



ارزیابی خطر فلزات سنگین موجود در ذرات معلق کوچکتر از ۱۰ میکرون بر روی کارگران مجتمع کمپوست کهریزک تهران در زمستان ۱۳۹۴

مجید کرمانی^۱، مهدی فرزادکیا^۲، روشنگر رضایی کلاتری^۳، زهره بهمنی^{۴*}

تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۷/۲۳

تاریخ ویرایش: ۹۶/۰۷/۱۲

تاریخ دریافت: ۹۶/۰۳/۲۱

چکیده

زمینه و هدف: ذرات موجود در هوای تنفسی مجتمع کمپوست به دلیل تنوع مواد زائد، حامل ترکیبات شیمیایی خطرناک مانند فلزات می‌باشند. هدف از این مطالعه منشأ یابی و ارزیابی ریسک بهداشتی ناشی از فلزات سنگین موجود در ذرات معلق‌های مجتمع کمپوست کهریزک تهران می‌باشد.

روش بررسی: به منظور اندازه‌گیری ذرات از دستگاه نمونه‌بردار OMNITM Ambient Air Sampler استفاده شد. نمونه‌برداری در ماه‌های بهمن و اسفند ۱۳۹۴ از سایت‌های پردازش، هوادهی و پالایش انجام شد. برای آنالیز فلزات سنگین از دستگاه ICP1-AES و برای منشأ یابی عناصر فلزی از فاکتور غنی‌سازی استفاده شد.

یافته‌ها: در این مطالعه متوسط غلظت ذرات PM₁₀ به ترتیب در سایت‌های پردازش، پالایش و هوادهی ۱۲۹۱، ۳۵۵۷، ۱۴۳ میکروگرم بر مترمکعب به دست آمد. همچنین بالاترین غلظت فلزات در ذرات PM₁₀ مربوط به آلومینیم و آهن می‌باشد که به ترتیب ۷۳/۰۷ و ۴۴/۷۱ میکروگرم بر مترمکعب برای سایت پالایش به دست آمد. در این تحقیق بیشتر خطر سرطان اضافی فلزات به ترتیب در سایت پالایش، پردازش و هوادهی مشاهده شد و تمامی موارد خطر سرطان از حد تعیین شده توسط سازمان حفاظت محیط‌زیست بیشتر بود.

نتیجه‌گیری: نتایج حاصل از این مطالعه نشان می‌دهد که با توجه به کمبود اطلاعات در زمینه اندازه‌گیری غلظت‌های ذرات در سایت کمپوست به منظور بررسی اثرات آلاینده‌ها بر روی افراد مورد مواجهه، انجام مطالعات پایشی بیشتر در بخش‌های مختلف مجتمع کمپوست امری ضروری می‌باشد.

کلیدواژه‌ها: مجتمع کمپوست، فلزات، ارزیابی خطر، ذرات معلق.

مقدمه

عروقی و افزایش بروز بیماری‌ها مانند سرطان ریه، بیماری انسداد مزمن ریوی (COPD) کمک کند [۵۶]. آژانس بین‌المللی تحقیقات سرطان (IARC) اخیراً ذرات موجود در هوای بیرون را به‌عنوان گروه ۱ ترکیبات سرطان‌زا معرفی کرده است [۷، ۸]. اثرات نامطلوب ذرات به خصوصیات فیزیکوشیمیایی (مانند اندازه، تعداد، ناحیه سطحی، خاصیت الکترواستاتیکی) و ترکیب شیمیایی و بیولوژیکی آن بستگی دارد. ذرات کمتر از ۱۰ میکرون و ذرات کمتر از دو ونیم میکرون معمولاً به‌عنوان پارامترهای پایش آلودگی هوا استفاده می‌شوند [۹، ۱۰]. اگرچه آئروسول‌های حاوی ترکیبات فلزی بخش کوچکی از جرم PM₁₀ را تشکیل می‌دهد، اما افزایش غلظت و یا مواجهه طولانی‌مدت با آن‌ها

امروزه آلودگی هوا یکی از مهم‌ترین مشکلات زیست‌محیطی در شهرهای بزرگ و بسیاری از کشورهای دنیا محسوب می‌شود [۱، ۲]. ذرات از مهم‌ترین مشکلات در آلودگی هوا هستند و اثرات مخرب بهداشتی فراوانی را به دنبال دارند. ذرات اتمسفری به‌وسیله فرایندهای مختلف طبیعی و مصنوعی مانند طوفان‌های گردوغبار، وسایل نقلیه سبک و سنگین، نیروگاه‌ها، فعالیت‌های صنعتی، مراکز دفن پسماند، مراکز تولید کمپوست و سوزاندن پسماند تولید می‌شوند [۳، ۴]. مطالعات گسترده انجام‌شده در زمینه اثرات ذرات نشان داده‌اند که مواجهه با ذرات می‌تواند به پیشرفت و ایجاد بیماری‌های تنفسی، قلبی

۱- مرکز تحقیقات تکنولوژی بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران، ایران، و دانشیار، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران، ایران.

ستاد، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران، ایران.

ستاد، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران، ایران.

۴- (نویسنده مسئول) دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی بهداشت محیط، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران، ایران. mahtab.7071@yahoo.com

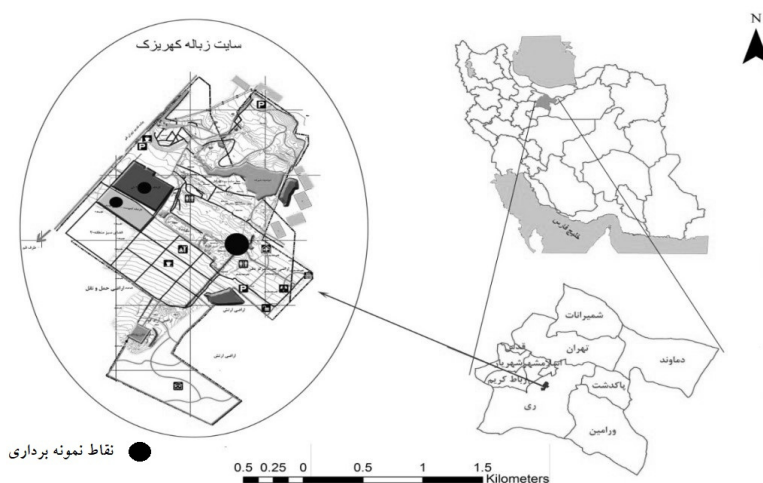
پسماند شهر تهران بوده است. همه‌روزه به‌طور متوسط بیش از ۷۰۰۰ تن پسماند وارد این مرکز می‌شود و همچنین بزرگ‌ترین سایت تخمیر کمپوست در خاورمیانه است. در این سایت بیش از ۱۵۰۰ نفر مشغول به کار می‌باشند و از آنجایی که تاکنون مطالعه‌ای در زمینه اندازه‌گیری ذرات معلق در سایت کمپوست کهریزک با توجه به تعداد افراد شاغل در آن و افرادی که در آن نزدیکی ساکن هستند انجام نشده، لذا مطالعه حاضر به تعیین و مقایسه غلظت ذرات با قطر کمتر از ۱۰ میکرون، بررسی غلظت فلزات و ارزیابی خطر بهداشتی ناشی از فلزات سنگین ذرات بر روی کارگران در مجتمع پردازش و دفع آرادکوه می‌پردازد.

