



Hakim Sabzevari University

Arid Regions Geographic Studies

Homepage: jargs.hsu.ac.ir

P- ISSN: 2228-7167

E- ISSN: 2981-1910



Prediction and Modeling of Land Use Change Trends in Miandoab Over the Next Thirty Years

Sayyad Asghari Saraskanroud¹ | Amirhosein Pasandeh²

1. Corresponding Author, Department of Physical Geography, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. s.asghari@uma.ac.ir

2. Department of Physical Geography, Faculty of Social Sciences, University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran. pasandehamirhosein@gmail.com

Article Information

Research Paper

Vol: 17
No: 63
P: 207-220
Received: 2025-06-30
Revised: 2025-09-07
Accepted: 2025-09-07
Published: 2026-05-01

Keywords:

- Land Use Change
- CA-Markov Model
- Spatial Prediction
- Remote Sensing
- Miandoab

Cite this Article:

Asghari Saraskanroud, Sayyad. & Paasandeh, Amirhossein. (2026). Prediction and Modeling of Land Use Change Trends in Miandoab Over the Next Thirty Years. *Journal of Arid Regions Geographic Studies* 17(63): 207-220.

Publisher: Hakim Sabzevari University

Authors retain the copyright and full publishing rights.



Abstract

Aim: This study analyzed spatio-temporal land use/land cover (LULC) changes in Miandoab County (2013-2024) and projected these dynamic environmental transformations to 2054 using the CA-Markov model. Facing rapid population growth, accelerating urbanization, and climate pressures, the region is undergoing structural changes, making sustainable land management plans essential.

Materials & Methods: Using multi-temporal Landsat 8 satellite imagery, LULC maps were generated via the Maximum Likelihood Classification algorithm. The hybrid CA-Markov model was then applied for future projections after structural refinements, including cropping agricultural zones and merging similar classes. A calculated Kappa coefficient of 0.5474 confirmed the model's acceptable performance and validity in simulating changes.

Finding: Results indicated that over the past decade, farms and built-up areas significantly expanded, while gardens, soil, and water resources sharply declined. The model predicts an intensification of this unstable trend in the future; by 2054, farms will increase by approximately 1097 hectares and built-up zones by 550 hectares. This expansion will occur at the expense of over 1063 hectares of gardens and 555 hectares of soil, indicating a critical shift in the agricultural pattern to seasonal farming.

Conclusion: The LULC dynamics in Miandoab reflect an imbalance between human development pressure and ecological capacities, threatening regional sustainability with severe risks like biodiversity loss, soil erosion, and water stress. To enhance realism in future research, integrating diverse socio-economic variables (such as land prices and demographic patterns) into the CA-Markov framework as driving forces of change is suggested.

Innovation: The primary innovation lies in combining satellite imagery processing with spatial CA-Markov modeling to provide a quantitative and spatial perspective of future land use. These practical results offer an invaluable tool for planners and managers to formulate sustainable environmental policies more effectively.

Extended Abstract

1. Introduction

Land use and land cover (LULC) change is a critical indicator of human impact on the environment, stemming from a complex interplay of human and natural drivers. Miandoab County in West Azerbaijan Province, Iran, serves as a prime example of a region under severe pressure from population growth, urbanization, and climate change. The unique geographical setting between two major rivers, Zarrineh-Rud and Simineh-Rud, makes it a pivotal agricultural hub, yet its long-term sustainability is challenged by these pressures. This necessitates a forward-looking analysis to scientifically predict future LULC trends.

This research aims to conduct a spatio-temporal analysis of LULC changes in Miandoab County from 2013 to 2024 and to predict these changes up to 2054 using the Cellular Automata-Markov (CA-Markov) model. This model is a powerful tool for simulating future scenarios due to its ability to integrate both temporal and spatial analyses. The Markov component calculates the transition probability matrix between two time periods, while the Cellular Automata component spatially distributes these probabilities based on neighborhood rules to simulate the future LULC map. Although the model has limitations, such as not directly incorporating socio-economic factors, its effectiveness in simulating spatio-temporal trends is well-established.

A review of the literature reveals a common pattern of urban and agricultural expansion at the expense of natural and fertile lands. Studies from Iran (e.g., Mashhad, Shiraz, Quchan) and other countries (e.g., Pakistan, China) confirm this trend. This study distinguishes itself by investigating a specific intra agricultural dynamic: the replacement of gardens with seasonal farms in response to water stress, a critical issue for Miandoab's semi-arid climate.

2. Materials and Methods

2.1. Study Area: Miandoab County is located in a fertile plain between the Zarrineh-Rud and Simineh-Rud rivers. To provide a more focused analysis, the study area was a purposeful selection of the urban core and its connecting corridor, allowing for a more detailed modeling of urban development dynamics. The region has a semi-arid climate and an elevation of approximately 1300 meters above sea level. The landscape is a mix of seasonal farms, permanent gardens, and bare soils (saline and barren lands).

2.2. Research Methodology: This applied research used a mixed-methods (quantitative and qualitative) approach. The primary data were two atmospherically corrected (L2) Landsat 8 OLI satellite images from July 10, 2013, and July 8, 2024. The Maximum Likelihood Classification (MLC) algorithm was used to classify the images into five main LULC classes: Buildings, Soils, Farms, Gardens, and Water. The CA-Markov model was then employed to simulate the 2054 LULC map based on the transition matrix derived from the 2013-2024 data. The accuracy was validated using the Kappa coefficient, Overall Accuracy, Chi-square test, and Cramer's V index.

3. Results and Discussion

3.1. Analysis of 2013-2024 Changes: The classification showed that in 2013, Gardens (1781.28 ha) were the dominant LULC class. By 2024, this pattern had shifted dramatically. Farms (1977.21 ha) and Buildings (2041.56 ha) had expanded significantly, while Gardens (1466.37 ha) and especially Soils (638.82 ha) experienced a sharp decline. This trend indicates a shift toward seasonal farming and horizontal urban expansion, consuming fertile agricultural and bare lands.

3.2. Prediction for 2054: The CA-Markov model predicts an intensification of these trends. By 2054:

- Farms are projected to increase by approximately 1097 ha, reaching 3074.76 ha, becoming the most dominant class.
- Buildings are expected to grow by around 550 ha to 2592.09 ha.
- Gardens will face a catastrophic decline of over 1063 ha, shrinking to just 402.75 ha.
- Soils are predicted to be almost entirely consumed, decreasing by 555 ha to a mere 82.98 ha.

- Water resources are also expected to decrease to a critical level of 23.67 ha.

These findings align with international studies, such as research in China that predicted a significant loss of farmland. The specific trend of gardens being replaced by farms highlights the region's vulnerability to water stress, a phenomenon that should serve as a serious warning for semi-arid areas. The predicted landscape for 2054 is a simplified mosaic of farms and buildings, with severely depleted natural resources, signaling a future of chronic water and environmental stress.

4. Conclusions

The LULC changes in Miandoab reflect a critical imbalance between human development pressures and the region's ecological capacity. This trajectory poses severe threats to sustainability, including biodiversity loss, soil erosion, and heightened water stress. The 2054 prediction underscores the urgent need for a policy reassessment.

For sustainable land management, it is recommended to: 1) Prevent the conversion of gardens by implementing supportive policies and providing subsidies for modern irrigation systems. 2) Guide urban development toward barren lands and away from fertile agricultural soils. 3) Integrate socio-economic variables (e.g., land prices and population patterns) into future modeling to enhance realism and provide more effective policy tools.

5. Acknowledgment & Funding

This article is derived from the Master's thesis of Amirhosein Pasandeh, a student in Remote Sensing and Geographic Information Systems. We extend our gratitude to Mohaghegh Ardabili University for its material and spiritual support. The manuscript did not receive a grant from any organization.

6. Conflict of Interest

The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

پیش‌بینی و مدل‌سازی روند تغییرات کاربری اراضی میاندوآب طی سی سال آینده

صیاد اصغری سراسکانرود^۱ , امیرحسین پسند^۲

۱- نویسنده مسئول، گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. s.asghari@uma.ac.ir

۲- گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده علوم اجتماعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران. pasandehamirhosein@gmail.com

چکیده

هدف: هدف اصلی این پژوهش، تحلیل فضایی-زمانی تغییرات کاربری اراضی و پوشش زمین (LULC) در شهرستان میاندوآب طی سال‌های ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۴ و پیش‌بینی روند پویای این تغییرات محیطی تا سال ۲۰۵۴ با استفاده از مدل شبیه‌سازی CA-Markov است. این منطقه به دلیل رشد شتابان جمعیت، توسعه شهرنشینی و فشارهای اقلیمی، دستخوش تحولات ساختاری سریعی شده که اتخاذ سیاست‌های مدیریت پایدار اراضی را ضروری می‌سازد.

