



Original Article

Iranian Journal of Biological Sciences

h t t p s : / / z i s t i . i a u v a r a m i n . a c . i r



## The amount of suspended particles containing heavy metals in the air of the 21st district of Tehran, 2021, autumns

Seyyed Reza Karimi\*

Researcher, Passive Defense Research Institute, Imam Hossein University, Tehran, Iran.

research place: the 21st district of Tehran

### Article Info

#### Article History:

received 01.22.2023  
revised 04.23.2023  
accepted 06.14.2023  
online 06.14.2023

#### KeyWords:

Suspended particles  
heavy metals  
sampling  
21st district of Tehran  
autumn season

#### \*Corresponding author:

E-mail address

srk.aria22@ihu.ac.ir

### Abstract

**Introduction :** Suspended particles contain polluting heavy metals present in industrial areas adjacent to residential areas and negatively affect residents' health.  
**Aim:** The main goal of this research is to sample and determine the concentration of suspended particles and heavy metals in the autumn season of 2021 in the air of the 21st district of Tehran.

**Materials and methods:** The sampling method is according to ASTM and EPA standards, 20 active samples were taken from residential, semi-residential, industrial, semi-industrial and park uses by a high-volume pump in the autumn season.

**Results:** The findings show that the average concentration of TSP in the stations of region 21 in the cold season is an increasing trend in 5S ( $\bar{x} = 99.71$ ), 2S ( $\bar{x} = 124$ ), 1S ( $\bar{x} = 144.21$ ), 3S ( $\bar{x} = 173.10$ ) and 4S ( $\bar{x} = 220/37$ ).

The average concentration of HM10 in the whole region 21 is in the order of increasing Al>Cr>Zn>Fe>Mg>Pb>Sr>W>Ti>Li. The findings show that among all the elements, aluminum has the highest concentration with  $89.65 \mu\text{g}/\text{m}^3$  in industrial use,  $78.72 \mu\text{g}/\text{m}^3$  in semi-industrial use,  $68.98 \mu\text{g}/\text{m}^3$  in semi-residential use,  $55.76 \mu\text{g}/\text{m}^3$  in residential use,  $41.65 \mu\text{g}/\text{m}^3$  in garden use. Also, lithium element has the lowest concentration in all stations.

**Conclusion:** Determining the concentration of suspended particles and heavy metals helps urban planning officials in prioritizing and controlling air pollutants.

Cite this article: Karimi S.R. The amount of suspended particles containing heavy metals in the air of the 21st district of Tehran, 2021, autumn. Iranian Journal of Biological Sciences. 2023; 17(4): 61-76

doi 10.30495/zisti.2023.1978238.1152

Publisher: Islamic Azad University of Varamin – Pishva branch

This is an open access article under the: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>

DOR 20.1001.1.17354226.1402.17.4.5.5

Print ISSN: 1735-4226

Online ISSN: 1727-459X



## میزان ذرات معلق حاوی فلزات سنگین در هوای منطقه ۲۱ تهران، پاییز ۱۴۰۰

سید رضا کریمی\*

پژوهشگر، پژوهشکده پدافند غیرعامل، دانشگاه جامع امام حسین (ع)، تهران، ایران

## محل انجام تحقیق: منطقه ۲۱ تهران

اطلاعات مقاله	چکیده
<p><b>تاریخچه مقاله</b></p> <p>ارسال ۱۴۰۱/۱۱/۰۲ بازنگری ۱۴۰۲/۰۲/۰۳ پذیرش ۱۴۰۲/۰۳/۲۴ نماینه ۱۴۰۲/۰۳/۲۴</p> <p><b>کلمات کلیدی</b></p> <p>ذرات معلق فلزات سنگین نمونه برداری منطقه ۲۱ تهران فصل پاییز</p> <p><b>* نویسنده مسؤول</b></p> <p>srk.aria22@ihu.ac.ir</p>	<p><b>مقدمه:</b> ذرات معلق حاوی فلزات سنگین آلاینده‌ای است که در مناطق صنعتی مجاور مناطق مسکونی حضور داشته و اثرات منفی روی سلامتی ساکنین دارد.</p> <p><b>هدف:</b> هدف اصلی این پژوهش نمونه‌برداری و تعیین غلظت ذرات معلق و فلزات سنگین هوا در فصل پاییز سال ۱۴۰۰ در هوای منطقه ۲۱ تهران است.</p> <p><b>مواد و روش‌ها:</b> روش نمونه‌برداری طبق استاندارد ASTM و EPA است که توسط پمپ حجم بالا ۲۰ نمونه فعال از کاربری‌های مسکونی، نیمه مسکونی، صنعتی، نیمه‌صنعتی و پارک در فصل پاییز برداشت شده اند.</p> <p><b>نتایج:</b> یافته‌ها نشان می‌دهند میانگین غلظت TSP در ایستگاه‌های منطقه ۲۱ در فصل سرد به‌صورت روند افزایشی در <math>S_5 (\bar{x}=99/71)</math>، <math>S_2 (\bar{x}=124)</math>، <math>S_1 (\bar{x}=144/21)</math>، <math>S_3 (\bar{x}=173/10)</math> و <math>S_4 (\bar{x}=220/37)</math> بوده است. میانگین غلظت HM10 در منطقه ۲۱ به ترتیب روند افزایشی بیشترین غلظت را آلومینیوم با <math>89/65 \mu\text{g}/\text{m}^3</math> در کاربری صنعتی، <math>78/72 \mu\text{g}/\text{m}^3</math> در کاربری نیمه صنعتی، <math>68/98 \mu\text{g}/\text{m}^3</math> در کاربری نیمه مسکونی، <math>55/76 \mu\text{g}/\text{m}^3</math> در کاربری مسکونی، <math>41/60 \mu\text{g}/\text{m}^3</math> در کاربری بوستان دارد. همچنین عنصر لیتیم کمترین غلظت را در همه ایستگاه‌ها دارد.</p> <p><b>نتیجه گیری:</b> تعیین غلظت ذرات معلق و فلزات سنگین به مسئولان برنامه‌ریزی شهری در اولویت‌بندی و کنترل آلاینده‌های شاخص هوا کمک شایانی می‌کند.</p>

شیوه آدرس‌دهی این مقاله: کریمی س. میزان ذرات معلق حاوی فلزات سنگین در هوای منطقه ۲۱ تهران، پاییز ۱۴۰۰ مجله دانش زیستی ایران. ۱۴۰۱؛ ۱۷(۴): ۶۱-۷۶

## مقدمه:

از مطالعات مختلفی که در این زمینه صورت گرفته می‌توان به پژوهش Volna و همکاران (۲۰۲۱) اشاره کرد که به ارزیابی سطح آلودگی ذرات معلق PM<sub>10</sub> در توده شهری اولوموک در جمهوری چک پرداختند. این ارزیابی نمونه‌ای از تکمیل یک سری داده PM<sub>10</sub> در اولوموک، بین سال‌های ۲۰۰۷ و ۲۰۱۱ ارائه می‌کند (۱۲). در مطالعه Ren و همکاران (۲۰۲۱) فلزات سنگین در ذرات معلق هوا بر سلامت عمومی در چهار شهر بزرگ شمال چین یعنی پکن، تیانجین، جینژونگ و چینگدائو بین آوریل ۲۰۱۴ تا مارس ۲۰۱۵ بررسی شد (۱۳). Manisalidis و همکاران (۲۰۲۰) مروری بر اثرات زیست‌محیطی و بهداشتی آلودگی هوا انجام دادند. یافته‌ها نشان می‌دهد که ذرات معلق، ذراتی با قطر متغیر اما بسیار کم، از طریق استنشاق به دستگاه تنفسی نفوذ می‌کنند و باعث بیماری‌های تنفسی و قلبی عروقی، اختلالات تولیدمثل و سیستم عصبی مرکزی و سرطان می‌شوند (۱۴). در پژوهش Talebi و همکاران (۲۰۱۸) به ارزیابی سطوح آلودگی سالانه PM<sub>1</sub>، PM<sub>2.5</sub>، PM<sub>10</sub> و فلزات سنگین مرتبط در الجزایر پرداخته شد (۱۵). در مطالعه Daiber و همکاران (۲۰۲۰) اثرات ذرات آلودگی هوا (ذرات بسیار ریز) در ایجاد بیماری‌های قلبی عروقی بررسی شده است (۱۶). در مطالعات انجام شده، عمدتاً اثرات ذرات معلق و فلزات سنگین هوا بر سلامت عمومی بررسی شده است. منطقه ۲۱ شهر تهران به‌عنوان یک منطقه صنعتی و نیمه‌صنعتی شناخته می‌شود که مظنون به آلودگی ذرات معلق حاوی فلزات سنگین است. بررسی‌ها نشان می‌دهد مطالعه‌ای که بتواند به‌صورت جامع و کامل به آلودگی ذرات معلق حاوی فلزات سنگین در منطقه ۲۱ تهران بپردازد وجود ندارد. بنابراین هدف مطالعه حاضر سنجش و تعیین غلظت ذرات معلق حاوی فلزات سنگین در ۵ کاربری متفاوت در منطقه ۲۱ تهران است.

