

ORIGINAL RESEARCH

Identification of Possible Dust Storm Sources in Tehran (2016-2017): Physical and Chemical Characteristics

Farzaneh Jajarmi¹ , Ahmad Jonidi Jafari^{2*} , Majid Kermani² , Mitra Gholami² 

1. Iran University of Medical Sciences, Tehran, Iran.

2. Department of Environmental Health Engineering, Iran University of Medical Sciences, Tehran, Iran.

ARTICLE INFORMATION

Article history

Received: 18 June 2018

Accepted: 19 December 2018

Published online: 20 April 2019

Keywords

Dust

Enrichment factor

Heavy metals

Particulate matter

Principal component analysis

* Corresponding Author:

Ahmad Jonidi Jafari; P.O. Box
1449614535, School of Health, Iran
University of Medical Sciences, Beside the
Milad Tower, Hemmat Highway, Tehran,
Iran.

Fax: +98 21 8862 2707

Email: ahmad_jonidi@yahoo.com

ABSTRACT

Background and Aim: Dust was considered by researchers as one of the most important forms of air pollution. The aim of this study was to identify the physical and chemical characteristics of dust storm sources in Tehran.

Materials and methods: This study was conducted in selected air sampling stations of Tehran, in the days of dust and ordinary from January 2016 for one year. The concentration of dust particles was determined by gravimetric. Heavy metal concentrations in samples after digestion were determined with graphite furnace atomic absorption spectrometry (AAS-GF). Mineralogy and morphology of the dust fall particles were inspected using X-ray diffraction and scanning electron microscopy and sources particles using Enrichment Factor Analysis and principal component analysis (PCA) were performed. For statistical analysis, R software was used.

Ethical Considerations: This study with research ethics code IR.IUMS.REC.1397.313 has been approved by research ethics committee at Iran University of Medical Sciences.

Findings: The highest average particle concentration in normal days was related to the central station ($122.63 \mu\text{g} / \text{m}^3$), and the lowest for the East Station ($67.13 \mu\text{g} / \text{m}^3$). The highest concentrations of the elements measured in the particles are related to iron and aluminum and the lowest concentrations of chromium and nickel. Lowest amount of Enrichment Factor was obtained for iron, less than one.

Conclusion: The results of this study indicated that the concentration of dust in center was higher than other station. Natural and human resources both play a significant role in the release of metals. By conducting further studies on the source of dust in Tehran and using the results, effective control measures can be designed and implemented.

© Copyright (2019) Arak University of Medical Sciences

Use your device to scan and
read this article online:



Jajarmi F., Jonidi Jafari A., Kermani M., et al. Identification of Possible Dust Storm Sources in Tehran (2016-2017): Physical and Chemical Characteristics. J Arak Uni Med Sci. 2019; 22(1): 39-50.



JAMS

مجله دانشگاه علوم پزشکی اراک

دوره بیست و دو، شماره یک، فروردین و اردیبهشت ۱۳۹۸

journal homepage: <http://jams.arakmu.ac.ir>



مقاله پژوهشی

تعیین منابع احتمالی ذرات گردوغبار با بررسی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن‌ها در هوای شهر تهران در سال ۹۶-۹۵

فرزانه جاجرمی^۱ ID، احمد جنیدی جعفری^{۲*} ID، مجید کرمانی^۲ ID، میترا غلامی^۲ ID

۱. دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران، ایران.

۲. گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران، ایران.

چکیده

زمینه و هدف: گردوغبار به عنوان یکی از مهم‌ترین اشکال آلودگی‌های جوی مورد توجه محققان بوده است. هدف از انجام این مطالعه، تعیین منابع احتمالی گردوغبار با بررسی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن‌ها در هوای محیطی شهر تهران می‌باشد.

مواد و روش‌ها: این مطالعه در هوای محیطی ایستگاه‌های نمونه‌برداری منتخب شهر تهران در روزهای گردوغباری و عادی از دی ماه ۱۳۹۵ به مدت یک سال انجام شد. غلظت ذرات گردوغبار از طریق وزن‌سنجی اندازه‌گیری گردید. غلظت فلزات پس از هضم نمونه‌های فیلتر و تزریق به دستگاه طیف‌سنجی جذب اتمی تعیین و کانی‌های موجود در ذرات گردوغبار با استفاده از طیف‌نگاری فلوروسانس اشعه ایکس شناسایی شد. منشأیابی ذرات نیز با استفاده از آنالیز فاکتور غنی‌شده و تحلیل مولفه‌های اصلی انجام شد. برای تجزیه و تحلیل آماری از نرم‌افزار R استفاده شد.

ملاحظات اخلاقی: این مطالعه با کد اخلاق IR.IUMS.REC.1397.313 به تصویب کمیته اخلاق پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی ایران رسیده است.

یافته‌ها: بیشترین میانگین غلظت ذرات در روزهای عادی برای ایستگاه مرکز (۱۲۲/۶۳ میکروگرم بر مترمکعب) و کمترین میانگین برای ایستگاه شرق (۶۷/۱۳ میکروگرم بر مترمکعب) به‌دست آمد. بیشترین غلظت عناصر اندازه‌گیری شده در ذرات مربوط به آهن و آلومینیوم و کمترین غلظت مربوط به کروم و نیکل بود. کمترین میزان فاکتور غنی‌شده در ذرات برای عناصر آهن کمتر از ۱ به‌دست آمد.

نتیجه‌گیری: نتایج نشان داد که ایستگاه مرکز آلوده‌تر از سایر نقاط بود. منابع طبیعی و انسانی هر دو در انتشار فلزات موجود در ذرات نقش دارند. با انجام مطالعات بیشتر بر روی منشأ گردوغبار شهر تهران و با استفاده از نتایج آن‌ها می‌توان اقدامات کنترلی مؤثری را طراحی و اجرا نمود.

اطلاعات مقاله

تاریخ دریافت: ۹۷/۰۳/۲۸

تاریخ پذیرش: ۹۷/۰۹/۲۸

تاریخ انتشار: ۹۸/۰۱/۳۱

واژگان کلیدی

تحلیل مولفه‌های اصلی

ذرات معلق

فاکتور غنی‌سازی

فلزات سنگین

گردوغبار

* نویسنده مسئول:

احمد جنیدی جعفری

آدرس پستی: ایران، تهران، بزرگراه همت، جنب

برج میلاد، دانشگاه علوم پزشکی ایران، دانشکده

بهداشت، صندوق پستی: ۱۴۴۹۶۱۴۵۲۵.

