



<https://gep.ui.ac.ir/?lang=en>
Geography and Environmental Planning
E-ISSN: 2252- 0910
Document Type: Research Paper
Vol. 33, Issue 4, No.88, Winter 2022, pp. 1- 4
Received: 07/04/2022 Accepted: 29/05/2022

Investigating the Effects of Land Changes on some Pollutants in the Mahshahr Industrial Zone using Remote Sensing and Analysis of Variance (ANOVA) Images

Sorour Pourmohammadi ¹, Ali Lotfi ^{2*}, Mehrdad Alranaee ³

1- MA Student of Environment Sciences, Department of Natural Resources, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran

pourmohammadi.sorour@na.iut.ac.ir

2- Assistant Professor of Environment Sciences, Department of Natural Resources, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran

lotfi@cc.iut.ac.ir

3- PhD Candidate of Environment Sciences, Department of Natural Resources, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran

mehrdadranaee137166@gmail.com

Abstract

Air pollution is known as one of the most important environmental problems in cities, especially in industrial cities, which causes various cardiovascular diseases and many deaths every year. Assessing the trend of spatial variations in the distribution of air pollution in areas with heavy industry is essential for the sustainable development of these areas. Considering the importance of Mahshahr County as the largest industrial hub of the country, the present study examines the concentrations of NO₂, SO₂, O₃, and PM₁₀ pollutants in different areas of Mahshahr industrial area, mapping and examining them in relation to different uses. In this study, Sentinel 2 satellite images and ENVI 5.3 software and the supervised maximum probability classification method were used to classify land use. Also, using the KRIGING interpolation method and air quality monitoring station information, the concentrations of the mentioned pollutants were seasonally zoned in the region. Analysis of variance (ANOVA) was used to investigate the differences between the concentrations of pollutants in the land uses in different seasons of the year. The results of the study showed that the highest risk use was industrial use and the lowest risk use was agricultural use. Also, the lowest concentration of studied pollutants was related to the Sarbandar station. The results of ANOVA also showed that among the different seasons of 2019-2020, autumn and winter have the most significant differences. The results of this study can help identify air pollution and its relationship with land use changes, as well as control and reduce the concentration of pollutants in the study area.

Keywords: Land Use, Air Pollution, Analysis of Variance, Remote Sensing, Maximum Probability, Mahshahr County.

Introduction

*Corresponding Author

Pourmohammadi, S., Lotfi, A., & Alranaee, M. (2022). Investigation of the effect of land changes for some pollutants in Mahshahr industrial zone using remote sensing and analysis of variance (ANOVA) images. *Geography and Environmental Planning*, 33 (4), 1-4.



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)



<https://doi.org/10.22108/gep.2022.133195.1510>



20.1001.1.20085362.1401.33.4.4.8

Air pollution is one of the major environmental and economic problems worldwide, and it is becoming more acute in industrial areas. The World Health Organization (WHO) and the International Agency for Research on Cancer (IARC) have identified air pollution as a carcinogen for humans, and about 90% of people around the world breathe in polluted and toxic air every day. Awareness of the effects of different concentrations of air pollutants on the use of industrial areas is one of the basic requirements in land planning and management and sustainable development. Currently, the use of remote sensing is the best method for preparing land use maps. Given the importance of the impact of pollutants released into the atmosphere and land use, especially in industrial areas, there is a need for accurate and effective cognition in this field and researchers seek to understand the relationship between the spatial distribution of air pollutants and its relationship with land use. The present study aims at investigating the concentrations of O₃, PM₁₀, NO₂, and SO₂ pollutants in the industrial area of Mahshahr city and evaluating the trend of air pollution in relation to spatial and temporal changes and its possible relationship with land use.

Methodology

In the present study, satellite images of Sentinel 2 and ENVI 5.3 software and a supervised maximum probability classification method have been used to classify land use. Also, using the KRIGING interpolation method and air quality monitoring station information, the concentrations of these pollutants were seasonally zoned in the region and analyzed by variance analysis (ANOVA). They were used to investigate the differences between the concentrations of pollutants in land uses in different seasons of the year.

Discussion

The results of the average concentration of pollutants studied in different seasons of the mentioned years show that the highest concentration of studied pollutants in different seasons of the mentioned years is related to the industrial area (stations 1, 2, 3, 4, and 5 in the region. The lowest concentration of the mentioned pollutants is related to the Sarbandar residential area (station 7). Also, the Mahshahr residential area (station 6) due to being closer to the Mahshahr special economic zone, has a higher concentration of studied pollutants than the Sarbandar area. Estuaries barren areas 1 and 2, in autumn and winter, have the highest concentration of pollution. The results also showed that the highest endangered use is industrial use and the lowest endangered use is agricultural use.

Conclusion

In general, it can be concluded that the highest concentration of NO₂, SO₂, O₃, and PM₁₀ pollutants is related to the Mahshahr Special Economic Zone station and the lowest concentration of these pollutants is related to the Sarbandar station. Mahshahr Economic Special Zone, due to the existence of several petrochemical industries located in this place and the high production and spread of these pollutants in the atmosphere, also affects other parts of the study area. Among the land uses used in this study, estuaries have higher concentrations of pollutants due to their proximity to Mahshahr Special Economic Zone and being more affected by this area with petrochemical industries. With the distance from these areas, the impact of land uses on pollutants is less and the least impact of pollutants on agricultural land use is less. Also, the results of the analysis of variance show that there is no significant difference between the concentrations of pollutants in different land use classes. The results of this study can help health authorities to identify the most polluted areas, the impact of air pollution on land use and the health of people in the area, as well as the extent of land use changes in the area. The study also helps policymakers in designing and implementing action plans to reduce concentrations of NO₂, SO₂, O₃, and PM₁₀ pollutants.

References

- Abbasspour, M., Javid, A., & Saeidi, S. (2014). The Impact of Urban Parks on PM₁₀ Suspended Particles, Through Using GIS Software. *Journal of Environmental Science and Technology*, 16(1), 1-12.

- Akbari, E., Zangane Asadi, M. A., & Taghavi, E. (2016). Change detection land use and land cover regional neyshabour using Different methods of statistical training theory. *Journal of Geographical Planning of Space*, 6(20), 35-50.
- Albanese, S., De Vivo, B., Lima, A., Frattasio, G., Křibek, B., Nyambe, I. & Majer, V. (2014). Prioritizing environmental risk at the regional scale by a GIS aided technique. *Journal of Geochemical Exploration*, 144, 332-344.
- Atai, H., & Hashemi Nasab, S. (2011). Identification and analysis of atmospheric mid-level patterns affecting air pollution in Isfahan. *Journal of Research and Urban Planning*, 2(4), 97-113.
- Borge, R., Narros, A., Artiñano, B., Yagüe, C., Gómez-Moreno, F., & Paz, D. (2016). Assessment of microscale spatiotemporal variation of air pollution at an urban hotspot in Madrid (Spain) through an extensive field campaign. *Journal of Atmospheric Environment*, 140, 432-445.
- Chiang, T., Yuan, T., Shie, R., Chen, C., & Chan, C. (2016). Increased incidence of allergic rhinitis, bronchitis and asthma, in children living near a petrochemical complex with SO₂ pollution. *Environment International Journal*, 96, 1-7.
- Deligiorgi, D., & Philippopoulos, K. (2018). Spatial interpolation methodologies in urban air pollution modeling. *Journal of Advanced Air Pollution*, 341, 62-73.
- El Baroudy, A. A. (2016). Mapping and evaluating land suitability using a GIS-based model. *Catena*, 140, 96-140.
- Fallah Sourki M., Kavian A., & Omidvar E. (2016). Prioritization of Haraz sub-watersheds in order to soil and water conservation practices based on morphometric and land use characteristics. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*, 20(77), 85-99.
- Fan, F., Weng, Q., & Wang, Y. (2007). Land use land cover change in Guangzhou, China, from 1998 to 2003, based on Landsat TM/ETM⁺ imagery. *Sensors*, 7, 1323-1342.
- Guo, L., Yuan, P., Song, Y., Peng, J., & Wang, L. (2011). Case study and environmental risk assessment of the petrochemical industry. In *2011 International Conference on Remote Sensing, Environment and Transportation Engineering* (pp. 5783-5786). IEEE.
- Halim, N. D. A., Latif, M. T., Mohamed, A. F., Maulud, K. N. A., Idrus, S., Azhari, A., ... & Sofwan, N. M. (2020). Spatial assessment of land use impact on air quality in mega urban regions, Malaysia. *Journal of Sustainable Cities and Society*, 63, 102436.
- Han, L., Zhao, J., Gao, Y., Gu, Z., Xin, K., Zhang, J. (2020). Spatial distribution characteristics of PM_{2.5} and PM₁₀ in Xi'an City predicted by land use regression models. *Journal of Sustainable Cities and Society*, 61, 1-16.
- Ismailnejad, M., Eskandari Sani, M., & Barzaman, S. (2015). Evaluation and zoning of urban air pollution in Tabriz. *Journal of Regional Planning*, 5(19), 173-186.
- Jiang, Z., Cheng, H., Zhang, P., & Kang, T. (2021). Influence of urban morphological parameters on the distribution and diffusion of air pollutants: A case study in China. *Journal of Environmental Sciences*, 105, 163-172.
- Kelishadi, R., Moeini, R., & Poursafa, P. (2014). Independent association between air pollutants and vitamin D deficiency in young children in Isfahan, Iran. *Paediatrics and International Child Health*, 34(1), 50-55.
- Khan, J., Kakosimos, K., Raaschou, O., Brandt, J., Jensen, S. S., & Ellermann, T. (2019). Development and performance evaluation of new Air GIS—a GIS based air pollution and human exposure modelling system. *Journal of Atmospheric Environment*, 198, 102-121.
- Khavarian-Garmsir, A. R., & Rezaei, M. R. (2015). Selection of appropriate locations for industrial areas using GIS-fuzzy methods. A case study of Yazd Township, Iran. *Journal of Settlements and Spatial Planning*, 6(1), 19-25.
- Kongtip, P., Singkaew, P., Yoosook, W., Chantanakul, S., & Sujiratat, D. (2013). Health effects of people living close to a petrochemical industrial estate in Thailand. *Journal of the Medical Association of Thailand*, 96(5), 64-72.
- Kuo, Y. C., Lu, S. T., Tzeng, G. H., Lin, Y. C., & Huang, Y. S. (2013). Using fuzzy integral approach to enhance site selection assessment a case study of the optoelectronics industry. *Procedia Computer Science*, 17, 306-313.

