



Research Paper

Analysis of the Relationship between Landuse Changes and Landuse Metrics: the Case Study of Godarchai Watershed

Tayebeh Irani¹ , Hirad Abghari² , Ali Akbar Rasouli³

1. Department of Range and Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Urmia University, Urmia, Iran

Email: t.irani@urmia.ac.ir

2. (Corresponding Author) Department of Range and Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Urmia University, Urmia, Iran

Email: h.abghari@urmia.ac.ir

3. Department Faculty of Science and Engineering, Macquarie University, Sydney, NSW, Australia

Email: aarasuly@yahoo.com

ARTICLE INFO

Keywords:

Ecosystem Destruction, Change Trend, Sentinel-2 Satellite Images, Knowledge-Based Processing, Markov_Chain Model.

Article History:

Received:

25 December 2023

Received in revised form:

24 February 2024

Accepted:

6 April 2024

Available online:

30 April 2024

pp. 165-188

ABSTRACT

The main aim of the current research was to investigate the existing and future status of land use in the Gadarchai Watershed, one of the sub-basins of the Lake Urmia watershed in West Azerbaijan province. First, Sentinel-2 images were obtained from the European Union's Copernicus website from 2016 to 2022. Then, preprocessing methods were wisely applied in various software environments, and corresponding imagery was sent to the eCognition software environment. Next, a Markov-Chain model (in the TreeSet software setting) was used to predict land-use changes in future years. Finally, the land-cover metrics were calculated using the Fragstats software (version 8.2) at two levels of landscape and classes. The results show that by 2028, agricultural land-use will be 13.89%, dry farming will be 1.14%, residential areas will be 0.33%, and salty flats of Lake Urmia 26%. Also, the salty-soil class will likewise decrease by 10.26%, and grasslands will decrease by 5.35%. According to the results of the land-cover metrics, the highest Edge Density (ED) in 2016, 2022, and 2028 is related to grasslands with values of 36.06, 33.58, and 26.72, respectively, and the lowest value was related to salt edges of the lake 0.01, 0.14, and 0.45. Other examined metrics showed that grassland use had the highest value in most indicators. At the landscape level, the results of the land-cover metrics showed an increasing trend in metrics related to patch cohesion. The final results highlight the preservation of watershed stability against changes. Accordingly, research findings can be employed in the sustainable forthcoming regional planning.

Citation: Irani, T, Abghari, H., & Rasouli, A. A. (2024). Analysis of the Relationship between Landuse Changes and Landuse Metrics: the Case Study of Godarchai Watershed. *Geographical planning of space quarterly journal*, 14 (1), 165-188.

<http://doi.org/10.30488/GPS.2023.406594.3662>



© The Author(s)

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

Publisher: Golestan University Press

Extended Abstract

Introduction

Land-use changes are a significant factor in environmental transformations and can extensively impact natural and human systems. These changes can lead to watershed alterations, increased river capacity, and increased river runoff. Modern technologies, such as remote sensing and modeling, can aid in better understanding these changes. Furthermore, these technologies can assist in predicting future changes. Simulation models like cellular automata and Markov chains can help in decision-making when predicting future states. Natural and socio-economic factors are also used in the analysis of land-use changes. Various studies worldwide have shown that land-use changes can significantly impact the environment. These changes can lead to land loss, increased construction areas, reduced vegetation cover, and changes in land patterns. Therefore, a better understanding of land-use changes and an accurate prediction of future changes can aid in better management of these changes and prevent environmental degradation.

Methodology

This research was conducted using the latest remote sensing technology and implementing satellite image processing methods. The primary objectives of this study were to monitor the spatio-temporal changes in the Gadarachay watershed (Lake Urmia) from 2016 to 2022 and to predict land use in 2028. Therefore, several remote sensing image processing techniques were employed using all available images to detect land use changes and predict them for the future. The model's results were used to predict future land use. Based on the conducted research and the emphasis on the necessity of conducting more extensive and comprehensive studies in the field of land use change assessment, as well as the analysis of the relationship between them and changes in landscape metrics, Accordingly, in the present study, changes in land use during the periods of 2016, 2022, and 2028 were examined using landscape

metrics for the Gadarachay watershed in West Azerbaijan province. This was done to take appropriate management actions and decisions for the proper use of each land use by knowing the changes in each land-use.

Results and discussion

This study examined land use changes in the Gadarachay watershed for the years 2016 and 2028. Utilizing images from 2016 and 2022 and the CA Markov model, a map of land-use changes for 2028 was generated. The results indicated that the CA Markov model, with a Kappa coefficient of 0.87, can predict land-use changes. Furthermore, an increase in aquatic lands, gardens, residential areas, and dry farming was predicted for the upcoming years. Examining land-use changes and landscape metrics, considering 22 metrics at the landscape level and 13 metrics at the class level, demonstrated that the maximum and minimum fragmentation pertains to blue strip use and dry farming. Based on Shannon and Simpson diversity indices, species diversity exceeded one in three intervals. The reduction in the number of patches has led to decreased fragmentation and increased connectivity in the Gadarachay watershed. The fractal dimension index has maintained a constant trend, and the Euclidean nearest neighbor distance has followed a decreasing and increasing trend. In general, most landscape metrics have indicated a decreasing trend in fragmentation and an increasing trend in connectivity. Based on the results, controlling land-use change and preserving natural lands is feasible by adopting practical strategies.

Conclusion

This research indicates increased aquatic lands, gardens, residential areas, and dry farming in the coming years. Additionally, the landscape metrics analysis shows a decrease in fragmentation and an increase in connectivity over time. Based on these findings, practical strategies can be adopted to control land-use change and preserve natural lands. These results can be used to predict the effects of land-use change on

sediment production components, flood risk, and ecological effects. Also, land-use changes can be beneficial in assessing the effects of economic conditions and the livelihood of watershed residents. Ultimately, preventing land overexploitation and preserving it for future generations is highly beneficial and necessary.

Funding

This research has been financially supported by the Regional Water Company of West Azerbaijan Province.

Authors' Contribution

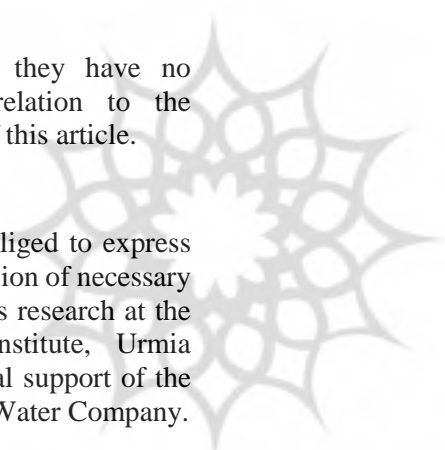
The authors collaborated in the following manner: Tayebah Irani wrote the first draft, which was then reviewed and edited by Dr. Ali Akbar Rasouli. Finally, Dr. Hiram Abghari did the final review of the article.

Conflict of Interest

The authors declare that they have no conflict of interest in relation to the authorship or publication of this article.

Acknowledgments

The authors hereby feel obliged to express their gratitude for the provision of necessary facilities for conducting this research at the Urmia Lake Research Institute, Urmia University, and the financial support of the West Azerbaijan Regional Water Company.



پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

تحلیل ارتباط بین تغییرات کاربری اراضی و سنجه‌های سیمای سرزمین مطالعه موردی: حوزه آبخیز گدارچای

طیبه ایرانی^۱، هیراد عبقری^۲، علی اکبر رسولی^۳

۱- گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران. Email: t.irani@urmia.ac.ir

۲- نویسنده مسئول، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران. Email: h.abghary@urmia.ac.ir

۳- گروه علوم محیطی، دانشگاه مک کواری، سیدنی، استرالیا. Email: aarasuly@yahoo.com

چکیده

اطلاعات مقاله

هدف اصلی پژوهش حاضر بررسی وضع فعلی و پیش‌بینی وضعیت آتی کاربری اراضی در حوزه آبخیز گدارچای در استان آذربایجان غربی است، که یکی از زیرحوضه‌های مهم حوزه آبخیز دریاچه ارومیه است. در این پژوهش تصاویر ماهواره‌ای سنتینل-۲ برای سال‌های میلادی ۲۰۱۶ الی ۲۰۲۲ از سایت کپورنیک اتحادیه اروپا دریافت گردید. سپس روش‌های پیش-پردازش در محیط نرم‌افزارهای مختلف اعمال و تصاویر مربوطه به محیط نرم‌افزار eCognition ارسال شد. در ادامه از مدل زنجیره مارکوف (در محیط نرم‌افزار TreeSet) به منظور پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی در سال‌های آتی استفاده گردید و در نهایت برای سنجه‌های سیمای سرزمین از نرم‌افزار Fragstats 8.2 در دو سطح سیما و کلاس محاسبه شدند. نتایج نهایی مبین این واقعیت است که تا سال ۲۰۲۸ میلادی کاربری اراضی کشاورزی ۱۳/۸۹ کشت دیم ۱/۱۴ محدوده‌های مسکونی ۰/۳۳ و عرصه‌های نمکی دریاچه ارومیه حدود ۲۶ درصد افزایش خواهد داشت. همچنین کلاس کاربری خاک در حد ۱۰/۲۶ و مراتع به میزان ۵/۳۵ درصد کاهش خواهند داشت. مطابق با نتایج سنجه‌های سیمای سرزمین بیش‌ترین تراکم حاشیه (ED) در سال ۲۰۱۶، ۲۰۲۲ و ۲۰۲۸ مربوط به مرتع با مقادیر ۳۶/۰۶، ۳۳/۵۸ و ۲۶/۷۲ و کم‌ترین مقدار آن مربوط به نمک حاشیه دریاچه ۰/۰۱، ۰/۱۴ و ۰/۴۵ محاسبه گردید. در این پژوهش، سایر سنجه‌های موردبررسی نشان داد که کاربری مرتع در اغلب شاخص‌ها بیش‌ترین مقدار را دارد. در سطح سیما، نتایج بررسی سنجه‌های سیمای سرزمین نشان داد که شاخص‌های مرتبط با پیوستگی لکه، روند افزایشی را طی کرده‌اند. این نتایج نشانگر حفظ ثبات حوزه آبخیز در برابر تغییرات است.

واژگان کلیدی:

تخریب بوم‌سازگان،
روند تغییرات،
تصاویر ماهواره‌ای سنتینل ۲،
پردازش دانش‌پایه،
مدل زنجیره مارکوف.

تاریخ دریافت:

۱۴۰۲/۱۰/۰۴

تاریخ بازنگری:

۱۴۰۲/۱۲/۰۵

تاریخ پذیرش:

۱۴۰۳/۰۱/۱۸

تاریخ چاپ:

۱۴۰۳/۰۲/۱۱

صص. ۱۶۵-۱۸۸

استناد: ایرانی، طیبه؛ عبقری، هیراد و رسولی، علی اکبر. (۱۴۰۳). مدل سازی پیش‌ران‌های ایجادکننده آلودگی هوا در شهر تهران. *مجله آمایش جغرافیایی فضا*، ۱۴ (۱)، ۱۶۵-۱۸۸.

<http://doi.org/10.30488/GPS.2023.406594.3662>

مقدمه

تغییر کاربری زمین، یکی از عوامل مهم برای درک تحولات محیطی است تغییر کاربری زمین با عامل‌هایی مانند تغییرات ارتفاع در حوزه‌های آبخیز، افزایش ظرفیت رودخانه‌ها و افزایش حجم رواناب در رودخانه تأثیر خواهد داشت (Meo et al, 2017:99). آگاهی از تغییر کاربری زمین یکی از مهم‌ترین پارامترهای تصمیم‌گیری برای برنامه‌ریزی زمین در مقیاس جهانی و ناحیه‌ای می‌باشد. پیشرفت در درک حالت‌های مختلف تغییرات کاربری اراضی می‌تواند در شناسایی و تشخیص بهتر فرآیندهای زمینی، از جمله رویدادهایی مانند سیلاب و دیگر وقایع مهم در آینده، نقش مهمی داشته باشد. (Armenteras et al, 2019:1). بررسی تغییرات کاربری می‌تواند به درک فرآیندهای انسانی کمک کرده تا بتوان از میزان تخریب ایجادشده جلوگیری شود (Donnay et al, 2001:1). تهیه نقشه تغییرات کاربری اراضی، برای متخصصان و برنامه‌ریزان شهری و روستایی اطلاعات مهمی را فراهم می‌کند، اما این کار با انجام عملیات زمینی زمان‌بر و هزینه‌بر است. فناوری سنجش از راه دور به‌عنوان راهکاری ارزشمند در شناسایی، تشخیص، پایش و پهنه‌بندی منابع طبیعی به کار گرفته می‌شود و در تهیه نقشه کاربری اراضی، در سطح وسیع و با دقت بالا، به‌عنوان روشی علمی مورد استناد قرار می‌گیرد (رسولی، ۱۳۸۷:۱). منطقه‌های وسیع حوزه‌های آبخیز توسط داده‌های سنجش از دور پوشش داده می‌شوند و همچنین پوشش زمانی زیاد این داده‌ها اطلاعات باارزشی از مکان، فرآیند، نسبت، روند طبیعی و الگوی تغییر پوشش کاربری زمین فراهم خواهد کرد (Munthali et al, 2019:1151). برای شناخت الگوی کاربری زمین و مکانیزم‌های پیچیده مدل‌ها و تحلیل حالت‌های ممکن ابزاری توانا است. برخی از این مدل‌های شبیه‌سازی ممکن است به تصمیم‌گیری در مورد پیش‌بینی حالت‌های که در آینده اتفاق می‌افتد کمک کند. از جمله مدل‌های که می‌توان نام برد، مدل‌ها اتوماتای سلولی و زنجیره مارکوف است (Samie et al, 2017:1). مدل زنجیره مارکوف اطلاعاتی از مکان نمی‌دهد و تنها پویایی زمانی را به دست می‌آورد اما در مقایسه با مدل زنجیره مارکوف، مدل اتوماتای سلولی CA^۱ دارای مؤلفه مکانی می‌باشد، که با قانون‌های خاصی از سلول‌های همسایه تغییر در آینده به دست می‌آورد. خروجی مدل مارکوف از نظر ماهیت، مکانی نیست؛ یعنی در آن از موقعیت جغرافیایی کاربری‌های زمین هیچ دانش و آگاهی وجود ندارد. زمان $t+1$ برای پیش‌بینی موقعیت کاربری‌ها، به همراه مدل مارکوف روش سلول‌های خودکار ۴ به کار گرفته می‌شود (میثاق و همکاران، ۱۳۹۷:۲۱۷). مدل CA مارکوف در پیش‌بینی مکانی-زمانی بسیار مفید است چون ۵ روند تغییر کاربری زمین و حالت ممکن در نظر می‌گیرد (Mujiono et al, 2017:1)، به‌طور کلی این مدل توانایی شبیه‌سازی و مدل‌سازی حالت‌های ممکن مختلف با به کار بردن روش‌های نوین در پردازش تصویرهای ماهواره‌ای و مدل‌های کارآمد در تحلیل‌های مکانی، امکان پیش‌بینی و بررسی تغییر زمانی - مکانی کاربری زمین را می‌دهد (ابراهیمی و همکاران، ۱۳۷:۱۳۹۷) و برای استخراج اطلاعات کاربردی طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای یکی از مهم‌ترین روش‌ها محسوب می‌شود (Blaschke, 2010:2). در حال حاضر طبقه‌بندی تصاویر رقومی ماهواره‌ای با سه روش کلی پردازش پیکسل پایه، شیء‌گرا، و آموزش‌گرای انجام می‌شود (جویباری مقدم و همکاران، ۱۳۹۳:۱). اخیراً روش جدید شیء‌گرا برای تجزیه و تحلیل تصویر استفاده می‌شود که قطعه‌بندی سطح پایین و بدون دانش را با روش‌های طبقه‌بندی فازی سطح بالا و مبتنی بر دانش ادغام می‌کند. این روش جدید از طریق نرم‌افزار eCognition، که شامل محیطی شیء‌گرا برای طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای بود، طراحی شد (Tzotsos & Argialas, 2008:1). در روش طبقه‌بندی شیء‌گرا، اطلاعات شکل، طیفی و بافت‌ها به‌طور هم‌زمان در نظر گرفته می‌شوند و این روش باعث کاهش خطاهای ناشی از پیکسل‌های متفاوت در روش‌های طبقه‌بندی مبتنی بر پیکسل

