



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

مقاله پژوهشی

عوامل موثر بر غلظت فلزات سنگین در نزولات جوی شهر تهران به روش تحلیل عاملی

حسین کمانی^۱، محمد حسینی^۲، غلامحسین صفری^۳، امیر حسین محوی^{۴*}، حمید زارعی^۵

- ۱- دکترای تخصصی مهندسی بهداشت محیط، مرکز تحقیقات ارتقاء سلامت و دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی زاهدان، زاهدان، ایران
- ۲- دکترای تخصصی مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی شیراز، شیراز، ایران
- ۳- دکترای تخصصی مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تبریز، تبریز، ایران
- ۴- (نویسنده مسئول): مرکز تحقیقات مواد زائد جامد، پژوهشکده محیط زیست، دکترای بهداشت محیط، استادیار دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران
- ۵- دانشجوی دکترای تخصصی مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی اهواز، اهواز، ایران

اطلاعات مقاله:

چکیده

زمینه و هدف: مقدار فلزات سنگین موجود در نزولات جوی می‌تواند وضعیت آلودگی محیطی را در نواحی مختلف شهری به خوبی تشریح کنند. تاکنون، مطالعه‌ای در مورد خصوصیات شیمیایی نزولات جوی شهر تهران انجام نشده است؛ از اینرو این مطالعه با هدف اندازه‌گیری فلزات سنگین در نزولات جوی شهر تهران و تعیین مهمترین عوامل موثر بر غلظت فلزات سنگین در نزولات تر به روش تحلیل عاملی آن صورت پذیرفت.

روش بررسی: این مطالعه که یک مطالعه توصیفی - مقطعی بود، اندازه‌گیری فلزات سنگین در ۵۳ نمونه نزولات تر در یکی از مناطق مرکزی شهر تهران، انجام شد. نمونه‌برداری در طول ماه‌های آبان تا اردیبهشت سال‌های ۱۳۸۹، ۱۳۹۰ و ۱۳۹۱ بر روی پشت‌بام خوابگاه دانشجویی یکی از ساختمان‌های دانشگاه علوم پزشکی تهران انجام شد و سپس غلظت فلزات سنگین با استفاده از دستگاه ICP-MS اندازه‌گیری شد.

تاریخ دریافت: ۹۲/۰۶/۱۸

تاریخ پذیرش: ۹۲/۰۹/۱۴

واژگان کلیدی: فلزات سنگین، تحلیل عاملی، فاکتور تغلیظ، نزولات جوی، تهران

یافته‌ها: گستره تغییرات pH بین ۴/۲ تا ۷/۱ و میانگین آن ۵/۱ بود که نشان داد pH نزولات در محدوده pH اسیدی (pH کمتر از ۵/۶) قرار دارد. نتایج آنالیز "فاکتور تغلیظ" (EF) نشان داد که نمونه‌های مورد مطالعه با عناصر آهن و کروم تغلیظ نشده‌اند اما با فلزاتی مانند عناصر روی، کادمیم، نیکل، سرب و مس تغلیظ شده‌اند. آنالیز "تحلیل عاملی" با استفاده از ماتریس چرخیده شده "واریماکس" نشان داد که آلاینده‌هایی نظیر آلومینیوم، آهن و کروم دارای منشا طبیعی و آلاینده‌هایی نظیر روی، کادمیم، نیکل، سرب و مس دارای منشا مصنوعی هستند.

نتیجه‌گیری: مقادیر بالای EF و pH اسیدی نشان می‌دهد که تهران تحت تاثیر فعالیت‌های انسانی شدید است. همچنین منشا آلودگی انسانی بیشتر مربوط به احتراق سوخت در فعالیت‌های صنعتی و انتشارات ناشی از ترافیک است.

پست الکترونیکی نویسنده مسئول:

ahmahvi@yahoo.com

مقدمه

از اوایل قرن ۱۹ به دلایل مختلف از جمله فعالیت‌های صنعتی، افزایش تعداد وسایل حمل‌ونقل و احتراق سوخت جهت گرمایش در فصول سرد، غلظت فلزات سنگین در اتمسفر به طور چشمگیری افزایش پیدا کرده است (۱). به طوری که در حال حاضر وجود چنین فلزاتی در اتمسفر و اثرشان روی محیط زیست انسانی یکی از نگرانی‌های جوامع امروزی است چرا که چنین فلزاتی در محیط تجمع پیدا می‌کنند و اثرات مخربی بر انسان و سایر موجودات زنده می‌گذارند (۲). چنین فلزاتی می‌توانند از طریق زنجیره غذایی و تنفس وارد بدن انسان شوند و اثرات مخربی بر قسمت‌های مختلف انسان بخصوص سیستم عصبی و سیستم گوارشی داشته باشند و از طرفی سبب افزایش بیماری‌های قلبی - عروقی، اختلالات تولید مثل و سرطان شوند (۲).

خوشبختانه چنین فلزاتی در اتمسفر بوسیله بارش باران و برف از اتمسفر جدا می‌شوند. نزولات جوی یکی از بهترین مکانیسم‌های حذف آلاینده‌ها از اتمسفر است که به محققین کمک می‌کند تا سهم نسبی منابع مختلف آلاینده‌های اتمسفری را مشخص کنند، به عنوان مثال فلزات سنگین موجود در اتمسفر بر روی دانه‌های برف و باران جذب می‌شوند و به صورت نزولات روی زمین می‌نشینند در نتیجه ترکیب شیمیایی نزولات در محل‌های مختلف مناطق شهری به دلیل منابع محلی مختلف تغییر می‌کند (۳، ۴). بنابراین مطالعه در مورد شناخت آلودگی هوا در شهرهای صنعتی یکی از موضوعات مورد توجه در زمینه بهداشت عمومی جوامع امروزی است (۵).