در سال‌های اخیر یکی از مهم‌ترین نگرانی‌های بهداشت عمومی و حیاتی در کشورهای درحال توسعه بحث آلودگی هوا است (۱،۲). بر اساس گزارش WHO در سال ۲۰۱۶ حدود ۹۱ درصد از کل جمعیت جهان در مناطقی زندگی می‌کردند که آلودگی هوا بیشتر از حد مجاز WHO بود. همچنین سالانه ۴/۲ میلیون نفر به دلیل آلودگی هوای محیط می‌میرند (۳). آلودگی هوا عامل اصلی بیماری‌های قلبی-عروقی است. آمارها نشان می‌دهد که ۱۲ درصد از کل مرگ‌ومیر انسان‌ها در سال ۲۰۱۹ ناشی از آلودگی هوای شهرها و خانه‌ها است (۴).

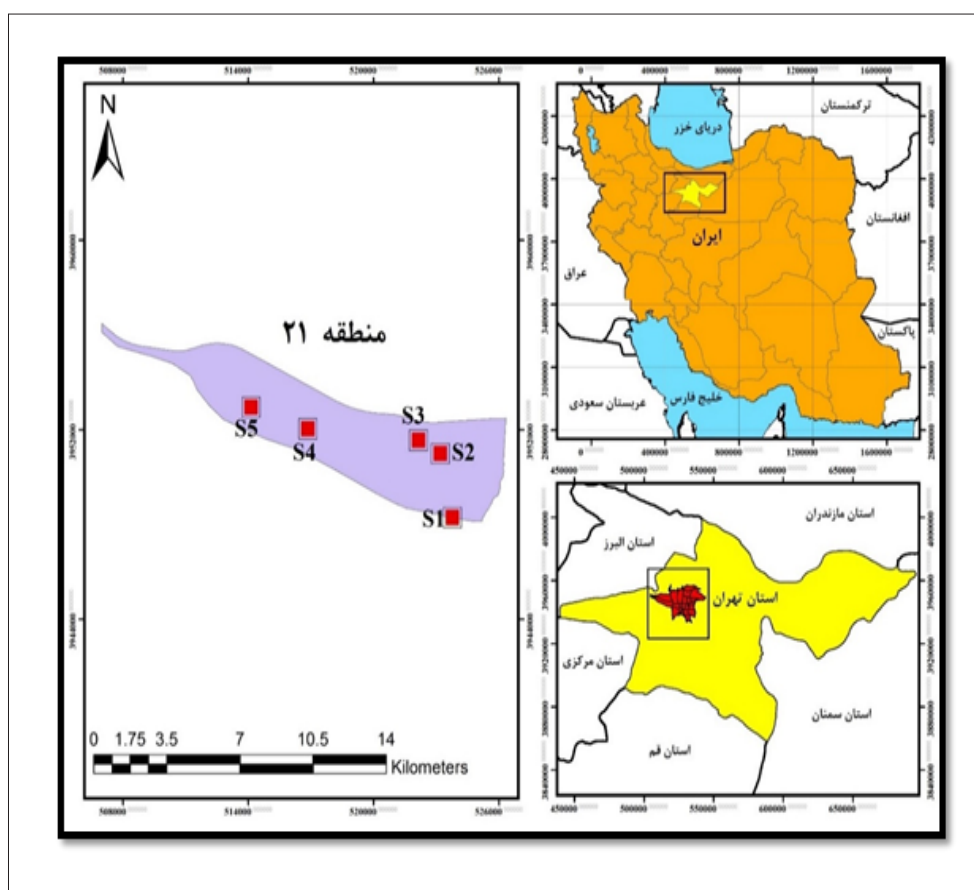
شهرنشینی، صنعتی شدن و سایر فعالیت‌های انسانی نه‌تنها موجب افزایش قابل‌توجه در انتشار عناصر کمیاب شده، بلکه تغییراتی در میزان ذرات موجود در هوا ایجاد کرده است (۵). ذرات معلق در هوا نقش مهمی در کاهش کیفیت هوا دارند (۴). آلودگی ذرات معلق هوا یک مشکل عمده زیست‌محیطی و بهداشتی است و یک نگرانی جهانی است (۶). نگرانی روزافزون ذرات معلق در هوا به‌ویژه در مورد ذرات کوچک‌تر از PM<sub>10</sub> و ذرات ریز (PM<sub>2.5</sub>) منعکس می‌شود (۷). آلاینده‌های آلی ذرات معلق بسیار مورد توجه قرار گرفته‌اند، زیرا با تجمع بیولوژیکی مداوم و بزرگنمایی زیستی به‌شدت سمی و پایدار هستند (۸). PM<sub>2.5</sub> به دلیل اندازه و آلاینده‌های متصل به آن مانند فلزات سنگین، اجزای کربنی و میکروارگانیزم‌ها سلامت انسان را تهدید می‌کند (۹،۱۰).

هدف از نمونه‌برداری هوای محیط، تعیین کیفیت هوای محیط به دلیل وجود غلظت موادی است که به‌عنوان آلاینده در نظر گرفته می‌شوند. دستگاه‌ها و فن‌های تخصصی برای انجام این کار بیش از نیم‌قرن توسعه یافته است. به دست آوردن نمونه‌های معرف هدف اصلی است. تصمیماتی که باید گرفته شود باید بین هزینه برنامه‌ها و ارزش داده‌ها تعادل ایجاد کند و شامل طول دوره نمونه‌برداری، تعداد نمونه‌های گرفته شده، اندازه هر نمونه و تعداد مواد نمونه‌برداری شده باشد (۱۱).

## مواد و روش‌ها:

احتمالی آلودگی ذرات معلق حاوی فلزات سنگین در نظر گرفته شده باشند. محل نمونه‌برداری به گونه‌ای در نظر گرفته شده که ۵ ایستگاه نمونه‌گیری در هر سه ناحیه از منطقه ۲۱ استقرار داشته باشد. همچنین، ایستگاه‌ها در کل منطقه ۲۱ (از شرق تا غرب، شمال تا جنوب منطقه) را شامل گردد (شکل ۱ و جدول ۱).

