

Ecological Security Analysis of Land Use Changes in Lavasanat Basin Using Landscape Metrics

Yaser Moarrab¹, Esmail Salehi^{2*}, MohamadJavad Amiri³, Hasan Hovidi⁴

1-Ph.D Student of Environmental Planning, Faculty of Environment, Researcher of Imam Hossein University, University of Tehran

2-Associate Professor of Environmental Planning, Faculty of Environment, University of Tehran

3-Assistant Professor of Environmental Planning, Faculty of Environment, University of Tehran

4-Assistant Professor of Environmental Planning, Faculty of Environment, University of Tehran



Moarrab, Y & Salehi, E & Amiri, M.J & Hovidi, H. (2021). [Ecological Security Analysis of Land Use Changes in Lavasanat Basin Using Landscape Metrics]. *Geography and Development*, 19 (64), 77-114 .

doi: <http://dx.doi.org/10.22111/J10.22111.2021.6320>

Received: 19/10/2020

Accepted : 15/06/2021

Keywords:

Ecological Security,
Land Use Changes,
Lavassanat, Landscape
Metrics, Urbanization.

ABSTRACT

Continuous urbanization over the past decades has caused a large concentration of human population in these areas. Due to the rapid growth of the population and the rapid development of urban disorder in Iran, changes in land use and land cover are occurring rapidly and the sustainability of cities is decreasing day by day. Therefore, understanding the effects of urban growth on the ecosystem and determining the relationship between urban dynamics and ecological security are vital for effective urban planning and environmental protection, to support and support sustainable development.

The purpose of this study was to monitor and predict land use changes over a 4 year period (2040-2000) with the Markov Chain Model (CA-Markov) in the Lavasanat Basin of Tehran Province and to evaluate the ecological security of this area over time periods. Landsat satellite imagery was used to investigate land use changes. According to the existing land use in the area, five land uses were considered, barren land, pasture land, irrigated land and agricultural and agricultural land. To quantify the landscape patterns in class metrics of NP, LSI, IJI, CA, PLAND and LPI. And NP, LSI, IJI, ED, PD and SPILT metrics were calculated on the landscape surface.

Forecasting results for 2040 shows that at each floor level, the number of spots other than the Bayer floor will decrease with the current trend. This phenomenon will be due to the merging of small stains in previous years and to other classes due to the disappearance of small stains that will in most cases become built-up lands and on the surface of the landscape. Changes will reduce the number of spots, make the shape easier and more regular, and increase the consistency of the landscape.

Copyright©2021, Geography and Development. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-noncommercial 4.0 International License which permits copy and redistribute the material just in noncommercial usages, provided the original work is properly cited.

Extended Abstract

1- Introduction

Urbanization can promote socio-economic development and improve the quality of human life, but irreversible changes from semi-

natural and ecosystems to impenetrable urban levels have caused significant environmental and ecological problems. It has emerged around the world and is changing the population, industrial structure and patterns of urban landscape. Human activities in the field of construction have brought about many changes in the appearance of the land. The ecological consequences of urban development can be understood by using metrics of the appearance of the land to describe and analyze dynamic changes in the appearance of the regional land.

*Corresponding Author:

Esmail Salehi

Address: Department of Environmental Planning,
Faculty of Environment, University of Tehran

Tel: +98 (9123752788)

E-mail: Tehranssaleh@ut.ac.ir

In other words, continuous urbanization in recent decades has led to a very high concentration of human population in these areas. In fact, on the one hand, the erratic expansion of urban structures and, on the other hand, the significant reduction of land with ecological serviceability have limited the sustainability of urban development.

As a result, how to ensure the structural stability and functional security of natural ecosystems for sustainable urban development has become a global issue. Therefore, studying the processes and pattern of land appearance provides important information for ecological protection and management, which can show the composition and distribution of land appearance factors. Therefore, the study of ecological security should not only consider the processes and patterns of land appearance, but should also consider the impact of land appearance factors that can reflect the structure and function of land appearance on ecological security.

2- Methods and Material

The land use was extracted during the study period (2000, 2010, 2020) using two series of data, Landsat satellite images and high-resolution images. Landsat satellite images have been used for densely populated areas so that Landsat images can be extracted using existing classification algorithms and 15 meter resolution. In many areas, the study area is located individually in low-density villages, or the distance between each other is such that it cannot be extracted using Landsat images. Also, land use extraction in these areas using Landsat images greatly reduces the accuracy of the results, and land use / land use maps cannot be used for subsequent evaluation steps, such as assessing land use / land use changes and anticipating future changes. Therefore, in such areas, it was preferable to digitize the user interface using high spatial resolution images, despite spending a lot of time. Finally, the results of the two methods were merged to create a coherent land use map / coverage over the three time periods. Finally, according to the studies, the objectives of the study and considering the overlap between some metrics, at the level of

metric class 6, NP, LSI, IJI, CA, PLAND and LPI were selected. At the land surface level, 6 metrics were used for NP, LSI, IJI, ED, PD and SPILT .

3- Results and Discussion

The results of the classification of images show that the value of the accuracy of the overall accuracy of the classification for the years 2000, 2010 and 2020 is 95.72, 96.26 and 95.32%, respectively, and the coefficient value. Kappa was 0.948, 0.943 and 0.936 for all three years, which is at an acceptable level.

The classification of images using the maximum probability algorithm showed that there are five floors of built-up areas (urban area, villages, industries and roads), barren lands, pasture lands, water levels and garden and agricultural lands in the area.

After preparing the land use maps, the changes were revealed and the changes occurred during the three study periods. In the 2040 forecast, the Markov chain was used in the first step, so that first the classified image of 2000 and then the classified image of 2010 were introduced to the model, through which the conversion matrix was obtained, in other words. The training system was used to predict the year 2040, after which the 2020 image was introduced to the model along with the conversion matrix obtained from the previous period, and the 2040 forecast was obtained.

4- Conclusion

The results of the 2040 Earth Coverage Forecast show that the small distances between urban and rural areas, low-density and scattered settlements in the region that have no physical or geographical constraints on construction, will lead to larger spots in the future. And human interconnection will be built, which will reduce the number of spots and disintegration, make the shape simpler and more regular, and increase the continuity of the surface of the earth. At the level of each floor, the results show that with the continuation of the current trend, the number of spots, except for the barrier floor, will decrease in other floors. This phenomenon will

occur in the constructed lands due to the interconnection of small spots in previous years and in other floors due to the disappearance of small spots, which in most cases will turn into constructed lands. Certainly, increasing the infrastructure and human activities, regardless of the region's capacity, will pose many problems for the region's ecological security in the future. In fact, it is necessary to formulate management programs based on the principles of sustainable development, assessment of land potential and proper use of resources to prevent changes in the region's landscape and maintain its spatial continuity. The development plans of this region should be based on the principles of protection and protection of horticultural and agricultural areas, otherwise with the current trend, natural coverings will be destroyed and human uses will increase according to the forecast.

Keywords: Ecological Security, Land Use Changes, Lavassanat, Landscape Metrics, Urbanization.

5- References

- Adhikari, S., & Southworth, J. (2012). Simulating forest cover changes of Bannerghatta National Park based on a CA-Markov model: a remote sensing approach. *Remote Sensing*, 4(10), 3215-3243. <https://doi.org/10.3390/rs4103215>
- Ajayi, Adedeji, H., Adeofun, C & Awokola, S. (2016). Land Use Change Assessment, Prediction Using Remote Sensing, and GIS Aided Markov Chain Modelling at Eleyele Wetland Area, Nigeria. *Journal of Settlements and Spatial Planning*, 7(1), 51. <https://doi.org/10.19188/06JSSP012016>
- Alberti, M. Marzluff, J. (2004). Ecological resilience in urban ecosystems: Linking urban patterns to human and ecological functions. *Urban Ecosystems* 7(3): 241-265. <https://doi.org/10.1023/B:UECO.0000044038.90173.c6>
- Amiraslani, F, and Dragovich, D., (2011). Combating desertification in Iran over the last 50 years: An overview of changing approaches, *Journal of Environmental Management*, 92(1), 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2010.08.012>
- Arsanjani, J. J., Helbich, M., Kainz, W., Darvishi Bolorani, A., (2013). Integration of logistic regression, Markov chain and cellular automata models to simulate urban expansion, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 21, 265-275. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2011.12.014>.
- Asfaw, M. Worku, H. (2019). Quantification of the land use/land cover dynamics and the degree of urban growth goodness for sustainable urban land use planning in Addis Ababa and the surrounding Oromia special zone. *Journal of Urban Management* 8(1):145-158. <https://doi.org/10.1016/j.jum.2018.11.002>
- Basumatary, A., Middha, S.K., Usha, T., Brahma, B.K., Goyal, A.K., 2015. Bamboo, as potential sources of food security, economic prosperity and ecological security in North- East India: an overview. *Res. Plant Biol.* 5(2), 17-23. <http://updatepublishing.com/journal/index.php/ripb/article/view/2637>
- Bell, M., Levy, J.Z., (2008). The effect of sandstorms and air pollution on cause-specific hospital admissions in Taipei, Taiwan. *Occup. Environ. Med.* 65(2), 104-111. <https://doi.org/10.1136/oem.2006.031500>
- Bhatta, B., Saraswati, S., & Bandyopadhyay, D. (2010). Quantifying the degree-of freedom, degree-of-sprawl, and degree-of-goodness of urban growth from remote sensing data. *Applied Geography*, 30(1), 96-111. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2009.08.001>
- Brunner, D., Lemoine, G., Bruzzone, L., (2010). Earthquake damage assessment of buildings using VHR optical and SAR imagery. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.* 48 (5), 2403-2420. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2009.2038274>
- Cabral, P., & Zamyatin, A (2009). Markov processes in modeling land use and land cover changes in SintraCascais, Portugal. *Dyna*, 76(158), 191-198. <https://www.researchgate.net/publication/43070232>
- Chang, Q., Liu, D(2015). Ecological security research progress in China, *Acta Ecologica Sinica*, 35(5), 111-121. <https://doi.org/10.1016/j.chnaes.2015.07.001>
- Chen, A., Yao, L., Sun, R., Chen, L (2014). How many metrics are required to identify the effects of the landscape pattern on land surface temperature?, *Ecological Indicators* 45, 424-433. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.05.002>
- Chen, L., Sun, R. and Yang, L (2018). Regional Eco-security: Concept, Principles and Pattern Design, *Challenges Towards Ecological Sustainability in China*, 19-37. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-03484-92>.
- Clarke, K. C., & Gaydos, L. J. (1998). Loose-coupling a cellular automaton model and GIS: long-term urban growth prediction for San Francisco and Washington/Baltimore. *International journal of geographical information science*, 12(7), 699-714. <https://doi.org/10.1080/136588198241617>
- Congalton, R.G., (1991). A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data, *Remote Sensing of Environment*, 37, 35-46. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(91\)90048-B](https://doi.org/10.1016/0034-4257(91)90048-B)

- Čuček, L., Klemeš, J.J., Varbanov, P.S., Kravanja, Z., (2015). Significance of environmental footprints for evaluating sustainability and security of development. *Clean Techn. Environ. Policy* 17 (8), 2125-2141. <https://doi.org/10.1007/s10098-015-0972-3>
- Cumming, G.S., Allen, C.R., (2017). Protected areas as social-ecological systems: perspectives from resilience and social-ecological systems theory. *Ecol. Appl.* 27, 1709-1717. <https://doi.org/10.1002/eap.1584>
- Dawelbait, M, and Morai, F, (2012), Monitoring desertification in a savannah region in Sudan using Landsat images and spectral mixture analysis. *Journal of Arid Environments.* 8: 45-55. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2011.12.011>
- Du Y, Teillet PM, Cihlar J (2002). Radiometric normalization of multitemporal high-resolution satellite images with quality control for land cover change detection. *Remote sensing of Environment*, 82(1): 123-134. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(02\)00029-9](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(02)00029-9)
- Fan, Ch., Myint,S., (2014). A comparison of spatial autocorrelation indices and landscape metrics in measuring urban landscape fragmentation, *Landscape and Urban Planning* 121, 117-128. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2013.10.002>
- Fan, F., Weng, Q, Wang, Y.P., (2007). Land Use and Land Cover Change in Guangzhou, China, from 1998 to 2003, Based on Landsat TM /ETM+ Imagery. *Sensors* 2007, 7(7), 1323-1342; <https://doi.org/10.3390/s7071323>
- Feist, B.E., Buhle, E.R., Baldwin, D.H., Spromberg, J.A., Damm, S.E., Davis, J.W., Scholz, N.L., (2017). Roads to ruin: conservation threats to a sentinel species across an urban gradient. *Ecol. Appl.* 27, 2382-2396. <https://doi.org/10.1002/eap.1615>
- Feng, Y., Liu, Y., Liu, Y., (2017). Spatially explicit assessment of land ecological security with spatial variables and logistic regression modeling in Shanghai, China. *Stoch. Env. Res. Risk A.* 31 (9), 2235-2249. <https://doi.org/10.1007/s00477-016-1330-7>
- Feyisa, G.L; Meilby, H, Jenerette, G.D, and Pauliet, S, (2016). locally optimized separability enhancement indices for urban land cover mapping: Exploring thermal environmental consequences of rapid urbanization in Addis Ababa, Ethiopia. *Remote Sensing of Environment*, No. 1: 14-31. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2015.12.026>
- Ghosh, P., Mukhopadhyay, A., Chanda, A., Mondal, P., Akhand, A., Mukherjee, S., Nayak, S.K, Ghosh, S., Mitra, D., Ghosh, T., Hazra, S., (2017). Application of Cellular automata and Markov-chain model in geospatial environmental modeling- A review. *Remote Sensing Applications: Society and Environment* No.5: 64-77. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2017.01.005>
- Gong, W., Yuan, L., Fan, W., & Stott, P. (2015). Analysis and simulation of land use spatial pattern in Harbin prefecture based on trajectories and cellular automata-Markov modelling. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 34, 207-216. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2014.07.005>
- Habibi, S., & Asadi, N. (2011). Causes, results and methods of controlling urban sprawl. *Procedia Engineering*, 21, 133-141. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2011.11.1996>
- Halmy, M. W. A., Gessler, P. E., Hicke, J. A., & Salem, B. B. (2015). Land use/land cover change detection and prediction in the north-western coastal desert of Egypt using Markov-CA. *Applied Geography*, 63, 101-112. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2015.06.015>
- Han, B. Liu, H. Wang, R. (2015). Urban ecological security assessment for cities in the Beijing-Tianjin-Hebei metropolitan region based on fuzzy and entropy methods, *Journal of Ecological Modelling*, Volume 318, Pages 217-225. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2014.12.015>
- He, C., Liu, Z., Tian, J., Ma, Q., (2014). Urban expansion dynamics and natural habitat loss in China: a multiscale landscape perspective. *Glob. Chang. Biol.* 20, 2886-2902. <https://doi.org/10.1111/gcb.12553>.
- Hu, Z., & Lo, C. P. (2007). Modeling urban growth in Atlanta using logistic regression. *Computers, Environment and Urban Systems*, 31(6), 667-688. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2006.11.001>
- Inkoom, J.N., Frank ,S., Greve, K., Walz, U., Fürst, Ch. (2018) . Suitability of different landscape metrics for the assessments of patchy landscapes in West Africa, *Ecological Indicators* 85, 117-127. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.10.031>
- Jinhua, M., Zhengdong, Z., Yuzhi, Y., & Caiwen, D. (2015). Landscape Pattern Analysis and Dynamic Prediction of Liuxi Basin in South China Based on CA-Markov Model. *Journal of South China Normal University (Natural Science Edition)*, 47(4), 122-127. <https://doi.org/10.6054/j.jscnun.2014.12.042>
- Kamusoko, C., Aniya, M., Adi, B., and Manjoro, M., (2009). Rural sustainability under threat in Zimbabwe - Simulation of future land use/cover changes in the Bindura district based on the Markov-cellular automata model, *Applied Geography*, 29, 3, 435-447. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2008.10.002>
- Kim, J., (2019). Subdivision design and landscape structure: Case study of The Woodlands, Texas, US, *Urban Forestry & Urban Greening* 38, 232-241. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2019.01.006>
- Kityuttachai, K., Tripathi, N. K., Tipdecho, T., & Shrestha, R. (2013). CA-Markov analysis of constrained coastal urban growth modeling: Hua Hin seaside city, Thailand. *Sustainability*, 5(4), 1480-1500. <https://doi.org/10.3390/su5041480>
- Kong, F., Ban, Y., Yin, H., James, P., Dronova, I., (2017). Modeling stormwater management at the city district level in response to changes in land use and low impact development. *Environ. Model. Softw* 95, 132-142. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2017.06.021>.
- Kullenberg, G. (2002). Regional co-development and security: a comprehensive approach. *Ocean Coastal Manag.* 45 (11-12), 761-776. [https://doi.org/10.1016/S0964-5691\(02\)00105-9](https://doi.org/10.1016/S0964-5691(02)00105-9)

- Li, J., Song, C., Cao, L., Zhu, F., Meng, X., Wu, J., (2011). Impacts of landscape structure on surface urban heat islands: a case study of Shanghai, China. *Remote Sens. Environ.* 115, 3249-3263. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.07.008>.
- Li, X., Tian, M., Wang, H., Wang, H., Yu, J., (2014). Development of an ecological security evaluation method based on the ecological footprint and application to a typical steppe region in China. *Ecological Indicators* 39 (2014) 153-159. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2013.12.014>
- Li, Z.T., Yuan, M. J, Hu, M.M., Wang, Y.F., Xia, B.Ch., (2019). Evaluation of ecological security and influencing factors analysis based on robustness analysis and the BP-DEMALTE model: A case study of the Pearl River Delta urban agglomeration. *Ecological Indicators* 101,595-602. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.01.067>
- Li, Zh., XU, L., (2010). Evaluation indicators for urban ecological security based on ecological network analysis. *Procedia Environmental Sciences* 2 (2010) 1393-1399. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2010.10.151>
- Lillesand T, Kiefer RW, Chipman J. (2014). *Remote sensing and image interpretation*. John Wiley & Sons, 704. <https://www.amazon.com/Remote-Sensing-Interpretation-Thomas-Lillesand/dp/0470052457>
- Liu, M., Hu, Y. M., Li, Ch.L., (2017) . Landscape metrics for three-dimensional urban building pattern Recognition, *Applied Geography* 87 , 66-72. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2017.07.011>
- Liu, P., Jia, S., Han, R., and Zhang, H., (2018). Landscape Pattern and Ecological Security Assessment and Prediction Using Remote Sensing Approach, *Journal of Sensors* Volume 2018, Article ID 1058513, 14 pages <https://doi.org/10.1155/2018/1058513>.
- Liu, Y., Peng, J., Wang, Y., (2018). Efficiency of landscape metrics characterizing urban land surface Temperature, *Landscape and Urban Planning* 180 (2018) 36-53. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2018.08.006>
- Liu, Y., Wei, X., Li, P., Li, Q., (2016). Sensitivity of correlation structure of class- and landscape-level metrics in three diverse regions, *Ecological Indicators* 64, 9-19. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.12.021>
- Louca, M., Vogiatzakis, I. N., & Moustakas, A. (2015). Modelling the combined effects of land use and climatic changes: Coupling bioclimatic modelling with Markov-chain Cellular Automata in a case study in Cyprus. *Ecological Informatics*, 30, 241-249. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2015.05.008>
- Lu, J., (2015) Landscape ecology, urban morphology, and CBDs: An analysis of the Columbus, Ohio Metropolitan Area, *Applied Geography* 60, 301-307. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2014.11.004>
- Ma, L., Bo, J., Li, X., Fang, F., Cheng, W.(2019). Identifying key landscape pattern indices influencing the ecological security of inland river basin: The middle and lower reaches of Shule River Basin as an example, *Science of the Total Environment* 674 (2019) 424-438. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.04.107>
- Mas, J. F; Kolb, M; Paegelow, M. & Camacho Olmedo, M.T.(2014). Inductive pattern- based land use/ cover change models: Acomparision of Four software packages. *Environmental Modelling & software.* 51: 94-111. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2013.09.010>
- Mas, J.F., H. Puig, H. J.L. Palacio, J.L. & A. Sosa-López. A. (2004). Modelling deforestation using GIS and artificial neural networks, *Environmental Modeling & Software*, 19: 461-471. [https://doi.org/10.1016/S1364-8152\(03\)00161-0](https://doi.org/10.1016/S1364-8152(03)00161-0)
- Matthews, R. B., Gilbert, N. G., Roach, A., Polhill, J. G., & Gotts, N. M. (2007). Agent-based land-use models: a review of applications. *Landscape Ecology*, 22(10), 1447-1459. <https://doi.org/10.1007/s10980-007-9135-1>
- Mayes, M.T, Mustard, J.F. and Melillo, J.M, (2015). Forest cover change in Miombo Woodlands: Modeling land cover of Africa dry tropical forests with linear spectralmixture analysis. *Remote Sensing of Environment.* No.165:203-215. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2015.05.006>
- Miller, J.D., Brewer, T., (2018). Refining flood estimation in urbanized catchments using landscape metrics, *Landscape and Urban Planning* 175, 34-49. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2018.02.003>
- Mitsova D, Shuster W, Wang X. (2011). A cellular automata model of land cover change to integrate urban growth with open space conservation. *Landscape and Urban Planning*, 99(2): 141-153. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2010.10.001>
- Mõisja, K., Uuemaa, E., Oja, T., (2016). Integrating small-scale landscape elements into land use/cover: The impact on landscape metrics' values, *Ecological Indicators* 67, 714-722. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.03.033>
- Mombeni, M. Asgari, H. (2018). Monitoring, assessment and prediction of spatial changes of Land Use /Cover using Markov Chain Model (Case study: Shushtar- Khuzestan), *Scientific- Research Quarterly of Geographical Data*, 27(105), 35-47. http://www.sepehr.org/article_31471.html
- Morelli, F., Benedetti, Y., Šimová, P(2018). Landscape metrics as indicators of avian diversity and community measures, *Ecological Indicators* 90 (2018) 132-141. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.03.011>
- Muller, M. R., & Middleton, J. (1994). A Markov model of land-use change dynamics in the Niagara Region, Ontario, Canada. *Landscape Ecology*, 9(2), 151-157. <https://doi.org/10.1007/BF00124382>
- Myint, S. W., & Wang, L. (2006). Multicriteria decision approach for land use land cover change using Markov chain analysis and a cellular automata approach. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 32(6), 390-404. <https://doi.org/10.5589/m06-032>
- Pan, Zh., Wang, G., Hu, Y., Cao, B., (2019). Characterizing urban redevelopment process by quantifying thermal dynamic and landscape analysis, *Habitat International* 86, 61-70. <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2019.03.004>

