



Available online: <https://ijhe.tums.ac.ir>

مقاله پژوهشی

## منشایابی فلزات سنگین در کل ذرات معلق با مدل تعیین سهم UNMIX در منطقه ۲۱ تهران

سید رضا کریمی<sup>۱</sup>، نبی اله منصورى<sup>۲\*</sup>، لعبت تقوی<sup>۱</sup>، مظاهر معین‌الدینی<sup>۳</sup>

- ۱- گروه علوم محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
- ۲- گروه مهندسی محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و محیط زیست، واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران
- ۳- گروه علوم محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، پردیس کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

### چکیده

**زمینه و هدف:** شهر تهران به دلیل استقرار انواع منابع فلزات سنگین، همواره در معرض پیامدهای نامطلوب قرار دارد. بنابراین هدف از پژوهش حاضر شناسایی انواع فلزات سنگین موجود در ذرات معلق هوا و منشایابی فلزات سنگین در منطقه ۲۱ تهران است.  
**روش بررسی:** طبق استاندارد EPA ۵ ایستگاه از منطقه ۲۱ تهران جهت نمونه‌برداری انتخاب شد. با روش ASTM ۴۰۹۶ و با استفاده از پمپ نمونه‌برداری حجم بالا ۵۰ نمونه از کل ذرات معلق هوا برداشت شد. نمونه‌ها به آزمایشگاه منتقل شده و سنجش غلظت فلزات سنگین با دستگاه ICP-OES انجام شد. برای شناسایی منابع فلزات سنگین از مدل منشایابی UNMIX استفاده شد.

**یافته‌ها:** میانگین غلظت فلزات سنگین در سال ۱۴۰۰ به ترتیب روند کاهشی شامل  $Li < Ti < W < Pb < Sr < Mg < Fe < Zn < Cr < Al$  است. نتایج مدل تعیین سهم نشان می‌دهد که سه منبع اصلی در توزیع فلزات سنگین هوا در منطقه ۲۱ نقش داشته که با توجه به غلظت فلزات سنگین هوا در پایگاه اطلاعات SPECIATE نقش منابع وسایل نقلیه سبک ۴۷ درصد، ذرات رسوب شده در خیابان ۳۴ درصد و فرودگاه ۱۸ درصد تعیین شد.  
**نتیجه‌گیری:** منبع وسایل نقلیه سبک بیشترین سهم انتشار و عنصر آلومینیوم بیشترین غلظت را در بین فلزات سنگین منطقه ۲۱ دارد. بنابراین مدل منشایابی UNMIX می‌تواند عناصر شاخص و منابع اولویت‌دار را جهت کنترل آلاینده‌ها به درستی تعیین نماید.

### اطلاعات مقاله:

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۱/۲۰  
تاریخ ویرایش: ۱۴۰۱/۰۴/۱۱  
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۴/۱۵  
تاریخ انتشار: ۱۴۰۱/۰۶/۲۱

**واژگان کلیدی:** مدل تعیین سهم، UNMIX، منشایابی، ذرات معلق، فلزات سنگین

پست الکترونیکی نویسنده مسئول:

[nmansouri@srbiau.ac.ir](mailto:nmansouri@srbiau.ac.ir)

Please cite this article as: Karimi SR, Mansouri N, Taghavi L, Moeinaddini M. The receptor of heavy metals in total particulate matter with UNMIX determine the contribution model in 21st district of Tehran. Iranian Journal of Health and Environment. 2022;15(2):275-88.



## مقدمه

آلودگی هوا بزرگ‌ترین تهدید بهداشت محیط در سطح جهان است (۱-۴). برای مثال 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 جان خود را از دست می‌دهند (۵). همچنین آمارها نشان می‌دهد که ۱۲ درصد از کل مرگ‌ومیر در سال ۲۰۱۹، ناشی از آلودگی هوای شهرها و خانه‌ها است (۶). یکی از مهمترین آلاینده‌های هوا فلزات سنگین است که توسط ذرات گردوغبار حمل می‌شود (۷). تجزیه فلزات سنگین دشوار است و تجمع فلزات سنگین خطر بالایی را برای محیط‌زیست و ارگانسیم‌ها به همراه دارد (۸، ۹). بنابراین اکوسیستم زمین در برابر انواع مختلفی از عناصر خطرناک قرار گرفته است. این عناصر شامل کادمیوم، کروم، مس، نیکل، روی و سرب است که به‌طور گسترده در اکوسیستم‌ها یافت شده و آلاینده‌های غیرقابل تجزیه هستند (۱۰). همه این عناصر طبق برنامه نظارت جهانی سازمان ملل به‌عنوان خطرناک طبقه‌بندی می‌شوند اگرچه مس، نیکل و روی در غلظت‌های پایین از مواد مغذی ضروری برای انسان و گیاهان هستند (۱۱). فلزات سنگین می‌توانند از طریق استنشاق، تماس پوستی و فعالیت‌های گوارشی (بلع) وارد بدن انسان شوند و ریسک زیادی را برای سلامتی به همراه داشته باشند (۱۲-۱۵) اثرات سمی فلزات سنگین شامل بیماری‌های خونی، مشکلات قلبی عروقی، تولیدمثل، ژنتیک درمانیت، آسم، برونشیت و همچنین آسیب به عملکرد کبد و کلیه را در پی دارد (۱۶، ۱۷). به همین دلیل فلزات سنگین در سلامت انسان و محیط زیست از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است.

در طی چنین رویدادهایی اگر محل منبع، میزان انتشار و نوع آلاینده‌ها مشخص باشد، می‌توان از مدل‌های پراکندگی برای پیش‌بینی مسیر توده آلاینده‌های هوا و همچنین سطح آلاینده‌ها استفاده کرد (۱۸). ردیابی منابع آلاینده‌ها در فلزات متصل به ذرات معلق هوا می‌تواند اطلاعات زیادی را درباره نوع منابع و درصد مشارکت در اختیار تصمیم‌گیران قرار دهد. اطلاعات مکان منابع بالقوه، با هدف مشخص کردن مشخصات منابع برای مدیریت استراتژی بهتر آلودگی ضروری است (۱۹).

تخمین ویژگی‌های منبع ناشناخته یک آلاینده خطرناک (یعنی نرخ و مکان) در یک محیط شهری پیچیده با استفاده از فن‌های مدل‌سازی کارآمد یک مشکل چالش برانگیز است که شامل دینامیک سیالات محاسباتی پیشرفته همراه با الگوریتم‌های ریاضی مناسب است (۲۰). برای شناسایی منابع از مدل‌های ردیابی (PCA)، (APCS)، (PMF)، UNMIX، و (CMB) به‌عنوان ابزار مؤثر استفاده می‌شود (۲۱، ۲۲). مدل‌های ردیابی به‌طور گسترده‌ای در مطالعات مختلف برای تعیین سهم منبع آلاینده‌ها استفاده شده است (۲۳). در مطالعه Asgari و همکاران (۲۴) شناسایی و منشأیابی توفان‌های گردوغبار با مدل HYSPLIT در منطقه جنوب غربی ایران در یک دوره دوماهه از اردیبهشت تا تیر سال ۱۳۹۸ انجام شد. در مطالعه‌ای دیگر Moienaddin و همکاران (۲۵) شاخص‌های منشایابی فلزات سنگین و تعیین درجه آلودگی شامل شاخص‌های فاکتور غنی‌سازی (EF) و درصد آن، زمین انباشت (Igeo)، فاکتور آلودگی (Cf)، درجه آلودگی (Cd) و درجه اصلاح شده آلودگی (mCd) را برای ارزیابی سطح آلودگی محاسبه کردند.

