

Research Article

Agricultural Engin., 44(1) (2021) 21-39  
DOI: 10.22055/agen.2021.36318.1598

ISSN (E): 2588-526X  
ISSN (P): 2588-5944

## Assessment of street dust pollution status to some heavy metals and their origins in Ahvaz city

S. Hojati<sup>1\*</sup>

1. Associate Professor, Department of Soil Science, College of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Ahvaz, Khuzestan, Iran

Received: 7 January 2021

Accepted: 26 February 2021

### Abstract

**Introduction:** Khuzestan province in southwestern Iran is one of the most critical areas affected by dust storms due to the arid climate and the abundance of desert areas in its western and southern parts. Dust storms in these areas are among the most critical environmental issues. Air pollution, the development or increase of respiratory diseases, reduced soil fertility, damage to crops, and reduced solar radiation are among the most critical consequences of dust storms. Dust particles can absorb significant amounts of heavy metals, which facilitate their transport on a large scale due to their fine particle size distribution. Street dust is considered the major source of pollutants from a wide range of traffic, industrial emissions, pesticides, and mining activities. Although many studies have been conducted to identify the origin and pollution status of dust particles in the country, the assessment of pollution and source of street dust particles during dust storms, especially in Ahvaz city, has received less attention. Thus, this study was conducted to: (1) identify the source of street dust in Ahvaz city, and (2): determine the level of contamination to Pb, Zn, and Cu.

**Materials and Methods:** Dust and soil samples were collected respectively at 69 and 23 points from streets and the surface soil (0-5 cm) in Ahvaz city in February 2015. To determine the particle size distribution pattern in the dust samples, they were first dispersed in 1 M sodium hydroxide and 10% sodium hexaphosphate solutions for 2 hours. Then, they were analyzed using A Malvern Hydro 2000g laser diffraction device. The ionic compositions of the dust and soil samples were also determined after extraction from 1 (dust/soil): 5 (water) suspension with an advanced Meterohm 861 model ion chromatography apparatus. The heavy metal contents of soil and dust particles were determined using inductively coupled plasma (ICP) spectroscopy. To determine the Pb, Fe, Cu, and Zn contents, 0.5 g of the dust or soil samples were digested with 60% nitric acid, and after 24 hours, the samples were heated for 0.5 hours at a temperature of 80 ° C. Then, they were filtered with Whatman 42 paper and finally were examined using an Agilent 7000 inductively coupled plasma (ICP) spectrometer. To assess the degree of street dust pollution in Ahvaz city, various indicators, including the single element pollution index and Nemrow integrated pollution index, were calculated as the ratio of the concentration of each element in dust samples to the same component's baseline value in the upper crust. Accordingly, values greater than 1, it indicate different levels of pollution.

**Results and Discussion:** The particle size distribution in the studied samples showed a bimodal pattern with more abundance of particles in the size of silt and fine sand. Accordingly, 57 to 89% of the particles were in the silt size, and 5 to 16% were in the size of fine sand. The results also indicated that the abundance of sodium, calcium, chloride, and sulfate ions was comparably higher than the local soils. Similarly, the average concentration of each heavy metal was higher than those of the local soils and the upper earth crust, which followed the order Zn > Cu > Pb. Accordingly, The average Pb, Cu, and Zn



concentrations were 5.23, 6.37, and 6.89 times more than their corresponding values in the earth's upper crust. Accordingly, and based on the values obtained from the pollution index (PI), all the studied elements in the street dust of Ahvaz city could be categorized as highly polluted. The average of Nemrow integrated pollution index was found 7.26, which shows a high pollution level for street dust in Ahvaz city

**Conclusion:** It seems that dust particles collected from streets and sidewalks of the Ahvaz city are mainly originated from regional focal points in eastern and southeastern parts of the city. When Pb, Cu, and Zn concentrations in the street dust of Ahvaz city and those reported from different cities in Iran and other countries are compared, it is concluded that dust particles deposited over the streets and sidewalks in Ahvaz county have a higher degree of pollution. Therefore, Prompt actions are needed to lower the risk of these elements for the environment.

**Keywords:** *Pollution, enrichment, heavy metals, particle size distribution, origin*

## من‌شاء یابی و ارزیابی وضعیت آلودگی گرد و غبار خیابانی شهر اهواز به برخی عناصر سنگین

سعید حجتی<sup>\*۱</sup>

۱- دانشیار گروه خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، خوزستان، ایران

تاریخچه مقاله	چکیده
دریافت: ۹۹/۱۰/۱۸ پذیرش نهایی: ۹۹/۱۲/۰۸	ذرات گرد و غبار به واسطه‌ی توزیع ذرات با اندازه‌ی ریز، دارای جذب سطحی بالا بوده و می‌توانند مقادیر قابل توجهی فلزات سنگین را جذب نموده و به انتقال آن‌ها در مقیاس‌های وسیعی کمک نمایند. این مطالعه با هدف منشاء‌یابی و تعیین میزان آلودگی گرد و غبار خیابانی شهر اهواز به فلزات سرب، روی و مس انجام شد. بدین منظور از گرد و غبار معابر و خیابان‌های ۶۹ نقطه و خاک سطحی (۵-۰ سانتی‌متری) ۲۳ نقطه‌ی شهر اهواز در بهمن‌ماه ۱۳۹۳ نمونه‌برداری و الگوی توزیع اندازه ذرات آن‌ها به روش پراش پرتو لیزر، مقادیر آبیون‌ها و کاتیون‌های محلول به روش کروماتوگرافی یونی و غلظت فلزات سنگین در نمونه‌های جمع‌آوری شده با استفاده از دستگاه ICP تعیین گردید. نتایج نشان داد که توزیع اندازه ذرات گرد و غبار در نمونه‌های مورد بررسی دارای الگوی توزیع دوقله‌ای با فراوانی بیشتر ذرات در اندازه سیلت و سپس شن ریز است. به‌گونه‌ای که ۵۷ تا ۸۹ درصد ذرات گرد و غبار جمع‌آوری شده را سیلت و ۵ تا ۱۶ درصد ذرات را شن ریز تشکیل می‌دهد. بررسی ترکیب شیمیایی ذرات گرد و غبار از لحاظ میزان آبیون‌ها و کاتیون‌های محلول نیز حاکی از فراوانی یون‌های سدیم، کلسیم، کلراید و سولفات در نمونه‌های جمع‌آوری شده است که در مقایسه با مقادیر یون‌های مزبور در خاک‌های منطقه مقادیر بسیار بیشتری را نشان می‌دهد. بررسی غلظت فلزات سنگین در نمونه‌های جمع‌آوری شده نشان داد که میانگین غلظت تمامی فلزات سنگین مورد بررسی از متوسط خاک‌های منطقه و پوسته‌ی فوقانی زمین بیشتر بوده و به‌صورت روی < مس < سرب می‌باشد. همچنین نتایج نشان داد که گرد و غبار خیابانی شهر اهواز در رابطه با عناصر مطالعه شده در وضعیت آلودگی زیاد قرار دارد. متوسط شاخص آلودگی یکپارچه‌ی نمر و در نمونه‌های جمع‌آوری شده ۷/۲۶ به‌دست آمد که کلاس آلودگی زیاد را برای گرد و غبار خیابانی شهر اهواز نشان می‌دهد. بر این اساس، به نظر می‌رسد منشاء فلزات سرب، روی و مس در گرد و غبار خیابانی شهر اهواز عمدتاً فعالیت‌های انسانی است.
کلمات کلیدی: آلودگی، غنی‌شدگی، فلزات سنگین، توزیع اندازه‌ی ذرات، منشاء‌یابی، * عهده دار مکاتبات Email: (s.hojati@scu.ac.ir)	

### مقدمه

غرب آسیا با دارا بودن اقلیم خشک و نیمه خشک از دیرباز همیشه تحت تأثیر پدیده گردوغبار قرار داشته است. کشور ایران در غرب آسیا به دلیل قرار گرفتن در کمربند خشک و نیمه خشک جهان، مکرراً در معرض طوفان‌های گرد و غبار قرار می‌گیرد (۷، ۱۱ و ۱۹). در همین راستا، استان خوزستان در جنوب غرب ایران به دلیل اقلیم خشک و فراوانی مناطق بیابانی در قسمت‌های غربی و جنوبی خود از جمله مهمترین مناطق متأثر از بروز طوفان‌های گرد و غبار است. طوفان‌های گرد و غبار در این مناطق از جمله مهمترین مسائلیست محیطی محسوب می‌شود. آلودگی هوا، ایجاد یا افزایش بیماری‌های تنفسی، کاهش حاصلخیزی خاک و خسارت به محصولات کشاورزی و کاهش تشعشعات خورشیدی از جمله مهم‌ترین پیامدهای وقوع طوفان‌های گرد و غبار می‌باشند (۱۰ و ۱۴).

