

## ارزیابی آلاینده‌ی ذرات غبار کف کارگاه‌های مکانیکی شهر یزد با فلزات سنگین

مرتضی صبوحی<sup>۱</sup>، حمیدرضا عظیم‌زاده<sup>۲</sup>، فرهاد نژاد کورکی<sup>۳</sup>، محمدصالح علی طالشی<sup>۳</sup>

### چکیده

**مقدمه:** حضور کارگاه‌های آلاینده محیط زیست خطرات بهداشتی را افزایش داده است. مطالعه حاضر با هدف ارزیابی آلاینده‌ی ذرات غبار کف کارگاه‌های مکانیکی شهر یزد با فلزات سنگین صورت گرفته است.

**روش‌ها:** این پژوهش به صورت تحلیلی-مقطعی در سال ۱۳۹۳ انجام شد. ۳۰ کارگاه مکانیکی با روش نمونه‌برداری تصادفی-طبقه‌بندی شده در شهر یزد انتخاب شد. پس از نمونه‌برداری، نمونه‌ها با دستگاه جذب اتمی (AAS) جهت تعیین فلزات سنگین اندازه‌گیری شد. از شاخص‌های خطر بالقوه زیست‌محیطی (RI)، آلودگی تجمعی (IPI)، ضریب آلودگی (CI) و درجه آلودگی اصلاح شده (mCd) و آزمون همبستگی پیرسون در نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۳، برای تحلیل نتایج استفاده شد.

**نتایج:** روند تغییرات میزان غلظت فلزات سنگین در ذرات غبار کف کارگاه‌های مکانیکی به صورت آهن < روی < مس < سرب < منگنز < کروم < کادمیوم بود. به طوری که میانگین غلظت فلز آهن در نمونه‌ها ۲۷۰۹۵ و میانگین غلظت فلز کادمیوم ۳۱ میلی‌گرم بر کیلوگرم بود. آزمون همبستگی پیرسون نیز نشان داد که بین عنصر منگنز با کروم، آهن و مس همبستگی معنی‌داری در سطح ۱ درصد وجود دارد. شاخص خطر بالقوه زیست‌محیطی نشان داد کارگاه‌های مکانیکی شهر یزد دارای درجه خطر قابل ملاحظه می‌باشند.

**بحث و نتیجه‌گیری:** یافته‌ها نشان داد که کارگاه‌های مکانیکی دارای آلودگی بسیار زیاد با عناصر کادمیوم، سرب و مس هستند که می‌تواند ناشی از ترکیب فلزات سنگین ضایعات کارگاه‌ها با گردوغبار باشد که منشأ انسان‌ساخت دارد.

**واژگان کلیدی:** کارگاه‌های مکانیکی، فلزات سنگین، ارزیابی، شاخص خطر بالقوه زیست‌محیطی، یزد

### مقدمه

گسترش روزافزون شهرها و رشد سریع شهرنشینی سبب ایجاد اثرات فراوان محیط‌زیستی در داخل و اطراف شهرها گردیده است (۱،۲). از مهم‌ترین اثرات، آلاینده‌هایی همچون فلزات سنگین می‌باشند که ورود آن‌ها به محیط شهری سبب بروز صدمات مختلفی شده است (۳). یکی از منابع ثابت انتشار آلودگی‌ها، کارگاه‌های صنعتی می‌باشند. کارگاه صنعتی مکان ثابتی است که در آن مجموعه‌ای از سرمایه و نیروی کار به منظور تولید یک یا چند

محصول صنعتی به کار گرفته می‌شود (۴). ایجاد آلودگی صوتی، تجمع مواد زائد، سد معبر، گره ترافیکی، پخش ذرات، بوی نامطبوع، ایجاد لرزش، وجود فاضلاب صنعتی، دود و آلودگی هوا از جمله مشکلاتی است که این صنایع و کارگاه‌های مزاحم به بار می‌آورند (۵). در برنامه محیط‌زیست سازمان ملل متحد در سال ۲۰۰۸، کاهش آثار محیط‌زیستی مؤسسات و بخش‌های اقتصادی از ویژگی‌های مشاغل سبز دانسته شده است (۶). در ایران نیز به دلیل حاد شدن مسائل محیطی و کالبدی شهرهای

۱- کارشناسی ارشد، گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و کوبرشناسی، دانشگاه یزد، یزد، ایران

۲- دانشیار، گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و کوبرشناسی، دانشگاه یزد، یزد، ایران

۳- دانشجوی دکتری، گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

نویسنده‌ی مسئول: مرتضی صبوحی

Email: Morteza\_Sabohi@yahoo.com

آدرس: یزد، دانشگاه یزد، دانشکده منابع طبیعی و کوبرشناسی تلفن: ۰۹۱۱۳۹۱۴۸۳۹ فاکس: ۰۳۵- ۱۸۲۱۰۳۱۲

(۱۱). کادمیوم نیز یکی از فلزات سنگین است که از نظر بیولوژیکی، عنصری غیرضروری است و با غلظت‌های کم در پوسته زمین وجود دارد. سمیت با کادمیوم، می‌تواند شش‌ها، کلیه‌ها، استخوان‌ها و سیستم‌های تولیدمثلی را تحت تأثیر قرار دهد (۱۲). از طرفی عنصر کمیاب روی عنصری ضروری بوده که منشأ اصلی آن خاک است. از جمله علائم مسمومیت با این فلز به صورت کاهش جذب اکسیژن و همچنین افزایش ضربان قلب است (۱۳). با توجه به آلودگی بالای کادمیوم در کارگران صنایع، به نظر می‌رسد لازم است نظارت در این گروه از طریق نظارت منظم دوره‌ای انجام شود و در صورت امکان تا آنجا که ممکن است در معرض کادمیوم غیرضروری قرار نگرفت (۱۴). فلز کروم نیز عنصری سمی به دو فرم ۳ و ۶ ظرفیتی است. فلز کروم به دلیل سختی بالا، مقاومت نسبت به خوردگی و سایش در صنایع مختلف کاربرد گسترده‌ای دارد. مسمومیت با کروم ۶ ظرفیتی ناشی از نکرور شدن کبد و التهاب کلیه است که مشابه با صدمات ناشی از مسمومیت مزمن با فلز مس است (۱۵، ۱۶). علاوه بر این ابتلا به انواع سرطان بخش‌های گوارش و حملات قلبی در اثر افزایش عنصر آهن در مطالعات مختلف بیان شده است (۱۷، ۱۸). لازم به ذکر است که به جزء سرب و کادمیوم، سایر عناصر به میزان محدود ضروری زندگی بوده‌اند که در مورد عنصر منگنز که بسیاری از آنزیم‌های بدن را فعال می‌کند نیز صادق است (۱۸). هدف اصلی این پژوهش ارزیابی آلاینده‌های ذرات غبار کف کارگاه‌های مکانیکی شهر یزد با فلزات سنگین است. با توجه اثرات بالقوه مطرح شده حاصل از مواجهه با فلزات سنگین در کارگاه‌های صنعتی از جنبه سلامتی و بهداشتی، ضروری است تا در این

