

Analyzing and predicting the trend of land cover degradation and determining the changes in landscape metrics using remote sensing

Ali Azareh¹ , Elham Rafiei Sardooi^{2*} , Fahime Mircholi³ 

¹ Associated Professor, Department of Geography, Faculty of Literature and Humanities, University of Jiroft, Jiroft, Iran

² Associated Professor, Department of Ecological Engineering, Faculty of Natural Resources, University of Jiroft, Jiroft, Iran

³ Expert, Watershed Management Department, Sari University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Sari, Iran

Abstract

Introduction

Human-induced land use changes have widespread effects on the landscape. Examining and quantifying these changes can be beneficial in planning and sustainable land management. Landscape metrics are tools for measuring and describing the underlying spatiotemporal patterns and structures statistically in any landscape. These metrics can be used as a basis for comparing different scenarios of landscape or recognizing changes and developments in landscape over time. The use of landscape metrics, while saving time, makes it possible to assess the environmental impact of human activities in the shortest time. Also, detecting and predicting land use changes provide beneficial information about the trend of land development and degradation. Halilroud watershed is one of the important parts of the Jazmurian watershed located in the southeast of Iran, which is one of the most important agricultural hubs in Iran. Therefore, the purpose of this research is to investigate land use changes in the past and to predict land use in the future using remote sensing and land change modeler (LCM) and quantitative analysis of these changes based on landscape metrics in Halilrud Watershed.

Materials and Methods

The data of the Landsat 5 thematic mapper (TM) sensor (1991), enhanced thematic mapper plus (ETM+) sensor (2002), and Landsat 8 operational land imager (OLI) sensor (2019) were used to evaluate the trend of the land use and land cover (LULC) changes in Halilrud Watershed. The land use maps were classified into seven land uses including dam lake, residential lands, agricultural lands, rock, orchards, rangelands, and bare lands. The classification was done based on the maximum likelihood method. Then, the land use map of 2040 was simulated using a land change modeler and artificial neural network. Finally, landscape metrics were calculated at both landscape and class levels using Fragstats 4.2 to quantify structural changes. The metrics used at the class level include class area (CA), largest patch index (LPI), percentage of lands (PLAND), and number of patches (NP). cohesion index (COHESION), Shannon's diversity index (SHDI), Simpson diversity index (SIDI), interspersion juxtaposition index (IJI), and patch density (PD) are used for quantifying changes at the landscape level.

Results and Discussion

The results showed that from 1991 to 2019, and the future period (2040), the landscape of the studied area changed in terms of structure and composition. A significant increase in the area of agricultural, barren, and residential lands and a decrease in the rangelands are evident in this Watershed. Shannon's and Simpson's diversity indices show an increase in 2019 and 2040 compared to 1991, showing that the study area has become more fragmented and heterogeneous under exploitation and human activities. In addition, the value of the patch density has increased during the study period, which indicates the division of the landscape into smaller parts. The IJI also increased from 1991 to 2040, which indicates landscape diversity in the study area. The value of the contagion has decreased in the study period, which indicates that the patches have been spatially separated from each other. The results of the metrics at the class level are in line with the results of the metrics at the level of the landscape. In general, the analysis of landscape metrics has shown the extensive replacement of average rangelands by agricultural, residential lands, orchards, and bare lands. According to PLAND and CA metrics, the patches of agriculture, residential land, orchard, and bare land have increased and the patches of rangeland and dam lake have decreased

during the study periods. The results obtained from the application of the metrics used in the research show the effectiveness of the metrics of the percentage of lands (PLAND), class area (CA), largest patch index (LPI), and patch number (NP) in examining and analyzing the changes. According to the results of the analysis of this metric at the level of the agricultural land class, the LPI metric was initially at the lowest level, and then with the increase of agricultural land, its values increased from 0.86% to 2.26% during 1991 to 2019 and will increase in the next period (2040) and will reach to 3.8%. Also, the rangeland class has faced an increase in the patch number during 1991-2040, and this indicates that the existing patches have fragmented and lost their integrity over time.

Conclusion

One of the limitations and challenges of the research is the lack of access to socio-economic and soil science data as one of the factors affecting land use changes. Therefore, it is suggested to investigate the role of other variables affecting land use changes such as soil types and socio-economic information to improve the performance of the model and prepare a more accurate prediction map. Regarding the uncontrolled growth of residential and agricultural lands in recent years, to prevent more degradation and also to preserve rangelands, it is suggested to accomplish land use planning based on the concepts of landscape. The change in the landscape structure has occurred in land use types with different degrees, and quantifying these changes using landscape metrics is one of the issues that can help to analyze the pattern of spatial changes. According to the high ability of landscape metrics to quantify the landscape pattern, the results of these studies can be used in the planning and integrated landscape planning.

Keywords: Ecosystem degradation, Halilrud, Land use change, Land change modeler, Landscape fragmentation

Article Type: Research Article

Acknowledgment

We are grateful to the Natural Resources and Watershed Management Department of South Kerman.

Conflicts of interest

The authors of this article declared no conflict of interest regarding the authorship or publication of this paper.

Data availability statement

The datasets are available upon a reasonable request to the corresponding author.

Authors' contribution

Ali Azareh: Writing-original draft preparation; **Elham Rafiei Sardooi:** Methodology, writing, software; **Fahime Mircholi:** Conceptualization, writing, manuscript editing, methodology and investigation.

*Corresponding Author, E-mail: ellrafiei@ujiroft.ac.ir

Citation: Azareh, A., Rafiei Sardooi, E., & Mircholi, F. (2024). Analyzing and predicting the trend of land cover degradation and determining the changes in landscape metrics using remote sensing. *Water and Soil Management and Modelling*, 4(4), 15-32.

DOI: 10.22098/mmws.2023.13021.1295

Received:28 May 2023, Received in revised form: 09 June 2023, Accepted:09 June 2023, Published online: 09 June 2023

Water and Soil Management and Modeling, Year 2024, Vol. 4, No. 4, pp. 15-32

Publisher: University of Mohaghegh Ardabili

© Author(s)





تحلیل و پیش‌بینی روند تخریب پوشش زمین و تعیین تغییرات سنجه‌های سیمای سرزمین با استفاده از سنجش از دور

علی آذره^۱، الهام رفیعی ساردوئی^{۲*}، فهیمه میرچولی^۳

^۱دانشیار، گروه جغرافیا، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه جیرفت، جیرفت، ایران

^۲دانشیار، گروه مهندسی طبیعت، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه جیرفت، جیرفت، ایران

^۳کارشناس، گروه آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران

چکیده

تغییرات کاربری اراضی ناشی از فعالیت‌های انسانی، اثرات گسترده‌ای بر سیمای سرزمین دارد. بررسی و کمی‌سازی این تغییرات می‌تواند در برنامه‌ریزی و مدیریت پایدار سرزمین ضروری باشد. هدف این پژوهش، بررسی تغییرات کاربری اراضی در گذشته و پیش‌بینی کاربری اراضی در آینده با استفاده از سنجش از دور و مدل‌سازی تغییر زمین (LCM) و تحلیل کمی این تغییرات بر اساس سنجه‌های سیمای سرزمین در حوزه آبخیز هلیل‌رود است. برای این منظور نقشه‌های کاربری اراضی ۱۳۷۰، ۱۳۸۱، ۱۳۹۸ با استفاده از سنجش از دور ماهواره‌ای شناسایی و نقشه کاربری اراضی ۱۴۱۹ با استفاده از مدل‌سازی تغییر زمین و شبکه عصبی مصنوعی شبیه‌سازی شد. سپس سنجه‌های سیمای سرزمین در دو سطح سیمای سرزمین و سطح کلاس جهت کمی‌سازی تغییرات ساختاری محاسبه شد. نتایج نشان داد که در طول دوره ۱۳۷۰ تا ۱۳۹۸، و دوره آتی سیمای سرزمین منطقه مورد مطالعه تحولاتی در ساختار و ترکیب داشته و خواهد داشت. افزایش قابل توجه زمین‌های زراعی، بایر و مسکونی و کاهش سطح مراتع در این حوزه آبخیز مشهود است. شاخص تنوع شانون و شاخص یکنواختی شانون در سال ۱۳۹۸ و ۱۴۱۹ مقایسه با ۱۳۷۰ افزایش یافته و نشان می‌دهد منطقه مورد مطالعه تحت تأثیر بهره‌برداری و فعالیت‌های انسانی، تکه‌تکه‌تر و ناهمگون‌تر شده است. به علاوه، مقدار شاخص تراکم لکه در طی دوره زمانی افزایش یافته که بیان‌گر تقسیم سیمای سرزمین به قطعات کوچک‌تر است. مقدار شاخص پیوستگی در بازه زمانی مطالعاتی کم‌تر شده است که نشان‌دهنده آن است که توزیع مکانی لکه‌ها یک دیگر جدا و تفکیک شده است. نتایج به دست آمده در سطح کلاس برای اراضی مرتعی به‌عنوان کاربری غالب منطقه، نشان داد که تعداد لکه‌ها در سال ۱۳۹۸ و ۱۴۱۹ به‌میزان ۲۶۴ و ۶۰۳ لکه نسبت به سال ۱۳۷۰ افزایش یافته و خواهد یافت. سنجه‌های اندازه لکه، میانگین و درصد مساحت، به ترتیب به‌میزان ۱۳، ۹ و ۱۰ درصد در سال ۱۴۱۹ نسبت به ۱۳۷۰ کاهش خواهد یافت. این امر نشان‌دهنده این است که روند تخریب و تحلیل سیمای سرزمین به‌ویژه اراضی مرتعی، در منطقه به‌صورت افزایشی بوده و خواهد بود. تخریب مراتع در راستای تبدیل این اراضی به اراضی کشاورزی، باغی، بایر و مسکونی بوده است. از این‌رو، جلوگیری از تغییر کاربری غیرمجاز اراضی مرتعی به کشاورزی و سایر کاربری‌ها پیشنهاد می‌شود.

واژه‌های کلیدی: تغییر کاربری اراضی، تخریب بوم‌سازگارن، گسستگی سیمای سرزمین، مدل‌سازی تغییر زمین، هلیل‌رود

نوع مقاله: پژوهشی

*مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: ellrafiei@ujiroft.ac.ir

استناد: آذره، علی، رفیعی ساردوئی، الهام، و میرچولی، فهیمه (۱۴۰۳). تحلیل و پیش‌بینی روند تخریب پوشش زمین و تعیین تغییرات سنجه‌های سیمای سرزمین با استفاده از سنجش از دور. *مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک*، ۴(۴)، ۱۵-۳۲.

