Geography and Territorial Spatial Arrangement
University of Sistan and Baluchestan
Print ISSN: 2345 - 2277 Online ISSN: 2783 - 5278
Association of Geography and Planning of Border Areas of Iran

Identifying the Patterns of Urban Expansion in the Mid-Size Cities (Case Study: Urmia City)

Amin Khalili [1], Abolfazl Ghanbari [2]✉, Bakhtiar Feizizadeh [3]

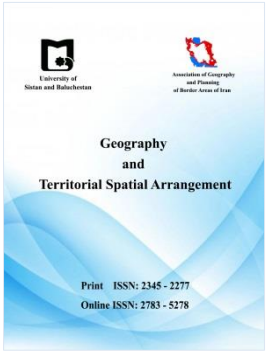
1. Department of Remote Sensing and Geographic Information System, Tabriz University, Tabriz, Iran.
E-mail: a.khalili1400@ms.tabrizu.ac.ir
2. Assistant professor Department of Remote Sensing and Geographical Information System, Tabriz University, Tabriz, Iran.
✉ E-mail: a_ghanbari@tabrizu.ac.ir
3. Associate Professor Department of Remote Sensing and Geographical Information System, Tabriz University, Tabriz, Iran.
E-mail: Feizizadeh@tabrizu.ac.ir

How to Cite: Khalili, A; Ghanbari, A & Feizizadeh, B. (2024). Identifying the Patterns of Urban Expansion in the Mid-Size Cities (Case Study: Urmia City). *Geography and Territorial Spatial Arrangement*, 14 (52), 151-160.

DOI: http://dx.doi.org/ 10.22111/GAIJ.2024.48047.3186

Article type:
Research Article

Received:
20/02/2024
Received in revised form:
28/05/2024
Accepted:
22/06/2024
Publisher online:
24/09/2024



Keywords:
urban expansion, landscape patterns, geographic spatial regression, geographic information system, Urmia.

ABSTRACT

Unprecedented urbanization has occurred globally in the last few decades. Urbanization is usually associated with land use change and urban expansion. Urban expansion, as an important social phenomenon, has a clear effect on the landscape pattern. Therefore, urbanization is always associated with the spatial expansion of urban land, which leads to changes in the landscape pattern. Previous studies have analyzed urbanization patterns in areas with rapid urban expansion, while urban areas with low to medium expansion, especially in developing countries such as Iran, have been less studied. Therefore, the aim of the current research is to identify the patterns of urban expansion in the middle cities; It is in the city of Urmia. The current research is a descriptive-analytical research and applied research. In the present study, the first set of data will be satellite images, so the satellite images of 1990, 2000, 2010, and 2020 of Urmia city were received from Landsat satellite and processed using related software. Therefore, it is a library data collection method. The results of the present research show that when we take a look at the urban expansion in Urmia, two periods can be identified. In the first period of 1990-2000, the rapid development in the periphery of the city has led to an increase in the size of the core city area, which is indicated by a decrease in the AI index. In addition, new expansion is observed in areas separated from other areas by vacant land. This shows the sprawling expansion of the city. In the period of 2000-2010, the intensity of urban expansion has decreased. During this period, the city experienced a cumulative decrease in GYRATION_MN, and the accumulation of spots has been greatly reduced. This may indicate that the continued growth in Urmia has focused on the development of urban patches and this development has been accompanied by a significant increase in ENN_MN and a cumulative decrease in Gyration. Finally, the investigation of urban expansion patterns in Urmia city led to the identification of four cumulative, jump, linear and nodal patterns.

© the Author(s).
Publisher: University of Sistan and Baluchestan

Extended Abstract

Introduction

In the last half century, cities have expanded rapidly. The increase in the degree of urbanization and the urban population has been considered as an undeniable urban reality (Mohad et al., 2013). Increasing urbanization has led to significant development in a number of urban areas, and in addition, the changes in the structure of land use due to the rapid growth and expansion of urban areas have been significant (Hakimi and Mostafaei, 2003). The city of Urmia is one of the middle cities of Iran, which is experiencing the rapid growth of urbanization and scattered growth. Such growth has led to many consequences, including the loss of habitats, the fragmentation of the landscape, and the formation of unplanned peripheral settlements, resulting in the loss of agricultural land. These consequences have led to an increase in costs for the decision-making bodies of Urmia city. In order to deal with such growth, organizations such as Jihad Agriculture and Urmia Municipality have only destroyed the garden houses so far. Considering that this unplanned growth has made it difficult for the city administration to provide services. Drawing the evolution of the spatial pattern due to urban expansion is necessary to understand the important geographical process, according to the characteristics of the change of spatial patterns and the appearance of the land.

Study Area

Urbanization is a process in which people move from rural areas to cities. Iran is a rapidly urbanizing country, and more than 76% of its population will live in urban areas in 2023. This figure was 51% in 1986. Iran's population has increased over the past 50 years and will continue to grow in the coming decades. Urmia is one of the metropolises of Iran, the capital of West Azarbaijan province and Urmia city in the northwest of Iran, with an area of more than 11230 hectares, it is located next to Lake Urmia in Azerbaijan region. According to the census of 2016, with a population of 736,224 people, this city is the tenth most populated city in Iran and the second most populated city in the northwestern region of Iran.

Material and Methods

The current research is a descriptive-exploratory research and applied research. In the current research, the first category of data will be satellite images. Satellite images of 1990, 2000, 2010, and 2020 of Urmia city were received from Landsat satellite and processed using related software. As a result, in the present research, the first category of data will be satellite images. After forming a database of Landsat 5 and 8 satellite images for four time periods (1990, 2000, 2010, 2020), the land use map of the mentioned years was prepared. To validate the maps, Google Earth images, ground reality points, and accuracy and kappa coefficients were used. Therefore, the data collection method is a library. Google Earth Engine, GIS and Fragstat software were used for data analysis.

Result and Discussion

To analyze and compare urban expansion patterns, three spatial criteria of land analysis were used. These spatial criteria were used to explain the main features of the urban pattern (aggregation, compactness and isolation) at the micro and macro scale. At the macro level, spatial criteria were interpreted for the urban area of Urmia as a whole. This work has continued with the analysis of spatial micro-patterns in concentric zones and different directions. The temporal changes in the values of the spatial criteria of the land in the urban area of Urmia have been investigated from 1990 to 2020. In general, urban area allocation involves the growth of new urban patches, which is explained by the increase of the AI index. The increase in aggregation indicates that the fabricated spots tended to form an aggregation pattern. In addition, the increasing trend of ENN_MN showed that the process of isolation decreased during the study period. Additionally, according to GYRATE_MN, the city experienced an increasing trend in compaction. In general, the scattered development and fragmented growth of the existing city in Urmia is indicated by the increase of GYRATION_MN and AI. It is important to note that these are only general trends and the specific values of the AI, GYRATE and ENN criteria for a specific urban area depend on various factors such as the specific characteristics of the urban area and stages of growth and development. AI, GYRATE and ENN metrics can be used to monitor and evaluate urban expansion patterns over time. As a result, it is important to note that the relationship between these patterns of urban expansion and spatial processes can be different depending on local planning policies, transportation networks, and other contextual factors. Furthermore, these patterns may not always be perfectly aligned with specific spatial processes, as real-world urban development is influenced by complex interacting factors. Analyzing these relationships can help urban planners and researchers understand the spatial characteristics of different

patterns of expansion and their implications for urban development and land use. As a result, urban expansion patterns have been identified in Urmia city.

Conclusion

The study of urban expansion patterns in Urmia city led to the identification of four cumulative, jump, linear and nodal patterns which were investigated in geographical zones and directions. The jump pattern has occurred at a distance of 12 to 20 km from the city center with great diversity. The agglomeration pattern (increasing agglomeration and generally decreasing dispersion) has prevailed at a distance of five kilometers from the city center. This pattern of urban growth tends to remain constant and unchanged or lead to a reduction in land fragmentation. In addition, the analysis of the landscape pattern in the directional regions showed that it experienced an accumulation pattern in the northern, northeastern and western parts. In addition to the mentioned regions, the northwestern regions also had a spatial pattern of accumulation in the 1990s-2000s, but in the following decades, they expanded sporadically. The location of the accumulation areas in Urmia shows that the obtained patterns were strongly related to the geographical location of the spatial units. For example, the northern part is limited to agricultural lands, the northeast is limited to Lake Urmia. In other words, these two factors were built as obstacles for the expansion of the region.

Key words: urban expansion, landscape patterns, geographic spatial regression, geographic information system, Urmia.

References

Amanpour, S., Gholami, S., & Ghafarzadeh, F. (2015). Analysis of the spatial-temporal characteristics of urban expansion areas of the Shiraz city (Period "1391-1385"). Journal of Urban Ecology Researches, 6(11), 9-24. *(In Persian)*

https://grup.journals.pnu.ac.ir/article_2010.html

Al Rifat, S. A., & Liu, W. (2019). Quantifying spatiotemporal patterns and major explanatory factors of urban expansion in miami metropolitan area during 1992-2016. Remote Sensing, 11(21).

https://doi.org/10.3390/rs11212493

Ahmadi, F., Yarahmadi, D., & mirhashemi, H. (2023). Revealing the impact of Khorramabad urban expansion on urban temperature changes using landsat satellite thermal images. Climate Change Research, 4(15), 23-38. *(In Persian)*

doi: 10.30488/ccr.2023.410913.1154

https://ccr.gu.ac.ir/article_180212.html

Akbari A, Eskandari Sani M, Esmaeilnezhad M. Effective Indicators on the Realization of Land Use Pattern and Future Expansion of Zahedan Urban Areas in its Comprehensive Development Plan. GeoRes 2022; 37 (4) :517-527*(In Persian)*

https://georesearch.ir/article-1-1393-fa.html

Assari, A., Birashk, B., Mousavi Nik, M., & Naghdbishi, R. (2016). IJTPE Journal IMPACT OF BUILT ENVIRONMENT ON MENTAL HEALTH: REVIEW OF TEHRAN CITY IN IRAN. International Journal On, 26(1), 81–87.

DOI:10.13140/RG.2.1.3575.2087

Angel, S., Sheppard, S., Civco, D. L., Buckley, R., Perlin, S., & Herold, M. (2007). The dynamics of global urban expansion. Washington, DC: Transportation Research Board.

The Dynamics of global urban expansion | Cities Alliance

Alberti, M. (2008). Advances in Urban Ecology: Integrating Humans and Ecological Processes in Urban Ecosystems. Springer Science+Business Media, Boston, MA. CrossRef.

Batty, M. (2005). Cities and Complexity: Understanding Cities with Cellular Automata, Agent-Based Models, and Fractals. The MIT Press.

mitpress.mit.edu

Botequilha Leitão, A.; Miller, J.; Ahern, J.; McGarigal, K. (2006). Measuring landscapes: A planner's handbook (Washington: Island Press).

Measuring Landscapes: A Planner's Handbook | Request PDF (researchgate.net)

Baker, J., Van Der Leeuw, S., & Van Os, B. (2015). Landscape metrics for assessing ecological connectivity and fragmentation. Ecological Indicators, 58, 192-198.

www.sciencedirect.com

Bouhennache, R.; Bouden, T.; Taleb, A. A.; Chaddad, A. (2015). Extraction of urban land features from TM Landsat image using the land features index and Tasseled cap transformation. Recent Advances on Electro science and Computers.

https://www.inase.org/

Brueckner, J. K. (2011). Urban economics. Cambridge University Press.

mitpress.mit.edu

Badoe, Daniel & Miller, Eric. (2000). Transportation-land-use interaction: Empirical findings in North America, and their implications for modeling. Transportation Research Part D: Transport and Environment. 5. 235-263. 10.1016/S1361-9209(99)00036-X.

www.sciencedirect.com

Burgess, E. W. (1925). The growth of the city. In R. E. Park & E. W. Burgess (Eds.), The city (pp. 37-85). Chicago: University of Chicago Press.

The City, Park, Burgess, Sampson (uchicago.edu)

Cervero, R., & Kockelman, K. (1997). Travel Demand and the 3Ds: Density, Diversity, and Design. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 2(3), 199-219.

www.sciencedirect.com

Cheng, J., Wang, S., & Song, W. (2014). A new index for assessing landscape fragmentation based on the concept of nearest neighbor distance. Ecological Indicators, 45, 253-257.

Clark, P. J., & Evans, F. C. (1954). Distance to nearest neighbor as a measure of spatial relationships in populations. Ecology, 35(4), 445-453.

Distance to Nearest Neighbor as a Measure of Spatial Relationships in Populations on JSTOR

Cheng, J., Zhang, Y., & Li, Z. (2019). A gradient model for land use classification using remote sensing data. Remote Sensing of Environment, 231, 111476.

Diggle, P. J. (2013). Statistical Analysis of Spatial and Spatio-Temporal Point Patterns (3rd Edition). CRC Press.

www.routledge.com

Davoudi, S., Crawford, J., & Mehmood, A. (2012). Planning for Climate Change: Strategies for Mitigation and Adaptation for Spatial Planners. Routledge

http://www.earthscan.co.uk/?tabid=74708

Eckhardt, S., De Jong, R., & Demuzeau, O. (2008). An approach to using Landsat data to assess productivity changes in semiarid rangelands. International Journal of Remote Sensing, 29(14), 4057-4077.

Eckhardt, S., De Jong, R., & Demuzeau, O. (2003). Remote sensing of the distribution and production of vegetation in semi-arid regions: A review of spectral indexes. Journal of Arid Environments, 57(1), 29-60.

Escobedo, F. J., Kroeger, T., & Wagner, J. E. (2011). Urban Forests and Pollution Mitigation: Analyzing Ecosystem Services and Disservices. Environmental Pollution, 159(8-9), 2078-2087.

Urban forests and pollution mitigation: analyzing ecosystem services and disservices - PubMed (nih.gov)

Ewing, R., & Cervero, R. (2010). Travel and the Built Environment: A Meta-Analysis. Journal of the American

Planning Association, 76(3), 265-294.

Travel and the Built Environment: A Meta-Analysis: Journal of the American Planning Association: Vol 76, No 3 (tandfonline.com)

Elhakeem, A., & Wrigley, N. (2012). Measuring the spatial distribution of land use categories: A case study of the Greater Cairo urban area, Egypt. Landscape and Urban Planning, 106(1-2), 134-141.

Feyisa, G. L., Mehari, A. S., & Bewket, W. (2014). Water resources assessment using the modified normalized difference water index (MNDWI) at Hare watershed, eastern Ethiopia. Journal of African Earth Sciences, 95, 106-114.

Gao, H., Huete, A. R., Ni, W., & Miura, T. (2009). Optical monitoring of large-area snowpack properties and runoff prediction using the MODIS and AMSR-E products. Remote Sensing of Environment, 113(12), 2990-3001.

Glaeser, E. L. (2011). Triumph of the city: How urban spaces make us human. Penguin.

Triumph of the City: How Our Greatest Invention Makes Us Richer, Smarter, Greener, Healthier, and Happier: Glaeser, Edward L.: 9781594202773: Amazon.com: Books

Gong, J., Hu, Z., Chen, W., Liu, Y., & Wang, J. (2018). Urban expansion dynamics and modes in metropolitan Guangzhou, China. Land Use Policy, 72, 100-109.

https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.12.025

Hosseinekhah, H., & Zangabadi, A. (2018). Analysis of the Processes and Ways of Spreading Political-Administrative Cities of Iran (Case Study: Yasouj, since its Creation to date). Geography and Environmental Planning, 28(4), 143-164. doi: 10.22108/gep.2017.98167.0. *(In Persian)*

doi: 10.22108/GEP.2017.98167.0

Hakimi, H., & mostafaei journi, F. (2024). A temporal-spatial analysis of the expansion of Urmia city during the past two decades with an emphasis on identifying its influential components. Urban Space and Social Life, 3(8), 75-62. doi: 10.22034/jprd.2024.59661.1071. *(In Persian)*

https://urplanning.tabrizu.ac.ir/article_17894.html

Heidari Sourehjani R, Beigi A A. Survey the Relationship between Urban Use land Spatial Patterns in the Growth of Urban Growth directions (Case Study: Rasht City). jgs 2018; 18 (51) :65-86. *(In Persian)*

10.29252/jgs.18.51.65

Hu, Z.-L., Du, P.-J., & Guo, D.-Z. (2007). Analysis of urban expansion and driving forces in Xuzhou city based on remote sensing. Journal of China University of Mining and Technology, 17(2), 267–271.

www.sciencedirect.com

Hu, X., Gao, J., & Li, Z. (2006). A modified normalized difference vegetation index to reduce the impact of atmospheric scattering and soil brightness. International Journal of Remote Sensing, 32(18), 5695-5705.

Huang, B., Zhao, B., Song, Y., Zhang, J., Wang, S., Liu, Z. Z., & Huang, J. (2019). Urban land use mapping using a combination of spectral, spatial and temporal information of Landsat 8 OLI imagery. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 78, 251-264.

https://www.sciencedirect.com/journal/international-journal-of-applied-earth-observation-and-geoinformation/vol/73/suppl/C

He, C., Shi, P., Zhao, S., Li, J., Zhang, X., & Liu, Y. (2015). Urban expansion monitoring in China using Landsat time series data. Science of The Total Environment, 502, 533-543.

Huang, S. L., Lee, Y. C., Budd, W. W., & Yang, M. C. (2012). Analysis of changes in farm pond network connectivity in the peri-urban landscape of the Taoyuan area, Taiwan. Environmental Management, 49, 915-928.

Analysis of changes in farm pond network connectivity in the peri-urban landscape of the Taoyuan area, Taiwan - PubMed (nih.gov)

Huang, H. (2007). A new method for detecting the linear pattern of urban development using remote sensing data. Remote Sensing of Environment, 111(3), 473-481.

Herold, M., Scepan, J., & Clarke, K. C. (2002). The use of remote sensing and landscape metrics to describe structures and changes in urban land uses. Environment and Planning A: Economy and Space, 34(8), 1443-1458.

https://doi.org/10.1068/a3496

Huete, A. R., Tucker, C. J., Kimes, D. S., & Van Leeuwen, W. J. D. (1991). Satellite remote sensing of primary production and water cycle in arid and semi-arid regions. Remote Sensing of Environment, 35(3), 217-233.

www.researchgate.net

Hong, Y. Y.; Morris, M.; Chiu, C. Y.; Benet-Martínez, V. (2000). Multicultural minds: A dynamic constructivist approach to culture and cognition. American Psychologist, 55: pp.709-720

www.semanticscholar.org

He, C., Liu, Z., Gou, S., Zhang, Q., Zhang, J., & Xu, L. (2019). Detecting global urban expansion over the last three decades using a fully convolutional network. Environmental Research Letters, 14(3).

https://doi.org/10.1088/1748-9326/aaf936

link.springer.com

Heidarinejad, N. (2017). The effects of urban expansion on spatial and socioeconomic patterns of the peri-urban areas: a case study of Isfahan city, Iran. *(In Persian)*

http://dx.doi.org/10.17877/DE290R-19799

Huete, A. R. (1988). A soil-adjusted vegetation index (SAVI). Remote Sensing of Environment, 25(3), 295-309.

Qi, J., Chehbouni, A., Huete, A. R., Kerr, Y. H., & Sorooshian, S. (1994). A modified soil adjusted vegetation index. Remote Sensing of Environment, 48(2), 119-126.

Europe PMC

Jin, Y., & He, Y. (2012). Spatio-temporal variability of urban growth patterns in Nanjing, China: A remote sensing-based landscape metrics analysis. Landscape and Urban Planning, 104(2), 209-223.

Jensen, J. R. (2016). Remote sensing of the environment: An Earth resource perspective. Pearson Education.

Remote Sensing of the Environment: An Earth Resource Perspective 2/e - John R. Jensen - Google Books

Jensen, J.R. (2005). Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective, Third ed. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey.

Remote Sensing of the Environment: An Earth Resource Perspective 2/e - John R. Jensen - Google Books

Khalili, A. Optimal Model Presentation for Urban Smart Growth with Emphasis on Infill Development (Case Study: Urmia City). Master's Thesis, University of Urmia, Urmia, Iran, 2016. *(In Persian)*

Kawamura, H., Igarashi, T., & Tsuchiya, K. (1992). A new spectral index (UI) to detect urban areas. In Proceedings of the 18th Asian Conference on Remote Sensing (pp. 1199-1206).

Lotfi, S., & Alizadeh, T. (2024). Identifying and monitoring urban growth and expansion changes using spectral -unmixing of remote sensing imagery and geographic information systems techniques at the micro level, (A case study of Amol city). Iranian Journal of Remote Sensing & GIS, 16(3), 147-164. *(In Persian)*

doi: 10.48308/gisj.2023.103727

10.48308/GISJ.2023.103727

Li, J., Fang, W., Wang, T., Qureshi, S., Alatalo, J. M., & Bai, Y. (2017). Correlations between socioeconomic drivers and indicators of urban expansion: Evidence from the heavily urbanised Shanghai metropolitan area, China. Sustainability (Switzerland), 9(7).

https://doi.org/10.3390/su9071199

Liu, Y., & Wu, J. (2014). Using a modified normalized difference vegetation index (MNDVI) to monitor urban vegetation change in Beijing, China. Remote Sensing of Environment, 148, 137-147.

Liu, X., Li, H., Li, S., & Wang, J. (2019). Landscape pattern analysis of urban green space in Beijing using spatial metrics. Urban Forestry & Urban Greening, 40, 1-10.

Li, X., Zhao, C., Gong, P., & Wang, L. (2015). A new vegetation index, GYRATE, and its application in vegetation cover monitoring in Hulunbuir Grassland, Inner Mongolia, China. Remote Sensing of Environment, 156, 180-190.

Lefebvre, H. (1970). The Urban Revolution. University of Minnesota Press.