روش بررسی

منطقه مورد مطالعه: مطالعه حاضر از نوع توصیفی-مقطعی و نمونه‌برداری در سایت کهریزک تهران با مساحت ۱۳۶۴ هکتار که در جنوب شهر تهران واقع شده، صورت گرفته است. مجتمع پردازش و دفع آرادکوه در ضلع جنوبی پلاک‌های آرادکوه و حسین‌آباد گردنه و در فاصله ۲۰ کیلومتری شهر ری بین طول‌های جغرافیایی ۵۱ درجه و ۱۹ دقیقه و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۲۷ دقیقه قرار گرفته است. حداقل ارتفاع از سطح دریا ۴۸۵ متر و حداکثر ۶۰۰ متر واقع در قسمت جنوب منطقه طرح از سطح آب‌های آزاد می‌باشد. جهت انتخاب نقاط نمونه‌برداری از استاندارد ASTM که مربوط به نمونه‌برداری هوای مجتمع پردازش و دفع پسماند شهری می‌باشد، استفاده شد (۱۸). نقاط نمونه‌برداری با توجه به سه مرحله اساسی کمپوست شامل مرحله پردازش اولیه که شامل سرند، جداسازی و اختلاط می‌باشد (سایت پردازش)، مرحله هوادهی که در آن پشته‌های کمپوست هوادهی می‌شوند (سایت هوادهی) و مرحله پردازش نهایی که کمپوست رسیده شده با توجه به اندازه دانه‌ها سرند می‌شوند (سایت پالایش).

نمونه‌برداری ذرات PM₁₀: به‌منظور جمع‌آوری و اندازه‌گیری غلظت ذرات PM₁₀ نمونه‌برداری در دو ماه

می‌تواند اثرات سمی شدیدی بر روی انسان و محیط‌زیست ایجاد کند [۱۱]. بهر حال برخلاف این واقعیت که فلزات بخش خیلی کوچکی از جرم ذرات را تشکیل داده‌اند ولی فلزات ناچیز مانند سرب، آرسنیک، سلنیوم، کادمیوم و جیوه منجر به مخاطرات بهداشتی جدی برای انسان می‌شود [۱۲]، بخصوص اینکه آن‌ها ممکن است به خاطر وجود ناحیه سطحی بالا و جذب راحت بر روی ذرات PM₁₀، باعث بیماری‌های قلبی-عروقی، التهاب مجاری تنفسی و اثرات سائیتوتوکسیک و صدمه به DNA سلول شوند [۵، ۱۳]. امروزه مراکز پردازش و دفن زباله نقش اساسی را در کاهش زباله ایفا می‌کنند که از این میان، مجتمع کمپوست بخش اعظمی از مدیریت مواد زائد را در شهرهای بزرگ به عهده دارد، به‌عنوان یک روش سالم و مؤثر برای دفع مواد زائد در حجم بالا بکار می‌رود [۱۴]. اگرچه مجتمع کمپوست می‌تواند یک گزینه مناسب و اقتصادی برای مدیریت پسماند باشد، اما به‌رحال نگرانی‌هایی در مورد اثرات نامطلوب آن وجود دارد. ذرات موجود در لندفیل‌ها و بخش‌های مختلف تولید کمپوست به دلیل تنوع مواد زائد، ممکن است حامل ترکیبات شیمیایی خطرناک مانند فلزات، ترکیبات یونی، هیدروکربن‌های عطری چند حلقوی و دیگر مواد کارسینوژن باشند [۱۵]. در طی بررسی‌هایی که انجام شده بیشترین غلظت ذرات معلق در مجتمع‌پردازش و دفن زباله مربوط به ذرات با قطر کمتر از ۱۰ میکرون و ذرات با قطر کمتر از دو ونیم میکرون می‌باشد. فرایندهای متداول تولید کمپوست که باعث انتشار ناگهانی ذرات معلق در هوا می‌شود عبارت‌اند از: جداسازی و پردازش، سرند، خرد کردن و به هم زدن. انتشار ذرات و بایوآئروسول‌ها از نگرانی‌های مرتبط با فرایندهای تولید کمپوست است که منجر به مشکلات بهداشتی برای کارگران کارخانه و همچنین ساکنان مجاور کارخانه می‌شود [۱۶، ۱۷]. مجتمع پردازش و دفع آرادکوه (سایت کهریزک) در جنوب شهر کهریزک و در ابتدای جاده قدیم تهران- قم واقع شده است. این مرکز با مساحتی نزدیک به ۱۳۶۴ هکتار از سال ۱۳۵۵ پذیرای



شکل ۱- موقعیت محل نمونه برداری در سایت‌های پردازش، هوادهی و پالایش

بهمن و اسفند ۱۳۹۴، در روزهای شنبه و سه‌شنبه در سایت پردازش یکشنبه و چهارشنبه در سایت پالایش و دوشنبه و پنج‌شنبه در سایت هوادهی و در شیفت کاری کارگران (۸ صبح تا ۴ بعدازظهر و ارتفاع ۱ تا ۱/۵ متری از سطح زمین و حجم هوای عبوری در این مدت ۲۴۰۰ لیتر بود). انجام شد. به‌طور کلی در این مطالعه در دوره نمونه برداری برای هر سایت ۱۲-۱۴ نمونه جمع‌آوری شد. به‌منظور اندازه‌گیری ذرات از دستگاه نمونه بردار OMNITM Ambient Air Sampler با جریان ۵ لیتر در دقیقه به همراه فیلترهای ۴۷ میلی‌متری PTFE و پور سایز ۰/۵ میکرون استفاده شد. فیلترها قبل و بعد از نمونه برداری ۴۸ ساعت در دسیکاتور نگهداری می‌شدند. جهت آماده‌سازی فیلترهای PTFE ابتدا این فیلترها با استفاده از HCl و HNO₃ دو نرمال و نهایتاً با آب مقطر بسیار خالص ≥ 18 (specific resistance) شسته و زیر هود با استفاده از جریان آرام هوا خشک گردید. فیلترهای حاوی ذرات بلافاصله بعد از اتمام مدت‌زمان نمونه برداری درون پلیت‌هایی قرار می‌گرفتند. داخل این پلیت‌ها با فویل‌های آلومینیومی پوشانده شده بود که به مدت ۲ ساعت در دمای ۵۵۰ درجه سلسیوس قرار گرفته بودند. پس‌از آن پلیت‌ها در کنار یخ به آزمایشگاه حمل شده و نمونه‌ها تا زمان