از طرفی مطالعه پراکندگی جغرافیایی و غلظت فلزات سنگین در نزولات جوی می‌تواند اطلاعات مهمی در مورد منابع آلاینده‌ها و رفتار آنها در اتمسفر را برای محققین فراهم سازند و به همین دلیل مطالعات گوناگونی در زمینه شناخت خصوصیات نزولات جوی در نقاط مختلف جهان انجام شده است (۶). بسیاری از این مطالعات نشان داده‌اند که فلزات سنگین موجود در نزولات جوی می‌تواند وضعیت آلودگی

محیطی در مناطق شهری را به خوبی نشان دهند (۷). نتایج مطالعات Hu و همکاران در شهر سنگاپور نشان داد که در نزولات جوی سنگاپور غلظت فلزات روی، سرب، نیکل و کروم به ترتیب $8/02 \mu\text{g/L}$ ، $3/54$ ، $3/65$ و $1/40$ بود (۸). بنابراین مطالعه فلزات سنگین در نزولات جوی شهر تهران از این جهت مهم است که تهران یکی از شهرهای بزرگ، پرجمعیت و آلوده دنیاست که صنایع زیادی را در خود جای داده است و آلودگی آن بیشتر ناشی از وسایل نقلیه، فعالیت‌های صنعتی، احتراق سوخت در خانه‌های مسکونی و فعالیت‌های ساخت و ساز است. تاکنون مطالعات زیادی در زمینه آلودگی هوای شهر تهران انجام شده ولی متأسفانه مطالعه‌ای در زمینه نزولات جوی تهران صورت نپذیرفته است؛ از اینرو این مطالعه با هدف اندازه‌گیری غلظت فلزات سنگین در نزولات جوی، تعیین مهمترین عوامل موثر بر غلظت فلزات سنگین در نزولات تر به روش تحلیل عاملی و تهیه پایگاه داده فلزات سنگین در نزولات جوی برای سایر مطالعات صورت گرفت.

مواد و روش‌ها

در این مطالعه که یک مطالعه توصیفی - مقطعی بود نمونه‌برداری در طول ماه‌های آبان تا اردیبهشت سال‌های ۱۳۸۹، ۱۳۹۰ و ۱۳۹۱ در یکی از مناطق مرکزی شهر تهران انجام شد. در انتخاب محل نمونه‌برداری نکاتی از جمله: ایمنی محل، دسترسی آسان و به حداقل رساندن آلودگی در نمونه‌ها حین عملیات نمونه‌برداری مورد توجه قرار گرفت. بر اساس نکات فوق، در این مطالعه دستگاه نمونه‌بردار در بالای پشت‌بام یکی از ساختمان‌های دانشگاه علوم پزشکی تهران، واقع در مرکز شهر، قرار داده شد و سعی شد تا حد ممکن از تاثیر عوامل مزاحم جلوگیری شود. قبل از نمونه‌برداری تمام تجهیزات نمونه‌برداری با آب مقطر شسته شد و به مدت ۲۴ h در محلول اسید نیتریک با غلظت ۲۰ درصد غوطه‌ور شد سپس چندین بار با آب مقطر، آبکشی شد. نمونه‌برداری در این مطالعه با استفاده از دستگاه نمونه‌برداری (جنس پلی‌اتیلن) که توسط

محققین طراحی شده بود انجام شد. به محض شروع بارش در محل نمونه برداری، دستگاه نمونه بردار فوق در مکان مورد نظر قرار داده شد و نمونه برداری انجام شد. پس از جمع آوری نمونه‌ها به روش ساده، بلافاصله نمونه‌ها به آزمایشگاه فرستاده شدند و آزمایشات لازم بر روی آنها انجام شد. زمانی که حجم نزولات به اندازه کافی جهت انجام آزمایشات مورد نظر نبود نمونه‌ها دور ریخته شد، بنابراین حدود ۵۳ نمونه در این مطالعه مورد آزمایش قرار گرفت. نمونه‌ها به آزمایشگاه انتقال داده شدند و به نمونه‌های برف فرصت داده شد که در دمای آزمایشگاه آب شوند سپس pH آنها اندازه گیری شد، پس از اندازه گیری pH، نمونه‌ها از فیلتر با قطر روزنه $0.45 \mu\text{m}$ شسته شده با آب مقطر عبور داده شدند. سپس به نمونه‌ها اسید نیتریک (مرک آلمان) اضافه شد و تا روز انجام آنالیز، نمونه‌ها درون یخچال (دمای 4°C) نگهداری شدند. در روز آزمایش نمونه‌ها از یخچال بیرون آورده شدند و غلظت عناصر روی، نیکل، کادمیم، کروم، سرب، مس، آلومینیوم و آهن در بخش محلول نزولات بوسیله دستگاه ICP-MS مورد سنجش قرار گرفت. سپس با استفاده از روش‌های آماری، آنالیز "فاکتور تغلیظ پوسته زمین" و آنالیز "تحلیل عاملی" نتایج مورد بررسی قرار گرفت (۴، ۹).