DOI: 10.22098/mmws.2023.13021.1295

تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۰۳/۰۷، تاریخ بازنگری: ۱۴۰۲/۰۳/۱۹، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۳/۱۹، تاریخ انتشار: ۱۴۰۲/۰۳/۱۹

مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک، سال ۱۴۰۳، دوره ۴، شماره ۴، صفحه ۱۵ تا ۳۲

© نویسندگان

ناشر: دانشگاه محقق اردبیلی



۱- مقدمه

تغییر کاربری و پوشش اراضی به‌عنوان روندی برگشت‌ناپذیر، یکی از تغییرات مهم سطح سیمای سرزمین و محیط زیست بوده و بزرگ‌ترین تهدید برای بوم‌سازگان‌های طبیعی به‌شمار می‌آید (Nazari et al., 2022; Dehghani et al., 2023). اگرچه اطلاعات کاربری و پوشش زمین برای ارزیابی سیمای سرزمین و تدوین برنامه‌های مدیریتی حیاتی است، اما اطلاعات صحیحی از ترکیب، الگو و پیکربندی عناصر سیمای سرزمین یا همان آرایش مکانی عناصر مختلف در اندازه‌ها و اشکال متفاوت، ارائه نمی‌کند (Dadashpoor et al., 2019). این در حالی است که تغییر در الگوی سیمای سرزمین در مقیاس منطقه‌ای به‌طور مستقیم توزیع مکانی خدمات بوم‌سازگان و به‌طور غیرمستقیم فرآیندهای بوم‌شناختی در سیمای سرزمین را تحت تأثیر قرار می‌دهد (Hao et al., 2017). بنابراین، سنجش‌های سیمای سرزمین به‌عنوان ابزاری مؤثر برای ارزیابی پیامدهای بوم‌شناختی تغییر کاربری اراضی و توسعه اراضی انسان‌ساخت و نیز ارزیابی کمی ساختار و الگوی سیماهای مختلف سرزمین مطرح است (Akin and Erdoğlan, 2020). در همین راستا، سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS) و سنجش از دور (RS) به ارزیابی تغییرات کاربری اراضی و الگوی سیمای سرزمین کمک می‌کند. داده‌های سنجش از دور، تحلیل چندزمانی مناطق را به‌منظور آشکارسازی روند تغییرات تاریخی سیمای سرزمین و کمی کردن روابط پیچیده امکان‌پذیر می‌کنند (Akin and Erdoğlan, 2020; Amiri and Nateghi, 2023). در همین راستا، سنجش‌های سیمای سرزمین در ترکیب با به‌کارگیری GIS و RS از جمله ابزارهایی هستند که به‌طور گسترده برای تحلیل (Wu et al., 2017)، پایش و برنامه‌ریزی الگوهای سیمای سرزمین استفاده می‌شود (Peng et al. 2010). این معیارها اغلب برای تشخیص و اندازه‌گیری تغییرات مکانی در ترکیب و پیکربندی سیمای سرزمین استفاده می‌شوند. پژوهش‌گران مختلفی با بهره‌گیری از GIS و سنجش‌های سیمای سرزمین به ارزیابی سیماهای سرزمین و عوامل مؤثر بر آن پرداخته‌اند (Shooshtari et al., 2019; Arora et al., 2021).

در ایالات متحده آمریکا (Liu and Weng (2013) به ارزیابی اثربخشی سنجش‌های سیمای سرزمین در کمی‌سازی تغییرات کاربری زمین و پوشش اراضی (LULC) ناشی از شهرنشینی در شهر ایندیاناپولیس پرداختند. آن‌ها از تصاویر استر و لندست استفاده کرده و به این نتیجه رسیدند که سنجش‌های سیمای سرزمین به‌عنوان ابزاری مؤثر در ارزیابی تغییرات کاربری اراضی عمل می‌کند. در ادامه، (Da Silva et al. (2015) از سنجش‌های سیمای

سرزمین برای کمی‌سازی پیکربندی مکانی میکرو توپوگرافی سطح و ویژگی‌های مرتبط با فرسایش خاک استفاده کردند. آن‌ها به این نتیجه رسیدند که سنجش‌های انتخابی به تغییرات سطح خاک به‌خصوص بعد از اولین واقعه بارش، حساس هستند. در پژوهشی، (Arekhi (2015) روند تغییرات سیمای سرزمین در منطقه دهلران استان ایلام را بررسی کردند. در پژوهش آن‌ها برای تهیه نقشه‌های پوشش سرزمین و تحلیل تغییرات، به‌ترتیب از تصاویر ماهواره‌ای TM سال ۱۳۶۴، ETM+ سال ۱۳۸۶، سنجش‌های مساحت طبقه، تراکم لکه، تعداد لکه، متوسط اندازه لکه، تراکم حاشیه و متوسط شاخص شکل استفاده شد. تحلیل سنجش‌های سیمای سرزمین بیان گر جای‌گزینی گسترده اراضی مرتعی متوسط توسط اراضی کشاورزی، مرتعی فقیر، مسکونی و بایر بوده و روند تخریب و تحلیل سیمای سرزمین در این منطقه به‌صورت افزایشی بوده است. در پژوهش دیگری، (Zabihi et al. (2020) نقشه کاربری اراضی و محاسبه سنجش‌های سیمای سرزمین در حوزه آبخیز تالار واقع در شمال ایران را ارزیابی و پیش‌بینی کردند. نتایج آن‌ها نشان داد که در دوره مطالعاتی ۲۰۱۴-۱۹۸۹ سطح اراضی کشاورزی و مسکونی افزایش یافته و اراضی جنگلی و مراتع کاهش یافته است. به‌علاوه، سنجش‌های انتخابی محاسبه شده برای سال ۲۰۳۰ حدود ۰/۶۱ درصد سال ۲۰۱۴ به‌دست آمده است. همچنین، (Mirsanjari and Mohammadyari (2022) کاربری سرزمین در شهرستان بهبهان با رویکرد اکولوژی سیمای سرزمین را مورد ارزیابی قرار دادند. آن‌ها نقشه‌های پوشش سرزمین و سنجش‌های سیمای سرزمین را در دو سطح کلاس و سیما، در بین سال‌های ۱۳۷۸ و ۱۳۹۲ استخراج کردند. نتایج پژوهش آن‌ها حاکی از افزایش مساحت در کاربری‌های مسکونی، اراضی کشاورزی و مناطق آبی و اُفت شدید در مراتع و جنگل‌های شهرستان است. در نهایت، (Mejia Ávila et al. (2023) به مدل‌سازی تغییرات مکانی-زمانی تالاب آیپل در آمریکای جنوبی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای، شاخص‌های پوشش گیاهی و سنجش‌های سیمای سرزمین پرداختند. نتایج حاکی از سیر قهقرایی تالاب بوده است؛ به‌طوری‌که ۲۹ درصد پهنه آبی تالاب کاهش یافته است.

با بررسی پژوهش‌های گذشته می‌توان گفت که پژوهش‌های زیادی در زمینه پایش و آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از سنجش از دور و بررسی تغییرات با استفاده از سنجش‌های سیمای سرزمین انجام شده، اما مطالعات کمی به ارزیابی سنجش‌های سیمای سرزمین برای کاربری اراضی دوره آتی پرداخته‌اند. آن‌چه مسلم است نیاز است تا با انجام پژوهش‌های علمی بیش‌تر، به کمی‌سازی و پیش‌بینی روند تغییرات براساس

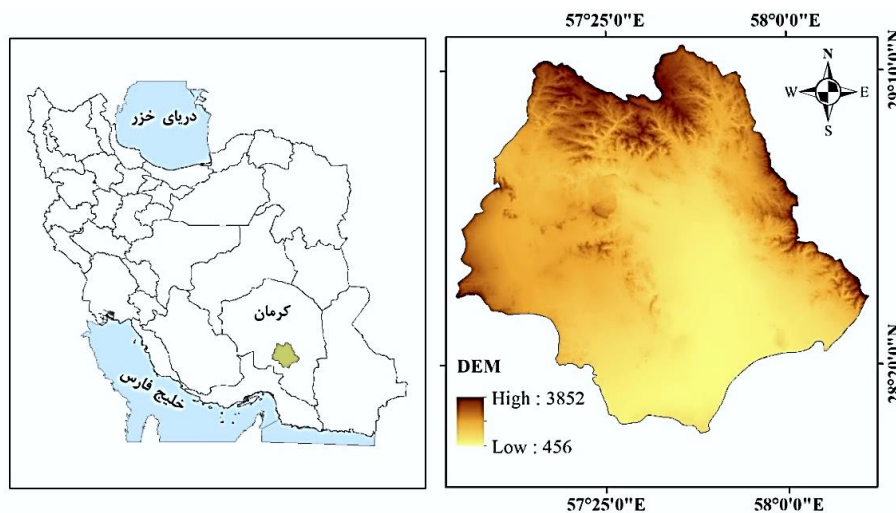
¹ Land use/land cover

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

در این پژوهش، حوزه آبخیز هلیل‌رود (شکل ۱) به‌عنوان منطقه مطالعاتی انتخاب شد. حوزه آبخیز هلیل‌رود در جنوب شرقی ایران در استان کرمان در محدوده عرض جغرافیایی $28^{\circ} 15'$ تا $29^{\circ} 15'$ شمالی و طول جغرافیایی $56^{\circ} 55'$ تا $58^{\circ} 15'$ قرار دارد (شکل ۱). این حوزه آبخیز با مساحت $9204/13$ کیلومترمربع، از شاخه‌های حوزه آبخیز جازموریان است و آب سطحی را برای فعالیت‌های کشاورزی و تالاب جازموریان فراهم می‌کند. ارتفاع این منطقه از 456 متر تا 3852 متر بالاتر از سطح دریا است. قسمت‌های بالایی و میانی حوزه آبخیز شامل مناطق کوهستانی و قسمت‌های پایین دست مسطح و هموار هستند. متوسط بارندگی سالانه منطقه مورد مطالعه از $155/1$ تا $425/8$ میلی متر و متوسط دمای سالانه منطقه از $16/7$ تا $25/8$ درجه سانتی‌گراد تغییر می‌کند.

سنجدهای سیمای سرزمین و مدل‌ساز تغییر زمین در سایر نقاط ایران پرداخته شود. حوزه آبخیز هلیل‌رود یکی از زیرحوزه‌های مهم حوزه آبخیز جازموریان واقع در جنوب شرقی ایران است که یکی از مهم‌ترین قطب‌های کشاورزی در ایران می‌باشد. بنابراین پیش‌بینی و کمی‌سازی تغییرات کاربری اراضی می‌تواند چشم‌اندازی برای مدیران جهت برنامه‌ریزی‌های آبی فراهم سازد. از این‌رو، هدف پژوهش حاضر بررسی و آشکارسازی روند تغییرات کاربری اراضی طی دوره ۳۰ ساله (۱۳۷۰-۱۳۹۸) و پیش‌بینی تغییرات برای ۲۲ سال آینده (۱۴۱۹) براساس شبکه عصبی مصنوعی پرسپترون چندلایه با استفاده مدل LCM^۱ است. جهت کمی‌سازی تغییرات کاربری اراضی از سنجدهای سیمای سرزمین در دو سطح کلاس و سیمای سرزمین استفاده شد؛ بنابراین، این مطالعه با هدف تهیه نقشه کاربری اراضی حوزه آبخیز هلیل‌رود در دوره‌های زمانی ۱۳۷۰، ۱۳۸۱، ۱۳۹۸ و ۱۴۱۹ و نیز محاسبه برخی سنجدهای سیمای سرزمین چارچوب‌بندی شده است.



شکل ۱- موقعیت حوزه آبخیز هلیل‌رود در استان کرمان و ایران

Figure 1- Location of Halilrud Watershed in Kerman Province and Iran

مراحل پیش‌پردازش و نمونه‌برداری از منطقه انجام شده باشد. سپس نمونه‌های تعلیمی روی تصاویر انتخاب و طبقه‌بندی کاربری اراضی با روش حداکثر احتمال در نرم‌افزار ENVI 5.3 انجام شد. در ادامه، هفت کلاس کاربری اراضی دریاچه سد، اراضی مسکونی، اراضی کشاورزی، صخره، اراضی باغی، مرتع و اراضی بایر در منطقه مشخص شد.