- López-Serrano, P., Corral-Rivas, J., Díaz-Varela, R., Álvarez-González, J., & López-Sánchez, C. (2016). Evaluation of radiometric and atmospheric correction algorithms for aboveground forest biomass estimation using landsat 5 TM data. *Journal of Remote Sensing*, 8(5), 1-19.
- Lue, D., Xu, J., Yue, W., Mao, W., Yang, D., & Wang, J. (2020). Response of PM_{2.5} pollution to land use in China. *Journal of Cleaner Production*, 244, 1-25.
- Masroor, K., Yousefi, S., Fanaei, F., & Raeesi, M. (2020). Spatial modelling of PM_{2.5} concentrations in Tehran using Kriging and inverse distance weighting (IDW) methods. *Journal of Air Pollution and Health*, 5(1), 1-9.
- Memarbashi, E., Azadi, H., Barati, A.A., Mohajeri, F., Passel, S. V., & Witlox, F. (2017). Land-use suitability in Northeast Iran: application of AHP-GIS hybrid model. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 6(12), 1-15.
- Metia, S., Ha, P., Duc, H. N., & Scorgie, Y. (2020). Urban air pollution estimation using unscented Kalman filtered inverse modeling with scaled monitoring data. *Journal of Sustainable Cities and Society*, 54, 97-101.
- Montero, J. M., & Fernández, G. (2018). Functional kriging prediction of atmospheric particulate matter concentrations in Madrid, Spain: Is the new monitoring system masking potential public health problems? *Journal of Cleaner Production*, 175, 283-293.
- Nadal, M., Cadiach Ricoma, O., Kumar, V., Poblet, P., Mari, M., Schuhmacher, M. & Domingo, J. (2011). Health Risk Map of a Petrochemical Complex through GIS-Fuzzy Integration of Air Pollution Monitoring Data. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 17, 873-891.
- Noorpoor, A., & Feiz, S. (2014). Determination of the Spatial and Temporal Variation of SO₂, NO₂ and Particulate Matter Using GIS Techniques and Estimation of Concentration Modeling with LUR Method. *Journal of Environmental Studies*, 40(3), 723-738.
- Qiao, P., Lei, M., Yang, S., Yang, J., Guo, G., & Zhou, X. (2018). Comparing ordinary kriging and inverse distance weighting for soil as pollution in Beijing. *Journal of Environmental Science and Pollution Research*, 25(16), 597-608.
- Sarwar, M. T., & Maqbool, A. (2019). Causes and control measures of urban air pollution in China. *Environment and Ecosystem Science (EES)*, 3(1), 35-36.
- Seifi, M., Yunesian, M., & Nadafee, K. (2021). Exposure to ambient air pollution and socio-economic status on intelligence quotient among schoolchildren in a developing country. *Journal of Environmental Science and Pollution Research*, 29(1), 1-9.
- Sharifi Sadeh, M., & Ahmadi Nadoushan, M. (2018). Application of a land use regression (LUR) model to the spatial modelling of air pollutants in Esfahan city. *Journal of Environmental Sciences*, 16(2), 203-216.
- Shi, X., Li, M., Hunter, O., Guetti, B., Andrew A., & Stommel, E. (2019). Estimation of environmental exposure: interpolation, kernel density estimation or snapshotting. *Annals of GIS*, 25(1), 1-8.
- Tehrani, N. A., Mollalo, A., Farhani, F., & Pahlevanzade, N. (2021). Time-Series Analysis of COVID-19 in Iran: A Remote Sensing Perspective. *Journal of Geospatial Information and Community Resilience*, 21, 277-290.
- Vahdat Mohammadi, A., & Rahimi, S. (2013). Impact of urban land use pattern on Tehran air quality. *Journal of Research and Urban Planning*, 4(14), 123-142.
- Vahdat, A., & Alimohammadi, A. (2020). Study of Hourly Variability of Association between Land Use Parameters and CO Pollutants Using LUR Model in Tehran. *Iranian Journal of Remote Sensing and GIS*, 12(1), 1-18.
- Xu, H., Bechle, M. J., Wang, M., Szpiro, A. A., Vedal, S., & Bai, Y. (2019). National PM_{2.5} and NO₂ exposure models for China based on land use regression, satellite measurements, and universal kriging. *Journal of Science of the Total Environment*, 655, 423-433.
- Yang, C. Y., Wang, J. D., Chan, C. C., Hwang, J. S., & Chen, P. C. (2021). Respiratory symptoms of primary school children living in a petrochemical polluted area in Taiwan. *Pediatr Pulmonol* 25, 299-303.
- Yu, H., Russell, A., Mulholland, J., Odman, T., Hu, Y. & Chang, H. (2018). Cross-comparison and evaluation of air pollution field estimation methods. *Journal of Atmospheric Environment*, 179, 49-60.



بررسی اثر تغییرات کاربری اراضی بر غلظت بعضی از آلاینده‌ها در منطقه صنعتی ماهشهر با استفاده از تصاویر سنجنش از دور و تحلیل واریانس (ANOVA)

سرور پورمحمدی، دانشجوی کارشناسی ارشد گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

pourmohammadi.sorour@na.iut.ac.ir

علی لطفی *، استادیار گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

lotfi@cc.iut.ac.ir

مهرداد الرعنایی، دانشجوی دکتری گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

mehrdadranaee137166@gmail.com

چکیده

آلودگی هوا یکی از مهم‌ترین مشکلات محیط‌زیستی در شهرها، به‌ویژه شهرهای صنعتی است که هر ساله باعث بروز بیماری‌های قلبی‌عروقی و مرگ‌ومیر زیادی می‌شود. ارزیابی روند تغییرات مکانی پراکنش آلودگی هوا در مناطق دارای صنایع سنگین برای توسعه پایدار این مناطق ضروری است. با توجه به اهمیت شهرستان ماهشهر به‌عنوان یکی از قطب‌های صنعت پتروشیمی کشور، پژوهش حاضر غلظت آلاینده‌های NO_2 ، SO_2 ، O_3 و PM_{10} در مناطق مختلف ناحیه صنعتی شهرستان ماهشهر، نقشه‌سازی آنها و ارتباط این آلاینده‌ها با کاربری‌های گوناگون را بررسی می‌کند. در این مطالعه، از تصاویر ماهواره‌ای سنتینل ۲ مربوط به سال ۱۳۹۸-۱۳۹۹ و نرم‌افزار ENVI 5.3 و روش طبقه‌بندی نظارت‌شده حداکثر احتمال به منظور طبقه‌بندی کاربری پوشش اراضی استفاده شده‌است. همچنین با استفاده از روش درون‌یابی KRIGING و داده‌های ایستگاه پایش کیفیت هوا، غلظت آلاینده‌های اشاره‌شده به‌صورت فصلی در سطح منطقه پهنه‌بندی، و از تحلیل واریانس (ANOVA) برای بررسی تفاوت میان غلظت آلاینده‌ها در کاربری‌ها و فصول مختلف سال استفاده شد. نتایج نشان داد که بیشترین کاربری در معرض خطر، کاربری صنعتی و کمترین کاربری در معرض خطر، کاربری کشاورزی است. همچنین کمترین میزان غلظت آلاینده‌های مطالعه‌شده به ایستگاه سربدر مربوط است. نتایج تحلیل واریانس نیز نشان داد که از میان فصول مختلف سال‌های ۱۳۹۸ و ۱۳۹۹، پاییز و زمستان بیشترین اختلاف معنادار را دارند. نتایج این مطالعه در بازه زمانی ۱۳۹۸-۱۳۹۹، به شناسایی آلودگی هوا و ارتباط آن با تغییرات کاربری اراضی و همچنین کنترل و کاهش میزان غلظت آلاینده‌ها در منطقه مدنظر کمک می‌کند.

واژه‌های کلیدی: کاربری اراضی، سنجنش از دور، آلودگی هوا، تحلیل واریانس، حداکثر احتمال، شهرستان ماهشهر

*نویسنده مسئول

پورمحمدی، سرور، لطفی، علی الرعنایی، مهرداد. (۱۴۰۱). بررسی اثر تغییرات کاربری اراضی بر غلظت برخی از آلاینده‌ها در منطقه صنعتی ماهشهر با استفاده از تصاویر سنجنش از دور و تحلیل واریانس (ANOVA). *جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی*. ۳۳ (۴)، ۹۶-۷۹.



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)



<https://doi.org/10.22108/gep.2022.133195.1510>



20.1001.1.20085362.1401.33.4.4.8

مقدمه

آلودگی هوا یکی از مشکلات بزرگ زیست‌محیطی و اقتصادی در سراسر جهان است و مشکل حادثتری در مناطق صنعتی محسوب می‌شود. منابع متنوع آلودگی هوا اعم از متحرک، صنعتی و طبیعی و همچنین تنوع وسیع آلاینده‌های آلی و شیمیایی باعث پیچیدگی هرچه بیشتر این پدیده شده و نحوه مدیریت آلودگی هوا، کنترل و ارزیابی خسارات را دشوارتر از پیش کرده‌است (پیکان‌پور و همکاران، ۱۴۰۰: ۲۶). سازمان بهداشت جهانی (WHO) و آژانس بین‌المللی تحقیقات سرطان (IARC) آلودگی هوا را عاملی سرطان‌زا برای انسان دانسته‌اند و این در حالی است که حدود ۹۰ درصد از مردم جهان هر روز هوای آلوده و سمی تنفس می‌کنند (Yang et al., 2021, p. 15). قرار گرفتن طولانی مدت شهروندان در معرض آلودگی هوا خطر ابتلا به بیماری‌های روانی چون استرس، افسردگی، زوال عقلی، دوقطبی و اسکیزوفرنی را افزایش می‌دهد و از نظر جسمی نیز، عوارضی چون زایمان زودرس، سرطان ریه و بیماری‌های قلبی عروقی، تنفسی و مغزی را در پی دارد (Halim et al., 2020, p. 63; Jiang et al., 2021, p. 9).

آگاهی از تأثیر غلظت آلاینده‌های مختلف هوا بر کاربری‌های مناطق صنعتی و عوامل ایجادکننده آن از الزامات اولیه در برنامه‌ریزی و مدیریت سرزمین و توسعه پایدار است. موقعیت منابع آلاینده‌های مختلف هوا و کاربری اراضی از عوامل تأثیرگذار بر تولید و انتشار این آلاینده‌ها به‌شمار می‌آید. داده‌های ماهواره‌ای برای مطالعه تغییرات پوشش در کوتاه‌ترین زمان، با کمترین هزینه و بیشترین دقت به‌کار می‌رود (Kelishadi et al., 2014, p. 5). در حال حاضر، سنجش از دور بهترین روش تهیه نقشه‌های مربوط به کاربری اراضی است. داده‌های سنجش از دور به دلیل داشتن ویژگی‌هایی چون پوشش وسیع، بهنگام بودن، تکراری بودن، توان تفکیک طیفی و رادیومتریک و مکانی زیاد، فرمت رقومی و امکان پردازش رایانه‌ای قابلیت زیادی در بررسی تغییرات زمانی و مکانی کاربری اراضی دارند (Fan et al., 2007, p. 19).

با توجه به اهمیت میزان تأثیر آلاینده‌های منتشرشده در جو و کاربری اراضی به‌ویژه در نواحی صنعتی، لازم است شناختی دقیق و مؤثر در این زمینه صورت گیرد و پژوهشگران به دنبال درک ارتباط میان توزیع فضایی آلاینده‌های جو و ارتباط آن با کاربری‌های مختلف از دیدگاه جغرافیا و برنامه‌ریزی شهری باشند (Sharifi sade, 2018, p. 13). در ادامه، به بعضی از مطالعات پژوهشگران داخلی و خارجی در این زمینه اشاره می‌شود. مطالعات بسیاری درباره ارتباط میان کاربری اراضی و آلاینده‌های هوا با استفاده از روش‌های مختلفی چون تصاویر ماهواره لندست، تکنیک‌های سنجش از دور و مدل رگرسیون کاربری اراضی انجام شده‌است (یوسفی و همکاران، ۱۳۹۰: ۸؛ محمداسماعیل، ۱۳۸۹: ۸۱؛ فیضی‌زاده و همکاران، ۱۳۸۶: ۱۰). نتایج نشان داده‌است که صنایع و کارخانه‌های مجاور شهرها نقش بسزایی در آلودگی هوای منطقه دارند و از مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار بر سلامت مردم محسوب می‌شوند. همچنین موقعیت توپوگرافی و جغرافیایی شهرها و ترافیک‌های شهری از عوامل مؤثر در پراکنش آلاینده‌هاست (Ismailnejad et al., 2015, p. 13; Vahdat and Alimohammadi, 2020, p. 18; Abbaspour et al., 2014, p. 12).

بسیاری از پژوهش‌ها، مکان‌یابی نامناسب منشأ آلودگی هوا در صنایع و شهرها را عامل ایجاد وضعیت حاد آلودگی هوا می‌دانند (Sarwar and Maqbool, 2019, p. 35; Halim et al., 2020, p. 10). برای نمونه، در دو مطالعه، پژوهشگران (Han et al., 2020, p. 15; Lue et al., 2020, p. 18) دریافتند که نوع استفاده از سرزمین تأثیر بسزایی در میزان آلودگی هوای آن منطقه داشته‌است و نتایج پژوهش آنها نشان داد که توزیع فضایی آلاینده‌های PM₁₀ و PM_{2.5}

ارتباط نزدیکی با محل استقرار مناطق صنعتی تولیدکننده آلودگی هوا دارد. همچنین در مطالعه دیگری، با هدف چیدمان بهینه کاربری اراضی کشاورزی، صنعتی و شهری و با لحاظ کردن معیار آلودگی هوا، نقشه پراکنش آلاینده‌های PM_{10} و NO_x با کمک نرم‌افزار AERMOD تهیه شد و یافته‌های پژوهش نشان‌دهنده آن بود که دستیابی به توسعه پایدار گذشته از مؤلفه‌های اکولوژیکی، اقتصادی و اجتماعی، نیازمند استفاده از مؤلفه پایدار و پویا از جمله آلودگی هواست (بیکان‌پور و همکاران، ۱۴۰۰: ۲۶).