The Urban Revolution (umn.edu)

Mitra Ansari, majid ValiShareeatPanahi, Abbas MalekHoseini, mahdi modiri, (2019). Analysis of the Pattern of Urban Expansion in Mid-Range Cities Using Quantitative Models(Case Study: Malayer City), Amayesh Journal, 11(43), 147-182. *(In Persian)*

magiran.com/p1944254

sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=474369

Movahed, A., Mostafavi, S., & Ahmadi, ,. M. (2014). Explaining the pattern of spatial –physical expansion of Saqqez from sustainable urban perspective. Urban Structure and Function Studies, 2(5), 55-75. *(In Persian)*

https://shahr.journals.umz.ac.ir/article_895.html

Mansouri, M., Roradeh, H., & Safarrad, T. (2024). Analyzing the Impact of Urban Development on the Spatial Changes of the Thermal Island of Sari City. Urban Structure and Function Studies, 11(38), 215-240. *(In Persian)*

doi: 10.22080/usfs.2023.25957.2383

10.22080/USFS.2023.25957.2383

McFeeters, S. K. (1996). The use of the normalized difference water index (NDWI) in the delineation of open water features. International Journal of Remote Sensing, 17(7), 1425-1432.

The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features: International Journal of Remote Sensing: Vol 17, No 7 (tandfonline.com)

McDonnell, M. J., & Pickett, S. T. A. (1990). Ecosystem Structure and Function along Urban-Rural Gradients: An Unexploited Opportunity for Ecology. Ecology, 71(4), 1232–1237.

https://doi.org/10.2307/1938259

Molin, G., Wu, H., & Luo, L. (2011). Estimating rice leaf chlorophyll content using the greenness-yellowness vegetation index (GYRATE). Agricultural Sciences in China, 10(4), 544-551.

McGarigal, K., Cushman, S. A., & Ene, E. (2012). FRAGSTATS v4: Spatial pattern analysis program for categorical and continuous maps. University of Massachusetts Amherst.

http://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html

McGarigal, K; Marks, B.J. (1995). FRAGSTATS: spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. General Technical Report PNW-GTR-351, USDA Forest Service, Pacific Northwest Research Station, Portland.

http://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html

Newman, P., & Kenworthy, J. (1999). Sustainability and Cities: Overcoming Automobile Dependence. Island Press.

Mondal, B., Dolui, G., Pramanik, M., Maity, S., Biswas, S. S., & Pal, R. (2017). Urban expansion and wetland shrinkage estimation using a GIS-based model in the East Kolkata Wetland, India. Ecological Indicators, 83(July), 62–73.

https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.07.037

Nelson, R. R. (2004). The making of the American economy: Long waves of progress. University of Chicago Press.

Pérez-Hernández, C. G., Zapata-N, M. L., Martínez-López, C. A., & Valdez-Cepeda, R. D. (2018). Evaluating the impact of different climate scenarios on the urban growth and development of the Mexico City

Metropolitan Area using SLEUTH model. Urban Climate, 23, 27-47.

Puertas, O. C., García-Ayllón, J. A., & López-Herrera, A. G. (2019). Urban expansion in the Madrid metropolitan area: A spatial analysis approach using landscape metrics. Land Use Policy, 82, 684-697.

Pratibha, P. S.; Priya, M. H.; Duhita, S. D. (2014). Fusion Classification of Multispectral and Panchromatic Image using Improved Decision Tree Algorithm'', IEEExplore, 978-1-4799-3140-8/14/$31.00 ©2014 IEEE.

Pinelli, F., & Pedreschi, D. (2007). Trajectory Pattern Mining. In KDD'07 (pp. 395-404). ACM.

Rifat, S. A. A., & Liu, W. (2019). Quantifying spatiotemporal patterns and major explanatory factors of urban expansion in Miami Metropolitan Area during 1992–2016. Remote Sensing, 11(21), 2493.

https://doi.org/10.3390/rs11212493

Rocha, J., Nunes, M., Mendes, L., Sousa, J., Sá, S., & Pereira, P. (2016). A modified red-edge greenness index based on red and red-edge bands for monitoring vegetation vigor. International Journal of Remote Sensing, 37(1), 71-89

Salem, M., Tsurusaki, N., & Divigalpitiya, P. (2019). Analyzing the driving factors causing urban expansion in the peri-urban areas using logistic regression: A case study of the greater Cairo region. Infrastructures, 4(1), 4.

https://doi.org/10.3390/infrastructures4010004

Seto, K. C., Güneralp, B., & Hutyra, L. R. (2012). Global forecasts of urban expansion to 2030 and direct impacts on biodiversity and carbon pools. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 109(40), 16083–16088.

https://doi.org/10.1073/pnas.1211658109

Salvati, L., Bottalico, F., & De Pol, G. (2017). A new entropy-based index for assessing landscape fragmentation. Ecological Indicators, 80, 1-10.

Terfa, B. K., Chen, N., Zhang, X., & Niyogi, D. (2020). Urbanization in small cities and their significant implications on landscape structures: The case in Ethiopia. Sustainability (Switzerland), 12(3), 1–19.

https://doi.org/10.3390/su12031235

Tucker, C. J., Justice, C. O., Prince, S. D., Kerr, Y. H., & Paltridge, G. W. (1985). Monitoring global land cover from satellite data: A review. International Journal of Remote Sensing, 6(10-11), 1397-1416.

Terfa, B. K., Chen, N., Zhang, X., & Niyogi, D. (2020). Urbanization in small cities and their significant implications on landscape structures: the case in Ethiopia. Sustainability, 12(3), 1235.

Sustainability | Free Full-Text | Urbanization in Small Cities and Their Significant Implications on Landscape Structures: The Case in Ethiopia (mdpi.com)

Ullman, E. L. (1945). The economic base of American manufacturing. Studies in Geography.

Edward Ullman — Wikipédia (wikipedia.org)

UN-Habitat. (2016). The New Urban Agenda. United Nations.

Amazon.com

Wang, J., Liu, Y., Li, Z., Sun, Z., & Liang, L. (2020). Spatial patterns and driving factors of urban expansion in the Pearl River Delta region, China, during 1990-2015. Land Use Policy, 97, 104758.

Wang, B., Wen, X., Chen, S., Zhang, H., & Zhao, Y. (2018). Quantifying Land Use/Land Cover and Landscape Pattern Changes and Impacts on Ecosystem Services. Sustainability, 10(5), 1428.

www.researchgate.net

Wegener, K., Nakamoto, K., & Inoue, Y. (1991). A new vegetation index for desert regions. Remote Sensing of Environment, 34(3), 257-264.

Wei, Y., & Wu, R. (1999). A new aggregation pattern for identifying the spatial distribution of urban features in Landsat TM images. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 65(12), 1443-1449.

Wang, D., Li, X., Chen, Y., Li, Y., & Zhao, J. (2018). Spatiotemporal Variations in Urban Expansion and their Influencing Factors in China. Sustainability, 10(12), 4721.

Wei, Yehua & Ewing, Reid. (2018). Urban expansion, sprawl and inequality. Landscape and Urban Planning. 177. 10.1016/j.landurbplan.2018.05.021.

https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2018.05.021

Yang, Z., Zhang, X., Wu, Y., Li, X., & Jiang, J. (2022). Spatiotemporal analysis of urban expansion intensity and its driving factors in the Pearl River Delta region of China from 1990 to 2020. Land Use Policy, 113, 105916.

Yeh, C.-F., & Li, X. (2001). Measuring spatial patterns of urban sprawl using remote sensing data. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 67(7), 997-1006.

Yazdani M, Farzaneh Sadat Zaranji Z. Optimum Location of Physical Expansion of Sardasht City Using Combined Methods and Transfer Process Fuzzy Network of Spatial Information System. Disaster Prev. Manag. Know. 2024; 13 (4) :474-489. *(In Persian)*

10.32598/DMKP.13.4.779.1

Zhao, Y., Liu, Y., Wang, Z., Liu, W., & Gao, H. (2018). Landscape metrics for assessing urban expansion in the Yangtze River Delta region, China. Ecological Indicators, 95, 971-983.

Zhang, X., Song, W., & Wang, S. (2014). Enhanced Neighborhood Index (ENI): A New Landscape Pattern Index for Measuring Landscape Connectivity. Landscape Ecology, 29(9), 1555-1562.

Zhang, Z., Tu, Y. J., & Li, X. (2016). Quantifying the spatiotemporal patterns of urbanization along urban-rural gradient with a roadscape transect approach: A case study in Shanghai, China. Sustainability, 8(9), 862.

https://doi.org/10.3390/su8090862

Zhang, H., Zhang, Y., Wang, C., & Liu, Y. (2018). Monitoring drought dynamics with the modified normalized difference water index (MNDWI) in a changing climate. Water Resources Management, 32(13), 4427-4442.

Zhang, Z., Li, N., Wang, X., Liu, F., & Yang, L. (2016). A comparative study of urban expansion in Beijing, Tianjin and Tangshan from the 1970s to 2013. Remote Sensing, 8(6).

https://doi.org/10.3390/rs8060496

Zhao, J., Yang, W., Peng, J., Li, C., Li, Z., & Liu, X. (2019). Analyzing and modeling the spatiotemporal dynamics of urban expansion: A case study of Hangzhou city, China. Journal of Environmental Engineering and Landscape Management, 27(4), 228–241.

https://doi.org/10.3846/jeelm.2019.11561

Zha, Y.; Gao, J.; Ni, S. (2003). Use of normalized difference built-up index in automatically mapping urban areas from TM imagery. Int. J. Remote Sens. 2003, 24, 583–594.

https://doi.org/10.1080/01431160304987

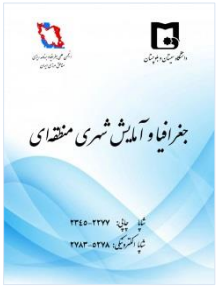
جغرافیا و آمایش شهری منطقه‌ای
شاپا چاپی: ۲۳۴۵-۲۲۷۷ شاپا الکترونیکی: ۲۷۸۳-۵۲۷۸
دانشگاه سیستان و بلوچستان

شناسایی الگوهای گسترش شهری در شهرهای میانه‌اندام (نمونهٔ موردی: شهر ارومیه)

امین خلیلی [۱]، ابوالفضل قنبری [۲*]، بختیار فیضی زاده [۳]

مقاله پژوهشی

جغرافیا و آمایش شهری–منطقه‌ای
پاییز ۱۴۰۳، سال ۱۴، شمارهٔ ۵۲
تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۲/۰۱
تاریخ بازنگری: ۱۴۰۳/۰۳/۰۸
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۴/۰۲
صفحات : ۱۹۴-۱۵۱



واژه‌های کلیدی:
گسترش شهری، الگوهای سیمای سرزمین، رگرسیون فضایی جغرافیایی، سیستم اطلاعات جغرافیایی، ارومیه.

چکیده

شهرنشینی بی‌سابقه در چند دههٔ گذشته، در سطح جهانی اتفاق افتاده است. شهرنشینی معمولاً با تغییر کاربری اراضی و گسترش شهری همراه است. شهرنشینی همراه با گسترش فضایی زمین شهری، منجر به تغییرات الگوی سیمای سرزمین می‌شود. مطالعات قبلی،الگوهای شهرنشینی را در مناطقی با گسترش سریع شهری تحلیل کرده‌اند، درحالی‌که به مناطق شهری با گسترش کم تا متوسط به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه مانند ایران، کمتر پرداخته شده‌است؛ بنابراین هدف از پژوهش حاضر، شناسایی الگوهای گسترش شهری در شهرهای میانه‌اندام است. پژوهش حاضر، توصیفی-اکتشافی و از جنس پژوهش‌های کاربردی است. در این پژوهش، دستهٔ اول داده‌ها، تصاویر ماهواره‌ای خواهد بود. پس از تشکیل یک پایگاه داده از تصاویر ماهواره‌های لندست ۵ و ۸ برای چهار دورهٔ زمانی(۱۹۹۰،۲۰۰۰،۲۰۱۰،۲۰۲۰)، نقشهٔ کاربری اراضی سال‌های مذکور تهیه شد. برای اعتبارسنجی نقشه‌ها، از تصاویر گوگل ارث، نقاط واقعیت زمینی و ضرایب صحت و کاپا استفاده گردید؛ بنابراین روش گردآوری داده‌ها کتابخانه‌ای است. جهت تجزیه‌وتحلیل داده‌ها، از نرم‌افزارهای «Google Earth Engine»، «GIS» و «Fragstat» بهره گرفته شده است. نتایج پژوهش حاضر نشان‌می‌دهد، هنگامی که به‌صورت زمانی نگاهی به گسترش شهری در ارومیه می‌اندازیم، دو دوره مشخص می‌شود. در دورهٔ اول ۱۹۹۰-۲۰۰۰، توسعهٔ سریع در حاشیهٔ شهر، منجر به افزایش اندازهٔ منطقهٔ شهر اصلی شده که با کاهش شاخص «A I» نشان داده شده است. علاوه بر این، گسترش جدید در مناطق جداشده از دیگر مناطق، توسط زمین‌های خالی مشاهده می‌شود که نشان‌دهندهٔ گسترش پراکندهٔ شهر است. در دورهٔ ۲۰۰۰-۲۰۲۰ شدت گسترش شهری کاهش یافته‌است. در این دوره، شهر تجربهٔ کاهش تجمیعی در «GYRATION_MN» داشت و تجمع لکه‌ها به‌شدت کاهش یافته است. این موضوع ممکن است نشان‌دهندهٔ این نکته باشد که رشد ادامه‌دار در ارومیه، بر توسعهٔ لکه‌های شهری تمرکزداشته و این توسعه، با افزایش قابل توجهی در «ENN_MN» و کاهش تجمیعی در «Gyration» همراه بوده‌است. نتایج پژوهش حاضر، به شناسایی چهار الگوی گسترش شهری (تجمعی، پرشی، خطی و گره‌ایی) در شهر ارومیه منجر شده‌است.

مقدمه

انقلاب صنعتی در قرن ۱۸ میلادی، اساس شهرنشینی، بسط و توسعهٔ شهرها، شالودهٔ شهرنشینی و بنیان شهرهای بزرگ را دگرگون ساخت (امان‌پور و همکاران، ۱۳۹۴). جهانی‌شدن، از اواخر دههٔ ۱۹۸۰ موج جدیدی از شهرنشینی را برانگیخت(Wei and Ewing, 2018). گرایش به شهرنشینی، به‌دلیل افزایش جمعیت در اغلب مناطق جهان، به‌شدت در حال گسترش است (اکبری و همکاران، ۱۴۰۱؛ منصوری و همکاران، ۱۴۰۲). در نیم‌قرن اخیر، شهرها با

۱- گروه سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران a.khalili1400@ms.tabrizu.ac.ir
۲- استادیار گروه سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران (نویسنده مسئول) a_ghanbari@tabrizu.ac.ir
۳- دانشیار گروه سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران Feizizadeh@tabrizu.ac.ir

سرعت زیادی گسترش یافته‌اند به‌طوری‌که افزایش درجهٔ شهرنشینی و جمعیت شهری، به‌عنوان واقعیتی غیر قابل انکار مطرح بوده‌است (موحد و همکاران، ۱۳۹۳). در جهان امروز، به سبب رشد و انفجار جمعیت، فرآیند توسعهٔ شهرها و ایجاد شهرهای جدید با سرعت ناشی از تحول در صنعت و فن‌آوری ادامه دارد(موحد و شهسوار، ۱۳۹۹). رشد سریع جمعیت شهرنشین و پیامدهای ناشی از آن در شهرها، پدیده‌ای انکارناپذیر است(یزدانی و زارنچی، ۱۴۰۲)؛ چراکه شهرها به پیروی از نقش و موقعیت جدیدی که پیدا کرده‌اند، شکل‌های تازه‌ای از زندگی اجتماعی را بر خود و فضای پیرامونی خویش تحمیل می‌کنند که آثار آن بر آب‌وهوا، محصولات کشاورزی، بهداشت عمومی و عدالت اجتماعی آشکار است(اکبری و همکاران،۱۴۰۱؛ احمدی و همکاران، ۱۴۰۲)؛ بنابراین شهرنشینی روزافزون، منجر به توسعهٔ چشمگیر در تعدادی از مناطق شهری شده و علاوه بر آن، تغییرات ساختاری کاربری زمین، به‌دلیل رشد و گسترش سریع مناطق شهری، قابل توجه بوده‌است(حکیمی و مصطفایی، ۱۴۰۳).

یکی از مسائل مهم در حوزهٔ برنامه‌ریزی شهری، چگونگی رشد و توسعهٔ فضایی شهر و الگوی حاصل از آن‌است. الگوی حاصل از توزیع فضایی فعالیت‌های انسان شهری که از آن به‌عنوان فرم یا شکل شهر یاد می‌شود، همان الگوی توزیع فضایی انسان و فعالیت‌هایش است که با نوع الگوی مصرف و کاربری زمین سروکار دارد(لطفی و علیزاده، ۱۴۰۲). به‌طور کلی دو نوع رشد شهری (فشرده و افقی) شناخته شده است که ناپایدارترین و نامطلوب‌ترین شکلی که شهرها تاکنون به خود دیده‌اند، شکل گسترده یا گسترش افقی شهری است(حیدری شورسجانی و بیگی، ۱۳۹۷)؛ بنابراین رشد هر شهر به‌صورت یک فرآیند دوگانهٔ گسترش بیرونی و رشد فیزیکی و یا رشد درونی و سازمان‌دهی مجدد است. هر کدام از این دو روش می‌تواند کالبد متفاوت و جداگانه‌ای از دیگری ایجاد کند (انصاری و همکاران، ۱۳۹۷). گسترش سریع و بی‌رویهٔ شهرها، منجر به ساخت‌وسازهای بدون برنامه‌ریزی و رشد مهارنشدنی شده‌است؛ بنابراین این رفتارهای ناپایدار، مشکلات فراوانی را در حوزه‌های زیست‌محیطی، اقتصادی و فرهنگی به‌وجود آورده‌است که می‌تواندبسیار مخاطره‌آمیز و نگران‌کننده‌باشد(حیدری شورسجانی و بیگی، ۱۳۹۷).

امروزه پراکنش یا گسترش افقی بی‌رویهٔ شهر، یکی از بحث برانگیزترین مباحث شهری جهان است. در ایران نیز اکثر شهرها در چند دههٔ اخیر این پدیدهٔ نامطلوب را تجربه‌کرده‌اند. بسیاری از مردم، گستردگی شهری را به‌عنوان توسعهٔ آشفته و نامرتب حومه‌های شهری می‌دانند. «گستردگی شهری» را به‌عنوان گسترش و توسعهٔ نامنظم تعریف می‌کنند. در مورد پیامدهای مثبت و منفی گستردگی شهری، دو دیدگاه وجود دارد: دیدگاه اول، دیدگاه مثبت است که گستردگی را عامل ایجاد مزایای اجتماعی می‌داند و دیدگاه دوم، دیدگاه منفی است که گستردگی را عامل افزایش هزینه‌های اجتماعی می‌داند. به عقیدهٔ گروه دوم، گستردگی باعث ایجاد هزینه‌های فراوان اجتماعی، اقتصادی و زیست‌محیطی برای ساکنین در محدودهٔ شهری می‌شود (حیدری شورسجانی و بیگی، ۱۳۹۷). رشد شتابان شهرنشینی باعث عدم انسجام در ساختار فضایی و قطبی‌شدن یک یا چند کانون شهری شده‌است.این تغییرات، نحوهٔ چیدمان کاربری‌ها در شهر و تراکم ساختمانی و جمعیتی شبکه حمل‌ونقل را شامل می‌شود. در نتیجه الگوهای شهری متفاوت با ساختار فضایی و سیستم حمل‌ونقلی مرتبط با آن به‌وجود می‌آید (موحد و همکاران، ۱۳۹۳). تغییرات چشم‌انداز از مهم‌ترین اثر افزایش جمعیت و شهرنشینی هستند که از برخی مشکلات محیطی مانند از بین‌رفتن اراضی کشاورزی، پیدایش جزیرهٔ حرارتی، تناوب ویژگی‌های هیدرولوژی و کاهش گونه‌های زیستی ناشی می‌شوند. بدیهی است این تغییرات و فعل‌وانفعالات جمعیتی، تأثیر تعیین‌کننده و نمایانی در بعد کالبدی شهرها دارند (حسینی‌خواه و زنگی‌آبادی، ۱۳۹۶).

مطالعات متعددی اثرات گسترش شهری بر ترکیب و پیکربندی الگوهای فضایی را بررسی‌کرده و بر اهمیت بالای آن در ایجاد شهرهای پایدار تأکید کرده‌اند(Mondal et al., 2017) ؛ بااین‌حال، اکثر این مطالعات به‌دلیل تأثیرات قابل توجهی که بر شرایط اجتماعی-اقتصادی و محیطی دارند، بر مناطق بزرگ شهری متمرکز شده‌اند و تأکید نموده‌اند که الگوهای فضایی کلان‌شهرها جهت برنامه‌ریزی برای رشد متوازن بایستی شناسایی شود. در مقابل، به شهرهای متوسط و کوچک، که رشد پراکندهٔ شهری در آن‌ها برجسته‌تر است، توجه کمی شده اشت. در نتیجه ایده‌های مفهومی در مورد شهرنشینی عمدتاً تحت تأثیر مطالعات انجام‌شده در شهرهای بزرگ قرار گرفته‌است (Terfa et al., 2020; Salem et al., 2019)؛ بنابراین در یک جمع‌بندی می‌توان گفت: مطالعات قبلی، الگوهای شهرنشینی را در مناطقی با گسترش سریع شهری تحلیل کرده‌اند درحالی‌که مناطق شهری با گسترش کم تا متوسط به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه مانند ایران نادیده گرفته شده‌است(Al Rifat & Liu, 2019). با توجه به تسلط شهرهای متوسط و کوچک که انتظار می‌رود شهرنشینی آینده را در سطح جهانی هدایت کنند، مطالعهٔ این شهرها مهم است (Terfa et al., 2020). لازم به‌ذکر است کاربرد سنجش‌ازدور، سیستم اطلاعات جغرافیایی «GIS» و تجزیه‌وتحلیل الگوی منظر، مطالعات روی الگوهای منظر شهری و پویایی شهری را در دهه‌های اخیر افزایش داده‌است. بااین‌حال، کمبود قابل توجهی در مطالعات تجربی در مورد پویایی گسترش شهری و روابط بین الگوهای فضایی و فرآیندهای اکولوژیکی در مقیاس‌های مختلف وجود داشته است(Gong et al., 2018)؛ بنابراین بررسی پویایی فضایی و زمانی گسترش شهری می‌تواند از برنامه‌ریزی شهری و تلاش‌های تصمیم‌گیری مرتبط با توسعهٔ شهری پایدار حمایت کند و کمی‌سازی الگوهای مکانی و زمانی گسترش شهری یک پیش‌نیاز مهم برای درک تأثیرات آن بر فرآیندهای اکولوژیکی است (Zhao et al., 2019).