جدول ۱- مشخصات تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده

Table 1- The characteristics of used satellite images used				
قدرت تفکیک مکانی (متر) سنجنده تصویر ماهواره‌ای سال (شمسی) سال (میلادی)				
1991	1370	Landsat 5	TM	30
2002	1381	Landsat 7	ETM ⁺	30
2019	1398	Landsat 8	OLI	30

۲-۲- روش مطالعه

۲-۲-۱- تهیه نقشه کاربری اراضی

برای تهیه نقشه‌های کاربری اراضی از تصاویر ماهواره‌ای لندست سنجنده‌های TM، ETM⁺، OLI در ماه اسفند استفاده شد (جدول ۱). هدف از انتخاب این سال‌ها، ابتدای احداث سد جیرفت (۱۳۷۰)، بعد از احداث سد (۱۳۸۱) و دوره حاضر (۱۳۹۸) است. ابتدا پیش‌پردازش‌های لازم شامل تصحیحات رادیومتری و اتمسفری برای هر یک از تصاویر انجام شد. از روش طبقه‌بندی نظارت شده پیشینه درست‌نمایی^۲ برای طبقه‌بندی نقشه‌های کاربری اراضی استفاده شد (Eastman, 2006). برای انجام این روش باید تمامی

² Maximum likelihood

¹ Land change modeler

۲-۲-۲- بررسی صحت طبقه‌بندی

به‌منظور بررسی صحت نقشه‌های به‌دست آمده از طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای، روش نمونه‌برداری تصادفی (نمونه‌های تعلیمی) به‌عنوان نقاط واقعیت زمینی (نقاط کنترلی)، استفاده شد. در ادامه با به‌کارگیری نقاط کنترلی که از طریق گوگل ارث، نقشه‌های کاربری اراضی و تفسیر بصری جمع‌آوری شدند، ارزیابی صحت نقشه‌های طبقه‌بندی شده سال‌های ۱۳۷۰، ۱۳۸۱ و ۱۳۹۸ با استفاده از پارامترهای آماری (صحت کلی و ضریب کاپا) انجام شد.

۲-۲-۳- مدل‌سازی تغییر زمین

مدل‌سازی تغییر سرزمین (LCM) (قابل دسترس در نرم‌افزار IDRISI و به‌صورت افزونه در ArcGIS) ابزاری برای ارزیابی و طراحی تغییر پوشش زمین فراهم می‌کند و کاربری اراضی یا پوشش زمین را تحلیل می‌کند (Gontier et al., 2009). این مدل قادر به ایجاد سناریوهای تغییر اراضی با ادغام عامل‌های زیستی، فیزیکی و اجتماعی-اقتصادی است که در تغییر کاربری اراضی تأثیر گذارند (McConnell et al., 2004). مراحل مدل‌سازی در چهار مرحله بررسی تغییرات، انتخاب متغیرهای مستقل، مدل‌سازی پتانسیل انتقال، پیش‌بینی کاربری اراضی و ارزیابی صحت مدل‌سازی انجام شد.

۲-۲-۴- انتخاب متغیرهای مستقل

متغیرها ممکن است به‌صورت ایستا یا پویا به مدل اضافه شوند. متغیرهای استاتیک جنبه‌های اساسی مناسب برای انتقال در نظر گرفته شده را بیان می‌کنند و با گذشت زمان تغییرناپذیرند. متغیرهای دینامیک وابسته به زمان متغیر هستند و در طول زمان دوره پیش‌بینی محاسبه می‌شوند. متغیرهای مستقل برای انجام مدل‌سازی، با ارزیابی از طریق ضریب همبستگی کرامر انتخاب می‌شوند. این ضریب همبستگی متغیرهای مستقل را در یک زمان با طبقه‌بندی موضوعی نقشه کاربری اراضی مقایسه می‌کند (Eastman, 2006). در این پژوهش هشت متغیر مدل رقومی ارتفاع (DEM)، شیب (درصد)، شاخص نرمال شده تفاضل پوشش گیاهی (NDVI)، شاخص نرمال شده تفاوت رطوبت (NDMI)، فاصله از رودخانه، فاصله از جاده، فاصله از اراضی کشاورزی، شاخص رطوبت توپوگرافیک (TWI) استفاده شدند. نقشه مدل رقومی ارتفاع با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر از سازمان جغرافیایی ارتش تهیه شد. نقشه‌های شیب و شاخص رطوبت توپوگرافیک براساس مدل رقومی ارتفاع با قدرت تفکیک ۳۰ متر در نرم‌افزار SAGA تهیه شدند. نقشه‌های فاصله از رودخانه، فاصله از جاده و فاصله از اراضی

کشاورزی با استفاده از دستور Line density در ArcGIS تهیه شدند. شاخص‌های NDVI و NDMI براساس تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ و اعمال محاسبات ریاضی بین باندها محاسبه شدند. شاخص نرمال شده تفاضل پوشش گیاهی (NDVI) براساس تصویر ماهواره‌ای لندست ۸ و با ترکیب NIR (باند مادون قرمز نزدیک، باند ۵ لندست ۸) و RED (باند قرمز، باند ۴ لندست ۸) از طریق رابطه (۱) محاسبه شد (Testa et al., 2018). شاخص نرمال شده تفاوت رطوبت (NDMI) با در نظر گرفتن داده‌های باند مادون قرمز نزدیک (NIR) و مادون قرمز میانی (MIR) از طریق رابطه (۲) محاسبه می‌شود (Van de Griend and Engman, 1985)

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (1)$$

$$NDMI = \frac{NIR - MIR}{NIR + MIR} \quad (2)$$

باندهای مرتبط با طول موج مادون قرمز نزدیک و میانی در ماهواره لندست ۸ به‌ترتیب شامل باندهای پنج و شش لندست ۸ هستند. متغیرهای استفاده شده در پژوهش حاضر در اغلب مطالعات مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی استفاده می‌شوند (Shooshtari et al., 2019; Azareh et al., 2019). به‌عنوان مثال، نزدیکی به جاده و شهر در جنوب کامرون متغیرهای مهمی در مدل‌سازی تغییرات جنگل گزارش شده است (Mertens and Lambin, 1997). ارتفاع و نزدیکی به جاده نیز عوامل مهمی در تغییرات جنگل در زمین‌های کم ارتفاع سوماترا تشخیص داده شدند (Linkie et al., 2004). شکل ۲ نقشه متغیرهای مورد استفاده در مدل LCM را نشان می‌دهد.

۲-۲-۵- مدل‌سازی پتانسیل انتقال

بعد از انتخاب زیرمدل‌ها و طبق متغیرهای مستقل انتخاب شده، مدل‌سازی پتانسیل تبدیل هر کاربری با روش شبکه عصبی پرسپترون چندلایه^۵ (MLP) انجام شد. به این مفهوم که هر پیکسل از تصویر برای تغییر از یک کاربری به نوع دیگر چقدر پتانسیل دارد (Gholamalifard et al., 2013). در این مرحله از مدل‌سازی نیروی انتقال از یک کاربری (مثل مرتع) به کاربری دیگر (نظیر زراعت) با توجه به متغیرهای توضیحی^۶ (مثل شیب، نزدیکی به جاده)، صورت گرفت. خروجی این قسمت، نقشه پتانسیل برای هر تغییر (مثلاً از کاربری مرتع به اراضی زراعی) بود. در این مطالعه برای بررسی و ارزیابی صحت مدل‌سازی پتانسیل تبدیل کاربری با روش شبکه عصبی پرسپترون چندلایه از خطای آموزش و خطای آزمون استفاده شد.

