



Land Use Change Analysis and Sustainability Assessment of Urban Landscape with Multitemporal Satellite Imagery Processing Approach (Case Study: Erbil City, Iraq)

Ebrahim Sami¹, Omid Mobaraki², Amer Shahazeh Lahib³

1. Corresponding Author, Assistant Professor, Department of Geography and Urban Planning, Maragheh University, Maragheh, Iran. E-mail: sami@maragheh.ac.ir
2. Associate Professor, Department of Geography and Urban Planning, University of Maragheh, Maragheh, Iran. E-mail: omidmobaraki@gmail.com
3. Master's student, Department of Geography and Urban Planning, Maragheh University, Maragheh, Iran. E-mail: a.sh.lahib@gmail.com

Article Info

Article type:

Research Article

Article history:

Received: 13 August 2025

Revised: 21 November 2025

Accepted: 29 December 2025

Published: 4 January 2026

Keywords:

landscape sustainability,
object-oriented analysis,
Erbil city,
landscape metrics.

ABSTRACT

Objective: The city of Erbil, as one of the oldest and most historic human settlements in the world, has experienced significant changes in the last few decades, which has been mainly affected by rapid urban and economic developments caused by political and social factors. This research analyzes land use changes and assesses the sustainability of the urban landscape of Erbil using multitemporal satellite images, and specifically identifies the urban growth trend and its effects on spatial structure and land use in the period 2000 to 2024.

Methods: The research was conducted using Landsat 5, 8, and 9 satellite images, and after preprocessing the images with ENVI software, the object-oriented analysis (OBIA) method and eCognition software were used to classify different land uses. The classification results were transferred to Fragstats software and landscape analyses were performed based on different metrics. The classification accuracy was also evaluated using random reference points and calculating the overall accuracy and kappa coefficient indices.

Results: The results indicate significant changes in the spatial structure and land use of Erbil city during the period 2000 to 2024; the urban built-up areas increased from 89.12 km² (equivalent to 6.18% of the total area) in 2000 to 347.81 km² (equivalent to 24.11%) in 2024. In contrast, agricultural lands and forests decreased, such that agricultural lands decreased from 86.59 to 46.94 km² and forests decreased from 27.13 to 17.19 km². Also, although green spaces have increased, they still constitute a small share of the spatial structure of the city. The analysis of landscape metrics shows that CLUMPY and COHESION indices have continuously increased in human uses, while a decrease has been observed in natural uses.

Conclusions: These changes indicate the trend of environmental instability and unplanned urban development, which highlights the need for smart land use management and restoration of natural covers.

Cite this article: Sami, E., Mobaraki, O., & Shahazeh Lahib, A. (2026). Land Use Change Analysis and Sustainability Assessment of Urban Landscape with Multitemporal Satellite Imagery Processing Approach (Case Study: Erbil City, Iraq). *Journal of Remote Sensing and GIS Applications in Environmental Sciences*, 6 (18), 97-121. <http://doi.org/10.22034/rsgi.2025.68638.1145>



© The Author(s).

DOI: <http://doi.org/10.22034/rsgi.2025.68638.1145>

Publisher: University of Tabriz.



Introduction

Erbil, one of the world's oldest continuously inhabited cities, has undergone significant transformations in its spatial structure in recent decades due to rapid economic, demographic, and political developments. The rapid urban expansion, often disregarding sustainable planning principles, has led to the loss of agricultural land, degradation of natural vegetation, and an increase in urban heat islands. Therefore, analyzing land-use changes and assessing urban landscape sustainability using remote sensing and GIS tools can provide valuable insights for optimal land-use planning and sustainable management of the region's natural resources. This study aims to examine the spatiotemporal changes in land use within Erbil city and evaluate landscape sustainability indicators between 2000 and 2024.

Materials and Methods

This study utilized multi-temporal Landsat satellite imagery, including Landsat 5 (TM), Landsat 8 (OLI), and Landsat 9, for the years 2000, 2008, 2016, and 2024. After initial preprocessing steps, such as image subsetting and band compositing in ENVI software, the classification process was carried out using Object-Based Image Analysis (OBIA) in eCognition software. The land use classes extracted included built-up areas, cultivated and fallow agricultural land, forest, green spaces, and barren land. To assess classification accuracy, random control points were used, along with the calculation of Overall Accuracy and the Kappa Coefficient. Additionally, FRAGSTATS software was employed to quantify land use/land cover changes in Erbil City and its surrounding areas. Following the object-based classification of satellite imagery, 12 class-level metrics and 17 landscape-level metrics—such as CA, NP, LPI, CLUMPY, IJI, COHESION, MESH, and others—were selected. These metrics reflect the composition and configuration characteristics of the landscape.

Results

The classification results revealed that built-up urban areas in Erbil expanded from 89.12 km² (6.18% of the total area) in 2000 to 347.81 km² (24.11%) by 2024. During this period, agricultural land decreased from 86.59 km² to 46.94 km², while forested areas shrank from 27.13 km² to 17.19 km². Although green spaces saw a slight increase, they still occupy a marginal share of the city's spatial structure. Landscape metrics analysis indicates a steady rise in CLUMPY and COHESION indices for human-dominated land uses, contrasting with a decline in natural land covers. These shifts highlight unchecked urban sprawl and worsening ecological instability, underscoring the urgent need for smarter land-use management and natural habitat restoration. Changes in LSI, IJI, and AI metrics further suggest the city has transitioned from a highly fragmented landscape to a more regular—yet less diverse—spatial pattern. This trend has eroded urban resilience against environmental threats such as droughts, dust storms, and floods.

Conclusion

The results of this study indicate that Erbil's current urban expansion is heading toward spatial instability and environmental degradation due to its neglect of ecological, social, and even economic principles in land management. Future development patterns must shift toward an integrated approach to urban planning—one that prioritizes environmental sustainability. These spatial transformations reflect growing ecological instability in the city's landscape, signaling an urgent need for municipal authorities to intervene. Key measures should include restoring natural vegetation, controlling unchecked urban sprawl, and implementing smarter land-use management strategies. Analytical techniques such as landscape structure assessment and quantitative metrics can serve as valuable tools for monitoring and guiding future spatial planning in rapidly growing cities like Erbil. To ensure sustainable development, targeted use of vacant land for smart urban growth should be prioritized, alongside expanding green spaces, rehabilitating forested areas, and protecting agricultural land. Ultimately, achieving a balanced and sustainable future for Erbil will require close collaboration between local institutions, urban planners, and citizens—ensuring that growth, spatial equity, and ecological health are all properly addressed.

References

- Abebe, G., Getachew, D., & Ewunetu, A. (2022). Analysing land use/land cover changes and its dynamics using remote sensing and GIS in Gubalafito district, Northeastern Ethiopia. *SN Applied Sciences*, 4(1), 30. <https://doi.org/10.1007/s42452-021-04915-8>
- Anabastani, A. A., Anabastani, Z., and Akbari, A. (2021). Analysis of structural changes in the landscape and



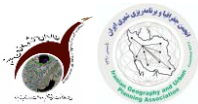
- urban development patterns using multi-temporal satellite images - Case study: Mashhad metropolis. *Quarterly Scientific-Research Journal of Geographic Information "Sepehr"*, 30(119), 189-206. doi: [10.22131/sepehr.2021.247894](https://doi.org/10.22131/sepehr.2021.247894). (In Persian).
- Arora, A., Pandey, M., Mishra, V. N., Kumar, R., Rai, P. K., Costache, R., ... & Di, L. (2021). Comparative evaluation of geospatial scenario-based land change simulation models using landscape metrics. *Ecological Indicators*, 128, 107810. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107810>
- Aslam, R. W., Naz, I., Quddoos, A., & Quddusi, M. R. (2024). Assessing climatic impacts on land use and land cover dynamics in Peshawar, Khyber Pakhtunkhwa, Pakistan: a remote sensing and GIS approach. *GeoJournal*, 89(5), 202. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10708-024-11203-6>
- Bokhari, S. A., Saqib, Z., Amir, S., Naseer, S., Shafiq, M., Ali, A., ... & Hamam, H. (2022). Assessing land cover transformation for urban environmental sustainability through satellite sensing. *Sustainability*, 14(5), 2810. <https://doi.org/10.3390/su14052810>
- Dhanaraj, K., & Angadi, D. P. (2021). Urban expansion quantification from remote sensing data for sustainable land-use planning in Mangaluru, India. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 23, 100602. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2021.100602>
- Drăguț, L. & Blaschke, T. (2006). Automated classification of landform elements using object-based image analysis. *Geomorphology*, 81(3), 330-344. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2006.04.013>
- Fassnacht, F. E., Hartig, F., Latifi, H., Berger, C., Hernández, J., Corvalán, P. & Koch, B. (2014). Importance of sample size, data type and prediction method for remote sensing-based estimations of aboveground forest biomass. *Remote Sensing of Environment*, 154, 102-114. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.07.028>
- Flamenco-Sandoval, A., Ramos, M. M., & Masera, O. R. (2007). Assessing implications of land-use and land-cover change dynamics for conservation of a highly diverse tropical rain forest. *Biological conservation*, 138(1-2), 131-145. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2007.04.022>
- Gardi, S. and Asfahani, J. 2019. Subsurface tectonic characterizations by the use of geo-electrical resistivity technique and their implications on environmental soil and groundwater at Erbil dumpsite, west of Erbil city–Iraqi Kurdistan region. *Contributions to Geophysics and Geodesy*. 49(3), 325-354. <https://doi.org/10.2478/congeo-2019-0017>
- Ghobadi, M., & Ahmadipari, M. (2023). Spatial analysis of land use/land cover (LULC) changes to support sustainable land management based on landscape metrics. *Earth Observation and Geomatics Engineering*, 7(1). Doi: [10.22059/eoge.2023.357777.1140](https://doi.org/10.22059/eoge.2023.357777.1140)
- Hosseiniabadi, S., and Akbari, A. (2023). Analysis of land use and landscape changes in urban areas and their surroundings: a case study: Shahrood city. *Sustainable City Journal*, 6(3), 79-98. Doi: [10.22034/jsc.2024.-367302.1663](https://doi.org/10.22034/jsc.2024.-367302.1663). (In Persian).
- Kadioğulları, A. İ. (2013). Assessing implications of land use and land cover changes in forest ecosystems of NE Turkey. *Environmental monitoring and assessment*, 185, 2095-2106. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10661-012-2691-0>
- Kaviani, A., Farhodi, R., & Rajabi, A. (2015). Analysis of Tehran's urban growth pattern using a landscape ecology approach. *Urban Planning Geographical Research Journal*, 3(4), 407–429. Doi: [10.22059/jurban-geo.2015.57410](https://doi.org/10.22059/jurban-geo.2015.57410). (in Persian)
- Khoshnaw, R. (2023). Evaluating Mixed Land Use and Connectivity: A Case Study of Five Neighborhoods in Erbil City, Iraq. *Sustainability*, 15(19), 14265. <https://doi.org/10.3390/su151914265>.
- Leitão, A. B., Miller, J., Ahern, J., & McGarigal, K. (2012). *Measuring landscapes: A planner's handbook*. Island press.
- Mahiini, A. (2007). Landscape and erodibility criteria as two quantitative index categories for rapid assessment of the effects of development projects. *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*. 14(1) 48-63 SID. <https://sid.ir/paper/433674/fa>. (In Persian).
- Mahmoodzadeh, H. and Masoudi, H. (2019). An analysis of structural changes in the landscape of Tabriz



- metropolis using the principles of landscape ecology and with an emphasis on the concept of continuity. *Scientific Journal of "Land Planning"*, 11(2), 179-204. doi: [10.22059/jtcp.2019.288093.670019](https://doi.org/10.22059/jtcp.2019.288093.670019). (In Persian).
- McGarigal K., SA Cushman, and E Ene. 2025. FRAGSTATS v4: Spatial Pattern Analysis Program for Categorical Maps. Computer software program produced by the authors; available at the following web site: <https://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html>
- McGarigal, K., Cushman, S. A., Neel, M. C., & Ene, E. (2002). FRAGSTATS: spatial pattern analysis program for categorical maps. *Computer software program produced by the authors at the University of Massachusetts, Amherst*. Available at the following web site: www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html,6.
- Memarzadeh Kiani, A., and Daneshvar Fattah, F. (2023). Investigating the trend of agricultural land use changes in Shahrivar County using remote sensing and GIS. *Journal of Natural Environment*, 76(4), 659-674. Doi: [10.22059/jne.2023.354658.2522](https://doi.org/10.22059/jne.2023.354658.2522). (In Persian).
- Mohammad, M. S., Elmastas, N., & Abdullah, H. (2021). *Temporal change of urban land use: the case of Erbil city*. Ecology, Environment and Conservation Paper, 27, 48-58.
- Mohammed, M. G. (2023). Land Use Land Cover Changes Detection of Erbil City Using GIS and Remote Sensing. *PTJ*, 13(1), 1044. <https://doi.org/10.25156/ptj.v13i1.1044>
- Navulur, K. (2006). *Multispectral image analysis using the object-oriented paradigm*. CRC press. <https://doi.org/10.1201/9781420043075>
- Nazmfar, H., and Shirzad, M. (2024). Monitoring changes in the landscape of the city and its surrounding environment based on the analysis of landscape metrics (case study: Ardabil City). *Environmental Science Studies*, 9(4), 9740-9729. doi: [10.22034/jess.2023.365413.1887](https://doi.org/10.22034/jess.2023.365413.1887). (In Persian).
- Norouzi Golekhalaei, S., Hatami, A. and S., Parvizi Marivani. (2022). Analysis of spatial growth patterns of Kermanshah city with a landscape ecology approach. *Scientific Journal of Physical Development Planning*, 7th year, No. 3 (new series), 27th series, pp. 64-49. Doi: [10.30473/psp.2022.62702.2573](https://doi.org/10.30473/psp.2022.62702.2573). (In Persian).
- Perregrini, D., & Casella, V. (2022). *Creation of Soil Permeability Maps Trough Obia Classification of Very High-Resolution Satellite Images*. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 43, 159-166. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLIII-B3-2022-159-2022>
- Radin Majd, G., Jozi, S. A., Hejazi, R., Amiri, M. J. and H. R. Ghafarzadeh. (2022). Investigating the trend of changes in landscape indicators using the urban-rural gradient analysis method (case study: Tehran metropolis). *Land Planning*, 17th volume, autumn and winter 1400, No. 2 (serial 25). doi: [10.22059/jtcp.2021.326563.670236](https://doi.org/10.22059/jtcp.2021.326563.670236). (In Persian).
- Sarif, M. O., & Gupta, R. D. (2022). Spatiotemporal mapping of Land Use/Land Cover dynamics using Remote Sensing and GIS approach: a case study of Prayagraj City, India (1988–2018). *Environment, Development and Sustainability*, 24(1), 888-920. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10668-021-01475-0>
- Sattar, T., Mirza, N. F., Javed, M. A., Nasar-u-Minallah, M., & Malik, S. (2025). Changing pattern of urban landscape and its impact on thermal environment of Lahore; Implications for climate change and sustainable development. *Environmental Monitoring and Assessment*, 197(2), 151. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10661-024-13559-1>
- Schwarz, N. (2010). Urban form revisited—Selecting indicators for characterising European cities. *Landscape and urban planning*, 96(1), 29-47. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2010.01.007>
- Talema, A. H., & Nigusie, W. B. (2024). Spatio-temporal analysis of urban expansion using remote sensing data and GIS for the sustainable management of urban land: the case of Burayu, Ethiopia. *Management of Environmental Quality: An International Journal*, 35(5), 1096-1117. <https://doi.org/10.1108/MEQ-07-2023-0196>
- Varol, B., Szabo, S., Topaloğlu, R. H., Aksu, G. A., & Sertel, E. (2024). Analysis of the association between image resolution and landscape metrics using multi-sensor LULC maps. *Journal of Environmental Planning and Management*, 67(10), 2281-2302. <https://doi.org/10.1080/09640568.2023.2185507>



- Wiatkowska, B., Słodczyk, J., & Stokowska, A. (2021). Spatial-temporal land use and land cover changes in urban areas using remote sensing images and GIS analysis: The case study of Opole, Poland. *Geosciences*, 11(8), 312. <https://doi.org/10.3390/geosciences11080312>
- Wijaya, A., Budiharto, R. S., Tosiani, A., Murdiyarso, D. & Verchot, L. V. (2015). Assessment of Large Scale Land Cover Change Classifications and Drivers of Deforestation in Indonesia. *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 40(7), 557-573. <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XL-7-W3-557-2015>
- Wu, J., Jenerette, G. D., Buyantuyev, A., & Redman, C. L. (2011). Quantifying spatiotemporal patterns of urbanization: The case of the two fastest growing metropolitan regions in the United States. *Ecological Complexity*, 8(1), 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.ecocom.2010.03.002>
- Yaghoobi, M., Vafaenejad, A., Moradi, H., & Hashemi, H. (2022). Analysis of landscape composition and configuration based on LULC change modeling. *Sustainability*, 14(20), 13070. <https://doi.org/10.3390/su142013070>
- Yang, X., Blower, J. D., Bastin, L., Lush, V., Zabala, A., Masó, J., ... & Lumsden, J. (2013). An integrated view of data quality in Earth observation. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 371(1983), 20120072. <https://doi.org/10.1098/rsta.2012.0072>
- Yazdanpanah, M., Yavari, A., Zavarat, L., Al-Mohammad, S. (2015). *Evaluation of urban green infrastructures for their gradual improvement in the landscape of Tehran*, Environment, Volume 41, No. 3 Doi; [10.22059/jes.2015.55900](https://doi.org/10.22059/jes.2015.55900) .(In Persian).



تحلیل تغییرات کاربری اراضی و ارزیابی پایداری سیمای سرزمین شهری با رویکرد پردازش تصاویر چندزمانه ماهواره‌ای (مطالعه موردی: شهر اربیل عراق)

ابراهیم سامی^۱، امید مبارکی^۲، عامر شحاذه لهیب^۳

۱. نویسنده مسئول، استادیار گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری دانشگاه مراغه، مراغه، ایران. رایانامه: sami@maragheh.ac.ir

۲. دانشیار گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری دانشگاه مراغه، مراغه، ایران. رایانامه:omidmobaraki@gmail.com

۳. دانشجوی کارشناسی ارشد گروه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری دانشگاه مراغه، مراغه، ایران. رایانامه: a.sh.lahib@gmail.com

اطلاعات مقاله

چکیده

نوع مقاله:

مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۵/۲۲

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۸/۳۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۱۰/۰۸

تاریخ انتشار: ۱۴۰۴/۱۰/۱۴

کلیدواژه‌ها:

پایداری سیمای سرزمین،

تحلیل شیء‌گرا،

شهر اربیل،

سنجه‌های سیمای سرزمین.