تحول شهری برای ایران، در سال ۱۳۵۹رخ داده‌است. به بیانی دیگر در طی ۶۰ سال گذشته، روند شهرنشینی و روستانشینی در ایران یک الگوی تصاعدی را تجربه کرده و همواره افزایشی بوده‌است. نسبت شهرنشینی در ایران رو به افزایش است و انتظار می‌رود در آینده نیز به روند صعودی خود ادامه دهد (Assari et al., 2016). روند شهرنشینی و گسترش شهری در کشورهای رو به توسعه‌ای مانند ایران، با مشکلات فراوانی روبه‌رو بوده‌است. توزیع نامتناسب و ناهمگون جمعیت و گسترش شتابان شهرها در این کشورها، نابسامانی‌های گوناگون اجتماعی و اقتصادی از جمله: افزایش فقر، افزایش حجم پسماندهای جوامع شهری، بالا رفتن سطح بیکاری و ... را پدید آورده-است (سیدی، ۱۳۹۹؛ پورافکاری و همکاران، ۱۳۸۱).

شهر ارومیه، از شهرهای میانه‌اندام کشور ایران است که رشد شتابان شهرنشینی و رشدی پراکنده را تجربه می‌کند. چنین رشدی منجر به پیامدهای زیادی از جمله: از دست‌رفتن زیستگاه‌ها، تکه‌تکه شدن سیمای سرزمین و شکل‌گیری سکونتگاه‌های پیرامونی بدون برنامه و در نتیجه از بین‌رفتن زمین‌های کشاورزی شده‌است. این پیامدها منجر به افزایش هزینه برای ارگان‌های تصمیم‌گیری شهر ارومیه شده است. در راستای مقابله با چنین رشدی، ارگان‌هایی مانند جهاد کشاورزی و شهرداری ارومیه تاکنون فقط به تخریب خانه‌باغ‌ها پرداخته‌اند که به‌نظر ناکافی است. با توجه به این‌که این رشد بدون برنامه‌ریزی، مدیریت شهری را نه‌تنها در ارائهٔ خدمات با مشکل روبرو کرده بلکه در عصر جهانی‌شدن مدیریت کارآمد و اثربخش را به یک مدیریت منفعل و اقتضایی مبدل ساخته‌است. ترسیم تکامل الگوی فضایی ناشی از گسترش شهری، برای درک فرآیند مهم جغرافیایی، با توجه به ویژگی‌های تغییر الگوهای فضایی و سیمای سرزمین ضروری است؛ بنابراین هدف از پژوهش حاضر، شناسایی الگوهای گسترش

شهری در شهرهای میانه‌اندام (نمونهٔ موردی؛ شهر ارومیه) است. لازم به ذکر است، نوآوری پژوهش حاضر، در کمی-ساختن الگوهای فضایی گسترش شهری در شهرهای میانه‌اندام برای اولین‌بار در ایران است.

ادبیات پژوهش

الگوهای فضایی شهری، به ترتیب‌وتوزیع کاربری‌ها، زیرساخت‌ها و محیط‌های ساخته‌شده در داخل مناطق شهری اشاره‌دارد. این الگوها، ساختار شهرها را شکل‌می‌دهند و بر نحوهٔ تعامل مردم با محیط اطراف خود، دسترسی به خدمات و استفاده از منابع تأثیر می‌گذارند. رابطهٔ بین الگوهای فضایی شهری و پایداری، جنبهٔ مهمی از توسعهٔ شهری معاصر است زیرا پتانسیل ایجاد شهرهای قابل زندگی، کارآمد و تاب‌آور را دارد. پژوهش حاضر با استفاده از طیف وسیعی از منابع علمی، به تعامل پیچیده بین الگوهای فضایی شهری و توسعهٔ پایدار می‌پردازد.

الگوهای فضایی شهری

الگوهای گسترش شهری، به روش‌هایی اشاره دارند که یک شهر در طول زمان به مناطق ساخته‌شده تغییر و توسعه می‌یابد. این الگوها می‌توانند به‌طرق متنوعی تغییر کنند و تحت تأثیر عواملی مانند: رشد جمعیت، توسعهٔ اقتصادی، سیاست‌های کاربری اراضی، سرمایه‌گذاری‌های زیرساختی و محدودیت‌های جغرافیایی قرارگیرند. شهرهای مختلف، الگوهای گسترش مختلفی را نشان‌می‌دهند. الگوهای معمول گسترش شهری عبارتند از:

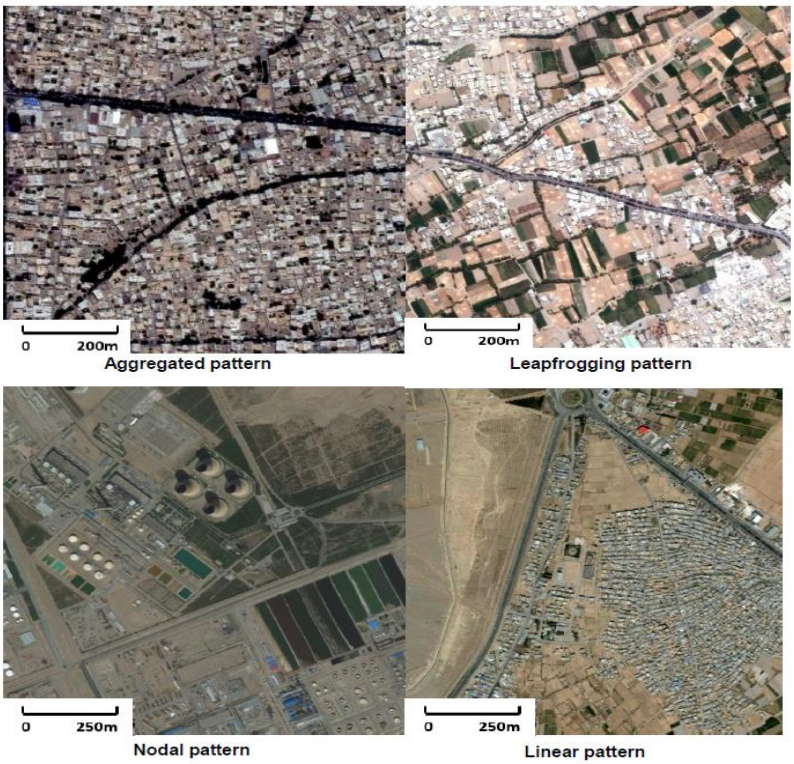
۱. الگوی تجمعی: در این الگو، توسعهٔ شهری جدید، درون یا نزدیک به مناطق ساخته‌شدهٔ قبلی رخ‌می‌دهد. این الگو اغلب شامل گسترش مرکز شهر است و توسط افزایش تجمع و کاهش پراکندگی کاربری اراضی شهری مشخص می‌شود. این الگو در شهرهای تاریخی با اراضی محدود برای گسترش رایج است. در یک جمع‌بندی می‌توان گفت: توسعهٔ انبوه با خوشه‌بندی توسعه‌های جدید در مناطق خاص مشخص می‌شود در حالی‌که سایر مناطق، نسبتاً توسعه‌نیافته باقی می‌مانند. این الگو در شهرهایی با مقررات منطقه‌بندی که توسعهٔ متراکم‌تر را در مناطق خاص تشویق می‌کند، رایج است و می‌تواند منجر به ترکیبی از کاربری‌های شهری و روستایی در یک شهر شود(Heidarinejad, 2017; Wei, 1999; Huang et al., 2007; Huang et al., 2012). لازم به ذکر است، این امر زمانی اتفاق می‌افتد که توسعهٔ جدید در خوشه‌ها اتفاق بیفتد. این نوع گسترش اغلب با تمایل به ایجاد صرفه‌جویی در مقیاس و کاهش هزینه‌های زیرساخت انجام می‌شود. این الگو می‌تواند توسط سیاست‌های دولتی که توسعه را در مناطق خاصی ارتقا می‌دهند، هدایت شود(Angel et al., 2007; Brueckner, 2011; Glaeser, 2011).

۲. الگوی پرشی/جهشی: در این الگو، توسعهٔ مناطق شهری جدید در فاصله‌ای از شهر موجود رخ‌می‌دهد و از اراضی خالی نزدیک به مرکز شهر عبور می‌کند. این امر اغلب به‌دلایلی مانند هزینهٔ پایین‌تر اراضی در مناطق دورتر از شهر یا وجود موانع طبیعی انجام می‌شود. الگوی جلوگیری از پرش به جلو می‌تواند منجر به افزایش گسترش شهری و نیاز به زیرساخت‌های جدید شود؛ بنابراین می‌توان گفت توسعهٔ جهشی با توسعهٔ نواحی شهری جدید یا محله‌هایی که از نظر فیزیکی از بافت شهری موجود جدا شده‌اند مشخص می‌شود. این مناطق جدید اغلب در فاصلهٔ قابل توجهی از شهر مرکزی قرار دارند. توسعهٔ جهشی می‌تواند منجر به استفادهٔ ناکارآمد از زمین و چالش‌های حمل‌ونقل شود، زیرا شکاف‌هایی را بین مناطق شهری ایجاد می‌کند(Heidarinejad, 2017; Nelson, 2004; Seto et al., 2012). در یک جمع‌بندی می‌توان گفت گسترش جهشی، زمانی اتفاق می‌افتد که توسعهٔ جدید در زمین‌های

توسعه‌نیافته‌ای که دور از مراکز شهری موجود قرار دارند، رخ‌می‌دهد. این نوع گسترش اغلب به‌دلایل در دسترس-بودن زمین ارزان، تمایل به اجتناب از ازدحام و سایر مشکلات مرتبط با زندگی در شهرهای بزرگ است. گسترش جهشی را می‌توان با سیاست‌های دولتی که توسعه را در مناطق خاصی ارتقا می‌دهند، هدایت کرد(Angel et al., 2007; Brueckner, 2011; Glaeser, 2011).

۳. الگوی خطی: در الگوی خطی، گسترش شهری در امتداد مسیرهای حمل‌ونقل خاصی مانند: جاده‌ها، راه‌آهن و یا رودخانه‌ها رخ‌می‌دهد. این الگو می‌تواند منجر به ایجاد مناطق شهری نوارمانند (خطی) ایجاد کند که در امتداد بزرگراه‌ها یا بدنه‌های آبی امتداد دارند و اغلب دارای فعالیت‌های تجاری یا صنعتی در امتداد مسیر حمل‌ونقل هستند(Heidarinejad, 2017; Badoe and Miller, 2000; Liu et al., 2014; Huang et al., 2007). در یک جمع-بندی می‌توان گفت این نوع گسترش اغلب ناشی از نیاز به دسترسی به مشاغل و سایر خدمات است. گسترش خطی، همچنین می‌تواند توسط سیاست‌های دولتی که توسعه را در امتداد کریدورهای حمل‌ونقل خاص ترویج می‌کنند، هدایت شود(Angel et al., 2007; Brueckner, 2011; Glaeser, 2011).

۴. الگوی گره‌ایی: در الگوی گره‌ایی، رشد شهری اطراف چند گره یا مرکز درون یک شهر یا منطقهٔ شهری اتفاق می‌افتد. هر گره ممکن است ویژگی‌ها و کاربردهای منحصربه‌فردی داشته‌باشد. مانند: مراکز تجاری، مناطق صنعتی یا مناطق مسکونی. این الگو غالباً از یک الگوی شعاعی پیروی می کند و توسعه از یک یا چند نقطهٔ کانونی در همهٔ جهات به بیرون کشیده می‌شود. این الگوی گسترش در شهرهایی با مراکز کاملاً مشخص مانند بسیاری از شهرهای قدیمی رایج است (Heidarinejad, 2017; Burgess, 1925; Liu et al., 2014; Seto et al., 2012; Huang et al., 2012; Yeh and Li, 2001). در یک جمع‌بندی می‌توان گفت گسترش گره‌ای در اطراف مراکز شهری موجود مانند شهرها و شهرک‌ها اتفاق می‌افتد. این نوع توسعه اغلب ناشی از رشد اقتصادی و رشد جمعیت است. همان‌طورکه شهرها و شهرک‌ها رشد می‌کنند، آن‌ها به زمین بیشتری برای مسکن، مشاغل و زیرساخت‌ها نیاز دارند. گسترش گره‌ها همچنین می‌تواند توسط سیاست‌های دولتی که توسعه را در مناطق خاصی ارتقا می‌دهند، هدایت شود (Angel et al., 2007; Brueckner, 2011; Glaeser, 2011).در شکل ۱ شمایی از چهار نوع الگوی فضایی رشد ذکرشده به تصویر کشیده شده‌است.



شکل ۱: نمونه الگوهای فضایی گسترش شهری
Ref: Heidarinejad, 2017

هر چهار نوع الگوی گسترش شهری، مزایا و معایب خاص خود را دارند. الگوی گره‌ای می‌تواند بـه تمرکـز مشـاغل و خدمات در مراکز شهری موجود کمک کند. همچنین می‌تواند منجر بـه ازدحـام و مشـکلات دیگـری شـود. الگـوی جهشی می‌تواند به کاهش ازدحام در مراکز شهری موجود کمک کند اما همچنین می‌تواند منجر بـه تکـه‌تکـه‌شـدن چشم‌انداز و از دست‌دادن فضای باز شود. الگوی خطی می‌تواند به دسترسی به مشاغل و سایر خدمات کمک کند امـا همچنین می‌تواند منجر به گسترش و از دست‌دادن فضای باز شود. الگوی تجمعی می‌تواند به ایجاد صـرفه‌جـویی در مقیاس و کاهش هزینه‌های زیرساخت کمک کند اما این الگو نیز می‌تواند منجر بـه تکـه‌تکـه‌شـدن چشـم‌انـداز و از دست‌دادن فضای باز شود. بهترین نوع الگوی گسترش شهری برای یک منطقهٔ خاص، به عوامـل مختلفـی ماننـد: در دسترس‌بودن زمین، نیازهای جمعیت و اهداف دولت بسـتگی دارد(Clark and Zamparutti, 2011; Burchell and Mukherji, 2003; Ewing and Hamidi; 2014, Angel et al., 2012).

معیارهای فضایی برای کمی‌سازی الگوی فضایی شهری

متریک‌های فضایی، معیارهای کمی توزیع فضایی اشیا با ویژگی‌هایی هستند که می‌توان از آن‌ها برای کمی‌سازی الگوی فضایی شهری با اندازه‌گیری ویژگی‌های کاربری زمین شهری مانند: اندازه، شکل و اتصال ویژگی‌های مختلف شهری استفاده کرد. به‌منظور درک الگوهای اصلی گسترش شهری که در نتیجه الگوهای فضایی در شهر است. یکی از مهم‌ترین مراحل در تحلیل الگوی شهری، کمی‌کردن سطح تجمع الگوهای فضایی است (Hong et al., 2000;

Clark & Evans, 1954). بررسی ادبیات پژوهش مشخص می‌کند که ۳ شاخص برای کمی‌سازی الگوهای فضایی می‌تواند مناسب باشد. این سه شاخص عبارتند از: شاخص تجمع، فشردگی و میانگین نزدیک‌ترین همسایه اقلیدسی. شاخص تجمع، ابزاری قدرتمند برای درک و مدیریت الگوهای فضایی در سیمای سرزمین است(He et al., 2001). شاخص تجمع (AI) یک متریک فضایی است که برای تعیین کمیت درجهٔ خوشه‌بندی یا تجمیع ویژگی‌های مشابه در یک منظر یا مجموعهٔ دادهٔ فضایی استفاده می‌شود. شاخص تجمع، به تعداد مجاورت‌های یک طبقه پوشش زمین مشخص تقسیم بر حداکثر تعداد ممکن مجاورت‌های مشابه مربوط به آن طبقه اشاره دارد که ممکن است مؤثرتر باشد. زیرا امکان تمرکز روی یک طبقه را در آن زمان فراهم می‌کند (Alberti, 2008). این شاخص اطلاعاتی در مورد چگونگی خوشه یا پراکندگی اشیا در یک منطقهٔ مشخص ارائه می‌دهد. به‌ویژه در زمینه‌های مختلف از جمله بوم‌شناسی، جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری برای ارزیابی توزیع فضایی موجودات یا پدیده‌ها مفید است. از آن‌جایی که این شاخص مختص کلاس است، دقیق‌تر از سایر شاخص‌هایی است که تجمع کلی سیمای سرزمین را اندازه‌گیری می‌کنند؛ بنابراین «AI» یک مبنای کمی برای ارتباط الگوی فضایی یک کلاس با یک فرآیند خاص را فراهم می‌کند. از آن‌جایی که شاخص تجمع یک متغیر نسبت است، واحدهای نقشه، تأثیری در محاسبه ندارندو می‌توان آن‌را با کلاس‌های سیمای مشابه یا متفاوت، یا حتی طبقات مشابه از یک سیما تحت وضوح‌های مختلف مقایسه کرد(Hong et al., 2000; Heidarinejad, 2017) .

بنابراین در یک جمع‌بندی می‌توان گفت شاخص تجمع «AI» یک اندازه‌گیری کمی از سطح تجمع یک الگوی فضایی است. با تقسیم تعداد مجاورت‌های مشابه بر حداکثر تعداد ممکن تئوری مجاورت‌های مشابه برای آن کلاس محاسبه می‌شود. شاخص تجمع می‌تواند از ۰ تا ۱ متغیر باشد که مقادیر بالاتر نشان‌دهندهٔ تجمع بیشتر است. شاخص تجمع، یک شاخص مخصوص کلاس است. به این معنی که برای هر طبقهٔ مورد علاقه در یک منظره، به‌طور جداگانه محاسبه می‌شود و نسبت به سایر شاخص‌های تجمع، مانند شاخص سرای (CI) که تجمع کلی چشم‌انداز/سیمای سرزمین را اندازه‌گیری می‌کند، دقیق‌تر است. شاخص تجمع نیز مستقل از ترکیب منظر/سیمای سرزمین است. به این معنی که از حضور یا عدم وجود کلاس‌های دیگر در منظر تأثیر نمی‌پذیرد. این امر امکان مقایسهٔ مقادیر شاخص تجمع را برای کلاس‌هایی از مناظر مشابه یا متفاوت یا حتی کلاس‌های مشابه از یک چشم-انداز با وضوح‌های مختلف فراهم می کند(جدول ۱)(He et al., 2001).

شاخص‌های فشردگی برای تعیین میزان جای پای شهری محاسبه می‌شوند. جای پای شهری تقریباً یک دایره است. این مطالعه از میانگین شعاع چرخش «MRoG» [1] به‌عنوان ابزاری مناسب برای اندازه‌گیری وسعت تکه‌ها و اتصال‌ها استفاده می‌کند که واحدهای اندازه‌گیری واقعی (متر) را حفظ می‌کند. میانگین شعاع چرخش یک متریک سیما است که پراکندگی تکه‌های زیستگاه را در اطراف یک نقطهٔ مرکزی اندازه‌گیری می‌کند؛ بنابراین شاخص میانگین، شعاع چرخش بینش‌هایی را در مورد چگونگی متمرکز یا پراکندگی اشیا در یک منطقهٔ مشخص ارائه‌می-دهد. میانگین شعاع شاخص چرخش، برابر است با میانگین فاصلهٔ «M» بین هر سلول در تکه و مرکز تکه (Heidarinejad,2017; Botequilha et al., 2006; Baker et al., 2015; Rocha et al., 2016). در نتیجه میانگین شعاع چرخش، یک معیار مفید برای ارزیابی تأثیر تغییر کاربری زمین بر مناظر سیمای سرزمین است (Baker et al., 2015). یک شاخص میانگین شعاع چرخش کوچک‌تر نشان‌دهندهٔ فشردگی‌است. در حالی‌که یک شاخص

[1] . Mean Radius of Gyration

میانگین شعاع چرخش(MRoG) بزرگ‌تر نشان‌می‌دهد که اشیا بیشتر از مرکز خود پراکنده شده‌اند(Wang et al, 2018; Pérez-Hernández et al., 2018). لازم به ذکر است شاخص میانگین شعاع چرخش(MRoG) ابزاری قدرتمند برای درک و مدیریت سیمای سرزمین است. این یک معیار نسبتا جدید است اما به سرعت در میان بوم-شناسان سیما و محققان سایر رشته محبوبیت پیدا کرده‌است(جدول ۱) (McGarigal et al., 2012; Rocha et al., 2016).

