

Assessment and Analysis of Land Use Changes Using Landsat Satellite Images and Random Forest Algorithm (Case Study: Khosuyeh Dam Watershed)

Zahra Mohammadi¹, Esmail Soheili^{2*}, Yaghoub Niazi³, Farid Foroughi⁴

Received: 13-12-2024, Revised 22-12-2024, Accepted: 16-01-2025, Published: 09-06-2025

<https://doi.org/10.22034/19.68.3>

Extended Abstract

Introduction

Land use change analysis is of particular importance due to its direct impact on environmental, social cycles, and ecohydrological conditions of watersheds. Watersheds in arid and semi-arid regions, especially dam and agricultural plains, as are as sensitive to environmental changes, require careful management based on scientific data. Remote sensing data is one of the important tools in this field, which is a suitable alternative to traditional and expensive land surveying methods due to its wide coverage, lower cost, and ease of access. Satellite image classification, as one of the main steps in remote sensing data processing, includes a variety of methods, including algorithms such as maximum likelihood, support vector machines, decision trees, neural networks, and random forests. Previous studies have shown that the random forest algorithm has a high ability to classify satellite images and prepare land cover maps. This method has been used to analyze land use changes in different regions of the world and has brought high accuracy in the results. Among the research conducted, we can mention the application of this algorithm in the assessment of urban, agricultural and forest changes, all of which emphasize the high efficiency and accuracy of this method. In this regard, the accurate identification and analysis of land use change patterns can not only help improve management processes, but also serve as a tool for predicting the long-term effects of environmental changes in watersheds.

Methodology

The study area in this study is the Khosuyeh Dam watershed in Darab County, located in the southeast of Fars Province. This area is considered a semi-arid region of the country, and in line with the objectives of this study, land use changes in this area have been examined in two time periods (2001 and 2021). To analyze land use changes in the Khosuyeh Dam watershed in the time period of 2001 and 2021, satellite data from Landsat 7 for 2001 and Landsat 8 for 2021 were selected. Information on precipitation and temperature in the study area has been collected from meteorological stations. This data has been used to analyze climatic conditions and their changes over time. For the classification of satellite data, the random forest algorithm has been proposed

1 . M.Sc. Student of Ecohydrology, Department of Range and Watershed Management, College of Agriculture and Natural Resources of Darab, Shiraz University, Darab, Iran.

2. Assistant Professor, Department of Range and Watershed Management, College of Agriculture and Natural Resources of Darab, Shiraz University, Darab, Iran. Corresponding author: Es.Sohaili@gmail.com

3 . Ph.D. in Watershed Management Sciences and Engineering, Yazd University, Yazd, Iran.

4 . Assistant Professor, College of Agriculture and Natural Resources of Darab, Shiraz University, Darab, Iran.

as one of the most effective non-parametric methods. Random forest is one of the powerful and popular algorithms in the field of machine learning and data classification, which is very suitable for complex and noisy data. This algorithm is constructed using a set of decision trees randomly and can effectively classify data into different classes. Due to its high ability to deal with unbalanced data and low sensitivity to small changes in the data, random forest has high accuracy for land cover classification. Accordingly, in this study, the random forest algorithm was used to classify satellite images and simulate land use changes in the study area.

Results

To classify Landsat 7 and 8 satellite images in 2001 and 2021, a random forest algorithm with 40 decision trees was used. This algorithm was selected due to its ability to manage large data, robotcity, and high accuracy in multi-class classification problems, especially in the field of remote sensing. The number of trees, 40, was determined based on the principle of stable error rates. Also, considering the multi-band nature of Landsat satellite images and based on previous studies, the square root of the number of spectral bands (in this study, 7 bands) was considered as the basis for selecting the number of variables examined in each tree. Comparative analysis of land use maps in the two study periods showed significant changes in land use types, especially the reduction of wasteland and the increase in urban areas. These changes are the result of a complex interaction of human and natural factors and can have important consequences on water resources, soil, biodiversity, and ecosystems of the region. Overall, the total land area in 2021 has increased significantly compared to 2001. Each of the land use classes has experienced different changes. Some classes such as “cropland” and “buildings” have seen a significant increase in area, while classes such as “barren land” have seen a decrease in area. These changes reflect different development trends in the study area.

Discussion and Conclusion

In this study, with the aim of analyzing land use changes in the Khosuyeh Darab Dam watershed, Landsat 7 and 8 satellite images from 2001 and 2021 were used. In order to classify land use more accurately, the random forest algorithm was used, and the results indicated the optimal performance of this method with an overall accuracy of 89% in 2001 and 91% in 2021. This indicates the high efficiency of the random forest algorithm in separating land uses and preparing accurate land cover maps. A comparative analysis of land use maps of the two time periods studied showed significant changes in land use types, especially the reduction of barren lands and the increase in urban areas. These changes are the result of the complex interaction of human and natural factors and can have important consequences on water resources, soil, biodiversity, and ecosystems of the region. This research, using modern methods of satellite data analysis and machine learning, has provided a suitable platform for a deeper understanding of environmental changes and providing management solutions. The results obtained provide a valuable tool for managers and planners of the region to formulate natural resource conservation and sustainable development programs. In addition, the methodology used in this research has the potential to be generalized to other similar regions in the country. Similar research has also shown that the use of the random forest algorithm can have high accuracy in land classification, including a study in a semi-arid region that reported an overall accuracy of the random forest algorithm of over 90 percent.

Keywords: *Darab Plain, Land Use, Machine Learning, Dam Watershed*

Article Type: Research Article

Acknowledgement

The authors would like to thank the Hassanabad Darab Meteorological Station for their cooperation.

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

Zahra Mohammadi: Conducting research, analyzing data, writing and making corrections and making comments in the abstracted article. Esmail Soheili: Guidance in choosing the topic, choosing the study area, collecting the necessary information, conducting and writing the research, editing and reviewing the article, controlling the results.

Yaghoub Niazi: Guidance in conceptualization, using remote sensing, performing software/statistical analyses, editing and reviewing the article.

Farid Foroughi: Guidance in reviewing and editing the article

Citation: Mohammadi Z, Soheili E, Niazi Y, Foroughi F. Assessment and Analysis of Land Use Changes Using Landsat Satellite Images and Random Forest Algorithm (Case Study: Khosuyeh Dam Watershed).jwmseir 2025; 19 (68): 32-45

Iran-Watershed Management Science & Engineering, Year 2025, Vol 19, No 68, PP 32-45

Publisher: Watershed Management Society of Iran

© Author(s)



ارزیابی و تحلیل تغییرات کاربری اراضی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست و الگوریتم جنگل تصادفی (مطالعه موردی: حوزه آبخیز سد خسویه)

زهره محمدی^۱، اسماعیل سهیلی^{۲*}، یعقوب نیازی^۳، فرید فروغی^۴

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۹/۲۳، تاریخ داوری: ۱۴۰۳/۱۰/۰۲، تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۰/۲۷، تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۰۳/۱۹

