

Investigating the effects of land use changes on soil erosion in Meshkinshahr County

Elnaz Piroozi ^a, Sayyad Asghari Saraskanroud ^b, Batool Zeinali ^c

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

^b Professor of Geomorphology, Physical Geography Department, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

^c Professor of Climatology, Physical Geography Department, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

Research Full Paper

Article History (Received: 2024/12/28)

Accepted: 2025/01/24

Extended abstract

1- Introduction

Erosion is a factor that severely threatens soil productivity and is one of the greatest obstacles to achieving sustainable development in agriculture and using natural resources. Land use changes can change the physical properties of the land surface and expose the soil to erosion by affecting the type of land use and its spatial patterns. Meshkinshahr County (located in Ardabil Province), due to its environmental characteristics, has a high potential for erosion risk. However, in recent years, due to the growing population and unprincipled land-use changes, the potential for this risk to occur at the county level has increased. Therefore, given the importance of the subject, in the present study, the study of land use changes and their role in the occurrence of erosion risk has been studied in the period between 2002 and 2024.

2-Methodology

In this study, to investigate land use changes, first, Landsat satellite images from (OLI-TM) sensors for the years (2002 and 2024) were obtained from the US Geological Survey. Then, to prepare the images, geometric and atmospheric corrections were made to the images using the Flash method and Envi5.3 software. In the next stage, using the object-oriented classification method and the nearest neighbor algorithm by Ecognition software, land use maps were extracted in the two study periods. In the next stage, by identifying the effective factors involved in the erosion of the region (including; land use, slope, lithology, soil, distance from road, distance from river, and precipitation) and preparing information layers for each criterion in GIS, the valuation and standardization of the layers were carried out using the fuzzy membership function and weighting of the criteria, using the critic method. Finally; final analysis and modeling were performed using the WLC multi-criteria analysis method.

3- Results

The results show that in the two time periods studied, the largest area of the area is covered by poor pastures and rainfed agriculture, and the lowest level of land use is related to snow-covered lands and water areas. According to the results of the study, during the period studied, the area of land used for irrigated agriculture, rainfed agriculture, residential areas, and water areas has increased. So in 2024, compared to 2002, rainfed agriculture increased by 203.78 square kilometers, irrigated agriculture by 63.06 square kilometers, residential areas by 54.48 square kilometers, and areas with water cover by 1.19 square kilometers. In contrast, the area of garden and forest land uses, good pastures, poor pastures, and snow-covered lands has decreased in 2024 compared to 2002. The results show that during the study period, the area of poor and good pastures has increased by: 180.95 and 118.59 square kilometers have decreased. The area of garden and forest lands in the county has decreased by 22.47 square kilometers in 2024, and snow cover has also decreased by 0.5 square kilometers.

According to the results of weighting the criteria, in 2002, the criteria of slope, land use, lithology, and soil have the highest weight coefficients, respectively, and in 2024, the criteria of land use, slope, lithology, and soil have the highest weight coefficients. According to the erosion zoning map, in 2002, the area of the very high-risk and

high-risk categories was 216.308 and 779.068 square kilometers, and the amount of these risk categories has increased to 600.348 and 820.228 square kilometers in 2024, respectively.

4- Discussion & Conclusions

The high extent of the very high-risk and high-risk classes in both periods of study indicates the very high erosion potential of this county, given the environmental conditions prevailing in the area. Looking at the results of the analysis of land use changes and their compliance with the erosion risk potential maps, in addition to environmental conditions (such as the presence of loose soils, sensitive and erodible formations, high slope, rainfall, and abundance of the waterway network), the reduction in the area of pastures, orchards, and forest cover, and the increase in the area of agricultural lands (irrigated and dry) and residential areas can be stated as the most important reasons for the increase in soil erosion potential in Meshkinshahr County. Finally, according to the research results, to manage the land use of the county systematically, measures such as strengthening and restoring the vegetation cover of pastures, reducing the pressure of pasture exploitation by providing alternative jobs, converting low-yielding rainfed lands to forage crops, raising public awareness about the consequences of converting pasture lands to rainfed lands, familiarizing farmers with protective measures on sloping lands and how to cultivate them, and training them on methods of combating soil erosion are suggested.

Key Words: Erosion, Land use, Multi-criteria analysis, Object-oriented method.



بررسی اثرات تغییرات کاربری اراضی بر فرسایش خاک در سطح شهرستان مشکین شهر

الناز پیروزی: پژوهشگر پساد کتری ژئومورفولوژی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
 صیاد اصغری سراسکانزود*: استاد ژئومورفولوژی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران
 بتول زینالی: استاد آب و هواشناسی، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

نوع مقاله: پژوهشی

تاریخچه مقاله (تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۰/۰۸ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۱/۰۵)

DOI: <http://doi.org/10.61186/jeer.15.1.147>

چکیده

فرسایش خاک، مشکل جهانی است که به طور جدی منابع آب و خاک را تهدید می‌کند و تغییرات کاربری اراضی از عمدۀ عوامل دخیل در افزایش پتانسیل فرسایش می‌باشد. شهرستان مشکین شهر، با نظر به شرایط محیطی از دیرباز تحت تأثیر وقوع فرسایش بوده است، اما در طی سال‌های اخیر، با توجه به روند رو به رشد جمعیّت و تغییرات غیراصولی کاربری اراضی، پتانسیل رخداد این مخاطره در سطح شهرستان افزایش یافته است. بر این‌اساس، هدف پژوهش حاضر بررسی اثرات تغییرات کاربری اراضی بر فرسایش خاک، در سطح این شهرستان می‌باشد. در راستای دستیابی به اهداف پژوهش، نقشه‌طبقه‌بندی شده کاربری اراضی برای دو سال ۲۰۰۲ و ۲۰۲۴ با استفاده از روش طبقه‌بندی شیء‌گرا استخراج گردید. به‌منظور پنهان‌بندی خطر فرسایش، بعد از تهیه لایه‌های اطلاعاتی عوامل مؤثر بر فرسایش در محیط GIS، مدل‌سازی نهایی با بهره‌گیری از روش ترکیب خطی وزن‌دار صورت پذیرفت. نتایج نشان داد که در هر دو دورۀ زمانی مورد مطالعه کاربری‌های مراعع ضعیف و زراعت دیم بیشترین مساحت شهرستان را پوشش می‌دهند و بیشترین تغییر کاربری شهرستان به صورت تبدیل مراعع ضعیف به زراعت دیم بوده است. با نظر به نقشه‌پنهان‌بندی فرسایش نیز در سال ۲۰۰۲ مساحت طبقه بسیار پرخطر و پرخطر، ۲۱۶/۳۰۸ و ۷۷۹/۰۶۸ کیلومترمربع بوده است که مقدار این طبقات در سال ۲۰۲۴ به ترتیب، به ۶۰۰/۲۴۸ و ۸۲۰/۲۲۸ کیلومترمربع افزایش یافته است. با نگاهی به نتایج حاصل از تحلیل تغییرات کاربری اراضی و انطباق آن با نقشه‌های پتانسیل خطر فرسایش، می‌توان کاهش سطح مراعع، باغات و پوشش جنگلی و در مقابل افزایش مساحت اراضی زراعی (آبی و دیم) و نواحی مسکونی را به عنوان مهم‌ترین دلایل افزایش پتانسیل فرسایش خاک در سطح شهرستان مشکین شهر مطرح نمود.

واژگان کلیدی: کاربری اراضی، فرسایش، روش شیء‌گرا، تحلیل چندمعیاره.

۱- مقدمه

خاک یکی از ارزشمندترین منابع طبیعی است که در تولید محصولات کشاورزی و ایجاد امنیت غذایی نقش بسیار مهمی دارد (Moghaddasi et al, 2018). فرسایش عاملی است که بهره‌وری خاک را به شدت تهدید می‌کند و از بزرگ‌ترین موانع برای دستیابی به توسعه پایدار در کشاورزی و استفاده از منابع طبیعی می‌باشد (Luo et al, 2024; Singh and Motamedirad et al, 2023; Parvizi, 2017, Marefati et al, 2014). فرسایش خاک سطحی، باعث کاهش عمق، کاهش گنجایش رطوبتی و هدررفت مواد آلی و عناصر غذایی و در نتیجه کاهش باروری خاک می‌شود (Manikandan & Rangarajan, 2023; Jahani et al, 2024). لذا تعیین عوامل مؤثر و شناسایی نقاط بحرانی وقوع فرسایش، به منظور برداشتن گام‌های پیشگیرانه در مدیریت و کاهش اثرات زیان‌بار ناشی از فرسایش خاک، بسیار حائز اهمیت است (Qingge et al, 2020; Taloor et al, 2020; Sourn et al, 2022; Costea et al, 2022). به عبارت دیگر، ممکن هست که بر اثر تغییرات پوشش اراضی می‌تواند با تأثیر بر نوع کاربری و الگوهای فضایی آن، خواص فیزیکی سطح زمین را تغییر داده و خاک را در معرض فرسایش قرار دهد (Aneseyee et al, 2020). از این جهت، امروزه فرسایش خاک ناشی از تغییر کاربری اراضی به یکی از مهم‌ترین مسائل تغیریز زمین در سراسر جهان تبدیل شده است (Paul et al, 2019).