⁴ Topographic wetness index

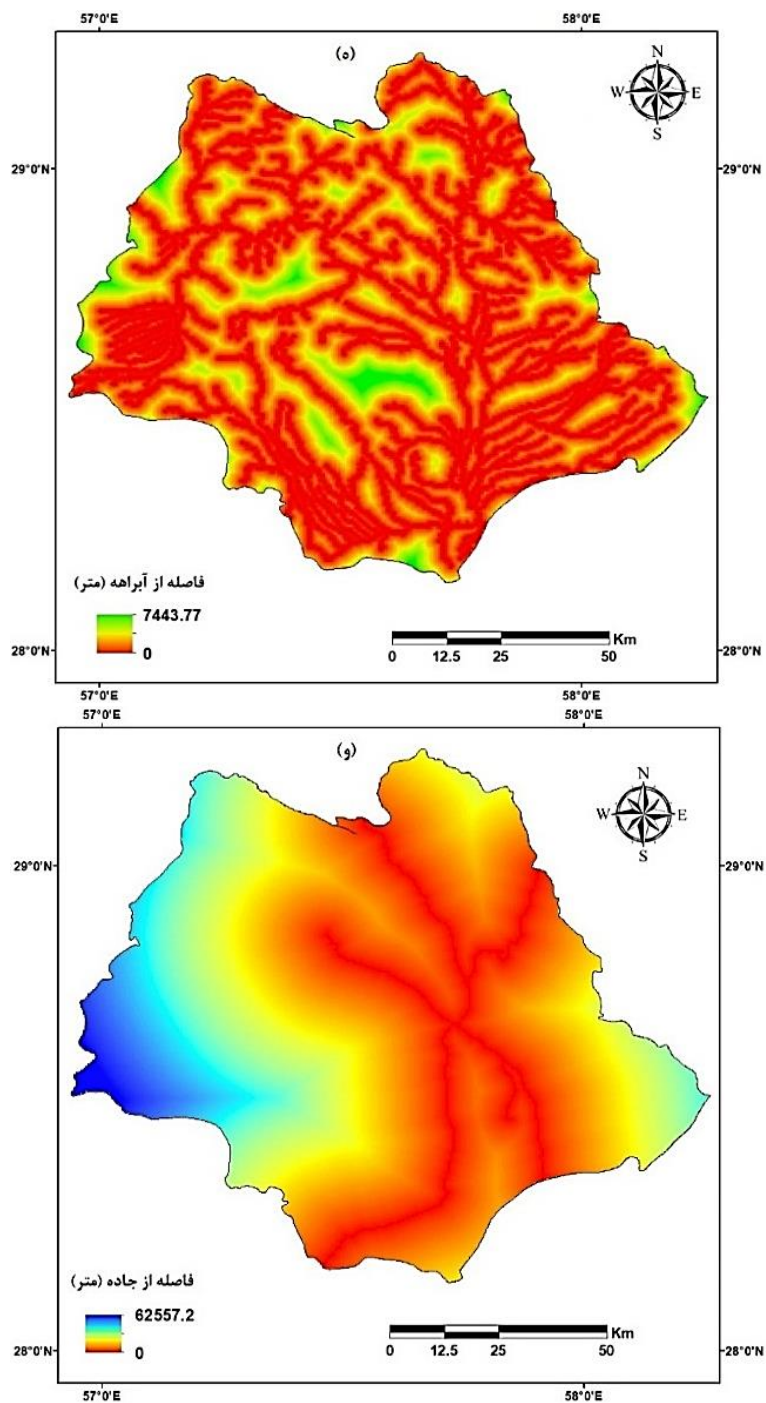
⁵ Multi-layer perceptron neural network

⁶ Explanatory variables

¹ Digital elevation model

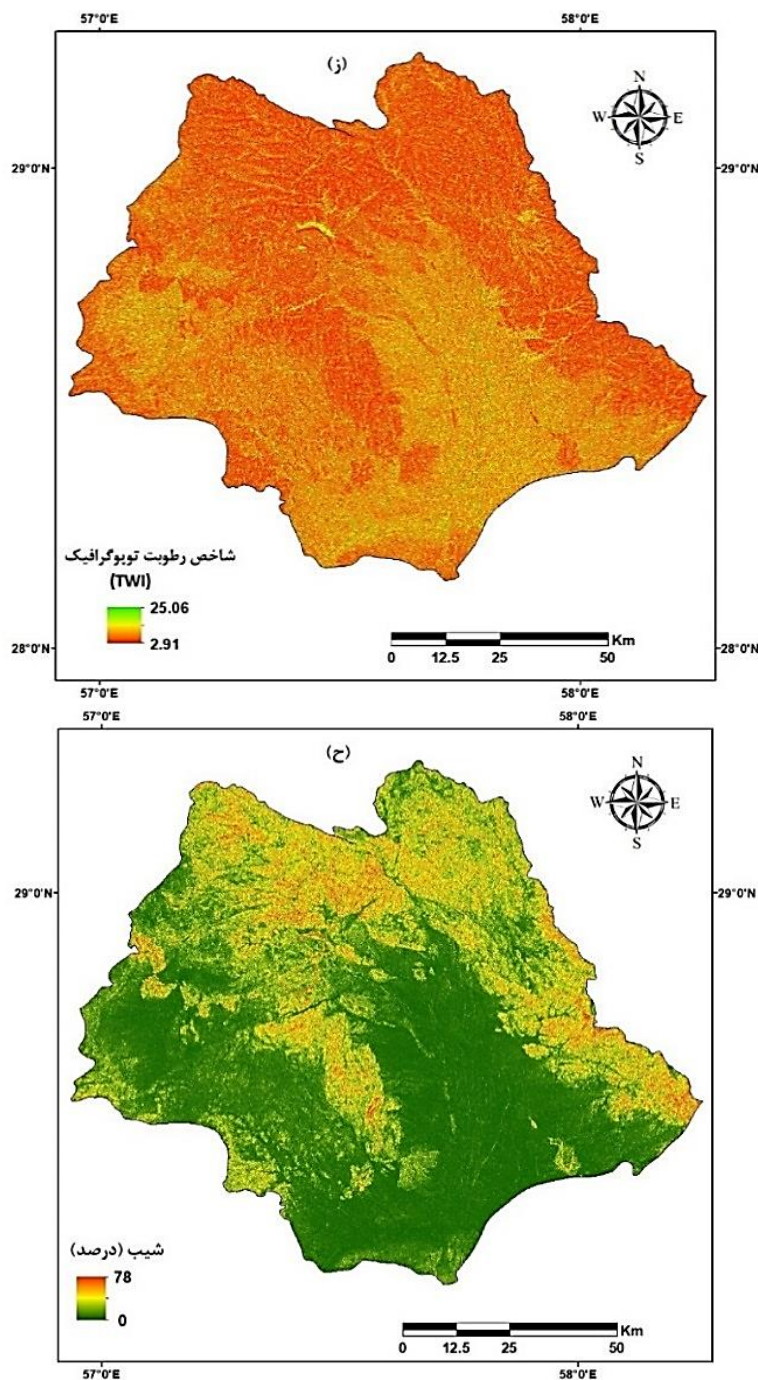
² Normalized difference vegetation index

³ Normalized difference moisture index



شکل ۲- نقشه فاصله از آبراهه (ه)، فاصله از جاده (و)

Figure 2- Map of distance to the river (e) and distance to the road (f)



ادامه شکل ۲- نقشه شاخص رطوبت توپوگرافیک (ز) و شیب (درصد) (ح)
Continued Figure 2- Map of topographic wetness index (TWI) (g) and slope (%) (h)

۲-۲-۷- ارزیابی صحت مدل‌سازی

ارزیابی اعتبار و صحت مدل‌سازی و نقشه‌های طبقه‌بندی بر اساس برآورد ضریب کاپا است، برای اعتبارسنجی از نقشه‌های کاربری اراضی واقعیت زمینی و نقشه پیش‌بینی شده توسط مدل‌سازی تغییر زمین استفاده شد (Wu et al., 2006). در نهایت، در صورت بالابودن ضریب کاپا پیش‌بینی نقشه کاربری اراضی دوره آتی (۱۴۱۹) انجام شد.

۲-۲-۶- پیش‌بینی کاربری اراضی

بعد از آموزش مدل شبکه عصبی پرسپترون چندلایه، برای کمی کردن تغییرات از زنجیره مارکوف استفاده شد. در این مرحله احتمال انتقال به هر کاربری با استفاده از زنجیره مارکوف صورت پذیرفت. پس از تشکیل ماتریس انتقال، نقشه کاربری اراضی مربوط به سال ۱۳۹۸ با استفاده از زنجیره مارکوف در نرم‌افزار Terrset و مدل LCM شبیه‌سازی شد.

۲-۳- محاسبه سنجه‌های سیمای سرزمین
نقشه‌های تولید شده در سال‌های ۱۳۷۰، ۱۳۸۱، ۱۳۹۸ و ۱۴۱۹ برای محاسبه سنجه‌های سیمای سرزمین وارد نرم‌افزار Fragstats4.2 شد. این نرم‌افزار سنجه را در سه سطح لکه، کلاس اراضی و سیمای سرزمین به دست می‌آورد (McGarigal and Barbara, 1995). در این پژوهش سنجه‌های مدنظر در دو سطح کلاس و سیمای سرزمین اندازه‌گیری و محاسبه شد. در نهایت، تغییرات حادث شده و میزان تخریب اراضی بر اساس نقشه‌ها و سنجه‌های سیمای سرزمین برای سال‌های مورد نظر بررسی خواهد شد. به دلیل تعداد زیاد سنجه‌ها وجود همبستگی بین برخی از آن‌ها و به منظور پرهیز از تولید اطلاعات زائد، براساس مرور وسیع منابع علمی و دانش کارشناسی، با توجه به تناسب سنجه‌ها با هدف مطالعه و با توجه به همبستگی بین مفهوم آن‌ها، مجموعه‌ای از سنجه‌های ترکیب و پیکربندی سیمای سرزمین برای انجام پژوهش حاضر انتخاب شد (Weng, 2007; Wu et al., 2011; Azareh et al., 2019). ویژگی سنجه‌ها، مفهوم ارائه‌کننده و سطح محاسبه آن‌ها در جدول ۲ ذکر شده است. سنجه‌های CA و PLAND به ترتیب توصیف‌کننده مساحت و درصد کاربری اراضی هستند. این سنجه‌ها ترکیب ساختاری سیمای سرزمین را اندازه‌گیری می‌کنند و نشان می‌دهند که چه مقدار از سیمای سرزمین از یک نوع کاربری خاص تشکیل شده است (Mahmoudzadeh and Masoudi, 2019). سنجه LPI، بیان‌گر نسبت اندازه لکه به مساحتی از کل سیمای سرزمین است که توسط بزرگ‌ترین لکه از یک کلاس کاربری خاص پوشانده شده است. این سنجه، حاصل تقسیم مساحت بزرگ‌ترین لکه بر مساحت همه لکه‌های مربوط به یک کلاس کاربری است (Mostafazadeh and Talebi Khiavi, 2022).

جدول ۲ - سنجه‌های سیمای سرزمین استفاده شده در پژوهش (McGarigal and Barbara, 1995)

سطح	سنجه	علامت اختصاری	علامت اختصاری	واحد	محدوده تغییرات
کلاس	تعداد لکه‌ها	Number of patches	NP	ندارد	NP>0
	شاخص بزرگ‌ترین لکه	Largest patch index	LPI	درصد	0<LPI<100
	درصد پوشش هر کلاس	Percentage of landscape	PLAND	درصد	0<PLAND<100
سیمای سرزمین	مساحت کلاس	Class area	CA	هکتار	CA>0
	شاخص تنوع سیمپسون	Simpson's diversity index	SIDI	ندارد	0≤SIDI≤1
سیمای سرزمین	شاخص تنوع شانون	Shannon's diversity index	SHDI	ندارد	SHDI≥0
	پیوستگی	Cohesion index	COHESION	ندارد	0<COHESION<100
	شاخص مجاورت	Interspersion and juxtaposition index	III	درصد	0<III≤100
	تراکم لکه	Patch density	PD	تعداد در 100 هکتار	PD>0

۳- نتایج و بحث
۳-۱- ارزیابی صحت نقشه‌های کاربری اراضی
با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۵ سنجنده TM (۱۳۷۰)، لندست ۷ سنجنده ETM⁺ (۱۳۸۱) و لندست ۸ سنجنده OLI (۱۳۹۸) نقشه‌های کاربری اراضی حوزه آبخیز هلیل‌رود در سال‌های ۱۳۷۰، ۱۳۸۱ و ۱۳۹۸ به دست آمد و براساس روش طبقه‌بندی بیشینه درست‌نمایی (ML) به هفت کلاس کاربری اراضی دریاچه، سد، اراضی مسکونی، اراضی کشاورزی، صخره، اراضی باغی، مرتع

جدول ۴- ارزیابی صحت شبکه عصبی پرسپترون چندلایه در مدل‌سازی پتانسیل انتقال

Table 4- Evaluating the accuracy of multi-layer perceptron neural network in transition potential modeling

زیر مدل	درصد صحت
مرتج به اراضی بایر	80.7
مرتج به اراضی شهری	71.5
مرتج به کشاورزی	86.3
مرتج به اراضی باغی	68.6

جدول ۵- ارتباط بین متغیرها و طبقات کاربری اراضی

Table 5- The relationship between variables and land use classes

متغیرها	ضریب کرامر
ارتفاع	0.36
شیب	0.09
شاخص رطوبت توپوگرافیک (TWI)	0.03
شاخص NDVI	0.56
فاصله از آبراهه	0.25
فاصله از جاده	0.12
فاصله از اراضی کشاورزی	0.48
شاخص NDMI	0.41

جدول ۶- صحت‌سنجی مدل LCM با استفاده از آماره‌های کاپا

Table 6- Validation of LCM using Kappa statistics

مقادیر	پارامترهای صحت‌سنجی
0.981	Kno
0.975	Klocation
0.934	Kstandard

Kno: تطابق کلی، Klocation: تطابق ناشی از مکان بین دو کلاس در نقشه‌های واقعیت و مقایسه، Kstandard: تطابق ناشی از مقدار بین دو کلاس در نقشه‌های واقعیت و مقایسه

۳-۴- بررسی تغییرات کاربری اراضی

جدول ۷ مساحت طبقات مختلف کاربری اراضی در طی سال‌های ۱۳۷۰-۱۴۱۹ را نشان می‌دهد. نتایج بررسی تغییرات در طی دوره ۱۳۷۰-۱۳۹۸ حاکی از افزایش اراضی کشاورزی، باغی، مسکونی و اراضی بایر و کاهش اراضی مرتعی است. اراضی صخره‌ای در طی تمامی سال‌ها بدون تغییر بوده است. کاهش اراضی مرتعی در راستای تبدیل این اراضی به اراضی مسکونی، بایر، باغی و کشاورزی است. همچنین، بررسی روند تغییرات در دوره آینده ۱۴۱۹ حاکی از افزایش اراضی کشاورزی، باغی، بایر و مسکونی است. شکل ۳ نقشه کاربری اراضی سال‌های ۱۳۷۰، ۱۳۸۱، ۱۳۹۸ و نقشه پیش‌بینی شده سال ۱۴۱۹ را نشان می‌دهد. با توجه به شکل ۳ و جدول ۷، در طی دوره ۱۳۷۰-۱۳۹۸ بیش‌ترین افزایش مربوط به اراضی کشاورزی ۳۸۶/۴۶ کیلومتر مربع و بیش‌ترین کاهش مربوط به اراضی مرتعی ۴۹۵/۱۹ کیلومتر مربع است. در این دوره مساحت اراضی شهری، باغی و بایر به ترتیب به میزان ۴۲/۸۷، ۳۶/۵۶ و ۳۵/۴۶ کیلومتر مربع افزایش یافته است.

