نشریه علمی
علوم و مهندسی آبخیزداری ایران
Iran-Watershed Management
Science & Engineering

Vol. 19, No. 68, Spring 2025 سال نوزدهم- شماره ۶۸- بهار ۱۴۰۴

Assessment and Prediction of Land Use Changes Using a Modeling Approach (Case Study: Talar Watershed)

Shamim Ahmadi[1], Ataollah Kavian*[2], Karim Soleimani[3], Kaka Shahidi[4]
Abdulvahed Khaledi Darvishan[5]

Received: 03-09-2024, Revised 24-09-2024, Accepted: 29-10-2024, Published: 09-06-2025
https://doi.org/10.22034/19.68.2

Extended Abstract

Introduction

Land Use and Land Cover (LULC) changes have garnered significant attention in recent decades as a key factor in environmental and socio-economic analyses. These changes, particularly in watersheds, have far-reaching impacts on ecosystems and natural resources. Understanding past land use changes and predicting future trends is essential for strategic, dynamic, and forward-looking planning. Today, Remote Sensing (RS) and Geographic Information Systems (GIS) provide efficient, rapid, and cost-effective tools for assessing and predicting land use changes. This study focuses on the Talar Watershed, located in Mazandaran Province, which is part of the Caspian Sea basin. Due to its unique climatic and topographic conditions, this area is considered one of the critical regions in terms of land use changes driven by human activities such as urban development, agriculture, and deforestation. The present study aims to examine land use changes from 1996 to 2021 using satellite images (from the years 1996, 2008, and 2021) and to predict land use for 2046 in the Talar Watershed in Mazandaran Province. Additionally, the intensity and type of changes have been analyzed through a transition probability matrix, along with the rate of land use changes and land use dynamics.

Methodology

In this study, maps and data related to land use and physical and socio-economic variables (including slope, elevation, distance from water bodies, distance from roads, and distance from urban areas) were utilized. Landsat 5 and 8 satellite images with a spatial resolution of 30 meters were used to prepare land use maps. Data processing was conducted using the Google

1-Shamim Ahmadi: Ph.D. Student in Watershed Management, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran
2-Professor, Department of Watershed Management, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Address: Sari, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Faculty of Natural Resources, Watershed Management Department, Sari, Iran, Corresponding Authors: a.kavian@sanru.ac.ir
3-Karim Soleimani: Professor, Department of Watershed Management, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Address: Sari, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Faculty of Natural Resources, Watershed Management Department, Sari, Iran
4-Kaka Shahidi: Professor, Department of Watershed Management, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Address: Sari, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Faculty of Natural Resources, Watershed Management Department , Sari, Iran
5-Abdolvahid Khaledi Darvishaan: Associate Professor, Department of Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Noor, Address: Noor, Imam Reza Boulevard, Faculty of Natural Resources, Tarbiat Modares University, Watershed Management Department, Nur, Iran

[Downloaded from jwmsei.ir on 2025-12-19]

Earth Engine platform, employing a pixel-based algorithm and the Random Forest (RF) method with a Kappa index of 99%. Various indices, such as NDVI for vegetation, NDWI for water bodies, and NDBI for barren lands and urban areas, were used to enhance land use classification. An Elevation map was also used to improve the differentiation of features. Land use maps for three time points—1996, 2008, and 2021—were identified and classified into eight categories: water, forest, built-up areas, rangelands, forested rangelands, barren lands, irrigated agriculture, and rainfed agriculture. For land use change analysis and prediction, the MOLUSCE plugin in QGIS software was used. The analysis of changes from 1996 to 2021 was performed using intensity analysis and transition potential modeling. Additionally, predictive modeling for 2046 and its comparison with the current situation was conducted. Analyses were based on transition probability matrices and the Kappa index.

Results

The analysis of land use changes revealed significant transformations in the study area from 1996 to 2021. Specifically, the extent of forested rangelands and forest areas decreased by 20% and 9%, respectively, while built-up and rangeland areas increased by 34% and 23%, respectively. The rate of land use changes indicated that rangelands and barren lands experienced the most significant changes from 1996 to 2021. Positive changes were observed in built-up and rangeland areas, while negative trends were evident in forested and water body areas. The transition probability matrix showed that rangelands and forest areas are among the most stable land use classes, while barren lands are the most unstable. Land use simulation using the Markov chain and Cellular Automata (CA-ANN) model for 2046 predicted further decreases in forested and forest areas and an increase in built-up and rangeland areas, indicating a continuation of the current trend. These changes are primarily due to the reduction in forested rangelands and forest areas, influenced by social and economic factors, and indicate pressure on natural resources and the risk of biodiversity loss. Additionally, there is evidence of increased construction in dried-up water bodies caused by climate change, as well as a decline in forested lands. Each of these changes may have negative environmental consequences and could potentially lead to natural hazards in the future.

Discussion and Conclusion

In this research, land use change modeling was carried out to evaluate the accuracy of the Markov chain model and Cellular Automata (CA-ANN) of the MOLUSCE plugin using the Kappa index. The results of this study demonstrate the model's acceptable accuracy in predicting future land use changes. The findings indicate that land use changes in the Talar watershed are significantly influenced by physical and socio-economic factors. In particular, the reduction of forested lands and wooded rangelands, along with the increase in residential and rangeland areas, underscores the need for periodic assessments of natural resources and efforts to plan and enhance these resources. The expansion of residential areas and the fragmentation of forested lands and wooded rangelands may lead to further environmental degradation and hydrological changes. According to the predictions, these pressures will persist in the future; therefore, the formulation and implementation of effective land use management policies and sustainable development strategies are essential to mitigate negative impacts and maintain a balance in natural resources. This study emphasizes the necessity of precise evaluations, strategic planning, and the adoption of appropriate strategies at both local and national levels to reduce forest degradation and preserve biodiversity and natural resources. Furthermore, the findings of this research can serve as a foundation for similar studies in other regions, aiding in the improvement of environmental management and sustainable development in vulnerable areas.

Keywords: *Detection, MOLUSCE, prediction, simulation, Talar, land use change dynamics*

Article Type: Research Article

[Downloaded from jwmsei.ir on 2025-12-19]

Acknowledgement

We would like to express our sincere gratitude to the University of Sari Agricultural Sciences and Natural Resources for the logistical supports who significantly contributed during the research project.

Conflicts of interest

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

Data Availability Statement:

The datasets are available upon a reasonable request to the corresponding author

Authors' contribution

Shamim Ahmadi: Writing, Original draft preparation, Statistical analysis, Map preparation

Ataollah Kavian: Visualization, Supervision, Conceptualization, Methodology

Karim Soleimani: Resources, Manuscript editing, Formal analysis and investigation

Kaka Shahidi: Formal analysis and investigation

Abdolvahid Khaledi Darvishan: Resources, Software, Manuscript editing, Formal analysis and investigation

Citation: Ahmadi S, Kavian A, Soleimani K, Shahidi K, Khaledi Darvishan A. Assessment and Prediction of Land Use Changes Using a Modeling Approach in a Geographic Information System Environment (Case Study: Talar Watershed).jwmseir 2025; 19 (68 : 17-31

Iran-Watershed Management Science & Engineering, Year 2025, Vol 19, No 68, PP 17-31

Publisher: Watershed Management Society of Iran © Author(s)

[Downloaded from jwmsei.ir on 2025-12-19]

بررسی و پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از رویکرد مدل‌سازی (مطالعه موردی حوزه آبخیز تالار)

شمیم احمدی[1]، عطا اله کاویان[2*]، کریم سلیمانی[3]، کاکا شاهدی[4]، عبدالواحد خالدی درویشان[5]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۶/۱۳، تاریخ داوری۱۴۰۳/۰۷/۰۳، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۸/۰۶، تاریخ انتشار : ۱۴۰۴/۰۳/۱۹
https://doi.org/10.22034/19.68.2

چکیده

تغییرات پوشش و کاربری اراضی (LULC) به‌عنوان یکی از عوامل مؤثر بر تحولات محیط‌زیستی و اجتماعی-اقتصادی در دهه‌های اخیر محسوب می‌شود. این تغییرات به‌ویژه در حوزه‌های آبخیز، تأثیرات گسترده‌ای بر منابع طبیعی و بوم‌سازگان‌ها دارند. شناخت روندهای گذشته و پیش‌بینی وضعیت آینده کاربری اراضی، گامی اساسی در جهت برنامه‌ریزی‌های پایدار و مدیریت بهینه منابع است. در این مطالعه، از ترکیب داده‌های سنجش از دور، سیستم اطلاعات جغرافیایی و مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی برای تحلیل روند گذشته (۱۹۹۶ تا ۲۰۲۱) و پیش‌بینی وضعیت آتی (۲۰٤٦) در حوزه آبخیز تالار واقع در استان مازندران استفاده شد. به منظور تهیه نقشه‌های کاربری اراضی، تصاویر ماهواره‌ای لندست ۵ و ۸ با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر در سه مقطع زمانی (۱۹۹٦، ۲۰۰۸ و ۲۰۲۱) پردازش شده و طبقه‌بندی با استفاده از الگوریتم جنگل تصادفی (RF) در بستر Google Earth Engine انجام شد. نقشه‌های کاربری اراضی در ۸ کلاسه: آب، جنگل، اراضی ساخته‌شده، مرتع، مرتع مشجر، اراضی بایر، کشت آبی و کشت دیم شناسایی و طبقه‌بندی شد. سپس با استفاده از افزونه MOLUSCE در محیط QGIS، مدل‌سازی و پیش‌بینی تغییرات با رویکرد اتوماتای سلولی _ شبکه عصبی (CA-ANN) صورت گرفت. نتایج نشان داد که در بازه ۱۹۹٦ تا ۲۰۲۱، سطح اراضی جنگلی و مراتع مشجر به‌ترتیب ۹ و ۲۰ درصد کاهش و اراضی مسکونی و مرتعی به‌ترتیب ۳٤ و ۲۳ درصد افزایش یافته‌اند. بررسی نرخ تغییرات کاربری اراضی مشخص کرد که اراضی مرتعی و بایر بیشترین تغییرات را از سال ۱۹۹٦ تا ۲۰۲۱ داشته‌اند. هم‌چنین، تغییرات مثبت در اراضی مسکونی و مرتعی مشاهده می‌شود، در حالی که اراضی جنگلی و پهنه‌های آبی روند تغییرات منفی را نشان می‌دهند. پیش‌بینی سال ۲۰٤٦ نیز حاکی از تداوم روند کنونی با کاهش بیشتر در اراضی طبیعی و افزایش در مناطق ساخته‌شده و مرتعی است. این تغییرات عمدتاً تحت‌تأثیر عوامل انسانی از جمله توسعه شهری، کشاورزی و جنگل‌زدایی بوده و تهدیدی جدی برای تنوع زیستی و منابع طبیعی به‌شمار می‌روند. نتایج این مطالعه می‌تواند مبنایی برای برنامه‌ریزی‌های راهبردی و سیاست‌گذاری‌های آتی در راستای توسعه پایدار و حفاظت از منابع طبیعی باشد.

