

Investigation of Heavy Metal Concentrations in Airborne Particles in District 21 of Tehran

ABSTRACT

Background and Aim: Airborne particles are the main key to the transport of heavy metals due to their ability to float in the atmosphere for a long time. This study aimed to measure heavy metal concentration in the suspended particles which compare it in five different land uses in district 21 of Tehran.

Materials and methods: The procedure was performed based on the US Environmental Protection Agency and Materials Testing ASTM D4096 and EPA standards. The sampling was performed using a high-volume pump for 20 minutes. The sampling was done every six days from five stations in district 21 in the spring of 2021. A total of 20 active samples of total airborne particles were collected from the residential, semi-residential, industrial, semi-industrial, and park stations. The airborne particle concentration was analyzed by the gravimetric method, and heavy metals were attached to particles using the ICP-OES. Descriptive tests of SPSS statistical software were used to analyze the data.

Results: The results show that the lowest concentration of Total airborne particles TSP is in the residential station with 42.34 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ and the highest concentration is in the industrial station with 253.30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. In all applications except the park station, the aluminum has the highest concentration, and the lithium has the lowest concentration. The average concentration of the heavy metals in district 21 is an increasing trend of Lithium < Lead < Tungsten < Titanium < Strontium < Magnesium < Iron < Zinc < Chrome < Aluminum, respectively.

Conclusion: The heavy metals in the airborne particles of district 21 have a high concentration and diversity. The factors affecting pollution in the study area include the resources, such as the industries, airports, and light vehicles.

Keywords: Pollution concentration, Heavy metals in air, Total suspended particles, Tehran city, Sources

Seyyed Reza Karimi

Ph.D. Student, Department of Environmental Science, Faculty of Natural Resources and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.

Nabiollah Mansouri

* Professor, Department of Environmental Engineering, Faculty of Natural Resources and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran (Correspondence Officer) : nmansouri@srbiu.ac.ir

Lobat Taghavi

Associate Professor, Department of Environmental Sciences, Faculty of Natural Resources and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

Mazaher Moeinaddini

Associate Professor, Department of Environmental Sciences, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

Received: 2021/11/20

Accepted: 2022/06/01

Document Type: Research article

► **Citation:** Karimi SR, Mansouri N, Taghavi L, Moeinaddini M. Investigation of Heavy Metal Concentrations in Airborne Particles in District 21 of Tehran. *Journal of Research in Environmental Health*. Summer 2022; 8(2): 136-147.

بررسی غلظت فلزات سنگین در ذرات معلق هوای منطقه ۲۱ شهر تهران

چکیده

زمینه و هدف: ذرات معلق هوا به دلیل قابلیت شناوری طولانی مدت در اتمسفر، کلید اصلی انتقال فلزات سنگین است. مطالعه حاضر با هدف سنجش غلظت فلزات سنگین موجود در ذرات معلق و مقایسه آن در ۵ نوع کاربری متفاوت در منطقه ۲۱ شهر تهران انجام شد.

مواد و روش‌ها: در این مطالعه روش کار طبق استاندارد آژانس حفاظت محیط زیست و تست مواد آمریکا ASTM D4096 و EPA اجرایی شد. نمونه‌برداری با استفاده از پمپ حجم بالا و طی مدت زمان ۲۰ دقیقه صورت گرفت. نمونه‌برداری‌ها در هر ۶ روز یک‌بار از ۵ ایستگاه منطقه ۲۱ در بهار ۱۴۰۰ انجام شد. تعداد ۲۰ نمونه فعال از کل ذرات معلق هوا از ایستگاه‌های مسکونی، نیمه‌مسکونی، صنعتی، نیمه‌صنعتی و پارک برداشت شد. غلظت ذرات معلق هوا با روش گراویمتری و فلزات سنگین متصل به ذرات با استفاده از دستگاه ICP-OES آنالیز شد. تجزیه و تحلیل داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار آماری SPSS، ورژن ۲۶ انجام شد.

یافته‌ها: بر اساس نتایج، کمترین غلظت کل ذرات معلق هوا در ایستگاه مسکونی با $42/34 \mu\text{g}/\text{m}^3$ و بیشترین غلظت در ایستگاه صنعتی با $253/30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ بود. در همه کاربری‌ها به‌جز ایستگاه پارک، عنصر آلومینیوم بیشترین غلظت و عنصر لیتیم کمترین غلظت را داشت. میانگین غلظت فلزات سنگین در منطقه ۲۱ به‌ترتیب روند افزایشی لیتیم > سرب > تنگستن > تیتانیوم > استرانسیم > منیزیم > آهن > روی > کروم > آلومینیوم بود.

نتیجه‌گیری: فلزات سنگین موجود در ذرات معلق هوای منطقه ۲۱ از غلظت و تنوع بالایی برخوردار است. از عوامل مؤثر بر آلودگی منطقه مورد مطالعه می‌توان به منابعی از قبیل صنایع، فرودگاه و وسایل نقلیه سبک اشاره کرد.

کلید واژه‌ها: شهر تهران، غلظت آلودگی، فلزات سنگین هوا، کل ذرات معلق، منشأ

سید رضا کریمی

دانشجوی دکتری گروه علوم محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.

نبی‌اله منصوری

* استاد، گروه مهندسی محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران (مسئول مکاتبات): nmansouri@srbiau.ac.ir

لعبت تقوی

دانشیار، گروه علوم محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

مظاهر معین‌الدینی

دانشیار، گروه علوم محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۲/۲۲

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۳/۱۱

نوع مقاله: اصیل پژوهشی

◀ **استناد:** کریمی س ر، منصوری ن، تقوی ل، معین‌الدینی م. بررسی غلظت فلزات سنگین در ذرات معلق هوای منطقه ۲۱ شهر تهران. *فصلنامه پژوهش در بهداشت محیط*. تابستان ۱۴۰۱؛ ۸(۲): ۱۳۶-۱۴۷.

مقدمه

در سال‌های اخیر یکی از مهم‌ترین نگرانی‌های بهداشت عمومی و حیاتی در کشورهای درحال توسعه، بحث آلودگی هوا است (۱، ۲). ادبیات فزاینده‌ای در مورد تأثیر آلودگی هوا بر سرمایه انسانی، از جمله سلامت جسمی و سلامت روان (۳) و عملکرد شناختی وجود دارد (۴). بر اساس گزارش سازمان بهداشت جهانی^۱، حدود ۹۱٪ از کل جمعیت جهان در سال ۲۰۱۶ در مناطقی زندگی می‌کردند که آلودگی هوا بیشتر از حد مجاز بوده و سالانه ۴/۲ میلیون نفر به دلیل آلودگی هوای محیط می‌میرند (۴). آمارها نشان می‌دهد که ۱۲٪ از کل مرگ‌ومیر انسان‌ها در سال ۲۰۱۹ ناشی از آلودگی هوای شهرها و خانه‌ها بوده است (۵). یکی از مهم‌ترین آلاینده‌های هوا، ذرات معلق (PM) است که نقش مهمی در کاهش کیفیت هوا دارد (۵). آلودگی ذرات معلق هوا، یک مشکل عمده زیست‌محیطی و بهداشتی است که به یک مسئله جهانی تبدیل شده است (۶). ذرات معلق موجود در هوا می‌تواند مستقیماً از منابع طبیعی و انسانی و همچنین تغییرات فیزیکی و شیمیایی گازها در جو انتشار یابد (۷). منبع اصلی انتشار ذرات معلق هوا در اتمسفر شهری شامل: احتراق زغال‌سنگ، انتشار ترافیک و سوزاندن است (۸). هنگام ارزیابی مواجهه همه آلاینده‌های PM_{2.5} و PM₁₀ استنشاق شده در مایع ریه حل شده و جذب گردش خون می‌شوند (۹، ۱۰)؛ به‌طوری‌که ذرات ریز به عمق ریه حرکت می‌کنند و در نهایت به ناحیه آلوئولار (AR) می‌رسند. این فرآیند منجر به عفونت دستگاه تنفسی شده و مرگ زودهنگام را در افراد مبتلا به بیماری‌های مزمن ریوی به‌همراه دارد (۱۱). گزارش اجلاس جهانی ۲۰۱۳ در پاریس نشان داد که ذرات معلق در هوای محیط، دلیل اصلی بیماری‌های تنفسی و سیستم قلبی - عروقی هستند (۱۲). همچنین مطالعات سری زمانی که در بسیاری از مناطق شهری انجام شده است، ارتباط مداوم بین تغییر کوتاه‌مدت در غلظت ذرات معلق هوا و مرگ ناشی

