University of Sistan and Baluchestan

Geography and Development

Print ISSN: 1735 - 0735 Online ISSN: 2676-7791

Homepage: https://gdij.usb.ac.ir

Spatial Analysis and Ranking of Noise Pollution in 15 Regions of Isfahan Metropolis

Seyed Mohamad Shokrani[1], Homayoon Nooraie[2]✉

1. Ph.D. Student of Urban Planning, College of Architecture and Urban Planning, Art University of Isfahan, Isfahan, Iran
   E-mail: sm.shokrani@aui.ac.ir
2. Assistant Professor of Urban Planning, College of Architecture and Urban Planning, Art University of Isfahan, Isfahan, Iran
   ✉ E-mail: h.nooraie@aui.ac.ir

How to Cite: Shokrani,S.M; & Nooraie, H. (2022). Spatial Analysis and Ranking of Noise Pollution in 15 Regions of Isfahan Metropolis.*Geography and Development*, 20 (67), 276-298.

DOI: http://dx.doi.org/10.22111/J10.22111.2022.6922

Received:
12 March 2021
Received in revised form:
19 November 2021
Accepted:
11 December 2021
Published online:
24 May 2022

Keywords:
Spatial analysis,
Ranking,
Noise pollution,
Isfahan metropolis.

ABSTRACT

Noise pollution, as one of the lesser-known environmental pollutants, has affected the residential areas of the country's metropolises. One of the main reasons for this problem is the lack of attention to spatial factors affecting noise pollution, lack of evaluation studies and insufficient familiarity with the methods of assessing the effects of development measures on noise pollution in the urban planning system. This study aims to spatial analysis and ranking of noise pollution in 15 regions of Isfahan metropolis. In this regard, the mixed research method (quantitative and qualitative) has been used and the required information has been collected through library and field methods. In addition, spatial analysis method in ArcGIS software was used for data analysis and Analytic Hierarchy Process (AHP) method in Expert Choice software was used to weight the indicators. The results indicate that the spatial distribution of noise pollution in the regions of Isfahan is unbalanced. As in the central regions 1, 3 and regions 8 & 10, mainly due to the existence of busy passages and non-observance of construction privacy for them, the impact of noisy land uses, population concentration and compactness, noise pollution is in a more unfavorable situation than other regions. Among the most important solutions to deal with this issue, can be mentioned to the observance of construction privacy for busy passages and noisy land uses in urban development plans, transfer of workshops and terminals from residential areas to non-sensitive areas and reducing congestion and increasing the complexity of designing new patches.

© the Author(s). **Publisher**: University of Sistan and Baluchestan

Extended Abstract

1. Introduction[1]

Urban areas are experiencing a rapid process of development, not only from an economic point of view, but also from a social and environmental point of view. Related to this development, various types of problems and abnormalities arise that affect the quality of life. In fact, cities often have environmental problems that affect the development of healthy urban activities as well as the health of citizens. Noise pollution is one of these problems *(Suriano et al., 2015: 2202; Abbaspour et al., 2019: 95).* This pollution is one of the types of environmental pollution that has not been seriously considered in relation to air and water pollution, which is due to the definition and perception of noise as a mental experience, short decay time *(Davis & Masten, 2004:750).*However,the rapid growth of urbanization

1.This article has been extracted from the first author`s master dissertation entitled: “Analysis and Ranking of 15 Regions of Isfahan Metropolis Using Biophilic Urban Planning Approach” under supervision of the second author in the Architecture and Urban Planning Faculty in Art University of Isfahan.

has increased the factors and resources that produce noise and disturbing environments (which affect daily activities such as rest, leisure, study and work), especially in metropolises *(Guedes etal, 2011:66)* and this threatens the health of citizens.

Despite the above-mentioned importance of paying attention to the problem of noise pollution and considering the spatial factors affecting it in the urban planning system, the study background study shows that most noise pollution assessment studies in the cities of the country have acted in the following two ways:

- First, research that puts direct sound measurement through mechanical measuring instruments on the agenda and therefore often has a small scale.
- Second: Studies that generally examine a factor such as land use or urban traffic and the assessment of spatial factors of noise pollution are based solely on the same factor.

This issue has caused that in our country in terms of noise assessment and as a result the identification of affected areas and areas as well as management, planning and design in the field of control methods have been poorly done and in some aspects there are no basic useful criteria (Saffarzadeh and Rahimi, 2003 cited in Hasani et al., 2012: 2).

Due to the mentioned vacuum, the purpose of this article is to identify the spatial factors affecting noise pollution and to analyze and rank the 15 regions of Isfahan metropolis in this regard. Because the city of Isfahan in recent decades due to increasing population, location in the center of the country and tourism potential, with a significant daily traffic volume, especially on highways and main thoroughfares (which often lack urban planning criteria related to control and reduction Noise pollution) and on the other hand, the presence of annoying uses such as industrial and workshop near sensitive uses such as residential and medical, has intensified the role of spatial factors affecting noise pollution. Therefore, in line with the above goal, first the spatial indicators of noise pollution analysis have been extracted by referring to theoretical and experimental foundations and then the situation of 15 regions of Isfahan metropolis has been measured and analyzed based on spatial indicators. Finally, while discussing the results, suggestions for controlling and reducing noise pollution have been presented.

2. Methods and Material

The present study has a mixed paradigm due to the use of both quantitative survey and qualitative case study methods. Also, this research is a part of applied research in terms of purpose. The required information has been collected in order to describe and analyze the indicators by library and field methods (using Isfahan detailed survey plan maps, Isfahan city statistics, Isfahan metropolis atlas, traffic volume data received from Isfahan Municipality Deputy of Transportation and Traffic and Update the data by referring to the Deputy of Planning and Human Capital Development of Isfahan Municipality). In order to analyze the indicators, first the description and spatial analysis of each indicator in the regions of Isfahan metropolis has been done. Spatial analysis of each of the population density and vegetation density indices with Point Density tool, traffic volume index with Line Density tool, distance index from noise pollution generating uses with Euclidean Distance tool and building density indices, percentage of urban open spaces, average size of building parts and The average shape of the parts is done with the Spatial Join tool in GIS software.

After preparing descriptive and analytical maps based on spatial analysis of noise pollution, the regions have been classified based on these maps and each indicator has been separated. In the next step, the weights of the indicators were done by AHP hierarchical analysis process method and using Expert Choice software to obtain the coefficients of importance of the indicators in relation to each other. Thus, through qualitative sampling method of known cases *(Ranjbar et al., 2012: 244; Teddlie & Yu, 2007: 81)*, 30 questionnaires were provided to the experts and they were asked to measure the coefficients of importance of the indicators relative to each other. Base points based on the subject and regardless of the position. Finally, after determining the weight of the indicators, using the spatial analysis method and Map Algebra tool in GIS software, the indicators were overlapped and a noise pollution ranking map was prepared (it should be noted that due to the different effects of land uses on noise pollution, In order to analyze the distance index from noise pollution generating uses, after preparing the zoning map based on each user, weighting to each user and finally overlapping the

maps based on this process has been done). It is worth mentioning that the ranking of regions is based on the five Likert spectrum with the help of normal distribution of GIS software.

3. Results and Discussion

The results show the different distribution of noise pollution in 15 regions at five ranks as follows:

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

4. Conclusion

In this article, in order to investigate the spatial distribution of noise pollution in 15 regions of Isfahan metropolis, after reviewing the research background and theoretical foundations related to the subject, eight indicators of spatial analysis of noise pollution in urban environment including traffic volume, distance from noise pollution generating land uses, Population density, vegetation density, percentage of urban open spaces, average area of constructed patches, building density and average shape of patches were extracted and studied in 15 regions. The results indicate that the spatial distribution of noise pollution in the regions of Isfahan can be classified into five levels of very low, low, medium, high and very high noise pollution. So that the central regions 1 and 3 and regions 8 and 10 are in the most unsuitable condition and region 4 is in the most suitable condition.

Based on the results of spatial analysis based on the existing indicators and facilities and limitations of the regions in terms of spatial distribution of noise pollution, one of the most important causes of noise pollution in Isfahan metropolis can be high traffic, especially in the main thoroughfares and highways. And Saz pointed out for these passages and the existence of high compaction and density of buildings next to them. Other main causes of noise pollution include non-compliance with the privacy of noise pollution generating uses such as workshops and terminals and its proximity to residential areas. In order to solve these problems, it is necessary, in the first place, in comprehensive and detailed plans, to observe the construction privacy for busy passages and noisy land uses and the spatial parameters proposed in this research should be considered in this type of plans. In parallel with these cases, it is necessary to implement measures in the scale of regions and neighborhoods to control and reduce noise pollution in priority regions and with emphasis on the four spatial factors of the theoretical foundations. Also, at a higher level, we can include cases such as flaws in existing regulations and failure to apply comprehensive legal measures with executive guarantees regarding noise pollution, lack of attention to macro-spatial factors affecting noise pollution in the urban planning system, traditional transport planning structure and disregard for impacts. Due to the transportation system on noise pollution and lack of evaluation studies and insufficient familiarity with methods and tools to assess the effects of development measures on the occurrence of noise pollution, especially in the field of urban planning as the most important causes of noise pollution, especially in country's metropolises.

Keywords: Spatial analysis, Ranking, Noise pollution, Isfahan metropolis.

5. References

Abbaspour, M., Karimi, E., Nassiri, P., Monazzam, M. R. and Taghavi, L. (2015). Hierarchal assessment of noise pollution in urban areas- A case study. Transportation Research Part D, 34, 95-103.
https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1361920914001436

Ariza-Villaverde, A. B., Jiménez-Hornero, F. J. and Gutiérrez De Ravé, E. (2014). Influence of urban morphology on total noise pollution: Multifractal description. Sci, Total Environ, 472, 1-8.
https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969713012357

Bilasco, S., Govor, C., Roşca, S., Vescan, I., Filip, S. and Fodorean, I. (2017). GIS model for identifying urban areas vulnerable to noise pollution. Frontiers of Earth Science, 11 (2), 214-228.
https://link.springer.com/article/10.1007/s11707-017-0615-6

Blesser, B . and Salter, L. L. R. (2009). The Other Half of the Soundscape: Aural Architecture. World Federation Acoustic Ecology Conference, Mexico City.
https://www.semanticscholar.org/paper/The-Other-Half-of-the-Soundscape%3A-Aural-Blesser-Salter/f7e45efd5aa4207c1ef35e251f033283c1a1caf9

Caswell, S. J. and Jakus, K. (1977). Role of land use planning in noise control. In: Heisler, G.M.; Herrington, Lee P., eds. Proceedings of the conference on metropolitan physical environment. Upper Darby, PA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, 242-253.
https://www.fs.usda.gov/treesearch/pubs/11556

Council of Ministers. (1999). Executive regulations on how to prevent noise pollution. Tehran, Iran.
https://rc.majlis.ir/fa/law/show/119297

Daniel, P., Maïté, T., Eduardo, B., José, P. and Anthony, P. (2014). Where Are We Out? Spatial Analysis of Noise Pollution in Bogota. 43rd International Congress on Noise Control Engineering: Improving the World Through Noise Control.
https://acoustics.asn.au/conference_proceedings/INTERNOISE2014/papers/

Davis, M. L. and Masten, S. J. (2004). Principles of Environmental Engineering and Science. McGrawHill.
https://books.google.com/books/about/Principles_of_Environmental_Engineering.html?id=0sXM9DRtw58C

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

Doygun, H. and Kuşat Gurun, D. (2008). Analysing and mapping spatial and temporal dynamics of urban traffic noise pollution: a case study in Kahramanmaraş, Turkey. Environmental Monitoring and Assessment, 142 (1-3), 65-72.
https://link.springer.com/article/10.1007/s10661-007-9908-7

Fenta, A. A. (2017). The dynamics of urban expansion and land use/land cover changes using remote sensing and spatial metrics: the case of Mekelle City of northern Ethiopia. International Journal of Remote Sensing, 38 (14), 4107-4129.
https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01431161.2017.1317936

Gharib, F. (2020). Communication Network in Urban Design, Twelth Printing, University of Tehran Press, Tehran.

