

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، روشنک رضایی کلانتری^۳، شهره 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 می‌باشد. 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 frm OMNITM Ambient Air Sampler ICP1-AES و برای منشأ یابی عناصر فلزی از فاکتور غنی‌سازی استفاده شد. به منظور اندازه‌گیری ذرات از سایت‌های پردازش، هوادهی و پالایش انجام شد. برای آنالیز فلزات سنگین از دستگاه ICP1-AES 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 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 ۴۴/۷۱ و ۷۳/۰۷ 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 آسیاده‌ها بر روی افراد مورد مواجهه، انجام مطالعات پاییشی بیشتر در بخش‌های مختلف مجتمع کمپوست امری ضروری می‌باشد.

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

مقدمه

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 به وسیله 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

عروقی و افزایش بروز بیماری‌ها مانند سرطان ریه، بیماری انسداد مزمن ریوی (COPD) (کمک کند [۵، ۶]). آژانس بین‌المللی تحقیقات سرطان (IARC) اخیراً ذرات موجود در هوای بیرون را به عنوان 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 و نیم میکرون معمولاً به عنوان پارامترهای پایش آلودگی هوا استفاده می‌شوند [۹، ۱۰]. اگرچه آثروس‌ل‌های حاوی ترکیبات فلزی بخش کوچکی از جرم PM₁₀ را تشکیل می‌دهد، اما افزایش غلظت و یا مواجهه طولانی مدت با آن‌ها

۱- مرکز تحقیقات تکنولوژی بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران، ایران، ایران.

۲- دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران، ایران.

۳- دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران، ایران.

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



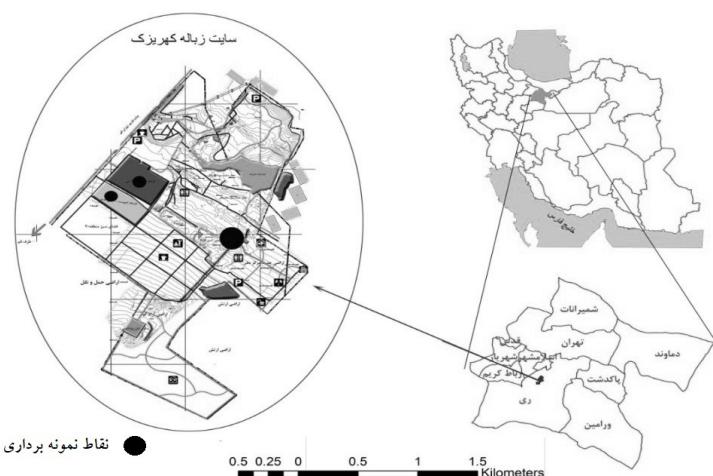
پسمند شهر تهران بوده است. همه روزه به طور متوسط بیش از ۷۰۰۰ تن پسمند وارد این مرکز می‌شود و همچنین بزرگ‌ترین سایت تخمیر کمپوست در خاورمیانه است. در این سایت بیش از ۱۵۰۰ نفر مشغول به کار می‌باشند و از آنجایی که تاکنون مطالعه‌ای در زمینه اندازه‌گیری ذرات معلق در سایت کمپوست کهیریزک با توجه به تعداد افراد 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- مقطوعی و نمونه‌برداری در سایت کهیریزک 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 پسمند شهری می‌باشد، استفاده شد(۱۸). نقاط نمونه‌برداری با توجه به سه مرحله اساسی کمپوست شامل مرحله پردازش اولیه که شامل سرنده، جداسازی و اختلاط می‌باشد (سایت پردازش)، مرحله هوادهی که در آن پشت‌های کمپوست هوادهی می‌شوند (سایت هواده) و مرحله پردازش نهایی که کمپوست رسیده شده با توجه به اندازه دانه‌ها سرنده می‌شوند (سایت پالایش).