<https://doi.org/10.22034/19.68.3>

چکیده

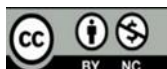
تحلیل تغییرات کاربری اراضی به دلیل تأثیر مستقیم بر چرخه‌های محیط‌زیستی، اجتماعی و شرایط اکوهیدرولوژی حوزه‌های آبخیز، اهمیت ویژه‌ای دارد. حوزه‌های آبخیز مناطق خشک و نیمه‌خشک بویژه حوزه آبخیز سدها و دشت‌های با کاربری کشاورزی به‌عنوان مناطق حساس به تغییرات محیطی، نیازمند مدیریت دقیق و مبتنی بر داده‌های علمی هستند. داده‌های سنجنش‌ازدور، یکی از ابزارهای مهم در این زمینه محسوب می‌شوند که به دلیل گستردگی پوشش، هزینه کمتر و سهولت دسترسی، جایگزینی مناسب برای روش‌های سنتی و پرهزینه نقشه‌برداری زمینی هستند. طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای به‌عنوان یکی از مراحل اصلی پردازش داده‌های سنجنش‌ازدور، روش‌های متنوعی را شامل می‌شود که از جمله آن‌ها می‌توان به الگوریتم‌هایی همچون حداکثر احتمال، ماشین‌بردار پشتیبان، درخت تصمیم‌گیری، شبکه‌های عصبی و جنگل تصادفی اشاره کرد. در این پژوهش، با هدف تحلیل تغییرات کاربری اراضی در حوزه آبخیز سد خسویه داراب، از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۷ و ۸ در سال‌های ۲۰۰۱ و ۲۰۲۱ استفاده شد. به منظور طبقه‌بندی دقیق‌تر کاربری اراضی، الگوریتم جنگل تصادفی به کار گرفته شد که نتایج حاکی از عملکرد مطلوب این روش با دقت کلی ۸۹ درصد در سال ۲۰۰۱ و ۹۱ درصد در سال ۲۰۲۱ بود. این نشان‌دهنده کارایی بالای الگوریتم جنگل تصادفی در تفکیک کاربری‌های اراضی و تهیه نقشه‌های دقیق پوشش اراضی است. تحلیل مقایسه‌ای نقشه‌های کاربری اراضی دو دوره زمانی مورد مطالعه، تغییرات معناداری در انواع کاربری‌ها، به‌ویژه کاهش اراضی بایر و افزایش مناطق شهری را نشان داد. این تغییرات نتیجه تعامل پیچیده عوامل انسانی و طبیعی است و می‌تواند پیامدهای مهمی بر منابع آب، خاک، تنوع‌زیستی و بوم‌سازگان منطقه داشته باشد. این پژوهش، با استفاده از روش‌های نوین تحلیل داده‌های ماهواره‌ای و یادگیری ماشین، بستری مناسب برای درک عمیق‌تر تغییرات محیطی و ارائه راهکارهای مدیریتی فراهم کرده است. نتایج به‌دست‌آمده، ابزاری ارزشمند برای مدیران و برنامه‌ریزان منطقه به منظور تدوین برنامه‌های حفاظت منابع طبیعی و توسعه پایدار فراهم می‌کند. علاوه بر این، روش‌شناسی به‌کاررفته در این تحقیق قابلیت تعمیم به سایر تحقیقات مشابه نیز نشان داده‌اند که استفاده از الگوریتم جنگل تصادفی می‌تواند دقت بالایی در طبقه‌بندی اراضی داشته. مناطق مشابه در کشور را دارد باشد، از جمله مطالعه‌ای در منطقه‌ای نیمه‌خشک که دقت کلی الگوریتم جنگل تصادفی را بالای ۹۰ درصد گزارش کرده است.

کلیدواژه‌ها: دشت داراب، کاربری اراضی، یادگیری ماشین، حوزه آبخیز سد.

نوع مقاله: پژوهشی

استناد: محمدی زهره، سهیلی اسماعیل، نیازی یعقوب، فروغی فرید. ارزیابی و تحلیل تغییرات کاربری اراضی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست و الگوریتم جنگل تصادفی (مطالعه موردی: حوزه آبخیز سد خسویه). علوم و مهندسی آبخیزداری ایران. ۱۴۰۴؛ ۱۹(۶۸): ۳۲-۴۵

علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، سال ۱۴۰۴، دوره ۱۹، شماره ۶۸، صفحه ۳۲-۴۵



© نویسندگان

ناشر: انجمن آبخیزداری ایران

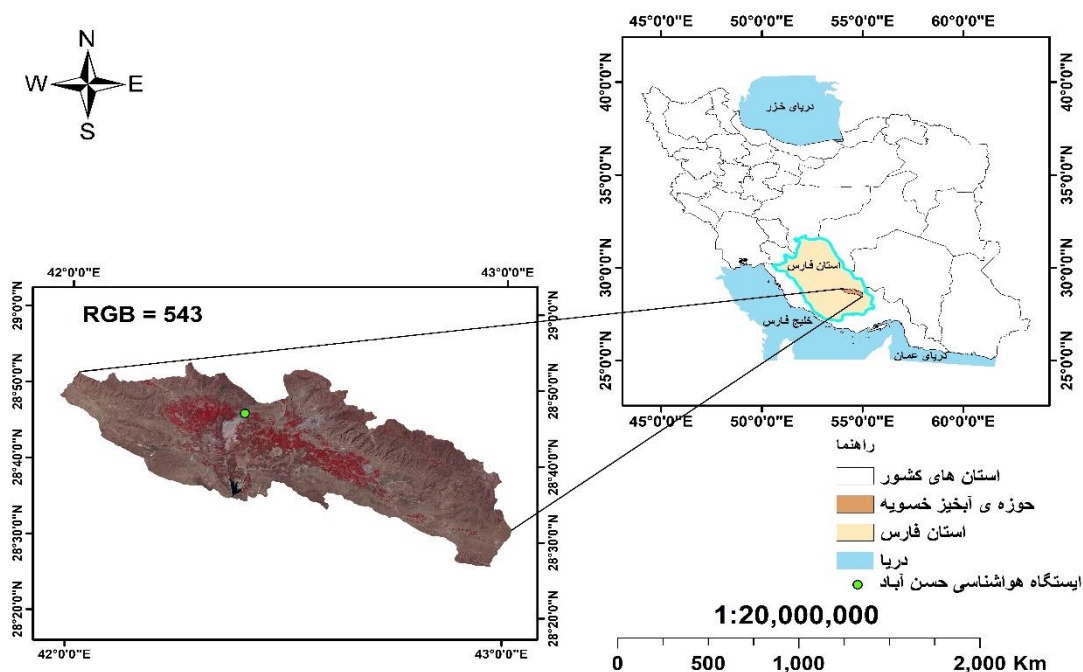
- ۱- دانشجوی کارشناسی ارشد اکوهیدرولوژی، بخش مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب، دانشگاه شیراز، داراب، ایران.
- ۲- استادیار بخش مرتع و آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب، دانشگاه شیراز، داراب، ایران. نویسنده مسئول: Email: Soheili@shirazu.ac.ir
- ۳- دانش‌آموخته دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشگاه یزد، یزد، ایران.
- ۴- استادیار، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی داراب، دانشگاه شیراز، ایران.

کاربری اراضی به مجموعه‌ای از فعالیت‌ها و تأثیرات انسانی و طبیعی بر زمین اطلاق می‌شود که مستقیماً بر زندگی موجودات زنده و بوم‌سازگان‌ها تأثیر می‌گذارد [۱۲،۷] که شامل ارتباط دوسویه‌ای عوامل انسانی و شرایط طبیعی مانند اقلیم، کیفیت خاک و منابع آبی است. متأسفانه رشد جمعیت و افزایش نیازهای انسانی، به‌ویژه در دهه‌های اخیر، باعث تغییرات و تخریب‌های گسترده‌ای در کاربری اراضی شده است که سبب تأثیرات عمده منفی و مخربی بر تنوع زیستی، منابع آبی و اقلیم جهانی شده است [۱۳،۸]. در نتیجه تحلیل تغییرات کاربری اراضی به دلیل تأثیر مستقیم بر چرخه‌های محیط زیستی و اجتماعی، به‌ویژه در سطح حوزه‌های آبخیز که مناطق حساس به تغییرات محیطی، نیازمند مدیریت دقیق و مبتنی بر داده‌های علمی هستند، بسیار حائز اهمیت است [۱۴]. در نتیجه شناسایی و تحلیل دقیق الگوهای تغییرات کاربری اراضی نه تنها می‌تواند به بهبود فرآیندهای مدیریتی کمک کند، بلکه به عنوان یک ابزار دقیق برای پیش‌بینی اثرات بلندمدت تغییرات محیط زیستی در حوزه‌های آبخیز نیز عمل می‌کند. در شرایطی که تغییرات اقلیمی و فشارهای انسانی به طور فزاینده‌ای بر بوم‌سازگان‌های طبیعی تأثیر می‌گذارند، مدل‌های تحلیلی مبتنی بر داده‌های سنجنش از دور قادرند به عنوان ابزاری قدرتمند برای رصد و شبیه‌سازی این تغییرات عمل کنند. این تحلیل‌ها می‌توانند در تصمیم‌گیری‌های مدیریتی به ویژه در زمینه حفاظت از منابع طبیعی و بهینه‌سازی استفاده از اراضی کمک شایانی کنند. علاوه بر این، ارزیابی تغییرات کاربری اراضی می‌تواند به‌طور موثر در شناسایی مناطق آسیب‌پذیر در برابر بلایای طبیعی همچون سیلاب‌ها و فرسایش خاک مورد استفاده قرار گیرد. با توجه به قابلیت علم سنجنش از دور و داده‌های ارزشمند آن (تصاویر و محصولات ماهواره‌ای) یکی از ابزارهای مهم و موثر در این زمینه محسوب می‌شوند که به دلیل گستردگی پوشش، هزینه کمتر و سهولت دسترسی، جایگزینی مناسب برای روش‌های سنتی و پرهزینه نقشه‌برداری زمینی بوده است [۹،۱۸]. تصاویر ماهواره‌ای مانند سری لندست، سنتینل و داده‌های راداری، به دلیل دقت، رزولیشن مکانی بسیار بالا و قابلیت‌های متنوع، به‌طور گسترده برای تهیه نقشه‌های پوشش زمین و ارزیابی تغییرات کاربری اراضی استفاده می‌شوند [۱۶،۲۲]. سری ماهواره‌های لندست به دلیل سابقه طولانی و قابلیت ارائه داده‌های چندطیفی^۱ با تفکیک زمانی مناسب، به‌عنوان یکی از منابع اصلی داده در پژوهش‌های مرتبط با کاربری اراضی شناخته می‌شود [۹،۱۱]. طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای را رفتار طیفی یکسان به کلاس‌هایی خاص گویند و به‌عنوان یکی از مراحل اصلی پردازش داده‌های سنجنش از دور، روش‌های متنوعی را شامل می‌شود که در این راستا الگوریتم‌های متعددی توسط محققان استفاده می‌شود. از جمله می‌توان به الگوریتم‌هایی همچون حداکثر احتمال،

