

Spatiotemporal Modeling of Urban Expansion Patterns in Iran

Seyed Ahmad Hoseini^{1✉}, Mehdi Samadi²

1. Assistant Professor of Urban Engineering, Lorestan University, Lorestan, Iran

✉ E-mail: hosseini.sa@lu.ac.ir

2. Ph.D Student of Remote Sensing and GIS, Faculty of Geography, Tehran University, Tehran, Iran

E-mail: M.samadi@ut.ac.ir

How to Cite: Hoseini, S. A.; Samadi, M. (2026). Spatiotemporal Modeling of Urban Expansion Patterns in Iran. *Geography and Development*, 24 (83), 213-242.

DOI: <http://dx.doi.org/10.22111/GDIJ.2025.48393.3638>

Received:

20 April 2024

Received in revised form:

15 December 2025

Accepted:

21 December 2025

Published online:

28 May 2026

Keywords:

Urban expansion modeling,
Urbanization,
Cellular automata,
DMSP-OLS,
Iran.

ABSTRACT

Urbanization has intensified in developing countries over recent decades, making it crucial to understand not only the rate of urban growth but also the spatiotemporal patterns of land-use change. This study proposes a national-scale framework for mapping and analyzing predictable urban expansion patterns in Iran. Multi-temporal DMSP/OLS nighttime light data (1992, 2002, 2013) and Landsat imagery (1992, 2002, 2013, 2022) were employed to extract urban extents and validate the results using maximum likelihood classification for selected cities, including Tehran-Karaj, Isfahan, Tabriz, and Shiraz. The DMSP/OLS-derived urban patterns demonstrated strong agreement with Landsat-based results, with an average overall accuracy of 84.11% and a kappa coefficient of 0.51. Regression analysis revealed a significant linear relationship between constructed land area, population, and GDP, with the highest correlation observed between GDP and urban land ($R^2 = 0.894$). Using the CA-Markov model, urban land is projected to increase from approximately 14,948 km² in 2013 to over 26,156 km² by 2031 (kappa = 0.709). These findings provide a robust basis for policymakers to evaluate urban development strategies and support sustainable urban planning at the national level.



© the Author(s).

Publisher: University of Sistan and Baluchestan

1. Introduction

Timely and accurate information on urban expansion is essential for understanding the drivers of urbanization and assessing its impacts. Producing such information at national scales typically requires substantial human and computational resources, making multi-year, countrywide mapping of urban growth using conventional remote-sensing data challenging. Nighttime light (NTL) data derived from DMSP imagery have been widely used as a proxy for delineating urbanized areas due to their suitable spatial and temporal resolution for large-scale urban expansion studies.

As a developing country, Iran has experienced significant transformations in urbanization. Previous studies in Iran have relied mainly on population data or satellite imagery to assess urban patterns, but these efforts have typically focused on individual cities or small regions; no nationwide satellite-based assessment has yet examined the overall pattern of urbanization across the entire country. Therefore, the aims of this study are: (1) to assess the extent of Iran's urban expansion using DMSP/OLS data from 1992 to 2013, (2) to quantitatively evaluate the accuracy of these data, and (3) to predict urban growth through 2030.

2. Materials and Methods

Version-4 DMSP/OLS NTL data from 1992–2013 were used in this study. In addition, Landsat TM (1992, 2002) and Landsat 8 (2013) imagery were employed to extract built-up areas for selected major cities and to validate the NTL-derived urban extents. After deriving built-up areas from NSL data, nationwide urban growth was simulated using the CA–Markov model.

3. Results and Discussion

A time series of DMSP NTL imagery was analyzed to examine the relationship between built-up expansion and population and economic indicators. Linear regression analysis showed strong correlations between nighttime lights and national population, urban population, and GDP. The coefficient of determination (R^2) was 0.838 for total population, 0.854 for urban population, and 0.894 for GDP, the latter representing the strongest linear relationship.

To determine optimal thresholds for identifying urban areas, Landsat 8 imagery from 2013 was used. Built-up areas for Tehran–Karaj, Isfahan, Tabriz, and Shiraz were extracted using Maximum Likelihood Classification. Comparisons indicated that NSL-based urban extents have an average overall accuracy of 84.11% and a mean Kappa value of 0.51 relative to Landsat-derived results.

Urban growth in the Greater Tehran region was simulated using the CA–Markov model based on land-use maps from 1992 and 2013. The results show that by 2031 (1410), the built-up area is expected to exceed 26,156 km². Nationwide projections indicate a substantial increase in urbanized land: from approximately 14,948 km² in 2013 to more than 26,156 km² by 2031, representing an 8,737 km² increase over the 18-year period and an annual growth rate of 6.22%.

4. Conclusion

This study presents the first national-scale assessment and modeling of urban expansion in Iran using multi-temporal DMSP/OLS data. From 1992 to 2013, built-up areas increased from about 6,211 km² to 14,948 km², with an annual growth rate of 3.97%. Strong linear relationships were observed between built-up expansion and demographic and economic indicators. Projections to 2031 suggest unprecedented increases in urban land cover. The findings provide essential insights for evaluating development scenarios and offer a foundation for formulating and adjusting national-level urban planning policies to support sustainable urban development.

Keywords: Urban expansion modeling, Urbanization, Cellular automata, DMSP-OLS, Iran.

References

- Abdolamir, Karam. (2005). Land suitability analysis for physical development along the northwest axis of Shiraz using multi-criteria evaluation (MCE) in GIS, *Geographical Research*, 54, 93–106.
https://jrg.ut.ac.ir/article_17772_4500671a4a1764fbfc8bf7698d44a79a.pdf
- Aburas, M. M., Ho, Y. M., Ramli, M. F., & Ash'aari, Z. H. (2018). Monitoring and assessment of urban growth patterns using spatio-temporal built-up area analysis. *Environmental Monitoring and Assessment*, 190(3).
[doi:10.1007/s10661-018-6522-9](https://doi.org/10.1007/s10661-018-6522-9).
- Arnold, J.; Kleemann, J.; Fürst, C. (2018). A Differentiated Spatial Assessment of Urban Ecosystem Services Based on Land Use Data in Halle, Germany. *Land*, 7, 101.
<https://doi.org/10.3390/land7030101>.
- Amanpour, S., Alizadeh, M. and Damanbagh, S. (2020). Identifying and Analyzing the Pattern of Development of Ahvaz City in the Period 1981- 2021. *Journal of Sustainable Urban & Regional Development Studies (JSURDS)*, 1(1), 77-96.
https://www.srds.ir/article_122922_525149bd1efc77df6e2c274472552ad8.pdf

- Bagheri, A. H., Arasteh, M., & Hajipoor, K. (2024). Analysis of the Urban Growth Pattern During the Last Two Decades Through Spatial Metrics; Case Study: Shiraz City. *Geography and Environmental Sustainability*, 14(4), 1-19.
doi: [10.22126/ges.2024.10846.2771](https://doi.org/10.22126/ges.2024.10846.2771)
- Baugh, Kimberly, Elvidge, Christopher D., Ghosh, Tilottama, & Ziskin, Daniel. (2010). Development of a 2009 stable lights product using DMSP-OLS data. *Proceedings of the 30th Asia-Pacific Advanced Network Meeting*, 114–130.
<https://doi.org/10.7125/APAN.30.17>
- Cao, Xin, Chen, Jian, Imura, Hiroaki, & Higashi, Osamu. (2009). A SVM-based method to extract urban areas from DMSP-OLS and SPOT VGT data. *Remote Sensing of Environment*, 113, 2205–2209.
<https://doi.org/10.1016/j.rse.2009.06.001>
- Chen, Jian, Zhuo, Li, Shi, Peng, & Ichinose, Tomohiro. (2003). A study of the urbanization process in China based on DMSP/OLS data. *Journal of Remote Sensing*, 7(3), 168–175.
<https://doi.org/10.11834/jrs.20030302>
- Chen, D., Yang, X., Li, X., Fu, H., & Duan, Y. (2025). Quantifying urban land expansion using remote sensing data and multi-evaluation indices in the Lower Yellow River, China. *Environmental and Sustainability Indicators*, 26, Article 100643.
<https://doi.org/10.1016/j.indic.2025.100643>
- Cheng, Y., Zhao, L., Chakraborty, T. C., Oleson, K., Demuzere, M., Liu, X., Che, Y., Liao, W., Zhou, Y., & Li, X. (2024). U-Surf: A global 1 km spatially continuous urban surface property dataset for kilometer-scale urban-resolving Earth system modeling. *Earth System Science Data*, 17(5), 2147-2174.
<https://doi.org/10.5194/essd-17-2147-2025>
- Dokht Livarjani, Parvin, & Sheikhe Azami, Ali. (2009). Analysis of primate-city phenomenon in Iran in 2006, *Geographical Space Journal*, 9(27), 181–202.
<https://www.magiran.com/p663742>
- Ebrahimzadeh, Isa, Vareshi, Hamidreza, & Akbari, Mahmoud. (2010). The role of rural migration in informal settlements: The case of Ahvaz, *Rural Research Quarterly*, (1).
<https://sid.ir/paper/180924/fa>
- Elvidge, C. D., Baugh, K. E., Kihn, E. A., Kroehl, H. W., & Davis, E. R. (1997). Mapping city lights with nighttime data from the DMSP Operational Linescan System. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 63, 727-734.
<https://www.asprs.org/publications/pers>
- Elvidge, C. D., Imhoff, M. L., Baugh, K. E., Hobson, V. R., Nelson, I., Safran, J., et al, (2001). Night-time lights of the world: 1994-1995. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 56, 81-99.
[https://doi.org/10.1016/S0924-2716\(01\)00040-5](https://doi.org/10.1016/S0924-2716(01)00040-5)
- Elvidge, C. D., Tuttle, B. T., Sutton, P. C., Baugh, K. E., Howard, A. T., Milesi, C., et al. (2007). Global distribution and density of constructed impervious surfaces. *Sensors*, 7, 1962-1979.
<https://doi.org/10.3390/s7091962>
- Elvidge, C. D., Ziskin, D., Baugh, K. E., Tuttle, B. T., Ghosh, T., Pack, D. W., et al, (2009). A fifteen-year record of global natural gas flaring derived from satellite data. *Energies*, 2, 595-622.
<https://doi.org/10.3390/en20300595>
- Farhoodi, Rahmatollah, Zangeneh Shahroki, Saeed, & Saed Moucheshi, Ramin. (2009). Spatial distribution of population in Iran's urban system: 1956–2009 *Human Geography Research*, (68).
https://jhgr.ut.ac.ir/article_19819_74a853cbc60486153cff89173152eab2.pdf
- Gharagozloo, Alireza, et al, (2009). Assessment of urban physical changes using high-resolution satellite data. *Environmental Science & Technology*, 11(1).
SID. <https://sid.ir/paper/366813/fa>

- Gheybi, Mohammad, & Jajarmi, Kazem. (2011). Analysis of urban system changes in Tehran Province during 1976-2006, *New Perspectives in Human Geography*, 3(3), 27–42.
<https://www.magiran.com/p976656>
- Guan, Dabo, Li, Hong, Inohae, Takashi, Su, Weiming, Nagaie, Takayuki, & Hokao, Kazunori. (2011). Modeling urban land use change by integrating cellular automata and Markov model. *Ecological Modelling*, 222, 3761–3772.
[doi:10.1016/j.ecolmodel.2011.09.009](https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2011.09.009)
- Hajizadeh Sheikhanlu, A. , Khavari, H. and Ramezani, M. (2022). The Analysis of Urban Development and Growth Pattern and Distribution using Satellite Images (Study Area: Kashmar City). *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 11(3), 269-283.
[doi: 10.22067/geoh.2022.76794.1231](https://doi.org/10.22067/geoh.2022.76794.1231)
- He, Chuan, Okada, Nobuyuki, Zhang, Qingyu, Shi, Peng, & Li, Jian. (2008). Modelling dynamic urban expansion with a potential model and cellular automata. *Landscape and Urban Planning*, 86, 79–91.
doi.org/10.1016/j.landurbplan.2007.12.010
- He, Chuan, Shi, Peng, Li, Jian, Chen, Jian, Pan, Ying, Li, Jian, et al, (2006). Restoring China's 1990s urbanization using non-radiance-calibrated DMSP/OLS data. *Chinese Science Bulletin*, 51(13), 1614–1620.
<https://doi.org/10.1007/s11434-006-2006-3>
- Henderson, Michael, Yeh, Emily T., Gong, Peng, Elvidge, Christopher D., & Baugh, Kimberly E. (2003). Validating urban boundaries from global nighttime imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 24(3), 595–609.
<https://doi.org/10.1080/01431160304982>
- Hosseini, Seyed Ahmad, Modiri, Mahdi, Salehi Mishani, Hidar, & Mansourian, Hossein. (2015). Evaluation of urbanization dynamics in Iran using multi-temporal DMSP/OLS images. *Geographical Information Quarterly (Sepehr)*, 24(96), 21-37.
[http://dx.doi.org/10.1590/0001-3765201521566178](https://dx.doi.org/10.1590/0001-3765201521566178)
- Imhoff, Michael L., Lawrence, William T., Stutzer, David C., & Elvidge, Christopher D. (1997). Mapping urban areas using composite DMSP/OLS “City Lights” data. *Remote Sensing of Environment*, 61, 361–370.
[https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(97\)00046-1](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(97)00046-1)
- Javaheri, B. and ebrahimi, S. (2022). Investigating the Factors Affecting Urbanization Rates in Iranian Provinces: Spatial Econometric Method. *Motaleate Shahri*, 11(42), 49-60.
[doi: 10.34785/J011.2022.599](https://doi.org/10.34785/J011.2022.599)
- Li, X., & Zhou, Y. (2017). Urban mapping using DMSP/OLS stable night-time light: A review. *International Journal of Remote Sensing*, 38(21), 5879-5907.
[DOI:10.1080/01431161.2016.1274451](https://doi.org/10.1080/01431161.2016.1274451)
- Li, X., Gar-On, Y. (2004). Data mining of cellular automata's transition rules. *Int J Geogr Inf Sci* 18:723-744.
[doi:10.1080/13658810410001705325](https://doi.org/10.1080/13658810410001705325)
- Liu, J., Zhang, Z., Xu, X., Kuang, W., Zhou, W., Zhang, S., et al, (2010). Spatial patterns and driving forces of land use change in China during the early 21st century. *Journal of Geographical Sciences*, 20(4), 483-494.
<https://doi.org/10.1007/s11442-010-0483-4>
- Liu, M., Tang, X., Liu, J., & Zhuang, D. (2001). Research on scaling effect based on 1-km grid cell data. *Journal of Remote Sensing*, 5(3), 183-190.
<https://doi.org/10.11834/jrs.20010305>