هضم و استخراج آن‌ها درون فریزر در دمای ۲۰- درجه سلسیوس قرار می‌گرفتند. تعیین غلظت ذرات ۱۰ میکرون (PM₁₀): ابتدا فیلترهای PTFE با قطر ۴۷ میلی‌متر با ترازوی (model: Sartoris 2004 MP) وزن شده و بعد درون فیلتر هولدر دستگاه قرار گرفت. پس از ۸ ساعت نمونه برداری در فلوی ۵ لیتر بر دقیقه نمونه برداری نیز وزن شده و با توجه به اختلاف وزن اولیه و ثانویه و حجم هوای عبوری از طریق معادله زیر غلظت ذرات PM₁₀ محاسبه گردید. (۱۹).

$$PM_{10} = \frac{(W_f - W_i) \times 10^6}{V}$$

PM₁₀ = غلظت ذرات معلق با قطر آئرو دینامیکی کوچک‌تر و مساوی ۱۰ میکرون ($\frac{\mu g}{m^3}$)
 W_f = وزن فیلتر در پایان نمونه برداری (gr)
 W_i = وزن فیلتر قبل از شروع نمونه برداری (gr)
 V = کل حجم هوای عبوری در طول مدت نمونه برداری برحسب حجم هوای استاندارد (m^3)

آنالیز فلزات: جهت تعیین فلزات ۱/۴ فیلتر PTFE را به قطعات خیلی ریز خرد و در داخل ظرف تفلونی ریخته و سپس ۱۰ میلی‌لیتر اسید نیتریک، ۳ میلی‌لیتر اسید پر کلرات (HClO₄) و ۱ میلی‌لیتر

می رود. در واقع روشی از آنالیزهای چند متغیره آماری است که تعداد کمتری از عوامل را بنام مولفه های اصلی از میان عوامل اولیه گزینش می کند، به طوریکه تعدادی از اطلاعات کم اهمیت حذف می شوند که مولفه ی اصلی اول بیشترین مقدار واریانس و مولفه های آخر کمترین واریانس را شرح می دهند که در این صورت با حذف مولفه های آخر اطلاعات زیادی از دست نخواهد رفت. در این مطالعه با استفاده از این روش منابع احتمالی از آلاینده ها در کل مجتمع پردازش و دفع آرادکوه شناسایی شد. (۲۱)

ارزیابی خطر سلامت فلزات: در رابطه با مواد سرطانزا فرض بر این است که بین افزایش دوز یا مواجهه با غلظت آلاینده و افزایش خطر ابتلا به سرطان یک رابطه خطی وجود دارد. شیب حاصله در این رابطه فاکتور شیب (SF) و واحد آن بر اساس هر میلی گرم از ماده شیمیایی به ازای هر کیلوگرم وزن بدن در روز بیان می شود. به منظور بررسی خطرات استنشاق مواد سرطانزا، طبق پیشنهاد سازمان حفاظت محیط زیست آمریکا و دیگر سازمان های نظارتی، از فاکتور شیب جهت توسعه فاکتور ریسک واحد (URF) استفاده می شود. فاکتور ریسک واحد مقدار سمیت مورد استفاده برای مواد سرطانزا است که خطر افزایش یافته ابتلا به سرطان را تخمین می زند و با غلظت مواد شیمیایی موجود در هوایی که استنشاق می گردد مرتبط است برای ارزیابی ریسک سلامت چهار مرحله انجام گردید اولین مرحله شامل شناسایی خطر به منظور تعیین تمام آلاینده هایی است که انتظار می رود به طور بالقوه از منابع مختلف انتشار یابند و ایجاد خطر نمایند. لذا در این مطالعه فلزات آرسنیک، کادمیوم، کروم، سرب نیکل مدنظر قرار گرفتند. مرحله دوم شامل ارزیابی دوز- پاسخ است که طی آن ارتباط بین غلظت فلزات سنگین در هوای تنفسی و میزان تأثیر آن در سلامت انسان ها مشخص می گردد. سومین مرحله ارزیابی مواجهه و مقدار تماس است. معمولاً در ارزیابی های ریسک، اغلب مواجهه های فردی برای

اسید هیدروفلوریک به آن اضافه و به مدت ۴ ساعت در دمای ۱۷۰ درجه سانتی گراد در داخل فور قرار گرفت، پس از سرد شدن، محلول به روی هیتز در دمای ۹۵ درجه سانتی گراد خشک و ۱ سی سی اسید نیتریک به آن افزوده و سپس به وسیله آب مقطر دو بار تقطیر شده به حجم ۱۰ سی سی رسانیده می شود. عناصر (آلومینیوم (Al)، آهن (Fe)، منگنز (Mn کرم Cr، نیکل Ni، مس Cu، سرب Pb، روی Zn، کادمیوم Cd، وانادیوم V، آرسنیک As، جیوه Hg) با استفاده از دستگاه ICP-AES مدل آرکوز ۲، ساخت کشور آلمان در آزمایشگاه آنالیز دستگاهی گروه زمین شناسی دانشگاه تهران تعیین گردید (۱۹).

تعیین منشأ فلزات با استفاده از فاکتور غنی شده: پس از اندازه گیری غلظت عناصر (فلزات) ذرات معلق هوای محیطی و به منظور بررسی و شناسایی منبع انتشار این ذرات از فاکتور غنی شده یا Enrichment factor value می توان استفاده نمود. مقادیر فاکتور غنی شده بیانگر میزان سهم منابع خاکی در انتشار ذرات معلق می باشد بدین منظور با استفاده از مقادیر رفرانس فاکتور غنی شده که توسط Taylor و همکارانش ارائه شده است و نیز با استفاده از مقادیر اندازه گیری شده غلظت عناصر موجود در ذرات، اعداد مربوط به فاکتور غنی شده با استفاده از رابطه زیر محاسبه گردید:

$$EF_x = \left(\frac{\left(\frac{C_x}{C_{Ref}} \right)_{sample}}{\left(\frac{C_x}{C_{Ref}} \right)_{soil}} \right)$$

در این معادله C_x غلظت فلز سنگین مورد نظر در نمونه، C_{Ref} غلظت عنصر آلومینیوم به عنوان عنصر مرجع در نمونه، C_x و C_{Ref} در قسمت پایین نمودار غلظت فلز مورد نظر و غلظت فلز آلومینیوم در پوسته زمین [۳، ۲۰].

تحلیل مؤلفه های اصلی: تکنیک آماری تجزیه و تحلیل مولفه های اصلی (PCA): روشی آماری است که غالباً برای بررسی گروهی از متغیرهای همبسته بکار

STATISTICA و آزمون t-test برای مقایسه میانگین غلظت فلزات سنگین در ایستگاه‌های مختلف نمونه‌برداری استفاده شد. برای رسم نمودار از نرم‌افزارهای Graph Pad Prism نسخه ۷ استفاده شد.

