

## Classification and Assessment of Land Use Changes in Zanjan City Using Object-Oriented Analysis and Google Earth Engine System

Alireza Mohammadi<sup>1\*</sup>, Behrooz Khodabandehlou<sup>2</sup>

1- Associate Professor, Department of Urban Geography and Planning, Faculty of Social Sciences,  
University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran  
(Corresponding Author Email: a.mohammadi@uma.ac.ir)

2- Master of Remote Sensing and GIS, Department of Physical Geography, Faculty of Social Sciences,  
University of Mohaghegh Ardabili, Ardabil, Iran

### Introduction:

To assess environmental changes, monitoring systems and remote sensing satellites provide powerful tools that make the assessment of environmental change trends easier by multi-temporal comparisons. In recent decades, remote sensing data and GIS techniques for various aspects of urban spatial expansion and urban dispersal such as mapping (for expansion pattern), control (for process pattern recognition), measurement and evaluation (for analysis), and modeling (for Expansion simulation) are used. The object-based analysis is one of the emerging advanced techniques in the classification of satellite images. The object-oriented classification uses a segmentation process and a learning algorithm to analyze the spectral, spatial, and textural properties of the pixels. Along with the object-oriented classification method, Google Earth Engine, with extensive support for free satellite data and images, enables the classification and processing of high-speed satellite imagery that can be used in the monitoring and mapping land use.

### Methodology:

In the present study, the digital data of the Landsat satellite provided by GEE are used. The data do not require pre-processing and initial correction (geometric, radiometric, etc.) and are readily available for processing. Landsat image types (1 to 8) can be summons with any processing level in GEE. In this study, atmospheric correction images of the Surface Reflectance Tier1 are used. This dataset is modified for atmospheric errors and includes OLI / TIRS sensors for Landsat 8. With simple coding patterns in GEE, the images of 1999, 2009, and 2019 are corrected for the processing step. GEE has provided a modern set of pixel-based classification that can be used for monitoring and mapping. By analyzing the corrected image of 1999, 2009, and 2019 and capturing the training samples, the images are classified with the support vector machine algorithms, random forest, and minimum distance. To perform object-oriented analysis and classification, images are segmented using the multiresolution segmentation algorithm in specialized recognition software. Geometric properties of land use classes (including shape, size, texture) are used for segmentation. By analyzing the results of the segmentation of images with different scale parameters, the optimal values of scale, shape, and compression for the images used are obtained. In this study, based on spatial resolution and image quality, four land use

and land cover classes were considered in Zanjan urban areas. These classes include built-up, irrigated and urban green areas, dry farming, and rangelands. By selecting the above classes, training samples for multi-temporal images (1999, 2009, and 2019) are prepared. The nearest neighbor algorithm is used to classify images based on the object-oriented method. In this process, the maximum difference index of mean and NDVI vegetation index are also applied for each of the classes to reduce class mixing and improve the classification accuracy of influential parameters such as normalized difference built-up index (ndbi), mean and standard deviation of each band, area, the ratio of length to width, compaction, and brightness. Statistical parameters of kappa coefficients and overall accuracy are used for the accurate assessment of the classified images. To understand the changes in the area, after producing the land use maps and assessing them, the classification methods are used to evaluate the land use changes that occurred in the period 1999 to 2019.

### **Discussion:**

After the classification of Landsat 5 and 8 satellite images, land use maps of 1999, 2009, and 2019 are prepared using object-oriented and pixel-based methods. Since in this study the parameters and characteristics of mean and standard deviation of bands, NDBI, NDVI indices, etc. are used to improve the results of the algorithm nearest neighbor object-oriented method, the results of image classification accuracy assessment show that the object-oriented method is weaker in separating rangelands and built-up in 1999 and 2009 than the support vector machine classification method. However, the object-oriented classification results for 2019 show the best performance of all the utilized classification algorithms. Due to the better results of the support vector machine classification method for 1999 and 2009 and the object-oriented method for 2019, the results of these methods are used in the assessment of land use changes in the study area. According to the results, significant changes have occurred in the region from 1999 to 2019. During this period, the land (mainly Zanjan) showed an increase of 5036 hectares. Also, the results show that Zanjan has grown and expanded into rangelands and dry farming in the suburbs over the period 1999 to 2019.

### **Conclusion:**

Comparing the results of classifier accuracy assessment, the nearest neighbor object-oriented classification algorithm for 2019 showed better performance in terms of kappa coefficient and overall accuracy than other algorithms. Also, by comparing the results of the assessment of the classification maps of 1999 and 2009, the support vector machine algorithm showed the best performance compared to other classification algorithms in the study area. The support vector machine was the basis for the assessment of changes. Based on the results of land use changes assessment, in recent years, significant land use changes have occurred around Zanjan city. The reason for the increased land area in Zanjan in 2019 (26.12%) is the increase of population and the development of new settlements in the suburbs, and consequently, the reduction of agricultural rangelands.

**Keywords:** Google Earth Engine, Object-Oriented, Support Vector Machine, Zanjan City.

**References:**

- Butt, A., Shabbir, R., Ahmad, S. S., & Aziz, N. (2015). Land Use Change Mapping and Analysis Using Remote Sensing and GIS: A Case Study of Simly Watershed, Islamabad, Pakistan. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 18(2), 251-259.
- Campbell, J. B., & Wynne, R. H. (2011). *Introduction to Remote Sensing*. Guilford Press.
- De Oliveira Silveira, E. M., De Menezes, M. D., Júnior, F. W. A., Terra, M. C. N. S., & De Mello, J. M. (2017). Assessment of Geostatistical Features for Object-Based Image Classification of Contrasted Landscape Vegetation Cover. *Journal of Applied Remote Sensing*, 11(3), 036004.
- Dewan, A. M., & Yamaguchi, Y. (2009). Land Use and Land Cover Change in Greater Dhaka, Bangladesh: Using Remote Sensing to Promote Sustainable Urbanization. *Journal of Applied Geography*, 29(3), 390-401.
- Dingle Robertson, L., & King, D. J. (2011). Comparison of Pixel-and Object-Based Classification in Land Cover Change Mapping. *International Journal of Remote Sensing*, 32(6), 1505-1529.
- El-Asmar, H. M., Hereher, M. E., & El Kafrawy, S. B. (2013). Surface Area Change Detection of the Burullus Lagoon, North of the Nile Delta, Egypt, Using Water Indices: A Remote Sensing Approach. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 16(1), 119-123.
- Esam, I., Abdalla, F., & Erich, N. (2012). Land Use and Land Cover Changes of West Tahta Region, Sohag Governorate, Upper Egypt. *Journal of Geographic Information System*, 4(06), 483.
- Feizizadeh, B., Blaschke, T., Nazmfar, H., Akbari, E., & Kohbanani, H. R. (2013). Monitoring Land Surface Temperature Relationship to Land Use/Land Cover from Satellite Imagery in Maraqeh County, Iran. *Journal of Environmental Planning and Management*, 56(9), 1290-1315.
- Ghebregabher, M. G., Yang, T., Yang, X., Wang, X., & Khan, M. (2016). Extracting and Analyzing Forest and Woodland Cover Change in Eritrea Based on Landsat Data Using Supervised Classification. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 19(1), 37-47.
- Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., & Moore, R. (2017). Google Earth Engine: Planetary-Scale Geospatial Analysis for Everyone. *Journal of Remote Sensing of Environment*, 202, 18-27.
- Huo, L. Z., Boschetti, L., & Sparks, A. M. (2019). Object-Based Classification of Forest Disturbance Types in the Conterminous United States. *Journal of Remote Sensing*, 11(5), 477.
- Im, J., Jensen, J. R., & Tullis, J. A. (2008). Object-Based Change Detection Using Correlation Image Analysis and Image Segmentation. *International Journal of Remote Sensing*, 29(2), 399-423.
- Lillesand, T., Kiefer, R. W., & Chipman, J. (2015). *Remote Sensing and Image Interpretation*. John Wiley & Sons.
- Ma, L., Li, M., Ma, X., Cheng, L., Du, P., & Liu, Y. (2017). A Review of Supervised Object-Based Land-Cover Image Classification. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 130, 277-293.
- Mahmoudi, F. T., Samadzadegan, F., & Reinartz, P. (2014). Object Recognition Based on the Context Aware Decision-Level Fusion in Multiviews Imagery. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 8(1), 12-22.





جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی

سال ۳۱، پیاپی ۷۸، شماره ۲، تابستان ۱۳۹۹، صص ۴۲-۲۵

نوع مقاله: پژوهشی

وصول: ۱۳۹۸/۱۰/۱ پذیرش: ۱۳۹۹/۶/۳۰

## آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی شهر زنجان با استفاده از تحلیل‌های شی‌گرا و سامانه گوگل ارث انجین

علیرضا محمدی،\* دانشیار گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه محقق اردبیلی، دانشکده علوم انسانی، اردبیل، ایران  
alirezamohammadi20142014@gmail.com  
بهروز خدابنده‌لو، کارشناسی ارشد گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری، دانشگاه محقق اردبیلی، دانشکده علوم انسانی، اردبیل، ایران  
khodabandeh.uma@gmail.com

### چکیده

داده‌های سنجش از دور و الگوریتم‌های مختلف طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای، ارزیابی روند تغییرات محیطی را در مقایسه چندزمانه امکان‌پذیر می‌کنند. هدف پژوهش حاضر، ارزیابی روند تغییرات کاربری اراضی محدوده و حریم شهر زنجان طی دو دهه گذشته با استفاده از الگوریتم‌های شی‌گرا و پیکسل پایه است.

در این پژوهش، از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۵ سنجنده TM سال‌های ۱۹۹۹ و ۲۰۰۹ و سنجنده TRIS/OLI لندست ۸ سال ۲۰۱۹ استفاده شد؛ همچنین از قابلیت‌های سامانه گوگل ارث انجین به منظور اخذ تصاویر تصحیح‌شده و طبقه‌بندی کاربری اراضی استفاده شد. به منظور تهیه نقشه کاربری اراضی، الگوریتم‌های طبقه‌بندی ماشین بردار پشتیبان، حداقل فاصله و جنگل تصادفی در بستر گوگل ارث انجین با روش نزدیک‌ترین همسایه الگوریتم طبقه‌بندی شی‌گرا در نرم‌افزار eCognition مقایسه شدند. براساس نتایج ارزیابی صحت، ضرایب کاپا و صحت کلی الگوریتم طبقه‌بندی شی‌گرا برای سال ۲۰۱۹ و الگوریتم طبقه‌بندی ماشین بردار پشتیبان برای سال‌های ۱۹۹۹ و ۲۰۰۹، بهترین نتیجه را نسبت به سایر الگوریتم‌ها نشان دادند و مبنای ارزیابی تغییرات کاربری قرار گرفتند. نتایج ارزیابی تغییرات طی سال‌های گذشته (۱۹۹۹-۲۰۱۹) نشان می‌دهد اراضی دیمی ۱۲۶۴ هکتار، مراتع ۶۴۸ هکتار، زراعت آبی و فضای سبز ۱۴۲ هکتار و شبکه دسترسی راهها ۱۲۲ هکتار به کاربری اراضی ساخته‌شده تغییر کاربری دادند و مناطق حومه‌ای جدید مانند شهرک الهیه، گلشهر، کاظمیه، کارمندان، کوی سایان، کوی فرهنگ، کوی فاطمیه و شهر آرا نیز در این دوره توسعه یافته‌اند؛ این امر ضرورت توجه به موضوع گسترش شهری و پیامدهای آن را در شهر و پیرامون آن نشان می‌دهد.

