

Research Article

Environmental geochemistry and source of heavy metals and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in the dust street samples of Mahshahr city

Alireza Zarasvandi^{1*}, Marzieh Akbarnejad¹, Mohsen Rezaei¹, Roya Azadi², Fatemeh Rastmanesh¹

1- Department of Geology, Faculty of Earth Sciences, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

2- Department of Chemistry, Faculty of Science, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Iran

Keywords: *Dust street, Heavy metal, Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs), Mahshahr City*

1- Introduction

Dusts are suspended particles in air, originating from natural and/or anthropogenic origins. There are two main sources for dust streets. They consist of (1) precipitating from suspended particles (with natural and/or anthropogenic origins) and (2) movement of urban soils (natural). Potentially, dust streets could be considered as a distributing agent for metals. However, the concentration of metal in dust street is the function of speed and direction of wind, composition of dust, and environmental acidity (Al-Khashman and Shawabkeh, 2006; Yang et al., 2011). Previous studies have indicated that presence of heavy metals (e.g., Cu, Ni, Cd, Cr, and Zn) in the dust streets is due to the anthropogenic activities. Examples of such include agricultural activities, energy producing, industrial plants, outwearing of vehicles, and fossil fuel combustion (Moller et al., 2005; Al-Khashman, 2013). On the other hand, the combustion of coal, crude oil and natural gas for industrial and domestic uses can produce polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs). The PAHs can also be produced and subsequently being absorbed in dust streets by other activities such as incomplete combustion of fuels, and friction of automobile wheels with asphalt roads (Takada et al., 1991). Because of mutagenesis and carcinogenic properties, the investigation of PAHs is very interesting in the environmental assessments (i.e., Al-Khashman, 2013; Zarasvandi et al., 2014). For example, the presences of 16 PAHs in the dust streets of China have been detected in Long et al. (2013), who revealed that the sources of PAHs are mostly from coal combustion, oil and plants burning, with coke, and car's exhaust. One of the first studies on the dust streets of Khuzestan Province have been carried out by Zarasvandi et al. (2014). They indicate that PAHs in the dust streets of Ahvaz generally have a pyrogenic origin and PAHs with high molecular weight (HMW) are dominated in Ahvaz dust streets. The Mahshahr is an industrial town in south western of Iran. This is exposed to a wide variety of pollutants due to the presence of various environmental polluter sources. The present work is an attempt in order to evaluate the pollutant effects and the source of heavy metal, and PAHs in the dust streets of Mahshahr city.

2- Materials and methods

In the study area, sampling sites were selected from areas with different utility (e.g., industrial, commercial, educational, high traffic, hospitals, residential, and park). For avoiding the rain effects, all samples were collected during the dry season (July), using polyethylene brush and tray. Subsequently, collected samples were assembled in polyethylene bags. After each sampling, brush and tray were cleaned using distilled water and acetone. In order to removing the waste materials, all collected samples sieved through 2mm

* Corresponding author: zarasvandi_a@scu.ac.ir

DOI: 10.22055/AAG.2022.40935.2298

Received 2022-05-25

Accepted 2022-07-17

stainless-steel sieve. The samples were subsequently pulverized and homogenized using porcelain mortar. Finally, samples sieved through a stainless-steel mesh, 75 mm sieve. Consequently, heavy metals were determined using Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectroscopy (ICP-OES) at the Zarazma Company.

In order to correctly measuring the PAHs, the collected dust street samples were stored in sealed amber glass vials. Then, the amber glass vials were sealed by aluminum foils. In the laboratory, all selected samples were completely dried at room temperature and then sieved through 200 mesh stainless-steel sieve. Dust samples (10 g dry weight) were weighed into a Soxhelt extractor. All the steps of sample preparation (descript in Long et al., 2013) were carried out in the organic chemistry lab of the Shahid Chamran University of Ahvaz. Finally the PAHs were analyzed by gas chromatography (GC Agilent 7890)–mass spectrometry (MS Agilent 5975) in the comprehensive research laboratory of Jundishapour University of Medical Sciences.

3- Results and discussion

3-1- Heavy metals

The results indicate that the concentration of heavy metals (e.g., Cu, Pb, Zn, Co, Sb, and Mo) in the dust street samples of Mahshahr is higher than average crustal composition. Also, the measured values of Cu, Cr, Pb, Zn, Mn, Ni, V and Fe are much higher than control sample. The calculating of enrichment factor (EF) using formula (eq. 1) with considering the alumina as reference metal, indicates that EF values have a decreasing trend from Pb to Cu, Zn, Fe, Mo, Cr, V, Mn, Ni, Sb and Co. Moreover, the results of the calculating geo-accumulation index (I_{geo} ; eq. 2) revealed the Fe, Cu, Zn and Pb in the dust samples belong to contaminated to medium contaminated categories, whereas Co, Sb Cr, Mn, Ni, Mo, and V belong to uncontaminated class of geoaccumulation index (Muller, 1979).

$$EF = \frac{(C_x/C_{ref})_{sample}}{(C_x/C_{ref})_{background}} \quad (\text{eq. 1})$$

$$I_{geo} = \log_2[C_n/1.5B_n] \quad (\text{eq. 2})$$

The principal component analyses (PCA) was used to evaluate the natural and/or anthropogenic sources of heavy metals. The results indicate that there are main three principal components throughout the data. The first component covers 45.75 % of total variance which comprise Zn, Cu, Cr, Mn, V, Fe and Mo. The second component with 22.67 % of total variance include Co and Sb, and the third one covers 13.95 % of total variance and contains Pb and Ni heavy metals (Fig. 1).

The first group of components mostly has industrial and traffic sources. In this group, the highest values of Zn have been seen in the municipal markets and special economic zone. Here, the high Zn values could be attributed to the traffic of vehicles, decaying the tires, engine oil and friction of cars (Councell et al., 2004). Conformably, high amounts of Cu as observed in city center, municipal markets and special economic zone may be due to the traffic of vehicles, abrasion and corrosion car engines and brake pads (Addo et al., 2012). The source of Mn in the first group of components could be due to the production of iron, steel and galvanized pipes in the special economic zone (Tokalioğlu et al., 2006). The high values of V could also be attributed to the steel industries, and plants of chemical products (Manno et al., 2006). The source of Sb in the second group of components is attributed to the high traffic of vehicles (Ariza et al., 2000). Also, this metal may be has an industrial source, because high amount of Sb has been seen in the special economic zone. Similarly, Co in the second group of components has traffic source. The third group of components consisting of Ni and Pb may be specified to a traffic source. Because, according to Wei et al. (2010), Ni could be originated form the engine of cars, especially in the stopping places. The high amount of Pb in third group of components and especially in the Touhid park dust street samples is due to its proximity to the main street of city and being high traffic.

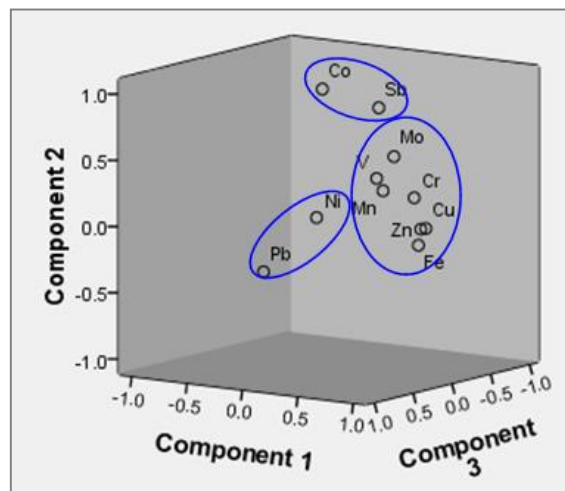


Fig. 1. Three dimensional diagram showing main three principal components throughout the data.

3-2- Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs)

Overall, 13 type of PAHs has been detected in the dust streets of Mahshahr City. The concentrations of PAHs ranges from 10.3 to 96.06 ppb and PAHs with high molecular weight (HMW) are dominated in samples. The high abundance of high molecular weight PAHs compared to that of low molecular weight PAHs (LMW/HMW<1) indicate a pyrogenic source for PAHs of Mahshahr samples (Soclo et al., 2009). The ratios of isomer are commonly used in the previous works (e.g., Zarasvandi et al., 2014) to trace the source of PAHs. The molecular ratios of BaA vs. (BaA+Chr), and IND vs. (IND+BghiP) and Ant vs. (Ant + Phe) indicate that PAHs were mostly originated from biomasses, together with oil and coal combustion. In this study, the dangers of carcinogenic PAHs were calculated using toxicity equivalency factor (TEF). Accordingly, carcinogenic characteristic of Acy compositions is low, while BaP compositions have highest carcinogenic property in the dust samples. According to international agency for research on cancer (IARC), PAHs could be classified into two groups.

The first group have enough or limited evidences for cancer-causing. In contrast, there are no evidences for carcinogenic characteristics of second group. The sum of carcinogenic and non-carcinogenic PAHs for all sampling sites is represented in Fig. 2. It seems that the concentration of carcinogenic PAHs is higher than non-carcinogenic PAHs in all sampling sites. Importantly, concentration of carcinogenic PAHs in station 8 (223.25 ppb) which belong to city center is higher than all sampling stations (Fig. 2).

In this study, the clustering analysis (CA) was used to delineate the distributing agent of PAHs. Here, all calculations were performed using SPSS16 software. The results indicate that all PAHs could be classified into three main clusters. The first cluster consists of PAHs including: ANT, BaA, BbF, IND, ACY, PYR, BaP and FLU. However, those of PHE, ANT, BaA and BbF, IND and ACY, PYR, BaP have closer relation, representing same behavior and source for this PAHs. The components of first cluster are found in the samples taken from city center and school (educational area) that may be sourced from combustion of fossil fuels and high traffic of vehicles in such areas (Yunker et al., 2002). The CRY is the only component of second cluster that indicates a difference source compared to that of other PAHs. It is important to note that the highest value of this component was seen in the samples of residential area. The third cluster contains Bkf, DBA and BGP PAHs. These components are dominant is the sample taken from special economic zone. Here, the dominance of Bkf component is attributed to the burning of fossil fuels (Rogge et al., 1993), while DBA and BGP PAHs were sourced from diesel vehicles.