بررسی آمارهای بلند مدت (پنجاه ساله) آب و هوایی نشان می‌دهد که طوفان‌های ریزگرد به عنوان یک رویداد طبیعی هر ساله وجود داشته است. فراوانی رخداد این طوفان‌ها ارتباط مستقیمی با میزان بارندگی سالیانه و وضعیت پوشش گیاهی داشته است. به گونه‌ای که با کاهش میزان بارندگی‌ها، تعدد وقوع طوفان‌های گرد و غبار افزایشی بوده است (۲۶ و ۲۷). بر این اساس، بررسی آمارهای هواشناسی در ایستگاه شهر اهواز در رابطه‌ی با تعداد روزهای توام با طوفان‌های ریزگرد در بازه‌ی زمانی سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۴ نشان می‌دهد که در بازه‌ی زمانی مزبور در مجموع ۷۸۱ روز توام با طوفان‌های گرد و غبار رخ داده است که از این تعداد در ۶۵۸ روز (۸۴/۳ درصد موارد) منشاء طوفان‌های گرد و غبار کانون‌های خارجی بوده‌اند و تنها در ۷۴ روز (۹/۴ درصد) کانون‌های داخلی منشاء ایجاد طوفان‌های گرد و غبار تشخیص داده شده است. در ۴۹ روز (۶/۳ درصد) هم هر دو منشاء داخلی و خارجی به صورت همزمان در

ایجاد طوفان‌های گرد و غبار مشارکت داشته‌اند.

مطالعات نشان می‌دهند که مهم‌ترین علت آلودگی هوای اهواز وقوع طوفان‌های گردوغبار با منشاء خارجی (صحاری عربستان و جنوب عراق)، کمبود بارش و پوشش گیاهی در برخی مناطق خوزستان، حمل و نقل درون‌شهری و گسترش افسارگسیخته‌ی بافت شهری و رسیدن آن به کارخانه‌هایی مانند ایران کربن و فولاد خوزستان بیان می‌گردد. بر اساس آمار رسمی و بر پایه‌ی گزارش سازمان بهداشت جهانی، در سال ۲۰۱۱ شهر اهواز با میانگین سالانه ۳۷۲ میکروگرم بر مترمکعب ذرات PM10، مقام اول را بین ۱۱۰۰ شهر جهان به عنوان آلوده‌ترین این شهرها کسب نموده است و میزان آلودگی هوا در این شهر روزبه‌روز افزایش یافته و شدیدتر می‌شود. این در حالی است که مقدار مجاز غلظت ذرات معلق (PM10) در استاندارد ملی کیفیت هوای محیط (NAAQS)، ۱۵۰ میکروگرم در هر مترمکعب می‌باشد.

فلزات سنگین یکی از مهمترین آلاینده‌های زیست محیطی هستند که از طریق تنفس، همراه غذا، یا جذب از طریق پوست می‌توانند وارد بدن شوند که اگر با سرعتی بیش از راه‌های سم‌زدایی بدن در بافت‌ها تجمع کنند، به تدریج سمیت خود را آشکار می‌کنند (۱۱ و ۳۹). یکی از منابع اصلی تولید فلزات سنگین در شهرها صنایع کوچک و بزرگ و نیز وسایل حمل و نقل می‌باشند که با تولید آلاینده‌ها و ورود به هوا، اولین حلقه آلودگی را ایجاد می‌نمایند. سپس این مواد از طریق فرونشست جوی وارد خاک‌ها شده و در آن‌ها تجمع می‌یابند (۳۶). مطالعات صورت گرفته در کشورهای اروپایی حاکی از آن است که عنصر روی با ۲۲۷ گرم بر هکتار در سال بیشترین میزان فرونشست جوی را دارا می‌باشد و سرب و مس به ترتیب با مقدار ۳۸ و ۳۴ گرم بر هکتار در سال در رده‌های بعدی قرار می‌گیرند (۲۴).

بزرگسالان فلز کروم دارای بیشترین خطر سرطان‌زایی و فلز سرب دارای کمترین خطر سرطان‌زایی است.

اگرچه تا کنون پژوهش‌های زیادی در رابطه با منشاء‌یابی و آلودگی ذرات گرد و غبار در کشور صورت گرفته است لیکن منشاء‌یابی و آلودگی ذرات گرد و غبار خیابانی در زمان وقوع این پدیده به‌ویژه در کلان‌شهر اهواز کمتر مورد توجه قرار گرفته است. از این رو این مطالعه با هدف بررسی مقدار آلودگی و منشاء‌یابی ذرات گرد و غبار خیابانی برداشت شده از سطح شهر اهواز به هنگام وقوع رخداد گرد و غبار در بهمن ماه ۱۳۹۳ انجام شد.

### مواد و روش‌ها

در این پژوهش پس از بروز طوفان گرد و غبار در بهمن ماه ۱۳۹۳ از ۶۹ نقطه مختلف در شهر اهواز به صورت مرکب نمونه‌برداری صورت گرفت و موقعیت نمونه‌ها با GPS تعیین و ثبت گردید. نمونه‌برداری از ذرات گرد و غبار به صورت خشک و از سطح معابر و خیابان‌های شهر با استفاده از برس‌های قلم مویی انجام گردید.

### تجزیه‌های آزمایشگاهی

از آنجایی که توزیع اندازه ذرات گرد و غبار شاخص مناسبی در رابطه با ارزیابی منشاء این ذرات، فاصله انتقال آن‌ها و تا حدود بسیار زیادی تعیین کننده درجه تاثیرگذاری این ذرات است (۲۰)، از این رو، در نمونه‌های مورد مطالعه توزیع اندازه ذرات با استفاده از روش پراش پرتولیزر تعیین شد. به منظور تعیین الگوی توزیع اندازه ذرات گرد و غبار، نمونه‌های مورد مطالعه ابتدا در محلول ۱ مولار هیدروکسید سدیم و ۱۰ درصد هگزا متافسفات سدیم به مدت ۲ ساعت دیسپرس شده و سپس با کمک دستگاه تفرق اشعه لیزر Malvern مدل Hydro 2000g که قابلیت تعیین ۲۵۶ کلاس اندازه ذرات را داراست، بررسی شدند.

گردوغبار خیابانی منبع اصلی آلاینده‌هایی است که از طیف وسیعی از منابع مانند ترافیک، انتشارات صنعتی، آفت‌کش‌ها رسوبات اتمسفری و فعالیت‌های معدنی تشکیل می‌گردد (۱ و ۶). این نوع گرد و غبار شامل ذرات جامد با ترکیبات پیچیده‌ای هستند که در فضا وجود دارند و به راحتی به وسیله باد در هوا به صورت معلق درمی‌آیند. آلودگی گرد و غبار خیابانی به فلزات سنگین به واسطه سمیت، ماندگاری و انباشت بیولوژیکی این فلزات به مشکلی شهری و زیست‌محیطی تبدیل شده است. سعیدی و همکاران<sup>۱</sup> (۳۴) غبار خیابانی کلان‌شهر تهران را مورد ارزیابی قرارداده و گزارش نمودند که غلظت فلزات سنگین مس، سرب، کروم، لیتیم، نیکل، کادمیوم، آهن، منگنز و روی در مقایسه با مطالعات مشابه در سایر شهرهای جهان بیشتر است. نتایج ارزیابی شاخص‌های سنجش آلودگی و خطر بالقوه‌ی بوم‌شناختی در مطالعه‌ی ایشان حاکی از آلودگی شدید و خطر بالای بوم‌شناختی فلزات سنگین برای اکوسیستم محلی است. ایشان ترافیک و فعالیت‌های مرتبط با سامانه‌های ترافیکی مانند آسفالت خیابان، سایش لاستیک خودروها و همچنین کارگاه‌های تعویض روغن، صافکاری و رنگ‌کاری خودروها را به‌عنوان منابع بالقوه محلی آلودگی فلزات سنگین در غبار خیابانی این شهر معرفی نمودند.

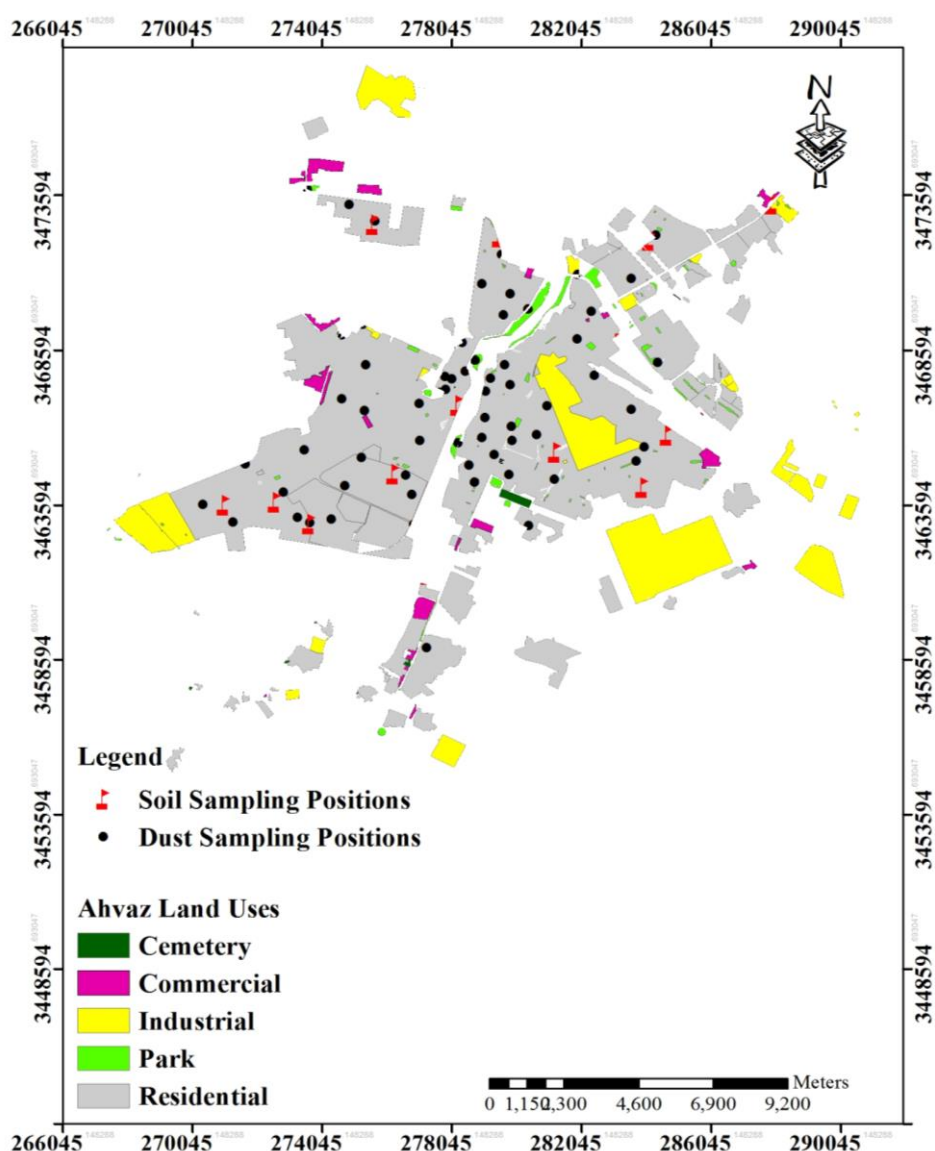
قنواتی<sup>۲</sup> (۵) در مطالعه‌ای با بررسی ۳۰ نمونه گرد و غبار خیابانی شهر آبادان میانگین غلظت فلزات سرب، روی، مس، کروم، کادمیوم و نیکل را به ترتیب ۵۹/۱، ۲۸۷/۵، ۱۱۲/۹، ۵۰/۰، ۰/۵۲ و ۵۶/۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم گزارش نمود. مقدار میانگین شاخص ریسک در نمونه‌های جمع‌آوری شده در حد متوسط ارزیابی گردید. نتایج این بررسی حاکی از آن بود که از میان فلزات مورد مطالعه در هر دو گروه سنی کودکان و

