

Investigating the Impact of Spatial Distribution of Urban Land Uses on Various Air Pollution factors (Case study: Ilam city)

Hojat Shaykhi^{1✉}, Farzaneh Aliolad²

1. Associate Professor of Department of Architecture and Urban Planning, Ilam University, Ilam, Iran

✉ E-mail: h.shaykhi@ilam.ac.ir

2. M.S. Student of Geography and Urban Planning, Ilam University, Ilam, Iran

E-mail: alioladfarzaneh@gmail.com

How to Cite: Shaykhi, H; Aliolad, F. (2026). Investigating the Impact of Spatial Distribution of Urban Land Uses on Various Air Pollution factors (Case study: Ilam city). *Geography and Development*, 24 (83), 95-116.

DOI: <http://dx.doi.org/10.22111/GDIJ.2025.51068.3716>

Received:

8 February 2025

Received in revised form:

11 April 2025

Accepted:

29 April 2025

Published online:

28 May 2026

ABSTRACT

Urban expansion has led to changes in land use in cities, which in turn causes changes in landscape patterns and severe ecological problems in urban areas. The main objective of this study is to investigate the relationship between different land use patterns and air pollutants (aerosols, carbon monoxide, nitrogen dioxide and sulfur dioxide) in Ilam city. In this study, urban land use maps were used to prepare distance and density maps of land uses, and Sentinel- Δ P satellite images were used to calculate and evaluate air pollutants. Then, the relationship between the spatial composition and configuration of urban land uses and air pollutants was calculated using the correlation coefficient. By applying the algorithm, it was determined that based on the distance index, the spatial distribution pattern of industrial uses had the greatest impact on the form of aerosol pollution emissions, nitrogen dioxide pollutants, and carbon monoxide throughout the year for people's health, and residential uses had a relatively good location in terms of aerosol and carbon monoxide pollution emissions. Based on the distance index, it was determined that distances close to educational uses were more effective in producing sulfur dioxide pollutants than other distances from uses. Also, based on the density criterion, the spatial distribution pattern of industrial uses had the greatest impact on the form of aerosol, carbon monoxide, and sulfur dioxide pollution emissions, and residential use was a more effective factor in producing nitrogen dioxide pollution based on the density criterion. Also, based on the residential use density index, it is a more effective factor in producing nitrogen dioxide pollution. Sulfur dioxide pollutant also has an inverse relationship with distance from educational use and a direct relationship with distance from industrial use.

Keywords:

Land use,
Air pollutants,
Spatial distribution,
Ilam.



© the Author(s).

Publisher: University of Sistan and Baluchestan

1. Introduction

Air pollution is recognized as one of the biggest global sustainability problems in the 21st century. Air pollution refers to the presence of fine particles, chemicals, or gases in the atmosphere that are harmful to the health of human populations and other living organisms. Human activities, including traffic, waste incineration, solid fuel combustion, industrial and agricultural activities, emit high levels of air pollutants. Urban development and its structure, public facilities, and traffic patterns are the main factors that worsen urban air quality. In other words, land use and transportation modes have changed due to urbanization, such that a significant increase in energy

consumption and widespread emissions of air pollutants have exacerbated the current air pollution situation. The most common air pollutants in cities include carbon monoxide, sulfur dioxide, nitrogen oxides, hydrocarbons, particulate matter, and ozone. Urban land use patterns are usually reflected in the dispersion of air pollutants and air quality in urban environments. In fact, the distribution of pollutants depends on land use activities. Land use changes directly or indirectly affect natural land cover levels, thus can affect the transport/dispersion of air pollution. The aim of this research is to investigate the relationship between different land use patterns and air pollutants and to answer the question of what relationship exists between spatial patterns of urban land uses and air pollutants?

2. Materials and Methods

The present study is applied in terms of purpose and descriptive-analytical in terms of methodology, based on library studies and field surveys. In order to investigate the effect of spatial distribution of urban uses on air pollution factors, first, related research is reviewed and effective models are identified. Then, data related to air pollution indices including aerosol, carbon monoxide, nitrogen dioxide and sulfur dioxide are prepared along with 1:2000-scale maps of urban uses including residential, commercial, industrial and educational. In the next stage, the spatial distribution of urban uses is prepared based on spatial analysis methods in the geographic information system in two ways: distance and density. Also, the spatial distribution of types of pollution is prepared with the help of Sentinel satellite data and Google Earth Engine system. In this study, spatial and temporal changes of air pollutants were investigated using Sentinel-2P satellite and its TROPOMI tool on the Google Earth Engine (GEE) platform. Next, the prepared matrices are examined monthly using the spatial correlation matrix (Band Collection Statistics) and the relationship between each type of pollutant and each type of urban use is determined during the year 2022. Accordingly, the main centers of pollutant accumulation in the entire city of Ilam are identified and more dangerous and less dangerous locations are determined.

3. Results and Discussion

In the study of the pollutants studied with the distance index, only the nitrogen dioxide pollutant had an inverse relationship with the distance from the land use, in other words, wherever the distance from the land use was large, the amount of nitrogen dioxide pollution was also low, and the distance close to the industrial land use was an effective factor in the production of nitrogen dioxide pollutant. The sulfur dioxide pollutant has an inverse relationship with the distance from the educational land use and a direct relationship with the distance from the industrial land use, so the distances close to the educational land use were more effective in the production of sulfur dioxide pollutant than other distances from the land use. In the study of the pollutants studied with the density index, only the nitrogen dioxide pollutant had a direct relationship with the density of the land use. In other words, wherever the density was high, the amount of nitrogen dioxide pollution was also high. Also, based on the density criterion in the production of aerosol pollution, carbon monoxide and sulfur dioxide, industrial use is a more effective factor in producing pollution, and based on the density criterion, residential use is a more effective factor in producing nitrogen dioxide pollution.

4. Conclusion

Considering that vehicles play a major role in air and noise pollution, the increase in the concentration of carbon monoxide, nitrogen dioxide, and sulfur dioxide pollutants is directly related to the use of vehicles and increased fuel consumption. Therefore, considering the density of uses such as educational, residential, and commercial, which draw a large number of people and vehicles from different points to the city during the day, it has caused environmental instability. In addition to the concentration of uses in the central area of the city, the close distance to industrial uses is an effective factor in the production of nitrogen dioxide pollutants, and also, based on the residential use density index, they are a more effective factor in the production of nitrogen dioxide pollution. In the study of pollutants under study with the density index, only nitrogen dioxide pollutant had a direct relationship with land use density, in other words, wherever the density was high, the level of nitrogen dioxide pollution was also high, which based on the density criterion, residential use is a more effective factor in producing nitrogen dioxide pollution. Also, based on the density criterion in the production of aerosol pollution, carbon monoxide and sulfur dioxide, industrial use is a more effective factor in producing pollution. Also, the highest level of air pollution indices was related to the spring and winter seasons, so seasonal and climatic changes also have a significant impact on the relationship between land use and pollution, and the heterogeneity of land use distribution in different areas of Ilam Municipality has also caused differences in the level of emission of different pollutants in different parts.

Keywords: Land use, Air pollutants, Spatial distribution, Ilam.

5. References

- Amani, M., Ghorbanian, A., Ahmadi, S. A., Kakooei, M., Moghimi, A., Mirmazloumi, S. M., Moghaddam, S. H. A., Mahdavi, S., Ghahremanloo, M., Parsian, S., Wu, Q., & Brisco, B. (2020). Google Earth Engine Cloud Computing Platform for Remote Sensing Big Data Applications: A Comprehensive Review. <https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=9184118>
- Chakraborty, J.; Basu, P. (2018). Linking Industrial Hazards and Social Inequalities: Environmental Injustice in Gujarat, India. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 16, 42. <https://doi.org/10.3390/ijerph16010042>
- Du, N., Ottens, H., & Sliuzas, R. (2010). Spatial impact of urban expansion on surface water bodies A case study of Wuhan, China. *Landscape and Urban Planning*, 94(3), 175-185. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2009.10.002>
- Ferguson, L.; Taylor, J.; Davies, M.; Shrubsole, C.; Symonds, P; Dimitroulopoulou, S. (2020). Exposure to Indoor Air Pollution across Socio-Economic Groups in High-Income Countries: A Scoping Review of the Literature and a Modelling Methodology. *Environ. Int.* 2020, 143, 105748. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105748>. Epub 2020 Jul 3
- García-Burgos, J.; Miquelajauregui, Y.; Vega, E.; Namdeo, A.; Ruíz-Olivares, A.; Mejía-Arangure, J.M.; Resendiz-Martinez, C.G.; Hayes, L.; Bramwell, L.; Jaimes-Palomera, M. (2022). Exploring the Spatial Distribution of Air Pollution and Its Association with Socioeconomic Status Indicators in Mexico City. *Sustainability* 2022, 14, 15320. <https://doi.org/10.3390/su142215320>

- Liang, L., Gong, P. (2020). Urban and air pollution: a multi-city study of long-term effects of urban landscape patterns on air quality trends. *Sci Rep* 10, 18618
<https://doi.org/10.1038/s41598-020-74524-9>
- Mardaneh, A., Ghaderi, A., Misagh, N. (2022). The effect of urban green space patterns on the spatial distribution of air pollutants (case study: Tehran). *Geographical Engineering of Land*. Volume 6, Issue 3. 646-633.
https://www.jget.ir/article_139422.html
- Moghbel, M., & Erfanian Salim, R. (2017). Environmental benefits of green roofs on microclimate of Tehran with specific focus on air temperature, humidity and CO2 content. *Urban Climate*, 20, 46-58. .
<https://doi.org/10.1016/j.uclim.2017.02.012>
- Ng, E. (2009). Policies and technical guidelines for urban planning of high-density cities – air ventilation assessment (AVA) of Hong Kong. *Building and Environment*, 44(7), 1478-1488
<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2008.06.013>
- Ou, J., Liu, X., Li, X., & Chen, Y. (2013). Quantifying the relationship between urban forms and carbon emissions using panel data analysis. *Landscape Ecology*, 28(10), 1889-1907.
<https://doi.org/10.1007/s10980-013-9943-4>
- Pourmohammadi, S., Lotfi, A., Al-Raenai, M. (2012). Investigating the effect of land use changes on the concentration of some pollutants in the Mahshahr industrial area using remote sensing images and variance analysis, *Geography and Environmental Planning*, 33(88), 79-96.
https://gep.ui.ac.ir/article_26642.html
- Romero, H., Ihl, M., Rivera, A., Zalazar, P., & Azocar, P. (1999). Rapid urban growth, land-use changes and air pollution in Santiago, Chile. *Atmospheric Environment*, 33(24), 4039-4047.
[https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(99\)00145-4](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(99)00145-4)
- Talebifard, R., Shafiei, A., Yeganeh, A. (2017). Spatial assessment of the impact of land use parameters on air quality in urban areas (case study of Tehran), *Environmental Science Studies*, 6(3), 3899-3890.
https://www.jess.ir/article_133790.html
- Tao, W., Liu, J., Ban-Weiss, G., Hauglustaine, D., Zhang, L., Zhang, Q., Cheng, Y., Yu, Y., & Tao, S. (2015). Effects of urban land expansion on the regional meteorology and air quality of eastern China. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 15(15), 8597-8614.
<https://doi.org/10.5194/acp-15-8597-2015, 2015.>
- Thakrar SK, Johnson JA, Polasky S. (2023). Land-Use Decisions Have Substantial Air Quality Health Effects. *Environ Sci Technol*. 20249;58(1):381-390.
<https://doi.org/10.1021/acs.est.3c02280>
- Wang, S., Zeng, J., Huang, Y., Shi, C., & Zhan, P. (2018). The effects of urbanization on CO2 emissions in the Pearl River Delta: A comprehensive assessment and panel data analysis. *Applied Energy*, 228, 1693-1706.
<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.06.155>
- Weng, Q., & Yang, S. (2006). Urban Air Pollution Patterns, Land Use, and Thermal Landscape: An Examination of the Linkage Using GIS. *Environmental Monitoring and Assessment*, 117(1), 463-489.
<https://link.springer.com/article/10.1007/s10661-006-0888-9>

Wei, Y. D., & Ye, X. (2014). Urbanization, urban land expansion and environmental change in China. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 28(4), 757-765.