واژه‌های کلیدی: گوگل ارث انجین، تغییرات کاربری، محدوده و حریم شهر، طبقه‌بندی شی‌گرا، زنجان

\*نویسنده مسئول

Copyright©2017, University of Isfahan. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0>), which permits others to download this work and share it with others as long as they credit it, but they can't change it in any way or use it commercially.

Doi: [10.22108/gep.2020.120666.1242](https://doi.org/10.22108/gep.2020.120666.1242)

## مقدمه

رشد و گسترش سریع شهرها به دلیل تغییرات گسترده در کاربری و پوشش زمین، تأثیرات منفی بر کیفیت زیست‌محیطی جهانی داشته است (کاکه‌ممی و همکاران، ۱۳۹۶: ۱۲۳). برای ارزیابی تغییرات محیطی، سیستم‌های پایش و ماهواره‌های سنجنش از دور، تکنولوژی قدرتمندی را فراهم می‌آورند که ارزیابی روند تغییرات محیطی را با مقایسه چندزمانه امکان‌پذیر می‌کند (Esam et al., 2012: 483; Feizizadeh et al., 2013: 1290).

در دهه‌های اخیر، از داده‌های سنجنش از دور و تکنیک‌های GIS برای ابعاد مختلف گسترش فضایی شهری و پراکنش شهری مانند نقشه‌کشی (برای شناخت الگوی گسترش)، کنترل (برای شناخت فرایند گسترش)، اندازه‌گیری و سنجنش (به منظور تحلیل) و مدل‌سازی (برای شبیه‌سازی گسترش) استفاده شده است (زنگنه‌شهرکی، ۱۳۹۵: ۷۳). با طبقه‌بندی تصاویر رقومی سنجنش از دور، نقشه‌های موضوعی حاوی اطلاعات مانند نوع پوشش زمین و نوع پوشش گیاهی به دست می‌آید. در نتیجه تشخیص تغییرات براساس این نقشه‌ها انجام می‌شود (Ghebregabher et al., 2016: 37; Rawat and Kumar, 2015: 77; El-Asmar et al., 2013: 119; Dewan and Yamaguchi, 2009: 390).

یکی از تکنیک‌های پیشرفته در حال ظهور در زمینه طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای، تجزیه و تحلیل مبتنی بر اشیاست (Weng, 2012: 34). طبقه‌بندی شی‌گرا از یک فرایند تقسیم‌بندی و الگوریتم یادگیری برای تجزیه و تحلیل ویژگی‌های طیفی، مکانی و بافتی پیکسل‌ها بهره می‌برد (Weih and Riggan, 2010: 7). این فرایند یک طبقه‌بندی نیمه‌اتوماتیک را فراهم می‌کند که از روش‌های طبقه‌بندی پیکسل پایه دقیق‌تر است (Weih and Riggan, 2010: 7; Whiteside et al., 2011: 884; Butt et al., 2015: 251). مزیت روش شی‌گرا این است که از پیکسل‌های منفرد استفاده نمی‌کند، بلکه مجموعه‌ای از پیکسل‌های مجاور را با اطلاعات طیفی، بافتی و هندسی مشخص می‌کند. با در نظر گرفتن این اطلاعات با روش مبتنی بر اشیاء، امکان دستیابی به نتایج بهتر فراهم می‌شود (Campbell and Wynne, 2011: 4).

از دیگر منابع اطلاعاتی و نرم‌افزارهای استفاده‌شده در پایش زمانی تغییرات کاربری اراضی، سامانه تخصصی سنجنش از دور تحت وب مانند سامانه گوگل ارث انجین است؛ این سامانه با پشتیبانی گسترده از داده‌ها و تصاویر ماهواره‌ای رایگان، امکان طبقه‌بندی و پردازش تصاویر ماهواره‌ای را با سرعت بسیار زیاد و آسان فراهم کرده است (احراری، ۱۳۹۸: ۱؛ Shelestov et al., 2017: 17).

## پیشینه پژوهش

با توجه به اهمیت موضوع، در پژوهش‌های پیشین از روش‌ها و تکنیک‌های مختلفی به منظور طبقه‌بندی و ارزیابی تغییرات کاربری اراضی استفاده شده است؛ در ادامه به تعدادی از آنها اشاره می‌شود. ویتساید و همکاران<sup>۱</sup> (۲۰۱۱) در پژوهشی روش‌های طبقه‌بندی شی‌گرا و پیکسل پایه را مقایسه کردند. مقایسه نتایج ارزیابی صحت کلی روش‌های یادشده نشان داد روش شی‌گرا در مقایسه با روش پیکسل پایه به دلایل استفاده از اطلاعات مدل رقومی ارتفاع<sup>۲</sup> و تعریف قوانین برای بعضی از کلاس‌ها صحت بیشتری دارد.

1. Whiteside et al.

2. DEM

محمودی و همکاران<sup>۱</sup> (۲۰۱۵) با به کارگیری روش‌های پردازش شی‌گرای تصاویر ماهواره‌ای در مناطق شهری و همچنین توابع GLCM اقدام به استخراج عارضه کردند و به این نتیجه رسیدند که به کارگیری اطلاعات بافتی همراه با تلفیق سایر لایه‌های اطلاعاتی (چندمنظره‌ای) موجب کاهش ابهام در تشخیص عارضه‌های تصویر می‌شود و صحت کلی و ضریب کاپا را افزایش می‌دهد.

دی اولیوریا سیلوریا و همکاران<sup>۲</sup> (۲۰۱۷) از روش شی‌گرا و تصاویر لندست ۸ و سنتینل برای طبقه‌بندی پوشش اراضی چشم‌انداز جنگلی در برزیل استفاده کردند. نتایج مطالعه نشان داد کاربرد روش یادشده به‌طور چشمگیری موجب افزایش دقت طبقه‌بندی تصاویر شده است.

هواو و همکاران<sup>۳</sup> (۲۰۱۹) برای بررسی تخریب منطقه‌ای جنگلی در ایالات متحده در بازه زمانی ۲۰۰۳-۲۰۱۱ از داده‌های ماهواره لندست و روش طبقه‌بندی شی‌گرا استفاده کردند. آنها صحت کلی طبقه‌بندی تصاویر را ۸۸/۱ درصد گزارش و روش شی‌گرا را روشی مناسب در پایش تخریب اراضی جنگلی معرفی کردند.

در ایران، پورمحمدی و همکاران (۱۳۸۷) در پژوهشی، گسترش فضایی کالبدی شهر زنجان را با تأکید بر تغییر کاربری زمین طی دوره ۱۳۵۵-۱۳۸۴ ارزیابی کردند. نتایج نشان داد همبستگی، شدت، وسعت و مکانیزم تبدیل و تغییر کاربری اراضی شهری زنجان به‌مثابه برآیند و تجسم گسترش فضایی کالبدی است و در چه ابعاد و مقیاسی کاربری شهری به ترتیب شدت عمل موجب گسترش فضایی کالبدی کاربری‌های اراضی دیم، بایر، باغ و اراضی کشت آبی پیرامون خود شده است.

فیضی‌زاده و سلمانی (۱۳۹۵) با به کارگیری الگوریتم‌های شی‌گرا و تکنیک‌های پردازش تصویر برای مدل‌سازی اراضی تخریبی حاصل از رشد شهری در ارومیه اقدام کرده‌اند. این پژوهشگران با بهره‌مندی از شاخص‌های بافت و الگوهای طیفی، انواع کاربری‌های اراضی محدوده شهر ارومیه را مدل‌سازی و تغییرات حاصل از گسترش اراضی شهری و آثار آن را بر تحولات کاربری اراضی بررسی کردند.

اصغری سراسکانرود و همکاران (۱۳۹۸) در پژوهشی نقشه کاربری اراضی شهر زنجان را با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای سنتینل ۲- استخراج و الگوریتم‌های طبقه‌بندی پیکسل پایه و شی‌گرا را مقایسه کردند. نتایج حاصل از طبقه‌بندی پیکسل پایه و شی‌گرا نشان داد روش شی‌گرا با اعمال پارامترهای مؤثر بر طبقه‌بندی و توسعه قوانین برای اصلاح طبقه‌بندی اولیه شی‌گرا با ضریب کاپای ۰/۹۵ درصد از نظر دقت در استخراج نقشه کاربری اراضی نسبت به روش پیکسل پایه از اولویت برخوردار است.

در این پژوهش از قابلیت‌های سامانه گوگل ارث انجین برای اخذ و طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای در محدوده و حریم شهر زنجان استفاده شده است؛ همچنین نتایج طبقه‌بندی شی‌گرا و طبقه‌بندی پیکسل پایه در بستر GEE<sup>۴</sup> مقایسه می‌شود تا از بین روش‌ها، روشی بهینه به‌منظور تهیه نقشه کاربری اراضی و ارزیابی تغییرات انتخاب شود. نتایج این پژوهش برای برنامه‌ریزان شهری، محیطی و منطقه‌ای از یک سو و ارزیابی تغییرات به‌منزله مؤلفه‌های مهم در مدیریت شهری و تغییرات محیط‌های شهری از سوی دیگر کاربردی است.

1. Mahmoudi et al.

2. De Oliveira Silveira et al.

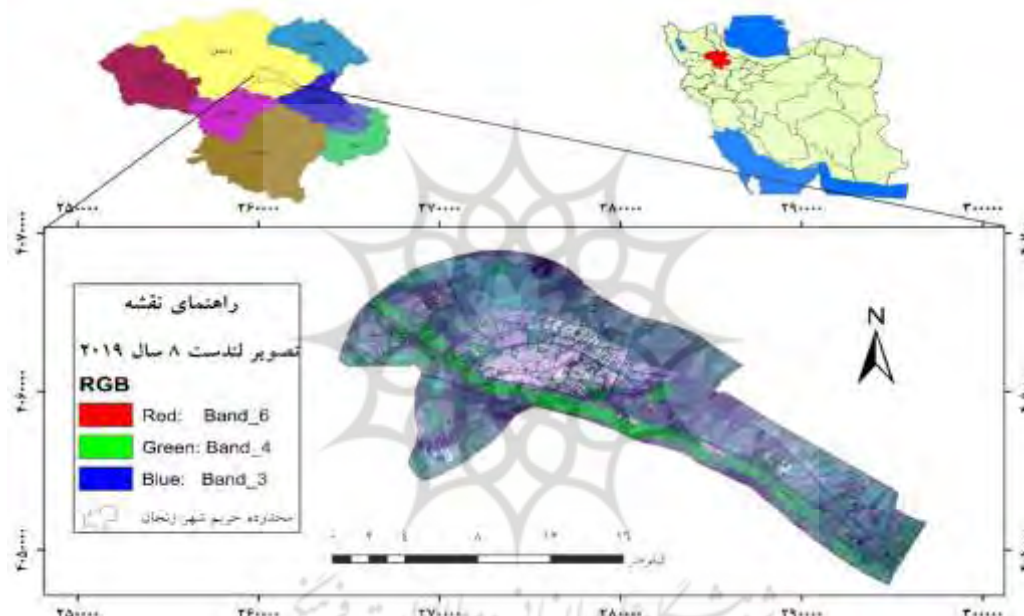
3. Huo et al.

