



Assessing Land Use Changes in the Urmia Plain Using Landsat Satellite Imagery (1984-2020)

Farzaneh Saidpour Dalezi¹ , Alireza Jamshidi² , Khadijeh Javan^{3*} 

¹. M.S. in land use planning, Department of Geography, Faculty of Literature and Humanities, Urmia University, Urmia, Iran

². Assistant Professor, Department of Geography, Faculty of Literature and Humanities, Urmia University, Urmia, Iran

³. Associate Professor, Department of Geography, Faculty of Literature and Humanities, Urmia University, Urmia, Iran

Received Date: 07 January 2026 Accepted Date: 09 April 2026

Abstract

Background and Objective: The Urmia Plain, as one of the most sensitive ecosystems in western Iran, has undergone extensive land use transformations in recent decades under the pressure of anthropogenic activities and environmental changes. These changes can have irreversible consequences for food security, local livelihoods, and environmental health. This study aimed to identify and quantitatively analyze the trends of land use and land cover (LULC) change in the Urmia Plain over a 36-year period (1984-2020) using Landsat satellite imagery.

Methodology: This study utilized Landsat 5 (TM), Landsat 7 (ETM+), and Landsat 8 (OLI) satellite images from 1984, 2000, and 2020. After performing necessary preprocessing steps, supervised classification using the Maximum Likelihood Classifier (MLC) algorithm was implemented in ENVI software. Land use maps were extracted for six main classes (agriculture and orchard, rangeland, built-up, barren land, water bodies, and salt marshes), and their accuracy was assessed using an error matrix and the metrics of overall accuracy and Kappa coefficient.

Results and Findings: The results indicated that over the study period, the extent of agriculture and orchard lands (increasing from 22% to 26%) and built-up areas increased, while water bodies (33%) and rangelands (22%) experienced a concerning declining trend. Concurrently, the area of barren lands and salt marshes also increased. A comparison of the two time periods revealed that the degradation process has accelerated, particularly after the year 2000, leading to the establishment of a detrimental degradation cycle, which underscores the urgent need for revising management strategies.

Keywords: Change Detection, Remote Sensing, Landsat, Maximum Likelihood Classifier, Urmia Plain.

* **Corresponding Author Email:** kh.javan@urmia.ac.ir

Cite this article: Saidpour, F., Jamshidi, A. and Javan, K. (2026). Assessing Land Use Changes in the Urmia Plain Using Landsat Satellite Imagery (1984-2020). *Journal of Sustainable Urban & Regional Development Studies (JSURDS)*, 7(3), 92-107.



مؤسسه استادی و پایش علم و فناوری
جهان اسلام (ISC)

شاپا: ۲۷۸۳-۰۷۶۴



دوره ۷، شماره ۳، شماره پیاپی ۲۵، پاییز ۱۴۰۵

Journal Homepage <https://www.srds.ir/>
https://www.srds.ir/article_240348.html?lang=fa

مطالعه تغییرات کاربری اراضی دشت ارومیه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست (۱۹۸۴-۲۰۲۰)

فرزانه سعیدپور دله‌زی^۱، علیرضا جمشیدی^۲ و خدیجه جوان^{۳*}

۱. کارشناس ارشد برنامه‌ریزی آمایش سرزمین، گروه جغرافیا، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران
۲. استادیار جغرافیا و برنامه ریزی روستایی، گروه جغرافیا، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران
۳. دانشیار آب و هواشناسی، گروه جغرافیا، دانشکده ادبیات و علوم انسانی، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۱۰/۱۷ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۵/۰۱/۲۰

چکیده

زمینه و هدف: دشت ارومیه به‌عنوان یکی از حساسترین اکوسیستم‌های غرب کشور، در دهه‌های اخیر تحت تأثیر فشارهای انسانی و تغییرات محیطی، دستخوش تحولات گسترده‌ای در کاربری اراضی شده است. این تغییرات می‌تواند پیامدهای جبران‌ناپذیری بر امنیت غذایی، معیشت جوامع محلی و سلامت محیط‌زیست داشته باشد. هدف این پژوهش، شناسایی و تحلیل کمی روند تغییرات کاربری و پوشش زمین در دشت ارومیه طی یک بازه زمانی ۳۶ ساله (۱۹۸۴-۲۰۲۰) با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست است. **روش‌شناسی:** در این مطالعه از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۵ (TM)، لندست ۷ (ETM+) و لندست ۸ (OLI) مربوط به سال‌های ۱۹۸۴، ۲۰۰۰ و ۲۰۲۰ استفاده شد. پس از انجام پیش‌پردازش‌های لازم، طبقه‌بندی نظارت‌شده با الگوریتم حداکثر احتمال در نرم‌افزار ENVI اجرا گردید. نقشه‌های کاربری در شش کلاس اصلی (کشاورزی و باغ، مرتع، انسان‌ساخت، مناطق بایر، آب و نمکزار) استخراج و صحت آن‌ها با استفاده از ماتریس خطا و شاخص‌های دقت کلی و ضریب کاپا ارزیابی شد. **نتایج و یافته‌ها:** نتایج نشان داد که در طول دوره مورد مطالعه، سطوح کشاورزی و باغ (از ۲۲ درصد به ۲۶ درصد) و انسان‌ساخت افزایش یافته، در حالی که پهنه‌های آبی (۳۳ درصد) و مراتع (۲۲ درصد) روندی کاهشی و نگران‌کننده داشته‌اند. همزمان، مساحت مناطق بایر و نمکزارها نیز افزایش یافته است. مقایسه دو مقطع زمانی نشان می‌دهد روند تخریب به‌ویژه پس از سال ۲۰۰۰ شتاب گرفته و یک چرخه معیوب تخریب شکل گرفته است که لزوم بازنگری فوری در راهبردهای مدیریتی را آشکار می‌سازد.

کلیدواژه‌ها: پایش تغییرات، سنجش از دور، لندست، الگوریتم حداکثر احتمال، دشت ارومیه.

* نویسنده مسئول: kh.javan@urmia.ac.ir

ارجاع به این مقاله: سعیدپور دله‌زی، فرزانه، جمشیدی، علیرضا و جوان، خدیجه. (۱۴۰۵). مطالعه تغییرات کاربری اراضی دشت ارومیه با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست (۱۹۸۴-۲۰۲۰). فصلنامه مطالعات توسعه پایدار شهری و منطقه‌ای، ۷(۳)، ۹۲-۱۰۷.

مقدمه و بیان مسأله

کاربری اراضی، به عنوان بازتابی از تعامل پیچیده انسان با محیط، به شیوه‌های بهره‌برداری از پوشش زمین برای تأمین نیازهای معیشتی، اقتصادی و اجتماعی اشاره دارد. این مفهوم فراتر از توصیف فیزیکی سطح زمین رفته و شامل انگیزه‌ها، اهداف و استراتژی‌های مدیریتی است که منجر به تغییر ویژگی‌های بیوفیزیکی سرزمین می‌شود (شکار و متیو^۱، ۲۰۲۳). فعالیت‌هایی چون کشاورزی، معدن‌کاوی، توسعه سکونتگاه‌ها و زیرساخت‌ها، تجلی‌های عینی کاربری اراضی هستند که اثرات عمیقی بر سامانه‌های طبیعی بر جای می‌گذارند.

تغییرات کاربری اراضی، به تحول در وسعت و الگوی مکانی این فعالیت‌ها در طول زمان اطلاق می‌شود. درک این تغییرات تنها به ثبت کمی گسترش یا کاهش یک کاربری محدود نمی‌شود، بلکه تحلیل کیفی پیامدهای آن را نیز در بر می‌گیرد. داده‌های مکانی-زمانی تغییرات کاربری اراضی، به ابزاری اساسی در مدل‌سازی پویای اکوسیستم‌ها، چرخه هیدرولوژیکی، اقلیم منطقه‌ای و جهانی، و نیز ارزیابی مخاطرات محیطی تبدیل شده‌اند (چن^۲ و همکاران، ۲۰۲۱؛ میر و میشر^۳، ۲۰۲۰). این داده‌ها به تصمیم‌گیرندگان امکان می‌دهند تا اثرات آبخاری تغییرات را بر منابع آب، کیفیت خاک، تنوع زیستی و چرخه‌های بیوژئوشیمیایی ردیابی و پیش‌بینی کنند. در این میان، نقشه‌های کاربری و پوشش زمین به‌عنوان محصول نهایی این تحلیل‌ها، یکی از بنیادی‌ترین لایه‌های اطلاعاتی در علوم زمین به شمار می‌روند. این نقشه‌ها تنها تصویری ایستا ارائه نمی‌دهند، بلکه به عنوان مبنایی پویا برای طیف وسیعی از مطالعات بین‌رشته‌ای عمل می‌کنند؛ از پایش تنوع زیستی و ذخایر کربن گرفته تا ارزیابی آسیب‌پذیری در برابر تغییرات اقلیمی و برنامه‌ریزی برای سلامت عمومی (لو^۴ و همکاران، ۲۰۲۲). از منظر مدیریتی، این نقشه‌ها شالوده‌ای ضروری برای برنامه‌ریزی توسعه پایدار شهری و منطقه‌ای، ارزیابی خدمات اکوسیستمی، و تدوین راهبردهای خرد و کلان برای حفاظت و بهره‌برداری خردمندانه از منابع طبیعی فراهم می‌آورند (گائو و اونیل^۵، ۲۰۲۰).

در عصر حاضر، فناوری سنجش از دور ماهواره‌ای به عنوان کارآمدترین و اقتصادی‌ترین ابزار برای تهیه و به‌روزرسانی این نقشه‌های حیاتی شناخته می‌شود. مزایای منحصربه‌فرد این فناوری، از جمله پوشش مکانی وسیع و یکپارچه، تکرارپذیری زمانی، قابلیت ثبت داده در طول موج‌های مختلف طیفی، و فرمت دیجیتال آماده برای پردازش‌های رایانه‌ای، آن را به انتخابی بی‌بدیل برای پایش تغییرات در مقیاس‌های گوناگون تبدیل کرده است (چن و همکاران، ۲۰۰۵). کانون مطالعات تغییرات با سنجش از دور، مقایسه تصاویر چندزمانه است که امکان جداسازی و کمی‌سازی تغییرات ناشی از فرآیندهای طبیعی و فعالیت‌های انسانی را در بازه‌های زمانی مشخص فراهم می‌سازد (رائو^۶ و همکاران، ۲۰۲۲). موفقیت این فرآیند مستلزم درک عمیق از ماهیت پدیده‌های مورد مطالعه، قابلیت‌های سنجنده‌های ماهواره‌ای، و انتخاب روش‌شناسی مناسب برای استخراج اطلاعات دقیق و معنی‌دار است (یانگ و لو^۷، ۲۰۰۲).