ماشین بردار پشتیبان^۲، درخت تصمیم‌گیری^۳، شبکه‌های عصبی^۴ و جنگل تصادفی^۵ اشاره کرد [۲۴،۱۰]. لازم به ذکر است الگوریتم جنگل تصادفی یک روش غیرپارامتریک و قدرتمند در یادگیری ماشین است، که برای طبقه‌بندی داده‌های گسسته و پیوسته استفاده می‌شود. این الگوریتم به دلیل دقت بالا، انعطاف‌پذیری، مقاومت در برابر نویز و توانایی بالا در پردازش داده‌های نامتوازن، به یکی از پرکاربردترین روش‌ها در تحلیل تغییرات کاربری اراضی تبدیل شده است [۳،۲۰،۲۶]. مطالعات پیشین نشان داده‌است که الگوریتم جنگل تصادفی توانایی بالایی در طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای و تهیه نقشه‌های پوشش زمین دارد. این روش برای تحلیل تغییرات کاربری اراضی در مناطق مختلف جهان مورد استفاده قرار گرفته‌است و دقت بالایی را در نتایج به ارمغان آورده‌است [۱۷،۱۹،۲۱]. در این راستا می‌توان به کاربرد این الگوریتم در زمینه‌ی ارزیابی تغییرات کاربری شهری، کشاورزی و جنگلی اشاره کرد که همگی بر کارایی و دقت بالای این روش تأکید دارند [۱،۱۸]. امینی و همکاران (۲۰۲۲) الگوریتم جنگل تصادفی را برای تحلیل تغییرات کاربری و پوشش اراضی شهری با استفاده از سری‌های زمانی تصاویر لندست به کار بردند و بر دقت بالای این روش در تفکیک کلاس‌های مختلف تأکید کردند. او و همکاران (۲۰۲۲) در مطالعه‌ای به مقایسه چهار الگوریتم یادگیری ماشین، از جمله جنگل تصادفی، برای طبقه‌بندی کاربری اراضی در مناطق تحت تأثیر استخراج طلا پرداختند. این تحقیق نشان داد که الگوریتم جنگل تصادفی توانسته است در طبقه‌بندی دقیق‌تر کاربری اراضی نسبت به دیگر الگوریتم‌ها عملکرد بهتری داشته باشد. هدف اصلی این پژوهش، بررسی و تحلیل تغییرات کاربری اراضی در حوزه آبخیز سدخسویه، واقع در استان فارس، طی دوره زمانی ۲۰۰۱ و ۲۰۲۱ با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست (۸ و ۷) و الگوریتم جنگل تصادفی است. انتخاب حوزه آبخیز سدخسویه به دلیل اهمیت این منطقه در تأمین منابع آبی محلی و قرارگیری آن در شرایط اقلیمی نیمه‌خشک صورت گرفته است. این منطقه به دلیل فعالیت‌های انسانی گسترده مانند کشاورزی و توسعه شهری در دهه‌های اخیر و تأثیر مستقیم تغییرات کاربری اراضی بر منابع آبی، یک نمونه مناسب برای بررسی الگوهای تغییرات کاربری اراضی محسوب می‌شود. در این تحقیق، ضمن ارائه نقشه‌های کاربری اراضی با دقت بالا، تغییرات ناشی از فعالیت‌های انسانی و شرایط طبیعی منطقه را شناسایی و تحلیل شدند که یافته‌های آن به‌عنوان یک گامی مؤثر در مدیریت و برنامه‌ریزی کاربری اراضی در این منطقه تلقی می‌شود. نوآوری این مطالعه در کاربرد الگوریتم جنگل تصادفی برای تحلیل تغییرات کاربری اراضی در منطقه‌ای نیمه‌خشک مانند حوزه آبخیز سدخسویه نهفته است. این منطقه به

2. Support Vector Machine
3. Decision Tree
4. Neural Network
5. Random Forest

1. Multispectral



شکل ۱- موقعیت منطقه مورد مطالعه در کشور، استان فارس و شهرستان داراب

Fig 1. Location of the study area in the country, Fars Province and Darab County

نمونه برداری تصادفی در مناطق مختلف حوزه آبخیز سدخسویه انجام شد. همچنین، داده‌های میدانی با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای گوگل ارث در تاریخ‌های مورد بررسی تأیید شدند.

تصاویر ماهواره‌ای: برای تحلیل تغییرات کاربری اراضی حوزه آبخیز سدخسویه در بازه زمانی ۲۰۰۱ و ۲۰۲۱، داده‌های ماهواره‌ای کالکشن ۲ سطح ۲ برای هر دو لندست ۷ و ۸ که سنجنده لندست ۷ برای سال ۲۰۰۱ و سنجنده لندست ۸ برای سال ۲۰۲۱ انتخاب شده‌اند. برای سال ۲۰۰۱، تصاویر مربوط به تاریخ‌های ۲۷ آوریل، ۲۱ مه، ۶ ژوئن، ۸ ژوئیه، ۹ اوت، ۱۷ اوت، و ۱۲ اکتبر استفاده شده‌اند که بازه‌های کلیدی فصل رشد، اوج فعالیت کشاورزی و تغییرات فصلی در پاییز را پوشش می‌دهند. برای سال ۲۰۲۱، تصاویر مربوط به تاریخ‌های ۹ مارس، ۲۵ مارس، ۱۰ آوریل، ۱۲ مه، ۲۸ مه، ۱۳ ژوئن، ۲۹ ژوئن، ۱۶ اوت، ۱ سپتامبر، ۱۷ سپتامبر، ۳ اکتبر، و ۱۹ اکتبر انتخاب شد که تغییرات فصلی از اوایل بهار تا پایان پاییز را به خوبی نشان می‌دهند. این توزیع زمانی، امکان تحلیل دقیق تغییرات کاربری اراضی طی دوده، شامل الگوهای رشد و برداشت محصولات کشاورزی، تغییرات مراتع، و گسترش مناطق شهری یا بایر را فراهم می‌کند. این مجموعه داده‌ها پایه‌ای مناسب برای مقایسه تغییرات اراضی و ارائه نقشه‌های دقیق کاربری اراضی در این بازه زمانی است. تصاویر انتخاب شده جزء تصاویری با وضوح بالا و شرایط هواشناسی مناسب و فاقد ابر بودند که این امر منجر به افزایش دقت طبقه‌بندی شد.

داده‌های هواشناسی: اطلاعات مربوط به بارندگی و دما در منطقه مورد مطالعه از ایستگاه‌های هواشناسی موجود در منطقه به‌ویژه

دلیل نقش کلیدی در تأمین منابع آبی و تأثیرپذیری از تغییرات اقلیمی کمتر مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین، تمرکز این تحقیق بر پیامدهای تغییرات کاربری اراضی بر منابع آبی و محیط‌زیستی منطقه، به آن جنبه‌ای منحصربه‌فرد می‌بخشد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه و داده‌های مورد استفاده

منطقه مورد مطالعه در این تحقیق، حوزه آبخیز سدخسویه در شهرستان داراب است که در جنوب شرقی استان فارس، واقع شده است (شکل ۱). این منطقه جزء مناطق نیمه‌خشک کشور به شمار می‌رود و موقعیت جغرافیایی این منطقه بین طول جغرافیایی $54^{\circ}32'$ تا $55^{\circ}01'$ شرقی و عرض جغرافیایی $28^{\circ}25'$ تا $28^{\circ}54'$ شمالی قرار دارد و تقریباً ۲۵۰ کیلومتر از مرکز استان، فاصله دارد. مساحت کل حوزه حدود ۲۲۴۵ کیلومتر مربع است و ارتفاع متوسط آن از سطح دریا تقریباً ۱۴۳۹ متر است. این منطقه دارای شرایط اقلیمی نیمه‌خشک با میانگین دمای سالانه $22/5$ درجه سانتیگراد است. میانگین بارش سالانه در این ناحیه حدود ۲۵۰ میلی‌متر و متوسط تبخیر و تعرق بالقوه سالانه به میزان ۱۸۲۱ میلی‌متر است [۲۶، ۲۷].