- Liu, Z., He, C., Zhang, Q., Huang, Q. & Yang, Y. (2012). Extracting the dynamics of urban expansion in China using DMSP-OLS nighttime light data from 1992 to 2008. *Landscape and Urban Planning*, 106, 62-72.
<https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2012.02.013>
- Lyu, J. Urbanization initiates divergent evolution and eco-evolutionary feedbacks. *Nat. Plants* (2025).
<https://doi.org/10.1038/s41477-025-02193-5>
- Ma, Tian, Zhou, Chuan, Pei, Tian, Haynie, Samantha, & Fan, Jian. (2012). Estimating urbanization dynamics using DMSP/OLS time series. *Remote Sensing of Environment*, 124, 99–107.
<https://doi.org/10.1016/j.rse.2012.04.018>
- Milesi, Cristina, Elvidge, Christopher D., Nemani, Ramakrishna R., & Running, Steven W. (2003). Urban development impacts on net primary productivity. *Remote Sensing of Environment*, 86, 401–410.
[https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(03\)00081-6](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(03)00081-6)
- Mirabadi, M. , Besharatifar, S. and Karimi, A. (2018). Spatial Pattern and Related Factors Affecting the Contemporary Growing Urbanism in Iran (Emphasizing on Development and Livelihood Indices). *Geographical Urban Planning Research (GUPR)*, 6(3), 605-627.
[doi: 10.22059/jurbangeo.2018.231102.698](https://doi.org/10.22059/jurbangeo.2018.231102.698)
- Owen, Thomas W., Gallo, Kevin P., Elvidge, Christopher D., & Baugh, Kimberly E. (1998). Categorizing urban environments with DMSP-OLS light frequency. *International Journal of Remote Sensing*, 19(17), 3451–3456.
<https://doi.org/10.1080/014311698214127>
- Pourmohammadi, Mohammad Reza., Jamali, Firoz., Akbar Asghari Zamani. (2008). Evaluating spatial–physical expansion of Tabriz (1976–2005) *Geographical Research*, 63, 29–46.
https://jhgr.ut.ac.ir/article_19770.html
- Pumain, Denise, (2006). The Urbanization presses, in *Demography : analysis and synthesis : a treatise in population studies / Graziella Caselli, Jacques Vallin, and Guillaume Wunsch; with contributions by Daniel Courgeau, Volume 2*, London: Academic Press.
<https://www.elsevier.com/books/demography/caselli/978-0-12-765660-1>
- Ramezani, Nafiseh, & Jafari, Reza. (2014). Land use/cover change detection using CA–Markov: Esfarayen case study *Geographical Research Quarterly*, 29(4), 83–96.
<http://georesearch.ir/article-۱-۳۲۵-fa.html>
- Sutton, P. C., Cova, T. J., & Elvidge, C. D. (2006). Mapping “Exurbia” in the conterminous United States using nighttime satellite imagery. *Geocarto International*, 21(2), 39-45.
<https://doi.org/10.1080/10106040608542382>
- Sutton, P., Roberts, C., Elvidge, C. & Meij, H., (1997). A comparison of nighttime satellite imagery and population density for the continental United States. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 63 (11), 1303-1313.
<https://www.semanticscholar.org/paper/A-Comparison-of-Nighttime-Satellite-Imagery-and-for-Sutton-Roberts/cf6f0db235054814d141f19a64dfe2c26192bd51>
- Sutton, P., Roberts, D., Elvidge, C., & Baugh, K. (2001). Census from Heaven: An estimate of the global human population using night-time satellite imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 22, 3061-3076.
<https://doi.org/10.1080/01431160010007015>
- Taghvaei, Masoud. (2000). Application of rank–size model in Iran’s urban network. *Journal of the Faculty of Literature and Humanities, University of Isfahan*, 2(22–23).
- Taghvaei, Masoud, & Mousavi, Mirajaf. (2011). Critique of primate-city indices and a new proposal *Journal of Geography and Environmental Studies*, 32–42.
<https://ensani.ir/file/download/article/20120326120423-1154-3.pdf>

- United Nations. (2012). World Urbanization Prospects: The 2011 Revision United Nations (Population Division of the Department of Economic and Social Affairs), New York. ESA/P/WP/224.
<https://desapublications.un.org/publications/world-urbanization-prospects-2011-revision>
- United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division. 2019. World Urbanization Prospects: The 2018 Revision (ST/ESA/SER.A/420). New York: United Nations.
<https://shop.un.org/product/23243>
- United Nations. (2025). World urbanization prospects2025: Summary of results (UN DESA/POP/2025/TR/NO. 12). United Nations Department of Economic and Social Affairs, Population Division.
https://population.un.org/wup/Publications/Files/WUP2025_Summary_of_Results.pdf
- Wang, C., Xu, W., Chen, Z., Liu, S., Li, W., Zhang, L., Gao, S., Huang, Y., Wu, J., & Yu, B. (2025). STARS: A novel gap-filling method for SDGSAT-1 nighttime light imagery using spatiotemporal and spectral synergy. Remote Sensing of Environment, 322, Article 114720.
<https://doi.org/10.1016/j.rse.2025.114720>
- Wang, S. Q., Zheng, X. Q., & Zang, X.B. (2012). Accuracy assessments of land use change simulation based on Markov-cellular automata model, Procedia Environmental Sciences, 13:1238-1245.
[doi:10.1016/j.proenv.2012.01.117](https://doi.org/10.1016/j.proenv.2012.01.117)
- White, R., Engelen, G. (1993). Cellular automata and fractal urban form: a cellular modelling approach to the evolution of urban land-use patterns. Environ Plan A 25:1175-1199.
[doi:10.1068/a251175](https://doi.org/10.1068/a251175)
- Woldesemayat, E. M., & Genovese, P. V. (2021). Urban green space composition and configuration in functional land use areas in addis ababa, ethiopia, and their relationship with urban form. Land, 10(1), 1-21.
<https://doi.org/10.3390/land10010085>
- Wu, F. (2002). Calibration of stochastic cellular automata: the application to rural-urban land conversions. Int J Geogr Inf Sci 16:795-818.
[doi:10.1080/13658810210157769](https://doi.org/10.1080/13658810210157769)
- Yang, Xiang, Zheng, Xiaoqing, & Lv, Lining. (2012). A spatiotemporal model of land-use change using ant colony optimization and CA-Markov. Ecological Modelling, 233, 11-19.
<https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2012.03.011>
- Yikang, Rui. (2013). Urban Growth Modeling Based on Land-use Changes and Road Network Expansion (Doctoral dissertation). Royal Institute of Technology, Sweden.
[urn:nbn:se:kth:diva-122182](https://nbn-resolving.org/urn:nbn:se:kth:diva-122182)
- Zhang, Qingyu, & Seto, Karen C. (2011). Mapping global urbanization using multi-temporal DMSP/OLS. Remote Sensing of Environment, 115, 2320-2329.
[doi: 10.1016/j.rse.2011.04.032](https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.04.032)
- Zheng, X., Wang, X., Gao, Y., Liu, D., & Ai, G. (2025). Urban expansion scenario prediction model: Combining multi-source big data, a graph attention network, a vector cellular automata, and an agent-based model. Remote Sensing, 17(13), Article 2272.
<https://doi.org/10.3390/rs17132272>
- Ziari, K. and Yousefi, S. (2026). Analysis of the Evolution and Spatiotemporal Evolution of the City and Urbanization in Iran (1956-2016). Journal of Geography and Planning, 30(95), 111-91.
[doi: 10.22034/gp.2025.62849.3288](https://doi.org/10.22034/gp.2025.62849.3288)



مدل سازی فضایی- زمانی الگوی گسترش مناطق شهری در ایران

دکتر سیداحمد حسینی^{۱*}، مهدی صمدی^۲

مقاله پژوهشی

چکیده

فرایند شهرنشینی، پدیده‌ای است که در دهه‌های اخیر به‌طور فزاینده‌ای در کشورهای در حال توسعه متمرکز شده است و افزون بر میزان رشد شهرها، چگونگی تغییرات کاربری‌ها در سطح کلان نیز مورد توجه می‌باشد. براین اساس، در پژوهش حاضر چارچوبی برای تهیه نقشه و تحلیل الگوهای قابل پیش‌بینی از گسترش مناطق شهری در مقیاس ملی، متفاوت با هدف تحلیل فرایندهای رشد و گسترش شهرها فراهم شده است. داده‌های مورد نیاز این مطالعه از تصاویر نسخه چهارم «DMSP/OLS» در سه بازه زمانی ۱۳۷۱، ۱۳۸۱ و ۱۳۹۲ و تصاویر ماهواره لندست در چهار بازه زمانی ۱۳۷۱، ۱۳۸۱، ۱۳۹۲ و ۱۴۰۱ استخراج شده است. به‌منظور بررسی دقیق‌تر و ارزیابی صحت نتایج حاصل، با استفاده از الگوریتم طبقه‌بندی، بیشترین شباهت اراضی ساخته‌شده شهرهای تهران و کرج، شیراز، اصفهان و تبریز از تصاویر لندست استخراج و نتایج به‌دست‌آمده از داده‌های «NSL» با استفاده از آن، مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که الگوی شهری به‌دست‌آمده با استفاده از داده‌های «NSL» با میانگین صحت کلی ۸۴/۱۱ و میانگین کاپای ۰/۵۱ با نتایج به‌دست‌آمده از داده‌های لندست سازگاری دارد. همچنین نتایج تحقیق نشان می‌دهد که ارتباط خطی بین توسعه اراضی ساخته‌شده با داده‌های جمعیتی و تولید ناخالص ملی وجود دارد و بیشترین میزان ارتباط خطی بین تولید ناخالص و اراضی ساخته‌شده با R2 برابر با ۰/۸۹۴ می‌باشد. در نهایت نتایج پیش‌بینی گسترش فضایی اراضی ساخته‌شده در سطح کشور با استفاده از مدل «CA-MARKOV» نشان داد که میزان اراضی شهری از حدود ۱۴۹۴۸ کیلومتر مربع در سال ۱۳۹۲ به بیش از ۲۶۱۵۶ کیلومتر مربع در سال ۱۴۱۰ با میزان کاپای برابر ۰/۷۰۹ افزایش خواهد یافت. با توجه به عدم وجود تحقیقی مشابه در زمینه مدل‌سازی رشد شهری در مقیاس ملی، نتایج این تحقیق می‌تواند با ایجاد پیش‌زمینه‌ای از آینده، تصمیم‌گیران را در ارزیابی الگوهای پیشنهادی توسعه یاری کرده و بنیانی برای پیشنهاد و اصلاح خط‌مشی‌های برنامه‌ریزی شهری به‌منظور توسعه پایدار مناطق شهری در سطح کلان را شکل دهد.

جغرافیا و توسعه، شماره ۸۳، تابستان ۱۴۰۵
 تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۲/۰۱
 تاریخ بازنگری داوری: ۱۴۰۴/۰۹/۲۴
 تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۹/۳۰
 صفحات: ۲۴۲-۲۱۳



واژه‌های کلیدی:

مدل‌سازی گسترش شهری، شهرنشینی، سلول‌های خودکار، تصاویر چندزمانه «DMSP-OLS»، ایران.

مقدمه

شهرنشینی به‌عنوان یکی از ویژگی‌های بارز جوامع امروزی مطرح است. اگرچه در دوران گذشته نیز نمونه‌هایی از جوامع شهری وجود داشته اما از نظر شمار و سهم جمعیت ساکن در شهرها، قابل مقایسه با وضعیت کنونی نیست (Pumain, 2006: 319). در طول دو سده اخیر و به‌ویژه در دهه‌های معاصر، جابه‌جایی گسترده جمعیت از نواحی روستایی به شهری رخ داده است. (United Nations, 2012: 5) که این امر موجب گسترش کالبدی شهرها به‌عنوان یکی از مهم‌ترین فرآیندهای توسعه‌ای قرن حاضر در سراسر جهان به‌شمار می‌رود. در حال حاضر حدود ۵۵ درصد از جمعیت جهان در مناطق شهری زندگی می‌کنند (Arnold et al, 2018: 1; United Nations, 2025: 3) و بر اساس پیش‌بینی سازمان ملل متحد تا سال ۲۰۵۰ این رقم به بیش از ۶۸ درصد افزایش می‌یابد (United Nations, 2019: 21). این امر موجب ایجاد اثرات برگشت‌ناپذیری در محیط‌زیست و اکوسیستم‌های طبیعی سرزمین شهری شده است (Lyu, 2025: 1; Cheng et al, 2024: 2148; Aburas et al, 2018: 2)، در حالی که انتظار می‌رود جمعیت شهری جهان در مناطق توسعه‌یافته با اندک افزایشی از ۰٫۹۶ میلیارد

hosseini.sa@lu.ac.ir

۱. استادیار گروه مهندسی شهرسازی، دانشگاه لرستان، لرستان، ایران (نویسنده مسئول)

M.samadi@ut.ac.ir

۲. دانشجوی دکتری رشته سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران، تهران، ایران

به ۱٫۰۶ میلیارد نفر برسد (Yikang Rui, 2013: 1)، براین اساس پیامدهایی چون: تنزیل فرایندهای بوم‌شناختی،

کاهش تنوع زیستی و تضعیف خدمات اکوسیستمی را در مناطق شهری به همراه داشته است (Woldesemayat & Genovese, 2021: 2). بر این اساس، تهیه اطلاعات صحیح و به روز در رابطه با گسترش شهری، امری بسیار مهم جهت تشریح عوامل مؤثر در شهرنشینی و برآورد تأثیرات آن می باشد (He et al, 2008: 79). داده های سنجش از دور با قدرت تفکیک مکانی متوسط به بالا، به خاطر پوشش مکانی کم، دارای محدودیت می باشند؛ بنابراین جهت استخراج اطلاعات شهری برای یک دوره مشخص، نیاز به منابع انسانی و محاسباتی زیادی می باشد که بتواند کل پهنه کشور را پوشش دهد (Liu et al, 2010: 485; Wang et al, 2025: 2)؛ بنابراین استخراج اطلاعات مربوط به گسترش مناطق شهری برای چند سال در مقیاس مکانی بزرگ با استفاده از این نوع داده ها بسیار مشکل می باشد (Liu et al, 2012: 63; Zheng et al, 2025: 1).

داده های نور در شب^۱ که از طریق تصاویر DMSP^۲ به دست می آید، به عنوان شاخصی جهت نمایش محدوده های شهری به کار برده شده است (Sutton et al, 1997: 1305; Elvidge et al, 2001: 81; Owen et al, 1998: 3452; Li & Zhou, 2017: 5880). در واقع DMSP یک سیستم اسکن کننده خطی عملیاتی^۳ (OLS) دارد که منبع جدیدی برای استخراج میزان گسترش مناطق شهری در مقیاس مکانی بزرگ می باشد (Elvidge et al, 1997: 596 727; Chen et al, 2025: 1; Elvidge et al, 2009: 596 727). OLS یک سنسور حساس در باند طیفی ۰٫۹۵-۰٫۴۷ میکرومتر می باشد که می تواند چراغ های شهری، رعدبوق، آتش سوزی و... را با استفاده از قابلیت تشخیص نور کم آشکارسازی نماید. سنجنده OLS از سنجنده های دیگر که به منظور تشخیص عوارض زمینی بر مبنای خصوصیات انعکاسی ناشی از تابش خورشیدی مانند: TM, SPOT, HRV و NOAA AVHRR متفاوت می باشد (Liu et al, 2012: 63). این سنجنده به خاطر قدرت تفکیک مکانی و زمانی مناسبی که دارد (مشابه سنجنده NOAA AVHRR)، برای آشکارسازی فرآیند گسترش مناطق شهری در مقیاس مکانی بزرگ مناسب می باشد (Chen et al, 2003: 169). ثابت شده است که داده های نور در شب سنجنده OLS برای استخراج اطلاعات مربوط به گسترش مناطق شهری در مقیاس های جهانی، قاره ای و کشوری منبع ارزشمندی می باشد (Elvidge et al, 2007: 1963; Zhang & Seto, 2011: 2320). مزیت برجسته داده های نور در شب «DMSP/OLS» این است که روشنایی نور شب در چندین مطالعه برای ارزیابی کمی و نگاشت فعالیت های اجتماعی-اقتصادی مرتبط با فرآیندهای شهرنشینی در مقیاس های مختلف جهانی و منطقه ای به کار برده شده است (Ma et al, 2012: 100). ستون^۴ و همکاران (۲۰۰۱) جمعیت جهان را با استفاده از روابط آماری بین مناطق نور در شب و جمعیت مناطق شهری برآورد کردند. ژانگ و تو^۵ (۲۰۱۱) داده های نور در شب چندزمانه «DMSP/OLS» را به منظور برآورد رشد مناطق شهری در مقیاس منطقه ای و جهانی بر اساس ارتباط بین روشنایی نور شب و جمعیت مناطق شهری به کار بردند. لیو و همکاران (۲۰۱۲) با استفاده از داده های چندزمانه «DMSP/OLS» گسترش مناطق شهری را در بازه زمانی ۱۹۹۲ تا ۲۰۰۸ برای کشور چین برآورد کردند.