طبق استاندارد EPA محل‌های نمونه‌برداری باید طوری انتخاب شوند که ذرات جمع‌آوری شده نماینده مناطق تحت نظارت باشد (۱۷). با بررسی و مطالعات صورت گرفته، منطقه ۲۱ تهران به دلیل دارا بودن مناطق مسکونی، نیمه مسکونی، صنعتی، نیمه‌صنعتی و بوستان تطابق خوبی با این ایده داشت. طبق استاندارد نقاط نمونه‌برداری نیز طوری انتخاب شده‌اند که کلیه منابع



شکل ۱- نقشه ایستگاه‌های نمونه‌برداری شده در منطقه ۲۱ تهران

هر ۶ روز یکبار در دو فصل انجام شده است. در هر ۵ نمونه برداری فعال ۱ نمونه جهت صحت نمونه برداری و کنترل کیفیت در آزمایشگاه ارزیابی شد. با توجه به اجماع نظر ده نفر از خبرگان و متخصصین آلودگی هوا ۲۰ نمونه فعال و ۵ نمونه شاهد در نظر گرفته شد. برای تعیین غلظت ذرات معلق هوا از روش گراویمتری استفاده شد (۱۹). پس از نمونه برداری فیلتر وزن شده و با توجه به اختلاف وزن اولیه و ثانویه و حجم هوای عبوری از طریق معادله (۱) غلظت TSP محاسبه گردید (۱۹،۲۰).

طبق توصیه استانداردهای ASTM D۴۰۹۶ (۱۸) و EPA از پمپ نمونه برداری حجم بالا (مدل -URT۶۴) و فیلتر فایبرگلاس ۱۱۰ mm استفاده شد. زمان نمونه برداریها با توجه به رهنمود سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا (EPA) و مساحت منطقه ۲۱ در سال ۱۴۰۰ در نظر گرفته شد. نمونه برداریها با توجه به اهداف پژوهش در فصل پاییز ۱۴۰۰ انجام شد. مدت زمان نمونه برداری هر ایستگاه ۲۰ دقیقه بوده است. با توجه به تقویم سال ۲۰۲۱ سازمان حفاظت از محیط زیست آمریکا، نمونه برداری

$$\text{TSP} = \frac{(W_f - (W_i)) \times 10^{-6}}{V} \quad \text{معادله (۱)}$$

TSP = کل غلظت ذرات معلق (میکروگرم بر مترمکعب)

$w_f$  = وزن فیلتر نمونه برداری شده (گرم)

$w_i$  = وزن فیلتر قبل از شروع نمونه برداری (گرم)

$V = m^3$  کل حجم هوای عبوری در طول مدت نمونه برداری برحسب حجم هوای استاندارد (مترمکعب)

حجم هوای عبوری از معادله (۲) محاسبه شد.

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

Q1: فلوی اولیه (متر مکعب بر دقیقه)

Q2: فلوی ثانویه (مترمکعب بر دقیقه)

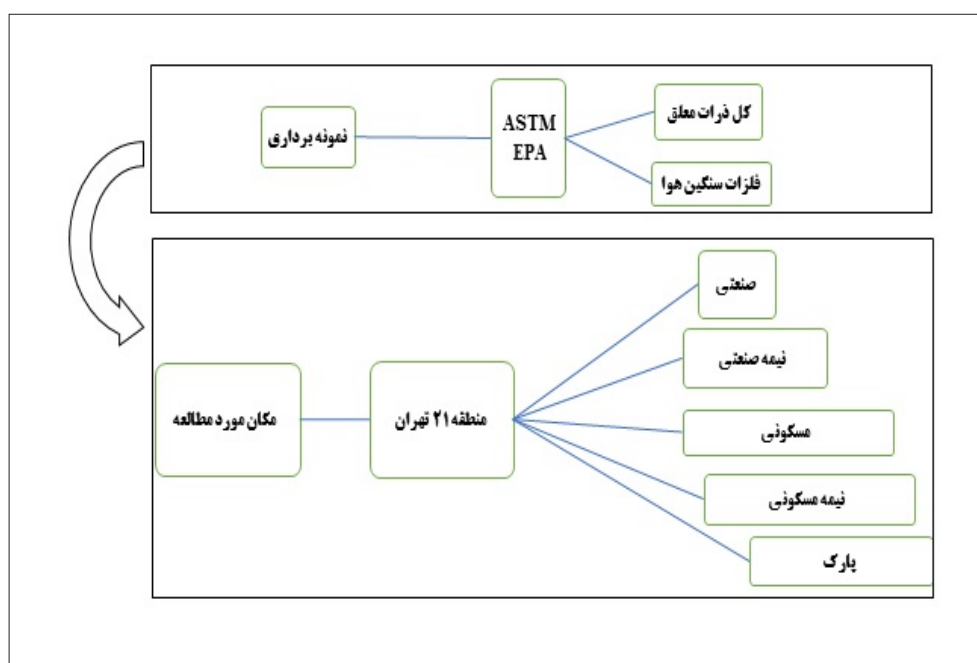
t: زمان کل نمونه برداری (دقیقه)

جدول ۱- مختصات جغرافیایی ایستگاههای نمونه برداری شده

کد	E	N	ناحیه	کاربری
S۱	51°15'46	35°40'42	ناحیه ۱	نیمه مسکونی
S۲	51°15'23	35°42'10	ناحیه ۱	مسکونی
S۳	51°14'42	35°42'28	ناحیه ۲	نیمه صنعتی
S۴	51°11'11	35°42'44	ناحیه ۲	صنعتی
S۵	51°09'23	35°43'14	ناحیه ۳	پارک

شدن، محلول بر روی اجاقک در دمای ۹۵ درجه سلسیوس خشک و ۱ میلی لیتر اسیدکلریدریک به آن افزوده و سپس به وسیله آب مقطر به حجم ۵ میلی لیتر رسانده شد. سپس محلول از فیلترهای واتمن عبور داده شد و در داخل ظروف پلاستیکی در دمای ۴ درجه سلسیوس در یخچال تا زمانی که قرائت فلزات انجام گیرد نگهداری گردید (۲۱،۲۲). کل مراحل تحقیق در فلوجارت (تصویر ۲) خلاصه شده است.

غلظت فلزات سنگین با استفاده از روش اسپکترومتری نشری پلاسما جفت شده القایی ICP-OES مدل Aligent ۵۱۱۰ ساخت کشور استرالیا در آزمایشگاه مرکز پژوهش‌های صنعتی و معدنی تهران تعیین گردید. 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 پر کلرات 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



شکل ۲- فلوجارت مراحل تحقیق

## نتایج:

### تعیین غلظت ذرات معلق هوا در فصل پاییز

آماره‌های توصیفی غلظت ذرات معلق هوا در ایستگاه‌های مختلف منطقه ۲۱ در فصل پاییز ۱۴۰۰ به صورت تعداد ایستگاه، دامنه تغییرات، حداقل، حداکثر، میانگین، انحراف استاندارد و واریانس در جدول ۲ خلاصه شده است. با توجه به جدول ۲ میانگین غلظت TSP در ایستگاه‌های منطقه ۲۱

در فصل سرد به صورت روند افزایشی در

$$S_5 (\bar{x} = 99.77), S_2 (\bar{x} = 124), S_1 (\bar{x} = 144.21), S_3 (\bar{x} = 173.10) \text{ و } S_4 (\bar{x} = 220.37)$$

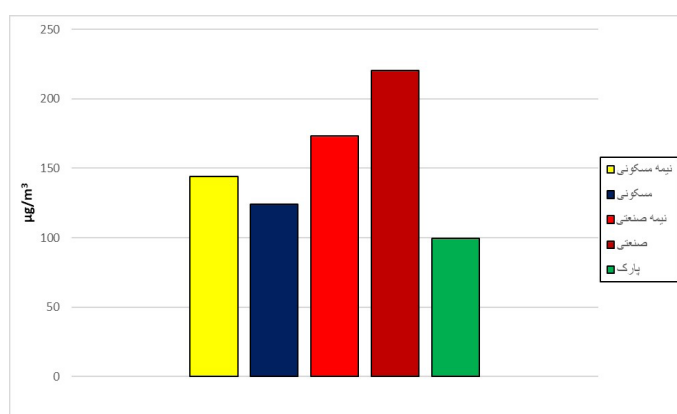
فصل پاییز به ترتیب  $S_5 < S_2 < S_1 < S_3 < S_4$  است. حداقل غلظت TSP در ایستگاه ۵S با  $94/06 \mu\text{g}/\text{m}^3$  و حداکثر غلظت

