University of Sistan and Baluchestan

Geography and Development

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

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

Evaluation of Seasonal Pollution of Heavy Metals in the Atmospheric Dust of Yazd City using Pollution Indicators

Somayeh Soltani-Gerdefaramarzi

Associate Professor, Faculty of Agricalture and Natural Resources, Ardakan University, Ardakan, Iran

✉ E-mail: ssoltani@ardakan.ac.ir

How to Cite: Soltani-Gerdefaramarzi, S. (2025). Evaluation of Seasonal Pollution of Heavy Metals in the Atmospheric Dust of Yazd City using Pollution Indicators. *Geography and Development*, 23 (79), 49-72.

DOI: http://dx.doi.org/10.22111/GDIJ.2024.48070.3623

Received:
24 February 2024
Received in revised form:
29 August 2024
Accepted:
20 November 2024
Published online:
10 June 2025

Keywords:
Enrichment factor,
Heavy elements,
Pollution load,
Temporal and spatial distribution.

ABSTRACT

Dust deposition is widespread in arid and semi-arid regions of the world. This study was conducted to investigate the heavy element contamination of atmospheric dust in the city of Yazd. Dust was sampled seasonally from autumn 2017 to summer 2018, from 30 points using sediment traps. The concentration of ten heavy elements, including iron, manganese, nickel, chromium, cobalt, arsenic, lead, cadmium, zinc and copper, and the evaluation indicators of heavy metal pollution, including Pollution Load Indicator (PLI), Pollution Degree (Cd), Pollution Index (PI) and Enrichment Factor (EF), were calculated to evaluate the level and amount of dust pollution in the region. With the exception of cobalt with an enrichment factor of less than 1 (0.88), which indicates the natural origin of this element in natural resources, other heavy metals, including iron, manganese, nickel and chromium with enrichment factors between 1 and 10 from mixed natural and anthropogenic sources, and arsenic with an enrichment factor of more than 10, were found to be of unnatural and anthropogenic origin, and the contribution of each of these sources was different depending on the time and place of dust sampling. Based on the pollution assessment indicators, the heavy metal pollution in the region is moderate and the pollution indicators of arsenic, cadmium, zinc and lead elements were higher than other elements.

 Publisher: University of Sistan and Baluchestan

1. Introduction

One of the most important phenomena in arid and semi-arid regions of the world is dust, which is one of the most important environmental issues in these regions. More than two thirds of Iran's area is under arid and semi-arid climatic conditions due to various reasons, including its geographical location and distance from large water bodies. The limited rainfall in this area has reduced the incidence of water erosion to some extent. While the lack of vegetation and other factors favoring soil erosion have created the conditions for the development of wind erosion and the occurrence of dust storms. Heavy elements are widely dispersed by binding to dust particles, so dust is a major source of heavy elements. There are many methods for determining and assessing the level of heavy metal contamination in soils, sediments and dust. In order to study heavy metals in different regions, the following pollution assessment indicators have been used. The city of Yazd is one of the most important and industrial cities in Iran, whose atmosphere is affected by the phenomenon of dust for most of the year. This phenomenon intensifies during the spring and summer seasons, especially in the industrial cities of the province. On the one hand, due to the lack of vegetation in this province with less than

50 millimeters of rainfall per year, the presence of dry and salty areas and the susceptibility of this region to dust storms, and due to the industrial and traffic situation of the city of Yazd. And the predictability of the high concentration of heavy metals in the atmosphere of the region can be an important basis and step in the direction of controlling the atmospheric polluting factors and ultimately the general health of the human population of the region. On the other hand, considering the location of Yazd city in the province, in terms of being on the north-south highway of the country, it seems necessary to identify and determine the concentration of heavy elements in the atmospheric dust of this important city of the province.

2. Materials and Methods

The present study was conducted in Yazd city, the most populous city and the capital of Yazd province, with an area of 136.37 square kilometres, with a geographical latitude of 31 degrees and 46 minutes to 31 degrees and 58 minutes north and a geographical longitude of 54 degrees and 16 minutes to 54 degrees. And it was 26 minutes east. In the study area, 30 sampling points were randomly selected for dust sampling in order to achieve adequate coverage of the whole area. Two types of sediment traps were used on each roof. Sediment samples were carefully collected at the end of each season and transported to the laboratory, and washed with water and reused after each sampling. A four-acid method was used to digest the dust and soil samples from the study area and total concentrations of arsenic (As), cadmium (Cd), cobalt (Co), chromium (Cr), copper (Cu), iron (Fe), manganese (Mn), nickel (Ni), lead (Pb) and zinc (Zn). The data obtained from the analysis of dust and surface soil samples were analysed using SPSS software. 16 and the comparison of the mean values of the studied parameters and the significance of their difference was done using Duncan's test at 5% level. Spatial distribution maps of the parameters studied in the study were drawn using the Image Distance Weighting (IDW) method in Arc GIS 9.3 software. In order to estimate and evaluate the level of heavy element pollution in the study area, the parameters of enrichment factor (EF), pollution index (PI), pollution load index (PLI) and degree of pollution (Cd) were calculated on the basis of the seasonal concentration of heavy elements.

3. Results and Discussion

According to the results, the elements iron, manganese, nickel, chromium and cobalt have an enrichment factor of less than 2, which places them in the first class, i.e. low enrichment. Copper element in autumn, winter and summer, zinc element in spring and summer and cadmium element in summer are in the second class, i.e. medium enrichment, and arsenic, lead, cadmium element (in autumn, winter and spring), zinc element (in autumn and winter) and copper element in spring have enrichment factors between 5 and 20, i.e. significant enrichment. Among the elements studied, arsenic has the highest. According to the results which show the pollution index of 10 heavy elements in dust samples in four seasons, the average pollution index of the four seasons studied was obtained for the elements of arsenic, cadmium, cobalt, chromium, copper, nickel, lead, zinc, iron and manganese respectively 6.17, 2.94, 0.39, 0.74, 1.79, 0.67, 3.56, 2.61, 0.60 and 0.76. According to this pollution index, the heavy elements iron, manganese, nickel, chromium and cobalt are less than 1 and have a low pollution index. The elements copper, zinc and cadmium in summer and spring, copper in winter and autumn and lead in winter are in the range of moderate pollution. The element arsenic in all seasons, lead in spring and summer, and cadmium and zinc in autumn and winter have pollution values greater than 3, which are in the high pollution class. According to the results of this index, the winter and autumn seasons have the highest pollution index of heavy elements and the summer season has the lowest pollution index. The results of the Pollution Load Index (PLI) for ten heavy metals including iron, manganese, nickel, chromium, cobalt, arsenic, lead, cadmium, zinc and copper showed that the autumn season ranks first with a significant difference compared to other seasons, followed by winter and spring, and then spring has the highest amount of this index. The average of this index was 1.49, 1.34, 1.35 and 1.18 for autumn, winter, spring and summer respectively. According to the pollution levels of this index, all the seasons studied were in the medium pollution class (value between 1 and 2). The results of the degree of pollution (Cd) for ten heavy metals including iron, manganese, nickel, chromium, cobalt, arsenic, lead, cadmium, zinc and copper showed that there was no significant difference in the three seasons of autumn, winter and spring. The value of this index is more than 20 and they are in the pollution class.

4. Conclusion

In general, the average concentration of all heavy elements in the dust samples is statistically higher than the concentration of heavy elements in the soil samples of the region in most of the seasons studied. All heavy elements except copper have a higher concentration in autumn season dust than in other seasons, and the lowest concentration of heavy elements belongs to summer season dust. The north-westerly direction of the prevailing wind in the region in all seasons and the location of the industrial city of Yazd to the west and north-west of Yazd city are the main reasons for the high concentration of heavy elements. Investigation of the level of atmospheric dust pollution in the region with heavy elements on the basis of the enrichment factor and various indicators of pollution assessment showed that the highest level of heavy element pollution is in the autumn and winter seasons, and the lowest in the summer season. The basis of the classification of pollution indicators of elemental load exceeded the amount of background (surface soil) and heavy metal pollution of arsenic, lead, cadmium and zinc was observed in comparison with other elements in the study area and in all seasons. The spatial distribution maps of the degree of pollution and the pollutant load index also showed that the highest level of pollution was observed in the north and north-west of the study area, with a decreasing trend towards the south.

Keywords: Dust, Heavy elements, Pollution, Time distribution.

5. References

Ahmadi-Doabi, S.A., Afyuni, M. and Karami, M (2017). Multivariate statistical analysis of heavy metals contamination in atmospheric dust of Kermanshah province, western Iran, during the spring and summer 2013. Journal of Geochemical Exploration, 180, 61-70.
https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0375674217304089.

Akbari, B., Khademi, H (2023). Seasonal changes in the concentration and pollution level of selected heavy metals in the street dust of Isfahan and its surrounding cities. Journal of Soil Management and Sustainable Production, 13(3): 81-98. [In Persian]
https://ejsms.gau.ac.ir/article_6674.html

Al-Khashman O.A (2004). Heavy metal distribution in dust, street dust and soils from the work place in Karak Industrial Estate, Jordan. Atmospheric environment, 38(39): 6803-6812.
https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1352231004008519.

Alipour, H., Ahmad Jalalian, A., Honarjoo, N., Nourair Toumanian, N., Sarmadian, F (2021). Assessment of Heavy Metal Pollution in Dust and Source Apportionment in the Atmosphere of Kuhdasht Region, Lorestan Province. Soil and Water Sciences, 25 (4): 147-162. [In Persian]
https://jstnar.iut.ac.ir/article-1-4076-fa.html

Amr, M. A., Helal, A. F. I., Al-Kinani, A. T., Balakrishnan, P (2016). Ultra-trace determination of 90Sr, 137Cs, 238Pu, 239Pu, and 240Pu by triple quadruple collision/reaction cell-ICP-MS/MS: Establishing a baseline for global fallout in Qatar soil and sediments. Journal of Environmental Radioactivity, 153, 73-87.
https://link.springer.com/article/10.1007/s42250-023-00659-7.

Chakraborty, M., Rahat, M.M.R., Choudhury, T.R., Nigar, R., Liu, G. and Habib, A (2024). Heavy metal contamination and health risk assessment of road dust from landfills in Dhaka-Narayanganj, Bangladesh. Emerging Contaminants, 10(1), 100278.
https://ouci.dntb.gov.ua/en/works/4bwMkXZl/.

Charlesworth, S., Everett, M., McCarthy, R., Ordonez, A. and De Miguel, E (2003). A comparative study of heavy metal concentration and distribution in deposited street dusts in a large and a small urban area: Birmingham and Coventry, West Midlands, UK. Environment international, 29(5), 563-573.
https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0160412003000151.

De Miguel, E., Llamas, J.F., Chacón, E., Berg, T., Larssen, S., Røyset, O. and Vadset, M (1997). Origin and patterns of distribution of trace elements in street dust: unleaded petrol and urban lead. Atmospheric Environment, 31(17), 2733-2740.
https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1352231097001015.

Duong, T.T.T., and Lee, B.K (2011). Determining contamination level of heavymetals in road dust from busy traffic areas with different characteristics. J. Environ. Manage. 92: 554-562.
https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301479710002963.

Goforth, M. R. and Christoforou, C. S (2006). Particle size distribution and atmospheric metals measurments in a rural area in the South Eastern USA. Sci. Total Environ. 356: 217-227.
https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=1494460&btwaf=28673060.

Haghnazar, H., Soltani-Gerdefaramarzi, S., Ghasemi, M. and Johannesson, K.H (2023). Receptor model-based approach to estimate urban road dust pollution by heavy metal (loid) s exposed to desert dust storms in a ra pid-growing city of Iran. Environmental Earth Sciences, 82(12), 316.
https://link.springer.com/article/10.1007/s12665-023-11000-3.

Jafari, F (2013). Subsidence Rate and Some Chemical and Mineralogical Characteristics of Atmospheric Dust in Kerman City. Master's Thesis in Soil Science, Faculty of Agriculture, Isfahan University of Technology. [In Persian]
https://library.iut.ac.ir/dL/search/default.aspx?Term=8175&Field=0&DTC=107

Karimian, B., Landi, A., Hojati, S., Ahadian, J (2016). Investigation of Physical, Chemical, and Mineralogical Characteristics of Dust in Ahvaz City. Iranian Journal of Soil and Water Research, 47(1): 159-173. [In Persian]
https://www.sid.ir/paper/225644/fa.