4. Google Earth Engine (GEE)

## روش‌شناسی پژوهش

## محدوده پژوهش

شهر زنجان به‌مثابه نخستین و بزرگ‌ترین نقطه شهری استان زنجان، یکی از شهرهای میانه‌اندام بزرگ کشور در رده جمعیتی ۲۵۰-۵۰۰ هزار نفری و مرکز سیاسی اداری استان است (پورمحمدی و همکاران، ۱۳۸۷: ۳۳). در این پژوهش، محدوده و حریم شهر زنجان با مساحت ۲۴۲۷۳ هکتار به‌مثابه منطقه پژوهش در نظر گرفته شده است (شکل ۱). موقعیت جغرافیایی منطقه ۴۸ درجه و ۲۱ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۴۳ دقیقه طول شرقی و ۳۶ درجه و ۳۳ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۴۴ دقیقه عرض شمالی است. بر مبنای تقسیم‌بندی صورت گرفته، شهر زنجان به سه منطقه شهری و ۲۵ ناحیه تقسیم‌بندی شده است. براساس آخرین سرشماری عمومی نفوس و مسکن در سال ۱۳۹۵، جمعیت شهر به ۴۳۰۸۷۱ نفر رسیده و نسبت جمعیت شهر به جمعیت استان ۴۰/۷۴ درصد بوده است (مرکز آمار ایران، ۱۳۹۵).



شکل ۱. موقعیت منطقه پژوهش (منبع: نویسندگان، ۱۳۹۹)

## روش پژوهش

در این مقاله به‌منظور دستیابی به تغییرات کمی و کیفی رخ داده در منطقه، از نقشه‌های کاربری براساس داده‌های رقومی ماهواره‌ای سری لندست ۵ و ۸ سنجنده‌های TM و OLI/TIRS ارائه شده در GEE استفاده شده است که به پیش پردازش‌ها و تصحیحات اولیه (هندسی، رادیومتریکی و...) نیازی ندارند و به‌صورت آماده برای پردازش عرضه شدند. پردازش داده‌ها در سیستم‌های معمولی بسیار زمان‌بر است؛ بنابراین با استفاده از پلتفرم محاسبات ابری GEE، تصویر پردازش شده است. GEE کل بایگانی لندست را به همراه تعداد زیادی از مجموعه داده‌های شفاف از ناسا، آژانس فضایی اروپا (ESA) و سایر تصاویر موجود در اختیار قرار داده است. فراخوانی انواع تصاویر لندست (۱ تا ۸) با هر نوع سطح پردازشی در GEE امکان‌پذیر است.

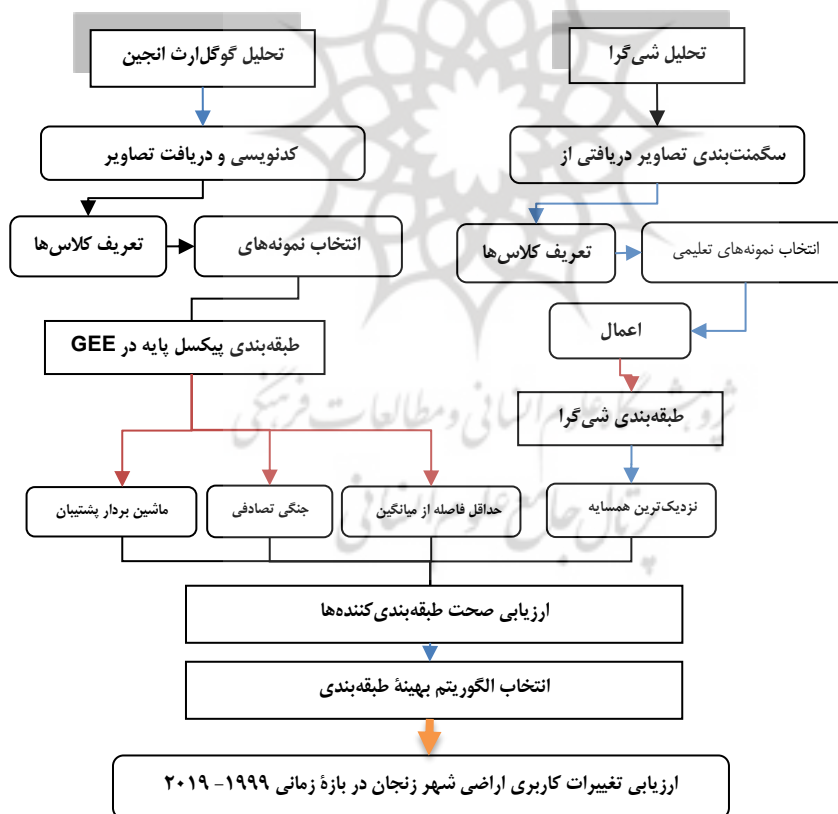
در این پژوهش، از تصاویر تصحیح اتمسفری شده سطح Surface Reflectance Tier1 استفاده شده است (earthengine.google.com). با استفاده از کدهای نسبتاً ساده JavaScript، تصاویر سال‌های ۱۹۹۹، ۲۰۰۹ و ۲۰۱۹



به صورت تصحیح شده تجزیه و تحلیل و برای مرحله پردازش آماده شد (Gorelick et al., 2017: 18). گفتنی است فاصله زمانی بین تصاویر ۱۰ سال است و از تصاویر فصل تابستان (تیرماه) به دلیل نبود پوشش ابر استفاده شده است. در نهایت براساس قوانین تعریف شده، تصاویر سال‌های مدنظر با قدرت تفکیک مکانی ۳۰ متر دریافت شد. مشخصات کامل تصاویر استفاده شده در تهیه نقشه‌های کاربری اراضی در جدول ۱ آمده است. از جمله دلایل استفاده از باندهای حرارتی تصاویر، وجود تفاوت دمایی مناطق انسان‌ساخت (شهر) با مناطق طبیعی و در نتیجه نقش مؤثر آن در تفکیک و طبقه‌بندی کلاس‌های کاربری اراضی است. فلوجارت مراحل پژوهش در شکل ۲ نشان داده شده است.

جدول ۱. مشخصات تصاویر استفاده شده در تهیه نقشه‌های کاربری اراضی در سال‌های مختلف (منبع: نویسندگان، ۱۳۹۹)

سنجنده	ردیف	گذر	تاریخ میلادی	تاریخ شمسی	باندهای استفاده شده
TM	۱۶۶	۳۵	۱۹۹۹/۰۷/۰۶	۱۳۷۸/۴/۱۵	باندهای چندطیفی ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۷ و باند ۶ حرارتی
TM	۱۶۶	۳۵	۲۰۰۹/۰۷/۰۱	۱۳۸۸/۰۴/۱۰	باندهای چندطیفی ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۷ و باند ۶ حرارتی
OLI / TIRS	۱۶۶	۳۵	۲۰۱۹/۰۶/۲۷	۱۳۹۸/۰۴/۰۶	باندهای چندطیفی ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷ و باندهای حرارتی ۱۰ و ۱۱



شکل ۲. مراحل پژوهش (منبع: نویسندگان، ۱۳۹۹)

### طبقه‌بندی شی‌گرای تصاویر

لازمه اجرای این پژوهش، در اختیار داشتن نقشه کاربری اراضی صحیح در مقاطع زمانی مختلف است. به این ترتیب از دو تکنیک طبقه‌بندی شی‌گرا و پیکسل پایه تصاویر ماهواره‌ای استفاده شده است. برای اجرای تحلیل و طبقه‌بندی شی‌گرا، نخست تصاویر با استفاده از الگوریتم چندمقیاسه در نرم‌افزار تخصصی eCognition سگمنت‌بندی شد. پارامترهای تأثیرگذار در این الگوریتم عبارت‌اند از: تعیین مقیاس مناسب که به‌طور غیرمستقیم از اندازه اجسام تأثیر می‌پذیرد، ضریب رنگ یا شکل که به یکنواختی رنگ و شکل اجسام بستگی دارد و هرچه مقدار بیشتری برای آن انتخاب شود، دامنه آن بزرگ‌تر و اجسام بیشتری انتخاب می‌شود و ضریب فشردگی یا نرمی که متناسب با بافت و ویژگی‌های هندسی عوارض زمینی تعیین شد. تعیین پارامترهای سگمنت‌بندی با سعی و خطا و بررسی بصری نتیجه سگمنت‌بندی به دست آمد (Dingle Robertson and King, 2006: 4039; Im et al., 2008: 399; Yan et al., 2011: 1505). در این پژوهش به‌منظور سگمنت‌بندی از اطلاعات مربوط به ویژگی‌های هندسی کلاس‌های کاربری اراضی (شامل شکل، اندازه و بافت) استفاده شد. با تجزیه و تحلیل نتایج سگمنت‌بندی تصاویر با پارامتر مقیاس متفاوت، در نهایت مقادیر بهینه مقیاس، ضریب شکل و فشردگی برای تصاویر استفاده‌شده به دست آمد (جدول ۲).

جدول ۲. مقادیر بهینه پارامترهای سگمنت‌بندی تصاویر استفاده‌شده (منبع: نویسندگان، ۱۳۹۹)

سال	۱۹۹۹	۲۰۰۹	۲۰۱۹
پارامتر			
مقیاس	۱۰	۱۵	۲۵
ضریب شکل	۰/۳	۰/۲	۰/۱
ضریب فشردگی	۰/۷	۰/۵	۰/۷

با انتخاب کلاس‌های کاربری اراضی، نمونه‌های تعلیمی برای تصاویر چندزمانه ۱۹۹۹، ۲۰۰۹ و ۲۰۱۹ تهیه شد. در روش شی‌گرا، نواحی تعلیمی به صورت اشیاء تصویری هستند. این روش در مقایسه با روش‌های پیکسل پایه به نمونه‌های تعلیمی کمتری نیاز دارد. یک شیء نمونه معمولاً پیکسل‌های نمونه زیاد و تغییرات آنها را دربرمی‌گیرد. میزان صحت طبقه‌بندی به‌طور مستقیم به دقت انتخاب‌شدن نمونه‌ها بستگی دارد (پاشازاده، ۱۳۸۸: ۸۴). در پردازش شی‌گرا، انتخاب ویژگی‌ها (پارامترها)، گامی مهم در فرایند طبقه‌بندی محسوب می‌شود؛ زیرا عملکرد طبقه‌بندی را بهبود می‌بخشد و پیچیدگی محاسبات را با حذف اطلاعات اضافی کاهش می‌دهد (Ma et al., 2017: 277). در این پژوهش به‌منظور طبقه‌بندی تصاویر براساس روش شی‌گرا از الگوریتم نزدیک‌ترین همسایه استفاده شد. در این فرایند به‌منظور کاهش اختلاط کلاس‌ها و افزایش صحت طبقه‌بندی از پارامترهای تأثیرگذار نظیر شاخص طیفی توسعه شهری NDBI، میانگین و انحراف معیار هریک از باندها، مساحت، نسبت طول به عرض، فشردگی، درجه روشنایی، شاخص حداکثر اختلاف از میانگین و شاخص پوشش گیاهی NDVI برای هریک از کلاس‌های یادشده استفاده شد (فیضی‌زاده و هلالی، ۱۳۸۹: ۷۸؛ فیضی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۴: ۱۱۲). در نهایت نقشه‌های

موضوعی کاربری اراضی با ابزار طبقه‌بندی<sup>۱</sup> در نرم‌افزار eCognition تهیه شد. در ادامه نحوه محاسبه بعضی شاخص‌ها و ویژگی‌ها شرح داده شده است.

