



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



Aghil Madadi*¹, Sayyad Asghari Saraskanrood², Hossein Hajatpour Ghaleroodkhani³



This paper is an open access and licenced under the CC BY NC licence.



DOI:10.22034/HYD.2024.60739.1731

Reference to this article: Madadi, Aghil; Asghari Saraskanrood Sayyd; Hajatpour Ghaleroodkhani, Hossein. (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): 141 – 164.

Keywords

Soil erosion, Land use changes, Multi-criteria analysis, Remote sensing, Ghaleroodkhan, Northern Iran.

Receive Date: 2024/02/27

Accept Date: 2024/05/05

Available: 2024/07/14

ABSTRACT

Monitoring of land use changes and destruction of vegetation as one of the dominant parameters in soil erosion is one of the important issues for assessment and control in natural resource management. The Hyrcanian forests of Gilan province, over the past years, have deteriorated due to neglect and have taken on a different face. So; The purpose of this research is to reveal the changes in land use and the destruction of forest cover and its effects on soil erosion in the watershed of Ghaleroodkhan Fuman. For this purpose, the changes in land use that took place between 1371 and 1402 were extracted using Landsat images and object-oriented classification techniques and were classified (agriculture, forest, pasture, water, and residential). In the next step, by identifying the effective factors in the erosion of the area and preparing the information layers of each criterion in GIS, the standardization of the layers was done using the fuzzy membership function, the weighting of the criteria using the CRITIC method and the final modeling was done using the MARCOS multi-criteria analysis method. The study of the changes in watershed use shows that the forest cover in 1992, with an area of 222.17 square kilometers, had the largest area among the land uses, and in 2023, its area decreased to 205.03 square kilometers. Also considering the results; Residential use with an increase of 27.17 square kilometers has changed the most during the 30 years of study. According to the erosion zoning map, respectively; The area of the floor with very high and high erosion potential has increased from 18.04 and 31.05 percent in 1992 to 22.52 and 32.34 percent in 2023. According to the obtained results, it is possible to reduce the forest cover and convert it into residential areas, agricultural lands, and pastures, as well; He considered the conversion of agricultural lands to residential areas and the increase of residential and agricultural use in the boundaries and riverbeds as the most important factors involved in increasing the soil erosion potential of the basin.

* Corresponding Author: Aghil Madadi

E-mail: a_madadi@uma.ac.ir

1. Professor of Geomorphology, Department of Physical Geography, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. Email: a_madadi@uma.ac.ir

2. Professor of Geomorphology, Department of Physical Geography, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. Email: s.asghari@uma.ac.ir

3. Ph.D. Candidate in Geomorphology, Department of Physical Geography, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. Email: hosseinhajatpour1744@gmail.com

Introduction

Land use changes represent an important part of global changes that affect the environment (Talor et al., 2020:38), and one of the main consequences of land use changes is the intensification of erosion. Evidence shows that, the extent of forest lands has decreased in the Ghaleroodkhan basin during the recent decades, as opposed to the increased amount of soil erosion. Therefore, this research aims to reveal land use changes and the destruction of forest cover and its effects on soil erosion in the Ghaleroodkhan Fuman watershed.

Methodology

To investigate land use changes in this research, Landsat satellite images from (OLI-TM) sensors for the years 1992-2023 were obtained from the American Geology website. To prepare the images, atmospheric corrections were made to the images using the Flash method and Envi5.3 software. In the next step, land use maps were extracted in 1992 and 2023 using the object-oriented classification method and the nearest neighbor algorithm by eCognition software. Then, the layers were valued and standardized by identifying the factors affecting the erosion of the area and preparing the information layers of each criterion in GIS; using the fuzzy membership function and the weighting of the criteria; using the CRITIC method. Eventually, the data were analyzed using the MARCOS method.

Results and Discussion

According to the findings of the research, the largest area of use in 1992 belongs to the forest cover with an area of 222.17 km², which has decreased to 205.03 km² in 2023. The land use of residential areas has mostly changed in the last 30 years, which was about 33.01 km² in the starting year (1992) and it reached an area of 60.18 km² in 2023. According to the obtained results, the slope, land use, and lithology criteria, respectively, with weight coefficients of 0.164, 0.154, and 0.145, and in 1992, and with weight values of 0.169, 0.158, and 0.142 in 2023; received the highest value of weight coefficient in both studied periods. According to the erosion zoning maps of the studied basin, the areas of the layer with very high and high erosion potential were 79.81 and 137.37 km², respectively, in 1992. In 2023, 99.61 and 143.08 km² of the basin surface, respectively, have very high erosion potential.

Conclusion

According to the results, the forest cover area of the studied site has experienced a decrease of about 1700 hectares. Moreover, residential use with an increase of 27.17 km² has mostly changed during the 30-year period of the study. In addition, the most important land use change in the basin has been the destruction of forests and their conversion to agricultural lands, pastures and settlements, as well as the conversion of agricultural lands to residential areas; and this method of land use change and conversion, along with other natural factors in the area, such as the distribution of loose and erodible formations, high slope, adequate rainfall, and the abundance of a river, have played the greatest role in increasing the soil erosion potential of the Ghaleroodkhan basin. The effects of human intervention and manipulation in the natural environment can be clearly observed in the Ghaleroodkhan basin, which are mainly progressing toward the destruction and damage of the environment. Due to the severity of destruction in the study area, necessary management measures should be taken as soon as possible to prevent and reduce further damage to the forests of the area, as well as to reduce erosion.

References

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. *Geocology of Landscape Dynamics, Advances in Geographical and Environmental Sciences*, Springer, Singapore, 37-51.....

مقاله پژوهشی



بررسی تغییرات کاربری اراضی با تأکید بر پوشش جنگلی و اثرات آن بر فرسایش خاک با استفاده از طبقه‌بندی شی‌گرا و تکنیک چندمعیاره مارکوس مطالعه موردی: حوضه آبریز قلعه‌رودخان فومن



عقیل مددی^{۱*}، صیاد اصغری سراسکانرود^۲، حسین حاجت‌پور قلعه‌رودخانی^۳



این مقاله به صورت دسترسی باز و با لایسنس CC BY NC کربتیو کامنز قابل استفاده است.



ارجاع به این مقاله: مددی، عقیل؛ اصغری سراسکانرود، صیاد؛ حاجت‌پور قلعه رودخانی، حسین (۱۴۰۳). بررسی تغییرات کاربری اراضی با تأکید بر پوشش جنگلی و اثرات آن بر فرسایش خاک با استفاده از طبقه‌بندی شی‌گرا و تکنیک چندمعیاره مارکوس مطالعه موردی: حوضه آبریز قلعه‌رودخان فومن. هیدروژئومورفولوژی، ۱۱ (۳۹): ۱۶۴ - ۱۴۱.

DOI:10.22034/HYD.2024.60739.1731



چکیده

کلیدواژه‌ها

پایش تغییرات کاربری و تخریب پوشش گیاهی به عنوان یکی از پارامترهای غالب در فرسایش خاک، از مسائل مهم برای ارزیابی و کنترل در مدیریت منابع طبیعی می باشد. جنگل‌های هیرکانی استان گیلان، طی سالیان گذشته، در اثر بی توجهی روبه زوال نهاده و چهره متفاوتی به خود گرفته‌اند. لذا؛ هدف این تحقیق آشکارسازی تغییرات کاربری و تخریب پوشش جنگلی و اثرات آن بر فرسایش خاک، در حوضه آبریز قلعه‌رودخان فومن می باشد. بدین منظور ابتدا تغییر کاربری‌های صورت گرفته بین سال‌های ۱۳۷۱ تا ۱۴۰۲ با استفاده از تصاویر لندست و تکنیک طبقه‌بندی شی‌گرا استخراج شد و به کلاس‌های (کشاورزی، جنگل، مرتع، عوارض آبی و مسکونی) طبقه‌بندی شدند. در مرحله بعد، با شناسایی عوامل مؤثر در فرسایش منطقه و تهیه لایه‌های اطلاعاتی هر معیار در GIS، استانداردهای لایه‌ها با استفاده از تابع عضویت فازی، وزن‌دهی معیارها با استفاده از روش کرتیک و مدل‌سازی نهایی با استفاده از روش تحلیل چندمعیاره مارکوس انجام شد. بررسی تغییرات کاربری حوضه نشان می‌دهد که پوشش جنگلی در سال ۱۳۷۱، با وسعت ۲۲۲/۱۷ کیلومتر مربع، بیشترین مساحت را در بین کاربری‌ها داشته که در سال ۱۴۰۲ وسعت آن به ۲۰۵/۰۳ کیلومتر مربع کاهش یافته است. همچنین با نظر به نتایج حاصله؛ کاربری مسکونی با افزایش ۲۷/۱۷ کیلومتر مربعی، بیشترین تغییر را در طول بازه زمانی ۳۰ ساله مورد مطالعه داشته است. با توجه به نقشه پهنه‌بندی فرسایش نیز به ترتیب؛ مساحت طبقه با پتانسیل فرسایش بسیار زیاد و زیاد از ۱۸/۰۴ و ۳۱/۰۵ درصد در سال ۱۳۷۱ به ۲۲/۵۲ و ۳۲/۳۴ درصد در سال ۱۴۰۲، افزایش پیدا کرده است. با توجه به نتایج به دست آمده می‌توان، 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 حریم و بستر رودخانه‌ها، را مهم‌ترین عوامل دخیل در افزایش پتانسیل فرسایش خاک حوضه، دانست.

فرسایش خاک، تغییرات کاربری، تحلیل چندمعیاره، سنجش از دور، حوضه آبریز قلعه‌رودخان، شمال ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۲/۰۸
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۲/۱۶
تاریخ انتشار: ۱۴۰۳/۰۴/۲۴

* نویسنده مسئول: عقیل مددی

رایانامه: a_madadi@uma.ac.ir

۱- استاد ژئومورفولوژی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. رایانامه: a_madadi@uma.ac.ir

۲- استاد ژئومورفولوژی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. رایانامه: s.asghari@uma.ac.ir

۳- دانشجوی دکتری ژئومورفولوژی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. رایانامه: hosseinhajtpour1744@gmail.com

تغییرات کاربری زمین نشان‌دهنده بخش مهمی از تغییرات جهانی است که بر محیط‌زیست تأثیر می‌گذارد (تالور و همکاران^۱، ۲۰۲۰:۳۸). برخی معتقدند مهمترین عامل در تغییر چهره زمین، تغییر کاربری اراضی جنگلی و جنگل‌تراشی بوده است (بادآهنگ گله‌بچه، ۱۴۰۰:۶۸). در پی توسعه سریع اقتصادی و اجتماعی در دهه‌های گذشته، فعالیت انسان‌ها در جهت بهره‌وری از منابع طبیعی به صورت گسترش فعالیت‌های زیربنایی و کشاورزی نمود پیدا کرده و همین امر موجب گردیده که جنگل‌ها به عنوان یک اکوسیستم مهم که از منابع بالقوه محیط‌زیستی برای تکامل آینده محسوب می‌شوند، به شدت تحت تأثیر قرار بگیرند (عبداللهی و نصیری، ۱۳۹۹:۱۴۱). لذا، پایش تغییرات کاربری و پوشش جنگلی در مدیریت محیط‌زیست، برنامه‌ریزی منابع و توسعه پایدار نقش اساسی دارد (ام‌سی گرینگال و همکاران^۲، ۲۰۱۸:۲۹؛ ولیزاده کامران و همکاران، ۱۴۰۲:۱۸۰) و بخش عمده‌ای از اطلاعات مورد نیاز برنامه‌ریزان برای تصمیم‌گیری‌های اصولی به وسیله نقشه‌های کاربری اراضی و پوشش زمین تأمین می‌شود (جعفریان و کرمی، ۱۴۰۰:۴۹). از روش‌های نوینی که در راستای نمایان‌سازی تغییرات محیطی استفاده می‌شود، می‌توان به استفاده از تکنیک‌های دورسنجی و سیستم اطلاعات جغرافیایی اشاره نمود (وسلس و همکاران^۳، ۲۰۰۴:۴۷؛ رضایی‌مقدم و همکاران، ۱۳۹۹:۲۶). در مقایسه با روش‌های سنتی که زمانبر و پرهزینه هستند، تکنیک‌های سنسج از دور، با توجه به استفاده از تصاویر در دوره‌های متنوع زمانی، اطلاعات کثیری را به محققان ارائه می‌دهد (کنس و همکاران^۴، ۲۰۱۲:۷۵؛ حسن‌زاده و همکاران، ۱۴۰۱:۵۲). همچنین، به علت ارائه اطلاعات جدید، تنوع اشکال، رقومی بودن و امکان پردازش در تهیه نقشه‌های کاربری اراضی، تصاویر ماهواره‌ای از اهمیت شایانی برخوردارند (شتایی و عبدی^۵، ۲۰۰۷:۱۳).

