

A Comparative Analysis of Land Use/Land Cover Change Patterns in Abadan and Chabahar Cities

Zohreh Rooki¹, Hossein Mohammadi^{2*} , Saeid Bazgeer³, Ali Darvishi Bloorani⁴

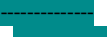
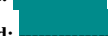
1. Ph.D. Candidate, University of Tehran, Tehran, Iran

2. Corresponding Author, Professor, University of Tehran, Tehran, Iran

Email: hmmohammadi@ut.ac.ir ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6658-4921>

3. Associate Professor, University of Tehran, Tehran, Iran

4. Professor, University of Tehran, Tehran, Iran

Article Info	ABSTRACT
Article type: Research Article	Land use/land cover (LULC) change is one of the most important manifestations of the interaction between human activities and natural systems. Rapid urbanization in coastal cities of the Global South poses serious threats to fragile ecosystems, water bodies, and vegetation cover. This study comparatively analyzes the spatiotemporal patterns of land use changes in two strategic coastal cities in southern Iran (Abadan and Chabahar) over the period 1995–2025, simulates future scenarios up to 2055, and evaluates their implications for sustainable urban planning. Using Landsat satellite imagery (1995–2025) within the Google Earth Engine (GEE) platform, a Support Vector Machine (SVM) algorithm was applied to classify land cover into four classes (water bodies, dense vegetation, built-up areas, and barren land). Change detection was performed using a transition matrix, and future land use up to 2055 was simulated using a Cellular Automata (CA) model. Accuracy was assessed using Overall Accuracy (OA) and the Kappa coefficient. Abadan has experienced explosive urban growth (built-up areas +98%, increasing from 22.38 to 44.33 km²), directly consuming dense vegetation (−34.5%) and water bodies (−24.3%). In contrast, Chabahar shows more restrained urban expansion (+89%), but due to climatic fragility and inefficient management, it has experienced a dramatic decline in vegetation cover (−52%). The transition matrix revealed that 53% of Abadan's urban growth occurred at the expense of vegetation, while 67% of Chabahar's expansion was driven by barren lands. Projections for 2055 indicate a critical scenario: built-up areas will dominate in both Abadan (62.3%) and Chabahar (82.78%), water bodies will nearly disappear (Abadan: 0.89%; Chabahar: 0.40%), and vegetation cover will fall below 9%. Despite similar climatic contexts, Abadan and Chabahar follow two distinct yet equally unsustainable trajectories.
Article history:	
Received: 	
Revised: 	
Accepted: 	
Published: 	
Keywords: Land Use/Land Cover (LULC) change, SVM classification, Google Earth Engine (GEE), Abadan, Chabahar, Cellular Automata, sustainable urban planning.	

How to Cite: Last Name, Initial., Last Name, Initial., & Last Name, Initial. (2021). Title of paper. *Journal of Natural Environmental Hazards*, -- (--), ---.



© The Author/Authors

Publisher: University of Sistan and Baluchestan

DOI: 000000000000000000

EXTENDED ABSTRACT

INTRODUCTION

Land Use and Land Cover (LULC) change is one of the most significant manifestations of the interaction between human activities and natural systems, playing a crucial role in ecological sustainability, the hydrological cycle, biodiversity conservation, and environmental quality. Rapid urbanization in coastal regions, particularly in developing countries, has intensified pressure on natural resources, reduced vegetation cover, and altered the spatial structure of urban environments. Numerous studies have demonstrated that uncontrolled urban expansion can lead to the degradation of sensitive ecosystems, increased land surface temperatures, intensified urban heat island effects, and reduced environmental resilience. In recent decades, the use of remote sensing data and cloud-based processing platforms such as Google Earth Engine (GEE) has enabled long-term monitoring of land use and land cover changes with high accuracy and efficiency. In addition, machine learning algorithms, particularly the Support Vector Machine (SVM), have demonstrated strong performance in land-cover classification. Despite the growing body of research on LULC change, most existing studies have focused on a single city or specific region, with limited attention given to comparative analyses of coastal cities that share similar environmental conditions but follow different development trajectories. Furthermore, many studies have not adequately addressed the long-term prediction of spatial change patterns and the assessment of their implications for sustainable urban planning. Abadan and Chabahar, as two strategically important coastal cities in southern Iran, are characterized by relatively similar climatic conditions; however, they differ considerably in terms of economic structure, urban development trends, and environmental pressures. Therefore, a comparative investigation of land use and land cover changes in these two cities can provide deeper insights into patterns of spatial transformation and the environmental consequences of urbanization. Accordingly, the primary objective of this study is to analyze the trends of land use and land cover (LULC) changes in Abadan and Chabahar during the period 1995–2025, identify transition pathways among different land-use classes, and predict future development patterns up to 2055. The central hypothesis of the study is that, despite the two cities being located within a broadly similar climatic zone, differences in human, economic, and managerial factors have led to distinct land-use change trajectories and, consequently, divergent environmental and urban planning outcomes. The findings of this research are expected to provide a scientific basis for the formulation of sustainable development strategies, the conservation of natural resources, and the effective management of urban growth in the coastal regions of southern Iran.

DATA AND METHODOLOGY

This study adopts a quantitative, comparative, and remote sensing-based approach to investigate the spatiotemporal dynamics of Land Use and Land Cover (LULC) in the two coastal cities of Abadan and Chabahar during the period 1995–2025, as well as to predict future change patterns up to the 2055 horizon. The dataset consisted of Landsat satellite imagery acquired from the TM, ETM+, and OLI sensors for the years 1995, 2005, 2015, and 2025, which were obtained and processed through the Google Earth Engine (GEE) cloud-computing platform. To enhance data quality and reliability, several preprocessing procedures were conducted, including cloud and cloud-shadow removal, radiometric correction, image compositing, and extraction of the study-area boundaries.

Table 1. Specifications of Landsat images used for land use/land cover classification

Satellite	Sensor	Spatial Resolution (m)	Number of Bands
Landsat 5	TM	30*30	7
Landsat 7	+ ETM	30*30	۸
Landsat 8	OLI	30*30	۱۲

این نسخه موقت و قبل از چاپ نهایی می باشد. لطفا برای ارجاع دقت کنید این نسخه بدون تاریخ و شماره است.



Figure 1: Geographic location of the study areas (Abadan and Chabahar).

RESULTS AND DISCUSSION

The classification results of the satellite imagery revealed significant land use and land cover changes in both study areas. In Abadan, the area of built-up land increased from 22.38 km² in 1995 to 44.33 km² in 2025. During the same period, vegetation cover decreased from 33.69 to 22.06 km², barren land declined from 49.34 to 39.59 km², and water bodies decreased from 5.64 to 4.27 km². Change detection analysis indicated that the largest land-use transitions occurred toward built-up areas, which exhibited the highest rate of expansion throughout the study period.

Similarly, in Chabahar, the extent of built-up land increased from 13.36 km² in 1995 to 25.28 km² in 2025. In contrast, vegetation cover decreased from 3.78 to 1.79 km², barren land declined from 46.15 to 39.05 km², and water bodies were reduced from 21.03 to 18.19 km². The transition matrix analysis showed that a considerable proportion of land-use conversions involved the transformation of barren land and other classes into built-up areas.

The predicted land-use maps for 2055 indicate a continued expansion of built-up areas in both cities. According to the CA–Markov model projections, the proportion of built-up land is expected to reach 62.30% in Abadan and 82.78% in Chabahar. At the same time, vegetation cover is projected to decline to 8.96% and 4.28% of the total area in Abadan and Chabahar, respectively. Water bodies are also expected to experience substantial reductions, accounting for only 0.89% of the total area in Abadan and 0.40% in Chabahar by 2055.

The comparative analysis demonstrates that both cities have undergone similar trajectories characterized by the continuous expansion of built-up land and the decline of natural land-cover classes, including vegetation, barren land, and water bodies. These findings highlight the growing pressure of urban development on coastal ecosystems and emphasize the need for sustainable land-use planning and environmental management strategies in southern Iran.

CONCLUSION

The findings of this study indicate that land use and land cover (LULC) changes in Abadan and Chabahar are not merely a reflection of the physical transformation of urban areas, but rather represent a gradual reconfiguration of the relationship between human development processes and natural systems in coastal environments. The continuous increase in the proportion of built-up areas in both cities, accompanied by the decline in natural land-cover classes, suggests that spatial development over the past three decades has predominantly been directed toward the conversion of open spaces and

natural resources into urban land uses. This confirms that urbanization, as the main driving force of LULC change, plays a decisive role in shaping spatial patterns in coastal cities of southern Iran.

Despite the climatic similarities and comparable geographical settings of the two cities, differences in the intensity and patterns of change revealed that human and economic factors exert a stronger influence than natural constraints in directing spatial development pathways. In other words, the results suggest that the final structure of land use is shaped more by human intervention in space and the orientation of development policies than by environmental conditions. This finding supports the main hypothesis of the study regarding the existence of different spatial transformation trajectories in coastal cities with distinct development contexts.

The analysis of predictive results also indicates that the observed historical patterns exhibit a form of structural continuity, as the CA–Markov model projects further expansion of urban land uses and a gradual reduction of natural land-cover classes by 2055. Such a trend suggests that, if current land management practices continue, pressure on natural resources and ecological spaces will intensify, and the balance between physical development and environmental capacity will be increasingly disrupted.

From a scientific perspective, the study demonstrates that the integration of remote sensing, cloud computing, and spatial modeling not only enables the reconstruction of past dynamics but also provides an effective tool for identifying probable future land transformation pathways. From a planning perspective, the results highlight the necessity of transitioning from purely physical development approaches toward strategies based on the conservation of natural capital. Therefore, sustainable management of coastal cities requires that spatial decision-making processes simultaneously consider urban development needs, ecological conservation, and environmental carrying capacity in order to prevent further spatial and environmental instability in the coming decades.

ETHICAL CONSIDERATIONS

Conflict of Interest Statement: The authors declare no conflict of interest.

Ethical Statement: This article does not contain any studies with human participants or animals performed by any of the authors.

ACKNOWLEDGMENTS

This study is part of the research project titled “Analysis of Urban Green Space Changes and Their Impacts on Cooling Capacity and Local Climate Management in Coastal Cities of Southern Iran,” conducted under the supervision of the Iran National Science Foundation (INSF), project number 4048020. Accordingly, the authors would like to express their sincere gratitude to the Iran National Science Foundation for its financial and scientific support.

REFERENCES

References [in English]

- Abafogi, M. A., Kebebew, Z., & Gemed, D. O. (2026). Impacts of land use/land cover change on normalized difference vegetation index and land surface temperature in southwestern Ethiopia. *Environmental Monitoring and Assessment*, 198 (6), 585. <https://doi.org/10.1007/s10661-025-13982-0>
- Abdulla, F., Ahmed, T., & Al-Harbi, M. (2021). Land surface temperature as a key variable in the Earth's climate system. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 23, 100556.
- Ahmed, R., & Harishnaika, N. (2023). Google Earth Engine for land use/land cover change modeling: A review. *Geocarto International*, 38 (1), 215-234.
- Alemayehu, T., Assefa, G., & Kebede, S. (2023). Impacts of land use/land cover change on energy and moisture exchange patterns. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 46, 101345.
- Bikeko, T., & Venkatesham, V. (2024). Agricultural expansion and forest degradation as drivers of greenhouse gas emissions. *Environmental Research Letters*, 19 (3), 034021.