### شاخص طیفی توسعه شهری NDBI<sup>۲</sup>

این شاخص مناطقی از شهر را بارزتر می‌کند که بازتاب زیاد در محدوده مادون قرمز طول موج کوتاه (SWIR) در مقایسه با محدوده مادون قرمز نزدیک (NIR) دارند. شاخص NDBI در اصل با باندهای ۴ و ۵ سنجنده TM توسعه داده شده بود؛ با وجود این، این شاخص برای سنجنده‌های چندطیفی برخوردار از یک باند SWIR در محدوده طول موج ۱/۵۵ تا ۱/۷۵ میکرومتر و یک باند NIR در محدوده طول موج ۰/۷۶ تا ۰/۹۰ میکرومتر نیز کاربردی است (رابطه ۱)؛ (Zha et al., 2003: 589).

$$\text{NDBI} = \frac{\text{SWIR} - \text{NIR}}{\text{SWIR} + \text{NIR}} \quad \text{رابطه ۱}$$

درجه روشنایی (Brightness)

درجه روشنایی از عواملی است که در طبقه‌بندی مناطق و کاربری‌ها به کار گرفته می‌شود. مناطق شهری نسبت به مناطق کشاورزی و دیگر کاربری‌ها درجه روشنایی متفاوتی دارند. در رابطه ۲، B مقدار میانگین درجه روشنایی از یک شی،  $\bar{C}_i(\text{vis})$  مجموع همه میانگین‌های روشنایی در باندهای مرئی و  $\bar{C}_i(\text{vis})$  تعداد باندهاست.

$$B = \frac{1}{n_{\text{vis}}} \sum_{i=1}^{n_{\text{vis}}} \bar{C}_i(\text{vis}) \quad \text{رابطه ۲}$$

حداکثر اختلاف (MaxDiff)

برای محاسبه این شاخص، رابطه ۳ به کار گرفته می‌شود. در این رابطه، مقادیر مینیمم و ماکزیمم به ترتیب میانگین کمترین و بیشترین اشیاست.

$$\text{MaxDiff} = \frac{\min(\bar{C}_i(\text{vis})) - \max(\bar{C}_i(\text{vis}))}{B} \quad \text{رابطه ۳}$$

### طبقه‌بندی پیکسل پایه تصاویر

در این پژوهش، از طبقه‌بندی پیکسل پایه در بستر GEE استفاده شده است که مجموعه‌ای مدرن از الگوریتم‌های طبقه‌بندی را شامل می‌شود و قابلیت پایش و تهیه نقشه کاربری را دارد (Shelestov et al., 2017: 17)؛ به بیان دیگر، امکان طبقه‌بندی به روش‌های مختلف از جمله الگوریتم‌های ماشین بردار پشتیبان<sup>۳</sup>، جنگل تصادفی<sup>۴</sup>، حداقل فاصله از میانگین<sup>۵</sup> و... در بستر GEE وجود دارد. این قابلیت مهم در سرعت پردازش و طبقه‌بندی تصاویر به نحو مؤثری عمل

1. Classification
2. Normalized Difference Built-Up index
3. Support Vector Machine
4. Random Forest
5. Minimum Distance

می‌کند؛ به طوری که با فراخوانی تصاویر تصحیح‌شده سال‌های ۱۹۹۹، ۲۰۰۹ و ۲۰۱۹ و برداشت نمونه‌های تعلیمی، طبقه‌بندی تصاویر با الگوریتم‌های ماشین بردار پشتیبان، جنگل تصادفی و حداقل فاصله از میانگین انجام شد. طبقه‌بندی جنگل تصادفی، یک طبقه‌بندی‌کننده نسبتاً سریع و غیرخطی برای داده‌های دارای نویز قوی است (Rodriguez-Galiano et al., 2012: 94). ماشین بردار پشتیبان، الگوریتمی است که نوع خاصی از مدل‌های خطی دارای حداکثر حاشیه ابر صفحه را می‌یابد. حداکثر کردن حاشیه ابر صفحه به حداکثر شدن تفکیک بین طبقات منجر می‌شود. به نزدیک‌ترین نقاط آموزشی به حداکثر حاشیه ابر صفحه، بردارهای پشتیبان گفته می‌شود. از این بردارها (نقاط) فقط برای مشخص کردن مرز بین طبقات استفاده می‌شود (Shin et al., 2005: 128).

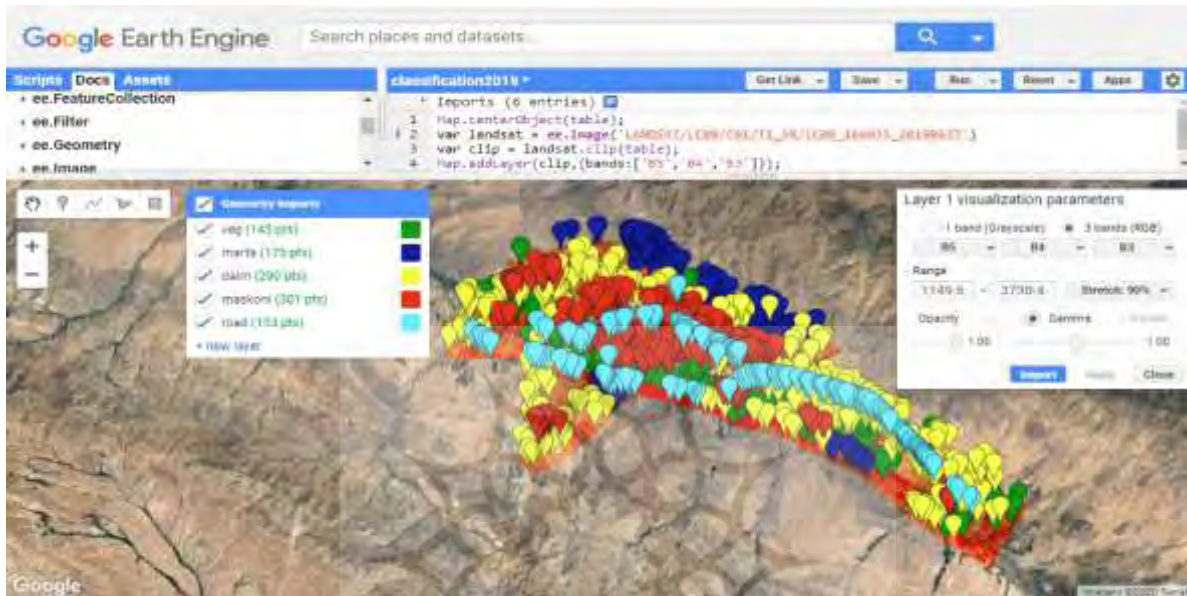
الگوریتم طبقه‌بندی حداقل فاصله از میانگین، روشی است که در آن در گام نخست مقادیر میانگین طیفی در هر باند و برای هر کلاس تعیین می‌شود. پس از مشخص شدن پیکسلی که میانگین ارزش طیفی نمونه‌های انتخابی هر طبقه را به خود اختصاص داده است، فاصله هر پیکسل طبقه‌بندی‌نشده با پیکسل‌های میانگین مقایسه می‌شود و سپس پیکسل مدنظر به کلاسی اختصاص می‌یابد که کمترین فاصله را با میانگین دارد (علوی‌پناه، ۱۳۹۲: ۳۰۹). به منظور طبقه‌بندی نظارت‌شده، مناطقی به مثابه نمونه‌های تعلیمی برای هر کلاس به صورت تصادفی مشخص شد. با برداشت نمونه‌های تعلیمی در مرحله قبل، طبقه‌بندی تصاویر با الگوریتم‌های یادشده انجام شد. تعداد نمونه‌های تعلیمی سال‌های بررسی شده برای هر یک از کلاس‌های کاربری اراضی و پراکنش فضایی نمونه‌ها (برای نمونه سال ۲۰۱۹) در جدول ۳ و شکل ۳ نشان داده شده است. فقهیچ طبقه‌بندی‌ای تا زمان ارزیابی صحت آن تکمیل نیست؛ بنابراین برای اطمینان از صحت طبقه‌بندی، صحت طبقه‌بندی ارزیابی می‌شود. صحت طبقه‌بندی نشان‌دهنده سطح اعتماد به نقشه استخراج شده است و در نقشه‌های کاربری اراضی به دست آمده از تصاویر سنجش از دور، باید دست کم ۸۵ درصد باشد (Lillesand et al., 2015: 4). به منظور ارزیابی صحت نقشه‌های کاربری اراضی از داده‌های برداشت میدانی با استفاده از GPS برای تصویر سال ۲۰۱۹ و برای سال‌های ۲۰۰۹ و ۱۹۹۹ از تصاویر گوگل‌ارت استفاده شد. با اعمال نمونه‌های کنترل زمینی که به صورت تصادفی برداشت شد، ماتریس خطا و آماره‌های ضریب کاپا و صحت کلی هر یک از نقشه‌های کاربری اراضی چندزمانه به دست آمد. تعداد نمونه‌های کنترلی سال‌های مختلف در جدول ۴ آورده شده است. در ادامه، با انجام تصحیحاتی روی نقشه‌های کاربری، نقشه‌های نهایی کاربری اراضی استخراج شد. پس از تهیه نقشه‌های کاربری چندزمانه و اعتبارسنجی الگوریتم‌های طبقه‌بندی استفاده‌شده، تغییرات کاربری اراضی در بازه زمانی ۱۹۹۹ تا ۲۰۱۹ در سطح منطقه ارزیابی شد.