منبع اتمسفر یک فلزات در این مطالعه با استفاده از روش‌های آماری، آنالیز "فاکتور تغلیظ" و آنالیز "تحلیل عاملی" مورد بررسی قرار گرفت. شاخص EF یک روش ساده و عملی برای تقسیم بندی عناصر موجود در ذرات و نزولات جوی با توجه به میزان تغییرات آنها نسبت به منابع زمینی و دریایی است (۹)، بنابراین به منظور تشخیص عناصری که در حد غیر معمول در اتمسفر وجود دارند، شاخص EF برای عناصر اندازه گیری شده محاسبه شد. EF برای یک عنصر از طریق فرمول زیر محاسبه شد.

$$EF = \frac{(C_x/C_{Al})_{\text{Precipitation Sample}}}{(C_x/C_{Al})_{\text{soil}}}$$

یافته‌ها

میانگین غلظت فلزات در ۵۳ نمونه از نزولات جوی در جدول شماره یک نشان داده شده است. این جدول همچنین مقایسه غلظت فلزات در نزولات جوی شهر تهران با سایر نتایج مطالعاتی که در نقاط مختلف دنیا انجام شده است را نشان می‌دهد.

دامنه مقادیر pH در نزولات جوی از ۴/۲ تا ۷/۱ متغیر بود. میانگین pH در کل نمونه‌ها ۵/۱ بدست آمد که در مقایسه با $\text{pH} = 5.6$ که ناشی از حل شدن گاز دی‌اکسیدکربن در نزولات هست یک pH اسیدی است.

در این مطالعه، مقادیر EF برای شهر تهران برای عناصر آهن، آلومینیوم، کروم، نیکل، مس، روی، سرب و کادمیم به ترتیب برابر بود با ۱/۲۹، ۱، ۸/۴۴، ۶۵/۱۹، ۲۵۴/۴۷، ۲۶۴/۳۰، ۶۹۶/۵۴ و ۱۱۱۵/۴۹.

از نتایج آنالیز مولفه‌های اصلی با توجه به مقادیر ویژه بزرگ‌تر از یک ($\text{Eigenvalues} > 1$) فقط ۲ مولفه انتخاب شد که در مجموع ۵۳/۸۵ درصد از واریانس کل را پوشش دادند. جدول شماره ۲ مقادیر loading بدست آمده برای هر ۲ مولفه اصلی را نشان می‌دهد. در این جدول مقادیر loading بزرگ‌تر از ۰/۵ مورد توجه قرار گرفته است.

جدول ۱- میانگین غلظت فلزات عناصر در نزولات جوی شهر تهران ($\mu\text{g/L}$)

| تهران | میانگین جهانی | پاریس | استانبول ترکیه | سنگاپور | مرسین ترکیه | مکزیکو سیتی | فلز |
|--------|---------------|-------|----------------|---------|-------------|-------------|----------------|
| ۴۵۶/۰۱ | - | - | ۷۶۶۰ | ۱۹/۲۴ | ۶/۴۸ | ۱۵/۳ | آلومینیوم (Al) |
| ۱/۷۴ | - | - | ۰/۵۸ | ۱/۴۰ | ۱/۰۵ | ۰/۲۶ | کروم (Cr) |
| ۷/۱۴ | ۲/۴۰ | - | ۰/۷۷ | ۳/۶۵ | ۲/۵۸ | ۲/۹۸ | نیکل (Ni) |
| ۶۹/۷۲ | ۱۲ | ۶۰ | ۱/۴۷ | ۳/۵۴ | ۵/۰۷ | ۱/۵۸ | سرب (Pb) |
| ۸۰/۹۳ | ۳۶ | ۱۴۰ | - | ۸/۰۲ | ۳۶/۹ | - | روی (Zn) |
| ۲۳۴/۹ | - | - | ۲۷۵۰ | ۲۳/۶۶ | ۳/۲۱ | - | آهن (Fe) |
| ۲۱/۴۲ | ۵/۴۰ | ۶ | ۱۴۵۰ | ۵/۶۳ | ۱/۶۲ | - | مس (Cu) |
| ۰/۶۷ | ۰/۵ | ۲/۴ | - | ۰/۲۹ | ۰/۰۵ | ۰/۳۷ | کادمیم (Cd) |

بالاتری برخوردار است. غلظت فلزات کروم، نیکل، سرب و کادمیم در این مطالعه بیش از غلظت گزارش شده توسط Bález و همکاران برای شهر مکزیکو سیتی، مطالعه Özsoy و همکاران در شهر مرسین ترکیه، مطالعه Hu و همکاران برای سنگاپور و مطالعه Uygun و همکاران برای شهر استانبول است، در حالی که غلظت‌های فلزات آهن، آلومینیوم و مس در مطالعه Uygun و همکاران در استانبول ترکیه بیش از سایر مطالعات دیگر است (۸-۱۱).

