Iranian Journal of Rainwater Catchment Systems
Online ISSN: 1531-2783 Print ISSN: 5970-2423

Determining the dynamics of land use changes and the intensity of changes in the Barandozchay watershed, Urmia

Omid Bonabi Alghoo[1], Vahid Rezaverdinejad[*2], Javad Behmanesh[3], Tayebeh Irani [4], Mina Rahimi[5]

1. Ph.D. Student, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran, Email: O.bonabi@urmia.ac.ir
2. Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran, Email: v.verdinejad@urmia.ac.ir
3. Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran, Email: j.behmanesh@urmia.ac.ir
4. Former Ph.D. Student, Department of Range and Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Urmia University, Urmia, Iran, Email: t.irani@urmia.ac.ir
1. Former Ph.D. Student, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran, Email: mi.rahimi1992@gmail.com

ARTICLE INFO

Article type:
Research Paper

Article history
Received: 30 November 2024
Revised: 24 June 2025
Accepted: 25 June 2025
Published online: 05 August 2025

Keywords:
Trend Analysis, Landscape Dynamics, Land Use Change, Dynamic Degree Index, Watershed Management

ABSTRACT

In this study, land use change maps for the Barandoozchay watershed were prepared using TM and ETM+ sensor images from Landsat and Sentinel-2 satellites for the years 1990, 1995, 2000, 2005, 2010, 2016, 2020, and 2024 over 34 years. To predict land use for 2032, the CA-Markov model in the TerrSet software was used. The analysis employed the land use change intensity index and the integrated dynamic degree index (Ktotal) to monitor land use changes. The results indicated that the classified maps were produced with high accuracy and a Kappa coefficient greater than 0.80, indicating good reliability of the analyses. In this study, land use was categorized into six classes: irrigated lands and orchards, rangelands, rainfed lands, residential areas, water bodies, and salt marshes. Analysis of land use changes showed that the most significant changes occurred in residential areas, particularly during the periods 1995-2000 and 1995-2024, with growth rates of 22.66% and 267.35%, respectively. This growth reflects the rapid development of residential and urban areas, likely due to population growth and housing demand in the region. Additionally, during the 2020-2024 period, there was a 0.42% increase in irrigated lands and orchards, possibly due to increased demand for agricultural products and improved agricultural techniques. Predictions for 2032 indicate that the area of residential zones will increase to 95.19 km², and irrigated lands and orchards will increase to 584.64 km², while rainfed lands and rangelands will decrease. Analysis of the integrated dynamic degree index (Ktotal) also showed that the rate of land use change increased during the periods 2016-2020 and 2020-2024, while it decreased during the periods 2000-2005 and 2005-2010. These results underscore the need for sustainable natural resource management and the development of protective measures to control land use changes and maintain the environmental sustainability of the region.

Citation: Banabi Alghoo, O., Rezaverdinejad, V., Behmanesh, J., Irani, T., & Rahimi, M. (2025). Determining the dynamics of land use changes and the intensity of changes in the Barandozchay watershed, Urmia. *Iranian Journal of Rainwater Catchment Systems*, 13(2), 1-20.

DOR: 20.1001.1.24235970.1404.13.2.0.2

Publisher: Iranian Rainwater Catchment Systems Association

© Author(s)



***Corresponding author**: Vahid Verdinejad
Address: Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran
Tel: +989147117073
Email: v.verdinejad@urmia.ac.ir

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-10-31]

Iranian Journal of Rainwater Catchment Systems
Online ISSN: 1531-2783 Print ISSN: 5970-2423

Determining the dynamics of land use changes and the intensity of changes in the Barandozchay Watershed, Urmia

Omid Bonabi Alghoo[1], Vahid Rezaverdinejad[*2], Javad Behmanesh[3], Tayebeh Irani [4], Mina Rahimi[5]

5. Ph.D. Student, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran, Email: O.bonabi@urmia.ac.ir
6. Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran, Email: v.verdinejad@urmia.ac.ir
7. Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran, Email: j.behmanesh@urmia.ac.ir
8. Former Ph.D. Student, Department of Range and Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Urmia University, Urmia, Iran, Email: t.irani@urmia.ac.ir
9. Former Ph.D. Student, Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran, Email: mi.rahimi1992@gmail.com

EXTENDED ABSTRACT

Introduction: Land use change is one of the most significant environmental challenges of the present century, having extensive impacts on ecosystems, communities, and the global economy. Rapid population growth, urbanization, industrialization, and climate change are among the key factors exacerbating this phenomenon. These changes often lead to the conversion of forests to agricultural lands, rangelands to residential areas, and agricultural lands to industrial uses, resulting in consequences such as biodiversity loss, soil degradation, disruption of hydrological cycles, and increased natural disasters. In recent decades, the assessment of land use changes using advanced technologies such as remote sensing and Geographic Information Systems (GIS) has gained special importance. These tools help identify spatial and temporal patterns of changes and predict their outcomes. Especially in developing countries, where urbanization and land use changes occur more rapidly, the use of these technologies is crucial for sustainable resource management and planning.West Azerbaijan Province, due to its geographical location and climatic diversity, is under significant pressure from land use changes and desertification. Increasing demand for land due to population growth, agricultural development, and industrial activities has led to extensive degradation of agricultural lands and rangelands. This study focuses on the Barandoozchay watershed in this province to examine the dynamics of land use changes and identify the factors influencing these changes. Precise analysis of these changes and influencing factors provides a scientific framework for adopting sustainable management policies and preserving natural resources.

Methodology: In this study, land use change analysis of the Barandoozchay sub-watershed in West Azerbaijan Province was conducted using Landsat 5, 7 and Sentinel-2 satellite images. For data preprocessing, atmospheric, radiometric, and geometric corrections were performed using ArcGIS 10.8 and ENVI software. After band combination and calculation of NDVI and NDWI indices, the images were classified using object-based methods and the nearest neighbour classification (NNC) algorithm in eCognition Developer software. To predict future changes, the CA-Markov model was utilized. Transition probability matrices and transition areas were calculated using data from the years 2016 and 2024, and the prediction map for the year 2032 was generated. Finally, change intensity indices (Ksingle) and integrated dynamic degree indices (Ktotal) were used to analyze and evaluate the land use change trends.

Results and Discussion: This study analyzes land use changes in the Barandoozchay watershed from 1990 to 2024. For classifying satellite images, supervised classification and maximum likelihood methods were used, and the accuracy of the images was verified using the Kappa coefficient. The Kappa coefficients for the years 1990, 1995, 2000, 2005, 2010, 2016, 2020, and 2024 were obtained as 0.73, 0.83, 0.89, 0.88, 0.85, 0.91, 0.89, and 0.87, respectively. The results indicate significant land use changes, particularly a notable increase in residential area from 0.41 km² in 1990 to 81.20 km² in 2024, which is directly linked to the increasing trend of urban development. Conversely, the area of rainfed lands and rangelands has decreased, with rainfed lands

***Corresponding author**: Vahid Verdinejad
Address: Department of Water Engineering, Faculty of Agriculture, Urmia University, Urmia, Iran
Tel: +989147117073
Email: v.verdinejad@urmia.ac.ir

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-10-31]

ISSN (Online): 2783-1531 - ISSN (Print): 2423-5970

shrinking from 90.99 km² in 1990 to 110.61 km² in 2024. Additionally, salt marsh areas increased from 0 km² in 1990 to 2.60 km² in 2024. Trend analysis shows that residential areas, irrigated lands, and orchards have continuously increased, while rainfed lands and rangelands have decreased. These changes were particularly prominent during the 1990-2024 period, indicating major shifts in land use patterns. Future predictions suggest that the residential area will reach 95.19 km² by 2032, with further declines in rainfed lands and rangelands. The dynamic change analysis indicates a significant increase in the rate of land use changes during the 2016-2020 and 2020-2024 periods, largely due to changes in development policies, the impacts of climate change, and population growth.Overall, this study demonstrates that urban and agricultural trends must be accompanied by sustainable management strategies and effective planning to mitigate negative impacts on the environment and natural resources.

Conclusion: The results of this study indicate significant changes in land use patterns in the Barandoozchay watershed over various periods from 1990 to 2024, with predictions extending to 2032. Major changes in residential, agricultural, and water use areas, coupled with a reduction in natural lands such as rangelands and rainfed areas, clearly demonstrate the impacts of urban growth, agricultural demands, and climate change. The increasing trend in residential area expansion and the reduction of natural lands, including rangelands and rainfed areas, have created numerous challenges for natural resource management and environmental conservation in the region. The study also highlights the growing trends in demand for water and agricultural resources, which may exert pressure on water resources and natural ecosystems. In this context, predictions indicate that in the coming years, these changes will particularly intensify in urban and agricultural areas, thus emphasizing the need for effective strategies for water, land, and smart agricultural management.

Ethical Considerations

Data availability statement: The datasets are available upon a reasonable request to the corresponding author.

Funding: Financial support: This research has not received any financial support from any organization.

Authors' contribution: Omid Banabi Alghoo, Vahid Rezaverdinejad, Javad Behmanesh, Tayebeh Irani, and Mina Rahimi, as the authors of the paper, conducted all parts of the research and wrote the entire manuscript.

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

Acknowledgment: This article is part of the results of a doctoral dissertation conducted under the valuable guidance of esteemed professors at Urmia University. I sincerely thank all faculty members, students, and staff of Urmia University who assisted me at various stages of this research.

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-10-31]

Iranian Journal of Rainwater Catchment Systems
مجله علمی سامانه‌های سطوح آبگیر باران ایران
شاپا الکترونیکی: ۲۷۸۳-۱۵۳۱ شاپا چاپی: ۲۴۲۳-۵۹۷۰

تعیین پویایی تغییرات کاربری اراضی و شدت تغییرات آن در حوزه آبخیز باراندوزچای، ارومیه

امید بنابی آلقو[۱]، وحید رضاوردی‌نژاد[*۲]، جواد بهمنش[۳]، طیبه ایرانی[۴]، مینا رحیمی[۵]

۱. دانشجوی دکتری، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران، O.bonabi@urmia.ac.ir
۲. استاد، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران، v.verdinejad@urmia.ac.ir
۳. استاد، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران، j.behmanesh@urmia.ac.ir
۴. دانش‌آموخته دکتری، گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران، t.irani@urmia.ac.ir
۵. دانش‌آموخته دکتری، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران، mi.rahimi1992@gmail.com

مشخصات مقاله

نوع مقاله:
پژوهشی

تاریخچه مقاله
دریافت: ۱۰ آذر ۱۴۰۳
بازنگری: ۰۳ تیر ۱۴۰۳
پذیرش: ۰۴ تیر ۱۴۰۳
انتشار برخط: ۱۴ مرداد ۱۴۰۴

واژه‌های کلیدی:
تحلیل روند تغییرات، پویایی سیمای‌سرزمین، تغییرکاربری اراضی، شاخص درجه پویایی، مدیریت آبخیز