شهر اربیل، به عنوان یکی از قدیمی‌ترین و تاریخی‌ترین سکونت‌گاه‌های بشری در جهان، در چند دهه اخیر تغییرات قابل توجهی را تجربه کرده است که عمدتاً تحت تأثیر توسعه‌های سریع شهری و اقتصادی ناشی از عوامل سیاسی و اجتماعی قرار داشته است. این پژوهش به تحلیل تغییرات کاربری اراضی و ارزیابی پایداری سیمای سرزمین شهری اربیل با استفاده از تصاویر چندزمانه ماهواره‌ای می‌پردازد و به‌طور خاص به شناسایی روند رشد شهری و تأثیرات آن بر ساختار فضایی و کاربری اراضی در بازه زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۴ می‌پردازد. تحقیق با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای لندست ۵، ۸ و ۹ انجام شده و پس از پیش‌پردازش تصاویر با نرم‌افزار ENVI، از روش تحلیل شیء‌گرا (OBIA) و نرم‌افزار eCognition برای طبقه‌بندی کاربری‌های مختلف استفاده شده است. نتایج طبقه‌بندی به نرم‌افزار Fragstats منتقل و تحلیل‌های سیمای سرزمین بر اساس سنجه‌های مختلف انجام گردیده است. دقت طبقه‌بندی نیز با استفاده از نقاط مرجع تصادفی و محاسبه شاخص‌های دقت کلی و ضریب کاپا ارزیابی شده است. نتایج نشان‌دهنده تغییرات قابل توجهی در ساختار فضایی و کاربری اراضی شهر اربیل طی بازه زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۴ است. مناطق ساخته‌شده شهری از ۸۹/۱۲ کیلومترمربع (معادل ۶/۱۸٪ از کل منطقه مورد مطالعه) در سال ۲۰۰۰ به ۸۱/۳۴۷ کیلومترمربع (معادل ۲۴/۱۱٪) در سال ۲۰۲۴ افزایش یافته است. در مقابل، اراضی کشاورزی و جنگل‌ها کاهش یافته‌اند، به‌طوری‌که اراضی کشاورزی از ۸۶/۵۹ به ۴۶/۹۴ کیلومترمربع و جنگل‌ها از ۲۷/۱۳ به ۱۷/۱۹ کیلومترمربع کاهش یافته‌اند. همچنین، فضاهاى سبز اگرچه افزایش یافته، اما براساس نتایج بدست آمده همچنان سهم اندکی از ساختار فضایی شهر را تشکیل می‌دهند. تحلیل سنجه‌های سیمای سرزمین نشان می‌دهد که شاخص‌های تجانس لکه‌ها و شاخص انسجام فضایی در کاربری‌های انسانی به‌طور مستمر افزایش یافته‌اند، در حالی که در کاربری‌های طبیعی کاهش مشاهده شده است. این تغییرات نشان‌دهنده روند ناپایداری زیست‌محیطی و توسعه شهری بی‌برنامه است که نیاز به مدیریت هوشمند کاربری زمین و احیای پوشش‌های طبیعی را برجسته می‌سازد.

استناد: سامی، ابراهیم؛ مبارکی، امید و شحاذه لهیب، عامر (۱۴۰۵). تحلیل تغییرات کاربری اراضی و ارزیابی پایداری سیمای سرزمین شهری با رویکرد پردازش تصاویر چندزمانه ماهواره‌ای (مطالعه موردی: شهر اربیل عراق). کاربرد سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی در علوم محیطی، ۶ (۱۸)، ۹۷-۱۲۱.

<http://doi.org/10.22034/rsgi.2025.68638.1145>



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه تبریز.

مقدمه

تغییرات کاربری اراضی و پوشش زمین (LULC) بر ساختار، عملکرد و ظرفیت‌های اکوسیستم‌های طبیعی تأثیر می‌گذارد. این تغییرات آثار غیرقابل انکاری بر محیط‌های طبیعی و اجتماعی در سطح محلی به جا می‌گذارد (بخارایی^۱ و همکاران، ۲۰۲۲). بنابراین، ارزیابی‌های مبتنی بر تحولات پوشش زمین ضروری است تا جهت‌گیری مداخلات انسانی در محیط‌های زمینی تنظیم شود. فرآیند تغییرات پوشش/کلبری اراضی از زمانی آغاز شد که انسان‌ها تلاش کردند محیط خود را تنظیم کنند و تحولات اجتماعی-فرهنگی مرتبط مانند رشد جمعیت، سازمان اجتماعی و افزایش تمرکز بر تأمین نیازهای بقا، منجر به پدیده اسکان دائمی شد (ویاتکوسکا^۲ و همکاران، ۲۰۲۱). رشد و گسترش بعدی این اسکان‌ها، تغییرات LULC را تحریک کرد. این تحولات فشارهایی بر تعادل اکولوژیک وارد کرده و برای محیط‌های طبیعی و اجتماعی استرس‌زا می‌باشد (آبیه^۳ و همکاران، ۲۰۲۲). تأثیرات ناشی از شهرنشینی به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه بیشتر نمایان است (اسلام^۴ و همکاران، ۲۰۲۴). مهاجرت از مناطق روستایی به شهری به دینامیک‌های تاریخی، اجتماعی، اقتصادی، محیطی و ژئو استراتژیک خاص مناطق شهری نسبت داده می‌شود. با این حال، شهرنشینی به سمت اسکان‌های بزرگ شهری متمایل است. این تمایلات در رشد اقتصادی متمرکز بر شهر، صنعتی‌سازی و تمرکز بیشتر بر توسعه زیرساخت‌ها در مناطق بزرگ شهری نهفته است (شریف و گوبتا^۵، ۲۰۲۲). در نتیجه، ورود مهاجران فشارهایی بر منابع زمین و محیط زیست در این زمینه‌ها وارد می‌کند. تقاضاهای همراه برای منابع زمین فشارهایی برای گسترش برنامه‌ریزی‌شده و غیر برنامه‌ریزی‌شده شهری و تغییرات همزمان در پوشش زمین مناطق شهری به وجود می‌آورد. آثار ناشی از این تغییرات به صورت گسترش غیرقابل کنترل شهری و رشد عمودی در ساختارهای شهری قابل مشاهده است. بنابراین، تمایل به ارزیابی تغییرات LULC در مناطق شهری در حال افزایش است. این وضعیت نیازمند شناسایی عواملی است که مسئول این تغییرات LULC عمدی و غیرعمدی هستند. همچنین، ارزیابی سرعت، مقیاس و جهت‌گیری‌های این تغییرات در مناطق شهری ضروری است (بخارایی و همکاران، ۲۰۲۲). برای دستیابی به این هدف، دقت در اندازه‌گیری برای استنتاج‌های واقعی الزامی است. پیشرفت‌های اخیر در سنجش از دور و سیستم‌های اطلاعات جغرافیایی (GIS) ابزارهای قابل اعتمادی برای نشان دادن و شناسایی تغییرات فضایی-زمانی در LULC ارائه می‌دهند (دهناراج و آنگادی^۶، ۲۰۲۱). علاوه بر این، آرشوهای دیجیتال داده‌های سنجش از دور نیز امکان کمی‌سازی این تغییرات در LULC را فراهم می‌آورد. این ارزیابی‌ها برای سیاست‌گذاری منطقی به منظور کاهش تأثیرات شهرنشینی از طریق برنامه‌ریزی و ارزیابی کاربری زمین ضروری است. علاوه بر کاربری اراضی، استفاده از سنج‌های سیمای سرزمین در ارزیابی روند تغییرات کاربری، توانایی برای تشریح کمی ساختار سیمای سرزمین، پیش شرط مطالعه عملکرد و ترغیب ساختار در سیمای سرزمین است و سنج‌های مختلفی برای نیل به هدف، در اکولوژی سیمای سرزمین مورد استفاده قرار می‌گیرد (ام سی گاریگال^۷ و همکاران، ۲۰۰۲). از سنج‌های سیمای سرزمین می‌توان در تعیین کاهش کیفیت وضعیت کلی محیط‌زیست در اثر توسعه انسانی سود جست. این سنج‌های می‌توانند برآوردهایی کلی از نظر تغییرات کارکرد اکوسیستم‌ها نیز به عمل آورد (ماهینی، ۱۳۸۶: ۴۸-۶۳). این سنج‌ها ساختار را کمی می‌کنند و با برقراری ارتباط میان ساختار و کارکرد سیمای سرزمین، امکان مدلسازی را به برنامه‌ریزان می‌دهند، بنابراین امکان پیش‌بینی تأثیر اقدامات برنامه‌ریزی در سیستم‌های اکولوژیک را فراهم می‌کنند، به رغم اهمیت سنج‌ها در کمی کردن خصوصیات ساختار سیمای سرزمین، استفاده از آنها بیشتر در پژوهش‌های اکولوژی است و در برنامه‌ریزی کمتر استفاده شده‌اند (یزدان پناه و همکاران، ۱۳۹۴: ۶۱۴).

1. Bokhari
2. Wiatkowska
3. Abebe
4. Aslam
5. Gupta & Sarif
6. Dhanaraj & Angadi
7. McGarigal

تحقیق حاضر بر تغییرات LULC در اربیل، عراق تمرکز دارد. این شهر به عنوان یک مرکز شهری در حال رشد، چالش‌های خاصی را در زمینه برنامه‌ریزی و مدیریت منابع زمین تجربه می‌کند. این مطالعه به دنبال ارزیابی تأثیرات شهرنشینی بر تغییرات LULC در اربیل از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۴ است و به بررسی پایداری سیمای سرزمین شهری با استفاده از تکنیک‌های سنجش از دور و GIS می‌پردازد. این مطالعه به شناسایی و کمی‌سازی تغییرات در دسته‌های مختلف LULC در این بازه زمانی می‌پردازد و به درک بهتر چالش‌های موجود در مدیریت پایدار منابع زمین کمک می‌کند. با توجه به رشد سریع شهرنشینی و تغییرات گسترده کاربری اراضی در مناطق شهری، درک روندهای تغییرات و ارزیابی اثرات این تغییرات بر محیط زیست و پایداری شهری از اهمیت بالایی برخوردار است. تغییر کاربری اراضی به عنوان یک پدیده پیچیده و چندوجهی، به‌ویژه در دهه‌های اخیر و در پی روند سریع شهرنشینی و صنعتی‌سازی در کشورهای در حال توسعه تأثیرات عمیق و گسترده‌ای بر کیفیت محیط‌زیست و سیمای سرزمین دارد (دهنراج و آنگادی، ۲۰۲۱). با اینکه مناطق شهری تنها سه درصد از سطح زمین را اشغال می‌کنند (اسلام و همکاران، ۲۰۲۴)، اما آهنگ گسترش این مناطق بسیار شتابان است و فراتر از روند طبیعی توسعه فضایی رخ می‌دهد (هو و همکاران، ۲۰۲۵)، که تأثیرات ملموسی بر کاربری زمین و اکوسیستم‌ها به دنبال دارد. جدول ۱، پیشینه پژوهش‌های مختلفی را در زمینه تغییرات کاربری اراضی و تأثیرات آن بر سیمای سرزمین و محیط زیست ارائه می‌دهد. این پژوهش‌ها به تحلیل روندهای تغییر کاربری اراضی در مناطق مختلف، از جمله شهرستان شهریار، شاهرود، اردبیل، و اربیل پرداخته و نتایج کلیدی آن‌ها نشان‌دهنده کاهش اراضی سبز، افزایش کاربری‌های ساخته‌شده، و تأثیرات اقلیمی بر دینامیک‌های کاربری اراضی است. به‌ویژه، پژوهش‌های اخیر به شناسایی الگوهای تکه‌تکه شدن زیستگاه‌ها و ضرورت حفظ فضاهای سبز و مدیریت پایدار اراضی توجه دارند. در مقایسه با این پژوهش‌ها، پژوهش ما با تمرکز بر تحلیل تغییرات کاربری اراضی و ارزیابی پایداری سیمای سرزمین شهری در اربیل عراق، از رویکرد پردازش تصاویر چندزمانه ماهواره‌ای بهره می‌برد. این رویکرد این امکان را می‌دهد که تغییرات کاربری را با دقت بیشتری شناسایی و روندهای تاریخی را تحلیل کرده و در نهایت به مدیریت پایدارتر اراضی و حفظ کیفیت محیط‌زیست کمک کرد. خلاصه بررسی منابع در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱. پیشینه‌های پژوهش

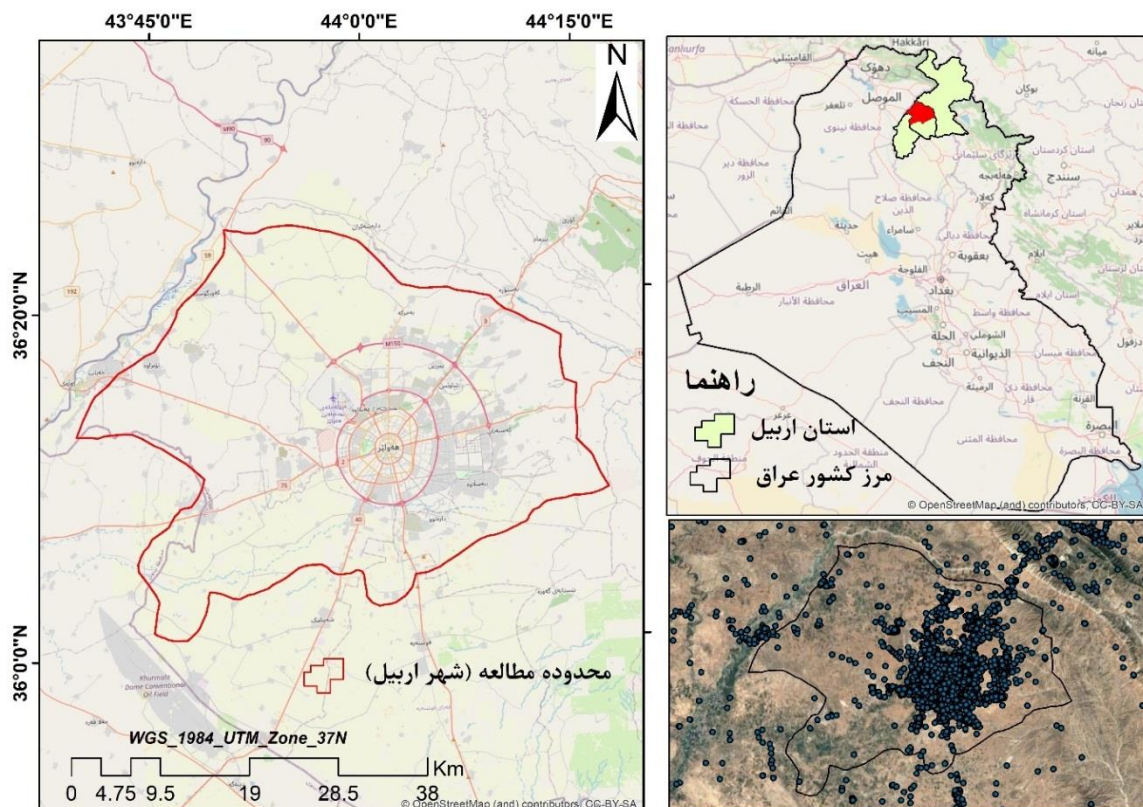
پژوهشگر (سال)	عنوان پژوهش	محتوا و نتایج کلیدی
معمارزاده کیانی و دانشور فتاح (۱۴۰۲)	بررسی روند تغییرات کاربری اراضی کشاورزی شهرستان شهریار با استفاده از سنجش از راه دور و GIS	تحلیل تغییرات کاربری اراضی کشاورزی طی ۳۰ سال، کاهش اراضی باغی و افزایش اراضی زراعت آبی-دیمی. تأثیر تغییرات اقلیمی بر فعالیت‌های زراعی مورد بررسی قرار گرفته است.
حسین آبادی و اکبری (۱۴۰۳)	تحلیل تغییرات کاربری اراضی و سیمای سرزمین در مناطق شهری و پیرامون آن‌ها: مطالعه موردی شهر شاهرود	بررسی تغییرات کاربری اراضی در شاهرود از ۱۳۷۹ تا ۱۴۰۰ و پیش‌بینی برای ۱۴۱۰. افزایش کاربری‌های محیط ساخته‌شده و کشاورزی، کاهش اراضی بایر و تغییر در سنج‌های اکولوژی سرزمین.
نظم‌فر و شیرزاد (۱۴۰۳)	بررسی تغییرات سیمای شهر اردبیل و محیط پیرامون آن در یک دهه اخیر (۲۰۱۱-۲۰۲۱)	تحلیل تغییرات کاربری اراضی در اردبیل و تأثیرات آن بر سیمای سرزمین و پایداری محیط زیست. نتایج می‌تواند مبنای برنامه‌ریزی‌های آینده باشد.
ریاز خوشناو (۲۰۲۳)	ارزیابی اختلاط کاربری و پیوستگی: مطالعه موردی پنج محله در شهر اربیل، عراق	بررسی الگوی توسعه شهری در اربیل و تأثیر آن بر کیفیت زندگی. محلات قدیمی‌تر با ساختار نامنظم از پیوستگی بالاتری برخوردارند.
محمد جی (۲۰۲۳)	تشخیص تغییرات کاربری اراضی و پوشش زمین شهر اربیل با استفاده از GIS و سنجش از دور	تحلیل تغییرات پوشش و کاربری اراضی در اربیل طی دو دهه اخیر. بیشترین کاهش مربوط به بوته‌زارها و بیشترین افزایش به زمین‌های زراعی و مناطق شهری.
RW Aslam et al (۲۰۲۴)	بررسی تأثیرات اقلیمی بر دینامیک‌های کاربری اراضی و پوشش زمین در پیشاور، پاکستان	تحلیل تأثیرات اقلیمی بر دینامیک‌های کاربری اراضی و شناسایی تغییرات قابل توجه در منظر شهری. ادغام برنامه‌ریزی توسعه شهری با حفظ فضاهای سبز.
Nigusie و Talema (۲۰۲۴)	تحلیل فضایی-زمانی گسترش شهری با استفاده از داده‌های سنجش از دور و GIS برای مدیریت پایدار اراضی شهری	ارزیابی تغییرات کاربری اراضی و مدیریت پایدار در برآیو، اتیوپی. تأکید بر استفاده از داده‌های سنجش از دور در شناسایی الگوهای گسترش شهری.
Sattar et al (۲۰۲۵)	تغییر الگوی منظر شهری و تأثیر آن بر محیط حرارتی لاهور؛ پیامدهایی برای تغییرات اقلیمی و توسعه پایدار	تحلیل تغییرات منظر شهری لاهور و تأثیر آن بر محیط حرارتی. ضرورت حفظ فضاهای سبز و طراحی شهری پایدار.