<https://doi.org/10.1007/s00477-013-0840-9>

Xian, G. (2007). Analysis of impacts of urban land use and land cover on air quality in the Las Vegas region using remote sensing information and ground observations. *International Journal of Remote Sensing*, 28(24), 5427-5445.

<https://doi.org/10.1080/01431160701227653>

Xiao, X.; Gao, M. (2021). Overview of climate change, air pollution, and human health. In *Air Pollution, Climate, and Health: An Integrated Perspective on Their Interactions*; Gao, M., Wang, Z.F., Carmichael, G., Eds.; Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, 2021; Volume 12, 3-12.

<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-820123-7.00003-6>

Xu, G., Jiao, L., Zhao, S., Yuan, M., Li, X., Han, Y., Zhang, B., & Dong, T. (2016). Examining the Impacts of Land Use on Air Quality from a Spatio-Temporal Perspective in Wuhan, China. *Atmosphere*, 7(5), 62.

<https://doi.org/10.3390/atmos7050062>

Zahari, M., Majid, M., Ho, C., Kurata, G., Nadhirah, N., & Irina, S. (2016). Relationship between land use composition and PM concentrations in Iskandar Malaysia. *Clean Technologies & Environmental Policy*, 18(8).

<https://doi.org/10.1007/s10098-016-1263-3>

Zhang, Y., Bocquier, A., Ecochard, R., & Vesin, J. (2017). Land Use Change and Urban Air Pollution: A Case Study in China. *Environmental Pollution*, 229, 237-244.



بررسی میزان تأثیر توزیع مکانی انواع کاربری‌های شهری بر فاکتورهای مختلف آلودگی هوا مورد مطالعه: شهر ایلام

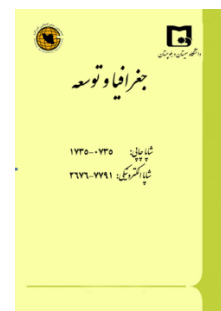
مقاله پژوهشی

دکتر حجت شیخی^{۱*}، فرزانه علی اولاد^۲

چکیده

گسترش شهری، به تغییرات کاربری اراضی در شهرها منجر شده است که به نوبه خود، باعث تغییر الگوی منظر و مسائل شدید اکولوژیکی در مناطق شهری می‌شود. هدف اصلی این تحقیق، بررسی رابطه بین الگوهای مختلف کاربری اراضی و آلاینده‌های هوا (آزوسل، منو اکسید کربن، دی‌اکسید نیتروژن و دی‌اکسید گوگرد) در شهر ایلام می‌باشد. در این پژوهش، از نقشه‌های کاربری شهری برای تهیه نقشه فاصله و تراکم کاربری‌ها و از تصاویر ماهواره‌ای «Sentinel-5P» برای محاسبه و ارزیابی آلاینده‌های هوا استفاده شد. سپس رابطه بین ترکیب فضایی و پیکربندی کاربری‌های شهری و آلاینده‌های هوا، با استفاده از ضریب همبستگی محاسبه شد. با اعمال الگوریتم مشخص شد که بر اساس شاخص فاصله الگوی توزیع مکانی، کاربری‌های صنعتی، بیشترین تأثیر را در فرم انتشار آلودگی‌های آئروسول، آلاینده دی‌اکسید نیتروژن و مونواکسیدکربن در طول سال برای سلامتی مردم داشته و کاربری‌های مسکونی، دارای جانمایی نسبتاً مناسبی از منظر انتشار آلودگی‌های آئروسول و مونواکسیدکربن بوده‌اند، بر اساس شاخص فاصله مشخص شد که فاصله‌های نزدیک به کاربری آموزشی، در تولید آلاینده دی‌اکسید گوگرد، مؤثرتر از سایر فاصله از کاربری‌های بوده است. همچنین بر اساس معیار تراکم الگوی توزیع مکانی، کاربری‌های صنعتی بیشترین تأثیر را در فرم انتشار آلودگی‌های آئروسول، مونواکسیدکربن و دی‌اکسید گوگرد داشته و کاربری مسکونی عامل مؤثرتری در تولید آلودگی دی‌اکسید نیتروژن بر اساس معیار تراکم می‌باشد. همچنین بر اساس شاخص تراکم کاربری مسکونی عامل مؤثرتری در تولید آلودگی دی‌اکسید نیتروژن می‌باشد. آلاینده دی‌اکسید گوگرد نیز با فاصله از کاربری آموزشی رابطه معکوسی دارد و با فاصله از کاربری صنعتی رابطه مستقیمی دارد.

جغرافیا و توسعه، شماره ۸۳، تابستان ۱۴۰۵
تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۱۱/۲۰
تاریخ بازنگری داوری: ۱۴۰۴/۰۱/۲۲
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۲/۰۹
صفحات: ۹۵-۱۱۶



واژه‌های کلیدی:
کاربری اراضی، آلاینده‌های هوا،
توزیع مکانی، ایلام.

مقدمه

آلودگی هوا به‌عنوان یکی از بزرگ‌ترین مشکلات پایداری جهانی در قرن بیست‌ویکم شناخته شده است. طبق گزارش سازمان جهانی بهداشت (WHO)، تقریباً ۴٫۲ میلیون مرگ در سال، به آلودگی هوا نسبت داده می‌شود (IPCC, 2022). آلودگی هوا به‌وجود ذرات ریز، مواد شیمیایی یا گازها در جو اطلاق می‌شود که برای سلامت جمعیت انسانی و سایر موجودات زنده مضر است (Xiao and Gao, 2021: 3). فعالیت‌های انسانی شامل: ترافیک، سوزاندن زباله، احتراق سوخت جامد، فعالیت‌های صنعتی و کشاورزی، سطوح بالایی از آلاینده‌های هوا را منتشر می‌کنند (Kelly and Fussell, 2015: 632). رایج‌ترین آلاینده‌های هوا در شهرها شامل: مونواکسید کربن (CO)، دی‌اکسید گوگرد (SO₂)، اکسیدهای نیتروژن (NO_x)، هیدروکربن‌ها (HC)، ذرات معلق و ازن (O₃) می‌باشند. همچنین گرم‌شدن آب‌وهوا یک مسئله جهانی است که به تهدیدی جدی برای سلامت انسان و محیط‌زیست تبدیل شده است (Ou et al, 2013: 1890). یکی از دلایل اصلی گرم‌شدن آب‌وهوا، روند افزایشی انتشار گازهای گلخانه‌ای

به‌ویژه پس از دوران صنعتی شدن است که توجه اکثر کشورهای جهان را به‌خود جلب کرده است. مراکز شهری بازیگران کلیدی در تولید گازهای گلخانه‌ای هستند (Moghbel & Erfanian Salim, 2017: 47). توسعه شهری و ساختار آن، امکانات عمومی و الگوهای ترافیکی، از عوامل اصلی بدتر شدن کیفیت هوای شهری هستند. به‌عبارت دیگر، کاربری زمین و شیوه‌های حمل‌ونقل به‌دلیل شهرنشینی تغییر کرده است به‌طوری‌که افزایش چشمگیر مصرف انرژی و انتشار گسترده آلاینده‌های هوا، وضعیت فعلی آلودگی هوا را تشدید کرده است. تخمین زده می‌شود که تقریباً ۹۰ درصد از شهروندان جهان در مناطقی زندگی می‌کنند که طبق دستورالعمل‌های کیفیت هوای سازمان جهانی بهداشت (WHO) بیش از سطح قابل‌قبول آلودگی هوا است (García-Burgos et al, 2022: 2). با این حال، مطالعات موردی متعدد نشان‌دهنده آنکه گروه‌های آسیب‌دیده اجتماعی، مانند افراد و گروه‌های دارای وضعیت اجتماعی-اقتصادی پایین، به‌طور نامتناسبی در مناطقی قراردارند که در معرض سطوح بالاتر آلودگی هوا هستند، پدیده‌ای که به‌عنوان بی‌عدالتی زیست‌محیطی یا نابرابری زیست‌محیطی نامیده می‌شود (Islam and Winkel, 2017:1; Chakraborty and Basu, 2018:2; Ferguson et al, 2020:1).

شهرنشینی سریع، به گسترش مراکز شهری کوچک به مرزهای فردی اصلی آن‌ها منجر می‌شود. ادغام مراکز کوچک شهری در یکدیگر، باعث شکل‌گیری شهرک‌های عظیم در مراکز شهری می‌شود. در این راستا، تغییرات کاربری اراضی همراه با ترافیک و انتشار گازهای گلخانه‌ای صنعتی نیز به‌عنوان یکی از دلایل اصلی که می‌تواند کیفیت هوای شهری را تحت تأثیر قرار دهد، شناسایی شده است (Huang et al, 2013: 2; Romero et al, 1999: 4040; Weng & Yang, 2006: 464; Xu et al, 2016: 2; Zahari et al, 2016: 1). معمولاً از طریق پراکندگی آلاینده‌های هوا و کیفیت هوا در محیط‌های شهری منعکس می‌شوند (Huang & Du, 2018: 1). در واقع توزیع آلاینده‌ها، به فعالیت‌های کاربری زمین بستگی دارد (Halim et al, 2020: 2). بنابراین، بدتر شدن کیفیت هوای شهری به‌دلیل افزایش الگوهای تغییر کاربری اراضی، به‌عنوان یک نشانه استرس‌زا ظاهر می‌شود (Du et al, 2010: 176; Hien et al, 2020: 2; Huang & Du, 2018: 2; Tao et al, 2015: 8598; Wei & Ye, 2014: 758). تغییرات کاربری زمین به‌طور مستقیم یا غیرمستقیم، سطوح پوشش طبیعی زمین را تحت تأثیر قرار می‌دهد. به‌این‌ترتیب می‌تواند بر انتقال پراکندگی آلودگی هوا تأثیر بگذارد (Halim et al, 2020: 2). مطالعات قبلی به‌خوبی مستند شده است که چیدمان ساختمان‌های شهری، الگوهای برنامه‌ریزی شهری، ارتفاع ساختمان و سایر عوامل می‌توانند بر کیفیت هوا در محیط‌های شهری تأثیر بگذارند (Gómez-Baggethun & Barton, 2013: 236; Ng, 2009: 1479). از این‌رو، آلودگی هوا می‌تواند در زمین‌های ساخته‌شده متمرکز شود (Wang et al, 2018: 1694; Weng & Yang, 2006: 464; Xian, 2007: 5428; Zahari et al, 2016: 1).