شهر تهران نیز به‌عنوان یکی از مهمترین و پرجمعیت‌ترین شهرهای ایران همواره در معرض فلزات سنگین بوده است (۲۶). مطالعات پیشین نیز بر ضرورت و اهمیت بررسی فلزات سنگین در تهران تاکید دارد (۲۷-۳۰). در محیط شهری باید مطالعات بیشتری برای ارزیابی منابع فلزات سنگین متصل به ذرات معلق هوا انجام شود. در مطالعه Mehraşbi و همکاران (۱۵) شهر زنجان به پنج ناحیه تقسیم شده که جمع‌آوری نمونه‌های ذرات راسب شونده (ریزش‌های خشک) و بارش‌های جوی (ریزش‌های تر)، طی سه فصل پاییز ۱۳۸۷، زمستان ۱۳۸۷ و بهار ۱۳۸۸ در این نواحی صورت گرفته و سرب، روی، کادمیم و کروم به روش جذب اتمی اندازه‌گیری شده است. در پژوهشی Heidari و همکاران (۳۱) سنجش محتوای فلزات سنگین گردوغبار ترسیب‌شونده در محیط داخلی مدارس ابتدایی شهر بندرعباس را انجام دادند. با توجه به مطالعات محدود و پراکنده در زمینه فلزات سنگین، ارزیابی و کنترل آلودگی در ایران به دلیل کمبود و فقدان داده‌های قابل اعتماد میسر

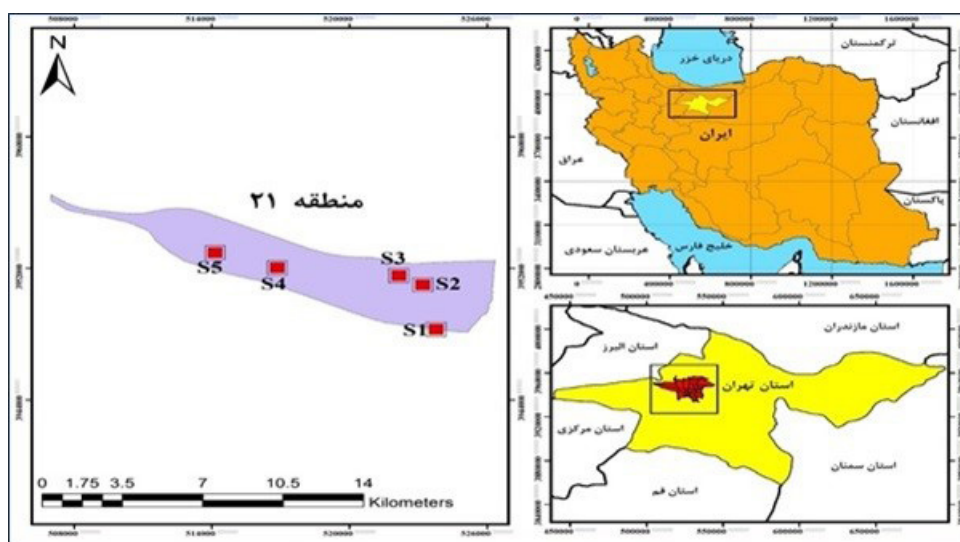
کرج (منطقه ۲۲)، از جنوب به جاده قدیم (حریم منطقه ۱۸ و شهرستان شهریار -قلعه حسن خان)، از شرق به مسیل کن (منطقه ۵ و ۹) و از غرب امتداد شمالی-جنوبی حدفاصل اتوبان و جاده قدیم کرج محدود است. مساحت این منطقه بالغ بر ۵۱۸۲ هکتار و حدود ۱۸۰ هزار نفر جمعیت دارد (۳۲). منطقه ۲۱ شهرداری تهران در مختصات جغرافیایی ' ۳۱ تا ' ۷۱۰ ۶۸ تا ' ۳۵۰ ۶۸ عرض شمالی و ' ۱۱ تا ' ۵۱۰ طول غربی واقع شده است. میانگین ارتفاع از سطح دریا ۱۲۲۰ m و میانگین دما و بارش سالانه به ترتیب °C ۱۸ و mm ۲۱۰ است. جهت باد غالب براساس داده‌های ایستگاه هواشناسی سینوپتیک شمال غربی است. میانگین سرعت باد در این ایستگاه ۵/۵ m/s است (۳۳).

نیست. همچنین مطالعه جامعی درخصوص شناسایی منابع فلزات سنگین و تعیین سهم مشارکت در مهمترین مناطق تهران صورت نگرفته است. بنابراین ضروری است که سنجش و منشایابی فلزات سنگین متصل به ذرات ارزیابی گردد. هدف پژوهش حاضر تعیین غلظت و منشایابی فلزات سنگین موجود در کل ذرات معلق منطقه ۲۱ با استفاده از مدل تعیین سهم UNMIX است.

## مواد و روش‌ها

### \_ منطقه مورد مطالعه

محدوده مورد مطالعه، منطقه ۲۱ در غرب تهران در امتداد جاده‌های ارتباطی تهران-کرج تا بعد از دو راه کاروانسرای سنگی واقع شده است. این منطقه از شمال به اتوبان تهران-



شکل ۱- موقعیت ایستگاه‌های نمونه‌برداری شده در منطقه ۲۱ تهران

ویژه‌ای برخوردار است. با بررسی و مطالعات صورت گرفته، منطقه ۲۱ تهران به دلیل دارا بودن مناطق مسکونی، نیمه مسکونی، صنعتی، نیمه‌صنعتی و بوستان در ۳ ناحیه به‌عنوان مکان پژوهش انتخاب شد. همچنین محل نمونه‌برداری به‌گونه‌ای در نظر گرفته شده‌اند که ۵ ایستگاه نمونه‌برداری در سه ناحیه مختلف از منطقه ۲۱ قرار گرفته و از شرق تا غرب، شمال تا جنوب منطقه را شامل گردد (شکل ۱). بنابراین منطقه ۲۱ را به قسمت‌های همگن تقسیم کرده و روش نمونه‌گیری

### \_ نمونه‌برداری و آنالیز آزمایشگاهی

پژوهش حاضر در دو بخش میدانی و آزمایشگاهی انجام شد. طبق استاندارد EPA ایستگاه‌های نمونه‌برداری باید طوری انتخاب شود که ذرات جمع‌آوری شده نماینده مناطق تحت نظارت باشد. در همین راستا منطقه ۲۱ تهران به دلیل ویژگی‌هایی از قبیل استقرار کارخانه‌های بزرگ صنعتی مانند ایران‌خودرو، سایپا، کرمان موتور، داروسازی عبیدی و همچنین دسترسی به شبکه بزرگراهی آزادگان، فتح و لشگری از اهمیت

مدت ۴ h در دمای °C ۱۷۰ در داخل فور قرار گرفت. پس از سرد شدن محلول بر روی بخاری برقی در دمای °C ۹۵ خشک و ۱ mL اسید کلریدریک به آن افزوده و سپس به وسیله آب مقطر دو بار تقطیر شده به حجم ۱۰ mL رسانده شد. سپس محلول از فیلترهای واتمن عبور داده شده و در داخل ظروف پلاستیکی در یخچال تا زمانی که قرائت فلزات انجام گیرد نگهداری گردید (۳۸). در این پژوهش از طیف‌سنج پلاسمای جفت شده القایی (۳۹) مدل Agilent ICP-OES ۵۱۱۰ (ساخت کشور استرالیا) در آزمایشگاه مرکز پژوهش‌های صنعتی و معدنی تهران برای تعیین غلظت فلزات سنگین استفاده شد. حد تشخیص LOD و حد تعیین کمی LOQ برای هر عنصر در جدول ۱ ارائه شده است. هدف از سنجش فلزات سنگین در کل ذرات معلق، تعیین انواع عناصر اثرگذار بر سلامتی انسان از قبیل آلومینیوم، سرب و کروم بوده است. برای تجزیه و تحلیل داده‌های فلزات سنگین از آزمون توصیفی نرم افزار آماری SPSS ورژن ۲۶ استفاده شده است.

