



<https://gep.ui.ac.ir/?lang=fa>

Geography and Environmental Planning

E-ISSN: 2252- 0910

Document Type: Research Paper

Vol. 35, Issue 4, No.96, Winter 2024, pp. 137- 164

Received: 16/12/2024

Accepted: 09/03/2025

Investigating Land Use Changes and Their Effects on Soil Erosion in Meshkinshahr County

Elnaz Piroozi¹, Sayyad Asghari Saraskanroud^{ib}*, Batool Zeinali³

1- Postdoctoral Researcher in Geomorphology, Department of Physical Geography, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

e.pirouzi@uma.ac.ir

2- Professor of Geomorphology, Department of Physical Geography, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

s.asghari@uma.ac.ir

3- Professor of Climatology, Department of Physical Geography, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

zeynali.b@uma.ac.ir

Abstract

Soil erosion represents a critical environmental challenge, with land use changes being the primary factors that exacerbate its potential. Meshkinshahr County has long been susceptible to erosion due to its environmental characteristics, while population growth and unprincipled land use changes have further heightened this risk at the county level in recent years. This study aims to evaluate the impact of land use changes on soil erosion in Meshkinshahr County. To achieve the research objectives, land use maps for the years 2002 and 2024 were generated using an object-oriented approach. Subsequently, additional layers of factors influencing erosion were prepared using Geographic Information Systems (GIS). Erosion zoning was then conducted by standardizing these layers with a fuzzy function, weighting the criteria using the CRITIC method, and modeling with the VIKOR multi-criteria decision-making algorithm. The analysis of land use changes revealed that, in both time periods, poor pastures and dryland agriculture occupied the largest areas within the county. According to the erosion zoning map, in 2002, the areas classified as very high-risk and high-risk constituted 10.88 and 26.55%, respectively. By 2024, these figures increased to 14.14 and 27.33%. Overall, the study indicated that the reduction of pastures, gardens, and forest cover combined with the increase in agricultural (both irrigated and dryland) and residential land uses were the primary drivers behind the heightened potential for soil erosion in the county.

Keywords: Land Use, Erosion, Object-Based Method, Multi-Criteria Analysis.

*Corresponding Author

Piroozi, E. , Asghari Saraskanroud, S. and Zeinali, B. (2025). Investigating land use changes and their effects on soil erosion in Meshkinshahr County. *Geography and Environmental Planning*, 35 (4), 137 - 164 .



2252-0910 © University of Isfahan

This is an open access article under the CC BY-NC 4.0 License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>).



10.22108/gep.2025.143700.1695

Introduction

Soil is one of a country's most vital natural resources and erosion is a significant factor contributing to the degradation and loss of soil fertility (Motamedirad et al., 2023, p. 147). In recent years, ongoing changes in land use driven by the need to meet the diverse demands of the growing global population have become a crucial aspect of environmental change (Taloor et al., 2020, p. 38; Qingge et al., 2020, p. 147; Hussain et al., 2020, p. 2). Inadequate management practices related to land use changes can exacerbate adverse effects on soil properties, increasing its vulnerability to erosion (Samie et al., 2022, p. 60; Costea et al., 2022, p. 2). Meshkinshahr County has long been susceptible to erosion due to its environmental characteristics. Recently, however, population growth and unprincipled land use changes have heightened the risk of this hazard at the county level. Therefore, this study aimed to evaluate the impact of land use changes on soil erosion in Meshkinshahr County.

Materials & Methods

In this study, we investigated land use changes by utilizing Landsat satellite images from the US Geological Survey, specifically from the OLI-TM sensors for the years 2002 and 2024. To prepare these images, we applied geometric and atmospheric corrections using ENVI 5.3 software. Next, we extracted land use maps for the two study periods by employing an object-based classification method and the nearest neighbor algorithm in Ecognition software. Following this, we identified the factors influencing erosion in the region, which included land use, slope, lithology, soil type, distance from communication roads, distance from rivers, and precipitation. Information layers were prepared for each criterion in the Geographic Information System (GIS). The evaluation and standardization of these layers were conducted using the fuzzy membership function and the criteria were weighted using the CRITIC method. Finally, the analysis and modeling were carried out using the VIKOR multi-criteria analysis method.

Research Findings

The analysis of land use changes revealed that, in both study periods, poor pastures and rainfed agriculture accounted for the largest areas within the county. Conversely, irrigated lands and snow-covered areas represented the smallest portions of the total county area in both 2002 and 2024. Throughout the study period, there was an increase in irrigated agriculture, rainfed agriculture, and residential areas, while the extent of gardens, forested lands, good pastures, poor pastures, and snow-covered lands had decreased. Notably, the most significant land use change in the county was the conversion of poor pastures to rainfed agriculture. By 2024, approximately 452.02 km² of poor pastureland had been converted to rainfed agriculture compared to 2002.

In terms of the weight coefficients of the criteria, in 2002, the most influential factors were slope, land use, lithology, and soil; while in 2024, the order had shifted slightly to land use, slope, lithology, and soil. According to the erosion zoning map, in 2002, the areas classified as very high-risk and high-risk had encompassed 422.14 and 1,030.03 km², respectively. By 2024, these figures had increased to 548.58 and 1,060.36 km². Furthermore, the erosion maps for both study periods indicated that the areas classified as very high-risk and high-risk were predominantly located within agricultural zones (both rainfed and irrigated), as well as in poor pastures and residential areas.

Discussion of Results & Conclusion

The results indicated that Meshkinshahr County exhibited a very high potential for erosion due to various environmental factors, including loose soils, sensitive and erodible formations, steep slopes, significant rainfall, and the presence of numerous waterways. Moreover, the decline in both good and poor pasture areas, alongside reductions in orchards and forest cover, had exacerbated the potential for soil erosion as agricultural land use (both irrigated and dryland) and residential developments had increased. In light of these findings, several recommendations are proposed to manage land in accordance with sustainable development principles. These include converting low-yield rainfed lands into forage and medicinal plant areas, strengthening and restoring rangeland vegetation, preventing overgrazing, and alleviating the pressure on rangelands by creating alternative job opportunities. Additionally, raising public awareness about the consequences of unsustainable land use practices, delegating the management of rainfed lands to local communities, and educating farmers on conservation measures are crucial emergency actions to protect and sustainably utilize water and soil resources. It is anticipated that the land use change map and erosion risk zoning map generated in this study will serve as valuable resources for managers and planners. These tools will provide essential insights into the status of land use changes and soil erosion potential in the county, facilitating the implementation of effective control and management measures to mitigate erosion in high-risk areas.

مقاله پژوهشی

بررسی تغییرات کاربری اراضی و اثرهای آن بر فرسایش خاک در شهرستان مشکین شهر

الناز پیروزی، پژوهشگر پسداکتری ژئومورفولوژی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

e.pirouzi@uma.ac.ir

صیاد اصغری سراسکانرود*، استاد ژئومورفولوژی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

s.asghari@uma.ac.ir

بتول زینالی، استاد آب‌وهواشناسی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

zeynali.b@uma.ac.ir

چکیده

فرسایش خاک از مهم‌ترین چالش‌های زیست‌محیطی است که تغییرات کاربری اراضی یکی از عوامل اصلی افزایش پتانسیل آن است. شهرستان مشکین شهر به دلیل ویژگی‌های محیطی از دیرباز تحت تأثیر وقوع فرسایش بوده و در طی سال‌های اخیر با توجه به رشد جمعیت و تغییرات غیراصولی، کاربری اراضی پتانسیل رخداد این مخاطره در سطح شهرستان افزایش یافته است. بر این اساس، محققان در پژوهش حاضر به دنبال ارزیابی اثر تغییرات کاربری اراضی بر فرسایش خاک در شهرستان مشکین شهر هستند. در راستای دستیابی به هدف‌های پژوهش نقشه کاربری اراضی با استفاده از روش شیء‌مبنا برای دو سال ۲۰۰۲ و ۲۰۲۴ استخراج و در مرحله بعد لایه‌های اطلاعاتی سایر عوامل مؤثر بر فرسایش در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی تهیه شد. در نهایت، برای پهنه‌بندی خطر فرسایش، استانداردسازی لایه‌ها با استفاده از تابع فازی، وزن‌دهی معیارها با بهره‌گیری از روش کریتیک و مدل‌سازی با استفاده از الگوریتم چندمعیاره ویکور صورت پذیرفت. براساس نتایج حاصل از تحلیل تغییرات کاربری اراضی در هر دو دوره زمانی مطالعه‌شده کاربری‌های مراتع ضعیف و زراعت دیم بیشترین مساحت شهرستان را پوشش می‌دهند. با نظر به نقشه پهنه‌بندی فرسایش نیز در سال ۲۰۰۲ مساحت طبقه بسیار پرخطر و پرخطر ۱۰/۸۸ و ۲۶/۵۵ درصد بوده است که مقدار این طبقات خطر در سال ۲۰۲۴ به ترتیب به ۱۴/۱۴ و ۲۷/۳۳ درصد افزایش یافته است. به‌طور کلی، با توجه به نتایج پژوهش می‌توان کاهش سطح مراتع، باغ‌ها و پوشش جنگلی و درمقابل افزایش کاربری‌های زراعی (آبی و دیم) و مسکونی را از دلایل اصلی افزایش پتانسیل فرسایش خاک شهرستان مشکین شهر دانست.

واژه‌های کلیدی: کاربری اراضی، فرسایش، روش شیء‌مبنا، تحلیل چندمعیاره

*نویسنده مسئول

پیروزی، الناز، اصغری سراسکانرود، صیاد و زینالی، بتول. (۱۴۰۳). بررسی تغییرات کاربری اراضی و اثرات آن بر فرسایش خاک در شهرستان مشکین شهر، جغرافیا و

برنامه ریزی محیطی، ۳۵ (۴)، ۱۶۴-۱۳۷.



مقدمه

خاک از جمله مهم‌ترین منابع طبیعی هر کشوری و فرسایش از عوامل اصلی تخریب و کاهش باروری خاک است (معمدی‌راد و همکاران، ۱۴۰۲، ص. ۱۴۷). فرسایش خاک سطحی باعث کاهش عمق، کاهش گنجایش رطوبتی و هدررفت مواد آلی و عناصر غذایی و در نتیجه، کاهش باروری خاک می‌شود (پرویزی و همکاران، ۱۳۹۹، ص. ۴۰). بنابراین شناسایی عوامل مؤثر و اولویت‌بندی مناطق مختلف از نظر تعیین نقاط بحرانی وقوع فرسایش برای برداشتن گام‌های پیشگیرانه در مدیریت و کاهش اثرهای زیانبار ناشی از فرسایش خاک بسیار حائز اهمیت است (Manikandan & Rangarajan, 2023, P. 607). در سال‌های اخیر، تغییرات متوالی کاربری اراضی با توجه به ضرورت تأمین نیازهای مختلف جمعیت روبه‌رشد جهان نشان‌دهنده بخش مهمی از تغییرات جهانی است که بر محیط زیست تأثیر می‌گذارد (Taloor et al., 2020, P. 38; Hussain et al., 2020, P. 2; Qingge et al., 2020, P. 147). فعالیت‌های مدیریتی نامناسب مرتبط با تغییر کاربری زمین می‌تواند اثرهای منفی بر ویژگی‌های خاک را تشدید کند و خاک را در معرض فرسایش قرار دهد (سمیع و همکاران، ۱۴۰۱، ص. ۶۰; Costea et al., 2022, P. 2). به عبارت دیگر، ممکن است که بر اثر تغییرات کاربری اراضی که به دنبال رویکردهای مدیریتی مختلف و بدون در نظرگیری توان‌های محیطی صورت می‌پذیرد، تغییرات طولانی‌مدت در خصوصیات خاک ایجاد شود و خاک به شرایط اولیه خود برگردد (Aneseyee et al., 2020, P. 2). بنابراین در این زمینه قسمت عمده‌ای از اطلاعات لازم برنامه‌ریزان برای ارتقا نگرش اصولی به ساختارهای زیست‌محیطی و تصمیم‌گیری‌های مدیریتی صحیح با نقشه‌های کاربری اراضی تأمین می‌شود (اسمعیلی و نگهبان، ۱۴۰۰، ص. ۴۲؛ کریم‌زاده مطلق و همکاران، ۱۴۰۱، ص. ۶۸).

پیشینه پژوهش

با توجه به اهمیت بررسی تغییرات کاربری اراضی و نقش آن در بروز فرسایش خاک در دهه‌های اخیر مطالعات فراوانی درباره این موضوع انجام شده است.

اصغری سراسکانرود و همکاران (۱۳۹۸) پژوهشی با عنوان «شناسایی و پهنه‌بندی مناطق مستعد وقوع خطر زمین‌لغزش با استفاده از روش تحلیل چندمعیاره آراس: منطقه مورد مطالعه: حوضه آبخیز قرقوچای در جنوب شرق استان آذربایجان شرقی» انجام دادند. محققان در این مطالعه با استفاده از الگوریتم چندمعیاره WLC (Weighted linear combination) (ترکیب خطی وزن‌دار) و تصاویر سنجنده‌های OLI و TM لندست اثرهای کاربری اراضی را بر فرسایش خاک در حوضه آبخیز آق‌لاقان‌چای بررسی کردند. نتایج نتایج نشان داد که در طی بازه زمانی ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۸ به‌طور عمده، مناطق بسیار پرخطر و پرخطر در کاربری‌های اراضی کشاورزی و باغ‌ها قرار دارد و تغییر مراتع و تبدیل آن به مناطق کشاورزی و انسان‌ساخت بیشترین میزان تأثیر را بر فرسایش خاک داشته است.