نمودار شماره ۱ میزان هر کدام از فلزات اندازه‌گیری شده را در کل نمونه‌های جمع‌آوری شده نشان می‌دهد. تفاوت غلظت فلزات در بارش‌های مختلف می‌تواند ناشی از منابع آلاینده‌ها باشد (۱۲). با توجه به کل داده‌های بدست آمده در این مطالعه، میانگین غلظت فلزات به این ترتیب بود $\text{Al} > \text{Fe} > \text{Zn} > \text{Pb} > \text{Cu} > \text{Ni} > \text{Cr} > \text{Cd}$. چنین مقادیر غلظتی از فلزات نشان می‌دهد که بیشترین سهم فلزات اتمسفری مربوط به آلومینیوم و آهن است (۱۳). در حالی که در میان فلزات مربوط به فعالیت‌های انسانی، غلظت بالای فلز روی را می‌توان به مقادیر pH پائین نزولات مرتبط دانست چرا که فلز

جدول ۲- مقادیر loading مربوط به هر کدام از مولفه‌ها در چرخش

VARIMAX

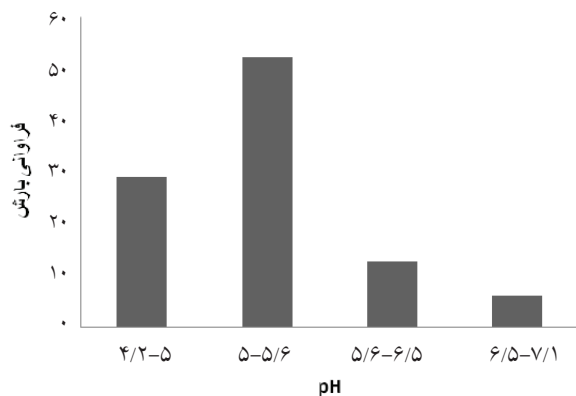
| فلز | فاکتور ۱ | فاکتور ۲ |
|-----------------|------------|----------|
| آلومینیوم | ۰/۳۴ | ۰/۸۶ |
| کروم | ۰/۴۴ | ۰/۵۶ |
| نیکل | ۰/۸۱ | ۰/۴۴ |
| سرب | ۰/۹۰ | ۰/۲۳ |
| روی | ۰/۹۵ | ۰/۲۷ |
| آهن | ۰/۲۸ | ۰/۹۳ |
| مس | ۰/۷۸ | ۰/۴۰ |
| کادمیم | ۰/۸۷ | ۰/۱۹ |
| درصد کل واریانس | ۳۵/۸ | ۱۸/۰۵ |
| منبع احتمالی | انسان ساخت | خاک |

بحث

آنالیز داده‌ها

چنانچه جدول شماره ۱ نشان می‌دهد غلظت فلزات سنگین در شهر تهران نسبت به میانگین جهانی غلظت فلزات از مقادیر

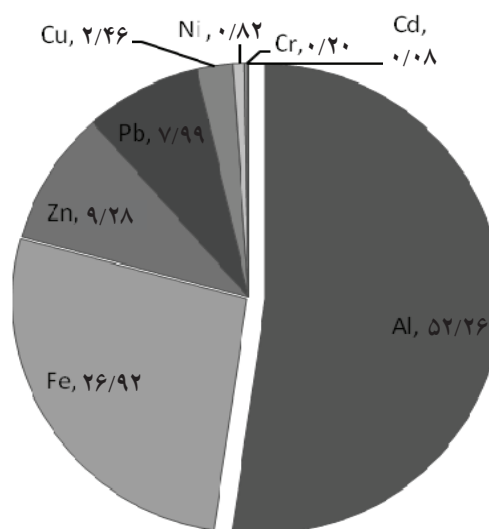
دارای ترافیک بالا و فعالیت‌های انسانی شدیدی است نتایج نشان داد که ۱۸/۶ درصد نمونه‌ها دارای pH بالای ۵/۶ است و تعداد زیادی از نمونه‌ها (۸۱/۴ درصد) دارای pH کمتر از ۵/۶ است که این pH پائین، اثر شدید فعالیت‌های انسانی بر کیفیت نزولات جوی را نشان می‌دهد. چنین pH های اسیدی می‌تواند غلظت فلزات را در نزولات افزایش دهد (۱۶). مقادیر pH بالا می‌تواند ناشی از مقادیر زیاد ترکیبات کربناته و بی‌کربناته در هوای شهر تهران باشد. چرا که چنین ذراتی با ماهیت قلیایی نقش مهمی را به عنوان عوامل بافری ایفا می‌کنند (۱۷).



نمودار ۲- توزیع فراوانی pH در نمونه‌های نزولات شهر تهران

چنانچه در نمودار ۲ نشان داده شده است ۵۲/۳ درصد نمونه‌ها دارای pH حدود ۵-۵/۶، ۲۹/۱ درصد نمونه‌ها دارای pH رنج ۴/۲-۵ و حدود ۱۲/۷ درصد نمونه‌ها دارای pH رنج ۵/۶-۶/۵ هستند چنین نتیجه‌ای شبیه به نتایج بدست آمده از مطالعه Migliavacca و همکاران در جنوب برزیل است (۱۴). در سال‌های اخیر مقادیر بالایی از ذرات اتمسفری در شهر تهران مشاهده شده است، که اگر چه منشأ معینی برای چنین ذراتی مشخص نشده است اما تا حدودی می‌توان گفت که بیشتر این ذرات از تالاب‌های خشک شده در کشور عراق منشأ می‌گیرند. بنابراین مقادیر بالای pH در اوایل فصل بهار و پائین نشان‌دهنده تاثیر کربنات کلسیم ناشی از گرد و غبار کشورهای آسیایی است که در فصل بهار و تابستان شروع می‌شوند (۱۸).