- Peng, J., Liu, Y., Liu, Z., Yang, Y., (2017a). Mapping spatial non-stationarity of human-natural factors associated with agricultural landscape multifunctionality in Beijing-Tianjin- Hebei region, China. *Agric. Ecosyst. Environ.* 246, 221-233. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.06.007>
- Peng, J., Tian, L., Liu, Y., Zhao, M., Hu, Y., Wu, J., (2017). Ecosystem services response to urbanization in metropolitan areas: thresholds identification. *Sci. Total Environ.* 607-608, 706-714. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.06.218>.
- Peng, J., Yang Y., Yanxu L., Yi'na H., Yueyue D., Jeroen M., Sijing Q. (2018). Linking ecosystem services and circuit theory to identify ecological security patterns, *Science of the Total Environment*, 644(2018)281-790. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.06.292>
- Sahu, S.K., (2011). Localized food systems: the way towards sustainable livelihoods and ecological security - a review. *J. Anim. Plant Sci.* 21 (2), 388-395. <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20113405569>
- Sang, L., Zhang, C., Yang, J., Zhu, D., & Yun, W. (2011). Simulation of land use spatial pattern of towns and villages based on CA-Markov model. *Mathematical and Computer Modelling*, 54(3-4), 938-943. <https://doi.org/10.1016/j.mcm.2010.11.019>
- Schwoertzig, E., Poulin, N., Hardion, L., & Trémolières, M. (2016). Plant ecological traits highlight the effects of landscape on riparian plant communities along an urban-rural gradient. *Ecological Indicators*, 61: 568-576. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.10.008>
- Serra-Llobet, A., Hermida, M.A., (2017). Opportunities for green infrastructure under Ecuador's new legal framework. *Landscape and Urban Planning*. 159, 1-4. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2016.02.004>
- Shafiei Sabet, N. Shakiba, A. Mohammadi, A. (2019). Detection and prediction of land use changes using CA-Markov model Case study: Tehran - Damavand, *Scientific- Research Quarterly of Geographical Data*, 28(111), 175-190. http://www.sepehr.org/article_37517.html
- Shi, Y., Li, J., Xie, M., (2018). Evaluation of the ecological sensitivity and security of tidal flats in Shanghai, *Ecological Indicators*, 85.729-741. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.11.033>
- Sohl, T. L. and Claggett, P.R., (2013). Clarity versus complexity: Land-use modeling as a practical tool for decision-makers, *Journal of Environmental Management*, 129, 235-243. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.07.027>
- Su, S., Jiang, Z., Zhang, Q., & Zhang, Y. (2011). Transformation of agricultural landscapes under rapid urbanization: a threat to sustainability in Hang-Jia-Hu region, China. *Applied Geography*, 31, 439-449. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2010.10.008>
- Su, W. Gu, C. Yang, G. Chen, S. Zhen, F. (2010). Measuring the impact of urban sprawl on natural landscape pattern of the Western Taihu Lake watershed, China. *Landscape and Urban Planning* 95(1-2): 61-67. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2009.12.003>
- Su, Y., Chen, X., Liao, J., Zhang, H., Wang, C., Ye, Y., Wang, Y., (2016). Modeling the optimal ecological security pattern for guiding the urban constructed land expansions. *Urban For. Urban Green.* 19, 35-46. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2016.06.013>
- Subedi, P., Subedi, K., & Thapa, B. (2013). Application of a hybrid cellular automaton-markov (CA-Markov) model in land-use change prediction: A case study of Saddle Creek Drainage Basin, Florida. *Applied Ecology and Environmental Sciences*, 1(6), 126-132. <https://doi.org/10.12691/aees-1-6-5>
- Sui, D. Z., & Zeng, H. (2001). Modeling the dynamics of landscape structure in Asia's emerging desakota regions: a case study in Shenzhen, *Landscape and Urban Planning*, 53 (1), 37-52. [https://doi.org/10.1016/S0169-2046\(00\)00136-5](https://doi.org/10.1016/S0169-2046(00)00136-5)
- Talari, A. (2016) *Morphometric Analysis Lavasanat Basin and Affecting Drainage Network Changes*, University of Tehran, Faculty of Geography, Thesis submitted to the Graduate studies office In partial fulfillment requirements for the degree of MSC, Under Supervision pf: Dr. Ebtahim Moghimi & Mojtaba Yamani. <https://thesis2.ut.ac.ir/newthesis/UTCatalog/UTThesis/Forms/ThesisBrief.aspx?thesisID=17645dfd-9372-4e77-a786-d37d3eb0381d>
- Tayyebi, A., Pijanowski, B. C., & Tayyebi, A. H. (2011). An urban growth boundary model using neural networks, GIS and radial parameterization: An application to Tehran, Iran. *Landscape and Urban Planning*, 100(1-2), 35-44. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2010.10.007>
- Teng, M., Wu, C., Zhou, Z., Lord, E., Zheng, Z., (2011). Multipurpose greenway planning for changing cities: a framework integrating priorities and a least-cost path model. *Landscape Urban Planning*. 103, 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2011.05>.
- Tsiouri, V., Kakosimos, K.E., Kumar, P., (2015). Concentrations, sources and exposure risks associated with particulate matter in the Middle East Area—a review. *Air Quality, Atmosphere & Health* 8 (1), 67-80. <https://doi.org/10.1007/s11869-014-0277-4>
- Upadhyay, T., Solberg, B., and Sankhayan, P.L., (2006). Use of models to analyses land-use changes, forest/soil degradation and carbon sequestration with special reference to Himalayan region: A review and analysis, *Forest Policy and Economics*, 9, 4, 349-371. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2005.10.003>
- Valeria, B., Facundo, S., Virginia, C., Marina, H., (2015). Ecosystem loss assessment following hydroelectric dam flooding: The case of Yacyretá, Argentina, *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 1, 50-60. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2015.06.003>
- Vanderhaegen, S., Canters, Frank., (2017). Mapping urban form and function at city block level using spatial metrics, *Landscape and Urban Planning* 167, 399-409. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2017.05.023>

- Vorosmarty, C.J., McIntyre, P.B., Gessner, M.O., Dudgeon, D., Prusevich, A., Green, P., Glidden, S., Bunn, S.E., Sullivan, C.A., Liermann, C.R., Davies, P.M. (2010). Global threats to human water security and river biodiversity. *Nature* 467 (7315), 555-561. <https://doi.org/10.1038/nature09440>
- Wang Y, Mitchell BR, Nugranad-Marzilli J, Bonyng G, Zhou Y, Shriver G. (2009). Remote sensing of land-cover change and landscape context of the National Parks: A case study of the Northeast Temperate Network. *Remote Sensing of Environment*, 113(7): 1453-1461. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2008.09.017>
- Wang, H., Qin, F., Zhang, X., (2019). A spatial exploring model for urban land ecological security based on a modified artificial bee colony algorithm, *Ecological Informatics* 50 (2019) 51 - 61. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2018.12.009>
- Wang, Q. H., Kalantar-Zadeh, K., Kis, A., Coleman, J. N., & Strano, M. S (2012). Electronics and optoelectronics of two-dimensional transition metal dichalcogenides. *Nature nanotechnology*, 7(11), 699-712. <https://doi.org/10.1038/nnano.2012.193>
- Weber, N., Haaseb, D., Franck, U (2014). Traffic-induced noise levels in residential urban structures using landscape metrics as indicators, *Ecological Indicators* 45,611-621. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.05.004>
- Wolfram, S. (1984). Cellular automata as models of complexity. *Nature* 311.5: 419-424. <https://doi.org/10.1038/311419A0>
- Wu, J., Adams, R. M., Kling, C. L., & Tanaka, K. (2004). From microlevel decisions to landscape changes: an assessment of agricultural conservation policies. *American Journal of Agricultural Economics*, 86(1),26-41. <https://ideas.repec.org/a/oup/ajagec/v86y2004i1p26-41.html>
- Wu, X., Liu, S., Sun, Y., An, Y., Dong, Sh., Liu., G., (2019). Ecological security evaluation based on entropy matter-element model: A case study of Kunming city, southwest China, *Ecological Indicators* 102, 469-478. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.02.057>
- Wyman, M. S; Stein, T.V (2010). Modeling social and land-use/land-cover change data to assess drivers of smallholder deforestation in Belize, *Applied Geography*, Vol.30, No.3:329-342. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2009.10.001>
- Xiao, DN., Chen, WB., Guo, FL., (2002). On the basic concepts and contents of ecological security. *Chinese Journal Applied Ecology* 13(3):354-358. <http://www.cjae.net/EN/Y2002/V13/354>
- Yang, Q., Li, X., & Shi, X. (2008). Cellular automata for simulating land use changes based on support vector machines. *Computers & geosciences*, 34(6), 592-602. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2007.08.003>
- Yang, Y., Hu, C., & Abu-Omar, M. M. (2012). Conversion of glucose into furans in the presence of AlCl₃ in an ethanol-water solvent system. *Bioresource technology*, 116, 190-194. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2012.03.126>
- Yu, K., (1996). Security patterns and surface model in landscape ecological planning. *Landscape Urban Plann.* 36, 1-17. [https://doi.org/10.1016/S0169-2046\(96\)00331-3](https://doi.org/10.1016/S0169-2046(96)00331-3).
- Yu, M., Huang, Y., Cheng, X., Tian, J., (2019) . An ArcMap plug-in for calculating landscape metrics of vector data, *Ecological Informatics*, 50, 207-219. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2019.02.004>
- Zhaoxue, L. Linyu X. (2010). Evaluation indicators for urban ecological security based on ecological network analysis. *International Society for Environmental Information Sciences 2010 Annual Conference. Procedia Environmental Sciences*, 2(10) . 1399-393. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2010.10.151>
- Zheng, Zh., Du, Sh., Wang, Y.Ch., Wang, Q., (2018) . Mining the regularity of landscape-structure heterogeneity to improve urban land-cover mapping, *Remote Sensing of Environment*, 214, 14-32. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.05.019>
- Zhou, K., Liu, Y., Tan, R., Song, Y., (2014). Urban dynamics, landscape ecological security, and policy implications: A Case study from the Wuhan area of central China, *Cities* 41 141-153. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2014.06.010>

تحلیل امنیت اکولوژیکی تغییرات کاربری اراضی حوزه لواسانات با استفاده از سنج‌های سیمای سرزمین

یاسر معرب^۱، دکتر اسماعیل صالحی^{۲*}، دکتر محمدجواد امیری^۳، دکتر حسن هوییدی^۴

چکیده

توسعه شهری و تغییرات الگوهای کاربری زمین، باعث ایجاد تأثیرات گسترده اجتماعی و زیست‌محیطی شده است. این تأثیرات شامل کاهش فضاهای طبیعی، افزایش تجمع وسایل نقلیه و کاهش زمین‌های کشاورزی با توان تولید بالا بوده که پایداری شهرها را تحت تأثیر قرار می‌دهد؛ بنابراین درک اثرات رشد شهری بر اکوسیستم و تعیین رابطه پویایی شهری و امنیت اکولوژیکی برای برنامه‌ریزی مؤثر شهری و حفاظت از محیط‌زیست، حیاتی است. هدف از این تحقیق، پایش و پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی در دوره ۴۰ ساله (۲۰۰۰-۲۰۴۰) با مدل زنجیره‌ای CA-Markov در حوزه لواسانات استان تهران و ارزیابی امنیت اکولوژیکی این حوزه در دوره‌های زمانی مطرح شده است. به منظور بررسی تغییرات کاربری اراضی، از تصاویر ماهواره‌ای لندست استفاده شد. با توجه به کاربری‌های موجود در منطقه، پنج کاربری سطوح ساخته شده، اراضی بایر، اراضی مرتع، سطوح آبی و اراضی باغی و کشاورزی مدنظر قرار گرفت. در جهت کمی کردن الگوهای سیمای سرزمین در سطح کلاس متریک‌های LPI و PLAND، CA، JJI، LSI، NP و LPI متریک‌های PD، ED، JJI، LSI، NP و SPILT در سطح سیمای سرزمین محاسبه شد. نتایج پیش‌بینی پوشش زمین در سال ۲۰۴۰ نشان می‌دهد در سطح هر طبقه با ادامه روند کنونی تعداد لکه‌ها به جز طبقه بایر در سایر طبقات کاهش پیدا خواهد کرد. این پدیده در اراضی ساخته شده به دلیل بهم‌پیوستن لکه‌های خرد در سال‌های قبلی و در سایر طبقات به دلیل از بین رفتن لکه‌های کوچک خواهد بود که در بیشتر موارد به اراضی ساخته شده تبدیل خواهند شد و در سطح سیمای سرزمین این تغییرات باعث کاهش تعداد لکه‌ها، ساده‌تر و منظم‌تر شدن شکل و افزایش پیوستگی در سطح سیمای سرزمین خواهد شد.^۵

جغرافیا و توسعه، شماره ۶۴، پاییز ۱۴۰۰

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۷/۲۸

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۳/۲۵

صفحات: ۷۷-۱۱۴



واژه‌های کلیدی:

امنیت اکولوژیکی، کاربری اراضی، لواسانات.

مقدمه

سیمای سرزمین شهرها شود (Zhang & Su, 2016: 92). فعالیت‌های انسان در زمینه ساخت‌وساز، تغییرات بسیاری در سیمای سرزمین به وجود آورده است (Valeria et al, 2015: 51) که پیامدهای بوم‌شناختی گسترش شهری را می‌توان با استفاده از متریک‌های سیمای سرزمین برای توصیف و تحلیل تغییرات پویا در سیمای سرزمین منطقه‌ای درک کرد (Schwoertzig et al, 2016: 569) به عبارت دیگر، شهرنشینی مداوم در دهه‌های گذشته،

شهرنشینی می‌تواند باعث ارتقای توسعه اقتصادی- اجتماعی و بهبود کیفیت زندگی انسان‌ها شود؛ اما تغییرات برگشت‌ناپذیر از اکوسیستم‌های نیمه‌طبیعی و طبیعی به سطوح غیرقابل نفوذ شهری موجب شده تا مشکلات قابل توجه زیست‌محیطی و اکولوژیکی در سراسر جهان پدیدار شوند (Bhatta et al, 2010: 96) (Habibi & Asadi, 2011: 133; Su et al., 2011: 439) و باعث تغییر جمعیت، ساختار صنعتی و الگوهای

۱- دانشجوی دکتری برنامه‌ریزی محیط‌زیست، پژوهشگر دانشگاه جامع امام حسین (ع)، دانشکده محیط‌زیست، دانشگاه تهران، ایران، yassermoarab@ut.ac.ir

۲- دانشیار برنامه‌ریزی محیط‌زیست، دانشکده محیط‌زیست، دانشگاه تهران، ایران (نویسنده مسئول) Tehransasaleh@ut.ac.ir

۳- استادیار برنامه‌ریزی محیط‌زیست، دانشکده محیط‌زیست، دانشگاه تهران، ایران Mjamiri@ut.ac.ir

۴- استادیار برنامه‌ریزی محیط‌زیست، دانشکده محیط‌زیست، دانشگاه تهران، ایران hoveidi@ut.ac.ir

۵- این مقاله برگرفته از رساله دکتری با عنوان: تدوین رهیافت برنامه‌ریزی کاربری زمین بر مبنای مفهوم امنیت اکولوژیکی (مطالعه موردی: حوزه لواسانات) از دانشگاه تهران است.

این تغییرات ساختاری و عملکردی، خدمات زیست‌محیطی ارائه‌شده توسط زیرساخت‌های اکولوژیک را تضعیف و امنیت محیط‌زیست شهرها و توسعه پایدار را تهدید می‌کند؛ بنابراین برای حفظ امنیت اکولوژیکی شهر، مدیران و متخصصان امر، همواره به دنبال روشی مناسب در جهت برنامه‌ریزی شهری با هدف تنظیم ساختار شهر و حمایت از ثبات عملکرد اکوسیستم بوده‌اند (Zhaoxue & Linyu, 2010: 1394).

نظارت بر تغییرات اراضی، امری مهم در برنامه‌ریزی آینده و مدیریت منابع طبیعی است (Liu & Yang, 2015: 42)؛ بنابراین سنجش‌ازدور، ابزار مؤثری برای پایش تغییرات و پشتیبانی از تصمیم‌گیری در برنامه‌ریزی شهری است. در این بین، تصاویر دوره‌ای ماهواره‌ای لندست یکی از مهم‌ترین منابع داده‌ای برای مطالعه انواع مختلف تغییر کاربری و پوشش اراضی، از قبیل جنگل‌زدایی (Mayes et al., 2015: 203; Wyman & Stein, 2010: 329)، افزایش و گسترش کشاورزی، بهینه‌سازی کلاس‌های پوشش شهری (Dawelbait & Feyisa et al., 2016: 14)، بیابان‌زایی (Morari, 2012: 45) و بسیاری از مسائل و پدیده‌های دیگر است.

برای پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی و گسترش شهری، مدل‌های ریاضی و آماری متعددی مانند Land Chang، DLANAMIC، CLUE، GEOMOD و Modeler (LCM) و CA-Markov طراحی شده و توسط محققان برای پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی در مطالعات متعددی به کار گرفته شده‌است (Mas et al., 2014: 94). که مقالات متعددی از مدل زنجیره‌های مارکوف و شبکه خودکار برای پیش‌بینی استفاده کرده‌اند (Gong et al., 2015: 207; Louca et al., 2015: 241; Yang et al., 2012: 190; Ajayi et al., 2016: 51; Cabral and Zamyatin, 2009: 191).