مددی و همکاران (۱۴۰۱) پژوهشی با عنوان «ارزیابی تغییرات کاربری اراضی و اثرات آن بر فرسایش خاک در حوضه بالادست سد یامچی اردبیل با استفاده از الگوریتم تصمیم‌گیری چندمعیاره ARAS و روش‌های نوین سنجش از دور» انجام دادند. محققان در این مطالعه با استفاده از الگوریتم چندمعیاره ARAS (Additive Ratio Assessment)

(ارزیابی نسبت افزایشی) تغییرات کاربری اراضی و اثرهای آن را بر فرسایش خاک در حوضه بالادست سد یامچی اردبیل بررسی کردند. در این مطالعه از تصاویر سنجنده‌های OLI و TM، لندست ۷ و ۸ استفاده شده است و نتایج این پژوهش نشان داد که افزایش اراضی زراعی (دیم و آبی)، اراضی بایر، مراتع ضعیف و نواحی انسان‌ساخت و کاهش سطح مراتع خوب و متوسط عمده دلایل افزایش مقدار فرسایش در سال ۲۰۲۱ در مقایسه با سال ۲۰۰۰ است.

عابدینی و همکاران (۱۴۰۲) پژوهشی با عنوان «بررسی تأثیر تغییرات کاربری اراضی در یک دوره بیست‌سال بر میزان فرسایش و رسوب حوضه رضی‌چای» انجام دادند. محققان در این مطالعه با استفاده از تصاویر سنجنده‌های ETM+ و OLI، لندست ۷ و ۸ و روش معادله جهانی فرسایش خاک تأثیر تغییرات کاربری اراضی را بر میزان فرسایش و رسوب حوضه رضی‌چای در بازه زمانی ۱۳۷۸ تا ۱۳۹۸ بررسی کردند. نتایج نشان داد که باوجود افزایش سطح اراضی زراعی دیم در منطقه به دلیل کاهش سطح اراضی بایر و تقویت پوشش گیاهی میزان فرسایش به میزان اندکی کاهش یافته است.

مددی و همکاران (۱۴۰۳) پژوهشی با عنوان «بررسی تغییرات کاربری اراضی با تأکید بر پوشش جنگلی و اثرات آن بر فرسایش خاک با استفاده از طبقه‌بندی شیء‌گرا و تکنیک چندمعیاره مارکوس: مطالعه موردی: حوضه آبریز قلعه‌رودخان فومن» انجام دادند. محققان در این مطالعه با استفاده از تصاویر سنجنده‌های لندست ۷ و ۸ و تکنیک چندمعیاره MARCOS (Measurement Alternatives and Ranking according to Compromise Solution) (سنجش و رتبه‌بندی گزینه‌ها براساس راه‌حل سازشی)، تغییرات کاربری اراضی (با تأکید بر پوشش جنگلی) و اثرهای آن را بر فرسایش خاک در حوضه آبریز قلعه‌رودخان فومن بررسی کردند. براساس نتایج به‌دست‌آمده کاهش پوشش جنگلی و تبدیل آن به مناطق مسکونی، اراضی کشاورزی و مراتع به‌عنوان مهم‌ترین عوامل دخیل در افزایش پتانسیل فرسایش خاک حوضه معرفی شده است.

مشرام و همکاران پژوهشی با عنوان «امکان‌سنجی رویکرد تصمیم‌گیری چندمعیاره برای اولویت‌بندی مناطق حساس در معرض خطر فرسایش آبی» انجام دادند. محققان در این مطالعه با استفاده از روش‌های چندمعیاره ELECTRE (Elimination et Choice Translating Reality) (تسلط تقریبی)، VIKOR (Vise Kriterijumsk Optimizacija) (راهکار توافقی و بهینه‌سازی) و CF (Compound Factor) (فاکتور اطمینان) به اولویت‌بندی مناطق حساس در معرض خطر فرسایش در حوضه آبخیز بامهانی در منطقه ماندلای هند پرداختند. نتایج مطالعه نشان داد که زیرحوضه ۱۱ بیشترین پتانسیل فرسایشی داشته است و روش ویکور با توجه به واقعیات میدانی موجود نسبت به دو روش دیگر دقت بسیار زیادی در شناسایی نواحی پرخطر دارد (Meshram et al., 2020).

لی و همکاران پژوهشی با عنوان «تأثیر تغییر کاربری زمین بر تراکم فرسایش آبکی در منطقه خاک سیاه شمال شرقی چین از سال ۱۹۶۵ تا ۲۰۱۵ مطالعه موردی شهرستان کدونگ» انجام دادند. محققان در این مطالعه با بهره‌گیری از تصاویر ماهواره‌ای Corona برای سال ۱۹۶۵، SPOT5 برای سال ۲۰۰۵، GF-1 برای سال ۲۰۱۵ و با استفاده از روش هم‌پوشانی وزنی تأثیر تغییر کاربری اراضی را بر فرسایش در شهرستان کدونگ (Kedong) واقع در شمال شرقی چین بررسی کردند. نتایج نشان داد که زمین‌های زیر کشت در بازه زمانی مطالعه‌شده به‌طور چشمگیری، افزایش یافته و کشت در دامنه‌های بزرگ‌تر از ۴ درجه سرعت فرسایش را در محدوده تشدید کرده است (Li et al., 2021).

پراشانت و همکاران پژوهشی با عنوان «تغییر کاربری زمین/پوشش زمین و پیامدهای آن بر فرسایش خاک در حوضه آبخیز هیمالیا، شمال هند از نظر زیست‌محیطی حساس» انجام دادند. محققان در این مطالعه تغییر کاربری اراضی و پیامدهای آن را بر فرسایش خاک در حوضه آبخیز هیمالیا واقع در شمال هند مطالعه کردند. در این پژوهش از تصاویر Landsat و Sentinel و روش معادله جهانی فرسایش خاک استفاده شده است. نتایج نشان داد که در مناطق جنگلی میانگین اتلاف خاک از ۶۵/۳۰ تن در هکتار در سال ۱۹۹۹ به ۷۴/۷۲ تن در هکتار در سال ۲۰۲۰ افزایش یافته است (Prashanth et al., 2023).

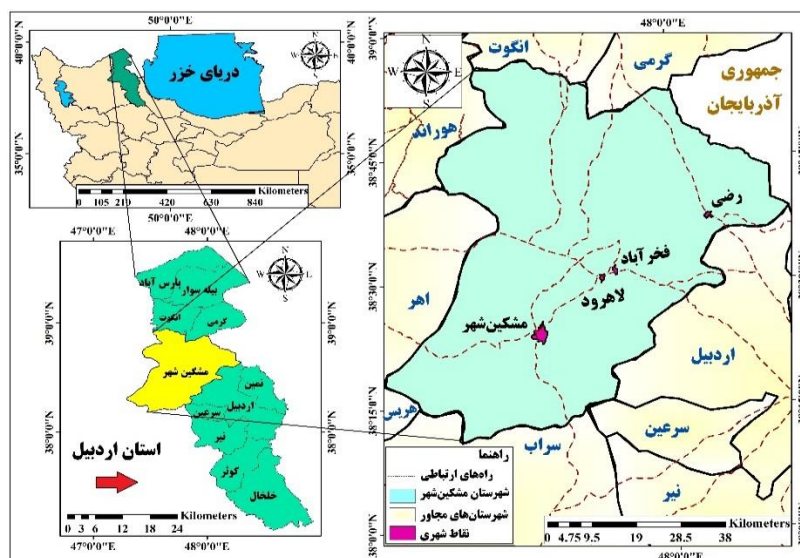
مانگا و همکاران پژوهشی با عنوان «تأثیر تغییرات کاربری و پوشش زمین درازمدت (LULC) بر از دست دادن خاک، صادرات رسوب و رسوب در حوضه آبخیز بونتانگا اندازه‌گیری نشده» انجام دادند. محققان در این مطالعه با استفاده از تصاویر از Landsat 5 (TM)، Landsat 7 (ETM+)، Landsat 8 (OLI) و Landsat 9 (OLI-2) و روش معادله جهانی فرسایش خاک تأثیر تغییرات کاربری را بر فرسایش خاک در حوضه آبخیز بونتانگا (Bontanga) در کشور چین بررسی کردند. نتایج پژوهش حاکی از این موضوع است که بیشترین مقدار فرسایش خاک و تولید رسوب مربوط به اراضی کشاورزی و در سال ۲۰۲۲ مقدار تلفات خاک در این اراضی به ۹۱۲۷۴/۵۳ تن در سال افزایش یافته است (Mwanga et al., 2024).

با توجه به بررسی مطالعات پیشین می‌توان بیان کرد که از مهم‌ترین روش‌های آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور و به‌ویژه روش شیء‌مبنا (object-based method) است که در پژوهش‌های مطرح‌شده در بخش پیشینه نیز از این روش برای استخراج لایه‌های کاربری اراضی استفاده شده است؛ اما در زمینه موضوع بررسی فرسایش خاک، بررسی پیشینه پژوهشی نشان می‌دهد که برخی از پژوهش‌های انجام‌شده در این راستا شامل عابدینی و همکاران (۱۴۰۲)، Li et al. (2021)، Prashanth et al. (2023)، Mwanga et al. (2024) مبتنی بر استفاده از روش RUSLE (Revised Universal Soil Loss Equation) (معادله جهانی فرسایش خاک اصلاح‌شده) است که این روش تابعی از شش فاکتور ورودی شامل فرساینده‌ی باران، فرسایش‌پذیری خاک، طول و درجه شیب، مدیریت پوشش گیاهی و عملیات حفاظتی است. در گروه دیگر از مطالعات انجام‌شده از جمله اصغری سراسکانرود و همکاران (۱۳۹۸)، مددی و همکاران (۱۴۰۱)، مددی و همکاران (۱۴۰۳)، Meshram et al. (2020) و Li et al. (2021) از روش‌های تحلیل چندمعیاره استفاده شده است که در این مطالعات با توجه به ماهیت چندمعیاره بودن روش‌های استفاده‌شده به مجموعه‌ای از معیارهایی چون کاربری اراضی، سنگ‌شناسی، شیب، فاصله از آبراهه، فاصله از جاده، بارش و خاک توجه شده است. می‌توان اذعان داشت که فرسایش خاک از جمله مخاطره‌های با گزینه‌ها و معیارهای چندگانه است و مدل‌های مبتنی بر معادله جهانی فرسایش موفق به در نظر گرفتن وابستگی متقابل عوامل مؤثر بر فرسایش خاک نیست؛ بنابراین برای کشف طیف وسیعی از گزینه‌ها از نظر درگیری‌های عینی و معیارهای چندگانه (همانند موضوع فرسایش) استفاده از روش‌های تحلیل چندمعیاره مناسب است. شهرستان مشکین‌شهر به لحاظ شرایط خاص منطقه مانند شرایط توپوگرافیکی و شیب زیاد، ساختار سنگ‌شناسی فرسایشی و شرایط اقلیمی پتانسیل زیاد خطر فرسایش را دارد به علاوه، اغلب کاربری اراضی شهرستان به صورت کشاورزی، باغ‌ها

و مراتع است که استفاده غیراصولی و بی‌رویه از این اراضی به افزایش پتانسیل فرسایش خاک منجر شده است؛ بنابراین با توجه به اهمیت موضوع هدف از پژوهش حاضر بررسی تغییرات کاربری اراضی، شناسایی نواحی با پتانسیل زیاد فرسایش خاک و تحلیل اثرهای تغییرات کاربری اراضی بر فرسایش در سطح این شهرستان است. با نظر به تأکید بر اثربخشی و صحت نتایج حاصل از استفاده از داده‌های سنجش از دور و تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره در این پژوهش نیز استخراج نقشه‌های کاربری اراضی در سال‌های ۲۰۰۲ و ۲۰۲۴ با استفاده از طبقه‌بندی شیء‌مبنا و شناسایی پهنه‌های با پتانسیل فرسایش زیاد با بهره‌گیری از الگوریتم چندمعیاره ویکور بررسی شده است. انتظار می‌رود با نظر به نتایج پژوهش با توجه به آگاهی‌یافتن از روند تغییرات انواع کاربری‌های اراضی در سال‌های مطالعه‌شده و با شناسایی مناطق اولویت‌دار از نظر مخاطره فرسایش اقدام‌های لازم برای کنترل فرسایش و بهره‌برداری اصولی از اراضی در سطح شهرستان انجام شود. از سوی دیگر، با توجه به اینکه تاکنون مطالعه‌ای برای بررسی موضوع تغییرات کاربری اراضی و اثرهای آن بر فرسایش با استفاده از روش ویکور انجام نشده است، استفاده از این روش در پژوهش حاضر می‌تواند در انتخاب روش مناسب مورد توجه پژوهشگران قرار گیرد.