کشور ایران نیز به عنوان یکی از کشورهای در حال توسعه، تحولات قابل توجهی را در حوزه شهرنشینی و موضوعات مرتبط با آن پشت سر گذاشته است. در مطالعات صورت گرفته در سطح کشور ایران به منظور ارزیابی الگوی

1. Night-Light
2. Defense Meteorological Satellite Program
3. Operational Line-scan System
4. Sutton
5. Zhang & Seto

شهرنشینی، بیشتر از داده‌های جمعیتی استفاده شده است. در این زمینه می‌توان از مطالعات زیاری و ثمین، ۱۴۰۴؛ هواسی و همکاران، ۱۴۰۳؛ جواهری و همکاران، ۱۴۰۱؛ میرآبادی و همکاران، ۱۳۹۷؛ غیبی و جاجرمی، ۱۳۹۰؛ ابراهیم‌زاده و همکاران، ۱۳۸۹؛ تقوایی و موسوی، ۱۳۹۰؛ فرهودی و همکاران ۱۳۸۸؛ دخت لیورجانی و شیخ‌اعظمی، ۱۳۸۶ نام برد. الگوی شهرنشینی که با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای و داده‌های جمعیتی وجود داشته باشد، بیشتر در یک شهر یا حداکثر در چند شهر صورت گرفته است در این زمینه می‌توان از مطالعات باقری و همکاران، ۱۴۰۳؛ حاجی‌زاده شیخوانلو و همکاران، ۱۴۰۱؛ امانپور و همکاران، ۱۳۹۹؛ رضانی و جعفری، ۱۳۹۳؛ قراگوزلو و همکاران، ۱۳۸۸؛ پورمحمدی و همکاران، ۱۳۸۷؛ عبدالامیر، ۱۳۸۴ نام برد؛ بنابراین می‌توان گفت مطالعه خاصی در سطح کشور با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای که الگوی کلی شهرنشینی در تمام پهنه کشور را بررسی کند، صورت نگرفته است. این مطالعه به صورت جامع و در مقیاس ملی، گسترش کالبدی تمام مناطق شهری ایران را طی دوره ۲۱ ساله (۱۳۷۱-۱۳۹۲) با استفاده از داده‌های نور شب پایدار نسخه چهارم «DMSP/OLS» پایش می‌کند. همچنین صحت نتایج استخراج شده از داده‌های «DMSP/OLS» با استفاده از تصاویر لندست چندزمانه و در چندین شهر بزرگ اعتبارسنجی دقیق صورت گرفته است. با به کارگیری مدل ترکیبی CA-Markov در محیط «IDRISI TerrSet»، پیش‌بینی مکانی گسترش مناطق شهری ایران تا افق ۱۴۱۰ ارائه می‌گردد که می‌تواند مبنای سیاست‌گذاری برنامه‌ریزان شهری و منطقه‌ای قرارگیرد. بر این اساس با توجه به خلأ موجود در پایش ملی گسترش کالبدی شهرها در ایران و ضرورت ارائه اطلاعات دقیق مکانی دقیق برای برنامه‌ریزی پایدار، سؤال اصلی پژوهش حاضر به این صورت تدوین می‌گردد که؛ الگو و روند گسترش کالبدی مناطق شهری ایران طی دوره ۱۳۷۱-۱۳۹۲ چگونه بوده و این گسترش تا سال ۱۴۱۰ به چه صورت پیش‌بینی می‌شود؟ لذا هدف این تحقیق، بررسی میزان گسترش مناطق شهری ایران با استفاده از داده‌های «DMSP/OLS» از سال ۱۳۷۱ تا ۱۳۹۲، برآورد کمی از میزان صحت این داده‌ها و همین‌طور پیش‌بینی گسترش محدوده‌های شهری تا سال ۱۴۱۰ می‌باشد.

داده‌ها و روش‌ها

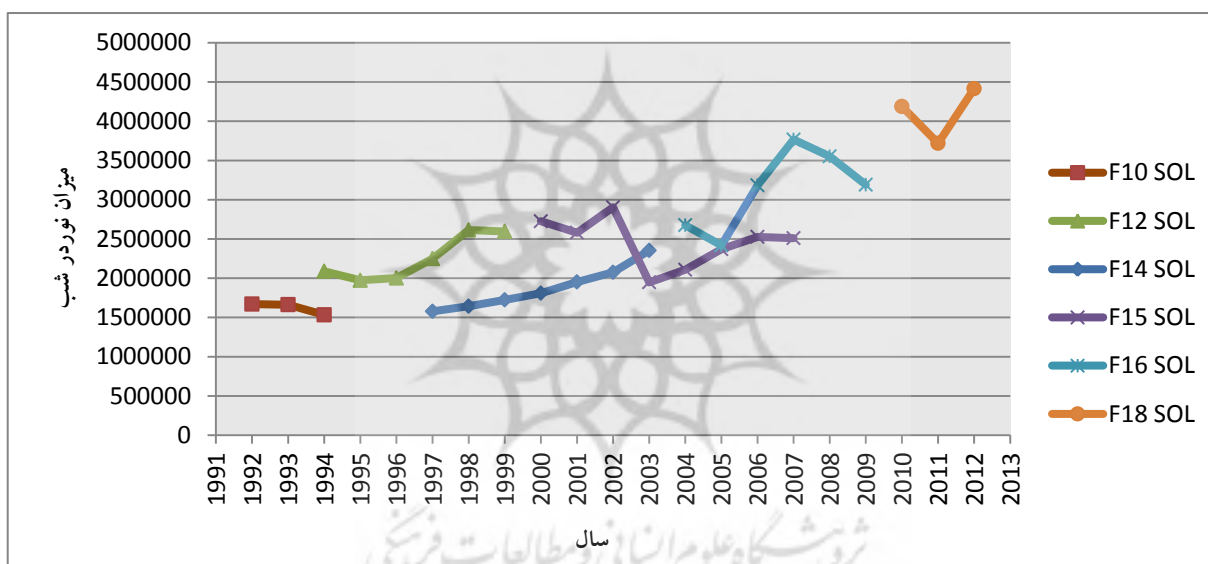
در این مطالعه از داده‌های نسخه چهارم «DMSP/OLS» استفاده شده است که از طریق وبسایت NGDC^۱ قابل دریافت می‌باشد.^۲ داده‌های این وبسایت دربرگیرنده تصاویر مربوط به شش ماهواره DMSP شامل: F10، F12، F14، F16 و F18 می‌باشد. برای هر ماهواره ترکیب سالیانه با استفاده از داده‌های جمع‌آوری شده با بالاترین کیفیت تولید می‌شود. در واقع مقادیر موجود برای هر ماهواره، میانگین مقادیر برداشت شده در طول یک سال می‌باشد. چندین نوع محدودیت به کار گرفته می‌شوند تا مانع از ورود نور خورشید، درخشندگی ناشی از عوارض، نور ماه، ابرها و عوارض درخشان هنگام سپیده دم به داده‌ها شوند. وقایع زودگذر همانند آتش‌سوزی‌ها نیز از داده‌ها حذف می‌گردند (Liu et al, 2012: 65). در ترکیب سالیانه، ارزش هر پیکسل میانگین مقادیر نور ناشی از شهرهای بزرگ، شهرهای کوچک و مناطق دیگر با نوردهی مداوم در باند مرئی می‌باشد. دامنه مقادیر داده‌ها برای پیکسل‌های دارای نور ۱-۶۳ است. این داده‌ها دارای قدرت تفکیک ۳۰ ثانیه (معادل یک کیلومتر) می‌باشند که از ۱۸۰- تا ۱۸۰ درجه طول جغرافیایی و ۶۵- تا ۷۵ درجه عرض جغرافیایی را پوشش می‌دهند. در مواقعی که دو ماهواره داده‌ها را جمع‌آوری کرده باشند، دو نوع ترکیب متمایز داده تولید می‌گردد (Elvidge et al, 2009: 597; Baugh et al, 2010: 116). پایگاه

1. National Geophysical Data Center

2. <http://www.ngdc.noaa.gov/dmsp/downloadV4composites.html>

داده «NGDC» دربرگیرنده سه نوع داده می‌باشد: پوشش بدون ابری، داده‌های نور در شب بدون فیلتر اضافی و داده‌های نور در شب دارای ثبات (NSL^۱). در بین این سه دسته داده، داده‌های «NSL» دربرگیرنده نور شهرهای بزرگ، شهرهای کوچک و سایر مناطق با نوردهی دارای ثبات با حذف وقایع زودگذر همانند آتش‌سوزی‌ها می‌باشد (Elvidge et al, 2009: 597; Baugh et al, 2010: 115).

در این تحقیق پس از تهیه داده‌های «NSL» مربوط به سال‌های ۱۹۹۲ از ماهواره F10، سال ۲۰۰۲ از ماهواره F15 و سال ۲۰۱۳ از ماهواره F18 (داده‌های «NSL» فقط تا سال ۲۰۱۳ در دسترس می‌باشد)، این داده‌ها با استفاده از مرز سیاسی کشور ایران جدا شدند. محاسبات مربوط به این داده‌ها در پهنه کل کشور ایران با استفاده از سیستم مختصات جغرافیایی با بیضوی مرجع «WGS-84» انجام گرفته است. شکل ۱ میزان نور در شب در کشور ایران با استفاده از داده‌های نسخه چهار سری ماهواره‌های «DMSP» را نشان می‌دهد.



شکل ۱: میزان نور در شب در کشور ایران با استفاده از داده‌های نسخه چهار سری ماهواره‌های «DMSP»

تهیه و ترسیم: حسینی و همکاران، ۱۳۹۴

علاوه بر داده‌های «NSL» ماهواره «DMSP» در این تحقیق از تصاویر لندست TM مربوط به سال ۱۳۷۱، ETM+ مربوط به سال ۱۳۸۱ و لندست ۸ مربوط به سال ۱۳۹۲ و برای منطقه شهری تهران و کرج تصاویر مربوط به سال ۱۴۰۱ انتخاب شده و همین‌طور ارزیابی نتایج به‌دست‌آمده از داده‌های «DMSP/OLS NSL» استفاده شده است. جدول ۱ تصاویر ماهواره‌ای لندست استفاده‌شده در این تحقیق را نشان می‌دهد.

یک پیکسل زمانی به‌عنوان پیکسل شهری تعریف می‌شود که مناطق شهری و ساخت‌وسازهای سطح زمین، بیشترین مساحت یک سطح یک‌کیلومتر در یک‌کیلومتر را پوشش داده باشد (Liu et al, 2001: 185)؛ بنابراین چندین روش جهت استخراج پیکسل‌های شهری از تصاویر «NSL» وجود دارد که شامل: روش انتخاب آستانه تجربی (Elvidge et al, 1997: 729)، انتخاب آستانه بر مبنای تشخیص تغییرات ناگهانی (Imhoff et al, 1997: 363) و روش طبقه‌بندی تصاویر (Cao et al, 2009: 2206) می‌باشد. از بین این روش‌ها، روش تعیین آستانه با استفاده از

داده‌های کمکی به‌طور گسترده مورد استفاده قرار گرفته است چرا که ساده بوده و قابلیت صحت و اطمینان بالاتری دارد (Henderson et al, 2003: 597; Milesi et al, 2003: 403)؛ بنابراین در این تحقیق از روش انتخاب آستانه با کمک تصاویر ماهواره‌ای لندست استفاده شد.

قابلیت اطمینان و صحت داده‌های کمکی، پارامتری کلیدی جهت تضمین موفقیت این روش می‌باشد (Henderson et al, 2003: 598). انتخاب آستانه بر این اساس می‌باشد که محدوده شهری استخراج‌شده با استفاده از تصاویر «NSL» بیشترین انطباق را با محدوده‌های شهری استخراج‌شده از تصاویر لندست داشته باشد. بر این اساس آستانه ۵۵ برای جداسازی محدوده‌های شهری در تصاویر «NSL» انتخاب گردید؛ بنابراین با کمک این روش محدوده فضایی مناطق شهری ایران در طول سه دوره زمانی ۱۳۷۱، ۱۳۸۱ و ۱۳۹۲ استخراج شد. شکل ۳ مناطق شهری ایران را در سال‌های مورد نظر نشان می‌دهد.

