبان، امیرحسام؛ نظافت تکه، بهروز (۱۴۰۳)، ارزیابی میزان هدررفت خاک در کاربری‌های اراضی حوزه آبخیز نیرچای با استفاده از مدل RUSLE و تصاویر ماهواره‌ای لندست (سنجنده OLI)، فصلنامه جغرافیا و مطالعات محیطی، ۱۳ (۴۹)، ۲۰-۶. Doi: 10.71740/ges.2024.979037

#### Copyrights:

Copyright for this article is retained by the author (s), with publication rights granted to Journal of Geography and Environmental Studies. This is an open – access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0>), which permits unrestricted use, distribution and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