چکیده

در تحقیق حاضر جهت تهیه نقشه تغییرات کاربری اراضی در حوزه آبخیز باراندوزچای از تصاویر سنجنده‌های TM و ETM^+ ماهواره‌های لندست و سنتینل ۲ مربوط به سال‌های ۱۹۹۰، ۱۹۹۵، ۲۰۰۰، ۲۰۰۵، ۲۰۱۰، ۲۰۱۶، ۲۰۲۰ و ۲۰۲۴ طی یک بازه زمانی ۳۴ ساله استفاده شد. در ادامه، به‌منظور پیش‌بینی کاربری اراضی برای سال ۲۰۳۲ از CA–مارکوف از نرم‌افزار TerrSet استفاده شد. در نهایت، برای روند تغییرات کاربری از شاخص شدت تغییرات و شاخص درجه پویایی یکپارچه (K_{total}) در پایش تغییرات کاربری اراضی استفاده شد. نتایج نشان داد که نقشه‌های طبقه‌بندی‌شده با دقت زیاد و ضریب کاپا بیش از ۰/۸۰ تولید شدند که حاکی از اعتبار خوب تحلیل‌ها است. در این تحقیق کاربری اراضی در شش کلاس شامل اراضی آبی و باغات، مرتع، اراضی دیم، مسکونی، بدنه آبی و نمکزار طبقه‌بندی شد. تحلیل تغییرات کاربری اراضی نشان داد که بیش‌ترین تغییرات در کاربری مسکونی رخ داده است، به‌ویژه در بازه زمانی ۲۰۰۰–۱۹۹۵ و ۲۰۲۴–۱۹۹۵ که به‌ترتیب با رشد ۲۲/۶۶ و ۲۶۷/۳۵ درصدی مواجه بوده است. این رشد نشانگر توسعه سریع مناطق مسکونی و شهری است که احتمالاً ناشی از افزایش جمعیت و تقاضا برای مسکن در این منطقه بوده است. هم‌چنین، در دوره ۲۰۲۴–۲۰۲۰، گسترش اراضی آبی و باغات با رشد ۰/۴۲ درصدی مشاهده شد که می‌تواند به‌دلیل افزایش تقاضا برای محصولات کشاورزی و بهبود فنون کشاورزی باشد. پیش‌بینی برای سال ۲۰۳۲ نشان می‌دهد که مساحت مناطق مسکونی به ۹۵/۱۹ کیلومترمربع و اراضی آبی و باغات به ۵۸۴/۶۴ کیلومترمربع افزایش خواهد یافت، در حالی‌که اراضی دیم و مراتع کاهش خواهند یافت. تحلیل شاخص درجه پویایی یکپارچه (K_{total}) نیز نشان داد که سرعت تغییرات کاربری اراضی در بازه زمانی ۲۰۲۰–۲۰۱۶ و ۲۰۲۴–۲۰۲۰ افزایش یافته است، درحالی‌که در بازه زمانی ۲۰۰۵–۲۰۰۰ و ۲۰۱۰–۲۰۰۵ کاهش داشته است. این نتایج نیاز به مدیریت پایدار منابع طبیعی و تدوین برنامه‌های حفاظتی برای کنترل تغییرات کاربری و حفظ پایداری محیط‌زیستی منطقه را تأکید می‌کند.

استناد: بنابی آلقو، مجید، رضاوردی نژاد، وحید، بهمنش، جواد، ایرانی، طیبه و رحیمی، مینا (۱۴۰۴). تعیین پویایی تغییرات کاربری اراضی و شدت تغییرات آن در حوزه آبخیز باراندوزچای، ارومیه. *سامانه‌های سطوح آبگیر باران*، ۱۳(۲)، ۱-۲۰.

DOR: 20.1001.1.24235970.1404.13.2.0.2

ناشر: انجمن علمی سیستم‌های سطوح آبگیر باران ایران

© نویسندگان

* **نویسنده مسئول:** وحید رضاوردی نژاد
نشانی: گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران
تلفن: ۰۹۱۴۷۱۱۷۰۷۳
پست الکترونیکی: v.verdinejad@urmia.ac.ir

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-10-31]

مقدمه

تغییر کاربری اراضی یکی از مهم‌ترین و پیچیده‌ترین چالش‌های محیط‌زیستی قرن حاضر است که تأثیرات گسترده‌ای بر بوم‌سازگان‌ها، اقتصاد و جامعه به همراه دارد. رشد جمعیت، صنعتی‌شدن سریع، گسترش شهرنشینی و تغییرات اقلیمی به‌عنوان عوامل اصلی در تشدید این پدیده نقش‌آفرینی می‌کنند. تبدیل جنگل‌ها به مزارع کشاورزی، مراتع به مناطق مسکونی و اراضی کشاورزی به کاربری‌های صنعتی تنها نمونه‌هایی از این تغییرات هستند که نه‌تنها منجر به تخریب زیربنای بوم‌شناختی خاک می‌شوند، بلکه کاهش تنوع زیستی، اختلال در چرخه‌های هیدرولوژیکی و افزایش خطر بلایای طبیعی نظیر سیل و فرسایش خاک را نیز در پی دارند (Talebi Khiavi & Mostafazadeh, 2021، شریفی و همکاران، ۱۳۹۱؛ ایرانی و همکاران، ۱۴۰۲). علاوه‌بر پیامدهای محیط زیستی، تغییرات کاربری اراضی تأثیرات اقتصادی و اجتماعی قابل‌توجهی به‌همراه دارد. کاهش تولیدات کشاورزی، افزایش هزینه‌های مدیریت بلایا و تشدید نابرابری‌های اجتماعی از جمله اثرات منفی هستند که می‌توانند ثبات و امنیت جوامع را تهدید کنند. به‌طور خاص، در کشورهای در حال توسعه این تغییرات سریع‌تر از کشورهای توسعه یافته رخ می‌دهد، که این موضوع به‌ویژه در مناطق شهری با رشد جمعیت بالا، نمود بیش‌تری پیدا می‌کند. گسترش بی‌رویه شهرها و افزایش نیازهای انسانی منجر به تغییرات سریع در کاربری و پوشش زمین شده و تخریب محیط زیست را تسریع کرده است (Oguz & Zengin, 2011; Aspinall 2004).

برای مقابله با این چالش‌ها، اتخاذ رویکردی جامع و چندبعدی ضروری به نظر می‌رسد. این رویکرد باید شامل برنامه‌ریزی دقیق کاربری اراضی با هدف حفظ تعادل بین توسعه و حفظ منابع طبیعی باشد. سیاست‌های تشویقی برای حمایت از کشاورزی پایدار و استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر، احیای اراضی تخریب‌شده و توسعه زیرساخت‌های حمل و نقل عمومی نیز می‌توانند در کاهش فشارهای وارده بر محیط‌زیست مؤثر باشند (Zhang et al., 2014). از سوی دیگر، فعالیت‌های اقتصادی و انسانی عمدتاً در مقیاس سیمای‌سرزمین صورت می‌گیرد و این مقیاس به‌عنوان ابزاری مناسب برای مطالعه تغییرات محیط‌زیستی ناشی از فعالیت‌های انسانی شناخته می‌شود (De Montis et al., 2017; Mamun et al., 2013). در دهه‌های اخیر، فشارهای وارده بر منابع طبیعی از طریق تغییرات کاربری زمین، منجر به تخریب بخش‌های گسترده‌ای از بوم‌سازگان‌ها شده است. بنابراین، ارزیابی دقیق تغییرات سیمای سرزمین می‌تواند به‌عنوان یک ابزار پویا و مؤثر در مدیریت پایدار منابع و کاربری اراضی مورد استفاده قرار گیرد (Zhang et al., 2014; Li et al., 2017; Talebi Khiavi & Mostafazadeh, 2021).

توانایی شبیه‌سازی و مدل‌سازی حالت‌های ممکن مختلف با به‌کاربردن روش‌های نوین در پردازش تصویرهای ماهواره‌ای و مدل‌های کارآمد در تحلیل‌های مکانی، امکان بررسی و پیش‌بینی تغییر مکانی- زمانی کاربری زمین را می‌دهد (ابراهیمی و همکاران، ۱۳۹۷). در همین راستا، Zhang et al. (2011) با استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) تغییرات الگوهای کاربری و پوشش زمین (LULC) را در منطقه شانگ‌های طی سال‌های ۱۹۷۹ تا ۲۰۰۸ بررسی کردند. این پژوهش از داده‌های ماهواره‌ای و تکنیک‌های تحلیل مکانی برای شناسایی و ارزیابی تغییرات کمی در کاربری اراضی استفاده کرد. نتایج نشان داد که اراضی شهری و روستایی به‌طور متوسط به میزان ۴۲۴۲ هکتار در سال افزایش یافتند و در هر سال منطقه‌ای به مساحت ۱۵۹۴ هکتار به کاربری‌های شهری/روستایی افزوده می‌شود. علاوه بر این، Sun et al. (2013) با استفاده از سنجش از دور و GIS به ارزیابی تغییرات کاربری اراضی در منطقه Gnhe بین سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۱۰ پرداختند. این پژوهش بر ارزیابی افزایش یا کاهش مساحت انواع مختلف کاربری زمین مانند مناطق مسکونی و جنگل‌ها تمرکز داشت. نتایج نشان داد که طی این دهه، مساحت مناطق مسکونی و جنگل‌ها به‌طور چشم‌گیری افزایش یافت، درحالی‌که مراتع و جنگل‌های استوایی کاهش داشتند. در ادامه، Al Razzaq & Alnajjar. (2013) تغییرات کاربری زمین را در

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-10-31]

منطقه Johor مالزی بین سال‌های ۱۹۹۵ و ۲۰۱۱ با استفاده از سنجش از دور و روش طبقه‌بندی حداکثر احتمال بررسی کردند. این مطالعه از تصاویر ماهواره‌ای برای ارزیابی تغییرات کاربری زمین در طول این دوره استفاده کرد. یافته‌های این تحقیق نشان داد که مناطق شهری طی این بازه زمانی ۳ درصد افزایش یافته و در مقابل، پوشش گیاهی منطقه ۱۲ درصد کاهش داشته است.

Li et al. (2017) به بررسی تغییرات کاربری اراضی در منطقه Jing-Jin-Ji چین بین سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۵ پرداختند. برای تحلیل این تغییرات از دو روش معادله پویایی کاربری اراضی و معادله پویایی یکپارچه کاربری اراضی استفاده کردند. یافته‌های آن‌ها نشان داد که بیش‌ترین تغییرات مربوط به اراضی بلااستفاده بود که بیش‌ترین میزان نوسانات را تجربه کردند. تغییرات پویای کاربری زمین در این منطقه به شدت متاثر از کاهش سریع اراضی کشاورزی و رشد سریع اراضی شهری بود. این امر نشان‌دهنده سرعت بالای شهرنشینی و صنعتی‌شدن این منطقه است، که تأثیرات گسترده‌ای بر تغییرات کاربری زمین داشته است. هم‌چنین، Shuhan et al. (2017) تغییرات کاربری اراضی را در منطقه Nong'an بین سال‌های ۱۹۹۶ و ۲۰۱۴ با استفاده از معادله پویایی کاربری زمین مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که فعالیت‌های انسانی به‌طور قابل‌توجهی منجر به کاهش مناطق بوم‌شناختی و تغییرات در کلاس‌های مختلف کاربری زمین شد. بررسی‌ها هم‌چنین نشان داد که انتقال بین زمین‌های بوم‌شناختی، زمین‌های کشاورزی و اراضی انسان‌ساز به‌طور منظم اتفاق می‌افتد و فعالیت‌های انسانی هم‌چنان به عنوان یک عامل کلیدی در الگوهای کاربری زمین نقش دارد. این تحقیق نقش حیاتی فعالیت‌های انسانی در تخریب زمین‌های بوم‌شناختی و تبدیل آن‌ها به مناطق کشاورزی یا انسان‌ساز را تأیید کرد. سپس، Roy et al. (2024) تغییرات کاربری زمین و تأثیر آن بر ارزش خدمات اکوسیستمی در شهر داکا، بنگلادش را از ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۱ بررسی و پیش‌بینی را برای سال‌های ۲۰۳۰ و ۲۰۴۰ ارائه کردند. نتایج نشان داد افزایش مناطق انسان‌ساز و کاهش زمین‌های کشاورزی، پوشش گیاهی و منابع آبی تا ۲۰۲۱ وجود دارد. در این تحقیق اذعان کردند این روند با افزایش منابع آبی و زمین‌های کشاورزی احتمال دارد در آینده بهبود یابد. در نهایت، Alaei et al. (2024) در تعیین پویایی تغییرات کاربری اراضی در یک بازه زمانی طولانی در ارزروم، ترکیه به این نتیجه رسیدند که بیش‌ترین تغییر مربوط به تبدیل مراتع به اراضی کشاورزی در بازه زمانی ۱۹۹۴ تا ۲۰۲۳ در ارزروم بوده است. طبق نتایج در بازه زمانی ۱۹۹۴ تا ۲۰۲۳ مراتع ۱۹/۲۲ درصد کاهش و اراضی کشاورزی ۱۸ درصد افزایش یافتند. این تغییرات، که ناشی از وابستگی معیشتی جوامع محلی به کشاورزی است، فشار زیادی بر منابع طبیعی وارد کرده است. هم‌چنین، کاهش منابع آبی و باغات و تغییرات در زمین‌های بایر و جنگل‌ها مشاهده شد.