جدول ۲- آماره‌های توصیفی میانگین غلظت TSP در فصل سرد منطقه مورد مطالعه

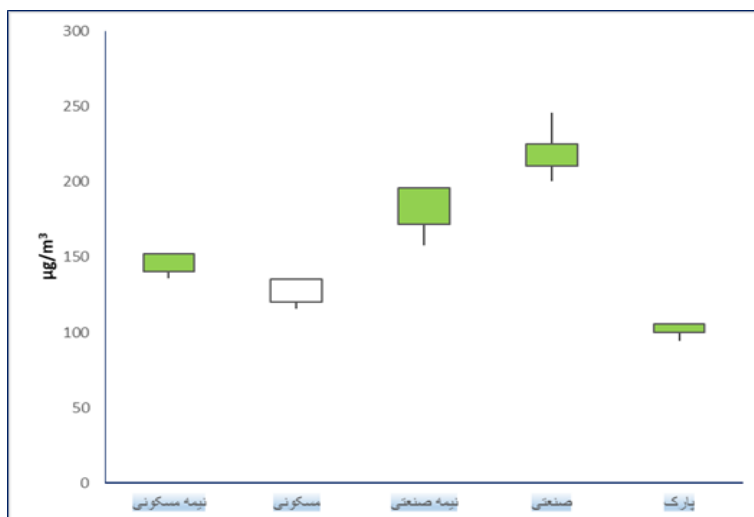
ایستگاه‌ها	دامنه (میکروگرم بر متر مکعب)	حداقل (میکروگرم بر متر مکعب)	حداکثر (میکروگرم بر متر مکعب)	میانگین	انحراف استاندارد	واریانس
S1	۱۶/۳۳	۱۳۵/۹۹	۱۵۲/۳۲	۱۴۴/۲۱	۷/۴۰	۵۴/۸۲
S2	۱۹/۸۹	۱۱۵/۵۵	۱۳۵/۴۴	۱۲۴/۰۰	۸/۴۸	۷۲/۰۴
S3	۳۷/۹۹	۱۵۸/۰۰	۱۹۵/۹۹	۱۷۳/۱۰	۱۶/۲۶	۲۶۴/۴۰
S4	۴۵/۵۷	۲۰۰/۳۰	۲۴۵/۸۷	۲۲۰/۳۷	۱۹/۷۶	۳۹۰/۶۳۰
S5	۱۰/۷۷	۹۴/۵۶	۱۰۵/۳۳	۹۹/۷۱	۴/۴۲	۱۹/۵۶

داده‌شده است. یافته‌ها نشان می‌دهد در ایستگاه S5 بیشترین غلظت  $245/87 \mu\text{g}/\text{m}^3$  و کمترین غلظت  $10/77 \mu\text{g}/\text{m}^3$  و در ایستگاه S4 بیشترین غلظت  $245/87 \mu\text{g}/\text{m}^3$  و کمترین غلظت  $200/30 \mu\text{g}/\text{m}^3$  و در ایستگاه S3 بیشترین غلظت  $195/99 \mu\text{g}/\text{m}^3$  و کمترین غلظت  $158/00 \mu\text{g}/\text{m}^3$  و در ایستگاه S2 بیشترین غلظت  $135/44 \mu\text{g}/\text{m}^3$  و کمترین غلظت  $115/55 \mu\text{g}/\text{m}^3$  و در ایستگاه S1 بیشترین غلظت  $152/32 \mu\text{g}/\text{m}^3$  و کمترین غلظت  $135/99 \mu\text{g}/\text{m}^3$  و در ایستگاه S5 بیشترین غلظت  $105/33 \mu\text{g}/\text{m}^3$  و کمترین غلظت  $94/56 \mu\text{g}/\text{m}^3$  در فصل پاییز منطقه ۲۱ وجود دارد. بنابراین نتایج بیانگر آن است که بیشترین غلظت TSP در منطقه S5 و کمترین آن در S5 متمرکز شده است.

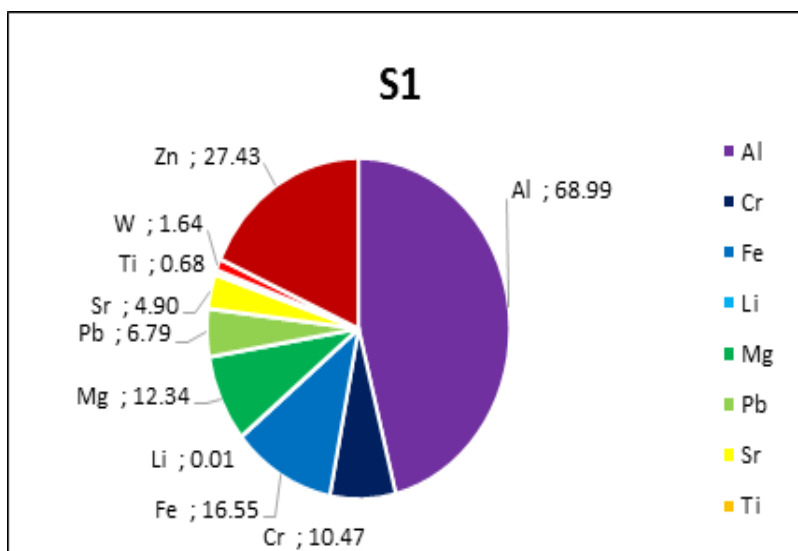
TSP با  $245/87 \mu\text{g}/\text{m}^3$  در ایستگاه S5 است. بیشترین انحراف استاندارد و واریانس در ایستگاه S5 بوده که احتمال توزیع ذرات از منابع مختلف زیاد است. کمترین انحراف استاندارد و واریانس در ایستگاه S1 است. دامنه تغییرات TSP در فصل پاییز بیانگر آن است که بیشترین اختلاف غلظت ذرات معلق به ترتیب در ایستگاه‌های S5 و S3 صورت می‌گیرد. همان‌طور که در نمودار ۱ نشان داده شده است میانگین غلظت TSP در ایستگاه S5، S3، S1، S2 و S4 با روند کاهشی به ترتیب  $220/37$ ،  $173/10$ ،  $144/21$ ،  $124$ ،  $99/71 \mu\text{g}/\text{m}^3$  است. در نمودار ۲ حداقل و حداکثر غلظت‌های TSP ارائه



نمودار ۱ - مقایسه میانگین غلظت TSP در ۵ ایستگاه نمونه‌برداری شده (فصل پاییز)



نمودار ۲- مقایسه حداقل و حداکثر غلظت‌های TSP در فصل پاییز



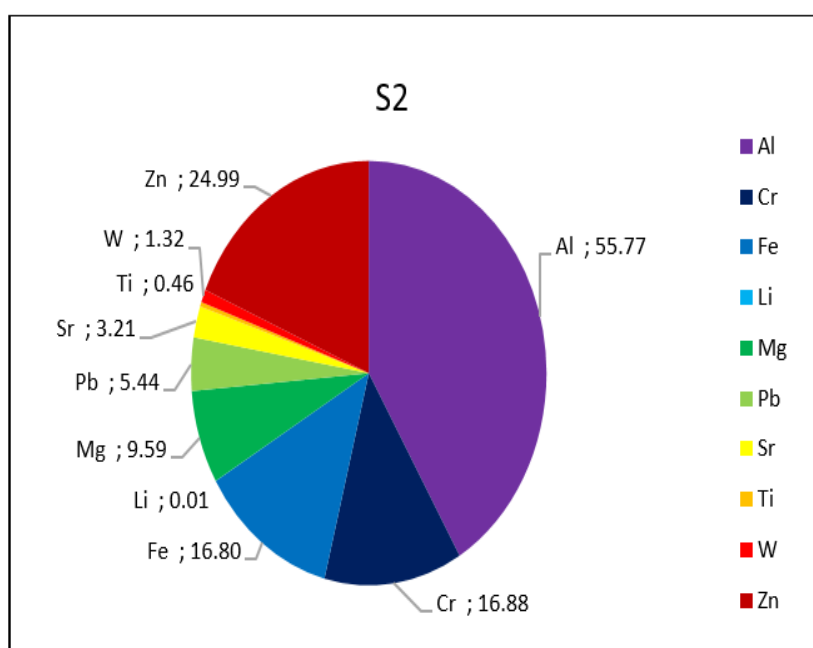
نمودار ۳- میانگین غلظت فلزات سنگین در ایستگاه S1



