

Application of Air Pollution Mapping in Land-use Planning of Mobarakeh County

Reza Peykanpour Fard ¹, Hossein Moradi ²*, Ali Lotfi ³, Saeid Pourmanafi ⁴

1- MSc, Department of Environment, Faculty of Natural Resources Engineering, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran

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

(*Corresponding Author Email: hossein.moradi@cc.iut.ac.ir)

3- Department of Environment, Faculty of Natural Resources Engineering, Isfahan Assistant Professor, University of Technology, Isfahan, Iran

4- Assistant Professor, Department of Environment, Faculty of Natural Resources Engineering, Isfahan University of Technology, Isfahan, Iran

Extended Abstract:

Introduction: Unplanned urban expansion related to population growth, economic development, and rural migration to urban areas has led to unsustainable urban, industrial, and agricultural development. One reason is that spatial planning faces various social, economic, and political challenges that hinder proper structural development. Air pollution has emerged as a prominent threat to human health especially in developing countries; therefore, in several studies, unsuitable land use planning was determined as the main factor of air pollution. However, sometimes a new development takes place in an area affected by air pollution. In this case, even if the land use assessment process is accurately implemented with traditional criteria and without considering air pollution, there would be no rational arrangement for sustainable development. Despite these issues, the air pollution criteria have been mostly ignored in land use assessment studies. The west of the Isfahan region, especially Mobarakeh County, is one of the major spots for agricultural and industrial activities in Iran due to the favorable climatic conditions and the presence of the Zayandehrood River as a water source. This area is also the location of mega industries that include Mobarakeh Steel and Isfahan Steel factories. Accordingly, Mobarakeh County has been constantly affected by various air pollutant factors such as PM₁₀ and NO_x caused by these large industrial factories. The existence of agricultural and industrial land uses caused various contradictions between them and urban land use. The criterion of air quality should be considered in urban planning because the residents' health is one of the most important priorities of any region. Therefore, this study aimed to provide a methodology to include the air pollution criteria in the process of land use planning for agricultural, urban, and industrial land uses. Accordingly, the authors conducted the land use planning in two scenarios 'with' and 'without' considering the air pollution. Finally, we prioritized the optimal areas for the sustainable development of the region.

Methodology: In this study, to evaluate the suitable area for zoning activity (including the agricultural, industrial, and urban), we considered the physical and the ecological criteria with the air pollution ones (including the distribution of PM_{10} and NO_x). Two scenarios were developed as with/without consideration of air pollution criterion. The optimal land use planning was applied for agricultural, urban, and industrial land uses. PM_{10} and NO_x annual dispersion maps were used as air pollution criteria which were simulated by the AERMOD model. Standardization and weighting of the physical, ecological, and socio-economic criteria of the land uses were implemented using the AHP model. Then, to combine the factors, a weighted linear combination technique was applied. The values of this technique ranged from 0 to 1. In this map, higher values represent more desirable areas. After producing six maps from WLC, the suitable areas for each of the zones were combined separately with and without considering the air pollution using the Multi-Objective Land Allocation (MOLA) method. The MOLA method is a multi-purpose method that tries to allocate each land unit to the most appropriate land use. Finally, the optimal land use was selected using the Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS) approach. Its primary theory is that the preferred option should have the lowest distance from the ideal solution and the farthest from the unpropitious ideal solution.

Discussion: The findings of the study confirmed that considering air pollution criteria is helping the zoning of the suitable areas and can change the planning strategies for the development of land use. However, the comparison of the two scenarios showed that nearly 73% of agricultural, 85% of industrial, and 64% of urban areas have remained unchanged in both scenarios. Therefore, 27% of the agricultural land area (292 hectares), 15% of the industrial land area (165 hectares), and 36% of the urban land area (393 hectares) were, in fact, unsuitable for development, which was deemed appropriate due to the lack of air pollution criteria in the traditional approach to land use planning. The 2432 hectares of land use included 802 hectares of agricultural areas, 929 hectares of industrial lands, and 701 hectares of urban areas will not change if the air pollution criteria were considered or not considered. As a result, considering four different land uses (agricultural, urban, industrial, and lands without use) for Mobarakeh county, a maximum of 16 different modes of conversion of land uses to each other can be expected, which just ten conversions identified in the study area and no conflicting conversions in these conversions. As a result, the selection of suitable areas for urban areas compared to other land uses is more impressed by air pollution criteria. On the other hand, more stability of industrial lands is related to the fact that the permissible air pollution levels for this land use were different from the other lands. The reason for these changes was twofold: first, the inadmissibility of air pollution limit for each land use; second, the allocation of suitable areas in terms of air pollution in which there was the minimum health effect.

Conclusion: The purpose of this study was to evaluate suitable sites for developing land uses as well as agricultural, industrial, and urban towards achieving sustainable development in one of the most significant places in terms of the environment. According to the results of this study, to evaluate the potential of agricultural, industrial, and urban land uses, in addition to traditional criteria, air pollution criteria such as PM₁₀ and NO_x should be considered.

Keywords: AERMOD, Evaluation, GIS, MOLA, Mobarakeh County.

References:

- Ajtai, N., Stefanie, H., Botezan, C., Ozunu, A., Radovici, A., Dumitrache, R., Iriza-Burcă, A., Diamandi, A., & Hirtl, M. (2020). Support Tools for Land Use Policies Based on High Resolution Regional Air Quality Modelling. *Journal of Land Use Policy*, 95, 1-13.
- Arefiev, N., Terleev, V., & Badenko, V. (2015). GIS-Based Fuzzy Method for Urban Planning. *Journal of Procedia Engineering*, 117(1), 39-44.
- Bartkowski, B., Beckmann, M., Drechsler, M., Kaim, A., Liebelt, V., Müller, B., Witing, F., & Strauch, M. (2020). Aligning Agent-Based Modelling with Multi-Objective Land-Use Allocation: Identification of Policy Gaps and Feasible Pathways to Biophysically Optimal Landscapes. *Journal of Frontiers in Environmental Science*, 8(103), 1-15.
- Chatterjee, P., & Stević, Ž. (2019). A Two-Phase Fuzzy AHP-Fuzzy TOPSIS Model for Supplier Evaluation in Manufacturing Environment. *Journal of Operational Research in Engineering Sciences Theory and Applications*, 2(1), 72-90.
- Dağdeviren, M., Yavuz, S., & Kılınç, N. (2009). Weapon Selection Using the AHP and TOPSIS Methods under Fuzzy Environment. *Journal of Expert Systems with Applications*, 36(4), 8143-8151.
- Emovon, I., & Oghenyerovwho, S. (2020). Application of MCDM Method in Material Selection for Optimal Design: A Review. *Journal of Results in Materials*, 7, 1-21.
- 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. *Journal of Sustainable Cities and Society*, 63, 1-13.
- 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.
- 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.
- Kleemann, J., Inkoom, J. N., Thiel, M., Shankar, S., Lautenbach, S., & Furst, C. (2017). Peri-Urban Land Use Pattern and Its Relation to Land Use Planning in Ghana, West Africa. *Journal of Landscape and Urban Planning*, 165, 280-294.

- 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. *Journal of Procedia Computer Science*, 17, 306-313.
- Liu, R., Zhang, K., Zhang, Z., & Borthwick, A. G. (2014). Land-Use Suitability Analysis for Urban Development in Beijing. *Journal of Environmental Management*, 145, 170-179.
- Lu, 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.
- 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.
- Sarwar, M. T., & Maqbool, A. (2019). Causes and Control Measures of Urban Air Pollution in China. *Journal of Environment and Ecosystem Science (EES)*, 3(1), 35-36.
- Shi, Y., Bilal, M., Ho, H. C., & Omar, A. (2020). Urbanization and Regional Air Pollution across South Asian Developing Countries—A Nationwide Land Use Regression for Ambient PM_{2.5} Assessment in Pakistan. *Journal of Environmental Pollution*, 266, 1-33.



جغرافیا و برنامه‌ریزی محیطی

سال ۳۲، پیاپی ۸۲، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۰، صص ۶۶-۴۵

نوع مقاله: پژوهشی

وصول: ۱۳۹۹/۱۰/۱۸ پذیرش: ۱۴۰۰/۲/۲۹

تلفیق نقشه‌سازی آلودگی هوا در برنامه‌ریزی کاربری اراضی

نمونه پژوهش: شهرستان مبارکه

رضا پیکانپور فرد، دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

reza.пейkanpour@na.iut.ac.ir

حسین مرادی^{*}، استادیار گروه آموزشی مهندسی محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

hossein.moradi@cc.iut.ac.ir

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

lotfi@cc.iut.ac.ir

سعید پورمنافی، استادیار گروه مهندسی محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی اصفهان، اصفهان، ایران

spourmanafi@cc.iut.ac.ir

چکیده

در حال حاضر برنامه‌ریزی کاربری اراضی بر پایه توان سرزمین انجام و به ندرت به محدودیت‌هایی چون آلودگی هوا توجه می‌شود. هدف از این پژوهش، چیدمان بهینه کاربری اراضی شهرستان مبارکه با لحاظ معیار آلودگی هواست. برای انجام این کار دو روند در نظر گرفته شد؛ یکی ارزیابی توان کاربری‌های کشاورزی، صنعتی و شهری با لحاظ نقشه پراکنش PM₁₀ و NO_x حاصل از نرم‌افزار AERMOD و دیگری بدون در نظر گرفتن معیار آلودگی هوا. استانداردسازی و تعیین وزن معیارها و زیرمعیارهای اکولوژیک، فیزیکی و اقتصادی-اجتماعی هر کاربری از مدل AHP و ارزیابی توان منطقه با روش WLC به دست آمد. کاربری‌ها به کمک روش MOLA تلفیق شد. با مقایسه نتایج دو روند، بهترین لکه‌ها برای هر کاربری با استفاده از روش TOPSIS تشخیص داده شد. با فرض توسعه حدوداً ۱۱۰۰ هکتاری برای هر یک از کاربری‌ها، حدوداً ۲۷ درصد از مساحت کاربری کشاورزی، ۱۵ درصد از مساحت کاربری صنعتی و ۳۶ درصد از مساحت کاربری شهری در واقعیت برای توسعه نامناسب بودند؛ در حالی که به دلیل لحاظ‌نشدن معیار آلودگی هوا در رویکرد سنتی برنامه‌ریزی کاربری اراضی، مناسب تشخیص داده شده بودند. یافته‌های پژوهش نشان می‌دهد دستیابی به توسعه پایدار در کنار مؤلفه‌های اکولوژیک، فیزیکی پایدار و اقتصادی-اجتماعی نیازمند استفاده از مؤلفه‌های فیزیکی پویا و ناپایدار از جمله آلودگی هواست. با توجه به پژوهش‌های مرتبط به نظر می‌رسد این پژوهش، یکی از پژوهش‌های پیشگام در تلفیق معیار آلودگی هوا برای چیدمان بهینه اراضی است.