نمونه‌برداری ذرات PM₁₀: به منظور 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 سایتو توکسیک 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، به عنوان 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 پسمند باشد، اما به‌هرحال نگرانی‌هایی در مورد اثرات نامطلوب آن وجود دارد. ذرات موجود در لنوفیل‌ها 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 مجتمع پردازش و دفن زباله مربوط به ذرات با قطر کمتر از ۱۰ میکرون و ذرات با قطر کمتر از دو نیم میکرون می‌باشد. فرآیندهای 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 بايوآنروسل‌ها از نگرانی‌های مرتبط با فرآیندهای 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 کهیریزک) در جنوب شهر کهیریزک 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 نمونهبرداری در سایت‌های پرازاش، هوادهی و پالایش

هضم و استخراج آن‌ها درون فریزر در دمای ۲۰°C درجه سلسیوس قرار می‌گرفتند. تعیین غلظت ذرات ۱۰ میکرون (PM₁₀): ابتدا فیلترهای PTFE با قطر ۴۷ میلی‌متر با ترازوی (model: Sartorius 2004 MP) وزن شده و بعد درون فیلتر هولدر دستگاه قرار گرفت. پس از ۸ ساعت نمونه‌برداری در فلوی ۵ لیتر بر دقیقه نمونه‌برداری 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).

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

PM_{10} = غلظت ذرات معلق با قطر آئرودینامیکی کوچک‌تر و مساوی ۱۰ میکرون ($\frac{\mu g}{m^3}$)
 W_f = وزن فیلتر در پایان نمونه‌برداری (gr)
 W_i = وزن فیلتر قبل از شروع نمونه‌برداری (gr)
 V = کل حجم هوای عبوری در طول مدت نمونه‌برداری
 بر حسب حجم هوای استاندارد (m^3)

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

بهمن و اسفند ۱۳۹۴، در روزهای شنبه و سه‌شنبه در سایت پرازاش یکشنبه و چهارشنبه در سایت پالایش 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. به طور کلی در این مطالعه در دوره نمونه‌برداری برای هر سایت ۱۴–۱۲ نمونه جمع‌آوری شد. به منظور اندازه‌گیری ذرات از دستگاه frm 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 نمونه‌برداری 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 ohm.cm) شسته و زیر هود با استفاده از جریان آرام هوا خشک گردید. فیلترهای حاوی ذرات بلا فاصله بعد از اتمام مدت زمان نمونه‌برداری درون پلیت‌هایی قرار می‌گرفتند. داخل این پلیت‌ها با فویل‌های آلومینیومی پوشانده شده بود که به مدت ۲ ساعت در دمای ۵۵°C درجه سلسیوس قرار گرفته بودند. پس از آن پلیت‌ها در کنار یخ به آزمایشگاه حمل شده و نمونه‌ها تا زمان



می‌رود. در واقع روشی از آنالیزهای چند متغیره آماری است که تعداد کمتری از عوامل را بنام مؤلفه‌های اصلی از میان عوامل اولیه گزینش می‌کند، به طوریکه تعدادی از اطلاعات کم اهمیت حذف می‌شوندکه مؤلفه‌ی اصلی اول بیشترین مقدار واریانس و مؤلفه‌ی اخر کمترین واریانس را شرح می‌دهند که در این صورت با حذف مؤلفه‌های اخر اطلاعات زیادی از دست نخواهد رفت. در این مطالعه با استفاده از این روش منابع احتمالی از آلاینده‌ها در کل مجتمع پردازش و دفع آرادکوه شناسایی شد. (۲۱)

ارزیابی خطر سلامت فلزات: در رابطه با مواد سلطان‌زا فرض بر این است که بین افزایش دوز یا مواجهه با غلظت آلاینده و افزایش خطر ابتلا به سلطان‌یک رابطه خطی وجود دارد. شبیح حاصله در این رابطه فاکتور شبیب (SF) و واحد آن بر اساس هر میلی‌گرم از ماده شیمیایی به ازای هر کیلوگرم وزن بدن در روز بیان می‌شود. به‌منظور بررسی خطرات استنشاق مواد سلطان‌زا، طبق پیشنهاد سازمان حفاظت محیط‌زیست آمریکا و دیگر سازمان‌های نظارتی، از فاکتور شبیب جهت توسعه فاکتور ریسک واحد (URF) استفاده می‌شود. فاکتور ریسک واحد مقدار سمیت مورد استفاده برای مواد سلطان‌زا است که خطر افزایش یافته ابتلا به سلطان را تخمین می‌زند و با غلظت مواد شیمیایی موجود در هوایی که استنشاق می‌گردد مرتبط است برای ارزیابی ریسک سلامت چهار مرحله انجام گردید اولین مرحله شامل شناسایی خطر به‌منظور تعیین تمام آلاینده‌هایی است که انتظار می‌رود به‌طور 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 انسان‌ها مشخص می‌گردد. سومین مرحله ارزیابی مواجهه و مقدار تماس است. معمولاً در ارزیابی‌های ریسک، اغلب مواجهه‌های فردی برای