منطقه مطالعه‌شده

شهرستان مشکین شهر با وسعتی حدود ۳۸۷۹/۷۶ کیلومتر مربع در شمال غربی ایران واقع شده است. این شهرستان دومین شهرستان استان اردبیل بعد از مرکز استان است که در مختصات جغرافیایی ۳۸ درجه و ۱۱ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۵۳ دقیقه عرض شمالی و ۴۷ درجه و ۱۹ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۱۷ دقیقه طول شرقی واقع شده است (شکل ۱). شهرستان مشکین شهر از ۵ بخش مرکزی، مشکین شرقی، ارشق، مرادلو و قصابه تشکیل شده است. این شهرستان ۳۱۳ آبادی دارد که از این تعداد ۲۷۷ آبادی دارای سکنه و ۳۶ آبادی نیز خالی از سکنه است. تعداد جمعیت این شهرستان بالغ بر ۱۴۹۹۴۱ نفر و ۴۵۹۹۹ خانوار است (سالنامه آماری استان اردبیل، ۱۴۰۱). ارتفاع متوسط این شهرستان ۱۸۳۰ متر و بلندترین نقطه آن قله سبلان با ارتفاع ۴۸۱۱ متر از سطح آب‌های آزاد است. از مهم‌ترین کوه‌های شهرستان می‌توان به سلطان ساوالان، هرم‌داغی، آقام‌داغ (کسری)، دلی‌آلی، آبی‌قاری، اوغلان‌داغی، هفته‌داغی، چال‌داغ، قزل‌بره، بابامقصود، چال‌داغ، قزل‌داغ، گوی‌داغ و ایشیق چیخماز اشاره کرد. اقلیم منطقه براساس روش آمبرژه نیمه‌خشک سرد است؛ اما در جنوب و جنوب غرب (دامنه‌های شمالی کوهستان سبلان) اقلیم نیمه‌مرطوب نیز دیده می‌شود. میانگین بارش سالانه این شهرستان ۳۰۰ میلی‌متر است. بیشترین مقدار بارش شهرستان در ماه‌های فروردین و اردیبهشت و کمترین مقدار بارش نیز در ماه‌های مرداد و شهریور است و به‌ترتیب بهمن و مردادماه سردترین و گرم‌ترین ماه‌هاست. شهرستان مشکین شهر به‌لحاظ زمین‌شناسی از سازندهای گوناگونی از پره‌کامبرین تا کواترنر تشکیل شده است. بخش اعظمی از مساحت شهرستان مشکین شهر را سازندهای PAEav (آندزیت آتشفشانی) با مساحت ۷۲۲/۱۹۶ کیلومتر مربع، Eav (آندزیت آتشفشانی) با مساحت ۶۷۵/۷۲۹ کیلومتر مربع، Qft1 (رسوبات مخروط‌افکنه‌های پایکوهی سطح بالا و تراس‌های دره‌ای) با مساحت ۶۹۰/۳۷۸ کیلومتر مربع و Qvc (کوارتز دانه‌ای مخلوط - مواد آتشفشانی محلی با جریان لاهار) با مساحت ۴۰۳/۶۵ کیلومتر مربع پوشش داده است (نقشه زمین‌شناسی استان اردبیل با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور).

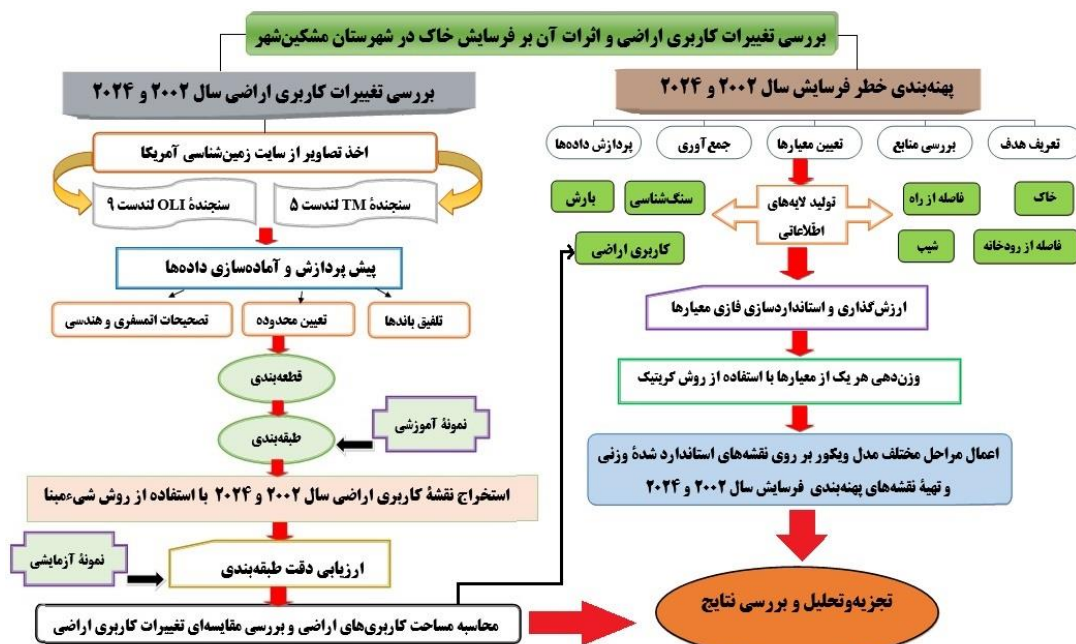


شکل ۱: نقشه موقعیت منطقه مطالعه شده (منبع: نویسندگان، ۱۴۰۳)

Figure 1: Location map of the study area

روش‌شناسی پژوهش

در پژوهش حاضر استخراج نقشه‌های کاربری اراضی با استفاده از روش شیء‌مبنا و پهنه‌بندی پتانسیل فرسایش خاک با بهره‌گیری از روش چندمعیاره ویکور برای سال‌های ۲۰۰۲ و ۲۰۲۴ انجام شده است. فلوچارت مراحل پژوهش در شکل ۲ نمایش داده شده است و در ادامه نیز مراحل هریک از روش‌های استفاده‌شده تشریح می‌شود.



شکل ۲: فلوچارت مراحل پژوهش (منبع: نویسندگان، ۱۴۰۳)

Figure 2: Flowchart of research steps

استخراج نقشه کاربری اراضی با استفاده از روش شیء‌مبنا

در پژوهش حاضر برای استخراج نقشه‌های کاربری اراضی شهرستان مشکین شهر ابتدا تصاویر ماهواره‌ای سنجنده TM لندست ۵ (تاریخ: 2002/8/6) و سنجنده OLI لندست ۹ (تاریخ: 2024/8/26) به شماره گذر ۱۶۷ و ردیف ۳۳ از سایت زمین‌شناسی آمریکا اخذ و سپس برای آماده‌سازی تصاویر نسبت به تصحیحات اتمسفری در نرم‌افزار Envi5.3 اقدام شد. فرآیند استخراج نقشه کاربری اراضی با روش شیء‌مبنا در سه مرحله کلی قطعه‌بندی، طبقه‌بندی و ارزیابی صحت انجام می‌شود. در مرحله قطعه‌بندی پیکسل‌های تصویر براساس تفاوت‌ها و شباهت‌های موجود میان آنها در زمینه ویژگی‌های طیفی و شکلی و با در نظر گرفتن درجه‌ای از ناهمگنی مجاز در هر قطعه به گروه‌هایی تقسیم می‌شود که این قطعه‌ها یا شیء‌های ساخته‌شده در گام بعدی برای شناسایی عوارض مدنظر طبقه‌بندی می‌شود (اصغری سراسکانرود و ناصری، ۱۳۹۹، ص. ۸۴). در این پژوهش برای قطعه‌بندی از روش چند تفکیک (Mutliresolution) استفاده شده است. برای این منظور با تجزیه و تحلیل مقیاس ۳۵ برای تصویر سال 2024 و مقیاس ۴۰ برای تصویر سال 2002 انتخاب و شکل و ضریب فشردگی برای هر دو تصویر ۰/۴ و ۰/۶ در نظر گرفته شد. پس از تهیه نمونه‌های آموزشی برای طبقه‌بندی تصاویر با استفاده از الگوریتم نزدیک‌ترین همسایگی (Nearest Neighbor) در نرم‌افزار eCognition ۸ کلاس کاربری به صورت باغ و جنگل، مرتع خوب، مرتع ضعیف، زراعت آبی، زراعت دیم، مناطق آبی، نواحی مسکونی و پوشش برفی استخراج شد. در این پژوهش برای دستیابی به نتایج بهتر و با دقت بیشتر علاوه بر اطلاعات طیفی از برخی شاخص‌ها نظیر NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) (شاخص نرمال‌شده تفاضلی گیاه)، NDWI (Normalized Difference Water Index) (شاخص نرمال‌شده تفاضلی آب)، میانگین انعکاس طیفی باندهای مختلف، اطلاعات بافتی نظیر GLCM (Gray Level Co-Occurrence Matrix) (ماتریس هم‌رخداد سطح خاکستری) و اطلاعات مربوط به شکل جهت استخراج کاربری اراضی استفاده شده است.

بررسی نتایج طبقه‌بندی یکی از مراحل مهم است و هیچ طبقه‌بندی تا زمانی که دقت آن ارزیابی نشود، مستند نخواهد بود (فیضی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۷، ص. ۲۱۳). پارامتر اصلی که برای ارزیابی صحت طبقه‌بندی مورد استفاده قرار می‌گیرد، دقت کلی و ضریب کاپاست. در این پژوهش با توجه به آشنایی با منطقه مطالعه‌شده و با استفاده از تصاویر گوگل ارث به برداشت نمونه‌های آزمایشی اقدام شد و با در اختیار داشتن نمونه‌های آزمایشی (کنترلی) صحت نقشه‌های کاربری اراضی برای هر کدام از سال‌ها با دقت کلی و ضریب کاپا ارزیابی شد. با توجه به نتایج به‌دست‌آمده دقت کلی و ضریب کاپا روی تصویر 2002 به ترتیب مقدار ۹۷٪ و ۹۶٪ و روی تصویر 2024 نیز مقدار ضریب کاپا با ۹۶٪ و مقدار دقت کلی با ۹۶٪ برابر است. به علاوه، ضریب کاپا و دقت کلی از نظر تک‌تک کاربری‌های اراضی نیز صحت پذیرفتنی را (بزرگ‌تر از ۸۵ درصد) در ارتباط با اطلاعات تولیدشده دارد (جدول ۱). درنهایت، لایه‌های به‌دست‌آمده برای محاسبه مساحت کاربری‌های اراضی، بررسی مقایسه‌ای تغییرات کاربری اراضی در دو سال مطالعه‌شده، تهیه نقشه خروجی مناسب و اعمال کردن معیار کاربری در فرآیند پهنه‌بندی خطر فرسایش به نرم‌افزار Arc GIS (Geographic Information System) انتقال داده شد.

جدول ۱: نتایج ارزیابی دقت تصاویر کلاس‌بندی‌شده کاربری اراضی در بازه ۲۰۰۲ تا ۲۰۲۴

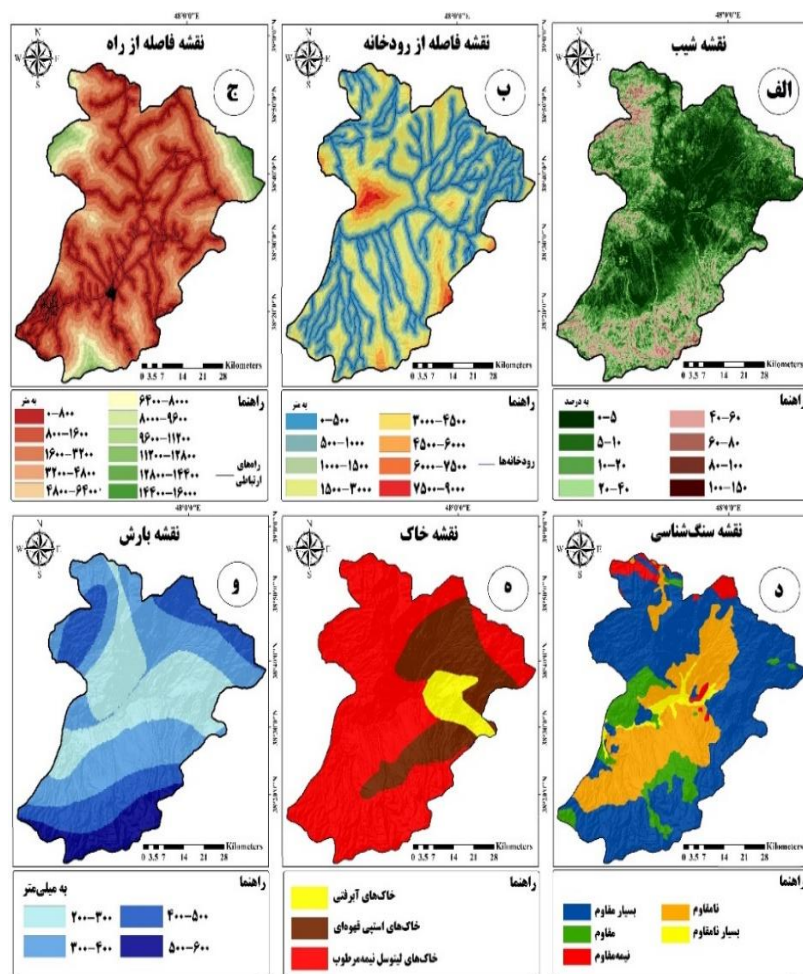
Table 1: Results of the accuracy assessment of classified land use images from 2002 to 2024