در ایران نیز جعفرزاده و نظمی‌فر (۱۳۹۸)، کارایی هفت روش طبقه‌بندی نظارت‌شده در ارزیابی تغییرات کاربری اراضی شهری اردبیل بررسی کردند. از پردازش شیءگرا برای استخراج کاربری اراضی زراعی، مسکونی و آبی استفاده شد. سپس تصاویر با هفت روش مختلف طبقه‌بندی، از جمله شبکه عصبی، تحلیل شدند. نتایج نشان داد که شبکه عصبی با دقت کلی ۹۴/۴۷ درصد و ضریب کاپا ۹۲/۰۹ درصد دقیق‌ترین روش است. این یافته‌ها نشان می‌دهد که برداشت دقیق نمونه‌های تعلیمی و بررسی احتمال تعلق سلول‌های تصویر به طبقات می‌تواند به بهبود طبقه‌بندی کمک کند. سپس، سلیمانی ساردو و همکاران (۱۳۹۹)، در مطالعه پایش خسارات سیلاب با استفاده از تصاویر Sentinel-1 در جنوب کرمان براساس الگوریتم جنگل تصادفی پرداختند، نتایج نشان‌دهنده صحت بالای روش طبقه‌بندی جنگل تصادفی (ضریب کاپا ۰/۹۲) نسبت به سایر الگوریتم‌ها بود. در ادامه، Talebi Khiavi & Mostafazadeh (2021) در تحقیق خود به ارزیابی تغییرات کاربری اراضی در منطقه خیاوچای در دامنه‌های کوهستانی سبلان، ایران، پرداخته‌اند. این تحقیق با استفاده از داده‌های تصویری ماهواره‌ای و روش طبقه‌بندی نظارت‌شده حداکثر احتمال برای سال‌های ۱۹۸۴، ۱۹۹۲، ۲۰۰۰، ۲۰۰۸ و ۲۰۱۶ انجام شده است. نتایج نشان داد که دقت نقشه‌ها و ضریب کاپا بیش از ۰/۸۵ و دقت کلی بالای ۹۰ درصد بوده است. بررسی‌ها نشان داد که بیش‌ترین

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-10-31]

تغییرات در کاربری‌های مسکونی با درجه پویایی ۷/۹۷ درصد و بیش‌ترین کاهش در اراضی جنگلی با روند کاهشی ۱/۸۵- درصد و مراتع با ۲/۳۷- درصد بوده است.

شاد و همکاران (۱۴۰۲) در مدل‌سازی پویای تغییرات کاربری اراضی مبتنی بر نظام انسان – محیط زیست درحوزه آبخیز طالقان از تصاویر سری زمانی ماهواره لندست، نقشه‌های کاربری اراضی برای سال‌های ۱۹۹۴، ۱۹۹۹، ۲۰۰۲، ۲۰۰۹، ۲۰۱۴، ۲۰۱۹، در شش کلاس مرتع، جنگل، اراضی کشاورزی، اراضی بایر، مسکونی و آب استفاده کردند. پس از صحت‌سنجی نقشه‌ها و آشکارسازی تغییرات، تحت سه سناریو رشد اقتصادی فعلی، رشد سریع اقتصادی و توسعه پایدار با استفاده از مدل‌سازی سیستم پویا، شبیه‌سازی تا سال ۱۴۳۵ استفاده شد. نتایج آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی در طول دوره نشان داد که روند تغییرات اراضی کشاورزی، مراتع، جنگل، کاهشی بوده و اراضی بایر و منطقه مسکونی نیز در طول دوره بررسی همواره روندی افزایشی داشته است. در ادامه، محمدی و همکاران (۱۴۰۲) در بررسی تغییرات کاربری اراضی حوزه آبخیز گرگانرود با استفاده از پلتفرم گوگل ارث انجین برای سال‌های ۱۳۷۹، ۱۳۸۸ و ۱۳۹۷ استفاده شد. برای این منظور با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست و پروداکت مودیس و با روش طبقه‌بندی الگوریتم جنگل تصادفی در گوگل ارث انجین نقشه‌های کاربری اراضی تهیه و ارزیابی شد. تصاویر ماهواره‌ای به هشت کلاس جنگل، زمین زراعی، بوته‌زار، علفزار، تالاب، شهری، بایر و پهنه‌های آبی طبقه‌بندی شد. نتایج نشان داد که بیش‌ترین مساحت کاربری اراضی در سال‌های ۱۳۷۹، ۱۳۸۸ و ۱۳۹۷ مربوط به زمین زراعی و کم‌ترین میزان در سال ۱۳۷۹ مربوط به کاربری پهنه‌های آبی و در سال‌های ۱۳۸۸ و ۱۳۹۷ مربوط به کاربری تالاب به‌دست آمد.

استان آذربایجان غربی به‌دلیل موقعیت جغرافیایی خاص و تنوع اقلیمی، از جمله مناطقی است که تحت فشارهای ناشی از تخریب زمین و بیابان‌زایی قرار گرفته است. افزایش تقاضا برای زمین به‌دلیل رشد جمعیت، گسترش فعالیت‌های کشاورزی و صنعتی، و تغییرات اقلیمی از عوامل اصلی این تخریب‌ها هستند. یکی از چالش‌های اساسی در این منطقه، استفاده نامناسب از اراضی و اجرای شیوه‌های غیرپایدار کشاورزی است که موجب تخریب گسترده زمین‌های زراعی و مراتع شده است. این تغییرات نه تنها موجب کاهش حاصلخیزی خاک و از دست رفتن مواد آلی شده، بلکه باعث تکه‌تکه شدن اراضی با ارزش و آسیب به بوم‌سازگان‌های محلی نیز شده است. بر همین اساس، تحقیق حاضر با هدف تعیین پویایی تغییرات کاربری اراضی و شناسایی عوامل مؤثر بر میزان و شدت این تغییرات در حوزه آبخیز باراندوزچای، واقع در استان آذربایجان غربی، انجام شد. این پژوهش به بررسی الگوهای زمانی و مکانی تغییرات کاربری اراضی در این حوزه می‌پردازد و هم‌چنین تلاش می‌کند تا نقش عوامل انسانی و محیطی مانند رشد جمعیت، تغییرات اقلیمی و توسعه کشاورزی و صنعتی را در این تغییرات مورد ارزیابی قرار دهد. مطالعات مختلفی به بررسی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از داده‌های سنجش‌ازدور و روش‌های مدل‌سازی پرداخته‌اند. این تحقیقات نشان داده‌اند که رشد جمعیت، توسعه شهری، و تغییرات اقلیمی از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر تغییرات کاربری اراضی هستند. هم‌چنین، روش‌هایی مانند مدل مارکوف، تحلیل شاخص‌های دینامیک کاربری، و طبقه‌بندی شیءگرا به‌عنوان ابزارهای کارآمد در تحلیل و پیش‌بینی این تغییرات معرفی شده‌اند (Talebi Khiavi & Mostafazadeh, 2021؛ Zhang et al., 2011؛ Sun et al., 2013) با این‌حال، مطالعات پیشین به‌طور محدود به بررسی تأثیر عوامل مکانی-زمانی در مقیاس‌های کوچک و مناطق جغرافیایی خاص پرداخته‌اند. علاوه بر این، تحلیل جامع روندهای بلندمدت و پیش‌بینی تغییرات آینده در مناطقی با تنوع اقلیمی بالا، مانند حوزه آبخیز باراندوزچای، کم‌تر مورد توجه قرار گرفته است. در این پژوهش، با تمرکز بر حوزه آبخیز باراندوزچای، از ترکیبی از داده‌های سنجش‌ازدور و مدل‌های پیشرفته مانند مدل CA-Markov و شاخص‌های شدت و پویایی تغییرات برای تحلیل دقیق‌تر روندهای مکانی و زمانی استفاده شده است. این پژوهش تحلیل جامع از تغییرات کاربری اراضی در این منطقه است که علاوه‌بر بررسی عوامل انسانی و محیطی مانند رشد جمعیت، تغییرات اقلیمی و توسعه کشاورزی، امکان

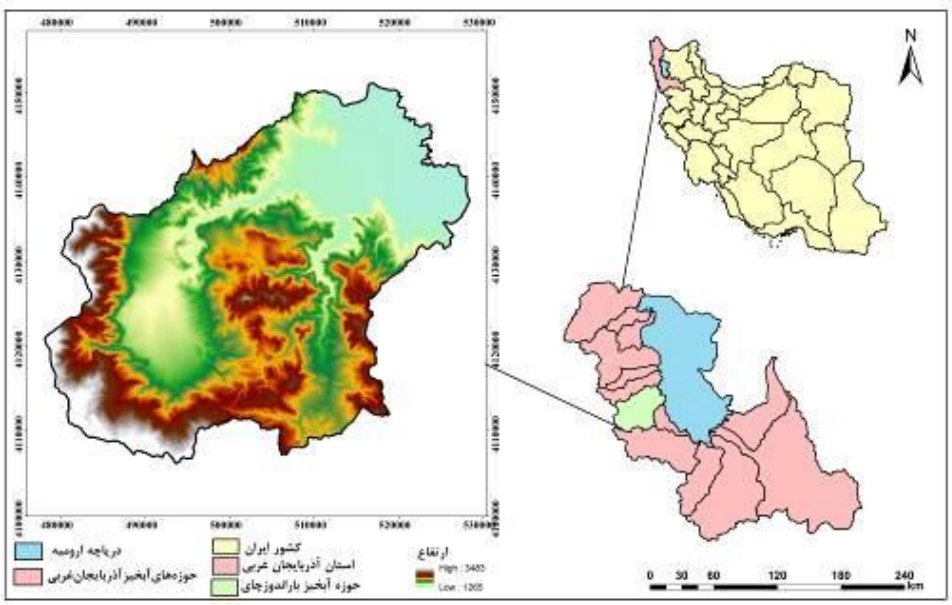
[Downloaded from jircsa.ir on 2026-10-31]

پیش‌بینی روندهای آتی تغییرات را نیز فراهم می‌کند. نتایج این تحقیق چارچوبی عملی برای مدیریت پایدار منابع طبیعی و تدوین سیاست‌های توسعه منطقه‌ای ارائه می‌دهد که آن را از مطالعات پیشین متمایز می‌کند.

