

ORIGINAL RESEARCH PAPER

Investigation of Geological and Environmental Factors of Airborne Suspended Particles from Sand and Gravel Quarries in The West of Tehran, Iran

R. Menhaje-Bena¹, MK. Koohi^{2,*}, S. Modabberi³, M. Ghazi Khansari⁴, S. Bakand⁵

¹ Department of Comparative Biosciences, Faculty of Veterinary Medicine, University of Tehran, Tehran, Iran

² School of Geology, College of Science, University of Tehran, Tehran, Iran

³ School of Geology, College of Science, University of Tehran, Tehran, Iran

⁴ Department of Pharmacology, School of Medicine, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

⁵ School of Health and Society, University of Wollongong, NSW 2522, Australia

Received: 2020-04-03

Accepted: 2020-10-28

ABSTRACT

Introduction: Particulate matter (PM) is known as the most common cause of air pollution in the world. Activities of sand quarries are known as one of the emission sources in Tehran. This study aimed at investigating the geological and environmental factors of airborne particles in an active quarry in the west of Tehran.

Material and Methods: Three methods of dust sampling were used. totally, 32 samples were analyzed by Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-ray (SEM-EDX). The data were analyzed through Principal Component Analysis (PCA), Enrichment Factor (EF) and Geo-accumulation Index (Igeo).

Results: The results showed the presence of Si, Ca, Al, Na, Fe, K, Zn, Pb, P, S, Mg, Cu, Ti, Mn, Cl and V in dust of the quarry. Also, the elements of Mn, V, Zn, Cu and Pb were shown to have moderate to extremely enrichment and contamination from anthropogenic origin. The silicon and potassium were found to have a natural source originated from igneous and alluvial rocks.

Conclusion: In this study, it was shown that fugitive dust generated from sand quarries and related activities have higher concentration of elements than those in the Earth crust due to anthropogenic activities. Further studies on transfer of fugitive dust from sand and gravel quarries to Tehran and assessment of its health impact are suggested.

Keywords: Airborne suspended particles, Sand and gravel quarries, Geo-accumulation Index, Enrichment Factor, Principal Component Analysis

1. INTRODUCTION

Today, particulate matter is considered as the most important cause of air pollution in Tehran with a population of more than 12 million people. Anthropogenic sources such as vehicles, some industries and activities of sand and gravel quarries have been introduced as the most important sources of particulate matter in Tehran atmosphere. Mining, especially on the surface, leads to the release of particles extracted from rocks and minerals, as well as other pollutants from the operation, transportation and extraction. The effects of mining operations seem to be local, but various studies have shown that fine and very fine

particles from various mining processes can move over long distances in the air and act as adsorption cores for other aerosols. Accordingly, they will affect not only the workers in the mines, but also the surrounding residents and even kilometers away. Crystalline silica is an abundant compound on Earth crust, known as the main pollution of sand and gravel quarries with the capability of causing silicosis and lung cancer upon inhaling large and chronic doses in course of occupational exposure. There isn't enough research on other pollutants with health risk potential in these quarries. This study, therefore, aimed at evaluating the airborne suspended particles in an active

* Corresponding Author Email: mkkoohi@ut.ac.ir



quarry in the west of Tehran.

2. MATERIAL AND METHODS

This study was conducted in one of the active sand and gravel quarries in the west of Tehran Greater City for one week in November (in rainless conditions). In this study, three methods were used for collecting airborne particulate matter including two passive methods (DF and SPHS) and one active method of sampling (APS-MN). The dust fall (DF) sampling was made based on the ASTM D1739. Two new devices (SPHS and APS-MN) have been designed and manufactured. SPHS was used for sampling from 6 different elevations (from 6m to 21m); APS-MN was used for size selective sampling of airborne particles (from micro to nano) with a flow rate of 8.5 L/m. Thirty-two dust samples were analyzed using Scanning Electron Microscope-Energy Dispersive X-ray. The results were assessed using Enrichment Factor (EF), Principal Component Analysis (PCA) and Geo-accumulation Index (I_{geo}). In this study, aluminum was selected as the reference element and the average concentration of elements in the upper Earth crust was used as required criteria for comparison.

3. RESULTS AND DISCUSSION

The statistical analysis of the results showed that the collected dust consisted of silicon, calcium,

aluminum, iron, sodium, potassium, zinc, lead, phosphorus, sulfur, magnesium, copper, titanium, chlorine and vanadium. Classifications of elements based on two indicators (Geo- accumulation Index and Enrichment Factor) are shown in Tables 1 and 2.

Concentration of Mn, V, Zn, Cu, and Pb indicates both moderate to extremely enrichment and contamination classes. Variance of data obtained by PCA analysis can be explained using four factors. First, variances in aluminum, copper, zinc, and titanium are related with the correlation of terrestrial aluminium elements in aluminosilicate minerals enabled to carry anthropogenic elements of zinc and copper with high enrichment due to their airborne innate. Second, silicon and potassium are linked to albite as a predominant mineral in fugitive dust of sand as well as in the soil. In fact, Si and K are originated from the alluvial deposits from igneous rocks sited in the quarries of the west of Tehran. Third, they are related to vanadium and manganese and the fourth to lead which is assumed to be a single component with a separate source. Vanadium and manganese are attributed to the type of consumed fuel and heavy truck activities. Some studies have suggested lead and zinc sources from the residual of previous mining activities accumulated throughout the years. In addition, lead and zinc induced contamination can be also emitted through other sources i.e., engine,

Table 1. Geo- accumulation Index Classification for the most important identified elements in dust sample from a sand mine in west of Tehran.

Class	Parameters	The value of each class
Uncontamination	Na, AL, Mg, Si, K, Ti, Cl, S, Fe, P	$I_{geo} \leq 0$
Uncontaminated to moderately contamination	-	$0 < I_{geo} < 1$
Moderate contamination	Ca, Mn	$1 < I_{geo} < 2$
Moderate to heavy contamination	V	$2 < I_{geo} < 3$
Heavy contamination	Zn	$3 < I_{geo} < 4$
Heavy to extremely contamination	-	$4 < I_{geo} < 5$
Extremely contaminated	Pb, Cu	$I_{geo} > 5$

Table 2. Enrichment Factor classification for the most important identified elements in dust samples from a sand mine in west of Tehran.

Class	Elements	The value of each class
Minimal enrichment	Na, P, Cl, Mg, Si, K, S, Ti	$EF < 2$
Moderate enrichment	Fe	$2 < EF < 5$
Significant enrichment	Ca, Mn, V	$5 < EF < 20$
Very high enrichment	Pb, Zn	$20 < EF < 40$
Extremely high enrichment	Cu	$EF > 40$

brake, and tire wear as well as fuel additives, and car engine oil. Moreover, the sources of copper emissions in urban air could include car brake pads, tire wear, fuel additives and car oil, from which copper nanoparticles are sometimes used. In some studies, manganese originated from tire wear and brake pads has been estimated. In a study, the elements lead, zinc, arsenic and aluminum were shown to be in the dust around porcelain, sand and gravel queries and non-metallic industries. The study of Tehran street dust is in good agreement with the results of this study regarding the presence of lead, zinc and copper elements. Researchers have evaluated these elements from resources such as fossil fuel combustion, transportation systems, and some industrial activities.

Because of the geographic location of Tehran and the direction of the dominant winds (west to east), there is high possibility of transferring fugitive dust from sand and gravel quarries to the neighboring area of Tehran.

The amount of transferring dust is expected to be high as there are about 60 mines and quarries in the

west of Tehran.

Several worldwide epidemiological studies suggested an association between respiratory impairment and occupational exposures to mine-originated dust. A high prevalence of silicosis, asthma, and adverse respiratory symptoms like cough, chest pain, and dyspnea has been reported among workers working in related quarrying. Specific adverse health effects (or health issues), also, have been reported by residents of nearby quarry sites include nasal infection, cough, and asthma.

4. CONCLUSIONS

In this study, it was shown that fugitive dust generated from sand and gravel quarries activities has higher concentration of elements than those in the Earth crust. It is concluded the differences found in the mineral concentrations are due to anthropogenic activities in sand and gravel mines. Further studies on the transferring process of fugitive dust from sand and gravel quarries dust to Tehran are recommended with an emphasis on health risk assessment.

تعیین شاخص‌های زمین‌شناختی و زیست‌محیطی ذرات معلق هوا بر د ناشی از معادن شن و ماسه غرب تهران

رابعه منهاج بناء^۱، محمد کاظم کوهی^{۱*}، سروش مدبری^۲، محمود قاضی خوانساری^۳، شهناز باکند^۴

^۱ گروه علوم زیستی مقایسه‌ای، دانشکده دامپزشکی، دانشگاه تهران، تهران، ایران

^۲ دانشکده زمین‌شناسی، پردیس علوم، دانشگاه تهران، تهران، ایران

^۳ گروه فارماکولوژی، دانشکده پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران

^۴ گروه سلامت و ایمنی شغلی، دانشکده سلامت و جامعه، دانشگاه ولونگونگ، استرالیا

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۱/۰۵، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۰۸/۰۷

چکیده

مقدمه: در حال حاضر، ذرات معلق هوا بر د مهم‌ترین شاخص آلودگی هوا در کلان‌شهر تهران و سایر شهرهای کشور است. بر اساس گزارشات شرکت کنترل کیفیت هوا تهران، یکی از منابع این شاخص در شهر تهران معادن شن و ماسه است. لذا ضرورت دارد تا پتانسیل مخاطرات غبار حاصل از فعالیت این معادن و احتمال انتقال آن مورد ارزیابی‌های دقیق‌تر علمی محققان قرار گیرد.

روش کار: این مطالعه در یکی از معادن فعال در غرب استان تهران به مدت یک هفته در آبان‌ماه (در شرایط بدون بارش) انجام شد. نمونه‌برداری‌ها با استفاده از سه وسیله نمونه‌برداری، به صورت فعال و غیرفعال، در ارتفاعات مختلف انجام شده است. در مجموع ۳۲ نمونه ذرات معلق هوا بر د از داخل معدن جمع‌آوری شد که پس از آماده‌سازی نمونه‌ها با استفاده از میکروسکوپ الکترونی مجهز به طیف سنجی پراش انرژی پرتوایکس (SEM-EDX)، مورد بررسی و آنالیز کلی قرار گرفت و نتایج آن تحلیل گردید.