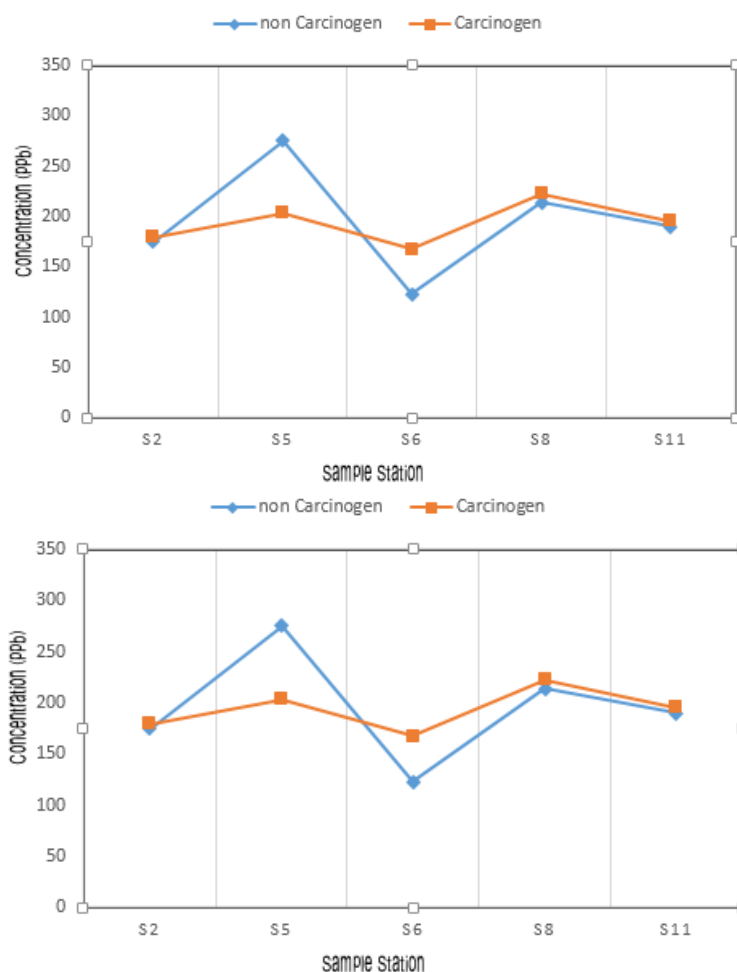


Fig. 2. Sum of carcinogenic and non-carcinogenic PAHs in all sampling sites.

4- Conclusions

The main conclusions of this study could be summarized as follows:

- 1) The dust street sample of special economic zone is characterized by highest values of Cu, Mn, Mo, V, Sb and Fe which is due to the presence of oil and petrochemical industries, as well as steel equipments in this area.
- 2) The results of calculating the geoaccumulation index revealed that Fe, Cu, Zn and Pb belong to contaminated to medium contaminated categories of Igeo, while other heavy metals belong to uncontaminated category.
- 3) The results of principal component analysis (PCA) indicate that all studied heavy metals could be arranged in three main orders. However, heavy metals in all orders mostly sourced from traffic, industrial activities and burning of gasoline in the car engine (especially, Pb and Ni).
- 4) There are 13 PAHs components in the dust streets of Mahshahr. They are mostly sourced from combustion of oil and coal, as well as biomass. Thus, a pyrogenic source could be specified for all PAHs.
- 5) The sum of carcinogenic PAHs in all sampling sites is higher than sum of non-carcinogenic PAHs. This feature highlights the danger of PAHs and should be considered in urban planning

References

- Addo, M.A., Darko, E.O., Gordon, C., Nyarko, B.J.B., Gbadago, J.K., 2012. Heavy metal concentrations in road deposited dust at Ketu-south district, Ghana. *International Journal of Science and Technology* 2(1), 28-39. <https://doi.org/10.12691/jephh-2-4-1>
- Al-Khashman, O.A., 2013. Assessment of heavy metals contamination in deposited street dusts in different urbanized areas in the city of Ma'an, Jordan. *Journal of Environmental Earth Science* 70, 2603–2612. <https://doi.org/10.1007/s12665-013-2310-6>
- Al-Khashman, O.A., Shawabkeh, R.A., 2006. Metals distribution in soils around the cement factory in southern Jordan. *Environmental Pollution* 140(3), 387-394. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2005.08.023>
- Ariza, J.G., Morales, E., Sanchez-Rodas, D., Giraldez, I., 2000. Stability of chemical species in environmental matrices. *TrAC Trends in Analytical Chemistry* 19(2), 200-209. [https://doi.org/10.1016/S0165-9936\(99\)00192-2](https://doi.org/10.1016/S0165-9936(99)00192-2)
- Council, T.B., Duckenfield, K.U., Landa, E.R., Callender, E., 2004. Tire-wear particles as a source of zinc to the environment. *Environmental Science & Technology* 38(15), 4206-4214. <https://doi.org/10.1021/es034631f>
- Manno, E., Varrica, D., Dongarra, G., 2006. Metal distribution in road dust samples collected in an urban area close to a petrochemical plant at Gela, Sicily. *Atmospheric Environment* 40(30), 5929-5941. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2006.05.020>
- Moller, A., Müller, H.W., Abdullah, A., Abdelgawad, G., Utermann, J., 2005. Urban soil pollution in Damascus, Syria: concentrations and patterns of heavy metals in the soils of the Damascus Ghouta. *Geoderma* 124(1), 63-71. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2004.04.003>
- Muller, G., 1979. Schwermetalle in den sedimenten des Rheins Veränderungen seit 1971. *Umschau* 79(24), 778- 783.
- Rogge, W.F., Hildemann, L.M., Mazurek, M.A., Cass, G.R., Simoneit, B.R., 1993. Sources of fine organic aerosol. 2. Noncatalyst and catalyst-equipped automobiles and heavy-duty diesel trucks. *Environmental Science & Technology* 27(4), 636-651. <https://doi.org/10.1021/es00041a007>
- Soclo, H.H., Garrigues, P.H., Ewald, M., 2000. Origin of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in coastal marine sediments: case studies in Cotonou (Benin) and Aquitaine (France) areas. *Marine Pollution Bulletin* 40(5), 387-396. [https://doi.org/10.1016/S0025-326X\(99\)00200-3](https://doi.org/10.1016/S0025-326X(99)00200-3)
- Takada, H., Onda, T., Harada, M., Ogura, N., 1991. Distribution and sources of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in street dust from the Tokyo Metropolitan area. *Science of the Total Environment* 107, 45-69. [https://doi.org/10.1016/0048-9697\(91\)90249-e](https://doi.org/10.1016/0048-9697(91)90249-e)
- Tokalioglu, S., Kartal, S., 2006. Multivariate analysis of the data and speciation of heavy metals in street dust samples from the Organized Industrial District in Kayseri (Turkey). *Atmospheric Environment* 40, 2797–2805. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2006.01.019>
- Wei, B., Yang, L., 2010. A review of heavy metal contaminations in urban soils, urban road dusts and agricultural soils from China. *Microchemical Journal* 94(2), 99-107. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2009.09.014>
- Yang, Z., Lu, W., Long, Y., Bao, X., Yang, Q., 2011. Assessment of heavy metals contamination in urban topsoil from Changchun City, China. *Journal of Geochemical Exploration* 108, 27-38. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2010.09.006>
- Yunker, M.B., Macdonald, R.W., Vingarzan, R., Mitchell, R.H., Goyette, D., Sylvestre, S., 2002. PAHs in the Fraser River basin: a critical appraisal of PAH ratios as indicators of PAH source and composition. *Organic Geochemistry* 33(4), 489-51. [https://doi.org/10.1016/S0146-6380\(02\)00002-5](https://doi.org/10.1016/S0146-6380(02)00002-5)
- Zarasvandi, A., Rastmanesh, F., Moradpour R., 2014. Investigation of heavy metal concentration and their pollution level in street dust, Ahvaz city. 7th National Conference and Specialized Exhibition of Environmental Engineering, Tehran.

HOW TO CITE THIS ARTICLE:

Zarasvandi, A., Akbarnejad, M., Rezaei, M., Azadi, R., Rastmanesh, F., 2023. Environmental geochemistry and source of heavy metals and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in the dust street samples of Mahshahr city. Adv. Appl. Geol. 13(1), 199-223.

DOI: 10.22055/AAG.2022.40935.2298

url: https://aag.scu.ac.ir/article_17953.html?lang=en

©2023 The author(s). This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, as long as the original authors and source are cited. No permission is required from the authors or the publishers

زمین شیمی زیست محیطی و منشا فلزات سنگین و هیدروکربن های آروماتیک چند حلقه ای (PAHs) در گرد و غبار خیابان شهرستان ماهشهر

علیرضا زراسوندی*

گروه زمین شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز

مرضیه اکبرنژاد

دانش آموخته کارشناسی ارشد زمین شناسی زیست محیطی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز

محسن رضایی

گروه زمین شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز

رویا آزادی

گروه شیمی، دانشکده علوم، دانشگاه شهید چمران اهواز

فاطمه راستمنش

گروه زمین شناسی، دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید چمران اهواز

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۴/۲۶

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۳/۰۴

*Zarasvandi_a@scu.ac.ir

چکیده

شهرستان ماهشهر به دلیل وجود منابع آلوده کننده ی محیطی متنوع و گسترده و همین طور روند رو به رشد این منابع، بیش از پیش در معرض آلاینده های مختلف قرار گرفته است. هدف از انجام این مطالعه بررسی غلظت و تعیین منشا فلزات سنگین و هیدروکربن های آروماتیک چند حلقه ای (PAHs) در نمونه های گرد و غبار خیابان شهرستان ماهشهر می باشد. در این راستا نمونه برداری از گرد و غبار سطح خیابان، در مناطق با کاربری مختلف شامل (نظیر نواحی صنعتی، تجاری، آموزشی، پر ترافیک، بیمارستان، مسکونی و پارک) انجام شد. بعد از اینکه آماده سازی اولیه بر روی نمونه ها صورت پذیرفت، غلظت فلزات سنگین Cr, Co, Zn, Pb, Sb, Fe, V, Mo, Ni, Mn و Cu توسط دستگاه ICP-OES و نیز غلظت هیدروکربن های آروماتیک چند حلقه ای توسط دستگاه GC-MS تعیین گردید. میانگین فاکتور غنی شدگی فلزات Cu, Fe, Zn و Pb در نمونه های منطقه مورد مطالعه، بیانگر میزان غنی شدگی متوسط می باشد. محاسبه شاخص زمین انباشت نشان داد عناصر Cu, Fe, Zn و Pb در محدوده غیر آلوده تا متوسط آلوده قرار دارند. همچنین عناصر Cr, Co, Ni, Mn, Mo و V در محدوده غیر آلوده قرار می گیرند. تحلیل های آماری همچون تحلیل مؤلفه های اصلی (PCA) و تحلیل خوشه ای (CA)، برای تعیین منشأ طبیعی و یا انسان زاد آلاینده ها به کار گرفته شد. نتایج این تحلیل ها، عمدتاً منشا انسان زاد را برای فلزات سنگین و هیدروکربن های آروماتیک چند حلقه ای نشان داد که بیشتر ناشی از ترافیک وسایل نقلیه و وجود صنایع پتروشیمی در منطقه است. ترکیبات غالب PAH در نمونه های گرد و غبار خیابان، PAH های با وزن مولکولی بالا (HMW) بودند. همچنین مشخص شد که PAH های گرد و غبار دارای منشأ پیروژنیک می باشند. مجموع PAH های سرطان زا در همه نقاط نمونه برداری بالاتر از مجموع PAH های غیر سرطان زا بود. نسبت های BaA/(BaA + Chr) به IND/(IND+BghiP) نشان داد که منشا PAH های موجود در نمونه ها، احتراق نفت و زغال سنگ و زیست توده می باشد.