داده‌ها و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

اربیل شهری باستانی، سومین شهر بزرگ عراق و یکی از قدیمی‌ترین سکونت‌گاه‌های مسکونی در جهان است (Almukhtar, 2019). این شهر که هم‌اکنون پایتخت حکومت اقلیم کردستان می‌باشد، به گفته‌ی یونسکو، قدمت سکونت شهری در آن دست‌کم به ۶۰۰۰ سال قبل از میلاد بازمی‌گردد (Akram et al., 2016). شهر اربیل همراه با دو شهر دهوک و سلیمانیه، سه استان اصلی اقلیم کردستان را تشکیل می‌دهند که در شمال عراق قرار گرفته‌اند. شهر اربیل (عرض جغرافیایی " ۴۵' ۰۰" ۳۵° شمالی - " ۲۴' ۰۰" ۳۶° شمالی و طول جغرافیایی " ۳۵,۹' ۰۰" ۴۳° شرقی - " ۱۶' ۰۰" ۴۴° شرقی) در شمال عراق واقع شده است. مرزهای اربیل از شرق به ایران و از شمال به ترکیه می‌رسد (قاردی و افشانی^۱، ۲۰۱۹)، استان اربیل با مساحتی بالغ بر ۱۴۵۴۷ کیلومتر مربع بین دو رودخانه به نام‌های زاب بزرگ در غرب و زاب کوچک در شرق قرار دارد. این استان شامل ۷ شهرستان (اربیل، چومان، کوسنجق، مخمور، مرگسور، شقلاوه و سوران) است. بر اساس داده‌های سازمان هواشناسی عراق و میانگین‌های بلندمدت ایستگاه اربیل (دوره آماری ۱۹۹۰-۲۰۲۰)، اقلیم منطقه از نوع مدیترانه‌ای نیمه‌خشک است. دمای هوا در تابستان به بیش از ۴۲,۲ °C می‌رسد و در زمستان نسبتاً خنک و مرطوب است. میانگین حداکثر دمای سالانه حدود ۲۵,۲ °C و میانگین حداقل دما ۱۳,۹ °C گزارش شده است. میانگین بارندگی سالانه بین ۳۷۵ تا ۷۲۴ میلی‌متر متغیر بوده که عمدتاً در فصل زمستان و اوایل بهار رخ می‌دهد (سازمان هواشناسی عراق، ۲۰۲۵).

شکل (۱) موقعیت جغرافیایی شهر اربیل را نشان می‌دهد.



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه (شهر اربیل)

Fig 1. Geographical location of the study area (Erbil city)

از نظر موقعیت جغرافیایی، شهر اربیل در میانه استان اربیل قرار دارد، در دامنه کوه‌های کردستان و مشرف به دشت وسیع اربیل. این شهر در نقطه تلاقی چند جاده اصلی در استان کردستان واقع شده و در موقعیتی مرکزی و جنوبی نسبت به عراق قرار دارد (محمد^۱ و همکاران، ۲۰۲۱).

روش تحقیق

• انتخاب داده‌ها و تصاویر ماهواره‌ای

جهت تحلیل تغییرات کاربری اراضی و ارزیابی پایداری سیمای سرزمین شهری اربیل، ابتدا تصاویر ماهواره‌ای از سری لندست (Landsat) برای بازه زمانی ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۴ انتخاب شدند. این تصاویر شامل داده‌های لندست ۵، ۸ و ۹ هستند که به طور خاص به منظور شناسایی تغییرات کاربری اراضی در مناطق شهری و ارزیابی سیمای سرزمین مورداستفاده قرار می‌گیرند. فاصله زمانی بین هر تصویر، ۸ سال در نظر گرفته شد. این بازه زمانی به منظور شبیه‌سازی تغییرات بلندمدت کاربری اراضی و پایداری سیمای سرزمین انتخاب شده است (جدول ۲).

جدول ۲. مشخصات داده‌های تصاویر ماهواره‌ای

نوع تصویر	تاریخ	سنجنده	قدرت تفکیک مکانی	ردیف و گذر	سیستم تصویر
لندست ۵	۲۰۰۰-۰۷-۱۳	TM	۳۰ متر	۱۶۹/۳۵	WGS_1984_UTM_Zone_38N
لندست ۵	۲۰۰۸-۰۷-۱۹	TM	۳۰ متر	۱۶۹/۳۵	WGS_1984_UTM_Zone_38N
لندست ۸	۲۰۱۶-۰۷-۰۹	OLI_TIRS	۳۰ متر	۱۶۹/۳۵	WGS_1984_UTM_Zone_38N
لندست ۹	۲۰۲۴-۰۷-۰۷	OLI_TIRS	۳۰ متر	۱۶۹/۳۵	WGS_1984_UTM_Zone_38N

• پیش‌پردازش داده‌ها

در مرحله بعدی، پیش‌پردازش‌های اولیه برای داده‌های ماهواره‌ای انجام شد. این پیش‌پردازش‌ها شامل موارد زیر می‌باشد:

- **تلفیق باندهای تصاویر:** به منظور بهبود دقت و کیفیت تحلیل‌ها، باندهای مختلف تصاویر ماهواره‌ای لندست برای ترکیب اطلاعات طیفی و ایجاد یک تصویر با کیفیت بالاتر تلفیق شدند.
- **برش محدوده مورد مطالعه:** در این مرحله، تصاویر ماهواره‌ای بر اساس مرزهای جغرافیایی و محدوده دقیق مطالعه (منطقه اربیل) برش شدند تا فقط داده‌های مرتبط با منطقه مورد نظر استخراج شوند.

تمامی این عملیات‌ها در محیط نرم‌افزار *ENVI 5.3* انجام گردید که ابزاری قدرتمند برای پردازش داده‌های ماهواره‌ای است.

• پردازش و استخراج کاربری اراضی

پس از پیش‌پردازش داده‌ها، تصاویر برای انجام طبقه‌بندی تصاویر و استخراج کاربری اراضی به نرم‌افزار *eCognition* وارد شدند. در این نرم‌افزار، از الگوریتم‌های طبقه‌بندی روش تعیین آستانه، برای تفکیک و شناسایی کلاس‌های مختلف کاربری اراضی استفاده گردید. *OBIA*^۲ یا تحلیل شیء‌گرا یکی از روش‌های رایج طبقه‌بندی در سنجش از دور است که به جای استفاده از پیکسل‌ها، از اشیاء تصویری حاصل از تقسیم‌بندی تصویر برای استخراج ویژگی‌ها استفاده می‌کند. در این روش، طبقه‌بندی بر اساس ویژگی‌های استخراج‌شده از هر شیء تصویری، با استفاده از روش‌های آماری یا الگوریتم‌های مختلف انجام می‌شود (Azeez et al., 2022; Rasouli et al., 2022). در روش تعیین آستانه، از شرط آستانه‌گذاری برای کلاس‌بندی اشیاء تصویر

1. Mohammad

2. Object-Based Image Analysis

استفاده می‌کند و با تعریف شرایط خاصی، هریک از سگمنت‌های تصویر را به کلاس متعلق به آن شیء تصویری اختصاص می‌دهد. در این پژوهش نیز با توجه به نقاط برداشت زمینی شرایط مربوط به هر کدام از کلاس‌های پوشش اراضی تعیین گشته و جهت استخراج کلاس‌های موردنظر به کل تصویر تعمیم داده شده است. آستانه‌هایی که در روش طبقه‌بندی آستانه‌ای (*Threshold Classification*) به کار رفتند، به صورت تجربی و بر اساس دانش تخصصی تفسیرگر تصویر تعیین شدند. با فعال کردن گزینه‌ی "Feature view" در نرم‌افزار *eCognition*، تمام سگمنت‌ها (*segments*) با درجات مختلف خاکستری نمایش داده می‌شوند که با مقدار ویژگی انتخابی مطابقت دارند؛ در این حالت، آستانه‌ی مناسب از طریق روش آزمون و خطا تعیین می‌شود (*Husson et al., 2016*).

• کارتوگرافی و تجزیه و تحلیل داده‌ها

پس از طبقه‌بندی و استخراج کلاس‌های کاربری مختلف، نتایج حاصل از فرآیند طبقه‌بندی به نرم‌افزار *ArcGIS* برای انجام عملیات کارتوگرافی و تحلیل‌های مکانی منتقل شدند. در این مرحله:

- ساخت نقشه‌های تغییرات کاربری اراضی: نقشه‌هایی تهیه شد که تغییرات کاربری در طول زمان (۲۰۰۰-۲۰۲۴) را نشان می‌دهند.
- تحلیل فضایی تغییرات کاربری: تحلیل‌های فضایی به منظور شبیه‌سازی روند تغییرات کاربری اراضی در آینده و بررسی اثرات آن بر پایداری سیمای سرزمین انجام شد.

• محاسبه سنجه‌های سیمای سرزمین

سنجه‌ها ابزاری کارآمد برای درک ساختار، کارکرد و پویای سیمای سرزمین هستند و در هدایت توسعه شهری پایدار نقش محوری دارند (کاپوانی و همکاران، ۱۳۹۴). سنجه‌های سرزمین برای کمی‌سازی خصوصیات فضایی لکه‌ها و کلاس‌ها به کار می‌روند و به شناسایی ناهمگنی‌های فضایی و تغییرات الگوهای رشد شهری کمک می‌کنند. در این مطالعه، با استفاده از نرم‌افزار *FRAGSTATS* و پس از طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای با رویکرد شیء‌گرا، ۱۲ سنجه در سطح کلاس و ۱۷ سنجه در سطح چشم‌انداز برای کمی‌سازی تغییرات کاربری/پوشش اراضی در شهر اربیل و نواحی پیرامون انتخاب شدند. این سنجه‌ها نمایانگر خصوصیات ترکیب و شکل سیمای سرزمین بوده و جزئیات آن‌ها در جدول (۳) ارائه شده است.

جدول ۳. سنجه‌های سیمای سرزمین مورد استفاده در روند پژوهش

ردیف	علامت اختصاری	نام فارسی سنجه	فرمول	واحد	دامنه تغییرات
۱	CA	مساحت کلاس	$CA = \sum_{i=1}^n a_{ij} \left(\frac{1}{10000} \right)$	هکتار	$CA > 0$
۲	PLAND	درصد پوشش کلاس	$PLAND = \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij}}{A} (100)$	درصد	0 - 100
۳	NP	تعداد لکه‌ها	$NP = N$	عدد	$NP \geq 1$
۴	PD	تراکم لکه‌ها	$PD = \frac{ni}{A} (10000)(100)$	تعداد در هر 10000 هکتار	$PD > 0$
۵	LPI	درصد بزرگ‌ترین لکه	$LPI = \frac{\max(a_{ij})}{A} (100)$	درصد	0 - 100
۶	LSI	شاخص پیچیدگی لبه	$LSI = \frac{0/25 \sum_{k=1}^m e_{ik}}{\sqrt{A}}$	بدون واحد	$LSI \geq 1$
۷	PAFRAC	شاخص فراکتال محیط	$PAFRAC = 2 \ln(p) / \ln(a)$	بدون واحد	1 - 2
۸	CLUMPY	شاخص تجانس لکه‌ها	$CLUMPY = (g_{ii} - P_i) / (1 - P_i)$	بدون واحد	$-1 \leq CLUMPY \leq 1$
۹	III	شاخص درهم‌تنیدگی لکه‌ها	$III = -\sum \sum e_{ij} \ln(e_{ij})$	درصد	0 - 100
۱۰	COHESION	شاخص انسجام فضایی	$COHESION = (1 - \sum (P_{ij} / P_{max})) \times 100$	درصد	0 - 100
۱۱	MESH	میانگین مساحت مؤثر لکه‌ها	$MESH = \sum a_i^2 / A_i$	هکتار	$MESH > 0$
۱۲	AI	شاخص یکنواختی	$AI = (g_{ii} / g_{max}) \times 100$	درصد	0 - 100

0 - 100	درصد	ترکیب فراوانی و مجاورت کلاس‌ها	شاخص پراکندگی	CONTAG	۱۳
0 - 100	درصد	مجموع مجاورت‌های داخلی	شاخص مجاورت اصلاح‌شده	PLADJ	۱۴
0 - 1	بدون واحد	$DIVISION = 1 - \sum (a_i / A_i)^2$	شاخص تقسیم سرزمین	DIVISION	۱۶
$SPLIT \geq 1$	بدون واحد	$SPLIT = A_i^2 / \sum a_i^2$	شاخص قطعه‌قطعه‌شدگی	SPLIT	۱۷
$SHDI \geq 0$	بدون واحد	$SHDI = -\sum p_i \ln(p_i)$	شاخص تنوع شانون	SHDI	۱۸
0 - 1	بدون واحد	$SIDI = 1 - \sum p_i^2$	شاخص تنوع سیمپسون	SIDI	۱۹
0 - 1	بدون واحد	$MSDI = \sum SIDI_i / m$	میانگین تنوع سیمپسون	MSDI	۲۰
0 - 1	بدون واحد	$SHEI = SHDI / \ln(m)$	شاخص یکنواختی شانون	SHEI	۲۱
0 - 1	بدون واحد	$SIEI = SIDI / SIDI_{max}$	شاخص یکنواختی سیمپسون	SIEI	۲۲
0 - 1	بدون واحد	$MSIEI = \sum SIEI_i / m$	میانگین یکنواختی سیمپسون	MSIEI	۲۳

منبع: McGarigal et al., 2025



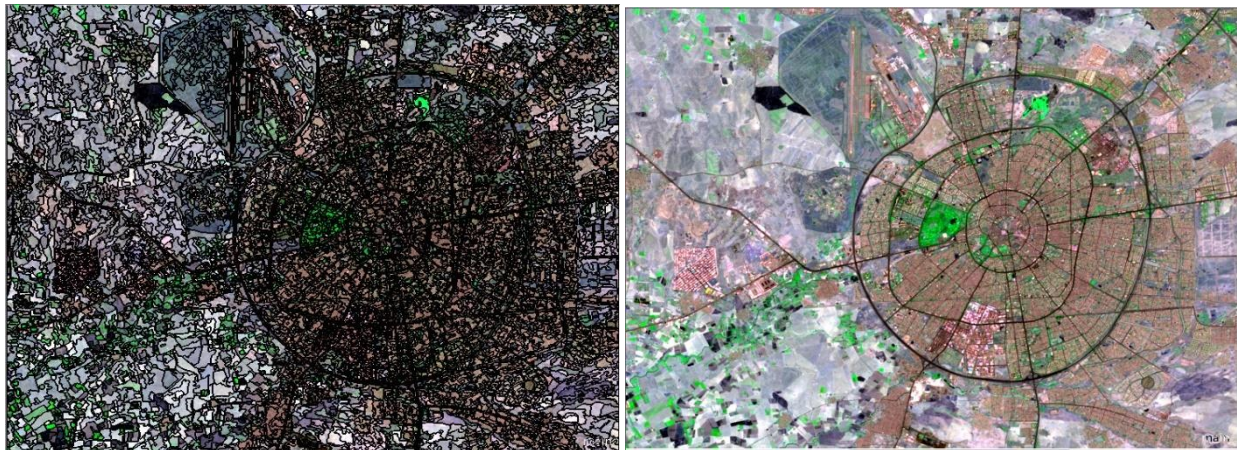
شکل ۲. فلوجارت فرآیند تحقیق

Fig 2. Research Process Flowchart

نتایج و بحث

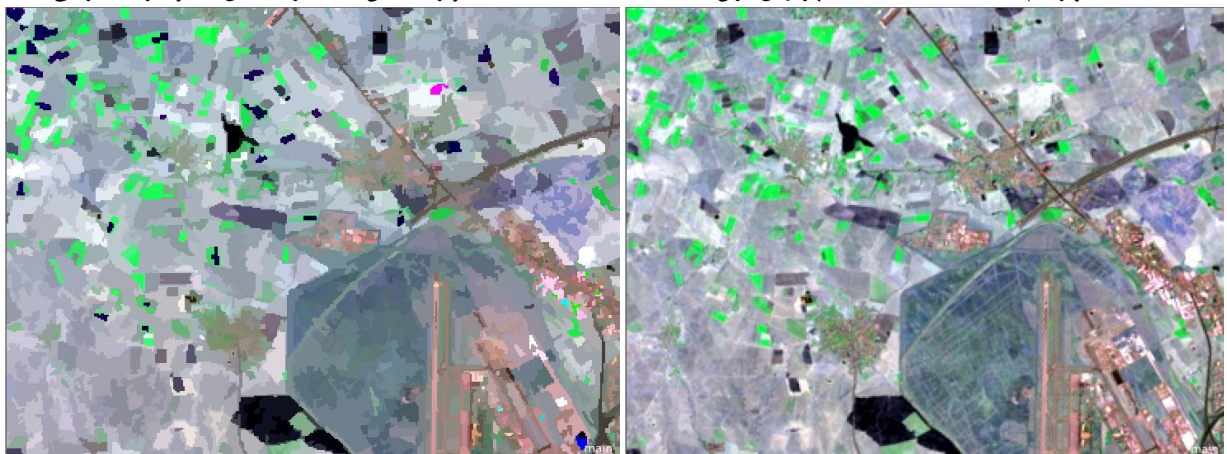
در این بخش نتایج حاصل از پردازش تصاویر ماهواره‌ای با استفاده از روش آستانه گذاری در محیط نرم افزار اکونیشن ارائه شده است و در ادامه به بررسی تغییرات مساحت کاربری اراضی در شهر اربیل در بازه‌های زمانی مختلف از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۴ پرداخته شده است جدول (۲). جهت پردازش تصاویر، ابتدا ایجاد کوچک‌ترین واحد پردازش (اشیای تصویر) ضروری هست که در

پژوهش جاری از الگوریتم قطعه‌بندی چندتفکیکی جهت ایجاد اشیای تصویر استفاده شد (احمدی و همکاران، ۱۳۹۶، Rasouli et al., 2022). برای تصاویر لندست ۸ و ۹، مقیاس ۱۳۰، ضریب شکل ۰/۴ و ضریب فشردگی ۰/۶ انتخاب شد و کل تصویر به ۲۱۷۱۸ شیء مختلف تقسیم شد؛ اندازه و شکل این اشیاء به‌خوبی توانسته‌اند عناصر خارج از ناحیه شهری را نیز از یکدیگر متمایز کنند. برای تصاویر لندست ۵ سالهای ۲۰۰۰ و ۲۰۰۸ نیز از مقیاس ۵۰ با ضریب شکل ۰/۵ و ضریب فشردگی ۰/۵ استفاده شده و تعداد ۳۶۶۳۱ شیء تصویر (آبجکت) ایجاد شد.