یافته‌ها: توصیف آماری نتایج نشان می‌دهد که محتوی شیمیایی غبار این معدن، به ترتیب درصد وزنی شامل: سیلیسیم، کلسیم، آلومینیم، آهن، سدیم، پتاسیم، روی، سرب، فسفر، گوگرد، منیزیم، مس، تیتانیم، کلر، واندیم بوده که می‌بایست مخاطرات سلامتی آنها مورد توجه قرار گیرد. تحلیل شاخص‌های ضریب غنی‌شدگی (EF) و شاخص زمین‌انباشت (Igeo) و نیز تحلیل مولفه‌های اصلی (PCA) نشان داد که عناصر مس، روی، سرب، منگنز، واندیم دارای غنی‌شدگی و آلودگی بالا با منشاء انسان‌زاد در این معدن می‌باشند. مقدار بالای عناصر سیلیسیم و پتاسیم در غبار این معدن منشا طبیعی داشته و ناشی از فعالیت معدن‌کاری بر روی سنگ‌های آذرین و آبرفتی بستر آن است.

نتیجه‌گیری: غبار حاصل از فعالیت معادن شن و ماسه به سبب ماهیت عنصری و کانیایی دارای پتانسیل ایجاد مخاطرات سلامتی است که منشاء بسیاری از آنها منابع انسان‌زاد ارزیابی شده است. پیشنهاد می‌گردد از آنجا که عمده معادن فعال تهران در منطقه غرب و در کریدور باد اصلی شهر قرار دارند، ریسک‌های سلامتی مرتبط با غبار این معادن بطور جامع ارزیابی و نحوه فعالیت و روش‌های کنترل مهندسی آلاینده‌های آنها مورد بازبینی قرار گیرد.

کلمات کلیدی: ذرات معلق هوا بر د، معدن شن و ماسه، شاخص زمین‌انباشت، ضریب غنی‌شدگی، تحلیل مولفه‌های اصلی

مقدمه

منابع مختلفی برای ذرات معلق هوابرد در اتمسفر شهری وجود دارد که می‌توان آنها را به دو بخش طبیعی و انسان‌زاد (ناشی از فعالیت‌های معدن‌کاری، ساخت‌وساز، کشاورزی، خودرو و سایل حمل‌ونقل، نیروگاه‌ها و ...) تفکیک کرد (۱،۲). بر اساس شواهد و گزارش‌های ارائه شده توسط شرکت کنترل کیفیت هوای شهرداری تهران، ذرات $PM_{2.5}$ مهمترین شاخص آلاینده‌گی هوای این کلانشهر با جمعیتی افزون بر ۱۲ میلیون نفر می‌باشد. وسایل نقلیه متحرک، فعالیت معدن‌شن‌وماسه و برخی صنایع به عنوان مهمترین منابع ذرات معلق تهران معرفی شده است (۳،۴).

معدن‌کاری به ویژه در سطح، منجر به انتشار ذرات استخراج شده از سنگ‌ها و مواد معدنی در حال حفاری و فراوری و همچنین سایر آلاینده‌های ناشی از فعالیت ماشین‌های حمل و استخراج به اتمسفر پیرامونی می‌شود (شکل ۱) (۵،۶). به نظر می‌رسد اثرات عملیات استخراج معدن، محلی باشد، اما مطالعات مختلف نشان داده است که ذرات ریز و بسیار ریز حاصل از فرایندهای مختلف معدن‌کاری می‌توانند تا فواصل زیادی در هوا جابه‌جا شده و به عنوان هسته‌های جذب برای آئروسول‌ها و انتقال آنها عمل کنند و در صورت زیاد بودن سهم آنها، نه تنها کارگران فعال در معدن، بلکه ساکنان اطراف و حتی کیلومترها دورتر را تحت تاثیر قرار دهند (۷-۹).

برپایه نتایج مرکز آمار کشور در خصوص معدن در حال بهره‌برداری در ایران، معدن‌شن‌وماسه ۲۴ درصد از

حدود ۵۰۰۰ معدن فعال کشور را به خود اختصاص داده اند (۱۲) و همین آمار ضرورت ارزیابی ریسک‌های زیست محیطی و بهداشتی این معادن را به وضوح در کشور نشان می‌دهد.

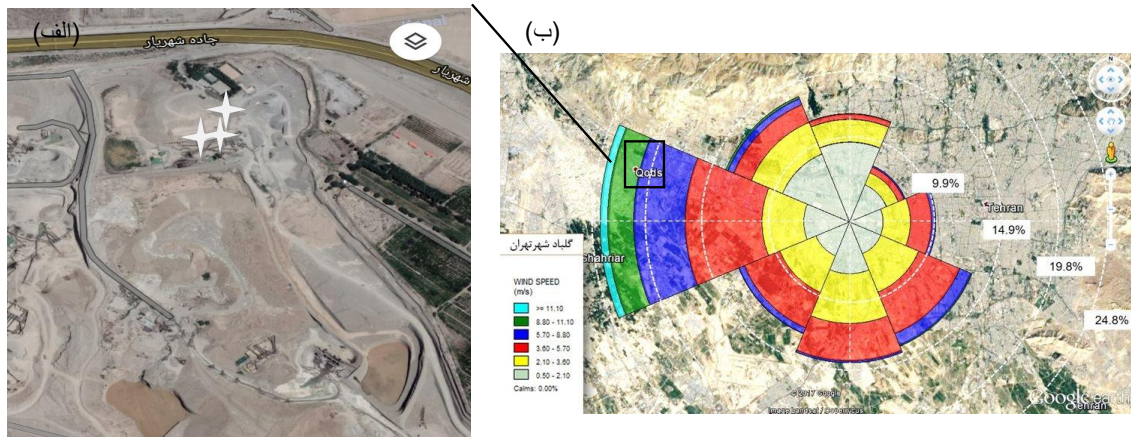
بیشتر معادن شن‌وماسه تهران در غرب و جنوب غربی و در اطراف شهرهای قدس، اسلامشهر، شهریار و ملارد واقع شده‌اند و حدود ۲۵۰۰ کارگر در این معادن در حال کار هستند. معدن‌شن‌وماسه تهران نقش مهمی در بخش ساخت و ساز استان تهران دارند که در ساخت و ساز جاده‌ای (برای مخلوط کردن با آسفالت)، پر کردن، و مصالح ساختمانی مانند بتن، بلوک، آجر و لوله استفاده می‌شود (۱۳).

مهمترین آلاینده‌های شاخص در گرد و غبار معدن‌شن‌وماسه «سیلیس بلورین» است. بر اساس گزارش آژانس بین‌المللی تحقیقات سرطان (IARC) این ترکیب در گروه سرطان‌زاهای درجه ۱ انسانی طبقه‌بندی شده و استنشاق طولانی مدت آن می‌تواند سبب سیلیکوزیس و فیبروزیس گردد (۱۴،۱۵). این درحالیست که حضور دیگر کانی‌ها و عناصر دارای مخاطرات سلامتی نیز در این معدن دارای اهمیت بوده و در برخی از مطالعات نشان داده شده است. فلزات سنگین و عناصر توکسیک موجود در گرد و غبار تاثیر مستقیمی بر روی سلامت انسان داشته و می‌تواند سبب ایجاد بیماری‌هایی از جمله بیماری‌های قلبی عروقی، دیابت، التهاب ریه، سرطان پوست اختلالات پوستی، سرطان خون و غیره نماید (۱۶).

در مطالعه مروری کلانتری و همکاران (۱۳۹۷) با



شکل ۱. تولید گردوغبار در معدن‌شن و ماسه در هنگام فرایندهای مختلف. الف) تولید غبار در اثر تردد کامیونها در جاده‌های خاکی داخل معدن و نیز ناشی از سایش قطعات و سوخت آنها. ب و ج) تولید غبار هنگام الک کردن و خردایش در معدن‌شن و ماسه (۱۱، ۱۰).



شکل ۲. موقعیت معدن منتخب در استان تهران. تصویر گوگل از معدن شن و ماسه انتخاب شده (تصویر الف). سایت‌های نمونه‌برداری با علامت مشخص شده است. گلباد تهران با استفاده از داده‌های ایستگاه مهرآباد از ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۲ میلادی (۲۶) (با کسب اجازه از مولف، تصویر ب).

صنایع کاشی و سرامیک، شیشه، خاک چینی و شن و ماسه واقع در بخش شمال غربی شهرستان اردکان یزد نشان داده است که بر اساس شاخص آلودگی منفرد عناصر سرب، روی و آرسنیک در کلاس آلودگی شدید و بر اساس شاخص منفرد، ضریب آلودگی دو عنصر روی و آلومینیم در کلاس بسیار بالا آلودگی قرار گرفتند و در بین عناصر مورد بررسی، فلز روی به عنوان فلز بحرانی معرفی شده است (۲۲).

از آنجاکه بر اساس مطالعات چشمی و همکاران (۱۳۹۷)، در زمان تشکیل آبرفت تهران شرایط زمین شناسی یکسانی بر منطقه و حاکم بوده است لذا می‌توان نتایج شاخص‌های زمین‌شناسی مطالعه شده در یک معدن این منطقه را با احتمال مناسبی به سایر معادن شن و ماسه غرب و جنوب غرب تهران تعمیم داد (۲۳) و همچنین بر اساس داده‌های ۱۲ آماری بلند مدت از سازمان هواشناسی ایران، بیشترین باد در شهر تهران، از غرب تهران به سمت مرکز شهر می‌وزد (۲۴، ۲۵)، که حدود ۲۲ درصد از کل بادهای شهر تهران را شامل می‌شود. این جهت بیشترین مقدار بادهای با سرعت‌های بالاتر از ۱۰ متر بر ثانیه را نیز دارا می‌باشد بیشترین باد در این جهت در بازه ۳/۶ تا ۸/۸ متر بر ثانیه (ناحیه قرمز و آبی) (شکل ۲ ب) است (۲۶). اگر آستانه فرسایش بادی و بادرویی در خاک‌های ماسه

عنوان «وضعیت مطالعات مرتبط با مواجهه شغلی با گرد و غبار در ایران طی ۱۴ سال گذشته» نشان داده شده است که میزان مواجهه با انواع گرد و غبار به ویژه سیلیس در اکثر صنایع کشور بالاتر از حد مجاز است و با توجه به حضور صنایع مولد گردوغبار بزرگ و کوچک در ایران و طیف وسیع افراد درگیر، تعداد مطالعات صورت گرفته در خصوص مواجهه با گردوغبار در معادن بسیار اندک است. همچنین نتایج این مطالعه نشان داده است که از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۴ فقط پارامتر سیلیس کریستالی و کوارتز قابل استنشاق در معادن شن و ماسه اندازه‌گیری شده است و در مورد پارامترهای گردوغبار کلی و گرد و غبار قابل استنشاق و غیر قابل استنشاق مطالعه‌ای انجام نشده است (۱۷).