واژه های کلیدی: گرد و غبار خیابان، فلزات سنگین، هیدروکربن های آروماتیک چند حلقه ای، شهرستان ماهشهر

۱- مقدمه

غبارها، ذرات معلق در هوا هستند که از منابع مختلف طبیعی و یا انسان‌زاد به وجود آمده و پس از گذشت زمان با توجه به اندازه و چگالی مجدداً بر روی سطح شهر فرو می‌نشینند. دو منبع اصلی برای گرد و غبار خیابان، ته نشست ذرات معلق (انسان‌زاد و طبیعی) و جابه‌جایی خاک‌های شهری (طبیعی) می‌باشند. گرد و غبار خیابان به‌طور بالقوه یک منبع توزیع فلز در مناطق شهری است و تمرکز فلزات مختلف در آن به سرعت و جهت باد، ترکیب غبار و نیز اسیدپایته محیط بستگی دارد (Al Khashman and Shawabkeh, 2006; Yang et al., 2011; Rahman et al., 2019). وجود فلزات سنگینی همچون سرب، روی، نیکل، کادمیم، مس و کروم در خاک و غبار نواحی شهری، ناشی از فعالیت‌های انسان‌زاد نظیر فرایند-های وابسته به تولید انرژی، فعالیت‌های کشاورزی، کارخانه‌های صنعتی، سوزاندن سوخت‌های فسیلی مسکونی، آگزوز وسایل نقلیه، فرسوده‌شدن قطعات خودرو و سایش سطح جاده و خاک است (Li et al., 2001; Bilos et al., 2001; Moller et al., 2005; Zhang, 2006; Tanner et al., 2008; Zheng et al., 2020). این فلزات خاصیت تجمع‌پذیری و سرطان‌زایی داشته و می‌توانند مشکلات متعدد بهداشتی و زیست‌محیطی ایجاد کنند. مطالعه Al Khashman در سال (۲۰۱۳) در مورد ارزیابی آلودگی فلزات سنگین در گرد و غبار شهر اردن و محاسبه فاکتور غنی‌شدگی نشان داد فلزات Zn, Ni, Pb و Cd بیشترین میزان غنی‌شدگی را در نمونه‌های غبار خیابان دارند. در این مطالعه غنی‌شدگی فلزات سنگین به احتراق سوخت فسیلی، فرسودگی پوشش مواد لنت‌ترمز و انتشارات ترافیکی منبع این فلزات در این شهر نسبت داده شده است. Zarasvandi و همکاران (۲۰۱۴) با مطالعه بر روی فلزات سنگین گرد و غبار خیابان‌های شهر اهواز و محاسبه فاکتور غنی‌شدگی دریافتند که فلزات نیکل و کروم غنی‌شدگی به نسبت کمی دارند. این در حالی است که سرب، مس،

روی، منگنز و آهن دارای غنی‌شدگی متوسط و نیز وانادیم دارای غنی‌شدگی زیاد می‌باشد. نتایج تحلیل‌های آماری نیز سه منشا را برای این فلزات نشان داد. در این میان فلزات سرب، مس و روی دارای منشا ترافیکی و فلزات منگنز، نیکل، کروم و وانادیم منشا صنعتی ناشی از فعالیت‌های نفتی و اندکی زمین‌زاد دارند. آهن نیز عمدتاً ناشی از فعالیت‌های صنعتی در شهر اهواز بود. مطالعه Rahman و همکاران (۲۰۱۹) در خصوص پراکنش فلزات سنگین در نمونه‌های گرد و غبار خیابان در کلان‌شهر داکا (کشور بنگلادش) جنوب شرق آسیا حاکی از غنی‌شدگی عناصر نیکل، سرب، کادمیم و آرسنیک در نمونه‌های مورد مطالعه می‌باشد. در این مطالعه مشخص شده نقاط غنی‌شدگی فلزات سنگین مربوط به مناطق صنعتی و با ترافیک سنگین می‌باشد. هیدروکربن‌ها ترکیباتی هستند که فقط از کربن و هیدروژن تشکیل شده‌اند و به دو گروه اصلی طبقه‌بندی می‌گردند: هیدروکربن‌های آروماتیک و هیدروکربن‌های غیر آروماتیک. هیدروکربن‌های آروماتیک اغلب از چند حلقه جوش خورده، مانند بنزو (a) پیرن، تشکیل می‌شوند. این ترکیبات به دلیل خواص سرطان‌زایی و جهش‌زایی مورد توجه هستند. ترکیب بنزو(a) پیرن، یکی از خطرناک‌ترین این هیدروکربن‌هاست که سازمان حفاظت محیط‌زیست آمریکا (USEPA) آن را از جمله مواد سرطان‌زا برای انسان به حساب آورده است. مهم‌ترین منابع هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای (Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, PAHs) شامل، احتراق زغال‌سنگ، نفت خام و گاز طبیعی برای مقاصد صنعتی و خانگی می‌باشد، PAH‌های موجود در روغن‌موتور و سوخت می‌توانند از اتومبیل‌ها نشت کنند و وارد غبار خیابان شوند. مواد سوختنی سوخته نشده که از طریق آگزوز اتومبیل‌ها انتشار یافته و مقداری از آن ته‌نشست کرده نیز می‌توانند جذب غبار خیابان شوند. چرخ اتومبیل‌ها و آسفالت نیز حاوی ترکیبات PAH هستند و فرسوده‌شدن آن‌ها موجب وارد شدن این مواد به غبار

منشأ این رسوبات از سازند آغاچاری و بختیاری بوده که در اثر دوره‌های زمانی متعدد، فرسایش یافته و به صورت رسوبات ریزدانه دشتی و تبخیری درآمد است. این سازندها دارای خاک‌هایی مملو از ترکیبات سیلتی، رسی، شن ریزه‌های ماسه‌ای همراه با مقادیری از مواد گچی و نمکی می‌باشند. از آنجایی که شهرستان بندر ماهشهر در بخش جنوب غربی ایران و جنوب استان خوزستان واقع گردیده است دارای اقلیم خشک و گرم بیابانی، تابستان‌های طولانی و رطوبت بسیار بالا است که در اکثر روزهای فصل تابستان پایدار است. بررسی تغییرات میزان بارندگی در دوره یک‌ساله سال ۹۳ حکایت از بیشترین میزان بارندگی در اسفندماه با مقدار ۲۸,۹ میلی‌متر می‌باشد. همچنین کمترین مقدار آن در خرداد تا مهر (بدون بارندگی) بوده است (سالنامه آماری استان خوزستان). از جمله منابع صنعتی آلوده‌کننده هوا در منطقه وجود صنایع پتروشیمی و نیز وسایل نقلیه برون‌شهری و درون‌شهری و نیز سوزاندن زباله‌های شهری در سطح شهر و وجود سایر صنایع موجود در شهرک صنعتی می‌باشد. علاوه بر موارد فوق، واحدهای کانی غیرفلزی (واحدهای آسفالت‌سازی شهرهای ماهشهر و بندر امام خمینی) از جمله منابع آلوده‌کننده هوا و انتشاردهنده ذرات گرد و غبار به محیط اطراف می‌باشند. همچنین هم‌جواری منطقه ویژه اقتصادی ماهشهر با این شهرستان نیز می‌تواند موجب ورود حجم وسیعی از آلاینده‌ها به محیط شهری گردد. در این میان طوفان‌های گرد و غبار، از دیگر عوامل مهم آلاینده هوا در شهرستان ماهشهر است که علت آن را می‌توان هم‌جواری با بیابان‌های کشورهای همسایه مانند عراق و عربستان دانست (Zarasvandi et al., 2011).

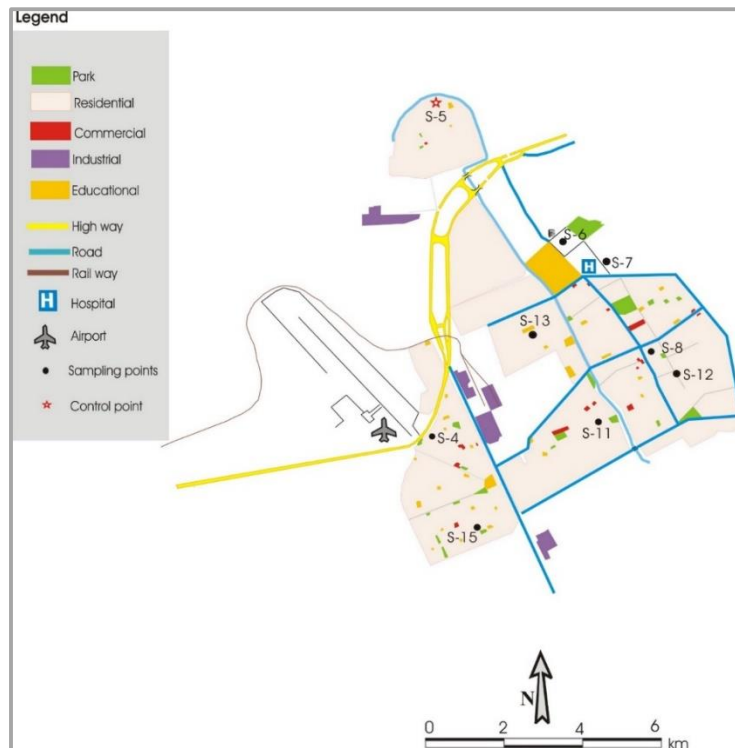
۳- نمونه‌برداری، آماده‌سازی و آنالیز نمونه‌ها

مکان‌های نمونه‌برداری در مطالعه حاضر با توجه به مناطق با کاربری مختلف (نظیر مناطق مسکونی، مناطق پرتراffیک، مناطق آموزشی، پارک‌ها، مناطق تجاری، مناطق صنعتی و بیمارستان) انتخاب گردیدند.