از سوی دیگر، مدیریت نامناسب خاک، همراه با تغییرات گسترده کاربری زمین، می‌تواند خاک را در معرض فرسایش قرار دهد و در نهایت پیامدهای مختلفی را به دنبال داشته باشد (کاستا و همکاران^۶، ۲۰۲۲:۲). فرسایش خاک فرآیندی است که در آن ذرات خاک، سنگدانه‌ها و قطعات سنگی جدا شده و به وسیله آب انتقال یافته و سپس در مناطق جدید قرار می‌گیرند (ماسلینک و همکاران^۷، ۲۰۱۷:۲۰). فرسایش خاک، به تقلیل میزان ظرفیت رطوبتی، کم شدن عمق و از بین رفتن مواد آلی و در نهایت پایین آمدن پتانسیل باروری خاک منجر می‌شود (پرویزی و همکاران، ۱۳۹۹:۷۱). خاک‌های اراضی جنگلی به علت دارا بودن مواد آلی زیاد و ساختمان مناسب همواره مورد توجه بوده‌اند (وارسته و همکاران، ۱۳۹۸:۲۷۰). ولی تغییرات در پوشش گیاهی ناشی از رویکردهای مدیریتی مختلف ممکن است منجر به تغییرات طولانی مدت در خصوصیات خاک شود به طوری که خاک به شرایط اولیه خود برنگردد (آنسای و همکاران^۸، ۲۰۲۰:۳). بنابراین، اولویت‌بندی حوضه‌های آبریز از نظر شناسایی مناطق بحرانی وقوع فرسایش، به منظور برداشتن گام‌های پیشگیرانه در مدیریت آبریز و کاهش اثرات زیان‌بار ناشی از فرسایش خاک، بسیار حائز اهمیت است (مانیکاندان و رانگاراجان^۹، ۲۰۲۳:۶۰۷). با توجه به اینکه، روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره امکان تعیین مقدار اهمیت کلیه معیارها و ادغام آن‌ها در یک شاخص ترکیبی را فراهم می‌کند تا تصمیم‌گیرندگان قادر به شناسایی بهترین گزینه باشند (ژو و لیو^{۱۰}، ۲۰۲۱:۳). در چند دهه اخیر، در راستای کشف طیف وسیعی از گزینه‌ها از نظر درگیری‌های عینی و معیارهای چندگانه، از روش تصمیم‌گیری چندمعیاره استفاده می‌شود (آهر و همکاران^{۱۱}، ۲۰۱۳:۲). استفاده از سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی و روش‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره، با یک رویکرد تلفیقی، می‌تواند به تسریع در روند برنامه‌ریزی، تشخیص موارد بحرانی و صدور نتایج مناسبی منجر گردد (پیروزی و مددی، ۱۴۰۲:۷۷).

اهمیت بررسی و پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی و نقش آن در بروز فرسایش خاک، در کنار توسعه و ظهور تصاویر ماهواره‌ای نوین، روش‌های جدید پردازش تصاویر و پیشرفت همزمان مدل‌های پهنه‌بندی فرسایش خاک، باعث شده تا در دهه‌های اخیر، مطالعات فراوانی پیرامون این موضوع انجام شود. برای مثال؛ یاراحمدی و همکاران (۱۳۹۸)، با روش شیء‌گرا و با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای تغییرات

1- Taloor et al
2- McGarigal et al
3- Wessels et al
4- Kenneth et al
5- Shataee & Abdi
6- Costea et al

7- Masselink et al
8- Aneseyee et al
9- Manikandan & Rangarajan
10- Zhu and Liu
11- Aher et al

پوشش جنگلی در حوضه آبریز ایلگنه‌چای را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داده است، در مجموع ۲۷/۳۳ درصد از سطح پوشش جنگلی حوضه در دوره ۱۲ ساله اخیر کاهش یافته و ادامه روند تخریب جنگل‌ها، تعادل زیستی منطقه را برهم خواهد زد. عبداللهی و نصیری (۱۳۹۹)، آشکارسازی و پیش‌بینی تغییرات سطح جنگل‌های استان گیلان را در طی بازه زمانی ۱۳۷۵ تا ۱۳۹۵، با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و مدل ژئومد مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد مساحت کاربری جنگل در سال ۱۳۷۵، ۴۹۱۱۳۶/۳ بوده که در سال ۱۳۹۵، به این ۴۹۰۰۸۶/۲۶ کاهش یافته و در سال ۱۴۱۰ نیز به ۴۸۹۲۱۴/۶۳ کیلومترمربع خواهد رسید و در صورت ثابت ماندن شرایط، این روند تخریب اراضی ادامه خواهد داشت. جعفریان و همکاران (۱۴۰۰)، میزان تخریب اراضی طبیعی با تکیه بر تغییرات کاربری در مناطق جنگلی زاگرس را مورد ارزیابی قرار داده‌اند. بر اساس نتایج، بیش از ۶ هزار هکتار از اراضی جنگلی به اراضی غیرجنگلی (کشاورزی و مرتع) تبدیل شده‌اند. مددی و همکاران (۱۴۰۱)، به ارزیابی تغییرات کاربری اراضی و اثرات آن بر فرسایش خاک در حوضه بالادست سد یامچی اردبیل، با استفاده از الگوریتم تصمیم‌گیری چندمعیاره ARAS پرداختند. نتایج این پژوهش، نشان داده است، بیشترین میزان مساحت در سال ۲۰۰۰ مربوط به مراتع خوب و متوسط و در سال ۲۰۲۱، مربوط به مراتع ضعیف و خوب می‌باشد. به‌طور کلی، عمده دلایل افزایش مقدار فرسایش در سطح حوضه مورد مطالعه، افزایش اراضی زراعی (دیم و آبی)، اراضی بایر، مراتع ضعیف و نواحی انسان‌ساخت و کاهش سطح مراتع خوب و متوسط، می‌باشد. عابدینی و همکاران (۱۴۰۲)، به بررسی تأثیر تغییرات کاربری اراضی در طی سال‌های ۱۳۷۸ تا ۱۳۹۸، بر میزان فرسایش و رسوب حوضه رضی‌چای پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داد که در طول بیست سال اخیر 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 پوشش گیاهی در این منطقه، میزان فرسایش به میزان اندکی کاهش یافته است. اصغری سراسکانرود و بابایی اولم (۱۴۰۳)، با استفاده از تکنیک سنجش‌ازدور و معادله جهانی خاک، تغییرات کاربری اراضی و اثرات آن بر میزان فرسایش خاک در حوضه شفاورد مورد بررسی قرار دادند. نتایج این تحقیق نشان داد که در طول بیست سال اخیر کاربری‌های اراضی زراعی و مراتع در منطقه کاهش و در مقابل سطح مناطق مسکونی افزایش یافته است و همچنین، میزان فرسایش از سال ۱۳۸۱ تا ۱۴۰۱ روندی افزایشی داشته است. کیدن و همکاران^۱ (۲۰۱۹)، تأثیر استفاده از زمین بر فرسایش خاک و عملکرد رسوب، در اتیوپی، طی سال‌های ۱۹۷۳ تا ۲۰۱۵، مورد مطالعه قرار دادند. نتایج نشانگر تبدیل سریع کاربری‌های با پوشش گیاهی طبیعی به کاربری‌های اصلاح شده بشر می‌باشد. کوجو و همکاران^۲ (۲۰۲۰)، به بررسی تأثیر 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، دیده می‌شود و مناطق دارای پوشش علفی/درختچه‌ای، در رتبه دوم قرار دارند. لی و همکاران^۳ (۲۰۲۱)، به بررسی تأثیر تغییر کاربری اراضی بر فرسایش رودخانه‌ای در شهرستان Kedong، واقع در شمال شرقی چین بین سال‌های ۱۹۶۵ تا ۲۰۱۵ پرداختند. نتایج نشان داده است، زمین‌های زیر کشت، در بازه زمانی مورد مطالعه به طور چشمگیری، افزایش یافته است و کشت زمین در دامنه‌ها، به ویژه در دامنه‌های بزرگتر از ۴ درجه، ممکن است، سرعت فرسایش رودخانه را تشدید کند. جلایر و همکاران^۴ (۲۰۲۲)، مطالعاتی در مورد مدل‌سازی و پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی در حوضه آبریز چالوس ایران انجام داده‌اند. نتایج این تحقیق نشان می‌دهد که پوشش جنگلی از ۲۹/۴۶ درصد در سال ۲۰۲۱ به ۲۵/۶۷ درصد از مساحت در سال ۲۰۴۰ کاهش خواهد یافت و همچنین گسترش بی‌وقفه مناطق بایر، زمین‌های کشاورزی و مساحت ساخته شده کاهش خواهد یافت. بنابراین، درک پویایی مکانی-زمانی تغییر کاربری اراضی برای اجرای اقدامات ضروری و به حداقل رساندن پیامدهای مخرب این تغییرات بسیار مهم است. بزبرادیکا و همکاران^۵ (۲۰۲۳)، تأثیر تغییر کاربری اراضی جنگلی بر فرسایش و تولید رسوب در کروپانچ - صربستان را با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و مدل پتانسیل فرسایش خاک، مورد بررسی قرار داده‌اند. بر اساس یافته‌های پژوهش، بیشترین فرسایش خاک در زمین با پوشش گیاهی کم یا بدون پوشش گیاهی و در دامنه‌های شیب‌دار مشاهده شده است و تخریب جنگل‌ها به

1- Kidane et al
2- Kogo et al
3- Li et al

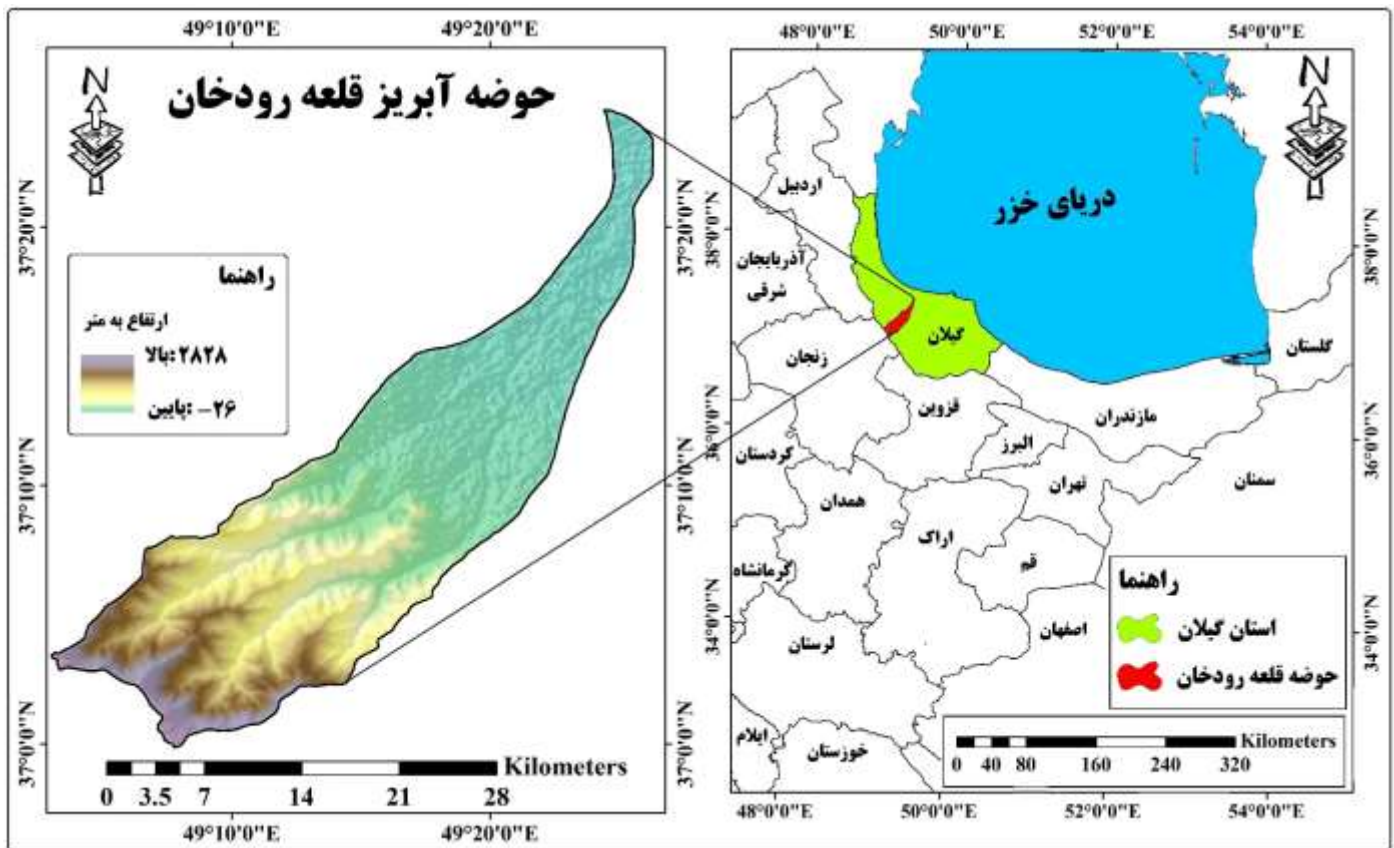
4- Jalayer et al
5 - Bezbradica et al

دنبال احداث جاده‌ها، انتقال خطوط انتقال نیرو و تبدیل اراضی جنگلی به دیگر کاربری‌ها از جمله؛ مسکونی و زراعی، منجر به افزایش پتانسیل فرسایش خاک در محدوده شده است.