باعث تمرکز بسیار زیاد جمعیت انسانی در این مناطق شده‌است. در واقع از یک سو گسترش بی‌نظم ساختارهای شهری و از سوی دیگر کاهش قابل ملاحظه زمین‌های با قابلیت خدمات اکولوژیک، باعث شده تا پایداری توسعه شهری محدود شود (Peng et al., 2017a: 221; Feist et al., 2017: 2382). در نتیجه، چگونگی تضمین ثبات ساختاری و امنیت عملکردی اکوسیستم‌های طبیعی برای توسعه پایدار شهری، مسئله‌ای جهانی شده‌است (Cumming & Allen, 2017: 1709; Serra-Llobet & Hermida, 2017: 1). بنابراین مطالعه فرایندها و الگوی سیمای سرزمین اطلاعات مهمی را برای حفاظت و مدیریت اکولوژیک مهیا می‌کند که می‌تواند ترکیب و توزیع فاکتورهای سیمای سرزمین را نشان دهد؛ بنابراین، بررسی امنیت اکولوژیک نه تنها باید فرایندها و الگوهای سیمای سرزمین را مورد توجه قرار دهد، بلکه باید تأثیر فاکتورهای سیمای سرزمین را که می‌تواند انعکاس ساختار و عملکرد سیمای سرزمین بر روی امنیت اکولوژیک باشد، مورد توجه قرار دهد (Ma et al., 2019: 424). نگرانی‌ها در رابطه با امنیت اکولوژیک، حداقل در اواخر دهه ۱۹۷۰ آغاز شد؛ زیرا اکوسیستم‌ها و محیط‌ها به‌طور فزاینده‌ای در معرض تهدیدهای مختلفی قرار گرفته بودند. بلایای طبیعی و فعالیت‌های انسانی، مانند زلزله، نشت رادیواکتیو، آلودگی، مه، طوفان و گردوغبار باعث ایجاد مشکلات زیست‌محیطی در سراسر جهان شده‌است (Vorosmarty et al., 2010: 555; Brunner et al., 2010: 2403; Bell and Levy, 2008: 104)، که محیط‌زیست و سلامت انسان را تهدید می‌کند. بهره‌برداری بدون کنترل از منابع طبیعی منجر به آلودگی شدید محیط‌زیست و وخیم‌شدن امنیت اکولوژیک در آفریقا، خاورمیانه، هند و جاهای دیگر شده‌است (Sahu, 2011: 388; Basumatary et al., 2015: 17; Tsiouri et al., 2015: 67).

نظارت بر محیط‌زیست ۳- مدیریت و حفظ امنیت محیط‌زیست.

هان^۳ و همکاران (۲۰۱۵) در مقاله‌ای دیگر، با عنوان ارزیابی امنیت زیست‌محیطی شهری در شهرهای منطقه شهری پکن، تیانجین- هبی براساس روش آنتروپی و فازی به این نتیجه رسیدند که طی سال‌های ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۲ امنیت منطقه مورد مطالعه افزایش یافته است.

لیو^۴ و همکاران (۲۰۱۸) نیز به بررسی الگوهای لندسکیپ و ارزیابی امنیت اکولوژیک و پیش‌بینی با رویکرد سنجش‌ازدور می‌پردازند. در این پژوهش با استفاده از CA-Markov، مدل الگوی فشار، حالت و پاسخ (SRP) و سنجش‌ازدور، به پردازش وضعیت ژنگزو در چین در سال‌های ۱۹۸۶، ۱۹۹۶، ۲۰۰۶ و ۲۰۱۶ پرداختند و با استفاده از این تصاویر به پیش‌بینی وضعیت این شهر در سال ۲۰۲۶ رسیدند.

همچنین پنگ^۵ و همکاران (۲۰۱۸) به ارتباط خدمات اکوسیستمی و تئوری جریان برای شناسایی الگوهای امنیت اکولوژی می‌پردازند. در این پژوهش منابع اکولوژیک از طریق خدمات اکوسیستم در استان یوننان چین شناسایی شد و با استفاده از تئوری مدار به مدل‌سازی فرایندهای اکوسیستم در منظرهای ناهمگن پرداخته شد؛ در نتیجه کریدورهای اکولوژیک و گره‌های کلیدی اکولوژیک شناسایی شدند.

شی^۶ و همکاران (۲۰۱۸) به ارزیابی حساسیت و امنیت جلگه‌های جزومدار در شانگهای پرداختند. این مطالعه با یکپارچه‌سازی سیستم بیولوژیک، فرایندهای اکولوژیک و حساسیت‌های توسعه و بهره‌برداری، به دنبال ارزیابی حساسیت اکولوژیک و امنیت اکولوژیک است.

هدف از این مطالعه، از یک سو بررسی تغییرات کاربری اراضی در یک دوره زمانی ۴۰ ساله (۲۰۰۰-۲۰۴۰) با استفاده از تصاویر ماهواره لندست و تلفیق مدل سلول خودکار با مدل تصادفی زنجیره مارکوف برای مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی و در نهایت پیش‌بینی این تغییرات در آینده است و از سوی دیگر ارزیابی امنیت اکولوژیک با استفاده از سنجه‌های سیمای سرزمین در دوره‌های زمانی مختلف است.

پیشینه تحقیق

با توجه به اهمیت موضوع بررسی و پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی با رویکرد امنیت اکولوژیک تحقیقات مختلفی در این زمینه صورت گرفته است که از جمله این تحقیقات می‌توان به موارد زیر اشاره کرد.

لی^۱ و همکاران (۲۰۱۴) نیز به توسعه یک روش ارزیابی امنیت اکولوژیک بر پایه ردپای اکولوژی و کاربرد آن در یک منطقه استپی در چین می‌پردازند. آن‌ها در این پژوهش، شاخص فشار رد پای مصرف و شاخص فشار تولید براساس ردپای اکولوژیک برای ارزیابی فشار ایجادشده توسط انتقال منابع و محصولات از مناطق خروجی به مناطق ورودی توسعه دادند. در نهایت این پژوهش با ایجاد یک مدل امنیت اکولوژیک به ارزیابی امنیت اکولوژیک منطقه بین سال‌های ۲۰۰۱ تا ۲۰۱۰ پرداخت.

چانگ و لیو^۲ (۲۰۱۵) در پژوهشی با عنوان تحقیقی درباره امنیت زیست‌محیطی چین انجام داده‌است. پس از بررسی‌های و تجزیه و تحلیل داده‌ها، به این نتیجه رسید که برای افزایش امنیت زیست‌محیطی چین باید سه کار را انجام داد. ۱- شکل‌دادن به سیستم نظری امنیت زیست‌محیطی ۲- بهبود مکانیسم‌های امنیتی زیست‌محیطی و

تدوین رهیافت برنامه‌ریزی کاربری زمین بر مبنای مفهوم امنیت اکولوژیک کمتر مورد توجه قرار گرفته است؛ به عبارتی دیگر این تحقیق پا را فراتر از مطالعات معمول گذاشته و به دنبال بررسی و ارزیابی امنیت اکولوژیک به طور جامع در دوره‌های مختلف زمانی است تا ضمن بررسی روند گذشته تا حال، آینده را نیز پیش‌بینی کند.

مبانی نظری تحقیق

به طور کلی امنیت، ارتباط بسیار نزدیک بین زنده ماندن انسان و توسعه پایدار در شرایط ایمن است. در شرایط ایمن باید محیط‌زیست، از هرگونه تهدید، ریسک و اختلال به دور باشد (Xiao et al., 2002:354). امنیت اکولوژیک مؤثر، یک حالت بدون تهدید به ظرفیت‌انسانی برای سازگاری با تغییرات محیط‌زیستی در آینده و سرمایه‌های طبیعی مورد نیاز است تا پاسخگویی به نیازهای زندگی روزمره انسان، تولید، مراقبت‌های بهداشتی و تفریحی رضایت‌بخش باشد (Chen et al., 2018:19).

رویکرد «امنیت اکولوژیک»^۳ برای ارزیابی اساسی «ساختار»^۴ و «عملکرد»^۵ اکوسیستم که از طریق گسترش شهری و توسعه اقتصادی در معرض تهدید قرار دارد، مطرح است (Kullenberg, 2002:761). امنیت اکولوژیک زمین به سلامتی محیط‌زیست و پایداری منابع زمین و اکوسیستم اشاره دارد که می‌تواند خدمات اکولوژیک پایدار و نیازهای اکولوژیک را برای نسل‌های آینده مهیا کند (Feng et al., 2017: 2235).

فعالیت‌های بشری، یکی از عواملی است که تأثیر بسزایی بر روند تغییرات کاربری اراضی شهری دارد و این تغییرات در بیشتر مواقع ناسازگار با محیط است (Valeria et al., 2015: 51)؛ به عبارتی دیگر رشد

لی^۱ و همکاران (۲۰۱۹) نیز به ارزیابی امنیت اکولوژیک و فاکتورهای تأثیرگذار بر اساس آنالیز پایداری و مدل BP-DEMATLE در منطقه شهرک مروارید رودخانه دلتا پرداختند. در این پژوهش برای ارزیابی امنیت اکولوژیک شاخص‌های اقتصادی-اجتماعی، شاخص‌های محیط‌زیست طبیعی و عناصر سیمای سرزمین مورد استفاده قرار گرفت. در ادامه اثر و شدت مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت که نشان داد شاخص‌های محیط‌زیست طبیعی شاخص تأثیرگذاری بر امنیت اکولوژیک منطقه مورد مطالعه است. از سوی دیگر عناصر سیمای سرزمین مهم‌ترین عنصر امنیت اکولوژیک هستند و همچنین عناصر اجتماعی-اقتصادی نقش کلیدی در ارتقای بهبود اکولوژی شهرک مروارید رودخانه دلتا داشته است.

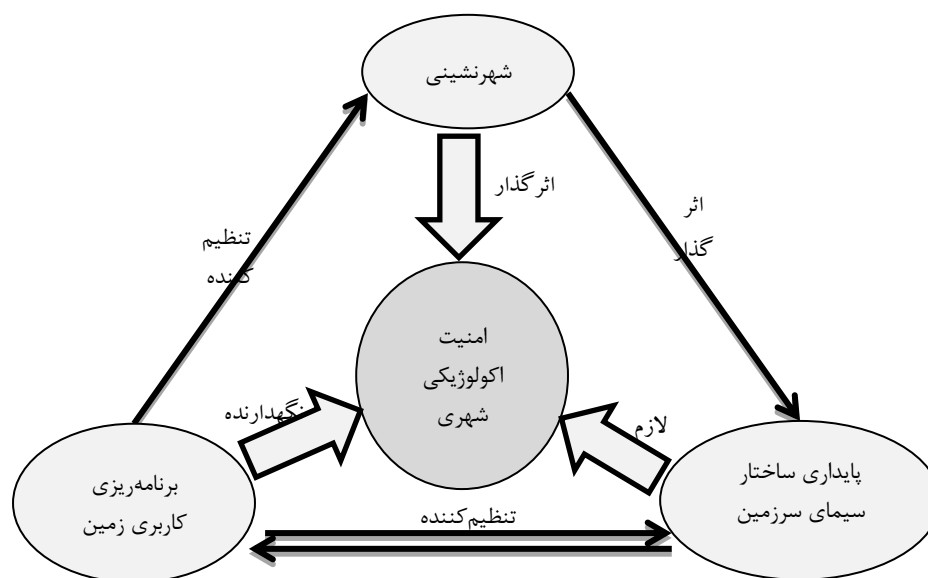
وانگ^۲ و همکاران (۲۰۱۹) در مقاله خود به بررسی یک مدل فضایی برای امنیت اکولوژی شهری پرداختند. این مقاله به شناسایی امنیت اکولوژیک گوانگژو چین با شبیه‌سازی مناطق خطرناک از زمین‌های اکولوژی شهری می‌پردازد.

با توجه به مباحث مطرح‌شده در بالا، شمار قابل‌توجهی از مطالعات انجام‌شده در خارج از ایران به ارزیابی امنیت اکولوژیک وضع موجود پرداخته‌اند یا برخی دیگر از تحقیقات فقط به مباحث لندسکیپ اکولوژی پرداخته‌اند و برخی دیگر نیز مباحث ردپای اکولوژیک را به امنیت اکولوژیک ربط داده‌اند. همچنین تعداد زیادی از پژوهش‌ها به ارزیابی امنیت اکولوژیک گذشته و وضع موجود پرداخته‌اند و برخی دیگر مباحث خدمات اکوسیستمی و امنیت اکولوژیک را مورد بحث قرار داده‌اند و برخی دیگر نیز فقط به وضعیت امنیت اکولوژیک در گذشته پرداخته‌اند. در ایران نیز مطالعات بسیار محدودی در این زمینه انجام گرفته است. با توجه به مرور منابع صورت‌گرفته،

خدمات اکوسیستمی و در نتیجه حفظ پایداری اکولوژیکی بسیار مهم هستند (*Su et al, 2016:35*; *Teng et al, 2011:1*). به طور کلی الگوهای امنیت اکولوژیکی می‌تواند یکپارچگی فعلی و وضعیت سلامتی اکوسیستم‌های طبیعی و همچنین پتانسیل درازمدت در حفاظت از تنوع زیستی و بازسازی اکولوژیکی سیمای سرزمین را ارزیابی کند (*Yu, 1996:1*).

در نهایت می‌توان گفت امنیت اکولوژیکی شهری می‌تواند به عنوان حالت و وضعیتی باشد که ساختار سیمای سرزمین یکپارچه و عملکرد آن پایدار باشد تا خدمات اکوسیستمی کافی را مهیا کرده و از توسعه سیستم‌های اقتصادی-اجتماعی و حفظ توسعه پایدار شهرها حمایت کند (*Li and Xu, 2010:1393*). در شکل ۱ رابطه میان شهرنشینی، برنامه‌ریزی کاربری زمین و پایداری ساختار سیمای سرزمین در امنیت اکولوژیکی آورده شده است.

شهری یک فرایند فضایی است که مناطق شهری به علت افزایش جمعیت، گسترش پیدا می‌کنند (*Bhatta et al., 2010: 96*). اگر چه شهرنشینی به عنوان مهم‌ترین عامل محرک برای توسعه اقتصادی محسوب می‌شود؛ اما مسائل محیط‌زیستی غیر قابل محلاظه‌ای را نیز به دنبال دارد (*He et al, 2014: 2886*; *Li et al, 2011:3249*; *Peng et al, 2017: 706*; *Kong et al, 2017:132*). توسعه پایدار به یکپارچگی و تعادل پایداری توسعه در ابعاد اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی توجه دارد؛ بنابراین امروزه تضمین امنیت اکولوژیکی و پایداری یکی از مهم‌ترین چالش‌ها برای توسعه پایدار منطقه‌ای است که منجر به افزایش علاقه به شناسایی الگوهای امنیت اکولوژیکی (به عنوان یک رویکرد مؤثر حفاظت طبیعی) شده است. الگوهای امنیت اکولوژیکی بر اساس تعاملات بین الگوهای سیمای سرزمین و عملکردهای اکولوژیکی هستند همچنین فرایندها برای تأمین



شکل ۱: رابطه میان شهرنشینی، برنامه‌ریزی کاربری زمین و پایداری ساختار سیمای سرزمین در امنیت اکولوژیکی

مأخذ: *Li and Xu, 2010:1393*

پایداری ساختار سیمای سرزمینی شهرها مد نظر قرار گیرد تا شهری کارآمد از جنبه امنیت اکولوژیک داشته باشیم. در واقع همه اجزای حیاتی مربوط به حفاظت، رشد اجتماعی، رفاه انسانی و توانایی سازگاری در رابطه با امنیت اکولوژیکی در مدل امنیت اکولوژیکی باید مورد توجه قرار گیرد. مدل شبکه علیت نیز مبین همین موضوع است. این مدل به عنوان یک ابزار قدرتمند برای حفاظت از امنیت اکولوژیکی شهری در بعد ساختاری در این پژوهش پیشنهاد شده است. مدل شبکه علیت نشان می دهد که همه اجزای بعد ساختاری، یعنی معیارها، زیرمعیارها و سنجه‌ها، به گونه‌ای با یکدیگر در تقابل بوده و برای ارتقای امنیت اکولوژیکی شهرها باید همه معیارها، زیرمعیارها و سنجه‌های مطرح شده در مدل پیشنهادی را در نظر گرفت.

برای ارتقای امنیت اکولوژیک شهرها، نیاز به تعیین ابعاد و مؤلفه‌های مطرح در امنیت اکولوژیکی و تبیین مدلی جامع است که براساس آن برنامه‌ریزان و مدیران با برنامه‌ریزی مناسب، اقدام به تعیین استراتژی‌ها و راهبردها در جهت ارتقای امنیت اکولوژیک شهرها کنند. در این تحقیق به منظور نشان دادن بعد ساختاری امنیت اکولوژیکی شهرها (جدول ۱) از مدل شبکه علیت (نمودار ۱) به منظور پیشنهاد مدلی جامع استفاده شده است. برای بعد ساختاری، معیارها، زیرمعیارها و سنجه‌های مختلفی تعریف شده که در جدول شماره ۲ نشان داده شده است. همان‌گونه که در نمودار نیز به نظر می‌رسد، همه مؤلفه‌ها با یکدیگر در ارتباط بوده و در کنار هم در امنیت اکولوژیک شهری نقش بازی می‌کنند. به‌طور کلی برای ارتقای امنیت اکولوژیکی به منظور دستیابی به پایداری اکولوژیکی شهرها، باید

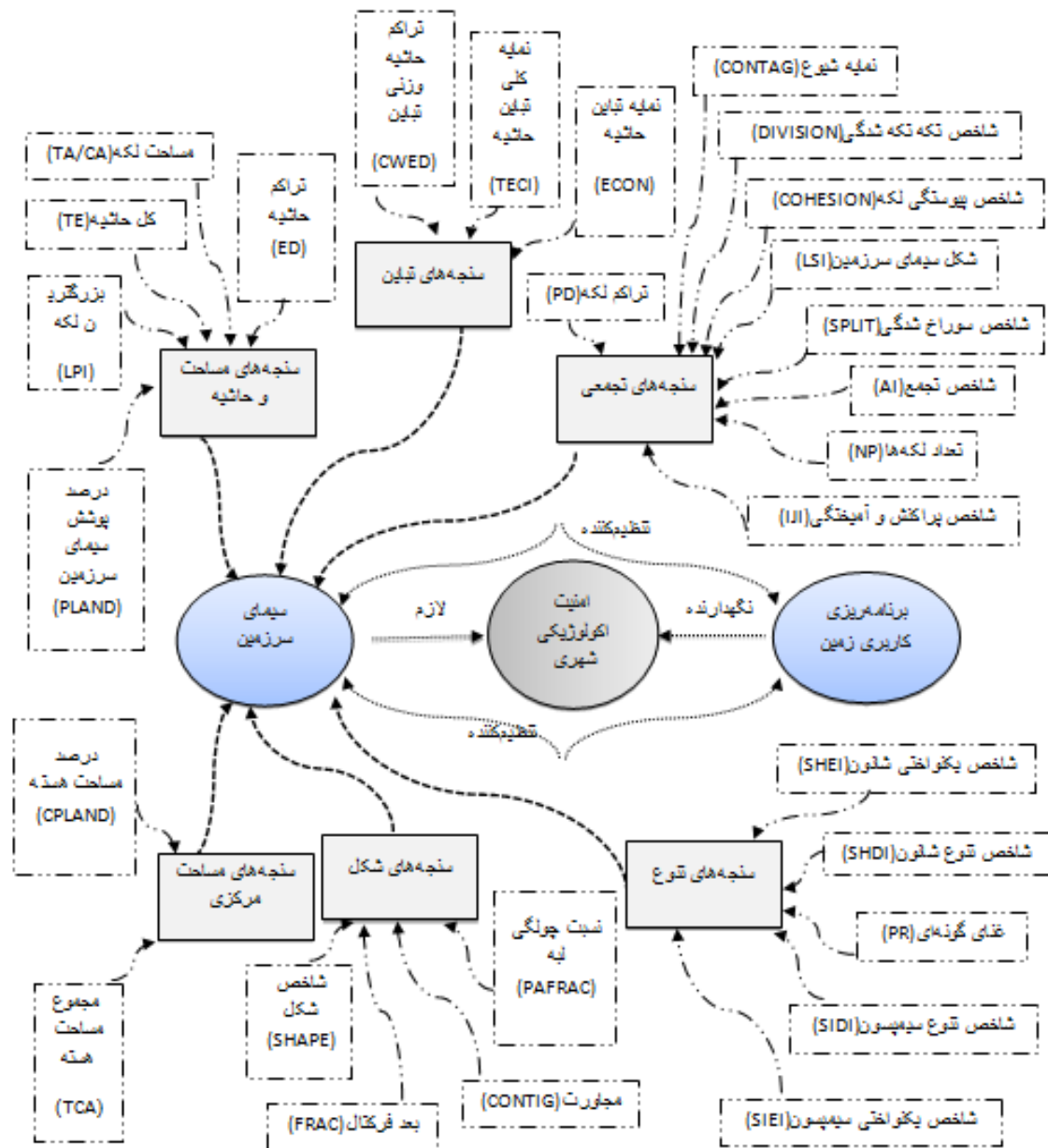
جدول ۱: بعد ساختاری امنیت اکولوژیک

منبع	معیار	منبع	بعد
Hu et al., 2019; Wu et al., 2019; Peng et al., 2018; Liu et al., 2018; Xu et al., 2016; Zhang et al., 2016; Zhou et al., 2014	عناصر تشکیل دهنده سیمای سرزمین (Landscape)	Li et al., 2010 Zhou et al., 2014	شاخص ساختاری (Indicators of ecosystem Structure)