خیابان می‌شود (Takada et al., 1991). مطالعه Long و همکاران در سال (۲۰۱۳) بر روی هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای غبار خیابان در چین و نیز انجام تحلیل عاملی^۲ نشان داد منشأ اصلی شانزده ترکیب PAH، احتراق زغال‌سنگ، خروجی آگزوز خودروها، زغال کک، نفت و سوختن گیاهان است. مطالعه Iwegbue و همکاران (۲۰۲۲) در خصوص رخداد و منشأ PAHs در نمونه‌های غبار کلان شهرهای نیجریه نشان داده منشأ عمده این ترکیبات مربوط به ترافیک وسایل نقلیه، احتراق زیست توده و محصولات نفتی به همراه پخت و پز خانگی می‌باشد. Zarasvandi و همکاران (۲۰۱۴) با بررسی PAHها در نمونه‌های گرد و غبار خیابان شهر اهواز، به این نتیجه رسیدند که PAH های با وزن مولکولی بالا ترکیبات غالب در این شهر هستند. همچنین نتایج نسبت-های PAH و تحلیل‌های آماری، منشأ پیروژنیک و احتراق سوخت‌های فسیلی را برای این ترکیبات نشان داد. شهرستان ماهشهر در استان خوزستان به دلیل وجود منابع آلوده‌کننده محیطی به شدت در معرض آلاینده‌های مختلف قرار دارد. در این راستا در مطالعه حاضر، نمونه‌های گرد و غبارهای خیابان‌های شهر ماهشهر به منظور ارزیابی غلظت فلزات سنگین و نیز هیدروکربن‌های آروماتیک چند حلقه‌ای مورد بررسی قرار گرفته است.

۲- منطقه مورد مطالعه

شهرستان بندر ماهشهر بین مختصات 48° و 54° و 50° و 12° طول شرقی از نصف‌النهار گرینویچ 30° و 1° تا 31° و 3° عرض شمالی از خط استوا، در جنوب استان خوزستان واقع گردیده است. مساحت این شهرستان $5618/$ کیلومترمربع است که $7/11$ درصد از مساحت استان را شامل می‌شود و از نظر وسعت، دومین شهرستان استان خوزستان می‌باشد (Ebadi, 2010). جمعیت این شهرستان 278037 نفر است. شهرستان ماهشهر از نظر زمین‌شناسی شامل رسوبات و آبرفت‌های دوران جدید است که در پهنه دشت خوزستان گسترده شده است.



شکل ۱- نقشه شهری ماهشهر و موقعیت ایستگاه‌های نمونه‌برداری (به استثناء نمونه مربوط به منطقه ویژه اقتصادی).

Fig. 1. Map of the Mahshahr city and location of sampling stations (sample belonging to special zone in excluded).

میلی متری ضد زنگ عبور داده شدند. سپس نمونه‌ها خرد و همگن شد و دوباره با یک الک ۷۵ میکرومتر مش ضد زنگ الک گردید. بعد از آن نمونه‌ها در ۲۱ میلی لیتر اسیدکلریدریک (HCl) و ۷ میلی لیتر اسید نیتریک (HNO₃) هضم^۵ شدند. در ادامه پس از ۱۶ ساعت نگهداری نمونه‌ها در دمای اتاق، به مدت ۲ ساعت با ملایمت در دستگاه هضم سرپوش دار حرارت داده شدند. ترکیب حاصل با استفاده از کاغذ صافی واتمن، صاف و با ۱۰۰ میلی لیتر آب مقطر به حجم رسانده شد. در نهایت غلظت فلزات سنگین موجود در نمونه‌ها توسط دستگاه ICP-OES در آزمایشگاه زمین‌شیمی شرکت زرازا تعیین شد. در مورد نمونه‌برداری از مواد هیدروکربنی، نمونه‌های جمع آوری شده از گرد و غبار خیابان، در شیشه‌های کهربایی قرار گرفته و توسط فویل آلومینیم مهروموم شد تا از ورود مستقیم نور به آن‌ها جلوگیری شود. در ادامه کلیه نمونه‌ها در آزمایشگاه

نمونه‌برداری در فصل خشک و همچنین روزهای بدون باران صورت پذیرفت تا بارندگی هیچ تأثیری بر مواد موجود در غبار نداشته باشد. برای مطالعه حاضر در مجموع تعداد ۱۰ نمونه از مکان‌های با کاربری مختلف برداشته شد که یک نمونه از آن‌ها نیز نمونه زمینه (شاهد) بود (شکل ۱ و جدول ۱). برای بررسی غلظت فلزات سنگین نمونه‌برداری غبار از کنار جاده با استفاده از یک خاک‌انداز و برس پلاستیکی انجام شد. حدود ۲۵۰ گرم از نمونه غبار به کیسه‌های زیپ‌دار پلاستیکی انتقال داده شد. سپس هر کدام از کیسه‌ها کدگذاری شده و قبل از اینکه به آزمایشگاه فرستاده شود در محیط خشک و خنک نگهداری شد. شایان ذکر است بعد از هر نمونه‌برداری برس و خاک‌انداز کاملاً تمیز و با استون شسته شد. بعد از انتقال نمونه‌ها به آزمایشگاه، به‌منظور زدودن مواد اضافی مانند تکه‌های کوچک آجر، آسفالت و دیگر خرده‌های بزرگ، نمونه‌ها از الک ۲

جدول ۱- مقایسه غلظت فلزات سنگین در نمونه‌های گرد و غبار خیابان با مقادیر پوسته زمین.

Table 1- Comparison of heavy metal concentration in the dust street samples with crust composition.

Element concentration (mg/kg)												Sample
Fe	Mn	V	Sb	Co	Cr	Mn	Ni	Cu	Zn	Pb		
48600	11	68	18	33	100	504	48	111	299	100	S-2	
25200	4	51	12	10	88	438	44	75	249	74	S-4	
15400	3	45	16	54	68	385	43	22	82	37	S-5*	
29000	3	54	14	13	89	449	50	66	250	95	S-6	
24300	2	50	10	10	61	416	44	38	122	27	S-7	
27400	3	46	12	10	66	423	56	83	230	136	S-8	
21400	2	41	11	8	76	350	37	39	119	149	S-11	
31300	4	48	14	23	106	486	54	93	364	162	S-12	
21000	2	46	11	9	68	356	36	60	157	119	S-13	
22900	4	56	11	11	71	438	51	42	123	292	S-15	
26650	3.8	50.5	12.9	18.1	79.3	424.5	46.3	62.9	199.5	119.1	Average	
50000	1.5	135	0.2	10	100	950	20	55	70	20	Average crust	

*Control Point

جدول ۲- طبقه‌بندی فاکتور غنی‌شدگی (Yongming et al., 2006).

Table 2- Classification of enrichment factor (Yongming et al., 2006).

Enrichment level	EF values
Deficiency to minimal enrichment	$EF < 2$
Moderate enrichment	$2 \leq EF < 5$
Significant enrichment	$5 \leq EF < 20$
Very high enrichment	$20 \leq EF < 40$
Extremely severe enrichment	$EF \geq 40$

همانطور که در جدول ۳ مشخص شده است بالاترین میزان میانگین فاکتور غنی‌شدگی مربوط به سرب با مقدار ۳/۸۲ است که دارای غنی‌شدگی متوسط است. بعد از آن مس با غنی‌شدگی ۳/۴۵ قرار دارد. همچنین فلزات کبالت، آنتیموان، کروم، منگنز، نیکل، مولیبدن و وانادیم دارای غنی‌شدگی کم هستند.

میانگین مقادیر فاکتور غنی‌شدگی فلزات سنگین برای گرد و غبار خیابان در جدول ۳ نشان داده شده است. ترتیب میانگین فاکتور غنی‌شدگی برای فلزات انتخابی به صورت زیر است:



جدول ۳- میانگین فاکتور غنی‌شدگی (EF) برای عناصر مختلف در نمونه‌های گرد و غبار خیابان شهر ماهشهر.

Table 3- Average of enrichment factor for different elements in the Mahshahr' dust street samples.

Enrichment level	(EF)	Element
Moderate enrichment	3.82	Pb
Moderate enrichment	2.89	Zn
Moderate enrichment	3.45	Cu
Minimal enrichment	0.29	Co
Minimal enrichment	0.89	Sb
Minimal enrichment	1.33	Cr
Minimal enrichment	1.24	Mn
Minimal enrichment	1.2	Ni
Minimal enrichment	1.45	Mo
Minimal enrichment	1.27	V
Moderate enrichment	2.03	Fe

$$I_{geo} = \log_2 \left[\frac{C_n}{1.5 B_n} \right] \quad (\text{رابطه ۲})$$

در این رابطه Cn غلظت عنصر مورد مطالعه در نمونه گرد و غبار خیابان، Bn غلظت عنصر در نمونه شاهد یا زمینه و ضریب ۱/۵ ضریب تصحیح ماتریس زمینه ناشی از اثرات لیتولوژیکی است (Muller, 1979). بر اساس این

۴-۱-۲- شاخص زمین انباشت (Geo-) (accumulation; Igeo)

شاخص زمین انباشت که اولین بار به وسیله (Muller, 1979) پیشنهاد شد، برای ارزیابی میزان آلودگی فلزات سنگین در خاک به کار برده می‌شود. این شاخص از طریق رابطه ۲ محاسبه می‌گردد.

۴ ارائه شده است. نتایج حاکی از آن است که عناصر سرب، روی، مس و آهن در محدوده غیر آلوده تا متوسط آلوده و عناصر کبالت، آنتیموان، کروم، منگنز، نیکل، مولیبدن و وانادیم در محدوده غیر آلوده قرار می‌گیرند.

جدول ۴- میانگین شاخص زمین انباشت (Igeo) و محدوده آن برای عناصر مختلف در نمونه‌های گرد و غبار خیابان شهر ماهشهر.

شاخص، خاک‌ها از نظر درجه آلودگی به هفت گروه از غیر آلوده تا بی نهایت آلوده طبقه‌بندی می‌شوند.

شاخص زمین انباشت برای نمونه‌های گرد و غبار خیابان مورد مطالعه محاسبه شد که نتایج حاصل در جدول

Table 4- Average of geo-accumulation index (Igeo) index and its levels for various elements in the dust street samples of Mahshahr city.