جدول ۱: تصاویر ماهواره‌ای لندست مورد استفاده در تحقیق

نام ماهواره	نام سنجنده	تاریخ اخذ	نام ماهواره	نام سنجنده	تاریخ اخذ
لندست ۵	TM	1992/07/28	لندست ۷	ETM+	2002/08/09
لندست ۵	TM	1992/07/27	لندست ۸	OLI	2013/07/16
لندست ۵	TM	1992/07/16	لندست ۸	OLI	2013/07/21
لندست ۵	TM	1992/07/06	لندست ۸	OLI	2013/07/26
لندست ۵	TM	1992/07/28	لندست ۸	OLI	2013/07/07
لندست ۷	ETM+	2002/08/09	لندست ۸	OLI	2013/07/30
لندست ۷	ETM+	2002/07/31	لندست ۸	OLI	2022/07/07
لندست ۷	ETM+	2002/07/20	لندست ۸	OLI	2022/07/06
لندست ۷	ETM+	2002/07/10	لندست ۸	OLI	2022/07/07

مأخذ: نگارندگان، ۱۴۰۳

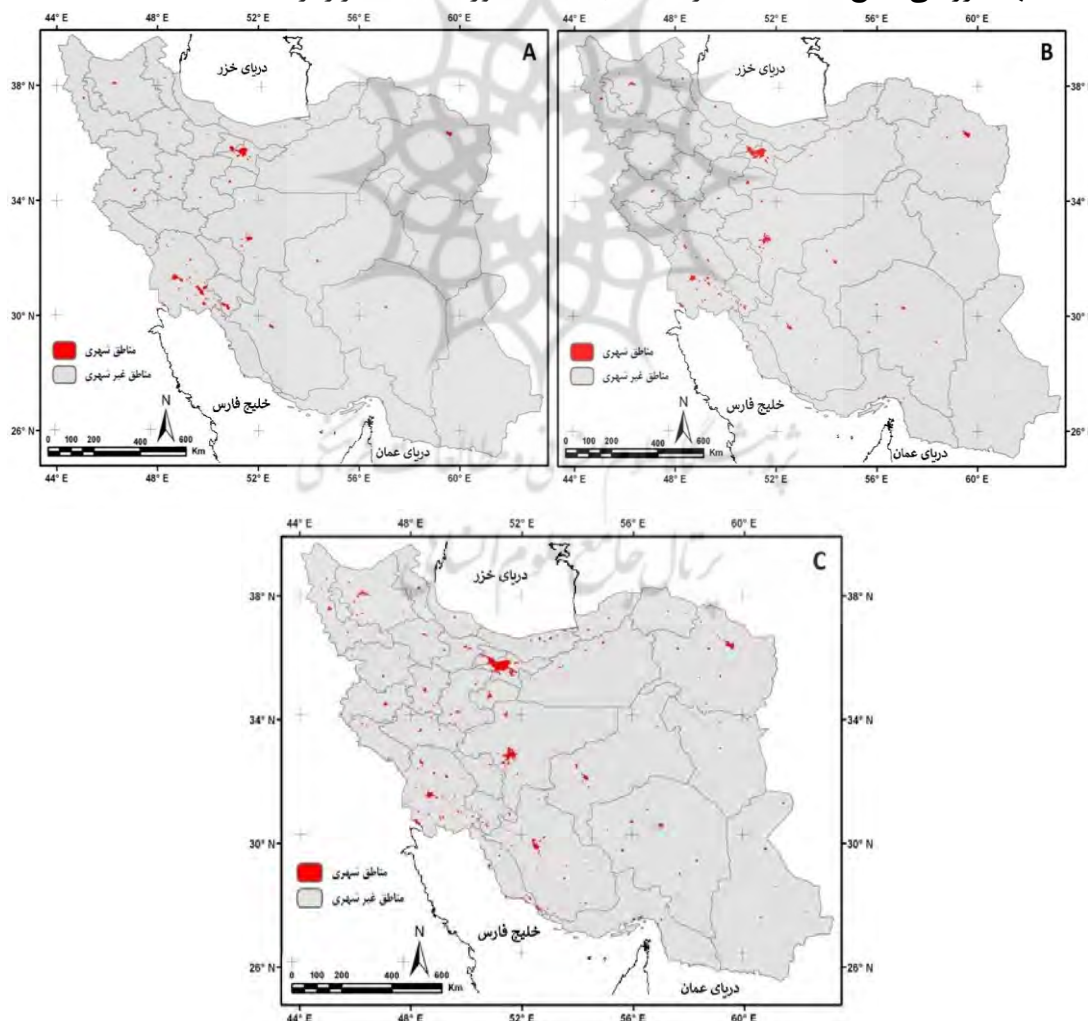
به‌منظور ارزیابی صحت نتایج به‌دست‌آمده از میزان گسترش مناطق شهری با استفاده از تصاویر «NSL» نیز از محدوده‌های شهری تعدادی از شهرها (تهران و کرج، تبریز، اصفهان و شیراز) استخراج شد و در نهایت با به‌کارگیری روش حداکثر شباهت^۱ و استفاده از تصاویر لندست TM و لندست ۸ استخراج شد، استفاده گردید. با توجه به قدرت تفکیک مکانی متفاوت داده‌ها، برای ارزیابی نتایج به‌دست‌آمده از داده‌های «NSL»، ابتدا ابعاد پیکسل این داده‌ها به‌روش نمونه‌برداری مجدد با روش نزدیک‌ترین همسایه ۳۰ متر تعیین شد و سپس ارزیابی انجام گرفت. در نهایت پس از استخراج اراضی ساخته‌شده از تصاویر «NSL» به شبیه‌سازی رشد شهری در سطح ملی پرداخته شد. بدین‌منظور می‌توان با ترکیب دو یا چند روش از روش‌های مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی و بهره‌گیری از مزایای استفاده از هر کدام از این روش‌ها، قابلیت اطمینان به این روش‌ها را بهبود بخشید (Yang et al, 2012: 13). لازم به ذکر است مدل «CA-Markov» اخیراً در شبیه‌سازی پدیده‌های پویای فضایی و پیش‌بینی تغییرات کاربری زمین مورد استفاده قرار گرفته است (Hosseini et al, 2015: 73; Wang et al, 2012: 1239). زنجیره‌های مارکوف فاقد هرگونه اطلاعات مکانی در تحلیل خود هستند و صرفاً به احتمالات کلی انتقال بین حالت‌ها می‌پردازند. این مدل‌ها هرچند میزان تغییرات کمی هر کاربری را تخمین می‌زنند اما هیچ نشانه‌ای از چگونگی پراکندگی فضایی این

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۴۰۳

نتایج و بحث

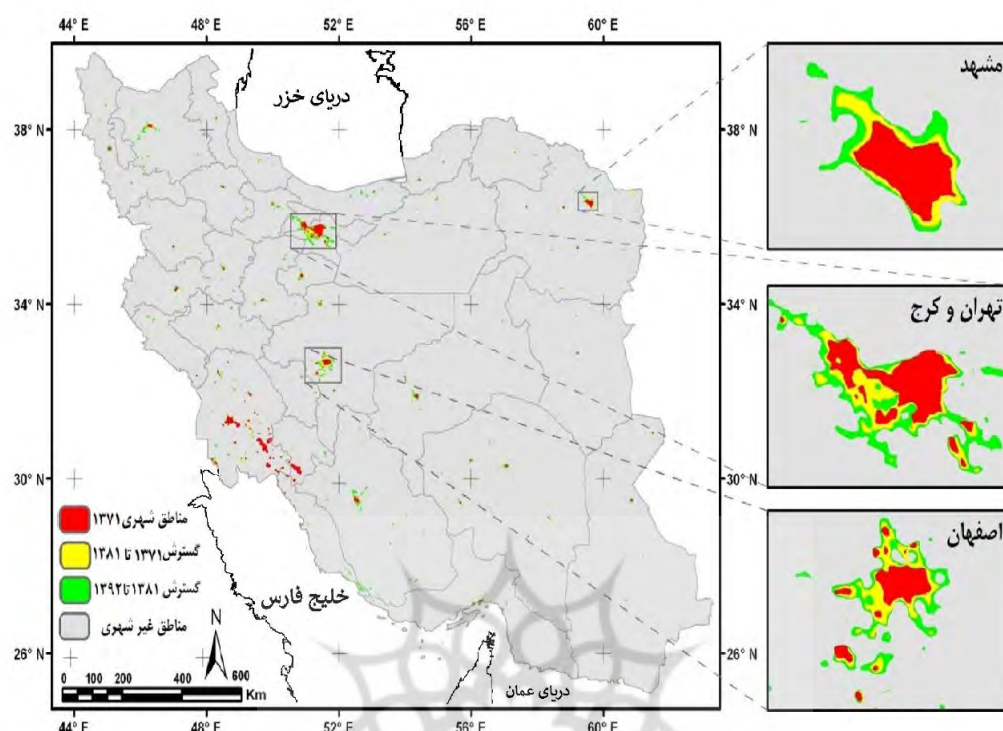
– ارزیابی داده‌های «NSL» با داده‌های لندست

شکل ۳ محدوده‌های شهری استخراج‌شده از داده‌های «NSL» در بازه زمانی ۱۳۷۱ تا ۱۳۹۲ را نمایش می‌دهد. شکل ۴ نیز روند گسترش شهرها را در طول این بازه زمانی نشان می‌دهد. جهت ارزیابی صحت محدوده‌های شهری استخراج‌شده از تصاویر با وضوح بالاتر؛ یعنی لندست استفاده شده است. از آن‌جا که قدرت تفکیک مکانی داده‌های لندست TM و ETM+ (۳۰ متر) بسیار بالاتر از داده‌های «NSL» (یک کیلومتر) می‌باشد؛ لذا ارزیابی نتایج به‌دست‌آمده با استفاده از داده‌های لندست عملی و مورد قبول می‌باشد (Cao et al, 2009: 2280; He et al, 2008: 598; Sutton et al, 2006: 40; Henderson et al, 2003: 598). در این تحقیق از تصاویر لندست ۸ (OLI) جهت ارزیابی نتایج به‌دست‌آمده تصاویر «NSL» مربوط به سال ۱۳۹۲ استفاده شد. برای این‌منظور در مطالعه حاضر از چهار منطقه شهری شامل: تهران و کرج، اصفهان، تبریز و شیراز استفاده شده است. محدوده‌های شهری این چهار منطقه با استفاده از تصاویر لندست ۸ و با روش طبقه‌بندی حداکثر احتمال برای سال ۱۳۹۲ استخراج شد و این محدوده‌ها جهت ارزیابی نتایج به‌دست‌آمده از داده‌های «NSL» مورد استفاده قرار گرفت.



شکل ۳: مناطق شهری ایران در سال‌های (A) ۱۳۷۱، (B) ۱۳۸۱ و (C) با استفاده از داده‌های «NSL»

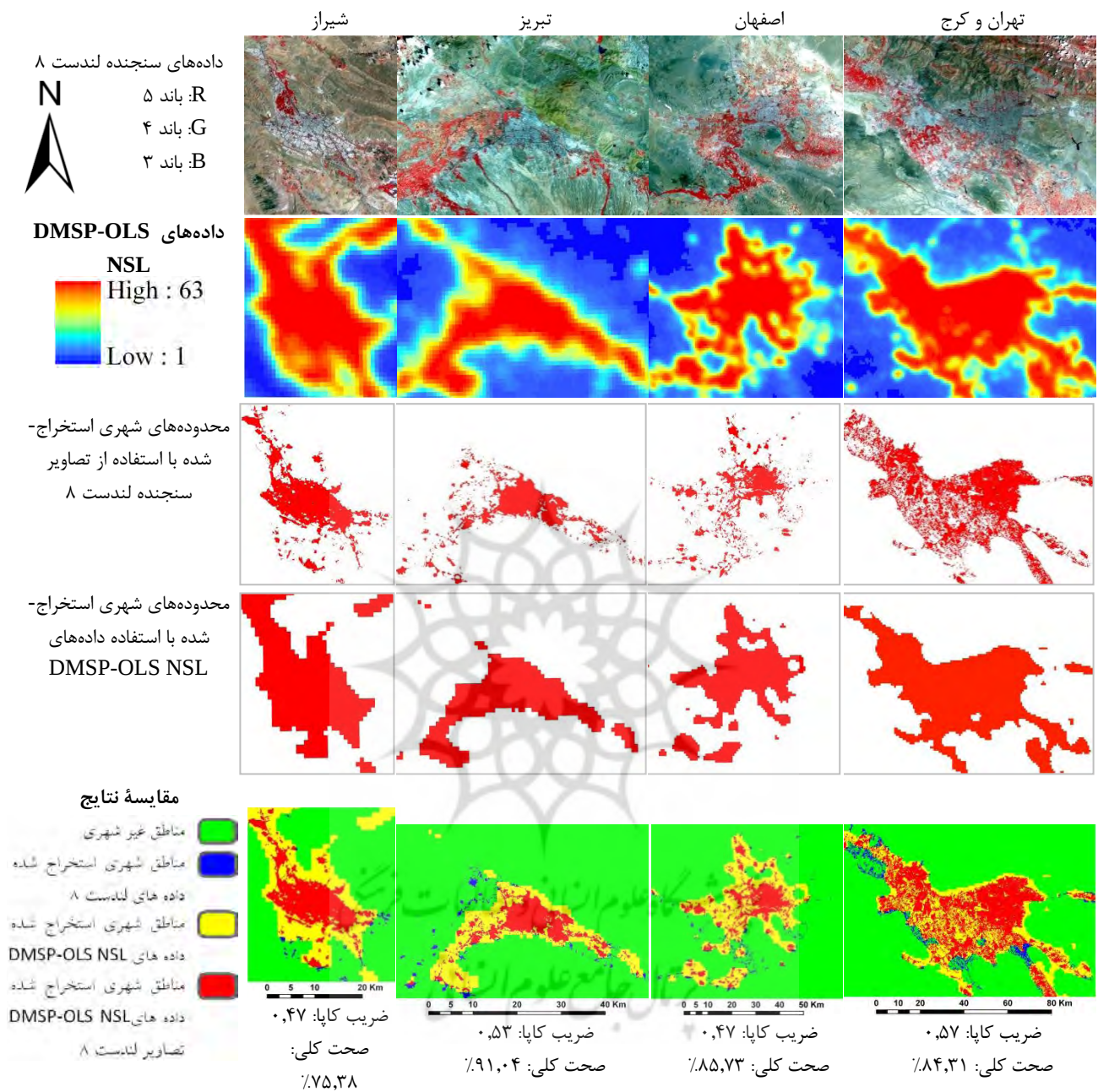
تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۴۰۳



شکل ۴: گسترش مناطق شهری ایران از سال ۱۳۷۱ تا ۱۳۹۲

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۴۰۳

شکل ۴ محدوده‌های شهری استخراج‌شده از داده‌های «NSL» را در مقایسه با نتایج داده‌های لندست ارائه کرده و مقادیر صحت کلی و ضریب کاپای به‌دست‌آمده برای هر منطقه را نشان می‌دهد. با توجه به این شکل صحت کلی و ضریب کاپای به‌دست‌آمده برای منطقه شهری تهران و کرج به ترتیب ۸۴٫۳۱٪ و ۰٫۵۷، برای اصفهان ۸۵٫۷۳٪ و ۰٫۴۷، برای تبریز ۹۱٫۰۴٪ و ۰٫۵۳ و برای شیراز ۷۵٫۳۸٪ و ۰٫۴۷ می‌باشد. در جدول ۲ ماتریس خطای مناطق شهری استخراج‌شده مربوط به تهران و کرج در سال ۱۳۹۲ با جزئیات نمایش داده شده است. شکل‌های ۶ و ۷ نیز محدوده مناطق شهری استخراج‌شده از هر دو دسته داده مربوط به سال ۱۳۷۱ و ۱۳۹۲ را برای شهرهای مورد بررسی نشان می‌دهد. نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد که الگوی شهری به‌دست‌آمده با استفاده از داده‌های «NSL» با میانگین صحت کلی ۸۴٫۱۱ و میانگین کاپای ۰٫۵۱ با نتایج به‌دست‌آمده از داده‌های لندست سازگاری دارد.