با توجه به اهمیت موضوع، تاکنون مطالعات گسترده‌ای در ارتباط با ارزیابی اثرات تغییرات کاربری اراضی بر فرسایش صورت گرفته است که در ادامه به برخی از آن‌ها اشاره می‌شود: Asghari Saraskanroud و همکاران (2019) به بررسی اثرات کاربری اراضی بر فرسایش خاک با استفاده از طبقه‌بندی شی‌گرا و روش ترکیب خطی وزن‌دار، در حوضه آبخیز آقلاقان‌چای پرداختند. براساس نتایج، در طی بازه زمانی ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۸، به طور عمده مناطق بسیار پرخطر و پرخطر در کاربری‌های کشاورزی و باغات قرار دارد و تغییر مراعع و تبدیل آن به مناطق کشاورزی و انسان‌ساخت، بیشترین میزان تأثیر را بر فرسایش خاک داشته است. Madadi و همکاران (2022) با استفاده از طبقه‌بندی شی‌گرا و الگوریتم چندمعیاره آراس، به ارزیابی تغییرات کاربری اراضی و اثرات آن بر فرسایش خاک در حوضه بالادست سد یامچی اردبیل، پرداختند. نتایج این پژوهش، بیانگر این موضوع است که افزایش اراضی زراعی (دیم و آبی)، اراضی بایر، مراعع ضعیف و نواحی انسان‌ساخت و کاهش سطح مراعع خوب و متوسط، عمده دلایل افزایش مقدار فرسایش در سطح حوضه می‌باشد. Abedini و همکاران (2023) با بهره‌گیری از طبقه‌بندی شی‌گرا و معادله جهانی فرسایش، به بررسی تأثیر تغییرات کاربری اراضی در طی سال‌های ۱۳۷۸ تا ۱۳۹۸، بر میزان فرسایش و رسوب حوضه رضی‌چای پرداختند. نتایج تحقیق نشان داد که کاربری‌های مرتع، زراعت آبی، بایر در منطقه کاهش و در مقابل سطح اراضی زراعی دیم و مسکونی افزایش یافته است و علی‌رغم افزایش سطح اراضی زراعی دیم در منطقه به دلیل کاهش سطح اراضی بایر و تقویت پوشش‌گیاهی در این منطقه، میزان فرسایش به میزان اندکی کاهش یافته است. Madadi و همکاران (2024) با استفاده از طبقه‌بندی شی‌گرا و تکنیک چندمعیاره مارکوس، تغییرات کاربری اراضی و اثرات آن

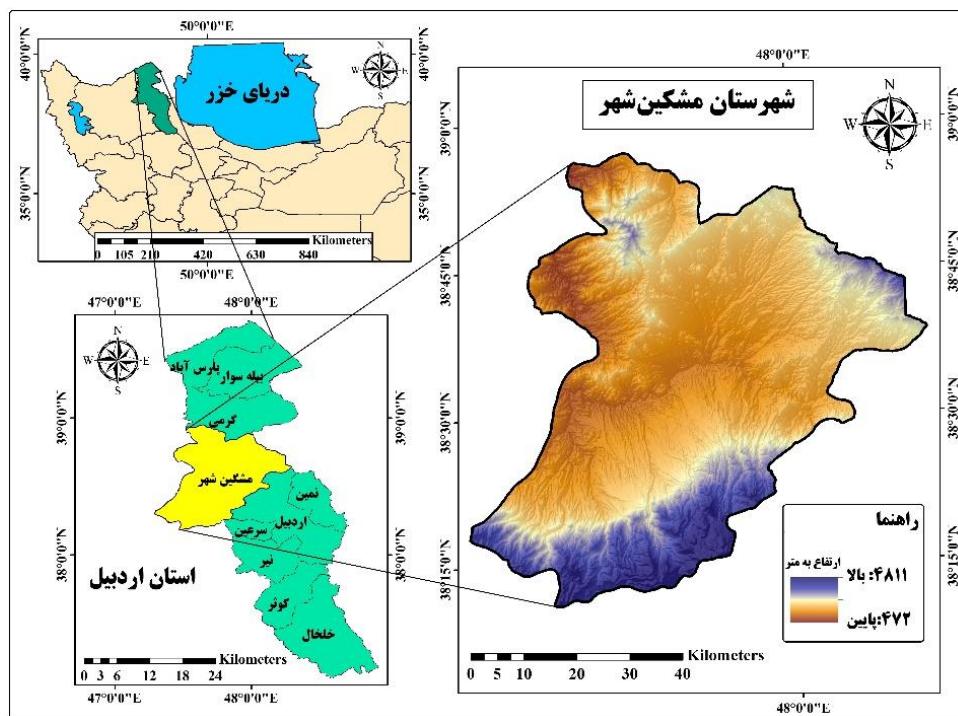
بر فرسایش خاک در حوضه آبریز قلعه‌رودخان فومن را مورد بررسی قرار دادند. با توجه به نتایج به دست آمده، کاهش پوشش جنگلی و تبدیل آن به مناطق مسکونی، اراضی کشاورزی و مراتع، همچنین؛ تبدیل اراضی کشاورزی به مناطق مسکونی و افزایش کاربری مسکونی و زراعی در حريم و بستر رودخانه‌ها، مهم‌ترین دلیل افزایش پتانسیل فرسایش حوضه می‌باشد. Kogo و همکاران (2020) به بررسی تاثیر کاربری زمین بر فرسایش خاک در کنیا غربی، در سال‌های ۱۹۹۵ و ۲۰۱۷ پرداختند. نتایج نشان داد که ۵۰ درصد از تلفات و فرسایش خاک در زمین‌های زراعی، به ویژه در مزارعی که در اثر پاکسازی و تخریب جنگل‌ها به وجود آمده اند، دیده می‌شود. Li و همکاران (2021) به بررسی تأثیر تغییر کاربری اراضی بر فرسایش در شهرستان Kedong، واقع در شمال شرقی چین بین سال‌های ۲۰۱۵ تا ۱۹۶۵ پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد، زمین‌های زیر کشت، در بازه زمانی مورد مطالعه به‌طور چشم‌گیری، افزایش یافته و کشت زمین در دامنه‌ها، به ویژه در دامنه‌های بزرگتر از ۴ درجه، ممکن است سرعت فرسایش را تشدید کند.

Prashanth و همکاران (2023) تغییر کاربری زمین و پیامدهای آن بر فرسایش خاک در حوضه آبخیز هیماچال هیمالیا واقع در شمال هند را مطالعه کردند. نتایج نشان داد که میانگین فرسایش خاک برای سال‌های ۱۹۹۹ و ۲۰۱۰ به ترتیب؛ ۵۳/۷۱، ۶۰/۹۹ و ۶۶/۷۱ تن در هکتار بوده و 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. Mwanga و همکاران (2024) با استفاده از معادله جهانی فرسایش به بررسی تأثیر تغییرات کاربری بر فرسایش خاک در حوضه آبخیز بونتانگا در کشور چین، پرداختند. نتایج نشان داد که بیشترین مقدار فرسایش خاک و تولید رسوب مربوط به اراضی کشاورزی می‌باشد و این اراضی در سال ۱۹۹۷، ۱۱۳۶۵/۳۹ تن در سال تلفات خاک داشته است. در سال ۲۰۰۲ این مقدار به ۱۷۴۷۶/۸۵ تن در سال و در سال ۲۰۱۳ به ۵۳۹۱/۹۸ در سال رسیده است. در نهایت، در سال ۲۰۲۲ مقدار تلفات خاک در کاربری‌های زراعی به ۹۱۲۷۴/۵۳ تن در سال افزایش یافته است.

شهرستان مشکین شهر (واقع در استان اردبیل)، با توجه به ویژگی‌های محیطی اعم از؛ شرایط توپوگرافیکی، ساختار لیتوژئیکی فرسایشی و شرایط اقلیمی از پتانسیل بالایی جهت وقوع خطر فرسایش، برخوردار است. اما، در طی سال‌های اخیر، با توجه به روند رو به رشد جمعیت و تغییرات غیراصولی کاربری اراضی، پتانسیل رخداد این مخاطره در سطح شهرستان افزایش یافته است. با توجه با این موضوع که فرسایش خاک، از جمله مخاطراتی می‌باشد که دارای گزینه‌ها و معیارهای چندگانه هستند و برای کشف طیف وسیعی از گزینه‌ها از نظر درگیری‌های عینی و معیارهای چندگانه، از روش‌های تحلیل چندمعیاره استفاده می‌شود (Piroozi & Madadi, 2023). با نظر به اینکه روش‌های متعددی جهت آشکارسازی تغییرات محیطی و به ویژه تغییرات کاربری اراضی، به کار گرفته می‌شود که از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به استفاده از تکنیک‌های دورنمایی اشاره نمود (Rezaei Moghaddam et al, 2021). در پژوهش حاضر بررسی تغییرات کاربری‌ها و نقش آن در وقوع خطر فرسایش با استفاده از طبقه‌بندی شیگرا و روش تصمیم‌گیری چندمعیاره ترکیب خطی وزن‌دار، در بازه زمانی بین سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۲۴، مورد مطالعه قرار گرفته است. انتظار می‌رود با توجه به نتایج پژوهش حاضر، اقدامات لازم جهت کنترل فرسایش، برنامه‌ریزی به منظور مدیریت پایدار و بهره‌برداری اصولی از اراضی در سطح شهرستان، انجام گردد.