در حوضه آبریز قلعه‌رودخان، خاک‌های منطقه به دلیل قرار گرفتن در دامنه شرقی ارتفاعات تالش و شرایط اکولوژیکی و توپوگرافی، مستعد زیستگاه‌های جنگلی با انواع مختلف گونه‌های گیاهی هستند. شواهد نشان می‌دهد که در گذشته حوضه رودخانه قلعه رودخان پوشیده از اراضی جنگلی بوده و بر همین اساس مورفولوژی و ریخت‌شناسی منطقه با آن شرایط سازگار شده است. اما، به مرور زمان با افزایش جمعیت و به منظور رفع نیازهای ساکنان (مانند: تأمین سوخت، دام‌پروری، آماده‌سازی زمین‌های کشاورزی و ...) از وسعت اراضی جنگلی کاسته شده است. بنابراین، می‌توان ادعان داشت، علاوه بر وجود شرایط اقلیمی، زمین‌شناسی و کوهستانی و شیب‌دار بودن منطقه، به مرور زمان با فعالیت‌ها و اقدامات انسانی از جمله، تغییر کاربری اراضی و تخریب اراضی جنگلی، میزان فرسایش خاک در سطح حوضه افزایش یافته است و بررسی‌های میدانی به عمل آمده نشانگر وجود انواع فرم‌های فرسایشی (ورقه‌ای یا سطحی، توده‌ای، شیاری، گالی، و کنار رودخانه‌ای)، در سطح حوضه قلعه‌رودخان می‌باشد. لذا ارزیابی و بررسی تغییرات کاربری‌ها در طول زمان و نقش آن در فرسایش خاک در سطح حوضه، بسیار ضروری به نظر می‌رسد. بدین منظور با توجه به تأکید بر اثربخشی و صحت نتایج حاصل از بهره‌گیری داده‌های سنجش‌ازدور، GIS و تکنیک‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره، در پژوهش حاضر؛ تغییرات کاربری اراضی و نقش آن در خطر فرسایش در یک دوره ۳۰ ساله (بین سال‌های ۱۳۷۱ تا ۱۴۰۲)، با رویکرد یکپارچه، مورد بررسی قرار گرفته است. انتظار می‌رود با نظر به نتایج پژوهش حاضر، با توجه به آگاهی یافتن از روند تغییرات انواع کاربری‌ها در طی بازه زمانی مورد مطالعه و با شناسایی مناطق اولویت‌دار از نظر خطر فرسایش، بتوان اقدامات لازم را برای کنترل فرسایش حوضه، برنامه‌ریزی استفاده بهینه از زمین و راهکارهای مدیریت پایدار انجام داد. به علاوه، شایان ذکر می‌باشد که، تاکنون خطر فرسایش خاک با استفاده از روش تحلیل چند معیاره مارکوس، مورد بررسی قرار نگرفته است. لذا استفاده از این روش در پژوهش حاضر دارای اهمیت فراوانی می‌باشد و نتایج حاصل از این پژوهش، با معرفی روش تحلیل چند معیاره مارکوس، به منظور مطالعه خطر فرسایش، در امر انتخاب روش بررسی و پهنه‌بندی خطر فرسایش، می‌تواند بسیار مفید بوده و مورد توجه پژوهشگران، مسئولان و سیاست‌گذاران در راستای پتانسیل‌سنجی فرسایش خاک، قرار گیرد.

منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز قلعه‌رودخان، به مساحت حدود ۴۴۲/۳۹ کیلومتر مربع، بین طول‌های جغرافیایی ۴۹ درجه و ۵ دقیقه تا ۴۹ درجه و ۴۳ دقیقه شرقی و عرض‌های جغرافیایی ۳۷ درجه تا ۳۷ درجه و ۴۱ دقیقه شمالی، در غرب استان گیلان و بخش جنوبی شهرستان فومن قرار گرفته است (شکل ۱). رودخانه فوشه در دهستان گوراب، از ارتفاعات کوه گلوله (مل بهار) و درین کول سرچشمه گرفته و پس از طی مسیری از مناطقی مانند: سنگ‌بن، سی‌فسان، منارکل، خون، لسیندی، سیاه‌پوست، شیخ جمال، ریحانه، شهرگاه، کله ماسون، دریالات، لکه پرده‌سر، شاپوزن، لیلی‌سرا، فوشه، سفیدسنگ، توت‌باغ، نظرآلات، مشه، جراویر در حیدرآلات، به زیر شاخه قلعه‌دنه متصل شده و حوضه قلعه‌رودخان را تشکیل می‌دهد. حداکثر ارتفاع حوضه ۲۸۲۸ متر (کوه گلوله) و حداقل ارتفاع آن ۲۶- متر (در خروجی حوضه) می‌باشد. ارتفاعات رستم‌کوه، پیرسرا، سیابیل از شمال و شمال‌غرب، کوه مزدچال و آبرنگ از جنوب و جنوب شرقی و کوه‌های فشم، هچه، عزیزخانی و درین کول و بخصوص کوه گلوله (ملبهار) از غرب حوضه را احاطه کرده است. سازند Qal (آبرفت‌های تحکیم نشده و دشت سیلابی، تراس‌های سطح بالا) و سازند Pzlgph (فیلیت سبز، میکا شیست و ماسه‌سنگ)، Q1m و Q2m (به ترتیب شامل: رسوبات یا نهشته‌های دریایی قدیمی و جوان) و Q1da (رسوبات سیلابی و رودخانه‌ای)، بیشترین مساحت حوضه را به خود اختصاص داده است. بر اساس اقلیم‌نمای آمبرژه و طبقه‌بندی دومارتن نوع اقلیم حوضه از نوع بسیار مرطوب می‌باشد. به ترتیب؛ ماه‌های مرداد و بهمن گرمترین و سردترین ماه سال هستند. بیشترین مقدار بارش مربوط به ماه‌های مهر و شهریور (با میانگین بارش ۲۵۵/۳ میلی‌متر) و کمترین بارش نیز مربوط به ماه‌های خرداد و تیر (با متوسط ۱۰۳ میلی‌متر) می‌باشد. رطوبت زیاد جو، گرمای مناسب زمستان و ارتفاعات متوسط، قسمت اعظم این حوضه را مساعد برای نمود جنگل‌ها کرده است و از نظر جغرافیای گیاهی، محدوده مورد مطالعه بخشی از حوزه هیرکانی می‌باشد.



شکل (۱): نقشه موقعیت محدوده مورد مطالعه

Figure (1): Location map of the studied area

مواد و روش

روش شی‌گرا^۱

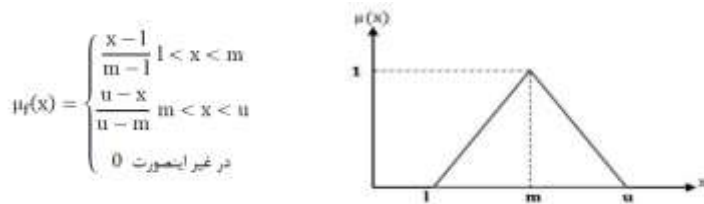
در این پژوهش به منظور بررسی تغییرات کاربری اراضی حوضه قلعه‌رودخان، ابتدا تصاویر ماهواره‌ای لندست از سنجنده‌های (OLI - TM) برای سال‌های (۱۹۹۲ - ۲۰۲۳)، از سایت زمین‌شناسی آمریکا اخذ شد (جدول ۱). سپس به منظور آماده‌سازی تصاویر، نسبت به تصحیحات اتمسفری بر روی تصاویر با استفاده از روش Flaash و نرم‌افزار Envi5.3 اقدام شد. در واقع اتمسفر همواره به عنوان یکی از عوامل اثرگذار در پردازش‌های تصاویر بوده است و به خاطر عملکرد آن ارزش عددی هر پیکسل در تصاویر، ثبت واقعی تابندگی پدیده‌های سطح زمین نیست. زیرا که بر اثر جذب، علامت‌ها تضعیف شده و یا اینکه بر اثر پراکنش مسیر آن تغییر می‌کند. بنابراین خطاهای حاصل از اتمسفر در پردازش تصاویر باید تصحیح گردد. سپس در این پژوهش طبقه‌بندی با روش شی‌گرا و با الگوریتم نزدیک‌ترین همسایگی توسط نرم‌افزار eCognition، در ۵ کلاس مسکونی، جنگل، کشاورزی، مراتع و مناطق آبی انجام شد.

جدول (۱): خصوصیات تصویرسنجنده (TM-OLI) از ماهواره لندست (منبع: متادیتای تصاویر)

Table (1): Characteristics of the image sensor (TM-OLI) from the Landsat satellite (source: image metadata)

تصویر	تاریخ اخذ	ردیف/گذر	تعداد باند	قدرت تفکیک	زاویه ازموت	زاویه ارتفاع
لندست TM	۱۹۹۲/۰۷/۲۱	۱۶۷/۳۴	۶ باند	۳۰ متر	۱۱۲/۹۷	۵۷/۷۷
لندست OLI	۲۰۲۳/۰۷/۰۸		۷ باند		۱۲۲/۲۵	۶۵/۹۰

طبقه‌بندی شیء‌گرا فرایندی است که کلاس‌های پوشش اراضی را به اشیاء تصویری ارتباط می‌دهد. این نوع از طبقه‌بندی بر اساس منطق فازی متناسب با شرایطی است که مفسر برای هر کلاس تعیین می‌کند؛ این شرایط بوسیله توابعی که برای کلاس تعیین شود، بیان می‌گردد (فیضی‌زاده و مکاران، ۱۳۹۴: ۱۱۰). در این پژوهش برای انجام طبقه‌بندی فازی، از روش فازی مثلثی برای محاسبه درجه هر کلاس استفاده شده است (رابطه ۱). در واقع طبقه‌بندی فازی تکنیکی است که ارزش عددی پدیده‌ها و عوارض را به ارزش فازی بین صفر و یک با درجه عضویت مشخص برای هر کلاس تبدیل می‌کند. طبقه‌بندی فازی در نرم افزار eCognition با توجه به معیارهایی است که مفسر برای هر کلاس مشخص می‌کند؛ صورت خواهد گرفت. معیارها در این پژوهش شامل معیار های هندسی، ویژگی‌های بصری و شاخص NDVI است؛ که در این تحقیق برای انجام طبقه‌بندی فازی از عملگرهای AND و OR استفاده شده است.



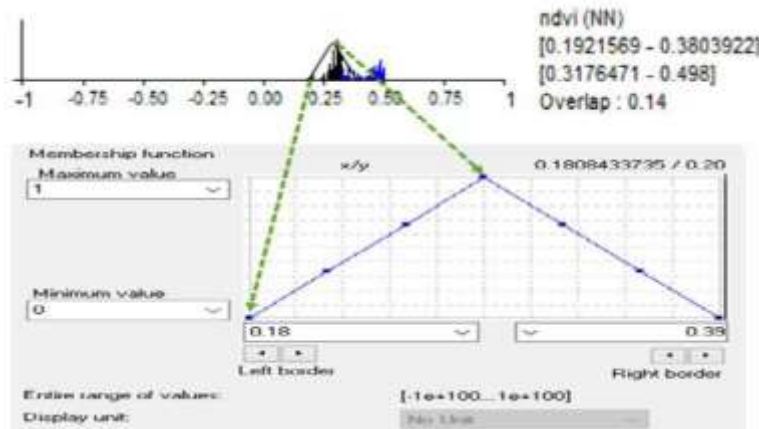
(۱)

حد آستانه‌های تابع فازی مثلثی در جدول ۲، نمایش داده شده است که این حد آستانه‌ها به صورت تجربی و با مشاهده بیشترین و کمترین مقدار هر یک از شاخص‌ها در نمونه‌های معرفی شده برای طبقه‌بندی انتخاب شده‌اند. با وارد کردن آستانه‌ها تابع فازی مثلثی به قسمتی از شاخص NDVI محدود می‌شود که کلاس جنگل دارای بیشترین ارزش عددی است. لازم به ذکر است که الگوریتم فازی بر روی شاخص‌ها و باندهایی اعمال شده است که کمترین همپوشانی را از نظر میزان ارزش عددی با یکدیگر دارند. شکل ۲، میزان همپوشانی کلاس جنگل را نشان می‌دهد که میزان همپوشانی کلاس جنگل با کلاس کشاورزی در حدود ۱۴ درصد است که کمترین میزان همپوشانی نسبت به سایر شاخص و باندها است.

جدول (۲): الگوریتم و آستانه‌های طبقه‌بندی فازی

Table (2): Fuzzy classification algorithm and thresholds

Blue	NDVI	NDVI	NDVI	NDVI	شاخص های طیفی و میانگین باندها	آستانه
0.14 <T> 0.26	T<0.15	0.04 <T> 0.14	0.14 <T> 0.30	T>0.3	۱۹۹۳	
0.18 <T> 0.32	T<0.18	0.10 <T> 0.16	0.19 <T> 0.38	T>0.38	۲۰۲۳	
AND (min)	OR (max)	AND (min)	AND (min)	AND (min)	الگوریتم فازی	
مسکونی	مناطق آبی	مرتع	جنگل	کشاورزی	کلاس	



شکل (۲): نمایش تابع فازی مثلثی کلاس جنگل در محیط نرم‌افزار eCognition

Figure (2): Display of forest class triangular fuzzy function in eCognition software environment

مبنای طبقه‌بندی شی‌گرا فرایند قطع‌بندی (سگمنت‌سازی) می‌باشد. در مرحله قطع‌بندی، 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 (اصغری سراسکانرود و ناصری، ۱۳۹۹: ۸۴). در فرآیند قطع‌بندی مفسر می‌تواند با در نظر گرفتن پارامترهای شکل، بافت، ضریب فشردگی و معیار نرمی، فرایند قطع‌بندی تصویر را انجام داده و بر اساس نسبت اهمیت هر یک از این عوامل در خصوصیات کلاس‌های مورد نظر برای استخراج از تصاویر ماهواره‌ای، نسبت اهمیت آن‌ها را در فرایند قطع‌بندی اعمال نماید (فیضی‌زاده و همکاران، ۱۳۸۷: ۲۰). در این پژوهش برای قطع‌بندی از روش قطع‌بندی چند مقیاسه^۱ استفاده شد. برای این منظور با تجزیه و تحلیل، مقیاس ۳۵ برای تصویر سال ۲۰۲۳ و مقیاس ۴۰ برای تصویر سال ۱۹۹۲ انتخاب شد و شکل و ضریب فشردگی برای هر دو تصویر ۰/۴ و ۰/۶ در نظر گرفته شد (جدول ۳). با توجه به اینکه هدف اصلی این پژوهش بررسی و ارزیابی تغییرات صورت گرفته در کاربری جنگل است؛ بنابراین در فرایند سگمنت‌سازی به نوار ۴ (نوار شاخص گیاهی) وزن بیشتری از سایر نوارها داده شد و برای این نوار وزن ۷ در نظر گرفته شد. 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 به‌طور میانگین، داده‌ها چه مقدار، از مقدار متوسط فاصله دارند. ۲- شاخص NDVI^۲: در این پژوهش از شاخص NDVI به‌منظور جداسازی بهتر پوشش گیاهی از بقیه پدیده‌ها استفاده شد. ۳- شاخص PCI^۳ ۴- واریانس: واریانس برای محاسبه بافت بر پایه میانگین و پراکندگی در اطراف میانگین از ارزش سلول‌ها داخل GLCM^۴ به کار گرفته می‌شود. ۵- شاخص‌های هندسی، که پارامترهای مؤثری همچون حداکثر اختلاف، درجه روشنایی، ضخامت، مساحت و فشردگی مورد استفاده قرار می‌گیرد. به‌طور کلی، در تعریف شرایط طبقه‌بندی برای هر یک از طبقات علاوه بر اطلاعات طیفی، اطلاعات مربوط به موقعیت، محتوا، بافت و سایر ویژگی‌های بصری نیز استفاده شده است.

