



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

مقاله پژوهشی

## آلودگی با فلزات سنگین در غبار کف کارگاه‌های باتری‌سازی شهر یزد در سال ۱۳۹۳

مرتضی صبحی<sup>۱\*</sup>، فرهاد نژاد کورکی<sup>۲</sup>، حمیدرضا عظیم زاده<sup>۲</sup>، محمد صالح علی طالشی<sup>۳</sup>

- ۱- (نویسنده مسئول): کارشناس ارشد مهندسی محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد، یزد، ایران
- ۲- دکتری محیط‌زیست، دانشیار گروه محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی و کویرشناسی، دانشگاه یزد، یزد، ایران
- ۳- دانشجوی دکتری آلودگی محیط‌زیست، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

### چکیده

**زمینه و هدف:** حضور کارگاه‌های صنعتی میزان آلودگی‌های شهری را افزایش داده است. مطالعه حاضر با هدف بررسی فلزات سنگین کارگاه‌های باتری‌سازی شهر یزد و شناسایی میزان اثرات زیست‌محیطی حاصل از این آلاینده‌ها صورت گرفته است. روش بررسی: این مطالعه به صورت توصیفی تحلیلی-مقطعی انجام شد. براساس خصوصیات جغرافیایی، شهر به سه بخش تقسیم و در مجموع ۳۰ کارگاه باتری‌سازی به روش تصادفی طبقه‌بندی شده انتخاب شد. فلزات سنگین (سرب، کادمیوم، کروم، روی و مس، آهن و منگنز) موجود در غبار کف با استفاده از دستگاه جذب اتمی (AAS) اندازه‌گیری شد. اثرات زیست‌محیطی ناشی از آلودگی با فلزات سنگین نیز با شاخص خطر بالقوه زیست‌محیطی (RI)، شاخص آلودگی تجمعی (IPI)، ضریب آلودگی (Cf) و درجه آلودگی اصلاح‌شده (MC<sub>p</sub>) و آزمون آماری همبستگی پیرسون شناسایی شد. یافته‌ها: روند تغییرات غلظت فلزات سنگین در ذرات غبار کف کارگاه‌ها به صورت آهن <مس< سرب <روی< منگنز< کروم< کادمیوم حاصل شد. لذا میانگین غلظت فلز آهن در نمونه‌ها ۲۷۰/۱۱/۵۲±۴۷۲۱/۰۵ و فلز کادمیوم ۷۸/۲۵±۲۱/۰۷ mg/kg بود. همچنین نتایج شاخص خطر بالقوه زیست‌محیطی (RI) نشان داد که فلزات سنگین غبار کف خطر خیلی زیاد (۲۸۱۶/۲۹) دارد. میزان شاخص (MC<sub>p</sub>) در کارگاه‌ها نیز معادل ۶۳/۳۵ نمایانگر این است که این کارگاه‌ها در کلاس آلودگی بسیار شدید قرار دارند. ضریب آلودگی (Cf) نیز برای فلز مس معادل ۳۰/۴/۱۷ حاصل شد که آلودگی بسیار زیاد این فلز را در کارگاه‌ها نشان داد.

**نتیجه‌گیری:** یافته‌ها نشان داد که غلظت زیاد فلزات سنگین در کارگاه‌های باتری‌سازی ناشی از تعامل فلزات سنگین اجزای ضایعات صنایع از جمله زباله‌های الکتریکی و باتری با گردوغبار است که منشأ انسان‌ساخت دارد.

### اطلاعات مقاله:

تاریخ دریافت: ۹۴/۰۸/۱۳  
تاریخ ویرایش: ۹۴/۱۰/۲۷  
تاریخ پذیرش: ۹۴/۱۱/۰۵  
تاریخ انتشار: ۹۵/۰۳/۱۷

**واژگان کلیدی:** کارگاه‌های باتری‌سازی، فلزات سنگین، خطر زیست‌محیطی، یزد

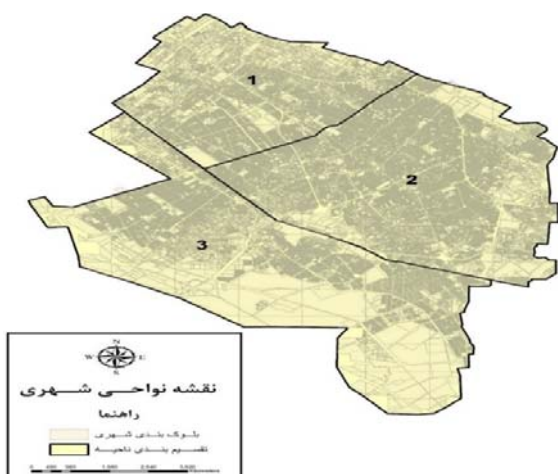
پست الکترونیکی نویسنده مسئول:  
morteza\_sabohi@yahoo.com

## مقدمه

مناطق شهری به‌عنوان کانون‌های جمعیتی و فعالیت‌های اقتصادی با تمرکز زیاد واحدهای آلاینده محیط مواجه‌اند، به‌طوری‌که سلامت شهروندان با این آلاینده‌ها مورد تهدید جدی قرار گرفته است (۱). 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 (۲). در برنامه محیط‌زیست سازمان ملل متحد در سال ۲۰۰۸، کاهش آثار محیط‌زیستی مؤسسات و بخش‌های اقتصادی از ویژگی‌های مشاغل سبز دانسته شده است (۳). مدیران شهری در کشورهای مختلف در واکنش به وخیم‌تر شدن کیفیت هوای شهری، اقداماتی را در خصوص مکان‌یابی کارخانه‌ها، نحوه استقرار فعالیت‌های صنعتی در شهر، حمل و نقل و غیره آغاز کرده‌اند (۴). یکی از مهم‌ترین و شناخته‌شده‌ترین آلاینده‌هایی که ورود آن به محیط‌زیست باعث بروز بیماری‌های مختلفی می‌شود، فلزات سنگین هستند. به همین جهت روزبه‌روز بر اهمیت پایش و بالطبع کنترل آلودگی‌های محیط‌زیستی ناشی از این فلزات افزوده می‌شود (۵). از جمله صنایع مزاحم شهری، صنایع و کارگاه‌های باتری‌سازی هستند. در رابطه با این صنعت Notter و همکاران (۲۰۱۰) به بررسی اثرات باتری‌های یون لیتیومی وسایط الکتریکی بر محیط‌زیست پرداخته و به این نتیجه رسیدند که سهم کلی اثرات محیط‌زیستی ناشی از باتری ۱۵٪ است که علاوه بر استفاده در کابل‌ها به دلیل استفاده از فلز آلومینیوم و مس برای تولید آند و کاتد باتری‌ها است (۶). در بین فلزات سنگین امروزه اهمیت سرب از آن جهت مورد توجه است که در صنایع مختلف باتری‌سازی، نظامی، ساخت آلیاژها و افزودنی‌های سوختی دارای کاربرد وسیعی است (۷) مطابق پژوهش‌های موجود، شیوع آلودگی با سرب در جهان بین ۸ تا ۲۰٪ متغیر است (۸). سرب باعث اختلال در عملکرد کلیه و کبد، کم‌خونی، کاهش بهره‌دهی و همچنین بروز بسیاری از عوارض متابولیکی دیگر می‌شود (۹). Van der Kuijp و همکاران (۲۰۱۳) به بررسی خطرات بهداشتی