سال	نام کاربری	دقت کاربر (درصد)	دقت تولیدکننده (درصد)
2002	مناطق مسکونی	۱۰۰	۸۸/۸۳
	آب	۱۰۰	۸۵/۸۲
	زراعت دیم	۹۴/۷۳	۸۶/۶۹
	زراعت آبی	۹۷/۴۵	۹۹/۶۳
	باغ‌ها و پوشش جنگلی	۹۱/۴۰	۹۲/۳۵
	مراتع خوب	۹۷/۷۴	۹۴/۹۳
	مراتع ضعیف	۹۸/۰۳	۹۹/۵۸
	برف	۹۷/۰۴	۹۸/۳۳
2024	مناطق مسکونی	۹۹/۶۰	۱۰۰
	آب	۱۰۰	۱۰۰
	زراعت دیم	۸۹/۷۴	۹۷/۳۵
	زراعت آبی	۹۸/۲۱	۹۸/۹۲
	باغ‌ها و پوشش جنگلی	۹۸/۳۲	۹۹/۱۲
	مراتع خوب	۹۰/۸۲	۹۳/۷۷
	مراتع ضعیف	۹۹/۱۰	۹۶/۱۵
	برف	۹۷/۴۰	۹۷/۸۰

منبع: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۳

مراحل تهیه نقشه پهنه‌بندی با استفاده از روش ویکور (راهکار توافقی و بهینه‌سازی چندمعیاره)

مدل ویکور مبتنی بر برنامه‌ریزی توافقی مسائل تصمیم‌گیری چندمعیاره است. این روش براساس رتبه‌بندی و انتخاب از بین یک مجموعه راهکار در مسئله‌ای با داشتن معیارهای مخالف هدف‌گذاری شده است (مددی و همکاران، ۱۳۹۴، ص. ۶۸). مراحل پیاده‌سازی الگوریتم ویکور شامل گام‌های زیر است: ۱- تعیین معیارها و تشکیل ماتریس تصمیم: در این پژوهش با توجه به شرایط طبیعی و انسانی منطقه، عوامل شیب، سنگ‌شناسی، کاربری اراضی، بارش، فاصله از راه ارتباطی، فاصله از آبراهه و خاک به‌عنوان عوامل مؤثر در فرسایش خاک شناسایی شد. در مرحله بعد لایه‌های اطلاعاتی مربوط به هریک از عوامل در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی تهیه شد. لایه‌های اطلاعاتی راه‌های ارتباطی و شبکه آبراهه با استفاده از نقشه خطوط ارتباطی و رودخانه‌های استان اردبیل تهیه شد. لایه شیب با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی ۱۲/۵ متری سنجنده PALSAR و ماهواره ALOS تهیه شد. برای استخراج لایه مربوط به سنگ‌شناسی (Lithology) از نقشه زمین‌شناسی استان اردبیل با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ و برای تهیه نقشه خاک شهرستان نیز از نقشه خاک پوشش سراسری کشور با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰۰ (اخذشده از اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان اردبیل) استفاده شد. نقشه بارش نیز با توجه به داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی و باران‌سنجی و با بهره‌گیری از روش درون‌یابی کریجینگ ترسیم شد. شکل ۳ نمایش‌دهنده نقشه معیارهای مطرح در پهنه‌بندی فرسایش شهرستان مشکین‌شهر است.



شکل ۳: نقشه معیارهای مطرح در پهنه‌بندی فرسایش شهرستان مشکین‌شهر: الف) شیب، ب) فاصله از رودخانه، ج) فاصله از راه ارتباطی، د) سنگ‌شناسی، ه) خاک، و) بارش (منبع: نویسندگان، ۱۴۰۳)

Figure 3: Map of criteria used in erosion zoning in Meshkinshahr County; A) Slope, B) Distance from river, C) Distance from communication road, D) Lithology, E) Soil, F) Precipitation

۲- بی‌مقیاس کردن یا استانداردسازی ماتریس تصمیم: استاندارد کردن داده‌ها به معنای همسان کردن دامنه تغییرات داده‌ها بین صفر و یک و یا یک دامنه مشخص دیگر است. مرحله استانداردسازی با توجه به تابع عضویت فازی صورت پذیرفت (جدول ۲). در مجموعه‌های فازی بیشترین ارزش، یعنی مقدار یک به حداکثر عضویت و کمترین ارزش، یعنی صفر به حداقل عضویت در مجموعه تعلق می‌گیرد (اصغری و پیروزی، ۱۴۰۳، ص. ۷۶).

جدول ۲: نوع توابع فازی ساز لایه‌های موضوعی تأثیرگذار بر خطر فرسایش خاک در شهرستان مشکین‌شهر

Table 2: Types of fuzzy functions of thematic layers affecting soil erosion risk in Meshkinshahr county

متغیر	توضیحات	تابع فازی	نمودار توابع عضویت هر معیار
شیب	طبقه‌بندی مجدد و اختصاص کدها براساس اهمیت آن در وقوع خطر فرسایش و سپس فازی‌کردن	تابع بزرگ فازی	
کاربری اراضی	اختصاص کدها براساس اهمیت آن در وقوع خطر فرسایش و سپس فازی‌کردن	تابع بزرگ فازی	
فاصله از راه	افزایش پتانسیل در مناطق مجاور راه ارتباطی	تابع نزدیک فازی	
سنگ‌شناسی	اختصاص کدها براساس اهمیت آن در وقوع خطر فرسایش و سپس فازی‌کردن	تابع بزرگ فازی	
خاک	اختصاص کدها براساس اهمیت آن در وقوع خطر فرسایش و سپس فازی‌کردن	تابع بزرگ فازی	
فاصله از رودخانه	افزایش پتانسیل در مناطق مجاور رودخانه	تابع نزدیک فازی	
بارش	افزایش پتانسیل با افزایش مقدار بارش	تابع خطی افزایشی	

منبع: نویسندگان، ۱۴۰۳

۳- تعیین بردار وزن معیار: در این مطالعه برای وزندهی عوامل از روش کریتیک (Criteria Importance Through Intercriteria Correlation) (اهمیت معیارها با همبستگی بین معیارها) استفاده شده است. در این روش وزندهی با توجه به نقشه‌های معیار و میزان همبستگی، تضاد و انحراف معیار بین لایه‌های اطلاعاتی استفاده‌شده تعیین می‌شد و نظر کارشناس دخیل نیست (Alinezhad & Khalili, 2019, P. 199). در این پژوهش پیاده‌سازی این روش در اکسل یک ماتریس مقارنی با توجه به تعداد معیارهای بررسی‌شده (ماتریس ۷ در ۷) با عنوان ماتریس همبستگی ایجاد شد. در مرحله بعد مقدار همبستگی معیارها نسبت به یکدیگر با استفاده از تابع رگرسیون در محیطی

نرم افزار ادریسی به دست آمد و در جدول مربوط یادداشت شد. در مرحله بعد ماتریس تضاد معیارها با تفریق همبستگی هریک از معیارها در عدد یک محاسبه شد. سپس مجموع تضادهای هر معیار با معیارهای دیگر با جمع هر ستون از ماتریس تضاد و مقدار انحراف هر معیار نیز با استفاده از تابع رگرسیون و با مقایسه دویه دوی معیارها در محیط نرم افزار ادریسی به دست آمد. برای محاسبه میزان اطلاعات هر معیار انحراف معیار هریک از معیارها در مجموع تضاد آن ضرب شد. در نهایت، از کل میزان اطلاعات نیز یک مجموع به دست آمد و در مرحله آخر برای محاسبه وزن نهایی هر معیار میزان اطلاعات هر معیار بر مجموع کل میزان اطلاعات تقسیم شد. ۴- تعیین بهترین مقدار f_i^* و بدترین مقدار f_i^- برای معیارها: برای شناسایی نقاط پرخطر از لحاظ پتانسیل خطر فرسایش بهترین مقدار یک و بدترین مقدار صفر است. ۵- محاسبه مقدار سودمندی یا حداکثر مطلوبیت (S) و مقدار تأسف (R): در این مرحله مقدار S با توجه به رابطه (۱) و R با توجه به رابطه (۲)، محاسبه می شود که W_i مقدار وزن مواد برای معیار j و f_{ij} هر نقشه معیار است.

$$S_i = \sum_{j=1}^n w_j \frac{f_j^* - f_{ij}}{f_j^* - f_j^-} \quad \text{رابطه ۱}$$

$$R_i = \max \left\{ w_j \frac{f_j^* - f_{ij}}{f_j^* - f_j^-} \right\} \quad \text{رابطه ۲}$$

۶- محاسبه شاخص ویکور (مقدار Q): مقدار Q با توجه به رابطه (۳) محاسبه می شود:

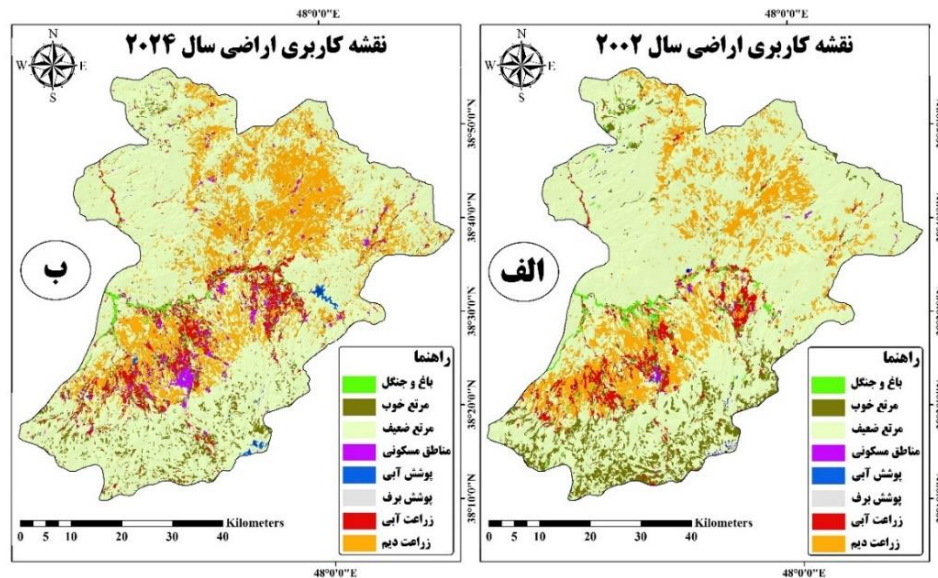
$$Q_i = v \left[\frac{S_i - S^-}{S^* - S^-} \right] + (1 - v) \left[\frac{R_i - R^-}{R^* - R^-} \right] \quad \text{رابطه ۳}$$

در فرمول فوق $S^* = \max S_i$ ، $S^- = \min S_i$ ، $R^* = \max R_i$ ، $R^- = \min R_i$ است. در این روابط $\frac{S^* - S^-}{S_i - S^-}$ ، بیان کننده میزان فاصله از حد ایدئال است. $\frac{R^* - R^-}{R_i - R^-}$ با توجه به میزان توافق گروه v به عنوان بیان کننده میزان فاصله از حد ضد ایدئال و پارامتر تصمیم گیرنده انتخاب می شود. در صورت توافق بالا مقدار آن بیش از ۰/۵، در صورت توافق با اکثریت آرا مقدار آن مساوی ۰/۵ و در صورت توافق پایین مقدار آن کمتر از ۰/۵ خواهد بود. مقدار Q تابعی از S_i و R_i است. در این مطالعه این مقدار ۰/۵ در نظر گرفته شد. ۷- مرتب کردن گزینه ها براساس مقدارهای S ، R و Q : در این مرحله گزینه ها با توجه به مقدارهای S ، R و Q در سه گروه از کوچک تر به بزرگ تر مرتب و در نهایت، گزینه ای به عنوان گزینه برتر انتخاب می شود که در هر سه گروه به عنوان گزینه برتر است (Kim & Ahn, 2020, P. 2; Alinezhad & Khalili, 2019, P. 23-27).