۲- منطقه مورد مطالعه

شهرستان مشکین شهر با وسعتی حدود ۳۸۷۹/۷۶ کیلومترمربع، در شمال غربی ایران واقع شده است. این شهرستان دومین شهرستان استان اردبیل بعد از مرکز استان است. این شهرستان 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 شهری، ارشق، مرادلو و قصابه تشکیل شده است. این شهرستان، دارای ۳۱۳ آبادی است که از این تعداد، ۲۷۷ آبادی دارای سکنه و ۳۶ آبادی نیز خالی از سکنه هستند. 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 سوالان، هرم‌داغی، آقام‌داغ (کسری)، دلی‌آلی، آبی‌قاری، اوغلان‌داغی، هفت‌هه داغی، چال‌داغ، قزل‌بره، بابام‌قصود، چال‌داغ، قزل‌داغ، گوی‌داغ، و ایشیق چیخماز اشاره داشت. اقلیم منطقه براساس روش آمبرژه نیمه‌خشک سرد است. اما در جنوب و جنوب‌غرب (دامنه‌های شمالی کوهستان سبلان) اقلیم نیمه‌مرطوب نیز دیده می‌شود. میانگین بارش سالانه این شهرستان، ۳۰۰ میلی‌متر می‌باشد. بیشترین مقدار بارش شهرستان در ماه‌های فروردین و اردیبهشت و کمترین مقدار بارش نیز در ماه‌های مرداد و شهریور به وقوع می‌پیوندد و به ترتیب؛ بهمن و مرداد ماه، سردترین و گرما‌ترین ماه‌ها هستند. شهرستان مشکین شهر به لحاظ زمین‌شناسی از سازندهای گوناگونی از پره کامبرین تا کواترنر تشکیل شده است. بخش اعظمی از مساحت شهرستان مشکین شهر را سازندهای PAEav (آنذیت آتشفشاری)، با مساحت ۷۲۲/۱۹۶ کیلومترمربع، Eav (آنذیت آتشفشاری)، با مساحت ۶۷۵/۷۲۹ کیلومترمربع، Qft1 (رسوبات مخروطافکنه‌های پایکوهی سطح بالا و تراس‌های دره‌ای) با ۶۹۰/۳۷۸ کیلومترمربع مساحت و Qvc (کوارنز دانه‌ای مخلوط- مواد آتشفشاری محلی با جریان لاهار) با ۴۰۳/۶۵ کیلومترمربع مساحت، پوشش داده‌اند.



شکل ۱: نقشه موقعیت منطقه مورد مطالعه

۳- مواد و روش

۱-۳- استخراج نقشه کاربری اراضی با استفاده از روش شی‌گرا^۱

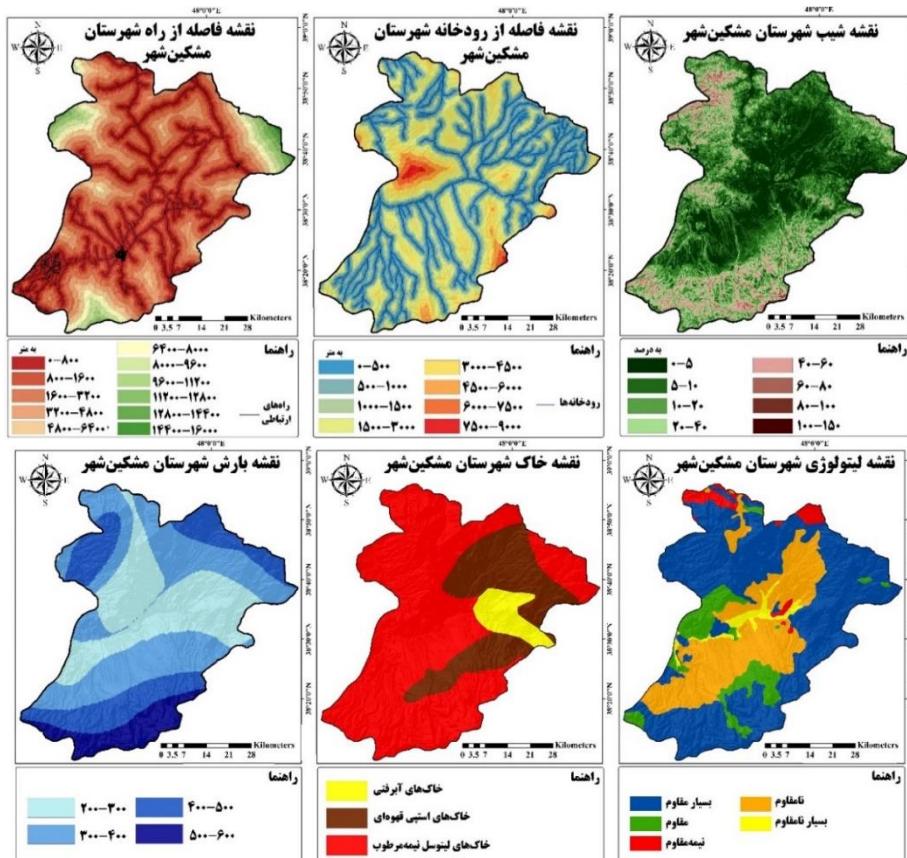
به منظور بررسی تغییرات کاربری اراضی شهرستان مشکین شهر، ابتدا تصاویر ماهواره‌ای لندست از سنجنده‌های (OLI) برای سال‌های (۲۰۰۲ و ۲۰۲۴)، از سایت زمین‌شناسی آمریکا اخذ شد. با نظر به این موضوع که اتمسفر همواره به عنوان یکی از عوامل اثرگذار در پردازش‌های تصاویر بوده است و اثرات اتمسفر معمولاً به صورت خطای جمع شونده، ظاهر و باعث روشنی بیش از حد تصویر و کاهش وضوح می‌شوند. بنابراین، خطاهای حاصل از اتمسفر در پردازش تصاویر باید تصحیح گرد و در همین راستا، بهمنظور آماده‌سازی تصاویر، نسبت به تصحیحات اتمسفری در نرم‌افزار Envi5.3، اقدام شد. سپس، طبقه‌بندی با روش شی‌گرا و با الگوریتم نزدیک‌ترین همسایگی توسط نرم‌افزار eCognition انجام شد. مبنای طبقه‌بندی شی‌گرا فرایند قطعه‌بندی (سگمنت‌سازی) است و با ایجاد سگمنت‌های مناسب زمینه برای اجرای بهتر الگوریتم‌های شی‌گرا فراهم می‌شود. سگمنت به معنای گروهی از پیکسل‌های همسایه در داخل یک ناحیه است که از نظر ارزش عددی و بافت به هم شبیه هستند (Rezaei Moghaddam et al, 2010). سگمنت‌سازی با تفکیک مکانی چندگانه یک روش بهینه‌سازی است که ناهمگنی متوسط پیکسل‌ها را به حداقل و همگنی مربوطه را به حداقل می‌رساند (Jafarzadeh & Nazmfar, 2019). در مرحله قطعه‌بندی، پیکسل‌های تصویر بر اساس 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 می‌شوند که این قطعه‌ها یا شی‌های ساخته شده در گام بعدی به منظور شناسایی عوارض مورد نظر، کلاس‌بندی می‌شوند (Asghari Saraskanroud & Naseri, 2020). در فرآیند قطعه‌بندی مفسر می‌تواند با در نظر گرفتن پارامترهای شکل، بافت، ضریب فشردگی و معیار نرمی، فرایند قطعه‌بندی تصویر را انجام داده و بر اساس نسبت اهمیت هر یک از این عوامل در خصوصیات کلاس‌های موردنظر برای استخراج از تصاویر ماهواره‌ای، نسبت اهمیت آن‌ها را در فرایند قطعه‌بندی اعمال نماید. در این پژوهش پارامترهای مؤثر بر استخراج کلاس‌ها در طبقه‌بندی شی‌گرا عبارتند از: ۱- انحراف معیار باندها: انحراف معیار یکی از شاخص‌های پراکندگی است که نشان می‌دهد به طور میانگین، داده‌ها چه مقدار متوسط فاصله دارند. ۲- شاخص NDVI: در این پژوهش از شاخص NDVI بهمنظور جداسازی بهتر پوشش گیاهی از بقیه پدیده‌ها استفاده شد. ۳- واریانس: واریانس برای محاسبه بافت بر پایه میانگین و پراکندگی در اطراف میانگین از ارزش سلول‌ها داخل GLCM به کار گرفته می‌شود. ۴- شاخص‌های هندسی، که پارامترهای مؤثری همچون حداکثر اختلاف، درجه روشنایی، ضخامت، مساحت و فشردگی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این پژوهش جهت قطعه‌بندی از روش چند مقیاسه استفاده شده است. برای این منظور با تجزیه و تحلیل، مقیاس ۳۵ برای تصویر سال ۲۰۲۴ و مقیاس ۴۰ برای تصویر سال ۲۰۰۲ انتخاب شد و شکل و ضریب فشردگی برای هر دو تصویر ۰/۶ و ۰/۴ در نظر گرفته شد. بررسی نتایج طبقه‌بندی یکی از مراحل مهم است و هیچ طبقه‌بندی تازمانی که دقت آن ارزیابی نشود، مستند نخواهد بود (Feizizadeh et al, 2018). پارامتر اصلی که برای ارزیابی صحت طبقه‌بندی مورد استفاده قرار می‌گیرد، صحت کلی و ضریب کاپا می‌باشد. با توجه به نتایج به دست آمده، صحت کلی و ضریب کاپا بر روی تصویر ۲۰۰۲ به ترتیب دارای مقدار ۹۷٪ و ۹۶٪ می‌باشد و بر روی تصویر سال ۲۰۲۴ نیز مقدار ضریب کاپا با ۹۶٪ و

^۱ object-oriented method

مقدار صحت کلی با ۹۶٪ برابر است. در نهایت لایه‌های به دست آمده برای محاسبه مساحت کاربری‌ها، تهیه نقشه خروجی و اعمال نمودن معیار کاربری در فرآیند پهن‌بندی خطر فرسایش، به نرم‌افزار Arc GIS، انتقال داده شدند.