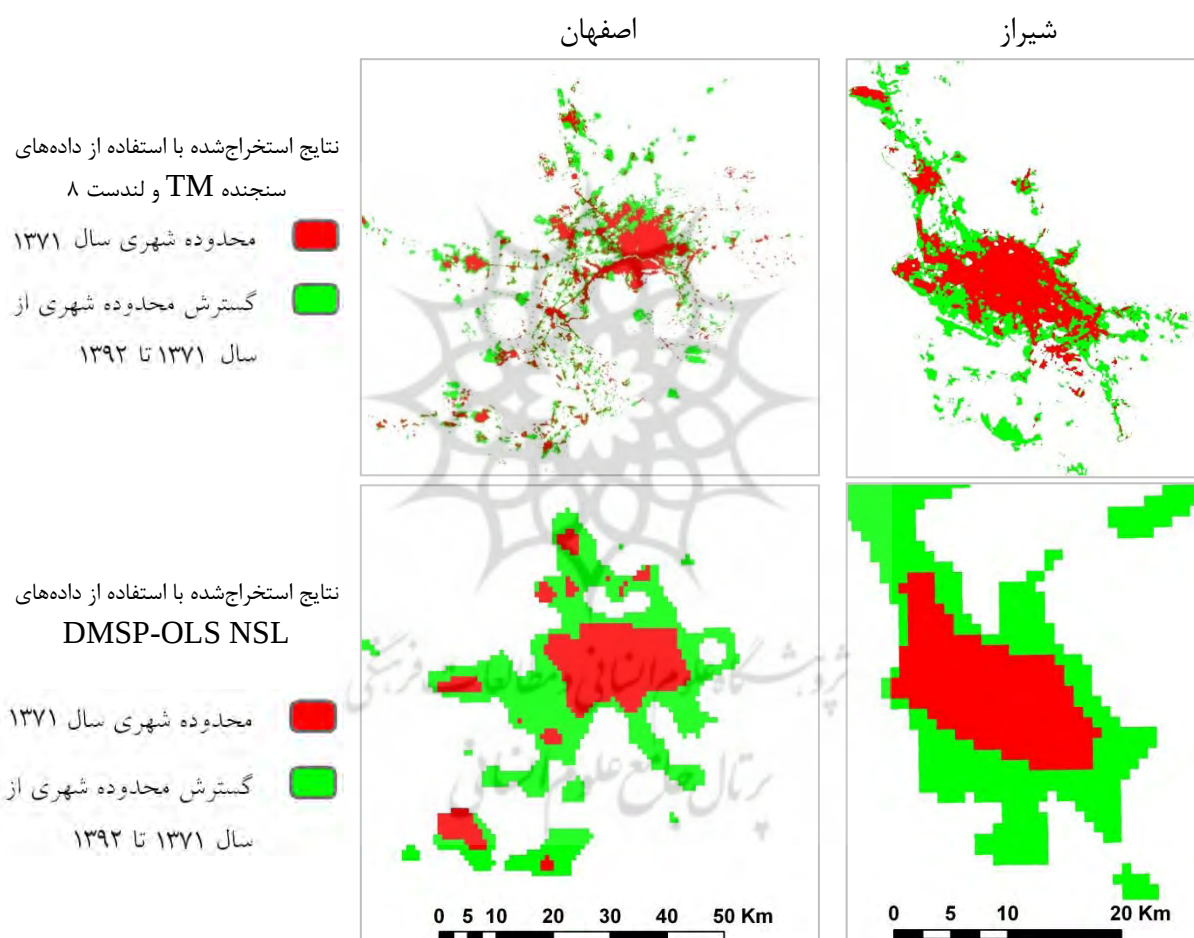
شکل ۵: ارزیابی صحت محدوده‌های شهری استخراج شده در ایران سال ۱۳۹۲

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۴۰۳

جدول ۲: ماتریس خطای مناطق شهری استخراج شده مربوط به تهران و کرج در سال ۱۳۹۲

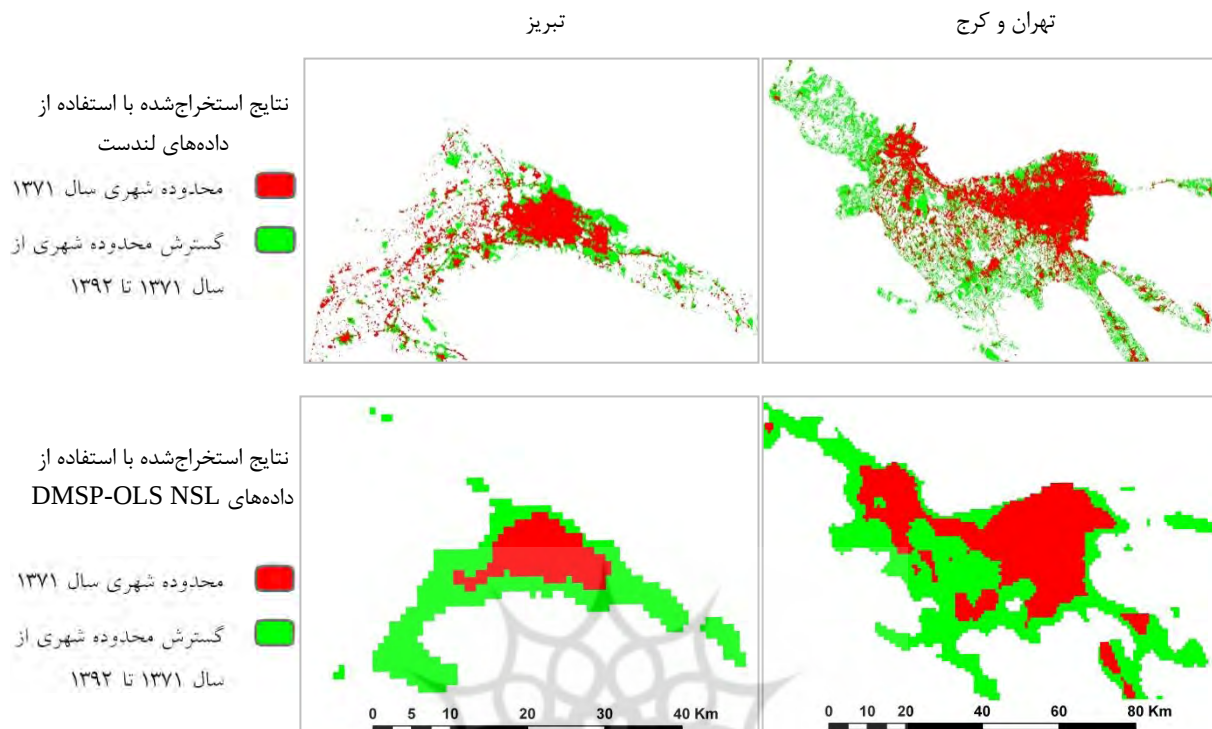
نام کلاس	مناطق غیرشهری (پیکسل)	مناطق شهری (پیکسل)	جمع ردیف	خطای Commission	خطای Omission
مناطق غیرشهری (پیکسل)	7040852	204543	7245395	2.80%	16.70%
مناطق شهری (پیکسل)	1414489	1662410	3076899	45.90%	10.90%
جمع ستون	8455341	1866953	10322294		
صحت کلی: ۸۴,۳۱٪			ضریب کاپا: ۰,۵۷		

ماخذ: نگارندگان، ۱۴۰۳



شکل ۶: ارزیابی صحت گسترش مناطق شهری در ایران با استفاده از داده‌های «NSL» از سال ۱۳۷۱ تا ۱۳۹۲

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۴۰۳



شکل ۷: ارزیابی صحت گسترش مناطق شهری در ایران با استفاده از داده‌های «NSL» از سال ۱۳۷۱ تا ۱۳۹۲

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۴۰۳

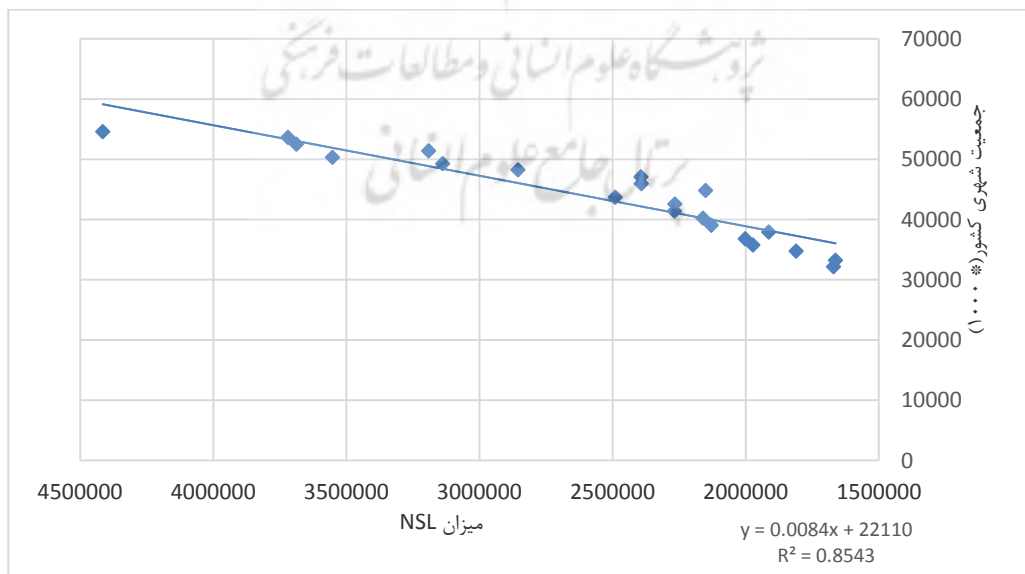
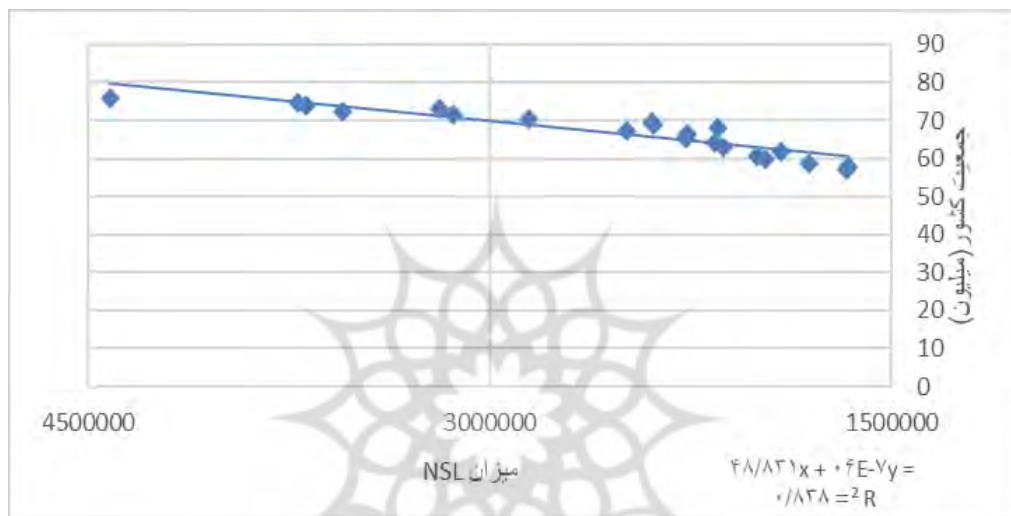
ارزیابی داده‌های «NSL» با داده‌های آماری

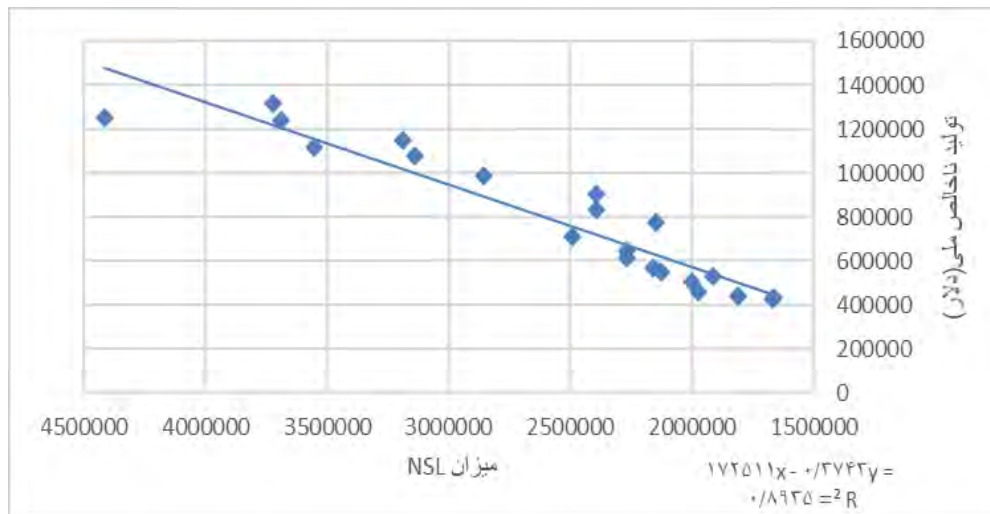
در این بخش به منظور بررسی ارتباط بین توسعه اراضی ساخته شده با داده‌های جمعیتی و تولید ناخالص ملی، یک سری زمانی از تصاویر «NSL» را از نسخه چهار ماهواره «DMSP» استخراج نموده که این مجموعه داده شامل ۲۰ تصویر «NSL» برای سال‌های ۱۳۷۱ تا ۱۳۹۱ می‌باشد. برای این منظور داده‌های جمعیتی کشور و جمعیت مناطق شهری و همین‌طور میزان تولید ناخالص ملی (GDP^1) از بانک جهانی تا سال ۲۰۱۲ تهیه و استخراج شد که نتایج تجزیه و تحلیل‌های رگرسیونی جمعیت و فعالیت در مناطق شهری و تصاویر «DMSP» در شکل‌های ۸ تا ۱۰ ارائه شده است؛ بنابراین ضریب همبستگی (R^2) برای تجزیه و تحلیل‌های رگرسیون خطی نشان داد که رابطه خطی بین نور در شب و با متغیرهای جمعیتی و اقتصادی، شامل جمعیت کل کشور، جمعیت شهری و تولید ناخالص داخلی، برقرار است. میزان R^2 برای جمعیت کل کشور برابر با ۰,۸۳۸ که در بین سه شاخص محاسبه شده، کمترین میزان ارتباط خطی بین داده‌ها را نشان می‌دهد، پس از آن جمعیت شهری با R^2 برابر با ۰,۸۵۴ که این میزان با نتایج سایر مطالعات (به عنوان مثال: Sutton et al, 1997: 1308; Elvidge et al, 2001: 90) قابل مقایسه و حتی ارزش عددی بالاتری را نشان می‌دهد. بیشترین میزان ارتباط خطی بین تولید ناخالص ملی و نور در شب با R^2 برابر با ۰,۸۹۴ می‌باشد که در ادامه به منظور تأیید این رابطه خطی بین داده‌های تهیه شده و میزان نور در شب این داده‌ها به نرم افزار «SPSS» انتقال داده شد؛ نتایج محاسبه شده در جدول ۳ آورده شده است.