یافته های پژوهش و تجزیه و تحلیل

بعد از انجام دادن مراحل طبقه بندی شیء مبنا کاربری های اراضی شهرستان مشکین شهر در ۸ کلاس باغ و جنگل، مرتع خوب، مرتع ضعیف، زراعت آبی، زراعت دیم، مناطق آبی، نواحی مسکونی و پوشش برفی استخراج شد. نقشه کاربری اراضی سال ۲۰۰۲ (۱۳۸۰) و ۲۰۲۴ (۱۴۰۳) استخراج شده از به کارگیری روش شیء مبنا در شکل ۴ نمایش داده شده است. با مقایسه دو نقشه و با نظر به مقدارهای مساحت مربوط به هریک از کاربری های اراضی در دو سال

مطالعه‌شده (جدول ۳) می‌توان بیان کرد که در هر دو سال بررسی‌شده کاربری‌های مراتع ضعیف و زراعت دیم بیشترین مساحت شهرستان را پوشش می‌دهند. درمقابل، مناطق آبی و اراضی پوشیده از برف در هر دو سال ۲۰۰۲ و ۲۰۲۴ کمترین مقدار از کل مساحت شهرستان را داشته است. بررسی نتایج تحلیل کاربری‌های اراضی نشان می‌دهد که مساحت مراتع ضعیف در سال ۲۰۲۴ نسبت به سال ۲۰۰۲، $180/95$ کیلومتر مربع کاهش یافته است. درمقابل، بررسی زراعت دیم نشان‌دهنده افزایش $203/78$ کیلومتر مربعی این کاربری اراضی در سال ۲۰۲۴ درمقایسه با ۲۰۰۲ است. کاربری‌های اراضی مراتع خوب و زراعت آبی در هر دو دوره مطالعه‌شده مساحت به‌نسبت بالایی را دارند؛ ولی مقایسه نتایج دو دوره نشان می‌دهد که مقدار مساحت مراتع خوب در سال ۲۰۰۲، $249/83$ کیلومتر مربع بوده است که در سال ۲۰۲۴ حدود $118/59$ کیلومتر مربع کاهش یافته و به مقدار $131/24$ کیلومتر مربع رسیده است. مساحت زراعت آبی موجود در سطح شهرستان نیز در سال ۲۰۰۲، $147/98$ کیلومتر مربع بوده که در سال ۲۰۲۴ وسعت آن به $211/04$ کیلومتر مربع افزایش یافته است. افزایش اراضی کشاورزی آبی شهرستان (کشت غلات، گوجه‌فرنگی، سیب‌زمینی، سیفی جات و باغ‌های میوه شامل: انواع میوه‌های سردسیری نظیر: سیب، هلو، شلیل، گلابی، به، گیلاس، آلبالو، انگور) به‌ویژه در سال‌های اخیر و در قسمت‌هایی از محدوده با تکمیل پایاب سد سبلان و در اطراف تراس‌های رودخانه‌ای یا در دشت‌های میان‌کوهی و دامنه‌ای شروع شده است. به‌علاوه، در سال ۲۰۰۲ وسعت اراضی باغی و جنگلی شهرستان $61/02$ کیلومتر مربع بوده که در سال ۲۰۲۴ با کاهش $22/47$ کیلومتر مربعی مواجه شده است. نواحی مسکونی شهرستان نیز در سال ۲۰۲۴، $54/48$ کیلومتر مربع درمقایسه با سال ۲۰۰۲ افزایش یافته است. بررسی مساحت مناطق آبی و اراضی پوشیده از برف به‌ترتیب نشان‌دهنده افزایش $1/19$ کیلومتر مربعی مناطق آبی و کاهش $0/5$ کیلومتر مربعی پوشش برفی در سال ۲۰۲۴ نسبت به سال ۲۰۰۲ است. افزایش وسعت مناطق آبی شهرستان را می‌توان در احداث دو سد مخزنی بزرگ سبلان و احمدبیگلو و سایر سدهای مخزنی کوتاه در طی سال‌های بررسی‌شده دانست. سد سبلان آب لازم 86 روستا را تأمین کرده و قابلیت آبیاری 15 هزار هکتار از اراضی پایاب را داشته است (سد سبلان در 40 کیلومتری مشکین‌شهر واقع شده است. از نوع خاکی با هسته رسی با ظرفیت 105 متر مکعب، ارتفاع از بستر 77 ، طول تاج 304 ، عملیات اجرایی اصلی سد از مرداد 1380 آغاز شده و در سال 1385 برای هدف‌های شرب و کشاورزی آبیگری شده است) (سد احمد بیگلو، در نزدیکی روستای احمد بیگلو در $16/5$ کیلومتری غرب مشکین‌شهر واقع شده است. این سد از نوع خاکی با هسته رسی با ظرفیت $27/4$ متر مکعب، ارتفاع از بستر $57/5$ و طول تاج 540 برای هدف‌های شرب و کشاورزی در سال 1398 آبیگری شده است با بهره‌برداری از این سد بیش از 2 هزار هکتار از اراضی زیرپوشش آبیاری مدرن قرار گرفته است) و سایر سدهای شهرستان به‌صورت سدهای مخزنی کوچک است.



شکل ۴: الف) نقشه کاربری اراضی سال ۲۰۰۲ شهرستان مشکین شهر، ب) نقشه کاربری اراضی سال ۲۰۲۴ شهرستان مشکین شهر (منبع: نویسندگان، ۱۴۰۳)

Figure 4: A) Land use map of Meshkinshahr County in 2002, B) Land use map of Meshkinshahr County in 2024

جدول ۳: مساحت و میزان تغییرات هر نوع از کاربری‌های اراضی در سطح شهرستان مشکین شهر در سال‌های ۲۰۰۲ و ۲۰۲۴

Table 3: Area and rate of change of each type of land use in Meshkinshahr county from 2002 and 2024

نوع کاربری	در سال ۲۰۰۲ مساحت به کیلومتر مربع	در سال ۲۰۰۲ مساحت به درصد	در سال ۲۰۲۴ مساحت به کیلومتر مربع	در سال ۲۰۲۴ مساحت به درصد	میزان تغییرات به کیلومتر مربع	روند تغییرات
زراعت آبی	۱۴۷/۹۸	۳/۸۱	۲۱۱/۰۴	۵/۴۴	۶۳/۰۶	افزایشی
زراعت دیم	۵۷۴/۶۵	۱۴/۸۱	۷۷۸/۴۳	۲۰/۰۶	۲۰۳/۷۸	افزایشی
باغ و جنگل	۶۱/۰۲	۱/۵۲	۳۸/۵۵	۰/۹۹	۲۲/۴۷	کاهشی
مناطق مسکونی	۱۴/۴۲	۰/۳۷۱	۶۸/۹۰	۱/۷۷	۵۴/۴۸	افزایشی
مراتع خوب	۲۴۹/۸۳	۶/۴۴	۱۳۱/۲۴	۳/۳۸	۱۱۸/۵۹	کاهشی
مراتع ضعیف	۲۸۲۴/۴۲	۷۲/۸۰	۲۶۴۳/۴۷	۶۸/۱۳	۱۸۰/۹۵	کاهشی
مناطق آبی	۴/۸۳	۰/۱۲۴	۶/۰۲	۰/۱۵۵	۱/۱۹	افزایشی
اراضی پوشیده از برف	۲/۶۱	۰/۰۶۷	۲/۱۱	۰/۰۵۴	۰/۵	کاهشی

منبع: نویسندگان، ۱۴۰۳

نقشه تغییرات کاربری اراضی شهرستان مشکین شهر حاصل از مقایسه دو نقشه کاربری اراضی سال ۲۰۰۲ و ۲۰۲۴ در شکل ۵ نمایش داده شده است. با توجه به این نقشه و جدول ۴ که درصد و مساحت کاربری‌های اراضی تغییر یافته را نشان می‌دهد، می‌توان بیان کرد که بیشترین تغییر کاربری اراضی شهرستان مربوط به تبدیل مراتع ضعیف به زراعت دیم است و در طی ۲۲ سال بررسی شده حدود ۴۵۲/۰۲ کیلومتر مربع از مساحت مراتع ضعیف موجود در شهرستان به زیر کشت دیم رفته است. بیشترین تغییرات بعدی مربوط به تبدیل زراعت دیم به مراتع ضعیف و تبدیل

Figure 5: Map of land use changes in Meshkinshahr County from 2002 and 2024

Table 4: Percentage and area of changed land uses in Meshkinshahr county in the years under study

مساحت (کیلومتر مربع)	کاربری های تغییر یافته	مساحت (کیلومتر مربع)	کاربری های تغییر یافته
۲/۵۵	باغ و جنگل به زراعت دیم	۱۷۲/۱۱	مرتع خوب به مرتع ضعیف
۳/۳۱	باغ و جنگل به مرتع خوب	۰/۴۲	مرتع خوب به مناطق آبی
۹/۳۲	باغ و جنگل به مرتع ضعیف	۱۶/۳۸	مرتع خوب به زراعت آبی
۳/۲۵	باغ و جنگل به مناطق مسکونی	۳/۰۴	مرتع خوب به زراعت دیم
۱۲/۷۰	زراعت دیم به مناطق مسکونی	۲/۶۵	مرتع خوب به مناطق مسکونی
۲۹/۷۶	زراعت دیم به زراعت آبی	۴۵۲/۰۲	مرتع ضعیف به زراعت دیم
۰/۲۲	زراعت دیم به مناطق آبی	۵۹/۲۲	مرتع ضعیف به زراعت آبی
۵/۳۴	زراعت دیم به مرتع خوب	۳۲/۶۵	مرتع ضعیف به مناطق مسکونی
۲۱۵/۰۴	زراعت دیم به مرتع ضعیف	۲/۴۴	مرتع ضعیف به مناطق آبی
۳/۵۲	زراعت دیم به باغ و جنگل	۲۸/۲۵	زراعت آبی به مرتع ضعیف
۰/۰۵۵	مناطق آبی به زراعت آبی	۱۰/۸۴	زراعت آبی به مناطق مسکونی
۰/۰۳۲	مناطق آبی به باغ و جنگل	۱۱/۸۵	زراعت آبی به زراعت دیم
۰/۰۵۴	مناطق آبی به مناطق مسکونی	۱۱/۴	زراعت آبی به مرتع خوب
		۲۹/۵۰	باغ و جنگل به زراعت آبی

منبع: نویسندگان، ۱۴۰۳

در این مطالعه برای پهنه‌بندی فرسایش با توجه به نقشه کاربری اراضی مربوط به دو سال بررسی شده و نیز نقشه سایر معیارهای مطرح ابتدا وزن‌دهی معیارها انجام شد. مفروضات پایه‌ای (مجموع تضاد، انحراف معیار و میزان اطلاعات) و وزن نهایی حاصل از وزن‌دهی کرتیک در بین معیارهای مطرح در پهنه‌بندی فرسایش شهرستان مشکین‌شهر در **جدول ۵** آورده شده است. با توجه به نتایج حاصل شده در سال ۲۰۰۲ به‌ترتیب معیارهای شیب، کاربری اراضی، سنگ‌شناسی و خاک و در سال ۲۰۲۴ معیارهای کاربری اراضی، شیب، سنگ‌شناسی و خاک بیشترین ضریب وزنی دارند.

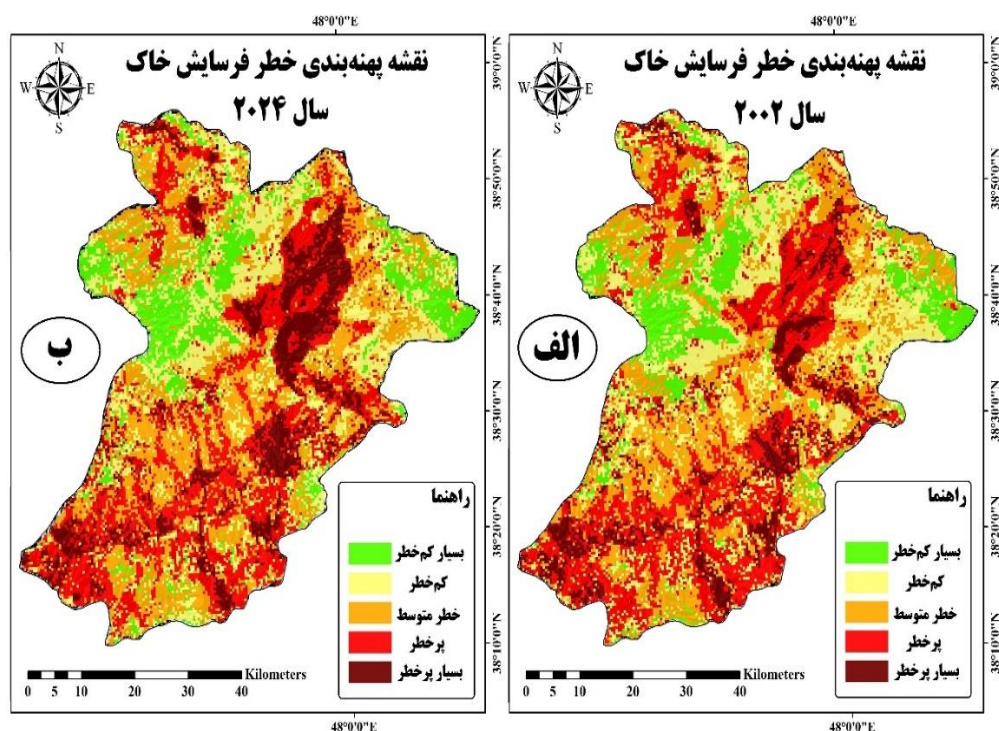
جدول ۵: مجموع تضاد، انحراف معیار، میزان اطلاعات و وزن نهایی معیارهای مطرح در پهنه‌بندی فرسایش شهرستان مشکین‌شهر