## تعیین غلظت فلزات سنگین هوا در فصل پاییز

در نمودار ۳ میانگین غلظت فلزات سنگین در ایستگاه ۱S نشان داده شده است. یافته‌ها بیانگر آن است که عنصر آلومینیوم با  $68/98 \mu\text{g}/\text{m}^3$  بیشترین غلظت و عنصر لیتیم با  $0/013 \mu\text{g}/\text{m}^3$  کمترین میانگین غلظت را دارد. میانگین غلظت فلزات سنگین در ایستگاه ۱S به ترتیب روند کاهشی  $\text{Al} > \text{Zn} > \text{Fe} > \text{Mg} > \text{Cr} > \text{Pb} > \text{Sr} > \text{W} > \text{Ti} > \text{Li}$  قرار دارد.

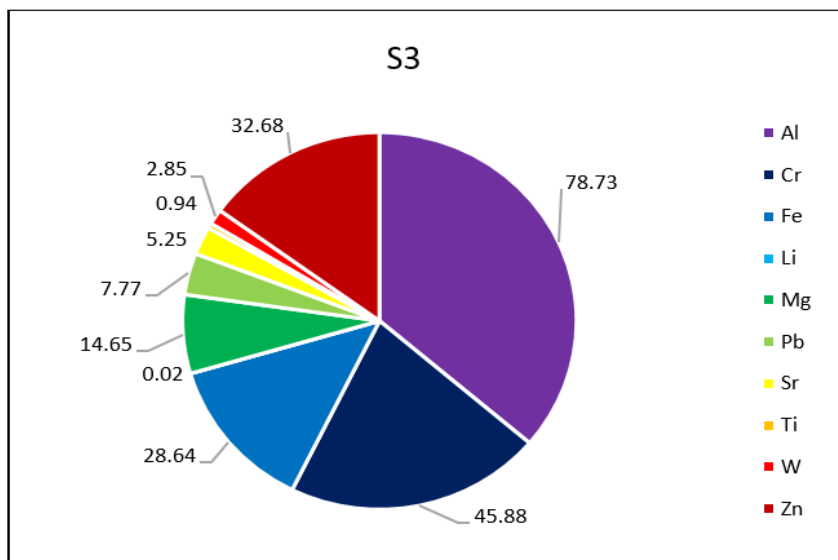
در نمودار ۴ میانگین غلظت فلزات سنگین در ایستگاه ۲S نشان داده شده است. یافته‌ها بیانگر آن است که عنصر آلومینیوم با  $50/76 \mu\text{g}/\text{m}^3$  بیشترین غلظت و عنصر لیتیم با  $0/014 \mu\text{g}/\text{m}^3$  کمترین میانگین غلظت را دارد. میانگین غلظت فلزات سنگین در ایستگاه ۲S به ترتیب روند کاهشی  $\text{Al} > \text{Zn} > \text{Cr} > \text{Fe} > \text{Mg} > \text{Pb} > \text{Sr} > \text{W} > \text{Ti} > \text{Li}$  قرار دارد.



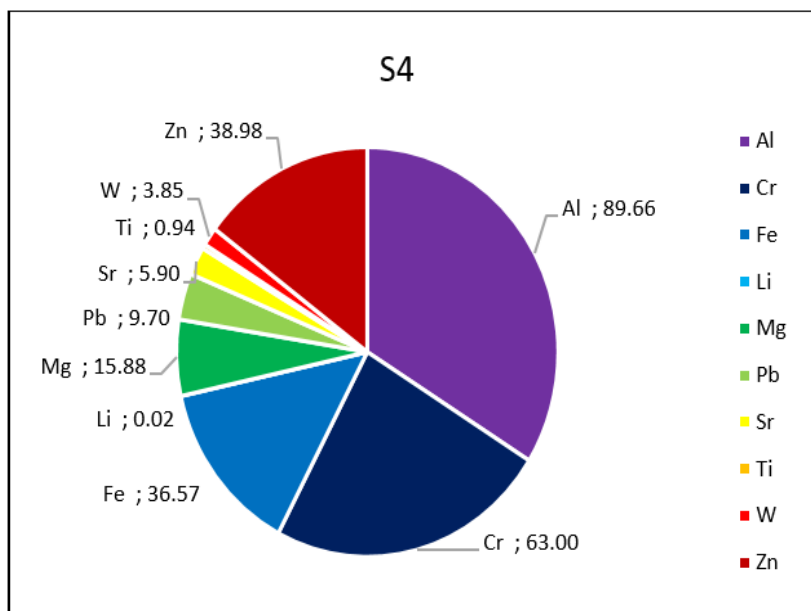
نمودار ۴- میانگین غلظت فلزات سنگین در ایستگاه S2

در نمودار ۵ میانگین غلظت فلزات سنگین در ایستگاه ۳S نشان داده شده است. یافته‌ها بیانگر آن است که عنصر آلومینیوم با  $78/72 \mu\text{g}/\text{m}^3$  بیشترین غلظت و عنصر لیتیم با  $0/018 \mu\text{g}/\text{m}^3$  کمترین میانگین غلظت را دارد. میانگین غلظت فلزات سنگین در ایستگاه ۳S به ترتیب روند کاهشی  $\text{Al} > \text{Cr} > \text{Zn} > \text{Fe} > \text{Mg} > \text{Pb} > \text{Sr} > \text{W} > \text{Ti} > \text{Li}$  قرار دارد.

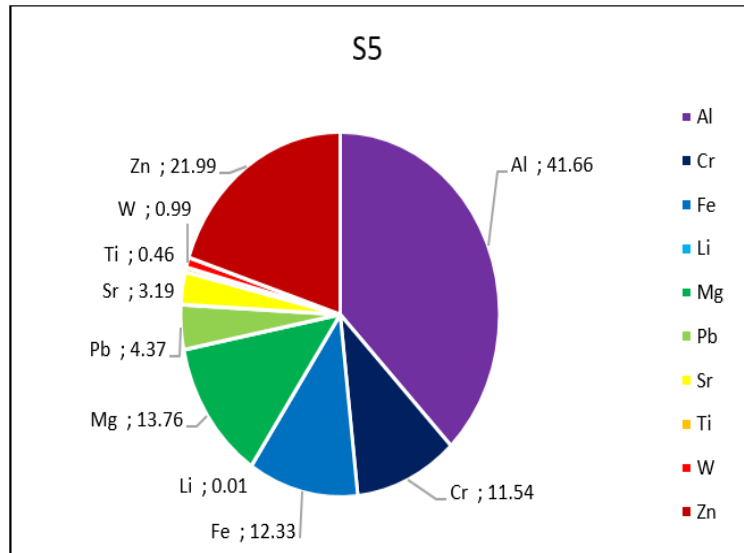
در نمودار ۶ میانگین غلظت فلزات سنگین در ایستگاه ۴S نشان داده شده است. یافته‌ها بیانگر آن است که عنصر آلومینیوم با  $89/60 \mu\text{g}/\text{m}^3$  بیشترین غلظت و عنصر لیتیم با  $0/021 \mu\text{g}/\text{m}^3$  کمترین میانگین غلظت را دارد. میانگین غلظت فلزات سنگین در ایستگاه ۴S به ترتیب روند کاهشی  $\text{Al} > \text{Cr} > \text{Zn} > \text{Fe} > \text{Mg} > \text{Pb} > \text{Sr} > \text{W} > \text{Ti} > \text{Li}$  قرار دارد.