واژه‌های کلیدی: ارزیابی توان، تخصیص چندهدفه اراضی، سامانه اطلاعات جغرافیایی، شهرستان مبارکه، AERMOD

*نویسنده مسؤول

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

Doi: [10.22108/GEP.2021.126855.1393](https://doi.org/10.22108/GEP.2021.126855.1393)

مقدمه

رشد جمعیت و توسعه اقتصادی به گسترش سریع مراکز شهری انجامیده است. یک دلیل آن این است که برنامه‌ریزی فضایی شهری با چالش‌های مختلف اجتماعی اقتصادی و سیاسی روبه‌روست که مانع از توسعه ساختاری و برنامه‌ریزی شهری می‌شود (Kleemann et al., 2017: 280). برنامه‌ریزی فضایی به دنبال یک نظم فضایی ارگانیک است که در آن هر جامعه و سرزمین براساس جایگاه و مرتبه‌ای که دارد در فرایند توسعه، فعالیت‌ها و کارکردها نقش داشته باشد (رومیانی و همکاران، ۱۳۹۸: ۱۱۸)؛ از سوی دیگر، برنامه‌ریزی فضایی کوششی است برای رسیدن به بهترین الگوی فضایی در مسیر توسعه پایدار و درخور برای هر منطقه از سرزمین که با توجه به توان آن سرزمین و سیاست‌های کلان آن منطقه انجام می‌شود (بهنام مرشدی و همکاران، ۱۳۹۵: ۲۷۸).

امروزه یافتن مکان‌های مناسب برای ایجاد فعالیت در یک حوزه جغرافیایی معین، جزو مراحل مهم پروژه‌های اجرایی به‌ویژه در سطح کلان و ملی است. مکان‌های انتخابی باید در حد امکان شرایط لازم را چه از لحاظ توان اکولوژیک و چه از لحاظ اقتصادی اجتماعی داشته باشند (فتحی، ۱۳۹۵: ۳)؛ در واقع آمایش سرزمین، ارزیابی سیستماتیک توان محیط‌زیست برای کاربری‌های مختلف است که هدف آن، انتخاب بهترین کاربری ممکن و پیشنهاد اجرای آن با توجه به شرایط اقتصادی اجتماعی است؛ به نحوی که کاربری انتخاب‌شده نیازهای جاری مردم را به بهترین شکل در نظر گیرد و همزمان منابع را برای آینده حفظ کند (رحیمی و همکاران، ۱۳۹۸: ۴۹)؛ با این حال در مواقعی هم استقرار یک توسعه جدید در مکانی متأثر از آلودگی هوا صورت می‌گیرد. در این شرایط حتی اگر فرایند ارزیابی کاربری اراضی به‌طور دقیق، اما با معیارهای سنتی و بدون لحاظ آلودگی هوا (برای کنارگذاشتن مناطق با آلودگی زیاد) انجام شود، چیدمانی منطقی در مسیر توسعه پایدار حاصل نخواهد شد؛ با وجود این کاربرد معیار آلودگی هوا در مطالعات ارزیابی کاربری اراضی چندان معمول نیست.

در مطالعه‌ای شفیع‌زاده (۱۳۹۸) برنامه‌ریزی سیمای سرزمین را در یکی از مناطق ساحلی جنوب ایران (ساحل مکران) مدنظر قرار داده است. در این پژوهش وی علاوه بر معیارهای معمول، معیارهای فیزیکی پویا را نیز در نظر گرفته است. در واقع نتایج این پژوهش نشان داد مؤلفه‌های پویای سرزمین نقشی بسیار کلیدی در تعیین چیدمان بهینه کاربری‌ها، هم از نظر موقعیت مکانی و هم از نظر ساختار و شکل لکه‌ها دارد. معیار فیزیکی پویایی که وی در نظر گرفته بود، به تأثیرگذاری گرد و غبار در مدل‌سازی توسعه شوره‌زارها مربوط بوده، با این حال برای استفاده از معیار آلودگی هوا در برنامه‌ریزی کاربری اراضی منطقه مدنظر بسیار الهام‌بخش است.

آلودگی هوا در چندین دهه اخیر با توسعه صنعتی و زندگی شهری همراه بوده است. وجود 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 کرده است (اسماعیل‌زاده و همکاران، ۱۳۹۲: ۷۸).

براساس قانون مصوب ایران (مصوبه ۱۳۵۹/۰۴/۲۶ درباره قانون استقرار صنایع خارج از شعاع ۵۰ کیلومتری اصفهان)، توسعه صنعتی در شعاع ۵۰ کیلومتری شهر اصفهان ممنوع است؛ بنابراین بسیاری از صنایع بزرگ در دهه‌های اخیر در شهرهای اطراف اصفهان نظیر مبارکه استقرار یافته است؛ با این حال در شروع دوره توسعه اخیر در منطقه، مطالعه ارزیابی توان اکولوژیک شهرستان مبارکه برای کاربری‌های کشاورزی، حفاظت، گردشگری، توسعه شهری و صنعتی (البته بدون در نظر گرفتن معیار آلودگی هوا) انجام شده که هدف آن، دستیابی به مکان‌یابی یک شهر جدید برای آمایش سرزمین اطراف مجتمع صنعتی فولاد مبارکه بوده است (مخدوم، ۱۳۷۸: ۲۵۶)؛ در واقع ضرورت و اهمیت دخیل کردن معیار آلودگی هوا در آمایش سرزمین از آنجا ناشی می‌شود که در بیشتر مطالعات برنامه‌ریزی و کاربری اراضی دریافته‌اند روش ارزیابی چندمتغیره براساس منطق فازی^۱ با استفاده از نرم‌افزار GIS^۲ نتیجه قابل قبولی در پی خواهد داشت؛ از جمله در مطالعه‌ای که آرفه و همکاران^۳ (۲۰۱۵) در روسیه برای برنامه‌ریزی مناطق شهری انجام داده‌اند. در این مطالعه آنها چهار معیار تکنولوژیک، اقتصادی، محیط‌زیستی و اجتماعی را بدون در نظر گرفتن معیار آلودگی هوا بررسی کرده و به این نتیجه رسیده‌اند که معیارهای اقتصادی و محیط‌زیستی هیچ‌کدام برتری‌ای بر دیگری ندارند.

محمودزاده و همکاران (۱۳۹۸) در پژوهش خود کاربرد روش چندهدفه تخصیص زمین با رویکرد آمایش سرزمین در شهرستان همدان را مطالعه کردند. آنها برای تخصیص چندهدفه اراضی شهرستان همدان نقشه‌های پایه منابع اکولوژی پایدار را تهیه کردند و مدیریت کاربری‌های متضاد مانند کشاورزی آبی، کشاورزی دیم، کاربری شهری و مرتع‌داری را مدنظر قرار دادند. در این پژوهش معیار آلودگی هوا به‌مثابه یکی از مهم‌ترین معیارهای پویای سرزمین در نظر گرفته نشده بود.

در دهه‌های اخیر پژوهشگران متعددی برنامه‌ریزی کاربری اراضی را برای مکان‌یابی و چیدمان بهینه اراضی بررسی کرده‌اند. در این پژوهش‌ها روش ارزیابی چندمتغیره براساس منطق فازی بیشترین استفاده را داشته است؛ با این حال در بیشتر آنها معیار آلودگی هوا به‌مثابه یک متغیر تأثیرگذار در نظر گرفته نشده است (Khavarian-garmsir and

Rezaei, 2015: 19; Memarbashi et al., 2017: 12; Chatterjee and Stević, 2019: 72; Bartkowski et al., 2020: 16; Emovon and Ogheneyevro, 2020: 10)؛ از سوی دیگر پدیده آلودگی هوا در بسیاری از مناطق توسعه یافته زمین به‌ویژه در کشورهای در حال توسعه مسئله‌ای جدی است؛ به طوری که مشکلات زیادی برای سلامتی

1. Fuzzy Logic
2. Geographic Information System (GIS)
3. Arefiev et al.

انسان به وجود آورده است (Shi et al., 2020: 2)؛ بنابراین در بسیاری از مطالعات مکان‌یابی نامناسب، منشأ آلودگی هوا (صنایع یا شهرها) را عامل ایجاد وضعیت حاد آلودگی می‌دانند (Sarwar and Maqbool, 2019: 35; Halim et al., 2020: 1)؛ برای نمونه در پژوهش تعیین نوع استفاده از سرزمین با دخیل کردن آلودگی هوا در بخارست از آلاینده‌های PM_{10} ، SO_2 و NO_x استفاده شده است. هدف از این مطالعه، ایجاد یک چهارچوب روش‌شناختی برای درج داده‌های کیفیت هوا در سیاست‌های مربوط به توسعه شهری و تغییر کاربری زمین است. نتایج این روش حاکی است در نظر گرفتن شاخص‌های آلودگی هوا به تصمیمات آگاهانه‌تری درباره تعیین نوع استفاده از سرزمین منجر می‌شود (Ajtai et al., 2020: 11).

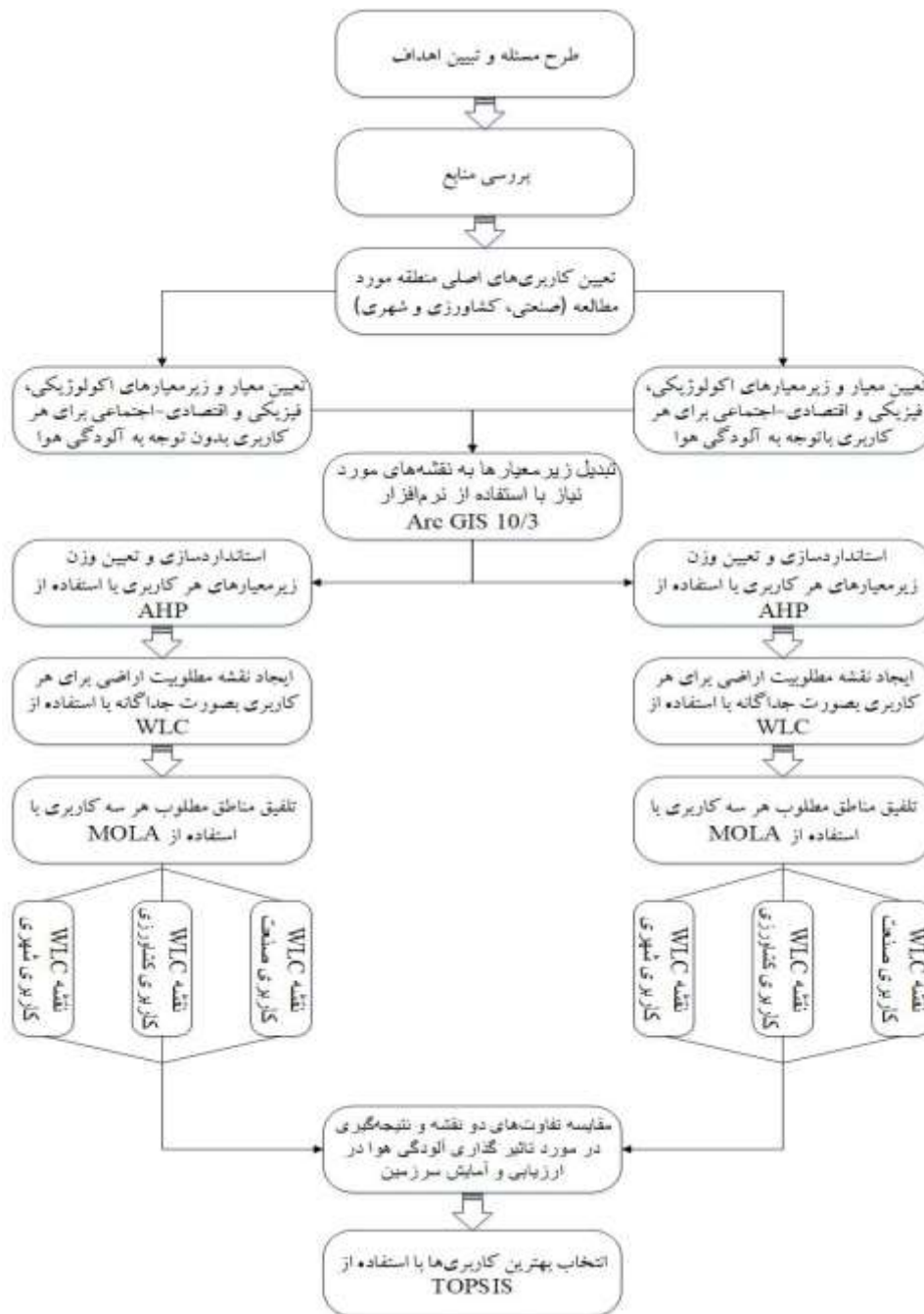
همچنین در دو مطالعه پژوهشگران دریافته‌اند (Han et al., 2020: 15; Lu et al., 2020: 18) نوع استفاده از سرزمین تأثیر بسزایی در میزان آلودگی هوای آن منطقه دارد. نتایج پژوهش آنها نشان می‌دهد توزیع فضایی آلاینده‌هایی مانند PM_{10} و $PM_{2.5}$ ارتباط نزدیکی با محل استقرار مناطق صنعتی تولیدکننده آلودگی هوا دارد. همان‌گونه که بیان شد در بیشتر پژوهش‌های انجام‌شده در زمینه برنامه‌ریزی کاربری اراضی، مؤلفه‌های فیزیکی پویا از جمله آلودگی هوا به‌مثابه یک معیار محدودکننده نادیده گرفته شده است.