صنعت باتری‌سازی اسید-سرب در کشور چین در بازه‌های ۷ ساله پرداخته و پس از بررسی غلظت سرب در خون کودکان در معرض این صنعت، سطح این عنصر را فراتر از  $100 \mu\text{g/L}$  یافتند. این محققین سطوح بالای سرب خون را ناشی از تولید، تعمیر و مصرف بسیار زیاد سرب و باتری‌های اسید-سرب در این کشور دانستند (۱۰). مطالعات صورت‌گرفته بر روی کارگران تعمیر و بازیافت باطری که در معرض سرب بودند، نشان داد که تماس شغلی با سرب همراه با تغییر در فاکتورهای خونی و نشانگرهای بیولوژیکی است. لذا اطلاعات جمع‌آوری شده از سطوح غلظت سرب در این مراکز برای ارزیابی ریسک تماس با سرب ضروری است (۱۱). Bi و همکاران (۲۰۱۳) رهیافتی جدید را برای بررسی نمونه‌برداری غبار سطحی، توزیع ذرات، غلظت فلز و ایزوتوپ‌های پایدار سرب مدنظر قرار داده و به این نتیجه رسیدند که بارهای کلی فلز و نسبت‌های ایزوتوپی سرب در غبار کف نسبت به خاک‌های سطحی به آلودگی انسان ساز حساس است (۱۲). بنابراین ذرات غبار می‌توانند منعکس‌کننده آلاینده‌ها از جنبه‌های مختلف باشند و شاخص محیط‌زیستی مهمی از آلودگی شهری باشند (۱۳)، ۱۴) کادمیوم یکی دیگر از فلزات سنگین است که در دسته مواد احتمالاً سرطان‌زا برای انسان طبقه‌بندی شده است اما هیچ مدرک روشنی از ژنوتوکسیک بودن آن ارائه نشده است (۱۵). از طرفی عنصر کمیاب روی، ضروری بدن انسان است که منشأ اصلی آن خاک است. علائم مسمومیت با این فلز به‌صورت کاهش pH عروق سرخرگی، کاهش جذب اکسیژن و همچنین افزایش ضریب قلب است (۱۶). فلز کروم نیز عنصری سمی به دو فرم ۳ و ۶ ظرفیتی است. تاثیر مخرب کروم شش ظرفیتی در انسان بالاخص زخم کرومی و عموماً سبب نکروز شدن کبد و التهاب کلیه شده که مشابه با صدمات ناشی از مسمومیت مزمن با فلز مس است (۱۷، ۱۸). علاوه بر این ابتلا به انواع سرطان بخش‌های گوارش و حملات قلبی در اثر افزایش عنصر آهن در مطالعات مختلف بیان شده است (۱۹). لازم به ذکر است که به‌جز سرب و کادمیوم، سایر عناصر به میزان

شد. در این روش جامعه مورد بررسی (شهر یزد) به چند زیرمحدوده بدون همپوشانی تقسیم شد و از هر محدوده به روش تصادفی ساده نمونه برداری شد. لذا بر اساس خصوصیات جغرافیایی شهر به سه بخش همگن تقسیم و از هر بخش با توجه به تراکم کارگاه‌های موجود در آن بخش، در مجموع ۳۰ کارگاه باتری‌سازی انتخاب شد (جدول ۱ و شکل ۱).



شکل ۱- بلوک‌بندی نواحی شهر یزد

جدول ۱- تعداد نمونه جمع‌آوری شده از سه ناحیه شهری

نوع	منطقه	تعداد کل	نمونه
باتری‌سازی	منطقه ۱	۳۲	۷
	منطقه ۲	۸۴	۱۹
	منطقه ۳	۱۸	۴

برای جمع‌آوری غبار کف از جاروبرقی دارای کیسه‌های یک‌بارمصرف استفاده شد. نمونه هر کارگاه به صورت مجزا برداشت و به آزمایشگاه تجزیه عنصری و آلودگی دانشگاه یزد انتقال داده شد. برای هضم نمونه‌ها نیز از روش EPA استفاده شد (۲۳). در این روش ابتدا نمونه‌های غبار از الک استیلی  $100 \mu\text{m}$  عبور داده شد، در گام دوم، نمونه‌ها را داخل هاون گذاشته تا خشک شوند، در گام سوم  $0.2 \text{ g}$  از نمونه خشک