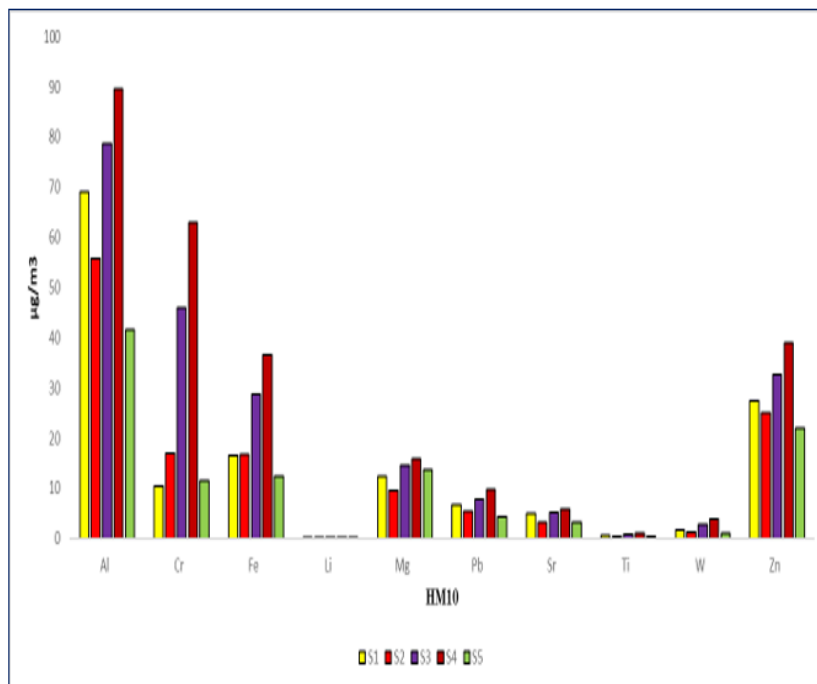
نمودار ۵- میانگین غلظت فلزات سنگین در ایستگاه S3



نمودار ۶- میانگین غلظت فلزات سنگین در ایستگاه S4



نمودار ۷- میانگین غلظت فلزات سنگین در ایستگاه S6



نمودار ۸- مقایسه میانگین غلظت ۱۰ فلز سنگین در فصل پاییز.

آلومینیوم ( $\bar{x}=66/95$ )، کروم ( $\bar{x}=29/50$ )، روی ( $\bar{x}=29/21$ )، آهن ( $\bar{x}=22/17$ )، منیزیم ( $\bar{x}=13/24$ )، سرب ( $\bar{x}=6/81$ )، استرانسیم ( $\bar{x}=4/48$ )، تنگستن ( $\bar{x}=2/13$ )، تیتانیوم ( $\bar{x}=0/69$ )، و لیتیم ( $\bar{x}=0/01$ ) است. به عبارتی دیگر میانگین غلظت  $HM_{10}$  در کل منطقه ۲۱ به ترتیب روند افزایشی  $Al > Cr > Zn > Fe > Mg > Pb > Sr > W > Ti > Li$  است. حداکثر مقدار غلظت مربوط به عنصر آلومینیوم با  $89/66 \mu g/m^3$  و کمترین غلظت مربوط به لیتیم با مقدار تقریباً صفر است. دامنه تغییرات کروم با  $05/03 \mu g/m^3$  و لیتیم با  $0/01 \mu g/m^3$  مقیاسی است که میزان حداکثر و حداقل عناصر را نیز تأیید می‌کند. مقدار انحراف استاندارد و واریانس کروم و آلومینیوم بیشترین تغییر را داشته است. به گونه‌ای که پراکندگی داده‌ها در این عناصر معنی‌دار بوده که احتمال وجود منشأ انسانی را پیش از پیش تقویت می‌کند.

در نمودار ۷ میانگین غلظت فلزات سنگین در ایستگاه ۵S نشان داده شده است. یافته‌ها بیانگر آن است که عنصر آلومینیوم با  $41/60 \mu g/m^3$  بیشترین غلظت و عنصر لیتیم با  $0/01 \mu g/m^3$  کمترین میانگین غلظت را دارد. میانگین غلظت فلزات سنگین در ایستگاه ۵S به ترتیب روند کاهشی  $Li > Ti > Sr > Pb > Cr > Fe > Mg > Zn > Al$  قرار دارد. میانگین بیشترین غلظت عناصر آلومینیوم با  $89/6054 \mu g/m^3$ ، کروم با  $62/99868 \mu g/m^3$ ، روی با  $38/98345 \mu g/m^3$ ، آهن با  $36/56741 \mu g/m^3$ ، منیزیم با  $10 \mu g/m^3$ ، استرانسیم با  $5/89762 \mu g/m^3$  در ایستگاه ۴S قرار دارد. میانگین غلظت عناصر تنگستن، تیتانیوم، سرب و لیتیم ناچیز و تقریباً غیرقابل مقایسه است (نمودار ۸). در جدول ۳ غلظت فلزات سنگین موجود در ذرات معلق هوا (فصل پاییز) کل ۵ ایستگاه نمونه‌برداری در منطقه ۲۱ جهت تجزیه و تحلیل در نظر گرفته شده است. یافته‌ها نشان می‌دهد میانگین غلظت عناصر به ترتیب

جدول ۳- آماره توصیفی فلزات سنگین در فصل پاییز

فلزات سنگین	دامنه ( $\mu g/m^3$ )	حداقل ( $\mu g/m^3$ )	حداکثر ( $\mu g/m^3$ )	میانگین ( $\mu g/m^3$ )	انحراف استاندارد	واریانس
Al	41/00	41/66	89/66	66/95	18/86	355/80
Cr	52/53	10/47	63/00	29/55	23/63	558/58
Fe	24/24	12/33	36/57	22/17	10/07	101/60
Li	0/01	0/01	0/02	0/01	0	0
Mg	6/29	9/59	15/88	13/24	2/41	5/84
Pb	5/33	4/37	9/70	6/81	2/06	4/27
Sr	2/71	3/19	5/90	4/48	1/22	1/51
Ti	0/49	0/46	0/94	0/69	0/24	0/05
W	2/87	0/99	3/85	2/13	1/19	1/42
Zn	17/00	21/99	38/98	29/21	6/72	45/17

در نمودار ۷ میانگین غلظت فلزات سنگین در ایستگاه ۵S نشان داده شده است. یافته‌ها بیانگر آن است که عنصر آلومینیوم با  $41/65 \mu\text{g}/\text{m}^3$  بیشترین غلظت و عنصر لیتیم با  $0/012 \mu\text{g}/\text{m}^3$  کمترین میانگین غلظت را دارد. میانگین غلظت فلزات سنگین در ایستگاه ۵S به ترتیب روند کاهشی  $\text{Al} > \text{Zn} > \text{Mg} > \text{Fe} > \text{Cr} > \text{Pb} > \text{Sr} > \text{Ti} > \text{Li}$  قرار دارد. میانگین بیشترین غلظت عناصر آلومینیوم با  $89/65754 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ، کروم با  $62/99868 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ، روی با  $38/98345 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ، آهن با  $36/56741 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ، منیزیم با  $105 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ، استرانسیم با  $5/89762 \mu\text{g}/\text{m}^3$  در ایستگاه ۴S قرار دارد. میانگین غلظت عناصر تنگستن، تیتانیوم، سرب و لیتیم ناچیز و تقریباً غیرقابل مقایسه است (نمودار ۸).