۲-۳- مراحل تهیه نقشه پهن‌بندی با استفاده از روش WLC^۱ (ترکیب خطی وزنی)

یکی از روش‌های متداول در ارزیابی چندمعیاری که کاربرد وسیعی پیدا کرده است، روش تلفیقی خطی وزن‌دار است. ارزیابی‌ها توسط عملگر WLC، به طور کلی شامل مراحل زیر می‌باشد: ۱- تعیین معیارها و گزینه‌های پژوهش: در این مطالعه، با توجه به شرایط طبیعی و انسانی منطقه، عوامل شیب، لیتوژئی، کاربری اراضی، بارش، فاصله از راه ارتباطی، فاصله از آبراهه و خاک، به عنوان عوامل مؤثر در فرسایش خاک شهرستان مشکین‌شهر شناسایی گردید و نسبت به استخراج هر یک از لایه‌های اطلاعاتی معیارها در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی اقدام شد. لایه‌های اطلاعاتی راه‌های ارتباطی و شبکه آبراهه، با استفاده از نقشه خطوط ارتباطی و رودخانه‌های استان اردبیل، تهیه و مورد سنجش قرار گرفت. لایه شیب با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی ۱۲/۵ متر، ماهواره Alos، سنجنده Palsar، اخذ شده از سایت vertex.daac.asf.alaska.edu) تهیه شد. جهت استخراج لایه اطلاعاتی مربوط به لیتوژئی (مقاومت سنگ‌ها)، از نقشه زمین‌شناسی استان اردبیل؛ با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ استفاده شد. نقشه بارش نیز، با توجه به داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی و باران‌سنجی و با بهره‌گیری از روش درون‌یابی کریجینگ، ترسیم شد. شکل ۲، نمایشگر نقشه معیارهای مطرح در پهن‌بندی فرسایش شهرستان مشکین‌شهر می‌باشد.



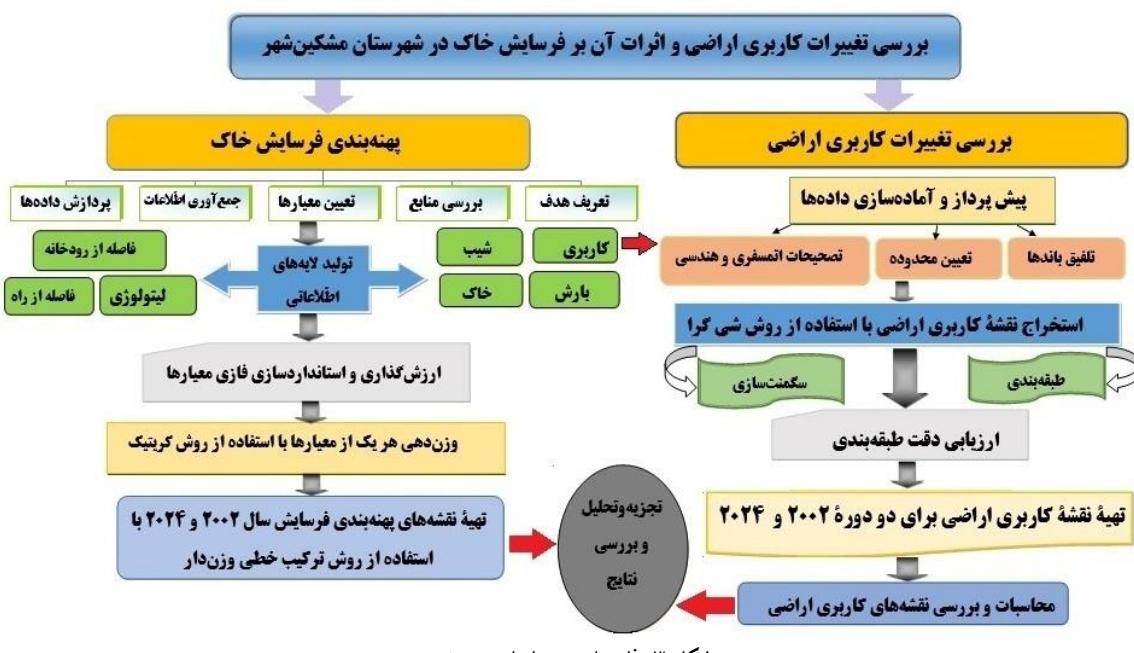
شکل ۲ : نقشه معیارهای مطرح در پهن‌بندی فرسایش شهرستان مشکین‌شهر

¹ Weighted Linear Combination

۲- استانداردسازی هر لایه نقشه معيار: مرحله استانداردسازی، با توجه بهتابع عضویت فازی (بیشترین ارزش یعنی مقدار یک به حداقل عضویت و کمترین ارزش یعنی صفر به حداقل عضویت) صورت پذیرفت. در این راستا؛ معیارهای شیب، کاربری اراضی، لیتولوژی و خاک با استفاده ازتابع بزرگ فازی، فاصله از راه و فاصله از روDXخانه با بهره‌گیری ازتابع نزدیک فازی و بارش به وسیله تابع خطی افزایشی فازی، استاندارد شدند. ۳- تعیین ضریب وزنی هر معيار: در اين پژوهش؛ جهت وزندهی عوامل از روش كرتیك، استفاده شده است. در اين روش، وزندهی با توجه به نقشه‌های معيار و میزان همبستگی، تضاد و انحراف معيار بين لایه‌های اطلاعاتی مورد استفاده، تعیین می‌گردد و نظر کارشناس دخیل نمی‌باشد (Alinezhad & Khalili, 2019). در راستای انجام مراحل وزندهی كرتیك ابتدا در محیط نرمافزار ادریسی انحراف معيار و همبستگی میان لایه‌های اطلاعاتی مربوطه به هر یک از عوامل، با استفاده ازتابع REGRESS به دست آمد و در مرحله بعد، نسبت به محاسبه ماتریس تضاد، میزان اطلاعات و وزن نهایی در نرمافزار اکسل اقدام گردید. ۴- لایه‌های نقشه استاندارد شده وزنی را ایجاد می‌کنیم (ضرب لایه‌های نقشه استاندارد شده در وزن‌های متناظر). ۵- عملیات همپوشی جمعی بر روی لایه‌های نقشه استاندارد شده وزنی. مرحله چهارم و پنجم در نرم افزار ادریسی و به صورت توأم با استفاده از دستور MCE و انتخاب گزینه Weighted linear combination، با وارد کردن تعداد معیارها و اضافه کردن نقشه‌های استاندارد شده و درج وزن‌های مربوطه صورت پذیرفت. به طور رسمی در قاعده تصمیم‌گیری برای ارزیابی هر گزینه يا A_i ، از رابطه (۱)، استفاده می‌شود:

$$A_i = \sum_j w_j x_{ij} \quad \text{رابطه ۱}$$

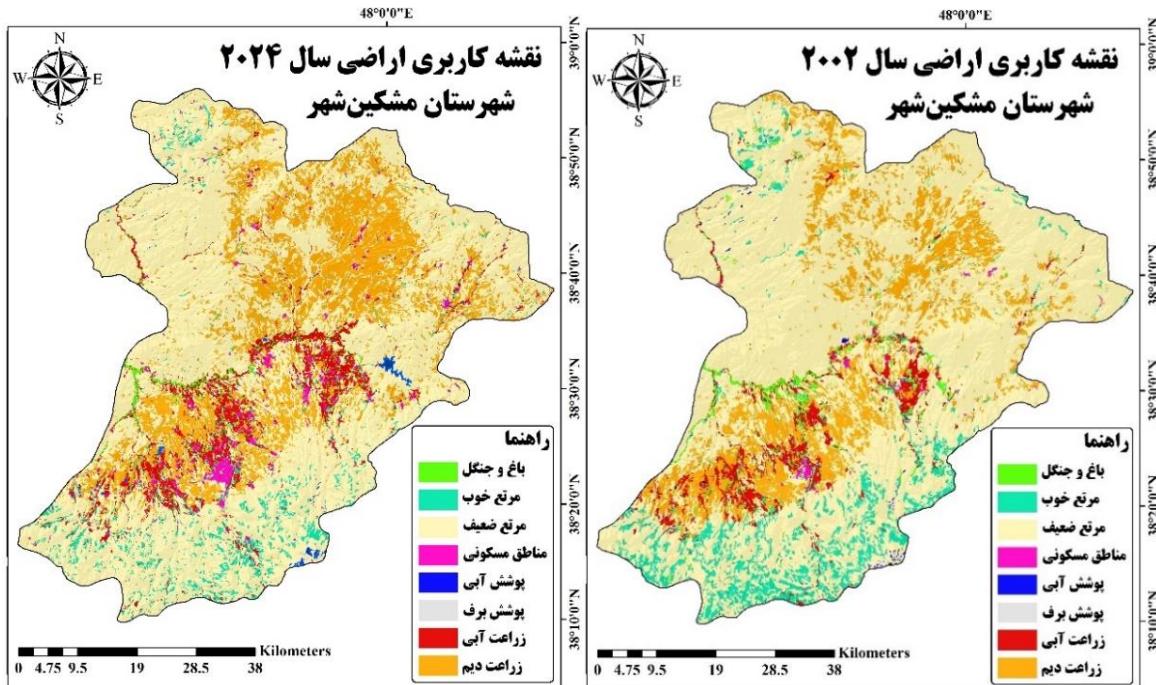
که در آن x_{ij} ، معرف نمره گزینه i ام در ارتباط با صفت j ام و w_j ، مشتمل بر یک وزن استاندارد شده است؛ به گونه‌ای که $\sum w_j = 1$ وزن‌ها اهمیت نسبی هر صفت را به نمایش می‌گذارند. با تعیین ارزش حداقل $j=1$ ، اولویت‌دارترین گزینه انتخاب می‌گردد (Ganjaeian et al, 2020). فلوچارت مراحل پژوهش در شکل ۳، نمایش داده شده است.



