Sustainable Urban & Regional Development Studies Quarterly

Volume 5, Issue 4 - Serial Number 18, Winter 2025 **Online ISSN: 2783-0764**
Journal Hompage https://www.srds.ir/
https://www.srds.ir/article_222189.html?lang=en

Detection of Land Use Changes in the 2013-2024 Period Using Landsat 8 Image Processing and Analyzing its Effects (Case Study: Miandoab City)

Sayyad Asghari Saraskanroud[1*], Amirhosein Pasandeh[2], Hasan Khavarian[3]
[1] Professor،Department of Physical Geography ،Faculty of Social Sciences ،University of Mohaghegh Ardabili ،Ardabil ،Iran
[2] MSc Student ،Remote Sensing and Geographic Information Systems (GIS) ، Department of Physical Geography ،Faculty of Social Sciences ،University of Mohaghegh Ardabili ،Ardabil ،Iran
[3] Professor،Department of Physical Geography ،Faculty of Social Sciences ،University of Mohaghegh Ardabili ،Ardabil ،Iran

Received Date: 14 September 2024 **Accepted Date:** 29 November 2024

Abstract

Background and Objective: Land use and land cover (LULC) are among the most critical indicators of human-environment interaction, reflecting how societies exploit and transform the natural landscape. Understanding temporal changes in land use is essential for sustainable planning, environmental management, and agricultural policy development. This study aims to detect and analyze land use changes in Miandoab County over the period 2013 to 2024 using remote sensing techniques.

Methodology: Landsat 8 OLI/TIRS satellite images for the years 2013 and 2024 were used as the primary data source. After applying radiometric and geometric preprocessing, the images were classified using the Maximum Likelihood Classification (MLC) algorithm, which relies on the statistical distribution of spectral data and assigns each pixel to the most probable class. Eight land use categories were defined: built-up areas, soil, roads, farmlands, orchards, water bodies, salt flats, and saline soils. The classification accuracy was assessed using overall accuracy and Kappa coefficient.

Results and Findings: The classification results revealed significant land use changes over the 11-year period. Farmlands increased from 3,183 ha in 2013 to 4,963 ha in 2024, indicating a major shift toward agricultural expansion. Conversely, orchards and soil areas showed marked decreases, likely due to water scarcity and urban encroachment. Built-up areas expanded to 1,849 ha, reflecting urban development. The classification achieved high accuracy levels (94.07% in 2013 and 94% in 2024), validating the reliability of the MLC approach. The study demonstrates that remote sensing and supervised classification are effective tools for land use monitoring. The observed trends highlight the need for integrated land management strategies to balance development with environmental sustainability in Miandoab.

Keywords: Sustainable Land Management, Remote Sensing, Maximum Likelihood Classification, Urban Expansion, Miandoab.

[*]**Correspong Author Email**: s.asghari@uma.ac.ir
Cite this article: Asghari Saraskanroud, S., Pasandeh, A. and Khavarian, H. (2025). Detection of Land Use Changes in the 2013-2024 Period Using Landsat 8 Image Processing and Analyzing its Effects (Case Study: Miandoab City). Journal of Sustainable Urban & Regional Development Studies (JSURDS), 5(4), 329-346.

فصلنامه مطالعات توسعه پایدار شهری و منطقه ای

دوره ۵، شماره ۴، شماره پیاپی ۱۸، زمستان ۱۴۰۳ شاپا:۰۷۶۴-۲۷۸۳

Journal Hompage https://www.srds.ir/
https://www.srds.ir/article_222189.html?lang=fa

آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی در بازه زمانی ۲۰۱۳-۲۰۲۴ با استفاد از پردازش تصاویر لندست ۸ و تحلیل اثرات آن (مطالعه موردی: شهر میاندوآب)

صیاد اصغری سراسکانرود [۱،*]، امیرحسین پسنده [۲]، حسن خاوریان نهزک [۳]

۱. استاد گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

۲. دانشجوی کارشناسی ارشد، رشته سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

۳. استادیار گروه جغرافیای طبیعی، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۶/۲۴ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۹/۰۹

چکیده

زمینه و هدف: تحلیل تغییرات کاربری اراضی به عنوان یکی از شاخص‌های کلیدی تعامل انسان و محیط، برای مدیریت پایدار منابع و برنامه‌ریزی‌های منطقه‌ای امری ضروری است. این پژوهش با هدف تحلیل و آشکارسازی تغییرات مکانی-زمانی کاربری اراضی در شهرستان میاندوآب طی بازه زمانی ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۴ با استفاده از الگوریتم بیشینه احتمال و داده‌های سنجش از دور انجام شده است.

روش شناسی: در این تحقیق، داده‌های مورد استفاده شامل تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ برای سال‌های ۲۰۱۳ و ۲۰۲۴ بوده است. این تصاویر پس از انجام پیش‌پردازش‌های رادیومتریک و هندسی، با استفاده از الگوریتم طبقه‌بندی نظارت‌شده بیشینه احتمال (MLC) به نقشه‌های کاربری اراضی تبدیل شدند. در این فرآیند، هشت کلاس کاربری شامل مناطق ساخته‌شده، خاک، جاده‌ها، مزارع، باغات، آب، نمک‌زارها و خاک‌های شور شناسایی و استخراج گردید.

یافته‌ها و نتیجه‌گیری: نتایج ارزیابی صحت طبقه‌بندی در سال‌های ۲۰۱۳ و ۲۰۲۴ نشان داد که دقت کلی به ترتیب ٪۹۴,۰۷ و ٪۹۴ بوده است که بیانگر عملکرد قابل‌قبول و دقت بالای الگوریتم طبقه‌بندی است. تحلیل تغییرات کاربری اراضی نشان می‌دهد که در این دوره، مزارع از ۳۱۸۳ هکتار در سال ۲۰۱۳ به ۴۹۶۳ هکتار در سال ۲۰۲۴ افزایش یافته و مناطق ساخته‌شده نیز به ۱۸۴۹ هکتار گسترش یافته‌اند. در مقابل، بیشترین کاهش مربوط به کلاس‌های باغات و خاک بوده است. این تغییرات ناشی از ترکیبی از عوامل انسانی (توسعه شهری و کشاورزی) و اقلیمی (خشکسالی و کاهش منابع آبی) می‌باشد. نتایج این پژوهش می‌تواند به‌عنوان ابزاری کاربردی برای برنامه‌ریزی کاربری اراضی و مدیریت پایدار منابع طبیعی در منطقه میاندوآب مورد استفاده قرار گیرد.

کلیدواژه ها: مدیریت پایدار سرزمین، سنجش‌از دور، الگوریتم بیشینه احتمال، توسعه مناطق شهری، میاندوآب.

*نویسنده مسئول: s.asghari@uma.ac.ir

ارجاع به این مقاله: اصغری, صیاد , پسنده, امیر حسین و خاوریان, حسن . (۱۴۰۳). آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی در بازه زمانی ۲۰۱۳-۲۰۲۴ با استفاد از پردازش تصاویر لندست ۸ و تحلیل اثرات آن (مطالعه موردی: شهر میاندوآب). فصلنامه مطالعات توسعه پایدار شهری و منطقه ای, ۵(۴), ۳۲۹-۳۴۶.

مقدمه و بیان مسأله

کاربری اراضی، به‌عنوان شاخصی کلیدی از تعامل انسان و محیط، نقشی محوری در تحلیل ساختار فضایی، مدیریت منابع و تدوین سیاست‌های توسعه پایدار ایفا می‌کند. این مفهوم بیانگر نحوه استفاده از زمین برای اهدافی چون سکونت، کشاورزی و حفاظت از محیط‌زیست است. در دهه‌های اخیر، جهان شاهد رشد سریع شهرنشینی بوده است؛ به‌طوری‌که طبق برآوردها، بیش از نیمی از جمعیت جهان در شهرها زندگی می‌کنند و این میزان تا سال ۲۰۳۰ به بیش از ۷۰ درصد خواهد رسید. در ایران نیز شکاف اقتصادی میان جوامع شهری و روستایی، به مهاجرت گسترده به سمت شهرها و در نتیجه، رشد فزاینده جمعیت شهرنشین دامن زده است. این افزایش جمعیت، تقاضا برای ساخت‌وساز را تشدید کرده و به محرک اصلی تغییرات کاربری اراضی تبدیل شده است. بررسی الگوهای این تغییرات در مقاطع زمانی مختلف، اطلاعات ارزشمندی درباره تحولات اجتماعی - اقتصادی در اختیار تصمیم‌گیران قرار می‌دهد (کوی و همکاران، ۲۰۲۱).

تغییرات در الگوی کاربری اراضی اغلب حاصل برهم‌کنش پیچیده عوامل انسانی و طبیعی است. این تغییرات، به‌ویژه زمانی که بدون در نظر گرفتن قابلیت‌ها و پتانسیل اراضی رخ می‌دهند، پیامدهای منفی گسترده‌ای به همراه دارند. نتیجه این فرآیند، بروز تحولاتی نامتوازن در سیمای سرزمین است که می‌تواند به چالش‌هایی نظیر فرسایش خاک و کاهش تنوع زیستی منجر شود (آلمو و همکاران، ۲۰۲۴). به طور مشخص، «کاهش اراضی زراعی حومه، تخریب پوشش گیاهی و افزایش دمای سطح زمین در مناطق شهری، و اثرات ناشی از افزایش دما، برخی از پیامدهای منفی توسعه شهری، ساخت خیابان و سایر فعالیت‌های مخرب در داخل شهرها هستند». این پدیده زمانی تشدید می‌شود که پوشش طبیعی زمین با سطوح نفوذناپذیری مانند آسفالت و بتن جایگزین می‌گردد؛ این امر با جلوگیری از تبخیر و افزایش جذب انرژی، به گرم شدن فضاها، تشدید آلودگی هوا، بروز مشکلات سلامتی و افزایش بی‌رویه مصرف انرژی منجر می‌شود (رستم صابری‌فر، ۱۴۰۳).

برای مواجهه با این چالش‌ها، مدیریت هدفمند و علمی امری ضروری است. در واقع، «دستیابی به میزان، شدت و جهت توسعه ساخت‌وساز از گذشته تاکنون و پیش‌بینی وضعیت ساخت‌وساز در آینده، نخستین گام در جهت مدیریت علمی و عملی توسعه فیزیکی ساخت‌وساز شهری است». در این راستا، بهره‌گیری از فناوری‌های نوین نظیر سنجش‌ازدور، فرصت بی‌نظیری برای پایش و تحلیل این تغییرات فراهم کرده است. این فناوری‌ها با فراهم‌آوری داده‌های مکانی و زمانی، به ابزاری ارزشمند برای مدیریت منابع تبدیل شده‌اند (ارخی، ۱۴۰۳) و مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی، ابزاری ضروری برای تجزیه‌وتحلیل‌های زیست‌محیطی، برنامه‌ریزی و مدیریت محسوب می‌گردد (وحید قدوسی و همکاران، ۱۴۰۳).

یکی از مهم‌ترین ابزارهای تحلیل این داده‌ها، تکنیک‌های طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای جهت تفکیک کلاس‌های کاربری است (سانچز و همکاران، ۲۰۱۹). در این میان، الگوریتم بیشینه احتمال به دلیل بنیان آماری قوی و قابلیت تفکیک دقیق کلاس‌ها، یکی از معتبرترین روش‌های طبقه‌بندی نظارت‌شده محسوب می‌شود. این الگوریتم با محاسبه احتمال تعلق هر پیکسل به کلاس‌های مختلف، آن را به محتمل‌ترین کلاس نسبت می‌دهد (ریچاردز، ۲۰۱۳). این ویژگی، آن را به ابزاری مناسب برای مطالعه مناطق دارای تنوع کاربری بالا و پراکندگی فضایی پیچیده، مانند شهرستان میاندوآب، تبدیل کرده است.