روش و داده: در این پژوهش، با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای چندزمانه لندست ۸ و اعمال الگوریتم طبقه‌بندی بیشینه احتمال، نقشه‌های مبنای کاربری اراضی تولید شدند. سپس مدل ترکیبی CA-Markov پس از اعمال اصلاحات ساختاری، از جمله محدود کردن مناطق کشاورزی و ادغام کلاس‌های مشابه، برای پیش‌بینی آینده به کار گرفته شد. در نهایت، محاسبه ضریب کاپا با مقدار ۰/۵۴۷۴ عملکرد قابل قبول و اعتبار مدل را در شبیه‌سازی تغییرات تأیید کرد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که طی دهه گذشته، مزارع و مناطق ساخته‌شده رشد قابل توجهی داشته، در حالی که باغات، اراضی خاکی و منابع آبی با کاهش چشمگیری مواجه شده‌اند. پیش‌بینی مدل حاکی از تشدید این روند ناپایدار در آینده است؛ تا سال ۲۰۵۴، مزارع حدود ۱۰۹۷ هکتار و مناطق ساخته‌شده حدود ۵۵۰ هکتار افزایش خواهند یافت. این رشد عمدتاً به قیمت نابودی بیش از ۱۰۶۳ هکتار باغات و ۵۵۵ هکتار اراضی خاکی تمام خواهد شد که بیانگر تغییر الگوی کشاورزی منطقه به زراعت فصلی است.

نتیجه‌گیری: تغییرات کاربری اراضی در میاندوآب، بازتاب عدم تعادل میان فشار توسعه انسانی و ظرفیت‌های اکولوژیکی است که پایداری منطقه را با تهدیداتی جدی مانند کاهش تنوع زیستی، فرسایش خاک و تشدید تنش آبی مواجه می‌کند. برای افزایش واقع‌گرایی در پژوهش‌های آتی، پیشنهاد می‌شود متغیرهای متنوع اقتصادی-اجتماعی (مانند قیمت زمین و الگوهای جمعیتی) به عنوان نیروهای محرک تغییرات در مدل CA-Markov ادغام شوند.

نوآوری، کاربرد نتایج: نوآوری ویژه این پژوهش در تلفیق پردازش تصاویر ماهواره‌ای با مدل‌سازی فضایی CA-Markov برای ارائه چشم‌اندازی کمی و فضایی از آینده اراضی است. نتایج کاربردی این رویکرد، ابزاری ارزشمند در اختیار برنامه‌ریزان و مدیران قرار می‌دهد تا سیاست‌های توسعه پایدار محیطی را به شکل مؤثرتری تدوین نمایند.

اطلاعات مقاله

مقاله پژوهشی

شماره:

۱۷

دوره:

۶۳

صفحه:

۲۲۰-۲۰۷

تاریخ دریافت:

۱۴۰۴/۰۴/۰۹

تاریخ ویرایش:

۱۴۰۴/۰۶/۱۶

تاریخ پذیرش:

۱۴۰۴/۰۶/۱۶

تاریخ انتشار:

۱۴۰۵/۰۲/۱۱

کلیدواژه‌ها:

- تغییرات کاربری اراضی
- مدل CA-Markov
- پیش‌بینی فضایی
- سنجش از دور
- میاندوآب

نحوه ارجاع به این مقاله:

اصغری سراسکانرود، صیاد. و پسند، امیرحسین. (۱۴۰۵). پیش‌بینی و مدل‌سازی روند تغییرات کاربری اراضی میاندوآب طی سی سال آینده. *مطالعات جغرافیایی مناطق خشک*، ۱۷ (۶۳): ۲۰۷-۲۲۰.

ناشر: دانشگاه حکیم سبزواری



نویسندگان حق نشر و حقوق انتشار کامل را حفظ می‌کنند.

۱- مقدمه

تغییرات کاربری اراضی که به دگرگونی در نحوه بهره‌برداری انسان از زمین و پوشش فیزیکی سطح آن اطلاق می‌شود، به عنوان یکی از مهم‌ترین شاخص‌های تأثیر فعالیت‌های انسانی بر محیط زیست شناخته می‌شود (Foley et al., 2005). این پدیده که در دهه‌های اخیر به یک مسئله بحرانی در سطح جهانی بدل شده، حاصل تعامل پیچیده‌ای از عوامل انسانی و طبیعی است و پیامدهای عمیق و چندوجهی بر ساختارهای فضایی، اکولوژیکی و اجتماعی دارد. از منظر اکولوژیکی، این تغییرات می‌توانند منجر به تخریب زیستگاه‌ها، کاهش تنوع زیستی و فرسایش خاک شوند و از بعد انسانی، امنیت غذایی و معیشت جوامع محلی را مستقیماً تحت تأثیر قرار دهند.

شهرستان میاندوآب، واقع در جنوب استان آذربایجان غربی، نمونه‌ای بارز از منطقه‌ای است که در کانون این فشارها قرار دارد. موقعیت جغرافیایی منحصربه‌فرد این شهرستان میان دو رودخانه زرينه‌رود و سيمينه‌رود، آن را به یکی از قطب‌های کشاورزی کشور تبدیل کرده است. با این حال، رشد سریع جمعیت، گسترش بی‌رویه مناطق شهری و فشار فزاینده بر منابع محدود آب و خاک، تغییرات قابل توجهی را در سیمای کاربری اراضی این منطقه رقم زده و پایداری بلندمدت آن را با چالش‌های جدی مواجه کرده است. با وجود اهمیت راهبردی این منطقه، یک تحلیل جامع و آینده‌نگر که بتواند مسیر آتی تغییرات را با دقت علمی پیش‌بینی کند، به عنوان یک خلأ پژوهشی مطرح است. بر این اساس، مسئله اصلی این تحقیق، پاسخ به این پرسش کلیدی است که الگوی تغییرات کاربری اراضی شهرستان میاندوآب طی سی سال آینده چگونه خواهد بود و کدام کاربری‌ها بیشترین تحولات را تجربه خواهند کرد. از این رو، این پژوهش با هدف تحلیل فضایی و زمانی تغییرات کاربری اراضی میاندوآب طی بازه ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۴ و پیش‌بینی آن تا سال ۲۰۵۴ با استفاده از مدل CA-Markov انجام شده است.

نیروهای محرک تغییرات کاربری اراضی بسیار متنوع بوده و از عوامل انسانی مانند سیاست‌های دولتی تا متغیرهای طبیعی نظیر توپوگرافی و اقلیم را در بر می‌گیرند (Verburg et al., 2004). با توجه به این پیچیدگی، فناوری‌های نوین مانند سنجش از دور^۱ و سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی^۲، ابزارهای قدرتمندی برای پایش و تحلیل این تغییرات در مقیاس‌های مختلف فراهم کرده‌اند. با این حال، صرفاً پایش گذشته و حال کافی نیست و نیاز به مدل‌های پیش‌بینی‌کننده برای شبیه‌سازی سناریوهای آینده بیش از پیش احساس می‌شود.

در میان مدل‌های مختلف، مدل ترکیبی سلول‌های خودکار-زنجیره مارکوف^۳ به دلیل قابلیت بالای خود در تلفیق تحلیل‌های زمانی و مکانی، به ابزاری استاندارد و پرکاربرد بدل شده است (Faichia et al., 2020; Sang et al., 2011). این مدل در بخش مارکوف، با تحلیل ماتریس انتقال بین دو دوره زمانی، احتمال تغییر هر کلاس کاربری به کلاس دیگر را محاسبه می‌کند (Balzter, 2000). سپس در بخش سلول‌های خودکار، این احتمالات غیرمکانی را بر اساس قواعد همسایگی و تناسب مکانی، در فضا توزیع کرده و نقشه‌ای از وضعیت آینده شبیه‌سازی می‌کند. اگرچه این مدل دارای محدودیت‌هایی نظیر عدم لحاظ مستقیم عوامل اقتصادی - اجتماعی است (Yang et al., 2014)، اما کارایی بالای آن در شبیه‌سازی روندهای مکانی - زمانی به اثبات رسیده است.

پیشینه تجربی نیز مؤید کارایی این رویکرد و الگوهای مشابه تغییرات در مقیاس‌های مختلف است. در سطح داخلی، مطالعات متعددی ابعاد گوناگون این تحولات را در ایران بررسی کرده‌اند. زیاری و منصوری اطمینان با مطالعه کلان‌شهر مشهد، عواملی چون تراکم بالای جمعیت و توزیع نابرابر خدمات را به عنوان ریشه‌های اصلی گسترش ناپایدار شهری شناسایی کردند (Ziari & Mosouri Etminan, 2025). زیاری و ایرجی نیز با بررسی گسترش کالبدی - فضایی کلان‌شهر شیراز دریافتند که مساحت این شهر طی ۳۶ سال گذشته ۹۰ درصد رشد داشته و پیش‌بینی کردند این روند در آینده نیز ادامه خواهد یافت (Ziari & iraji, 2022). اصغری و همکاران با به کارگیری مدل سلول‌های خودکار - زنجیره مارکوف به پیش‌بینی تغییرات در شهر قوچان پرداختند و تحقیق آن‌ها الگوی رشد مناطق مسکونی را در ازای کاهش سایر کاربری‌ها مدل‌سازی کرد (Asghari et al., 2021). به همین ترتیب، اسدزاده و همکاران با مطالعه تغییرات در حوضه آبخیز دریاچه ارومیه، کاهش اراضی آبی و دیم و افزایش همزمان اراضی شور را در نتیجه فشار بر منابع آب پیش‌بینی کردند (Asadzadeh et al., 2018). کریمی و همکاران

1. Remote Sensing (RS)

2. Geographic Information System (GIS)

3. CA-Markov

نیز در دشت عباس نشان دادند که کاربری کشاورزی با رشد چشمگیری همراه بوده؛ در حالی که مراتع با روند نزولی مواجه شده‌اند (Karimi et al., 2016).