Lu, X., L. Wang, K. Lei, J. Huang and Zhai, Y (2009). Contamination assessment of copper, lead, zinc, manganese and nickel in street dust of Baoji, NW China. J. Hazard. Mater. 161: 1058-1062.
https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18502044/

Lu, X., L. Wang, L. Y. Li, L. Huang and Kang, D (2010). Multivariate statistical analysis of heavy metals in street dust of Baoji, NW China. J. Hazard. Mater. 173: 711-749.
https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19811870/

Makhfi, G., Karimi, A., Solgi, E., Bagherpor, S (2022). Evaluation and determination of the ecological risk of lead, zinc and cadmium in the atmospheric dust of Isfahan city. Journal of Environmental Health Enginering, 9(4): 485-501. [In Persian]
https://jehe.abzums.ac.ir/browse.php?a_code=A-10-756-1&slc_lang=fa&sid=1

Mazloomi, S, Esmaeili – Sari, A, Bahramifar, N, Moeinaddini, M (2017). Assessment of the metals and metalloids level in street dust of the east and west of Tehran. Iranian Journal of Health and Environment. 10 (2):281-292. [In Persian]
https://sid.ir/paper/145920/fa.

McLennan, S. M (2001). Relationships between the trace element composition of sedimentary rocks and upper continental crust. Geochemistry, Geophysics, Geosystems, 2(4): 1-24.
https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1029/2000GC000109

Modaihsh, A. S (1997). Characteristics and composition of the falling dust sediments on Riyadh city, Saudi Arabia. J. Arid Environ. 36: 211-223.
https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0140196396902256.

Mostafa, M.T., El-Nady, H., Gomaa, R.M., Abdelgawad, H.F., Abdelhafiz, M.A., Salman, S.A.E. and Khalifa, I.H (2024). Urban geochemistry of heavy metals in road dust from Cairo megacity, Egypt: enrichment, sources, contamination, and health risks. Environmental Earth Sciences, 83(1):37.
http://dx.doi.org/10.1007/s12665-023-11342-y.

Namazi, N., Salehi, M. H., Mohammadi, J (2015). Spatial and temporal variations of some heavy elements in atmospheric dust in the Lenjanat region of Isfahan. Journal of Water and Soil (Agricultural Sciences and Industries). 29(1): 114-125. [In Persian]
https://jsw.um.ac.ir/article_38008.html

Nazzal, Y., M. A. Rosen and Al-Rawabdeh, A. M (2013). Assessment of metal pollution in urban road dusts from selected highways of the Greater Toronto Area in Canada. Environ. Monit. Assess. 184: 1847-1858.
http://dx.doi.org/10.1007/s10661-012-2672-3

Norouzi, S., Khademi, H., Cano, A.F. and Acosta, J.A (2015). Using plane tree leaves for biomonitoring of dust borne heavy metals: A case study from Isfahan, Central Iran. Ecological Indicators, 57:64-73.
http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.04.011

Pandy, J. and Pandy, U (2009). Accumulation of heavy metals in dietary vegetables and cultivated soil horizon in organic farming system in relation to atmospheric deposition in a seasonally dry tropical region of India. Environ. Monit. Assess. 148: 61-74.
https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18202901/.

Qiang, L., W. Yang, L. Jingshuang, W. Quanying and Mingying, Z (2015). Grain-size distribution and heavy metal contamination of road dusts in urban parks and squares in Changchun, China. Environ. Geochem. Health. 37: 71-82.
https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25049053/.

Qingjie, G., D. Jun, X. yunchuan, W. Qingfei and Liqiang, X (2008). Calculating pollution indices by heavy metals in ecological geochemistry assessment and a case study in parks of Beijing. J. China Univ. Geosci. 19: 230-241.
http://dx.doi.org/10.1016/S1002-0705(08)60042-4.

Rahimi, M., Mohammadi Rouzbahani, M., Payandeh, Kh., Nazarpour, A., and Panahpour, E (2021). Investigation of Pollution and Enrichment Indices of Heavy Metals Transported by Atmospheric Dust Particles in the Metropolitan Areas of Khuzestan Province. Journal of Health and Environment, 14(2): 299-318. [In Persian]
https://ijhe.tums.ac.ir/article-1-6557-fa.htm

Rasmussen, P.E., Subramanian, K.S. and Jessiman, B.J (2001). A multi-element profile of house dust in relation to exterior dust and soils in the city of Ottawa, Canada. Science of the total environment, 267(1-3): 125-140.
https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969700007750.

Solgi, E. and Abdollahi, S (2022). Investigation of Heavy Metals Contamination in Atmospheric Deposition of Zahedan City by Using Pollution Indices. Journal of Natural Environmental Hazards, 11(32), 73-86. [In Persian]
http://dx.doi: 10.22111/jneh.2021.36672.1738

Salo, H., M. S. Bucko, E. Vaahtovuo, J. Limo, J. Makinen and Pesonen, L. J (2012). Biomonitoring of air pollution in SW Finland by magnetic and chemical measurements of moss bags and lichens. J. Geochem. Explor. 115: 69-81.
http://dx.doi.org/10.1016/j.gexplo.2012.02.009.

Soltani-Gerdefaramarzi, S., Ghasemi, M., Ghaneie-Bafghi, M. J (2021). Spatial and temporal Variability in the dust deposition rate of Yazd city and its relationship with some climatic parameters. Journal of Natural Environment, 73(4): 701-714. [In Persian]
https://jne.ut.ac.ir/article_80381.html

Soltani-Gerdefaramarzi, S., Ghasemi, M. and Gheysouri, M (2021a). Pollution, human health risk assessment and spatial distribution of toxic metals in urban soil of Yazd City, Iran. Environmental Geochemistry and Health, 43(9): 3469-3484.
http://dx.doi.org/10.21203/rs.3.rs-174408/v1.

Soltani-Gerdefaramarzi, S., Ghasemi, M. and Ghanbarian, B (2021b). Geogenic and anthropogenic sources identification and ecological risk assessment of heavy metals in the urban soil of Yazd, central Iran. Plos one, 16(11): e0260418.
https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0260418.

Tang, Y. and Han, G (2017). Characteristics of major elements and heavy metals in atmospheric dust in Beijing, China. Journal of Geochemical Exploration, 176: 114-119.
http://dx.doi.org/10.1016/j.gexplo.2015.12.002.

Wang, R., Zou, X., Cheng, H., Wu, X., Zhang, C., and Kang, L (2015). Spatial distribution and source apportionment of atmospheric dust fall at Beijing during spring of 2008-2009. Environ. Sci. Pollut. Res. 22: 3547-3557.
http://dx.doi.org/10.1007/s11356-014-3583-3.

Xiao Q., Yutong Z., Zaffar M., and Shenggao, L (2019). Source identification and risk assessment of heavy metals in road dust of steel industrial city (Anshan), Liaoning, Northeast China, Human and Ecological Risk Assessment. Human and Ecological Risk Assessment 26(5):1-20.
http://dx.doi.org/10.1080/10807039.2019.1578946.

Yang, Z.Y., Liu, H., Li, J.Y., Bao, Y.B., Yang, J., Li, L., Zhao, Z.Y., Zheng, Q.X. and Xiang, P (2024). Road dust exposure and human corneal damage in a plateau high geological background provincial capital city: Spatial distribution, sources, bioaccessibility, and cytotoxicity of dust heavy metals. Science of The Total Environment, 912:169140.
https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/38070561/.

Yongming, H., D. Peixuana, C. Junjib and Posmentier, E. S (2006). Multivariate analysis of heavy metal contamination in urban dusts of Xi'an, Central China. Sci. Total Environ. 355: 176-186.
http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2005.02.026.

Yousif, Y.M., Mutter, T.Y. and Hassan, O.M (2024). Health risks and environmental assessments of heavy metals in road dust of Ramadi, Iraq. Journal of Degraded and Mining Lands Management, 11(2):5301-5306.
http://dx.doi.org/10.15243/jdmlm.2024.112.5301.

Ziyaee, A., Karimi, A., Hirmas, D.R., Kehl, M., Lakzian, A., Khademi, H. and Mechem, D.B (2018). Spatial and temporal variations of airborne dust fallout in Khorasan Razavi Province, Northeastern Iran. Geoderma, 326:42-55.
http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.04.010.

جغرافیا و توسعه

شاپا چاپی: ۰۷۳۵-۱۷۳۵ شاپا الکترونیکی: ۷۷۹۱-۲۶۷۶

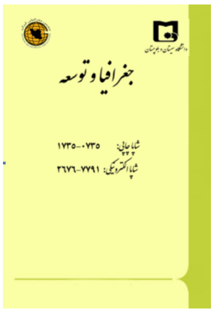
https://gdij.usb.ac.ir

ارزیابی میزان آلایندگی فصلی فلزات سنگین در گردوغبار اتمسفری شهر یزد با استفاده از شاخص‌های آلودگی

مقاله پژوهشی

دکتر سمیه سلطانی‌گرد فرامرزی *

جغرافیا و توسعه، شمارهٔ ۷۹، تابستان ۱۴۰۴
تاریخ دریافت: ۱۴۰۲/۱۲/۰۵
تاریخ بازنگری داوری: ۱۴۰۳/۰۶/۰۸
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۰۸/۳۰
صفحات: ۷۲-۴۹



واژه‌های کلیدی:
فاکتور غنی‌شدگی، عناصر سنگین، بار آلودگی، توزیع زمانی و مکانی.

چکیده

فرونشست گردوغبار به‌طور گسترده در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان اتفاق می‌افتد. این مطالعه به منظور بررسی آلایندگی عناصر سنگین در گردوغبار اتمسفری شهر یزد انجام شده است. گردوغبار به‌صورت فصلی از پائیز ۱۳۹۷ تا تابستان ۱۳۹۸ و از ۳۰ نقطه با استفاده از تله‌های رسوبگیر نمونه‌برداری شد. غلظت ده عنصر سنگین شامل آهن، منگنز، نیکل، کروم، کبالت، آرسنیک، سرب، کادمیوم، روی و مس تعیین و شاخص‌های ارزیابی آلودگی فلزات سنگین شامل شاخص‌های بار آلودگی (PLI)، درجه آلودگی (C_d)، شاخص آلودگی (PI) و فاکتور غنی‌شدگی (EF)، برای ارزیابی سطح و میزان آلودگی گرد و غبار در منطقه محاسبه‌شدند. به‌جز عنصر کبالت با میزان فاکتور غنی‌شدگی کمتر از ۱ (۰,۸۸) که گویای خاستگاه طبیعی این عنصر در منابع طبیعی می‌باشد، سایر فلزات سنگین شامل: آهن، منگنز، نیکل و کروم با فاکتور غنی‌شدگی بین ۱ تا ۱۰ از منابع مختلط طبیعی و انسان‌زاد و عنصر آرسنیک با فاکتور غنی‌شدگی بیش از ۱۰ دارای خاستگاه غیر طبیعی و انسان‌زاد تشخیص داده شد که سهم هر کدام از این منابع بسته به زمان و مکان نمونه‌برداری گردوغبار متفاوت می‌باشد. براساس شاخص‌های ارزیابی آلودگی، آلودگی فلزات سنگین در منطقه در حد متوسط بوده و شاخص‌های آلودگی عناصر آرسنیک، کادمیوم، روی و سرب بیش‌تر از سایر عناصر به‌دست آمد.