جدول ۳: ارتباط بین نور در شب با جمعیت کل، نقاط شهری و «GDP» از سال ۱۳۷۱ تا ۱۳۹۱

تولید ناخالص ملی «GDP»	جمعیت شهری کشور	جمعیت کل کشور	
۰.۸۹۴	۰.۸۵۴	۰.۸۳۸	R2
۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	۰.۰۰۰	SIG
257642.26	301347.45	317754.9	STD
159.372	111.384	98.267	F

ماخذ: نگارندگان، ۱۴۰۳





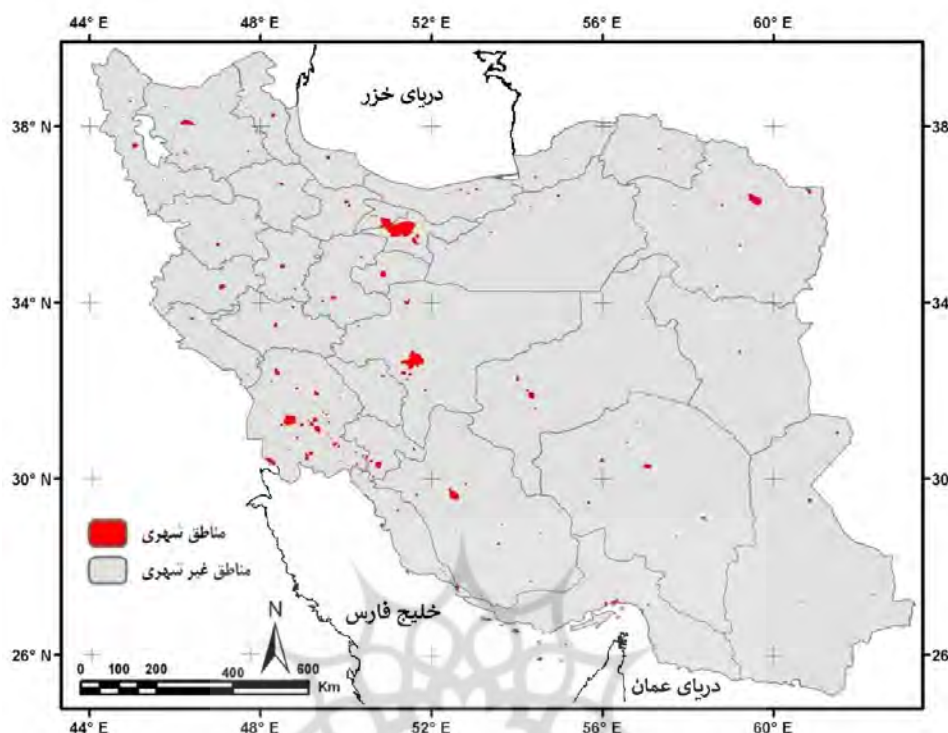
شکل ۱۰: مقایسه تولید ناخالص ملی «GDP» با میزان نور در شب از سال ۱۳۷۱ تا ۱۳۹۱

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۴۰۳

مدل سازی رشد شهری در مقیاس ملی با تصاویر «DMSP/OLS»

با توجه به داده های «NSL» و گسترش فضایی اراضی ساخته شده در سطح کشور از سال ۱۳۷۱ تا ۱۳۹۲ می توان گفت که اراضی ساخته شده در این محدوده، افزایش بی سابقه ای را تجربه نموده است. بررسی روند تغییرات نشان می دهد که مساحت اراضی شهری از حدود ۶۲۱۱ کیلومترمربع در سال ۱۳۷۱ به بیش از ۱۴۹۴۸ کیلومترمربع در سال ۱۳۹۲ رسیده است. این افزایش اراضی شهری معادل ۸۷۳۷ کیلومترمربع بوده و نرخ رشد سالانه آن در این دوره ۱۶/۴ درصد محاسبه شده است. بر این اساس، به منظور شبیه سازی نحوه گسترش و رشد کاربری اراضی در مجموعه شهری تهران، از روش سلول های خودکار و زنجیره مارکوف که مدلی مناسب برای ارزیابی گسترش شهری در مناطق کلان شهری می باشد، استفاده شده است.

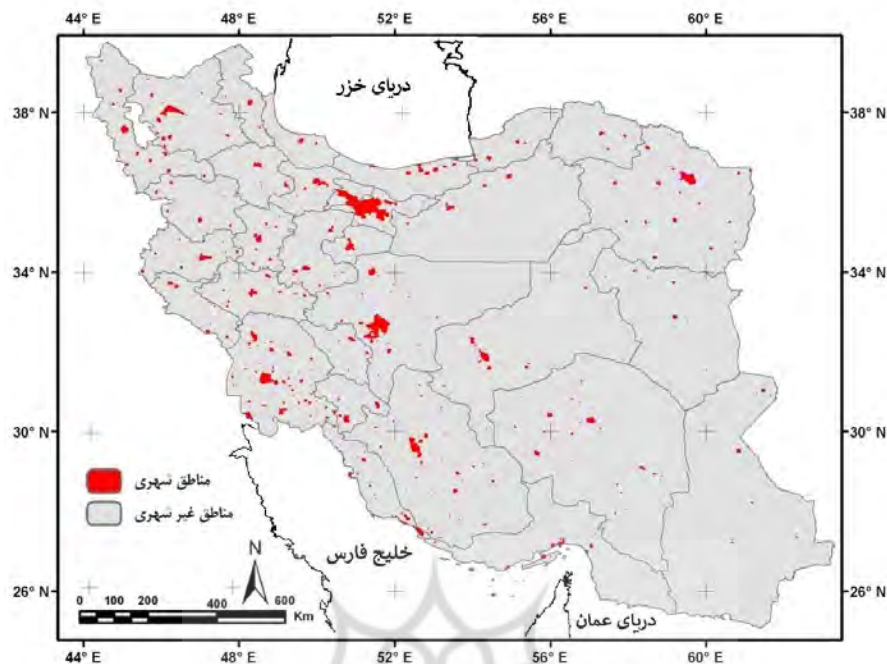
برای اعتبارسنجی مدل، ابتدا رشد شهری مربوط به سال ۱۳۹۲ با استفاده از نقشه های کاربری اراضی سال های ۱۳۷۱ و ۱۳۸۱ شبیه سازی شد. سپس نقشه شبیه سازی شده با نقشه واقعی سال ۱۳۹۲ مقایسه گردید تا صحت مدل مورد ارزیابی قرارگیرد. بر اساس نتایج به دست آمده، دقت کلی مدل پیش بینی برابر ۹۴/۵ درصد و ضریب کاپا ۷۰۹/ محاسبه شد. این سطح از دقت، قابلیت اطمینان روش ترکیبی سلول های خودکار-زنجیره مارکوف را در شبیه سازی رشد اراضی ساخته شده تأیید می کند. نتایج مربوط به شبیه سازی رشد شهری در سال ۱۳۹۲ در شکل ۱۱ نشان داده شده است.



شکل ۱۱: مناطق شهری پیش‌بینی‌شده برای سال ۱۳۹۲

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۴۰۳

بنابراین، پس از ارزیابی نتایج شبیه‌سازی رشد شهری در سال ۱۳۹۲ و اثبات کارایی بالای مدل سلول‌های خودکار و زنجیره مارکوف در مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی، نقشه شبیه‌سازی‌شده در مجموعه شهری تهران برای سال ۱۴۱۰ شبیه‌سازی شد. بدین‌منظور برای شبیه‌سازی رشد شهری در مجموعه شهرهای ایران در سال ۱۴۱۰ از نقشه‌های اراضی ساخته‌شده مربوط به سال‌های ۱۳۷۱ و ۱۳۹۲ استفاده شد. شکل ۱۲، الگوی پیش‌بینی‌شده مناطق شهری برای سال ۱۴۱۰ را ارائه می‌دهد. بر پایه نتایج این شبیه‌سازی و با توجه به روند جاری گسترش شهری، پیش‌بینی می‌شود که مساحت اراضی شهری تا سال ۱۴۱۰ به بیش از ۲۶,۱۵۶ کیلومتر مربع افزایش یابد؛ بنابراین با توجه به نتایج پیش‌بینی گسترش فضایی اراضی ساخته‌شده در سطح کشور تا سال ۱۴۱۰ می‌توان گفت که اراضی ساخته‌شده در این محدوده، افزایش بی‌سابقه‌ای را تجربه نموده است. بر اساس پیش‌بینی‌های انجام‌شده، مساحت اراضی شهری از حدود ۱۴۹۴۸ کیلومتر مربع در سال ۱۳۹۲ به بیش از ۲۶۱۵۶ کیلومتر مربع در سال ۱۴۱۰ افزایش خواهد یافت. این افزایش طی یک دوره ۱۸ ساله معادل ۱۱۲۰۸ کیلومتر مربع بوده و نرخ رشد سالانه آن در این بازه ۲۲/۶ درصد برآورد شده است.

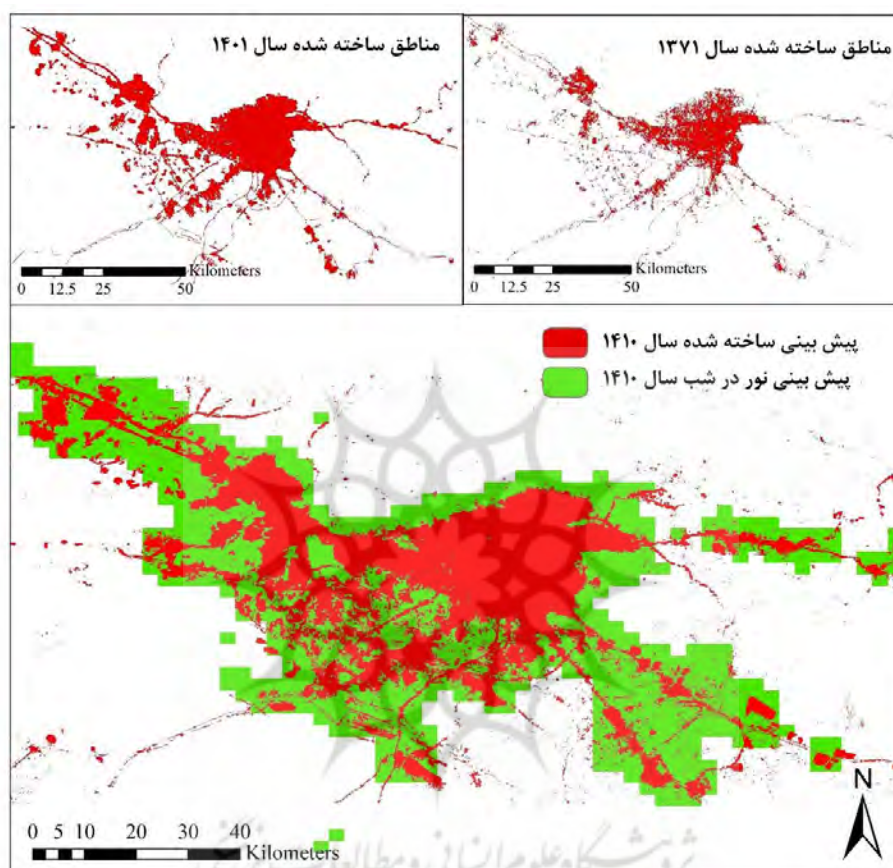


شکل ۱۲: مناطق شهری پیش‌بینی شده برای سال ۱۴۱۰

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۴۰۳

در پایان، به‌منظور پیش‌بینی و سپس مقایسه نتایج به‌دست‌آمده، نقشه کاربری ساخته‌شده مربوط به سال‌های ۱۳۷۱، ۱۳۹۲ و ۱۴۰۱ مربوط به منطقه شهری تهران و کرج با استفاده از تصاویر لندست ۸ استخراج‌گردید. بدین‌منظور ابتدا محدوده اراضی ساخته‌شده در سال ۱۴۰۱ استخراج‌شد. سپس با استفاده از نقشه‌های کاربری اراضی سال‌های ۱۳۷۱ و ۱۳۹۲، رشد شهری سال ۱۴۰۱ شبیه‌سازی گردید. در نهایت، نقشه شبیه‌سازی‌شده با نقشه واقعی سال ۱۴۰۱ مقایسه‌شد. باتوجه‌به ضریب کاپای به‌دست‌آمده برای منطقه شهری تهران و کرج که برابر با ۷۶٫۲۸ می‌باشد و این سطح از دقت، قابلیت اتکای روش ترکیبی سلول‌های خودکار-زنجیره مارکوف را در شبیه‌سازی رشد شهری تأیید می‌کند. این در حالی است که اراضی ساخته‌شده در محدوده شهر تهران و کرج در ۱۳۷۱ مساحتی بالغ بر ۸۰ هزار هکتار دارا می‌باشد و این میزان در سال ۱۳۹۲ به مساحتی بالغ بر ۱۲۷ هزار هکتار می‌رسد و این اراضی در سال به مساحتی بالغ بر ۱۴۹ هزار هکتار می‌رسد؛ بنابراین پس از ارزیابی نتایج شبیه‌سازی رشد شهری در سال ۱۳۹۲ و اثبات کارایی بالای مدل سلول‌های خودکار و زنجیره مارکوف در مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی، نقشه شبیه‌سازی‌شده منطقه شهری تهران و کرج برای سال ۱۴۱۰ شبیه‌سازی شد که مساحت اراضی ساخته‌شده در محدوده مورد نظر در سال ۱۴۱۰ به بالغ بر ۱۸۱ هزار هکتار می‌رسد. بدین‌منظور، برای شبیه‌سازی رشد شهری در منطقه شهری تهران و کرج در سال ۱۴۱۰ از نقشه اراضی ساخته‌شده سال‌های ۱۳۷۱ و ۱۴۰۱ استفاده شد. شکل ۱۳ محدوده‌های شهری پیش‌بینی‌شده سال ۱۴۱۰ مربوط به داده‌های «NSL» و لندست را نمایش می‌دهد. جهت ارزیابی صحت محدوده‌های شهری استخراج‌شده از تصاویر با وضوح بالاتر؛ یعنی لندست استفاده شده است. در این بخش نقشه‌های پیش‌بینی‌شده حاصل از تصاویر لندست ۸ (OLI) جهت ارزیابی نتایج پیش‌بینی تصاویر «NSL» مربوط به سال ۱۴۱۰ استفاده گردید. شکل ۱۳ محدوده‌های شهری استخراج‌شده از داده‌های «NSL» را در مقایسه با نتایج داده‌های لندست ارائه‌کرده صحت کلی و ضریب کاپای به‌دست‌آمده برای منطقه شهری تهران و کرج به ترتیب ۸۶٫۱۹٪

و ۵۹، نشان می‌دهد. با توجه به مقایسه نقشه پیش‌بینی مربوط به سال ۱۴۱۰ لندست و تصاویر «NSL» می‌توان به دقت مناسب داده‌های «NSL» در زمینه مطالعه و برنامه‌ریزی شهری به‌منظور توسعه پایدار مناطق شهری در سطح کلان پی‌برد.