روی دارای حلالیت بالاتری نسبت به سایر فلزات اندازه‌گیری شده در این مطالعه است و در مطالعه Migliavacca و همکاران گزارش شده که تقریباً ۸۰ درصد فلزاتی مانند مس، نیکل و روی می‌توانند بوسیله نزولات جوی از اتمسفر جدا شوند (۱۴). در میان فلزات مربوط به فعالیت‌های انسانی، میانگین غلظت فلز کادمیم کمترین غلظت را دارا است.



نمودار ۱- سهم هر یک از فلزات در نزولات جوی شهر تهران

در این مطالعه مقدار غلظت پائین فلزات پس از بارش‌های طولانی بدست آمد در حالی که بالاترین غلظت فلزات پس از دوره‌های خشکسالی حاصل شد چرا که مقادیر زیادی از آلاینده‌ها در اتمسفر تجمع پیدا کرده بودند.

تغییرات pH

مقادیر pH اسیدی در نزولات جوی علاوه بر اینکه به حضور اسیدهای سولفوریک، نیتریک و اسیدهای آلی موجود در اتمسفر بستگی دارد به واکنش‌های خنثی‌سازی بین عامل‌های اسیدی و بازی نیز بستگی دارد (۱۵). نمودار شماره ۲ توزیع مقادیر pH برای نمونه‌های جمع‌آوری شده در این مطالعه را نشان می‌دهد. به علت اینکه محل نمونه‌برداری در مرکز شهر

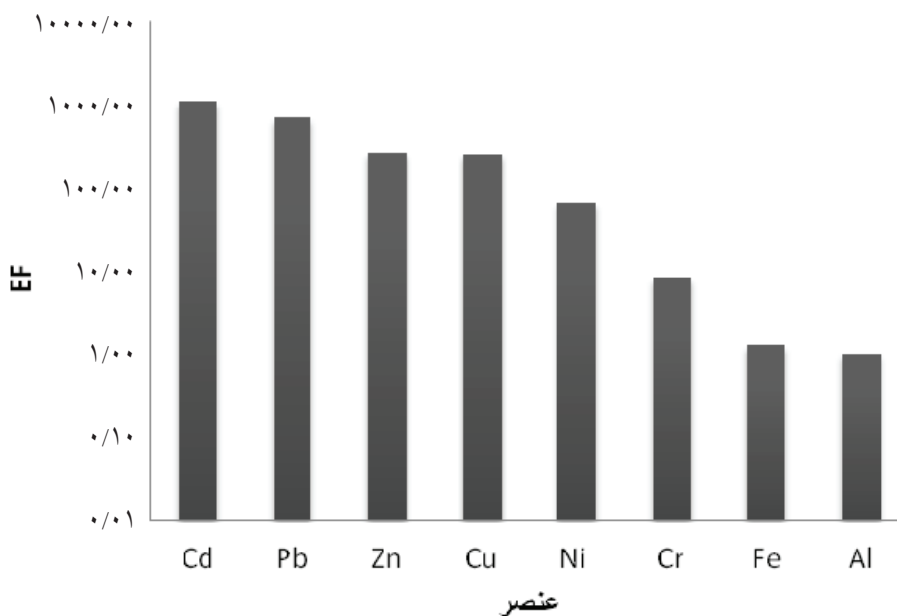
آنالیز "فاکتور تغلیظ"

(Enrichment Factors (EF))

در این مطالعه ترکیب متوسط عناصر در قشر فوقانی پوسته زمین به عنوان خاک مرجع و عنصر آلومینیوم به عنوان عنصر مرجع در نظر گرفته شده است و فرض شده است تنها دارای منشاء پوسته زمین است (۲۰). با توجه به این واقعیت که آلومینیوم موجود در نزولات تنها دارای منبع زمینی است بنابراین انتظار این است که عناصری با EF نزدیک به یک، از منابعی نظیر فرسایش پوسته زمین منشاء بگیرند و عناصری با EF بالاتر از یک، علاوه بر منشاء طبیعی پوسته زمین منابع دیگری نیز داشته باشند (۲۰). اما به دلیل تفاوت‌هایی بین ترکیب متوسط خاک در محل‌های مختلف، مقادیر EF رنج ۱-۱۰، عناصری هستند که در

اتمسفر تغلیظ نشده‌اند (۸، ۲۰). در حالی که EF مقادیر رنج ۱۰-۱۰۰ نشان می‌دهند که عناصر به طور متوسط تغلیظ شده‌اند و مقادیر EF بزرگتر از ۱۰۰ نشان‌دهنده شرایط تغلیظ بالای عناصر هستند که آلودگی شدید ناشی از فعالیت‌های انسانی را نشان می‌دهند (۲۰).

نمودار شماره ۳ مقادیر EF عناصر را در کل نمونه‌های نزولات نشان می‌دهد. در این مطالعه، مقادیر EF برای شهر تهران برای عناصر آهن، آلومینیوم، کروم، نیکل، مس، روی، سرب و کادمیم به ترتیب برابر است با ۱/۲۹، ۱، ۸/۴۴، ۶۵/۱۹، ۲۵۴/۴۷، ۲۶۴/۳۰، ۶۹۶/۵۴ و ۱۱۱۵/۴۹. مقادیر EF محاسبه شده در این مطالعه شبیه به مقادیر گزارش شده مطالعه Özsoy و همکاران در شهر مرسین ترکیه و مطالعه Uygun و همکاران در استانبول ترکیه است (۹، ۱۰).