میانگین نزدیک‌ترین همسایهٔ اقلیدسی (ENN_MN) [1]یک متریک فضایی ارزشمند است که برای ارزیابی فاصلهٔ متوسط بین اشیا یا نقاط در یک مجموعهٔ داده استفاده‌می‌شود. درک توزیع کلی فضایی اشیا یا ویژگی‌ها به‌ویژه در تحلیل فضایی ارزشمند است. این شاخص بینش‌هایی را در مورد این‌که آیا اشیا تمایل به خوشه‌بندی یا پراکندگی در یک منطقهٔ مطالعه دارند ارائه‌می‌دهد. در نتیجه میانگین فاصلهٔ اقلیدسی، نزدیکترین همسایهٔ یک آمار فضایی است که میانگین فاصله بین یک نقطه و نزدیکترین همسایهٔ آن از همان کلاس را اندازه می‌گیرد. با جمع‌کردن فاصله بین تمام نقاط و نزدیکترین همسایگان آن‌ها در یک کلاس و سپس تقسیم بر تعداد کل نقاط محاسبه-می‌شود. می‌توان گفت میانگین نزدیک‌ترین همسایه اقلیدسی(ENN_MN) فاصله تا نزدیک‌ترین تکه‌همسایه از همان نوع را بر اساس کوتاه‌ترین فاصله خط مستقیم محاسبه‌شده از مراکز سلولی اندازه‌گیری می‌کند (McGarigal and Marks, 1995; Diggle, 2013; Jin and He; 2012; Liu et al., 2019). مقادیر میانگین نزدیک‌ترین همسایهٔ اقلیدسی همیشه بزرگ‌تر از صفر و بدون محدودیت هستند. با کاهش فاصله تا نزدیک‌ترین همسایه این شاخص به صفر نزدیک می‌شود. حداقل مقدار این شاخص توسط اندازه سلول محدود می‌شود و برابر با دو برابر اندازهٔ سلول در هنگام استفاده از قانون تکه‌همسایه است. حد بالایی توسط وسعت سیمای سرزمین محدود می‌شود که در این پژوهش اندازهٔ بلوک است. اگر تکه هیچ همسایه‌ای نداشته باشد (یعنی هیچ تکهٔ دیگری از همان کلاس نباشد) میانگین نزدیک‌ترین همسایه اقلیدسی تعریف نمی‌شود(Heidarinejad,2017; McGarigal, 2012) . بنابراین مقدار این شاخص نشان‌دهندهٔ میانگین فاصله‌ای است که اجسام از نزدیکترین همسایگان خود در آن قرار دارند. یک مقدار کوچکتر نشان‌می‌دهد که اشیا تمایل دارند به نزدیکترین همسایگان خود نزدیکتر باشند، که نشان‌دهندهٔ خوشه‌بندی یا وابستگی فضایی است. برعکس، یک مقدار بزرگتر نشان‌می‌دهد که اشیا، پراکنده‌تر یا به‌طور مساوی در سراسر منطقهٔ مورد مطالعه توزیع شده‌اند(جدول ۱) (Diggle, 2013; Jin and He; 2012).

جدول ۱: ویژگی‌های معیارهای فضایی

عنوان	توصیف
$AI = \left[\frac{g_{ii}}{\max - g_{ii}}\right](100)$	g_{ii}= تعداد همجواری‌های مشابه (اتصال) بین پیکسل‌های نوع وصله (کلاس) i، براساس روش تک شماری، $\max -$ g_{ii}= حداکثر تعداد مجاورت‌های مشابه (اتصال) بین پیکسل‌های نوع پچ (کلاس) i ، بر اساس روش تک شماری.
بازه	$0 \leq AI \leq 100$، با توجه به هر Pi ، AI برابر ۰ است که نوع پچ کانونی حداکثر تفکیک شده باشد. AI با جمع-شدن فزآیندهٔ نوع پچ کانونی افزایش می‌یابد و زمانی که نوع پچ حداکثر در یک پچ فشرده جمع می‌شود، برابر با ۱۰۰ می‌شود.

[1] . Mean Euclidean Nearest Neighbor

$MGYRATE = \sum_{r=1}^{z} \frac{h_{ijr}}{z}$	hijr = فاصله (m) بین سلول ijr [واقع در پچ ij] و پچ مرکزی ij (میانگین مکان) براساس فاصلهٔ مرکز تا مرکز سلول؛ z = ij و مرکز پچ ij
بازه	GYRATE ≥ 0، بدون محدودیت، GYRATE = 0 هنگامی که پچ از یک سلول تشکیل شده است و با افزایش وسعت پچ بدون محدودیت افزایش می‌یابد. GYRATE زمانی به حداکثر مقدار خود می‌رسد که پچ کل سیما را در بر گیرد.
$ENNMN = \frac{\sum_{j=1}^{n} h_{ij}}{n_i}$	hij =فاصله (m) از پچ ij تا نزدیک‌ترین پچ همسایه از همان نوع (کلاس)، بر اساس فاصله پچ لبه به لبه، محاسبه شده از مرکز سلول به مرکز سلول
بازه	ENN > 0، بدون محدودیت. با کاهش فاصله تا نزدیک‌ترین همسایه ENN به ۰ نزدیک می‌شود. حداقل ENN توسط اندازه سلول محدود می‌شود و برابر است با دو برابر اندازه سلول در هنگام استفاده از قانون پچ ۸ همسایه یا فاصله بین همسایه‌های مورب در هنگام استفاده از قانون ۴ همسایه. حد بالایی توسط وسعت سیما محدود شده‌است. اگر وصله همسایه‌ای نداشته باشد (یعنی هیچ وصلهٔ دیگری از همان کلاس) ENN تعریف نشده است و در فایل "patch "basename ". "N/A گزارش می‌شود.

(منبع: نویسندگان، ۱۴۰۲)

روش پژوهش

پژوهش حاضر، توصیفی–اکتشافی و از جنس پژوهش‌های کاربردی است. در پژوهش حاضر، دستهٔ اول داده‌ها ابتدا تصاویر ماهواره‌ای خواهد بود؛ بنابراین تصاویر ماهواره‌ای سال‌های ۱۹۹۰، ۲۰۰۰، ۲۰۱۰، و ۲۰۲۰ شهر ارومیه از ماهوارهٔ لندست دریافت شده و با استفاده از نرم‌افزارهای مرتبط پردازش شده‌است. در نتیجه در پژوهش حاضر، دستهٔ اول داده‌ها ابتدا تصاویر ماهواره‌ای خواهد بود پس از تشکیل یک پایگاه داده از تصاویر ماهواره‌های لندست ۵ و ۸ برای چهار دوره زمانی(۲۰۲۰،۲۰۱۰،۲۰۰۰،۱۹۹۰)، نقشهٔ کاربری اراضی سال‌های مذکور تهیه شده‌است. برای اعتبارسنجی نقشه‌ها، از تصاویر گوگل ارث، نقاط واقعیت زمینی و ضرایب صحت و کاپا استفاده شده‌است؛ بنابراین روش گردآوری داده‌ها کتابخانه‌ای است. و جهت تجزیه‌وتحلیل داده‌ها از نرم‌افزارهای «Google Earth Engine»، «GIS» و «Fragstat» بهره گرفته شده‌است. در این پژوهش، با توجه به اهداف مورد نظر، سه شاخص برای کمی-سازی الگوهای فضایی شناسایی شده‌اند. برای ترسیم الگوی فضایی شهری، معیارهای مختلف سیمای سرزمین با استفاده از نرم‌افزار «Fragstats 4.2» محاسبه‌شد. با این وجود، یافتن ارتباط بین مقادیر متریک و الگو دشواراست. درواقع، بیشتر معیارها در بین خود همبستگی دارند (McGarigal et al., 2012). علاوه بر این، غیر ممکن به‌نظر می‌رسد که یک متریک واحد بتواند یک الگوی فضایی را به‌طور کامل توصیف کند؛ بنابراین انتخاب معیارها، کاملاً به هدف مطالعه بستگی دارد. براساس هدف، برای کمی‌کردن ویژگی‌های فضایی زمین شهری، ناهمگونی سیما در دو طبقهٔ شهری و غیر شهری ارائه‌می‌شود. ساخت‌وساز به‌عنوان زمین شهری تعریف شد، درحالی‌که طبقات دیگر زمین به‌عنوان طبقهٔ غیر شهری طبقه‌بندی شدند. با توجه به اهداف این مطالعه، سه معیار در سطح کلاس انتخاب شدند که به تغییرات ترتیب و همچنین پیکربندی فضایی حساس هستند.

محدودهٔ موردمطالعه

شهرنشینی، فرآیندی است که طی آن مردم از مناطق روستایی به شهرها نقل مکان می‌کنند. ایران کشوری است که روند شهرنشینی در آن به‌سرعت در حال گسترش است و بیش از ۷۶ درصد جمعیت آن در سال ۲۰۲۳ در

مناطق شهری زندگی می کنند. این رقم در سال ۱۹۸۶، ۵۱ درصد بوده‌است. جمعیت ایران طی ۵۰ سال گذشته افزایش یافته است و در دهه‌های آینده نیز به رشد خود ادامه خواهد داد. ارومیه یکی از کلان‌شهرهای ایران و مرکز استان آذربایجان غربی است. شهرستان ارومیه، در شمال غربی ایران با وسعتی بیش از ۱۱۲۳۰ هکتار، در کنار دریاچهٔ ارومیه و در منطقهٔ آذربایجان واقع شده‌است. این منطقه، درمجموع منطقه‌ای است که از جهت غرب به شرق از میزان ارتفاعات آن کاسته می‌شود و به ناحیهٔ دشت ارومیه منتهی می‌گردد. این شهر، طبق سرشماری سال ۱۳۹۵ با ۷۳۶،۲۲۴ نفر جمعیت، دهمین شهر پرجمعیت ایران و دومین شهر پرجمعیت منطقهٔ شمال غرب ایران به‌شمار می‌آید.

نقشهٔ پوشش زمین/اراضی

جهت تهیهٔ نقشه‌های کاربری اراضی، از تصاویر ماهوارهٔ لندست سال‌های ۱۹۹۰، ۲۰۰۰، ۲۰۱۰ و ۲۰۲۰ استفاده شد. پوشش‌های زمین در ارومیه، به چهار دستهٔ عمومی تقسیم شد: زمین‌های ساخته‌شده[1]، پوشش گیاهی (غیر جنگلی و جنگلی)[2]، پهنه‌های آبی[3]، و زمین‌های بایر [4] تمامی مراحل طبقه‌بندی در سامانهٔ گوگل ارثانجین «Google Earth Engine» انجام شده‌است. در این سامانه، به‌منظور انتخاب تصاویر با کیفیت و اصلاح‌شده از نظر هندسی و جوی، از روش میانگین‌گیری تصاویر استفاده شد. در این روش به‌جای انتخاب تنها یک عکس برای یک روز، مجموعه‌ای از تصاویر برای هر دوره گرداوری‌شد و سپس میانگین تصاویر به‌عنوان خروجی انتخاب گردید. داده-های کالکشن «LANDSAT/LC08/C01/T_SR»از نظر هندسی و جوی تصحیح‌شده هستند که عبارت «SR »، بیانگر این مطلب است. بازهٔ زمانی نیز فصل تابستان انتخاب شد تا وجود ابر در تصاویر به حداقل ممکن برسد. عبارت «filterDate(‘2020-07-01’ , ‘2020-10-01’ » بازه زمانی مجموعه‌تصاویر انتخاب شده را نشان‌می‌دهد. همچنین عبارت median دستوری است که از طریق آن تمام مجموعه‌تصاویر موجود در بازهٔ زمانی فراخوانی شده و تبدیل به یک تصویر واحد می‌شوند تا برای پردازش‌های بعدی مورد استفاده قرارگیرد.

براساس سه عنصر اصلی پوشش زمین-اراضی شهری، پوشش گیاهی و پهنه‌های آبی، سه شاخص UI ، SAVIو MNDWIانتخاب شدند تا به ترتیب، این سه دستهٔ اصلی از پوشش زمین را نمایان کنند. در این مطالعه، از SAVI به‌دلیل مزیت آن نسبت به NDVI برای برجسته‌کردن ویژگی‌های گیاهی استفاده‌شد.

شاخص گیاهی تنظیم‌شده با خاک (SAVI) یک شاخص سنجش از دور است که برای اندازه‌گیری و پایش پوشش گیاهی استفاده می‌شود. شاخص SAVI ابزاری قدرتمند برای اندازه‌گیری و پایش پوشش گیاهی است (Huete, 1988; Qi et al., 1994; Jensen, 2016; Tucker et al., 1985). در این پژوهش، از SAVI به‌جای شاخص تفاوت نرمال‌شده (NDVI) استفاده شده‌است، زیرا قابلیت‌های بیشتر آن برای تجزیه‌وتحلیل مناطق با حداقل پوشش گیاهی، مانند مناطق شهری، به‌منظور برجسته‌کردن ویژگی‌های گیاهی است. SAVI را می‌توان در مناطقی با حداقل ۱۵ درصد پوشش گیاهی استفاده کرد، اما NDVI را می‌توان به‌طور مؤثر در مناطقی با سطح پوشش گیاهی حداقل ۳۰ درصد استفاده کرد(Herold et al., 2015) . فرمول ۱ نشان‌دهندهٔ شاخص گیاهی تنظیم‌شده با خاک

[1] . Built_up
[2] . Vegetation
[3] . Water bodies
[4] . barren

(SAVI)است که در آن «NIR» مقدار بازتاب سنسور TM باند ۴ (نزدیک به مادون قرمز) است. قرمز نشان‌دهندهٔ مقدار بازتاب باند ۳ (قرمز) در سنسور TM است.(L) یک عامل اصلاح است با محدودهٔ صفر برای چگالی بسیار بالا و ۱ برای چگالی بسیار کم. با توجه به این‌که محدودهٔ مورد مطالعه دارای تراکم پوشش گیاهی متوسط است، تصویر پوشش گیاهی بهبودیافته ایجادشد. (با استفاده از مقدار ۰.۵) SAVI می‌تواند بین پوشش گیاهی و زمین‌های ساخته‌شده یا خشک با گسترش دامنهٔ آن تمایز قائل شود؛ بنابراین SAVI بر این اصل استوار است که پوشش گیاهی بازتاب بالایی در نوار نزدیک به فروسرخ و بازتاب کم در نوار قرمز دارد. ضریب تصحیح روشنایی خاک برای به حداقل رساندن تأثیر روشنایی خاک بر مقدار SAVI استفاده می‌شود(Huete et al., 1991, Zhang et al., 2003).

فرمول شمارهٔ ۱:

$$SAVI = [(NIR - Red) / (NIR + Red + L)] * (1 + L)$$

« I » یک ضریب تصحیح است که از صفر برای چگالی‌های خیلی‌زیاد تا ۱ برای چگالی‌های خیلی‌کم متغیر است؛ بنابراین SAVI نسبت به سایر شاخص‌های گیاهی، مانند شاخص گیاهی تفاوت نرمال‌شده (NDVI) مزایای زیادی دارد. اول این‌که SAVI نسبت به NDVI حساسیت کمتری به روشنایی خاک دارد. دوم، SAVI در تمایز بین پوشش گیاهی و سایر انواع پوشش زمین، مانند خاک و آب مؤثرتر است(Huete, 1988; Qi et al., 1994; Jensen, 2016). پس از تولید تصویر پوشش گیاهی با استفاده از SAVI، تصویر زمین ساخته‌شده با استفاده از شاخص شهری (UI) با فرمول شماره ۲ تولید شد که در آن NIR و SWIR مقادیر بازتابی باند ۴ (نزدیک مادون قرمز) و باند ۷ هستند که توسط سنسور TM شناسایی شدند. شاخص UI ابزاری قدرتمند برای شناسایی و نظارت بر مناطق شهری است. (Zha et al., 2003; Kawamura et al., 1992; Huang et al., 2019; He et al., 2015).

فرمول شماره ۲:

$$UI = SWIR – NIR/ SWIR + NIR$$

جایی‌که UI شاخص شهری است.

SWIR مقادیر بازتاب را در باند موج کوتاه مادون قرمز (SWIR) نشان‌می‌دهد که معمولاً در داده‌های سنجش از راه دور یافت می‌شود.

NIR مقادیر بازتاب را در باند مادون قرمز نزدیک (NIR) نشان‌می‌دهد.

ایدهٔ سازندهٔ شاخص شهری (UI) این‌است که مناطق شهری به‌دلیل موادی که معمولاً در شهرها یافت می‌شود، مانند بتن و آسفالت، بازتاب نسبتاً بالایی در نوار SWIR دارند. در مقابل، مناطق طبیعی یا غیر شهری معمولاً بازتاب SWIR کمتری دارند. با محاسبهٔ UI، می‌توان شاخصی ایجاد نمود که تفاوت‌های طیفی بین انواع پوشش زمین را افزایش‌دهد و تشخیص مناطق شهری از غیر شهری را آسان‌تر نماید؛

بنابراین برای کمک به جداسازی مناطق ساخته‌شده از زمین‌های بایر، از شاخص شهری (UI) استفاده شد. ویژگی-های شهری در شاخص شهری (UI) در مقایسه با شاخص ایجاد تفاوت عادی شده (NDBI) قابل تشخیص‌تر است و بهترین نتایج زمانی حاصل می‌شود که از باند ۷ به‌جای باند ۵ استفاده شود (Bouhennache et al., 2015; Pratibha et al., 2014). در نتیجه، این مقادیر شاخص شهری به‌جای داده‌های شاخص ایجاد تفاوت عادی شده (NDBI)به‌کار گرفته شدند. در یک جمع‌بندی می‌توان گفت شاخص شهری(UI) نسبت به سایر شاخص‌های شهری، مانند شاخص ایجاد تفاوت عادی (NDBI) مزایای زیادی دارد. اول این‌که، رابط کاربری نسبت به NDBI

نسبت به تداخل جوی حساسیت کمتری دارد. دوم، UI در تمایز بین مناطق شهری و سایر انواع پوشش زمین، مانند خاک و پوشش گیاهی موثرتر است.

شاخص تغییر نرمال‌شدهٔ آب اصلاح‌شده (MNDWI) آب را از پس‌زمینه‌ای که عمدتاً از زمین‌های ساخته‌شده تشکیل شده‌است متمایز می‌کند. طبق گفتهٔ ژو (۲۰۰۵)[1]، MNDWI از نظر نتایج از شاخص تفاوت عادی آب (NDWI) عملکرد بهتری داشته است. فرمول ۳ (McFeeters, 1996) ، NDWI اصلاح‌شده (MNDWI) را توصیف می‌کند که در آن MIR یک باند مادون قرمز میانی مانند باند ۵ TM است.

فرمول شمارهٔ ۳:

MNDWI = (Green - SWIR) / (Green + SWIR)

جایی‌که MNDWI ، شاخص تغییر نرمال‌شدهٔ آب است .

Green: نشان‌دهندهٔ مقادیر بازتاب در باند طیفی سبز است.

SWIR: مقادیر بازتاب را در باند مادون قرمز موج کوتاه (SWIR) نشان‌می‌دهد.

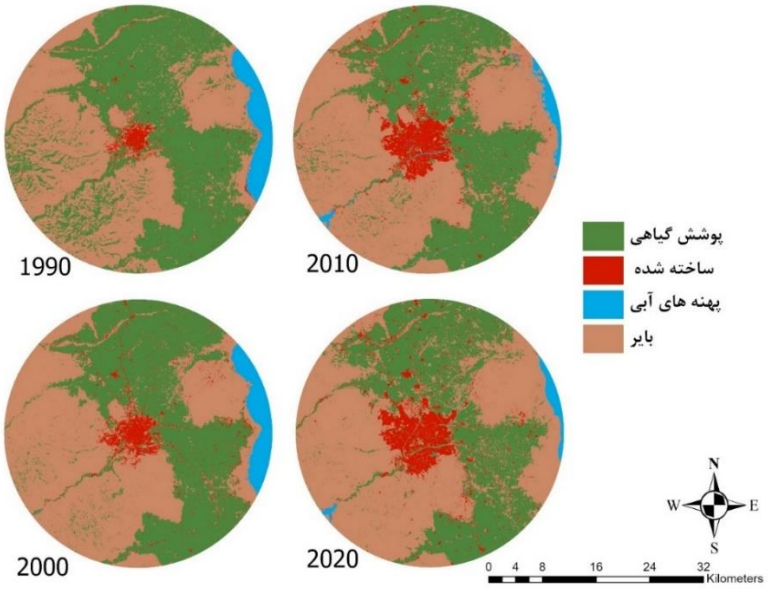
در یک جمع‌بندی می‌توان گفت MNDWI به‌عنوان اصلاحیه‌ای از شاخص اختلاف نرمال‌شدهٔ آب (NDWI) توسط ژو (۲۰۰۶) برای بهبود حساسیت آن به آب کم‌عمق و کاهش مثبت کاذب در تشخیص آب معرفی شد.

MNDWI بر این اصل استوار است که آب دارای بازتاب زیاد در نوار سبز و بازتاب کم در نوار مادون قرمز متوسط است. این به این دلیل است که آب، تشعشعات مادون قرمز میانی را جذب می‌کند، در حالی‌که نور سبز به سنسور ماهواره منعکس می‌شود.MNDWI نسبت به سایر شاخص‌های آب، مانند شاخص تفاوت عادی آب (NDWI) دارای چندین مزیت است. اول، MNDWI نسبت به NDWI حساسیت کمتری نسبت به تداخل جوی دارد. دوم، MNDWI در تمایز بین آب و سایر انواع پوشش زمین، مانند خاک و پوشش گیاهی مؤثرتر است. این شاخص در کاربردهای مرتبط با مدیریت منابع آب، نقشه‌برداری تالاب و پایش سیلاب به‌دلیل اثربخشی آن در برجسته کردن ویژگی‌های آب آزاد، کاربرد گسترده‌ای یافته‌است(Hu, 2006; McFeeters, 1996; Feyisa et al., 2014; Gao et al., 2009; Zhang et al., 2018).

پس از تولید تصاویر SAVI، MNDWI و UI ، مجموعه‌دادهٔ جدیدی ایجاد شد که از این سه تصویر جدید به‌عنوان سه باند استفاده می‌کرد. تغییر از تصویر اصلی هفت باند چندطیفی به تصویر سه باند موضوعی، تا حد زیادی همبستگی بین باندها را کاهش می‌دهد. سپس با ترکیب سه باند جدید، تصویر جدیدی ایجادشد.

روش طبقه‌بندی نظارت‌شده برای استخراج ویژگی‌های پوشش زمین از تصاویر جدید متشکل از سه باند موضوع-محور استفاده‌شد. رویکرد ماشین‌های بردار پشتیبان مبتنی بر استفاده از نمونه‌های آموزشی برای فرآیند طبقه‌بندی نظارت‌شده استفاده‌شد. در نتیجه، چهار طبقهٔ اصلی پوشش زمین شهری، پوشش گیاهی (ارزش بالای SAVI) ، آب (مقادیر بالای MNDWI)، منطقهٔ ساخته‌شده (ارزش بالای UI) و زمین بایر (ارزش پایین UI) به‌خوبی از هم جدا شده‌اند(شکل ۲). دقت طبقه‌بندی برای تصاویر تهیه‌شده به‌ترتیب ۰.۷، ۰.۷۳، ۰.۷۷ و ۰.۹۲ است.