تصادفی طبقه‌ای اجرایی شد. برای سنجش و اندازه‌گیری کل ذرات معلق هوا از استانداردهای ASTM ۴۰۹۶ (۳۴) و EPA Compendium Method IO-2.1 (۳۵) استفاده شد. نمونه‌برداری با استفاده از پمپ حجم بالا و فیلترهای فایبرگلاس جمع‌آوری شد (۳۶). برای نمونه‌برداری از فیلتر فایبرگلاس (۳۷) کروی NAGEL MACHERREY ۸۵/۹۰ با قطر ۱۱۰ mm ساخت کشور آلمان استفاده شد. ۱۰ فیلتر به عنوان نمونه‌های شاهد در نظر گرفته شد. به طوری که 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 ۵۰ نمونه فعال و ۱۰ نمونه شاهد در نظر گرفته شد. به طور کلی ۶۰ نمونه در سال ۱۴۰۰ آنالیز شد. جهت تعیین غلظت فلزات، نصف فیلتر به قطعات خیلی ریز خرد و در داخل تفلونی ریخته شد و سپس ۳ mL اسید نیتریک، ۱ mL اسید پر کلرات به آن اضافه و به

جدول ۱- مقادیر حد تشخیص و حد تعیین کمی عناصر

| عناصر | ( $\mu\text{g/mL}$ ) LOQ | ( $\mu\text{g/mL}$ ) LOD |
|-------|--------------------------|--------------------------|
| Al    | ۰/۳۷                     | ۰/۱۱                     |
| Cr    | ۰/۰۳                     | ۰/۰۰۹                    |
| Zn    | ۰/۰۶۶                    | ۰/۰۲۲                    |
| Fe    | ۰/۲۰                     | ۰/۰۷۰                    |
| Mg    | ۰/۱۴                     | ۰/۰۴۷                    |
| Sr    | ۰/۰۰۶                    | ۰/۰۰۲                    |
| Pb    | ۰/۰۷                     | ۰/۰۲۳                    |
| W     | ۰/۲۴                     | ۰/۰۷۵                    |
| Ti    | ۰/۰۱۶                    | ۰/۰۰۵                    |
| Li    | ۰/۰۳۰                    | ۰/۰۱۰                    |

مطالعه از US EPA UNMIX ورژن ۶/۰ استفاده شد (۴۳).

$$C_{ij} = \sum_{k=1}^m F_{jk} S_{jk} + E \quad (1)$$

$C_{ij}$ : غلظت عناصر در نمونه،  $F_{jk}$ : درصد عناصر در منبع،  $S_{jk}$ : سهم منبع در نمونه،  $E$ : انحراف معیار تحلیل. منبع باید حداقل نیازمندی‌های مدل را در خروجی نهایی داشته باشد (حداقل سیگنال/نویز  $> 1/5$ ). داده‌ها قبل از وارد شدن به مدل UNMIX باید استاندارد شود. داده‌ها بدون بعد هستند و محدوده ارزش مشاهده‌ای بین ۰-۱ است. نحوه محاسبه استاندارد پراکندگی به شرح زیر است (معادله ۲) (۴۴).

$$X_K = \frac{X_i - X_{imin}}{X_{imax} - X_{imin}} \quad (2)$$

$X_k$ : مقدار پس از انحراف استاندارد،  $X_i$ : مقدار آنالیز اولیه نمونه،  $X_{imin}$ : حداقل مقدار آنالیز،  $X_{imax}$ : حداکثر مقدار آنالیز.

برای اجرای مراحل اصلی UNMIX ابتدا مجموعه داده‌های عناصر فلزی شامل غلظت ۱۰ عنصر سنجش شده با استفاده از ابزارهای مدل انتخاب شد. شاخص سیگنال به نویز مبنای انتخاب تعداد منشأ هست که بایستی بیشتر از ۱/۵ انتخاب گردد (۴۴). به‌طور کلی در این پژوهش ۱۱ نوع منبع شناسایی شد که ۳ منبع آن سیگنال به نویز بالای ۱/۵ داشت. حداقل نرخ S/N در سه منبع شناسایی شده ۲/۴۸ dB بود. در مرحله بعدی تعداد سه منبع به‌عنوان عوامل منشأ فلزات سنگین هوا انتخاب شد. در آخر شناسایی منابع آلاینده با توجه به پروفیل منبع صورت گرفت. UNMIX تخمین راه‌حل‌های جزئی و سایر اطلاعات را گزارش می‌دهد تا راهنمایی‌های بیشتری به کاربر برای تولید راه‌حل بهتر ارائه کند. به‌صورت پیش‌فرض برای مقادیر صفر یا کم شده در بخش ورود داده‌ها (-۹۹) در نظر گرفته شد. برای تجزیه و تحلیل سریع و ارتقای کیفیت خروجی فرمت بدون تاریخ در ورود داده‌ها انتخاب شد. سپس غلظت داده‌های ۱۰ نوع از فلزات سنگین که در بازه‌های زمانی متفاوت برداشت شده در قالب فایل EXCEL وارد نرم‌افزار

مدل تعیین سهم UNMIX

نرم‌افزار UNMIX یک مدل ریاضی است که توسط آژانس حفاظت از محیط‌زیست ایالات متحده آمریکا طراحی و ساخته شده است. این نرم‌افزار پشتیبانی علمی مناسبی را برای بررسی استانداردهای کیفیت آب و هوا فراهم می‌کند. UNMIX می‌تواند طیف گسترده‌ای از داده‌های نمونه محیطی شامل انواع رسوبات، آب‌های سطحی، هوای محیط و هوای داخلی را تجزیه و تحلیل کند. UNMIX براساس داده‌های ارائه شده توسط کاربر می‌تواند تعداد منابع اثرگذار بر نمونه‌ها را به‌صورت کمی تعیین کند. در مدل UNMIX اگر داده‌های ورودی کفایت لازم را نداشته باشند نرم‌افزار پیامی مبنی بر عدم یافتن منابع احتمالی خواهد داد، درحالی‌که مدل‌های دیگر تحت هر شرایطی جوابی ارائه می‌دهند که از نقاط ضعف آنها محسوب می‌شود (۴۰). مزیت اصلی UNMIX آن است که نیازی به دانستن اطلاعاتی درخصوص منابع ندارد و فقط با استفاده از نتایج اندازه‌گیری‌ها به تعیین تعداد و سهم منابع می‌پردازد. با توجه به شرایط کشور ایران که بانک اطلاعات جامعی درخصوص نوع منابع آلاینده و درصد سهم انتشار آنها وجود ندارد، به نظر می‌رسد استفاده از این مدل در ایران مناسب است. در روشی مانند PCA محدودیت‌های از قبیل تحمل داده‌های گمشده تا ۲۵ درصد و عدم تجزیه و تحلیل داده‌های غیرخطی وجود دارد که در مدل UNMIX چنین محدودیت‌هایی وجود ندارد. بعلاوه UNMIX فرض می‌کند که سهم منابع و مقادیر انتشار آنها در طول زمان تغییر نمی‌کنند. همچنین از دیگر مفروضات مدل UNMIX آن است که سهم تمامی منابع مثبت هست و منبعی که سهم آن منفی باشد وجود ندارد (۴۱). از نقاط قوت دیگر UNMIX آن است که این مدل از روش‌های ماتریسی بسیار پیشرفته‌ای استفاده می‌کند و عملاً یک نرم‌افزار ریاضی ماتریسی محض هست که کاربرد محیط زیستی دارد. روش یافتن منابع در این نرم‌افزار به کلی از مدل PMF و CMB متفاوت بوده و براساس روش یافتن لبه‌ها یک فن ریاضی محض است (۴۰). UNMIX یک رویکرد چند متغیره است که برای حل تعادل جرم شیمیایی ایجاد شده (معادله ۱) و برای اولین بار توسط هنری در سال ۲۰۰۳ پیشنهاد شد (۴۲). در این

EPA UNMIX 6.0 شد. در فرایند ورودی داده‌ها گزینه جایگزینی مقادیر از دست رفته انتخاب شد. همچنین پیشنهاد نرم‌افزار در حذف عناصر نامناسب یا کم ارزش بررسی شد. با پیشنهاد حذف عناصر کم ارزش از سوی مدل عنصر لیتیم حذف گردید.