۱. تصویر خام لندست ۹ سنجنده OLI شهر اربیل عراق

۲. قطعه‌بندی تصویر با مقیاس ۱۳۰، ضریب شکل ۰/۴ و ضریب فشردگی ۰/۶



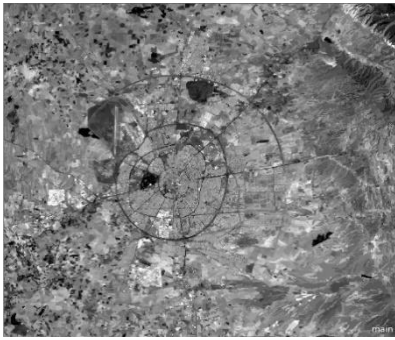
۳. تصویر لندست بخشی از منطقه

۴. قطعات ایجاد شده پس از قطعه‌بندی تصویر

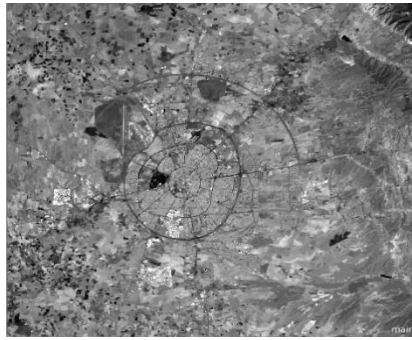
شکل ۳. قطعه‌بندی تصویر و ایجاد اشیای پردازش

Fig 3. Image segmentation and creating processing objects

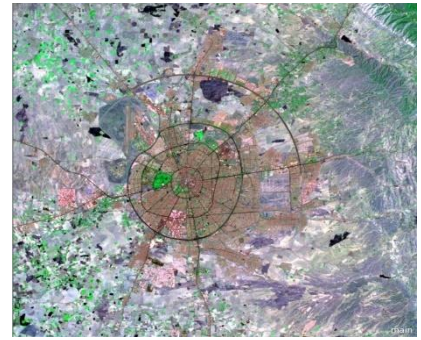
پس از ایجاد اشیای تصویر، به بررسی نحوه اعمال الگوریتم‌ها در چارچوب شیء‌گرا پرداخته شده است. هدف، ارائه روش‌هایی برای پیاده‌سازی مؤثر الگوریتم‌ها با استفاده از اصول طراحی شیء‌گرا است، به‌گونه‌ای که منجر به افزایش انسجام و کاهش وابستگی بین اجزای سیستم شود. در ادامه، چگونگی ادغام الگوریتم‌ها در ساختارهای شیء‌گرا مورد تحلیل قرار می‌گیرد شکل (۴)، الگوریتم‌های شیء‌گرا را نشان می‌دهد.



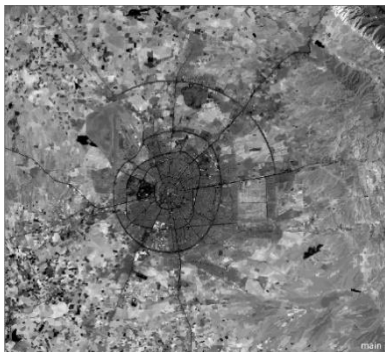
میانگین باند سبز



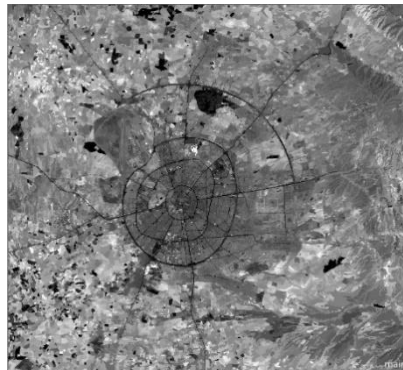
میانگین باند آبی



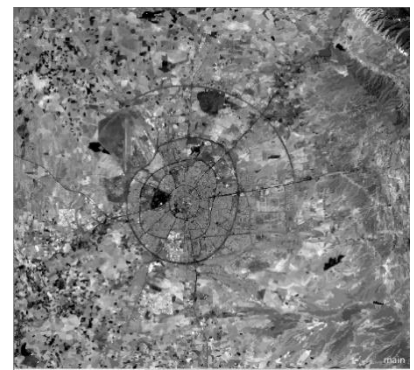
تصویر رنگی کاذب RGB



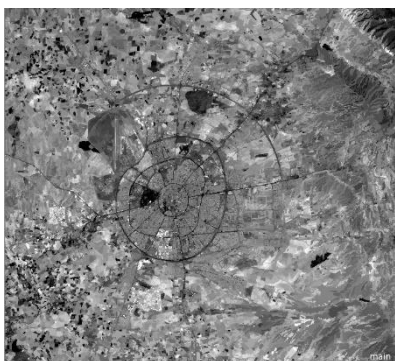
میانگین باند مادون قرمز میانی



میانگین باند مادون قرمز نزدیک



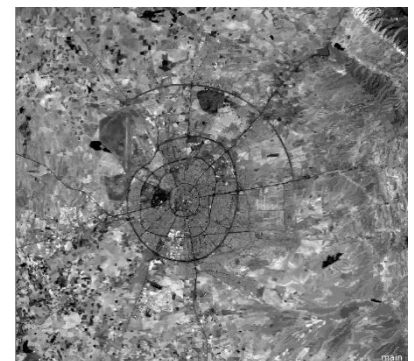
میانگین باند قرمز



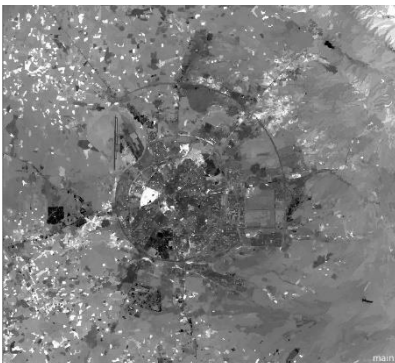
شدت رنگ



فام رنگ



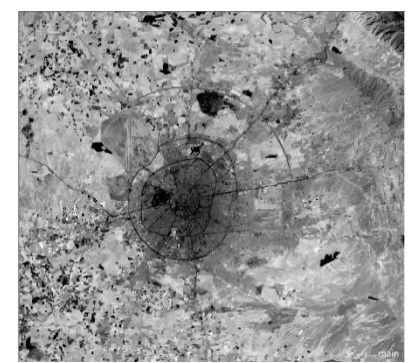
شاخص روشنایی



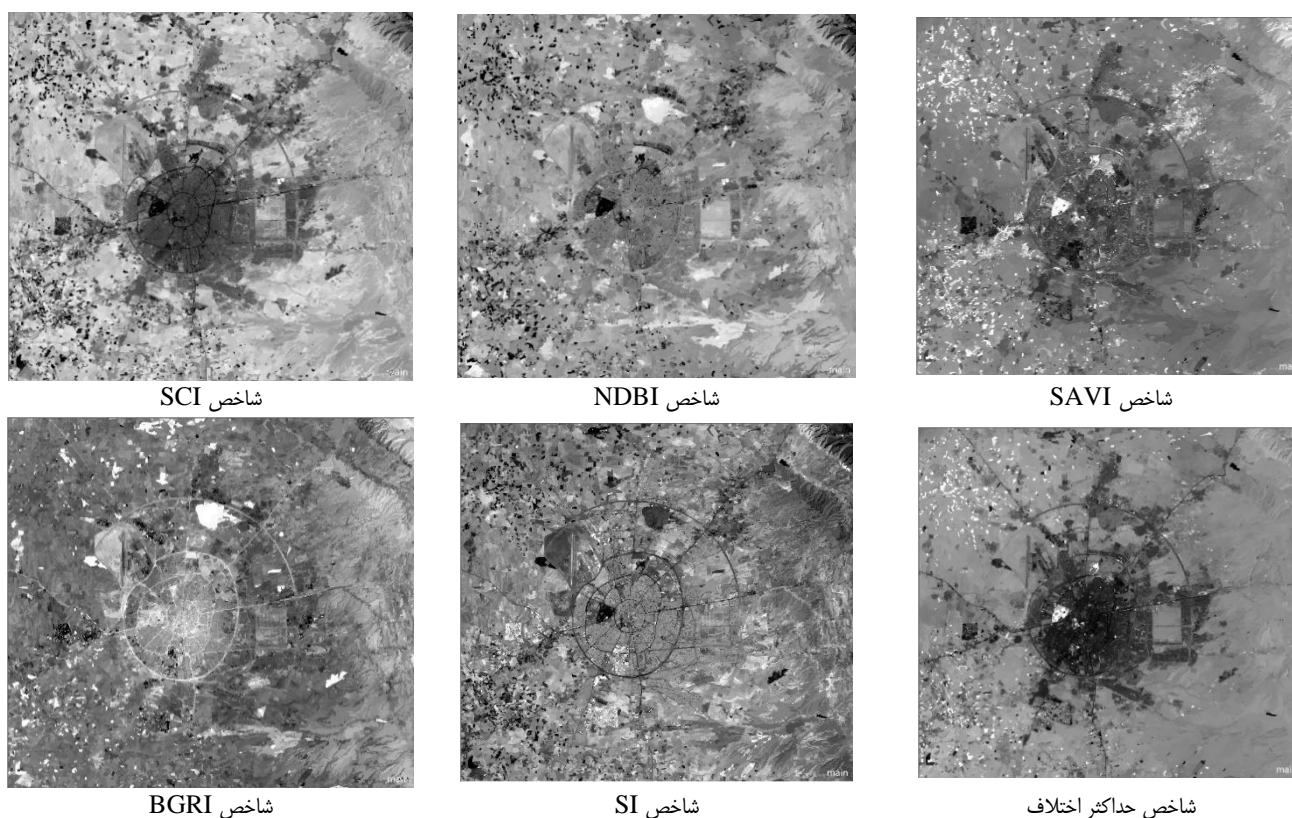
شاخص NDVI



شاخص BULI



اشباع رنگ



شکل ۴. اعمال الگوریتم‌های پردازش

Fig 4. Applying Processing Algorithms

– آستانه‌گذاری معیارهای طبقه‌بندی

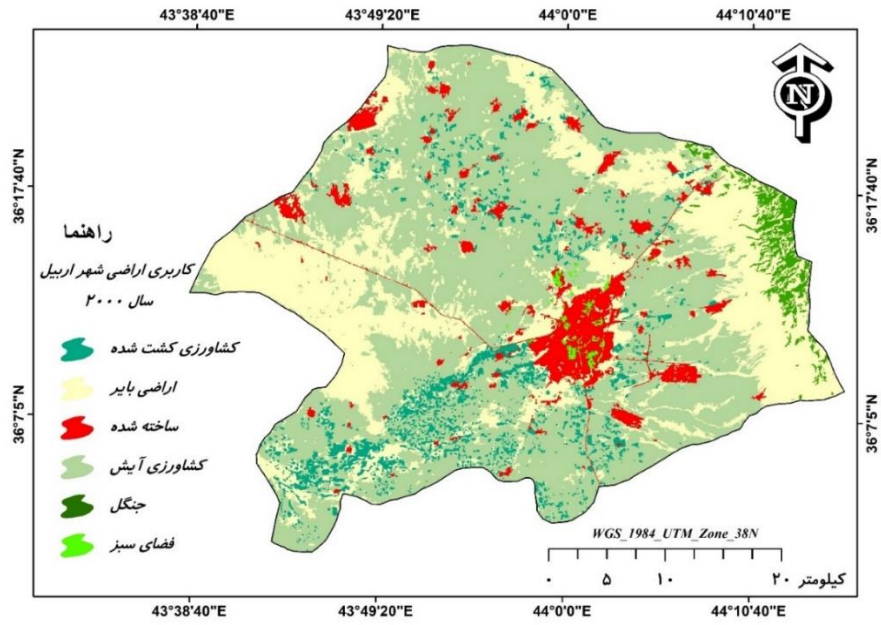
پس از اعمال الگوریتم‌های مختلف شیء‌گرایی بر روی تصاویر، آستانه‌های دقیق استخراج ویژگی‌های مختلف مطابق جدول (۴) استخراج، و طبقات مختلف کاربری اراضی براساس این آستانه‌ها استخراج گردید.

جدول ۴. آستانه ویژگی‌های مختلف در استخراج کاربری اراضی

آستانه	طبقه کاربری اراضی
$0.068 < \text{GLCM Correlation} < 0.761$ $285.65 < \text{GLCM CONTRAST} < 791.43$ $198 < \text{Brightness} < 318$ $\text{BLFEI} > 0.09$; $0.328 < \text{Rectangular Fit} < 1$ $\text{Mean BI} < 0.14$; $0 < \text{NDBI} < 0.19$	مناطق ساخته شده شهری
$85.806 < \text{Mean Blue} < 220.18$; $111.268 < \text{GLCM Mean} < 141.5$ $\text{Mean BSE} > 0.11$; $-0.05 < \text{Mean NDVI} < 0.035$ $\text{Brightness} \geq 135$	اراضی بایر
$0.23 < \text{Mean NDVI} < 0.34$; $\text{GNDVI} \geq 0.3$ $0.39 < \text{SAVI} < 0.51$; $758 < \text{Mean DEM} < 1087$ $\text{GNDVI} \geq 0.15$; $\text{Mean Slope} < 6$	جنگل
$180.546 < \text{Mean NIR} < 289.65$; $258 < \text{Mean DEM} < 461$ $-0.123 < \text{Mean NDVI} < 0.365$; $\text{Mean SAVI} > 0.27$	کشاورزی کشت شده
$0 < \text{Mean NDVI} < 0.1$; $\text{Mean Brightness} \geq 0.2$ $1.02 \leq \text{Shape Index} \leq 1.28$; $\text{Rectangular fit} \geq 0.87$ $2.5531 < \text{GLCM Contrast} < 9.642$; $\text{SCI} \leq 0.04$	کشاورزی آیش
$\text{Mean SAVI} \geq 0.36$; $\text{Mean NDVI} \geq 0.21$	فضای سبز

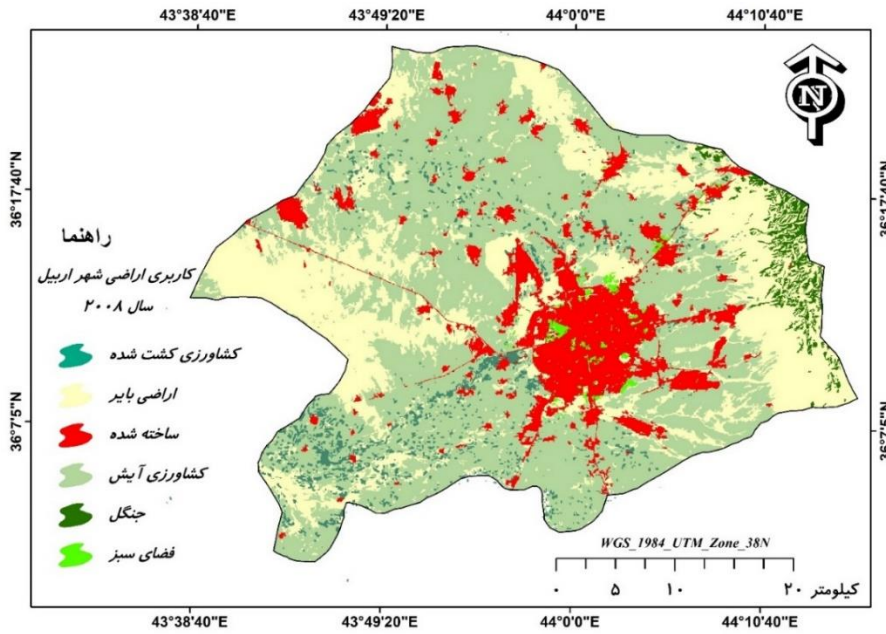
منبع: یافته‌های تحقیق

پس از تعیین آستانه‌ها و اعمال این شاخص‌ها، کلاس‌های طبقات اراضی مطابق اشکال ۵ تا ۸ بدست آمد.