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۹

جدول ۲: زیرمعیار و سنجه‌های سیمای سرزمین

منبع	سنجه	منبع	زیرمعیار
Kim,2019; Miller and Brewer, 2018; Vanderhaegen and Canters, 2017; Fan and Myint, 2014, Chen et al., 2014	درصد پوشش سیمای سرزمین (PLAND)	Yu et al.,2019 Chen et al., 2014 Yang and liu et al., 2007	سنجه‌های مساحت و حاشیه
Ma et al., 2019; Li et al., 2019; Yu et al.,2019; Kim,2019; Miller and Brewer. 2018; Liu et al., 2018;	تراکم حاشیه (ED)		
Ma et al., 2019; Yu et al.,2019; Pan et al.,2019; Liu et al., 2018; Miller and Brewer, 2018; Zhijia Zheng et al., 2018; Yanxu Liu et al.,2018; Inkoom et al., 2018	بزرگترین لکه (LPI)		
Chen et al., 2014	(CA/TA) مساحت کل / مساحت طبقه		
Yu et al.,2019; Miller and Brewer, 2018; Morelli et al., 2018; Vanderhaegen and Canters, 2017; Liu et al., 2016; Weber et al., 2014	کل حاشیه (TE)	Yu et al., 2019 Plexida et al., 2014 Schindler et al., 2008 Yang and liu et al., 2007	سنجه‌های تنوع
Yu et al.,2019; Morelli et al., 2018; Inkoom et al., 2018; Leitao et al., 2012	غنای گونه‌ای (PR)		
Ma et al., 2019; Li et al., 2019; Yu et al.,2019; Pan et al.,2019; Liu et al., 2018; Zhijia Zheng et al., 2018; Morelli et al., 2018; Liu et al., 2016; Zhou et al., 2014	شاخص تنوع شانون (SHDI)		
Ma et al., 2019; Yu et al.,2019; Yanxu Liu et al.,2018; Liu et al., 2018; Morelli et al., 2018; Weber et al., 2014	شاخص یکنواختی شانون (SHEI)		
Morelli et al., 2018; Inkoom et al., 2018	شاخص تنوع سیمپسون (SIDI)	Yu et al.,2019 Chen et al., 2014	سنجه‌های تجمعی
Morelli et al., 2018; Inkoom et al., 2018	شاخص یکنواختی سیمپسون (SIEI)		
Ma et al., 2019; Liu et al., 2018; Inkoom et al., 2018; Zhijia Zheng et al., 2018; Liu et al., 2016; Zhou et al., 2014	نمایه شیوع (CONTAG)		
Yu et al.,2019; Liu et al., 2018; Mõisja et al., 2016; Lu, 2015; Argañaraz and Entraigas, 2014, Chen et al., 2014	تعداد لکه (NP)		
Li et al., 2019; Ma et al., 2019; Inkoom et al., 2018; Chen et al., 2014	شاخص سوراخ‌شدگی (SPLIT)	Yu et al.,2019 Chen et al., 2014	سنجه‌های تجمعی
Ma et al., 2019; Pan et al.,2019; Yanxu Liu et al.,2018; Liu et al., 2018; Inkoom et al., 2018; Liu et al., 2016	شاخص تجمع (AI)		
Ma et al., 2019; Li et al., 2019; Wu et al., 2019; Yu et al.,2019; Pan et al.,2019; Liu et al., 2018; Yanxu Liu et al.,2018; Inkoom et al., 2018 ; Liu et al., 2016; Zhou et al., 2014	تراکم لکه (PD)		
Yanxu Liu et al.,2018; Inkoom et al., 2018; Chen et al., 2014	شاخص تکه‌تکه‌شدگی (DIVISION)		
Yu et al.,2019; Liu et al., 2018; Inkoom et al., 2018; Liu et al., 2016 ; Lu, 2015; Chen et al., 2014	شاخص پراکنش و آمیختگی (IJI)	Yu et al.,2019 Chen et al., 2014 Yang and liu et al., 2007	سنجه‌های شکل
Ma et al., 2019; Yu et al.,2019; Pan et al.,2019; Yanxu Liu et al.,2018; Zhijia Zheng et al., 2018; Miao Liu et al.,2017; Liu et al., 2016	(LSI) شکل سیمای سرزمین		
Inkoom et al., 2018; Miller and Brewer, 2018; Liu et al., 2016	شاخص پیوستگی لکه (COHESION)		
Chen et al., 2014	مجاورت (CONTIG)		
Pan et al., 2019; Yu et al.,2019	نسبت چولگی لبه (PAFRAC)	Yu et al.,2019 Plexida et al., 2014 Schindler et al., 2008	سنجه‌های تباین
Yanxu Liu et al.,2018; Vanderhaegen and Canters, 2017; Liu et al., 2016; Chen et al., 2014	بعد فرکتال (FRAC)		
Inkoom et al., 2018; Chen et al., 2014; Zhou et al., 2014	شاخص شکل (SHAPE)		
Yu et al.,2019; Liu et al., 2016	نمایه تباین حاشیه (ECON)	Yu et al.,2019 Chen et al., 2014 Yang and liu et al., 2007	سنجه‌های مساحت مرکزی
Yu et al.,2019; Liu et al., 2016	نمایه کلی تباین حاشیه (TECI)		
Yu et al.,2019	تراکم حاشیه وزنی تباین (CWED)		
Liu et al., 2016	درصد مساحت هسته (CPLAND)	Yu et al.,2019 Chen et al., 2014 Yang and liu et al., 2007	سنجه‌های مساحت مرکزی
Chen et al., 2014	مجموع مساحت هسته (TCA)		



نمودار ۱: مدل مفهومی امنیت اکولوژیکی سیمای سرزمین با استفاده از شبکه علیت

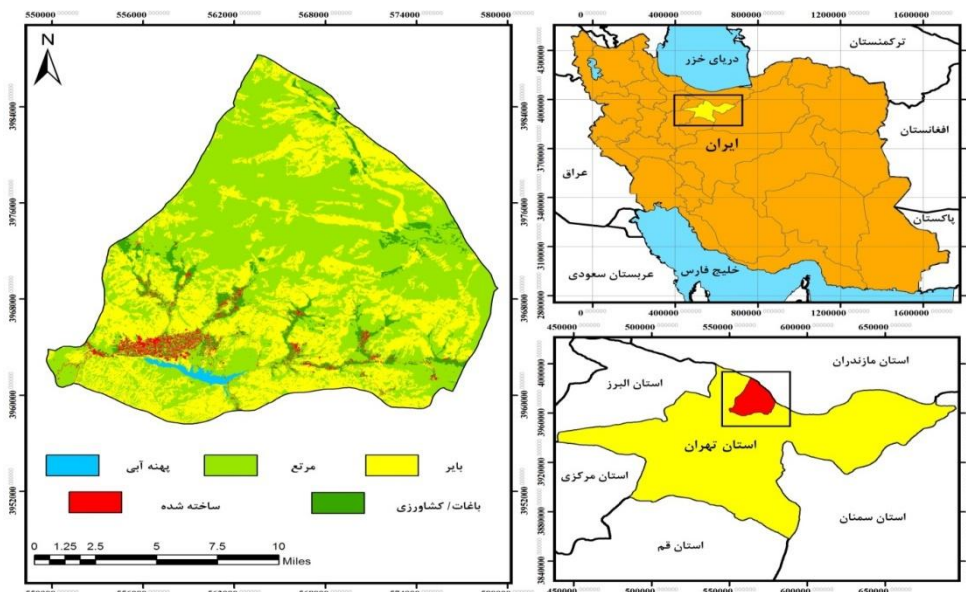
تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۹

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

بخش لواسانات یکی از بخش‌های شهرستان شمیرانات در استان تهران ایران است که در شمال شرقی تهران واقع شده است. منطقه لواسانات به مرکزیت گلندوئک دارای یک شهر به نام لواسان و دو دهستان لواسان بزرگ به مرکزیت لواسان بزرگ و دهستان لواسان کوچک به مرکزیت آبادی افجه تشکیل شده است. قسمت قابل توجهی از لواسانات کوچک به گلندوئک (که محل اتصال دو رود کوچک کند و بوجان است) نیز معروف بوده است که در سال ۱۳۴۹ به صورت شهر

درآمد و روستاهای بسیاری را دربرگرفت و همچنین درحال توسعه است. این دو بخش در شمال شرقی تهران که از شمال به شهرستان نور، از غرب به شهرستان کرج، از شرق به شهرستان دماوند و از جنوب به شهر تهران منتهی و در موقعیت جغرافیایی «۵۱ درجه و ۲۴ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۵۰ دقیقه طول شرقی و ۳۵ درجه و ۴۶ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۳ دقیقه عرض شمالی» واقع شده است حوضه لواسانات از ۳ زیرحوضه کند، افجه و لوارک تشکیل شده است که رودخانه‌های اصلی به همراه شاخه‌های فرعی آن مستقیماً به دریاچه سد لتیان می‌ریزند (طلاری و همکاران، ۱۳۹۵: ۲).



شکل ۲: محدوده مورد مطالعه

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۹

روش تحقیق

در این بخش به بررسی روش تحقیق پرداخته خواهد شد. در ادامه روش تحقیق پژوهش به تفصیل آورده شده است.

استخراج کاربری / پوشش زمین در دوره زمانی مورد مطالعه تصاویری که در این تحقیق مورد استفاده قرار گرفت، مربوط به ماه می در سه دوره ۱۰ ساله است. جدول ۳ ویژگی‌های تصاویر مورد استفاده در این تحقیق را نشان می‌دهد.

جدول ۳: مشخصات تصاویر ماهواره‌ای مورد استفاده

تاریخ	تفکیک مکانی	گذر/ردیف	سنجده	مشخصات ماهواره
May 15, 2000	۳۰	۱۶۴/۳۵	ETM+	Landsat 7
May 25, 2010	۳۰	۱۶۴/۳۵	ETM+	Landsat 7
May 12, 2020	۳۰	۱۶۴/۳۵	OLI	Landsat 8

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۹

پیش‌پردازش تصاویر ماهواره‌ای

به منظور رفع برخی خطاهای موجود در تصاویر، انجام مرحله پیش‌پردازش بر روی تصاویر ضروری است. با توجه به نوع طبقه‌بندی، مرحله پیش‌پردازش تصاویر شامل تصحیحات هندسی و اتمسفری خواهد بود.

تصحیح هندسی تصاویر

به منظور تصحیح هندسی تصاویر از نقشه کاربری زمین شهر، تفسیر بصری تصویر ترکیب رنگی کاذب، نرم‌افزار Google Earth و بازدیدهای میدانی از منطقه مورد مطالعه استفاده شده است. نکته مهمی که باید ذکر شود، این است که تصاویر ماهواره‌ای دارای فرمت رستر است و پیکسل‌های این تصاویر سطر و ستون‌هایی می‌سازند که هیچ‌گونه ارتباطی با مختصات زمینی ندارند؛ بنابراین برای زمین مرجع نمودن باید نقاطی به تعداد قابل قبول و با پراکنش مناسب در نظر گرفته شود و داده‌های رقومی از تصاویر تهیه شود تا بدین وسیله بتوان به شناسایی اراضی به تفکیک نوع کاربری پرداخت و همچنین بتوان مساحت هریک از این کاربری‌ها را محاسبه کرد. ۲۰ نقطه چک از نقشه‌های رقومی با مقیاس ۱:۲۵۰۰۰ استخراج و در تصحیح هندسی تصاویر استفاده شد. نقاط کنترل به نحوی انتخاب شد که کل محدوده را پوشانده و در روی تصویر واضح و بر روی زمین قابل شناسایی باشند. سپس با استفاده از روش رگرسیون در نرم‌افزار ENVI

استخراج کاربری پوشش زمین در دوره زمانی مورد مطالعه (۲۰۰۰، ۲۰۱۰، ۲۰۲۰) با استفاده از دو سری داده، یعنی تصاویر ماهواره لندست و تصاویر با قدرت تفکیک مکانی بالا، انجام شده است. تصاویر ماهواره‌ای لندست برای مناطقی که کاربری ساخته شده از تراکم مناسبی برخوردار بوده، به طوری که بتوان با استفاده از الگوریتم‌های موجود طبقه‌بندی و تفکیک ۳۰ متر پیکسل تصاویر لندست آن‌ها را استخراج کرد، به کار برده شده است. در بسیاری از مناطق محدوده مورد مطالعه، کاربری‌های ساخته شده که با تراکم پایین قرار گرفته‌اند یا فاصله کاربری‌های ساخته شده از همدیگر به اندازه‌ای است که نمی‌توان با استفاده از تصاویر لندست آن‌ها را استخراج کرد. همچنین استخراج کاربری ساخته شده در این مناطق با استفاده از تصاویر لندست صحت نتایج را بسیار پایین می‌آورد و نمی‌توان از نقشه‌های کاربری/پوشش زمین استخراج شده برای مراحل بعدی ارزیابی، یعنی ارزیابی تغییرات کاربری/پوشش زمین و پیش‌بینی تغییرات آینده، استفاده کرد؛ بنابراین در این گونه مناطق، ترجیح بر این بود که علی‌رغم صرف وقت زیاد، از دیجیتال‌سازی کاربری ساخته شده، از تصاویر با تفکیک مکانی بالا استفاده شود. در نهایت نتایج دو روش به منظور ایجاد یک نقشه کاربری/پوشش زمین منسجم در سه دوره زمانی مورد نظر، با همدیگر ادغام شدند.

انتخاب کلاس عوارض و آنالیز تصاویر

با توجه به کاربری‌های موجود در منطقه، اهداف تحقیق و قابلیت تصاویر مورد استفاده، براساس قدر تفکیک مکانی و رادیومتریکی آن‌ها، پنج کاربری سطوح ساخته‌شده (منطقه شهری، روستاها، صنایع و جاده‌ها)، اراضی بایر، اراضی مرتع، سطوح آبی و اراضی باغی و کشاورزی مدنظر قرار گرفت. انتخاب باند مناسب برای طبقه‌بندی و براساس ارزیابی منحنی‌های انعکاس طیفی برای هرکدام از کلاس‌های کاربری اراضی و همچنین ارزیابی هیستوگرام‌های همبستگی باندها نسبت به هم انجام شد.

ارزیابی دقت تصاویر طبقه‌بندی شده

برآورد دقت طبقه‌بندی معمولاً براساس پارامترهای آماری است که از ماتریس خطا استخراج می‌شوند. ماتریس خطا که ماتریس ابهام نیز نامیده می‌شود، از مقایسه پیکسل به پیکسل، پیکسل‌های معلوم (واقعیت زمینی) با پیکسل‌های متناظر در نتایج طبقه‌بندی حاصل می‌شود. برچسب هر پیکسل معلوم با برچسب پیکسل متناظر در طبقه‌بندی مقایسه می‌شود و نتایج یکسان با یکدیگر جمع شده و برچسب‌هایی که همخوانی ندارند نیز محاسبه می‌شوند؛ در نتیجه اعداد قرارگرفته بر روی قطر اصلی ماتریس تعداد پیکسل‌هایی را مشخص می‌کند که به درستی طبقه‌بندی شده‌اند. دقت کلی و ضریب کاپا دو پارامتری هستند که از ماتریس ابهام حاصل می‌شوند و اغلب برای مقایسه دقت طبقه‌بندی روش‌های مختلف استفاده می‌شود (شفیعی‌ثابت و همکاران، ۱۳۹۸: ۱۷۵).

ماتریس خطا

این ماتریس از مقایسه بین واقعیت زمینی و تصویر طبقه‌بندی شده محاسبه می‌شود، در این ماتریس درایه‌هایی که بر روی قطر اصلی واقع شده‌اند، تعداد

مقدار DN1 پیکسل‌ها از تصویر اولیه به تصویر ایجاد شده منتقل و تصحیح هندسی انجام می‌پذیرد. برای این منظور سعی شد در انتخاب مقادیر RMS2 (خطای جذر میانگین مربعات)، آن‌هایی انتخاب شوند که مقدار RMS آن‌ها کمتر از ۱ به دست آمده است.

تصحیح رادیومتریکی

تصحیح رادیومتریکی زمانی انجام می‌گیرد که از تصاویر چندزمانه، یعنی تصاویری که مربوط به فصول یا سال‌های مختلف یا سنجده‌های مختلف هستند، استفاده شود (Du et al, 2002: 123). پیش از به کارگیری داده‌های ماهواره‌ای در تجزیه و تحلیل رقومی، کیفیت آن‌ها از نظر وجود خطای هندسی، پرتوسنجی مانند راه‌راه‌شدگی، زیرهم قرار نگرفتن خطوط اسکن، پیکسل‌های تکراری، خطاهای اتمسفری مانند وجود لکه‌های ابر، مورد بررسی قرار گرفت. به منظور انجام تصحیحات رادیومتریکی بر روی تصاویر، نیاز است ارزش رقومی (DN) ثبت شده از یک پیکسل معین که در سال‌های مختلف، تحت تأثیر زاویه دید، موقعیت و زاویه خورشید و شرایط اتمسفری قرار می‌گیرد، خطاهای آن رفع شود (Wang et al, 2009: 1453). برای انجام تصحیح رادیومتریکی در ابتدا ارزش‌های رقومی با استفاده از ضرایب کالیبراسیون سنجنده به تابش طیفی (Radiance) تبدیل شد. سپس مقدار تابش طیفی به بازتاب طیفی (Reflectance) محاسبه شد (Lillesand et al, 2014: 703). با تبدیل مقادیر تابش طیفی به بازتاب طیفی آثار مربوط به تغییر شرایط نوردهی، فصل و عرض جغرافیایی، شرایط آب‌وهوایی روی تصاویر حذف می‌شود و نتیجه حاصل نسبتاً استاندارد شده است که مستقیماً در جهت مقایسه بازتاب پدیده‌ها بین تصاویر مختلف و یک تصویر در زمان‌های متفاوت قابل کاربرد است (Mitsova et al., 2011: 141).

(Wu et al., 2004:26)، مدل‌های مبتنی بر عامل
(Matthews et al., 2007:1447)، مدل‌های زنجیره
مارکوف (Myint & Wang, 2006:390) و مدل‌های
سلول‌های خودکار (Yang et al, 2008: 592). در این
میان مدل‌های زنجیره مارکوف (MC) و سلول‌های
خودکار (CA) جایگاه خود را در زمینه علوم زمین
همزمان با پیشرفت فناوری‌های سنجش‌ازدور و سامانه
اطلاعات جغرافیایی (GIS) همراه با افزایش چشمگیر
در محاسبات و قدرت مدل‌سازی، گسترش داده‌اند.
در طی چند سال گذشته، زنجیره مارکوف و سلول‌های
خودکار به‌طور گسترده برای تحقیق در حوزه
مدل‌سازی‌های زیست‌محیطی، از جمله پویایی کاربری/
پوشش زمین (Sang et al, 2011:938)، پوشش
جنگل (Adhikari et al, 2012:3215)، گسترش
شهری (Kityuttachai et al, 2013:1480)، مدیریت
آبخیزداری (Subedi et al, 2013:126)، مدیریت زون
ساحلی (Halmy et al, 2015:101) و... مورد استفاده
قرار گرفته‌اند.