نمابر: +98 21 8862 2707

Email:

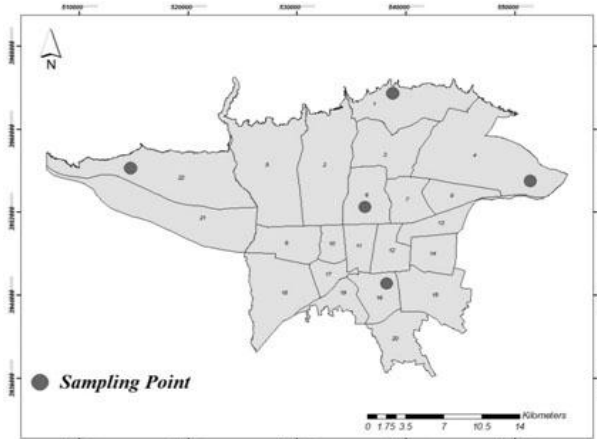
ahmad_jonidi@yahoo.com

۱. مقدمه

امروزه آلودگی هوا یکی از مهم‌ترین مشکلات زیست محیطی شهرهای بزرگ و یکی از دلایل اصلی مرگ در دنیا محسوب می‌شود (۱). گرد و غبار به عنوان یکی از مهم‌ترین اشکال آلودگی‌های جوی از ابعاد مختلف مورد توجه محققان بوده است (۲). ذرات گردوغبار موجود در جو با دامنه اندازه‌های بین ۵۰۰ تا ۰/۰۰۱ میکرومتر، دارای منابع تولیدی بسیار گوناگونی بوده که مناطق خشک و کویری و مناطق صحرایی یکی از مهم‌ترین آن‌ها است (۳). گردوغبارها می‌توانند تا فاصله‌ی ۴۰۰۰ کیلومتری از منبع تولیدی خود جابجا شوند و اثرات نامطلوب بر جای بگذارند. این اثرات منفی گردوغبار می‌تواند در هر یک از ابعاد محیط زیستی، اقتصادی و سلامتی باشد. سالانه حدود 5×10^8 تن گردوغبار در جو پخش می‌شود. متخصصان سازمان هوا-فضا آمریکا (ناسا) بر این باورند که میلیاردها سلول باکتریایی در هر گرم از این گردوغبارها وجود دارد (۴). استفاده بی‌رویه از منابع آبی و پوشش گیاهی، سیاست انتقال آب از مناطق پرآب به کم‌آب، سدسازی، تخریب اراضی توسط چرای بی‌رویه و تبدیل مراتع به کشاورزی و سپس رها کردن آن و غیره از جمله فعالیت‌هایی است با منشأ انسانی که باعث افزایش گردوغبار در سده اخیر گردیده است. همچنین استفاده‌ی بیش‌ازحد از سوخت‌های فسیلی منجر به گرمایش زمین شده که این امر بر بارندگی، درجه حرارت، تبخیر و تعرق و سایر موارد اثر گذاشته و باعث ایجاد خشک‌سالی که منشأ طبیعی تولید گردوغبار است، می‌شود (۵). گردوغبار، جزء جدانشدنی مناطق خشک و نیمه‌خشک بوده و مشکلات بسیاری را برای این مناطق و حتی مناطق هم‌جوار با آن‌ها به وجود آورده است. کشور ایران در منطقه خاورمیانه قرار دارد که یکی از پنج منطقه عمده‌ی تولیدکننده گردوغبار در جهان است (۶). ایران با اقلیم خشک و نیمه‌خشک در بیش از دوسوم مساحت خود و همچنین دارا بودن میانگین بارش سالانه‌ای برابر با نصف میانگین بارش سالانه در جهان، با پدیده گردوغبار دست‌وپنجه نرم می‌کند. کلان‌شهر تهران، پایتخت ایران، با مساحت ۸۰۰ کیلومترمربع و جمعیتی بالغ بر ۱۲ میلیون نفر، با معضل آلودگی هوا روبه‌رو

است و شناخت منشأ آلاینده‌های هوای آن می‌تواند در اتخاذ تصمیم‌های کنترلی کمک شایانی کند (۷). روش‌های مختلفی برای منشأیابی گردوغبار وجود دارد. استفاده از روش مستقیم منشأیابی، به علت عدم وجود تسهیلات نمونه‌گیری مستقیم از کل ذرات، دارای محدودیت می‌باشد. بنابراین از روش‌های غیرمستقیم برای تعیین منبع گردوغبار استفاده می‌شود. از جمله این روش‌ها می‌توان به جمع‌آوری و آنالیز نمونه‌های خاک، استفاده از تصاویر ماهواره‌ای (طی این روش، اندکس آئروسول با استفاده از پایش کل ازن تعیین می‌شود)، استفاده از روند گردوغبار (در این روش از اطلاعات هواشناسی و نمونه‌برداری از ذرات و انجام آنالیزهای عنصری و شیمیایی استفاده می‌گردد)، تعیین خصوصیات شیمیایی، تعیین شاخص نسبت کلسیم به آلومینیوم و غیره اشاره کرد (۸). طی پژوهشی که بر روی منشأ فلزات سنگین موجود در گردوغبار اتمسفری شهر کرمان با استفاده از تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) و تحلیل خوشه‌ای (CA) انجام شد، مشخص گردید که فلزات نیکل و منگنز دارای منشأ انسانی و فلزات مس، سرب و روی دارای منشأ طبیعی هستند. همچنین گودرزی و همکاران با استفاده از آنالیز فاکتور غنی‌سازی (EF) منبع احتمالی فلزات موجود در ذرات هوای شهر اهواز را بررسی و مشخص نمودند که فلز آلومینیوم دارای منبع زمینی و فلزات روی و سرب دارای منابع غیر زمینی می‌باشند (۹). سارتی و همکاران در سال ۲۰۱۵ به بررسی غلظت عناصر فلزی در ذرات گردوغبار در منطقه بولوگنا در ایتالیا پرداختند. نتایج این مطالعه نشان داد که آهن، آلومینیوم و روی بیشترین فراوانی را در بین عناصر فلزی داشتند و ۸۰ درصد کل مقادیر فلزات اندازه‌گیری شده را شامل می‌شوند. همچنین گزارش شد که آلاینده‌های تولیدی از جاده‌های پرتراфик که عمل سایش به‌دفعات در آن انجام می‌شود (سایش تایر و ترمز) می‌تواند منبع عمده‌ای برای عناصر آهن، منگنز و مس باشد. همچنین تعلیق ذرات و فرسایش خاک سطحی هم از عوامل تولید فلزات می‌باشد. برای عناصر با غلظت ناچیز مانند وانادیوم و نیکل احتراق سوخت فسیلی در دمای بالا و برای فلزاتی مانند آرسنیک، کادمیوم و سرب فرآیندهای

توجه به شرایط و تعداد روزهای گردوغباری در سال، مرکز به عنوان نقطه ثابت در نظر گرفته شد که ۲۰ روز (۱۳ نمونه درفصل گرم و ۷ نمونه درفصل سرد) در این محل با توجه به پیش‌بینی سازمان هواشناسی کشور و تحلیل تصاویر ماهواره‌ای، نمونه برداری شد. به منظور جمع‌آوری نمونه از پمپ نمونه‌بردار با دبی ۱/۵ لیتر بر دقیقه استفاده گردید. در هر نمونه‌برداری دو عدد فیلتر استر سلولز ۰/۸ میکرونی به پمپ متصل بود. یک فیلتر برای تعیین غلظت فلزات روی، سرب، کادمیوم، نیکل، آهن، آلومینیوم، کروم و منگنز و فیلتر دیگر برای کانی‌شناسی ذرات به کار برده شد که بعد از اتمام کار فیلترها به آزمایشگاه منتقل شد. لازم به ذکر است که تمامی فیلترها قبل و بعد از نمونه برداری در دسیکاتور قرار گرفته و برای تعیین میزان ذرات موجود در فیلتر توزین شدند (۱۳).