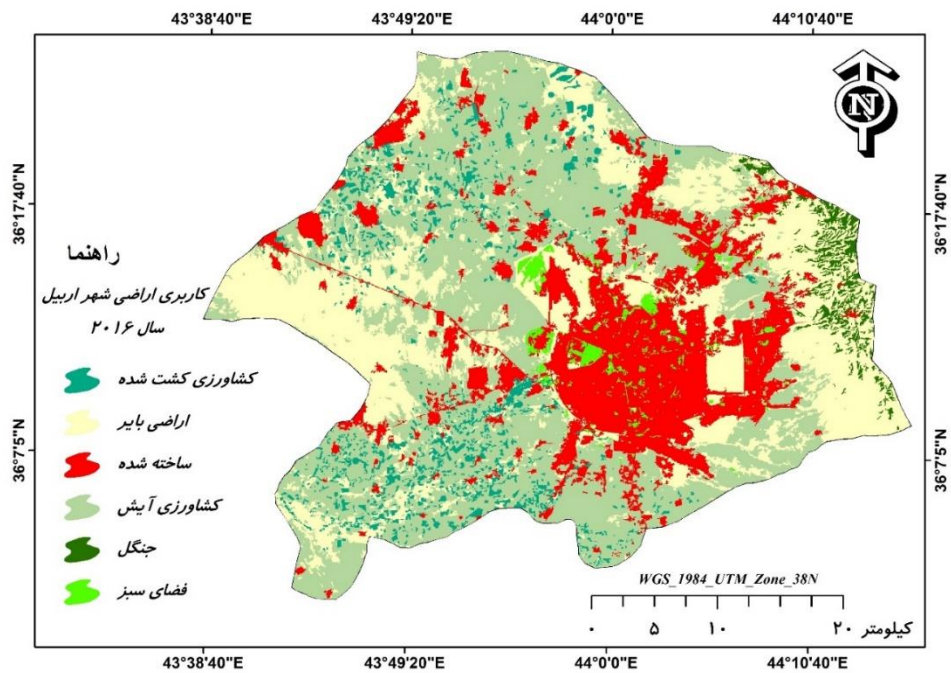
شکل ۵. نقشه طبقات کاربری اراضی شهر اربیل در سال ۲۰۰۰

Fig 5. Land Use/Land Cover (LULC) Map of Erbil City in 2000



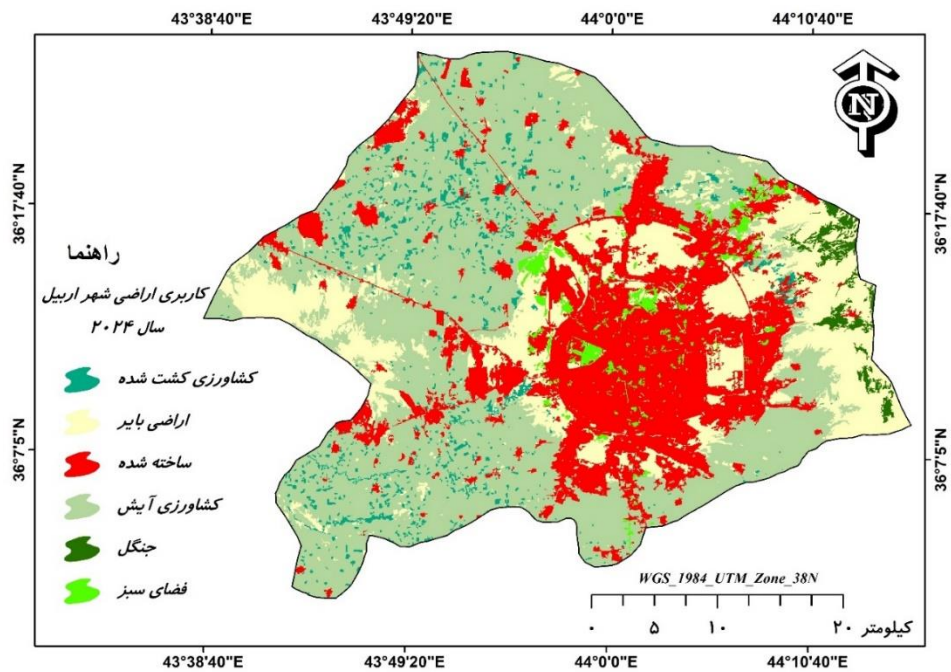
شکل ۶. نقشه طبقات کاربری اراضی شهر اربیل در سال ۲۰۰۸

Fig 6. Land Use/Land Cover (LULC) Map of Erbil City in 2008



شکل ۷. نقشه طبقات کاربری اراضی شهر اربیل در سال ۲۰۱۶

Fig 7. Land Use/Land Cover (LULC) Map of Erbil City in 2016



شکل ۸. نقشه طبقات کاربری اراضی شهر اربیل در سال ۲۰۲۴

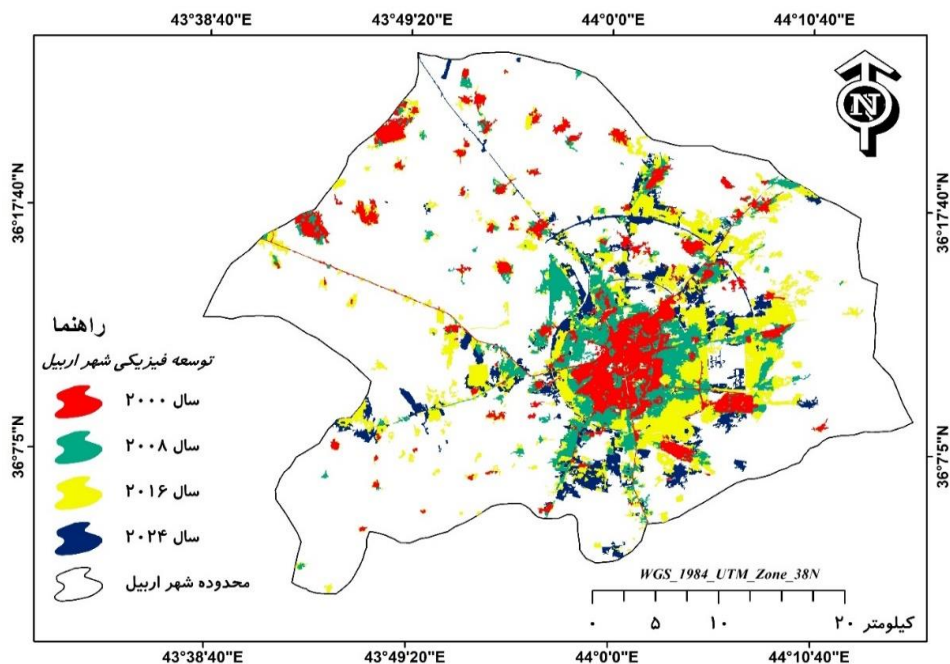
Fig 8. Land Use/Land Cover (LULC) Map of Erbil City in 2024

براساس نتایج، اراضی کشاورزی آیش با مساحت ۷۷۱,۲۵۴ کیلومتر مربع در سال ۲۰۰۰، بیشترین سهم را در میان سایر کاربری‌ها به خود اختصاص داده و ۵۳,۴۷۴ درصد از مساحت کل را شامل می‌شود. این نسبت در سال ۲۰۰۸ به ۵۰,۹۳۷ درصد کاهش یافته و در سال ۲۰۱۶ به ۴۱,۵۳۷ درصد می‌رسد، اما در سال ۲۰۲۴ دوباره به ۴۹,۶۷۶ درصد افزایش می‌یابد. در مقابل،

اراضی بایر که در سال ۲۰۰۰ مساحتی برابر با ۴۶۱,۸۳۸ کیلومتر مربع و ۳۲,۰۲۱ درصد از کل مساحت را به خود اختصاص داده، در سال ۲۰۲۴ به ۲۸۶,۰۸۷ کیلومتر مربع و ۱۹,۸۳۶ درصد کاهش یافته است. این کاهش قابل توجه نشان‌دهنده تغییرات در استفاده از اراضی و ممکن است به افزایش توسعه شهری و تغییرات در کاربری‌های دیگر مرتبط باشد. کاربری‌های ساخته شده، که در سال ۲۰۰۰ تنها ۶,۱۸۰ درصد از کل مساحت را شامل می‌شد، به‌طور چشمگیری افزایش یافته و در سال ۲۰۲۴ به ۲۴,۱۱۵ درصد می‌رسد. این افزایش نشان‌دهنده رشد و توسعه زیرساخت‌ها و مناطق مسکونی در اربیل است. همچنین، اراضی کشاورزی کشت شده در طول این سال‌ها نوساناتی را تجربه کرده است. در سال ۲۰۰۰، این نوع کاربری ۶,۰۰۴ درصد از کل مساحت را شامل می‌شد، اما به تدریج در سال ۲۰۲۴ به ۳,۲۵۵ درصد کاهش یافته است. این کاهش می‌تواند به تغییرات اقتصادی و افزایش نیاز به اراضی برای ساخت‌وسازها مرتبط باشد. در نهایت، فضای سبز و جنگل‌ها نیز تغییراتی را نشان می‌دهند؛ به‌طوری که فضای سبز از ۰,۴۳۹ درصد در سال ۲۰۰۰ به ۱,۹۲۶ درصد در سال ۲۰۲۴ افزایش یافته است، در حالی که جنگل‌ها به تدریج کاهش یافته‌اند.

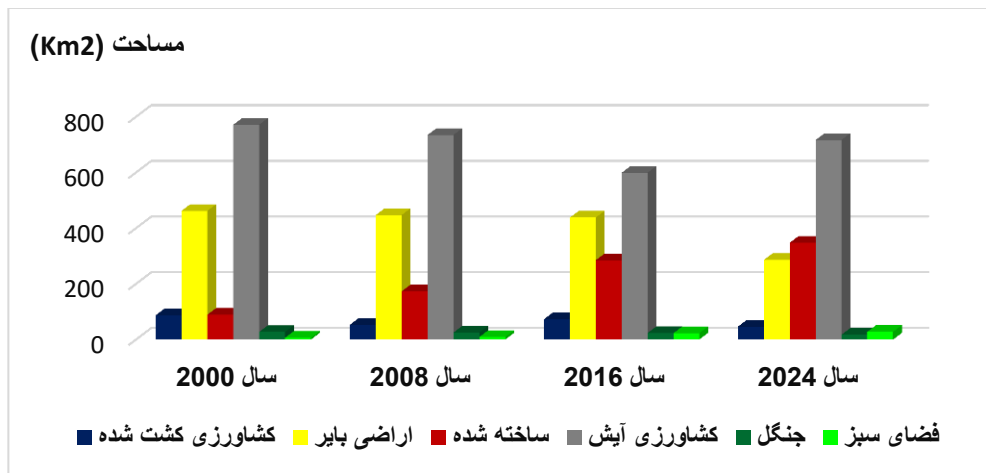
جدول ۵. مساحت کاربری اراضی در شهر اربیل در بازه مطالعاتی مختلف

نوع کاربری اراضی	سال ۲۰۰۰		سال ۲۰۰۸		سال ۲۰۱۶		سال ۲۰۲۴	
	مساحت (Km2)	درصد مساحت	مساحت (Km2)	درصد مساحت	مساحت (Km2)	درصد مساحت	مساحت (Km2)	درصد مساحت
کشاورزی کشت شده	۸۶/۵۹۴	۶/۰۰۴	۵۲/۰۴۰	۳/۶۷۸	۷۳/۴۱۰	۵/۰۹۰	۴۶/۹۴۹	۳/۲۵۵
اراضی بایر	۴۶۱/۸۳۸	۳۲/۰۲۱	۴۴۷/۰۷۶	۳۰/۹۹۸	۴۳۸/۲۲۰	۳۰/۳۸۴	۲۸۶/۰۸۷	۱۹/۸۳۶
ساخته شده	۸۹.۱۲۶	۶.۱۸۰	۱۷۳.۰۸۹	۱۲.۰۰۱	۲۸۵.۱۸۳	۱۹.۷۷۳	۳۴۷.۸۱۲	۲۴.۱۱۵
کشاورزی آیش	۷۷۱/۲۵۴	۵۳/۴۷۴	۷۳۴/۶۵۷	۵۰/۹۳۷	۵۹۹/۰۸۵	۴۱/۵۳۷	۷۱۶/۴۶۳	۴۹/۶۷۶
جنگل	۲۷/۱۳۳	۱/۸۸۱	۲۵/۱۱۶	۱/۷۴۱	۲۳/۴۴۱	۱/۶۲۵	۱۷/۱۹۷	۱/۱۹۲
فضای سبز	۶/۳۳۹	۰/۴۳۹	۹/۳۰۶	۰/۶۴۵	۲۲/۹۴۶	۱/۵۹۱	۲۷/۷۷۶	۱/۹۲۶
مجموع	۱۴۴۲/۲۸۴	۱۰۰	۱۴۴۲/۲۸۴	۱۰۰	۱۴۴۲/۲۸۴	۱۰۰	۱۴۴۲/۲۸۴	۱۰۰



شکل ۹. توسعه فیزیکی شهر اربیل در سال‌های مختلف

Fig 9. Physical Expansion of Erbil City in Different Years



شکل ۱۰. نمودار تغییرات کلاس‌های تغییرات کاربری اراضی

Fig 10. Change Detection Chart for Land Use Classes

ارزیابی دقت طبقه‌بندی

دقت به‌عنوان میزان تطابق بین مقادیر طبقه‌بندی‌شده و نمونه‌های آموزشی تعریف می‌شود (یانگ^۱ و همکاران، ۲۰۱۳). برای ارزیابی طبقه‌بندی‌ها، از شاخص‌های دقت کاربری، دقت تولیدکننده، دقت کلی و آماره کاپا استفاده شده است. صحت طبقه‌بندی با مقایسه نمونه‌های طبقه‌بندی‌شده با اطلاعات زمینی به‌عنوان معیاری برای کیفیت اطلاعات استخراج‌شده از داده‌های سنجش از دور محاسبه می‌شود (پررگرینی و کاسلا^۲، ۲۰۲۲). ارزیابی صحت می‌تواند به‌صورت کیفی یا کمی باشد و هدف آن مشخص کردن و اندازه‌گیری خطاهای نقشه است (ویجایا^۳ و همکاران، ۲۰۱۵: ۵۶۳). نقشه‌های حاصل از تصاویر ماهواره‌ای از طریق ماتریس خطا، صحت تولیدکننده، صحت کاربری، صحت کل و ضریب کاپا ارزیابی می‌شوند (ناولور^۴، ۲۰۰۶). ماتریس خطا روابط بین داده‌های مرجع و نتایج طبقه‌بندی‌شده را به‌صورت کلاس به کلاس مقایسه می‌کند (دراگون و بلاشک^۵، ۲۰۰۶: ۳۴۰). تحلیل کاپا اختلاف اساسی در ماتریس خطا را مشخص می‌کند (فسنچات^۶ و همکاران، ۲۰۱۴: ۱۱۱). در این تحقیق، دقت پارامترهای آماری شامل ضریب کاپا و دقت کلی با استفاده از ۳۰۰ نمونه زمینی تصادفی محاسبه و نتایج در جدول شماره (۶) ارائه شده است. بر اساس دستورالعمل معتبر *Congalton & Green (2019)*، برای ارزیابی دقت طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای لازم است برای هر کلاس کاربری حداقل ۳۰ نمونه آموزشی (*Training*) و ۵۰ نمونه اعتبارسنجی (*Validation*) انتخاب شود. با توجه به وجود ۶ کلاس کاربری در این پژوهش، تعداد ۱۸۰ نمونه آموزشی و ۳۰۰ نمونه اعتبارسنجی مورد نیاز بوده و در مجموع ۴۸۰ نمونه برای آموزش و ارزیابی دقت طبقه‌بندی به‌کار گرفته شد. این حجم نمونه مطابق استانداردهای بین‌المللی بوده و دقت شاخص‌هایی چون *Overall Accuracy* و *Kappa* را در نتایج این پژوهش تضمین می‌کند.

جدول ۶. ماتریس خطای طبقه‌بندی

ماتریس خطا	ساخته شده	کشاورزی کشت شده	فضای سبز	جنگل	کشاورزی آیش	اراضی بایر	مجموع
ساخته شده	۱۶۳۸۴	۳۲	۶۶۳	۰	۲۵۲	۱۲۸۹	۱۸۶۲۰
کشاورزی کشت شده	۰	۳۶۶۲	۰	۰	۰	۰	۳۶۶۲
فضای سبز	۱۶۳	۵۶	۱۸۱۵	۰	۰	۰	۲۰۳۴

1. Yang
2. Perregrini & Casella
3. Wijaya
4. Navulur
5. Drăguț & Blaschke
6. Fassnacht

۳۰۵۹	۱۰۹۰	۰	۱۹۶۹	۰	۰	۰	جنگل
۲۵۶۸۷	۳۶۷۷	۲۱۵۸۰	۰	۰	۴۲۰	۰	کشاورزی آیش
۵۲۵۹۲	۵۱۸۱۷	۱۴۶	۴۹۳	۴۱	۳۰	۶۵	اراضی بایر
۰	۵۷۸۷۳	۲۱۹۸۸	۲۴۶۲	۲۵۱۹	۴۲۰۰	۱۶۶۱۲	مجموع
	۰/۸۹۵۳	۰/۹۸۱۸	۰/۷۹۹۷	۰/۷۲۰۵	۰/۸۷۲۰	۰/۹۸۶۲	تولید کننده
	۰/۹۸۵۲	۰/۸۴۰۵	۰/۶۴۳۶	۰/۸۹۲۳	۱	۰/۸۸	کاربر
	۰/۹۳۸۱	۰/۹۰۵۷	۰/۷۱۳۲	۰/۷۹۷۲	۰/۹۳۱۵	۰/۹۳	(Heldenهلدن)
	۰/۸۸۳۵	۰/۸۲۷۶	۰/۵۵۴۳	۰/۶۶۲۸	۰/۸۷۲	۰/۸۶۹۲	short
	۰/۷۹۱۶	۰/۹۷۶	۰/۷۹۳۷	۰/۷۱۵	۰/۸۶۷۳	۰/۹۸۳۳	کاپا برای هر کلاس
							دقت کلی
							کاپا

استفاده از متریک‌های سیمای سرزمین در ارزیابی روند تغییرات کاربری

پس از طبقه بندی تصاویر ماهواره‌ای مورد بررسی در پژوهش جاری، به منظور درک صحیح سیمای سرزمین منطقه مورد مطالعه، از سنجه‌های سیمای سرزمین که پیش‌تر در فصل سوم به تفصیل شرح آن داده شده است، استفاده شد. از سنجه‌های سیمای سرزمین می‌توان در برنامه‌ریزی برای منابع طبیعی و کاربری پایدار زمین استفاده کرد. در عمل سنجه‌های سیمای سرزمین به عنوان شاخص‌های کمی‌ساز محیط زیست مطرح می‌شوند (لئیتائو^۱ و همکاران، ۲۰۰۶). شناخته‌ترین نرم‌افزار در زمینه مطالعه الگوهای سیمای سرزمین نرم‌افزار FRAGSTATS است (اسچاورز^۲، ۲۰۱۰). این نرم‌افزار در حقیقت یک برنامه تجزیه و تحلیل الگوی مکانی برای کمی‌سازی ساختار سیمای سرزمین است (وو^۳ و همکاران، ۲۰۱۱). در این پژوهش نیز از این نرم‌افزار استفاده شده است. جدول (۷) مقادیر سنجه‌های سیمای سرزمین محدوده مطالعه را که برای هر کدام از ۴ سال محاسبه شده است نشان می‌دهد.