غرب استان اصفهان (به‌ویژه شهرستان مبارکه) به دلیل شرایط اقلیمی مناسب و حضور رودخانه زاینده‌رود، یکی از قطب‌های اصلی کشاورزی و صنعتی کشور و همزمان محل استقرار کارخانه‌های بزرگ ذوب‌آهن و فولاد است؛ بنابراین شهرستان مبارکه تحت تأثیر آلاینده‌های مختلفی از جمله PM_{10} و NO_x ناشی از این صنایع قرار دارد. وجود دو کاربری کشاورزی و صنعتی باعث به‌وجود آمدن تضادهای مختلفی بین آنها به همراه کاربری شهری شده است. با توجه به اینکه یکی از مهم‌ترین خواسته‌های شهروندان یک منطقه تأمین سلامتی است، می‌باید موضوع آلودگی هوا در مکان‌یابی و چیدمان بهینه اراضی این‌گونه مناطق با لحاظ معیار آلودگی هوا لحاظ شود؛ بر این اساس این پژوهش اهدافی را دنبال می‌کند؛ شامل ارائه مدلی برای لحاظ معیار آلودگی هوا در فرایند ارزیابی برنامه‌ریزی کاربری اراضی برای کاربری‌های کشاورزی، شهری و صنعتی، مقایسه چیدمان کاربری‌ها در دو روند «با» و «بدون» لحاظ آلودگی هوا و رتبه‌بندی و تعیین بهترین لکه هر کاربری برای توسعه پایدار منطقه.

روش‌شناسی پژوهش

روندنما

مراحل انجام کار در این پژوهش به‌طور کلی بر دو گام اساسی (یکی از آنها با توجه به آلودگی هوا و دیگری بدون توجه به آلودگی هوا) استوار است. تمام زیربخش‌های این دو گام در مدل مفهومی موجود در شکل ۱ آورده شده است.



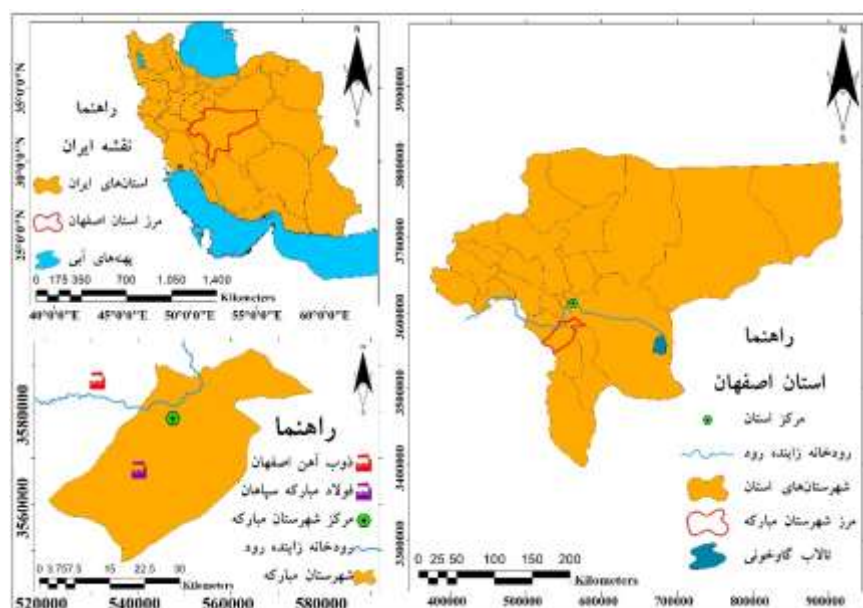
شکل ۱. مدل مفهومی کلی روش کار (نویسندگان، ۱۴۰۰)

Figure 1. Conceptual Model of the Method (Authors, 2021)

محدوده پژوهش

شهرستان مبارکه، یکی از شهرستان‌های بسیار مهم صنعتی و کشاورزی در استان اصفهان، شامل کارخانه‌های فولاد مبارکه سپاهان، سیمان سپاهان، قند نقش جهان و پلی‌اکریل ایران است. مرکز این شهرستان، شهر مبارکه است. این شهرستان در فاصله ۵۰ کیلومتری جنوب غربی اصفهان واقع شده و در موقعیت ۳۲ درجه و ۳ دقیقه تا ۳۲ درجه و ۲۸

دقیقه عرض شمالی از خط استوا و ۵۱ درجه و ۱۳ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۴۸ دقیقه طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ قرار گرفته است. ارتفاع این شهرستان از سطح آب‌های آزاد ۱۶۷۰ متر، شیب عمومی زمین منطقه از سمت جنوب به شمال و از غرب به شرق و میانگین دمای آن ۱۲ درجه سانتی‌گراد است. این شهرستان در مجموع ۱۰۹۴۰۰ هکتار از مساحت استان اصفهان را شامل می‌شود که در شکل ۲ قابل مشاهده است. جمعیت این شهرستان حدوداً برابر با ۲۰۴۴۳۶ نفر است (ولی و همکاران، ۱۳۹۸: ۷۸).



شکل ۲. موقعیت جغرافیایی شهرستان مبارکه در ایران و اصفهان (نویسندگان، ۱۴۰۰)

Figure 2. Geographical location of Mobarakeh County in Iran and Isfahan (Authors, 2021)

تعیین معیارها و زیرمعیارهای استفاده‌شده

برای ارزیابی تأثیرگذار بودن یا نبودن آلودگی هوا در آمایش سرزمین، معیارهای فیزیکی، اکولوژیک و اقتصادی اجتماعی مختلفی مانند شیب، جهت، ارتفاع، بافت خاک، منابع آبی، مناطق حفاظت‌شده، شهرها و روستاها و دیگر عوامل تأثیرگذار ارزیابی می‌شوند. مشخص کردن نوع معیارها و زیرمعیارهای استفاده‌شده بر عهده کارشناسان، دانش تجربی و پژوهش‌های مرتبط گذشته است و با توجه به ویژگی‌های منطقه مطالعه‌شده تعیین می‌شود؛ به این صورت که کارشناسان براساس میزان اهمیت موضوع، بعضی از عوامل تعیین‌کننده استعداد واقعی منطقه را انتخاب می‌کنند و آنها را ملاک تصمیم‌گیری در سامانه اطلاعات جغرافیایی قرار می‌دهند (محمودزاده و همکاران، ۱۳۹۸: ۲۲۲).

در این پژوهش براساس نظر کارشناسان، پژوهش‌ها و کتاب‌های مربوط به شهرستان مبارکه بر مبنای جدول ۱ معیارها، زیرمعیارها و شاخص‌های کاربری کشاورزی همراه با حدود معیارهای آن و در جدول ۲ معیارها، زیرمعیارها و شاخص‌های کاربری‌های صنعتی و شهری همراه با حدود معیارهای آنها مشخص شد؛ در ادامه پس از اخذ داده‌های لازم درباره آنها از سازمان‌ها و ادارات مرتبط، نقشه‌های پایه آنها در محیط Arc GIS 10/3 تهیه شد. منابع همه این مؤلفه‌ها با استفاده از نظر خبرگان و مرور منابع مختلف انتخاب شده که در جدول ۳ به‌طور کامل شرح داده شده است.

جدول ۱. معیارها و زیرمعیارهای مربوط به کاربری کشاورزی (نویسندگان، ۱۴۰۰)

Table 1. Criteria and sub-criteria related to agricultural landuse (Authors, 2021)

معیارها	زیرمعیارها	نوع شاخص	نوع تابع	حدود معیارهای کاربری کشاورزی
فیزیکی	خاک‌شناسی	شیب	رتبه‌ای	$0 = X > 8^\circ$ ، $1 = 8^\circ$ تا 0°
		شوری خاک	رتبه‌ای	$0 = X > 4(ds/m)$ ، $1 = 4-8$ ، $0/8 = 8-16$ ، $0/6 = 16-32$
		عمق خاک		$0 = X > 120(m)$ ، $1 = 120-80$ ، $0/8 = 80-50$
		توان کشت اراضی		براساس کلاس‌های مناسب
		فرسایش خاک		براساس کلاس‌های مناسب
		زهکش خاک		براساس کلاس‌های مناسب
		بافت خاک		براساس کلاس‌های مناسب
اکولوژیک	آلودگی هوا	PM ₁₀	افزایشی	$0 = X > 0/7$ ، $0/7$ تا $1 = X < 0$
		NO _x		
	پوشش زمین	مرتع درجه سه	رتبه‌ای	۱
		مرتع درجه دو		۰/۸
		مرتع درجه یک		۰
مناطق کشاورزی		۱		
زمین بایر	۱			
اقتصادی و اجتماعی	کاربری اراضی	مناطق چهارگانه	رتبه‌ای	۰
		مناطق انسان‌ساز	رتبه‌ای	۰
		مزارع	افزایشی	۰ تا بیشترین فاصله (km) $1 = X < 0$

جدول ۲. معیارها و زیرمعیارهای مربوط به کاربری‌های صنعتی و شهری (نویسندگان، ۱۴۰۰)

Table 2. Criteria and sub-criteria related to industrial and urban landuses (Authors, 2021)

معیارها	زیرمعیارها	نوع شاخص	نوع تابع	حدود معیارهای کاربری صنعتی	نوع تابع	حدود معیارهای کاربری شهری	
فیزیکی	توپوگرافی	شیب	افزایشی	$0 = X > 9^\circ$ ، $1 = 9^\circ$ تا $0 = X < 0$	افزایشی	$0 = X > 9^\circ$ ، $1 = 9^\circ$ تا $0 = X < 0$	
			کاهشی	$0 = X$	کاهشی	$0 = X$	
	خاک‌شناسی	بافت خاک	رتبه‌ای	افزایشی	$0 = X > 10$ ، $1 = X < 1$	افزایشی	$0 = X > 10$ ، $1 = X < 1$
				کاهشی	$0 = X > 2(km)$ ، $1 = 2$ تا $0 = X < 10$	کاهشی	$0 = X > 2(km)$ ، $1 = 2$ تا $0 = X < 10$
	آلودگی هوا	PM ₁₀	افزایشی	افزایشی	$0 = X > 0/6$ ، $0/6$ تا $1 = X < 0$	افزایشی	$0 = X > 0/8$ ، $0/8$ تا $1 = X < 0$
				کاهشی	$0 = X < 1$	کاهشی	$0 = X < 1$
		منابع آب	رودخانه	افزایشی	افزایشی	$0 = X > 10$ ، $1 = X < 1$	افزایشی
کاهشی	$0 = X > 2(km)$ ، 2 تا $0 = X < 5$				کاهشی	$0 = X > 5$ ، 5 تا $0 = X < 10$	
		چاه، چشمه و قنات		$0 = X > 5$ ، 5 تا $1 = X < 0$		-	