- Cheng, G., Huang, Y., Li, X., Lyu, S., Xu, Z., Zhao, H., Zhao, Q., & Xiang, S. (2024). Change detection methods for remote sensing in the last decade: A comprehensive review. *Remote Sensing*, 16 (13), 2355. <https://doi.org/10.3390/rs16132355>
- Chowdhuri, I., Pal, S. C., & Chakraborty, R. (2022). Google Earth Engine for time series analysis and change detection. *Earth Science Informatics*, 15, 789-806.
- Duru, C. I., Solomon, T., Nwaubani, D. A., Ibebuchi, C. C., & Sherchan, S. (2025). Assessing the impacts of land use/land cover changes on land surface temperature in Baltimore, Maryland, USA. *Environmental Research Communications*, 7 (3), 035012.
- Fang, J. (2025). From urban to nature: A continuous landscape gradient mapping framework in Southwest China. *Journal of Environmental Management*, 365, 121-134.
- Garai, S., Mondal, P., & Bandyopadhyay, J. (2022). Inverse relationship between NDVI and LST: A systematic review. *Ecological Indicators*, 135, 108556.
- Gemeda, D. O., Kenea, G., Teshome, B., Daba, G. L., Argu, W., & Roba, Z. R. (2024). Impact of land use and land cover change on land surface temperature: Comparative studies in four cities in southwestern Ethiopia. *Environmental Challenges*, 16, 101002. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2024.101002>
- Gurjar, Y., Wen, R., Farahbakhsh, E., & Chandra, R. (2024). Landcover classification and change detection using remote sensing and machine learning: A case study of Western Fiji. *arXiv preprint*, arXiv:2509.13388.
- Harris, N. L., Gibbs, D. A., Baccini, A., et al. (2021). Global maps of twenty-first century forest carbon fluxes. *Nature Climate Change*, 11, 234-240.
- Hussain, S., Mubeen, M., & Ahmad, A. (2022). Limitations of past LULC studies in predicting future trends. *Land Use Policy*, 118, 106127.
- Kelsey, K. C., Neff, J. C., & Henderson, M. D. (2018). Random Forest algorithm for land cover classification in Google Earth Engine. *GIScience & Remote Sensing*, 55 (5), 645-662.
- Jabir, B., Nadif, B., De la Torre Díez, I., Garay, H., & Delgado Noya, I. (2025). Performance Evaluation of Support Vector Machine and Stacked Autoencoder for Hyperspectral Image Analysis. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 18, 16429-16444. <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2025.11039027>
- Li, J., Wang, Z., & Chen, X. (2022). Land use/land cover change as a fundamental link between environmental change and economic development. *Earth System Dynamics*, 13, 445-460.
- Ma, L., Liu, Y., & Zhang, X. (2025). Convolutional neural networks for land cover classification and change detection. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 63, 1-18.
- Merga, B. G., Moisa, M. B., & Gemeda, D. O. (2022). Replacement of natural vegetation with impervious surfaces and its impact on land surface temperature *Heliyon*, 8 (10), e10923.
- Mustafa, S., Ilyas, S., & Akomolafe, G. (2024). Assessment of 30 years land use and land cover changes of Doma Nasarawa State. *Lafia Journal of Scientific and Industrial Research*, 6 (2), 45-58.
- Negash, T., Mohammed, M., & Berhanu, B. (2023). Machine learning algorithms for land cover classification in GEE. *Remote Sensing Applications*, 30, 100978.
- Powar, S. K., Panhalkar, S. S., & Patil, P. T. (2024). An assessment of land use land cover changes and its impact on land surface temperature using geoinformatic techniques. *Disaster Advances*, 17 (9), 33-41. <https://doi.org/10.25303/179da033041>
- Reta, A. H., Abegaz, A., & Wubie, A. M. (2025). Land use/land cover change detection using remote sensing and GIS. *Environmental Systems Research*, 14, 12.
- Scott, A. A., Misra, P., & Waugh, D. W. (2017). Urban heat island phenomenon in coastal cities. *Urban Climate*, 21, 156-172.
- Singh, P., Sharma, R., & Kumar, V. (2024). Map-to-map comparison and transition matrix methods for LULC change detection. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 52, 567-582.
- Suleiman, A., Ibrahim, K., & Musa, I. (2017). Land use and land cover change detection in semi-arid regions. *African Journal of Environmental Science and Technology*, 11 (8), 392-404.
- Tassi, A., & Vizzari, M. (2020). SVM, Random Forest, and CART for land cover classification. *Remote Sensing*, 12 (23), 3892.
- Tu, Y., Chen, S., & Li, Z. (2024). Remote sensing for multi-temporal and multi-spectral environmental change monitoring. *International Journal of Digital Earth*, 17 (1), 1-22.
- United Nations (UN). (2018). *World Urbanization Prospects: The 2018 Revision*. Department of Economic and Social Affairs, Population Division. New York: United Nations.
- Winkler, K., Fuchs, R., & Rounsevell, M. (2021). Land use change impacts on ecosystem structure and function. *Global Environmental Change*, 68, 102256.

این نسخه موقت و قبل از چاپ نهایی می باشد. لطفا برای ارجاع دقت کنید این نسخه بدون تاریخ و شماره است.

- Yoo, C., Han, D., & Im, J. (2024). CNN-based land cover classification using Landsat imagery. IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing , 17 , 2345-2358.
- Zeren Cetin, I., Ozel, H. B., & Varol, T. (2023). Spatiotemporal analysis of LULC change trajectories. Environmental Monitoring and Assessment , 195 , 78.
- Zhao, C., & Du, H. (2016). Google Earth Engine: A cloud computing platform for Earth observation data analysis. Environmental Modelling & Software , 84 , 46-56.
- Zhao, H., & Wan, Y. (2021). Land use change impacts on carbon cycle and hydrological processes. Science of the Total Environment , 783 , 146987.

آماده انتشار (بدون شماره مجله)

این نسخه موقت و قبل از چاپ نهایی می‌باشد. لطفاً برای ارجاع دقت کنید این نسخه بدون تاریخ و شماره است.

مقدمه

در دهه‌های اخیر، رشد سریع جمعیت، شهرنشینی شتابان، گسترش کشاورزی و بهره‌برداری فزاینده از منابع طبیعی، روند تغییرات کاربری زمین را در بسیاری از مناطق جهان سرعت بخشیده است (لی^۱ و همکاران، ۲۰۲۲). این تغییرات ضمن تأثیر بر ساختار و عملکرد اکوسیستم‌ها، آثار گسترده‌ای بر چرخه کربن، فرآیندهای هیدرولوژیکی، تنوع زیستی و پایداری محیط‌زیست برجای می‌گذارند (ژائو و وان^۲، ۲۰۲۱؛ وینکلر^۳ و همکاران، ۲۰۲۱). بر اساس گزارش هیأت بین‌دولتی تغییرات اقلیم^۴، حدود ۲۳ درصد از کل انتشار گازهای گلخانه‌ای انسانی در بازه ۲۰۰۷-۲۰۱۶ ناشی از جنگل‌زدایی و تغییرات پوشش و کاربری زمین بوده است (جیا^۵ و همکاران، ۲۰۱۹). یکی از مهم‌ترین پیامدهای تغییرات کاربری اراضی، تغییر در دمای سطح زمین است. دمای سطح زمین متغیری کلیدی در سامانه اقلیمی زمین محسوب می‌شود که بیانگر وضعیت حرارتی سطح زمین بوده و نقش مهمی در فرآیندهای تبادل انرژی، چرخه آب و تعاملات زمین-جو ایفا می‌کند (عبدالله^۶ و همکاران، ۲۰۲۱). جایگزینی پوشش‌های طبیعی با سطوح نفوذناپذیر شهری، موجب تغییر در آلودگی، ظرفیت ذخیره حرارتی و میزان تبخیر و تعرق شده و در نهایت افزایش دمای سطح زمین را به دنبال دارد (مرگا^۷ و همکاران، ۲۰۲۲). این فرآیند در بسیاری از شهرها به شکل‌گیری پدیده جزیره حرارتی شهری^۸ منجر شده است (اسکات^۹ و همکاران، ۲۰۱۷). با توجه به پیش‌بینی سازمان ملل مبنی بر افزایش سهم جمعیت شهری جهان از ۵۵ درصد در سال ۲۰۱۸ به ۶۸ درصد تا سال ۲۰۵۰ (سازمان ملل^{۱۰}، ۲۰۱۸)، انتظار می‌رود اثرات جزیره حرارتی شهری در آینده تشدید شود. در این میان، شاخص تفاضل نرمال‌شده پوشش گیاهی^{۱۱} یکی از پرکاربردترین شاخص‌های سنجش از دور برای ارزیابی وضعیت و سلامت پوشش گیاهی است. مطالعات متعددی رابطه معکوس معناداری بین پوشش گیاهی و دمای سطح زمین گزارش کرده‌اند؛ به‌طوری که مناطق با پوشش گیاهی متراکم دمای سطحی پایین‌تری دارند و کاهش پوشش گیاهی با افزایش دمای سطح زمین همراه است (گارای^{۱۲} و همکاران، ۲۰۲۲؛ پوار^{۱۳} و همکاران، ۲۰۲۴). تصاویر ماهواره‌ای^{۱۴} به دلیل آرشو زمانی طولانی (بیش از ۴۰ سال)، پوشش مکانی مناسب و دسترسی آزاد، از پرکاربردترین منابع داده‌ای در مطالعات پایش و شکل‌برداری تغییرات پوشش و کاربری زمین محسوب می‌شوند. ظهور سامانه‌های پردازش ابری، به‌ویژه موتور گوگل ارث GEE، تحولی بنیادین در رویکردهای تحلیل داده‌های سنجش از دور ایجاد کرده است. این سامانه با فراهم‌آوری دسترسی بی‌واسطه به آرشو جامع و روزآمد تصاویر ماهواره‌ای، توان پردازشی موازی و مقیاس‌پذیر، و امکان پیاده‌سازی الگوریتم‌های پیشرفته‌ی طبقه‌بندی و آشکارسازی تغییرات، زمینه‌ساز پردازش سریع، خودکار و کارآمد مجموعه داده‌های حجیم مکانی-زمانی گردیده است. (ژائو و دو^{۱۵}، ۲۰۱۶؛ چودهوری^{۱۵} و همکاران، ۲۰۲۲). همزمان با

¹ Li

² Zhao & Wan

³ Winkler

⁴ Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)

⁵ Jia

⁶ Abdulla

⁷ Merga

⁸ Urban Heat Island

⁹ Scott

¹⁰ UN

¹¹ Normalized Difference Vegetation Index

¹² Garai

¹³ Powar

¹⁴ Zhao & Du

¹⁵ Chowdhuri

این نسخه موقت و قبل از چاپ نهایی می باشد. لطفاً برای ارجاع دقت کنید این نسخه بدون تاریخ و شماره است.

توسعه بسترهای پردازش ابری، الگوریتم‌های یادگیری ماشین کاربرد گسترده‌ای در طبقه‌بندی پوشش و کاربری زمین یافته‌اند. الگوریتم ماشین بردار پشتیبان^۱ به دلیل دقت بالا، توانایی پردازش داده‌های چندبعدی و عملکرد خوب در مناطق با دسته‌های طیفی مشابه، یکی از پرکاربردترین روش‌های طبقه‌بندی در محیط GEE محسوب می‌شود. (تاسی و ویزاری^۲، ۲۰۲۰؛ نگاش^۳ و همکاران، ۲۰۲۳).

با وجود گسترش پژوهش‌ها در زمینه‌ی کاربرد GEE و الگوریتم‌های یادگیری ماشین برای طبقه‌بندی LULC (چودھوری و همکاران، ۲۰۲۲؛ احمد و هاریشنایکا، ۲۰۲۳؛ چنگ و همکاران، ۲۰۲۴)، بخش عمده‌ی این مطالعات به یک شهر یا منطقه‌ی واحد محدود مانده و مطالعات تطبیقی میان شهرهای ساحلی با شرایط اقلیمی مشابه اما مسیرهای توسعه‌ی متفاوت همچنان کمیاب است (حسین و همکاران، ۲۰۲۲). افزون بر این، تعداد اندکی از پژوهش‌ها تحلیل خود را فراتر از شناسایی روندهای گذشته برده و پیش‌بینی بلندمدت وضعیت آینده را نیز، با بهره‌گیری از روش‌هایی مانند ماتریس انتقال (سینگ و همکاران، ۲۰۲۴) و مدل ترکیبی اتوماتای سلولی-مارکوف (رتا و همکاران، ۲۰۲۵)، در بر می‌گیرند. این خلأ در بستر شهرهای ساحلی جنوب ایران، که با فشارهای توسعه‌ای سریع اما واگرا مواجه‌اند، به‌روشنی مشهود است.

پژوهش حاضر به آشکارسازی، تحلیل و پیش‌بینی تغییرات کاربری و پوشش اراضی در دو شهر آبادان و چابهار می‌پردازد. این پژوهش با بهره‌گیری از الگوهای تغییرات گذشته و مدل‌سازی پتانسیل انتقال کاربری‌ها، به دو پرسش اصلی درباره روند آتی تغییرات پوشش و کاربری زمین و الگوی توزیع فضایی آن‌ها در منطقه مورد مطالعه پاسخ می‌دهد: (۱) الگوهای زمانی-مکانی تغییرات کاربری زمین در آبادان و چابهار در بازه ۱۹۹۵-۲۰۲۵ چگونه است؟ و (۲) وضعیت پوشش و کاربری زمین این دو شهر تا سال ۲۰۵۵ چه روندی را دنبال خواهد کرد؟

مجله شماره

داده‌ها و روش‌ها

به‌منظور بررسی تغییرات پوشش/پوشش و کاربری زمین منطقه مورد مطالعه، از تصاویر ماهواره‌ای لندست دوره ۳۰ ساله مربوط به سال‌های ۱۹۹۵-۲۰۰۵-۲۰۱۵-۲۰۲۵ استفاده شد. ابتدا تصاویر مورد نیاز از آرشیو داده‌های ماهواره‌ای تهیه و در محیط GEE پیش‌پردازش شدند. عملیات آماده کردن داده شامل اعمال فیلتر ابر و سایه ابر، انتخاب باندهای مناسب و آماده‌سازی داده‌ها برای طبقه‌بندی بود. در ادامه، طبقه‌بندی نظارت‌شده^۴ با استفاده از نمونه‌های آموزشی برداشت‌شده از دسته‌های مختلف پوشش/پوشش و کاربری زمین انجام شد. پس از تولید شکل‌های طبقه‌بندی‌شده برای هر سال، ارزیابی دقت با استفاده از داده‌های مرجع و ماتریس خطا صورت گرفت. شاخص‌های دقت کلی^۵، ضریب کاپا^۶، دقت تولیدکننده^۷ و دقت کاربر^۸ برای سنجش کیفیت نتایج محاسبه شدند. پس از تأیید دقت طبقه‌بندی، شکل‌های پوشش و کاربری زمین به محیط ENVI منتقل شدند. به‌منظور تحلیل تغییرات زمانی، از روش Thematic Change Detection استفاده شد. این روش با مقایسه پیکسل‌به‌پیکسل شکل‌های

^۱ Support vector machine

^۲ Tassi & Vizzari

^۳ Negash

^۴ Supervised Classification

^۵ Overall Accuracy

^۶ Kappa Coefficient

^۷ Producer's Accuracy

^۸ User's Accuracy

این نسخه موقت و قبل از چاپ نهایی می باشد. لطفا برای ارجاع دقت کنید این نسخه بدون تاریخ و شماره است.