[1] . Xu (2005)



شکل ۲: تصاویر طبقه‌بندی‌شدهٔ منطقهٔ شهری ارومیه ۱۹۹۰-۲۰۲۰

(منبع: نویسندگان، ۱۴۰۲)

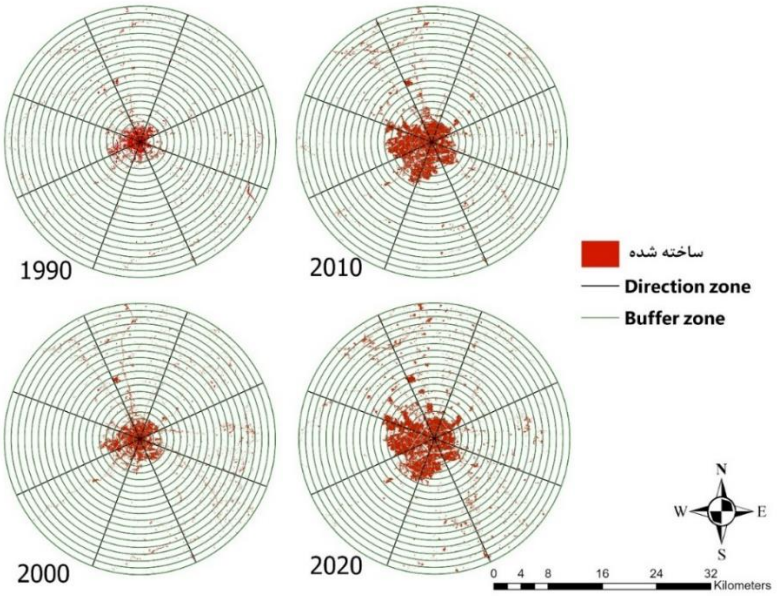
تکنیک گرادیان

مدل گرادیان، تکنیک مفیدی برای ارائهٔ تغییرات مکانی و زمانی الگوهای بین مناطق شهری و روستایی بوده‌است(McDonnell and Pickett, 1990; Zhang et al, 2016;Cheng et al., 2019; Yang et al, 2022). مطالعهٔ حاضر گسترش شهری را در هر دو زمینهٔ مکانی و زمانی بررسی می‌کند. بدین منظور، تجزیه‌وتحلیل گرادیان در کنار سنجش از دور و سیستم اطلاعات جغرافیایی به‌کار گرفته شده‌است. تجزیه‌وتحلیل بافر مبتنی بر سیستم اطلاعات جغرافیایی در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفته که شامل مناطق بافر دایره‌ای در اطراف مرکز شهر بوده است. در ابتدا، نقطهٔ مرکزی شهر (به‌عنوان مرکز شهر) در مکان مرکزی، منطقه تجاری (CBD) در نظر گرفته شده‌است. یک منطقهٔ حائل (۲۰ ناحیه متحدالمرکز/بافر) با عرض ۱ کیلومتر که کل منطقه را پوشش می‌دهد، ایجاد شده‌است. این سیستم به‌منظور بررسی روند گسترش کلی در محدودهٔ ارومیه (شامل ناحیهٔ شهری ارومیه و حومه) طراحی شده است. سپس آخرین ناحیهٔ دایره‌ای، به هشت بخش مساوی در هشت جهت (شمال ، شمال شرقی ، شرق ، جنوب شرقی ، جنوب ، جنوب غربی، غرب و شمال غربی) تقسیم شده‌است. این مناطق چندگانه برای استخراج منطقهٔ ساخته‌شده در جهات مختلف اعمال می‌شود تا بتوان آن‌ها را از نظر آماری مقایسه نمود.

مرور ادبیات نشان‌می‌دهد که مدل گرادیان[1] همچنان تکنیک مفیدی برای پایش تغییرات فضایی و زمانی در الگوی مناطق شهری و روستایی بوده است؛ بنابراین در چارچوب توسعهٔ یک سیستم اطلاعات مبتنی بر سیستم اطلاعات جغرافیایی برای تحلیل الگوی فضایی، تجزیه‌وتحلیل مبتنی بر بافر جی آی اس[2]، به‌کار گرفته‌شد. هر واحد به‌عنوان یک واحد فضایی پایه، برای مشخص‌کردن رفتار رشد شهری وابسته به فاصله با مقادیر مخصوص به یک دورهٔ زمانی

[1] . Gradian
[2] . Buffer GIS

استفاده شد؛ بنابراین برای ساختن حلقه‌های هم‌مرکز، (۲۰ منطقهٔ مرکزی) با عرض ۱ کیلومتر برای پوشش کامل منطقه (شامل منطقهٔ شهری و حومهٔ ارومیه) ایجاد شد (شکل ۳). برای محاسبهٔ مساحت زمین ساخته‌شده برای هر بخش، شبکهٔ شهری با استفاده از فایل‌های شکل مرکزی و جهت‌ها برش داده‌شد. سپس مساحت شهری کل برای هر منطقه با ضرب تعداد پیکسل‌های شهری در مساحت هر پیکسل محاسبه‌شد.



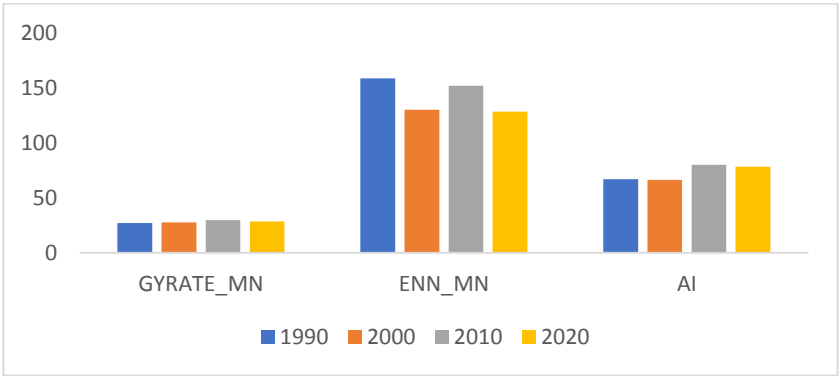
شکل ۳: اراضی ساخته و زون‌بندی منطقهٔ شهری ارومیه در بازهٔ زمانی ۱۹۹۰-۲۰۲۰
(منبع: نویسندگان، ۱۴۰۲)

تجزیه‌وتحلیل و بحث

الگوهای سیمای سرزمین در منطقهٔ شهری ارومیه

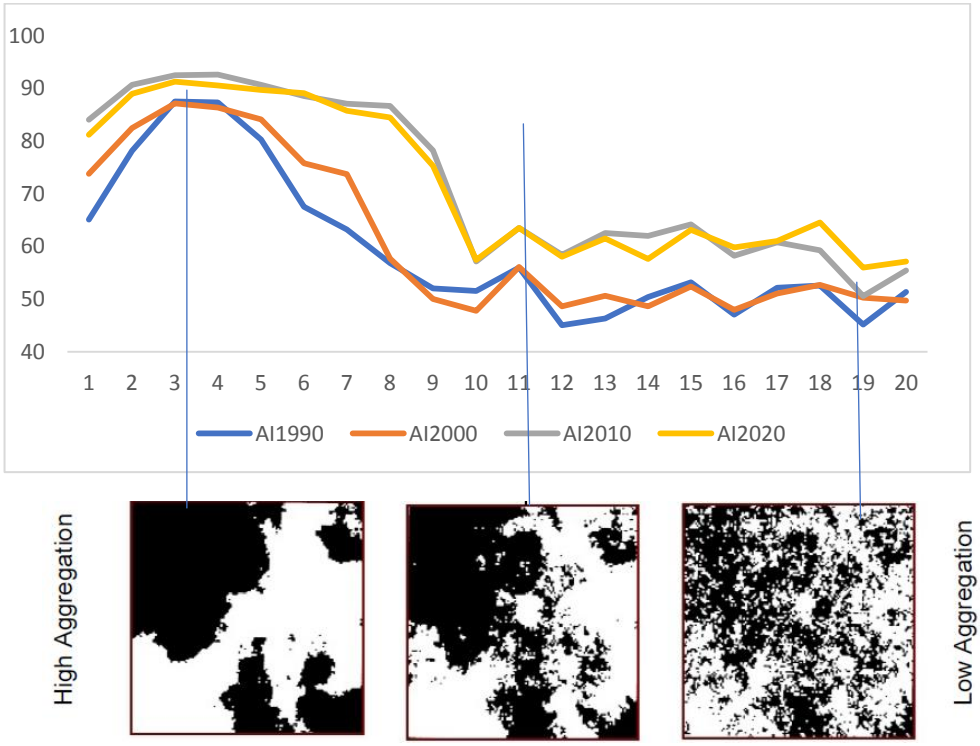
برای تجزیه‌وتحلیل و مقایسهٔ الگوهای گسترش شهری، سه معیار فضایی تحلیل سرزمین مورد استفاده قرار گرفتند. این معیارهای فضایی، برای توضیح ویژگی‌های اصلی الگوی شهری (تجمع، فشردگی و انزوایی) در مقیاس میکرو و ماکرو به‌کار گرفته شدند. در سطح ماکرو، معیارهای فضایی برای منطقهٔ شهری ارومیه به‌عنوان یک کل تفسیر شدند. این کار با تحلیل میکروالگوهای فضایی در زون‌های هم‌مرکز و جهت‌های مختلف ادامه یافته‌است.

نمودار ۱ اطلاعاتی دربارهٔ تغییرات زمانی در مقادیر معیارهای فضایی سرزمین در منطقهٔ شهری ارومیه را از سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۰ ارائه‌می‌دهد. به‌طور کلی، تخصیص منطقهٔ شهری، شامل رشد لکه‌های شهری جدید است که با افزایش شاخص AI توضیح داده می‌شود. افزایش تجمع نشان‌می‌دهد که لکه‌های ساخته‌شده، تمایل به ایجاد الگوی تجمعی داشتند. علاوه بر این، روند افزایشی ENN_MN نشان‌داد که فرآیند انزوایی در طول دورهٔ مطالعاتی کاهش یافته است. علاوه بر این، براساس GYRATE_MN، شهر تجربهٔ روند افزایشی در فشردگی داشت. به‌طور کلی، توسعهٔ پراکنده و رشد تکه‌تکهٔ شهر موجود در ارومیه توسط افزایش GYRATION_MN و AI نشان داده‌می‌شود



نمودار ۱: تغییرات زمانی شاخص‌های فضایی سرزمین در منطقهٔ شهری ارومیه

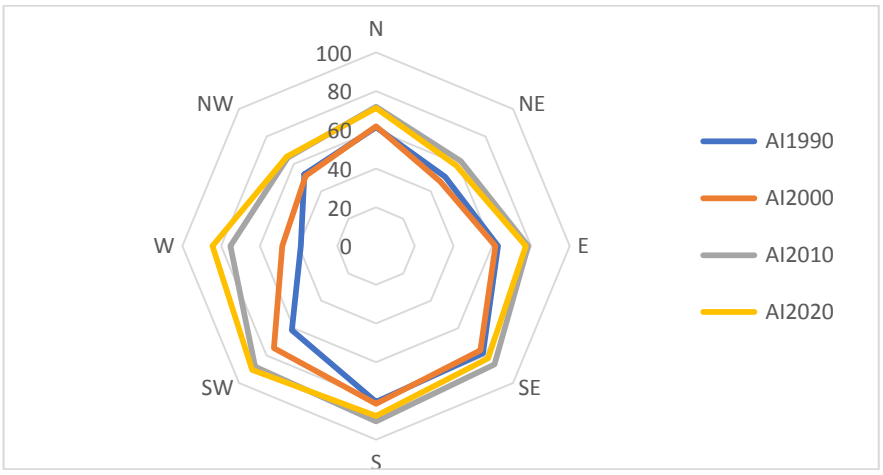
برای درک عمیق‌تر الگوی گسترش شهری در منطقهٔ شهری ارومیه، تغییرات زمانی در معیارهای فضایی در واحدهای فضایی تفسیر شدند. نمودار ۲ روند ارزش شاخص تجمعی در مدت ۳۰ سال از سال ۱۹۹۰ به‌تصویر می‌کشد. این نمودار، یک روند مشابه منفی در ارزش شاخص تجمعی در ۲۰ منطقهٔ هم‌مرکز را در مدت ۳۰ سال نشان‌می‌دهد. ارزش شاخص AI با افزایش فاصله از مرکز شهر به‌شدت کاهش یافت. به‌طور کلی، مناطق مرکزی ارومیه، ارزش‌های قوی‌تری از شاخص تجمعی داشتند. این وضعیت ممکن است به ظاهرشدن لکه‌های کوچک ساخته‌شده در اطراف حاشیهٔ شهر و مناطق حاشیه‌ای شهر برگردد. این موضوع ممکن است در صورت گسترش شهر به‌صورت توسعهٔ پراکنده به‌وجودآید.



نمودار ۲: تغییرات شاخص «AI» براساس فاصله از مرکز شهر

(منبع: نویسندگان، ۱۴۰۲)

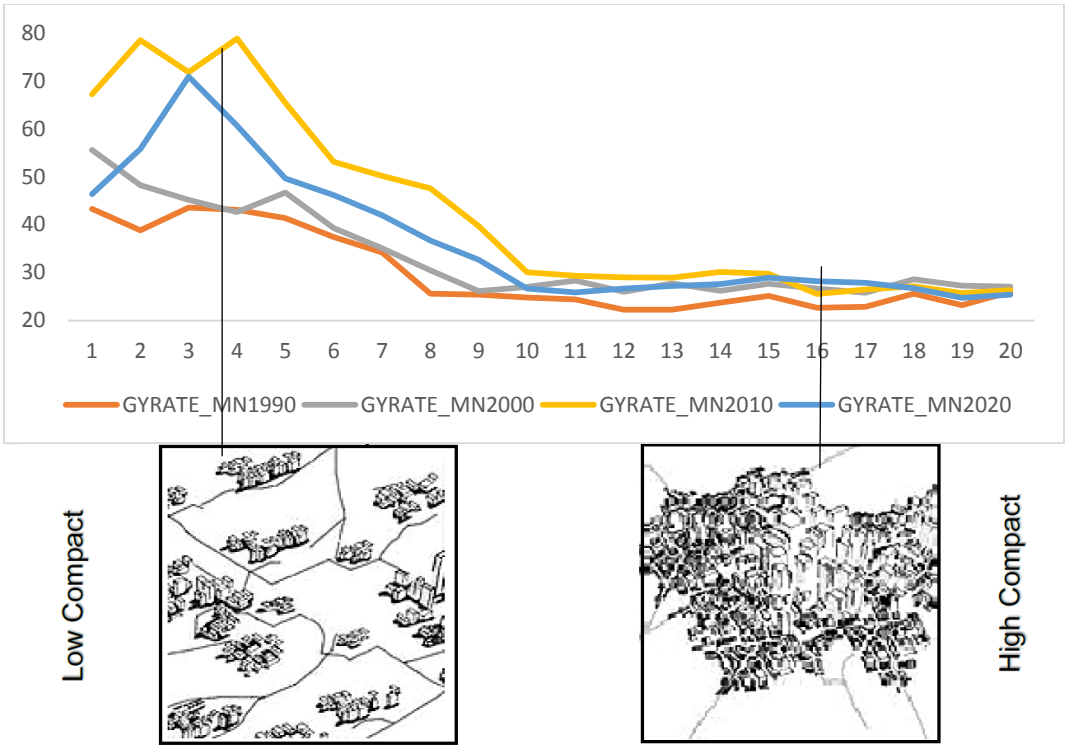
نمودار بعدی (نمودار ۳)، شاخص «AI» مطالعهٔ موردی در جهت‌های مختلف را نشان‌می‌دهد که نسبت هر واحد فضایی از فرآیند تجمع از سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۰ چقدر بوده‌است. در مجموع، براساس نمودار، ارزش بیشتر «AI» در مناطق جنوب شرقی (SE)، جنوبی (S) و جنوب غربی (SW) ثبت شده‌است. به‌عبارت دیگر، لکه‌های اراضی ساخته‌شده در این مناطق، الگوی تجمعی بیشتری نسبت به سایر مناطق دارند.



نمودار ۳: تغییرات شاخص «AI» براساس جهات جغرافیایی

(منبع: نویسندگان، ۱۴۰۲)

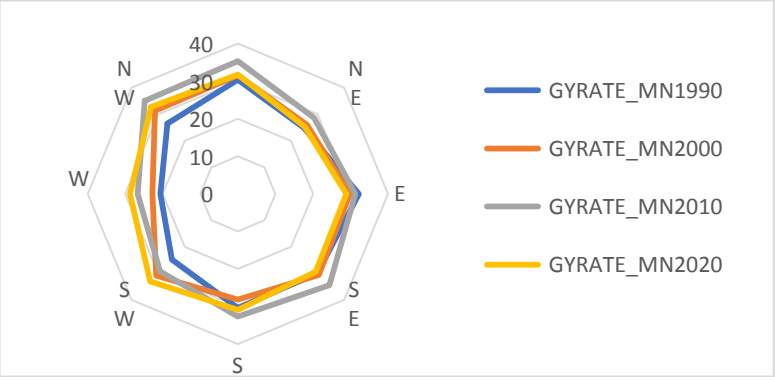
برای بررسی فرآیند تراکم به‌صورت میکرو، شاخص «Gyration» در زون‌های هم‌مرکز و زون‌های جهت‌دار اعمال شد. نمودار ۴، تغییر در ارزش شاخص «Gyration» در شهر ارومیه بین سال‌های ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۰ را نشان‌می‌دهد. به‌عنوان یک روند کلی، واضح‌است که شاخص «Gyration» به نسبت سریعی کاهش یافته و در فاصلهٔ حدود ۸ کیلومتر از مرکز شهر به کمترین میزان رسیده، سپس در مناطق حاشیه‌ای یک روند ثابت را داشته است. به‌طور کلی، نشان داده شده‌است که فرآیند تراکم در مناطق حاشیه‌ای شهر ارومیه رو به افزایش بوده‌است.



نمودار ۴: تغییرات شاخص «Gyration» براساس فاصله از مرکز شهر

(منبع: نویسندگان، ۱۴۰۲)

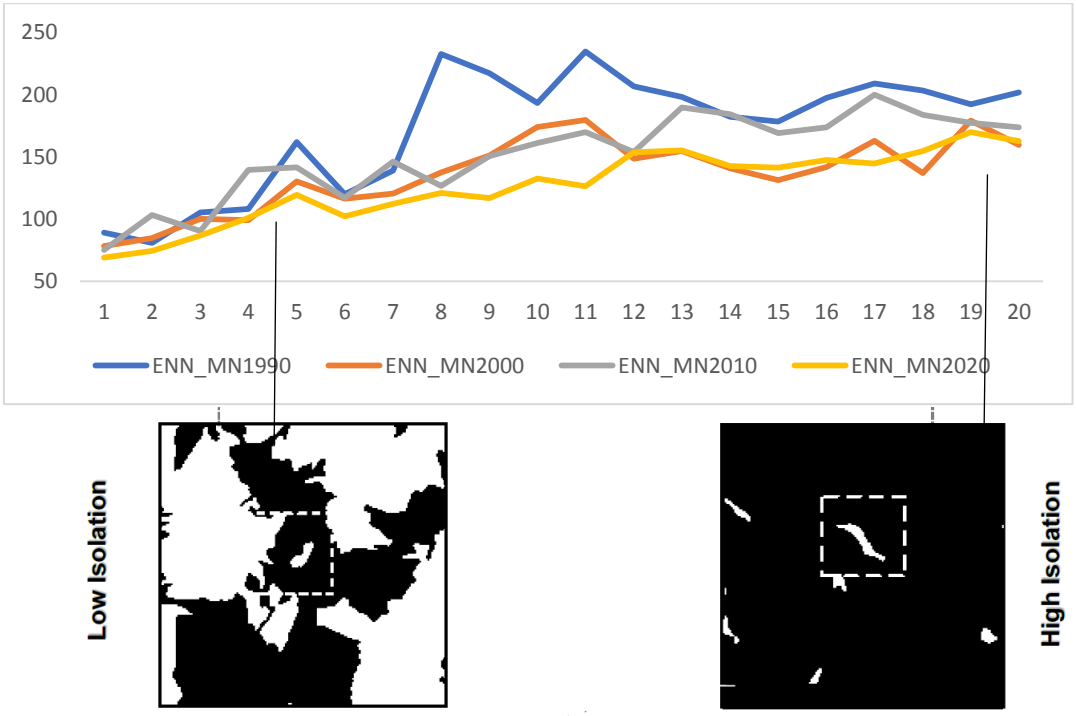
نمودار زیر ۵ شاخص «Gyration» را در زون‌های جهتی مقایسه می‌کند و نشان‌می‌دهد که در دهۀ ۱۹۹۰-۲۰۰۰، بخش‌های شرقی (E)، جنوبی (S) ارزش‌های بالایی از شاخص «gyration» را ثبت کرده‌اند. این روند، کمابیش در دهه‌های بعدی نیز مشابه بوده اما در دهه‌های بعدی، بخش غربی منطقه نیز شاهد رشد مقدار این شاخص بوده‌است.