جدول ۳. تعداد نمونه‌های تعلیمی تصاویر سال‌های بررسی شده (منبع: نویسندگان، ۱۳۹۹)

کاربری سال	زراعت دیمی	مرتع	اراضی ساخته‌شده	راه	زراعت آبی	مجموع
۱۹۹۹	۱۸۱	۱۴۷	۱۱۵	۱۰۹	۱۳۰	۶۸۲
۲۰۰۹	۲۴۳	۱۲۱	۱۶۰	۱۳۷	۱۳۸	۷۹۹
۲۰۱۹	۲۹۰	۱۷۵	۳۰۱	۱۵۳	۱۴۵	۱۰۶۴

جدول ۴. تعداد نمونه‌های کنترلی اعتبارسنجی تصاویر طبقه‌بندی‌شده سال‌های بررسی شده (منبع: نویسندگان، ۱۳۹۹)

کاربری سال	زراعت دیمی	مرتع	اراضی ساخته‌شده	راه	زراعت آبی	مجموع
۱۹۹۹	۱۰۱	۱۰۹	۸۹	۹۸	۹۲	۴۹۰
۲۰۰۹	۷۶	۹۳	۹۱	۱۰۶	۸۵	۴۵۱
۲۰۱۹	۱۱۷	۱۴۷	۱۱۳	۸۲	۱۰۰	۵۵۹



شکل ۳. تعداد و پراکنش فضایی نمونه‌های تعلیمی برای هر یک از کلاس‌های سال ۲۰۱۹ (منبع: نویسندگان، ۱۳۹۹)

## یافته‌های پژوهش

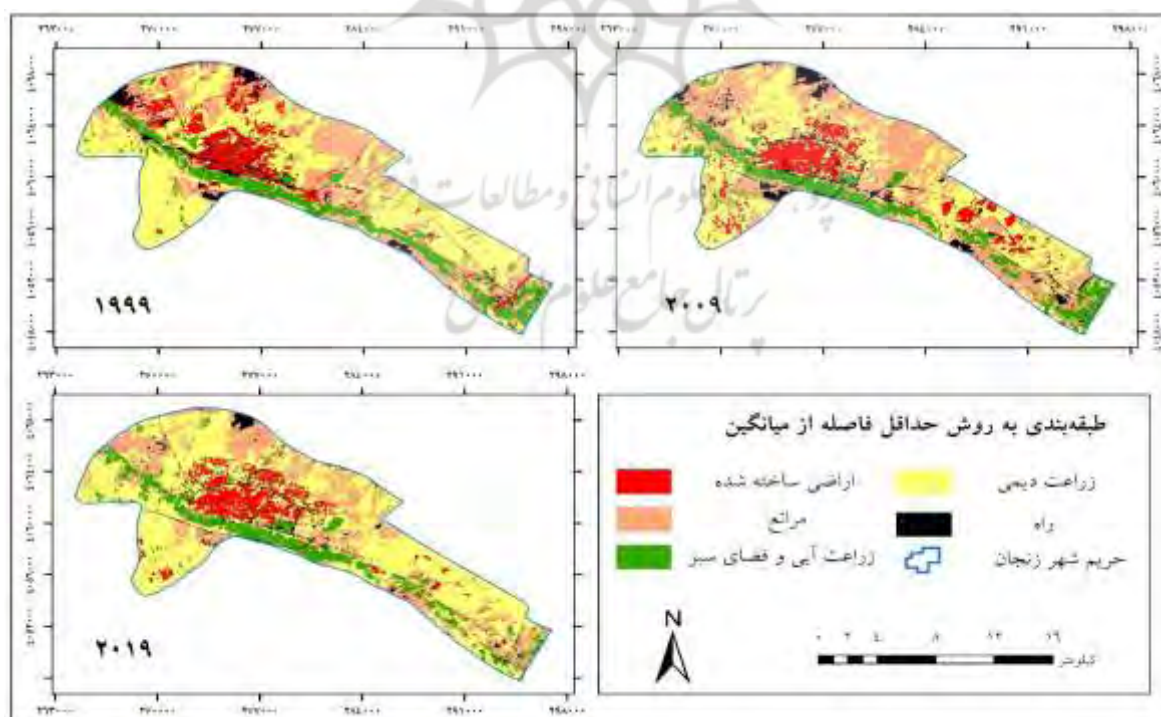
### طبقه‌بندی و ارزیابی صحت

در این پژوهش با توجه به قدرت تفکیک مکانی تصاویر (۳۰ متر)، شرایط منطقه مدنظر و بازدید میدانی تصاویر در پنج کلاس اراضی ساخته‌شده (شامل شهر زنجان، روستاهای حومه شهر، شهرک‌های صنعتی)، راه‌های ارتباطی (شامل راه‌های اصلی و فرعی)، زراعت آبی و فضای سبز شهری، زراعت دیمی و مراتع در محدوده و حریم شهر زنجان طبقه‌بندی شد. با مقایسه الگوریتم‌های طبقه‌بندی پیکسل پایه در بستر سامانه GEE، مشخص می‌شود الگوریتم طبقه‌بندی ماشین بردار پشتیبان قابلیت مطلوب و بهتری در جداسازی کاربری اراضی منطقه در سال‌های ۱۹۹۹ و ۲۰۰۹ نسبت به روش‌های حداقل فاصله از میانگین، جنگل تصادفی و حتی روش طبقه‌بندی شی‌گرا دارد. نتایج نشان می‌دهد این سامانه با فراهم‌سازی محیطی مناسب و به‌صرفه از لحاظ سرعت، زمان، هزینه و... در پردازش تصاویر ماهواره‌ای، نتایج مناسبی در بعضی الگوریتم‌های طبقه‌بندی استفاده‌شده دارد. الگوریتم طبقه‌بندی حداقل فاصله از میانگین، نتایج ضعیف‌تری را در تفکیک تمامی کاربری‌های اراضی منطقه نسبت به سایر روش‌های طبقه‌بندی استفاده‌شده نشان داد؛ اما الگوریتم طبقه‌بندی جنگل تصادفی نسبت به روش حداقل فاصله تا میانگین، عملکرد نسبتاً بهتری در جداسازی کلاس‌های کاربری اراضی منطقه دارد (جدول ۵).

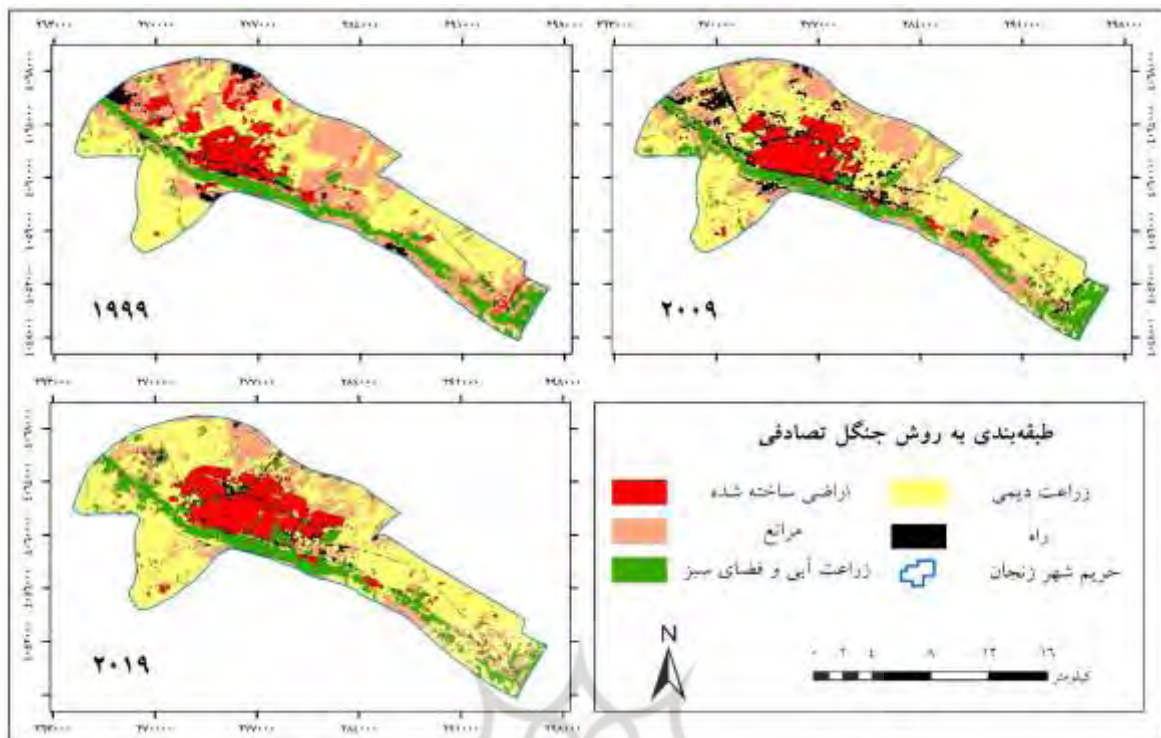
در این پژوهش از پارامترها و ویژگی‌های مختلفی از جمله میانگین و انحراف معیار باندها، شاخص‌های NDBI، شاخص NDVI و... به منظور ارتقای نتایج الگوریتم نزدیک‌ترین همسایه روش شی‌گرا استفاده شده است؛ ولی نتایج ارزیابی صحت طبقه‌بندی تصاویر نشان می‌دهد روش شی‌گرا نتایج ضعیف‌تری در جداسازی کاربری‌های مرتع و اراضی ساخته‌شده در سال‌های ۱۹۹۹ و ۲۰۰۹ نسبت به روش طبقه‌بندی ماشین بردار پشتیبان داشته است؛ با وجود این نتایج طبقه‌بندی شی‌گرا برای سال ۲۰۱۹ نسبت به تمامی الگوریتم‌های طبقه‌بندی استفاده‌شده، بهترین عملکرد را نشان داد (جدول ۵). پس از طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای استفاده‌شده، نقشه‌های کاربری اراضی سال‌های ۱۹۹۹، ۲۰۰۹ و ۲۰۱۹ به روش‌های شی‌گرا و پیکسل پایه تهیه شد (شکل ۴، ۵، ۶ و ۷). با توجه به نتایج بهتر الگوریتم طبقه‌بندی ماشین بردار پشتیبان برای سال‌های ۱۹۹۹ و ۲۰۰۹ و الگوریتم شی‌گرا برای سال ۲۰۱۹، از نتایج این روش‌ها برای آشکارسازی تغییرات کاربری اراضی منطقه استفاده شد.