Guedes, I. C. M, Bertoli, S. R. and Zannin, P. H. T. (2011). Influence of urban shapes on environmental noise: A case study in Aracaju- Brazil. Science of the Total Environment, 412- 413, 66- 76.
https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969711012101

Han, X., Huang, X., Liang, H., Ma, S., and Gong, J. (2018). Analysis of the relationships between environmental noise and urban morphology. Environmental Pollution, 233, 755-763.
https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0269749117317748

Hao, Y., Kang, J., Krijnders, D., and Wörtche, H. (2015). On the relationship between traffic noise resistance and urban morphology in low-density residential areas. Acta Acustica United with Acustica.
https://www.researchgate.net/publication/235006190_On_the_Relationship_between_Traffic_Noise_Resistance_and_Urban_Morphology_in_Low-Density_Residential_Areas

Hasani, F., Rahmatizadeh, S., Nasiri., P. and Manzampour M. (2012). Investigation of noise pollution caused by vehicle traffic in the Grand Market of Tehran City. Second Conference on Environmental Planning and Management, Tehran.
https://civilica.com/doc/147484/

Huang, X., Liu, H. and Zhang, L. (2015). Spatiotemporal detection and analysis of urban villages in mega city regions of China using high-resolution remotely sensed imagery. IEEE Trans. Geosci. Remote Sens, 53, 3639-3657.
https://ieeexplore.ieee.org/document/7005456

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

Isfahan Municipality. (2019). Statictics of Isfahan city. Isfahan, Iran.
http://www.isfahanold.ir/Index.aspx?lang=1&sub=36

Jain, R.; Cindy C. Z. and Domen, J. K. (2016). Environmental Impact of Mining and Mineral Processing, Management, Monitoring and Auditing Strategies. Oxford, UK: Butterworth Heinemann.
https://www.sciencedirect.com/book/9780128040409/environmental-impact-of-mining-and-mineral-processing

Klingberg, J., Broberg, M., Strandberg, B., Thorsson, P., and Pleijel, H. .(2017). Influence of urban vegetation on air pollution and noise exposure - A case study in Gothenburg, Sweden. The Science of the Total Environment,599,1728-1739.
https://europepmc.org/article/med/28545203

Lam, K. C., Ma, W., Chan, P. K., Hui, W. C., Chung, K. L., Chung, Y. T., Wong, C. Y. and Lin, H. (2013). Relationship between road traffic noisescape and urban form in Hong Kong. Environmental Monitoring and Assessment, 185 (12), 9683-9695.
https://link.springer.com/article/10.1007/s10661-013-3282-4

Lee, S. W., Chang, S. I., and Park, Y. M. (2008). Utilizing noise mapping for environmental impact assessment in a downtown redevelopment area of Seoul, Korea. Applied Acoustics, 69 (8), 704-714.
https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0003682X07000424

Masum, M. H., Pal, S. K., Akhie, A. A., Ruva, I. J., Akter, N., and Nath, S. (2021). Spatiotemporal monitoring and assessment of noise pollution in an urban setting. Environmental Challenges, 5, 1-11.
https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2667010021001979

Mazaheri Jajaie, R. (2020). Modeling the relationship between noise pollution and landscape metrics of urban structures and green covers (case study: Esfahan City). Journal of Research in Environmental Health, 6(1), 45-55.
https://jreh.mums.ac.ir/article_16119.html?lang=en

Mohammadi Dah Chashmeh, M., Shanbehpour, F. (2017). measure the Spatial coefficient acoustic comfort in the metropolitan of Ahvaz. Journal of Environmental Studies, 43(2), 349-364.
doi: 10.22059/jes.2017.63083 https://jes.ut.ac.ir/article_63083.html

Mohammadi Dah Cheshmeh, M., Firoozi, M. and Shanbehpour, F. (2018) The spatial analysis of proximity in noisy land use from the acoustic comfort perspective, Ahvaz metropolis. MJSP. 2018; 22 (3) :56-79.
https://hsmsp.modares.ac.ir/article-21-16521-fa.html

Moharramnejad, N. and Safaripour, M. (2009). 5. Journal of Environmental Science and Technology, 10(4), 43-70.
http://jest.srbiau.ac.ir/article_219.html

Murphy, E. and King, E. A. (2010). Strategic environmental noise mapping: Methodological issues concerning the implementation of the EU Environmental Noise Directive and their policy implications. Environment international, 36 (3), 290-298.
https://www.researchgate.net/publication/40833292_Strategic_environmental_noise_mapping_Methodological_issues_concerning_the_implementation_of_the_EU_Environmental_Noise_Directive_and_their_policy_implications

Murphy, E. and King, E. A. (2014). Environmental Noise Pollution: Noise Mapping, Public Health, and Policy. Elsevier.
https://www.sciencedirect.com/book/9780124115958/environmental-noise-pollution

Naqsh e Jahan Pars Consulting Engineers. (2014). Revision plan For Detailed Plan of Isfahan City. Isfahan, Iran.

Parvizian, A., Ahmadi, H., amanpour, S., and derakhshan, A. (2020). Modeling land use map locations to produce a maps of noise pollution; (Case Study: Yasouj). Journal of Geography and Environmental Studies, 9(34), 7-22.
http://ges.iaun.ac.ir/article_677535.html?lang=en

Ranjbar, H., Haghdoost, A. A., Salsali, M., Khoshdel, A., Soleimani, M. A. and Bahrami, N. (2012). Sampling In Qualitative Research: A Guide for Beginning. Annals of Military and Health Sciences Research, 10 (3), 238-250. https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?ID=199173

Saffarzadeh, M. & Rahimi, F. (2003). Noise pollution in transportation systems. Environmental Protection Agency.

Sakieh, Y., Jaafari, S., Ahmadi, M., and Danekar, A. (2017). Green and calm: Modeling the relationships between noise pollution propagation and spatial patterns of urban structures and green covers. Urban Forestry & Urban Greening, 24, 195-211. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1618866716305398

Salomons, E. M., and Pont, M. B. (2012). Urban traffic noise and the relation to urban density, form, and traffic elasticity. Landscape and Urban Planning, 108 (1), 2-16. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0169204612002228

Silva, L. T., Oliveira, M., and Silva, J. F. (2014). Urban form indicators as proxy on the noise exposure of buildings. Applied Acoustics, 76, 366-376. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0003682X13001990

Smile Consortium. (2003). Guidelines for Road Traffic Noise Abatement. Smile workshop, Berlin, Germany. https://ec.europa.eu/environment/life/project/Projects/index.cfm?fuseaction=home.showFile&rep=file&fil=SMILE_guidelines_noise_en.pdf

Soltanian S. and Narimousa Z. (2016). Evaluation of Noise pollution in Omidiyeh city, 2015. Journal of health research in community. 1 (4), 12-20. http://jhc.mazums.ac.ir/article-1-105-fa.html

Statistical Center of Iran. (2016). General Census of Population and Housing in 1395. https://www.amar.org.ir/

Suriano, M. T., de Souza, L. C. L. and da Silva, A. N. R. (2015). A decision-support tool for the control of urban noise pollution. Ciênc. saúde coletiva, 20 (7), 2201-2210. https://www.researchgate.net/publication/280030196_A_decision-support_tool_for_the_control_of_urban_noise_pollution

Teddlie, C., and Yu, F. (2007). Mixed Methods Sampling: A Typology With Examples. Journal of Mixed Methods Research, 1(1), 77-100. https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/1558689806292430

Tekyeh Khah, J. and Katorani, S. (2019). Evaluation of noise pollution caused by urban traffic and its effect on the level of anxiety of citizens in Sanandaj city. Motaleate shahri, 8 (32), 117-127. http://urbstudies.uok.ac.ir/article_61213.html

Tong, H., and Kang, J. (2021). Characteristics of noise complaints and the associations with urban morphology: A comparison across densities. Environmental Research, 197, 1-9. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S001393512100339X

Yang, W., He, J., He, C., and Cai, M. (2020). Evaluation of urban traffic noise pollution based on noise maps. Transportation Research, Part D, 87, 1-14. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1361920920307033

Yuan, M., Yin, C., Sun, Y. and Chen, W. (2019). Examining the associations between urban built environment and noise pollution in high-density high-rise urban areas: A case study in Wuhan, China. Sustainable Cities and Society, 50. 1-9. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2210670718322534

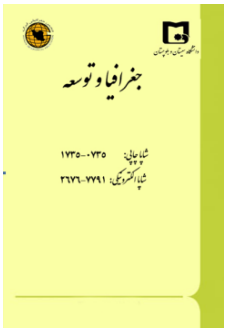
جغرافیا و توسعه
شاپا چاپی: ۰۷۳۵-۱۷۳۵ شاپا الکترونیکی: ۷۷۹۱-۲۶۷۶
https://gdij.usb.ac.ir

تحلیل فضایی و سطح‌بندی آلودگی صوتی در مناطق ۱۵گانهٔ کلان‌شهر اصفهان

مقاله پژوهشی

سید محمد شکرانی[۱]، دکتر همایون نورائی[۲*]

جغرافیا و توسعه، شمارهٔ ۶۷،تابستان ۱۴۰۱
تاریخ دریافت:۱۳۹۹/۱۲/۲۲
تاریخ بازنگری داوری: ۱۴۰۰/۰۸/۲۸
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۹/۲۰
صفحات : ۲۹۸-۲۷۶



واژه‌های کلیدی:
تحلیل فضایی، سطح‌بندی، آلودگی صوتی، کلان‌شهر اصفهان

چکیده

آلودگی صوتی به‌عنوان یکی از آلودگی‌های زیست‌محیطی که کمتر مورد توجه قرار گرفته‌است. پهنه‌های مسکونی کلان‌شهرهای کشور را تحت‌تأثیر قرار داده‌است. از عمده‌ترین دلایل این معضل، کم‌توجهی به عوامل فضایی تأثیرگذار بر آلودگی صوتی، کمبود مطالعات ارزیابی و آشنایی ناکافی از روش‌های ارزیابی اثرات اقدامات توسعه بر آلودگی صوتی در نظام برنامه‌ریزی شهری است. این پژوهش با هدف تحلیل فضایی و سطح‌بندی آلودگی صوتی در مناطق ۱۵گانهٔ کلان‌شهر اصفهان است. در این راستا از روش پژوهش ترکیبی (کمّی و کیفی) استفاده شده و اطلاعات موردنیاز از طریق روش‌های کتابخانه‌ای و میدانی گردآوری شده‌است. ضمن اینکه برای تحلیل داده‌ها از روش تحلیل فضایی در نرم‌افزار ArcGIS و درجهت وزن‌دهی به شاخص‌ها از روش فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی (AHP) در نرم‌افزار Expert Choice بهره گرفته شده‌است. نتایج پژوهش حاکی از آن است که توزیع فضایی آلودگی صوتی در مناطق کلان‌شهر اصفهان به‌صورت نامتوازن است. به‌گونه‌ای که در مناطق مرکزی ۱ و ۳ و مناطق ۸ و ۱۰ عمدتاً به‌واسطهٔ وجود معابر پرتردد و عدم‌رعایت حریم ساخت‌وساز برای آن‌ها، تأثیرپذیری از کاربری‌های صداساز، تمرکز جمعیّت و فشردگی، آلودگی صوتی در وضعیت نامناسب‌تری نسبت‌به سایر مناطق است. ازجمله مهم‌ترین راهکارهای مقابله با این مسئله، می‌توان به رعایت حریم ساخت‌وساز برای معابر پرتردد و کاربری‌های صداساز در طرح‌های توسعهٔ شهری، کاهش حجم ترافیک در معابر مجاور محلات مسکونی از طریق انتقال ترافیک به مسیرهای جدید غیرحساس، ایجاد خاکریز به همراه پوشش گیاهی در زمین‌های بدون استفاده موجود در لبهٔ بزرگراه‌ها، جلوگیری از فروش تراکم مازاد ساختمانی در نزدیکی معابر پرتردد، انتقال فعالیت‌های کارگاهی و پایانه‌ها از محلات مسکونی به محدوده‌های غیرحساس (خارج از محدودهٔ شهر) و کاهش فشردگی و افزایش پیچیدگی در طراحی قطعات جدید اشاره کرد.

مقدمه

مناطق شهری در حال تجربهٔ یک فرایند سریع از توسعه، نه‌تنها از نظر اقتصادی، بلکه از جنبه‌های اجتماعی و زیست‌محیطی نیز است. مرتبط با این توسعه، انواع مختلف مشکلات و ناهنجاری‌ها به‌وجود می‌آیند که بر کیفیت زندگی تأثیر می‌گذارد. درواقع شهرها اغلب دارای مشکلات زیست‌محیطی هستند که توسعهٔ فعالیت‌های شهری سالم و نیز سلامت شهروندان را تحت‌تأثیر قرار می‌دهند. آلودگی صوتی یکی از این معضلات است (*Abbaspour et al., 2015: 95; Suriano et al., 2015: 2202*). این آلودگی یکی از انواع آلودگی‌های زیست‌محیطی است که نسبت‌به آلودگی‌های هوا و آب به‌صورت جدی مورد توجه قرار نگرفته است که ناشی از تعریف و ادراک سروصدا به‌عنوان یک تجربهٔ ذهنی و کوتاه‌بودن زمان زوال آن است (*Davis & Masten, 2004: 750*). این درحالی است که رشد سریع شهرنشینی باعث افزایش عوامل و منابع تولیدکنندهٔ سروصدا و محیط‌های مزاحم (که بر فعالیت‌های روزانه مانند استراحت، اوقات فراغت، مطالعه و کار تأثیر می‌گذارد) به‌خصوص در کلان‌شهرها شده‌است (*Guedes et al., 2011: 66*) و این موضوع سلامت شهروندان را تهدید می‌کند. علی‌رغم اهمیت مذکور در خصوص توجه به معضل آلودگی صوتی و

۱. دانشجوی دکترای شهرسازی، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر اصفهان، اصفهان، ایران sm.shokrani@aui.ac.ir
۲. استادیار گروه شهرسازی، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه هنر اصفهان، اصفهان، ایران (نویسنده مسئول) h.nooraie@aui.ac.ir

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

درنظرگرفتن عوامل فضایی مؤثر بر آن در نظام برنامه‌ریزی شهری در راستای دستیابی به محیط صوتی مناسب‌تر *(Tong & Kang, 2021: 8)*، مطالعهٔ پیشینهٔ پژوهش، بیانگر آن است که غالب مطالعات ارزیابی آلودگی صوتی در شهرهای کشور به دو صورت زیر عمل کرده‌اند: *نخست:* پژوهش‌هایی که اندازه‌گیری مستقیم صدا ازطریق وسایل اندازه‌گیری مکانیکی را در دستور کار قرار داده و بنابر این غالباً مقیاسی خُرد دارند.

