

علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره بیست و پنجم، شماره ۵، دی ماه ۱۴۰۲ (۱۰۱-۸۹)

## ارزیابی ریسک سلامت عناصر کادمیوم، سرب و کروم در گرد و غبار داخل و خارج منازل در مناطق تحت تاثیر ریزگردها در محدوده شرق و جنوب غرب ایران (اهواز، منطقه پارس جنوبی و زابل)

سید رضا اسود<sup>۱</sup>

عباس اسماعیلی ساری<sup>۲\*</sup>

[esmaili@modares.ac.ir](mailto:esmaili@modares.ac.ir)

نادر بهرامی<sup>۳</sup>

تاریخ پذیرش: ۹۹/۶/۲۵

تاریخ دریافت: ۹۹/۴/۲

### چکیده

**زمینه و هدف:** آلودگی هوا یکی از مهمترین تهدیدهای موجود برای سلامت انسان و اکوسیستم هاست. یکی از رایج ترین آلاینده های بیرون و داخل منازل، گرد و غبار می باشد که یک منبع مهم عناصر سمی به ویژه در محیط زیست شهری است. در این مطالعه غلظت عناصر منتخب (کادمیوم، کروم و سرب) و ارزیابی ریسک سلامت ناشی از آنها در گرد و غبار داخل و بیرون منازل در اهواز، منطقه پارس جنوبی و زابل اندازه گیری شد.

**روش بررسی:** تعداد ۱۰۰ نمونه گرد و غبار در فصل تابستان سال ۹۶ از داخل و بیرون منازل مناطق مورد مطالعه جمع آوری گردید. نمونه های گرد و غبار با استفاده از روش هضم اسیدی توسط مخلوط اسیدهای  $\text{HClO}_4\text{-HF-HNO}_3$  با نسبت های ۱:۲:۴ هضم شدند و غلظت عناصر با استفاده از دستگاه پلاسما جفت شده القایی- اسپکترومتر جرمی (ICP-MS۷۸۰۰) اندازه گیری شد. ارزیابی ریسک عناصر منتخب در گرد و غبار نیز با استفاده از دستورالعمل های EPA انجام گردید.

**یافته ها:** نتایج ارزیابی ریسک عناصر مورد مطالعه نشان داد که بالاترین ریسک غیرسرطانی و سرطانی در گرد و غبار بیرون و داخل برای هر دو گروه بزرگسال و کودک مربوط به عنصر کروم و کمترین ریسک سرطانی مربوط به عنصر سرب در افراد بالغ و کودک و کمترین ریسک غیر سرطانی مربوط به عنصر کادمیوم در افراد بالغ و کودک بود. همچنین بررسی ریسک غیر سرطانی و سرطانی ناشی از عناصر منتخب در سه منطقه مورد مطالعه نشان داد که در شهر اهواز ریسک ناشی از این عناصر از دو منطقه دیگر یعنی پارس جنوبی و زابل بیشتر می باشد.

۱- دانش آموخته دکتری گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی دانشگاه تربیت مدرس.  
۲- استاد گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی دانشگاه تربیت مدرس. \* (مسوول مکاتبات)  
۳- دانشیار گروه محیط زیست، دانشکده منابع طبیعی و علوم دریایی دانشگاه تربیت مدرس.

بحث و نتیجه گیری: بطور کلی نتایج مربوط به شاخص خطر (HI) و مجموع ریسک سرطانی (TCR) برای عناصر مورد مطالعه، نشان دهنده خطرپذیری بوده و باید تحت شرایط کنترل و نظارت قرار داشته باشد.

واژه‌های کلیدی: گرد و غبار، ارزیابی ریسک، اهواز، پارس جنوبی، زابل.

## **Health risk assessment of cadmium, lead and chromium elements in indoor and outdoor dust under impressed one in the region of east and south-west of Iran (Ahvaz, South Pars region and Zabol)**

**S.Reza Asvad**<sup>1</sup>

**Abbas Esmaeilisari**<sup>2\*</sup>

[esmaili@modares.ac.ir](mailto:esmaili@modares.ac.ir)

**Nader Bahramifar**<sup>3</sup>

Admission Date: September 15, 2020

Date Received: June 22, 2020

### **Abstract**

**Background and Objective:** Air pollution is one of the most important threats to human health and ecosystems. One of the most common pollutant of outdoor and indoor is dust, which is an important source of toxic elements, especially in urban environments. In this study, the concentration of selected elements (cadmium, chromium and lead) and their health risk assessment in indoor and outdoor dust in Ahvaz, South Pars region and Zabol were measured.

**Material and Methodology:** 100 dust samples were collected from indoor and outdoor the homes of the studied areas during the summer of 2017. Dust samples were digested using an acid digestion method by mixing HClO<sub>4</sub>-HF-HNO<sub>3</sub> acids with 1: 2: 4 ratios. The total concentrations of elements were determined by inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS 7800). Risk assessment of selected elements in dust was performed using Environmental Protection Agency (EPA) guidelines.

**Findings:** The results of risk assessment of selected elements from indoor and outdoor dust of homes showed that the highest non-cancerous and cancerous risks in indoor and outdoor dust for both adult and child groups is related to chromium element. While, the lowest cancerous and non-cancerous risks for both adult and child groups is related to lead and cadmium elements, respectively. Furthermore, the study of non-cancerous and cancerous risks caused by selected elements in the studies areas showed that in Ahvaz city, the risk caused by these elements is higher than the other regions.

**Discussion and conclusion:** In general, the results of the hazard index (HI) and total cancer risk (TCR) indicate for selected elements indicate risk and should be subject to control and monitoring conditions.