جدول ۵. نتایج آماری ارزیابی صحت طبقه‌بندی‌کننده‌ها در سال‌های بررسی شده (منبع: نویسندگان، ۱۳۹۹)

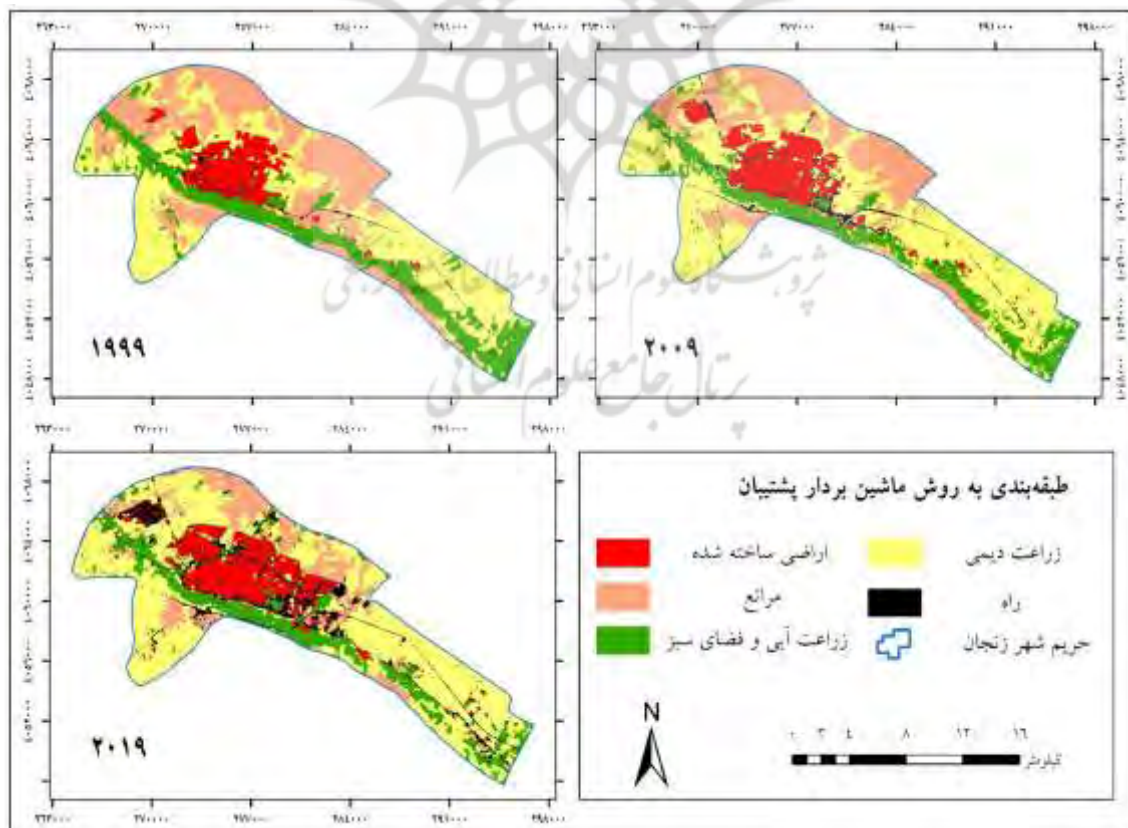
سال	۱۹۹۹		۲۰۰۹		۲۰۱۹	
	صحت کلی	ضریب کاپا	صحت کلی	ضریب کاپا	صحت کلی	ضریب کاپا
شی‌گرا	۸۰/۴۵	۰/۷۹	۹۲/۳۰	۰/۹۰	۹۵/۸۶	۰/۹۴
ماشین بردار	۹۴/۸۱	۹۳	۹۴/۶۹	۰/۹۳	۹۴/۷۸	۰/۹۳
حداقل فاصله	۸۲/۵۷	۰/۷۸	۷۴/۱۳	۰/۶۷	۸۸/۸۴	۰/۸۶
جنگل تصادفی	۸۵/۲۴	۰/۸۱	۸۹/۶۵	۰/۸۶	۸۸/۳۰	۰/۸۵



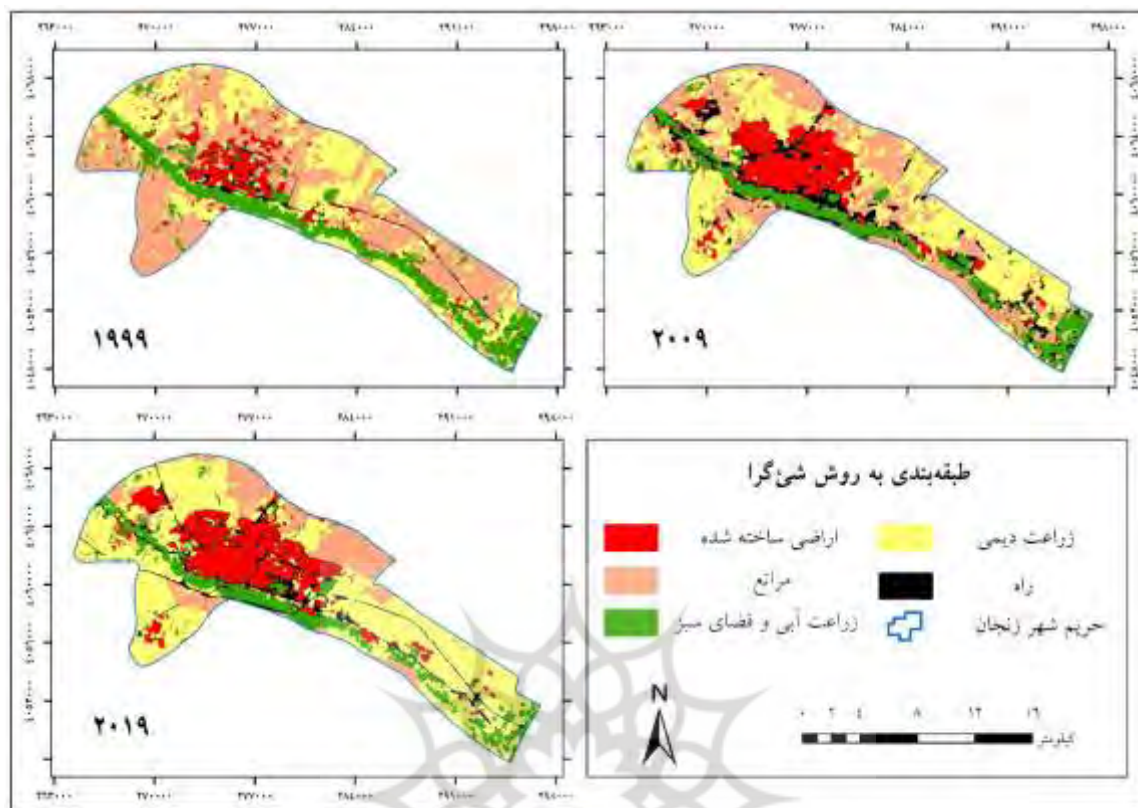
شکل ۴. طبقه‌بندی سال‌های ۱۹۹۹، ۲۰۰۹ و ۲۰۱۹ با الگوریتم حداقل فاصله از میانگین (منبع: نویسندگان، ۱۳۹۹)



شکل ۵. طبقه‌بندی سال‌های ۱۹۹۹، ۲۰۰۹ و ۲۰۱۹ با الگوریتم جنگل تصادفی (منبع: نویسندگان، ۱۳۹۹)



شکل ۶. طبقه‌بندی سال‌های ۱۹۹۹، ۲۰۰۹ و ۲۰۱۹ با الگوریتم ماشین بردار پشتیبان (منبع: نویسندگان، ۱۳۹۹)



شکل ۷. طبقه‌بندی سال‌های ۱۹۹۹، ۲۰۰۹ و ۲۰۱۹ با الگوریتم شی‌گرا (منبع: نویسندگان، ۱۳۹۹)

### ارزیابی تغییرات کاربری اراضی شهر زنجان (۱۹۹۹-۲۰۱۹)

با توجه به نقشه‌های به‌دست‌آمده و محاسبات آماری سال‌های ۱۹۹۹، ۲۰۰۹ و ۲۰۱۹، بیشترین درصد اراضی منطقه، اراضی دیمی است. طی دو دهه گذشته درصد زیادی از اراضی مرتعی به اراضی کشاورزی دیمی تبدیل شده است. با بررسی توزیع فضایی اراضی ساخته‌شده (عمدتاً شهر زنجان) طی دوره مطالعاتی، مشاهده می‌شود پراکنش فضایی شهر به سمت اراضی دیمی، مراغ و زراعت آبی پیرامون شهر زنجان بوده است. یکی از بحران‌های اصلی در زمینه تغییرات کاربری اراضی، تبدیل زمین‌های کشاورزی و باغ‌ها به مناطق شهری است که لزوم توجه به این زمینه بیش از پیش در پژوهش‌های شهری احساس می‌شود.

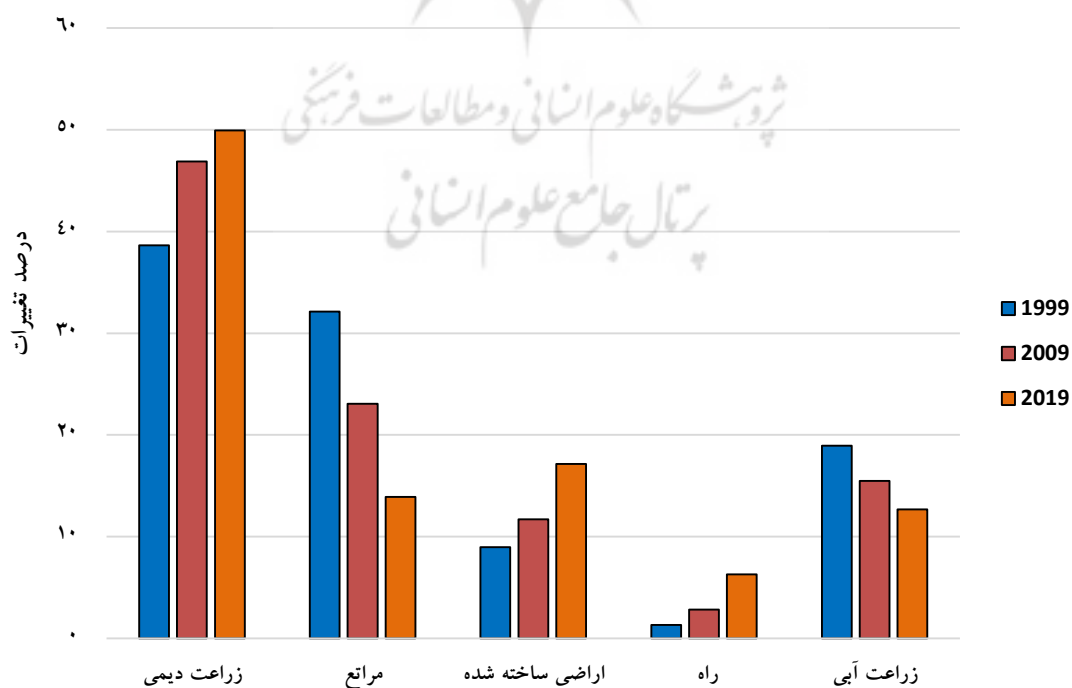
نتایج به‌دست‌آمده از آشکارسازی و پایش تغییرات کاربری اراضی طی سال‌های ۱۹۹۹ تا ۲۰۱۹، مقدار تغییر خالص هریک از کاربری‌ها را نشان می‌دهد؛ به‌طوری که طی این بازه زمانی، کاربری اراضی ساخته‌شده ۱۹۸۴ هکتار، زراعت دیمی ۲۷۴۴ هکتار و راه‌های دسترسی ۱۲۰۶ هکتار افزایش سطح داشته است؛ درمقابل زراعت آبی و پوشش‌های فضای سبز منطقه حدود ۱۵۱۷ هکتار و اراضی مرتعی ۴۴۱۷ هکتار روند کاهش سطح را تجربه کرده‌اند. بررسی روند تغییرات اثبات‌کننده این مدعاست که اراضی ساخته‌شده (شهر)، بیشترین تغییر و تبدیل را به ترتیب از اراضی دیمی ۱۲۶۴ هکتار، مراغ ۶۴۸ هکتار، زراعت آبی و فضای سبز ۱۴۲ هکتار و شبکه دسترسی راه‌ها ۱۲۲