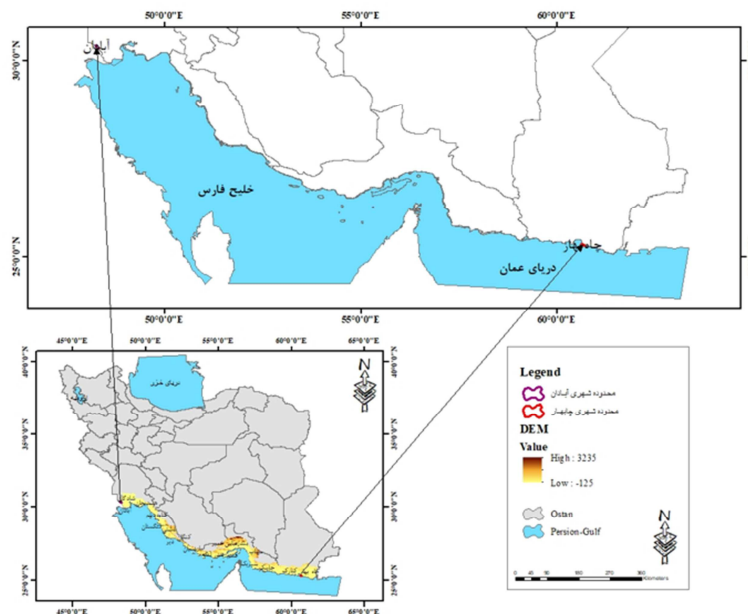
طبقه بندی شده در دوره های زمانی مختلف، نوع و میزان تغییرات رخ داده بین دسته های کاربری را مشخص می کند. در نهایت، ماتریس انتقال^۱ استخراج و مساحت تغییرات هر دسته در طول دوره مطالعه محاسبه شد.

منطقه مورد مطالعه

این دو شهر با وجود قرارگیری هر دو در کمربند ساحلی جنوب ایران و مواجهه با فشارهای توسعه ای مشابه (اقتصاد وابسته به صنایع دریایی و ترانزیتی، رشد جمعیت شهری و گسترش کالبدی)، از نظر شرایط اقلیمی با یکدیگر متفاوت اند: آبادان دارای اقلیم گرم و خشک و چابهار دارای اقلیم گرم و مرطوب است. این تفاوت اقلیمی در کنار تفاوت های قابل توجه در ساختار اقتصادی، رشد جمعیت و الگوی توسعه شهری، امکان بررسی این پرسش را فراهم می کند که آیا شهرهای ساحلی با شرایط زیست محیطی متفاوت، تحت فشار توسعه ای مشابه، به الگوهای تغییر کاربری زمین همگرا یا واگرا می رسند. شهر آبادان مرکز شهرستان آبادان واقع در جنوب غربی کشور است. این شهر در جهت شمال غرب به جنوب شرق به وسعت تقریبی (۶۲۷۲ هکتار) به مختصات ۳۰" درجه و ۲۲ دقیقه و ۳۰ ثانیه عرض شمالی و ۴۸ درجه و ۱۲ دقیقه و ۳۰ ثانیه طول شرقی قرار گرفته است. ارتفاع این شهر از سطح دریا (۳ متر) است. (سالنامه آماری اروند، ۱۳۹۶: ۳۲) شهر آبادان در امتداد رودخانه های اروندرود و بهمنشیر گسترده قرار گرفته است که نیمه غربی شهر با رودخانه اروند به عنوان مرز طبیعی و سیاسی کشور ایران با کشور عراق محصور شده است (سازمان مسکن و شهرسازی خوزستان، ۱۳۸۶: ۲) آبادان دارای سه منطقه شهری است و جمعیت این شهر بر اساس آخرین سرشماری در سال ۱۳۹۵ برابر با "۲۳۱۴۷۶" نفر است که نسبت به سرشماری سال ۱۳۸۵ نرخ رشد جمعیت (۷/۱) درصدی را تجربه کرده است. آبادان به دلیل قرارگیری در منطقه نفت خیز جنوب، از دیرباز کانون تمرکز صنایع نفت، گاز و پتروشیمی بوده است. وجود پالایشگاه نفت آبادان (یکی از قدیمی ترین پالایشگاه های جهان)، صنایع پایین دستی و منطقه آزاد اروند، این شهر را به یک قطب اقتصادی و مهاجری در جنوب غربی ایران تبدیل کرده است. (مرکز آمار ایران، ۱۳۹۵) شهر چابهار مرکز شهرستان چابهار در جنوب شرقی ایران و در استان سیستان و بلوچستان واقع شده است. این شهر در مختصات جغرافیایی ۲۵ درجه و ۱۷ دقیقه و ۳۰ ثانیه عرض شمالی و ۶۰ درجه و ۳۸ دقیقه و ۳۰ ثانیه طول شرقی قرار دارد. مساحت محدوده مطالعه در چابهار بر اساس شکل های پوشش و کاربری زمین استخراج شده، ۱۰۸ کیلومتر مربع محاسبه شد (با اختلاف ناچیز نسبت به آبادان برای قابلیت مقایسه). چابهار در کنار دریای عمان (خلیج گوآتر) و نزدیک به مرز ایران و پاکستان واقع شده است. این شهر تنها بندر اقیانوسی ایران و یکی از مهم ترین پایانه های ترانزیتی کشور محسوب می شود. ارتفاع این شهر از سطح دریا ۱۰ متر است. چابهار دارای دو منطقه شهری اصلی (چابهار قدیم و منطقه آزاد تجاری-صنعتی) است و جمعیت آن بر اساس آخرین سرشماری در سال ۱۳۹۵ برابر با ۱۰۶،۷۳۹ نفر بوده که نرخ رشد جمعیت ۲،۲ درصدی را نسبت به سرشماری سال ۱۳۸۵ تجربه کرده است (مرکز آمار ایران، ۱۳۹۵). چابهار به دلیل واقع شدن در منطقه مکران، از پتانسیل بالایی برای توسعه ترانزیت، تجارت و صنایع دریایی برخوردار است. منطقه آزاد تجاری-صنعتی چابهار که در سال ۱۳۷۱ تأسیس شد، نقش مهمی در جذب سرمایه گذاری و رشد جمعیت این شهر داشته است. (شکل ۱)

¹ Transition Matrix

این نسخه موقت و قبل از چاپ نهایی می‌باشد. لطفاً برای ارجاع دقت کنید این نسخه بدون تاریخ و شماره است.



شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه

تهیه شکل کاربری/پوشش زمین (LULC)

برای طبقه‌بندی کاربری و پوشش زمین، از تصاویر چندطیفی ماهواره‌ای استفاده شد. ابتدا با بهره‌گیری از ترکیب رنگی کاذب (مانند ترکیب باندهای ۳-۴-۵ در تصاویر لنداست)، نمونه‌های آموزشی به‌صورت بصری برداشت شدند تا تفاوت بین دسته‌های مختلف پوشش اراضی به‌خوبی قابل تشخیص باشد. سپس با استفاده از باندهای طیفی متعدد به‌عنوان ورودی و به‌کارگیری الگوریتم ماشین بردار پشتیبان (SVM)، طبقه‌بندی نظارت‌شده انجام شد. انتخاب SVM به‌دلیل عملکرد برتر این روش در فضاهای با ابعاد بالا، قابلیت تعمیم‌پذیری عالی با تعداد نمونه‌های آموزشی محدود، و موفقیت اثبات‌شده آن در شکل‌برداری پوشش و کاربری زمین در مطالعات متعدد صورت گرفته است. تفکیک کلاس پوشش گیاهی از سایر کلاس‌ها بر مبنای امضای طیفی مشخصه‌ای این پوشش در فرآیند آموزش مدل SVM با استفاده از باندهای طیفی متعدد صورت گرفت؛ رویکردی که در مطالعات مشابه نیز به‌کار رفته است (تاسی و ویزاری، ۲۰۲۰؛ نگاش و همکاران، ۲۰۲۳).

بر اساس ویژگی‌های طیفی منطقه مورد مطالعه، چهار دسته کلی از کاربری زمین شهری تعیین شدند:

۱. پوشش گیاهی: شامل کلیه سطوح دارای پوشش گیاهی طبیعی یا مدیریت‌شده (نظیر نخلستان‌ها و اراضی کشاورزی آبیاری‌شده در آبادان، و پوشش گیاهی ساحلی و حاشیه‌ی رودخانه‌ای در چابهار) با NDVI بالاتر از آستانه‌ی تعیین‌شده
۲. مناطق توسعه‌یافته یا ساخته‌شده: شامل ساختمان‌ها، آسفالت و سایر سطوح نفوذناپذیر.
۳. اراضی بایر: شامل زمین‌های بدون پوشش.
۴. پهنه‌های آبی: شامل رودخانه‌ها، دریاچه‌ها و تالاب‌های دارای آب آزاد.

این نسخه موقت و قبل از چاپ نهایی می‌باشد. لطفاً برای ارجاع دقت کنید این نسخه بدون تاریخ و شماره است.

برای هر دسته، نمونه‌های آموزشی از طریق رقومی‌سازی دستی چندضلعی‌ها در نواحی همگن و نماینده ایجاد شدند. این نمونه‌ها بر اساس تفسیر بصری تصاویر لندست و تصاویر مرجع با وضوح مکانی بالا انتخاب شدند. در مجموع، بیش از ۲۰۰ نمونه آموزشی برای پنج دسته تهیه شد که به‌طور متوسط حدود ۳۰ تا ۴۰ چندضلعی آموزشی برای هر دسته را شامل می‌شد. امضاهای طیفی هر دسته از پیکسل‌های موجود در این چندضلعی‌ها استخراج شد و به‌عنوان مبنای آموزش مدل SVM برای طبقه‌بندی تصاویر ماهواره‌ای با تعداد نمونه‌های آموزشی محدود، مدل SVM (ماشین بردار پشتیبان) به دلیل عملکرد قابل‌اطمینان و کارایی بالا در فضاهای با ابعاد زیاد، انتخاب مناسبی است مورد استفاده قرار گرفت (جابر و همکاران، ۲۰۲۵). به‌منظور ارزیابی قابلیت اطمینان طبقه‌بندی، نتایج حاصل از SVM با استفاده از تصاویر مرجع اعتبارسنجی شدند. بدین‌منظور، برای هر یک از سال‌های مورد مطالعه (۱۹۹۵، ۲۰۰۵، ۲۰۱۵ و ۲۰۲۵) مجموعاً ۳۰۰ نقطه اعتبارسنجی به روش نمونه‌گیری تصادفی طبقه‌ای و با رعایت حداقل ۶۰ نقطه به ازای هر یک از پنج دسته کاربری/پوشش زمین انتخاب شد؛ این نقاط به‌طور کامل مستقل از نمونه‌های آموزشی مورد استفاده در فرآیند طبقه‌بندی بودند. برای سال‌های ۲۰۱۵ و ۲۰۲۵، مبنای تعیین دسته واقعی زمین، تفسیر بصری تصاویر آرشیوی Google Earth با وضوح مکانی زیر یک متر و فاصله زمانی حداکثر شش ماه نسبت به تاریخ اخذ تصویر لندست بود. برای سال‌های ۱۹۹۵ و ۲۰۰۵ که پوشش تصاویر با وضوح بالای Google Earth در منطقه مورد مطالعه محدود بود، داده مرجع از تلفیق نقشه‌های توپوگرافی سازمان نقشه‌برداری کشور، عکس‌های هوایی آرشیوی موجود و تفسیر تقویت‌شده تصاویر لندست با ترکیب باندی رنگی کاذب استخراج گردید. در این فرآیند، دسته‌های پیش‌بینی‌شده با رویه‌های واقعی سطح زمین مقایسه شدند و مرزهای دسته‌ها مورد بررسی و اصلاح قرار گرفتند. نقاط اعتبارسنجی حاصل، برای ارزیابی دقت طبقه‌بندی و اطمینان از تطابق نقشه‌های تولیدشده با شرایط واقعی منطقه مورد استفاده قرار گرفتند.

دقت کلی یک معیار است که نشان می‌دهد چه نسبتی از نمونه‌ها به‌درستی طبقه‌بندی شده‌اند. دقت کلی با استفاده از فرمول (۱) محاسبه می‌شود که در آن، مجموع عناصر قطر اصلی ماتریس خطا (SD) بر تعداد کل نمونه‌ها (n) تقسیم می‌گردد. (آبافوگی و همکاران، ۲۰۲۶)

$$OA = \frac{SD}{N} * 100 \quad (1)$$

که در آن SD مجموع عناصر قطر اصلی ماتریس خطا و n تعداد کل نمونه‌ها است. آماره کاپا معیاری برای سنجش پایایی بین ارزیاب‌ها یا دقت طبقه‌بندی است که میزان توافق مشاهده‌شده را با در نظر گرفتن توافق تصادفی اصلاح می‌کند. (Powar et al., 2024) این شاخص به‌صورت زیر تعریف می‌شود. (رابطه ۲)

$$K = \frac{(\text{Observed Agreement} - \text{Expected Agreement})}{(1 - \text{Expected Agreement})} \quad (2)$$

در این‌جا دقت کلی است، نشان‌دهنده نسبتی از نمونه‌هاست که به‌درستی طبقه‌بندی شده‌اند. این مقدار از جمع عناصر قطر اصلی ماتریس آشفتگی^۱ به دست می‌آید و بر کل تعداد مشاهدات تقسیم می‌شود.