در میان مجموعه‌ای از مأموریت‌های ماهواره‌ای، برنامه لندست به دلیل قدمت، تداوم، و دسترسی آزاد به آرشیو تاریخی غنی خود، جایگاهی بی‌همتا در مطالعات بلندمدت تغییرات سطح زمین یافته (محمد و همکاران، ۲۰۲۰). سازگاری داده‌های نسخه‌های مختلف این ماهواره، امکان ردیابی تغییرات را در مقیاسی چنددهه‌ای فراهم کرده و آن را به ابزاری استاندارد و مورد اعتماد در پژوهش‌های داخلی و بین‌المللی، به‌ویژه در مناطق نیمه‌خشک و خشک که در معرض تغییرات سریع هستند، تبدیل نموده است. دشت ارومیه، به عنوان یکی از مهم‌ترین و حساس‌ترین اکوسیستم‌های غرب کشور، در دهه‌های اخیر صحنه تغییرات گسترده و پرشتابی بوده است. این تغییرات حاصل ترکیبی از عوامل انسانی (مانند توسعه شهرها و روستاها، گسترش زمین‌های کشاورزی،

1 - Shekar and Mathew

2 - Chen

3 - Meer & Mishra

4 - Luo

5 - Gao & O'Neill

6 - Rao

7 - Yang and Lo

برداشت بی‌رویه از منابع آب) و محیطی (به‌ویژه خشکسالی‌های متوالی و کاهش بارندگی) است. این فشارهای توأمان، الگوهای کاربری اراضی این دشت حاصلخیز را دستخوش دگرگونی‌های عمیقی کرده که پیامدهای آن می‌تواند بر امنیت غذایی، معیشت جوامع محلی، توازن هیدرولوژیکی، و سلامت کلی محیط‌زیست منطقه تأثیرات جبران‌ناپذیری بگذارد. با این حال، یک درک جامع، کمی و مبتنی بر شواهد از روند، وسعت و الگوی مکانی این تغییرات در یک بازه زمانی بلندمدت، که لازمه هرگونه برنامه‌ریزی و مدیریت آگاهانه است، هنوز به صورت کامل و نظام‌مند فراهم نشده است. بر این اساس، هدف اصلی این پژوهش، شناسایی، تحلیل کمی و ارزیابی روند تغییرات کاربری اراضی در دشت ارومیه در یک بازه زمانی ۳۶ ساله (۲۰۲۰-۱۹۸۴) با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست است.

مبانی نظری پژوهش

زمین به عنوان سرمایه طبیعی بشر و بستری که حیات اجتماعی بر آن شکل می‌گیرد، یکی از اجزای حیاتی محیط زیست و اکوسیستم در سراسر جهان به شمار می‌رود (لانگ^۱، ۲۰۲۲). این عنصر حیاتی نه تنها تکیه‌گاه فیزیکی فعالیت‌های انسانی است، بلکه کارکردهای پیچیده‌ای را در تنظیم چرخه‌های آب، اقلیم، مواد مغذی و حفظ تنوع زیستی ارائه می‌دهد. با این حال، منابع محدود زمین در دهه‌های اخیر تحت فشار فزاینده‌ای قرار گرفته‌اند. رشد سریع جمعیت، توسعه اقتصادی، شهرنشینی شتابان و تقاضای روزافزون برای تولیدات کشاورزی و مواد اولیه، تبدیل به محرک‌های قدرتمندی برای دگرگونی گسترده در سیمای طبیعی زمین شده‌اند (لابمن^۲ و همکاران، ۲۰۲۲). این تغییرات در چارچوب دو مفهوم به هم پیوسته اما متمایز مورد مطالعه قرار می‌گیرند: پوشش زمین و کاربری اراضی.

پوشش زمین به وضعیت فیزیکی و زیست‌شناختی سطح زمین اشاره دارد که حاصل فرآیندهای طبیعی و یا مداخلات انسانی است. این مفهوم، عوارضی همچون جنگل‌ها، مراتع، خاک لخت، پهنه‌های آبی طبیعی و مصنوعی، و سطوح ساخته‌شده از مصالح انسان‌ساز را در بر می‌گیرد (ناز و راشد^۳، ۲۰۱۷)؛ در مقابل، کاربری اراضی منعکس‌کننده مقاصد، بهره‌برداری‌ها و مدیریت‌هایی است که انسان بر روی یک قطعه زمین اعمال می‌کند. به عبارت دقیق‌تر، کاربری اراضی بیانگر خروجی مجموعه‌ای از فعالیت‌های هدفمند انسانی است که برای برآوردن نیازهای اجتماعی، اقتصادی یا امنیتی (مانند تأمین غذا، مسکن، درآمد و اشتغال) روی زمین صورت می‌پذیرد (شهبازیگان و حاتمی، ۱۴۰۱). این فعالیت‌ها می‌توانند در قالب‌هایی چون کشاورزی، جنگل‌داری، احداث سکونتگاه‌ها و زیرساخت‌ها، صنعت، و حفاظت از طبیعت متجلی شوند (کیدن^۴ و همکاران، ۲۰۱۹). بنابراین، کاربری اراضی در واقع برنامه و نقشه راه استفاده از زمین است که نوع فعالیت مجاز، تراکم، نحوه استقرار و چگونگی اجرای آن را تعریف و قاعده‌مند می‌سازد (محمدی و همکاران، ۱۳۹۷).

ارتباط بین این دو مفهوم اغلب پویا و دوسویه است. تصمیمات مربوط به کاربری اراضی (مانند تبدیل جنگل به زمین زراعی) مستقیماً پوشش زمین را تغییر می‌دهد. متقابلاً، تغییرات در پوشش زمین (مانند خشکیدن تالاب) می‌تواند قابلیت‌ها و گزینه‌های کاربری آینده را محدود یا دگرگون سازد. در دهه‌های اخیر، شدت و سرعت فعالیت‌های انسانی تأثیر بی‌سابقه‌ای بر الگوهای مکانی-زمانی کاربری و پوشش زمین در مقیاس‌های محلی تا جهانی گذاشته است (ایمران^۵ و همکاران، ۲۰۱۸). پیامدهای این تغییرات بسیار گسترده است و می‌تواند شامل تخریب زیستگاه‌ها و کاهش تنوع زیستی، تغییر در رژیم هیدرولوژیکی و کیفیت آب، تشدید فرسایش خاک، تغییر میکروکلیم و انتشار گازهای گلخانه‌ای باشد.

¹ - Long

² - Löbmann

³ - Naz & Rasheed

⁴ - Kidane

⁵ - Imran

با توجه به این پیامدهای عمیق و نقش کاربری و پوشش زمین به عنوان شاخص‌هایی کلیدی و پویا از سلامت و تعادل محیط‌زیست، ضرورتی حیاتی وجود دارد که همواره اطلاعات کمی و کیفی دقیق، به‌روز و قابل اطمینانی از وضعیت و روند تغییرات آنها تهیه شود (شهبازبگیان و حاتمی، ۱۴۰۱). پایش مستمر این تغییرات در بازه‌های زمانی کوتاه و بلندمدت، امکان درک فرآیندهای محرک تغییر، ارزیابی اثرات تجمعی، و ارائه پایه‌ای علمی برای برنامه‌ریزی‌های خرد و کلان زمین‌محور را فراهم می‌آورد. چنین دانشی برای حرکت به سوی مدیریت یکپارچه و پایدار سرزمین، تدوین سیاست‌های حفاظتی مؤثر، و تضمین امنیت غذایی و زیست‌محیطی برای نسل‌های حاضر و آینده، امری اجتناب‌ناپذیر است.

پیشینه پژوهش

تاکنون مطالعات زیادی در رابطه با بررسی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای انجام شده است. راوات و کومار^۱ (۲۰۱۵) به بررسی تغییرات مکانی- زمانی کاربری و پوشش اراضی در هند طی دوره ۱۹۹۰-۲۰۱۰ پرداختند. نتایج نشان داد که در این دوره ۲۰ ساله، مساحت پوشش گیاهی و اراضی ساخته‌شده افزایش یافته، در حالی که اراضی کشاورزی، زمین‌های بایر و پهنه‌های آبی کاهش داشته‌اند. این مطالعه بر اهمیت کاربرد فنون آشکارسازی تغییرات با استفاده از تصاویر چندزمانه ماهواره‌ای در درک پویایی‌های سرزمینی تأکید می‌کند.

ووبی^۲ و همکاران (۲۰۱۶) تغییرات کاربری و پوشش زمین را در حوضه آبریز گومارا^۳ در حوضه دریاچه تانا در شمال غربی اتیوپی طی یک دوره ۴۸ ساله مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که در این دوره، اراضی کشاورزی و سکونتگاهی گسترش یافته‌اند، در حالی که وسعت جنگل‌ها، اراضی بوته‌زاری، مراتع و تالاب‌ها کاهش یافته است. محققان فشار جمعیت، تقاضا برای هیزم و مصالح ساختمانی، گسترش کشاورزی و ناامنی در سیاست‌ها و مالکیت زمین را به عنوان عوامل محرک اصلی این تغییرات شناسایی کردند. پیامدهای این تغییرات، تخریب خاک، کاهش تنوع زیستی، کاهش پوشش جنگلی و آلودگی منابع آبی بود که در نهایت منجر به تشدید فقر و تخریب محیط‌زیست شده است.