دوم: پژوهش‌هایی که عموماً یک عامل نظیر کاربری زمین یا ترافیک شهری مورد بررسی قرار داده و ارزیابی عوامل فضایی آلودگی صوتی صرفاً براساس همان عامل صورت پذیرفته‌است.

این موضوع باعث شده‌است که در کشور ما از نظر ارزیابی سروصدا و درنتیجه شناخت مناطق و نواحی تحت‌تأثیر و نیز مدیریت، برنامه‌ریزی و طراحی در زمینه‌های شیوه‌های کنترلی ضعیف عمل‌شده و در برخی از جنبه‌ها اصولاً معیارهای پایه‌ای سودمندی وجود نداشته باشد *(صفارزاده و رحیمی، ۱۳۸۲ به نقل از حسنی و همکاران، ۱۳۹۱: ۲)*.

باتوجه به خلأ مذکور، هدف از این مقاله شناسایی عوامل فضایی مؤثر بر آلودگی صوتی و تحلیل و سطح‌بندی مناطق ۱۵گانهٔ کلان‌شهر اصفهان در این ارتباط است؛ زیرا شهر اصفهان در دهه‌های اخیر از سویی به‌واسطهٔ افزایش روزافزون جمعیّت، موقعیت قرارگیری در مرکز کشور و پتانسیل گردشگری، با حجم ترافیک روزانهٔ قابل‌توجهی به‌خصوص در بزرگراه‌ها و معابر اصلی (که اکثراً فاقد معیارهای برنامه‌ریزی شهری مرتبط با کنترل و کاهش آلودگی صوتی هستند) مواجه است و از سوی دیگر وجود کاربری‌های مزاحم نظیر صنعتی و کارگاهی در نزدیکی کاربری‌های حساس نظیر مسکونی و درمانی، نقش عوامل فضایی تأثیرگذار بر آلودگی صوتی را تشدید کرده‌است؛ بنابراین در راستای هدف فوق، ابتدا شاخص‌های فضایی تحلیل آلودگی صوتی از طریق مراجعه به مبانی نظری و تجربی استخراج شده‌است و سپس وضعیت مناطق ۱۵گانهٔ کلان‌شهر اصفهان براساس شاخص‌های فضایی سنجش و تحلیل شده‌است. درنهایت نیز، ضمن بحث دربارهٔ نتایج، به ارائهٔ پیشنهادات کنترل و کاهش آلودگی صوتی پرداخته شده‌است.

مرور ادبیات نظری و تجربی

- آلودگی صوتی، منابع و نحوهٔ انتشار آن در عرصه‌های شهری

صدا، عاملی است که ازیک رویداد پویا سرچشمه گرفته و انرژی مکانیکی آن را به موج صوتی پخش‌کننده در هوا تبدیل کرده و سپس وجود رویداد را در سطح منطقه منتشر می‌کند. صدا سازوکار انتقال است که ازطریق آن رویدادهای دوردست احساس می‌شوند *(Blesser & Salter,2009: 3)*. آلودگی صوتی را می‌توان به‌عنوان هرگونه صدای آزاردهنده یا ناخواسته‌ای تعریف کرد که باعث ایجاد مزاحمت برای انسان‌ها یا حیات‌وحش می‌شود *(Jain et al., 2016: 136)*. سازوکار انتشار این آلودگی تحت‌تأثیر دو عامل کلیدی نوع و پیکربندی محیط دریافت‌کنندهٔ آن و مسیری که امواج صوتی برای رسیدن به محیط دریافت‌کننده می‌گذرانند، است *(Sakieh et al., 2017: 196)*. برمبنای تعریف سازمان بهداشت جهانی، این آلودگی صدایی ناخواسته با مدت زمان، شدت یا کیفیتی است که به انسان آسیب جسمی و روحی وارد می‌کند. این سازمان آلودگی صوتی را به‌دلیل تعدد منابع (ترافیک، صنعت، محل کار و همجواری) خطری جدی برای سلامت شهروندان معرفی کرده‌است *(تکیه‌خواه و کاتورانی، ۱۳۹۸: ۱۱۹)*. در ایران، مطابق با آئین‌نامهٔ اجرایی قانون نحوهٔ جلوگیری از آلودگی صوتی، این آلودگی عبارت است از پخش و انتشار هر گونه صوت و صدا و ارتعاش مربوط بیش از حد مجاز در فضای باز (غیرسرپوشیده). منابع و

کانون‌های آلودگی صوتی در این آیین‌نامه عبارت‌اند از:

- نیروگاه‌ها و پالایشگاه‌ها؛
- کارخانه‌ها و کارگاه‌ها؛
- وسایل نقلیهٔ موتوری اعم از هوایی، دریایی، زمینی و زیرزمینی؛
- فرودگاه‌ها، پایانه‌های حمل‌ونقل و توقفگاه‌های دائمی وسایل نقلیهٔ موتوری؛
- تعمیرگاه‌های وسایل نقلیهٔ موتوری و آن دسته از واحدهای صنفی که فعالیت آن‌ها با آلودگی صوتی ملازمه دارد؛
- میدان‌ها تیر و محل‌های تمرین نظامی؛
- سایر منابع مانند ژنراتورها و موتورهای تولید برق، استقرار بلندگوها در اماکن عمومی و محوطه‌های غیرسرپوشیده، مباشرت به هر عمل یا ترک عمل که ایجاد آلودگی صوتی کند *(هیئت وزیران، ۱۳۷۸)*.

درواقع آلودگی صوتی در شهرها را می‌توان در سه بخش اصلی دسته‌بندی کرد:

۱. آلودگی ناشی از صدای تأسیسات صنعتی، مانند سروصدای کارگاه‌های ساختمانی و فلزکاری؛

۲. آلودگی ناشی از صدای ترافیک شهری، مانند سروصدای حرکت وسایل نقلیه در خیابان‌ها و بزرگراه‌ها، قطارها و هواپیماها؛

۳. آلودگی ناشی از صدای داخل خانه‌ها، مانند سروصدای لوازم برقی خانگی و حرکت آسانسورها *(قریب، ۱۳۹۹: ۱۴۷)*.

- روش‌ها و مدل‌های ارزیابی و تحلیل آلودگی صوتی

ارزیابی آلودگی صوتی در ابتدا از طریق تهیهٔ نقشه سروصدا، در اروپا توسعه یافت *(Lee et al., 2008: 704)*. تهیهٔ نقشهٔ سروصدا به‌عنوان روشی برای ارائهٔ میزان و سطح صدای محاسبه یا اندازه‌گیری‌شده به‌وسیلهٔ نقاط (ایستگاه‌ها) در یک محدودهٔ جغرافیایی خاص تعریف می‌شود *(Murphy & King, 2010: 291)*. ازجمله پژوهش‌های صورت‌گرفته براساس این روش می‌توان به مطالعهٔ معصوم و همکاران (۲۰۲۱) با محوریت پایش و ارزیابی زمانی- مکانی سطح صدا و شاخص‌های آلودگی صوتی در محیط شهری، پژوهش یانگ و همکاران (۲۰۲۰) با محوریت ارزیابی آلودگی صوتی ترافیک در ساعات مختلف براساس نقشه‌های صوتی، پژوهش سوریانو و همکاران (۲۰۱۵) در زمینهٔ تدوین روشی برای تعیین کمّیت مواجهه جمعیّت با سروصدا با پیشنهاد طبقه‌بندی بلوک‌های شهری و مطالعهٔ سلطانیان و نری‌موسی (۱۳۹۴) با هدف اصلی تعیین آلودگی صوتی در مناطق مختلف شهر امیدیه اشاره کرد که با استفاده از دستگاه‌های مختلف به اندازه‌گیری کمّی و سپس مدل‌سازی سروصدا پرداخته شده‌است. اگرچه این روش‌ها در پایش و شبیه‌سازی سروصدا مفید هستند و داده‌های کمّی به‌دست‌آمده از این روش‌ها توصیف‌کنندهٔ وضع موجود و گذشتهٔ میزان صدا هستند؛ اما به نظر می‌رسد این داده‌ها قادر به آینده‌نگری، تعیین پهنه‌های دارای پتانسیل آلودگی صوتی و عوامل و دلایل وقوع آلودگی صوتی در مناطق مختلف نیستند و همچنین بر ویژگی‌های خُرد محلی محیط شهری تأکید دارند و خصوصیاتی نظیر پوشش زمین، کاربری اراضی، فرم ساختمان‌ها و جاده در شهرها را درنظر نمی‌گیرند *(Yuan et al., 2019: 2)*. در این راستا اخیراً پژوهش‌هایی با روش تحلیل فضایی آلودگی صوتی در سطح کلان صورت گرفته‌است. ازجمله عباس‌پور و همکاران (۲۰۱۵) پس از ارزیابی غیرمستقیم آلودگی صوتی براساس سه شاخص جمعیّت، نوع معابر و کاربری و مقایسه آن با ارزیابی مستقیم صورت‌گرفته از طریق اندازه‌گیری کمّی، به نتایج مشابهی در ارتباط با نقشه حاصل از هر دو نوع

ارزیابی دست یافتند. همچنین دنیل و همکاران (۲۰۱۴) در مطالعهٔ خود به تحلیل فضایی سروصدا برمبنای فشار صوت و جریان ترافیک، پرویزیان و همکاران (۱۳۹۹) به تولید نقشهٔ آلودگی صوتی با مدل‌سازی مکانی نقشهٔ کاربری اراضی و محمدی ده‌چشمه و همکاران (۱۳۹۷) به تحلیل فضایی آلودگی صوتی براساس کاربری‌های صداساز پرداختند. مطابق با مطالعات صورت‌گرفته، اگرچه روش تحلیل فضایی اغلب با استفاده از نرم‌افزار GIS صورت می‌گیرد؛ اما همچنان در دستیابی به شاخص‌های کلان مورد توافق متخصصان برای استفاده از این روش چالش وجود دارد.

- عوامل‌فضایی مؤثر بر آلودگی صوتی در محیط شهری

علی‌رغم مطالعات صورت‌پذیرفته در ارتباط با عوامل فضایی مؤثر بر آلودگی صوتی در محیط شهری، همچنان اتفاق نظری در این خصوص به‌ویژه برای سنجش‌ها در مقیاس کلان همچون شهرهای بزرگ، وجود ندارد (*Yuan et al., 2019: 2*) و این موضوع و انتخاب شاخص‌های مرتبط با آن معمولاً در پی مطالعهٔ نظریه‌ها و تجربیات قبلی صورت می‌پذیرد. بر این مبنا، در این مطالعه، ادبیات نظری و تجربی مرتبط با عوامل فضایی مؤثر بر آلودگی صوتی در محیط شهری مرور شده و درنهایت با توجه به مورد مطالعاتی، موارد زیر به‌عنوان عوامل تأثیرگذار فضایی بر آلودگی صوتی در محیط شهری آورده شده‌است:

۱. ترافیک: آلودگی صوتی تولیدشده توسط ترافیک معابر پرتردد نقش مهمی در میان عوامل محیطی منجر به بیماری ایفا می‌کند و به‌عنوان منبع اصلی آلودگی صوتی در محیط شهری به شمار می‌آید (*Doygun & Kuşat Gurun, 2008: 62; Bilasco, et al., 2017:214;Yang etal.,2020:1*). درنتیجه محدوده‌های مجاور معابر پرتردد، به میزان بیشتر و مدت طولانی‌تری تحت‌تأثیر آلودگی صوتی هستند (*Yang et al., 2020: 1*). تجربه نشان داده است که برای کاهش سروصدای ترافیک، نیاز به رویکرد تلفیقی شامل اقدامات یکپارچه با تأکید بر حالت‌های حمل‌ونقل سازگار با محیط‌زیست، آرام‌سازی ترافیک، هدایت ترافیک به مسیرهای با حساسیت کمتر، بهینه‌سازی سیگنال‌های ترافیکی، دسترسی به فضاهای پارکینگ و سطوح جاده کم سروصدا است (*Smile Consortium, 2003: 14*).