نمودار ۵: تغییرات شاخص «Gyration» براساس جهات جغرافیایی

(منبع: نویسندگان، ۱۴۰۲)

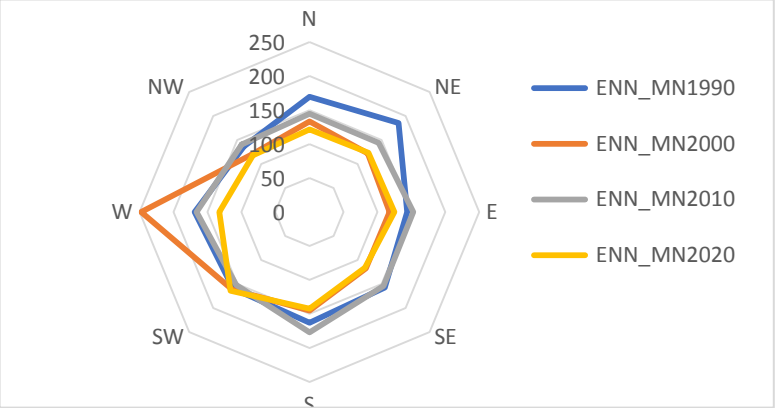
الگوی بعدی (جدایی‌گزینی یا ایزوله‌بودن) با استفاده از شاخص «ENN_MN» بررسی‌شد که به افزایش فاصله بین لکه‌های همان نوع کاربری اشاره دارد. شکل(نمودار) خطی نمودار ۶ تغییر «ENN_MN» در مناطق محیطی را از سال ۱۹۹۰ تا ۲۰۲۰ نشان‌می‌دهد. مطابق این شکل، با افزایش فاصله از مرکز شهر، میزان جدایی‌گزینی نیز بیشتر می‌شود که به‌معنی کاهش تنوع کاربری‌ها است.



نمودار ۶: تغییرات شاخص « *ENN_MN*» براساس فاصله از مرکز شهر

(منبع: نویسندگان، ۱۴۰۲)

در حالی‌که نمودار راداری نشان‌می‌دهد که کدام جهت‌ها بالاترین مقادیر شاخص را در طول دورهٔ مطالعاتی داشتند (نمودار ۷). به‌طور کلی مشخص است که مقدار «ENN_MN» در مناطق جهتی و محیطی افزایش یافته‌است. علاوه بر این، مقدار شاخص در مناطق مرکزی، به‌مراتب کمتر از مناطق حاشیه‌ای‌بوده و طی تمام دوره از همان الگو پیروی کرده‌است. نمودارها از مقدار مشابهی شروع شدند اما در مناطق حاشیه‌ای به‌شدت افزایش یافتند. بیشترین تناسب فرآیند جدایی به غرب (W)و شمال شرقی (NE) تعلق داشته‌است.



نمودار ۷: تغییرات شاخص « *ENN_MN* » براساس جهات جغرافیایی

(منبع: نویسندگان، ۱۴۰۲)

الگوهای گسترش شهری در منطقهٔ شهری ارومیه

الگوی گسترش تحت تأثیر عواملی مانند: شبکه‌های حمل‌ونقل، سیاست‌های کاربری زمین، توپوگرافی و الگوهای توسعهٔ تاریخی است. هدف برنامه‌ریزان شهری و سیاست‌گذاران، اغلب هدایت توسعهٔ شهری به‌گونه‌ای است که رشد را با پایداری محیطی، استفادهٔ کارآمد از زمین و تأمین زیرساخت‌ها متعادل کند. درک این الگوهای گسترش برای مدیریت مؤثر رشد شهری، پرداختن به مسائل مربوط به حمل‌ونقل، مسکن و زیرساخت و کاهش اثرات منفی بالقوهٔ گسترش شهری بسیار مهم است.

به‌منظور شناسایی الگوهای رشد منطقهٔ شهری ارومیه، روابط بین شاخص‌های فضایی سرزمین در بخش‌های قبلی، مورد تحلیل قرار گرفت (جدول ۲). پس از محاسبهٔ مقادیر شاخص‌ها، مقادیر این شاخص‌ها برای هر زون فضایی، به پنج دستهٔ (بسیار بالا، بالا، متوسط، پایین و بسیار پایین) دسته‌بندی‌شد. جداول شمارهٔ۳ و ۴، دسته‌بندی معیارها در واحدهای فضایی (زون‌های جهتی و هم‌مرکز) با استفاده از روش «Jenks Natural Breaks» در «ArcGIS» را نشان‌می‌دهند.

جدول ۲: رابطهٔ بین چهارنوع الگوی رشد و شاخص‌های فضایی سرزمین

Urban Expansion Pattren	AI	GYRATE	ENN
Nodal	Very High OR High	Very Low OR Low	Very Low or Low
Linear	Moderate OR High	Moderate OR High	Moderate
Aggregation	High	High	Moderate OR low Or High
Leapfrog	Low	High	High

(منبع: نویسندگان، ۱۴۰۲)

- الگوی تجمعی:

شاخص تجمع (AI): الگوی تجمعی، احتمالاً منجر به یک شاخص تجمعی مختلط می‌شود؛ یعنی برخی از مناطق ممکن است به‌دلیل توسعهٔ متراکم، شاخص تجمع بالایی داشته باشند، در حالی‌که برخی دیگر ممکن است به‌دلیل تراکم کمتر یا مناطق روستایی، شاخص تجمع پایین‌تری داشته باشند(Wang et al., 2018).

شاخص GYRATE: میانگین شعاع چرخش می‌تواند با مقادیر کوچکتر در مناطق متراکم توسعه‌یافته و مقادیر بزرگتر در فضاهای کمتر توسعه‌یافته یا باز متفاوت باشد (Li et al., 2015).

شاخص ENN: فاصلهٔ نزدیکترین همسایه اقلیدسی می‌تواند به‌طور گسترده‌ای متفاوت باشد که منعکس‌کنندهٔ استفادهٔ ترکیبی از زمین و شدت توسعه در گسترش کل است(Salvati et al., 2017).

بنابراین الگوی تجمعی با AI و GYRATE بالا و ENN متوسط مشخص می‌شود. این موضوع به‌دلیل گسترش تجمعی است و در خوشه‌هایی اتفاق می‌افتد که معمولاً بسیارانباشته/متراکم هستند و فاصلهٔ متوسط کوتاهی بین نقاط و نزدیک‌ترین همسایگان خود دارند (Puertas et al., 2019; Wang et al., 2020; Liu et al., 2019; Zhao et al., 2018).

- الگوی جهشی:

شاخص تجمع (AI): الگوی جهشی اغلب منجر به کاهش شاخص تجمع می‌شود زیرا توسعه، تکه‌تکه و پراکنده است(Elhakeem and Wrigley, 2012).

شاخص GYRATE: شعاع میانگین چرخش ممکن است در الگوی جهشی بزرگتر باشد که نشان‌می‌دهد توسعه پراکنده است و ساکنان یا فعالیت‌ها، پراکنده شده‌اند(Wegener, 1991).

شاخص ENN: فاصلهٔ نزدیکترین همسایهٔ اقلیدسی احتمالاً در الگوی جهشی طولانی‌تر خواهد بود که منعکس‌کنندهٔ انزوای تحولات و وجود شکاف بین آن‌ها است(Cheng et al., 2014).

بنابراین الگوی جهشی با AI پایین و GYRATE و ENN بالا مشخص می‌شود. این به این دلیل است که گسترش جهشی در زمین‌های توسعه‌نیافته‌ای رخ‌می‌دهد که دور از مراکز شهری موجود واقع شده‌است که معمولاً زیاد جمع نمی‌شوند و فاصلهٔ متوسط بیشتری بین نقاط و نزدیک‌ترین همسایگان خود دارند (Puertas et al., 2019; Wang et al., 2020; Liu et al., 2019; Zhao et al., 2018).

- الگوی خطی:

شاخص تجمع (AI): الگوی خطی، بسته به تمرکز توسعه در امتداد کریدورهای خطی ممکن است دارای شاخص تجمع متوسط تا زیاد باشد. اگر گسترش در طول مسیرهای حمل‌ونقل به‌طور فشرده جمع‌شود، می‌تواند بالا باشد(Pinelli and Pedreschi, 2007).

شاخص GYRATE: شعاع متوسط چرخش ممکن است در الگوهای خطی بزرگتر باشد که نشان‌می‌دهد ساکنان یا فعالیت‌ها در امتداد کریدورهای خطی دورتر هستند(Molin et al., 2011).

شاخص ENN: فاصلهٔ نزدیکترین همسایهٔ اقلیدسی ممکن است در امتداد محور الگوی خطی، با فواصل کوتاه‌تر در امتداد کریدور و فواصل طولانی‌تر عمود بر آن متفاوت باشد (Zhang and Song, 2014)؛

بنابراین الگوی خطی با AI و GYRATE متوسط و ENN بالا مشخص می‌شود. این موضوع به این دلیل است که الگوی خطی، در امتداد راهروهای حمل‌ونقل رخ‌می‌دهد که معمولاً کشیده هستند و فاصلهٔ متوسط بیشتری بین نقاط و نزدیکترین همسایگان خود دارند (Puertas et al., 2019; Wang et al., 2020; Liu et al., 2019; Zhao et al., 2018).

- الگوی گره‌ای:

شاخص تجمع (AI): الگوی گره‌ای احتمالاً شاخص تجمع کمتری را نشان‌می‌دهد و بیانگر آن‌است که توسعه، در اطراف گره‌های مرکزی یا مراکز شهری متمرکز است(Ullman, 1945).

شاخص GYRATE: میانگین شعاع چرخش ممکن است در الگوی گره‌ای کوچک‌تر باشد که نشان‌می‌دهد ساکنان یا فعالیت‌ها تمایل دارند به گره‌های مرکزی نزدیک‌تر بمانند(Eckhardt and Shearer, 2003).

شاخص ENN: فاصلهٔ نزدیکترین همسایهٔ اقلیدسی ممکن است در الگوی گره‌ای کوتاه‌تر باشد که منعکس‌کنندهٔ نزدیکی توسعه به گره‌های مرکزی است(Frnaklin, 1987)؛

بنابراین الگوی گره‌ای با AI بالا و GYRATE و ENN پایین مشخص می‌شود. این موضوع به این دلیل است که گسترش گره‌ای در اطراف مراکز شهری موجودی اتفاق می‌افتد که معمولاً بسیار متراکم هستند و فاصلهٔ متوسط کوتاهی بین نقاط و نزدیک‌ترین همسایگان خود دارند (Puertas et al., 2019; Wang et al., 2020; Liu et al., 2019; Zhao et al., 2018).

توجه به این نکته ضروری است که این‌ها فقط روندهای کلی هستند و مقادیر خاص معیارهای AI ، GYRATE و ENNبرای یک منطقهٔ شهری خاص به‌عوامل مختلفی مانند ویژگی‌های خاص منطقهٔ شهری و مراحل رشدوتوسعه بستگی دارد. معیارهای AI، GYRATE و ENN را می‌توان برای نظارت‌وارزیابی الگوهای گسترش شهری در طول زمان مورد استفاده قرار داد. به‌عنوان مثال: اگر معیارهای AI و GYRATE در یک منطقهٔ شهری خاص افزایش یابد، می‌تواند نشان‌دهندهٔ این باشد که منطقهٔ شهری در حال تجمیع‌ترشدن است. اگر متریک ENN در یک منطقهٔ شهری خاص در حال افزایش باشد، می‌تواند نشان‌دهد که منطقهٔ شهری در حال تکه‌تکه‌شدن است. معیارهای AI ، GYRATE و ENN نیز می‌توانند برای مطلع‌ساختن برنامه‌ریزان شهری و تصمیم‌گیری‌ها مورد استفاده قرار گیرند. به‌عنوان مثال، برنامه‌ریزان شهری می‌توانند از این معیارها برای شناسایی مناطقی که در معرض خطر تکه‌تکه‌شدن هستند یا برای شناسایی مناطقی که برای توسعهٔ متمرکز مناسب هستند استفاده‌کنند.

در نتیجه، توجه به این نکته مهم است که رابطهٔ بین این الگوهای گسترش شهری و فرآیندهای فضایی، بسته به سیاست‌های برنامه‌ریزی محلی، شبکه‌های حمل‌ونقل و سایر عوامل زمینه‌ای می‌تواند متفاوت باشد. علاوه بر این، این الگوها ممکن است همیشه کاملاً با فرآیندهای فضایی خاص هماهنگ نباشند، زیرا توسعهٔ شهری در دنیای واقعی تحت تأثیر عوامل متقابل پیچیده است. تجزیه‌وتحلیل این روابط می‌تواند به برنامه‌ریزان و محققان شهری کمک کند تا ویژگی‌های فضایی الگوهای مختلف گسترش و پیامدهای آن‌را برای توسعهٔ شهری و کاربری زمین درک کنند. در ادامه به تفصیل به الگوهای گسترش شهری در شهر ارومیه پرداخته می‌شود.

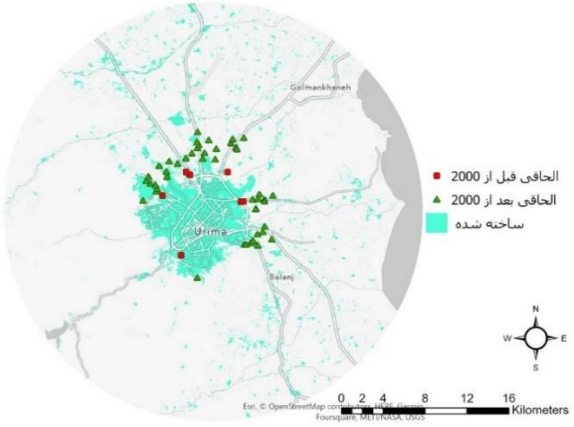
نوع اول الگوی فضایی شهری: الگوی تجمع، نوع متداول رشد شهری در شهرهای تاریخی ایران است. مناطق شهری جدید به شهری که قبلاً تجمع کرده‌است، اضافه می‌شوند. در پژوهش کنونی، این الگو توسط افزایش تجمع و به‌طور کلی توسط کاهش پراکندگی مشخص شده است.

جدول ۳ و جدول ۴، الگوهای سیمای سرزمین شناسایی‌شده در ارومیه در مدت زمان ۳۰ سال را نشان‌می‌دهد. می‌توان به وضوح دید که مقدار AI در پنج حلقهٔ اول، بسیار بالا بوده است. علاوه بر این، از میان تمام ۲۰ منطقه ، این پنج واحد ارزش‌های پایینی از معیارهای جدایی را تجربه کردند. به‌عبارت دیگر، الگوی تجمع (افزایش تجمع و به‌طور کلی کاهش پراکندگی) در فاصلهٔ پنج کیلومتری از مرکز شهر غالب بوده است. این الگوی رشد شهری تمایل

دارد که ثابت و بدون تغییر باقی بماند یا به کاهش تجزیه سرزمین منجر شود. علاوه بر این، تحلیل الگـوی منظـری در مناطق‌جهتی نشان‌دادکه الگوی تجمعی را در بخش‌های شمالی، شمال‌شرقی و غربی تجربه‌کرده‌است (**Error! Reference source not found.** علاوه بر مناطق مذکور، منـاطق شـمال غربـی نیـز در دهـۀ ۱۹۹۰-۲۰۰۰ الگوی فضایی تجمعی داشته‌اند، اما در دهه‌های بعدی به‌صورت پراکنده گسترش یافته‌اند. مکان منـاطق تجمعـی در ارومیه نشان می‌دهد که الگوهای حاصل‌شده به‌شدت با موقعیت جغرافیایی واحدهای فضایی مرتبط بودند. بـه‌عنـوان مثال، بخش شمالی، محدود به اراضی کشاورزی و شمال شرق، محدود به دریاچۀ ارومیه بوده‌است. بـه‌عبـارت دیگـر، این دو عامل موانعی برای گسترش منطقۀ ساخته‌شده بوده‌اند.

الگوی دوم (الگوی جهشی)، زمانی رخ‌می‌دهد که سازندگان، بناهای جدیدی را به فاصله‌ای از منطقه شهری موجـود بسازند و از زمین‌های خالی که نزدیک‌تر به شهر واقع‌شده‌اند، عبور کنند؛ به‌عبارت دیگر، سازندگان انتخاب می‌کننـد تا فاصله‌ای بیشتر از یک منطقۀ شهری-روستایی ساخته‌شده یـا مرکـز شـهر را انتخـاب کننـد. در ایـن نـوع الگـوی فضایی، جمعیت شروع به فاصله‌گرفتن از مرکز شهر می‌کنند. الگوی جهشی بـه‌طـور عمـده توسـط کـاهش تجمـع، افزایش تراکم و افزایش پراکندگی مشخص می‌شود.

جدول ۳ و جدول ۴ نشان‌می‌دهد که الگوی جهشی در فاصلۀ ۱۲ تا ۲۰ کیلومتری از مرکز شهر با تنـوع زیـادی رخ داده‌است. بررسی جهت گسترش نشان‌می‌دهد که بخش‌های جنوب شرقی و جنوب محدوده، همواره الگـوی رشـد جهشی را تجربه‌کرده‌اند اما سایر جهت‌ها رفتار متفاوتی را با گذشت زمان از خود نشان‌داده‌انـد. بـه‌عنـوان مثـال: بـا مقایسۀ نتایج الگوی مراکز روستایی اضافی به شهر ارومیه قبل از سال ۲۰۰۰ می‌توان تأیید کـرد کـه مکـان منـاطق جهشی در مراکز روستایی الحاق‌شده در مدت زمان ۲۰ سال متناسب بوده‌است (شکل ۴).



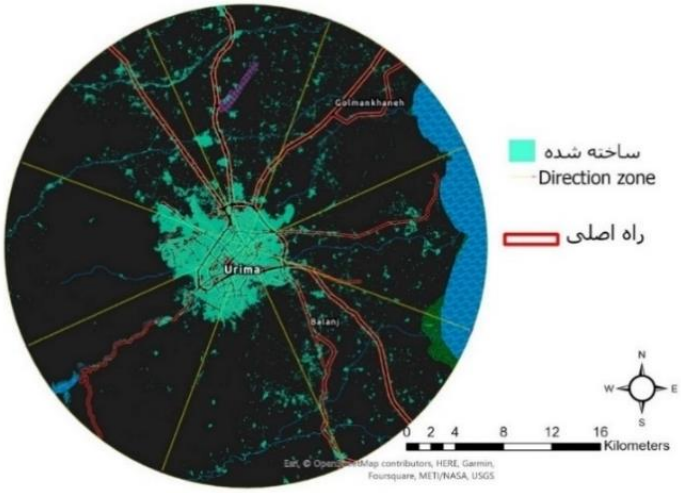
شکل ۴: مناطق روستایی الحاق‌شده به شهر

(منبع: نویسندگان، ۱۴۰۲)

مناطق واقع در شمال و جنوب شرقی شهر، الگوی پراکندۀ رشد را تجربه کرده‌اند و با لکـه‌هـای جداگانـه از منطقـۀ شهری همراه بوده‌است. چنین گسترشی منجر به تجاوز شهر به سمت زمین‌های حاشـیه‌ای و منـاطق کشـاورزی در شمال و جنوب شرق ارومیه شده‌است. این وضعیت، فرصتی برای گسترش منطقۀ ساخته‌شدۀ خارج از محدودۀ شـهر فراهم کرده و به الگوی جهشی منجر شده‌است. به‌ویژه در دهه‌های اخیر، این الگو به یک روند تبدیل شده‌است. بـه-

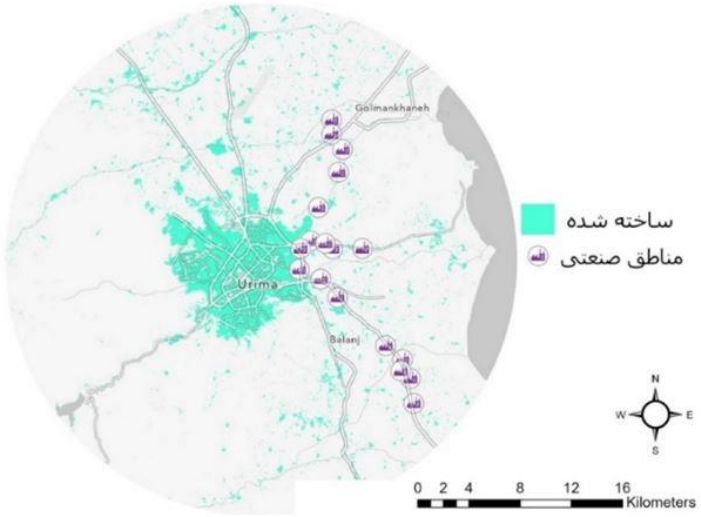
گونه‌ای که خانه باغ‌ها و ویلاهای متعددی که به‌عنوان محل تعطیلات یا خانهٔ دوم استفاده می‌شوند رواج یافته‌است. مانند روستای امامزاده در بخش جنوب شرقی.

الگوی بعدی، به گسترش شهری در اطراف شبکه‌های جاده‌ای اشاره دارد. در این نوع الگو، دو فرآیند اصلی شناسایی شده‌اند. افزایش یا تثبیت تجمع و کاهش تراکم. جدول ۳ و جدول ۴ نشان‌می‌دهد که الگوی خطی، الگوی اصلی منطقه در فاصله‌ای بین ۸ تا ۱۱ کیلومتر از مرکز شهر بوده است. اگرچه این الگو در ابتدا بیشتر در مناطق شمال و شمال غربی اتفاق می‌افتاد اما در طول ۲۰ سال بعدی در جهات شرقی و شمال شرقی نیز رواج یافته است. از اطلاعات ارائه‌شده به‌نظر می‌آید که در سال‌های ۱۹۹۰ و ۲۰۰۰، توسعهٔ جادهٔ کلانتری و پل میان‌گذر ارومیه-تبریز، در بخش شمالی و شمال شرقی ارومیه باعث شده‌است که گسترش اراضی ساخته‌شدهٔ جدید به‌طور تمرکزی در امتداد مسیر حمل‌ونقل به سمت هستهٔ شهری اتفاق بیفتد (شکل ۵). همراه با گسترش خطی که در زمین‌های مجاور به دریاچهٔ ارومیه مشاهده می‌شود حاصل احداث اراضی مسکونی جدید مانند: گلمان خانه، انتقال پادگان به بیرون شهر و ایجاد شهرک‌های صنعتی بوده‌است.