ناچیز (Trace Elements) برای ادامه زندگی موجود زنده ضروری هستند (۲۰). نکته مهم در رابطه با این عناصر این است که الگوهای تقطیع شیمیایی فلزات سنگین در غبارهای شهری در نقاط مختلف متفاوت است و فازهای تبدیلی فلزات سنگین در ذرات غبار قابل مشاهده است (۲۱). Banadda و همکاران (۲۰۰۹) به بررسی آلودگی منبع‌پایه به‌عنوان تهدیدی بر کیفیت آب در خلیجی در کشور اوگاندا پرداخته و ضمن معرفی صنعت باتری‌سازی به‌عنوان یکی از منابع آلودگی، نیاز به استانداردهای منطقه‌ای، ارائه خدمات، تنظیم چارچوب زمانی، سیاست‌های ساده و مؤثر، توسعه مسئولیت‌های رسمی، آموزش و عبرت‌آموزی از اثرات مضر آلاینده‌های این صنایع بر کیفیت آب را ضروری دانستند (۲۲). با توجه به خطرات بالقوه ناشی از آلودگی فلزات سنگین در واحدهای شغلی بر کارکنان از جنبه بهداشتی و لزوم توجه به استانداردهای سلامت محیط کار در این گونه صنایع، علاوه بر حاد شدن مسائل محیطی و کالبدی شهرهای کشور از لحاظ مکان‌گزینی بهینه این گونه صنایع و مطالعات اندک صورت گرفته در رابطه با میزان و چگونگی اثرگذاری آن‌ها بر بهداشت حرفه‌ای، لذا پژوهش حاضر با هدف سنجش فلزات سنگین در غبار کف کارگاه‌های باتری‌سازی شهر یزد و ارزیابی خطرات این آلاینده‌ها با استفاده از شاخص‌های  $RI$ ،  $mc_d$  و  $Cf$  صورت گرفت. از نتایج این پژوهش می‌توان به‌منظور تعیین سطوح آلودگی در این کارگاه‌ها و تلاش در جهت بهبود محیط‌زیست این مشاغل و پیشگیری از اثرات سوء آن بر انسان و محیط‌زیست استفاده کرد.

## مواد و روش‌ها

مطالعه حاضر به صورت توصیفی تحلیلی - مقطعی طی دوره یک‌ماهه در سال ۱۳۹۳ در شهر یزد انجام شد. بر اساس داده‌های آماری به‌دست‌آمده از اتاق اصناف شهر یزد تعداد باتری‌سازی‌های شهر یزد ۱۳۴ کارگاه بود. جهت انتخاب کارگاه‌ها از روش نمونه‌برداری تصادفی طبقه‌بندی شده استفاده

اختصاص دادن بهینه (Optimal allocation) که تحت عنوان رابطه اختصاص دادن نیمان (Neyman allocation) است، با فرض هزینه‌های نمونه‌برداری ثابت از ۳ منطقه و دقت بهینه استفاده شد (۲۴).

$$n_k = \frac{W_k S_k}{\sum_{k=1}^r W_k S_k}$$

جهت تحلیل داده‌ها از شاخص‌های خطر بالقوه زیست‌محیطی (RI)، ضریب آلودگی (Cf)، درجه آلودگی اصلاح شده (mC<sub>d</sub>) و شاخص آلودگی تجمعی (IPI) و آزمون همبستگی پیرسون استفاده شد.

#### - شاخص خطر بالقوه زیست‌محیطی (RI)

برای ارزیابی خطر بالقوه زیست‌محیطی فلزات سنگین در غبار کف کارگاه‌های مورد مطالعه، از شاخص خطر بالقوه زیست‌محیطی (RI) استفاده شد. این روش توسط Hakanson در سال ۱۹۸۰ معرفی شده است و اخیراً در مطالعات مربوط به خاک و غبار بسیار مورد استفاده قرار گرفته است. این شاخص طبق فرمول‌های زیر محاسبه می‌شود (۲۵).

$$Cf_i = \frac{Cn}{Bn}$$

$$Er_i = Tr_i \cdot Cf_i$$

$$RI = \sum_{i=1}^m Er_i$$

در معادله اول،  $Cf_i$  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 معادله دوم،  $Er_i$  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 شده است و در معادله سوم،  $RI$  خطر کل بالقوه زیست‌محیطی است. جدول ۲ طبقه‌بندی شاخص و درجه خطر بالقوه زیست‌محیطی را نشان می‌دهد.

به وسیله ترازوی با دقت ۰/۰۰۰۱ در بوتله تفلونی توزین و به آرامی ۱۰ mL مخلوط اسید HNO<sub>3</sub>:HCL:HF به نسبت ۱:۳:۶ به نمونه اضافه شد و به مدت ۱ h در دمای اتاق قرار داده شد. سپس درب نمونه بسته و به مدت ۶ h در دمای ۱۲۰°C بر روی Hot Plate قرار داده شد. ۲/۷ g اسید بوریک رادر بالن حجمی ۵۰ mL وزن کرده و مقداری آب دو بار تقطیر به آن اضافه شد تا با تکان حل شود. بعلاوه نمونه‌ها خنک شد تا به دمای اتاق برسد و نمونه‌های هضم شده به وسیله 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 mL رسانده شد و به ظروف پلاستیکی منتقل شد. قابل ذکر است که جهت جلوگیری از هر نوع آلودگی ناخواسته تمامی ظروف شیشه‌ای و تجهیزات به وسیله اسیدسولفوریک ۱۰٪ اسید شویی گردیدند. اندازه‌گیری غلظت فلزات سنگین مورد بررسی در این مطالعه نیز توسط دستگاه جذب اتمی شعله‌ای مدل (Analyticjena-951) انجام شد. در روش جذب اتمی با شعله نمونه‌ها به صورت محلول هضم شده به دستگاه تزریق می‌گردند. محلول توسط شعله به بخار اتمی تبدیل شده و سپس توسط یک منبع در معرض تابش با طول موج معین برای هر فلز قرار می‌گیرد. میزان جذب این تابش توسط بخار اتمی اندازه‌گیری و ثبت می‌گردد. 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 سنجش در نمونه ثبت گردید. برای اندازه‌گیری ذرات معلق نیز از دستگاه غبارسنج محیطی پرتابل (Dust Track-8520) ساخت کمپانی TSI آمریکا استفاده گردید. در این مطالعه مقدار PM<sub>10</sub> محیط برحسب میکروگرم بر متر مکعب اندازه‌گیری شد. داده‌های بدست آمده با بهره‌گیری از نرم‌افزار SPSS Statistics version 22 مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و نرمالیتیه داده‌ها با آزمون کولموگروف-اسمیرنوف بررسی شد. در این پژوهش به منظور تخصیص تعداد کافی نمونه به هر طبقه، از روش

جدول ۲- شاخص و درجه خطر بالقوه زیست‌محیطی آلودگی فلزات سنگین (۲۵)

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

در این معادله  $C_f$  برابر با ضریب آلودگی،  $C_i$  غلظت فلز در نمونه مورد مطالعه و  $C_n$  غلظت همان فلز در ماده مرجع است. در جدول ۳ شدت آلودگی با فلزات سنگین از طریق ضریب آلودگی مشخص شده است.