برای پهنه‌بندی غلظت آلاینده‌های هوا، روش‌های گوناگونی وجود دارد، از جمله درون‌یابی وزن‌دهی مجذور عکس فاصله (IDW)، KRIGING و توابع شعاعی پایه. در مطالعات بسیاری، پراکنش آلاینده‌های موجود در جو را با استفاده از روش‌های درون‌یابی، به‌ویژه در نواحی صنعتی، مدل‌سازی کرده‌اند که نتایج نشان‌دهنده افزایش بروز بیماری‌های قلبی و ریوی در این نواحی بود (Nadal et al., 2011, p. 12; Albanese et al., 2014, p. 19).

در سال‌های اخیر، از روش‌های درون‌یابی در تعیین میزان پراکنش غلظت آلاینده‌های هوا به‌طور گسترده استفاده شده‌است. در مطالعاتی که کیفیت هوای پاییز و زمستان در شهر تهران را با استفاده از روش‌های مختلف درون‌یابی بررسی کردند، بهترین روش برای تهیه نقشه‌های توزیع آلودگی هوا استفاده از روش درون‌یابی KRIGING بوده‌است (Seifi et al., 2021, p. 9; Tehrani et al., 2021, p. 14).

در مطالعه‌ای، از روش درون‌یابی KRIGING برای پیش‌بینی آلودگی هوا در اسپانیا استفاده شد. نتایج این مطالعه نشان داد که این روش برای درون‌یابی و تهیه نقشه‌های آلودگی هوا بسیار دقیق است (Montero et al., 2018, p. 10). در مطالعه دیگری با عنوان «تعیین تغییرات مکانی و زمانی آلاینده‌های SO_2 ، NO_2 و PM_{10} در شهر تهران» با استفاده از روش‌های درون‌یابی، برای تولید نقشه‌های کیفیت هوای حاصل از آلاینده‌های اشاره‌شده اقدام کردند. نتایج بررسی‌ها نشان داده‌است که مهم‌ترین عامل تأثیرگذار بر تغییرات آلاینده‌ها، حجم ترافیک و اماکن صنعتی است (Noorpoor et al., 2014, p. 15).

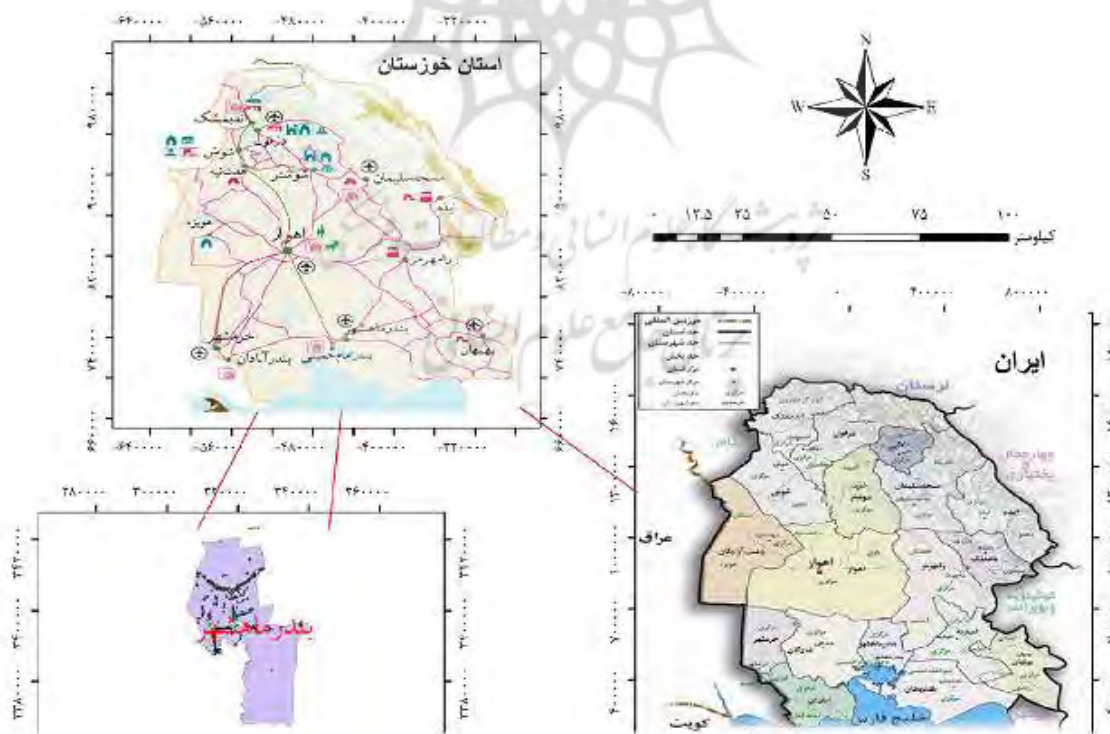
در پژوهش دیگری، با مشخص شدن غلظت مواد آلاینده موجود در جو و مناطق متأثر از این آلاینده‌ها و مقایسه نقشه GIS تهیه‌شده با نقشه کاربری اراضی منطقه، با توجه به نوع کاربری منطقه، غلظت‌های تخمین زده‌شده تجزیه و تحلیل شدند. پژوهشگران دریافتند که اختلاط این آلاینده‌ها در جو و تولید باران موجب ایجاد باران اسیدی روی خاک و تجهیزات و تأسیسات صنعتی مناطق اطراف یک پالایشگاه شده و خسارات زیادی به توسعه صنایع آن منطقه و حتی فضای سبز آنها در مقیاس کم وارد آورده‌است. بر مبنای نتایج این پژوهش، با توجه به فاصله صنایع از سواحل خلیج فارس، آلاینده‌ها تأثیر زیادی بر دریا و آبزیان نخواهد گذاشت (اسماعیل‌زاده و همکاران، ۱۳۹۲: ۱۳).

اهمیت زیاد صنایع پتروشیمی واقع در منطقه ویژه اقتصادی بندر ماهشهر و عواملی مانند همجواری با مناطق مهم و حساس شهری و مسکونی، از جمله بندر امام خمینی و ماهشهر، و کاربری‌های اطراف این ناحیه صنعتی و احتمال انتقال آلاینده‌های منتشرشده از منطقه ویژه اقتصادی ماهشهر به کاربری‌های منطقه مطالعه‌شده، لزوم توجه به مشکل کیفیت هوای این منطقه را بیش از پیش مشخص می‌سازد. پژوهش حاضر اهدافی چون بررسی غلظت آلاینده‌های PM_{10} و O_3 ، SO_2 ، NO_2 در منطقه صنعتی شهرستان ماهشهر و ارزیابی روند آلودگی هوا در ارتباط با تغییرات مکانی و زمانی و رابطه احتمالی آن با نوع کاربری اراضی را دنبال می‌کند.

منطقه مطالعه شده

شهرستان ماهشهر یکی از صنعتی‌ترین شهرستان‌های استان خوزستان به‌شمار می‌رود و شامل شهرهای ماهشهر و سربندر است. این شهرستان از لحاظ جغرافیایی بین ۴۸ درجه و ۵۴ دقیقه تا ۵۰ درجه و ۱۲ دقیقه طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ و ۳۰ درجه و ۱ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۳ دقیقه عرض شمالی از خط استوا قرار دارد. این منطقه جمعیتی برابر با ۲۷۸۰۳۷ نفر دارد (سرخیل و همکاران، ۱۳۹۷: ۱۶). حداکثر بارندگی‌های ماهانه منطقه در بهمن‌ماه و به میزان ۷۵ میلی‌متر، و میانگین بارندگی‌های سالانه منطقه برابر با ۱۸۱ میلی‌متر است. ماه‌های خشک این منطقه خرداد تا شهریور است (محمدی و رباطی، ۱۳۸۸: ۲۱).

شهرستان ماهشهر از نظر تعداد صنعت در جایگاه پنجم کشور قرار دارد و ۳/۹۵ درصد از صنایع استان خوزستان را شامل می‌شود. کمیت صنایع این منطقه مانند پتروشیمی و غذایی، این شهرستان را به یکی از قطب‌های صنعتی کشور بدل کرده، اما از نظر جنبه‌های محیط‌زیستی، آن را در موقعیتی بسیار آلوده قرار داده است (ملماسی و همکاران، ۱۳۸۹: ۸). منطقه ویژه اقتصادی ماهشهر در محدوده ای به وسعت ۲۸۵۰ هکتار در جنوب غربی ایران و ساحل خلیج فارس واقع در شهرستان ماهشهر، بخش بندر امام خمینی (ره) قرار گرفته است. در حال حاضر، ۲۱ مجتمع تولیدی با ظرفیت ۲۶ میلیون تن محصول پتروشیمیایی در این منطقه طراحی و احداث شده است. واحدهای صنعتی شامل واحدهای شیمیایی، پتروشیمی، فلزی، کانی غیرفلزی، غذایی، نساجی و سلولزی هستند که تنوع چشمگیری دارند، اما از سویی، موجب تولید و انتشار آلاینده‌هایی از قبیل SO_2 ، NO_2 و O_3 می‌شوند (کیلان، ۱۳۹۲: ۸۷). شکل ۱ نشان‌دهنده موقعیت جغرافیایی شهرستان ماهشهر در استان خوزستان است.

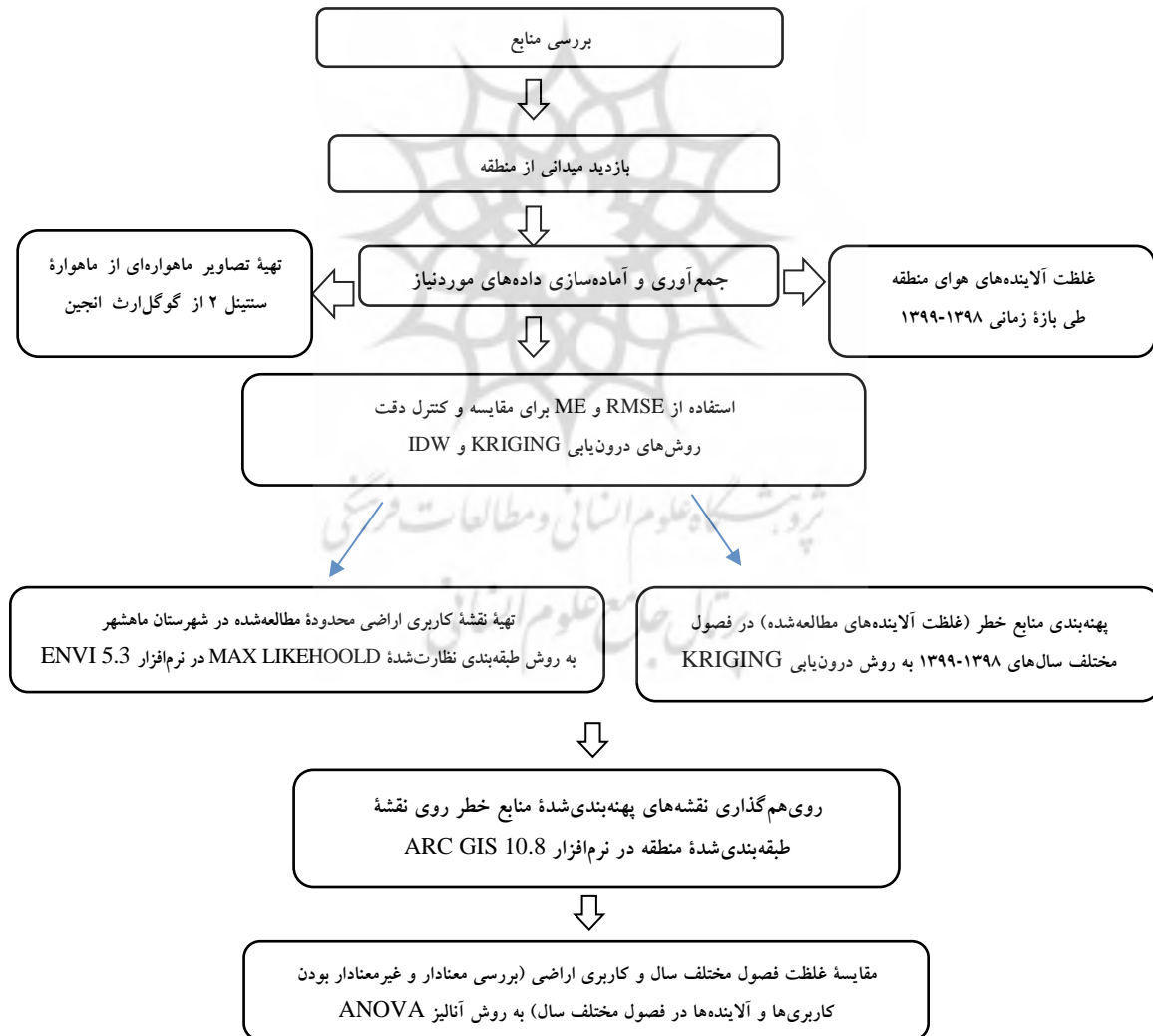


شکل ۱- موقعیت شهرستان ماهشهر در استان خوزستان (نویسندگان، ۱۴۰۱)