توره^۴ و همکاران (۲۰۱۸) رویکردی تلفیقی برای پایش تغییرات کاربری اراضی شهری ارائه دادند که در آن، تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک متوسط (لندست) برای زمان گذشته و تصاویر با قدرت تفکیک بالا برای زمان حال، در یک چارچوب مبتنی بر شیء جغرافیایی (GEOBICA) ترکیب شدند. نتایج نشان داد دقت این روش (۰/۸۱) قابل مقایسه با روش متکی بر تصاویر با وضوح بالا در هر دو زمان (۰/۸۰) است. این روش برای مناطقی که فاقد داده‌های با وضوح بالا در گذشته هستند، راه‌حلی کارآمد محسوب می‌شود.

موهان راجان^۵ و همکاران (۲۰۲۰) به بررسی جامع روش‌های تحلیل تغییرات کاربری و پوشش زمین با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای پرداختند. آن‌ها بر فقدان مقالات مروری در این حوزه تأکید کرده و فرآیندهای پیش‌پردازش، طبقه‌بندی و پیش‌بینی تصاویر سری زمانی را مورد بحث قرار دادند. این پژوهش چالش‌های متداول، انواع طبقات کاربری اراضی و محدودیت‌های روش‌های مختلف در مطالعات تغییرات زمین‌شناسی و محیط‌زیستی را تشریح می‌کند.

داس^۶ و همکاران (۲۰۲۲) پویایی تغییرات کاربری و پوشش زمین و گسترش شهری را در منطقه باراکپور هند طی دوره ۲۰۱۶-۱۹۷۲ بررسی کردند. نتایج نشان داد که در این دوره، پوشش گیاهی، اراضی کشاورزی، تالاب‌ها و پهنه‌های آبی کاهش یافته، در حالی که اراضی ساخته‌شده و زمین‌های آیش افزایش قابل توجهی داشته‌اند. همبستگی مثبت بین رشد جمعیت و افزایش اراضی ساخته‌شده، نشان‌دهنده نقش فشار جمعیت در گسترش سریع سطوح شهری است.

¹ - Rawat & Kumar

² - Wubie

³ - Gumara

⁴ - Toure

⁵ - MohanRajan

⁶ - Das

هو^۱ و همکاران (۲۰۲۳) تغییرات کاربری و پوشش زمین و همچنین شاخص NDVI را در استان پنجاب جنوبی پاکستان طی دوره‌های ۲۰۰۰-۲۰۲۱ بررسی کردند. نتایج نشان داد که در طول این ۲۱ سال، پوشش جنگلی ۳۱/۰۳ درصد کاهش یافته، در حالی که سطوح سکونتگاهی ۱۴/۵۲ درصد و اراضی بایر ۱۲/۸۷ درصد افزایش داشته‌اند. تا سال ۲۰۲۱، تنها ۴/۳۶ درصد از منطقه تحت پوشش جنگلی باقی مانده بود. این مطالعه نشان می‌دهد که زمین‌های جنگلی عمدتاً به کاربری‌های شهری، کشاورزی و بایر تبدیل شده‌اند که دلیل اصلی آن توسعه زیرساخت‌ها و بخش تجاری است.

شکار و متیو (۲۰۲۳) تغییرات کاربری و پوشش زمین را در حوضه‌ی آبریز مورد^۲ در ایالت تلانگانای^۳ هند طی سال‌های ۲۰۱۹-۱۹۹۶ با استفاده از سامانه‌ی اطلاعات جغرافیایی و سنجش از دور بررسی کردند. نتایج نشان داد که در این دوره، مساحت اراضی کشاورزی (۵/۱۷ درصد)، زمین‌های بایر (۳/۳۹ درصد)، مناطق مسکونی (۰/۸۴ درصد) و پهنه‌های آبی (۰/۲۶ درصد) افزایش یافته، در حالی که وسعت جنگل‌ها (۹/۶۷ درصد) کاهش داشته است. دقت کلی طبقه‌بندی نقشه‌ها ۹۰ درصد و ضریب کاپا ۸۵/۹۸ درصد محاسبه شد. این پژوهش اطلاعات ارزشمندی برای برنامه‌ریزان و مدیران در راستای مدیریت پایدار منابع طبیعی ارائه می‌دهد.

تونیو^۴ و همکاران (۲۰۲۵) تغییرات مکانی-زمانی کاربری و پوشش زمین را در منطقه اسلام‌کوت پاکستان طی سال‌های ۲۰۲۳-۱۹۹۰ بررسی کردند. نتایج نشان داد مساحت سکونتگاه‌ها، پوشش گیاهی، پهنه‌های آبی و مناطق معدنی افزایش یافته، در حالی که اراضی بایر کاهش قابل توجهی داشته است. این محققان فعالیت‌های معدنی و تغییرات بارش را به عنوان عوامل اصلی این تغییرات معرفی کردند.

داودی منظم و همکاران (۱۳۹۳) تغییرات کاربری اراضی زراعی شهرستان شهریار را با سه روش حداکثر احتمال (MLC)، شبکه عصبی (NNC) و ماشین بردار پشتیبان (SVM)، و با استفاده از داده‌های رقومی لندست مورد بررسی قرار دادند. نتایج تحقیق نشان داد که توسعه شهری منطقه طی دوره ۲۲ ساله، روندی افزایشی ولی اراضی کشاورزی روندی کاهشی داشته است.

کریمیان و همکاران (۱۳۹۹) برای پایش تغییرات کاربری اراضی دشت خان میرزا از چهار الگوریتم حداکثر احتمال، شبکه عصبی مصنوعی، حداقل فاصله، و فاصله ماهالانویی استفاده کردند. نتایج حاصل از ارزیابی دقت با استفاده از ضریب کاپا نشان داد الگوریتم شبکه عصبی مصنوعی نسبت به الگوریتم حداکثر احتمال از دقت بیشتری برخوردار است. تجزیه و تحلیل حاصل از تغییرات کاربری نیز نشان داد کاربری‌های کشاورزی و مسکونی روند افزایشی داشته‌اند.

رضایی و همکاران (۱۳۹۹) به ارزیابی تغییرات کاربری اراضی آبخوان دشت قزوین با استفاده از تصاویر لندست با استفاده از الگوریتم حداکثر احتمال پرداخته و در پنج کلاس کاربری طبقه‌بندی کردند. تجزیه و تحلیل تغییرات نشان داد که مساحت اراضی مرتعی در طول سال‌های مورد مطالعه روند کاهشی و سایر کاربری‌ها روند افزایشی را طی نموده است.

اسماعیل‌نژاد و زینال‌زاده (۱۳۹۹) تغییرات کاربری اراضی را در زیرحوضه نازلوچای (از حوضه‌های مؤثر بر دریاچه ارومیه) طی یک دوره ۲۶ ساله (۱۳۹۷-۱۳۷۱) مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که در ۲۱ سال نخست (۱۳۹۲-۱۳۷۱)، گسترش دیمزارها، باغات و اراضی آبی همراه با کاهش شدید مراتع رخ داده است. نکته حائز اهمیت، تداوم روند تغییرات در پنج سال پایانی (۱۳۹۷-۱۳۹۲) علیرغم اتخاذ سیاست‌های بازدارنده رسمی بود؛ به طوری که توسعه باغات و دیمزارها ادامه یافت و حتی افزایش مساحت باغات به عنوان اصلی‌ترین تغییر کاربری شناسایی شد.

مددی و همکاران (۱۴۰۱) به بررسی تغییرات کاربری اراضی و تأثیر آن بر فرسایش خاک در حوضه بالادست سد یامچی پرداختند. نتایج نشان داد در سال ۲۰۰۰ بیشترین مساحت منطقه را مراتع خوب و متوسط تشکیل می‌دادند، در حالی که در سال ۲۰۲۱، مراتع ضعیف و خوب بیشترین سهم را داشته‌اند. این تغییرات همراه با افزایش اراضی زراعی (دیم و آبی)، اراضی بایر و مناطق انسان‌ساخت، از مهم‌ترین دلایل تشدید فرسایش خاک در این حوضه شناسایی شدند.

¹ - Hu

² - Murredu watershed

³ - Telangana

⁴ - Tunio

مهرران و همکاران (۱۴۰۲) تغییرات کاربری اراضی بخش نازلو در شهرستان ارومیه را با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست (سنجنده‌های TM و OLI) و روش طبقه‌بندی شیء‌گرا مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که در بازه زمانی ۲۰۱۸-۲۰۰۵، حدود ۳۳/۵۲ درصد از مساحت کل منطقه تغییر کاربری داشته است. بیشترین سطح تغییرات در ابتدای دوره مربوط به اراضی باغی بود که روندی کاهشی تا سال ۲۰۱۸ داشت. در مقابل، کاربری‌های مرتع و دیم روندی افزایشی را طی کرده‌اند.

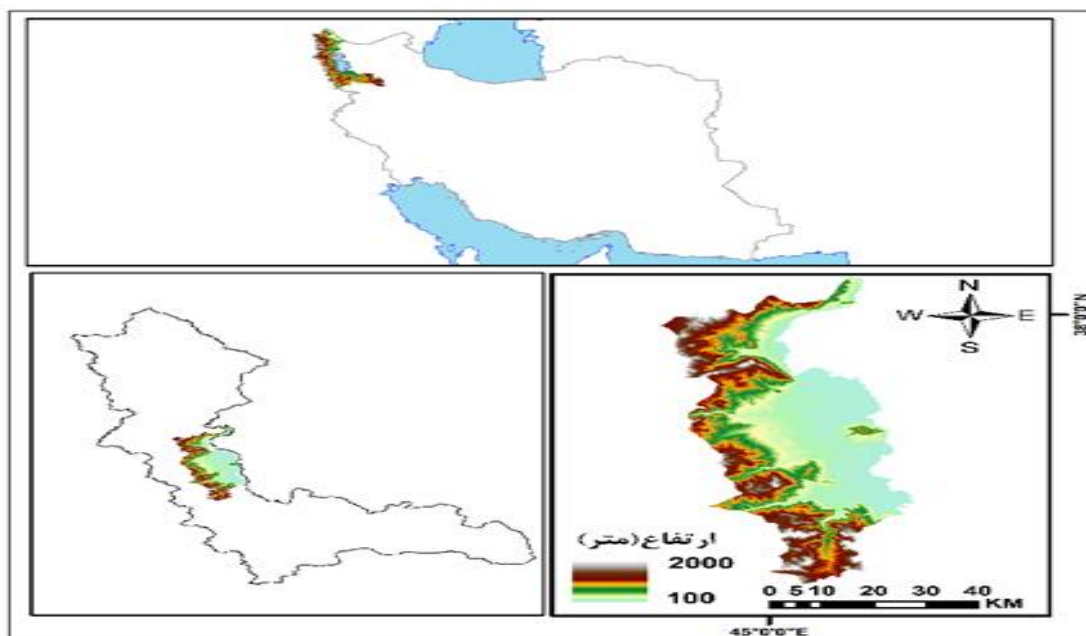
جوان و مهرران (۱۴۰۳) به پیش‌دمای سطح زمین در شهرستان تبریز و تعیین رابطه آن با تغییرات کاربری اراضی پرداختند. ابتدا نقشه‌های کاربری اراضی با بهره‌گیری از روش طبقه‌بندی شیء‌گرا تهیه گردید و سپس ضرایب ارزیابی صحت به دست آمد. نتایج پژوهش آنها نشان داد که بیشترین تغییرات کاربری اراضی در بخش مرتع به چشم می‌خورد که در دوره ۷ ساله بخش عمده‌ای از آن به کاربری ارتباطی و شهری تغییر یافته است.