می‌شود. در روش شیء‌گرا، مجموعه پیکسل‌های مشابه تحت یک عنوان شناسایی شده و سپس عملیات طبقه‌بندی و تقسیم‌بندی بر روی آن‌ها اعمال می‌شود (رسولی، ۱۳۸۷:۱). در تجزیه و تحلیل تغییرات کاربری زمین، از عوامل طبیعی و اجتماعی-اقتصادی نیز استفاده می‌شود (Aunap et al, 2006:114). تأثیرات کاربری‌های مختلف زمین بر خدمات بوم‌سازگان‌ها (ES) از طریق سه روش اصلی شامل ۱- الگوهای کاربری زمین ۲- شیوه‌های استفاده از زمین و ۳- شدت‌های مختلف استفاده از زمین نمود پیدا می‌کنند (Fu et al, 2015:833). مطالعه تغییرات کاربری اراضی، یکی از مسائل مهم در تغییرات بوم‌شناختی جهانی است و سنج‌های سیمای سرزمین، که یک رویکرد تلفیقی با سنجش‌ازدور است، می‌تواند در ارزیابی روند تغییرات کاربری اراضی مفید باشد. این سنج‌ها ویژگی‌های اجزای ساختار فضایی سیمای سرزمین را به صورت کمی قابل‌مقایسه می‌کنند که این امر از اهمیت بسزایی برخوردار است (کاکه‌ممی و همکاران، ۱۳۹۹:۶۸). سیمای سرزمین شامل محدوده‌ای است که شامل لکه‌ها، زیستگاه‌ها و عناصر زیست‌شناختی است و سنج‌های سیمای سرزمین در سه سطح کلاس، سیما و لکه قابل‌محاسبه هستند. سنج‌های سطح کلاس برای یک نوع کاربری محاسبه می‌شوند، درحالی‌که سنج‌های سطح لکه ویژگی مکانی لکه‌ها را بررسی می‌کنند و سنج‌های سیمای سرزمین برآیند ویژگی‌های لکه‌ها و طبقه‌ها هستند (نصیری و درویش‌صفت، ۱۳۹۷:۹۹). بسیاری از معیارهای الگوی سیمای سرزمین نسبت به تغییرات فضایی وضوح داده‌ها یا مساحت سیمای سرزمین حساس هستند و همبستگی‌های متعددی بین شاخص‌های سیمای سرزمین رخ می‌دهد (Uemaa et al, 2009:1).

در این بخش از پژوهش به بررسی و مرور نتایج انجام‌شده، به چند نمونه بارز در خارج از کشور و ایران اشاره می‌گردد. رسولی^۱ و همکاران (۲۰۱۲) به بررسی تغییرات ۳۰ ساله LU/LC در منطقه قره‌باغ با استفاده از روش‌های تحلیل تصاویر ماهواره‌ای مبتنی بر شیء (OBIA) پرداختند. نتایج (DTI) نشان داد که از سال ۲۰۱۶ تا ۲۰۲۱، تغییرات LC کاملاً معنادار بوده و بیشترین تغییرات در اراضی تخریب‌شده با مساحت ۴۵/۱ کیلومتر مربع (۲۶/۸٪) مشاهده شده است. همچنین لام^۲ و همکاران (۲۰۱۸) به بررسی اثر تکه‌شدگی (SPLIT) سیمای سرزمین بر از دست دادن زمین در ساحل لوئیزیانا در ایالت جنوبی آمریکا پرداختند. در این پژوهش از تصاویر لندست TM⁺ سال‌های ۱۹۹۶ تا ۲۰۱۰ و از ابعاد فراکتال منطقه و همبستگی فضایی استفاده شد. نتایج نشان داد که تکه‌شدگی سیمای سرزمین منجر به از دست دادن بیش‌تر زمین می‌شود. منتهلی^۳ و همکاران (۲۰۱۹) با استفاده از شبکه سلول خودکار مارکوف به پیش‌بینی پوشش کاربری اراضی مالاوی پرداختند. در این پژوهش با ترکیب GIS و سنجش‌ازدور تلاش کردند تغییرات کاربری اراضی را برای بازه‌های زمان ۲۰۲۵ تا ۲۰۳۵ بررسی کنند و از صحت کلی و ضریب کاپا برای ارزیابی دقت نقشه‌ای تولیدشده استفاده کردند. نتایج نشان داد کاربری‌های مناطق مسکونی، پهنه‌های آبی و زمین‌های بایر افزایش مساحت خواهند داشت و جنگل‌ها و زمین‌های کشاورزی با کاهش مساحت مواجه خواهند بود و همچنین بیشترین میزان تغییر مربوط به مناطق جنگلی به مقدار ۶۴ درصد خواهد بود. همچنین در تحقیق دیگری بریلا و ایسوفی (۲۰۲۱) در مطالعه‌ای در منطقه کوزوو پراکندگی شهرها با استفاده از GIS، سنجش‌ازدور و سنج‌های سیمای سرزمین را بررسی نمودند. نتایج نشان داد که در طول دوره ۲۰۰۰-۲۰۲۰ در شهر پریشتینا مساحت مناطق

1. Rasouli
2. Object-Based Image Analysis
3. Dynamic Thresholds Indexing
4. Lam
5. Louisiana
6. Spatial autocorrelation
7. Munthali
8. Berila & Isufi
9. Prishtina

شهری به میزان ۱۶/۴۶ کیلومتر مربع افزایش یافته است. همچنین هو و همکاران (۲۰۲۴) در مطالعه‌ای با استفاده از مدل‌های CA-Markov تغییرات کاربری زمین در شهر چونگ‌کینگ را بررسی کرد. تا سال ۲۰۳۰، مناطق ساخت‌وساز افزایش می‌یابد. همچنین در ایران نیز عبیبات و همکاران (۱۳۹۹)، در پیش‌بینی تغییرات پوشش گیاهی در ارتباط با تغییرات کاربری اراضی با استفاده از مدل LCM و زنجیره CA مارکوف در شهر اهواز از طبقه‌بندی شیء‌گرا استفاده کردند و نتایج نشان داد که پوشش گیاهی روند کاهشی، و بیشترین تغییرات مربوط به تبدیل پوشش گیاهی به نواحی ساخته‌شده است و کمترین تغییرات مربوط به تبدیل پوشش گیاهی به پهنه آبی است و نتایج پیش‌بینی تغییرات تا سال ۲۰۲۹ نشان‌دهنده کاهش سطح پوشش گیاهی می‌باشد. در بخش سنجه‌های سیمای سرزمین مطالعه کانگ‌آ و همکاران (۲۰۱۳) به بررسی تغییرات در استفاده از زمین و الگوی سرزمین در دشت سیل‌خیز Oguraike پرداختند. نتایج نشان‌دهنده‌ای تنوع در سیمای سرزمین کاهش یافته و نواحی علفزار، شهری، مرتع و شالیزار در داخل لکه‌های بزرگ متمرکز شده‌اند و بیشترین جداسازی مربوط به پهنه آبی بوده است، در نهایت منجر به کاهش تنوع منظر در این منطقه شده است. همچنین در ایران نظر نژاد و همکاران (۱۳۹۸) به ارزیابی تغییرات پیوستگی و الگوی کاربری اراضی با استفاده از سنجه‌های سیمای سرزمین در حوزه آبخیز زولاچای پرداختند. از تصاویر ماهواره‌ای Landsat4 و Landsat8 برای تهیه نقشه کاربری اراضی و طبقه‌بندی با روش Maximum Likelihood استفاده شده است. نتایج نشان می‌دهد که تفکیک کاربری‌های طبیعی و ناهمگنی در کاربری اراضی افزایش یافته و یکپارچگی عناصر ساختاری کاهش یافته است. که ناپیوستگی را در منطقه مورد مطالعه افزایش داده است. همچنین مطالعه اسفندیاری و همکاران (۱۳۹۹) به بررسی تغییرات مکانی سنجه‌های سیمای سرزمین در پوشش گیاهی جوامع حاشیه متأثر از نوع کاربری اراضی در رودخانه قره‌سو استان اردبیل پرداختند. ابتدا مقایسه میانگین بین سنجه‌های مختلف سیمای سرزمین در چهار کاربری اراضی مختلف با استفاده از آنالیز واریانس انجام گردید، سپس برای تعیین تفاوت معنی‌داری بین مقادیر سنجه‌ها، از تحلیل واریانس یک‌طرفه به روش دانت استفاده شد. نتایج نشان داد که تغییرات میانگین سنجه CONTAG در بازه‌های مختلف مطالعاتی و کاربری‌های اراضی مختلف بین ۰ تا ۶۹/۸۰ است. همچنین، تغییرات میانگین شاخص (SPLIT) در بازه با کاربری اراضی مختلف بین ۹/۹۳ تا ۲۷/۹۷ است. در مجموع، وجود و پیوستگی جوامع حاشیه رودخانه می‌تواند به ایجاد پیچیدگی و تنوع در اکوسیستم رودخانه کمک کند و از شدت خسارت‌های ناشی از تغییر مسیر رودخانه و وقوع سیلاب کاهش دهد. همچنین مطالعه دژبانی و همکاران (۱۴۰۲) به بررسی ارتباط بین تغییرات کاربری اراضی در دوره‌های زمانی مختلف با استفاده از سنجه‌های سیمای سرزمین در حوزه آبخیز کوزه‌تپراقی واقع در استان اردبیل پرداخته‌اند. از تصاویر ماهواره‌ای لندست مربوط به سال‌های ۱۳۷۹، ۱۳۸۹ و ۱۴۰۰ استفاده کردند. سنجه‌های سیمای سرزمین از نرم‌افزار Fragstats 8.2 در دو سطح سیما (۲۲ سنجه) و کلاس (۱۳ سنجه) محاسبه و کمی‌سازی شدند. نتایج نشان داد در سطح سیما شاخص تکه‌شدگی (SPLIT) در سال ۱۳۸۹ نسبت به سال ۱۳۷۹ کاهش جزئی داشته و سپس در سال ۱۴۰۰ افزایش پیدا کرده است. شاخص بزرگ‌ترین لکه (LPI) هم کاهش قابل توجهی در سال ۱۴۰۰ نشان داد، به طوری که از مقدار ۴۳/۳۴ در سال ۱۳۷۹ به ۳۴/۸۱ در سال ۱۴۰۰ رسیده است.

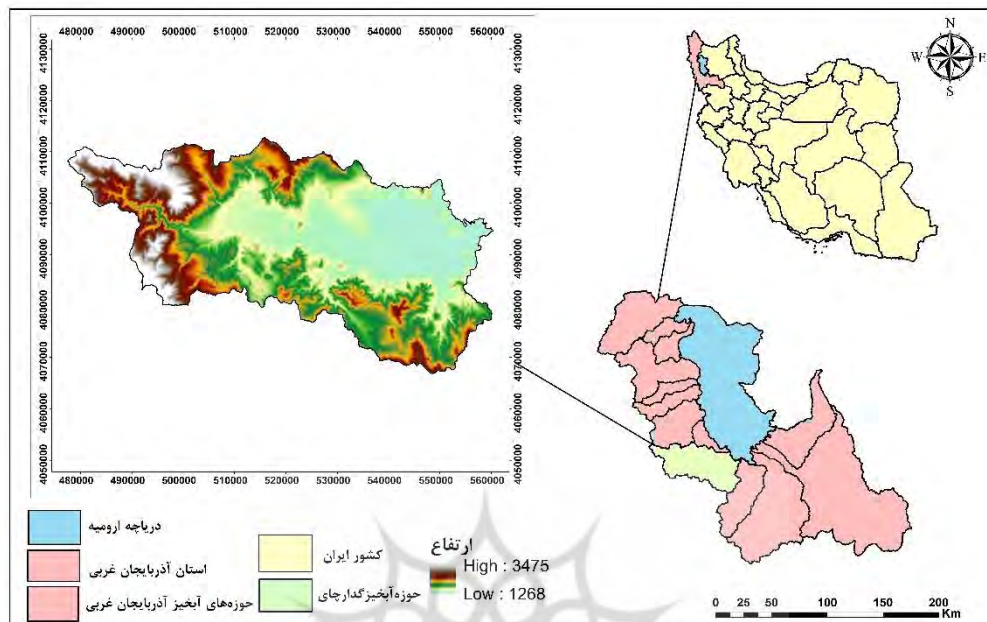
مبانی نظری

تغییرات کاربری زمین، عامل مهمی در تحولات محیطی است و می‌تواند تأثیرات گسترده‌ای بر سیستم‌های طبیعی و انسانی داشته باشد. این تغییرات می‌توانند باعث تغییرات در حوزه‌های آبخیز، افزایش ظرفیت رودخانه‌ها و افزایش حجم رواناب در رودخانه شوند. فناوری‌های مدرن مانند سنجش از راه دور و مدل‌سازی می‌توانند به درک بهتر این تغییرات کمک کنند. همچنین، این فناوری‌ها می‌توانند به پیش‌بینی تغییرات آبی کمک کنند. مدل‌های شبیه‌سازی مانند اتوماتای سلولی و زنجیره مارکوف می‌توانند در تصمیم‌گیری در مورد پیش‌بینی حالت‌های آینده کمک کنند. در تجزیه و تحلیل تغییرات کاربری زمین، از عوامل طبیعی و اجتماعی-اقتصادی نیز استفاده می‌شود. مطالعات مختلف در سراسر جهان نشان داده‌اند که تغییرات کاربری زمین می‌تواند تأثیرات مهمی بر روی محیط‌زیست داشته باشد. این تغییرات می‌توانند منجر به از دست رفتن زمین، افزایش مناطق ساخت‌وساز، کاهش پوشش گیاهی و تغییرات در الگوی سرزمین شوند. بنابراین، درک بهتر از تغییرات کاربری زمین و پیش‌بینی دقیق تغییرات آبی می‌تواند به مدیریت بهتر این تغییرات و جلوگیری از تخریب محیط‌زیست کمک کند. علیرغم ارزشمند بودن تحقیقات انجام‌شده در مبحث بررسی تغییرات کاربری اراضی، در این تحقیق با دسترسی به داده‌های جدید فناوری سنجش‌از‌دور Sentinel2 با تفکیک مکانی ۱۰ متر و با اعمال روش‌های پردازش تصاویر ماهواره‌ای دانش‌پایه پرداخته شد. از اهداف اصلی این تحقیق نظارت بر تغییرات زمانی-مکانی حوزه آبخیز گدارچای- دریاچه ارومیه طی دوره ۲۰۱۶ تا ۲۰۲۲، و پیش‌بینی کاربری اراضی سال ۲۰۲۸ بود. به همین دلیل، چندین تکنیک پردازش تصویر سنجش‌از‌دور با استفاده از تمام تصاویر موجود برای تشخیص تغییرات کاربری و پیش‌بینی آن برای آینده به کار گرفته شد. با استفاده از نتایج مدل، کاربری اراضی آینده پیش‌بینی شد. بر اساس تحقیقات انجام‌شده و تأکید بر لزوم انجام مطالعات گسترده‌تر و جامع‌تر در زمینه ارزیابی تغییرات کاربری اراضی و نیز تحلیل ارتباط بین آن‌ها و تغییرات سنجه‌های سیمای سرزمین دارد. بر همین اساس، در تحقیق حاضر، بررسی تغییرات کاربری اراضی در دوره‌های زمانی ۱۳۹۵، ۱۴۰۱ و ۱۴۰۷ با استفاده از سنجه‌های سیمای سرزمین برای حوزه آبخیز گدارچای در استان آذربایجان غربی انجام شد تا با اطلاع داشتن از تغییرات هر یک از کاربری‌ها، اقدامات و تصمیمات مدیریتی مناسبی برای استفاده درست از آن‌ها انجام شود. با توجه به وقوع تغییرات اقلیمی و محیطی محتمل در سرتاسر کشور ایران، می‌توان امیدوار بود مدل‌های نهایی تحقیق با جنبه‌های کاربردی متعددی همراه شود.

منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز گدارچای سومین حوضه بزرگ حوضه آبریز دریاچه ارومیه در کشور ایران، بعد از زرینه‌رود و سیمینه‌رود است که به عرض‌های شمالی در موقعیت $36^{\circ}45'$ تا $10^{\circ}37'$ و طول‌های شرقی در موقعیت $44^{\circ}42'$ تا $41^{\circ}45'$ محدود است. وسعت این حوضه بالغ بر ۲۰۹۰ کیلومتر مربع می‌باشد. رودخانه گدارچای پیه جیک از کوه‌های اشنویه سرچشمه و از منطقه جاشیران وارد دشت سولدوز شده و بعد از تغذیه آب‌های زیرزمینی و آبیاری زمین‌های کشاورزی نهایتاً طی طریق ۱۰۰ کیلومتر در روستای ممیند به دریاچه ارومیه منتهی می‌شود. رودخانه گدارچای دارای ۱۲ ایستگاه هیدرومتری است که مهم‌ترین آن‌ها ایستگاه‌های پی قلعه، پل پیه جیک و پل بهراملو (جاده سنتو) است. بر روی رودخانه گدارچای سدی هنوز احداث نشده است؛ ولی سد حسنلو با حجم مخزن ۹۶ میلیون مترمکعب، که خارج از بستر این رودخانه است، از رودخانه گدارچای آبیگیری می‌کند. از لحاظ ویژگی‌های فیزیوگرافیکی حوضه گدارچای، دارای ۱۱ واحد کاری پل بهراملو سنتو، محمداشاه سفلی، نقده، بالچی، بایزید آباد، پیه جیک، چپرآباد، صوفیان، اشنویه، پی قلعه و دورود می‌باشد. پل بهراملو سنتو

با مساحت ۲۰۲۹/۸۴ کیلومترمربع بیشترین وسعت و صوفیان با مساحت ۱۲/۱۶ کیلومترمربع کمترین وسعت را به خود اختصاص داده است. این حوضه در محدوده ارتفاعی ۱۲۶۸ تا ۳۴۷۵ متر از سطح دریا قرار گرفته است. در شکل (۱) موقعیت جغرافیایی حوزه آبخیز گدارچای در ایران و استان آذربایجان غربی ارائه شده است.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی حوزه آبخیز گدارچای - دریای ارومیه

روش پژوهش

در تحقیق حاضر از تصاویر ماهواره‌ای Sentinel2، با تفکیک مکانی ۱۰ متری و دارا بودن محدوده طیف‌های متنوع (۱۳ باند برای Sentinel2) استفاده گردید. این تصاویر از اواخر سال ۲۰۱۵ میلادی از سایت Copernicus آژانس فضایی اتحادیه اروپا دریافت گردید. اطلاعات تصاویر مورد استفاده در این مطالعه در جدول (۱) ارائه شده است.

جدول ۱. اطلاعات تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده در مطالعه تغییر و پیش‌بینی کاربری

نام سنجنده	تاریخ کسب داده	قدرت تفکیک مکانی
Sentinel2	۲۰۱۶/۰۷/۱۶ معادل ۱۳۹۵/۴/۲۶	چند طیفی ۲۰، ۱۰ و ۶۰ متر
Sentinel2	۲۰۲۲/۰۶/۲۰ معادل ۱۴۰۱/۰۳/۳۰	چند طیفی ۲۰، ۱۰ و ۶۰ متر

پیش‌پردازش تصاویر ماهواره‌ای

به منظور پیش‌پردازش برش تصاویر و موزاییک‌سازی، تولید شاخص‌های کاربری اراضی، طبقه‌بندی تصاویر و ارسال لایه‌های تولید شده در محیط نرم‌افزارهای (ERDAS Imagine & ENVI) انجام گردید.

در مرحله پردازش برای ایجاد فضای کار نرم‌افزاری، ورود داده‌ها و تصاویر، ایجاد پروژه‌های مورد نیاز، سگمنت‌سازی چند متغیره، ویراستاری شی‌های تصویری، طبقه‌بندی اراضی زمین، تولید شاخص‌های طیفی، برآورد دقت و صحت نتایج، فیلترگذاری و ویراستاری، ارسال لایه‌های رقومی و طبقه‌بندی نظارت شده به روش‌های NNC تولید نقشه‌های پوشش زمین و کاربری اراضی در محیط نرم‌افزار eCognition Developer 9.5 انجام گردید. با بهره‌برداری از توابع این نرم‌افزار به منظور طبقه‌بندی کاربری اراضی راهکارهای مختلفی ارائه شده است. طبقه‌بندی‌هایی که غالباً در این زمینه و با استفاده

از این نرم‌افزار انجام گرفته به صورت مراحل سگمنت‌سازی، نمونه‌برداری و طبقه‌بندی است. از آنجایی که در مرحله طبقه‌بندی شیء‌گرا تعریف شیء‌ها یا سگمنت‌ها است، به همین منظور برای سگمنت‌سازی، مقدار ۰/۳، ۰/۷ و ۰/۷ به ترتیب برای پارامترهای مقیاس، شکل و فشردگی مطلوب بودن در نظر گرفته شد. جهت تفکیک بهتر پوشش گیاهی از شاخص NDWI و NDVI) استفاده شد. رابطه شاخص‌ها برای ماهواره Sentinel2 در روابط ۱ و ۲ بیان شده است (محرمی و همکاران، ۲۰۱۵).

$$NDVI Sentinel2 = (Near Infraredb8 - REDb4 / Near Infraredb8 + REDb4) \quad (۱)$$

$$NDWI Sentinel2 = (Greenb3 - Near Infraredb8 / Greenb3 + Near Infraredb8) \quad (۲)$$

پس از ایجاد شاخص‌ها، با توجه به هدف تحقیق که آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی است، کلاس‌های کاربری در نظر گرفته شده شامل کاربری پهنه آبی، مسکونی، مرتع، نمک حاشیه دریاچه ارومیه، باغات و اراضی آبی، اراضی دیم و خاک است. در طبقه‌بندی تصویر با روش شیء‌گرا از الگوریتم نزدیک‌ترین همسایه NNC استفاده شد و متناسب با خصوصیات بصری و به کمک شاخص‌ها نمونه برای هر کدام از کلاس‌ها انتخاب، و شرایط طبقه‌بندی برای هر یک از کلاس‌های کاربری اراضی تعریف شد. نقشه‌های کاربری اراضی برای ۲ دوره با روش شیء‌گرا استخراج گردید. مساحت کاربری‌ها طبقه‌بندی شده محاسبه گردید. در مرحله بعد پیش‌بینی تغییرات کاربری به کمک مارکوف و CA-مارکوف انجام شد.

پیش‌بینی روند تغییرات با مدل CA-مارکوف

با توجه به توانایی الگوریتم تلفیقی زنجیره مارکوف و سلول‌های خودکار، از این مدل برای پوشش سطح زمین و پیش‌بینی کاربری در آینده استفاده می‌شود. این مدل با تحلیل یک جفت از نقشه‌های کاربری زمین با استفاده از زنجیره مارکوف، ماتریس احتمال انتقال^۴، ماتریس مساحت انتقال یافته^۵ و چند تصویر احتمال شرطی ایجاد می‌گردد (بسته به تعداد کاربری‌ها)، ماتریس احتمال انتقال، احتمال هر کدام از کاربری‌ها به کاربری دیگر را نشان می‌دهد (Mirakhorlo and Rahimzadegan, 2018)، این مدل پیش‌بینی آینده را با ایجاد یک ماتریس احتمال تغییرات کاربری بین سال اول (T_0) و دوم (T_1) انجام می‌دهد. محاسبه پیش‌بینی تغییرات کاربری زمین از طریق رابطه (۳) به دست می‌آید:

$$S = (T_0 + T_1) = P_{ij} * S(t) \quad (۳)$$

که در آن، $S(t)$ وضعیت کاربری سال اول و $S(t_1)$ وضعیت کاربری زمان دوم را نشان می‌دهد و P_{ij} ماتریس احتمال انتقال می‌باشد (Hamad and Kolo, 2018).

اساس تولید ماتریس احتمال انتقال این است که می‌توان از شرایط قبلی کاربری زمین برای پیش‌بینی استفاده کرد. برای تعیین ماتریس احتمال انتقال از رابطه (۴) استفاده می‌شود:

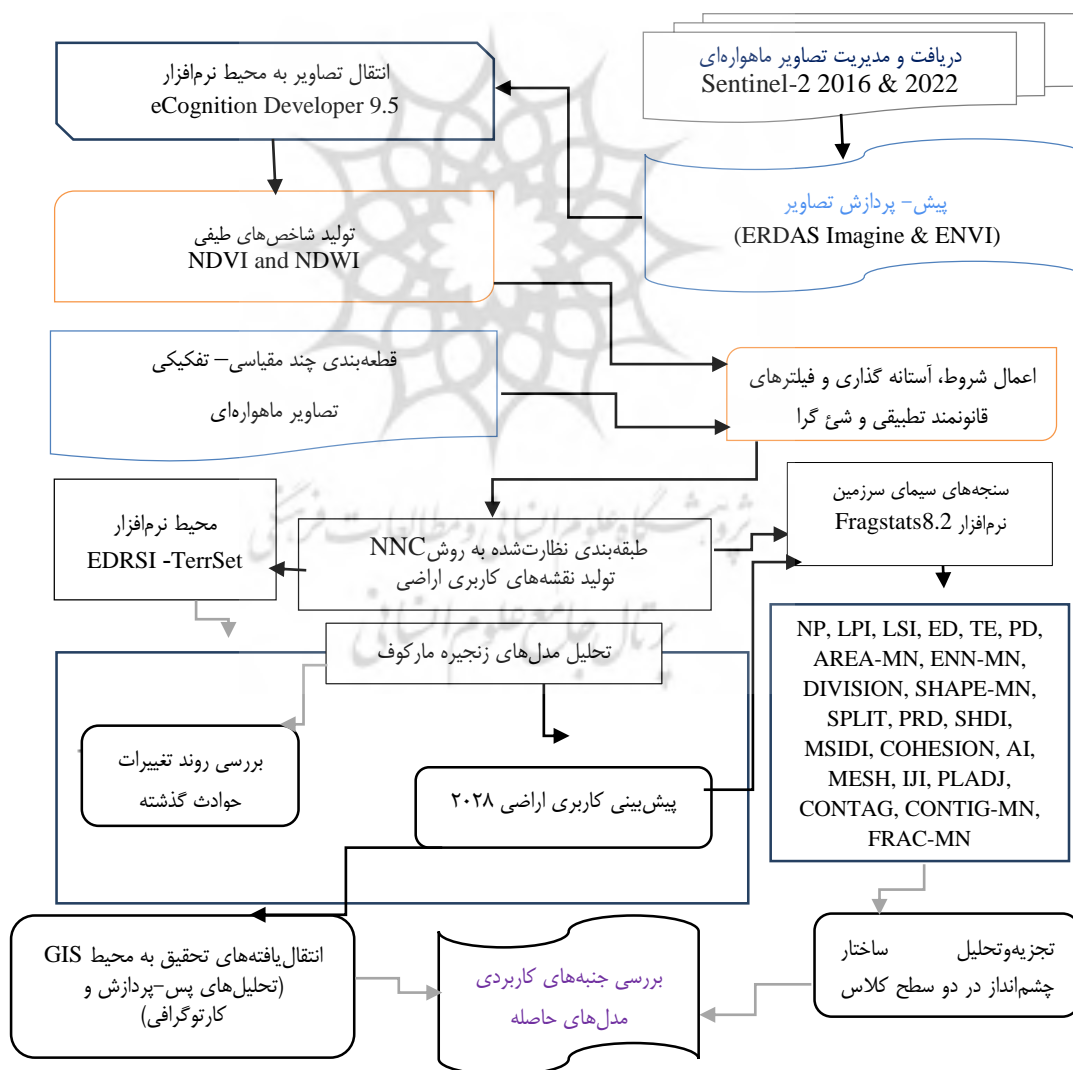
$$P_{ij} = \begin{vmatrix} P_{11} & P_{12} \cdots P_{1n} \\ P_{21} & P_{22} \cdots P_{2n} \\ \vdots & \vdots \end{vmatrix} (0 \leq P_{ij} \leq 1) \quad (۴)$$

1. Normalized Difference Water Index
2. Normalized Difference Vegetation Index
3. Moharrami et al
4. Transition Probabilities
5. Transition Areas

که در آن، P_{ij} احتمال انتقال را از اولین سال (i) تا دومین سال (j) نشان می‌دهد (Mirakhorlo and Rahimzadegan, 2018). مرحله پس پردازش ورود لایه‌های رقومی، فرمت سازی تصاویر طبقه‌بندی شده، اعمال محاسبه‌گرهای زنجیره مارکوف، ارزش گذاری کلاس‌های کاربری اراضی، اجرای توابع ترکیبی زنجیره مارکوف، تولید لایه‌های پیش‌بینی کاربری اراضی، ارزیابی نتایج نهایی و ارسال نتایج به محیط سایر نرم‌افزارها این مراحل در محیط نرم‌افزار TerrSet2020 انجام خواهد شد. سپس با ورود لایه‌های رقومی به محیط نرم‌افزار ArcGIS10. نتایج نهایی استخراج گردید.

محاسبه سنجه‌های سیمای سرزمین

یکی از ابزارهای محاسبه سنجه‌های سیمای سرزمین، نرم‌افزار Fragstats می‌باشد که استفاده از آن به دلیل قابلیت بیشتر و محاسبه تعداد بیش‌تری از سنجه‌های سیمای سرزمین معمول‌تر است (McGarigal et al., 2002). نرم‌افزار Fragstats مجموعه کاملی از سنجه‌های سیمای سرزمین می‌باشد. این برنامه محدودیتی در مقیاس (پهنه و بزرگ‌نمایی) نداشته و برای تجزیه و تحلیل الگوی مکانی و سنجه‌های مختلف لکه‌های تشکیل‌دهنده سیمای سرزمین در محیط‌های ناهمگن و شرایط متفاوت مناسب است. در شکل (۲) فرآیند کلی انجام تحقیق ارائه شده است.