Figure 1- Location of Mahshahr county in Khuzestan province (Authors, 2022)

روش پژوهش و گردآوری داده‌ها

مراحل انجام کار در این پژوهش در مدل مفهومی شکل ۲ آورده شده است. پژوهش حاضر کاربردی و از نظر شیوه گردآوری داده‌ها، توصیفی تحلیلی است. برای دستیابی به هدف نهایی پژوهش، ابتدا تصاویر ماهواره‌ای (قدرت تفکیک مکانی ۱۰ متر) از ماهواره سنتینل ۲ با پوشش ابر کمتر از ۵ درصد از سامانه گوگل ارث انجین و طی بازه زمانی ۱۳۹۸-۱۳۹۹ به صورت تصحیح شده دریافت، و همچنین از باندهای ۲، ۳ و ۸ برای وضوح بصری و تهیه تصویر رنگی کاذب استفاده شد. در ادامه، برای طبقه‌بندی تصاویر، از طبقه‌بندی نظارت‌شده حداکثر احتمال در نرم‌افزار ENVI5.3 استفاده شد (López-Serrano et al., 2016, p. 19). در مرحله بعد، داده‌های آلاینده‌های هشت ایستگاه واقع در شهرستان ماهشهر شامل یک ایستگاه ثابت در ناحیه ۱ منطقه ویژه اقتصادی ماهشهر، ۵ ایستگاه سیار در نواحی صنایع پتروشیمی بوعلی، تصفیه‌خانه فجر ۲، تخت جمشید، ضلع جنوبی فناوران و تندگویان واقع در منطقه ویژه اقتصادی ماهشهر، یک ایستگاه ثابت واقع در شهرداری بندر امام خمینی و یک ایستگاه ثابت واقع در اداره محیط‌زیست شهر ماهشهر بررسی شده است.



شکل ۲- مدل مفهومی کلی روش پژوهش (نویسندگان، ۱۴۰۱)

Figure 2- Conceptual Model of the Method (Authors, 2022)

تهیه نقشه آلاینده‌های هوا و پهنه‌بندی منطقه

پارامترهای آلاینده بررسی شده در این پژوهش PM_{10} و O_3 ، SO_2 ، NO_2 هستند که با استفاده از مدل درون‌یابی KRIGING در نرم‌افزار ARCGIS 10.8 در سطح شهرستان ماهشهر پهنه‌بندی شدند. برای مقایسه و کنترل دقت روش‌های درون‌یابی، از ریشه میانگین مربع خطا (RMSE) و میانگین خطا (ME) استفاده شد. ME معیاری از صحت مدل و مقدار صفر آن نشان‌دهنده صحت صددرصد است. هر قدر مقدار آن از صفر فاصله داشته باشد، حاکی از کم شدن صحت مدل است. RMSE معیاری از صحت تخمین است و هر اندازه RMSE یک متغیر کوچک‌تر باشد، صحت آن بیشتر خواهد بود. در زیر، فرمول‌های مربوط به ME و RMSE مشاهده می‌شود که در آنها، مقدار برآوردشده شاخص مخروطی، $Z(x_i)$ مقدار اندازه‌گیری شده متغیر شاخص مخروط و n تعداد داده‌هاست (Seifi et al., 2021, p. 9).

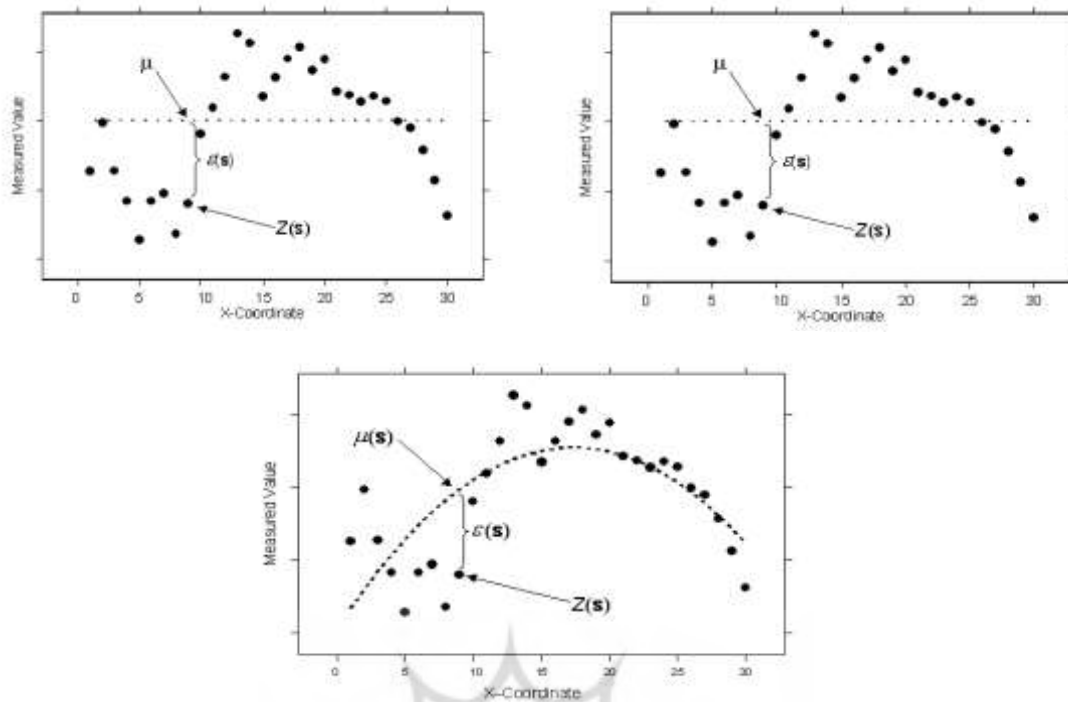
$$ME = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |Z^*(x_i) - Z(x_i)| \quad (1)$$

$$RMSE = \frac{\sum_{i=1}^n \sqrt{((Z^*(x_i) - Z(x_i))^2)}}{n} \quad (2)$$

روش KRIGING، یک روش تخمین زمین‌شناسی و درون‌یابی است که می‌تواند برآورد خطی و واریانس را در مکان نامعلوم ارائه دهد (Yu et al., 2018, p. 9). این روش زمین‌آماري براساس میانگین موزون متحرک است و می‌تواند به صورت زیر بیان شود:

$$\hat{Z}(s_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z(s_i) \quad (3)$$

در جایی که Z مقدار تخمینی است، λ_i وزن نمونه i است و $Z(s_i)$ مقدار متغیر اندازه‌گیری شده است. این نوع کریجینگ را «کریجینگ خطی» می‌نامند. زیرا n عدد داده وجود دارد که شرط استفاده از آنها با ترکیب خطی توزیع نرمال مطابقت دارد؛ در غیر این صورت یا باید از کریجینگ غیرخطی استفاده شود یا متغیرها به‌طور معمول توزیع شوند (Xu et al., 2019, p. 10; Qiao et al., 2018, p. 9). در زیر، اشکال مختلف KRIGING در ARCGIS به صورت شماتیک آورده شده است.



شکل ۳- نحوه عملکرد انواع KRIGING در نرم افزار ARCGIS (طالبی فرد و همکاران، ۱۴۰۰: ۱۶)
Figure 3- Performance of KRIGING types in ARCGIS software (Talebifard et al., 2021, p. 16)

تهیه نقشه کاربری اراضی

طبقه بندی پیکسل های برداشت شده از سنجنده ماهواره سنتینل ۲ به کمک روش نظارت شده حداکثر احتمال گزینه مناسبی برای مطالعات و بررسی کاربری اراضی، تغییرات آن در بستر زمان و مدل سازی تغییرات محیط زیستی است (حمایتی نژاد و رجایی، ۱۳۹۲: ۱۶). طبقه بندی نظارت شده مقداری از داده ها را که معمولاً می تواند شامل ویژگی ها، توصیف ها، متغیرها یا اندازه گیری ها باشد، به مثابه نمونه تعلیمی در نظر می گیرد و براساس آنها، بقیه اطلاعات را در گروه های مجزایی قرار می دهد (Fan et al., 2007, p. 19). در این مطالعه، هفت کلاس کاربری اراضی به مثابه کلاس های غالب منطقه در نظر گرفته شده است. از هر یک از کلاس ها، حداقل ۱۵۰ و حداکثر ۲۰۰ نمونه تعلیمی برای طبقه بندی تصاویر جمع آوری شد (Akbari et al., 2016, p. 15). برای افزایش دقت نمونه ها، تلاش شده است که نمونه های انتخابی از مناطق با شیب و ارتفاع متفاوت جمع آوری شود (یوسفی و همکاران، ۱۳۹۰: ۱۳). در این روش، احتمال تعلق یک پیکسل مشخص به یک کلاس مدنظر براساس معادله زیر محاسبه می شود:

$$g_i(x) = \ln p(w_i) - 1/2 \ln |\Sigma_i| - 1/2 (x - m_i)^T \Sigma_i^{-1} (x - m_i) \quad (4)$$

در رابطه بالا، i نشان دهنده هر کلاس کاربری و x داده n بعدی (تعداد باندها) است، $p(w_i)$ احتمال اینکه w_i در تصویر وجود داشته باشد را محاسبه می کند که فرض می شود مقدار آن در تمامی کلاس ها یکسان است، $|\Sigma_i|$ دترمینان ماتریس کوواریانس داده ها در کلاس w_i ، Σ_i ماتریس معکوس آن و m_i بردار میانگین است. هزینه بر بودن

عملیات‌های میدانی باعث می‌شود که داده‌های سنجش از دور با اقبال بسیار زیادی همراه باشد و در زمینه‌های مختلف به‌کار رود. این نرم‌افزار با توجه به قابلیت زیاد و به‌روز بودن آن، در این زمینه می‌تواند بسیار مفید واقع شود (Fan et al., 2007, p. 19). برای ارزیابی صحت نتایج طبقه‌بندی‌شده، نقشه تولیدی با نقشه واقعی زمینی از طریق GOOGLE EARTH بررسی شد. همچنین برای مشخص کردن صحت طبقه‌بندی از تحلیل واریانس (ANOVA) استفاده شد. GOOGLE EARTH ENGINING از انواع داده‌های ماهواره‌ای پرکاربرد امروزی که به‌صورت رایگان عرضه می‌شود، پشتیبانی می‌کند. برای نمونه، تمامی تصاویر ماهواره‌ای لندست، سنتینل، استر و مادیس در این سامانه قابل استفاده و پردازش است. همچنین به پژوهشگران و کاربران اجازه می‌دهد به‌طور هم‌زمان، داده‌های جغرافیایی سری زمانی را به روشی ساده و سریع پردازش و تجزیه و تحلیل کنند (Tehrani et al., 2021, p. 14).

تحلیل واریانس (ANOVA)

ANOVA مجموعه‌ای از مدل‌های آماری است که میانگین در گروه‌ها و توابع وابسته به آنها (مثل واریانس در یک گروه یا بین چند گروه) را بررسی می‌کند. در این روش، واریانس به‌دست آمده از یک متغیر تصادفی به اجزای کوچک‌تری که منابع واریانس هستند، تقسیم می‌شود. در ساده‌ترین شکل آن، ANOVA آزمونی آماری را فراهم می‌کند که برابری میانگین‌های گروه‌های متفاوت را می‌آزماید، ولی گروه‌هایی را که با هم تفاوت داشته‌اند مشخص نمی‌کند. بنابراین برای پی بردن به گروه‌های متفاوت از آزمون توکی استفاده شد. در این آزمون، تمام اختلاف میانگین‌ها بدون توجه به مقدار میانگین‌های مورد مقایسه با یک مقدار ثابت مقایسه می‌شوند و دو میانگینی با هم تفاوت معنادار دارند که میزان اختلافشان بیشتر از میزان ثابت محاسبه شده شود. متغیر پاسخ باید از نوع کمی و با مقیاس فاصله‌ای یا نسبی اندازه‌گیری شده، و متغیر مستقل باید از نوع کیفی، شامل حداقل دو سطح یا دو نوع مقدار، باشد. توزیع داده‌های متغیر کمی در هر سطح از متغیر کیفی (گروه یا تیمارها) باید نرمال باشد. میان متغیرها باید همگنی وجود داشته باشد که این همگنی با آزمون‌هایی مانند F هارتلی و آزمون لون قابل سنجش است (انتخاب یک نمونه به انتخاب‌های دیگر وابسته نباشد) (رضایی و همکاران، ۱۳۹۱: ۱۱).