نمودار ۳- متوسط EF برای فلزات اندازه‌گیری شده در نزولات شهر تهران

دارای منشاء طبیعی است ولی عنصر نیکل به طور متوسط و عناصر مس، روی، سرب، و کادمیم به شدت نسبت به ترکیب متوسط پوسته زمین تغلیظ شده‌اند که این تغلیظ می‌تواند نشان دهنده تاثیر منابع انسانی بر نزولات باشد (۲۰).

چنانچه پیش‌بینی می‌شد مقادیر EF برای آهن و آلومینیوم نزدیک به یک است که نشان می‌دهد چنین عناصری در نزولات جوی تغلیظ نشده‌اند و از منابع طبیعی منشاء گرفته‌اند، مقدار EF برای عنصر کروم کمتر از ۱۰ است که نشان می‌دهد کروم

نسبت به ترکیب متوسط قشر فوقانی پوسته زمین که توسط Wedepohl گزارش شده محاسبه شده است بنابراین مقادیر EF ممکن است با توجه به ساختار شیمیایی محلی تغییر کند بدین سبب در تفسیر EF برای مناطق گوناگون باید توجه خاص شود.

آنالیز "تحلیل عاملی" (Factor analysis)

به منظور تشخیص منابع محتمل فلزات اندازه‌گیری شده در این مطالعه، آنالیز "تحلیل عاملی" (آنالیز مولفه‌های اصلی) با ماتریس چرخشی Varimax برای کل نتایج مربوط به آزمایشات فلزات سنگین استفاده شد. در این مطالعه به منظور سهولت تفسیر مولفه‌های اصلی، چرخش Varimax استفاده شد. نتایج آنالیز مولفه‌های اصلی نشان داد که اولین مولفه (فاکتور شماره یک) حدود ۳۵/۸ درصد از واریانس کل را پوشش می‌دهد. این مولفه تا حدود زیادی مربوط به فلزات کادمیم، مس، نیکل، سرب و روی است ($loading < 0.7$) که به طور واضح نشان می‌دهد عناصر موجود در این مولفه بیشتر مربوط به منابع انسانی از قبیل احتراق سوخت‌های فسیلی، سیستم حمل‌ونقل، صنایع ذوب فلزی و غیره است (۹، ۲۰). همانطور که در قسمت آنالیز "فاکتور تغلیظ" و نمودار شماره ۳ نشان داده شد عناصر فوق عناصری هستند که در مقایسه با پوسته زمین تغلیظ شده‌اند، بنابراین مقادیر EF و آنالیز مولفه‌های اصلی "مربوط به عناصر اندازه‌گیری شده در این مطالعه ارتباط خوبی بین آنالیز "فاکتور تغلیظ" و آنالیز "تحلیل عاملی" را نشان می‌دهند.

دومین مولفه (فاکتور شماره ۲) ۱۸/۰۵ درصد از واریانس را پوشش می‌دهد. این مولفه به مقدار زیادی ($loading < 0.7$) مربوط به آلومینیوم و آهن و به طور متوسط ($loading > 0.5$) مربوط به عنصر کروم است. آلومینیوم و آهن عناصر مربوط به پوسته زمین هستند در حالی که منبع کروم بیشتر مربوط به فعالیت‌های انسانی است که می‌تواند از طریق دور ریز مواد زائد حاوی کروم، احتراق سوخت‌های فسیلی و بعضی از

عناصر روی، سرب و کادمیم که به شدت تغلیظ شده‌اند دارای منابع انسانی هستند، به عنوان مثال زباله‌سوزهای شهری بیشترین نشر عناصر کادمیم، سرب و روی را دارا هستند به این دلیل که از اکسیدهای عناصر فوق در رنگ‌ها، تثبیت‌کننده‌ها و کاتالیست فرایندهای پلاستیکی استفاده می‌شود. صنایع فلزات غیر آهنی و تولید فولاد یکی دیگر از منابع انتشار روی و کادمیم هستند. سایش چرخ اتومبیل‌ها، تولید و مصرف باطری‌ها دیگر منابع نشر کادمیم هستند (۸).

به طور کلی، عناصر مس و روی مربوط به احتراق سوخت در دماهای بالاست. چنین فرایندهایی در تهران شامل بویلرهای صنعتی و خانگی، اتومبیل‌ها، کامیون‌ها، نیروگاه‌ها، صنایع پتروشیمی، زباله‌سوزها و صنایع ذوب فلزی هستند (۲۱). عنصر سرب به طور اختصاصی به عنوان شاخص آلودگی ترافیکی مطرح است (۲). علاوه بر این در بعضی از مقالات گزارش شده است که ترافیک جاده‌ای یکی از مهمترین منابع انتشار کادمیم، سرب و کروم است. منابع دیگر سرب شامل زباله‌سوزها، نیروگاه‌های تولید برق و فعالیت‌های ساخت و ساز است (۲۲).

نیکل به طور معمول یکی از شاخص‌های نشر آلاینده‌ها از احتراق سوخت و منابع حمل و نقل شهری است. محصولات پتروشیمی نیز ممکن است یکی دیگر از منابع انتشار نیکل باشد. اخیراً مصرف نیکل در باطری‌های قابل شارژ افزایش پیدا کرده است که در کشور ایران چنین باطری‌هایی به طور کامل بازیافت نمی‌شوند و دور ریخته می‌شوند (۹، ۲۱).