قدوسی و همکاران (۱۴۰۳) تغییرات و پیش‌بینی کاربری اراضی شهر اردبیل را طی دوره ۲۰۲۱-۱۹۹۸ و با پیش‌بینی تا سال ۲۰۳۸ بررسی کردند. نتایج نشان داد که مناطق ساخته‌شده روندی کاهشی داشته‌اند، در حالی که کاربری راه و فضای سبز روندی افزایشی را تجربه کرده‌اند. این مطالعه نشان می‌دهد که با استفاده از سنجش از دور، سیستم اطلاعات جغرافیایی و مدل مارکوف می‌توان تحلیل‌های فضایی مناسبی از کاربری اراضی ارائه داد که می‌تواند به مدیران شهری در برنامه‌ریزی دقیق‌تر کمک کند.

ارخی (۱۴۰۴) تغییرات کاربری اراضی شهر گرگان در طی سال‌های ۱۳۵۵، ۱۳۸۰ و ۱۴۰۰ را مورد بررسی قرار داده و سپس گسترش فضایی آن را برای سال‌های ۲۰۲۱ و ۲۰۵۰ پیش‌بینی کردند. نتایج آنها نشان داد که بیشترین افزایش کاربری‌ها مربوط به کاربری‌های شهری (کاربری‌های ساخته شده) است و رشد شهر گرگان طی سال‌های آینده به سمت زمین‌های زراعی در پیرامون شمال، شمال غربی و شمال شرقی خواهد رفت.

محدوده مورد مطالعه

دشت ارومیه در شمال غرب ایران واقع شده و از نظر توپوگرافی به دو بخش متمایز تقسیم می‌شود. بخش غربی آن کوهستانی با شیب تند است، در حالی که بخش شرقی دارای ویژگی‌های دشتی با شیب ملایم بوده که به سمت دریاچه ارومیه امتداد می‌یابد. این دشت با مساحت ۲۶۰۰ کیلومتر مربع بین مختصات جغرافیایی ۴۴ درجه و ۲۰ دقیقه تا ۴۵ درجه و ۲۰ دقیقه طول شرقی و ۳۷ درجه و ۶ دقیقه تا ۳۸ درجه عرض شمالی قرار گرفته و متوسط ارتفاع آن ۱۳۴۰ متر از سطح دریا است (شکل ۱). از نظر اقلیمی، دشت ارومیه دارای دمای متوسط سالانه ۱۰/۵ درجه سانتیگراد است. این دشت دارای آب‌وهوایی با زمستان‌های سرد و تابستان‌های معتدل هست و متوسط بارندگی سالانه در آن حدود ۳۰۴ میلی‌متر بوده است (صمدی و همکاران، ۱۳۹۴). از دیدگاه زمین‌شناسی، دشت ارومیه حاصل عقب‌نشینی دریاچه در اواخر دوران سوم است. بر اساس تقسیم‌بندی‌های مختلف زمین‌شناسی، بخش شرقی دریاچه ارومیه به زون البرز-آذربایجان و بخش غربی به زون ماکو-مهاباد تعلق دارد. تشکیل این دشت نتیجه فعالیت‌های رودخانه‌ای و انباشت رسوبات در طول زمان بوده است.



شکل ۱. موقعیت دشت ارومیه در استان آذربایجان غربی و ایران

مواد و روش‌ها

داده‌های مورد استفاده

در این پژوهش جهت مشخص کردن تغییرات کاربری اراضی از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۵ (TM)، لندست ۷ (ETM+) و لندست ۸ (OLI) مربوط به سال‌های ۱۹۸۴، ۲۰۰۰ و ۲۰۲۰ استفاده شده است. تمامی تصاویر از پایگاه داده USGS دریافت و دارای پوشش ابری کمتر از ۱۰٪ می‌باشند. در جدول ۱ مشخصات تصاویر ماهواره‌ای که در پژوهش حاضر برای تهیه نقشه کاربری اراضی مورد استفاده قرار گرفته شده است.

جدول ۱. مشخصات تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده

ماهواره	نوع سنجنده	تاریخ اخذ تصویر	قدرت تفکیک مکانی	شماره ردیف و ستون	قدرت تفکیک رادیومتریکی
لندست ۵	TM	۱۹۸۴/۰۸/۱۸	۳۰ متر	۱۶۹-۳۴	۸ بیت
لندست ۷	ETM+	۲۰۰۰/۰۸/۲۲	۳۰ متر	۱۶۹-۳۴	۸ بیت
لندست ۸	OLI	۲۰۲۰/۰۸/۲۱	۳۰ متر	۱۶۹-۳۴	۱۲ بیت

روش پژوهش

پیش پردازش تصاویر ماهواره‌ای

پس از دریافت تصاویر ماهواره‌ای، در مرحله اول پیش‌پردازش، تصحیحات رادیومتریکی و اتمسفری بر روی تصاویر اعمال شد. هدف از این مرحله، رفع خطاهای سیستماتیک و غیرسیستماتیک موجود در تصاویر خام بود. تصحیحات رادیومتریکی به تصحیحاتی اطلاق می‌شود که منحصراً بر روی مقادیر روشنایی پیکسل‌ها (درجات خاکستری) اعمال می‌شوند و با اصلاح مقادیر پیکسل به پیکسل، برخی از خطاهای تصاویر اصلاح می‌گردند. از جمله این خطاها می‌توان به موارد زیر اشاره کرد: خطوط حذف‌شده (جاافتاده)، خطای نوار شدگی (Striping)، خطاهای اتمسفری، خطاهای ناشی از عملکرد سنجنده، نویز تصویر. دو نوع تصحیح رادیومتریکی وجود دارد:

تصحیح رادیومتریکی مطلق و تصحیح رادیومتریکی نسبی. تصحیح رادیومتریکی مطلق نیازمند داده‌های مربوط به ویژگی‌های اتمسفری و کالیبراسیون سنجنده است. انجام این تصحیح در برخی موارد، به‌ویژه برای داده‌های قدیمی، دشوار است (Du et al., 2002). تصحیح رادیومتریکی نسبی برای یکسان‌سازی مقادیر رادیومتریکی در تصاویر مختلف به کار می‌رود. تصحیحات اتمسفری یکی از مهم‌ترین مراحل پیش‌پردازش تصاویر ماهواره‌ای محسوب می‌شود. این تصحیح زمانی اهمیت می‌یابد که مقایسه و تحلیل تصاویر چندزمانه مورد نظر باشد (Suykens and Vandewalle, 1999). همچنین، برای سنجنده‌های چندطیفی مانند اسکنرهای ماهواره‌های لندست که داده‌ها را در محدوده طیف مرئی و مادون قرمز نزدیک ثبت می‌کنند، این اصلاحات ضروری است، زیرا اثرات جذب اتمسفر بر روی باندهای مرئی و مادون قرمز قابل توجه است. در این پژوهش، جهت انجام تصحیحات رادیومتریکی و اتمسفری با استفاده از دستور Radiometric Calibration در نرم‌افزار ENVI، رادینانس طیفی بالای اتمسفر محاسبه شد و به عنوان ورودی مدل FLAASH، جهت انجام تصحیح اتمسفری استفاده شده است. تصحیح اتمسفری، به میزان قابل ملاحظه‌ای وضوح تصویر را افزایش می‌دهد.

طبقه‌بندی تصاویر

طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای به عنوان هسته اصلی پردازش تصاویر محسوب می‌شود. در این مرحله، با تحلیل بازتاب‌های طیفی ثبت‌شده در باندهای مختلف، پیکسل‌های تصویر به کلاس‌های مشخصی از پوشش و کاربری اراضی اختصاص می‌یابد (امیدوار و همکاران، ۱۳۹۴). این روش با تبدیل داده‌های خام به نقشه‌های موضوعی، امکان تفسیر و تحلیل وضعیت زمین را فراهم می‌سازد. اساس کار بر مبنای مقایسه الگوهای طیفی پیکسل‌ها با نمونه‌های آموزشی انجام می‌شود که در نهایت منجر به تولید نقشه‌های کاربری اراضی با دقت قابل قبول می‌گردد. پس از انجام تصحیحات لازم بر روی تصاویر، فرآیند طبقه‌بندی نظارت شده با انتخاب مناطق نمونه آغاز گردید. در این پژوهش، ۶۰ نمونه آموزشی از طریق بررسی‌های میدانی و با استفاده از تصاویر Google Earth انتخاب شدند و نوع کاربری فعلی این نقاط به دقت تعیین گردید و سپس به عنوان داده‌های آموزشی در الگوریتم طبقه‌بندی حداکثر احتمال مورد استفاده قرار گرفتند.