اکولوژیک	پوشش زمین	رتبه‌ای	تراکم ۰ تا ۱/۳۰ = ۱	رتبه‌ای	مرتع درجه سه
			تراکم ۰/۵ تا ۳۰ = ۰/۵		مرتع درجه دو
			تراکم ۰ تا ۶۰ = ۰/۱۰۰		مرتع درجه یک
			۰		مناطق کشاورزی
			۱		زمین بایر
			۰/۸		شوره‌زار
اقتصادی و اجتماعی	مناطق چهارگانه	فازی افزایشی	۰ تا ۱ (km) = ۰، ۱ تا ۳ = ۱ ۰ < x < ۱، ۱ = x > ۳	فازی افزایشی	منطقه حفاظت‌شده
			۰ تا ۵ (km) = ۰، ۵ < x < ۱ ۰ = x > ۵		راه اصلی
			۰ تا ۱۰ (km) = ۰، ۱۰ < x < ۱ ۰ = x > ۱۰		راه فرعی
اقتصادی و اجتماعی	کاربری اراضی	فازی	۰ تا ۲/۵ (km) = ۰، ۲/۵ < x < ۱ ۰ = x > ۵	فازی افزایشی	راه آهن
			۰ تا ۵ (km) = ۰، ۵ < x < ۱ ۰ = x > ۱۰		شهرها
			۰ تا ۱۰ (km) = ۰، ۱۰ < x < ۱ ۰ = x > ۱۰		روستاها
اقتصادی و اجتماعی	کاربری اراضی	فازی افزایشی	۰ تا ۲/۵ (km) = ۰، ۲/۵ < x < ۱ ۰ = x > ۵	فازی	صنایع و معادن
			۰ تا ۱/۵ (km) = ۰، ۱/۵ < x < ۱ ۱ = x > ۳، ۰ < x < ۱ = ۳		شهرها
			۰ تا ۳ (km) = ۰، ۳ < x < ۱ ۱ = x > ۳		روستاها
اقتصادی و اجتماعی	کاربری اراضی	فازی	۰ تا ۲/۵ (km) = ۰، ۲/۵ < x < ۱ ۰ = x > ۵	فازی	صنایع و معادن
			۰ تا ۱/۵ (km) = ۰، ۱/۵ < x < ۱ ۱ = x > ۳، ۰ < x < ۱ = ۳		شهرها
			۰ تا ۳ (km) = ۰، ۳ < x < ۱ ۱ = x > ۳		روستاها

جدول ۳. منابع معیارها و زیرمعیارهای مربوط به پژوهش حاضر (نویسندگان، ۱۴۰۰)

Table 3. Sources of criteria and sub-criteria related to the present study (Authors, 2021)

منبع داده و حدود معیار	نام لایه یا زیرلایه	ردیف	منبع داده و حدود معیار	نام لایه یا زیرلایه	ردیف	
کتاب آلودگی محیط‌زیست (آب، خاک و هوا) (۱۳۸۵) و سازمان هواشناسی کشور	PM ₁₀	۹	کتاب شالوده آمایش سرزمین (۱۳۷۸)	شیب	۱	
	NO _x	۱۰	رساله دکتری شفیع‌زاده (۱۳۹۸)	گسل	۲	
کتاب قانون، مقررات، ضوابط و استانداردهای محیط‌زیست انسانی (۱۳۹۱)	منابع آبی	۱۱	گزارش آمایش سرزمین و سند راهبردی توسعه استان اصفهان (۱۳۹۱) و مرکز تحقیقات کشاورزی استان اصفهان	شوری خاک	۳	
	مناطق چهارگانه	۱۲		عمق خاک	۴	
کتاب شالوده آمایش سرزمین (۱۳۷۸)	پوشش زمین	۱۳		توان کشاورزی	۵	
رساله دکتری شفیع‌زاده (۱۳۹۸)	راههای ارتباطی	۱۴		فرسایش خاک	۶	
کتاب قانون، مقررات، ضوابط و استانداردهای محیط‌زیست انسانی (۱۳۹۱)	مناطق انسان‌ساز (شهر، روستا، صنایع و معادن)	۱۵		زهکش خاک	۷	
	مزارع	۱۶		بافت خاک	۸	
رساله دکتری شفیع‌زاده (۱۳۹۸)						

تهیه نقشه آلودگی هوا

داده‌های استفاده‌شده در این پژوهش اطلاعات دودکش‌های مجتمع فولاد مبارکه سپاهان و ذوب‌آهن اصفهان از قبیل دما، دبی، ارتفاع، قطر و سرعت خروجی گاز دودکش، ارتفاع از سطح دریا و غلظت آلاینده‌های PM_{10} و NO_x است؛ همچنین برای بخش AERMET از اطلاعات هواشناسی ایستگاه زرین‌شهر از تاریخ ۱۳۹۶/۰۱/۰۱ تا ۱۳۹۶/۱۲/۲۹ شمسی استفاده شده است که براساس DEM حاصل از AERMAP با نوع نقشه SRTM 90m به دست آمد. اطلاعات هواشناسی شامل عوامل مختلفی از جمله ابرناکی، جهت باد، سرعت باد، نقطه شبنم، بارندگی یک‌ساعته، رطوبت نسبی و دمای خشک بوده است.

تعیین مطلوبیت اراضی منطقه

پس از استانداردسازی و وزندهی شاخص‌های هر کاربری برای به‌دست‌آوردن مطلوبیت اراضی هر کدام از آنها از روش ترکیب خطی وزن‌دار^۱ استفاده شده است. در نقشه نهایی این روش به‌صورت مناطق مطلوب بین ۰ تا ۱ قرار می‌گیرند و هرچه به ۱ نزدیک‌تر باشند، مطلوبیت بیشتر است. معادله روش ترکیب خطی وزن‌دار به‌صورت زیر است:

$$S = \sum_{i=1}^n W_i \cdot X_i \times C_j \quad (1)$$

در آن S: تناسب برای هر کاربری، W_i : وزن فاکتور i که با استفاده از روش AHP تعیین می‌شود، X_i : فاکتور i شامل فاکتورهای بررسی‌شده و C_j : لایه‌های محدودیت شامل نقشه‌های بولین^۲ است (سلمان ماهینی و کامیاب، ۱۳۹۰: ۲۲۶).

تلفیق مناطق مطلوب کاربری‌های کشاورزی، شهری و صنعتی

پس از به‌دست‌آوردن شش نقشه حاصل از WLC مناطق مطلوب هر سه کاربری یک‌بار با توجه به آلودگی هوا و بار دیگر بدون توجه به آلودگی هوا با استفاده از روش MOLA تلفیق شد. روش تخصیص چندهدفه اراضی^۳ یک رویه تصمیم‌گیری با هدف ایجاد راه‌حل بهینه در تخصیص مکانی به کاربری‌های چندگانه و ناسازگار است. در این روش با واردسازی نقشه‌های مطلوبیت برای هر نوع کاربری، مدل عملیاتی تکرارشونده برای ترکیب نقشه‌های رتبه‌بندی‌شده براساس وزن هر یک از آنها انجام می‌شود (همان، ۲۵۸). با توجه به هدف نهایی این پژوهش که حل تعارضات کاربری‌های مختلف برای توسعه پایدار سرزمین است، وزن‌های کاربری‌های مختلف یکسان و برابر با ۱ در نظر گرفته شد. در مطالعات پیشین مانند پژوهش ولی و همکاران (۱۳۹۸) با موضوع تغییرات کاربری‌های مختلف در بازه زمانی ۳۰ ساله (۱۹۸۵ تا ۲۰۱۵ میلادی) در شهرستان مبارکه، پیشرفت مساحت هر کاربری حدوداً برابر با ۱٪ از مساحت شهرستان مبارکه برآورد شده است؛ در نتیجه در این پژوهش نیز با اقتباس از پژوهش یادشده، پیشرفت مساحت هر کاربری برابر با ۱٪ (حدوداً ۱۱۰۰ هکتار) از مساحت کل شهرستان مبارکه در نظر گرفته شده است.

1. Weighted Linear Combination (WLC)
2. Boolean Logic
3. Multi Objective Land Allocation (MOLA)

مقایسه دو نقشه کاربری (یکبار با توجه به آلودگی هوا و بار دیگر بدون توجه به آلودگی هوا) حاصل از روش

MOLA

در این مرحله با توجه به نتیجه مراحل قبل (MOLA) تأثیرگذار بودن یا نبودن آلودگی هوا در ارزیابی و آمایش سرزمین تشخیص داده شد. این مرحله از پژوهش تأثیر بسیار زیادی در تعیین میزان تأثیرگذاری آلودگی هوا در ارزیابی و آمایش سرزمین دارد. برای انجام این قبیل مقایسه‌ها از نرم‌افزار IDRISI TerrSet استفاده شد.

انتخاب بهترین لکه هر کاربری

در آخرین مرحله بهترین کاربری براساس تشابه به راه‌حل ایدئال^۱ انتخاب شد. روش TOPSIS، یکی از روش‌های تصمیم‌گیری چند معیاره است که هوانگ و یون^۲ (1981) آن را ایجاد کردند. در این روش گزینه‌ای مناسب است و اولویت بیشتری دارد که کمترین فاصله را با راه‌حل ایدئال مثبت و بیشترین فاصله را با راه‌حل ایدئال منفی داشته باشد (Dağdeviren et al., 2009: 8145).