در مقیاس بین‌المللی نیز تحقیقات گسترده‌ای این روندها و نیروهای محرک آن‌ها را مورد بررسی قرار داده‌اند. طاهیر و همکاران در مطالعه‌ای بر روی شهر لاهور پاکستان، گسترش چشمگیر مناطق ساخته‌شده را به عواملی چون رشد سریع جمعیت و تشدید فعالیت‌های کشاورزی نسبت دادند (Tahir et al., 2025). گانسولا و همکاران نشان دادند که پروژه‌های زیرساختی بزرگ مانند سدسازی در هند، از طریق جابه‌جایی جمعیت و تغییر اقلیم محلی، به تنهایی منجر به افزایش شدید مناطق مسکونی شده است. علاوه بر عوامل انسانی، فشارهای اقلیمی نیز نقش کلیدی دارند (Gunsola et al., 2025). هواینا و همکاران با بررسی کوه‌های آند، عقب‌نشینی شدید یخچال‌های طبیعی و گسترش همزمان تالاب‌ها را در نتیجه تغییر اقلیم مدل‌سازی کردند (Huayna et al., 2025). در حوزه روش‌شناسی و برای غلبه بر چالش‌های طبقه‌بندی، شیونگ و همکاران با ترکیب شبکه‌های عصبی عمیق و الگوریتم‌های بهینه‌سازی به دقت بالای ۹۵٪ دست یافتند (Xiong et al., 2025). مصطفی و همکاران در مصر، ارتباط مستقیم توسعه شهری را با تشدید پدیده جزیره گرمایی شهری به اثبات رساندند (Mostafa et al., 2023). ژانگ و همکاران نیز در ووهان چین، کاهش شدید زمین‌های زراعی (۳۴/۹٪) را طی یک دهه پیش‌بینی کردند (Zhang et al., 2022). همچنین روبن و همکاران در تحقیقی بر روی حوضه آبخیز گوانتینگ چین، پیش‌بینی کردند که مساحت اراضی ساخته‌شده تا سال ۲۰۹۰ بیش از پنج برابر خواهد شد (Ruben et al., 2020).

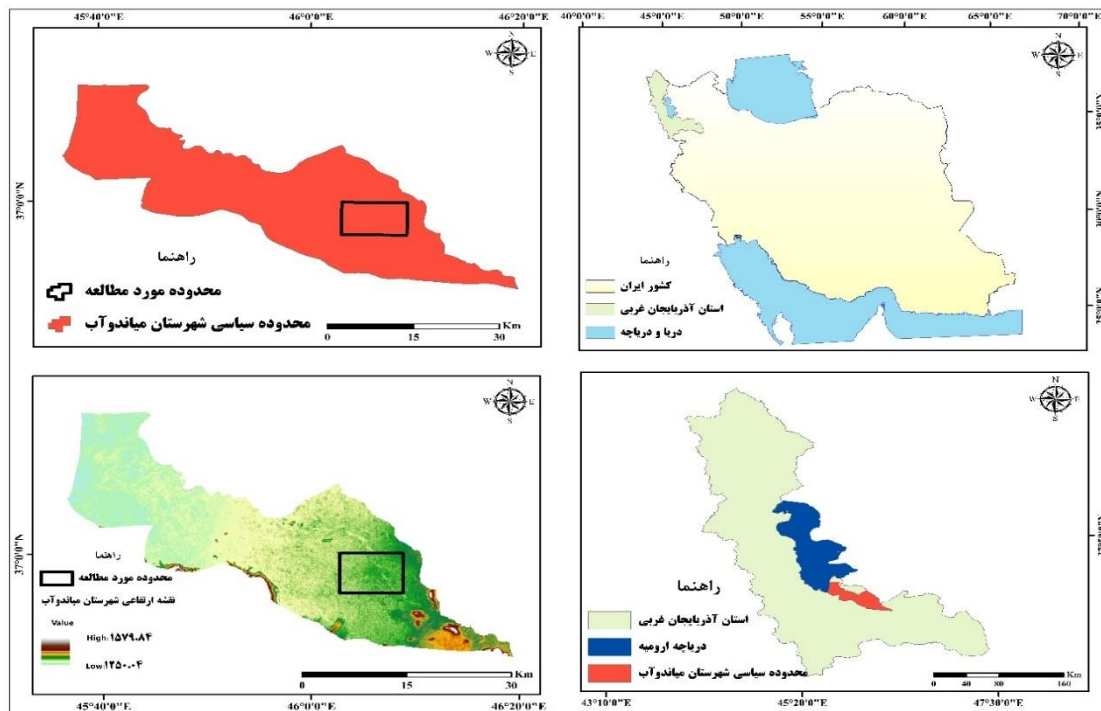
مرور پیشینه نشان می‌دهد که الگوی غالب در سطح ملی و بین‌المللی، رشد مناطق شهری و کشاورزی به قیمت تخریب پوشش‌های طبیعی مانند مراتع و اراضی حاصل‌خیز است. با این حال، منطقه مورد مطالعه این پژوهش، شهرستان میاندوآب، علاوه بر این روند، دارای دینامیک ویژه‌ای در تقابل درون‌بخشی کشاورزی (جایگزینی باغات با مزارع) در پاسخ به تنش آبی است. این تحقیق با هدف پر کردن این خلأ و با به‌کارگیری مدل سلول‌های خودکار - زنجیره مارکوف، به پیش‌بینی این روندهای پیچیده می‌پردازد تا چشم‌اندازی دقیق و کاربردی برای مدیریت پایدار در یکی از قطب‌های حیاتی کشاورزی کشور ارائه دهد. نتایج آن می‌تواند به عنوان ابزار تصمیم‌ساز برای برنامه‌ریزان، مدیران منابع طبیعی و نهادهای اجرایی برای تدوین سیاست‌های حفاظتی و توسعه پایدار به کار گرفته شود.

۲- مواد و روش

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

شهرستان میاندوآب در جنوب استان آذربایجان غربی واقع شده است و به دلیل موقعیت جغرافیایی منحصربه‌فرد خود، یعنی قرارگیری در یک ناحیه جلگه‌ای حاصل‌خیز میان دو رودخانه پرآب زربینه‌رود و سیمینه‌رود، از دیرباز از پتانسیل بالایی در کشاورزی و سکونت برخوردار بوده است. این شهرستان به عنوان یکی از قطب‌های اصلی کشاورزی در سطح استان شناخته می‌شود و با شهرستان‌هایی چون ملکان، شاهین‌دژ، بوکان و مهاباد هم‌مرز است. همین پتانسیل بالای کشاورزی در کنار ظرفیت‌های سکونتگاهی، این شهرستان را در دهه‌های اخیر با چالش‌های جدی ناشی از رشد جمعیت و گسترش فیزیکی مناطق شهری مواجه کرده است. این فشار توسعه، منجر به تغییرات قابل توجه و سریعی در کاربری اراضی شده و منابع طبیعی ارزشمند منطقه را تحت تأثیر قرار داده است. با توجه به این که هدف اصلی این پژوهش، تحلیل الگوهای توسعه شهری و تأثیر آن بر اراضی پیرامون است، محدوده تحقیق کل شهرستان را در بر نمی‌گیرد (شکل ۱). در عوض، برای دستیابی به تحلیلی دقیق‌تر، محدوده مورد مطالعه به صورت هدفمند بر محدوده شهری میاندوآب، کوی‌های اقماری آن و نوار میانی متصل‌کننده این دو بخش متمرکز شده است. این انتخاب به پژوهش امکان می‌دهد تا دینامیک و الگوهای رشد فضایی، تبدیل اراضی کشاورزی و باغی به مناطق ساخته‌شده و سایر تغییرات ناشی از فشار شهرنشینی را با دقت و وضوح بیشتری مدل‌سازی و پیش‌بینی نماید. نقشه زیر، موقعیت کلی شهرستان و محدوده دقیق مورد مطالعه در این پژوهش را نمایش می‌دهد. این منطقه در اقلیمی نیمه‌خشک و در ارتفاع حدود ۱۳۰۰ متری از سطح دریا قرار گرفته است که این موضوع اهمیت منابع آبی سطحی را دوچندان می‌کند. در واقع، حیات اقتصادی و زیست‌محیطی میاندوآب به شدت به پایداری جریان دو رودخانه مذکور وابسته است. چشم‌انداز کاربری اراضی منطقه، ترکیبی پیچیده از کاربری‌های متنوع است. از یک سو، اراضی وسیعی به شکل مزارع فصلی و باغات دائمی که ستون فقرات اقتصاد محلی و معیشت بسیاری از ساکنان را تشکیل می‌دهند، وجود دارد. از

سوی دیگر، بخش هایی از منطقه با چالش های طبیعی مانند حضور خاک های شور و پهنه های نمکی مواجه هستند که این اراضی را برای کشاورزی نامناسب ساخته و پتانسیل تخریب و بیابان زایی را افزایش می دهد. فشار فزاینده بر منابع در میاندوآب، یک نقطه تقاطع بحرانی میان عوامل انسانی و طبیعی ایجاد کرده است. رشد جمعیت و نیاز به مسکن، منجر به گسترش مناطق ساخته شده بر روی حاصل خیزترین اراضی کشاورزی و باغی شده است. همزمان، تغییرات اقلیمی و خشکسالی های متوالی، دسترسی به منابع آبی را محدود کرده و کشاورزان را به سمت تغییر الگوی کشت، مانند جایگزینی باغات پرآب با مزارع کم آبر، سوق داده است. این دینامیک پیچیده که در آن توسعه شهری با امنیت غذایی و پایداری اکولوژیکی در رقابت است، ضرورت یک تحلیل علمی و آینده نگر را برای درک بهتر این تحولات و یافتن راهکارهای مدیریتی بهینه، آشکار می سازد. این پژوهش با تمرکز بر این ناحیه کلیدی، به دنبال واکاوی همین تعاملات و پیش بینی پیامدهای آن در دهه های آینده است.