کشور، ضرورت دخالت جدی‌تر در زمینه سامان‌دهی صنایع مطرح شد، به طوری که یکی از مهم‌ترین ابزارهای قانونی مدیریت شهری برای مداخله در نظارت بر فعالیت واحدهای تولیدی و خدماتی مستقر در شهر و سامان‌دهی آن‌ها، بند ۲۰ ماده ۵۵ قانون شهرداری (اصلاحات ۱۳۴۵) است که به موجب آن، اجازه جلوگیری از کلیه فعالیت‌های غیربهداشتی و مزاحم برای شهروندان، به شهرداری داده شده است (۷). از جمله صنایع مزاحم و آلاینده شهری، صنایع و کارگاه‌های مکانیکی می‌باشند. Ajiwe و Ogbuagu با بررسی آلودگی صنعتی در ایالت آنامبرا در نیجریه نشان دادند که برخی از کارگاه‌های صنعتی از جمله کارگاه‌های مکانیکی مواد زائد حاصل از تولیدات خود را بدون مدیریت روانه محیط‌زیست می‌نمایند (۸). Sezgin و همکاران به بررسی غلظت برخی فلزات سنگین در غبارهای خیابانی دو سمت بزرگراه‌های ترکیه پرداختند. نتایج این بررسی میانگین غلظت سرب و روی را در نمونه‌ها حدود ۹ تا ۱۱ برابر بیشتر از غلظت آن در خاک یافتند. این میزان در مورد مس و کادمیوم نیز دو برابر غلظت آن‌ها در خاک بود. این محققین منابع انتشار این فلزات را به صنایع خودروسازی و ترافیک خودروها ربط دادند (۹).

در بین فلزات سنگین امروزه اهمیت سرب از آن جهت مورد توجه است که در صنایع مختلف دارای کاربرد وسیعی است. مطابق پژوهش‌های موجود، شیوع آلودگی با سرب در جهان بین ۸ تا ۲۰ درصد متغیر است (۱۰). به نظر می‌رسد آلودگی با سرب در ایرانیان بالا بوده است و شاید بتوان آن را نتیجه مصرف متمادی بنزین سرب‌دار طی سال‌های گذشته، آلودگی مواد غذایی و مواجهه شغلی دانست

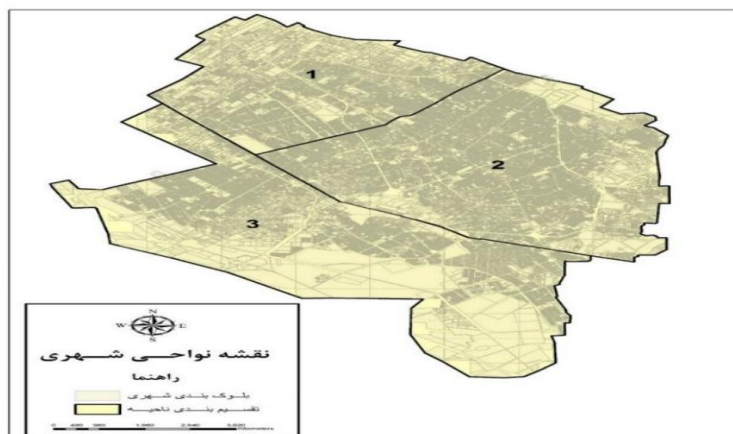
شاخص‌های  $RI$ ،  $mC_d$  و  $C_f$  استفاده شد. از نتایج این پژوهش می‌توان به‌منظور تعیین سطوح آلاینده‌گی در این کارگاه‌ها و تلاش در جهت بهبود محیط این مشاغل و پیشگیری از اثرات سوء آن بر انسان و محیط‌زیست شهری استفاده کرد.

### مواد و روش‌ها

مطالعه حاضر به‌صورت تحلیلی-مقطعی در فصل بهار سال ۱۳۹۳ در شهر یزد و در زمان فعالیت کارکنان در کارگاه‌های مکانیکی نمونه‌برداری صورت گرفت. بر اساس داده‌های آماری به‌دست‌آمده از اتاق اصناف شهر یزد تعداد کارگاه‌های مکانیکی شهر یزد دویست و هشتاد کارگاه بود. جهت انتخاب کارگاه‌ها از روش نمونه‌برداری تصادفی-طبقه‌بندی‌شده استفاده شد. بدین‌منظور ابتدا شهر یزد براساس خصوصیات جغرافیایی به سه بخش تقسیم‌شده و از هر بخش با توجه به تراکم کارگاه‌های موجود در آن بخش، در مجموع ۳۰ کارگاه مکانیکی انتخاب شد (شکل ۱).

مطالعه ضمن ارزیابی آلاینده‌گی ذرات غبار این کارگاه‌ها، بررسی میزان خطرات اکولوژیکی و زیست‌محیطی حاصل از این آلاینده‌ها نیز صورت گیرد. بی‌شک مواجهه طولانی‌مدت کارکنان این کارگاه‌های صنعتی با فلزات سنگین آلاینده بر آسیب به سلامت جامعه نیز اثرگذار است؛ لذا در این مطالعه به‌طور غیر مستقیم به آثار بلندمدت مواجهه با فلزات سنگین در سطح جامعه نیز پرداخته شده است. بی‌شک بهداشت و سلامتی جامعه ضامن پیشرفت و توسعه پایدار به‌خصوص در محیط صنعتی است. این ارزیابی جهت پایش وضعیت آلودگی این کارگاه‌ها در شهر یزد مفید بوده و سبب افزایش آگاهی‌های زیست‌محیطی نیز می‌گردد. از آنجایی که چنین پژوهشی در این شهر پیش از این گزارش نشده است، انتظار می‌رود که نتایج این مطالعه، اطلاعاتی پایه در مورد وضعیت آلودگی فلزات سنگین در این کارگاه‌ها ارائه دهد.