در مطالعات مواجهه کارگران ماسه شویی با آئروسول سیلیس کریستالی، آذری و همکاران در شرق تهران (۱۸) و محمدی و همکاران (۱۹) نشان دادند که مواجهه این کارگران بالاتر از حد استانداردهای شغلی ایران (۲۰) و سازمان متخصصین دولتی بهداشت حرفه‌ای آمریکا (ACGIH) (۲۱) است و ضرورت دارد تا بر ریسک سلامتی ناشی از این فعالیت نظارت جدی اعمال شود. مطالعه شجاعی و همکاران (۱۳۹۷) در غبار فرونشسته در سطح زمین به مدت سه ماه در اطراف

ای حدود ۶ متر برثانیه در نظر گرفته شود، حدود ۳۷٪ بادهای منطقه قدرت بادروبی بالایی دارند.

در مجموع با توجه به تعداد بالا و موقعیت جغرافیایی معادن شن‌وماسه غرب تهران نسبت به شهر، کریدور اصلی باد شهر تهران (غرب به شرق)، پتانسیل بالای تولید ذرات معلق هوابرد در معادن شن‌وماسه (در اثر فرایندهای استخراج، شکستن سنگ، تردد ماشین آلات سنگین و انباشت‌های روباز)، برخی مطالعات انجام شده در مناطق مسکونی مجاور این معادن مانند شهر قدس (۲۷)، گزارش‌های شهرداری تهران و نیز عدم کفایت مطالعات پیشین در خصوص ماهیت غبار تولیدی این معادن، ضروری به نظر می‌رسد تا با بررسی‌های دقیق‌تر، ماهیت مخاطرات احتمالی سلامتی این معادن و نحوه کنترل آنها مورد ارزیابی قرار گیرد. هدف از این مطالعه تعیین شاخص‌های زمین‌انباشت، ضریب غنی‌شدگی و تجزیه مولفه‌های اصلی ذرات معلق هوابرد در یکی از معادن شن‌وماسه در ناحیه غرب تهران است تا زمینه مناسبی را برای مطالعات آتی در کنترل غبار این نوع از معادن در مجاورت مناطق مسکونی را فراهم آورد.

روش کار

منطقه مورد مطالعه: با توجه به یکسانی ساختار زمین‌شناسی بخش‌های غربی تهران، یکی از معادن نزدیک به شهر تهران، واقع در شهر قدس (۳۵°۴۱'N و ۵۱°۵۰'۸"E) به عنوان نمونه‌ای از معادن شن‌وماسه غرب تهران انتخاب و نمونه‌برداری‌ها و ارزیابی شاخص‌ها بر روی نمونه‌های گردوغبار آن انجام شد (شکل ۲).

این معدن به صورت روباز در عمق ۲۰ متر استخراج می‌شود. دستگاه سنگ‌شکن این معدن در عمق ۱۰ متری نسبت به سطح جاده قرار دارد و از اسپری آب برای فرونشاندن گرد و غبار استفاده می‌شود. میزان تقریبی تولید روزانه این معدن، ۸۰۰ تن شن‌وماسه طبیعی و ۵۰۰ تن ماسه شکسته است. روزانه به طور متوسط ۱۵۰ تردد برای کامیون‌های شش تنی ثبت شده است. این کامیونها، شن‌وماسه خام را به کارخانه منتقل می‌نمایند. در مرحله

اول، پس از غربال اولیه، دانه‌های درشت و ذرات ریز خاک از هم جدا می‌شود. ذرات درشت به سنگ‌شکن و سانتریفیوژ منتقل شده تا شکسته و تبدیل به شن‌وماسه شود. سپس محصول توسط نوار نقاله به محل انباشت منتقل می‌گردد. از بیل مکانیکی برای استخراج شن‌وماسه و نیز انبارکردن و جابه‌جایی خاک معدن و محصولات استفاده می‌شود. نمونه‌برداری‌ها با استفاده از روش‌های مختلف در بازه هفته دوم آبان‌ماه انجام شد.

محل‌های نمونه‌برداری: مشاهدات میدانی نشان می‌دهد که منابع اصلی تولید گرد و غبار، حرکت ماشین آلات سنگین در جاده‌های خاکی داخل مهند (در این معدن به طول تقریبی ۱/۵ کیلومتر)، محل سنگ شکن، محل بارگیری، محل تخلیه و محل انبار روباز محصولات است. محل قرارگیری نمونه بردارها در محل کارخانه معدن به شرح زیر است:

- نمونه‌بردار نشست ذرات (DF) در فاصله ۱۰ متری و در ارتفاع ۳ متری از دستگاه سنگ شکن
- برج نمونه‌بردار ۲۱ متری (روش SPHS) در فاصله ۳ متری از دستگاه سنگ‌شکن
- دستگاه نمونه‌بردار با قابلیت تفکیک ذرات بر اساس اندازه (APS-MN) در فاصله ۱۰ متری و در ارتفاع ۳ متری از دستگاه سنگ شکن

روش‌های نمونه برداری

نمونه برداری از ذرات گرد و غبار اتمسفری این معدن با دو روش نمونه‌برداری غیرفعال و فعال انجام شد. نمونه‌برداری غیرفعال با دو روش انجام شد: نمونه‌برداری از ذرات نشست‌یافته بر اثر گرانش بر اساس استاندارد ASTM D1۷۳۹ (روش DF) و نمونه‌برداری از ذرات نشست‌یافته در ارتفاعات مختلف (۲۱-۶ متری) (روش SPHS). این نمونه‌بردار برای نمونه‌گیری و مطالعه ذرات قابل نشست در ارتفاعات مختلف طراحی شده است. ساختار دستگاه متشکل از یک برج مرتفع به ارتفاع ۲۱ متر بوده که در آن ظروف نمونه‌برداری در فواصل ۳ متری از هم در ارتفاع نصب و مانند مطالعه گرگور و همکاران

جدول ۱. استاندارد درجه آلودگی توسط شاخص زمین انباشت

کلاس	مقدار	کیفیت گرد و غبار خاک
۰	$I_{geo} < 0$	غیر آلوده
۱	$0 < I_{geo} < 1$	غیر آلوده تا آلوده متوسط
۲	$1 < I_{geo} < 2$	به طور متوسط آلوده
۳	$2 < I_{geo} < 3$	به طور متوسط آلوده تا بسیار آلوده
۴	$3 < I_{geo} < 4$	بسیار آلوده
۵	$4 < I_{geo} < 5$	بسیار آلوده تا به شدت آلوده
۶	$I_{geo} \geq 5$	به شدت آلوده

غلظت عناصر در پوسته نیز به همین نسبت تبدیل و محاسبات انجام شده است.

شاخص‌های مورد مطالعه

در مطالعات زیست‌محیطی برای ارزیابی و شناخت منشاء و شدت آلودگی عناصر در خاک و گردوغبار از شاخص‌های محاسباتی مانند شاخص زمین‌انباشت و ضریب غنی‌شدگی و تحلیل عاملی استفاده می‌شود که نحوه محاسبه و ارزیابی این فاکتورها در زیر به صورت خلاصه آمده است:

الف) شاخص زمین‌انباشت^۱ (I_{geo})

این شاخص به منظور تعیین درجه آلودگی عناصر (۲۹،۳۰) و بر اساس رابطه زیر تعیین می‌شود:

$$I_{geo} = \log_r [C_n / 1.5 B_n] \quad (1)$$

C_n غلظت اندازه‌گیری شده و B_n غلظت اندازه‌گیری شده در نمونه مرجع است. استاندارد درجه آلودگی توسط شاخص زمین‌انباشت در جدول ۱ نشان داده شده است.

ب) ضریب غنی‌شدگی^۲ (EF)

ضریب غنی‌شدگی یک عنصر با استفاده از فرمول زیر محاسبه می‌گردد.

$$EF = (C_x/R)_{Sample} / (C_x/R)_{Reference} \quad (2)$$

C_x غلظت عنصر مورد نظر و R غلظت عنصر مرجع است. $Sample$ غلظت عنصر در نمونه گردوغبار مورد بررسی و $Reference$ غلظت عنصر مرجع در خاک غیر

مجهز به یک صفحه می‌باشد تا مانع از ادامه انتقال ذرات در جریان شوند و میزان نمونه بیشتری جمع‌آوری گردد (۲۸). ضمن آنکه سطح چسبنده (۱ سانتی متر مربع) قرارگرفته در گوشه بالای صفحه نیز قابلیت جمع‌آوری نمونه‌های در حال حمل در جریان هوای معادن را در ارتفاعات مختلف دارد. نمونه‌برداری فعال با دستگاه APS-MN در دبی ۸/۵ لیتر در دقیقه در میانگین فشار محیطی ۰/۸ و دمای ۱۹ درجه سانتیگراد انجام گردید. در این دستگاه کلیه ذرات بر اساس اندازه از هم تفکیک و نشست می‌یابند لذا با برداشت نمونه از تمام بخش‌های این دستگاه تلاش شده است تا محتوی شیمیایی ذرات در ابعاد ریز و بسیار ریز (که تعداد بالا ولی جرم پایین‌تری بخصوص در ابعاد نانومتری دارند) تاثیر همسانی در ارزیابی‌های انجام شده در این مطالعه داشته باشند. آنالیز نمونه‌ها با توجه به مقادیر پایین جرمی نمونه‌ها غبار در این نوع از مطالعات با استفاده از طیف سنجی پراش انرژی پرتوایکس (EDX) و به صورت نیمه کمی انجام گردیده است. نمونه‌های باید بر روی نگهدارنده پخش شده و کاملاً خشک باشند. به دلیل عدم بارندگی در زمان نمونه‌برداری در این مطالعه هیچ فرایندی برای خشک کردن این نمونه‌ها انجام نشده است. در مجموع ۳۲ نمونه غبار از سه روش (DF، SPSH و APS-MN) به ترتیب به تعداد ۴، ۱۲ و ۱۶ (میزان برابر از دو روش نمونه‌برداری فعال و غیر فعال) نمونه برای آنالیز آماده و ارسال شد. نتایج آنالیز EDX کلی برحسب درصد وزنی می‌باشد. برای محاسبه شاخص‌های ضریب غنی‌شدگی و شاخص زمین‌انباشت