یافته‌ها

در شکل ۲ گلباد محل مورد مطالعه که با استفاده از داده‌های هواشناسی منطقه کهریزک در دوره نمونه‌برداری رسم شده است، نشان داده شده است. همان‌گونه که در شکل دیده می‌شود جهت باد در این دوره (بهمن و اسفند ۱۳۹۴) سمت غرب کمی مایل به جنوب غرب می‌باشد. که در سال‌های گذشته نیز جهت کلیه بادها در این دو فصل مایل به غرب بوده است. روند تغییرات پارامترهای هواشناسی در منطقه پردازش و دفع آرادکوه نیز در شکل نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود تغییرات دما و رطوبت کم است. در ساعات کاری دما از ۱۰ درجه تا ۱۵ درجه متغیر است همچنین میزان تغییرات رطوبت نیز از ۴۰ تا ۶۰ درصد متغیر است. بیشترین میزان بارش مربوط به فصل بهمن و کمترین میزان دما نیز مربوط به همین فصل بود. جدول ۱ خلاصه آماری شامل میانگین، انحراف معیار، بیشترین و کمترین مقدار غلظت ذرات PM₁₀ و فلزات سنگین را نشان می‌دهد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود غلظت ذرات PM₁₀ در سایت پالایش از همه بیشتر و در هوادهی کمترین مقدار را دارا می‌باشد. همچنین بالاترین غلظت عناصر در ذرات

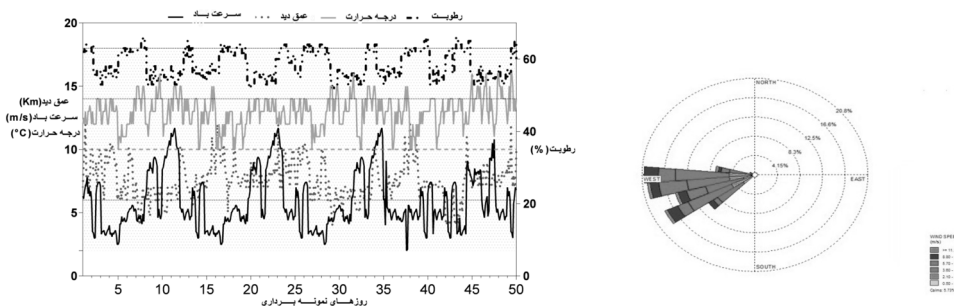
یک دوره زندگی ۷۰ ساله در نظر گرفته می‌شود. در این مطالعه، میزان خطر سرطان اضافی ناشی از استنشاق فلزات موجود در ذرات معلق هوای مجتمع پردازش و دفع آرادکوه مورد بررسی قرار گرفت. به‌منظور تعیین میزان سرطان اضافی، ابتدا مقادیر متوسط دوز دریافتی روزانه برای افرادی که در آنجا مشغول به کار بودند محاسبه گردید:

$$EC_c (\mu\text{g}/\text{m}^3) = \frac{(CA \times ET \left(\frac{8\text{hr}}{24\text{hr}}\right) \times EF \left(\frac{250\text{day}}{\text{Year}}\right) \times ED(25\text{year}))}{AT \left(\frac{365\text{day}}{\text{year}} \times LT(70\text{year})\right)} \quad (1)$$

C: غلظت فلزات برحسب میکروگرم بر مترمکعب، ET: مدت زمان مواجهه (که در این مطالعه ۸ ساعت در نظر گرفته شده است) EF: تعداد دفعات مواجهه (تعداد روزهای کاری که متوسط ۲۵۰ روز در سال در نظر گرفته می‌شود)، ED: طول مدت مواجهه با غلظت موردنظر (متوسط زمانی که فرد کار می‌کند ۲۵ سال در نظر گرفته می‌شود)، BW: مدت زمان سرطان‌زایی برحسب روز. بر اساس نظر EPA این مدت را ۷۰ سال یا ۲۵۵۵۰ روز در نظر می‌گیرند.

$$ELCR = IUR \times EC \quad (2)$$

ELCR: خطر سرطان فلزات، IUR: استاندارد در نظر گرفته شده برای ارزیابی خطر فلزات [۲۲، ۲۳].
آنالیز آماری: در این مطالعه از نسخه ۱۲ نرم‌افزار



شکل ۲- گلباد دوره نمونه‌برداری و تغییرات پارامترهای هواشناسی (بهمن و اسفند) مجتمع پردازش و دفع آرادکوه

جدول ۱- خلاصه آماری غلظت عناصر فلزی در هوای محیطی سایت پردازش، پالایش، هوادهی مجتمع پردازش و دفع آرادکوه (میکروگرم بر مترمکعب)

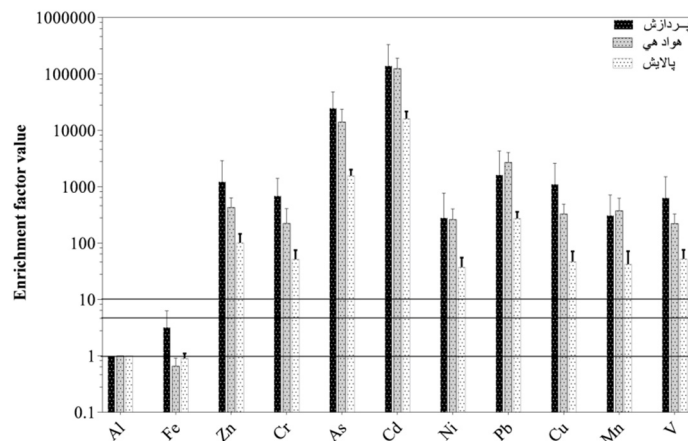
V	Mn	Cu	Pb	Ni	Cd	As	Cr	Zn	Fe	Al	PM10	
۱/۶۷	۱/۹۳	۳/۸۷	۱/۲۴	۱/۲۱	۱/۸۴	۳/۴۸	۲/۹۳	۵/۸۱	۱۲/۵۴	۲۲/۷۹	۱۲۹۱/۰۰	پردازش
۱/۱۶	۰/۹۱	۲/۲۶	۱/۱۸	۰/۹۱	۰/۹۲	۱/۲۲	۰/۹۱	۳/۰۱	۴/۴۳	۶/۹۳	۳۶۳/۰۰	میانگین
۰/۶۹	۰/۷۶	۱/۰۱	۰/۱۵	۰/۲۲	۰/۵۰	۱/۰۰	۱/۲۲	۲/۰۰	۵/۰۰	۹/۰۰	۸۱۶/۰۰	انحراف معیار
۴/۸۱	۳/۶۲	۸/۷۳	۴/۰۰	۳۳/۳	۳/۷۰	۴/۹۲	۴/۵۵	۱۱/۲۸	۲۰/۲۰	۳۲/۰۰	۲۰۲۴/۰۰	حداقل
												حداکثر
												پالایش
۶/۸۱	۳/۲۸	۲/۳۷	۲/۹۴	۲/۳۶	۲/۹۲	۲/۵۰	۴/۵۴	۶/۳۲	۴۴/۷۱	۷۳/۰۷	۳۵۵۷/۰۰	میانگین
۲/۷۴	۱/۸۲	۱/۴۲	۰/۸۵	۱/۲۱	۱/۵۲	۰/۹۴	۲/۰۴	۲/۹۸	۱۳/۹۰	۲۲/۳۶	۹۸۰/۰۰	انحراف معیار
۱/۵۲	۱/۰۰	۰/۵۰	۰/۸۴	۱/۰۰	۱/۳۵	۰/۷۶	۰/۵۱	۱/۶۸	۲۲/۰۰	۳۸/۷۲	۱۵۱۵/۰۰	حداقل
۱۰/۰۰	۶/۰۰	۴/۷۱	۴/۰۴	۵/۰۰	۶/۰۰	۴/۰۰	۷/۰۰	۱۱/۹۵	۶۶/۰۰	۱۲۱/۰۰	۶۷۱۳/۰۰	حداکثر
												هوادهی
۰/۶۶	۰/۳۸	۰/۶۷	۰/۳۸	۰/۵۱	۰/۵۱	۰/۴۵	۰/۵۸	۰/۷۸	۱/۶۶	۳/۱۰	۱۴۳/۰۰	میانگین
۰/۳۳	۰/۲۵	۰/۳۶	۰/۲۱	۰/۳۲	۰/۳۶	۰/۳۶	۰/۲۵	۰/۳۷	۰/۳۹	۰/۹۴	۳۴/۰۰	انحراف معیار
۰/۱۳	۰/۱۵	۰/۱۵	۰/۰۳	۰/۰۵	۰/۰۸	۰/۰۵	۰/۳۴	۰/۲۲	۱/۰۰	۲/۰۰	۱۰۰/۰۰	حداقل
۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۳۵	۰/۷۲	۱/۰۱	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۰۰	۱/۵۳	۲/۲۱	۵/۰۵	۱۹۱/۰۰	حداکثر