الگوریتم حداکثر احتمال، از روش‌های طبقه‌بندی پیکسل پایه و از پرکاربردترین الگوریتم‌ها در طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای است. مطالعه مروری چوگتای^۱ و همکاران (۲۰۲۳) نیز نشان می‌دهد که روش آشکارسازی تغییرات پس از طبقه‌بندی با استفاده از طبقه‌بندی نظارت‌شده و الگوریتم حداکثر احتمال (MLC)، به دلیل تطبیق‌پذیری بالا و دستیابی به صحت مطلوب در مناطق مختلف با پوشش‌های متنوع، از مناسب‌ترین و پرکاربردترین روش‌ها محسوب می‌شود. این الگوریتم با محاسبه واریانس و کوواریانس کلاس‌های مختلف، احتمال تعلق هر پیکسل به کلاس‌های آموزشی را تعیین می‌کند (رضایی مقدم و همکاران، ۱۳۹۵). اساس این الگوریتم بر پایه فرض توزیع نرمال نقاط آموزشی استوار است، به این معنی که نمونه‌های آموزشی هر کلاس باید از پراکنش نرمال پیروی کنند. برای دستیابی به نتایج دقیق، نمونه‌های آموزشی باید به اندازه کافی و متنوع انتخاب شوند تا بتوانند به خوبی تغییرات طیفی موجود در هر کلاس را پوشش دهند (علوی پناه، ۱۳۹۵). با توجه به بررسی‌های انجام‌شده و اثبات کارایی این روش در مطالعات متعدد، از الگوریتم حداکثر احتمال برای طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای در این پژوهش استفاده شد.

ارزیابی دقت طبقه‌بندی

در مطالعات سنجش از دور، ارزیابی دقت طبقه‌بندی نقشه‌های کاربری اراضی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. هدف از بررسی صحت ارزیابی، میزان همخوانی نقشه حاصل از طبقه‌بندی با واقعیت زمینی است. این فرآیند با مقایسه سیستماتیک پیکسل‌های نقشه تولیدشده با داده‌های مرجع زمینی انجام می‌گیرد. در این پژوهش، از ماتریس خطا به عنوان ابزار اصلی ارزیابی استفاده شد که امکان محاسبه شاخص‌های دقت شامل دقت کلی^۲ و ضریب کاپا را فراهم می‌سازد (Brandt et al., 2013). دقت کلی معیاری است

¹ - Chughtai

² - Overall Accuracy

که درصد پیکسل‌های صحیح طبقه‌بندی شده را نشان می‌دهد. این شاخص از طریق تقسیم مجموع مقادیر قطر اصلی ماتریس خطا بر تعداد کل پیکسل‌های مورد ارزیابی محاسبه می‌شود. در مطالعات سنجش از دور و تهیه نقشه‌های کاربری اراضی، حداقل استاندارد قابل قبول برای دقت کلی معمولاً ۸۵ درصد در نظر گرفته می‌شود تا نتایج از اعتبار علمی کافی برخوردار باشند. برای محاسبه دقت کلی از رابطه زیر استفاده شده است (محمدی و همکاران، ۱۳۹۷):

$$OA = \frac{1}{N} \sum P_{ij} \quad \text{رابطه ۱}$$

که در این رابطه OA بیانگر دقت کلی، N تعداد پیکسل‌های معلوم و P_{ij} جمع عناصر قطر ماتریس خطاست. ضریب کاپا صحت طبقه‌بندی را نسبت به یک طبقه‌بندی کاملاً تصادفی محاسبه می‌کند. ضریب کاپا بر اساس رابطه ۲ محاسبه می‌شود:

$$Kappa = \frac{Po - Pc}{1 - Pc} \times 100 \quad \text{رابطه ۲}$$

در این رابطه، Po نشان‌دهنده درستی مشاهده شده و Pc نشان‌دهنده توافق مورد انتظار است. حالت ایده‌آل برای ضریب کاپا عدد ۱ می‌باشد (مهران و همکاران، ۱۴۰۲). برای انجام ارزیابی دقت، از ۶۰ نمونه آموزشی در طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای لندست استفاده شد. ۳۰ درصد از نمونه‌های هر کلاس کاربری به طور تصادفی برای مرحله اعتبارسنجی انتخاب گردید. پس از تکمیل فرآیند طبقه‌بندی، نتایج به محیط ArcGIS منتقل شد و مساحت هر یک از طبقات کاربری با دقت محاسبه گردید.

یافته‌های پژوهش

طبقه‌بندی تصاویر و ارزیابی دقت

پس از اعمال روش طبقه‌بندی نظارت شده حداکثر احتمال با استفاده از نمونه‌های آموزشی (ROI) در نرم‌افزار ENVI، طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای انجام شد. بدین ترتیب نقشه‌های کاربری در ۶ کلاس کاربری اراضی شامل اراضی کشاورزی و باغ، مرتع، انسان-ساخت، مناطق بایر، آب و نمکزار استخراج شد (جدول ۲). انتخاب این کلاس‌ها نه تنها بازتابنده پوشش‌های طبیعی غالب (مرتع، آب، نمکزار) است، بلکه مهم‌ترین فعالیت‌های انسان‌ساز مؤثر بر دشت (کشاورزی، سکونتگاه‌ها) و نیز وضعیت زمین‌های تخریب‌یافته (بایر) را پوشش می‌دهد. تفکیک نمکزار به عنوان کلاسی مستقل، نشان‌دهنده حساسیت مطالعه به پیامدهای محیطی مهم منطقه، مانند خشکی دریاچه ارومیه و پیشروی زمین‌های شور است.

در مرحله بعد و پس از طبقه‌بندی کاربری‌های اراضی، به ارزیابی دقت با استفاده از پارامترهای دقت کلی و ضریب کاپا پرداخته شد. برای ارزیابی دقت طبقه‌بندی، انتخاب یک‌سری پیکسل‌های نمونه معلوم و مقایسه کلاس آنها با نتایج طبقه‌بندی لازم می‌باشد. بنابراین تصاویر طبقه‌بندی شده با نمونه‌های زمینی تهیه شده از Google earth مورد بررسی قرار گرفت و میزان دقت کاربری‌ها به شرح جدول ۳ به دست آمد. نتایج ارزیابی صحت نقشه‌های کاربری اراضی تولیدشده برای سال‌های ۱۹۸۴، ۲۰۰۰ و ۲۰۲۰ حاکی از قابلیت اطمینان بالای این نقشه‌هاست. صحت کلی طبقه‌بندی از ۹۱ درصد در سال ۱۹۸۴ به ۹۳ درصد در سال ۲۰۰۰ و در نهایت به ۹۶ درصد در سال ۲۰۲۰ افزایش یافته است. این روند صعودی هم‌راستا با بهبود فناوری سنجنده‌های لندست و نیز افزایش دسترسی به منابع مرجع با وضوح بالاتر برای سال‌های اخیر است. ضریب کاپا نیز که معیاری قوی‌تر برای سنجش توافق است، روندی مشابه و افزایشی را نشان می‌دهد؛ به طوری که از ۰/۸۵ در سال ۱۹۸۴ به ۰/۸۸ در سال ۲۰۲۰ رسیده است و تمامی مقادیر کاپا بالاتر از ۰/۸۵ هستند. در کل، میزان تطابق نمونه‌ها با واقعیت زمینی بسیار بالاست که نشان‌دهنده طبقه‌بندی صحیح تصاویر می‌باشد.

جدول ۲. کلاس کاربری‌های استخراج شده در دشت ارومیه

کلاس	کاربری	توضیحات
۱	کشاورزی و باغ	شامل اراضی کشاورزی (دیم و آبی) و باغات
۲	مرتع	شامل انواع پوشش‌های مرتعی با میزان پوشش‌های متفاوت
۳	انسان‌ساخت	شامل شهرها، روستاها، جاده‌ها، مناطق مسکونی و صنعتی
۴	مناطق بایر	شامل اراضی که در آن ساخت‌وساز و پوشش گیاهی وجود ندارد
۵	آب	دریاچه، رودخانه و تالاب‌ها
۶	نمکزار	سواحل نمکی دریاچه

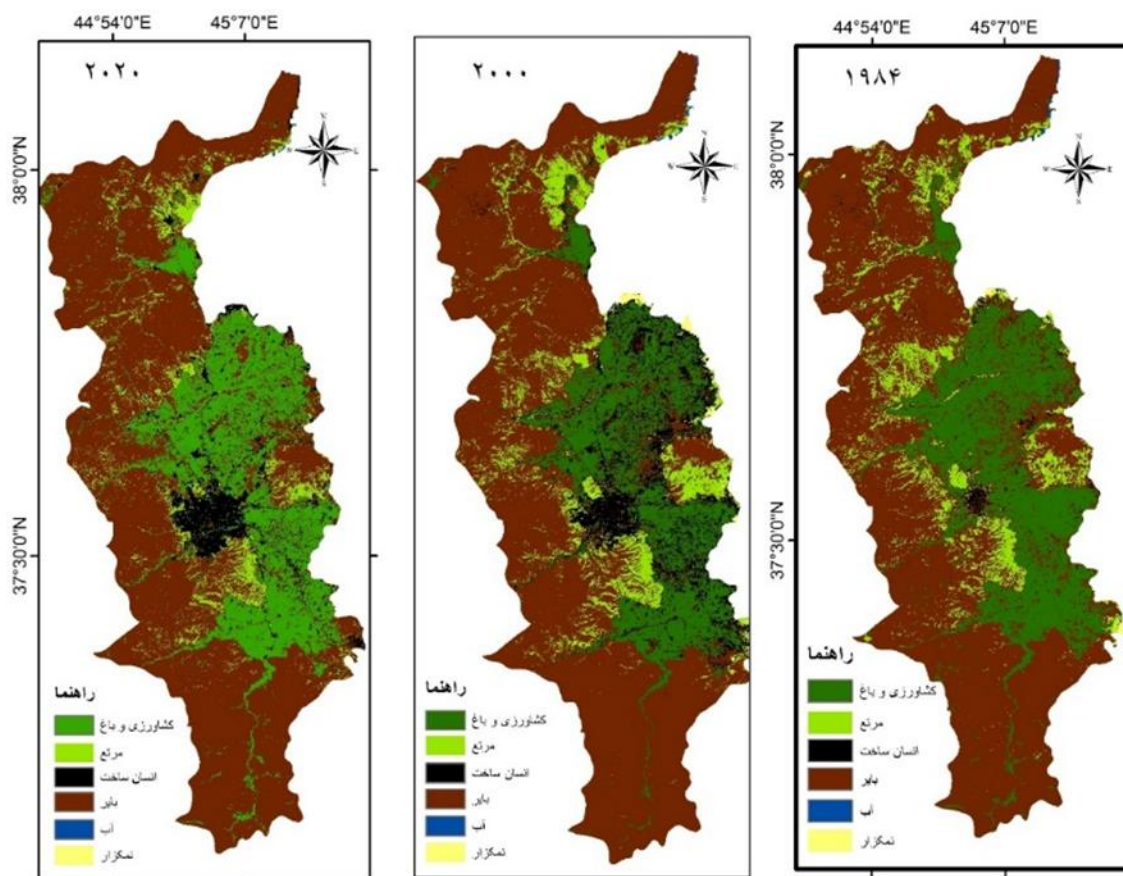
جدول ۳. دقت طبقه‌بندی نقشه‌های کاربری اراضی برای سال‌های ۱۹۸۴، ۲۰۰۰ و ۲۰۲۰