مواد و روش تحقیق

منطقه مورد مطالعه

دریاچه ارومیه، که بین دو استان آذربایجان غربی و آذربایجان شرقی قرار دارد، از طریق ۱۶ زیرحوضه تغذیه می‌شود. از میان این زیرحوضه‌ها، ۹ زیرحوضه متعلق به آذربایجان غربی هستند که یکی از مهم‌ترین آن‌ها زیرحوضه باراندوزچای است. این زیرحوضه با مساحتی بالغ بر ۱۳۶۱/۵۴ کیلومترمربع، نقش مهمی در تغذیه دریاچه ارومیه ایفا می‌کند و به‌دلیل ویژگی‌های اقلیمی و تغییرات کاربری اراضی، به‌عنوان منطقه مورد مطالعه انتخاب شده است. تحقیق حاضر بر روی زیرحوضه باراندوزچای در استان آذربایجان غربی متمرکز است. این حوضه در عرض‌های شمالی '۳۷°۰۶ تا '۳۷°۲۹ و طول‌های شرقی '۴۵°۴۴ تا '۴۵°۱۴ واقع شده و مساحتی بالغ بر ۱۳۶۱/۵۴ کیلومترمربع را پوشش می‌دهد. باراندوزچای از دو رشته کوه مرزی ایران با ترکیه و عراق سرچشمه می‌گیرد و پس از عبور از مناطق مختلف، به دریاچه ارومیه می‌ریزد. این حوضه عمدتاً کوهستانی است و شامل سنگ‌های آهکی، دولومیت‌ها، شیل‌ها، کنگلومراها و رسوبات کواترنری است (ایرانی و همکاران، ۱۴۰۲). حوزه آبخیز باراندوزچای اقلیمی سرد و نیمه‌خشک دارد. میانگین دمای سالانه آن حدود ۱۰ تا ۱۲ درجه سانتی‌گراد بوده و زمستان‌های سرد و برفی و تابستان‌های گرم و خشک را تجربه می‌کند. میانگین بارش سالانه بین ۳۰۰ تا ۵۰۰ میلی‌متر است که عمدتاً در زمستان و بهار به‌صورت باران و در ارتفاعات به‌صورت برف رخ می‌دهد. این بارش‌ها در ارتفاعات زاگرس بیش‌تر است و رودخانه باراندوزچای به‌عنوان شریان اصلی، نقش مهمی در تأمین منابع آبی ایفا می‌کند (ایرانی و همکاران، ۱۴۰۲). به لحاظ فیزیوگرافیکی، حوضه به چهار واحد کاری تقسیم می‌شود: بابارود، قاسملو، دیزج و هاشم‌آباد. واحد کاری بابارود با ۱۱۴۹/۱۵ کیلومترمربع بزرگ‌ترین و واحد کاری قاسملو با ۳۳۱/۷۴ کیلومترمربع کوچک‌ترین واحد است. از نظر شیب متوسط وزنی، قاسملو با ۳۲/۶۷ درصد بیش‌ترین و بابارود با ۲۷/۱۷ درصد کم‌ترین شیب را دارد (ایرانی و همکاران، ۱۴۰۲). در شکل ۱ موقعیت جغرافیایی حوزه آبخیز باراندوزچای ارائه شده است.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه

Figure 1- Geographical location of the studied area

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-10-31]

روش تحقیق

با هدف تولید نقشه‌های کاربری‌اراضی در تحقیق حاضر از تصاویر ماهواره‌ای Landset5, Landset7 و Sentinel2، با تفکیک مکانی ۳۰ و ۱۰ متری و دارا بودن محدوده طیف‌های متنوع استفاده شد. اطلاعات تصاویر مورد استفاده در این مطالعه در جدول ۱ ارائه شده است. تصحیحات اتمسفری، رادیومتری و هندسی بر روی تصاویر Landsat اعمال شد تا خطاهای احتمالی از طریق پیش‌پردازش‌های مورد نیز برطرف شود. لازم به توضیح اینکه تصاویر لندست ۷ از ماه می سال ۲۰۰۳ به دلیل خطای حاصله در سنجنده تصحیح‌کننده اسکنر خطی دارای مشکلات تصویری است. البته این نوع خطاها با اعمال روش‌های متنوع قابل اصلاح است. در این مطالعه، به‌منظور کاهش خطاهای ناشی از مشکلات حسگر Landsat 7 و بهبود کیفیت داده‌ها، تصحیحات اتمسفری، رادیومتری و هندسی بر روی تصاویر ماهواره‌ای اعمال شد. این مراحل با استفاده از نرم‌افزارهای ENVI و ArcGIS انجام گرفت. هم‌چنین، برای تصاویر آسیب‌دیده، از روش‌های جایگزینی داده‌ها با استفاده از باندهای سالم و فیلترهای مکانی بهره‌گیری شد تا نواقص به حداقل برسند و کیفیت تصاویر برای تحلیل‌های بعدی بهبود یابد (Lu and Weng 2007؛ Roy et al., 2024). با هدف ارتقاء کمیت و کیفیت نقشه‌های کاربری‌اراضی در تحقیق حاضر از تصاویرماهواره‌ای Sentinel2، با تفکیک مکانی ۱۰ متری و دارا بودن محدوده طیف‌های متنوع ۱۳ باند برای Sentinel2 استفاده شد. اطلاعات تصاویر مورد استفاده در پژوهش حاضر در جدول ۱ ارائه شده است.

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

Table 1- Information of satellite images used in land-use change and prediction study

ماهواره	سنجنده	مسیر/ردیف	بازه زمانی	دقت مکانی (متر)
لندست ۵	TM	169-034	1990.06.02	30
لندست ۵	TM	169-034	1995.06.15	30
لندست ۷	ETM+	169-034	2000.06.03	30
لندست ۷	ETM+	169-034	2005.06.19	30
لندست ۷	ETM+	169-034	2010.06.10	30
سنتینل ۲	MSI	T38SMG, SNG	2016.06.2	10, 20, 60
سنتینل ۲	MSI	T38SMG, SNG	2020.06.20	10, 20, 60
سنتینل ۲	MSI	T38SMG, SNG	2024.06.22	10, 20, 60

پیش‌پردازش تصاویر ماهواره‌ای

پیش‌پردازش تصاویر شامل مراحل متعددی است که در نرم‌افزارهای ArcGIS و ENVI انجام می‌شود. این مراحل شامل تبدیل فرمت تصاویر، موزائیک‌سازی و برش تصاویر است. در مرحله پردازش، پس از ورود داده‌ها و تصاویر، مراحل مختلفی از جمله ایجاد ترکیبی باندی ۲، ۳، ۴، ۸ و ۱۱ برای تصاویر سنتینل ۲ و ترکیب باندی ۲، ۴، ۵ و ۷ برای تصاویر لندست، تولید شاخص‌های کاربری اراضی، سگمنت‌سازی چندمتغیره، ویراستاری شیءهای تصویری و طبقه‌بندی اراضی به روش طبقه‌بندی نزدیک‌ترین همسایه (NNC[1]) در محیط نرم‌افزار eCognition Developer 9.5 انجام شد. سگمنت‌سازی در تحلیل تصاویر ماهواره‌ای، به‌ویژه در پردازش شیءگرا (OBIA[2])، استفاده می‌شود. به‌جای تحلیل هر پیکسل به‌تنهایی، سگمنت‌ها به‌عنوان

[1] Nearest Neighbour Classify
[2] Object-Based Image Analysis

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-10-31]

واحدهای تحلیل در نظر گرفته می‌شوند، که دقت و کارایی را در طبقه‌بندی کاربری اراضی افزایش می‌دهد. در نرم‌افزار eCognition Developer 9.5، مراحل طبقه‌بندی شامل سگمنت‌سازی، نمونه‌برداری و طبقه‌بندی هستند. در مرحله سگمنت‌سازی، تصویر ورودی به بخش‌های کوچک‌تر به نام سگمنت‌ها تقسیم می‌شود تا ویژگی‌های مشابه در هر سگمنت جمع‌آوری شود. در مرحله نمونه‌برداری، نمونه‌هایی از هر سگمنت استخراج شده که نمایانگر ویژگی‌های آن سگمنت هستند. نهایتاً، در مرحله طبقه‌بندی، سگمنت‌ها با استفاده از الگوریتم‌های مختلف بر اساس ویژگی‌های مشترک به دسته‌های مختلف تقسیم می‌شوند. برای سگمنت‌سازی، پارامترهای مقیاس، شکل و فشردگی به‌ترتیب با مقادیر ۵۶، ۰/۳ و ۰/۷ تنظیم شدند (Gilabert et al. 1993; Fahsi 1993; Civco 1989). هم‌چنین، برای تفکیک بهتر پوشش گیاهی از شاخص‌های شاخص نرمال‌شده تفاضل آب (NDWI) و شاخص نرمال‌شده تفاضل پوشش گیاهی (NDVI) استفاده شد (ایرانی و همکاران، ۱۴۰۲). نحوه محاسبه این شاخص‌ها برای ماهواره Sentinel-2 در رابطه‌های (۱) تا (۴) ارائه شده است.

$$NDVI\ Sentinel\text{-}2 = (Near\ Infrared_{b8} - RED_{b4}) / (Near\ Infrared_{b8} + RED_{b4}) \quad (۱)$$

$$NDWI\ Sentinel\text{-}2 = (Green_{b3} - Near\ Infrared_{b8}) / (Green_{b3} + Near\ Infrared_{b8}) \quad (۲)$$

$$NDVI\ Landset5,7 = (Band4 - Band3) / (Band4 + Band3) \quad (۳)$$

$$NDWI\ Landset5,7 = (Band2 + Band4) / (Band2 - Band4) \quad (۴)$$

پس از ایجاد شاخص‌های لازم، که شامل NDWI و NDVI برای تفکیک بهتر پوشش‌های گیاهی و آبی بود، روند طبقه‌بندی تصاویر بر اساس هدف تحقیق که آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی است، آغاز شد. با توجه به شناخت از منطقه مورد مطالعه، تصاویر Google Earth و نقاط تعلیمی برداشته شده با استفاده از GPS، کلاس‌های مختلف کاربری اراضی شامل پهنه‌های آبی، مناطق مسکونی، مراتع، نمک‌های حاشیه دریاچه ارومیه، باغات، اراضی آبی، اراضی دیم و خاک تقسیم‌بندی شدند. برای این منظور، از روش طبقه‌بندی شیءگرا با الگوریتم نزدیک‌ترین همسایه (NNC) استفاده شد. در این روش، نمونه‌هایی برای هر کدام از کلاس‌ها انتخاب شده و شرایط طبقه‌بندی براساس خصوصیات بصری و شاخص‌های مختلف تعریف شد. نقشه‌های کاربری اراضی برای ۸ دوره زمانی مختلف استخراج و تحلیل شدند تا تغییرات کاربری اراضی به‌دقت بررسی شود. در مرحله بعد، پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از مدل‌های مارکوف و CA-Markov انجام شد. این مدل‌ها به تحلیل روند تغییرات و پیش‌بینی تغییرات آتی در کاربری اراضی بر اساس داده‌های تاریخی و وضعیت موجود کمک کردند (ایرانی و همکاران، ۱۴۰۲).