Table 5: Total contrast standard deviation, amount of information, and final weight of the criteria considered in the erosion zoning of Meshkinshahr county

وزن نهایی	میزان اطلاعات	انحراف معیار	مجموع تضاد	معیار	۲۰۰۲ سال اراضی کاربری نقشه استفاده با
۰/۱۶۱	۱/۲۶۰	۰/۳۵۰	۳/۶۰۲	شیب	۲۰۰۲ سال اراضی کاربری نقشه استفاده با
۰/۱۴۶	۱/۱۴۳	۰/۳۷۵	۳/۰۴۵	سنگ‌شناسی	
۰/۱۵۶	۱/۲۵۵	۰/۴۱۱	۲/۹۸۱	کاربری اراضی	
۰/۱۴۳	۱/۱۲۰	۰/۳۷۷	۲/۹۷۰	خاک	
۰/۱۳۱	۱/۰۲۷	۰/۳۴۴	۲/۹۸۷	بارش	
۰/۱۳۴	۱/۰۴۸	۰/۳۶۶	۲/۸۶۲	فاصله از رودخانه	
۰/۱۲۶	۰/۹۸۹	۰/۳۶۱	۲/۷۴۱	فاصله از راه	
۰/۱۶۰	۱/۲۷۶	۰/۳۵۰	۳/۶۴۷	شیب	۲۰۲۴ سال اراضی کاربری نقشه استفاده با
۰/۱۴۵	۱/۱۵۱	۰/۳۷۵	۳/۰۶۵	سنگ‌شناسی	
۰/۱۶۴	۱/۳۰۴	۰/۴۲۱	۳/۰۹۸	کاربری اراضی	
۰/۱۴۲	۱/۱۲۷	۰/۳۷۷	۲/۹۸۹	خاک	
۰/۱۲۸	۱/۰۱۹	۰/۳۴۴	۲/۹۶۲	بارش	
۰/۱۳۳	۱/۰۵۸	۰/۳۶۶	۲/۸۸۸	فاصله از رودخانه	
۰/۱۲۶	۱/۰۰۰	۰/۳۶۱	۲/۷۷۲	فاصله از راه	

منبع: نویسندگان، ۱۴۰۳

نقشه پهنه‌بندی فرسایش شهرستان مشکین‌شهر با اعمال مراحل عملیاتی روش ویکور در ۵ طبقه بسیار پرخطر تا بسیار کم خطر و برای سال‌های ۲۰۰۲ و ۲۰۲۴ استخراج شد (شکل ۶). با توجه به نتایج به‌دست‌آمده از پهنه‌بندی فرسایش در محدوده مطالعاتی در سال ۲۰۰۲ مساحت طبقه بسیار پرخطر و پرخطر ۴۲۲/۱۴ و ۱۰۳۰/۰۳ کیلومتر مربع بوده که مقدار این طبقات خطر در سال ۲۰۲۴ به‌ترتیب به ۵۴۸/۵۸ و ۱۰۶۰/۳۶ کیلومتر مربع افزایش یافته است (جدول ۶).



شکل ۶: الف) نقشه پهنه‌بندی فرسایش سال ۲۲۰۲، ب) نقشه پهنه‌بندی فرسایش سال ۲۰۲۴ (منبع: نویسندگان، ۱۴۰۳)

Figure 6: a) Erosion zoning map for 2002, b) Erosion zoning map for 2024

جدول ۶: اطلاعات طبقات خطر فرسایش سال‌های ۲۰۰۲ و ۲۰۲۴ شهرستان مشکین‌شهر

Table 6: Information on erosion risk classes for the years 2002 and 2024 in Meshkinshahr county

سال	طبقه خطر	بسیار پرخطر	پرخطر	خطر متوسط	کم خطر	بسیار کم خطر
سال ۲۰۰۲	مساحت به کیلومتر مربع	۴۲۲/۱۴	۱۰۳۰/۰۳	۱۱۱۰/۰۳	۸۵۲/۵۳	۴۶۵/۰۴
	مساحت به درصد	۱۰/۸۸	۲۶/۵۵	۲۸/۶۱	۲۱/۹۷	۱۱/۹۹
سال ۲۰۲۴	مساحت به کیلومتر مربع	۵۴۸/۵۸	۱۰۶۰/۳۶	۱۱۲۰/۳۰	۷۱۱/۲۲	۴۳۹/۳۱
	مساحت به درصد	۱۴/۱۴	۲۷/۳۳	۲۸/۸۸	۱۸/۳۳	۱۱/۳۲
تغییرات دو دوره	مساحت به کیلومتر مربع	+۱۲۶/۴۴	۳۰/۳۳	۱۰/۲۷	۱۴۱/۳۱	۲۵/۷۳
	نوع تغییرات	افزایشی	افزایشی	افزایشی	کاهشی	کاهشی

منبع: نویسندگان، ۱۴۰۳

با توجه به نتایج حاصل و مقدار مساحت طبقات فرسایش می‌توان بیان کرد که در حالت کلی شهرستان مشکین‌شهر به لحاظ شرایط محیطی موجود در منطقه از نظر فرسایش‌پذیری پتانسیل بسیار بالایی را دارد؛ به‌طوری‌که بررسی‌های میدانی به‌عمل‌آمده نیز نشان‌دهنده وجود انواع فرم‌های فرسایشی (ورقه‌ای یا سطحی، توده‌ای، شیاری، گالی و کنار رودخانه‌ای) در سطح شهرستان است (شکل ۷). از جمله شرایط محیطی شهرستان که موجب افزایش پتانسیل فرسایش شده است، می‌توان به وجود خاک‌های سست آبرفتی و خاک‌های استپی قهوه‌ای (از این خاک‌ها در اراضی شیب‌دار بیشتر به‌صورت مرتع استفاده می‌شود و در برخی مناطق قابلیت کشت دیم گندم و سایر محصولات

دیمی را دارد؛ برای مثال، گندم دیم در روستاهای آلنی و ارشق و بخشی از لاهرود تولید می‌شود) اشاره کرد. به‌علاوه، پراکنش سازندهای حساس و فرسایش‌پذیر در سطح شهرستان مانند رسوبات مخروط‌افکنه‌های پایکوهی سطح بالا و پادگانه‌های آبرفتی جوان، مارن‌ها و شیل، کنگلومرا، رسوبات ضخیم تا متوسط از ماسه‌سنگ و رسوبات آواری در افزایش پتانسیل خطر فرسایش شهرستان نقش مهمی دارد؛ برای مثال، مارن‌ها و شیل‌هایی که حاصل فعالیت شدید فرآیندهای فرسایشی در دوره‌های گذشته هستند، در شرایط کنونی به‌لحاظ ارائه بستر مساعد، وقوع پدیده‌های مختلفی ازجمله لغزش‌های بزرگ و کوچک، فرسایش و تشکیل خندق‌های متعدد در روی این سازندها مشاهده می‌شود. رسوبات اوایل کواترنر که به‌طور عمده متشکل از کنگلومراهاست، به‌سهولت با چینه‌بندی ناجور و شکل هموار قابل تشخیص است و اغلب باعث فرسایش و حمل رسوبات در دره‌ها و فرورفتگی‌ها شده است. آبرفت‌های قدیمی منطقه که با تغییرات اقلیمی بعد از پلیستوسن در ارتباط است، ضخامت چشمگیری دارد و تا کناره دامنه‌ها و گاه تا ارتفاعات بالا گسترده شده است. آبرفت‌های مذکور به‌لحاظ ویژگی‌هایی که دارند و به‌دلیل اینکه هنوز هم به استحکام کامل نرسیده است، زمینه مساعدی را برای وقوع فرسایش و لغزش در منطقه فراهم کرده است. همچنین، شیب زیاد (شیب به‌صورت مستقیم و یا با تأثیر روی سایر عوامل محیطی باعث تغییر در فرآیندهای هیدرولوژیکی خاک به‌ویژه پتانسیل تولید رواناب و رسوب می‌شود و فرسایش خاک را تحت تأثیر قرار می‌دهد)، بارندگی مناسب (بارندگی به‌نسبت زیاد در ماه‌های فروردین و اردیبهشت در تشدید و توسعه فرسایش خطی رواناب‌ها در سطح شهرستان نقش مهمی را دارد) و فراوانی شبکه آبراهه (رودخانه خیابوچای، قطورسوئی چای، اوناچایی، انزانچایی، گیزلی‌مشه‌کوهکنار، شیروان‌دره چایی، خاتون‌آرخی، آلنی چایی، نقدی چایی، آقجه‌لو چایی و زیناب دره‌سی از رودخانه‌های دائمی شهرستان مشکین‌شهر است. مناطق مجاور رودخانه‌ها با زیرشویی دامنه‌ها و از بین بردن تکیه‌گاه در فرسایش خاک اهمیت داشته است و این رودخانه‌های دائمی و پرآب به‌راحتی می‌توانند مواد سطحی و خاک را بشورند و با خود حمل کنند) از عوامل دخیل در افزایش فرسایش‌پذیری شهرستان است. از لحاظ کاربری اراضی نیز می‌توان گفت که در نقشه فرسایش هر دو دوره مطالعاتی به‌طور عمده، مناطق با طبقه بسیار پرخطر و پرخطر در کاربری‌های زراعی، مراتع ضعیف و مناطق مسکونی قرار دارد. علت افزایش مناطق با احتمال خطر فرسایش در سال‌های بررسی شده را می‌توان در کاهش سطح مراتع (مرتع ضعیف و خوب)، کاهش باغ‌ها و پوشش جنگلی و افزایش کاربری‌های زراعی و نواحی مسکونی دانست.



شکل ۷: نمایی از انواع فرسایش در سطح شهرستان مشکین‌شهر الف، ب، ج- فرسایش کنار رودخانه‌ای؛ د، ه- فرسایش توده‌ای؛ و- فرسایش ورقه‌ای یا سطحی، ز- فرسایش شیاری؛ ح، ط- فرسایش گالی (منبع: نویسندگان، ۱۴۰۳ و سایت‌های داخلی)

Figure 7: View of types of erosion in Meshkinshahr county A, B, C- Riverbank erosion; D, E- Mass erosion; F- Sheet or surface erosion; G- Groove erosion; H, I- Gully erosion

در سطح شهرستان مشکین‌شهر زراعت دیم غلات با آیش یکساله مهم‌ترین نوع کاربری اراضی است. در این راستا، در سطح شهرستان در طی سال‌های مطالعه‌شده به بهانه خودکفایی در تولید دیم محصولات استراتژیک (به‌ویژه گندم)، مراتع ضعیف به اراضی کشاورزی و به‌خصوص به دیم‌زارهای کم‌بازده تغییر کاربری اراضی داده است. هرچند کشتزارهای دیم در افزایش محصولات کشاورزی به‌صورت مقطعی نقش بالایی دارد، این تغییرات کاربری اراضی چون اغلب با بی‌توجهی به قابلیت اراضی و رعایت اصول صحیح خاک‌ورزی توأم بوده است، به‌خصوص در دامنه‌هایی که به‌دلیل ناآگاهی کشاورزان شخم زمین در جهت شیب صورت می‌گیرد، به تولید روان آب سطحی و در نتیجه تشدید فرسایش منجر می‌شود که نتیجه نهایی آن افت توان تولید اراضی، وجود دیم‌زارهای کم‌بازده و رهاشده در سطح اکوسیستم‌های مرتعی است. از سوی دیگر، از سایر عوامل تخریب مراتع در سطح شهرستان مشکین‌شهر می‌توان به افزایش تعداد دام و رعایت نکردن تناسب بین دام و مرتع، چرای زودرس، چرای طولانی، آتش‌سوزی، بوته‌کشی، احداث جاده و عملیات عمرانی با از بین بردن پوشش مرتعی در دامنه‌های پرشیب اشاره کرد که منجر به به کاهش میزان مراتع شده است و به دنبال آن رواناب با شروع فصل بارش تشدید می‌شود و به این ترتیب در تشدید فرسایش خاک نقش بسیار مهمی دارد. نکته حائز اهمیت دیگر در سطح شهرستان مشکین‌شهر کاهش سطح