شکل ۱. ایستگاه‌های منتخب برای جمع‌آوری نمونه‌های ذرات گردوغبار هوای محیطی در شهر تهران

در این مطالعه برای تعیین مشخصات فیزیکی ذرات گردوغبار و مرفولوژی مانند مشخصات ریخت‌شناسی، ساختاری و سطح ذرات و همچنین آنالیز عنصری از آنالیزهای فلورسانس اشعه ایکس (دستگاه XRF مدل PERFORM, X) و میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM مدل VEGA\TESCAN-LMU) استفاده شد. بدین منظور از نمونه‌های جمع‌آوری شده بر روی بخش دوم فیلترهای استر سلولز برای تعیین مشخصات فیزیکی، آنالیز عنصری ذرات و تعیین غلظت فلزات آلومینیوم، آهن، کروم، نیکل، منگنز، روی، کادمیوم و سرب استفاده شد. نمونه‌های ذرات جمع‌آوری شده بر روی فیلترهای استر سلولز

صنعتی با دمای بالا می‌تواند منبع انتشار باشد (۱۰). با استفاده از هر یک از روش‌های منشأیابی گردوغبار می‌توان منابع تولید این پدیده‌ی خطرناک و زیان‌بار را شناسایی و با کمک اقدامات کنترلی مانند استفاده از بادشکن‌ها، مالچ پاشی، پلیمر تثبیت‌کننده‌ی شن‌های روان با فناوری نانو، نقش‌بند، ایجاد باران مصنوعی و غیره اقدام به کنترل آن‌ها نمود (۹). هدف از انجام این مطالعه، منشأیابی ذرات با بررسی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی آن‌ها در هوای شهر تهران می‌باشد. شناسایی ترکیبات ذرات به ما اجازه می‌دهد که راه‌های پایش و کنترل آلودگی هوا را بهتر بررسی کنیم که نتایج این تحقیق زمینه‌ساز اقدامات لازم در راستای کاهش مضرات ناشی از این پدیده در حوزه سلامت انسان، محیط زیست و اقتصاد می‌گردد.

۲. مواد و روش‌ها

مطالعه حاضر مقطعی و از نوع توصیفی-تحلیلی بر روی نمونه‌های گرفته شده از هوای شهر تهران صورت گرفت. شهر تهران در ۵۱ درجه و ۶ دقیقه تا ۵۱ درجه و ۳۸ دقیقه طول شرقی و ۳۵ درجه و ۳۴ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۵۱ دقیقه عرض شمالی قرار گرفته است. میانگین دمای سالیانه و بارندگی این شهر به ترتیب از ۷- تا ۳۸/۷ درجه سانتی‌گراد و ۲۴۵ تا ۳۱۶ میلی‌متر متغیر است (۱۱). نمونه‌برداری از هوای محیطی ایستگاه‌های نمونه برداری مناطق مرکز، غرب، شرق، شمال و جنوب تهران به گونه‌ای که شهر تهران را پوشش دهد (شکل ۱)، در روزهای گردوغباری و عادی انجام شد. محل نمونه‌برداری در پشت‌بام ساختمان مسکونی در مناطق نشان‌داده شده در شکل ۱، با توجه به استاندارد سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا (USEPA)، در ارتفاع ۱۰ متری از سطح زمین و ارتفاع ۱/۵ متری از سطح پشت‌بام و با رعایت فاصله‌های ذکر شده در استاندارد از خیابان، درخت، منبع تولید آلودگی و موانع انتخاب گردید (۱۲). نمونه‌برداری ذرات در دوره یک‌ساله (از دی ماه ۹۵) در روزهای عادی (در هر نقطه ۱۲ روز، ۶ نمونه درفصل گرم (بهار، تابستان) و ۶ نمونه در فصل سرد (پاییز، زمستان) گرفته شد به صورت ۲۴ ساعته و به مدت ۶۰ روز گرفته شد. با

$$EF_x = \left(\frac{\left(\frac{C_x}{C_{Ref}} \right)_{sample}}{\left(\frac{C_x}{C_{Ref}} \right)_{soil}} \right)$$

Cx: غلظت عناصر شیمیایی مورد نظر

CRef: غلظت رفرانس عنصر مورد نظر

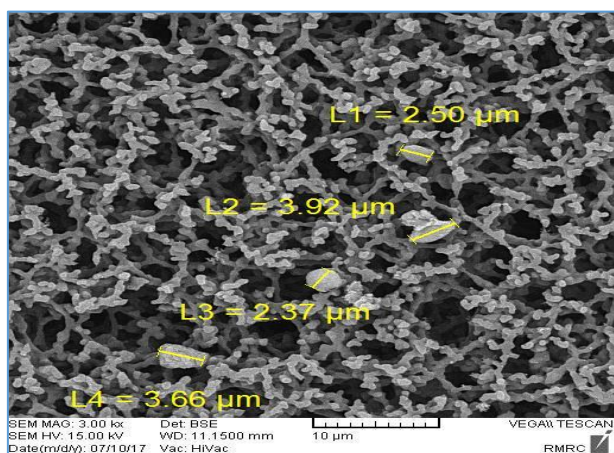
در این مطالعه از نرم افزار R (Ri386 3.4.2) و آنالیزهای آماری تی تست و آنووا برای تعیین میزان همبستگی و مقایسه متغیرها در یک سایت و هم‌چنین مقایسه بین سایت‌های مختلف و برای مشخص کردن گروه‌های فلزی با منشأ انتشار مشابه از آنالیز تجزیه و تحلیل مولفه‌های اصلی (PCA) استفاده شد. نمودارهای این مطالعه هم با استفاده از نرم‌افزار R و PRISM 7 ترسیم شد.

۳. ملاحظات اخلاقی

این مطالعه با کد اخلاق IR.IUMS.REC.1397.313 به تصویب کمیته اخلاق پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی ایران رسیده است.

۴. یافته‌ها

مرفولوژی و شکل ذرات گردوغبار جمع‌آوری شده بر روی یکی از نمونه‌های فیلتر با استفاده از تصاویر SEM در شکل ۲ نشان داده شده است که نشان دهنده ذرات با اشکال نامنظم، بیضوی، چندگوش و گاهی تجمع یافته است.