اسیدهیدروفلوریک به آن اضافه و به مدت ۴ ساعت در دمای ۱۷۰ درجه سانتی‌گراد در داخل فور قرار گرفت، پس از سرد شدن، محلول به روی هیتر در دمای ۹۵ درجه سانتی‌گراد خشک و ۱ سی‌سی اسید نیتریک به آن افروده و سپس به‌وسیله آب مقطر دو بار تقطییرشده به حجم ۱۰ سی‌سی رسانیده می‌شود. 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 ICP1-AES مدل آرکوز ۲، ساخت کشور آلمان در آزمایشگاه آنالیز دستگاهی گروه زمین‌شناسی دانشگاه تهران تعیین گردید (۱۹).

تعیین منشاً فلزات با استفاده از فاکتور غنی‌شده: پس از اندازه‌گیری غلظت عناصر (فلزات) ذرات معلق هوای محیطی و به‌منظور بررسی و شناسایی منبع انتشار این ذرات از فاکتور غنی‌شده یا Enrichment factor value می‌توان استفاده نمود. مقادیر فاکتور غنی‌شده بیانگر میزان سهم منابع خاکی در انتشار ذرات معلق می‌باشد بدین منظور با استفاده از مقادیر رفرانس فاکتور غنی‌شده که توسط Taylor و همکارانش ارائه شده است و نیز با استفاده از مقادیر اندازه‌گیری شده غلظت عناصر موجود در ذرات، اعداد مربوط به فاکتور غنی‌شده 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 مؤلفه‌های اصلی: تکنیک آماری تجزیه و تحلیل مؤلفه‌های اصلی (PCA): روشی آماری است که غالباً برای بررسی گروهی از متغیرهای همبسته بکار

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 آزادکوه موربدرسی قرار گرفت. بهمنظور تعیین میزان سرطان اضافی، ابتدا مقادیر متوسط دوز دریافتی روزانه برای افرادی که در آنجا مشغول به کار بودند محاسبه گردید:

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 آزادکوه نیز در شکل نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود تغییرات دما و رطوبت کم است. در ساعت‌های 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 هواهی کمترین مقدار را دارد 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 آزادکوه موربدرسی قرار گرفت. بهمنظور تعیین میزان سرطان اضافی، ابتدا مقادیر متوسط دوز دریافتی روزانه برای افرادی که در آنجا مشغول به کار بودند محاسبه گردید:

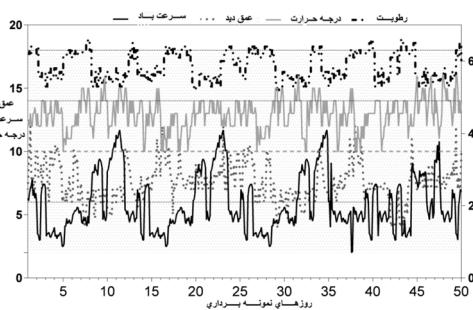
(۱)

$$EC_c(\mu\text{g}/\text{m}^3) = \frac{(CA \times ET \times EF \times ED \times BW)}{AT \times LT}$$

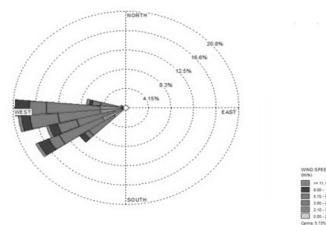
C: غلظت فلزات بر حسب میکروگرم بر مترمکعب، ET: مدت زمان مواجهه (که در این مطالعه ۸ ساعت در نظر گرفته شده است) EF: تعداد دفعات مواجهه (تعداد روزهای کاری که متوسط ۲۵۰ روز در سال در نظر گرفته می‌شود)، ED: طول مدت مواجهه با غلظت موردنظر (متوسط زمانی که فرد کار می‌کند ۲۵ سال در نظر گرفته می‌شود)، BW: مدت زمان سرطان‌زاویی بر حسب 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 آزادکوه