داده‌های مورد استفاده در تحقیق

اطلاعات نمونه‌های تعلیمی و داده‌های میدانی

در این مطالعه، تعداد ۱۶۰ نمونه تعلیمی از تصاویر ماهواره‌ای جمع‌آوری شد. نمونه‌ها شامل کلاس‌های اصلی کاربری اراضی مانند پهنه‌های آبی، کشاورزی، مرتع، جنگل، باغات، بوته‌زار، مناطق شهری، و بایر بودند. انتخاب نمونه‌ها با استفاده از تکنیک

ایستگاه سینوپتیک حسن‌آباد داراب که دقیقاً در حوزه مورد مطالعه قرار دارد، جمع‌آوری شده است. این داده‌ها به منظور تحلیل شرایط اقلیمی و تغییرات آن در طول زمان استفاده شده‌اند.

این مجموعه داده‌ها با دقت و جامعیت بالا انتخاب شده‌اند تا امکان تحلیل تغییر کاربری اراضی در دوره مورد مطالعه فراهم شود.

الگوریتم جنگل تصادفی

برای طبقه‌بندی داده‌های ماهواره‌ای، الگوریتم جنگل تصادفی به دلیل ساختار مبتنی بر درخت‌های تصمیم متعدد و قابلیت ترکیب نتایج آن‌ها، به عنوان روشی انعطاف‌پذیر و قدرتمند در یادگیری ماشین شناخته می‌شود [۳، ۱۵]. این الگوریتم توانایی پردازش داده‌های با حجم بالا و پیچیدگی زیاد را دارد و به‌ویژه در مواجهه با داده‌های غیرخطی و نویزدار عملکرد قابل توجهی ارائه می‌دهد [۲۰]. این الگوریتم با استفاده از مجموعه‌ای از درخت تصمیم است به صورت تصادفی ساخته می‌شود و می‌تواند به طور مؤثری داده‌ها را به کلاس‌های مختلف طبقه‌بندی کند. جنگل تصادفی به دلیل قابلیت بالا در مقابله با داده‌های ناموازن و حساسیت پایین نسبت به تغییرات کوچک در داده‌ها، برای طبقه‌بندی پوشش اراضی از دقت بالایی برخوردار است [۱۷]. براین اساس در این پژوهش، برای طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای و شبیه‌سازی تغییرات کاربری اراضی در منطقه مورد مطالعه، از الگوریتم جنگل تصادفی به دلیل دقت بالا، قابلیت مدیریت داده‌های پیچیده، و نیاز به تنظیمات ساده‌تر نسبت به الگوریتم‌های یادگیری عمیق انتخاب شده است. این الگوریتم با دقت بالای ۸۹-۹۱ درصد برای تحلیل تغییرات کاربری اراضی در این مطالعه به کار گرفته شد و درعین حال پیچیدگی محاسباتی آن نسبت به الگوریتم‌های یادگیری عمیق کمتر است، استفاده شد. مراحل ساخت الگوریتم جنگل تصادفی در ادامه ارائه شده است [۱، ۲۵ و ۲۶]:

۱. ایجاد نمونه‌های تصادفی^۱

ابتدا، از مجموعه داده اصلی، نمونه‌هایی با جایگزینی انتخاب می‌شوند. این فرآیند به عنوان *Bootstrap Sampling* شناخته می‌شود.

۲. ایجاد درخت‌های تصمیم‌گیری^۲

هر درخت تصمیم‌گیری روی یک زیرمجموعه از داده‌ها و ویژگی‌ها ساخته می‌شود. هر گره درخت با توجه به بیشینه‌سازی معیار جداسازی، مانند معیار جینی (Gini) یا آنترپی (Entropy)، تقسیم‌بندی می‌شود که در ادامه به هر کدام پرداخته شده است [۱۷، ۲۰].

معیار جینی^۳

معیاری برای اندازه‌گیری خلوص داده‌ها در هر گره، به صورت معادله زیر تعریف می‌شود:

$$Gini = 1 - \sum_{i=1}^k p_i^2 \quad (1)$$

1. Bootstrap Sampling
2. Decision Trees
3. Entropy

که در آن:

p_i نسبت نمونه‌هایی است که به کلاس i تعلق دارند.
 k تعداد کل کلاس‌ها است.

آنترپی^۴

معیار دیگری برای سنجش میزان اختلاط داده‌ها که معادله زیر نشان‌دهنده آن است:

$$Entropy = - \sum_{i=1}^k p_i \log_2(p_i) \quad (2)$$

ترکیب پیش‌بینی‌ها

در مرحله نهایی، نتایج پیش‌بینی‌شده توسط تمامی درخت‌ها ترکیب می‌شوند. در طبقه‌بندی، از رأی‌گیری اکثریت (Majority Voting) استفاده می‌شود، در حالی که برای رگرسیون، میانگین مقادیر پیش‌بینی‌شده محاسبه می‌شود.

پیش‌پردازش تصاویر و استخراج ویژگی‌ها

پیش‌پردازش تصاویر ماهواره‌ای یکی از مراحل ضروری در هر تحلیل دورسنجی است. این مراحل شامل تصحیح رادیومتریک، حذف ابر و استخراج ویژگی‌های مختلف مانند NDVI^۵ (شاخص تفاوت پوشش گیاهی) و بازتاب است. در این پژوهش برای تحلیل تغییرات کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه براساس، داده‌های ماهواره‌ای لندست استفاده شده است. تصاویر انتخاب شده از این ماهواره به دلیل پوشش گسترده و تفکیک مکانی مناسب، در مطالعات مشابه به طور گسترده استفاده شده‌اند [۲۳، ۲۴]. در این پژوهش، مراحل پیش‌پردازش و استخراج ویژگی‌ها به شرح زیر انجام شده است.

تصحیحات هندسی و رادیومتریک

تصحیحات هندسی: برای تطابق مکانی دقیق تصاویر ماهواره‌ای، تصحیحات هندسی با استفاده از نقاط کنترل زمینی (GCPs) و مدل‌های رقومی ارتفاعی (DEM) انجام شد. این مرحله تضمین می‌کند که تمامی پیکسل‌ها به طور دقیق در موقعیت مکانی خود قرار دارند.

تصحیحات رادیومتریک: تصحیحات رادیومتریک برای حذف اثرات جوی، تغییرات روشنایی خورشید و اختلافات سنجنده انجام شد. این مرحله شامل نرمال‌سازی داده‌ها با تبدیل واحدهای خام (DN) به بازتاب سطحی (Reflectance) بود.

$$Reflectance = \frac{L \cdot d^2}{E_s \cdot \cos \theta_s} \quad (3)$$

که در معادله بالا آن را مشاهده می‌کنیم و در آن [۱۵]:

L : درخشندگی طیفی،

d : فاصله زمین تا خورشید (برحسب واحد نجومی)،

E_s : تابش خورشیدی در طول موج خاص،

θ_s : زاویه خورشید.

4. Voting or Averaging
5. Index Normalized Difference Vegetation

استخراج ویژگی‌های طیفی

در این پژوهش ویژگی‌های طیفی مختلف با استفاده از باندهای تصاویر لندست ۷ و لندست ۸ استخراج شدند. یکی از مهم‌ترین شاخص‌های طیفی محاسبه‌شده شاخص نرمال‌شده تفاوت پوشش گیاهی است که به شرح زیر است:

شاخص نرمال‌شده تفاوت پوشش گیاهی (NDVI)

$$NDVI = \frac{NIR - RED}{NIR + RED} \quad (4)$$

که در معادله بالا به آن پرداخته شده است و در آن [۱۴]:

NIR: بازتاب باند مادون قرمز نزدیک،

RED: بازتاب باند قرمز.

طبقه‌بندی تصاویر با الگوریتم جنگل تصادفی

پس از استخراج ویژگی‌ها، طبقه‌بندی تصاویر با استفاده از الگوریتم جنگل تصادفی انجام شد. این الگوریتم با بهره‌گیری از ویژگی‌های طیفی دقت بالایی در طبقه‌بندی پوشش اراضی ارائه داد.

تحلیل تغییرات زمانی

با استفاده از تصاویر سال‌های ۲۰۰۱ (لندست ۷) و ۲۰۲۱ (لندست ۸)، تحلیل تغییرات کاربری اراضی انجام شد. برای این منظور، تفاوت در مقادیر مساحت کلاس‌های طبقه‌بندی شده در دو بازه زمانی محاسبه شد.