عاملهای اصلی آلودگی استفاده شده است. شکل ۵ مقادیر خطر سرطان اضافی ناشی از مواجهه فلزات موجود در هوای سایت‌های مجتمع تولید کمپوست آرادکوه را در قالب یک نمودار جعبه‌ای و به تفکیک هر فلز نشان می‌دهد. شکل ۵ نمودار هیستوگرام میزان خطر سرطان اضافی ناشی از مواجهه فلزات موجود در هوای سایت نمونه‌برداری را نشان می‌دهد.

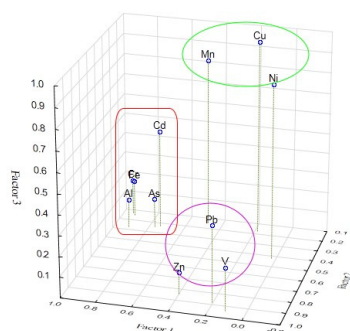
بحث و نتیجه‌گیری

در این مطالعه متوسط غلظت ذرات PM10 در سایت

مربوط به آلومینیم و آهن می‌باشد که به ترتیب ۲۲/۷۹ و ۱۲/۵۴ میکروگرم بر مترمکعب می‌باشد (جدول ۱). شکل ۳ مقادیر فاکتور غنی‌شده مربوط به عناصر (فلزات) اندازه‌گیری شده موجود در ذرات PM10 هوای محیطی سایت‌های نمونه‌گیری را نشان می‌دهد. بر اساس نتایج به دست آمده از مقادیر فاکتور غنی‌سازی بیشتر عناصر اندازه‌گیری شده در سایت‌های نمونه‌برداری منشأ کاملاً انسانی دارند. در شکل ۴ تعداد منابع محتمل انتشار عناصر در ذرات را نشان می‌دهد که در مطالعات بسیاری از این روش برای شناسایی

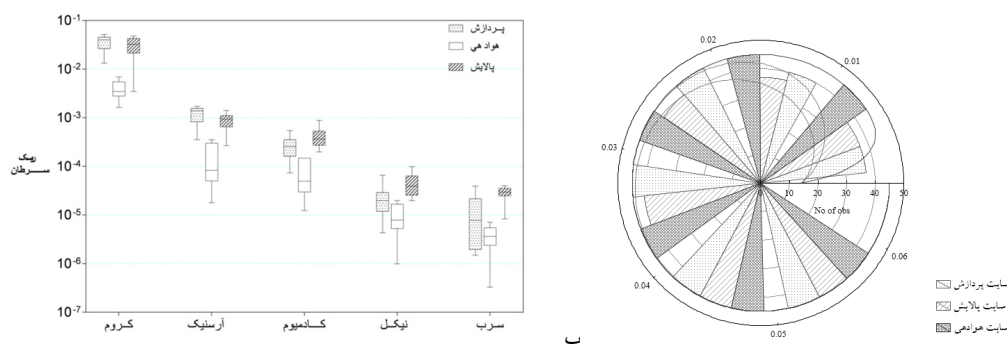


شکل ۳- مقادیر فاکتور غنی‌شده مربوط به عناصر (فلزات) در ذرات PM10 هوای سایت پردازش، هوادهی و پالایش (بر اساس مقادیر رفرنس Taylor)



شکل ۴- نمودار تعیین تعداد منابع محتمل انتشار عناصر موجود در ذرات برحسب مقادیر Eigenvalues درمجموع پردازش و دفع آرادکوه

الف



ب

شکل ۴- نمودار هیستوگرام میزان خطر سرطان اضافی ناشی از مواجهه فلزات (الف) مقادیر خطر سرطان اضافی ناشی از مواجهه فلزات (ب) موجود در هوای سایت‌های مجتمع تولید کمپوست آرادکوه

هوادهی رطوبت بالایی دارند و هرروز آبیایی شده و پراکندگی کمتری دارد و ذرات کمتری نسبت به واحدهای پردازش و پالایش تولید می‌کند. در مطالعه ای چالواتسکی (Chalvatzaki) در سال ۲۰۱۰، غلظت ذرات معلق با قطر کمتر از ۱۰ میکرون در مراحل مختلف سایت دفن پسماند در یونان اندازه‌گیری شد. نتایج این مطالعه نشان داد که میانگین غلظت ذرات در مراحل مختلف فعالیت‌های لندفیل از ۴۲ تا ۶۰۱ میکروگرم بر مترمکعب متغیر است [۱۶]. در این مطالعه بالاترین غلظت عناصر در ذرات PM₁₀ مربوط به آلومینیم و آهن می‌باشد که به ترتیب ۷۳/۰۷ و ۴۴/۷۱ میکروگرم بر مترمکعب برای سایت پالایش به دست آمد. آهن و آلومینیم منشأ طبیعی داشته و از عناصر اصلی پوسته زمین محسوب می‌شوند و با پخش و تعلیق ذرات خاک ارتباط مستقیم داشته و در ذرات