مقدمه

یکی از پدیده‌های مهم در مناطق خشک و نیمه‌خشک جهان گردوغبار می‌باشد که از جمله مهم‌ترین مسائل زیست‌محیطی در این مناطق محسوب می‌شود. بیش از دو سوم مساحت کشور ایران به‌دلایل مختلف از جمله موقعیت جغرافیایی و دوری از پهنه‌های وسیع آبی در شرایط اقلیمی خشک و نیمه‌خشک قرار دارد. محدودیت بارندگی در این منطقه تا حدودی از وقوع فرسایش آبی کاسته است. در حالی‌که کمبود پوشش گیاهی و سایر عوامل مساعدکننده فرسایش‌پذیری خاک زمینه را برای توسعهٔ فرسایش بادی و وقوع توفان‌های گردوغبار فراهم کرده است (*Soltani-Gerdefaramarzi et al, 2021 a: 3472*). می‌توان گفت گرد و غبار شامل مجموعه‌ای از ذرات معدنی، عناصر سنگین، رس‌های کلوئیدی و ذرات بیولوژیکی با منشأ آلی و موجودات زنده می‌باشد که به‌وسیلهٔ فرآیندهای مختلف و از منابع گوناگون طبیعی و انسان‌زاد به اتمسفر وارد می‌شوند. عناصر سنگین جزء ترکیب‌های طبیعی پوستهٔ زمین هستند (*Chakraborty et al, 2024: 100278*) و در تمامی اکوسیستم‌ها در غلظت‌های مختلف وجود دارند. فعالیت انسان‌ها و چرخهٔ بیوشیمیائی، تعادل برخی ازآن‌ها را شدیداً تحت تاثیر قرار می‌دهد (*Mostafa et al, 2024:37; Yousif et al, 2024: 5302*). به‌طور کلی عناصر سنگین به دو دسته تقسیم می‌شوند: ۱- عناصر

دانشیار دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه اردکان، اردکان، ایران ssoltani@ardakan.ac.ir

عمدۀ پوستۀ زمین : شامل: آلومینیوم، کلسیم، پتاسیم، آهن، منیزیم، سیلیس و تیتانیوم که از هوازدگی سنگ‌ها و فرسایش بادی به‌دست‌می‌آیند. ۲- عناصری از جمله؛ مس، روی، کادمیوم، کروم، منگنز و سرب که عمدتا منبع آنتروپوژنیک داشته و از منابع انسانی محیط وارد می‌شوند (*Goforth and Christoforou, 2006: 220; Yang et al, 2024: 169140*). برخی از این عناصر مانند: مس، نیکل، کروم، آهن، روی و مولیبدن از نظر بیولوژیکی ضروری هستند؛ بنابراین این عناصر در غلظت‌های پائین برای بقای موجودات زنده لازم و در غلظت‌های بالا سمی می‌باشند اما برخی مانند: سرب، کادمیوم و جیوه در غلظت‌های کم هم سمی هستند (*Al-Khashman, 2004: 6805*). عناصر سنگین با اتصال به ذرات گردوغبار در مقیاس وسیعی منتشر شده و به همین دلیل گردوغبار یکی از منابع مهم عناصر سنگین می‌باشد (*Modaihsh, 1997: 37*). تنگ و هان (۲۰۱۷) مهمترین عناصر و فلزات سنگین موجود در گردوغبار اتمسفری در شهر «پکن» چین را بررسی کردند و نشان‌دادند که غلظت بیشتر عناصر کلسیم، مس، روی و سرب موجود در گردوغبار اتمسفری نسبت به خاک سطحی بود (*Tang and Han, 2017: 116*). ژیائو و همکاران (۲۰۱۹) ارزیابی ریسک فلزات سنگین در گردوغبار جاده‌ای شهر صنعتی «آنشان» در شمال شرق چین را بررسی نموده و منبع ایجاد آن‌ها را تعیین کردند. نتایج نشان‌داد که عناصر روی و سرب از ترافیک جاده‌ای منشأ گرفته‌اند در حالی‌که کادمیوم، کروم، آهن، منگنز، نیکل و آنتیموان از فعالیت‌های صنعتی نشأت گرفته‌اند (*Xiao et al, 2019: 554*). از طرفی روش‌های متعددی برای تعیین و ارزیابی درجۀ آلودگی عناصر سنگین در خاک، رسوبات و گردوغبار وجود دارد (*Lu et al 2009: 1060*). به‌منظور مطالعۀ فلزات سنگین در مناطق مختلف از شاخص‌های ارزیابی آلودگی استفاده شده است. برای مثال (*Qiang et al, 2015: 73*) با محاسبه و بررسی شاخص I_{geo} عناصر سنگین گردوغبار شهری در «چانگچان» چین مشخص‌شد که عناصر کروم و نیکل در کلاس غیر آلوده، عناصر مس و روی در کلاس غیر آلوده تا الودگی متوسط و عناصر سرب و کادمیوم در کلاس آلودگی متوسط قراردارند. بررسی نتایج حاصل از محاسبۀ شاخص I_{geo} توسط نازال و همکاران در سال ۲۰۱۳ نشان‌داد که گردوغبار جاده‌ای در «تورنتو» کانادا از نظر عناصر کروم، منگنز و کلسیم غیر آلوده و از نظر کادمیوم و پتاسیم دارای آلودگی متوسط هستند. همچنین آلودگی زیاد برای آهن و منیزیم و آلودگی زیاد تا فوق‌العاده‌زیاد برای نیکل و سرب و آلودگی فوق‌العاده‌زیاد برای مس و روی گزارش شد (*Nazzal et al, 2013: 1850*). میزان آلودگی در نمونه‌های گردوغبار شهر «ماآن» در کشور اردن با محاسبۀ پارامترهای I_{geo}، PI و IPI بررسی‌شد. نتایج IPI حاکی از این بود که میزان آلودگی تمام عناصر در سطح کم و یا متوسط می‌باشد (*Al-Khashman, 2004: 6810*). ژیائو و همکاران (۲۰۱۹) ارزیابی ریسک فلزات سنگین در گردوغبار جاده‌ای شهر صنعتی «آنشان» در شمال شرق چین را بررسی نموده و منبع ایجاد آن‌ها را تعیین کردند. نتایج نشان‌داد که عناصر روی و سرب از ترافیک جاده‌ای منشأ گرفته‌اند در حالی‌که کادمیوم، کروم، آهن، منگنز، نیکل و آنتیموان از فعالیت‌های صنعتی نشأت گرفته‌اند. شاخص ریسک اکولوژیک نشان‌داد که فلزات سنگین در منطقه در حد متوسط تا پتانسیل آلودگی بالا دارند (*Xiao et al, 2019: 557*).

سلگی و عبداللهی (۱۴۰۱) میزان آلایندگی فلزات سنگین در رسوبات اتمسفری شهر «زاهدان» را با استفاده از شاخص‌های آلودگی بررسی کردند و نشان‌دادند که شاخص زمین انباشت کلاس آلودگی متوسط برای کادمیوم و کلاس آلودگی بالا برای عناصر مس، سرب و روی نشان‌داد. حق‌نظر و همکاران (۲۰۲۳) منشأ طبیعی مانند: توفان‌های گردوغبار، فعالیت‌های معدنی و منشأ انسانی مانند گسترش وسایل نقلیه و انتشارات صنعتی (کارخانه‌های آهن، فولاد، کاشی و سرامیک) مسئول آلودگی فلزات سنگین در گردوغبار جاده‌های شهر یزد هستند.

علیپور و همکاران (۱۴۰۰) آلودگی فلزات سنگین گردوغبار و منشأیابی آن‌ها در اتمسفر منطقهٔ کوهدشت استان لرستان را ارزیابی کردند و نشان‌دادند که شاخص عامل آلودگی گردوغبار حاکی از آلودگی بسیار زیاد کادمیم و روی، آلودگی قابل توجه نیکل و سرب و عدم آلودگی به مس و منگنز بود. رحیمی و همکاران (۱۴۰۰) شاخص‌های آلودگی و غنی‌شدگی فلزات سنگین حمل‌شده توسط ذرات گردوغبار اتمسفری در کلان‌شهرهای استان خوزستان را بررسی‌کردند و نشان‌دادند که هر چند غلظت فلزات سنگین در ذرات گردوغبار هوا در هوای صاف و نیز گردوغباری مقادیر پایینی داشت اما نتایج خطر بالای فلزاتی نظیر روی در شهرهای استان خوزستان به‌ویژه ماهشهر را نشان‌می‌دهد که عموما از فعالیت‌های درون‌شهری و یا استانی نشأت گرفته‌اند. مخفی و همکاران (۱۴۰۱) ارزیابی و تعیین ریسک اکولوژیک سرب، روی و کادمیوم در گردوغبار اتمسفری شهر «اصفهان» را بررسی کرده و نتیجه گرفتند که توزیع آلودگی برای کادمیوم در فصول مختلف متفاوت است و شیب آلودگی برای عنصر روی و سرب از شمال شرقی به‌طرف جنوب غربی می‌باشد، همچنین توزیع آلودگی برای کادمیوم در فصول مختلف متفاوت است. اکبری و خادمی (۱۴۰۲) تغییرات فصلی غلظت و شدت آلودگی برخی عناصر سنگین در گردوغبار خیابانی «اصفهان» و تعدادی از شهرهای اطراف را مطالعه کردند. نتایج نشان‌داد که میانگین غلظت عناصر مس، روی و سرب در گردوغبار خیابانی بیشترین مقدار را در همهٔ شهرها در مقایسه با «نطنز» نشان‌می‌دهد. این امر به وجود ترافیک بالاتر، جمعیت بیشتر و به‌تبع آن تراکم ماشین‌آلات، وجود ساخت‌وسازهای بیشتر و عظیم‌تر در شهرهای بزرگ، رفت‌وآمدهای ترانزیتی وسایل نقلیه، وجود توفان‌های گردوغباری اتمسفری شدیدتر در مناطق مرکزی استان اصفهان، خشکسالی و نبود باران کافی، نسبت داده شد.

شهر یزد یکی از شهرهای مهم و صنعتی ایران است که اتمسفر آن در بیشتر مواقع سال تحت تأثیر پدیدهٔ گردوغبار قرار می‌گیرد. این پدیده به‌ویژه در فصل بهار و تابستان مخصوصاً در شهرستان‌های صنعتی استان تشدید می‌شود. از سویی به‌دلیل فقدان پوشش گیاهی در این استان با بارندگی کمتر از ۵۰ میلیمتر در سال، دارابودن مناطق خشک و نمک‌زار و مستعدبودن از نظر ایجاد توفان‌های گردوغبار در این منطقه و با توجه به وضعیت صنعتی و ترافیکی شهر یزد و قابل پیش‌بینی‌بودن غلظت بالای فلزات سنگین در اتمسفر منطقه، می‌تواند مبنا قرارگیرد و گام مهمی در جهت کنترل عوامل آلوده‌کنندهٔ اتمسفر و نهایتاً سلامت عمومی جمعیت انسانی منطقه باشد. از طرفی با توجه به موقعیت شهر یزد در استان از نظر قرارگرفتن در شاهراه شمال به جنوب کشور، شناسایی و تعیین غلظت عناصر سنگین در گردوغبار اتمسفری این شهر مهم استان ضروری به نظر می‌رسد.

مواد و روش‌ها

منطقهٔ مورد مطالعه

مطالعهٔ حاضر در شهر یزد، پرجمعیت‌ترین شهرستان و مرکز استان یزد، با وسعتی بالغ بر ۱۳۶٫۳۷ کیلومتر مربع با عرض جغرافیایی ۳۱ درجه و ۴۶ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۵۸ دقیقه شمالی و طول جغرافیایی ۵۴ درجه و ۱۶ دقیقه تا ۵۴ درجه و ۲۶ دقیقه شرقی انجام گرفت. جهت باد غالب در شش ماه از سال (بهار و تابستان) شمال غربی و در چهار ماه (آبان تا بهمن) جنوب شرقی و در اسفند و مهر غربی است. بر پایهٔ داده‌های هواشناسی، میانگین دمای سالیانه ۱۹٫۱ درجه سلسیوس، میانگین رطوبت نسبی ۳۱٪، مجموع بارندگی سالیانه ۶۰٫۸ میلیمتر، تعداد روزهای با توفان گردوخاک ۶۲٫۵ سرعت باد غالب ۸٫۸ کیلومتر و درصد باد غالب ۱۵٫۲می‌باشد. بر اساس آخرین سرشماری

در سال ۱۳۹۵ جمعیت این شهرستان ۶۵۶۴۷۴ نفر می‌باشد. با توجه به شرایط جغرافیایی و اقلیمی، رشد شهرنشینی و گرایش به صنعت این شهرستان از لحاظ بررسی وضعیت گردوغبار حائز اهمیت است.