شکل ۳: فلوچارت مراحل پژوهش

۴- یافته‌ها

بعد از انجام مراحل طبقه‌بندی شی‌گرایی، کاربری‌های شهرستان مشکین‌شهر در هشت کلاس باعث و جنگل، مرتع خوب، مرتع ضعیف، زراعت آبی، زراعت دیم، مناطق آبی، نواحی مسکونی و پوشش برفی طبقه‌بندی شدند و نقشه کاربری اراضی برای دو بازه زمانی سال ۲۰۰۲ و ۲۰۲۴، استخراج گردید (شکل ۴ و ۵). بر مبنای نقشه‌های تهیه شده پوشش سرزمین برای سال‌های مذکور، مساحت هر کدام از کلاس‌ها موجود برآورد شد که در جدول ۱، نمایان می‌باشد. همانطور که نتایج نشان می‌دهد در دو بازه زمانی مورد مطالعه بیشترین وسعت منطقه تحت پوشش مرتع ضعیف و زراعت دیم و کمترین سطح کاربری مربوط به اراضی پوشیده از برف و پهنه آبی می‌باشد. با توجه به نتایج مطالعه در طی بازه زمانی مورد مطالعه، مساحت اراضی با کاربری زراعت آبی، زراعت دیم، نواحی مسکونی و مناطق آبی افزایش یافته است. به طوریکه در سال ۲۰۲۴ در مقایسه با سال ۲۰۰۲، زراعت دیم ۲۰۳/۷۸ کیلومترمربع، زراعت آبی ۶۳/۰۶ کیلومترمربع، نواحی مسکونی ۵۴/۴۸ کیلومترمربع و مناطق با پوشش آبی ۱/۱۹ کیلومترمربع، افزایش مساحت داشته‌اند. در مقابل از مساحت کاربری‌های باعث و جنگل، مرتع خوب، مرتع ضعیف و اراضی پوشیده از برف در سال ۲۰۲۴ نسبت به سال ۲۰۰۲، کاسته شده است. بررسی نتایج حاصله نشان می‌دهد که در طی دوره زمانی مطالعاتی، مساحت کاربری مرتع ضعیف و خوب به ترتیب؛ ۱۸۰/۹۵ و ۱۱۸/۵۹ کیلومترمربع کاهش یافته است. وسعت اراضی باعث و جنگلی شهرستان، در سال ۲۰۲۴، با کاهش ۲۲/۴۷ کیلومترمربعی مواجه شده است و پوشش برفی نیز ۰/۵ کیلومترمربع کاهش داشته است.

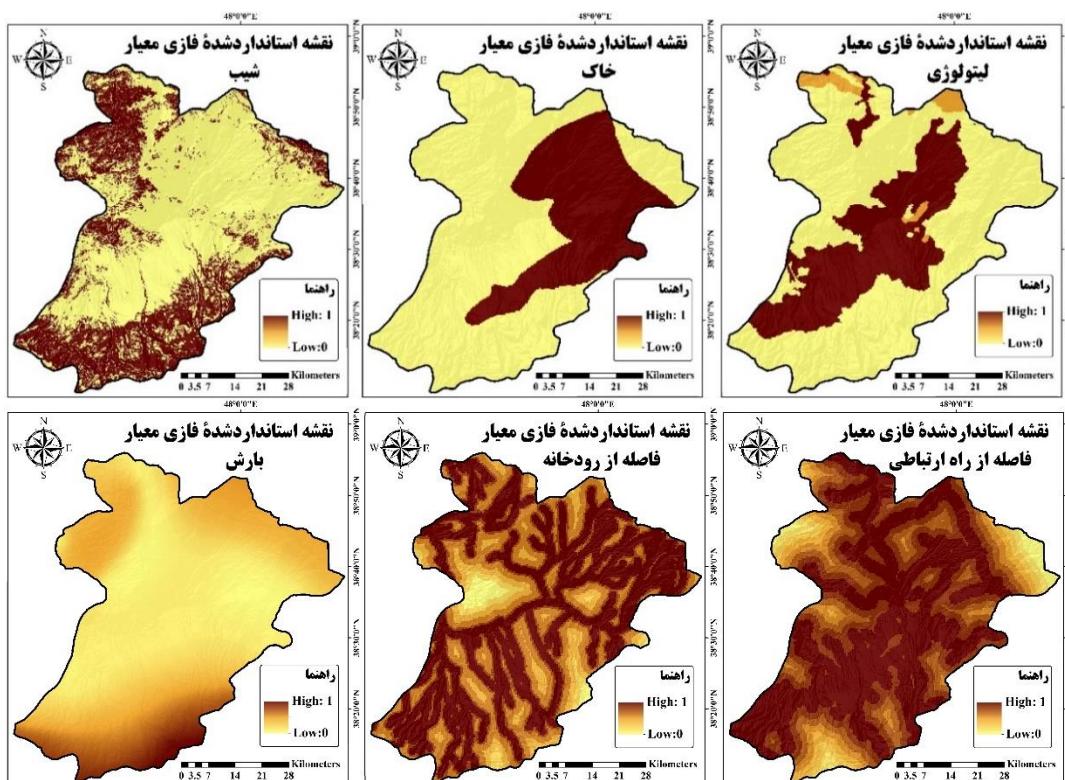


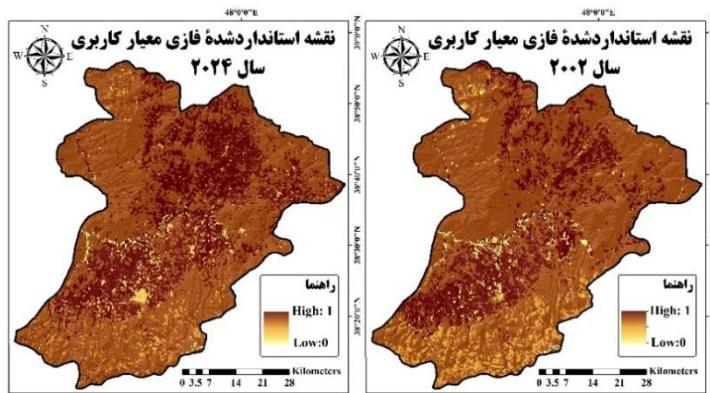
شکل ۵: نقشه کاربری اراضی سال ۲۰۰۲ شهرستان مشکین‌شهر

جدول ۱: مساحت و میزان تغییرات هر نوع از کاربری‌های اراضی در سطح شهرستان مشکین شهر در سال‌های ۲۰۰۲ تا ۲۰۲۴

	نوع کاربری	در سال ۲۰۰۲	در سال ۲۰۰۴	در سال ۲۰۰۶	در سال ۲۰۰۸	در سال ۲۰۱۰	در سال ۲۰۱۲	در سال ۲۰۱۴	در سال ۲۰۱۶	در سال ۲۰۱۸	در سال ۲۰۲۰	در سال ۲۰۲۲	در سال ۲۰۲۴	در سال ۲۰۲۶	در سال ۲۰۲۸	
تغییرات	مساحت به کیلومترمربع															
	در صد															
افزایشی	۵/۴۴	۲۱۱/۰۴	۳/۸۱	۱۴۷/۹۸	۱۴۷/۹۸	۱۴۷/۹۸	۱۴۷/۹۸	۱۴۷/۹۸	۱۴۷/۹۸	۱۴۷/۹۸	۱۴۷/۹۸	۱۴۷/۹۸	۱۴۷/۹۸	۱۴۷/۹۸	۱۴۷/۹۸	۱۴۷/۹۸
افزایشی	۲۰/۰۶	۷۷۸/۴۳	۱۴/۸۱	۵۷۴/۶۵	۵۷۴/۶۵	۵۷۴/۶۵	۵۷۴/۶۵	۵۷۴/۶۵	۵۷۴/۶۵	۵۷۴/۶۵	۵۷۴/۶۵	۵۷۴/۶۵	۵۷۴/۶۵	۵۷۴/۶۵	۵۷۴/۶۵	۵۷۴/۶۵
کاهشی	۰/۹۹	۳۸/۵۵	۱/۵۲	۶۱/۰۲	۶۱/۰۲	۶۱/۰۲	۶۱/۰۲	۶۱/۰۲	۶۱/۰۲	۶۱/۰۲	۶۱/۰۲	۶۱/۰۲	۶۱/۰۲	۶۱/۰۲	۶۱/۰۲	۶۱/۰۲
افزایشی	۱/۷۷	۶۸/۹۰	۰/۳۷۱	۱۴/۴۲	۱۴/۴۲	۱۴/۴۲	۱۴/۴۲	۱۴/۴۲	۱۴/۴۲	۱۴/۴۲	۱۴/۴۲	۱۴/۴۲	۱۴/۴۲	۱۴/۴۲	۱۴/۴۲	۱۴/۴۲
کاهشی	۳/۳۸	۱۳۱/۲۴	۶/۴۴	۲۴۹/۸۳	۲۴۹/۸۳	۲۴۹/۸۳	۲۴۹/۸۳	۲۴۹/۸۳	۲۴۹/۸۳	۲۴۹/۸۳	۲۴۹/۸۳	۲۴۹/۸۳	۲۴۹/۸۳	۲۴۹/۸۳	۲۴۹/۸۳	۲۴۹/۸۳
کاهشی	۶۸/۱۳	۲۶۴۳/۴۷	۷۷۲/۸۰	۲۸۲۴/۴۲	۲۸۲۴/۴۲	۲۸۲۴/۴۲	۲۸۲۴/۴۲	۲۸۲۴/۴۲	۲۸۲۴/۴۲	۲۸۲۴/۴۲	۲۸۲۴/۴۲	۲۸۲۴/۴۲	۲۸۲۴/۴۲	۲۸۲۴/۴۲	۲۸۲۴/۴۲	۲۸۲۴/۴۲
افزایشی	۰/۱۵۵	۶/۰۲	۰/۱۲۴	۴/۸۳	۴/۸۳	۴/۸۳	۴/۸۳	۴/۸۳	۴/۸۳	۴/۸۳	۴/۸۳	۴/۸۳	۴/۸۳	۴/۸۳	۴/۸۳	۴/۸۳
کاهشی	۰/۰۵۴	۲/۱۱	۰/۰۶۷	۲/۶۱	۲/۶۱	۲/۶۱	۲/۶۱	۲/۶۱	۲/۶۱	۲/۶۱	۲/۶۱	۲/۶۱	۲/۶۱	۲/۶۱	۲/۶۱	۲/۶۱