۲. کاربری زمین: نحوهٔ استقرار کاربری‌های شهری از عوامل اساسی تأثیرگذار بر آلودگی صوتی است. برخی از کاربری‌ها مولد آلودگی صوتی هستند و مطابق با جدول ۱ باید با فاصلهٔ استاندارد از محدوده‌های حساس‌تر استقرار یابند. همچنین برخی از عملکردها مانند جنگل‌ها، مزارع، فضاهای باز شهری دارای پوشش گیاهی به‌عنوان موانع صوتی بین کاربری‌های پرسروصدا و کاربری‌های حساس به صدا عمل کرده و در مدیریت کاربری زمین نقش کاهش‌دهندهٔ آلودگی صوتی را دارند (*Caswell & Jakus,1977: 242-243; Ariza-Villaverde, 2014: 1*).

جدول ۱: حریم کاربری‌های مولد آلودگی صوتی

کاربری	فاصله (متر)
صنعتی	۱۵۰۰
نظامی	۱۰۰۰
کارگاهی	۱۰۰۰
پایانه‌های مسافربری	۷۰۰
انبار	۶۰۰
ورزشی	۶۰۰
آموزشی	۵۰۰
اداری	۵۰۰
تأسیسات شهری	۵۰۰
تجاری	۴۰۰

مأخذ: محمدی ده‌چشمه و همکاران، ۱۳۹۷: ۶۷

۳. تراکم: تراکم شهری به شیوه‌های مختلفی ازجمله تراکم جمعیّتی و تراکم ساختمانی بیان می‌شود (*Salomons & Pont, 2012: 3*). مناطق دارای تراکم بالا و بلندمرتبه دو عامل مؤثر در آلودگی صوتی هستند (*Yuan et al., 2019: 1*).

۴. الگوی چشم‌انداز: نحوهٔ استقرار و پیکربندی عناصر چشم‌انداز، نقش تعیین‌کننده‌ای در کاهش آلودگی صوتی ایفا می‌کند (*Sakieh et al., 2017: 210*)؛ به‌عنوان‌مثال افزایش میانگین مساحت قطعات ساخته‌شده که نشان‌دهندهٔ فشردگی بین عناصر ساخته‌شده چشم‌انداز است، منجر به افزایش آلودگی صوتی در محیط شهری می‌شود. همچنین افزایش میانگین نسبت محیط به مساحت قطعات یا پیچیدگی شکل عناصر چشم‌انداز، باعث کاهش نفوذ صوت به داخل و درنتیجه کاهش آلودگی صوتی می‌شود (*مظاهری جاجائی، ۱۳۹۹: ۵۳ و ۵۴؛ Han et al., 2018; Yuan et al., 2019: 3*).

درمجموع *برمبنای* مبانی نظری و تجربی فوق‌الذکر، شاخص‌های جدول ۲ به‌عنوان متغیّرهای تحلیل فضایی آلودگی صوتی در سطح کلان معرفی شده‌است.

جدول۲: شاخص‌های تحلیل فضایی آلودگی صوتی در محیط شهری

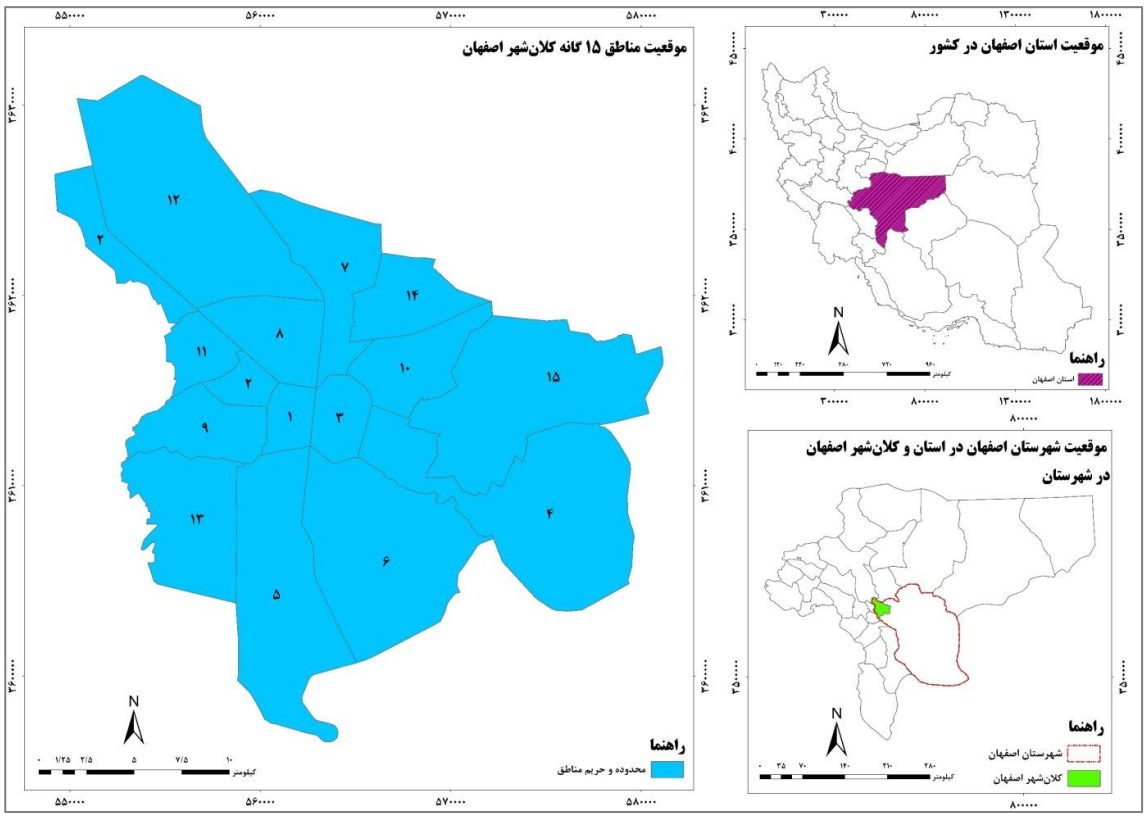
شاخص	مطالعه شده در
تراکم جمعیّت	محرم‌نژاد و صفری‌پور، ۱۳۸۷؛ Lam et al., 2013; Abbaspour et al., 2015; Yuan et al., 2019; Masum et al., 2021; Tong and Kang, 2021
تراکم ساختمانی	Huang et al., 2015; Han et al., 2018; Yuan et al., 2019; Tong and Kang, 2021
فاصله از کاربری‌های مولد آلودگی صوتی	محمدی ده‌چشمه و شنبه‌پور، ۱۳۹۶؛ محمدی ده‌چشمه و همکاران، ۱۳۹۷؛ پرویزیان و همکاران، ۱۳۹۹؛ Caswell & Jakus, 1977; Abbaspour et al., 2015; Masum et al., 2021; Tong and Kang, 2021
تراکم پوشش گیاهی	محرم‌نژاد و صفری‌پور، ۱۳۸۷؛ Caswell & Jakus, 1977; Ariza-Villaverde, 2014; Klingberg et al., 2017; Yuan et al., 2019
درصد فضاهای باز شهری	محمدی ده‌چشمه و شنبه‌پور، ۱۳۹۶؛ Lam et al., 2013; Ariza-Villaverde, 2014; Hao et al., 2015
میزان فشردگی بین عناصر ساخته‌شدهٔ شهری (میانگین اندازهٔ قطعات ساختمانی)	مظاهری جاجائی، ۱۳۹۹؛ Silva et al., 2014; Fenta et al., 2017; Han et al., 2018; Yuan et al., 2019; Tong and Kang, 2021
میزان پیچیدگی عناصر شهری (میانگین شکل قطعات)	مظاهری جاجائی، ۱۳۹۹؛ Silva et al., 2014; Han et al., 2018; Yuan et al., 2019
حجم ترافیک	محرم‌نژاد و صفری‌پور، ۱۳۸۷؛ Smile Consortium, 2003; Lam et al., 2013; Daniel et al., 2014; Yang et al., 2020; Masum et al., 2021; Tong and Kang, 2021

مأخذ: نگارندگان برگرفته از منابع ذکر شده در جدول، ۱۴۰۰

محدودهٔ موردمطالعه

شهر اصفهان مرکز استان طبق آخرین تقسیمات شهری در سال ۱۳۹۲ دارای پانزده منطقه است (شکل ۱) که هر منطقه دارای محدودهٔ قانونی و حریم مشخص است. مناطق یک، سه و هشت فاقد حریم هستند (*شهرداری اصفهان، ۱۳۹۴: ۱۰*). جمعیّت شهر اصفهان براساس آخرین سرشماری در سال ۱۳۹۵ برابر با ۱۹۶۱۲۶۰ است (*مرکز آمار ایران، ۱۳۹۵*). ازجمله دلایل انتخاب موردپژوهی می‌توان به وجود فعالیت‌های آلایندهٔ صوتی شامل اراضی نظامی،

پایانه‌ها و کاربری صنعتی و کارگاهی اشاره کرد. اراضی کارگاهی عمدتاً در اراضی کشاورزی و حاشیهٔ محورهای ورودی شهر شکل گرفته‌اند و در امتداد حاشیهٔ این محورها به درون بافت شهر نفوذ پیدا کرده‌اند. روند افزایش این کاربری در دهه‌های اخیر را باید در نحوهٔ نگرش مدیریت شهری دربارهٔ حفظ و نگهداری اراضی کشاورزی و باغی و وجود جذابیت‌های خاص اقتصادی و منفعت‌طلبانهٔ بخش خصوصی جست‌وجو کرد *(مهندسان مشاور نقش جهان پارس، ۱۳۹۳: ۲۳)*. از دیگر دلایل انتخاب شهر اصفهان به‌عنوان موردپژوهی افزایش جمعیّت و تراکم ساختمانی شهر طی سالیان اخیر، استفادهٔ زیاد از خودروهای شخصی و همچنین سرعت زیاد خودروها به‌خصوص در بزرگراه‌ها و معابر اصلی و عدم‌رعایت حریم ساخت‌وساز برای اکثر این معابر (که موجب آلودگی صوتی و اثرات مخرب بر ساکنان اطراف محدوده می‌شود)، است.



شکل ۱: موقعیت محدودهٔ مورد مطالعه

تهیه و ترسیم: نگارندگان، ۱۴۰۰

مواد و روش

پژوهش حاضر به‌دلیل استفاده از روش‌های کمّی و کیفی به‌صورت توأمان، دارای پارادیم ترکیبی است. روش کمّی مورد استفاده در این پژوهش از نوع پیمایشی و روش کیفی از نوع موردپژوهی است. همچنین این پژوهش از نظر هدف جزو تحقیقات کاربردی است. نوع پژوهش پیش‌رو براساس ماهیت آن به‌صورت توصیفی- تحلیلی است. اطلاعات موردنیاز به‌منظور توصیف و تحلیل شاخص‌ها به روش‌های کتابخانه‌ای و میدانی گردآوری شده‌است (با استفاده از نقشه‌های طرح بازنگری تفصیلی شهر اصفهان، آمارنامهٔ شهر اصفهان، اطلس کلان‌شهر اصفهان، داده‌های حجم ترافیک دریافت‌شده از معاونت حمل‌ونقل و ترافیک شهرداری اصفهان و به‌روزرسانی داده‌ها ازطریق مراجعه به معاونت برنامه‌ریزی و توسعهٔ سرمایهٔ انسانی شهرداری اصفهان). در راستای تحلیل شاخص‌ها، ابتدا توصیف و تحلیل فضایی هر شاخص در مناطق کلان‌شهر اصفهان صورت پذیرفته‌است. تحلیل فضایی هریک از شاخص‌های تراکم جمعیّت و تراکم پوشش گیاهی با ابزار Point Density، شاخص حجم ترافیک با ابزار Line Density، شاخص فاصله از کاربری‌های مولد آلودگی‌صوتی با ابزار Euclidean Distance و شاخص‌های تراکم ساختمانی، درصد فضاهای باز شهری، میانگین اندازهٔ قطعات ساختمانی و میانگین شکل قطعات با ابزار Spatial Join در نرم‌افزار GIS انجام شده‌است. در راستای دستیابی به شاخص‌های میانگین اندازهٔ قطعات ساختمانی و میانگین شکل قطعات از روابط زیر استفاده شده‌است *(Yuan et al., 2019: 3)*:

$$MPS=\frac{\sum_{i=1}^{n} a_i}{n} \quad \text{(میانگین اندازهٔ قطعات)}$$

$$MSI=\frac{\sum_{i=1}^{n} (p_i/a_i)}{n} \quad \text{(میانگین شکل قطعات)}$$

پس از تهیهٔ نقشه‌های توصیفی و تحلیلی براساس تحلیل فضایی آلودگی صوتی، به سطح‌بندی مناطق براساس این نقشه‌ها و به تفکیک هر شاخص پرداخته شده‌است. در مرحلهٔ بعد، وزن‌دهی به شاخص‌ها به روش فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی AHP و با استفاده از نرم‌افزار Expert Choice انجام شده تا ضرایب اهمیت شاخص‌ها نسبت‌به یکدیگر به‌دست آید. بدین‌صورت که ازطریق روش نمونه‌گیری کیفی از نوع موارد شناخته‌شده *(رنجبر و همکاران، ۱۳۹۱: ۲۴۴؛ Teddlie & Yu, 2007: 81)*، تعداد ۳۰ پرسشنامه در اختیار متخصصان[1] قرار گرفت و از آن‌ها خواسته شد تا ضرایب اهمیت شاخص‌ها نسبت‌به یکدیگر را صرفاً بر مبنای موضوع مورد نظر و فارغ از موضع قرارگیری، به‌صورت دودویی امتیازدهی کنند. درنهایت پس از مشخص‌شدن وزن شاخص‌ها، با استفاده از روش تحلیل‌فضایی و با ابزار Map Algebra در نرم‌افزار GIS، همپوشانی شاخص‌ها و تهیهٔ نقشهٔ سطح‌بندی آلودگی صوتی صورت پذیرفته‌است (باتوجه به تأثیرگذاری متفاوت کاربری‌ها بر آلودگی صوتی،در راستای تحلیل شاخص فاصله از کاربری‌های مولد آلودگی صوتی، پس از تهیهٔ نقشهٔ پهنه‌بندی براساس هر کاربری، وزن‌دهی به هر کاربری و درنهایت همپوشانی نقشه‌ها براساس این فرایند انجام شده‌است). سطح‌بندی مناطق براساس طیف لیکرت پنج‌گانه با کمک توزیع نرمال نرم‌افزار GIS انجام شده‌است.

۱. شامل ۸ نفر از اعضای هیئت علمی دانشگاه هنر اصفهان، ۶ نفر از استادان مدرس دانشگاه هنر اصفهان، ۹ نفر از کارشناسان محیط‌زیست، ۴ نفر از مسئولان شهرداری اصفهان و ۳ نفر از مسئولان ادارهٔ راه و شهرسازی استان اصفهان.

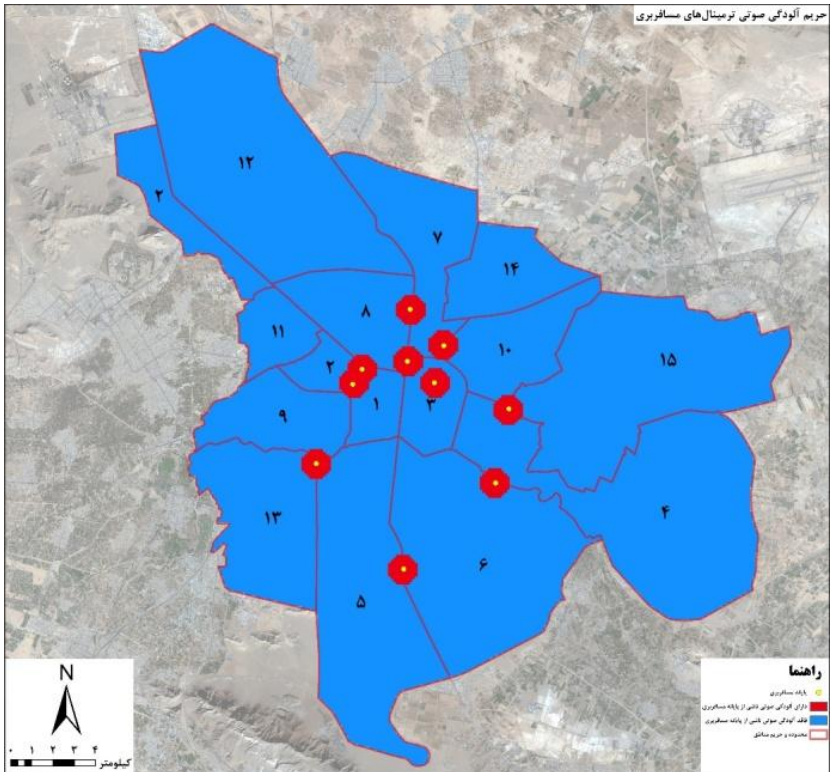
یافته‌ها

در این بخش، شاخص‌های استخراج‌شده از مبانی نظری در قالب شکل ۳ در مناطق ۱۵گانهٔ کلان‌شهر اصفهان مورد تجزیه‌وتحلیل قرار گرفته و مقایسه شده‌است. همچنین باتوجه به گستردگی فرایند در راستای دستیابی به نقشهٔ پهنه‌بندی آلودگی صوتی براساس شاخص فاصله از کاربری‌های مولد، وزن کاربری‌ها در جدول ۳ و یک نمونه نقشهٔ فاصله از پایانه‌های مسافربری در شکل ۲ ارائه شده‌است. ضریب سازگاری(CR) در فرایند تحلیل سلسله‌مراتبی برای وزن‌دهی به کاربری‌های مختلف برابر با ۰/۰۴ و برای وزن‌دهی به شاخص‌ها برابر با ۰/۰۳ بوده‌است که باتوجه به اینکه کمتر از ۰/۱ است، قابل‌قبول تلقی می‌شود.

جدول۳: ضرایب تأثیرگذاری کاربری‌ها بر آلودگی صوتی

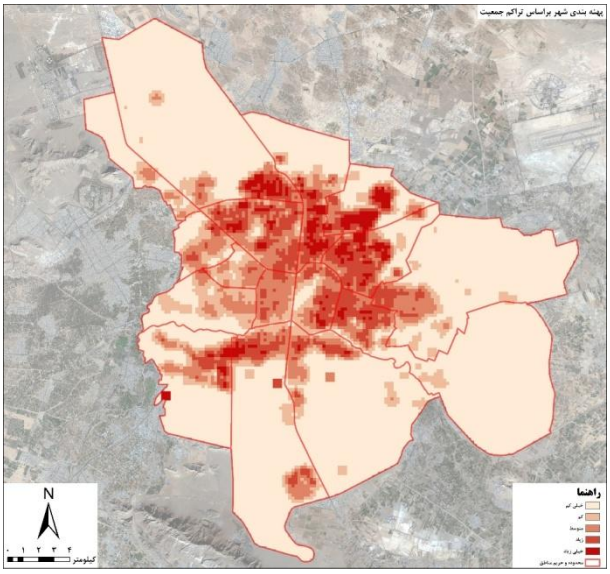
کاربری	وزن
صنعتی	۰,۲۹۴
نظامی	۰,۲۱۵
پایانهٔ مسافربری	۰,۱۵۴
کارگاهی	۰,۱۰۹
ورزشی	۰,۰۷۶
تأسیسات شهری	۰,۰۵۴
آموزشی	۰,۰۳۸
اداری	۰,۰۲۷
انبار	۰,۰۱۹
تجاری	۰,۰۱۵

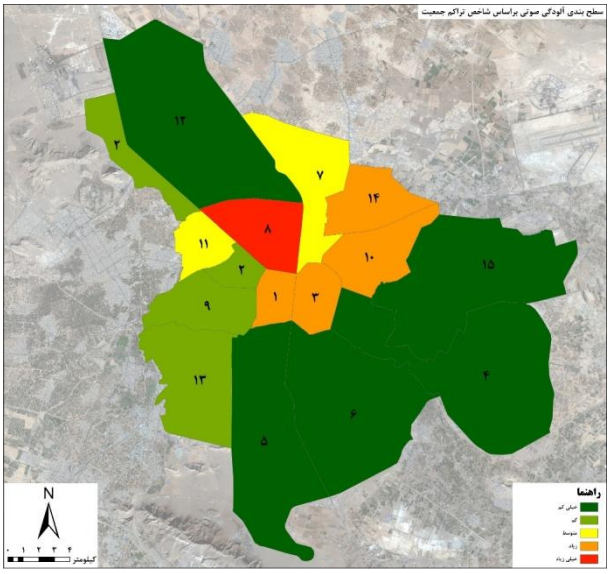
مأخذ: محاسبات نگارندگان، ۱۴۰۰

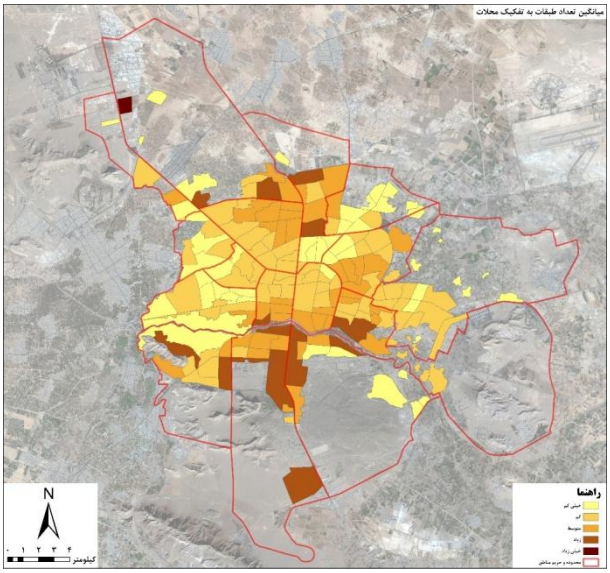


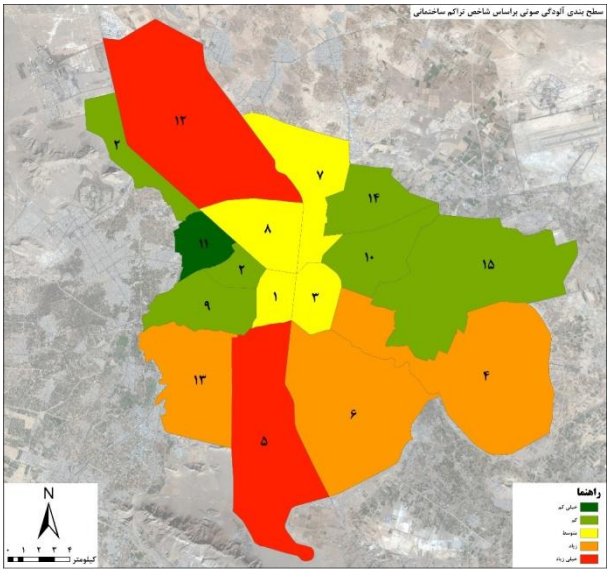
شکل ۱: حریم آلودگی صوتی پایانه‌های مسافربری

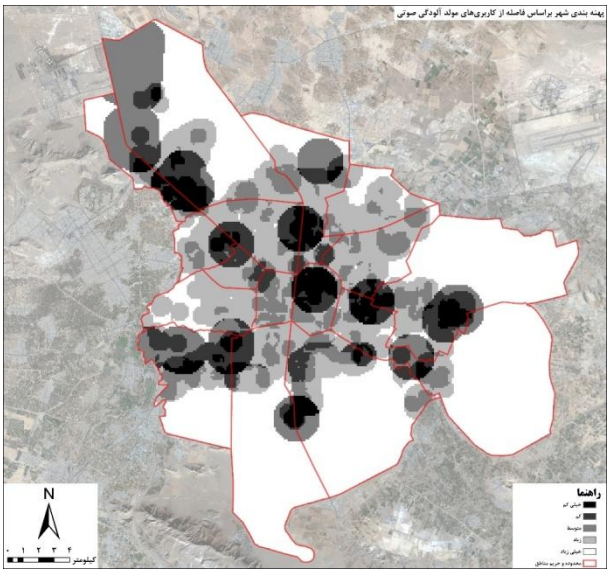
مأخذ: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۰