در مقابل، توافق مورد انتظار به احتمال توافق تصادفی اشاره دارد. این مقدار از مجموع‌های حاشیه‌ای در ماتریس آشفتگی محاسبه می‌شود و نشان می‌دهد اگر طبقه‌بندی‌ها به‌صورت کاملاً تصادفی انجام شوند، چه میزان توافق به‌طور تصادفی انتظار می‌رود.

¹ confusion matrix

این نسخه موقت و قبل از چاپ نهایی می باشد. لطفاً برای ارجاع دقت کنید این نسخه بدون تاریخ و شماره است.

به بیان دیگر، شاخص کاپا میزان توافق واقعی را پس از حذف اثر توافق تصادفی اندازه گیری می کند و بنابراین معیار دقیق تری نسبت به دقت کلی برای ارزیابی عملکرد طبقه بندی محسوب می شود.

دقت تولیدکننده میزان توانایی طبقه بندی در شناسایی صحیح نمونه های مرجع متعلق به یک طبقه مشخص را اندازه گیری می کند و در نتیجه خطای حذف^۱ را تعیین می نماید. این شاخص نشان می دهد چه نسبتی از نمونه های واقعی یک دسته به درستی در همان دسته طبقه بندی شده اند.

دقت تولیدکننده بر اساس رابطه (۳) محاسبه می شود که در آن، نسبت تعداد نمونه های صحیح طبقه بندی شده در یک دسته به کل نمونه های مرجع همان دسته در نظر گرفته می شود.

$$PA = \left(\frac{Ci}{Ct}\right) * 100 \quad (3)$$

که در آن Ci تعداد نمونه های به درستی طبقه بندی شده در یک ستون مرجع را نشان می دهد و Ct بیانگر کل نمونه های موجود در همان ستون است.

دقت کاربر به احتمال این اشاره دارد که یک موقعیت شکل که در یک طبقه مشخص برچسب گذاری شده است، در واقع نیز در همان طبقه در سطح زمین قرار داشته باشد (جمدا^۲ و همکاران، ۲۰۲۴). این شاخص خطای انتساب^۳ را برای هر طبقه نشان می دهد و بر اساس رابطه (۴) محاسبه می شود.

$$UA = \left(\frac{Ri}{Rt}\right) * 100 \quad (4)$$

که در آن Ri تعداد نمونه های به درستی طبقه بندی شده در یک سطر را نشان می دهد و Rt بیانگر کل تعداد نمونه های همان سطر است.

محاسبه مساحت دسته های مختلف LULC

محاسبه مساحت دسته های گوناگون کاربری/پوشش زمین با استفاده از ابزار Zonal Statistics در نرم افزار ArcGIS Pro انجام شد. در این فرایند، شکل طبقه بندی شده LULC رستر و فایل شیپ فایل پلیگونی (نشان دهنده نواحی) به محیط نرم افزار وارد شدند. رستر LULC این امکان را فراهم کرد تا مقدار (مساحت) هر دسته کاربری/پوشش زمین به طور دقیق برای پلیگون های ناحیه ای محاسبه شود. برای تجمیع تعداد پیکسل های دسته های مختلف LULC در هر ناحیه، از آماره SUM استفاده شد. مقدار حاصل در مساحت هر پیکسل (برای مثال ۳۰ متر × ۳۰ متر برابر با ۹۰۰ مترمربع) ضرب گردید تا مساحت بر حسب مترمربع به دست آید. مجموع پیکسل های هر دسته محاسبه و بر اساس اندازه پیکسل به مساحت تبدیل شد. جدول نهایی شامل مساحت کل هر دسته LULC در هر ناحیه بود.

یافته های تحقیق

ارزیابی دقت تصاویر طبقه بندی شده

به منظور شناسایی انواع غالب پوشش زمین در شهر آبادان و چابهار دسته های اصلی کاربری/پوشش زمین بر اساس مساحت متناظر آن ها تحلیل شدند. چهار دسته عمده شامل پهنه های آبی، نواحی پوشش گیاهی، مناطق ساخته شده

¹ omission error

² Gameda

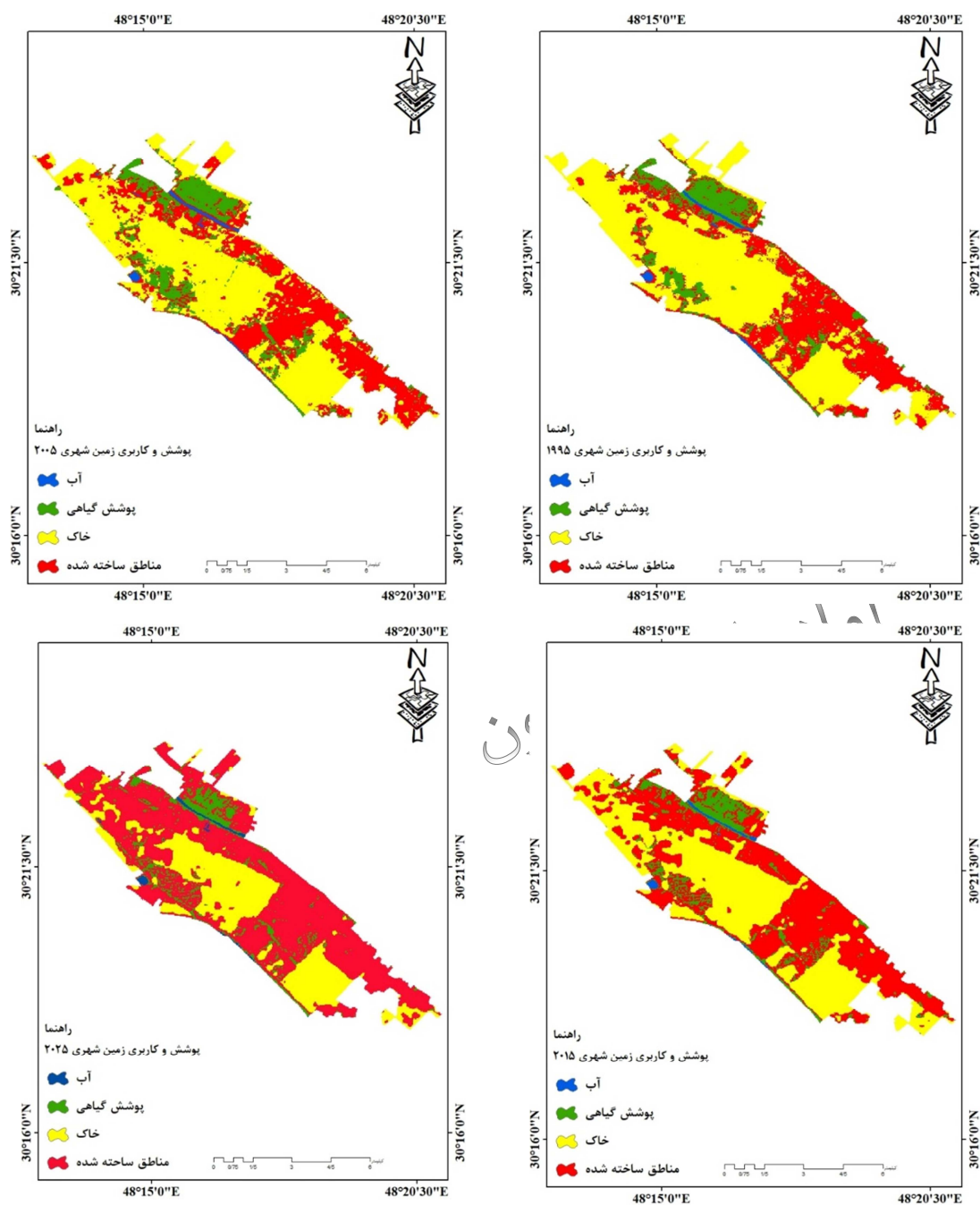
³ commission error

این نسخه موقت و قبل از چاپ نهایی می باشد. لطفاً برای ارجاع دقت کنید این نسخه بدون تاریخ و شماره است.

و اراضی بایر بودند. با وجود استفاده از روش های طبقه بندی، بروز برخی خطاها در شکل های پوشش زمین اجتناب ناپذیر بود. دقت کلی شکل های پوشش زمین برای سال های ۱۹۹۵، ۲۰۰۵، ۲۰۱۵ و ۲۰۲۵ به ترتیب ۸۹، ۹۳، ۹۴ و ۹۲ درصد به دست آمد و ضرایب کاپا نیز به ترتیب برابر با ۸۶، ۹۱، ۹۳ و ۹۰ درصد بودند. دقت نسبتاً بالای تصاویر طبقه بندی شده را می توان به استفاده از داده های سال های اخیر و در دسترس بودن تصاویر مرجع با قدرت تفکیک مکانی بالا نسبت داد. شکل ۲ تمامی انواع پوشش زمین شامل مناطق ساخته شده، پهنه های آبی، پوشش گیاهی، اراضی بایر و را برای سال های ۱۹۹۵، ۲۰۰۵، ۲۰۱۵ و ۲۰۲۵ نشان می دهد.

بر اساس داده های جدول ۱ و شکل ۲ (مربوط به شهر آبادان)، در بازه زمانی ۱۹۹۵ تا ۲۰۲۵، تغییرات پوشش و کاربری زمین الگوی آشکاری از توسعه شتابان شهری به بهای حذف پوشش گیاهی و پس راندن پهنه های آبی را نشان می دهد. مساحت مناطق ساخته شده در این بازه ۳۰ ساله با رشد ۹۶ درصدی (معادل افزایش ۲۱/۹۵ کیلومتر مربع) از ۲۲/۳۸ به ۴۴/۳۳ کیلومتر مربع رسیده است، در حالی که پوشش گیاهی متراکم با کاهش ۳۴/۵ درصدی (۱۱/۶۳- کیلومتر مربع) از ۳۳/۶۹ به ۲۲/۰۶ کیلومتر مربع تنزل یافته است. این رابطه معکوس و تقریباً یک به یک (افزایش ۱ کیلومتر مربع شهر در ازای کاهش ۰/۵۳ کیلومتر مربع پوشش گیاهی) نشان دهنده توسعه شهری در اراضی با پوشش طبیعی و نه صرفاً در اراضی بایر است. پهنه های آبی نیز با کاهش ۲۴ درصدی (از ۵/۶۴ به ۴/۲۷ کیلومتر مربع) مواجه شده اند که می تواند پیامد مستقیم زهکشی تالاب های حاشیه ای برای توسعه یا پیامد غیرمستقیم تغییرات هیدرولوژیک ناشی از شهرنشینی باشد. نکته حائز اهمیت آنکه اراضی بایر ابتدا به عنوان منبع تأمین زمین برای شهر عمل کرده اند (کاهش ۹/۷۵ کیلومتر مربع)، اما نرخ کاهش پوشش گیاهی از نرخ کاهش خاک فراتر رفته است که گویای الگوی توسعه شهری ترجیح دهنده به جایگزینی فضاهای سبز به جای پر کردن بافت خالی است. از منظر برنامه ریزی شهری پایدار، چنین الگوی رشدی در آبادان هشدار جدی برای تشدید جزیره حرارتی، کاهش نفوذپذیری سطح و افزایش خطر سیلاب محسوب می شود، به ویژه آنکه پیش بندی مقاله تا ۲۰۵۵ حاکی از ادامه این روند با پوشش ۸۲/۷۸ درصدی سطوح ساخته شده و حذف تقریباً کامل پوشش گیاهی (کاهش به ۴/۲۸ درصد) است.

این نسخه موقت و قبل از چاپ نهایی می‌باشد. لطفاً برای ارجاع دقت کنید این نسخه بدون تاریخ و شماره است.



شکل ۲: تغییرات پوشش و کاربری زمین شهر آبادان از سال ۱۹۹۵ تا ۲۰۲۵

منبع: نگارندگان، بر اساس طبقه‌بندی تصاویر Landsat (USGS) با الگوریتم SVM در محیط Google Earth Engine

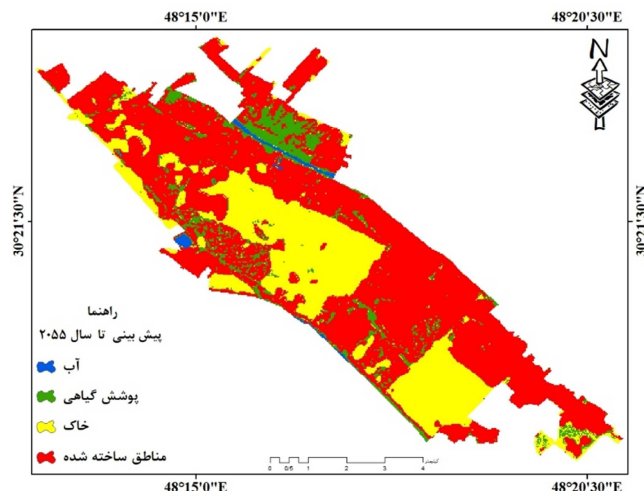
این نسخه موقت و قبل از چاپ نهایی می باشد. لطفا برای ارجاع دقت کنید این نسخه بدون تاریخ و شماره است.