از بیماری‌های قلبی - عروقی را نشان می‌دهد (۱۳). به‌طور کلی تحقیقات گسترده نشان می‌دهد که مواجهه با ذرات معلق هوا می‌تواند عوارض جانبی مختلفی را برای سلامتی از جمله تشدید آسم، ضریان نامنظم قلب، پیامدهای نامطلوب زایمان (مانند مرگ زودرس و دیابت بارداری)، علائم تنفسی غیرطبیعی و رفتارهای غیرطبیعی ایجاد کند (۱۴، ۱۵). بنابراین ذرات معلق، کلید اصلی انتقال فلزات سنگین هستند (۱۸). پس از رسوب ذرات معلق در دستگاه تنفسی، بخش‌های محلول و قابل دسترسی از فلزات سنگین متصل به ذرات به مایعات ریه در ناحیه نای تراشه^۴ (۱۶) و ناحیه آلوئولار رها می‌شوند و از طریق انتقال فعال و تجمع زیستی یا جذب بیولوژیکی توسط بافت اپی تلیال آلوئول جذب می‌شوند (۱۷، ۱۸). به‌طور کلی مواجهه انسان با ذرات معلق و فلزات سنگین متصل به آن از طریق تنفس، بلعیدن و مسیرهای جذب پوستی رخ می‌دهد (۱۹، ۲۰). در ادامه به خلاصه‌ای از پژوهش‌های مرتبط با ذرات معلق و فلزات سنگین اشاره می‌گردد. مطالعه‌رن و همکاران نشان داد که به‌طور میانگین غلظت جرمی ۲۴ ساعته PM_{2.5} از ۲۲/۰۹ تا ۲۹۲/۴۵ میکروگرم بر مترمکعب در شمال خلیج فارس متغیر است (۱۹). همچنین مطالعه صحرایی و سلیمی در بررسی فیزیکی و شیمیایی ذرات معلق در شهر کرمانشاه نشان داد که از میان ترکیبات شیمیایی مختلف، عنصر کروم بیشترین غلظت را داشته و در بررسی توزیع اندازه ذرات معلق، بیشترین جرم در هوای گردوغباری و سالم مربوط به مرکز و حاشیه شهر بوده است (۲۰). با توجه به مطالعات محدودی که درباره ذرات معلق حاوی فلزات سنگین صورت گرفته، اما پژوهش جامعی که بتواند ذرات معلق حاوی غلظت فلزات سنگین را در کاربری‌های مختلف شهر تهران مقایسه کند صورت نگرفته و خلأ تحقیقاتی در این زمینه چشمگیر می‌باشد. منطقه ۲۱ تهران به دلیل استقرار کارخانه‌های بزرگ صنعتی مانند ایران خودرو، سایپا، کرمان موتور، داروسازی عیبدی و همچنین دسترسی به شبکه بزرگراهی آزادگان، فتح و لشگری، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است.

1. World Health Organization
2. Particulate Matter
3. Alveolar Region

4. Tracheobronchial Region

۲۰ دقیقه) انجام شد. جهت صحت داده‌ها، پمپ مکند به روش حباب صابون کالیبره و تنظیم شد. پمپ مکند به موقعیت ایستگاه انتقال داده شده و هولدر در یک صفحه عمودی در ارتفاع ۱۶۰ سانتی‌متری (ارتفاع تنفسی) به صورت روبرو قرار گرفت. بازه زمانی نمونه‌برداری‌ها از ۹ صبح تا ۵ بعدازظهر بود و مدت زمان نمونه‌برداری در هر ایستگاه به مدت ۲۰ دقیقه صورت گرفت. در طول نمونه‌برداری از دستگاه فلوومتر پرتابل جهت اندازه‌گیری متغیرهای هواشناسی (دما، باد و رطوبت) استفاده شد. جهت تعیین میزان ذرات هواپرد از روش وزن‌سنجی^۴ استفاده شد. برای حذف رطوبت احتمالی موجود در فیلترهای فایبرگلاس به مدت ۴۸ ساعت قبل و بعد از نمونه‌برداری در داخل دسیکاتور قرار گرفت (۲۳). سپس با استفاده از ترازوی دقیق آزمایشگاهی ۰/۰۰۰۱ گرم توزین شدند.

پس از نمونه‌برداری فیلتر وزن شده و با توجه به اختلاف وزن و حجم هوای عبوری از طریق (معادله ۱) غلظت کل ذرات معلق هوا (TSP) محاسبه گردید (۲۴، ۲۵).

$$TSP = \frac{(w_f - w_i) \times 10^6}{V} \quad \text{معادله ۱:}$$

TSP = غلظت کل ذرات معلق (میکروگرم بر متر مکعب)

w_f = وزن فیلتر نمونه‌برداری شده (گرم)

w_i = وزن فیلتر قبل از شروع نمونه‌برداری (گرم)

V = حجم کل هوای عبوری در طول مدت نمونه‌برداری برحسب

حجم هوای استاندارد (متر مکعب)

حجم هوای عبوری از معادله ۲ محاسبه شد:

$$V = \frac{Q_1 - Q_2}{2} \times t \quad \text{معادله ۲:}$$

Q_1 = فلوی اولیه (متر مکعب بر دقیقه)

Q_2 = فلوی ثانویه (متر مکعب بر دقیقه)

t = زمان کل نمونه‌برداری (دقیقه)

حجم جریان هوای عبوری از پمپ با توجه به فشار و دمای

پژوهش حاضر در فصل بهار سال ۱۴۰۰ و با هدف سنجش و تعیین غلظت کل ذرات معلق هوا در ۵ نوع کاربری متفاوت، تعیین غلظت فلزات سنگین متصل به ذرات در هر ایستگاه و تعیین غلظت فلزات سنگین در کل منطقه ۲۱ انجام شد.

روش کار

منطقه مورد مطالعه

طبق استاندارد آژانس حفاظت محیط زیست آمریکا^۱ محل نمونه‌برداری باید به گونه‌ای انتخاب شود که ذرات جمع‌آوری شده، نماینده مناطق تحت نظارت باشند (۲۱). با بررسی و مطالعات صورت گرفته، منطقه ۲۱ تهران به دلیل دارا بودن مناطق مسکونی، نیمه‌مسکونی، صنعتی، نیمه‌صنعتی و بوستان در ۳ ناحیه، به عنوان مکان پژوهش انتخاب شد. نقاط نمونه‌برداری طوری انتخاب شدند که تمام منابع احتمالی آلودگی ذرات در نظر گرفته شده باشند. همچنین محل نمونه‌برداری به گونه‌ای در نظر گرفته شد که ۵ ایستگاه نمونه‌برداری در سه ناحیه مختلف از منطقه ۲۱ قرار گرفته و از شرق تا غرب، شمال تا جنوب منطقه را شامل می‌شد.