و اراضی بایر طبقه‌بندی شدند (شکل ۳). جدول ۳ مقادیر ضریب کاپا و صحت کلی نقشه‌های کاربری اراضی طبقه‌بندی شده با استفاده از روش پیشینه درست‌نمایی را نشان می‌دهد. هر چه ضریب کاپا به یک نزدیک‌تر باشد، نشان‌دهنده توافق بیش‌تر نقشه تولید شده به مقادیر واقعی است. طبق نتایج در تمامی سال‌ها ضریب کاپا نزدیک به یک بوده و به ترتیب ۰/۸، ۰/۷۵ و ۰/۸۴ به دست آمد که نشان‌دهنده قابل قبول بودن نتایج مدل است. همچنین، صحت کلی، بین صفر تا ۱۰۰ بوده و هر چه به ۱۰۰ نزدیک‌تر باشد نشان‌دهنده صحت بیش‌تر نقشه تولید شده است. صحت کلی برای سال‌های ۱۳۷۰، ۱۳۸۱ و ۱۳۹۸ به ترتیب ۸۷/۲، ۸۴/۶ و ۹۳/۴ درصد به دست آمد. نتایج نشان‌دهنده صحت بالای نقشه‌های تولید شده است.

جدول ۳- ارزیابی صحت نقشه‌های تولید شده با استفاده از آماره کاپا

Table 3- Evaluating the accuracy of the produced maps based on the Kappa statistic

سال	1370	1381	1398
ضریب کاپا	0.8	0.75	0.84
صحت کلی (درصد)	87.2	84.6	93.4

۳-۲- پیش‌بینی کاربری اراضی

برای پیش‌بینی کاربری اراضی سال ۱۴۱۹، از مدل ساز تغییر زمین (LCM) در نرم‌افزار TerrSet استفاده شد. برای این منظور، ابتدا مدل‌سازی پتانسیل انتقال با استفاده از شبکه عصبی پرسپترون چندلایه^۱ انجام شد. نتایج آن با استفاده از درصد صحت^۲، ارزیابی شد (جدول ۴). طبق نتایج، مدل شبکه عصبی پرسپترون چندلایه دارای صحت بالایی در همه زیرمدل‌های انتقال بود (۶۸/۸۶-۶/۳ درصد). همچنین، جدول ۵ ضریب همبستگی کرامر بین متغیرها و طبقات کاربری اراضی را نشان می‌دهد. با توجه به جدول مذکور، به ترتیب متغیرهای شاخص نرمال شده تفاضل پوشش گیاهی (NDVI)، فاصله از اراضی کشاورزی، ارتفاع و فاصله از آبراهه بیش‌ترین ضریب همبستگی را با طبقات کاربری اراضی دارند.

۳-۳- ارزیابی صحت نقشه‌های پیش‌بینی شده

آماره‌های کاپا جهت بررسی تطابق بین نقشه شبیه‌سازی شده و نقشه واقعیت زمینی ۱۳۹۸ استفاده شدند. نتایج حاصل از صحت‌سنجی مدل LCM با استفاده از آماره‌های کاپا در جدول ۶ ارائه شده است. با توجه به ضرایب بالای کاپا، مدل دارای قابلیت بالایی برای مدل‌سازی پتانسیل انتقال است. پس از اطمینان از صحت نتایج مدل، نقشه کاربری اراضی سال ۱۴۱۹ پیش‌بینی شد. نتایج مطالعات (Azimi Sardari et al. Mishra et al. (2014) و (Anand et al. (2018) و (2019) نیز حاکی از صحت بالای مدل LCM در شبیه‌سازی کاربری اراضی است.

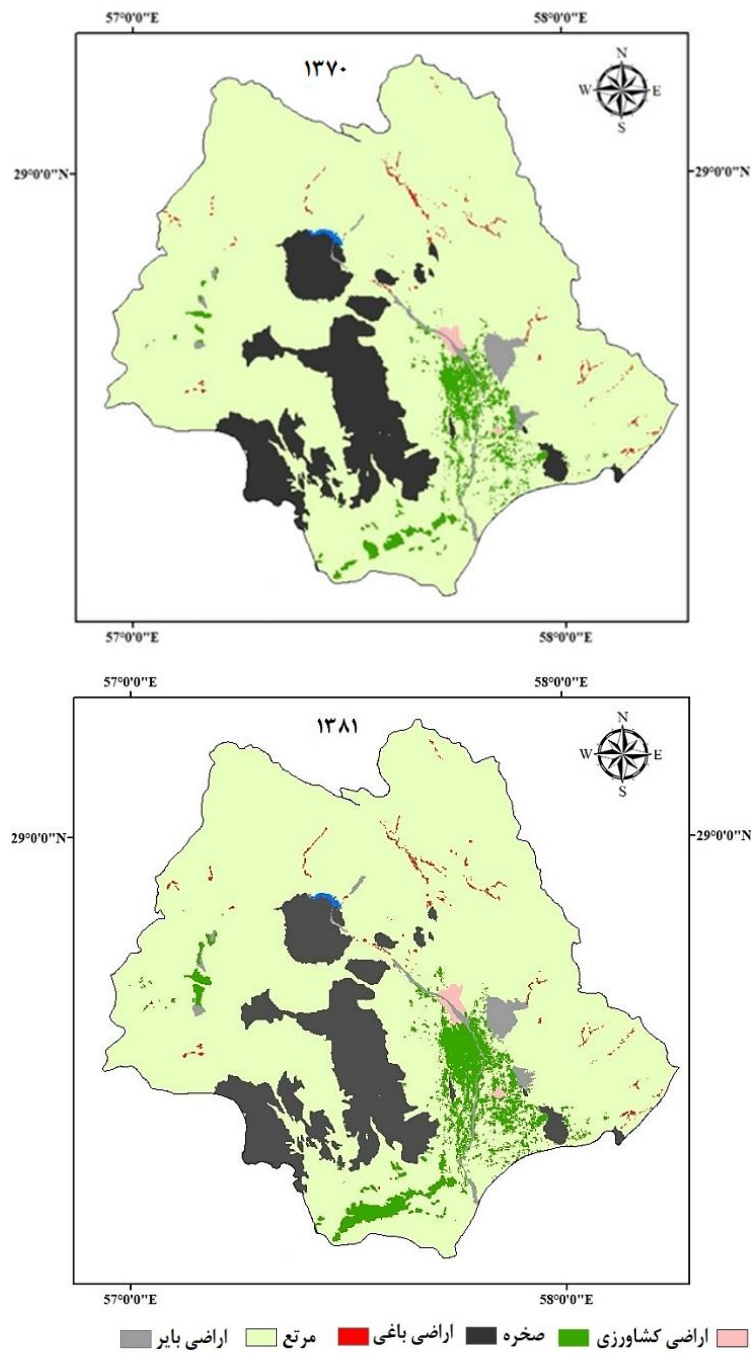
² Accuracy percentage

¹ Multilayer perceptron (MLP)

جدول ۷- مساحت طبقات مختلف کاربری اراضی در طی سال‌های ۱۴۱۹-۱۳۷۰

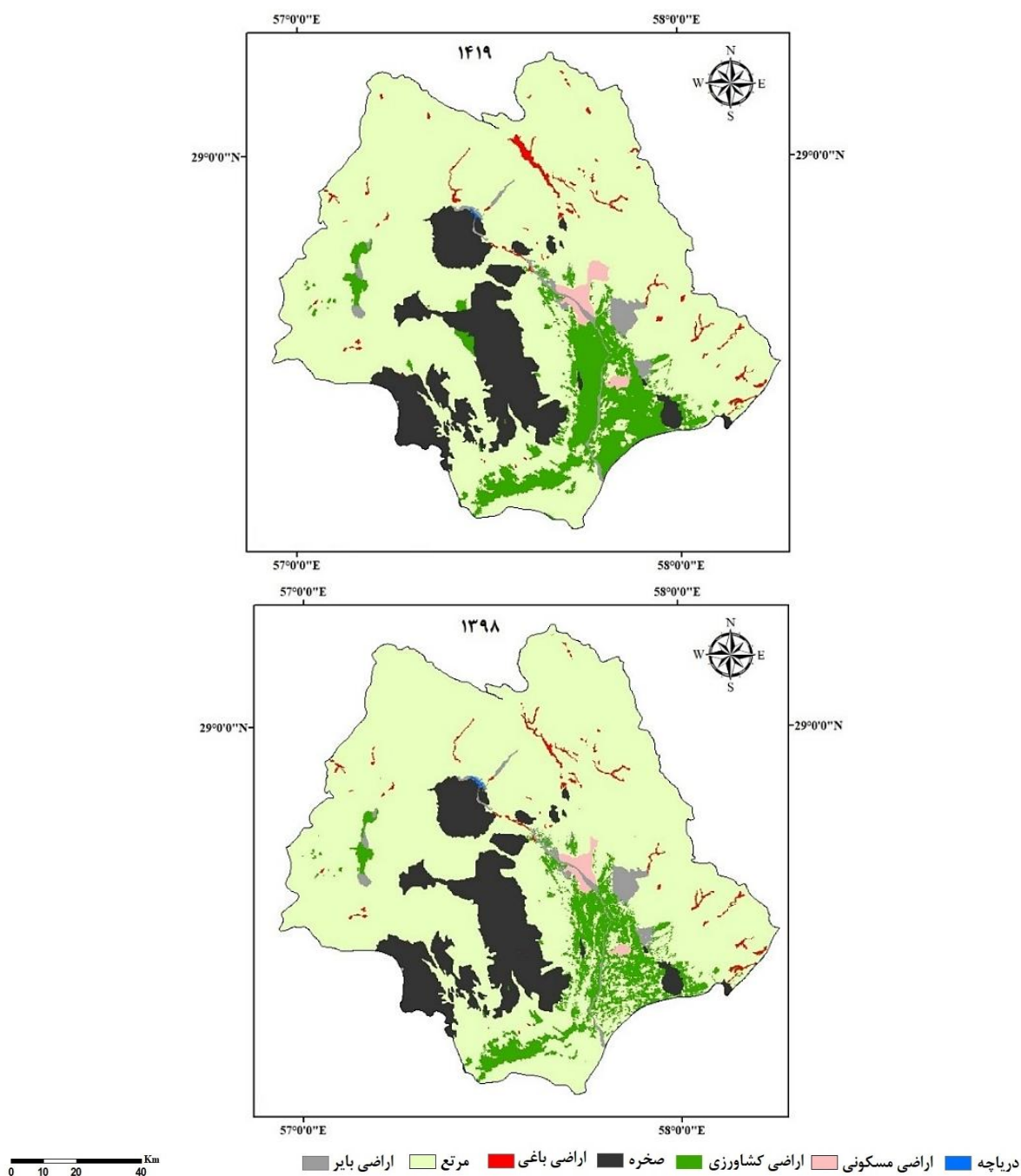
Table 7- The area of different land use classes during 1991-2040

2040		2019		2002		991		کاربری اراضی
درصد	کیلومتر مربع	درصد	کیلومتر مربع	درصد	کیلومتر مربع	درصد	کیلومتر مربع	
1.77	162.53	1.76	161.73	1.44	132.36	1.37	126.27	اراضی بایر
73.42	6757.42	76.13	7007.48	79.38	7306.56	81.51	7502.67	اراضی مرتعی
1.13	104.36	0.85	77.84	0.53	48.68	0.45	41.28	باغ
13.32	1225.68	13.32	1225.68	13.32	1225.68	13.32	1225.68	صخره
9.37	862.38	7.18	661.19	4.88	448.86	2.98	274.73	کشاورزی
0.98	90.04	0.73	67.29	0.38	35.06	0.27	24.42	اراضی شهری
0.02	1.73	0.03	2.93	0.08	6.94	0.10	9.08	دریاچه سد



شکل ۳- نقشه کاربری اراضی برای سال‌های ۱۳۷۰ و ۱۳۸۱

Figure 3- The land use map of 1991 and 2002 years



ادامه شکل ۳- نقشه کاربری اراضی برای سال‌های ۱۳۹۸ و ۱۴۱۹
Continued Figure 3- The land use map of 2019 and 2040 years

مساحت دریاچه سد در طول دوره ۱۳۷۰-۱۴۱۹ کاهش یافته است. در تمامی دوره‌ها مساحت اراضی صخره‌ای بدون تغییر خواهند ماند. روند کاهشی مساحت اراضی مرتعی و افزایش اراضی کشاورزی در بسیاری از نقاط ایران توسط (Afifi (2020)، Ildermi et al. (2017) و (Parma et al. (2017) نیز گزارش شده است.