شهرستان میاندوآب، واقع در جنوب استان آذربایجان غربی، به دلیل موقعیت جغرافیایی ویژه و منابع غنی کشاورزی، طی یک دهه اخیر با تغییرات شدیدی در ساختار کاربری اراضی، از جمله گسترش سکونتگاه‌ها و کاهش باغات، روبه‌رو بوده است. این تحولات، ضرورت تحلیل علمی آن‌ها را دوچندان کرده است. در این راستا، پژوهش حاضر باهدف شناسایی و تحلیل تغییرات مکانی–زمانی کاربری اراضی در شهرستان میاندوآب طی سال‌های ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۴ طراحی شده است. ابزار اصلی این تحقیق، تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ و الگوریتم طبقه‌بندی بیشینه احتمال می‌باشد. با مقایسه نقشه‌های تولیدی، تغییرات در نوع و وسعت کلاس‌های کاربری استخراج و تحلیل خواهد شد تا یافته‌های آن به‌عنوان پایه‌ای برای تصمیم‌سازی در حوزه‌های مدیریت منابع آب، کشاورزی و توسعه شهری مورداستفاده قرار گیرد.

مبانی نظری

تحولات کاربری اراضی از جمله مهم‌ترین و پویاترین نمودهای تغییرات مکانی–زمانی در بستر محیط‌های طبیعی و انسانی به شمار می‌آیند و به‌عنوان شاخصی کلیدی از دگرگونی‌های فضایی، اکولوژیکی و اجتماعی در نظر گرفته می‌شوند. این تغییرات که حاصل تعامل پیچیده‌ای از عوامل انسانی نظیر تمرکز جمعیت، توسعه کالبدی شهرها و بهره‌برداری ناپایدار از منابع، و همچنین عوامل طبیعی مانند تغییرات اقلیمی است، تأثیرات عمیقی بر ساختار فضایی، تعادل هیدرولوژیکی و کارکرد اکوسیستم‌ها می‌گذارند (اسمیراگلیا و همکاران، ۲۰۱۶). ازاین‌رو، در دهه‌های اخیر با افزایش فشار بر منابع زمین، درک دقیق روندها، الگوها و پیامدهای این دگرگونی‌ها برای دستیابی به برنامه‌ریزی مؤثر و تحقق توسعه پایدار، بیش‌ازپیش ضروری شده است. این امر نیازمند تحلیل علمی نظام‌مند و مدل‌سازی پیشرفته برای تفسیر صحیح تغییرات و پیش‌بینی سناریوهای آینده است (بیکیس و همکاران، ۲۰۲۵).

برای شناسایی و تحلیل این تغییرات، سنجش‌ازدور و سیستم اطلاعات جغرافیایی به‌عنوان دو ابزار کلیدی در مطالعه پویایی‌های فضایی به کار می‌روند. این فناوری‌ها، به‌ویژه از طریق تحلیل سری‌های زمانی، امکان پایش مستمر، کم‌هزینه و مقایسه‌پذیر تغییرات کاربری اراضی را در مقیاس‌های مختلف فراهم می‌سازند. تصاویر ماهواره‌ای، به‌ویژه داده‌های آرشیوی و بلندمدت سری لندست، به دلیل پوشش گسترده و باندهای طیفی متنوع، از مهم‌ترین منابع اطلاعاتی در این حوزه به شمار می‌روند. استخراج نقشه‌های دقیق کاربری اراضی از این تصاویر که پایهٔ تحلیل‌های بعدی را تشکیل می‌دهد، نیازمند استفاده از روش‌های طبقه‌بندی پیشرفته و الگوریتم‌های نظارت شده است (ابیجیت و همکاران، ۲۰۲۲).

در میان روش‌های طبقه‌بندی، الگوریتم بیشینه احتمال به دلیل بنیان آماری قوی و عملکرد مطلوب، جایگاه ویژه‌ای دارد. این روش پارامتریک که بر پایه نظریه احتمال بیز عمل می‌کند، با فرض توزیع نرمال (گاوسی) داده‌ها در هر کلاس، احتمال تعلق هر پیکسل به یک کلاس مشخص را محاسبه می‌کند. موفقیت این الگوریتم به انتخاب باندهای طیفی مناسب بستگی دارد که با ایجاد بیشترین تمایز طیفی بین کلاس‌ها، دقت طبقه‌بندی را افزایش دهند (فیری و مورگنروث، ۲۰۱۷). همچنین، کیفیت طبقه‌بندی به طور مستقیم به داده‌های آموزشی دقیق و نماینده‌ای وابسته است که خصوصیات طیفی هر کلاس را به‌درستی منعکس کنند (پرومال و باسکاران، ۲۰۱۰). در نهایت، الگوریتم هر پیکسل را به کلاسی اختصاص می‌دهد که بیشترین احتمال عضویت را در آن داشته باشد (ابیجیت و همکاران، ۲۰۲۲).

پس از تولید نقشه، قابلیت اعتماد به نتایج تحلیل، منوط به ارزیابی دقت آن است که جزءلاینفک هر مطالعه کاربردی در حوزه سنجش‌ازدور محسوب می‌شود. برای سنجش اعتبار نقشه‌های تولیدی، شاخص دقت کلی به‌عنوان یک معیار بنیادی و قابل‌فهم به کار می‌رود. این شاخص، درصد کل پیکسل‌هایی را که طبقه‌بندی آن‌ها با واقعیت زمینی (داده‌های مرجع) مطابقت دارد، مشخص می‌سازد (روانگا و ندامبوکی، ۲۰۱۷). به بیان دیگر، این معیار، تصویری جامع از عملکرد کلی مدل طبقه‌بندی ارائه داده و در تعیین قابلیت اعتماد اولیه نتایج، نقش کلیدی ایفا می‌کند (کارینان‌سی، ۲۰۲۴). بااین‌حال، برای ارزیابی دقیق‌تر، از ضریب کاپا به‌عنوان یک شاخص آماری پیشرفته‌تر استفاده می‌شود. وجه تمایز اصلی ضریب کاپا، توانایی آن در حذف توافق‌هایی است که ممکن است به‌صورت کاملاً تصادفی ایجاد شوند که این ویژگی آن را از معیارهای سنتی متمایز می‌سازد (اسمیت و همکاران، ۱۹۹۹). به همین خاطر، کاپا فراتر از یک معیار دقت عمل کرده و به‌عنوان شاخصی برای سنجش قابلیت اطمینان واقعی و آماری نتایج نیز مورداستفاده قرار می‌گیرد (کارفاگنا و گالگو، ۲۰۰۵). در نهایت، تحلیل تغییرات بین دو یا چند دوره زمانی از طریق مقایسه کلاس‌های کاربری در نقشه‌های طبقه‌بندی‌شده و استخراج ماتریس تغییرات انجام می‌شود که می‌تواند روندها، جهات و شدت تغییرات را آشکار سازد. در مجموع، تحلیل علمی تغییرات کاربری اراضی بر پایه داده‌های ماهواره‌ای و روش‌های پیشرفته طبقه‌بندی، چارچوبی قدرتمند برای درک پویایی‌های سرزمین، شناسایی مخاطرات محیطی و برنامه‌ریزی آگاهانه در مسیر توسعه پایدار فراهم می‌آورد (هنریکس و همکاران، ۲۰۲۳).

پیشینه پژوهش

تاکنون، تحقیقات متعددی در زمینه بررسی تغییرات کاربری اراضی با بهره‌گیری از روش‌های سنجش‌ازدور و مدل‌سازی، در مناطق متفاوت جهان و ایران صورت‌گرفته است. این تحقیقات نشان می‌دهند که ترکیب داده‌های ماهواره‌ای با مدل‌های مختلف، ابزار مؤثری برای شناسایی الگوهای تغییرات کاربری اراضی و پیش‌بینی روندهای آتی است و می‌تواند به تصمیم‌گیران در مدیریت پایدار منابع طبیعی کمک شایانی کند. در ادامه به برخی از این تحقیقات با تفکیک مطالعات خارجی و داخلی اشاره خواهد شد.

کیسامبا و همکاران (۲۰۲۳) در مطالعه‌ای با عنوان تجزیه و مدل‌سازی رشد شهری منطقه دودوما در تانزانیا با استفاده از مدل مجتمع مارکوف نتیجه گرفتند که از سال ۲۰۰۵ تا ۲۰۲۰، مساحت ساخته شده از ۸۶,۱۷ به ۶۱۷,۰۲ کیلومترمربع و آب از ۵,۴۷ به ۱۰,۱۴ کیلومترمربع افزایش‌یافته است. کاهش قابل‌توجهی در زمین‌های برهنه با ۵۱۱ کیلومترمربع و پوشش گیاهی با ۲۴ کیلومترمربع رخ‌داده است. همچنین، نتایج مدل شبیه‌سازی‌شده نشان می‌دهد که در ۱۰ سال آینده از ۲۰۲۰ تا ۲۰۳۰، زمین‌های برهنه ٪۲۶,۹۷ کاهش خواهند یافت، درحالی‌که مناطق ساخته شده ٪۳۹,۹۶ افزایش خواهند یافت، همچنین پوشش گیاهی و آب به ترتیب ۲۷,۵۷ کیلومترمربع و ۰,۲۲ کیلومترمربع افزایش قابل‌توجهی خواهند داشت.

آسیف و همکاران (۲۰۲۳) در مطالعه‌ای با عنوان مدل‌سازی و پیش‌بینی تغییرات کاربری و پوشش زمین با استفاده از اتوماتای سلولی و جنگل تصادفی در بیابان‌های چولستان و تال در پنجاب پاکستان، نتیجه گرفتند که بر اساس تجزیه‌وتحلیل زنجیره مارکوف، انتظار می‌رود مناطق مسکونی با تراکم بالا و تراکم پایین از ۸,۱۲ به ۱۲,۲۶ کیلومترمربع و از ۱۸,۱۰ به ۲۸,۴۵ کیلومترمربع در سال‌های ۲۰۲۲ و ۲۰۳۸ افزایش یابد.

مصطفی و همکاران (۲۰۲۳) در مطالعه‌ای تحت عنوان تجزیه‌وتحلیل روندهای شهرنشینی با استفاده از مدل هیبریدی فرایند تحلیلی سلسله‌مراتبی فازی - اتوماتای سلولی - زنجیره مارکوف و بررسی تأثیر آن بر دمای سطح زمین شهر غربیهٔ، مصر انجام دادند. نتایج نشان‌دهنده تغییر کاربری/پوشش زمین قابل‌توجهی در غربیهٔ طی دوره مطالعه، به‌ویژه توسعه شهری بر روی زمین‌های کشاورزی است و پیش‌بینی می‌شود این روند ادامه یابد. بخش کشاورزی در سال ۱۹۹۱ دارای سهم ۹۱,۲ درصدی بوده و در سال ۲۰۱۸ به ۸۳,۷ درصد کاهش‌یافته است. انتظار می‌رود مساحت ساخته‌شده تا سال ۲۰۴۸ نسبت به سال ۲۰۱۸ تقریباً دوبرابر شود. تحلیل رگرسیون افزایش دمای سطح زمین را به دلیل شهرنشینی و ایجاد پدیده جزیره گرمایی شهری نشان داد.

ژانگ و همکاران (۲۰۲۳) در مطالعه‌ای با عنوان مدل تصادفی جنگل - اتوماتای سلولی - مارکوف برای بررسی پویایی تغییرات کاربری/پوشش اراضی با کمک سنجش‌ازدور و GIS به این نتیجه دست یافتند که روند شهرنشینی با افزایش جمعیت و تولید ناخالص داخلی ممکن است پیچیده‌تر شود و تکامل کاربری زمین با برنامه‌های فضایی علمی که امکانات مردم و حفاظت از محیط‌زیست را در نظر می‌گیرند، پایدارتر خواهد بود.