در این مطالعه جهت ارزیابی خطرات این آلاینده‌ها از



شکل ۱: بلوک‌بندی نواحی شهر یزد

یک نمونه غبار کف محیط داخلی برداشت شد. برای جمع‌آوری ذرات غبار کف از جاروبرقی دارای کیسه‌های یک‌بارمصرف استفاده شد، به طوری که کف

زمان نمونه‌برداری از کارگاه‌ها در ساعات کاری کارکنان کارگاه‌ها انتخاب شد. نمونه‌برداری از غبار کف محیط داخلی کارگاه‌ها انجام شد و از هر کارگاه

تابش با طول‌موج معین برای هر فلز قرار گرفت. میزان جذب این تابش توسط بخار اتمی اندازه‌گیری و ثبت گردید. برای ایجاد شعله در اندازه‌گیری فلزات از مخلوط گاز استیلن/هوا استفاده شد. غلظت هر عنصر در هر یک از نمونه‌ها توسط دستگاه سه بار سنجش شد و متوسط آن ثبت گردید. برای اندازه‌گیری ذرات معلق نیز از دستگاه غبارسنج محیطی پرتابل (Dust Track) مدل ۸۵۲۰ ساخت کمپانی (TSI) آمریکا استفاده گردید. در این مطالعه مقدار  $PM_{10}$  برحسب میکروگرم بر مترمکعب اندازه‌گیری شد. داده‌های به‌دست‌آمده با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۳ مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و نرمال بودن داده‌ها با آزمون کولموگروف-اسمیرنوف بررسی شد. در این پژوهش به منظور تعیین تعداد نمونه کافی، از فرمول کریز (۱۹۹۹) مطابق رابطه ۱ استفاده شد که مقدار  $t$  در  $t_{\alpha}^2$  معادل  $1/96$  در سطح معنی‌داری ۵ درصد با در نظر گرفتن درجه آزادی بی‌نهایت، CV ضریب تغییرات (۰/۱۹)،  $d$  نسبت صحت موردنیاز (۰/۱) و  $N_{sample}$  تعداد نمونه موردنیاز است (۲۰) که در اینجا حداقل تعداد ۱۳ نمونه محاسبه شد.

$$N_{sample} = \frac{t_{\alpha}^2 * CV^2}{d^2} \quad (1)$$

با توجه به نرمال بودن داده‌ها جهت تحلیل داده‌ها از آزمون آماری همبستگی پیرسون و شاخص‌های خطر بالقوه زیست‌محیطی (RI (Risk Index) ضریب آلودگی (Cf (Contamination factor) درجه آلودگی اصلاح‌شده (Modified Degree of Contamination)  $mC_d$  و شاخص آلودگی جمعیتی (Integrated Pollution Index) IPI استفاده شد.

کارگاه‌ها به طور کامل جاروب شد. نمونه هر کارگاه به‌صورت مجزا برداشت و به آزمایشگاه تجزیه عنصری و آلودگی دانشگاه یزد انتقال داده شد. برای هضم نمونه‌ها نیز از پروتکل آژانس حفاظت محیط‌زیست آمریکا استفاده شد (۱۹). در این پروتکل ابتدا نمونه‌های غبار از الک استیلی ۱۰۰ میکرون عبور داده شد، چون اکثر خصوصیات فیزیکی و شیمیایی در این اندازه ذرات غبار قابل شناسایی است. در گام دوم، نمونه‌ها را داخل آن گذاشته تا خشک شوند، در گام سوم ۰/۲ گرم از نمونه خشک به‌وسیله ترازوی AND ژاپن مدل HL-I با دقت ۰/۰۰۰۱ در بوته تفلونی توزین و به‌آرامی ۱۰ میلی‌لیتر مخلوط اسید  $HNO_3:HCL:HF$  به نسبت ۱:۳:۶ به نمونه اضافه شد و به مدت یک ساعت در دمای اتاق قرار داده شد. سپس درب نمونه بسته و به مدت ۶ ساعت در دمای ۱۲۰ درجه سانتی‌گراد بر روی Hot Plate مگنت مدل RCT BASIC قرار داده شد. ۲/۷ گرم اسید بوریک را در بالن حجمی ۵۰ میلی‌لیتری وزن کرده و مقداری آب دو بار تقطیر به آن اضافه شد تا با تکان حل شود. به علاوه نمونه‌ها خنک شد تا به دمای اتاق برسد و نمونه‌های هضم شده در ظروف شیشه‌ای به‌وسیله آب مقطر ۲ بار تقطیر، رقیق شده و به بالن حجمی حاوی اسید بوریک اضافه شد. در نهایت با آب دو بار تقطیر، نمونه‌ها به حجم ۵۰ میلی‌لیتر رسانده شد و به ظروف پلاستیکی منتقل شد. اندازه‌گیری غلظت فلزات سنگین موردبررسی در این مطالعه نیز توسط دستگاه جذب اتمی شعله‌ای مدل (Analyticjena-951) انجام شد. در روش جذب اتمی با شعله، نمونه‌ها به‌صورت محلول هضم شده به دستگاه تزریق گردید. محلول توسط شعله به بخار اتمی تبدیل شده و سپس توسط یک منبع در معرض

## شاخص خطر بالقوه زیست‌محیطی (RI)

$$RI = \sum_{i=1}^m Er_i \quad (4)$$

در رابطه (۲)،  $Cf_i$  معرف آلودگی به فلزات سنگین،  $Cn$  میزان غلظت فلز اندازه‌گیری شده در هر نمونه و  $Bn$  نشان‌دهنده میزان فلزات سنگین در خاک غیر آلوده است. در رابطه (۳)،  $Er_i$  نشان‌دهنده عامل خطر بالقوه زیست‌محیطی برای هر فلز،  $Tr$  نیز عامل واکنش سمی برای فلزات سنگین است که به پیشنهاد Hakanson برای سرب، کادمیوم، کروم، روی و مس به ترتیب: ۵، ۳۰، ۲، ۱ و ۵ در نظر گرفته شد (۲۱) و در رابطه (۴)،  $RI$  خطر بالقوه زیست‌محیطی طبقه‌بندی شاخص و درجه خطر بالقوه زیست‌محیطی در جدول ۱ نشان داده شده است.

برای ارزیابی وضعیت آلودگی فلزات سنگین در ذرات غبار کف کارگاه‌های مورد مطالعه و بررسی اثرات اکولوژیکی و زیست‌محیطی این فلزات، شاخص خطر بالقوه زیست‌محیطی (RI) محاسبه شد. این روش توسط Hakanson معرفی شده است (۲۱) و اخیراً در مطالعات مربوط به خاک و غبار بسیار مورد استفاده قرار گرفته است. این شاخص طبق رابطه‌های زیر محاسبه می‌شود:

$$Cf_i = \frac{Cn}{Bn} \quad (2)$$

$$Er_i = Tr^i \cdot Cf_i \quad (3)$$

جدول ۱: شاخص و درجه خطر بالقوه زیست‌محیطی آلودگی فلزات سنگین (۲۱)

شاخص $Er$	درجه خطر	شاخص $RI$	درجه خطر بالقوه
$Er < 40$	خطر کم	$RI < 150$	خطر کم
$40 \leq Er < 80$	خطر متوسط	$150 \leq RI < 300$	خطر متوسط
$80 \leq Er < 160$	خطر قابل ملاحظه	$300 \leq RI < 600$	خطر قابل ملاحظه
$160 \leq Er < 320$	خطر زیاد	$RI \geq 600$	خطر خیلی زیاد
$Er \geq 320$	خطر خیلی زیاد		

$$Cf = \frac{Ci}{Cn} \quad (5)$$

در این رابطه،  $Cf$  برابر با ضریب آلودگی،  $Ci$  غلظت فلز در نمونه مورد مطالعه و  $Cn$  غلظت همان فلز در ماده مرجع است. در جدول ۲ شدت آلودگی با فلزات سنگین از طریق ضریب آلودگی مشخص شده است.