ارزیابی صحت طبقه‌بندی

اطمینان از دقت و صحت اطلاعات موضوعی، یکی از مراحل اساسی در استفاده از این نوع داده‌ها است. ارزیابی نتایج طبقه‌بندی به عنوان مرحله‌نهایی در فرآیند تولید نقشه‌های طبقه‌بندی شده محسوب می‌شود. یکی از روش‌های رایج برای ارزیابی دقت این نقشه‌ها، ماتریس خطا (Confusion Matrix) است که داده‌های طبقه‌بندی شده را با داده‌های مرجع (مانند داده‌های زمینی یا تصاویر با وضوح بالا) مقایسه می‌کند [۵].

پارامترهای کلیدی قابل استخراج از ماتریس خطا شامل صحت کلی^۱، ضریب کاپا^۲، صحت کاربر^۳ و صحت تولیدکننده^۴ هستند که برای ارزیابی عملکرد طبقه‌بندی به کار می‌روند [۱، ۲، ۲۴]

صحت کلی (OA)

با تقسیم مجموع درایه‌های قطراصلی ماتریس خطا به تعداد کل نمونه‌ها و از رابطه ۵ به دست می‌آید.

$$OA = \frac{\sum_{i=1}^k n_{ii}}{N} \quad (5)$$

n_{ii} : تعداد پیکسل‌های درست طبقه‌بندی شده برای کلاس i

N : کل تعداد پیکسل‌های مرجع

ضریب کاپا (k)

یک آزمون آماری برای ارزیابی میزان صحت طبقه‌بندی است که

1. Overall Accuracy
2. Kappa Coefficient
3. User's Accuracy
4. Producer's Accuracy

با رابطه ۶ بدست می‌آید.

$$K = \frac{N \sum_{i=1}^k n_{ii} \sum_{i=1}^k (n_{i+} \cdot n_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^k (n_{i+} \cdot n_{+i})} \quad (6)$$

n_{i+} : مجموع پیکسل‌های ردیف i

n_{+i} : مجموع پیکسل‌های ستون i

صحت کاربر: احتمال اینکه یک پیکسل در نقشه طبقه‌بندی شده به درستی به یک کلاس خاص اختصاص داده شده باشد.

صحت تولیدکننده: احتمال اینکه یک پیکسل در نقشه مرجع

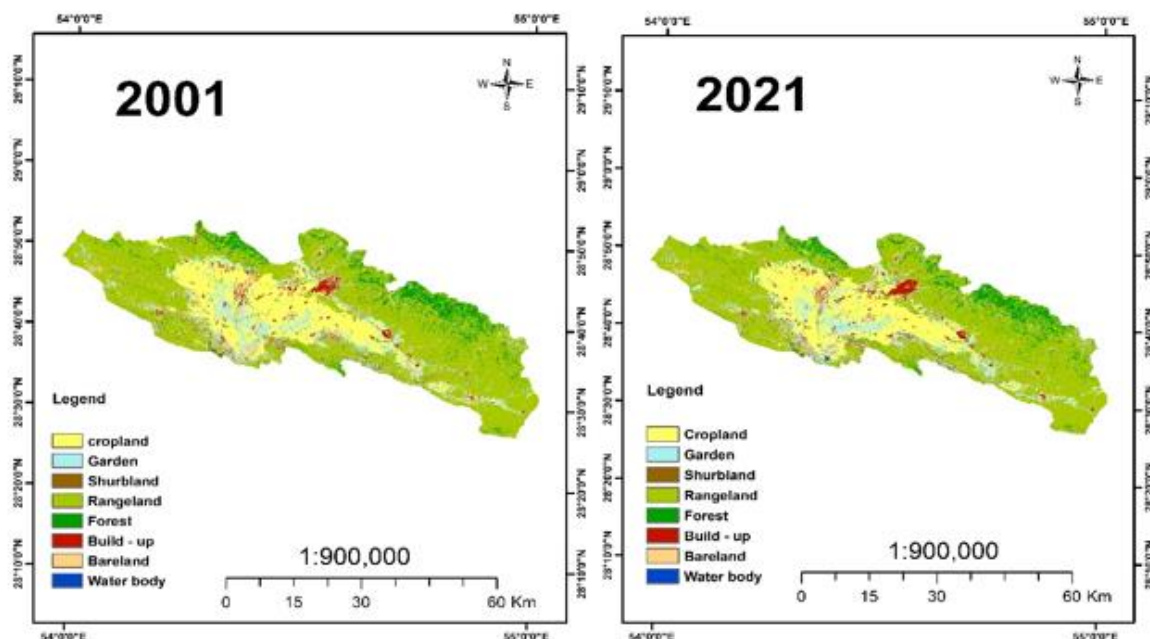
به درستی در نقشه طبقه‌بندی شده تشخیص داده شود.

در این پژوهش، از پارامترهای فوق برای ارزیابی نقشه‌های طبقه‌بندی شده استفاده شده است. این ارزیابی به درک میزان دقت نقشه‌ها و اعتماد به آن‌ها در تحلیل تغییرات کاربری زمین کمک می‌کند.

نتایج

برای طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای لندست ۷ و ۸ در سال‌های ۲۰۰۱ و ۲۰۲۱، از الگوریتم جنگل تصادفی با ۴۰ درخت تصمیم‌گیری استفاده شد. انتخاب این الگوریتم به دلیل توانایی آن در مدیریت داده‌های بزرگ، دقت بالا در مسائل طبقه‌بندی چندکلاسه، به‌ویژه در حوزه سنجش از دور، صورت گرفت. یکی از محدودیت‌های این مطالعه استفاده از دو بازه زمانی (۲۰۰۱ و ۲۰۲۱) برای تحلیل تغییرات کاربری اراضی است. در حالی که این بازه زمانی برای نشان دادن تغییرات کلی مناسب است، استفاده از داده‌های مربوط به دوره‌های زمانی کوتاه‌تر می‌تواند الگوی تغییرات را با دقت بیشتری مشخص کند. پیشنهاد می‌شود که در مطالعات آتی، تغییرات کاربری اراضی با استفاده از چندین بازه زمانی تحلیل گردد. تعداد درختان ۴۰ براساس اصل پایدارماندن نرخ خطا تعیین شد. همچنین، با توجه به ماهیت چندباندی تصاویر ماهواره‌ای لندست و با استناد به مطالعات پیشین [۱۶، ۵، ۲۴، ۲]، جذرتعداد باندهای طیفی (در این مطالعه ۷ باند) به عنوان مبنای انتخاب تعداد متغیرهای مورد بررسی در هر درخت در نظر گرفته شد. شکل ۳ نقشه کاربری اراضی حاصل از طبقه‌بندی نظارت‌شده با الگوریتم جنگل تصادفی برای سال‌های ۲۰۰۱ و ۲۰۲۱ را نشان می‌دهد.

جدول ۱ نتایج حاصل از طبقه‌بندی کاربری اراضی سال ۲۰۰۱ را با روش جنگل تصادفی نشان می‌دهد. این جدول حاوی اطلاعاتی در مورد دقت و صحت مدل طبقه‌بندی، عملکرد آن در طبقه‌بندی هر یک از کلاس‌های کاربری اراضی و همچنین میزان انطباق بین نقشه طبقه‌بندی شده و واقعیت زمینی است. نتایج حاصل از طبقه‌بندی کاربری اراضی سال ۲۰۰۱ حاکی از دقت کلی ۸۹ درصد و ضریب کاپای ۰/۸۶ است که نشان‌دهنده تطابق قابل قبول بین نقشه طبقه‌بندی شده و واقعیت زمین است. در واقع مدل طبقه‌بندی استفاده شده (الگوریتم جنگل تصادفی) توانسته است با دقت مناسبی، کاربری‌های مختلف اراضی را از یکدیگر تفکیک نماید. با این حال، بررسی دقیق‌تر نتایج نشان داد که دقت طبقه‌بندی برای همه کلاس‌ها یکسان



شکل ۳- نقشه کاربری اراضی حوزه آبخیز سد خسویه با الگوریتم جنگل تصادفی برای دوسال ۲۰۲۱ و ۲۰۰۱

Fig 3. Land use map of the Khosuyeh Dam watershed using the random forest algorithm for the years 2001 and 2021"

است به عواملی نظیر تغییرات زمانی پوشش گیاهی، تنوع بافت‌ها و الگوهای جغرافیایی خاص هر کلاس مربوط باشد که در تفکیک دقیق آن‌ها تأثیرگذار است.

همچنین، برخی از پیکسل‌های کلاس "زمین‌های بایر" به اشتباه به عنوان "زمین‌های زراعی" طبقه‌بندی شده‌اند که می‌تواند به دلیل تغییرات فصلی پوشش گیاهی در فصل‌های بهار و تابستان (زمانی که پوشش گیاهی ممکن است در این کلاس‌ها مشابه باشد) یا وضوح پایین تصویر باشد. به‌طور کلی شایان ذکر است یافته‌های بدست‌آمده از طبقه‌بندی حاکی از عملکرد خوب الگوریتم جنگل تصادفی بوده است و در واقع با دقت مناسبی فرآیند تفکیک و طبقه‌بندی کاربری‌های مختلف اراضی در منطقه مورد مطالعه صورت گرفت.