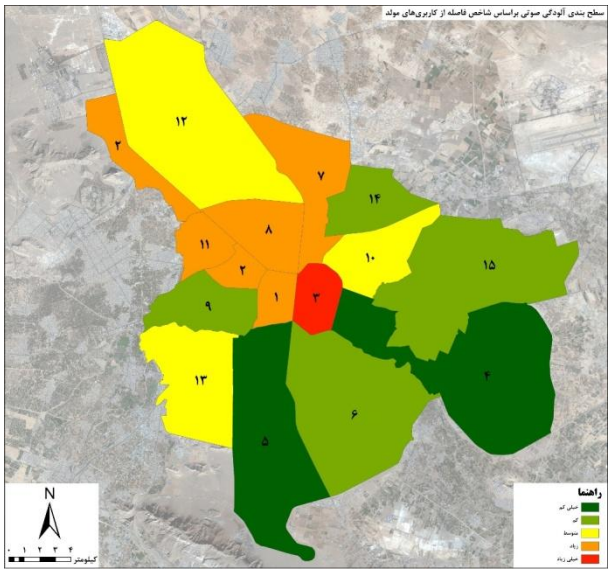

پهنه بندی شهر براساس تراکم جمعیت
راهنما
N
کیلومتر

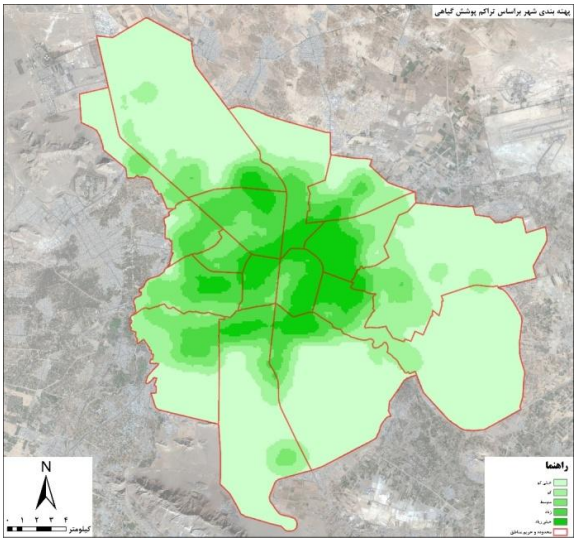

سطح بندی آلودگی صوتی براساس شاخص تراکم جمعیت
راهنما
N
کیلومتر

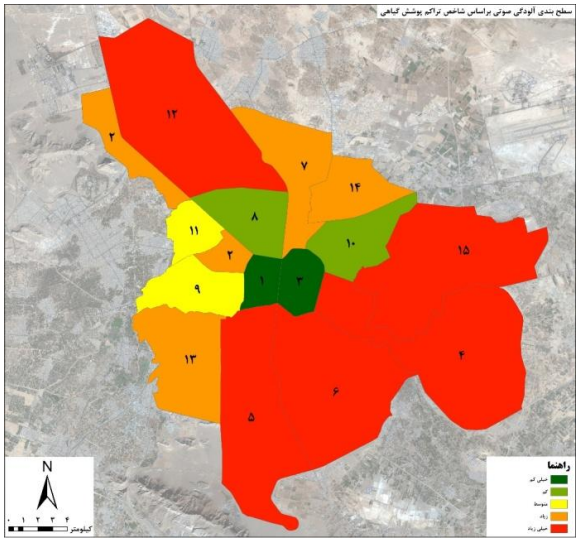

میانگین تعداد طبقات به تفکیک محلات
راهنما
N
کیلومتر

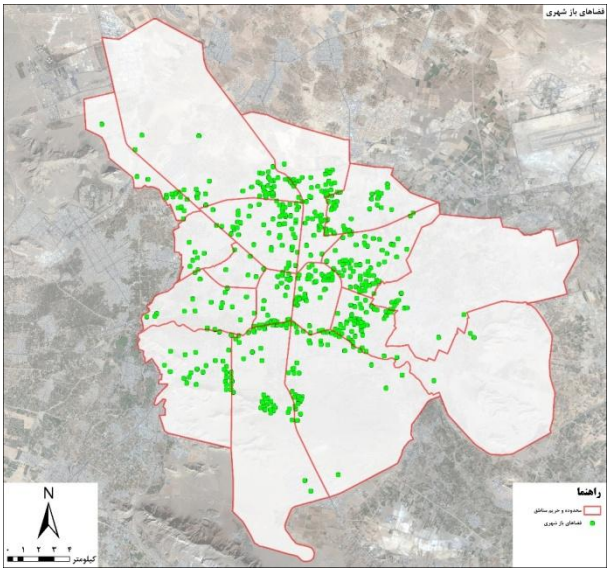

سطح بندی آلودگی صوتی براساس شاخص تراکم ساختمانی
راهنما
N
کیلومتر

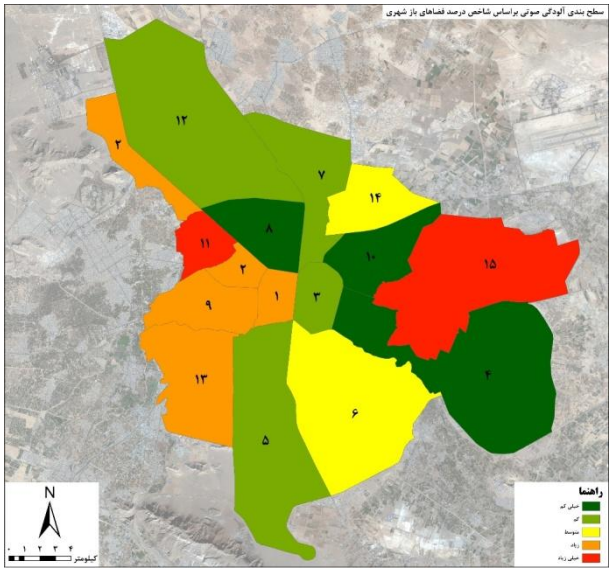

پهنه بندی شهر براساس فاصله از کاربری‌های مولد آلودگی صوتی
راهنما
N
کیلومتر

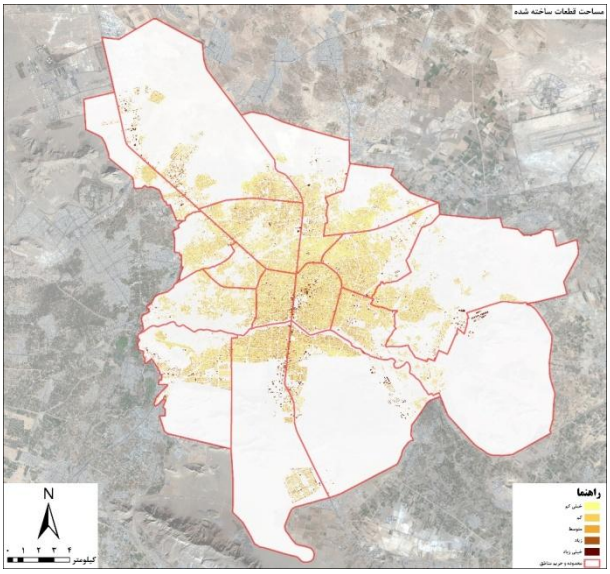

سطح بندی آلودگی صوتی براساس شاخص فاصله از کاربری‌های مولد
راهنما
N
کیلومتر

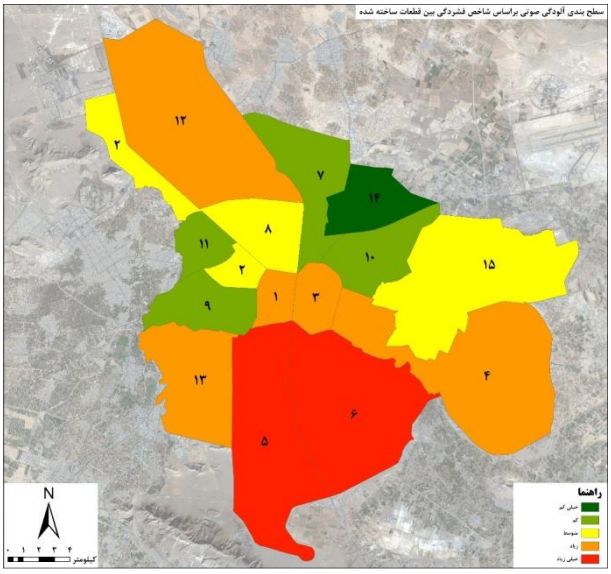

پهنه بندی شهر براساس تراکم پوشش گیاهی
راهنما
N
کیلومتر

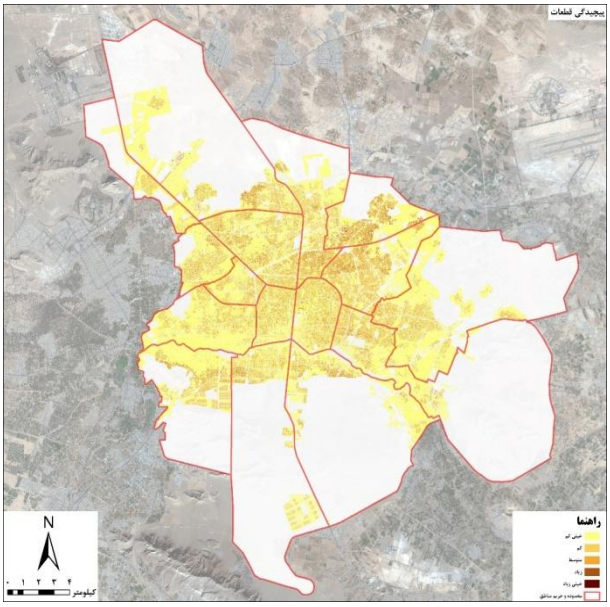

سطح بندی آلودگی صوتی براساس شاخص تراکم پوشش گیاهی
راهنما
N
کیلومتر

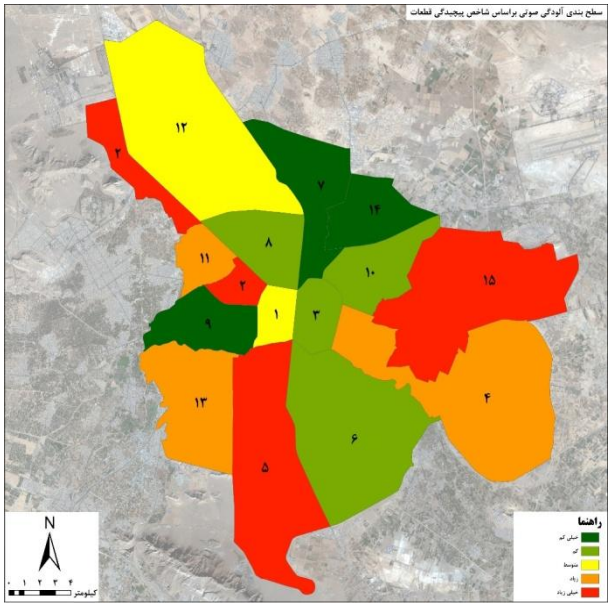

فضاهای باز شهری
راهنما
N
کیلومتر

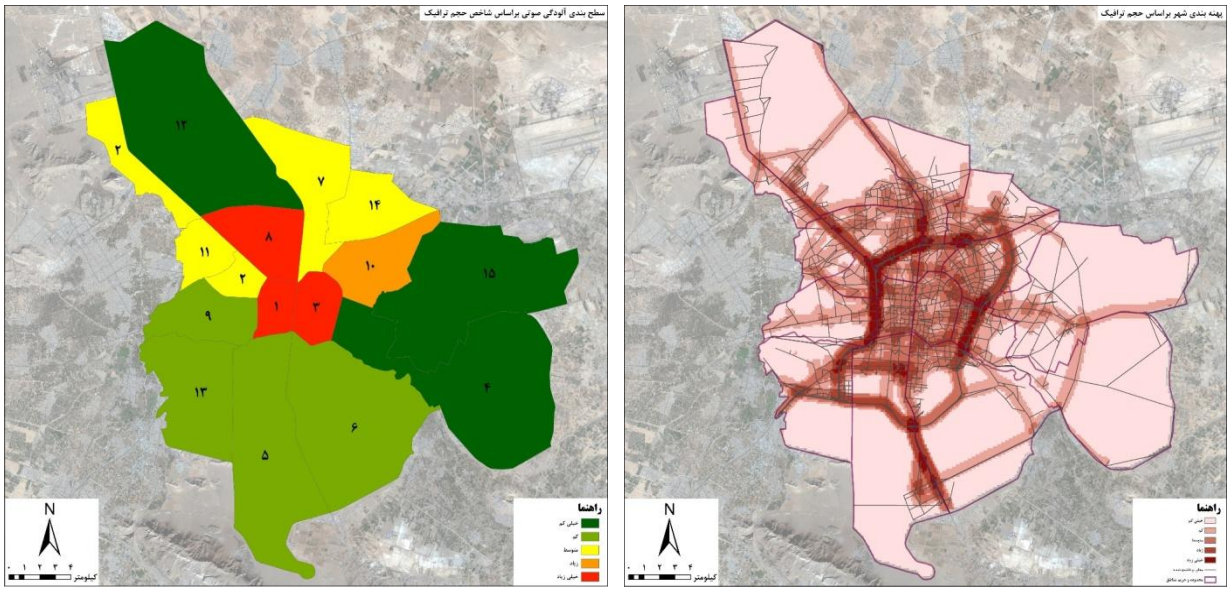

سطح بندی آلودگی صوتی براساس شاخص درصد فضاهای باز شهری
راهنما
N
کیلومتر


مساحت قطعات ساخته شده
راهنما
N
کیلومتر


سطح بندی آلودگی صوتی براساس شاخص فشردگی بین قطعات ساخته شده
۱۲
۳
۷
۱۴
۸
۱۱
۲
۱۰
۱۵
۹
۱
۳
۱۳
۴
۶
۵
راهنما
N
کیلومتر