### - ارزیابی ضریب آلودگی ( $C_f$ ) و درجه آلودگی اصلاح شده ( $mC_d$ )

در این مطالعه جهت بیان شرایط آلودگی محیط به یک فلز خاص از ضریب آلودگی مطابق معادله زیر استفاده شد.

$$C_f = \frac{C_i}{C_n}$$

جدول ۳- تقسیم‌بندی شدت آلودگی با فلزات سنگین از طریق ضریب آلودگی

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

### - شاخص آلودگی تجمعی ( $IPI$ )

در معادله‌های زیر،  $IPI$  شاخص آلودگی تجمعی،  $PI$  شاخص آلودگی مربوط به آلاینده  $i$  ام،  $C_i$  غلظت آلاینده  $i$  ام،  $B_i$  غلظت پایه از منشا سنگ مادری آلاینده و  $n$  تعداد آلاینده‌ها است.

$$PI = \frac{C_i}{B_i}$$

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

در جدول ۴، درجه و طبقات آلودگی شاخص‌های  $IPI$  و  $mC_d$  برای فلزات سنگین ارائه شده است.

در معادله زیر نیز درجه آلودگی ( $C_d$ )، برای ارزیابی شدت آلودگی کلی محیط به کار برده شد و از مجموع ضرایب آلودگی تمام فلزات به شرح زیر محاسبه شد.

$$C_d = \sum_{i=1}^n C_f$$

با توجه به محدودیت‌های رابطه درجه آلودگی، از رابطه درجه آلودگی اصلاح شده نیز به صورت معادله زیر استفاده گردید.

$$mC_d = \frac{\sum_{i=1}^n C_d}{n}$$

جدول ۴- طبقه‌بندی شاخص‌های آلودگی  $IPI$  و  $mC_d$  برای فلزات سنگین

درجه آلودگی	شاخص $mC_d$	طبقه آلودگی	شاخص $IPI$
غیر آلوده تا کم	$mC_d < 1/5$	کم	$IPI \leq 1$
کم	$1/5 \leq mC_d < 2$	متوسط	$1 < IPI \leq 2$

ادامه جدول ۴- طبقه‌بندی شاخص‌های آلودگی IPI و  $mC_d$  برای فلزات سنگین

شاخص IPI	طبقه آلودگی	شاخص $mC_d$	درجه آلودگی
$IPI \geq 2$	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	$mC_d > 32$	بسیار شدید

## یافته‌ها

اطلاعات توصیفی سنجش فلزات سنگین در غبار کف کارگاه‌های باتری‌سازی در قالب مقادیر حداکثر، حداکثر و میانگین، انحراف استاندارد، چولگی، کشیدگی و P-value آزمون نرمالیت در جدول ۵ نشان داده شده است.

در این تحقیق آلاینده‌های فلزات سنگین کارگاه‌های باتری‌سازی مورد بررسی قرار گرفته است. 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  $40000 \text{ mg/kg}$  در نظر گرفته شد (۲۶، ۲۷).

جدول ۵- اطلاعات توصیفی فلزات سنگین در کارگاه‌های باتری‌سازی

عناصر	کادمیوم	کروم	مس	سرب	روی	منگنز	آهن
تعداد نمونه	۳۰	۳۰	۳۰	۳۰	۳۰	۳۰	۳۰
حداقل	۵۲/۳۶	۹۱/۸۴	۸۳۲/۱۹	۵۱۶/۵۳	۱۷۰/۱۶	۳۴۳/۳۳	۱۵۸۳۰/۸۳
حداکثر	۱۴۹/۴۹	۴۲۳/۲۳	۴۰۴۰/۱۶۴	۲۷۲۲۷/۴۴	۸۹۵۲/۰۷	۸۸۶/۷۱	۳۴۲۷۶/۰۵
میانگین	۲۱/۰۷	۲۱۸/۳۰	۱۵۲۰۸/۹۷	۹۹۹۵/۶۹	۲۶۳۲/۲۵	۵۳۷/۳۰	۲۷۰۱۱/۵۲
انحراف استاندارد	۲۱/۰۷	۶۹/۸۹	۱۲۱۹۱/۵۳	۷۹۸۵/۳۲	۱۷۴۹/۳۵	۱۲۷/۰۲	۴۷۲۱/۰۵
چولگی	۱/۶۸	۱/۵۴	۰/۹۹	۰/۸۸	۱/۷۲	۰/۹۶	-۰/۲۸
کشیدگی	۳/۴۸	۳/۱۱	-۰/۳۲	-۰/۳۲	۴/۶۰	۱/۲۱	-۰/۳۲
نرمالیت P	۰/۲۲۱	۰/۲۸۷	۰/۱۳۶	۰/۳۱۰	۰/۲۷۵	۰/۳۹۸	۰/۸۸۲

کروم < کادمیوم حاصل شد. همچنین میانگین غلظت تمام فلزات سنگین اندازه‌گیری شده در غبار کف این کارگاه‌ها بیشتر از حد استاندارد آن‌ها در خاک بود. میانگین  $PM_{10}$  نیز در این مطالعه معادل  $21/53 \pm 13/60 \text{ } \mu\text{g/m}^3$  حاصل شد. همچنین جهت تعیین میزان ارتباط بین غلظت فلزات سنگین مورد سنجش در غبار کف کارگاه‌های باتری‌سازی از ضریب همبستگی پیرسون استفاده شد. از این روش همچنین می‌توان به اطلاعاتی در مورد منابع فلزات سنگین و مسیرهای ورود این فلزات به این کارگاه‌ها دست یافت. ضرایب این رابطه در جدول ۶ نشان داده شده است.