پوشش جنگلی و باغ‌ها و تبدیل این کاربری اراضی به انواع دیگر از کاربری‌ها به‌ویژه زراعی، مراتع و نواحی مسکونی و انسان‌ساخت است که این امر نیز در افزایش پتانسیل فرسایش‌پذیری محدوده نقش مهمی دارد. درباره کاهش اراضی مرتعی و جنگلی ازجمله نمونه‌هایی که می‌توان بدان اشاره کرد، کاهش سطح رویشگاه جنگلی حاتم‌مشه‌سی است. ذخیره‌گاه جنگلی حاتم‌مشه‌سی با ۱۹۵/۶ هکتار در ۲۸ کیلومتری غرب شهرستان مشکین‌شهر از ذخایر ارزشمند استان اردبیل و ایران است. این جنگل به‌دلیل موقعیت، شرایط اقلیمی و زیستگاهی که دارد، جزئی از جنگل‌های ارسباران بوده و از نظر تنوع و ترکیب پوشش گیاهی بسیار غنی است که در سال‌های اخیر تغییر کاربری جنگل‌ها و مراتع به کشاورزی، چرای دام و قطع درختان برای زغال‌سنگ و هیزم ازجمله عوامل مؤثر بر تخریب این ذخیره‌گاه ارزشمند بوده است. علاوه بر مشکل حضور دام در جنگل، حضور مسافران و گردشگران بیش از حد ظرفیت و توان اکولوژیکی جنگل نیز در منطقه مشاهده می‌شود. از دیگر دلایل کاهش پوشش نواحی جنگلی و باغ‌های شهرستان می‌توان به ساخت‌وسازهای غیرمجاز و ویلاسازی اشاره کرد که در طی سال‌های اخیر به‌وفور در منطقه پدیدار شده است. افزایش ویلاسازی در مناطق مختلف شهری و روستایی (به‌ویژه در اراضی خوش آب‌وهوای باغی، جنگلی و مرتعی) در کنار افزایش جذب مهاجران روستایی به نقاط شهری و به‌ویژه مشکین‌شهر (به‌دلیل امکان دسترسی بیشتر و بهتر به خدمات، امکانات زیرساختی مطلوب‌تر، امکان درآمد بیشتر و دسترسی به اشتغال بیشتر) را می‌توان علت رشد بیش از چهارونیم برابری سکونتگاه مسکونی در سطح شهرستان نیز مطرح کرد. همچنین، مناطق مجاور رودخانه‌ها مقدارهای بالایی از پتانسیل خطر فرسایش را دارد. رودخانه‌ها (به‌ویژه رودخانه‌های دائمی خیاوچای) با زیرشویی دامنه‌ها و از بین بردن تکیه‌گاه در فرسایش خاک اهمیت دارد و مناطق پرخطر بیشتر شامل بستر طغیانی رود است. در این زمینه پارک حاشیه رودخانه خیاوچای در شهر مشکین‌شهر از قدیم با توجه به وجود بستر مناسب در دو سمت رودخانه مورد کاشت درختان و کاربری کشاورزی قرار گرفته است که در طی سال‌های اخیر با ایجاد امکانات رفاهی به‌عنوان پارک و تفرجگاه تفریحی مورد استفاده قرار می‌گیرد؛ اما باید توجه داشت که بخش اعظمی از اراضی پارک در زمین‌های بستر رودخانه احداث شده است که همیشه خطر سیل و فرسایش کنار رودخانه آنها را تهدید می‌کند؛ بنابراین افزایش مناطق مسکونی، ساخت‌وسازهای بی‌رویه و رشد زمین‌های نفوذناپذیر بر فرآیندهای حاکم بر منطقه تأثیرگذار بوده و منجر به افزایش سطح‌های پرخطر از نظر فرسایش خاک در سطح شهرستان شده است. در شکل ۸ نمونه‌هایی از دخالت‌های انسانی مؤثر در افزایش پتانسیل فرسایش‌پذیری خاک در سطح شهرستان مشکین‌شهر نمایش داده شده است.



شکل ۸: الف، ب) نمای از تصرف بستر رودخانه خیوچای با توسعه اراضی کشاورزی و باغ‌ها؛ ج، د) به ترتیب: انتقال آب از روی دامنه برای آبرسانی به زمین‌های زراعی و پروژه انتقال آب به مناطق روستایی و فرسایش و لغزش دامنه به دنبال آن؛ ه) زیربری و از بین بردن پاشته دامنه به دنبال احداث جاده؛ و) چرای بی‌رویه دام‌های روستاییان در مراتع (منبع: نویسندگان، ۱۴۰۳)

Figure 8: A, B) View of the occupation of the Khiawchay Riverbed with the development of agricultural lands and orchards. C, D) respectively; Transfer of water from the slope to irrigate agrarian lands; project to transfer water to rural areas; and erosion and landslide of the slope following it. E) Undercutting and destruction of the slope base following the construction of the road. F) Uncontrolled grazing of livestock in the pastures

نتیجه‌گیری

فرسایش خاک خطر جهانی است که به‌طور جدی منابع آب و خاک را تهدید می‌کند و تغییرات غیراصولی کاربری اراضی بدون در نظرگیری محدودیت‌های زیست‌محیطی از عوامل مهم دخیل در افزایش پتانسیل رخداد این مخاطره است؛ بنابراین اطلاع از نسبت کاربری‌های اراضی و نحوه تغییرات آن در گذر زمان از مهم‌ترین موارد برنامه‌ریزی و سیاست‌گذاری استفاده از منابع طبیعی به‌ویژه در راستای مدیریت آب و خاک است. در پژوهش حاضر نیز بررسی تغییرات کاربری اراضی و نقش آن در میزان فرسایش خاک شهرستان مشکین‌شهر برای سال‌های ۲۰۰۲ و ۲۰۲۴ بررسی شد. با توجه به نتایج مطالعه در سال‌های مطالعه شده زراعت آبی، زراعت دیم، نواحی مسکونی و مناطق آبی افزایش یافته و در مقابل، از مساحت باغ‌ها و جنگل، مراتع خوب و مراتع ضعیف و اراضی پوشیده از برف کاسته شده است. به‌علاوه، با نظر به بررسی مقایسه‌ای نقشه‌های کاربری اراضی مربوط به سال‌های مطالعه شده مشاهده می‌شود که بیشترین تغییر کاربری اراضی شهرستان به‌صورت تبدیل مراتع ضعیف به زراعت دیم بوده و در سال ۲۰۲۴ درمقایسه با سال ۲۰۰۲ حدود ۴۵۲/۰۲ کیلومتر مربع از مساحت مراتع ضعیف موجود در شهرستان به زیر کشت دیم (به‌ویژه غلات با آیش یکساله) رفته است که در نهایت، عملیات زراعی این اراضی با کاهش توجه اقتصادی رها شده و یا در شرف رهاشدن قرار گرفته است؛ به‌طوری که امروز آثار سوء مدیریت ناآگاهانه این دیم‌زارها و تغییرات کاربری‌ها به‌صورت ظهور عرصه‌های فقیر پوشش گیاهی، اراضی با خاکی کم‌عمق، توان تولید پایین و با پتانسیل

فرسایش زیاد است. در این میان، **زینالی و همکاران (۱۴۰۲)** تغییرات کاربری اراضی و مؤلفه‌های اقلیمی را در شهرستان مشکین‌شهر در بازه زمانی ۲۰۰۲ تا ۲۰۲۱ بررسی کردند. همچنین، **عابدینی و همکاران (۱۴۰۱)** ارتباط کاربری اراضی را با دمای سطح شهرستان مشکین‌شهر در دوره زمانی ۱۹۸۷ تا ۲۰۱۵ مطالعه کردند و به این نتیجه دست یافتند که بیشتر تغییرات کاربری اراضی شهرستان مشکین‌شهر در زمینه افزایش زمین‌های کشاورزی و از بین رفتن مراتع بوده است. با نظر به نقشه پهنه‌بندی فرسایش شهرستان در سال ۲۰۰۲ مساحت طبقه بسیار پرخطر و پرخطر ۴۲۲/۱۴ و ۱۰۳۰/۰۳ کیلومتر مربع بوده است که مقدار این طبقات خطر در سال ۲۰۲۴ به ترتیب به ۵۴۸/۵۸ و ۱۰۶۰/۳۶ کیلومتر مربع افزایش یافته است؛ به‌طور کلی با توجه به نتایج حاصل‌شده و مقدار مساحت طبقات فرسایش می‌توان بیان کرد که شهرستان مشکین‌شهر به لحاظ شرایط محیطی موجود در منطقه (از قبیل وجود خاک‌های سست، سازندهای حساس و فرسایش‌پذیر، شیب زیاد، بارندگی و فراوانی شبکه آبراهه) پتانسیل فرسایش بسیار بالایی را دارد؛ اما کاهش سطح مراتع (ضعیف و خوب)، کاهش باغ‌ها و پوشش جنگلی و درمقابل افزایش کاربری‌های زراعی (آبی و دیم) و نواحی مسکونی منجر به افزایش پتانسیل فرسایش خاک در سطح شهرستان شده است.

درنهایت، با توجه به نتایج پژوهش برای مدیریت سرزمین مطابق با اصول توسعه پایدار توصیه می‌شود که دیم‌زارهای کم‌بازده به کشت نباتات علوفه‌ای و گیاهان دارویی (به‌علت تطابق خاص اکولوژیکی و قابلیت اجرایی آن، تقویت و احیا پوشش گیاهی مراتع و ممیزی مراتع، تعیین ظرفیت چرای و جلوگیری از چرای بی‌رویه دام‌ها، کاهش فشار بهره‌برداری از مراتع با فراهم کردن مشاغل جایگزین مانند زنبورداری، کاشت گیاهان دارویی به‌عنوان اقدام‌های اضطراری و در عین حال پایدار برای حفظ و بهره‌برداری پایدار از منابع پایه آب و خاک) تبدیل شود. به‌علاوه، بدان جهت که افزایش پتانسیل فرسایش خاک در اغلب موارد در نتیجه دخالت عوامل انسانی بوده است، این روند فقط با تغییر تعامل انسان با طبیعت و نحوه استفاده بشر از زمین تغییر خواهد یافت. درنهایت، باید به مواردی چون ارتقای سطح آگاهی‌های عمومی درباره عواقب ناشی از تبدیل و تغییر کاربری اراضی مرتعی به دیم‌زار، واگذاری مدیریت دیم‌زارها به مردم برای ایجاد انگیزه در اعمال مدیریت پایدار در این عرصه‌ها، آشناسازی کشاورزان با اقدام‌ها و فعالیت‌های حفاظتی در اراضی شیب‌دار و نحوه کشت در این اراضی و روش‌های مقابله با فرسایش توجه شود. انتظار می‌رود استفاده از نقشه تغییرات کاربری اراضی و نقشه پهنه‌بندی خطر فرسایش به‌دست‌آمده در مطالعه حاضر به‌عنوان یک راهنمای کاربردی برای آگاهی از وضعیت تغییر کاربری اراضی و پتانسیل فرسایش خاک شهرستان به‌منظور اعمال اقدام‌های کنترلی و مدیریتی در راستای کاهش فرسایش در پهنه‌های با پتانسیل فرسایش‌پذیری زیاد مورد توجه مدیران و برنامه‌ریزان ذی‌صلاح قرار گیرد.

منابع

اسمعیلی، حسین، و نگهبان، سعید (۱۴۰۰). آشکارسازی و پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از مدل زنجیره مارکوف و سلول‌های خودکار (CA-Markov): مطالعه موردی: دشت داراب. *مطالعات جغرافیایی مناطق خشک*,

اصغری سراسکانرود، صیاد، و پیروزی، الناز (۱۴۰۳). شناسایی و پهنه‌بندی مناطق مستعد وقوع خطر زمین‌لغزش با استفاده از روش تحلیل چندمعیاره آراس (منطقه مورد مطالعه: حوضه آبخیز قرنق‌چای در جنوب شرق استان آذربایجان شرقی). *جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی*، ۳۵ (۳)، ۶۵-۹۴.

<https://doi.org/10.22108/gep.2024.140985.1639>

اصغری سراسکانرود، صیاد، فعال نذیری، مهدی، و اردشیرپی، علی‌اصغر (۱۳۹۸). بررسی اثرات کاربری اراضی بر فرسایش خاک با الگوریتم WLC (مطالعه موردی: حوضه آبخیز آق‌لاقان‌چای). *پژوهش‌های فرسایش محیطی*، ۹ (۲)، ۵۳-۷۱. <http://magazine.hormozgan.ac.ir/article-1-521-fa.html>

اصغری سراسکانرود، صیاد، و ناصری، احمد (۱۳۹۹). استخراج نقشه کاربری اراضی شهرستان سوسنگرد با استفاده از الگوریتم‌های پیکسل پایه و شیء‌گرا. *فضای جغرافیایی*، ۲۰ (۶۹)، ۷۷-۹۵.

<http://geographical-space.iau-ahar.ac.ir/article-1-3181-fa.html>

پرویزی، یحیی، بیات، رضا، عربخدری، محمود، و فاتحی، شاهرخ (۱۳۹۹). تعیین عوامل مؤثر بر سیمای فرسایش خاک در دیم‌زارهای استان کرمانشاه بر پایه شبیه‌سازی میدانی بارندگی. *مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران*، ۱۴ (۴۹)، ۷۰-۸۲. <http://jwmsei.ir/article-1-939-fa.html>

زینالی، بتول، الهام، ملانوری، و شیوا، صفری (۱۴۰۲). بررسی تغییرات کاربری اراضی و مؤلفه‌های اقلیمی در شهرستان مشکین‌شهر. *حفاظت آب و خاک*، ۱۲ (۳)، ۱۵-۳۱.