ساگر اسکی (۲۰۲۳) در مقاله خود بیان می‌دارد که ارزیابی مداوم خدمات اکوسیستم، به تصمیمات مؤثر بر کاربری زمین تأثیرگذار است و بدون ارزیابی کیفیت هوا، نمی‌توان تعیین نمود که آیا تصمیمات کاربری اراضی وضعیت شهر را بهتر یا بدتر می‌کند؟ لاینگ و گانگ (۲۰۲۰)، در پژوهشی، به‌طور جامع به بررسی اثرات فرم شهری بر کیفیت هوا در شهرهایی با اندازه‌های جمعیتی مختلف در موقعیت‌های همبستگی فضایی مختلف، پرداخته و نشان دادند که تکامل شکل شهری اثرات بلندمدتی بر سطح «PM2.5» دارد. در پژوهشی که توسط ژانگ و همکاران (۲۰۱۷) انجام شد، تأثیرات مختلف کاربری اراضی بر کیفیت هوا در شهرهای بزرگ چین مورد بررسی قرار گرفت.

نتایج این تحقیق نشان داد که توسعه مناطق مسکونی و تجاری به طور مستقیم با افزایش سطح آلودگی هوا مرتبط است در حالی که افزایش فضاهای سبز و پارک‌ها به بهبود کیفیت هوا منجر می‌شود.

مردانه و همکاران (۱۴۰۱)، در پژوهشی، به تأثیر الگوهای فضای سبز شهری بر توزیع فضایی آلاینده‌های هوا در شهر تهران پرداختند. نتایج پژوهش نشان داد که با در نظر گرفتن ضرایب همبستگی مابین فضاهای سبز شهری و آلاینده‌های هوا و همچنین ضرایب مابین آلاینده‌های هوا و تراکم معابر شهری، استفاده از الگوی معابر شهری به-عنوان الگویی برای توسعه فضاهای سبز، به کاهش میزان آلودگی هوا منجر می‌شود و همچنین نتایج آن، بیانگر بهبود بالای وضعیت میزان آلاینده در سطح کلان‌شهر تهران نیز می‌باشد.

قنادی و همکاران (۱۴۰۱)، در مطالعه‌ای به بررسی پایش آلودگی هوای شهرهای بزرگ صنعتی، با استفاده از تصاویر ماهواره سنتینل-۵ پرداختند. در این مطالعه، پایشی جامع بر اساس مقادیر برخی از مهمترین آلاینده‌های هوا از جمله؛ دی‌اکسید نیتروژن، دی‌اکسید گوگرد، مونوکسید کربن و ذرات معلق، با استفاده از تصاویر ماهواره سنتینل-۵ برای ۲۰ شهر بزرگ و صنعتی ایران در سال ۲۰۱۹ و ۲۰۲۰ صورت گرفته است. نتایج این ارزیابی نشان می‌دهد که مقادیر پایش با استفاده از تصاویر ماهواره سنتینل-۵ حداقل ۷۸٪ با مقادیر پایش شده توسط ایستگاه‌های زمینی همبستگی دارد؛ بنابراین می‌توان از پتانسیل بالای تصاویر ماهواره سنتینل-۵ در مطالعات کلان‌مدیریتی با هدف کاهش آلاینده‌های هوا استفاده نمود. پایش صورت گرفته به وسیله تصاویر ماهواره سنتینل-۵ نشان می‌دهد که در سال ۲۰۱۹، تهران آلوده‌ترین هوا را به لحاظ مجموع گازهای مونوکسید کربن، دی‌اکسید نیتروژن، دی‌اکسید گوگرد و ذرات معلق (گردوغبار) داشته است. همچنین زنجان کمترین میزان آلودگی را در مقایسه با سایر شهرهای مورد مطالعه داشته است. در سال ۲۰۲۰، باز هم تهران به‌عنوان آلوده‌ترین شهر ایران شناخته می‌شود. در این سال نیز هوای زنجان در قیاس با سایر شهرستان‌های مورد مطالعه، وضعیت بهتری داشته است.

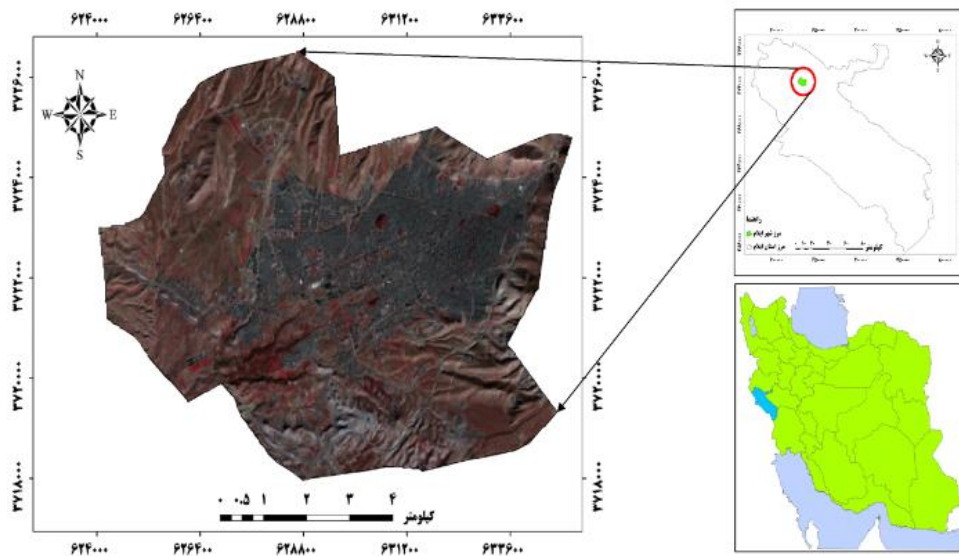
جهانبین و خضرنژاد (۱۳۹۸)، پژوهشی در راستای مکان‌یابی فضاهای سبز در شهر تبریز انجام دادند. نتایج حاصل از این پژوهش نشان می‌دهد که در شهر تبریز، معیارها و اصول توسعه و برنامه‌ریزی فضای سبز و معیارهای مکان‌یابی آن‌ها از جمله؛ سرانه‌ها در سایر محله‌ها، معیارهای محیطی و اکولوژیک و معیارهای مکانی از قبیل مرکزیت، سلسله‌مراتب و دسترسی رعایت نشده است.

در شهر ایلام با توجه به موقعیت جغرافیایی و محصور شدن آن توسط ارتفاعات، محدودیت زمین در درون بافت مرکزی، عرض کم معابر و ورود بدون برنامه انبوه وسایل نقلیه، ناکارآمدی حمل‌ونقل عمومی و عدم وجود فرهنگ استفاده از حمل‌ونقل عمومی، مشکلات ترافیکی و انواع آلودگی به وجود آمده است. همچنین وجود صنایع و کارگاه‌های آلاینده داخل و حومه شهر که با کاربری‌های پراهمیت شهری سازگاری ندارد، به مزاحمت‌های زیست‌محیطی منجر شده است. چنان‌که در بعضی مواقع سال خصوصاً تابستان و زمستان، سبب افزایش میزان ذرات معلق و آلودگی هوا در شهر ایلام می‌شود؛ بنابراین این موضوع، لزوم توجه به مشکل کیفیت هوای این منطقه را بیش از پیش مشخص می‌سازد. هدف از این تحقیق، بررسی رابطه بین الگوهای مختلف کاربری اراضی و آلاینده‌های هوا و پاسخ به این سؤال می‌باشد که چه رابطه‌ای بین الگوهای فضایی کاربری‌های شهری و آلاینده‌های هوا وجود دارد؟

داده‌ها و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

ایلام، مرکز استان ایلام است. جمعیت این شهر بر پایه سرشماری سال ۱۳۹۵ برابر با ۱۹۴۰۰۳۰ نفر بوده است. شهر ایلام در حصار از کوه‌ها و ارتفاعات جنگلی واقع شده و آب‌وهوایی معتدل کوهستانی و بهاری دارد. میانگین بارش سالیانه در این شهر ۶۱۹/۵ میلی‌متر و متوسط دمای مطلق آن از ۱۳/۶- تا ۲/۴۱ درجه سانتیگراد در تغییر می‌باشد (شکل ۱).



شکل ۱: موقعیت منطقه مورد مطالعه بر روی تصاویر ماهواره‌ای

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۴۰۳

روش مطالعه

پژوهش حاضر به لحاظ هدف، کاربردی و از لحاظ روش‌شناسی توصیفی-تحلیلی مبتنی بر مطالعات کتابخانه‌ای و بررسی‌های میدانی است. به منظور بررسی تأثیر توزیع مکانی کاربری‌های شهر بر فاکتورهای آلودگی هوا، ابتدا تحقیقات مرتبط با موضوع بررسی شده و مدل‌های مؤثر مشخص می‌گردند. سپس داده‌های مربوط به شاخص‌های آلاینده‌های هوا شامل: آژوسل، مونواکسیدکربن، دی‌اکسید نیتروژن و دی‌اکسید گوگرد به همراه نقشه‌های مقیاس ۱:۲۰۰۰ کاربری‌های شهری شامل: مسکونی، تجاری، صنعتی و آموزشی تهیه می‌شوند. در مرحله بعد، توزیع مکانی کاربری‌های شهری بر اساس روش‌های تحلیل مکانی در سیستم اطلاعات جغرافیایی به دو روش فاصله و تراکم تهیه می‌شوند. همچنین، توزیع مکانی انواع آلودگی‌ها به کمک داده‌های ماهواره‌ای سنتینل و سامانه گوگل ارث‌انجین تهیه می‌شود. در این مطالعه، تغییرات مکانی و زمانی آلاینده‌های هوا با استفاده از ماهواره «Sentile-5P» و ابزار پردازشگر داده جغرافیایی است که توسط گوگل در سال ۲۰۱۰ راه‌اندازی شد و به کاربران اجازه می‌دهد از طریق یک رابط برنامه‌نویسی کاربردی مبتنی بر اینترنت (API) و یک محیط توسعه مبتنی بر وب تعاملی به «GEE» دسترسی داشته باشند (Amani et al, 2020: 1). ماهواره سنتینل ۵ به‌عنوان اولین ماهواره مأموریت کوپرنیکوس (Copernicus) و یکی از ابزارهای قدرتمند در زمینه پیش‌بینی اتمسفر می‌باشد. این ماهواره دارای یک طیف‌سنج به نام