روش نمونه‌برداری و آنالیز شیمیایی

برای سنجش و اندازه‌گیری ذرات معلق هوا از متدهای آژانس حفاظت محیط زیست و تست مواد آمریکا ASTM D4096^۲ و EPA Compendium Method IO-2.1^۳ استفاده شد (۲۱ و ۲۲). جهت نمونه‌برداری از ۲۵ فیلتر فایبرگلاس کروی (۱۱۰ میلی‌متر) ساخت کشور آلمان استفاده شد که ۲۰ فیلتر برای نمونه‌برداری فعال و ۵ فیلتر به عنوان شاهد در نظر گرفته شد. با توجه به تقویم نمونه‌برداری سال ۲۰۲۱ متعلق به سازمان حفاظت از محیط‌زیست آمریکا، نمونه‌برداری هر ۶ روز یک‌بار انجام شد. نمونه‌برداری با استفاده از پمپ حجم بالا^۳ مدل POMPEs 64-URT ساخت کشور فرانسه و با جریان متوسط ۳۶/۵ لیتر در دقیقه (طی مدت

1. Environmental Protection Agency

2. Standard Test Method for Determination of Total Suspended Particulate Matter in the Atmosphere (High-Volume Sampler Method)

3. High Volume Pump

4. Gravimetric Analysis

5. Total Suspended Particulate

محیط نمونه برداری و فشار و دمای استاندارد با معادله ۳ محاسبه شد:

معادله ۳:

$$Q_{std} = Q_a (P_{av} / P_{std}) (T_{std} / T_{av})$$

Q_{std} = میانگین جریان پمپ که بر اساس استاندارد EPA اصلاح شده است (m^3/min)

$$Q_a = \text{میانگین واقعی جریان برای دوره نمونه برداری } (m^3/min)$$

$$P_{std} = \text{استاندارد فشار بارومتریک } ۷۶۰ \text{ میلی متر جیوه}$$

$$T_{std} = \text{دمای استاندارد } ۲۹۸^\circ K$$

جهت تعیین فلزات، نصف فیلتر به قطعات خیلی ریز خرد و در داخل تفلونی ریخته شد و سپس ۳ میلی لیتر اسید نیتریک، ۱ میلی لیتر اسید پرکلرات و ۰/۱ میلی لیتر اسید هیدروفلوئوریک به آن اضافه و به مدت ۴ ساعت در دمای ۱۷۰ درجه سلسیوس در داخل فور قرار گرفت. پس از سرد شدن، محلول بر روی هیتر در دمای ۹۵ درجه سلسیوس خشک و ۱ میلی لیتر اسید کلریدریک به آن افزوده و سپس به وسیله آب مقطر به حجم ۵ میلی لیتر رسانده شد. سپس محلول از فیلترهای وات من عبور داده شد و در داخل ظروف پلاستیکی در دمای ۴ درجه سلسیوس در یخچال تا زمانی که قرائت فلزات انجام گرفت، نگهداری گردید (۲۶). جهت آماده سازی نمونه ها از روش هضم اسیدی مورد تأیید سازمان حفاظت از محیط زیست آمریکا استفاده شد (۲۷). در آخرین مرحله، غلظت فلزات سنگین با استفاده از روش پلاسما نشر نوری القایی ICP-OES مدل Aligent 5110 ICP-OES ساخت کشور استرالیا در آزمایشگاه مرکز پژوهش های صنعتی و معدنی تهران تعیین گردید. تجزیه و تحلیل داده ها با استفاده از نرم افزار آماری SPSS، ورژن ۲۶ انجام شد. همچنین جهت پردازش داده های به دست آمده از نرم افزار اکسل استفاده شد.

یافته ها

تعیین غلظت کل ذرات معلق هوا

آماره های توصیفی غلظت ذرات معلق هوا در ایستگاه های مختلف منطقه ۲۱ در فصل بهار ۱۴۰۰ نشان می دهد که میانگین غلظت

TSP در ایستگاه های منطقه ۲۱ در فصل گرم به صورت روند افزایشی در S2 ($\bar{x}=۶۵/۹۶ \mu g/m^3$)، S5 ($\bar{x}=۱۰۸/۱۷ \mu g/m^3$)، S1 ($\bar{x}=۱۱۶/۰۹ \mu g/m^3$)، S4 ($\bar{x}=۱۵۹/۶۳ \mu g/m^3$) و S3 ($\bar{x}=۱۹۷/۸۸ m^3$) بوده است؛ به عبارتی میانگین غلظت کل ذرات معلق در فصل بهار به ترتیب S3>S4>S1>S5>S2 بود. همچنین ایستگاه S۲ کمترین غلظت TSP با $۴۲/۳۴ \mu g/m^3$ و ایستگاه S۴ بیشترین غلظت TSP با $۲۵۳/۳۰ \mu g/m^3$ در بین همه ایستگاه ها را داشت.

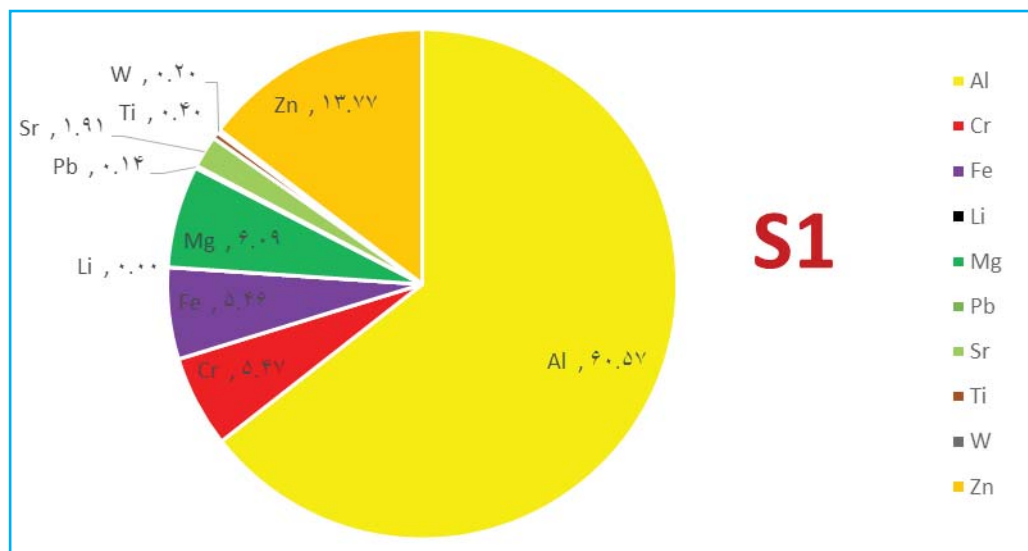
بیشترین انحراف استاندارد و واریانس در ایستگاه S4 و کمترین آن در ایستگاه S2 وجود داشت. مقادیر بالای انحراف استاندارد، نشان دهنده وجود تغییرات زیاد TSP در آن ایستگاه می باشد. دامنه تغییرات TSP در فصل بهار بیانگر آن بود که بیشترین اختلاف داده در ایستگاه صنعتی یا S۴ وجود داشت. همان طور که در نمودار ۱ نشان داده شده است، میانگین غلظت TSP در ایستگاه نیمه صنعتی، صنعتی، پارک، نیمه مسکونی و مسکونی با روند کاهشی به ترتیب ۱۹۷/۸۸، ۱۵۹/۶۳، ۱۰۸/۱۷، ۱۱۶/۰۹، ۶۵/۹۶ ($\mu g/m^3$) بود. یافته ها نشان داد در ایستگاه نیمه صنعتی بیشترین غلظت $۲۳۷/۴۶ \mu g/m^3$ و کمترین غلظت $۱۰۵/۵۴ \mu g/m^3$ ، در ایستگاه صنعتی بیشترین غلظت $۲۵۳/۲۹ \mu g/m^3$ و کمترین غلظت $۷۹/۱۵ \mu g/m^3$ ، در ایستگاه پارک بیشترین غلظت $۱۵۸/۳۱ \mu g/m^3$ و کمترین غلظت $۶۵/۹۶ \mu g/m^3$ ، در ایستگاه نیمه مسکونی بیشترین غلظت $۱۸۴/۶۹ \mu g/m^3$ و کمترین غلظت $۵۲/۷۷ \mu g/m^3$ و در ایستگاه مسکونی بیشترین غلظت $۱۰۵/۵۴ \mu g/m^3$ و کمترین غلظت $۵۱/۷۸ \mu g/m^3$ در فصل بهار منطقه ۲۱ وجود داشت، بنابراین نتایج بیانگر آن بود که بیشترین غلظت TSP در منطقه صنعتی و کمترین آن در منطقه مسکونی متمرکز شده است.