جدول (۳): معیار و پارامترهای فرایند قطع‌بندی تصاویر

Table (3): Criteria and parameters of image segmentation process

معیار	تصویر سال ۱۹۹۲	تصویر سال ۲۰۲۳
مقیاس	۳۵	۴۰
درجه فشردگی	۰/۶	۰/۶
نرمی	۰/۴	۰/۴

بررسی نتایج طبقه‌بندی یکی از مراحل مهم است و هیچ طبقه‌بندی تازمانی که دقت آن ارزیابی نشود، مستند نخواهد بود (فیضی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۷: ۲۱۳). پارامتر اصلی که برای ارزیابی صحت طبقه‌بندی مورد استفاده قرار می‌گیرد، صحت کلی و ضریب کاپا می‌باشند. با توجه به نتایج به دست آمده، صحت کلی و ضریب کاپا بر روی تصویر ۱۳۷۱ به ترتیب دارای مقدار ۰/۹۷ و ۰/۹۸ می‌باشد و بر روی تصویر سال ۱۴۰۲ نیز مقدار ضریب کاپا با ۰/۹۸ و مقدار صحت کلی با ۰/۹۸ برابر است. در نهایت لایه‌های به‌دست آمده برای محاسبه مساحت کاربری‌ها، تهیه نقشه خروجی مناسب و اعمال نمودن معیار کاربری در فرآیند پهنه‌بندی خطر فرسایش، به نرم‌افزار Arc GIS، انتقال داده شدند.

مراحل روش مارکوس^۵

مرحله اول- اولین گام در این روش تعیین عوامل و گزینه‌های پژوهش است. با مطالعه پیشینه پژوهش و با توجه به شرایط طبیعی و انسانی منطقه؛ عوامل شیب، لیتولوژی، کاربری‌اراضی، بارش، فاصله از راه‌ارتباطی، فاصله از آبراهه و خاک، به عنوان عوامل مؤثر در فرسایش خاک حوضه شناسایی گردید. در مرحله بعد، لایه‌های اطلاعاتی مربوط به هر معیار، در محیط GIS تهیه گردید. لایه راه‌های

1- multiresolution segmentation

2- Normalized Difference Vegetation Index

3- Precipitation Concentration Index

4- Gray Level Co Gray Level Co-Occurrence Matrix

5- MARCOS (Measurement Alternatives and Ranking according to Compromise Solution)

ارتباطی و شبکه آبراهه، با استفاده از نقشه خطوط ارتباطی و رودخانه‌های استان گیلان، ترسیم شد. لایه شیب، با استفاده از دستور slope و در Arc map و با استفاده از مدل رقومی ارتفاعی ۱۲/۵ متری اخذ شده از سایت (vertex.daac.asf.alaska.edu)، تهیه شد. لایه‌های اطلاعاتی مربوط به لیتولوژی (مقاومت سنگ‌ها)، از روی نقشه زمین‌شناسی استان گیلان با مقیاس ۱:۱۰۰۰۰۰ استخراج گردید. به منظور ترسیم نقشه خاک حوضه نیز، از نقشه خاک استان، استفاده شد. نقشه بارش حوضه نیز، با استفاده از داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی و باران‌سنجی (رشت، فشالم، پسیخان، قلعه رودخان، کسما، صومعه سرا، فومن، سیاهمزی، حسین کوه، شفت، هندخاله، ماکلان، امامزاده ابراهیم، شاندرمن، آستانه‌سر، ویزی و ماکلان پایین) و با استفاده از روش درون‌یابی کوگریجینگ^۱، ترسیم شد. مرحله دوم - تشکیل ماتریس تصمیم: ماتریس تصمیم در این روش نیز به صورت معیار-گزینه است. یعنی یک ماتریسی که ستون‌های آن را معیارهای مسأله و سطرها را گزینه‌ها تشکیل می‌دهند و هر سلول نیز در واقع امتیاز هر گزینه نسبت به هر معیار است. مرحله سوم - تعیین ایده‌آل و ضد ایده‌آل: در این بخش بر اساس روابط ۲ و ۳، مقادیر ایده‌آل (AI) و ضد ایده‌آل (AAI) مشخص می‌شود. در روابط زیر، عبارت B به معنی معیارهایی که جنبه سود و عبارت C به معنی معیارهایی که جنبه هزینه دارند (با توجه به هدف پژوهش حاضر، جنبه سود و هزینه در رابطه با نقش معیارها، در وقوع خطر فرسایش می‌باشد).

$$AI = \max x_{ij} \text{ if } j \in B \text{ and } \min x_{ij} \text{ if } j \in C \quad (2)$$

$$AAI = \min x_{ij} \text{ if } j \in B \text{ and } \max x_{ij} \text{ if } j \in C \quad (3)$$

مرحله چهارم - استانداردسازی: با نظر به این موضوع که در فرایند ارزیابی معیارها در واحدهای اندازه‌گیری متفاوتی مورد سنجش قرار گیرند (مانند درصد در اندازه‌گیری شیب و متر در اندازه‌گیری فاصله از رودخانه)، نمی‌توان عملیات ریاضی همچون جمع و تفریق را بر روی آن‌ها به انجام رسانید. حال اگر بخواهیم سرجمع امتیازی را که یک پیکسل، به لحاظ معیارها کسب کرده است، محاسبه کنیم این کار بدون استانداردسازی میسر نخواهد بود. استاندارد نمودن داده‌ها به معنی همسان کردن دامنه تغییرات داده‌ها بین صفر و یک و یا یک دامنه مشخص دیگر است. جهت دستیابی به الگوی پهنه‌بندی مکانی خطر فرسایش در حوضه قلعه رودخان، مرحله استانداردسازی با توجه به تابع عضویت فازی انجام شده است. در مجموعه‌های فازی، بیشترین ارزش یعنی مقدار یک به حداکثر عضویت و کمترین ارزش یعنی صفر به حداقل عضویت در مجموعه تعلق می‌گیرد (حسینی و همکاران^۲، ۱۹:۲۰۱۴؛ اسمعیل پور و همکاران^۳، ۱۴۰۱:۳۲). به منظور استانداردسازی معیارهای شیب، کاربری اراضی، لیتولوژی و خاک از تابع بزرگ فازی، استفاده شده است. استانداردسازی معیارهای فاصله از راه‌ارتباطی و فاصله از رودخانه با توجه به تابع نزدیک فازی و معیار بارش با نظر به تابعی خطی افزایشی صورت پذیرفته است. مرحله پنجم - وزن‌دار کردن ماتریس نرمال: به منظور حل هر تکنیک چندمعیاره باید وزن معیارها از پیش تعیین شده باشد. در این پژوهش، جهت وزن‌دهی عوامل از روش کرتیک^۴، استفاده شده است. در این روش، وزن‌دهی با توجه به نقشه‌های معیار و میزان همبستگی، تضاد و انحراف معیار بین لایه‌های اطلاعاتی مورد استفاده، تعیین می‌گردد و نظر کارشناس دخیل نمی‌باشد (علی‌نژاد و خلیلی^۴، ۱۹:۲۰۱۹). لذا، استفاده از روش کرتیک، در وزن‌دهی معیارها در پژوهش حاضر می‌تواند گامی در جهت حل معضل استقلال صفات از یکدیگر باشد که به هنگام مقایسه زوجی در چهارچوب روش فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی و فرایند تحلیل شبکه‌ای و در شرایط عدم تحقق همبستگی بین صفات، عینیت می‌یابد. به منظور پیاده‌سازی این روش ابتدا در اکسل یک ماتریس مقارنی با توجه به تعداد معیارهای مورد بررسی خود تحت عنوان ماتریس همبستگی (ماتریس ۷ در ۷)، ایجاد می‌نماییم و در هر سطر و ستون عنوان معیارهای را یادداشت می‌کنیم. در مرحله بعد بایستی مقدار همبستگی معیارها را نسبت به همدیگر در ادیسی به دست آورده و در جدول مربوطه در اکسل یادداشت کنیم. بعد از تکمیل ماتریس همبستگی، در مرحله بعد ماتریس تضاد معیارها را بایستی محاسبه نماییم. بدین منظور مجدد یک ماتریس مقارن با توجه به تعداد معیارها تعریف می‌کنیم (ماتریس ۷ در ۷). سپس همبستگی هر یک از معیارها را منهای عدد یک می‌کنیم تا مقدار تضاد هر معیار حاصل شود. بعد از محاسبه ماتریس تضاد، در مرحله بعد مجموع تضادهای هر معیار با معیارهای دیگر

1- Cokriging
2- Hoseini et al

3- CRITIC (CRiteria Importance Through Intercriteria Correlation)
4- Alinezhad & Khalili

را به دست می‌آوریم. بدین منظور از هر ستون از ماتریس تضاد، یک مجموع می‌گیریم. در مرحله بعدی، میزان اطلاعات هر معیار را محاسبه می‌کنیم. به منظور اجرای این مرحله اول بایستی مقدار انحراف هر معیار را داشته باشیم که این مقدار نیز با استفاده از تابع REGRESS و با مقایسه دوطرفه معیارها به دست می‌آید. سپس به منظور محاسبه میزان اطلاعات هر معیار، انحراف معیار هر یک از معیارها را در مجموع تضاد آن ضرب می‌کنیم. در نهایت از کل میزان اطلاعات نیز یک مجموع به دست می‌آوریم. در مرحله آخر به منظور محاسبه وزن نهایی هر معیار، میزان اطلاعات هر معیار را بر مجموع کل میزان اطلاعات تقسیم می‌کنیم.

مرحله ششم- محاسبه مطلوبیت هر گزینه: در این مرحله، بر اساس روابط ۴ و ۵، درجه مطلوبیت ایده‌آل K^+ و ضد ایده‌آل K^- گزینه‌ها محاسبه می‌شود.

$$K_{i^+} = \frac{S_i}{S_{ai}} \quad (4)$$

$$K_{i^-} = \frac{S_i}{S_{aai}} \quad (5)$$

در روابط فوق، $S_i (i=1,2,3,..m)$ جمع مقایر هر سطر در ماتریس وزن دار می‌باشد که از رابطه ۶، به دست می‌آید.

$$S_i = \sum_{j:1}^n v_{ij} \quad (6)$$

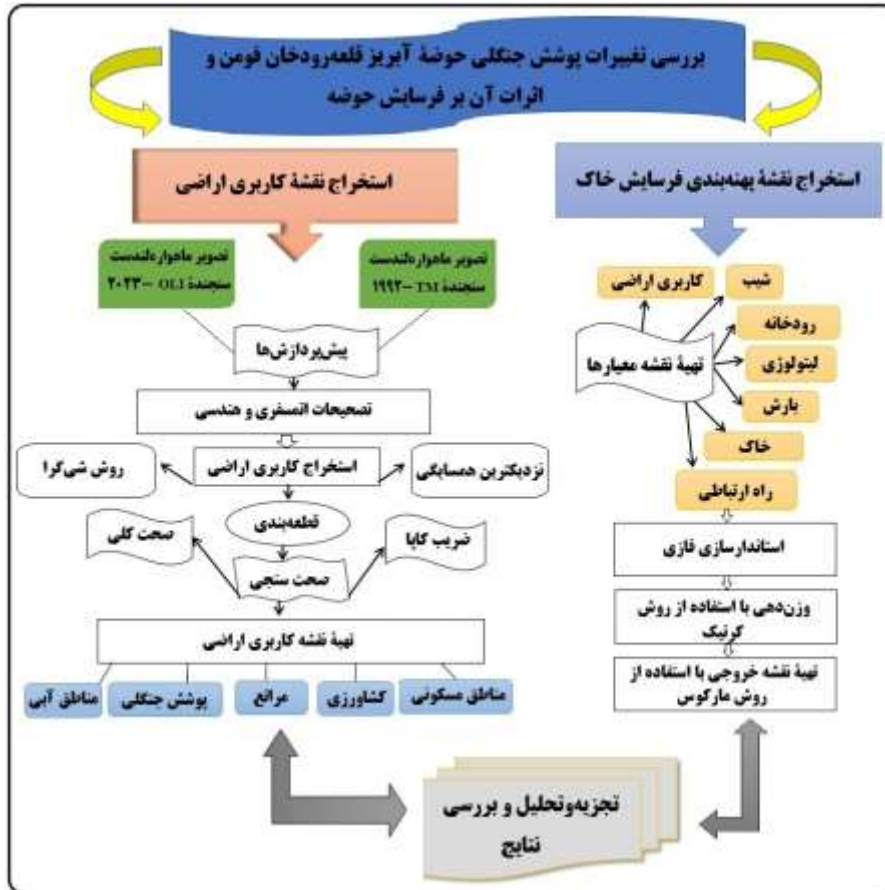
مرحله هفتم- تعیین عملکرد نهایی و رتبه‌بندی گزینه‌ها: در این بخش با استفاده از رابطه ۷، عملکرد مطلوب هر گزینه محاسبه می‌شود.