شکل ۱. نقشه محدوده مورد مطالعه

۲-۲- روش پژوهش

پژوهش حاضر از نظر هدف، تحقیقی کاربردی است که با رویکرد ترکیبی (کمی و کیفی) به تحلیل و پیش بینی تغییرات کاربری اراضی می پردازد. فرآیند کلی تحقیق شامل چند مرحله اصلی از جمله گردآوری و پیش پردازش داده های ماهواره ای، طبقه بندی تصاویر برای استخراج نقشه های کاربری اراضی در مقاطع زمانی گذشته، به کارگیری مدل ترکیبی سلول های خودکار - زنجیره مارکوف برای پیش بینی تغییرات آینده و در نهایت، ارزیابی دقت و اعتبارسنجی نتایج به دست آمده است. داده های اصلی مورد استفاده در این تحقیق، تصاویر ماهواره ای سنجنده OLI ماهواره لندست ۸ با سطح پردازشی L2 (تصحیح اتمسفری شده) است. به منظور بررسی تغییرات در بازه زمانی گذشته و ایجاد مبنایی برای مدل سازی، دو تصویر مربوط به تاریخ های ۱۰ جولای ۲۰۱۳ و ۸ جولای ۲۰۲۴ تهیه گردید. انتخاب این تاریخ ها با فاصله زمانی نزدیک به هم در دو سال مختلف، با هدف به حداقل رساندن تأثیرات تغییرات فصلی بر نتایج طبقه بندی صورت گرفته است. برای استخراج نقشه های کاربری اراضی از تصاویر ماهواره ای، از روش طبقه بندی پیکسل مبنا و الگوریتم نظارت شده بیشینه احتمال استفاده شد. این روش بر اساس محاسبه احتمال تعلق هر پیکسل به کلاس های مختلف بر پایه ویژگی های آماری نمونه های آموزشی عمل می کند. نمونه های آموزشی نماینده برای هر کلاس کاربری (شامل ساختمان ها، خاک، مزارع، باغات و آب) با دقت بالا از روی تصاویر انتخاب شدند تا ویژگی های طیفی هر کلاس به درستی به مدل شناسانده شود. مدل سازی و پیش بینی تغییرات آتی با استفاده از مدل ترکیبی سلول های خودکار زنجیره مارکوف انجام گرفت. بر این اساس، مدل

در گام نخست با تحلیل نقشه‌های کاربری اراضی سال‌های ۲۰۱۳ و ۲۰۲۴، یک ماتریس احتمال انتقال برای پیش‌بینی آینده تولید می‌کند.

این ماتریس، احتمال تغییر هر کلاس کاربری به کلاس دیگر را طی یک بازه زمانی مشخص نشان می‌دهد. سپس، مدل سلول‌های خودکار با بهره‌گیری از این ماتریس و اعمال قوانین همسایگی، تغییرات مکانی را شبیه‌سازی کرده و نقشه کاربری اراضی را برای سال ۲۰۵۴ پیش‌بینی می‌کند. در این تحقیق، به منظور افزایش دقت پیش‌بینی، فرآیند مدل‌سازی پس از اعمال اصلاحاتی چون محدودسازی محدوده مطالعه و ادغام برخی کلاس‌های مشابه، مجدداً اجرا گردید. برای ارزیابی دقت و اعتبارسنجی طبقه‌بندی‌ها و پیش‌بینی‌های به دست آمده، از مجموعه‌ای از شاخص‌های آماری استاندارد به شرح زیر استفاده شد:

۱. ضریب کاپا^۱ و دقت کلی^۲ در گام نخست، برای سنجش میزان توافق نتایج طبقه‌بندی با داده‌های واقعی (فراتر از توافق تصادفی) از ضریب کاپا استفاده شد. همزمان، دقت کلی نیز به منظور نمایش درصد کل پیکسل‌هایی که به درستی طبقه‌بندی شده‌اند، از طریق تحلیل ماتریس خطا محاسبه گردید (Congalton, 1991).

۲. آزمون خی‌دو برای ارزیابی معناداری آماری نقشه پیش‌بینی شده و اطمینان از این‌که تغییرات مشاهده شده واقعی هستند و نه تصادفی، از آزمون خی‌دو بهره گرفته شد. این آزمون میزان تفاوت میان مقادیر مشاهده‌شده در نقشه و مقادیر مورد انتظار (در صورت عدم وجود رابطه) را اندازه‌گیری می‌کند (Madasu & Sivasankar, 2019).

۳. شاخص کرامر وی^۳ در نهایت، به منظور سنجش شدت رابطه و میزان وابستگی میان نقشه پیش‌بینی شده و نقشه مرجع، از شاخص کرامر وی استفاده گردید. این شاخص به درک بهتر قدرت و اعتبار مدل پیش‌بینی کمک می‌کند (Omilion-Hodges, 2017).

۳- یافته‌ها

– ارزیابی تغییرات کاربری اراضی بین ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۴

برای تجزیه و تحلیل تغییرات کاربری اراضی، ابتدا نقشه‌های مبنای منطقه میاندوآب برای سال‌های ۲۰۱۳ و ۲۰۲۴ تهیه شد. این امر با استفاده از الگوریتم طبقه‌بندی نظارت‌شده «بیشینه احتمال» بر روی تصاویر ماهواره‌ای صورت گرفت. در این روش آماری، با اتکا به نمونه‌های آموزشی دقیق، هر پیکسل به یکی از پنج کلاس اصلی کاربری که معرف سیمای منطقه بودند، تخصیص یافت. این پنج کلاس که با هدف بهینه‌سازی دقت مدل‌سازی نهایی تعریف شده بودند، عبارتند از: «ساختمان‌ها» که شامل مناطق مسکونی، صنعتی و کلیه شبکه‌های حمل و نقل است؛ «خاک» که اراضی بایر، شور و نمکی را در بر می‌گیرد؛ «مزارع» به عنوان نماینده کشت‌های فصلی؛ «باغات» که نشان‌دهنده پوشش درختی و دائمی است و «آب‌های سطحی». این طبقه‌بندی یک تصویر دقیق و عملیاتی برای بررسی روندها و پیش‌بینی تحولات آبی فراهم نمود.