ارزیابی ضریب آلودگی ( $Cf$ ) و درجه آلودگی اصلاح شده ( $mCd$ )

در این مطالعه جهت بیان وضعیت آلودگی محیط به یک فلز خاص از ضریب آلودگی مطابق رابطه ۵ استفاده شد (۲۱).

جدول ۲: تقسیم‌بندی شدت آلودگی با فلزات سنگین از طریق ضریب آلودگی

آلودگی بسیار زیاد	آلودگی زیاد	آلودگی متوسط	آلودگی کم	درجه آلودگی
$6 \leq Cf$	$3 \leq Cf < 6$	$1 \leq Cf < 3$	$Cf < 1$	مقادیر

مجموع ضرایب، آلودگی تمام فلزات به شرح زیر محاسبه شد (۲۱).

در رابطه (۶) نیز درجه آلودگی ( $Cd$ )، برای ارزیابی شدت آلودگی کلی محیط به کار برده شد و از

$$Cd = \sum_{i=1}^n Cf \quad (6)$$

آلاینده  $i$ ام،  $B_i$  غلظت پایه از منشاء سنگ مادری آلاینده و  $n$  تعداد آلاینده‌ها است (۲۳).

$$PI = \frac{C_i}{B_i} \quad (۸)$$

$$IPI = \left( \prod_{i=1}^n PI \right)^{\frac{1}{n}} \quad (۹)$$

در جدول ۳، درجه و طبقات آلودگی شاخص‌های IPI و  $mC_d$  برای فلزات سنگین ارائه شده است.

با توجه به محدودیت‌های رابطه درجه آلودگی، از رابطه درجه آلودگی اصلاح‌شده نیز به صورت رابطه (۷) استفاده گردید (۲۲).

$$mC_d = \frac{\sum_{i=1}^n C_i}{n} \quad (۷)$$

شاخص آلودگی تجمعی (IPI)

در رابطه ۸ و ۹، IPI شاخص آلودگی تجمعی، PI شاخص آلودگی مربوط به آلاینده  $i$ ام،  $C_i$  غلظت

جدول ۳: طبقه‌بندی شاخص‌های آلودگی IPI و  $mC_d$  برای فلزات سنگین (۲۱، ۲۲)

شاخص IPI	طبقه آلودگی	شاخص $mC_d$	درجه آلودگی
$IPI \leq 1$	کم	$mC_d < 1/5$	غیر آلوده تا کم
$1 < IPI \leq 2$	متوسط	$1/5 \leq mC_d < 2$	کم
$IPI \geq 2$	زیاد	$2 \leq mC_d < 4$	متوسط
شاخص PI	طبقه آلودگی	$4 \leq mC_d < 8$	زیاد
$PI \leq 1$	کم	$8 \leq mC_d < 16$	خیلی زیاد
$1 < PI \leq 3$	متوسط	$16 \leq mC_d < 32$	شدید
$PI \geq 3$	زیاد	$mC_d \geq 32$	بسیار شدید

### نتایج

داده‌های حاصل از سنجش غلظت عناصر سنگین در ذرات غبار کف کارگاه‌های مکانیکی در جدول ۴ نشان داده شد.

در این تحقیق آلاینده‌های فلزات سنگین کارگاه‌های مکانیکی مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور حد مجاز فلزات سنگین در خاک برای فلزات کادمیوم، سرب، کروم، روی، مس، منگنز و آهن به ترتیب ۳، ۱۰۰، ۱۰۰، ۳۰۰، ۵۰، ۳۳۰ و ۴۰۰۰۰ میلی‌گرم بر کیلوگرم در نظر گرفته شد (۲۴).

جدول ۴: اطلاعات توصیفی فلزات سنگین در کارگاه‌های مکانیکی شهر یزد

نرمالینه P-Value	$\mu \pm SD$	حداکثر (mg/kg)	حداقل (mg/kg)	تعداد نمونه	عنصر
۰/۹۹	۳۱/۰۷ ± ۶/۹۳	۴۲/۹۷	۱۱/۹۹	۳۰	کادمیوم
۰/۱۰	۸۷/۱۱ ± ۷۱/۵۹	۲۸۳/۰۴	۱۰/۰۶	۳۰	کروم
۰/۲۴	۹۹۴/۹۵ ± ۷۰۷/۲۰	۳۱۲۸/۵۰	۲۳۳/۱۱	۳۰	مس
۰/۴۰	۷۰۴/۰۶ ± ۱۹۵/۹۶	۱۴۴۶/۹۰	۴۵۸/۴۳	۳۰	منگنز
۰/۵۴	۸۲۶/۶۰ ± ۴۸۵/۵۲	۲۷۷۲/۶۵	۲۷۶/۸۴	۳۰	سرب
۰/۱۱	۱۴۱۲/۶۷ ± ۹۵۶/۳۶	۴۶۳۷/۱۱	۶۱۵/۹۷	۳۰	روی
۰/۹۴	۲۷۰۹۵/۲۹ ± ۳۹۹۷/۲۰	۳۴۹۸۷/۹۹	۱۷۹۲۰/۲۳	۳۰	آهن

همبستگی بین غلظت فلزات در ذرات غبار کف این کارگاه‌ها با استفاده از ضریب همبستگی پیرسون در جدول ۵ نشان داده شد. که در این جدول نتایج بررسی همبستگی بین فلزات در ذرات غبار کف نشان داد بین عنصر منگنز با کروم، آهن و مس همبستگی معنی‌داری در سطح ۱ درصد وجود دارد. همچنین بین عنصر کروم با مس و عنصر منگنز با روی نیز همبستگی معنی‌داری در سطح ۵ درصد مشاهده شد. در جدول ۶ نیز نتایج درجه خطر بالقوه زیست‌محیطی فلزات موجود در ذرات غبار کف کارگاه‌ها نشان داده شد.

