

## **Spatial Analysis and Ranking of Fifteen Regions of Isfahan Metropolis based on the Distribution of Air Pollution\***

**Homayoon Nooraie<sup>1</sup>\*, Seyed Mohammad Shokrani<sup>2</sup>**

1- Assistant Professor in Urban and Regional Planning, Faculty of Architecture and Urban Planning, Art University of Isfahan, Isfahan, Iran

(\*Corresponding Author Email: h.nooraie@au.ac.ir)

2- M.A. of Urban Planning, Faculty of Architecture and Urban Planning, Art University of Isfahan, Isfahan, Iran

### **Extended Abstract:**

#### **Introduction:**

Today, the growth of urbanization and the expansion of cities, especially large cities, have increased the negative effects of urban development and imposed serious challenges related to environmental quality (Chiarini et al., 2020; Ziari et al., 2018). Among the types of pollution, air pollution is the main type threatening the environment and humans (Rai, 2016). According to the World Health Organization, air pollution deaths in the world are 7 million people annually and about 9 out of 10 people are exposed to this pollution. In recent decades, air pollution in large cities has intensified due to the emission of pollutants from factories and vehicles. In addition, urban spatial patterns and lack of attention to the optimal location of urban elements have led to air pollutants approaching the ground level and thus further endangering the health of citizens. Therefore, the role of urban planning in establishing relationships between land use, economic activities, sustainable urban mechanisms, and controlling and reducing air pollution has been approved.

Despite the above-mentioned importance of paying attention to the problem of air pollution in large cities and considering the spatial factors affecting it in the urban planning system, the study of the research background indicates that in a macro classification, the air pollution zoning models of cities in the field of urban planning were classified into two categories: interpolation and spatial analysis models. Interpolation models estimate air pollution based on data from field survey stations. The purpose of this study is to identify the spatial indicators affecting air pollution in the urban planning system and to analyze and rank the fifteen regions of Isfahan metropolis based on spatial indicators. The metropolis of Isfahan is one of the three largest cities in the country and one of the cities with high use of cars and motorcycles. Therefore, in line with the above goal, first, the spatial indicators affecting air pollution have been extracted by referring to the theoretical and experimental literature and then the situation of fifteen regions of Isfahan metropolis has been analyzed based on the spatial distribution indicators.

---

\* This article is extracted From the second author's Dissertation entitled: "Analysis and Ranking of Fifteen Regions of Isfahan Metropolis Using Biophilic Urban Planning Approach" under supervision first author in the Architecture and Urban Planning Faculty of Art University of Isfahan.

## Methodology

The present descriptive-analytical study has a mixed paradigm due to the use of both quantitative and qualitative methods. The quantitative method used in this research is survey type and the qualitative method is a case study. Also, this research is a part of applied research in terms of purpose. The data were collected using library and field methods. For data analysis, spatial analysis methods in GIS software were used. After preparing analytical maps of air pollution based on each of the indicators, the Swara method was used to weigh the criteria and Indicators. In this regard, first, through qualitative sampling, 30 experts were selected and then the criteria and the indicators of each criterion were ranked based on their views. Finally, by using the spatial analysis method and Map Algebra tool in GIS software, the indicators and the zoning map were prepared.

## Discussion

In this study, research indicators in fifteen regions of Isfahan metropolis have been analyzed and compared, according to which the height reduction, proximity to the concentration of urban industries, terminals, intersections, population and dust prone areas, increasing distance from rivers, creeks, areas with dense vegetation and areas affected by airflow, increasing building density, increasing traffic volume and proximity to heavy industries near the city increase air pollution. After preparing the analytical maps, according to the coefficients and the effect of the indicators, the overlapping of the analytical maps and the ranking of the regions was done, based on which regions 7, 8, 13, and 14 were at the most unfavorable rank.

## Conclusion

The results of the study show different distributions of air pollution in fifteen regions at five ranks as follows:

- 1) Very high air pollution: including regions 7, 8, 13, and 14, which are in a very unfavorable situation in terms of air pollution, and urban planning with a spatial approach to increase the health of residents for these regions is the first priority.
- 2) High air pollution: Regions 3, 5, 10, and 12 are at this rank. These regions are in poor condition in terms of air pollution and planning for these regions is the second priority.
- 3) Moderate air pollution: Regions 1, 2, 4, and 15 are in relatively good condition in terms of air pollution and planning for these regions is the third priority.
- 4) Low air pollution: Regions 6 and 11 are at this rank. These regions are in good condition in terms of air pollution and are the fourth priority of planning.
- 5) Very low air pollution: Region 9 is in very good condition in terms of air pollution compared to other regions and planning for this region is the last priority.

Based on the results, the most important cause of air pollution in the metropolis of Isfahan is the existence of inner-city industries, the placement of heavy industries near the city, and the existence of financial problems to purify the pollution of these industries. Other main causes of air pollution include

high use of private vehicles, heavy traffic on inner-city highways and main roads, lack of construction privacy for these main roads, the presence of worn-out vehicles, the weakness of the public transportation system, inversion and the drying of the Zayandehrood in most days of the year and increased dust hotspots in the warmer months of the year (especially in the eastern parts of the city).

In order to solve the problem of air pollution in the Isfahan metropolis, first, a comprehensive and detailed plan is necessary. Second, incompatible activities such as air-polluting terminals and workshops should be removed from near residential areas outside the city limits. It is also necessary to implement measures in the scale of regions and neighborhoods to control and reduce air pollution in priority regions with emphasis on spatial factors discussed in the theoretical and experimental literature. Other improvement measures include the rehabilitation of rivers and creeks, the management of travel demand through the organization of public transportation and the strengthening of pedestrian and bicycle infrastructure, not locating industries in the prevailing wind direction (west and southwest), the establishment of air quality monitoring stations in different parts of the city for the regular monitoring of air quality in all regions and zones, and creation of vegetation in unused regions near incompatible activities and main intersections of the city.

**Keywords:** Spatial Analysis, Remote Sensing, Ranking, Air Pollution, Isfahan Metropolis.

## References

- Ahmed, S. O., Mazloun, R., & Abou-Ali, H. (2018). Spatiotemporal interpolation of air pollutants in the Greater Cairo and the Delta, Egypt. *Journal of Environmental Research*, 160, 27-34.
- Air Quality Control Company. (2020). *Annual Report of Tehran Air and Sound Quality in 1398*. Tehran Municipality: Shahr Publishing.
- Applied Meteorological Research Department of Isfahan General Meteorological Department. (2019). *Air quality report of Isfahan meteorological station in 1397*.
- Applied Meteorological Research Department of Isfahan General Meteorological Department. (2020). *Air quality report of Isfahan meteorological station in 1398*.
- Beatley, T. (2011). *Biophilic Cities Integrating Nature into Urban Design and Planning*. Island Press.
- Borrego, C., Cascão, P., Lopes, M., Amorim, J. H., Rodrigues, V., Martins, J., Miranda, A. I., & Chrysoulakis, N. (2011). The impact of urban planning alternatives on air quality: URBAIR model application. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 147, 13-24.
- Chiarini, B. (2020). The perception of air pollution and noise in urban environments: A subjective indicator across European countries. *Journal of Environmental Management*, 263, 1-11.
- Department of Environmental Protection Agency of Isfahan. (2020). *Air quality data of Isfahan metropolis in permanent monitoring stations by days in 1398*.
- Deputy of Transportation and Traffic of Isfahan Municipality. (2017). *Data of Traffic Volume*. Isfahan, Iran.

- Epstein, S. A., Lee, S. M., Katzenstein, A. S., Carreras-Sospedra, M., Zhang, X., Farina, S. C., ... Ban-Weiss, G. (2017). Air-quality implications of widespread adoption of cool roofs on ozone and particulate matter in southern California. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114(34), 8991–8996.
- Greater London Authority. (2019). *Using Green Infrastructure to Protect People From Air Pollution*. Mayor of London, Retrieved from [www.london.gov.uk](http://www.london.gov.uk).
- Han, S., & Sun, B. (2019). Impact of Population Density on PM<sub>2.5</sub> Concentrations: A Case Study in Shanghai, China. *Sustainability*, 11, 1-16.
- Irannezhad, E., Mousavi, S. H., & Zangiabadi, M. (2011). *Air pollution zoning based on landuse and traffic of vehicles*. 2nd International Conference on Fluid Mechanics and Heat and Mass Transfer 2011, FLUIDSHEAT'11, 2nd International Conference on Theoretical and Applied Mechanics 2011, TAM'11, 4th WSEAS International Conference on UPT'11, CUHT'11, Corfu Island, Greece, 15-17 July 2011. Greece: WSEAS.
- Isfahan Municipality. (2015). *Atlas of Isfahan metropolis*. Available from <https://new.isfahan.ir/Index.aspx?lang=1&sub=105>.
- Isfahan Municipality. (2019). *Statistics of Isfahan city*. Available from <http://www.isfahanold.ir/Index.aspx?lang=1&sub=36>.
- Islamic Parliament of Iran (2017). *Clean Air Law approved on 1396/4/25*.
- Islamic Parliament Research Center of the Islamic Republic of Iran. (2019). *Comparative and Legislative Study of Air Pollution Crisis in the Metropolises of the Country, Pathology of Air Pollution Laws*. Deputy of Infrastructure Research and Production Affairs, Office of Infrastructure Studies.
- Kavosi A., Sefidkar R., Alavi Majd H., Rashidi U., Imanzad M., & Noormoradi H. (2014). Spatial Analysis of Air Pollution in Tehran City by Using of Autologistic and Centered Autologistic Models and Indicator Kriging Method, *Journal of Ilam University of Medical Sciences*, 21 (7), 206-214.
- Keršulienė, V., Zavadskas, E. K., & Turskis, Z. (2010). Selection of rational dispute resolution method by applying new stepwise weight assessment ratio analysis (SWARA). *Journal of Business Economics and Management*, 11(2), 243–258.
- Khodaegan, S. (2019). The role of Particulate Matter and dust in air pollution; Cause or effect ?. *Fanavard, two quarterly journals of new technologies*, 3(4), 5-4.
- McCarty, J., & Kaza, N. (2015). Urban form and air quality in the United States. *Landscape and Urban Planning*, 139, 168–179.
- Mejadi, M., Shafie-Pour, M., & Pardakhti, A. (2015). Estimation of air pollutant concentrations in urban passenger terminals. *Journal of Environmental Sciences*, 13(1), 125-130.
- Mirgholami, M., Medghalichi, L., Shakibamanesh, A., & Ghobadi, P. (2016). Developing criteria for urban river restoration based on Biophilic and water sensitive approaches. *MANZAR, the Scientific Journal of landscape*, 8(36), 20-27.
- Miri M., Ghaneian, M. T., Gholizadeh A., Yazdani Avval, M., & Nikoonahad A. (2016). Assessment of Spatial Analysis Methods in Mapping of Air Pollution in Mashhad. *Journal of Environmental Health Engineering*, 3 (2), 143-154.