جدول ۳ تغییرات کاربری اراضی را در بازه زمانی ۲۰ سال را نشان می‌دهد. این جدول حاوی اطلاعاتی در خصوص تغییرات کمی و کیفی پوشش اراضی است که می‌تواند از آنها برای تحلیل روندهای تغییرات کاربری اراضی و شناسایی عوامل مؤثر بر این تغییرات بهره‌گرفت. به‌طور کلی، مساحت کل اراضی در سال ۲۰۲۱ نسبت به سال ۲۰۰۱ افزایش یافته است. این افزایش می‌تواند به دلیل عوامل مختلفی مانند گسترش شهرنشینی، تغییر الگوهای کشاورزی و یا تغییرات اقلیمی باشد. تغییرات قابل‌توجهی در مساحت هر یک از کلاس‌های کاربری اراضی رخ داده است. برخی از کلاس‌ها مانند "زمین‌های زراعی" و "ساختمان‌ها" افزایش مساحت داشته‌اند، درحالی که کلاس‌هایی مانند "زمین‌های بایر" کاهش مساحت داشته‌اند. افزایش اندک مساحت زمین‌های زراعی نشان‌دهنده ادامه روند توسعه کشاورزی و احتمالاً تغییر در الگوهای کشت است. افزایش جزئی مساحت باغ‌ها می‌تواند به علت افزایش توجه به تولید محصولات کشاورزی با ارزش‌افزوده بالا باشد. کاهش

نبوده است. کمترین دقت مربوط به کلاس "بوته‌زار" با ۸۵ درصد و بیشترین دقت مربوط به کلاس "آب" با ۹۷ درصد بوده است. علت اصلی تفاوت در دقت می‌تواند به عوامل مختلفی از جمله شباهت طیفی بین کلاس‌ها، اندازه کلاس‌ها و کیفیت تصاویر ماهواره‌ای مرتبط باشد. تحلیل ماتریس اشتباهات (ماتریس خطا) نیز نشان‌داد که برخی از کلاس‌ها بیشتر مستعد خطا هستند. به عنوان مثال، کلاس‌های "زمین زراعی" و "باغ" به دلیل شباهت‌های طیفی، در برخی موارد با یکدیگر اشتباه گرفته شده‌اند. همچنین، برخی از پیکسل‌های کلاس "بوته‌زار" به اشتباه در کلاس "مرتع" طبقه‌بندی شده‌اند که علت این خطا به تغییرات فصلی پوشش گیاهی و وضوح پایین تصاویر ماهواره‌ای برمی‌گردد. به‌طور کلی، نتایج بدست‌آمده در بخش ارزیابی صحت منطقه مورد مطالعه عملکرد مناسب الگوریتم جنگل تصادفی را در تفکیک و طبقه‌بندی کلاس‌های اصلی کاربری اراضی تأیید می‌کند.

جدول ۲ نتایج حاصل از طبقه‌بندی کاربری اراضی سال ۲۰۲۱ را به روش جنگل تصادفی نشان می‌دهد. با توجه به ضریب کاپای ۰/۸۹ و دقت کلی ۰/۹۱، می‌توان نتیجه گرفت که مدل طبقه‌بندی به‌طور کلی عملکرد قابل قبولی داشته است. این نشان می‌دهد که الگوریتم جنگل تصادفی توانسته است با دقت مناسبی کاربری‌های مختلف اراضی را از یکدیگر تفکیک نماید. با بررسی دقیق‌تر جدول ۲، مشاهده می‌شود که دقت طبقه‌بندی برای همه کلاس‌ها یکسان نبوده است. کلاس‌هایی مانند "آب" و "زمین‌های بایر" به دلیل ویژگی‌های طیفی متمایزتر، بالاترین دقت را داشته‌اند، در حالی که دقت طبقه‌بندی کلاس‌هایی مانند "باغ" و "زمین‌های زراعی" به دلیل شباهت طیفی بالاتر و تغییرات پیچیده‌تر در الگوهای مکانی آن‌ها، در رتبه‌های پایین‌تر قرار گرفتند. این پیچیدگی‌های مکانی ممکن

جدول ۱- ارزیابی دقت نتایج طبقه‌بندی کاربری اراضی با الگوریتم جنگل تصادفی (سال ۲۰۰۱)

Table 1- Evaluation of the accuracy of land use classification results using the random forest algorithm(2001)

Ground Truth 2001 (واقعیت زمینی)										LU/LC Classes (کلاس‌های کاربری)	Classified Map 2001 (نقشه طبقه‌بندی‌شده)
دقت کاربری (دقت)	کل	پهنه‌های آبی (Water body)	اراضی بایر (Bareland)	ساخت و ساز (Build-up)	جنگل (Forest)	مرتع (Rangeland)	بوته‌زار (Shrubland)	باغ (Garden)	زمین‌های زراعی (Cropland)		
User_Accuracy	Total										
0.88	26	0	1	0	0	1	1	0	23	Cropland (زمین‌های زراعی)	
0.88	17	0	0	0	0	2	0	15	0	Garden (باغ)	
0.85	13	0	0	0	0	2	11	0	0	Shrubland (بوته‌زار)	
0.91	56	0	1	0	2	51	1	1	0	Rangeland (مرتع)	
0.83	12	0	0	0	10	2	0	0	0	Forest (جنگل)	
0.92	12	0	0	11	0	0	0	1	0	Build-up (ساخت و ساز)	
0.86	14	0	12	0	0	0	0	0	2	Bareland (اراضی بایر)	
0.90	10	9	0	0	0	1	0	0	0	Water body (پهنه‌های آبی)	
	160	9	14	11	12	59	13	17	25	Total (کل)	
		1.00	0.86	1.00	0.83	0.86	0.85	0.88	0.92	Producer_Accuracy (دقت تولیدکننده)	
					0.86					Kappa (ضریب کاپا)	
					0.89					Overall Accuracy (دقت کلی)	

جدول ۲- ارزیابی دقت نتایج طبقه‌بندی کاربری اراضی با الگوریتم جنگل تصادفی (سال ۲۰۲۱)

Table 2- Evaluation of the accuracy of land use classification results with the random forest algorithm (2021)

Ground Truth 2021 (واقعیت زمینی)										LU/LC Classes (کلاس‌های کاربری)	Classified Map 2021 (نقشه طبقه‌بندی‌شده)
دقت کاربری (دقت)	کل	پهنه‌های آبی (Water body)	اراضی بایر (Bareland)	ساخت و ساز (Build-up)	جنگل (Forest)	مرتع (Rangeland)	بوته‌زار (Shrubland)	باغ (Garden)	زمین‌های زراعی (Cropland)		
User_Accuracy	Total										
0.87	30	0	1	0	0	0	0	3	26	Cropland (زمین‌های زراعی)	
0.87	15	0	0	0	0	1	0	13	1	Garden (باغ)	
0.94	16	0	0	0	0	1	15	0	0	Shrubland (بوته‌زار)	
0.90	50	0	0	0	3	45	2	0	0	Rangeland (مرتع)	
0.92	13	0	0	0	12	1	0	0	0	Forest (جنگل)	
0.94	16	0	1	15	0	0	0	0	0	Build-up (ساخت و ساز)	
0.92	12	0	11	0	0	1	0	0	0	Bareland (اراضی بایر)	
1.00	8	8	0	0	0	0	0	0	0	Water body (پهنه‌های آبی)	
	160	8	13	15	15	49	17	16	27	Total (کل)	
		1.00	0.85	1.00	0.80	0.92	0.88	0.81	0.96	Producer_Accuracy (دقت تولیدکننده)	
					0.89					Kappa (ضریب کاپا)	
					0.91					Overall Accuracy (دقت کلی)	

مساحت بوته‌زارها نیز به تغییرات در پوشش گیاهی طبیعی و احتمالاً گسترش فعالیت‌های انسانی مانند کشاورزی و دامداری می‌گردد. افزایش اندک مساحت مراتع می‌تواند به دلیل تغییر در الگوهای استفاده از زمین و یا بهبود مدیریت چراگاه‌ها باشد و افزایش اندک مساحت جنگل‌ها نشان‌دهنده تلاش‌هایی برای احیاء و حفاظت از جنگل‌ها و یا جلوگیری از تعرض به منابع طبیعی توسط ارگان‌های ذی‌ربط است. افزایش قابل‌توجه مساحت ساختمان‌ها نشان‌دهنده رشد شهرنشینی و توسعه مناطق مسکونی و صنعتی است و کاهش قابل‌توجه مساحت زمین‌های بایر نشان‌دهنده استفاده بیشتر از این اراضی برای فعالیت‌های کشاورزی، صنعتی و یا مسکونی است. شکل ۴ مساحت هریک از کلاس‌های کاربری اراضی حاصل از