شکل ۲. مرفولوژی و شکل ذرات گردوغبار جمع‌آوری شده بر روی یکی از نمونه‌های فیلتر با استفاده از تصاویر SEM

با استفاده از میکروسکوپ الکترونی روبشی (SEM) وضوح حدود ۲۰۰۰۰ برابر تصویربرداری و مورد آنالیز قرار گرفتند (۱). با توجه به استاندارد مؤسسه ملی ایمنی و بهداشت شغلی (NIOSH) برای سنجش مقادیر فلزات با دستگاه طیف سنجی اتمی با کوره گرافیتی (GFAAS)، اسید نیتریک (۶۵ درصد) و هیدروژن پراکسید (۳۰ درصد) را با نسبت ۳ به ۱ به نمونه‌های فیلتر ذرات اضافه نموده و تا دمای ۱۴۰ درجه سانتی‌گراد حرارت داده تا حجم محلول به ۰/۵ میلی‌لیتر کاهش پیدا کند. این مرحله را دو مرتبه دیگر و هر بار با افزودن ۲ میلی‌لیتر اسید نیتریک و ۱ میلی‌لیتر هیدروژن پراکسید ۳۰ درصد تکرار کرده و هر بار تا دمای ۱۴۰ درجه سلسیوس حرارت داده تا ۰/۵ میلی‌لیتر محلول باقی بماند. در نهایت ۳ تا ۵ میلی‌لیتر اسید نیتریک (۱۰ درصد) درون بشر ریخته و بشر را روی هیتر قرار داده تا محلول تبخیر شود. یک میلی‌لیتر اسید نیتریک (۶۵ درصد) به باقیمانده موجود در بشر اضافه کرده و محلول را درون بالن حجمی ۱۰ میلی‌لیتری به حجم می‌رسانیم. سپس محلول را در داخل ویال ریخته و به یخچال منتقل نمودیم. در ادامه جهت تعیین فلزات سنگین (کادمیوم، سرب، کروم، روی، منگنز، مس، نیکل، آهن، آلومینیوم) از دستگاه طیف‌سنجی جذب اتمی با کوره گرافیتی برحسب میکروگرم در لیتر استفاده گردید (۱۴). پس از اندازه‌گیری مقادیر غلظت عناصر (فلزات) ذرات معلق هوای محیطی و به منظور بررسی و شناسایی منبع انتشار این ذرات از فاکتور غنی‌سازی یا Enrichment factor value می‌توان استفاده نمود. فاکتور غنی شده در سال ۱۹۷۴ توسط زولر به‌عنوان یکی از پارامترهای تعیین منابع انتشار آلودگی معرفی شده است. بدین‌منظور، با استفاده از مقادیر رفرانس غلظت عناصر در پوسته زمین که توسط تیلور و همکارانش ارائه شده است و نیز با استفاده از مقادیر اندازه‌گیری شده غلظت عناصر موجود در ذرات، اعداد مربوط به فاکتور غنی‌شده محاسبه گردیده و به‌صورت نمودار ستونی ترسیم گردید. فرمولی که جهت تعیین فاکتور غنی شده به‌کار برده می‌شود، توسط چستر و استرونر به‌صورت زیر بیان شده است (۱۵):

نمونه برداری در فصل گرم و سرد و در روزهای عادی و گرد و غباری در جدول ۲ آورده شده است. در طول دوره نمونه برداری، میانگین و انحراف معیار ذرات در روزهای گردوغباری و در فصل گرم و سرد به ترتیب برابر با $30.5/20 \pm 46/0.2$ و $291/11 \pm 89/57$ میکروگرم بر مترمکعب و برای روزهای عادی در فصل گرم و سرد به ترتیب $122/63 \pm 7/90$ و $18/93 \pm 126/10$ میکروگرم بر مترمکعب بود.

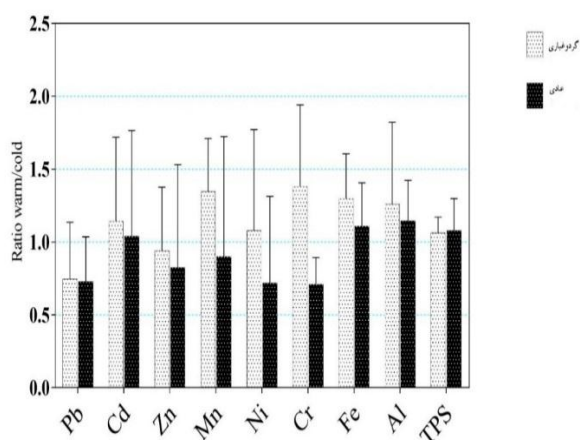
جدول ۱ نتایج مربوط به آزمایش الگوی پراش با پرتو ایکس (XRF) که به منظور تعیین مشخصات ساختاری ذرات، شناسایی نوع و میزان عناصر ماده استفاده می شود را نشان می دهد. بر طبق نتایج حاصل از آنالیز XRF اجزای شیمیایی ذرات بیشتر شامل کوارتز سیلیکا، آلومینا و اکسید کلسیم می باشد. خلاصه آماری غلظت های ذرات در ایستگاه های مختلف

جدول ۱. کانی های تشکیل دهنده ذرات جمع آوری شده روی نمونه های فیلتر با استفاده از آنالیز XRF

ترکیب	درصد وزنی	ترکیب	درصد وزنی
CaO	۱۱/۰۰	La&Lu	<۱
SiO ₂	۵۶/۲۷	SO ₃	۵/۳۴
MgO	۷/۳۶		
Al ₂ O ₃	۱۷/۳۸		
K ₂ O	۲/۶۸		

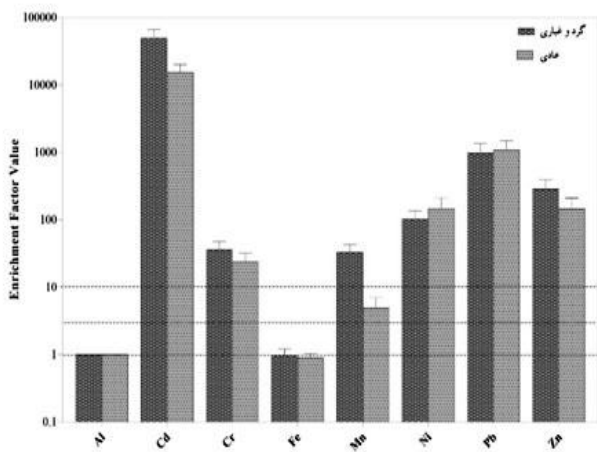
جدول ۲. خلاصه آماری غلظت ذرات معلق در هوای سایت های نمونه برداری شهر تهران (میکروگرم بر متر مکعب)