شکل ۵: راه‌های اصلی منطقهٔ شهری ارومیه
(منبع: نویسندگان، ۱۴۰۲)

الگوی فضایی آخر به‌طور عمده به گسترش شهری، صنعتی و تجاری موجود در نزدیکی گره‌های اصلی حمل‌ونقل اشاره دارد. الگوی گره‌ای به کاهش تجمع همراه با افزایش توزیع و تراکم آن دامن می‌زند. بر اساس جدول ۳ و جدول ۴ ، الگوی گره‌ای در منطقه‌ای بین محدودهٔ ۱۲ تا ۲۰ کیلومتر در طول ۲۰ سال رخ داده‌است. در بخش‌های شمالی و جنوب غربی عمدهٔ این الگوی رشد، در اثر ایجاد فعالیت‌های مرتبط با کشاورزی رخ داده‌است که باعث تجمع کاربری‌های انبارداری، فرآوری و خدمات دیگر وابسته در امتداد مسیرها شده‌است اما در بخش‌های شرقی، شمال شرقی و جنوب غربی، علاوه بر نقش فعالیت‌های کشاورزی، استقرار مناطق صنعتی، نقش پررنگ‌تری در شکل‌گیری این الگوی رشد داشته‌اند (شکل ۶). همان‌طور که در شکل مشاهده می‌شود، این توسعه نتیجهٔ افزایش سطوح شهری در اطراف مجتمع‌های صنعتی در جنوب شرقی و شمال شرقی بوده‌است.



شکل ۶: موقعیت نواحی صنعتی در منطقهٔ شهری ارومیه

(منبع: نویسندگان، ۱۴۰۲)

جدول ۳: تعیین الگوهای فضایی گسترش شهری در زون‌های جهت‌دار

	1990				2000				2010				2020			
ID	AI	GYR	ENN	Spatial pattern	AI	GYR	ENN	Spatial pattern	AI	GYR	ENN	Spatial pattern	AI	GYR	ENN	Spatial pattern
SW	h	m	m	Aggregated	l	h	h	Leapfrogging /Nodal	h	m	h	Leapfrogging	vl	vh	vh	Leapfrogging /Nodal
S	l	m	vh	Leapfrogging	m	m	vh	Leapfrogging	l	vh	vh	Leapfrogging	l	h	vh	Leapfrogging
SE	l	m	vh	Leapfrogging	l	vl	h	Leapfrogging /Nodal	vl	h	h	Leapfrogging	m	vl	h	Leapfrogging /Nodal
W	vh	h	vl	Aggregated	vh	vh	vl	Aggregated	vh	vh	l	Aggregated	h	h	h	Linear
E	vl	l	h	Leapfrogging	l	vl	m	Leapfrogging	m	m	m	Linear	h	m	m	Aggregated
NW	m	vl	l	Aggregated	vl	l	l	Leapfrogging	vl	vl	vl	Linear	vl	l	l	Leapfrogging
NE	h	vh	l	Leapfrogging /Nodal	h	l	vl	Aggregated	h	l	vl	Aggregated	vh	m	vl	Aggregated
N	l	h	m	Linear	vl	m	m	Leapfrogging /Nodal	vl	l	l	Leapfrogging /Nodal	l	m	l	Leapfrogging /Nodal

VL= very low(--), l = Low(-), m= moderate(+/-), h= high(+), vh= very high(++)

جدول ۴: تعیین الگوهای فضایی گسترش شهری در زون‌های هم‌مرکز

	1990				2000				2010				2020			
	AI	GYR	ENN	Spatial pattern	AI	GYR	ENN	Spatial pattern	AI	GYR	ENN	Spatial pattern	AI	GYR	ENN	Spatial pattern
1	H	vl	vl	aggregated	h	vl	vl	aggregated	h	vl	vl	aggregated	h	l	vl	aggregated
2	vh	l	vl	aggregated	vh	l	vl	aggregated	vh	vl	l	aggregated	vh	vl	vl	aggregated
3	vh	vl	vl	aggregated	vh	l	vl	aggregated	vh	vl	vl	aggregated	vh	vl	l	aggregated
4	vh	vl	vl	aggregated	vh	l	vl	aggregated	vh	vl	m	aggregated	vh	vl	l	aggregated
5	vh	vl	l	aggregated	vh	l	m	aggregated	vh	vl	m	aggregated	vh	l	m	aggregated
6	H	l	vl	aggregated	h	m	l	aggregated	vh	l	l	aggregated	vh	l	l	aggregated
7	H	l	l	aggregated	h	m	l	aggregated	h	l	m	aggregated	h	l	m	aggregated
8	m	m	vh	Linear	m	h	m	Linear	h	l	l	aggregated	h	m	m	aggregated
9	L	m	h	leapfrogging /Nodal	l	vh	h	leapfrogging /Nodal	h	m	m	aggregated	m	m	m	linear
10	L	h	m	leapfrogging /Nodal	vl	vh	vh	leapfrogging /Nodal	l	h	h	linear	vl	h	h	linear
11	m	h	vh	leapfrogging /Nodal	l	h	vh	leapfrogging /Nodal	m	h	h	linear	l	vh	m	leapfrogging
12	vL	vh	h	leapfrogging	vl	vh	h	leapfrogging	l	h	m	leapfrogging /Nodal	vl	h	vh	leapfrogging
13	vL	vh	h	leapfrogging /Nodal	l	h	h	leapfrogging	m	h	vh	leapfrogging	l	h	vh	leapfrogging
14	L	h	m	leapfrogging /Nodal	vl	vh	m	leapfrogging	m	h	vh	leapfrogging	vl	h	h	leapfrogging
15	L	m	m	leapfrogging /Nodal	l	h	m	leapfrogging	m	h	h	leapfrogging /Nodal	l	h	h	leapfrogging
16	vL	vh	h	leapfrogging /Nodal	vl	vh	m	leapfrogging	l	vh	h	leapfrogging	vl	h	h	leapfrogging
17	L	vh	h	leapfrogging /Nodal	l	vh	h	leapfrogging /Nodal	m	vh	vh	leapfrogging	l	h	h	leapfrogging
18	L	m	h	leapfrogging /Nodal	l	h	m	leapfrogging /Nodal	l	vh	vh	leapfrogging	l	h	vh	leapfrogging
19	vL	vh	m	leapfrogging	l	vh	vh	leapfrogging	vl	vh	h	leapfrogging	vl	vh	vh	leapfrogging
20	L	m	h	leapfrogging /Nodal	vl	vh	h	leapfrogging	l	vh	h	leapfrogging	vl	vh	vh	Leapfrogging

(منبع: نویسندگان، ۱۴۰۲)

نتیجه‌گیری

بررسی الگوهای سیمای سرزمین در شهر ارومیه، بیانگر این‌است که رشد) شهر ارومیه بـه‌صـورت توسـعهٔ پراکنـده و تکه‌تکه بوده‌است. همچنین نتایج نشان می‌دهد که فرآیند تراکم در مناطق حاشیه‌ای شهر رو به افزایش بوده‌اسـت و با افزایش فاصله از مرکز شهر، میزان جدایی‌گزینی نیز بیشتر می‌شود که این موضوع به‌معنی کاهش تنوع کاربری‌هـا است.

هنگامی که به‌صورت زمانی، به گسترش شهری در ارومیه نگـاهی مـی‌انـدازیم، دو دوره مشـخص مـی‌شـود. در دورهٔ ۱۹۹۰-۲۰۰۰، توسعهٔ سریع در حاشیهٔ شهر، منجر به افزایش اندازهٔ منطقهٔ شهر اصلی شد، کـه بـا کـاهش شـاخص «AI» نشان‌داده شده‌است. علاوه بر این، گسترش جدید در مناطق جداشده از دیگر مناطق، توسط زمین‌های خـالی مشاهده می‌شود و این موضوع نشان‌دهندهٔ گسترش پراکنـدهٔ شـهر اسـت. در دورهٔ ۲۰۰۰-۲۰۱۰، شـدت گسـترش شهری کاهش یافته‌است. در این دوره، شهر تجربـهٔ کـاهش تجمیعـی در «GYRATION_MN» داشـت و تجمـع لکه‌ها به‌شدت کاهش یافته‌است. این امر ممکن است نشان‌دهندهٔ این باشد که رشد ادامـه‌دار در ارومیـه، بـر توسـعهٔ لکه‌های شهری تمرکـزداشـته و ایـن توسـعه، بـا افـزایش قابـل تـوجهی در «ENN_MN» و کـاهش تجمیعـی در «Gyration» همراه بوده‌است.

بررسی الگوهای گسترش شهری در شهر ارومیه، به شناسایی چهار الگوی: تجمعی، پرشی، خطی و گره‌ایی منجر شد که در زون‌ها و جهات جغرافیایی بررسی شدند. الگوی پرشی در فاصلهٔ ۱۲ تا ۲۰ کیلومتری از مرکز شهر با تنوع زیادی رخ داده‌است. الگوی تجمعی (افزایش تجمع و به‌طور کلی کاهش پراکندگی)، در فاصلهٔ پنج کیلومتری از مرکز شهر غالب بوده‌است. این الگوی رشد شهری تمایل دارد که ثابت و بدون تغییر باقی بماند یا به کاهش تجزیهٔ سرزمین منجر شود. علاوه بر این، تحلیل الگوی منظری در مناطق جهتی نشان‌داد که الگوی تجمعی را در بخش‌های شمالی، شمال شرقی و غربی تجربه کرده‌است. علاوه بر مناطق مذکور، مناطق شمال غربی نیز در دههٔ ۱۹۹۰-۲۰۰۰ الگوی فضایی تجمعی داشته اما در دهه‌های بعدی به‌صورت پراکنده گسترش یافته‌اند. مکان مناطق تجمعی در ارومیه نشان‌می‌دهد که الگوهای حاصل‌شده به‌شدت با موقعیت جغرافیایی واحدهای فضایی مرتبط بودند. به‌عنوان مثال: بخش شمالی محدود به اراضی کشاورزی و شمال شرق محدود به دریاچهٔ ارومیه بوده‌است؛ به‌عبارت دیگر، این دو عامل موانعی برای گسترش منطقهٔ ساخته‌شده بوده‌اند.

بررسی جهت گسترش نشان‌می‌دهد که بخش‌های جنوب شرقی جنوب محدوده، همواره الگوی رشد جهشی را تجربه کرده‌اند اما سایر جهت‌ها رفتار متفاوتی را با گذشت زمان از خود نشان‌داده‌اند. به‌عنوان مثال: با مقایسهٔ نتایج الگوی مراکز روستایی اضافی به شهر ارومیه قبل از سال ۲۰۰۰ می‌توان تأیید کرد که مکان مناطق جهشی در مراکز روستایی الحاق‌شده در مدت زمان ۲۰ سال متناسب بود. مناطق واقع در شمال و جنوب شرقی شهر الگوی پراکندهٔ رشد را تجربه‌کرده و با لکه‌های جداگانه از منطقهٔ شهری همراه بوده‌است. چنین گسترشی منجر به تجاوز شهر به سمت زمین‌های حاشیه‌ای و مناطق کشاورزی در شمال و جنوب شرق ارومیه شده، این وضعیت فرصتی برای گسترش منطقهٔ ساخته‌شدهٔ خارج از محدودهٔ شهر فراهم کرده و به الگوی جهشی منجر شده‌است. به‌ویژه در دهه‌های اخیر این الگو به یک روند تبدیل شده‌است. به‌گونه‌ای که خانه‌باغ‌ها و ویلاهای متعددی که به‌عنوان محل تعطیلات یا خانهٔ دوم استفاده می‌شوند، رواج یافته‌است. مانند روستای امامزاده در بخش جنوب شرقی.

الگوی خطی، الگوی اصلی منطقه در فاصله‌ای بین ۸ تا ۱۱ کیلومتر از مرکز شهر بود. اگرچه این الگو در ابتدا بیشتر در مناطق شمال و شمال غربی اتفاق می‌افتاد اما در طول ۲۰ سال بعدی در جهات شرقی و شمال شرقی نیز رواج یافته‌است. از اطلاعات ارائه‌شده به‌نظر می‌آید که در سال‌های ۱۹۹۰ و ۲۰۰۰، توسعهٔ جاده کلانتری و پل میان‌گذر ارومیه-تبریز در بخش شمالی ارومیه باعث شده‌است که گسترش اراضی ساخته‌شدهٔ جدید به‌طور تمرکزی در امتداد مسیر حمل‌ونقل به سمت هستهٔ شهری اتفاق بیفتد. همراه با گسترش خطی که در زمین‌های مجاور به دریاچهٔ ارومیه مشاهده‌می‌شود، حاصل احداث اراضی مسکونی جدید مانند گلمان خانه، انتقال پادگان به بیرون شهر و ایجاد شهرک‌های صنعتی بوده‌است.

الگوی گره‌ای در منطقه‌ای بین محدودهٔ ۱۲ تا ۲۰ کیلومتر در طول ۲۰ سال رخ داده‌است. در بخش‌های شمالی و جنوب غربی عمدهٔ این الگوی رشد، در اثر ایجاد فعالیت‌های مرتبط با کشاورزی رخ داده که باعث تجمع کاربری‌های انبارداری، فرآوری و خدمات دیگر وابسته در امتداد مسیرها شده‌است اما در بخش‌های شرقی، شمال شرقی و جنوب غربی، علاوه بر نقش فعالیت‌های کشاورزی، استقرار مناطق صنعتی نقش پررنگ‌تری در شکل‌گیری این الگوی رشد داشته‌اند. این توسعه، نتیجهٔ افزایش سطوح شهری در اطراف مجتمع‌های صنعتی در جنوب شرقی و شمال شرقی بوده‌است.

تحلیل ویژگی‌های گسترش شهری در ارومیه، نمونهٔ خوبی از شهرهای میانه‌اندام ایران است. شواهدی از مطالعه حاکی از آن‌است که در نتیجهٔ گسترش شهری، پراکندگی شهری در مناطق حاشیهٔ شهر ارومیه افزایش یافته‌است. این شکل شهری ممکن است باعث بسیاری از مشکلات اکولوژیکی و زیست‌محیطی شود تا یک الگوی فشرده‌تر. با توجه به اتلاف شدید زمین‌های کشاورزی به‌دلیل الگوی پراکنده در مناطق حاشیهٔ شهر، نیاز مبرمی به افزایش اثربخشی برنامه‌ریزی کاربری اراضی شهری و اجرای سیاست‌های آمایش سرزمین وجود دارد. براساس یافته‌های این مطالعه، پیشنهادات زیر در دو قالب کاربردی و پژوهشی ارائه‌می‌شود:

پیشنهادات کاربردی:

استفاده از سیاست توسعهٔ میان‌افزا: با توجه به این‌که شهر ارومیه دارای اراضی خالی درون‌شهری زیادی است (Abedini and Khalili, 2019)؛ بنابراین استفاده از این پتانسیل می‌تواند منجر به استفادهٔ مطلوب از اراضی موجود شده و روند گسترش و تخریب اراضی اطراف شهر را کند نماید.

بررسی و پایش دقیق روند تغییرات کاربری‌ها: الگوی کاربری زمین به‌عنوان یکی از حساس‌ترین موضوعات در شهرسازی، صرفاً موضوعی کالبدی نیست بلکه با همهٔ آن‌چه در شهر در حال جریان و اتفاق هست مانند موضوعات اجتماعی، اقتصادی، محیط‌زیستی و مدیریتی به‌نوعی با کاربری زمین در ارتباط بوده و از طرفی بایستی در طرح‌های توسعهٔ شهری مخصوصاً طرح جامع که سند هدایت توسعهٔ همه‌جانبهٔ شهر است بدان توجه لازم و کافی شود. به‌عنوان مثال باغات داخل شهر ارومیه مدت‌ها بدون رسیدگی می‌مانند تا به اراضی بایر تبدیل شوند و در نهایت این اراضی به محیط ساخته‌شده تبدیل گردند؛ بنابراین کنترل این موارد با استفاده از ابزارهای قانونی مانند طرح جامع و تفصیلی شهر ضروری است. همچنین بهره‌گیری از زیرساخت‌های سبز نظیر گنجاندن فضاهای سبز، پارک‌ها و کریدورهای طبیعی در طرح‌های شهری برای بهبود کیفیت محیطی، ارائه فرصت‌های تفریحی و کاهش اثر جزیرهٔ گرمایی می‌تواند مفید واقع‌شود. ایجاد کمربند سبز نیز برای مهار گسترش شهری و حفاظت از مناطق کشاورزی و طبیعی می‌تواند مفید باشد(جدول ۵).

جدول ۵: پیشنهاداتی در راستای الگوهای گسترش شهری ارومیه

الگوهای گسترش شهری	پیشنهادات کاربردی
الگوی پرشی/جهشی	توسعه میان‌افزا
الگوی تجمعی	پایش و کنترل کاربری‌ها
الگوی خطی	توسعه میان‌افزا + پایش و کنترل کاربری‌ها
گره‌ای	پایش و کنترل کاربری‌ها

(منبع: نویسندگان، ۱۴۰۲)

پیشنهادات پژوهشی

برای پژوهش آینده توصیه می‌گردد با توجه به گستردگی فضایی شهر، عوامل محرک گسترش شهری در واحدهای فضایی مختلف (زون‌های جهتی و متحدالمرکز) در نظر گرفته‌شود. همچنین تأثیر گسترش شهری بر گروه‌های مختلف اجتماعی نشان‌داده شده‌است که پراکندگی شهری دارای تعدادی از تأثیرات اجتماعی منفی است. مانند افزایش نابرابری درآمد، انزوای اجتماعی و کاهش دسترسی به خدمات عمومی. با این حال، تحقیقات بیشتری برای

درک چگونگی توزیع این تأثیرات در بین گروه‌های اجتماعی مختلف مانند: نژاد، قومیت، درآمد و سن، مورد نیاز است.

فناوری به‌طور فزآینده‌ای برای مقابله با گسترش شهری استفاده می‌شود، مانند توسعهٔ اتومبیل‌های خودران، برنامه‌های اشتراک‌گذاری سواری و دورکاری. با این حال، تحقیقات بیشتری برای درک مزایا و معایب بالقوهٔ این فناوری‌ها برای پرداختن به پراکندگی شهری مورد نیاز است. در پایان، چگونگی کنترل پراکندگی شهری در ایران موضوع تحقیقاتی بعدی است، به‌ویژه نحوهٔ اتخاذ سیاست کاربری مناسب برای مهار این پدیده نیز بسیار حائز اهمیت است.

منابع

احمدی، فرزانه؛ یاراحمدی، داریوش؛ میرهاشمی، حمید. (۱۴۰۲). آشکارسازی تأثیر روند گسترش بافت شهری بر تغییرات دمای شهر خرم‌آباد. .پژوهش‌های تغییرات آب‌وهوایی، دانشگاه گلستان، دوره ۴، شماره ۱۵ ، صص ۳۸-۲۳.

https://ccr.gu.ac.ir/article_180212.html

اکبری، عطاالله؛ اسکندری ثانی، محمد؛ اسماعیل‌نژاد، مرتضی. (۱۴۰۱). شاخص‌های مؤثر بر تحقق الگوی کاربری زمین و گسترش آتی محدوده‌های شهری زاهدان در طرح توسعهٔ جامع شهر، فصلنامهٔ تحقیقات جغرافیایی، دوره ۳۷، شماره ۴، صص ۴۱۷-۴۲۷.

https://georesearch.ir/article-1-1393-fa.html

امان‌پور، سعید؛ غلامی، سمیه؛غفارزاده، فرحناز. (۱۳۹۴). تحلیل ویژگی‌های مکانی-زمانی گسترش شهری مناطق شهر شیراز در بازهٔ زمانی ۱۳۸۵تا ۱۳۹۱، فصلنامهٔ علمی پژوهش‌های بوم‌شناسی شهری، دانشگاه پیام نور، دوره ۶، شماره ۱۱، ۲۴-۹.

https://grup.journals.pnu.ac.ir/article_2010.html

انصاری، میترا؛ شریعت‌پناهی، مجیدولی؛ ملک حسینی، عباس ؛ مدیری، مهدی. (۱۳۹۷). تحلیل الگوی گسترش شهری در شهرهای میانه‌اندام با استفاده از مدل‌های کمی (مطالعهٔ موردی: شهر ملایر)، آمایش محیط، دانشگاه آزاد اسلامی واحد ملایر ، دوره ۱۱، شماره ۴۳، صص ۱۸۲-۱۴۷.

sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?id=474369

حسینی‌خواه، حسین؛ زنگی‌آبادی، علی. (۱۳۹۶). تحلیل روند و نحوهٔ گسترش شهرهای سیاسی-اداری ایران (مورد پژوهشی: یاسوج از پیدایش تاکنون)، جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی، دانشگاه اصفهان، دوره ۲۸، شماره ۴، صص ۱۶۴-۱۴۳.

doi: 10.22108/gep.2017.98167.0

حکیمی، هادی؛ مصطفایی جورنی، فردین. (۱۴۰۳). بررسی روند زمانی- فضایی توسعهٔ فیزیکی شهر ارومیه در طی دو دههٔ اخیر با تأکید بر شناسایی مؤلفه‌های تأثیرگذار بر آن، فضای شهری و حیات اجتماعی، دانشگاه تبریز، دوره ۳، شماره ۸، صص ۶۲-۷۵.

https://urplanning.tabrizu.ac.ir/article_17894.html

حیدری سورشجانی، رسول؛ بیگی، احمدعلی. (۱۳۹۷). بررسی رابطهٔ الگوهای فضایی کاربری زمین شهری بر رشد و گسترش شاخک‌های خزندهٔ شهری (مطالعهٔ موردی: شهر رشت)، تحقیقات کاربردی علم جغرافیایی، دانشگاه خوارزمی تهران، دوره ۱۸، شماره ۵۱، صص ۶۵-۸۶.

https://jgs.khu.ac.ir/article-1-2779-fa.html

لطفی، صدیقه؛ علی‌زاده، توحید. (۱۴۰۲). شناسایی و پایش تغییرات رشد و گسترش شهری با استفاده از اختلاط‌زدایی طیفی تصاویر سنجش‌ازدور و فنون سامانه اطلاعات جغرافیایی در سطح خرد (مطالعهٔ موردی: شهر آمل)، نشریهٔ سنجش‌ازدور و«GIS » ایران، انجمن سنجش از دور ایران، ، دوره ۱۶، شماره ۳، صص ۱۶۴-۱۴۷.

doi:10.48308/GISJ.2023.103727

منصوری، میلاد؛ رورده، همت‌اله؛ صفرراد، طاهر. (۱۴۰۲). واکاوی تأثیر گسترش شهری بر تغییرات مکانی جزیرهٔ حرارتی شهر ساری، مطالعات ساختار و کارکرد شهری، دانشگاه مازندران، دوره ۱۱، شماره ۳۸، صص ۲۴۰-۲۱۵.

doi: 10.22080/usfs.2023.25957.2383

موحد، علی؛ شهسوار،امین. (۱۳۹۹). تحلیل میزان رضایت شهروندان از گسترش بلندمرتبه‌سازی و توسعهٔ فشردهٔ شهری (مورد مطالعه: منطقه یک شهرداری شهر ارومیه)، جغرافیا و برنامه‌ریزی، دانشگاه تبریز، دوره ۲۴، شماره ۷۴، صص ۲۶۱-۲۴۹.

https://geoplanning.tabrizu.ac.ir/article_12334.html

موحد، علی؛ مصطفوی صاحب، سوران؛ احمدی، مظهر. (۱۳۹۳). تبیین الگوی گسترش فضایی-کالبدی شهر سقز با رویکرد فرم شهری پایدار، مطالعات ساختار و کارکرد شهری، دانشگاه مازندران، دوره ۲، شماره ۵، صص ۷۵-۵۵.

https://shahr.journals.umz.ac.ir/article_895.html

یزدانی، محمدحسن؛ فرزانه‌سادات زارنجی، ژیلا.(۱۴۰۲). مکان‌یابی بهینهٔ گسترش کالبدی شهر سردشت با استفاده از روش‌های ترکیبی و فرآیند انتقال شبکهٔ فازی سامانه اطلاعات مکانی، دانش پیشگیری و مدیریت بحران، ، دوره ۱۳، شماره ۴، صص ۴۸۹-۴۷۴.

doi: 10.32598/DMKP.13.4.779.1

References

Abedini, A.; Khalili, A. Determining the capacity infill development in growing metropolitans: A case study of Urmia city. J. Urban Manag. 2019, 8, 316–327.

www.sciencedirect.com

Abedini A, Aram F, Khalili A, Mirzaei E. Recognition and Evaluating the Indicators of Urban Resilient by Using the Network Analysis Process. *Urban Science*. 2022; 6(2):31.

https://doi.org/10.3390/urbansci6020031

Al Rifat, S. A., & Liu, W. (2019). Quantifying spatiotemporal patterns and major explanatory factors of urban expansion in miami metropolitan area during 1992-2016. *Remote Sensing*, *11*(21).

https://doi.org/10.3390/rs11212493

Assari, A., Birashk, B., Mousavi Nik, M., & Naghdbishi, R. (2016). IJTPE Journal IMPACT OF BUILT ENVIRONMENT ON MENTAL HEALTH: REVIEW OF TEHRAN CITY IN IRAN. *International Journal On*, *26*(1), 81–87.