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

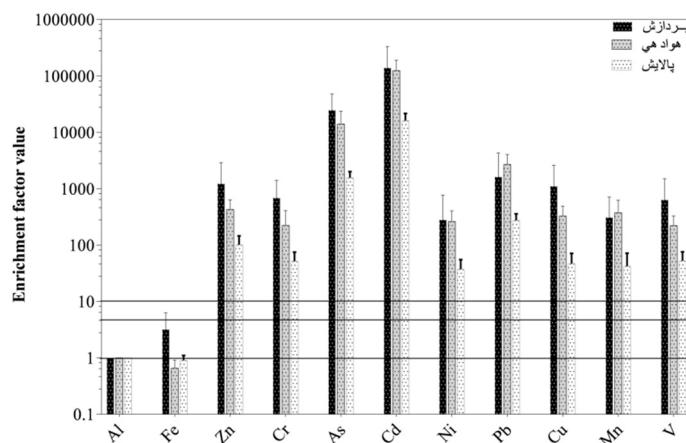
V	Mn	Cu	Pb	Ni	Cd	As	Cr	Zn	Fe	Al	PM10	
پردازش												
۱/۶۷	۱/۹۳	۲/۸۷	۱/۲۴	۱/۲۱	۱/۸۴	۳/۴۸	۲/۹۳	۵/۸۱	۱۲/۵۴	۲۲/۷۹	۱۲۹۱/۰۰	
۱/۱۶	۰/۹۱	۲/۲۶	۱/۱۸	۰/۹۱	۰/۹۲	۱/۲۲	۰/۹۱	۳/۰۱	۴/۴۳	۶/۹۳	۳۶۳/۰۰	
۰/۶۹	۰/۷۶	۱/۰۱	۰/۱۵	۰/۲۲	۰/۵۰	۱/۰۰	۱/۲۲	۲/۰۰	۵/۰۰	۹/۰۰	۸۱۶/۰۰	
۴/۸۱	۳/۶۲	۸/۷۳	۴/۰۰	۳۳/۳	۳/۷۰	۴/۹۲	۴/۵۵	۱۱/۲۸	۲۰/۲۰	۳۲/۰۰	۲۰۲۴/۰۰	
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	
۲/۷۴	۱/۸۲	۱/۴۲	۰/۸۵	۱/۲۱	۱/۵۲	۰/۹۴	۲/۰۴	۲/۹۸	۱۳/۹۰	۲۲/۴۶	۹۸۰/۰۰	
۱/۵۲	۱/۰۰	۰/۵۰	۰/۸۴	۱/۰۰	۱/۳۵	۰/۷۶	۰/۵۱	۱/۶۸	۲۲/۰۰	۳۸/۷۲	۱۵۱۵/۰۰	
۱۰/۰۰	۶/۰۰	۴/۷۱	۴/۰۴	۵/۰۰	۶/۰۰	۴/۰۰	۷/۰۰	۱۱/۹۵	۶۶/۰۰	۱۲۱/۰۰	۶۷۱۳/۰۰	
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	
۰/۳۳	۰/۲۵	۰/۳۶	۰/۲۱	۰/۳۲	۰/۳۶	۰/۳۶	۰/۲۵	۰/۳۷	۰/۳۹	۰/۹۴	۳۴/۰۰	
۰/۱۳	۰/۱۵	۰/۱۵	۰/۰۳	۰/۰۵	۰/۰۸	۰/۰۵	۰/۳۴	۰/۲۲	۱/۰۰	۲/۰۰	۱۰۰/۰۰	
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 سایتها مجتمع تولید کمپوست آزادکوه 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.