احتراق سوخت‌های فسیلی و دور ریز مواد زائد می‌تواند منابع نشر کروم به محیط زیست باشند. اگرچه نشر کروم می‌تواند به مقدار زیادی ناشی از منابع مصنوعی باشد اما مقدار EF پائین در این مطالعه نشان می‌دهد که کروم بیشتر ناشی از منابع طبیعی (پوسته زمین) است (۲۳). به طور کلی فلزات سنگین منتشر شده از تمام فعالیت‌های صنعتی که در بالا ذکر شد اغلب درون خاک تغلیظ می‌شوند و سپس همین ذرات خاک توسط باد وارد اتمسفر می‌شوند. در این مطالعه، مقادیر EF

نشان می‌دهند که تهران تحت تاثیر فعالیتهای شدید انسانی است. "آنالیز مولفه‌های اصلی"، عناصر اندازه‌گیری شده در این مطالعه را به دو گروه "عناصر با منشأ طبیعی" و "عناصر با منشأ انسانی" تقسیم می‌کند که گروه انسانی بیشتر مربوط به سیستم حمل و نقل شهری و احتراق سوخت در صنایع است. این مطالعه همچنین نشان می‌دهد که نزولات جوی شهر تهران نسبت به سایر شهرهای دیگری که مورد مطالعه قرار گرفته است آلوده‌تر است که بدون شک تعداد زیاد وسایل نقلیه و ترافیک بالا را می‌توان مسئول قسمت اعظم آلودگی آن دانست.

تشکر و قدردانی

نویسندگان مقاله بر خود لازم می‌دانند که از کارشناسان آزمایشگاه دانشکده بهداشت دانشگاه علوم پزشکی تهران به خاطر همکاری صمیمانه‌ای که در انجام این تحقیق داشتند تشکر کنند.

منابع

1. Blagojević J, Stamenković G, Vujošević M. Potential genotoxic effects of melted snow from an urban area revealed by the Allium cepa test. *Chemosphere*. 2009;76(10):1344-47.
2. An J, Zhou Q, Liu W, Ren L. Horizontal distribution and levels of heavy metals in the biggest snowstorm in a century in Shenyang, China. *Journal of Environmental Sciences*. 2008;20(7):846-51.
3. Kulshrestha U, Kulshrestha MJ, Sekar R, Sastry G, Vairamani M. Chemical characteristics of rainwater at an urban site of south-central India. *Atmospheric Environment*. 2003;37(21):3019-26.
4. Migliavacca D, Teixeira E, Wiegand F, Machado A, Sanchez J. Atmospheric precipitation and chemical composition of an urban site, Guaiba hydrographic basin, Brazil. *Atmospheric Environment*. 2005;39(10):1829-44.
5. Flues M, Hama P, Lemes M, Dantas E, Fornaro A. Evaluation of the rainwater acidity of a rural region due to a coal-fired power plant in Brazil. *Atmospheric Environment*. 2002;36(14):2397-404.
6. Zhang Q, Kang S, Cong Z, Hou S, Liu Y. Elemental composition in surface snow from the ultra-high elevation area of Mt. Qomolangma (Everest). *Chinese Science Bulletin*. 2008;53(2):289-94.
7. Lee K, Hur SD, Hou S, Hong S, Qin X, Ren J, Liu Y, Rosman KJ, Barbante C, Boutron CF. Atmospheric pollution for trace elements in the remote high-altitude atmosphere in central Asia as recorded in snow from Mt. Qomolangma (Everest) of the Himalayas. *Science of the Total Environment*. 2008;404(1):171-81.
8. Hu G-P, Balasubramanian R. Wet deposition of trace metals in Singapore. *Water, Air, and Soil Pollution*. 2003;144(1-4):285-300.
9. Özsoy T, Örnektekin S. Trace elements in urban and suburban rainfall, Mersin, Northeastern Mediterranean. *Atmospheric Research*. 2009;94(2):203-19.
10. Uygur N, Karaca F, Alagha O. Prediction of sources of metal pollution in rainwater in Istanbul, Turkey using factor analysis and long-range transport mod-

صنایع وارد اتمسفر شود (۲۱). اگر چه در اینجا کروم می‌تواند مربوط به فعالیتهای انسانی باشد، اما مقدار EF پائین کمتر از ۱۰ نشان می‌دهد که کروم دارای منشأ طبیعی است. بنابراین می‌توان گفت که مولفه شماره ۲ مربوط به منابع طبیعی است.

نتیجه‌گیری

این مطالعه غلظت فلزات سنگین در نزولات مرکز شهر تهران را که دارای کاربری بیش از حد زمین و تردد وسایل نقلیه زیاد است را مورد بررسی قرار می‌دهد. در میان عناصر اندازه‌گیری شده آلومینیوم و بدنبال آن آهن بالاترین غلظت را دارا است که نشان از حضور ذرات ناشی از پوسته زمین در نزولات است. میانگین pH در کل نمونه‌ها نشان می‌دهد که pH نزولات در تهران در دامنه pH اسیدی است. میانگین مقادیر EF نشان می‌دهد که نیکل در نزولات شهری تهران به طور متوسط تغلیظ شده است در صورتی که فلزات سرب، روی، مس و کادمیم به مقدار زیادی تغلیظ شده‌اند. مقادیر EF و pH در مجموع