عبدالکریم و همکاران (۲۰۲۲) در مطالعه‌ای با موضوع مدل پیش‌بینی مکانی زمانی پوشش اراضی محور متصل‌کننده شهر - روستا بین شهرهای عرعر و الخرج در استان مرکزی عربستان سعودی در سال ۲۰۳۰ با استفاده از تلفیق مدل سلولار اتوماتا - زنجیره مارکوف، سیستم اطلاعات جغرافیایی - چندمعیاره و تحلیل سلسله‌مراتبی نتیجه گرفتند که مطالعه تغییرات گسترده‌ای را در پوشش زمین بین ریاض و الخُرج نشان می‌دهد. حدود ۶۰ کیلومترمربع از اراضی کشاورزی ازدست‌رفته است که به طور متوسط سالانه ۲ کیلومترمربع کاهش داشته است. مناطق صنعتی و شهری با نرخ ٪۴ افزایش یافته‌اند همچنین محتمل‌ترین کاربری زمین در سال ۲۰۳۰، کاربری صنعتی خواهد بود. این نتیجه بر اساس افزایش ۲۷,۱ کیلومترمربعی این کاربری نسبت به سال ۲۰۲۰ به‌دست‌آمده است.

آبیتیج و سروانان (۲۰۲۲) در مطالعه‌ای با موضوع ارزیابی تشخیص و پیش‌بینی تغییرات کاربری و پوشش زمین با استفاده از سنجش‌ازدور و مدل CA-Markov در مناطق ساحلی شمالی تامیل نادو، هند انجام دادند و نتیجه گرفتند که کاهش سطح آب و افزایش مناطق ساخته شده مشاهده می‌شود. همچنین مشخص شد که اراضی بایر و پوشش گیاهی تحت‌فشار قرار گرفته و به مناطق ساخته شده تبدیل می‌شوند. دقت کلی این مطالعه بیش از ۸۹ درصد و ضریب کاپا بیش از ۸۷ درصد بود.

بشیر و همکاران (۲۰۲۲) در مطالعه‌ای تحت عنوان شبیه‌سازی تغییرات مکانی - زمانی در کاربری و پوشش اراضی منطقه شمال غربی هیمالیا با استفاده از تحلیل زنجیره مارکوف نتیجه گرفتند که در دوره ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰، افزایش مساحت باغداری، شهرنشینی و مناطق ساخته شده و کاهش پوشش برف، جنگل، زمین‌های کشاورزی و توده‌های آبی رخ‌داده است.

ژانگ و همکاران (۲۰۲۲) در مطالعه‌ای تحت عنوان شبیه‌سازی تغییرات کاربری اراضی در مناطق در حال گسترش شهرنشینی سریع در مناطق شهری ووهان با استفاده از مدل جفت شدهٔ زنجیره مارکوف - شبکه عصبی مصنوعی و اتومات سلولی نتیجه گرفتند که کاربری اراضی شبیه‌سازی‌شدهٔ مناطق شهری ووهان نشان می‌دهد که سطوح مصنوعی همچنان گسترش خواهند یافت و حوالی سال ۲۰۳۰ نسبت به ۲۰۲۰ حدود ۷ درصد افزایش مساحت خواهند داشت. علاوه بر این، مساحت فضاهای سبز شهری نیز تقریباً ۷ درصد افزایش خواهد یافت، درحالی‌که مساحت توده‌های آبی، چمنزارها، زمین‌های زراعی و جنگل‌ها به ترتیب ٪۱۲,۶، ٪۱۳,۶، ٪۳۴,۹ و ٪۱,۳ از سال ۲۰۲۰ تا ۲۰۳۰ کاهش خواهد یافت.

انتاکیروتیمانا و ونساروچانا (۲۰۲۱) در مطالعه‌ای با موضوع ارزیابی و پیش‌بینی تغییرات کاربری/پوشش اراضی در پایتخت بوروندی با استفاده از داده‌های چند زمانی لندست و مدل اتوماتای سلولی زنجیره مارکوف به این نتیجه رسیدند که افزایش قابل‌توجهی در کاربری کشاورزی به میزان ۹۴ کیلومترمربع، افزایش جزئی در کاربری اراضی بوته‌زار و مناطق ساخته‌شده شهری به ترتیب ۵,۵ کیلومترمربع و ۲ کیلومترمربع و کاهش شدید در پوشش درختی و چمنزار به ترتیب به میزان ۶۲,۵ کیلومترمربع و ۳۹ کیلومترمربع رخ‌داده است. همچنین مدل‌های زنجیره مارکوف و اتوماتای سلولی با استفاده از نقشهٔ پایهٔ ۲۰۱۹ برای شبیه‌سازی تغییرات کاربری اراضی در سال‌های ۲۰۳۸ و ۲۰۵۷ کالیبره شدند. ارزیابی و تحلیل نتایج شبیه‌سازی ۲۰۵۷-۲۰۱۹ توافق متوسط (٪۷۵ کاپا) و همچنین روندهای مشابهی از تغییرات کاربری اراضی نشان داد: پوشش درختی، چمنزار و اراضی بوته‌زار به ترتیب ۱۱,۵ کیلومترمربع، ۱۳ کیلومترمربع و ۱۱,۵ کیلومترمربع کاهش خواهند یافت، درحالی‌که اراضی کشاورزی و مناطق ساخته‌شده به ترتیب تا سال ۲۰۵۷ به میزان ۳۰ کیلومترمربع و ۶ کیلومترمربع افزایش می‌یابند.

روبن و همکاران (۲۰۲۰) در مطالعه‌ای تحت عنوان تحلیل و پیش‌بینی پویایی کاربری/پوشش زمین با استفاده از شبیه‌سازی‌های مبتنی بر سناریو و مدل اتوماتای سلولی مطالعه موردی حوضه آبگیر گوانتینگ، چین نتیجه گرفتند که اراضی ساخته شده از ۲,۶ درصد در ۱۹۸۰ به ۵,۲۶ درصد در ۲۰۱۰ افزایش‌یافته است، درحالی‌که اراضی کشاورزی، مراتع و توده آب کاهش‌یافته است. به‌طورکلی، مراتع، اراضی کشاورزی و جنگل‌ها از ۱۹۸۰ تا ۲۰۱۰ به مناطق ساخته شده تبدیل شده‌اند. مدل افزایش چشمگیر اراضی ساخته شده را پیش‌بینی می‌کند که از ۲۲۹۶,۹۸ کیلومترمربع (۵,۲۶ درصد) در سال ۲۰۱۰ به ۱۱۷۵۷,۳۵ کیلومترمربع (۲۶,۹۳ درصد) در سال ۲۰۹۰ افزایش می‌یابد.

زیاری و ایرجی (۱۴۰۱) در مطالعه خود که با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و مدل مارکوف به بررسی گسترش کالبدی - فضایی کلان‌شهر شیراز پرداختند، به این نتیجه رسیدند که مساحت کالبدی شهر شیراز طی ۳۶ سال گذشته ۹۰ درصد رشد داشته و به ۱۹۷۷۸ هکتار رسیده است. همچنین این نتیجه نیز حاصل شد که در ۴۰ سال آینده مساحت شهری با رشد ۳۵ درصدی به ۴۱۵۰۶ هکتار خواهد رسید.

علی‌آباد و همکاران (۱۴۰۰) در مطالعه‌ای تغییرات پوشش زمین در ناحیه شیرکوه را با استفاده از مدل ترکیبی زنجیره مارکوف و سلول‌های خودکار بررسی کردند و به این نتیجه رسیدند که کاربری اراضی طی ۱۶ سال تحقیق (۲۰۱۶-۲۰۰۰) دچار دگرگونی شده است. نتایج روند تغییرات نشان داد که به طور متوسط ۱۶۱,۸۵ هکتار از مساحت مرتع سالانه، ۱۳۱,۱۴ هکتار از مراتع فقیر و ۷,۷۲ هکتار از اراضی کشاورزی کاهش و ۴۵,۱۶ هکتار کاربری شهری و ۲۶۵,۷۲ هکتار از مناطق تپه‌ماهور را شامل شد. باتوجه‌به اینکه مناطق کوهستانی پوشش مرتعی بیشتری دارند، افزایش مساحت کوهستانی به دلیل کاهش سطح مرتع است. نتایج پیش‌بینی پوشش زمین در سال ۲۰۲۴ نشان داد که ۰,۵۵ درصد کاربری کشاورزی، ۰,۸۲ درصد مراتع غنی، ۰,۸۰ درصد مراتع فقیر، ۰,۵۱ درصد زمین‌شهری و ۰,۹۷ درصد کوه باقی نمی‌مانند. احتمال تبدیل اراضی کشاورزی به مراتع مسکونی و ضعیف ۰,۴۰ درصد است.

اصغری و همکاران (۱۳۹۹) در مطالعه‌ای با مدل زنجیره مارکوف، روند تغییر کاربری اراضی یاسوج را پیش‌بینی کردند و دریافتند که بین سال‌های ۱۹۹۱ تا ۲۰۱۸، مساحت مرتع ۱۸,۷ درصد کاهش‌یافته و مساحت منطقه مسکونی ٪۲,۰۲ افزایش‌یافته است. به‌این‌ترتیب گسترش شهر یاسوج باعث افزایش استفاده از اراضی مسکونی و کشاورزی برای آبیاری و استفاده از علفزارها، جنگل‌ها، کشت جنگل‌های بارانی، دیم و باغ‌ها شد. همچنین روند توسعه شهر نشان‌دهنده گرایش گسترش کالبدی - فضایی شهر یاسوج در همه ابعاد است. نقشه‌های کاربری اراضی برای سال‌های ۲۰۳۰ و ۲۰۴۰ با مدل زنجیره مارکوف پیش‌بینی‌شده است. نتایج نشان می‌دهد که بین سال‌های ۲۰۱۸ تا ۲۰۴۰، مناطق مرتع و حیات‌وحش و اراضی جنگلی به ترتیب ۱,۰۸، ۱,۶۳ و ۱,۴۷ درصد کاهش خواهند یافت و گسترش مناطق مسکونی ۱۷,۴ درصد و مساحت آبی منطقه به مقدار خیلی کمی تغییر خواهد داشت.

محمودآبادی و همکاران (۱۳۹۹) در مطالعه‌ای که بر اساس روش زنجیره مارکوف سلولی در دشت سیرجان انجام شد، به این نتیجه رسیدند که بیش از ۹۰ درصد منطقه موردمطالعه را باتلاق‌ها و باتلاق‌های نمکی تشکیل می‌دهد که نشان‌دهنده حساسیت اکوسیستم منطقه به بیابان‌زایی است. نتایج برای شناسایی تغییرات بین سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۱۷ نشان داد که اراضی بایر ۷۸۶۶,۷۵ هکتار (۴,۴۷ درصد) کاهش‌یافته است. در مقابل ۱۷۱۹,۷۸ هکتار (۱۴,۲۱ درصد) از اراضی شور، ۱۲۴۴,۵۰ اراضی دست‌ساز شهری (۲۷۵,۵۲ درصد) و ۴۹۰۲,۴۸ هکتار (۴۳,۱۷ درصد) از اراضی کشاورزی با روند افزایشی روبرو هستند. نتایج پیش‌بینی‌ها نشان می‌دهد که تا سال ۲۰۲۶ سطح اراضی بایر ۳۷۹۲,۴۸ هکتار، سطح اراضی شور ۳۱۵,۷۴ هکتار، اراضی دست‌ساز شهری ۲۹۱,۵۱ هکتار و کشاورزی ۳۱۸۵,۲۳ هکتار افزایش می‌یابد.

ثابت و همکاران (۱۳۹۸) در مطالعه موردی محور مواصلاتی کلان‌شهر تهران - دماوند با استفاده از مدل مارکوف سلولی، به این نتیجه رسیدند که بیشتر تغییرات مربوط به کلاس‌بندی‌ها در جاده‌ها، کاربری مسکونی و غیرمسکونی است. بیشترین تغییرات مربوط به مسکن با ۹,۰۶ درصد و راه با ۱ درصد بوده و این روند افزایشی منجر به کاهش ۹,۰۷ درصدی و ۰,۱ درصدی در دودسته کوه و چمن و پوشش گیاهی شده است. بیشتر پوشش گیاهی و زمین‌های زراعی منطقه موردبررسی به شهرهای صنعتی و ویلاهای تفریحی تبدیل شده است. باتوجه‌به چنین تغییراتی، زنجیره مارکوف توانایی خوبی در پیش‌بینی احتمال تغییرات دارد و هدف آن پیش‌بینی تغییرات کاربری زمین است، درحالی‌که اتوماتای سلولی روشی قدرتمند برای تشخیص تغییرات در مؤلفه فضایی است.