– نقشه طبقه‌بندی کاربری اراضی سال ۲۰۱۳

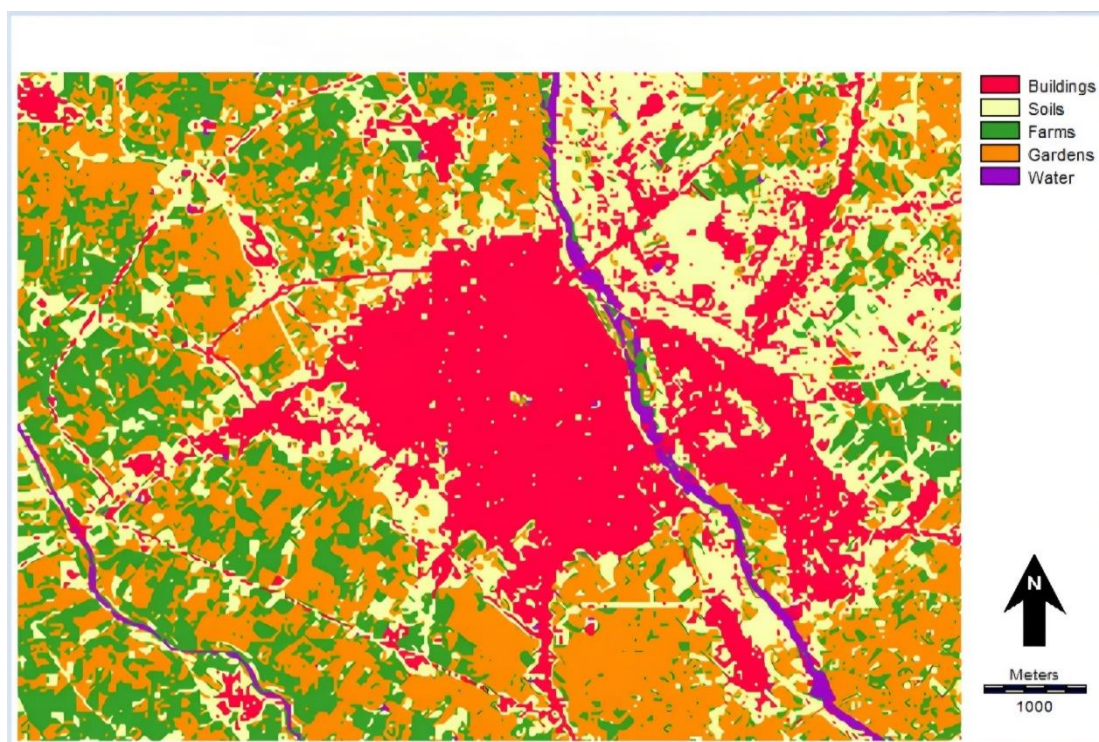
تحلیل نقشه کاربری اراضی شهرستان میاندوآب در سال ۲۰۱۳ (شکل ۱)، تصویری از یک چشم‌انداز با پنج کلاس اصلی کاربری ارائه می‌دهد که مبنای سنجش تحولات آبی قرار گرفت. در این سال، سیمای منطقه عمدتاً توسط کاربری‌های کشاورزی و اراضی بدون پوشش گیاهی با مجموع مساحتی بیش از ۴۶۰۰ هکتار تعریف می‌شد. بر اساس یافته‌ها، کلاس باغات با مساحت ۱۷۸۱/۲۸ هکتار، گسترده‌ترین و غالب‌ترین پوشش را در منطقه به خود اختصاص داده بود. این موضوع نشان‌دهنده اهمیت بالای باغداری در ساختار اقتصادی و الگوی بهره‌برداری از زمین در آن دوره است. پس از آن، کلاس خاک با در اختیار داشتن ۱۵۷۲/۲۱ هکتار، دومین کاربری وسیع منطقه بود. وسعت قابل توجه این کلاس که شامل اراضی بایر است، بیانگر وجود پتانسیل بالا برای تبدیل و توسعه در سال‌های آتی بود. کلاس مزارع نیز با ۱۲۶۸/۲۸ هکتار، بخش مهم دیگری از اراضی کشاورزی منطقه را تشکیل می‌داد. در مقابل، کاربری‌های انسان‌ساخت و منابع آبی سهم کمتری داشتند. کلاس ساختمان‌ها مساحتی معادل ۱۴۶۴/۴۸ هکتار را به خود اختصاص

1. Kappa Coefficient

2. Overall Accuracy

3. Cramer's V

داده بود که بیانگر توسعه فیزیکی و شهری بود که در این مقطع زمانی هنوز به اوج خود نرسیده بود. در نهایت، کلاس آب با تنها ۹۰ هکتار، کمترین مساحت را در میان تمامی کاربری‌ها داشت. این مقدار اندک، نشان‌دهنده محدودیت ذاتی منابع آبی سطحی در منطقه و آسیب‌پذیری آن در برابر تغییرات اقلیمی و فشارهای بهره‌برداری، حتی در ابتدای بازه مطالعاتی است. در مجموع، نقشه سال ۲۰۱۳ تصویری از یک منطقه با بنیان کشاورزی قدرتمند، ظرفیت بالای تغییر و چالشی جدی در حوزه منابع آبی ارائه می‌دهد. برای ارزیابی دقت نقشه طبقه‌بندی سال ۲۰۱۳، با استفاده از نقاط نمونه مرجع، صحت کلی طبقه‌بندی برابر با ۹۴/۰۷۴۱ درصد به دست آمد. ضریب کاپای محاسبه شده نیز ۰/۹۲۹۱ است که نشان‌دهنده توافق مورد قبول بین نقشه طبقه‌بندی شده و داده‌های مرجع است.

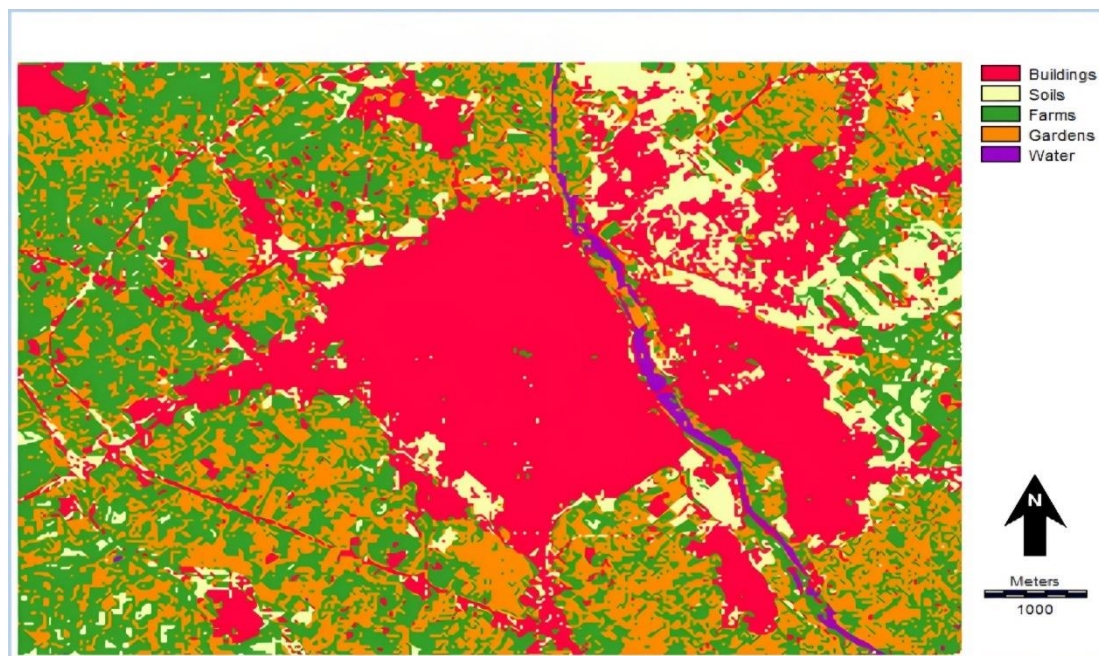


شکل ۱. نقشه طبقه‌بندی کاربری اراضی سال ۲۰۱۳

– نقشه طبقه‌بندی کاربری اراضی سال ۲۰۲۴

نقشه کاربری اراضی سال ۲۰۲۴ (شکل ۲) نمایانگر یک دهه تحولات چشمگیر و یک چشم‌انداز در حال گذار است که در آن، الگوهای سنتی جای خود را به کاربری‌های متمرکزتر و انسان‌ساخت داده‌اند. در این سال، تعادل پیشین میان کاربری‌ها به وضوح به نفع توسعه فیزیکی و تغییر در ساختار کشاورزی بر هم خورده است. بر اساس یافته‌ها، کلاس ساختمان‌ها با گسترشی قابل توجه، به مساحت ۲۰۴۱/۵۶ هکتار رسیده است. این رشد که نشان‌دهنده شتاب گرفتن روند شهرنشینی و توسعه زیرساخت‌ها است، این کلاس را به یکی از بازیگران اصلی در سیمای جدید منطقه تبدیل کرده است. همزمان، کلاس مزارع نیز با افزایش چشمگیر، مساحت ۱۹۷۷/۲۱ هکتار را به خود اختصاص داده است. این گسترش، بیانگر یک تغییر الگوی مشخص در بخش کشاورزی به سمت زراعت فصلی و بهره‌برداری فشرده‌تر از اراضی است. این توسعه‌ها به قیمت کاهش سایر کاربری‌ها تمام شده است. کلاس باغات که در گذشته غالب‌ترین پوشش منطقه بود با کاهشی محسوس، به مساحت ۱۴۶۶/۳۷ هکتار تنزل یافته است. این افت، نشان‌دهنده فشار بر منابع آبی و چالش‌های اقتصادی در نگهداری باغات دائمی است. همچنین، کلاس خاک بافتی شدید، به تنها ۶۳۸/۸۲ هکتار رسیده است که نشان می‌دهد بخش بزرگی از اراضی بایر منطقه برای توسعه مصرف شده‌اند. در نهایت، بحران منابع با کاهش مساحت کلاس آب به تنها ۵۲/۲۹ هکتار، شدیدتر شده است. این مقدار ناچیز، آسیب‌پذیری شدید اکوسیستم منطقه در برابر خشکسالی و بهره‌برداری بی‌رویه را برجسته می‌سازد. در مجموع، نقشه سال ۲۰۲۴ تصویری از یک منطقه با کاربری‌های فشرده، منابع طبیعی تحت فشار و رقابت شدید میان توسعه شهری و کشاورزی را به نمایش می‌گذارد. در طبقه‌بندی سال ۲۰۲۴، درصد صحت کلی

طبقه‌بندی برای این سال ۹۴/۰۰۰۰ درصد به دست آمد که هرچند اندکی پایین‌تر از سال ۲۰۱۳ است؛ اما همچنان در سطح مورد قبول قرار دارد. ضریب کاپای کلی نیز برابر با ۰/۹۱۶۵ محاسبه شد. اگرچه این مقدار نسبت به سال ۲۰۱۳ کاهش نشان می‌دهد؛ اما با توجه به پیچیدگی‌های فضایی در سال ۲۰۲۴ (از جمله افزایش پراکندگی و اختلاط کلاس‌ها)، این سطح از دقت برای تحلیل تغییرات و پیش‌بینی‌های آتی قابل استناد است.