پالایش بیشترین و در هوادهی کمترین مقدار به دست آمد. متوسط غلظت ذرات PM₁₀ به ترتیب در سایت‌های پالایش، پردازش و هوادهی ۳۵۵۷، ۱۲۹۱، ۱۴۳ میکروگرم بر مترمکعب به دست آمد. پسماند ورودی به سایت تولید کمپوست باید به ترتیب از واحدهای پردازش، هوادهی و پالایش عبور کند [۲۴]. قسمت پردازش سایت کمپوست در یک فضای بسته قرار دارد و به خاطر جابجایی مواد زائد و عدم تهویه مناسب، غلظت بالایی از ذرات تولید می‌شود. بخش پالایش که شاهد بیشترین غلظت‌ها بودیم، پسماندهای تر خروجی از بخش پردازش جهت تبدیل به کمپوست گرانوله وارد خط پالایش می‌شوند. در این مرحله کود خشک‌شده بعد از سرند شدن در ارتفاع ۴ متری و قرار گرفتن در فضای باز و پارامترهای جوی مانند باد، انتشار ذرات را به حداکثر می‌رساند. پسماندها در قسمت

فاکتور غنی‌سازی بیشتر از ۵ بیشتر از منابع انسانی و ساخت بشر نشأت می‌گیرند [۲۵]. در شکل ۴ تعداد منابع محتمل انتشار عناصر در ذرات با ۹۰٪ از کل فاکتورها می‌توان منابع اصلی را پیش‌بینی کرد. فاکتور اول عناصر در ذرات PM₁₀ نشان می‌دهد که آلومینیم، آهن، کروم، آرسنیک و کادمیم بارگذاری بالایی را و در مجموع ۳۸٪ منابع را نشان می‌دهد. آرسنیک، کروم و نیکل، سرب و روی از سوخت زباله‌سوزها یافت می‌شوند. سرب علاوه بر منابع بالا در شیشه‌ها، لیوان‌های سرامیکی و سرامیک و کاشی به‌وفور یافت می‌شود. آلومینیم به‌تنهایی دال بر این است که خاک پوسته زمین منبع عمده آلومینیم در ذرات و معلق ناحیه می‌باشد. در سایت پردازش وجود آلومینیم و آهن احتمالاً از فلزات سایت ناشی می‌شود همچنین وجود آلومینیم و آهن در گردو خاک موجود در سایت هم موجود است ولی احتمالاً علت اصلی همان فلزات باشد. کروم، آرسنیک و کادمیم هم در زباله‌ها هم در سوخت‌های فسیلی وجود دارند. فاکتور دوم در ذرات ۲۶٪ را در بر گرفته است بارگذاری بالایی از روی، سرب و وانادیم را نشان می‌دهد بر اساس مطالعات انجام‌یافته مشخص شده است که روی و وانادیوم ناشی از احتراق سوخت در اتومبیل‌ها و نیز احتراق نفت و روغن می‌باشند همچنین سرب نیز یک مارکری برای وسایل نقلیه و همچنین در کاشی و سرامیک و وسایل الکترونیکی موجود است؛ و فاکتور سوم نیز با ۲۶٪ که در آن نیکل، مس و منگنز بارگذاری بالایی دارند که در مطالعات این سه عامل انتشار سوخت‌های فسیلی را نشان می‌دهد به‌طور کلی دستگاه‌های سایت‌های پردازش و پالایش ماشین‌های سنگین سایت بیش از ۵۰ درصد آلودگی را در بر می‌گیرند که سوخت اصلی این موارد گازویلی می‌باشد [۲۶]. گاو در سال ۲۰۰۲ به‌منظور تعیین منابع انتشار ذرات و نیز سهم هر کدام از آن‌ها از آنالیز فاکتور استفاده نموده و فاکتورها یا منابع انتشار را در ۳ گروه تقسیم‌بندی کرد. در گروه اول همه عناصر به‌جز آلومینیم و آهن غلظت بالایی داشتند که نشان‌دهنده انتشار از منابع غیرطبیعی و انسان‌ساز بود. برای مثال از

معلق هوای شهری و صنعتی، مراکز پردازش و دفن پسماند مانند مجتمع‌تولید کمپوست، زباله‌سوزی بیشترین مقادیر را دارا می‌باشد. منابع مصنوعی انتشار آهن و آلومینیم شامل فرایندهای صنایع فلزی می‌باشد. همچنین کمترین غلظت عناصر در ذرات PM₁₀ به ترتیب برای منگنز و سرب با غلظت ۰/۳۸ میکروگرم بر مترمکعب برای سایت هوادهی اندازه‌گیری شد. به‌طور کلی در این مطالعه برای سایت هوادهی کمترین غلظت ذرات و عناصر فلزی شاهد بودیم. در مطالعه‌ای که غلام‌پور بر روی عناصر ذرات PM₁₀ منطقه صنعتی تبریز انجام داد آلومینیم با ۴۵/۹ درصد و آهن با ۱۱/۶ درصد بیشترین درصد عناصر را به خود مربوط به عناصر (فلزات) اندازه‌گیری شده موجود در ذرات PM₁₀ هوای محیطی سایت‌های نمونه‌گیری را نشان می‌دهد. در این آنالیز در صورتی که مقدار فاکتور غنی‌شده به عدد یک نزدیک شود، منشأ آلاینده موردنظر پوسته زمین می‌باشد، در محدوده ۵-۱۱ نشان‌دهنده تأثیر و سهم عمده فعالیت‌های انسانی در انتشار آلاینده موردنظر در هوای محیطی منطقه می‌باشد. مقدار فاکتور غنی‌شده بزرگ‌تر از ۵ بیان می‌کند که بخش عمده عنصر موردنظر از منابع غیر از پوسته زمین (منابع مصنوعی) ایجاد شده است. آنالیز فاکتور غنی‌شده در این مطالعه نشان داد که بیشتر عناصر منشأ کاملاً انسانی در سایت‌های نمونه‌برداری مجتمع کمپوست کهریزک داشته‌اند ولی منابع طبیعی و پوسته‌ای زمین در انتشار عناصر آهن و آلومینیم برای هر سه سایت نمونه‌برداری نقش عمده‌ای ایفا می‌کنند. فقط در سایت پردازش فعالیت‌های انسانی نقش اندکی در میزان انتشار آهن ایفا می‌کند. هوانگ (Huang) در سال ۲۰۱۶ مطالعه‌ای را در منشأ یابی فلزات سنگین موجود در ذرات در یک سایت بازیافت پسماند در چین انجام دادند. ایشان دریافتند که مقدار فاکتور غنی‌سازی یا EF برای فلز آهن کمتر از ۱ بوده و این عنصر منشأ طبیعی و پوسته‌ای مانند تعلیق ذرات داشته و در عوض عناصر مس، روی، سلیسیم، سرب، آرسنیک با مقادیر

سرطان فلزات سنگین موجود در ذرات در یک سایت بازیافت پسماند در چین انجام شد. نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد که مقادیر ارزیابی خطر سرطان برای فلزات (Cd و Cr, Co, Ni, As) برای بزرگسالان و کودکان به ترتیب 10^{-3} و $1/3 \times 10^{-3}$ و $3/9 \times 10^{-3}$ به دست آمد که این مقادیر از محدوده استاندارد ذکر شده توسط EPA که 10^{-6} - 10^{-4} ذکر شده بیشتر می‌باشد [۲۵].