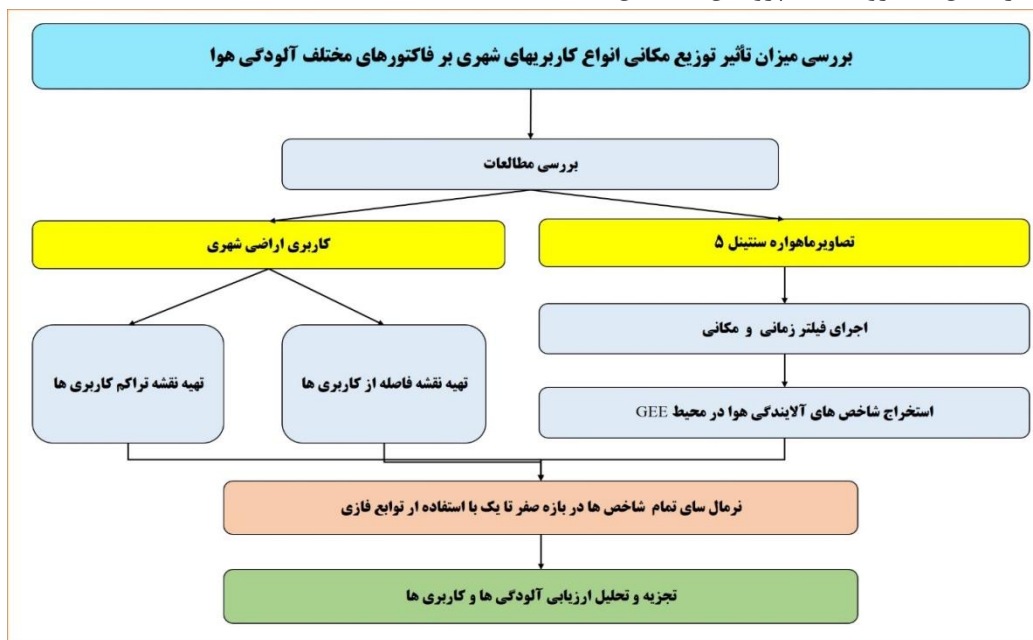
«TROPOMI» بوده که تابش (Radiance) اشعه ماورا بنفش زمین را در طیفی بالا اندازه‌گیری می‌کند. از جمله هدف‌های سنتینل ۵، اطمینان از تداوم و پیوستگی داده‌های بین مشاهده‌های مأموریت‌های قبلی (OMI)، (GOME-2)، (SCIAMACHY) و (Envisat) مشاهده‌های آینده توسط سنتینل-۵ می‌باشد. در این پژوهش، از تعداد بالای تصاویر سطح سه که از طریق موتور گوگل ارث‌انجین فراخوانی شده‌اند، استفاده شده است. باندهای تصویری مورد استفاده در این مطالعه جهت استخراج آلاینده‌های مختلف در جدول (۱) معرفی شده‌اند.

جدول ۱: باندهای مورد استفاده از تصاویر سنجنده «TROPOMI» ماهواره سنتینل-۵ در پایش آلاینده‌ها

آلاینده	توضیحات باند مورد استفاده
آئروسول	سنجهای برای اندازه‌گیری میزان ذرات معلق در هوا با استفاده از جفت موج با طول موج‌های ۳۵۴/۳۸۸
دی‌اکسید نیتروژن	غلظت ستون عمودی تروپوسفری با واحد MOL/M^2
دی‌اکسید گوگرد	غلظت ستون عمودی در سطح زمین با واحد MOL/M^2 ، محاسبه شده با استفاده از تکنیک (DOS)
مونوکسید کربن	غلظت ستون یکپارچه شده عمودی با واحد MOL/M^2

مأخذ: قنادی و همکاران، ۱۴۰۰

در ادامه، ماتریس‌های تهیه شده به صورت ماهیانه به کمک ماتریس همبستگی مکانی (Band Collection Statistics) بررسی شده و رابطه هر نوع آلاینده با هر نوع کاربری شهری در طول یک سال ۲۰۲۳ میلادی مشخص می‌شود. بر این اساس، مراکز اصلی تجمع آلاینده‌ها در کل شهر ایلام مشخص شده و محل‌های خطرناک تر و کم خطرتر معلوم می‌شوند. با بررسی عوامل فاصله و تراکم آن‌ها مشخص می‌شود که پراکندگی مکانی کدام کاربری در چه مناطقی از شهر بیشتر و در کدام مناطق کمتر است. همبستگی هر نوع کاربری با انواع آلاینده‌ها در سه بُعد؛ زمان، نوع آلاینده و نوع کاربری نیز مشخص می‌نماید که هر نوع کاربری، دارای همبستگی مثبت یا منفی با کدام یک از آلاینده‌ها می‌باشد. در شکل (۲) روندنمای پژوهش مشخص شده است.



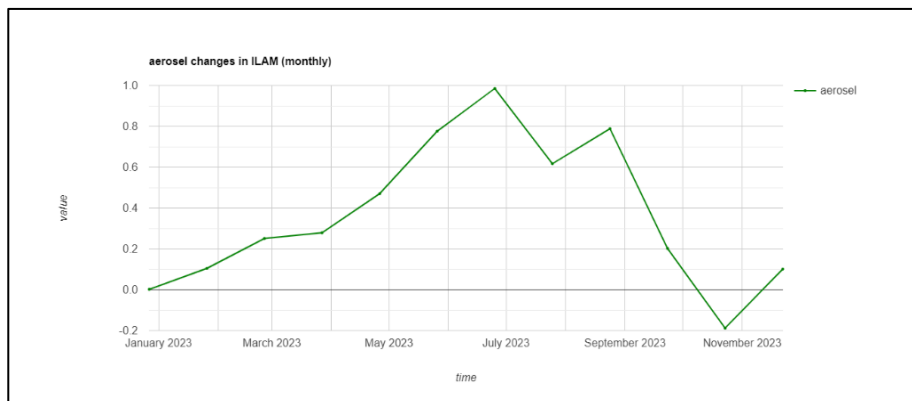
شکل ۲: روند انجام پژوهش

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۴۰۳

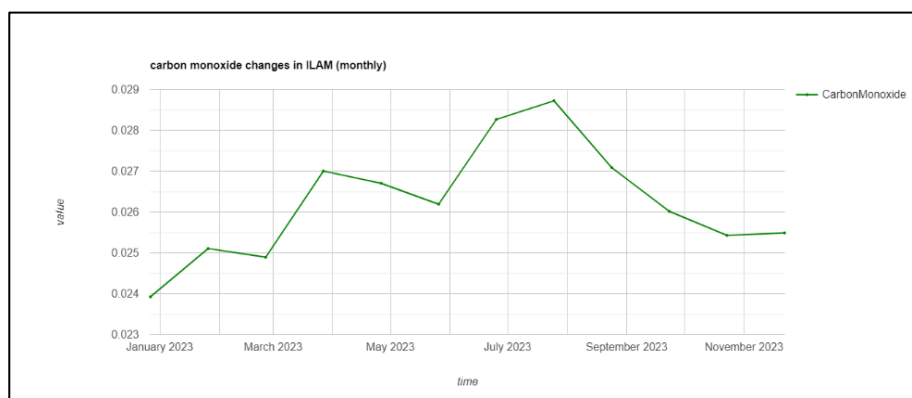
نتایج و بحث

همان‌گونه که در بخش قبلی توضیح داده شد، در این مطالعه برای پایش آلاینده‌های هوا از تصاویر سنتینل-۵ استفاده شده و این پایش برای شهر ایلام برای ابتدای سال ۲۰۲۳ میلادی تا انتهای آن صورت گرفته است. نتایج این پایش به صورت نمودار و در شکل‌های ۳ تا ۸ نشان داده شده است. در نمودارهای مذکور، مقادیر غلظت آلاینده‌ها به مدت یک سال نمایش داده شده است. شکل ۳ نشان می‌دهد که بیشترین مقدار آئروسول در فصل بهار و تابستان به خصوص ماه جولای، بیشترین مقدار مونواکسید کربن در فصل بهار و ماه جولای، بیشترین مقدار دی‌اکسید نیتروژن و بیشترین مقدار دی‌اکسید گوگرد نیز در فصل زمستان و ماه ژانویه می‌باشد.

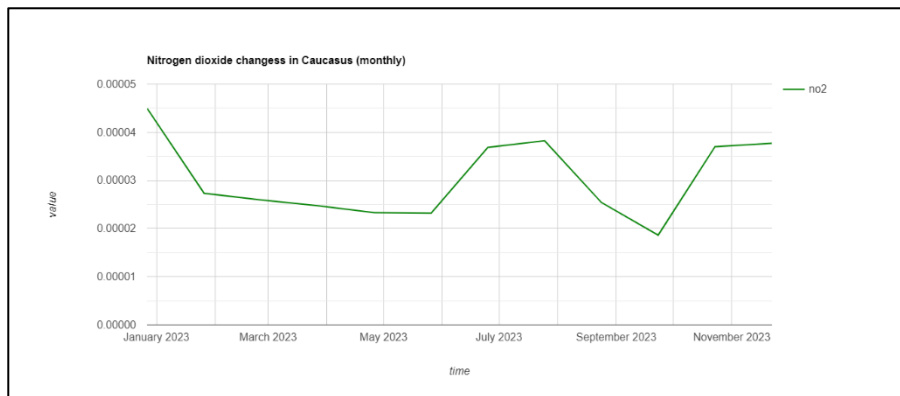
شکل‌های (۷) و (۸) نشان می‌دهند که بیشترین میزان آئروسول در مناطق شمال غربی، جنوب غربی و غرب شهر ایلام، بیشترین میزان مونواکسید کربن در مناطق غربی شهر ایلام، بیشترین میزان گاز دی‌اکسید نیتروژن در مناطق شمال، شمال شرقی و مرکزی شهر ایلام و بیشترین میزان گاز دی‌اکسید گوگرد در مناطق شمالی شهر ایلام می‌باشد.



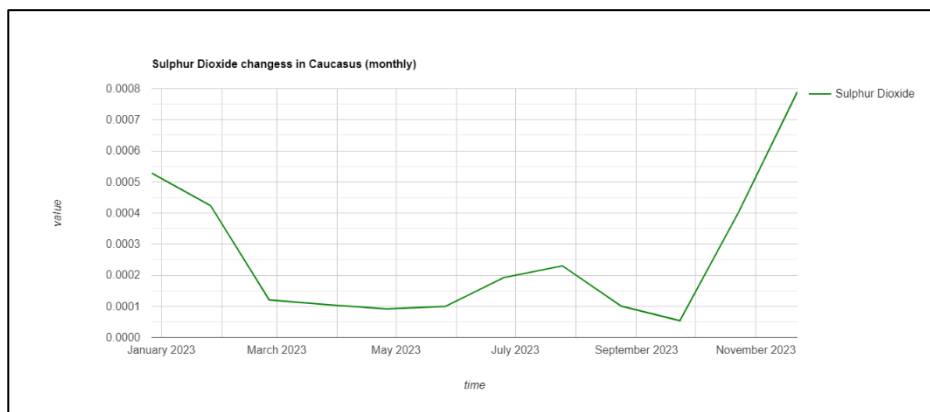
شکل ۳: پایش غلظت آئروسول در سال ۲۰۲۳ میلادی با استفاده از ماهواره سنتینل ۵