با توجه به اینکه در مورد تمامی عناصر اندازه‌گیری شده در ۳۰ نمونه مورد بررسی برای همه عناصر، مقادیر ( $P > 0/05$ ) حاصل شد لذا توزیع داده‌ها برای تک تک عناصر نرمال بود. بررسی‌ها نشان داد در بین ۷ فلز مورد سنجش، حداقل میانگین غلظت فلزات در غبار کف کارگاه‌های باتری‌سازی مربوط به فلز کادمیوم ( $78/25 \pm 21/07$ ) و حداکثر میانگین غلظت فلزات مربوط به فلز آهن ( $27011/52 \pm 4721/05$ ) است. روند تغییرات غلظت فلزات سنگین در ذرات غبار کف کارگاه‌های باتری‌سازی نیز به صورت آهن < مس < سرب < روی < منگنز <

جدول ۶- ضریب همبستگی پیرسون برای غلظت فلزات سنگین در غبار کف کارگاه‌های باتری‌سازی

عناصر	کادمیوم	سرب	کروم	منگنز	آهن	روی	مس
کادمیوم	۱						
سرب	۰/۰۷۹	۱					
کروم	۰/۱۸۷	-۰/۲۶۱	۱				
منگنز	۰/۲۳۷	-۰/۱۱۰	۰/۴۱۶*	۱			
آهن	۰/۳۸۶*	۰/۳۰۷	۰/۳۳۰	۰/۵۰۶**	۱		
روی	۰/۱۹۰	۰/۴۲۵*	۰/۱۰۳	۰/۱۴۱	۰/۶۲۰**	۱	
مس	۰/۵۷۸**	۰/۳۷۴*	۰/۱۵۵	۰/۲۹۹	۰/۵۶۵**	۰/۵۰۲**	۱

\*\*ضریب همبستگی در سطح ۱٪ معنی‌دار است.

\*ضریب همبستگی در سطح ۵٪ معنی‌دار است.

در هیچ یک از سطوح ۱٪ و ۵٪ مشاهده نگردید. علاوه بر این، بین عنصر مس با روی و کادمیوم نیز همبستگی معنی‌داری در سطح ۱٪ مشاهده شد. این موضوع نشان دهنده این است که افزایش غلظت آلاینده‌های اصلی صنایع باتری‌سازی (آهن و مس) رابطه اثر کمتری با دو عنصر سرب و کروم دارد، به این معنا که احتمال اینکه با افزایش آهن و مس، میزان سرب و کروم افزایش نیابد بیشتر است، که این یافته نیز بر صحت این نکته که آلاینده‌های محیط‌های بسته باتری‌سازی‌ها ناشی از آلاینده‌های بیرونی، همچون ترافیک جاده‌ای نیست و منشا درونی دارد تاکید دارد. در جدول ۷ نیز نتایج درجه خطر بالقوه زیست‌محیطی فلزات موجود در غبار کف کارگاه‌ها نشان داده شده است.

با توجه به جدول ۶، نتایج بررسی همبستگی بین فلزات در غبار کف نشان داد که بین عنصر آهن با منگنز، مس و روی همبستگی مثبت معنی‌دار بالایی در سطح ۱٪ وجود دارد. به این معنا که افزایش غلظت عنصر آهن منجر به افزایش غلظت عناصر یاد شده می‌گردد که می‌تواند خطرات محیط‌زیستی این کارگاه‌ها را افزایش دهد. این موضوع همچنین نشان می‌دهد که منبع عمده آلودگی ذرات غبار کف کارگاه‌های مکانیکی ناشی از منابع بیرونی، بخصوص ترافیک جاده‌ای نبوده است. زیرا عمده‌ترین آلاینده ناشی از ترافیک جاده‌ای به خوردروها و عنصر سرب نسبت داده شده است (۲۱)، در حالی بین عنصر آهن با عنصر سرب با توجه به جدول ۶ همبستگی معنی‌داری

جدول ۷- شاخص خطر بالقوه محیط زیستی

صنعت	شاخص	فلز	مقدار	درجه خطر
باتری سازی	میانگین Er	کادمیوم	۷۸۲/۴۷	خطر خیلی زیاد
		سرب	۴۹۹/۷۸	خطر خیلی زیاد
		کروم	۴/۳۶	خطر کم
		روی	۸/۷۷	خطر کم
شاخص RI		مس	۱۵۲۰/۹	خطر خیلی زیاد
		-	۲۸۱۶/۲۹	خطر خیلی زیاد

با توجه به جدول ۷، غبار کف کارگاه‌های باتری‌سازی از نظر فلزات سنگین مس، کادمیوم و سرب درجه خطر خیلی زیاد داشته‌اند، بطوری‌که بالاترین درجه خطر مربوط به عنصر مس است و کمترین درجه خطر مربوط به عنصر کروم است و سهم خطر بالقوه زیست‌محیطی هر یک از فلزات سنگین در کارگاه‌های باتری‌سازی به ترتیب (۵۴/۰۰) مس < (۲۷/۷۸) کادمیوم < (۱۷/۷۴) سرب < (۰/۳۱) روی < (۰/۱۵) کروم است. این موضوع نشان‌دهنده این مطلب است که اگرچه غلظت فلز کادمیوم به کمترین مقدار در ذرات غبار کف کارگاه‌های باتری‌سازی موجود است، اما این میزان از لحاظ خطر بر محیط زیست به طور بالقوه زیاد بوده و بایستی راهکارهایی برای کاستن آن اتخاذ گردد. همچنین نتایج شاخص خطر بالقوه زیست‌محیطی نشان داد که خطر کلی فلزات سنگین غبار کف کارگاه‌های باتری‌سازی در محدوده درجه خطر خیلی زیاد

قرار دارد که لزوم کاستن از خطرات مدنظر را اثبات می‌نماید. همچنین میزان شاخص (IPI) در این پژوهش ۱۰/۷۶ حاصل شد که نشان دهنده این است که کارگاه‌های باتری‌سازی در کلاس آلودگی زیاد قرار دارند. علاوه بر این میزان شاخص ( $mC_h$ ) در کارگاه‌های باتری‌سازی معادل ۶۳/۳۵ حاصل شد که نشان‌دهنده این است که این کارگاه‌ها در کلاس آلودگی بسیار شدید قرار دارند. این نتایج نشان می‌دهد که توافق نسبی نیز بین شاخص‌های IPI, RI,  $mC_h$  از لحاظ سنجش میزان خطرات ناشی از آلودگی با فلزات سنگین در غبار کف کارگاه‌های باتری‌سازی وجود دارد و هر کدام از این سه شاخص جایگزین مناسبی برای هم از لحاظ سنجش آلاینده‌گی با فلزات سنگین در غبار کف در این چنین محیط‌هایی هستند. میزان شدت آلودگی هر فلز با توجه به ضریب آلودگی (Cf) نیز در جدول ۸ نشان داده شده است.