کلیدواژه ها: آشکارسازی، پیش‌بینی، پویایی تغییرات کاربری اراضی، تالار، شبیه‌سازی، ***MOLUSCE***

نوع مقاله: پژوهشی

استناد:. احمدی شمیم، کاویان عطا اله، سلیمانی کریم، شاهدی کاکا، خالدی درویشان عبدالواحد. بررسی و پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از رویکرد مدل‌سازی (مطالعه موردی حوزه آبخیز تالار). علوم ومهندسی آبخیزداری ایران. ۱٤۰٤؛ ۱۹(٦۸): ۱۷-۳۱

علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، سال ۱٤۰٤، دوره ۱۹، شماره ٦۸، صفحه ۱۷-۳۱

ناشر: انجمن آبخیزداری ایران © نویسندگان

۱ -دانشجوی دکتری آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ساری، ایران
۲- استاد گروه آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری نشانی: ساری - دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری- دانشکده منابع طبیعی - گروه آبخیزداری،ساری، ایران، نویسنده مسئول: Email: a.kavian@sanru.ac.ir
۳ -استاد گروه آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، نشانی: ساری - دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری- دانشکده منابع طبیعی - گروه آبخیزداری، ساری، ایران
٤ -استاد گروه آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، نشانی: ساری - دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری- دانشکده منابع طبیعی - گروه آبخیزداری، ساری، ایران
۵ -دانشیار گروه آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تربیت‌مدرس نور، نشانی : نور، بلوار امام رضا (ع)، دانشکده منابع طبیعی دانشگاه تربیت‌مدرس، گروه آبخیزداری، نور، ایران

[Downloaded from jwmsei.ir on 2025-12-19]

مقدمه

تغییرات اراضی[1] یکی از مهم‌ترین عوامل تغییر در محیط‌زیست است که می‌تواند تأثیرات‌قابل‌توجهی بر چرخه‌های هیدرولوژیکی، تنوع زیستی و کیفیت زیستگاه‌ها داشته باشد؛ به این دلیل، درک روندها و الگوهای تغییر کاربری اراضی برای برنامه‌ریزی و مدیریت پایدار منابع طبیعی ضروری است [۵, ۱۰ و ۳۰]. در این میان، سنجش از دور و سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) ابزارهای قدرتمندی برای ردیابی و پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی هستند [۷ و ۱۹]. بررسی و پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از سنجش از دور نقش مهمی در درک تغییرات محیط‌زیستی و برنامه‌ریزی استراتژی‌های توسعه‌پایدار ایفا می‌کند [۱٤].

مطالعات بسیاری با استفاده از سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی به طور گسترده به تعیین کمیت، پایش، تهیه نقشه و پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی پرداخته‌اند. در اغلب این مطالعات، رشد شهری و فعالیت‌های انسانی به عنوان علت اصلی تکه‌تکه شدن و تخریب بوم‌سازگان‌های مهم مانند جنگل‌ها و پهنه‌های آبی شناسایی شده است [۱, ٤, ۱۷, ۲۲, ۲٦, ۲۹ و ۳۲]. برای مثال نادی و همکاران [۲۱]، بر اساس تصاویر طبقه‌بندی شده لندست مربوط به سال‌های ۱۹۸۷، ۲۰۰۲ و ۲۰۱۹ و استفاده از مدل زنجیره مارکوف و سلول خودکار در افزونه MOLUSCE نرم‌افزار QGIS به شبیه‌سازی و تحلیل پویایی تغییرات کاربری اراضی حوزه آبخیز حلبه‌رود پرداختند. نتایج این مطالعه نشان داد که در بخش‌های زیادی از حوضه موردمطالعه، پوشش‌های مسکونی، زراعی، باغی جایگزین پوشش گیاهی طبیعی شده است.

در مطالعه آگدا و ینن [۱]، با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای و نرم‌افزار ArcGIS تغییرات کاربری و پوشش اراضی در زیرحوضه گوداوری هند را بررسی کرده و نشان دادند که اراضی زراعی و مراتع افزایش قابل‌توجهی داشته، در حالی که پهنه‌های آبی کاهش یافته‌اند. جهدی [۱۲]، نیز با استفاده از تصاویر لندست و الگوریتم ISODATA، تغییرات کاربری زمین در شهرستان سیاهکل را تحلیل کرده و پیش‌بینی کرد که مناطق ساخته‌شده در سال‌های آینده به طور قابل‌توجهی افزایش خواهند یافت. کریم‌زاده مطلق و همکاران [۱٤]، با استفاده از مدل CA-Markov تغییرات کاربری زمین در حوضه زاینده‌رود را مدل‌سازی کرده و پیش‌بینی کردند که گسترش مناطق شهری و صنعتی منجر به کاهش اراضی کشاورزی خواهد شد. به‌طور کلی، روش‌های سنجش از دور در این مطالعات برای نظارت بر تغییرات کاربری و پوشش اراضی در بازه‌های زمانی مختلف استفاده شده‌اند. این تحلیل‌ها روندهایی نظیر گسترش شهری، رشد کشاورزی، کاهش منابع آب و تأثیر فعالیت‌های انسانی بر بوم‌سازگان را مشخص کرده و بینش‌های ارزشمندی را برای برنامه‌ریزی شهری پایدار و مدیریت محیط‌زیستی فراهم کرده‌اند [۲۸,۳۱].

مدل زنجیره مارکوف و سلول‌های خودکار (CA-ANN) که در افزونه MOLUSCE موجود است، یکی از مدل‌هایی است که امروزه به طور گسترده توسط محققین برای تجزیه و تحلیل و پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی به کار گرفته می‌شود و نتایج قابل قبولی نیز به همراه داشته است [۳۱]. افزونه MOLUSCE (Monitoring Land Use/Cover Dynamics) برای QGIS، یک رویکرد یکپارچه برای تجزیه‌وتحلیل تغییرات کاربری اراضی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و مدل‌های پیش‌بینی ارائه می‌دهد. این ابزار قادر است تغییرات گذشته را شناسایی کند و با استفاده از مدل‌های آماری و هوش مصنوعی مانند شبکه‌های عصبی مصنوعی و اتوماتای سلولی، روندهای آینده را پیش‌بینی نماید [۲۰ و ۳۱].

حوزه آبخیز تالار در استان مازندران، منطقه‌ای با تنوع زیستی و اکولوژیکی غنی است که تحت‌فشارهای انسانی مانند توسعه شهری، فعالیت‌های کشاورزی و جنگل‌زدایی قرار دارد]۲۰[. تحلیل تغییرات کاربری اراضی در این منطقه می‌تواند اطلاعات ارزشمندی برای حفاظت از منابع طبیعی و برنامه‌ریزی توسعه‌پایدار فراهم کند [۵, ۷, ۳۰ و ۳۳].

با توجه به مطالب بیان‌شده، تحقیق حاضر با هدف بررسی تغییرات کاربری اراضی حوزه آبخیز تالار با استفاده از دو نقشه کاربری اراضی گذشته (۱۹۹٦) و حال (۲۰۲۱) و هم‌چنین پیش‌بینی وضعیت کاربری اراضی در دوره آتی (افق ۲۰٤٦) با استفاده از رویکرد اتوماتای سلولی - شبکه عصبی (CA-ANN) برای شبیه‌سازی و پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی در حوزه آبخیز تالار صورت‌گرفته است. این روش با افزایش دقت و قابلیت اطمینان پیش‌بینی‌ها، امکان تحلیل روندهای آتی تغییرات کاربری اراضی را فراهم می‌آورد. این مطالعه هم‌چنین به شناسایی شدت تغییرات کاربری اراضی و تجزیه‌وتحلیل آن بر اساس ماتریس احتمال و انتقال می‌پردازد. علاوه بر این، یک چارچوب ریاضی مبتنی بر معادلات برای تجزیه‌وتحلیل شدت انتقال طبقات کاربری اراضی در طول زمان ارائه می‌دهد. یافته‌های این مطالعه ضمن تبیین الگوها و علل تغییر کاربری اراضی، گامی مؤثر در راستای برنامه‌ریزی آگاهانه و مدیریت این فرآیند در بعد زمان و مکان به شمار می‌رود.

نتایج حاصله می‌تواند راهنمایی ارزشمند برای سیاست‌گذاران و جامعه مدنی در اتخاذ تصمیمات سنجیده و اصولی در حوزه کاربری اراضی باشد.