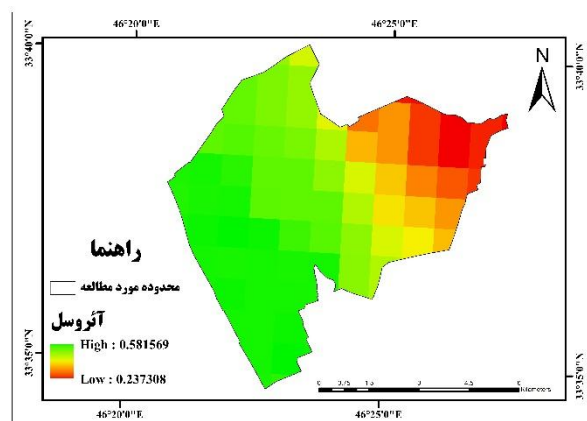
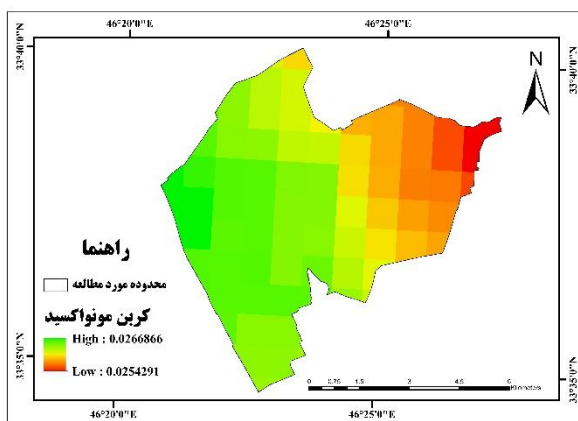
شکل ۴: پایش غلظت گاز مونواکسید کربن در سال ۲۰۲۳ میلادی با استفاده از ماهواره سنتینل ۵



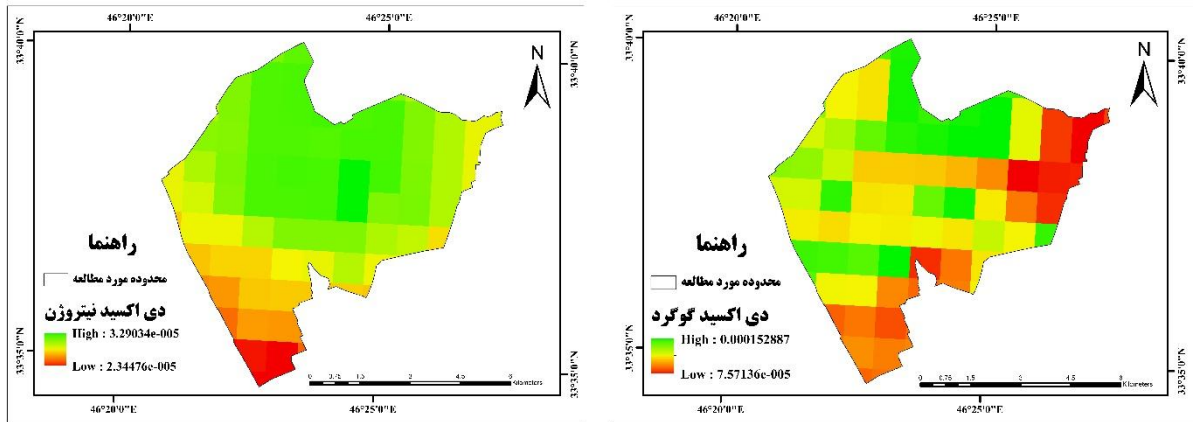
شکل ۵: پایش غلظت دی‌اکسید نیتروژن در سال ۲۰۲۳ میلادی با استفاده از ماهواره سنتینل ۵



شکل ۶: پایش غلظت دی‌اکسید گوگرد در سال ۲۰۲۳ میلادی با استفاده از ماهواره سنتینل ۵

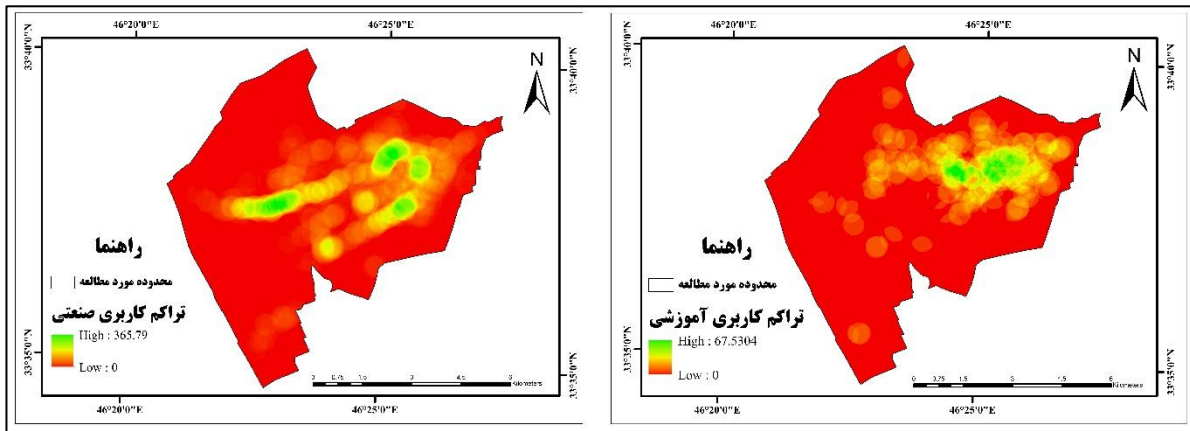


شکل ۷: الف) میانگین سالانه غلظت آئروسول در سال ۲۰۲۳ میلادی با استفاده از ماهواره سنتینل ۵؛ ب) میانگین سالانه غلظت گاز کربن مونواکسید کربن در سال ۲۰۲۳ میلادی با استفاده از ماهواره سنتینل ۵

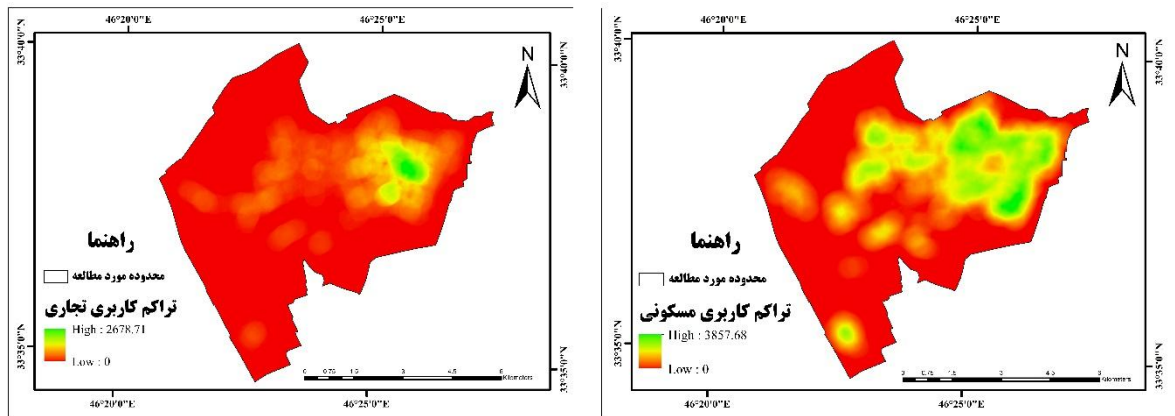


شکل ۸: الف) میانگین سالانه غلظت دی‌اکسید نیتروژن در سال ۲۰۲۳ میلادی با استفاده از ماهواره سنتینل ۵؛ ب) میانگین سالانه غلظت دی‌اکسید گوگرد در سال ۲۰۲۳ میلادی با استفاده از ماهواره سنتینل ۵
تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۴۰۳

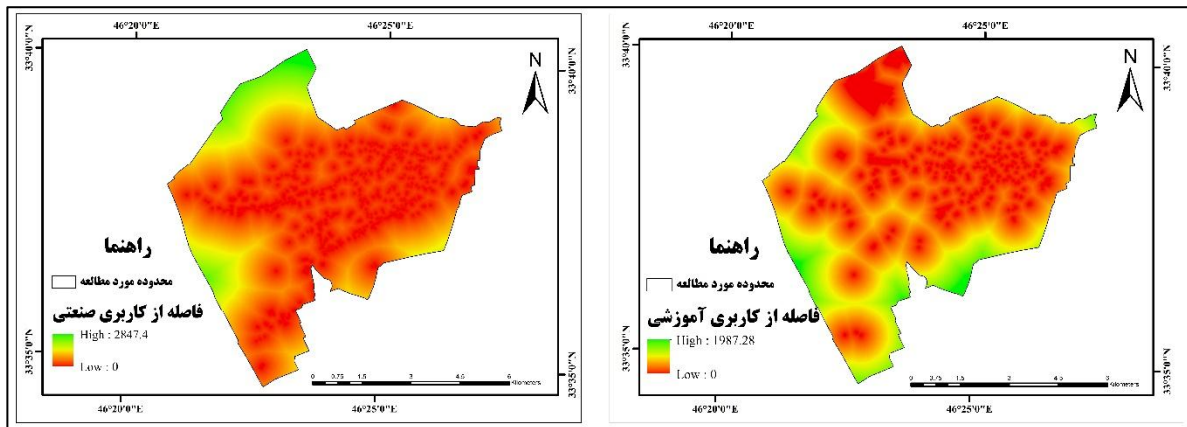
برای مطالعه تأثیر انواع کاربری‌ها و نحوه پراکندگی آن در سطح منطقه مورد مطالعه، از دو معیار فاصله و تراکم کاربری آن‌ها استفاده می‌شود. معیار تراکم از نوع معیارهای سود است؛ به این معنی که هرچه تراکم بالاتر باشد، تأثیر مثبتی روی پارامتر آلودگی هوا دارد اما معیار فاصله از نوع هزینه می‌باشد؛ بدین مفهوم که هرچه فاصله بیشتر باشد، تأثیر آن کاربری بر روی آلودگی هوا کمتر می‌شود. در این مطالعه، نقشه تراکم و فاصله برای کاربری‌های؛ مسکونی، تجاری، صنعتی و تجاری در شکل‌های (۹) تا (۱۲) آورده شده است. برای تهیه نقشه تراکم، لازم است که ابتدا عوارض سطحی به نقطه‌ای تبدیل شده و سپس از آن‌ها برای تهیه نقشه تراکم استفاده شود. این عمل با استفاده از تابع «Point Density» در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی انجام شده است (شکل‌های ۹ و ۱۰). در شکل‌های مذکور قسمت‌های سبزرنگ نشان‌دهنده تراکم بالا و قسمت‌های قرمز رنگ نشان‌دهنده تراکم پایین آن کاربری‌ها می‌باشد و برای نقشه فاصله از محاسبه فاصله اقلیدسی در محیط سیستم اطلاعات جغرافیایی استفاده شده است. در شکل‌های ۱۱ و ۱۲ قسمت‌های قرمز رنگ نشان‌دهنده فاصله کم و قسمت‌های سبزرنگ نشان‌دهنده فاصله کم از آن کاربری می‌باشد.