Contamination level	<i>I_{geo}</i> index	Elements	Contamination level	<i>I_{geo}</i> values
Uncontaminated to moderate	0.819	Pb	Practically uncontaminated	$I_{geo} \leq 0$
Uncontaminated to moderate	0.55	Zn	Uncontaminated to moderate	$0 < I_{geo} \leq 1$
Uncontaminated to moderate	0.782	Cu	Moderate	$1 < I_{geo} \leq 2$
Practically uncontaminated	-2.479	Co	Moderate to strong	$2 < I_{geo} \leq 3$
Practically uncontaminated	-0.91	Sb	Strong	$3 < I_{geo} \leq 4$
Practically uncontaminated	-0.385	Cr	Strong to very strong	$4 < I_{geo} \leq 5$
Practically uncontaminated	-0.453	Mn	Very strong	$I_{geo} > 5$
Practically uncontaminated	-0.492	Ni		
Practically uncontaminated	-0.447	Mo		
Practically uncontaminated	-0.43	V		
Uncontaminated to moderate	0.145	Fe		

کاربرد تحلیل مؤلفه اصلی در جدول ۵ و شکل ۲ ارائه شده است. جدول ۵ نشان می‌دهد که از بین داده‌ها سه مؤلفه اصلی استخراج شده است. مؤلفه اول حدود ۴۵/۷۵ درصد از واریانس کل را در بر می‌گیرد و شامل عناصر V, Mn, Fe, Mo, Cr, Cu و Zn می‌باشد. مؤلفه دوم با مقدار ۲۲/۶۷ درصد از واریانس کل شامل فلزات Co و Sb است و همچنین مؤلفه سوم با میزان ۱۳/۹۵ درصد از کل واریانس، شامل فلزات Pb و Ni می‌باشد. فلزات گروه اول احتمالاً بیشتر دارای منشا صنعتی و همین‌طور ترافیکی

۴-۱-۳- تعیین منشأ فلزات با تحلیل مؤلفه‌های اصلی (Principal Component Analysis; PCA)

تحلیل مؤلفه اصلی یک روش آماری چند متغیره است که هدف از به‌کارگیری آن، یافتن حداقل تعداد متغیرهایی که بیشترین تغییرات مشاهده‌شده را در بین سری داده‌ها نشان می‌دهند است (Hassani Pak, 1998). این تحلیل به‌طور وسیع در مطالعات زیست‌محیطی برای تعیین منشأ انسان‌زاد و یا طبیعی عناصر به کار می‌رود. نتایج حاصل از

مربوط به تولید محصولات فلزی و ساختمانی اسکلت های فلزی و تجهیزات فولادی و آهنی نسبت داده شود (Al Khashman, 2013; Li et al., 2013). شامل Sb و Co می باشند. آنتیموان فلزی است که تردد بالای وسایل نقلیه می تواند منشا اصلی انتشار آن باشد (Ariza et al., 2000). این فلز منشأ صنعتی نیز دارد بطوری که بالاترین غلظت این عنصر در منطقه ویژه اقتصادی دیده شد. به طور مشابه کبالت نیز بیشتر منشا ترافیکی دارد. دسته سوم شامل فلزات Ni و Pb می باشد که دارای منشا ترافیکی هستند. مطالعات نشان داده تردد بالای وسایل نقلیه و نیز وجود محل های توقف اتومبیل ها موجب انتشار فلز نیکل از موتور خودروها می گردد (Wei et al., 2010). بیشترین غلظت نیکل در نمونه های مربوط به مرکز شهر و بازارچه شهرداری دیده شد. علت بالا بودن Pb در پارک کوی توحید، مجاورت آن با خیابان اصلی شهر و ترافیک بالا و نیز تردد وسایل نقلیه می باشد که نمایانگر وجود سرب در بنزین اتومبیل ها می باشد (Alloway, 1990). همچنین روغن موتور وسایل نقلیه و همین طور سایش لاستیک خودروها، می تواند منبع سرب در غبار خیابان این مناطق باشد (et al., 2004) (Merian).

۴-۲- هیدروکربن های آروماتیک چند حلقه ای (PAHs)

سیزده نوع ترکیب PAH در نمونه های گرد و غبار خیابانی شهرستان ماهشهر شناسایی شد. در جدول ۶ مقدار غلظت بیشینه و کمینه ترکیبات PAH و غلظت میانگین در هر نمونه نشان داده شده است. علاوه بر این، مجموع ترکیبات PAH با وزن مولکولی پایین و PAH های با وزن مولکولی بالا نیز در این جدول نمایش داده شده است. غلظت این ترکیبات محدوده ای از ۱۰/۳ تا ۹۶/۰۶ ppb را نشان می دهد. ترکیبات غالب PAH در همه نمونه های گرد و غبار PAH های با وزن مولکولی بالا هستند. نسبت های LMW/HMW، می تواند برای پنداری از مقایسه مقادیر

می باشند. به عنوان مثال بیشترین غلظت Zn در بازارچه شهرداری و منطقه ویژه اقتصادی دیده شد که حجم بالای وسایل نقلیه، پوسیدگی لاستیک خودروها، روغن موتور خودرو و خوردگی و سایش قطعات خودروها می تواند عامل وجود این فلز در محل باشد (Councell et al., 2004). همچنین وجود تاسیسات مربوط به تولید لوله های فولادی گالوانیزه نیز می تواند به عنوان منبعی برای انتشار روی در منطقه ویژه اقتصادی قلمداد شود. بیشترین غلظت Cu در نمونه های مربوط به منطقه ویژه اقتصادی و نیز بازارچه شهرداری و مرکز شهر دیده شد. دلیل بالا بودن مس در بازارچه شهرداری می تواند مربوط به تردد خودروها، سایش و خوردگی موتور خودرو و لنت ترمز باشد (Addo et al., 2012). همچنین وجود پارکینگ اتومبیل در این محل می تواند غلظت های بالای مس را توجیه کند (Lu et al., 2009). نمونه برداشته شده از مرکز شهر به دلیل قرار گرفتن در نزدیکی ترمینال داخلی ماهشهر و همینطور وجود مغازه های فروش چوب در این محل دارای مقادیر بالایی مس می باشد و از طرف دیگر ترافیک بالای مرکز شهر نیز می تواند دلیلی بر وجود این فلز در این منطقه باشد.

منبع اصلی Cr نیز می تواند به دلیل ترافیک بالا در بازارچه شهرداری و همینطور فعالیت های صنعتی مربوط به منطقه ویژه اقتصادی باشد (Al Khashman, 2007). وجود Mn نیز ناشی از وجود صنایع تولید لوله های فولادی و آهنی گالوانیزه در منطقه ویژه اقتصادی می باشد (Tokalioğlu et al., 2006). دلیل وجود V می تواند ناشی از وجود صنایع فولاد و همینطور تاسیسات مربوط به تولید مواد شیمیایی مورد مصرف در صنعت نفت، گاز و پتروشیمی در منطقه ویژه باشد (Manno et al., 2006). علت بالا بودن Mo در نمونه های مربوط به منطقه ویژه، صنایع مربوط به تولید لوله ها و تجهیزات فولادی در این منطقه می باشد (Merian et al., 2004). علت بالا بودن غلظت آهن در منطقه ویژه می تواند به وجود صنایع

بر اساس نسبت $Ant/(Ant+Phe)$ منشأ احتراق سوخت-های فسیلی را نشان می‌دهند. بر طبق نتایج بدست آمده PAHهای موجود در نمونه‌های گرد و غبار خیابان ماهشهر دارای منبع پیروژنیک، که نشانگر محصولات احتراق هستند می‌باشند.

۳-۳-۴- نسبت‌های $BaA/(BaA+Chr)$ به $IND/(IND+BghiP)$

بسیاری از محققان به منظور فراهم آوردن دید بهتری از منشأ PAHs، نسبت‌های مختلف تعیین منشأ در این ترکیبات را دو به دو با یکدیگر به شکل نمودار در آورده‌اند. منطقه‌های مختلفی در این نمودارها تعریف شده است به گونه‌ای که هر یک از زون‌ها، نشان دهنده‌ی منشأ خاصی برای ترکیبات PAHs می‌باشد. شکل ۳، نمودار نسبت‌های $BaA/(BaA+Chr)$ به $IND/(IND+BghiP)$ را نشان می‌دهد. همان‌طور که از این شکل پیداست همه نمونه‌های گرد و غبار خیابان شهرستان ماهشهر در محدوده‌ای که نشان‌دهنده‌ی احتراق سوخت‌های نفتی و احتراق زغال‌سنگ و زیست‌توده است قرار گرفته‌اند و در نتیجه منبع پیروژنیک را برای PAHهای این منطقه نشان می‌دهد.

۳-۳-۴- ضریب هم‌ارز سمناک (TEF)

خطر مربوط به ترکیبات PAH سرطان‌زا در این مطالعه به‌وسیله فاکتور معادل سمیت (TEF) برای ترکیبات PAH مورد مطالعه محاسبه شد. این فاکتور بر اساس غلظت بنزو(a) پیرن (BaP) که سرطان‌زاترین نوع PAH است محاسبه می‌شود (Nisbet et al., 1992). در این مطالعه سرطان‌زایی ترکیبات PAH بر اساس غلظت معادل بنزو(a) پیرن (BaP eq) ارزیابی شد. با توجه به جدول ۸ سرطان‌زایی ترکیب (استفتیلین) Acy در نمونه-های گرد و غبار خیابان کمتر از همه و سرطان‌زایی BaP از بقیه ترکیبات بیشتر است.

PAHهای با وزن مولکولی بالا و پایین باشد. اگر این مقدار بیش از ۱ باشد، نشان‌دهنده منبع پتروژنیک و در صورتی که مقدار آن کمتر از ۱ باشد، نشانگر منبع پیروژنیک برای PAHهای موجود در نمونه‌های گرد و غبار می‌باشد (Soclo et al., 2009). بر این اساس مقدار نسبت LMW/HMW در همه نمونه‌ها کمتر از ۱ است که نشان‌دهنده منبع پیروژنیک برای PAHها در نمونه-های گرد و غبار خیابان ماهشهر می‌باشد.

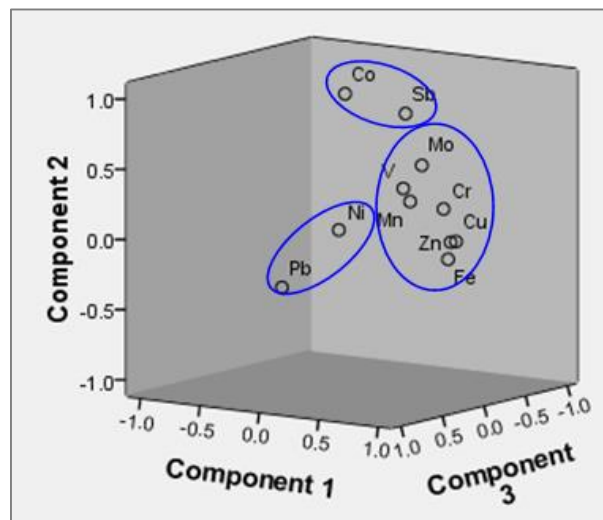
۳-۴- تعیین منشأ PAHها

۳-۴-۱- نسبت‌های ایزومر

نسبت‌های ایزومر به‌طور معمول برای تعیین منشأ احتمالی ترکیبات PAH استفاده می‌شود. در این پژوهش از نسبت‌های مولکولی $BaA/(BaA+Chr)$ و $IND/(IND+BghiP)$ و $Ant/(Ant+Phe)$ برای تعیین منشأ ترکیبات آروماتیک استفاده شد. برای نسبت $IND/(IND+BghiP)$ به ترتیب نسبت‌های کمتر از ۰/۲، ۰/۲ تا ۰/۵ و بیشتر از ۰/۵ نشانگر منابع نفتی، احتراق نفت و احتراق زغال‌سنگ و زیست توده است. همین‌طور برای نسبت $BaA/(BaA+Chr)$ مقادیر کمتر از ۰/۲، ۰/۲ تا ۰/۳۵ و بیشتر از ۰/۳۵ به ترتیب مربوط به مواد نفتی، احتراق نفت و احتراق زغال‌سنگ و زیست توده می‌باشد (Yunker et al., 2002; Vinnas et al., 2010). برای نسبت $Ant/(Ant+Phe)$ مقادیر کمتر از ۰/۱ نشان دهنده منابع نفتی و مقادیر بیشتر از ۰/۱ منشأ احتراق سوخت‌های فسیلی را برای PAHها نشان می‌دهد (Saeedi et al., 2012). در جدول ۷ مقادیر این نسبت‌ها برای ترکیبات آروماتیک چند حلقه‌ای در گرد و غبار خیابان شهر ماهشهر ارائه شده است. همان‌طور که دیده می‌شود بر اساس نسبت $BaA/(BaA+Chr)$ در نمونه‌ها منشأ احتراق زغال‌سنگ و زیست توده را نشان می‌دهند، با توجه به نسبت $IND/(IND+BghiP)$ منشأ احتراق نفت و

جدول ۵- ماتریس عاملی دوران یافته فلزات مورد مطالعه.
Table 5- Rotated matrix for studied heavy metals.