جدول ۲. طبقه‌بندی ضریب غنی‌شدگی

مقدار	کیفیت گرد و غبار خاک
$EF < 2$	غنی‌شدگی حداقل
$2 < EF < 5$	غنی‌شدگی متوسط
$5 < EF < 20$	غنی‌شدگی قابل توجه
$20 < EF < 40$	غنی‌شدگی بسیار زیاد
$EF > 40$	غنی‌شدگی فوق العاده بالا

۲- شاخص زمین‌انباشت (*Igeo*) غبار معدن

این شاخص برای میانگین داده‌های هر عنصر در ۳۲ نمونه ذرات معلق جمع‌آوری شده محاسبه گردید. نتایج به دست آمده و توصیف آماری آن در جدول ۴ آمده است. از شاخص زمین‌انباشت محاسبه شده برای هر عنصر و کلاس‌بندی شاخص‌ها چنین می‌توان نتیجه‌گیری کرد که بیشترین مقدار شاخص در خصوص عناصر سرب و مس رخ داده و ذرات معلق جمع‌آوری شده با عناصر سرب و مس به شدت آلوده می‌باشند. احتمال آلودگی از منشاء انسان‌زاد به ترتیب برای عناصر Ca, Mn, V, Zn, Pb از بقیه عناصر بالاتر است. احتمال آلودگی انسان‌زاد برای عناصر $Cu, Mg, Al, K, Na, Fe, Cl, S, Si, P$ پایین بوده و عمدتاً منشاء طبیعی و زمین‌شناختی باید برای آنها در نظر گرفته شود.

۳- ضریب غنی‌شدگی (*EF*)

در این مطالعه نسبت میانگین عناصر نمونه به آلومینیم به نسبت عنصری عناصر منتخب در پوسته زمین به آلومینیم انجام شده است. آمار توصیفی ضریب غنی‌شدگی جهت میانگین داده‌ها نشان می‌دهد که عناصر $Mg, Si, Na, Cl, Ti, K, P, S$ دارای غنی‌شدگی حداقلی بوده اما به ترتیب عناصر $Fe < Ca, Mn, V < Pb, Zn < Cu$ در ذرات غبار این معدن بیشترین غنی‌شدگی را در شرایط کاری و طبیعی نشان می‌دهد (جدول ۵).

۴- تحلیل مؤلفه‌های اصلی (*PCA*)

به طور کلی این تست شاخصی برای مقایسه ضرایب

آلوده و یا پوسته زمین است. ضریب غنی‌شدگی دارای پنج طبقه آلودگی (۳۱) طبق جدول ۲ است

در این مطالعه از میانگین پوسته بالایی زمین در محاسبه شاخص زمین‌انباشت و در محاسبه ضرایب غنی‌شدگی به عنوان نمونه زمینه استفاده شد تا امکان مقایسه شاخص‌های محاسبه شده در گرد و غبار از منشاءهای مختلف نیز فراهم شود (۳۲).

نکته مهم آن است که عنصر مرجع اغلب یک عنصر زمین‌زاد^۲ که منشاء کاملاً زمین‌شناختی داشته باشد و هیچ منبع انسان‌زادی در محیط غلظت طبیعی آن را تغیر ندهد مانند آهن، آلومینیم، تیتانیم، منگنز و اسکاندیم است. در این مطالعه عنصر آلومینیم به عنوان عنصر مرجع انتخاب شده است (۳۳-۳۵).

ج) آزمون تحلیل مؤلفه‌های اصلی (*PCA*)^۴ ذرات معلق

در تعیین مؤلفه‌های آلودگی در این مطالعه از روش تحلیل مؤلفه‌های اصلی (*PCA*)، ضریب *KMO* داده‌ها و نرم افزار *SPSS* ۲۲ استفاده شده است (۳۳-۳۵).

== یافته‌ها ==

۱- مطالعه محتوی شیمیایی غبار معادن شن و ماسه

آمار توصیفی غلظت عناصر در ۳۲ نمونه گرد و غبار با هر سه روش نمونه‌برداری و در محدوده ارتفاع ۳ تا ۲۱ متری در داخل معدن شن و ماسه منتخب (که به لحاظ زمین‌شناسی نمونه خوبی از دشت تهران و نوع ذرات تولیدی ناشی از فعالیت این معادن در منطقه غرب باشد) در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول ۳. آمار توصیفی عناصر در ۳۲ نمونه گرد و غبار در معدن شن و ماسه منتخب در غرب تهران (بر اساس درصد وزنی)

عناصر	گستره تغییرات	کمینه	بیشینه	میانگین		انحراف معیار
				آماري	خطای استاندارد	
Mg	۶/۰۵	۰/۰۰	۶/۰۵	۱/۹۹	۰/۲۴	۱/۳۶
Al	۲۴/۶۷	۰/۰۵	۲۴/۷۲	۱۰/۵۲	۰/۷۹	۴/۴۵
Si	۵۲/۴۲	۴/۵۲	۵۶/۹۴	۴۲/۱۳	۱/۶۸	۹/۴۹
Pb	۹/۱۷	۰/۰۵	۹/۲۲	۱/۴۷	۰/۴۳	۲/۴۴
K	۱۰/۹۷	۰/۳۰	۱۱/۲۷	۵/۰۸	۰/۳۲	۱/۸۳
Ca	۴۵/۳۹	۱/۲۷	۴۶/۶۶	۱۹/۲۰	۱/۴۰	۷/۹۱
Fe	۶۶/۹۱	۴/۱۷	۷۱/۰۸	۹/۵۶	۲/۰۳	۱۱/۵۰
Cu	۳/۱۰	۰/۰۵	۳/۱۵	۱/۱۷	۰/۱۶	۰/۹۱
Zn	۹/۷۳	۰/۰۵	۹/۷۸	۱/۹۲	۰/۴۴	۲/۴۷
P	۸/۴۶	۰/۰۵	۸/۵۱	۱/۱۸	۰/۳۷	۲/۱۱
S	۶/۲۷	۰/۰۵	۶/۳۲	۰/۸۳	۰/۲۴	۱/۳۵
Cl	۱/۶۴	۰/۰۵	۱/۶۹	۰/۳۸	۰/۰۹	۰/۵۲
Ti	۲/۳۲	۰/۰۵	۲/۳۷	۰/۸۰	۰/۱۰	۰/۵۷
V	۱/۱۵	۰/۰۰	۱/۱۵	۰/۳۰	۰/۰۵	۰/۳۱
Mn	۱/۷۶	۰/۰۵	۱/۸۱	۰/۶۵	۰/۱۰	۰/۵۶
Na	۱۶/۸۸	۰/۰۵	۱۶/۹۳	۲/۱۹	۰/۶۶	۳/۷۲

جدول ۴. طبقه‌بندی شاخص زمین انباشت

کیفیت گرد و غبار معدن شن و ماسه	معلق هوای معدن بر اساس آمار توصیفی میانگین داده‌ها	کلاس بندی عناصر مهم در ذرات	مقدار هر کلاس	کلاس بندی
غیر آلوده	Na, AL, Mg, Si, K, Ti, Cl, S, Fe, P	$\geq I_{geo}$	۰	
غیر آلوده تا آلوده متوسط		$0 < I_{geo} < 1$	۱	
به طور متوسط آلوده	Ca, Mn	$1 < I_{geo} < 2$	۲	
به طور متوسط آلوده تا بسیار آلوده	V	$2 < I_{geo} < 3$	۳	
بسیار آلوده	Zn	$3 < I_{geo} < 4$	۴	
بسیار آلوده تا به شدت آلوده	-	$4 < I_{geo} < 5$	۵	
به شدت آلوده	Pb, Cu	$I_{geo} > 5$	۶	

جدول ۵. طبقه‌بندی ضریب غنی‌شدگی

کیفیت گرد و غبار خاک	عناصر بر اساس آمار توصیفی در مجموع میانگین نمونه‌ها	مقدار
غنی‌شدگی حداقل	Na, P, Cl, Mg, Si, K, S, Ti	$EF < 2$
غنی‌شدگی متوسط	Fe	$2 < EF < 5$
غنی‌شدگی قابل توجه	Ca, Mn, V	$5 < EF < 20$
غنی‌شدگی بسیار زیاد	Pb, Zn	$20 < EF < 40$
غنی‌شدگی فوق العاده بالا	Cu	$EF > 40$

جدول ۶. عوامل دوران یافته و بار عاملی آنها برای تحلیل همبستگی عناصر

پارامتر	ضریب			
	۱	۲	۳	۴
Al	۰/۶۱۵	۰/۳۰۷	۰/۰۵۲	-۰/۵۶۸
Si	-۰/۰۲۵	۰/۹۰۹	-۰/۰۴۸	-۰/۱۰۸
Pb	۰/۰۴۲	۰/۰۵۸	۰/۱۲۹	۰/۸۴۵
K	-۰/۰۷۸	۰/۹۲۷	۰/۰۳۹	۰/۱۰۳
Ca	-۰/۳۴۹	-۰/۱۲۹	-۰/۵۵۷	-۰/۰۶۲
Cu	۰/۷۶۱	-۰/۰۹۵	۰/۰۳۴	۰/۴۲۰
Zn	۰/۸۱۷	-۰/۲۳۱	۰/۰۵۵	-۰/۲۶۵
V	-۰/۲۸۴	۰/۱۱۰	۰/۷۴۹	۰/۳۱۶
Mn	۰/۲۶۳	-۰/۲۹۹	۰/۸۵۵	-۰/۱۱۴
Ti	۰/۶۶۴	۰/۰۳۹	۰/۴۸۱	۰/۰۰۵

اگر عامل های بدست آمده را با روش واریانس چرخش دهیم عامل‌های اول، دوم، سوم و چهارم به ترتیب ۲۳/۴، ۱۹/۶، ۱۸/۶۰ و ۱۴/۲ و در مجموع ۷۵/۹٪ از واریانس را در بر دارند (جدول ۶).