- Pedersen Zari, M. (2017). What makes a city 'biophilic'? Observations and experiences from the Wellington Nature Map project. M. Aurel (eds.), *Back to the future: The next 50 years*. 51st International Conference of the Architectural Science Association, The Architectural Science Association and Victoria University of Wellington, 105–114.
- Pu, H., Luo, k., Wang, P., Wang, S., & Kang, S. (2016). Spatial variation of air quality index and urban driving factors linkages: evidence from Chinese cities. *Journal of Environmental Science and Pollution Research*, 24(5), 4457-4468.
- Qiang, W., Lee, H. F., Lin, Z., & Wong, D. W. H. (2020). Revisiting the impact of vehicle emissions and other contributors to air pollution in urban built-up areas: A dynamic spatial econometric analysis. *Journal of Science of the Total Environment*, 740, 1-13.
- Rai, P. K. (2016). Biomagnetic Monitoring of Particulate Matter. In *the Indo-Burma Hotspot Region*, Chapter One- Particulate Matter and Its Size Fractionation, 1-13.
- Ranjbar, H., Haghdoost, A.A., salsali, M., Khoshdel, A., Soleimani, M. A., & Bahrami, N. (2012). Sampling In Qualitative Research: A Guide for Beginning. *Annals of Military and Health Sciences Research*, 10(3), 238-250.
- Reeve, A., Hargroves, C., Desha, C., & Newman, P. (2012). *Informing healthy building design with biophilic urbanism design principles: a review and synthesis of current knowledge and research*. Paper presented for the Healthy Buildings 2012 Conference, Brisbane, 8-12 July.
- Saeed- al-askar, M. S., Peymanrad, A. H., & Rajaei, F. (2017). The effect of increasing the height of the buildings on air quality Case Study: Urban residential block in the center of the Esfahan city. *Journal of Urban Planning*, 8(29), 179-194.
- Salama, K. F., Alhajri, R. F. and Al-Anazi, A. A. (2017). Assessment of air quality in bus terminal stations in Eastern Province, Kingdom of Saudi Arabia. *International Journal of Community Medicine and Public Health*, 4(5), 1413-1418.
- Sarvar, H., Esmailpour, M., Kheirizade, M., & Amraei, M. (2020). Spatial analysis of factors affecting air pollution in Tabriz city. *Journal of Natural Environmental Hazards*, 9(24). 151-172.
- Shafie-Pour, M., Pardakhti, A., & Mejadi, M. (2015). Risk Assessment of Air Pollutants Emissions in Beihaghi Terminal By Modeling. *Journal of Environmental Studies*, 41(1), 97-105.
- Sobhani, B., Shokrzadeh Fard, E., & Piroozi, E. (2019). Evaluation and Zoning of Airborne Pollution Using AHP and ANP Methods (Case Study: Tabriz City). *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 8(1), 169-153.
- Statistical Center of Iran. (2016). *General Census of Population and Housing in 1395*.
- Teddlie, C., & Yu, F. (2007). Mixed Methods Sampling: A Typology With Examples. *Journal of Mixed Methods Research*, 1(1), 77-100.
- Tehran University of Medical Sciences Institute for Environmental Research. (2012). *Guide for calculating, determining and announcing the air quality index*. Ministry of Health, Treatment and Medical Education, Tehran.
- Vallero, D. A. (2008). *Fundamentals of Air Pollution*. Fourth edition, Elsevier: Academic Press.
- Wang, L. K., Taricska, J. R., Hung, Y. T., & Li, K. H. (2004). *Air Quality and Pollution Control*, in

- Wang, L. K., Pereira, N. C., Hung, Y. T. and Li, K. H. (Eds). *Handbook of environmental engineering*, Vol. 1, Air Pollution Control Engineering.
- World Health Organization (WHO). (2020). *Personal interventions and risk communication on air pollution*. Geneva, Switzerland.
  - Yang, J., Shi, B., Zheng, Y., Shi, Y. & Xia, G. (2020a). Urban form and air pollution disperse: Key indexes and mitigation strategies. *Journal of Sustainable Cities and Society*, 57, 1-10.
  - Yang, J., Shi, B., Shi, Y., Marvin, S., Zheng, Y., & Xia, G. (2020b). Air pollution dispersal in high density urban areas: Research on the triadic relation of wind, air pollution, and urban form, *Journal of Sustainable Cities and Society*, 54, 1-12.
  - Zarrabi, A., Mohammadi, J., & Abdollahi A. A. (2010). Study and evaluation of fixed and mobile sources in air pollution in Isfahan. *Geography (Scientific-Research Journal of the Iranian Geographical Association)*, 8 (26), 151-164.
  - Zebardast, E. & Riazi, H. (2015). Built Environment Features and its Impact on Air Pollution (Case Study: Surrounding Areas of Fourteen Air Quality Monitoring Stations in Tehran). *Honar-Ha-Ye-Ziba: Memary Va ShahrSazi*, 20(1), 55-66.
  - Zeinali, B., Shokrzadeh Fard, E., & Piroozi, E. (2018). Evaluation and Zonation of Air Pollution by using Vikor (Case Study: Tabriz). *Journal of Natural Environmental Hazards*, 7(15), 67-88.
  - Zhu, D., & Zhou, X. (2019). Effect of urban water bodies on distribution characteristics of particulate matters and NO<sub>2</sub>. *Journal of Sustainable Cities and Society*, 50, 1-10.
  - Ziari, K., Ajza Shokouhi, M., & Khademi, A. (2019). Reducing Environmental Pollutions through Biophilic Urbanism Approach (Region 14 in Tehran). *Journal of Geography and Urban Space Development*, 5(1), 1-19.



جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی

سال ۳۲، پیاپی ۸۲، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۰، صص ۱۰۲-۸۳

نوع مقاله: پژوهشی

وصول: ۱۳۹۹/۱۰/۲۴ پذیرش: ۱۴۰۰/۳/۵

## تحلیل فضایی و سطح‌بندی مناطق پانزده‌گانه کلان‌شهر اصفهان بر مبنای توزیع آلودگی هوا<sup>۱</sup>

همايون نورائی\*، استادیار گروه شهرسازی، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر اصفهان، اصفهان، ایران

h.noorai@aui.ac.ir

سیدمحمد شکرانی، کارشناسی ارشد برنامه‌ریزی شهری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر اصفهان، اصفهان، ایران

mohammadshokrani1374@gmail.com

### چکیده

آلودگی هوا، مهم‌ترین زیست‌محیطی در کلان‌شهرهای کشور، سلامت شهروندان را تهدید کرده است. از عمده‌ترین دلایل این معضل، بی‌توجهی به عوامل فضایی تأثیرگذار بر آلودگی هوا در نظام برنامه‌ریزی شهری است. این ضعف به موازات آشنایی ناکافی با روش‌های ارزیابی آثار اقدامات توسعه بر بروز آلودگی هوا، مانع از تصمیم‌گیری‌های درست و اقدامات لازم برای پیشگیری یا کاهش آثار آلودگی هوا شده است. پژوهش حاضر با هدف تحلیل و سطح‌بندی مناطق پانزده‌گانه کلان‌شهر اصفهان براساس توزیع فضایی آلودگی هوا انجام شده است. در این زمینه از پارادایم پژوهش ترکیبی (کمی و کیفی) استفاده و اطلاعات مورد نیاز با روش‌های کتابخانه‌ای و میدانی گردآوری شد؛ ضمن اینکه برای تحلیل داده‌ها از روش‌های تحلیل فضایی (تحلیل تراکم و تحلیل فاصله اقلیدسی) و سنجش از دور، برای وزن‌دهی به معیارها و شاخص‌ها از روش سوارا (SWARA) و برای سطح‌بندی مناطق از روش شکست‌های طبیعی بهره گرفته شد. نتایج پژوهش حاکی است توزیع فضایی آلودگی هوا در سطح مناطق پانزده‌گانه کلان‌شهر اصفهان نامتوازن است؛ به گونه‌ای که در مناطق ۷، ۸، ۱۳ و ۱۴ عمدتاً به واسطه تأثیرپذیری از فعالیت‌های ناسازگار از قبیل صنایع مجاور و درون شهر و پایانه‌ها، وجود معابر و تقاطع‌های پرتردد و رعایت‌نشدن حریم ساخت‌وساز برای آنها و تمرکز جمعیت، آلودگی هوا در وضعیت نامناسب‌تری نسبت به سایر مناطق است.

واژه‌های کلیدی: تحلیل فضایی، سنجش از دور، سطح‌بندی، آلودگی هوا، کلان‌شهر اصفهان

<sup>۱</sup> این مقاله برگرفته از پایان‌نامه نگارنده دوم تحت عنوان «تحلیل و سطح‌بندی مناطق پانزده‌گانه کلان‌شهر اصفهان با بکارگیری رویکرد برنامه‌ریزی شهری طبیعت محور (بیوفیلیک)» است که با راهنمایی نگارنده اول در دانشکده معماری و شهرسازی دانشگاه هنر اصفهان دفاع گردیده است.

\*نویسنده مسئول

Copyright©2021, University of Isfahan. This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0>), which permits others to download this work and share it with others as long as they credit it, but they can't change it in any way or use it commercially.

Doi: [10.22108/GEP.2021.126981.1394](https://doi.org/10.22108/GEP.2021.126981.1394)

Dor: [20.1001.1.20085362.1400.32.2.6.9](https://doi.org/10.1001.1.20085362.1400.32.2.6.9)

## ۱. مقدمه

امروزه رشد شهرنشینی و گسترش شهرها به‌ویژه شهرهای بزرگ، افزایش عوارض منفی توسعه شهری و چالش‌های جدی را در ارتباط با کیفیت محیط‌زیست به دنبال داشته است؛ آلودگی‌های محیطی از مهم‌ترین این چالش‌ها به شمار می‌رود (زیاری و همکاران، ۱۳۹۷: ۳؛ ۲: 2) (Chiarini, 2020). در میان انواع آلودگی‌ها، آلودگی هوا اصلی‌ترین عامل تهدیدکننده محیط‌زیست و انسان‌هاست (Rai, 2016: 2)؛ به گونه‌ای که براساس آمار سازمان بهداشت جهانی، مرگ و میر ناشی از آلودگی هوا در جهان سالانه ۷ میلیون نفر است و از هر ۱۰ نفر حدود ۹ نفر در معرض این آلودگی قرار دارند (WHO, 2020: 10).

در دهه‌های اخیر، آلودگی هوای شهرهای بزرگ به دلیل انتشار آلاینده‌های ناشی از کارخانه‌ها و وسایل نقلیه تشدید شده است؛ علاوه بر این الگوهای فضایی شهری و نیز بی‌توجهی به جانمایی بهینه عناصر شهری به نزدیک‌شدن آلاینده‌های هوا به سطح زمین و در نتیجه به خطر افتادن بیشتر سلامت شهروندان انجامیده است (Yang et al., 2020a: 1)؛ بنابراین نقش برنامه‌ریزی شهری در برقراری ارتباطات بین کاربری زمین، فعالیت‌های اقتصادی، سازوکار شهری پایدار و در نتیجه کنترل و کاهش آلودگی هوا مورد توجه و پذیرش قرار گرفته است (Borrego et al., 2011: 13).

با توجه به اهمیت معضل آلودگی هوا در شهرهای بزرگ و در نظر گرفتن عوامل فضایی مؤثر بر آن در نظام برنامه‌ریزی شهری و با مطالعه پیشینه پژوهش در یک دسته‌بندی کلان مدل‌های پهنه‌بندی آلودگی هوای شهرها در حیطه برنامه‌ریزی شهری به دو دسته مدل‌های درونیابی و تحلیل فضایی تقسیم شد. مدل‌های درونیابی آلودگی هوا را براساس داده‌های ایستگاههای سنجش میدانی تخمین می‌زنند. پژوهش کاووسی و همکاران (۱۳۹۲)، میری و همکاران (۱۳۹۴) و احمد و همکاران<sup>۱</sup> (2018) از جمله پژوهش‌های صورت گرفته براساس این نوع مدل‌هاست. این پژوهش‌ها اغلب با توجه به تعداد اندک ایستگاههای سنجش با خطاهایی مواجه هستند. از سویی این داده‌ها توصیف‌کننده وضع موجود و گذشته کیفیت هوا هستند؛ اما از سوی دیگر قادر به آینده‌نگری، تعیین پهنه‌های دارای پتانسیل آلودگی هوا و عوامل و دلایل وقوع آلودگی هوا در مناطق مختلف نیستند و تأثیر عوامل فضایی برنامه‌ریزی شهری مؤثر بر آلودگی هوا در مقیاس کلان را در نظر نمی‌گیرند؛ در این زمینه به‌تازگی در پژوهش‌هایی از جمله پژوهش‌های زینالی و همکاران (۱۳۹۷)، سبحانی و همکاران (۱۳۹۸) و ایران‌نژاد و همکاران<sup>۲</sup> (2011) با استفاده از مدل‌های تحلیل فضایی و با تأکید بر عوامل فضایی تأثیرگذار در مقیاس کلان، پهنه‌بندی آلودگی هوا صورت پذیرفته است؛ اما همچنان چهارچوب مورد توافقی در این زمینه به‌ویژه برای ارزیابی در مقیاس کلان وجود ندارد (Yang et al., 2020a: 2).