جدول ۸- شدت آلودگی فلزات با ضریب آلودگی (Cf)

عناصر سنگین	کادمیوم	سرب	کروم	آهن	روی	مس	منگنز
مقادیر	۲۶/۰۸	۹۹/۹۵	۲/۱۸	۰/۶۷	۸/۷۷	۳۰۴/۱۷	۱/۶۳
درجه آلودگی	بسیار زیاد	بسیار زیاد	متوسط	کم	بسیار زیاد	بسیار زیاد	متوسط

### بحث

بررسی فلزات سنگین در غبار کف کارگاه‌های باتری‌سازی غلظت بالای فلزات کادمیوم، سرب، مس، روی و کروم را نسبت به غلظت مجاز این فلزات در پوسته زمین نشان داد. Mahmmodi و همکاران (۲۰۱۴) 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 این نتیجه رسیدند که غلظت فلزات سنگین در مناطق مختلف با توجه به منابع آلاینده در هر منطقه متفاوت

با توجه به نتایج محاسبه ضریب (Cf)، مشخص گردید که غبار کف کارگاه‌های باتری‌سازی تنها از نظر فلز سنگین آهن دارای شدت آلودگی کم بوده‌اند. شدت آلودگی فلزات منگنز و کروم نیز در حدود متوسط بوده است. این در حالی است که از نظر سایر فلزات کارگاه‌های باتری‌سازی دارای شدت آلودگی بیش از حد متوسط یعنی بسیار زیاد بوده‌اند. بیشترین شدت آلودگی نیز به عنصر مس نسبت داده شده بود و شدت آلودگی فلزات به ترتیب به صورت مس < سرب < کادمیوم < روی < کروم < منگنز < آهن کاهش می‌یابد.



دقیق ارتباط این آلاینده‌ها بر بیماری‌های منتج از آنها در این مکان‌های صنعتی در مطالعات آینده توسط محققین پیشنهاد می‌گردد که از کاستی‌های این پژوهش است. نتایج ارزیابی خطر اکولوژیکی آلودگی فلز سنگین اکوسیستم کشاورزی نزدیک یک کارخانه اسید-سرب توسط Liu و همکاران (۲۰۱۴) نشان داد که با توجه به فاکتور آلودگی، خاک‌های اطراف این کارخانه‌ها به شدت تحت تأثیر سرب بوده‌اند و از بین عناصر مورد سنجش سه عنصر سرب، کادمیوم و روی اساساً از کارخانه‌های باتری اسید-سرب مشتق شده‌اند و منشأ زمین ساختاری ندارند (۳۲). این نتایج نیز تقریباً همسو با مطالعه حاضر است، به طوری که همبستگی مثبت در سطح ۵٪ بین سرب و روی نیز در این مطالعه مشاهده شد. البته این یافته محدود به محیط درونی کارگاه‌های باتری‌سازی بود و به محیط بیرونی ارتباطی ندارد که این موضوع نیز می‌تواند یکی از کاستی‌های این تحقیق باشد و لزوم ارزیابی نقش آلاینده‌های این صنایع و کارگاه‌ها بر محیط بیرونی را نشان می‌دهد. Lu و همکاران (۲۰۰۹) نشان دادند که حداکثر سرب و منگنز از نواحی صنعتی و کمترین غلظت این عناصر از مناطق مسکونی با ترافیک کم ناشی می‌شود (۳۳). این نتیجه اهمیت بررسی صنایع پشتیبانی خودرو را در مطالعه حاضر ثابت می‌نماید. در عین حال مطالعه Poursaidi (۲۰۱۳) بر روی آلودگی ناشی از سرب و کادمیوم در غبار کف برخی از کارگاه‌های صنعتی شهر شیراز نشان داد غلظت همه عناصر غبار کف کمتر از حد استاندارد است (۳۴) که برخلاف نتایج مطالعه حاضر است. البته نتایج بررسی Yisa و همکاران (۲۰۱۲) درباره برخی فلزات سنگین در رسوبات اطراف جاده سولجا در نیجریه نیز نشان داد که خطر کلی ناشی از فلزات در محدوده متوسط تا کم بوده و سهم خطر بالقوه زیست‌محیطی هر یک از این فلزات به ترتیب روی > کروم > سرب > نیکل > مس > کادمیوم است (۳۵)، در حالی که در مطالعه حاضر خطر کلی ناشی از فلزات خیلی زیاد تعیین شد و بیشترین سهم خطر بالقوه زیست‌محیطی نیز مربوط به فلز آهن بود که دلیل این موضوع

است و غلظت این فلزات در مقایسه با میانگین غلظت در خاک‌های منطقه به مراتب بالاتر است (۲۸) که در توافق با نتایج پژوهش حاضر است و نشان‌دهنده این مطلب است که صنایع و کارگاه‌های صنعتی دارای توان اثرگذاری منفی بر بهداشت خاک منطقه وسیع شهری هستند. بررسی فلزات سنگین در ذرات راسب‌شونده از هوای شهر زنجان توسط Farahmand و همکاران (۲۰۱۰) انجام شد. مقایسه مقادیر در نواحی مختلف نشان داد که منابع صنعتی منتشرکننده فلزات سنگین نقش مستقیمی در ترسیب فلزات سنگین دارند (۲۹) که اهمیت مطالعه حاضر را بیشتر روشن ساخته است. ارزیابی سطوح سرب هوازداد در کارگاه‌های ذخیره‌سازی باتری توسط Dartey و همکاران (۲۰۱۰) در غنا انجام شد و محققین به این نتیجه رسیدند که میزان سرب هوازداد در این کارگاه‌ها بالاتر از حد استاندارد سازمان بهداشت جهانی است و کارگرانی که در معرض این آلاینده قرار دارند سلامتی‌شان در معرض تهدید است (۳۰). چنین عمق تهدیدی در این مطالعه با توجه به نتایج شاخص‌های خطر مورد مطالعه نیز مورد تأکید قرار گرفته است. ارزیابی مقایسه‌ای سطوح سرب خون تکنسین‌های اتومبیل در محیط‌های کاری کنار جاده‌ای توسط Saliu و همکاران (۲۰۱۵) نشان داد که سطح سرب خون تکنسین‌های این محیط‌ها بالاتر از سایر نقاط است و پیشنهاد نمودند که استراتژی‌های پیشگیرانه‌ای برای به حداقل رساندن مواجهه با این عنصر مدنظر قرار گیرد (۳۱). هر چند در این مطالعه به بررسی غلظت عناصر سنگین در خون کارکنان پرداخته نشد که از کاستی‌های این تحقیق است، اما بررسی غلظت سرب و سایر عناصر در محیط کار نیز لزوم اقدامات پیشگیرانه، بهبود شیوه‌های کار، اجرای کنترل‌های مهندسی و اطمینان از استفاده از تجهیزات حفاظت فردی را پیشنهاد می‌کند. خطرات بهداشتی صنعت باطری‌سازی اسید-سرب در قالب مطالعه‌ای مروری در سال ۲۰۱۳ بررسی شد (۱۰). نتایج این پژوهش نشان داد که این صنایع منجر به بروز اثرات بهداشتی منفی می‌شوند که همراستا با نتایج این مطالعه است و لزوم بررسی