تعداد عامل‌های انتخاب شده بر حسب مقادیر ویژه^۵ است. در این پژوهش عامل‌هایی با مقدار ویژه بزرگتر از ۱ در نمودار اسکری برای تعیین تعداد بهینه مؤلفه ها به کار می‌رود. با توجه به این نمودار مشاهده می‌شود که از عامل ۴ به بعد تغییرات مقدار ویژه کم می‌شود، پس می‌توان ۴ عامل را به عنوان عوامل مهم که بیشترین نقش را در تبیین واریانس داده‌ها دارند، استخراج کرد. متغیرها در عوامل بعد از چرخش در ترکیبی قرار می‌گیرد که با عوامل آن همبستگی بالای معنی‌داری داشته باشد (شکل ۳).

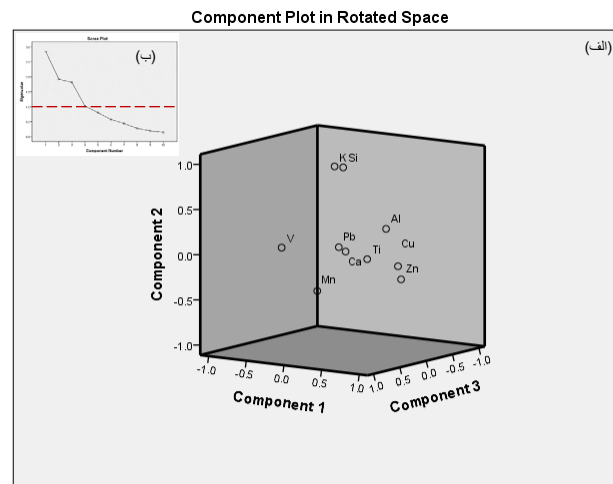
در مجموع مؤلفه اول در تبیین واریانسها در این معدن عناصر آلومینیم، مس، روی، تیتانیوم می‌باشد و مؤلفه دوم سیلیسیم و پتاسیم است. مؤلفه سوم واندیم و منگنز بوده و مؤلفه چهارم سرب است که می‌توان یک مؤلفه تنها با منشا مجزا مفروض داشت.

بحث

بر اساس آمار توصیفی انجام شده، غلظت عناصر در

همبستگی ساده و جزئی بر روی همه متغیرها است. به منظور دسترسی به نتایج دقیق‌تر عناصر P, S, Fe, Na, Cl, پیش از انجام تحلیل مؤلفه اصلی به دلیل همبستگی پایین‌تر از هر دو محیط حذف گردید. ضریب KMO برای داده‌ها ۰/۵۳ محاسبه شده و لذا آزمون در محدوده عناصر منتخب اعتبار خواهد داشت. آزمون کرویت بارلت نیز معنادار بوده و فرض یک‌بودن ماتریس ضرایب همبستگی مردود و بین متغیرها همبستگی معنی‌دار وجود دارد. با توجه به محاسبات انجام شده، میزان اشتراک متغیرها یا واریانس کل با میزان اشتراک عاملی متغیرها نشان می‌دهد که برای مثال ۹۰/۳٪ واریانس امتیازات متغیر Mn، واریانس عامل مشترک است. بیشترین میزان اشتراکات بالاتر از ۵۰٪ است و بیانگر توانایی عامل‌های تعیین شده در تبیین واریانسهای متغیرهای مورد مطالعه است. با وجود این در بین مقادیر اشتراک تفاوت‌هایی نیز مشاهده می‌شود برای مثل مقدار اشتراک مربوط به متغیر Ca، ۴۵٪ و برای متغیر Mn، ۹۰٪ است.

مقادیر ویژه اولیه برای هریک از عامل‌ها در قالب مجموع واریانس تبیین شده برآورد می‌گردد. واریانس تبیین شده برحسب درصدی از کل واریانس و درصد تجمعی است. مقادیر ویژه هر عامل نسبتی از واریانس کل متغیرها است که توسط آن عامل تبیین می‌شود.

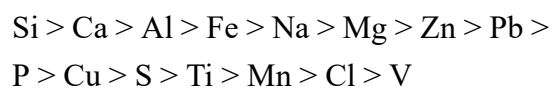


شکل ۳. (الف) نمودار سه بعدی پراکنش متغیرها نسبت به عامل‌های استخراج شده و (ب) نمودار اسکری برای تعیین تعداد عامل‌ها

نشان داده نمی‌شود. گستره بالای این تغییرات با درصد بالای فاز کوارتز در این معادن کاملاً توجیه پذیر می‌گردد. حضور ذرات کوارتز با درصد خلوص بالا که قابلیت حمل و انحلال پذیری پایینی دارند سبب می‌شود که گاه گستره تغییرات در منشا افزایش یابد. لذا نتایج آمار توصیفی در هر منطقه باید در کنار سایر نتایج نظیر آنالیز پراش پرتو ایکس و شاخص‌های زمین‌انباشت و ضریب غنی‌شدگی همزمان بررسی گردد تا امکان ارزیابی‌های زیست‌محیطی فراهم شود. حضور کوارتز و کلسیت در فازهای اصلی داده‌های پراش پرتو ایکس این معدن پراکندگی مقادیر Si و Ca را کاملاً توجیه می‌نماید.

در تفسیر ضریب غنی‌شدگی و شاخص زمین‌انباشت در خصوص غبار منطقه باید بیان داشت که کلاس‌های بالاتر این شاخص‌ها مرتبط با آلودگی انسان‌زاد نظیر احتراق سوخت‌های ناخالص در وسایل نقلیه موتوری و بخصوص در این معادن مرتبط با فعالیت کامیون‌های بزرگ و مصرف سوخت گازوئیل می‌باشد. در خصوص سرب و مس و وانادیم با توجه به آنکه حتی در مقادیر کمینه بالاتر از پوسته می‌باشد، چنین می‌توان نتیجه گرفت که این عناصر عمدتاً منشاء انسان‌زاد دارند. منشا عناصر روی، سرب و مس را با توجه به فعالیت‌های انجام شده در معدن می‌توان ناشی از سوخت کامیونها و سایش

۳۲ نمونه غبار آماده شده در این معدن به ترتیب زیر است:



بر اساس گستره تغییرات و نیز شواهد به دست آمده محیطی سیلیسیم بالاترین گستره را داشته و چنین نشان داده می‌شود که توزیع یکنواخت در ذرات غبار ندارد و لذا باید در ذرات خاصی از منشا مجزا در غبار تراکم یافته باشد. این امر می‌تواند ناشی از حضور دوفاز کانیایی مهم این معدن یعنی کوارتز و آلپیت باشد. بر اساس پژوهش‌های پیشین انتظار داریم عناصری که منابع زمین‌زاد بخش عمده آنها را تأمین می‌کند پراکندگی کمتری در مقایسه با عناصری که بخش عمده آنها از منابع انسان‌زاد تأمین می‌شود داشته باشند (۳۶). مقادیر پایین انحراف معیار برای عناصر V, Ti, Cl, S, Cu, K, Mg, Mn در غبار معدن کمتر از ۲ بوده و لذا این عناصر احتمالاً بیشتر تحت تأثیر منابع زمین‌زاد می‌باشند. باید توجه داشت که ضرایب تغییرات به تنهایی نمی‌تواند در تفکیک منابع انسان‌زاد و زمین‌زاد به پژوهشگر کمک کند. این نکته در خصوص سیلیسیم نشان داده می‌شود. اگرچه ضریب تغییرات بالایی دارد اما آلودگی انسان‌زاد برای آن در ضریب زمین‌انباشت و ضریب غنی‌شدگی

مولفه دوم یعنی سیلیس و پتاسیم گواه بر کانی غالب آل بیت در غبار معدن بوده و در واقع منشا طبیعی برای این عناصر را در غبار معادن شن‌وماسه نشان می‌دهد که می‌تواند از منشا آبرفت‌ها از سنگ‌های آذرین منشا باشد. مولفه سوم یعنی وانادیم و منگنز را نیز به یک منشا همسان یعنی سوخت می‌توان نسبت داد. مولفه چهارم در تحلیل عاملی برای سرب یک منشا خاص، عمده و مجزا را مطرح می‌کند. در برخی مطالعات سرب را در این حالت مرتبط با سالهای قبل دانسته‌اند اما با توجه به نوع فعالیت معادن به نظر می‌رسد یکی از دستگاه‌های فعال نیز می‌تواند منشا این عنصر در معدن باشد که در غبار معدن خود را نشان داده است.

نشان داده شده است که گرد و غبار ناشی از منابع انسان‌زاد مانند عملیات استخراج معادن و جاده‌های خاکی آنها به طور معمول سطح بالایی از آلاینده‌های شیمیایی را در اتمسفر موجب می‌شوند (۴۴،۴۳). خصوصیات زمین‌شناسی کانسارهای معادن شن و ماسه (مانند کیفیت فیزیکی و شیمیایی) نقش عمده‌ای در شدت تأثیرات زیست محیطی ایجاد شده در نتیجه استخراج معادن دارد (۴۵). انتشار گرد و غبار و آئروسول مربوط به عملیات استخراج از معادن معمولاً با افزایش قابل توجهی از یک یا چند آلاینده همراه است، منجمله Hg، Pb، As و Cr (۴۶،۴۷). علاوه بر این نشان داده شده است که آلاینده‌های مرتبط با استخراج معادن معمولاً در بخش ذرات ریز (> ۲ میکرومتر) متمرکز شده که می‌توانند مسافت اتمسفری بیشتری را در محیط طی کنند و خطرهای بالقوه بیشتری برای سلامتی انسان نسبت به ذرات درشت‌تر داشته باشند (۴۸).