با توجه به خلأ یادشده، هدف از این مقاله، شناسایی شاخص‌های فضایی مؤثر بر آلودگی هوا در نظام برنامه‌ریزی شهری و تحلیل و سطح‌بندی مناطق پانزده‌گانه کلان‌شهر اصفهان براساس شاخص‌های فضایی است؛ زیرا کلان‌شهر اصفهان، یکی از سه شهر بزرگ کشور و از شهرهای پرخودرو و موتورسیکلت و صنعتی کشور است (ضرابی و همکاران، ۱۳۸۹: ۱۵۱) که با توجه به افزایش جمعیت طی سالیان اخیر و پیرو آن گسترش فعالیت‌های انسانی، افزایش

1. Ahmed et al.  
2. Irannezhad et al.

استفاده از وسایل نقلیه شخصی، انتشار سوخت‌های فسیلی ناشی از آنها و از طرفی استقرار صنایع و کارخانه‌ها در نزدیکی شهر، بیش از پیش با معضل آلودگی هوا مواجه شده و سلامت شهروندان آن به خطر افتاده است؛ به طوری که در سال ۱۳۹۸ از ۳۶۵ روز، ۷۳ روز آلوده بوده است و از این نظر جزو آلوده‌ترین کلان‌شهرهای کشور است (اداره تحقیقات هواشناسی کاربردی اداره کل هواشناسی اصفهان، ۱۳۹۹: ۱۵)؛ بنابراین در راستای هدف بیان‌شده، نخست شاخص‌های فضایی تأثیرگذار بر آلودگی هوا با مراجعه به ادبیات نظری و تجربی استخراج و سپس وضعیت مناطق پانزده‌گانه کلان‌شهر اصفهان براساس شاخص‌های توزیع فضایی سنجیده و تحلیل شده است؛ درنهایت ضمن بحث درباره نتایج، پیشنهادهایی برای کنترل و کاهش آلودگی هوا ارائه شده است.

## ۲. مرور ادبیات نظری و تجربی پژوهش

### ۱.۲. آلودگی هوا، آلاینده‌ها و منابع آن در عرصه‌های شهری

هوا، ضروری‌ترین نیاز انسان برای ادامه زندگی است و بدون آن تداوم حیات فقط برای لحظاتی امکان‌پذیر است. در دنیای امروز دسترسی نداشتن به هوای پاک در سراسر دنیا به حدی افزایش یافته که براساس اعلام سازمان بهداشت جهانی، آلودگی هوا خطرناک‌ترین تهدید زیست‌محیطی برای سلامت بشر و نیز چهارمین عامل مرگ و میر در جهان در قرن بیست‌ویکم است (خدایگان، ۱۳۹۸: ۴). از دیدگاه شورای مشترک مهندسی درزمینه آلودگی هوا و کنترل آن، آلودگی هوا به وجود یک یا چند آلاینده از قبیل گرد و غبار، بخار، گاز، مه، بو، دود یا بخار در فضای باز اطلاق می‌شود که از نظر مقادیر، مشخصه‌ها و مدت‌زمان مواجهه برای انسان، گیاه یا زمین مضرند یا از لذت‌بردن از زندگی و داشته‌ها جلوگیری می‌کنند (Wang et al., 2004: 1). در ایران برمبنای قانون هوای پاک، آلودگی هوا عبارت است از انتشار یک یا چند آلاینده اعم از آلاینده‌های جامد، مایع، گاز، پروتون‌های یون‌ساز و غیریون‌ساز، بو و صدا در هوای آزاد، به‌صورت طبیعی یا انسان‌ساخت به مقدار و مدتی که کیفیت هوا را به گونه‌ای تغییر دهد که برای سلامت انسان و موجودات زنده، فرایندهای بوم‌شناختی یا آثار و ابنیه زیان‌آور باشد یا سبب از بین رفتن یا کاهش سطح رفاه عمومی شود (مجلس شورای اسلامی، ۱۳۹۶).

آلاینده‌ها در محیط‌های شهری به دو صورت اولیه و ثانویه وجود دارند. آلاینده‌های اولیه (منواکسیدکربن، اکسیدهای نیتروژن، دی‌اکسید گوگرد، گرد و غبار و ذرات معلق) به‌طور مستقیم از منابع خارج می‌شوند. درمقابل آلاینده‌های ثانویه (ازون، انواع اسیدها و به‌ویژه ذرات معلق ثانویه) با واکنش‌های شیمیایی آلاینده‌های اولیه به وجود می‌آیند (مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی، ۱۳۹۸: ۶ و ۷؛ Vallero, 2008: 78). با استناد به سیاهه انتشار به‌مثابه مرجع تعیین‌کننده عوامل مؤثر شهری در تولید و انتشار آلودگی هوا، منابع آلاینده به دو دسته کلی ساکن و متحرک تقسیم می‌شوند؛ منابع متحرک شامل وسایل نقلیه از جمله خودروهای سواری، باری، تاکسی‌ها، اتوبوس‌ها، مینی‌بوس‌ها، کامیون‌ها و موتورسیکلت‌هاست؛ منابع ساکن شامل پنج بخش اصلی تبدیل انرژی (نیروگاه و پالایشگاه)، صنایع آلاینده (مانند فولاد و سیمان)، خانگی و تجاری، پایانه‌های مسافربری و باری و جایگاه‌های سوخت است (شرکت کنترل کیفیت هوا، ۱۳۹۹: ۲۲۶ و ۲۲۸).

## ۲.۲. شاخص کیفی هوا

شاخص کیفی هوا به‌مثابه جامع‌ترین شاخص میدانی نشان‌دهنده وضعیت هوا براساس محاسبه شش آلاینده دی‌اکسید گوگرد، دی‌اکسید نیتروژن، کربن منوکسید، اوزون، ذرات کوچک‌تر از ۱۰ میکرومتر و کوچک‌تر از ۲.۵ میکرومتر است (Pu et al., 2016: 4457). مدیریت پایش و نظارت بر کیفیت هوا در شهرهای بزرگ داده‌های مربوط به کیفیت هوا را به شاخص کیفیت هوا تبدیل می‌کند و اطلاعات مورد نیاز را در اختیار عموم مردم قرار می‌دهد؛ بنابراین شاخص کیفیت هوا، ابزاری کلیدی برای آگاهی از کیفیت هوا، نحوه اثر آلودگی هوا بر سلامت و روش‌های محافظتی در برابر آلودگی هواست (پژوهشکده محیط زیست دانشگاه علوم پزشکی تهران، ۱۳۹۰: ۳).

## ۳.۲. عوامل فضایی تأثیرگذار بر آلودگی هوا در محیط شهری

انتخاب شاخص‌های مرتبط با ارزیابی و پهنه‌بندی آلودگی هوا در مقیاس کلان معمولاً در پی مطالعه نظریه‌ها و تجربیات پیشین صورت می‌پذیرد؛ بر این اساس در مطالعه حاضر، پس از مرور ادبیات نظری و تجربی مرتبط با عوامل مؤثر بر پراکنش آلودگی هوا در مقیاس شهری و درنهایت با در نظر گرفتن موردپژوهی، عوامل زیر به‌مثابه عوامل تأثیرگذار بر توزیع آلودگی هوا در محیط شهری ارائه شده است:

- **ارتفاع:** تجربه نشان داده در مناطق مرتفع شهرها میزان آلودگی هوا کمتر است و با فاصله گرفتن از این بخش‌ها و نزدیکی به نقاط پست شهر بر شدت آلاینده‌ها و آلودگی هوا افزوده می‌شود (سرور و همکاران، ۱۳۹۹: ۱۶۵).
- **پایانه‌ها:** گسترش شهرها و نیاز به وسایل حمل‌ونقل عمومی به شکل‌گیری پایانه‌های مسافربری منجر شد. پایانه‌ها با توجه به تجمع و تردد تعداد زیادی از وسایل نقلیه، تهدیدی برای انتشار آلاینده‌ها و از عوامل تأثیرگذار بر آلودگی هوا به شمار می‌آیند (معجری و همکاران، ۱۳۹۴: ۱۲۵).
- **پوشش گیاهی:** این عامل از طریق دو فرایند پراکندگی و نشست به کاهش آلودگی هوای شهری منجر می‌شود. در فرایند پراکندگی، پوشش گیاهی شهری میزان انتشار آلاینده‌ها را با تغییر سرعت و مسافت آلاینده‌ها پیش از رسیدن به شهروندان کاهش می‌دهد. در فرایند نشست، آلودگی روی سطوح برگ گیاهان می‌نشیند و از هوا جدا می‌شود و پوشش گیاهی شهری چند درصد از انتشار آلاینده‌ها را از بین می‌برد. این روند برای کاهش آلودگی هوا در محیط شهری، اهمیت کمتری نسبت به پراکندگی دارد (Greater London Authority, 2019: 6).
- **پوشش‌های آبی شهری:** پوشش‌ها و بدنه‌های آبی شهری از جمله رودخانه‌ها و نهرها به‌مثابه تصفیه‌کننده هوا نقش مؤثری در کاهش آلودگی، تلطیف هوا و بهبود سلامت شهروندان دارند (Zhu and Zhou, 2019: 1; Pedersen, 2017: 108). این عناصر که در گذشته عواملی مهم در محیط‌زیست شهرها تلقی می‌شدند، امروزه نقش خود را از دست داده و نادیده گرفته شده‌اند؛ بنابراین احیای آنها ضروری می‌نماید (میرغلامی و همکاران، ۱۳۹۵: ۲۱).
- **تراکم جمعیت:** افزایش تراکم جمعیت به افزایش استفاده از وسایل نقلیه شخصی و افزایش بار ترافیکی

می‌انجامد؛ در نتیجه این عامل با افزایش غلظت ذرات معلق آلاینده کمتر از ۲,۵ میکرومتر و تجمع آلودگی هوا نسبت مستقیم دارد (Han and Sun, 2019: 1).

• **تراکم ساختمانی:** افزایش ساخت‌وسازها و تمایل به ایجاد ساختمان‌های بلندمرتبه به‌ویژه در مراکز شهرهای بزرگ طی سالیان اخیر، به کاهش جابه‌جایی عمودی در لایه‌های نزدیک به سطح زمین به‌ویژه در فصول سرد سال، پدیده وارونگی دما و در نتیجه انباشتگی آلاینده‌ها منجر شده و تنفس شهری را با مشکل مواجه کرده است (سیدالعسکری، ۱۳۹۶: ۱۷۹).

• **تقاطع‌ها:** تجمع تقاطع‌ها در طول معابر به کاهش سرعت وسایل نقلیه موتوری، افزایش تعداد توقف‌ها و افزایش غلظت ذرات معلق آلاینده کمتر از ۲,۵ میکرومتر می‌انجامد؛ در نتیجه تراکم تقاطع‌ها با آلودگی هوا ارتباطی مستقیم دارد (Han and Sun, 2019: 10).

• **جریان هوا و وزش باد:** پدیده وارونگی دما، یکی از عوامل مهم آلودگی هواست. وضعیت جوئی روزانه گاه به گونه‌ای است که شرایطی پایدار و آرام در جو حاکم می‌شود؛ در نتیجه به دلیل تجمع آلاینده‌ها در لایه‌های زیرین و نبود یا ضعیف‌بودن جریان‌های جوئی، شدت آلودگی افزایش می‌یابد (اداره تحقیقات هواشناسی کاربردی اداره کل هواشناسی اصفهان، ۱۳۹۹: ۴۹)؛ بنابراین جریان هوا، سرعت باد و تلاطم‌های نزدیک به سطح، به پراکندگی آلاینده‌ها و در نتیجه کاهش آلودگی هوا منجر می‌شود (Yang et al., 2020b: 2).

• **گرد و غبار:** گرد و غبار با تشدید حجم ذرات معلق در هوا، یکی از مهم‌ترین عوامل طبیعی مؤثر بر توزیع آلودگی هوا تلقی می‌شود که احتمال وقوع آن در اقلیم‌های خشک زیاد است و فعالیت‌های مخرب انسان در طبیعت از جمله قطع درختان و بیابان‌زایی به افزایش آن می‌انجامد (خدایگان، ۱۳۹۹: ۴ و ۵).