1- Saeedi et al.

2- Ghanavati

سانتیگراد حرارت داده شده، سپس با استفاده از کاغذ واتمن ۴۲ صاف شدند و در پایان با اسید نیتریک ۱٪ به حجم ۲۵ میلی لیتر رسیدند (۱۸). همچنین ترکیب یونی املاح محلول موجود در نمونه‌های گرد و غبار و خاک پس از عصاره‌گیری از سوسپانسیون یک به پنج آب به گرد و غبار توسط دستگاه کروماتوگرافی یونی متراهم مدل ۸۶۱ پیشرفته تعیین شد. تمامی اندازه‌گیری‌ها در سه تکرار بررسی گردید.

همچنین تجزیه عنصری نمونه‌های گرد و غبار جمع‌آوری شده (شامل فلزات سرب، روی و مس) توسط دستگاه ICP مدل Agilent 7000 و پس از کنترل کیفیت تجزیه‌های عنصری با استفاده از نمونه‌های شاهد و نمونه‌های استاندارد انجام شد. بدین منظور، برای تعیین غلظت فلزات سنگین مقدار ۰/۵ گرم از نمونه‌های گرد و غبار با اسید نیتریک ۶۰٪ هضم و پس از گذشت ۲۴ ساعت نمونه‌ها به مدت ۰/۵ ساعت در دمای ۸۰ درجه



شکل (۱) موقعیت نقاط نمونه‌برداری شده از گرد و غبار خیابانی و خاک‌های سطحی در شهر اهواز  
Figure (1) Locations of street dust and surface soil sampling points in Ahvaz city

شاخص آلودگی گرد و غبار در منطقه‌ی مطالعاتی به پنج دسته تقسیم‌بندی می‌گردد (جدول ۱).

### نتایج و بحث

#### بررسی خصوصیت فیزیکی و شیمیایی خاک‌ها

جدول ۲ خلاصه‌ی آماری برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک‌های سطحی (۵-۰ سانتی‌متری) مورد بررسی شامل بافت، pH، هدایت الکتریکی، کاتیون‌ها و آنیون‌های محلول و غلظت کل فلزات سرب، روی، مس، کروم، نیکل و کادمیوم را در نمونه‌های جمع‌آوری شده از سطح شهر اهواز نشان می‌دهد. بر این اساس و با توجه به میانگین مقادیر pH (۸/۳۱) و هدایت الکتریکی (۲۰/۲۷ دسی‌زیمنس بر متر)، خاک‌های مورد مطالعه در زمره‌ی خاک‌های شور، آهکی و قلیایی طبقه‌بندی می‌شوند. سواری و همکاران<sup>۲</sup> (۳۵) نیز با مقایسه روش‌های مختلف زمین‌آماری در پیش‌بینی مقادیر شوری خاک‌های سطحی شهر اهواز نتایج مشابهی را گزارش نمودند.

همچنین بافت خاک‌های مورد مطالعه مشتمل بر کلاس‌های بافتی سیلت لوم (۲۶٪)، سیلتی رسی لومی (۱۷/۳٪)، رسی لومی (۱۷٪)، لومی (۱۷٪)، سیلتی رسی (۸/۷٪)، رسی (۸/۷٪) و سیلتی (۴/۳٪) است. بر این اساس همان‌گونه که مشاهده می‌شود با توجه به کلاس‌های بافتی مشاهده شده در خاک‌های مورد مطالعه، ذرات در اندازه سیلت از فراوانی قابل توجهی برخوردار هستند. به علاوه، میانگین غلظت فلزات سنگین در این مطالعه از مقادیر متوسط جهانی خاک‌ها بیشتر بوده که حاکی از غنی‌شدگی نسبی فلزات سنگین در خاک‌های منطقه‌ی مطالعاتی دارد. این افزایش غلظت فلزات سنگین در خاک‌های شهر اهواز را می‌توان به اضافه شدن این عناصر در نتیجه تردد وسایل نقلیه موتوری، تعدد صنایع مختلف در اطراف شهر اهواز از قبیل کارخانه کربن سیاه، گروه ملی صنایع فولاد، فعالیت‌های حفاری و استخراج نفت، لوله‌سازی اهواز و ... ارتباط داد.

#### ارزیابی میزان آلودگی

آلودگی فلزات سنگین را در محیط‌زیست نمی‌توان به سادگی و با آزمون غلظت فلز ارزیابی نمود (۲۸). در این مطالعه و به منظور تعیین درجه آلودگی گرد و غبار خیابانی شهر اهواز به عناصر مورد بررسی از شاخص‌های مختلفی شامل شاخص آلودگی یک عنصری و شاخص آلودگی یکپارچه نمره<sup>۱</sup> استفاده شد.

#### الف- شاخص آلودگی یک عنصری (PI)

از مهم‌ترین شاخص‌های مورد استفاده در ارزیابی وضعیت آلودگی خاک‌ها و رسوبات، شاخص آلودگی (PI) است. به منظور تعیین پتانسیل سمیت آلودگی فلزات با استفاده از این شاخص (PI) از معادله ۱ استفاده می‌شود (۲۸).

$$PI_i = C_i / B_i \quad (1)$$

که در این رابطه (۱)  $C_i$  غلظت فلز در محیط و  $B_i$  مقدار زمینه‌ای همان فلز (متوسط غلظت عناصر در پوسته‌ی فوقانی زمین) می‌باشد (۲۸). به‌طور کلی شاخص آلودگی به صورت نسبت غلظت یک عنصر در نمونه‌های خاک یا گردوغبار برداشته شده به مقدار زمینه‌ی همان عنصر در نمونه‌ی خاک یا گرد و بیان می‌شود و در صورتی که این شاخص بیشتر از ۱ باشد نشان دهنده سطوح مختلف آلودگی در اثر آن عنصر به خصوص است. به عبارت دیگر، این شاخص آلودگی ناشی از هر عنصر را به صورت مجزا بررسی می‌کند.

#### ب- شاخص آلودگی یکپارچه‌ی نمره (NIPI)

مزیت شاخص جامع آلودگی نمره نسبت به دیگر شاخص‌ها این است که خطر آلودگی ناشی از همه فلزات مورد مطالعه را به طور جامع و یکپارچه در منطقه نشان می‌دهد (معادله ۲).

$$NIPI = \sqrt{\frac{(PI_{max}^2 + PI_{average}^2)}{2}} \quad \text{لک (۲)}$$

که در این رابطه  $PI_{max}$  حداکثر مقدار شاخص آلودگی هر فلز در نمونه‌های گرد و غبار جمع‌آوری شده،  $PI_{average}$  میانگین مقدار شاخص آلودگی هر فلز می‌باشد. بر اساس این

در مطالعه‌های با بررسی توزیع اندازه ذرات گردوغبار ترسیب یافته در شهر اهواز در تابستان و پاییز ۱۳۹۰ عمدتاً فراوانی ذرات در اندازه سیلت را نشان دادند که این توزیع در زمان وقوع طوفان‌های گردوغبار به سمت ذرات ریزتر گرایش داشت. این کلاس توزیع اندازه ذرات معمولاً در مواردی دیده می‌شوند که ذرات گرد و غبار از فواصل متوسط تا زیاد منتقل شده باشند.