تعیین غلظت فلزات سنگین موجود در ذرات معلق هوا

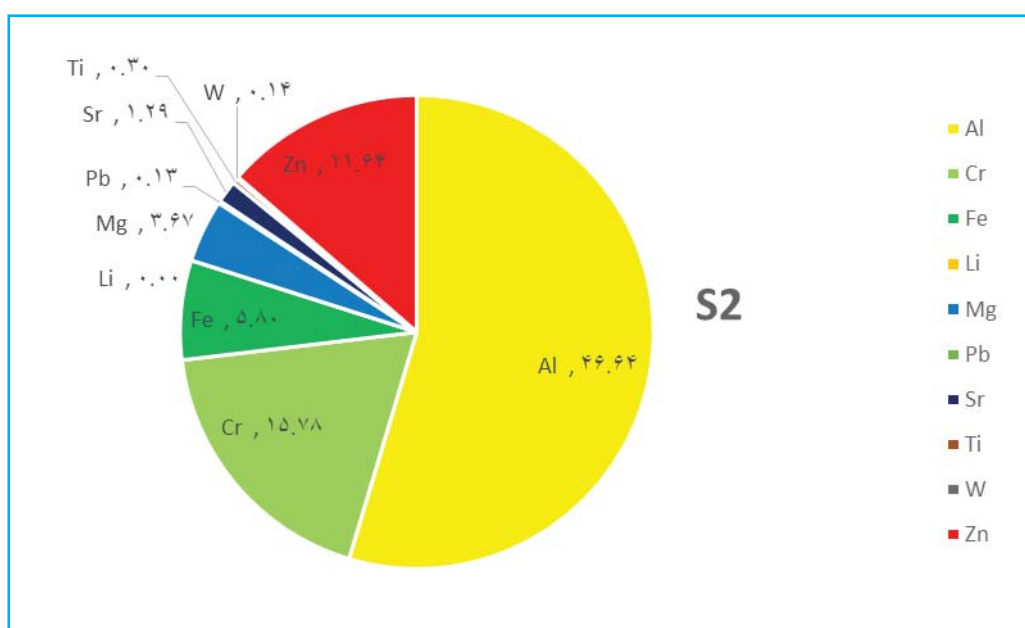
آنالیز فیلترهای نمونه برداری شده نشان داد ذرت معلق هوا حاوی انواع فلزات سنگین می باشد. به طور کلی از تجزیه و تحلیل فیلترهای نمونه برداری شده ۱۰ نوع فلز سنگین از ذرات معلق هوا که

(S1) نشان داده شده است. یافته‌ها بیانگر آن است که عنصر آلومینیوم با $60/57 \mu\text{g}/\text{m}^3$ بیشترین غلظت و عنصر لیتیم با $0/00395 \mu\text{g}/\text{m}^3$ کمترین میانگین غلظت را داشت. میانگین غلظت فلزات سنگین در ایستگاه S1 به ترتیب روند کاهشی $\text{Al} > \text{Zn} > \text{Mg} > \text{Cr} > \text{Fe} > \text{Sr} > \text{Ti} > \text{W} > \text{Pb} > \text{Li}$ قرار داشت.

شامل آلومینیوم (Al)، کروم (Cr)، آهن (Fe)، لیتیم (Li)، منیزیم (Mg)، سرب (Pb)، استرانسیم (Sr)، تیتانیوم (Ti)، تنگستن (W) و روی (Zn) بودند، به دلیل غلظت بالا و احتمال اثرگذاری منفی بر روی انسان برای تجزیه و تحلیل انتخاب شدند. در نمودار ۱ میانگین غلظت فلزات سنگین در ایستگاه نیمه‌مسکونی

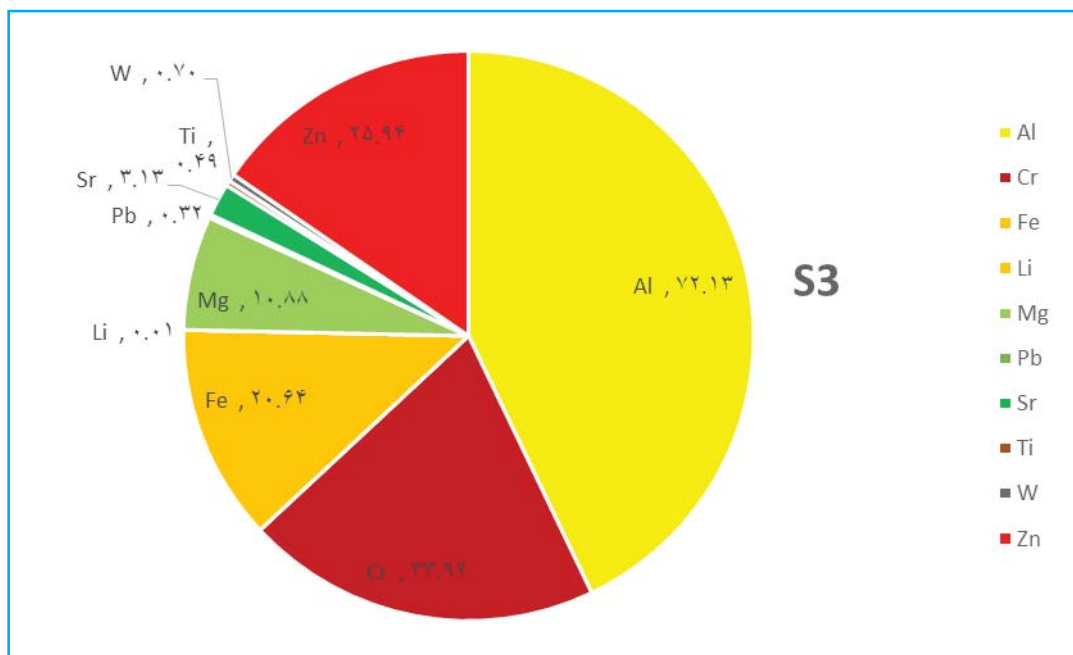


نمودار ۱. میانگین غلظت فلزات سنگین در ایستگاه S1 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