پیش‌بینی تغییرات آینده براساس زنجیره مارکوف

تحلیل زنجیره مارکوف فرایندی است که در آن
حالت یک سیستم در زمان دوم با در نظر گرفتن حالت
سیستم در زمان اول پیش‌بینی می‌شود و ماتریس
احتمال‌های تغییر را از هر کلاس پوشش به کلاس
پوشش دیگر ارائه می‌هد. در واقع مدل زنجیره مارکوف،
براساس سیستم‌های تصادفی، پیش‌بینی می‌کند که
یک وضعیت چگونه به وضعیت دیگری در آینده تغییر
می‌کند (Muller and Middleton, 1994:151)

تحلیل زنجیره مارکوف تغییرات کاربری زمین را از
یک دوره به دوره دیگر بیان کرده و آن را به‌عنوان
پایه‌ای برای نقشه‌سازی تغییرات آینده به کار می‌گیرد.
این کار با توسعه یک ماتریس احتمال انتقال تغییرات
کاربری زمین از زمان ۱ به زمان ۲ انجام می‌گیرد که
پایه‌ای برای نقشه‌سازی دوره‌های زمانی آینده خواهد

پیکسل‌های هستند که به‌درستی طبقه‌بندی شده‌اند و
درایه‌های خارج از قطر اصلی تعداد پیکسل‌های
درست طبقه‌بندی نشده هستند (ممبئی و عسگری،
۱۳۹۷: ۳۵؛ شفیع‌ی ثابت و همکاران، ۱۳۹۸: ۱۷۵).

دقت کلی

دقت کلی به‌وسیله تقسیم مجموع پیکسل‌های
صحیح طبقه‌بندی‌شده بر مجموع کل پیکسل‌های
طبقه‌بندی‌شده به‌دست می‌آید. لازم به یادآوری است
که پیکسل‌های درست طبقه‌بندی‌شده، در قطر اصلی
ماتریس خطا جای دارند (ممبئی و عسگری، ۱۳۹۷: ۳۵؛
شفیع‌ی ثابت و همکاران، ۱۳۹۸: ۱۷۵).

ضریب کاپا

این فاکتور برای اعتبارسنجی کل نقشه استفاده
می‌شود. ضریب کاپا به‌عنوان معیاری است که می‌تواند
از طریق انجام مقایسه، دقت نقشه تولیدشده از روی
تصاویر ماهواره‌ای، با داده‌های مرجع زمینی را ارائه
دهد. این ضریب کاپا (K) معیاری است برای سنجش
توافق بین پیش‌بینی مدل و واقعیت
(Congalton, 1991: 35).

مدل‌سازی تغییر کاربری اراضی

مدل‌ها اجازه می‌دهند تا بین رفتار انسان با الگوهای
چشم‌انداز به‌منظور شبیه‌سازی فرایندهای تغییرات
زمین در گذشته و حال و برای پیش‌بینی پویایی
چشم‌انداز آینده، تحت سناریوهای مختلف پیوند ایجاد
کرد. نتایج مدل‌ها می‌تواند برای اطلاع‌رسانی به
تصمیم‌گیری درباره زمین به‌منظور توسعه پایدار و
مدیریت منابع، ارائه شود (Jinhua et al, 2015:122).
مدل‌های بسیاری برای مدل‌سازی و پیش‌بینی
تغییرات کاربری زمین توسعه داده شده‌است؛ از جمله
مدل‌های رگرسیون آماری، مانند رگرسیون لجستیک
(Hu et al., 2007:667)، مدل‌های شبکه عصبی
مصنوعی (Tayyebi et al, 2011:35)، مدل‌های اقتصادی

ترکیبی از مدل زنجیره مارکوف (از دسته مدل‌های تخمین تجربی) و مدل سلول‌های خودکار (از دسته مدل‌های شبیه‌سازی پویا) است. اخیراً مدل CA-Markov در شبیه‌سازی پدیده‌های پویا و پیش‌بینی تغییرات آینده زمین مورد استفاده قرار گرفته است (Wang et al., 2012: 699). مدل CA-Markov می‌تواند مزایای پیش‌بینی زمانی مدل زنجیره مارکوف و شبیه‌سازی مکانی پویای مدل CA را به همراه داشته باشد؛ بنابراین این مدل می‌تواند برای مدل‌سازی فضایی تغییر کاربری زمین مناسب باشد (Yang et al., 2012: 190). در نتیجه، ترکیب GIS و نقشه‌های استفاده از زمین/ پوشش، براساس داده‌های سنجش‌ازدور با مدل CA-Markov در مدل‌سازی و شبیه‌سازی فضایی و زمانی تغییرات کاربری بسیار مؤثر است (Wang et al., 2012: 699).

سنج‌های مورد استفاده در این مطالعه

به دلیل تعداد زیاد سنج‌ها، وجود همبستگی بین برخی از آن‌ها و به منظور پرهیز از تولید اطلاعات زائد، براساس مرور منابع علمی (Fan et al., 2007: 1323) و دانش کارشناسی، با توجه به تناسب سنج‌ها با هدف مطالعه و توجه به همبستگی بین مفهوم آن‌ها، مجموعه‌ای از سنج‌ها در سطح کلاس و سیمای سرزمین برای انجام مطالعه حاضر انتخاب شد (جدول ۴).

بود (Arsanjani et al., 2013: 268). این تحلیل ابزاری مناسب برای مدل‌سازی تغییرات کاربری و پوشش اراضی است و زمانی کاربرد دارد که تغییرات موجود در چشم‌انداز به راحتی قابل توصیف نباشد (Fan et al., 2007: 1332).

مدل سلول‌های خودکار (CA)

مدل‌های خودکار سلولی (CA)، سیستم دینامیک گسسته‌ای هستند که در آن فضا به سلول‌های مکانی منظم یا نامنظمی تقسیم شده‌اند و زمان در آن به صورت گام‌های گسسته طی می‌شود. وضعیت هر سلول بر پایه قوانین محلی به صورت همزمان بهنگام می‌شود؛ یعنی وضعیت هر سلول و وضعیت‌های همسایگانش در زمان پیشین است (Wolfram, 1984: 34).

براساس نظر باتی^۱ و همکاران (۱۹۹۷) مدل CA قادر به شبیه‌سازی روند تصادفی، غیرخطی و فضایی است. مطالعات نشان داده‌اند که مدل اتوماتای سلولی، توانایی مدل‌سازی فرایند پیچیده فضایی و زمانی کاربری‌های زمین و سیستم‌های شهری را به صورتی بسیار قابل‌درک دارد (Sui and Zeng, 2001: 37). از طرفی مدل سلول‌های خودکار، برای نشان‌دادن، تجزیه و تحلیل و پیش‌بینی‌های جغرافیایی به دلیل استفاده از شبکه‌های رستری بسیار مناسب است (Clarke and Gaydos, 1998: 699).

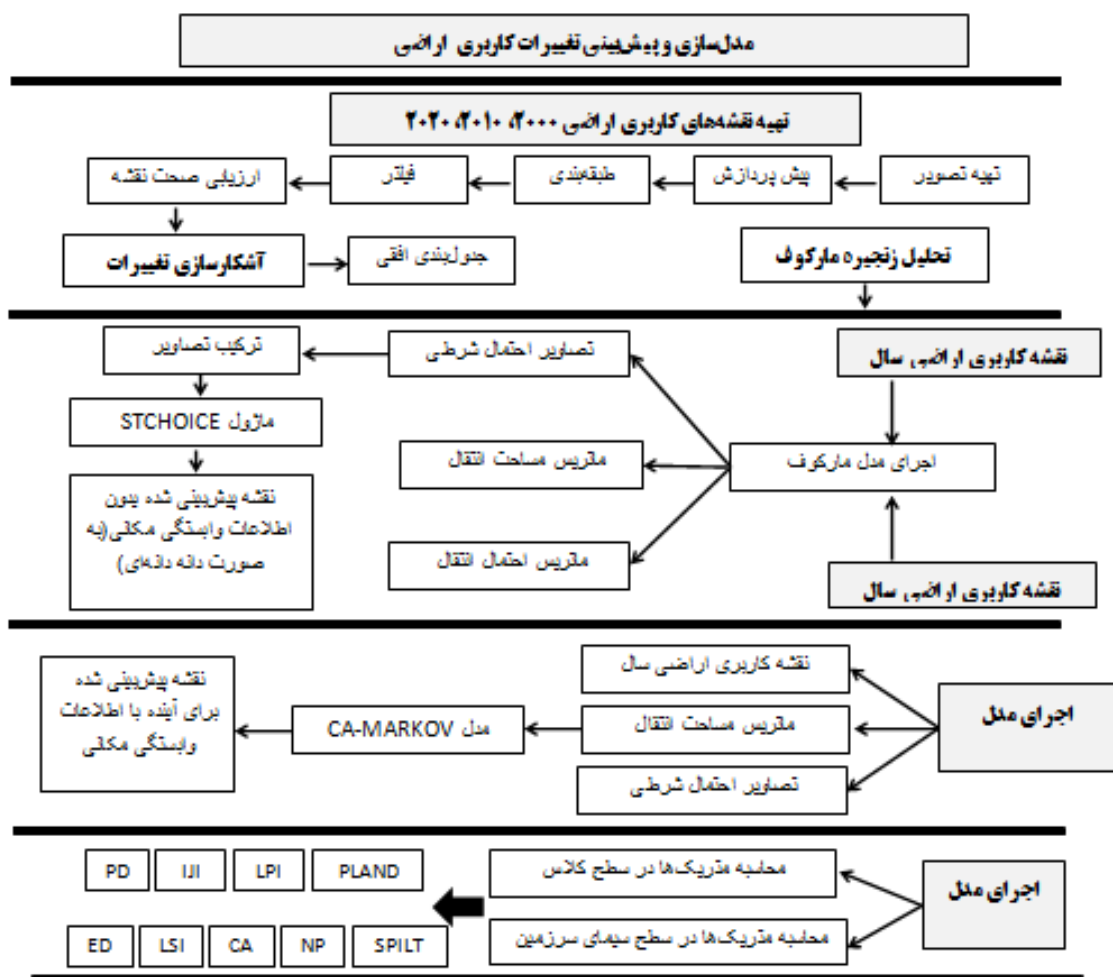
مدل تلفیقی زنجیره مارکوف و سلول‌های خودکار (CA-MARKOV)

مدل‌های خودکار سلولی (CA) و زنجیره‌ای مارکوف مفاهیمی هستند که در شاخه‌های مختلف علوم پایه استفاده می‌شوند (Ghosh et al., 2017: 64). مدل تلفیقی سلول‌های خودکار و زنجیره (CA-Markov)

جدول ۴: متریک‌های مورد استفاده در تحلیل امنیت اکولوژیک

ردیف	نام فارسی	نام انگلیسی	واحد	مقیاس مطالعه
۱	تعداد لکه‌ها	Number of Patches(NP)	ندارد	کلاس / سیمای سرزمین
۲	شکل سیمای سرزمین	Landscape Shape Index(LSI)	ندارد	کلاس / سیمای سرزمین
۳	شاخص پراکنش و آمیختگی	Interspersion and Juxtaposition Index(IJI)	درصد	کلاس / سیمای سرزمین
۴	تراکم لکه	Patch Density(PD)	تعداد	سیمای سرزمین
۵	تراکم حاشیه	Edge Density(ED)	متر	سیمای سرزمین
۶	شاخص سوراخ‌شدگی	Splitting Index(SPLIT)	ندارد	سیمای سرزمین
۷	مساحت لکه	Class Area(CA)	هکتار	کلاس
۸	درصد پوشش سیمای سرزمین	Percentage of landscape(PLAND)	درصد	کلاس
۹	بزرگ‌ترین اندازه لکه	Largest Patch Index(LPI)	درصد	کلاس

مأخذ: نگارندگان، ۱۳۹۹



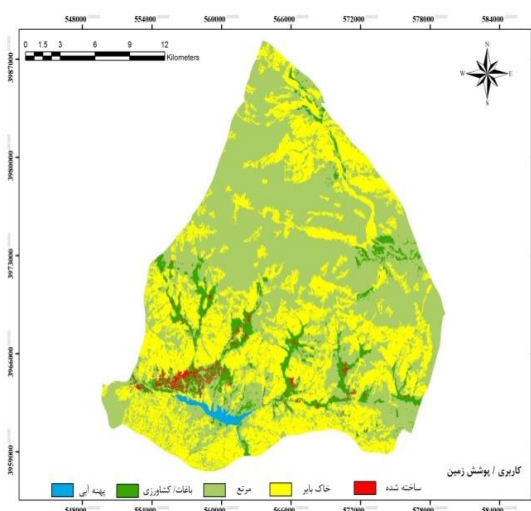
شکل ۳: مدل مفهومی تحقیق

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۹

یافته‌ها

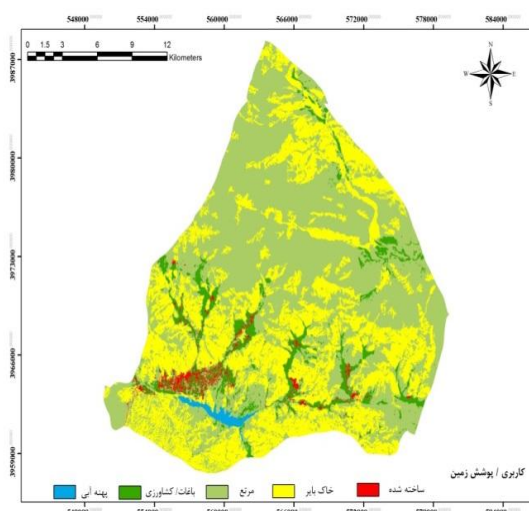
نتایج حاصل از صحت‌سنجی طبقه‌بندی تصاویر نشان می‌دهد که مقدار صحت دقت کلی حاصل از طبقه‌بندی برای سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۱۰ و ۲۰۲۰ به ترتیب ۹۵/۷۲، ۹۶/۲۶ و ۹۵/۳۲ درصد و مقدار ضریب کاپا برای هر سه سال برابر با ۰/۹۴۸، ۰/۹۴۳ و ۰/۹۳۶ بود که این میزان صحت در سطح قابل قبول قرار دارد.

طبقه‌بندی تصاویر با به‌کارگیری الگوریتم حداکثر احتمال نشان‌داد پنج طبقه سطوح ساخته‌شده (منطقه شهری، روستاها، صنایع و جاده‌ها)، اراضی بایر، اراضی مرتع، سطوح آبی و اراضی باغی و کشاورزی در منطقه وجود دارد. نقشه‌های کاربری اراضی تهیه‌شده برای سال‌های بررسی‌شده در شکل‌های ۴، ۵ و ۶ نشان داده شده است.



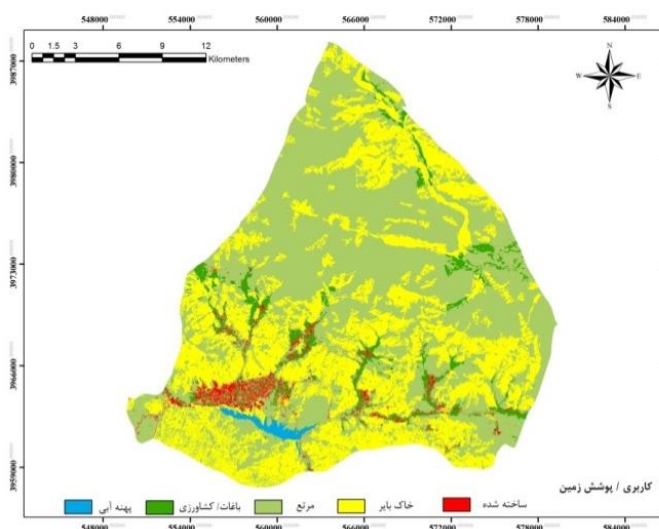
شکل ۵: نقشه کاربری اراضی لواسانات سال ۲۰۰۰

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۹



شکل ۴: نقشه کاربری اراضی لواسانات سال ۲۰۱۰

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۹



شکل ۶: نقشه کاربری اراضی لواسانات سال ۲۰۲۰

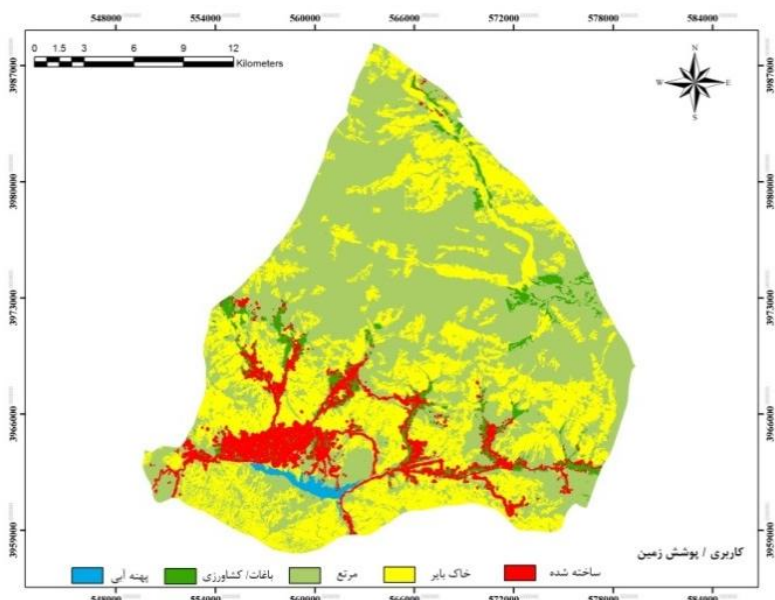
تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۹

و بعد تصویر طبقه‌بندی‌شده سال ۲۰۱۰ به مدل معرفی شد که از این طریق ماتریس تبدیلات به‌دست آمد؛ به‌بیان‌دیگر سیستم آموزش دید و آمده شد برای پیش‌بینی سال ۲۰۴۰ که پس از این مرحله، تصویر سال ۲۰۲۰ به همراه ماتریس تبدیلات به‌دست آمده از دوره قبل به مدل معرفی شد و پیش‌بینی سال ۲۰۴۰ به‌دست آمد (شکل ۷).

مدل‌سازی تغییرات به‌وسیله مدل‌های سلول

خودکار و مارکوف در سال ۲۰۴۰

پس از تهیه نقشه‌های کاربری اراضی، آشکارسازی تغییرات و بررسی تغییرات اتفاق‌افتاده در طی سه دوره زمانی مورد مطالعه انجام شد. در پیش‌بینی سال ۲۰۴۰، در گام نخست از زنجیره مارکوف و اتومات استفاده شد؛ بدین‌صورت که ابتدا تصویر طبقه‌بندی‌شده سال ۲۰۰۰



شکل ۷: نقشه پیش‌بینی کاربری اراضی لواسانات در سال ۲۰۴۰

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۹

تغییرات با عواقب اقتصادی-اجتماعی حاصل از آن، اهمیت بسیار بالایی برای مدیریت پایدار اراضی دارد.

بررسی روند تغییرات متریک‌ها در سطح کلاس

وضعیت طبقات براساس سنجه NP

نتایج نشان می‌دهد که تعداد لکه‌های کاربری انسان‌ساخت در بازه زمانی ۲۰۰۰، ۲۰۱۰ و ۲۰۲۰ به ترتیب ۱۶۲۶، ۲۹۴۳ و ۳۷۷۴ که نشان از افزایش تعداد این لکه‌ها بوده است؛ اما نتایج پیش‌بینی نشان می‌دهد که تعداد لکه‌های ساخته‌شده در سال ۲۰۴۰ به ۶۴۹ لکه کاهش خواهد یافت. این امر بدین معناست

بحث

مدل‌های پیش‌بینی کاربری اراضی برای برنامه‌ریزی استفاده پایدار از زمین، یک نیاز ضروری است (Kamusoko et al, 2009: 435; Mas et al, 2004: 94; Sohl & Claggett, 2013: 235). این مسئله به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه که فعالیت‌هایی نظیر: جنگل‌زدایی، توسعه بی‌رویه اراضی کشاورزی و تخریب مراتع موجب شدت‌بخشیدن به پدیده بیابان‌زایی شده، مورد نیاز است (Amiraslani & Dragovich, 2011:1; Upadhyay et al, 2006: 349). به علاوه پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی و برقراری ارتباط بین این

مساحت اراضی مرتع در سال ۲۰۰۰ و ۲۰۱۰ به ترتیب با ۲۹۷۰۲/۶۱ و ۲۹۶۰۰/۴۶ روند کاهشی داشته است؛ اما به دلیل تغییرات کاربری اراضی در سال ۲۰۲۰ با مساحت ۳۰۲۸۶/۱۳ روند افزایشی داشته است؛ اما بر طبق پیش‌بینی صورت‌گرفته در سال ۲۰۴۰ مساحت اراضی مرتع به ۲۸۶۲۶/۱۱ کاهش پیدا کرده است (شکل ۸).