طبقه‌بندی با الگوریتم جنگل تصادفی برای سال‌های ۲۰۰۱ و ۲۰۲۱ و شکل ۵ تغییرات کاربری اراضی برای حوزه آبخیز سدخسویه بین این سال‌ها را نشان می‌دهد

جدول ۴ تغییرات کاربری اراضی بین سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۲۱ را در حوزه آبخیز سدخسویه را ارائه می‌دهد. جدول ارائه شده، تغییرات قابل‌توجهی را در کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه در طول دو دهه نشان می‌دهد. این تغییرات، نتیجه عوامل مختلفی مانند رشد جمعیت، توسعه اقتصادی، تغییرات اقلیمی و سیاست‌های توسعه‌ای است که بر محیط‌زیست، اقتصاد و جامعه تأثیرگذار بوده است. به‌طور کلی، مساحت کل تمامی کلاس‌های کاربری اراضی در سال ۲۰۲۱ نسبت به سال ۲۰۰۱ افزایش قابل‌توجهی داشته است.

جدول ۳- نتایج طبقه‌بندی کاربری اراضی برای سال‌های ۲۰۰۱ و ۲۰۲۱

Table 3- Land use classification results for 2001 and 2021

AREA_2021 (مساحت) (%)	AREA_2001 (مساحت) (%)	Change Area (تغییرات مساحت)	AREA_2021 (مساحت) (km ²)	AREA_2001 (مساحت) (km ²)	LU/LC (کاربری اراضی)
19.78	19.30	10.58	443.85	433.26	Cropland (زمین‌های زراعی)
11.04	10.99	1.20	247.77	246.57	Garden (باغ)
2.34	2.66	-7.15	52.47	59.62	Shurbland (بوته‌زار)
53.84	53.55	6.57	1208.35	1201.79	Rangeland (مرتع)
7.27	7.17	2.19	163.18	160.99	Forest (جنگل)
2.85	2.40	10.04	64.01	53.97	Build-up (ساخت‌وساز)
2.85	4.03	-26.45	63.97	90.42	Bareland (اراضی بایر)
0.07	0.00	1.61	1.67	0.06	Water body (پهنه‌های آبی)

جدول ۴- ماتریس تبدیل کاربری اراضی بین سال‌های ۲۰۰۱ و ۲۰۲۱ (کیلومتر مربع)

Table 4- Land use conversion matrix between 2001 and 2021 (square kilometers)

2021									LU/LC Classes (کلاس‌های کاربری اراضی)
Water body (پهنه‌های آبی)	Bareland (اراضی بایر)	Build-up (ساخت‌وساز)	Cropland (زمین‌های زراعی)	Forest (جنگل)	Garden (باغ)	Rangeland (مرتع)	Shurbland (بوته‌زار)	Total (کل)	
0.03	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.00	0.06	Water body (پهنه‌های آبی)
0.33	43.01	6.99	8.76	1.25	20.94	6.79	2.29	90.38	Bareland (اراضی بایر)
0.16	5.98	37.32	4.13	0.28	4.92	0.46	0.71	53.96	Build-up (ساخت‌وساز)
0.68	1.96	9.26	357.35	3.60	52.09	4.40	3.88	433.22	Cropland (زمین‌های زراعی)
0.21	0.70	0.27	3.21	121.73	4.22	27.78	2.42	160.54	Forest (جنگل)
0.24	5.59	8.32	63.44	4.73	125.15	28.95	10.00	246.42	Garden (باغ)
0.01	5.70	1.14	4.84	28.19	29.07	1121.78	9.57	1200.30	Rangeland (مرتع)
0.01	0.98	0.72	2.10	3.29	11.28	17.64	23.53	59.54	Shurbland (بوته‌زار)
1.67	63.93	64.00	443.84	163.08	247.68	1207.81	52.41	2244.42	Total (کل)

2001

هر یک از کلاس‌های کاربری اراضی تغییرات متفاوتی را تجربه کرده‌اند. برخی از کلاس‌ها مانند "زمین‌های زراعی" و "ساختمان‌ها" افزایش مساحت چشمگیری داشته‌اند، درحالی که کلاس‌های مانند "زمین‌های بایر" کاهش مساحت داشته‌اند. این تغییرات نشان‌دهنده روندهای مختلف توسعه در منطقه مورد مطالعه است. استفاده از تصاویر ماهواره‌ای تا سال ۲۰۲۱ محدودیت دیگری از این مطالعه است، پیشنهاد می‌شود در مطالعات آتی، از داده‌های به‌روزتر ماهواره‌های لندست و سنتینل برای افزایش دقت نتایج استفاده شود.

بحث و نتیجه‌گیری

این پژوهش به‌منظور تحلیل تغییرات کاربری اراضی در حوزه‌آبخیز سدخسویه در شهرستان داراب، از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۷ و ۸ مربوط به سال‌های ۲۰۰۱ و ۲۰۲۱ بهره‌برده است. به منظور طبقه‌بندی دقیق‌تر کاربری اراضی، الگوریتم جنگل تصادفی به کار گرفته شد. نتایج به دست‌آمده نشان داد که این‌روش در منطقه مورد مطالعه عملکرد خوبی داشته است، به‌طوری که دقت کلی آن در سال ۲۰۰۱ برابر با ۸۹ درصد و در سال ۲۰۲۱ برابر با ۹۱ درصد بود. این نتایج نشان‌دهنده کارایی بالای الگوریتم جنگل تصادفی در تفکیک کاربری‌های اراضی و تهیه نقشه‌های دقیق پوشش اراضی در این منطقه است. تحلیل مقایسه‌ای نقشه‌های کاربری اراضی در دو دوره زمانی مورد مطالعه، تغییرات معنی‌داری در انواع کاربری‌ها، به‌ویژه کاهش اراضی بایر و افزایش مناطق شهری را نشان داد. این تغییرات نتیجه تعامل پیچیده عوامل انسانی و طبیعی است و می‌تواند پیامدهای مهمی بر منابع آب، خاک، تنوع زیستی و بوم‌سازگان منطقه داشته باشد. در تحقیقات مشابه در حوزه‌های آبخیز نیمه‌خشک نشان داده است که رشد مناطق شهری و تغییرات اقلیمی از عوامل اصلی تغییرات کاربری اراضی در این مناطق است [۶، ۲۵]. این پژوهش، با استفاده از روش‌های نوین تحلیل داده‌های ماهواره‌ای و یادگیری ماشین، بستری مناسب برای درک عمیق‌تر تغییرات محیطی و ارائه راهکارهای مدیریتی فراهم کرده است. نتایج به‌دست‌آمده، ابزاری ارزشمند برای مدیران و برنامه‌ریزان منطقه به منظور تدوین برنامه‌های حفاظت منابع طبیعی و توسعه پایدار فراهم می‌کند. علاوه بر این، روش‌شناسی به کار رفته در این تحقیق قابلیت تعمیم به سایر مناطق مشابه در کشور را دارد. تحقیقات مشابه نشان‌دهنده این است که الگوریتم جنگل تصادفی قادر به ارائه دقت بالایی در طبقه‌بندی کاربری اراضی است. به‌عنوان مثال، در مطالعه‌ای که در یک منطقه نیمه‌خشک انجام شده، دقت کلی این الگوریتم بیش از ۹۰ درصد گزارش شده است [۲۰، ۱]. یافته‌های این پژوهش‌ها تأکید می‌کنند که ترکیب داده‌های ماهواره‌ای (لندست ۷ و ۸) و مدل‌های یادگیری ماشین (الگوریتم جنگل تصادفی) ابزاری کارآمد برای تحلیل تغییرات کاربری اراضی در مقیاس‌های مختلف است. با توجه به این یافته‌ها، می‌توان پیشنهاد داد که برای ارتقای دقت مدل‌های پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی، استفاده از تصاویر با وضوح بالاتر (مانند

تصاویر سنجنده یا ماهواره سنتینل ۱ و ۲) و ترکیب الگوریتم‌های یادگیری ماشین با داده‌های اقلیمی و توپوگرافی منطقه مدنظر قرارگیرد. همچنین، ادامه تحقیقات در این زمینه می‌تواند به شناسایی دقیق‌تر عوامل مؤثر بر تغییرات کاربری اراضی و ارائه راهکارهای مدیریت یکپارچه حوزه‌آبخیز منجر شود.