در مطالعه شجاعی برجویی و همکاران که درخصوص غبار اطراف تعدادی صنایع غیرفلزی منجمله‌شن‌وماسه و خاک چینی در شهر اردکان یزد با استفاده از فاکتورآلودگی و شاخص منفرد انجام شده است، عناصر سرب، روی و آرسنیک در کلاس آلودگی شدید و دو عنصر روی و آلومینیم در کلاس بسیار بالا آلودگی شناخته شده اند و فلز روی به عنوان فلز بحرانی معرفی شده است. این

قطعات فلزی دستگاه‌های موجود در معدن دانست. اگرچه مصرف سرب در بنزین در کشور ممنوع شده است اما آلودگی سرب می‌تواند ناشی از سایش بدنه موتور نیز باشد. سرب حاصل از سایش لنت ترمز و تایر، افزودنی‌های سوخت، روغن اتومبیل و غبار جاده‌ای نیز برآورد شده است (۳۸-۳۶) و نیز می‌تواند به دلیل انحلال‌پذیری پایین آن دارای یک منبع قدیمی و ناشناخته در محیط باشد که به تدریج آزاد می‌گردد. این امر به دلیل مجزا بودن منشاء سرب در تحلیل مولفه‌های اصلی محتمل‌تر می‌باشد. از منابع انتشار عنصر روی، سایش لاستیک می‌باشد که به عنوان فعال کننده در تهیه لاستیک اضافه می‌شود. همچنین عنصر روی در روغن اتومبیل جهت محافظت از واکنش‌های اکسایشی و رسوب به کار می‌رود. برخی مطالعات لنت ترمز را نیز از عوامل آزادسازی روی مطرح نموده اند (۳۹،۴۰).

از منابع انتشار مس در هوای شهرها می‌توان به لنت ترمز خودروها، سایش تایر، افزودنی‌های سوخت و روغن اتومبیل که گاهی از نانوذرات مس در آن نیز استفاده می‌شود، اشاره نمود (۳۹،۴۲،۳۶،۳۷). در برخی مطالعات منگنز حاصل از سایش تایر و لنت ترمز و غبار جاده‌ای برآورد شده است (۴۱،۴۲).

بر اساس تحلیل آماری PCA در مجموع می‌توان مولفه اول را به همبستگی عناصر زمین‌زاد آلومینیم در کانی‌های آلومینوسیلیکاته مرتبط دانست که در اثر فرایندهای داخل معدن به صورت کانی رسی درآمده است و قابلیت حمل عناصر انسان‌زاد روی و مس را یافته است. با توجه به آنکه تیتانیم در بیشترین رخدادها و میانگین نتایج در غنی‌شدگی حداقل قرار داشته و نتایج شاخص زمین‌انباشت نیز آن را تایید می‌کند لذا باید اظهار داشت که این عنصر در مولفه اول در فاز کانیایی معدن بوده و در ساختار کانی رسی نشات گرفته از معدن حضور دارد. این نتایج باید در بررسی غبار ناشی از معادن شن‌وماسه در شهر تهران مورد توجه واقع شود اگرچه تیتانیم در مطالعات انجام شده می‌تواند حاصل از سایش لنت ترمز و غبار جاده‌ای نیز باشد (۴۲).

حاضر این عناصر عمدتاً منشاء انسان‌زاد و قابل کنترل دارند.

نکته مهم آنست که قرار گرفتن در معرض گرد و غبار ناشی از فعالیت‌های معادن روباز می‌تواند سلامتی جمعیت ساکن در نزدیکی این معادن را تهدید کند. ذرات معلق اتمسفری به واسطه ماهیت خاص خود نظیر بالابودن مساحت سطح و اندازه‌های کوچک، فعالیت بالایی در سیستم بیولوژیکی داشته و از این لحاظ در گروه سرطان‌زاهای درجه یک انسانی قرار می‌گیرند (۵۱). سرب شناسایی شده در غبار این معادن به لحاظ مخاطرات سلامتی در گروه A ۲ سرطان‌زها قرار دارد (۵۱). فلزات مس، وانادیم و آهن در تولید گونه‌های فعال اکسیژن در بافت‌های بیولوژیکی بسیار پر اهمیت می‌باشند (۵۲). بر اساس برخی مطالعات ارتباط مس و سرب در بروز مرگ و میرهای انسانی نشان داده شده است (۵۳، ۵۴). در مطالعات بر روی ذرات معلق اتمسفری در زمان فعالیت کارخانجات فولاد نشان داده شده است که آهن، سرب، روی و مس در ذرات اتمسفری افزایش یافته و سبب افزایش آسیب‌های ریوی و التهاب ریه در ساکنین اطراف آن شود (۵۵، ۵۶).

در مطالعه نمر و همکاران (۲۰۲۰) که در مورد اثرات سلامتی ناشی از معادن روباز سنگ با کانی‌های اصلی کلسیت و کوارتز انجام شده است، نشان داده شده که افرادی که در مجاورت این معادن (تا شعاع ۵۰۰ متری) زندگی می‌کنند به نسبت گروه کنترل به ترتیب از حساسیت چشم و بینی (۲۲٪ در برابر ۳٪)، درد چشم (۱۸٪ در برابر ۱٪) و خشکی چشم (۱۷٪ در برابر ۳٪)، سرفه مزمن (۱۱٪ در برابر ۰٪) و تنگی قفسه سینه (۹٪ در برابر ۱٪) بیشتری رنج می‌برند. همچنین پارامترهای عملکرد ریوی به طور قابل توجهی در گروه ساکن در مجاورت این معادن پایین‌تر از گروه کنترل ارزیابی شده است (۵۷). نکته مهم آنست که در این مطالعه نشان داده شده است که غلظت، میزان رسوب و تأثیرات احتمالی گرد و غبار با دور شدن از منبع کاهش می‌یابد (۵۸). گرد و غبار معادن روباز یکی از مهمترین و بالقوه‌ترین

نتایج نشان می‌دهد احتمال وجود و انتقال عناصر آلاینده و سمی از طریق غبار چنین صناعی منحصر به سیلیس نمی‌باشد (۲۲).

در ارزیابی آلودگی خاک در این نوع معادن به نسبت پوسته بالایی نشان داده شده است که فلزاتی نظیر Zr, Cu, Pb, Ag, Hg, Cd, Ni, با غلظت‌هایی بالاتر از متوسط غلظت‌های استاندارد این عناصر موجود در قاره فوقانی موجود می‌باشد (۴۹).

در مطالعه غبار خیابانی تهران که با استفاده از شاخص‌های زمین‌شناختی و زیست‌محیطی توسط دهقانی و همکاران انجام انجام شده است عناصر Zn, Ni, Pb, Cr, Mo, Sb, Cu در مؤلفه اول غبار خیابان بار بیشتری نشان داده و به جز عنصر روی سایر عناصر همبستگی مثبت و معنی‌داری را در غبار خیابان داشته است. عناصر Cu, Sb, Pb و Zn در مقایسه با میانگین خاک‌های نآلوده غنی‌شدگی شدید نشان داده که به منابع مشترک انسان‌زاد نسبت داده می‌شوند (۳۶، ۳۷).

در مطالعه غلظت فلزات سنگین در غبار شهر تهران توسط کمانی و همکاران نتایج آنالیز PCA نشان داده که اولین مولفه (با حدود ۳۵/۸ درصد از واریانس کل) شامل فلزات کادمیم، مس، نیکل، سرب و روی می‌باشد. این محققین این عناصر را ناشی از منابع انسانی از قبیل احتراق سوخت‌های فسیلی، سیستم حمل و نقل، صنایع ذوب فلزی و غیره ارزیابی کرده‌اند. دومین مولفه به مقدار زیادی مربوط به آلومینیم و آهن و به طور متوسط مربوط به عنصر کروم تعیین شده است. برای آلومینیم و آهن منشاء عناصر مربوط به پوسته زمین در نظر گرفته شده در حالیکه منبع کروم را بیشتر مربوط به فعالیت‌های انسانی مفروض داشته‌اند (۵۰).

مقایسه نتایج غلظت فلزات سنگین در غبار معادن شن و ماسه در این مطالعه با غبار خیابانی شهر تهران نشان می‌دهد که سه عنصر سرب، روی و مس در این مطالعات مشترک می‌باشند و با توجه به جهت جریان باد اصلی شهر در صورت فراهم بودن شرایط امکان انتقال به شهر را دارند. اما باید توجه داشت که بر اساس مطالعه

ذرات معلق شناسایی و تلاش شود تا در منشاء مانع از تولید آنها گردید.