اهداف ANOVA شامل آزمون تفاوت آماری میانگین یک متغیر پیوسته در بین دو گروه یا بیشتر، آزمون تفاوت آماری میانگین یک متغیر پیوسته در دو یا چند بازه زمانی و آزمون تفاوت آماری میانگین یک متغیر پیوسته در بین دو یا چند تیمار است (جوان‌بخت امیری و خاتمی، ۱۳۸۴: ۱۳).

یافته‌های پژوهش

با توجه به نتایج جدول ۱، مقدار RMSE در روش KRIGING کمتر از روش IDW بود. این نشان‌دهنده مناسب بودن روش KRIGING به جای IDW است. مقدار RMSE کمتر در روش درون‌یابی نشان‌دهنده بهینه‌سازی آن است. نتایج بعضی از مطالعات مشابه دیگر نشان داده‌است که در بیشتر موارد، روش‌های زمین‌آمار برای مدل‌سازی آلاینده‌های هوا بهتر از روش‌های قطعی است (Yu et al., 2018; Qiao et al., 2018; seifi et al., 2021).

جدول ۱- مقایسه روش‌های KRIGING و IDW (نویسندگان، ۱۴۰۱)

Table 1- Comparison between KRIGING and IDW methods (Authors, 2022)

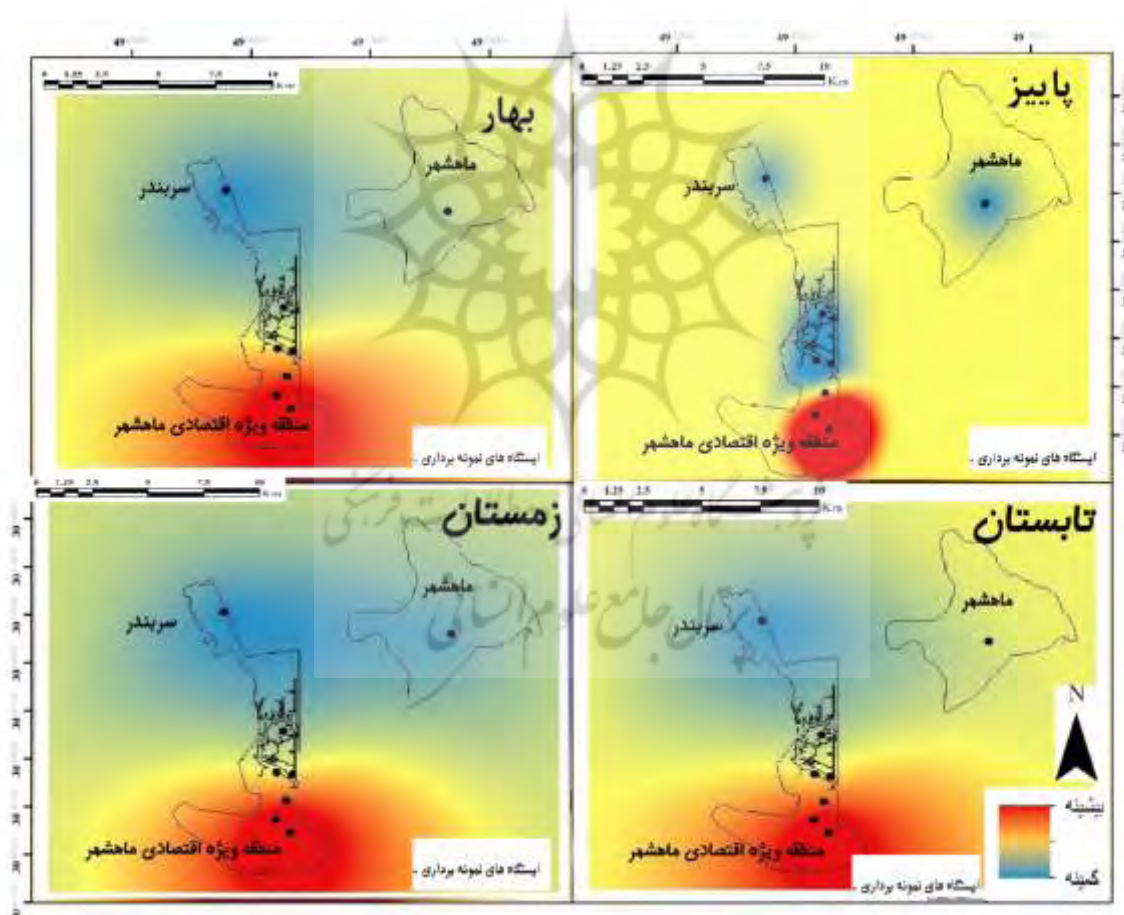
استاندارد ME	استاندارد RMSE	ME	RMSE	روش‌های درون‌یابی
-	-	۰/۶۷	۷/۲۷	IDW
۳/۲۴	۰/۹۸	۱/۲۳	۰/۴۸	KRIGING

نتایج میانگین غلظت آلاینده‌های مطالعه‌شده طی فصول مختلف سال‌های مدنظر که با روش روی هم‌گذاری FUZZY OVERLAY انجام شده‌است (Nadal et al., 2012, p. 19) نشان می‌دهد که بیشترین غلظت آلاینده‌های فصول مختلف در سال‌های مدنظر به منطقه صنعتی (ایستگاه‌های ۱، ۲، ۳، ۴ و ۵ در منطقه ویژه اقتصادی ماهشهر) و کمترین غلظت به منطقه مسکونی سربندر (ایستگاه ۷) مربوط است. همچنین منطقه مسکونی ماهشهر (ایستگاه ۶) نسبت به بندر امام خمینی به دلیل نزدیک‌تر بودن به منطقه ویژه اقتصادی ماهشهر، غلظت بیشتری از آلاینده‌ها را دارد. در جدول ۲، میانگین غلظت فصول مختلف آلاینده‌های NO_2 ، SO_2 ، O_3 و PM_{10} ، و همچنین نقشه پهنه‌بندی شده با روش درون‌یابی KRIGING طی سال‌های ۱۳۹۸-۱۳۹۹ مشاهده می‌شود.

جدول ۲- میانگین غلظت فصول مختلف آلاینده‌های NO_2 ، SO_2 ، O_3 و PM_{10} طی سال‌های ۱۳۹۸-۱۳۹۹ (نویسندگان، ۱۴۰۱)Table 2- Average concentration of different seasons of NO_2 ، SO_2 ، O_3 and PM_{10} pollutants during 2019-2020 (Authors, 2022)

O_3 (ppb)	SO_2 (ppb)	NO_2 (ppb)	PM_{10} (mg/m^3)	ایستگاه
۱۹/۵۳	۳/۵۹	۱۸/۳	۳۵	ثابت- بهار
۱۸/۲۶	۳/۵۶	۹/۹۳	۲۶/۱۶	ثابت منطقه ویژه- تابستان
۴۱/۶	۴/۲	۱۵/۶	۳۶/۷۶	ثابت منطقه ویژه- پاییز
۷۸/۲۶	۴/۵۳	۲۱/۴۲	۶۲/۸	ثابت منطقه ویژه- زمستان
۲۲/۸۹	۳/۵۲	۱۴/۹	۶۶/۶	متحرک منطقه ویژه ۱- بهار
۱۸/۲۹	۴/۴	۸/۹	۲۷/۱	متحرک منطقه ویژه ۱- تابستان
۵۱/۵۱	۵/۱۵	۵/۸	۳۹/۶۵	متحرک منطقه ویژه ۱- پاییز
۸۸/۱۹	۵/۵۷	۱۵/۵	۶۳/۴۵	متحرک منطقه ویژه ۱- زمستان
۳۵/۵۴	۳/۶۳	۱۲/۹	۳۳/۲۱	متحرک منطقه ویژه ۲- بهار
۲۶/۴۵	۴/۸	۹/۵	۲۷/۳۵	متحرک منطقه ویژه ۲- تابستان
۴۲/۱۵	۵/۸	۶/۶	۶۳/۱۴	متحرک منطقه ویژه ۲- پاییز
۷۴/۸۱	۷/۱	۱۰/۷	۱۴۷/۵۵	متحرک منطقه ویژه ۲- زمستان
۹۳/۳	۷/۵	۱۵/۳	۶۶/۶	متحرک منطقه ویژه ۳- بهار
۵۴/۱۶	۷/۶	۹/۱	۲۷/۹۸	متحرک منطقه ویژه ۳- تابستان
۴۸/۱۹	۷/۶	۱۰/۲	۴۱/۱۵	متحرک منطقه ویژه ۳- پاییز
۸۷/۱۵	۷/۸	۱۴/۵	۱۴۸/۱۱	متحرک منطقه ویژه ۳- زمستان
۹۹/۴۵	۷/۹	۱۷/۲	۶۸/۱۵	متحرک منطقه ویژه ۴- بهار
۹۵/۳۶	۷/۹	۱۶/۵۶	۵۴/۱۶	متحرک منطقه ویژه ۴- تابستان
۵۶/۷۴	۹/۵	۱۲/۶	۶۸/۱۵	متحرک منطقه ویژه ۴- پاییز

۹۴/۷۵	۱۰/۱	۱۷/۱	۱۴۹/۵۴	متحرک منطقه ویژه ۴- زمستان
۹۹/۷۸	۱۵/۶	۳۸/۵	۶۸/۱۹	متحرک منطقه ویژه ۵- بهار
۹۲/۸	۱۵/۵	۳۶/۵	۲۹/۷	متحرک منطقه ویژه ۵- تابستان
۸۶/۷۳	۱۹/۹	۲۷/۶	۵۰/۲۰	متحرک منطقه ویژه ۵- پاییز
۹۵/۵	۲۲/۸	۲۵/۸	۱۵۵/۲۱	متحرک منطقه ویژه ۵- زمستان
۱۸/۵۴	۲/۲۴	۶/۷۶	۱۲۳/۲۸	سریندر- بهار
۱۷/۴۶	۲/۳۲	۵/۸۲	۱۲۹/۹۸	سریندر- تابستان
۲۳/۸۷	۵/۵۴	۱۱/۶۷	۱۱۹/۵۴	سریندر- پاییز
۳۳/۵	۵/۳۷	۹/۲۱	۱۱۱/۹۸	سریندر- زمستان
۲۴/۵۷	۴/۸۳	۵/۶	۱۱۷/۹۲	ماهشهر- بهار
۲۲/۶۷	۶/۱	۱۵/۸۵	۱۱۵/۹۵	ماهشهر- تابستان
۴۵/۱۵	۵/۲۴	۸/۵۹	۱۲۰/۱۸	ماهشهر- پاییز
۵۵/۶۹	۶/۲	۷۱/۶	۱۱۴/۱۱	ماهشهر- زمستان

