مجله سلامت و محیط زیست، فصلنامه‌ی علمی پژوهشی
انجمن علمی بهداشت محیط ایران
دوره هشتم، شماره چهارم، زمستان ۱۳۹۴، صفحات ۴۰۱ تا ۴۱۰

Availible 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:

تاریخ دریافت: ۹۲/۰۶/۱۸
تاریخ پذیرش: ۹۲/۰۹/۱۴

واژگان کلیدی: فلزات سنگین، تحلیل عاملی، فاکتورتغلیظ، نزولات جوی، تهران

پست الکترونیکی نویسنده مسئول:
ahmahvi@yahoo.com

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.*

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 شدیدی است. همچنین منشا آلودگی انسانی بیشتر مربوط به احتراق سوخت در فعالیت‌های صنعتی و انتشارات ناشی از ترافیک است.*

Please cite this article as: Kamani H., Hoseini M., Safari G.H., Mahvi A.H., Zarei H. Factors affecting the concentrations of heavy metals in precipitation of Tehran using factor analysis method. Iran. J. Health & Environ 2016; 8(4): 401-410.

Archive of SID
www.SID.ir

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 طوری‌که 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 $\mu g/L$ ۸/۰۲، ۳/۵۴، ۳/۶۵ و ۱/۴۰ 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 است ولی متاسفانه 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 سال های 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

Archive of SID
www.SID.ir

محققین طراحی شـده بود انجام شـد. به محض شروع بارش در محل نمونه‌برداری، دسـتگاه نمونه‌بردار فوق در مکان مورد نظر قرار داده شد و نمونه‌برداری انجام شد. پس از جمع‌آوری نمونه‌ها به روش ساده، بلافاصله نمونه‌ها به آزمایشگاه فرستاده شدند و آزمایشات لازم بر روی آنها انجام شد. زمانی‌که حجم نزولات به اندازه کافی جهت انجام آزمایشـات مورد نظر نبود نمونه‌هـا دور ریختـه شـد، بنابراین حـدود ۵۳ نمونه در این مطالعه مورد آزمایش قرار گرفت. نمونه‌ها به آزمایشـگاه انتقال داده شـدند و به نمونه‌های برف فرصت داده شـد که در دمای آزمایشگاه آب شوند سـپس pH آنها اندازه‌گیری شد، پس از اندازه‌گیـری pH ، نمونه‌ها از فیلتر با قطـر روزنه ۰/۴۵ µm شسته شده با آب مقطر عبور داده شدند. سپس به نمونه‌ها اسید نیتریک (مرک آلمان) اضافه شـد و تا روز انجام آنالیز، نمونه‌ها درون یخچال (دمای ۴ ^{o}C) نگهداری شـدند. در روز آزمایش نمونه‌ها از یخچال بیرون آورده شـدند و غلظت عناصر روی، نیکل، کادمیم، کروم، سـرب، مـس، آلومینیوم و آهن در بخش محلول نزولات بوسیله دستگاه ICP-MS مورد سنجش قرار گرفت. سـپس با اسـتفاده از روش‌های آمـاری، آنالیز "فاکتور تغلیظ پوسته زمین" و آنالیز "تحلیل عاملی" نتایج مورد بررسی قرار گرفت (۴، ۹).

منبع اتمسـفر یک فلزات در این مطالعه با استفاده از روش‌های آمـاری، آنالیز "فاکتـور تغلیظ" و آنالیز "تحلیـل عاملی" مورد بررسـی قرار گرفت. شـاخص EF یک روش سـاده و عملی برای تقسـیم‌بندی عناصر موجود در ذرات و نزولات جوی با توجه به میزان تغییرات آنها نسـبت به منابـع زمینی و دریایی اسـت (۹)، بنابراین به منظور تشـخیص عناصـری که در حد غیر معمول در اتمسفر وجود دارند، شاخص EF برای عناصر اندازه‌گیری شـده محاسبه شـد. EF برای یک عنصر از طریق فرمول زیر محاسبه شد.

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

$(C_x)_{\text{Precipitation Sample}}$ و $(C_x)_{\text{Soil}}$ به ترتیب غلظت عنصر مورد نظـر در نمونه‌های نزولات جوی شـهر تهران و پوسـته زمین اسـت. $(C_{Al})_{\text{Precipitation Sample}}$ و $(C_{Al})_{\text{Soil}}$ بـه ترتیب غلظت عنصر مرجع (فلز آلومینیوم) در نمونه‌های نزولات جوی شـهر تهران و پوسته زمین است.