جدول ۱: مساحت پوشش و کاربری زمین شهر آبادان از سال ۱۹۹۵ تا ۲۰۲۵

	آب		پوشش گیاهی		خاک		مناطق ساخته شده	
	مساحت (کیلومتر مربع)	درصد	مساحت (کیلومتر مربع)	درصد	مساحت (کیلومتر مربع)	درصد	مساحت (کیلومتر مربع)	درصد
۱۹۹۵	۵/۶۴	۵/۰۷	۳۳/۶۹	۳۰/۳۳	۴۹/۳۴	۴۴/۴۳	۲۲/۲۸	۲۰/۱۵
۲۰۰۵	۴/۸۷	۴/۴۴	۳۳/۶۸	۳۰/۷۵	۴۸/۱۴	۴۳/۹۵	۲۲/۸۳	۲۰/۸۴
۲۰۱۵	۴/۵۲	۴/۱۲	۳۷/۰۷	۲۴/۷۰	۴۸/۲۳	۴۴/۰۲	۲۹/۷۳	۲۷/۱۳
۲۰۲۵	۴/۲۷	۳/۸۷	۳۲/۰۶	۲۰/۰۱	۳۹/۵۹	۳۵/۹۰	۴۴/۳۳	۴۰/۲۰
تغییرات سال نسبت ۲۰۲۵ به ۱۹۹۵	-۱/۳۷	-۱/۲	-۱۱/۶۳	-۱۰/۳۲	-۹/۷۵	-۸/۵۳	۲۱/۹۵	۲۰/۰۵

بر اساس جدول ۲ و شکل ۳ ارائه شده در پیش بینی وضعیت پوشش و کاربری زمین آبادان تا سال ۲۰۵۵ حاکی از یک دگرگونی بنیادین و هشداردهنده در ساختار فضایی شهر است. در این افق زمانی، مناطق ساخته شده با جهشی عظیم به مساحت ۳۳/۰۴ کیلومتر مربع و سهم ۶۲/۳۰ درصدی از کل منطقه دست خواهند یافت که نسبت به سال ۲۰۲۵ (۴۴/۳۳ کیلومتر مربع با ۴۰/۲۰ درصد) رشد نسبی بیش از ۵۰ درصدی را نشان می دهد. در مقابل، پوشش گیاهی که در سال ۲۰۲۵ هنوز ۲۰/۰۱ درصد از منطقه را پوشش می داد، به تنها ۴/۷۵ کیلومتر مربع و سهم ناچیز ۸/۹۶ درصدی کاهش می یابد که معادل کاهش ۷۸/۵ درصدی نسبت به سال پایه و کاهش بیش از ۸۵ درصدی نسبت به سال ۱۹۹۵ (۳۳/۶۹ کیلومتر مربع) است. اراضی بایر نیز با کاهش به ۱۴/۷۶ کیلومتر مربع و سهم ۲۷/۸۳ درصدی، نقش خود را به عنوان مخزن اراضی ذخیره از دست می دهند. بیشترین مقدار تغییر، مربوط به پهنه های آبی است که با کاهش به تنها ۰/۴۷ کیلومتر مربع و سهم ۰/۸۹ درصدی، عملاً در آستانه حذف کامل از بوم سازگان شهری قرار می گیرند. این الگوی پیش بینی شده آشکارا نشان می دهد که سناریوی توسعه حاکم بر آبادان، یک الگوی گسترش افقی بی بازگشت و مصرف کننده منابع طبیعی است که نه تنها جزیره حرارتی شهری را به شدیدترین سطح ممکن خواهد رساند، بلکه پیامدهای ثانویه ای چون افزایش شدت سیلاب های ناگهانی (به دلیل از دست رفتن سطوح نفوذپذیر و حذف پوشش گیاهی)، کاهش شدید کیفیت هوا، و فروپاشی خدمات اکوسیستمی (به ویژه تنظیم دما و چرخه آب) را برای ساکنان شهر به همراه خواهد داشت. از منظر سیاست گذاری شهری، این پیش بینی زنگ خطری برای تغییر فوری الگوی توسعه به سمت فشرده سازی شهری، حفاظت از پهنه های آبی باقیمانده، و ایجاد کمربند سبز حائل است. (شکل ۳ و جدول ۲)

این نسخه موقت و قبل از چاپ نهایی می باشد. لطفاً برای ارجاع دقت کنید این نسخه بدون تاریخ و شماره است.



شکل ۳: پیش‌بینی پوشش و کاربری زمین شهر آبادان تا سال ۲۰۵۵ منبع: نگارندگان، بر اساس مدل‌سازی CA-Markov

جدول ۲: مساحت و درصد شکل پیش‌بینی شهر آبادان تا سال ۲۰۵۵

	آب		پوشش گیاهی		خاک		مناطق ساخته شده	
	مساحت (کیلومتر مربع)	درصد	مساحت (کیلومتر مربع)	درصد	مساحت (کیلومتر مربع)	درصد	مساحت (کیلومتر مربع)	درصد
پیش‌بینی تا ۲۰۵۵	۰/۴۷	۰/۸۹	۴/۷۵	۸/۹۶	۱۴/۷۶	۲۷/۸۳	۳۳/۰۴	۶۲/۳۰

تصاویر طبقه‌بندی شده مربوط به سال‌های ۱۹۹۵، ۲۰۰۵، ۲۰۱۵ و ۲۰۲۵ نشان می‌دهند که منطقه مورد مطالعه در طول زمان تحت تأثیر فعالیت‌های طبیعی یا انسانی دچار تغییر در نوع پوشش و کاربری زمین شده است. تحلیلات تغییرات معمولاً برای شناسایی الگوهای تحول به کار می‌رود که این امر در فرآیند تصمیم‌گیری بسیار ضروری است. پس از طبقه‌بندی تصاویر مربوط به دوره‌های زمانی متوالی و تعیین دسته‌های کاربری/پوشش زمین (LULC)، میزان تغییر هر دسته به همراه نرخ تغییر آن محاسبه گردید. شناسایی تغییرات در دسته‌های کاربری زمین بر اساس یافته‌های جدیدترین مطالعات علمی انجام شده است. (رتا^۱ و همکاران، ۲۰۲۵؛ سلیمان^۲ و همکاران، ۲۰۱۷) توصیف دسته‌های LULC در جدول ۳ ارائه شده است.

محاسبه درصد تغییر در یک دسته مشابه کاربری/پوشش زمین بین دو بازه زمانی متوالی با استفاده از رابطه ۵ و ۶ انجام شده است.

$$\text{LULC change (Area in ha)} = X - Y \quad (5)$$

$$\text{Percent (\%) change} = \frac{X-Y}{Z} \quad (6)$$

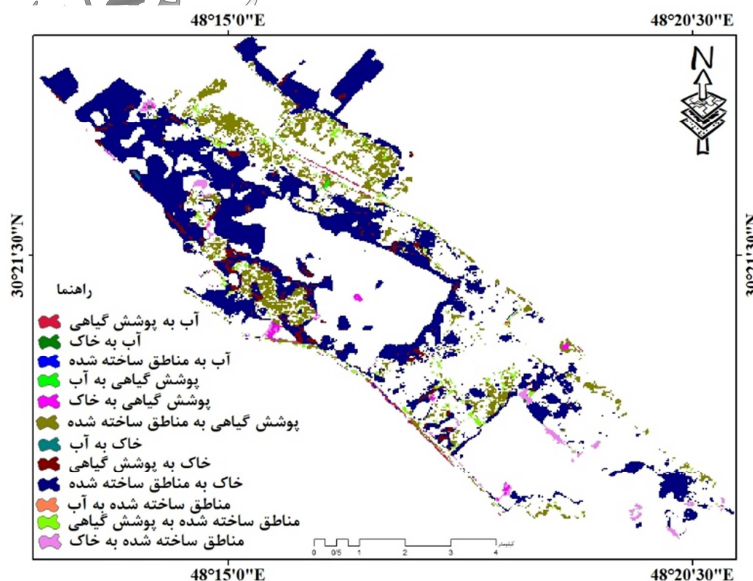
¹ Reta

² Suleiman

این نسخه موقت و قبل از چاپ نهایی می‌باشد. لطفاً برای ارجاع دقت کنید این نسخه بدون تاریخ و شماره است.

در حالی که X نشان‌دهنده مساحت کاربری/پوشش زمین (به هکتار) در زمان ۲، Y نشان‌دهنده مساحت تغییر کاربری/پوشش زمین (به هکتار) در زمان ۱، و Z نشان‌دهنده فاصله زمانی بین X و Y بر حسب سال‌های مربوطه است

بر اساس (جدول ۳ و ۴) و شکل ۴ آشکارسازی تغییرات پوشش و کاربری زمین آبادان در بازه ۱۹۹۵ تا ۲۰۲۵، الگوی حاکم نشان‌دهنده یک دگرگونی ساختاری عمیق و شتابان است که در آن مناطق ساخته‌شده با جهشی ۹۸ درصدی (معادل افزایش ۲۱/۹۵ کیلومتر مربع) از ۲۲/۳۸ به ۴۴/۳۳ کیلومتر مربع رسیده‌اند، در حالی که پوشش گیاهی با کاهش ۳۴/۵ درصدی (۱۱/۶۳- کیلومتر مربع) از ۳۳/۶۹ به ۲۲/۰۶ کیلومتر مربع و اراضی بایر با کاهش ۱۹/۸ درصدی (۹/۷۵- کیلومتر مربع) از ۴۹/۳۴ به ۳۹/۵۹ کیلومتر مربع تنزل یافته‌اند. پهنه‌های آبی نیز با کاهش ۲۴/۳ درصدی (۱/۳۷- کیلومتر مربع) از ۵/۶۴ به ۴/۲۷ کیلومتر مربع، آسیب‌پذیرترین دسته کاربری در برابر توسعه شهری بوده‌اند. الگوی زمانی تغییرات سه فاز متمایز را آشکار می‌سازد: فاز اول (۱۹۹۵-۲۰۰۵) با رشد آرام شهر (۴۵/۰+ کیلومتر مربع) و تغذیه عمدتاً از اراضی بایر، فاز دوم (۲۰۰۵-۲۰۱۵) با جهش شهری (۹۰/۶+ کیلومتر مربع) و آغاز مصرف جدی پوشش گیاهی، و فاز سوم (۲۰۱۵-۲۰۲۵) با رشد انفجاری شهر (۶۰/۱۴+ کیلومتر مربع) و تبدیل شدن پوشش گیاهی به منبع اصلی تأمین زمین برای توسعه. نکته بحرانی آنکه نرخ رشد شهر در دهه پایانی بیش از دو برابر دهه میانی و بیش از ۳۰ برابر دهه اول بوده است و از آنجا که تغییرات آشکارسازی‌شده عمدتاً از نوع یک طرفه و برگشت‌ناپذیر هستند (تبدیل پوشش گیاهی و خاک به سطوح ساخته‌شده بدون بازگشت معکوس)، آبادان با هشدار جدی مبنی بر حذف تقریباً کامل پوشش گیاهی و پهنه‌های آبی تا ۲۰۵۵ مواجه است که پیامدهایی چون تشدید جزیره حرارتی، افزایش سیلاب‌های ناگهانی و فروپاشی خدمات اکوسیستمی را به دنبال خواهد داشت. (جدول ۳ و ۴) (شکل ۴)



شکل ۴: آشکارسازی تغییرات پوشش و کاربری زمین شهر آبادان منبع: نگارندگان، بر اساس تحلیل ماتریس انتقال و تصویر تفاضلی

این نسخه موقت و قبل از چاپ نهایی می باشد. لطفاً برای ارجاع دقت کنید این نسخه بدون تاریخ و شماره است.

جدول ۳: تعداد پیکسل آشکارسازی تغییرات پوشش و کاربری زمین شهر آبادان

مناطق ساخته شده	خاک	پوشش گیاهی	آب	
۱۳	۱۷	۳۰	۴۷۷	آب
۷۴۸	۱۱۲۸	۲۸۵۹	۱۹۳	پوشش گیاهی
۵۴۰	۱۵۹۳۰	۱۸۳	۱۳	خاک
۱۶۶۹۸۳	۱۵۵۹۰	۴۳۵۴	۳۲	مناطق ساخته شده
۱۶۸۲۸۴	۳۲۶۶۵	۷۴۲۶	۷۱۵	جمع دسته ها
۱۳۰۱	۱۶۷۳۵	۴۵۶۷	۲۳۸	تغییرات دسته
۱۸۶۷۵	-۱۵۹۹۹	-۲۴۹۸	-۱۷۸	تفاوت تصویر