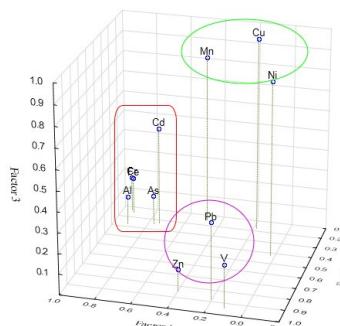
بحث و نتیجه‌گیری

در این مطالعه متوسط غلظت ذرات PM₁₀ در سایت

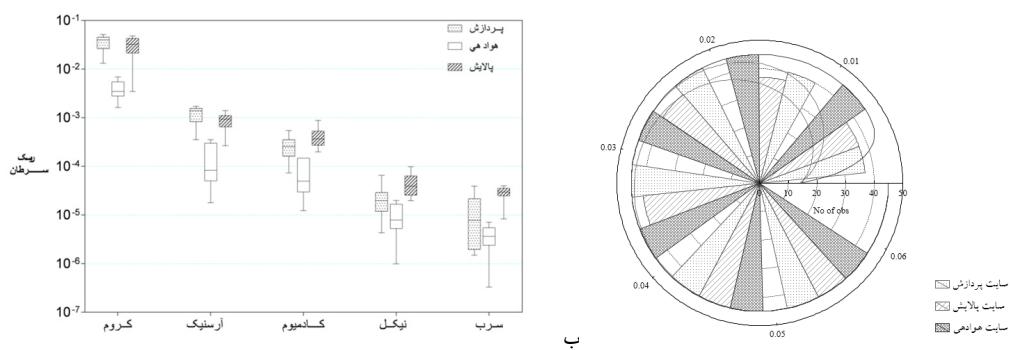
PM₁₀ مربوط به آلمینیم و آهن می‌باشد که به ترتیب ۱۲/۵۴ و ۲۲/۷۹ میکروگرم بر مترمکعب می‌باشد (جدول ۱). شکل ۳ مقادیر فاکتور غنی‌شده موجود در ذرات عناصر (فلزات) اندازه‌گیری شده موجود در سایت PM₁₀ هوای محیطی سایتها نمونه‌گیری را نشان می‌دهد. بر اساس نتایج به دست آمده از مقادیر فاکتور غنی‌سازی پیشتر عناصر اندازه‌گیری شده در سایتها نمونه‌برداری منشاً 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 رفرانس Taylor)



شکل ۴- نمودار تعیین تعداد منابع محتمل انتشار عناصر موجود در ذرات بر حسب مقادیر Eigenvalues در مجتمع پردازش ودفع آزادکوه
الف



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

هوادهی رطوبت بالایی دارند و هر روز آبپاشی شده و پراکندگی کمتری دارد و ذرات کمتری نسبت به واحدهای پردازش و پالایش تولید می‌کنند. 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 لنوفیل 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 تهווیه 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 خشک شده بعد از سرند شدن در ارتفاع ۴ متری و قرار گرفتن در فضای باز و پارامترهای جوی مانند باد، انتشار ذرات را به حد اکثر 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 PM_{10} نشان می‌دهد که آلومنینیم، آهن، کروم، آرسنیک و کادمیم بارگذاری بالایی را در مجموع $\% ۳۸$ منابع را نشان می‌دهد. آرسنیک، کروم و نیکل، سرب و روی از سوخت زباله‌سوز ها یافت می‌شوند. سرب علاوه بر منابع بالا در شیشه‌ها، لیوان‌های سرامیکی و سرامیک و کاشی به‌وفور یافت می‌شود. آلومنینیم به‌تهابی دال بر این است که خاک پوسته زمین منبع عمده آلومنینیم در ذرات و معلق ناحیه می‌باشد. در سایت پردازش وجود آلومنینیم و آهن احتمالاً از فلزات سایت ناشی می‌شود همچنین وجود آلومنینیم و آهن در گردخاک 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 26% را در برگرفته 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 اتمبیل‌ها و نیز احتراق نفت و روغن می‌باشند همچنین در سرب نیز یک مارکری برای وسایل نقلیه و همچنین در کاشی و سرامیک و وسایل الکترونیکی موجود است؛ و فاکتور سوم نیز با 26% که در آن نیکل، مس و منگنز بارگذاری بالایی دارند که در مطالعات این سه عامل انتشار سوخت‌های فسیلی را نشان می‌دهد به طور کلی دستگاه‌های سایتهاي پردازش و پالایش ماشینهای سنگین سایت بیش از 50 درصد آلودگی را در بر می‌گیرند که سوخت اصلی این موارد گازوییلی می‌باشد [۲۶]. گاوو در سال 2002 به منظور تعیین منابع انتشار ذرات و نیز سهم هر کدام از آن‌ها از آنالیز فاکتور استفاده نموده و فاکتورها یا منابع انتشار را در 3 گروه تقسیم‌بندی کرد. در گروه اول همه عناصر به جز آلومنینیم 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 آلومنینیم شامل فرایندهای صنایع فلزی می‌باشد. همچنین کمترین غلظت عناصر در ذرات PM_{10} به ترتیب برای منگنز و سرب با غلظت 0.078 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 PM_{10} منطقه صنعتی تبریز انجام داد آلومنینیوم با $45/9$ درصد و آهن با $11/6$ درصد بیشترین درصد عناصر را به خود اختصاص دادند [۳]. شکل ۳ مقادیر فاکتور غنی‌شده مربوط به عناصر(فلزات) اندازه‌گیری شده موجود در ذرات PM_{10} هوای محیطی سایتهاي نمونه‌گیری را نشان می‌دهد. در این آنالیز در صورتی که مقدار فاکتور غنی‌شده به عدد یک نزدیک شود، منشأ آلینده موردنظر پوسته زمین می‌باشد، در محدوده $1-5$ نشان‌دهنده تأثیر و سهم عمده فعالیت‌های انسانی در انتشار آلینده موردنظر در هوای محیطی منطقه می‌باشد. مقدار فاکتور غنی‌شده بزرگ‌تر از 5 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 سایتهاي نمونه‌برداری مجتمع‌کمپوست کهربایزک داشته‌اند ولی منابع طبیعی و پوسته‌ای زمین در انتشار عناصر آهن و آلومنینیوم برای هر سه سایت نمونه‌برداری نقش عمده‌ای ایفا می‌کند. فقط در سایت پردازش فعالیت‌های انسانی نقش اندکی در میزان انتشار آهن ایفا می‌کند. هوانگ (Huang) در سال 2016 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 1 بوده و این عنصر منشأ طبیعی و پوسته‌ای مانند تعليق ذرات داشته و در عوض عناصر مس، روی، سلنیوم، سرب، آرسنیک با مقادیر