نتایج همچنین نشان داد که ذرات گرد و غبار جمع آوری شده از نقاط مورد مطالعه در نمونه‌های انتخابی دارای الگوی توزیع دو قله‌ای با فراوانی بیشتر ذرات در اندازه سیلت و شن ریز است (شکل ۲). توزیع اندازه ذرات گرد و غبار شاخص مناسبی در رابطه با ارزیابی منشاء این ذرات و فاصله انتقال این ذرات است. به عنوان مثال وجود الگوهای توزیعی چند قله‌ای نشان دهنده ذرات گرد و غبار با منشاءهای متفاوت و یا تأثیر گذاری فرآیندهای متفاوت در انتقال این ذرات می‌باشد (۱۷). مطالعات صورت گرفته بر روی حمل و انتقال گرد و غبار اتمسفری نشان می‌دهد که ذرات درشت با اندازه‌ی ذرات بین ۳۱ تا ۶۳ میکرون می‌توانند تا حدود ۳۲۰ کیلومتر از منبع خود ترابرد شوند. این درحالی است که بر اساس این مطالعات ذرات غبار با اندازه ذرات ۱۶ تا ۳۱ میکرون تا فواصل حدوداً ۱۶۰۰ کیلومتر و ذرات با اندازه-ی ذرات کوچک‌تر از ۱۶ میکرون می‌توانند در سراسر جهان منتقل شوند (۸ و ۱۹).

بر این اساس، به نظر می‌رسد منشاء ذرات گرد و غبار ترسیبی بر روی شهر اهواز در زمان نمونه‌برداری (بهمن ۱۳۹۳) از فواصل نسبتاً کم و حداکثر ۳۰۰ کیلومتری انتقال یافته است. بدین منظور و برای روشن شدن مناطق احتمالی منشاء این ذرات گلغبار سالانه‌ی درازمدت اهواز (۲۰۰۲-۲۰۱۶) در فصل زمستان ترسیم گردید (شکل ۳). همان‌گونه که مشاهده می‌گردد عمده‌ی گرد و غبارهای رخ داده در شهر اهواز که مربوط به فصل زمستان باشند منشاء جنوبی و جنوب شرقی دارد. بر این اساس، به نظر می‌رسد که گرد و غبار جمع آوری شده از سطح معابر و خیابان‌های شهر اهواز در بهمن ماه ۱۳۹۳ عمدتاً منشاء داخلی داشته و احتمالاً متاثر از کانون واقع در جنوب شرق اهواز (حدفاصل اهواز-ماهشهر) بوده است.

### جدول (۱) کلاس و سطوح آلودگی مرتبط با شاخص آلودگی یکپارچه‌ی نمره

Table (1) Classes and pollution levels related to Nemrow integrated pollution index

سطح آلودگی (Pollution level)	کلاس (Class)
غیر آلوده Not polluted	$NIPI \leq 0.7$
خطر هشدار آلودگی Pollution alert	$0.7 < NIPI \leq 1$
آلودگی کم Low pollution	$1 < NIPI \leq 2$
آلودگی متوسط Medium pollution	$2 < NIPI \leq 3$
آلودگی بالا High pollution	$NIPI > 3$

قواتی و همکاران (۷) نیز با بررسی غلظت فلزات سرب، مس، روی، نیکل، کادمیوم، کروم و آرسنیک در خاک‌های سطحی شهر اهواز و مقایسه‌ی آن‌ها با متوسط پوسته‌ی زمین غنی‌شدگی این فلزات را در خاک‌های سطحی شهر اهواز گزارش نمودند و این غنی‌شدگی را تاثیر منابع انسانی مختلف مانند ترافیک و صنایع مختلف در حومه شهر اهواز نسبت دادند.

### توزیع اندازه ذرات گرد و غبار

جدول ۳ توزیع اندازه‌ی ذرات گرد و غبار جمع آوری شده از سطح شهر اهواز را نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشاهده می‌گردد ذرات گرد و غبار جمع آوری شده از منطقه‌ی مطالعاتی عمدتاً در اندازه سیلت هستند. این جزء اندازه‌ی ۵۷ تا ۸۹ درصد از ذرات گرد و غبار جمع آوری شده را تشکیل می‌دهند. مطالعات بسیار دیگری نیز نشان داده‌اند که ذرات در اندازه سیلت فراوانترین کلاس اندازه ذرات در نمونه‌های گرد و غبار است. از جمله‌ی این مطالعات می‌توان به مطالعه‌ی حجتی و همکاران<sup>۱</sup> (۹) اشاره نمود که با بررسی ذرات گرد و غبار ترسیبی در ترانسکت ارتفاعی از شرق استان اصفهان تا ارتفاعات کوه رنگ در استان چهارمحال و بختیاری بیشترین فراوانی ذرات را در نمونه‌های گرد و غبار جمع-آوری شده سیلت گزارش نمودند. کریمیان و همکاران<sup>۲</sup> (۱۲) نیز

1- Hojati et al.

2- Karimian et al.



جدول (۲) برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی اندازه گیری شده در خاک‌های سطحی (۰-۵ سانتی متری) جمع آوری شده از سطح شهر اهواز (n = ۲۳)

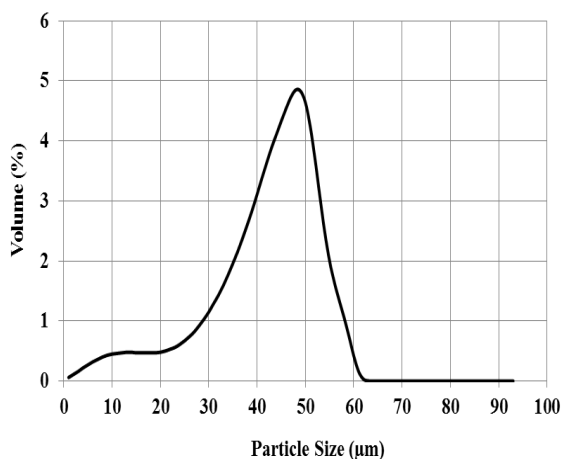
Table 2- Selected physical and chemical characteristics of collected surface soils (0-5 cm) in Ahvaz city

انحراف معیار (Standard deviation)	کشیدگی (Kurtosis)	چولگی (Skewness)	میانه (Median)	میانگین (Mean)	حداکثر (Maximum)	حداقل (Minimum)	ویژگی‌ها (Properties)
18.02	0.77	0.69	26.50	26.74	75.00	3.00	(%) Sand
16.20	0.63	0.40	44.00	47.56	86.00	14.00	(%) Silt
12.44	-1.67	0.13	21.00	25.69	43.50	9.50	(%) Clay
0.28	-0.98	0.16	8.28	8.31	8.82	7.84	pH
23.06	4.28	2.07	8.87	20.27	85.37	1.35	(dS/m) EC <sub>e</sub>
224.86	5.23	2.00	78.66	194.40	962.89	2.61	(meq/l) Soluble Na
3.66	1.67	1.58	1.93	3.40	12.72	0.38	(meq/l) Soluble K
106.75	18.14	4.10	30.00	58.87	524.17	5.00	(meq/l) Soluble Ca
37.33	-1.07	0.53	43.17	50.28	121.67	3.67	(meq/l) Soluble Mg
245.63	12.37	3.14	125.00	206.16	1195.00	8.33	(meq/l) Soluble Cl
15.72	-0.10	0.60	23.85	22.83	61.93	2.72	(meq/l) Soluble SO <sub>4</sub>
7.47	0.95	0.65	28.13	27.54	31.51	6.57	(mg/kg) Total Pb
25.36	3.56	1.47	80.84	76.16	152.90	53.55	(mg/kg) Total Zn
18.61	1.19	0.35	79.05	81.51	35.97	51.65	(mg/kg) Total Cu
32.15	1.97	1.05	36159	36872	69450	17.26	(mg/kg) Total Fe

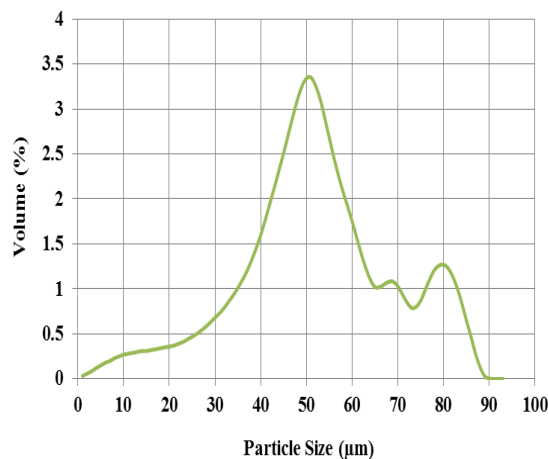
جدول (۳) توزیع اندازه ذرات گرد و غبار جمع آوری شده از سطح معابر و خیابان های شهر اهواز  
 Table (3) Size distribution of street dust particles collected over the Ahvaz city

انحراف معیار (Standard deviation)	کشیدگی (Kurtosis)	چولگی (Skewness)	میان (Median)	میانگین (mean)	حداکثر (max)	حداقل (min)	کلاس اندازه ذرات (μm) Particle size class (μm)
1.20	-0.645	0.291	6.07	6.103	8.28	4.41	< 2
3.93	0.399	0.643	12.59	12.922	21.27	7.75	2-8
6.31	-1.457	-0.559	21.98	19.274	27.15	9.79	8-16
5.90	-1.513	-0.049	47.84	47.419	55.04	39.52	16-62
4.32	-1.569	0.565	6.94	9.007	15.24	4.46	62-125
2.55	-0.019	0.820	2.64	2.992	7.76	0	125-250
2.55	3.099	2.056	0.15	1.325	7.56	0	250-500
2.26	11.124	3.306	0	0.787	7.87	0	500-1000
0.22	3.933	2.231	0	0.091	0.65	0	1000-2000