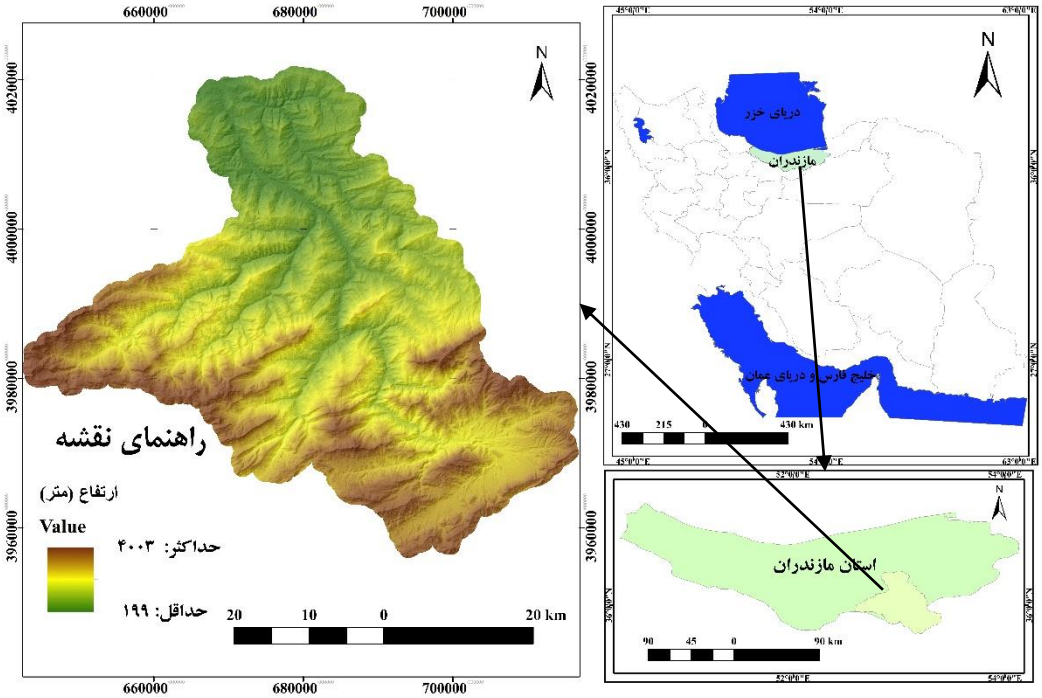
مواد و روش‌ها

منطقه‌موردمطالعه

آبخیز تالار در البرز مرکزی از مهم‌ترین حوضه‌های دریای خزر است. این حوضه بین ′۳۷ °۳۵ تا ′٤۵ °۳٦ عرض شمالی و′۳۵ °۵۲ تا ′۱۸ °۵۲ طول شرقی واقع شده است. رودخانه اصلی حوضه دارای طول حدود ۱۵۲ کیلومتر بوده که از جنوب و جنوب‌غرب حوزه آبخیز سرمنشأ می‌گیرد و از شمال‌غربی حوضه خارج می‌شود. مساحت کل حوضه ۲۰۵۳ کیلومترمربع و میانگین ارتفاع آبخیز ۲۰۰۱ متر است. میانگین بارش و دمای سالانه آبخیز ۸۵۰ میلی‌متر و

1. Landuse chenge

[Downloaded from jwmsei.ir on 2025-12-19]



شکل ۱–حوزه آبخیز تالار در کشور و استان مازندران

Fig. 1. The Talar watershed in the country and Mazandaran Province

۱۶ درجه سانتی‌گراد است. شکل عمومی حوضه پهن و دارای امتداد شمالی – جنوبی است [۲۷, ۲٤,۹]. در (شکل ۱) محدوده موردمطالعه نمایش داده‌شده است.

روش انجام پژوهش

در این تحقیق، جهت تهیه لایه کاربری اراضی سال‌های ۱۹۹٦، ۲۰۰۸ و ۲۰۲۱ از تصاویر ماهواره‌های لندست ۵ و ۸، سنجنده‌های TM و OLI/TIRS با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر که در سامانه آنلاین Google Earth Engine[1] ارائه‌شده‌اند، استفاده شد. این تصاویر به پیش‌پردازش و تصحیحات اولیه (هندسی، رادیومتری و ...) نیازی ندارند و به‌صورت آماده برای پردازش عرضه شده‌اند. به دلیل زمان‌بر بودن پردازش داده‌ها در سیستم‌های معمولی، تسریع در پردازش داده‌های حجیم و پیچیده از سامانه محاسبات ابری Google Earth Engine برای پردازش تصاویر استفاده شد. موتور پردازش تصویر و کد نویسی تحت وب گوگل ارث‌انجین با در اختیار داشتن کل بایگانی تصاویر لندست، حجم زیادی از مجموعه تصاویر شفاف ناسا، هم‌چنین آژانس فضایی اروپا (ESA) و سایر تصاویر موجود را به شکل رایگان در اختیار عموم قرار داده است. در این سامانه، فراخوانی انواع تصاویر لندست (۱ تا ۸) با هر نوع سطح پردازشی امکان‌پذیر است.

داده‌های Surface Reflectance Tier 2 با تصحیحات اتمسفری کامل و دسترسی آسان، جهت تهیه نقشه‌های کاربری اراضی استفاده شد. با استفاده از این تصاویر و با بهره‌گیری از کدنویسی جاوا اسکریپت، تصاویر سال‌های ۱۹۹٦، ۲۰۰۸ و ۲۰۲۱ به صورت تصحیح‌شده تجزیه‌وتحلیل و برای مراحل بعدی پردازش آماده‌سازی شدند [٦]. در این پژوهش، از الگوریتم جنگل تصادفی (RF)[2] با ۱۰۰ شاخه برای طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای استفاده شد که این انتخاب به‌طور خاص به منظور بهبود دقت طبقه‌بندی، امکان استفاده از شاخص‌های طیفی و لایه‌های اطلاعاتی مختلف، سهولت استفاده انتخاب شده است [۲ و۱۸]. این داده‌ها بدون نیاز به پردازش اضافی، دقت تحلیل‌های طیفی را افزایش داده و امکان تولید نقشه‌های دقیق و قابل‌اعتماد را فراهم می‌کنند، در حالی که هزینه و زمان پردازش را نیز کاهش می‌دهند [۱۳]. هم‌چنین، از داده‌های واقعیت زمینی و نقاط GPS نیز برای بهبود دقت نقشه‌ها و ارزیابی صحت طبقه‌بندی استفاده شده است. گفتنی است که از تصاویر فصل بهار تا تابستان (به‌ویژه تیرماه) به دلیل نبود پوشش ابر و وضوح بالاتر تصاویر ماهواره‌ای و اوج رشد در پوشش گیاهی استفاده‌شده است [۲۱]. در نهایت تصاویر میانگین سالانه سال‌های مدنظر با قدرت تفکیک ۳۰ متر فراخوانی شد. به منظور بهبود تفکیک اراضی، از شاخص NDVI[3] برای شناسایی مناطق با پوشش گیاهی ازجمله اراضی کشاورزی، مرتع، جنگل و درختچه‌زار استفاده شده است. هم‌چنین، شاخص NDWI[4] برای تشخیص پهنه‌های آبی و شاخص NDBI[5]

1. earthengine.google.com

2. Random Forest
3. Normalized Difference Vegetation Index
4. Normalized Difference Water Index
5. Normalized Difference Bare-land Index

[Downloaded from jwmsei.ir on 2025-12-19]

جدول ۱_ توصیف طبقات کاربری استفاده‌شده در منطقه موردمطالعه

Table 1. Description of land use classes utilized in the study area

طبقه class	توصیف Description
آب water	این مناطق دارای آب‌های آزاد طبیعی هستند، مانند پهنه‌های آبی و رودخانه. These areas contain natural open water bodies, such as water bodies and rivers.
جنگل forest	این مناطق با تاج‌پوشش درختی متراکم مشخص می‌شوند و از درختان بلندتر از دو متر تشکیل شده‌اند. These areas are characterized by dense tree cover and are composed of trees taller than two meters.
مسکونی residential	شامل ساختمان‌های دائمی و نیمه‌دائمی که افراد و زیرساخت‌های دیگر مانند کارخانه‌ها، ساختمان‌ها در شهر و روستا یا مراکز تجاری را در خود جای می‌دهند. These areas include permanent and semi-permanent structures that accommodate people and other infrastructure, such as factories, buildings in cities and villages, or commercial centers.
مرتع Range	اعم از کوه و دامنه و یا زمین مسطح که در فصل چرا دارای پوششی از نباتات علفی خودرو بوده و با توجه به سابقهٔ چرا عرفاً مرتع شناخته می‌شود. This includes mountains and slopes or flat land covered with wild herbaceous plants during the grazing season, and is commonly recognized as rangeland based on grazing history.
مرتع مشجر Foresty pasture	انواع درختان خودرو به‌صورت پراکنده وجود دارد و گیاهان مرتعی در میان درختان روییده‌اند. Scattered wild trees are present, and rangeland plants grow among them.
اراضی بایر barren lands	اراضی که پوششی ندارد، متروک مانده و نیز اراضی با پوشش گیاهی کم‌تر از چهار درصد که شامل مناطق صخره‌ای لخت، ماسه‌ها و بیابان‌ها می‌شود. Land with no cover, abandoned areas, and land with less than four percent vegetation cover, including barren rock areas, sands, and deserts.
کشت آبی Ir_agri	نوعی کشاورزی که در آن از منابع آب قابل‌کنترل برای آبیاری گیاهان استفاده می‌شود، در منطقه برای کشت برنج به کار می‌رود. A type of agriculture that uses controlled water resources for irrigating crops, specifically used in the region for rice cultivation.
کشت دیم Rinfed_agri	کشت گیاهانی که فقط از طریق باران آبیاری می‌شوند، مانند گندم، صیفی‌جات و... Cultivation of plants that are irrigated solely by rainfall, such as wheat, vegetables and so on.

و باندهای قرمز، مادون‌قرمز نزدیک ۱ و ۲ (باندهای حرارتی) برای تفکیک اراضی بایر و شهری بهره‌گرفته‌شده است [۱۶و ۲۳]. استفاده از باندهای حرارتی تصاویر به تمایز دمایی مناطق انسان‌ساخت، به‌ویژه در شهر نسبت به مناطق طبیعی، کمک کرده و نقش مؤثر آن در تفکیک و طبقه‌بندی کلاس‌های کاربری اراضی دارد [۱۰ و۱۸]. به‌علاوه، نقشه ارتفاع جهت بهبود تفکیک عوارض و افزایش دقت به‌کاررفته است. جهت ارزیابی دقت فرآیند طبقه‌بندی از نقاط واقعیت زمینی و تصاویر گوگل ارث و نقشه کاربری/پوشش زمین در سال ۱۳۹۹ (سازمان منابع طبیعی و آبخیزداری کشور) استفاده شد. در مجموع ٤٨ نقطه واقعیت زمینی از منطقه با استفاده از دستگاه سیستم موقعیت یاب جهانی (GPS) انتخاب شد. یک ماتریس خطا برای ارزیابی همبستگی بین مجموعه داده‌های کاربری اراضی طبقه‌بندی شده و تیپ کاربری اراضی میدانی محاسبه شد. دقت کلی طبقه‌بندی با تقسیم واحدهای نمونه طبقه‌بندی شده صحیح بر تعداد کل واحدهای نمونه ۹۹ درصد ارزیابی شد. سپس نقشه‌های کاربری اراضی با استفاده از طبقه‌بندی پیکسل پایه[1] و الگوریتم جنگل تصادفی (RF) با دقت کلی و ضریب کاپای ۹۹ درصد تهیه شد. کلاسه‌های کاربری شامل هشت کلاس آب، جنگل، اراضی ساخته‌شده، مرتع، مرتع مشجر، اراضی بایر، کشت آبی و کشت دیم (جدول۱) برای سال‌های ۱۹۹٦ و ۲۰۰۸ و ۲۰۲۱ شکل (۳) تفکیک شده است. سپس به تجزیه و تحلیل تغییرات کاربری اراضی از ۱۹۹٦ تا ۲۰۲۱ پرداخته شد. به منظور ساخت لایه آینده با استفاده از مدل زنجیره مارکوف و سلول‌های خودکار (CA-ANN) موجود در نرم‌افزار QGIS افزونه MOLUSCE نقشه کاربری اراضی سال ۲۰٤٦ تولید شد. مراحل کلی کار در شکل (۲) ارائه شده است.