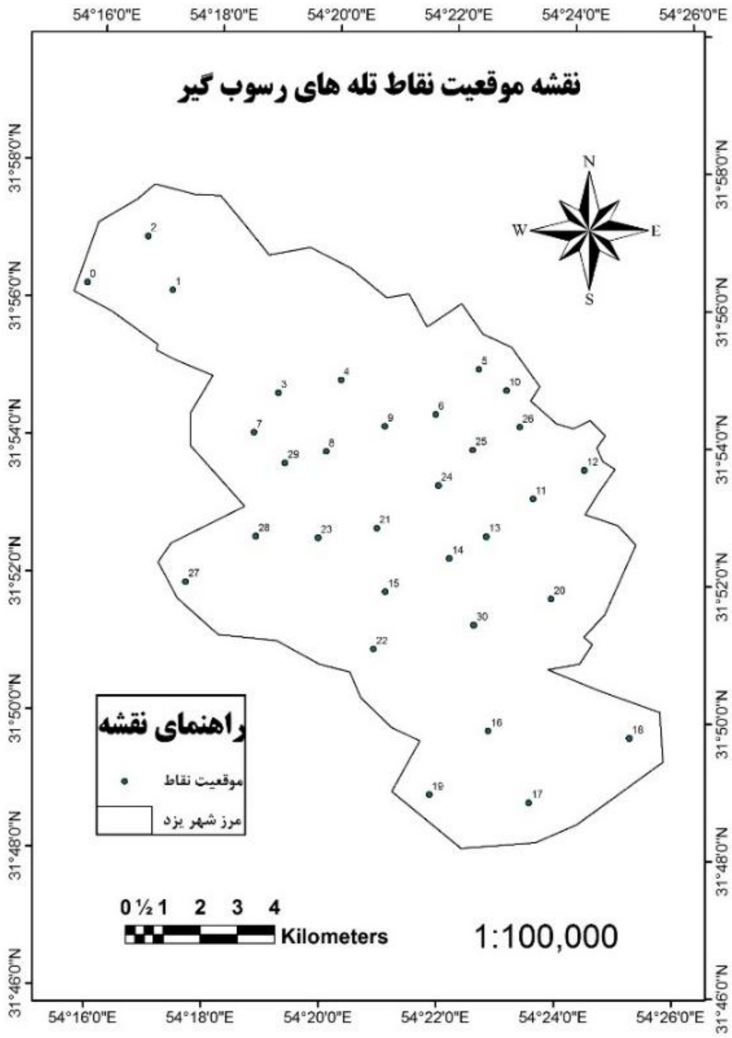
روش پژوهش

نمونه‌برداری و آماده‌سازی نمونه‌ها

در منطقهٔ مطالعاتی به‌منظور نمونه‌برداری گردوغبار، ۳۰ محل نمونه‌برداری به‌نحوی که پوشش مناسبی در کل منطقه حاصل شود، به‌صورت تصادفی انتخاب شدند. مختصات جغرافیائی با استفاده از دستگاه «GPS» مشخص و با استفاده از نرم‌افزار «GIS» روی نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ تعیین شد. شکل (۱) موقعیت نقاط و نحوهٔ توزیع نقاط نمونه‌برداری گردوغبار در منطقهٔ مورد مطالعه را نشان‌می‌دهد. جهت نمونه‌برداری از غبارات اتمسفری، از رسوبگیر غبار تیله‌ای (MDCO[1]) که از یک سینی با چند ردیف تیله (حداقل ۲ ردیف) با قطر سینی ۳۱,۵ سانتیمتری و ارتفاع ۵ سانتیمتر و قطر تیله‌های شیشه‌ای ۱,۶ سانتیمتر استفاده شد. نمونه‌برداری از غبارات اتمسفری در چهار فصل پاییز و زمستان ۱۳۹۷، بهار و تابستان ۱۳۹۸ در شهر یزد در ارتفاع سه متری سطح زمین (پشت بام منازل یک طبقه) انجام‌گرفت. در هر پشت بام، دو نوع تلهٔ رسوبگیر به‌کار رفت. نمونه‌های رسوب در انتهای هر فصل به‌دقت جمع‌آوری شده و به آزمایشگاه منتقل گردید و پس از هر بار نمونه‌برداری با آب شستشو و دوباره استفاده شد. روش چهار اسید برای هضم نمونه‌های گردوغبار و خاک منطقهٔ مورد مطالعه استفاده شده است و توسط دستگاه ICP-MS خوانش شد *(Amr et al, 2016:74)* و غلظت کل عناصر آرسنیک (As)، کادمیوم (Cd)، کبالت (Co)، کروم (Cr)، مس (Cu)، آهن (Fe)، منگنز (Mn)، نیکل (Ni)، سرب (Pb) و روی (Zn)، اندازه‌گیری شد. داده‌های به‌دست-آمده از آنالیز نمونه‌های گردوغبار و خاک سطحی با استفاده از نرم‌افزار SPSS 16 و مقایسهٔ میانگین پارامترهای مورد مطالعه و معنی‌داری اختلاف آن‌ها با استفاده از آزمون دانکن در سطح ۵ درصد انجام گردید. نقشه‌های توزیع مکانی پارامترهای مورد بررسی در مطالعه با استفاده از روش وزن‌دهی عکس فاصله (IDW) در نرم‌افزار Arc GIS 9.3 ترسیم شدند.

---

1. Marble Dust Collector



شکل ۱: موقعیت نقاط نمونه‌برداری گردوغبار

تهیه و ترسیم: نگارنده، ۱۴۰۴

شاخص‌های برآورد آلودگی عناصر سنگین در گردوغبار

روش‌های متعدد برای تعیین و ارزیابی درجهٔ آلودگی عناصر سنگین در خاک، رسوبات و گردوغبار وجود دارد. شاخص‌های برآورد آلودگی عناصر سنگین در دو گروه اصلی تقسیم‌بندی می‌شود: دستهٔ اول؛ شاخص‌های منفرد برای ارزیابی آلودگی یک عنصر هستند مانند: شاخص زمین‌انباشتگی، فاکتور آلودگی، شاخص آلودگی و فاکتور غنی‌شدگی. دستهٔ دوم؛ آلودگی بیش از یک عنصر را بررسی می‌کنند و شاخص یکپارچه هستند. از این دسته می‌توان شاخص درجهٔ آلودگی، شاخص یکپارچهٔ آلودگی و شاخص بار آلودگی را نام برد (*Qingjie et al, 2008: 232*). در این تحقیق از شاخص‌های مختلفی استفاده شده است که در ادامه به تعریف آن‌ها پرداخته می‌شود:

شاخص آلودگی (PI)

شاخص آلودگی به‌صورت نسبت غلظت عنصر در نمونهٔ مورد مطالعه (C_n) به غلظت همان عنصر در زمینهٔ (B_n) و مطابق رابطهٔ زیر تعریف شده است:

رابطه ۱ : $$PI=C_n/B_n$$

براساس میزان این شاخص، سه کلاس آلودگی شامل: آلودگی کم با شاخص آلودگی کمتر از ۱، آلودگی متوسط با شاخص آلودگی بین ۱ تا ۳ و آلودگی زیاد با شاخص آلودگی بیشتر از ۳ تعریف شده است (*Lu et al, 2009: 1062*).

درجهٔ آلودگی (C_d)

درجهٔ آلودگی (C_d) شامل مجموع شاخص آلودگی حاصل برای هر عنصر می‌باشد و از رابطهٔ زیر محاسبه می‌شود:

رابطه ۲ : $$C_d = \sum_{i=1}^{n} PI_i$$

چهار کلاس آلودگی براساس درجهٔ آلودگی مطابق جدول (۱) تعریف شده است.

فاکتور غنی‌شدگی (EF)

فاکتور غنی‌شدگی در بررسی و تعیین درجهٔ آلودگی عناصر سنگین در محیط نیز کاربرد دارد. این فاکتور برای جداکردن عناصر نشأت‌گرفته از فعالیت‌های بشر و فرآیندهای طبیعی و همچنین بررسی درجه فعالیت‌های انسان‌زاد کاربرد دارد. در این تکنیک نرمال‌سازی عنصر مورد بررسی در مقابل یک عنصر مرجع صورت می‌گیرد. عنصر مرجع، عنصری است که غلظت آن در محیط تغییرپذیری اندک داشته باشد و تحت تأثیر عوامل انسان‌زاد نباشد عناصری از جمله؛ آلومینیوم، آهن، منگنز، سیلیسیم و تیتانیوم به‌عنوان عنصر مرجع کاربرد دارد (*Lu et al 2009: 1064*). فاکتور غنی‌شدگی برای عناصر موجود در گردوغبار با استفاده از رابطهٔ (۳) محاسبه‌می‌گردد.

رابطه ۳:

$$EF = \frac{(C_n/C_{ref})sample}{(B_n/B_{ref})background}$$

که در آن C_n غلظت عنصر در نمونهٔ مورد مطالعه و C_{ref} غلظت عنصر مرجع در نمونهٔ مورد مطالعه و B_n و B_{ref} به‌ترتیب غلظت عنصر مورد نظر و مرجع در زمینه یا خاک سطحی می‌باشند. در صورتی‌که این عنصر نزدیک به ۱ باشد نشان‌می‌دهد که عناصر از منابع طبیعی و پوسته، نشأت گرفته‌اند در حالی‌که بین ۱ تا ۱۰ مورد از منشأ عناصر، از منابع طبیعی و تا حدودی منابع انسان‌زاد و بیش از ۱۰ منشأ عناصر، از منابع غیر طبیعی و انسان‌زاد را بیان می‌کند (*Wang et al, 2015: 3549*). پنج گروه آلودگی براساس میزان فاکتور غنی‌شدگی در جدول (۱) آمده است. برای تعیین فاکتور غنی‌شدگی طبق رابطه، از داده‌های غلظت عناصر در نمونه‌های گردوغبار در هر فصل به‌عنوان C_n و از غلظت همان عناصر در پوستهٔ زمین (*McLennan, 2001: 12*) به‌عنوان B_n استفاده شد و غلظت عنصر تیتانیوم نیز در هر فصل و در پوستهٔ زمین به‌ترتیب به‌عنوان مقادیر C_{ref} و B_{ref} به‌کار گرفته شد (*Lu et al 2009: 1063*).

جدول ۱: درجهٔ آلودگی براساس مقادیر درجهٔ آلودگی و فاکتور غنی‌شدگی

درجه آلودگی	
آلودگی کم	$C_d < 5$
آلودگی متوسط	$C_d = 5\text{-}10$
آلودگی قابل توجه	$C_d = 10\text{-}20$
آلودگی خیلی‌زیاد	$C_d >= 20$
فاکتور غنی‌شدگی	
غنی‌شدگی کم	
غنی‌شدگی متوسط	
غنی‌شدگی قابل توجه	
غنی‌شدگی خیلی‌زیاد	
غنی‌شدگی فوق‌العاده زیاد	

مأخذ: *Nazzal et al, 2013; Yongming et al, 2006*

شاخص بار آلودگی (PLI)

شاخص بار آلودگی[1] (PLI) براساس رابطهٔ (۴) به‌صورت ریشه nام حاصلضرب مقادیر شاخص آلودگی عناصر مورد مطالعه، تعریف شده است.

رابطهٔ ۴:

$$PLI = (PI_1 \times PI_2 \times PI_3 \times \dots PI_n)^{1/n}$$

مقادیر PLI کمتر از ۱ نشان‌می‌دهد که غلظت عناصر نزدیک به سطح زمینه است و آلودگی کم، مقادیر بین ۱ و ۲ بیانگر آلودگی متوسط و مقادیر برابر و بیشتر از ۲ نشان‌دهندهٔ آلودگی زیاد است (*Salo et al,. 2012: 71*).

نتایج و بحث

در جدول (۲)، میانگین غلظت عناصر سنگین گردوغبار طی چهار فصل مورد بررسی در منطقهٔ مطالعاتی، با میانگین غلظت عناصر سنگین گردوغبار شهرهای مختلف دنیا، مقایسه شده است. همان‌طور که از مقایسهٔ این جدول مشخص است، غلظت برخی عناصر کمتر و برخی عناصر بیشتر از سایر مناطق جهان است. هر چند نسبت به غلظت عناصر سنگین در اصفهان، همهٔ عناصر غلظتی کمتر از میزان آن در اصفهان دارند و نسبت به کرمان، غلظت عناصر در منطقهٔ مطالعاتی بجز مس و نیکل بیشتر است. البته باید به این نکته اشاره کرد که از نظر مکان و زمان، نمونه‌های گردوغبار مقادیر گزارش‌شده در جدول تفاوت زیادی با یکدیگر دارند. از آن‌جایی که غلظت عناصر در گردوغبار مناطق مختلف دنیا به‌شدت به زمان و مکان محل نمونه‌برداری وابسته است، این اختلاف زمانی و مکانی در نمونه‌برداری گردوغبار می‌تواند دلیل اصلی اختلاف بین غلظت عناصر باشد. از این جهت نیاز به یک روش استاندارد برای آنالیز و برداشت نمونه‌های گردوغبار به‌منظور مقایسهٔ بهتر و دقیق‌تر غلظت عناصر در نقاط مختلف می‌باشد (*Lu et al, 2010: 715*).