در طی دوره ۱۳۸۱-۱۳۹۸ بیش‌ترین افزایش مربوط به اراضی کشاورزی ۲۱۲/۳۳ کیلومترمربع و بیش‌ترین کاهش مربوط به اراضی مرتعی ۲۹۹/۰۸ کیلومترمربع است. در این دوره مساحت اراضی شهری، باغی و بایر به ترتیب ۳۲/۲۳، ۲۹/۱۶، ۲۹/۳۷ کیلومتر مربع افزایش را نشان داد. در طی دوره ۱۴۱۹-۱۳۹۸ مساحت اراضی مرتعی ۲۵۰/۰۶ کیلومتر مربع کاهش و مساحت اراضی کشاورزی، مسکونی و باغی و بایر به ترتیب ۲۰۱/۱۹، ۲۲/۷۵، ۲۶/۵۲ و ۰/۸ کیلومترمربع افزایش خواهد یافت. همچنین،

سرزمین هستند (Mirsanjari and Mohammadyari, 2022). سنجه NP تعداد لکه‌ها را در سطح محدوده مدنظر نشان می‌دهد. کلاس اراضی مرتع در فاصله بین سال‌های ۱۳۷۰-۱۴۱۹ با افزایش تعداد لکه‌ها مواجه گشته‌اند و این حاکی از این است که لکه‌های موجود در طول زمان تکه‌تکه شده و یکپارچگی خود را از دست داده‌اند. برای مثال کاربری مرتع در سال ۱۳۷۰ از ۲۸۲ عدد لکه و مساحت ۷۵۰۲۷۲ هکتار برخوردار بوده است، اما تعداد لکه‌های مرتع و مساحت آن‌ها در سال ۱۴۱۹ به ترتیب به ۸۸۵ لکه و مساحت ۶۷۵۷۴۱ هکتار خواهد رسید. بنابراین، می‌توان اذعان داشت که لکه‌های مربوط به مرتع در ابتدا از مساحت و انسجام بیشتری برخوردار و پیوسته‌تر بوده‌اند. اما با توجه به روند شهرنشینی و افزایش ساخت و سازها، افزایش اراضی کشاورزی و باغی در دوره‌های اخیر ضمن این که مساحت مربوط به اراضی شهری، کشاورزی و باغی افزایش و تعداد لکه‌های آن‌ها کاهش یافته است، در مراتع تکه‌شدگی رخ داده و از هم گسیخته‌تر شده‌اند. بنابراین، سنجه NP از این نظر مهم است که شاخصی برای ارزیابی از هم‌گسیختگی سیمای سرزمین و در صورتی که میزان این شاخص در طول زمان برای یک نوع کاربری خاص افزایش یابد، حاکی از تخریب لکه و سیمای سرزمین است.

مطابق نتایج حاصل از تحلیل سنجه LPI در سطح کلاس اراضی کشاورزی، سنجه LPI در ابتدا در کم‌ترین میزان قرار داشته و سپس با افزایش زمین‌های کشاورزی، مقادیر آن خصوصاً در دوره ۱۳۹۸-۱۳۷۰ رو به افزایش نهاده است. به طوری که از میزان ۰/۸۶ درصد به ۲/۲۶ درصد رسیده است و در دوره آتی (۱۴۱۹) نیز افزایش داشته و به میزان ۳/۸ درصد خواهد رسید. همچنین، در این پژوهش شاخص بزرگ‌ترین لکه برای اراضی بایر، مسکونی و باغی روند افزایشی داشته است. در این بین اراضی مرتعی به دلیل توسعه شهرنشینی و توسعه اراضی کشاورزی و باغی با کاهش مساحت (جدول ۹) روبه‌رو گشته و به دنبال آن، سنجه LPI مربوط به آن نیز کاهش یافته است. نتایج به دست آمده از کاربرد سنجه‌های مورد استفاده در پژوهش بیان‌گر کارایی سنجه‌های درصد کاربری اراضی، مساحت طبقه، شاخص بزرگ‌ترین لکه، تعداد لکه در بررسی و تحلیل تغییرات است که با یافته‌های به دست آمده از پژوهش‌های Buyantuyev et al. (2006)، Matsushita et al. (2006)، Azareh et al. (2019) و Abdullah and Nakagoshi (2006) نیز بیان شده که با نتایج این پژوهش هم‌خوانی دارد.

۳-۵- ارزیابی تغییرات شاخص تنوع سیمای سرزمین

تغییرات شاخص‌های تنوع در سطح سیمای سرزمین شامل شاخص تنوع شانون (SHDI)، شاخص تنوع سیمپسون (SIDI)، شاخص پیوستگی (COHESION)، شاخص مجاورت (III) و تراکم لکه (PD) در سال‌های مطالعاتی در جدول ۸ نشان داده شده است.

جدول ۸- تغییرات سنجه‌های سیمای سرزمین در سطح سیمای
Table 8- Landscape metrics change in landscape level during different years

Year	SHDI	SIDI	COHESION	PD	III
1991	0.52	0.21	83.5	0.09	44.9
2002	0.71	0.34	80.48	0.16	45.13
2019	0.81	0.39	77.67	0.22	45.9
2040	0.94	0.42	74.6	0.28	53.1

هر دو شاخص SHDI و SIDI در طول بازه زمانی، افزایش یافته است. افزایش SHDI و SIDI نشان می‌دهد که حوزه آبخیز مورد بررسی تحت تأثیر بهره‌برداری و فعالیت‌های انسانی، پراکنده‌تر و ناهمگن‌تر شده است. شاخص III نیز از سال ۱۳۷۰ تا ۱۴۱۹ بیش‌تر شده که نشان‌گر تنوع سیمای سرزمین در حوزه آبخیز مطالعاتی است. به علاوه، مقدار شاخص PD در طی دوره زمانی افزایش یافته که بیان‌گر تقسیم سیمای سرزمین به لکه‌های کوچک‌تر است. مقدار شاخص COHESION در بازه زمانی مطالعاتی کم‌تر شده است و از ۸۳/۵ به ۷۴/۶ درصد در سال ۱۳۹۸ رسیده و این روند تا ۱۴۱۹ ادامه خواهد داشت که نشان‌دهنده آن است که توزیع مکانی لکه‌ها از یک‌دیگر جدا و تفکیک شده است. این نتایج با مطالعه Del Castillo et al. (2015) و Shi et al. (2008) مطابقت دارد.

جدول ۹ تغییرات سنجه‌های سیمای سرزمین در سطح کلاس شامل شاخص تعداد لکه (NP)، شاخص بزرگ‌ترین لکه (LPI)، درصد پوشش هر کلاس (PLAND) و مساحت کلاس (CA) را در سال‌های مطالعاتی نشان می‌دهد. نتایج سنجه‌ها در سطح کلاس، از لحاظ تخریب پوشش سطح زمین در راستای نتایج سنجه در سطح سیمای سرزمین است. به طور کلی، تحلیل سنجه‌های سیمای سرزمین بیان‌گر جایگزینی گسترده اراضی مرتعی متوسط توسط اراضی کشاورزی، مسکونی، باغی و بایر بوده است. با توجه به مقادیر دو سنجه CA و PLAND، لکه‌های کشاورزی، مسکونی، باغی و بایر در طول این سال‌ها به طور فزاینده‌ای افزایش یافته‌اند. کاربری‌های مرتع و دریاچه سد با توجه به مقادیر سنجه‌ها در جدول ۹ کاهش یافته‌اند. بنابراین، سنجه‌های CA و PLAND از گویاترین سنجه‌ها در بررسی تغییرات سیمای

جدول ۹- تغییرات سنجه‌های سیمای سرزمین در سطح کلاس در سال‌های مختلف

Table 9- Landscape metrics changes in class level during different years

2040	2019	2002	1991	سنجه‌ها	کاربری اراضی
885	546	445	282	NP	اراضی مرتعی
70.17	71.59	78.87	81.22	LPI	
73.41	76.13	79.38	81.5	PLAND	
675741.1	700750.1	730659	750272	CA	
142	617	668	938	NP	اراضی کشاورزی
3.8	2.26	1.5	0.86	LPI	
9.36	7.17	4.88	2.98	PLAND	
86247.2	66122.2	44894.5	27470.8	CA	
3	3	4	5	NP	اراضی شهری
0.63	0.43	0.21	0.15	LPI	
0.97	0.73	0.38	0.26	PLAND	
9003.87	6732.8	3509.5	2442.3	CA	
62	63	186	199	NP	اراضی باغی
0.28	0.139	0.059	0.049	LPI	
1.13	0.84	0.529	0.44	PLAND	
10433.79	7789.95	4873.14	4129.5	CA	
29	44	119	172	NP	اراضی بایر
0.69	0.64	0.63	0.62	LPI	
1.76	1.75	1.43	1.37	PLAND	
16252.65	16175.52	13234.59	12625.5	CA	
34	34	34	34	NP	صخره
6.7	6.7	6.7	6.7	LPI	
13.3	13.3	13.3	13.3	PLAND	
122569.9	122569.9	122569.9	122569.9	CA	
1	1	2	3	NP	دریاچه سد
0.018	0.0318	0.075	0.098	LPI	
0.0188	0.0319	0.075	0.098	PLAND	
172.7	293.3	695.8	908.6	CA	

۴- نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر، تغییرات کاربری اراضی در حوزه آبخیز هلیل‌رود در سه دوره زمانی ۱۳۷۰، ۱۳۸۱ و ۱۳۹۸ با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست و تغییرات کاربری اراضی در دوره آینده (۱۴۱۹) با استفاده از مدل‌سازی تغییر زمین (LCM) بررسی شد. هم‌چنین، سنجه‌های سیمای سرزمین برای پایش و کمی‌کردن تغییرات الگوی سیمای سرزمین در نتیجه تغییرات کاربری اراضی در حوزه آبخیز مطالعاتی مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج بررسی تغییرات کاربری اراضی در دوره ۱۳۷۰-۱۴۱۹ نشان داد که در منطقه مورد مطالعه بیش‌ترین افزایش مساحت مربوط به اراضی کشاورزی و بیش‌ترین کاهش مساحت مربوط به اراضی مرتعی بوده است. تخریب اراضی مرتعی بیش‌تر در راستای تبدیل این اراضی به اراضی کشاورزی، بایر، باغی و اراضی مسکونی بوده است؛ لذا توسعه اراضی کشاورزی می‌تواند به دلیل استفاده بی‌رویه و بدون برنامه‌ریزی از اراضی مرتعی و تبدیل آن‌ها به اراضی کشاورزی باشد.