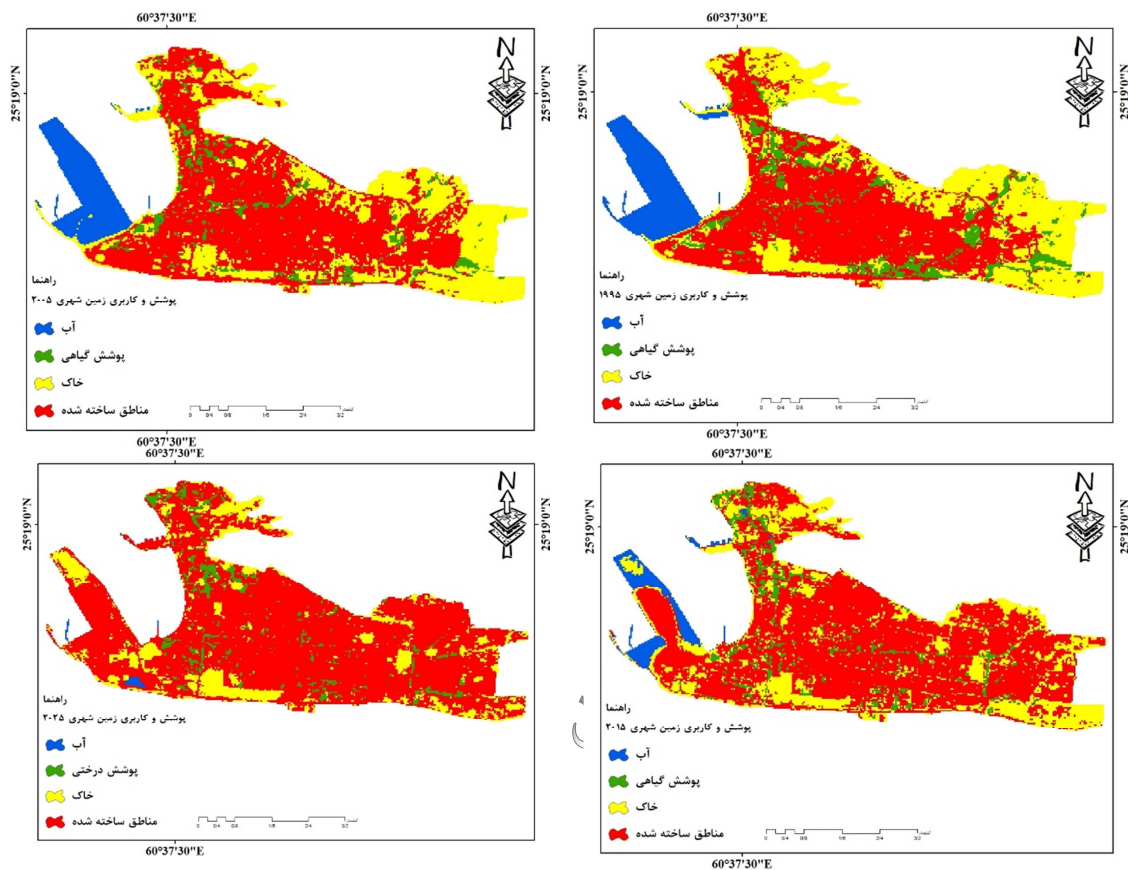
جدول ۴: درصد تعداد پیکسل آشکارسازی تغییرات پوشش و کاربری زمین شهر آبادان

مناطق ساخته شده	خاک	پوشش گیاهی	آب	
۰	۰/۰۵	۰/۴۰	۶۶/۱۷	آب
۰/۴۴	۳/۴۵	۳۸/۵۰	۲۶/۹۹	پوشش گیاهی
۰/۳۲	۴۸/۷۶	۲/۴۶	۱/۸۱	خاک
۹۹/۲۲	۴۷/۷۲	۵۸/۶۳	۴/۴۷	مناطق ساخته شده
۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	جمع دسته ها
۰/۷۷	۵۱/۲۳	۶۱/۵۰	۳۳/۲۸	تغییرات دسته
۱۱/۰۹	-۴۸/۹۷	۳۳/۶۳	-۲۴/۸۹	تفاوت تصویر

بر اساس داده‌های جدول ۵ و شکل ۵ که مربوط به شهر چابهار است، تحلیل شکل‌های پوشش و کاربری زمین در بازه زمانی ۱۹۹۵ تا ۲۰۲۵ نشان‌دهنده الگویی از فرسایش تدریجی منابع طبیعی و گسترش محتاطانه شهری است. در این بازه ۳۰ ساله، پهنه‌های آبی (رودخانه‌ها، دریاچه‌ها و تالاب‌ها) کاهشی مستمر ثبات داشته‌اند و از مجموع ۲۱/۰۳ کیلومتر مربع (۲۴/۹۴ درصد) در سال ۱۹۹۵ به ۱۸/۱۹ کیلومتر مربع (۲۱/۵۷ درصد) در سال ۲۰۲۵ رسیده‌اند که معادل کاهش حدود ۱۳/۵ درصدی است. پوشش گیاهی اما بحرانی‌ترین وضعیت را تجربه کرده و با کاهشی شدید از ۳/۷۸ کیلومتر مربع (۴/۴۸ درصد) به تنها ۱/۷۹ کیلومتر مربع (۲/۱۲ درصد) رسیده است؛ این به معنای حذف بیش از ۵۲ درصد از پوشش گیاهی منطقه در تنها سه دهه است. در مقابل، مناطق ساخته‌شده با رشد حدود ۸۹ درصدی از ۱۳/۳۶ به ۲۵/۲۸ کیلومتر مربع افزایش یافته‌اند، اما نکته حائز اهمیت آنکه این رشد شهری عمدتاً به بهای اراضی بایر (خاک) تمام شده است (کاهش ۷/۱۰ کیلومتر مربع یا ۱۵/۴ درصدی از ۴۶/۱۵ به ۳۹/۰۵)، نه لزوماً به قیمت پوشش گیاهی یا منابع آبی. الگوی فضایی مستخرج از شکل‌ها نشان می‌دهد که توسعه شهری چابهار برخلاف آبادان الگوی فشرده‌تر و برنامه‌ریزی‌شده‌تری داشته و هنوز فاصله زیادی تا تبدیل شدن به یک تهدید اکولوژیک جدی دارد.

این نسخه موقت و قبل از چاپ نهایی می باشد. لطفا برای ارجاع دقت کنید این نسخه بدون تاریخ و شماره است.

اما روند نگران کننده نابودی بیش از نیمی از پوشش گیاهی طی ۳۰ سال، هشدار جدی برای حفظ بقایای پوشش سبز منطقه و جلوگیری از تبدیل چابهار به شهری با محصوریت اراضی بایر است. (شکل ۵ و جدول ۵)



شکل ۵: تغییرات پوشش و کاربری زمین شهر چابهار از سال ۱۹۹۵ تا ۲۰۲۵

منبع: نگارندگان، بر اساس طبقه بندی تصاویر Landsat (USGS) با الگوریتم SVM در محیط Google Earth Engine

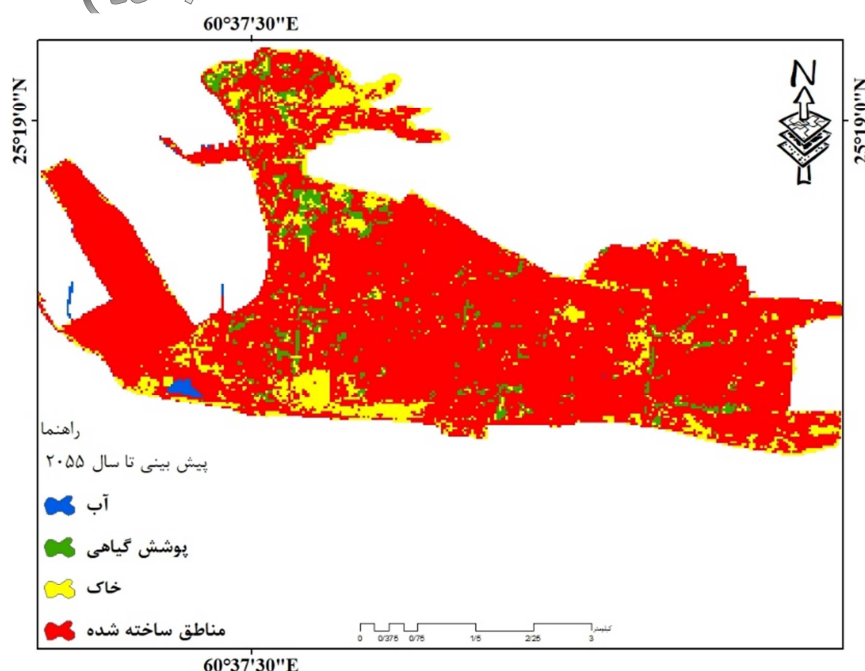
جدول ۵: مساحت پوشش و کاربری زمین شهر چابهار از سال ۱۹۹۵ تا ۲۰۲۵

	آب		پوشش گیاهی		خاک		مناطق ساخته شده	
	مساحت (کیلومتر مربع)	درصد	مساحت (کیلومتر مربع)	درصد	مساحت (کیلومتر مربع)	درصد	مساحت (کیلومتر مربع)	درصد
۱۹۹۵	۲۱/۰۳	۲۴/۹۴	۳/۷۸	۴/۴۸	۴۶/۱۵	۵۴/۷۲	۱۳/۳۶	۱۵/۸۴
۲۰۰۵	۲۰/۶۱	۲۴/۶۸	۲/۱۳	۲/۵۵	۴۵/۶۴	۵۴/۶۴	۱۵/۱۳	۱۸/۱۱
۲۰۱۵	۱۹/۶۰	۲۳/۸۱	۲/۰۵	۲/۴۹	۴۰/۵۸	۴۹/۲۸	۲۰/۰۹	۲۴/۴۰
۲۰۲۵	۱۸/۱۹	۲۱/۵۷	۱/۷۹	۲/۱۲	۳۹/۰۵	۴۶/۳۱	۲۵/۲۸	۲۹/۹۸
تغییرات سال ۲۰۲۵	-۲/۸۴	-۳/۳۷	-۱/۹۹	-۲/۳۶	-۷/۱۰	-۸/۴۱	۱۱/۹۹	۱۴/۱۴

این نسخه موقت و قبل از چاپ نهایی می باشد. لطفاً برای ارجاع دقت کنید این نسخه بدون تاریخ و شماره است.

نسبت به ۱۹۹۵								
-----------------	--	--	--	--	--	--	--	--

بر اساس شکل ۶ و جدول ۶ پیش‌بینی پوشش و کاربری زمین چابهار تا سال ۲۰۵۵، تصویر منطقه دگرگونی بنیادین و هشداردهنده‌ای را ترسیم می‌کند که در آن مناطق ساخته‌شده با جهشی عظیم به ۲۰/۸۳ کیلومتر مربع و سهم ۸۲/۷۸ درصدی از کل منطقه، به دسته کاملاً غالب و بدون رقیب تبدیل خواهند شد. این در حالی است که پوشش گیاهی که در سال ۲۰۲۵ هنوز ۲/۱۲ درصد (۱/۷۹ کیلومتر مربع) از منطقه را پوشش می‌داد، به تنها ۱/۰۷ کیلومتر مربع و سهم ناچیز ۴/۲۸ درصدی سقوط می‌کند؛ یعنی بیش از ۴۰ درصد از پوشش گیاهی باقیمانده نیز تا ۲۰۵۵ حذف خواهد شد. اراضی بایر (خاک) نیز با کاهش شدید از ۳۹/۰۵ کیلومتر مربع در ۲۰۲۵ به ۳/۱۵ کیلومتر مربع در ۲۰۵۵ (کاهش حدود ۹۲ درصدی)، عملاً نقش خود را به عنوان مخزن اراضی ذخیره از دست می‌دهند. شاخص‌ترین و بحرانی‌ترین تغییر، مربوط به پهنه‌های آبی (رودخانه‌ها، دریاچه‌ها و تالاب‌ها) است که با کاهش از ۱۸/۱۹ کیلومتر مربع در ۲۰۲۵ به تنها ۰/۱۰ کیلومتر مربع و سهم ۰/۴۰ درصدی، در آستانه حذف کامل از بوم‌سازگان شهری چابهار قرار می‌گیرند. الگوی فضایی مستخرج از شکل پیش‌بینی نشان می‌دهد که رشد شهری به صورت گسترش افقی بی‌بازگشت به داخل اراضی بایر و حاشیه پهنه‌های آبی خواهد بود و چابهار را به شهری با محصوریت کامل سطوح نفوذناپذیر، حذف تقریباً کامل پوشش گیاهی و نابودی منابع آبی تبدیل خواهد کرد. این سناریو پیامدهای فاجعه‌باری چون تشدید شدید جزیره حرارتی شهری، افزایش خطر سیلاب‌های ناگهانی، کاهش کیفیت هوا و فروپاشی خدمات اکوسیستمی (به ویژه تنظیم دما و چرخه آب) را برای ساکنان چابهار به دنبال خواهد داشت و نیاز فوری به تغییر پارادایم توسعه به سمت فشرده‌سازی شهری، حفاظت از پهنه‌های آبی باقیمانده و ایجاد کمربند سبز حائل را اجتناب‌ناپذیر می‌سازد. (شکل ۶ و جدول ۶)



شکل ۶: شکل پیش‌بینی پوشش و کاربری زمین شهر چابهار تا سال ۲۰۵۵

این نسخه موقت و قبل از چاپ نهایی می باشد. لطفاً برای ارجاع دقت کنید این نسخه بدون تاریخ و شماره است.