اسدزاده و همکارن (۱۳۹۷) در مطالعه‌ای در محدوده دریاچه ارومیه با استفاده از روش مارکوف و سلول‌های خودکار، تغییرات کاربری اراضی را در یک دوره ۱۵ساله در این منطقه موردمطالعه قراردادند و به این نتیجه رسیدند که کاربری اراضی مرتبط با آب در این مدت در مناطقی تغییر کرده است. مدل‌سازی تغییر کاربری اراضی در منطقه از سال ۲۰۲۰ تا سال ۲۰۳۵ با استفاده از تخمین‌گر گذار مارکوف نشان می‌دهد که استفاده از مزارع، اراضی آبی و دیم، سکونتگاه‌های روستایی و منابع آبی در حال کاهش است و استفاده از مرتع و اراضی شور در حال افزایش است. درصد افزایش سطح مرتع ۱۱,۱۳، درصد کاهش سطح کشاورزی و مزارع آبی ۳۲,۵۱، نسبت اراضی دیم ۱۷,۵۶ است.

یوسفی و همکاران (۱۳۹۶) در تحقیقی که با استفاده از روش مارکوف و سلول‌های خودکار انجام دادند، به تحلیل و مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از داده‌های سنجش‌ازدور پرداختند و به نتیجه رسیدند که مناطق کشاورزی با آبیاری و خشک، در حال کاهش هستند و مناطق شهری و بایر در حال افزایش هستند. به طور دقیق‌تر، اراضی کشاورزی با آبیاری و باغات و خشک از ۳۰,۹ درصد کل مساحت موردمطالعه در سال ۱۳۷۹ به ۱۸,۴ درصد کاهش‌یافته و اراضی شهری از ۶,۷ درصد به حدود ۱۱,۵ درصد در سال ۱۴۰۷ افزایش خواهند یافت.

کریمی و همکاران (۱۳۹۵) در یک تحقیق مختص به نظارت بر تغییرات کاربری اراضی در دشت بندرعباس، از مدل زنجیره‌ای مارکوف به‌منظور پیش‌بینی آن استفاده شد و به این نتیجه رسیدند که کشاورزی به‌عنوان فعال‌ترین کاربری در این منطقه حضور دارد و طی دوره ۱۳۶۸ تا ۱۳۹۲، با روند صعودی، مساحت آن ۴۳۳۷ هکتار (۷,۱۲ درصد) افزایش‌یافته است. همچنین، تغییرات کاربری مرتع در همان دوره به سمت کاهش با روند نزولی تغییر کرده و مساحت ۶۵۷۳ هکتار (۳,۱۹ درصد) از این نوع اراضی کاهش‌یافته است. نتایج آنالیز زنجیره مارکوف در دوره ۱۳۶۸ تا ۱۳۸۲ به‌عنوان مرحله کالیبراسیون مدل مورداستفاده قرار گرفته و از نقشه‌های سال‌های

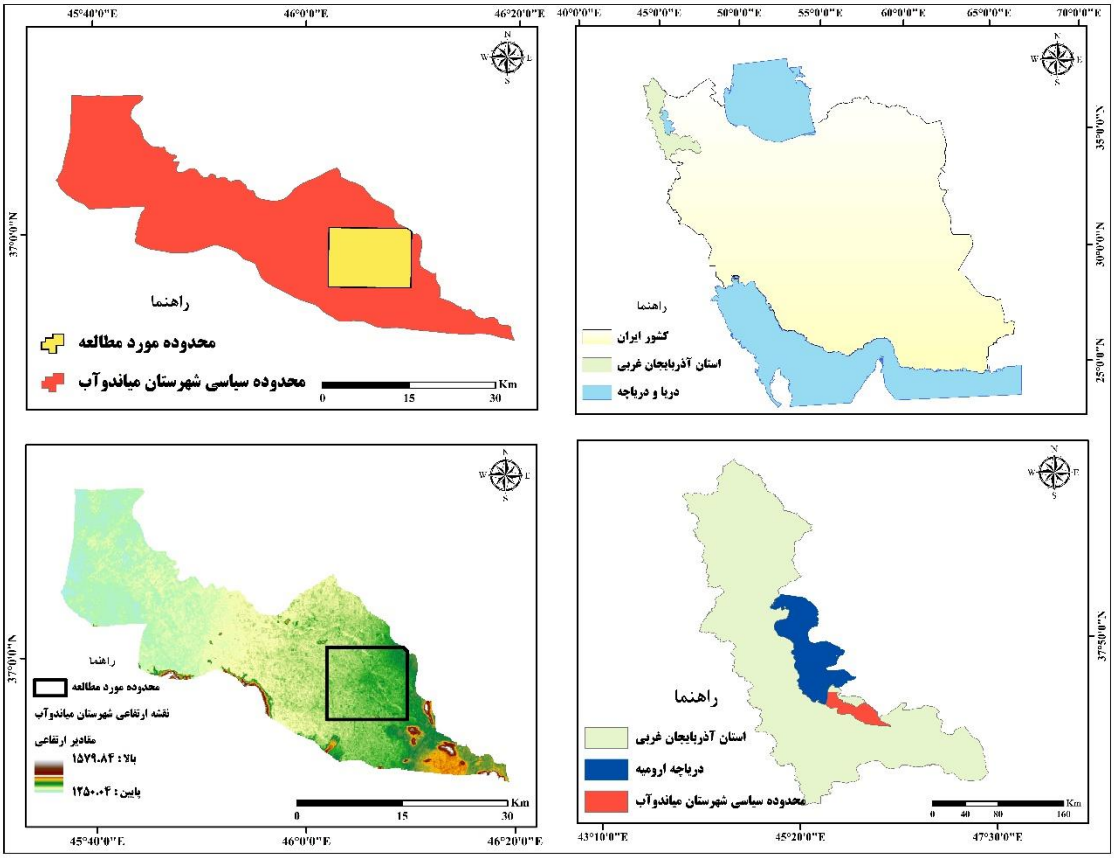
۱۳۸۲ تا ۱۳۹۲ و ماتریس آن برای پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی در سال ۱۴۰۲ با ضریب کاپای ٪۸۰ استفاده شد. براین‌اساس، در سال ۱۴۰۲، ٪۴۹,۱ از منطقه به کاربری کشاورزی و ٪۱۰,۱ نیز به کاربری مرتع اختصاص‌یافته است که نشان‌دهنده تغییرات جاری در کاربری اراضی به سمت کاربری کشاورزی است.

فرج‌اللهی و همکاران (۱۳۹۴) در یک تحقیق حاصل از بررسی و پیش‌بینی تغییرات مکانی و زمانی کاربری/پوشش اراضی در منطقه مراوه‌تپه گلستان، به این نتیجه رسیدند که در دوره زمانی ۱۳۹۳ تا ۱۴۰۷، احتمالاً مساحت‌های کاربری جنگل نیمه متراکم و مرتع متراکم کاهش خواهند یافت، درحالی‌که مساحت‌های کاربری‌های دیگر باتوجه‌به نتایج پیش‌بینی مدل افزایش خواهد یافت. افزایش بیشترین مربوط به کاربری کشاورزی با نرخ ۸۹,۲۵ هکتار در سال است.

کریمی و همکاران (۱۳۹۴) در یک تحقیق، به بررسی الگوی تغییرات کاربری اراضی در دشت بسطاق پرداخته شد و نتیجه گرفته شد که طبقه‌های بدون پوشش/ بایر و مرتع، دارای فعالیت بیشتری در این منطقه هستند. درصد مساحت این اراضی در دوره ۱۳۶۶ تا ۱۳۹۳ به ترتیب به‌اندازه ٪۲۱,۶۴ (افزایش) و ٪۳۱,۱۴ (کاهش) تغییر کرده است که نشان‌دهنده تخریب کلی و جایگزینی کاربری‌های ضعیف‌تر در منطقه است. نتایج پیش‌بینی تغییرات در بازه زمانی ۱۳۹۳-۱۴۰۳ نشان می‌دهد که احتمالاً ٪۹۸ از اراضی مسکونی، ٪۸۸ از اراضی بدون پوشش، ٪۷۷ از اراضی شور، ٪۴۵ از اراضی مرتعی و ٪۳۷ از اراضی کشاورزی بدون تغییر باقی می‌مانند. همچنین، تبدیل مرتع به اراضی بدون پوشش با بالاترین احتمال (٪۴۱,۹۴) و تبدیل اراضی بدون پوشش به اراضی مسکونی (٪۰,۰۲)، مرتع به اراضی مسکونی (٪۰,۰۳)، دارای کمترین احتمال تغییر هستند.

معرفی محدوده موردمطالعه

محدوده موردمطالعه در این پژوهش، شهرستان میاندوآب واقع در جنوب استان آذربایجان غربی است. این شهرستان با وسعتی قابل‌توجه و تنوع کاربری اراضی، به‌عنوان یکی از مناطق مهم کشاورزی و تولید محصولات باغی در شمال غرب کشور شناخته می‌شود. موقعیت جغرافیایی میاندوآب بین مدارهای °۳۶ تا °۳۷ عرض شمالی و °۴۵ تا °۴۶ طول شرقی قرار دارد و از شمال به استان آذربایجان شرقی، از جنوب به شهرستان بوکان و از غرب به شهرستان مهاباد محدود می‌شود. از نظر توپوگرافی، میاندوآب عمدتاً دارای دشت‌های هموار و اراضی کشاورزی حاصلخیز است که توسط رودخانه‌های زرینه‌رود و سیمینه‌رود آبیاری می‌شوند. این دو رودخانه، با تأمین آب کشاورزی و تغذیه سفره‌های زیرزمینی، نقش بسیار مهمی در پایداری اقتصادی و زیست‌محیطی منطقه ایفا می‌کنند. اقلیم منطقه نیمه‌خشک با تابستان‌های گرم و زمستان‌های سرد است. این شرایط اقلیمی، در کنار توسعه شهری و افزایش جمعیت، سبب بروز تغییرات قابل‌توجهی در کاربری اراضی طی سال‌های اخیر شده است. شهرستان میاندوآب با برخورداری از زمین‌های زراعی و باغی گسترده، مناطق ساخته‌شده شهری و روستایی، اراضی بایر، منابع آبی سطحی، و در برخی مناطق خاک‌های شور و نمکزار، تنوع کاملی از کلاس‌های کاربری را ارائه می‌دهد. این تنوع، منطقه را به نمونه‌ای مناسب برای مطالعه تغییرات کاربری اراضی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و تحلیل‌های مکانی تبدیل کرده است. در پژوهش حاضر، ارزیابی تغییرات کاربری اراضی و تحلیل وضعیت کاربری اراضی این منطقه در دو مقطع زمانی ۲۰۱۳ و ۲۰۲۴ انجام شده و تلاش شده است تا تغییرات رخ‌داده با رویکردی دقیق و کمی بررسی گردد. در این پژوهش محدوده موردمطالعه با توجه شکل ۱ بخشی از محدوده شهرستان میاندوآب جهت ارزیابی و تحلیل تغییرات باغات و زمین‌های اطراف انتخاب گردید.



شکل ۱. (نقشه محدوده مورد مطالعه) مأخذ: یافته های پژوهش

روش پژوهش

پژوهش حاضر باهدف اصلی شناسایی و تحلیل تغییرات مکانی–زمانی کاربری اراضی در شهرستان میاندوآب و در نهایت پیش‌بینی روندهای آتی آن، در چارچوب یک تحقیق کاربردی قرار می‌گیرد. رویکرد کلی تحقیق، کمی بوده و بر پایه تحلیل داده‌های سنجش‌ازدور و مدل‌سازی مکانی استوار است.

هدف پژوهش

هدف اصلی این تحقیق، آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی شهرستان میاندوآب طی بازه زمانی ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۴، شناسایی الگوهای غالب این تغییرات و درک نیروهای محرکه اصلی و تحلیل آن است. این تحلیل‌ها باتوجه‌به تأثیرات محیط‌زیستی و اجتماعی تغییرات کاربری اراضی، به ارزیابی ابعاد مختلف این تحولات در مقیاس منطقه‌ای می‌پردازند.