روزهای گردوغباری	روزهای عادی					میانگین
	مرکز	شمال	جنوب	شرق	غرب	
۳۰.۵/۴۶	۷۷/۴۰	۱۲۰/۹۶	۶۷/۱۳	۷۵/۱۳	۱۲۲/۶۳	میانگین
۲۰/۰۲	۱۶/۲۳	۸/۴۴	۶/۴۴	۸/۵۲	۷/۹۰	انحراف معیار
۲۸۰/۲۰	۶۴/۵۲	۱۳۶/۹۵	۶۰/۴۳	۶۱/۱۹	۱۱۰/۴۲	حداقل
۳۴۰/۲۰	۱۰۶/۵۲	۱۳۲/۷۲	۷۷/۳۲	۸۵/۳۱	۱۲۹/۰۹	حداکثر
۲۹۱/۸۹	۹۵/۱۰	۱۲۱/۴۲	۷۲/۸۶	۷۶/۲۷	۱۲۶/۱۰	میانگین
۱۱/۵۷	۱۸/۴۳	۱۶/۷۵	۶/۵۱	۷/۱۵	۱۸/۹۳	انحراف معیار
۲۸۱/۹۲	۷۱/۱۲	۱۰۵/۴۲	۶۵/۶۵	۶۸/۶۳	۱۰۱/۴۴	حداقل
۳۱۴/۷۷	۱۱۸/۲۱	۱۵۰/۲۱	۸۰/۴۳	۸۸/۶۵	۱۴۸/۰۰	حداکثر



شکل ۳ نمودار نسبت میانگین غلظت فلزات موجود در گردوغبار و ذرات اندازه گیری شده در هوای سایت نمونه برداری مرکزی در دو فصل گرم و سرد سال را نشان می دهد. این نسبت برای اکثر فلزات انسان ساز مانند سرب، کادمیوم، نیکل و روی کمتر بوده، بدین معنا که غلظت آن ها در فصل سرد بیشتر از گرم می باشد.

شکل ۳. نسبت میانگین غلظت فلزات موجود در گردوغبار و ذرات اندازه گیری شده در هوای سایت نمونه برداری مرکزی شهر تهران در دو فصل سرد و گرم

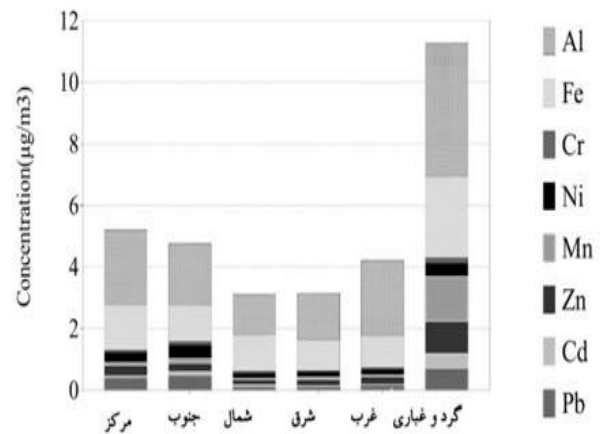


شکل ۵. نمودار ستونی مقادیر فاکتور غنی‌شده مربوط به فلزات اندازه‌گیری شده موجود در ذرات هوای محیطی سایتهای نمونه برداری در شهر تهران

در جدول ۳ نیز مقادیر سهم استاندارد شده فاکتورهای مختلف در غلظت فلزات موجود در ذرات در سایت‌های نمونه‌برداری بر اساس الگوی فاکتور چرخشی واریانس در روزهای عادی و گردوغباری آورده شده است. به ترتیب تعداد سه و دو فاکتور یا منبع انتشار احتمالی قابل تفکیک برای فلزات موجود در ذرات در روزهای عادی و گردوغباری به‌دست آمد.

برای روزهای عادی فاکتور اول با سهم ۵۲ درصد شامل فلزات نیکل، سرب و کروم می‌باشد و برای روزهای گردوغباری فلزات کروم، کادمیوم، نیکل و سرب با سهم ۴۸ درصد در فاکتور اول قرار دارند.

غلظت‌های فلزات موجود در ذرات جمع‌آوری شده روی فیلترها در هر یک از ایستگاه‌های نمونه‌برداری در روزهای عادی و گردوغباری در شکل ۴ نشان داده شده است. میانگین و انحراف معیار غلظت فلزات موجود در ذرات در روزهای گردوغباری برای فلزات $Al, Fe, Ni, Mn, Zn, Cd, Pb$ به ترتیب برابر با $4/0 \pm 35/97$ ، $2/0 \pm 6/67$ ، $0/0 \pm 18/04$ ، $0/0 \pm 41/15$ ، $1/0 \pm 2/41$ ، $0/0 \pm 53/14$ ، $0/0 \pm 66/20$ و این میزان برای روزهای عادی برابر با $2/41 \pm 0/3$ ، $0/47 \pm 0/26$ ، $0/29 \pm 0/13$ ، $0/13 \pm 0/06$ ، $0/0 \pm 32/15$ ، $0/0 \pm 6/02$ و $0/08 \pm 0/02$ و $0/0 \pm 39/15$ اندازه‌گیری شده است.



شکل ۴. نمودار ستونی غلظت‌های فلزات موجود در ذرات در ایستگاه‌های مورد مطالعه در شهر تهران (میکروگرم بر متر مکعب)

در شکل ۵ نمودار ستونی مقادیر فاکتور غنی‌شده مربوط به فلزات اندازه‌گیری شده موجود در ذرات هوای محیطی سایتهای نمونه برداری مشاهده می‌شود. نتایج حاصل از آنالیز فاکتور غنی شده (EF) بر روی فلزات موجود در ذرات نشان داد که برای فلز آهن در هر دو روز عادی و گردوغباری مقدار EF کمتر از یک بود. مقدار EF فلز منگنز در روز عادی بین ۵ تا ۱۰ بود و برای سایر فلزات در هر دو روزهای عادی و گردوغباری مقدار EF بالاتر از ۱۰ به‌دست آمده است.

جدول ۳. مقادیر سهم استاندارد شده فاکتورهای مختلف در غلظت عناصر در ذرات در سایت‌های نمونه برداری بر اساس الگوی فاکتور چرخشی واریماکس

عناصر	عادی		گرد و غباری	
	فاکتور ۱	فاکتور ۲	فاکتور ۱	فاکتور ۲
Pb	۰/۴۰		۰/۶۵	
Cd		۰/۵۱	۰/۷۴	
Zn	۰/۴۴		۰/۵۴	
Mn		۰/۳۹	۰/۵۹	
Ni	۰/۳۷		۰/۶۶	
Cr	۰/۵۷		۰/۵۴	
Fe		۰/۴۱	۰/۶۴	
Al		۰/۵۹	۰/۶۶	
سهم هر فاکتور	۰/۵۲	۰/۲۸	۰/۴۸	۰/۲۵
سهم تجمعی	۰/۵۲	۰/۸۰	۰/۸۷	۰/۷۳