پیش‌بینی روند تغییرات با مدل زنجیره مارکوف

برای پیش‌بینی تغییرات آینده کاربری اراضی و تحلیل پوشش سطح زمین، از الگوریتم تلفیقی زنجیره مارکوف و سلول‌های خودکار استفاده شد. این مدل به‌دلیل توانایی بالا در شبیه‌سازی و پیش‌بینی تغییرات، به‌ویژه در مواردی که نیاز به‌تحلیل تغییرات پیچیده و زمانی وجود دارد، انتخاب شده است. در این فرآیند، ابتدا دو نقشه از کاربری اراضی مورد تحلیل قرار گرفت. مدل زنجیره مارکوف با استفاده از این نقشه‌ها، ماتریس‌های مختلفی ایجاد کرد، از جمله ماتریس احتمال انتقال (Transition Probabilities) و ماتریس مساحت انتقال یافته (Transition Areas). ماتریس احتمال انتقال به نمایش احتمال تغییر کاربری از یک کلاس به کلاس دیگر کمک می‌کند و برای هر کاربری، احتمال انتقال به سایر کاربری‌ها را نشان می‌دهد (Regmi et al. 2014). محاسبه پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی از طریق رابطه (۵) به‌دست آمد.

$$S = (T_0 + T_1) = Pij * S(t) \quad (۵)$$

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-10-31]

که در آن، S(t) وضعیت کاربری سال اول (T_0) و (T_1) وضعیت کاربری زمان دوم را نشان می‌دهد و Pij ماتریس احتمال انتقال است. اساس تولید ماتریس احتمال انتقال استفاده از شرایط کاربری اراضی قبلی برای پیش‌بینی بود که از رابطه (۶) استفاده شد:

$$Pij = \begin{vmatrix} p_{11} & p_{12} \cdots p_{1n} \\ p_{1n} & p_{2n} \cdots p_{nn} \end{vmatrix} \left(0 \le Pij \ge 1\right) \quad (۶)$$

که در آن، P_{ij} ضریب احتمال انتقال کاربری‌ها را از اولین سال (i) تا دومین سال (j) نشان می‌دهد.

مدل‌سازی تغییر کاربری اراضی با مدل CA مارکوف

برای مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی و پیش‌بینی وضعیت آینده، از مدل زنجیره مارکوف و سلول‌های خودکار (CA) استفاده شد. این مدل‌سازی با بهره‌گیری از نقشه‌های کاربری اراضی تولید شده در سال‌های ۲۰۱۶ و ۲۰۲۴ در نرم‌افزار eCognitionآغاز شد. هدف نهایی تولید نقشه پیش‌بینی کاربری اراضی برای سال ۲۰۲۴ بود. در ابتدا، مدل مارکوف برای تهیه ماتریس‌های احتمال انتقال و مساحت انتقال به‌کار گرفته شد. نقشه‌های طبقه‌بندی شده برای سال‌های ۲۰۱۶ و ۲۰۲۴ به عنوان ورودی مدل مارکوف استفاده شدند. پس از تولید نقشه پیش‌بینی برای سال ۲۰۲۴، ابزار Validate برای سنجش دقت مدل CA مارکوف به‌کار گرفته شد و پس از تایید دقت بالا، پیش‌بینی برای سال ۲۰۳۲ انجام شد. در مرحله پس‌پردازش، لایه‌های رقومی وارد نرم‌افزار TerrSet2020 شدند و فرمت‌سازی تصاویر طبقه‌بندی شده، محاسبات زنجیره مارکوف، ارزش‌گذاری کلاس‌های کاربری اراضی، و تولید لایه‌های پیش‌بینی کاربری اراضی انجام شد. سپس نتایج نهایی در نرم‌افزار ArcGIS 10.8ترکیب و تحلیل شدند. فرآیند کلی تحقیق و مراحل مختلف مدل‌سازی در شکل (۳) ارائه شده است.

شاخص شدت تغییرات کاربری اراضی

شاخص شدت تغییرات کاربری اراضی، نشان‌دهنده میزان تغییرات یک کاربری در مقایسه با کاربری‌های دیگر است. به‌منظور تعیین شاخص شدت تغییرات کاربری از رابطه (۷) استفاده شد.

$$K_{single} = \frac{U_b - U_a}{U_a} \times \frac{1}{T} \times 100\% \quad (۷)$$

که در آن، K_{single} شاخص شدت تغییرات هر کاربری در طول هر دوره زمانی، U_a و U_b نشان‌دهنده مساحت هر کاربری از شروع تا پایان دوره مورد بررسی و T بازه زمانی مورد استفاده در هر دوره است. هرچه میزان K_{single} بزرگ‌تر باشد، نشان‌دهنده شدت بیش‌تر تغییرات آن کاربری در میان سایر کاربری‌ها و اعداد مثبت و منفی آن نشان‌دهنده روند افزایشی و کاهشی آن کاربری است (Chunxiao et al. 2008).

شاخص درجه پویایی تغییر کاربری اراضی

شاخص درجه پویایی تغییر کاربری اراضی (K_{total}) ابزاری برای اندازه‌گیری سرعت و شدت تغییرات کمی در کاربری‌های مختلف اراضی در طول یک دوره زمانی معین است. این شاخص به تحلیل دقیق‌تر تغییرات کاربری اراضی کمک کرده و می‌تواند به شناسایی روندهای تغییرات و نقشی که هر نوع کاربری در این روندها ایفا می‌کند، بپردازد و مقدار آن با استفاده از رابطه (۸) محاسبه می‌شود (Sun et al. 2013).

$$K_{total} = \left[\frac{\sum_{i=1}^{n} \left|\Delta LU_{i-j}\right|}{2\sum LU_I}\right] \times \frac{1}{T} \times 100\% \ (j = 1,2,3, \ldots, n) \quad (۸)$$

که در اینجا K_{total} نشان‌دهنده شاخص درجه پویایی هر کاربری در طول دوره مورد بررسی است.

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-10-31]

نتایج و بحث

تغییرات مساحت در سال‌های موردبررسی

برای طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای از طبقه‌بندی نظارت شده و روش حداکثر احتمال استفاده شد، هم‌چنین بررسی صحت این تصاویر با ضریب کاپا انجام شده که این ضریب برای سال‌های ۱۹۹۰، ۱۹۹۵، ۲۰۰۰، ۲۰۰۵، ۲۰۱۰، ۲۰۱۶، ۲۰۲۰ و ۲۰۲۴ به‌ترتیب ۰/۷۳، ۰/۸۳، ۰/۸۹، ۰/۸۸، ۰/۸۵، ۰/۹۱، ۰/۸۹، و ۰/۸۷ به‌دست آمد. نتایج (جدول ۱) نشان‌دهنده تغییرات چشم‌گیر در کاربری اراضی در طول سال‌های مختلف است. در بررسی مقادیر مساحت کاربری‌های مختلف از سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۴، مشخص شد که مساحت اراضی مسکونی به‌طور قابل توجهی افزایش یافته است. در سال ۱۹۹۰، مساحت اراضی مسکونی ۰/۴۱ کیلومترمربع بود که به‌تدریج در سال ۲۰۲۴ به ۸۱/۲۰ کیلومترمربع رسید. این افزایش مستمر در مساحت مسکونی، نشان‌دهنده روند فزاینده توسعه شهری و نیاز به فضاهای مسکونی در پاسخ به رشد جمعیت و تقاضای شهری است. در مقابل، مساحت اراضی دیم که در سال ۱۹۹۰ معادل ۹۰/۹۹ کیلومترمربع بود، به‌تدریج افزایش یافته و در سال ۲۰۲۴ به ۱۱۰/۶۱ کیلومترمربع رسید.

تحلیل روند تغییرات کاربری اراضی در دوره زمانی ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۴ نشان‌دهنده تغییرات قابل توجهی در الگوهای استفاده از زمین است. از نظر روندهای افزایشی، مساحت و درصد اراضی مسکونی به وضوح در حال افزایش است. مساحت اراضی مسکونی از ۰/۴۱کیلومترمربع در سال ۱۹۹۰ به ۸۱/۲۰ کیلومترمربع در سال ۲۰۲۴ افزایش یافته است و درصد آن از ۰/۴۱ به ۵/۹۶ درصد تغییر کرده است. هم‌چنین، مساحت و درصد نمک‌زارها نیز افزایش یافته است، به‌طوری‌که از صفر کیلومترمربع و درصد ناچیز در سال ۱۹۹۰ به ۲/۶۰ کیلومترمربع و ۰/۱۹ درصد در سال ۲۰۲۴ رسیده است. این افزایش ممکن است ناشی از تغییرات در الگوهای هیدرولوژیکی و افزایش نیاز به اراضی نمکزار به‌دلیل تغییرات اقلیمی و توسعه‌های شهری باشد. در مقابل، روندهای کاهشی به‌وضوح در مورد اراضی دیم، مراتع و بدنه‌های آبی مشاهده می‌شود. مساحت مراتع از ۱۰۷۵/۲۷ کیلومترمربع در سال ۱۹۹۰ به ۷۲۵/۹۶ کیلومترمربع در سال ۲۰۲۴ کاهش یافته است. درصد مراتع نیز به‌طور قابل توجهی کاهش یافته که می‌تواند ناشی از تبدیل این اراضی به کاربری‌های مسکونی و صنعتی باشد. کاهش مساحت بدنه‌های آبی نیز از ۲۲/۱۲ کیلومترمربع و ۰/۴۱ درصد در سال ۱۹۹۰ به ۲/۶۰ کیلومترمربع و ۰/۱۹ درصد در سال ۲۰۲۴ نشان‌دهنده تغییرات در منابع آبی و فشار بیش‌تر بر این منابع است.

در حالت کلی، مطابق با نتایج می‌توان بیان کرد تغییرات عمده‌ای در کاربری اراضی در طول زمان رخ داده است. افزایش در اراضی مسکونی و اراضی آبی و باغات، همراه با کاهش در اراضی دیم و منابع طبیعی دیگر، نیازمند برنامه‌ریزی و مدیریت پایدار برای حفظ منابع طبیعی و محیط‌زیست است. افزایش توسعه شهری و کشاورزی باید با استراتژی‌های مناسب برای کاهش تأثیرات منفی بر محیط زیست و حفظ تعادل بوم‌سازگان همراه باشد. نتایج Zhang و همکاران (۲۰۱۱)، که نشان‌دهنده افزایش مستمر در اراضی شهری و روستایی به میزان ۴۲۴۲ هکتار در سال است، نتایج مطالعه شما نیز نشان‌دهنده تغییرات قابل توجهی در کاربری‌های مسکونی و سایر کاربری‌ها است. هم‌چنین، مشابه با یافته‌های Sun و همکاران (۲۰۱۳)، که نشان‌دهنده افزایش قابل توجه در مساحت مناطق مسکونی و کاهش در مراتع و جنگل‌ها است، نتایج این تحقیق نیز نشان‌دهنده تغییرات عمده در کاربری‌های مختلف است. طبق مطالعات Sun et al. (2013) در ارزیابی تغییرات کاربری اراضی در منطقه Gnhe بین سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۱۰، افزایش مناطق مسکونی و جنگل‌ها را گزارش کردند. هم‌چنین Al Razzaq & Alnajjar (2013) تغییرات کاربری اراضی در منطقه Johor مالزی را مورد بررسی قرار دادند و افزایش ۳ درصدی مناطق شهری را مشاهده کردند. جدول (۲) مساحت و درصد هر نوع کاربری اراضی در کاربری‌های پیش‌بینی‌شده را نشان‌می‌دهد.