یافته‌ها

میانگین غلظت فلزات در ۵۳ نمونه از نزولات جوی در جدول شماره یک نشـان داده شده است. این جدول همچنین مقایسه غلظـت فلـزات در نزولات جوی شـهر تهران با سـایر نتایج مطالعاتی که در نقاط مختلف دنیا انجام شـده اسـت را نشـان می‌دهد.

دامنـه مقادیر pH در نزولات جـوی از ۴/۲ تا ۷/۱ متغیر بود. میانگیـن pH در کل نمونه‌ها ۵/۱ بدسـت آمد که در مقایسـه با pH= ۵/۶ که ناشـی از حل شـدن گاز دی‌اکسـیدکربن در نزولات هست یک pH اسیدی است.

در ایـن مطالعـه، مقادیر EF برای شـهر تهران بـرای عناصر آهـن، آلومینیوم، کروم، نیکل، مس، روی، سـرب 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 (Eigenvalues > ۱) 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 نشـان می‌دهد. در این جـدول مقادیر loading بزرگ‌تر از ۰/۵ مورد توجه قرار گرفته است.

Archive of SID
www.SID.ir

جدول۱- میانگین غلظت فلزات عناصر در نزولات جوی شهر تهران (µg/L)

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

جدول۲- 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
کادمیوم	۰/۸۷	۰/۱۹
درصد کل واریانس	۳۵/۸	۱۸/۰۵
منبع احتمالی	انسان ساخت	خاک

بحث

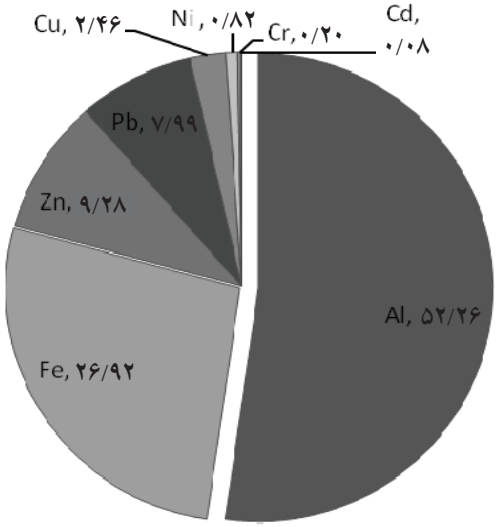
آنالیز داده‌ها

چنانچه جدول شماره ۱ نشان میدهد غلظت فلزات سنگین در شهر تهران نسبت به میانگین جهانی غلظت فلزات از مقادیر بالاتری برخوردار است. غلظت فلزات کروم، نیکل، سرب و کادمیم در این مطالعه بیش از غلظت گزارش شده توسط Báez و همکاران برای شهر مکزیکو سیتی، مطالعه Özsoy و همکاران در شهر مرسین ترکیه، مطالعه Hu و همکاران برای سنگاپور و مطالعه Uygur و همکاران برای شهر استانبول است، در حالی‌که غلظت‌های فلزات آهن، آلومینیوم و مس در مطالعه Uygur و همکاران در استانبول ترکیه بیش از سایر مطالعات دیگر است (۱۱-۸).

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 Al>Fe>Zn>Pb>Cu>Ni>Cr>Cd. چنین مقادیر غلظتی از فلزات نشان می‌دهد که بیشترین سهم فلزات اتمسفری مربوط به آلومینیوم و آهن است (۱۳). در حالی‌که در میان فلزات مربوط به فعالیت‌های انسانی، غلظت بالای فلز روی را می‌توان به مقادیر pH پائین نزولات مرتبط دانست چرا که فلز

Archive of SID
www.SID.ir

روی دارای حلالیت بالاتری نسبت به سایر فلزات اندازه‌گیری شـده در این مطالعه اسـت و در مطالعـه Migliavacca و همکاران گزارش شـده که تقریبا ۸۰ درصد فلزاتی مانند مس، نیکل و روی می‌توانند بوسـیله نزولات جوی از اتمسـفر جدا شـوند (۱۴). در میان فلـزات مربوط به فعالیت‌های انسـانی، میانگین غلظت فلز کادمیم کمترین غلظت را دارا است.