سال	تصویر	صحت کلی	ضریب کاپا
۱۹۸۴	TM	۰/۹۱	۰/۸۵
۲۰۰۰	ETM+	۰/۹۳	۰/۸۶
۲۰۲۰	OLI	۰/۹۶	۰/۸۸

نقشه کاربری اراضی دشت ارومیه با روش طبقه بندی نظارت شده و الگوریتم حداکثر احتمال برای سال‌های ۱۹۸۴، ۲۰۰۰ و ۲۰۲۰ در شکل ۲ ارائه شده است. پس از به دست آوردن خروجی مدنظر، بر اساس نقشه‌های تولیدی، مساحت هر کلاس و شناسایی تغییرات کلاس‌های مختلف در طول دوره‌های زمانی مورد مطالعه بر اساس روش مقایسه پس از طبقه‌بندی در جدول‌های ۴ و ۵ محاسبه شده است. نتایج نشان‌دهنده سلطه دو کلاس مناطق بایر و کشاورزی و باغ بر سیمای سرزمینی دشت ارومیه در تمامی دوره‌های مطالعاتی است. کلاس مناطق بایر با وسعتی بین ۳۹ تا ۴۲ درصد از کل منطقه (حدود ۱۰۴۷ تا ۱۰۹۱ کیلومتر مربع)، پهناورترین کلاس کاربری را به خود اختصاص داده است. این مساحت بالا عمدتاً بیانگر محدودیت‌های طبیعی (نظیر خاک‌های شور و قلیایی، شیب‌های تند) و نیز پیامدهای فعالیت‌های انسانی و تغییرات اقلیمی در این دشت حساس است. کلاس کشاورزی و باغ نیز به عنوان اصلی‌ترین شکل بهره‌برداری انسان از زمین، روندی افزایشی و قابل توجه را تجربه کرده است. مساحت این کلاس از حدود ۵۸۴ کیلومتر مربع (۲۲ درصد) در سال ۱۹۸۴ به نزدیک ۷۰۰ کیلومتر مربع (۲۶ درصد) در سال ۲۰۲۰ رسیده که نشان‌دهنده گسترش فیزیکی قابل ملاحظه فعالیت‌های کشاورزی در منطقه طی چهار دهه اخیر است.

در مقابل، کلاس‌های مرتع و آب روندی کاهشی و نگران‌کننده را نشان می‌دهند. مساحت مراتع از حدود ۵۱۵ کیلومتر مربع (۱۹ درصد) در سال ۱۹۸۴ به حدود ۴۰۳ کیلومتر مربع (۱۵ درصد) در سال ۲۰۲۰ کاهش یافته که حاکی از تخریب و تبدیل این پهنه‌های طبیعی ارزشمند است. کاهش شدیدتر و چشمگیرتر در کلاس آب روی داده است، به طوری که مساحت پهنه‌های آبی از ۳۳ کیلومتر مربع (۱/۲ درصد) در ابتدای دوره به تنها ۲۲ کیلومتر مربع (۰/۸ درصد) در انتهای دوره رسیده است. این کاهش ۳۳ درصدی، به وضوح بحران خشکی و کاهش منابع آب سطحی در دشت ارومیه، به‌ویژه در ارتباط با دریاچه ارومیه، را بازتاب می‌دهد. کلاس انسان‌ساخت (شامل سکونتگاه‌ها و زیرساخت‌ها) نیز رشدی پیوسته و قابل انتظار را نشان می‌دهد و از ۳۹۸ کیلومتر مربع (۱۵ درصد) در سال ۱۹۸۴ به ۴۲۷ کیلومتر مربع (۱۶ درصد) در سال ۲۰۲۰ افزایش یافته است که هم‌راستا با رشد جمعیت و توسعه فیزیکی سکونتگاه‌ها در منطقه است. کلاس نمکزارها اگرچه از نظر مساحت مطلق کم‌ترین سهم را دارد (کمتر از ۱ درصد)، اما روند افزایشی آن از ۱۲ کیلومتر مربع به ۱۶ کیلومتر مربع (افزایش ۳۳ درصدی) نشانه‌ای هشداردهنده از تشدید پدیده شور شدن و بیابان‌زایی، به‌ویژه در حواشی دریاچه در حال خشکیدن ارومیه، است.

به طور خلاصه، تحلیل کمی مساحت‌ها روند اصلی حاکم بر دشت ارومیه در بازه ۱۹۸۴ تا ۲۰۲۰ را نشان می‌دهد: افزایش مداوم سطوح کشاورزی و انسان‌ساخت در کنار کاهش نگران‌کننده پهنه‌های آبی و مرتعی. این الگوی تغییر، فشار فزاینده فعالیت‌های انسانی بر منابع محدود آب و خاک و تخریب پوشش‌های طبیعی را به وضوح تصویر می‌کند. مقایسه مستقیم این نقشه‌ها و محاسبه ماتریس تغییرات (جدول ۵) در بخش بعدی، جزئیات دقیق‌تر و مسیرهای تبدیل بین این کلاس‌ها را آشکار خواهد ساخت.



شکل ۲. نقشه تغییرات کاربری دشت ارومیه در سال‌های ۱۹۸۴، ۲۰۰۰ و ۲۰۲۰

جدول ۴. مساحت و درصد کاربری‌های اراضی دشت ارومیه برای سال‌های ۱۹۸۴، ۲۰۰۰ و ۲۰۲۰

کاربری	سال ۱۹۸۴		سال ۲۰۰۰		سال ۲۰۲۰	
	مساحت (کیلومتر مربع)	درصد	مساحت (کیلومتر مربع)	درصد	مساحت (کیلومتر مربع)	درصد
کشاورزی و باغ	۵۸۳/۷۵۳	۲۲/۱۶	۶۰۲/۱۴۵	۲۲/۸۶	۶۹۸/۶۵۷	۲۶/۵۲
مرتع	۵۱۴/۵۹۳	۱۹/۵۴	۵۲۸/۳۱۶	۲۰/۰۶	۴۰۳/۳۵۳	۱۵/۳۱
انسان‌ساخت	۳۹۸/۰۲	۱۵/۱۱	۴۱۰/۵۶۷	۱۵/۵۹	۴۲۷/۲	۱۶/۲۲
مناطق بایر	۱۰۹۱/۹۱۹	۴۱/۴۵	۱۰۴۷/۲۵۷	۳۹/۷۶	۱۰۶۷/۲۸۸	۴۰/۵۲
آب	۳۳/۵۱	۱/۲۷	۳۲/۵۵۲	۱/۲۳	۲۱/۴۵	۰/۸۲
نمکزار	۱۲/۳۱۴	۰/۴۷	۱۳/۲۷۲	۰/۵۰	۱۶/۱۶۱	۰/۶۱

در ادامه و جهت واکاوی دقیق‌تر تغییرات، نتایج حاصل از مقایسه نقشه‌ها و محاسبه میزان انتقال بین کلاس‌ها در دو مقطع زمانی (۱۹۸۴-۲۰۰۰) و (۲۰۰۰-۲۰۲۰) ارائه می‌گردد (جدول ۵). این تحلیل، نه تنها روندهای کلی افزایش یا کاهش را تأیید می‌کند، بلکه مسیرهای غالب تبدیل کاربری‌ها و نقاط بحرانی تعامل انسان و محیط در دشت ارومیه را آشکار می‌سازد.

در دوره نخست (۱۹۸۴-۲۰۰۰)، الگوی تغییرات عمدتاً حول محور توسعه کشاورزی و مدیریت اراضی بایر شکل گرفته بود. گسترش ۱۸/۳۹۲ کیلومترمربعی عرصه‌های کشاورزی و باغ و افزایش ۱۲/۳۶۷ کیلومترمربعی سطوح انسان‌ساخت، مؤید فشار فزاینده فعالیت‌های انسانی بود. با این حال، نکته قابل تأمل در این دوره، افزایش مساحت مراتع (۱۳/۷۲۳ کیلومترمربع) بود که حتی از رشد سطوح انسان‌ساخت نیز بیشتر بود. این افزایش می‌تواند ناشی از اجرای طرح‌های مدیریتی و احیایی در بخش مرتع، و نیز تبدیل موقت برخی از اراضی بایر یا کم‌بازده به پوشش طبیعی بوده باشد. در تقابلی نسبتاً متعادل، مناطق بایر با کاهش قابل توجه ۴۴/۶۶۲ کیلومترمربعی مواجه شد که احتمالاً ناشی از تبدیل بخشی از این اراضی به کشاورزی یا احیای موقت پوشش گیاهی بود. تغییرات پهنه‌های آب (۰/۹۵۸ کیلومترمربع) و نمکزار (۰/۹۵۸ کیلومترمربع) نیز کم و نسبتاً ناچیز بود.