$$f(k_i) = \frac{k_i^+ + k_i^-}{1 + \frac{1-f(k_i^+)}{f(k_i^+)} + \frac{1-f(k_i^-)}{f(k_i^-)}} \quad (7)$$

در رابطه فوق‌الذکر $f(k^-)$ ، عملکرد مطلوبیت ضد ایده‌آل و $f(k^+)$ عملکرد مطلوب ایده‌آل برای هر گزینه می‌باشد که از روابط ۸ و ۹، محاسبه می‌شود. سپس بر اساس اعداد به دست آمده از $f(k)$ ، هر گزینه رتبه‌بندی انجام می‌شود. هر کدام از گزینه‌ها که مقدار $f(k)$ بزرگتری داشته باشد، رتبه بهتری دارد (استویج و همکاران^۱، ۲۰۲۰:۷؛ جعفرزاده قوشچی و همکاران^۲، ۲۰۲۳:۴۵۵۵). باید در نظر داشت که فرمول‌های و روابط ارائه شده، به صورت اجرای عملیات ریاضی بر روی لایه‌ها با استفاده از تابع raster calculator، عملیاتی می‌گردند. فلوچارت مربوط به فرآیند پژوهش، در شکل ۳، نمایش داده شده است.

$$f(k_i^+) = \frac{k_i^+}{k_i^+ + k_i^-} \quad (8)$$

$$f(k_i^-) = \frac{k_i^-}{k_i^+ + k_i^-} \quad (9)$$

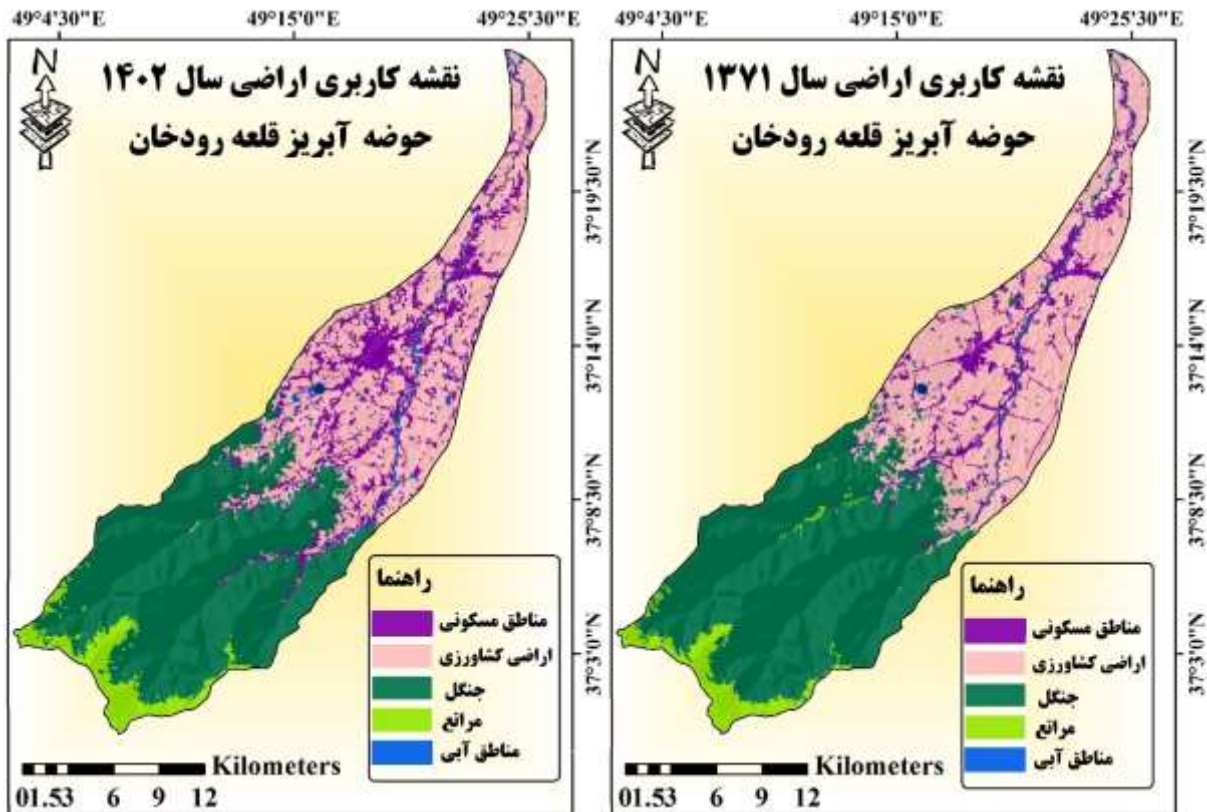


شکل (۳): فلوجارت مراحل تحقیق
Figure (3): flowchart of research steps

بحث

بررسی تغییرات کاربری اراضی در بازه زمانی ۱۴۰۲-۱۳۷۱

بعد از انجام مراحل طبقه بندی شی گرا؛ رودخانه، نواحی مسکونی، زراعت، مرتع و در نهایت اراضی جنگلی به عنوان طبقات کاربری اراضی حوضه شناسایی گردید. نقشه کاربری اراضی سال ۱۳۷۱ و ۱۴۰۲ به ترتیب؛ در شکل (۴) و (۵)، نمایش داده شده است. با مقایسه دو نقشه و با نظر به مقادیر مساحت مربوط به هر یک از کاربری ها در دو بازه زمانی مورد مطالعه (جدول ۴)، می توان بیان داشت که بیشترین مساحت کاربری در سال ۱۳۷۱ مربوط به پوشش جنگلی با وسعت ۲۲۲/۱۷ کیلومترمربع می باشد که در سال ۱۴۰۲ وسعت آن به ۲۰۵/۰۳ کیلومترمربع کاهش یافته است. کاربری بعدی که دارای بیشترین مساحت در حوضه قلعه رودخان می باشد، کاربری زمین های کشاورزی است. مقدار مساحت کاربری زراعی، در سال ۱۳۷۱ حدود ۱۶۱/۰۳ کیلومترمربع بوده است که در سال ۱۴۰۲ حدود ۱۱ کیلومترمربع کاهش یافته و به مقدار ۱۵۰/۰۵ کیلومترمربع رسیده است. کاربری مناطق مسکونی بیشترین تغییر را در ۳۰ سال گذشته داشته است که این کاربری در سال مبدأ (۱۳۷۱) حدود ۳۳/۰۱ کیلومترمربع بوده و در سال ۱۴۰۱ به مقدار مساحت ۶۰/۱۸ کیلومترمربع رسیده است (۲۷/۱۷ کیلومترمربع، مساحت مناطق مسکونی افزایش پیدا کرده است). کاربری مراتع نیز در ۳۰ سال اخیر تغییر داشته است. به طوری که مساحت کاربری مراتع در سال های ۱۳۷۱ و ۱۴۰۲ به ترتیب؛ با ۲۲/۰۴ و ۲۵/۱۱ کیلومترمربع برابر بوده است که حدود ۳ کیلومترمربع افزایش یافته است. همچنین کاربری مناطق آبی نیز تغییر چشم گیری داشته و مساحت آن تقریباً در ۳۰ سال اخیر نصف شده است. مقدار مساحت مناطق آبی در سال ۱۳۷۱ برابر با ۱۴/۱۴ کیلومترمربع بوده و در سال ۱۴۰۲ به ۲/۰۲ کیلومترمربع، کاهش یافته است.



شکل (۵): نقشه کاربری اراضی سال ۱۴۰۲

Figure (5): Land use map of 2023

شکل (۴): نقشه کاربری اراضی سال ۱۳۷۱

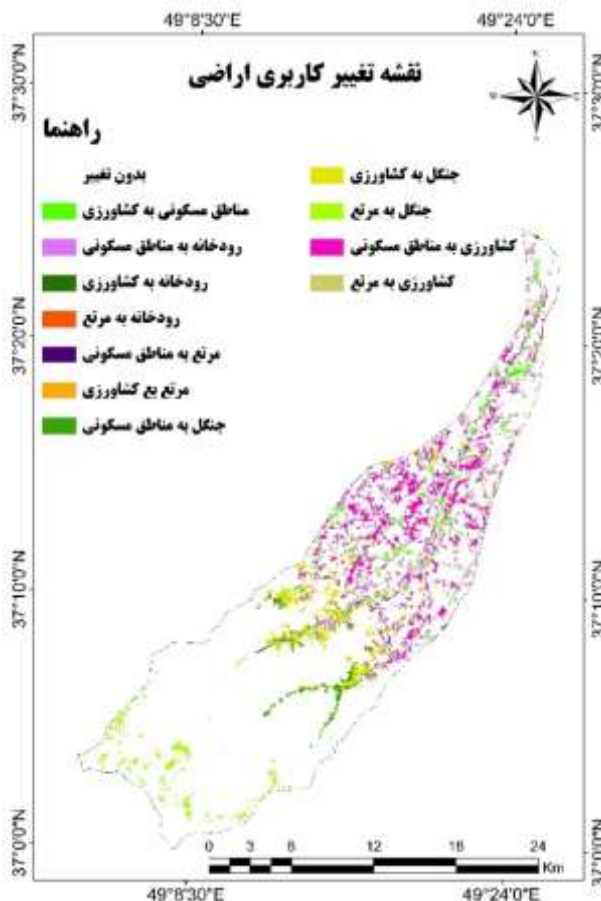
Figure (4): Land use map of 1992

جدول (۴): مساحت کاربری های اراضی در سال ۱۳۷۱ و ۱۴۰۲

Table (4): Area of land uses in 1992 and 2023

نام کاربری	مساحت کاربری ۱۳۷۱ (کیلومتر مربع)	مساحت کاربری ۱۴۰۲ (کیلومتر مربع)	روند تغییرات
مناطق مسکونی	۳۳/۰۱	۶۰/۱۸	افزایشی
کشاورزی	۱۶۱/۰۳	۱۵۰/۰۵	کاهشی
پوشش جنگلی	۲۲۲/۱۷	۲۰۵/۰۳	کاهشی
مراتع	۲۲/۰۴	۲۵/۱۱	افزایشی
مناطق آبی	۴/۱۴	۲/۰۲	کاهشی

تغییرات کاربری اراضی حوضه قلعهرودخان در شکل ۶، نمایش داده شده است. با توجه به این نقشه و جدول ۵ که درصد و مساحت کاربری های تغییر یافته را نشان می دهد. شایان ذکر می باشد که بیشترین تغییر کاربری، به تبدیل کاربری رودخانه به کشاورزی مربوط می باشد که ۴۱ درصد تغییر داشته و حدود ۱/۶۰ کیلومترمربع از مساحت رودخانه به زمین کشاورزی تبدیل شده است. به علاوه، ۲۹ درصد از مساحت رودخانه نیز به کاربری مسکونی تغییر یافته است که حدود ۰/۹۸ کیلومترمربع می باشد. همچنین، بیشترین تغییرات بعدی مربوط به تبدیل کاربری کشاورزی به مناطق مسکونی است. به طوری که، ۲۳ درصد کاربری های کشاورزی به مناطق مسکونی تغییر یافته است که حدود ۳۳ کیلومترمربع از مساحت کاربری کشاورزی را شامل می شود. کاربری جنگل در بین سال های مورد مطالعه تغییر چشم گیری داشته است. ۶ درصد از جنگل ها به مرتع تبدیل شده، ۷ درصد به کشاورزی و ۱/۶ درصد نیز به کاربری مناطق مسکونی تغییر یافته است. در کل، تقریباً ۱۷ کیلومتر از مساحت جنگل در منطقه مورد مطالعه کاسته شده و به کاربری های دیگر تبدیل شده است.