سلطان فلزات سنگین موجود در ذرات در یک سایت بازیافت پسماند در چین انجام شد. نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد که مقادیر ارزیابی خطر سلطان برای فلزات کودکان به ترتیب $^{10-3} \times 10^{-3}$ و $^{10-3} \times 10^{-3}$ به دست آمد که این مقادیر از محدوده استاندارد ذکرشده توسط EPA که $^{10-4} - 10^{-6}$ ذکرشده بیشتر می‌باشد [۲۵].

در این مطالعه متوسط غلظت ذرات PM₁₀ به ترتیب در سایتهاي پالايش، پردازش و هوادهی 3557 ، 1291 ، 143 ميكروگرم بر مترمكعب به دست آمد. همچنین بالاترین غلظت عناصر در ذرات PM₁₀ مربوط به آلومینیم و آهن می‌باشد که به ترتیب $^{73} / 07$ و $^{44} / 71$ ميكروگرم بر مترمكعب برای سایت پالايش به دست آمد. در اين تحقيق بيشتر خطر سلطان اضافي فلزات به ترتیب در سایت پالايش، پردازش و هوادهی مشاهده شد و تمامي موارد ريسك سلطان از حد تعين شده توسط سازمان حفاظت محيطزيست بيشتر بود. نتایج حاصل از اين مطالعه نشان می‌دهد که با توجه به كمبود اطلاعات در زمينه اندازه‌گيری غلظت‌های ذرات در سایت كمپوست به منظور بررسی اثرات آلائيندها بر روی افراد مورد مواجهه، انجام مطالعات پايشي بيشتر در بخش‌های مختلف تسهيلات كمپوست امری ضروري 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 مجتمع‌كمپوست که‌ريزک تهران در زمستان 1394 ، مصوب دانشگاه علوم پزشكی و خدمات بهداشتی درمانی ايران در سال 1394 ، به کد 27592 می‌باشد که با حمایت معاونت پژوهشی دانشگاه علوم پزشكی ايران اجرا شده است. نويسنگان مقاله بر خود لازم می‌دانند از انستيتو آب و انرژي دانشگاه صنعتی شريف به خاطر همکاري و در اختيار گذاشتن دستگاه‌های نمونه‌برداری و از همکاري مسئولين مديريت پسماند