۵. بحث

نتایج نمونه‌برداری ذرات معلق هوای شهر تهران در روزهای عادی و گردوغباری در بازه زمانی یک‌ساله بیان‌گر بالاتر بودن غلظت ذرات در روزهای گردوغباری نسبت به روزهای عادی است. با بررسی غلظت فلزات موجود در ذرات، برای دو فلز آهن و آلومینیوم بالاترین مقادیر در تمامی ایستگاه‌های نمونه‌برداری به‌دست آمد. مجموع غلظت‌های فلزات موجود در ذرات در روزهای گردوغباری نسبت به روزهای عادی بیشتر بوده است. مقایسه غلظت فلزات در دو فصل سرد و گرم نشان داد که میزان غلظت فلزات در فصل گرم نسبت به سرد برای فلزات با منشأ خاکی و انسان‌ساز به ترتیب بیشتر و کمتر بود. جهت تعیین منابع فلزات از آنالیزهای فاکتور غنی شده (EF) و تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA) استفاده شد. دو فلز آهن و آلومینیوم با مقدار EF کمتر از یک دارای منشأ خاکی می‌باشند. هم‌چنین فلز کادمیوم دارای بالاترین میزان EF است. آنالیز PCA برای روزهای عادی سه فاکتور اصلی را نشان داد. وجود فلزات نیکل، سرب و کروم در فاکتور اول نشان‌دهنده انتشار از منابع انسان‌ساز است. این آنالیز برای روزهای گردوغباری نیز دو فاکتور اصلی را به‌دست آورد که فلزات موجود در فاکتور اول (کروم، کادمیوم، نیکل و سرب) منشأ انسان‌ساز و فلزات فاکتور دوم (آهن، آلومینیوم، روی و منگنز) منبع انتشار خاکی و غیر انسانی را نشان می‌دهد. تصاویر SEM به‌دست آمده نشان‌دهنده ذرات با اشکال نامنظم، بیضوی، چندگوش و گاهی تجمع‌یافته

است. طبق نتایج حاصل از آنالیز XRF بر روی ذرات، بیشترین درصد وزنی مربوط به دی اکسید سیلیس، اکسید آلومینیوم و اکسید کلسیم با مقادیر به ترتیب ۵۶/۲۴، ۱۷/۳۸ و ۱۱ درصد است.

تصاویر به‌دست آمده از SEM با نتیجه مطالعه ارفعی نیا و همکاران بر روی ذرات PM2.5 هوای شهر تهران در سال ۱۳۹۲ تطابق دارد (۱۶). در مطالعه علی نژاد و همکاران در شهر تهران در سال ۱۳۹۴ با استفاده از SEM و XRF شکل و ترکیب ذرات بررسی شد که سیلیس، کلسیم و آلومینیوم عمده‌ترین ترکیبات این ذرات بود (۱۷). مقدار متوسط اکسیدهای اصلی حاضر در ذرات گردوغباری جمع‌آوری شده در این مطالعه دارای تشابه با نمونه‌های ذرات اندازه‌گیری شده در شهر تهران بودند (۱۸). غلظت ذرات در روز گردوغباری بیشتر از روز عادی و هم‌چنین در فصل سرد بیشتر از فصل گرم می‌باشد. در مطالعه ای که توسط گودرزی و همکاران در اهواز در سال ۱۳۹۱ انجام شد، متوسط غلظت ذرات PM10 در فصول بهار، تابستان، پاییز و زمستان در روزهای گردوغباری به ترتیب ۳۰۰، ۲۷۸/۳۳، ۴۱۰ و ۷۴۱/۶۴ میکروگرم بر مترمکعب و در روزهای عادی به ترتیب برابر با ۱۴۵، ۱۲۶، ۱۱۶/۵۰ و ۱۸۹/۴۱ میکروگرم بر مترمکعب بود. غلظت ذرات در فصل گرم و در روزهای گردوغباری حدود ۲ برابر روزهای عادی و در فصل سرد این میزان حدود ۳/۵ تا ۴ برابر است (۱۹، ۲۰). در مطالعه غلامپور و همکاران مشخص شد که غلظت سالیانه ذرات TSP برای

میزان فاکتور غنی‌شده (EF) کمتر از ۱ نشان‌دهنده منشأ خاکی فلزات موجود در ذرات، بین ۱ تا ۱۰ هر دو منبع خاکی و انسان‌ساز را نشان می‌دهد و مقدار EF بیشتر از ۱۰ بیانگر انسان‌ساز بودن منشأ تولید فلزات می‌باشد. مطالعات مختلف نشان داده‌اند که منابع انتشار مختلف در ارتباط با فعالیت‌های انسانی مانند فرآیندهای صنعتی، منابع متحرک و ثابت باعث رهاسازی غلظت‌های بالایی از فلزات به اتمسفر می‌شود. در پژوهشی که توسط پورخباز و همکاران بر روی منبع انتشار فلزات موجود در ذرات هوای مشهد در سال ۸۷-۸۶ انجام شد، مقدار EF برای فلزات سرب، روی، کروم و کبالت بالاتر از ۱۰ به‌دست آمد (۲۴). مطالعه جون و همکاران (۲۰۱۳) روی ترکیب شیمیایی ذرات PM2.5 در یک سایت شهری در جنوب غربی کشور چین نشان داد که ضریب غنی‌سازی EF برای Ba, Si, Fe, Ti, Na, V, Ca, Mg و Al کمتر از ۱۰ به‌دست آمد که نشان‌دهنده این است که منابع و منشاء این فلزات در این شهر زمینی می‌باشد (۲۵). همچنین مقادیر EF برای عناصر Cd, Br, Se, As, Pb, Zn, S, Mo, Cl و Cu بزرگ‌تر از ۶۰۰ به‌دست آمد که نشان می‌دهد منشأ و منبع این فلزات آن‌تروپونیک یا مصنوعی است که بر اثر فعالیت‌های بشری به‌وجود می‌آیند.

گاو در سال ۲۰۰۲ منابع انتشار ذرات را در سه گروه تقسیم‌بندی کرد. در گروه اول همه عناصر به‌جز آلومینیوم و آهن غلظت بالایی داشتند که نشان‌دهنده انتشار از منابع غیرطبیعی و انسان‌ساز بود. برای مثال از زباله‌سوزها (کادمیوم، سرب، کروم و روی) و سوزاندن نفت (نیکل و وانادیوم) و تولید فلزات غیر آهنی (سرب) در فاکتور دوم غلظت آهن و روی بالا بود. آهن اتمسفر معمولاً به‌عنوان عنصر پسته زمینی مورد استفاده قرار می‌گیرد و وجود آن به همراه روی می‌تواند دلیل بر انتشار از زباله سوزها و احتراق سوخت‌های فسیلی باشد. فاکتور سوم حضور آلومینیوم به‌تنهایی بود که ارتباط کمی با سایر عناصر داشت و این مسئله دال بر این بود که خاک پسته زمین منبع عمده آلومینیوم در ذرات معلق این ناحیه هست. گاو به این نتیجه رسید که ۳۱ درصد آلومینیوم موجود در

منطقه شهری ۱۳۹ و منطقه صنعتی ۱۷۸ میکروگرم بر مترمکعب به‌دست آمد. همچنین بیشترین مقادیر غلظت ۲۴ ساعته ذرات TSP در طول فصل سرد و در بهمن با مقدار ۲۷۶ میکروگرم بر مترمکعب به‌دست آمد (۲۱). غلظت ذرات در ایستگاه‌های شهری و ترافیکی (مرکز و جنوب) در ماه‌های سرد با افزایش تردد شهری به دلیل بازگشایی و فعالیت مدارس و دانشگاه‌ها و افزایش بار ترافیکی سیر صعودی دارد و در ادامه با شروع فصل زمستان و روند تداومی سرما، میزان احتراق خانگی افزایش یافته و باعث افزایش تولید غلظت ذرات می‌شود. در فصول گرم به دلیل وجود چشمه‌های تولید گردو غبار که در بیابان‌های اطراف شهر تهران قرار دارند و کاهش میزان بارندگی و رطوبت هوا، تعلیق مجدد ذرات، غلظت بالایی از گردو غبار در این مطالعه ثبت شد. (۲۲).