نتایج حاصل از بررسی تغییرات براساس سنجه‌های سیمای سرزمین در سطح سیمای سرزمین نشان داد که مقدار شاخص‌های تنوع شانون و سیمپسون، تراکم لکه‌ها و تکه شدگی آن‌ها از سال ۱۳۷۰ تا ۱۳۹۸ افزایش یافته و در دوره آتی ۱۴۱۹ نیز افزایش خواهد یافت. نتایج سنجه‌ها در سطح کلاس در راستای نتایج سنجه در سطح سیمای سرزمین است. به‌طورکلی، تحلیل سنجه‌های سیمای سرزمین در سطح کلاس نیز بیان‌گر جای

گزینی اراضی مرتعی متوسط توسط اراضی کشاورزی، مسکونی، باغی و بایر بوده است. نتایج به‌دست آمده در سطح کلاس برای اراضی مرتعی به‌عنوان کاربری غالب منطقه، نشان داد که افزایش تعداد لکه‌ها و کاهش سنجه‌های اندازه لکه، میانگین مساحت و درصد کاربری اراضی، شاخص مهم تجزیه و تخریب در الگوی سیمای سرزمین بوده و نشان‌دهنده این است که روند تخریب و تحلیل سیمای سرزمین در منطقه به‌صورت افزایشی بوده و خواهد بود. روند تخریب مراتع می‌تواند زنگ خطری برای مدیران و برنامه ریزان شهری و منابع طبیعی باشد. برای جلوگیری از روند تخریب و سیر قهقرایی مراتع، احتیاج به ارائه راه‌کارهای مدیریتی مناسب و کارآمد در زمینه برنامه‌های احیاء و اصلاح مراتع است. از جمله این راه‌کارها جلوگیری از تغییر کاربری غیرمجاز اراضی مرتعی به کشاورزی و سایر کاربری‌ها است.

یکی از محدودیت‌ها و چالش‌های پژوهش، عدم دسترسی به اطلاعات اقتصادی-اجتماعی و خاک‌شناسی به‌عنوان یکی از عوامل مؤثر بر تغییرات کاربری اراضی است. از این‌رو، بررسی نقش دیگر متغیرهای مؤثر بر تغییرات کاربری اراضی مانند تپ‌های خاک و اطلاعات اقتصادی-اجتماعی برای بهبود عملکرد مدل و تهیه نقشه پیش‌بینی دقیق‌تر پیشنهاد می‌شود. نتایج این پژوهش، لزوم توجه به وضعیت کاربری و پوشش سرزمین در منطقه، به‌منظور بهره‌برداری مناسب و پایدار از منابع طبیعی را نشان می‌دهد. با توجه به توانایی بالای سنجه‌ها در کمی

جنگل‌های گیلان‌غرب، استان کرمانشاه). *آمایش سرزمین*،
doi:10.22059/jtcp.2017.61410.۱۵۱-۱۲۹ (۱)، ۱۲۹-۱۵۱
داودی‌راد، علی اکبر، صادقی، سید حمیدرضا، و سعدالدین، امیر (۱۳۹۴).
پایش تغییرات دوره‌ای و مکانی استفاده از سرزمین در حوزه
آبخیز شازند. *اکوهیدرولوژی*، ۲(۴)، ۴۰۵-۴۱۵.
doi:10.22059/IJE.2015.58066
دهقانی، تهمینه، احمدپری، هدیه، و امینی، عطا (۱۴۰۲). ارزیابی تغییرات
کاربری اراضی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای چند طیفی و شبکه
عصبی مصنوعی. *مدل سازی و مدیریت آب و خاک*، ۳(۲)، ۱۸-۳۵.
doi:10.22098/mmws.2022.11279.1114.۳۵
شفیعی، بنفشه، ایرانی بهبهانی، هما، جاوید، امیر حسین، دارابی، حسن،
و حسین‌زاده لطفی، فرهاد (۱۴۰۰). تحلیل روند تغییرات ساختار
منظر و کاربری سرزمین به عنوان رویکردی اکولوژیک در
دستیابی به برنامه‌ریزی پایدار منطقه‌ای (مطالعه موردی: حوضه
آبریز سد لتیان). *جغرافیای سرزمین*، ۱۸(۷۰)، ۴۱-۶۴.
عقیقی، محمد ابراهیم (۱۳۹۸). مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی با
استفاده از مدل زنجیره‌ای مارکوف و مدل LCM. *تحقیقات
کاربردی علوم جغرافیایی*، ۲۰(۵۶)، ۱۴۱-۱۵۸.
doi:10.29252/jgs.20.56.141
غلامعلی‌فرد، مهدی، جوراییان شوشتری، شریف، حسینی کهنوج، سید
حمزه، و میرزایی، محسن (۱۳۹۱). مدل‌سازی تغییرات کاربری
اراضی سواحل استان مازندران با استفاده از LCM در
محیط GIS. *محیط‌شناسی*، ۳۸(۴)، ۱۰۹-۱۲۴.
doi:10.22059/JES.2013.29867
قربانی، اردوان، حزباوی، زینب، مصطفی‌زاده، رئوف، و علائی، نازیلا (۱۳۹۹).
تحلیل ارتباط بین سنج‌های سیمای سرزمین و فرسایش خاک
حوزه آبخیز کوزه تهرانی، استان اردبیل. *جغرافیا و مخاطرات محیطی*.
doi:10.22067/geoeh.2021.67020.0.۹۱-۶۵ (۴)، ۶۵-۹۱
محمودزاده، حسن، و مسعودی، حسن (۱۳۹۸). تحلیل بر تغییرات ساختاری
سیمای سرزمین کلان‌شهر تبریز با استفاده از مبانی اکولوژی سیمای
سرزمین و با تأکید بر مفهوم پیوستگی. *آمایش سرزمین*، ۱۱(۲)،
۱۷۹-۲۰۴. doi:10.22059/JTCP.2019.288093.670019
مصطفی‌زاده، رئوف، جعفری، انیس، و کیوان‌بهجو، فرشاد (۱۳۹۷).
مقایسه ساختار اراضی مرتعی و میزان تخریب پیوستگی سیمای
سرزمین در زیرحوزه‌های آبخیز ایریل، استان اردبیل. *اکولوژی
کاربردی*، ۷(۱)، ۴۱-۵۳. doi:10.29252/ijae.7.1.41
میرسنجری، میرمهرداد، محمدیاری، فاطمه (۱۴۰۱). تحلیل کاربری
سرزمین در شهرستان بهبهان با رویکرد اکولوژی سیمای
سرزمین. *علوم و تکنولوژی محیط زیست*، ۲۴(۳)، ۱۹۱-۲۰۴.
doi:10.22034/jest.2021.25842.3476
نارویی، بهروز، برق جلوه، شهیندخت، اسماعیل‌زاده، حسن، و زبردست، لعبت
(۱۴۰۱). ارزیابی تغییرات فضایی-زمانی زیرساخت سبز شهری
مبتنی بر الگوریتم درخت تصمیم‌گیری فرآیندهای فضایی-مطالعه
موردی: سیمای سرزمین تهران. *اطلاعات جغرافیایی (سپهر)*.
doi:10.22131/sepehr.2022.254788.۱۸۸-۱۶۷ (۲۲)، ۱۶۷-۱۸۸

نمودن الگوی سیمای سرزمین می‌توان از نتایج این مطالعات در
طرح‌ریزی و برنامه‌ریزی یکپارچه سیمای سرزمین استفاده نمود.

سپاسگزاری

از اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری جنوب کرمان تشکر و قدردانی می
شود.

تضاد منافع نویسندگان

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که هیچ‌گونه تضاد منافی در
خصوص نگارش و انتشار مطالب و نتایج این پژوهش وجود ندارد.

دسترسی به داده‌ها

داده‌ها و نتایج استفاده شده در این پژوهش از طریق مکاتبه با
نویسنده مسئول در اختیار قرار خواهد گرفت.

مشارکت نویسندگان

علی آذره: مفهوم‌سازی، نگارش نسخه اولیه مقاله؛ **الهام رفیعی ساردویی:**
روش‌شناسی، نگارش، تحلیل نرم‌افزاری؛ **فهیمة میرچولی:** مفهوم‌سازی،
نگارش، مشاوره، ویرایش متن، روش‌شناسی و بازمینی.

منابع

آرخی، صالح (۱۳۹۴). کاربرد متریک‌های سیمای سرزمین در ارزیابی
روند تغییرات کاربری اراضی با استفاده از سنجش از دور و GIS
مطالعه موردی: منطقه بیابانی دهلران. *جغرافیا و توسعه*، ۱۳(۴۰)،
۵۹-۶۸. doi:10.22111/gdij.2015.2098
امیری، فاضل، و ناطقی، سعیده (۱۴۰۲). طبقه‌بندی پوشش اراضی
استان بوشهر با استفاده از تصاویر ترکیب داده‌های لندست ۸ و
مودیس. *مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک*، ۳(۲)، ۱۴۳-۱۵۶.
doi:10.22098/mmws.2022.11372.1124
امینی، منیره، و سیاح‌نیا، رومینا (۱۴۰۱). ارزیابی امنیت اکولوژیکی
شهرستان نظرآباد براساس روند تغییرات کاربری اراضی با
استفاده از سنج‌های سیمای سرزمین. سنجش از دور و GIS
ایران، ۱۴(۱)، ۱۰۷-۱۲۳. doi:10.52547/gisj.14.1.107
ایلدرمی، علیرضا، نوری، حمید، نادری، مهین، آقاییگی امین، سهیلا، و
زینی‌وند، حسین (۱۳۹۶). پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی با
استفاده از مدل زنجیره‌های مارکوف و CA مارکوف (مطالعه
موردی: حوزه آبخیز گرین). *پژوهش‌نامه مدیریت آبخیز*، ۱۶(۸)،
۲۳۲-۲۴۰. doi:10.29252/jwmmr.8.16.232
پرما، روح‌الله، ملک‌نیا، رحیم، شتایی، شعبان، و نقوی، حامد (۱۳۹۶).
مدل‌سازی تغییرات پوشش سرزمین بر پایه شبکه عصبی
مصنوعی و پتانسیل انتقال در روش LCM (مطالعه موردی:

آلماگل، آلاگل و آجی‌گل. مدل‌سازی و مدیریت آب و خاک،
doi:10.22098/mmws.2022.9871.1068. ۳۹-۲۷، (۳)۲