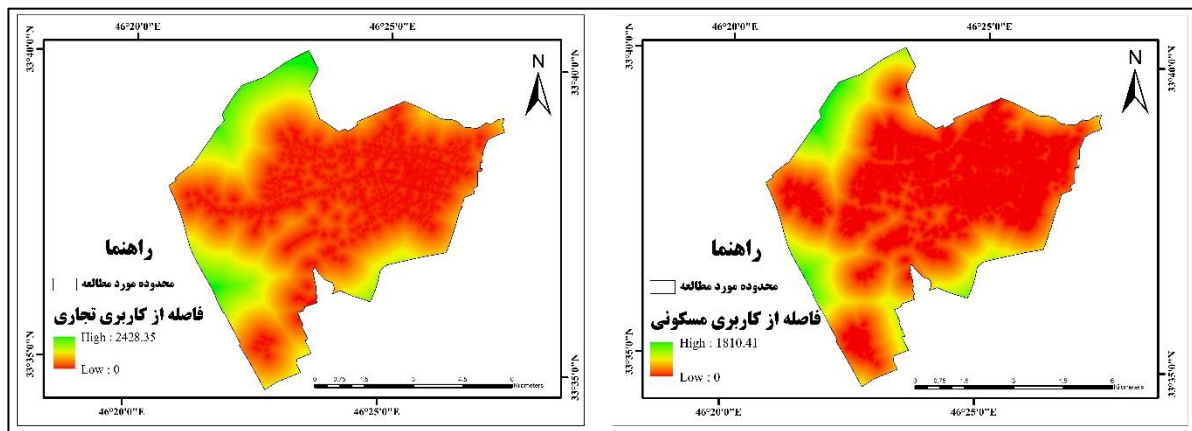
شکل ۹: الف) تراکم کاربری آموزشی؛ ب) تراکم کاربری صنعتی و کارگاهی



شکل ۱۰: الف) تراکم کاربری مسکونی؛ ب) تراکم کاربری تجاری

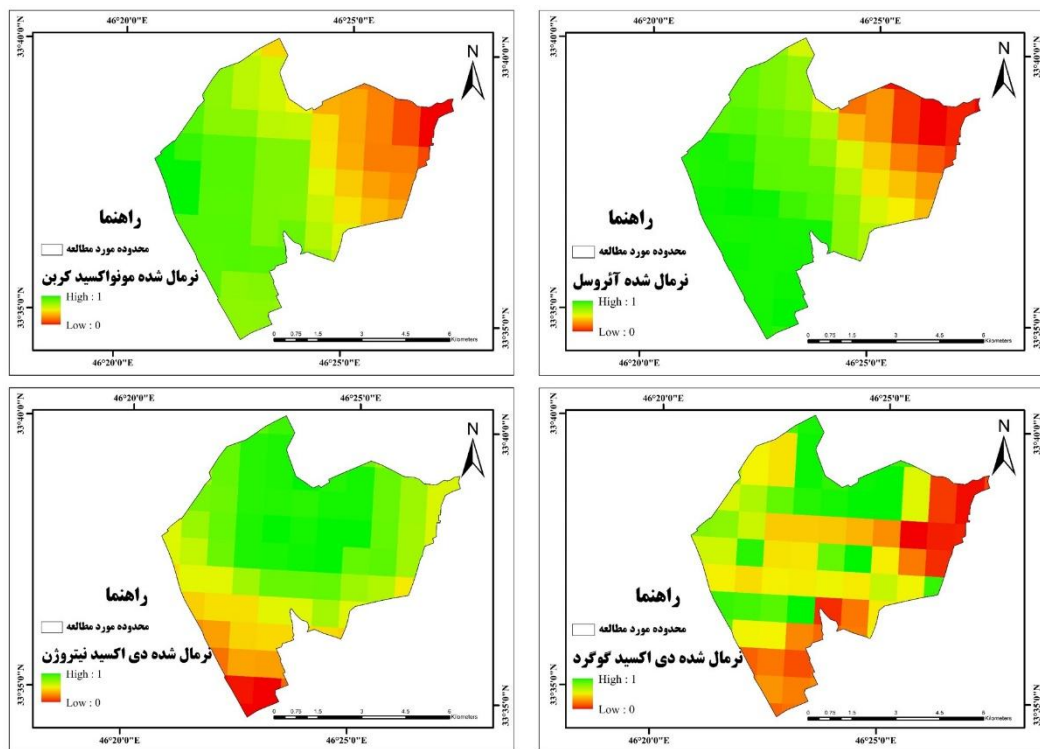


شکل ۱۱: الف) فاصله از کاربری آموزشی؛ ب) فاصله از کاربری صنعتی و کارگاهی

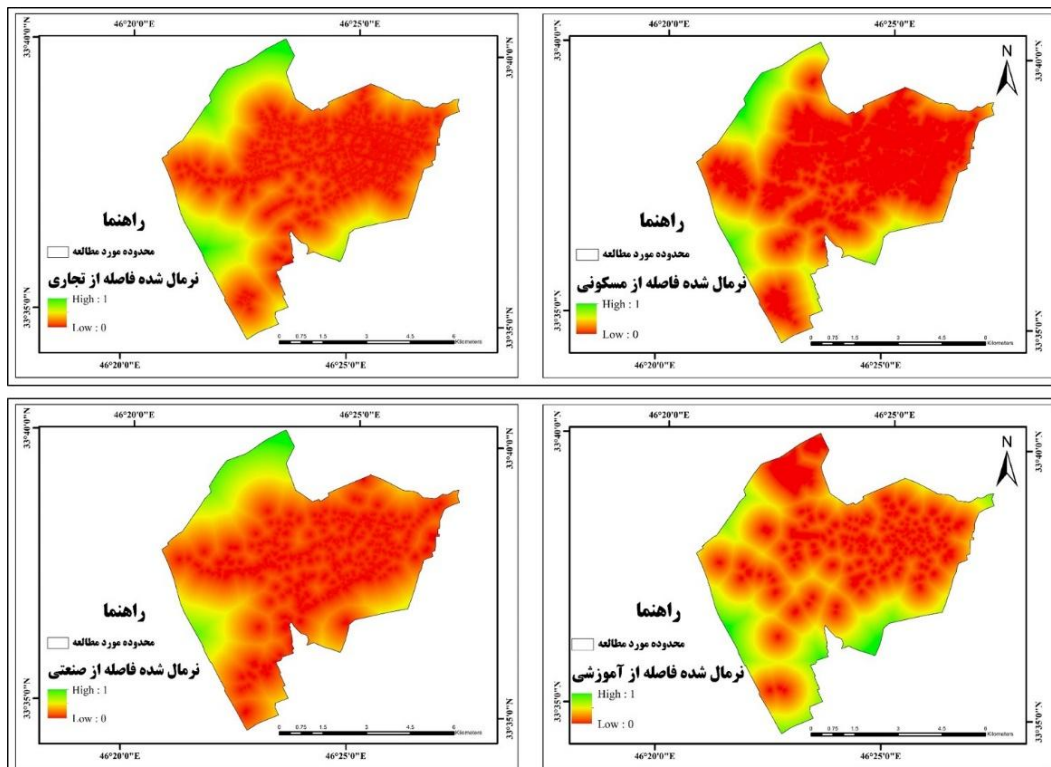


شکل ۱۲: الف) فاصله از کاربری مسکونی؛ ب) فاصله از کاربری تجاری

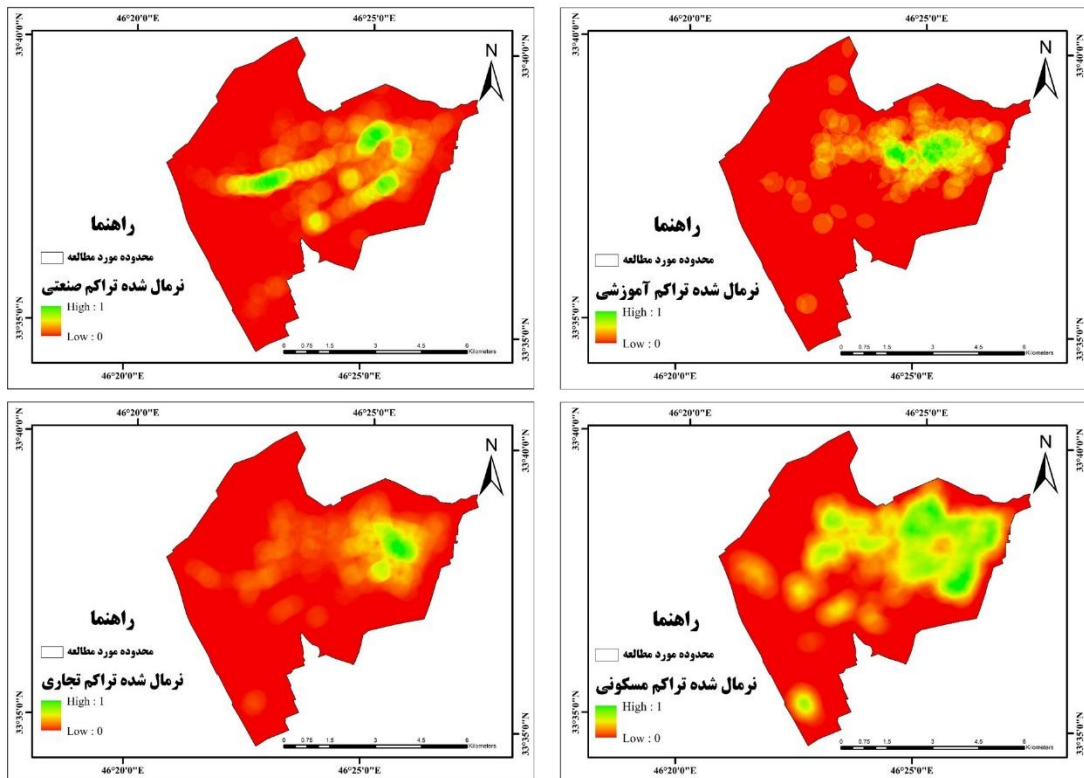
پس از تهیه انواع نقشه‌های آلودگی هوا و کاربری‌ها، برای این که بررسی حاصل از نتایج با یکدیگر قابل مقایسه باشد، نیاز است که تمامی این معیارها در یک مقیاس مشخص قرارگیرند. بدین منظور، تمامی نقشه‌ها به صورت خطی با استفاده از تابع خطی فازی در محیط «ARC GIS» به بازه ۱ تا ۰ تبدیل شدند. در ادامه با تکمیل تمامی این فرآیند، یک دیتابیس از آلاینده‌ها و شاخص‌ها تهیه شده که همه آن‌ها به صورت فازی می‌باشند. شکل‌های (۱۳، ۱۴ و ۱۵) به ترتیب نشان‌دهنده نقشه‌های آلودگی و نقشه‌های فاصله و تراکم از کاربری‌های شهری هستند.



شکل ۱۳: نرمال شده نقشه‌های آلودگی



شکل ۱۴: نرمال شده نقشه‌های فاصله از کاربری‌های مسکونی، تجاری، صنعتی و آموزشی



شکل ۱۵: نرمال شده نقشه‌های تراکم کاربری‌های مسکونی، تجاری، صنعتی و آموزشی

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۴۰۳

پس از استاندارد شدن تمامی نقشه‌ها، به منظور بررسی ارتباط هر چهار نوع آلاینده مورد بررسی با شاخص‌های فاصله (چهار شاخص؛ تراکم کاربری‌های مسکونی، تجاری، آموزشی و صنعتی) و تراکم (چهار شاخص؛ فاصله از کاربری‌های مسکونی، تجاری، آموزشی و صنعتی) با استفاده از تابع «Band Collection Statistics» مورد ارزیابی قرار گرفتند. ورودی این تابع شامل در مجموع ۱۲ لایه مختلف می‌باشد. جدول (۲)، نشان‌دهنده ماتریس حاصل از محاسبه همبستگی تمام معیارهای آلودگی هوا به دست آمده از تصاویر سنتینل-۵ و معیار تراکم کاربری می‌باشد و جدول (۳)، نشان‌دهنده ماتریس حاصل از محاسبه همبستگی تمام معیارهای آلودگی هوا، به دست آمده از تصاویر سنتینل-۵ و معیار فاصله از کاربری می‌باشد.