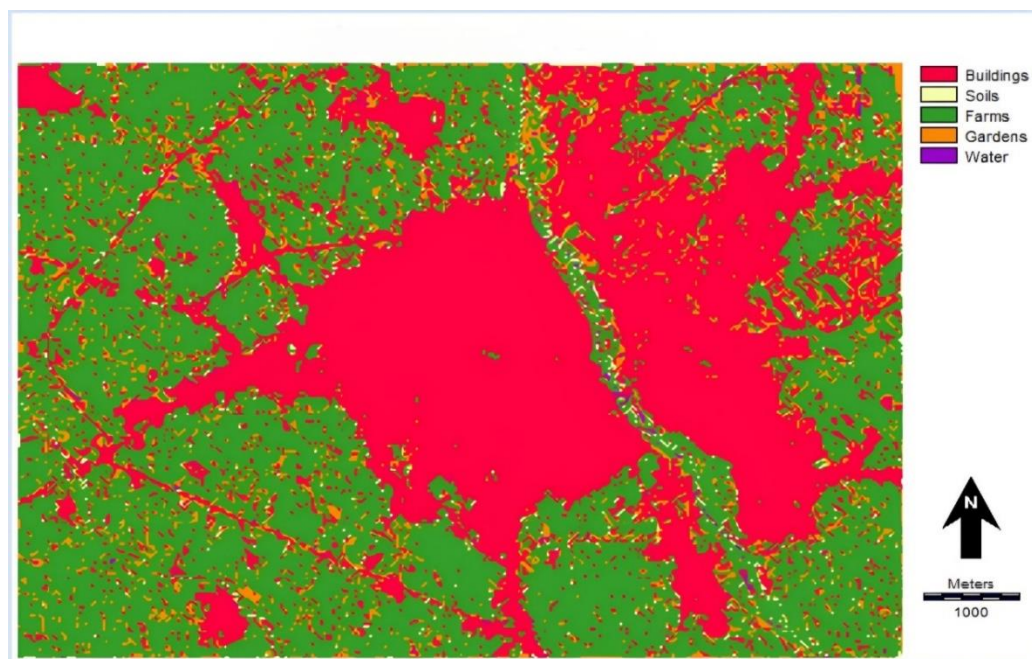
شکل ۲. نقشه طبقه‌بندی کاربری اراضی سال ۲۰۲۴

– تحلیل تغییرات کاربری اراضی بین سال‌های ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۴

تحلیل تغییرات کاربری اراضی بین سال‌های ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۴، یک دهه تحولات سریع و جابه‌جایی‌های گسترده در سیمای منطقه میاندوآب را به تصویر می‌کشد. این دوره گذار، با رشد چشمگیر کاربری‌های انسان‌ساخت و کشاورزی فشرده و در مقابل، کاهش شدید منابع طبیعی و اراضی سنتی مشخص می‌شود. بر اساس یافته‌ها، بیشترین افزایش مساحت مربوط به کلاس مزارع بوده است که با رشد ۷,۸۷۷ پیکسل، به یکی از غالب‌ترین کاربری‌ها تبدیل شد. این رشد قابل توجه، عمدتاً ناشی از تغییر الگوی کشت و جایگزینی باغات دائمی با زراعت‌های فصلی است که در پاسخ به کاهش منابع آبی و نیازهای اقتصادی صورت گرفته است. پس از آن، کلاس ساختمان‌ها با افزایش ۶,۴۱۲ پیکسل، توسعه فیزیکی و گسترش افقی سکونتگاه‌ها را به وضوح نشان می‌دهد. این گسترش اغلب به قیمت تصرف اراضی کشاورزی و خاک‌های بدون پوشش تمام شده و فشار بر منابع زمین را تشدید کرده است. در مقابل، برخی کلاس‌ها با کاهش شدیدی مواجه شدند. کلاس خاک با افتی بسیار شدید معادل ۱۰,۳۷۱ پیکسل، بیشترین میزان کاهش را تجربه کرد. این کاهش نشان می‌دهد که بخش عمده‌ای از زمین‌های بایر و فاقد کاربری پایدار، برای توسعه ساخت‌وساز و فعالیت‌های کشاورزی مصرف شده و ظرفیت خالی منطقه برای توسعه به سرعت در حال اتمام است. کلاس باغات نیز با کاهشی نگران‌کننده به میزان ۳,۴۹۹ پیکسل، روند افول خود را آغاز کرد. این تغییر که بیانگر تأثیر مستقیم عواملی چون افت سطح آب‌های زیرزمینی و کم‌صرفه شدن باغداری است، نه تنها بر معیشت خانوارها، بلکه بر تنوع زیستی منطقه نیز اثرگذار است. در نهایت، کاهش ۴۱۹ پیکسلی در کلاس آب، هرچند از نظر عددی کوچک‌تر است؛ اما با توجه به نقش حیاتی منابع آبی، بیانگر فشار شدید ناشی از خشکسالی و بهره‌برداری بی‌رویه در منطقه است. در مجموع، تحلیل این دهه نشان می‌دهد که منطقه میاندوآب یک چرخش اساسی را در الگوی بهره‌برداری از سرزمین تجربه کرده است که در آن، تعادل طبیعی به نفع توسعه فشرده انسانی بر هم خورده است.

– نقشه پیش‌بینی کاربری اراضی سال ۲۰۵۴

پیش‌بینی کاربری اراضی برای افق سال ۲۰۵۴ (شکل ۳)، تصویری از تشدید و تسریع روندهای مشاهده شده در دهه گذشته را به نمایش می‌گذارد. چشم‌انداز آینده منطقه، یک سیمای به شدت دگرگون شده است که در آن، کاربری‌های متمرکز انسانی تقریباً تمامی عرصه را به خود اختصاص داده‌اند و الگوهای پیشین کشاورزی و منابع طبیعی به حاشیه رانده شده‌اند. بر اساس نتایج مدل سازی، کلاس مزارع با رشدی انفجاری، به مساحت ۳۰۷۴/۷۶ هکتار خواهد رسید و با اختلاف، به غالب‌ترین کاربری در منطقه تبدیل خواهد شد. این یافته نشان‌دهنده حاکمیت کامل الگوی کشاورزی مبتنی بر کشت فصلی در آینده است. همزمان، کلاس ساختمان‌ها نیز به روند گسترش پرشتاب خود ادامه داده و با رسیدن به مساحت ۲۵۹۲/۰۹ هکتار، بخش عظیم دیگری از منطقه را در بر خواهد گرفت. این دو کلاس در مجموع، سیمای اصلی منطقه در سال ۲۰۵۴ را تعریف خواهند کرد. این توسعه گسترده، به قیمت نابودی تقریباً کامل سایر کاربری‌ها تمام می‌شود. فاجعه‌بارترین تحول، سقوط مساحت کلاس باغات به تنها ۴۰۲/۷۵ هکتار است که به معنای از بین رفتن بخش بزرگی از میراث باغداری منطقه است. به همین ترتیب، کلاس خاک که زمانی پهنه‌های وسیعی را پوشش می‌داد، با رسیدن به مساحت ناچیز ۸۲/۹۸ هکتار، تقریباً از نقشه حذف می‌شود. این امر نشان می‌دهد که ظرفیت اراضی بایر برای توسعه‌های آبی به طور کامل به اتمام خواهد رسید. در نهایت، فشار بر منابع حیاتی به اوج خود می‌رسد؛ چنان که پیش‌بینی می‌شود مساحت کلاس آب به سطح بحرانی ۲۳/۶۷ هکتار کاهش یابد. این مقدار اندک، بیانگر یک تنش آبی شدید و تهدیدی جدی برای پایداری کل اکوسیستم است. در مجموع، چشم‌انداز ۲۰۵۴، منطقه‌ای به شدت توسعه‌یافته با کشاورزی فشرده و تهی شده از منابع طبیعی و تنوع اکولوژیکی پیشین را ترسیم می‌کند.