نحوه گردآوری داده‌ها

داده‌های موردنیاز این پژوهش از دو طریق اصلی گردآوری شده‌اند:

داده‌های ماهواره‌ای: به‌عنوان منبع اصلی اطلاعات مکانی، از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ سنجنده (OLI/TIRS) استفاده شده است. این تصاویر به دلیل پوشش گسترده، تناوب زمانی مناسب، دسترسی رایگان و باندهای طیفی متنوع، برای مطالعات تغییرات کاربری اراضی بسیار مناسب هستند. تصاویر مربوط به دو مقطع زمانی، سال ۲۰۱۳ و ۲۰۲۴، برای تحلیل تغییرات تاریخی انتخاب شدند. مشخصات دقیق تصاویر در جدول ۱ ارائه شده است.

داده‌های کمکی و میدانی: برای تعریف کلاس‌های کاربری، انتخاب نمونه‌های آموزشی برای الگوریتم طبقه‌بندی و همچنین برای ارزیابی صحت نقشه‌های تولیدی، از داده‌های کمکی نظیر نقشه‌های موجود، تصاویر با وضوح‌بالای گوگل ارث و بازدیدهای میدانی محدود (در صورت لزوم و برای رفع ابهام در مناطق خاص) استفاده شده است.

جدول (۱): مشخصات تصاویر لندست استفاده شده برای تهیه نقشه های طبقه‌بندی (ماخذ یافته های پژوهش ۱۴۰۴)

سال	تاریخ اخذ تصویر	سنجنده	نوع باند	نام تصویر
۲۰۱۳	۲۰۱۳/۰۷/۱۰	لندست ۸	رفلکتنس	LC08_L2SP_168034_20130710_20200912_02_T1
۲۰۲٤	۲۰۲۴/۰۷/۰۸	لندست ۸	رفلکتنس	LC08_L2SP_168034_20240708_20240718_02_T1

روش تجزیه‌وتحلیل داده‌ها

فرایند تجزیه‌وتحلیل داده‌ها در این پژوهش شامل چندین مرحله به شرح زیر است:

برای پیش‌پردازش تصاویر ماهواره‌ای تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ باید قبل از طبقه‌بندی، تحت پیش‌پردازش‌های لازم نظیر تصحیحات رادیومتریکی تبدیل مقادیر عددی به رفلکتنس و تصحیحات اتمسفری قرار بگیرند تا اثرات ناشی از اتمسفر و خطاهای سنجنده به حداقل برسد که در تصاویر مورداستفاده برای این پژوهش تصاویر از قبل و توسط انتشاردهندگان تحت تصیححات ذکر شده قرار گرفته‌اند.

طبقه‌بندی تصاویر: برای تولید نقشه‌های کاربری اراضی از تصاویر پیش‌پردازش شده، از الگوریتم طبقه‌بندی نظارت شده بیشینه احتمال استفاده شد. این روش بر اساس احتمال تعلق هر پیکسل به کلاس‌های مختلف کاربری، طبقه‌بندی را انجام می‌دهد. به‌منظور ایجاد مدل طبقه‌بندی، ابتدا نمونه‌های آموزشی معرف برای هر یک از کلاس‌های کاربری اراضی (مانند مناطق ساخته‌شده، مزارع، باغات، آب، خاک و...) با استفاده از داده‌های کمکی و بازدید میدانی، بادقت انتخاب و تعریف شدند. سپس این نمونه‌ها برای آموزش مدل طبقه‌بندی به کار گرفته شدند. در نهایت، نقشه‌های کاربری اراضی برای سال‌های ۲۰۱۳ و ۲۰۲۴ به طور جداگانه تولید گردید.

ارزیابی دقت طبقه‌بندی: به‌منظور سنجش صحت و قابلیت اعتماد نقشه‌های کاربری اراضی تولید شده، از شاخص‌های آماری دقت کلی و ضریب کاپا استفاده شد. برای این ارزیابی، مجموعه‌ای از نقاط کنترل زمینی مستقل (متفاوت از نمونه‌های آموزشی) انتخاب و با نتایج طبقه‌بندی مقایسه شدند.

آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی (۲۰۱۳-۲۰۲۴): پس از اطمینان از دقت قابل‌قبول نقشه‌های طبقه‌بندی‌شده، تغییرات کاربری اراضی بین دو بازه زمانی منتخب (۲۰۱۳ و ۲۰۲۴) با استفاده از روش مقایسه پس از طبقه‌بندی محاسبه و تحلیل شد. این مرحله شامل تحلیل تغییرات مساحت کلاس‌های مختلف و شناسایی الگوهای غالب تبدیل بین کلاس‌ها بود.

تحلیل پیامدها: در نهایت، باتوجه‌به تغییرات مشاهده‌شده و پیش‌بینی‌شده، به تحلیل پیامدهای این تحولات بر ساختار فضایی، منابع طبیعی و پایداری توسعه در شهرستان میاندوآب پرداخته شد.

نرم‌افزارهای مورداستفاده

برای پردازش تصاویر ماهواره‌ای، طبقه‌بندی، تحلیل‌های مکانی و مدل‌سازی از نرم‌افزارهای تخصصی سنجش‌ازدور و سیستم اطلاعات جغرافیایی مانند Qgis و گوگل ارث انجین استفاده شده است.

تجزیه‌وتحلیل داده‌ها

فرایند طبقه‌بندی نقشه‌های کاربری اراضی برای سال‌های ۲۰۱۳ و ۲۰۲۴ با استفاده از الگوریتم بیشینه احتمال انجام گرفت؛ روشی که از دقیق‌ترین و پرکاربردترین تکنیک‌های طبقه‌بندی در حوزه سنجش‌ازدور به شمار می‌رود. این روش بر پایهٔ تحلیل آماری داده‌های طیفی و فرض توزیع نرمال کلاس‌ها، پیکسل‌ها را به آن دسته‌ای از کلاس‌ها اختصاص می‌دهد که بیشترین احتمال تعلق را دارند. برای اجرای این طبقه‌بندی، ابتدا مجموعه‌ای از داده‌های آموزشی بادقت بالا برای هر سال تدوین شد تا مدل بتواند ویژگی‌های طیفی هر کلاس را با حداکثر دقت بیاموزد. در ادامه، الگوریتم بیشینه احتمال بر روی داده‌ها اعمال شده و نقشه‌های کاربری اراضی نهایی برای سال‌های هدف تولید گردید.

در هر دو مقطع زمانی، هشت کلاس اصلی کاربری اراضی شناسایی و استخراج شد که شامل موارد زیر است:

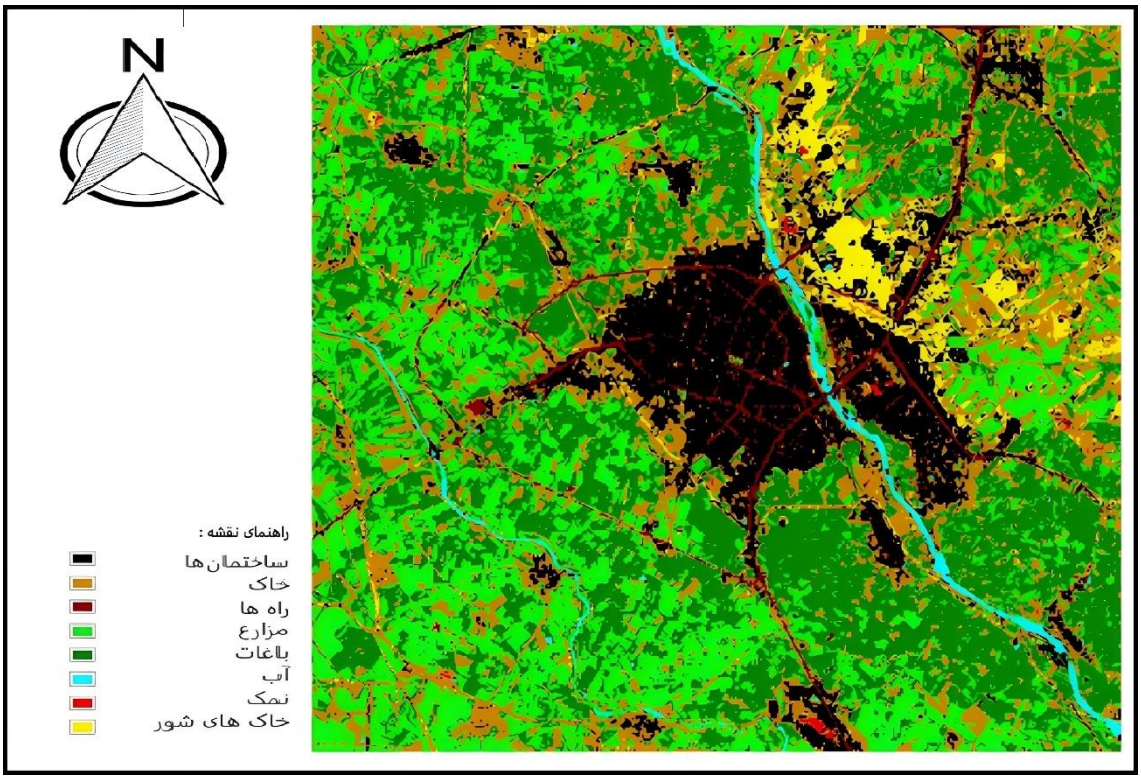
۱. **ساختمان‌ها:** شامل کاربری‌های مسکونی، صنعتی، شهری و دیگر ساخت‌وسازهای انسانی؛
۲. **خاک:** زمین‌های بدون پوشش گیاهی، همچون اراضی بایر یا آماده‌سازی نشده برای کشت؛
۳. **جاده‌ها:** شامل تمامی مسیرهای ارتباطی اصلی، فرعی و مسیرهای دسترسی؛
۴. **مزارع:** زمین‌های زراعی با پوشش‌های گیاهی فصلی و کشاورزی سنتی؛
۵. **باغات:** اراضی دارای پوشش دائمی باغی مانند درختان میوه؛
۶. **آب:** منابع آبی سطحی از جمله رودخانه‌ها، مخازن، و دریاچه‌ها؛
۷. **نمک:** مناطق دارای رسوبات نمکی و پهنه‌های تبخیری؛
۸. **خاک‌های شور:** نواحی دارای غلظت بالای نمک در خاک که مانع بهره‌برداری کشاورزی مؤثر می‌شوند.

این دسته‌بندی باهدف بازتاب دقیق الگوهای غالب کاربری اراضی در شهرستان میاندوآب و فراهم‌سازی بستر مناسب برای تحلیل‌های آتی تغییرات و پیش‌بینی روندها انتخاب شده‌اند.

نقشه طبقه‌بندی کاربری اراضی مربوط به سال ۲۰۱۳

طبقه‌بندی سال ۲۰۱۳ نیز با بهره‌گیری از داده‌های ماهواره‌ای لندست ۸ و اجرای الگوریتم بیشینه احتمال صورت پذیرفت. در این مرحله، هشت کلاس کاربری مبتنی بر ویژگی‌های اکولوژیکی و نوع بهره‌برداری رایج در منطقه تعیین و جداسازی شدند. نقشه خروجی که در شکل ۲ نمایش داده شده، تصویری دقیق از توزیع فضایی کلاس‌های کاربری در آن سال را ارائه می‌دهد و به‌عنوان یکی از ورودی‌های محوری در تحلیل‌های تغییرات بعدی مورد استفاده قرار گرفته است.

در فرایند تولید این نقشه، از داده‌های آموزشی دقیق و انتخاب باندهای بازتابی مناسب از سنجنده لندست ۸ استفاده شد تا دقت نهایی طبقه‌بندی افزایش یابد و نتایج حاصل از تحلیل‌های مکانی دارای اعتبار علمی بالاتری باشند.