از دو شاخص نرخ تغییرات کاربری اراضی و وضعیت پویایی کاربری زمین جهت تحلیل کمی تغییر کاربری اراضی در منطقه موردمطالعه، استفاده شد. نرخ تغییرات کاربری اراضی به مقدار خاص ارزش تفاضلی مساحت نسبت به مساحت اولیه برای یک نوع کاربری در یک دوره اشاره دارد [۸]. فرمول محاسبه آن به شرح رابطه ۱ است:

رابطه (۱)

$$C = \frac{(A_{t2} - A_{t1})}{A_{t1}} * 100$$

که در آن، C نرخ تغییرات کاربری اراضی است، A_{t1} مساحت یک

1. Pixel-Based

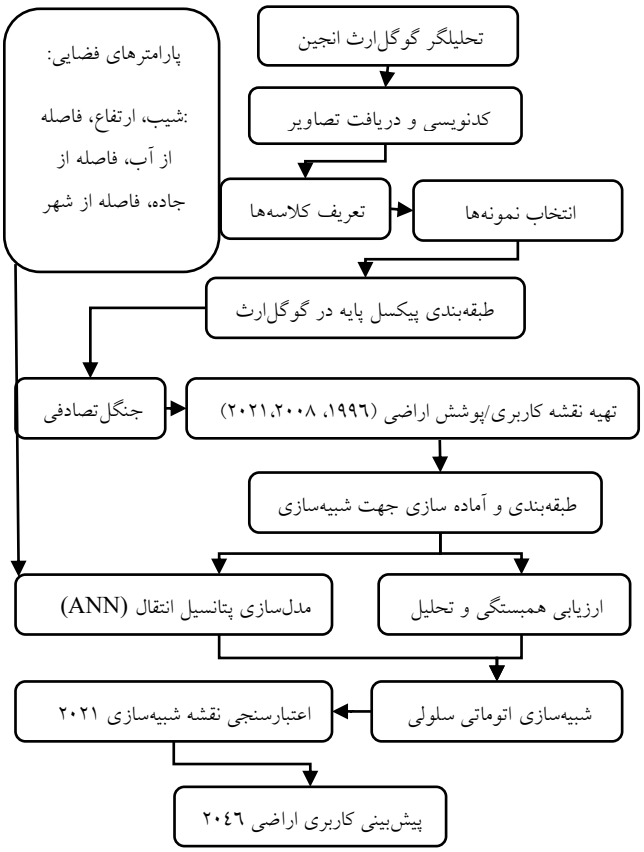
[Downloaded from jwmsei.ir on 2025-12-19]

نوع کاربری زمین را در t_1 و A_{t2} مساحت این نوع کاربری زمین را در t_2 نشان می‌دهد.

درجه پویایی کاربری اراضی نیز نشان‌دهنده نرخ تغییرات سالانه مساحت نوع کاربری اراضی است که شاخص مهمی از تغییرات کاربری اراضی است. این شاخص می‌تواند به‌صورت کمی نرخ تغییر کاربری یک منطقه را توصیف کند که در رابطه ۲ ارائه شده است [۸]:

$$D_C = \frac{(A_{t2} - A_{t1})}{A_{t1}} * \frac{1}{t_1 - t_2} * 100 \qquad \text{رابطه (۲)}$$

که در آن، D_C برابر با درجه پویایی کاربری اراضی، A_{t1} مساحت تیپ کاربری اراضی در t_1 و A_{t2} مساحت تیپ کاربری اراضی در t_2 است.



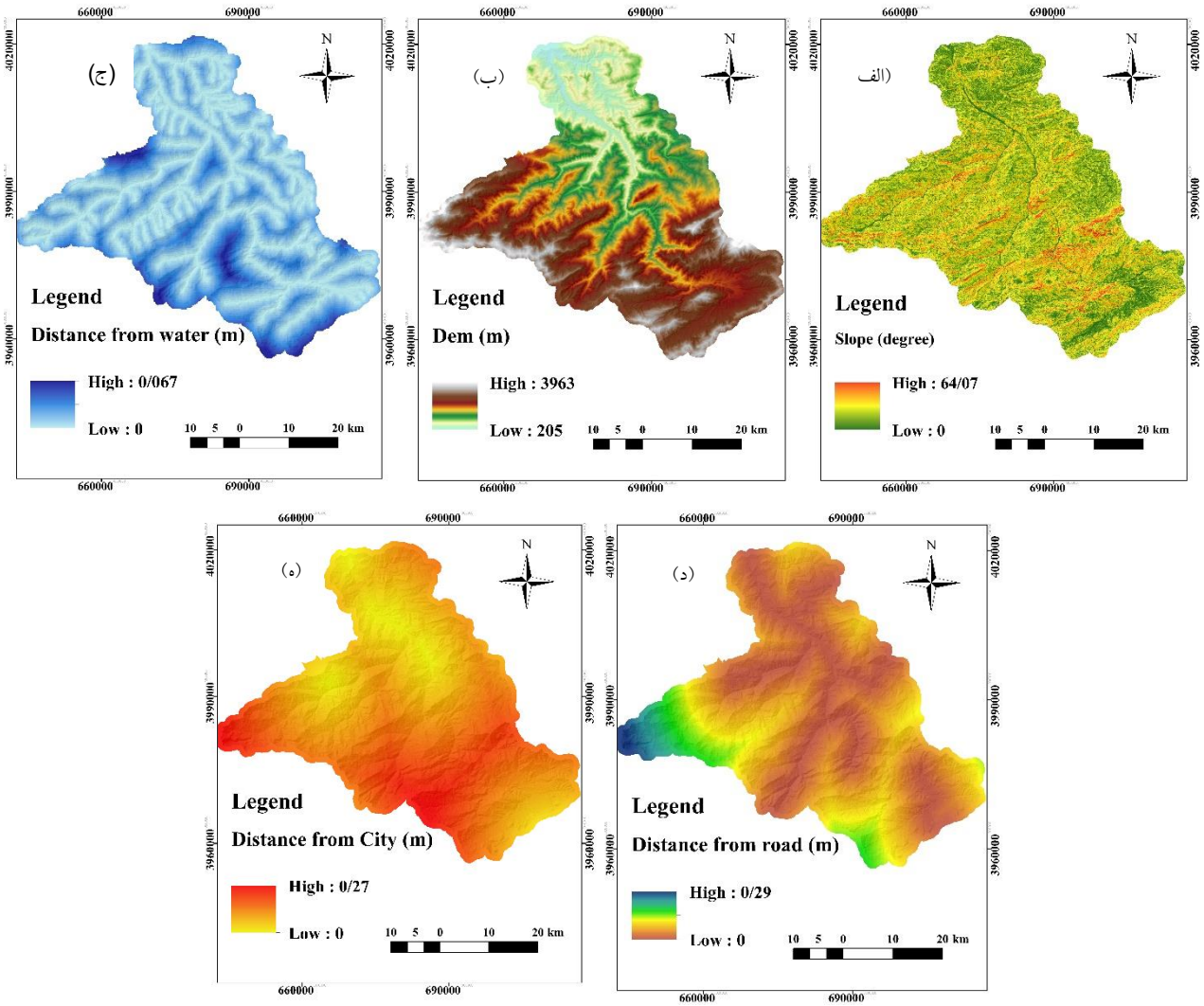
شکل ۲- نمودار جریانی مراحل اجرای پژوهش

Fig. 2. Flowchart of the Research Implementation Steps

در ادامه، به منظور انجام تحلیل‌های پیشرفته‌تر و شبیه‌سازی تغییرات، از افزونه MOLUSCE در نرم‌افزار QGIS استفاده شد. داده‌های ورودی این افزونه شامل نقشه‌های کاربری اراضی از دوره‌های زمانی مختلف و داده‌های عوامل محرک بیوفیزیکی و اجتماعی - اقتصادی بود. این عوامل شامل: شیب، ارتفاع، فاصله از آب، فاصله از جاده، فاصله از شهر (شکل ۳) بودند که به‌عنوان عوامل مؤثر در طراحی منظر جغرافیایی نقش داشتند. نقشه‌های متغیر جغرافیایی منتخب به همراه نقشه‌های کاربری اراضی سال‌های ۱۹۹٦، ۲۰۰۸ و ۲۰۲۱ با دقت تفکیک ۳۰ متری به افزونه MOLUSCE وارد شدند تا نقشه تغییرات کاربری اراضی و روند این تغییرات محاسبه شود. برای ارزیابی همبستگی بین داده‌های کاربری اراضی و مؤلفه‌های جغرافیایی از ضریب همبستگی پیرسون استفاده شد. ضریب پیرسون، یک شاخص بدون بعد است که از ۱- تا ۱ متغیر است. اگر این ضریب برابر با صفر نباشد، به معنای وجود رابطه است؛ اگر برابر با ۱+ (رابطه کامل) یا ۱- (رابطه معکوس کامل) باشد، این مقادیر به تشخیص انتقال اطلاعات کمک می‌کنند [۲۰].