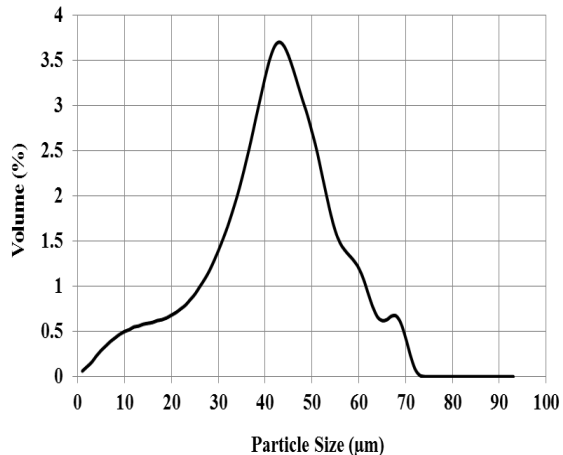
ملی راه - فلکه پنج نخل (Melli Rah- Panj Nakhl Square)



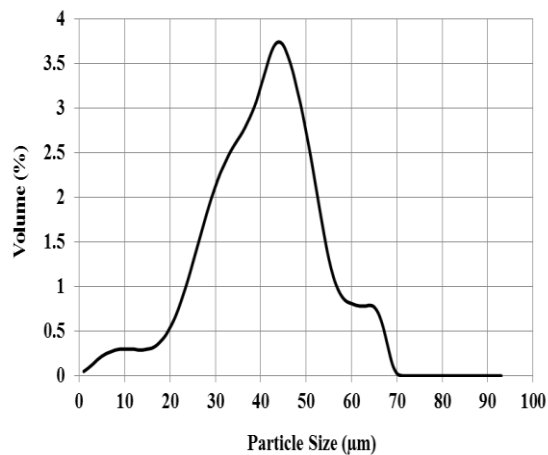
فرودگاه (Airport)

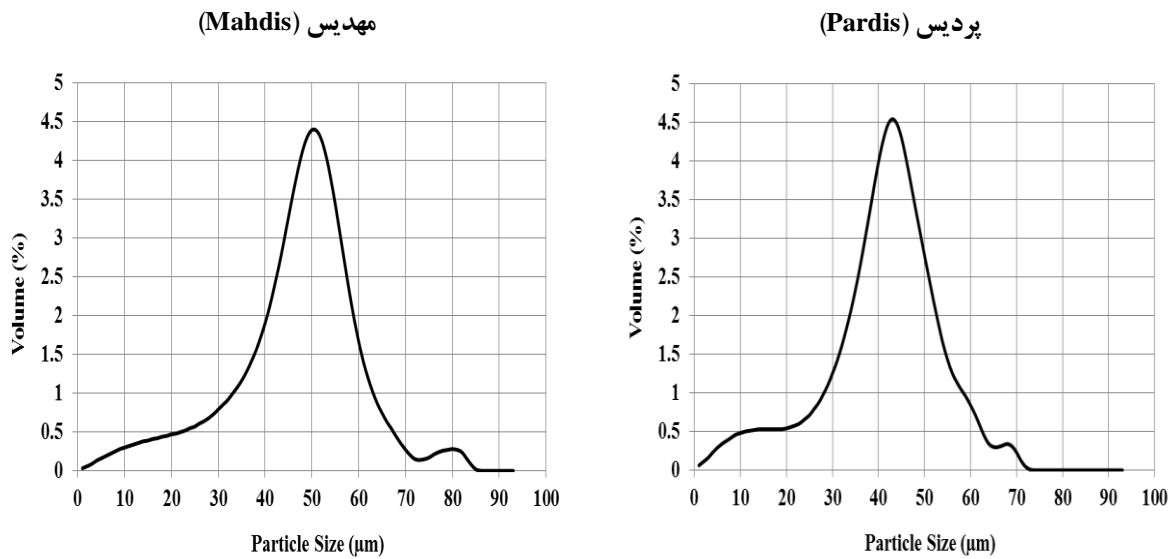


کوت عبدالله (Kut Abdollah)

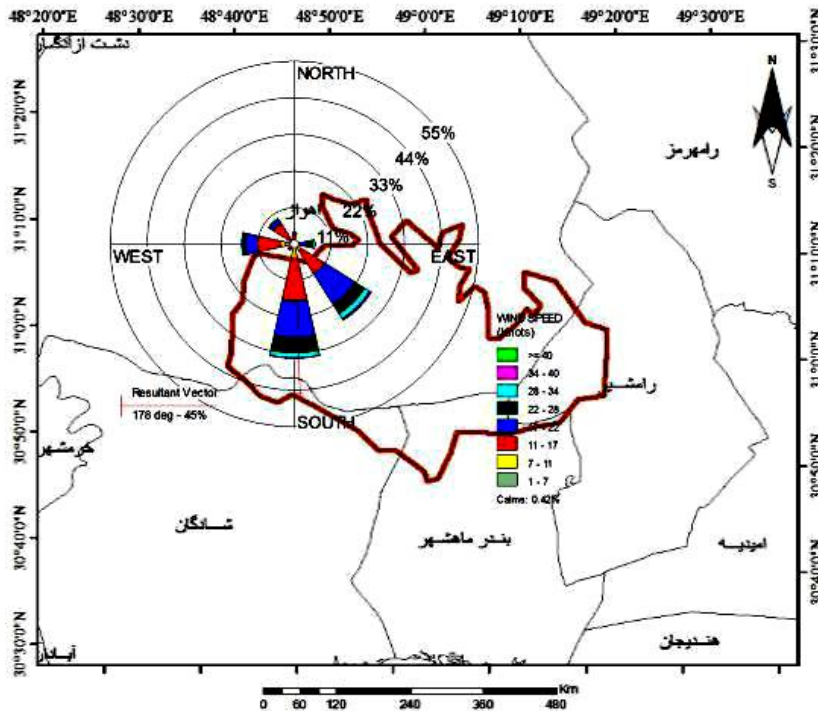


کیانپارس (Kianpars)





شکل (۲) الگوی توزیع اندازه ذرات در گرد و غبار تعدادی از نقاط نمونه برداری شده از سطح شهر اهواز  
 Figure (2) Particle size distribution pattern of selected dust samples collected from Ahvaz streets



شکل (۳) گل‌بار سالانه‌ی درازمدت شهر اهواز در فصل زمستان (سازمان هواشناسی کشور، ۱۳۹۶)  
 Figure (3) Long-term annual dust rose plot of Ahvaz city in winter season (Iran Meteorological Organization, 2017)

نشان داده شده است. بر این اساس، همان گونه که مشاهده می‌شود یون‌های کلراید و سولفات و سدیم و کلسیم به ترتیب مهم‌ترین انواع آئین‌ها و کاتیون‌های محلول در گرد و غبار

**ترکیب کاتیونی و آنیونی ذرات گر و غبار**  
 توزیع آئین‌ها و کاتیون‌های محلول در نمونه‌های گرد و غبار خیابانی جمع‌آوری شده از سطح شهر اهواز در جدول ۴

شهری اهواز هستند. فراوانی حضور یون‌های مذکور نشان دهنده‌ی این است که کانی‌هایی مانند گچ و هالیت که از کانی‌های فراوان خاک‌های مناطق خشک و نیمه خشک هستند، عمدتاً غلظت یون‌های مذکور را در نمونه‌های گرد و غبار کنترل می‌کنند. با این حال برای اثبات این ادعا به مطالعات کانی‌شناسی نیاز است.

با نگاهی به ترکیب آنیون‌ها و کاتیون‌های موجود در خاک‌های محلی مشاهده می‌شود که اگرچه سهم کاتیون‌ها و آنیون‌هایی مانند سدیم، کلسیم، پتاسیم، کلراید و سولفات در نمونه‌های مورد بررسی قابل توجه است، با این حال مقادیر به دست آمده از نمونه‌های گرد و غبار جمع‌آوری شده نسبت به خاک‌های حوزه‌ی شهری اهواز (جدول ۲) مقادیر بالاتری را نشان می‌دهند (جدول ۴). از سوی دیگر با توجه به مقادیر ضریب تغییرات به دست آمده برای کاتیون‌ها و آنیون‌های مورد مطالعه (بیش از ۲۰ درصد) به نظر می‌رسد عوامل دیگری غیر از خاک‌های شهری اهواز در توزیع کاتیون‌ها و آنیون‌های مزبور دخالت داشته‌اند. بر این اساس و با توجه به نتایج به دست آمده از بررسی توزیع اندازه ذرات گرد و غبار و گلباد درازمدت منطقه در فصل زمستان (شکل ۳)، می‌توان منابع دیگری مانند خاک‌های مناطق جنوبی‌تر و کانون گرد و غبار شرق اهواز (حداصل اهواز - ماهشهر) را به عنوان منطقه‌ی منشاء برای ذرات گرد و غبار ترسیبی در نظر گرفت. با این حال توصیه می‌گردد از خاک‌های سطحی کانون مزبور نمونه‌برداری شده و مقادیر آنیون‌ها و کاتیون‌های آن‌ها با نتایج به دست آمده از این مطالعه مقایسه گردد تا بتوان با اطمینان بیشتری در رابطه با مناطق منشاء این ذرات اظهار نظر نمود.