شکل (۶): نقشه تغییرات کاربری اراضی حوضه قلعه رودخان

Figure (6): Map of land use changes in Ghaleroodkhan basin

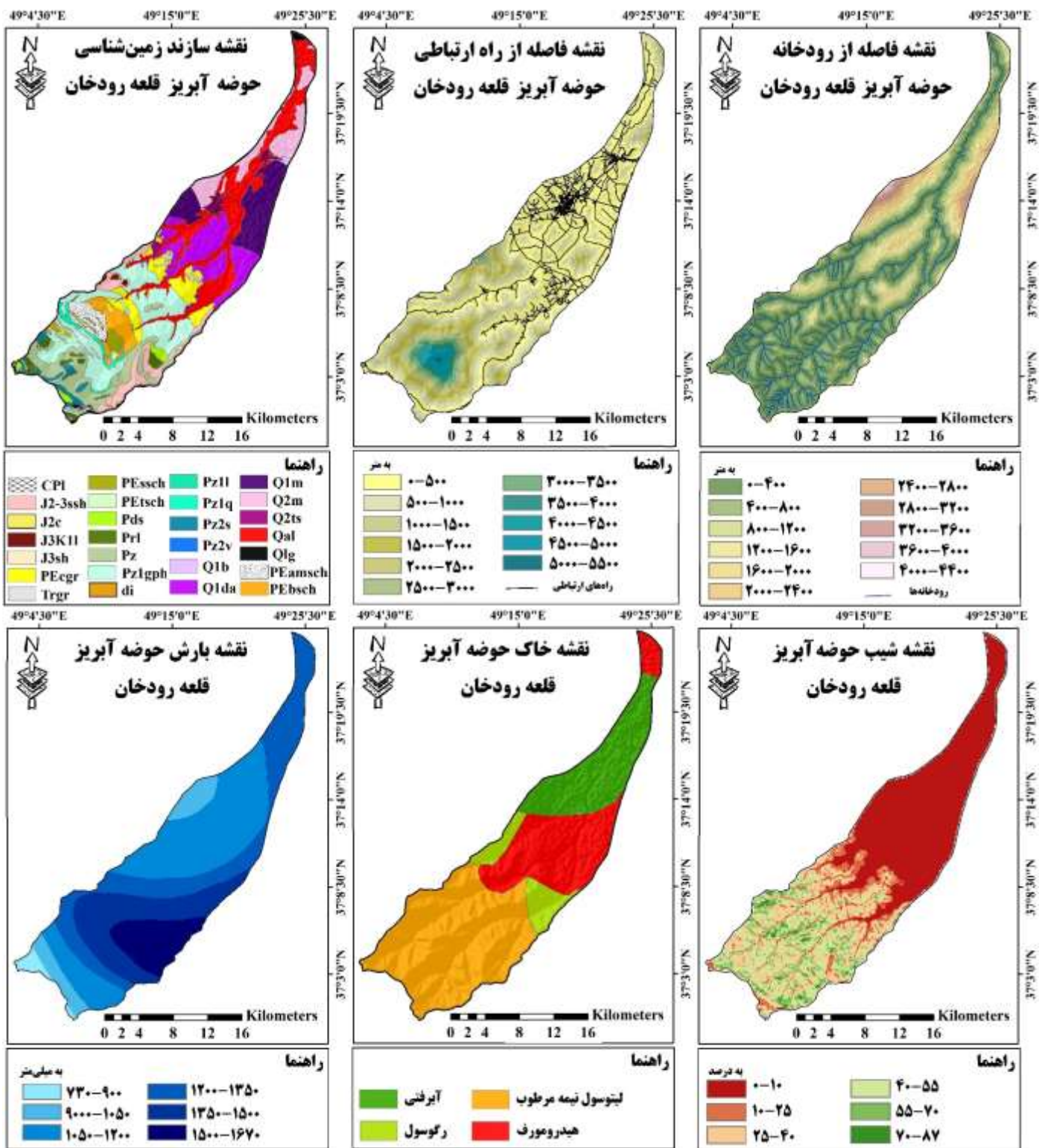
جدول (۵): درصد و مساحت کاربری‌های تغییر یافته

Table (5): percentage and area of changed uses

کاربری‌های تغییر یافته	درصد	مساحت (کیلومتر مربع)	کاربری‌های تغییر یافته	درصد	مساحت (کیلومتر مربع)
رودخانه به مناطق مسکونی	۲۹	۰/۹۸	کشاورزی به مناطق مسکونی	۲۳	۳۳
رودخانه به مرتع	۰/۷	۰/۰۴	کشاورزی به مرتع	۰/۲	۰/۲۲
رودخانه به کشاورزی	۴۱	۱/۶۱	مرتع به مناطق مسکونی	۲	۰/۵۱
مناطق مسکونی به کشاورزی	۱۱	۵	مرتع به کشاورزی	۴	۱/۲
جنگل به مرتع	۶	۸	جنگل به کشاورزی	۷	۵/۶۹
جنگل به مناطق مسکونی	۱/۶۳	۴			

پهنه‌بندی فرسایش خاک در حوضه قلعه‌رودخان

جهت پهنه‌بندی فرسایش با توجه به نقشه کاربری مربوط به دو دوره زمانی و نیز نقشه سایر معیارهای مطرح (شکل ۷)، ابتدا وزن‌دهی معیارها انجام گردید. در جدول ۶، مفروضات پایه‌ای (ماتریس همبستگی، ماتریس تضاد، انحراف معیار، میزان اطلاعات) و وزن نهایی حاصل از روش وزن‌دهی کرتیک در بین معیارهای مطرح در پهنه‌بندی فرسایش خاک حوضه، نمایش داده شده است. سپس با اعمال مراحل مختلف مدل بر روی نقشه‌ها (با توجه به ضرایب و فرمول‌های مربوطه)، نقشه پهنه‌بندی فرسایش حوضه قلعه‌رودخان در ۵ طبقه با فرسایش بسیار زیاد تا فرسایش بسیار کم، در دو بازه زمانی ۱۳۷۱ و ۱۴۰۲، استخراج گردید (شکل ۸ و ۹).



شکل (۷): نقشه سایر معیارهای مطرح در پهنه‌بندی فرسایش خاک حوضه قلعه رودخان

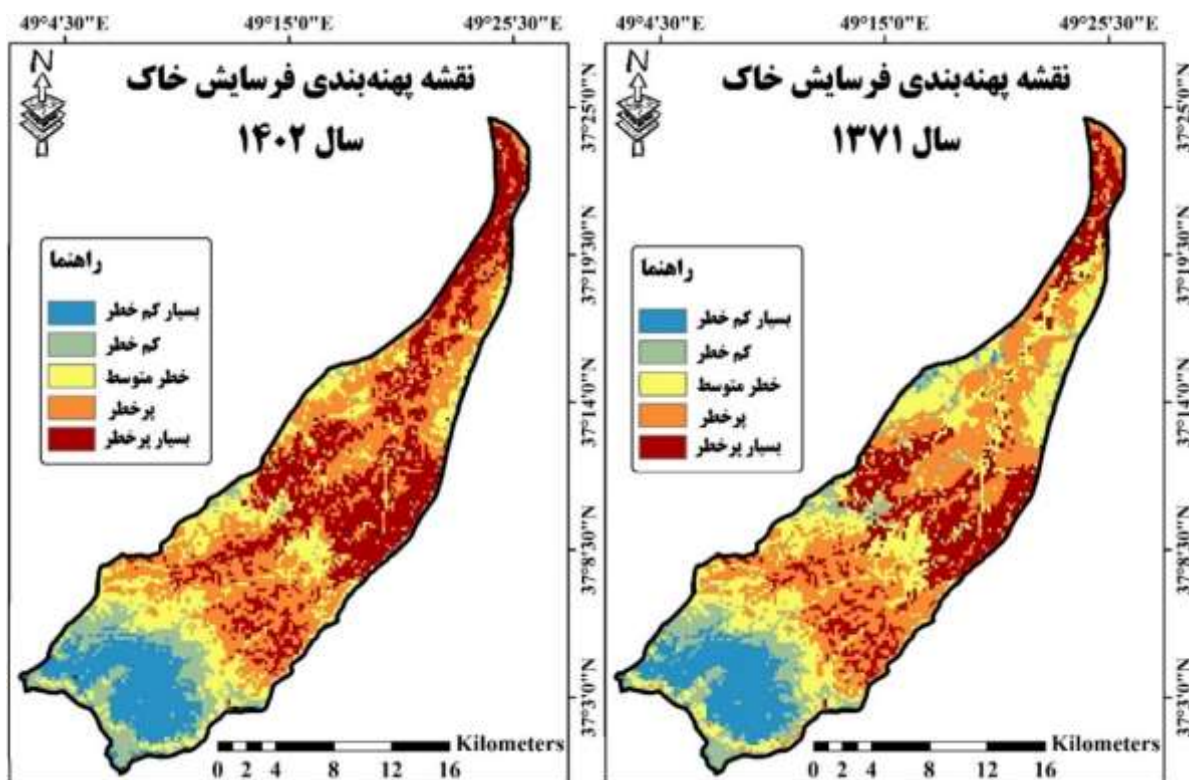
Figure (7): Map of other criteria in the zoning of soil erosion in Ghaleroodkhan basin

جدول (۶): مجموع تضاد، انحراف معیار، میزان اطلاعات و وزن نهایی معیارهای مطرح در پهنه‌بندی فرسایش حوضه قلع‌رودخان

Table (6): Total contradiction, standard deviation, amount of information and final weight of the mentioned criteria in the erosion zoning of Ghaleeroodkhan basin.

وزن نهایی	میزان اطلاعات	انحراف معیار	مجموع تضاد	معیار	با استفاده از نقشه کاربری اراضی سال ۱۳۷۱
۰/۱۶۴	۰/۸۴۷	۰/۲۸۷	۲/۹۵۲	شیب	
۰/۱۴۵	۰/۷۴۶	۰/۳۰۵	۲/۴۴۶	لیتولوژی	
۰/۱۵۴	۰/۷۹۳	۰/۳۶۸	۲/۱۵۷	کاربری	
۰/۱۳۹	۰/۷۱۸	۰/۳۳۷	۲/۱۳۲	خاک	
۰/۱۳۶	۰/۷۰۱	۰/۳۰۱	۲/۳۳۰	بارش	
۰/۱۳۸	۰/۷۱۱	۰/۳۹۹	۱/۷۸۲	فاصله از رودخانه	
۰/۱۲۱	۰/۶۲۷	۰/۳۴۱	۱/۸۳۹	فاصله از راه	
۰/۱۶۰	۰/۸۲۳	۰/۲۸۷	۲/۹۰۴	شیب	با استفاده از نقشه کاربری اراضی سال ۱۴۰۲
۰/۱۴۲	۰/۷۳۶	۰/۳۰۵	۲/۴۱۵	لیتولوژی	
۰/۱۵۸	۰/۸۲۲	۰/۳۷۹	۲/۱۶۹	کاربری	
۰/۱۳۹	۰/۷۲۵	۰/۳۳۷	۲/۱۵۳	خاک	
۰/۱۳۵	۰/۷۰۱	۰/۳۰۱	۲/۳۳۰	بارش	
۰/۱۳۸	۰/۷۱۹	۰/۳۹۹	۱/۸۰۳	فاصله از رودخانه	
۰/۱۲۴	۰/۶۴۴	۰/۳۴۱	۱/۸۸۹	فاصله از راه	

با توجه به نتایج حاصله، معیارهای شیب، کاربری اراضی و لیتولوژی، به ترتیب؛ در سال ۱۳۷۱ با ضرایب وزنی ۰/۱۶۴، ۰/۱۵۴ و ۰/۱۴۵ و در سال ۱۴۰۲، با مقدار وزن ۰/۱۶۹، ۰/۱۵۸ و ۰/۱۴۲، بیشترین مقدار ضریب وزنی را در هر دو دوره مورد مطالعه دریافت کردند. همچنین، با توجه به نقشه‌های پهنه‌بندی فرسایش حوضه مورد مطالعه، مشاهده می‌گردد که در سال ۱۳۷۱، به ترتیب مساحت طبقه با پتانسیل فرسایش بسیار زیاد و زیاد، ۷۹/۸۱ و ۱۳۷/۳۷ کیلومتر مربع بوده است. در سال ۱۴۰۲ نیز به ترتیب؛ ۹۹/۶۱ و ۱۴۳/۰۸ کیلومتر مربع از سطح حوضه، دارای پتانسیل فرسایش بسیار زیاد و زیاد می‌باشد (جدول ۷).



شکل (۹): نقشه پهنه‌بندی فرسایش خاک سال ۱۴۰۲

Figure (9): Zoning map of soil erosion in 2023

شکل (۸): نقشه پهنه‌بندی فرسایش خاک سال ۱۳۷۱

Figure (8): Zoning map of soil erosion in 1992

جدول (۷): اطلاعات طبقات فرسایش خاک حوضه قلعه رودخان در سال‌های ۱۳۷۱ و ۱۴۰۲

Table (7): Information on soil erosion levels in Ghaleroodkhan basin in 1992 and 2023

بسیار کم	کم	متوسط	زیاد	بسیار زیاد	طبقه فرسایش	سال ۱۳۷۱
۵۲/۰۳	۵۵/۹۹	۱۱۷/۱۹	۱۳۷/۳۷	۷۹/۸۱	مساحت به کیلومتر مربع	
۱۱/۷۶	۱۲/۶۶	۲۶/۴۹	۳۱/۰۵	۱۸/۰۴	مساحت به درصد	
۵۱/۰۶	۴۹/۱۳	۹۹/۵۱	۱۴۳/۰۸	۹۹/۶۱	مساحت به کیلومتر مربع	سال ۱۴۰۲
۱۱/۵۴	۱۱/۱۱	۲۲/۴۹	۳۲/۳۴	۲۲/۵۲	مساحت به درصد	