پیچیدگی قطعات
راهنما
N
کیلومتر


سطح بندی آلودگی صوتی براساس شاخص پیچیدگی قطعات
۱۲
۳
۷
۱۴
۸
۱۱
۲
۱۰
۱۵
۹
۱
۳
۱۳
۴
۶
۵
راهنما
N
کیلومتر



شکل ۲: تحلیل فضایی آلودگی صوتی و سطح‌بندی آن در مناطق ۱۵ گانهٔ کلان‌شهر اصفهان به تفکیک شاخص‌ها

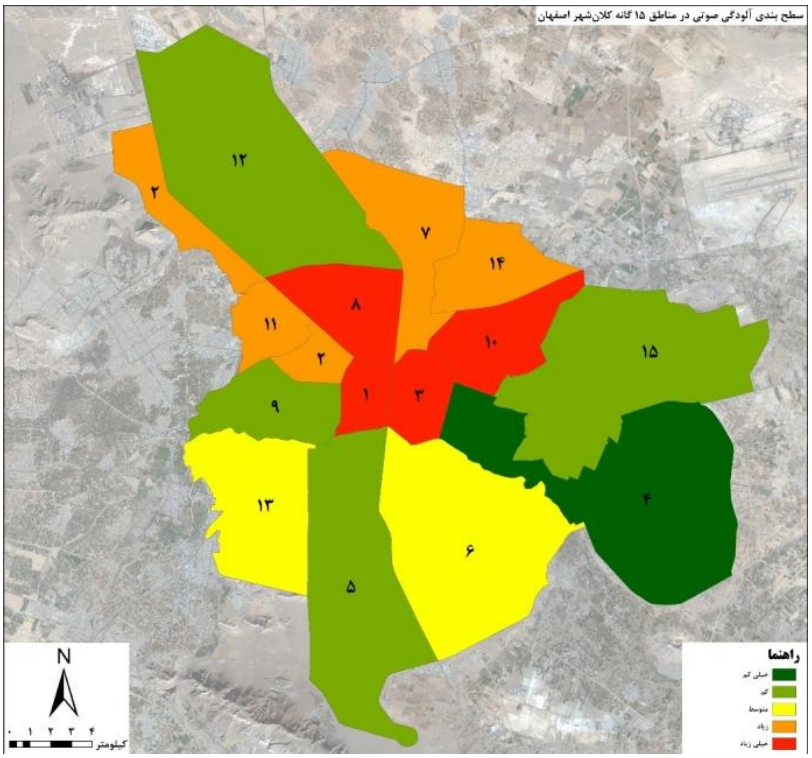
مأخذ: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۰

درنهایت به‌منظور شناسایی وضعیت هریک از مناطق کلان‌شهر اصفهان به لحاظ توزیع فضایی آلودگی صوتی، باتوجه به ضرایب تأثیرگذاری شاخص‌ها در جدول ۴، همپوشانی نقشه‌های سطح‌بندی درشکل۴ صورت گرفته‌است و مناطق در ۵ گروه براساس طیف لیکرت پنج‌گانه معرفی شده در بخش روش‌شناسی دسته‌بندی شده‌اند.

جدول ۴: ضرایب تأثیرگذاری شاخص‌ها بر آلودگی صوتی

شاخص	وزن	نوع ارتباط با آلودگی صوتی
حجم ترافیک	۰,۳۳۱	مستقیم
فاصله از کاربری‌های مولد آلودگی صوتی	۰,۲۳۱	معکوس
تراکم جمعیّت	۰,۱۵۷	مستقیم
تراکم پوشش گیاهی	۰,۱۰۶	معکوس
درصد فضاهای باز شهری	۰,۰۷۱	معکوس
میانگین مساحت قطعات ساخته‌شده	۰,۰۴۸	مستقیم
تراکم ساختمانی	۰,۰۳۳	مستقیم
میانگین شکل قطعات	۰,۰۲۴	معکوس

مأخذ: محاسبات نگارندگان، ۱۴۰۰



شکل ۴: سطح‌بندی آلودگی صوتی در مناطق ۱۵گانهٔ کلان‌شهر اصفهان

مأخذ: یافته‌های پژوهش، ۱۴۰۰

نتیجه

در این‌مقاله در راستای بررسی توزیع فضایی آلودگی صوتی در مناطق ۱۵گانهٔ کلان‌شهر اصفهان، پس از مرور پیشینهٔ پژوهش و مبانی نظری مرتبط با موضوع، شاخص‌های هشت‌گانهٔ تحلیل فضایی آلودگی صوتی در محیط‌شهری شامل حجم ترافیک، فاصله از کاربری‌های مولد آلودگی صوتی، تراکم جمعیّت، تراکم پوشش گیاهی، درصد فضاهای باز شهری، میانگین مساحت قطعات ساخته‌شده، تراکم ساختمانی و میانگین شکل قطعات، استخراج شد و در مناطق ۱۵گانه مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان‌دهندهٔ توزیع متفاوت آلودگی صوتی در مناطق ۱۵گانه در پنج سطح به شرح ذیل است:

- آلودگی صوتی بسیار زیاد: شامل مناطق مرکزی ۱ و ۳ و مناطق ۸ و ۱۰ که در وضعیت بسیار نامناسبی به لحاظ آلودگی صوتی هستند و برنامه‌ریزی با رویکرد فضایی درجهت افزایش آسایش ساکنان برای این مناطق در اولویت اول است.
- آلودگی صوتی زیاد: مناطق ۲، ۷، ۱۱ و ۱۴ در این سطح هستند که وضعیت نامناسبی از نظر آلودگی صوتی دارند و برنامه‌ریزی برای این مناطق در اولویت دوم است.
- آلودگی صوتی متوسط: مناطق ۶ و ۱۳ وضعیت نسبتاً مناسبی به لحاظ آلودگی صوتی دارند و برنامه‌ریزی برای این مناطق در اولویت سوم است.
- آلودگی صوتی کم: مناطق ۵، ۹، ۱۲ و ۱۵ در این سطح هستند. در این سطح مناطق وضعیت مناسبی به لحاظ آلودگی صوتی دارند و در اولویت چهارم برنامه‌ریزی هستند.
- آلودگی صوتی بسیار کم: منطقهٔ ۴ وضعیت بسیار مناسبی از نظر آلودگی صوتی نسبت‌به سایر مناطق دارد و برنامه‌ریزی برای این منطقه در اولویت آخر است.

باتوجه به اینکه در اکثر پژوهش‌های مرتبط با ارزیابی آلودگی صوتی اندازه‌گیری مستقیم صدا از طریق وسایل اندازه‌گیری مکانیکی صورت پذیرفته‌است و در معدود پژوهش‌های انجام‌شده در ارتباط با ارزیابی آلودگی صوتی براساس عوامل فضایی، کمتر به‌صورت جامع و صرفاً برپایهٔ عوامل‌محدودی بررسی صورت پذیرفته‌است، در پژوهش حاضر باتوجه به تحلیل همهٔ عوامل مختلف تأثیرگذار بر آلودگی صوتی کلان‌شهر اصفهان به لحاظ موضوع، موضع و روش نوآوری وجود دارد.

در پژوهش محمدی ده‌چشمه و همکاران برای کلان‌شهر اهواز و پژوهش پرویزیان و همکاران برای شهر یاسوج که فقط عامل کاربری‌های صداساز در تحلیل فضایی آلودگی صوتی مورد بررسی قرار گرفته‌است، به‌دلیل استقرار کاربری‌ها و مشاغل آلاینده و صداساز بیشترین آلودگی صوتی در مرکز شهر است و با فاصله‌گرفتن از مرکز، از آلودگی صوتی کاسته می‌شود. در مطالعهٔ صورت‌پذیرفته توسط عباس‌پور و همکاران در ارتباط با تحلیل فضایی آلودگی صوتی در منطقهٔ ۱۴کلان‌شهر تهران براساس سه عامل جمعیّت، نوع معابر و کاربری نیز بخش‌های مرکزی منطقه و بخشی از شرق منطقه عمدتاً به‌دلیل وجود خیابان‌های اصلی و بزرگراه‌ها بیشترین پتانسیل برای آلودگی صوتی را دارند. در پژوهش حاضر نیز مناطق مرکزی بیشتر از سایر مناطق مستعد آلودگی صوتی هستند؛ بنابراین نتایج پژوهش حاضر با پژوهش‌های مذکور (به‌خصوص پژوهش‌های صورت‌پذیرفته در کلان‌شهر اهواز و شهر یاسوج) نسبتاً همسو است.

برمبنای نتایج تحلیل‌های فضایی صورت‌گرفته براساس شاخص‌ها و امکانات و محدودیت‌های موجود مناطق به لحاظ توزیع فضایی آلودگی صوتی، از مهم‌ترین عوامل ایجاد آلودگی صوتی در کلان‌شهر اصفهان می‌توان به تردد زیاد خودروها به‌خصوص در معابر اصلی‌شهر و بزرگراه‌های درون‌شهری، عدم‌رعایت حریم ساخت‌وساز برای این معابر و وجود فشردگی و تراکم ساختمانی زیاد در جوار آن‌ها اشاره کرد. از دیگر دلایل اصلی آلودگی صوتی عدم‌رعایت حریم کاربری‌های مولد آلودگی صوتی نظیر کارگاه‌ها و پایانه‌ها و نزدیکی آن به پهنه‌های مسکونی اشاره کرد. در راستای حل این مشکلات لازم است در وهلهٔ اول در طرح‌های جامع و تفصیلی حریم ساخت‌وساز برای معابر پرتردد و کاربری‌های صداساز رعایت و پارامترهای فضایی مطرح‌شده در این پژوهش در این نوع طرح‌ها لحاظ شود. به موازات این موارد لازم است در مقیاس مناطق و محلات‌اقداماتی درجهت کنترل و کاهش آلودگی‌صوتی محدوده‌های اولویت‌دار و با تأکید بر عوامل فضایی چهارگانهٔ بخش مبانی نظری اجرا شود. همچنین در سطحی فراتر می‌توان مواردی شامل نقص ضوابط موجود و عدم‌به‌کارگیری تدابیر قانونی جامع با ضمانت اجرایی درخصوص آلودگی صوتی، عدم‌توجه به عوامل فضایی کلان مؤثر بر آلودگی صوتی در نظام برنامه‌ریزی شهری، ساختار سنتی برنامه‌ریزی حمل‌ونقل و عدم‌درنظرگیری تأثیرات ناشی از نظام حمل‌ونقل بر آلودگی صوتی و کمبود مطالعات ارزیابی و آشنایی ناکافی از روش‌ها و ابزارهای ارزیابی اثرات اقدامات توسعه در بروز آلودگی صوتی به‌خصوص در حوزهٔ شهرسازی را از مهم‌ترین دلایل آلودگی صوتی به‌خصوص در کلان‌شهرهای کشور دانست. در این راستا ازجمله مهم‌ترین اقدامات بهبودبخشی، می‌توان به انتقال فعالیت‌های کارگاهی و پایانه‌ها از محلات مسکونی به محدوده‌های غیرحساس (خارج از محدودهٔ شهر)، ایجاد خاکریز به همراه پوشش گیاهی در زمین‌های بدون استفاده موجود در لبهٔ بزرگراه‌ها، جلوگیری از فروش تراکم مازاد ساختمانی در نزدیکی معابر پرتردد، کاهش حجم ترافیک در معابر مجاور محلات مسکونی ازطریق انتقال ترافیک به مسیرهای جدید غیرحساس، ساماندهی حمل‌ونقل عمومی، ایجاد فضاهای باز شهری درجهت افزایش آسایش صوتی شهروندان،کاهش فشردگی و افزایش پیچیدگی در طراحی قطعات جدید اشاره کرد.