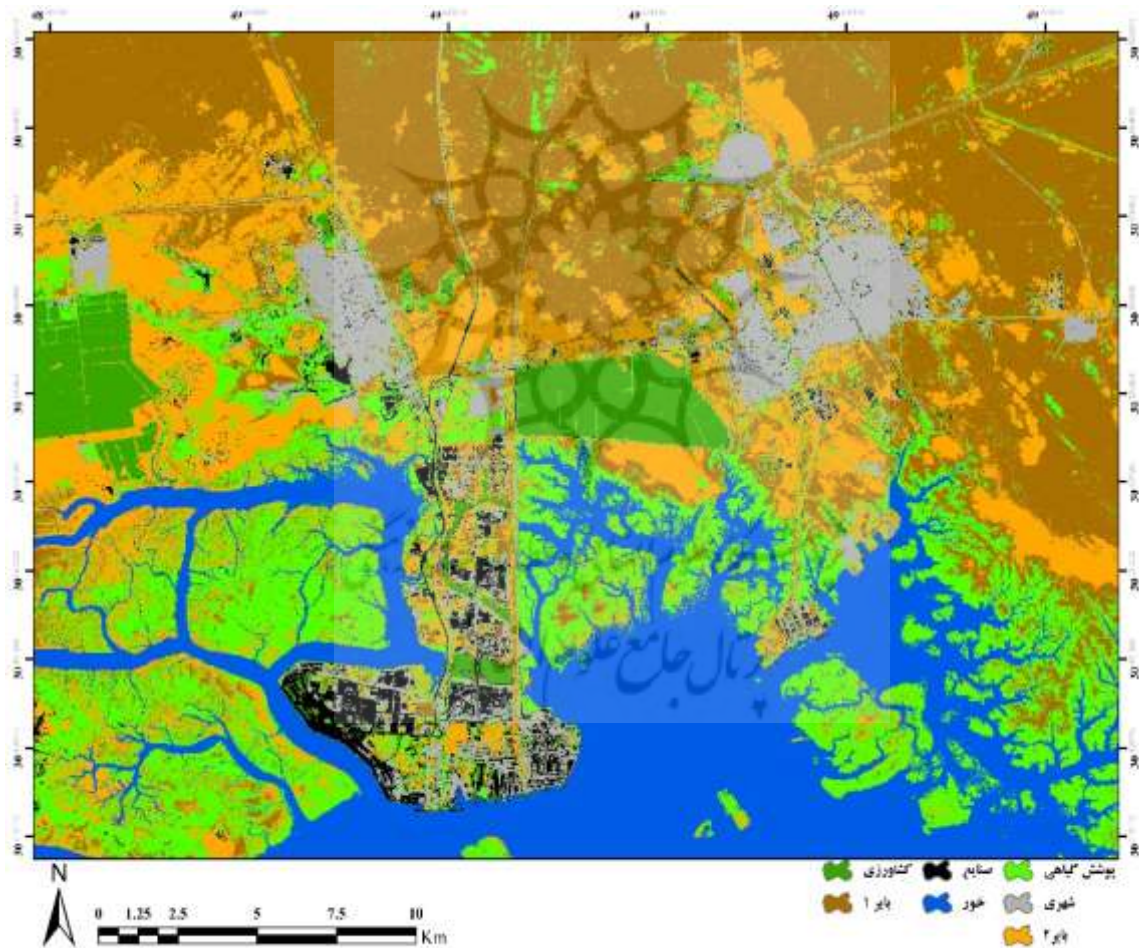


شکل ۴- پهنه‌بندی میانگین غلظت فصول مختلف سال شهرستان ماهشهر

با استفاده از روش KRIGING طی بازه زمانی ۱۳۹۸-۱۳۹۹ (نویسندگان، ۱۴۰۱)

Figure 4- Zoning the average concentration of different seasons in Mahshahr county using KRIGING method during the period 2019-2020 (Authors, 2022)

نتایج نقشه طبقه‌بندی شده کاربری اراضی منطقه مدنظر که به روش حداکثر احتمال در نرم‌افزار ENVI 5.3 تهیه شده است، نشان می‌دهد که میزان آلاینده‌های مدنظر در کاربری‌های منطقه شامل هفت طبقه کاربری اراضی، مناطق مسکونی، ناحیه صنعتی، خورها، مناطق بایر ۱ و ۲ (شامل زمین‌های بدون استفاده و شورزار که به دلیل بازتاب‌های بسیار زیاد و به منظور افزایش صحت طبقه‌بندی، این قسمت به دو زیرطبقه بایر ۱ و ۲ تقسیم می‌شود)، پوشش گیاهی و زمین‌های کشاورزی است. در فصول پاییز و زمستان، حداکثر غلظت آلاینده‌ها در کاربری‌های یادشده دیده می‌شود. همچنین نتایج مطالعه نشان می‌دهد که از نظر میزان تأثیرپذیری کاربری‌های منطقه مطالعه شده از آلاینده‌های منتشرشده در جو، کاربری صنعتی منطقه ویژه اقتصادی ماهشهر بیشترین تأثیرپذیری و کاربری کشاورزی (کشت آبی متناوب و محصولاتی از قبیل گندم، جو، حبوبات، صیفی جات و سبزیجات با تناوب آبیاری هفتگی است) کمترین تأثیرپذیری را دارد. شکل زیر نقشه طبقه‌بندی شده کاربری‌های شهرستان ماهشهر به روش حداکثر احتمال در نرم‌افزار ENVI 5.3 را طی بازه زمانی ۱۳۹۸-۱۳۹۹ نشان می‌دهد.



شکل ۵- نقشه طبقه‌بندی شده کاربری‌های شهرستان ماهشهر به روش حداکثر احتمال در نرم‌افزار ENVI 5.3

طی بازه زمانی ۱۳۹۸-۱۳۹۹ (نویسندگان، ۱۴۰۱)

Figure 5- Classified map of Mahshahr county uses by maximum likelihood method in ENVI 5.3 software in the period 2019-2020 (Authors, 2022)

همچنین با اضافه کردن نقشه پهنه‌بندی شده میانگین غلظت آلاینده‌های مدنظر به نقشه طبقه‌بندی شده کاربری اراضی، میانگین غلظت سالیانه آلاینده‌های اشاره شده که با FUZZY OVERLAY و تابع AND در ARC GIS 10.8 روی هم گذاری شده، در سال‌های مدنظر و برای هر طبقه کاربری مشخص شده به دست آمد (Nadal et al., 2011: 19; Xu et al., 2019: 19). روی هم گذاری با منطق AND، به شناسایی مکان‌های بحرانی که تمامی آلاینده‌های بررسی شده غلظتی فراتر از استاندارد دارند و در نتیجه مشخص کردن فضاهایی با ظرفیت ایجاد آثار سینرژیک آلاینده‌ها کمک می‌کند (7; Kuo et al., 2013: 14; Fallah Sourki et al., 2016: 14). جدول ۳ نشان‌دهنده میانگین غلظت سالیانه آلاینده‌های مطالعه شده در هفت طبقه کاربری مشخص شده منطقه مطالعه شده است.

جدول ۳- میانگین غلظت سالیانه روی هم گذاری شده با FUZZY OVERLAY و تابع AND در ARCGIS10.8

آلاینده‌های SO_2 ، NO_2 ، O_3 و PM_{10} در کاربری‌های اراضی شهرستان ماهشهر طی بازه زمانی ۱۳۹۸-۱۳۹۹ (نویسندگان، ۱۴۰۱)

Table 3- Mean annual concentration of zinc coated with FUZZY OVERLAY and AND function in ARCGIS10.8 SO_2 ، NO_2 ، O_3 ، PM_{10} pollutants in land uses of Mahshahr county during the period 2019-2020 (Authors, 2022)

کد	کلاس پوشش اراضی	مساحت هر کاربری به هکتار	نوع کاربری	میانگین غلظت سالیانه روی هم گذاری شده با FUZZY OVERLAY
۱	کشاورزی	۱۲۶۶۱	زمین‌های کشاورزی	۶/۶۷۱
۲	اراضی بایر ۱	۷۷۵	زمین‌های برهنه و اراضی دارای پوشش گیاهی کمتر از ۲۰ درصد	۶/۸۹۷
۳	صنعت	۲۸۵۰	صنایع پتروشیمی و کارخانه‌ها	۷/۱۷۰
۴	خور	۵۹۱	مناطق آب	۶/۹۸۹
۵	اراضی بایر ۲	۱۲۱۱۹	شوره‌زار	۶/۸۵۶
۶	شهر	۲۷۱۳	منازل مسکونی و زمین‌های ساخته شده تجاری، اداری و ...	۶/۷۸۱
۷	پوشش گیاهی	۴۴۵	چمن‌های سبز شهری، پارک‌های حاشیه‌ای	۶/۸۵۳

ارزیابی رابطه غلظت آلاینده‌ها با کاربری اراضی و فصول مختلف سال

برای برآورد دقت طبقه‌بندی از آزمون تحلیل واریانس (ANOVA) استفاده شد. با توجه به نتایج به دست آمده از این آزمون، مشخص شده است که میان کاربری‌های مطالعه شده رابطه معناداری وجود ندارد و تمامی کاربری‌ها به صورت یکسان در معرض آلاینده‌های منتشر شده در جو هستند، اما میان فصول مختلف سال طی بازه زمانی

۱۳۹۸-۱۳۹۹ اختلاف معناداری مشاهده شده است. جدول ۴ نشان‌دهنده مقایسه ارتباط معنادار آلاینده‌های اشاره شده با فصول مختلف سال با روش تحلیل واریانس ANOVA است (اعداد کمتر از ۰۰۵ با علامت * نشان داده شده است که وجود ارتباط معنادار میان فصول مختلف طی سال‌های مدنظر را نشان می‌دهد) (رضایی و همکاران، ۱۳۹۱: ۱۱).
 جدول ۴- مقایسه میانگین غلظت آلاینده‌های NO_2 ، SO_2 ، O_3 و PM_{10} در فصول مختلف سال‌های ۱۳۹۸-۱۳۹۹ با روش آماری تحلیل واریانس ANOVA (نویسندگان، ۱۴۰۱)

Table 4- Comparison of average concentrations of NO_2 , SO_2 , O_3 and PM_{10} pollutants in different seasons of 2019-2020 by ANOVA analysis of variance (Authors, 2022)

P VALUE (NO_2)	P VALUE (SO_2)	P VALUE (O_3)	PVALUE (PM_{10})	مقایسه فصول مختلف
۱	۱	۱	۱	پاییز ۱۳۹۸-پاییز ۱۳۹۹
۰,۱۱	۰,۲۹	۰,۰۵	۰,۰۵	پاییز ۱۳۹۸-بهار ۱۳۹۸
۰,۰۷	۰,۰۶	۰,۰۲*	۰,۰۳	پاییز ۱۳۹۹-بهار ۱۳۹۸
۰,۰۴۶	۱	۰,۰۴	۰,۰۸	پاییز ۱۳۹۸-بهار ۱۳۹۹
۰,۰۰۴*	۰,۰۰۸	۰,۰۱	۰,۰۶	پاییز ۱۳۹۹-بهار ۱۳۹۹
۱	۱	۱	۱	بهار ۱۳۹۸-بهار ۱۳۹۹
۱	۱	۰,۰۴	۱	پاییز ۱۳۹۸-تابستان ۱۳۹۸
۰,۰۲	۰,۰۰۴*	۰,۰۲	۱	پاییز ۱۳۹۹-تابستان ۱۳۹۸
۱	۱	۱	۱	بهار ۱۳۹۸-تابستان ۱۳۹۸
۱	۱	۱	۱	بهار ۱۳۹۹-تابستان ۱۳۹۸
۱	۱	۰,۰۸	۱	پاییز ۱۳۹۸-تابستان ۱۳۹۹
۰,۰۱۸	۱	۰,۰۴	۱	پاییز ۱۳۹۹-تابستان ۱۳۹۹
۱	۰,۰۰۱*	۱	۱	بهار ۱۳۹۸-تابستان ۱۳۹۹
۱	۰,۰۱	۱	۱	بهار ۱۳۹۹-تابستان ۱۳۹۹
۱	۰,۰۸	۱	۱	تابستان ۱۳۹۸-تابستان ۱۳۹۹
۱	۰,۰۲	۱	۰,۰۴	پاییز ۱۳۹۸-زمستان ۱۳۹۸
۱	۱	۱	۰,۰۷	پاییز ۱۳۹۹-زمستان ۱۳۹۸
۰,۰۰۱*	۳,۰۸	۰,۰۰۱*	۰,۰۰۳*	بهار ۱۳۹۸-زمستان ۱۳۹۸
۰,۰۰۱*	۰,۰۰۱*	۰,۰۰۲*	۰,۰۰۱*	بهار ۱۳۹۹-زمستان ۱۳۹۸
۰,۰۰۱*	۰,۰۰۱*	۰,۰۰۲*	۰,۰۰۸	تابستان ۱۳۹۸-زمستان ۱۳۹۸
۰,۰۰۹	۱	۰,۰۰۶	۰,۰۰۱*	تابستان ۱۳۹۹-زمستان ۱۳۹۸
۰,۰۳	۰,۰۰۲*	۰,۰۰۸	۰,۰۳۶	پاییز ۱۳۹۸-زمستان ۱۳۹۹
۱	۰,۰۶	۱	۰,۰۵۴	پاییز ۱۳۹۹-زمستان ۱۳۹۹
۱,۰۰۴	۵,۰۶	۲,۰۸	۰,۰۰۲*	بهار ۱۳۹۸-زمستان ۱۳۹۹
۰,۰۰۱*	۳,۰۵	۰,۰۰۶	۰,۰۰۶	بهار ۱۳۹۹-زمستان ۱۳۹۹
۰,۰۰۱*	۰,۰۰۵	۰,۰۰۸	۰,۰۰۵	تابستان ۱۳۹۸-زمستان ۱۳۹۹
۰,۰۰۱*	۰,۰۳	۰,۰۰۲*	۰,۰۰۹	تابستان ۱۳۹۹-زمستان ۱۳۹۹
۱	۱	۱	۱	زمستان ۱۳۹۹-زمستان ۱۳۹۹