Variable	Component		
	1	2	3
Pb	-0.006	-0.271	<u>0.831</u>
Zn	<u>0.912</u>	0.040	0.113
Cu	<u>0.945</u>	0.046	0.096
Co	-0.143	<u>0.957</u>	-0.124
Cr	<u>0.809</u>	0.258	0.051
Mn	<u>0.776</u>	0.359	0.406
Ni	0.393	0.163	<u>0.717</u>
Mo	<u>0.684</u>	0.568	0.134
V	<u>0.628</u>	0.419	0.278
Sb	0.406	<u>0.880</u>	-0.066
Fe	<u>0.923</u>	-0.073	0.159
%variance	45.75	22.67	13.95
%cumulative	45.75	68.42	82.38



شکل ۲- نمودار سه بعدی بار سه مؤلفه اصلی برای فلزات مورد مطالعه.

Fig. 2. Three dimensional diagram showing main three principal components throughout the data.

جدول ۶- مجموع ترکیبات PAH با وزن مولکولی پایین و بالا، بیشینه، کمینه و میانگین ترکیبات PAH در هر ایستگاه (ppb).

Table 6- Sum of PAH components with low and high molecular weights, maximum, minimum and average of PAH components in each station (ppb).

PAH	S-2	S-5	S-6	S-8	S-11
min	10.3	11.82	10.45	11.21	10.45
max	61.23	73.61	44.06	96.06	61.66
mean	27.27538	36.84385	22.38692	33.62154	29.67
LMW *	136.7	219.87	86.89	149.62	148.02
HMW **	217.88	259.1	204.14	287.46	237.69
LMW/HMW	0.62741	0.848591	0.425639	0.52049	0.622744

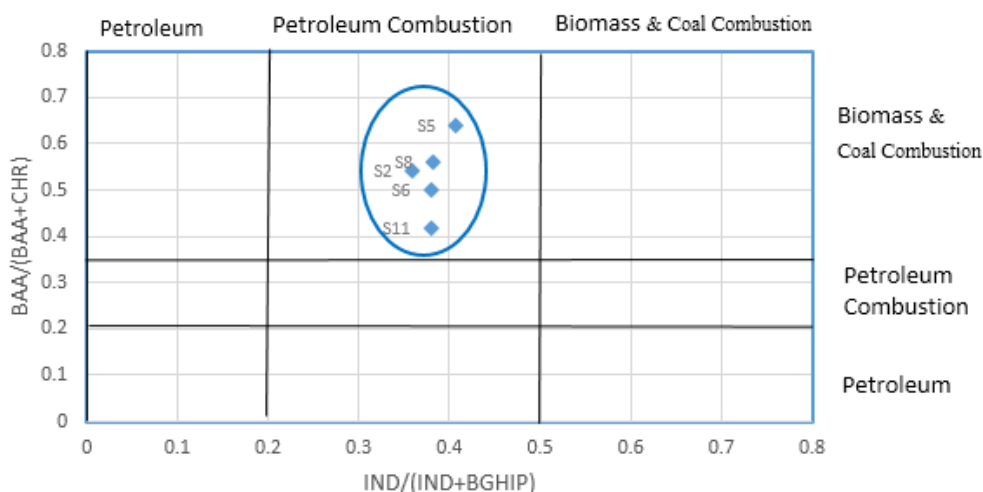
*Low Molecular Weight

** High Molecular Weight

جدول ۷ - نسبت‌های PAH نمونه‌های گردوغبار خیابان شهرستان ماهشهر.

Table 7- PAH ratios in the dust street samples of Mahshahr city.

	S-2	S-5	S-6	S-8	S-11
BaA/(BaA+Chr)	0.53979	0.638237	0.50067659	0.561297	0.415653
IND/(IND+BghiP)	0.359261	0.407446	0.379310345	0.382333	0.37931
Ant/(Ant+ Phe)	0.599432	0.561994	0.62954823	0.60933	0.60602



شکل ۳- نمودار نسبت‌های $BaA/(BaA + Chr)$ به $IND/(IND+BghiP)$ برای نمونه‌های مورد مطالعه.

Fig. 3. Diagram of $IND/(IND+BghiP)$ vs. $(BaA/(BaA + Chr))$ for studied samples.

جدول ۸- مقادیر TEF و BaP_{eq} برای ترکیبات PAH در گرد و غبار خیابان شهر ماهشهر.

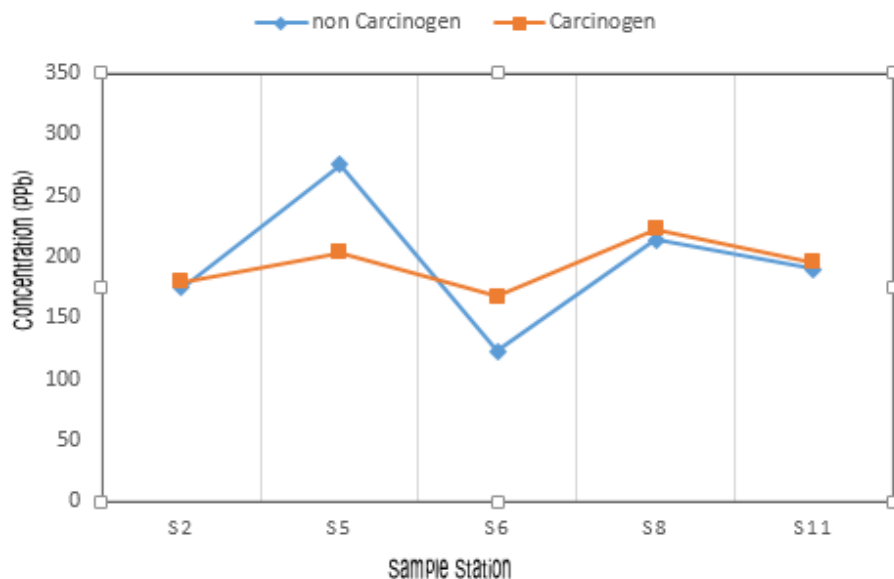
Table 8. TEF and BaP_{eq} for PAH components in dust street samples of Mahshahr.

PAH	Abbreviation	TEF	BaP _{eq}
Acenaphthylene	AcY	0.001	0.01717
Fluorene	Flu	0.001	0.055278
Phenanthrene	Phe	0.001	0.030844
Anthracene	Ant	0.01	0.44928
Pyrene	Pyr	0.001	0.029648
Benzo(a)anthracene	B(a)A	0.1	2.0886
Chrysene	CRY	0.01	0.18786
Benzo(b)fluoranthene	B (b)F	0.1	1.9978
Benzo(k)fluorathene	B (k)F	0.1	3.2278
Benzo(a)pyrene	B (a)P	1	66.17
Indeno(1,2,3-cd)pyrene	IND	0.1	1.0846
Dibenzo(a,h)anthracene	DBA	1	25.088
Benzo(ghi)perylene	BGP	0.01	0.17574

(IARC, 2011). مجموع PAH های سرطانزا و غیر سرطانزا در هر ایستگاه در شکل ۴ ارائه شده است. با توجه به این شکل، مجموع PAH های سرطانزا در همه ایستگاهها بالاتر از مجموع PAH های غیر سرطانزا می باشد، بخصوص در ایستگاه S8 که نمونه مربوط به مرکز شهر است. مجموع غلظت PAH های سرطانزا در آن ۲۲۳/۲۵ ppb است که نسبت به بقیه نمونهها از مقدار بیشتری برخوردار است. همچنین نمونه S5 که نمونه شاهد است، مجموع PAH های غیر سرطانزا در آن بیشتر از PAH های سرطانزا است. نمونه S6 نیز که مربوط به ترمینال مسافری است PAH های سرطانزا در آن نسبت به PAH های غیر سرطانزا مقدار بیشتری دارد و غلظت آن ۱۶۸/۰۹ ppb می باشد که یک خطر جدی در منطقه محسوب می شود.

۴-۴ PAH های سرطانزا و غیر سرطانزا

آژانس بین المللی تحقیقات سرطان (IARC) در سال ۲۰۱۱، ۱۶ PAHs را به دو گروه تقسیم کرده است. گروه اول شواهد کافی یا محدودی برای ایجاد سرطانزایی دارند که این ترکیبات عبارتند از: naphthalene, benzo[a]anthracene, benzo[k]fluoranthene, chrysene, indeno(1, 2, benzo[a]pyrene, anthene, dibenz(ah)anthracene و 3cd)pyrene. گروه دوم شواهدی برای ایجاد سرطان ندارند و این ترکیبات عبارتند از: acenaphthene, acenaphthylene, anthracene, phenanthrene, fluorene, fluoranthene و benzo[ghi]perylene و pyrene.



شکل ۴- نمودار خطی مجموع PAHهای سرطان‌زا و غیر سرطان‌زا در نقاط نمونه‌برداری شهرستان ماهشهر.

Fig. 4. Sum of carcinogenic and non-carcinogenic PAHs in all sampling sites.