شهری اهواز هستند. فراوانی حضور یون‌های مذکور نشان دهنده‌ی این است که کانی‌هایی مانند گچ و هالیت که از کانی‌های فراوان خاک‌های مناطق خشک و نیمه خشک هستند، عمدتاً غلظت یون‌های مذکور را در نمونه‌های گرد و غبار کنترل می‌کنند. با این حال برای اثبات این ادعا به مطالعات کانی‌شناسی نیاز است.

با نگاهی به ترکیب آنیون‌ها و کاتیون‌های موجود در خاک‌های محلی مشاهده می‌شود که اگرچه سهم کاتیون‌ها و آنیون‌هایی مانند سدیم، کلسیم، پتاسیم، کلراید و سولفات در نمونه‌های مورد بررسی قابل توجه است، با این حال مقادیر به دست آمده از نمونه‌های گرد و غبار جمع‌آوری شده نسبت به خاک‌های حوزه‌ی شهری اهواز (جدول ۲) مقادیر بالاتری را نشان می‌دهند (جدول ۴). از سوی دیگر با توجه به مقادیر ضریب تغییرات به دست آمده برای کاتیون‌ها و آنیون‌های مورد مطالعه (بیش از ۲۰ درصد) به نظر می‌رسد عوامل دیگری غیر از خاک‌های شهری اهواز در توزیع کاتیون‌ها و آنیون‌های مزبور دخالت داشته‌اند. بر این اساس و با توجه به نتایج به دست آمده از بررسی توزیع اندازه ذرات گرد و غبار و گلباد درازمدت منطقه در فصل زمستان (شکل ۳)، می‌توان منابع دیگری مانند خاک‌های مناطق جنوبی‌تر و کانون گرد و غبار شرق اهواز (حداصل اهواز - ماهشهر) را به عنوان منطقه‌ی منشاء برای ذرات گرد و غبار ترسیبی در نظر گرفت. با این حال توصیه می‌گردد از خاک‌های سطحی کانون مزبور نمونه‌برداری شده و مقادیر آنیون‌ها و کاتیون‌های آن‌ها با نتایج به دست آمده از این مطالعه مقایسه گردد تا بتوان با اطمینان بیشتری در رابطه با مناطق منشاء این ذرات اظهار نظر نمود.

### توزیع فلزات سنگین در نمونه‌های گرد و غبار

مقایسه غلظت روی با میانگین خاک‌های منطقه، میانگین جهانی خاک‌ها و پوسته فوقانی زمین به ترتیب حاکی از غنی‌شدگی ۶/۰۶، ۷/۴۴ و ۶/۸۹ برابری این عنصر در نمونه‌های گرد و غبار خیابانی شهر اهواز است. یکی از مهم‌ترین منابع عنصر روی در محیط‌های شهری رهاسازی آن‌ها از لنت ترمز و بدنه‌ی خودروها است (۱۳). روی به صورت اکسید روی و به عنوان فعال‌کننده طی پروسه‌ی جوشکاری و محکم کردن لاستیک استفاده می‌شود (۱۶). لذا فراوانی آن را در گرد و غبار خیابانی شهر اهواز می‌توان به فرسوده شدن تیر وسایل نقلیه نیز نسبت داد.

خلاصه‌ی توصیف آماری داده‌ها مشتمل بر توصیف جامعه‌ی آماری هر یک از فلزات مورد مطالعه به همراه برخی از مقادیر مقایسه‌ای شامل متوسط پوسته‌ای عناصر، متوسط جهانی خاک‌ها و متوسط خاک‌های منطقه در جدول مزبور (۵) آمده است. بر این اساس، همان‌طوری که مشاهده می‌گردد به استثنای مس که یک توزیع غیرعادی و ناهمگن را نشان می‌دهد، توزیع روی و سرب در گرد و غبار خیابانی شهر

جدول (۴) ترکیب شیمیایی ذرات گرد و غبار از لحاظ میزان کاتیون‌ها و آنیون‌های محلول (میلی‌اکی‌والان بر لیتر)  
Figure (4) Chemical composition of dust particles in terms of cations and anions content (meq/l)

ضریب تغییرات (CV)	کشیدگی (Kurtosis)	چولگی (Skewness)	میانه (Median)	میانگین (Mean)	حداکثر (Max)	حداقل (Min)	ترکیب یونی (Ionic composition)
45.4	2.79	1.23	689.5	764.9	1757.8	6.20	Cl <sup>-</sup>
38.0	3.23	2.19	10.8	8.1	22.1	0.10	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
13.5	1.23	1.06	0.8	0.7	1.4	0.01	PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>
32.8	2.00	1.41	496.2	523.6	1105.7	1.70	Na <sup>+</sup>
28.1	1.97	1.36	21.5	25.1	40.9	0.90	K <sup>+</sup>
43.4	3.95	4.54	151.4	168.2	655.2	4.80	Ca <sup>2+</sup>
35.4	3.25	2.29	66.2	73.1	129.4	1.40	Mg <sup>2+</sup>

دیگر اینکه از میان عناصر مطالعه شده در این پژوهش غلظت فلزات کروم، نیکل و مس در گرد و غبار کلان-شهر اهواز از تمامی شهرهای مورد بررسی بیشتر است. این فراوانی را می‌توان به فعالیت‌های صنعتی و فراوانی صنایع مختلف در اطراف و محدوده‌ی شهری اهواز نسبت داد. البته لازم به ذکر است که بخشی از تفاوت مشاهده شده را می‌توان به تفاوت در نوع ذرات گرد و غبار برداشت شده (اتمسفیری یا خیابانی) در این مطالعات نسبت داد.

#### بررسی وضعیت آلودگی گرد و غبار خیابانی شهر اهواز به سرب، روی و مس

گردوغبار خیابانی منبع اصلی آلاینده‌هایی است که از طیف وسیعی از منابع مانند ترافیک، انتشارات صنعتی، آفت‌کش‌ها رسوبات اتمسفیری و فعالیت‌های معدنی تشکیل می‌گردد (۱). گرد و غبار خیابانی شامل ذرات جامد با ترکیبات پیچیده‌ای هستند که در فضا وجود دارند و به راحتی به وسیله‌ی باد در هوا به صورت معلق درمی‌آیند. آلودگی گرد و غبار خیابانی به فلزات سنگین به واسطه‌ی سمیت، ماندگاری و انباشت بیولوژیکی این فلزات به مشکلی شهری و زیست‌محیطی تبدیل شده است (۴۰).

مقایسه‌ی مقادیر میانگین غلظت مس در گرد و غبار خیابانی شهر اهواز با میانگین خاک‌های منطقه، متوسط جهانی خاک‌ها و پوسته فوقانی زمین به ترتیب غنی-شدگی ۲/۲۶، ۱۳/۲ و ۶/۵۹ برابری این عنصر را در نمونه‌های گرد و غبار خیابانی شهر اهواز نشان می‌دهد. از این رو می‌توان گفت غلظت مس نیز در گرد و غبار خیابانی شهر اهواز متاثر از منابع آلاینده‌ی شهری و صنایع موجود است.

مقایسه‌ی میانگین غلظت عناصر سرب، روی و مس در گرد و غبار جمع‌آوری شده از سطح شهر اهواز با گرد و غبار خیابانی سایر شهرها در جدول ۶ مقایسه شده است. نتایج حاکی از آن است که غلظت عناصر با درجه‌ی سمناکی شامل مس و سرب در نمونه‌های گرد و غبار خیابانی کلان‌شهر اهواز به‌طور قابل توجهی از دیگر شهرهای بررسی شده مانند اصفهان، شیراز، خرمشهر، بوشهر، کرمان، اتاوا، پکن و ریاض در این پژوهش بیشتر است. نکته‌ی قابل توجه دیگر این که مقادیر قابل توجهی عنصر روی در گرد و غبار خیابانی کلان‌شهر اهواز وجود دارد. با توجه به اینکه در مطالعات ژئوشیمی شهری عنصر روی را به عنوان یک نشانگر فعالیت‌های شهری در نظر می‌گیرند (۱۶)، این غلظت بیشتر را می‌توان به این موضوع نسبت داد که نمونه‌های غبار جمع‌آوری شده عمدتاً از فرآیندهای شهری متاثر شده‌اند. نکته قابل توجه

جدول (۵) توصیف آماری غلظت فلزات سنگین (میلی گرم بر کیلوگرم) در گرد و غبار خیابانی جمع آوری شده از سطح شهر اهواز و مقایسه آن‌ها با متوسط خاک‌های منطقه، متوسط جهانی خاک‌ها و پوسته فوقانی زمین

Table 5- Descriptive statistics of heavy metals in Ahvaz street dusts in comparison with their average concentrations in local soils, mean of the world soils and upper crust

Fe	Zn	Pb	Cu	شاخص‌های آماری (Descriptives)
15623.00	176.70	57.00	94.19	حداقل (Minimum)
29542.71	768.90	128.60	559.76	حداکثر (Maximum)
19166.87	461.57	88.85	184.67	میانگین (Mean)
18479.00	437.7	90.40	148.67	میانه (Median)
1.74	0.28	0.18	2.12	چولگی (Skewness)
3.25	-0.57	-0.25	3.84	کشیدگی (Kurtosis)
16.00	41.30	44.60	60.10	ضریب تغییرات (CV)
0.000	0.200	0.200	0.000	نتایج آزمون K-S <sup>۱</sup> (Kolmogrov-Smirnov results)
36782.51	76.16	27.54	81.50	میانگین خاک‌های منطقه (Mean of local soils)
50400.00	67.00	17.00	28.00	پوسته فوقانی <sup>۲</sup> (Upper crust composition)
	62.00	25.00	14.00	متوسط جهانی خاک‌ها <sup>۳</sup> (Average of world soils)