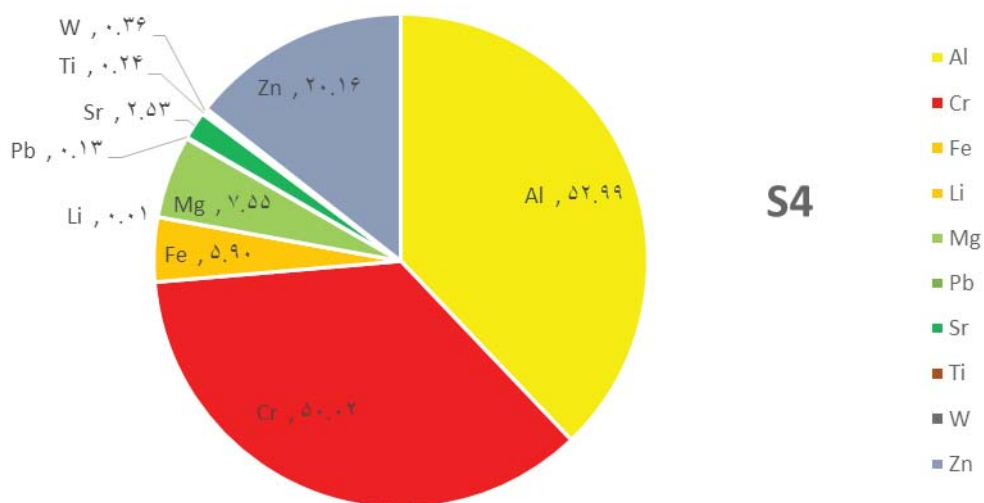


نمودار ۲. میانگین غلظت فلزات سنگین در ایستگاه S2 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

با توجه به نمودار ۲ در ایستگاه مسکونی (S2)، عنصر آلومینیوم با $46/64 \mu\text{g}/\text{m}^3$ بیشترین میانگین غلظت و عنصر لیتیم با $0/003 \mu\text{g}/\text{m}^3$ کمترین میانگین غلظت را داشت. میانگین غلظت فلزات سنگین در ایستگاه S2 به ترتیب روند کاهشی $\text{Al} > \text{Cr} > \text{Zn} > \text{Fe} > \text{Mg} > \text{Sr} > \text{Ti} > \text{W} > \text{Pb} > \text{Li}$ قرار داشت.



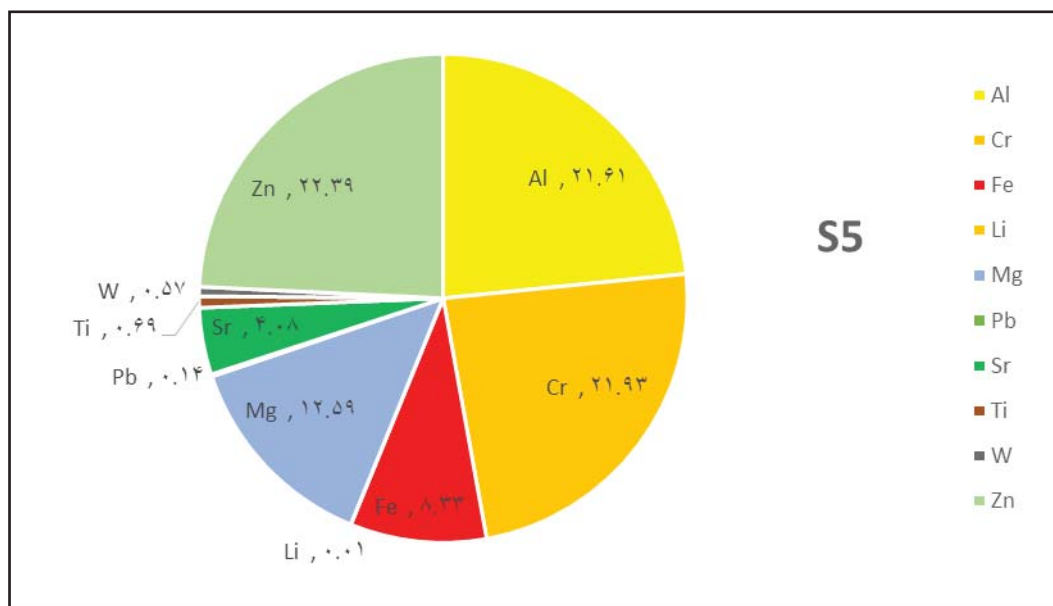
نمودار ۳. میانگین غلظت فلزات سنگین در ایستگاه S3 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)



نمودار ۴. میانگین غلظت فلزات سنگین در ایستگاه S4 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

در نمودار ۴ ایستگاه صنعتی (S4) عنصر آلومینیوم با $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ۵۲/۹۹ بیشترین میانگین غلظت و عنصر لیتیم با $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ۰/۰۰۵ کمترین میانگین غلظت را داشت. میانگین غلظت فلزات سنگین در ایستگاه S4 به ترتیب روند کاهشی $\text{Al} > \text{Cr} > \text{Zn} > \text{Mg} > \text{Fe} > \text{Sr} > \text{W} > \text{Ti} > \text{Pb} > \text{Li}$ بود.

با توجه به نتایج نمودار ۳ که مربوط به ایستگاه نیمه صنعتی (S3) می شود، عنصر آلومینیوم با $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ۷۲/۱۳ بیشترین میانگین غلظت و عنصر لیتیم با $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ۰/۰۰۷ کمترین میانگین غلظت را داشت. میانگین غلظت فلزات سنگین در ایستگاه S3 به ترتیب روند کاهشی $\text{Al} > \text{Cr} > \text{Zn} > \text{Fe} > \text{Mg} > \text{Sr} > \text{W} > \text{Ti} > \text{Pb} > \text{Li}$ بود.



نمودار ۵. میانگین غلظت فلزات سنگین در ایستگاه S5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

هوا با آمارهای توصیفی از قبیل تعداد ایستگاه‌ها، دامنه تغییرات، حداقل، حداکثر، میانگین، انحراف استاندارد و واریانس بررسی شده است. کل ۵ ایستگاه نمونه برداری در منطقه ۲۱ جهت تجزیه و تحلیل در نظر گرفته شد. بر اساس یافته‌ها، میانگین غلظت عناصر به ترتیب آلومینیوم $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ۵۰/۷۹، کروم $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ۲۵/۴۲، روی $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ۸/۱۵، منیزیم $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ۹/۲۲، آهن $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ۱۸/۷۸، استرانسیم $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ۲/۵۸، تیتانیوم $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ۰/۴۲، تنگستن $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ۰/۳۹، سرب $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ۰/۱۷ و لیتیم $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ۰/۰۰۶ بود؛ به عبارتی دیگر میانگین غلظت ۱۰ فلز سنگین HM10 در کل منطقه ۲۱ به ترتیب روند افزایشی $\text{Al} > \text{Cr} > \text{Zn} > \text{Fe} > \text{Mg} > \text{Sr} > \text{Ti} > \text{W} > \text{Pb} > \text{Li}$ بود. حداکثر مقدار غلظت مربوط به عنصر آلومینیوم با $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ۷۲/۱۳ و کمترین غلظت مربوط به لیتیم با مقدار تقریباً صفر

در نمودار ۵ که مربوط به ایستگاه نیمه صنعتی (S5) بود، عنصر کروم با $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ۲۱/۹۲ بیشترین میانگین غلظت و عنصر لیتیم با $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ۰/۰۰۹ کمترین میانگین غلظت را داشت. میانگین غلظت فلزات سنگین در ایستگاه S5 به ترتیب روند کاهشی $\text{Cr} > \text{Al} > \text{Zn} > \text{Mg} > \text{Fe} > \text{Sr} > \text{Ti} > \text{W} > \text{Pb} > \text{Li}$ بود. میانگین بیشترین غلظت آلومینیوم در ایستگاه S3 با $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ۷۲/۱۳، کروم در ایستگاه S4 با $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ۵۰/۱۹۷۹، روی در ایستگاه S3 با $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ۲۵/۹۴، آهن در ایستگاه S3 با $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ۲۰/۶۳، منیزیم در ایستگاه S5 با $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ۱۲/۵۸ و استرانسیم در ایستگاه S5 با $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ۴/۰۷ بود. میانگین غلظت عناصر تنگستن، تیتانیوم، سرب و لیتیم ناچیز و تقریباً غیرقابل مقایسه بود.