شکل ۲. نمودار جریان مراحل انجام تحقیق

یافته‌ها

پردازش تصاویر به روش‌های شیء‌گرا پیکسل‌های تصویر ماهواره‌ای (تشکیل‌دهنده باندهای تصویری) با اعمال الگوریتم‌های سگمنت‌سازی (Segmentation) و با توجه به میزان بازتابش، شکل، تراکم و سایر ارزش‌های زمین-آماری به شیء‌های تصویری تبدیل گردید با اعمال روش‌های ایندکس‌سازی، طبقه‌بندی تصاویر انجام گردید. در این تحقیق از ترکیب باندهای ۲، ۳، ۴، ۸ و ۱۱ تصویر Sentinel2 استفاده شده است. بعد از طبقه‌بندی تصاویر به روش NNC در هفت کاربری پهنه آبی، خاک، باغات و اراضی آبی، اراضی دیم، نمک حاشیه دریاچه ارومیه، مرتع و مسکونی، نقشه کاربری اراضی سال ۲۰۱۶ و ۲۰۲۲ تهیه گردید و مساحت هر کاربری محاسبه شد. طبق نتایج برای سال ۲۰۱۶ مساحت پهنه آبی، خاک، باغات و اراضی آبی، اراضی دیم، نمک حاشیه دریاچه ارومیه، مرتع و مسکونی به ترتیب ۰/۰۵، ۰/۰۴، ۰/۰۵، ۳۵۱/۱۹، ۳۳۲/۱۹، ۵۱۸/۵، ۲۱۳/۳، ۲۶۶/۲، ۳۷۴/۹، ۲/۸، ۵۱۹/۱ و ۲۸/۲ کیلومتر مربع می‌باشد. برای به دست آوردن ماتریس مساحت انتقال ابتدا به وسیله مدل مارکوف تصاویر طبقه‌بندی سال ۲۰۱۶ و ۲۰۲۲ استفاده شد تا ماتریس مساحت انتقال ایجاد شده و به عنوان ورودی به مدل CA مارکوف برای پیش‌بینی سال ۲۰۲۸ معرفی شود. فاصله زمانی بین دو تصویر ۶ سال و فاصله زمانی برای پیش‌بینی در سال ۲۰۲۸، ۶ سال در نظر گرفته شد. در این تحقیق ماتریس مساحت انتقال (۲۰۱۶-۲۰۲۲)، نقشه پایه (۲۰۲۲) و تعداد کل تکرارها به عنوان ورودی‌های مدل CA مارکوف بود. تعداد کل تکرارها بر اساس زمان تعیین شده برای پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی می‌باشد (Sarabuddin et al, 2019:723)، که در این مطالعه تعداد دوره‌ها ۶ سال انتخاب شد. ماتریس مساحت انتقال و ماتریس مساحت احتمال انتقال جدول (۳) و (۴) با استفاده از نقشه طبقه‌بندی سال ۲۰۱۶ و ۲۰۲۲ به دست آمد.

جدول ۲. ماتریس مساحت انتقال یافته تغییر کاربری (۲۰۱۶-۲۰۲۲) با استفاده مدل زنجیره‌ای مارکوف بر حسب کیلومتر مربع

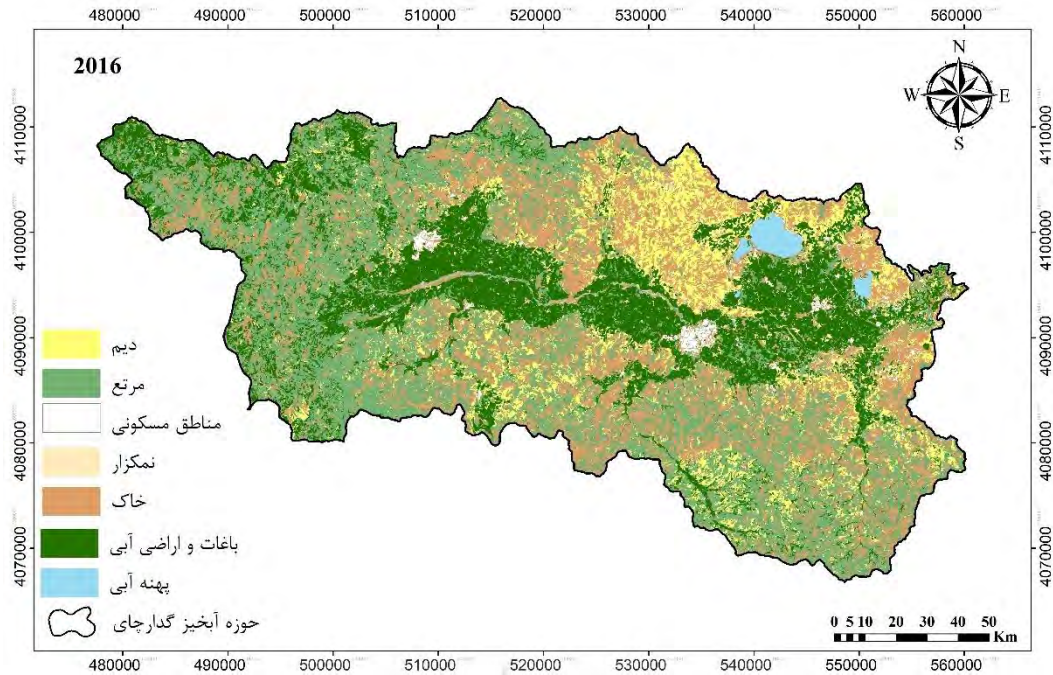
کاربری اراضی	آب	خاک	مسکونی	باغات و اراضی آبی	مرتع	دیم	نمک حاشیه دریاچه ارومیه
پهنه آبی	۲۳/۷۲	۱۰/۲۰	۰/۰۴	۱/۴۳	۰/۷۶	۰/۲۸	۰/۷۵
خاک	۵/۰۷	۶۴۶/۳۰	۱۳/۹۳	۷۱/۱۵	۲۰۹/۰۵	۱۹۷/۷۱	۲/۶۷
مسکونی	۰/۰۵	۶/۸۶	۲۰/۴۸	۲/۰۸	۵/۳۴	۲/۶۹	۰/۰۱
باغات و اراضی آبی	۵/۵۷	۳۶/۳۰	۱/۹۰	۷۷۰/۵۷	۱۷۷/۲۱	۵۲/۴۰	۴/۸۱
مرتع	۲/۱۲	۱۸۴/۱۵	۱/۷۸	۲۸۱/۶۰	۴۳۹/۴۱	۱۰۰/۶۱	۴/۹۵
دیم	۰/۳۹	۱۲۸/۱۷	۲/۴۷	۱۱۶/۷۵	۱۲۲/۰۴	۲۲۱/۵۵	۰/۳۷
نمک حاشیه دریاچه ارومیه	۰/۵۵	۱۳/۶۰	۰/۰۱	۰/۰۴	۰	۰/۰۴	۱/۲۸

بر اساس نتایج حاصل از جدول (۲)، ۲۳/۷۲ کیلومتر مربع از کاربری آب در سال ۲۰۱۶ در سال ۲۰۲۲ در همان کاربری آب باقی خواهد ماند. همچنین، ۱۰/۲۰ کیلومتر مربع از کاربری آب به خاک، ۰/۰۴ کیلومتر مربع به کاربری مسکونی، ۱/۴۳ کیلومتر مربع به کاربری باغات و اراضی آبی، ۰/۷۶ کیلومتر مربع از کاربری آب به مرتع، ۰/۲۸ کیلومتر مربع به کاربری دیم و ۰/۷۵ کیلومتر مربع به نمک حاشیه دریاچه ارومیه در سال ۲۰۲۲ تبدیل خواهد شد. ماتریس احتمال انتقال، احتمال اینکه هر نوع کاربری اراضی در یک دوره زمانی معین در آینده مربوط به هر پیکسل در تصویر باشد را گزارش می‌دهد.

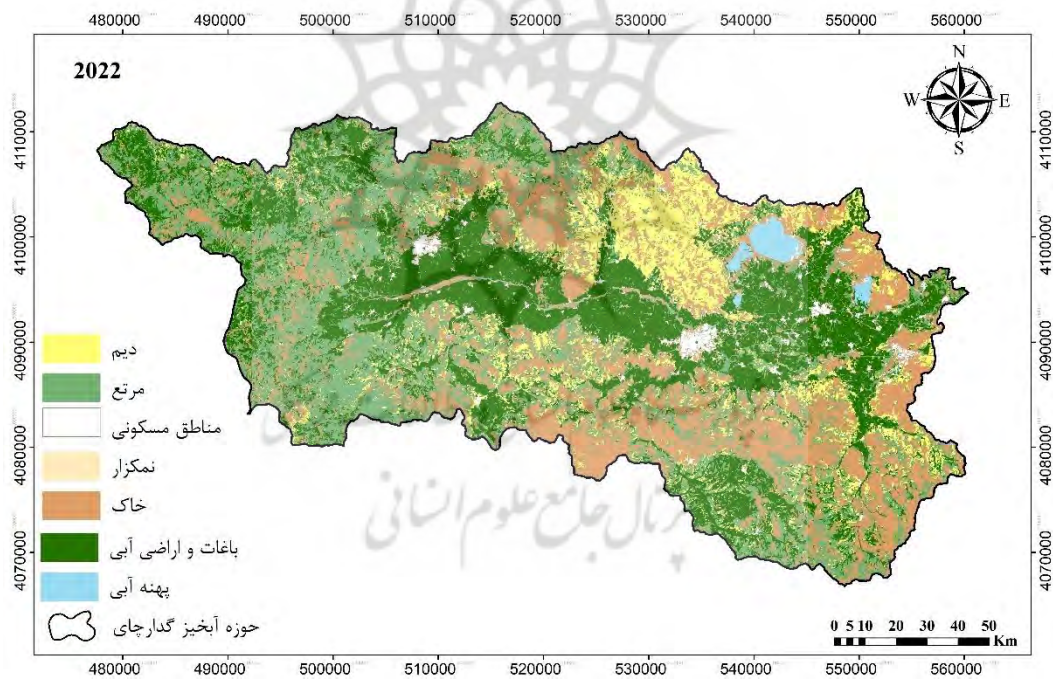
جدول ۳. ماتریس احتمال انتقال (پیش‌بینی شده برای ۲۰۲۸ با استفاده از طبقه‌بندی ۲۰۲۲-۲۰۱۶) بر حسب درصد

نمک حاشیه دریاچه ارومیه	دیم	مرتع	باغات و اراضی آبی	مسکونی	خاک	آب	کاربری اراضی
۲	۰/۷۵	۲/۰۴	۳/۸۵	۰/۱۱	۲۷/۴۴	۶۳/۸۱	پهنه آبی
۰/۲۳	۱۷/۲۵	۱۸/۲۴	۶/۲۱	۱/۲۲	۵۶/۴۰	۰/۴۴	خاک
۰/۰۳	۷/۱۸	۱۴/۲۱	۵/۵۳	۵۴/۵۳	۱۸/۲۸	۰/۱۲	مسکونی
۰/۴۶	۵	۱۶/۹۰	۷۳/۴۷	۰/۱۸	۳/۴۶	۰/۵۳	باغات و اراضی آبی
۰/۴۹	۹/۹۲	۴۳/۳۱	۲۷/۷۵	۰/۱۸	۱۸/۱۵	۰/۲۱	مرتع
۰/۰۶	۳۷/۴۴	۲۰/۶۲	۱۹/۷۳	۰/۴۲	۲۱/۶۶	۰/۰۷	دیم
۸/۲۶	۰/۲۷	۰/۰۱	۰/۲۶	۰/۰۶	۸۷/۵۹	۳/۵۵	نمک حاشیه دریاچه ارومیه

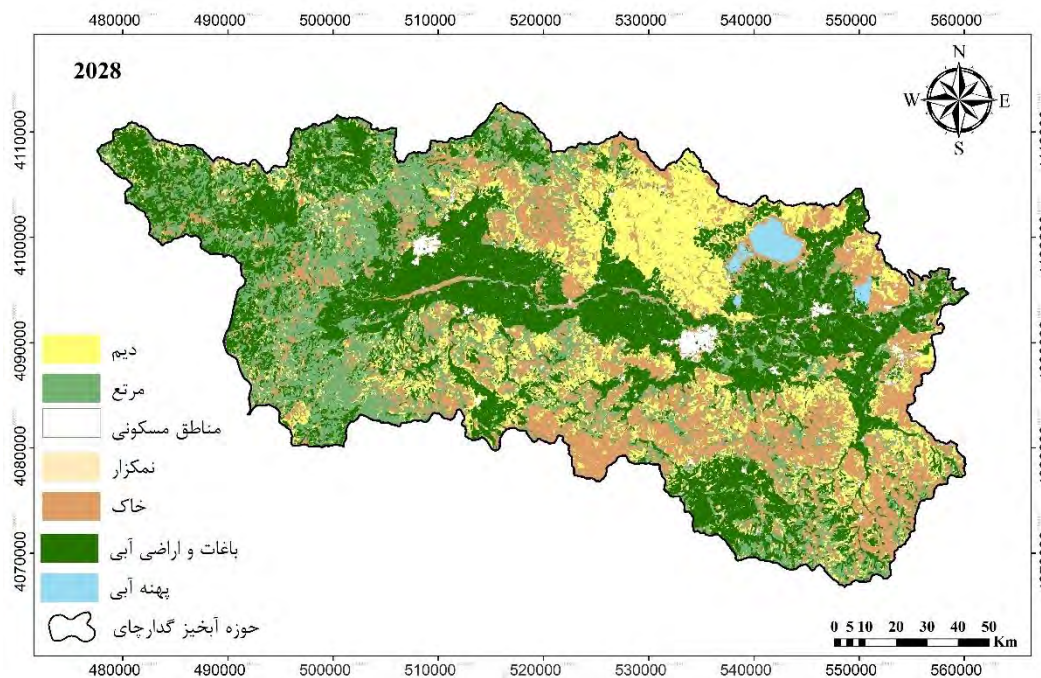
با توجه به نتایج جدول (۳) ۶۳/۸۱ درصد از کاربری پهنه آبی در سال ۲۰۱۶ در همان کاربری پهنه آبی در سال ۲۰۲۸ باقی خواهد ماند. همچنین، ۲۷/۴۴ درصد، ۰/۱۱ درصد، ۳/۸۵ درصد، ۲/۰۴ درصد، ۰/۷۵ درصد و ۲ درصد از کاربری پهنه آبی در سال ۲۰۱۶ به کاربری‌های اراضی خاک، مسکونی، باغات و اراضی آبی، مرتع، کشاورزی دیم و نمک حاشیه دریاچه ارومیه تبدیل خواهد شد. در این ماتریس ردیف‌ها نشان‌دهنده سال شروع (۲۰۱۶) و ستون‌ها نشان‌دهنده سال پایان (۲۰۲۸) می‌باشد. خروجی مدل مارکوف (ماتریس مساحت انتقال) به‌عنوان یکی از ورودی‌های مدل CA مارکوف به مدل معرفی شد. علاوه بر ماتریس مساحت انتقال نقشه طبقه‌بندی کاربری اراضی ۲۰۲۲ به‌عنوان تصویر پایه، تعداد دوره ۶ سال به‌عنوان ورودی به مدل تعریف شد و نقشه پیش‌بینی ۲۰۲۸ تهیه شد. در بازه زمانی سال‌های ۲۰۲۲-۲۰۱۶ بیش‌ترین مساحت انتقال در کاربری‌های ذکر شده به ترتیب مربوط به خاک، باغات و اراضی آبی، دیم، مرتع، مسکونی، پهنه آبی و نمک حاشیه دریاچه ارومیه بود. دلیل بالا بودن مساحت انتقال در کاربری مرتع و خاک را می‌توان افزایش اراضی آبی و باغات دانست. نتایج نشان می‌دهد که مساحت کاربری‌های کشاورزی (کشاورزی آبی و باغات) به‌سرعت افزایش پیدا کرده است به طوری که مساحت کاربری کشاورزی آبی از ۲۰/۶۸ درصد کل مساحت حوضه در سال ۲۰۱۶ به بیش ۳۴/۵۷ درصد در سال ۲۰۲۸ افزایش پیدا خواهد کرد. همچنین مساحت کاربری مرتع و خاک به ترتیب ۲۸/۹۲ و ۳۱/۵۷ درصد کل مساحت حوضه در سال ۲۰۱۶ به ۲۳/۵۷ و ۲۱/۳۰ درصد در سال ۲۰۲۸ کاهش پیدا خواهد کرد. نقشه‌های کاربری اراضی سال ۲۰۱۶، ۲۰۲۲ و نقشه کاربری پیش‌بینی شده سال ۲۰۲۸ به روش CA مارکوف با ضریب کاپا ۰/۸۷ تهیه گردید. که در شکل (۳)، (۴) و (۵) آمده است.