نتایج بررسی‌ها از ۳۰ کارگاه مکانیکی نشان داد که حداقل میانگین غلظت فلزات در ذرات غبار کف این کارگاه‌ها مربوط به فلز کادمیوم و حداکثر میانگین غلظت فلزات مربوط به فلز آهن است. به طوری که روند تغییرات میزان غلظت فلزات سنگین در ذرات غبار کف کارگاه‌های مکانیکی به صورت آهن <روی> <مس> <سرب> <منگنز> <کروم> <کادمیوم> بود. همچنین میزان میانگین غلظت فلزات کادمیوم، سرب، مس، روی و منگنز اندازه‌گیری شده بیشتر از حد استاندارد آن در خاک بود. میانگین  $PM_{10}$  نیز معادل  $32/69 \pm$   $48/80$  میکروگرم بر مترمکعب به دست آمد. بررسی

جدول ۵: ضریب همبستگی پیرسون برای غلظت فلزات سنگین در ذرات غبار کف کارگاه‌های مکانیکی شهر یزد

عنصر	مس	روی	آهن	منگنز	کروم	سرب	کادمیوم
کادمیوم							۱
سرب						۱	۰/۰۵۷ P=۰/۷۴۴
کروم					۱	۰/۱۴۷ P=۰/۴۷۸	۰/۲۲۴ P=۰/۲۹۳
منگنز				۱	۰/۵۵۸** P=۰/۰۰۱	۰/۰۶۲ P=۰/۷۴۷	۰/۱۰۱ P=۰/۶۰۷
آهن			۱	۰/۴۷۴** p=۰/۰۰۹	۰/۰۲۹ P=۰/۷۵۵	-۰/۰۷۰ P=۰/۶۹۴	۰/۲۳۶ P=۰/۲۵۶
روی		۱	۰/۱۹۴ P=۰/۳۴۸	۰/۴۴۸* P=۰/۰۱۳	۰/۳۸۲ P=۰/۰۵۹	۰/۰۵۱ P=۰/۷۹۲	۰/۰۸۹ P=۰/۶۲۱
مس	۱	۰/۳۰۹ P=۰/۰۸۷	۰/۲۳۷ P=۰/۲۵۸	۰/۴۹۳** P=۰/۰۰۶	۰/۴۴۷* P=۰/۰۲۳	۰/۲۵۳ P=۰/۱۷۱	-۰/۱۵۴ P=۰/۴۷۶

\* اختلاف معنی‌دار در سطح ۵ درصد

\*\* اختلاف معنی‌دار در سطح ۱ درصد

جدول ۶: شاخص خطر بالقوه محیط زیستی در کارگاه‌های مکانیکی

شاخص	مقدار (فاقد واحد)	درجه خطر
کادمیوم	۳۱۰/۶۹	زیاد
سرب	۴۱/۳۳	متوسط
کروم	۱/۷۴	کم
روی	۴/۷۱	کم
مس	۹۹/۴۹	قابل ملاحظه
شاخص RI	۴۵۷/۹۷	قابل ملاحظه

(۴۵۷/۹۷) است. همچنین میزان شاخص (IPI) در این پژوهش ۳/۷۳ حاصل شد که نشان‌دهنده این است کارگاه‌های مکانیکی در کلاس آلودگی زیاد قرار دارند. علاوه بر این میزان شاخص (mCd) در کارگاه‌های مکانیکی معادل ۶/۷۰ حاصل شد که نشان‌دهنده این است این کارگاه‌ها در کلاس آلودگی زیاد قرار دارند. میزان شدت آلودگی هر فلز با توجه به ضریب آلودگی (Cf) نیز در جدول ۷ نشان داده شد.

با توجه به جدول ۶، ذرات غبار کف کارگاه‌های مکانیکی از نظر فلزات سنگین کادمیوم درجه خطر زیاد داشته و سهم خطر بالقوه زیست‌محیطی هر یک از فلزات سنگین در کارگاه‌های مکانیکی به ترتیب (۶۷/۸۴) کادمیوم < (۲۱/۷۲) مس < (۹/۰۲) سرب < (۱/۰۲) روی < (۰/۳۸) کروم است. همچنین نتایج شاخص خطر بالقوه زیست‌محیطی نشان داد که خطر کلی فلزات سنگین ذرات غبار کف کارگاه‌های مکانیکی در محدوده درجه خطر قابل ملاحظه

جدول ۷: شدت آلودگی فلزات با ضریب آلودگی (Cf)

عنصر	کادمیوم	سرب	کروم	آهن	روی	مس	منگنز
مقادیر (فاقد واحد)	۱۰/۳۵	۸/۲۶	۰/۸۷	۰/۶۷	۴/۷	۱۹/۸۹	۲/۱۳
درجه آلودگی	بسیار زیاد	بسیار زیاد	کم	کم	زیاد	بسیار زیاد	متوسط

با توجه به نتایج محاسبه ضریب (Cf)، مشخص گردید که ذرات غبار کف کارگاه‌های مکانیکی تنها از نظر فلز سنگین آهن دارای آلودگی کم بوده است، به عبارتی بیشتر بودن غلظت فلز آهن در این کارگاه‌ها به طور یقین به معنای آلاینده‌گی بالای آن فلز نیست. این جدول همچنین نشان می‌دهد که سایر فلزات دارای آلودگی بالاتر از حدود متوسط بوده‌اند، به‌طوری که در مورد فلزات کادمیوم، سرب و مس آلودگی بسیار زیادی وجود دارد، هر چند غلظت فلز کادمیوم پایین‌تر از غلظت همه فلزات است.

با توجه به نتایج محاسبه ضریب (Cf)، مشخص گردید که ذرات غبار کف کارگاه‌های مکانیکی تنها از نظر فلز سنگین آهن دارای آلودگی کم بوده است، به عبارتی بیشتر بودن غلظت فلز آهن در این کارگاه‌ها به طور یقین به معنای آلاینده‌گی بالای آن فلز نیست. این جدول همچنین نشان می‌دهد که سایر فلزات دارای آلودگی بالاتر از حدود متوسط بوده‌اند، به‌طوری که در مورد فلزات کادمیوم، سرب و مس آلودگی بسیار زیادی وجود دارد، هر چند غلظت فلز کادمیوم پایین‌تر از غلظت همه فلزات است.

با توجه به نتایج محاسبه ضریب (Cf)، مشخص گردید که ذرات غبار کف کارگاه‌های مکانیکی تنها از نظر فلز سنگین آهن دارای آلودگی کم بوده است، به عبارتی بیشتر بودن غلظت فلز آهن در این کارگاه‌ها به طور یقین به معنای آلاینده‌گی بالای آن فلز نیست. این جدول همچنین نشان می‌دهد که سایر فلزات دارای آلودگی بالاتر از حدود متوسط بوده‌اند، به‌طوری که در مورد فلزات کادمیوم، سرب و مس آلودگی بسیار زیادی وجود دارد، هر چند غلظت فلز کادمیوم پایین‌تر از غلظت همه فلزات است.

### بحث

بررسی غلظت فلزات سنگین در ذرات غبار کف کارگاه‌های مکانیکی غلظت زیاد فلزات کادمیوم، سرب، مس، روی و منگنز را نسبت به غلظت مجاز این فلزات در پوسته زمین نشان داد. این در حالی بود که در این کارگاه‌ها غلظت عناصر آهن و کروم در حد استاندارد بود. این نتیجه در راستای نتیجه مطالعه



کف صنایع از شاخص‌های پرکاربرد و قابل اعتمادی همچون شاخص آلودگی جمعی، درجه آلودگی اصلاح‌شده و شاخص خطر بالقوه زیست‌محیطی استفاده شد.