در گام بعدی، در افزونه MOLUSCE، درصد تغییرات مساحت در یک سال معین اندازه‌گیری شد و ماتریس احتمال انتقال تهیه گردید. این ماتریس، نسبت پیکسل‌های تبدیل‌شده از یک کاربری به کاربری دیگر را نشان می‌دهد. افزون بر این، این افزونه نقشه تغییرات منطقه را برای سال‌های ۱۹۹٦ تا ۲۰۲۱ در هشت طبقه مختلف ارائه می‌دهد. افزونه MOLUSCE از روش‌های مختلفی برای مدل‌سازی پتانسیل احتمال انتقال کاربری اراضی استفاده می‌کند. این روش‌ها شامل شبکه عصبی مصنوعی (ANN)، ارزیابی چندمعیاره (MCE)، وزن شواهد (WOE) و رگرسیون لجستیک (LR) است. در این مطالعه، که با استفاده از روش شبکه عصبی مصنوعی (ANN) به مدل‌سازی پتانسیل احتمال انتقال کاربری اراضی پرداخته شد، برای نمایش تغییرات هر طبقه کاربری اراضی در منطقه موردمطالعه، از ماتریس احتمال انتقال تهیه‌شده با کمک افزونه MOLUSCE و بر اساس شرایط کاربری اراضی موجود و متغیرهای جغرافیایی استفاده شد. ماتریس احتمال انتقال نقش اساسی در تجزیه‌وتحلیل تغییرات زمانی در طبقات کاربری اراضی ایفا می‌کند. سطرهای جدول ماتریس‌ها ترتیب طبقه‌ها را در سال آخر نشان می‌دهند و سطرهای قطری اندازه‌گیری پایداری کلاس را نشان می‌دهند، درحالی‌که ورودی‌های خارج از قطر اندازه انتقال از یک طبقه به طبقه‌های دیگر را نشان می‌دهند. مقادیر نزدیک به یک در ورودی‌های قطری نشان‌دهنده ثبات یک طبقه است. محققان بیشتر از ماتریس‌های احتمال و انتقال جهت مقایسه تغییرات زمانی مناطق مختلف استفاده می‌کنند. در نهایت نقشه شبیه‌سازی خودکار سلولی در افزونه MOLUSCE برای پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی و پیش‌بینی تغییرات آینده سال‌های ۲۰۲۱ و ۲۰٤٦ بر اساس تصاویر طبقه‌بندی‌شده از دو زمان موردمطالعه، استفاده شد. سپس نقشه پیش‌بینی‌شده با نقشه اصلی مربوط به سال ۲۰۲۱ مورد مقایسه قرار گرفت که بیانگر توانایی قابل‌قبول ماژول MOLUSCE (تلفیق سلول‌های خودکار و زنجیره مارکوف) در پیش‌بینی نقشه کاربری اراضی دوره آتی بود. سپس به منظور پیش‌بینی نقشه کاربری اراضی آتی نقشه کاربری پایه‌ای که باید بر اساس آن پیش‌بینی آینده صورت گیرد به مدل واردشده که به ترتیب برای پیش‌بینی، نقشه کاربری سال ۱۹۹٦ به‌عنوان نقشه شروع و وضعیت مرحله اول، نقشه کاربری سال ۲۰۲۱ به‌عنوان وضعیت نهایی مورداستفاده قرار گرفت. سپس

[Downloaded from jwmsei.ir on 2025-12-19]



شکل ۳- نقشه متغیرهای مکانی (الف) شیب (ب) ارتفاع (ج) فاصله از آب (د) فاصله از جاده (ه) فاصله از شهر

Fig. 3. Spatial variables maps: (a) Slope, (b) Elevation, (c) Distance from water, (d) Distance from road, (e) Distance from city

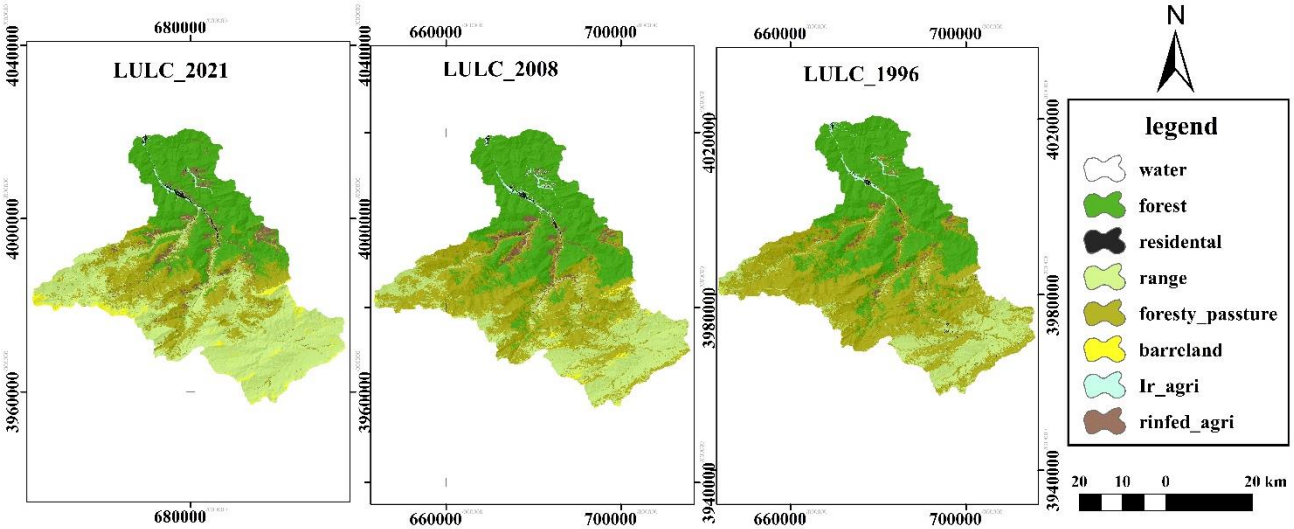
ماتریس تغییرات و هم‌چنین متغیرهای مکانی شامل نقشه‌های مدل رقومی ارتفاع، شیب، فاصله از شهرها، فاصله از رودخانه و فاصله از جاده وارد مدل شد. پس از اجرای مدل نقشه پیش‌بینی آینده (نقشه کاربری اراضی سال ۲۰٤٦) تهیه شد. اعتبارسنجی این مدل با استفاده از شاخص کاپا، که برای تأیید صحت نقشه‌های کاربری اراضی شبیه‌سازی شده استفاده می‌شود، انجام شد.

نتایج

در مجموع، هشت طبقه کاربری اراضی در منطقه موردمطالعه شناسایی و تفکیک شد شکل (٤). در جدول (۲) مساحت و درصد پوشش این طبقات در دو زمان موردمطالعه ارائه شده است. بر اساس این جدول، جنگل در دو زمان موردمطالعه بیش‌ترین درصد پوشش را با بیشینه ۳۹/۲٦ و ۲۹/٦۳ به ترتیب در سال‌های ۱۹۹٦ و ۲۰۲۱ داشته است. پهنه‌ی آبی با وسعت نسبتاً کم به شدت تحت تأثیر شرایط اقلیمی کاهش‌یافته است. مناطق مسکونی از ۰/۳٤ درصد در سال ۱۹۹٦ به ۰/٤٦ درصد در سال ۲۰۲۱ افزایش یافت، هم‌چنین کشت دیم از ۱/۷۳ درصد در سال ۱۹۹٦ به ۳/۹۹ درصد در سال ۲۰۲۱ افزایش دارد. مراتع مشجر که به میزان ٤۲/۲٤ درصد در سال ۱۹۹٦ بوده به میزان ۲۲/٤٥ درصد در سال ۲۰۲۱ رسیده است (جدول ۲).

نتایج تحلیل نرخ تغییرات مساحت کاربری اراضی و درجه پویایی کاربری اراضی در دوره موردمطالعه نیز در جدول (۲) ارائه شد. نتایج حاکی از آن است که در دوره مطالعاتی، نرخ تغییرات کاربری اراضی مرتعی و اراضی بایر و کشاورزی دیم بالاترین (بیش از ۷۰ درصد) است. هم‌چنین بر اساس محاسبات درجه پویای تغییر کاربری اراضی، نتایج حاکی از آن است که در دوره موردمطالعه، جهت تغییرات برای اراضی مرتعی و مسکونی همیشه مثبت بوده با تجلی افزایش مساحت و حداکثر نرخ تغییرات سالانه تقریباً ٦/۳٦ درصد است. جهت تغییرات پهنه‌های آبی و کشت آبی و جنگل اساساً منفی و با تجلی کاهش سطح و حداکثر نرخ تغییرات سالانه تا

[Downloaded from jwmsei.ir on 2025-12-19]



شکل ٤- نقشه کاربری اراضی حوزه آبخیز تالار برای سال‌های ۱۹۹٦، ۲۰۰۸ و ۲۰۲۱

Fig. 4. Land use maps of the Talar River watershed for the years 1996, 2008, and 2021

جدول ۲- مساحت کاربری اراضی دوره ۲۰۲۱- ۱۹۹٦ (کیلومترمربع)، نرخ تغییر مساحت کاربری اراضی و درجه پویایی کاربری اراضی

Table 2: Land use area 1996-2021 period (square kilometers), land use area change rate, and land use dynamic degree

کاربری Land use	1996 مساحت erea (km)	1996 درصد (%)	2021 مساحت erea (km)	2021 درصد (%)	نرخ تغییر مساحت (درصد) Area Change Rate (%)	درجه پویایی (درصد در سال) Dynamic Degree (Percentage per Year)
آب water	1045074	0.05	586968	0.03	-43.85	-1.75
جنگل forest	809889550	39.26	610579962	29.63	-24.52	-0.98
مسکونی residential	6986807	0.34	9401886	0.46	34.57	1.38
مرتع Range	320220246	15.54	829430867	40.25	159	6.36
مرتع مشجر Foresty pasture	870293878	42.24	462540675	22.45	-46.58	-1.87
اراضی بایر barren lands	1690832	0.08	39000714	2.62	2206	0.88
کشت آبی Ir_agri	15672377	0.76	11848798	0.58	-24.40	-0.98
کشت دیم Rinfed_agri	33059814	1.73	82399999	3.99	149	5.97

۱/۷۵ درصد کاهش‌یافته است (جدول ۲).