جدول ۷. سنجه‌های سیمای سرزمین در سطح کلاس سال ۲۰۰۰

سال	کلاس	CA	PLAND	NP	PD	LPI	LSI	PAFRAC	CLUMPY	LJI	COHESION	MESH	AI
۲۰۰۰	کشت شده	۸۶۵۹/۴۴	۶/۰۰۴	۱۰۸۸	۰/۷۵۴	۰/۶۷۲	۴۴/۲۵۷	۱/۴۰۵	۰/۸۵۰	۴۲/۰۶۵	۹۵/۴۵	۹/۶۳۴	۸۵/۹۶۲
	اراضی بایر	۴۶۱۸۳/۷۷	۳۲/۰۲۱	۶۴۸	۰/۴۴۹	۱۱/۹۶۵	۴۲/۲۴۷	۱/۴۹۲	۰/۹۱۵	۶۴/۲۵۶	۹۹/۵۴	۳۴۹۹/۳۸۶	۹۴/۲۳۲
	ساخته شده	۸۹۱۲/۶۱	۶/۱۷۹	۱۵۶	۰/۱۰۸	۲/۶۴۷	۲۶/۱۱۵	۱/۴۷۶	۰/۹۱۴	۷۰/۳۸۲	۹۸/۷۸۴	۱۰۶/۹۰۰	۹۱/۹۸۵
	آیش	۷۷۱۲۵/۴۱	۵۳/۴۷۴	۳۴۶	۰/۲۳۹	۲۳/۷۳۸	۳۷/۰۰۳	۱/۴۴۶	۰/۹۱۶	۵۹/۵۴۷	۹۹/۸۵۳	۱۴۱۲۰/۴۵۲	۹۶/۱۰۵
	جنگل	۲۷۱۳/۳۲	۱/۸۸۱	۷۸	۰/۰۵۴	۰/۷۷۰	۲۱/۶۹۲	۱/۵۷۶	۰/۸۷۷	۷/۶۰۷	۹۸/۳۰۹	۱۰/۸۳۹	۸۷/۹۸۷
	فضای سبز	۶۳۳/۸۷	۰/۴۳۹	۸۶	۰/۰۵۹	۰/۰۶۶	۱۴/۱۴۸	۱/۴۵۷	۰/۸۴۰	۴۵/۶۲۸	۹۴/۲۲۰	۰/۱۹۲۱	۸۴/۱۲۸

در سال ۲۰۰۰، سیمای سرزمین شهر اربیل تنوعی از کاربری‌های اراضی را نشان می‌دهد که از نظر ساختاری و اکولوژیکی تفاوت‌های معناداری با یکدیگر دارند. اراضی بایر با داشتن بیشترین مقدار سطح ($CA=46183.8$ هکتار) و درصد پوشش ($PLAND=32.02\%$) بیشترین گسترش فضایی را داشته‌اند، و همچنین با $LPI=0.4493$ دارای لکه‌های بزرگ‌تری

1. Leitao
2. Schwarz
3. Wu

هستند که به شکل غالب در چشم‌انداز حضور دارند. در مقابل، فضاهای سبز کمترین وسعت (هکتار $CA=633.87$) و درصد پوشش ($PLAND=0.44$) را دارند که نشان‌دهنده سهم ناچیز این کاربری در ساختار اکولوژیکی منطقه است. از نظر تعداد لکه‌ها، کشاورزی با $NP=1088$ بالاترین تعداد لکه را دارد که با $PD=0.7544$ و $LSI=44.35$ نشان‌دهنده پراکندگی بالا و پیچیدگی قابل توجه این کاربری است. کاربری‌های جنگل و فضاهای سبز نیز با LSI های نسبتاً بالا ($21/69$ و $14/15$) و مقادیر $PAFRAC$ نزدیک به $1/5$ دارای لبه‌های پیچیده‌تری هستند که برای تحلیل پایداری زیست‌محیطی اهمیت دارد. از نظر تجمیع فضایی، کاربری‌های شهری و کشاورزی دارای مقدار بالای $CLUMPY$ ($0/91$ و $0/85$)، هستند که حاکی از تجانس مکانی و پیوستگی مناسب لکه‌ها در این کاربری‌هاست. همچنین کاربری‌های شهری با $IJI=70.38$ و $COHESION=98.78$ دارای بیشترین هم‌پیوستگی فضایی بین لکه‌ها هستند که نشان‌دهنده انسجام بالا و گسترش فشرده توسعه شهری در این بازه زمانی است. مقدار بالای AI در کاربری‌های شهری ($AI=91.98$) و لم‌یزرع ($AI=94.32$) نیز نشان می‌دهد که الگوی توزیع این لکه‌ها از نظر انسجام هندسی منظم‌تر از سایر کاربری‌هاست.

جدول ۸. سنجه‌های سیمای سرزمین در سطح کلاس سال ۲۰۰۸

سال	کلاس	CA	PLAND	NP	PD	LPI	LSI	PAFRAC	CLUMPY	IJI	COHESION	MESH	AI
۲۰۰۸	کشت شده	۵۲۰۴/۶۲۰	۳/۶۶۶	۱۰۰۷۸	۰/۷۴۸	۰/۱۸۵	۴۴/۱۹۳	۱/۳۵۵	۰/۸۱۴	۳۸/۹۶۵	۹۱/۷۶۵	۱/۴۳۱	۸۲/۰۸۷
	اراضی بایر	۴۴۶۸۷/۸۸۰	۳۱/۰۰۱	۸۰۲	۰/۵۵۶	۹/۰۱۴	۴۴/۵۴۷	۱/۴۳۸	۰/۹۱۰	۶۴/۶۰۰	۹۹/۴۷۱	۲۳۱۵/۳۶۳	۹۳/۸۰۹
	ساخته شده	۱۷۲۹۵/۳۹۰	۱۱/۹۹۸	۱۸۹	۰/۱۳۱	۷/۶۲۸	۲۶/۴۳۱	۱/۴۵۱	۰/۹۳۴	۶۴/۲۸۰	۹۹/۴۴۵	۸۴۶/۴۴۶	۹۴/۱۰۴
	آبش	۷۲۴۴۸/۸۲۰	۵۰/۹۵۴	۴۷۳	۰/۳۲۸	۲۱/۴۵۶	۳۹/۳۹۳	۱/۳۹۶	۰/۹۱۲	۶۲/۹۰۴	۹۹/۷۹۳	۹۷۰۳/۰۴۶	۹۵/۶۹۴
	جنگل	۲۵۰۷/۵۸۰	۱/۷۴۰	۱۳۴	۰/۰۹۳	۰/۴۳۵	۲۷/۳۰۲	۱/۵۰۰	۰/۹۳۹	۶/۵۴۹	۹۶/۹۶۸	۳/۴۲۰	۸۴/۱۴۰
	فضای سبز	۹۲۳/۴۹۰	۰/۶۴۱	۱۵۹	۰/۱۱۰	۰/۰۸۷	۱۶/۵۳۷	۱/۳۹۵	۰/۸۴۴	۶۴/۸۸۰	۹۲/۲۶۹	۰/۲۳۱	۸۴/۴۷۸

در سال ۲۰۰۸ (جدول ۸)، سیمای سرزمین شهر اربیل ترکیبی از سلطه‌ی کاربری‌های طبیعی و کشاورزی است، که بیشترین سطح متعلق به کاربری کشاورزی آبش با مقدار CA برابر با $۷۲۴۴۸,۸$ هکتار و $PLAND$ معادل $۵۰/۹۵$ درصد بوده است. این مساحت بالا در کنار مقدار LSI برابر $۵۹/۲۲$ نشان می‌دهد که این کاربری به‌صورت لکه‌هایی با لبه‌های بسیار پیچیده و گسترش یافته در سطح منطقه پراکنده است. با وجود $NP=582$ و $PD=0.409$ ، مشخص است که لکه‌های کشاورزی آبش نسبتاً بزرگ‌تر و کمتر پراکنده‌اند. کاربری کشاورزی نیز با مساحت قابل توجه $۵۲۰۴,۶۲$ هکتار و LPI بالا ($۰/۷۴۷۸$) به‌عنوان بزرگ‌ترین لکه‌ی منفرد ظاهر می‌شود، که نشان‌دهنده یکپارچگی و تمرکز مکانی این نوع کاربری در نقاط مشخصی از چشم‌انداز است. در مقابل، جنگل‌ها با تنها $۱/۷۳$ درصد از کل سطح منطقه و مقدار پایین $MESH$ (3.42) نشان‌دهنده تکه‌تکه بودن شدید هستند، به‌ویژه که $NP=134$ و $PD=0.093$ ، حاکی از تعداد کم و پراکندگی پایین لکه‌های جنگلی است. در این سال، کاربری‌های مصنوعی مانند مناطق ساخته شده شهری تنها $۱۱/۹۹$ درصد از منطقه را پوشش داده‌اند، اما با شاخص‌های انسجام فضایی مانند $COHESION$ برابر $۹۹/۴۴$ و $CLUMPY$ معادل $۰/۹۳۹۳$ نشان از پیوستگی بالای لکه‌های ساختمانی دارد، هرچند هنوز در مرحله رشد اولیه هستند. کاربری فضای سبز نیز سهمی پایین و پراکندگی بالایی دارد ($NP=159$)، اما مقدار IJI بالا ($۶۴/۸۸$) حکایت از تعامل مکانی زیاد آن با سایر کلاس‌ها دارد. در مجموع، ساختار سیمای سرزمین در سال ۲۰۰۸ بیشتر طبیعی، با الگوهای پراکنده و لکه‌های بزرگ طبیعی و نیمه‌طبیعی است و توسعه شهری هنوز در مراحل ابتدایی قرار دارد.

جدول ۹. سنجه‌های سیمای سرزمین در سطح کلاس سال ۲۰۱۶

سال	کلاس	CA	PLAND	NP	PD	LPI	LSI	PAFRAC	CLUMPY	IJI	COHESION	MESH	AI
۲۰۱۶	کشت شده	۷۳۴۱/۰۳	۵/۰۹۰	۱۰۱۹	۰/۷۰۷	۰/۲۵۱	۴۴/۲۱۷	۱/۳۹۳	۰/۸۴۰	۴۲/۹۳۲	۹۳/۰۶۸	۲/۲۵۲	۸۴/۷۹۴
	اراضی بایر	۴۳۸۲۱/۹۹	۳۰/۳۸۴	۹۳۳	۰/۶۴۷	۷/۲۸۰	۴۷/۱۹۶	۱/۴۰۵	۰/۹۰۵	۷۵/۲۰۹	۹۹/۳۲۰	۱۵۵۴/۷۶	۹۳/۳۶۸
	ساخته شده	۲۸۵۱۸/۳۰	۱۹/۷۷۳	۲۹۵	۰/۲۰۵	۱۵/۱۰۳	۳۳/۳۵۶	۱/۳۹۴	۰/۹۲۸	۷۱/۲۳۴	۹۹/۷۴۳	۳۳۳۲/۱۵	۹۴/۲۴۱
	آیش	۵۹۹۰۸/۵۰	۴۱/۵۳۷	۷۲۱	۰/۵۰۰	۱۷/۳۴۵	۴۵/۵۴۵	۱/۳۸۸	۰/۹۰۷	۶۸/۸۹۲	۹۹/۷۶۹	۷۰۲۵/۲۶	۹۴/۵۳۳
	جنگل	۲۳۴۴/۰۵	۱/۶۲۵	۱۸۷	۰/۱۳۰	۰/۱۸۳	۲۷/۹۰۴	۱/۵۲۶	۰/۸۲۹	۱۲/۵۸۴	۹۵/۷۰۷	۱/۵۰۱	۸۳/۲۱۳
	فضای سبز	۲۲۹۴/۵۵	۱/۵۹۱	۲۸۹	۰/۲۰۰	۰/۲۰۹	۲۶/۰۸۸	۱/۴۸۲	۰/۸۳۹	۵۵/۷۰۳	۹۶/۲۰۳	۱/۵۸۴	۸۴/۱۵۶

در سال ۲۰۱۶ (جدول ۹)، شهر اربیل شاهد تحولی ساختاری در نحوه توزیع و ترکیب کاربری‌های اراضی بوده است. رشد کاربری مناطق ساخته شده شهری چشم‌گیر بوده، به طوری که CA آن به ۲۸۵۱۸٫۳ هکتار رسیده و PLAND آن نیز به ۱۹/۷۷ درصد افزایش یافته که نسبت به سال ۲۰۰۸ رشد چشمگیری دارد. این رشد با $NP=905$ و $PD=0.628$ نشان از پراکندگی نسبتاً بالا دارد، اما شاخص‌های $CLUMPY (0.9282)$ ، $COHESION (99.83)$ و $IJI (71.23)$ حکایت از انسجام ساختاری و تعامل بالای لکه‌های شهری با سایر کاربری‌ها دارد. این نشانه‌ای از توسعه‌ی پیوسته شهری است که در آن لکه‌های ساختمانی در حال گسترش و در عین حال متصل به یکدیگر هستند. کاربری کشاورزی آیش اگرچه در سطح کاهش یافته (PLAND از ۵۰/۹۵ به ۴۱/۵۳ رسیده)، اما همچنان با $CA=59098.5$ و $LSI=45.55$ درصد، مهم‌ترین کاربری از نظر وسعت است. رشد تعداد لکه‌ها ($NP=721$) و ($PD=0.4999$) نشان‌دهنده خرد شدن نسبی این کاربری است که ممکن است ناشی از تبدیل بخشی از آن به کاربری‌های دیگر باشد. کاربری جنگل در این سال کاهش سطح داشته (۲۳۴۴٫۰۵ هکتار) اما مقدار $CLUMPY=0.9507$ و $COHESION=98.7$ نشان می‌دهد که توده‌های باقی‌مانده، همچنان تا حد زیادی پیوسته‌اند. از سوی دیگر، فضای سبز رشد یافته و با افزایش NP و PD ، در حال توزیع وسیع‌تر در سطح شهر است. مقدار بالای AI برای اغلب کلاس‌ها (بیش از ۸۴ درصد) در این سال نشان‌دهنده توزیع به نسبت منظم و همسان لکه‌ها در چشم‌انداز بوده و این یکپارچگی فضایی می‌تواند نقش کلیدی در توسعه پایدار ایفا کند. در مجموع، سال ۲۰۱۶ مرحله‌ی گذار از ساختار طبیعی به ساختاری نیمه‌شهری است که در آن سیمای سرزمین ترکیبی از لکه‌های طبیعی بزرگ و لکه‌های شهری در حال رشد دیده می‌شود.

جدول ۱۰. سنجه‌های سیمای سرزمین در سطح کلاس سال ۲۰۲۴

سال	کلاس	CA	PLAND	NP	PD	LPI	LSI	PAFRAC	CLUMPY	IJI	COHESION	MESH	AI
۲۰۲۴	کشت شده	۴۶۹۴/۹۴۰	۳/۲۵۵	۸۲۰	۰/۵۶۹	۰/۰۹۰	۴۰/۳۰۴	۱/۴۴۹	۰/۸۲۱	۲۹/۲۲۷	۹۱/۲۶۵	۰/۶۹۲	۸۲/۷۰۸
	اراضی بایر	۲۸۶۰۶/۶۰۰	۱۹/۸۳۶	۸۷۶	۰/۶۰۷	۶/۳۱۵	۳۷/۰۹۲	۱/۳۶۸	۰/۹۲۰	۷۸/۶۶۱	۹۹/۲۱۶	۸۱۱/۵۲۰	۹۳/۵۸۵
	ساخته شده	۳۴۷۸۱/۲۲۰	۲۴/۱۱۵	۲۲۵	۰/۱۵۶	۲۰/۲۷۳	۳۱/۲۲۳	۱/۳۹۵	۰/۹۳۶	۶۸/۵۳۵	۹۹/۸۲۹	۵۹۳۵/۶۱۹	۹۵/۱۲۸
	آیش	۷۱۶۴۶/۳۰۰	۴۹/۶۷۶	۲۷۲	۰/۱۸۹	۲۷/۱۴۷	۲۹/۲۶۸	۱/۴۰۷	۰/۹۳۷	۹۷۴/۵۰۱	۹۹/۸۶۱	۱۴۰۱۲/۷۷۱	۹۶/۸۲۷
	جنگل	۱۷۱۹/۷۲۰	۱/۱۹۲	۲۴	۰/۰۱۷	۰/۴۴۱	۱۶/۶۹۰	۱/۶۶۳	۰/۸۸۴	۱۰/۱۰۷	۹۸/۲۰۱	۴/۲۰۸	۸۸/۵۴۵
	فضای سبز	۲۷۷۷/۵۸۰	۱/۹۲۵	۲۳۳	۰/۱۶۲	۰/۱۶۳	۲۶/۷۴۷	۱/۴۸۴	۰/۸۴۹	۶۰/۰۰۳	۹۴/۹۹۹	۱/۵۶۹	۸۵/۲۳۳

در سال ۲۰۲۴ (جدول ۱۰)، ساختار فضایی شهر اربیل بیشتر به سمت توسعه یافتگی شهری و تبدیل کاربری‌های طبیعی به کاربری‌های شهری میل پیدا کرده است، اما به شکل جالبی، برخی کاربری‌های طبیعی مانند کشاورزی آیش دوباره رشد قابل

توجهی داشته‌اند. کشاورزی آیش با $PLAND=49.67$ درصد و مساحت $71646,3$ هکتار، مجدداً کاربری غالب منطقه شده است، اما این بار با $NP=674$ و $LSI=29.26$ که نسبت به سال‌های پیش کاهش یافته و حاکی از ساده‌تر شدن لبه‌های لکه‌ها و کاهش پیچیدگی آن‌هاست. این ممکن است نتیجه سیاست‌های اصلاح کاربری یا بازگردانی زمین‌ها به حالت طبیعی باشد. کاربری مناطق ساخته شده شهری تقریباً تثبیت شده و با مقدار $CA=28416.2$ و $PLAND=21.11$ درصد، بخش عمده‌ای از سطح شهر را اشغال کرده است. با این حال، افزایش NP به 1125 و کاهش نسبی $CLUMPY$ و IJI نشان از افزایش پراکندگی لکه‌های شهری دارد، که می‌تواند ناشی از توسعه بی‌رویه و گسترش افقی سکونت‌گاه‌ها باشد. کاربری کشاورزی به شدت کاهش یافته و با مقدار $PLAND=3.25$ و LPI بسیار پایین ($0/9101$) نشان می‌دهد که زمین‌های کشاورزی یا به مناطق کشاورزی آیش تبدیل شده‌اند یا در اثر توسعه شهری تخریب شده‌اند. جنگل‌ها بیش از پیش کاهش یافته‌اند ($CA=1719.72$) و مقدار پایین AI و $MESH$ نشان از تخریب ساختاری شدید آن‌ها دارد. فضای سبز اما با $PLAND=1.92$ درصد و $CLUMPY=0.8494$ به لحاظ فضایی ساختاری همگن‌تر شده و افزایش IJI (60.00) تعامل بالای آن را با سایر کاربری‌ها نشان می‌دهد، که می‌تواند نشانه خوبی از پراکندگی معنادار فضاهای سبز در سطح شهر باشد. به طور کلی در سال 2024 ، سیمای سرزمین اربیل ترکیبی از رشد ساخت‌وساز، کاهش تنوع اکولوژیکی و انسجام بیشتر در لکه‌های شهری را نشان می‌دهد، که در آن برخی شاخص‌ها مانند $COHESION$ ، AI و $CLUMPY$ برای کاربری‌های انسانی بالا رفته ولی برای کاربری‌های طبیعی کاهش یافته‌اند؛ این روند می‌تواند نمایانگر چالشی بزرگ در زمینه پایداری محیطی و برنامه‌ریزی شهری آینده باشد.