شکل (۲): تصویر طبقه‌بندی کاربری اراضی با استفاده از الگوریتم بیشینه احتمال سال ۲۰۱۳ (ماخذ یافته های پژوهش ۱۴۰۴)

برای ارزیابی دقت نقشه طبقه‌بندی سال ۲۰۱۳، طبق جدول (۲) با استفاده از نقاط نمونه مرجع، صحت کلی طبقه‌بندی برابر با ۹۴/۰۷۴۱ درصد به دست آمد. ضریب کاپای محاسبه‌شده نیز ۰/۹۲۹۱ می باشد که نشان‌دهنده توافق مورد قبول بین نقشه طبقه‌بندی‌شده و داده‌های مرجع است. این مقدار، بیانگر دقت رو به بالا در تمایز کلاس‌ها بوده و نشان می‌دهد که الگوریتم بیشینه احتمال در سال ۲۰۱۳ عملکردی موفق در طبقه‌بندی کلاس‌های هشت‌گانه منطقه داشته است.

جدول (۲) مقادیر دقت طبقه‌بندی سال ۲۰۱۳ (ماخذ یافته های پژوهش ۱۴۰۴)

دقت کلی[1]	**٪۹۴/۰۷۴۱ (۲۵۴/۲۷۰)**
ضریب کاپا[2]	**۰/۹۲۹۱**

جدول (۳) اطلاعات مربوط به مساحت هر یک از کلاس‌های کاربری اراضی در سال ۲۰۱۳ را نشان می‌دهد. این اطلاعات از طریق طبقه‌بندی تصویر ماهواره‌ای لندست مربوط به همان سال و با استفاده از الگوریتم بیشینه احتمال استخراج شده‌اند و به‌خوبی توزیع فضایی کلاس‌های مختلف کاربری در محدوده جغرافیایی بخشی از شهرستان میاندوآب را بازتاب می‌دهند.

بر اساس نتایج به‌دست‌آمده، کلاس باغات (کلاس ۵) با مساحت ۳۸۱۰,۶۹ هکتار، بیشترین سطح را در میان سایر کلاس‌ها دارد. این مسئله گویای نقش مهم باغات در الگوی فضایی اراضی منطقه در سال ۲۰۱۳ است. پس از آن، مزارع (کلاس ۴) با وسعت ۳۱۸۳,۳۹ هکتار در جایگاه دوم قرار می‌گیرد که نشان‌دهنده سهم بالای فعالیت‌های زراعی در ساختار کاربری اراضی منطقه است. اراضی خاکی (کلاس ۲) با ۲۴۶۹,۸۷ هکتار، سومین کلاس غالب هستند که احتمالاً شامل زمین‌های بایر، مناطق آماده‌سازی نشده یا بدون پوشش گیاهی هستند. در ادامه، ساختمان‌ها (کلاس ۱) با ۱۵۰۳ هکتار قرار دارند که حاکی از آن است که در این سال، روند توسعه فیزیکی و گسترش سکونتگاه‌های انسانی هنوز به‌صورت گسترده در منطقه شکل نگرفته و سهم آن نسبت به اراضی کشاورزی کمتر بوده است. جاده‌ها (کلاس ۳) با مساحتی برابر با ۲۴۶,۷۸ هکتار بخش کوچکی از منطقه را پوشش می‌دهند که باتوجه‌به ماهیت خطی این کلاس،

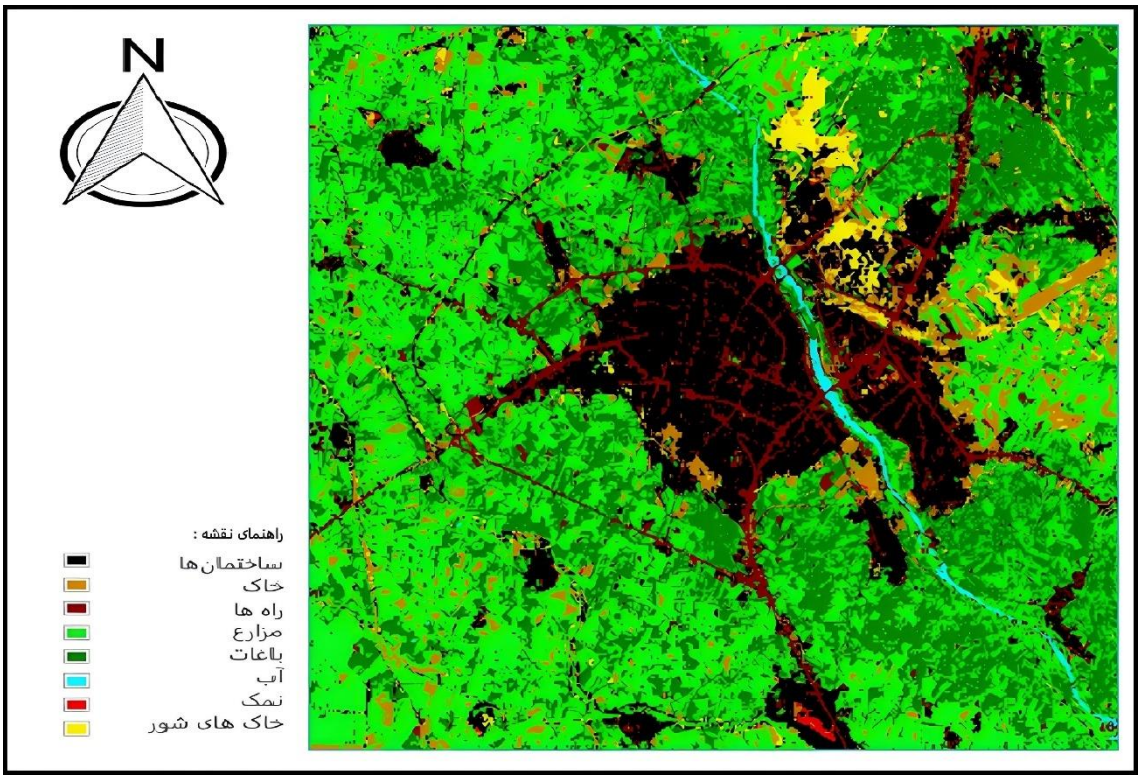
تطابق آن با ساختار حمل‌ونقل منطقه قابل‌توجیه است. منابع آبی سطحی (کلاس ۶) نیز با ۱۵۲,۷۳ هکتار نمایانگر رودخانه‌ها، تالاب‌ها و سایر پهنه‌های آبی موجود در منطقه هستند که در اقلیم نیمه‌خشک منطقه از اهمیت بالایی برخوردارند. در انتهای طیف، نمکزارها (کلاس ۷) با ۱۹,۹۸ هکتار و خاک‌های شور (کلاس ۸) با ۵۰۲,۲ هکتار قرار دارند. این دو کلاس عموماً معرف مناطقی با مشکلات شوری و قلیائی‌ات خاک بوده و می‌توانند به‌عنوان شاخصی از افت کیفیت اراضی موردبررسی قرار گیرند. در مجموع، داده‌های جدول ۳ تصویری دقیق از وضعیت موجود کاربری اراضی در سال ۲۰۱۳ ارائه داده و پایه‌ای مناسب برای انجام تحلیل‌های مقایسه‌ای در سال‌های بعد و نیز مدل‌سازی پیش‌بینی روندهای تغییر فراهم می‌سازد.

جدول (۳): مقادیر مساحت کلاس ها برحسب هکتار برای سال ۲۰۱۳ (ماخذ یافته های پژوهش ۱۴۰۴)

نام کلاس	شماره کلاس	سال ۲۰۱۳
ساختمان‌ها	۱	**۱۵۰۳**
خاک	۲	**۲۴۶۹/۸۷**
جاده	۳	**۲۴۶/۷۸**
مزارع	۴	**۳۱۸۳/۳۹**
باغات	۵	**۳۸۱۰/۶۹**
آب	۶	**۱۵۲/۷۳**
نمک	۷	**۱۹/۹۸**
خاک‌های شور	۸	**۵۰۲/۲**

نقشه طبقه‌بندی کاربری اراضی مربوط به سال ۲۰۲۴

فرایند طبقه‌بندی اراضی در سال ۲۰۲۴ نیز همانند سال ۲۰۱۳، با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۸ و به‌کارگیری الگوریتم بیشینه احتمال انجام شد. در این مرحله نیز به‌منظور حفظ انسجام تحلیلی و امکان مقایسه دقیق بین دو دوره زمانی، همان هشت کلاس کاربری تعریف‌شده در طبقه‌بندی قبلی، مجدداً شناسایی و تفکیک شدند. در این فرآیند، از باندهای بازتابی با پیش‌پردازش دقیق بهره گرفته شد تا اطمینان حاصل شود که هر پیکسل براساس ویژگی‌های طیفی موجود در داده‌های آموزشی، به مناسب‌ترین کلاس تخصیص می‌یابد. داده‌های آموزشی سال ۲۰۲۴ نیز با توجه به تغییرات اخیر در ساخت‌وسازهای منطقه، گسترش زیرساخت‌ها و دگرگونی‌های محیطی، به‌روزرسانی شدند تا سطح دقت الگوریتم افزایش یابد و نتایج نهایی از اعتبار بیشتری برخوردار باشند. خروجی نهایی طبقه‌بندی، نقشه‌ای با وضوح مناسب از توزیع فضایی کاربری‌های مختلف در سال ۲۰۲۴ بود که در شکل (۳) نمایش داده شده و پایه‌ای برای تحلیل‌های مقایسه‌ای و ارزیابی تغییرات مکانی فراهم می‌کند.



شکل (۳): تصویر طبقه‌بندی کاربری اراضی با استفاده از الگوریتم بیشینه احتمال سال ۲۰۲۴ (ماخذ یافته های پژوهش ۱۴۰۴)

در طبقه‌بندی سال ۲۰۲۴، طبق جدول (۴) درصد صحت کلی طبقه‌بندی برای این سال ۹۴/۰۰۰۰درصد به دست‌آمد 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 قابل استناد است.

جدول (۴): مقادیر دقت طبقه‌بندی سال ۲۰۲۴ (ماخذ یافته های پژوهش ۱۴۰۴)

دقت کلی	**٪۹۴/۰۰۰۰ (۲۳۵/۲۵۰)**
ضریب کاپا	**۰/۹۱۶۵**

جدول (۵) نمایانگر اطلاعات مربوط به مساحت هر یک از کلاس‌های کاربری اراضی در سال ۲۰۲۴ است. این داده‌ها از طریق طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای مربوط به همان سال و با به‌کارگیری الگوریتم بیشینه احتمال به‌دست آمده‌اند. جدول مذکور، توزیع کمی کلاس‌های کاربری را در محدوده مورد مطالعه ارائه می‌دهد و به‌عنوان مبنایی معتبر برای تحلیل‌های آتی در خصوص تغییرات کاربری اراضی مورد استفاده قرار می‌گیرد. مطابق داده‌های موجود در جدول (۵) ، مزارع (کلاس ۴) با ۴۹۶۳,۳۲ هکتار بیشترین مساحت را در میان سایر کلاس‌ها دارد که بیانگر سلطه این نوع کاربری در چشم‌انداز منطقه طی سال ۲۰۲۴ است. پس از آن، باغات (کلاس ۵) با وسعت ۳۱۳۵,۰۶ هکتار در جایگاه دوم قرار دارند و سهم قابل توجهی از اراضی را به خود اختصاص داده‌اند. مناطق ساخته‌شده (کلاس ۱) نیز با ۱۸۴۹,۱۴ هکتار در رده بعدی قرار گرفته‌اند که نشان‌دهنده توسعه زیرساخت‌های شهری و گسترش فضاهای سکونتی در بازه زمانی مورد بررسی است.