جدول ۲: ضرایب همبستگی بین فاصله از کاربری‌ها و آلاینده‌های هوا

شاخص	آئروسول	مونواکسید کربن	دی‌اکسید نیتروژن	دی‌اکسید گوگرد
فاصله از کاربری مسکونی	0.32649	0.29955	-0.27784	0.0591
فاصله از کاربری تجاری	0.31834	0.28089	-0.26573	0.15853
فاصله از کاربری آموزشی	0.31091	0.29541	-0.56861	-0.07307
فاصله از کاربری صنعتی	0.23141	0.19458	-0.11047	0.2038

مأخذ: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۳

جدول ۳: ضرایب همبستگی بین تراکم کاربری‌ها و آلاینده‌های هوا

شاخص	آئروسول	مونواکسید کربن	دی‌اکسید نیتروژن	دی‌اکسید گوگرد
تراکم کاربری مسکونی	-0.53934	-0.4981	0.35201	-0.10655
تراکم کاربری تجاری	-0.46609	-0.43776	0.27805	-0.16202
تراکم کاربری آموزشی	-0.42715	-0.41164	0.33683	-0.11166
تراکم کاربری صنعتی	-0.26717	-0.23436	0.33156	-0.0534

مأخذ: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۳

در بررسی بین آلاینده‌های مورد مطالعه با شاخص فاصله، هر چه فاصله بیشتر بوده آلودگی نیز رابطه مستقیمی داشته است؛ لذا در آلودگی‌های آئروسول و مونواکسید کربن فاصله‌های بیشتر از کاربری‌های مسکونی آلودگی بیشتر و در فواصل نزدیک کم بوده است. همچنین در فواصل نزدیک به کاربری صنعتی آلودگی بیشتر و در فواصل دور از کاربری صنعتی کم بوده است. در آلودگی مونواکسید کربن فاصله‌های بیشتر از کاربری‌های مسکونی آلودگی بیشتر بوده و در فواصل نزدیک به کاربری صنعتی آلودگی بیشتر بوده است. در بررسی بین آلاینده‌های مورد مطالعه با شاخص فاصله، فقط آلاینده دی‌اکسید نیتروژن رابطه معکوسی با فاصله از کاربری داشته است، به عبارتی دیگر، هر جا که فاصله از کاربری زیاد بوده میزان آلودگی دی‌اکسید نیتروژن نیز کم بوده است که فاصله نزدیک به کاربری صنعتی عامل مؤثری در تولید آلاینده دی‌اکسید نیتروژن بوده است. آلاینده دی‌اکسید گوگرد با فاصله از کاربری آموزشی رابطه معکوسی دارد و با فاصله از کاربری صنعتی رابطه مستقیمی دارد؛ لذا فاصله‌های نزدیک به کاربری آموزشی در تولید آلاینده دی‌اکسید گوگرد مؤثرتر از سایر فاصله از کاربری‌های بوده است.

در بررسی بین آلاینده‌های مورد مطالعه با شاخص تراکم، فقط آلاینده دی‌اکسید نیتروژن رابطه مستقیمی با تراکم کاربری داشته است. به عبارتی هر جا که تراکم بالا بوده، میزان آلودگی دی‌اکسید نیتروژن نیز بالا بوده است. همچنین براساس معیار تراکم در تولید آلودگی، آئروسول، مونواکسید کربن و دی‌اکسید گوگرد کاربری صنعتی عوامل

مؤثرتری در تولید آلودگی هستند و براساس معیار تراکم، کاربری مسکونی عامل مؤثرتری در تولید آلودگی دی‌اکسید نیتروژن می‌باشد.

نتیجه‌گیری

امروزه آلودگی هوا یکی از مهم‌ترین چالش‌ها در ایران به‌شمار می‌رود و همچنین نقش عمده‌ای در تغییرات اقلیم کشور ایفا می‌کند. عواملی همچون: رشد جمعیت و پیرو آن افزایش خودرو و همچنین وجود صنایع متنوع (و اغلب قدیمی) و تقاضای انرژی مربوط به آن در ایران به افزایش روند آلودگی در بسیاری از شهرهای کشور منجر شده است؛ بنابراین اندازه‌گیری دقیق آلاینده‌های هوا با قدرت تفکیک مکانی و زمانی بالا برای تعیین چگونگی توزیع و اثرگذاری آن‌ها و همچنین، ارائه راهکارهایی برای مدیران در سطح استانی و ملی امری ضروری محسوب می‌شود. استفاده از ابزارها و فناوری‌های مبتنی بر سنجش‌ازدور به‌دلیل ماهیت تولید داده‌های پیوسته زمانی و مکانی از اهمیت بالایی برخوردار است.

در طول چند دهه اخیر، شهر ایلام افزایش جمعیت و توسعه صنایع را تجربه کرده است. این رشد و توسعه متناسب با اهداف توسعه پایداری شهری نبوده و در حال حاضر، با ناپایداری‌ها و عدم توازن در جهت توسعه شهری مواجه است. عوامل اصلی این رشد نامتوازن را می‌توان به عواملی مانند: آلودگی هوا، صدا، دسترسی نامناسب امکانات و توزیع نادرست خدمات شهری و عدم چینش درست کاربری‌ها در سطح مناطق مختلف شهری ارتباط داد. الگوی چینش کاربری‌ها و نحوه توزیع و ترکیب آن‌ها، نقش مهمی در کیفیت هوای شهر دارند. در مطالعه پیش‌رو، تأثیر توزیع مکانی انواع مهم کاربری‌های شهری (مسکونی، تجاری، آموزشی و صنعتی) بر الگوی انتشار فاکتورهای مختلف آلودگی هوا در شهر ایلام بررسی می‌گردد. در این مطالعه به‌منظور پایش غلظت آلاینده‌ها و تأثیر توزیع مکانی کاربری‌ها در شهر ایلام از تصویرهای سطح سه‌سنجده (TROPOMI) ماهواره سنتینل ۵ استفاده شده که نقشه‌های توزیع هر یک از آلاینده‌ها به‌صورت میانگین سالانه و با استفاده از قابلیت‌های سنجش‌ازدور و با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای سنتینل-۵ در محیط سامانه گوگل ارث‌انجین (GEE) تعیین می‌شود.

موقعیت جغرافیایی شهر ایلام و محصور شدن قسمت شمالی آن توسط ارتفاعات و مسیر جنوب‌غربی-شمال‌غربی جریان‌ات عمومی هوا به‌همراه نفوذ جریان‌ات هوای غبارآلود از سمت کشور عراق در بعضی مواقع سال خصوصاً تابستان و زمستان، سبب افزایش میزان ذرات معلق و آلودگی هوا در شهر ایلام می‌شود که براساس شکل (۲) نیز مشخص شده که نواحی جنوب‌غربی به‌سمت شمال‌غربی، بیشتر در معرض آلودگی آئروسول بوده و براساس شاخص تراکم و همچنین فاصله کاربری صنعتی، جزء عوامل مؤثر در تولید شاخص آلودگی آئروسول هستند چنان‌که بیشترین میزان آئروسول در فصل بهار و تابستان و به‌خصوص ماه جولای بوده است.

با توجه به این‌که در میان عوامل آلودگی هوا و صدا، وسایل نقلیه نقش عمده‌ای دارند؛ بنابراین افزایش مقدار غلظت آلاینده‌های منواکسیدکربن، دی‌اکسید نیتروژن، دی‌اکسید گوگرد ارتباط مستقیمی با استفاده از خودروها و افزایش مصرف سوخت دارد؛ بنابراین با توجه به فشردگی کاربری‌هایی مانند: آموزشی، مسکونی و تجاری که در طول روز جمعیت و وسایل نقلیه انبوهی را از نقاط مختلف به‌سمت شهر می‌کشاند، موجب ناپایداری زیست‌محیطی شده است. همچنین علاوه بر تمرکز کاربری‌ها در محدوده مرکزی شهر، فاصله نزدیک به کاربری صنعتی عامل مؤثری در تولید آلاینده دی‌اکسید نیتروژن بوده و همچنین براساس شاخص تراکم کاربری مسکونی عامل مؤثرتری

در تولید آلودگی دی‌اکسید نیتروژن می‌باشد. آلاینده دی‌اکسید گوگرد نیز با فاصله از کاربری آموزشی رابطه معکوسی دارد و با فاصله از کاربری صنعتی رابطه مستقیمی دارد. همچنین فاصله‌های نزدیک به کاربری آموزشی در تولید آلاینده دی‌اکسید گوگرد مؤثرتر از سایر فاصله از کاربری‌های بوده است.

در بررسی بین آلاینده‌های مورد مطالعه با شاخص تراکم، فقط آلاینده دی‌اکسید نیتروژن رابطه مستقیمی با تراکم کاربری داشته، به عبارتی هر جا که تراکم بالا بوده، میزان آلودگی دی‌اکسید نیتروژن نیز بالا بوده است که بر اساس معیار تراکم، کاربری مسکونی عامل مؤثرتری در تولید آلودگی دی‌اکسید نیتروژن می‌باشد. بر اساس معیار تراکم در تولید آلودگی نیز آئروسول، مونواکسیدکربن و دی‌اکسید گوگرد کاربری صنعتی جزء عوامل مؤثرتر در تولید آلودگی هستند. همچنین بیشترین میزان شاخص‌های آلودگی هوا مربوط به فصل بهار و زمستان بوده است؛ لذا تغییرات فصلی و آب‌وهوایی نیز تأثیر بسزایی در ارتباط بین کاربری و آلودگی دارند و ناهمگونی توزیع کاربری‌ها در مناطق مختلف شهرداری ایلام باعث اختلاف در میزان انتشار آلاینده‌های مختلف در بخش‌های مختلف شده است.

مقایسه نتایج این پژوهش با سایر پژوهش‌های انجام‌شده نشان می‌دهد که این پژوهش با نتایج پژوهش طالبی و همکاران (۱۴۰۰) با عنوان: «ارزیابی فضایی تأثیر پارامترهای کاربری اراضی بر کیفیت هوا در مناطق شهری (مطالعه موردی: شهر تهران)»، پورمحمدی و همکاران (۱۴۰۱) با عنوان: «بررسی اثر تغییرات کاربری اراضی بر غلظت بعضی از آلاینده‌ها در منطقه صنعتی ماهشهر»، قهرمانلو و همکاران (۱۴۰۱) با عنوان: «مکانیسم تأثیر شکل شهری و کاربری زمین بر حمل‌ونقل و آلودگی هوای کلان‌شهر تهران»، گودرزی و راستی (۱۴۰۴) با عنوان: تأثیر الگوی کاربری اراضی پهنه غربی تهران بر آلودگی هوا با نگرش بافر سلامتی؛ در عواملی چون تراکم الگوی توزیع مکانی کاربری‌های صنعتی و فرم انتشار آلاینده‌ها، افزایش ساخت‌وساز و تراکم مسکونی، افزایش مقدار غلظت آلاینده‌ها در رابطه با وسایل نقلیه و مصرف سوخت و کیفیت غلظت آلاینده‌ها به صورت فصلی همسو و دارای اشتراک است.