---

1. Pollution Load Index (PLI)

به‌منظور تخمین و ارزیابی میزان آلودگی گردوغبار منطقهٔ مورد مطالعه به عناصر سنگین، پارامترهای فاکتور غنی‌شدگی(EF)، شاخص آلودگی (PI)، شاخص بار آلودگی (PLI) و درجهٔ آلودگی (C_d) براساس غلظت فصلی عناصر سنگین محاسبه شدند. در ادامه نتایج به‌دست‌آمده از این شاخص‌ها ارائه‌می‌شود.

فاکتور غنی‌شدگی

فاکتور غنی‌شدگی علاوه بر تعیین منابع طبیعی و انسان‌زاد برای تخمین درجهٔ آلودگی عناصر سنگین در گردوغبار نیز کاربرد دارد. به‌منظور استفاده از فاکتور غنی‌شدگی جهت ارزیابی آلودگی فلزات سنگین، از طبقه‌بندی این فاکتور از جدول (۱) استفاده گردید. طبق این جدول در صورتی‌که مقدار این فاکتور کمتر از ۲ باشد، غنی‌شدگی کم، بین ۲ تا ۵ غنی‌شدگی متوسط و در صورتی‌که مقدار آن بین ۵ تا ۲۰ باشد غنی‌شدگی قابل توجه است. طبق نتایج شکل (۲) تا (۴) عناصر آهن، منگنز، نیکل، کروم و کبالت فاکتور غنی‌شدگی کمتر از ۲ دارند در نتیجه در طبقهٔ اول؛ یعنی غنی‌شدگی کم قرار می‌گیرند. عنصر مس در فصول پائیز، زمستان و تابستان و عنصر روی در فصل بهار و تابستان و عنصر کادمیوم در فصل تابستان در کلاس دوم یعنی غنی‌شدگی متوسط قرار دارند و عناصر آرسنیک، سرب، کادمیوم (در فصل پائیز، زمستان و بهار)، عنصر روی (در فصول پائیز و زمستان) و عنصر مس در فصل بهار دارای فاکتور غنی‌شدگی بین ۵ تا ۲۰ می‌باشند و دارای غنی‌شدگی قابل توجه هستند. از بین عناصر مورد مطالعه، آرسنیک دارای بیشترین فاکتور غنی‌شدگی و عنصر کبالت دارای کمترین مقدار این فاکتور است. در تحقیقات مشابه نیز بیشترین غلظت فلزات سنگین مربوط به ماه‌های فصل پاییز یا زمستان گزارش شده است *(نمازی و همکاران، ۱۳۹۴؛ کریمیان و همکاران، ۱۳۹۵: ۱۶۲؛ سلطانی گردفرامرزی و همکاران، ۱۳۹۹: ۷۱۰؛ مخفی و همکاران، ۱۴۰۱: ۴۹۳؛ اکبری و خادمی، ۱۴۰۲: ۸۹؛ Haghnazar et al, 2023: 316؛ Soltani-Gerdefaramarzi et al, 2021a: 3472)*.

شاخص آلودگی

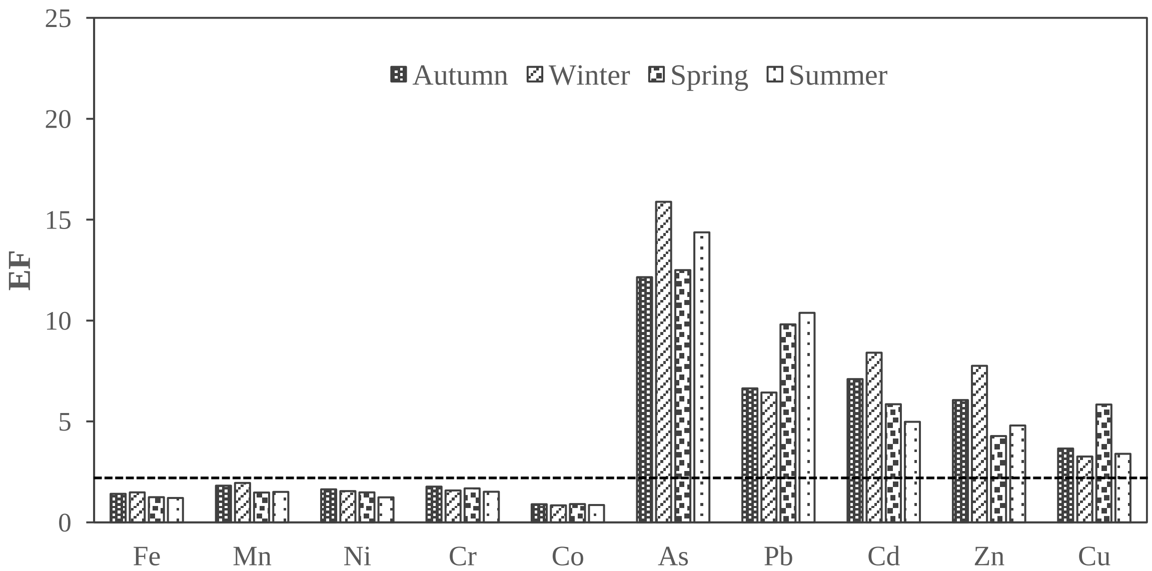
شاخص آلودگی (PI) طبق تعریف؛ نسبت غلظت عنصر مربوطه در نمونهٔ گردوغبار، به غلظت آن در زمینه می‌باشد. طبق نتایج به‌دست‌آمده در شکل (۵) و (۶) که میزان شاخص آلودگی ۱۰ عنصر سنگین در نمونه‌های گردوغبار در چهار فصل ارائه شده است، میزان شاخص آلودگی متوسط چهار فصل مورد مطالعه برای عناصر آرسنیک، کادمیوم، کبالت، کروم، مس، نیکل، سرب، روی، آهن و منگنز به‌ترتیب ۶,۱۷، ۲,۹۴، ۰,۳۹، ۰,۷۴، ۱,۷۹، ۰,۶۷، ۳,۵۶، ۲,۶۱، ۰,۶۰ و ۰,۷۶ به‌دست آمد. براساس این شاخص، آلودگی عناصر سنگین مثل: آهن، منگنز، نیکل، کروم و کبالت کمتر از ۱ بوده؛ بنابراین دارای شاخص آلودگی کم می‌باشند. عناصر مس، روی و کادمیوم در تابستان و بهار، مس در زمستان و پائیز و سرب در فصل زمستان در محدودهٔ آلودگی متوسط هستند. عنصر آرسنیک در همهٔ فصول، عنصر سرب در بهار و تابستان و کادمیوم و روی در پائیز و زمستان دارای مقادیر آلودگی بیش از ۳ هستند که در کلاس آلودگی زیاد قرارمی‌گیرند. طبق نتایج این شاخص، فصول زمستان و پائیز دارای بیشترین میزان شاخص آلودگی عناصر سنگین هستند و فصل تابستان کمترین شاخص آلودگی را دارا می‌باشد.

شاخص بار آلودگی

نتایج شاخص بار آلودگی (PLI) برای ده فلز سنگین شامل: آهن، منگنز، نیکل، کروم، کبالت، آرسنیک، سرب، کادمیوم، روی و مس نشان‌داد که فصل پائیز با اختلاف معنی‌دار نسبت به سایر فصول، در رتبهٔ اول قراردارد؛ سپس فصول زمستان و بهار و بعد از آن فصل بهار دارای بیشترین میزان این شاخص می‌باشند. متوسط این شاخص به-ترتیب برای فصول پائیز، زمستان، بهار و تابستان ۱٫۴۹، ۱٫۳۴، ۱٫۳۵ و ۱٫۱۸ به‌دست آمد. با توجه به سطوح آلودگی این شاخص، همهٔ فصول مورد بررسی در کلاس آلودگی متوسط (مقدار بین ۱ و ۲) قرار گرفتند (شکل ۷).

درجهٔ آلودگی

نتایج درجهٔ آلودگی (C_d) در شکل (۸) برای ده فلز سنگین شامل: آهن، منگنز، نیکل، کروم، کبالت، آرسنیک، سرب، کادمیوم، روی و مس نشان‌داد که در سه فصل؛ پائیز، زمستان و بهار بدون اختلاف معنی‌دار مقدار این شاخص بیش از ۲۰ و در کلاس آلودگی بسیار زیاد قرار دارند. هر چند فصل تابستان با مقدار میانگین درجهٔ آلودگی ۱۹ در طبقه سوم و دارای آلودگی قابل توجه می‌باشد. توزیع مکانی متوسط شاخص درجهٔ آلودگی و شاخص بار آلودگی در منطقهٔ مورد مطالعه در شکل (۹) ارائه شده است. نتایج نشان‌می‌دهد که بیشترین میزان آلودگی در شمال و شمال غرب منطقهٔ مورد مطالعه مشاهده شد و روند کاهشی به‌سمت جنوب وجود دارد. جهت شمال غرب باد غالب منطقه در همهٔ فصول و قرارگرفتن شهرک صنعتی یزد در غرب و شمال غرب شهر یزد اصلی‌ترین دلیل غلظت بالای عناصر سنگین می‌باشد (*Soltani-Gerdefaramarzi et al, 2021b: 7*).

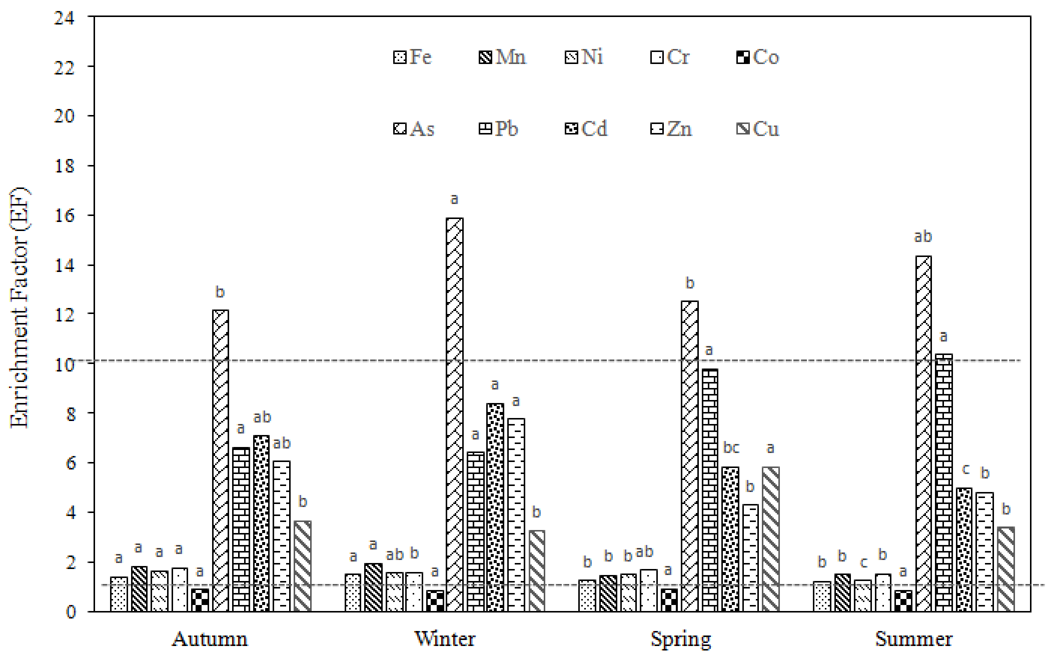


شکل ۲. نمودار میانگین فاکتور غنی‌شدگی(EF) عناصر سنگین در نمونه‌های گردوغبار منطقهٔ مورد مطالعه به تفکیک چهار فصل؛ *تهیه و ترسیم: نگارنده، ۱۴۰۴*

جدول ۲: مقایسهٔ غلظت متوسط عناصر سنگین گردوغبار در منطقهٔ مورد مطالعه با سایر مطالعات انجام‌شده در ایران و جهان