شکل ۳. نقشه کاربری اراضی سال ۲۰۱۶ حوزه آبخیز گدارچای-دریاچه ارومیه



شکل ۴. نقشه کاربری اراضی سال ۲۰۲۲ حوزه آبخیز گدارچای-دریاچه ارومیه



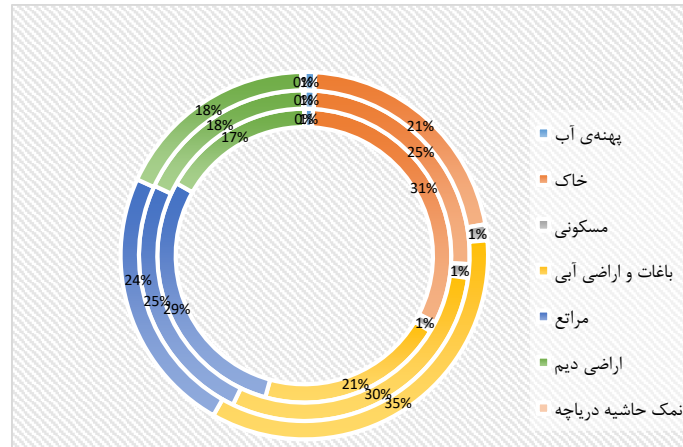
شکل ۵. نقشه کاربری اراضی سال ۲۰۲۸ حوزه آبخیز گذارچای-دریاچه ارومیه

آشکارسازی تغییرات برای درک تغییرات منطقه، گسترش و کاهش مساحت کلاس‌ها در سال‌های ۲۰۱۶، ۲۰۲۲ و ۲۰۲۸ به کیلومتر مربع و درصد در جدول (۴) ارائه شده است.

جدول ۴. مساحت کاربری اراضی به کیلومتر مربع و درصد

سال	۲۰۱۶		۲۰۲۲		۲۰۲۸	
کلاس کاربری اراضی	کیلومتر مربع	درصد	کیلومتر مربع	درصد	کیلومتر مربع	درصد
پهنه آبی	۱۹/۹۲	۰/۹۵	۲۱/۳	۱/۰۲	۲۰/۱	۰/۹۶
خاک	۶۶۰/۰۹	۳۱/۵۷	۵۱۸/۵	۲۴/۷۹	۴۴۵/۵	۲۱/۳
مسکونی	۲۲/۵۲	۱/۰۸	۲۸/۲	۱/۳۴	۲۹/۴	۱/۴۱
باغات و اراضی آبی	۴۳۲/۵۰	۲۰/۶۸	۶۲۶/۲	۲۹/۹۴	۷۲۲/۹	۳۴/۵۷
مراتع	۶۰۴/۷۰	۲۸/۹۲	۵۱۹/۱	۲۴/۸۲	۴۹۲/۸	۲۳/۵۷
اراضی دیم	۳۵۱/۱۹	۱۶/۸۰	۳۷۴/۹	۱۷/۹۳	۳۷۵	۱۷/۹۳
نمک حاشیه دریاچه ارومیه	۰/۰۵	۰/۰۰۲	۲/۸	۰/۱۳	۵/۴	۰/۲۶

با توجه به جدول شماره (۵) بیشترین تغییرات از کل مساحت منطقه، مربوط به کلاس اراضی باغات و اراضی آبی (کشاورزی آبی) می‌باشد به گونه‌ای که مساحت این کلاس از ۴۳۲/۵۰ کیلومتر مربع در سال ۲۰۱۶ به ۶۲۶/۲ کیلومتر مربع در سال ۲۰۲۲ رسیده است به بیان دقیق‌تر مساحت دو کاربری خاک و مرتع مقدار کاهشی و اراضی دیم، مسکونی، باغات و اراضی آبی و نمک حاشیه دریاچه ارومیه مقدار افزایشی داشته است. پیش‌بینی می‌شود در سال ۲۰۲۸ مساحت کاربری خاک و کاربری‌های دیم، مسکونی و نمک حاشیه دریاچه ارومیه با مساحت ۱۶/۸، ۱/۰۸ و ۰/۰۲ درصد کل مساحت در سال ۲۰۱۶ به ۱۷/۹۳، ۱/۴۱ و ۰/۲۶ درصد کل مساحت در سال ۲۰۲۸ خواهد رسید. روند تغییرات کاربری اراضی در شکل (۶) آمده است.



شکل ۶. روند تغییرات کاربری اراضی به روش شیء‌گرا

بر اساس نتایج حاصل از روند تغییرات در این تحقیق، بیش‌ترین شدت تغییرات هر یک از کاربری‌ها به‌کل کاربری‌ها (تبدیل کاربری مرتع و خاک به‌کل اراضی آبی و باغات، دیم و مسکونی) را نشان می‌دهد.

تجزیه و تحلیل سنجه‌ها در سطح کلاس

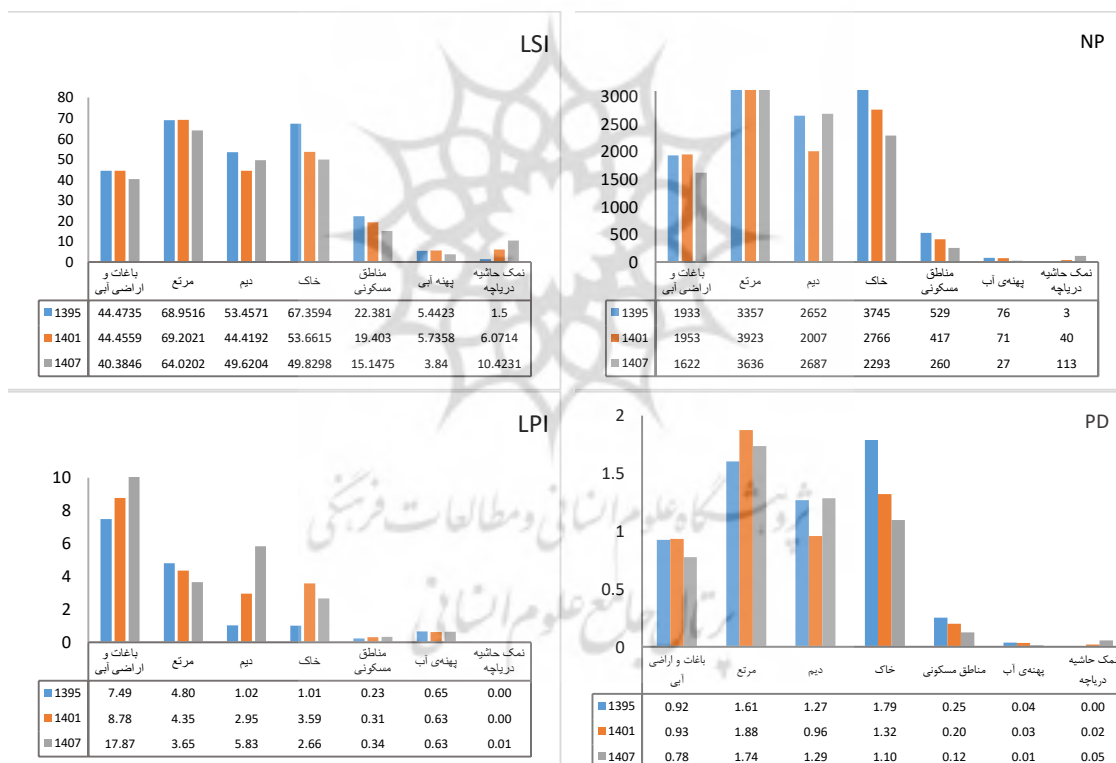
نتایج حاصل از ارزیابی تغییرات مکانی سنجه‌های سیمای سرزمین حوزه آبخیز گذارچای در شکل (۵) نشان داده شده است. برای اندازه‌گیری میزان گسستگی سیمای سرزمین تعداد لکه (NP) به‌کار می‌رود و تعداد لکه‌های یک کلاس معین را نشان می‌دهد. مقدار آن بزرگ‌تر یا مساوی یک است. وقتی سیمای سرزمین فقط از یک لکه تشکیل شده باشد این مقدار برابر یک است (کیانی و فقهی، ۱۳۹۴:۱۳۱). برای حوزه مورد مطالعه بیش‌ترین تعداد لکه در سال ۱۳۹۵ مربوط به خاک (۳۷۴۵) و کم‌ترین آن برای نمک حاشیه دریاچه (۳) و برای سال ۱۴۰۱ و ۱۴۰۷ به ترتیب بیش‌ترین تعداد لکه (NP) مربوط به مرتع (۳۹۲۳، ۳۶۳۶) کم‌ترین آن برای سال ۱۴۰۱ مربوط به نمک حاشیه دریاچه (۴۰) و برای سال ۱۴۰۷ مربوط به پهنه آبی (۲۷) به دست آمد. همچنین، نصیری و درویش‌صفت (۱۳۹۷) در تحلیل پوشش و کاربری زمین با استفاده از بوم‌شناسی سیمای سرزمین نتیجه گرفتند که بیش‌ترین تعداد لکه مربوط به جنگل کم تراکم و پوشش‌های مرتعی است.

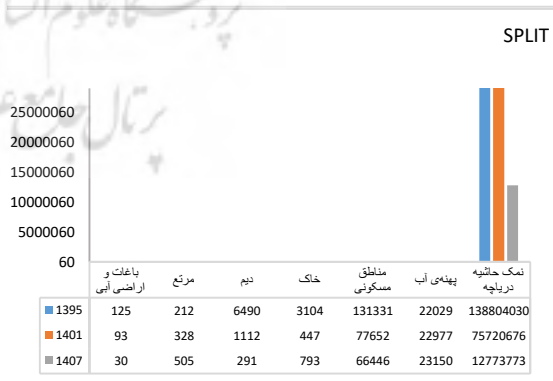
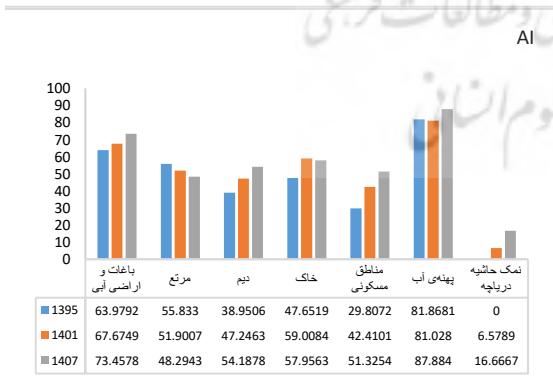
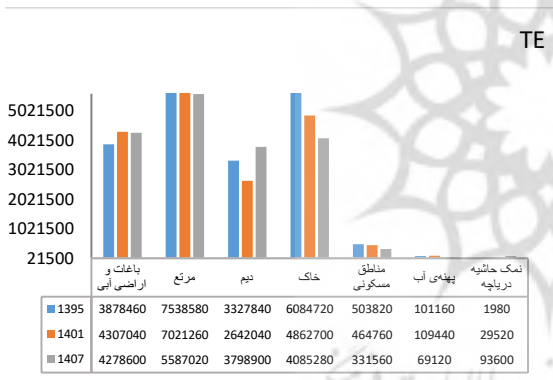
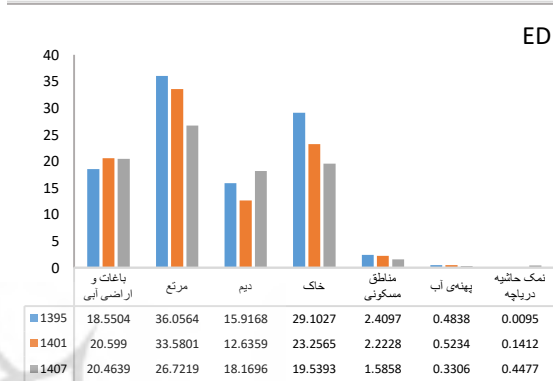
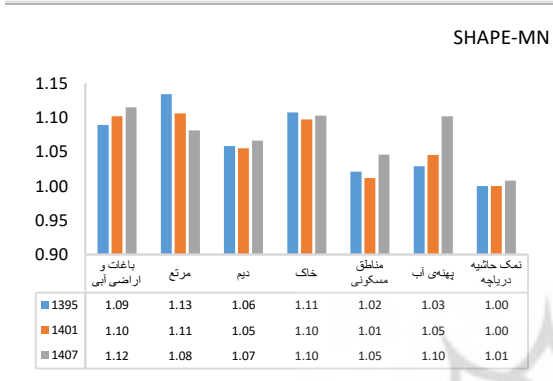
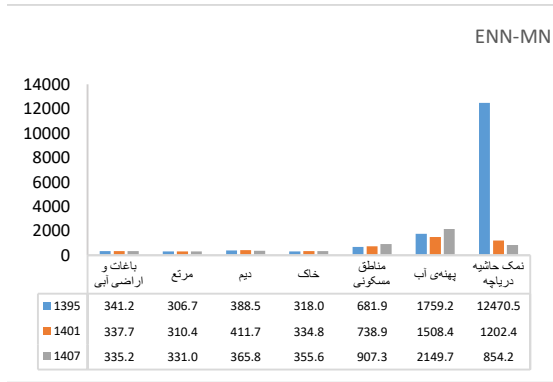
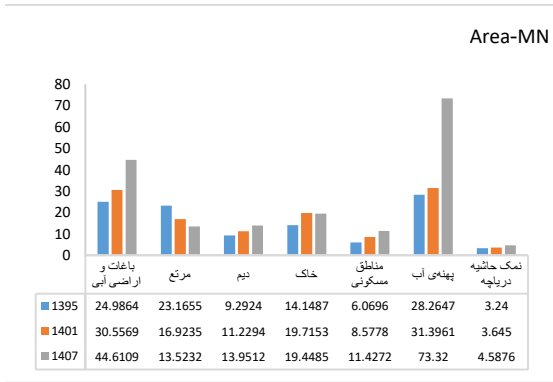
سنجه تراکم لکه (PD) برای اندازه‌گیری پیوستگی کاربری‌ها و میزان اتصال کاربرد دارد. پیوستگی بین لکه‌ها (cohesion) به‌صورت معکوس با سنجه تراکم لکه ارتباط دارد. به‌این ترتیب با افزایش تراکم لکه، پیوستگی سیمای سرزمین کاهش و لکه‌ها منظم‌تر و کوچک‌تر می‌شوند (Kang et al, 2013:11). بیش‌ترین تراکم لکه در سال ۱۳۹۵ مربوط به خاک (۱/۷۹) و کم‌ترین آن مربوط به نمک حاشیه دریاچه (۰) است. برای سال ۱۴۰۱ و ۱۴۰۷ به ترتیب بیش‌ترین تراکم لکه مربوط به مرتع (۱/۸۸، ۱/۷۴) و کم‌ترین آن مربوط به نمک حاشیه دریاچه (۰/۰۲) و پهنه آبی (۰/۰۱) به دست آمد. حداکثر مقدار شاخص بزرگ‌ترین لکه (LPI) در سال ۱۳۹۵ مربوط به باغات و اراضی آبی (۷/۴۹) و حداقل مقدار آن مربوط به نمک حاشیه دریاچه (۰/۰۲) است و در سال ۱۴۰۱ و ۱۴۰۷ حداکثر مقدار شاخص بزرگ‌ترین لکه مربوط به کاربری باغات و اراضی آبی (۸/۷۸، ۱۷/۸۷) و حداقل مقدار آب مربوط به نمک حاشیه دریاچه (۰/۰۰۳، ۰/۰۱) به دست آمده است.