• **حمل و نقل موتوری:** با توجه به اینکه وسایل نقلیه موتوری از اصلی‌ترین منابع تولید آلاینده‌های اولیه است، برنامه‌ریزی حمل و نقل شهری در جهت کاهش حمل و نقل موتوری و حجم ترافیک بر کیفیت هوا و سلامت شهروندان تأثیرگذار است (زبردست و ریاضی، ۱۳۹۴: ۵۵ و ۶۴).

• **صنایع:** یکی از مهم‌ترین عوامل ایجاد آلودگی هوا در شهرهای صنعتی به‌ویژه در کشور ایران، صنایع و موقعیت آنها در شهرهاست؛ وجود صنایع سنگین در مجاورت و حتی داخل شهرهای صنعتی با توجه به رعایت‌نشدن حریم و از سویی مصرف بسیار زیاد سوخت‌های فسیلی، بر شدت آلودگی هوا افزوده است (سرور و همکاران، ۱۳۹۹: ۱۶۰ و ۱۶۱).

در مجموع برمبنای پیشینه پژوهش و ادبیات نظری و تجربی مطرح‌شده، معیارها و شاخص‌های جدول ۱ به‌مثابه متغیرهای فضایی مؤثر بر توزیع آلودگی هوا در سطح کلان معرفی شده است.

## جدول ۱. معیارها و شاخص‌های فضایی مؤثر بر توزیع آلودگی هوا در محیط شهری

Table 1. Spatial criteria and indicators affecting air pollution in urban areas

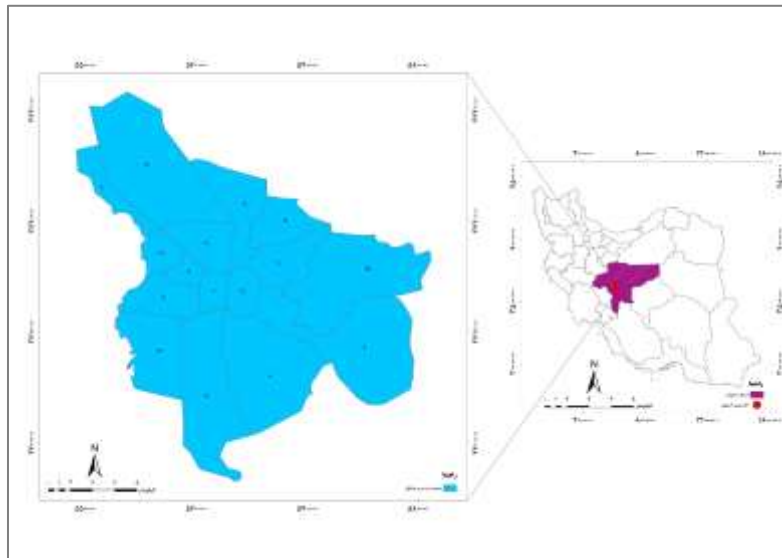
منبع	شاخص	معیار
زینالی و همکاران، ۱۳۹۷؛ سبحانی و همکاران، ۱۳۹۸؛ سرور و همکاران، ۱۳۹۹؛ Vallero, 2008; Borrego et al., 2011	ارتفاع	مکان
زبردست و ریاضی، ۱۳۹۴؛ زینالی و همکاران، ۱۳۹۷؛ سبحانی و همکاران، ۱۳۹۸؛ سرور و همکاران، ۱۳۹۹؛ Vallero, 2008; Beatley, 2011; Reeve et al., 2012; Pedersen Zari, 2017; Greater London Authority, 2019	تراکم پوشش گیاهی	
Beatley, 2011; Reeve et al., 2012; Pedersen Zari, 2017; Zhu and Zhou, 2019	فاصله از رودخانه	
	فاصله از نهرها	
McCarty and Kaza, 2015; Yang et al., 2020a; Yang et al., 2020b	جریان هوا و وزش باد	
Wang et al., 2004; Vallero, 2008	گرد و غبار	آسیب‌ناکی
شفیع‌پور مطلق و همکاران، ۱۳۹۴؛ معجری و همکاران، ۱۳۹۴؛ شرکت کنترل کیفیت هوا، Salama et al., 2017؛ سرور و همکاران، ۱۳۹۹	تراکم پایانه‌ها	
زینالی و همکاران، ۱۳۹۷؛ سبحانی و همکاران، ۱۳۹۸؛ سرور و همکاران، ۱۳۹۹؛ Vallero, 2008; Han and Sun, 2019	تراکم جمعیت	
Epstein et al., 2017؛ سیدالعسکری و همکاران، ۱۳۹۶؛ سرور و همکاران، ۱۳۹۹؛ Yang et al., 2020a; Yang et al., 2020b	تراکم ساختمانی	
Vallero, 2008; Han and Sun, 2019	تراکم تقاطع‌ها	
Vallero, 2008؛ زبردست و ریاضی، ۱۳۹۴؛ سرور و همکاران، ۱۳۹۹؛ Borrego et al., 2011; Qiang et al., 2020; Yang et al., 2020a	حجم ترافیک	
زینالی و همکاران، ۱۳۹۷؛ سبحانی و همکاران، ۱۳۹۸؛ شرکت کنترل کیفیت هوا، ۱۳۹۹؛ Vallero, 2008; Qiang et al., 2020; Yang et al., 2020a	تراکم صنایع درون‌شهری	
	فاصله از صنایع سنگین مجاور شهر	

## ۳. روش‌شناسی پژوهش

## ۱.۳. محدوده پژوهش

شهر اصفهان مرکز استان براساس آخرین تقسیمات شهری در سال ۱۳۹۲ پانزده منطقه با محدوده قانونی و حریم مشخص دارد؛ البته در این بین مناطق ۱، ۳ و ۸ حریم ندارند (شهرداری اصفهان، ۱۳۹۴: ۱۰). جمعیت شهر اصفهان براساس آخرین سرشماری در سال ۱۳۹۵ برابر با ۱,۹۶۱,۲۶۰ است (مرکز آمار ایران، ۱۳۹۵). جهت توسعه شهر طی دوره‌های مختلف با توجه به وجود آب فراوان و آلودگی کمتر به سمت جنوب غربی بوده است. احداث مراکز صنعتی و معدنی از جمله فولاد و ذوب‌آهن در این شهر به افزایش تدریجی آلودگی هوا منجر شد؛ به گونه‌ای که امروزه در زمان پایداری جو بر غلظت آلاینده‌ها افزوده و هوا غبارآلود می‌شود؛ در نتیجه شهر با چالش جدی آلودگی

هوا مواجه شده است (اداره تحقیقات هواشناسی کاربردی اداره کل هواشناسی اصفهان، ۱۳۹۸: ۷). افزایش جمعیت و تراکم آن، گرایش به بلندمرتبه‌سازی، ایجاد کاربری‌های آلاینده در درون و مجاورت شهر و به‌طور کلی کم‌توجهی به عوامل مؤثر بر این آلودگی در نظام برنامه‌ریزی شهری و افزایش میزان این آلودگی طی سالیان اخیر، از دلایل انتخاب نمونه مطالعاتی در این پژوهش بوده است.



شکل ۱. موقعیت محدوده پژوهش (ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۹)

Figure 1. Location of the case study (Prepared by: Authors, 2020)

### ۲.۳. مواد و روش

پژوهش حاضر به دلیل استفاده از روش‌های کمی و کیفی به‌طور همزمان، پارادایم ترکیبی دارد. روش کمی استفاده‌شده در این پژوهش از نوع پیمایشی و روش کیفی از نوع موردپژوهی است؛ همچنین این پژوهش از نظر هدف جزو پژوهش‌های کاربردی است. نوع پژوهش پیش‌رو براساس ماهیت، توصیفی‌تحلیلی است. اطلاعات مورد نیاز برای توصیف و تحلیل شاخص‌ها به روش‌های کتابخانه‌ای و میدانی گردآوری شده است (با استفاده از نقشه‌های طرح بازننگری تفصیلی شهر اصفهان، آمارنامه شهر اصفهان، اطلس کلان‌شهر اصفهان، اطلاعات بلوک‌های آماری سال ۱۳۹۵ دریافت‌شده از سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان اصفهان، داده‌های شاخص کیفی هوا سال ۱۳۹۸ دریافت‌شده از اداره کل حفاظت محیط‌زیست استان اصفهان، داده‌های حجم ترافیک سال ۱۳۹۷ دریافت‌شده از معاونت حمل و نقل و ترافیک شهرداری اصفهان و به‌روزرسانی داده‌ها با مراجعه به معاونت برنامه‌ریزی و توسعه سرمایه انسانی شهرداری اصفهان).

برای دستیابی به داده‌های شاخص ارتفاع، تصویر مدل رقومی ارتفاعی (DEM) با قدرت تفکیک ۱۲٫۵ متر از ماهواره Alos Palsar با تکنیک سنجش از راه دور استخراج شده است؛ همچنین به‌منظور تهیه نقشه شاخص جریان هوا و وزش باد، تصویر ماهواره‌ای مربوط به میانگین سرعت باد در بازه سال‌های ۲۰۰۸ تا ۲۰۱۷ در ارتفاع ۱۰۰ متری از سطح زمین با قدرت تفکیک ۲۵۰ متر از سایت اطلس جهانی باد<sup>۱</sup> استخراج شد. برای تحلیل شاخص‌ها و تهیه

1. <https://globalwindatlas.info/area/Iran/Esfahan>

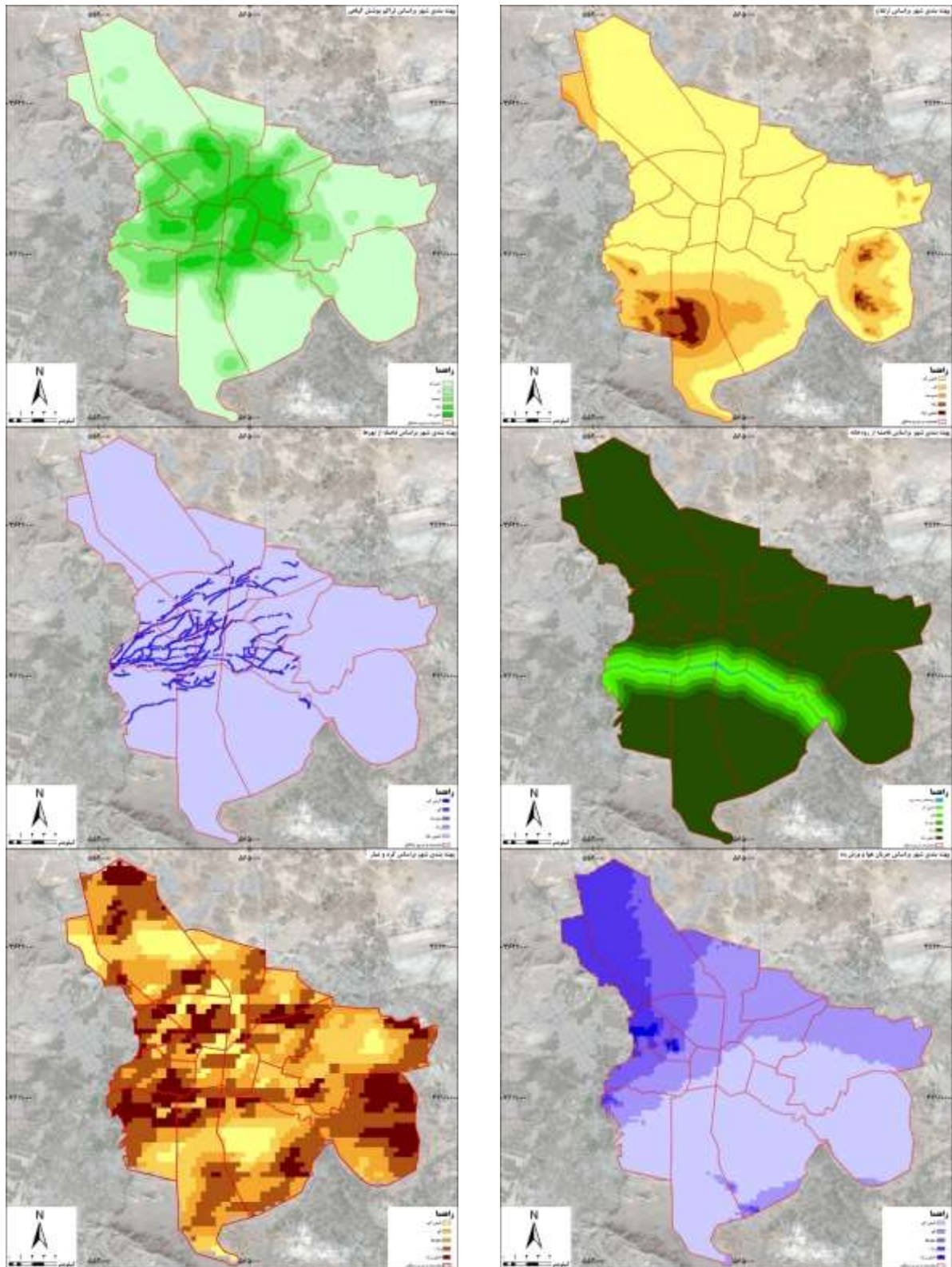
نقشه‌های پهنه‌بندی از روش‌های تحلیل فضایی (درون‌یابی، تحلیل تراکم و تحلیل فاصله اقلیدسی) و سنجش از دور استفاده شده است. گفتنی است تحلیل شاخص گرد و غبار با استفاده از تکنیک سنجش از دور به دست آمده است؛ به این صورت که با استفاده از محصول عمق اپتیکی اتمسفر<sup>۱</sup> سنجنده مودیس<sup>۲</sup>، تصاویر ماهواره‌ای با قدرت تفکیک ۵۰۰ متر در بازه زمانی ۱ ژوئن تا ۱ سپتامبر ۲۰۱۹ استخراج (زیرا براساس گزارش کیفیت هوای ایستگاه هواشناسی اصفهان بیشترین میزان پدیده گرد و غبار در ماههای گرم سال رخ می‌دهد) و سپس با پردازش رقومی تصاویر ماهواره‌ای از طریق کدنویسی در سامانه گوگل‌ارت انجین، نقشه میانگین میزان گرد و غبار تهیه شد.