<sup>۱</sup> آزمون کولموگروف-اسمیرنوف؛ <sup>۲</sup> برگرفته از رادنیک و گائو (۳۳)

جدول (۶) مقایسه غلظت فلزات مطالعه شده در گرد و غبار خیابانی شهر اهواز و سایر شهرهای ایران و جهان

Table (6) Mean comparison of metals studied in street dust of Ahvaz with other cities in Iran and world

منبع (Reference)	نوع ذرات گرد و غبار Type of dust particles	Zn	Cu (mg/kg)	Pb	شهر (City)
ایران (Iran)					
(This study) این مطالعه	خیابانی (Street)	461.6	184.5	88.9	اهواز (Ahvaz)
13	خیابانی (Street)	403.6	136.4	115.7	شیراز (Shiraz)
25	اتمسفری (Atmospheric)	400.3	67.0	96.3	اصفهان (Esfahan)
23	خیابانی (Street)	214.3	74.3	56.5	خرمشهر (Khoramshahr)
34	خیابانی (Street)	873.2	225.3	257.4	تهران (Tehran)
15	اتمسفری (Atmospheric)	214.0	60.0	45.0	کرمان (Kerman)
22	اتمسفری (Atmospheric)	170.0	54.0	68.1	بوشهر (Boushehr)
37	اتمسفری (Atmospheric)	243.0	47.0	-	کرمانشاه (Kermanshah)
سایر شهرهای جهان (Other cities around the world)					
21	اتمسفری (Atmospheric)	206.3	77.7	22.2	ریاض (Riyadh, Saudi Arabia)
40	خیابانی (Street)	408.0	98.0	119.0	پکن (Beijing, China)
4	خیابانی (Street)	206.0	84.0	197.0	سیواس (Sivas, Turkey)
30	خیابانی (Street)	112.5	65.8	39.1	آتاوا (Ottawa, Canada)
2	خیابانی (Street)	149.0	44.0	536.0	کلکته (Calcuta, India)
3	خیابانی (Street)	412.0	123.0	180.0	اسلو (Oslo, Norway)

انتشار یافته از صنایع غیرفلزی شهرستان اردکان یزد در تابستان ۱۳۹۷ میانگین شاخص آلودگی نمره را در نمونه‌های جمع‌آوری شده ۶/۹۱ گزارش و گرد و غبار انتشار یافته از این صنایع را در کلاس آلودگی زیاد طبقه‌بندی نمودند.

میانگین غلظت عناصر سرب، مس و روی به ترتیب ۵/۲۳، ۶/۳۷ و ۶/۸۹ برابر بیشتر از مقادیر متناظر آن‌ها در پوسته فوقانی زمین است (جدول ۷). بر این اساس، همان‌گونه که مشاهده می‌گردد گرد و غبار خیابانی شهر اهواز در رابطه با تمامی عناصر مورد بررسی در کلاس آلودگی زیاد طبقه‌بندی می‌شوند. بیش بود غلظت فلزات سنگین در گرد و غبار خیابانی شهر اهواز را می‌توان به تاثیر منابع انسان‌زاد این عناصر از قبیل ترافیک، تاسیسات صنعتی و مصرف سوخت‌های فسیلی نسبت داد. در همین ارتباط قنواتی (۵) و مظلومی و همکاران<sup>۱</sup> (۱۶) نیز به ترتیب با ارزیابی خطر فلزات سنگین در گرد و غبار خیابانی شهرهای آبادان و تهران، آلودگی این ذرات را به عناصر سرب، مس، روی، کروم، کادمیوم و نیکل گزارش نموده و سهم فعالیت‌های انسانی از قبیل ترافیک و مصرف سوخت‌های فسیلی را در افزایش غلظت این عناصر موثر ارزیابی نمودند. لازم به توضیح است که به استثنای کادمیوم میانگین غلظت تمامی عناصر مورد مطالعه در این پژوهش از مقادیر متوسط ارائه شده برای خاک‌ها در مقیاس جهانی بیش‌تر است (جدول ۲).

جدول ۸ مقادیر محاسبه شده برای شاخص آلودگی یکپارچه‌ی نمره را گرد و غبار خیابانی شهر اهواز نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشاهده می‌گردد میانگین شاخص آلودگی یکپارچه‌ی نمره در نمونه‌های مورد مطالعه ۷/۲۶ محاسبه شده است که نشان دهنده آلودگی بالای نمونه‌های گرد و غبار به فلزات سنگین مور مطالعه است (جدول ۶). بر این اساس، با بررسی مقادیر این شاخص در تمامی ایستگاه‌های مورد مطالعه، مشاهده شد که متاسفانه تمامی نمونه‌های جمع‌آوری شده از لحاظ آلودگی به فلزات سرب، روی و مس در کلاس آلودگی زیاد قرار دارند. شجاعی برجویی و همکاران<sup>۲</sup> (۳۸) نیز با بررسی آلودگی فلزات سنگین در گرد و غبار

1- Mazloomi *et al.*

2- Shojaei Barjoei *et al.*

سعید حجتی: منشاء یابی و ارزیابی وضعیت آلودگی...

جدول (۷) مقادیر شاخص آلودگی (PI) فلزات سرب، روی و مس در گرد و غبار خیابانی شهر اهواز  
Table (7) Values of pollution index calculated for Pb, Zn, and Cu in Ahvaz street dust

تعداد و فراوانی (درصد) نمونه‌های طبقه‌بندی شده در کلاس‌های مختلف آلودگی  
Number and frequency (%) of dust samples assigned to different categories of pollution

آلودگی زیاد (High pollution) (PI > 3)	آلودگی متوسط (Moderate pollution) (2 < PI ≤ 3)	آلودگی کم (low pollution) (1 < PI ≤ 2)	بدون آلودگی (No pollution) (PI ≤ 1)	میانگین (Mean)	حداکثر (Maximum)	حداقل (Minimum)	فلز (Element)
(100%) 69	--	--	--	5.23	7.56	3.00	Pb
(100%) 69	--	--	--	6.37	19.30	3.25	Cu
(98.5%) 68	(1.5%) 1	--	--	6.89	11.48	2.64	Zn

جدول (۸) مقادیر شاخص یکپارچه‌ی آلودگی نمر و (NIPI) در گرد و غبار خیابانی شهر اهواز  
Table (8) Values of Nemerow integrated pollution index (NIPI) in street dusts of Ahvaz city

تعداد و فراوانی (درصد) نمونه‌های طبقه‌بندی شده در کلاس‌های مختلف آلودگی  
Number and frequency (%) of dust samples assigned to different categories of pollution

آلودگی بالا High pollution (NIPI > 3)	آلودگی متوسط Moderate pollution (2 < NIPI ≤ 3)	آلودگی کم Low pollution (1 < NIPI ≤ 2)	خطر هشدار آلودگی Pollution alert (0.7 < NIPI ≤ 1)	غیر آلوده Not polluted (NIPI ≤ 0.7)	میانگین (Mean)	حداکثر (Max)	حداقل (Min)
69 (100%)	0	0	0	0	7.26	15.67	3.77



### نتیجه گیری

نشان داد که گرد و غبار خیابانی اهواز از لحاظ غلظت عناصر سرب، مس و روی در کلاس با آلودگی زیاد قرار می گیرند. بر این اساس، از آنجایی که گرد و غبار خیابانی می تواند به سادگی به صورت ذرات معلق به اتمسفر باز گردند، از این رو، فلزات سنگین همراه با این ذرات می توانند به وسیله ی افرادی که از خیابان ها عبور می کنند به راحتی استنشاق شده و از مسیرهایی مانند تماس پوستی و دهان به خصوص در کودکان وارد بدن انسان شده و در طول زمان در بافت های مختلف تجمع یافته و اثرات زیانبارشان افزایش یابد. لذا، رعایت استانداردهای زیست محیطی و انجام اقدامات پیش گیرانه به منظور کاهش انتشار ذرات گرد و غبار در کانون های داخلی و خارجی می تواند در کاهش آثار مخرب وقوع طوفان های گرد و غبار بر سلامت مردم راه گشا و مفید باشد.

### سپاس گذاری

هزینه های انجام این پژوهش توسط معاونت پژوهشی، فناوری و ارتباط با جامعه ی دانشگاه شهید چمران اهواز پرداخت شده است که بدینوسیله قدردانی می گردد.