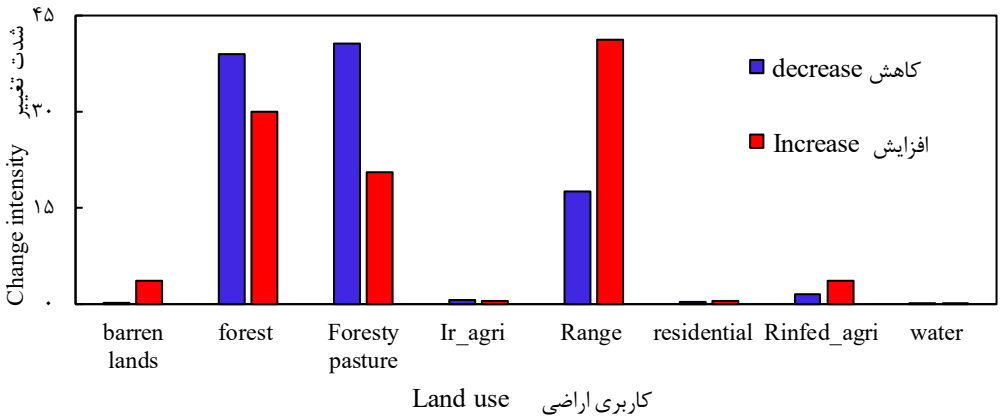
در جدول (۳) ماتریس احتمال انتقال به‌دست‌آمده، خطوط عمودی با داده‌ها نشان‌دهنده انواع کاربرد زمین در سال ۱۹۹٦ و خطوط افقی نشان‌دهنده انواع کاربری اراضی در سال ۲۰۲۱ است. بر اساس این جدول مرتع، جنگل و اراضی بایر به ترتیب ۰/۹٤ و ۰/۷۳ و ۰/٦۸ پایدارترین طبقات بودند، در حالی که مراتع مشجر و آب به ترتیب با احتمال انتقال ۰/۳۰ و ۰/۳۲ ناپایدارترین طبقات بودند. احتمال تغییریافته از پهنه آبی و کشت آبی به مناطق مسکونی به ترتیب ۰/٤٦ و ۰/۱۹ به‌دست‌آمده. هم‌چنین احتمال تغییر از کاربری مرتع مشجر به مرتع به میزان ۰/۵۸٤ برآورد شد. از این ماتریس احتمال انتقال به راحتی می‌توان دریافت که احتمال تغییریافته از مناطق پهنه آبی به اراضی مسکونی و تغییر کاربری از مرتع مشجر به مرتع در سال ۲۰۲۱-۱۹۹٦ برابر ۰/٤٦ و ۰/۵۸ است. در واقع، می‌توان گفت که انتقال از اراضی کشاورزی به مسکونی و هم‌چنین تبدیل مراتع مشجر به مرتع به‌صورت سیستماتیک هدفمند و قابل‌توجه است.

[Downloaded from jwmsei.ir on 2025-12-19]

جدول ۳- ماتریس احتمال انتقال انواع کاربری اراضی در سال‌های ۲۰۲۱-۱۹۹۶

Table 3. Transition probability matrix of land use types between 1996 and 2021

	طبقه کاربری اراضی Land Use Classification	آب water	جنگل forest	مسکونی residential	مرتع Range	مرتع مشجر Foresty pasture	بایر barren land	کشت آبی Ir_agri	کشت دیم Rinfed agri
		کاربری اراضی سال 2021 Land Use in 2021							
کاربری اراضی سال 1996 Land Use in 1996	آب water	0/321	0.013	0.464	0.0000	0.0007	0.0000	0.2	0.0000
	جنگل forest	0.00003	0.738	0.0005	0.002	0.232	0.00001	0.002	0.023
	مسکونی residential	0.006	0.003	0.413	0.479	0.007	0.05	0.04	0.0005
	مرتع Range	0.0000	0.0000	0.0002	0.949	0.002	0.046	0.00004	0.001
	مرتع مشجر Foresty pasture	0.00005	0.012	0.002	0.584	0.306	0.043	0.002	0.048
	بایر barren lands	0.0000	0.0000	0.0000	0.316	0.002	0.681	0.0000	0.0000
	کشت آبی Ir_agri	0.013	0.104	0.196	0.027	0.063	0.00009	0.471	0.123
	کشت دیم Rinfed_agri	0.0000	0.017	0.003	0.305	0.146	0.0002	0.002	0.527



شکل ۵- شدت تغییرات کاربری اراضی برای افزایش، کاهش ناخالص در هر طبقه درطی ۱۹۹۶-۲۰۲۱

Fig. 5. Intensity of land use changes showing gross increase and decrease in each class during 1996-2021

شکل (۵) شدت افزایش و کاهش ناخالص تغییر کاربری زمین در سطح طبقه در مدت زمان موردبررسی را نشان می‌دهد. در این شکل، هر طبقه کاربری به صورت یک جفت میله نمایش داده شده است، که یک میله منعکس‌کننده افزایش ناخالص و دیگری نشان‌دهنده کاهش ناخالص است. با در نظر گرفتن نتایج شدت تغییر کاربری زمین در سطح طبقه، بیشترین تغییرات در طبقات مراتع مشجر و اراضی جنگلی دیده می‌شود. این تغییرات به وضوح نشان‌دهنده تخریب گسترده در این مناطق است. از سوی دیگر، مناطق مسکونی و مرتعی بیشترین افزایش را تجربه کرده‌اند، که احتمالاً نشان‌دهنده توسعه اراضی مسکونی و تغییر کاربری به مناطق مرتعی است. در مقایسه با این تغییرات عمده، طبقات کشاورزی، اراضی بایر و کشت دیم تغییرات کمتری را نسبت به سایر طبقات تجربه کرده‌اند.

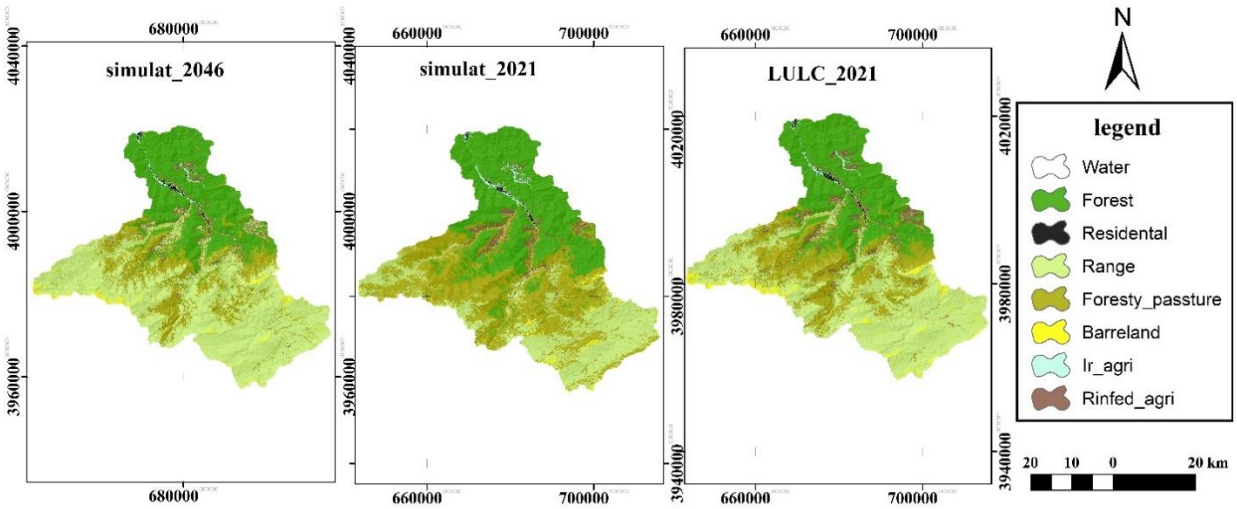
با توجه به تجزیه‌وتحلیل ماتریس احتمال انتقال، مشاهده شد که رشد قابل‌توجه در اراضی مرتعی و کشاورزی دیم عمدتاً به دلیل کاهش مراتع مشجر و اراضی جنگلی بود. تمامی این انتقال‌ها تحت‌تأثیر عوامل محرک فیزیکی و اجتماعی- اقتصادی رخ داده‌اند که برای بررسی پویایی کاربری اراضی در منطقه موردمطالعه استفاده شده‌اند. جدول (٤) مقادیر ضریب پیرسون برای متغیرهای مکانی موردمطالعه را نشان می‌دهد. مقدار همبستگی پیرسون بین متغیرهای جغرافیایی و تغییرات کاربری اراضی نشان می‌دهد که رابطه بین متغیرهای مکانی و تغییر کاربری اراضی منطقه موردمطالعه دارای همبستگی است (جدول ٤)؛ این جدول به طور خاص ارتباط معناداری را بین متغیرهای مکانی نظیر ارتفاع، فاصله از شهر، فاصله از آب، شیب و فاصله از جاده و تغییرات کاربری اراضی نشان می‌دهد؛ بنابراین می‌توان این‌گونه تفسیر کرد که

[Downloaded from jwmsei.ir on 2025-12-19]

جدول ٤- مقادیر ضریب پیرسون برای متغیرهای مکانی

Table 4. Pearson correlation coefficients for spatial variables

متغیرهای مکانی Spatial variables	ارتفاع Elevation	فاصله از شهر Distance from city	فاصله از آب Distance from water	شیب Slope	فاصله از جاده Distance from road
ارتفاع Elevation	-	0/68	0/39	0/17	0/58
فاصله از شهر Distance from city		-	0/22	0/15	0/44
فاصله از آب Distance from water			-	0/52	0/02
شیب Slope				-	0/09
فاصله از جاده Distance from road					-