در جدول ۱ غلظت فلزات سنگین موجود در ذرات معلق

جدول ۱. آماره توصیفی فلزات سنگین در منطقه ۲۱ شهر تهران

فلزات سنگین	N	دامنه $\mu\text{g}/\text{m}^3$	حداقل $\mu\text{g}/\text{m}^3$	حداکثر $\mu\text{g}/\text{m}^3$	میانگین $\mu\text{g}/\text{m}^3$	انحراف استاندارد	واریانس
Al	۲۰	۵۰/۵۲	۲۱/۶۱	۷۲/۱۳	۵۰/۷۹	۱۸/۸۷	۳۵۶/۱۱
Cr	۲۰	۴۴/۵۵	۵/۴۷	۵۰/۰۲	۲۵/۴۲	۱۷/۱۷	۲۹۵/۱۲
Fe	۲۰	۱۵/۱۸	۵/۴۶	۲۰/۶۴	۹/۲۲	۶/۴۸	۴۲/۰۱
Li	۲۰	۰/۰۱	۰	۰/۰۱	۰/۰۰۶	۰	۰
Mg	۲۰	۸/۹۲	۳/۶۷	۱۲/۵۹	۸/۱۵	۳/۶۰	۱۲/۹۶
Pb	۲۰	۰/۱۹	۰/۱۳	۰/۳۲	۰/۱۷	۰/۰۸	۰
Sr	۲۰	۲/۷۸	۱/۲۹	۴/۰۸	۲/۵۸	۱/۰۷	۱/۱۶
Ti	۲۰	۰/۴۶	۰/۲۴	۰/۶۹	۰/۴۲	۰/۱۷	۰/۰۳
W	۲۰	۰/۵۶	۰/۱۴	۰/۷۰	۰/۳۹	۰/۲۴	۰/۰۵
Zn	۲۰	۱۴/۳۱	۱۱/۶۴	۲۵/۹۴	۱۸/۷۸	۵/۹۶	۳۵/۶۱

بود. دامنه تغییرات آلومینیوم با $50/52 \mu\text{g}/\text{m}^3$ و لیتیم با $0/01 \mu\text{g}/\text{m}^3$ مقیاسی است که میزان حداکثر و حداقل عناصر را نیز تأیید می‌کند. مقدار انحراف استاندارد و واریانس متناسب با میانگین غلظت فلزات سنگین تغییر داشت.

بحث

در پژوهش حاضر که با هدف بررسی غلظت فلزات سنگین در ذرات معلق هوای منطقه ۲۱ تهران در بهار سال ۱۴۰۰ انجام شد، جهت دستیابی به اهداف مطالعه، داده‌های ذرات معلق با استفاده از استانداردهای جهانی آژانس حفاظت از محیط زیست آمریکا و ASTM نمونه‌برداری شد. داده‌های معتبر بر اساس شاخص‌های غلظت و احتمال اثرگذاری آلاینده‌ها بر روی انسان انتخاب گردید. آزمون‌های توصیفی با نرم‌افزار آماری و پردازش داده‌ها با نرم‌افزار اکسل صورت گرفت. در مطالعه حاضر میانگین غلظت TSP در ایستگاه‌های منطقه ۲۱ تهران بین $65/96$ تا $197/88 \mu\text{g}/\text{m}^3$ تخمین زده شد. مقایسه نتایج به‌دست آمده با راهنمای شاخص کیفیت هوا نشان داد که مقدار آلاینده TSP به‌ترتیب در ایستگاه‌های مسکونی (در وضعیت سالم)، پارک و نیمه‌مسکونی (در وضعیت ناسالم برای گروه‌های حساس)، صنعتی و نیمه‌صنعتی (در وضعیت ناسالم) قرار داشت. بنابراین

مقدار شاخص AQI در چهار ایستگاه مورد مطالعه از حد مجاز اعلام شده بالاتر بود. در مطالعه چرم‌زن و همکاران، وضعیت آلاینده ذرات معلق به‌منظور شناخت مناطق پرریسک در کل شهر مشهد بررسی و نتایج بیانگر آن بود که غلظت ذرات معلق در فصل بهار $(78/27 \mu\text{g}/\text{m}^3)$ (در وضعیت سالم) قرار داشت (۲۸). در مطالعه رستگاری و همکاران در بررسی پهنه‌بندی میانگین غلظت آلاینده ذرات معلق طی سال‌های ۱۳۸۴-۹۴، این آلاینده در بخش‌های شرق، جنوب شرق و مرکز شهر تهران بین ۰ تا $47/539 \mu\text{g}/\text{m}^3$ افزایش داشت (۲۹)، اما در پژوهش شیخ و همکاران در شهر اهواز، میانگین غلظت ذرات معلق در فصل بهار $871/8$ میکروگرم بر مترمکعب بود (۲۲). رخداد پیایی پدیده گردوغباری استان خوزستان ناشی از جایگاه جغرافیایی و همسایگی این استان با گستره بزرگ بیابانی است (۳۰). همچنین کوساک و همکاران مطالعه‌ای در مناطق ساحلی عربستان انجام دادند که نشان داد این منطقه اغلب به‌شدت تحت تأثیر طوفان‌های گردوغبار موضعی و گسترده قرار می‌گیرد که در مواردی می‌تواند غلظت ذرات اتمسفر را تا سطوح بالاتر از ۱۰۰۰ میکروگرم در مترمکعب افزایش دهد (۳۱). به دلیل نزدیکی خوزستان با کشورهای همسایه، تفاوت معنی‌داری بین غلظت ذرات معلق هوای تهران با شهرهای جنوبی کشور وجود دارد. به‌طور کلی در

نتیجه فعالیت‌های مختلف انسانی ذکر شده بود (۳۶). پراکندگی و انحراف استاندارد داده‌ها در عناصر با غلظت بالا معنی‌دار بوده که احتمال وجود منشأ انسانی را پیش از پیش تقویت می‌کند. صنایع رنگ‌آمیزی و شرکت تولید داروی دکتر عبیدی، از جمله منابع احتمالی کروم در منطقه ۲۱ می‌باشد. در این راستا یافته‌های پژوهش جابکومار و همکاران نیز نشان داد که کروم از کارخانه‌های مواد، معادن، صنایع رنگ‌آمیزی، چاپ، عکاسی و صنایع دارویی وارد محیط می‌شود (۳۷) که با یافته‌های پژوهش حاضر همسو بود. همچنین در مطالعه کمائی و همکاران غلظت فلزات سنگین در نزولات جوی شهر تهران به روش تحلیل عاملی بررسی و مقادیر بالای فاکتور تغلیظ و pH اسیدی نشان داد که تهران تحت تأثیر فعالیت‌های انسانی شدیدی است. همچنین منشأ آلودگی انسانی بیشتر مربوط به احتراق سوخت در فعالیت‌های صنعتی و انتشارات ناشی از ترافیک است (۳۸). جهت بادهای غالب شهر تهران از غرب به شرق بوده که احتمال پراکندگی ذرات و فلزات سنگین منطقه ۲۱ به سایر مناطق مرکزی و شرقی تهران محتمل است. پژوهش تقی‌زاده و کاظمی نیز نشان داد که دلیل افزایش غلظت فلزات در دیگر مناطق اراک، پراکندگی ذرات دارای فلزات سنگین از طریق باد از محل کارخانه‌های صنعتی بوده است (۳۹).