در این مطالعه متوسط غلظت ذرات PM_{10} به ترتیب در سایت‌های پالایش، پردازش و هوادهی ۳۵۵۷، ۱۲۹۱، ۱۴۳ میکروگرم بر مترمکعب به دست آمد. همچنین بالاترین غلظت عناصر در ذرات PM_{10} مربوط به آلومینیم و آهن می‌باشد که به ترتیب $73/07$ و $44/71$ میکروگرم بر مترمکعب برای سایت پالایش به دست آمد. در این تحقیق بیشتر خطر سرطان اضافی فلزات به ترتیب در سایت پالایش، پردازش و هوادهی مشاهده شد و تمامی موارد ریسک سرطان از حد تعیین شده توسط سازمان حفاظت محیط‌زیست بیشتر بود. نتایج حاصل از این مطالعه نشان می‌دهد که با توجه به کمبود اطلاعات در زمینه اندازه‌گیری غلظت‌های ذرات در سایت کمپوست به‌منظور بررسی اثرات آلاینده‌ها بر روی افراد مورد مواجهه، انجام مطالعات پایشی بیشتر در بخش‌های مختلف تسهیلات کمپوست امری ضروری می‌باشد.

تقدیر و تشکر

این مقاله حاصل بخشی از طرح تحقیقاتی با عنوان بررسی غلظت و ترکیب شیمیایی ذرات معلق با قطر کوچکتر از $2/5$ و 10 میکرون در هوای مجتمع کمپوست کهریزک تهران در زمستان ۱۳۹۴، مصوب دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی ایران در سال ۱۳۹۴، به کد ۲۷۵۹۲ می‌باشد که با حمایت معاونت پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی ایران اجرا شده است. نویسندگان مقاله بر خود لازم می‌دانند از انستیتو آب و انرژی دانشگاه صنعتی شریف به خاطر همکاری و در اختیار گذاشتن دستگاه‌های نمونه‌برداری و از همکاری مسئولین مدیریت پسماند

زباله سوزها (Sb، کادمیوم، سرب، کروم و روی) و سوزاندن نفت (نیکل و وانادیوم) و تولید فلزات غیر آهنی (سرب) و در فاکتور دوم غلظت آهن و روی بالا بود. آهن اتمسفر معمولاً به‌عنوان عنصر پوسته زمینی مورد استفاده قرار می‌گیرد و وجود آن به همراه روی می‌تواند دلیل بر انتشار از زباله سوزها و احتراق سوخت‌های فسیلی باشد. فاکتور سوم حضور آلومینیم به‌تنهایی بود که ارتباط ضعیفی با سایر عناصر داشت و این دال بر این بود که خاک پوسته زمین منبع عمده آلومینیم در ذرات معلق این ناحیه می‌باشد. گاوو به این نتیجه رسید که ۳۱ درصد آلومینیم موجود در ذرات هوا از خاک‌های محلی ناشی می‌شود [۲۷].

شکل ۵ هیستوگرام و میزان خطر سرطان ناشی از مواجهه با فلزات سنگین در ذرات را در مجتمع پردازش و دفع آزادکوه نشان می‌دهد. در خصوص میزان قابل قبول سرطان اضافی استاندارد مدونی وجود ندارد اما در اغلب موارد میزان 10^{-6} - 10^{-4} که توسط سازمان حفاظت محیط‌زیست ایالت متحده پیشنهاد شده است به‌عنوان پایه و اساس قرار می‌گیرد. با توجه به دوره نمونه برداری در این مطالعه میانگین ۱۳ روز نمونه برای هر سه سایت پردازش، پالایش و هوادهی گرفته شد. که مقادیر خطر سرطان برای ۵ فلز اندازه‌گیری شده به ترتیب $2/17 \times 10^{-2}$ ، $3/27 \times 10^{-2}$ و 10^{-3} و $4/24 \times 10^{-2}$ به دست آمد. مقادیر خطر سرطان‌زایی برای فلزات نیکل و سرب در ذرات PM_{10} در سایت پردازش و پالایش کمتر از حد استاندارد می‌باشند با ذکر این نکته که نیکل در کلاس ۱ و سرب در کلاس ۲B فلزات سرطان‌زا طبقه‌بندی می‌شوند و فلزات کروم، آرسنیک به ترتیب بیشترین خطر سرطان را دارا می‌باشند که هر سه در کلاس ۱ فلزات سرطان‌زا طبقه‌بندی می‌شوند. شکل ۵ نمودار هیستوگرام تجمعی خطر سرطان فلزات در سایت‌های نمونه‌برداری در کل دوره نمونه‌برداری را نشان می‌دهد. که مجموع خطر سرطان اضافی فلزات به ترتیب در سایت پالایش $0/058$ ، پردازش $(0/047)$ و هوادهی $(0/009)$ می‌باشد. در سال ۲۰۱۶ مطالعه‌ای را در زمینه ارزیابی خطر

Qual Res. 2011;11(6):679-88.

10. Kermani M, Dowlati M, Jonidi Jafari A, Rezaei Kalantari R. Health impact caused by exposure to particulate matter in the air of Tehran in the past decade. *Tehran Uni Med J.* 2017;74(12):885-92.

11. Shah MH, Shaheen N, Jaffar M, Khalique A, Tariq SR, Manzoor S. Spatial variations in selected metal contents and particle size distribution in an urban and rural atmosphere of Islamabad, Pakistan. *J Environ Monit.* 2006;78(2):128-37.

12. Hosseini G, Teymouri P, Giahi O, Maleki A. Health Risk Assessment of Heavy Metals in Atmospheric PM10 in Kurdistan University of Medical Sciences Campus. *J Mazandaran Uni Med Sci.* 2016;25(132):136-46.

13. Soleimani Z, Parhizgari N, Rad HD, Akhoond MR, Kermani M, Marzouni MB, et al. Normal and dusty days comparison of culturable indoor airborne bacteria in Ahvaz, Iran. *Aerobiologia.* 2015;31(2):127-41.

14. Viegas S, Almeida-Silva M, Sabino R, Viegas C. Exposure to volatile organic compounds, particulate matter and fungi in a composting plant. 2014.

15. Dai QL, Bi XH, Wu JH, Zhang YF, Wang J, Xu H, et al. Characterization and source identification of heavy metals in Ambient PM10 and PM2.5 in an integrated iron and steel industry zone compared with a background site. *Aerosol Air Qual Res.* 2015;2015:875-87.

16. Chalvatzaki E, Kopanakis I, Kontaksakis M, Glytsos T, Kalogerakis N, Lazaridis M. Measurements of particulate matter concentrations at a landfill site (Crete, Greece). *Waste Manag.* 2010;30(11):2058-64.