ازلحاظ شاخص آلودگی جمعی فلزات سنگین، کارگاه‌های مکانیکی در کلاس آلودگی زیاد و از نظر شاخص درجه آلودگی اصلاح شده هم، کارگاه‌های مکانیکی مورد مطالعه در کلاس آلودگی زیاد قرار داشت. همچنین در کارگاه‌های مورد مطالعه در مطالعه حاضر بیشترین بار آلودگی به ترتیب مربوط به مس، کادمیوم، سرب، روی، منگنز، کروم و آهن بود. طیف تغییرات غلظت فلزات سنگین در این تحقیق به صورت آهن < روی < مس < سرب < منگنز < کروم < کادمیوم نشان داده شد. در این رابطه، تحلیل فلزات سنگین موجود در ذرات غبار شهری در ایالت آداماوا در نیجریه نشان داد که از ۴ منطقه (مناطق مسکونی، بزرگراه‌ها، مناطق خرید، پارک‌های موتوری و کارگاه‌های مکانیکی)، بیشترین غلظت فلزات در ذرات غبار موجود در کارگاه‌های مکانیکی است که طیف تغییرات فلزات در کارگاه‌ها به صورت آهن < روی < سرب < مس < کادمیوم بود (۳۱) که مشابه نتایج این پژوهش است. ارزیابی آلودگی فلز سنگین در خاک‌های سطحی منطقه‌ای با سه دهه فعالیت شهرنشینی و صنعتی شدید توسط Hu و همکاران روند کاهش سطح آلودگی را به صورت زیر نشان داد: مناطق شهری < سایت‌های تصفیه و دفع مواد زائد ~ مناطق صنعتی < زمین‌های کشاورزی ~ زمین‌های جنگلی < مناطق حافظت‌شده منبع آب. نتایج این مطالعه نیز نیاز به توسعه استراتژی‌های پیشگیری از آلودگی و کاستن از آلودگی فلز سنگین را برای مناطق دستخوش فعالیت‌های شدید صنعتی و شهری نشان می‌دهد (۳۲) که لزوم تأمل در این مسئله

شهرهایی در کشور نیجریه انجام شده بود در رابطه با دو عنصر سرب و کروم هماهنگ بود (۳). همچنین غلظت بالای فلز آهن در این کارگاه‌ها با برخی فلزات ارتباط مستقیم معنی‌دار داشت. این موضوع نشانگر منشأ مشترک این فلز با سایر فلزات است.

پژوهش حاضر نشان داد که غلظت فلزات سنگین با توجه به منابع آلاینده در هر منطقه متفاوت است و غلظت این فلزات در کارگاه‌های مکانیکی در مقایسه با میانگین غلظت در خاک‌های منطقه به مراتب بالاتر است، همچنان‌که محمودی و خادمی در پژوهشی غلظت عناصر کروم، منگنز، کبالت، نیکل، مس، کادمیوم، روی و سرب را در گردوغبار اتمسفری اصفهان و برخی شهرهای مجاور سنجیده و به نتایجی مشابه با این پژوهش دست‌یافتند (۲۸). علاوه بر این Guan و همکاران به ارزیابی فلزات سنگین و تخصیص جهت مناطق صنعتی و معدنی پرداخته و به این نتیجه رسیدند که احتراق سوخت‌های فسیلی و انتشارات از فعالیت‌های صنعتی و معدنی منابع اصلی آلودگی در منطقه مورد مطالعه است که نتیجه مطالعه حاضر و نقش مؤثر صنایع در آلودگی محیط‌زیست را تأیید می‌نماید (۲۹). بدون شک تماس شغلی با فلزات سنگین در این کارگاه‌ها تهدیدی بر بهداشت و ایمنی شغلی است. در این رابطه پژوهش Romero-Zarazua و همکاران از تماس شغلی با فلزات سنگین در کارخانه‌های تولیدی قطعات فلزی و مکانیکی در پوبلا در کشور مکزیک نشان دادند که میانگین غلظت کروم و سرب از حدود توصیه‌شده توسط سازمان بهداشت و ایمنی شغلی متجاوز است (۳۰) که همسو با مطالعه حاضر و لزوم توجه به سیستم‌های صنعتی کنترل غبار و ذرات آبروسل جهت اجتناب از تنفس هوای آلوده را تأکید می‌نماید. در مطالعه حاضر جهت سنجش آلودگی ذرات غبار

در پژوهش حاضر نیز براساس نتایج حاصل تأکید گردید. پژوهشی که توسط دست‌گشاده و همکاران انجام شد، مقادیر فاکتور آلودگی را برای میانگین غلظت عناصر در جاده‌های کرج برای عناصر منگنز، کروم و نیکل آلودگی کم تا متوسط و عناصر مس، روی و سرب آلودگی زیاد تا بسیار زیاد نشان داد (۳۳). این نتیجه نیز همسو با مطالعه حاضر است و نشان‌دهنده این مسئله است که خطرهای بهداشتی و سلامتی تماس، استنشاق و بلع احتمالی ذرات ریز این غبارها در این کارگاه‌ها به شدت زیاد است و مطالعات تفصیلی بیشتری در مورد آثار و خطرات ناشی از این موضوع در صنایع موردنیاز است. همچنان که منبع انسانی و طبیعی آلودگی فلزات سنگین در نمونه‌های خاک یک مجموعه صنعتی به صورت موردی در شهر اهواز و به طور مشابه در شنیانگ چین مورد بررسی قرار گرفت و نتایج حاکی از نقش صنایع در آلودگی‌های خاک به عناصر سنگین بود (۳۴،۳۵). لازم به ذکر است رهاسازی فلزات طی عملیات‌های مختلف مکانیکی همچون نشت مایعات از اجزای لباس، روغن‌های موتور و خوردگی فلزات به میزان زیادی در آلودگی خاک سهیم است. سرب، کادمیوم، مس و روی آلاینده‌های فلزی عمده کارگاه‌های مکانیکی شناخته شده‌اند که از احتراق سوخت، فرسایش لاستیک‌ها، نشت روغن‌ها و خوردگی باتری‌ها و قطعات فلزی همچون رادیاتورها رهاسازی شده‌اند (۳۶). نتایج مطالعه حاضر نیز همسو و تأییدکننده این مسئله می‌باشد.