گردوغبار باشد که منشا انسان ساخت دارد. با توجه به اینکه در این مطالعه به استانداردهای حفاظت محیطزیست توجه شده، توصیه می‌شود در مطالعات مشابه در آینده به استانداردهای لازم برای حفاظت از سلامت و ایمنی انسانی نیز توجه ویژه شود و ارتباط آلاینده‌ها با مرگ و میر و شیوع بیماری بررسی گردد. امید است یافته‌های این تحقیق توجه مدیران شهری را به کنترل این صنایع و کارگاه‌ها از جنبه بهداشت، محیطزیست و ایمنی کار فراهم نماید.

### تشکر و قدردانی

این مقاله حاصل بخشی از پایان‌نامه با عنوان «بررسی فلزات سنگین هوازداد در غبار کف کارگاه‌های باتری‌سازی» در مقطع کارشناسی ارشد در سال ۱۳۹۲ و کد ۵۲۴۳۵ است که با حمایت دانشگاه یزد اجرا شده است.

### منابع

1. Seaton A, Godden D, MacNee W, Donaldson K. Particulate air pollution and acute health effects. *The Lancet*. 1995;345(8943):176-78.
2. Norman L, Media D. Definition of industrial workplace. California: Houston Chronicle ; 2014 [cited 2015 Jun 30]. Available from: <http://smallbusiness.chron.com/definition-industrial-workplace-10039.html>.
3. Moharrm Nejad N, Kachar H. An investigation of the status of pollution and nuisance jobs in District 11 of Tehran. *Journal of Environmental Science and Technology*. 2003;5(1):33-46 (in Persian).
4. Haq G, Han W-J, Kim C, Vallack H. Benchmarking urban air quality management and practice in major and mega cities of Asia, Stage 1. Seoul: Air Pollution in the Megacities of Asia (APMA) Project, Republic of Korea Environment Institute; 2002 Dec.
5. Rossini P, Matteucci G, Guerzoni S. Atmospheric fall-out of metals around the Murano glass-making district (Venice, Italy). *Environmental Science and Pollution Research*. 2010;17(1):40-48.
6. Notter DA, Gauch M, Widmer R, Wager P, Stamp A, Zah R, et al. Contribution of Li-ion batteries to the en-

می‌تواند به دلیل منبع متمرکز صنعتی ایجاد آلودگی نسبت به منبع پراکنده آن در مطالعه Yisa و همکاران باشد.

### نتیجه‌گیری

نتایج پژوهش حاضر نشان داد که غبار کف کارگاه‌های باتری‌سازی شهر یزد دارای سطوح غلظت بالایی از فلزات سنگین بوده که از نظر شاخص‌های مورد بررسی دارای خطرات زیست محیطی و بهداشتی بالقوه‌های است. بیشترین اثرات خطرناک به ترتیب مربوط به عناصر آهن، مس و سرب بوده است که می‌تواند منجر به بروز بیماری‌های مختلفی از جمله قلبی و عروقی، سرطان، اختلالات کلیوی و کاهش بهره‌مندی هوشی گردد. از طرفی افزایش غلظت فلزات سنگین در محیط داخلی کارگاه‌های باتری‌سازی می‌تواند ناشی از تعامل فلزات سنگین اجزای ضایعات از جمله زباله‌های الکتریکی و باتری با

- environmental impact of electric vehicles. *Environmental Sciences & Technology*. 2010;44(17):6650-56.
7. Roozbahani F. Study of lead concentration in the air of Tehran [dissertation]. Tehran: Baqiyatallah University of Medical Sciences; 2008 (in Persian).
  8. Turkian A, Neamatoor K. Air Pollution Control Engineering. 3rd ed. Tehran: Iran University of Industrial & Mines Press; 2001 (in Persian).
  9. Stowe HD, Goyer RA, Krigman M, Wilson M, Cates M. Experimental oral lead toxicity in young dogs. Clinical and morphologic effects. *Archives of Pathology*. 1973; 95(2):106-16.
  10. Van der Kuijp TJ, Huang L, Cherry CR. Health hazards of China's lead-acid battery industry: a review of its market drivers, production processes, and health impacts. *Environmental Health*. 2013;12(1):61.
  11. Haider MJ, Qureshi N. Studies on battery repair and recycling workers occupationally exposed to lead in Karachi. *Journal of Rocz Panstw Zakl Hig*. 2013;64(1):37-42.
  12. Bi X, Liang S, Li X. A novel in situ method for sampling urban soil dust: Particle size distribution, trace metal concentrations, and stable lead isotopes. Envi-