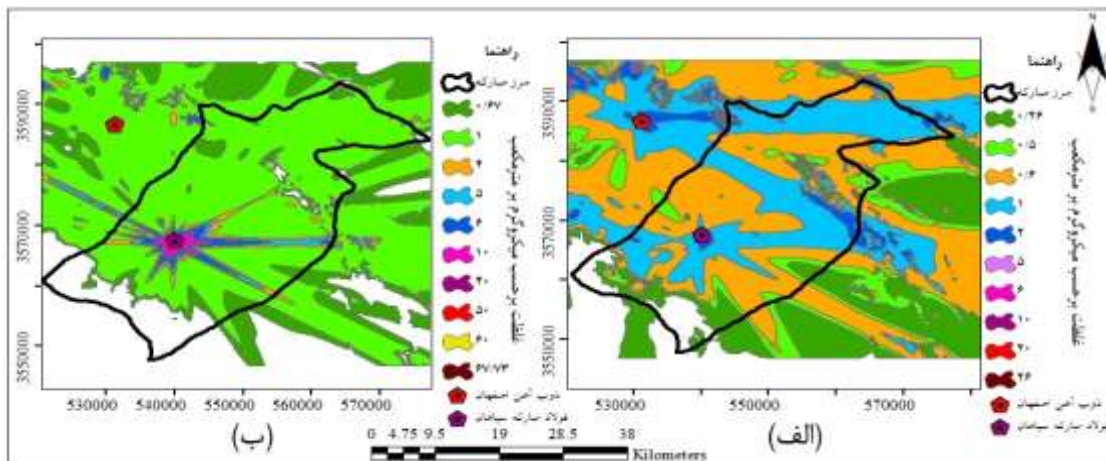
یافته‌های پژوهش و تجزیه و تحلیل آنها

پراکنش حاصل از آلاینده‌های PM₁₀ و NOx

نتایج حاصل از بررسی میزان انتشار برحسب گرم بر ثانیه با توجه به سرعت خروجی آلاینده، دبی خروجی و غلظت PM₁₀ و NOx در بازه زمانی یک‌ساله و ماهانه برای دو کارخانه فولاد مبارکه سپاهان و ذوب‌آهن اصفهان شبیه‌سازی شد؛ در شکل ۳-الف و ۳-ب منحنی هم‌تراز پراکنش سالانه PM₁₀ و NOx به ترتیب برحسب ug/m³ نشان داده شده است؛ همچنین نمودار ۱ نتایج بیشینه پراکنش حاصل از PM₁₀ و NOx را در ماه‌های مختلف سال ۱۳۹۶ نشان می‌دهد. در جدول ۴ نیز بعضی از مهم‌ترین نتایج پراکنش حاصل از این دو آلاینده آورده شده است. در این پژوهش از نقشه پراکنش سالیانه آلودگی هوا استفاده شد. دلیل اصلی این انتخاب، استفاده از سرعت و جهت میانگین سالیانه باد است. اصولاً مدیریت تخصیص کاربری اراضی و آمایش سرزمین جزو برنامه‌ریزی‌های بلندمدت محسوب می‌شود. در نتیجه دخیل کردن نقشه پراکنش ماهیانه یا حتی فصلی آلودگی هوا در آمایش سرزمین باعث ایجاد خطا در مدیریت اراضی می‌شود. از طرفی دلیل محاسبه وضعیت آلودگی هوا در ماه‌های مختلف سال، مشخص کردن میزان آلوده‌بودن منطقه بررسی شده در بیشتر طول سال در مقایسه با استانداردهای هوای پاک است.

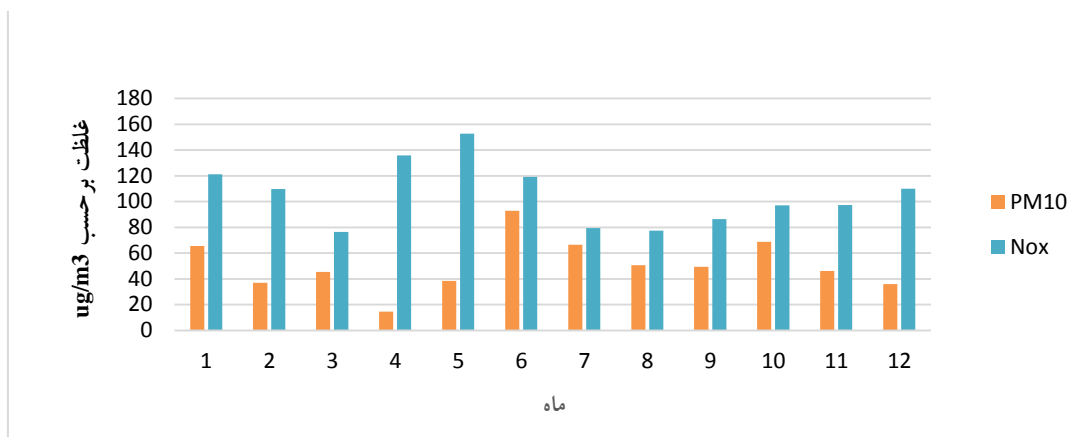
1. Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution (TOPSIS)

2. Hwang and Yoon



شکل ۳. الف. پراکنش آلودگی حاصل از PM_{10} در شهرستان مبارکه؛ ب. پراکنش آلودگی حاصل از NO_x در شهرستان مبارکه (نویسندگان، ۱۴۰۰)

Figure 3. (A) Distribution of PM_{10} pollution in Mobarakeh County, (B) Distribution of NO_x pollution in Mobarakeh County (Authors, 2021)



نمودار ۱. نمودار غلظت ماهانه PM_{10} و NO_x حاصل از فولاد مبارکه و ذوب‌آهن اصفهان (نویسندگان، ۱۴۰۰)

Graph 1. Graph of monthly concentration of PM_{10} and NO_x obtained from Mobarakeh Steel and Isfahan Steel (Authors, 2021)

جدول ۴. نتایج پراکنش سالانه PM_{10} و NO_x حاصل از فولاد مبارکه در منطقه مطالعه‌شده (نویسندگان، ۱۴۰۰)

Table 4. Results of annual emission of PM_{10} and NO_x from Mobarakeh Steel and Isfahan Steel in the study area (Authors, 2021)

آلاینده	بیشینه غلظت ($\mu g/m^3$)	جهت رخداد بیشینه غلظت	استاندارد هوای پاک ($\mu g/m^3$)	فاصله بیشینه غلظت از نزدیک‌ترین کارخانه	فاصله بیشینه غلظت از نزدیک‌ترین مرکز جمعیتی	طول جغرافیایی نقطه بیشینه غلظت	عرض جغرافیایی نقطه بیشینه غلظت
PM_{10}	۲۶/۱	شمال شرق ذوب‌آهن	۲۰	۴۰۰۰ متر	۵۰۰۰ متر	۵۳۴۰۷۸/۶۳	۳۵۸۹۱۲۱/۴۹
NO_x	۶۷/۷	جنوب فولاد مبارکه	۴۰	۲۰۰۰ متر	۷۵۰۰ متر	۵۴۰۰۷۸/۶۳	۳۵۶۷۲۲۱/۴۹

ضریب اهمیت زیرمعیارها به روش تحلیل سلسله‌مراتبی^۱

در این مطالعه به منظور تلفیق نقشه‌سازی آلودگی هوا در برنامه‌ریزی کاربری اراضی با توجه به نظرات ۱۰ نفر از متخصصان و کارشناسان محیط‌زیست، وزن‌های مربوط به معیارها و زیرمعیارهای هر کاربری مشخص و سپس وزن نهایی هر کدام (یک‌بار با توجه به آلودگی هوا و بار دیگر بدون توجه به آلودگی هوا) محاسبه شد. برای محاسبه وزن نهایی «با» و «بدون» لحاظ آلودگی هوا برای هر کاربری از روش AHP استفاده شده است. در این روش در سطر و ستون یک ماتریس، معیارها بررسی و اهمیت معیار موجود در سطر نسبت به فاکتور موجود در ستون با ارزش‌هایی در محدوده ۱ تا ۹ مشخص می‌شود. در این ماتریس میزان سازگاری^۲ باید کمتر از ۰/۱ باشد تا AHP پذیرفته شود (سالمی و همکاران، ۱۳۹۸: ۴۰). پس از محاسبه وزن اولیه معیارها و زیرمعیارها، این وزن‌ها وارد بسته نرم‌افزاری Expert choice و وزن نهایی هر یک از معیارها و زیرمعیارها برآورد شد. وزن نهایی هر یک از معیارها و زیرمعیارها به ترتیب اهمیت آنها بین ۰ و ۱ نمره‌دهی شده است؛ به طوری که هرچه یک زیرمعیار عدد بزرگ‌تری داشته باشد، شاخص مهم‌تری برای آن کاربری است؛ همچنین جمع تمام وزن‌های تعلق گرفته به هر کاربری برابر یک است؛ در جدول‌های ۵، ۶ و ۷ وزن نسبی هر کاربری (یک‌بار با توجه به آلودگی هوا و بار دیگر بدون توجه به آلودگی هوا) آورده شده است؛ همچنین میزان ناسازگاری مناطق شهری و صنعتی «با» و «بدون» لحاظ آلودگی هوا ۰/۰۱ و میزان ناسازگاری مناطق کشاورزی با توجه به آلودگی هوا ۰/۰۳ و بدون توجه به آلودگی هوا ۰/۰۴ است.

جدول ۵. وزن‌های مربوط به فاکتورهای کاربری صنعتی (نویسندگان، ۱۴۰۰)

Table 5. Weights related to industrial landuse factors (Authors, 2021)

وزن فاکتور (بدون توجه به آلودگی)	وزن فاکتور (با توجه به آلودگی)	فاکتورها	وزن فاکتور (بدون توجه به آلودگی)	وزن فاکتور (با توجه به آلودگی)	فاکتورها
۰/۰۷۱	۰/۰۷۰	مناطق کشاورزی	۰/۲۸۲	۰/۲۴۱	شیب
۰/۰۰۹	۰/۰۰۹	زمین بایر	۰/۱۱۴	۰/۰۹۸	گسل
۰/۰۰۶	۰/۰۰۶	شوره‌زار	۰/۰۴۶	۰/۰۴۰	بافت خاک
۰/۰۱۰	۰/۰۱۰	منطقه حفاظت‌شده	-	۰/۰۶۰	PM
۰/۱۰۶	۰/۱۰۶	راه اصلی	-	۰/۰۳۰	NO _x
۰/۰۱۳	۰/۰۱۳	راه فرعی	۰/۱۴۱	۰/۱۲۱	رودخانه
۰/۰۲۶	۰/۰۲۶	راه‌آهن	۰/۰۲۸	۰/۰۲۴	چاه، چشمه و قنات
۰/۰۳۵	۰/۰۳۵	شهر	۰/۰۱۵	۰/۰۱۵	مرتفع درجه سه
۰/۰۱۸	۰/۰۱۸	روستا	۰/۰۲۶	۰/۰۲۶	مرتفع درجه دو
۰/۰۰۹	۰/۰۰۹	صنایع و معادن	۰/۰۴۳	۰/۰۴۳	مرتفع درجه یک

1. Analytic Hierarchy Process (AHP)

2. Consistency Ratio

جدول ۶. وزن‌های مربوط به فاکتورهای کاربری شهری (نویسندگان، ۱۴۰۰)

Table 6. Weights related to urban landuse factors (Authors, 2021)

فاکتورها	وزن فاکتور (با توجه به آلودگی)	وزن فاکتور (بدون توجه به آلودگی)	فاکتورها	وزن فاکتور (با توجه به آلودگی)	وزن فاکتور (بدون توجه به آلودگی)
شیب	۰/۳۲۵	۰/۳۷۰	مناطق کشاورزی	۰/۰۴۲	۰/۰۴۸
گسل	۰/۱۳۲	۰/۱۵۰	زمین بایر	۰/۰۰۵	۰/۰۰۶
بافت خاک	۰/۰۵۳	۰/۰۶۱	شوره‌زار	۰/۰۰۳	۰/۰۰۴
PM	۰/۰۸۱	-	منطقه حفاظت‌شده	۰/۰۰۸	۰/۰۰۹
NO _x	۰/۰۴۱	-	راه اصلی	۰/۰۶۸	۰/۰۷۷
رودخانه	۰/۱۶۲	۰/۱۸۵	راه فرعی	۰/۰۰۸	۰/۰۱۰
مرتج درجه سه	۰/۰۰۹	۰/۰۱۰	شهر	۰/۰۱۴	۰/۰۱۵
مرتج درجه دو	۰/۰۱۵	۰/۰۱۷	روستا	۰/۰۰۶	۰/۰۰۷
مرتج درجه یک	۰/۰۲۵	۰/۰۲۸	صنایع و معادن	۰/۰۰۳	۰/۰۰۳

جدول ۷. وزن‌های مربوط به فاکتورهای کاربری کشاورزی (نویسندگان، ۱۴۰۰)

Table 7. Weights related to agricultural landuse factors (Authors, 2021)