همچنین ارزیابی آلودگی فلزات سنگین خاک‌های اطراف برخی کارگاه‌های مکانیکی در Oyo در جنوب غربی نیجریه با شاخص‌های آلودگی نیز نشان داد که دو عنصر سرب و روی فلزات اصلی ایجادکننده آلودگی هستند و سطوح بالای آلودگی با این

دو عنصر در این کارگاه‌ها اثرات محتمل بهداشتی و محیطی دارد (۳۷) که همسو با این مطالعه است. تحلیل شرایط آلودگی خاک در محوطه پارک خودرو و کارگاه‌های مکانیکی شهر شاشمن کشور اتیوپی با تأکید بر مدیریت پسماند خطرناک در مطالعه‌ای صورت گرفت و یافته‌ها نشان داد که شاخص‌های آلودگی برخی فلزات سنگین همچون سرب، کروم، نیکل، کادمیوم و کبالت بالاتر از استانداردهای جهانی است (۳۸). محققین در این مطالعه به لزوم عمل پاک‌سازی ضروری جهت احیاء اشاره نمودند که در مطالعه حاضر نیز به پیشنهاد چنین عملی در قالب پایش منظم محیط کارگاهی تأکید می‌گردد. آلودگی فلزات سنگین در خاک‌های مجاور صنایع فولاد کرمان در قالب ارزیابی غنای فلزی و درجه آلودگی در مطالعه‌ای بررسی شد. یافته‌های محققین نشان داد که غلظت سرب و کادمیوم بیشتر تحت تأثیر مجتمع‌های فولاد بوده و غلظت سایر عناصر تحت تأثیر منابع طبیعی و انسانی است (۳۹) که یافته‌های مطالعات حاضر نیز همسو با نتایج این پژوهش است. این ارزیابی راه‌کارها و پیشنهاد‌های مناسبی را جهت مدیریت جامع آلاینده‌ها فراهم می‌نماید. به طوری که پیشنهاد می‌شود صنایع مکانیکی در مناطق مسکونی مستقر نشوند و انتقال صنایع مکانیکی به حاشیه شهر و مکان‌یابی صحیح و ملزم نمودن این صنایع به داشتن طرح‌های محیط‌زیستی صورت گیرد. همچنین جهت جلوگیری از تجمع گرد و غبار و تهدید سلامت شاغلین این کارگاه‌ها به‌سازی کف کارگاه‌های مکانیکی ضروری می‌باشد.

### نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که استفاده از شاخص‌های آلودگی تجمعی، درجه آلودگی

مطالعات آینده سنجش سایر آلودگی‌های ناشی از هر یک از فعالیت‌های صنعتی و کارگاهی در منابع آب، خاک، هوا و محیط بیرونی انجام شود.

### تشکر و قدردانی

این مقاله حاصل فعالیت پژوهشی حاصل از پایان‌نامه در مقطع کارشناسی ارشد مصوب سال ۱۳۹۲ است که با حمایت دانشگاه یزد اجرا شده است.

### References

1. Wang LK, Hung Y-T, Shammas NK, Chen JP. Heavy metals in the Environment. 1th ed. US: CRC Press; 2017.
2. Odoh R, Agbaji EB, Kagbu JA. Assessment of trace metals pollution in auto-mechanic workshop in some selected local government area of Benue state, Nigeria. *International Journal of Chemistry* 2011; 3(4): 78-88.
3. Okoro AC, Chukwuma GO, Chukwuma EC, Nwachukwu PC, Ezech KA. Investigating the effects of selected heavy metals on topsoil at the vicinities of two automobile mechanic Villages, Owerri Municipal, Nigeria. *The International Journal of Engineering and Science* 2013; 2(4):19-26.
4. Norman L. Difinition of industrial workplace; 2008 [cited 2015 Jun 30]. Available from: <http://smallbusiness.chron.com/definition-industrial-workplace-10039.html>
5. Hassanpour M, Jafari B, Nematollahi, M, Ahmadi M. Urban unit management model for organizing disturbing urban occupations. 1st National Conference on Urban Planning, Urban Management and Sustainable Development; 2015 Feb 26; Tehran: Payam Noor University; 2015. Persian
6. Moharram Nejad N, Kachar H. Study of situation of pollutant and annoyer enterprises for Tehran district no 11 and presentation of managerial methods. *Journal of Science and Technology* 2003; 5(1): 33-46. Persian.
7. Najafi Khoshroodi M, Shateri Amiri A. Organizing and locating the optimal industries and services of disturbing workshop in urban (Case study: Babol city). *International Conference on Geography, Urban Planning and Sustainable Development*; 2015 Feb 26; Tehran: Payam Noor University; 2015. Persian
8. Ogbuagu JO, Ajiwe VI. Industrial pollution survey in Anambra State, Nigeria. *Bull Environ Contam Toxicol* 1998;61(2):269-75.

اصلاح‌شده و خطر بالقوه زیست‌محیطی می‌تواند ارزیابی قابل قبولی از وضعیت احتمالی آلودگی ذرات غبار کف صنایع به فلزات را ارائه نماید. نتایج شاخص شدت آلودگی محاسبه‌شده در این مطالعه بالاترین شدت آلودگی را به عناصر کادمیوم، سرب و مس نسبت داده است. نتایج سنجش غلظت فلزات سنگین در ذرات غبار کف با شاخص‌های یاد شده، لزوم ارزیابی جامع آلاینده‌های سایر صنایع مزاحم در کل کشور را نشان می‌دهد، لذا توصیه می‌شود در

9. Sezgin N, Ozcan HK, Demir G, Nemlioglu S, Bayat C. Determination of heavy metal concentrations in street dusts in Istanbul E-5 highway. *Environ Int* 2004;29(7):979-85. 2004;29(7):979-85.
10. Torkian A. Air pollution control engineering. 3th ed. Tehran: Sharif University; 2001. Persian
11. Golpayegani A, Khanjani N. Occupational and environmental exposure to lead in Iran: a systematic review. *J Health Dev* 2012; 1(1):74-89. Persian
12. Khan S, Khan MA, Rehman S. Lead and Cadmium Contamination of Different Roadside Soils and Plants in Peshawar City, Pakistan. *Pedosphere* 2011;21(3):351-7.
13. Sparks RE, Cairns J, Heath AG. The use of bluegill breathing rates to detect zinc. *Water Research* 1972;6(8):895-911.
14. Tavakkoli L, Khanjani N. Environmental and occupational exposure to cadmium in Iran: a systematic review. *Rev Environ Health*. 2016;31(4):457-463.
15. Corradi MG, Gorbi G. Chromium toxicity on two linked trophic levels. II. Morphophysiological effects on *Scenedesmus acutus*. *Ecotoxicol Environ Saf* 1993;25(1):72-8.
16. Alloway B, Centeno J, Finkelman R, Fuge R, Lindh U, Smedley P, et al. *Essentials of Medical Geology*. 2th ed. New York: Academic Press; 2005.
17. Zhang C, Qiao Q, Piper JDA, Huang B. Assessment of heavy metal pollution from a Fe-smelting plant in urban river sediments using environmental magnetic and geochemical methods. *Environmental Pollution* 2011;159(10):3057-70.
18. Dabiri M. *Environmental Pollution (air, water, soil, noise)*. 8th ed. Tehran: Etehad; 2014: Persian
19. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Pollution Control Federation, Greenberg AE, Clesceri LS, Eaton AD. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 21th ed. New York: APHA; 2005.