<https://doi.org/10.30495/wscej.2022.68774.11316>

سالنامه آماری استان اردبیل (۱۴۰۱). سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان اردبیل. معاونت آمار و اطلاعات. <http://ardabilmpo.ir/index.aspx?pageid=387>

سمیع، فاطمه، یغمائیان مهابادی، نفیسه، ابریشم‌کش، سپیده، و مصلحت‌جو، عطااله (۱۴۰۱). اثر تغییر کاربری اراضی بر فرسایش‌پذیری و ویژگی‌های مؤثر بر کیفیت خاک (مطالعه موردی: سی‌دشت استان گیلان). *مهندسی زراعی*، ۴۵ (۱)، ۵۷-۷۸. <https://doi.org/10.22055/agen.2022.39858.1630>

عابدینی، موسی، بهرامی‌نیا قوجه‌بیگلر، فریده، مصطفی‌زاده، رئوف، و پاسبان، امیرحسام (۱۴۰۲). بررسی تأثیر تغییرات کاربری اراضی در یک دوره بیست سال بر میزان فرسایش و رسوب حوضه رضی‌چای. *جغرافیا و مطالعات محیطی*، ۱۲ (۴۵)، ۱۱۴-۱۳۳. <https://sanad.iau.ir/Journal/ges/Article/979044/FullText>

عابدینی، موسی، قلعه، احسان، آقازاده، نازفر، و محمدزاده شیشه‌گران، مریم (۱۴۰۱). پایش دمای سطح زمین و بررسی رابطه کاربری اراضی با دمای سطح با استفاده از تصاویر سنجنده OLI و TM. *تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، ۲۲ (۶۷)، ۳۷۵-۳۹۳. <https://doi.org/10.52547/jgs.22.67.375>

فیضی‌زاده، بختیار، خدمت‌زاده، علی، و نیکجو، محمدرضا (۱۳۹۷). ریز طبقه‌بندی اراضی باغی و زراعی با استفاده از تکنیک‌های پردازش شیء پایه و الگوریتم‌های فازی با هدف تخمین سطح زیرکشت. *تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، ۱۸ (۴۸)، ۲۱۶-۲۰۱. <https://doi.org/10.29252/jgs.18.48.201>

کریم زاده مطلق، زینب، لطفی، علی پورمنافی، سعید، و احمدی زاده، سید سعیدرضا (۱۴۰۱). ارزیابی و پیش بینی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از مدل CA_Markov. *جغرافیا و برنامه ریزی محیطی*، ۳۳(۲)، ۶۷-۸۴.

<https://doi.org/10.22108/gep.2022.130601.1458>

مددی، عقیل، اصغری سراسکانرود، صیاد، و حاجت پورقلعه رودخانی، حسین (۱۴۰۳). بررسی تغییرات کاربری اراضی با تأکید بر پوشش جنگلی و اثرات آن بر فرسایش خاک با استفاده از طبقه بندی شیء گرا و تکنیک چندمعیاره مارکوس (مطالعه موردی: حوضه آبریز قلعه رودخان فومن). *هیدروژئومورفولوژی*، ۱۱(۳۹)، ۱۴۴-۱۶۷.

<https://doi.org/10.22034/hyd.2024.60739.1731>

مددی، عقیل، غفاری، عطا، و پیروزی، الناز (۱۳۹۴). ارزیابی و پهنه بندی خطر ریزش با استفاده از مدل VIKOR (مطالعه موردی: حوضه آبخیز آق لاقان چای). *جغرافیا و برنامه ریزی محیطی*، ۲۶(۴)، ۶۳-۸۰.

https://gep.ui.ac.ir/article_20778.html

مددی، عقیل، فعال نذیری، مهدی، و پیروزی، الناز (۱۴۰۱). ارزیابی تغییرات کاربری اراضی و اثرات آن بر فرسایش خاک در حوضه بالادست سد یامچی اردبیل با استفاده از الگوریتم تصمیم گیری چندمعیاره ARAS و روش های نوین سنجش از دور. *پژوهش های ژئومورفولوژی کمی*، ۱۱(۲)، ۵۲-۷۰.

<https://doi.org/10.22034/gmpj.2022.315438.1314>

معتمدی راد، محمد، زنگنه اسدی، محمدعلی، و عجم، حسین (۱۴۰۲). بررسی میزان فرسایش خاک و تولید رسوب با استفاده از مدل RUSLE و روش پسیاک اصلاح شده (مطالعه موردی: حوضه آبریز کال اسماعیل دره شهرستان شاهرود استان سمنان). *پژوهش های ژئومورفولوژی کمی*، ۱۱(۴)، ۱۶۵-۱۴۷.

<https://doi.org/10.22034/gmpj.2022.360813.1374>

References

- Abedini, M., Bahraminia Gojebiglou, F., Mostafazadeh, R., & Pasban, A. (2023). Investigating the Effect of land use change on soil erosion and sediment yield in razeychay watershed during past 20 years. *Geography and Environmental Studies*, 12(45), 114-133. <https://sanad.iau.ir/Journal/ges/Article/979044/FullText> [In Persian].
- Abedini, M., Ghale, E., Aghazadeh, N., & Mohamadzaheh-Sheshgaran, M. (2022). Monitoring the surface temperature and studying the land use relationship with surface temperature using OLI and TM image sensors (Case study: Meshginshahr city). *Journal of Applied Researches in Geographical Sciences*, 22(67), 375-393. <https://doi.org/10.52547/jgs.22.67.375> [In Persian].
- Alinezhad, A., & Khalili, J. (2019). *New methods and applications in multiple attribute decision making (MADM): International series in operations research & management science*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-15009-9>
- Aneseyee, A.B., Elias, E., Soromessa, T., & Feyisa, G.L. (2020). Land use/land cover change effect on soil erosion and sediment delivery in the Winike watershed Omo gibe basin. *Science of the Total Environment*, 728(1), 1-28. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138776>
- Asghari Saraskanroud, S., Faal-Naziri, M., & Ardashirpay, A.A. (2019). Studying the effects of land use on soil Erosion with WLC algorithm: Case of study: Agh Laghan chay basin. *Quarterly Journal of Environmental Erosion Research*, 9(2), 53-71. <http://magazine.hormozgan.ac.ir/article-1-521-fa.html> [In Persian].
- Asghari Saraskanroud, S., & Naseri, A. (2020). Extracting land use map of susangerd county using pixel-based and object-oriented algorithms. *Geographical Space*, 20(69), 77-95. <http://geographical-space.iau-ahar.ac.ir/article-1-3181-fa.html> [In Persian].

- Asghari Saraskanroud, S., & Piroozi, E. (2024). Identification and zoning of areas prone to the occurrence of landslides using the aras multi-Criteria analysis method (Study Area: Qaranqoochay watershed in the southeast of East Azarbaijan province). *Geography and Environmental Planning*, 35(3), 65-94. <https://doi.org/10.22108/gep.2024.140985.1639> [In Persian].
- Costea, A., Bilasco, S., Irimus, I. A., Rosca, S., Vescan, I., Fodorean, I., & Sestras, P. (2022). Evaluation of the risk induced by soil erosion on land use: Case study: Guruslău depression. *Sustainability*, 14(1), 1-19. <https://doi.org/10.3390/su14020652>
- Esmaeili, H., & Negahban, S. (2021). Detection and prediction of land use/ land cover changes using Markov chain model and cellular automata (CA-Markov): Case study: Darab plain. *Journal of Arid Regions Geographic Studies*, 12(43), 41-61. https://jargs.hsu.ac.ir/article_161536.html [In Persian].
- Feizizadeh, B., KHedmat-Zadeh, A., & Nikjoo, M.R. (2018). Micro-classification of orchards and agricultural croplands by applying object-based image analysis and fuzzy algorithms for estimating the area under cultivation. *Journal Of Applied Researches in Geographical Sciences*, 18(48), 201-216. <https://doi.org/10.29252/jgs.18.48.201> [In Persian].
- Hussain, S., Mubeen, M., Akram, W., Ahmad, A., Habib-Ur-Rahman, M., Ghaffar, A., Amin, A., Awais, M., Umar Farid, H., Farooq, A., & Nasim, W. (2020). Study of land cover / land use changes using RS and GIS: A case study of Multan district Pakistan. *Environ Monit Assess*, 192(1), 1-15. <https://doi.org/10.1007/s10661-019-7959-1>
- Karimzadeh Motlagh, Z., Lotfi, A., Pourmanafi, S., & Ahmadizadeh, S. (2022). Evaluation and prediction of Land-Use changes using the CA_Markov model. *Geography and Environmental Planning*, 33(2), 67-84. <https://doi.org/10.22108/gep.2022.130601.1458> [In Persian].
- Kim, J. H., & Ahn, B.S. (2020). The hierarchical VIKOR method with incomplete information: Supplier selection problem. *Sustainability*, 12(22), 1-15. <https://doi.org/10.3390/su12229602>
- Li, M., Li, T., Zhu, L., Meadows, M.E., Zhu, W., & Zhang, S. (2021). Effect of land use change on gully erosion density in the black soil region of northeast China from 1965 to 2015: A case study of the Kedong county. *Front. Environ Sci*, 9(1), 652-933. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2021.652933>
- Madadi, A., Asghari Saraskanroud, S., & Hajatpourghaleroodkhany, H. (2024). Investigating land use changes with an emphasis on forest cover and its effects on soil erosion using object-oriented classification and the MARCOS multi-criteria technique case study: Ghaleroodkhan Fuman watershed, *Hydrogeomorphology*, 11(39), 167-144. <https://doi.org/10.22034/hyd.2024.60739.1731> [In Persian].
- Madadi, A., Faal Naziri, M., & Piroozi, E. (2022). Evaluation of land use changes and its effects on soil erosion in the basin upstream of Yamchi Dam in Ardabil using ARAS multi-criteria decision algorithm and modern remote sensing methods. *Quantitative Geomorphological Research*, 11(2), 52-70. <https://doi.org/10.22034/gmpj.2022.315438.1314> [In Persian].
- Madadi, A., Qhffari, A., & Piroozi, E. (2016). Assessment and zonation of downfall hazard using by VIKOR model (Cause study: Aqlaqhan chay basin) extended abstract. *Geography And Environmental Planning*, 26(4), 63-80. https://gep.ui.ac.ir/article_20778.html [In Persian].
- Manikandan, K., & Rangarajan, S. (2023). Predicting erosion potential zones using CA-ANN and Multi-Criteria analysis for the bhavani watershed India. *Journal of the Geological Society of India*, 99(1), 607–620. <https://doi.org/10.1007/s12594-023-2362-5>
- Meshram, S.G., Singh, V.P., Kahya, E., Alvandi, E., Meshram, C., & Sharma, S.K. (2020). The feasibility of multi-Criteria decision making approach for prioritization of sensitive area at risk of water erosion. *Water Resour Manage*, 34(1), 4665–4685. <https://doi.org/10.1007/s11269-020-02681-7>
- Motamedirad, M., Zangane Asadi, M. A., & Ajam, H. (2023). Investigating the rate of soil erosion and sediment production using the RUSLE model and the modified method PSIAC (Case study: kal basin of Ismail, Shahrood city Semnan province). *Quantitative Geomorphological Research*, 11(4), 147-165. <https://doi.org/10.22034/gmpj.2022.360813.1374> [In Persian].

- Mwanga; W.E., Shaibu; A.G., & Issaka, Z. (2024). Influence of long-term land use and land cover (LULC) changes on soil loss sediment export and deposition in the ungauged bontanga watershed. *H2Open Journal*, 7(1), 1-21. <https://doi.org/10.2166/h2oj.2024.088>
- Parvizi, Y., Bayat, R., Arabkhedri, M. (2020). Determination of main agents affecting soil erosion in rainfed land of Kermanshah province using rainfall simulator. *Iranian Journal of Watershed Management Science*, 14(49), 70-82. <http://jwmsei.ir/article-1-939-fa.html> [In Persian].
- Prashanth, M., A. Kumar, S., Dhar, O., Verma, S.K., & Kouser, B. (2023). Land use/land cover change and its implication on soil erosion in an ecologically sensitive Himachal Himalayan watershed Northern India. *Front For Glob Change*, 6(1), 1-17. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2023.1124677>
- Qingge, L., Wei, S., & Yang, P. (2020). An improved Otsu threshold segmentation algorithm. *International Journal of Computational Science And Engineering*, 22(10), 146-153. <https://doi.org/10.1504/IJCSE.2020.107266>
- Samie, F., Yaghmaeian Mahabadi, N., Abrishamkesh, S., & Maslahatjou, A. (2022). Impact of land use change on erodibility and soil quality indicators (Case study: Sidasht guilan province). *Agricultural Engineering*, 45(1), 57-78. <https://doi.org/10.22055/agen.2022.39858.1630> [In Persian].
- Statistical Yearbook of Ardabil Province*. (2022). Ardabil provincial management and planning organization. Deputy for statistics and information. <http://ardabilmpo.ir/index.aspx?pageid=387> [In Persian].
- Taloor, A.K., Kumar, V., Kumar, S.G., Singh, A.K., Kale, A.V., Sharma, R., Khajuria, V., Raina, G., Kouser, B., & Chowdhary, N.H. (2020). Land use land cover dynamics using remote sensing and gis techniques in western doon valley uttarakhand India. *Geoecology of Landscape Dynamics, Advances In Geographical And Environmental Sciences*, 4(1), 37-51. https://doi.org/10.1007/978-981-15-2097-6_4
- Zeinali, B., Melanori, E., & Shiva, S. (2013). Investigation of land use changes and climatic components in Meshkinshahr city. *Soil and Water Conservation*, 12(3), 15-31. <https://doi.org/10.30495/wsrcj.2022.68774.11316> [In Persian].