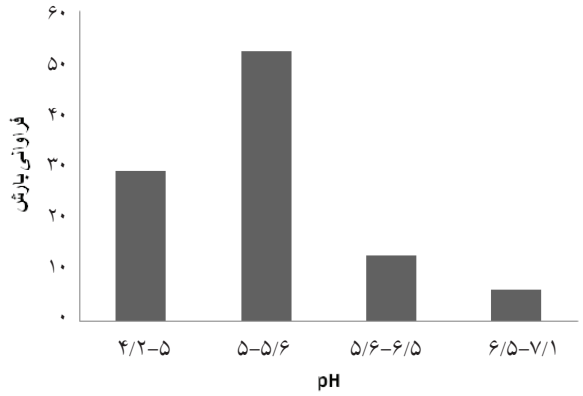


نمودار۱- سهم هر یک از فلزات در نزولات جوی شهر تهران

در ایـن مطالعـه مقدار غلظت پائین فلـزات پس از بارش‌های طولانی بدسـت آمد در حالی کـه بالاترین غلظت فلزات پس از دوره‌های خشکسـالی حاصل شـد 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 اسـیدهای سـولفوریک، نیتریک و اسـیدهای آلی موجود در اتمسـفر بستگی دارد به واکنش‌های خنثی‌سازی بین عامل‌های اسیدی و بازی نیز بسـتگی دارد (۱۵). نمودار شماره ۲ توزیع مقادیر pH برای نمونه‌های جمع‌آوری شـده در این مطالعه را نشـان می‌دهد. به علت اینکه محل نمونه‌برداری در مرکز شهر دارای ترافیک بالا و فعالیت‌های انسـانی شـدیدی 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 ناشـی از مقادیر زیاد ترکیبات کربناته و بی‌کربناته در هوای شـهر تهران باشـد. 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

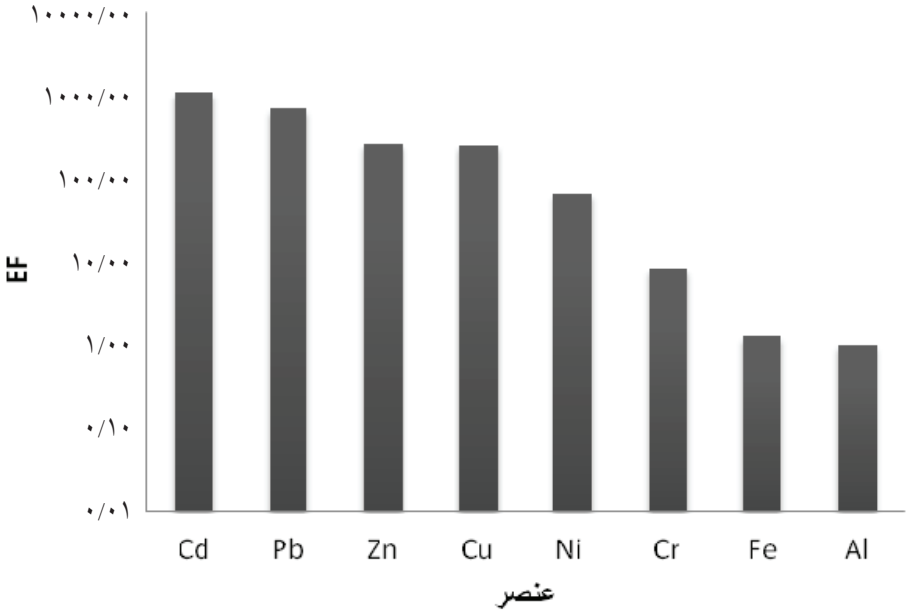
چنانچـه در نمـودار ۲ نشـان داده شـده اسـت ۵۲/۳ درصـد نمونه‌ها دارای pH حـدود ۵/۶-۵ ، ۲۹/۱ درصد نمونه‌ها دارای pH رنـج ۵-۴/۲ و حدود ۱۲/۷ درصد نمونه‌ها دارای pH رنج ۵/۶-۶/۵ هسـتند چنین نتیجه‌ای شـبیه به نتایج بدست آمده از مطالعه Migliavacca و همکاران در جنوب برزیل است (۱۴). در سال‌های اخیر مقادیر بالایی از ذرات اتمسفری در شهر تهران مشاهده شده اسـت، که اگر چه منشاء معینی برای چنین ذراتی مشـخص نشده است اما تا حدودی می‌توان گفت که بیشتر این ذرات از تالاب‌های خشک شده در کشور عراق منشاء می‌گیرند. بنابراین مقادیر بالای pH در اوایل فصل بهار و پائیز نشان‌دهنده تاثیر کربنات‌کلسیم ناشی از گرد و غبار کشورهای آسیایی است که در فصل بهار و تابستان شروع می‌شوند (۱۸).