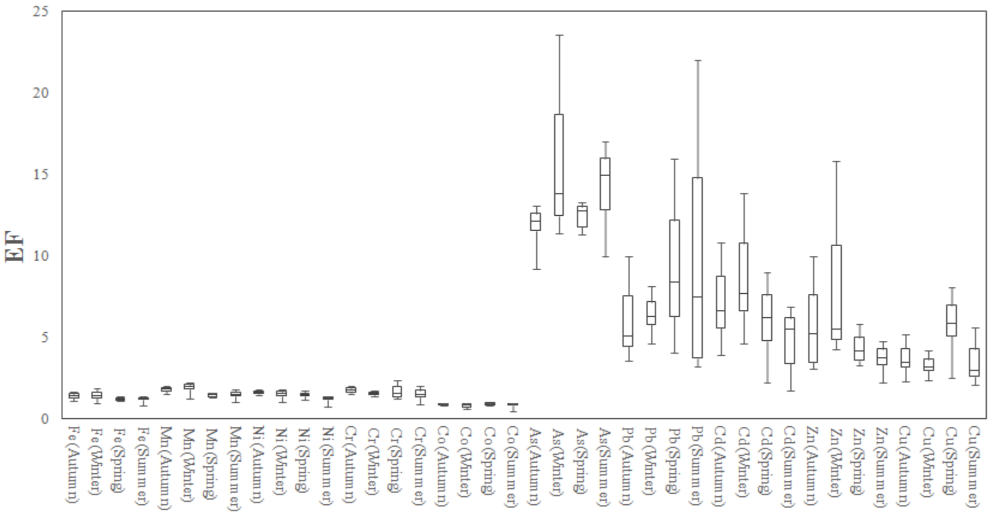
عناصر سنگین	منطقه مطالعاتی حاضر	اتاوا (کانادا)	اسلو (نروژ)	اولسان (کره‌جنوبی)	مادرید (اسپانیا)	بیرمنگام (انگلستان)	ماآن (اردن)	زیان (چین)	بوآجی (چین)	کرمان (ایران)	اصفهان (ایران)	تهران (ایران)	مشهد (ایران)	کرمانشاه (ایران)
As	۹,۵	۱,۳	N.R.	N.R.	N.R.	N.R.	N.R.	۱۰,۶۲	۱۹,۸	N.R.	۵۰,۶	N.R.	N.R.	N.R.
Cd	۰,۳	۰,۳۷	۱,۴	۱,۴	N.R.	۱,۶۲	۳,۲۱	N.R.	N.R.	N.R.	۰,۹۸	N.R.	N.R.	N.R.
Co	۶,۸	۸,۳۱	۱۹	N.R.	۳	N.R.	N.R.	N.R.	۱۵,۹	N.R.	۸,۵۳	N.R.	N.R.	N.R.
Cr	۶۲,۶	۴۳,۳	N.R.	N.R.	۶۱	N.R.	N.R.	۱۶۷,۳	۱۲۶,۷	N.R.	۳۷,۲	۳۳,۵	۱۸۹	۴۶۲
Cu	۴۴,۵	۶۵,۸۴	۱۲۳	۱۱۹,۲	۱۸۸	۴۶۷	۲۶,۴۲	۹۴,۹۸	۱۲۳,۲	۶۰,۴	۶۷	۲۲۵	۱۱۳	۴۷,۶
Mn	۴۵۷	۴۳۱,۵	۸۳۳	N.R.	۳۶۲	N.R.	۱۰۵	۶۸۷	۸۰۴,۲	۳۴۱,۸	۴۸۰,۹	۱۳۱۰	۴۳۱	۴۶۲
Ni	۲۰,۸	۱۵,۲	۴۱	۱۸,۲	۴۴	۴۱,۱	۱۳۴	N.R.	۴۸,۸	۳۵,۵	۵۶,۴	۳۴,۸	۸۵,۶	۱۱۹
Pb	۵۶,۶	۳۹,۱	۱۸۰	۸۲	۱۹۲۷	۴۸	۱۰۵	۲۳۰,۵	۴۳۳,۲	۴۵	۹۶,۳	۲۵۷	۴۹,۱	N.R.
Zn	۲۴۰	۱۱۲,۵	۴۱۲	۱۶۳,۳	۴۶۷	۵۳۴	۲۶۰	۴۲۱,۵	۷۱۵,۳	۲۱۴,۴	۴۰۰,۳	۸۷۳,۲	۴۰۹	۲۱۰,۳

مأخذ: جعفری، ۱۳۹۲: مظلومی و همکاران، ۱۳۹۶: *Rasmussen et al, 2001: Dde Miguel et al, 1997: Duong and Lee, 2011: De Miguel et al, 1997: Charlesworth et al, 2003: Al-Khashman, 2004: Yongming et al, 2006: Lu et al, 2010: Ziyaee et al, 2018: Ahmadi-Doabi et al, 2017.*



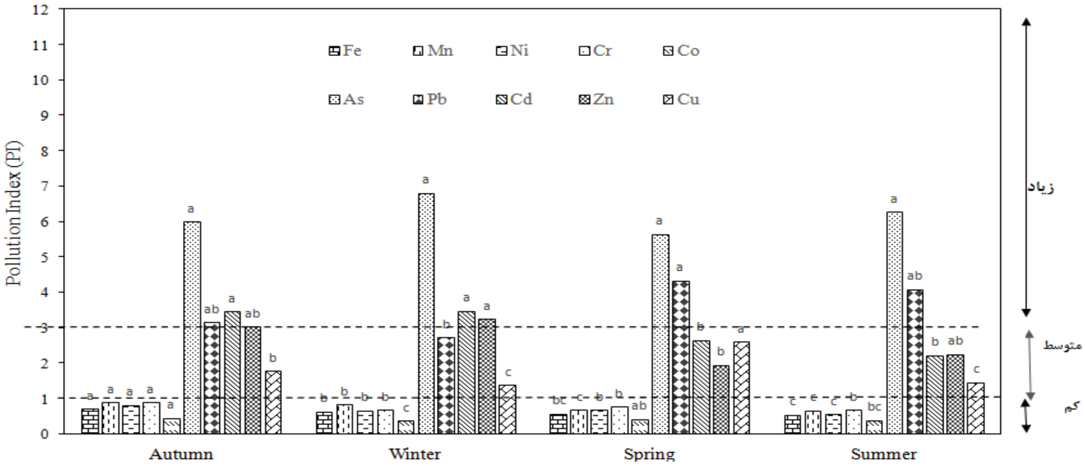
شکل ۳: نمودار میانگین فاکتور غنی‌شدگی عناصر سنگین در نمونه‌های گردوغبار منطقهٔ مورد مطالعه به تفکیک چهار فصل

تهیه و ترسیم: نگارنده، ۱۴۰۴



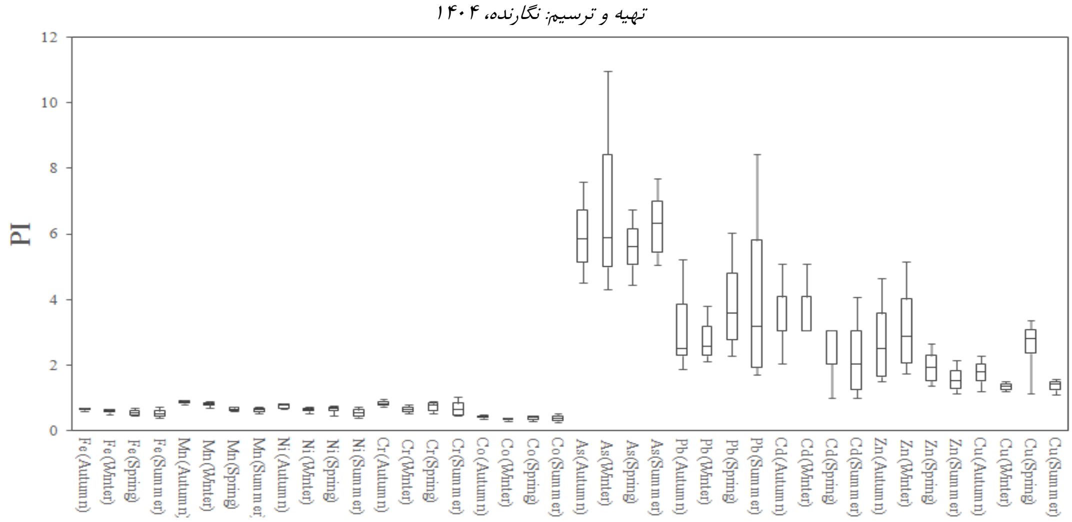
شکل ۴: نمودار جعبه‌ای فاکتور غنی‌شدگی عناصر سنگین در نمونه‌های گردوغبار منطقهٔ مورد مطالعه در فصول مختلف

تهیه و ترسیم: نگارنده، ۱۴۰۴



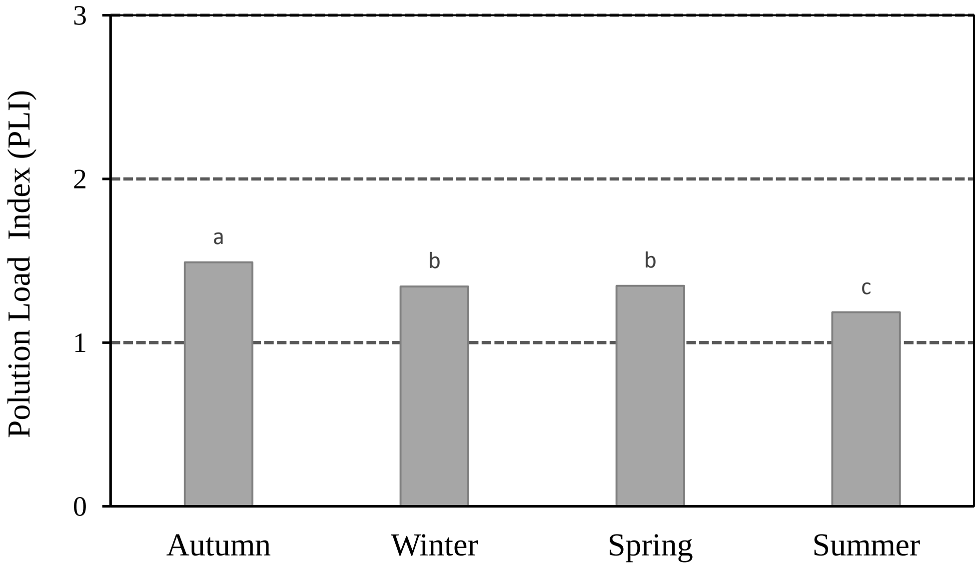
شکل ۵: نمودار میانگین شاخص آلودگی (PI) عناصر سنگین در نمونه‌های گردوغبار منطقهٔ مورد مطالعه به تفکیک چهار فصل

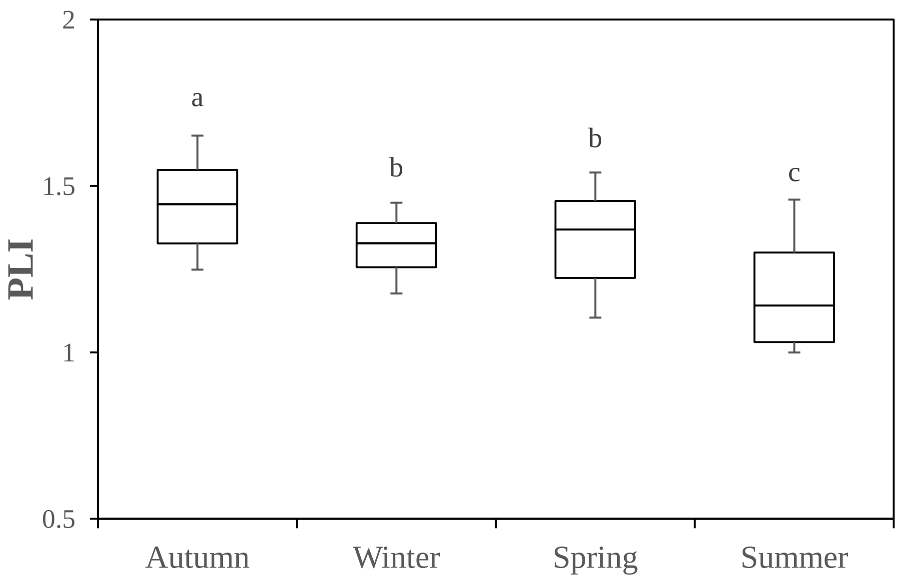
تهیه و ترسیم: نگارنده، ۱۴۰۴



شکل ۶: نمودار جعبه‌ای شاخص آلودگی (PI) عناصر سنگین در نمونه‌های گردوغبار منطقهٔ مورد مطالعه در فصول مختلف