DOI:10.13140/RG.2.1.3575.2087

Abedini, A., Khalili, A., khorram, F., & ghorbani, S. (2020). Feasibility study on the implementation of a knowledge-based city in Tabriz metropolis with a knowledge-based approach. *Urban Structure and Function Studies*, *7*(24), 155-175.

doi: 10.22080/usfs.2020.16690.1829

Angel, S., Sheppard, S., Civco, D. L., Buckley, R., Perlin, S., & Herold, M. (2007). The dynamics of global urban expansion. Washington, DC: Transportation Research Board.

The Dynamics of global urban expansion | Cities Alliance

Alberti, M. (2008). Advances in Urban Ecology: Integrating Humans and Ecological Processes in Urban

Ecosystems. Springer Science+Business Media, Boston, MA. CrossRef.

Batty, M. (2005). Cities and Complexity: Understanding Cities with Cellular Automata, Agent-Based Models, and Fractals. The MIT Press.

mitpress.mit.edu

Botequilha Leitão, A.; Miller, J.; Ahern, J.; McGarigal, K. (2006). Measuring landscapes: A planner's handbook (Washington: Island Press).

Measuring Landscapes: A Planner's Handbook | Request PDF (researchgate.net)

Baker, J., Van Der Leeuw, S., & Van Os, B. (2015). Landscape metrics for assessing ecological connectivity and fragmentation. Ecological Indicators, 58, 192-198.

www.sciencedirect.com

Bouhennache, R.; Bouden, T.; Taleb, A. A.; Chaddad, A. (2015). Extraction of urban land features from TM Landsat image using the land features index and Tasseled cap transformation. Recent Advances on Electro science and Computers.

https://www.inase.org/

Brueckner, J. K. (2011). Urban economics. Cambridge University Press.

mitpress.mit.edu

Badoe, Daniel & Miller, Eric. (2000). Transportation-land-use interaction: Empirical findings in North America, and their implications for modeling. Transportation Research Part D: Transport and Environment. 5. 235-263. 10.1016/S1361-9209(99)00036-X.

www.sciencedirect.com

Burgess, E. W. (1925). The growth of the city. In R. E. Park & E. W. Burgess (Eds.), The city (pp. 37-85). Chicago: University of Chicago Press.

The City, Park, Burgess, Sampson (uchicago.edu)

Cervero, R., & Kockelman, K. (1997). Travel Demand and the 3Ds: Density, Diversity, and Design. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 2(3), 199-219.

www.sciencedirect.com

Cheng, J., Wang, S., & Song, W. (2014). A new index for assessing landscape fragmentation based on the concept of nearest neighbor distance. Ecological Indicators, 45, 253-257.

Clark, P. J., & Evans, F. C. (1954). Distance to nearest neighbor as a measure of spatial relationships in populations. Ecology, 35(4), 445-453.

Distance to Nearest Neighbor as a Measure of Spatial Relationships in Populations on JSTOR

Cheng, J., Zhang, Y., & Li, Z. (2019). A gradient model for land use classification using remote sensing data. Remote Sensing of Environment, 231, 111476.

Diggle, P. J. (2013). Statistical Analysis of Spatial and Spatio-Temporal Point Patterns (3rd Edition). CRC Press.

www.routledge.com

Davoudi, S., Crawford, J., & Mehmood, A. (2012). Planning for Climate Change: Strategies for Mitigation and Adaptation for Spatial Planners. Routledge

http://www.earthscan.co.uk/?tabid=74708

Eckhardt, S., De Jong, R., & Demuzeau, O. (2008). An approach to using Landsat data to assess productivity changes in semiarid rangelands. International Journal of Remote Sensing, 29(14), 4057-4077.

Eckhardt, S., De Jong, R., & Demuzeau, O. (2003). Remote sensing of the distribution and production of vegetation in semi-arid regions: A review of spectral indexes. Journal of Arid Environments, 57(1), 29-60.

Escobedo, F. J., Kroeger, T., & Wagner, J. E. (2011). Urban Forests and Pollution Mitigation: Analyzing Ecosystem Services and Disservices. Environmental Pollution, 159(8-9), 2078-2087.

Urban forests and pollution mitigation: analyzing ecosystem services and disservices - PubMed (nih.gov)

Ewing, R., & Cervero, R. (2010). Travel and the Built Environment: A Meta-Analysis. Journal of the American Planning Association, 76(3), 265-294.

Travel and the Built Environment: A Meta-Analysis: Journal of the American Planning Association: Vol 76, No 3 (tandfonline.com)

Elhakeem, A., & Wrigley, N. (2012). Measuring the spatial distribution of land use categories: A case study of the Greater Cairo urban area, Egypt. Landscape and Urban Planning, 106(1-2), 134-141.

Feyisa, G. L., Mehari, A. S., & Bewket, W. (2014). Water resources assessment using the modified normalized difference water index (MNDWI) at Hare watershed, eastern Ethiopia. Journal of African Earth Sciences, 95, 106-114.

Gao, H., Huete, A. R., Ni, W., & Miura, T. (2009). Optical monitoring of large-area snowpack properties and runoff prediction using the MODIS and AMSR-E products. Remote Sensing of Environment, 113(12), 2990-3001.

Glaeser, E. L. (2011). *Triumph of the city: How urban spaces make us human*. Penguin.

Triumph of the City: How Our Greatest Invention Makes Us Richer, Smarter, Greener, Healthier, and Happier: Glaeser, Edward L.: 9781594202773: Amazon.com: Books

Gong, J., Hu, Z., Chen, W., Liu, Y., & Wang, J. (2018). Urban expansion dynamics and modes in metropolitan Guangzhou, China. *Land Use Policy*, *72*, 100-109.

https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.12.025

Hu, Z.-L., Du, P.-J., & Guo, D.-Z. (2007). Analysis of urban expansion and driving forces in Xuzhou city based on remote sensing. *Journal of China University of Mining and Technology*, *17*(2), 267–271.

www.sciencedirect.com

Hu, X., Gao, J., & Li, Z. (2006). A modified normalized difference vegetation index to reduce the impact of atmospheric scattering and soil brightness. International Journal of Remote Sensing, 32(18), 5695-5705.

Huang, B., Zhao, B., Song, Y., Zhang, J., Wang, S., Liu, Z. Z., & Huang, J. (2019). Urban land use mapping using a combination of spectral, spatial and temporal information of Landsat 8 OLI imagery. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 78, 251-264.

https://www.sciencedirect.com/journal/international-journal-of-applied-earth-observation-and-geoinformation/vol/73/suppl/C

He, C., Shi, P., Zhao, S., Li, J., Zhang, X., & Liu, Y. (2015). Urban expansion monitoring in China using Landsat time series data. Science of The Total Environment, 502, 533-543.

Huang, S. L., Lee, Y. C., Budd, W. W., & Yang, M. C. (2012). Analysis of changes in farm pond network connectivity in the peri-urban landscape of the Taoyuan area, Taiwan. *Environmental Management*, *49*, 915-928.

Analysis of changes in farm pond network connectivity in the peri-urban landscape of the Taoyuan area, Taiwan - PubMed (nih.gov)

Huang, H. (2007). A new method for detecting the linear pattern of urban development using remote sensing data. Remote Sensing of Environment, 111(3), 473-481.

Herold, M., Scepan, J., & Clarke, K. C. (2002). The use of remote sensing and landscape metrics to describe structures and changes in urban land uses. Environment and Planning A: Economy and Space, 34(8), 1443-1458.

https://doi.org/10.1068/a3496

Huete, A. R., Tucker, C. J., Kimes, D. S., & Van Leeuwen, W. J. D. (1991). Satellite remote sensing of primary production and water cycle in arid and semi-arid regions. Remote Sensing of Environment, 35(3), 217-233.

www.researchgate.net

Hong, Y. Y.; Morris, M.; Chiu, C. Y.; Benet-Martínez, V. (2000). Multicultural minds: A dynamic constructivist approach to culture and cognition. American Psychologist, 55: pp.709-720

www.semanticscholar.org

He, C., Liu, Z., Gou, S., Zhang, Q., Zhang, J., & Xu, L. (2019). Detecting global urban expansion over the last three decades using a fully convolutional network. *Environmental Research Letters*, *14*(3).

https://doi.org/10.1088/1748-9326/aaf936

link.springer.com

Heidarinejad, N. (2017). The effects of urban expansion on spatial and socioeconomic patterns of the peri-urban areas: a case study of Isfahan city, Iran.

http://dx.doi.org/10.17877/DE290R-19799

Huete, A. R. (1988). A soil-adjusted vegetation index (SAVI). Remote Sensing of Environment, 25(3), 295-309.

Qi, J., Chehbouni, A., Huete, A. R., Kerr, Y. H., & Sorooshian, S. (1994). A modified soil adjusted vegetation index. Remote Sensing of Environment, 48(2), 119-126.

Europe PMC

Jin, Y., & He, Y. (2012). Spatio-temporal variability of urban growth patterns in Nanjing, China: A remote sensing-based landscape metrics analysis. Landscape and Urban Planning, 104(2), 209-223.

-Jensen, J. R. (2016). Remote sensing of the environment: An Earth resource perspective. Pearson Education.

Remote Sensing of the Environment: An Earth Resource Perspective 2/e - John R. Jensen - Google Books

Jensen, J.R. (2005). Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective, Third ed. Prentice Hall, Upper Saddle River, New Jersey.

Remote Sensing of the Environment: An Earth Resource Perspective 2/e - John R. Jensen - Google Books

Khalili, A. Optimal Model Presentation for Urban Smart Growth with Emphasis on Infill Development (Case Study: Urmia City). Master's Thesis, University of Urmia, Urmia, Iran, 2016

Kawamura, H., Igarashi, T., & Tsuchiya, K. (1992). A new spectral index (UI) to detect urban areas. In Proceedings of the 18th Asian Conference on Remote Sensing (pp. 1199-1206).

Li, J., Fang, W., Wang, T., Qureshi, S., Alatalo, J. M., & Bai, Y. (2017). Correlations between socioeconomic drivers and indicators of urban expansion: Evidence from the heavily urbanised Shanghai metropolitan area, China. *Sustainability (Switzerland)*, *9*(7).

https://doi.org/10.3390/su9071199

Liu, Y., & Wu, J. (2014). Using a modified normalized difference vegetation index (MNDVI) to monitor urban vegetation change in Beijing, China. Remote Sensing of Environment, 148, 137-147.

Liu, X., Li, H., Li, S., & Wang, J. (2019). Landscape pattern analysis of urban green space in Beijing using spatial metrics. *Urban Forestry & Urban Greening*, 40, 1-10.

Li, X., Zhao, C., Gong, P., & Wang, L. (2015). A new vegetation index, GYRATE, and its application in vegetation cover monitoring in Hulunbuir Grassland, Inner Mongolia, China. Remote Sensing of Environment, 156, 180-190.

Lefebvre, H. (1970). The Urban Revolution. University of Minnesota Press.

The Urban Revolution (umn.edu)

McFeeters, S. K. (1996). The use of the normalized difference water index (NDWI) in the delineation of open water features. International Journal of Remote Sensing, 17(7), 1425-1432.

The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features: International Journal of Remote Sensing: Vol 17, No 7 (tandfonline.com)

McDonnell, M. J., & Pickett, S. T. A. (1990). Ecosystem Structure and Function along Urban-Rural Gradients: An Unexploited Opportunity for Ecology. Ecology, 71(4), 1232–1237.

https://doi.org/10.2307/1938259

Molin, G., Wu, H., & Luo, L. (2011). Estimating rice leaf chlorophyll content using the greenness-yellowness vegetation index (GYRATE). Agricultural Sciences in China, 10(4), 544-551.

McGarigal, K., Cushman, S. A., & Ene, E. (2012). FRAGSTATS v4: Spatial pattern analysis program for categorical and continuous maps. University of Massachusetts Amherst.

http://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html

McGarigal, K; Marks, B.J. (1995). FRAGSTATS: spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure. General Technical Report PNW-GTR-351, USDA Forest Service, Pacific Northwest Research Station, Portland.

http://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/fragstats.html

Newman, P., & Kenworthy, J. (1999). Sustainability and Cities: Overcoming Automobile Dependence. Island Press.

Mondal, B., Dolui, G., Pramanik, M., Maity, S., Biswas, S. S., & Pal, R. (2017). Urban expansion and wetland shrinkage estimation using a GIS-based model in the East Kolkata Wetland, India. *Ecological Indicators*, *83*(July), 62–73.

https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.07.037

Nelson, R. R. (2004). The making of the American economy: Long waves of progress. University of Chicago Press.

Pérez-Hernández, C. G., Zapata-N, M. L., Martínez-López, C. A., & Valdez-Cepeda, R. D. (2018). Evaluating the impact of different climate scenarios on the urban growth and development of the Mexico City Metropolitan Area using SLEUTH model. Urban Climate, 23, 27-47.

Puertas, O. C., García-Ayllón, J. A., & López-Herrera, A. G. (2019). Urban expansion in the Madrid metropolitan area: A spatial analysis approach using landscape metrics. *Land Use Policy*, 82, 684-697.

Pratibha, P. S.; Priya, M. H.; Duhita, S. D. (2014). Fusion Classification of Multispectral and Panchromatic Image using Improved Decision Tree Algorithm'', IEEExplore, 978-1-4799-3140-8/14/$31.00 ©2014 IEEE.

Pinelli, F., & Pedreschi, D. (2007). Trajectory Pattern Mining. In KDD'07 (pp. 395-404). ACM.

Rifat, S. A. A., & Liu, W. (2019). Quantifying spatiotemporal patterns and major explanatory factors of urban expansion in Miami Metropolitan Area during 1992–2016. *Remote Sensing*, *11*(21), 2493.

https://doi.org/10.3390/rs11212493

Rocha, J., Nunes, M., Mendes, L., Sousa, J., Sá, S., & Pereira, P. (2016). A modified red-edge greenness index based on red and red-edge bands for monitoring vegetation vigor. International Journal of Remote Sensing, 37(1), 71-89

Salem, M., Tsurusaki, N., & Divigalpitiya, P. (2019). Analyzing the driving factors causing urban expansion in the peri-urban areas using logistic regression: A case study of the greater Cairo region. *Infrastructures*, *4*(1), 4.

https://doi.org/10.3390/infrastructures4010004

Seto, K. C., Güneralp, B., & Hutyra, L. R. (2012). Global forecasts of urban expansion to 2030 and direct impacts on biodiversity and carbon pools. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 109(40), 16083–16088.

https://doi.org/10.1073/pnas.1211658109

Salvati, L., Bottalico, F., & De Pol, G. (2017). A new entropy-based index for assessing landscape fragmentation. Ecological Indicators, 80, 1-10.

Terfa, B. K., Chen, N., Zhang, X., & Niyogi, D. (2020). Urbanization in small cities and their significant implications on landscape structures: The case in Ethiopia. *Sustainability (Switzerland)*, *12*(3), 1–19.

https://doi.org/10.3390/su12031235

Tucker, C. J., Justice, C. O., Prince, S. D., Kerr, Y. H., & Paltridge, G. W. (1985). Monitoring global land cover from satellite data: A review. International Journal of Remote Sensing, 6(10-11), 1397-1416.

Terfa, B. K., Chen, N., Zhang, X., & Niyogi, D. (2020). Urbanization in small cities and their significant implications on landscape structures: the case in Ethiopia. *Sustainability*, *12*(3), 1235.

Sustainability | Free Full-Text | Urbanization in Small Cities and Their Significant Implications on Landscape Structures: The Case in Ethiopia (mdpi.com)

Ullman, E. L. (1945). The economic base of American manufacturing. Studies in Geography.

Edward Ullman — Wikipédia (wikipedia.org)

-UN-Habitat. (2016). The New Urban Agenda. United Nations.

Amazon.com

Wang, J., Liu, Y., Li, Z., Sun, Z., & Liang, L. (2020). Spatial patterns and driving factors of urban expansion in the Pearl River Delta region, China, during 1990-2015. *Land Use Policy*, 97, 104758.

Wang, B., Wen, X., Chen, S., Zhang, H., & Zhao, Y. (2018). Quantifying Land Use/Land Cover and Landscape Pattern Changes and Impacts on Ecosystem Services. Sustainability, 10(5), 1428.

www.researchgate.net

Wegener, K., Nakamoto, K., & Inoue, Y. (1991). A new vegetation index for desert regions. Remote Sensing of Environment, 34(3), 257-264.

Wei, Y., & Wu, R. (1999). A new aggregation pattern for identifying the spatial distribution of urban features in Landsat TM images. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 65(12), 1443-1449.

Wang, D., Li, X., Chen, Y., Li, Y., & Zhao, J. (2018). Spatiotemporal Variations in Urban Expansion and their Influencing Factors in China. Sustainability, 10(12), 4721.

Wei, Yehua & Ewing, Reid. (2018). Urban expansion, sprawl and inequality. Landscape and Urban Planning. 177. 10.1016/j.landurbplan.2018.05.021.

https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2018.05.021

Yang, Z., Zhang, X., Wu, Y., Li, X., & Jiang, J. (2022). Spatiotemporal analysis of urban expansion intensity and its driving factors in the Pearl River Delta region of China from 1990 to 2020. Land Use Policy, 113, 105916.

Yeh, C.-F., & Li, X. (2001). Measuring spatial patterns of urban sprawl using remote sensing data. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, 67(7), 997-1006.

Zhao, Y., Liu, Y., Wang, Z., Liu, W., & Gao, H. (2018). Landscape metrics for assessing urban expansion in the Yangtze River Delta region, China. *Ecological Indicators*, 95, 971-983.

Zhang, X., Song, W., & Wang, S. (2014). Enhanced Neighborhood Index (ENI): A New Landscape Pattern Index for Measuring Landscape Connectivity. Landscape Ecology, 29(9), 1555-1562.

Zhang, Z., Tu, Y. J., & Li, X. (2016). Quantifying the spatiotemporal patterns of urbanization along urban-rural gradient with a roadscape transect approach: A case study in Shanghai, China. *Sustainability*, *8*(9), 862.

https://doi.org/10.3390/su8090862

Zhang, H., Zhang, Y., Wang, C., & Liu, Y. (2018). Monitoring drought dynamics with the modified normalized difference water index (MNDWI) in a changing climate. Water Resources Management, 32(13), 4427-4442.

Zhang, Z., Li, N., Wang, X., Liu, F., & Yang, L. (2016). A comparative study of urban expansion in Beijing, Tianjin and Tangshan from the 1970s to 2013. *Remote Sensing*, *8*(6).

https://doi.org/10.3390/rs8060496

Zhao, J., Yang, W., Peng, J., Li, C., Li, Z., & Liu, X. (2019). Analyzing and modeling the spatiotemporal dynamics of urban expansion: A case study of Hangzhou city, China. *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*, *27*(4), 228–241.

https://doi.org/10.3846/jeelm.2019.11561

Zha, Y.; Gao, J.; Ni, S. (2003). Use of normalized difference built-up index in automatically mapping urban areas from TM imagery. Int. J. Remote Sens. 2003, 24, 583–594.

https://doi.org/10.1080/01431160304987