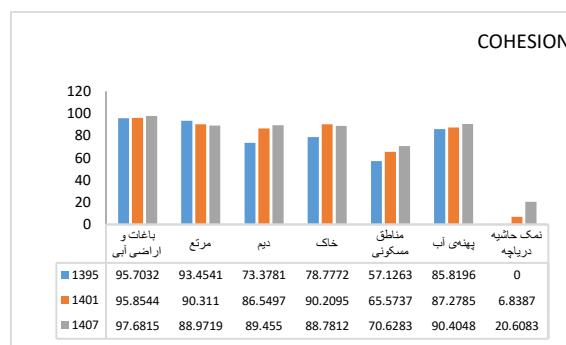
در سطح سیمای سرزمین حاشیه کل (TE)، مجموع حاشیه یک اندازه مطلق از طول حاشیه کل یک نوع لکه خاص است (McGarigal, 2013:1). با افزایش حاشیه کل، پیوستگی و اتصال سیمای سرزمین کاهش و لکه‌ها کوچک و منظم‌تر می‌شوند. اگر هیچ حاشیه‌ای در سیمای سرزمین وجود نداشته باشد مقدار عددی این شاخص زمانی برابر صفر خواهد بود. یعنی زمانی که

کل سیمای سرزمین و مرز آن دارای یک لکه باشد (McGarigal, 2001:1). در سطح سیمای سرزمین رابطه بین تکه شدگی (SPLIT) و تراکم حاشیه (ED) مثبت است، و با افزایش تراکم حاشیه (ED)، تکه شدگی در آن زیر حوضه افزایش می‌یابد. مقدار عددی این شاخص برابر صفر خواهد بود. زمانی که هیچ حاشیه‌ای در سیمای سرزمین وجود نداشته باشد. یعنی زمانی که کل سیمای سرزمین و مرز سیمای سرزمین، شامل یک لکه باشد (McGarigal, 2001:1). بیش‌ترین تراکم حاشیه (ED) در سال ۱۳۹۵ مربوط به مرتع (۳۶/۰۶) و کم‌ترین مقدار آن مربوط به نمک حاشیه دریاچه (۰/۰۱) است. هم‌چنین، بیش‌ترین مقدار تراکم حاشیه (ED) در سال ۱۴۰۱ و ۱۴۰۷ به ترتیب مربوط به کاربری مرتع (۳۳/۵۸، ۲۶/۷۲) و حداقل مقدار آن مربوط به نمک حاشیه دریاچه برابر با (۰/۱۴، ۰/۴۵) به دست آمد.

یک معادله سنج تجمعی با ویژگی مکانی، پراکنندگی شاخص شکل لکه (LSI) است (McGarigal, 2001:1). سنج شاخص شکل لکه، نسبت محیط لکه به حداقل محیط ممکن برای یک لکه با حداکثر تجمع را نشان می‌دهد. حداکثر مقدار شاخص شکل لکه در سال ۱۳۹۵ مربوط به کاربری مرتع (۶۸/۹۵) و حداقل مقدار آن مربوط به نمک حاشیه دریاچه (۱/۵) و حداکثر مقدار شاخص شکل لکه در سال ۱۴۰۱ و ۱۴۰۷ مربوط به کاربری مرتع (۶۹/۲، ۶۴/۰۲) و حداقل مقدار شاخص شکل لکه به ترتیب مربوط به کاربری پهنه آبی (۵/۷، ۳/۸) است.







شکل ۵. مقادیر سنج‌های سیمای سرزمین در سطح کلاس در سال‌های موردبررسی

میانگین اندازه لکه (AREA-MN) یک نوع ماتریس سیمای سرزمین است که بر اساس ویژگی میانگین لکه ارائه شده است. که اندازه‌گیری گرایش مرکزی را در مشخصه لکه مربوطه ارائه می‌دهد (McGarigal, 2001:1). حداکثر مقدار میانگین اندازه لکه در هر سال ۱۳۹۵ مربوط به پهنه آبی (۲۸/۳) و حداقل مقدار آن مربوط به نمک حاشیه دریاچه (۳/۲) است. در سال ۱۴۰۱ و ۱۴۰۷ به ترتیب حداکثر مقدار میانگین اندازه لکه مربوط به کاربری پهنه آبی (۳۱/۴، ۷۳/۳) و حداقل مقدار آن مربوط به نمک حاشیه دریاچه (۳/۶، ۴/۶) است. معیار نزدیک‌ترین فاصله همسایگی (ENN_MN) با استفاده از هندسه ساده اقلیدسی به‌عنوان کوتاه‌ترین فاصله مستقیم بین نزدیک‌ترین همسایه و لکه مرکزی آن کلاس تعریف شده است (McGarigal, 2013:1). حداکثر مقدار میانگین نزدیک‌ترین فاصله همسایگی در سال ۱۳۹۵ مربوط به نمک حاشیه دریاچه (۱۲۴۷۰/۵) و حداقل مقدار آن مربوط به کاربری مرتع (۳۰۶/۷) است. هم‌چنین حداکثر مقدار میانگین نزدیک‌ترین فاصله همسایگی در سال‌های ۱۴۰۱ و ۱۴۰۷ به ترتیب مربوط به کاربری پهنه آبی (۱۵۰۸/۴، ۲۱۴۹/۷) و حداقل آن مربوط به کاربری مرتع (۳۱۰/۴، ۳۳۱) است.

حداکثر مقدار شاخص میانگین شکل لکه (SHAPE-MN) برای حوزه آبخیز گذارچای در سال ۱۳۹۵ مربوط به کاربری مرتع (۱/۱۳) و حداقل مقدار آن مربوط به نمک حاشیه دریاچه (۱) است. برای سال‌های ۱۴۰۱ و ۱۴۰۷ به ترتیب نیز حداکثر مقدار شاخص میانگین شکل لکه مربوط به کاربری مرتع و باغات و اراضی آبی (۱/۱۱، ۱/۱۲) و حداقل مقدار آن مربوط به نمک حاشیه دریاچه (۱/۰۱، ۱) است. معیارهای تکه شدگی (SPLIT) و گسستگی سیما (DIVISION) به توصیف دخالت انسان‌ها و میزان انسجام اشاره دارند (McGarigal, 2001). تکه شدگی (SPLIT) بر اساس توزیع لکه‌های تجمعی است و به‌عنوان تعداد لکه‌هایی با اندازه ثابت زمانی یا شبکه مؤثر تفسیر می‌شود (McGarigal, 2013:1). حداکثر مقدار تکه شدگی در سال ۱۳۹۵ مربوط به نمک حاشیه دریاچه (۱۳۸۸۰۴۰۳۰۰) و حداقل آن مربوط به کاربری باغات و اراضی آبی (۱۲۵) است. هم‌چنین، برای سال‌های ۱۴۰۱ و ۱۴۰۷ به ترتیب حداکثر مقدار تکه شدگی مربوط به نمک حاشیه دریاچه (۷۵۷۲۰۶۷۶، ۱۲۷۷۳۷۷۳) و حداقل آن مربوط به کاربری باغات و اراضی آبی (۳۰، ۹۳) به دست آمد.

مقدار گسستگی سیما (DIVISION) در حوزه آبخیز گذارچای در سال‌های ۱۳۹۵ و ۱۴۰۱ بین ۱-۰/۹۹ و در سال ۱۴۰۷ بین ۱-۰/۹۷ متغیر بوده است. حداکثر مقدار شاخص تجمع (AI) در سال ۱۳۹۵ مربوط به کاربری پهنه آبی (۸۱/۸۷) و حداقل مقدار آن مربوط به کاربری نمک حاشیه دریاچه (۰) است. در سال‌های ۱۴۰۱ و ۱۴۰۷ نیز حداکثر مقدار شاخص تجمع مربوط به پهنه آبی (۸۱/۰۳، ۸۷/۸۸) و حداقل مقدار آن مربوط به نمک حاشیه دریاچه (۶/۵۸، ۱۶/۶۷) به دست آمد. شاخص پیوستگی لکه (COHESION) ارتباط فیزیکی لکه‌های مربوط به یک کاربری را بیان می‌کند. مقدار این شاخص با افزایش پیوستگی لکه‌ها نیز افزایش خواهد یافت (علائی و همکاران، ۱۳۹۸). حداکثر مقدار شاخص پیوستگی لکه در

سال ۱۳۹۵ مربوط به کاربري باغات و اراضي آبي (۹۵/۷) و حداقل مقدار آن مربوط به نمک حاشيه درياچه (۰) است. در سال‌هاي ۱۴۰۱ و ۱۴۰۷ به ترتيب حداکثر مقدار اين شاخص مربوط به کاربري باغات و اراضي آبي (۹۵/۹، ۹۷/۷) و حداقل مقدار آن مربوط به نمک حاشيه درياچه (۶/۸، ۲۰/۶) به دست آمد.

تجزيه و تحليل سنجه‌ها در سطح سيمما

بر اساس نتايج مشخصه‌هاي آماری اين سنجه‌ها می‌توان نتیجه‌گیری کرد که حداکثر تراکم لکه مربوط به سال ۱۳۹۵ و حداقل مقدار مربوط به سال ۱۴۰۷ بوده است (جدول ۵). تراکم بالای لکه‌ها در حوزه آبخيز، نشان‌دهنده تخریب کاربري اراضي است و باعث افزایش تکه شدگی سطح سرزمين می‌شود. همچنين، پايين بودن میانگين و بزرگ‌ترين اندازه لکه‌ها، نشان‌دهنده تکه شدگی بیشتر سيمای سرزمين است (کیانی و فقهی، ۱۳۹۴). مقدار شاخص بزرگ‌ترين لکه در سال ۱۴۰۷ با مقدار عددی ۱۷/۸۷ و کم‌ترين آن در سال ۱۳۹۵ با مقدار ۷/۴۹ به دست آمد. سنجه شکل لکه (LSI)، نسبت محیط لکه به حداقل محیط ممکن برای یک لکه با حداکثر تجمع را نشان می‌دهد، زمانی که مقدار عدد آن برابر یک باشد، یعنی سيمای سرزمين شامل یک لکه با حداکثر فشردگی و تقریباً مربع شکل است، وقتی که لکه پراکنده‌تر، شکل آن پیچیده‌تر و مرز بی‌نظم‌تر شود مقادير آن بدون محدودیت افزایش می‌یابد. با توجه به جدول (۵)، چون در اکثر زیر حوزه‌هاي آبخيز بیش‌تر از یک می‌باشد می‌توان نتیجه گرفت شکل لکه‌ها در تمامی سال‌هاي موردبررسی نامنظم می‌باشد. میانگين شاخص شکل لکه (SHAPE_MN) از نسبت محیط لکه به بیش‌ترین فشردگی یا کم‌ترین محیط ممکن برای لکه به دست می‌آید. این سنجه برای لکه مربع شکل برابر یک است و با نامنظم شدن شکل، بیش‌تر می‌شود. همچنين روند تغييرات SHAPE_MN برای سال‌هاي موردبررسی روند کاهشی کمی داشته است، به‌طوری‌که از مقدار عددی ۱/۱ در سال ۱۳۹۵ به مقدار ۱/۰۹ در سال ۱۴۰۷ رسیده است. حداکثر کل حاشيه (TE) ۱۰۷۱۹۷۲۰ برای سال ۱۳۹۵ و برای سال ۱۴۰۷ مقدار ۹۱۲۲۰۴۰ ارزیابی شد. طبق تغييرات این سنجه روند به‌صورت کاهشی بوده است. با افزایش حاشيه کل، پیوستگی و اتصال سيمای سرزمين کاهش و لکه‌ها منظم‌تر و کوچک می‌شوند (McGarigal, ۲۰۱۳: ۱، علائی و همکاران، ۲۰۲۲: ۸۲).

شاخص پیوستگی لکه‌ها (COHESION) ارتباط فیزیکی لکه‌هاي مربوط به کاربري‌ها را نشان می‌دهد. با افزایش پیوستگی لکه‌ها مقدار این شاخص نیز افزایش خواهد یافت. با توجه به نتايج جدول (۵)، مقادير به‌دست‌آمده برای شاخص پیوستگی لکه‌ها در تمام بخش‌هاي حوزه آبخيز افزایشی است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که پیوستگی لکه‌ها در تمامی سال‌هاي موردبررسی روند افزایشی دارد. سنجه‌هاي شانون و سیمپسیون از مهم‌ترین سنجه‌ها برای مطالعه تنوع اجزای تشکیل‌دهنده سيمای سرزمين هستند. شاخص شانون، تنوع را در هر لکه به‌طور نسبی محاسبه می‌کند. این سنجه‌ها زمانی برابر با صفر هستند که در سيمای سرزمين فقط یک لکه وجود داشته باشد، و زمانی مقدار آن‌ها یک خواهد بود که تعداد لکه افزایش می‌یابد و توزیع منطقه متناسب با انواع لکه بیش‌تر شود، (McGarigal, 2013: 1).

با توجه به نتايج تغييرات CONTIG_MN در آبخيز مورد مطالعه با مقدار ۰/۱۷ برای سال ۱۳۹۵ و ۰/۱۶ برای سال‌هاي ۱۴۰۱ و ۱۴۰۷ برآورد شد.

جدول ۵. مقادير سنجه‌هاي سيمای سرزمين در سطح سيمما در سال‌هاي موردبررسی

نام فارسی سنجه	اختصار	۱۳۹۵	۱۴۰۱	۱۴۰۷	روند تغييرات
تعداد لکه	NP	۱۲۲۹۹	۱۱۱۷۷	۱۰۶۳۸	کاهشی
تراکم لکه	PD	۵/۸۸	۵/۳۵	۵/۰۹	کاهشی
شاخص بزرگ‌ترين لکه	LPI	۷/۴۹	۸/۷۸	۱۷/۸۷	افزایشی

کاهشی	۹۱۲۲۰۴۰	۹۷۱۸۳۸۰	۱۰۷۱۹۷۲۰	TE	حاشیه کل
کاهشی	۴۳/۶۳	۴۶/۴۸	۵۱/۲۷	ED	تراکم حاشیه
کاهشی	۵۱/۸	۵۵/۰۴	۶۰/۵۱	LSI	شاخص شکل لکه
افزایشی	۱۹/۶۵	۱۸/۷۱	۱۷	AREA_MN	میانگین اندازه لکه
کاهشی-ثابت	۱/۰۹	۱/۰۹	۱/۱۰	SHAPE_MN	میانگین شاخص شکل لکه
ثابت	۱/۰۱	۱/۰۱	۱/۰۱	FRAC_MN	میانگین شاخص ابعاد فراکتال
کاهشی-ثابت	۰/۱۶	۰/۱۶	۰/۱۷	CONTIG_MN	میانگین شاخص همسایگی
کاهشی - افزایشی	۳۷۰/۰۲	۳۶۶/۱۶	۳۶۶/۲۸	ENN_MN	میانگین فاصله نزدیک‌ترین همسایه اقلیدسی
کاهشی	۳۳/۹۶	۳۴/۱۶	۳۷/۶۷	CONTAG	شاخص سرایت
افزایشی	۵۹/۹۴	۵۷/۳۸	۵۳/۰۶	PLADJ	درصد مجاورت‌های مشابه
افزایشی	۶۳/۹۹	۶۰/۴۹	۵۴/۵۴	IJI	شاخص پراکندگی
افزایشی	۹۳/۸۳	۹۲/۰۶	۹۱/۲۱	COHESION	شاخص پیوستگی لکه
کاهشی	۰/۹۶	۰/۹۸	۰/۹۹	DIVISION	شاخص گسستگی سیما
افزایشی	۸۳۱۳/۶۷	۳۵۴۲/۷۴	۲۷۷۲/۹	MESH	اندازه شبکه تأثیرگذار
کاهشی	۲۵/۱۵	۵۹/۰۲	۷۵/۴	SPLIT	شاخص تکه شدگی
افزایشی	۱/۴۶	۱/۴۴	۱/۴۲	SHDI	شاخص تنوع شانون
افزایشی	۱/۳۷	۱/۳۴	۱/۳۱	MSIDI	شاخص اصلاح‌شده تنوع سیمپسون
افزایشی	۶۰/۴۶	۵۷/۸۷	۵۳/۵۱	AI	شاخص تجمع