فاکتورها	وزن فاکتور (با توجه به آلودگی)	وزن فاکتور (بدون توجه به آلودگی)	فاکتورها	وزن فاکتور (با توجه به آلودگی)	وزن فاکتور (بدون توجه به آلودگی)
شیب	۰/۰۳۳	۰/۰۴۱	مرتج درجه سه	۰/۰۲۱	۰/۰۱۹
شوری خاک	۰/۱۳۶	۰/۱۶۸	مرتج درجه دو	۰/۰۰۷	۰/۰۰۷
عمق خاک	۰/۱۰۱	۰/۱۲۵	مرتج درجه یک	۰/۰۰۴	۰/۰۰۴
قابلیت کشت اراضی	۰/۲۶۷	۰/۳۳۱	مناطق کشاورزی	۰/۰۴۵	۰/۰۴۱
فرسایش خاک	۰/۰۱۵	۰/۰۱۹	زمین بایر	۰/۰۳۴	۰/۰۳۲
زهکش خاک	۰/۰۲۲	۰/۰۲۷	منطقه حفاظت‌شده	۰/۰۱۵	۰/۰۱۴
بافت خاک	۰/۰۶۰	۰/۰۷۴	مناطق انسان‌ساز	۰/۰۱۸	۰/۰۱۷
PM	۰/۰۸۹	-	مزارع	۰/۰۸۹	۰/۰۸۳
NO _x	۰/۰۴۵	-	-	-	-

چیدمان نهایی کاربری‌های کشاورزی، صنعتی و شهری

شکل‌های ۴-الف، ۴-ب و ۴-ج نقشه مطلوبیت نهایی منطقه پژوهش را برای توسعه مناطق کشاورزی، صنعتی و شهری با توجه به آلودگی هوا و شکل‌های ۴-د، ۴-ذ و ۴-ل نقشه مطلوبیت نهایی منطقه را برای توسعه مناطق کشاورزی، صنعتی و شهری بدون توجه به آلودگی هوا به ترتیب نشان می‌دهند. در این تصاویر میزان مطلوبیت هر پیکسل از منطقه با مقداری بین ۰ تا ۱ مشخص شده است. به طور کلی هرچه مناطق به ۱ نزدیک‌تر باشند، مطلوبیت بیشتری برای آن کاربری و هرچه به صفر نزدیک‌تر باشند، مطلوبیت کمتری برای آن کاربری دارند. نتایج روش

MOLA به ترتیب در شکل‌های ۴-م و ۴-ن آورده شده است. در شکل ۴-م کاربری‌ها با توجه به آلودگی هوا و در شکل ۴-ن کاربری‌ها بدون توجه به آلودگی هوا تلفیق شدند و مساحت حدوداً ۱۱۰۰ هکتاری برای هر کاربری به دست آمد. در شکل ۴-ی نقشه چیدمان نهایی کاربری‌ها برپایه معیارهای معمول و با توجه به معیار آلودگی هوا با نقشه چیدمان نهایی کاربری‌ها با معیارهای معمول و بدون توجه به معیار آلودگی هوا مقایسه شد. ردیف اول در راهنمای نقشه به کاربری‌های حاصل از MOLA با توجه به آلودگی هوا و ردیف دوم در راهنمای نقشه به کاربری‌های حاصل از MOLA بدون توجه به آلودگی هوا مربوط است. شکل ۴-ی نشان می‌دهد لحاظ معیار آلودگی هوا به‌طور مؤثری نتیجه برنامه‌ریزی کاربری اراضی را دستخوش تغییر می‌کند؛ به طوری که از توسعه ۱۱۰۰ هکتاری هریک از کاربری‌ها، ۲۹۲ هکتار از کاربری کشاورزی، ۱۶۵ هکتار از کاربری صنعتی و ۳۹۳ هکتار از کاربری شهری به مناطق بدون کاربری تبدیل شده‌اند؛ به بیان دیگر ۲۷٪ از مساحت کاربری کشاورزی، ۱۵٪ از مساحت کاربری صنعتی و ۳۶٪ از مساحت کاربری شهری در واقعیت برای توسعه نامناسب بوده است که به دلیل لحاظ‌نشدن معیار آلودگی هوا در رویکرد سنتی برنامه‌ریزی کاربری اراضی، مناسب تشخیص داده شده بود. باقی‌مانده مساحت کاربری‌ها یعنی ۸۰۲ هکتار از مناطق کشاورزی، ۹۲۹ هکتار از مناطق صنعتی و ۷۰۱ هکتار از مناطق شهری، چه معیار آلودگی هوا اعمال شود و چه اعمال نشود، ثابت می‌مانند. با در نظر گرفتن چهار کاربری مختلف (کشاورزی، شهری، صنعتی و اراضی بدون استفاده) برای شهرستان مبارکه، حداکثر ۱۶ حالت متفاوت از تبدیل کاربری‌ها به یکدیگر انتظار می‌رود که فقط ۱۰ تبدیل در منطقه مدنظر مشاهده شد و هیچ تبدیلی متعارضی در این تبدیلات وجود ندارد؛ برای نمونه هیچ منطقه کشاورزی‌ای به منطقه صنعتی یا شهری یا برعکس آن تبدیل نشده است؛ این امر در جدول ۸ قابل مشاهده است.

تاکنون پژوهش‌های متعددی درباره ارزیابی توان انواع کاربری‌ها و برنامه‌ریزی کاربری اراضی در مناطق مختلف بدون لحاظ معیار آلودگی هوا انجام شده است؛ برای نمونه در مطالعه انتخاب مکان‌های مناسب برای مناطق صنعتی با بهره‌گیری از روش‌های GIS-fuzzy از معیارها و زیرمعیارهای معمول فیزیکی، اکولوژیک و اقتصادی اجتماعی استفاده شده است. نتایج حاصل از پژوهش نشان داد مناسب‌ترین مناطق، قسمت‌های شرقی، شمال شرقی و جنوب شرقی شهر یزد است (Khavarian-garmsir and Rezaei, 2015: 24).

در پژوهش دیگری در حوزه مکان‌یابی مناطق صنعتی نویسندگان با استفاده از رویکرد انتگرال فازی سایت‌های صنعتی را انتخاب کرده و به این نتیجه رسیده‌اند که این روش گذشته از تسهیل فرایند انتخاب برای تصمیم‌گیرندگان، در واقعیت هم روش مؤثری است (Kuo et al., 2013: 312).

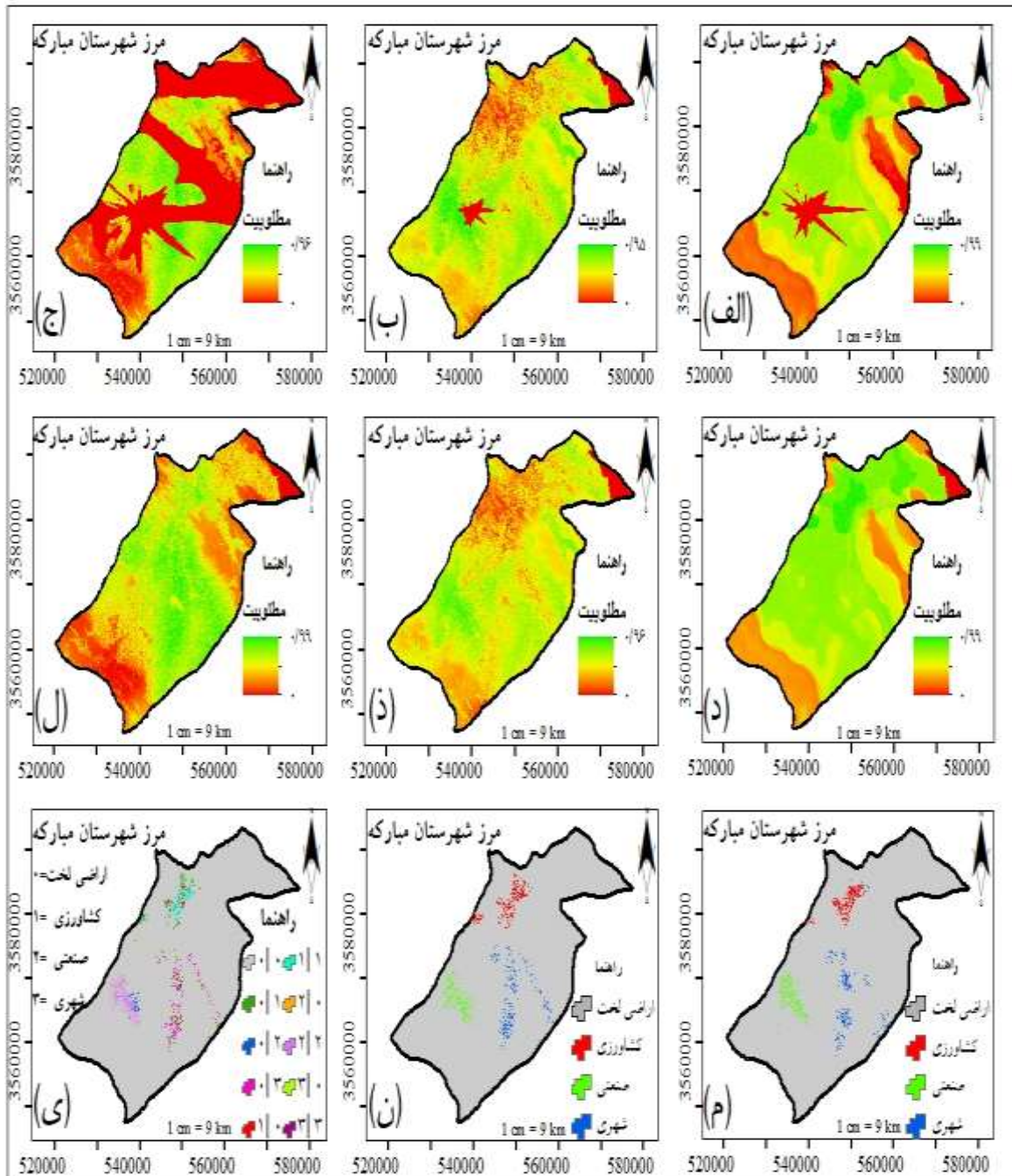
در این دو پژوهش، پژوهشگران از معیارهای معمول اکولوژیک، فیزیکی، اقتصادی و اجتماعی صرفاً برای مکان‌یابی مناطق صنعتی بدون در نظر گرفتن تأثیرات متقابل این نوع کاربری و دیگر کاربری‌ها و معیار آلودگی هوا استفاده کرده‌اند؛ به بیانی تعارضات کاربری صنعتی و آلودگی حاصل از آن با سایر کاربری‌های موجود در منطقه در نظر گرفته نشده است؛ اما وجه تشابه این پژوهش با دو پژوهش بررسی شده در حوزه مکان‌یابی مناطق صنعتی این بود که برای مکان‌یابی این مناطق از روش‌های MCE^۱ و منطق فازی استفاده شده است.