منابع

پورمحمدی، سرور؛ علی لطفی؛ مهرداد الرعنایی (۱۴۰۱). بررسی اثر تغییرات کاربری اراضی بر غلظت بعضی از آلاینده‌ها در منطقه صنعتی ماهشهر با استفاده از تصاویر سنجش از دور و تحلیل واریانس، جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی. دوره ۳۳، شماره ۸۸. صفحات ۹۶-۷۹.

https://gep.ui.ac.ir/article_26642.html

جهانبین، رضا؛ پخشان خضرنژاد (۱۳۹۸). شناخت استانداردهای برنامه ریزی فضاهای سبز و مکانیابی آن‌ها در راستای دستیابی به بازدهی اکولوژیکی شهرها (مورد مطالعه: شهر تبریز)، دوره ۲۱، شماره ۵. صفحات ۱۷۷-۱۶۳.

<file:///C:/Users/pc/Downloads/Article%20%28%205%29.pdf>

طالبی‌فرد، رضا؛ اشکان شفیعی؛ افشین یگانه (۱۴۰۰). ارزیابی فضایی تأثیر پارامترهای کاربری اراضی بر کیفیت هوا در مناطق شهری (مطالعه موردی شهر تهران)، مطالعات علوم محیط زیست. دوره ۶، شماره ۳. صفحات ۳۸۹۹-۳۸۹۰.

https://www.jess.ir/article_133790.html

قهرمانلو، امیر؛ محمود صفارزاده؛ علی نادران؛ علی جوانشیر (۱۴۰۱). مکانیسم تأثیر شکل شهری و کاربری زمین بر حمل و نقل و آلودگی هوای کلانشهر تهران، باغ نظر، دوره ۱۹، شماره ۱۰۹. صفحات ۴۶-۳۵.

https://www.bagh-sj.com/article_150325.html

قنادی، محمدمین؛ متین شهری؛ امیر رضا مرادی (۱۴۰۱). پایش آلودگی هوا با استفاده از تصاویر ماهواره سنتینل-۵ (مطالعه موردی: شهرهای بزرگ صنعتی ایران، فصلنامه علوم محیطی. دوره ۲۰، شماره ۲. صفحات ۹۸-۸۱).

https://envs.sbu.ac.ir/article_102134.html

گودرزی، غزاله؛ رضا راستی (۱۴۰۴). تاثیر الگوی کاربری اراضی پهله غربی تهران بر آلودگی هوا با نگرش بافر سلامتی، مطالعات علوم محیط زیست. دوره ۱۰. شماره ۱. صفحات ۹۷۷۷-۹۷۸۸.

https://www.jess.ir/article_199371.html

مردانه، عادل؛ عارف قادری؛ نورالدین میثاق (۱۴۰۱). تاثیر الگوهای فضای سبز شهری بر توزیع فضایی آلاینده‌های آلودگی هوا (مورد مطالعه: تهران)، مهندسی جغرافیایی سرزمین. دوره ۶. شماره ۳. صفحات ۶۴۶-۶۳۳.

https://www.jget.ir/article_139422.html

References

Amani, M., Ghorbanian, A., Ahmadi, S. A., Kakoei, M., Moghimi, A., Mirmazloumi, S. M., Moghaddam, S. H. A., Mahdavi, S., Ghahremanloo, M., Parsian, S., Wu, Q., & Brisco, B. (2020). Google Earth Engine Cloud Computing Platform for Remote Sensing Big Data Applications: A Comprehensive Review.

<https://ieeexplore.ieee.org/stamp/stamp.jsp?arnumber=9184118>

Chakraborty, J.; Basu, P. (2018). Linking Industrial Hazards and Social Inequalities: Environmental Injustice in Gujarat, India. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 16, 42.

<https://doi.org/10.3390/ijerph16010042>

Du, N., Ottens, H., & Sliuzas, R. (2010). Spatial impact of urban expansion on surface water bodies-A case study of Wuhan, China. *Landscape and Urban Planning*, 94(3), 175-185.

<https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2009.10.002>

Ferguson, L.; Taylor, J.; Davies, M.; Shrubsole, C.; Symonds, P; Dimitroulopoulou, S.(2020). Exposure to Indoor Air Pollution across Socio-Economic Groups in High-Income Countries: A Scoping Review of the Literature and a Modelling Methodology. *Environ. Int.* 2020, 143, 105748.

<https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105748>. Epub 2020 Jul 3

García-Burgos, J.; Miquelajauregui, Y.; Vega, E.; Namdeo, A.; Ruíz-Olivares, A.; Mejía-Arangure, J.M.; Resendiz-Martinez, C.G.; Hayes, L.; Bramwell, L.; Jaimes-Palomera, M. (2022). Exploring the Spatial Distribution of Air Pollution and Its Association with Socioeconomic Status Indicators in Mexico City. *Sustainability* 2022, 14, 15320.

<https://doi.org/10.3390/su142215320>

Ghanadi, Mohammad Amin, Shahri, Matin, Moradi, Amir Reza (2022). Air Pollution Monitoring Using Sentinel-5 Satellite Images (Case Study: Major Industrial Cities of Iran). *Quarterly Journal of Environmental Sciences*. Volume 20, Issue 2. 81-98. (In Persian).

<https://doi.org/10.52547/envs.2022.1026>

Gómez-Baggethun, E., & Barton, D. N. (2013). Classifying and valuing ecosystem services for urban planning. *Ecological Economics*, 86, 235-245.

<https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2012.08.019>

Halim, N. D. A., Latif, M. T., Mohamed, A. F., Maulud, K. N. A., Idrus, S., Azhari, A., Othman, M., & Sofwan, N. M. (2020). Spatial assessment of land use impact on air quality in mega urban regions, Malaysia. *Sustainable Cities and Society*, 63, 102436.

<https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102436>

Hien, P. D., Men, N. T., Tan, P. M., & Hangartner, M. (2020). Impact of urban expansion on the air pollution landscape: A case study of Hanoi, Vietnam. *Science of The Total Environment*, 702, 134635.

<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134635>

Huang, Y.-K., Luvsan, M.-E., Gombojav, E., Ochir, C., Bulgan, J., & Chan, C.-C. (2013). Land use patterns and SO₂ and NO₂ pollution in Ulaanbaatar, Mongolia. *Environmental Research*, 124, 1-6.

<https://doi.org/10.1016/j.envres.2013.02.006>

Huang, Z., & Du, X. (2018). Urban land expansion and air pollution: evidence from China. *Journal of Urban Planning and Development*, 144(4), 05018017.

[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)UP.1943-5444.0000476](https://doi.org/10.1061/(ASCE)UP.1943-5444.0000476)

Islam, S.N.; Winkel, J. (2017). Climate Change and Social Inequality. DESA Working Paper 152. Department of Economic & Social Affairs, United Nations. Available online:

<https://www.un.org/development/desa/publications/working-paper>

- Kelly, F.J.; Fussell, J.C. (2015). Air Pollution and Public Health: Emerging Hazards and Improved Understanding of Risk. *Environ. Geochem. Health* 2015, 37, 631-649.
<https://link.springer.com/article/10.1007/s10653-015-9720-1>
- Liang, L., Gong, P. (2020). Urban and air pollution: a multi-city study of long-term effects of urban landscape patterns on air quality trends. *Sci Rep* 10, 18618
<https://doi.org/10.1038/s41598-020-74524-9>
- Moghbel, M., & Erfanian Salim, R. (2017). Environmental benefits of green roofs on microclimate of Tehran with specific focus on air temperature, humidity and CO2 content. *Urban Climate*, 20, 46-58. .
<https://doi.org/10.1016/j.uclim.2017.02.012>
- Ng, E. (2009). Policies and technical guidelines for urban planning of high-density cities - air ventilation assessment (AVA) of Hong Kong. *Building and Environment*, 44(7), 1478-1488
<https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2008.06.013>
- Ou, J., Liu, X., Li, X., & Chen, Y. (2013). Quantifying the relationship between urban forms and carbon emissions using panel data analysis. *Landscape Ecology*, 28(10), 1889-1907.
<https://doi.org/10.1007/s10980-013-9943-4>
- Romero, H., Ihl, M., Rivera, A., Zalazar, P., & Azocar, P. (1999). Rapid urban growth, land-use changes and air pollution in Santiago, Chile. *Atmospheric Environment*, 33(24), 4039-4047.
[https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(99\)00145-4](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(99)00145-4)
- Tao, W., Liu, J., Ban-Weiss, G., Hauglustaine, D., Zhang, L., Zhang, Q., Cheng, Y., Yu, Y., & Tao, S. (2015). Effects of urban land expansion on the regional meteorology and air quality of eastern China. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 15(15), 8597-8614.
<https://doi.org/10.5194/acp-15-8597-2015>
- Thakrar SK, Johnson JA, Polasky S. (2023). Land-Use Decisions Have Substantial Air Quality Health Effects. *Environ Sci Technol*. 20249; 58(1):381-390.
<https://doi.org/10.1021/acs.est.3c02280>
- Wang, S., Zeng, J., Huang, Y., Shi, C., & Zhan, P. (2018). The effects of urbanization on CO2 emissions in the Pearl River Delta: A comprehensive assessment and panel data analysis. *Applied Energy*, 228, 1693-1706.
<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.06.155>
- Weng, Q., & Yang, S. (2006). Urban Air Pollution Patterns, Land Use, and Thermal Landscape: An Examination of the Linkage Using GIS. *Environmental Monitoring and Assessment*, 117(1), 463-489.
<https://link.springer.com/article/10.1007/s10661-006-0888-9>
- Wei, Y. D., & Ye, X. (2014). Urbanization, urban land expansion and environmental change in China. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 28(4), 757-765.
<https://doi.org/10.1007/s00477-013-0840-9>
- Xian, G. (2007). Analysis of impacts of urban land use and land cover on air quality in the Las Vegas region using remote sensing information and ground observations. *International Journal of Remote Sensing*, 28(24), 5427-5445.
<https://doi.org/10.1080/01431160701227653>
- Xiao, X.; Gao, M. (2021). Overview of climate change, air pollution, and human health. In *Air Pollution, Climate, and Health: An Integrated Perspective on Their Interactions*; Gao, M., Wang, Z.F., Carmichael, G., Eds.; Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, 2021; Volume 12, 3-12.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-820123-7.00003-6>
- Xu, G., Jiao, L., Zhao, S., Yuan, M., Li, X., Han, Y., Zhang, B., & Dong, T. (2016). Examining the Impacts of Land Use on Air Quality from a Spatio-Temporal Perspective in Wuhan, China. *Atmosphere*, 7(5), 62.
<https://doi.org/10.3390/atmos7050062>
- Zahari, M., Majid, M., Ho, C., Kurata, G., Nadhirah, N., & Irina, S. (2016). Relationship between land use composition and PM concentrations in Iskandar Malaysia. *Clean Technologies & Environmental Policy*, 18(8).
<https://doi.org/10.1007/s10098-016-1263-3>
- Zhang, Y., Bocquier, A., Ecochard, R., & Vesin, J. (2017). Land Use Change and Urban Air Pollution: A Case Study in China. *Environmental Pollution*, 229, 237-244.