این پژوهش مانند سایر تحقیقات دارای محدودیت‌هایی بود که آگاهی از آنها به پژوهشگران دیگر در بهره‌مندی از نتایج کمک خواهد کرد. یکی از محدودیت‌های این پژوهش، عدم بررسی پارامترهای هواشناسی و تأثیر آنها بر میزان غلظت آلاینده‌ها بود. از جمله محدودیت‌های دیگر می‌توان به هزینه‌های سنگین تجزیه و تحلیل آزمایشگاهی و کالیبره نمودن تجهیزات اشاره کرد. روش میدانی مورد استفاده در این تحقیق، علی‌رغم همه محدودیت‌های مورد اشاره، یکی از دقیق‌ترین روش‌های اندازه‌گیری و سنجش فلزات سنگین در ذرات معلق هواست.

نتیجه‌گیری: بر اساس نتایج مطالعه حاضر، آلاینده‌های فلزات سنگین در فصل بهار سال ۱۴۰۰ سهم چشم‌گیری در ذرات معلق هوای منطقه ۲۱ داشت. از جمله عوامل مؤثر بر افزایش

پژوهش حاضر در ایستگاه مسکونی، کمترین غلظت TSP و در ایستگاه صنعتی، بیشترین مقدار TSP وجود داشت. در پژوهش مشابهی که حقیقی و همکاران میانگین غلظت TSP در هوای گروه صنعت ایران را بررسی کردند، همه داده‌ها به‌جز یک ایستگاه بیش از حد استاندارد قرار داشت (۳۲). بنابراین احتمال تشدید غلظت TSP در کاربری‌های صنعتی و نیمه‌صنعتی وجود دارد. افزایش بروز علائم تنفسی در افراد حساس به ذرات معلق هوا با تشدید بیماری‌های قلبی-ریوی و مرگ زودرس در بیماران قلبی و سالمندان وجود دارد (۳۳). منابع احتمالی ذرات معلق منطقه ۲۱ شامل کاربری‌های صنعتی و وسایل نقلیه عبوری از اتوبان‌های کرج-تهران، لشگری و فتح می‌باشد. در پژوهش چاندران و همکاران نیز مشارکت‌کنندگان اصلی ذرات معلق هوا شامل حمل‌ونقل، تولیدات صنعتی و گازوئیل بیان شدند (۳۴).

در این پژوهش در بخش فلزات سنگین، به‌طور کلی میانگین آلومینیوم بیشترین غلظت را در ایستگاه‌های مسکونی، نیمه‌مسکونی، صنعتی و نیمه‌صنعتی داشت. بنابراین آلومینیوم بیشترین غلظت فلزات سنگین را در کل هوای منطقه ۲۱ داشت. در پژوهش مشابهی که معین‌الدینی و همکاران آلودگی فلزات سنگین در ذرات غبار ترسیب شده اتمسفری شهر تهران را بررسی کردند، عنصر آلومینیوم رتبه اول را به‌عنوان بیشترین میزان غلظت در میان سایر عناصر داشت (۳۵) که با یافته‌های پژوهش حاضر کاملاً همسو بود. آلومینیوم به‌دلیل ویژگی‌های خاص، در محصولات متنوعی از جمله قوطی، فویل، ظروف آشپزخانه، قاب پنجره و قطعات هواپیما، صنایع ریخته‌گری و ماشین‌کاری استفاده می‌شود. احتمال اثرگذاری فرودگاه مهرآباد و انواع صنایع خودرویی (سایپا و ایران‌خودرو) در توزیع غلظت آلومینیوم در منطقه ۲۱ وجود دارد. به‌طور کلی میانگین بیشترین غلظت کروم در ایستگاه پارک وجود داشت. این ایستگاه در غربی‌ترین نقطه منطقه ۲۱ قرار داشته و بیشترین فاصله را از صنایع و فرودگاه دارد. همچنین غلظت کروم در بین فلزات سنگین منطقه ۲۱ در رتبه دوم قرار گرفته بود. در مطالعه کومار و همکاران نیز آلودگی کروم در

مقاله رعایت کرده‌اند. همچنین هرگونه تضاد منافع حقیقی یا مادی که ممکن است بر نتایج یا تفسیر مقاله تأثیر بگذارد را رد می‌کنند.

تشکر و قدردانی: این مقاله حاصل بخشی از رساله مقطع دکتری است که با حمایت معنوی دانشکده منابع طبیعی و محیط‌زیست دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران صورت گرفته است. بدین‌وسیله از تمام افرادی که ما را در انجام این مطالعه یاری کردند، تشکر و قدردانی می‌شود.

سهم آلاینده‌گی در این منطقه می‌توان به استقرار صنایع تولیدی، فرودگاه مهرآباد و وسایل نقلیه سبک به‌عنوان منشأ انسانی اشاره کرد. مسئولین می‌بایست بر اساس اتخاذ برنامه‌ها و راهکارهای عملیاتی از قبیل ساماندهی محل استقرار صنایع و مکان‌یابی مناسب فرودگاه، به ارتقای کیفیت هوا در این منطقه کمک نمایند.

ملاحظات اخلاقی: نویسندگان تمام نکات اخلاقی شامل عدم سرقت ادبی، انتشار دوگانه، تحریف داده‌ها و داده‌سازی را در این