وضعیت طبقات براساس سنجۀ PLAND

درصد سیمای سرزمین پوشش داده شده توسط مناطق انسان‌ساخت، به ترتیب زمانی از ۰/۸۱ به ۱/۳ و سپس ۱/۹۶ افزایش یافته است که نشان‌دهنده افزایش بیشتر و گسترش مناطق انسان‌ساخت در تمامی سال‌ها بوده است. این درحالی است که طبق پیش‌بینی صورت‌گرفته در سال ۲۰۴۰، این روند افزایش همچنان ادامه داشته و به عدد ۷/۱۹ درصد خواهد رسید. افزایش تعداد، تراکم لکه‌های انسان‌ساخت به موازات افزایش مساحت کل این نوع کاربری، بیانگر کاهش ازهم‌گسیختگی کلاس انسان‌ساخت و به وجود آمدن مناطق انسان‌ساخت جدید در طی بازه زمانی مورد بررسی است. این کاهش ازهم‌گسیختگی به سبب انسجام ایجاد شده در لکه‌های انسان‌ساخت است که منجر به عدم تعادل در منطقه شده و روند رشد آن همگام با سایر طبقات نبوده و هماهنگ نیست. این افزایش بی‌نظمی در سایر طبقات به عنوان عامل اختلالی تلقی شده و منجر به تخریب آن‌ها شده است.

درصد سیمای سرزمین پوشش داده شده توسط مناطق بایر طی سالیان مورد بررسی به دلیل کاهش مساحت این اراضی همواره روند کاهشی داشته است و در طی سال‌های مورد بررسی برابر با ۳۶/۱۱، ۳۶/۰۴ و ۳۵/۹۲ بوده است. نتایج نشان می‌دهد که روند کاهشی تا سال ۲۰۴۰ ادامه خواهد داشت و در این سال به ۳۴/۵۲ درصد خواهد رسید.

که لکه‌های ناپیوسته و جدا افتاده از هم، از اراضی ساخته شده به تدریج به هم پیوسته و لکه‌های واحدی را تشکیل خواهند داد. این امر به عنوان یک عامل اختلالی در سیمای سرزمین می‌تواند نشان‌دهنده رشد و توسعه اراضی انسان‌ساخت در منطقه باشد. تعداد لکه‌های اراضی باغی و کشاورزی در طی سال‌های مورد بررسی، به ترتیب برابر با ۱۲۴۸، ۱۶۴۸ و ۱۸۴۲ بوده است. نتایج نشان می‌دهد که در سال ۲۰۴۰ این رقم به ۱۴۰۸ عدد خواهد رسید.

اراضی بایر نیز در این دوره روند افزایشی داشته‌اند به طوری که در دوره‌های مورد بررسی به ترتیب برابر با ۱۱۳، ۱۹۷ و ۴۰۳ بوده است. همچنین طبق پیش‌بینی صورت‌گرفته، این روند افزایش به تعداد ۵۹۱ لکه تا سال ۲۰۴۰ ادامه خواهد داشت. تعداد لکه‌های اراضی مرتع، در سال ۲۰۰۰ و ۲۰۱۰ به ترتیب با ۱۰۰۸۴ و ۹۸۶۱ روند کاهشی داشته است؛ اما به دلیل تغییرات کاربری اراضی در سال ۲۰۲۰ روند افزایشی پیدا کرده است؛ اما بر طبق پیش‌بینی صورت‌گرفته در سال ۲۰۴۰ تعداد لکه‌های اراضی مرتع به ۵۴۶۱ لکه کاهش پیدا کرده است (شکل ۸).

وضعیت طبقات براساس سنجۀ CA

مساحت طبقه اراضی ساخته شده در بازه زمانی ۲۰۰۰، ۲۰۱۰، ۲۰۲۰ و ۲۰۴۰ به ترتیب ۴۳۲/۴، ۶۸۹/۸۲، ۱۰۴۰/۸۶ و ۳۸۰۹/۵۸ بوده است که این افزایش مساحت نشان از رشد مناطق انسان‌ساخت داشته است. مساحت اراضی بایر در سال‌های مورد بررسی نیز به ترتیب ۱۹۱۱۷/۲۸، ۱۹۰۷۹/۳۵، ۱۹۰۱۵/۵۱ و ۱۸۲۷۷/۳۶ بوده است که نشان از کاهش مساحت این اراضی دارد. مساحت اراضی باغی و کشاورزی نیز به ترتیب با ۳۲۲۴/۳۶، ۳۲۰۴/۷ و ۲۲۳۱/۹۱ و ۱۸۶۶/۴۹ روند کاهشی داشته است.

این افزایش نشان از هم‌گسیختگی لکه‌های این طبقه دارد که همواره لکه‌های این طبقه رو به بی‌نظمی و پیچیدگی بوده‌است؛ اما نتایج پیش‌بینی در سال ۲۰۴۰ نشان می‌دهد که سنجه شکل به ۴۳/۵۵ خواهد رسید که این روند کاهش نشان‌دهنده ساده‌تر شدن شکل این طبقه از پوشش اراضی است.

نتایج سنجه شکل مراتع نشان‌دهنده افزایش بی‌نظمی و پیچیدگی شکل این طبقه از پوشش زمین را دارد. به‌گونه‌ای که در سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۱۰ و ۲۰۲۰ میلادی به ترتیب برابر با ۶۵/۳، ۶۵/۶۵ و ۷۳/۰۸ بوده‌است. نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد که این روند در سال ۲۰۴۰ کاهش پیدا خواهد کرد و به رقم ۵۷/۴۲ خواهد رسید.

سنجه شکل در اراضی بایر افزایش یافته و در سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۱۰ و ۲۰۲۰ میلادی به ترتیب برابر با ۶۰/۱۲، ۶۰/۶۶ و ۶۲ بوده‌است که نشان‌دهنده افزایش پیچیدگی و شکل نامنظم این کاربری در بازه مورد بررسی است؛ اما نتایج پیش‌بینی در سال ۲۰۴۰ نشان می‌دهد که در این سال این سنجه به ۵۹/۹ خواهد رسید که این امر نشان‌دهنده ساده‌تر شدن و منظم‌تر شدن سیمای سرزمین در آن زمان است. البته ذکر این نکته الزامی است که حداکثر تغییرات در سال ۲۰۴۰ به دلیل رشد و توسعه شهر ایجاد شده‌است؛ به همین دلیل است که شکل اراضی بایر، شکلی پایدارتر پیدا کرده‌است (شکل ۸).

وضعیت طبقات براساس سنجه LPI

سنجه بزرگ‌ترین لکه نیز برای مناطق انسان‌ساخت همواره روند افزایشی داشته و در سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۱۰ و ۲۰۲۰ میلادی برابر با ۰/۱۹، ۰/۵۶ و ۰/۹۱ درصد بوده‌است. این روند نیز بیانگر افزایش اندازه بزرگ‌ترین لکه انسان‌ساخت در طی این سال‌ها بوده است. همچنین براساس پیش‌بینی، سنجه بزرگ‌ترین

نتایج این سنجه از سیمای سرزمین در اراضی باغی و کشاورزی نیز طی سالیان مورد بررسی به دلیل کاهش مساحت این اراضی همواره روند کاهشی داشته است و در طی سال‌های مورد بررسی به ترتیب برابر با ۶/۲۸، ۶/۰۵ و ۴/۲۱ بوده‌است. نتایج نشان می‌دهد که روند کاهشی تا سال ۲۰۴۰ ادامه خواهد داشت و در این سال به ۳/۵۲ درصد خواهد رسید. همچنین در اراضی مرتع در سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۱۰ و ۲۰۲۰ میلادی به ترتیب برابر با ۵۶/۱۱، ۵۵/۹۲ و ۵۷/۲۱ بوده‌است. علت این امر، کاهش اراضی در سال‌های ۲۰۰۰ و ۲۰۱۰ و سپس افزایش آن در سال‌های ۲۰۱۰ تا ۲۰۲۰ به سبب تغییرات پوشش زمین است. نتایج پیش‌بینی نشان می‌دهد که روند کاهش در آینده نیز ادامه خواهد داشت و به رقم ۵۴/۰۷ خواهد رسید (شکل ۸).

وضعیت طبقات براساس سنجه LSI

سنجه شکل در مناطق انسان‌ساخت افزایش یافته و در سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۱۰ و ۲۰۲۰ میلادی به ترتیب برابر با ۵۴/۷۲، ۷۴/۸۲ و ۹۹/۹ بوده‌است که نشان‌دهنده افزایش پیچیدگی و شکل نامنظم این کاربری در بازه مورد بررسی است؛ اما نتایج پیش‌بینی در سال ۲۰۴۰ نشان می‌دهد که در این سال این سنجه به ۳۰/۵۸ خواهد رسید که این امر نشان‌دهنده ساده‌تر شدن و منظم‌تر شدن سیمای سرزمین در آن زمان است. ساده‌تر و منظم‌تر شدن این موارد در سیمای سرزمین نشان از رشد و توسعه شهر دارد. همچنین پایداری شکلی در این طبقه مشهود بوده که این پایداری در اراضی مسکونی منجر به تشدید اختلال سیمای سرزمین است.

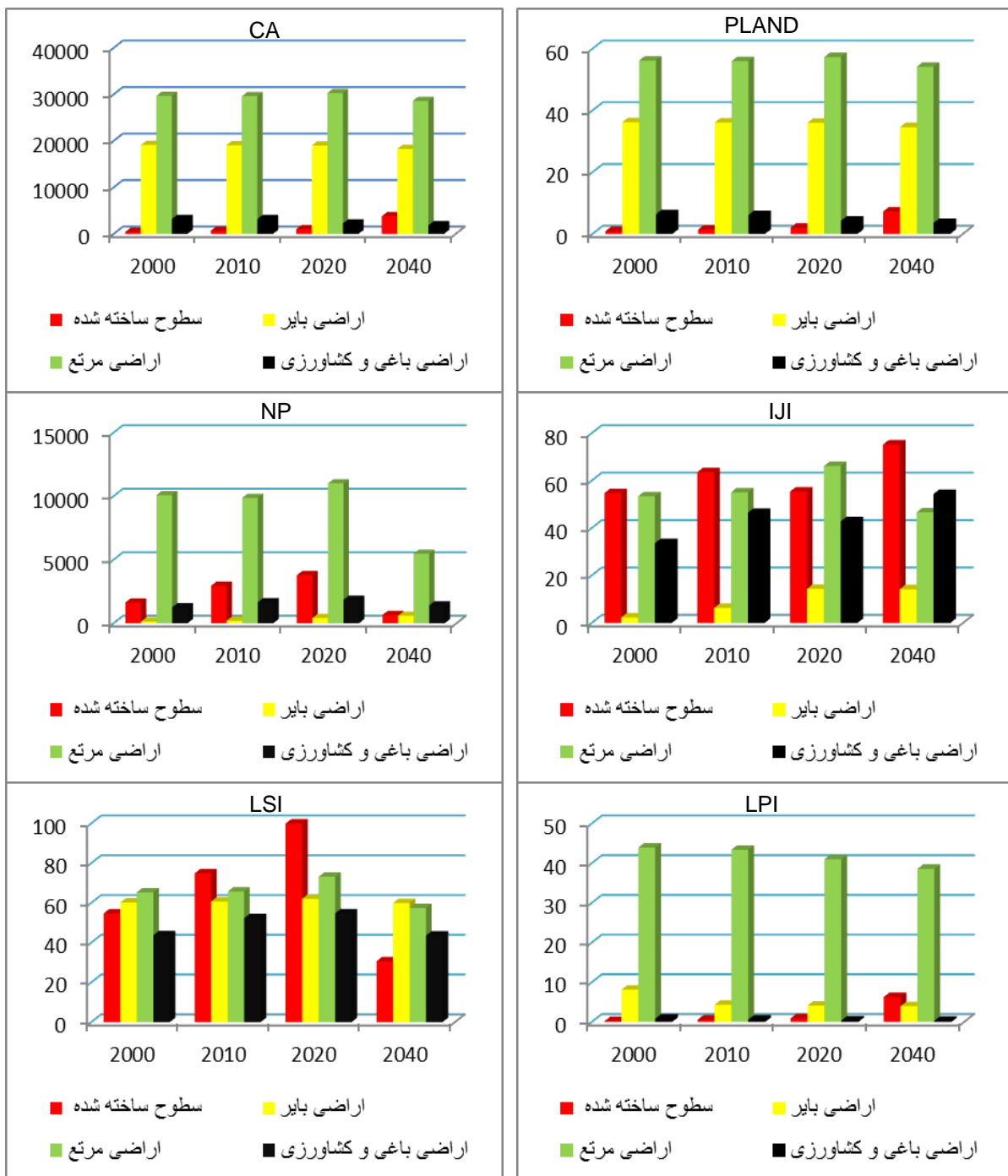
نتایج محاسبه سنجه شکل برای اراضی کشاورزی نشان می‌دهد که در سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۱۰ و ۲۰۲۰ به ترتیب برابر با ۴۳/۶۸، ۵۲/۲۶، ۵۴/۶۹ بوده‌است که

انواع لکه را نشان می‌دهد که با هم بیشتر اختلاط دارند؛ یعنی لکه‌های مختلف کنار یکدیگر قرار گرفته‌اند. این درحالی است که مقادیر پایین‌تر، سیماهایی را نشان می‌دهند که لکه‌ها به خوبی با هم اختلاط ندارند. با توجه به روند تغییرات متریک همبستگی و آمیختگی در سطوح انسان‌ساخت، می‌توان گفت این متریک در سال ۲۰۰۰ با مقدار ۵۴/۷۲ نسبت به سال ۲۰۱۰ با مقدار ۶۳/۵۴ روند افزایشی داشته و در بازه زمانی ۲۰۲۰ با مقدار ۵۵/۳۹ روند کاهشی پیدا کرده است؛ اما بر طبق پیش‌بینی صورت گرفته به دلیل تمایل همبستگی و آمیختگی این لکه با سایر لکه‌ها در سال ۲۰۴۰، به رقم ۷۵/۱۸ رسیده است. نتایج به دست آمده از محاسبه این سنجه در اراضی مرتع نشان می‌دهد که در سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۱۰ و ۲۰۲۰ همبستگی و آمیختگی این لکه با سایر لکه‌ها به ترتیب با ۵۵/۳۹، ۵۵/۰۵ و ۶۶/۱۱ روند افزایشی داشته است؛ اما بر طبق پیش‌بینی صورت گرفته، این همبستگی و آمیختگی در سال ۲۰۴۰ به رقم ۴۶/۶۱ کاهش پیدا خواهد کرد. سنجه همبستگی و آمیختگی اراضی بایر نیز از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ همواره روند افزایشی داشته و از ۲/۳۱ به ۶/۳ و سپس ۱۴/۳۲ رسیده است؛ اما در سال ۲۰۴۰ این روند به ۱۴/۱۸ کاهش پیدا کرده است. با توجه به روند تغییرات اراضی باغی و کشاورزی می‌توان گفت این متریک در سال ۲۰۰۰ با مقدار ۳۳/۶۳ نسبت به سال ۲۰۱۰ با مقدار ۴۶/۴۳ روند افزایشی داشته و در بازه زمانی ۲۰۲۰ با مقدار ۴۲/۷۹ روند کاهشی پیدا کرده است؛ اما بر طبق پیش‌بینی صورت گرفته، به دلیل تمایل همبستگی و آمیختگی این لکه با سایر لکه‌ها در سال ۲۰۴۰، به رقم ۵۴/۳۵ افزایش پیدا کرده است (شکل ۸).

لکه برای طبقه ساخته شده تا سال ۲۰۴۰ به ۶/۲۷ خواهد رسید که این امر نشان‌دهنده گسترش لکه‌های انسان‌ساخت و به هم پیوستن بیشتر آن‌ها است. سنجه بزرگ‌ترین لکه برای طبقه اراضی بایر در دوره مورد مطالعه همواره رو به کاهش بوده و در طی این سال‌ها از ۸/۱۲ در سال ۲۰۰۰ به ۴/۳۲ در سال ۲۰۱۰ و در نهایت به ۴/۱۳ در سال ۲۰۲۰ کاهش یافته است. علت این امر کاهش مساحت این طبقه و افزایش از هم گسیختگی و از بین رفتن پیوستگی بین لکه‌ها در طی این سال‌ها است؛ اما بر طبق پیش‌بینی‌های صورت گرفته، به دلیل از بین رفتن و تغییر در لکه‌های خرد گذشته در سال ۲۰۴۰، اندازه بزرگ‌ترین سنجه در این سال به ۳/۹۸ خواهد رسید. سنجه بزرگ‌ترین اندازه لکه اراضی باغی و کشاورزی نیز از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ میلادی همواره دچار کاهش بوده و از ۰/۸۲ به ۰/۵۹ و سپس ۰/۳۶ رسیده است که علت این امر را می‌توان در افزایش از هم گسیختگی آن اراضی به سبب گسترش اراضی ساخته شده دانست؛ اما بر طبق پیش‌بینی صورت گرفته، به دلیل گسترش اراضی ساخته شده در سال ۲۰۴۰، اندازه بزرگ‌ترین سنجه در این سال به ۰/۳۲ خواهد رسید. نتایج محاسبه این سنجه در طبقه مرتع نشان می‌دهد که در سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۱۰ و ۲۰۲۰ میلادی، بزرگ‌ترین لکه به ترتیب ۴۳/۹۳، ۴۳/۳۷ و ۴۱/۰۱ بوده است؛ اما بر طبق پیش‌بینی صورت گرفته، به دلیل گسترش اراضی ساخته شده در سال ۲۰۴۰، اندازه بزرگ‌ترین لکه در این سنجه ۳۸/۶ بوده است (شکل ۸).

وضعیت طبقات براساس سنجه III

متریک همبستگی و آمیختگی، میزان اختلاط لکه‌ها را نشان می‌دهد و مقادیر بالاتر، سیماهایی با



شکل ۸: نمودارهای تشریح‌کننده روند تغییر عناصر تشکیل‌دهنده سیمای سرزمین در سطح کلاس

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۹

کاهش خواهد یافت. این امر به همراه کاهش تعداد کل لکه‌های سیمای سرزمین نشان‌دهنده به هم پیوستن تعداد زیادی از لکه‌های از هم گسیخته قبلی هستند. از هم گسیختگی ایجاد شده در سال‌های مورد مطالعه را می‌توان ناشی از اختلال ایجاد شده توسط توسعه در منطقه دانست؛ اما پیوستگی مجدد آن‌ها در سال ۲۰۴۰ به معنی پیوستگی زیرساخت‌های اکولوژیک و احیای آن‌ها نیست. این پیوستگی تنها به معنی یکپارچه شدن اراضی شهری است که این امر خود یک عامل اختلالی می‌باشد (شکل ۹).

وضعیت سیمای سرزمین براساس سنجه LSI

سنجه شکل سیمای سرزمین در طی زمان و در سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۱۰ و ۲۰۲۰ میلادی به ترتیب برابر با ۵۱/۳۴، ۵۴/۳۳ و ۵۹/۷۲ بوده است که این امر نشان‌دهنده پیچیده‌تر شدن و از نظر هندسی نامنظم‌تر شدن سیمای سرزمین منطقه مورد مطالعه است. همچنین پیش‌بینی پوشش زمین در سال ۲۰۴۰ نشان می‌دهد که این سنجه در آن زمان به عدد ۴۷/۷۹ کاهش خواهد یافت که این امر نشان‌دهنده ساده‌تر شدن و منظم‌تر شدن سیمای سرزمین در آن زمان است. پیچیدگی در شکل سیمای سرزمین می‌تواند ناپایداری در لکه‌های سیمای سرزمین را به همراه داشته باشد؛ به طوری که هرچه میزان این پیچیدگی بیشتر باشد، احتمال نفوذ و حساسیت آن در مقابل تخریب بیشتر می‌شود؛ بنابراین نامنظم‌تر شدن شکل سیمای سرزمین از وقوع تخریب و اختلال‌های مصنوعی در اکوسیستم حکایت دارد (شکل ۹).