به منظور پنهان‌بندی فرساش، با توجه به نقشه کاربری دو بازه زمانی و نیز نقشه سایر معیارهای مطرح، نقشه‌های استاندارد شده هر یک از معیارهای مطرح (شکل ۶)، استخراج شد. سپس به منظور تعیین معیارهای مؤثر در تعیین پنهان‌های مختلف خطر، میزان اهمیت هر یک از معیارها (جدول ۲)، به دست آمد. با توجه به نتایج حاصله، در سال ۲۰۰۲، به ترتیب؛ معیارهای شیب، کاربری اراضی، لیتولوژی و خاک و در سال ۲۰۲۴، معیارهای کاربری اراضی، شیب، لیتولوژی و خاک دارای بیشترین ضربی وزنی هستند.



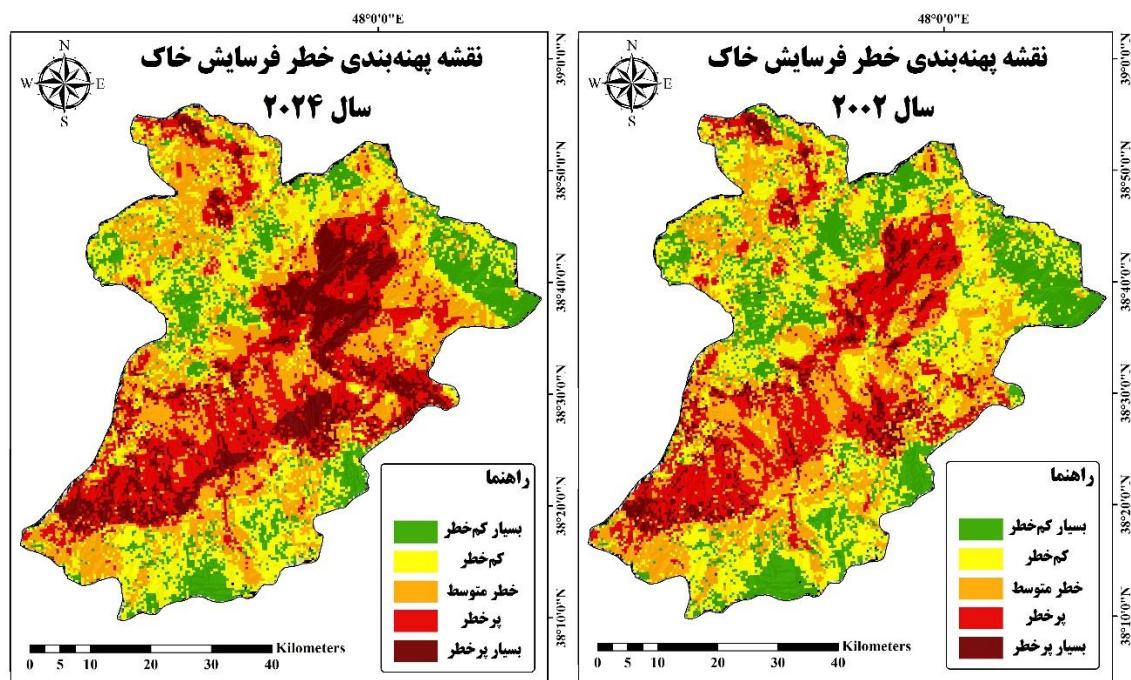


شکل ۶: نقشه‌های استاندارد شده فازی لایه‌های موضوعی تأثیرگذار بر خطر فرسایش خاک در شهرستان مشکین شهر

جدول ۲: مفروضات پایه‌ای و وزن نهایی معیارها مطرح در پنهان‌بندی فرسایش شهرستان مشکین شهر

معیار	میزان اطلاعات	انحراف معیار	مجموع تضاد	وزن نهایی	پایه‌ای
شیب	۰/۲۶۱	۱/۲۶۰	۰/۳۵۰	۳/۶۰۲	۰/۱۶۱
لیتولوژی	۰/۱۴۶	۱/۱۴۳	۰/۳۷۵	۳/۰۴۵	۰/۱۴۶
کاربری اراضی	۰/۱۵۶	۱/۲۵۵	۰/۴۱۱	۲/۹۸۱	۰/۱۵۶
خاک	۰/۱۴۳	۱/۱۲۰	۰/۳۷۷	۲/۹۷۰	۰/۱۴۳
بارش	۰/۱۳۱	۱/۰۲۷	۰/۳۴۴	۲/۹۸۷	۰/۱۳۱
فاصله از رودخانه	۰/۱۳۴	۱/۰۴۸	۰/۳۶۶	۲/۸۶۲	۰/۱۳۴
فاصله از راه	۰/۱۲۶	۰/۹۸۹	۰/۳۶۱	۲/۷۴۱	۰/۱۲۶
شیب	۰/۱۶۰	۱/۲۷۶	۰/۳۵۰	۳/۶۴۷	۰/۱۶۰
لیتولوژی	۰/۱۴۵	۱/۱۵۱	۰/۳۷۵	۳/۰۶۵	۰/۱۴۵
کاربری اراضی	۰/۱۶۴	۱/۳۰۴	۰/۴۲۱	۳/۰۹۸	۰/۱۶۴
خاک	۰/۱۴۲	۱/۱۲۷	۰/۳۷۷	۲/۹۸۹	۰/۱۴۲
بارش	۰/۱۲۸	۱/۰۱۹	۰/۳۴۴	۲/۹۶۲	۰/۱۲۸
فاصله از رودخانه	۰/۱۳۳	۱/۰۵۸	۰/۳۶۶	۲/۸۸۸	۰/۱۳۳
فاصله از راه	۰/۱۲۶	۱/۰۰۰	۰/۳۶۱	۲/۷۷۲	۰/۱۲۶

در نهایت با اعمال کردن وزن‌های مربوطه در لایه‌های فازی شده و همپوشانی لایه‌های استاندارد شده وزنی، نقشه‌های خروجی نهایی در ۵ طبقه بسیار پر خطر تا بسیار کم خطر، به دست آمد (شکل ۷ و ۸). با توجه به نتایج به دست آمده از پنهان‌بندی فرسایش در محدوده مطالعاتی، در سال ۲۰۰۲ مساحت طبقه بسیار پر خطر و پر خطر، ۰/۳۰۸ و ۰/۰۶۸ کیلومتر مربع بوده است که مقدار این طبقات خطر در سال ۲۰۲۴ به ترتیب به ۰/۳۴۸ و ۰/۲۲۸ کیلومتر مربع افزایش یافته است (جدول ۳).