در مطالعه نعیم‌آبادی و همکاران (۲۰۱۶) مشخص شد که میانگین غلظت فلزات Al, Fe, Zn, Pb, Cr, Cu, V, As, Ni و Al در ذرات در روزهای گردو غباری به ترتیب ۴/۱، ۱۲/۳، ۲/۱، ۲/۰۶، ۸/۸، ۱/۷، ۱۲، ۱/۵ و ۵/۵ برابر روزهای عادی می‌باشد (۱۴). در مطالعه گودرزی و همکاران (۱۳۹۱) در اهواز میانگین غلظت سرب، روی و کادمیوم در فصل بهار در روزهای گردوغباری ۱/۲۶، ۱/۲۴ و ۱/۹۲ برابر روزهای عادی به‌دست آمد. در روزهای گردوغباری غلظت فلزات موجود در ذرات نسبت به روزهای عادی افزایش قابل توجهی دارد (۱۹). پرون و همکاران (۲۰۱۳) مطالعه‌ای تحت عنوان تعیین غلظت و اندازه ذرات معلق و ترکیب شیمیایی و تغییرات فصلی ذرات در مناطق شهری، روستایی دورافتاده انجام دادند. نتایج نشان داد که غلظت ذرات تا حدود زیادی به تغییرات فصلی وابسته است. همچنین نتایج نشان داد که بیشترین میانگین غلظت ذرات در روزهای عادی برای سایت‌های نمونه‌برداری شهری با غلظت ۴۵۷ میکروگرم بر مترمکعب برای فصل زمستان به دست آمد و در تابستان در مناطق روستایی تعداد روزهای گردو غباری قابل توجه است که دلیل این افزایش غلظت ذرات را شرایط آب و هوایی و پایداری اتمسفری ذکر کرده است (۲۳).

منشأ طبیعی در فصل گرم بیشتر است. آنالیز فاکتور غنی‌سازی و تحلیل مولفه‌های اصلی نشان داد که منابع طبیعی و انسانی هر دو در انتشار عناصر فلزی نقش به‌سزایی دارند. اگرچه مطالعه حاضر اطلاعات مفیدی در مورد خصوصیات فیزیکوشیمیایی و تعیین منشأ ذرات گردوغبار در هوای شهر تهران ارائه می‌کند، ولی برای درک جامع و کامل اثرات سمی برخی آلاینده‌ها و بخش‌های مختلف ذرات نیاز به مطالعات تکمیلی بیشتری است. امید است نتایج این مطالعه آغازی برای حل مشکلات جدی و زیست‌محیطی و تعیین اثرات بهداشتی ذرات در ابعاد مختلف و انجام مطالعات تکمیلی در این حوزه در کلان شهر تهران باشد.

۷. تقدیر و تشکر

این مقاله از بخشی از طرح تحقیقاتی مصوب دانشگاه علوم پزشکی ایران در سال ۱۳۹۴ با عنوان شناسایی جامع کانون‌های تولید گردوغبار موجود و ورودی به شهر تهران و برآورد اثرات قلبی-تنفسی منتسب به آن با کمک AirQ در سال ۹۶-۱۳۹۵، به کد ۲۷۰۱۰ حاصل گردیده و از هیچ سازمان دیگری کمک مالی دریافت نشده است.

۸. سهم نویسندگان

تمامی نویسندگان معیارهای استاندارد نویسندگی بر اساس پیشنهادات کمیته بین‌المللی ناشران مجلات پزشکی را دارا بودند.

۹. تضاد منافع

بدین‌وسیله نویسندگان تصریح می‌نمایند که هیچ‌گونه تضاد منافی در خصوص پژوهش حاضر وجود ندارد.

ذرات هوا از خاک‌های محلی ناشی می‌شود (۲۶). در مطالعه جعفری و همکاران در سال ۱۳۹۱ برای منشأیابی برخی فلزات سنگین موجود در گردوغبار شهر کرمان، نتایج حاصل از آنالیز مولفه‌های اصلی تعداد دو فاکتور یا مولفه به‌دست آمد. فاکتور اول حدود ۵۵ درصد از کل تغییرپذیری را توجیه می‌کند و شامل فلزات نیکل و منگنز می‌باشد که بیان‌گر منشأ انسانی این فلزات است. فاکتور دوم ۲۳ درصد از کل تغییرپذیری را بیان می‌کند و شامل عناصر مس، سرب و روی است که این فلزات دارای منشأ طبیعی می‌باشند (۱۹). در مطالعه‌ای که کمانی و همکاران در سال ۱۳۹۴ بر روی عوامل تاثیرگذار غلظت فلزات سنگین در شهر تهران انجام دادند، نتایج آنالیز مولفه‌های اصلی نشان داد که اولین مولفه (فاکتور شماره یک) حدود ۳۵/۸ درصد از واریانس کل را پوشش داد. این مولفه تا حدود زیادی مربوط به فلزات کادمیم، مس، نیکل، سرب و روی بود که به طور واضح نشان داد عناصر موجود در این مولفه بیشتر مربوط به منابع انسانی از قبیل احتراق سوخت‌های فسیلی، سیستم حمل و نقل، صنایع ذوب فلزی و غیره بود. دومین مولفه ۱۸/۰۵ درصد از واریانس را پوشش داد. این مولفه به مقدار زیادی مربوط به آلومینیوم و آهن و به‌طور متوسط مربوط به عنصر کروم بود. آلومینیوم و آهن عناصر مربوط به پوسته زمین هستند، در حالی که منبع کروم بیشتر مربوط به فعالیت‌های انسانی بود (۲۷). از جمله محدودیت‌های این مطالعه می‌توان به عدم امکان نمونه‌برداری در روز گردوغباری در نقاط بیشتر اشاره کرد.