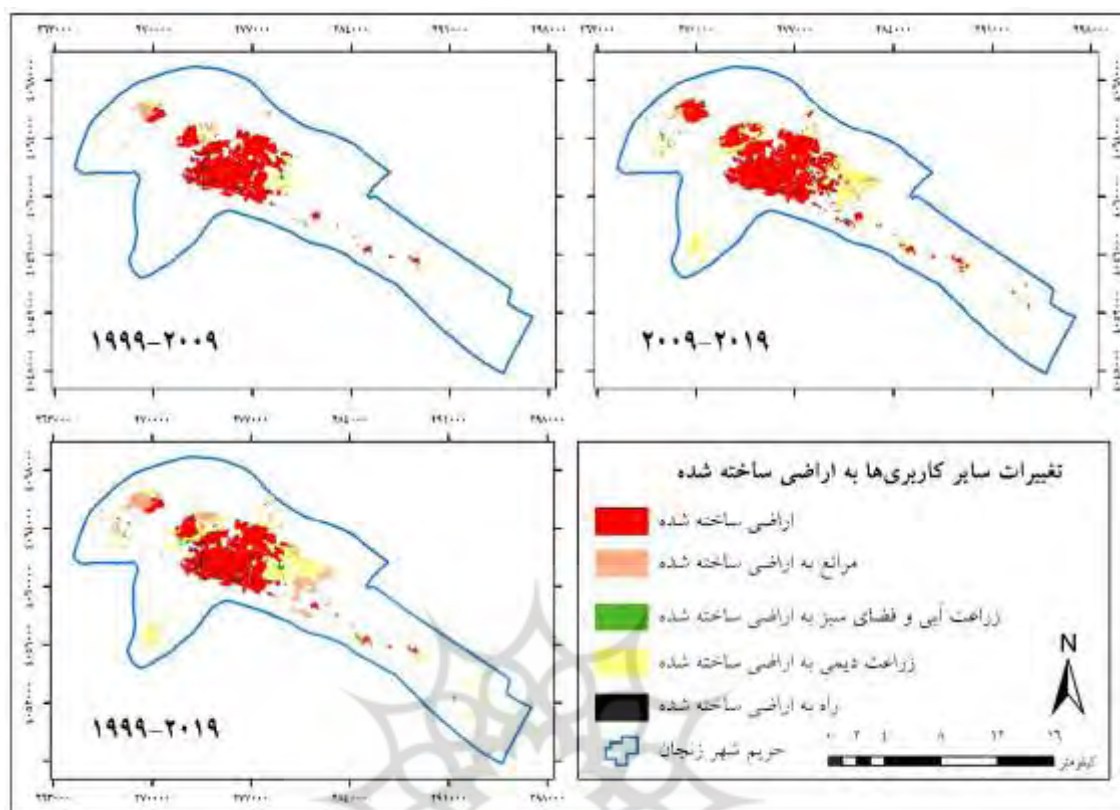
هکتار داشته است. جزئیات تغییرات در شکل‌های ۸ و ۹ و جدول ۶ آورده شده است. در طول ۲۰ سال بررسی شده، از درصد زمین‌های کشاورزی دیمی، آبی و مرتعی به نفع اراضی ساخته شده و راه‌ها کاسته شده است و مناطق حومه جدید مانند شهرک الهیه، گلشهر، کاظمیه، کارمندان، کوی سایان، کوی فاطمیه، شهر آرا و... در بازه زمانی ۱۹۹۹-۲۰۱۹ توسعه یافته‌اند؛ همچنین یافته‌های پژوهش نشان می‌دهد بیشترین سهم تغییرات در سال‌های بین ۱۹۹۹ تا ۲۰۱۹ به کاهش اراضی مرتعی به نفع اراضی دیمی و شهری مربوط است؛ با وجود این از اراضی دیمی و آبی حومه شهر زنجان طی بازه زمانی بررسی شده، مساحت زیادی به اراضی ساخته شده و راه‌ها تبدیل شده است.

جدول ۶. خلاصه‌ای از تغییرات کاربری اراضی منطقه (هکتار) در بازه زمانی ۱۹۹۹ تا ۲۰۱۹ (منبع: نویسندگان، ۱۳۹۹)

سال کاربری	۱۹۹۹		۲۰۰۹		۲۰۱۹	
	مساحت	درصد مساحت	مساحت	درصد مساحت	مساحت	درصد مساحت
زراعت دیمی	۹۳۷۸/۷	۳۸/۶۴	۱۱۳۸۳/۷۷	۴۶/۹	۱۲۱۲۲/۹۳	۴۹/۹۴
مراتع	۷۷۹۵/۷۷	۳۲/۲۱	۵۶۰۲/۵۸	۲۳/۰۸	۳۳۷۸/۹۳	۱۳/۹۲
اراضی ساخته شده	۲۱۷۸/۸۱	۸/۹۸	۲۸۴۱/۱۲	۱۱/۷	۴۱۶۲/۴۶	۱۷/۱۵
راه	۳۲۳/۴۴	۱/۳۳	۶۸۵/۴۹	۲/۸۲	۱۵۲۹/۹۲	۶/۳
زراعت آبی	۴۵۹۶/۶۴	۱۸/۹۴	۳۷۶۰/۴	۱۵/۴۹	۳۰۷۹/۱۲	۱۲/۶۹
مجموع	۲۴۲۷۳/۳۶	۱۰۰	۲۴۲۷۳/۳۶	۱۰۰	۲۴۲۷۳/۳۶	۱۰۰



شکل ۸. نمودار درصد تغییرات کاربری اراضی در بازه زمانی ۱۹۹۹-۲۰۱۹ (منبع: نویسندگان، ۱۳۹۹)



شکل ۹. نقشه تغییرات کاربری اراضی به اراضی ساخته‌شده محدوده و حريم شهر زنجان در بازه‌های زمانی ۱۹۹۹-

۲۰۱۹ (منبع: نویسندگان، ۱۳۹۹)

### نتیجه‌گیری

در این پژوهش با مقایسه الگوریتم‌های شی‌گرا و پیکسل پایه با هدف انتخاب الگوریتم بهینه طبقه‌بندی، روند تغییرات کاربری اراضی محدوده و حريم شهر زنجان در بازه زمانی ۱۹۹۹ تا ۲۰۱۹ ارزیابی شد. با مقایسه نتایج ارزیابی صحت طبقه‌بندی‌کننده‌ها، روش نزدیک‌ترین همسایه الگوریتم طبقه‌بندی شی‌گرا برای سال ۲۰۱۹ با ضریب کاپا و صحت کلی به ترتیب ۰/۹۴ درصد و ۹۵/۸۶ درصد نسبت به سایر الگوریتم‌ها، عملکرد مناسبی را نشان داد. از جمله دلایل صحت زیاد طبقه‌بندی شی‌گرا در این پژوهش، استفاده از پارامترها و شاخص‌هایی نظیر شاخص طیفی توسعه شهری NDBI، میانگین حداکثر اختلاف باندها، درجه روشنایی و... است. با مقایسه نتایج ارزیابی صحت نقشه‌های طبقه‌بندی سال‌های ۱۹۹۹ و ۲۰۰۹، الگوریتم ماشین بردار پشتیبان بهترین عملکرد را از لحاظ ضرایب کاپا و صحت کلی نسبت به سایر روش‌ها در منطقه نشان داد. در این پژوهش از قابلیت‌های سامانه گوگل‌ارت انجین در زمینه تهیه تصاویر تصحیح‌شده و همچنین طبقه‌بندی تصاویر با الگوریتم‌های مختلف به نحو مؤثری استفاده شده است. این سامانه با فراهم‌سازی بستری مناسب به منظور پردازش‌های سریع در پروژه‌های سنجش از دور و GIS نقش مؤثری را ایفا می‌کند و نتایج گویای آن است که طبقه‌بندی پیکسل پایه الگوریتم ماشین بردار پشتیبان در بستر این سامانه با سرعت و دقت زیاد انجام شده است.

نتایج نشان می‌دهد الگوریتم‌های طبقه‌بندی شی‌گرا در محیط نرم‌افزار تخصصی eCognition و ماشین بردار پشتیبان در بستر گوگل ارث انجین برای تهیه نقشه‌های کاربری اراضی با استفاده از داده‌های ماهواره‌ای سری لندست بسیار کارا و مفید است. پژوهشگران دیگر نیز قابلیت این الگوریتم‌ها را در مناطق مختلف جهان به اثبات رسانده‌اند (اصغری سراسکانرود و همکاران، ۱۳۹۸؛ Mahmoudi et al., 2015؛ De Oliveira Silveira et al., 2017؛ Huang 2017؛ Liu et al., 2018؛ Huo et al., 2019) که نتایج پژوهش آنها با نتایج این پژوهش مطابقت دارد.

بررسی مراحل رشد و توسعه فیزیکی شهر زنجان در دوره‌های مختلف زمانی نشان می‌دهد این شهر رشد و توسعه جمعیتی و فیزیکی چشمگیری را تجربه کرده است. از سال ۱۹۹۹ تا ۲۰۱۹ گسترش فیزیکی شهر جالب توجه بوده و مساحت شهر حدود دو برابر در طول ۲۰ سال رشد داشته است؛ توسعه فیزیکی شهر در راستای افزایش جمعیت در طول این دوره بوده و جمعیت شهر نیز در سال ۱۳۷۵ از ۲۸۸۷۰۶ نفر به ۴۳۰۸۷۱ نفر در سال ۱۳۹۵ رسیده است (مرکز آمار ایران، ۱۳۹۵). افزایش جمعیت به صورت مستقیم آثار منفی بر منابع زمین دارد و موجب انتقال کاربری‌های طبیعی زمین به کاربری‌های دیگر از جمله کاربری مسکونی و توسعه سکونتگاهها و سایر انواع توسعه انسان‌ساخت می‌شود. بر این اساس انجام پروژه‌های ارزیابی تغییرات پوشش و کاربری زمین به منظور پایش و مدیریت منابع طبیعی و زیست‌محیطی این مناطق ضروری است.

تغییرات نشان می‌دهد بیشترین توسعه اراضی طی دو دهه گذشته در قسمت‌های شرقی و غربی شهر بوده است. داشتن اراضی برای توسعه آتی شهری، یک فرصت برای هر شهر محسوب می‌شود، ولی تغییرات گسترده و بدون برنامه که همان مفهوم رشد پراکنده را در شهر زنجان گوشزد می‌کند، ممکن است به لحاظ مدیریت و برنامه‌ریزی توسعه شهری، شهر را در داشتن امکانات و زیرساخت‌ها و خدمات مربوط به توسعه شهری برای شهروندان مشکل‌آفرین کند.