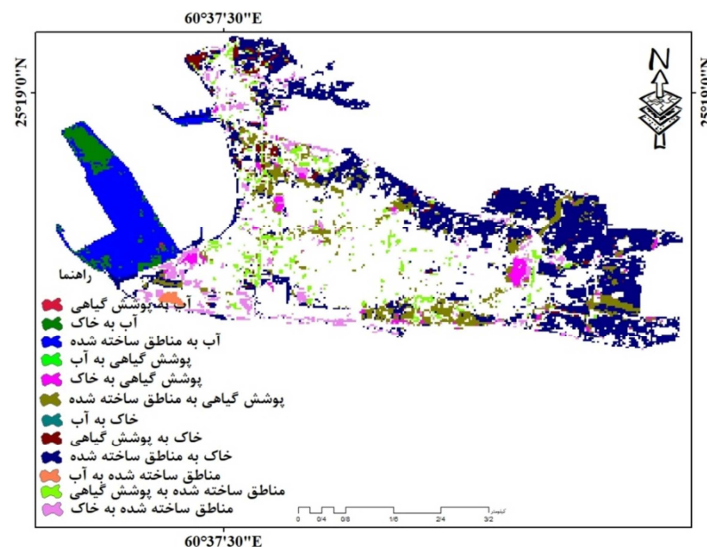
منبع: نگارندگان، بر اساس مدل سازی CA-Markov

جدول ۶: مساحت و درصد شکل پیش بینی شهر چابهار تا سال ۲۰۵۵

	مناطق ساخته شده		خاک		پوشش گیاهی		آب	
	درصد	مساحت (کیلومتر مربع)	درصد	مساحت (کیلومتر مربع)	درصد	مساحت (کیلومتر مربع)	درصد	مساحت (کیلومتر مربع)
پیش بینی تا ۲۰۵۵	۸۲/۷۸	۲۰/۸۳	۱۲/۱۵۳	۳/۱۵	۴/۲۸	۱/۰۷	۰/۴۰	۰/۱۰

بر اساس ماتریس آشکارسازی تغییرات چابهار شکل ۷ و (جدول ۷-۸) در بازه ۱۹۹۵ تا ۲۰۲۵، یک دگرگونی بنیادین در ساختار پوشش و کاربری زمین رخ داده است که در آن مناطق شهری با ضریب ماندگاری خیره کننده ۹۶/۳۷ درصد یعنی تقریباً تمام پیکسل های شهری در سال ۱۹۹۵ تا ۲۰۲۵ بدون تغییر باقی مانده اند و دریافت کننده ۷۸ درصد از تغییرات پهنه های آبی و ۷۰ درصد از تغییرات پوشش گیاهی بوده اند. مهم ترین یافته آشکارسازی، شدت تغییرات چشمگیر در دسته های طبیعی است. ۹۸/۵۶ درصد از پهنه های آبی، ۸۵/۵ درصد از پوشش گیاهی و ۷۱/۱۱ درصد از اراضی بایر دستخوش تغییر شده اند، در حالی که تنها ۳/۶۳ درصد از مناطق شهری تغییر دسته داده اند. تحلیل مسیرهای تبدیل نشان می دهد که پهنه های آبی عمدتاً به مناطق شهری (۷۸/۰۴ درصد) و تا حدی به خاک (۲۰/۳۴ درصد) تبدیل شده اند؛ پوشش گیاهی عمدتاً به مناطق شهری (۷۰/۱۱ درصد) و خاک (۱۵/۳۹ درصد) تغییر یافته است و اراضی بایر نیز عمدتاً به مناطق شهری (۶۷/۱۵ درصد) و پوشش گیاهی (۲۸/۸۹ درصد) تبدیل شده اند. تصویر تفاضلی نیز کاهش شدید پهنه های آبی (۹۵/۹۱- درصد)، کاهش پوشش گیاهی (۳۸/۴۹- درصد) و کاهش اراضی بایر (۵۰/۶۲- درصد) را تأیید می کند، در مقابل افزایش قابل توجه ۱۶/۲۳ درصدی مناطق شهری. این آمار آشکار می سازد که چابهار در سه دهه اخیر شاهد یک پاک سازی گسترده منابع طبیعی به نفع توسعه شهری بوده است، به گونه ای که از هر ۱۰۰ پیکسل آبی در سال ۱۹۹۵، تنها ۱/۴ پیکسل تا ۲۰۲۵ باقی مانده و بقیه به شهر و خاک تبدیل شده اند؛ روندی که بدون تغییر فوری سیاست های توسعه، تا ۲۰۵۵ به حذف کامل پهنه های آبی و پوشش گیاهی خواهد انجامید.

این نسخه موقت و قبل از چاپ نهایی می باشد. لطفا برای ارجاع دقت کنید این نسخه بدون تاریخ و شماره است.



شکل ۷: آشکارسازی تغییرات پوشش و کاربری زمین شهر چابهار

منبع: نگارندگان، بر اساس تحلیل ماتریس انتقال و تصویر تفاضلی

جدول ۷: تعداد پیکسل آشکارسازی تغییرات پوشش و کاربری زمین شهر چابهار

	آب	پوشش گیاهی	خاک	مناطق ساخته شده
آب	۳۹	۰	۰	۷۲
پوشش گیاهی	۵	۳۶۱	۳۷۸	۷۸۷
خاک	۵۵۲	۳۸۳	۲۷۵۴	۱۰۱۸
مناطق ساخته شده	۲۱۱۸	۱۷۴۵	۶۴۰۱	۴۹۸۱۱
جمع دسته ها	۲۷۱۴	۲۴۸۹	۹۵۳۳	۵۱۶۸۸
تغییرات دسته	۲۶۷۵	۲۱۲۸	۶۷۷۹	۱۸۷۷
تفاوت تصویر	-۲۶۰۳	-۹۵۸	-۴۸۲۶	۸۳۸۷

جدول ۸: درصد تعداد پیکسل آشکارسازی تغییرات پوشش و کاربری زمین شهر چابهار

	آب	پوشش گیاهی	خاک	مناطق ساخته شده
آب	۱/۴۳	۰	۰	۰/۱۳
پوشش گیاهی	۰/۱۸	۱۴/۵۰	۳/۹۶	۱/۵۲
خاک	۲۰/۳۳	۱۵/۳۸	۲۸/۸۸	۱/۹۷
مناطق ساخته شده	۷۸/۰۴	۷۰/۱۰	۶۷/۱۴	۹۶/۳۶
جمع دسته ها	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰	۱۰۰
تغییرات دسته	۹۸/۵۶	۸۵/۴۹	۷۱/۱۱	۳/۶۳
تفاوت تصویر	-۹۵/۹۱	-۳۸/۴۸	-۵۰/۶۲	۱۶/۲۲

این نسخه موقت و قبل از چاپ نهایی می‌باشد. لطفاً برای ارجاع دقت کنید این نسخه بدون تاریخ و شماره است.

تحلیل تطبیقی شکل‌های آشکارسازی تغییرات پوشش و کاربری زمین آبادان و چابهار در بازه زمانی ۱۹۹۵ تا ۲۰۲۵، دو الگوی کاملاً متمایز از تحول شهری-اکولوژیک در جنوب ایران را آشکار می‌سازد. در آبادان، رشد انفجاری مناطق ساخته‌شده با افزایش ۹۸ درصدی (از ۲۲/۳۸ به ۴۴/۳۳ کیلومتر مربع) به عنوان موتور محرک اصلی تغییرات عمل کرده است، به گونه‌ای که پوشش گیاهی با کاهش ۳۴/۵ درصدی و پهنه‌های آبی با کاهش ۲۴/۳ درصدی، خورنده‌های اصلی توسعه شهری بوده‌اند. در مقابل، چابهار الگوی توسعه شهری راکد و فشرده‌تری داشته است (افزایش تنها از ۱۳/۳۶ به ۲۵/۲۸ کیلومتر مربع با سهم ۲۹/۹۸ درصدی در ۲۰۲۵)، اما نرخ تخریب پوشش گیاهی در چابهار بسیار شدیدتر بوده و این دسته با کاهش ۵۲ درصدی (از ۳/۷۸ به ۱/۷۹ کیلومتر مربع) مواجه شده است. شاخص‌ترین تفاوت در رفتار پهنه‌های آبی نمایان است: در آبادان، منابع آبی به عنوان یک منبع حیاتی با کاهش ۱/۳۷ کیلومتر مربعی، مستقیماً قربانی توسعه شهری شده‌اند، در حالی که در چابهار، پهنه‌های آبی با کاهش ۲/۸۴ کیلومتر مربعی (از ۲۱/۰۳ به ۱۸/۱۹) عمدتاً به اراضی بایر و تخریب کیفی تبدیل شده‌اند نه صرفاً به سطوح ساخته‌شده. ماتریس انتقال نیز این تفاوت بنیادین را تأیید می‌کند: در آبادان، ۵۳ درصد از رشد شهر از محل حذف پوشش گیاهی و ۴۴ درصد از اراضی بایر تأمین شده، در حالی که در چابهار، مهم‌ترین مسیر تبدیل، خاک به مناطق ساخته‌شده (۶۷/۱۵ درصد) بوده و پوشش گیاهی نقش کمتری در تغذیه مستقیم شهر داشته است. از منظر سیاست‌گذاری شهری، آبادان با بحران جایگزینی بی‌بازگشت فضاهای سبز و آبی با سطوح نفوذناپذیر مواجه است، در حالی که چابهار با وجود این، نرخ پایین‌تر شهرنشینی، با معضل فرسایش خاموش و ممتد منابع طبیعی به ویژه پوشش گیاهی و پهنه‌های آبی دست‌وپنجه نرم می‌کند؛ پیش‌بینی تا ۲۰۵۵ نیز این واگرایی را تشدید می‌کند: آبادان به سمت شهری با ۶۲/۳۰ درصد سطوح ساخته‌شده و ۸/۹۶ درصد پوشش گیاهی حرکت می‌کند، در حالی که چابهار با ۸۲/۷۸ درصد مناطق شهری و تنها ۴/۲۸ درصد پوشش گیاهی و حذف تقریباً کامل پهنه‌های آبی (۰/۴۰ درصد)، الگوی بسیار بحرانی‌تری را تجربه خواهد کرد؛ چراکه در چابهار برخلاف آبادان، تقریباً هیچ «منطقه حائل» طبیعی (ارضی بایر یا پوشش گیاهی باقیمانده) برای جذب رشد آتی شهر وجود نخواهد داشت.

نتایج و بحث

یافته‌های این پژوهش با چندین مطالعه معتبر در سطح جهانی همخوانی دارد. مصطفی^۱ و همکاران (۲۰۲۴) در نیجریه، نابودی کامل جنگل‌های متراکم و افزایش قابل توجه اراضی ساخته‌شده را گزارش کردند که با الگوی آبادان همسو است. بر خلاف یافته‌های فانگ^۲ (۲۰۲۵) در استان سیچوان چین که گزارش کرد اراضی جنگلی روند افزایشی داشته‌اند، هر دو شهر مورد مطالعه در ایران روند کاهشی شدید پوشش گیاهی را تجربه کرده‌اند. این تفاوت احتمالاً ناشی از سیاست‌های حفاظت محیط‌زیست قوی‌تر در چین در مقایسه با ایران است.

الگوهای متفاوت تحول کاربری اراضی در آبادان و چابهار را می‌توان تا حد زیادی در پرتو زمینه‌های اقتصادی و زیست‌محیطی متمایز هر منطقه تبیین کرد. در آبادان، کاهش پهنه‌های آبی را نمی‌توان صرفاً پیامد توسعه کالبدی شهر دانست؛ بلکه این روند با کاهش شدید دبی رودخانه‌ی کارون هم‌زمان بوده است. مطالعات نشان داده‌اند که دبی

¹ Mustafa

² Fang

این نسخه موقت و قبل از چاپ نهایی می باشد. لطفاً برای ارجاع دقت کنید این نسخه بدون تاریخ و شماره است.

کارون طی سال های ۱۹۸۵ تا ۲۰۱۵ حدود ۱۷۱ مترمکعب بر ثانیه کاهش یافته که به کاهش ۱۳ درصدی پوشش گیاهی منطقه منجر شده است (باساک و همکاران، ۲۰۱۸، به نقل از یوسفی کبریا و همکاران، ۲۰۲۵). این کاهش جریان آب، همراه با ساخت سدهای متعدد بالادست و بهره برداری فزاینده از منابع آبی برای کشاورزی و صنعت، به تخریب تدریجی تالاب ها و نخلستان های حاشیه ی رودخانه ها در استان خوزستان (از جمله شادگان که در مجاورت آبادان قرار دارد) منجر شده است (یوسفی کبریا و همکاران، ۲۰۲۵). این یافته ها نشان می دهند که بخشی از فشار بر پوشش گیاهی و پهنه های آبی آبادان، مستقل از رشد کالبدی شهر و ناشی از تحولات هیدرولوژیک منطقه ای بوده است.

در چابهار، برخلاف آبادان، محرک اصلی توسعه نه صنایع سنگین بلکه پتانسیل ترانزیتی و دریایی منطقه بوده است؛ تأسیس منطقه آزاد تجاری-صنعتی چابهار در سال ۱۳۷۱ نقش مهمی در جذب سرمایه گذاری و رشد جمعیت این شهر داشته است. با این حال، نرخ کندتر رشد کالبدی چابهار به معنای فشار محیط زیستی کمتر نیست. مطالعات اقلیمی مبتنی بر سنجش از دور نشان می دهند که ایستگاه چابهار طی سال های ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۱ نوسانات شدیدی در شاخص های وضعیت پوشش گیاهی (VCI)، دمای سطح زمین (TCI) و سلامت پوشش گیاهی (VHI) تجربه کرده و اوج خشکسالی در این ایستگاه در سال های ۲۰۱۰ و ۲۰۱۸ ثبت شده است (سیاسر و همکاران، ۲۰۲۵). این یافته ها نشان می دهند که بخش قابل توجهی از افت پوشش گیاهی چابهار (۵۲ درصد طی سه دهه) می تواند مستقل از رشد کالبدی شهر و ناشی از تنش های اقلیمی منطقه ای، به ویژه خشکسالی های متناوب و شدید، باشد.