در پژوهش‌های مربوط به مکان‌یابی مناطق شهری دو مقاله بررسی شد؛ در پژوهش اول مناسب‌بودن کاربری زمین برای توسعه شهری در شهر پکن تجزیه و تحلیل شد؛ پژوهشگران برای تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های مختلف مانند آلودگی هوا از روش ارزیابی چندمعیاره (MCE) و برای وزندهی به آنها از روش میانگین وزنی منظم (OWA) استفاده کرده‌اند. نتایج این پژوهش نشان داد حدود ۲۸٪ از کل مساحت زمین شهر پکن برای توسعه شهری مناسب و حدود ۷۰٪ از زمین‌های توسعه‌یافته عمدتاً برای این کاربری نامناسب است (Liu et al., 2014: 178). در دیگر مطالعه بررسی شده درباره تحلیل تصمیم چندمعیاره برای نقشه‌برداری مناسب زمین در یک منطقه روستایی در جنوب ایتالیا، با استفاده از روش‌های ترکیب خطی وزنی (WLC) و میانگین وزنی منظم (OWA) مکان‌های مناسب شناسایی شدند. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد هم روش WLC و هم روش OWA با ریسک کم جزو روش‌هایی هستند که نقشه‌برداری دقیق‌تری از مناطق مناسب ارائه می‌دهند؛ اما روش OWA با ریسک کم در مقابله با روش WLC بهترین نتیجه را ارائه می‌دهد (Romano et al., 2015: 138). در پژوهش دوم برخلاف پژوهش اول، مبحث آلودگی هوا به‌مثابه یک معیار مهم در نظر گرفته نشده است.

در پژوهش حاضر فقط از روش ترکیب خطی وزنی (WLC) استفاده شده، اما در دو پژوهش یادشده روش میانگین وزنی منظم (OWA) نیز به کار گرفته شده است؛ دلیل استفاده از روش ترکیب خطی وزنی (WLC) در این پژوهش، همگن‌بودن شاخص‌های استفاده‌شده و حذف شاخص‌های ناهمگن با منطق بولین است که در معادله این روش موجود است.

در دو مطالعه دیگر نیز که در آنها به مکان‌یابی اراضی کشاورزی اشاره شده، همانند پژوهش حاضر با استفاده از نرم‌افزار (GIS) اراضی مناسب مکان‌یابی شده است (El Baroudy, 2016: 103; Memarbashi et al., 2017: 12). در این دو پژوهش نیز تداخل حاصل از دیگر کاربری‌ها دخیل نشده است؛ در نتیجه با این رویکرد (نادیده‌گرفتن معیار آلودگی هوا) نمی‌توان گامی مؤثر و درخور در مسیر توسعه پایدار برداشت؛ در حالی که یافته‌های پژوهشگرانی مانند Liu et al. (2014) و Ajtai et al. (2020) مؤید این موضوع است که در نظر گرفتن معیارهای فیزیکی پویا مانند معیار آلودگی هوا نتایج بهتری را نسبت به ارزیابی توان یک منطقه بدون در نظر گرفتن آنها نشان می‌دهد.

در این پژوهش با الهام‌گرفتن از پژوهش‌های یادشده، کاربری‌های کشاورزی، شهری و صنعتی در شهرستان مبارکه تخصیص داده شد. براساس نتایج حدوداً ۷۳٪ از مناطق کشاورزی، ۸۵٪ از مناطق صنعتی و ۶۴٪ از مناطق شهری در هر دو روند ثابت می‌مانند؛ در نتیجه کاربری شهری بیشترین تغییر و کمترین ثبات و کاربری صنعتی کمترین تغییر و بیشترین ثبات را داشته است؛ این امر نشان‌دهنده اثر بیشتر آلودگی هوا بر کاربری شهری نسبت به سایر کاربری‌هاست؛ از سویی ثبات بیشتر کاربری صنعتی به دلیل کم‌بودن اثر آلودگی هوا در آن مناطق نیست؛ بلکه حد مجاز آلودگی هوا برای این نوع کاربری متفاوت بوده و باعث تغییرات کم در آن شده است. این تغییرات دو دلیل دارد؛ اول مجازنبودن حد آلودگی هوا برای هر کاربری و دوم تخصیص مناطق بهتر از لحاظ آلودگی هوا که کمترین اثر بهداشتی در آن وجود داشته است.



شکل ۴. نقشهٔ مطلوبیت کاربری‌های «الف. کشاورزی، ب. صنعتی، ج. شهری با توجه به آلودگی هوا» و «د.

کشاورزی، ذ. صنعتی، ل. شهری بدون توجه به آلودگی هوا»؛ م. چیدمان کاربری‌ها با توجه به آلودگی هوا، ن. چیدمان

کاربری‌ها بدون توجه به آلودگی هوا؛ ی. مقایسهٔ دو نقشهٔ چیدمان کاربری‌ها (نویسندگان، ۱۴۰۰)

Figure 4. (A) suitability of agriculture landuse considering air pollution, (B) suitability of industrial landuse considering air pollution, (C) suitability of urban landuse considering air pollution, (D) suitability of agriculture landuse without considering air pollution, (E) suitability of industrial landuse without considering air pollution, (F) suitability of urban landuse without considering air pollution, (G) spatial landuse distribution considering air pollution, (H) spatial landuse distribution without considering air pollution, (I) comparison of the two landuse distribution scenarios (Authors, 2021)

جدول ۸. تغییرات کاربری در صورت دخیل‌شدن معیار آلودگی هوا (نویسندگان، ۱۴۰۰)

Table 8. Landuse changes if air pollution criteria are included (Authors, 2021)

دلیل تبدیل‌ها	نوع تبدیل‌ها	اگر آلودگی هوا دخیل شود (مساحت برحسب هکتار)
بدون تغییر	از مناطق بدون کاربری ثابت می‌ماند.	۱۰۵۲۶۹
بدون تغییر	از کاربری کشاورزی ثابت است.	۸۰۲
بدون تغییر	از کاربری صنعتی ثابت است.	۹۲۹
بدون تغییر	از کاربری شهری ثابت است.	۷۰۱
آلودگی زیاد یا بیش از حد مجاز برای کاربری کشاورزی	از کاربری کشاورزی به بدون کاربری تبدیل می‌شود.	۲۹۲
	از بدون کاربری به کاربری کشاورزی تبدیل می‌شود.	
آلودگی زیاد یا بیش از حد مجاز برای کاربری صنعتی	از کاربری صنعتی به بدون کاربری تبدیل می‌شود.	۱۶۵
	از بدون کاربری به کاربری صنعتی تبدیل می‌شود.	
آلودگی زیاد یا بیش از حد مجاز برای کاربری شهری	از کاربری شهری به بدون کاربری تبدیل می‌شود.	۳۹۳
	از بدون کاربری به کاربری شهری تبدیل می‌شود.	

اولویت‌بندی بهترین گزینه برای هر کاربری

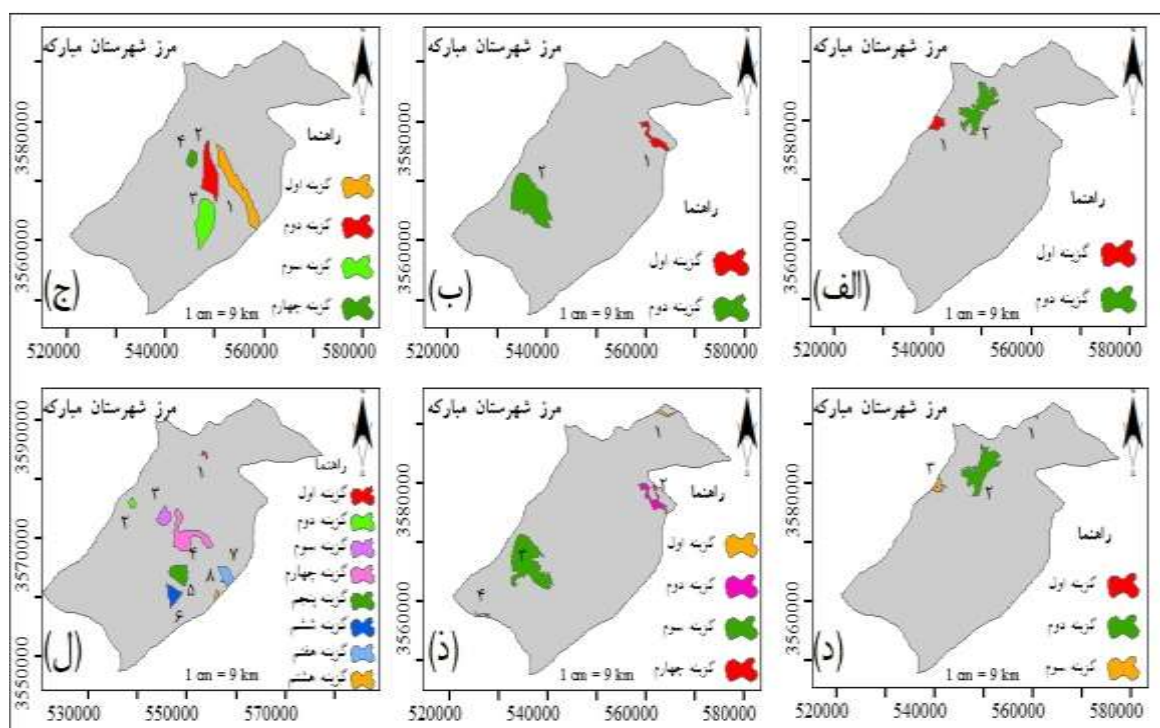
نتایج حاصل از روش TOPSIS برای کاربری‌های کشاورزی، صنعتی و شهری در جدول ۹ آورده شده است. در این جدول هرچه وزن گزینه بیشتر باشد، نشان از برتری آن گزینه برای توسعه کاربری مدنظر دارد؛ همچنین جمع وزن تمام گزینه‌های هر کاربری برابر با یک است.

براساس مطالعات پیشین مناطق کشاورزی، شهری و صنعتی در بازه زمانی ۳۰ ساله (۱۹۸۵ تا ۲۰۱۵ میلادی) در شهرستان مبارکه توسعه حدوداً یک درصدی داشته‌اند (ولی و همکاران، ۱۳۹۸: ۸۲). توسعه یک درصدی در این شهرستان حدوداً برابر با ۱۱۰۰ هکتار برای هر کاربری به‌طور جداگانه است. این مطالعه به دلیل هزینه‌های زیاد حاصل از جابه‌جایی یا تغییر کاربری به هیچ‌وجه توصیه نمی‌کند که کاربری‌های موجود دستخوش تغییرات شوند؛ اما کاملاً بر این نکته تأکید می‌کند که اگر قرار است در سال‌های آتی پیشرفت و توسعه‌ای در هر کدام از کاربری‌های کشاورزی، شهری و صنعتی در سطح شهرستان مبارکه حاصل شود، بهتر است در لکه‌های پیشنهادی باشد که در شکل ۵ مشخص شده‌اند. برای انتخاب و رتبه‌بندی این لکه‌ها پنج زیرمعیار مهم در نظر گرفته شده است: نزدیکی به منابع آب، اندازه لکه‌ها براساس کیلومتر مربع، یکپارچگی لکه‌ها، معیار دوری از مناطق مهم زیستی و لایه دسترسی به خطوط ارتباطی.