بحث

پس از تهیه و بررسی دقت نقشه‌های کاربری اراضی، برای پیش‌بینی تغییرات، از مدل مارکوف و CA مارکوف استفاده شد. در ارزیابی دقت پیش‌بینی مدل CA مارکوف، از ضریب کاپا به‌عنوان شاخصی برای اندازه‌گیری دقت مدل استفاده شد. این ضریب در بازه ۰ تا ۱ قرار دارد و در این تحقیق، دقت بالایی با مقدار ۰/۸ برای ضریب کاپا به دست آمد. هرچه مقدار ضریب کاپا به یک نزدیک‌تر باشد، نشان‌دهنده دقت بیشتر مدل در پیش‌بینی است. نتایج این تحقیق با نتایج بیرساو^۱ و همکاران (۲۰۱۷) در مطالعه‌ای ضریب کاپا برابر با ۰/۹۱ به دست آورد. که بیانگر دقت بالای مدل CA مارکوف در پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی در آینده می‌باشد مطابق دارد. نتایج نشان می‌دهد که مساحت کاربری‌های کشاورزی به‌سرعت افزایش پیدا کرده است به‌طوری‌که مساحت کاربری کشاورزی آبی ۱۳/۸۹ درصد در سال ۲۰۲۸ افزایش پیدا خواهد کرد. همچنین مساحت کاربری مرتع و خاک به ترتیب ۵/۳۵ و ۱۰/۲۶ درصد در سال ۲۰۲۸ کاهش پیدا خواهد کرد که با نتایج کنگابام^۲ و همکاران (۲۰۱۹) در ارزیابی تغییرات کاربری اراضی و پوشش گیاهی برای دلتای نیل مصر در طول ۲۸ سال، بیان نمودند گسترش مداوم اراضی کشاورزی و مناطق شهری، هم‌زمان با کاهش در پهنه آبی و مراتع رخ داده است مطابق دارد. افزایش مساحت کاربری‌های کشاورزی در حوزه آبخیز گدارچای بخصوص دو کاربری باغات و زمین‌های کشاورزی آبی، باعث افزایش مصرف منابع آب خواهد شد. دلیل بالا بودن احتمال انتقال کاربری اراضی آبی و باغات را می‌توان گرایش مردم به سمت ایجاد باغ و درآمدهای حاصل از باغداری در منطقه مورد مطالعه دانست. بر اساس پیش‌بینی مدل CA مارکوف سطح کشاورزی آبی و باغات در مجاور منابع آبی و نیز در مجاور اراضی کشاورزی آبی موجود افزایش خواهد یافت. که دلیل آن را می‌توان در با توسعه زراعت آبی و استفاده از روش‌های آبیاری قطره‌ای و غیره توسط کشاورزان مرتبط دانست. علاوه بر این، دلیل افزایش مساحت باغات را می‌توان علاقه مردم به داشتن باغ شخصی و درآمد ناشی از

1. Yirsaw

2. Kangabam

محصولات باغی دانست. نتایج این تحقیق با نتایج ابوراس^۱ و همکاران (۲۰۱۸) اذعان کردند که ناحیه‌های کشاورزی از ناحیه‌های شهری در ۱۰ سال آینده تأثیر خواهد گرفت، که این امر ناشی از توسعه اقتصادی خواهد بود، مطابقت دارد. همچنین نتایج این تحقیق با نتایج رسولی^۲ و همکاران (۲۰۲۱) در مطالعه‌ای شناسایی و ارزیابی تغییرات LU/LC با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای Sentinel2 سال ۲۰۱۶ و ۲۰۲۱، با بکارگیری تکنیک‌های پیشرفته شیء‌گرا انجام گردید. در نهایت، برای پیش‌بینی انواع LU، یک مدل زنجیره مارکوف، خودکار سلولی CA استفاده شد. نتایج نشان داد تغییرات کاهشی در انواع LU، عمدتاً در جنگل‌ها و مراتع، و روند افزایشی قابل توجهی در زمین‌های بایر و رها شده وجود خواهد داشت. دقت کلی ۰/۹۵ و ضریب کاپا نزدیک به ۹۴ درصد بود که تأیید کرد تغییرات قابل توجهی بر نقشه‌های LU منطقه مورد مطالعه وجود داشته است مطابقت دارد. بر اساس نتایج حاصل از روند تغییرات کاربری اراضی شکل (۶)، بیش‌ترین تغییرات مربوط به تبدیل کاربری مرتع و خاک به کاربری‌های آبی و باغات، دیم و مسکونی می‌باشد، که با نتایج بیرهام^۳ و همکاران (۲۰۱۹) در تحقیق بر روی حوضه آبریز گومارا^۴ اتیوپی نشان دادند در مدت ۲۹ سال در اتیوپی مساحت مراتع کاهش یافته و در مقابل مساحت اراضی کشت‌شده افزایش یافته و همین امر باعث کاهش حجم آب‌های جاری حوضه آبریز شده است مطابقت دارد.

سنجه تراکم لکه برای اندازه‌گیری پیوستگی کاربری‌ها استفاده می‌شود. با افزایش تراکم لکه، پیوستگی کاهش می‌یابد و لکه‌ها کوچک‌تر و منظم‌تر می‌شوند. در سال‌های مورد مطالعه، بیشترین تراکم لکه مربوط به خاک و مرتع، و کمترین تراکم لکه مربوط به نمک حاشیه دریاچه و پهنه آبی بوده است. نتایج پژوهش در ارزیابی الگوی کاربری اراضی و تغییرات پیوستگی نشان‌دهنده افزایش تراکم و تعداد لکه‌ها بود. این نتیجه با یافته‌های نظرنژاد و همکاران (۱۳۹۸) و علائی و همکاران (۲۰۲۲) مبنی بر این که افزایش تراکم و تعداد لکه‌ها، افزایش ناهمگنی در کاربری اراضی را نشان می‌دهد، مطابقت دارد.

در حوزه آبخیز گذارچای مقدار گسستگی سیما (DIVISION) در سال‌های ۱۳۹۵ و ۱۴۰۱ بین ۱۰/۹۹- و در سال ۱۴۰۷ بین ۱۰/۹۷- متغیر بوده است. این نتایج با کانگ^۵ و همکاران (۲۰۱۳) در سال‌های ۱۸۸۸، ۱۹۰۹، ۱۹۶۱ و ۲۰۰۲ به این نتیجه رسیدند تنوع در سیمای سرزمین کاهش یافته و نواحی علفزار، شهری، مرتع و شالیزار در داخل لکه‌های بزرگ متمرکز شده‌اند و جداسدگی مربوط به پهنه آبی بوده است، مطابقت دارد.

بیشترین مقدار شاخص بزرگ‌ترین لکه در سال ۱۴۰۷ و کمترین آن در سال ۱۳۹۵ به دست آمد. در مطالعه دژبانی و همکاران (۲۰۲۲) با هدف ارزیابی سلامت آبخیز در آبخیز کوزه‌تپراقی، در تحلیل شاخص بزرگ‌ترین لکه (LPI) از مقدار ۴۳/۳۴ در سال ۱۳۷۹ به ۳۴/۸۱ در سال ۱۴۰۰ گزارش کردند. با افزایش و کاهش مقدار عددی شاخص بزرگ‌ترین لکه به ترتیب میزان تکه شدگی سیمای سرزمین کاهش و افزایش می‌یابد. از این‌رو، در سال ۱۳۹۵ میزان تکه شدگی بیش‌ترین مقدار و در سال ۱۴۰۷ کم‌ترین مقدار می‌باشد. تراکم حاشیه (ED) هر چه بیشتر باشد، ارتباط و اتصال سطح سرزمین به یکدیگر نیز افزایش می‌یابد. حداکثر اتصال بین لکه‌ها در سال ۱۳۹۵ بوده و در سال ۱۴۰۷ حداقل تراکم حاشیه (ED) و در نتیجه بیش‌ترین تکه شدگی مشاهده می‌شود.

1. Aburas
2. Rasouli
3. Birham
4. Gomara
5. Kang

شاخص شانون برای اندازه‌گیری تنوع نسبی در هر لکه استفاده می‌شود. این شاخص زمانی صفر است که فقط یک لکه در سیمای سرزمین وجود دارد و وقتی تعداد لکه‌ها افزایش یافته باشد مقدار آن یک می‌رسد، توزیع منطقه با افزایش انواع لکه، متناسب شده است. در همین راستا، در مطالعه‌ای که توسط علائی و همکاران (۱۳۹۸) با هدف بررسی تحلیل پیوستگی در حوزه آبخیز کوزه‌تپراقی انجام شده بود، مقدار شاخص COHESION را برابر ۹۹/۵۵ ارزیابی نمودند. در حوزه آبخیز گذارچای نتایج تغییرات CONTIG_MN با مقدار ۰/۱۷ برای سال ۱۳۹۵ و ۰/۱۶ برای سال‌های ۱۴۰۱ و ۱۴۰۷ برآورد شد. در همین راستا، در مطالعه‌ای که توسط کرمی و میرسنجزی (۱۳۹۷) با هدف بررسی تحلیل تخریب سیمای سرزمین در تالاب بزرگ هویزه انجام شده بود، مقدار شاخص همسایگی را برابر ۳۹/۸۸، ۳۵/۲۴، ۳۹/۶۳ و ۴۰/۹۰ برای سال‌های ۱۹۹۱، ۲۰۰۴، ۲۰۱۳ و ۲۰۱۶ ارزیابی نمودند.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش برای آشکارسازی و تحلیل تغییرات سال ۲۰۱۶ و ۲۰۲۸ از تصاویر سال‌های ۲۰۱۶ و ۲۰۲۲ استفاده شد. بعد از تهیه نقشه‌های کاربری سال ۲۰۱۶ و ۲۰۲۲، با استفاده از مدل CA مارکوف نقشه تغییرات کاربری اراضی برای سال ۲۰۲۸ تهیه شد. ضریب کاپای ۰/۸۷ به دست آمده بیانگر قابلیت بالای مدل CA مارکوف برای پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی در حوزه آبخیز گذارچای بود. نتایج نشان‌دهنده افزایش اراضی آبی و باغات، مسکونی و دیم در سال‌های آتی می‌باشد. به منظور بررسی تغییرات کاربری اراضی و سنجش سیمای سرزمین در حوزه آبخیز گذارچای با لحاظ معیارهای مؤثر بر آن شامل ۲۲ سنجح در سطح سیما و ۱۳ سنجح در سطح کلاس محاسبه شد. حداکثر و حداقل تکه شدگی مربوط به کاربری پهنه آبی و زراعت دیم به دست آمد. در این تحقیق با توجه به نتایج حاصل از سنجح‌های تنوع شانون و سیمپسون این مقدار در سه بازه زمانی مورد بررسی بیش از یک به دست آمد، که حاکی از تنوع گونه‌ای است. نتایج نشان داد که کاهش تعداد لکه باعث کاهش تکه شدگی و افزایش پیوستگی در آبخیز گذارچای شده است. سنجح میانگین شاخص ابعاد فراکتال روند ثابت داشته است. هم‌چنین میانگین فاصله نزدیک‌ترین همسایه اقلیدسی یک روند کاهشی - افزایشی را طی کرده است. در حالت کلی طبق نتایج به دست آمده اکثر مقادیر سنجح‌های سیمای سرزمین نشان داد که در طی بازه زمانی روند کاهشی تکه شدگی و روند افزایشی پیوستگی را داشته است. بر اساس نتایج تحقیق، می‌توان در راستای کنترل تغییر کاربری اراضی متناسب با قابلیت اراضی و اتخاذ استراتژی‌های کاربردی در حفظ اراضی طبیعی اقدام نمود. قابل ذکر است که نتایج حاصل از تفسیر سناریوهای مختلف کاربری اراضی می‌تواند در پیش‌بینی اثرات تغییر کاربری اراضی بر مؤلفه‌های تولید رسوب، سیل‌خیزی و نیز اثرات اکولوژیک مورد استفاده قرار گیرد. باید اشاره شود که کاربری اراضی به‌عنوان عامل موازنه مؤلفه‌های اکولوژی، هیدرولوژی و اقتصاد به شمار می‌رود که تغییرات آن می‌تواند در ارزیابی اثرات وضعیت اقتصادی و نیز معیشت آبخیزنشینان استفاده شود. در مدیریت کاربری اراضی، جلوگیری از بهره‌برداری بیش‌ازحد در منطقه مورد مطالعه و حفاظت از آن برای نسل‌های آتی مفید باشد.

حامی مالی

این پژوهش از طرف شرکت آب منطقه‌ای استان آذربایجان غربی حمایت مالی شده است.

سهام نویسندگان در پژوهش

طیبه ایرانی اولین پیش‌نویس را نوشت که سپس توسط دکتر علی‌اکبر رسولی بازبینی و ویرایش شد. در نهایت، دکتر هیراد عبقری بازبینی نهایی مقاله را انجام دادند.

تضاد منافع

نويسندگان اعلام مي‌دارند که هيچ تضاد منفعي در رابطه با نويسندگي و يا انتشار اين مقاله ندارند.

سياستگزارى

بدین‌وسيله نويسندگان بر خود لازم مي‌دانند که بابت فراهم شدن امکانات موردنياز برای اجرای اين تحقيق در پژوهشکده درياچه اروميه، دانشگاه اروميه و حمايت مالي شرکت آب منطقه‌اي استان آذربايجان غربی، تشکر و قدردانی نمايند.