در ادامه، خاک (کلاس ۲) با ۷۷۳,۴۶ هکتار، جاده‌ها (کلاس ۳) با ۷۵۰,۱۵ هکتار و آب (کلاس ۶) با ۷۴,۷ هکتار از دیگر کاربری‌هایی هستند که مساحت‌های متوسط تا محدود در منطقه دارند. این دسته‌بندی‌ها نمایانگر توزیع نسبی این اراضی بوده و تحلیل آن‌ها به‌ویژه در حوزه‌های منابع طبیعی و برنامه‌ریزی زیست‌محیطی اهمیت زیادی دارد. در پایین‌ترین رده‌ها، نمکزارها (کلاس ۷) با ۳۵,۶۴

هکتار و خاک‌های شور (کلاس ۸) با ۳۰۷,۱۷ هکتار قرار دارند. باوجود وسعت نسبتاً محدود این دو کلاس، به دلیل تأثیر مستقیم آن‌ها بر کیفیت خاک و شرایط اکولوژیکی منطقه، بررسی دقیق آن‌ها در مراحل بعدی تحقیق ضروری به نظر می‌رسد. به‌طورکلی، این طبقه‌بندی نمایی روشن از وضعیت مکانی و کمی کاربری اراضی در سال ۲۰۲۴ ارائه می‌دهد و بستر تحلیلی مهمی برای مطالعات تطبیقی در دوره‌های زمانی آینده فراهم می‌سازد.

جدول (۵): مقادیر مساحت کلاس ها برحسب هکتار برای سال ۲۰۲٤ (ماخذ یافته های پژوهش ۱۴۰۴)

نام کلاس	شماره کلاس	سال ۲۰۲۴
ساختمان‌ها	۱	**۱۸۴۹/۱۴**
خاک	۲	**۷۷۳/۴۶**
جاده	۳	**۷۵۰/۱۵**
مزارع	۴	**۴۹۶۳/۳۲**
باغات	۵	**۳۱۳۵/۰۶**
آب	۶	**۷۴/۷**
نمک	۷	**۳۵/۶۴**
خاک‌های شور	۸	**۳۰۷/۱۷**

بررسی تغییرات کاربری اراضی از سال ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۴

مقایسه نقشه‌های طبقه‌بندی‌شده کاربری اراضی در سال‌های ۲۰۱۳ و ۲۰۲۴ نشان‌دهنده تحولات قابل‌توجه در الگوی استفاده از زمین در شهرستان میاندوآب طی بازه زمانی موردنظر است. این تغییرات تحت‌تأثیر عوامل متعددی از جمله رشد جمعیت، گسترش مناطق شهری، تغییر در سیاست‌های کشاورزی، فشار بر منابع آبی و اثرات اقلیمی شکل‌گرفته‌اند.

بر اساس نتایج حاصل از تحلیل‌های مقایسه‌ای، بیشترین افزایش سطح اراضی مربوط به کلاس مزارع (کلاس ۴) بوده که با رشد چشمگیری مواجه شده و از ۳۱۸۳,۳۹ هکتار در سال ۲۰۱۳ به ۴۹۶۳,۳۲ هکتار در سال ۲۰۲۴ رسیده است. این افزایش نشان‌دهنده گسترش فعالیت‌های زراعی در منطقه است که می‌تواند ناشی از تغییر کاربری باغات، خاک‌های بایر و حتی بخشی از اراضی ساخته‌شده به اراضی زراعی باشد. کلاس باغات (کلاس ۵) طی این دوره با کاهش از ۳۸۱۰,۶۹ به ۳۱۳۵,۰۶ هکتار مواجه شده است. این افت در سطح باغات می‌تواند نتیجه عوامل مختلفی مانند کاهش منابع آبی، گرایش به کشت‌های کم‌مصرف‌تر، تغییر در الگوهای بهره‌برداری و آسیب‌پذیری بیشتر باغات در برابر شرایط اقلیمی باشد.

در همین دوره، مناطق ساخته‌شده (کلاس ۱) با رشد از ۱۵۰۳ هکتار به ۱۸۴۹,۱۴ هکتار افزایش یافته‌اند که گویای توسعه فیزیکی مناطق شهری و افزایش ساخت‌وسازهاست. این افزایش به‌ویژه در پیرامون هسته‌های شهری و روستایی مشاهده شده و می‌تواند بازتابی از روندهای مهاجرتی و افزایش تقاضا برای سکونت و خدمات شهری باشد. از سوی دیگر، کاهش چشمگیری در کلاس خاک (کلاس ۲) با افت از ۲۴۶۹,۸۷ به ۷۷۳,۴۶ هکتار ثبت شده است. این کاهش عمدتاً به دلیل تبدیل اراضی خاکی به مزارع و مناطق مسکونی بوده و نشان‌دهنده فشار مضاعف بر زمین‌های بلااستفاده برای توسعه کشاورزی و سکونت است. کلاس جاده‌ها (کلاس ۳) نیز با افزایشی محسوس از ۲۴۶,۷۸ به ۷۵۰,۱۵ هکتار توسعه‌یافته است که نشان‌دهنده رشد زیرساخت‌های حمل‌ونقل و ارتباطی در منطقه است. این توسعه احتمالاً در ارتباط مستقیم با رشد سکونتگاه‌ها و فعالیت‌های کشاورزی صورت‌گرفته است. در مقابل، کلاس آب (کلاس ۶) با کاهش از ۱۵۲,۷۳ به ۷۴,۷ هکتار، نشان‌دهنده کاهش چشمگیر منابع آبی سطحی است که می‌تواند ناشی از خشکسالی، کاهش بارندگی، برداشت بی‌رویه از منابع آب و اثرات تغییر اقلیم باشد. همچنین، کلاس نمک (کلاس ۷) با افزایش جزئی از ۱۹,۹۸ به ۳۵,۶۴ هکتار و خاک‌های شور (کلاس ۸) با کاهش از ۵۰۲,۲ به ۳۰۷,۱۷ هکتار تغییر یافته‌اند. تغییر در این کلاس‌ها نشانگر تغییرات اکولوژیکی خاصی است که می‌تواند به استفاده نادرست از زمین، شوری ثانویه ناشی از آبیاری نامناسب و فرسایش خاک مرتبط باشد. به‌طورکلی، روند تغییرات کاربری اراضی در بازه ۲۰۱۳ تا ۲۰۲۴، بیانگر گسترش کاربری‌های انسانی و زراعی، و در مقابل کاهش

چشمگیر اراضی طبیعی و منابع زیستی است. این روندها، اگر بدون برنامه‌ریزی و ملاحظات زیست‌محیطی ادامه یابند، می‌توانند تعادل اکولوژیکی منطقه را دچار اختلال کنند. ازاین‌رو، نتایج این پژوهش می‌تواند در قالب هشدارهایی برای سیاست‌گذاران محلی و مدیران منابع زمین جهت تدوین راهبردهای پایدار موردتوجه قرار گیرد.

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

یافته‌های حاصل از طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای با استفاده از الگوریتم بیشینه احتمال در دو بازه زمانی ۲۰۱۳ و ۲۰۲۴، گویای تغییرات قابل‌توجه در الگوی کاربری اراضی بخشی از محدوده شهرستان میاندوآب است. تحلیل‌های انجام‌شده نشان داد که در طی این دوره ۱۱ساله، کاربری‌های زراعی و مناطق ساخته‌شده روند افزایشی داشته‌اند، درحالی‌که باغات، اراضی خاکی و منابع آبی سطحی با کاهش چشمگیر مواجه بوده‌اند. مزارع با بیشترین میزان رشد مساحت، نشان‌دهنده افزایش وابستگی به تولیدات زراعی هستند که می‌تواند ناشی از تغییر در سیاست‌های کشت، نیازهای اقتصادی و کم‌آبی در منطقه باشد. در مقابل، افت در مساحت باغات و منابع آبی حاکی از تهدیدات جدی اکولوژیکی در منطقه است که در صورت عدم مداخله مؤثر، می‌تواند به بروز بحران‌های زیست‌محیطی و کاهش پایداری سرزمین منجر شود. افزایش کلاس جاده‌ها نیز نشان‌دهنده توسعه زیرساخت‌ها و پیوستگی رشد سکونتگاه‌ها و خدمات است، درحالی‌که کاهش شدید اراضی خاکی، نمایانگر فشار زیاد بر زمین‌های بلااستفاده برای توسعه کاربری‌های دیگر است. در مجموع، این پژوهش تأیید می‌کند که منطقه میاندوآب طی دهه اخیر با تغییرات شدید در کاربری اراضی مواجه بوده و تداوم این روند می‌تواند تعادل طبیعی، امنیت غذایی، منابع آبی و اکولوژیکی منطقه را با خطراتی جدی مواجه کند.

نتایج حاصل از این پژوهش در میاندوآب که با استفاده از الگوریتم بیشینه احتمال و تصاویر لندست ۸ به دقت‌های بالایی (۹۴,۰۷٪ در سال ۲۰۱۳ و ۹۴٪ در سال ۲۰۲۴) دست‌یافته است، با بخش‌هایی از پیشینه تحقیق ارائه شده در همین مقاله همسویی و در مواردی تفاوت‌هایی را نشان می‌دهد. گسترش ۱۸۴۹ هکتاری مناطق ساخته‌شده در میاندوآب تا سال ۲۰۲۴، با روند کلی توسعه شهری مشاهده شده در مطالعات دیگر که در پیشینه ذکر شده‌اند، مطابقت دارد؛ از جمله گسترش کلان‌شهر شیراز (زیاری و ایرجی، ۱۴۰۱) ، افزایش کاربری شهری در شیرکوه (علی‌آباد و همکاران، ۲۰۲۱) ، رشد مناطق مسکونی در یاسوج (اصغری و همکاران، ۱۳۹۹) ، افزایش اراضی دست‌ساز شهری در دشت سیرجان (محمودابادی و همکاران، ۱۳۹۹) ، و توسعه مسکونی و راه در محور تهران-دماوند (ثابت و همکاران، ۱۳۹۸). همچنین، مطالعات بین‌المللی مانند پژوهش ژانگ و همکاران (۲۰۲۲) در ووهان ، انتاکیروتیمانا و ونساروچانا (۲۰۲۱) در بوروندی ، بشیر و همکاران (۲۰۲۲) در شمال غربی هیمالیا ، و عبدالکریم و همکاران (۲۰۲۲) در عربستان سعودی نیز بر این روند توسعه شهری صحه می‌گذارند. در خصوص افزایش چشمگیر مزارع در میاندوآب از ۳۱۸۳ هکتار به ۴۹۶۳ هکتار ، این یافته با نتایج محمودابادی و همکاران (۱۳۹۹) در دشت سیرجان و مطالعه انتاکیروتیمانا و ونساروچانا (۲۰۲۱) در بوروندی که افزایش اراضی کشاورزی را گزارش کرده‌اند، همسو است. با این حال، این نتیجه با برخی دیگر از مطالعات ذکر شده در پیشینه مانند کاهش اراضی کشاورزی در شیرکوه (علی‌آباد و همکاران، ۲۰۲۱) ، تبدیل اراضی زراعی به کاربری‌های دیگر در محور تهران-دماوند (ثابت و همکاران، ۱۳۹۸) ، و کاهش زمین‌های زراعی در ووهان (ژانگ و همکاران، ۲۰۲۲) ، شمال غربی هیمالیا (بشیر و همکاران، ۲۰۲۲) ، و عربستان سعودی (عبدالکریم و همکاران، ۲۰۲۲) در تضاد قرار دارد، که نشان‌دهنده پویایی‌های متفاوت کشاورزی در مناطق مختلف است. کاهش محسوس باغات و اراضی خاکی در میاندوآب ، هم‌راستا با یافته‌های عمومی مبنی بر کاهش پوشش‌های طبیعی یا نیمه‌طبیعی و انواع خاصی از کاربری‌های کشاورزی در اثر فشار توسعه است، مشابه آنچه در مطالعات علی‌آباد و همکاران (۲۰۲۱) ، اصغری و همکاران (۱۳۹۹) ، ثابت و همکاران (۱۳۹۸) ، ژانگ و همکاران (۲۰۲۲) ، انتاکیروتیمانا و ونساروچانا (۲۰۲۱) ، و بشیر و همکاران (۲۰۲۲) گزارش شده است.

باتوجه‌به نتایج به‌دست‌آمده از این مطالعه جهت جلوگیری از اثرات مخرب تغییرات کاربری اراضی موارد زیر پیشنهاد می‌گردد:

تدوین و اجرای برنامه جامع مدیریت کاربری اراضی با تأکید بر حفظ باغات و منابع طبیعی و پیشگیری از تخریب بیشتر زمین‌های زراعی و منابع آبی.