Archive
www.SID.ir

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 ۱۰-۱، عناصری هستند که در اتمسفر تغلیظ نشده‌اند (۸، ۲۰). در حالی‌که EF مقادیر رنج ۱۰۰-۱۰ 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 Uygur و همکاران در استانبول ترکیه است (۹، ۱۰).



نمودار۳- متوسط EF برای فلزات اندازه‌گیری شده در نزولات شهر تهران

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 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).

www.SID.ir

عناصـر روی، سـرب و کادمیم که به شـدت تغلیظ شـده‌اند دارای منابع انسانی هستند، به عنوان مثال زباله‌سوزهای شهری بیشترین نشر عناصر کادمیم، سرب و روی را دارا هستند به این دلیل که از اکسـیدهای عناصر فوق در رنگ‌ها، تثبیت‌کننده‌ها و کاتالیست فرایندهای پلاستیکی استفاده می‌شود. صنایع فلزات غیرآهنی 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 بالاسـت. چنین فرایندهایی در تهران شامل بویلرهای صنعتـی و خانگی، اتومبیل‌هـا، کامیون‌هـا، نیروگاه‌ها، صنایع پتروشیمی، زباله‌سوزها و صنایع ذوب فلزی هستند (۲۱).

عنصر سـرب به طـور اختصاصی به عنوان شـاخص آلودگی ترافیکی مطرح اسـت (۲). علاوه برایـن در بعضی از مقالات گزارش شده اسـت که ترافیک جاده‌ای یکی از مهمترین منابع انتشـار کادمیم، سرب و کروم اسـت. منابع دیگر سرب شامل زباله‌سـوزها، نیروگاه‌های تولید برق و فعالیت‌های سـاخت و ساز است (۲۲).

نیـکل به طور معمول یکی از شـاخص‌های نشـرآلاینده‌ها از احتراق سـوخت و منابع حمل و نقل شهری است. محصولات پتروشـیمی نیز ممکن اسـت یکی دیگر از منابع انتشـار نیکل باشد. اخیرا مصرف نیکل در باطری‌های قابل شارژ افزایش پیدا کرده اسـت که در کشور ایران چنین باطری‌هایی به طور کامل بازیافت نمی‌شوند و دور ریخته می‌شوند (۹، ۲۱).

احتراق سوخت های فسیلی و دور ریز مواد زائد می‌توانند منابع نشـر کروم به محیط زیست باشـند. اگرچه نشر کروم می‌تواند به مقدار زیادی ناشـی از منابع مصنوعی باشـد اما مقدار EF پائین در این مطالعه نشان می‌دهد که کروم بیشتر ناشی از منابع طبیعی (پوسته زمین) اسـت (۲۳). به طور کلی فلزات سنگین منتشـر شـده از تمام فعالیت‌های صنعتی که در بالا ذکر شـد اغلب درون خاک تغلیظ می‌شـوند و سپس همین ذرات خاک توسـط باد وارد اتمسفر می‌شـوند. در این مطالعه، مقادیر EF نسـبت به ترکیب متوسط قشـر فوقانی پوسته زمین که توسط Wedepohl گزارش شـده محاسبه شده است بنابراین مقادیر EF ممکن اسـت با توجه به ساختار شیمیایی محلی تغییر کند بدین سـبب در تفسـیر EF برای مناطق گوناگـون باید توجه خاص شود.