نتیجه گیری

به طور خلاصه از مجموع نتایج به دست آمده از این مطالعه بر روی ذرات معلق هوا بر یکی از معادن شن‌وماسه در غرب تهران و نیز تحلیل عاملی و محاسبات انجام شده در تعیین منشا آنها، چنین نتیجه‌گیری می‌گردد که در نتیجه فعالیت این معدن روباز قابلیت هوا برد شدن عناصری مانند، Si, Ca, Al, Na, Fe, K, Zn, Pb, P, S, Mg, Cu, Ti, Mn, Cl, V وجود دارد که می‌توانند علاوه بر اتمسفر و محیط پیرامون خود، به دلیل قرارگرفتن در مسیر جریان اصلی باد تهران و در صورت زیاد بودن حجم گردوغبار ناشی از آنها، کلان‌شهر تهران و ساکنان آن را نیز تحت تاثیر ریسک‌های بهداشتی و زیست محیطی قرار دهند. با توجه به زمین‌شناسی تقریباً یکسان در مناطق غرب و جنوب غرب آبرفت تهران، نوع و روش فعالیت در این منطقه، می‌توان داده‌های معدن مورد مطالعه را به بیشتر معادن منطقه تعمیم داده و با توجه به تعداد بالای معادن فعال (۶۰ معدن) ظرفیت تولید ذرات معلق هوا بر این منطقه را چندین برابر توان تولیدی این معدن برای متاثر ساختن اتمسفر پیرامونی مفروض داشت. شواهد میدانی نشان می‌دهد بیشتر معادن این منطقه از تجهیزات مهندسی موثر در فرونشاندن غبار استفاده نکرده و لذا پتانسیل مخاطرات برای کارگران شاغل در داخل این معادن و شهرک‌های مسکونی اطراف آنها پیش‌بینی می‌گردد. توصیه می‌شود ضمن استفاده از روشهای مهندسی نوین در کنترل ذرات معلق در معادن با ایجاد یک کمربند سبز از درختان و گیاهان مناسب در سطح زمین و به دور هر معدن، موجبات کاهش انتقال ذرات معلق هوا بر از این معادن فراهم شود. در ضمن با توجه به تحلیل شاخص‌ها و آزمون تحلیل مولفه‌های اصلی و نتایج مطالعات دیگر محققان، منشا عناصر سمی با ضریب غنی‌شدگی بالا در این معادن عمدتاً منابع انسان‌زاد و فعالیت کامیون‌ها

منابع تحریک‌کننده چشم و سیستم تنفسی ارزیابی می‌شوند (۵۹-۶۱). مطالعات انجام شده در هند، سیلیکوزیس و سایر التهابات تنفسی را به عنوان مهمترین عواض در ساکنین مجاور به این معادن نشان داده است (۵۹) در حالی که در مطالعه انجام شده در پورتوریکو شیوع بالای برونشیت و آلرژی بینی، به عنوان مهمترین بیماری‌های موجود در جمعیت نزدیک به این معادن معرفی شده است (۶۰). این اختلافات را می‌توان ناشی از محتوی کانیایی و سایر آلاینده‌های اتمسفری تناسی ارز این معادن دانست. در منطقه مورد بررسی در این مطالعه کانی‌های کوارتز، آلبیت، کلسیت در فاز اصلی می‌باشند و لذا احتمال بروز سیلیکوزیس و التهابات تنفسی بالاتر می‌باشد (۱۸، ۱۹).

اندازه و غلظت ذرات معلق آزاد شده از فعالیت های معادن روباز در محیط بر نوع و میزان اثرات سوء تنفسی حاصل موثر است (۶۲). ذرات درشت با قطر بزرگتر از ۱۰ میکرومتر معمولاً در بینی و گلو فیلتر می‌شوند، بنابراین در معادن مشکلات سلامتی مهمی ایجاد نمی‌کنند اما ذرات ریز (۱-۱۰ میکرومتر) گرد و غبار ممکن است دارای اثرات منفی جدی‌تری باشند زیرا می‌توانند به نایژه‌ها برسند و باعث ایجاد برونشیت شوند (۶۳-۶۴). ذرات بسیار کوچک‌تر از یک میکرومتر می‌توانند به آلئول‌ها برسند (۶۵). این امر در اختلال عملکرد ریوی به خوبی منعکس می‌شود و منجر به ایجاد الگوی انسدادی بیشتری خواهد شد (۶۶، ۶۷). قرار گرفتن در معرض ذرات به خصوص ذرات ریز و بسیار ریز اتمسفری به طور مزمن به خطر ابتلا به بیماری‌های قلبی عروقی و تنفسی و همچنین سرطان ریه کمک می‌کند (۶۸).

بر اساس گزارشات ارایه شده توسط سازمان بهداشت جهانی در سال ۲۰۱۸ ذرات معلق در اتمسفر یک شاخص تعیین کننده و رایج برای آلودگی هوا در جهان می‌باشد که در حال حاضر بیشتر از سایر آلاینده‌ها بر افراد تأثیر گذار است (۶۹). این امر برای تهران به عنوان یکی از بزرگترین شهرهای دنیا با جمعیت بالا بسیار پر اهمیت‌تر بوده و از این رو لازم است تا منابع آلودگی محتمل برای

پیشنهاد می‌گردد نمونه‌برداری از غبار تولیدی معادن شن‌وماسه اطراف تهران در محدوده‌های مختلف اندازه ذرات و در بازه‌های زمانی گسترده‌تر مورد ارزیابی‌های کمی با روش‌های نوین آنالیز ذرات در مقادیر کم انجام شده و نیز اثر تجمیعی معادن منطقه و اثر بر اتمسفر کلانشهر تهران در نظر گرفته شود و تلاش شود تا با استفاده از روش‌های نوین مهندسی از انتشار غبار و ذرات معلق ناشی از آن‌ها پیشگیری شود.

ارزیابی شده است لذا استفاده از مسیرهای غیرخاکی، کوتاه‌کردن مسیرها، کاهش فعالیت کامیون‌ها و استفاده از روش‌های انتقال مکانیزه می‌تواند در کاهش پتانسیل آلاینده‌گی این معادن موثر باشد. شایان ذکر است در زمینه معادن شن‌وماسه کشور که تقریباً ۲۵٪ معادن فعال کشور را تشکیل می‌دهند مطالعات کافی انجام نشده است و این مطالعه نشان می‌دهد علاوه بر سیلیس می‌بایست به غلظت سایر عناصر سمی و نیز ماهیت ذرات معلق هوابرد ناشی از فعالیت آن‌ها هم به لحاظ ایمنی کارگران معادن و هم مناطق مسکونی مجاور توجه گردد. در مجموع

REFERENCES

- Seinfeld J.H. and Pandis S.N. Atmospheric Chemistry and Physics: From Air Pollution to Climate Change. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons Inc; 2016.
- Kumar P, Robins A, Vardoulakis S, Britter R. A review of the characteristics of nanoparticles in the urban atmosphere and the prospects for developing regulatory controls. *Atmospheric Environment*. 2010;44:5035-5052
- Bayat R, Torkian R, Najafi M, Askariyeh M.H, Arhami M. Source apportionment of Tehran's air pollution by emission inventory. *International Emission Inventory Conference of EPA*. Tampa, FL, U.S.A; 2012.
- Arhami M, Hosseini V, Zare Shahne M, Bigdeli M, Lai A, Schauer J. Seasonal trends, chemical speciation and source apportionment of fine PM in Tehran. *Atmospheric Environment*. 2017;153:70-82.
- Blodgett S. Environmental Impacts of Aggregate and Stone Mining New Mexico: Case Study. *Center for Science in Public Participation*; 2004.
- Langer W.H, Arbogast B.F. Environmental Impacts Of Mining Natural Aggregate. In *Deposit and Geoenvironmental Models for Resource Exploitation and Environmental Security*; Fabbri, A.G., Gaál, G., McCammon, R.B., Eds.; Springer: Dordrecht, The Netherlands. 2002;151-169
- Knippertz P, Jan-Berend W. *Stuut. Mineral Dust: A Key Player in the Earth System*. London: Springer; 2014.
- Ravi S, D'Odorico P, Breshears DD, Field JP, Goudie A, Huxman TE, et al. Aeolian processes and the biosphere: Interactions and feedback loops. *Rev Geophys*. 2011; 49: RG3001.
- Joy GJ. Evaluation of the approach to respirable quartz exposure control in U.S. coal mines. *J Occup Environ Hyg*. 2011;9:65-68.
- Closure of a sand gravel mine unit. *Borna News Agency*, code: 437010. 2016. Available from: www.borna.new
- Mine and sand factory. *Factory site*. 2020. Available from: www.karkhoneh.com/ads/adsviw/1295
- Statistical Center of Iran, 2016. Available from: WWW.amar.org.ir.
- Khaksar K. Economic Non-Metallic Mineral Resources in Quaternary Sediments of Tehran and its Environmental Effects, *American Journal of Mining and Metallurgy*. 2014;2(4):75-80.
- Steenland K, Mannetje A, Boffetta P, Stayner L, Attfield M, Chen J, Dosemeci M, Hnizdo E, Koskela R, Checkoway H. Pooled exposure-response relationship analysis and risk assessment for lung cancer in 10 cohorts of silica-exposed workers: an IARC multicenter study. *Cancer Causes and Control*. 2001;12:773-784.
- National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH) NIOSH. Hazard Review: Health Effects of Occupational Exposure to Respirable Crystalline Silica. Cincinnati, OH: National Institute for Occupational Safety and Health Publication No. 2002-129; 2002.
- Jaishankar M, Tseten T, Anbalagan N, Mathew B, Beeregowda K.N. Toxicity, mechanism and health effects of some heavy metals. *Interdisc Toxicol*. 2014;7(2):60-