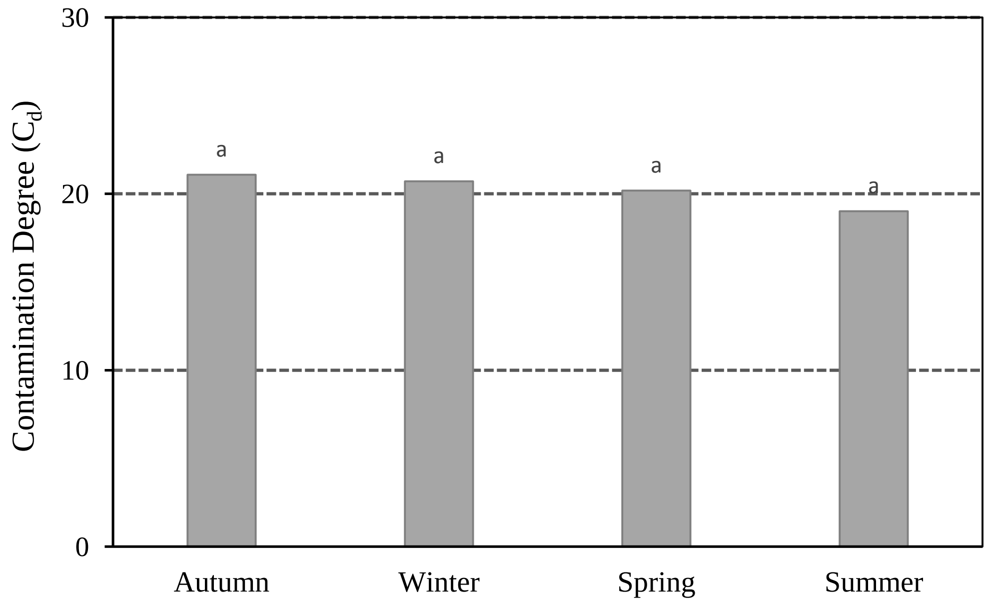
تهیه و ترسیم: نگارنده، ۱۴۰۴

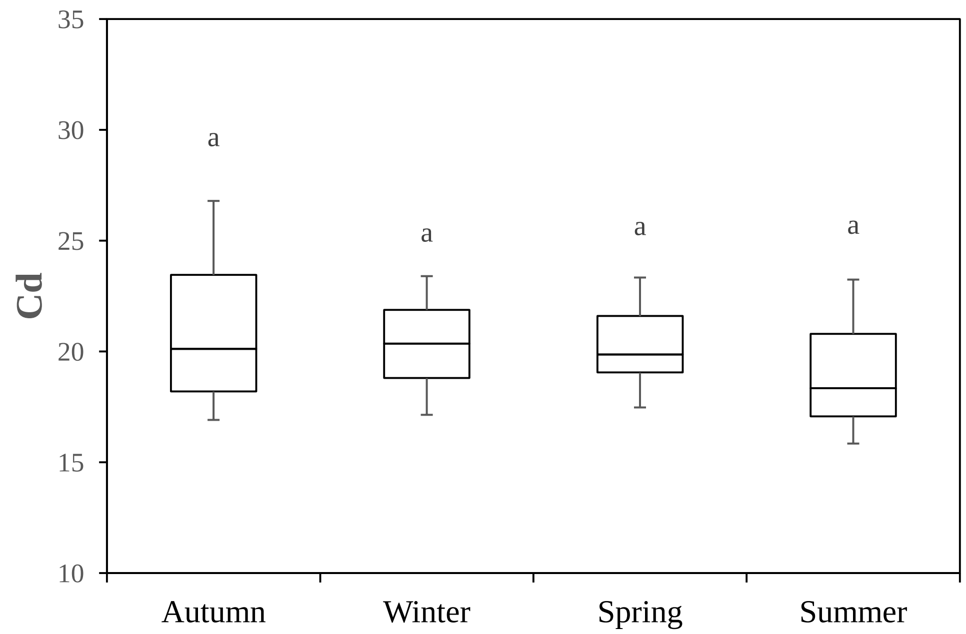




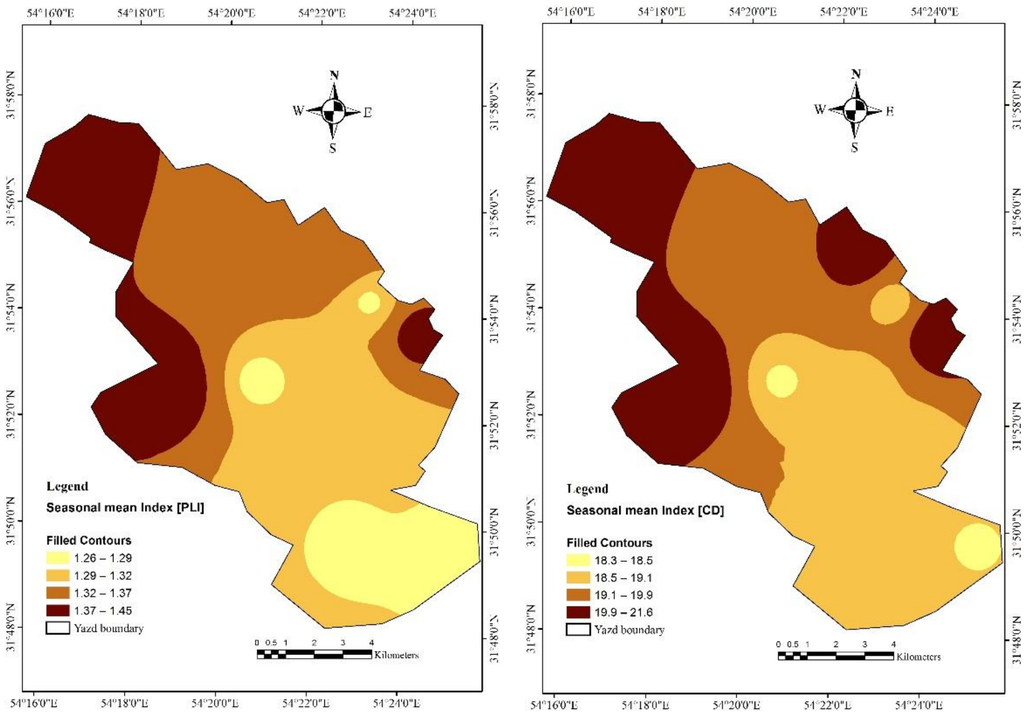
شکل ۷: نمودار ستونی و جعبه‌ای شاخص بار آلودگی (PLI) عناصر سنگین در نمونه‌های گردوغبار منطقهٔ مورد مطالعه در فصول مختلف

تهیه و ترسیم: نگارنده، ۱۴۰۴





شکل ۸: نمودار ستونی و جعبه‌ای درجهٔ آلودگی (C_d) عناصر سنگین در نمونه‌های گردوغبار منطقهٔ مورد مطالعه در فصول مختلف *تهیه و ترسیم: نگارنده، ۱۴۰۴*



شکل ۹: توزیع مکانی متوسط شاخص درجهٔ آلودگی و شاخص بار آلودگی در منطقهٔ مورد مطالعه

تهیه و ترسیم: نگارنده، ۱۴۰۴

نتیجه‌گیری

فراوانی غلظت عناصر سنگین در گردوغبار به‌صورت؛ آهن> منگنز> روی> کروم> سرب > مس> نیکل> آرسنیک> کبالت و کادمیوم می‌باشد. تمام این عناصر، غلظت کمتری در مقایسه با غلظت گزارش‌شده برای استاندارد آلایندگی خاک در pH بیش از ۷ و در مناطق مسکونی نشان می‌دهند. به‌طور کلی میانگین غلظت تمام عناصر سنگین در نمونه‌های گردوغبار در بیشتر فصول مورد مطالعه، از نظر آماری بالاتر از غلظت عناصر سنگین در نمونه‌های خاک منطقه است. نتایج بسیاری پژوهشگران بالاتر بودن غلظت فلزات سنگین در گردوغبار را نسبت به خاک سطحی نشان‌می‌دهد. به‌طور کلی ذرات گردوغبار نسبت به خاک سطحی دارای توزیع اندازهٔ ریزتری هستند و عموماً حاوی ذرات سیلت می‌باشند. ذرات ریز به‌سبب دارابودن سطح ویژه بالا و همچنین تمایل عناصر سنگین برای جذب به سطوح کانی‌های رسی غالباً نسبت به ذرات درشت، دارای مقادیر بیشتری از عناصر سنگین هستند. همان-طور که در مطالعات پیشین نیز گزارش شده است، عناصری نظیر: پتاسیم، منیزیم و آهن در ذرات درشت و عناصری همچون: کادمیوم، کروم، مس، نیکل و سرب در ذرات کوچکتر فراوان‌تر هستند. تمام عناصر سنگین بجز مس، در گردوغبار فصل پائیز غلظت بالاتری نسبت به سایر فصول دارند و کمترین غلظت عناصر سنگین به گردوغبار، به فصل تابستان تعلق دارد. جهت شمال غرب باد غالب منطقه در همهٔ فصول و قرارگرفتن شهرک صنعتی یزد در غرب و شمال غرب شهر یزد اصلی‌ترین دلیل غلظت بالای عناصر سنگین می‌باشد. در تحقیقات مشابه نیز بیشترین غلظت فلزات سنگین مربوط به ماه‌های فصل پاییز یا زمستان گزارش شده است. دمای پائین و پدیدهٔ وارونگی دمائی در فصول سرد، در کنار عوامل انسان‌زادی چون مصرف سوخت‌های فسیلی و ترافیک، از دیگر

دلایل تفاوت غلظت عناصر سنگین در فصول مختلف است. بررسی میزان آلودگی گردوغبار اتمسفری منطقه به عناصر سنگین با استفاده از فاکتور غنی‌شدگی و شاخص‌های مختلف ارزیابی آلودگی نشان‌داد که بیشترین میزان آلودگی عناصر سنگین در فصل پائیز و زمستان و کمترین آن در فصل تابستان وجود دارد. براساس تقسیم‌بندی شاخص‌های آلودگی، بار عناصر از میزان زمینه (خاک سطحی) فراتر رفته و آلودگی فلزات سنگین آرسنیک، سرب، کادمیوم و روی نسبت به سایر عناصر در منطقهٔ مطالعاتی و در تمام فصول زیاد مشاهده گردید. نقشه‌های توزیع مکانی درجهٔ آلودگی و شاخص بار آلودگی نیز نشان‌داد که بیشترین میزان آلودگی در شمال و شمال غرب منطقهٔ مورد مطالعه وجود دارد و به سمت جنوب روند کاهشی مشاهده‌شد. کنترل آلاینده‌های خروجی از صنایع واقع در غرب و شمال غرب شهر یزد، حساسیت زیاد در پایش میزان آلاینده‌ها و برخورد جدی با صنایع آلاینده و همچنین وادارنمودن آن‌ها به رعایت استانداردهای محیط زیستی، از مهم‌ترین راهکارهای کاهش اثرات منفی و آلایندگی عوامل انسان‌زاد صنعت و به‌عنوان یکی از اصلی‌ترین عوامل ورود عناصر سنگین به اتمسفر، به‌شمار می‌آیند. توسعهٔ فضای سبز، نظارت بر عملیات عمرانی و توقف و یا کاهش ساخت‌وسازهای غیر ضروری در فصولی که نرخ فرونشست گردوغبار بیشتری دارند، همچنین جلوگیری از عملیات مخرب، کنترل‌نشده و بی‌رویه‌ای که منجر به فرسایش خاک و تولید گردوغبار می‌شوند،از جمله؛ جاده‌های خاکی، معدن‌کاری و برداشت آهک و گچ، در کنترل میزان گردوغبار تولیدی در منطقه مؤثر هستند.