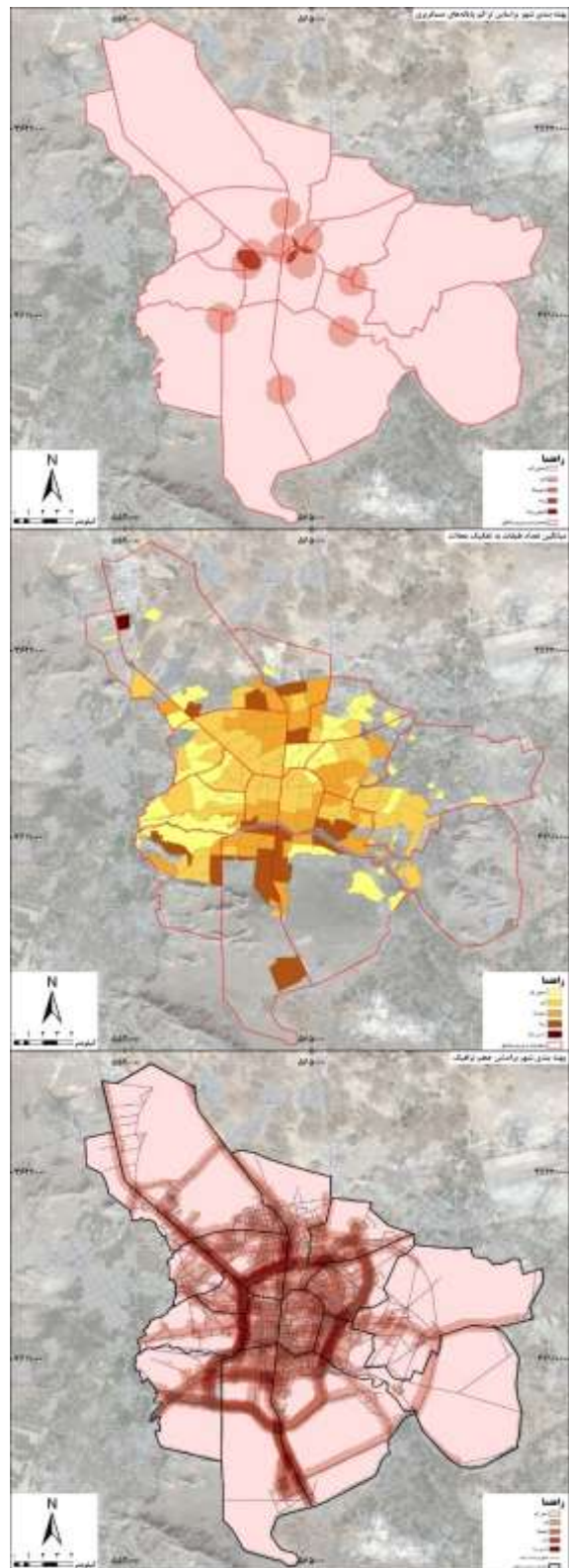
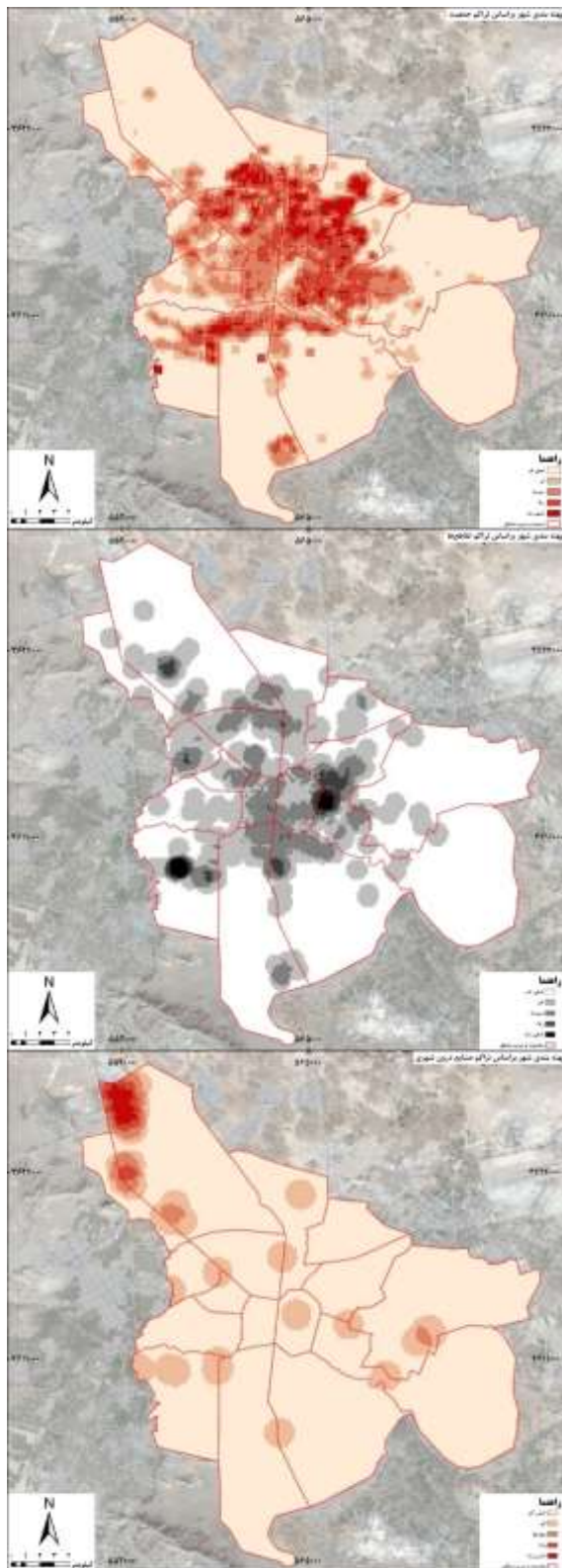
پس از تهیه نقشه‌های تحلیلی آلودگی هوا براساس هریک از شاخص‌ها، در مرحله بعد برای وزن‌دهی به معیارها و شاخص‌ها از روش سوارا (تحلیل نسبت ارزیابی وزن‌دهی گام‌به‌گام)<sup>۳</sup> استفاده شد. این روش از جدیدترین روش‌های وزن‌دهی به معیارهاست که به لحاظ دقت در ارزیابی دیدگاه‌های صاحب‌نظران در ارتباط با اهمیت معیارها، نسبت به سایر روش‌های وزن‌دهی برتری دارد (Keršulienė et al., 2010: 243). در این زمینه نخست با روش نمونه‌گیری کیفی از نوع موارد شناخته‌شده (رنجبر و همکاران، ۱۳۹۱؛ Teddlie and Yu, 2007)، تعداد ۳۰ نفر از متخصصان انتخاب شدند و سپس رتبه‌بندی معیارها و نیز شاخص‌های هر معیار بر مبنای دیدگاه آنها صورت پذیرفت. پس از جمع‌بندی نظرات و مشخص شدن اولویت‌بندی نهایی معیارها و شاخص‌ها و مرتب‌شدن آنها به ترتیب اولویت از بالا به پایین، اهمیت نسبی هر معیار و شاخص نسبت به معیار و شاخص بالاتر از خود با نظر خبرگان تعیین شد. در نهایت براساس جمع‌بندی دیدگاه خبرگان، ضرایب اهمیت نسبی و بر مبنای آنها ضرایب K<sub>j</sub>، وزن اولیه و وزن نهایی هر معیار و شاخص (q<sub>j</sub>) محاسبه شد. پس از مشخص شدن وزن نهایی شاخص‌ها (از ضرب وزن q<sub>j</sub> حاصل از روش سوارای هر شاخص در معیار مرتبط با آن)، با استفاده از روش تحلیل فضایی و با ابزار Map Algebra در نرم‌افزار GIS، همپوشانی شاخص‌ها و تهیه نقشه پهنه‌بندی و براساس آن نقشه سطح‌بندی آلودگی هوا صورت پذیرفت. گفتنی است نقشه‌های پهنه‌بندی و سطح‌بندی با استفاده از روش طبقه‌بندی شکست‌های طبیعی و بر مبنای طیف لیکرت پنج‌گانه با کمک نرم‌افزار GIS تهیه شده است.

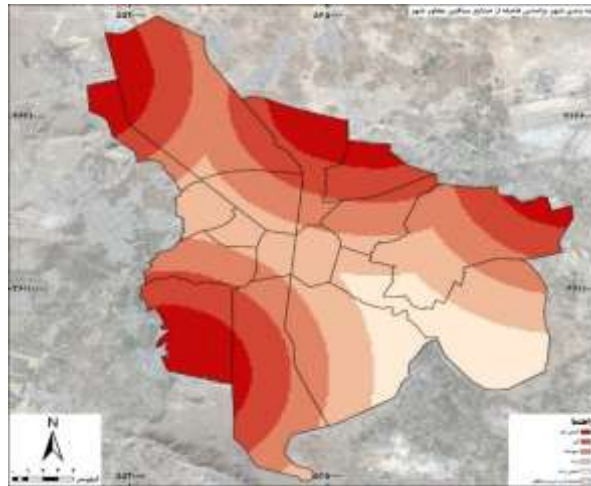
#### ۴. یافته‌های پژوهش و تجزیه و تحلیل آنها

در این بخش، شاخص‌های استخراج‌شده از ادبیات نظری و تجربی در قالب شکل ۲ در مناطق پانزده‌گانه کلان‌شهر اصفهان تجزیه و تحلیل و مقایسه شده است؛ بر این اساس با کاهش ارتفاع، مجاورت با محل تمرکز صنایع درون‌شهری، پایانه‌ها، تقاطع‌ها، جمعیت، محدوده‌های مستعد گرد و غبار، افزایش فاصله از رودخانه، نهرها، محدوده‌های دارای تراکم پوشش گیاهی و نواحی متأثر از جریان هوا، افزایش تراکم ساختمانی، افزایش حجم ترافیک و نزدیکی به صنایع سنگین مجاور شهر بر پتانسیل آلودگی هوا افزوده می‌شود.