شکل ۸: نقشه پهنه‌بندی خطر فرسایش سال ۲۰۲۴

شکل ۷: نقشه پهنه‌بندی خطر فرسایش سال ۲۰۰۲

جدول ۳: اطلاعات طبقات خطر فرسایش سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۲۴ شهرستان مشکین شهر

طبقه خطر	مساحت به کیلومترمربع	سال
بسیار کم خطر	۷۵۴/۶۳۸	۲۰۰۲
کم خطر	۱۱۵۴/۴۰۸	۲۰۰۰
خطر متوسط	۹۷۵/۳۳۸	
پر خطر	۷۷۹/۰۶۸	
بسیار پر خطر	۲۱۶/۳۰۸	
بسیار کم خطر	۵/۵۷۵	۲۰۲۴
کم خطر	۲۵/۱۳۹	
خطر متوسط	۲۰/۰۸۰	
پر خطر	۸۲۰/۲۲۸	
بسیار پر خطر	۶۰۰/۲۴۸	
بسیار کم خطر	۲۲/۰۰۵	۲۰۲۴
کم خطر	۲۸/۰۸۲	
خطر متوسط	۲۱/۱۴۱	
پر خطر	۱۵/۴۷۱	
بسیار پر خطر	۱۳/۲۹۸	۲۰۰۰

بالا بودن وسعت طبقات بسیار پر خطر و پر خطر در هر دو بازه زمانی مورد مطالعه، بیانگر پتانسیل فرسایش پذیری بسیار بالای این شهرستان با توجه به شرایط محیطی حاکم بر محدوده می‌باشد که از جمله این شرایط محیطی می‌توان به وجود خاک‌های سست آبرفتی و خاک‌های استپی قهوه‌ای، پراکنش سازنده‌های حساس و فرسایش‌پذیر (اعم از رسوبات مخروطافکنه‌های پایکوهی سطح بالا و پادگانه‌های آبرفتی جوان، مارن‌ها و شیل، کنگلومرات، رسوبات ضخیم تا متوسط از ماسه‌سنگ و رسوبات آواری)، شب زیاد، بارندگی مناسب و فراوانی شبکه رودخانه‌ای (خیاوچای، قطورسونی‌چای، اونسارچایی، انزانچایی، گیزلی‌مشه کوهکنار، شیروان دره‌چایی، خاتون‌آرخی، آلنی‌چایی، نقدی‌چایی، آقجه‌لوچایی و زیناب دره‌سی) اشاره کرد. آما نکته مهمی که بر اساس نتایج حاصله بایستی بدان توجه داشت، افزایش مساحت دو طبقه بسیار پر خطر و پر خطر در سال ۲۰۲۴ در مقایسه با سال ۲۰۰۲ می‌باشد که این افزایش وسعت طبقات درای پتانسیل بالا را می‌توان به تغییرات کاربری اراضی رخ داده در طی دوره زمانی مورد مطالعه نسبت داد. از لحاظ کاربری اراضی در نقشه فرسایش هر دو دوره مطالعاتی، به طور عمده مناطق با طبقه بسیار پر خطر و پر خطر در کاربری‌های زراعی (زراعت دیم و آبی)، مراعع ضعیف و مناطق مسکونی (انسان‌ساخت)، قرار دارند. اما با نظر به کاهش سطح مراعع ضعیف و

خوب، کاهش باغات و پوشش جنگلی و در مقابل افزایش کاربری‌های زراعی (آبی و دیم) و نواحی مسکونی در سال ۲۰۲۴ در مقایسه با سال ۲۰۰۲، مساحت مناطق دارای احتمال خطر فرسایشی افزایش داشته است.

مهمترین نوع کاربری اراضی در سطح شهرستان مشکین شهر به صورت زراعت دیم غلات با آیش یک‌ساله است که در طی بازه زمانی مورد مطالعه، مساحت اراضی مزروعی دیم افزایش یافته است. در این راستا، سطح زیادی از اراضی تحت پوشش مرتع ضعیف شهرستان به اراضی کشاورزی و بهخصوص، به دیم‌زارهای کمبازده (به ویژه گندم)، تغییر کاربری داده شده‌اند. به‌طوریکه می‌توان بیان داشت، بیشترین تغییر کاربری شهرستان در طول دوره زمانی مورد بررسی به تبدیل مرتع ضعیف به زراعت دیم مربوط می‌باشد و در طی ۲۲ سال مورد مطالعه، حدود ۴۵۲۰ کیلومترمربع از مساحت مرتع ضعیف موجود در شهرستان به زیر کشت دیم رفته است که اغلب با کاهش توجیه اقتصادی عملیات زراعی، این اراضی رها شده و یا در شرف رها شدن قرار گرفته‌اند. در نهایت؛ آثار سوء این تبدیل اراضی و نیز مدیریت ناگاهانه این دیم‌زارهای، به ویژه اگر دیم کاران شخمی که می‌زنند در جهت شیب زمین باشد، ظهور عرصه‌های فقیر از پوشش گیاهی با خاکی کم عمق با حاصل‌خیزی پایین می‌باشد که بالقوه به شدت در معرض فرسایش هستند. البته با توجه به شواهد میدانی موجود از دیگر عوامل دخیل در کاهش سطح مرتع شهرستان می‌توان به افزایش تعداد دام و عدم رعایت تناسب بین دام و مرتع، چرای زودرس، چرای طولانی، آتش‌سوزی، بوته‌کنی، احداث جاده و عملیات عمرانی در دامنه‌های پرشیب را مطرح نمود که در نتیجه این شرایط در طی سال‌های مورد بررسی، ۱۷۲/۱۱ کیلومترمربع از سطح مرتع خوب به مرتع ضعیف تبدیل شده است و لذا پوشش حفاظتی زمین تقلیل یافته و خاک‌ها در معرض فرسایش بیشتری قرار گرفته است.

نکته مهم دیگری که با مقایسه نقشه کاربری دو بازه زمانی بررسی شده جلب توجه می‌نماید، کاهش سطح پوشش جنگلی و باغات و تبدیل این اراضی به انواع دیگر از کاربری‌ها است. به‌طوریکه در طی بازه زمانی مطالعه‌ی ۲۹/۵۰ کیلومترمربع از سطح اراضی جنگلی و باغات به زراعت آبی، ۲/۵۵ کیلومترمربع به زراعت دیم، ۱۲/۶۳ کیلومترمربع به مرتع و ۳/۲۵ کیلومترمربع نیز به مناطق مسکونی (به ویژه؛ ویلاسازی در نواحی با آب‌وهوای مطبوع باگی و جنگلی)، تغییر یافته‌اند. پوشش گیاهی با کاهش سرعت روان آب‌های سطحی، نگهداری و نفوذ دادن آب در خاک، کاهش برخورد مستقیم قطرات باران، تثبیت ریشه‌ها، بهبود ساختمان و ویژگی‌های فیزیکی و شیمیایی خاک فرسایش‌پذیری را کاهش می‌دهد که با توجه به کاهش سطح اراضی باگی و جنگلی، شرایط کمک‌کننده و زمینه‌ساز جهت رخداد فرسایش در سطح شهرستان افزایش یافته است. همچنین از دیگر عوامل ناشی از دخالت‌های انسانی که در افزایش پتانسیل فرسایش‌پذیری خاک شهرستان مؤثر می‌باشند، می‌توان به تصرف در بستر رودخانه‌ها (به ویژه رودخانه دائمی خیاوچای)، به صورت توسعه اراضی کشاورزی، باغات و نواحی مسکونی (ساخت‌وسازهای بی‌رویه)، اشاره داشت. اصولاً رودخانه‌ها، با زیرشوابی دامنه‌ها و از بین بردن تکیه‌گاه در فرسایش خاک دارای اهمیت‌اند. در این رابطه، پارک حاشیه رودخانه خیاوچای در شهر مشکین شهر از قدیم با توجه به وجود بستر مناسب در دو سمت روخانه، مورد کاشت درختان و همچنین کاربری کشاورزی قرار گرفته است که در طی سال‌های اخیر با ایجاد امکانات رفاهی به عنوان پارک و تفرجگاه تفریحی مورد استفاده قرار می‌گیرد. اما نکته‌ای که باید بدان توجه داشت این موضوع هست که بخش اعظمی از اراضی پارک در زمین‌های بستر رودخانه احداث شده‌اند که همیشه خطر سیل و فرسایش کنار رودخانه آن‌ها

را تهدید می‌نماید. در شکل (۹)، نمونه‌هایی از دخالت‌های انسانی مؤثر در افزایش پتانسیل فرسایش‌پذیری خاک در سطح شهرستان مشکین‌شهر، نمایش داده شده است.



شکل ۹: الف: نمایی از تصرف در بستر رودخانه خیاوچای با توسعه اراضی کشاورزی و باغات. ب: پروژه انتقال آب به مناطق روستایی و فرسایش و لغزش دامنه به دنبال آن در ایلانلو. ج: زبربری و از بین بردن پاشته دامنه به دنبال احداث جاده در مسیر ارتباطی مشکین‌شهر به روستای موئل. و: چرای بی رویه دام‌های روستاییان در سطح مراتع شهرستان

۵- بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به اهمیت نقش خاک در تأمین نیازهای انسان، آگاهی از عوامل و روند فرسایش خاک به منظور مدیریت و جلوگیری از تخریب آن ضروری است و تغییرات کاربری بی‌رویه و غیراصولی از عوامل مهم دخیل در افزایش پتانسیل رخداد این مخاطره می‌باشد. لذا، در پژوهش حاضر نیز اثرات تغییرات کاربری اراضی بر فرسایش خاک شهرستان مشکین‌شهر، در دو بازه زمانی ۲۰۰۲ و ۲۰۲۴، مورد بررسی قرار گرفته است. با توجه به نتایج مطالعه در طی بازه زمانی مورد مطالعه، زراعت آبی، زراعت دیم، نواحی مسکونی و مناطق آبی افزایش یافته است و در مقابل از مساحت کاربری‌های باغ و جنگل، مراتع خوب و مراتع ضعیف و اراضی پوشیده از آب کاسته شده است. به علاوه، با نظر به تحلیل نحوه تبدیل کاربری‌های اراضی، مشاهده می‌گردد که بیشترین تغییر کاربری شهرستان به صورت تبدیل مراتع ضعیف به زراعت دیم بوده است. هرچند کشتزارهای دیم در افزایش محصولات کشاورزی به صورت مقطعی نقش بالایی دارند، اما این تغییرات کاربری، چون اغلب بدون توجه به قابلیت‌های اراضی بوه و اصول صحیح خاک‌ورزی نیز در این اراضی رعایت نشده است، به تولید روان آب سطحی و در نتیجه تشدید فرسایش منجر می‌گردد که نتیجه نهایی آن افت توان تولید اراضی، وجود دیم‌زارهای کم بازده و رهاشده در سطح اکوسیستم‌های مرتعی است. Zeinali و همکاران (2023) و Abedin و همکاران (2022) که به بررسی رابطه کاربری اراضی با مؤلفه‌های اقلیمی پرداختند نیز بیشترین تغییرات کاربری شهرستان را به صورت افزایش زمین‌های کشاورزی و از بین رفتن مراتع مطرح نموده‌اند. با نظر به نقشه‌پهنه‌بندی فرسایش نیز در سال ۲۰۰۲ مساحت طبقه بسیار پرخطر و پرخطر، ۲۱۶/۳۰۸ و ۷۷۹/۰۶۸