References

- Abdullah, S.A., & Nakagoshi, N (2006). Changes in landscape spatial pattern in highly developing state of seangor, Peninsular Malaysia. *Journal of Landscape and Urban Planning*, 77(3), 263-275. doi:10.1016/j.landurbplan.2005.03.003
- Afifi, M.E. (2020). Modeling land use changes using Markov chain model and LCM model. *Journal of Applied Researches in Geographical Sciences*, 20(56), 141-158 [In Persian]. doi:10.29252/jgs.20.56.141.
- Akın, A., & Erdoğan, M.A. (2020). Analyzing temporal and spatial urban sprawl change of Bursa city using landscape metrics and remote sensing. *Modeling Earth Systems and Environment*, 6(3), 1331-1343. doi: 10.1007/s40808-020-00766-1
- Alaei, N., Mostafazadeh, R., Esmali Ouri, A., Hazbavi, Z., Sharari, M., & Huang, G. (2022). Spatial comparative analysis of landscape fragmentation metrics in a watershed with diverse land uses in Iran. *Sustainability*, 14(22), 14876.
- Amini, M., & Sayahnia, R. (2022). Investigation of Nazarabad county ecological security based on the trend of land use changes using landscape metrics. *Iranian Journal of Remote Sensing & GIS*, 14(1), 107-123 [In Persian]. doi:10.52547/gisj.14.1.107.
- Amiri, F., & Nateghi, S. (2023). Lands cover classification of Bushehr province using Landsat-8 and MODIS images. *Water and Soil Management and Modelling*, 3(2), 143-156 [In Persian]. doi:10.22098/mmws.2022.11372.1124.
- Anand, J., Gosain, A.K., & Khosa, R. (2018). Prediction of land use changes based on land change modeler and attribution of changes in the water balance of Ganga basin to land use change using the SWAT model. *Science of the Total Environment*, 644, 503-519. doi:10.1016/j.scitotenv.2018.07.017
- Arekhi, S. (2015). Application of landscape metrics in assessing land use changes' trend by using remote sensing and GIS case study: Dehloran Desert Area. *Geography and Development*, 13(40), 59-68 [In Persian]. doi:10.22111/gdj.2015.2098.
- Arora, A., Pandey, M., Mishra, V.N., Kumar, R., Rai, P.K., Costache, R., Punia, M. & Di, L. (2021). Comparative evaluation of geospatial scenario-based land change simulation models using landscape metrics. *Ecological Indicators*, 128, 107810. doi:10.1016/j.ecolind.2021.107810
- Azareh, A., Sardooi, E.R., Gholami, H., Mosavi, A., Shahdadi, A., & Barkhori, S. (2021). Detection and prediction of lake degradation using landscape metrics and remote sensing dataset. *Environmental Science and Pollution Research*, 28, 27283-27298. doi:10.1007/s11356-021-12522-8
- Azimi Sardari, M.R., Bazrafshan, O., Panagopoulos, T., & Sardooi, E.R. (2019). Modeling the impact of climate change and land use change scenarios on soil erosion at the Minab Dam Watershed. *Sustainability*, 11(12), 3353. doi:10.3390/su11123353
- Buyantuyev, A., Wu, J., & Gries, C. (2010). Multiscale analysis of the urbanization pattern of the Phoenix metropolitan landscape of USA: Time, space and thematic resolution. *Landscape and Urban Planning*, 94(3-4), 206-217. doi:10.1016/j.landurbplan.2009.10.005.
- Da Silva, A.M., Huang, C.H., Francesconi, W., Saintil, T., & Villegas, J. (2015). Using landscape metrics to analyze micro-scale soil erosion processes. *Ecological Indicators*, 56, 184-193. doi:10.1016/j.ecolind.2015.04.004
- Dadashpoor, H., Azizi, P., & Moghadasi, M. (2019). Environment land use change, urbanization, and change in landscape pattern in a metropolitan area. *Science of the Total Environment*, 655, 707-719. doi:10.1016/j.scitotenv.2018.11.267
- Dehghani, T., Ahmadpari, H., & Amini, A. (2023). Assessment of land use changes using multispectral satellite images and artificial neural network. *Water and Soil Management and Modelling*, 3(2), 18-35 [In Persian]. doi:10.22098/mmws.2022.11279.1114.
- Del Castillo, E.M., García-Martin, A., Aladrén, L.A. L., & de Luis, M. (2015). Evaluation of forest cover change using remote sensing techniques and landscape metrics in Moncayo Natural Park (Spain). *Applied Geography*, 62, 247-255. doi:10.1016/j.apgeog.2015.05.002
- Eastman, J.R. (2006). IDRISI Andes guide to GIS and image processing. Clark University, Worcester, 328 pages .
- Gholamalifard, M., Joorabian Shooshtari, Sh., Hosseini Kahnuj, S.H., & Mirzaei, M. (2013). Land cover change modeling of coastal areas of Mazandaran Province using LCM in a GIS environment. *Journal of Environmental Studies*, 38(4), 109-124 [In Persian]. doi:10.22059/JES.2013.29867.
- Ghorbani, A., Hazbavi, Z., Mostafazadeh, R., & Alaei, N. (2021). Analysis the relationship between landscape metrics and soil erosion of Koozeh Topraghi Watershed, Ardabil Province. *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 9(4), 65-91 [In Persian]. doi: 10.22067/geoh.2021.67020.0.

- Gontier, M., Mörtberg, U., & Balfors, B. (2009). Comparing GIS-based habitat models for applications in EIA and SEA. *Environmental Impact Assessment Review*, 30(1), 8-18. doi:10.1016/j.eiar.2009.05.003
- Hao, R., Yu, D., Liu, Y., Liu, Y., Qiao, J., Wang, X., & Du, J. (2017). Impacts of changes in climate and landscape pattern on ecosystem services. *Science of the Total Environment*, 579, 718-728. doi:10.1016/j.scitotenv.2016.11.036
- Ildermi, A., Nouri, H., Naderi, M., Aghabeigi, S., & Zaini Wand, H. (2017). Forecasting land use change using Markov Chain model and CA Markov (Case Study: Green Watershed). *Journal of Watershed Management Research*, 8 (16), 232-240 [In Persian]. doi:10.29252/jwmr.8.16.232.
- Linkie, M., Smith, R.J., & Leader-Williams, N. (2004). Mapping and predicting deforestation patterns in the lowlands of Sumatra. *Biodiversity and Conservation*, 13(10), 1809-1818. doi:10.1023/B:BIOC.0000035867.90891.ea
- Liu, H., & Weng, Q. (2013). Landscape metrics for analyzing urbanization-induced land use and land cover changes. *Geocarto International*, 28(7), 582-593. doi:10.1080/10106049.2012.752530
- Mahmoudzadeh, H., & Masoudi, H. (2019). The Analysis of structural landscape changes in Tabriz City using landscape ecology principles with an emphasis on the connectivity concept. *Town and Country Planning*, 11(2), 179-204 [In Persian]. doi:10.22059/jtcp.2019.288093.670019.
- Matsushita, B., Xu, M., & Fukushima, T. (2006). Characterizing changes in landscape structure in the Lake Kasumigaura Basin, Japan Using a High-Quality GIS Dataset. *Journal of Landscape and Urban Planning*, 78(3), 241-250. doi:10.1016/j.landurbplan.2005.08.003
- McConnell, W.J., Sweeney, S.P. & Mulley, B. (2004). Physical and social access to land: spatio-temporal patterns of agricultural expansion in Madagascar. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 101(2-3), 171-184. doi:10.1016/j.agee.2003.09.012
- McGarigal, K., & Barbara J.M. (1995). Fragstats: spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. *Landscape and Urban Planning*, 94, 206-217. doi:10.2737/PNW-GTR-351
- Mejia Ávila, D., Martínez Lara, Z., & Soto Barrera, V.C. (2023). Space-time modelling of a tropical wetland using multiscale images, vegetation indices and landscape metrics: case-Ayapel Wetland Complex, Colombia. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 1-24. doi: 10.1080/19475683.2019.1617347.
- Mertens, B., & Lambin, E.F. (1997). Spatial modelling of deforestation in southern Cameroon: spatial disaggregation of diverse deforestation processes. *Applied Geography*, 17(2), 143-162. doi:10.1016/S0143-6228(97)00032-5
- Mirsanjari, M.M., & Mohammadyari, F. (2022). Analysis of land use in the Behbahan city approach landscape ecology. *Journal of Environmental Science and Technology*, 24(3), 191-204 [In Persian]. doi: 10.22034/jest.2021.25842.3476.
- Mishra, V.N., Rai, P.K., & Mohan, K. (2014). Prediction of land use changes based on land change modeler (LCM) using remote sensing: a case study of Muzaffarpur (Bihar), India. *Journal of the Geographical Institute "Jovan Cvijic", SASA*, 64(1), 111-127. doi:10.2298/IJGI1401111M
- Mostafazadeh, R., & Talebi Khiavi, H. (2022). Landscape change assessment and its prediction in a mountainous gradient with diverse land-uses. *Environment, Development and Sustainability*, 1-31. doi:10.1007/s10668-022-02862-x
- Mostafazadeh, R., Jafari, A., & Keivan-behjou F. (2018). Comparing the rangelands structure and degradation of landscape connectivity in Iril Sub-Watersheds, Ardabil Province. *Iranian Journal of Applied Ecology*, 7(1), 41-53 [In Persian]. doi:10.29252/ijae.7.1.41.
- Naroei, B., Barghjelveh, S., Esmailzadeh, H., & Zebardast, L. (2022). Evaluating spatial-temporal changes of urban green infrastructure using decision tree algorithm of spatial processes-Case study: Tehran Landscape System. *Scientific-Research Quarterly of Geographical Data (SEPEHR)*, 31(122), 167-188 [In Persian]. doi: 10.22131/sepehr.2022.254788.
- Nazari, N., Shams Esfandabad, B., Varvani, J., Ahmadi, A., & Toranjzar, H. (2022). Land use changes around the wetland and diversity of waterfowl and shorebirds in Anzali, Almagol, Alagol, and Ajigol international wetlands (Iran). *Water and Soil Management and Modelling*, 2(3), 27-39 [In Persian]. doi:10.22098/mmws.2022.9871.1068.
- Parma, R., Maleknia, R., Shataee, Sh., & Naghavi, H. (2017). Land cover change modeling based on artificial neural networks and transmission potential method in LCM (Case Study: Forests Gilan-e Gharb, Kermanshah Province). *Town and Country Planning*, 9(1), 129-151 [In Persian]. doi:10.22059/JTCP.2017.61410.
- Peng, J., Wang, Y., Zhang, Y., Wu, J., Li, W., & Li, Y. (2010). Evaluating the effectiveness of landscape metrics in quantifying spatial patterns. *Ecological Indicators*, 10(2), 217-223. doi:10.1016/j.ecolind.2009.04.017
- Shafie, B., Javid, A.H., Irani Behbahani, H., Darabi, H., & Hosseinzadeh Lotfi, F. (2021). The Analysis of landscape structure and land use changes as an ecological approach to achieve the sustainable regional planning (case study: Latian Dam Watershed). *Geographical*

- Journal of Territory*, 18(70), 41-64. doi: 10.3846/jeelm.2023.18055
- Shi, Y., Xiao, J., & Shen, Y. (2008). Landscape pattern change and associated environmental implications in the Haihe River Basin, China. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 37, 569-574.
- Shooshtari, S.J., Silva, T., Namin, B.R., & Shayesteh, K. (2019). Land use and cover change assessment and dynamic spatial modeling in the Ghara-Su Basin, northeastern Iran. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 48(1), 81-95. doi: 10.1007/s12524-019-01054-x
- Testa, S., Soudani, K., Boschetti, L., & Mondino, E.B. (2018). MODIS-derived EVI, NDVI and WDRVI time series to estimate phenological metrics in French deciduous forests. *International Journal of applied Earth Observation and Geoinformation*, 64, 132-144. doi:10.1016/j.jag.2017.08.006
- Van de Griend, A.A., & Engman, E.T. (1985). Partial area hydrology and remote sensing. *Journal of Hydrology*, 81(3-4), 211-251. doi:10.1016/0022-1694(85)90033-2
- Weng, Y.C. (2007). Spatiotemporal changes of landscape pattern in response to urbanization. *Landscape and Urban Planning*, 18(81), 341-353. doi:10.1016/j.landurbplan.2007.01.009
- Wu, J., Jenerette, J.D., Buyantuyev, A., & Redman, C.L. (2011). Quantifying spatiotemporal patterns of urbanization: The case of the two fastest growing metropolitan regions in the United States. *Ecological Complexity*, 8, 1-8. doi:10.1016/j.ecocom.2010.03.002
- Wu, Q., Guo, F., Li, H., & Kang, J. (2017). Measuring landscape pattern in three dimensional space. *Landscape and Urban Planning*, 167, 49-59. doi:10.1016/j.landurbplan.2005.10.002
- Wu, Q., Li, H.Q., Wang, R.S., Paulussen, J., He, Y., Wang, M., Wang, B. H. & Wang, Z. (2006). Monitoring and predicting land use change in Beijing using remote sensing and GIS. *Landscape and Urban Planning*, 78(4), 322-333. doi:10.1016/j.landurbplan.2005.10.002
- Zabihi, M., Moradi, H., Gholamalifard, M., Khaledi Darvishan, A., & Fust, C. (2020). Landscape management through change processes monitoring in Iran. *Sustainability*, 12(5), 1-19. doi: 10.3390/su1205175