پایگاه اطلاعات SPECIATE توسط EPA طراحی شده است و بانک اطلاعاتی از گازهای آلی و ذرات معلق است که مشخصات منابع آلودگی هوا را در اختیار دارد. در میان کاربردهای فراوان SPECIATE می‌توان به انتشار عناصر برای مه منطقه‌ای، ذرات معلق، گازهای گلخانه‌ای و مدل‌سازی فتوشیمیایی اشاره کرد همچنین برآورد انتشار آلاینده‌های خطرناک هوا، ارائه ورودی به مدل گیرنده تعادل جرم شیمیایی و ارزیابی پروفایل‌های به‌دست آمده از اندازه‌گیری‌های محیطی توسط مدل‌های گیرنده چند متغیره (به‌عنوان مثال تجزیه و تحلیل عاملی و فاکتور ماتریس مثبت) از دیگر کاربردهای

SPECIATE است.

### یافته‌ها

نتایج غلظت فلزات سنگین هوا در ایستگاه‌های مورد مطالعه منطقه ۲۱ در جدول ۲ نشان داده شده است. آماره توصیفی اشاره شده مربوط به ۵۰ نمونه اندازه‌گیری شده از منطقه ۲۱ است. میانگین غلظت فلزات سنگین در سال ۱۴۰۰ به ترتیب روند کاهشی شامل  $Li < Ti < W < Pb < Sr < Mg < Fe < Zn < Cr < Al$  هست. میانگین و انحراف معیار عناصر آلومینیوم  $(۱۹/۷۲ \pm ۵۸/۸۷)$ ، کروم  $(۱۹/۲۷ \pm ۶۰/۴۸)$ ، روی  $(۸/۱۳ \pm ۲۳/۹۹)$ ، آهن  $(۱۰/۵۰ \pm ۱۵/۷۰)$ ، منیزیم  $(۳/۹۴ \pm ۱۰/۷۰)$ ، استرانسیم  $(۱/۴۸ \pm ۳/۵۳)$ ، سرب  $(۳/۳ \pm ۷۶/۴۹)$ ، تنگستن  $(۱/۲۲ \pm ۱/۲۶)$ ، تیتانیوم  $(۰/۲۴ \pm ۰/۵۵)$  و لیتیم  $(۰ \pm ۰/۰۱)$  است. همچنین آلومینیوم، کروم و آهن به ترتیب بیشترین انحراف معیار را داشته و احتمالاً بیانگر آن است که از منابع متفاوتی توزیع شده‌اند.

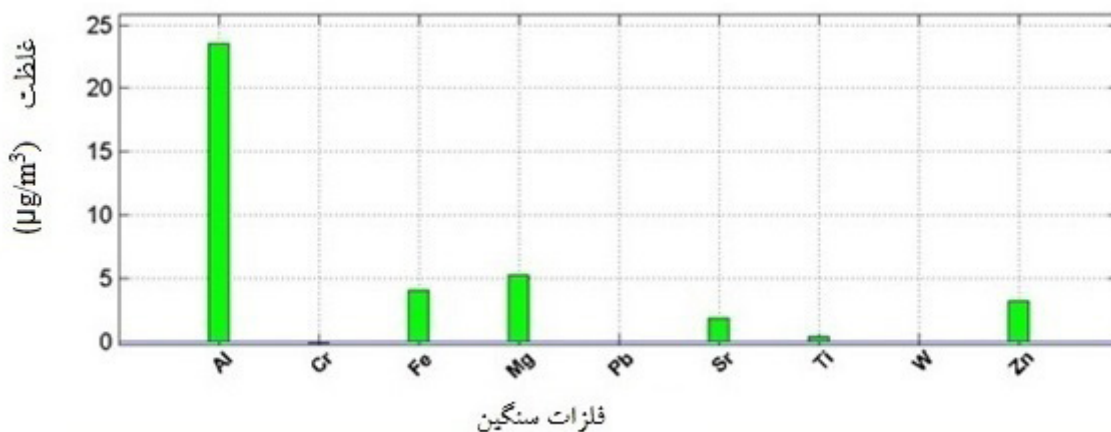
جدول ۲- آماره توصیفی فلزات سنگین منطقه ۲۱ تهران در سال ۱۴۰۰

| عناصر | تعداد نمونه | حداقل ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) | حداکثر ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) | میانگین ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) | انحراف معیار |
|-------|-------------|------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|--------------|
| Al    | ۵۰          | ۲۱/۶۱                              | ۸۹/۶۶                               | ۵۸/۸۷                                | ۱۹/۷۲        |
| Cr    | ۵۰          | ۵/۴۷                               | ۶۳                                  | ۲۷/۴۸                                | ۱۹/۶۰        |
| Zn    | ۵۰          | ۱۱/۶۴                              | ۳۳/۹۸                               | ۲۳/۹۹                                | ۸/۱۳         |
| Fe    | ۵۰          | ۵/۴۶                               | ۳۶/۵۷                               | ۱۵/۷۰                                | ۱۰/۵۰        |
| Mg    | ۵۰          | ۳/۶۷                               | ۱۵/۸۸                               | ۱۰/۷۰                                | ۳/۹۴         |
| Sr    | ۵۰          | ۱/۲۹                               | ۵/۹۰                                | ۳/۵۳                                 | ۱/۴۸         |
| Pb    | ۵۰          | ۰/۱۳                               | ۹/۷۰                                | ۳/۴۹                                 | ۳/۷۶         |
| W     | ۵۰          | ۰/۱۴                               | ۳/۸۵                                | ۱/۲۶                                 | ۱/۲۲         |
| Ti    | ۵۰          | ۰/۲۴                               | ۰/۹۴                                | ۰/۵۵                                 | ۰/۲۴         |
| Li    | ۵۰          | ۰                                  | ۰/۰۲                                | ۰/۰۱                                 | ۰            |

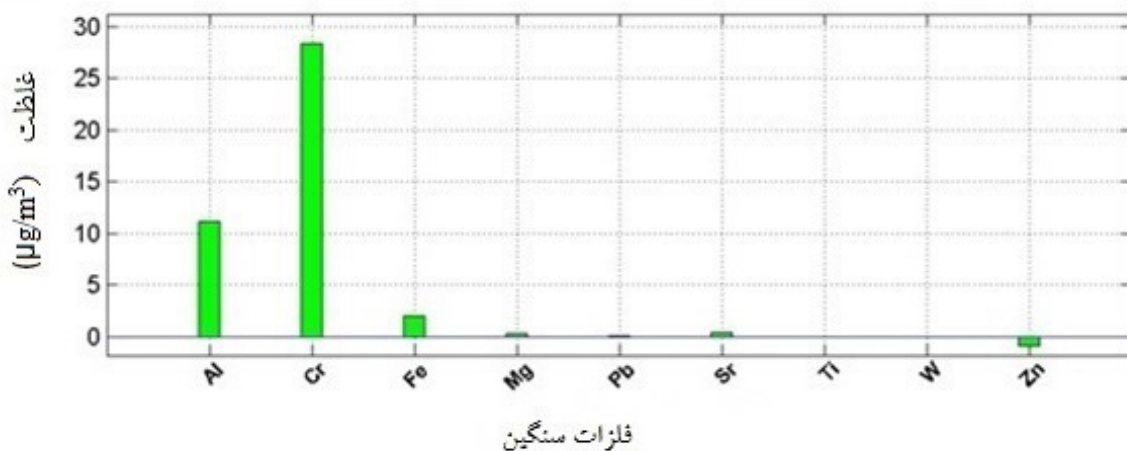
و نسبت به غلظت فلزات سنگین اندازه‌گیری شده در منطقه ۲۱ اشاره می‌گردد. محور عمودی در نمودارهای حسابی نشان‌دهنده غلظت فلزات سنگین ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) است که به بازه‌های مساوی تقسیم شده است. به عبارتی فواصل نسبتی یکسان بوده و بر روی محور عمودی با یکدیگر برابر هستند. محورهای افقی همانند مقیاس لگاریتمی از اسامی فلزات سنگین تشکیل شده است. بیشترین غلظت آلومینیوم در منبع شماره یک بوده که عنصر غالب است. همچنین عناصر منیزیم، روی، آهن و استرانسیم به ترتیب در رتبه‌های بعدی قرار دارند. همچنین در منبع شماره ۱ عناصر تیتانیوم، کروم، سرب و تنگستن در حد صفر است (نمودار ۱). در منبع شماره ۲ کروم به دلیل داشتن بیشترین غلظت در بین سایر منابع به‌عنوان عنصر غالب شناخته شده است. آلومینیوم و آهن در رتبه‌های دوم و سوم قرار گرفته‌اند.