با توجه به نتایج حاصله و مقدار مساحت طبقات فرسایش بسیار زیاد و زیاد، می‌توان بیان داشت، حوضه قلعه رودخان به لحاظ شرایط محیطی موجود در منطقه، اعم از وجود سازندهای حساس و فرسایش‌پذیر (مانند: رسوبات یا نهشته‌های دریایی جوان، آبرفت‌های تحکیم نشده دشت سیلابی و تراس‌های سطح بالا، رسوبات سیلابی و رودخانه‌ای، شیست سبز، شیست آملی بول بریده شده سیاه تا خاکستری تیره، شن‌های رودخانه‌ای جدید و ماسه خاکستری روشن با بستر ضخیم متاآرنیت (ماسه‌سنگ رسوبی)، رسوبات ضخیم تا متوسط از ماسه‌سنگ و رسوبات آواری، تناوب ماسه‌سنگ رسوبی خاکستری متوسط تا ضخیم - سیلتستون و شیل با اولیستولیت و بقایای گیاهی، فیلیت سبز زیتونی و میکاشیست و ماسه‌سنگ)، خاک‌های سست و آبرفتی، شیب زیاد، بارندگی مناسب (بارش بین ۷۳۰ تا ۱۶۷۰ میلی‌متر) و فراوانی شبکه آبراهه (رودخانه اصلی فوشه یا قلعه رودخان که از اتصال دو شاخه حیدرآلات و نظرآلات به وجود آمده، به همراه آبراهه‌های فرعی دیگری که بعد از عبور از جنگل‌های بکر فوشه به آن می‌پیوندند)، از نظر فرسایش‌پذیری از پتانسیل بسیار بالایی برخوردار است. به طوری که در طی پیمایش‌های میدانی به عمل آمده، انواع فرم‌های فرسایشی (ورقه‌ای یا سطحی، توده‌ای، شیاری، گالی، و کنار رودخانه‌ای)، در سطح حوضه مشاهده می‌گردد. در اطراف رودخانه‌های جاری در مراتع بالادست واقع در قسمت‌های شمالی و پرشیب حوضه و همچنین در کل مسیر رودخانه از دریالات تا خروجی (به ویژه در خرنش، ولی‌نایه، لیلیکی پردسر)، به استثنای قسمت‌هایی از مسیر رودخانه که دارای پوشش نسبتاً متراکم جنگل و ضریب زبری بالا هستند، فرسایش جانبی یا کناری رخ داده است. در جنگل‌های تخریب شده، اراضی زراعی موجود بر روی شیب‌های تند و دیم‌زارهای منطقه، فرسایش شیاری قابل مشاهده می‌باشد. علاوه بر این، اکثراً در مراتع واقع در مناطق مرتفع و پرشیب حوضه (مناطق با ارتفاع بالای ۱۷۰۰ متر و با شیب بیش از ۴۰ درصد)، نیز فرسایش شیاری دیده می‌شود. با توجه به وجود دام‌مازاد و چرای بیش از حد دام، در مراتع مناطقی همچون؛ انبون، سنگ‌بن، بیلاقات و مراتع فرسایش سطحی مشاهده می‌گردد. ولی به دلیل وجود پوشش گیاهی جنگلی، میزان و گستردگی فرسایش خندقی نسبت به فرسایش‌های شیاری و سطحی کمتر بوده و یخ بستن و ذوب متناوب برف، وجود سازندهای حساس و چرای مفرط را می‌توان از مهم‌ترین دلایل به وجود آمدن فرسایش خندقی در منطقه دانست. همچنین، در بخش‌های جنگلی و مرتعی حوضه (در مناطقی مانند؛ للکی پردسر، لیلی‌سرا و سفیدسنگ)، فرسایش توده‌ای دیده می‌شود (شکل ۱۰).



شکل (۱۰): نمایی از انواع فرسایش در سطح حوضه قلعه رودخان (الف، ب - هواز دگی و فرسایش ورقه‌ای یا سطحی، ج - هواز دگی و فرسایش توده‌ای، د - فرسایش شیاری، ه - فرسایش گالی، و - فرسایش کنار رودخانه‌ای)

Figure (10): A view of the types of erosion on the Ghaleroodkhan basin (a, b - sheet or surface erosion, c- mass erosion, d- furrow erosion, e- gully erosion, and f- riverside erosion)

به علاوه، نتایج مطالعه نشان می‌دهد، مساحت طبقات با پتانسیل فرسایش بسیار زیاد و زیاد در سال ۱۴۰۲، نسبت به سال ۱۳۷۱، افزایش یافته است. بنابراین، می‌توان اذعان داشت، علاوه بر وجود شرایط مستعد اقلیمی، زمین‌شناسی و فیزیوگرافی منطقه، به مرور زمان با فعالیت‌ها و اقدامات انسانی از جمله، تغییر کاربری اراضی و تخریب اراضی جنگلی، میزان فرسایش خاک در سطح حوضه افزایش یافته است و بخش اعظمی از افزایش وسعت پهنه‌های پرخطر را می‌توان با فعالیت‌های انسانی و به ویژه تغییرات کاربری و تخریب جنگل‌ها، در ارتباط دانست. با توجه به نتایج به‌دست آمده از نحوه تغییرات کاربری اراضی حوضه و مقایسه آن با نقشه‌های حاصل از پهنه‌بندی پتانسیل فرسایش خاک حوضه، می‌توان گفت که در سطح حوضه ما شاهد دست‌اندازی به عرصه‌های جنگلی به‌صورت کاربری کشاورزی و در پی آن ساخت و سازهای غیرمجاز می‌باشیم. با توجه به اینکه، بخش زیادی از اراضی حوضه قلعه‌رودخان، تحت کشت چای می‌باشد و در باغات چای عمدتاً کشت عمودی و در جهت شیب را شاهد هستیم، کاشت چای در زمین‌های شیب‌دار، به فرسایش و لغزش خاک، کاهش میزان تغذیه آب‌های زیرزمینی و بروز سیلاب‌های مخرب منجر خواهد شد و کیفیت پویای خاک را تحت تأثیر قرار می‌دهد. بدین‌صورت که با کشت در جهت شیب به‌تدریج، مواد مغذی درون خاک شسته شده و قدرت حاصل‌خیزی خاک پس از چند سال از دست‌رفته و احتمال فرسایش بیشتر می‌شود (شکل ۱۱). به علاوه، در سطح حوضه ما شاهد افزایش مراتع و تخریب پوشش جنگلی می‌باشیم و بررسی یافته‌های پژوهش، نشان می‌دهد که ۶ درصد از اراضی جنگلی حوضه در طی بازه زمانی مورد مطالعه، به مراتع تبدیل شده است. می‌توان گفت؛ به دنبال جنگل‌نشینی و نزدیکی مناطق روستایی به این مناطق، سراسر منطقه جنگلی به استثنای برخی مناطق پرشیب و مرتفع و دور دست، همواره در فصول مختلف محلّ تعلیف و سکونتگاه جنگل‌نشینان و دام آن‌ها است و لذا دام از طریق خوردن نهال‌ها و سرشاخه‌ها و حرکت بر روی زمین و فشردگی آن موجبات تخریب جنگل را فراهم می‌آورد. بنابراین، چرای بی‌رویه دام، عدم توجه به ظرفیت چرا و غفلت از اثرات چرای سنگین بر این اراضی، علاوه بر تخریب پوشش گیاهی منطقه، به‌طور ثانویه سبب تشدید سایر مخاطرات محیطی، به‌ویژه فرسایش می‌گردد. افزون‌براین، در سطح حوضه قلعه‌رودخان نیز مانند سایر پهنه‌های جنگلی ایران، قطع درختان جنگلی با هدف زغال‌گیری و فروش به کارخانجات ساخت محصولات چوبی، از جمله علل دستبرد و غارت رویشگاه‌های ارزشمند است که قطع هر کدام از این درخت‌ها می‌تواند، بروز بلایای طبیعی همچون فرسایش خاک، سیل و رانش در مناطق پایین دست و پیرامون جنگل‌ها را تشدید کند. حسنی‌مهر (۱۳۹۲)، نیز استفاده از جنگل به عنوان چراگاه و چرای بی‌رویه، قطع غیرمجاز درختان و بهره‌برداری سنتی را از مهم‌ترین علل تخریب جنگل‌های استان گیلان (از جمله محدوده مورد مطالعه در پژوهش حاضر)، معرفی کرده است.



شکل (۱۱): الف - تجاوز به حریم منابع طبیعی و کشاورزی توسط روستاییان در روستای حلاج محله؛ ب، ج، د - کشت عمودی به وسیله روستاییان به دنبال تخریب پهنه‌های جنگلی و ساخت وساز در کنار اراضی زراعی در لیلی سرای فوشه قلعه‌رودخان؛ ه - تخریب اراضی جنگلی و ساخت وساز در مجاورت زمین‌های زراعی در شاوین فوشه قلعه‌رودخان؛ و - زمین‌لغزش در اثر تغییر کاربری جنگل شاوین فوشه قلعه‌رودخان؛ ز، ح، ط - فرسایش خاک، بروز سیلاب‌های مخرب، ایجاد جریان گل‌ولای به دنبال تخریب پوشش گیاهی و رسوب‌گذاری در بخش پایین دست قلعه‌رودخان

Figure (11): A - encroachment on the privacy of natural and agricultural resources by the villagers in the village of Halaj Mahalle; b, c, d - vertical cultivation by villagers following the destruction of forest areas and construction next to agricultural lands in Lailisaray Fosheh, Ghaleroodkhan; E- Demolition of forest lands and construction in the vicinity of agricultural lands in Shavizen Fosheh of Ghaleroodkhan; f- Landslide due to the change of use of the forest of Shavizen Foshe Ghaleroodkhan; G, H, I- Soil erosion, occurrence of destructive floods, creation of mud flow following the destruction of vegetation and sedimentation in the downstream part of Ghaleroodkhan basin

علاوه بر تبدیل اراضی جنگلی به مراتع و اراضی زراعی، مهم‌ترین تغییر کاربری اراضی رخ داده در حوضه، تبدیل اراضی زراعی و جنگلی به کاربری مسکونی و رشد شتابان ساخت‌وسازهای بشری می‌باشد (براساس یافته‌های پژوهش ۴ کیلومترمربع از پهنه‌های جنگلی و ۳۳ کیلومترمربع از اراضی کشاورزی، به مناطق مسکونی تبدیل شده است). به‌طور کلی، پوشش گیاهی طبیعی، با نگهداشت قطرات باران به کاهش انرژی جنبشی باران، افزایش پایداری خاک و محافظت در برابر فرسایش، منجر می‌شود. ولی، با تغییر کاربری جنگلی و کاهش تراکم پوشش گیاهی، چنین مکانیسمی از بین می‌رود و لذا پتانسیل فرسایش‌پذیری خاک افزایش می‌یابد. افزون بر این، با نظر به اینکه پوشش جنگلی نقش مهمی را در بخشی از چرخه هیدرولوژیک از طریق جذب بارش‌ها، توزیع زمانی آن‌ها، کاهش سرعت برخورد قطرات باران، افزایش نفوذپذیری و کاهش رواناب ایفا می‌کند. مسلماً با کاهش سطح پوشش جنگلی، پتانسیل وقوع سیلاب نیز افزایش می‌یابد. با عنایت به اینکه در سطح حوضه، نرخ تبدیل کاربری زراعی به مناطق مسکونی و هجوم مردم برای احداث خانه‌های جنگلی در عرصه جنگل نسبتاً بالا بوده، در درجه اول، افزایش شدید رشد جمعیت و نیاز آن‌ها برای مسکن و عوامل اقتصادی را بایستی دلیل اصلی تخریب اراضی جنگلی و تبدیل به نقاط مسکونی دانست. به‌ویژه، شهرها با توسعه فیزیکی خود از عوامل اصلی تغییر کاربری و تغییر پوشش اراضی در حوضه بوده و رشد شهری منجر به مشکلاتی مانند؛ تخریب اراضی جنگلی و کاهش کیفیت محیط‌زیست شده است. به‌علاوه، همانطور که بادآهنگ گله‌بچه و همکاران (۱۴۰۰)، نیز بدان اشاره داشته‌اند، توسعه گردشگری نیز به تغییر کاربری اراضی به‌طورعام و تغییر کاربری اراضی جنگلی به‌طورخاص می‌انجامد. حسام و اروجی (۱۳۹۸)، نیز بیان داشته‌اند، بر اساس نظر کارشناسان منطقه

قلعه رودخان استان گیلان از نظر سطح جذابیت مّلی، در سطح بالایی قرار دارند. لذا، کاهش وسعت اراضی جنگلی و بخشی از رشد تقریباً دو برابری مناطق مسکونی شهری و روستایی حوضه در طی سال‌های مورد مطالعه را باید نتیجه توسعه ناپایدار گردشگری دانست. بنابراین، ساخت‌وسازهای غیرمجاز در حریم شهرها و روستاهای حوضه از جمله پدیده‌هایی است که به وفور در منطقه پدیدار گشته و در زمان حاضر بر شدت آن افزوده شده است و بدان جهت که ویلاسازی‌های انجام شده در سطح حوضه، در اکثر مواقع بر اساس استانداردهای زیست‌محیطی نبوده و به صورت بی‌رویه در حریم رودخانه و جنگل‌ها انجام شده، اثرات مخربی نظیر تخریب سیمای کالبدی اراضی به دنبال داشته است.

به‌علاوه؛ از مهم‌ترین اقدامات عمرانی در اکوسیستم‌های جنگلی، جاده‌سازی می‌باشد. احداث جاده در مناطق جنگلی به دلیل وضعیت زمین‌شناسی، ویژگی‌های خاک، رطوبت، بارندگی زیاد، نفوذپذیری و حساسیت به حرکت‌های توده‌ای مشکل‌ساز بوده و می‌تواند به برهم خوردگی تعادل پایدار در نظام دست‌نخورده طبیعت منجر شود. به دنبال افزایش نقاط مسکونی در سطح حوضه و ضرورت دسترسی به راه‌های ارتباطی، در جریان احداث جاده سطح وسیعی از عرصه جنگل‌ها و مراتع در طول و حاشیه مسیر آن تخریب شده است. به دنبال تخریب پوشش گیاهی، ظرفیت جذب آب در خاک کاهش یافته؛ در نتیجه اغلب بارش، به سرعت به شکل رواناب سطحی در روی ترانشه حرکت کرده و باعث ایجاد انواع فرسایش از جمله فرسایش شیاری و توده‌ای می‌شود. مقایسه نقشه فاصله از راه ارتباطی با نقشه خطر فرسایش حوضه نیز مؤید این امر می‌باشد که مناطق با پتانسیل فرسایش زیاد در فواصل نزدیک به جاده (از صفر تا حداکثر ۱۰۰۰ متری)، قرار دارند. نقره عزیزاده‌دروبی و همکاران (۱۳۹۹)، نیز در پژوهشی که به منظور اولویت‌بندی عوامل تخریب جنگل‌های غرب گیلان (از جمله شهرستان فومن)، انجام داده‌اند، به این نتیجه دست یافته‌اند که از بین عوامل بررسی شده فاصله از مناطق مسکونی و راه ارتباطی بیشترین همبستگی را با سطح تخریب جنگل‌ها داشته است. نمونه تصاویری از ویلاسازی، ساخت‌وساز بی‌رویه و از بین بردن پاشنه دامنه در اثر احداث راه ارتباطی در سطح حوضه قلعه‌رودخان، در شکل ۱۲، نمایش داده شده است.