شکل ۳. نقشه پیش‌بینی طبقه‌بندی کاربری اراضی سال بر اساس مدل اتوماتای سلولی ۲۰۵۴

جدول ۱. جدول تحلیلی مساحت (هکتار) داده‌های مربوط به سال‌های ۲۰۱۳، ۲۰۲۴، ۲۰۵۴

کلاس‌ها	سال ۲۰۱۳	سال ۲۰۲۴	سال ۲۰۵۴	افزایش / کاهش (مساحت) بین سال‌های ۲۰۲۴ و ۲۰۵۴
ساختمان‌ها	۱۴۶۴/۴۸	۲۰۴۱/۵۶	۲۵۹۲/۰۹	۵۵۰/۵۳
خاک	۱۵۷۲/۲۱	۶۳۸/۸۲	۸۲/۹۸	-۵۵۵/۸۴
مزارع	۱۲۶۸/۲۸	۱۹۷۷/۲۱	۳۰۷۴/۷۶	۱۰۹۷/۵۵
باغات	۱۷۸۱/۲۸	۱۴۶۶/۳۷	۴۰۲/۷۵	-۱۰۶۳/۶۲
آب	۹۰	۵۲/۲۹	۲۳/۶۷	-۲۸/۶۲

۴- بحث و نتیجه گیری

یافته‌های این پژوهش تصویری چندلایه از دگرگونی‌های عمیق در چشم‌انداز شهرستان میاندوآب ارائه می‌دهد که فراتر از یک جابه‌جایی ساده در کاربری‌ها بوده و بیانگر یک تحول ساختاری در رابطه انسان و محیط این منطقه است. رشد فزاینده مناطق شهری و کشاورزی در میاندوآب، در راستای الگوهای مشاهده شده در سایر مناطق در حال توسعه است و تغییرات کاربری اراضی را می‌توان حاصل تعامل پیچیده‌ای از نیروهای محرک انسانی و طبیعی دانست. یافته‌ها نشان داد که منطقه در حال گذار از یک الگوی کشاورزی سنتی و متنوع به سمت یک سیستم تولیدی متمرکز بر زراعت فشرده و توسعه فیزیکی شهری است. این روند که با رشد چشمگیر کلاس‌های «مزارع» و «ساختمان‌ها» و در مقابل، افول شدید «باغات»، «خاک» و «آب» مشخص می‌شود، تعارضی بنیادین میان اهداف توسعه اقتصادی کوتاه‌مدت و پایداری زیست‌محیطی بلند مدت را آشکار می‌سازد. چنین روندی با نتایج بسیاری از تحقیقات پیشین در مقیاس ملی و بین‌المللی هم‌خوانی دارد. به عنوان نمونه، مطالعات انجام شده در کشورهایی مانند پاکستان نشان می‌دهد که رشد سریع جمعیت، شهرنشینی و تشدید فعالیت‌های کشاورزی از اصلی‌ترین عوامل این تحولات هستند (Tahir et al., 2025). همچنین، پژوهش‌های انجام شده در مناطق مختلف ایران، از جمله شیراز، یاسوج و حوضه دریاچه ارومیه، نیز روند غالب رشد شهرنشینی و تخریب اراضی کشاورزی و طبیعی را به اثبات رسانده‌اند (Asadzadeh et al., 2018; Asghari et al., 2021; Ziyari & Iraj, 2022). در زمینه شهری و در چارچوب مسائل ایران، مطالعه‌ای بر روی کلان‌شهر مشهد نشان می‌دهد که عواملی چون تراکم بالای جمعیت و توزیع نابرابر خدمات، به گسترش ناهمگون و ناپایدار شهر دامن می‌زنند (Ziari & Mansouri Etminan, 2025)، چالشی که در توسعه فیزیکی میاندوآب نیز مشهود است.

علاوه بر عوامل انسانی، فشارهای اقلیمی نیز نقش تعیین‌کننده‌ای دارند؛ برای مثال، عقب‌نشینی یخچال‌های طبیعی در کوه‌های آند به عنوان یک عامل اقلیمی، مستقیماً بر منابع آب و گسترش تالاب‌ها در پایین‌دست تأثیر می‌گذارد (Huayna et al., 2025). همچنین، پروژه‌های زیرساختی بزرگ مانند سدسازی، از طریق جابه‌جایی جمعیت و تغییر در اقلیم محلی، می‌توانند سناریوی کاربری اراضی یک منطقه را به طور کامل دگرگون سازند (Gunsola et al., 2025). یافته منحصربه‌فرد این تحقیق، نمایش شدت جایگزینی «باغات» با «مزارع» است که بیانگر یک تغییر الگوی کشت درون‌بخشی در پاسخ به عواملی چون تنش آبی است. این پدیده که در اقلیم نیمه‌خشک میاندوآب رخ داده، هشدار جدی‌تر نسبت به تحقیقات مشابه در مناطق پرآب‌تر به شمار می‌رود و بیانگر آسیب‌پذیری مضاعف این منطقه است. گسترش اراضی زراعی، هر چند در ظاهر شاخصی مثبت برای امنیت غذایی تلقی می‌شود؛ اما در واقع با تخریب زیست‌بوم‌های با ارزش‌تر (باغات) و فشار مضاعف بر منابع آب و خاک همراه است. از بین رفتن باغات به معنای کاهش تنوع زیستی، از دست رفتن نقش تعدیل‌کنندگی آن‌ها بر اقلیم محلی و تهدید معیشت پایدار باغداران است. پیش‌بینی مدل برای سال ۲۰۵۴ این روند را به سطح بحرانی می‌رساند؛ جایی که چشم‌انداز منطقه به یک موزاییک ساده شده از مزارع و ساختمان‌ها تقلیل یافته و منابع طبیعی آن به شدت تهی شده است و این آینده هشدار جدی برای ورود منطقه به وضعیت «تنش آبی و زیست‌محیطی مزمن» خواهد بود.

مطالعات جدیدتر نیز با ترکیب شبکه‌های عصبی عمیق^۱ و الگوریتم‌های بهینه‌سازی، به دنبال غلبه بر چالش‌های کلاسیک سنجش از دور مانند تنوع طیفی و پیکسل‌های ترکیبی هستند تا به دقت طبقه‌بندی بالاتری دست یابند (Xiong et al., 2025). ادغام این رویکردهای نوین، گام بعدی و ضروری برای دستیابی به پیش‌بینی‌های واقع‌گرایانه‌تر و کارآمدتر در مدیریت پایدار سرزمین خواهد بود.

در نهایت می‌توان نتیجه گرفت که تغییرات کاربری اراضی در میاندوآب، بیش از آن که ناشی از تحولات طبیعی باشد، بازتابی از فعالیت‌های انسانی، توسعه بی‌برنامه شهری و نبود سیاست‌های جامع مدیریت زمین است. هرچند این روندها در کوتاه‌مدت ممکن است کُند به نظر برسند، اما در بلندمدت آثار بازگشت‌ناپذیری بر ساختار زیستی، اقتصادی و اجتماعی منطقه خواهند گذاشت. این پژوهش با به کارگیری مدل اتوماتای سلولی توانست این مسیر نگران‌کننده را به صورت کمی و فضایی شبیه‌سازی کرده و ضرورت یک بازنگری فوری در سیاست‌های توسعه منطقه را آشکار سازد. دستیابی به توسعه پایدار، نیازمند عزمی جدی برای ایجاد هماهنگی میان نهادهای اجرایی و پژوهشی، کنترل کاربری‌های زمین و حفاظت از منابع باقی‌مانده است. بر اساس یافته‌های تحقیق و به منظور مدیریت پایدار سرزمین در شهرستان میاندوآب، پیشنهادهای کاربردی زیر ارائه می‌گردد:

۱- مقابله با تخریب باغات از طریق بهینه سازی مصرف آب: با توجه به پیش بینی نابودی بیش از ۱۰۶۳ هکتار از باغات تا سال ۲۰۵۴ که عمدتاً به مزارع فصلی تبدیل می شوند، پیشنهاد می شود سازمان جهاد کشاورزی با همکاری سازمان آب منطقه ای، طرح های حمایتی ویژه ای برای حفظ باغات تدوین کنند. این طرح ها می تواند شامل ارائه تسهیلات و یارانه های هدفمند برای پیاده سازی سیستم های نوین آبیاری (مانند آبیاری قطره ای) باشد تا با افزایش بهره وری آب، صرفه اقتصادی باغداری افزایش یافته و از تغییر کاربری آن ها جلوگیری شود.

۲- هدایت توسعه شهری و حفاظت از اراضی حاصل خیز: با عنایت به رشد پیش بینی شده ۵۵۰ هکتاری مناطق ساخته شده که عمدتاً بر روی اراضی کشاورزی و خاک های حاصل خیز صورت می گیرد، پیشنهاد می شود اداره راه و شهرسازی و نهادهای مدیریت شهری، از نقشه های پیش بینی این تحقیق به عنوان ابزار پایش و برنامه ریزی فضایی استفاده نمایند. بر این اساس، می توان طرح های جامع و تفصیلی شهری را به گونه ای بازنگری کرد که توسعه آتی به سمت اراضی بایر و خاک های با بهره وری پایین تر هدایت شود و برای جلوگیری از ساخت وسازهای غیرمجاز در اراضی کشاورزی، اهرم های نظارتی و قانونی قوی تری به کار گرفته شود.

۳- ادغام متغیرهای اقتصادی-اجتماعی در مدل سازی های آینده: به منظور افزایش دقت و واقع گرایی مدل های پیش بینی در تحقیقات آتی، پیشنهاد می شود متغیرهای اقتصادی-اجتماعی به عنوان نیروهای محرک تغییر در مدل CA-Markov ادغام شوند. عواملی نظیر قیمت زمین، الگوهای جمعیتی و سیاست های حمایتی بخش کشاورزی می توانند به شبیه سازی دقیق تر دینامیک های کاربری اراضی کمک کرده و ابزارهای کارآمدتری برای سیاست گذاری فراهم آورند.