## بحث

۱۹، ۲۰ و ۲۲ و همچنین بخش بسیار وسیعی از منطقه ۷ تهران بین ۰ تا  $6/087 \mu\text{g}/\text{m}^3$  افزایش داشته است (۲۵). به‌طور طبیعی مقدار آلومینیوم در طبیعت از فراوانی بیشتری برخوردار است اما احتمال دخالت منشأ انسانی از قبیل فعالیت‌های کارخانه‌های صنعتی و نیمه‌صنعتی در منطقه ۲۱ در توزیع میانگین غیر نرمال آلومینیوم وجود دارد. آلومینیوم به دلیل ویژگی‌های خاص در محصولات متنوعی از جمله قوطی، فویل، ظروف آشپزخانه، قاب پنجره، و قطعات هواپیما، صنایع ریخته‌گری و ماشین‌کاری استفاده می‌شود. همچنین آلومینیوم فراوان‌ترین فلز در پوسته زمین است (۸/۱٪) اما به‌ندرت در طبیعت به‌صورت غیرترکیبی یافت می‌شود. احتمال اثرگذاری فرودگاه مهرآباد و انواع صنایع خودرویی (سایپا و ایران‌خودرو) در منطقه ۲۱ در توزیع غلظت آلومینیوم وجود دارد. در پژوهش مشابهی Moinadini و همکاران (۲۰۱۷) آلودگی فلزات سنگین در ذرات غبار ترسیب شده اتمسفری شهر تهران را بررسی کرده و به این نتیجه رسیدند که روند میانگین غلظت عناصر در فصل گرم و سرد مشابه هم بوده و عنصر آلومینیوم رتبه اول را به‌عنوان بیشترین میزان غلظت در میان سایر عناصر دارد (۲۶). در منطقه ۲۱ میانگین حداقل غلظت را لیتیم در هر دو فصل داشته است. مطالعه Naseri و همکاران (۲۰۱۸) نشان می‌دهد که جامعه جهانی طی سال‌های اخیر با کمبود شدید فلز لیتیم مواجه خواهد شد. درحالی‌که این فلز برای ساخت باتری‌های لیتیم-یون بسیار ضروری است (۲۷).

نتایج پژوهش حاضر نشان می‌دهد که میانگین غلظت TSP در فصل پاییز در ایستگاه‌های منطقه ۲۱ به ترتیب  $S5 < S2 < S1 < S3 < S4$  قرار دارد. بیشترین میانگین غلظت TSP در ایستگاه ۴S با  $220/37 \mu\text{g}/\text{m}^3$  و کمترین میانگین غلظت TSP در ایستگاه ۵S با  $99/71 \mu\text{g}/\text{m}^3$  بوده است. طبق شاخص AQI وضعیت آلاینده‌گی TSP از بسیار ناسالم تا ناسالم برای گروه‌های حساس قرار دارد. یافته‌های مربوط به فلزات سنگین بیانگر آن است که در فصل پاییز، در همه ایستگاه‌ها آلومینیوم در منطقه ۲۱ به‌عنوان عنصر غالب شناخته شده است. پژوهش Ansari و همکاران (۲۰۲۳) نیز باهدف تحلیل کیفیت هوای شهر تهران با تأکید بر ذرات معلق نشان می‌دهد که در سال ۹۸ حدود  $4/76$  درصد در شرایط مطلوب و  $23/6$  درصد در شرایط نامطلوب قرار دارد که علت آن تغییرات میزان بارش و سرعت باد بوده است (۲۳). در پژوهشی دیگر Khan Mohammadi و Rahmani (۲۰۲۳) اثر کارخانه سیمان سپاهان بر گازهای محیطی و ذرات معلق را بررسی کردند و یافته‌ها نشان داد که ذرات معلق کوچک‌تر از  $10$  میکرون در تمام ایستگاه‌ها بیشتر از حد مجاز بود (۲۴). بنابراین میزان ذرات معلق غیرمجاز و نامطلوب در کاربری‌های صنعتی محرز و اثرگذار است. همچنین در مطالعه Rastgari و همکاران (۲۰۲۲) پهنه‌بندی میانگین غلظت آلاینده ذرات معلق با قطر کمتر از دو و نیم میکرون در شهر تهران صورت گرفت، نشان داد که در بخش‌هایی از مناطق ۱، ۳، ۴، ۵، ۶، ۸، ۱۲، ۱۳، ۱۴، ۱۷، ۱۸،

(۲۹). همچنین مطالعه Javidaneh و همکاران (۲۰۱۶) نشان داد که فعالیت‌های انسانی از قبیل صنایع و ترافیک نقش مؤثری در پراکندگی فلزات سنگین دارد (۳۰). پژوهش Taghizadeh و Kazemi در (۲۰۱۹) هم نشان می‌دهد که دلیل افزایش غلظت فلزات در دیگر مناطق اراک، پراکندگی ذرات دارای فلزات سنگین از طریق باد از محل کارخانه‌های صنعتی بوده است (۳۱). به‌طورکلی غلظت همه عناصر در فصل پاییز بیشترین افزایش را داشته که احتمال تشدید آلاینده از طرف صنایع و اثرگذاری پدیده وارونگی دما وجود دارد. 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.

یافته‌های پژوهش فعلی نیز کمبود شدید لیتیم را تأیید کرده و از بین عناصر به‌دست‌آمده فلز لیتیم حداقل مقدار را در اتمسفر دارد. بنابراین نتایج حاصل از این پژوهش با مطالعه صورت گرفته همسو بود. ایستگاه نیمه‌صنعتی در فصل بهار بیشترین غلظت آلومینیوم را داشته اما در فصل پاییز ایستگاه صنعتی اثرگذارتر بوده است. به‌طورمعمول عناصر با غلظت بالا بیشترین انحراف معیار را داشته که احتمال وجود منشأ انسانی را تأیید می‌کند. همچنین یافته‌های پژوهش Vaziri و همکاران (۲۰۲۱) نیز بیان می‌کند که غلظت بالای فلزات سنگین و میانگین‌های بالاتر از حد معمول، نشان‌دهنده تأثیرپذیری از فعالیت‌های انسانی منطقه است (۲۸). در مطالعه Sabouhi و همکاران (۲۰۱۶) نیز بر نقش منابع انسان‌ساخت در توزیع غلظت‌های زیاد فلزات سنگین تأکید دارد

### نتیجه‌گیری

یکی از مهم‌ترین چالش‌های مناطق مسکونی هم‌جوار با مناطق مسکونی ذرات معلق و فلزات سنگین است که پیامدهای منفی را بر سلامت شهروندان را به دنبال دارد. هدف این پژوهش تعیین میزان ذرات معلق و فلزات سنگین در یک منطقه صنعتی و نیمه‌صنعتی با پنج نوع کاربری متفاوت بود. یافته‌ها نشان داد که میزان غلظت کل ذرات معلق در ایستگاه‌ها صنعتی و نیمه‌صنعتی نسبت به سایر ایستگاه‌های نمونه‌برداری شده معنی‌دار است. بنابراین طبق شاخص AQI وضعیت آلودگی ذرات معلق منطقه در شرایط ناسالم برای همه افراد قرار دارد. همچنین در کل ایستگاه‌های منطقه ۲۱ عنصر آلومینیوم بیشترین و لیتیم کمترین مقدار را داشت. با توجه به نمونه‌برداری آلاینده‌ها در فصل پاییز، احتمال اثرگذاری وارونگی دما در افزایش میزان آلاینده‌ها وجود دارد. شناسایی و تعیین آلاینده‌های شاخص در برنامه‌ریزی مناسب برای کنترل آلودگی الزامی است. پیشنهاد می‌شود در نواحی بایر منطقه از فضای سبز برای کاهش ذرات معلق استفاده گردد.