1. Aerosol Optical Depth (AOD)
2. Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer
3. SWARA (Stepwise Weight Assessment Ratio Analysis)







شکل ۲. نقشه‌های تحلیلی توزیع فضایی آلودگی هوا در کلان‌شهر اصفهان به تفکیک شاخص‌ها (ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۹)

Figure 2. Analytical maps of spatial distribution of air pollution in Isfahan metropolis by indicators (Prepared by: Authors, 2020)

در گام بعدی، برای معیارها و شاخص‌های زیرمجموعه آنها به روش سوارا و با استناد به دیدگاه متخصصان مطابق با جداول ۲، ۳ و ۴ ضرایب اهمیت تعیین شد؛ بر این اساس عوامل انسانی (که یکی از دلایل مهم وقوع عوامل طبیعی افزایش دهنده آلودگی هوا نظیر گرد و غبار نیز هستند) نسبت به عوامل طبیعی، تأثیرگذاری بیشتری بر افزایش آلودگی هوا دارند و از بین شاخص‌ها، تراکم صنایع سنگین درون‌شهری، فاصله از صنایع سنگین مجاور شهر، حجم ترافیک و جریان هوا و وزش باد تأثیر بیشتری بر آلودگی هوای کلان‌شهر اصفهان می‌گذارند. پس از طی شدن فرایند وزن‌دهی، همپوشانی نقشه‌های تحلیلی در شکل ۳ صورت گرفته است؛ براساس آن در شکل ۴ مناطق در پنج گروه براساس طیف لیکرت پنج‌گانه معرفی شده در بخش روش‌شناسی سطح‌بندی شده‌اند که با استناد به آن مناطق ۷، ۸، ۱۳ و ۱۴ در نامطلوب‌ترین سطح قرار دارند.

جدول ۲. محاسبه وزن معیارها (نگارندگان، ۱۳۹۹)

Table 2. Calculating the weight of the criteria (Authors, 2020)

معیار	مقدار متوسط اهمیت نسبی $s_j$	ضریب $k_j = s_j + 1$	وزن اولیه $w_j = \frac{x_j - 1}{k_j}$	وزن نهایی $q_j = \frac{w_j}{\sum w_j}$
انسانی	۰	۱	۱	۰,۶۱
طبیعی	۰,۵۵	۱,۵۵	۰,۶۴	۰,۳۹

جدول ۳. محاسبه وزن شاخص‌های معیار انسانی (نگارندگان، ۱۳۹۹)

Table 3. Calculating the weight of the indicators of human criteria (Authors, 2020)

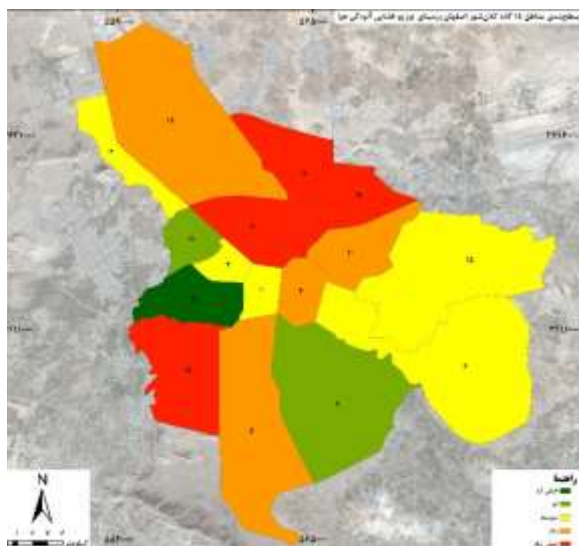
شاخص	مقدار متوسط اهمیت نسبی $s_j$	ضریب $k_j = s_j + 1$	وزن اولیه $w_j = \frac{x_j - 1}{k_j}$	وزن نهایی $q_j = \frac{w_j}{\sum w_j}$	وزن نهایی حاصل از ضرب وزن معیار در شاخص
تراکم صنایع درون‌شهری	۰	۱	۱	۰,۲۹	۰,۱۷۶۹
فاصله از صنایع سنگین مجاور شهر	۰,۱۹	۱,۱۹	۰,۸۴	۰,۲۴	۰,۱۴۶۴
حجم ترافیک	۰,۳۶	۱,۳۶	۰,۶۲	۰,۱۸	۰,۱۰۹۸

شاخص	مقدار متوسط اهمیت نسبی $s_j$	ضریب $k_j = s_j + 1$	وزن اولیه $w_j = \frac{x_j - 1}{k_j}$	وزن نهایی $q_j = \frac{w_j}{\sum w_j}$	وزن نهایی حاصل از ضرب وزن معیار در شاخص
تراکم جمعیت	۰,۴۳	۱,۴۳	۰,۴۳	۰,۱۲	۰,۰۷۳۲
تراکم پایانه‌ها	۰,۴۴	۱,۴۴	۰,۳۰	۰,۰۹	۰,۰۵۴۹
تراکم تقاطع‌ها	۰,۶۰	۱,۶۰	۰,۱۹	۰,۰۵	۰,۰۳۰۵
تراکم ساختمانی	۰,۸۰	۱,۸۰	۰,۱۰	۰,۰۳	۰,۰۱۸۳

جدول ۴. محاسبه وزن شاخص‌های معیار طبیعی (نگارندگان، ۱۳۹۹)

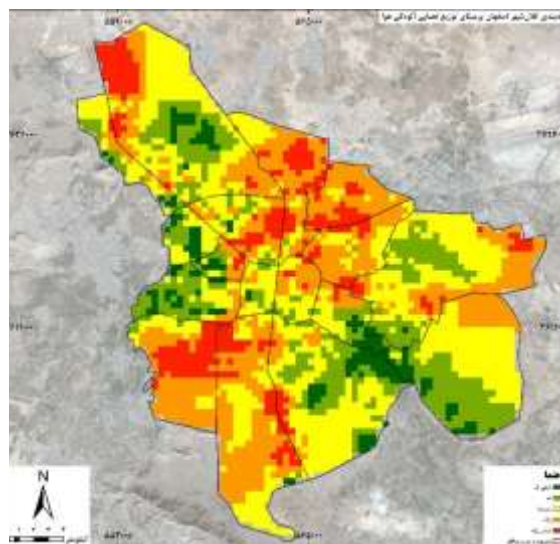
Table 4. Calculating the weight of the indicators of natural criteria (Authors, 2020)

شاخص	مقدار متوسط اهمیت نسبی $s_j$	ضریب $k_j = s_j + 1$	وزن اولیه $w_j = \frac{x_j - 1}{k_j}$	وزن نهایی $q_j = \frac{w_j}{\sum w_j}$	وزن نهایی حاصل از ضرب وزن معیار در شاخص
جریان هوا و وزش باد	۰	۱	۱	۰,۲۸	۰,۱۰۹۲
گرد و غبار	۰,۲۳	۱,۲۳	۰,۸۱	۰,۲۲	۰,۰۸۵۸
تراکم پوشش گیاهی	۰,۲۹	۱,۲۹	۰,۶۳	۰,۱۷	۰,۰۶۶۳
فاصله از رودخانه	۰,۱۷	۱,۱۷	۰,۵۴	۰,۱۵	۰,۰۵۸۵
فاصله از نهرها	۰,۴۷	۱,۴۷	۰,۳۷	۰,۱۰	۰,۰۳۹
ارتفاع	۰,۲۹	۱,۲۹	۰,۲۸	۰,۰۸	۰,۰۳۱۲



شکل ۴. سطح‌بندی مناطق پانزده‌گانه کلان‌شهر اصفهان بر مبنای توزیع فضایی آلودگی هوا (ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۹)

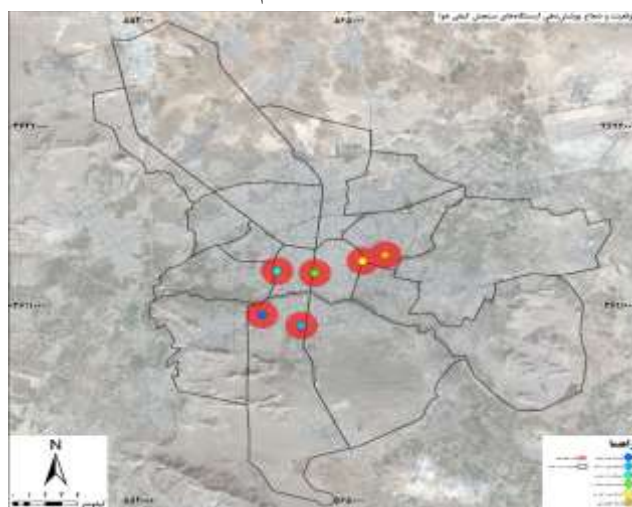
Figure 4. Ranking of fifteen regions of Isfahan metropolis based on the spatial distribution of air pollution (Prepared by: Authors, 2020)



شکل ۳. پهنه‌بندی کلان‌شهر اصفهان بر مبنای توزیع فضایی آلودگی هوا (ترسیم: نگارندگان، ۱۳۹۹)

Figure 3. Zoning of Isfahan metropolis based on the spatial distribution of air pollution (Prepared by: Authors, 2020)

اطلاعات شاخص کیفی هوای کلان‌شهر اصفهان در سال ۱۳۹۸ برای ۶ ایستگاه میدان احمدآباد، خیابان دانشگاه، خیابان پروین، خیابان رودکی، خیابان استانداری و بزرگراه خرازی (که در اختیار اداره کل حفاظت محیط زیست استان اصفهان است) موجود است. شعاع پوشش‌دهی این ایستگاهها براساس اطلاعات اداره کل حفاظت محیط زیست استان اصفهان ۱ کیلومتر است. در شکل ۵ محدوده‌های زیر پوشش این ایستگاهها و در جدول ۵ میانگین سالانه شاخص کیفی هوا نمایش داده شده است؛ بر این اساس اولاً بیشتر ایستگاههای سنجش کیفی هوا در مرکز شهر استقرار یافته‌اند و عمده قسمت‌های شهر را پوشش نمی‌دهند و ثانیاً نتایج حاصل از پهنه‌بندی کلان‌شهر اصفهان بر مبنای توزیع آلودگی هوا با داده‌های ایستگاههای سنجش کیفی هوا در قسمت‌های زیر پوشش نسبتاً انطباق دارد؛ بنابراین ایجاد این ایستگاهها در نقاط مختلف شهر برای پایش منظم آلودگی هوا ضرورت دارد.



شکل ۵. محدوده‌های زیر پوشش ایستگاههای سنجش کیفی هوای کلان‌شهر اصفهان (ترسیم: نگارندگان براساس اداره کل حفاظت محیط‌زیست استان اصفهان، ۱۳۹۹)

Figure 4. Areas covered by air quality measuring stations in Isfahan metropolis (Prepared by: Authors based on the General Department of Environmental Protection of Isfahan province, 2020)

جدول ۵. میانگین سالانه شاخص کیفی هوای ایستگاههای سنجش کیفی هوای کلان‌شهر اصفهان (نگارندگان براساس اداره کل حفاظت محیط‌زیست استان اصفهان، ۱۳۹۹)

Table 5. Annual average of air quality of air quality measuring stations in Isfahan metropolis (Authors based on the General Department of Environmental Protection of Isfahan province, 2020)

نام ایستگاه	میانگین سالانه شاخص کیفی هوا
میدان احمدآباد	۱۰۴,۹۹
خیابان استانداری	۸۹,۴۱
خیابان پروین	۸۶,۳۶
خیابان دانشگاه	۸۵,۹۷
بزرگراه خرازی	۸۳,۸۲
خیابان رودکی	۷۵,۱۲

## ۵. نتیجه‌گیری

در این مقاله برای بررسی توزیع آلودگی هوا در مناطق پانزده‌گانه کلان‌شهر اصفهان، پس از مرور پژوهش‌های پیشین و ادبیات نظری و تجربی مرتبط با موضوع و با در نظر گرفتن نمونه مطالعاتی، شاخص‌های توزیع فضایی آلودگی هوا در محیط شهری شامل ارتفاع، تراکم پایانه‌ها، تراکم پوشش گیاهی، فاصله از رودخانه‌ها، فاصله از نهرها، تراکم جمعیت، تراکم ساختمانی، تراکم تقاطع‌ها، جریان هوا و وزش باد، گرد و غبار، حجم ترافیک، تراکم صنایع درون‌شهری و فاصله از صنایع سنگین مجاور شهر در قالب دو معیار طبیعی و انسانی استخراج و در مناطق پانزده‌گانه ارزیابی شد. نتایج نشان‌دهنده توزیع متفاوت آلودگی هوا در مناطق پانزده‌گانه در پنج سطح به شرح زیر است:

- آلودگی هوای بسیار زیاد: شامل مناطق ۷، ۸، ۱۳ و ۱۴ که در وضعیت بسیار نامناسبی از لحاظ آلودگی هوا قرار دارند و برنامه‌ریزی شهری با رویکرد فضایی به‌منظور افزایش سلامت ساکنان برای این مناطق در اولویت است.