لازم است به منظور کاهش پراکنش افقی این شهر و در نتیجه کاهش مشکلات ناشی از آن، نظارت بیشتر بر محدوده‌ها و حریم شهرها، استفاده از شیوه‌های انبوه‌سازی و بلندمرتبه‌سازی (شهر فشرده)، استفاده از زمین‌های بایر و خالی موجود در داخل شهر (توسعه میان‌افزا) و هدایت سمت توسعه شهر در جهاتی جز زمین‌های کشاورزی در اولویت باشد تا شاهد آثار زیست‌محیطی از جمله تبدیل و تخریب زمین‌های کشاورزی به اراضی شهری، آلودگی آب و خاک، فرسایش خاک و... در سطح منطقه نباشیم.

به‌طور کلی استفاده از GEE، قابلیت پردازش و طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای را دارد و رویکردی جالب توجه و کارآمد برای تهیه نقشه کاربری اراضی و نظارت بر گسترش فیزیکی شهرها به‌ویژه شهر زنجان است.

## منابع

- احراری، امیرحسین، (۱۳۹۸). موتور مجازی پردازش تصاویر ماهواره‌ای (آموزش سامانه گوگل ارث انجین)، جلد اول، چاپ اول، تهران، انتشارات کلید آموزش، ۲۴۸ صفحه.
- اصغری سراسکانرود، صیاد، خدابنده‌لو، بهروز، ناصری، احمد، مرادی، علی، (۱۳۹۸). استخراج نقشه کاربری اراضی با استفاده از مقایسه الگوریتم‌های مختلف طبقه‌بندی پیکسل پایه و شی‌گرا؛ مطالعه موردی: شهر زنجان،

- فصلنامه علمی پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سپهر)، دوره ۲۸، شماره ۱۱۰، ۱۹۵-۲۰۸.
- پاشازاده، غلامحسین، (۱۳۸۸). مقایسه روش‌های پیکسل پایه و شی‌گرا در طبقه‌بندی کاربری اراضی شهری با استفاده از داده‌های سنجش از دور؛ مطالعه موردی: ارومیه، پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته سنجش از دور و GIS، استادان راهنما: شکیبا، علیرضا، ضیاییان فیروزآبادی، پرویز، دانشگاه شهید بهشتی تهران، دانشکده علوم زمین.
- پورمحمدی، محمدرضا، جمالی، فیروز، اصغری زمانی، اکبر، (۱۳۸۷). ارزیابی گسترش فضایی کالبدی شهر زنجان با تأکید بر تغییرات کاربری زمین، پژوهش‌های جغرافیایی، دوره ۶۳، شماره ۶۳، ۲۹-۴۶.
- زنگنه‌شهرکی، سعید، (۱۳۹۵). مدیریت گسترش کالبدی شهر با رویکرد رشد هوشمند شهری، جلد اول، چاپ اول، تهران، انتشارات دانشگاه تهران، ۳۴۰ صفحه.
- علوی پناه، سید کاظم، (۱۳۹۲). کاربرد سنجش از دور در علوم زمین (علوم خاک)، چاپ چهارم، تهران، انتشارات دانشگاه تهران، ۴۷۸ صفحه.
- فیضی‌زاده، بختیار، پیرنظر، مجتبی، زندکرمی، آرش، عابدی قشلاقی، حسن، (۱۳۹۴). ارزیابی استفاده از الگوریتم‌های فازی در افزایش دقت نقشه‌های کاربری اراضی استخراج‌شده با روش‌های پردازش شی‌گرا، فصلنامه علمی پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سپهر)، دوره ۲۴، شماره ۹۴، ۱۰۷-۱۱۷.
- فیضی‌زاده، بختیار، هلالی، حسین، (۱۳۸۹). مقایسه روش‌های پیکسل پایه، شی‌گرا و پارامترهای تأثیرگذار در طبقه‌بندی پوشش / کاربری اراضی استان آذربایجان غربی، پژوهش‌های جغرافیای طبیعی (پژوهش‌های جغرافیایی سابق)، دوره ۴۱، شماره ۷۷، ۷۳-۸۴.
- فیضی‌زاده، بختیار، خدمت‌زاده، علی، نیکجو، محمدرضا، (۱۳۹۷). ریز طبقه‌بندی اراضی باغی و زراعی با استفاده از تکنیک‌های پردازش شی‌پایه و الگوریتم‌های فازی با هدف تخمین سطح زیر کشت، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، دوره ۱۸، شماره ۴۸، ۲۰۱-۲۱۶.
- فیضی‌زاده، بختیار، سلمانی، سعید، (۱۳۹۵). مدل‌سازی تخریب اراضی کشاورزی بر اثر رشد و توسعه شهری با به‌کارگیری روش‌های شی‌پایه پردازش تصاویر ماهواره‌ای در محدوده شهری ارومیه، مجله آمایش سرزمین، دوره ۸، شماره ۲، ۱۷۷-۲۰۲.
- کاکه‌ممی، آزاد، قربانی، اردوان، کیوان بهجو، فرشاد، میرزایی موسی‌وند، امیر، (۱۳۹۶). مقایسه روش‌های تفسیر چشمی و رقومی در تهیه نقشه کاربری و پوشش اراضی استان اردبیل، مجله کاربرد سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، دوره ۸، شماره ۳، ۱۲۱-۱۳۴.
- مرکز آمار ایران، (۱۳۹۵). سرشماری عمومی نفوس و مسکن سال ۱۳۹۵، مرکز آمار ایران

<https://www.amar.org.ir/>

- Butt, A., Shabbir, R., Ahmad, S.S., Aziz, N., (2015). Land use change mapping and analysis using Remote Sensing and GIS: A case study of Simly watershed, Islamabad, Pakistan, The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science, 18 (2), 251- 259.
- Campbell, J.B., Wynne, R.H., (2011). Introduction to remote sensing, Guilford Press.

- De Oliveira Silveira, E.M., De Menezes, M.D., Júnior, F.W.A., Terra, M.C.N.S., De Mello, J.M., (2017). **Assessment of geostatistical features for object-based image classification of contrasted landscape vegetation cover**, Journal of Applied Remote Sensing, 11 (3), 036004.
- Dewan, A.M., Yamaguchi, Y., (2009). **Land use and land cover change in Greater Dhaka, Bangladesh: Using remote sensing to promote sustainable urbanization**, Applied geography, 29 (3), 390- 401.
- Dingle Robertson, L., King, D.J., (2011). **Comparison of pixel-and object-based classification in land cover change mapping**, International Journal of Remote Sensing, 32 (6), 1505- 1529.
- El-Asmar, H.M., Hereher, M.E., El Kafrawy, S.B., (2013). **Surface area change detection of the Burullus Lagoon, North of the Nile Delta, Egypt, using water indices: A remote sensing approach**, The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science, 16 (1), 119- 123.
- Esam, I., Abdalla, F., Erich, N., (2012). **Land use and land cover changes of west tahta region, sohag governorate, upperegypt**, Journal of Geographic Information System, 4 (06), 483.
- Feizizadeh, B., Blaschke, T., Nazmfar, H., Akbari, E., Kohbanani, H.R., (2013). **Monitoring land surface temperature relationship to land use/land cover from satellite imagery in Maraheh County, Iran**, Journal of Environmental Planning and Management, 56 (9), 1290- 1315.
- Ghebregabher, M.G., Yang, T., Yang, X., Wang, X., Khan, M., (2016). **Extracting and analyzing forest and woodland cover change in Eritrea based on landsat data using supervised classification**, The Egyptian journal of Remote Sensing and Space Science, 19 (1), 37- 47.
- Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., Moore, R., (2017). **Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone**, Remote Sensing of Environment, 202, 18- 27.
- <https://earthengine.google.com>
- Huang, H., Chen, Y., Clinton, N., Wang, J., Wang, X., Liu, C., Zhu, Z., (2017). **Mapping major land cover dynamics in Beijing using all Landsat images in Google Earth Engine**, Remote Sensing of Environment, 202, 166- 176.
- Huo, L.Z., Boschetti, L., Sparks, A.M., (2019). **Object-Based Classification of Forest Disturbance Types in the Conterminous United States**, Remote Sensing, 11 (5), 477.
- Im, J., Jensen, J.R., Tullis, J.A., (2008). **Object-based change detection using correlation image analysis and image segmentation**, International Journal of Remote Sensing, 29 (2), 399- 423.
- Jensen, J., (2005). **Introductory digital image processing: A remote sensing perspective (3rd ed.)**, Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 526.
- Lillesand, T., Kiefer, R.W., Chipman, J., (2015). **Remote sensing and image interpretation**, John Wiley & Sons.
- Liu, X., Hu, G., Chen, Y., Li, X., Xu, X., Li, S., Wang, S., (2018). **High-resolution multi-temporal mapping of global urban land using Landsat images based on the Google Earth Engine Platform**, Remote sensing of environment, 209, 227- 239.
- Ma, L., Li, M., Ma, X., Cheng, L., Du, P., Liu, Y., (2017). **A review of supervised object-based land-cover image classification**, ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 130, 277- 293.
- Mahmoudi, F.T., Samadzadegan, F., Reinartz, P., (2014). **Object recognition based on the context aware decision-level fusion in multiviews imagery**, IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, 8 (1), 12- 22.
- Rawat, J.S., Kumar, M., (2015). **Monitoring land use/cover change using remote sensing and GIS techniques: A case study of Hawalbagh block, district Almora, Uttarakhand, India**, The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science, 18 (1), 77- 84.
- Rodriguez-Galiano, V.F., Ghimire, B., Rogan, J., Chica-Olmo, M., Rigol-Sanchez, J.P., (2012). **“An assessment of the effectiveness of a random forest classifier for land-cover classification”**. ISPRS Journal Photogrammetry and Remote Sensing, 67, 93- 104.
- Shelestov, A., Lavreniuk, M., Kussul, N., Novikov, A., Skakun, S., (2017). **Exploring Google Earth Engine platform for big data processing: Classification of multi-temporal satellite imagery for crop mapping**, Frontiers in Earth Science, 5, 17.
- Shin, S., Kyung, L., Taik, S., Hyun., Kim J., (2005). **An application of support vector machines in**

- bankruptcy prediction model**, Expert Systems with Applications, 28, 127- 135.
- Weih, R.C., Riggan, N.D., (2010). **Object-based classification vs. pixel-based classification: comparative importance of multi-resolution imagery**, The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 38 (4), 7.
- Weng, Q., (2012). **Remote sensing of impervious surfaces in the urban areas: Requirements, methods, and trends**, Remote Sensing of Environment, 117, 34- 49.
- Whiteside, T.G., Boggs, G.S., Maier, S.W., (2011). **Comparing object-based and pixel-based classifications for mapping savannas**, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 13 (6), 884- 893.
- [www.earthengine.google.com/](http://www.earthengine.google.com/) 2020.
- Yan, G., Mas, J.F., Maathuis, B.H.P., Xiangmin, Z., Van Dijk, P.M., (2006). **Comparison of pixel-based and object-oriented image classification approaches a case study in a coal fire area, Wuda, Inner Mongolia, China**, International Journal of Remote Sensing, 27 (18), 4039- 4055.
- Zha, Y., Gao, J., Ni, S., (2003). **Use of normalized difference built-up index in automatically mapping urban areas from TM imagery**, International journal of remote sensing, 24 (3), 583- 594.