تعیین عناصر منابع با مقیاس خطی (حسابی)

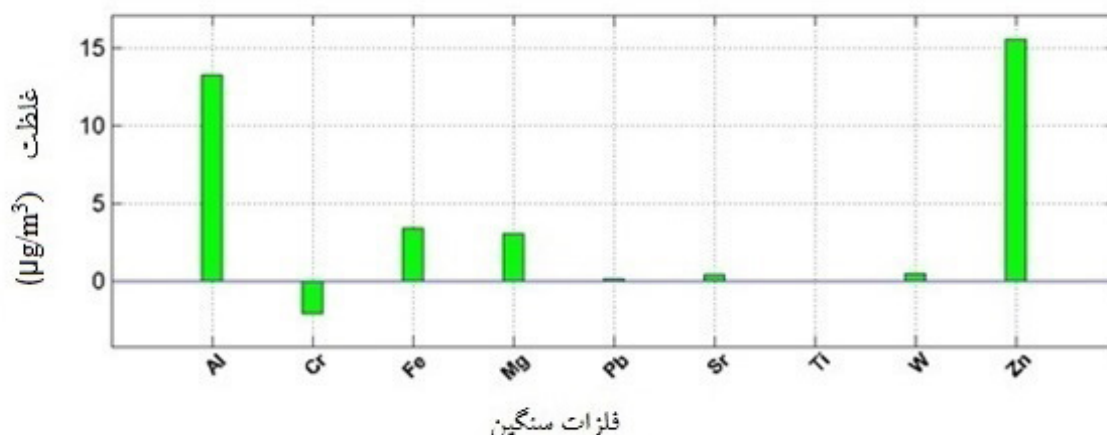
پس از اجرای متعدد در مدل UNMIX تجزیه و تحلیل و تعیین سهم منابع اجرا شد. پارامترهای تعداد منابع پیشنهادی، عناصر با غلظت مناسب و نسبت  $S/N$  در نظر گرفته شد. به‌طور کلی ۱۱ نوع منبع شناسایی شد که ۳ منبع با سیگنال/نویز ( $S/N$ ) بالای ۱/۵ انتخاب شد. نسبت سیگنال به نویز معیاری برای نمایش میزان سیگنال مفید در مقابل سیگنال مزاحم است. حداقل نرخ  $S/N$  در سه منبع شناسایی شده  $2/48 \text{ dB}$  بود که نشان‌دهنده برتری سیگنال نسبت به نویز هست. بنابراین مدل UNMIX سه منبع معتبر را برای فلزات سنگین هوادر منطقه ۲۱ مشخص کرد. بنابراین سه منبع اصلی فلزات سنگین با (سیگنال به نویز  $> 1/5$ ) در منطقه ۲۱ تهران وجود دارد که کمترین خطا و بیشترین قابلیت اطمینان را دارند. در ادامه به پروفایل‌های UNMIX در هر منبع



نمودار ۱- غلظت فلزات سنگین در منبع شماره یک با مقیاس خطی ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )



نمودار ۲- غلظت فلزات سنگین در منبع شماره دو با مقیاس خطی ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )



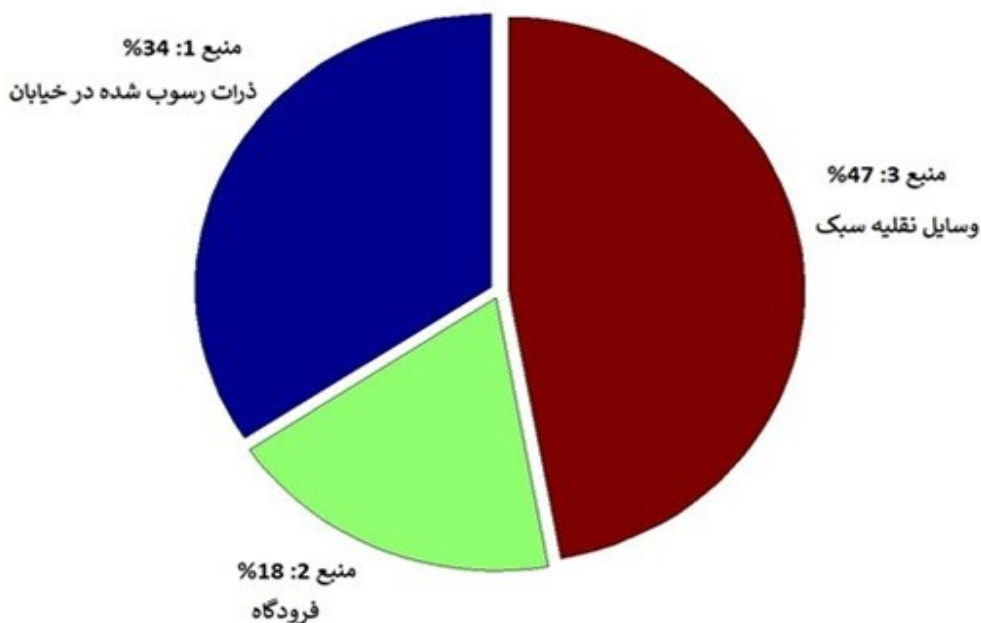
نمودار ۳- غلظت فلزات سنگین در منبع شماره سه با مقیاس خطی (µg/m³)

منبع ۳، ۱۷ درصد منبع ۱ و کمتر از ۱ درصد منبع ۲ نقش دارد. پس توزیع غالب روی با پروفایل منبع ۳ همسو بوده و دو منبع در توزیع آن نقش دارند.

تعیین نوع منابع با استفاده از پایگاه اطلاعات *SPECIATE* برای شناسایی نوع منابع، اطلاعات ۹ عنصر اندازه‌گیری شده وارد پایگاه اطلاعاتی *Speciate* شد. در مرحله بعد فاز عنصر به صورت گاز و ذرات تعیین شد. سپس نوع پروفایل ذرات و روش آنالیز نمونه‌ها *ICP-OES* انتخاب شد. بعد از فیلتر معیارها و شاخص‌ها تعداد ۶۸ پروفایل از ۶۷۴۶ پروفایل موجود به دست آمد. خروجی‌های این پایگاه اطلاعات به صورت مقایسه درصد وزنی عناصر بوده و در قالب نمودار دایره‌ای به دست آمد. یافته‌ها و نتایج مقایسه پروفایل عناصر نشان می‌دهد که عنصر آلومینیوم با ۴۷/۲ درصد در رتبه اول و عنصر آهن با ۳۹/۶ درصد بیشترین درصد وزنی را در بین فلزات سنگین منطقه ۲۱ دارند. یافته‌ها نشان می‌دهد که منابع احتمالی مشخص شده توسط مدل *UNMIX* شامل منبع ۱ (گردوغبار جاده آسفالت شده)، منبع ۲ (فرودگاه) و منبع ۳ (وسایل نقلیه سبک) هستند.

همچنین عناصر منیزیم، سرب، تیتانیوم، استرانسیوم، تنگستن و روی در منبع شماره ۲ در حد صفر است (نمودار ۲). عنصر روی در منبع شماره ۳ جزو عناصر غالب بوده و آلومینیوم، آهن و منیزیم در رتبه‌های بعدی قرار دارند. همچنین در منبع شماره ۳ عناصر سرب، تیتانیوم، استرانسیم، تنگستن و کروم در حد صفر است (نمودار ۳). به عبارت دیگر پنج عنصر در منبع ۱، چهار عنصر در منبع ۳ و سه عنصر در منبع ۲ به ترتیب بیشترین و کمترین توزیع را داشته‌اند.