منابع

اکبری، بهروز؛ حسین خادمی (۱۴۰۲). تغییرات فصلی غلظت و شدت آلودگی برخی عناصر سنگین در گرد و غبار خیابانی اصفهان و تعدادی از شهرهای اطراف، مجله مدیریت خاک و تولید پایدار. جلد ۱۳. شماره ۳. صفحات ۹۸-۸۱.
https://ejsms.gau.ac.ir/article_6674.html

جعفری، فریبا (۱۳۹۲). نرخ فرونشست و برخی خصوصیات شیمیائی و کانی‌شناسی گرد و غبار اتمسفری در شهر کرمان، پایان‌نامه کارشناسی ارشد خاک‌شناسی. دانشکده کشاورزی. دانشگاه صنعتی اصفهان.
https://library.iut.ac.ir/dL/search/default.aspx?Term=8175&Field=0&DTC=107

رحیمی مسلم؛ مریم محمدی روزبهانی؛ خوشناز پاینده؛ احد نظرپور؛ ابراهیم پناهپور (۱۴۰۰). بررسی شاخص های آلودگی و غنی شدگی فلزات سنگین حمل شده توسط ذرات گرد و غبار اتمسفری در کلان شهرهای استان خوزستان، سلامت و محیط زیست. جلد ۱۴. شماره ۲. صفحات ۳۱۸-۲۹۹.
https://ijhe.tums.ac.ir/article-1-6557-fa.html

سلطانی‌گردفرامرزی، سمیه؛ محسن قاسمی؛ محمدجواد قانعی بافقی (۱۳۹۹). تغییرات مکانی و زمانی نرخ فرونشست گرد و غبار شهر یزد و ارتباط آن با برخی پارامترهای اقلیمی. محیط زیست طبیعی، منابع طبیعی ایران. جلد ۳۷. شماره ۴. صفحات ۷۱۴-۷۰۱-.
https://jne.ut.ac.ir/article_80381.html

سلگی، عیسی؛ سارا عبداللهی (۱۴۰۱). بررسی میزان آلایندگی فلزات سنگین در رسوبات اتمسفری شهر زاهدان با استفاده از شاخص‌های آلودگی، مخاطرات محیط طبیعی. جلد ۱۱. شماره ۳۲. صفحات ۸۶-۷۳.
https://jneh.usb.ac.ir/article_6202.html

علیپور، حمید؛ احمد جلالیان؛ ناصر هنرجو؛ نورایر تومانیان؛ فریدون سرمدیان (۱۴۰۰). ارزیابی آلودگی فلزات سنگین گرد و غبار و منشأیابی آنها در اتمسفر منطقه کوهدشت استان لرستان، علوم آب و خاک. جلد ۲۵. شماره ۴. صفحات ۱۶۲-۱۴۷.
https://jstnar.iut.ac.ir/article-1-4076-fa.html

کریمیان، بهناز؛ احمد لندی؛ سعید حجتی؛ جواد احدیان (۱۳۹۵). بررسی خصوصیات فیزیکی، شیمیایی و کانی شناسی گرد و غبار شهر اهواز، مجله تحقیقات آب و خاک ایران. جلد ۴۷. شماره ۱. صفحات ۱۷۳-۱۵۹.
https://www.sid.ir/paper/225644/fa

مخفی، گلنار؛ اکرم کریمی؛ عیسی سلگی؛ سحر باقرپور (۱۴۰۱). ارزیابی و تعیین ریسک اکولوژیک سرب, روی و کادمیوم در گرد و غبار اتمسفری شهر اصفهان، مهندسی بهداشت محیط. جلد . شماره ۴. صفحات ۵۰۱-۴۸۵.
https://jehe.abzums.ac.ir/browse.php?a_code=A-10-756-1&slc_lang=fa&sid=1

مظلومی، سهراب؛ عباس اسماعیلی ساری؛ نادر بهرامی فر؛ مظاهر معین‌الدینی (۱۳۹۶). ارزیابی میزان حضور فلزات و شبه فلزات در گرد و غبار خیابانی غرب و شرق تهران، مجله سلامت و محیط زیست. جلد ۱۰. شماره ۲. صفحات ۲۹۲-۲۸۱.
https://sid.ir/paper/145920/fa

نمازی، نجمه؛ محمدحسن صالحی؛ جهانگرد محمدی (۱۳۹۴). تغییرات مکانی و زمانی برخی عناصر سنگین در غبارات اتمسفری منطقه لنجانات اصفهان، نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی). جلد ۲۹. شماره ۱. صفحات ۱۲۵- ۱۱۴.
https://jsw.um.ac.ir/article_38008.html

References

Ahmadi-Doabi, S.A., Afyuni, M. and Karami, M (2017). Multivariate statistical analysis of heavy metals contamination in atmospheric dust of Kermanshah province, western Iran, during the spring and summer 2013. Journal of Geochemical Exploration, 180, 61-70.
https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0375674217304089.

Al-Khashman O.A (2004). Heavy metal distribution in dust, street dust and soils from the work place in Karak Industrial Estate, Jordan. Atmospheric environment, 38(39):6803-6812.
https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1352231004008519.

Amr, M. A., Helal, A. F. I., Al-Kinani, A. T., Balakrishnan, P (2016). Ultra-trace determination of 90Sr, 137Cs, 238Pu, 239Pu, and 240Pu by triple quadruple collision/reaction cell-ICP-MS/MS: Establishing a baseline for global fallout in Qatar soil and sediments. Journal of Environmental Radioactivity, 153, 73-87.
https://link.springer.com/article/10.1007/s42250-023-00659-7.

Chakraborty, M., Rahat, M.M.R., Choudhury, T.R., Nigar, R., Liu, G. and Habib, A (2024). Heavy metal contamination and health risk assessment of road dust from landfills in Dhaka-Narayanganj, Bangladesh. Emerging Contaminants, 10(1), .100278.
https://ouci.dntb.gov.ua/en/works/4bwMkXZl/.

Charlesworth, S., Everett, M., McCarthy, R., Ordonez, A. and De Miguel, E (2003). A comparative study of heavy metal concentration and distribution in deposited street dusts in a large and a small urban area: Birmingham and Coventry, West Midlands, UK. Environment international, 29(5), 563-573.
https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0160412003000151.

de Miguel, E., Llamas, J.F., Chacón, E., Berg, T., Larssen, S., Røyset, O. and Vadset, M (1997). Origin and patterns of distribution of trace elements in street dust: unleaded petrol and urban lead. Atmospheric Environment, 31(17), .2733-2740.
https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1352231097001015.

Duong, T.T.T., and Lee, B.K (2011). Determining contamination level of heavymetals in road dust from busy traffic areas with different characteristics. J. Environ. Manage. 92: 554-562.
https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301479710002963.

Goforth, M. R. and Christoforou, C. S (2006). Particle size distribution and atmospheric metals measurments in a rural area in the South Eastern USA. Sci. Total Environ. 356: 217-227.
https://www.scirp.org/reference/referencespapers?referenceid=1494460&btwaf=28673060.
Haghnazar, H., Soltani-Gerdefaramarzi, S., Ghasemi, M. and Johannesson, K.H (2023). Receptor model-based approach to estimate urban road dust pollution by heavy metal (loid) s exposed to desert dust storms in a ra pid-growing city of Iran. Environmental Earth Sciences, 82(12), .316.
https://link.springer.com/article/10.1007/s12665-023-11000-3.
Lu, X., L. Wang, K. Lei, J. Huang and Y. Zhai (2009). Contamination assessment of copper, lead, zinc, manganese and nickel in street dust of Baoji, NW China. J. Hazard. Mater. 161: 1058-1062.
https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/18502044/
Lu, X., L. Wang, L. Y. Li, L. Huang and D. Kang (2010). Multivariate statistical analysis of heavy metals in street dust of Baoji, NW China. J. Hazard. Mater. 173: 711-749.
https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19811870/
McLennan, S. M (2001). Relationships between the trace element composition of sedimentary rocks and upper continental crust. Geochemistry, Geophysics, Geosystems, 2(4): 1-24.
https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1029/2000GC000109
Modaihsh, A. S (1997). Characteristics and composition of the falling dust sediments on Riyadh city, Saudi Arabia. J. Arid Environ. 36: 211-223.
https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0140196396902256.
Mostafa, M.T., El-Nady, H., Gomaa, R.M., Abdelgawad, H.F., Abdelhafiz, M.A., Salman, S.A.E. and Khalifa, I.H (2024). Urban geochemistry of heavy metals in road dust from Cairo megacity, Egypt: enrichment, sources, contamination, and health risks. Environmental Earth Sciences, 83(1):37.
http://dx.doi.org/10.1007/s12665-023-11342-y.
Nazzal, Y., M. A. Rosen and A. M. Al-Rawabdeh (2013). Assessment of metal pollution in urban road dusts from selected highways of the Greater Toronto Area in Canada. Environ. Monit. Assess. 184: 1847-1858.
http://dx.doi.org/10.1007/s10661-012-2672-3
Norouzi, S., Khademi, H., Cano, A.F. and Acosta, J.A (2015). Using plane tree leaves for biomonitoring of dust borne heavy metals: A case study from Isfahan, Central Iran. Ecological Indicators, 57:64-73.
http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2015.04.011
Qiang, L., W. Yang, L. Jingshuang, W. Quanying and Z. Mingying (2015). Grain-size distribution and heavy metal contamination of road dusts in urban parks and squares in Changchun, China. Environ. Geochem. Health. 37: 71-82.
https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25049053/.
Qingjie, G., D. Jun, X. yunchuan, W. Qingfei and X. Liqiang (2008). Calculating pollution indices by heavy metals in ecological geochemistry assessment and a case study in parks of Beijing. J. China Univ. Geosci. 19: 230-241.
http://dx.doi.org/10.1016/S1002-0705(08)60042-4.
Rasmussen, P.E., Subramanian, K.S. and Jessiman, B.J (2001). A multi-element profile of house dust in relation to exterior dust and soils in the city of Ottawa, Canada. Science of the total environment, 267(1-3), 125-140.
https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969700007750.
Salo, H., M. S. Bucko, E. Vaahtovuo, J. Limo, J. Makinen and L. J. Pesonen (2012). Biomonitoring of air pollution in SW Finland by magnetic and chemical measurements of moss bags and lichens. J. Geochem. Explor. 115: 69-81.
http://dx.doi.org/10.1016/j.gexplo.2012.02.009.
Soltani-Gerdefaramarzi, S., Ghasemi, M. and Gheysouri, M (2021a). Pollution, human health risk assessment and spatial distribution of toxic metals in urban soil of Yazd City, Iran. Environmental Geochemistry and Health,43(9):3469-3484.
http://dx.doi.org/10.21203/rs.3.rs-174408/v1.

Soltani-Gerdefaramarzi, S., Ghasemi, M. and Ghanbarian, B (2021b). Geogenic and anthropogenic sources identification and ecological risk assessment of heavy metals in the urban soil of Yazd, central Iran. Plos one, 16(11): e0260418.
https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journalpone.0260418.
Tang, Y. and Han, G (2017). Characteristics of major elements and heavy metals in atmospheric dust in Beijing, China. Journal of Geochemical Exploration, 176:114-119.
http://dx.doi.org/10.1016/j.gexplo.2015.12.002.
Wang, R., Zou, X., Cheng, H., Wu, X., Zhang, C., and Kang, L (2015). Spatial distribution and source apportionment of atmospheric dust fall at Beijing during spring of 2008-2009. Environ. Sci. Pollut. Res. 22: 3547-3557.
http://dx.doi.org/10.1007/s11356-014-3583-3.
Xiao Qing, Yutong Zong, Zaffar Malik and Shenggao Lu (2019). Source identification and risk assessment of heavy metals in road dust of steel industrial city (Anshan), Liaoning, Northeast China, Human and Ecological Risk Assessment.Human and Ecological Risk Assessment 26(5):1-20.
http://dx.doi.org/10.1080/10807039.2019.1578946.
Yang, Z.Y., Liu, H., Li, J.Y., Bao, Y.B., Yang, J., Li, L., Zhao, Z.Y., Zheng, Q.X. and Xiang, P (2024). Road dust exposure and human corneal damage in a plateau high geological background provincial capital city: Spatial distribution, sources, bioaccessibility, and cytotoxicity of dust heavy metals. Science of The Total Environment, 912:169140.
https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/38070561/.
Yongming, H., D. Peixuana, C. Junjib and E. S. Posmentier (2006). Multivariate analysis of heavy metal contamination in urban dusts of Xi’an, Central China. Sci. Total Environ. 355: 176-186.
http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2005.02.026.
Yousif, Y.M., Mutter, T.Y. and Hassan, O.M (2024). Health risks and environmental assessments of heavy metals in road dust of Ramadi, Iraq. Journal of Degraded and Mining Lands Management, 11(2):5301-5306.
http://dx.doi.org/10.15243/jdmlm.2024.112.5301.
Ziyaee, A., Karimi, A., Hirmas, D.R., Kehl, M., Lakzian, A., Khademi, H. and Mechem, D.B (2018). Spatial and temporal variations of airborne dust fallout in Khorasan Razavi Province, Northeastern Iran. Geoderma, 326:42-55.
http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.04.010.