کیلومتر مربع بوده است که مقدار این طبقات در سال ۲۰۲۴ به ترتیب؛ به ۶۰۰/۲۴۸ و ۸۲۰/۲۲۸ کیلومتر مربع افزایش یافته است. با نگاهی به نتایج حاصل از تحلیل تغییرات کاربری اراضی و انطباق آن با نقشه‌های پتانسیل خطر فرسایش، علاوه بر شرایط محیطی حاکم در منطقه (از قبیل؛ وجود خاک‌های سست، سازندهای حساس و فرسایش‌پذیر، شیب زیاد، بارندگی و فراوانی شبکه آبراهه)، می‌توان کاهش سطح مراتع، باغات و پوشش جنگلی و در مقابل افزایش مساحت اراضی زراعی (آبی و دیم) و نواحی مسکونی را به عنوان مهمترین دلایل افزایش پتانسیل فرسایش خاک در سطح شهرستان مشکین شهر بیان داشت.

در نهایت با توجه به نتایج پژوهش، به منظور مدیریت اصولی کاربری اراضی شهرستان، اقداماتی مانند: تقویت و احیاء پوشش گیاهی مراتع و ممیزی مراتع، کاهش فشار بهره‌برداری از مراتع از طریق فراهم نمودن مشاغل جایگزین (مانند؛ زنبورداری، کاشت گیاهان دارویی)، تبدیل دیم‌زارهای کم بازده به کشت نباتات علوفه‌ای، ارتقای سطح آگاهی‌های عمومی درمورد عوایق ناشی از تبدیل کاربری اراضی مرتعی به دیم‌زار، آشناسازی کشاورزان با اقدامات حفاظتی در اراضی شیبدار و نحوه کشت در این اراضی و آموزش روش‌های مقابله با فرسایش خاک، پیشنهاد می‌شود. انتظار می‌رود، استفاده از نقشه تغییرات کاربری اراضی و نقشه پهنه‌بندی خطر فرسایش به دست آمده در مطالعه حاضر، به عنوان یک راهنمای کاربردی به منظور آگاهی از اثرات تغییرات کاربری اراضی بر فرسایش خاک، به منظور اعمال اقدامات کنترلی و مدیریتی در راستای کاهش فرسایش در پهنه‌های پرخطر و بسیار پرخطر، مورد توجه مدیران و برنامه‌ریزان ذی‌صلاح قرار گیرد.

قدردانی

این مقاله مستخرج از طرح دوره پسادکتری می‌باشد که با حمایت مالی دانشگاه محقق اردبیلی انجام شده است. از این رو تشکر و قدردانی خود را اعلام می‌داریم.

منابع

1. 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)
2. Abedin, M., Ghale, E., Aghazadeh, N., & Mohamadzadeh-Sheshegaran, 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)
3. Alinezhad, A., & Khalili, J. (2019). New Methods and Applications in Multiple Attribute Decision Making (MADM). *International Series in Operations Research & Management Science*, 277, Springer, Cham. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-15009-9>
4. 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, Ethiopia. *Sci. Total Environ.*, 728, 1-28. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138776>

5. 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)
6. 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)
7. Costea, A., Bilasco, S., Irimus, I.-A., Rosca, S., Vescan, I., Fodorean, I., & Sestrás, 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>
8. 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)
9. Ganjaeian, H., Rezaei Arefi, M., Peysoozi, T., & Emami, K. (2020). Zonning susceptible areas of landslide using WLC and OWA methods -A case study in Mountain cliff Khan, Iran, *Sustainability Earth Review*, 1(2), 43–51. <https://doi.org/10.52547/SUSTAINEARTH.1.2.43>
10. Jafarzadeh, J., & Nazmfar, H. (2019). Classification of Satellite Images in the Evaluation of Urban Land Use Change Using Scale Optimization in Objected Oriented Processing (Case Study: Ardabil City), *Journal of Research and Urban Planning*, 10(36), 117-128. https://jupm.marvdasht.iau.ir/article_3415.html?lang=en (In Persian)
11. Jahani, M., Taleghani, S., & Akbari, M. (2024). Quantitative evaluation of soil erodibility potential using SLEMMA model (Case study: Karkheh watershed, Lorestan province, Iran), *Environmental Erosion Research Journal*, 14 (2), 161-179. <https://doi.org/10.61186/jeer.14.2.10> (In Persian)
12. Kogo, B.K., Kumar, L., & Koech, R. (2020). Impact of Land Use/Cover Changes on Soil Erosion in Western Kenya, *Sustainability*, 12, 9740, 1-17. <https://doi.org/10.3390/su12229740>
13. 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, 652-933.
14. Luo, C., Pu, SH., & Yu, G. (2024). Investigating the impact of climate and land use changes on soil erosion in the Anning River basin in China, *Front. Earth Sci*, 12 (1), 1-11. <https://doi.org/10.3389/feart.2024.1416387>
15. Madadi, A., Asghari Saraskanrood, S., & Hajatpourghaleroodekhany, 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: Ghaleroodekhan Fuman watershed, *Hydrogeomorphology*, 11(39), 167-144. <https://doi.org/10.22034/hyd.2024.60739.1731> (In Persian)
16. 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)
17. Manikandan, K., & Rangarajan, S. (2023). Predicting Erosion Potential Zones using CA-ANN and Multi-Criteria Analysis for the Bhavani Watershed, India, *J Geol Soc India*, 99, 607–620. <https://doi.org/10.1007/s12594-023-2362-5>

18. Marefati, H., Shahab Arkhazloo, H., Asghari, S., & Soltani Toolarood, A.A. (2024). The effect of gully erosion on integrated soil quality indices in South of Ardabil, *Environmental Erosion Research Journal*, 14 (3), 43-65. <https://doi.org/10.61186/jeer.14.3.43> (In Persian)
19. Moghaddasi, M., khodaverdizadeh, M., Hashemi Bonab, S., & Sokouti Oskoee, R. (2018). Evaluation of Factors Affecting the Adoption of Soil Conservation Non-Mechanical Methods in Order to Maintain the Sustainability (Case Study: Urmia County), *Journal of agricultural science and sustainable Production*, 28(4), 229-245. https://sustainagriculture.tabrizu.ac.ir/article_8377.html?lang=en (In Persian)
20. 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 PSIAAC (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)
21. 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>
22. 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)
23. Paul, S. S., Li, J., Li, Y., & Shen, L. (2019). Assessing land-use/land-cover change and soil erosion potential using a combined approach through remote sensing, RUSLE and random forest algorithm, *Geocarto International*, 36, 1-15. <https://doi.org/10.1080/10106049.2019.1614099>
24. Piroozi, E., & Madadi, A. (2023). Zoning of soil erosion potential using MABAC method, Case study: Givi Chay watershed, *Hydrogeomorphology*, 10(36), 93-73. <https://doi.org/10.22034/hyd.2023.56590.1694> (In Persian)
25. Prashanth, M., A. Kumar, S., Dhar, O., Verma, SK., & 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, 1-17. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2023.1124677>
26. 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>
27. Rezaei Moghaddam, M.H., Rezaei Banafsheh Daragh, M., Faizizadeh, B., & Nazmafar, H. (2010). Land use /land cover classification based on Object-oriented technique and satellite image Case study: West Azerbaijan Provinces, *Watershed Management Researches Journal (Pajouhesh & Sazandegi)*, 23(2), 19-31. <https://www.sid.ir/paper/200608/fa> (In Persian)
28. Rezaei Moghaddam, M.H., Mokhtari, D., & Samandar, N. (2021). Extraction and evaluation of land use changes by using of the accuracy of SVM algorithm with polynomial kernel and maximum likelihood method in Ojan Chay basin, *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 9(4), 25-44. <https://doi.org/10.22067/GEOEH.2021.67231.0> (In Persian)
29. Singh, G., & Panda, RK. (2017). Grid-cell based assessment of soil erosion potential for identification of critical erosion prone areas using USLE, GIS and remote sensing: A case study in the Kapgari watershed, India, *Int Soil Water Conserv Res*, 5, 202-211. <https://doi.org/10.1016/j.iswcr.2017.05.006>

30. Sourn, T., Pok, S., Chou, P., Nut, N., Theng, D., & Prasad, P. V. V. (2022). Assessment of land use and land cover changes on soil erosion using remote sensing, gis and RUSLE model: a case study of battambang province, Cambodia, *Sustainability*, 14 (7), 1-24. <https://doi.org/10.3390/su14074066>
31. Taloor, AK., Kumar, V., Kumar, SG., 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*, 1, 37-51. https://doi.org/10.1007/978-981-15-2097-6_4
32. Zeinali, B., Melanori, E., & Shiva, S. (2023). 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)