به طور کلی بررسی روند تغییرات ساختار سیمای سرزمین شهر اربیل از سال 2000 تا 2024 بر اساس سنجه‌های فضایی نشان‌دهنده‌ی تحولات چشم‌گیر در ترکیب و الگوی فضایی کاربری‌های اراضی است که بیانگر تغییرات کاربری ناشی از عوامل انسانی و اکولوژیکی می‌باشد. در بازه‌ی زمانی مورد نظر، اراضی بایر از سال 2000 که دارای بیشترین سطح پوشش $(PLAND=32.02\%)$ (و انسجام فضایی بالا $AI=94.32$)، $COHESION=98.85$ بودند، ابتدا در سال 2008 با رشد $(PLAND=38.01\%)$ (و سپس در 2016 $(30/83\%)$ و 2024 $(19/83\%)$) با روند کاهشی مواجه شدند که نشان‌دهنده‌ی تبدیل تدریجی این اراضی به سایر کاربری‌ها به‌ویژه کاربری‌های شهری و کشاورزی آیش است. در مقابل، کاربری شهری با رشد پیوسته‌ای در تمامی سنجه‌ها از جمله افزایش مساحت CA از 8022 در 2000 به $28416/2$ در 2024 ، درصد پوشش (از $5/56$ ، به $21/11\%$)، و انسجام فضایی ($COHESION$) از $98/78$ به $99/82$ و IJI از $70/38$ به $71/55$ مواجه بوده که نشان‌دهنده‌ی گسترش فشرده و پایدار شهر در طی این مدت است. کاربری کشاورزی از سال 2000 تا 2024 کاهش قابل توجهی را تجربه کرده است $PLAND$ از $3/88\%$ به $3/25\%$ که همزمان با کاهش LPI و $MESH$ ، از پراکندگی بالا به سمت لکه‌های کوچک‌تر و پراکنده‌تر سوق یافته است کشاورزی آیش که در سال 2000 سهم اندکی داشت، به تدریج تا سال 2008 به بیش از 50% منطقه رسید و پس از کاهش در 2016 ، مجدداً در سال 2024 به جایگاه غالب خود بازگشت ($PLAND=49.67\%$)، این نوسانات در کنار LSI بالا و تعداد نسبتاً ثابت لکه‌ها (NP) نشان‌دهنده‌ی فرآیندهای پیچیده‌ای مانند مهاجرت روستایی، تغییر کاربری زمین‌های کشاورزی و توسعه ناقص زیرساخت‌هاست. فضاهای سبز در تمام سال‌ها دارای کمترین سهم در ساختار فضایی شهر بوده‌اند، اما روندی افزایشی داشته‌اند $PLAND$ از $0/44\%$ در سال 2000 به $1/92\%$ در سال 2024 ، همراه با افزایش انسجام و تعامل با سایر لکه‌ها (افزایش $CLUMPY$ و IJI)، که می‌تواند ناشی از سیاست‌های توسعه فضای سبز شهری باشد. از نظر سنجه‌های شکلی مانند LSI و $PAFRAC$ ، در اغلب کاربری‌ها روند ساده‌تر شدن لبه‌ها دیده می‌شود که با افزایش ساخت‌وساز و برنامه‌ریزی‌های شهری مرتبط است.

سیمای سرزمین در سطح چشم‌انداز (Landscape)

در سطح کل چشم‌انداز (Landscape Level)، (جدول ۱۱)، ساختار فضایی سیمای سرزمین شهر اربیل طی سال‌های 2000 تا 2024 دچار تحولات چشمگیر و معناداری شده است که این تغییرات به‌وضوح در شاخص‌های کمی استخراج‌شده از نرم‌افزار FRAGSTATS منعکس شده‌اند. شاخص تراکم لکه‌ها (PD) از $1/66$ در سال 2000 به بیشینه $2/38$ در سال 2016 رسید و سپس در 2024 به $1/69$ کاهش یافت؛ این نوسان حاکی از یک دوره پراکندگی شدید لکه‌ها و سپس تجمیع نسبی آن‌هاست.

افزایش مستمر شاخص LPI از ۲۳/۷۳٪ به ۲۷/۱۴٪ نشان می‌دهد که بزرگ‌ترین لکه در سیمای سرزمین - که به احتمال زیاد مناطق ساخته شده شهری است - به تدریج سلطه بیشتری بر کل ساختار یافته است. همزمان، کاهش LSI از ۳۶/۸۹ به ۳۳/۴۲ در سال ۲۰۲۴ بیانگر کاهش پیچیدگی هندسی لکه‌ها و ساده‌تر شدن مرزهای آن‌هاست، امری که معمولاً با توسعه ساخت‌وساز منظم و یکنواخت شهری همراه است. شاخص‌های انسجام فضایی نیز روند افزایشی دارند؛ به‌ویژه COHESION که از ۹۹/۴۶ به ۹۹/۷۱ رسیده و حاکی از انسجام و پیوستگی بالای لکه‌ها در ساختار چشم‌انداز است. این انسجام، در کنار افزایش AI (از ۹۴/۴۳ به ۹۴/۹۹) و III (از ۶۱/۱۵ به ۷۱/۶۲)، نشان‌دهنده یکپارچگی بیشتر ساختار فضایی و افزایش تعامل میان لکه‌های مختلف است که البته بیشتر به نفع توسعه شهری رخ داده و نه پوشش‌های اکولوژیکی. از سوی دیگر، شاخص MESH با افزایش از ۱۷۷۴۷/۴ به ۲۰۷۶۶/۳ گویای آن است که لکه‌های بزرگ‌مقیاس - احتمالاً لکه‌های شهری - در حال تسلط بر ساختار کلی هستند، در حالی که کاهش تدریجی تنوع واقعی و افزایش یکنواختی لکه‌ها در شاخص‌هایی مانند SHEI و SHDI نمایانگر کاهش تنوع عملکردی سیمای سرزمین است. در مجموع، این تغییرات نشان می‌دهند که ساختار سیمای سرزمین اربیل به سمت الگویی با انسجام بالا، لکه‌های بزرگ، پیچیدگی کمتر و تنوع محدودتر حرکت کرده که همه‌ی این ویژگی‌ها معرف روندی ناپایدار از منظر زیست‌محیطی و توسعه‌ی شهری فشرده و بی‌برنامه‌اند. در میان شاخص‌های ساختاری سیمای سرزمین، شاخص تنوع شانون (SHDI: Shannon's Diversity Index) جایگاه ویژه‌ای دارد، زیرا بیانگر تنوع ترکیب کاربری‌ها در یک چشم‌انداز است. این شاخص، که از علم بوم‌شناسی وارد تحلیل‌های فضایی شده، میزان تنوع کاربری‌ها (از نظر تعداد و نسبت مساحت) را در یک منطقه مشخص می‌سازد؛ مقدار بالاتر SHDI نشان‌دهنده ترکیب متنوع‌تر و برابرتر کاربری‌ها است، در حالی که مقدار پایین‌تر آن نمایانگر غلبه‌ی یک یا دو کاربری بر کل چشم‌انداز می‌باشد.

بر اساس جدول (۱۰) شاخص‌های Landscape، مقدار SHDI از ۰/۶۳۵۶ در سال ۲۰۰۰ به ۰/۶۹۸۶ در سال ۲۰۲۴ افزایش یافته است. در نگاه نخست، این افزایش ممکن است نشان‌دهنده تنوع بیشتر باشد، اما تفسیر دقیق‌تر در کنار سایر شاخص‌ها مانند SHEI و SIDI نشان می‌دهد که با وجود این افزایش عددی، ساختار تنوع همچنان نامتوازن باقی مانده است. دلیل آن است که در سال ۲۰۲۴، کاربری‌هایی مانند «ساخته‌شده» و «آیش» بیشترین مساحت را به خود اختصاص داده‌اند و سایر کاربری‌ها مانند جنگل، کشاورزی کشت‌شده و فضای سبز سهم اندکی دارند. بنابراین، گرچه SHDI رشد کرده است، اما تنوع واقعی عملکردی کاهش یافته یا به سمت تک‌محوری شدن سوق یافته است. رشد SHDI در این چشم‌انداز خاص لزوماً به معنای بهبود اکولوژیکی نیست، بلکه نمایانگر گسترش کاربری‌های انسانی و خرد شدن سایر کاربری‌هاست که در نهایت به کاهش پایداری زیست‌محیطی منجر می‌شود. این نتایج با یافته‌های سطح کلاس هم‌راستا و تأییدکننده است. نتایج سطح Landscape به‌خوبی الگوهای مشاهده‌شده در سطح کلاس را تأیید می‌کند و این هم‌پوشانی نشان‌دهنده اعتبار بالای تحلیل‌ها و استنتاج‌های این پژوهش است.

جدول ۱۱. سنجه‌های سیمای سرزمین در سطح چشم‌انداز

سال/سنجه	PD	LPI	LSI	CONTAG	PLADJ	III	COHESION	DIVISION	MESH	Landscape
۲۰۰۰	۱/۶۶۶۱	۲۳/۷۳۸۶	۳۶/۸۹۸۹	۶۰/۹۲۸۵	۹۴/۲۹۰۵	۶۱/۱۵۳	۹۹/۴۶۲۲	۰/۸۷۶۹	۱۷۷۴۷/۴	
۲۰۰۸	۱/۹۶۶۷	۲۱/۴۵۳۲	۳۸/۸۷۶۸	۵۹/۳۴۰۷	۹۴/۰۰۴۳	۶۲/۷۹۵۱	۹۹/۵۹۶۶	۰/۹۱۰۷	۱۲۸۶۹/۸۸	
۲۰۱۶	۲/۳۸۷۹	۱۷/۲۴۵۳	۴۴/۲۹۰۷	۵۴/۰۷۹۲	۹۳/۱۲۲۶	۶۹/۸۷۰۵	۹۹/۵۸۴۲	۰/۹۱۷۴	۱۱۹۱۷/۵۲	
۲۰۲۴	۱/۶۹۸۷	۲۷/۱۴۶۹	۳۳/۴۲۰۶	۵۸/۲۰۱۶	۹۴/۸۴	۷۱/۶۲۲	۹۹/۷۱۱۶	۰/۸۵۶	۲۰۷۶۶/۳۸	
سال / سنجه	SPLIT	SHDI	SIDI	MSDI	SHEI	SIEI	MSIEI	AI		
۲۰۰۰	۸/۱۲۶۷	۱/۱۳۸۹	۰/۶۰۳۷	۰/۹۲۵۶	۰/۶۳۵۶	۰/۷۲۴۵	۰/۵۱۶۶		۹۴/۴۳۶۸	
۲۰۰۸	۱۱/۲۲۰۴	۱/۱۸۵۱	۰/۶۲۸۲	۰/۹۸۹۳	۰/۶۶۱۴	۰/۷۵۳۸	۰/۵۵۲۲		۹۴/۱۵۱۹	
۲۰۱۶	۱۲/۱۰۲۲	۱/۳۳۱۸	۰/۶۹۲۹	۱/۱۸۰۷	۰/۷۴۲۳	۰/۸۳۱۵	۰/۶۵۹		۹۳/۲۷۶۴	
۲۰۲۴	۶/۹۴۵۳	۱/۲۵۱۸	۰/۶۵۴۲	۱/۰۶۱۸	۰/۶۹۸۶	۰/۷۸۵	۰/۵۹۲۶		۹۴/۹۹۲۶	

نتیجه گیری

تحلیل روند تغییرات ساختار فضایی کاربری اراضی در شهر اربیل طی دوره‌ی ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۴ بیانگر دگرگونی‌های قابل توجهی در الگوی سیمای سرزمین این شهر است. تغییراتی که ریشه در رشد شتاب‌زده‌ی شهری، فشار جمعیتی، مهاجرت، و عدم موازنه در برنامه‌ریزی کاربری زمین دارند. افزایش مساحت مناطق ساخته‌شده و هم‌زمان کاهش جنگل‌ها و افت زمین‌های کشاورزی کشت‌شده، نشان‌دهنده‌ی فشار شدید توسعه شهری بر منابع طبیعی است. چنین تغییراتی مشابه آن چیزی است که در پژوهش (وو و همکاران، ۲۰۱۱)، در خصوص الگوی توسعه کلان‌شهرهای ایالات متحده نیز گزارش شده، که رشد افقی بدون برنامه منجر به تخریب کاربری‌های طبیعی و تقلیل کیفیت زیست‌محیطی شد. شاخص‌های سیمای سرزمین نیز این روند را تأیید می‌کنند؛ به‌ویژه افزایش شاخص‌های CLUMPY و COHESION در کاربری‌های ساخته‌شده، که نشان‌دهنده‌ی افزایش انسجام فضایی و گسترش لکه‌های شهری به صورت فشرده و پیوسته است. در مقابل، کاربری‌هایی چون جنگل، کشاورزی و فضاهای سبز با کاهش مساحت، افزایش تکه‌تکه شدن (کاهش MESH) و افت شاخص‌های انسجام فضایی روبرو هستند که این وضعیت خطر تشدید پدیده‌هایی چون جزایر حرارتی شهری، کاهش کیفیت هوای تنفسی، و بی‌ثباتی خاک را افزایش می‌دهد (اسچاوز^۱، ۲۰۱۰؛ کادیقولاری^۲، ۲۰۱۳). این تغییرات از منظر اجتماعی نیز آثار قابل توجهی خواهند داشت؛ محدود شدن دسترسی عمومی به فضاهای سبز، تضعیف سلامت روانی شهروندان، و رشد نابرابری‌های فضایی از جمله پیامدهایی هستند که پژوهش‌های مختلف مانند Leitão et al. (2012) نیز به آن اشاره کرده‌اند. همچنین افزایش کاربری کشاورزی آیش، اگرچه می‌تواند نشان‌دهنده‌ی برنامه‌هایی برای بازگردانی زمین‌ها به کاربری‌های نیمه‌طبیعی باشد، اما در صورت عدم مدیریت مؤثر، خطر تبدیل مجدد این اراضی به سکونت‌گاه‌های غیررسمی یا اراضی بایر وجود دارد؛ سناریویی که در بسیاری از شهرهای در حال توسعه مشاهده شده است (فلامنکو-ساندوال^۳ و همکاران، ۲۰۰۷). تغییر در *LSI*، *III* و *AI* طی دوره نیز بیانگر آن است که شهر از یک چشم‌انداز با پراکندگی بالا به سمت الگوی نسبتاً منظم‌تر اما با کاربری‌های کم‌تنوع‌تر حرکت کرده است؛ وضعیتی که با کاهش تاب‌آوری شهری در برابر تهدیدات محیطی مانند خشکسالی، گردوغبار و سیلاب همراه است.

در مجموع، نتایج این پژوهش نشان می‌دهد که روند فعلی توسعه‌ی کالبدی شهر اربیل با نادیده گرفتن اصول اکولوژیکی، اجتماعی و حتی اقتصادی در مدیریت سرزمین، به سمت ناپایداری فضایی و تخریب منابع پیش می‌رود. الگوی توسعه‌ی آتی باید بر پایه‌ی رویکردهای یکپارچه‌ی برنامه‌ریزی شهری مبتنی بر محیط‌زیست باشد. پیشنهاد می‌شود ضمن استفاده‌ی هدفمند از اراضی بایر برای توسعه هوشمند شهری، ارتقاء شبکه فضاهای سبز، احیای اراضی جنگلی، و حفاظت از زمین‌های کشاورزی در اولویت قرار گیرد. تحقق توسعه پایدار در اربیل مستلزم تعامل بین نهادهای محلی، برنامه‌ریزان و شهروندان است تا بتوان شهر را در مسیر تعادل بین رشد، عدالت فضایی و پایداری اکولوژیکی هدایت کرد. مطالعات داخلی در شهرهایی مانند تهران (رادین مجد و همکاران، ۱۴۰۱)، کرمانشاه (نوروزی گله کلایی و همکاران، ۱۴۰۱)، تبریز (محمودزاده و مسعودی، ۱۳۹۸) و مشهد (عنابستانی و همکاران، ۱۴۰۰) نیز روند مشابهی از گسترش مناطق ساخته‌شده به بهای از بین رفتن اراضی کشاورزی و منابع طبیعی را نشان می‌دهند. در سطح بین‌المللی، پژوهش‌هایی مانند تحقیق (Yaghoobi et al., 2022; Ghobadi, & Ahmadi, 2023) و (Varol et al., 2024 و Arora et al., 2021) در بررسی جهانی توسعه شهری نیز تأکید کرده‌اند که در بیشتر مناطق شهری در حال توسعه، روند گسترش آیش محور، یکپارچه‌سازی لکه‌های شهری، و کاهش تنوع زیست‌محیطی از ویژگی‌های بارز تغییرات کاربری زمین هستند. این مطالعات نشان می‌دهند که روند مشاهده‌شده در اربیل بخشی از الگوی جهانی و منطقه‌ای شهرنشینی ناپایدار و فشرده محسوب می‌شود. در صورتی که روند کنونی بدون بازنگری ادامه یابد، می‌تواند شامل بحران‌های متعدد زیست‌محیطی و اجتماعی باشد. افزایش فشار بر منابع آب، افزایش آلودگی هوا و افزایش خطرپذیری در برابر پدیده‌هایی همچون سیلاب‌های ناگهانی یا خشکسالی از جمله چالش‌های پیش‌رو هستند. ایجاد تعادل میان توسعه شهری، حفاظت از منابع طبیعی و افزایش تاب‌آوری زیست‌محیطی باید اولویت اول برنامه‌ریزی فضایی و سیاست‌گذاری شهری در اربیل باشد.