- els. Atmospheric Research. 2010;95(1):55-64.
11. Báez A, Belmont R, García R, Padilla H, Torres MC. Chemical composition of rainwater collected at a southwest site of Mexico City, Mexico. Atmospheric Research. 2007;86(1):61-75.
12. Omar AAK. Study of chemical composition in wet atmospheric precipitation in Eshidiya area, Jordan. Atmospheric Environment. 2005;39(33):6175-83.
13. Koçak M, Kubilay N, Herut B, Nimmo M. Trace metal solid state speciation in aerosols of the Northern Levantine Basin, East Mediterranean. Journal of Atmospheric Chemistry. 2007;56(3):239-57.
14. Migliavacca D, Teixeira EC, Pires M, Fachel J. Study of chemical elements in atmospheric precipitation in South Brazil. Atmospheric Environment. 2004;38(11):1641-56.
15. Al-Momani IF, Tuncela S, Elerb U, Örtelb E, Sirinb G, Tuncel G. Major ion composition of wet and dry deposition in the eastern Mediterranean basin. Science of The Total Environment. 1995;164(1):75-85.
16. Laouali D, Galy-Lacaux C, Diop B, Delon C, Orange D, Lacaux JP, et al. Long term monitoring of the chemical composition of precipitation and wet deposition fluxes over three Sahelian savannas. Atmospheric Environment. 2012;50:314-27.
17. Cao YZ, Wang S, Zhang G, Luo J, Lu S. Chemical characteristics of wet precipitation at an urban site of Guangzhou, South China. Atmospheric Research. 2009;94(3):462-69.
18. Nakano T, Tanaka TI. Strontium isotope constraints on the seasonal variation of the provenance of base cations in rain water at Kawakami, central Japan. Atmospheric Environment. 1997;31(24):4237-45.
19. Martínez-Carrillo MÁ, Solís C, Isaac-Olive K, Andrade E, Beltrán-Hernández RI, Martínez-Reséndiz G, et al. Atmospheric elemental concentration determined by Particle-Induced X-ray emission at Tlaxcoapan in central Mexico, and its relation to Tula industrial-corridor emissions. Microchemical Journal. 2010;94(1):48-52.
20. Al-Momani IF. Trace elements in atmospheric precipitation at Northern Jordan measured by ICP-MS: Acidity and possible sources. Atmospheric Environment. 2003;37(32):4507-15.
21. Cong Z, Kang S, Zhang Y, Li X. Atmospheric wet deposition of trace elements to central Tibetan Plateau. Applied Geochemistry. 2010;25(9):1415-21.
22. Melaku S, Morris V, Raghavan D, Hosten C. Seasonal variation of heavy metals in ambient air and precipitation at a single site in Washington, DC. Environmental Pollution. 2008;155(1):88-98.
23. García R, del Torres Ma C, Padilla H, Belmont R, Azpra E, Arcega-Cabrera F, et al. Measurement of chemical elements in rain from Rancho Viejo, a rural wooded area in the State of Mexico, Mexico. Atmospheric Environment. 2006;40(32):6088-100.



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

Original Article



Factors affecting the concentrations of heavy metals in precipitation of Tehran using factor analysis method

H Kamani¹, M Hoseini², G.H Safari³, A.H Mahvi^{4*}, H Zarei⁵

¹ Health Promotion Research Center and School of Public Health, Zahedan University of Medical Sciences, Zahedan, Iran

² Schools of Public Health, Shiraz University of Medical Sciences, Shiraz, Iran

³ Schools of Public Health, Tabriz University of Medical Sciences, Tabriz, Iran

⁴ Center for Solid Waste Research (CSWR), Institute for Environment Research, Schools of Public Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

⁵ Schools of Public Health, Ahvaz University of Medical Sciences, Ahvaz, Iran

ARTICLE INFORMATIONS:

Received: 9 September 2013;

Accepted: 5 December 2013

Key words: Heavy metals, Factor analysis, Enrichment factor, precipitation, Tehran

***Corresponding Author:**

ahmahvi@yahoo.com

Tel: +989123211827

ABSTRACT

Backgrounds and Objectives: Quantity of trace metals in the wet precipitation can illustrate the environmental pollution of different urban areas. Up to now, there is no study regarding the chemistry of wet precipitation in Tehran. The objectives of this study are: measurement of heavy metal concentrations and identification of the main factors affecting the heavy metal concentrations in wet precipitation using factor analysis method.

Materials and Methods: This was a cross-sectional study in which measurements of heavy metals were performed in 53 wet precipitation samples collected from a central site of Tehran City, capital of Iran. The samples were collected during November to May in 2010, 2011 and 2012 on the roof of the student's dormitory building of Tehran University of Medical Sciences and then the concentration of heavy metals in each sample was measured with ICP-MS.

Results: pH ranged from 4.2 to 7.1 with a mean value of 5.1 indicating in acidic range. Result of EF calculations revealed that samples were not enriched with Fe and Cr but were enriched with Zn, Cd, Ni, Pb and Cu. Factor Component Analysis with Varimax normalized rotation showed Al, Fe and Cr are originated from crustal source and Zn, Cd, Ni, Pb and Cu are originated from anthropogenic sources.

Conclusion: EF and acidic pH values indicate Tehran is under the influence of extremely anthropogenic activities. Large number of vehicles and industrial activity in the city are undoubtedly responsible for the emission of a wide range of pollution.