با این حال، گذر به دوره دوم (۲۰۰۰-۲۰۲۰) نشان‌دهنده یک چرخش آشکار و نگران‌کننده به سمت الگویی کاملاً مخرب است. در این مقطع، روند مثبت مراتع نه تنها متوقف شد، بلکه به یکی از شدیدترین کاهش‌ها تبدیل گردید (۱۲۴/۹۶۳ کیلومترمربع). این کاهش چشمگیر، احتمالاً پیامد مستقیم تشدید فشارهای ناشی از توسعه کشاورزی و تغییرات اقلیمی (مانند خشکسالی‌های متوالی) بر این اکوسیستم‌های حساس است. همزمان، روندهای توسعه‌ای با شتابی فزاینده ادامه یافتند؛ به طوری که افزایش وسعت کشاورزی و باغ (۹۶/۵۱۲ کیلومترمربع) و انسان‌ساخت (۱۶/۶۳۳ کیلومترمربع) بیشتر از دوره قبل بود. در ادامه این چرخه تخریب، مناطق بایر نیز روندی افزایشی (۲۰/۰۳۱ کیلومترمربع) در پیش گرفت که می‌تواند نشانه‌ای از رهاشدگی اراضی، بیابان‌زایی و اثرات خشکسالی باشد. بحران منابع آب نیز عمق بیشتری یافت و کاهش پهنه‌های آب به ۱۱/۱۰۲ کیلومترمربع (بیش از ۱۱ برابر کاهش دوره قبل) رسید. گسترش نمکزارها (۲/۸۸۹ کیلومترمربع) نیز شتاب گرفت که بازتاب روشنی از پیامدهای خشکی دریاچه ارومیه و پیشروی شوری است.

جمع‌بندی نهایی این دو دوره نشان می‌دهد دشت ارومیه از یک دوره تعادل نسبی و با پتانسیل احیای طبیعی (۱۹۸۴-۲۰۰۰)، که در آن رشد مراتع حتی از توسعه فیزیکی سکونتگاه‌ها پیشی گرفته بود، وارد یک دوره بحرانی و شتابان تخریب (۲۰۰۰-۲۰۲۰) شده است. در این دوره جدید، سه روند به صورت هم‌زمان و تشدیدشونده عمل کرده‌اند: شتاب در توسعه کشاورزی و شهری، فروپاشی و تخریب شدید اکوسیستم‌های طبیعی (مرتع و آب)، و گسترش عوارض ثانویه تخریب (بایر شدن و شور شدن زمین‌ها). این گذار از یک وضعیت «بهبود نسبی» به وضعیت «تخریب شتابان»، هشدار جدی درباره شکست راهبردهای مدیریتی گذشته و لزوم اتخاذ فوری رویکردهای یکپارچه و سازگار با محیط‌زیست برای نجات این دشت حاصلخیز است.

جدول ۵. تغییرات کاربری اراضی دشت ارومیه بین سال‌های ۱۹۸۴ تا ۲۰۲۰

کاربری	تغییرات در مقطع زمانی ۲۰۰۰-۱۹۸۴		تغییرات در مقطع زمانی ۲۰۲۰-۲۰۰۰	
	وضعیت	کیلومتر مربع	وضعیت	کیلومتر مربع
کشاورزی و باغ	افزایش	۱۸/۳۹۲	افزایش	۹۶/۵۱۲
مرتع	افزایش	۱۳/۷۲۳	کاهش	۱۲۴/۹۶۳
انسان‌ساخت	افزایش	۱۲/۳۶۷	افزایش	۱۶/۶۳۳
مناطق بایر	کاهش	۴۴/۶۶۲	افزایش	۲۰/۰۳۱
آب	کاهش	۰/۹۵۸	کاهش	۱۱/۱۰۲
نمکزار	افزایش	۰/۹۵۸	افزایش	۲/۸۸۹

نتیجه‌گیری و پیشنهادها

تغییرات کاربری اراضی بدون برنامه ریزی مشخص و منطقی و بدون توجه به پیامدهای زیست محیطی آن تبدیل به یک مشکل حاد در کشور و به‌ویژه در دشت ارومیه شده است. این پژوهش با استفاده از فناوری سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS)، به تحلیل کمی و کیفی تغییرات کاربری اراضی در دشت ارومیه طی یک بازه زمانی ۳۶ ساله (۱۹۸۴-۲۰۲۰) پرداخت. نتایج حاصل از طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای لندست با دقتی عالی (ضریب کاپا بالاتر از ۰/۸۵)، تصویری روشن و نگران‌کننده از پویایی‌های سرزمینی این منطقه حساس را آشکار ساخت. یافته‌های تحقیق نشان داد که سیمای سرزمینی دشت ارومیه در حال تجربه یک گذار بوم‌شناختی بحرانی است که با سه روند هم‌زمان و تشدیدشونده مشخص می‌شود: شتاب در توسعه عرصه‌های انسان‌ساز (افزایش ۴/۳ درصدی اراضی کشاورزی و گسترش سکونتگاه‌ها)، فروپاشی اکوسیستم‌های طبیعی کلیدی (کاهش ۳۳ درصدی پهنه‌های آبی و ۲۲ درصدی مراتع) و گسترش عوارض ثانویه تخریب (افزایش مناطق بایر و نم‌کزارها). این الگو حاکی از شکل‌گیری یک چرخه معیوب تخریب است که در آن توسعه ناپایدار، تاب‌آوری محیط را کاهش داده و به تشدید پدیده‌هایی مانند بیابان‌زایی و شورشیدن خاک دامن زده است. مقایسه دو مقطع زمانی (۱۹۸۴-۲۰۰۰ و ۲۰۰۰-۲۰۲۰) به وضوح نشان می‌دهد که روند تخریب پس از سال ۲۰۰۰ شتاب گرفته است، به طوری که مراتع از وضعیتی با قابلیت احیا به یکی از قربانیان اصلی این چرخه تبدیل شده‌اند. این وضعیت هشداردهنده، ضرورت بازنگری فوری در راهبردهای توسعه و مدیریت منابع در منطقه را آشکار می‌سازد.

بر این اساس، پیشنهادهای محوری این مطالعه در دو سطح ارائه می‌گردد: در سطح سیاست‌گذاری و مدیریتی، اولویت با تدوین و اجرای برنامه آمایش سرزمین مبتنی بر توان اکولوژیک است تا از توسعه بی‌ضابطه در عرصه‌های حساس جلوگیری شود. این امر باید با مدیریت یکپارچه و سخت‌گیرانه منابع آب (شامل بهینه‌سازی مصرف در کشاورزی و کنترل برداشت از آب‌های زیرزمینی) و اجرای طرح‌های فوری احیای مراتع و مهار بیابان‌زایی همراه باشد. موفقیت این راهبردها مستلزم تقویت حکمرانی مشارکتی و جلب همکاری ذی‌نفعان محلی است. در سطح پژوهشی، لازم است مطالعات آتی به شناسایی و وزن‌دهی دقیق‌تر عوامل محرک (از جمله نقش تغییرات اقلیمی و سیاست‌های کلان)، ارزیابی کیفی پیامدهای اقتصادی-اجتماعی و زیست‌محیطی این تغییرات، و مدل‌سازی سناریوهای آینده با استفاده از داده‌های با وضوح بالاتر بپردازند. تنها از طریق چنین رویکرد یکپارچه‌ای است که می‌توان امیدوار بود دشت ارومیه، این اکوسیستم ارزشمند، از سرنوشتی مخرب نجات یابد و بستری برای توسعه‌ای پایدار و سازگار با محیط‌زیست در آن فراهم آید.

ملاحظات اخلاقی

پیروی از اصول اخلاق پژوهش

نویسندگان اصول اخلاقی را در انجام و انتشار این پژوهش علمی رعایت نموده‌اند و این موضوع مورد تأیید همه آنهاست.

مشارکت نویسندگان

مشارکت نویسندگان در مقاله به شکل توضیح داده شده از سوی مجله، مورد تأیید نویسندگان این مقاله است.

تعارض منافع

بنا بر اظهار نویسندگان این مقاله تعارض منافع ندارد.

حامی مالی

مقاله حاضر فاقد حمایت مالی است.

سپاسگزاری

از کلیه کسانی که در مراحل مختلف نوشتن این مقاله با نظرات خود ما را یاری دادند سپاسگزاری می‌کنیم.

References

- Alavipanah, S. K. (2016). Application of remote sensing in earth sciences (soil sciences), Tehran University Press. (In Persian)
- Arekhi, S. (2025). Prediction of land use changes using multi-temporal images and CA-MARKOV model (Case study: Gorgan City). *Journal of Sustainable Urban & Regional Development Studies (JSURDS)*, 6(3), 121-138. (In Persian)
- Samadi, R., Behmanesh, J., & Rezaei, H. (2015). Investigation of groundwater level changes trend (Case study: Urmia plain), *Water and Soil Conservation*, 22(4), 67-84. (In Persian)
- Brandt, J. S., Haynes, M. A., Kuemmerle, T., Waller, D. M., & Radeloff, V. C. (2013). Regime shift on the roof of the world: Alpine meadows converting to shrublands in the southern Himalayas. *Biological Conservation*, 158, 116-127. doi.org/10.1016/j.biocon.2012.07.026
- Chen, H., Chen, C., Zhang, Z., Lu, C., Wang, L., He, X., ... & Chen, J. (2021). Changes of the spatial and temporal characteristics of land-use landscape patterns using multi-temporal Landsat satellite data: A case study of Zhoushan Island, China. *Ocean & Coastal Management*, 213, 105842. doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2021.105842
- Chen, X., Vierling, L., & Deering, D. (2005). A simple and effective radiometric correction method to improve landscape change detection across sensors and across time. *Remote Sensing of Environment*, 98(1), 63-79. doi.org/10.1016/j.rse.2005.05.021
- Chughtai, A. H., Abbasi, H., & Karas, I. R. (2021). A review on change detection method and accuracy assessment for land use land cover. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 22, 100482. doi.org/10.1016/j.rsase.2021.100482
- Das, S., & Angadi, D. P. (2022). Land use land cover change detection and monitoring of urban growth using remote sensing and GIS techniques: A micro-level study. *GeoJournal*, 87(3), 2101-2123. doi.org/10.1007/s10708-020-10359-1
- Davoudi Monazam, Z., Hajinejad, A., Abbasnia, M., & Pourhashemi, S. (2014). Detecting of land use change with remote sensing technique (Case study: Shahriar province). *Journal of RS and GIS for Natural Resources*, 5(1), 1-13. (In Persian)
- Du, Y., Teillet, P. M., & Cihlar, J. (2002). Radiometric normalization of multitemporal high-resolution satellite images with quality control for land cover change detection. *Remote sensing of Environment*, 82(1), 123-134. [doi.org/10.1016/S0034-4257\(02\)00029-9](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(02)00029-9)
- Esmailnezhad, R. & Zeinalzadeh, K. (2020). Evaluation of Land Use Changes using Remote Sensing and GIS in Nazlou Chai sub basin. *Journal of Soil Management and Sustainable Production*, 9(4), 159-172. (In Persian) [doi: 10.22069/EJSMS.2020.16657.1892](https://doi.org/10.22069/EJSMS.2020.16657.1892)
- Gao, J., & O'Neill, B. C. (2020). Mapping global urban land for the 21st century with data-driven simulations and Shared Socioeconomic Pathways. *Nature communications*, 11(1), 2302. doi.org/10.1038/s41467-020-15788-7
- Ghodousi, V., Nazmfar, H., & 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. (In Persian)
- Hu, Y., Raza, A., Syed, N. R., Acharki, S., Ray, R. L., Hussain, S., ... & Elbeltagi, A. (2023). Land use/land cover change detection and NDVI estimation in Pakistan's Southern Punjab Province. *Sustainability*, 15(4), 3572. doi.org/10.3390/su15043572
- Imran, M. A., Ali, A., Ashfaq, M., Hassan, S., Culas, R., & Ma, C. (2018). Impact of Climate Smart Agriculture (CSA) practices on cotton production and livelihood of farmers in Punjab, Pakistan. *Sustainability*, 10(6), 2101. doi.org/10.3390/su10062101