مدل با استفاده از پروفایل‌های دایره‌ای، سهم عناصر غالب در هر منبع را برحسب درصد ارائه کرده است. در توزیع کل ذرات معلق ۴۷ درصد منبع ۳، ۳۴ درصد منبع ۱ و ۱۸ درصد منبع ۲ نقش دارد (نمودار ۴). در توزیع آلومینیوم ۴۹ درصد منبع ۱، ۲۸ درصد منبع ۳ و ۲۳ درصد منبع ۲ نقش دارد. بنابراین هر سه منبع در توزیع آلومینیوم نقش مؤثری دارند و توزیع غالب آن با پروفایل منبع ۱ همسو است. در توزیع کروم ۹۹ درصد منبع ۲ و کمتر از ۱ درصد منبع ۱ و ۳ نقش دارد. بنابراین توزیع کروم با پروفایل منبع ۲ کاملاً همخوانی داشته و فقط از یک منبع توزیع می‌شود. در توزیع روی ۸۳ درصد



نمودار ۴- تعیین نوع و سهم سه منبع در توزیع TSP

### بحث

است. در مطالعه‌ای مشابه Sabouhi و همکاران در (۲۰۱۶) (۴۶) گزارش کردند که منابع انسان‌ساخت در توزیع غلظت‌های زیاد فلزات سنگین در شهر یزد نقش زیادی را ایفا می‌کند. از جمله فعالیت‌های انسانی که می‌تواند در توزیع فلزات سنگین نقش داشته باشد می‌توان به صنایع و ترافیک اشاره کرد (۴۷).

نتایج پژوهش حاضر نشان می‌دهد که سه منبع آلودگی فلزات سنگین با  $S/N > 1/5$  در منطقه ۲۱ وجود دارد که آلومینیوم در منبع ۱، کروم در منبع ۲ و روی در منبع ۳ جزو عناصر غالب هستند. جهت تعیین نوع منابع احتمالی از پایگاه اطلاعاتی SPECIATE استفاده شد. در مطالعه Simon و همکاران (۲۰۱۰) (۴۸) نیز کاربرد پایگاه اطلاعات SPECIATE در تعیین پروفایل‌های به‌دست آمده از مدل‌های گیرنده چند متغیره و تفسیر داده‌های اندازه‌گیری محیط گزارش شده است. یافته‌های پایگاه SPECIATE نشان داد که منبع ۲ فرودگاه بوده و ۱۸ درصد در توزیع کروم، آهن و آلومینیوم

مطالعه حاضر با هدف اندازه‌گیری غلظت فلزات سنگین متصل به ذرات معلق هوا و تعیین سهم منابع با مدل منشاییابی در منطقه ۲۱ شهر تهران انجام شد. تعداد ۵۰ نمونه فعال از ۵ ایستگاه مشخص و با یک روش استاندارد برداشت شد. یافته‌ها نشان داد که ۱۰ عنصر شاخص در ذرات معلق منطقه ۲۱ وجود دارد. به‌طور میانگین عناصر آلومینیوم، کروم و روی به ترتیب بیشترین غلظت را در کل منطقه مورد مطالعه داشتند. در پژوهش مشابه Moeinaddini و همکاران (۲۰۲۰) (۴۵) که با هدف ارزیابی درجه آلودگی فلزات سنگین در ذرات غبار اتمسفری تهران انجام دادند بیشترین غلظت عناصر را آلومینیوم، روی و کروم گزارش کردند. زمانی که غلظت عناصر از حالت نرمال فراتر می‌رود احتمال اثرگذاری منشأ انسانی نیز تقویت می‌شود. همچنین همه عناصر اندازه‌گیری شده از انحراف معیار بالایی برخوردار بودند که نشان می‌دهد نقش منابع انسان‌ساخت در توزیع فلزات سنگین نسبت به انتشار منابع طبیعی پررنگ‌تر

جمله مهمترین محدودیت‌های پژوهش حاضر بود. همچنین تعداد ایستگاه‌های نمونه برداری محدود و عدم جانمایی با روش دقیق از دیگر محدودیت‌های این مطالعه است. از کاستی‌های این پژوهش می‌توان به عدم دسترسی سریع به منابع اطلاعاتی مورد نیاز و عدم ضمانت اجرایی در پیاده سازی دستاوردها اشاره کرد.

### نتیجه‌گیری

هدف پژوهش حاضر سنجش و منشایابی فلزات سنگین موجود در ذرات معلق اتمسفر در منطقه ۲۱ تهران بود که با استفاده از مدل تعیین سهم UNMIX انجام شد. به‌طور کلی ۳ منبع اصلی در توزیع عناصر تعیین شد. آلومینیوم، کروم و روی جزو عناصر غالب در منابع شناخته شد. با روش درصد وزنی پایگاه اطلاعاتی SPECIATE بیشترین سهم در توزیع فلزات سنگین به ترتیب مربوط به منابع وسایل نقلیه سبک، ذرات ترسیب شده در خیابان و فرودگاه بود. کنترل ذرات و فلزات موجود در سطح خیابان هزینه‌های زیادی را می‌تواند تحمیل کند پس تحلیل هزینه-فایده قبل از کنترل آلودگی از اهمیت زیادی برخوردار است. راهکارهایی از قبیل بهینه‌سازی مصرف سوخت در وسایل نقلیه موتوری و استفاده از سلول‌های خورشیدی یا جایگزینی نفت سفید گیاهی به‌عنوان منبع انرژی برای کنترل آلاینده‌های فرودگاه از دیگر پیشنهاد‌های کاربردی هست.

### ملاحظات اخلاقی

نویسندگان کلیه نکات اخلاقی شامل عدم سرقت ادبی، انتشار دوگانه، تحریف داده‌ها و داده‌سازی را در این مقاله رعایت کرده‌اند.

### تشکر و قدردانی

این مقاله حاصل بخشی از رساله با عنوان "مدل‌سازی تعیین سهم، سنجش و ارزیابی ریسک سلامت ذرات معلق حاوی فلزات سنگین در منطقه ۲۱" در مقطع دکتری در سال ۱۳۹۶ است که با حمایت دانشگاه علوم و تحقیقات تهران اجرا شده است.

نقش دارد. مطالعاتی نیز وجود دارد که نشان می‌دهد آلودگی ناشی از فرودگاه می‌تواند تاثیر منفی را بر کیفیت هوای نزدیک فرودگاه‌ها و محیط اطراف خود داشته باشد (۴۹، ۵۰). ذرات و فلزات خروجی از اگزوز هواپیما تنها یکی از چندین منبع انتشار آلاینده در یک فرودگاه است (۵۱). از جمله عوامل دیگری که می‌تواند در توزیع ذرات معلق و فلزات سنگین از منبع فرودگاه نقش داشته باشد می‌توان به جهت باد غالب و فعالیت‌های ساخت‌وساز در فرودگاه اشاره کرد. با توجه به یافته‌های قبلی و استقرار فرودگاه بین‌المللی مهرآباد در منطقه ۲۱ تهران احتمال وجود منبع فرودگاه تأیید می‌گردد. نتایج پژوهش حاضر نشان می‌دهد که منبع ۳ وسایل نقلیه بنزینی سبک بوده و ۴۷ درصد در توزیع ذرات و برخی از فلزات مانند آهن، آلومینیوم، روی و منیزیم نقش دارد. در تأیید نقش وسایل نقلیه موتوری می‌توان به استقرار زیرساخت‌های مهم حمل و نقل شامل اتوبان کرج-تهران، اتوبان فتح و اتوبان لشگری در منطقه ۲۱ شهر تهران اشاره کرد. مطالعه Huang و همکاران (۲۰۱۸) (۵۲) نیز نشان می‌دهد که وسایل نقلیه موتوری پتانسیل لازم را برای تشکیل ذرات معلق هوا در اتمسفر شهری دارد. در مطالعه‌ای دیگر Liu و همکاران (۲۰۲۰) (۵۳) به ردیابی منبع فلزات سنگین موجود در جاده‌های شهری پرداخته و یافته‌ها نشان داد که سایش لاستیک، ترمز و اگزوز موتور بنزینی منبع عناصری مانند روی و سرب است. بنابراین نتایج این مطالعات با یافته‌های پژوهش حاضر کاملاً همسو است. یافته‌های پژوهش نشان می‌دهد که منبع ۱ ذرات رسوب شده در خیابان بوده و ۳۴ درصد در توزیع آلومینیوم، آهن، روی، منیزیم و استرانسیم نقش دارد. عناصر تجمع یافته در خیابان‌های منطقه ۲۱ می‌تواند از حمل و نقل ذرات گردوغبار منشأ گیرد. بادهای غرب به شرق تهران نیز پتانسیل حمل عناصر را به غرب و شمال تهران دارد. همچنین در مطالعه Gulia و همکاران (۲۰۱۸) (۵۴) گزارش شده که انتشار گردوغبار جاده به میزان قابل توجهی براساس میزان ذرات تجمع یافته در جاده، نوع جاده (جاده آسفالت و بدون آسفالت یا خاکی)، تعداد و نوع حرکت وسایل نقلیه متفاوت است. عدم دسترسی به بروزترین تجهیزات نمونه‌برداری و هزینه‌بر بودن تجهیزات یا آنالیز آزمایشگاهی از