زباله سوزها (Sb، کادميوم، سرب، كروم و روی) و سوزاندن نفت (نيكل و واناديوم) و توليد فلزات غير آهنی (سرب) و در فاكتور دوم غلظت آهن و روی بالا بود. آهن اتمسفر عمولاً به عنوان عنصر پوسته زمينی مورداستفاده قرار می‌گيرد و وجود آن به همراه روی می‌تواند دليل بر انتشار از زباله سوزها و احتراق سوخت‌های فسيلى باشد. فاكتور سوم حضور آلومينيم به تههایي بود که ارتباط ضعيفی با ساير عناصر داشت و اين دال بر اين بود که خاک پوسته زمين منبع عمده آلومينيم در ذرات معلق اين ناحيه می‌باشد. گاوو به اين نتيجه رسيد که 31 درصد آلومينيم موجود در ذرات هوا از خاک‌های محلی ناشی می‌شود [۲۷].

شكل 5 هيستوگرام و ميزان خطر سلطان ناشی از مواجهه با فلزات سنگين در ذرات را در مجتمع پردازش و دفع آرادکوه نشان می‌دهد. در خصوص ميزان قابل قبول سلطان اضافي استاندارد مدوني وجود ندارد اما در اغلب موارد ميزان $^{10-4} - 10^{-6}$ که توسط سازمان حفاظت محيطزيست ایالت متحده پيشنهادشده است به عنوان پايه و اساس قرار می‌گيرد. با توجه به دوره نمونه برداري در اين مطالعه ميانگين 13 روز نمونه برای هر سه سایت پردازش، پالايش و هوادهی گرفته شد. كه مقادير خطر سلطان برای 5 فلز اندازه‌گيری شده به ترتیب $^{10-2} / 2 / 17 \times 10^{-3}$ و $^{10-3} / 2 / 27 \times 10^{-2}$ به دست آمد. مقادير خطر سلطان زاي برای فلزات نيكل و سرب در ذرات PM₁₀ در سایت پردازش و پالايش كمتر از حد استاندارد می‌باشند با ذكر اين نکته که نيكل در كلاس 1 و سرب در كلاس $2B$ فلزات سلطان را طبقه‌بندي می‌شوند و فلزات كروم، آرسنيك به ترتیب بيشترین خطر سلطان را دارا می‌باشند که هر سه در كلاس 1 فلزات سلطان را طبقه‌بندي می‌شوند. شكل 5 نمودار هيستوگرام تجمعی خطر سلطان فلزات در سایتهاي نمونه‌برداري در كل دوره نمونه‌برداري را نشان می‌دهد. كه مجموع خطر سلطان اضافي فلزات به ترتیب در سایت پالايش $^{10-5} / 0$ ، پردازش $^{10-4} / 0$ و هوادهی $^{10-4} / 0$ می‌باشد. در سال 2016 مطالعه‌های را در زمينه ارزیابي 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 Enviro Manag*. 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 Enviro Monitor*. 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 Managt Assoc*. 2001;51(3):352-60.

19.Naimabadi A, Ghadiri A, Idani E, Babaei AA, Alavi N, Shirmardi M, et al. Chemical composition of PM 10 and its in vitro toxicological impacts on lung cells during the Middle Eastern Dust (MED) storms in Ahvaz ,Iran. *Enviro 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 ودفع آزادکوه تشکر و
قدرتانی نمایند.

منابع

1. MohseniBandpi A, Eslami A, Shahsavani A, Khodagholi F, Alinejad A. Physicochemical characterization of ambient PM 2.5 in Tehran air and its potential cytotoxicity in human lung epithelial cells (A549). *Sci Total Enviro*. 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. *Enviro Sci Pollut Res*. 2016;23(2):1703-13.
- 4.Marzouni MB, Moradi M, Zaravandi A, Akbaripoor 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, Khodagholi 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. *Toxin 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 Enviro 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 PM2. 5 in different functional areas of Shanghai, China. *Atmosph Enviro.* 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 barbecue restaurants: elemental compositions, sources and health risks. *Sci Total Enviro.* 2013;454:79-87.

24.Domingo JL, Nadal M. Domestic waste composting facilities: a review of human health risks. *Enviro 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 Mat.* 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 Enviro.* 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. *Atmosph Enviro.* 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, fm 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 µg/m³, respectively. The highest concentrations of metal in PM₁₀ particles of aluminum and iron were 73.07, 44.71 µg/m³ 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