منابع

پرویزیان، علیرضا؛ هاجر احمدی؛ سعید امان‌پور؛ عبدالمطلب درخشان (۱۳۹۹). تولید نقشهٔ آلودگی صوتی با مدل‌سازی مکانی نقشهٔ کاربری اراضی (مورد پژوهشی شهر یاسوج)، جغرافیا و مطالعات محیطی. دوره ۹. شماره ۳۴. صفحات ۲۲-۷.
http://ges.iaun.ac.ir/article_677535.html?lang=en

تکیه‌خواه، جاهده؛ شلیر کاتورانی (۱۳۹۸). ارزیابی آلودگی صوتی ناشی از ترافیک شهری و تأثیر آن بر سطح اضطراب شهروندان شهر سنندج، فصلنامهٔ مطالعات شهری. دوره ۸. شماره ۳۲. صفحات ۱۲۷-۱۱۷.
http://urbstudies.uok.ac.ir/article_61213.html

حسنی، فاطمه؛ شیما رحمتی زاده؛ پروین نصیری؛ محمد منظم پور (۱۳۹۱). بررسی آلودگی صدای ناشی از ترافیک وسایل نقلیه در محدوده بازار بزرگ شهر تهران، دومین کنفرانس برنامه ریزی و مدیریت محیط زیست. تهران.
https://civilica.com/doc/147484/

رنجبر، هادی؛ علی‌اکبر حقدوست؛ مهوش صلصالی؛ علیرضا خوشدل؛ محمدعلی سلیمانی؛ نسیم بهرامی (۱۳۹۱). نمونه‌گیری در پژوهش‌های کیفی: راهنمایی برای شروع، سالنامهٔ پژوهش علوم و سلامت نظامی. سال ۱۰. شماره ۳. صفحات ۲۵۰-۲۳۸.
https://www.sid.ir/fa/journal/ViewPaper.aspx?ID=199173

سلطانیان، ستار؛ زهرا نری موسی (۱۳۹۴). تحلیل و ارزیابی آلودگی صوتی شهر امیدیه در سال ۱۳۹۴، مجلهٔ تحقیقات سلامت در جامعه. دوره ۱. شماره ۴. صفحات ۲۰-۱۲.
http://jhc.mazums.ac.ir/article-1-105-fa.html

شهرداری اصفهان (۱۳۹۴). اطلس کلان‌شهر اصفهان، اصفهان. ایران.
https://new.isfahan.ir/Index.aspx?lang=1&sub=105

شهرداری اصفهان (۱۳۹۸). آمارنامهٔ شهر اصفهان، اصفهان. ایران.
http://www.isfahanold.ir/Index.aspx?lang=1&sub=36

صفارزاده، محمود؛ فرزانه رحیمی (۱۳۸۲). آلودگی صوتی در سیستم‌های حمل‌ونقل، سازمان حفاظت محیط‌زیست. تهران.

قریب، فریدون (۱۳۹۹). شبکهٔ ارتباطی در طراحی شهری، چاپ دوازدهم. انتشارات دانشگاه تهران. تهران.

محرم‌نژاد، ناصر؛ مهسا صفری‌پور (۱۳۸۷). تأثیر توسعهٔ شهری بر روند آلودگی صوتی در منطقهٔ یک تهران و ارائهٔ راهکارهای مدیریتی برای بهبود شرایط، فصلنامهٔ علوم و تکنولوژی محیط‌زیست. دوره ۱۰. شماره ۴. صفحات ۷۰-۴۳.
http://jest.srbiau.ac.ir/article_219.html

محمدی‌ده‌چشمه، مصطفی؛ فرشته شنبه‌پور (۱۳۹۶). سنجش ضریب مکانی آسایش صوتی در کلان‌شهر اهواز، محیط‌شناسی، دوره ۴۳. شماره ۲. صفحات ۳۶۴-۳۴۹.
https://jes.ut.ac.ir/article_63083.html

محمدی ده‌چشمه، مصطفی؛ محمدعلی فیروزی؛ فرشته شنبه‌پور مادوانی (۱۳۹۷). تحلیل مکانی همجواری در کاربری‌های صداساز از منظر آسایش صوتی در کلان‌شهر اهواز، برنامه‌ریزی و آمایش فضا. دوره ۲۲. شماره ۳. صفحات ۷۹-۵۶.
https://hsmsp.modares.ac.ir/article-21-16521-fa.html

مرکز آمار ایران (۱۳۹۵). سرشماری نفوس و مسکن سال ۱۳۹۵.
https://www.amar.org.ir/

مظاهری‌جاجائی، رضا (۱۳۹۹). مدل‌سازی ارتباط بین شدت آلودگی صوتی و سنجه‌های سیمای سرزمین ساختارهای شهری و پوشش گیاهی با استفاده از روش جنگل تصادفی (مطالعهٔ موردی شهر اصفهان)، مجلهٔ پژوهش در بهداشت محیط. دوره ۶. شماره ۱. صفحات ۵۵-۴۵.
https://jreh.mums.ac.ir/article_16119.html

معاونت حمل‌ونقل و ترافیک شهرداری اصفهان (۱۳۹۷). داده‌های حجم ترافیک، اصفهان، ایران.

مهندسین نقش جهان پارس (۱۳۹۳). طرح بازنگری طرح تفصیلی شهر اصفهان، گزارش مطالعات و طرح. اصفهان. ایران.

هیأت وزیران (۱۳۷۸). آیین‌نامهٔ اجرایی نحوهٔ جلوگیری از آلودگی صوتی.
https://rc.majlis.ir/fa/law/show/119297

References

Abbaspour, M., Karimi, E., Nassiri, P., Monazzam, M. R. and Taghavi, L. (2015). Hierarchal assessment of noise pollution in urban areas– A case study. Transportation Research Part D, 34, 95-103.
https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1361920914001436

Ariza-Villaverde, A. B., Jiménez-Hornero, F. J. and Gutiérrez De Ravé, E. (2014). Influence of urban morphology on total noise pollution: Multifractal description. Sci, Total Environ, 472, 1-8.
https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969713012357

Bilasco, S., Govor, C., Roşca, S., Vescan, I., Filip, S. and Fodorean, I. (2017). GIS model for identifying urban areas vulnerable to noise pollution. Frontiers of Earth Science, 11 (2), 214-228.
https://link.springer.com/article/10.1007/s11707-017-0615-6

Blesser, B . and Salter, L. L. R. (2009). The Other Half of the Soundscape: Aural Architecture. World Federation Acoustic Ecology Conference, Mexico City.
https://www.semanticscholar.org/paper/The-Other-Half-of-the-Soundscape%3A-Aural-Blesser-Salter/f7e45efd5aa4207c1ef35e251f033283c1a1caf9

Caswell, S. J. and Jakus, K. (1977). Role of land use planning in noise control. In: Heisler, G.M.; Herrington, Lee P., eds. Proceedings of the conference on metropolitan physical environment. Upper Darby, PA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, 242-253.
https://www.fs.usda.gov/treesearch/pubs/11556

Daniel, P., Maïté, T., Eduardo, B., José, P. and Anthony, P. (2014). Where Are We Out? Spatial Analysis of Noise Pollution in Bogota. 43rd International Congress on Noise Control Engineering: Improving the World Through Noise Control.
https://acoustics.asn.au/conference_proceedings/INTERNOISE2014/papers/

Davis, M. L. and Masten, S. J. (2004). Principles of Environmental Engineering and Science. McGrawHill.
https://books.google.com/books/about/Principles_of_Environmental_Engineering.html?id=0sXM9DRtw58C

Doygun, H. and Kuşat Gurun, D. (2008). Analysing and mapping spatial and temporal dynamics of urban traffic noise pollution: a case study in Kahramanmaraş, Turkey. Environmental Monitoring and Assessment, 142 (1-3), 65-72.
https://link.springer.com/article/10.1007/s10661-007-9908-7

Fenta, A. A.(2017). The dynamics of urban expansion and land use/land cover changes using remote sensing and spatial metrics: the case of Mekelle City of northern Ethiopia. International Journal of Remote Sensing, 38 (14), 4107-4129.
https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01431161.2017.1317936

Guedes, I. C. M, Bertoli, S. R. and Zannin, P. H. T.(2011). Influence of urban shapes on environmental noise: A case study in Aracaju- Brazil. Science of the Total Environment, 412- 413, 66-76.
https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969711012101

Han, X., Huang, X., Liang, H., Ma, S., and Gong, J. (2018). Analysis of the relationships between environmental noise and urban morphology. Environmental Pollution, 233, 755-763.
https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0269749117317748

Hao, Y., Kang, J., Krijnders, D., and Wörtche, H. (2015). On the relationship between traffic noise resistance and urban morphology in low-density residential areas. Acta Acustica United with Acustica.
https://www.researchgate.net/publication/235006190_On_the_Relationship_between_Traffic_Noise_Resistance_and_Urban_Morphology_in_Low-Density_Residential_Areas

Huang, X., Liu, H. and Zhang, L. (2015). Spatiotemporal detection and analysis of urban villages in mega city regions of China using high-resolution remotely sensed imagery. IEEE Trans. Geosci. Remote Sens, 53, 3639-3657.
https://ieeexplore.ieee.org/document/7005456

Jain, R., Cindy C. Z., and Domen, J. K. (2016). Environmental Impact of Mining and Mineral Processing, Management, Monitoring and Auditing Strategies. Oxford, UK: Butterworth Heinemann.
https://www.sciencedirect.com/book/9780128040409/environmental-impact-of-mining-and-mineral-processing

Klingberg, J., Broberg, M., Strandberg, B., Thorsson, P., and Pleijel, H. (2017). Influence of urban vegetation on air pollution and noise exposure-A case study in Gothenburg, Sweden. The Science of the Total Environment, 599, 1728-1739.
https://europepmc.org/article/med/28545203

Lam, K. C., Ma, W., Chan, P. K., Hui, W. C., Chung, K. L., Chung, Y. T., Wong, C. Y., and Lin, H. (2013). Relationship between road traffic noisescape and urban form in Hong Kong. Environmental Monitoring and Assessment, 185 (12), 9683-9695.
https://link.springer.com/article/10.1007/s10661-013-3282-4

Lee, S. W., Chang, S. I., and Park, Y. M. (2008). Utilizing noise mapping for environmental impact assessment in a downtown redevelopment area of Seoul, Korea. Applied Acoustics, 69 (8), 704-714.
https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0003682X07000424

Masum, M. H., Pal, S. K., Akhie, A. A., Ruva, I. J., Akter, N., and Nath, S. (2021). Spatiotemporal monitoring and assessment of noise pollution in an urban setting. Environmental Challenges, 5, 1-11.
https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2667010021001979

Murphy, E. and King, E. A. (2010). Strategic environmental noise mapping: Methodological issues concerning the implementation of the EU Environmental Noise Directive and their policy implications. Environment international, 36 (3), 290-298.
https://www.researchgate.net/publication/40833292_Strategic_environmental_noise_mapping_Methodological_issues_concerning_the_implementation_of_the_EU_Environmental_Noise_Directive_and_their_policy_implications

Murphy, E., and King, E. A. (2014). Environmental Noise Pollution: Noise Mapping, Public Health, and Policy. Elsevier.
https://www.sciencedirect.com/book/9780124115958/environmental-noise-pollution

Sakieh, Y., Jaafari, S., Ahmadi, M., and Danekar, A. (2017). Green and calm: Modeling the relationships between noise pollution propagation and spatial patterns of urban structures and green covers. Urban Forestry & Urban Greening, 24, 195-211.
https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1618866716305398

Salomons, E. M., and Pont, M. B. (2012). Urban traffic noise and the relation to urban density, form, and traffic elasticity. Landscape and Urban Planning, 108 (1), 2-16.
https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0169204612002228

Silva, L. T., Oliveira, M., and Silva, J. F. (2014). Urban form indicators as proxy on the noise exposure of buildings. Applied Acoustics, 76, 366-376.
https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0003682X13001990

Smile Consortium. (2003). Guidelines for Road Traffic Noise Abatement. Smile workshop, Berlin, Germany.
https://ec.europa.eu/environment/life/project/Projects/index.cfm?fuseaction=home.showFile&rep=file&fil=SMILE_guidelines_noise_en.pdf

Suriano, M. T., de Souza, L. C. L. and da Silva, A. N. R. (2015). A decision-support tool for the control of urban noise pollution. Ciênc. saúde coletiva, 20 (7), 2201-2210.
https://www.researchgate.net/publication/280030196_A_decision-support_tool_for_the_control_of_urban_noise_pollution

Teddlie, C., and Yu, F. (2007). Mixed Methods Sampling: A Typology With Examples. Journal of Mixed Methods Research, 1(1), 77-100.
https://journals.sagepub.com/doi/10.1177/1558689806292430

Tong, H., and Kang, J. (2021). Characteristics of noise complaints and the associations with urban morphology: A comparison across densities. Environmental Research, 197, 1-9.
https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S001393512100339X

Yang, W., He, J., He, C., and Cai, M. (2020). Evaluation of urban traffic noise pollution based on noise maps. Transportation Research, Part D, 87, 1-14.
https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1361920920307033

Yuan, M., Yin, C., Sun, Y. and Chen, W. (2019). Examining the associations between urban built environment and noise pollution in high-density high-rise urban areas: A case study in Wuhan, China. Sustainable Cities and Society, 50. 1-9.
https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2210670718322534