سپاسگزاری

نویسندگان از همکاری ایستگاه هواشناسی حسن‌آباد داراب تشکر می‌نمایند.

تضاد منافع نویسندگان

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که هیچگونه تضاد منافی 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.

مشارکت نویسندگان

زهرا محمدی: انجام پژوهش، تجزیه و تحلیل داده‌ها، نگارش و انجام اصلاحات و اعمال نظرات در مقاله مستخرج.

اسماعیل سهیلی: راهنمایی در انتخاب موضوع، انتخاب منطقه مورد مطالعه، جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز، شیوه انجام و نگارش پژوهش، ویرایش و بازبینی مقاله، کنترل نتایج.

یعقوب نیازی: راهنمایی در مفهوم‌سازی، استفاده‌ها از سنجش از دور، انجام تحلیل‌های نرم‌افزاری/آماري، ویرایش و بازبینی مقاله.

فرید فروغی: راهنمایی بازبینی و ویرایش مقاله.

منابع مورد استفاده

1. Amini, S., Saber, M., Rabiei-Dastjerdi, H., & Homayouni, S. (2022). Urban Land Use and Land Cover Change Analysis Using Random Forest Classification of Landsat Time Series. *Remote Sensing*, 14(11), 2654. <https://doi.org/10.3390/rs14112654>.
2. Asif, M., Kazmi, S., Tariq, A., Zhao, N., Guluzade, R., Soufan, W., Almutairi, K., Sabagh, A., & Aslam, M. (2023). Modelling of land use and land cover changes and prediction using CA-Markov and Random Forest. *Geocarto International*, 38(1), 2210532. <https://doi.org/10.1080/10106049.2023.2210532>.
3. Belgiu, M., & Drăguț, L. (2016). Random forest in remote sensing: A review of applications and future directions. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 114, 24-31. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2016.01.011>.
4. Chaves, M., Picoli, M., & Sanches, I. (2020). Recent Applications of Landsat 8/OLI and Sentinel-2/MSI for Land Use and Land Cover Mapping: A Systematic Review. *Remote Sensing*, 12(18), 3062. <https://doi.org/10.3390/rs12183062>.
5. Congalton, R., & Green, K. (1993). A practical look at the

15. Liang, Y., & Liu, L. (2017). Simulating land-use change and its effect on biodiversity conservation in a watershed in northwest China. *Ecosystem Health and Sustainability*, 3(5), 1335933. <https://doi.org/10.1080/20964129.2017.1335933>.
16. Lowe, B., & Kulkarni, A. (2015). Multispectral Image Analysis Using Random Forest. *International Journal of Soft Computing*, 6, 1-14. <https://doi.org/10.5121/IJSC.2015.6101>.
17. Navin, M., & Agilandeeswari, L. (2020). Multispectral and hyperspectral images based land use/land cover change prediction analysis: An extensive review. *Multimedia Tools and Applications*, 79, 29751-29774. <https://doi.org/10.1007/s11042-020-09531-z>.
18. Noi, P., Kuch, V., & Lehnert, L. (2020). Land Cover Classification using Google Earth Engine and Random Forest Classifier - The Role of Image Composition. *Remote Sensing*, 12, 2411. <https://doi.org/10.3390/rs12152411>.
19. Pasquarella, V., Holden, C., Kaufman, L., & Woodcock, C. (2016). From imagery to ecology: leveraging time series of all available Landsat observations to map and monitor ecosystem state and dynamics. *Remote Sensing in Ecology and Conservation*, 2(3), 152-170. <https://doi.org/10.1002/rse2.24>.
20. Paul, A., Mukherjee, D., Das, P., Gangopadhyay, A., Chintia, A., & Kundu, S. (2018). Improved Random Forest for Classification. *IEEE Transactions on Image Processing*, 27, 4012-4024. <https://doi.org/10.1109/TIP.2018.2834830>.
21. Pelletier, C., Valero, S., Inglada, J., Champion, N., & Dedieu, G. (2016). Assessing the robustness of Random Forests to map land cover with high-resolution satellite image time series over large areas. *Remote Sensing of Environment*, 187, 156-168. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2016.10.010>.
22. Panuju, D., Paull, D., & Griffin, A. (2020). Change Detection Techniques Based on Multispectral Images for Investigating Land Cover Dynamics. *Remote Sensing*, 12, 1781. <https://doi.org/10.3390/rs12111781>.
23. Potapov, P., Hansen, M., Pickens, A., Hernández-Serna, A., Tyukavina, A., Turubanova, S., Zalles, V., Li, X., Khan, A., Stolle, F., Harris, N., Song, X., Baggett, A., Kommareddy, I., & Kommareddy, A. (2022). The Global 2000-2020 Land Cover and Land Use Change Dataset Derived From the Landsat Archive: First Results. *Frontiers in Remote Sensing*, 3, 856903. <https://doi.org/10.3389/frsen.2022.856903>.
24. Razavizadeh, Dargahian, Teymouri, Gohardoust, & Azadeh. (2025). Study of changes in floodplains of Sistan Hamoons in Google Earth Engine. *Iranian Journal of Watershed Science and sources of confusion in error matrix generation. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 59, 641-644. [doi: 10.12691/jgg-6-3-2](https://doi.org/10.12691/jgg-6-3-2)
6. Daneshi, A., Brouwer, R., Najafinejad, A., Panahi, M., Zarandian, A., & Maghsood, F. (2020). Modelling the impacts of climate and land use change on water security in a semi-arid forested watershed using InVEST. *Journal of Hydrology*, 593, 125621. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125621>.
7. Felipe-Lucia, M., Soliveres, S., Penone, C., Fischer, M., Ammer, C., Boch, S., Boeddinghaus, R., et al. (2020). Land-use intensity alters networks between biodiversity, ecosystem functions, and services. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117, 28140-28149. <https://doi.org/10.1073/pnas.2016210117>.
8. Foley, J., DeFries, R., Asner, G., Barford, C., Bonan, G., Carpenter, S., Chapin, F., et al. (2005). Global Consequences of Land Use. *Science*, 309, 570-574. <https://doi.org/10.1126/science.1111772>.
9. Gu, Z., & Zeng, M. (2023). The Use of Artificial Intelligence and Satellite Remote Sensing in Land Cover Change Detection: Review and Perspectives. *Sustainability*. 16(1), 274. <https://doi.org/10.3390/su16010274>.
10. Gupta, M., Dwivedi, R., & Kumar, A. (2021). Review of Various Learning Algorithms Applied to Satellite Image Classification. *2021 10th International Conference on System Modeling & Advancement in Research Trends (SMART)*, 285-289. <https://doi.org/10.1109/SMART52563.2021.9676215>
11. Gutman, G., & Masek, J. (2012). Long-term time series of the Earth's land-surface observations from space. *International Journal of Remote Sensing*, 33, 4700-4719. <https://doi.org/10.1080/01431161.2011.638341>.
12. Hasan, S., Zhen, L., Miah, M., Ahamed, T., & Samie, A. (2020). Impact of land use change on ecosystem services: A review. *Environmental Development*. 34, 100527. <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2020.100527>.
13. Jha, M. (2020). Impacts of Landscape Changes on Water Resources. *Water*. 12(8), 2244. <https://doi.org/10.3390/w12082244>.
14. Kazemi, M. Jafarpour. A. (2025). Land use time series classification using spectral indices, Sentinel 2 images and variable training samples in Google Earth Engine (GEE) platform. *Iranian Journal of Watershed Science and Engineering*, 18(67), 1-15. (in persian) <https://doi.org/10.22034/18.67.1>

27. Hassani, M. Shamsnia, S. A. 1402. Spatial analysis of wheat irrigation indicators using geostatistical models in the direction of sustainable environmental development (Case study: Darab Plain - Fars Province). *Environmental Science Studies*. 9. (2): 8418-8428. .(in persian)
doi: 10.22034/jess.2023.410079.2097

Engineering, 18(67), 16-30. .(in persian)

<https://doi.org/10.22034/18.67.2>

25. Sadeghi Lari, Adnan, Kazemi, & Rajabi. (2024). Investigating the effect of climatic and land surface characteristics on groundwater quality using Google Earth Engine (GEE) data (Case study: Kohorestan Plain, Hormozgan). *Iranian Journal of Watershed Science and Engineering*, 18(66), 59-72. .(in persian)
doi:10.22059/ije.2015.57301

26. Bahrami, A. Dashtbani, Z. Bahrami, M. 1402. Evaluation of groundwater quality in the Fasarud plain (Darab county) for agricultural and drinking purposes. *Quarterly Journal of Environmental Science Studies*. 8. (3): 7122-7113. .(in persian)
doi:10.22034/jess.2023.391379.1994