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-10-31]

جدول ۲- مساحت و درصد کاربری‌های اراضی در سال‌های مختلف مورد بررسی

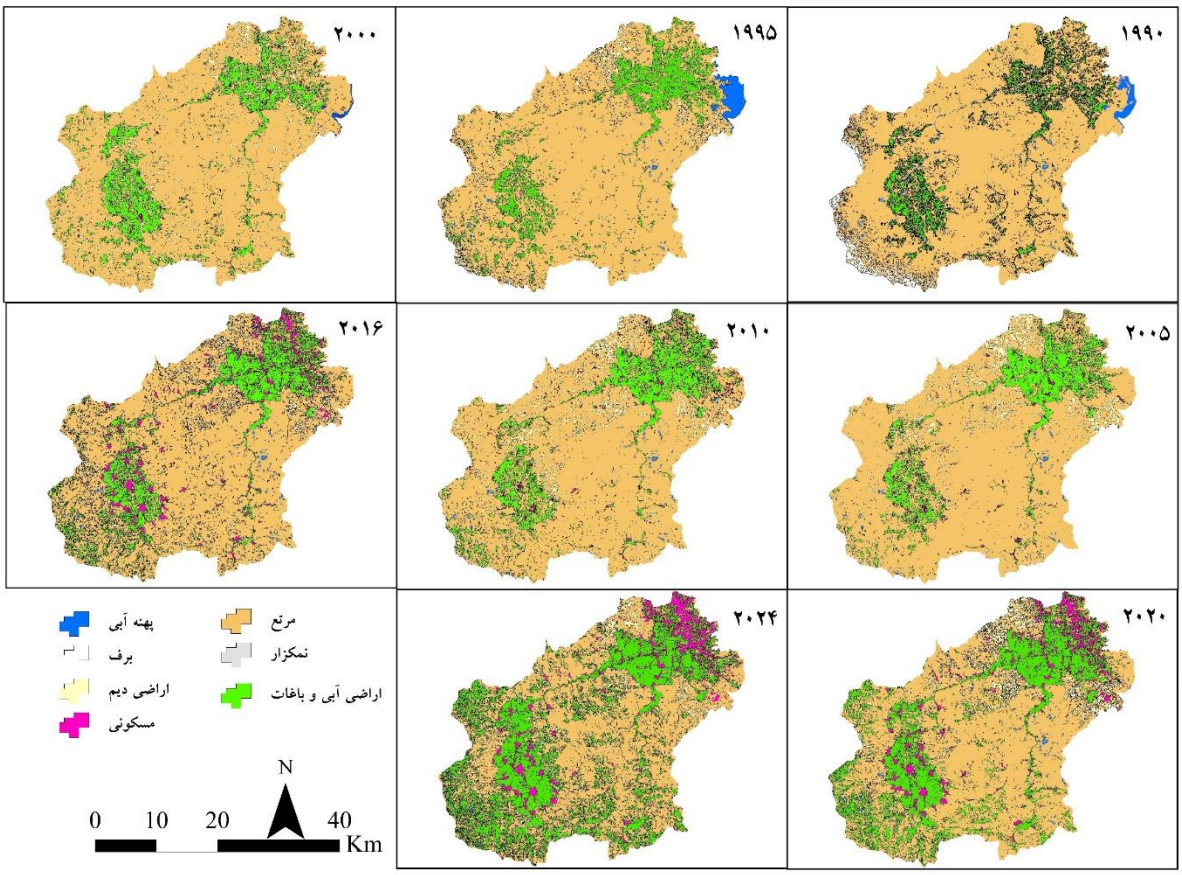
Table 2- Area and percentage of land-uses in the different studied years

سال	نوع کاربری / آماره	اراضی آبی و باغات	مرتع	اراضی دیم	مسکونی	بدنه آبی	برف	نمکزار
1990	مساحت (km^2)	138.72	1075.27	90.99	0.41	12.22	43.95	0.00
	درصد	10.19	78.97	6.68	0.03	0.90	3.23	0.00
1995	مساحت (km^2)	173.05	1081.32	74.27	0.54	24.07	8.44	0.00
	درصد	12.71	79.41	5.45	0.04	1.77	0.62	0.00
2000	مساحت (km^2)	182.06	1077.28	87.53	10.06	3.88	0.84	0.00
	درصد	13.37	79.12	6.43	0.74	0.29	0.06	0.00
2005	مساحت (km^2)	164.51	1090.29	90.28	13.80	0.55	2.25	0.00
	درصد	12.08	80.07	6.63	1.01	0.04	0.17	0.00
2010	مساحت (km^2)	190.42	1050.46	91.87	25.50	0.72	2.40	0.30
	درصد	13.98	77.15	6.75	1.87	0.05	0.18	0.02
2016	مساحت (km^2)	211.23	1012.97	91.18	44.87	1.28	0.00	0.01
	درصد	15.51	74.40	6.70	3.30	0.09	0.00	0.00
2020	مساحت (km^2)	344.02	854.33	101.84	60.36	1.00	0.00	0.02
	درصد	25.27	62.75	7.48	4.43	0.07	0.00	0.00
2024	مساحت (km^2)	441.13	725.96	110.61	81.20	2.60	0.00	0.01
	درصد	32.40	53.32	8.12	5.96	0.19	0.00	0.00

تغییرات آتی کلاس‌های کاربری اراضی

مطابق با نتایج جدول ۳ و شکل ۳ تحلیل کاربری‌های پیش‌بینی‌شده برای سال‌های ۲۰۲۴ و ۲۰۳۲ نشان‌دهنده تغییرات قابل‌توجهی در استفاده از زمین است. در سال ۲۰۲۴، مساحت اراضی مسکونی به ۸۳/۱۱ کیلومترمربع رسیده و ۶/۱۰ درصد از کل مساحت را شامل می‌شود. با این حال، پیش‌بینی‌ها نشان می‌دهند که این مساحت تا سال ۲۰۳۲ به ۹۵/۱۹ کیلومترمربع افزایش خواهد یافت و ۶/۹۹ درصد از مساحت را تشکیل خواهد داد. این افزایش بیانگر روند مستمر توسعه شهری است. از سوی دیگر، اراضی دیم و مراتع نیز کاهش چشم‌گیری را نشان می‌دهند. مساحت اراضی دیم از ۱۰۴/۲۲ کیلومترمربع در سال ۲۰۲۴ به ۹۰/۴۸ کیلومترمربع در سال ۲۰۳۲ کاهش یافته است، درحالی‌که مساحت مراتع از ۷۶۹/۳۶ کیلومترمربع در سال ۲۰۲۴ به ۵۸۸/۹۳ کیلومترمربع در سال ۲۰۳۲ کاهش یافته است. این تغییرات بیانگر تبدیل این اراضی به سایر کاربری‌ها، به ویژه مسکونی و صنعتی است. هم‌چنین، اراضی آبی و باغات نیز روند صعودی را طی کرده و از ۴۰۴/۱۶ کیلومترمربع در سال ۲۰۲۴ به ۵۸۴/۶۴ کیلومترمربع در سال ۲۰۳۲ رسیده‌اند.

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-10-31]



شکل ۲- نقشه کاربری اراضی سال‌های مورد بررسی در حوزه آبخیز باراندوزچای

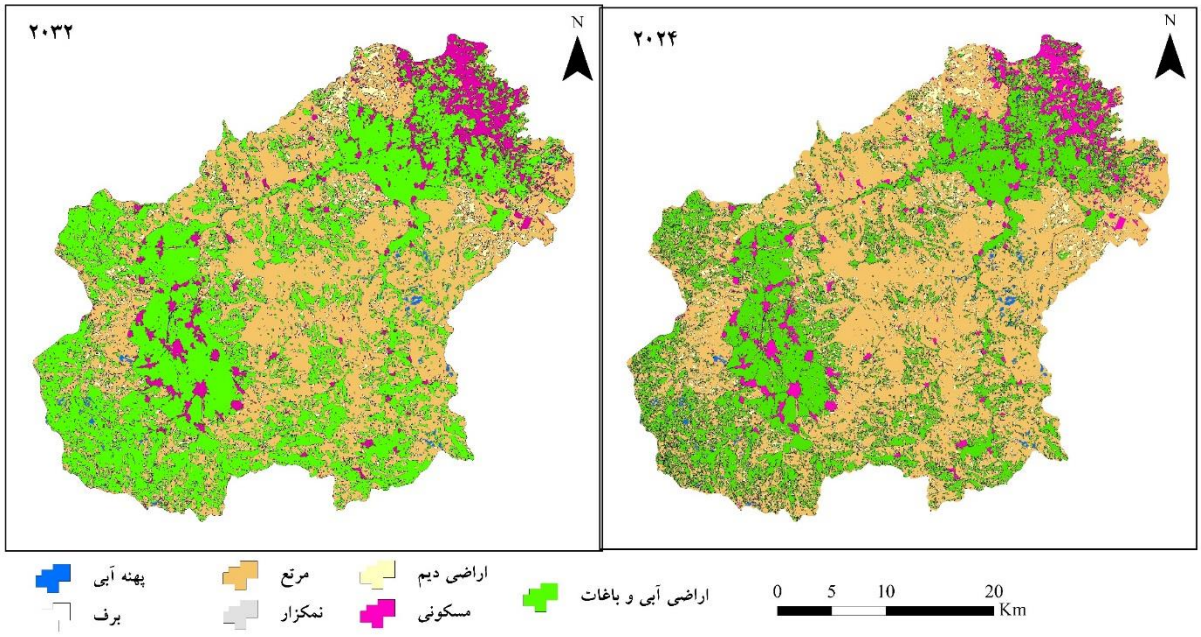
Figure 2- Land-use map for the studied years in the Barandozchay watershed

جدول ۳- مساحت و درصد هر نوع کاربری اراضی در کاربری‌های پیش‌بینی‌شده

Table 3- Area and percentage of each land-use type in the predicted land uses

سال	نوع کاربری / آماره	اراضی آبی و باغات	مرتع	اراضی دیم	مسکونی	بدنه آبی	برف	نمک‌زار
2024	مساحت (km^2)	404.16	769.36	104.22	83.11	0.72	0.00	0.04
	درصد	29.68	56.50	7.65	6.10	0.05	0.00	0.00
2032	مساحت (km^2)	584.64	588.93	90.48	95.19	2.04	0.00	0.27
	درصد	42.94	43.25	6.65	6.99	0.15	0.00	0.02

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-10-31]



شکل ۳- نقشه کاربری اراضی پیش‌بینی‌شده سال‌های ۲۰۲۴ و ۲۰۳۲ در حوزه آبخیز باراندوزچای

Figure 3- Predicted land-use map for the 2024 and 2032 year in the Barandozchay watershed

تحلیل پویایی تغییرات کاربری اراضی در منطقه مورد مطالعه

میزان تغییرات درجات پویایی کاربری اراضی در بازه زمانی مختلف منطقه مورد مطالعه در جدول (۳) نشان داده شده است. نتایج جدول (۴) نشان‌دهنده روندهای چشم‌گیری در تغییرات کاربری مسکونی است. در بازه زمانی ۲۰۰۰–۱۹۹۵، مقدار تغییرات در کاربری مسکونی به ۲۲/۲۶۶ درصد رسیده که این افزایش سریع نشان‌دهنده توسعه شهری و مسکونی قابل توجه در این بازه است. عوامل متعددی از جمله رشد جمعیت و نیاز به توسعه زیرساخت‌های شهری می‌تواند نقش کلیدی در این تغییرات داشته باشد. این روند افزایش در دوره ۲۰۲۴–۱۹۹۵ نیز ادامه داشته و با ۲۶۷/۳۵ درصد، بر توسعه وسیع کاربری‌های مسکونی تاکید می‌کند. چنین تغییراتی ممکن است فشار زیادی بر منابع طبیعی و زیرساخت‌های محلی وارد کند. تغییرات در کاربری‌های اراضی دیم و بدنه آبی به نسبت پایدار بوده و نوسانات جزئی در این زمینه مشاهده می‌شود. به‌عنوان نمونه، در دوره ۲۰۲۴–۲۰۲۰، کاربری اراضی آبی و باغات با ۰/۴۲ درصد افزایش یافته که نشان‌دهنده گسترش فعالیت‌های کشاورزی و باغبانی است. این رشد می‌تواند به افزایش تقاضا برای محصولات کشاورزی و بهبود تکنیک‌های کشاورزی مرتبط باشد. تغییرات در نمک‌زار و بدنه آبی نیز نشان‌دهنده تغییرات مدیریتی در استفاده از منابع طبیعی و منابع آبی طی بازه زمانی مختلف است. این نوسانات می‌تواند ناشی از تغییرات در استراتژی‌های مدیریت منابع یا الگوهای اقلیمی منطقه باشد. با توجه به نتایج Talebi Khiavi & Mostafazadeh (2021) که بیش‌ترین تغییرات در کاربری‌های مسکونی و کاهش در اراضی جنگلی را نشان می‌دهد، نتایج شما نیز تأثیر فعالیت‌های انسانی بر تغییرات کاربری را تأیید می‌کند. مطابق با نتایج کاهش در برخی کاربری‌های طبیعی مانند مراتع و اراضی دیم در بازه زمانی مختلف، به‌ویژه در دوره ۲۰۲۴–۱۹۹۰، ممکن است به‌دلیل تبدیل این اراضی به کاربری‌های مسکونی و صنعتی باشد. این روند کاهشی بیانگر فشارهای انسانی بر منابع طبیعی و تغییرات در مدیریت این اراضی است که نیازمند استراتژی‌های حفاظتی برای جلوگیری از نابودی بیش‌تر این منابع است. Alaei و همکاران (۲۰۲۴) در بررسی تغییرات کاربری اراضی در ارزروم، ترکیه، به کاهش ۱۹/۲۲ درصدی مراتع و افزایش ۱۸ درصدی اراضی کشاورزی در بازه زمانی ۱۹۹۴ تا ۲۰۲۳ اشاره کردند که ناشی از وابستگی معیشتی جوامع به کشاورزی است