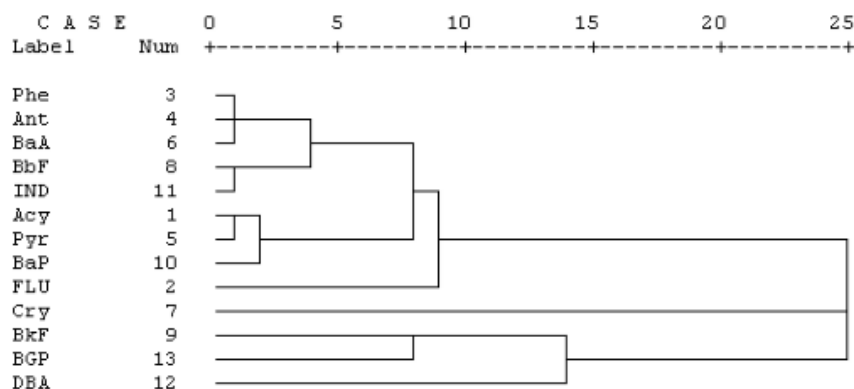
1981) احتراق ناقص سوخت اتومبیل‌ها نیز می‌تواند منشأ این نوع PAHs باشد (Yu et al., 2006). ترکیبات Flu و Phe همچنین می‌توانند حاصل احتراق سوخت کک در کارخانه‌ها باشند. BaA نشان دهنده منبع احتراق سوخت دیزل و گاز طبیعی است (Rogge et al., 1993; Khalili et al., 1995). همینطور می‌تواند ناشی از احتراق زغال سنگ باشد (Simcik et al., 1999; Larsen and Baker, 2003). همچنین BbF, BaA و IND ناشی از آگزوز وسایل نقلیه و دارای منشأ پیروژنیک هستند (Mostafa et al., 2009). ترکیب Bap وابسته به انتشارات ترافیکی است (Sadiktsis et al., 2012). ترکیب Pyr وابسته به انتشارات ناشی از موتور بنزین‌سوز است (Christensen and Bzdusek., 2005) و همینطور احتراق سوخت فسیلی نیز از منابع انتشار پیرین در محیط هستند (Yunker et al., 2002). ترکیب Acy ناشی از احتراق دما پایین تا متوسط زغال-سنگ و بیومس (Larsen et al., 2003) و همینطور انتشار از وسایل نقلیه است (Long et al., 2013). ترکیبات خوشه ۱ در نمونه‌های مربوط به مرکز شهر و

۴-۵- تحلیل خوشه‌ای (Cluster Analysis;) (CAC)

تحلیل خوشه‌ای روشی است که با استفاده از آن می‌توان داده‌ها را به چند خوشه یا طبقه، رده‌بندی کرد به طوری که داده‌های قرار گرفته شده در هر خوشه، همگون و یکسان باشند و بین خوشه‌ها بیشترین تفاوت و ناهمگونی وجود داشته باشد (Yongming et al., 2006). در این پژوهش از آنالیز خوشه‌ای (CA) برای تشخیص منبع انتشار PAHهای شناسایی شده در نمونه‌ها استفاده شده است. این تحلیل با استفاده از نرم‌افزار SPSS16 انجام شد. با توجه به شکل ۵، سه خوشه‌ی اصلی دیده می‌شود، خوشه (۱) شامل PHE, ANT, BaA, BbF, IND, ACY, PYR, BaP, FLU می‌باشد که از میان آن‌ها PHE, ANT, BaA و BbF, IND و ACY, PYR, و BbF, IND رابطه نزدیک‌تری دارند و نشان دهنده رفتار مشابه و منشأ مشابه در نمونه‌های گردوغبار هستند. ترکیبات PHE, FLU و ANT عمدتاً تولید شده از احتراق چوب هستند (Jenkins et al., 1996). این ترکیبات دارای وزن مولکولی پایین هستند (Duval and Friedlander,

وسایل نقلیه می‌باشد (Takada et al., 1991). همینطور ترکیبات DBA و BGP دارای منبع انتشار وسایل نقلیه دیزلی هستند (Maselet et al., 1986). با توجه به این تحلیل می‌توان نتیجه گرفت که PAHهای موجود در گرد و غبار شهرستان ماهشهر دارای منابع انتشاری مختلف مانند احتراق سوخت‌های فسیلی مانند زغال سنگ و زیست توده و همین‌طور عمدتاً انتشار از وسایل نقلیه دیزلی و بنزین سوز می‌باشند

مدرسه یافت شده‌اند و نشانگر منبع احتراق سوخت‌های فسیلی بوسیله وسایل نقلیه بدنبال حجم ترافیکی بالا در این مناطق است. خوشه ۲ شامل ترکیب CRY به تنهایی است که نشان‌دهنده منشأ متفاوت آن نسبت به دیگر ترکیبات PAH در منطقه است. بیشترین مقدار این ترکیب در منطقه مسکونی دیده شده است. خوشه ۳ شامل Bkf، DBA و BGP است. بیشترین مقدار این ترکیبات در نمونه منطقه ویژه اقتصادی مشاهده شد. ترکیب Bkf ناشی از احتراق سوخت فسیلی (Rogge et al., 1993) و همچنین ترکیبات Bkf و DBA منشأ گرفته از آگزوز



شکل ۵- تحلیل خوشه‌ای PAHهای موجود در نمونه‌های گرد و غبار خیابان شهرستان ماهشهر.

Fig. 5. Cluster analysis of PAHs in the dust street samples of Mahshahr city.

۵- نتیجه‌گیری

به طور خلاصه نتایج به دست آمده از این پژوهش را می‌توان به صورت زیر خلاصه کرد:

۱- بالاترین غلظت عناصر مس، منگنز، مولیبدن، وانادیم، آنتیموان و آهن مربوط به نمونه گرد و غبار خیابان منطقه ویژه اقتصادی است که دلیل آن وجود صنایع مختلف نفت، پتروشیمی و تجهیزات فولادی در این منطقه می‌باشد.

۲- بالاترین میانگین فاکتور غنی‌شدگی مربوط به سرب با مقدار ۳/۸۲ است که دارای غنی‌شدگی متوسط است. بعد از آن مس با غنی‌شدگی ۳/۴۵ قرار دارد. فلزات

کبالت، آنتیموان، کروم، منگنز، نیکل، مولیبدن و وانادیم دارای غنی‌شدگی کم هستند.

۳- نتایج حاصل از محاسبه شاخص زمین‌انباشت نشان داد که عناصر سرب، روی، مس و آهن در محدوده غیرآلوده تا متوسط آلوده و همچنین عناصر کبالت، آنتیموان، کروم، منگنز، نیکل، مولیبدن و وانادیم در محدوده غیر آلوده قرار می‌گیرند.

۴- تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA)، فلزات مورد مطالعه را به سه دسته تقسیم کرد، بر اساس این تحلیل فلزات V، Mn، Cr، Cu و Zn در یک گروه و عمدتاً دارای منشأ ترافیکی و صنعتی هستند. فلزات Co و Sb در گروه

۶- مجموع PAHهای سرطانزا در همه ایستگاهها بالاتر از مجموع PAHهای غیر سرطانزا است که یک خطر جدی در منطقه محسوب می‌شود.

۷- سرطان‌زایی ترکیبات PAH بر اساس غلظت معادل بنزو(a) پیرن (BaP eq) ارزیابی شد براین اساس سرطان‌زایی ترکیب (اسنفتیلین) Acy در نمونه‌های گرد و غبار خیابان از همه کمتر و سرطان‌زایی BaP از بقیه ترکیبات بیشتر بود.

تشکر و قدردانی

بدین‌وسیله از حمایت مالی معاونت پژوهشی و فناوری دانشگاه شهید چمران اهواز در قالب پژوهانه SCU.EG1401.582 تشکر و قدردانی می‌گردد:

دوم قرار دارند و دارای منشأ ترافیکی می‌باشند. البته آنتیموان می‌تواند دارای منشأ صنعتی نیز باشد. Pb و Ni نیز در گروه سوم قرار می‌گیرند و دارای منشأ ترافیکی هستند. وجود محل‌های توقف اتومبیل‌ها منبع انتشار فلز نیکل از موتور خودروها می‌باشد. منشا فلز سرب نیز استفاده از بنزین سرب‌دار توسط وسایل نقلیه درون شهری می‌باشد.

۵- سیزده نوع ترکیب PAH در نمونه‌های گرد و غبار خیابانی شهرستان ماهشهر شناسایی شد. احتراق سوخت‌های نفتی و احتراق زغال‌سنگ و زیست‌توده عامل اصلی ورود این ترکیبات در محیط است. در نتیجه منبع پیروژنیک را برای PAHهای این منطقه می‌توان تشخیص داد.

مراجع

- Addo, M.A., Darko, E.O., Gordon, C., Nyarko, B.J.B., Gbadago, J.K., 2012. Heavy metal concentrations in road deposited dust at Ketu-south district, Ghana. *International Journal of Science and Technology* 2(1), 28-39. <https://doi.org/10.12691/jepth-2-4-1>
- Al-Khashman, O.A., 2013. Assessment of heavy metals contamination in deposited street dusts in different urbanized areas in the city of Ma'an, Jordan. *Journal of Environmental Earth Science* 70, 2603-2612. <https://doi.org/10.1007/s12665-013-2310-6>
- Al-Khashman, O.A., Shawabkeh, R.A., 2006. Metals distribution in soils around the cement factory in southern Jordan. *Environmental Pollution* 140(3), 387-394. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2005.08.023>
- Alloway, B.J., 1990. Heavy metals in soils: Lead. Blackie and sonltd, Glassgow, London, 177-196.
- Ariza, J.G., Morales, E., Sanchez-Rodas, D., Giraldez, I., 2000. Stability of chemical species in environmental matrices. *TrAC Trends in Analytical Chemistry* 19(2), 200-209. [https://doi.org/10.1016/S0165-9936\(99\)00192-2](https://doi.org/10.1016/S0165-9936(99)00192-2)
- Bilos, C., Colombo, J.C., Skorupka, C.N., Presa, M.R., 2001. Sources, distribution and variability of airborne trace metals in La Plata City area, Argentina. *Environmental Pollution* 111(1), 149-158.
- Christensen, E.R., Bzdusek, P.A., 2005. PAHs in sediments of the Black River and the Ashtabula River, Ohio: source apportionment by factor analysis. *Water Research* 39(4), 511-524. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2004.11.016>
- Councill, T.B., Duckenfield, K.U., Landa, E.R., Callender, E., 2004. Tire-wear particles as a source of zinc to the environment. *Environmental Science & Technology* 38(15), 4206-4214. <https://doi.org/10.1021/es034631f>
- Duval, M.M., Friedlander, S.K., 1981. Source resolution of polycyclic aromatic hydrocarbons in the Los Angeles atmosphere application of a CMB with first-order decay. United States Environmental Protection Agency, Washington, DC.