References

1. Ye S, Zeng G, Wu H, Zhang C, Liang J, Dai J, et al. Co-occurrence and interactions of pollutants, and their impacts on soil remediation—a review. *Critical reviews in environmental science and technology*. 2017;47(16):1528-53.
2. Dobaradaran S, Soleimani F, Nabipour I, Saeedi R, Mohammadi MJ. Heavy metal levels of ballast waters in commercial ships entering Bushehr port along the Persian Gulf. *Marine pollution bulletin*. 2018;126:74-6 (Persian).
3. Zhang X, Zhang X, Chen X. Happiness in the air: How does a dirty sky affect mental health and subjective well-being? *Journal of Environmental Economics and Management*. 2017;85:81-94.
4. Zhang X, Chen X, Zhang X. The impact of exposure to air pollution on cognitive performance. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2018;115(37):9193-7.
5. Zhang Y-L, Cao F. Fine particulate matter (PM 2.5) in China at a city level. *Scientific reports*. 2015;5(1):1-12.
6. Lelieveld J, Evans JS, Fnais M, Giannadaki D, Pozzer A. The contribution of outdoor air pollution sources to premature mortality on a global scale. *Nature*. 2015;525(7569):367-71.
7. Duan J, Tan J. Atmospheric heavy metals and Arsenic in China: Situation, sources and control policies. *Atmospheric Environment*. 2013;74:93-101.
8. Mimura T, Ichinose T, Yamagami S, Fujishima H, Kamei Y, Goto M, et al. Airborne particulate matter (PM2.5) and the prevalence of allergic conjunctivitis in Japan. *Science of The Total Environment*. 2014;487:493-9.
9. Wang X, Qian Z, Wang X, Hong H, Yang Y, Xu Y, et al. Estimating the acute effects of fine and coarse particle pollution on stroke mortality of in six Chinese subtropical cities. *Environmental Pollution*. 2018;239:812-7.
10. Hsu C-Y, Chiang H-C, Chen M-J, Yang T-T, Wu Y-S, Chen Y-C. Impacts of hazardous metals and PAHs in fine and coarse particles with long-range transports in Taipei City. *Environmental Pollution*. 2019;250:934-43.
11. Mbengue S, Alleman LY, Flament P. Bioaccessibility of trace elements in fine and ultrafine atmospheric particles in an industrial environment. *Environmental Geochemistry and Health*. 2015;37(5):875-89.
12. Kim K-H, Kabir E, Kabir S. A review on the human health impact of airborne particulate matter. *Environment International*. 2015;74:136-43.
13. Liu C, Chen R, Sera F, Vicedo-Cabrera AM, Guo Y, Tong S, et al. Ambient Particulate Air Pollution and Daily Mortality in 652 Cities. *New England Journal of Medicine*. 2019;381(8):705-15.
14. Cadelis G, Tourres R, Molinie J. Short-term effects of the particulate pollutants contained in Saharan dust on the visits of children to the emergency department due to asthmatic conditions in Guadeloupe (French Archipelago of the Caribbean). *PloS one*. 2014;9(3):e91136.
15. Correia AW, Pope III CA, Dockery DW, Wang Y, Ezzati M, Dominici F. The effect of air pollution control on life expectancy in the United States: an analysis of 545 US counties for the period 2000 to 2007. *Epidemiology (Cambridge, Mass)*. 2013;24(1):23.
16. Murray CJL, Aravkin AY, Zheng P, Abbafati C, Abbas KM, Abbasi-Kangevari M, et al. Global burden of 87 risk factors in 204 countries and territories, 1990–2019: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2019. *The Lancet*. 2020;396(10258):1223-49.
17. Tang Z-j, Hu X, Chen Y-j, Qiao J-q, Lian H-z. Assessment of in vitro inhalation bioaccessibility of airborne particle bound potentially toxic elements collected using quartz and PTFE filter. *Atmospheric Environment*. 2019;196:118-24.
18. Huang C-L, Bao L-J, Luo P, Wang Z-Y, Li S-M, Zeng EY. Potential health risk for residents around a typical e-waste recycling zone via inhalation of size-fractionated particle-bound heavy metals. *Journal of Hazardous Materials*. 2016;317:449-56.
19. Faraji Ghasemi F, Dobaradaran S, Saeedi R, Nabipour

- I, Nazmara S, Ranjbar Vakil Abadi D, et al. Levels and ecological and health risk assessment of PM(2.5)-bound heavy metals in the northern part of the Persian Gulf. *Environ Sci Pollut Res Int*. 2020;27(5):5305-13 (Persian).
20. Sahraei J, Salimi L. Physical and chemical study of suspended particles in Kermanshah. *Journal of Environmental Science and Technology*. 2020 (Persian).
21. EPA U. SAMPLING OF AMBIENT AIR FOR TOTAL SUSPENDED PARTICULATE MATTER (SPM) AND PM10 USING HIGH VOLUME (HV) SAMPLER. Center for Environmental Research Information Office of Research and Development. 1999.
22. Sheikh Z, Jafar Mousavi Sa, generosity of Jos Mus, Takdestan A. Investigation and measurement of total suspended particles and heavy metals in the air of Ahvaz city and comparison of results with environmental standards. *National Conference on Health, Environment, and Sustainable Development*: 2010 (Persian).
23. Hu X, Zhang Y, Ding Z, Wang T, Lian H, Sun Y, et al. Bioaccessibility and health risk of arsenic and heavy metals (Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn and Mn) in TSP and PM2.5 in Nanjing, China. *Atmospheric Environment*. 2012;57:146-52.
24. Khramtsov P, Kalashnikova T, Bochkova M, Kropaneva M, Timganova V, Zamorina S, et al. Measuring the concentration of protein nanoparticles synthesized by desolvation method: Comparison of Bradford assay, BCA assay, hydrolysis/UV spectroscopy and gravimetric analysis. *International Journal of Pharmaceutics*. 2021;599:120422.
25. Naimabadi A, Ghadiri A, Idani E, Babaei A, 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 (Persian).
26. Hosseini G, Teymouri P, Giahi A, Maleki A. Health risk assessment due to heavy metals in airborne particles of Kurdistan University of Medical Sciences. *Journal of Mazandaran University of Medical Sciences (University Letter)*. 1394; 25 (132) (Persian).
27. Shi D, Lu X. Accumulation degree and source apportionment of trace metals in smaller than 63 μm road dust from the areas with different land uses: A case study of Xi'an, China. *The Science of the total environment*. 2018;636:1211-8.
28. Charmzan M, Ismaili R, Mohammadi M, Moradnejad Hesari and presenting the best interpolation model in the spatial distribution of suspended particles smaller than 2.5 microns in Mashhad. *Journal of Environmental Health Research*. 2021; 7 (Persian).
29. Rastegari M, Iftikhar A, Ghazi S, Pirhadi L. Zoning of the average concentration of particulate pollutants with a diameter of less than ten microns in Tehran using GIS in the years 1384 to 1394. *Fifth International Congress on Agricultural Development, Natural Resources, Environment and Tourism of Iran*; 1400 (Persian).
30. Soleimani A, Solgi A, Ashrafi Kh, Jafari R. Investigation of the relationship between the concentration of suspended particles (PM (2.5)) and the optical depth of fine dust (AOD) and meteorological parameters in Khuzestan province. *8th International Conference on Agricultural Sciences, Environment, Urban and Rural Development*: 2021. (Persian).
31. Cusack M, Arrieta JM, Duarte CM. Source Apportionment and Elemental Composition of Atmospheric Total Suspended Particulates (TSP) Over the Red Sea Coast of Saudi Arabia. *Earth Systems and Environment*. 2020;4(4):777-88.
32. Jafarzadeh Haghighi Na, Rafiei M, Khaksar A, Khodabakhshi L. Determining the outdoor air quality of the National Iranian Steel Industrial Group in Ahvaz in terms of suspended particles. *11th National Conference on Environmental Health of Iran 2008* (Persian).
33. Live my poison. Guide for calculating, determining and announcing the air quality index. *Tehran University of Medical Sciences and Health Services*. 35. (Persian).
34. Venkataraman C, Brauer M, Tibrewal K, Sadavarte P, Ma Q, Cohen A, et al. Source influence on emission pathways and ambient PM2.5 pollution over India (2015–2050). *Atmos Chem Phys*. 2018;18(11):8017-39.
35. Ali Taleshi M, Moin Al-Dini M, Faiznia S, Shahbazi R, Squizzato A. Characterization and origin of heavy metal pollution in atmospheric precipitated dust particles in Tehran in 1397. *Journal of Environmental Health Research*. 2020; 6 (1): 56-69. (Persian).
36. Prasad S, Yadav KK, Kumar S, Gupta N, Cabral-Pinto MMS, Rezaia S, et al. Chromium contamination and effect on environmental health and its remediation: A sustainable approaches. *Journal of Environmental Management*. 2021;285:112174.
37. Grace Pavithra K, Jaikumar V, Kumar PS, SundarRajan P. A review on cleaner strategies for chromium industrial wastewater: Present research and future perspective. *Journal of Cleaner Production*. 2019;228:580-93.
38. Kamani H, Hosseini M, Safari Gh, Mahvi Ah, Zarei H. Factors affecting the concentration of heavy metals in rainfall in Tehran by factor analysis. 1394 (Persian).
39. Taghizadeh and, Kazemi and. Biological monitoring of heavy metal concentrations in Arak metropolis. *Journal of Environmental Health Research*. 2019; 5 (1): 31-42 (Persian).