این تحقیق با هدف بررسی برخی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی در گرد و غبار خیابانی شهر اهواز و نیز شناسایی منابع احتمالی ایجاد کننده ی آن ها انجام شد. نتایج نشان داد که ذرات گرد و غبار ترسبی در معابر و خیابان های شهر اهواز الگوی دو قله ای داشته و عمدتاً در اندازه ی سیلت هستند. بررسی وضعیت گل غبار طولانی مدت شهر اهواز و مقایسه ترکیب شیمیایی ذرات گرد و غبار از لحاظ مقدار کاتیون ها و آنیون های محلول و غلظت فلزات سنگین سرب، مس و روی با خاک های منطقه نشان داد که متوسط اندازه گیری شده پارامترهای مزبور در ذرات گرد و غبار خیابانی شهر اهواز بیش تر از میانگین خاک های منطقه بوده و این احتمال را که بخش عمده ی ذرات ترسیب یافته منشاء منطقه ای دارند نه محلی، تقویت می کند. بر این اساس، متوسط غلظت عناصر سرب، مس و روی در گرد و غبار خیابانی شهر اهواز از متوسط پوسته فوقانی زمین بیشتر بوده و این ذرات در رابطه با تمامی فلزات سنگین مورد بررسی درجات بالایی از غنی شدگی را نشان می دهند که حاکی از مشارکت فعالیت های انسانی در توزیع این عناصر در گرد و غبار خیابانی منطقه مطالعاتی است. به علاوه، نتایج

### References

1. Acosta, J., Faz, A., Kalbitz, K., Jansen, B., and Martínez-Martínez, S. 2014. Partitioning of heavy metals over different chemical fraction in street dust of Murcia (Spain) as a basis for risk assessment. *Journal of Geochemical Exploration*, 144: 298-305.
2. Chatterjee, A., and Banerjee, R. 1999. Determination of lead and other metals in a residential area of greater Calcutta. *Science of the Total Environment*, 227: 175-185.
3. de Miguel, E., Llamas, J.F., Chacón, E., Berg, T., Larssen, S., Røyset, O., and Vadset, M. 1997. Origin and patterns of distribution of trace elements in street dust: unleaded petrol and urban lead. *Atmospheric Environment*, 31: 2733-2740.
4. Elik, A. 2006. Heavy metal accumulation in street dust samples in Sivas. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 34 (1-2): 145-156.
5. Ghanavati, N. 2018. Human health risk assessment of heavy metals in street dust in Abadan. *Iranian Journal of Health and Environment*, 11 (1): 63-74 (In Persian).
6. Ghanavati, N., and Nazarpour, A. 2019. Environmental investigation of heavy metals concentration in Ahvaz city street dust, by using Geographical Information Systems (GIS). *Journal of Environmental Studies*, 44 (3): 393-410 (In Persian).

7. Ghanavati, N., Nazarpour, A., and De Vivo, B. 2019. Ecological and human health risk assessment of toxic metals in street dusts and surface soils in Ahvaz, Iran. *Environmental Geochemistry and Health*, 41: 875-891.
8. Goudie, A.S., and Middleton, N.J. 2006. *Desert dust in the global system*. Springer Science & Business Media, 288 p.
9. Hojati, S., Khademi, H., Faz Cano, A., and Landi, A. 2012. Characteristics of dust deposited a long a transect between central Iran and the Zagros Mountains. *Catena*, 88: 27-36.
10. Idso, S.B., 1976. Dust Storms. *Scientific American*, 235 (4): 108-114.
11. Kabata-Pendias, A., and Mukherjee, A.B. 2007. *Trace elements from soil to human*. Springer-Verlag, Berlin, 550 p.
12. Karimian, B., Landi, A., Hojati, S., and Ahadian, J., 2016. Physicochemical and mineralogical characteristics of dust particles deposited in Ahvaz city. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 47 (1): 159-173 (In Persian).
13. Karimian Torghabeh, A., Jahandari, A., and Jamasb, R. 2019. Concentration, contamination level, source identification of selective trace elements in Shiraz atmospheric dust sediments (Fars Province, SW Iran). *Environmental Science and Pollution Research*, 26: 6424-6435.
14. Kuitel, H., and Furman, H. 2003. Dust storms in the Middle East: sources of origin and their temporal characteristics. *Indoor and Built Environment*, 12: 419-426.
15. Mahmoodi, Z., and Khademi, H. 2014. Concentration of Selected Heavy Metals in Atmospheric Dust of Isfahan and Neighboring Metropolitan Areas. *Journal of Water and Soil Sciences*, 18 (67): 243-255 (In Persian).
16. Mazloomi, S., Esmaeili-Sari, A., Bahramifar, N., and Moeinaddini, M. 2017. Assessment of the metals and metalloids level in street dust of the east and west of Tehran. *Iranian Journal of Health and Environment*, 10 (2): 281-292 (In Persian).
17. McTainsh, G.H., Nickling, W.G., and Lynch, A.W. 1997. Dust deposition and particle size in Mali, West Africa. *Catena*. 29: 307-322.
18. Meza-Figueroa, D., O-Villanueva, M.D., and Parra, M.L.D. 2007. Heavy metal distribution in dust from elementary schools in Hermosillo, Sonora, Mexico. *Atmospheric Environment*, 41: 276-288.
19. Middleton, N.J. 1986. Geography of dust storms in South-West Asia. *Journal of Climatology*, 6: 183-196.
20. Modaihsh, A.S. 1997. Characteristics and composition of the falling dust sediments on Riyadh city, Saudi Arabia. *Journal of Arid Environment*, 36: 211-223.
21. Modaihsh, A.S., and Mahjou, M.O. 2013. Falling dust characteristics in Riyadh city, Saudi Arabia during winter months. *APCBEE Proceeding*, 5: 50-58.
22. Naderizadeh, Z., Ayoubi, S., and Khademi, H. 2016. Assessment of concentration and heavy metals contamination in atmospheric dust from urban and industrial areas of Bushehr Province. *Journal of Natural Environment*, 69 (2): 531-548 (In Persian).
23. Naraki, H., Keshavarzi, B., Zarei, M., Moore, F., Abbasi, S., Kelly, F.J., Dominguez, A.O., and Jaafarzadeh, N. Urban street dust in the Middle East oldest oil refinery zone: oxidative potential, source apportionment and health risk assessment of potentially toxic elements. *Chemosphere*, <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128825>.
24. Nicholson, F.A., Smith, S.R., Alloway, B.J., Carlton-Smith, C., and Chambers, B.J. 2003. An inventory of heavy metals inputs to agricultural soils in England and Wales. *Science of the Total Environment*, 311: 205-219.
25. Norouzi, S., Khademi, H., Ayoubi, S., Cano, A.F., and Acosta, J.A. 2017. Seasonal and spatial variations in dust deposition rate and concentrations of dust-borne heavy metals, a case study from Isfahan, central Iran. *Atmospheric Pollution Research*: 8(4): 686-699.
26. Prospero, J.M., and Lamb, P.J. 2003. African droughts and dust transport to the Caribbean: climate change implications. *Science*, 302 (5647): 1024-1027.

27. Prospero, J.M., Ginoux, P., Torres, O., Nicholson, S.E., and Gill, T.E. 2002. Environmental characterization of global sources of atmospheric soil dust identified with the Nimbus 7 Total Ozone Mapping Spectrometer (TOMS) absorbing aerosol product. *Reviews of Geophysics*, 40(1).
28. Qingji, G., Jun, D., Yunchuan, X., Qingfei, W., and Liqiang, Y. 2008. Calculating pollution indices by heavy metals in ecological geochemistry assessment and a case study in parks of Beijing. *Journal of China University of Geosciences*, 19 (3): 230-241.
29. Rashki, A., Eriksson, P., Rautenbach, C.D.W., Kaskaoutis, D., Grote, W., and Dykstra J. 2013. Assessment of chemical and mineralogical characteristics of airborne dust in the Sistan region, Iran. *Chemosphere*, 90: 227-36.
30. Rasmussen, P., Subramanian, K., and Jessiman, B. 2001. A multi-element profile of house dust in relation to exterior dust and soils in the city of Ottawa, Canada. *Science of the Total Environment*, 267: 125-140.
31. Ridgwell, A.J. 2002. Dust in the Earth system: the biogeochemical linking of land, air and sea. *Phil. Transactions of Royal Society of London, A* 360 (1801), 2905–2924.
32. Root, R.A. 2000. Lead loading of urban streets by motor vehicle wheel weights. *Environmental Health Perspectives*, 108(10): 937-940.
33. Rudnick, R., and Gao, S. 2003. Composition of the continental crust. *Treatise on Geochemistry*, 3: 1–64.
34. Saeedi, M., Li, L.Y., and 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.
35. Savari, Z., Hojati, S., and Taghizadeh Mehrjerdi, R. 2016. Assessing the ability of kriging methods for mapping surface soil salinity in Ahvaz County. *Journal of Water and Soil Sciences*, 20 (3): 127-143 (In Persian).
36. Sezgin, N., Ozcan, H.K., Demir, G., Nemlioglu, S., and Bayat, C. 2003. Determination of heavy metal concentrations in street dusts in Istanbul E-5 highway. *Environment International*, 29: 979-985.
37. Shahabi Doabi, A., Afyuni, M., and Karami, M. 2017. Multivariate statistical analysis of heavy metals contamination in atmospheric dust of Kermanshah province, western Iran, during the spring and summer 2013. *Journal of Geochemical Exploration*, 180: 61-70.
38. Shojaee Barjoe, S., Azimzadeh, H., and Mosleh Arani, A. 2020. 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. *Journal of Rafsanjan University of Medical Sciences*, 19 (2): 173-192 (In Persian).
39. Singh, R., Gautam, N., Mishra, A., and Gupta, R. 2011. Heavy metals and living systems: An overview. *Indian Journal of Pharmacology*, 43 (3): 246-253.
40. Tang, R., Ma, K., Zhang, Y., and Mao, Q. 2013. The spatial characteristics and pollution levels of metals in urban street dust of Beijing, China. *Applied Geochemistry*, 35: 88-98.