## References

1. Cohen AJ, Brauer M, Burnett R, Anderson HR, Frostad J, Estep K, et al. Estimates and 25-year trends of the global burden of disease attributable to ambient air pollution: an analysis of data from the Global Burden of Diseases Study 2015. *The Lancet*. 2017;389(10082):1907-18.
2. Landrigan PJ, Fuller R, Acosta NJ, Adeyi O, Arnold R, Baldé AB, et al. The Lancet Commission on pollution and health. *The Lancet*. 2018;391(10119):462-512.
3. Manisalidis I, Stavropoulou E, Stavropoulos A, Bezirtzoglou E. Environmental and Health Impacts of Air Pollution: A Review. *Frontiers in Public Health*. 2020;8:14-14.
4. 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.
5. Zahedi A, Hassanvand MS, Jaafarzadeh N, Ghadiri A, Shamsipour M, Dehcheshmeh MG. Effect of ambient air PM<sub>2.5</sub>-bound heavy metals on blood metal (loid) s and children's asthma and allergy pro-inflammatory (IgE, IL-4 and IL-13) biomarkers. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*. 2021;68:126826.
6. 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.
7. Rajabi M, Souri B. Evaluation of heavy metals among dustfall particles of Sanandaj, Khorramabad and Andimeshk cities in western Iran 2012-2013. *Iranian Journal of Health and Environment*. 2015;8(1):11-22. (in Persian)
8. Zhao X, Xi B, He X, Li D, Tan W, Zhang H, et al. The impacts of metal ions on phytotoxicity mediate by microbial community during municipal solid waste composting. *Journal of Environmental Management*. 2019;242:153-61.
9. Guo D, Ren C, Ali A, Du J, Zhang Z, Li R, et al. *Streptomyces pactum* and sulfur mediated the antioxidant enzymes in plant and phytoextraction of potentially toxic elements from a smelter-contaminated soils. *Environmental Pollution*. 2019;251:37-44.
10. Kim R-Y, Yoon J-K, Kim T-S, Yang JE, Owens G, Kim K-R. Bioavailability of heavy metals in soils: definitions and practical implementation—a critical review. *Environmental Geochemistry and Health*. 2015;37(6):1041-61.
11. Kanninga BK, Chishala BH, Maseka KK, Sakala GM, Lark MR, Tye A, et al. mine tailings in an African tropical environment—mechanisms for the bioavailability of heavy metals in soils. *Environmental Geochemistry and Health*. 2019:1-26.
12. Mama C, Nnaji C, Emenike P, Chibueze C. Potential environmental and human health risk of soil and roadside dust in a rapidly growing urban settlement. *International Journal of Environmental Science and Technology*. 2020;17:1-16.
13. Al-Shaweesh M, Al-Hwaiti M, Al-Khashman O, Abu Jrai A, Al-Muhtaseb A. HEALTH RISK ASSESSMENT THROUGH EXPOSURE TO HEAVY METALS IN URBAN AND SUBURBAN DUST EMITTED FROM WORKPLACE IN AQABA INDUSTRIAL ESTATE, JORDAN. *International Journal of GEOMATE*. 2019;17:292-306.
14. Yang S, Li P, Liu J, Bi X, Ning Y, Wang S, et al. Profiles, source identification and health risks of potentially toxic metals in pyrotechnic-related road dust during Chinese New Year. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2019;184:109604.
15. Farahmand kia Z, Mehrasbi MR, Sekhawatju MS, Hasanalizadeh AS, Ramezanzadeh Z. Study of Heavy Metals in the Atmospheric Deposition in Zanjan, Iran. *Iranian Journal of Health and Environment*. 2010;2(4):240-49. (in Persian)
16. Shaik AP, Sultana SA, Alsaeed AH. Lead exposure: a summary of global studies and the need for new studies from Saudi Arabia. *Disease Markers*. 2014;2014:415160.
17. Pandey M, Pandey AK, Mishra A, Tripathi BD. Speciation of carcinogenic and non-carcinogenic metals in respirable suspended particulate matter (PM<sub>10</sub>) in Varanasi, India. *Urban Climate*. 2017;19:141-54.
18. Liou PJ, Laskin JD, Georgopoulos PG. Preparedness and response to chemical and biological threats: the role

- of exposure science. *Annals of the New York Academy of Sciences*. 2016;1378(1):108-17.
19. Liu J, Chen Y, Chao S, Cao H, Zhang A, Yang Y. Emission control priority of PM<sub>2.5</sub>-bound heavy metals in different seasons: A comprehensive analysis from health risk perspective. *Science of The Total Environment*. 2018;644:20-30.
  20. Efthimiou GC, Kovalets IV, Argyropoulos CD, Venetsanos A, Andronopoulos S, Kakosimos KE. Evaluation of an inverse modelling methodology for the prediction of a stationary point pollutant source in complex urban environments. *Building and Environment*. 2018;143:107-19.
  21. Heo JB, Hopke PK, Yi SM. Source apportionment of PM<sub>2.5</sub> in Seoul, Korea. *Atmospheric Chemistry and Physics*. 2009;9(14):4957-71.
  22. Gao J, Tian H, Cheng K, Lu L, Wang Y, Wu Y, et al. Seasonal and spatial variation of trace elements in multi-size airborne particulate matters of Beijing, China: Mass concentration, enrichment characteristics, source apportionment, chemical speciation and bioavailability. *Atmospheric Environment*. 2014;99:257-65.
  23. Galvão ES, de Cassia Feroni R, D'Azeredo Orlando MT. A review of the main strategies used in the interpretation of similar chemical profiles yielded by receptor models in the source apportionment of particulate matter. *Chemosphere*. 2021;269:128746.
  24. Tajiki F, Mohammad Asgari H, Zamani I, Ghanbari F. Investigation of fungi diversity in airborne dust and their sources identification in Khuzestan province. *Iranian Journal of Health and Environment*. 2021;14(1):51-66. (in Persian)
  25. Sistani N, Moeinaddini M, Khorasani N, Hamidian A, Ali-Taleshi M, Azimi Yancheshmeh R. Heavy metal pollution in soils nearby Kerman steel industry: metal richness and degree of contamination assessment. *Iranian Journal of Health and Environment*. 2017;10(1):75-86. (in Persian)
  26. Kamani H, Hoseini M, Safari GH, Mahvi AH, 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. (in Persian)
  27. MohseniBandpi A, Eslami A, Ghaderpoori M, Shahsavani A, Jeihooni AK, Ghaderpoury A, et al. Health risk assessment of heavy metals on PM<sub>2.5</sub> in Tehran air, Iran. *Data in Brief*. 2018;17:347-55.
  28. Fathabad AE, Shariatifar N, Moazzen M, Nazmara S, Fakhri Y, Alimohammadi M, et al. Determination of heavy metal content of processed fruit products from Tehran's market using ICP- OES: A risk assessment study. *Food and Chemical Toxicology*. 2018;115:436-46.
  29. Kousehlar M, Widom E. Sources of metals in atmospheric particulate matter in Tehran, Iran: Tree bark biomonitoring. *Applied Geochemistry*. 2019;104:71-82.
  30. Sharafi K, Yunesian M, Nodehi RN, Hossein Mahvi A, Pirsahab M, Nazmara S. The reduction of toxic metals of various rice types by different preparation and cooking processes – Human health risk assessment in Tehran households, Iran. *Food Chemistry*. 2019;280:294-302.
  31. Alizadeh Z, Dindarloo K, Heidari M. Assessment of health risk attributed to heavy metals of settled dust in the elementary schools of Bandar Abbas. *Iranian Journal of Health and Environment*. 2021;14(3):487-98. (in Persian)
  32. Gholami MR. Vulnerability analysis of security measures in District 21 of Tehran during accidents and disasters. *Scientific Quarterly of Intelligence and Criminal Research*. 2017;12(46):109-32. (in Persian)
  33. Wali Nejad F, Arbabi Sabzevari A, Borna R. Condition of soils in District 21 of Tehran Municipality in terms of contamination with some heavy metals. *Quarterly Journal of Environmental Science and Technology*. 2021;23(7):99-113. (in Persian)
  34. Alidadi R, Mansouri n, Hemmasi A, Mirzahosseini SA. Risk Assessment of Heavy Metal in Ambient Air (Case Study : Ahvaz,Iran). *Anthropogenic Pollution*. 2020;4(2):1-7.
  35. Elangasinghe MA, Shanthini R. Determination of atmospheric PM<sub>10</sub> concentration in Kandy in relation to traffic intensity. *Journal of The National Science Foundation of Sri Lanka - J NATL SCI FOUND SRI LANKA*. 2008;36.
  36. Castilho INB, Welz B, Vale MGR, de Andrade JB, Smichowski P, Shaltout AA, et al. Comparison of three different sample preparation procedures for the