با توجه به نتایج مقایسه میانگین غلظت فصول مختلف سال‌های مدنظر با آزمون ANOVA مشخص شده‌است که آلاینده‌های NO_2 و O_3 در فصول بهار ۱۳۹۸ و پاییز ۱۳۹۹، تابستان ۱۳۹۹ و زمستان ۱۳۹۸، بهار ۱۳۹۹ و تابستان ۱۳۹۸ و بهار ۱۳۹۹ و زمستان ۱۳۹۹ اختلاف معنادار دارند. آلاینده SO_2 در فصول پاییز ۱۳۹۸ و زمستان ۱۳۹۹، بهار ۱۳۹۹ و تابستان ۱۳۹۸، بهار ۱۳۹۹ و تابستان ۱۳۹۸، بهار ۱۳۹۹ و زمستان ۱۳۹۹ و تابستان ۱۳۹۹ اختلاف معنادار دارند. همچنین آلاینده PM_{10} در فصول بهار ۱۳۹۸ و زمستان ۱۳۹۹ و تابستان ۱۳۹۹ و زمستان ۱۳۹۹ اختلاف معنادار دارند. همچنین به‌طور کلی می‌توان گفت که میان فصول مختلف سال در سال‌های مطالعه‌شده، فصول پاییز و زمستان در سال‌های ۱۳۹۸-۱۳۹۹ بیشترین اختلاف معنادار را دارند.

نتیجه‌گیری

آلودگی هوا یک مشکل محیط‌زیستی جهانی است که بسیاری از شهرهای جهان را تحت تأثیر قرار داده‌است. آلودگی در مناطق صنعتی و ساحلی از منابع مختلفی چون حمل‌ونقل بنادر، کشتیرانی، تجهیزات بارگیری و تخلیه بار و دیگر منابع ساکن و متحرک وارد جو می‌شود و بر سلامت مردم و کاربری اراضی اطراف تأثیر می‌گذارد (اشرفی و همکاران، ۱۳۹۱: ۱۱). الگوهای پوشش زمین و کاربری اراضی در طول زمان دگرگونی اساسی می‌یابند و عوامل انسانی می‌تواند بیشترین نقش را در این زمینه داشته باشد (رسولی، ۱۳۸۷: ۹). از عوامل دیگری که بر کاربری‌های زمین تأثیر می‌گذارد، صنایع و کارخانه‌ها و همچنین افزایش جمعیت و مساحت اراضی مسکونی (به‌ویژه در مناطق صنعتی که به دلیل انتقال اشتغال، جاذب جمعیت هستند) است.

شهرستان ماهشهر یکی از قطب‌های صنعتی کشور محسوب می‌شود که آلاینده‌های صنعتی آن بر سلامت ساکنان مجاور و کاربری‌های اطراف بسیار تأثیرگذار است (کیلان، ۱۳۹۲: ۸۷). بر این اساس، مطالعه حاضر با هدف بررسی غلظت آلاینده‌های PM_{10} ، O_3 ، SO_2 و NO_2 در مناطق مختلف شهرستان ماهشهر و تأثیر میزان غلظت آلاینده‌های یادشده بر کاربری اراضی منطقه مطالعه‌شده انجام شد. برای بررسی معنادار بودن و نبودن نتایج، از آزمون تحلیل واریانس ANOVA استفاده شد.

نتایج مقایسه و کنترل دقت روش‌های درونیابی از ریشه میانگین مربع خطا (RMSE) و میانگین خطا (ME) نشان‌دهنده آن بود که KRIGING بهترین روش برای برآورد غلظت آلاینده‌های NO_2 ، SO_2 ، O_3 و PM_{10} است (Seifi et al., 2021, p. 9; Shi et al., 2019, p. 7; Masroor et al., 2020, p. 9; Metia et al., 2020, p. 4). می‌توان نتیجه گرفت که بیشترین غلظت آلاینده‌های O_3 ، PM_{10} ، NO_2 و SO_2 به ایستگاه منطقه ویژه اقتصادی ماهشهر و کمترین غلظت آلاینده‌ها به ایستگاه بندر امام خمینی مربوط است. زیاد بودن میزان غلظت آلاینده‌ها در ایستگاه منطقه ویژه اقتصادی ماهشهر به دلیل وجود صنایع پتروشیمی متعدد واقع در این مکان و تولید و انتشار زیاد این آلاینده‌ها در جو است که بر دیگر نقاط منطقه مدنظر نیز تأثیر می‌گذارد (کیلان، ۱۳۹۲: ۸۷؛ اشرفی و همکاران، ۱۳۹۱: ۱۱). ایستگاه مسکونی ماهشهر به دلیل نزدیک‌تر بودن منطقه ویژه اقتصادی ماهشهر نسبت به بندر امام خمینی، بیشتر تحت تأثیر آلاینده‌ها قرار می‌گیرد و میزان غلظت آلاینده‌های یادشده در این منطقه بیشتر از ایستگاه بندر امام خمینی است. مطالعات متعددی نشان می‌دهد که غلظت آلاینده‌های O_3 ، PM_{10} ، NO_2 و SO_2 در مناطق مسکونی همجوار با

صنایع پتروشیمی بسیار بیشتر از سایر مناطق است که این نتیجه با نتیجه پژوهش حاضر همخوانی دارد (Nadal et al., 2011, p. 19; Albanese et al., 2014, p. 12; Kongtip et al., 2013, p. 8). از میان کاربری‌های استفاده‌شده در این پژوهش، صنایع پتروشیمی بیشترین غلظت آلاینده‌های منتشرشده در جو را دارند و خورهای اطراف آن به دلیل مجاورت با صنعت و تحت تأثیر قرار گرفتن از این ناحیه صنعتی، غلظت بیشتری نسبت به بقیه کاربری‌ها دارند. با فاصله گرفتن از این نواحی، میزان تأثیرپذیری کاربری‌ها از آلاینده‌ها کمتر می‌شود و کمترین میزان اثر آلاینده‌ها بر کاربری کشاورزی است.

تاکنون پژوهش‌های متعددی درباره ارزیابی توان و تغییرات کاربری اراضی و ارتباط آن با آلودگی هوا با روش‌های گوناگونی از جمله GIS، انتگرال فازی و روش‌های گوناگون وزن‌دهی انجام شده‌است و نتایج نشان‌دهنده آن بود که با در نظر گرفتن آلودگی هوا می‌توان به نتایج بهتری برای سنجش میزان تغییرات کاربری اراضی دست یافت (khavarian-garmsir et al., 2015, p. 24; El Baroudy, 2016, p. 103; Memarbashi et al., 2017, p. 12). پژوهشگران در مطالعات خود در زمینه پایش تغییرات کاربری اراضی مریوان به نتایج مشابهی دست یافتند و مشخص شد که روند تغییرات کاربری کشاورزی کاهشی است (یوسفی و همکاران، ۱۳۹۰: ۸). همچنین نتایج ANOVA نشان‌دهنده این است که تفاوت معناداری میان غلظت آلاینده‌ها در طبقات مختلف کاربری پوشش اراضی مشاهده نشده‌است. این مورد نشان می‌دهد که شهرهای اطراف نیز به‌طور کلی در معرض غلظت زیاد آلاینده‌های بررسی‌شده‌اند. علت نبود تفاوت میان کاربری‌های مختلف در منطقه را می‌توان به محدوده کوچک منطقه مطالعاتی نسبت داد که باعث تأثیرپذیری یکسان کاربری‌ها از منطقه صنعتی به دلیل فاصله کم با آن می‌شود. با این حال به‌شکل معناداری فصول پاییز و زمستان بیش از دیگر فصول سال در معرض افزایش غلظت آلاینده‌های مطالعه‌شده‌اند که این امر می‌تواند ناشی از شرایط جوی، وارونگی هوا و کاهش میزان پراکنش آلاینده‌ها در این فصول باشد (Chiang et al., 2016, p. 7; Borge et al., 2016, p. 13; Deligiorgi et al., 2018, p. 11; Khan et al., 2019, p. 19). مطالعات مشابه دیگر، تأثیر غلظت زیاد آلاینده‌های هوا در مناطق شهری در فصول مختلف سال بررسی شد و نتایج نشان‌دهنده افزایش میزان غلظت آلاینده‌ها در فصول پاییز و زمستان بود (ملماسی و همکاران، ۱۳۸۹: ۱۲؛ محمدی و رباطی، ۱۳۸۸: ۲۱؛ سرخیل و همکاران، ۱۳۹۷: ۱۶).

نتایج پژوهش حاضر می‌تواند به مسئولان بهداشت در شناسایی آلوده‌ترین مناطق، میزان تأثیر آلودگی هوا بر کاربری اراضی و سلامت افراد منطقه و میزان تغییرات کاربری اراضی منطقه، و همچنین به سیاست‌گذاران در طراحی و اجرای برنامه عملیاتی برای کاهش غلظت آلاینده‌های PM_{10} ، NO_2 و SO_2 کمک کند.

منابع

- اسماعیل‌زاده، محمد؛ بذرافشان، ادريس و نصرآبادی، مهناز (۱۳۹۲). مدل‌سازی انتشار گازهای SO_2 و NO_x خروجی از دودکش نیروگاه گازی توس مشهد. *مجله سلامت و محیط*، دوره ۶، شماره ۱، ص ۷۷-۹۰.
- اشرفی، خسرو؛ حاجی‌زاد، ناصر؛ رحمانی، ایرج و مقدم، مونا (۱۳۹۱). سنجش و تحلیل آلاینده‌های هوا در بندر امام خمینی (ره). *دهمین همایش بین‌المللی سواحل، بنادر و سازه‌های دریایی*، ۱۱ صفحه.