17. Duquenne P, Simon X, Koehler V, Goncalves-Machado S, Greff G, Nicot T, et al. Documentation of bioaerosol concentrations in an indoor composting facility in France. *J Environ Monit.* 2012;14(2):409-19.

18. Lavoie J, Guertin S. Evaluation of health and safety risks in municipal solid waste recycling plants. *J Air Waste Manag Assoc.* 2001;51(3):352-60.

19. Naimabadi A, Ghadiri A, Idani E, Babaei AA, Alavi N, Shirmardi M, et al. Chemical composition of PM10 and its in vitro toxicological impacts on lung cells during the Middle Eastern Dust (MED) storms in Ahvaz, Iran. *Environ Pollut.* 2016;211:316-24.

20. Zhou S, Yuan Q, Li W, Lu Y, Zhang Y, Wang W. Trace metals in atmospheric fine particles in

شهر تهران و مجتمع پردازش و دفع آرادکوه تشکر و قدردانی نمایند.

منابع

1. MohseniBandpi A, Eslami A, Shahsavani A, Khodaghali F, Alinejad A. Physicochemical characterization of ambient PM2.5 in Tehran air and its potential cytotoxicity in human lung epithelial cells (A549). *Sci Total Environ.* 2017;593:182-90.

2. Bahrami Asl F, Kermani M, Aghaei M, Karimzadeh S, Salahshour Arian S, Shahsavani A, et al. Estimation of Diseases and Mortality Attributed to NO2 pollutant in five metropolises of Iran using AirQ model in 2011-2012. *J Mazandaran Uni Med Sci.* 2015;24(121):239-49.

3. Gholampour A, Nabizadeh R, Hassanvand MS, Taghipour H, Rafee M, Alizadeh Z, et al. Characterization and source identification of trace elements in airborne particulates at urban and suburban atmospheres of Tabriz, Iran. *Environ Sci Pollut Res.* 2016;23(2):1703-13.

4. Marzouni MB, Moradi M, Zarasvandi A, Akbaripour S, Hassanvand MS, Neisi A, et al. Health benefits of PM10 reduction in Iran. *Int J Biometeorol.* 2017:1-13.

5. Mohseni Bandpi A, Eslami A, Shahsavani A, Khodaghali F, Aliaghaei A, Alinejad A. Water-soluble and organic extracts of ambient PM2.5 in Tehran air: assessment of genotoxic effects on human lung epithelial cells (A549) by the Comet assay. *Toxicol Rev.* 2016;1:9.

6. Kermani M, Dowlati M, Jonidi Jafari A, Rezaei Kalantari R. Estimation of Mortality, Acute Myocardial Infarction and Chronic Obstructive Pulmonary Disease due to Exposure to O3, NO2, and SO2 in Ambient Air in Tehran. *J Mazandaran Uni Med Sci.* 2016;26(138):96-107.

7. Loomis D, Grosse Y, Lauby-Secretan B, El Ghissassi F, Bouvard V, Benbrahim-Tallaa L, et al. The carcinogenicity of outdoor air pollution. *Lancet Oncol.* 2013;14(13):1262.

8. Kermani M, Aghaei M, Gholami M, Asl F, Karimzadeh S, Jokandan S, et al. Estimation of mortality attributed to PM2.5 and CO exposure in eight industrialized cities of Iran during 2011. *Iran Occup Health.* 2016;13(4):49-61.

9. Lee BK, Hieu NT. Seasonal variation and sources of heavy metals in atmospheric aerosols in a residential area of Ulsan, Korea. *Aerosol Air*



one industrial urban city: Spatial variations, sources, and health implications. *J Environ Sci*. 2014;26(1):205-13.

21. Wang J, Hu Z, Chen Y, Chen Z, Xu S. Contamination characteristics and possible sources of PM₁₀ and PM_{2.5} in different functional areas of Shanghai, China. *Atmos Environ*. 2013;68:221-9.

22. Searal A, Crawford J. Review of health risks for workers in the waste and recycling industry. May; 2012.

23. Taner S, Pekey B, Pekey H. Fine particulate matter in the indoor air of barbeque restaurants: elemental compositions, sources and health risks. *Sci Total Environ*. 2013;454:79-87.

24. Domingo JL, Nadal M. Domestic waste composting facilities: a review of human health risks. *Environ Int*. 2009;35(2):382-9.

25. Huang CL, Bao LJ, Luo P, Wang ZY, Li SM, Zeng EY. Potential health risk for residents around a typical e-waste recycling zone via inhalation of size-fractionated particle-bound heavy metals. *J Hazard Mater*. 2016;317:449-56.

26. Zhai Y, Liu X, Chen H, Xu B, Zhu L, Li C, et al. Source identification and potential ecological risk assessment of heavy metals in PM_{2.5} from Changsha. *Sci Total Environ*. 2014;493:109-15.

27. Gao Y, Nelson E, Field M, Ding Q, Li H, Sherrell R, et al. Characterization of atmospheric trace elements on PM_{2.5} particulate matter over the New York–New Jersey harbor estuary. *Atmos Environ*. 2002;36(6):1077-86.

Assessment risk of heavy metals in particulate matter smaller than 10 microns on Tehran's Kahrizak Compost Complex workers in winter 2016

Majid Kermani¹, Mehdi Farzadkia², Roshanak Rezaei Kalantari³, Zohreh Bahmani*⁴

Received: 2017/06/11

Revised: 2017/10/04

Accepted: 2017/10/15

Abstract

Background and aims: Particles in the breathing air composting complex because of the diversity of waste, are carrying dangerous chemicals compound such as metals. The aim of this study was to determine the sources and health risk assessment of such metals.

Methods: In order to measure the particles, from OMNITM Ambient Air Sampler was used. Sampling in the months of February and March 2016 was performed in processing, aeration and filtration sites. For analysis of heavy metals and sources ICP1-AES and enrichment factor were used, respectively

Results: In this study the average concentration of PM₁₀ particles in processing, refinery and aerated site were 1291, 3557,143 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, respectively. The highest concentrations of metal in PM₁₀ particles of aluminum and iron were 73.07, 44.71 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ for refining site, respectively. In this study, the additional cancer risks of metals, in refining, processing and aeration was found to be higher than the limit set by the Environmental Protection Agency.

Conclusion: The results of this study showed that due to the lack of information in the field of measuring particle concentrations on composting and the effects of pollutants on those exposed substances, conducting study in different parts of the composting facility is necessary.

Keywords: Composting facilities, metals, Risk assessment, Particulate matter.

1. Research Center for Environmental Health Technology, Iran University of Medical Sciences, Tehran, Iran, & Associate Professor, Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Iran University of Medical Sciences, Tehran, Iran.

2. Professor, Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Iran University of Medical Sciences, Tehran, Iran.

3. Professor, Department of Environmental Health Engineering, School of Public Health, Iran University of Medical Sciences, Tehran, Iran.

4. (**Corresponding author**) MSc Student in Environmental Health Engineering, School of Public Health, Iran University of Medical Sciences, Tehran, Iran. mahtab.7071@yahoo.com