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-10-31]

و فشار زیادی بر منابع طبیعی وارد کرده است. بررسی‌های Shuhan et al. (2017) و Roy et al. (2025) نیز بر تغییرات پویای کاربری اراضی تأکید کردند که تحت تأثیر عوامل انسانی مانند رشد جمعیت و تغییرات اقلیمی قرار دارند.

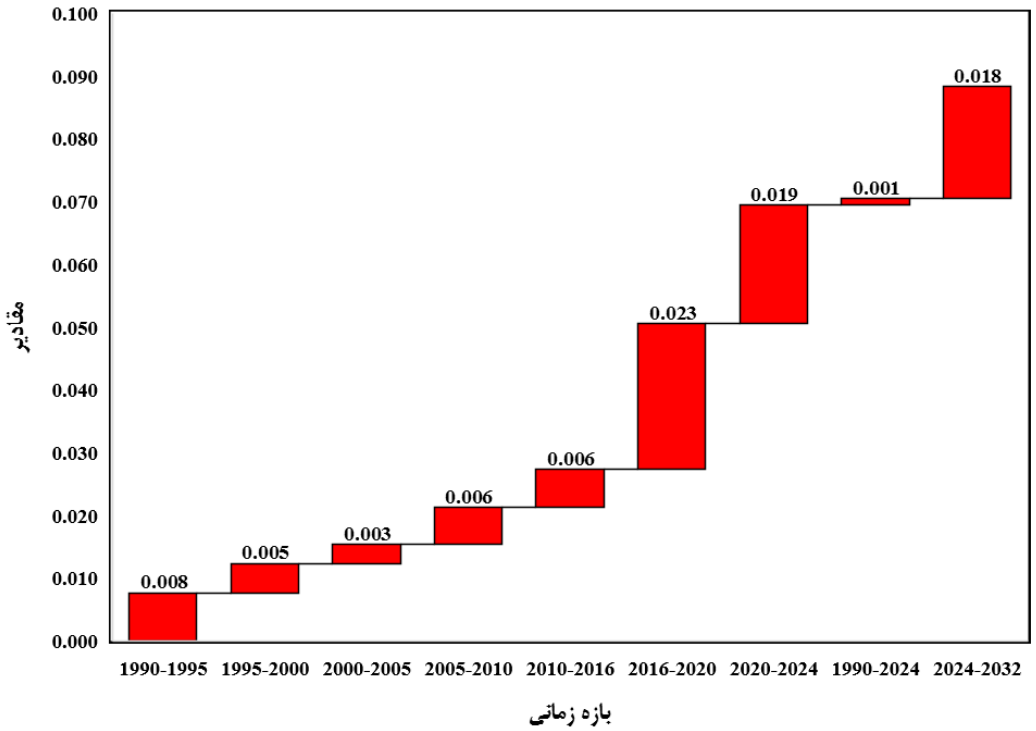
جدول ۴-درصد پویایی درجه تغییر کاربری اراضی در منطقه

Table 4- Percentage of single-dynamic land-use change degree in the region

دوره زمانی	اراضی آبی و باغات	مرتع	اراضی دیم	مسکونی	پهنه آبی	برف	نمکزار
1990-1995	0.05	0.00	-0.04	0.06	0.19	-0.16	0.00
1995-2000	0.01	0.00	0.04	3.55	-0.17	-0.18	0.00
2000-2005	-0.02	0.00	0.01	0.07	-0.17	0.34	0.00
2005-2010	0.03	-0.01	0.00	0.17	0.06	0.01	0.00
2010-2016	0.02	-0.01	0.00	0.15	0.15	-0.20	-0.20
2016-2020	0.13	-0.03	0.02	0.07	-0.04	0.00	0.56
2020-2024	0.06	-0.03	0.02	0.07	0.32	1.80	-0.08
1990-2024	0.06	-0.01	0.01	5.82	-0.02	-0.03	0.00
2024-2032	0.06	-0.03	-0.02	0.02	0.23	0.00	0.81

شکل (۴) درجه پویایی یکپارچه تغییر کاربری اراضی (K_{total}) در بازه زمانی مختلف زمانی را نشان می‌دهد و بیانگر نوسان‌های قابل توجهی در سرعت تغییرات کاربری اراضی در منطقه مورد مطالعه است. نتایج نشان می‌دهد که بیش‌ترین سرعت تغییرات در بازه زمانی ۲۰۲۰–۲۰۱۶ و ۲۰۲۴–۲۰۲۰ با مقادیر ۰/۰۲۲ و ۰/۰۱۹ رخ داده است. این افزایش‌ها احتمالاً به‌دلیل تغییرات سریع در سیاست‌های توسعه، تأثیرات تغییرات اقلیمی و رشد جمعیت بوده و نشان‌دهنده فشار فزاینده بر منابع اراضی در این دوره‌ها است. این موضوع ضرورت توجه به مدیریت پایدار منابع اراضی و برنامه‌ریزی مؤثر برای کاربری‌های مختلف را پررنگ‌تر می‌کند. در مقابل، بازه زمانی ۲۰۰۵–۲۰۰۰ و ۲۰۱۰–۲۰۰۵ با مقادیر ۰/۰۰۳ و ۰/۰۰۶ کم‌ترین مقادیر K_{total} را نشان می‌دهند که نشان‌دهنده کاهش سرعت تغییرات کاربری اراضی در این بازه‌های زمانی است. این کاهش ممکن است به ثبات نسبی کاربری‌های اراضی و کاهش فعالیت‌های توسعه‌ای در این دوره‌ها مربوط باشد. در مجموع، K_{total} برای کل دوره ۲۰۲۴–۱۹۹۰ برابر با ۰/۰۰۰۹ است که نشان‌دهنده تغییرات ملایم و تدریجی در کاربری اراضی طی این بازه زمانی است. اما پیش‌بینی بازه زمانی ۲۰۳۲–۲۰۲۴ با مقدار ۰/۰۱۸، افزایش چشم‌گیری در سرعت تغییرات را نشان می‌دهد که به تغییرات جدید در سیاست‌های توسعه، افزایش رشد جمعیت، یا تغییرات اقلیمی مرتبط است. این امر ضرورت توجه ویژه به مدیریت کاربری اراضی و تدوین استراتژی‌های مؤثر برای کنترل و هدایت تغییرات را برای آینده برجسته می‌کند. افزایش میزان K_{total} در این دوره هم‌چنین می‌تواند به پیش‌بینی‌هایی که برای توسعه شهری، تغییرات در بخش‌های کشاورزی و سایر کاربری‌های اراضی در نظر گرفته شده است، مرتبط باشد.

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-10-31]



شکل ۴- درجه پویایی یکپارچه تغییر کاربری اراضی در حوزه آبخیز مورد مطالعه

Figure 4- Integrated dynamics degree of land-use change in the studied watershed

نتیجه‌گیری

تحلیل تغییرات کاربری اراضی در بازه زمانی مختلف، به‌ویژه در مناطق مورد مطالعه، به روشن‌سازی روندهای تغییرات مهم و تاثیرگذار در محیط‌زیستی و توسعه شهری کمک می‌کند. نتایج بررسی تغییرات کاربری اراضی در حوزه آبخیز باراندوزچای طی بازه زمانی مختلف نشان‌دهنده تغییرات گسترده در الگوهای استفاده از زمین است. افزایش قابل توجه در کاربری‌های مسکونی و اراضی آبی و باغات نشان می‌دهد که رشد جمعیت و گسترش فعالیت‌های کشاورزی و شهری از عوامل اصلی تغییرات در این منطقه بوده‌اند. هم‌چنین، کاهش مراتع و برخی کاربری‌های طبیعی دیگر، به‌ویژه در بازه زمانی ۲۰۲۰–۱۹۹۵، نشان‌دهنده تأثیرات ناشی از توسعه شهری، افزایش فعالیت‌های کشاورزی، و تغییرات مدیریتی در استفاده از اراضی است. این تغییرات اغلب به تبدیل اراضی طبیعی به مناطق توسعه‌یافته مرتبط هستند و نیازمند برنامه‌ریزی پایدار برای کاهش اثرات منفی بر منابع طبیعی هستند. این تحولات می‌تواند به افزایش فشار بر منابع طبیعی و تغییرات اکولوژیکی منجر شود که در صورت عدم مدیریت مناسب، پیامدهای ناگواری برای محیط‌زیستی و بوم‌سازگان‌های منطقه به دنبال خواهد داشت. برای مقابله با این چالش‌ها، پیشنهادات علمی و عملی شامل ایجاد برنامه‌های جامع مدیریت کاربری اراضی و توسعه پایدار می‌شود که از گسترش بی‌رویه شهری و تخریب منابع طبیعی جلوگیری کند. استفاده از فناوری‌های سنجش از دور و سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) برای پایش و پیش‌بینی تغییرات آینده، می‌تواند به بهبود مدیریت منابع طبیعی کمک کند. هم‌چنین، اجرای سیاست‌های مدیریت آب و کشاورزی هوشمند برای حفظ منابع آبی و افزایش بهره‌وری کشاورزی ضروری است. در نهایت، آموزش و آگاهی‌بخشی به ساکنان محلی در مورد اهمیت حفاظت از منابع طبیعی می‌تواند نقش مهمی در حفظ تعادل بوم‌سازگان ایفا کند. نتایج این تحقیق می‌تواند به مدیران و برنامه‌ریزان کمک کند تا با درک دقیق‌تر روندهای تغییرات کاربری اراضی، برنامه‌ریزی‌های بهتری برای مدیریت منابع طبیعی و توسعه پایدار انجام دهند. این بررسی هم‌چنین می‌تواند به

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-10-31]

شناسایی و مدیریت چالش‌های محیطی و توسعه‌ای موجود در مناطق مختلف کمک کند و به ایجاد استراتژی‌های مؤثر برای کاهش اثرات منفی تغییرات کاربری بر محیط زیست و جوامع محلی یاری رساند.

ملاحظات اخلاقی

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

حمایت مالی: این پژوهش از هیچ سازمانی پشتیبانی مالی نشده است.