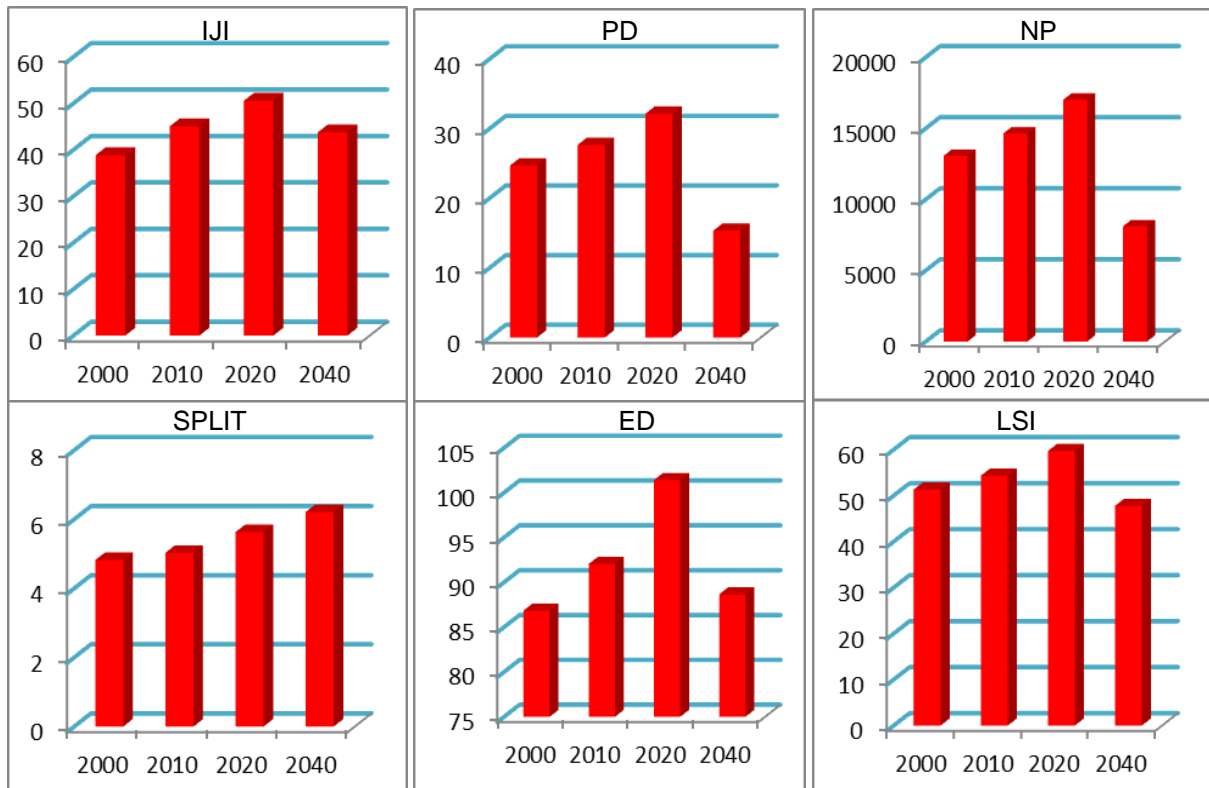
بررسی روند تغییرات متریک‌ها در سطح سیمای سرزمین

وضعیت سیمای سرزمین بر اساس سنجه NP

تعداد لکه‌های سیمای سرزمین در طی سال‌های ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ میلادی به ترتیب ۱۳۰۷۳، ۱۴۶۵۱ و ۱۷۰۱۶ بوده است که نشان از روند افزایشی آن در این بازه دارد. پیش‌بینی نشان می‌دهد که لکه‌های سیمای سرزمین تا سال ۲۰۴۰ به ۸۱۱۷ عدد کاهش خواهد یافت. افزایش تعداد لکه‌ها در سیمای سرزمین منعکس‌کننده خرددانه‌گی در سطح سیمای سرزمین است که این امر نیز بر اثر تخریب در ساختارهای منطقه ایجاد می‌شود؛ اما در مدل‌سازی ارائه شده، شاهد کاهش تعداد لکه‌های سیمای سرزمین در سال ۲۰۴۰ هستیم. این امر بیان‌کننده یکپارچگی در منطقه است؛ از این رو می‌توان گفت بر حسب تفسیر چشمی از نقشه پیش‌بینی شده و کاهش تعداد لکه‌ها در سال ۲۰۴۰، این یکپارچگی را ناشی از توسعه اراضی شهری در منطقه محتمل دانست. این پیوستگی بیشتر در طبقه اراضی انسان‌ساخت اتفاق افتاده که ناشی از رشد شهر است (شکل ۹).

وضعیت سیمای سرزمین براساس سنجه PD

سنجه تراکم لکه نیز طی سال‌های مورد بررسی به ترتیب ۲۴/۶۹، ۲۷/۶۷، ۳۲/۱۴ بوده و بیانگر افزایش لکه‌های سیمای سرزمین در واحد سطح در این بازه زمانی است. این روند به همراه افزایش تعداد کل لکه‌های سیمای سرزمین، بیانگر افزایش از هم گسیختگی سیمای سرزمین در طی زمان بوده است. پیش‌بینی نشان می‌دهد که این سنجه تا سال ۲۰۴۰ به ۱۵/۳۳



شکل ۹: نمودارهای تشریح‌کننده روند تغییر عناصر تشکیل‌دهنده سیمای سرزمین در سطح سیمای سرزمین

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۹

وضعیت سیمای سرزمین براساس سنجه ED

شاخص تراکم حاشیه به صورت متر در هکتار بیان می‌شود. این شاخص نسبت محیط به مساحت را نشان می‌دهد. این سنجه طی زمان و در سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۱۰ و ۲۰۲۰ میلادی به ترتیب برابر با ۸۶/۸۶، ۹۲/۰۶، ۱۰۱/۴۲ بوده است. افزایش عدد شاخص تراکم حاشیه نشان می‌دهد که تخریب و تغییر شکل لکه‌ها در حال افزایش بوده است؛ اما بر طبق پیش‌بینی صورت گرفته، شاخص تراکم حاشیه در سال ۲۰۴۰، عدد ۸۸/۶۸ خواهد بود که نشان از آن دارد که لکه‌ها پایداری بیشتری دارند و آن به این دلیل است که مناطق ساخته شده که بیشترین تأثیر را در تغییر شکل منطقه داشته‌اند، رشد حداکثری کرده‌اند و دیگر نمی‌توان رشد بیشتری را برای منطقه متصور بود (شکل ۹).

وضعیت سیمای سرزمین براساس سنجه SPLIT

متریک SPLIT به معنی تعداد لکه‌های به دست آمده از تقسیم سیمای سرزمین به لکه‌های با اندازه مساوی مبتنی بر اندازه شبکه مؤثر است؛ از این متریک با عنوان شاخص شکافتگی نیز یاد می‌شود. شاخص شکافتگی می‌تواند Perforation در سیمای سرزمین را نشان دهد. شکافتگی یکی از نشانه‌های بروز ازهم‌گسیختگی در سیمای سرزمین بوده که ناشی از پویایی و تغییر در پوشش زمین است. سنجه شاخص سوراخ‌شدگی طی زمان و در سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۱۰ و ۲۰۲۰ میلادی به ترتیب برابر با ۴/۸۲، ۵/۰۳ و ۵/۶۳ بوده است؛ اما بر طبق پیش‌بینی صورت گرفته، شاخص سوراخ‌شدگی در سال ۲۰۴۰، در این سنجه ۶/۲۱ بوده است (شکل ۹).

نمی‌دهد و این می‌تواند به دلیل قرارگرفتن عمده این کاربری‌ها در مناطق با شیب و ارتفاع بالا و دور از دسترس انسان باشد. نتایج پیش‌بینی پوشش زمین در سال ۲۰۴۰ نشان می‌دهد فاصله کم نقاط شهری و روستای نسبت به هم، سکونتگاه‌های کم‌تراکم و پراکنده در منطقه که هیچگونه محدودیت فیزیکی و جغرافیایی‌ای برای ساخت‌وساز ندارند، در آینده باعث به وجود آمدن لکه‌های بزرگ‌تر و به هم پیوسته انسان‌ساخت خواهند شد که این تغییرات باعث کاهش تعداد لکه‌ها و از هم گسیختگی، ساده‌تر و منظم‌تر شدن شکل و افزایش پیوستگی در سطح سیمای سرزمین خواهد شد. در سطح هر طبقه نیز نتایج نشان می‌دهد که با ادامه روند کنونی تعداد لکه‌ها به جز طبقه بایر، در سایر طبقات کاهش پیدا خواهد کرد. این پدیده در اراضی ساخته شده به دلیل به هم پیوستن لکه‌های خرد در سال‌های قبلی و در سایر طبقات به دلیل از بین رفتن لکه‌های کوچک خواهد بود که در بیشتر موارد به اراضی ساخته شده تبدیل خواهند شد؛ به عبارتی دیگر، ساخت‌وسازهای بی‌رویه تأثیرات مهمی بر ساختار اکولوژیک لواسانات داشته؛ به عنوان مثال لکه‌های بزرگ اراضی سبز در سال ۲۰۰۰ که از لحاظ اکولوژیکی دارای ارزش فراوان بودند، روزبه‌روز به قطعات کوچک‌تر تقسیم شده و در سال ۲۰۲۰ جای خود را به لکه‌های کوچک‌تر با ارزش اکولوژیکی پایین‌تر داده و در نتیجه، امنیت اکولوژیک منطقه کاهش یافته است که این امر نیز مطابق با مطالعات مشابه است (Alberti & Marzluff, 2004:241; Su et al., 2010: 61; Asfaw & Worku, 2019: 145).

مسلماً افزایش زیرساخت‌ها و فعالیت‌های انسانی بدون توجه به ظرفیت منطقه، امنیت اکولوژیک منطقه را در آینده با مشکلات زیادی روبه‌رو خواهد کرد؛ بنابراین تدوین برنامه‌های مدیریتی براساس اصول توسعه پایدار، ارزیابی توان سرزمین و استفاده درست از منابع برای جلوگیری از تغییرات در منظر منطقه و حفظ پیوستگی مکانی این منطقه پیشنهاد

وضعیت سیمای سرزمین براساس سنجه IJI

با توجه به روند تغییرات متریک همبستگی و آمیختگی در سطح سیمای سرزمین، می‌توان گفت همبستگی و آمیختگی لکه‌ها از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ همواره روند افزایشی داشته و از ۳۸/۸۶ به ۴۵/۰۵ و سپس ۵۰/۵۴ رسیده است؛ اما در سال ۲۰۴۰ این روند به ۴۳/۷۷ کاهش پیدا کرده است (شکل ۹).

نتیجه

با استفاده از نقشه‌های پوشش/ کاربری زمین به دست آمده از تصاویر ماهواره‌ای (سال‌های ۲۰۰۰، ۲۰۱۰ و ۲۰۲۰)، داده‌های فیزیکی و مدل CA-Markov که تلفیقی از آنالیز زنجیره مارکوف و مدل‌های CA است، در تحقیق حاضر، رشد شهری و تغییرات پوشش/ کاربری زمین در حوزه لواسانات با موفقیت شبیه‌سازی شد. در ادامه با استفاده از متریک‌های سیمای سرزمین به ارزیابی امنیت اکولوژیک منطقه مطالعه در سطح کلاس و سیمای سرزمین پرداخته شد. نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که مناطق انسان‌ساخت به سرعت رشد کرده و در یک بازه زمانی ۴۰ ساله امنیت اکولوژیک منطقه به سرعت کاهش پیدا کرده است که در نتیجه این کاهش امنیت، خدمات اکوسیستمی منطقه کاهش پیدا خواهد کرد. تغییرات حاصل در ساختار سیمای سرزمین بیانگر آن است که تخریب سیمای سرزمین بیشتر از نوع ایجاد لکه‌های جدید با مساحت کم بوده است. نتایج این پژوهش، با پژوهش تانگ^۱ و همکاران (۲۰۱۷) که تغییرات کاربری اراضی و الگوهای سیمای سرزمین را نتیجه رشد سریع شهرنشینی و افزایش جمعیت می‌دانند، تطابق دارد.

پوشش مرتعی و بایر حوزه لواسانات اگرچه دچار کاهش سطح و تخریب شده است، روند تغییرات آن وضعیت بحرانی اراضی باغی و کشاورزی را نشان

- Adhikari, S., & Southworth, J. (2012). Simulating forest cover changes of Bannerghatta National Park based on a CA-Markov model: a remote sensing approach. *Remote Sensing*, 4(10), 3215-3243. <https://doi.org/10.3390/rs4103215>
- Ajayi, Adedeji, H., Adeofun, C & Awokola, S. (2016). Land Use Change Assessment, Prediction Using Remote Sensing, and GIS Aided Markov Chain Modelling at Eleyele Wetland Area, Nigeria. *Journal of Settlements and Spatial Planning*, 7(1), 51. <https://doi.org/10.19188/06JSSP012016>
- Alberti, M. Marzluff, J. (2004). Ecological resilience in urban ecosystems: Linking urban patterns to human and ecological functions. *Urban Ecosystems* 7(3): 241-265. <https://doi.org/10.1023/B:UECO.0000044038.90173.c6>
- Amiraslani, F & Dragovich, D (2011). Combating desertification in Iran over the last 50 years: An overview of changing approaches, *Journal of Environmental Management*, 92 (1), 1-13. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2010.08.012>
- Arsanjani, J. J., Helbich, M., Kainz, W., Darvishi Bolorani, A (2013). Integration of logistic regression, Markov chain and cellular automata models to simulate urban expansion, *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 21, 265-275. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2011.12.014>.
- Asfaw, M. Worku, H. (2019). Quantification of the land use/land cover dynamics and the degree of urban growth goodness for sustainable urban land use planning in Addis Ababa and the surrounding Oromia special zone. *Journal of Urban Management* 8(1): 145-158. <https://doi.org/10.1016/j.jum.2018.11.002>
- Basumatary, A., Middha, S.K., Usha, T., Brahma, B.K., Goyal, A.K., 2015. Bamboo, as potential sources of food security, economic prosperity and ecological security in North- East India: an overview. *Res. Plant Biol.* 5(2), 17-23. <http://updatepublishing.com/journal/index.php/rip/article/view/2637>
- Bell, M., Levy, J.Z., (2008). The effect of sandstorms and air pollution on cause-specific hospital admissions in Taipei, Taiwan. *Occup. Environ. Med.* 65 (2), 104-111. <https://doi.org/10.1136/oem.2006.031500>

می‌شود. برنامه‌ریزی‌های توسعه این منطقه باید براساس اصول حفاظتی و حمایتی از عرصه‌های باغی و کشاورزی صورت گیرد؛ در غیر این صورت، با روند کنونی، پوشش‌های طبیعی تخریب و طبق پیش‌بینی انجام‌گرفته، کاربری‌های انسان‌ساخت افزایش خواهد یافت.

تشکر و قدردانی

پژوهش حاضر با شماره طرح ۹۸۰۱۰۹۲۶ تحت حمایت صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور انجام گرفته‌است. نویسندگان بر خود لازم می‌دانند از صندوق مذکور تشکر و قدردانی کنند.

منابع

- طالاری، آرش (۱۳۹۵). تحلیل مورفومتری حوضهٔ لواسانات و تأثیر آن بر تغییرات شبکهٔ زهکشی، استاد راهنما: دکتر ابراهیم مقیمی، استاد مشاور: دکتر مجتبی یمانی، دانشگاه تهران. دانشکدهٔ جغرافیا. گروه جغرافیای طبیعی. <https://thesis2.ut.ac.ir/newthesis/UTCatalog/UTThesis/Forms/ThesisBrief.aspx?thesisID=17645dfd-9372-4e77-a786-d37d3eb0381d>
- شفیع‌ثابت، ناصر؛ علیرضا شکیبیا؛ اشکان محمدی (۱۳۹۸). آشکارسازی و پیش‌بینی تغییرات کاربری اراضی با استفاده از مدل CA-Markov مطالعهٔ موردی: محور کلان‌شهر تهران دماوند، فصلنامهٔ علمی-پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سپهر). دورهٔ ۲۸. شمارهٔ ۱۱۱. صفحات ۱۹۰-۱۷۵. http://www.sepehr.org/article_37517.html
- ممبئی، مریم؛ حمیدرضا عسگری (۱۳۹۷). پایش، بررسی و پیش‌بینی روند تغییرات مکانی کاربری اراضی/ پوشش زمین با استفاده از مدل زنجیره‌ای مارکوف، مطالعهٔ موردی: شوشتر- خوزستان، فصلنامهٔ علمی- پژوهشی اطلاعات جغرافیایی (سپهر)، دورهٔ ۲۷. شمارهٔ ۱۰۵. صفحات ۴۷-۳۵. http://www.sepehr.org/article_31471.html

- Dawelbait, M, and Morai, F, (2012). Monitoring desertification in a savannah region in Sudan using Landsat images and spectral mixture analysis. *Journal of Arid Environments*. 8: 45-55. <https://doi.org/10.1016/J.JARIDENV.2011.12.011>
- Du Y, Teillet PM, Cihlar J. (2002). Radiometric normalization of multitemporal high-resolutionsatellite images with quality control for land cover change detection. *Remote sensing of Environment*, 82(1): 123-134. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(02\)00029-9](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(02)00029-9)
- Fan, Ch., Myint,S., (2014). A comparison of spatial autocorrelation indices and landscape metrics in measuring urban landscape fragmentation, *Landscape and Urban Planning* 121,117-128. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2013.10.002>
- Fan, F., Weng, Q, Wang, Y.P., (2007). Land Use and Land Cover Change in Guangzhou, China, from 1998 to 2003, Based on Landsat TM /ETM+ Imagery.. *Sensors* 2007, 7(7), 1323-1342; <https://doi.org/10.3390/s7071323>
- Feist, B.E., Buhle, E.R., Baldwin, D.H., Spromberg, J.A., Damm, S.E., Davis, J.W., Scholz, N.L., (2017). Roads to ruin: conservation threats to a sentinel species across an urban gradient. *Ecol. Appl.* 27, 2382-2396. <https://doi.org/10.1002/eap.1615>
- Feng, Y., Liu, Y., Liu, Y (2017). Spatially explicit assessment of land ecological security with spatial variables and logistic regression modeling in Shanghai, China. *Stoch. Env. Res. Risk A*. 31 (9), 2235-2249. <https://doi.org/10.1007/s00477-016-1330-7>
- Feyisa, G.L; Meilby, H, Jenerette, G.D, and Pauliet, S, (2016). locally optimized separability enhancement indices for urban land cover mapping: Exploring thermal environmental consequences of rapid urbanization in Addis Ababa,Ethiopia.*Remote Sensing of Environment*, No. 1: 14-3. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2015.12.026>
- Ghosh, P., Mukhopadhyay, A., Chanda, A., Mondal, P., Akhand, A., Mukherjee, S., Nayak, S.K, Ghosh, S., Mitra, D., Ghosh, T., Hazra, S., (2017). Application of Cellular automata and Markov-chain model in geospatial environmental modeling-A review.*Remote Sensing Applications: Society and Environment* No.5: 64-77. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2017.01.005>
- Bhatta, B., Saraswati, S., & Bandyopadhyay, D. (2010). Quantifying the degree-of freedom, degree-of-sprawl, and degree-of-goodness of urban growth from remote sensing data. *Applied Geography*, 30 (1), 96-111. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2009.08.001>
- Brunner, D., Lemoine, G., Bruzzone, L., (2010). Earthquake damage assessment of buildings using VHR optical and SAR imagery. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.* 48 (5),2403-2420. <https://doi.org/10.1109/TGRS.2009.2038274>
- Cabral, P., & Zamyatin, A. (2009). Markov processes in modeling land use and land cover changes in Sintra-Cascais, Portugal. *Dyna*, 76(158), 191-198. <https://www.researchgate.net/publication/43070232>
- Chang, Q., Liu, D (2015). Ecological security research progress in China, *Acta Ecologica Sinica*,35(5), 111-121. <https://doi.org/10.1016/j.chnaes.2015.07.001>
- Chen, A., Yao, L., Sun, R., Chen, L (2014). How many metrics are required to identify the effects of the landscape pattern on land surface temperature?, *Ecological Indicators* 45, 424-433. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.05.002>
- Chen, L., Sun, R. and Yang, L., (2018). Regional Eco-security: Concept, Principles and Pattern Design, *Challenges Towards Ecological Sustainability in China*,19-37. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-03484-92>.
- Clarke, K. C., & Gaydos, L. J. (1998). Loose-coupling a cellular automaton model and GIS: long-term urban growth prediction for San Francisco and Washington/ Baltimore. *International journal of geographical information science*, 12(7), 699-714. <https://doi.org/10.1080/136588198241617>
- Congalton, R.G (1991). A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data, *Remote Sensing of Environment*, 37, 35-46. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(91\)90048-B](https://doi.org/10.1016/0034-4257(91)90048-B)
- Čuček, L., Klemeš, J.J., Varbanov, P.S., Kravanja, Z (2015). Significance of environmental footprints for evaluating sustainability and security of development. *Clean Techn. Environ. Policy* 17 (8), 2125-2141. <https://doi.org/10.1007/s10098-015-0972-3>
- Cumming, G.S., Allen, C.R., (2017). Protected areas as social-ecological systems: perspectives from resilience and social-ecological systems theory. *Ecol. Appl.* 27, 1709-1717. <https://doi.org/10.1002/eap.1584>