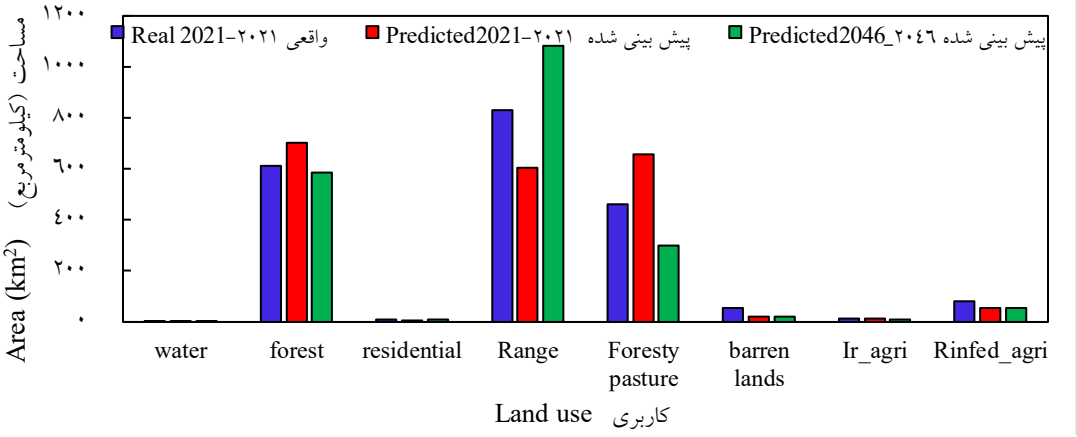


شکل ٦- نقشه‌های واقعی و پیش‌بینی‌شده کاربری اراضی حوضه تالار در سال ۲۰۲۱ و ۲۰٤٦

Fig. 6. Actual and predicted land use maps of the Talar River basin for the years 2021 and 204

متغیرهای موردبررسی بر میزان تغییر کاربری اراضی تأثیر می‌گذارد. نتایج نشان از آثار معنی‌دار عوامل محرک فیزیکی و اقتصادی-اجتماعی بر طرح‌های سیمای سرزمین موردمطالعه داشته است. در بین متغیرهای موردبررسی، ارتفاع بیش‌ترین تأثیر را بر طرح‌های کاربری اراضی داشته است. این نتیجه مشابه با مطالعه جهدی [۱۲] است به طور کلی، بیش‌ترین تغییرات کاربری اراضی در مناطق با ارتفاع کم‌تر رخ می‌دهد که برای فعالیت‌های انسانی مناسب‌تر هستند؛ بنابراین مناطق بالادست حوزه آبخیز تالار که بیش‌تر کوهستانی و پاکوهی است، نسبت به مناطق شمالی (در پایین‌دست و میان‌بند حوضه) کم‌تر فرآیند تکه‌تکه شدن را تجربه کرده است. با استفاده از مدل‌سازی پتانسیل انتقال، نقشه کاربری اراضی پیش‌بینی برای سال‌های ۲۰۲۱ جهت اعتبارسنجی با نقشه کاربری اراضی واقعی در سال ۲۰۲۱ با استفاده از شاخص کاپا مقایسه شد. بر اساس نتایج صحت سنجی، صحت کلی ۷۳/۵۱ و کاپای کلی ۰/٦۲ (کاپای هیستوگرام ۰/۸، کاپای لوکال ۰/۷۵) به دست آمد. پس از اعتبارسنجی نتایج مدل‌سازی کاربری اراضی ۲۰٤٦ نیز پیش‌بینی شد. شکل (٦) و (۷) نقشه آماره‌های کاربری اراضی واقعی و پیش‌بینی‌شده برای سال‌های ۲۰٤٦- ۲۰۲۱ را نشان می‌دهد. پیش‌بینی‌ها برای سال ۲۰٤٦ نشان از افزایش مناطق مرتعی و مسکونی نسبت به سال ۲۰۲۱ دارد. این نتیجه مشابه با مطالعه جهدی [۱۲] است که در سناریو کاربری اراضی آینده در حوزه آبخیز موردمطالعه تا ۲۰٤٦، گسترش اراضی مسکونی پیش‌بینی شده است. هم‌چنین پیش‌بینی می‌شود برای سال ۲۰٤٦ کاهش اراضی جنگلی و مراتع مشجر و کشت دیم نسبت به ۲۰۲۱ مشاهده شود. این نتیجه مشابه با مطالعه کاویان و همکاران [۱۵] است که می‌تواند به دلیل استفاده بی‌رویه و بدون برنامه‌ریزی از اراضی جنگلی و مراتع مشجر مجاور آن و تبدیل‌شدن آن‌ها به اراضی مسکونی یا کشاورزی باشد. اگرچه با توجه به تغییرات اقلیمی، عدم قطعیت بالایی در سناریوهای آتی تغییر کاربری اراضی وجود دارد.

[Downloaded from jwmsei.ir on 2025-12-19]



شکل ۷- مساحت واقعی و پیش‌بینی‌شده (کیلومترمربع) در سال‌های ۲۰۲۱ و ۲۰٤٦

Fig. 7. Actual and predicted area (in square kilometers) for the years 2021 and 2046

بحث‌ونتیجه‌گیری

کمی‌سازی پویایی کاربری اراضی و تغییرات آن در مقابله با چالش‌های محیط‌زیستی و اجتماعی- اقتصادی مانند کاهش تنوع زیستی و تغییرات اقلیمی در سال‌های اخیر حیاتی است. این مطالعه، بر اساس اطلاعات کاربری اراضی و متغیرهای فیزیکی و اقتصادی - اجتماعی، کمی‌سازی طرح‌های انتقال و شبیه‌سازی تغییرات کاربری اراضی در حوزه آبخیز تالار استان مازندران با استفاده از افزونه MOLUSCE در نرم‌افزار QGIS انجام شد. هم‌چنین از روش تحلیل شدت برای بررسی اندازه و شدت تغییرات کاربری اراضی در دوره مطالعه استفاده شد. نتایج کمی‌سازی تغییرات کاربری ارضی حوضه تالار در سال‌های ۲۰۲۱-۱۹۹٦، به طور کلی شدت خالص افزایش سطوح مرتعی (۲۳/٦ درصد)، بایر (۳/۵ درصد) و کشت دیم (۲ درصد) و کاهش مراتع مشجر (۲۰ درصد)و اراضی جنگلی (۹ درصد) را به همراه دارد. با توجه به نتایج شبیه‌سازی توزیع طبقه‌های کاربری اراضی در سال ۲۰٤٦، به نظر می‌رسد که تغییرات مشاهده‌شده در ۲۵ سال گذشته در منطقه موردمطالعه همچنان ادامه دارد. نتایج تحلیل کاربری ۲۵ سال گذشته نشان داد که منطقه موردمطالعه دستخوش تغییرات کاربری اراضی قابل‌توجه شده است. به طور کلی پوشش گیاهی طبیعی حوزه آبخیز تالار مانند مرتع مشجر و پهنه‌های آبی بیشترین تغییرات کاربری اراضی را در جهت کاهش مساحت داشتند. در مطالعات سعدین و عفیفی [۲۸] و جهدی [۱۲] نیز بیشترین تغییرات مساحت در پهنه‌های آبی و بیشترین کاهش مساحت در نواحی با پوشش گیاهی طبیعی رخ داده است. از سوی دیگر، افزایش قابل‌توجه اراضی مسکونی در منطقه مشاهده می‌شود که مشابه با روند افزایش مناطق انسان‌ساخت و سطوح نفوذناپذیر در مطالعه رضایی و همکاران [۲۵] و جعفری گرزین و همکاران [۱۱] و جهدی [۱۲] و کاظمی و جعفرپور [۱٦] است. افزایش مناطق مسکونی و ساخته‌شده آثار منفی بر محیط‌زیست، منابع آب و تنوع زیستی منطقه دارد [۳]. از این رو، نیاز به ارزیابی دقیق‌تر این تغییرات با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای با دقت بالاتر و در نظر گرفتن متغیرهای اقتصادی و اجتماعی بیشتر به‌منظور تعیین آثار مورد انتظار آن‌ها احساس می‌شود. بر اساس نتایج، اراضی جنگلی و مراتع مشجر مجاور آن با فشار تغییرات کاربری اراضی در حال حاضر و آینده مواجه هستند. هم‌چنین ادامه ساخت‌وساز در پهنه‌های آبی که به‌واسطه تغییرات اقلیمی دچار خشکی شده‌اند، ممکن است پاسخ هیدرولوژیکی به بارش‌های شدید را تغییر داده و در نتیجه، به وقوع حوادث مخاطره‌آمیز منجر شود [۳٤]. علاوه بر این، در نتیجه توسعه سریع و تکه‌تکه شدن اراضی جنگلی و مرتع مشجر تخریب محیط‌زیست و منابع طبیعی اجتناب‌ناپذیر است. این موارد چالش‌های متعددی در توسعه‌پایدار حوضه و محیط‌زیست ایجاد می‌کند. به منظور به حداقل رساندن تکه‌تکه شدن و تغییر کاربری اراضی جنگلی، اجرای مجموعه‌ای از سیاست‌های مدیریت کاربری اراضی از جمله ایجاد مناطق حفاظت‌شده، تقویت کشاورزی پایدار، توسعه زیرساخت‌های سبز و نظارت بر تغییرات کاربری، ضروری است. با این حال، اجرای این سیاست‌ها ممکن است با چالش‌هایی همراه باشد، زیرا تأمین غذا برای شهرنشینان نیروی محرکه توسعه اقتصادی و امنیت غذایی است و ممکن است بر رشد اقتصادی تأثیر بگذارد.

سپاسگزاری

بدین وسیله از دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری و اساتید محترم گروه آبخیز بابت حمایت‌های لجستیکی که در طول پروژه تحقیقاتی کمک قابل‌توجهی کردند، صمیمانه تشکر می‌شود.

تضاد منافع نویسندگان

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

دسترسی به داده‌ها

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

[Downloaded from jwmsei.ir on 2025-12-19]

مشارکت نویسندگان

شمیم احمدی: مفهوم‌سازی- نگارش نسخه اولیه مقاله_ تحلیل آماری- تهیه نقشه‌ها

عطاالله کاویان: مشاوره، نظارت، بازبینی متن، روش‌شناسی

کریم سلیمانی: راهنمایی، کنترل نتایج، تحلیل آماری

کاکا شاهدی: تحلیل آماری

عبدالواحد خالدی درویشان: راهنمایی، انجام تحلیل‌های نرم‌افزاری/آماری، کنترل نتایج، تحلیل آماری

منابع مورد استفاده

1. Agdas, MG. and Yenen, Z. 2023. Determining land use/land cover (LULC) changes using remote sensing method in Lüleburgaz and LULC change's impacts on SDGs. European Journal of Sustainable Development. 12(1): 1–1 .doi: 10.14207/ejsd.2023.v12n1p1.