آنالیز "تحلیل عاملی" (Factor analysis)

به منظور تشـخیص منابع محتمل فلزات اندازه‌گیری شـده در ایـن مطالعه، آنالیـز "تحلیل عاملی" (آنالیـز مولفه‌های اصلی) بـا ماتریس چرخشـی Varimax برای کل نتایـج مربوط به آزمایشـات فلزات سنگین استفاده شد. در این مطالعه به منظور سهولت تفسـیر مولفه‌های اصلی، چرخش Varimax استفاده شـد. نتایج آنالیز مولفه‌های اصلی نشـان داد کـه اولین مولفه (فاکتور شـماره یـک) حدود ۳۵/۸ درصـد از واریانس کل را پوشـش می‌دهد. این مولفه تا حدود زیـادی مربوط به فلزات کادمیم، مس، نیکل، سرب و روی است (loading > ۰/۷) که به طور واضح نشان می‌دهد عناصر موجود در این مولفه بیشتر مربوط به منابع انسـانی از قبیل احتراق سـوخت‌های فسیلی، سیسـتم حمل‌ونقل، صنایع ذوب فلزی و غیره است (۹ ، ۲۰). همانطور که در قسـمت آنالیز "فاکتور تغلیظ" و نمودار شماره ۳ نشـان داده شد عناصر فوق عناصری هسـتند که در مقایسه با پوسـته زمین تغلیظ شـده‌اند، بنابراین مقادیـر EF و "آنالیز مولفه‌هـای اصلی" مربوط به عناصر اندازه‌گیری شـده در این مطالعه ارتباط خوبی بین آنالیز "فاکتور تغلیظ" و آنالیز "تحلیل عاملی" را نشان می‌دهند.

دومین مولفه (فاکتور شـماره ۲) ۱۸/۰۵ در صد از واریانس را پوشـش می‌دهد. این مولفه به مقدار زیادی(loading >۰/۷) مربوط به آلومینیوم و آهن و به طور متوسط (۰/۵<loading) مربوط به عنصر کروم اسـت. آلومینیـوم و آهن عناصر مربوط به پوسـته زمین هستند در حالی که منبع کروم بیشتر مربوط به فعالیت‌های انسـانی اسـت که می‌تواند از طریق دور ریز مواد زائـد حاوی کروم، احتراق سـوخت‌های فسـیلی و بعضی از

Archive of SID
www.SID.ir

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

نتیجه‌گیری

این مطالعه غلظت فلزات سـنگین 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 نشـان از حضور ذرات ناشی از پوسته زمین در نزولات است. میانگین pH در کل نمونه‌ها نشـان می‌دهد که pH نزولات در تهران در دامنه pH اسـیدی اسـت. میانگین مقادیر EF نشان می‌دهد که نیکل در نزولات شهری تهران به طور متوسط تغلیظ شـده اسـت در صورتی که فلزات سرب، روی، مس و کادمیم به مقدار زیادی تغلیظ شـده‌اند. مقادیر EF و pH در مجموع نشـان می‌دهند که تهران تحت تاثیر فعالیت‌های شدید انسانی است. "آنالیز مولفه‌های اصلی"، عناصر اندازه‌گیری شده در این مطالعـه را به دو گروه "عناصر با منشـاء طبیعی" و "عناصر با منشاء انسـانی" تقسیم می‌کند که گروه انسانی بیشتر مربوط به سیستم حمل‌ونقل شـهری و احتراق سوخت در صنایع است. این مطالعه همچنین نشان می‌دهد که نزولات جوی شهر تهران نسـبت به سایر شـهرهای دیگری که مورد مطالعه قرار گرفته اسـت آلوده‌تر است که بدون شـک تعداد زیاد وسایل نقلیه و ترافیک بالا را می‌توان مسئول قسمت اعظم آلودگی آن دانست.

تشکر و قدردانی

نویسـندگان مقاله بـر خـود لازم می‌دانند که از کارشناسـان آزمایشگاه دانشکده بهداشت دانشـگاه علوم پزشکی تهران به خاطر همـکاری صمیمانه‌ای که در انجام این تحقیق داشـتند 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-

Archive of SID
www.SID.ir

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. 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.

Archive of SID

www.SID.ir

Availible online: http://ijhe.tums.ac.ir

Original Article

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

H Kamani[1], M Hoseini[2], G.H Safari[3], A.H Mahvi[4*], H Zarei[5]

[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.

Please cite this article as: Kamani H., Hoseini M., Safari G.H., Mahvi A.H., Zarei H. Factors affecting the concentrations of heavy metals in precipitation of Tehran using factor analysis method. Iran. J. Health & Environ 2016; 8(4): 401-410.

Archive of SID

www.SID.ir