- پیکان‌پورفرد، رضا؛ مرادی، حسین؛ لطفی، علی و پورمنافی، سعید (۱۴۰۰). تلفیق نقشه‌سازی آلودگی هوا در برنامه‌ریزی کاربری اراضی شهرستان مبارکه. *جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی*، سال ۳۲، شماره ۲، ص ۴۵-۶۶.
- حمایتی‌نژاد، حمید و رجایی، علی (۱۳۹۲). ارزیابی تناسب کاربری اراضی از طریق مدل توان اکولوژیک در استان اردبیل با هدف آمایش سرزمین. *مجله علمی پژوهشی آمایش سرزمین*، دوره ۵، شماره ۱، ص ۵-۲۶.
- جوانبخت امیری، سعید و خاتمی، هانیه (۱۳۸۴). بررسی ارتباط بین آلاینده‌های شاخص کیفیت هوا و پارامترهای هواشناسی در تهران با رویکرد آنالیز رگرسیون سال ۱۳۸۴. *انسان و محیط‌زیست*، دوره ۱۰، شماره ۱، ص ۱۵-۲۸.
- سرخیل، حمید؛ عظیمی، یوسف و رهبری، شاهرخ (۱۳۹۷). ارزیابی کیفیت زیست محیطی هوا با استفاده از منطق فازی در منطقه ویژه اقتصادی و انرژی پارس. *علوم و تکنولوژی محیط‌زیست*، سال ۷۹، شماره ۴، ص ۱۶ صفحه.
- کیلان، ندا (۱۳۹۲). ارزیابی اثرات تجمعی توسعه صنایع پتروشیمی منطقه ویژه اقتصادی ماهشهر. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، استاد راهنما: دکتر احد ستوده، گروه محیط‌زیست، دانشگاه یزد، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی.
- محمدی، حسین و رباطی، معصومه (۱۳۸۸). نقش پارامترهای اقلیمی در پراکنش آلودگی هوای منطقه ویژه اقتصادی پتروشیمی‌های ماهشهر. *جغرافیا*، دوره ۳، شماره ۲۱، ص ۱۰۰-۱۲۱.
- ملماسی، سعید؛ جوزی، علی؛ منوری، مسعود و جعفریان مقدم، الهه (۱۳۸۹). بررسی اثرات محیط‌زیستی صنایع پتروشیمی تولیدکننده PET-PTA. *انسان و محیط‌زیست*، دوره ۱۲، شماره ۸، ص ۷۳-۸۱.
- محمداسماعیل، زهرا (۱۳۸۹). پایش تغییرات کاربری اراضی کرج با استفاده از تکنیک سنجنش از دور. *نشریه پژوهش خاک (علوم و آب)*، دوره ۲۴، شماره ۱، ص ۸۱ صفحه.
- یوسفی، صالح؛ مرادی، حمیدرضا؛ حسینی، حمزه و میرزایی، سمیه (۱۳۹۰). پایش تغییرات کاربری اراضی میوان با استفاده از سنجنده TM و ماهواره LANDSAT. *کاربرد سنجنش از دور و GIS در علوم منابع طبیعی*، دوره ۲، شماره ۳، ص ۹۷-۱۰۵.
- فیضی‌زاده، بختیار؛ ولی‌زاده کامران، خلیل و حیدری، حسن (۱۳۸۶). استخراج کاربری‌های اراضی شهرستان ملکان با استفاده از تصاویر ماهواره‌ای ETM⁺ لندست ۷. *آمایش سرزمین*، دوره ۲، شماره ۳.
- رسولی، علی (۱۳۸۷). مبانی سنجنش از دور کاربردی با تأکید بر پردازش تصاویر ماهواره‌ای. انتشارات دانشگاه تبریز.
- رضایی، محمد و بشیری، محمود (۱۳۹۱). تحلیلی بر نقش برنامه‌ریزی راهبردی در آموزش توسعه پایدار با تأکید بر ابعاد محیط‌زیستی. *علوم و تکنولوژی محیط‌زیست*، دوره ۱۶، شماره ۲، ص ۴۰۹-۴۲۱.
- طالبی‌فرد، رضا؛ شفیع، اشکان و یگانه، افشین (۱۴۰۰). ارزیابی فضایی تأثیر پارامترهای کاربری اراضی بر کیفیت هوا در مناطق شهری، مطالعه موردی: شهر تهران. *مطالعات علوم محیط‌زیست*، دوره ۶، شماره ۳، ص ۳۸۹۰-۳۸۹۹.
- Albanese, S., De Vivo, B., Lima, A., Frattasio, G., Křibek, B., Nyambe, I. & Majer, V. (2014). Prioritising environmental risk at the regional scale by a GIS aided technique. *Journal of Geochemical Exploration*, Volume 144, Pp 332-344.
- Akbari, E., Zangane Asadi, M. & Taghavi, E. (2016). Change detection land use and land cover regional neyshabour using Different methods of statistical training theory. *Geographical Planning of Space*, Volume 6, Issue 20, Pp 35-50.

- Abbasspour, M., Javid, A. & Saeidi, S. (2014). The Impact of Urban Parks on PM10 Suspended Particles, Through Using GIS Software. *Journal of Environmental Science and Technology*, Volume 16, Issue 1, Pp 1-12.
- Atai, H. & Hashemi, S. (2011). Identification and analysis of atmospheric mid-level patterns affecting air pollution in Isfahan. *Journal of Research and Urban Planning*, Volume 2, Issue 4, Pp 97-113.
- Borge, R., Narros, A., Artíñano, B., Yagüe, C., Gómez-Moreno, F. & Paz, D. (2016). Assessment of microscale spatiotemporal variation of air pollution at an urban hotspot in Madrid (Spain) through an extensive field campaign. *Atmospheric environment*, Volume 140, Pp 432-445.
- Chiang, T., Yuan, T., Shie, R., Chen, C. & Chan, C. (2016). Increased incidence of allergic rhinitis, bronchitis and asthma, in children living near a petrochemical complex with SO₂ pollution. *Environment International*, Volume 96, Pp 1-7.
- Deligiorgi, D. & Philippopoulos, K. (2018). Spatial interpolation methodologies in urban air pollution modeling. *Advanced Air Pollution*, Volume 341, Pp 62-73.
- El Baroudy, A. (2016). Mapping and evaluating land suitability using a GIS-based model. *Catena*, Volume 140, Pp 96-140.
- Fan F., Weng, Q. & Wang, Y. (2007). Land use land cover change in Guangzhou, China, from 1998 to 2003, based on Landsat TM/ETM⁺ imagery. *Sensors*, Volume 7, Pp 1323-1342.
- Fallah Sourki, M., Kavian A. & Omidvar, E. (2016). Prioritization of Haraz sub-watersheds in order to Soil and Water Conservation Practices Based on Morphometric and Land Use Characteristics. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*, Volume 20, Issue 77, Pp 85-99.
- Guo, L., Yuan, P., Song, Y., Peng, J. & Wang, L. (2011). Case study and environmental risk assessment of the petrochemical industry. Volume 80, Pp 1101-1104.
- Han, L., Zhao, J., Gao, Y., Gu, Z., Xin, K. & Zhang, J. (2020). Spatial distribution characteristics of PM2.5 and PM10 in Xi'an City/predicted by land use regression models. *Sustainable Cities and Society*, Volume 61, Pp 1-16.
- Halim, N., Latif, M., Mohamed, A., Maulud, K., Idrus, S., Azhari, A., Othman, M. & Sofwan, N. (2020). Spatial assessment of land use impact on air quality in mega urban regions Malaysia. *Sustainable Cities and Society*, Volume 63, Pp 1-13.
- Ismailnejad, M., Eskandari Sani, M. & Barzaman, S. (2015). Evaluation and Zoning of Urban air Pollution in Tabriz. *Regional Planning*, Volume 5, Issue 19, Pp 173-186.
- Jiang, Z., Cheng, H., Zhang, P. & Kang, T. (2021). Influence of urban morphological parameters on the distribution and diffusion of air pollutants: A case study in China. *Journal of Environmental Sciences*, Volume 105, Pp 163-172.
- Kongtip, P., Singkaew, P., Yoosook, W., Chantanakul, S. & Sujiratat, D. (2013). Health effects of people living close to a petrochemical industrial estate in Thailand. *Journal of the Medical Association of Thailand*, Volume, Pp 64-72.
- Khavarian-Garmsir, A. & Rezaei, M. (2015). Selection of appropriate locations for industrial areas using GIS-fuzzy methods: A case study of Yazd Township, Iran. *Journal of Settlements and Spatial Planning*, Volume 6, Issue 1, Pp 19-25.
- Kuo, Y., Lu, S., Tzeng, G., Lin, Y. & Huang, Y. (2013). Using fuzzy integral approach to enhance site selection assessment a case study of the optoelectronics industry. *Procedia Computer Science*, Volume 17, Pp 306-313.
- Kongtip, P., Singkaew, P., Yoosook, W., Chantanakul, S. & Sujiratat, D. (2013). Health effects of people living close to a petrochemical industrial estate in Thailand. *Journal of the Medical Association of Thailand*, Chotmaihet thangphaet, Volume 96, Issue 5, Pp 64-72.
- Kelishadi, R., Moeini, R. & Poursafa, P. (2014). Independent association between air pollutants and vitamin D deficiency in young children in Isfahan, Iran. *Paediatrics and international child health*, Volume 34, Issue 1, Pp 50-55.
- Khan, J., Kakosimos, K., Raaschou, O., Brandt, J., Jensen, S. & Ellermann, T. (2019). Development and performance evaluation of new AirGIS—a GIS based air pollution and human exposure modelling system. *Atmospheric environment*, Volume 198, Pp 102-121.

- Lue, D., Xu, J., Yue, W., Mao, W., Yang, D. & Wang, J. (2020). Response of PM_{2.5} pollution to land use in China. *Journal of Cleaner Production*, Volume 244, Pp 1-25.
- López-Serrano, P., Corral-Rivas, J., Díaz-Varela, R., Álvarez-González, J. & López-Sánchez, C. (2016). Evaluation of radiometric and atmospheric correction algorithms for aboveground forest biomass estimation using landsat 5 TM data. *Remote Sensing*, Volume 8, Issue 5, Pp 1-19.
- Metia, S., Ha, P., Duc, H.N. & Scorgie, Y. (2020). Urban air pollution estimation using unscented Kalman filtered inverse modeling with scaled monitoring data. *Sustainable Cities and Society*, Volume 54, Pp 97-101.
- Memarbashi, E., Azadi, H., Barati, A.A., Mohajeri, F., Passel, S.V. & Witlox, F. (2017). Land-use suitability in Northeast Iran: application of AHP-GIS hybrid model. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, Volume 6, Issue 12, Pp 1-15.
- Montero, J. & Fernández, G. (2018). Functional kriging prediction of atmospheric particulate matter concentrations in Madrid, Spain: Is the new monitoring system masking potential public health problems. *Journal of Cleaner Production*, Volume 175, Pp 283-293.
- Masroor, K., Yousefi, S., Fanaei, F. & Raeesi, M. (2020). Spatial modelling of PM_{2.5} concentrations in Tehran using Kriging and inverse distance weighting (IDW) methods. *Journal of Air Pollution and Health*, Volume 5, Issue 1, Pp 1-9.
- Nadal, M., Cadiach Ricoma, O., Kumar, V., Poblet, P., Mari, M., Schuhmacher, M. & Domingo, J. (2011). Health Risk Map of a Petrochemical Complex through GIS-Fuzzy Integration of Air Pollution Monitoring Data, *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, Volume 17, Pp 873-891.
- Noorpoor, A. & Feiz, S. (2014). Determination of the Spatial and Temporal Variation of SO₂, NO₂ and Particulate Matter Using GIS Techniques and Estimation of Concentration Modeling with LUR Method. *Journal of Environmental Studies*, Volume 40, Issue 3, Pp 723-738.
- Qiao, P., Lei, M., Yang, S., Yang, J., Guo, G. & Zhou, X. (2018). Comparing ordinary kriging and inverse distance weighting for soil as pollution in Beijing. *Environmental Science and Pollution Research*, Volume 25, Issue 16, Pp 597-608.
- Sarwar, M.T. & Maqbool, A. (2019). Causes and control measures of urban air pollution in China. *Environment & Ecosystem Science (EES)*, Volume 3, Issue 1, Pp 35-36.
- Shi, X., Li, M., Hunter, O., Guetti, B., Andrew, A. & Stommel, E. (2019). Estimation of environmental exposure: interpolation, kernel density estimation or snapshotting. *Annals of GIS*, Volume 25, Issue 1, Pp 1-8.
- Sharifi Sadeh, M. & Ahmadi Nadoushan, M. (2018). Application of a land use regression (LUR) model to the spatial modelling of air pollutants in Esfahan city. *Environmental Sciences*, Volume 16, Issue 2, Pp 203-216.
- Seifi, M., Yunesian, M. & Nadafee, K. (2021). Exposure to ambient air pollution and socio-economic status on intelligence quotient among schoolchildren in a developing country. *Environmental Science and Pollution Research*, Volume 29, Issue 1, Pp 1-9.
- Vahdat, A. & Rahimi, S. (2013). Impact of urban land use pattern on Tehran air quality. *Journal of Research and Urban Planning*, Volume 4, Issue 14, Pp 123-142.
- Tehrani, N., Mollalo, A., Farhani, F. & Pahlevanzade, N. (2021). Time-Series Analysis of COVID-19 in Iran: A Remote Sensing Perspective. *geospatial information and community resilience*, Volume 21, Pp 277-290.
- Vahdat, A. & Alimohammadi, A. (2020). Study of Hourly Variability of Association between Land Use Parameters and COPollutant Using LUR Model in Tehran. *Iranian Journal of Remote Sensing & GIS*, Volume 12, Issue 1, Pp 1-18.
- Xu, H., Bechle, M.J., Wang, M., Szpiro, A.A., Vedal, S. & Bai, Y. (2019). National PM_{2.5} and NO₂ exposure models for China based on land use regression, satellite measurements and universal kriging. *Science of the Total Environment*, Volume 655, Pp 423-433.
- Yu, H., Russell, A., Mulholland, J., Odman, T., Hu, Y. & Chang, H. (2018). Cross-comparison and evaluation of air pollution field estimation methods. *Atmospheric environment*, Volume 179, Pp 49-60.
- Yang, C.Y., Wang, J.D., Chan, C.C., Hwang, J.S. & Chen, P. (2021). Respiratory symptoms of primary school children living in a petrochemical polluted area in Taiwan. *Pediatr Pulmonol*, Volume 25, Pp 299-303.