- ronmental Pollution. 2013;177:48-57.
13. Shi X, Wang J. Comparison of different methods for assessing heavy metal contamination in street dust of Xianyang City, NW China. *Environmental earth sciences*. 2013;68(8):2409-15.
  14. Zhang C Qiao Q, Appel E, Huang B. Discriminating sources of anthropogenic heavy metals in urban street dusts using magnetic and chemical methods. *Journal of Geochemical Exploration*. 2012;119-120:60-75.
  15. Idrisi M, Maasumi A. *Principles and Methods of Analytical Chemistry*. Tehran: Islamic Azad University Press; 1993 (in Persian).
  16. Sparks RE, Cairns JR, Heath AG. The use of bluegill breathing rates to detect zinc. *Water Research*. 1972;6(8):895-911.
  17. Corradi MG, Gorbi G. Chromium toxicity on two linked trophic levels II. Morphophysiological effects on *Scenedesmus acutus*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 1993;25(1):72-78.
  18. Selinus O. *Essentials of Medical Geology: Impacts of the Natural Environment on Public Health*. New York: Academic Press; 2005.
  19. Ballantyne B, Marrs TC, Turner P. *General and Applied Toxicology*. 2nd ed. Washington DC: Stockton Press; 1999.
  20. Dabiri M. *Environmental Pollution (Air-Water-Soil- Noise)*. 6th ed. Tehran: Itihad; 2008 (in Persian).
  21. Li H Qian X, Hu W, Wang Y, Gao H. Chemical speciation and human health risk of trace metals in urban street dusts from a metropolitan city, Nanjing, SE China. *Science of the Total Environment*. 2013;456-457:212-21.
  22. Banadda EN Kansime F, Kigobe M, Kizza M, Nhapi I. Landuse-based nonpoint source pollution: a threat to water quality in Murchison Bay, Uganda. *Water Policy*. 2009; 11(1):94-105.
  23. APHA, AWWA, WEF. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 21st ed. Washington DC: American Public Health Association; 2005.
  24. Wright T. A simple method of exact optimal sample allocation under stratification with any mixed constraint patterns. Washington DC: Center for Statistical Research & Methodology, Research and Methodology Directorate, U.S. Census Bureau; 2014 Aug. Report No.: Statistics 2014-07.
  25. Hakanson L. An ecological risk index for aquatic pollution control. A sedimentological approaches. *Water Research*. 1980;14(8):975-1001.
  26. Kabata-Pendias A. *Trace Elements in Soils and Plants*. 3rd ed. Boca Raton: CRC Press; 2000.
  27. Salmanzadeh M, Saeedi M, Nabi Bidhendi Gh. Heavy metal pollution of dust deposited on the streets of Tehran and their ecological risk assessment. *Journal of Environmental Studies*. 2012;38(61):4-6.
  28. Mahmoudi Z, Khademi H. Concentration of Selected Heavy Metals in Atmospheric Dust of Isfahan and Neighboring Metropolitan Areas. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources, Soil and Water Sciences*. 2014;18(67):243-55 (in Persian).
  29. Farahmand Kia Z, Mehrasbi MR, Sekhawatju MS, Hasanalizadeh ASH, Ramezanzadeh Z. Study of heavy metals in the atmospheric deposition in Zanjan, Iran. *Iranian Journal of Health & Environment*. 2010;2(4):240-49 (in Persian).
  30. Dartey E, Adimado AA, Agyarko K. Evaluation of airborne lead levels in storage battery workshops and some welding environments in Kumasi metropolis in Ghana. *Environmental Monitoring & Assessment*. 2010;164(1-4):1-8.
  31. Saliu A, Adebayo O, Kofoworola O, Babatunde O, Ismail A. Comparative assessment of blood lead levels of automobile technicians in organised and roadside garages in Lagos, Nigeria. *Journal of Environmental and Public Health*. 2015;1:1-9.
  32. Lu X, Wang L, Lei K, Huang J, Zhai Y. Contamination assessment of copper, lead, zinc, manganese and nickel in street dust of Baoji, NW China. *Journal of Hazardous Materials*. 2009;161(2):1058-62.
  33. Liu G, Yu Y, Hou J, Xue W, Liu X, Liu Y, et al. An ecological risk assessment of heavy metal pollution of the agricultural ecosystem near a lead-acid battery factory. *Ecological Indicators*. 2014;47:210-18.
  34. Poursaeedi M. Survey on pollution of lead and cadmium in industrial floors dust of some Shiraz-workshop [dissertation]. Yazd: University of Yazd; 2013 (in Persian).
  35. Yisa J, Jacob JO, Onoyim CC. Assessment of toxic levels of some heavy metals in road deposited sediments in Suleja, Nigeria. *American Journal of Chemistry*. 2012;2(2):34-37.



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

Original Article



## Heavy Metal Pollution in the Floor Dust of Yazd Battery Repairing Workshops in 2014

M Sabouhi<sup>1\*</sup>, F Nejadkoorki<sup>2</sup>, HR Azimzadeh<sup>2</sup>, MS Ali Taleshi<sup>3</sup>

<sup>1</sup> MSc in Environmental Engineering, Department of Environment, Faculty of Natural Resources, Yazd University, Yazd, Iran.

<sup>2</sup> Associate Professor of Environment, Department of Environment, Faculty of Natural Resources, Yazd University, Yazd, Iran.

<sup>3</sup> PhD. Student of Environmental Pollution Engineering, Department of Environment, Faculty of Natural Resources, University of Tehran, Karaj, Iran.

### ARTICLE INFORMATION:

**Received:** 4 November 2015  
**Revised:** 17 January 2016  
**Accepted:** 25 January 2016  
**Published:** 6 June 2016

**Key words:** Battery repairing workshops, Heavy metals, Environmental risk, Yazd

**\*Corresponding Author:**  
[Morteza\\_sabohi@yahoo.com](mailto:Morteza_sabohi@yahoo.com)

### ABSTRACT

**Background and Objectives:** The presence of industrial workshops has increased urban pollution. This study aimed to investigate the heavy metal pollutants of Yazd battery repairing workshops and to identify the ecological and environmental effects resulted.

**Materials and Methods:** This descriptive cross-sectional study was carried out in Yazd. In this regard, the city was divided into three parts on the basis of geographical features. Then, 30 workshops were selected from each part through stratified random sampling method. Heavy metals (Pb, Cd, Cr, Zn, Cu, Fe, Mn) in the floor were measured using atomic absorption spectrophotometry (AAS). The impacts assessment of heavy metals was evaluated using environmental potential risk index (RI), cumulative pollution index (IPI), pollution coefficient factor (Cf), and the degree of modified contamination ( $mC_d$ ) and Pearson's correlation statistical test.

**Results:** The trend of heavy metals concentrations in floor dust particles of workshops was as Fe>Cu>Pb>Zn>Mn>Cr>Cd. Therefore, the average concentrations of Fe and Cd in the samples were  $27011.52 \pm 4721.05$  and  $78.25 \pm 21.07$  mg/kg respectively. The results of the RI showed that heavy metal of floor dust had very high danger (2816.29). The  $mC_d$  value was as 63.35 indicating these workshops were at severe contamination class. The value of Cf was as 304.17 revealing that these workshops were at very severe contamination class.

**Conclusions:** This research showed that the high concentration of heavy metals in battery repairing workshops is due to the interaction of heavy metals of industrial wastes components, including electrical wastes and battery with the dust having mankind origin.

Please cite this article as: Sabouhi M, Nejadkoorki F, Azimzadeh HR, Ali Taleshi MS. Heavy metal pollution in the floor dust of Yazd battery repairing workshops in 2014. Iranian Journal of Health and Environment. 2016;9(1):127-38.