- آلودگی هوای زیاد: مناطق ۳، ۵، ۱۰ و ۱۲ در این سطح هستند. این مناطق وضعیت نامناسبی از نظر آلودگی هوا دارند و برنامه‌ریزی برای این مناطق در جایگاه دوم است.

- آلودگی هوای متوسط: مناطق ۱، ۲، ۴ و ۱۵ وضعیت نسبتاً مناسبی از لحاظ آلودگی هوا دارند و برنامه‌ریزی برای این مناطق در جایگاه سوم است.

- آلودگی هوای کم: مناطق ۶ و ۱۱ در این سطح هستند. این مناطق وضعیت مناسبی از لحاظ آلودگی هوا دارند و در جایگاه چهارم برنامه‌ریزی قرار دارند.

- آلودگی هوای بسیار کم: منطقه ۹ وضعیت بسیار مناسبی از نظر آلودگی هوا نسبت به سایر مناطق دارد و برنامه‌ریزی برای این منطقه در جایگاه آخر است.

بر مبنای نتایج تحلیل‌های صورت‌گرفته براساس شاخص‌ها، امکانات و محدودیت‌های موجود مناطق از لحاظ توزیع فضایی آلودگی هوا، مهم‌ترین دلیل ایجاد آلودگی هوا در کلان‌شهر اصفهان، وجود صنایع درون‌شهری از قبیل نیروگاه برق، شهرک صنعتی امیرکبیر و سنگبری‌ها، استقرار صنایع سنگین در مجاورت شهر نظیر فولاد مبارکه، ذوب‌آهن، پالایشگاه نفت، پتروشیمی اصفهان و نیروگاه‌های شهید منتظری و اسلام‌آباد و نیز وجود مشکلات مالی برای تصفیه آلودگی این صنایع است. از دیگر دلایل اصلی آلودگی هوا استفاده زیاد از وسایل نقلیه شخصی، ترافیک زیاد در بزرگراه‌های درون‌شهری و معابر اصلی، رعایت‌نشدن حریم ساخت‌وساز برای این معابر، وجود خودروهای فرسوده و ضعف سیستم حمل‌ونقل عمومی است.

در سال‌های اخیر نبود جریان هوا به‌ویژه در روزهای سرد سال و وارونگی دما، خشک‌شدن زاینده‌رود در بیشتر روزهای سال و جریان‌نداشتن عنصر آب به‌مثابه یکی از عوامل اصلی تلطیف‌کننده هوای شهر اصفهان در این رودخانه و نهرهای شهر و نیز افزایش کانون‌های گرد و غبار در ماه‌های گرم سال (به‌ویژه در قسمت‌های شرقی شهر) بر شدت آلودگی هوا در این شهر افزوده است؛ همچنین در سطحی فراتر مشکلاتی از قبیل مدیریت غیرمنسجم در ارتباط با معضل آلودگی هوا، نبود ضمانت اجرایی ضوابط و برنامه‌های پیشگیری و کاهش آلودگی هوا، اولویت کم دیدگاه‌ها و مسائل زیست‌محیطی و برتری ابعاد اقتصادی و سیاسی بر آنها، کم‌توجهی به عوامل فضایی کلان مؤثر بر آلودگی هوا

در نظام برنامه‌ریزی شهری، ساختار سنتی برنامه‌ریزی حمل‌ونقل و آشنایی ناکافی با روش‌ها و ابزارهای ارزیابی آثار اقدامات توسعه در بروز آلودگی هوا به‌ویژه در حیطه شهرسازی به چالش آلودگی هوا به‌ویژه در کلان‌شهرهای کشور انجامیده است.

برای حل معضل آلودگی هوا در کلان‌شهر اصفهان در وهله اول لازم است در طرح‌های جامع و تفصیلی فعالیت‌های ناسازگار نظیر پایانه‌ها و کارگاه‌های آلوده‌کننده هوا از نزدیکی محلات مسکونی به خارج از محدوده شهر و کارخانه‌های سنگین با فاصله زیاد به خارج از حریم شهر انتقال یابند و از سویی برای معابر پرتردد حریم ساخت‌وساز به‌منظور کنترل آلودگی هوا تعیین شود. به‌موازات این اقدامات، لازم است در مقیاس مناطق و محلات اقداماتی برای کنترل و کاهش آلودگی هوای محدوده‌های اولویت‌دار و با تأکید بر عوامل فضایی مطرح‌شده در بخش ادبیات نظری و تجربی انجام شود. از دیگر اقدامات بهبودبخش مهم، احیای رودخانه و نهرها، مدیریت تقاضای سفر با ساماندهی حمل‌ونقل عمومی و تقویت زیرساخت‌های پیاده‌روی و دوچرخه‌سواری، عدم مکان‌یابی صنایع در مسیر باد غالب (غرب و جنوب غرب)، ایجاد ایستگاه‌های سنجش کیفی هوا در نقاط مختلف شهر برای پایش منظم کیفیت هوا در تمامی مناطق و نواحی، ایجاد پوشش گیاهی در زمین‌های بدون استفاده موجود در مجاورت فعالیت‌های ناسازگار و تقاطع‌های اصلی شهر و در لبه بزرگراه‌ها و جلوگیری از فروش تراکم مازاد ساختمانی در نزدیکی فعالیت‌های ناسازگار، معابر پرتردد و تقاطع‌های اصلی شهر است.

## منابع

- اداره تحقیقات هواشناسی کاربردی اداره کل هواشناسی اصفهان، (۱۳۹۸). گزارش کیفیت هوای ایستگاه هواشناسی اصفهان در سال ۱۳۹۷.
- اداره تحقیقات هواشناسی کاربردی اداره کل هواشناسی اصفهان، (۱۳۹۹). گزارش کیفیت هوای ایستگاه هواشناسی اصفهان در سال ۱۳۹۸.
- اداره کل حفاظت محیط زیست استان اصفهان، (۱۳۹۹). داده‌های کیفیت هوای کلان‌شهر اصفهان در ایستگاه‌های پایش دائم برحسب شاخص کیفیت هوا به تفکیک روزها در سال ۱۳۹۸.
- پژوهشکده محیط زیست دانشگاه علوم پزشکی تهران، (۱۳۹۰). راهنمای محاسبه، تعیین و اعلام شاخص کیفیت هوا، وزارت بهداشت، درمان و آموزش پزشکی، تهران.
- خدایگان، سعید، (۱۳۹۸). نقش ذرات معلق و گرد و غبار در آلودگی هوا؛ علت یا معلول؟، دو فصلنامه فناوری‌های نوین، سال ۳، شماره ۴، ۵-۴.
- رنجبر، هادی، حق‌دوست، علی‌اکبر، صلصالی، مهوش، خوشدل، علیرضا، سلیمانی، محمدعلی، بهرامی، نسیم، (۱۳۹۱). نمونه‌گیری در پژوهش‌های کیفی: راهنمایی برای شروع، سالنامه پژوهش علوم و سلامت نظامی، سال ۱۰، شماره ۳، ۲۳۸-۲۵۰.

- زبردست، اسفندیار، ریاضی، حسین، (۱۳۹۴). شاخص‌های محیط انسان‌ساخت و تأثیرات آن بر آلودگی هوا؛ مطالعه موردی: محدوده پیرامونی چهارده ایستگاه سنجش کیفیت هوا در شهر تهران، نشریه هنرهای زیبا- معماری و شهرسازی، دوره ۲۰، شماره ۱، ۶۵-۵۵.
- زیاری، کرامت‌الله، اجزاشکوهی، محمد، خادمی، امیرحسین، (۱۳۹۷). کاهش آلودگی‌های زیست‌محیطی منطقه ۱۴ تهران با رویکرد برنامه‌ریزی شهری بیوفیلیک، جغرافیا و توسعه فضای شهری، دوره ۵، شماره ۱، ۱-۱۹.
- زینالی، بتول، شکرزاده فرد، الهام، پیروزی، الناز، (۱۳۹۷). ارزیابی و پهنه‌بندی آلودگی هوا با استفاده از مدل VIKOR؛ مطالعه موردی: شهر تبریز، مخاطرات محیط طبیعی، دوره ۷، شماره ۱۵، ۶۷-۸۸.
- سبحانی، بهروز، شکرزاده فرد، الهام، پیروزی، الناز، (۱۳۹۸). ارزیابی و پهنه‌بندی آلودگی هوا با استفاده از روش‌های AHP و ANP؛ مطالعه موردی: شهر تبریز، جغرافیا و مخاطرات محیطی، دوره ۸، شماره ۱، ۱۵۳-۱۶۹.
- سرور، هوشنگ، اسماعیل‌پور، مرضیه، خیری‌زاده، منصور، امرایی، مهتاب، (۱۳۹۹). تحلیل فضایی مؤلفه‌های تأثیرگذار بر آلودگی هوای شهر تبریز، مخاطرات محیط طبیعی، دوره ۹، شماره ۲۴، ۱۷۲-۱۵۱.
- سیدالعسکری، ملیحه سادات، پیمان راد، امیرحسین، رجایی، فرهاد، (۱۳۹۶). بررسی تأثیرات افزایش ارتفاع بر کیفیت هوای بلوک شهری؛ نمونه موردی: بلوک مسکونی شهری در مرکز شهر اصفهان، فصلنامه علمی پژوهشی پژوهش و برنامه‌ریزی شهری، دوره ۸، شماره ۲۹، ۱۹۴-۱۷۹.
- شرکت کنترل کیفیت هوا، (۱۳۹۹). گزارش سالانه کیفیت هوا و صدای تهران در سال ۱۳۹۸، شهرداری تهران، نشر شهر.
- شفیع‌پور مطلق، مجید، پرداختی، علیرضا، معجری، مریم، (۱۳۹۴). ارزیابی ریسک آلاینده‌های هوای منتشره در پایانه مسافری بیهقی با روش مدل‌سازی، محیط‌شناسی، دوره ۴۱، شماره ۱، ۹۷-۱۰۵.
- شهرداری اصفهان، (۱۳۹۴). اطلس کلان‌شهر اصفهان، اصفهان، ایران، در دسترس از طریق <https://new.isfahan.ir/Index.aspx?lang=1&sub=105>.
- شهرداری اصفهان، (۱۳۹۸). آمارنامه شهر اصفهان، اصفهان، ایران، در دسترس از طریق <http://www.isfahanold.ir/Index.aspx?lang=1&sub=36>.
- ضرابی، اصغر، محمدی، جمال، عبداللهی، علی‌اصغر، (۱۳۸۹). بررسی و ارزیابی منابع ثابت و متحرک در آلودگی هوای شهر اصفهان، جغرافیا (فصلنامه علمی پژوهشی انجمن جغرافیای ایران)، دوره ۸، شماره ۲۶، ۱۶۴-۱۵۱.
- کاووسی، امیر، سفیدکار، ریحانه، علوی مجد، حمید، رشیدی، یوسف، ایمان‌زاد، معصومه، حشمت‌الله، نورمادی، (۱۳۹۲). تحلیل فضایی آلودگی هوای شهر تهران با استفاده از مدل‌های اتولجستیک، اتولجستیک مرکزی شده و روش کریگینگ نشانگر، مجله علمی دانشگاه علوم پزشکی ایلام، دوره ۲۱، شماره ۷، ۲۱۴-۲۰۶.
- مجلس شورای اسلامی، (۱۳۹۶). قانون هوای پاک مصوب ۱۳۹۶/۴/۲۵.
- مرکز آمار ایران، (۱۳۹۵). سرشماری نفوس و مسکن سال ۱۳۹۵.

مرکز پژوهش‌های مجلس شورای اسلامی، (۱۳۹۸). بررسی تطبیقی و تقنینی بحران آلودگی هوا در کلان‌شهرهای کشور، آسیب‌شناسی قوانین آلودگی هوای کشور، معاونت پژوهش‌های زیربنایی و امور تولیدی، دفتر مطالعات زیربنایی.