مشارکت نویسندگان: امید بنابی آلقو، وحید رضاوردی‌نژاد، جواد بهمنش، طیبه ایرانی، و مینا رحیمی بخش‌های مختلف مقاله توسط نام بردگان انجام و نگاشته شده است.

تضاد منافع نویسندگان: نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که هیچ‌گونه تضاد منافعی در خصوص نگارش و انتشار مطالب و نتایج این پژوهش ندارند.

سپاس‌گزاری: این مقاله بخشی از نتایج رساله دکتری است که تحت راهنمایی‌های ارزشمند اساتید محترم در دانشگاه ارومیه انجام شده است. بدین وسیله از تمامی اعضای هیئت علمی، دانشجویان، و کارکنان دانشگاه ارومیه که در مراحل مختلف این پژوهش یاری رساندند، صمیمانه تشکر می‌شود.

منابع

۱. ابراهیمی، حمید، رسولی، علی اکبر و احمدپور احمد. (۱۳۹۷). مدل سازی تغییرات دینامیک کاربری‌اراضی با استفاده از پردازش شیءگرا تصاویر ماهواره‌ای و مدلCA-Markov مطالعه موردی: شهر شیراز. *اطلاعات جغرافیایی (سپهر)*، ۲۷(۱۰۸)، ۱۳۷-۱۴۹. **https://doi.org/10.22131/sepehr.2019.34625**

۲. ایرانی، طیبه، عبقری، هیراد و رسولی، علی اکبر (۱۴۰۲). بررسی و پیش بینی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از روش های پردازش شیءگرا و زنجیره مارکوف (مطالعه موردی: حوضه باراندوزچای، آذربایجان غربی). *بوم‌شناسی کاربردی*، ۴۴. ۴۳-۵۹. **https://doi.org 10.47176/ijae.12.2.14681**

۳. جعفرزاده، جعفر و نظم‌فر، حسین.(۱۳۹۷). بررسی کارایی روش‌های طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای در ارزیابی تغییرات کاربری‌اراضی شهری با استفاده از بهینه‌سازی مقیاس در پردازش شیءگرا (مورد: شهر اردبیل). *پژوهش و برنامه‌ریزی شهری*، ۱۰(۳۶)، ۱۱۷-۱۲۸.. **https://doi.org/ 20.1001.1.22285229.1398.10.36.9.1.**

۴. سلیمانی ساردو، فرشاد، رفیعی ساردوئی، الهام، مصباح زاده، طیبه و آذره،علی. (۱۳۹۹). استفاده از تصاویر Sentinel-1 جهت پایش خسارت سیلاب فروردین ۱۳۹۹، جنوب استان کرمان براساس الگوریتم جنگل تصادفی. *علوم و مهندسی آبخیزداری ایران*، ۱۵(۵۳)، ۲۳-۳۲. **http://dx.doi.org/ 20.1001.1.20089554.1400.15.53.4.8.**

۵. شاد، رقیه، قربانی، مهدی، احمدآلی، خالد، نظری سامانی، علی اکبر و یزدان پرست، مریم. (۱۴۰۲). مدل‌سازی پویای تغییرات کاربری اراضی مبتنی بر نظام انسان – محیط زیست درحوزه آبخیز طالقان. *مرتع و آبخیزداری*. ۷۶(۲)، ۱۳۳-۱۴۸ **doi: 10.22059/jrwm.2023.329508.1686**

۶. شریفی، لیلا، رسولی، علی اکبر، حجازی، میراسدالله و رستم‌زاده، هاشم. (۱۳۹۱). آشکارسازی تغییراتکاربری/پوشش اراضی با پردازش شیءگرای تصاویر ماهواره‌ای (مطالعه موردی: شهرستان تبریز). *جغرافیا و برنامه‌ریزی*، ۱۷(۴۴)، ۲۰۳-۲۱۴. **https://geoplanning.tabrizu.ac**

۷. محمدی، پروا، ابراهیمی، کیومرث، بذرافشان، جواد. (۱۴۰۲). بررسی تغییرات کاربری اراضی حوزه آبخیز گرگانرود با استفاده از پلتفرم گوگل‌ارث‌انجین. *علوم و مهندسی آبخیزداری ایران*، ۱۷(۶۰)، ۱۱-۱۹. **-http://jwmsei.ir/article-۱-۱۰۶۳-fa.html**

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-10-31]

References

1. Alaei, N., Bayraktutan, M. S., & Mostafazadeh, R. (2024). Determining the dynamics of land use changes in a long-term time span in Erzurum, Turkey. *Anthropogenic Pollution*, 8(2). https://doi.org/10.57647/j.jap.2024.0802.14
2. Abd, H. A. A. R., & Alnajjar, H. A. (2013). Maximum likelihood for land-use/land-cover mapping and change detection using Landsat satellite images: A case study "South of Johor*". International Journal of Computational Engineering Research*, 3(6), 26-33.
3. Aspinall, R. (2004). Modelling land use change with generalized linear models—a multi-model analysis of change between 1860 and 2000 in Gallatin Valley, Montana. *Journal of Environmental Management*, 72(1-2), 91-103. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2004.02.009
4. Chunxiao, Z., Zhiming, L., & Nan, Z. (2008). Using remote sensing and GIS to investigate land use dynamic change in western plain of Jilin province. The International Archives of the Photogrammetry, *Remote Sensing and Spatial Information Science*, 37, 1685-1690.
5. Civco, D. L. (1989). Topographic normalization of Landsat Thematic Mapper digital imagery.
6. De Montis, A., Martín, B., Ortega, E., Ledda, A., & Serra, V. (2017). Landscape fragmentation in Mediterranean Europe: A comparative approach. *Land Use Policy*, 64, 83-94. https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.02.028
7. Ebrahimi, H., Rasouli, A., & Ahmad, I. (2018). Modeling land use dynamic changes using object-based image analysis and CA-Markov model: A case study of Shiraz city. *Geographical Information (Sepehr)*, 27(108), 137-149. https://doi.org/10.22131/sepehr.2019.34625[In Persian].
8. Fahsi, A. (1993). Modelling topographic effects on digital remotely sensed data. University of Idaho.
9. Conese, C., Gilabert, M. A., Maselli, F., & Bottai, L. (1993). Topographic normalization of TM scenes through the use of an atmospheric correction method and digital terrain models.
10. Irani T, Abghari H, & Rasouli A A. (2023). Assessing and predicting land use changes using object-oriented processing and Markov chain methods (Case study: Barandozchai Watershed, West Azerbaijan). *Iranian Journal of Applied Ecology*,12 (2) :43-59. https://doi.org/ 10.47176/ijae.12.2.14681. [In Persian].
11. Jafarzadeh, J., & Nazmfar, H. (2018). Evaluating the efficiency of satellite image classification methods in assessing urban land use changes using scale optimization in object-based processing: A case study of Ardabil city. *Urban Research and Planning*, 10(36), 117-128. https://doi.org/20.1001.1.22285229.1398.10.36.9.1. [In Persian].
12. Li, Y., Liu, G., & Huang, C. (2017). Dynamic changes analysis and hotspots detection of land use in the central core functional area of Jing-Jin-Ji from 2000 to 2015 based on remote sensing data. *Mathematical Problems in Engineering*, 2017(1), 2183585.https://doi.org/10.1155/2017/2183585
13. Lu, D., & Weng, Q. (2007). A survey of image classification methods and techniques for improving classification performance. *International Journal of Remote Sensing*, 28(5), 823-870. https://doi.org/10.1080/01431160600746456.
14. Mamun, A. A., Mahmood, A., & Rahman, M. (2013). Identification and monitoring the change of land use pattern using remote sensing and GIS: A case study of Dhaka City. *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering*, *6*(2), 20-28. https://doi.org/ 10.9790/1684-0622028
15. Mohammadi, P., Ebrahimi, K., & Bazrafshan, J. (2023). Investigation of land use changes in Gorganrood catchment using Google Earth Engine platform. *Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering*, 17(60), 2. http://jwmsei.ir/article-1-1063-en.html [In Persian].
16. Oguz, H., & Zengin, M. (2011). Analyzing land use/land cover change using remote sensing data and landscape structure metrics: a case study of Erzurum, Turkey. *Fresenius Environmental Bulletin*, 20(12), 3258-3269. https://doi.org/10.3390/s8106188
17. Regmi, R., Saha, S., & Balla, M. (2014) Geospatial analysis of land use land cover change predictive modeling at Phewa Lake Watershed of Nepal. *International Journal of Current Engineering and Technology*, 4, 2617–2627. http://hdl.handle.net/10603/51039
18. Shad, R., Ghorbani, M., Ahmadaali, K., Nazari Samani, A., & Yazdanparast, M. (2023). Dynamic modeling of land use changes based on human-environmental system in Taleghan Watershed. *Journal of Range and Watershed Managment*, 76(2), 133-148. doi: 10.22059/jrwm.2023.329508.1686. [In Persian].
19. Sharifi, L., Rasuli, A. A., Hejazi, M., & Roastamzade, H. (2013). Land cover/ use changes detection by object-oriented processing satellite image dates (Case study: Tabriz County). *Journal of Geography and Planning*, 17(44), 203-214. [In Persian].
20. Shuhan. L., Dongyan, W., Hong, Li., Wenbo, Li., & Qing, W. (2017). Ecological land fragmentation evaluation and dynamic change of a typical black soil farming area in Northeast China. *Sustainability* 9(2),1–21. https://doi.org/10.3390/su9020300.
21. Soleimani Sardoo, F., Rafiei Sarooi, E., Mesbahzadeh, T., & Azareh, A. (2021). Utilizing Sentinel 1 images for monitoring damage of flood event in March 2020, the South of Kerman Province based on random forest

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-10-31]

algorithm. *Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering*, 15(53), 23-32. http://dx.doi.org/ 20.1001.1.20089554.1400.15.53.4.8. [In Persian]

22. Sun, J. W., Wang, H. Q., & Zhang, Y. F. (2013). Analysis of land use dynamic in Genhe city based on GIS and RS. *Applied Mechanics and Materials*, 256, 2298-2302. https://doi.org /10.4028 /www.scientific.net/ AMM.256-259.2298
23. Talebi Khiavi, H., & Mostafazadeh, R. (2021). Land use change dynamics assessment in the Khiavchai region, the hillside of Sabalan mountainous area. *Arabian Journal of Geosciences*, 14(22), 2257. https://doi.org/10.1007/s12517-021-08690-z
24. Weng, Q. (2002) Land use change analysis in the Zhujiang Delta of China using satellite remote sensing, GIS and stochastic modelling. *Journal of Environmental Management*, 64(3), 273–284. https://doi.org/10.1006/ jema.2001.0509
25. Zhang, H., Zhou, L.G., Chen, M.N., & Ma, W.C. (2011). Land use dynamics of the fast-growing Shanghai Metropolis, China (1979–2008) and its implications for land use and urban planning policy. *Sensors*, 11(2), 1794-1809.https://doi.org/10.3390/s110201794
26. Zhang, T., Zhang, X., Xia, D., & Liu, Y. (2014). An analysis of land use change dynamics and its impacts on hydrological processes in the Jialing River Basin. *Water*, 6(12), 3758-3782. https://doi.org /10.3390 /w6123758
27. Roy, S. K., Alam, M. T., Mojumder, P., Mondal, I., Kafy, A. A., Dutta, M., & Mahtab, S. B. (2024). Dynamic assessment and prediction of land use alterations influence on ecosystem service value: A pathway to environmental sustainability. *Environmental and Sustainability Indicators*, 21, 100319. https://doi.org /10.1016/j.indic.2023.100319

[Downloaded from jircsa.ir on 2026-10-31]