20. Zare Chahooki MA, Bihamta MR. Principal of statistics for the natural resources science. 1th ed. Tehran: Tehran University Publication; 2011. Persian.
21. Hakanson L. An ecological risk index for aquatic pollution control. a sedimentological approach. *Water Research* 1980;14(8):975-1001.
22. Abraham GM. Holocene sediments of Tamaki Estuary: characterisation and impact of recent human activity on an urban estuary in Auckland, New Zealand [dissertation]. New Zealand: The University of Auckland; 2005.
23. Kabata-Pendias A, Pendias H. Trace Elements in Soils and Plants. 3th ed. USA: CRC Press LLC; 2001.
24. Ipeaiyeda AR, Dawodu M. Heavy metals contamination of topsoil and dispersion in the vicinities of reclaimed auto-repair workshops in Iwo, Nigeria. *Bull Chem Soc Ethiop* 2008; 22(3): 339-48.
25. Salmanzadeh M, Saeedi M, Nabi Bidhendi G. Heavy metals pollution in street dusts of Tehran and their ecological risk assessment. *Journal of Environmental Studies* 2012;38(1):9-18.
26. Ahmed F, Ishiga H. Trace metal concentrations in street dusts of Dhaka city, Bangladesh. *Atmospheric Environment* 2006;40(21):3835-44.
27. Yang Z, Ge H, Lu W, Long Y. Assessment of Heavy metals contamination in near-surface dust. *Pol J Environ Stud* 2015; 24(4):1817-29.
28. Mahmoodi Z, Khademi H. Concentration of Selected Heavy Metals in Atmospheric Dust of Isfahan and Neighboring Metropolitan Areas. *Journal of Water and Soil Science* 2014; 18 (67):243-55. Persian
29. Guan Y, Shao C, Ju M. Heavy metal contamination assessment and partition for industrial and mining gathering areas. *I Int J Environ Res Public Health* 2014;11(7):7286-303.
30. Romero-Zarazua Maria F, Sanchez-Salas Jose L, Quiroz-Alfaro Marco A, Bandala Erick R, Méndez-Rojas Miguel A. Occupational exposure to heavy metals in a metal-mechanical auto part manufacturing plant in Puebla, Mexico. *Int J Env Health Eng* 2015; 4(1): 1-6.
31. Shinggu D, Ogugbuaja V, Barminas J, Toma I. Analysis of street dust for heavy metal pollutants in Mubi, Adamawa State, Nigeria. *International Journal of Physical Sciences* 2007;2(11):290-3.
32. Hu Y, Liu X, Bai J, Shih K, Zeng EY, Cheng H. Assessing heavy metal pollution in the surface soils of a region that had undergone three decades of intense industrialization and urbanization. *Environ Sci Pollut Res Int* 2013;20(9):6150-9.
33. Dastgoshadeh F, Tooni OR, Moghadam Sheikhjan S, Taghinejad G, Hemmatian N, Hatami R. contamination assessment of heavy metals in dust of selected roads in Karaj, Iran. *Journal of Mohitshenasi* 2014; 40(2): 331-44. Persian.
34. Jiao X, Teng Y, Zhan Y, Wu J, Lin X. Soil heavy metal pollution and risk assessment in Shenyang industrial district, Northeast China. *PLoS One*. 2015;10(5):e0127736.
35. Mohammadi Roozbahani M, Sobhan Ardakani S, Karimi H, Sorooshnia R. Natural and Anthropogenic Source of Heavy Metals Pollution in the Soil Samples of an Industrial Complex a Case Study. *Iranian Journal of Toxicology* 2015; 9 (29):1336-41. Persian.
36. Dolan LM, Bohemen H, Whelan P, Akbar KF, O'malley V, O'leary P. et al. Towards the sustainable development of modern road ecosystems. In: Davenport J, Davenport JL, editors. *The Ecology of Transportation: Managing Mobility for the Environment*. Dordrecht: Springer Netherlands; 2006. p. 275-331.
37. Isibor RA. Assessment of trace metals contamination of soils around some automobile mechanic workshops in Oyo South-Western Nigeria. *Global Journal of Pure and Applied Sciences* 2016; 22 (1): 101-14.
38. Demie G. Analyzing soil contamination status in garage and auto mechanical workshops of Shashemane City: implication for hazardous waste management. *Environmental Systems Research*. 2015;4(1):15.
39. Sistani N, Moeinaddini M, Khorasani N, Hamidian A, Ali-Taleshi M, Azimi Yancheshmeh R. Heavy metal pollution in soils nearby Kerman steel industry: metal richness and degree of contamination assessment. *Iranian Journal of Health and Environment* 2017; 10(1):75-86. Persian

## Assessment of Heavy Metal Pollution in Floor Dust of Yazd Mechanical Workplaces

Morteza Saboohi<sup>1</sup>, Hamid Reza Azimzadeh<sup>2</sup>, Farhad Nejadkoorki<sup>2</sup>,  
Mohammad Saleh Ali-Taleshi<sup>3</sup>

### Abstract

**Background:** Workplaces have increased the risk of environmental pollutions. The aim of this study was to evaluate heavy metal pollution in the floor dust of mechanical workplaces in Yazd city.

**Methods:** This cross-sectional analytic study was conducted in 2014. Through stratified random sampling, 30 mechanical workplaces in Yazd, Iran were selected. After sampling, the concentration of heavy metals in samples was measured by atomic absorption spectrometry (AAS). The potential environmental risk index (RI), integrated pollution index (IPI), contamination factor (Cf), the modified degree of Contamination (mCd) and Pearson correlation coefficient in SPSS v.23 were used for data analyses.

**Results:** The trend of concentration of heavy metals in the floor dust particles of mechanical workplaces was Fe>Zn>Cu>Pb>Mn>Cr>Cd. Hence, mean concentration of Fe in the samples was 27095 mg kg<sup>-1</sup> and that of Cd was 31 mg kg<sup>-1</sup>. According to Pearson correlation test, Mn had a significant correlation with Cr, Fe, and Cu at the 0.01 significance level. Also, RI showed that Yazd mechanical workplaces have a considerable degree of risk.

**Conclusion:** The results showed very high levels of pollution by cadmium, lead and copper in mechanical workshops that can be due to the interaction of heavy metals in workplace scraps with dust from man-made origin.

**Keywords:** Mechanical work places, Heavy metals, Assessment, Environmental potential risk indices, Yazd

1- MSc, Department of Environment, School of Natural Resources, Yazd University, Yazd, Iran

2- Associate Professor, Department of Environment, School of Natural Resources, Yazd University, Yazd, Iran

3- PhD Student, Department of Environment, School of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran

**Corresponding Author:** Morteza Saboohi **Email:** Morteza\_Saboohi@yahoo.com

**Address:** School of Natural Resources, Yazd University, Yazd, Iran.

**Tel:** 09113914839 **Fax:** 035-18210312