1. Schwarz
2. Kadioğulları
3. Flamenco-Sandoval

منابع

- پیشنماز احمدی، مجید؛ محمدزاده، کیوان و حجازی، سید اسدالله (۱۳۹۶). ارزیابی الگوی تغییرات پوشش جنگلی با استفاده از تکنیک‌های فازی شیء‌گرا (مطالعه موردی: شهرستان کلیبر). *جغرافیا و پایداری محیط*، ۷(۴)، ۹۵-۱۱۱.
- حسین‌آبادی، سعید و اکبری، ابراهیم (۱۴۰۲). تحلیل تغییرات کاربری اراضی و سیمای سرزمین در مناطق شهری و پیرامون آن‌ها مطالعه موردی: شهر شاهرود. *مجله شهر پایدار*، ۶(۳)، ۷۹-۹۸. doi: 10.22034/jsc.2024.367302.1663
- رادین مجد، گل آذین؛ جوزی، سیدعلی؛ حجازی، رخشاد؛ محمدجواد، امیری و غفارزاده، حمیدرضا (۱۴۰۱). بررسی روند تغییرات سنج‌های سیمای سرزمین با استفاده از روش تحلیل گرادینانت شهری- روستایی (مطالعه موردی: کلان شهر تهران). *آمایش سرزمین*، ۱۳(۲)، ۴۶۱-۴۸۹. doi: 10.22059/jtcp.2021.326563.670236
- سلمان ماهینی، عبدالرسول (۱۳۸۶). معیارهای سیمای سرزمین و فرسایش پذیری به عنوان دو دسته نمایه کمی برای ارزیابی سریع اثرات طرح‌های توسعه. *علوم کشاورزی و منابع طبیعی*، ۱۴(۱)، ۰-۰. SID: <https://sid.ir/paper/433674/fa>
- عناستانی، علی‌اکبر، عناستانی، زهرا و اکبری، ابراهیم (۱۴۰۰). تحلیل تغییرات ساختاری سیمای سرزمین و الگوهای توسعه شهری با استفاده از تصاویر ماهواره‌های چندزمانه- مورد مطالعه: کلان شهر مشهد. *فصلنامه علمی- پژوهشی اطلاعات جغرافیایی «سپهر»*، ۳۰(۱۱۹)، ۲۰۶-۱۱۹. Doi: 10.22131/sepehr.2021.247894
- کاوایی، آزاده؛ فرهودی، رحمت‌اله و رجبی، آریتا (۱۳۹۴). تحلیل الگوی رشد شهر تهرانبا رویکرد بوم‌شناسی سیمای سرزمین. *پژوهش‌های جغرافیای برنامه‌ریزی شهری*، ۳(۴)، ۴۲۹-۴۰۷. Doi: 10.22059/jurbangeo.2015.57410
- محمدزاده، حسن و مسعودی، حسن (۱۳۹۸). تحلیلی بر تغییرات ساختاری سیمای سرزمین کلان‌شهر تبریز با استفاده از مبانی اکولوژی سیمای سرزمین و با تأکید بر مفهوم پیوستگی. *مجله علمی «آمایش سرزمین»*، ۱۱(۲)، ۱۷۹-۲۰۴. doi: 10.22059/jtcp.2019.288093.670019
- معمارزاده کیانی، امیر و دانشور فتاح، فرزاد (۱۴۰۲). بررسی روند تغییرات کاربری اراضی کشاورزی شهرستان شهریار با استفاده از سنجش از راه دور و GIS. *نشریه محیط زیست طبیعی*، ۷۶(۴)، ۶۵۹-۶۷۴. Doi: 10.22059/jne.2023.354658.2522
- نظم فر، حسین و شیرزاد، منیر (۱۴۰۳). پایش تغییرات سیمای شهر و محیط پیرامون آن بر اساس تجزیه و تحلیل متریک‌های سیمای سرزمین (مطالعه موردی: شهر اردبیل). *مطالعات علوم محیط زیست*، ۹(۴)، ۹۷۴۰-۹۷۲۹. doi: 10.22034/jess.2023.365413.1887
- نوروزی گله کلایی، سمیه؛ حاتمی، احمد و پرویزی مریوانی، سمیه (۱۴۰۱). تحلیل الگوهای رشد فضایی شهر کرمانشاه با رویکرد بوم‌شناسی سیمای سرزمین. *نشریه علمی برنامه‌ریزی توسعه کالبدی*، ۷(۳)، ۶۴-۴۹. Doi: 10.30473/psp.2022.62702.2573
- یزدان پناه، مهسا، یآوری، احمدرضا؛ زبردست، لعبت و سیده، آل محمد (۱۳۹۴). ارزیابی زیرساخت‌های سبز شهری به منظور اصلاح تدریجی آنها در سیمای سرزمینی تهران، *محیط‌شناسی*، ۴۱(۳)، ۶۲۵-۶۱۳. Doi: 10.22059/jes.2015.55900

References

- Abebe, G., Getachew, D., & Ewunetu, A. (2022). Analysing land use/land cover changes and its dynamics using remote sensing and GIS in Gubalafito district, Northeastern Ethiopia. *SN Applied Sciences*, 4(1), 30. <https://doi.org/10.1007/s42452-021-04915-8>
- Akram, O. K., Ismail, S., & Franco, D. J. (2016). The significant of urban form of Erbil city, Iraq. *International Journal of Engineering Technology, Management and Applied Sciences*, 4(2), 96-101.

- Almukhtar, A. (2019). *Place-identity in historic cities; The case of post-war urban reconstruction in Erbil, Iraq*. In *Urban Heritage Along the Silk Roads: A Contemporary Reading of Urban Transformation of Historic Cities in the Middle East and Beyond* (pp. 121-136). Cham: Springer International Publishing.
- Anabastani, A. A., Anabastani, Z., and Akbari, A. (2021). Analysis of structural changes in the landscape and urban development patterns using multi-temporal satellite images - Case study: Mashhad metropolis. *Quarterly Scientific-Research Journal of Geographic Information "Sepehr"*, 30(119), 189-206. doi: 10.22131/sepehr.2021.247894. (In Persian).
- Arora, A., Pandey, M., Mishra, V. N., Kumar, R., Rai, P. K., Costache, R., ... & Di, L. (2021). Comparative evaluation of geospatial scenario-based land change simulation models using landscape metrics. *Ecological Indicators*, 128, 107810. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107810>
- Aslam, R. W., Naz, I., Quddoos, A., & Quddusi, M. R. (2024). Assessing climatic impacts on land use and land cover dynamics in Peshawar, Khyber Pakhtunkhwa, Pakistan: a remote sensing and GIS approach. *GeoJournal*, 89(5), 202. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10708-024-11203-6>
- Azeez, O. S., Shafri, H. Z., Alias, A. H., & Haron, N. A. (2022). Integration of object-based image analysis and convolutional neural network for the classification of high-resolution satellite image: a comparative assessment. *Applied Sciences*, 12(21), 10890.
- Bokhari, S. A., Saqib, Z., Amir, S., Naseer, S., Shafiq, M., Ali, A., ... & Hamam, H. (2022). Assessing land cover transformation for urban environmental sustainability through satellite sensing. *Sustainability*, 14(5), 2810. <https://doi.org/10.3390/su14052810>
- Bokhari, S. A., Saqib, Z., Amir, S., Naseer, S., Shafiq, M., Ali, A., ... & Hamam, H. (2022). Assessing land cover transformation for urban environmental sustainability through satellite sensing. *Sustainability*, 14(5), 2810. <https://doi.org/10.3390/su14052810>
- Congalton, R. G., & Green, K. (2019). *Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices*. CRC press.
- Dhanaraj, K., & Angadi, D. P. (2021). Urban expansion quantification from remote sensing data for sustainable land-use planning in Mangaluru, India. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 23, 100602. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2021.100602>
- Drăguț, L. & Blaschke, T. (2006). Automated classification of landform elements using object-based image analysis. *Geomorphology*, 81(3), 330-344. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2006.04.013>
- Fassnacht, F. E., Hartig, F., Latifi, H., Berger, C., Hernández, J., Corvalán, P. & Koch, B. (2014). Importance of sample size, data type and prediction method for remote sensing-based estimations of aboveground forest biomass. *Remote Sensing of Environment*, 154, 102-114. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.07.028>
- Flamenco-Sandoval, A., Ramos, M. M., & Masera, O. R. (2007). Assessing implications of land-use and land-cover change dynamics for conservation of a highly diverse tropical rain forest. *Biological conservation*, 138(1-2), 131-145. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2007.04.022>
- Gardi, S. and Asfahani, J. 2019. Subsurface tectonic characterizations by the use of geo-electrical resistivity technique and their implications on environmental soil and groundwater at Erbil dumpsite, west of Erbil city–Iraqi Kurdistan region. *Contributions to Geophysics and Geodesy*. 49(3), 325-354. <https://doi.org/10.2478/congeo-2019-0017>
- Ghobadi, M., & Ahmadipari, M. (2023). Spatial analysis of land use/land cover (LULC) changes to support sustainable land management based on landscape metrics. *Earth Observation and Geomatics Engineering*, 7(1). Doi: 10.22059/eoge.2023.357777.1140
- Hosseiniabadi, S., and Akbari, A. (2023). Analysis of land use and landscape changes in urban areas

- and their surroundings: a case study: Shahrood city. *Sustainable City Journal*, 6(3), 79-98. Doi: [10.22034/jsc.2024.367302.1663](https://doi.org/10.22034/jsc.2024.367302.1663). (In Persian).
- Hu, S., Yang, Z., Galindo Torres, S. A., Wang, Z., Han, H., Wada, Y., ... & Li, L. (2025). Statistical distribution of urban area reveals a converging trend of global urban land expansion. *Earth's Future*, 13(1), e2024EF005130.
- Husson, E., Ecke, F., & Reese, H. (2016). Comparison of manual mapping and automated object-based image analysis of non-submerged aquatic vegetation from very-high-resolution UAS images. *Remote Sensing*, 8(9), 724.
- Iraqi Meteorological Organization and Seismology. (2025). *National Member Service profile: Iraq. World Meteorological Organization*. Retrieved from <https://community.wmo.int/en/members/irq>
- Kadioğulları, A. İ. (2013). Assessing implications of land use and land cover changes in forest ecosystems of NE Turkey. *Environmental monitoring and assessment*, 185, 2095-2106. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10661-012-2691-0>
- Kaviani, A., Farhodi, R., & Rajabi, A. (2015). Analysis of Tehran's urban growth pattern using a landscape ecology approach. *Urban Planning Geographical Research Journal*, 3(4), 407-429. Doi: [10.22059/jurbangeo.2015.57410](https://doi.org/10.22059/jurbangeo.2015.57410). (in Persian)
- Kaviani, A., Farhodi, R., & Rajabi, A. (2015). Analysis of Tehran's urban growth pattern using a landscape ecology approach. *Urban Planning Geographical Research Journal*, 3(4), 407-429. Doi: [10.22059/jurbangeo.2015.57410](https://doi.org/10.22059/jurbangeo.2015.57410). (in Persian)
- Khoshnaw, R. (2023). Evaluating Mixed Land Use and Connectivity: A Case Study of Five Neighborhoods in Erbil City, Iraq. *Sustainability*, 15(19), 14265. <https://doi.org/10.3390/su151914265>.
- Khoshnaw, R. (2023). Evaluating Mixed Land Use and Connectivity: A Case Study of Five Neighborhoods in Erbil City, Iraq. *Sustainability*, 15(19), 14265. <https://doi.org/10.3390/su151914265>.
- Leitão, A. B., Miller, J., Ahern, J., & McGarigal, K. (2012). *Measuring landscapes: A planner's handbook*. Island press.
- Mahiini, A. (2007). Landscape and erodibility criteria as two quantitative index categories for rapid assessment of the effects of development projects. *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*. 14(1) 48-63 SID. <https://sid.ir/paper/433674/fa>. (In Persian).
- Mahmoudzadeh, H. and Masoudi, H. (2019). An analysis of structural changes in the landscape of Tabriz metropolis using the principles of landscape ecology and with an emphasis on the concept of continuity. *Scientific Journal of "Land Planning"*, 11(2), 179-204 . doi: [10.22059/jtcp.2019.288093.670019](https://doi.org/10.22059/jtcp.2019.288093.670019). (In Persian).
- McGarigal K., SA Cushman, and E Ene. 2025. FRAGSTATS v4: Spatial Pattern Analysis Program for Categorical Maps. Computer software program produced by the authors; available at the following web site: <https://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html>
- McGarigal, K., Cushman, S. A., Neel, M. C., & Ene, E. (2002). FRAGSTATS: spatial pattern analysis program for categorical maps. *Computer software program produced by the authors at the University of Massachusetts, Amherst*. Available at the following web site: www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html,6.
- Memarzadeh Kiani, A., and Daneshvar Fattah, F. (2023). Investigating the trend of agricultural land use changes in Shahriar County using remote sensing and GIS. *Journal of Natural Environment*, 76(4), 659-674. Doi: [10.22059/jne.2023.354658.2522](https://doi.org/10.22059/jne.2023.354658.2522). (In Persian).
- Mohammad, M. S., Elmastas, N., & Abdullah, H. (2021). *Temporal change of urban land use: the case of Erbil city*. Ecology, Environment and Conservation Paper, 27, 48-58.

- Mohammed, M. G. (2023). Land Use Land Cover Changes Detection of Erbil City Using GIS and Remote Sensing. *PTJ*, 13(1), 1044. <https://doi.org/10.25156/ptj.v13i1.1044>
- Navulur, K. (2006). *Multispectral image analysis using the object-oriented paradigm*. CRC press. <https://doi.org/10.1201/9781420043075>
- Nazmfar, H., and Shirzad, M. (2024). Monitoring changes in the landscape of the city and its surrounding environment based on the analysis of landscape metrics (case study: Ardabil City). *Environmental Science Studies*, 9(4), 9740-9729. doi: 10.22034/jess.2023.365413.1887.(In Persian).
- Norouzi Golekhalaei, S., Hatami, A. and S., Parvizi Marivani. (2022). Analysis of spatial growth patterns of Kermanshah city with a landscape ecology approach. *Scientific Journal of Physical Development Planning*, 7th year, No. 3 (new series), 27th series, pp. 64-49. Doi; 10.30473/psp.2022.62702.2573.(In Persian).
- Perregrini, D., & Casella, V. (2022). *Creation of Soil Permeability Maps Trough Obia Classification of Very High-Resolution Satellite Images*. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 43, 159-166. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLIII-B3-2022-159-2022>
- Pishnamaz Ahmadi, M., Mohammadzadeh, K., & Hejazi, S. A. (2017). Assessment of forest cover change patterns using object-based fuzzy techniques (Case study: Kaleybar County). *Geography and Environmental Sustainability*, 7(4), 95–111.
- Radin Majd, G., Jozi, S. A., Hejazi, R., Amiri, M. J. and H. R. Ghafarzadeh. (2022). Investigating the trend of changes in landscape indicators using the urban-rural gradient analysis method (case study: Tehran metropolis). *Land Planning*, 17th volume, autumn and winter 1400, No. 2 (serial 25). doi: 10.22059/jtcp.2021.326563.670236.(In Persian).
- Rasouli, A. A., Cheung, K. K., Mohammadzadeh Alajujeh, K., & Ji, F. (2022). On the detection of snow cover changes over the Australian Snowy Mountains using a dynamic OBIA approach. *Atmosphere*, 13(5), 826.
- Sarif, M. O., & Gupta, R. D. (2022). Spatiotemporal mapping of Land Use/Land Cover dynamics using Remote Sensing and GIS approach: a case study of Prayagraj City, India (1988–2018). *Environment, Development and Sustainability*, 24(1), 888-920. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10668-021-01475-0>
- Sattar, T., Mirza, N. F., Javed, M. A., Nasar-u-Minallah, M., & Malik, S. (2025). Changing pattern of urban landscape and its impact on thermal environment of Lahore; Implications for climate change and sustainable development. *Environmental Monitoring and Assessment*, 197(2), 151. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10661-024-13559-1>
- Schwarz, N. (2010). Urban form revisited—Selecting indicators for characterising European cities. *Landscape and urban planning*, 96(1), 29-47. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2010.01.007>
- Talema, A. H., & Nigusie, W. B. (2024). Spatio-temporal analysis of urban expansion using remote sensing data and GIS for the sustainable management of urban land: the case of Burayu, Ethiopia. *Management of Environmental Quality: An International Journal*, 35(5), 1096-1117. <https://doi.org/10.1108/MEQ-07-2023-0196>
- Varol, B., Szabo, S., Topaloğlu, R. H., Aksu, G. A., & Sertel, E. (2024). Analysis of the association between image resolution and landscape metrics using multi-sensor LULC maps. *Journal of Environmental Planning and Management*, 67(10), 2281-2302. <https://doi.org/10.1080/09640568.2023.2185507>
- Wiatkowska, B., Słodczyk, J., & Stokowska, A. (2021). Spatial-temporal land use and land cover changes in urban areas using remote sensing images and GIS analysis: The case study of Opole, Poland. *Geosciences*, 11(8), 312. <https://doi.org/10.3390/geosciences11080312>

- Wijaya, A., Budiharto, R. S., Tosiani, A., Murdiyarso, D. & Verchot, L. V. (2015). Assessment of Large Scale Land Cover Change Classifications and Drivers of Deforestation in Indonesia. *The International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 40(7), 557-573. <https://doi.org/10.5194/isprsarchives-XL-7-W3-557-2015>
- Wu, J., Jenerette, G. D., Buyantuyev, A., & Redman, C. L. (2011). Quantifying spatiotemporal patterns of urbanization: The case of the two fastest growing metropolitan regions in the United States. *Ecological Complexity*, 8(1), 1-8. <https://doi.org/10.1016/j.ecocom.2010.03.002>
- Yaghoobi, M., Vafaenejad, A., Moradi, H., & Hashemi, H. (2022). Analysis of landscape composition and configuration based on LULC change modeling. *Sustainability*, 14(20), 13070. <https://doi.org/10.3390/su142013070>
- Yang, X., Blower, J. D., Bastin, L., Lush, V., Zabala, A., Masó, J., ... & Lumsden, J. (2013). An integrated view of data quality in Earth observation. *Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, 371(1983), 20120072. <https://doi.org/10.1098/rsta.2012.0072>
- Yazdanpanah, M., Yavari, A., Zavarat, L., Al-Mohammad, S. (2015). *Evaluation of urban green infrastructures for their gradual improvement in the landscape of Tehran*, Environment, Volume 41, No. 3 Doi; [10.22059/jes.2015.55900](https://doi.org/10.22059/jes.2015.55900) .(In Persian).