۵- سپاس گذاری

این مقاله برگرفته از پایان نامه کارشناسی ارشد آقای امیرحسین پسنده، دانشجوی رشته سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی است، بدین وسیله از حمایت های مادی و معنوی دانشگاه محقق اردبیلی سپاس گذاری می شود.

۶- فهرست منابع

- اسدزاده، فرخ، خسروی اقدم، کمال، پرویز، لاله، رمضانپور، حسن، و یغمائیان مهابادی، نفیسه. (۱۳۹۷). پیش بینی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از مدل زنجیره مارکوف و سلول خودکار (مطالعه موردی: حوزه آبخیز روضه چای، ارومیه). حفاظت منابع آب و خاک، ۱۸ (۱)، ۱۰۵-۱۱۶.
- اصغری سراسکانرود، صیاد، قلعه، احسان، اردشیرپی، علی اصغر، و امیدی فر، مصطفی. (۱۳۹۹). پیش بینی تغییرات کاربری اراضی در شهر قوچان برای سال ۲۰۳۰ با استفاده از روش CA مارکوف. برنامه ریزی منطقه ای، ۱۰ (۴۰)، ۱۷۷-۱۹۴.
- زیاری، ک، و ایرجی، ح. (۱۴۰۱). بررسی گسترش کالبدی-فضایی کلانشهر شیراز با استفاده از سنجش از دور (RS). جغرافیا و برنامه ریزی، ۲۶ (۷۹)، ۱۸۶-۱۷۱.
- زیاری، کرامتاله و منصوری اطمینان، ابوالفضل. (۱۴۰۴). تحلیلی بر سطح توسعه یافتگی مناطق شهری مشهد از منظر کامیابی شهری. مطالعات جغرافیایی مناطق خشک، ۱۶ (۶۰)، ۱۵۵-۱۷۱.
- کریمی، ک، زهتابیان، غ، فرامرزی، م، مرزبان، ر، و خسروی، ح. (۱۳۹۵). پایش و تغییرات کاربری اراضی با استفاده از زنجیره ای مارکوف به منظور پیش بینی آن (بررسی موردی: دشت عباس). نشریه علمی-پژوهشی مرتع و آبخیزداری، ۶۹ (۳)، ۷۱۱-۷۲۴.

References

- Asadzadeh, F., Aghdam, K., Kamal, R., & Mahabadi, Y. (2018). Pishbini taghirat karbari arazi ba estefade az model zanjireh Markov va selul khodkar (motale'e moredi: hoze abkhiz Rozeh Chay, Urmia) [Prediction of land use changes using Markov chain and cellular automata model (Case study: Rozeh Chay watershed, Urmia)]. *Nashriyeh Hefazat Manabe Ab-o-Khak (Elmi-Pazhouheshi) [Journal of Water and Soil Resources Conservation (Scientific-Research)]*, 8(1), 105-116. SID. <https://sid.ir/paper/232248/fa> [In Persian]
- Asghari Saraskanroud, S., Ghale, P. A., & Far, A. (2021). Pishbini-ye taghayorat-e karbari-e arazi dar shahre Quchan baraye sal-e 2030 ba estefade az ravesh-e CA-Markov [Predicting land use changes in Quchan city for 2030 using the CA-Markov method]. *Faslnameh Elmi Barnamehrizi Mantagei [Regional Planning Scientific Quarterly]*, 10(40), 177-194. <https://sid.ir/paper/1004224/fa> [In Persian]

- Balzter, H. (2000). Markov chain models for vegetation dynamics. *Ecological Modelling*, 126(2-3), 139-154. [https://doi.org/10.1016/S0304-3800\(00\)00262-3](https://doi.org/10.1016/S0304-3800(00)00262-3)
- Congalton, R. G. (1991). A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. *Remote Sensing of Environment*, 37(1), 35-46. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(91\)90048-B](https://doi.org/10.1016/0034-4257(91)90048-B)
- Faichia, C., Tong, Z., Zhang, J., Liu, X., Kazuva, E., Ullah, K., & Al-Shaibah, B. (2020). Using RS data-based CA-Markov model for dynamic simulation of historical and future LUCC in Vientiane, Laos. *Sustainability*, 12(20), 8410. <https://doi.org/10.3390/su12208410>
- Foley, J. A., DeFries, R., Asner, G. P., Barford, C., Bonan, G., Carpenter, S. R., Chapin, F. S., Coe, M. T., Daily, G. C., & Gibbs, H. K. (2005). Global consequences of land use. *Science*, 309(5734), 570-574. <https://doi.org/10.1126/science.1111772>
- Gunsola, A., Nautiyal, A., & Bhat, S. Y. (2025). LULC classification of Tehri region using Landsat 7 & 8 satellite images. *Procedia Computer Science*, 260, 957-963. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2025.03.279>
- Huayna, G., Pino-Vargas, E., Espinoza-Molina, J., Cruz-Rodríguez, C., Cabrera-Olivera, F., Ramos-Fernández, L., Vera-Barrios, B., Acosta-Caipa, K., & Ingol-Blanco, E. (2025). Glacier, wetland, and lagoon dynamics in the Barroso Mountain Range, Atacama Desert: Past trends and future projections using CA-Markov. *Hydrology*, 12(3), 64. <https://doi.org/10.3390/hydrology12030064>
- Karimi, K., Zahrtabian, G., Faramarzi, M., Marzban, R., & Khosravi, H. (2016). Monitoring and prediction of land use changes using the Markov chain model (A case study: Dasht-e Abbas). *Journal of Rangeland and Watershed Management*, 69(3), 711-724. <https://doi.org/10.22059/jrwm.2016.61512> [In Persian]
- Madasu, A., & Elango, S. (2020). Efficient feature selection techniques for sentiment analysis. *Multimedia Tools and Applications*, 79(9), 6313-6335. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1911.00288>
- Mostafa, E., Li, X., & Sadek, M. (2023). Urbanization trends analysis using hybrid modeling of fuzzy analytical hierarchical process-cellular automata-markov chain and investigating its impact on land surface temperature over Gharbia City, Egypt. *Remote Sensing*, 15(3), 843. <https://doi.org/10.3390/rs15030843>
- Omilion-Hodges, L. (2017). Cramer's V. In *The SAGE encyclopedia of communication research methods*. <https://doi.org/10.4135/9781483381411.n293>
- Ruben, G. B., Zhang, K., Dong, Z., & Xia, J. (2020). Analysis and projection of land-use/land-cover dynamics through scenario-based simulations using the CA-Markov model: A case study in guanting reservoir basin, China. *Sustainability*, 12(9), 3747. <https://doi.org/10.3390/su12093747>
- Sang, L., Zhang, C., Yang, J., Zhu, D., & Yun, W. (2011). Simulation of land use spatial pattern of towns and villages based on CA-Markov model. *Mathematical and Computer Modelling*, 54(3-4), 938-943. <https://doi.org/10.1016/j.mcm.2010.11.019>
- Tahir, Z., Haseeb, M., Mahmood, S. A., Batool, S., Abdullah-Al-Wadud, M., Ullah, S., & Tariq, A. (2025). Predicting land use and land cover changes for sustainable land management using CA-Markov modelling and GIS techniques. *Scientific Reports*, 15(1), 3271. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-87796-w>
- Verburg, P., Schot, P., Dijst, M., & Veldkamp, A. (2004). Land-use change modeling: Current practice and research priorities. *GeoJournal*, 61, 309-324. <https://doi.org/10.1007/s10708-004-4946-y>
- Xiong, Q., Wu, X., Yu, C., & Hosseinzadeh, H. (2025). A study of combination of autoencoders and boosted Big-Bang crunch theory architectures for Land-Use classification using remotely sensed imagery. *Scientific Reports*, 15(1), 15428. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-99436-4>
- Yang, X., Zheng, X. Q., & Chen, R. (2014). A land use change model: Integrating landscape pattern indexes and Markov-CA. *Ecological Modelling*, 283, 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2014.03.011>
- Zhang, J., Hou, Y., Dong, Y., Wang, C., & Chen, W. (2022). Land use change simulation in rapid urbanizing regions: A case study of Wuhan urban areas. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(14), 8785. <https://doi.org/10.3390/ijerph19148785>
- Ziari, K., & Mansouri Etminan, A. (2025). An analysis of the level of development of urban Regions of Mashhad from the point of view of urban prosperity. *Journal of Arid Regions Geographic Studies*, 16(60): 155-171. <https://doi.org/10.22034/jargs.2024.450275.1101> [In Persian]
- Ziyari, K., & Iraj, H. (2022). Barresi-ye gostareh-e kalbodi-fazayi-e kalanshahr-e Shiraz ba estefade az sanjesh-az-dur (Rs) [Investigating the physical-spatial expansion of Shiraz metropolis using remote sensing (RS)]. *Motale'at-e Shahri [Urban Studies]*, 11(43), 1-16. <https://doi.org/10.22034/gp.2021.45009.2805> [In Persian]