- 72.
17. Kalantary S, Golbabaie F, Yazdanirad S, Farhang Dehghan S. Review of literature on occupational exposure to the dusts in Iran over the past 14 years. JHSW. 2019; 9(1):1-12. [Persian]
18. Azari M R, Rokni M, Salehpour S, Mehrabi Y, Jafari M J, Moaddeli A N, Movahedi M, Ramezankhani A, Hatami H, Mosavion M A, Ramazani B. Risk Assessment of Workers Exposed to Crystalline Silica Aerosols in the East Zone of Tehran, Journal of Tanaffos. 2009;8(3):43-50. [Persian]
19. Mohammadyan M, Rokni M, Yosefinejad R. Occupational Exposure to Respirable Crystalline Silica in the Iranian Mazandaran Province Industry workers, Archives of Industrial Hygiene and Toxicology. 2013; 64(1):139-43
20. Iran Occupational Exposure limit. Ministry of health and Medical Education, Health Center and Workplace Iran; 2012. <http://Markazsalamat.behdasht.gov.ir>. [Persian]
21. ACGIH. Threshold Limit Values for Chemical substances in the Work Environment, 2016.
22. Shojaei Barjoei S, Azimzadeh H R, Mosleh Arani A. Ecological Risk Assessment of Some Heavy Metals in the Dust Emitted from Non-Metallic Industries of Ardakan County of Yazd in Summer 2018; A Descriptive Study. J Rafsanjan Univ Med Sci. 2020;19(2):173-92. [Persian]
23. Cheshomi A, Ramezannejad Elyerdi SR, Fakher A. Development of Tehran alluvium classification based on geological characteristics and geotechnical parameter. Journal of Iranian Geological Engineering Association. 1397;11(1),65-79.
24. Ghanbari H. A, Azizi. Gh Numerical Simulation of Air Pollutants in Tehran, Based on Wind Patterns By TAPM. Geographical Research. 2009;41(68):15 -32.
25. Ekhtesasi MR, Dadfar S. Data analysis of wind in Tehran station-Mehrabad by using wind rose, storm rose and sand rose. 1st National Conference on Sustainable Development Strategies; 2012.
26. Bayat A, Assar Enayati A. Studying the correlation of nitrogen dioxide with wind , temperature and visibility by using Air quality control center data and OMI sensor data. Zanzan:1st National conference of Ideas and New Technologies in Geographical Sciences; 2017.
27. Rastegari M, Musazadeh Namini A, Haj Hadi M. Investigation of PM10 pollutant concentration changes in mobile station located in Quds city mines in 2016. Tehran: 6th National Conference on Air and Noise Pollution Management. Scientific Association of Clean Air; 2017.
28. Gregor J, Sidney A. K, and Borut P. Collection and Characterization of Particulate Matter Deposition. In: Harry Salem H, Katz S A. Inhalation Toxicology. 3rd ed. Taylor & Francis; 2015.p. 1-43.
29. Izah S, Bassey S, Ohimain E. Geo-accumulation Index, Enrichment Factor and Quantification of Contamination of Heavy Metals in Soil Receiving Cassava Mill Effluents in A Rural Community in the Niger Delta Region of Nigeria. Molecular Soil Biology. 2017: 8(2):7-20.
30. Lu X, Wang L, Lei K Huang J, Zhai Y. Contamination assessment of copper, lead, zinc, manganese and nickel in street dust of Baoji, NW China. Journal of Hazardous Materials. 2009;161(2):1058-1062.
31. Yongming H, Peixuan D, Junji E. S. Multivariate analysis of heavy metal contamination in urban dusts of Xi'an, Central China. Science of the Total Environment. 2006;355:176-186.
32. Wedepohl, K. H. The composition of the continental crust. Geochimica et cosmochimica Acta. 1995;59(7):1217-1232.
33. Javidaneh Z, Zarsevandi A, Rast Manesh F. Determination of Geo-Environmental Factors and Source of Heavy Metals in Street Dust, Masjed-e- Soleiman City, Khuzestan Province. ijhe. 2016; 9(2):155-170.
34. Zarasvandi A, Carranza E. J, Moore F, Rastmanesh, F. Spatio-temporal occurrences and mineralogical-geochemical characteristics of airborne dusts in Khuzestan Province (southwestern Iran. Journal of Geochemical Exploration. 2011; 111:138-151.
35. Rencher A. C. Methods of multivariate analysis. New York :John Wiley and Sons; 2002.
36. Dehghani Sh, Moore F. Environmental Geochemistry, Speciation and Health Risk Assessment of Selected Potentially Toxic Metals in Street Dust of Heavy Traffic Restricted Areas of Tehran Metropolis. Dissertation in Geology- Environmental; 2017.
37. Dehghani S, Moore F, Keshavarzi B, Hale B. A .Health risk implications of potentially toxic metals in street dust and surface soil of Tehran, Iran. Ecotoxicology and Environmental Safety. 2017;136:92-103.
38. Lough G, Schauer J, Park J, Shafer M, Deminter J,

- Weinstein J. Emissions of metals associated with motor vehicle roadways. *Environ Sci Technol*. 2005;39:826–836.
39. Wang X, Dong Z, Yan P, Yang Z, Hu Z. Surface sample collection and dust source analysis in northwestern China. *Catena*. 2005;59:35–53.
 40. Garg B, Cadle S, Mulawa P, Groblicki P, Laroo C, Parr G. Brake wear particulate matter emissions. *Environ Sci Technol*. 2000;34:4463–4469.
 41. Sternbeck J, Sjodin A, Andreasson K. Metal emissions from road traffic and the influence of resuspensions. Results from two tunnel studies. *Atmos Environ*. 2002;36:4735–4744.
 42. Zereini F, Wiseman C. *Urban Airborne Particulate Matter: Origin, Chemistry, Fate and Health Impacts*. New York: Springer; 2010.
 43. Vega E, Mugica V, Reyes E, Sanchez G, Chow JC, Watson JG. Chemical composition of fugitive dust emitters in Mexico City. *Atmos Environ*. 2001;35:4033–4039.
 44. Csavina J, Field J, Taylor M, Gao S, et al. A Review on the Importance of Metals and Metalloids in Atmospheric Dust and Aerosol from Mining Operations. *Sci Total Environ*. 2012;433C:58–73.
 45. Drew L.J, Langer W.H, Sachs J.S. Environmentalism and Natural Aggregate Mining. *Natural Resources Research*. 2002;11:19–28.
 46. Csavina J, Landázuri A, Wonaschütz A, Rine K, Rheinheimer P, Barbaris B, et al. Metal and Metalloid Contaminants in Atmospheric Aerosols from Mining Operations. *Water Air Soil Pollut*. 2011;221:145–57.
 47. Meza-Figueroa D, Maier RM, O-Villanueva M, Gomez-Alvarez A, Moreno-Zazueta A, Rivera J, et al. The impact of unconfined mine tailings in residential areas from a mining town in a semiarid environment: Nacozari, Sonora, Mexico. *Chemosphere*. 2009;77:140–7.
 48. Shao Y. *Physics and Modeling of Wind Erosion*, 2nd ed. Dordrecht, Netherlands: Springer; 2008.
 49. Ako T, Onoduku U, Oke S, Essien B, Idris F, Umar A, Ahmed A. Environmental Effects of Sand and Gravel Mining on Land and Soil in Luku, Minna, Niger State, North Central Nigeria. *Journal of Geosciences and Geomatics*. 2014;2:42–49.
 50. Kamani H, Hoseini M, Safari G, Mahvi A, Zarei H. Factors affecting the concentrations of heavy metals in precipitation of Tehran using factor analysis method. *Iranian Journal of Health and Environment*. 2016;8(4):401–10.
 51. IARC monographs on the identification of carcinogenic hazards to humans. <https://monographs.iarc.fr/home/iarc-monographs-general-information>.
 52. Ahangari Gh, Ayatollahi A, esmaeil N, Amin M.M, Poorsafa P, Hajizadeh Y, et al. Air pollution and health: A review of studies And Global Research on the Effects of Air Pollution on Human Health The collective effort of researchers. 1st ed. Tehran: City Publishing Institute; 2016. [Persian]
 53. Pope CA III, Rodermund DL, Gee MM. Mortality effects of a copper smelter strike and reduced ambient sulfate particulate matter air pollution. *Environmental Health Perspectives*. 2007;115(5):679–683.
 54. Schober S E, Mirel LB, Graubard BI, Brody DJ, Flegal KM. Blood lead levels and death from all causes, cardiovascular disease, and cancer: results from the NHANES III mortality study. *Environmental Health Perspectives*. 2006;114(10): 1538.
 55. Ghio AJ, Huang YC. Exposure to concentrated ambient particles (CAPs): a review. *Inhalation Toxicology*. 2004;16(1):53–59.
 56. Dye J, Lehmann J, McGee J, Winsett D, Ledbetter A, Everitt J and et al. Acute pulmonary toxicity of particulate matter filter extracts in rats: coherence with epidemiologic studies in Utah Valley residents. *Environmental Health Perspectives*. 2001;109(Suppl 3):395–403.
 57. Nemer M, Giacaman R, Hussein A. Lung Function and Respiratory Health of Populations Living Close to Quarry Sites in Palestine: A Cross-Sectional Study. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2020;17:6068.
 58. Sayara T. Environmental Impact Assessment of Quarries and Stone Cutting Industries in Palestine: Case Study of Jammam. *J. Environ. Prot. Sustain. Dev*. 2016;2:32–38.
 59. Bhagia LJ. Non-Occupational Exposure to Silica Dust. *Indian J. Occup. Environ. Med*. 2012;16:95–100.
 60. Calo WA, Quintana R, Catoni I, Valle Y, Alvarez JJ, and et al. Clinical Conditions Associated with Environmental Exposures: An Epidemiologic Study in Two Communities in Juana Diaz, Puerto Rico. *Puerto Rico Health Sci. J*. 2009;28:126–134.
 61. Nkhama E, Ndhlovu M, Dvonch J.T, Lynam M, Mentz G, Siziya S, Voyi K. Effects of Airborne Particulate Matter on Respiratory Health in a Community near a Cement

- Factory in Chilanga, Zambia: Results from a Panel Study. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2017;14:1351.
62. Adams K, Greenbaum D.S, Shaikh R, van Erp A.M, Russell A.G. Particulate matter components, sources, and health: Systematic approaches to testing effects. *J. Air Waste Manag. Assoc.* 2015;65:544–558.
63. Abu-Allaban M, Hamasha S, Gertler A. Road dust resuspension in the vicinity of limestone quarries in Jordan. *J. Air Waste Manag. Assoc.* 2006;56:1440–1444.
64. Sivacoumar R, Jayabalou R, Swarnalatha S, Balakrishnan K. Particulate matter from stone crushing industry: Size distribution and health effects. *J. Environ. Eng.* 2006;132:405–414.
65. Thomas R.J. Particle size and pathogenicity in the respiratory tract. *Virulence*. 2013;4:847–858.
66. Zwodziak A, Sówka I, Willak-Janc E, Zwodziak J, Kwiecińska K, Balińska-Miśkiewicz W. Influence of PM (1) and PM (2.5) on lung function parameters in healthy schoolchildren-a panel study. *Environ. Sci. Pollut. Res. Int.* 2016;23:23892–23901.
67. Penttinen, P, Timonen, K.L, Tiittanen, P, Mirme, A, Ruuskanen, J, Pekkanen, J. Number concentration and size of particles in urban air: Effects on spirometric lung function in adult asthmatic subjects. *Environ. Health Perspect.* 2001;109:319–323.
68. Donaldson K, Borm P (eds). *Particle toxicology*. Boca Raton: CRC Press; 2006.
69. WHO. Ambient (outdoor) air pollution. 2 May 2018. [https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health).