جدول ۹. اولویت‌بندی لکه‌های کاربری‌های کشاورزی، صنعتی و شهری (نویسندگان، ۱۴۰۰)

Table 9. Prioritization of agricultural, industrial and urban landuse patches (Authors, 2021)

نوع کاربری	وزن گزینه‌ها در اولویت‌بندی بدون توجه به آلودگی هوا	وزن گزینه‌ها در اولویت‌بندی با توجه به آلودگی هوا
کشاورزی	گزینه اول ۰/۴۲ و گزینه دوم ۰/۵۸	گزینه اول ۰/۲۳، گزینه دوم ۰/۴۲ و گزینه سوم ۰/۳۵
صنعتی	گزینه اول ۰/۳۷ و گزینه دوم ۰/۶۳	گزینه اول ۰/۲۴، گزینه دوم ۰/۱۹، گزینه سوم ۰/۴۳ و گزینه چهارم ۰/۱۴
شهری	گزینه اول ۰/۱۸، گزینه دوم ۰/۱۶، گزینه سوم ۰/۳۳ و گزینه چهارم ۰/۳۳	گزینه اول ۰/۰۵، گزینه دوم ۰/۲۱، گزینه سوم ۰/۱، گزینه چهارم ۰/۱، گزینه پنجم ۰/۲۷، گزینه ششم ۰/۰۹، گزینه هفتم ۰/۰۷ و گزینه هشتم ۰/۱۱



شکل ۵. نقشه اولویت‌بندی گزینه‌های الف. کشاورزی بدون توجه به آلودگی هوا، ب. صنعتی بدون توجه به آلودگی هوا، ج. شهری بدون توجه به آلودگی هوا؛ د. کشاورزی با توجه به آلودگی هوا، ذ. صنعتی با توجه به آلودگی هوا، ل. شهری با توجه به آلودگی هوا (نویسندگان، ۱۴۰۰)

Figure 5. Prioritization map of options "(A) agriculture without air pollution, (B) industrial without air pollution, (C) urban without air pollution, (D) agriculture with air pollution, (E) industrial with air pollution, (L) Urban with air pollution" (Authors, 2021)

نتیجه‌گیری

براساس نتایج پژوهش حاضر، به‌منظور ارزیابی توان کاربری‌های کشاورزی، صنعتی و شهری علاوه بر عوامل معمول، بهتر است مؤلفه‌های آلودگی هوا از جمله PM_{10} و NO_x نیز در نظر گرفته شوند. معیار آلودگی هوا از یک‌سو نقش مؤثری در چیدمان بهینه کاربری‌ها دارد و از سوی دیگر ساختار و پیکربندی لکه‌های توسعه را دستخوش تغییرات

گسترده می‌کند. با توجه به موقعیت مکانی شهرستان مبارکه و در نظر گرفتن سه کاربری اصلی این شهرستان (کشاورزی، شهری و صنعتی) و تعارضات ناشی از آلودگی هوای منطقه به دلیل وجود صنایع فولاد و رشد جمعیت، بهتر است برای طرح‌های آمایشی این‌گونه مناطق مؤلفه‌های آلودگی هوا نیز با وزن زیاد دخیل شوند. خلاصه آنکه بهبودهای بیان‌شده در این پژوهش ارتباطی به زمان یا مکان معینی ندارد و قابلیت استفاده در هر منطقه‌ای از زمین را دارد.

با توجه به ارزیابی توان انواع کاربری‌ها و برنامه‌ریزی کاربری اراضی در مناطق مختلف ایران (مخدوم، ۱۳۷۸؛ شفیع‌زاده، ۱۳۹۸؛ محمودزاده و همکاران، ۱۳۹۸) و دیگر کشورها (Kuo et al., 2013; Arefiev et al., 2015; Khavarian-garmsir and Rezaei, 2015; Romano et al., 2015; El Baroudy, 2016; Memarbashi et al., 2017; Sarwar and Maqbool, 2019) به نظر می‌رسد این پژوهش، یکی از پژوهش‌های پیشگام در تلفیق معیار آلودگی برای برنامه‌ریزی کاربری اراضی و مکان‌یابی کاربری‌های مختلف است. مطالب بیان‌شده نشان می‌دهد به‌منظور دستیابی به توسعه پایدار و درخور بهتر است همراه با استفاده از معیارهای اکولوژیک، اقتصادی اجتماعی و فیزیکی پایدار در یک منطقه، از مؤلفه‌های فیزیکی پویا مانند آلودگی هوا نیز استفاده شود تا نتایج قابل قبول‌تر با کمترین خسارت به محیط‌زیست به دست آید.

منابع

- اسماعیل‌زاده، محمد، بذرافشان، ادریس، نصرآبادی، مهناز، (۱۳۹۲). مدل‌سازی انتشار گازهای SO₂ و NO_x خروجی از دودکش نیروگاه گازی توس مشهد، مجله سلامت و محیط، دوره ۶، شماره ۱، ۷۷-۹۰.
- بهنام مرشدی، حسن، فرجی سبکبار، حسنعلی، رضوانی، محمدرضا، محمدیان، زهرا، (۱۳۹۵). برنامه‌ریزی فضایی خدمات گردشگری؛ مطالعه موردی: استان فارس، مجله پژوهش‌های جغرافیای انسانی، دوره ۴۸، شماره ۲، ۲۷۷-۲۹۵.
- دانشگاه صنعتی اصفهان، دانشکده منابع طبیعی، (۱۳۹۱). آمایش سرزمین و سند راهبردی توسعه استان اصفهان با عنوان گزارش ارزیابی توان محیطی سرزمین، اصفهان، ۲۰۱ صفحه.
- رحیمی، هادی، سلمان ماهینی، عبدالرسول، کامیاب، حمیدرضا، (۱۳۹۸). مقایسه روش فرایند تحلیل شبکه‌ای (ANP) و فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) در آمایش سرزمین به روش اختصاص چندهدفه زمین (MOLA)، نشریه سنجش از دور و سامانه اطلاعات جغرافیایی در منابع طبیعی، دوره ۱۰، شماره ۲، ۴۸-۶۲.
- رومیانی، احمد، شایان، حمید، سجاحی قیداری، حمدالله، رضوانی، محمدرضا، (۱۳۹۸). تحلیل تطبیقی برنامه‌ریزی فضایی توسعه مقصدهای گردشگری روستایی در کشورهای ایران، پرتغال، صربستان و ترکیه، فصلنامه علمی مطالعات مدیریت گردشگری، دوره ۱۴، شماره ۴۸، ۱۱۷-۱۴۸.
- سالمی، مهدی، سیاحی، زهرا، جوزی، سید علی، (۱۳۹۸). ارزیابی توان منطقه حفاظت‌شده میش داغ برای کاربری گردشگری با روش‌های ANP، AHP، PROMETTEE در محیط GIS، محیط‌زیست و توسعه، دوره ۱۰، شماره ۱۹، ۳۵-۴۶.

- سلمان ماهینی، عبدالرسول، کامیاب، حمیدرضا، (۱۳۹۰). **سنجش از دور سامانه‌های اطلاعات جغرافیایی کاربردی با نرم‌افزار ایدریسی**، چاپ دوم، تهران، انتشارات مهر مهدیس، ۵۹۶ صفحه.
- شفیعی‌زاده، محمد، (۱۳۹۸). **برنامه‌ریزی سیمای سرزمین در منطقه ساحلی مکران**، رساله دکتری آمایش و محیط زیست، استادان راهنما: مرادی، حسین، فاخران، سیما، دانشگاه صنعتی اصفهان، دانشکده منابع طبیعی.
- عرفان‌منش، مجید، افیونی، مجید، (۱۳۸۵). **آلودگی محیط‌زیست (آب، خاک و هوا)**، چاپ چهارم، اصفهان، انتشارات ارکان دانش، ۳۱۸ صفحه.
- فتحی، محسن، (۱۳۹۵). **مکان‌یابی شهرک صنعتی شهرستان سلسله در استان لرستان با استفاده از روش‌های MCE و الگوریتم تکاملی**، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، استادان راهنما: سفیانیان، علیرضا، پورمنافی، سعید، دانشگاه صنعتی اصفهان، دانشکده منابع طبیعی.
- محمد شاعری، علی، رحمتی، علیرضا، (۱۳۹۱). **قانون، مقررات، ضوابط و استانداردهای محیط‌زیست انسانی**، چاپ اول، تهران، انتشارات حک، ۳۳۲ صفحه.
- محمودزاده، حسن، پناهی، سودابه، هریسچیان، مهدی، (۱۳۹۸). **کاربرد روش چندهدفه تخصیص زمین با رویکرد آمایش سرزمین؛ مطالعه موردی: شهرستان همدان**، نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، دوره ۱۹، شماره ۵۲، ۲۱۱-۲۳۴.
- مخدوم، مجید، (۱۳۷۸). **شالوده آمایش سرزمین**، چاپ سوم، تهران، انتشارات دانشگاه تهران، ۲۸۹ صفحه.
- ولی، عباسعلی، موسوی، سید حجت، عباسی، هاجر، (۱۳۹۸). **تحلیل و ارزیابی روند تغییرات کاربری اراضی مبارکه در راستای تحقق توسعه پایدار**، جغرافیای اجتماعی شهری، دوره ۶، شماره ۲، ۷۳-۸۶.
- Ajtai, N., Stefanie, H., Botezan, C., Ozunu, A., Radovici, A., Dumitrache, R., Iriza-Burcă, A., Diamandi, A., Hirtl, M., (2020). **Support tools for land use policies based on high resolution regional air quality modelling**, Land Use Policy, Volume 95, Pp 1-13.
- Arefiev, N., Terleev, V., Badenko, V., (2015). **GIS-based fuzzy method for urban planning**, Procedia Engineering, Volume 117, Issue 1, Pp 39-44.
- Bartkowski, B., Beckmann, M., Drechsler, M., Kaim, A., Liebelt, V., Müller, B., Witing, F., Strauch, M., (2020). **Aligning agent-based modelling with multi-objective land-use allocation: Identification of policy gaps and feasible pathways to biophysically optimal landscapes**, Frontiers in Environmental Science, Vol ume 8, Issue 103, Pp 1-15.
- Chatterjee, P., Stević, Ž., (2019). **A two-phase fuzzy AHP-fuzzy TOPSIS model for supplier evaluation in manufacturing environment**, Operational Research in Engineering Sciences Theory and Applications, Volume 2, Issue 1, Pp 72-90.
- Dağdeviren, M., Yavuz, S., Kılınç, N., (2009). **Weapon selection using the AHP and TOPSIS methods under fuzzy environment**, Expert systems with applications, Volume 36, Issue 4, Pp 8143-8151.
- Emovon, I., Oghenenyero, S., (2020). **Application of MCDM method in material selection for optimal design: A review**, Results in Materials, Volume 7, Pp 1-21.
- El Baroudy, A.A., (2016). **Mapping and evaluating land suitability using a GIS-based model**, Catena, Volume 140, Pp 96-140.

- 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, Volume 63, Pp 1-13.
- 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**, Sustainable Cities and Society, Volume 61, Pp 1-16.
- Hwang, C.L., Yoon, K., (1981). *Methods for multiple attribute decision making*. Berlin: Springer.
- 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, Volume 6, Issue 1, Pp 19-25.
- Kleemann, J., Inkoom, J., Thiel, M., Shankar, S., Lautenbach, S., Furst, C., (2017). **Peri-urban land use pattern and its relation to land use planning in Ghana, West Africa**, Landscape and Urban Planning, Volume 165, Pp 280-294.
- 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, Volume 17, Pp 306-313.
- Liu, R., Zhang, K., Zhang, Z., Borthwick, A.G., (2014). **Land-use suitability analysis for urban development in Beijing**, Journal of environmental management, Volume 145, Pp 170-179.
- Lu, 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, 1-25.
- 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.
- Romano, G., Dal Sasso, P., Liuzzi, G. T., Gentile, F., (2015). **Multi-criteria decision analysis for land suitability mapping in a rural area of Southern Italy**, Land Use Policy, Volume 48, Pp 131-143.
- 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, Y., Bilal, M., Ho, H.C., Omar, A., (2020). **Urbanization and regional air pollution across South Asian developing countries—A nationwide land use regression for ambient PM_{2.5} assessment in Pakistan**, Environmental Pollution, Volume 266, Pp 1-33.