منابع

- ابراهیمی، حمید؛ رسولی، علی‌اکبر و احمد، احمدپور. (۱۳۹۷). مدل‌سازی تغييرات ديناميك کاربري اراضي با استفاده از پردازش شیء‌گرا تصاویر ماهواره‌ای و مدل CA-Markov مطالعه موردی: شهر شیراز. *فصلنامه اطلاعات جغرافيايي (سپهر)*، ۲۷، (۱۰۸)، ۱۴۹-۱۳۷
<https://doi.org/10.22131/sepehr.2019.34625.137>
- اسفندیاری، فريبا؛ حمزه‌ای، مهناز؛ علائی، نازیلا و مصطفی‌زاده، رئوف. (۱۳۹۹). تغييرات مکانی سنجه‌های سيمای سرزمين در پوشش گیاهی جوامع حاشيه متأثر از نوع کاربري اراضي در رودخانه قره‌سو استان اردبیل. *آمایش جغرافيايي فضا*، ۱۰، (۳۸)، ۲۳۴-۲۱۹.
<https://doi.org/10.30488/GPS.2020.197834.3091>
- جويباری مقدم، ياسر؛ اخوندزاده، مهدی و سراجیان، محمد، رضا. (۱۳۹۳). تخمین سطح پوشش برف با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸- اولين کنفرانس بين‌المللی مهندسی محیط‌زیست، تهران، مرکز راهکارهای دستيابی به توسعه پایدار. ۷ صفحه.
- دژبانی، رقيه؛ حزبوی، زينب؛ مصطفی‌زاده، رئوف؛ اسمعیلی‌عوری، اباذر و نازیلا، علائی. (۱۴۰۲). تحليل ارتباط بين تغييرات مکانی و زمانی کاربري اراضي و سنجه‌های سيمای سرزمين در حوزه آبخيز کوزه‌تپراقی. *جغرافيا و مطالعات محیطی*، ۱۲، (۴۵)، ۹۹-۸۲.
- رسولی، علی‌اکبر. (۱۳۷۸). مبانی سنجش‌ازدور کاربردی با تأکید بر پردازش تصاویر ماهواره‌ای. چاپ اول، انتشارات دانشگاه تبریز.
- عبیات، محمد؛ عطار روشن، سينا و عبیات، محمود. (۱۳۹۹). ارزیابی و پیش‌بینی تغييرات پوشش گیاهی در ارتباط با تغييرات کاربري اراضي با استفاده از مدل LCM و زنجيره CA مارکوف (مطالعه موردی: کلان‌شهر اهواز). *جغرافيا و مخاطرات محیطی*، ۳۵، (۱)، ۱۸۳-۱۸۳
<https://doi.org/10.22067/geoh.2020.67236.0.204-183>
- علائی، نازیلا؛ مصطفی‌زاده، رئوف؛ اسمعیلی‌عوری، اباذر؛ شرری، معراج و حزبوی، زينب. (۱۳۹۸). ارزیابی و مقایسه پیوستگی سيمای سرزمين در حوزه آبخيز کوزه‌تپراقی، استان اردبیل. *بوم‌شناسی کاربردی*، ۸، (۴)، ۳۴-۱۹.
- غفاری، صدیقه؛ مرادی، حمید. رضا و مدرس، رضا. (۱۳۹۷). مقایسه روش‌های طبقه‌بندی پیکسل پایه و شیء‌گرا در تهیه نقشه کاربري اراضي (مطالعه موردی: دشت‌های اصفهان - برخوار، نجف‌آباد و چادگان). *فصلنامه سنجش‌ازدور و سامانه اطلاعات جغرافيايي در منابع طبیعی*، ۹، (۱)، ۴۰-۵۷.
- کاکه‌ممی، آزاد؛ معمری، مهدی؛ قربانی، اردوان و غفاری، سحر. (۱۳۹۹). تحليل تغييرات کاربري/پوشش اراضي استان اردبیل با استفاده از سنجه‌های سيمای سرزمين. *سنجش‌ازدور و سامانه اطلاعات جغرافيايي در منابع طبیعی*، ۱۱، (۳)، ۶۸-۸۶.
- کریمی، پیمان؛ و میرمهرداد. میرسنجزی. (۱۳۹۷). بررسی تحليل تخریب سيمای سرزمين در تالاب بزرگ هویزه با استفاده از دورکاوی. *فصلنامه علمی پژوهشی اکوبیولوژی تالاب*، ۱۰، (۳۵)، ۵۴-۳۹.
- کیانی، واحد و فقهی، جهانگیر. (۱۳۹۴). بررسی ساختار پوشش/کاربري حوزه آبخيز سفیدرود با استفاده از سنجه‌های بوم‌شناسی سيمای سرزمين. *علوم و تکنولوژی محیط‌زیست*، ۱۷، (۶)، ۱۴۱-۱۳۱.
- میثاق، نورالدین؛ نیسانی سامانی، نجمه و تومانیان، آرا. (۱۳۹۷). شبیه‌سازی رشد شهری تبریز با استفاده از مدل CA-Markov و تصمیم‌گیری چندمعیاره. *پژوهش‌های جغرافيايي انسانی*، ۱، (۵۰): ۲۳۱-۲۱۷.
<https://doi.org/10.22059/JHGR.2017.224800.1007382.217-231>
- نصیری، وحید و درویش‌صفت، علی‌اصغر. (۱۳۹۷). تحليل کاربري و پوشش زمین‌ها با استفاده از سنجه‌های بوم‌شناسی منظر (بررسی موردی: منطقه ارسباران). *علوم محیطی*، ۱۶، (۳)، ۱۱۶-۹۹.

نظرنژاد، حبیب؛ حسینی، مرتضی و مصطفی‌زاده، رئوف. (۱۳۹۸). ارزیابی تغییرات پیوستگی و الگوی کاربری اراضی با استفاده از سنجه‌های

سیمای سرزمین در حوزه آبخیز زولاچای، سلماس. *آمایش جغرافیایی فضا*، ۳۴(۹)، ۵۳-۶۶. <https://doi.org/10.30488/GPS.2020.95381.2570>

10.30488/GPS.2020.95381.2570

References

- Abiat, M., Attar Roshan, Sina., & Abiat, M. (2020). Evaluation and prediction of vegetation cover changes in relation to land use changes using the LCM model and Markov CA chain (Case study: Ahvaz metropolis). *Geography and Environmental Hazards*, 35(1), 183-204. <https://doi.org/10.22067/geoh.2020.67236.0> [In Persian].
- Aburas, M. M., Abdullah, S. H., Ramli, M. F., Ash'aari, Z. H., & Ahamad, M. S. S. (2018). June. Simulating and monitoring future land-use trends using CA-Markov and LCM models. In IOP conference series: *Earth and environmental science*, 10-1,169. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/169/1/012050>.
- Alaei, N., Mostafazadeh, R., Esmali Ouri, A., 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. <https://doi.org/10.3390/su142214876>.
- Alaei, N., Mostafazadeh, R., Esmaliouri, A., Sharari, M., & Hazbavi, Z. (2020). Assessment and Comparison of Landscape Connectivity in KoozehTopraghi Watershed, Ardabil Province. *Iranian Journal of Applied Ecology*, 8 (4).19-34. [In Persian].
- Armenteras, D., Murcia, U., González, T. M., Barón, O. J., & Arias, J. E., (2019). Scenarios of land use and land cover change for NW Amazonia: Impact on forest intactness. *Global Ecology and conservation*, 17, 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2019.e00567>.
- Aunap, R., Uemaa, E., Roosare, J., & Mander, Ü. (2006). *Spatial correlograms and landscape metrics as indicators of land use changes*. WIT Transactions on Ecology and the Environment. <https://doi.org/10.2495/GEO060311>.
- Berila, A., & Isufi, F. (2021). Two decades (2000–2020) measuring urban sprawl using GIS, RS and landscape metrics: A case study of municipality of Prishtina (Kosovo). *Journal of Ecological Engineering*, 22(6), 114-125. <https://doi.org/10.12911/22998993/137078>.
- Birhanu, A., Masih, I., van der Zaag, P., Nyssen, J., & Cai, X., (2019). Impacts of land use and land cover changes on hydrology of the Gumara catchment. Ethiopia, 4th International Conference on Ecohydrology, *Soil and Climate Change*, 109, 1-78. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2019.01.006>.
- Blaschke, T. (2010). Object based image analysis for remote sensing. *ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing*, 65(1), 2-16. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2009.06.004>.
- Dezhabani, R., Hezbavi, Z., Mostafazadeh, R., Esmaeili-Awari, A., & Nazila, A. (2023). Analysis of the relationship between spatial and temporal changes in land use and landscape metrics in the Koozeh-Tapraghi watershed. *Geography and Environmental Studies*, 12(45), 82-99. <https://doi.org/10.22067/geoh.2020.67236.0>[In Persian].
- Donnay, J. P., Longley, P. A., & Barnsley, M. J. (2001). Remote sensing and urban analysis. *a research agenda*, 1-277pp.
- Ebrahimi,H., Rasuly, A. A., & Ahmadpour, A. (2019). Modeling dynamic changes of Land Use with Object Based Image Analysis and CA-Markov approach (Case study: Shiraz city). "Sephehr" geographical information scientific-research quarterly, 27(108), 137-149. <https://doi.org/10.22131/sepehr.2019.34625> [In Persian].
- Esfandiyari darabad, F., Hamzeei, M., Alaei, N., & Mostafazadeh, R. (2021). Spatial Variations of Landscape Metrics in Riparian Area Vegetation of Gharesou River Reaches under the Effect of Different Land Uses, Ardabil Province. *Geographical Planning of Space*, 10(38), 219-234. <https://doi.org/10.30488/gps.2020.197834.3091> [In Persian].
- Fu, B., Zhang, L., Xu, Z., Zhao, Y., Wei, Y., & Skinner, D. (2015). Ecosystem services in changing land use. *Journal of Soils and Sediments*, 15(4), 833-843 <https://doi.org/10.1007/s11368-015-1082-x>.
- Ghaffari, S., Moradi, H. R., & Modares, R. (2018). Comparison of pixel-based and object-oriented classification methods in the preparation of land use map (Case study: Isfahan-Borkhar, Najafabad and Chadegan plains). *Journal of Remote Sensing & GIS in Natural Resources*, 9(1), 57-40. [In Persian].

- Hamad, R., Balzter, H., & Kolo, K. (2018). Predicting land use/land cover changes using a Ca-Markov model under two different scenarios. *Sustainability*, 10(3421), 1-23. <https://doi.org/10.3390/su10103421>.
- Hou, Y., & Wu, J. (2024). Land-Use and Habitat Quality Prediction in the Fen River Basin Based on PLUS and InVEST Models. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-3746009/v1>.
- Kakemami, A., Momari, M., Ghorbani, A., & Ghaffari, S. (2020). Analysis of land use/cover changes in Ardabil province using landscape metrics. *Remote Sensing & GIS in Natural Resources*, 11(3), 86-68. [In Persian].
- Kang, N., T, Sakamoto., J, Imanishi., K, Fukamachi., S, Shibata & Y, Morimoto. (2013). Characterizing the historical changes in land use and landscape spatial pattern on the Ogurike floodplain after the meiji period. *Intercultural Understanding*, 1, 11-16.
- Kangabam, R.D., Selvaraj, M., & Govindaraju, M. (2019). Assessment of land use land cover changes in Loktak Lake in Indo-Burma Biodiversity Hotspot using geospatial techniques. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 22 (2), 137-143. <https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2018.04.005>.
- Karami, P., & Mirmehrdad, M. (2018). Analysis of the degradation of landscape in the Great Huizeh Wetland using remote sensing. *Scientific Research Quarterly of Wetland Ecobiology*, 10(35), 39-54. [In Persian].
- Kiani, V., & Faghih, J. (2015). Investigation of the structure of cover/land use of Sefidrud watershed using ecological landscape metrics. *Environmental Science and Technology*, 17(6), 131-141. [In Persian].
- Kumar, K. S., Bhaskar, P. U., & Padmakumari, K. (2015). Application of land change modeler for prediction of future land use land cover: a case study of Vijayawada City. *International Journal of Advanced Technology in Engineering and Science*, 3(01), 773-783.
- Lam, N.S., Cheng, W., Zou, L., & Cai, H. (2018). Effects of landscape fragmentation on land loss. *Remote Sensing of Environment*, 209, 253-262. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.12.034>.
- McGarigal, K. (2001). Landscape metrics for categorical map patterns. http://www.umass.edu/landeco/teaching/landscape_ecology/schedule/chapter9_metrics.pdf
- McGarigal, K., Cushman, S. A., & Neel, E. N. (2002). FRAGSTATS: Spatial pattern analysis program for categorical maps. *Computer software program produced by the authors at the University of Massachusetts*, 691-703. <http://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html>.
- McGarigal, K.E. (2013). FRAGSTATS: Spatial Pattern analysis program for categorical maps. Computer software program produced by the authors at the University of Massachusetts, Amherst. Available at the following web site: <http://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html>.
- Mirakhorlo, M., & Rahimzadegan, M. (2018). Integration of SimWeight and Markov Chain to Predict Land Use of Lavasanat Basin. *Numerical Methods in Civil Engineering*, 2(4), 146-158. <https://doi.org/10.29252/NMCE.2.4.1> [in Persian].
- Misaghi, N., Nisani Samani, N., & Tomanian, A. (2018). Simulation of Urban Development in Tabriz Using CA-Markov Model and Multi-criteria Decision Making. *Human Geography Research*, 50(1), 231-217. <https://doi.org/10.22059/JHGR.2017.224800.1007382> [In Persian].
- Moe, I. R., Kure, S., Januriyadi, N. F., Farid, M., Udo, K., Kazama, S., & Koshimura, S. (2017). Future projection of flood inundation considering land-use changes and land subsidence in Jakarta, Indonesia. *Hydrological Research Letters*, 11(2), 99-105. <https://doi.org/10.3178/hrl.11.99>.
- Moharrami, M., & Derafshi, A. (2015). Signifying of the Urmia Lake Changes using Objected-Oriented Image Processing Techniques. *Journal of Applied Hydrology*, 2(2), 13-23.
- Mujiono, T. L., Harmantyo, D., Rukmana, I. P., & Nadia, Z. (2017). July. Simulation of land use change and effect on potential deforestation using Markov Chain-Cellular Automata. *In AIP Conference Proceedings*. 1862(1), 1-9. <https://doi.org/10.1063/1.4991281>.
- Munthali, M., Botai, J., Davis, N., & Ade la Abiodun, M. (2019). Muti-temporal analysis of land use and land cover change detection for Dedza district of Malawi using Geospatial techniques. *Applied Engineering*, 14(5), 1151-1162. <http://hdl.handle.net/2263/71103>.
- Nasiri, V., & Darvishsefat, A. A. (2018). Analysis of land use and land cover using ecological landscape metrics (case study: Arasbaran region). *Environmental Sciences*, 16(3), 101-118. [In Persian].
- Nazar Neghad, H., Hosseine, M., & Mostafazadeh, R. (2020). Assessment of Changes in Landuse Connectivity and Pattern using Landscape Metrics in the Zolachai Watershed, Salmas. *Geographical*

- Planning of Space, 9(34), 53-66. <https://doi.org/10.30488/GPS.2020.95381.2570>[In Persian].
- Rasouli, A. A. (1999). *Fundamentals of Applied Remote Sensing with Emphasis on Satellite Image Processing*. First Edition, Tabriz University Press. [In Persian].
- Rasouli, A. A., Asgarova, M. M., & Safarov, S. H. (2021). Mapping of LC/LU changes inside the Aghdam district of the Karabakh economics region applying object-based satellite image analysis. *Journal of Life Sciences & Biomedicine*, 3(76), 54-69. <http://dx.doi.org/10.29228/jlsb.22>.
- Rasouli, A.A., Safarov, S.H., Asgarova, M., Safarov E.S., & Milani, M. (2021). Detection and Mapping of Green-Cover and Landuse Changes by Advanced Satellite Image Processing Techniques; A Case Study: Azerbaijan Eastern Zangezur Economic Region. Azerbaijan AMEA-nın Biologiya və Tibb Elmləri Bölməsi. *Journal (recently submitted)*, pp 1-19. <https://doi.org/10.3390/su9081285>.
- Samie, A., Deng, X., Jia, S., & Chen, D. (2017). Scenario-based simulation on dynamics of land-use-land-cover change in Punjab Province. *Pakistan. Sustainability*, 9(8), 1-17. <https://doi.org/10.3390/su9081285>.
- Sarabuddin Mondal, M., Sharma, N., Kappas, M., & Garg, P. (2019). CA Markov modeling of land use/land cover dynamics and sensitivity analysis, Identify sensitive parameters. *Remote Sensing and Spatial Information Science*, 2 (13), 723-729. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-2-W13-723-2019>.
- Tzotsos, A., & Argialas, D. (2008). Support vector machine classification for object-based image analysis. *Object-based image analysis: Spatial concepts for knowledge-driven remote sensing applications*, 663-677.
- Uuemaa, E., Antrop, M., Roosaaare, J., Marja, R., & Mander, Ü. (2009). Landscape metrics and indices: an overview of their use in landscape research. *Living Reviews in Landscape Research*, 3(1), 1-28. <http://hdl.handle.net/1854/LU-695518>.
- Yirsaw, E., Wu, W., Shi, X., Temesgeh, H., & Bekele, B. (2017). Land use and land cover change modeling and the prediction of subsequent changes in ecosystem service values in a coastal area of China, *The Su-Xi-Change region. Sustainability*, 9 (1204), 2-17. <https://doi.org/10.3390/su9071204>.