- determination of traffic-related elements in airborne particulate matter collected on glass fiber filters. *Talanta*. 2012;88:689-95.
37. de Almeida ON, Luzardo FHM, Amorim FAC, Velasco FG, González LN. Use of fiberglass support in the application of dried-spot technique with dispersion liquid-liquid microextraction for the determination of Co, Cr, Cu, Ni and Pb by Energy Dispersive X-Ray Fluorescence Spectrometry. *Spectrochimica Acta Part B: Atomic Spectroscopy*. 2018;150:92-98.
38. Hosseini G, Teymouri P, Giahi O, Maleki A. Health Risk Assessment of Heavy Metals in Atmospheric PM10 in Kurdistan University of Medical Sciences Campus. *Journal of Mazandaran University of Medical Sciences*. 2016;25(132):136-46. (in Persian)
39. Cai Z, Wang Z. Evaluation of solution anode glow discharge as a vapor generator in ICP-OES procedures: Application to highly sensitive determination of Cd and Hg. *Analytica Chimica Acta*. 2022;1203:339724.
40. Jain S, Sharma SK, Mandal T, Saxena M. Source apportionment of PM10 in Delhi, India using PCA/APCS, UNMIX and PMF. *Particuology*. 2018;37:107-18.
41. Alidadi R, Mansouri N, Hemmasi AH, Mirzahassemi 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.
42. Henry RC. Multivariate receptor modeling by N-dimensional edge detection. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*. 2003;65(2):179-89.
43. Belis C, Larsen B, Amato F, Haddad I, Favez O, Harrison R, et al. European Guide on Air Pollution Source Apportionment with Receptor Models 2014.
44. Shi T, Ma J, Wu F, Ju T, Gong Y, Zhang Y, et al. Mass balance-based inventory of heavy metals inputs to and outputs from agricultural soils in Zhejiang Province, China. *Science of The Total Environment*. 2019;649:1269-80.
45. Ali Taleshi M, Moin Al-Dini M, Faiznia S, Shahbazi R, Squizzato A. Characterization and origin of heavy metal pollution in precipitated atmospheric dust particles in Tehran in 1397. *Journal of Environmental Health Research*. 2020; 6 (1): 56-69. (in Persian)
46. 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. (in Persian)
47. 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. (in Persian)
48. Simon H, Beck L, Bhave PV, Divita F, Hsu Y, Luecken D, et al. The development and uses of EPA's SPECIATE database. *Atmospheric Pollution Research*. 2010;1(4):196-206.
49. Masiol M, Harrison RM. Aircraft engine exhaust emissions and other airport-related contributions to ambient air pollution: A review. *Atmospheric Environment*. 2014;95:409-55.
50. Santoni GW, Lee BH, Wood EC, Herndon SC, Miake-Lye RC, Wofsy SC, et al. Aircraft emissions of methane and nitrous oxide during the alternative aviation fuel experiment. *Environmental Science & Technology*. 2011;45(16):7075-82.
51. Xu H, Xiao K, Pan J, Fu Q, Wei X, Zhou J, et al. Evidence of aircraft activity impact on local air quality: A study in the context of uncommon airport operation. *Journal of Environmental Sciences*. 2023;125:603-15.
52. Huang C, Hu Q, Lou S, Tian J, Wang R, Xu C, et al. Ammonia Emission Measurements for Light-Duty Gasoline Vehicles in China and Implications for Emission Modeling. *Environmental Science & Technology*. 2018;52(19):11223-31.
53. Hong N, Guan Y, Yang B, Zhong J, Zhu P, Ok YS, et al. Quantitative source tracking of heavy metals contained in urban road deposited sediments. *Journal of Hazardous Materials*. 2020;393:122362.
54. Gulia S, Goyal P, Goyal SK, Kumar R. Re-suspension of road dust: contribution, assessment and control through dust suppressants—a review. *International Journal of Environmental Science and Technology*. 2019;16(3):1717-28.



Available online: <https://ijhe.tums.ac.ir>  
Original Article



## The receptor of heavy metals in total particulate matter with UNMIX determine the contribution model in 21st district of Tehran

Seyyed Reza Karimi<sup>1</sup>, Nabiollah Mansouri<sup>2\*</sup>, Lobat Taghavi<sup>1</sup>, Mazaher Moeinaddini<sup>3</sup>

1- Department of Environmental Science and Engineering, Faculty of Natural Resources and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

2- Department of Environmental Engineering, Faculty of Natural Resources and Environment, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran

3- Department of Environmental Sciences, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

### ARTICLE INFORMATION:

**Received:** 09 April 2022  
**Revised:** 02 July 2022  
**Accepted:** 06 July 2022  
**Published:** 12 September 2022

**Keywords:** Contribution model, UNMIX, Origin, Particulate matter, Heavy metals

### ABSTRACT

**Background and Objective:** The city of Tehran is always exposed to adverse consequences due to the establishment of various sources of heavy metals. Therefore, the purpose of this study is to identify the types of heavy metals in airborne particles and the origin of heavy metals in the 21st district of Tehran.

**Materials and Methods:** According to the EPA standard, 5 stations from District 21 of Tehran were selected for sampling. Using the ASTM D4096 method and using a high volume sampling pump, 50 samples of total airborne particles were collected. The samples were transferred to the laboratory and the concentration of heavy metals was measured by ICP-OES. The UNMIX source model was used to identify heavy metal sources.

**Results:** The average concentration of heavy metals in 1400 is a decreasing trend including  $Li < Ti < W < Pb < Sr < Mg < Fe < Zn < Cr < Al$ . The results of the contribution model show that the three main sources have played a role in the distribution of heavy metals in region 21 and according to the concentration of heavy metals in the air in the SPECIATE database, the role of light vehicle sources was 47 percent 34 percent on the street and 18 percent at the airport.

**Conclusion:** The source of light vehicles exhibited the highest share of emissions and the element aluminum showed the highest concentration among heavy metals in Region 21. Therefore, the UNMIX source model can correctly identify index elements and priority sources for contaminant control.

**\*Corresponding Author:**

[nmansouri@srbiau.ac.ir](mailto:nmansouri@srbiau.ac.ir)

Please cite this article as: Karimi SR, Mansouri N, Taghavi L, Moeinaddini M. The receptor of heavy metals in total particulate matter with UNMIX determine the contribution model in 21st district of Tehran. Iranian Journal of Health and Environment. 2022;15(2):275-88.