شکل ۱۳: مناطق شهری ۱۳۷۱، ۱۴۰۱ و پیش‌بینی ۱۴۱۰ در منطقه شهری تهران و کرج

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۴۰۳

بنابراین آنچه در این‌جا قابل تأمل است، نتایج مشابهی است که در نتیجه رشد سریع مناطق شهری با توجه به الگوها و فرایندهای مربوط به سازمان‌یابی فضایی مناطق کلان‌شهری در تمام مناطق شهری دنیا و بالاخص در کشورهای در حال توسعه را به بار می‌آورد. نتایج تحقیق حاضر نیز مشابه بسیاری از تحقیقات صورت گرفته در سطح دنیا می‌باشد. این در حالی است که بررسی‌های مطالعات متعدد نشان داده است که رشد مناطق شهری به‌طور کلی دارای پیامدهای مختلفی می‌باشد از جمله: تولید اقتصادی بالاتر و فرصت‌های اشتغال بیشتر، تخریب ساختار زیست‌محیطی و اکولوژیکی، آلودگی‌های زیست‌محیطی، ازدست‌دادن آب‌های سطحی و استخراج آب‌های زیرزمینی، افزایش درجه حرارت، سکونتگاه‌های غیررسمی، نابودی زمین‌های کشاورزی و جنگل و کمبود مواد غذایی. این گسترش پراکنده و بدون برنامه در منطقه کلان‌شهری تهران علاوه بر کاهش‌دادن مشکلات در این کلان‌شهر، باعث گسترش مشکلاتی از قبیل: تخریب اراضی کشاورزی، گسترش در نواحی بدون زیرساخت، نارسایی خدمات شهر در حومه‌ها، گسترش حومه‌های پراکنده در امتداد جاده‌ها، بحران آب، پیوستگی بافت‌های نامنسجم شهری و روستایی، آلودگی محیط‌زیست،

نارسایی حمل و نقل عمومی و غیره در سطح کل منطقه کلان‌شهری تهران شده است؛ بنابراین در برنامه‌ریزی‌های آینده این منطقه کلان‌شهری، باید به الگوی اثر متقابل مؤلفه‌های اجتماعی-اقتصادی، محیطی، توپوگرافی و ارتباطی در کنار عوامل سیاسی و مدیریتی توجه نمود.

نتیجه‌گیری

فرآیند رشد و گسترش فیزیکی مناطق شهری، به‌عنوان یکی از کلیدی‌ترین دگرگونی‌های فضایی-اجتماعی عصر حاضر محسوب می‌شود. درواقع، گسترش شتابان شهرنشینی در سطح جهان، به‌ویژه از نیمه دوم قرن بیستم، آن را به پدیده‌ای نوین و تعیین‌کننده در حیات جمعی بشر تبدیل کرده است. این روند، که برآمده از قوانین ناگزیر اقتصادی و فضایی در مقیاس جهانی است، همچنان مسیر تکاملی خود را طی می‌کند و ساختار سکونتگاه‌های انسانی را به شکلی بنیادین دگرگون ساخته است اما ضعف در پژوهش‌ها و مطالعات راهبردی در مقیاس کلان و همچنین فقدان نگرش‌های واقع‌بینانه و شناخت ناکافی نسبت به چپستی و چگونگی گسترش این پدیده در کشورهای درحال توسعه و به‌خصوص ایران باعث ناتوانی در ارائه راهکارهای مناسب و کاربردی در جهت استفاده از مزیت‌های این پدیده شده است. براین‌اساس، این مطالعه به بررسی مدل‌سازی الگوی گسترش مناطق شهری ایران پرداخته است؛ در این مطالعه برای اولین بار به بررسی الگوی رشد شهری در سطح ملی پرداخته است؛ بنابراین با توجه به داده‌های «NSL» گسترش فضایی اراضی ساخته‌شده در سطح کشور از سال ۱۳۷۱ تا ۱۳۹۲ می‌توان گفت اراضی شهری از حدود ۶۲۱۱ کیلومتر مربع در سال ۱۳۷۱ به بیش از ۱۴۹۴۸ کیلومتر مربع در سال ۱۳۹۲ با نرخ رشد سالانه ۴/۶ درصد افزایش یافته است. بررسی تطبیقی رشد اراضی ساخته‌شده با متغیرهای جمعیتی و اقتصادی (شامل: جمعیت کل کشور، جمعیت شهری و تولید ناخالص داخلی) حاکی از وجود یک رابطه خطی معنادار بین شاخص‌های مذکور می‌باشد. مقایسه رشد اراضی ساخته‌شده با میزان جمعیت کشور، جمعیت شهری کشور و تولید ناخالص نشان‌دهنده ارتباط خطی بین آن‌ها می‌باشد. میزان R^2 برای جمعیت کل کشور برابر با ۰,۸۳۸ می‌باشد که در بین سه شاخص محاسبه‌شده، کمترین میزان ارتباط خطی بین داده‌ها را نشان می‌دهد، پس از آن جمعیت شهری با R^2 برابر با ۰,۸۵۴ می‌باشد. تولید ناخالص ملی نیز با R^2 برابر با ۰,۸۹۴ بالاترین میزان همبستگی را با داده‌های «NSL» دارا می‌باشد. در مرحله بعد، پس از ارزیابی نتایج شبیه‌سازی رشد شهری در سال ۱۳۹۲ و اثبات کارایی بالای مدل سلول‌های خودکار و زنجیره مارکوف در مدل‌سازی تغییرات کاربری اراضی، نقشه شبیه‌سازی‌شده در مجموعه شهرهای ایران برای سال ۱۴۱۰ شبیه‌سازی شد. با توجه به نتایج پیش‌بینی گسترش فضایی اراضی ساخته‌شده در سطح کشور تا سال ۱۴۱۰ می‌توان گفت که اراضی ساخته‌شده در این محدوده افزایش بی‌سابقه‌ای را تجربه نموده است به‌طوری‌که میزان اراضی شهری از حدود ۱۴۹۴۸ کیلومتر مربع در سال ۱۳۹۲ به بیش از ۲۶۱۵۶ کیلومتر مربع در سال ۱۴۱۰ افزایش یافته است. میزان افزایش اراضی شهری در این دوره ۱۸ ساله معادل ۱۱۲۰۸ کیلومتر مربع و نرخ رشد سالانه اراضی شهری برابر ۶,۲۲ درصد بوده است؛ بنابراین با توجه به عدم وجود تحقیقات مشابه در زمینه مدل‌سازی رشد شهری در مقیاس ملی، نتایج این تحقیق می‌تواند با ایجاد پیش‌زمینه‌ای از آینده، تصمیم‌گیران را در ارزیابی الگوهای پیشنهادی توسعه یاری نماید. با این حال، ضعف پژوهش‌ها و مطالعات راهبردی در مقیاس ملی و منطقه‌ای و فقدان نگرش‌های واقع‌بینانه و عدم شناخت و دانش کافی در خصوص چپستی و چگونگی گسترش این پدیده در کشورهای درحال توسعه و بالاخص ایران،

باعث ناتوانی در ارائه راهکارهای مناسب و کاربردی در جهت استفاده از مزیت‌های این پدیده شده است. از آن جا که ارائه راهکارهای عملی و مؤثر مستلزم درک دقیق روند شکل‌گیری و ابعاد مسائل پیش‌روست، شناسایی عوامل مؤثر بر فرآیند پیدایش، تکوین، دگرگونی و همچنین تبیین مکانیسم‌های حاکم بر شکل‌گیری و تحول سیستم‌های شهری در سطح ملی، می‌تواند ضمن تعمیق شناخت نظری و تحلیل مسئله، به‌عنوان پایه‌ای برای پژوهش‌های آتی و اتخاذ سیاست‌ها و راهبردهای متناسب در سطح کشور مورد توجه قرارگیرد. بر این اساس، این مطالعه به مدل‌سازی الگوی گسترش مناطق شهری ایران پرداخته است؛ با این حال، در این پژوهش به‌دلیل محدودیت‌های مربوط به تجزیه و تحلیل (به‌عنوان مثال؛ داده‌های سنجش‌ازدور، سرشماری و غیره) ممکن است نتایج حاصل از این مطالعه با توجه به گستردگی موضوع با کاستی‌هایی مواجه باشد. با این حال، با توجه به گستردگی موضوع و این‌که در زمینه مطالعات در سطح ملی در ابتدای راه قرارداریم، می‌توان راهکارها و پیشنهاداتی را برای مطالعات آتی ارائه داد.

پیشنهادهای

مناطق شهری به‌عنوان منابعی از فرصت‌های اقتصادی، اجتماعی، زیست‌محیطی و تکنولوژی می‌باشند، بدین ترتیب آن‌ها به‌عنوان پدیده‌ای مستمر و پایدار به جذب جمعیت بیشتر عمل می‌کنند؛ بنابراین در مطالعات آتی نیازمند تدوین استراتژی‌ها، سیاست‌های مؤثر و متعادل در زمینه شهرنشینی با توجه به ویژگی‌ها و نظریه‌های مؤثر در کشورهای در حال توسعه و بالاخص ایران در قرن شهرنشینی می‌باشیم.

در این مطالعه، از داده‌های با محدودیت خاص و دوره‌های زمانی محدودی جهت بررسی رفتار سیستم شهری در کشور ایران استفاده شد. در مطالعات آتی می‌توان از داده‌هایی با کیفیت مناسب استفاده کرد و از لحاظ زمانی نیز دوره‌ای طولانی‌تر را مورد بررسی قرار داد تا علاوه بر توسعه شمول، با انجام تجزیه و تحلیل‌های مکرر مدل‌سازی گسترش مناطق شهری در کشورهای در حال توسعه بهتر درک شود.

استفاده از داده‌های سنجش‌ازدور با وضوح تصویر بالاتر می‌تواند به محققان در زمینه مدل‌سازی نحوه گسترش مناطق شهری کمک کند و همچنین می‌تواند جزئیات بیشتری را در جهت ارائه مدل‌های انعطاف‌پذیرتر در دسترس قرار دهد.

توجه به ایجاد و توسعه سیاست‌های مناسب، جامع و فراگیر مبتنی بر رویکردها و تئوری‌های مناسب در زمینه برنامه‌ریزی شهری در جهت کاهش مشکلات و محدودیت‌ها در این مناطق و همچنین افزایش رضایتمندی و بهره‌وری برای مقامات و مدیران برنامه‌ریزان شهری.

توجه به ارائه رویکردهای برنامه‌ریزی نوین و همه‌جانبه‌نگر جهت مقابله با مشکلات برنامه‌ریزی فیزیکی و تکامل استراتژی‌های مناسب در جهت هماهنگی برنامه‌ریزان ملی و منطقه‌ای.

ضرورت ایجاد مدیریت یکپارچه برای تهیه و ضمانت اجرایی هرگونه طرح آمایشی و ایجاد رویه وحدت در مدیریت‌های محلی.

منابع

- ابراهیم‌زاده، عیسی؛ حمیدرضا وارثی؛ محمود اکبری (۱۳۸۹). نقش مهاجرت‌های روستایی در اسکان غیررسمی: نمونه اهواز، فصلنامه پژوهش‌های روستایی. شماره ۱. دوره ۱. صفحات ۱۹۱-۱۶۷.
- <https://sid.ir/paper/180924/fa>
- امانپور، سعید؛ مهدی علیزاده؛ صفیه دامن‌باغ (۱۳۹۹). شناسایی و تحلیل الگوی گسترش شهر اهواز در بازه زمانی ۱۳۶۰ تا ۱۴۰۰، فصلنامه مطالعات توسعه پایدار شهری و منطقه‌ای. شماره ۱. دوره ۱. صفحات ۹۶-۷۷.
- https://www.srds.ir/article_122922_525149bd1efc77df6e2c274472552ad8.pdf
- باقری، امیرحسین؛ مجتبی آراسته؛ خلیل حاجی‌پور (۱۴۰۳). واکاوی الگوهای رشد شهری در بازه زمانی ۲۰ ساله بر اساس فنون تحلیل فضایی؛ نمونه موردی: شهر شیراز، جغرافیا و پایداری محیط. شماره ۱۹. دوره ۴. صفحات ۱۹-۱.
- [doi: 10.22126/ges.2024.10846.2771](https://doi.org/10.22126/ges.2024.10846.2771)
- پورمحمدی، محمدرضا؛ فیروز جمالی؛ اکبر اصغری‌زمانی (۱۳۸۷). ارزیابی گسترش فضایی-کالبدی شهر زنجان با تأکید بر تغییر کاربری زمین طی دوره ۱۳۸۴-۱۳۵۵ (۱۹۷۵-۲۰۰۵)، پژوهش‌های جغرافیای انسانی. شماره ۴۱. دوره ۱. صفحات ۴۶-۲۹.
- https://jhgr.ut.ac.ir/article_19770.html
- تقوایی، مسعود؛ میرنجف موسوی (۱۳۹۰). نقدی بر شاخص‌های تعیین نخست شهری و ارائه شاخصی جدید (با نگاهی تحلیلی بر شاخص‌های نخست شهری در ایران)، فصلنامه جغرافیا و مطالعات محیطی. صفحات ۴۲-۳۲.
- <https://ensani.ir/file/download/article/20120326120423-1154-3.pdf>
- جواهری، بختیار؛ صلاح ابراهیمی (۱۴۰۱). بررسی عوامل مؤثر بر نرخ شهرنشینی در استان‌های ایران: روش اقتصادسنجی فضایی، فصلنامه مطالعات شهری. شماره ۱۱. دوره ۴۲. صفحات ۶۰-۴۹.
- [doi: 10.34785/J011.2022.599](https://doi.org/10.34785/J011.2022.599)
- حاجی‌زاده‌شیخ‌وانلو، علی؛ حبیب خاوری؛ مهناز رضائی (۱۴۰۱). تحلیل الگوی توسعه و رشد و پراکندگی شهری با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای (محدوده موردبررسی: شهر کاشمر)، جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره ۱۱. دوره ۳. صفحات ۲۸۳-۲۶۹.
- [doi: 10.22067/geoeh.2022.76794.1231](https://doi.org/10.22067/geoeh.2022.76794.1231)
- حسینی، سیداحمد؛ عیسی ابراهیم‌زاده؛ مجتبی رفیعیان؛ مهدی مدیری (۱۳۹۴). نظارت بر پویایی شهرنشینی در ایران معاصر با استفاده از تصاویر چند زمانه DMSP/OLS، فصلنامه اطلاعات جغرافیایی (سپهر). شماره ۹۶. دوره ۲۴. صفحات ۳۷-۲۱.
- <https://www.ensani.ir/file/download/article/20160515142507-9987-217.pdf>
- دخت‌لیوارجانی، پروین؛ علی شیخ‌اعظمی (۱۳۸۸). بررسی پدیده نخست شهری در ایران در سال ۱۳۸۵ سیاست و سرزمین، فصلنامه فضای جغرافیایی. سال نهم. شماره ۲۷. صفحات ۲۰۲-۱۸۱.
- <https://www.magiran.com/p663742>

رمضانی، نفیسه؛ رضا جعفری (۱۳۹۳). آشکارسازی تغییرات کاربری و پوشش اراضی در افق ۱۴۰۴ با استفاده از مدل زنجیره‌ای CA مارکوف) مطالعه موردی: اسفراین، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی. سال ۲۹. شماره چهارم. زمستان ۱۳۹۳. شماره پیاپی ۱۱۵. صفحات ۹۶-۸۳.

<http://georesearch.ir/article-۱-۳۲۵-fa.html>

زیاری، کرامت‌اله؛ ثمین یوسفی (۱۴۰۴). سیر تحول و تحلیل مکانی- زمانی شهر و شهرنشینی در ایران ۱۳۹۵-۱۳۳۵، جغرافیا و برنامه‌ریزی.