### تشکر و قدردانی

بدین وسیله از کارشناسان آزمایشگاه مرکز پژوهش‌های صنعتی و معدنی تهران که در نمونه برداری و سنجش غلظت عناصر راهنمایی نمودند صمیمانه سپاسگزارم.

### تعارض منافع

نویسندگان این مقاله عنوان می‌کنند که هیچ تعارضی وجود ندارد.

## References

1. Ye S, Zeng G, Wu H, Zhang C, Liang J, Dai J. 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. doi: **10.1080/10643389.2017.1386951**.
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: 74-76. doi: **10.1016/j.marpolbul.2017.10.094**.
3. 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. doi: **10.1073/pnas.1809474115**.
4. Zhang YL, Cao F. Fine particulate matter (PM 2.5) in China at a city level. *Scientific Reports*. 2015;5(1):1-12. doi: **10.1038/srep14884**.
5. Fakinle BS, Uzodinma OB, Odekanle EL, Sonibare JA. Impact of elemental composition of particulate matter in the airshed of a University Farm on the local air quality. *Heliyon*. 2020;6(1):16-32. doi: **10.1016/j.heliyon.2020.e03216**.
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. doi: **10.1038/nature15371**.
7. Zou B, You J, Lin Y, Duan X, Zhao X, Fang X, et al. Air pollution intervention and life-saving effect in China. *Environment International*. 2019;125:529-41. doi: **10.1016/j.envint.2018.10.045**.
8. Lin Y, Ma Y, Qiu X, Li R, Fang Y, Wang J, et al. Sources, transformation, and health implications of PAHs and their nitrated, hydroxylated, and oxygenated derivatives in PM2.5 in Beijing. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. 2015;120(14):7219-28. doi: **10.1002/2015JD023628**.
9. Dominici F, Peng RD, Bell ML, Pham L, McDermott A, Zeger SL, et al. Fine particulate air pollution and hospital admission for cardiovascular and respiratory diseases. *JAMA Network Journal*. 2006;295(10):1127-34. doi: **10.1001/jama.295.10.1127**.
10. Hong YC, Hwang SS, Kim JH, Lee KH, Lee HJ. Metals in particulate pollutants affect peak expiratory flow of schoolchildren. *Environmental Health Perspectives*. 2007;115(3):430-434. doi: **10.1289/ehp.9531**.
11. Woodard CI. Treatment of air discharges from industry. *Industrial Waste Treatment handbook* (second edition). Burlington: Butterworth-Heinemann; 2006. 335-61. doi: **10.1016/B978-075067963-3/50010-2**.
12. Volná V, Blažek Z, Krejčí B. Assessment of air pollution by PM10 suspended particles in the urban agglomeration of Central Europe in the period from 2001 to 2018. *Urban Climate*. 2021;39:100959. doi: **10.1016/j.uclim.2021.100959**.
13. Ren Y, Luo Q, Zhuo S, Hu Y, Shen G, Cheng H, et al. Bioaccessibility and public health risk of heavy Metal(loid)s in the airborne particulate matter of four cities in northern China. *Chemosphere*. 2021;277:130312. doi: **10.1016/j.chemosphere.2021.130312**.
14. Manisalidis I, Stavropoulou E, Stavropoulos A, Bezirtzoglou E. Environmental and health impacts of air pollution: a review. *Frontiers in public health*. 2020;8:14. doi: **10.3389/fpubh.2020.00014**.
15. Talebi A, Kerchich Y, Kerbachi R, Boughedaoui M. Assessment of annual air pollution levels with PM1, PM2.5, PM10 and associated heavy metals in Algiers, Algeria. *Environmental Pollution*. 2018;232:252-63. doi: **10.1016/j.envpol.2017.09.041**.
16. Daiber A, Kuntic M, Hahad O, Delogu LG, Rohrbach S, Di Lisa F, et al. Effects of air pollution particles (ultrafine and fine particulate matter) on mitochondrial function and oxidative stress – Implications for cardiovascular and neurodegenerative diseases. *Archives of Biochemistry and Biophysics*. 2020;696:108662. doi: **10.1016/j.abb.2020.108662**.
17. Leili M, Naddafi K, Nabizadeh R, Yunesian M, Mesdaghinia A. The study of TSP and PM10 concentration and their heavy metal content in central area of Tehran, Iran. *Air Quality, Atmosphere & Health Office of Research and Development*. 2008;159-166. doi: **10.1007/s11869-008-0021-z**.
18. Alidadi R, Mansouri N, Hemmasi AH, Mirzahosseini SA. Source apportionment of heavy metal with UNMIX in ambient air of Ahvaz City, Southwest of Iran. *International Journal of Environmental*

Science and Technology. 2021;18(10):3099-106. doi:10.1007/s13762-021-03370-7.

19. 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. doi:10.1016/j.ijpharm.2021.120422.

20. 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. doi:10.1016/j.envpol.2016.01.006.

21. 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. doi.org/10.1016/j.envpol.2016.01.006.

22. Celo V, Dabek E, Mathieu D, Okonskaia I. Validation of a simple microwave-assisted acid digestion method using microvessels for analysis of trace elements in atmospheric PM2.5 in monitoring and fingerprinting studies. *The Open Chemical and Biomedical Methods Journal*. 2010;3:141-50. doi:10.2174/1875038901003010143

23. Ansari M, Ahmadi M, Gudarzi G. Spatial analysis of Tehran city air quality with emphasis on suspended particles (PM10 and PM2.5). *Journal of Natural Environmental Hazards*. 2022;109-128. doi:10.22111/JNEH.2021.37338.1759

24. Rahmani H, Khan Mohammadi Z. Evaluation of the effect of sephan cement factory on environmental gases and suspended particles in the surrounding environment. *The 6th International Congress of Agricultural Development, Natural Resources, Environment and Tourism of Iran 2023*.

25. Rastgari M, Iffikhar A, Ghazi S, Pirhadi L. Zoning of the average pollutant concentration of suspended particles with a diameter of less than two and a half microns in the city of Tehran using GIS in the years 1390 and 1394. *The third national conference of environmental engineering and management 2022*.

26. Talashi M, Moinadini M, Faiz Nias S, Shahbazi R, Esquizato A. Characterization and origin of heavy metal pollution in the atmospheric dust particles of Tehran city in 2018. *Journal of Research in Environmental Health*. 2020; 6(1):56-69. doi:10.22038/jreh.2020.44168.1335.

27. Naseri T, Bahaloo Horeh N, Mousavi S. Two-step bioleaching of Li, Co and Mn from spent lithium-ion coin cells batteries using *Acidithiobacillus ferrooxidans*. *Iranian Journal of Health and Environment*. 2018; 11 (1) :123-136. http://ijhe.tums.ac.ir/article-1-6005-en.html.

28. Vaziri A, Ghanavati N, Nazarpour A, Babaenejad T. Status, source and environmental pollution assessment of some heavy metals in surface soils of khuzestan province. *Journal of Health*. 2021;11(5):664-78. http://healthjournal.arums.ac.ir/article-1-2322-en.html.

29. Sabouhi M, Nejadkoorki F, Azimzadeh HR, Ali Taleshi MS. Heavy Metal Pollution in the Floor Dust of Yazd Battery Repairing Workshops in 2014. *Iranian Journal of Health and Environment*. 2016;9(1):127-38. http://ijhe.tums.ac.ir/article-1-5537-en.html.

30. Javidaneh Z, Zarsevandi A, Rast Manesh F. Determination of Geo-Environmental Factors and Source of Heavy Metals in Street Dust, Masjed-e-Soleiman City, Khuzestan Province. *Iranian Journal of Health and Environment*. 2016;9(2):155-70. http://ijhe.tums.ac.ir/article-1-5376-en.html.

31. Taghizadeh M. Investigation of bioaccumulation of heavy metals concentration in arak metropolitan. *Journal of Research in Environmental Health*. 2019; 5(1): 31-42. doi:10.22038/jreh.2019.37780.1273.