2. Ahadov, B. Karimli, N. 2023. Analyzing Land Use/Land Cover Changes and its Dynamics Using Remote Sensing Data (Case Study: Gabala), Azerbaijan. EGU General Assembly Conference Abstracts. EGU-3777 doi: 10.5194/egusphere-egu23-3777.

3. Al-Ansari, N. Dibs, H. and Al-Janabi, A. 2024. An Analytical Surveillance of Land Utilization and Expansion of Urban Areas Employing Remote Sensing Algorithms. available at https://www.researchsquare.com/article/rs-4148120/v1

4. Bramantio, B. Hizbaron, DR. and Khakhim, N. 2024. Prediction of the future landuse and land cover changes in the Parangtritis sand dune : a spatio temporal analysis using QGIS MOLUSCE. 1313(1) : 012014 . doi: 10.1088/1755-1315/1313/1/012014.

5. Chouari, W. 2022. Land Use/Land Cover change detection in the wetlands (Case Study: Al-Aba Oasis), west of Ras Tanura, Kingdom of Saudi Arabia. Journal of Water and Land Development. no(53): 229–237. doi: 10.24425/jwld.2022.140802.

6. Gorelick, N. Hancher, M. Dixon, M. Ilyushchenko, S. Thau, D. and Moore, R. 2017. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. Remote Sensing of Environment. 202(1): 18–27. doi: 10.1016/j.rse.2017.06.031.

7. Gupta, PDSK. Kumar, A. Kumar, S. Singh, A. and Singh, S. 2023. Detection of Land Use and Land Cover Change in Jammu District using Remote Sensing and GIS Techniques. International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology. 2321–9653. doi: 10.22214/ijraset.2023.55129.

8. Hong, Z. Hailin, L. and Zhen, C. 2011. Analysis of Land Use Dynamic Change and Its Impact on the Water Environment in Yunnan Plateau Lake Area (Case Study: the Dianchi Lake Drainage Area). Procedia Environmental Sciences. Part C(10): 2709–2717. doi: 10.1016/j.proenv.2011.09.421.

9. Hosseini, M, Jafari, H, and Solari, F. 2011. Measurement of Organochlorine Pesticide Residues in the Talar and Tajan Rivers. Mazandaran Regional Water Organization (MRW). 122–126. (In Persian)

10. Hu, Y. Raza, A. Syed, N. R. Acharki, S. Ray, R. L. Hussain, S. Dehghanisanij, H. Zubair, M. and Elbeltagi, A. 2023. Land Use/Land Cover Change Detection and NDVI Estimation in Pakistan's Southern Punjab Province. Sustainability 15(4): 3572. doi: 10.3390/su15043572.

11. Jafari Gorzin, B. Kavian, A. and Solaimani, K. 2023. Investigation of Land use Changes and Its Role in the Hydrology of the Upstream Areas of Siahroud Watershed. J Watershed Manage Res. 14(27): 26–37. doi:10.61186/jwmr.14.27.26. (In Persian)

12. Jahdi, R. 2023. Land use changes analysis and prediction using remote sensing and QGIS MOLUSCE Plugin in the Siahkal County. Journal of Rainwater Catchment Systems. 10(4): 3 p. https://civilica.com/doc/1610180 (In Persian)

13. Jawak, SD. and Luis, AJ. 2013. Improved land cover mapping using high resolution multiangle 8-band WorldView-2 satellite remote sensing data. Journal of Applied Remote Sensing. 7(1): 073573. doi: 10.1117/1.JRS.7.073573

14. Karimzadeh Motlagh, Z. Lotfi, A. Pourmanafi, S. and Ahmadizadeh, S. 2022. Evaluation and Prediction of Land-Use Changes using the CA_Markov Model. Geography and Environmental Planning. 33(2): 67–84. doi: 10.22108/gep.2022.130601.1458. (In Persian)

15. Kavyan, A. Zargosh, Z. Jaffaryan Jolodar, Z. and Darabi, H. 2017. Land use Changes Modelling Using Logistic Regression and Markov Chain in the Haraz Watershed. Journal of Natural Environment. 70(2): 397–411. doi: 10.22059/jne.2017.116904.850. (In Persian)

16. Kazemi, M. and Jafarpoor, A. 2025. Multi Temporal Land use/Land cover using Spectral indices, Sentinel-2 Imagery and Migrated Training Samples in Google Earth Engine. Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering.18(67): 1–15 https://doi.org/10.22034/18.67.1. (In Persian)

17. Khazaei, A. Abbaspour, M. Babaei Kafaky, S. Taghavi, L. and Rashidi, Y. 2023. Investigating and predicting land use changes in Tehran metropolis using remote sensing technology. Environmental Sciences. 21(2): 121–138. doi: 10.48308/envs.2022.1226. (In Persian)

[Downloaded from jwmsei.ir on 2025-12-19]

18. Mohammadi, A. and Khodabandehlou, B. 2020. Classification and Assessment of Land Use Changes in Zanjan City Using Object-Oriented Analysis and Google Earth Engine System. Geography and Environmental Planning. 31(2): 25–42. doi: 10.22108/gep.2020.120666.1242. (In Persian)

19. Mohammadi, M. Fallah, M. Kavian, A. Gholami, L. and Omidvar, E. 2016. The Application of RUSLE Model in Spatial DistributionDetermination of Soil loss Hazard. Iranian Journal of Ecohydrology. 3(4): 645–658. doi: 10.22059/ije.2016.60368. (In Persian)

20. Muhammad, R. Zhang, W. Abbas, Z. Guo, F. and Gwiazdzinski, L. 2022. Spatiotemporal Change Analysis and Prediction of Future Land Use and Land Cover Changes Using QGIS MOLUSCE Plugin and Remote Sensing Big Data (Case Study: Linyi), China. Land. 11(3): 419 p. doi: 10.3390/land11030419.

21. Naderi, M. Sheikh, V. Komaki Chooghi, B. Bahrehmand, A. Ghanghermeh Abdul, A. and Siroosi, H. 2022. Detection and Prediction of Land Use Changes Using Modeling Approach within a GIS Environment (Case Study: Hablehroud Watershed). 22:29(2): 113–134. doi.org/10.22069/jwsc.2022.20196.3551 (In Persian)

22. Phuong, VT. and Thien, B. B. 2024. Land Use Change Mapping and Analysis Using Remote Sensing and GIS (Case Study: Tam Ky City, Quang Nam Province), Vietnam. Journal of Multidisciplinary Applied Natural Science. 4(2): 210–224. doi: 10.47352/jmans.2774-3047.208.

23. Razavizadeh, S. Dargahian, F. Teimouri, S. and Gohardoust, A. 2025. Changes in Flood Zones of Sistan's Hamuns Based on Google Earth Engine. Ijwmse. 18(67): (In Persian) 16–30. https://doi.org/10.22034/18.67.2

24. Regional Water Company Mazandaran. 2009. Optimization Studies of Water Resource Atlas in Mazandaran and East Gilan Basins. Rivers between Sefidrud and Gharesoo. (Vol. 1). Regional Water Company Mazandaran. (In Persian)

25. Rezayi, F. Bahremand, A. Shaikh, J. Dastorani, MT. Tajbakhsh, M. 2018. Assessing Urban Land Use Changes Using ASSA Model. Journal of Rainwater Catchment Systems. 6(1): 47–60. https://dor.isc.ac/dor/20.1001.1.24235970.1397.6.1.1.2 (In Persian)

26. Rohitha, C. Vinay, N. Bharath Kumar, G. and Suneetha, M. 2023. Land Use and Land Cover Change Assessment Using Remote Sensing and Geographic Information System. Proceedings of Third International Conference on Sustainable Expert Systems: ICSES 2022. 21: 563–571. https://doi.org/10.1007/978-981-19-7874-6_42

27. Roradeh, H. Safarrad, T. and Alikhani Kashkaki, Z. 2022. Estimation of Probable Maximum Precipitation at Talar Basin of Mazandaran Province using Synoptic Method. Journal of Watershed Management Research. 13(26): 178–188. doi: 10.52547/jwmr.13.26.178. (In Persian)

28. Sadayn, B. and Afifi, ME. 2024. On the Current Changes of Votes Between 1989 and 2019 Changes and Predicting the Changes Using Remote Sensing and CA-Markov and LCM Models. Journal of Geography and Environmental Studies. 5(48): 6 p. (In Persian)

29. Sameer, MK. and Hamid, AM. 2023. Remote Sensing and GIS Techniques in Monitoring Land Use Land Cover Change. International Journal of Sustainable Construction Engineering and Technology. 14(1): 13–20. https://publisher.uthm.edu.my/ojs/index.php/IJSCET/article/view/11354

30. SARKAR, B. 2023. Land Use and Land Cover Change (LULC) Dynamics for Sustainable Land Resources Development: A Geospatial Study of Raiganj Sub-Division, West Bengal (India). doi: 10.21203/rs.3.rs-2523790/v1

31. Shabani, M. Darvishi, S. Rabiei-Dastjerdi, H. Alavi, A. S. Choudhury, T. and Solaimani, K. 2022. An integrated approach for simulation and prediction of land use and land cover changes and urban growth (Case Study: Sanandaj city in Iran). Journal of the Geographical Institute" Jovan Cvijic", SASA. 72(3): 273–289. doi: https://doi.org/10.2298/IJGI2203273S. (In Persian)

32. Sobhani, P. and Danehkar, A. 2024. Land Use Changes Modeling and Predictions Using CA-ANN Hybrid Model in Khamir and Qeshm Mangrove Forests. Iranian Journal of Remote Sensing and GIS. doi: 10.48308/gisj.2024.233850.1189.

33. Sultana, Q. Sultana, A. and Ara, Z. 2023. Assessment of the land use and landcover changes using remote sensing and GIS techniques. In Water, Land, and Forest Susceptibility and Sustainability. Elsevier. 1:267–297. doi: 10.1016/B978-0-323-91880-0.00022-2.

34. Zhang, J. Yang, L. Yu, M. and Chen, X. 2023. Response of extreme rainfall to atmospheric warming and wetting: Implications for hydrologic designs under a changing climate. Journal of Geophysical Research. Atmospheres. PNNL-SA-186483. 128(12):27. doi: 10.1029/2022jd038430.

[Downloaded from jwmsei.ir on 2025-12-19]