[doi: 10.22034/gp.2025.62849.3288](https://doi.org/10.22034/gp.2025.62849.3288)

عبدالامیر، کرم (۱۳۸۴). تحلیل تناسب زمین برای توسعه کالبدی در محور شمال غرب شیراز با استفاده از رویکرد ارزیابی چندمعیاره (MCE) در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی (ساج- GIS)، پژوهش‌های جغرافیایی. شماره ۵۴. زمستان ۱۳۸۴. صفحات ۱۰۶-۹۳.

https://jrg.ut.ac.ir/article_17772_4500671a4a1764fbfc8bf7698d44a79a.pdf

غیبی، محمد؛ کاظم جاجرمی (۱۳۹۰). بررسی و تحلیل تحولات نظام شهری استان تهران طی سال‌های ۱۳۵۵ تا ۱۳۸۵، فصلنامه علمی پژوهشی نگرش‌های نو در جغرافیای انسانی. سال سوم. شماره سوم. تابستان ۱۳۹۰. صفحات ۴۲-۲۷.

<https://www.magiran.com/p976656>

فرهودی، رحمت‌الله؛ سعید زنگنه‌شهرکی؛ رامین ساعدموچشی (۱۳۸۸). چگونگی توزیع فضایی جمعیت در نظام شهری ایران طی سال‌های ۱۳۳۵ تا ۱۳۸۸، پژوهش‌های جغرافیای انسانی. شماره ۶۸.

https://jhgr.ut.ac.ir/article_19819_74a853cbc60486153cff89173152eab2.pdf

قراگوزلو، علیرضا؛ علی نوری‌کرمانی؛ زهرا کشمیری (۱۳۸۸). ارزیابی تغییرات کالبدی و تحلیل توسعه شهری با استفاده از داده‌های ماهواره ای با قدرت تفکیک بالا و سامانه‌های GIS/RS (مطالعه موردی منطقه پنج شهر تهران)، علوم و تکنولوژی محیط زیست. شماره یک. دوره ۱۱. ویژه‌نامه. مسلسل ۴۰. صفحات ۲۲۹-۲۱۹.

[SID. https://sid.ir/paper/366813/fa](https://sid.ir/paper/366813/fa)

میرآبادی، مصطفی؛ صادق بشارتی‌فر؛ احمد کریمی (۱۳۹۷). تحلیلی بر الگوی فضایی، ابعاد و عوامل مرتبط با رشد شهرنشینی دوره معاصر در ایران (با تأکید بر شاخص‌های توسعه‌ای و معیشتی). پژوهش‌های جغرافیای برنامه‌ریزی، شماره ۶. دوره ۳. صفحات ۶۲۷-۶۰۵.

[doi: 10.22059/jurbangeo.2018.231102.698](https://doi.org/10.22059/jurbangeo.2018.231102.698)

هواسی، حامد؛ سیدمرتضی احمدی؛ سیدعباس رجایی (۱۴۰۳). بررسی تأثیر تحولات مکانی و زمانی در رشد و گسترش شهرنشینی در غرب کشور بر پایداری و تاب‌آوری زنجیره تامین دفاعی ج.ا.ایران، فصلنامه آماد و فناوری دفاعی. شماره ۷. دوره ۴. صفحات ۱۸۲-۱۵۱.

[doi: 10.1001.1.28212606.1403.7.4.5.9](https://doi.org/10.1001.1.28212606.1403.7.4.5.9)

References

- H., Y mmmi ,, aaaaaa aaaZ. H. (2018). Monitoring and assessment of urban growth patterns using spatio-temporal built-up area analysis. *Environmental Monitoring and Assessment*, 190(3).
[doi:10.1007/s10661-018-6522-9](https://doi.org/10.1007/s10661-018-6522-9).
- Arnold, J.; Kleemann, J.; Fürst, C. (2018). A Differentiated Spatial Assessment of Urban Ecosystem Services Based on Land Use Data in Halle, Germany. *Land*, 7, 101.
<https://doi.org/10.3390/land7030101>.
- Baugh, K., Elvidge, C. D., Ghosh, T., & Ziskin, D. (2010). Development of a 2009 stable lights product using DMSP-OLS data. In *Proceedings of the 30th Asia-Pacific advanced network meeting* (114-130).
<https://doi.org/10.7125/APAN.30.17>
- Cao, X., Chen, J., Imura, H., & Higashi, O. (2009). A SVM-based method to extract urban areas from DMSP-OLS and SPOT VGT data. *Remote Sensing of Environment*, 113, 2205-2209.
<https://doi.org/10.1016/j.rse.2009.06.001>
- Chen, D., Yang, X., Li, X., Fu, H., & Duan, Y. (2025). Quantifying urban land expansion using remote sensing data and multi-evaluation indices in the Lower Yellow River, China. *Environmental and Sustainability Indicators*, 26, Article 100643.
<https://doi.org/10.1016/j.indic.2025.100643>
- Chen, J., Zhuo, L., Shi, P., & Ichinose, T. (2003). A study of the urbanization process in China based on DMSP/OLS data: Development of a light index for urbanization level estimation. *Journal of Remote Sensing*, 7(3), 168-175.
<https://doi.org/10.11834/jrs.20030302>
- Cheng, Y., Zhao, L., Chakraborty, T. C., Oleson, K., Demuzere, M., Liu, X., Che, Y., Liao, W., Zhou, Y., & Li, X. (2024). U-Surf: A global 1 km spatially continuous urban surface property dataset for kilometer-scale urban-resolving Earth system modeling. *Earth System Science Data*, 17(5), 2147-2174.
<https://doi.org/10.5194/essd-17-2147-2025>
- Elvidge, C. D., Baugh, K. E., Kihn, E. A., Kroehl, H. W., & Davis, E. R. (1997). Mapping city lights with nighttime data from the DMSP Operational Linescan System. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 63, 727-734.
<https://www.asprs.org/publications/pers>
- Elvidge, C. D., Imhoff, M. L., Baugh, K. E., Hobson, V. R., Nelson, I., Safran, J., et al, (2001). Night-time lights of the world: 1994-1995. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 56, 81-99.
[https://doi.org/10.1016/S0924-2716\(01\)00040-5](https://doi.org/10.1016/S0924-2716(01)00040-5)
- Elvidge, C. D., Tuttle, B. T., Sutton, P. C., Baugh, K. E., Howard, A. T., Milesi, C., et al, (2007). Global distribution and density of constructed impervious surfaces. *Sensors*, 7, 1962-1979.
<https://doi.org/10.3390/s7091962>
- Elvidge, C. D., Ziskin, D., Baugh, K. E., Tuttle, B. T., Ghosh, T., Pack, D. W., et al, (2009). A fifteen-year record of global natural gas flaring derived from satellite data. *Energies*, 2, 595-622.
<https://doi.org/10.3390/en20300595>
- Guan, D., Li, H., Inohae, T., Su, W., Nagaie, T., & Hokao, K. (2011). Modeling urban land use change by the integration of cellular automaton and Markov model. *Ecol Model* 222:3761-3772.
[doi:10.1016/j.ecol_model.2011.09.009](https://doi.org/10.1016/j.ecol_model.2011.09.009)

- He, C., Okada, N., Zhang, Q., Shi, P., & Li, J. (2008). Modelling dynamic urban expansion processes incorporating a potential model with cellular automata. *Landscape Urban Plan* 86:79-91.
doi.org/10.1016/j.landurbplan.2007.12.010
- He, C., Shi, P., Li, J., Chen, J., Pan, Y., Li, J., et al, (2006). Restoring urbanization process in China in the 1990 by using non-radiance calibrated DMSP/OLS nighttime light imagery and statistical data. *Chinese Sci Bull*, 51(13), 1614-1620.
<https://doi.org/10.1007/s11434-006-2006-3>
- Henderson, M., Yeh, E. T., Gong, P., Elvidge, C. D., & Baugh, K. E. (2003). Validation of urban boundaries derived from global night-time satellite imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 24(3), 595-609.
<https://doi.org/10.1080/01431160304982>
- Hosseini, S. A., Modiri, M., Salehi Mishani, H., & Mansourian, H. (2015). Evaluation and Optimization of
 rrrr a aaaa S SRRRRRRRRRRRRRRRRRRR aaa mmffff S Sciences, 87(1):72-80
<http://dx.doi.org/10.1590/0001-3765201521566178>.
- Imhoff, M. L., Lawrence, W. T., Stutzer, D. C., & Elvidge, C. D. (1997). A technique for using composite
 OOOO●OO●ggg edltt llllllll ll m aaaa sssssRem ssss nn ff Errrr nmm
 361-370.
[https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(97\)00046-1](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(97)00046-1)
- Li, X., & Zhou, Y. (2017). Urban mapping using DMSP/OLS stable night-time light: A review. *International Journal of Remote Sensing*, 38(21), 5879-5907.
[DOI:10.1080/01431161.2016.1274451](https://doi.org/10.1080/01431161.2016.1274451)
- Li, X., Gar-On, Y. (2004). Data mining of cellular automata's transition rules. *Int J Geogr Inf Sci* 18:723-744.
[doi:10.1080/13658810410001705325](https://doi.org/10.1080/13658810410001705325)
- Liu, J., Zhang, Z., Xu, X., Kuang, W., Zhou, W., Zhang, S., et al, (2010). Spatial patterns and driving forces of land use change in China during the early 21st century. *Journal of Geographical Sciences*, 20(4), 483-494.
[tps://doi.org/10.1007/s11442-010-0483-4](https://doi.org/10.1007/s11442-010-0483-4)
- Liu, M., Tang, X., Liu, J., & Zhuang, D. (2001). Research on scaling effect based on 1-km grid cell data. *Journal of Remote Sensing*, 5(3), 183-190.
<https://doi.org/10.11834/jrs.20010305>
- Liu, Z., He, C., Zhang, Q., Huang, Q. & Yang, Y. (2012). Extracting the dynamics of urban expansion in China using DMSP-OLS nighttime light data from 1992 to 2008. *Landscape and Urban Planning*. 106, 62-72.
<https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2012.02.013>
- Lyu, J. Urbanization initiates divergent evolution and eco-evolutionary feedbacks. *Nat. Plants* (2025).
<https://doi.org/10.1038/s41477-025-02193-5>
- Ma, T., Zhou, C., Pei, T., Haynie, S. & Fan, J. (2012). Quantitative estimation of urbanization dynamics using time series of DMSP/OLS nighttime light data: A comparative case study from China's cities. *Remote Sensing of Environment*. 124, 99-107.
<https://doi.org/10.1016/j.rse.2012.04.018>
- Milesi, C., Elvidge, C. D., Nemani, R. R., & Running, S. W. (2003). Assessing the impact of urban land development on net primary productivity in the southeastern United States. *Remote Sensing of Environment*, 86, 401-410.
[https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(03\)00081-6](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(03)00081-6)

- Owen, T.W., Gallo, K.P., Elvidge, C.D. & Baugh, K.E. (1998). Using DMSP-OLS light frequency data to categorize urban environments associated with US climate observing stations. *International Journal of Remote Sensing* 19 (17), 3451-3456.
<https://doi.org/10.1080/014311698214127>
- Pumain, Denise, (2006). *The Urbanization presses*, in *Demography : analysis and synthesis : a treatise in population studies* / Graziella Caselli, Jacques Vallin, and Guillaume Wunsch; with contributions by Daniel Courgeau, Volume 2, London: Academic Press.
<https://www.elsevier.com/books/demography/caselli/978-0-12-765660-1>
- uutt .. vvv a ,, & gggggg .. ()))))aa ppigg EErr ii oommmmmnn U
 using nighttime satellite imagery. *Geocarto International*, 21(2), 39-45.
<https://doi.org/10.1080/10106040608542382>
- Sutton, P., Roberts, C., Elvidge, C. & Meij, H., (1997). A comparison of nighttime satellite imagery and population density for the continental United States. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 63 (11), 1303-1313.
<https://www.semanticscholar.org/paper/A-Comparison-of-Nighttime-Satellite-Imagery-and-for-Sutton-Roberts/cf6f0db235054814d141f19a64dfe2c26192bd51>
- Sutton, P., Roberts, D., Elvidge, C., & Baugh, K. (2001). Census from Heaven: An estimate of the global human population using night-time satellite imagery. *International Journal of Remote Sensing*, 22, 3061-3076.
<https://doi.org/10.1080/01431160010007015>
- United Nations (2012) *World Urbanization Prospects: The 2011 Revision* United Nations (Population Division of the Department of Economic and Social Affairs), New York. ESA/P/WP/224.
<https://desapublications.un.org/publications/world-urbanization-prospects-2011-revision>
- United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division. 2019. *World Urbanization Prospects: The 2018 Revision* (ST/ESA/SER.A/420). New York: United Nations.
<https://shop.un.org/product/23243>
- United Nations. (2025). *World urbanization prospects 2025: Summary of results* (UN DESA/POP/2025/TR/NO. 12). United Nations Department of Economic and Social Affairs, Population Division.
https://population.un.org/wup/Publications/Files/WUP2025_Summary_of_Results.pdf
- Wang, C., Xu, W., Chen, Z., Liu, S., Li, W., Zhang, L., Gao, S., Huang, Y., Wu, J., & Yu, B. (2025). STARS: A novel gap-filling method for SDGSAT-1 nighttime light imagery using spatiotemporal and spectral synergy. *Remote Sensing of Environment*, 322, Article 114720.
<https://doi.org/10.1016/j.rse.2025.114720>
- Wang, S. Q., Zheng, X. Q., & Zang, X.B. (2012). Accuracy assessments of land use change simulation based on Markov-cellular automata model, *Procedia Environmental Sciences*, 13:1238-1245.
[doi:10.1016/j.proenv.2012.01.117](https://doi.org/10.1016/j.proenv.2012.01.117)
- White, R., Engelen, G. (1993). Cellular automata and fractal urban form: a cellular modelling approach to the evolution of urban land-use patterns. *Environ Plan A* 25:1175-1199.
[doi:10.1068/a251175](https://doi.org/10.1068/a251175)

- Woldesemayat, E. M., & Genovese, P. V. (2021). Urban green space composition and configuration in functional land use areas in addis ababa, ethiopia, and their relationship with urban form. *Land*, 10(1), 1-21. <https://doi.org/10.3390/land10010085>
- Wu, F. (2002). Calibration of stochastic cellular automata: the application to rural-urban land conversions. *Int J Geogr Inf Sci* 16:795-818. [doi:10.1080/13658810210157769](https://doi.org/10.1080/13658810210157769)
- Yang, X., Zheng, X. Q., & Lv, L. N. (2012). A spatiotemporal model of land use change based on ant colony optimization, Markov chain and cellular automata. *Ecological Modelling*, 233:11-19. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2012.03.011>
- Yikang, Rui. (2013), *Urban Growth Modeling Based on Land-use Changes and Road Network Expansion*, Doctoral Thesis in Geodesy and Geoinformatics with Specialization in Geoinformatics Royal Institute of Technology Stockholm, Sweden. [urn:nbn:se:kth:diva-122182](https://nbn:se:kth:diva-122182)
- Zhang, Q., & Seto, K. C. (2011). Mapping urbanization dynamics at regional and global scales using multi-temporal DMSP/OLS nighttime light data. *Remote Sensing of Environment*, 115, 2320-2329. [doi: 10.1016/j.rse.2011.04.032](https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.04.032)
- Zheng, X., Wang, X., Gao, Y., Liu, D., & Ai, G. (2025). Urban expansion scenario prediction model: Combining multi-source big data, a graph attention network, a vector cellular automata, and an agent-based model. *Remote Sensing*, 17(13), Article 2272. <https://doi.org/10.3390/rs17132272>