توسعه سیستم‌های پایش دوره‌ای با بهره‌گیری از تصاویر ماهواره‌ای و روش‌های سنجش‌ازدور برای پایش مستمر تغییرات و واکنش سریع به روندهای مخرب.

ترویج کشاورزی پایدار و مقاوم به خشکی به‌ویژه در مناطقی که باغات به مزارع تبدیل شده‌اند، باهدف بهینه‌سازی مصرف آب و حفظ حاصلخیزی خاک.

کنترل و هدایت گسترش شهری با بهره‌گیری از طرح‌های جامع شهری و آمایش سرزمین به‌گونه‌ای که گسترش فیزیکی شهرها منجر به تخریب منابع طبیعی نشود.

تدوین سیاست‌های حفاظتی برای منابع آبی سطحی با تمرکز بر احیای تالاب‌ها، تثبیت پوشش گیاهی حاشیه رودخانه‌ها و اعمال محدودیت در بهره‌برداری‌های بی‌رویه.

اجرای پروژه‌های اصلاح خاک در اراضی شور و نمکی باهدف بازگرداندن قابلیت بهره‌برداری این اراضی و کاهش اثرات تخریبی شوری بر محیط‌زیست.

منابع و مأخذ

ارخی, صالح . (۱۴۰۴). ۱۰.پیش بینی تغییرات کاربری اراضی با استفاده ازتصاویر چند زمانه و مدلCA-MARKOV (مطالعه موردی: شهرگرگان). فصلنامه مطالعات توسعه پایدار شهری و منطقه ای, ۶(۳), ۱۲۱-۱۳۸. https://www.srds.ir/article_217034.html

اسدزاده, فرخ, اقدم, خ., کمال, رمضانپور, & مهابادی, ی. (۱۳۹۷). پیش بینی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از مدل زنجیره مارکوف و سلول خودکار (مطالعه موردی: حوزه آبخیز روضه چای، ارومیه). نشریه حفاظت منابع آب‌وخاک (علمی-پژوهشی), ۸(۱), ۱۰۵-۱۱۶. https://www.sid.ir/paper/232248/fa

اصغری, س., صیاد, قلعه, پی, ا., & فر, ا. (۱۳۹۹). پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی در شهر قوچان برای سال ۲۰۳۰ با استفاده از روش CA مارکوف. فصلنامه علمی برنامه ریزی منطقه ای, ۱۰(۴۰), ۱۷۷-۱۹۴. https://www.sid.ir/paper/1004224/fa

زیاری، کرامت‌الله.، و ایرجی، حسین. (۱۴۰۱). بررسی گسترش کالبدی - فضایی کلانشهر شیراز با استفاده از سنجش از دور (Rs). جغرافیا و برنامه‌ریزی، ۲۶(۷۹)، ۱۸۶-۱۷۱ https://journals.tabrizu.ac.ir/article_13482.html

صابری فر, رستم . (۱۴۰۴). ۵.واکاوی تاثیرات تغییر کاربری اراضی بر پوشش گیاهی و دمای سطحی شهر و واکنش مدیران شهری به این روند(نمونه موردی: شهر مشهد). فصلنامه مطالعات توسعه پایدار شهری و منطقه ای, ۶(۱), ۶۸-۸۳. https://www.srds.ir/article_213418.html

علی‌آباد, ع., زارع, محمد, & مالمیری, غ. (۱۴۰۰). پیش‌بینی تغییرات پوشش اراضی با استفاده از مدل تلفیقی زنجیرهٔ مارکوف و سلول‌های خودکار (مطالعهٔ موردی: حوزهٔ شیرکوه). نشریه جغرافیا و توسعه, ۱۹(۶۲), ۲۵۱-۲۷۰. https://doi.org/10.22111/gdij.2021.6022

قدوسی, وحید , نظم فر, حسین و رحمتی, منصور . (۱۴۰۴). ۱۳.تغییرات کاربری اراضی وشبیه سازی رشد وتوسعه شهری (مطالعه موردی شهر اردبیل) .*فصلنامه مطالعات توسعه پایدار شهری و منطقه ای* , *6*(3), 168-185. https://www.srds.ir/article_215756.html

محمودابادی, ساز, ح., ارشک, کنگرانی, م., حنانه, & غلامی. (۱۳۹۹). پیش بینی تغییرات کاربری اراضی در دشت سیرجان با استفاده از زنجیره مارکوف-سلولار. پژوهش های ژئومورفولوژی کمّی, ۹(۱), ۱۰۲-۱۱۶. https://www.geomorphologyjournal.ir/article_109537.html?lang=fa

Abdelkarim, A., Alogayell, H. M., Alkadi, I. I., & Youssef, I. (2022). Spatial–temporal prediction model for land cover of the rural–urban continuum axis between Ar-Riyadh and Al-Kharj cities in KSA in the year of 2030 using the integration of CA–Markov model, GIS-MCA, and AHP. Applied Geomatics, 14(3), 501-525. https://doi.org/10.1007/s12518-022-00448-w

Abijith, D., & Saravanan, S. (2022). Assessment of land use and land cover change detection and prediction using remote sensing and CA Markov in the northern coastal districts of Tamil Nadu, India. Environmental science and pollution research international, 29(57), 86055–86067. https://doi.org/10.1007/s11356-021-15782-6

Arekhi, S. (2025). Prediction of land use changes using multi-temporal images and CAMARKOV model (Case study: Gorgan City). Journal of Sustainable Urban & Regional Development Studies
(JSURDS), 6(3), 121-138. https://www.srds.ir/article_217034.html (in Persian)

Alemu, M., Warkineh, B., Lulekal, E., & Asfaw, Z. (2024). Analysis of land use land cover change dynamics in Habru District, Amhara Region, Ethiopia. Heliyon, 10(19), e38971.https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e38971

Aliabad, A., Zare, M., & Malmiri, Gh. (2021). Prediction of land cover changes using the integrated Markov Chain–Cellular Automata model (Case study: Shirkouh Basin). Geography and Development, 19(62), 251–270. https://doi.org/10.22111/gdij.2021.6022 (in Persian)

Asadzadeh, F., Aghdam, K., Kamal, R., & Mahabadi, Y. (2018). Prediction of land use changes using the Markov Chain and Cellular Automata model (Case study: Rouzeh Chay Watershed, Urmia). Journal of Water and Soil Resources Conservation (Scientific-Research), 8(1), 105–116. (in Persian)

Bashir, O., Bangroo, S. A., Guo, W., Meraj, G., T. Ayele, G., Naikoo, N. B., Shafai, S., Singh, P., Muslim, M., & Taddese, H. (2022). Simulating Spatiotemporal Changes in Land Use and Land Cover of the North-Western Himalayan Region Using Markov Chain Analysis. Land, 11(12), 2276.https://doi.org/10.3390/land11122276

Bikis, A., Engdaw, M., Pandey, D., & Pandey, B. K. (2025). The impact of urbanization on land use land cover change using geographic information system and remote sensing: a case of Mizan Aman City Southwest Ethiopia. Scientific Reports, 15(1), 12014. https://doi.org/10.1038/s41598-025-94189-6

Carfagna, E., & Gallego, F. J. (2005). Using remote sensing for agricultural statistics. International statistical review, 73(3), 389-404. https://doi.org/10.1111/j.1751-5823.2005.tb00155.x

Carignan C. (2024). Ground-truth validation of the "earbuds method" for measuring acoustic nasalance. The Journal of the Acoustical Society of America, 156(2), 851–864. https://doi.org/10.1121/10.0028122

Cui, F., Wang, B., Zhang, Q., Tang, H., De Maeyer, P., Hamdi, R., & Dai, L. (2021). Climate change versus land-use change-What affects the ecosystem services more in the forest-steppe ecotone?. The Science of the total environment, 759, 143525. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143525

Deliry, S. I., Avdan, Z. Y., & Avdan, U. (2021). Extracting urban impervious surfaces from Sentinel-2 and Landsat-8 satellite data for urban planning and environmental management. Environmental science and pollution research international, 28(6), 6572–6586. https://doi.org/10.1007/s11356-020-11007-4

Ghodousi, V. , Nazmfar, H. and Rahmati, M. (2025). Land use changes and
simulation of urban growth and development (Case study: Ardabil city). Journal of Sustainable Urban

& Regional Development Studies (JSURDS), 6(3), 168-185. https://www.srds.ir/article_215756.html (in Persian)

Henriques, C. D., & Correia, E. (2023). Long-term urban land use data in Maputo, Mozambique: A comprehensive dataset covering five decades (1964-2001). Data in brief, 50, 109595. https://doi.org/10.1016/j.dib.2023.109595

Mahmoudabadi, S. H., Arashk, K. M., Hananeh, & Gholami, M. (2020). Forecasting land use changes in Sirjan Plain using the Markov–Cellular model. Quantitative Geomorphological Research, 9(1), 102–116. https://doi.org/10.22034/gmpj.2020.109537 (in Persian)

Ntakirutimana, A., & Vansarochana, C. (2021). Assessment and Prediction of Land Use/Land Cover Change in the National Capital of Burundi Using Multi-temporary Landsat Data and Cellular Automata-Markov Chain Model: 10.32526/ennrj/19/202100023. Environment and Natural Resources Journal, 19(5), 413-426. https://doi.org/10.32526/ennrj/19/202100023

Perumal, K., & Bhaskaran, R. (2010). Supervised classification performance of multispectral images. arXiv preprint arXiv:1002.4046. https://doi.org/10.48550/arXiv.1002.4046

Phiri, D., & Morgenroth, J. (2017). Developments in Landsat Land Cover Classification Methods: A Review. Remote Sensing, 9(9), 967. https://doi.org/10.3390/rs9090967

Rwanga, S. S., & Ndambuki, J. M. (2017). Accuracy assessment of land use/land cover classification using remote sensing and GIS. International Journal of Geosciences, 8(04), 611. https://doi.org/10.4236/ijg.2017.84033

Saberifar, R. (2025). Analyzing the effects of land use change on vegetation and surface temperature of the city and the response of urban managers to this trend (Case study: Mashhad city). Journal of Sustainable Urban& Regional Development Studies (JSURDS), 6(1), 68-83. https://www.srds.ir/article_213418.html (in Persian)

Sabet, Sh., Shakiba, N., & Mohammadi, M. (2019). Detection and prediction of land use changes using the CA-Markov model (Case study: Tehran–Damavand axis). Geographical Information "Sepehr" Scientific-Research Quarterly, 28(111), 175–190. (in Persian)

Sánchez-Espinosa, A., & Schröder, C. (2019). Land use and land cover mapping in wetlands one step closer to the ground: Sentinel-2 versus landsat 8. Journal of environmental management, 247, 484–498. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.06.084

Sarasakanroud, A., Sayyad, Q., Ghalehpey, A., & Far, A. (2021). Prediction of land use changes in the city of Quchan by 2030 using the CA-Markov method. Regional Planning Scientific Quarterly, 10(40), 177–194. (in Persian)

Smiraglia, D., Ceccarelli, T., Bajocco, S., Salvati, L., & Perini, L. (2016). Linking trajectories of land change, land degradation processes and ecosystem services. *Environmental research*, *147*, 590–600. https://doi.org/10.1016/j.envres.2015.11.030

Smits, P., Dellepiane, S., & Schowengerdt, R. (1999). Quality assessment of image classification algorithms for land-cover mapping: a review and a proposal for a cost-based approach. International journal of remote sensing, 20(8), 1461-1486. https://doi.org/10.3390/ijerph19148785

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

Zhang, Z., Hörmann, G., Huang, J., & Fohrer, N. (2023). A Random Forest-Based CA-Markov Model to Examine the Dynamics of Land Use/Cover Change Aided with Remote Sensing and GIS. Remote Sensing, 15(8), 2128. https://doi.org/10.3390/rs15082128

Ziyari, K., & Irji, H. (2022). An investigation of the spatial-physical expansion of Shiraz metropolis using remote sensing (RS). Geography and Planning, 26(79), 171–186. https://doi.org/10.22034/gp.2021.45009.2805 (in Persian)