معاونت حمل و نقل و ترافیک شهرداری اصفهان، (۱۳۹۷). داده‌های حجم ترافیک، اصفهان، ایران. معجری، مریم، شفیع‌پور مطلق، مجید، پرداختی، علیرضا، (۱۳۹۴). تخمین غلظت آلاینده‌های هوا در پایانه‌های مسافری شهری، فصلنامه علوم محیطی، دوره ۱۳، شماره ۱، ۱۲۵-۱۳۰.

میرغلامی، مرتضی، مدقالچی، لیلا، شکیبامنش، امیر، قبادی، پریسا، (۱۳۹۵). احیای رودخانه‌های شهری براساس دو رویکرد طراحی شهری بیوفیلیک و حساس به آب، نشریه منظر، دوره ۸، شماره ۳۶، ۲۷-۲۰. میری، محمد، قانعیان، محمدتقی، قلی‌زاده، عبدالمجید، یزدانی اول، محسن، نیکونهاد، علی، (۱۳۹۴). تحلیل و پهنه‌بندی آلودگی هوای شهر مشهد با استفاده از مدل‌های مختلف تحلیل فضایی، مجله مهندسی بهداشت محیط، دوره ۳، شماره ۲، ۱۵۴-۱۴۳.

Ahmed, S.O., Mazloun, R., Abou-Ali, H., (2018). Spatiotemporal interpolation of air pollutants in the Greater Cairo and the Delta, Egypt. *Environmental Research*, 160, 27-34.

Air Quality Control Company, (2020). *Annual Report of Tehran Air and Sound Quality in 1398*, Tehran Municipality, Shahr Publishing.

Applied Meteorological Research Department of Isfahan General Meteorological Department, (2019). *Air quality report of Isfahan meteorological station in 1397*.

Applied Meteorological Research Department of Isfahan General Meteorological Department, (2020). *Air quality report of Isfahan meteorological station in 1398*.

Beatley, T., (2011). *Biophilic Cities Integrating Nature into Urban Design and Planning*, Island Press.

Borrego, C., Cascão, P., Lopes, M., Amorim, J.H., Rodrigues, V., Martins, J., Miranda, A.I., Chrysoulakis, N., (2011). Impact of urban planning alternatives on air quality: URBAIR model application. *WIT Transactions on Ecology and the Environment*, 147, 13-24.

Chiarini, B., (2020). The perception of air pollution and noise in urban environments: A subjective indicator across European countries. *Journal of Environmental Management*, 263, 1-11.

Department of Environmental Protection Agency of Isfahan, (2020). *Air quality data of Isfahan metropolis in permanent monitoring stations by days in 1398*.

Deputy of Transportation and Traffic of Isfahan Municipality, (2017). *Data of Traffic Volume*. Isfahan, Iran.

Epstein, S.A., Lee, S.M., Katzenstein, A.S., Carreras-Sospedra, M., Zhang, X., Farina, S.C., ... Ban-Weiss, G., (2017). Air-quality implications of widespread adoption of cool roofs on ozone and particulate matter in southern California. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 114 (34), 8991-8996.

Greater London Authority, (2019). *Using Green Infrastructure to Protect People From Air Pollution*. Mayor of London, Available from [www.london.gov.uk](http://www.london.gov.uk).

Han, S., Sun, B., (2019). Impact of Population Density on PM<sub>2.5</sub> Concentrations: A Case Study in Shanghai, China. *Sustainability*, 11, 1-16.

Irannezhad, E., Mousavi, S.H., Zangiabadi, M., (2011). *Air pollution zoning based on landuse and traffic of vehicles*. 2nd International Conference on Fluid Mechanics and Heat and Mass Transfer 2011, FLUIDSHEAT'11, 2nd International Conference on Theoretical and Applied Mechanics 2011, TAM'11, 4th WSEAS International Conference on UPT'11, CUHT'11, Corfu Island, Greece, 15-17 July 2011. Greece: WSEAS.

Isfahan Municipality, (2015). *Atlas of Isfahan metropolis*. Isfahan, Iran, Available from <https://new.isfahan.ir/Index.aspx?lang=1&sub=105>.

- Isfahan Municipality, (2019). *Statistics of Isfahan city*. Isfahan, Iran, Available from <http://www.isfahanold.ir/Index.aspx?lang=1&sub=36>.
- Islamic Parliament of Iran, (2017). *Clean Air Law approved on 1396/4/25*.
- Islamic Parliament Research Center Of The Islamic Republic Of IRAN, (2019). *Comparative and Legislative Study of Air Pollution Crisis in the Metropolises of the Country, Pathology of Air Pollution Laws*. Deputy of Infrastructure Research and Production Affairs, Office of Infrastructure Studies.
- Kavosi A., Sefidkar R., Alavi majd H., Rashidi U., Imanzad M. and Noormoradi H., (2014). Spatial Analysis of Air Pollution in Tehran City by Using of Autologistic and Centered Autologistic Models and Indicator Kriging Method, *Journal of Ilam University of Medical Sciences*, 21 (7), 206-214.
- Keršulienė, V., Zavadskas, E.K., Turskis, Z., (2010). Selection of rational dispute resolution method by applying new stepwise weight assessment ratio analysis (SWARA). *Journal of Business Economics and Management*, 11 (2): 243–258.
- Khodaegan, S., (2019). The role of Particulate Matter and dust in air pollution; Cause or effect ?. *Fanavard, two quarterly journals of new technologies*. 3 (4), 5-4.
- McCarty, J., Kaza, N., (2015). Urban form and air quality in the United States. *Landscape and Urban Planning*, 139, 168–179.
- Mejari, M., Shafie-Pour, M., Pardakhti, A., (2015). Estimation of air pollutant concentrations in urban passenger terminals. *Journal of Environmental Sciences*, 13 (1), 125-130.
- Mirgholami, M., Medghalichi, L., Shakibamanesh, A., Ghobadi, P., (2016). Developing criteria for urban river restoration based on Biophilic and water sensitive approaches. *MANZAR, the Scientific Journal of landscape*, 8 (36), 20-27.
- Miri M., Ghaneian M.T., Gholizadeh A., Yazdani Avval M., Nikoonahad A., (2016). Assessment of Spatial Analysis Methods in Mapping of Air Pollution in Mashhad. *Journal of Environmental Health Engineering*, 3 (2), 143-154.
- Pedersen Zari, M., (2017). What makes a city ‘biophilic’? Observations and experiences from the Wellington Nature Map project. M. Aurel (eds.), *Back to the future: The next 50 years*, 51st International Conference of the Architectural Science Association, The Architectural Science Association and Victoria University of Wellington, 105–114.
- Pu, H., Luo, k., Wang, P., Wang, S., Kang, S., (2016). Spatial variation of air quality index and urban driving factors linkages: evidence from Chinese cities. *Environ Sci Pollut Res*, 24 (5), 4457-4468.
- Qiang, W., Lee, H.F., Lin, Z., Wong, D.W.H., (2020). Revisiting the impact of vehicle emissions and other contributors to air pollution in urban built-up areas: A dynamic spatial econometric analysis. *Science of the Total Environment*, 740, 1-13.
- Rai, P.K., (2016). *Biomagnetic Monitoring of Particulate Matter, In the Indo-Burma Hotspot Region*, Chapter One- Particulate Matter and Its Size Fractionation, 1-13.
- Ranjbar, H., Haghdoost, A.A., salsali, M., Khoshdel, A., Soleimani, M.A., Bahrami, N., (2012). Sampling In Qualitative Research: A Guide for Beginning. *Annals of Military and Health Sciences Research*, 10 (3), 238-250.
- Reeve, A., Hargroves, C., Desha, C., Newman, P., (2012). *Informing healthy building design with biophilic urbanism design principles: a review and synthesis of current knowledge and research*. Paper presented for the Healthy Buildings 2012 Conference, Brisbane, 8-12 July.
- Saeed- al-askar, M.S., Peymanrad, A.H., Rajaei, F., (2017). The effect of increasing the height of the buildings on air quality Case Study: Urban residential block in the center of the Esfahan city, *Journal of Urban Planning*, 8 (29), 179-194.
- Salama, K.F., Alhajri, R.F., Al-Anazi, A.A., (2017). Assessment of air quality in bus terminal stations in Eastern Province, Kingdom of Saudi Arabia. *International Journal of Community Medicine and Public Health*. *Int J Community Med Public Health*, 4 (5): 1413-1418.
- Sarvar, H., Esmailpour, M., Kheirizade, M., Amraei, M., (2020). Spatial analysis of factors affecting air pollution in Tabriz city. *Journal of Natural Environmental Hazards*, 9 (24). 151-172.

- Shafie-Pour, M., Pardakhti, A., Mejadi, M., (2015). Risk Assessment of Air Pollutants Emissions in Beihaghi Terminal By Modeling. *Journal of Environmental Studies*, 41 (1), 97-105.
- Sobhani, B., Shokrzadeh Fard, E., Piroozi, E., (2019). Evaluation and Zoning of Airborne Pollution Using AHP and ANP Methods (Case Study: Tabriz City). *Journal of Geography and Environmental Hazards*, 8 (1), 169-153.
- Statistical Center of Iran, (2016). *General Census of Population and Housing in 1395*.
- Teddlie, C., Yu, F., (2007). Mixed Methods Sampling: A Typology With Examples. *Journal of Mixed Methods Research*, 1 (1), 77-100.
- Tehran University of Medical Sciences Institute for Environmental Research, (2012). *Guide for calculating, determining and announcing the air quality index*. Ministry of Health, Treatment and Medical Education, Tehran.
- Vallero, D.A., (2008). *Fundamentals of Air Pollution*. Fourth edition, Academic Press, Elsevier.
- Wang, L.K., Taricska, J.R., Hung, Y.T., Li, K.H., (2004). Air Quality and Pollution Control, in Wang, L. K., Pereira, N. C., Hung, Y. T. and Li, K. H (eds). *Handbook of environmental engineering*, Vol. 1, Air Pollution Control Engineering.
- World Health Organization (WHO), (2020). *Personal interventions and risk communication on air pollution*. Geneva, Switzerland.
- Yang, J., Shi, B., Zheng, Y., Shi, Y., Xia, G., (2020a). Urban form and air pollution disperse: Key indexes and mitigation strategies. *Sustainable Cities and Society*, 57, 1-10.
- Yang, J., Shi, B., Shi, Y., Marvin, S., Zheng, Y., Xia, G., (2020b). Air pollution dispersal in high density urban areas: Research on the triadic relation of wind, air pollution, and urban form, *Sustainable Cities and Society*, 54, 1-12.
- Zarrabi, A., Mohammadi, J., Abdollahi A.A., (2010). Study and evaluation of fixed and mobile sources in air pollution in Isfahan. *Geography (Scientific-Research Journal of the Iranian Geographical Association)*, 8 (26), 151-164.
- Zebardast, E., riazi, H., (2015). Built Environment Features and its Impact on Air Pollution (Case Study: Surrounding Areas of Fourteen Air Quality Monitoring Stations in Tehran). *Honar-Ha-Ye-Ziba: Memary Va ShahrSazi*, 20 (1), 55-66.
- Zeinali, B., Shokrzadeh Fard, E., Piroozi, E., (2018). Evaluation and Zonation of Air Pollution by using Vikor (Case Study: Tabriz). *Journal of Natural Environmental Hazards*, 7 (15), 67-88.
- Zhu, D., Zhou, X., (2019). Effect of urban water bodies on distribution characteristics of particulate matters and NO<sub>2</sub>, *Sustainable Cities and Society*, 50, 1-10.
- Ziari, K., Ajza Shokouhi, M., Khademi, A., (2019). Reducing Environmental Pollutions through Biophilic Urbanism Approach (Region 14 in Tehran). *Geography and Urban Space Development*, 5 (1), 1-19.
- <https://asf.alaska.edu/data-sets/derived-data-sets/alos-palsar-rtc/alos-palsar-radiometric-terrain-correction/>
- <http://code.earthengine.google.com/>
- <https://globalwindatlas.info/area/Iran/Esfahan>