نتیجه گیری

این مطالعه آشکار ساخت که آبادان و چابهار باوجود فاصله جغرافیایی نسبتاً کم و قرارگیری در یک نوار اقلیمی مشابه، دو مسیر کاملاً متفاوت از تحول شهری-اکولوژیک را طی کرده اند. آبادان الگوی توسعه شهری تهاجمی و مصرف کننده منابع را نشان می دهد که در آن شهر به طور مستقیم و بی بازگشت، پوشش گیاهی و پهنه های آبی را می بلعد. چابهار اما الگوی فرسایش خاموش و ممتد منابع طبیعی را تجربه می کند که در آن، باوجود رشد شهری محتاطانه تر، به دلیل شکنندگی اکوسیستم و فشارهای اقلیمی و مدیریتی، منابع طبیعی با نرخی حتی بالاتر از آبادان در حال نابودی هستند. پیش بینی تا ۲۰۵۵ هشدار می دهد که هر دو شهر بدون تغییر فوری مسیر توسعه، با فروپاشی خدمات بوم سازگانی، تشدید جزیره حرارتی، افزایش مخاطرات اقلیمی و کاهش شدید کیفیت زندگی مواجه خواهند شد. چابهار به دلیل نرخ بالاتر تخریب پوشش گیاهی و حذف تقریباً کامل پهنه های آبی در پیش بینی ها، در وضعیت بحرانی تری نسبت به آبادان قرار دارد. در چنین شرایطی، توسعه پایدار دیگر یک گزینه نیست، بلکه تنها مسیر بقا برای این دو شهر جنوبی است. تغییر فوری سیاست های شهری به سمت فشرده سازی، حفاظت از منابع آبی باقیمانده و احیای پوشش گیاهی، ضرورتی اجتناب ناپذیر است. این مطالعه با بهره گیری از تصاویر ماهواره ای لندست، الگوریتم طبقه بندی ماشین بردار پشتیبان (SVM) و مدل پیش بینی زنجیره مارکوف-توماتای سلولی^۱ در محیط GEE، به آشکارسازی، تحلیل و پیش بینی تغییرات پوشش و کاربری زمین دو شهر استراتژیک آبادان و چابهار در بازه زمانی ۱۹۹۵ تا ۲۰۲۵ پرداخت. یافته ها نشان داد که باوجود قرارگیری هر دو شهر در نوار اقلیمی مشابه جنوب ایران، الگوهای تحول شهری-اکولوژیک آن ها تفاوت بنیادین دارد: آبادان الگوی توسعه شهری انفجاری و خورنده را تجربه

¹ CA-Markov

این نسخه موقت و قبل از چاپ نهایی می‌باشد. لطفاً برای ارجاع دقت کنید این نسخه بدون تاریخ و شماره است.

کرده است (افزایش ۹۸ درصدی مناطق ساخته‌شده و کاهش ۳۴/۵ درصدی پوشش گیاهی)، در حالی که چابهار با وجود رشد شهری محتاطانه‌تر (۸۹ درصد)، به دلیل شکنندگی ذاتی اکوسیستم فراخشک مکران و غلبه عوامل اقلیمی و مدیریتی (خشکسالی، افزایش دما و برداشت بی‌رویه از آب‌های زیرزمینی)، نرخ تخریب پوشش گیاهی بسیار بالاتری (۵۲ درصد) را تجربه کرده است. ماتریس انتقال آشکار ساخت که در آبادان ۵۳ درصد از رشد شهر از محل حذف پوشش گیاهی تأمین شده، در حالی که در چابهار این سهم تنها ۲۹/۰۸۹ درصد بوده و منبع اصلی توسعه شهری، اراضی بایر (۶۷،۱۵ درصد) بوده‌اند - تفاوتی که بیانگر دو مسیر متمایز تأمین زمین برای رشد شهری است. پیش‌بینی تا ۲۰۵۵ وضعیتی هشداردهنده را ترسیم می‌کند: آبادان به سمت شهری با ۶۲،۳۰ درصد سطوح ساخته‌شده و ۸/۹۶ درصد پوشش گیاهی حرکت می‌کند، اما چابهار با ۸۲/۷۸ درصد مناطق شهری، تنها ۴،۲۸ درصد پوشش گیاهی و حذف تقریباً کامل پهنه‌های آبی (۰/۴۰ درصد)، الگوی بسیار بحرانی‌تری را پیش رو دارد. در مجموع، این مطالعه تأیید می‌کند که شهرنشینی بی‌برنامه در آبادان و تشدید خشکسالی و مدیریت نامناسب منابع در چابهار، هر دو به یک نقطه پایانی مشترک منتهی می‌شوند. فروپاشی خدمات بوم‌سازگانی، تشدید جزیره حرارتی شهری، افزایش مخاطرات اقلیمی و کاهش شدید کیفیت زندگی. بنابراین، تغییر فوری پارادایم توسعه از گسترش افقی به فشرده‌سازی شهری، حفاظت از پهنه‌های آبی باقیمانده، احیای پوشش گیاهی با گونه‌های بومی مقاوم به خشکی و شوری، بازتعریف سیاست‌های مدیریت منابع آب، نه یک انتخاب بلکه تنها مسیر بقا برای این دو شهر جنوبی است.

تقدیر و تشکر (حمایت مالی یا معنوی سازمانی)

این مقاله بخشی از طرح "تحلیل تغییرات فضاهای سبز شهری و پیامدهای آن بر ظرفیت خنک‌کنندگی و مدیریت اقلیم محلی در شهرهای ساحلی جنوب ایران" است که زیر نظر بنیاد علم ایران به شماره طرح ۴۰۴۸۰۲۰ به انجام رسیده است. لذا نویسندگان این مقاله از بنیاد علم ایران بابت حمایت‌های مالی و معنوی سپاسگزاری می‌کنند.

منابع

- سالنامه آماری اروند. (۱۳۹۶). سازمان منطقه آزاد اروند.
- سازمان مسکن و شهرسازی خوزستان. (۱۳۸۶). طرح جامع شهر آبادان. اداره کل راه و شهرسازی استان خوزستان.
- مرکز آمار ایران. (۱۳۹۵). نتایج تفصیلی سرشماری عمومی نفوس و مسکن. مرکز آمار ایران.
- Abafogi, M. A., Kebebew, Z., & Gameda, D. O. (2026). Impacts of land use/land cover change on normalized difference vegetation index and land surface temperature in southwestern Ethiopia. *Environmental Monitoring and Assessment*, 198 (6), 585. <https://doi.org/10.1007/s10661-025-13982-0>
- Abdulla, F., Ahmed, T., & Al-Harbi, M. (2021). Land surface temperature as a key variable in the Earth's climate system. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 23, 100556.
- Ahmed, R., & Harishnaika, N. (2023). Google Earth Engine for land use/land cover change modeling: A review. *Geocarto International*, 38 (1), 215-234.
- Alemayehu, T., Assefa, G., & Kebede, S. (2023). Impacts of land use/land cover change on energy and moisture exchange patterns. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, 46, 101345.
- Bikeko, T., & Venkatesham, V. (2024). Agricultural expansion and forest degradation as drivers of greenhouse gas emissions. *Environmental Research Letters*, 19 (3), 034021.
- Basak, A., Arabi Moghadam, H., Hejazizadeh, Z., & Toolabinejad, M. (2018). The effects of water transfer projects of Karun tributaries in creating or intensifying dust centers in Khuzestan using GIS & RS technologies. *Journal of Geography*, 16(56), 20-35.
- Cheng, G., Huang, Y., Li, X., Lyu, S., Xu, Z., Zhao, H., Zhao, Q., & Xiang, S. (2024). Change detection methods for remote sensing in the last decade: A comprehensive review. *Remote Sensing*, 16 (13), 2355. <https://doi.org/10.3390/rs16132355>

- Chowdhuri, I., Pal, S. C., & Chakraborty, R. (2022). Google Earth Engine for time series analysis and change detection. *Earth Science Informatics* , 15 , 789-806.
- Duru, C. I., Solomon, T., Nwaubani, D. A., Ibebuchi, C. C., & Sherchan, S. (2025). Assessing the impacts of land use/land cover changes on land surface temperature in Baltimore, Maryland, USA. *Environmental Research Communications* , 7 (3), 035012.
- Fang, J. (2025). From urban to nature: A continuous landscape gradient mapping framework in Southwest China. *Journal of Environmental Management* , 365 , 121-134.
- Garai, S., Mondal, P., & Bandyopadhyay, J. (2022). Inverse relationship between NDVI and LST: A systematic review. *Ecological Indicators* , 135 , 108556.
- Gemeda, D. O., Kenea, G., Teshome, B., Daba, G. L., Argu, W., & Roba, Z. R. (2024). Impact of land use and land cover change on land surface temperature: Comparative studies in four cities in southwestern Ethiopia. *Environmental Challenges* , 16 , 101002. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2024.101002>
- Gurjar, Y., Wen, R., Farahbakhsh, E., & Chandra, R. (2024). Landcover classification and change detection using remote sensing and machine learning: A case study of Western Fiji. *arXiv preprint* , arXiv:2509.13388.
- Harris, N. L., Gibbs, D. A., Baccini, A., et al. (2021). Global maps of twenty-first century forest carbon fluxes. *Nature Climate Change* , 11 , 234-240.
- Hussain, S., Mubeen, M., & Ahmad, A. (2022). Limitations of past LULC studies in predicting future trends. *Land Use Policy* , 118 , 106127.
- Kelsey, K. C., Neff, J. C., & Henderson, M. D. (2018). Random Forest algorithm for land cover classification in Google Earth Engine. *GIScience & Remote Sensing* , 55 (5), 645-662.
- Jabir, B., Nadif, B., De la Torre Díez, I., Garay, H., & Delgado Noya, I. (2025). Performance Evaluation of Support Vector Machine and Stacked Autoencoder for Hyperspectral Image Analysis. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 18, 16429-16444. <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2025.11039027>
- Li, J., Wang, Z., & Chen, X. (2022). Land use/land cover change as a fundamental link between environmental change and economic development. *Earth System Dynamics* , 13 , 445-460.
- Ma, L., Liu, Y., & Zhang, X. (2025). Convolutional neural networks for land cover classification and change detection. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* , 63 , 1-18.
- Merga, B. G., Moisa, M. B., & Gemeda, D. O. (2022). Replacement of natural vegetation with impervious surfaces and its impact on Heliyon , 8 (10), e10923.
- Mustafa, S., Ilyas, S., & Akomolafe, G. (2024). Assessment of 30 years land use and land cover changes of Doma Nasarawa State. *Lafia Journal of Scientific and Industrial Research* , 6 (2), 45-58.
- Negash, T., Mohammed, M., & Berhanu, B. (2023). Machine learning algorithms for land cover classification in GEE. *Remote Sensing Applications* , 30 , 100978.
- Powar, S. K., Panhalkar, S. S., & Patil, P. T. (2024). An assessment of land use land cover changes and its impact on land surface temperature using geoinformatic techniques. *Disaster Advances* , 17 (9), 33-41. <https://doi.org/10.25303/179da033041>
- Reta, A. H., Abegaz, A., & Wubie, A. M. (2025). Land use/land cover change detection using remote sensing and GIS. *Environmental Systems Research* , 14 , 12.
- Scott, A. A., Misra, P., & Waugh, D. W. (2017). Urban heat island phenomenon in coastal cities. *Urban Climate* , 21 , 156-172.
- Singh, P., Sharma, R., & Kumar, V. (2024). Map-to-map comparison and transition matrix methods for LULC change detection. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing* , 52 , 567-582.
- Suleiman, A., Ibrahim, K., & Musa, I. (2017). Land use and land cover change detection in semi-arid regions. *African Journal of Environmental Science and Technology* , 11 (8), 392-404.
- Siasar, H., Salari, A., Bahrami, M., & Hamidifar, H. (2025). Integrating remote sensing and meteorological analysis for monitoring drought conditions in arid regions: a case study from Sistan and Baluchestan province, Iran. *Theoretical and Applied Climatology*, 156, 291. <https://doi.org/10.1007/s00704-025-05527-7>
- Tassi, A., & Vizzari, M. (2020). SVM, Random Forest, and CART for land cover classification. *Remote Sensing* , 12 (23), 3892.
- Tu, Y., Chen, S., & Li, Z. (2024). Remote sensing for multi-temporal and multi-spectral environmental change monitoring. *International Journal of Digital Earth* , 17 (1), 1-22.
- United Nations (UN). (2018). *World Urbanization Prospects: The 2018 Revision* . Department of Economic and Social Affairs, Population Division. New York: United Nations.
- Winkler, K., Fuchs, R., & Rounsevell, M. (2021). Land use change impacts on ecosystem structure and function. *Global Environmental Change* , 68 , 102256.
- Yousefi-Kebriya, A., Nadi, M., Afaridegan, E., & Sun, Z. (2025). Wetland shrinking and dust pollution in Khuzestan Iran: insights from sentinel-5 and MODIS satellites. *Scientific Reports*, 15, Article 13626. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-96935-2>
- Yoo, C., Han, D., & Im, J. (2024). CNN-based land cover classification using Landsat imagery. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing* , 17 , 2345-2358.
- Zeren Cetin, I., Ozel, H. B., & Varol, T. (2023). Spatiotemporal analysis of LULC change trajectories. *Environmental Monitoring and Assessment* , 195 , 78.

این نسخه موقت و قبل از چاپ نهایی می باشد. لطفا برای ارجاع دقت کنید این نسخه بدون تاریخ و شماره است.

Zhao, C., & Du, H. (2016). Google Earth Engine: A cloud computing platform for Earth observation data analysis. *Environmental Modelling & Software* , 84 , 46-56.
Zhao, H., & Wan, Y. (2021). Land use change impacts on carbon cycle and hydrological processes. *Science of the Total Environment* , 783 , 146987.

آماده انتشار (بدون شماره مجله)