- Javan, Kh., & Mehran, S. (2024). Land Surface temperature monitoring in Tabriz using Split window algorithm and investigating its relationship with land use changes. *Geography and Human Relationships*, 7(1), 186-204. (In Persian) doi: [10.22034/gahr.2023.425636.1987](https://doi.org/10.22034/gahr.2023.425636.1987)
- karimian, T., Amini, A., Bagheri, M., & Ghaiumi Mohammadi, H. (2020). Land Use Change Monitoring Using Landsat Satellite Image Data (Case study: Khan Mirza Plain). *Human Geography Research*, 52(2), 419-436. (In Persian) doi: [10.22059/jhgr.2018.258473.1007708](https://doi.org/10.22059/jhgr.2018.258473.1007708)
- Kidane, M., Tolessa, T., Bezie, A., Kessete, N., & Endrias, M. (2019). Evaluating the impacts of climate and land use/land cover (LU/LC) dynamics on the Hydrological Responses of the Upper Blue Nile in the Central Highlands of Ethiopia. *Spatial Information Research*, 27(2), 151-167. doi:[10.1007/s41324-018-0222-y](https://doi.org/10.1007/s41324-018-0222-y)
- Löbmann, M. T., Maring, L., Prokop, G., Brils, J., Bender, J., Bispo, A., & Helming, K. (2022). Systems knowledge for sustainable soil and land management. *Science of the Total Environment*, 822, 153389. doi.org/[10.1016/j.scitotenv.2022.153389](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153389)
- Long, H. (2022). Theorizing land use transitions: A human geography perspective. *Habitat international*, 128, 102669. [Dio.org/10.1016/j.habitatint.2022.102669](https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2022.102669)
- Luo, M., Hu, G., Chen, G., Liu, X., Hou, H., & Li, X. (2022). 1 km land use/land cover change of China under comprehensive socioeconomic and climate scenarios for 2020–2100. *Scientific data*, 9(1), 110. doi.org/[10.1038/s41597-022-01204-w](https://doi.org/10.1038/s41597-022-01204-w)
- Madadi, A., Faal Naziri, M., & Piroozi, E. (2022). Evaluation of land use changes and its effects on soil erosion in the basin upstream of Yamchi Dam in Ardabil, using ARAS multi-criteria decision algorithm and modern remote sensing methods. *Quantitative Geomorphological Research*, 11(2), 52-70. (In Persian) doi: [10.22034/gmpj.2022.315438.1314](https://doi.org/10.22034/gmpj.2022.315438.1314)
- Meer, M. S., & Mishra, A. K. (2020). Land use/land cover changes over a district in northern India using remote sensing and GIS and their impact on society and environment. *Journal of the Geological Society of India*, 95(2), 179-182. doi.org/[10.1007/s12594-020-1407-2](https://doi.org/10.1007/s12594-020-1407-2)
- Mehran, S., Taghilou A. A., & Javan, K. (2023). Analysis of Land use changes in the period 2018-2005 in Nazloo District of Urmia City. *Journal of Applied Researches in Geographical Sciences*. 23(70), 37-54. (In Persian) doi:[10.61186/jgs.23.70.37](https://doi.org/10.61186/jgs.23.70.37)
- Mohammadi, Sh., Habashi, Kh., & Pourmanafi, S. (2018). Monitoring and Prediction Land Use/Land Cover Changes and its Relation to Drought (Case Study: Sub-Basin Parsel B2, Zayandeh Rood Watershed). *Journal of RS and GIS for natural resources*, 9(1), 24-39. (In Persian)
- Mohamed, M. A., Anders, J., & Schneider, C. (2020). Monitoring of changes in land use/land cover in Syria from 2010 to 2018 using multitemporal landsat imagery and GIS. *Land*, 9(7), 226. [Doi.org/10.3390/land9070226](https://doi.org/10.3390/land9070226)
- MohanRajan, S. N., Loganathan, A., & Manoharan, P. (2020). Survey on Land Use/Land Cover (LU/LC) change analysis in remote sensing and GIS environment: Techniques and Challenges. *Environmental Science and Pollution Research*, 27(24), 29900-29926. doi.org/[10.1007/s11356-020-09091-7](https://doi.org/10.1007/s11356-020-09091-7)
- Naz, A., & Rasheed, H. (2017). Modeling the rice land suitability using GIS and multi-criteria decision analysis approach in Sindh, Pakistan. *Journal of Basic & Applied Sciences*, 13, 26-33. [Doi:10.6000/1927-5129.2017.13.05](https://doi.org/10.6000/1927-5129.2017.13.05)
- Omidva, D. K., Narangifard, M. & Abbasi, H. (2015). Detecting the Changes of land uses and vegetation cover using remote sensing in Yasooj city. *Geography and Territorial Spatial Arrangement*, 5(16), 111-126. (In Persian) doi: [10.22111/gaij.2015.2166](https://doi.org/10.22111/gaij.2015.2166)

- Rao, N. S., Gugulothu, S., & Das, R. (2022). Deciphering artificial groundwater recharge suitability zones in the agricultural area of a river basin in Andhra Pradesh, India using geospatial techniques and analytical hierarchical process method. *Catena*, 212, 106085. [Doi.org:10.1016/j.catena.2022.106085](https://doi.org/10.1016/j.catena.2022.106085)
- Rawat, J. S., & Kumar, M. (2015). Monitoring land use/cover change using remote sensing and GIS techniques: A case study of Hawalbagh block, district Almora, Uttarakhand, India. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 18(1), 77-84. doi.org/10.1016/j.ejrs.2015.02.002
- Rezaee, R., Qodusi, J., Hasani, A., Arjmandi, R., Vafaeinejad, A. (2021). Classification and Assessment of the land use changes using Landsat satellite imagery (Case Study: Qazvin plan's Aquifer). *Geographical Space*, 20(72), 185-204. (In Persian)
- Rezaei Moghadam, M.H., Andaryani, S., Valizadeh Kamran, K., & Almaspor, F. (2016). Determine the best algorithm for land use and land cover extraction and changes detecting from Landsat satellite images (Case Study: Sufi chay Basin of Maragheh). *Geographical Space*, 16(55), 65-85. (In Persian)
- Shahbazbegian, M., & hatami, M. (2022). Land Use Change analysis of the Lake Urmia Basin Using LCM model until 2040. *Geography and Regional Planning*, 12(49), 341-358. (In Persian) [doi: 10.22034/jgeoq.2023.272070.2921](https://doi.org/10.22034/jgeoq.2023.272070.2921)
- Shekar, P. R., & Mathew, A. (2023). Detection of land use/land cover changes in a watershed: A case study of the Murredu watershed in Telangana state, India. *Watershed Ecology and the Environment*, 5, 46-55. [Doi:10.1016/j.wsee.2022.12.003](https://doi.org/10.1016/j.wsee.2022.12.003)
- Suykens, J. A., & Vandewalle, J. (1999). Least squares support vector machine classifiers. *Neural processing letters*, 9, 293-300. doi.org/10.1023/A:1018628609742
- Toure, S. I., Stow, D. A., Shih, H. C., Weeks, J., & Lopez-Carr, D. (2018). Land cover and land use change analysis using multi-spatial resolution data and object-based image analysis. *Remote Sensing of Environment*, 210, 259-268. [Doi.org/10.1016/j.rse.2018.03.023](https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.03.023)
- Tunio, I. A., Memon, S. A., Abbasi, H., Abro, A. A., Kumar, L., Tunio, M. A., ... & Kumar, J. (2025). Spatiotemporal Assessment of Land Use Land Cover Change Detection and Normalized Difference Vegetation Index in Desert Area. *Rangeland Ecology & Management*, 101, 126-139. doi.org/10.1016/j.rama.2025.03.008
- Wubie, M. A., Assen, M., & Nicolau, M. D. (2016). Patterns, causes and consequences of land use/cover dynamics in the Gumara watershed of lake Tana basin, Northwestern Ethiopia. *Environmental Systems Research*, 5(1), 8. [Doi:10.1186/s40068-016-0058-1](https://doi.org/10.1186/s40068-016-0058-1)
- Yang, X., & Lo, C. P. (2002). Using a time series of satellite imagery to detect land use and land cover changes in the Atlanta, Georgia metropolitan area. *International Journal of Remote Sensing*, 23(9), 1775-1798. [Doi:10.1080/01431160110075802](https://doi.org/10.1080/01431160110075802)