- Ebadi, H., 2010. Investigation of the application WEB GIS in urban management (Case study: Mahshahr City). M.Sc Thesis, Shahid Chamran University of Ahvaz.
- Han, Y.M., Du, P.X., Cao, J.J., Posmentier, E.S., 2006. Multivariate analysis of heavy metal contamination in urban dusts of Xi'an, Central China. *Science of the Total Environment* 355, 176–18. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2005.02.026>
- Hassani Pak, A.A., 1998. Principal of geochemical exploration. 3rd Edition, Tehran University Publication, pp. 601.
- IARC, 2011. International Agency Research of Cancer, Agents Classified by the IARC Monographs, Volumes 1 102, 17 June 2011.
- Iwegbue, C.M.A., Ehigbor, M.J., Tesi, G.O., Eguavoen, O.I., Martincigh, B.S., 2022. Occurrence, Sources and Exposure Risk of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Street Dusts from the Nigerian Megacity, Lagos. *Polycyclic Aromatic Compounds* 42, 49-69. <https://doi.org/10.1080/10406638.2020.1716027>
- Jenkins, B.M., Jones, A.D., Turn, S.Q., Williams, R.B., 1996. Emission factors for polycyclic aromatic hydrocarbons from biomass burning. *Environmental Science & Technology* 30(8), 2462-2469. <https://doi.org/10.1021/es950699m>
- Khalili, N.R., Scheff, P.A., Holsen, T.M., 1995. PAH source fingerprints for coke ovens, diesel and gasoline engines, highway tunnels, and wood combustion emissions. *Atmospheric Environment* 29(4), 533-542. [https://doi.org/10.1016/1352-2310\(94\)00275-P](https://doi.org/10.1016/1352-2310(94)00275-P)
- Larsen, R.K., Baker, J.E., 2003. Source apportionment of polycyclic aromatic hydrocarbons in the urban atmosphere: a comparison of three methods. *Environmental Science & Technology* 37(9), 1873-1881. <https://doi.org/10.1021/es0206184>
- Li, X., Poon, C.S., Liu, P.S., 2001. Heavy metal contamination of urban soils and street dusts in Hong Kong. *Applied Geochemistry* 16(11), 1361-1368. <https://doi.org/10.1021/es0206184>
- Li, Z., Feng, X., Li, G., Bi, X., Zhu, J., Qin, H., Sun, G., 2013. Distributions, sources and pollution status of 17 trace metal/metalloids in the street dust of a heavily industrialized city of central China. *Environmental Pollution* 182, 408-416. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2013.07.041>
- Lu, X., Wang, L., Lei, K., Huang, J., Zhai, Y., 2009. Contamination assessment of copper, lead, zinc, manganese and nickel in street dust of Baoji, NW China. *Journal of Hazardous Materials* 161(2), 1058-1062. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.04.052>
- Manno, E., Varrica, D., Dongarra, G., 2006. Metal distribution in road dust samples collected in an urban area close to a petrochemical plant at Gela, Sicily. *Atmospheric Environment* 40(30), 5929-5941. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2006.05.020>
- Masclat, P., Mouvier, G., Nikolaou, K., 1986. Relative decay index and sources of polycyclic aromatic hydrocarbons. *Atmospheric Environment* 20(3), 439-446. [https://doi.org/10.1016/0004-6981\(86\)90083-1](https://doi.org/10.1016/0004-6981(86)90083-1)
- Mason, B., Moore, C.B., 1997. Principles of Geochemistry, University of California, 344 p.
- Merian, E., Anke, M., Ihnat, M., Stoepler, M., 2004. Elements and their compounds in the environment: occurrence, analysis and biological relevance (No. Ed. 2). Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA. <https://doi.org/10.1002/9783527619634>
- Moller, A., Müller, H.W., Abdullah, A., Abdelgawad, G., Utermann, J., 2005. Urban soil pollution in Damascus, Syria: concentrations and patterns of heavy metals in the soils of the Damascus Ghouta. *Geoderma* 124(1), 63-71. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2004.04.003>
- Muller, G., 1979. Schwermetalle in den sedimenten des Rheins Veränderungen seit 1971. *Umschau* 79(24), 778- 783.
- Nisbet, C., La Goy, P., 1992. Toxic equivalency factors (TEFs) for polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs). *Regulatory Toxicology and Pharmacology* 16, 290–300. [https://doi.org/10.1016/0273-2300\(92\)90009-X](https://doi.org/10.1016/0273-2300(92)90009-X)

- Rahman, M.S., Khan, M.D.H., Jolly, Y.N., Kabir, J., Akter, S., Salam, A., 2019. Assessing risk to human health for heavy metal contamination through street dust in the Southeast Asian Megacity: Dhaka, Bangladesh. *Science of The Total Environment* 660, 1610-1622. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.12.425>
- Ren, Y., Zhang, Q., Chen, J., 2006. Distribution and source of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) on dust collected in Shanghai, People's Republic of China. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology* 76(3), 442-9. <https://doi.org/10.1007/s00128-006-0941-y>
- Rogge, W.F., Hildemann, L.M., Mazurek, M.A., Cass, G.R., Simoneit, B.R., 1993. Sources of fine organic aerosol. 2. Noncatalyst and catalyst-equipped automobiles and heavy-duty diesel trucks. *Environmental Science & Technology* 27(4), 636-651. <https://doi.org/10.1021/es00041a007>
- Sadiktsis, I., Bergvall, C., Johansson, C., Westerholm, R., 2012. Automobile Tires: A Potential Source of Highly Carcinogenic Dibenzopyrenes to the Environment. *Environmental Science & Technology* 46(6), 3326-3334. <https://doi.org/10.1021/es204257d>
- Saeedi, M., Li, L.Y., Salmanzadeh, M., 2012. Heavy metals and polycyclic aromatic hydrocarbons: Pollution and ecological risk assessment in street dust of Tehran. *Journal of Hazardous Materials* 227, 9-17. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2012.04.047>
- Simcik, M.F., Eisenreich, S.J., Li, P.J., 1999. Source apportionment and source/sink relationships of PAHs in the coastal atmosphere of Chicago and Lake Michigan. *Atmospheric Environment* 33(30), 5071-5079. [https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(99\)00233-2](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(99)00233-2)
- Soclo, H.H., Garrigues, P.H., Ewald, M., 2000. Origin of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in coastal marine sediments: case studies in Cotonou (Benin) and Aquitaine (France) areas. *Marine Pollution Bulletin* 40(5), 387-396. [https://doi.org/10.1016/S0025-326X\(99\)00200-3](https://doi.org/10.1016/S0025-326X(99)00200-3)
- Takada, H., Onda, T., Harada, M., Ogura, N., 1991. Distribution and sources of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in street dust from the Tokyo Metropolitan area. *Science of the Total Environment* 107, 45-69. [https://doi.org/10.1016/0048-9697\(91\)90249-e](https://doi.org/10.1016/0048-9697(91)90249-e)
- Tanner, P.A., Ma, H.L., Yu, P.K., 2008. Fingerprinting metals in urban street dust of Beijing, Shanghai, and Hong Kong. *Environmental Science & Technology* 42(19), 7111-7117. <https://doi.org/10.1021/es8007613>
- Taylor, S.R., 1964. Abundance of chemical elements in the continental crust: a new table. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 28(8), 1273-1285. [https://doi.org/10.1016/0016-7037\(64\)90129-2](https://doi.org/10.1016/0016-7037(64)90129-2)
- Tokalioglu, S., Kartal, S., 2006. Multivariate analysis of the data and speciation of heavy metals in street dust samples from the Organized Industrial District in Kayseri (Turkey). *Atmospheric Environment* 40, 2797-2805. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2006.01.019>
- Vardes, J., Var Gas, G., Sifeddine, M., 2005. Distribution and enrichment evaluation of heavy metals in Mejillones Bay (23 AS), Northern Chile: geochemical and statistical approach. *Marine Pollution Bulletin* 50, 1558-1568. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2005.06.024>
- Vinnas, L., Franco, M.A., Soriano, J.A., González, J.J., Pon, J., Albaigés, J., 2010. Sources and distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in sediments from the Spanish northern continental shelf. Assessment of spatial and temporal trends. *Environmental Pollution* 158(5), 1551-1560. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2009.12.023>
- Wei, B., Yang, L., 2010. A review of heavy metal contaminations in urban soils, urban road dusts and agricultural soils from China. *Microchemical Journal* 94(2), 99-107. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2009.09.014>
- Yang, Z., Lu, W., Long, Y., Bao, X., Yang, Q., 2011. Assessment of heavy metals contamination in urban topsoil from Changchun City, China. *Journal of Geochemical Exploration* 108, 27-38. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2010.09.006>
- Yavar Ashayeri, N., Keshavarzi, B., 2019. Geochemical characteristics, partitioning, quantitative source apportionment, and ecological and health risk of heavy metals in sediments and water: A

- case study in Shadegan Wetland, Iran. *Marine Pollution Bulletin* 149, 110495. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2009.12.023>
- Yongming, H., Peixuan, D., Junji, C., Posmentier, E.S., 2006. Multivariate analysis of heavy metal contamination in urban dusts of Xi'an, Central China. *Science of the Total Environment* 355(1), 176-186. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2005.02.026>
- Yongzhen, L., Tagen, D., Qianhong, W., 2013. Sources and distribution of polycyclic aromatic hydrocarbons in street dust from the Chang-Zhu-Tan Region, Hunan, China. *Environmental Monitoring Assessment* 185, 1377-1390. <https://doi.org/10.1007/s10661-012-2639-4>
- Yunker, M.B., Macdonald, R.W., Vingarzan, R., Mitchell, R.H., Goyette, D., Sylvestre, S., 2002. PAHs in the Fraser River basin: a critical appraisal of PAH ratios as indicators of PAH source and composition. *Organic Geochemistry* 33(4), 489-51. [https://doi.org/10.1016/S0146-6380\(02\)00002-5](https://doi.org/10.1016/S0146-6380(02)00002-5)
- Zarasvandi, A., Banitamim, F., Mokhtatri, B., Rastmanesh, F., 2014. Investigation of type and concentration of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in street dust, Ahvaz City. 7th National Conference and Specialized Exhibition of Environmental Engineering, Tehran.
- Zarasvandi, A., More, F., Nazarpour, A., 2011. Mineralogical composition and morphology of particles forming the dust phenomenon in Khouzestan Province based on XRD and SEM analyzes. *Iranian Journal of Crystallography and Mineralogy* 19(3), 511-518.
- Zarasvandi, A., Rastmanesh, F., Moradpour R., 2014. Investigation of heavy metal concentration and their pollution level in street dust, Ahvaz city. 7th National Conference and Specialized Exhibition of Environmental Engineering, Tehran.
- Zheng, N., Hou, S., Wang, S., Sun, S., An, Q., Li, P., Li, X., 2020. Health risk assessment of heavy metals in street dust around a zinc smelting plant in China based on bioavailability and bioaccessibility. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 197, 110617. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.11061>