۶. نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از مطالعه حاضر نشان داد که غلظت ذرات و عناصر فلزی در مرکز در روزهای عادی از سایر نقاط بیشتر بود و مقایسه عناصر و ذرات در فصل سرد و گرم مشخص نمود که در روزهای عادی فلزات با منشأ انسانی در فصل سرد و فلزات با

References

1. Mohseni Bandpi A, Eslami A, Shahsavani A, Khodaghali F, Aliaghaei A, Alinejad A. Water-soluble and organic extracts of ambient PM_{2.5} in Tehran air: assessment of genotoxic effects on human lung epithelial cells (A549) by the Comet assay. *Toxin Reviews*. 2017; 36(2):116-24.
2. Soleimani Z, Goudarzi G, Sorooshian A, Marzouni MB, Maleki H. Impact of Middle Eastern dust storms on indoor and outdoor composition of bioaerosol. *Atmospheric Environment*. 2016; 138:135-43.
3. Borna E, Amini Nasab AS. The occurrence causes of dust survey and management strategies offer. *ICECS-FA-1687-918*. 2013.
4. Zolfaghari H, Masoumpour Samakosh J, Shaygan Mehr Sh, Ahmadi M. A synoptic investigation of dust storms in western regions of Iran during 2005-2010 (A case study of widespread wave in July 2009). *Geography and Environmental Planning Journal*. 2011; 22(3).
5. Megido L, Suárez-Peña B, Negral L, Castrillón L, Suárez S, Fernández-Nava Y, et al. Relationship between physico-chemical characteristics and potential toxicity of PM₁₀. *Chemosphere*. 2016; 162:73-9.
6. Stafoggia M, Zauli-Sajani S, Pey J, Samoli E, Alessandrini E, Basagaña X, et al. Desert dust outbreaks in Southern Europe: contribution to daily PM₁₀ concentrations and short-term associations with mortality and hospital admissions. *Environmental health perspectives*. 2016; 124(4):413.
7. Mazloomi S, Esmaeili-Sari A, Bahramifar N, Moeinaddini M. Assessment of the metals and metalloids level in street dust of the east and west of Tehran. *Iranian Journal of Health and Environment*. 2017; 10(2):281-92.
8. Jaafari J, Naddafi K, Yunesian M, Nabizadeh R, Hassanvand MS, Ghozikali MG, et al. Study of PM₁₀, PM_{2.5}, and PM₁ levels in during dust storms and local air pollution events in urban and rural sites in Tehran. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*. 2018; 24(2):482-93.
9. Shahsavani A, Yarahmadi M, Hadei M, Sowlat MH, Naddafi K. Elemental and carbonaceous characterization of TSP and PM₁₀ during Middle Eastern dust (MED) storms in Ahvaz, Southwestern Iran. *Environmental monitoring and assessment*. 2017; 189(9):462.
10. Sarti E, Pasti L, Rossi M, Ascanelli M, Pagnoni A, Trombini M, et al. The composition of PM₁ and PM_{2.5} samples, metals and their water soluble fractions in the Bologna area (Italy). *Atmospheric Pollution Research*. 2015; 6(4):708-18.
11. Hoseini M, Yunesian M, Nabizadeh R, Yaghmaeian K, Ahmadkhaniha R, Rastkari N, et al. Characterization and risk assessment of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) in urban atmospheric Particulate of Tehran, Iran. *Environmental Science and Pollution Research*. 2016; 23(2):1820-32.
12. Amarloei A, JONIDI JA, ASILIAN MH, Asadollahi K. The Evaluation of PM₁₀, PM_{2.5} and PM₁ Concentration during Dust Storm Events in Ilam city, from Mar 2013 through Feb 2014. 2014.
13. Kermani M, Arfaeinia H, Nabizade R, Alimohammadi M, Alamolhoda AA, Bahramiasl F, et al. Study on Concentration of Particulate Matter with Diameter Less than 10 Microns, Heavy Metals and Polycyclic Aromatic Hydrocarbons Related to PM_{2.5} in the Ambient Air of Sina Hospital District. *Journal of Environmental Health Engineering*. 2014; 1(2):93-103.
14. Naimabadi A, Ghadiri A, Idani E, Babaei AA, Alavi N, Shirmardi M, et al. Chemical composition of PM₁₀ and its in vitro toxicological impacts on lung cells during the Middle Eastern Dust (MED) storms in Ahvaz, Iran. *Environmental Pollution*. 2016; 211:316-24.
15. Chester R, Stoner J. Pb in particulates from the lower atmosphere of the eastern Atlantic. *Nature*. 1973; 245(5419):27.
16. Kermani M, Arfaeinia H, Nabizadeh R, Alimohammadi M, Aalamolhoda A. Levels of PM_{2.5}-associated heavy metals in the ambient air of Sina hospital district, Tehran, Iran. *Journal of Air pollution and Health*. 2015; 1(1):1-6.
17. MohseniBandpi A, Eslami A, Shahsavani A, Khodaghali F, Alinejad A. Physicochemical characterization of ambient PM_{2.5} in Tehran air and its potential cytotoxicity in human lung epithelial cells (A549). *Science of the Total Environment*. 2017; 593:182-90.
18. Arfaeinia H, Hoseini M, Ranjbar Vakilabadi D, Alamolhoda A, Banafshehafshan S, Kermani M. Morphological and mineralogical study of PM_{2.5} particles in the air of Tehran,

- relying on the analysis of EDX-SEM images and XRD analysis. *Journal of Health*. 2016; 7(2):134-45.
19. Goudarzi Gh, Alavi Bakhtiarvand N, Shirmardi M, Heidari Farsani M, Ahmadi Ankali K, et al. Heavy metals contents of PM10 in ambient air of Ahvaz city. *Jornal of Environmental Sciences*. 2014; 12(3):65-72.
 20. Jafari F, Khademi H. Identification of some heavy metals in atmospheric dust in the city of Kerman. *AQM* 2013-1016.
 21. Gholampour A, Nabizadeh R, Hassanvand MS, Taghipour H, Rafee M, Alizadeh Z, et al. Characterization and source identification of trace elements in airborne particulates at urban and suburban atmospheres of Tabriz, Iran. *Environmental Science and Pollution Research*. 2016; 23(2):1703-13.
 22. Lawrence S, Sokhi R, Ravindra K, Mao H, Prain HD, Bull ID. Source apportionment of traffic emissions of particulate matter using tunnel measurements. *Atmospheric environment*. 2013; 77:548-57.
 23. Perrone M, Gualtieri M, Consonni V, Ferrero L, Sangiorgi G, Longhin E, et al. Particle size, chemical composition, seasons of the year and urban, rural or remote site origins as determinants of biological effects of particulate matter on pulmonary cells. *Environmental pollution*. 2013; 176:215-27.
 24. Pourkhabaz HR, Javanmardi S. Determination of the concentration and source of toxic metals in air of the urban areas (A case study: city of Mashhad). *Geography and Environmental Planning Journal*. 2014; 25(3).
 25. Tiwari S, Srivastava AK, Bisht DS, Bano T, Singh S, Behura S, et al. Black carbon and chemical characteristics of PM10 and PM2. 5 at an urban site of North India. *Journal of Atmospheric Chemistry*. 2009; 62(3):193-209.
 26. Gao Y, Nelson E, Field M, Ding Q, Li H, Sherrell R, et al. Characterization of atmospheric trace elements on PM2. 5 particulate matter over the New York–New Jersey harbor estuary. *Atmospheric Environment*. 2002; 36(6):1077-86.
 27. 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.