- Kityuttachai, K., Tripathi, N. K., Tipdecho, T., & Shrestha, R. (2013). CA-Markov analysis of constrained coastal urban growth modeling: Hua Hin seaside city, Thailand. *Sustainability*, 5(4), 1480-1500. <https://doi.org/10.3390/su5041480>
- Kong, F., Ban, Y., Yin, H., James, P., Dronova, I., (2017). Modeling stormwater management at the city district level in response to changes in land use and low impact development. *Environ. Model. Softw* 95, 132-142. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2017.06.021>.
- Kullenberg, G. (2002). Regional co-development and security: a comprehensive approach. *Ocean Coastal Manag.* 45 (11-12), 761-776. [https://doi.org/10.1016/S0964-5691\(02\)00105-9](https://doi.org/10.1016/S0964-5691(02)00105-9)
- Li, J., Song, C., Cao, L., Zhu, F., Meng, X., Wu, J., (2011). Impacts of landscape structure on surface urban heat islands: a case study of Shanghai, China. *Remote Sens. Environ.* 115, 3249-3263. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.07.008>.
- Li, X., Tian, M., Wang, H., Wang, H., Yu, J., (2014). Development of an ecological security evaluation method based on the ecological footprint and application to a typical steppe region in China. *Ecological Indicators* 39 (2014) 153-159. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2013.12.014>
- Li, Z.T., Yuan, M. J, Hu, M.M., Wang, Y.F., Xia, B.Ch., (2019). Evaluation of ecological security and influencing factors analysis based on robustness analysis and the BP-DEMALTE model: A case study of the Pearl River Delta urban agglomeration, *Ecological Indicators* 101,595-602. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.01.067>
- Li, Zh., XU, L (2010). Evaluation indicators for urban ecological security based on ecological network analysis, *Procedia Environmental Sciences* 2 (2010) 1393-1399. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2010.10.151>
- Lillesand T, Kiefer RW, Chipman J. (2014). *Remote sensing and image interpretation*. John Wiley & Sons, 704. <https://www.amazon.com/Remote-Sensing-Interpretation-Thomas-Lillesand/dp/0470052457>
- Liu, M., Hu, Y. M., Li, Ch.L., (2017) . Landscape metrics for three-dimensional urban building pattern Recognition, *Applied Geography* 87,66-72. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2017.07.011>
- Liu, P., Jia, S., Han, R., and Zhang, H., (2018). Landscape Pattern and Ecological Security Assessment and Prediction Using Remote Sensing Approach, *Journal of Sensors* Volume 2018, Article ID 1058513, 14. <https://doi.org/10.1155/2018/1058513>.
- Liu, Y., Peng, J., Wang, Y., (2018). Efficiency of landscape metrics characterizing urban land surface Temperature, *Landscape and Urban Planning* 180 (2018) 36-53. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2018.08.006>
- Gong, W., Yuan, L., Fan, W., & Stott, P. (2015). Analysis and simulation of land use spatial pattern in Harbin prefecture based on trajectories and cellular automata-Markov modelling. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 34, 207-216. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2014.07.005>
- Habibi, S., & Asadi, N. (2011). Causes, results and methods of controlling urban sprawl. *Procedia Engineering*, 21, 133-141. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2011.11.1996>
- Halmy, M. W. A., Gessler, P. E., Hicke, J. A., & Salem, B. B. (2015). Land use/land cover change detection and prediction in the north-western coastal desert of Egypt using Markov-CA. *Applied Geography*, 63, 101-112. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2015.06.015>
- Han, B. Liu, H. Wang, R. (2015). Urban ecological security assessment for cities in the Beijing-Tianjin-Hebei metropolitan region based on fuzzy and entropy methods, *Journal of Ecological Modelling*, Volume 318, PP. 217-225. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2014.12.015>
- He, C., Liu, Z., Tian, J., Ma, Q., (2014). Urban expansion dynamics and natural habitat loss in China: a multiscale landscape perspective. *Glob. Chang. Biol.* 20, 2886-2902. <https://doi.org/10.1111/gcb.12553>.
- Hu, Z., & Lo, C. P. (2007). Modeling urban growth in Atlanta using logistic regression. *Computers, Environment and Urban Systems*, 31(6), 667-688. <https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2006.11.001>
- Inkoom, J.N., Frank ,S., Greve, K., Walz, U., Fürst, Ch. (2018) . Suitability of different landscape metrics for the assessments of patchy landscapes in West Africa, *Ecological Indicators* 85, 117-127. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.10.031>
- Jinhua, M., Zhengdong, Z., Yuzhi, Y., & Caiwen, D. (2015). Landscape Pattern Analysis and Dynamic Prediction of Liuxi Basin in South China Based on CA-Markov Model. *Journal of South China Normal University (Natural Science Edition)*, 47(4), 122-127. <https://doi.org/10.6054/j.jscnun.2014.12.042>
- Kamasoko, C., Aniya, M., Adi, B., and Manjoro, M., (2009). Rural sustainability under threat in Zimbabwe - Simulation of future land use/cover changes in the Bindura district based on the Markov-cellular automata model, *Applied Geography*, 29, 3, 435-447. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2008.10.002>
- Kim, J., (2019). Subdivision design and landscape structure: Case study of The Woodlands, Texas, US, *Urban Forestry & Urban Greening* 38, 232-241. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2019.01.006>

- Mõisja, K., Uuemaa, E., Oja, T (2016). Integrating small-scale landscape elements into land use/cover: The impact on landscape metrics' values, *Ecological Indicators* 67, 714-722.
<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.03.033>
- Morelli, F., Benedetti, Y., Šimová, P., (2018). Landscape metrics as indicators of avian diversity and community measures, *Ecological Indicators* 90 (2018) 132-141.
<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2018.03.011>
- Muller, M. R., & Middleton, J (1994). A Markov model of land-use change dynamics in the Niagara Region, Ontario, Canada. *Landscape Ecology*, 9(2), 151-157.
<https://doi.org/10.1007/BF00124382>
- Myint, S. W., & Wang, L. (2006). Multicriteria decision approach for land use land cover change using Markov chain analysis and a cellular automata approach. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 32(6), 390-404.
<https://doi.org/10.5589/m06-032>
- Pan, Zh., Wang, G., Hu, Y., Cao, B (2019). Characterizing urban redevelopment process by quantifying thermal dynamic and landscape analysis, *Habitat International* 86, 61-70.
<https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2019.03.004>
- Peng, J., Liu, Y., Liu, Z., Yang, Y., (2017a). Mapping spatial non-stationarity of human-natural factors associated with agricultural landscape multifunctionality in Beijing-Tianjin- Hebei region, China. *Agric. Ecosyst. Environ.* 246, 221-233.
<https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.06.007>
- Peng, J., Tian, L., Liu, Y., Zhao, M., Hu, Y., Wu, J (2017). Ecosystem services response to urbanization in metropolitan areas: thresholds identification. *Sci. Total Environ.* 607-608, 706-714.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.06.218>
- Peng, J., Yang Y., Yanxu L., Yi'na H., Yueyue D., Jeroen M., Sijing Q. (2018). Linking ecosystem services and circuit theory to identify ecological security patterns, *Science of the Total Environment*, 644 (2018) 281-790.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.06.292>
- Sahu, S.K., (2011). Localized food systems: the way towards sustainable livelihoods and ecological security- a review. *J. Anim. Plant Sci.* 21(2), 388-395.
<https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20113405569>
- Sang, L., Zhang, C., Yang, J., Zhu, D., & Yun, W. (2011). Simulation of land use spatial pattern of towns and villages based on CA-Markov model. *Mathematical and Computer Modelling*, 54(3-4), 938-943.
<https://doi.org/10.1016/j.mcm.2010.11.019>
- Liu, Y., Wei, X., Li, P., Li, Q (2016). Sensitivity of correlation structure of class- and landscape-level metrics in three diverse regions, *Ecological Indicators* 64, 9-19.
<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.12.021>
- Louca, M., Vogiatzakis, I. N., & Moustakas, A. (2015). Modelling the combined effects of land use and climatic changes: Coupling bioclimatic modelling with Markov-chain Cellular Automata in a case study in Cyprus. *Ecological Informatics*, 30, 241-249.
<https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2015.05.008>
- Lu, J., (2015) Landscape ecology, urban morphology, and CBDs: An analysis of the Columbus, Ohio Metropolitan Area, *Applied Geography* 60, 301-307.
<https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2014.11.004>
- Ma, L., Bo, J., Li, X., Fang, F., Cheng, W (2019). Identifying key landscape pattern indices influencing the ecological security of inland river basin: The middle and lower reaches of Shule River Basin as an example, *Science of the Total Environment* 674 (2019) 424-438.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.04.107>
- Mas, J. F; Kolb, M; Paegelow, M. & Camacho Olmedo, M.T. (2014). Inductive pattern- based land use/ cover change models: A comparison of Four software packages. *Environmental Modelling & software*. 51: 94-111.
<https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2013.09.010>
- Mas, J.F., H. Puig, H. J.L. Palacio, J.L. & A. Sosa-López. A (2004). Modelling deforestation using GIS and artificial neural networks, *Environmental Modeling & Software*, 19: 461-471.
[https://doi.org/10.1016/S1364-8152\(03\)00161-0](https://doi.org/10.1016/S1364-8152(03)00161-0)
- Matthews, R. B., Gilbert, N. G., Roach, A., Polhill, J. G., & Gotts, N. M. (2007). Agent-based land-use models: a review of applications. *Landscape Ecology*, 22(10), 1447-1459.
<https://doi.org/10.1007/s10980-007-9135-1>
- Mayes, M.T, Mustard, J.F. and Melillo, J.M, (2015). Forest cover change in Miombo Woodlands: Modeling land cover of Africa dry tropical forests with linear spectral mixture analysis. *Remote Sensing of Environment*. No. 165: 203-215.
<https://doi.org/10.1016/j.rse.2015.05.006>
- Miller, J.D., Brewer, T (2018). Refining flood estimation in urbanized catchments using landscape metrics, *Landscape and Urban Planning* 175, 34-49.
<https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2018.02.003>
- Mitsova D, Shuster W, Wang X. (2011). A cellular automata model of land cover change to integrate urban growth with open space conservation. *Landscape and Urban Planning*, 99(2): 141-153.
<https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2010.10.001>

- Tayyebi, A., Pijanowski, B. C., & Tayyebi, A. H. (2011). An urban growth boundary model using neural networks, GIS and radial parameterization: An application to Tehran, Iran. *Landscape and Urban Planning*, 100(1-2), 35-44.
<https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2010.10.007>
- Teng, M., Wu, C., Zhou, Z., Lord, E., Zheng, Z., (2011). Multipurpose greenway planning for changing cities: a framework integrating priorities and a least-cost path model. *Landsc. Urban Plann.* 103, 1-14.
<https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2011.05>.
- Tsiouri, V., Kakosimos, K.E., Kumar, P., (2015). Concentrations, sources and exposure risks associated with particulate matter in the Middle East Area-a review. *Air Quality, Atmosphere & Health* 8 (1), 67-80.
<https://doi.org/10.1007/s11869-014-0277-4>
- Upadhyay, T., Solberg, B., and Sankhayan, P.L, (2006), Use of models to analyses land-use changes, forest/soil degradation and carbon sequestration with special reference to Himalayan region: A review and analysis, *Forest Policy and Economics*, 9, 4, 349-371.
<https://doi.org/10.1016/j.forpol.2005.10.003>
- Valeria, B., Facundo, S., Virginia, C., Marina, H., (2015). Ecosystem loss assessment following hydroelectric dam flooding: The case of Yacretá, Argentina, *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 1, 50-60.
<https://doi.org/10.1016/j.rsase.2015.06.003>
- Vanderhaegen, S., Canters, Frank., (2017). Mapping urban form and function at city block level using spatial metrics, *Landscape and Urban Planning* 167, 399-409.
<https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2017.05.023>
- Vorosmarty, C.J., McIntyre, P.B., Gessner, M.O., Dudgeon, D., Prusevich, A., Green, P., Glidden, S., Bunn, S.E., Sullivan, C.A., Liermann, C.R., Davies, P.M. (2010). Global threats to human water security and river biodiversity. *Nature* 467 (7315), 555-561. <https://doi.org/10.1038/nature09440>
- Wang Y, Mitchell BR, Nugranad-Marzilli J, Bonyng G, Zhou Y, Shriver G. (2009). Remote sensing of land-cover change and landscape context of the National Parks: A case study of the Northeast Temperate Network. *Remote Sensing of Environment*, 113(7): 1453-1461.
<https://doi.org/10.1016/j.rse.2008.09.017>
- Schwoertzig, E., Poulin, N., Hardion, L., & Trémolières, M. (2016). Plant ecological traits highlight the effects of landscape on riparian plant communities along an urban-rural gradient. *Ecological Indicators*, 61: 568-576.
<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.10.008>
- Serra-Llobet, A., Hermida, M.A., (2017). Opportunities for green infrastructure under Ecuador's new legal framework. *Landscape and Urban Planning*. 159, 1-4.
<https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2016.02.004>
- Shi, Y., Li, J., Xie, M., (2018). Evaluation of the ecological sensitivity and security of tidal flats in Shanghai, *Ecological Indicators*, 85, 729-741.
<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.11.033>
- Sohl, T. L, and Claggett, P.R., (2013). Clarity versus complexity: Land-use modeling as a practical tool for decision-makers, *Journal of Environmental Management*, 129, 235-243.
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2013.07.027>
- Su, S., Jiang, Z., Zhang, Q., & Zhang, Y. (2011). Transformation of agricultural landscapes under rapid urbanization: a threat to sustainability in Hang-Jia-Hu region, China. *Applied Geography*, 31, 439-449.
<https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2010.10.008>
- Su, W. Gu, C. Yang, G. Chen, S. Zhen, F. (2010). Measuring the impact of urban sprawl on natural landscape pattern of the Western Taihu Lake watershed, China. *Landscape and Urban Planning* 95(1-2): 61-67.
<https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2009.12.003>
- Su, Y., Chen, X., Liao, J., Zhang, H., Wang, C., Ye, Y., Wang, Y., (2016). Modeling the optimal ecological security pattern for guiding the urban constructed land expansions. *Urban For. Urban Green*. 19, 35-46.
<https://doi.org/10.1016/j.ufug.2016.06.013>
- Subedi, P., Subedi, K., & Thapa, B. (2013). Application of a hybrid cellular automaton-markov (CA-Markov) model in land-use change prediction: A case study of Saddle Creek Drainage Basin, Florida. *Applied Ecology and Environmental Sciences*, 1(6), 126-132.
<https://doi.org/10.12691/aees-1-6-5>
- Sui, D. Z., & Zeng, H. (2001). Modeling the dynamics of landscape structure in Asia's emerging desakota regions: a case study in Shenzhen, *Landscape and Urban Planning*, 53 (1), 37-52.
[https://doi.org/10.1016/S0169-2046\(00\)00136-5](https://doi.org/10.1016/S0169-2046(00)00136-5)

- Yang, Q., Li, X., & Shi, X (2008). Cellular automata for simulating land use changes based on support vector machines. *Computers & geosciences*, 34(6), 592-602.
<https://doi.org/10.1016/j.cageo.2007.08.003>
- Yang, Y., Hu, C., & Abu-Omar, M. M (2012). Conversion of glucose into furans in the presence of AlCl₃ in an ethanol-water solvent system. *Bioresource technology*, 116, 190-194.
<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2012.03.126>
- Yu, K.(1996). Security patterns and surface model in landscape ecological planning. *Landscape Urban Plann.* 36, 1-17.
[https://doi.org/10.1016/S0169-2046\(96\)00331-3](https://doi.org/10.1016/S0169-2046(96)00331-3).
- Yu, M., Huang, Y., Cheng, X., Tian, J (2019) . An ArcMap plug-in for calculating landscape metrics of vector data, *Ecological Informatics*, 50, 207-219. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2019.02.004>
- Zhaoxue, L.Linyu X (2010). Evaluation indicators for urban ecological security based on ecological network analysis. *International Society for Environmental Information Sciences 2010 Annual Conference. Procedia Environmental Sciences*, 2(10) . 1399-393.
<https://doi.org/10.1016/j.proenv.2010.10.151>
- Zheng, Zh., Du, Sh., Wang, Y.Ch., Wang, Q (2018). Mining the regularity of landscape-structure heterogeneity to improve urban land-cover mapping, *Remote Sensing of Environment*, 214, 14-32.
<https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.05.019>
- Zhou, K., Liu, Y., Tan, R., Song, Y (2014). Urban dynamics, landscape ecological security, and policy implications: A case study from the Wuhan area of central China, *Cities* 41 141-153.
<https://doi.org/10.1016/j.cities.2014.06.010>
- Wang, H, Qin, F., Zhang, X (2019). A spatial exploring model for urban land ecological security based on a modified artificial bee colony algorithm, *Ecological Informatics* 50(2019)51- 61.
<https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2018.12.009>
- Wang, Q. H., Kalantar-Zadeh, K., Kis, A., Coleman, J. N., & Strano, M. S(2012). Electronics & optoelectronics of two-dimensional transition metal dichalcogenides. *Nature nanotechnology*, 7(11), 699-712.
<https://doi.org/10.1038/nnano.2012.193>
- Weber, N., Haaseb, D., Franck, U (2014). Traffic-induced noise levels in residential urban structures using landscape metrics as indicators, *Ecological Indicators* 45,611-621.
<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.05.004>
- Wolfram, S. (1984). Cellular automata as models of complexity. *Nature*311.5: 419-424.
<https://doi.org/10.1038/311419A0>
- Wu, J., Adams, R. M., Kling, C. L., & Tanaka, K. (2004). From microlevel decisions to landscape changes: an assessment of agricultural conservation policies. *American Journal of Agricultural Economics*, 86(1), 26-41.
<https://ideas.repec.org/a/oup/ajagec/v86y2004i1p26-41.html>
- Wu, X., Liu, S., Sun, Y., An, Y., Dong, Sh., Liu., G., (2019). Ecological security evaluation based on entropy matter-element model: A case study of Kunming city, southwest China, *Ecological Indicators* 102, 469-478.
<https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2019.02.057>
- Wyman, M. S; Stein, T.V; (2010). Modeling social and land-use/land-cover change data to assess drivers of smallholder deforestation in Belize, *Applied Geography*, Vol.30, No.3:329-342.
<https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2009.10.001>
- Xiao, DN., Chen, WB., Guo, FL., (2002). On the basic concepts and contents of ecological security. *Chinese Journal Applied Ecology* 13(3):354-358.
<http://www.cjae.net/EN/Y2002/V13/354>