شکل (۱۲): نمونه تصاویری از تغییر کاربری اراضی، ساخت‌وساز بی‌رویه و ویلاسازی، گسترش مناطق مسکونی و خطر زمین‌لغزش و فرسایش به دلیل زیربری و از بین بردن پاشنه دامنه در اثر فعالیت‌های جاده‌سازی در سطح حوضه قلعه رودخان

Figure (12): Examples of images of land use change, indiscriminate construction and villa construction, expansion of residential areas, and the risk of landslides and erosion due to undercutting and destruction of the heel of the slope due to road construction activities at the level of the Ghaleroodkhan basin

نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر با هدف بررسی تأثیرات تغییر کاربری بر فرسایش‌پذیری خاک در حوضه قلعه رودخان شهرستان فومن، با استفاده از تکنیک‌های دورسنجی و تحلیل چندمعیاره مارکوس، برای دو دوره زمانی ۱۳۷۱ و ۱۴۰۲، انجام شده است. با نظر به نتایج حاصله؛

پوشش جنگلی منطقه مورد مطالعه تغییرات کاهشی حدود ۱۷۰۰ هکتاری را در مساحت خود تجربه نموده است. همچنین کاربری مسکونی با افزایش ۲۷/۱۷ کیلومترمربعی، بیشترین تغییر را در طول بازه زمانی ۳۰ ساله مورد مطالعه داشته است. حسنی‌مهر (۱۳۹۲)، نقره عبداللهی و نصیری (۱۳۹۹) و علیزاده‌دروبی و همکاران (۱۳۹۹)، کاهش مساحت پوشش جنگلی و افزایش مناطق مسکونی استان گیلان (از جمله شهرستان فومن که حوضه قلعه‌رودخان در آن جای دارد)، را در مطالعات خود تأیید کرده‌اند. در حوضه قلعه‌رودخان به طور واضحی می‌توان اثرات دخالت و دستکاری انسان در محیط طبیعی را مشاهده کرد که این فعالیت‌ها به طور عمده‌ای در جهت تخریب و آسیب‌زدن به محیط در حال پیشرفت هستند. مهم‌ترین تغییر کاربری اراضی انجام شده در حوضه، تخریب جنگل‌ها و تبدیل آن‌ها به اراضی کشاورزی، مراتع و سکونتگاه‌ها، همچنین تبدیل اراضی کشاورزی به مناطق مسکونی بوده است و این نحوه تغییر و تبدیل کاربری اراضی، در کنار سایر عوامل طبیعی محدوده، از قبیل؛ پراکنش سازنده‌های سست و فرسایش‌پذیر، شیب زیاد، بارندگی مناسب و فراوانی شبکه آبراهه، در افزایش پتانسیل فرسایش خاک حوضه قلعه رودخان بیشترین نقش را داشته است. به طوری که با توجه به نقشه پهنه‌بندی فرسایش حاصل از به کارگیری روش مارکوس به ترتیب؛ مساحت طبقه با پتانسیل فرسایش بسیار زیاد و زیاد از ۱۸/۰۴ و ۳۱/۰۵ درصد در سال ۱۳۷۱، به ۲۲/۵۲ و ۳۲/۳۴ درصد در سال ۱۴۰۲، افزایش پیدا کرده است.

با توجه به شدت تخریب در منطقه مورد مطالعه هر چه زودتر بایستی اقدامات مدیریتی در جهت جلوگیری و کاهش خسارات بیشتر به جنگل‌های منطقه، همچنین کاهش فرسایش انجام شود. از زمره اقدامات لازم می‌توان به شناسنامه‌دار کردن و تعیین دقیق حدود کاربری حفاظتی اراضی جنگلی، تمرکز مدیریت منابع جنگل و جنگلداری در مناطق پرجمعیت اطراف روستاها و مشارکت روستاییان در طرح‌های حفاظت و احیاء جنگل، جلوگیری از گسترش غیراصولی روستاها و ممانعت قضایی از تجاوز به حریم منابع طبیعی در کاهش سطوح تخریب در جنگل‌ها، تشدید مجازات متجاوزین بر عرصه‌های منابع طبیعی و افراد و ارگان‌هایی که مبادرت به تخریب جنگل‌ها می‌کنند، کنترل چرای دام‌ها در جنگل‌ها از طریق کمک به تأمین نیازمندی‌های اولیه دامداران (نظیر تأمین علوفه) و تشویق آن‌ها به دامداری ساکن و کشت علوفه اشاره داشت. همچنین، بایستی در نظر داشت، تغییر کاربری جنگل‌ها به مناطق تفریحی و گردشگری و گسیل گردشگران به این مناطق به همان اندازه که قطع درختان به جنگل‌ها آسیب می‌رساند، خطرناک است. نباید با اجرای طرح‌های گردشگری در طبیعت و جنگل مخالفت کرد، ولی توسعه گردشگری باید به نحوی انجام پذیرد که جنگل نیز، حفظ گردد. در نهایت بایستی اذعان داشت که 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 وضعیت تغییر کاربری اراضی، تخریب جنگل‌های منطقه و پتانسیل فرسایش حوضه، می‌باشد که می‌تواند در مدیریت و بهبود وضعیت جنگل‌های منطقه و اعمال اقدامات کنترلی و مدیریتی در راستای کاهش فرسایش در پهنه‌های با پتانسیل فرسایش‌پذیری زیاد، اثرگذار باشد.

منابع

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. (In Persian).

Abdullahi, S., & Nasiri, V. (2020). Detection and prediction of forest level changes in Guilan province using satellite images and geomod model, *Journal of Environmental Research and Technology*, 5 (7), 141-151. (In Persian).

Aher, P., Adinarayana, J., & Gorantiwar, SD. (2013). Prioritization of watersheds using multi-criteria evaluation through the fuzzy analytical hierarchy process. *Agric Eng Int CIGR J*, 15(1), 11-1.

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.

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, 138776, 1-28.

- Asghari, S., & Naseri, A. (2020). Extraction of the land use map of Sosangard city using pixel-based and object-oriented algorithms, *Geographical space*, 20(69), 77-95. (In Persian).
- Asghari Saraskanrood, S., & Babaei, T. (2024). Evaluation and investigation of the impact of land use changes in a period of twenty years on the amount of soil erosion in the Shafaroud Basin using the RUSLE model. *Journal of Environmental Science Studies*, 9(2), 8530-8516. (In Persian).
- Badahang Galleh-Bacheh, A., Abedi Sarvestani, A., & Mahboobi, M. R. (2021). The View of Forest Margin Villagers towards the Environment and its Relation to Forests Condition a Case Study of Golestan Province. *Geography and Environmental Planning*, 32(2), 67-82. (In Persian).
- Bezbradica, L., Josimović, B., & Milijić, S. (2023). Impact of Repurposing Forest Land on Erosion and Sediment Production—Case Study: Krupanj Municipality—Serbia. *Forests*, 14(6), 1127, 1-15.
- 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.
- Esmaeelpour, M., lalehpour, M., & Mamaghani, S. (2023). The seismic vulnerability assessment of Housing of Tabriz (Case Study: District 10). *Journal of Geography and Planning*, 26(82), 48-27. (In Persian).
- Feizizadeh, B., Jafari, F., & Nazmfar, H. (2008). The application of remote sensing data in detecting changes in urban land use (a case study of the green space of Tabriz city), *Fine Arts*, 34, 17-24. (In Persian).
- Feizizadeh, B., KHedmat Zadeh, A., & Nikjoo, MR. (2018). Micro-classification of orchards and agricultural croplands by applying object based image analysis and fuzzy algorithms for estimating the area under cultivation. *Applied Research of Geographical Sciences*; 18 (48), 201-216. (In Persian).
- Feizizadeh, B., Pirnazar, M., Zand karimi, A., & Abedi Gheshlaghi, H. (2015). Assessing the Use of fuzzy Algorithms in increasing the Accuracy of Land Use Maps by object-oriented Processing Methods. *Scientific- Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR)*, 24(94), 107-117. (In Persian)
- Hasanimehr, S. (2013). Recognizing the Usage of Guilan Forests Potential based on Development Attitude Approach. *Human Geography Research*, 45(1), 185-198. (In Persian).
- Hasanzadeh, R., Esfandyari, F., Asghari saraskanrood, S., & Miri, Z. (2022). Evaluation of the results of land use changes on the discharge of Darre Rood river in a period of 30 years using the SWAT model. *Hydrogeomorphology*, 9(31), 69-51. (In Persian).
- Hesam, M., & Oroji, H. (2020). Identification and Evaluation of ecotourism destinations in Guilan Province. *Journal of Tourism Planning and Development*, 8(31), 97-114. (In Persian).
- Hoseini, H. (2019). Use fuzzy interface systems to optimize land suitability evaluation for surface and trickle irrigation, *Information Processing in Agriculture*, 6 (1), 11-19.
- Jafareiyani, N., & Karami, O. (2022). Evaluating the Rate of Natural Land Degradation Based on Land Use Change in Zagros Forests. *Integrated Watershed Management*, 1(2), 47-61. (In Persian).
- Jafarzadeh Ghoushchi, S., Shaffiee Haghshenas, S., Memarpour Ghiaci, A., Guido, G., & Vitale, A. (2023). Road safety assessment and risks prioritization using an integrated SWARA and MARCOS approach under spherical fuzzy environment. *Neural Comput & Applic*, 35, 4549–4567.
- Jalayer, S., Sharifi, A., Abbasi-moghadam, D., Tariq, A., & Qin, S. (2022). Modeling and Predicting Land Use Land Cover Spatiotemporal Changes: A Case Study. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 15, 5496–5513.
- Kenneth M, & Gunter, M. (2012). Monitoring Land-Use Change in Nakuru Kenya Using Multi-Sensor Satellite Data, *advance remote sensing*, 1, 74-78.
- Kidane, M., Bezie, A., Kesete, N., & Tolessa, T. (2019). The impact of land use and Oland cover (LULC) dynamics on soil erosion and sediment yield in Ethiopia, *Heliyon*, 5 (12), 1-13.

- 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.
- 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.
- 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. (In Persian).
- 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.
- Masselink, R., Temme, A.J.A.M., Giménez, R., Casali, J., & Keesstra, S.D. (2017). Assessing hillslope-channel connectivity in an agricultural catchment using rare-earth oxide tracers and random forests models. *Cuadernos de Investigación Geográfica*.43 (1), 19-39.
- McGarigal, K., Compton, B.W., Plunkett, E.B., DeLuca, W. V., Grand, J., Ene, E., & Jackson, S.D. (2019). A landscape index of ecological integrity to inform landscape conservation. *Landscape Ecology*, 33(1), 1029-1048.
- Nogreh Alizadeh Daroui, B., Qodskhah Daryai, M., Heydari Safari Kochi, A. (2019). Prioritization of forest destruction factors in west Gilan in a 24-year period with remote sensing technique, *Natural Geography*, 13(49), 23-34. (In Persian).
- 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 and Engineering*; 14 (49) :70-82. (In Persian).
- Piroozi, E., & Madadi, A. (2023). Zoning of soil erosion potential using MABAC method, Case study: Givi Chay watershed. *Hydrogeomorphology*, 10(36), 93-73. (In Persian).
- 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. (In Persian).
- Shataee, Sh., & Abdi, O. (2007). Land Cover Mapping in Mountainous Lands of Zagros Using ETM⁺ Data (Case Study: Sorkhab Watershed, Lorestan Province), *J., Agri. Sci. Natural Resources*, 14 (1), 129-139.
- Stevic', Z., Pamučar, D., Puška, A., & Chatterjee, P. (2020). Sustainable supplier selection in healthcare industries using a new MCDM method: Measurement of alternatives and ranking according to Compromise solution (MARCOS), *Comput Ind Eng*, 140, 10623, 1-29.
- 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. *Geocology of Landscape Dynamics, Advances in Geographical and Environmental Sciences*, Springer, Singapore, 37-51.
- Valizadeh Kamran, K., Sadeghi, M., & Hejazi, A. (2023). Modeling the cover change forest of Fandoqlu using CA Markov chain GEOMOD model, *Scientific- Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR)*, 32(125), 179-192. (In Persian).
- Varasteh Khanlari, Z., Golchin, A., Musavi Kubar, S. A., & Alamdari, P. (2019). The changing the biological properties of a forest soil after converting to the paddy field and determining the most sensitive properties to land use change, *Journal of Water and Soil Conservation*, 26(4), 269-282. (In Persian).
- Wessels, K.J., Prince, S.D., Frost, P.E., & Van Z. D. (2004). Assessing the effects of human induced land degradation in the former homelands of northern South Africa with a 1 km AVHRR NDVI time-series, *Journal of Remote Sensing Environment*, 9 (1), 47-67

Yarahmadi, J., Rostamizad, Q., & Sa'i, H. (2018). Detecting changes in forest cover by object-oriented method using satellite images in Ilganechai watershed of Arsbaran forests, sustainable management of Hyrkani forests, 1 (2), 59-79. (In Persian).

Zhu, H., & Liu F. (2021). A group-decision-making framework for evaluating urban flood resilience: a case study in yangtze river, Sustain.13(2), 1–16.