**Keywords:** metals, dust, risk assessment, Ahvaz, South Pars, Zabol.

---

1- PhD Graduated, Department of Environment Faculty of Natural Resources & Marine Sciences, Tarbiat Modares University, Nour, Mazandaran, Iran.

2- Full Professor, Department of Environment Faculty of Natural Resources & Marine Sciences, Tarbiat Modares University, Nour, Mazandaran, Iran. *\*(Corresponding Author)*

3- Associate Professor, Department of Environment Faculty of Natural Resources & Marine Sciences, Tarbiat Modares University, Nour, Mazandaran, Iran.

## مقدمه

خطرات زیست محیطی جدی ایجاد می کنند. آلاینده هایی از قبیل عناصر سمی موجود در گرد و غبار درون ساختمان از مهم ترین عوامل تاثیر گذار بر روی کیفیت هوا در محیط های داخلی محسوب می شوند. غلظت عناصر سمی در گرد و غبار محیط های بسته، متاثر از فعالیت ساکنان و انتقال از هوای آزاد می باشد و تماس طولانی مدت با آنها می تواند اثرات مضر بر روی سلامتی افراد داشته باشد (۸، ۷، ۱).

با توجه به ورود گرد و غبار از مناطق جنوب غربی و شمال شرقی و تحت تاثیر قرار دادن بخش هایی از کشور که امروزه تبدیل به یک بحران جدی زیست محیطی در تعدادی از استان ها شده است، این تحقیق در نظر دارد اثرات این گرد و غبار در هوای داخل منازل که بخش عمده ای از وقت مردم در آن می گذرد- بویژه در ساعات افزایش آلودگی که مجبور به ماندن در منزل می گردند را با گرد و غبار بیرون منازل، از طریق نمونه برداری گرد و غبار موجود در فیلتر اسپلیت های داخل و بیرون منازل بررسی و ریسک سلامتی ناشی از آنها را در مناطق مورد مطالعه ارزیابی کند. این مطالعه غلظت عناصر سمی (کادمیوم، کروم و سرب) در گرد و غبار محیط داخل و بیرون ساختمان در اهواز، عسلویه (منطقه پارس جنوبی) و زابل به عنوان مراکز تحت تاثیر گرد غبار مورد بررسی قرار می دهد.

## روش بررسی

## مناطق مورد مطالعه

محدوده پارس جنوبی واقع در شهرستان عسلویه به وسعت ۱۴ هزار هکتار است. از شمال به رشته کوه های زاگرس و از جنوب به خلیج فارس منتهی می گردد. از نظر اقلیمی، درجه حرارت این منطقه بین ۵ تا ۵۰ درجه سانتیگراد، رطوبت نسبی بین ۵۰ تا ۸۸ درصد، متوسط بارندگی سالیانه ۱۰۰ میلیمتر و جهت وزش باد غالب شمال غربی به جنوب شرقی است. جمعیت شاغل و بومی منطقه حدود ۶۰ هزار نفر تخمین زده می شود که بیش از نیمی از آنها ساکن دائم منطقه هستند. شهرستان اهواز بین ۴۸ و ۴۹ درجه و ۲۹ دقیقه طول شرقی از نصف النهار گرینویچ و ۳۰ درجه و ۴۵ دقیقه تا ۳۲ درجه عرض

آلودگی هوا یکی از مهمترین معضلات زیست محیطی در زندگی شهرنشینی امروز به خصوص در کشورهای در حال توسعه می باشد (۱)، به نحوی که این مشکل همواره یکی از کانون های توجه مسئولین شهری و زیست محیطی بوده است. طوفان های گرد و غباری که اغلب در مناطق خشک و نیمه خشک جهان روی می دهند حجم زیادی از ذرات معلق را با خود حمل می کنند و از این رو به عنوان یکی از مهمترین معضلات زیست محیطی در مقیاس های منطقه ای و بین المللی تلقی می گردند (۱). از جمله معضلات زیست محیطی حال حاضر کشور، گرد و غبار ناشی از کانون های خارجی (کشورهای همسایه واقع در غرب و جنوب غربی) و داخلی (بیابان های داخلی و اراضی تخریب یافته) است که منجر به ورود حجم بالایی از گرد و غبار و ذرات معلق به بسیاری از استان های کشور شده و کیفیت هوای آن ها را تحت تاثیر قرار داده است. به نحوی که هم اکنون این مشکل در نقاط مختلف کشور مخصوصا استان های جنوب غرب، غرب، مرکزی و جنوب شرقی مشاهده می شود. به دلیل مجاورت مناطق غرب و جنوب غربی ایران با بیابان های بزرگ کشورهای همجوار روزهای غبار آلود در این مناطق قابل توجه است، و در سالهای اخیر افزایش یافته است، بیشتر طوفان های گرد و غباری در این مناطق در تابستان و بهار رخ می دهد (۲-۴).

بطوریکه یکی از رایج ترین آلاینده های بیرون و داخل منازل، گرد و غبار می باشد که یک منبع مهم عناصر سمی به ویژه در محیط زیست شهری است. این عناصر با اتصال به ذرات گرد و غبار قادرند در مقیاس وسیعی منتشر شوند (۵). عمدتا دو منبع فعالیتهای انسانی و الگوهای فرسایشی خاک که برای آلودگی ذرات گرد و غبار به عناصر سمی تبیین شده از منابع انسانی اغلب در نواحی شهری که فعالیتهای صنعتی شدت بالایی دارند میتوان آلودگی عناصر سمی را انتظار داشت. در حالیکه حضور عناصر سمی با غلظتهای بالا در ذرات گرد و غبار در نواحی غیر صنعتی عمدتا با فرسایش ساختارهای زمین شناسی خصوصا خاک مرتبط هستند (۶). عناصر سمی از منابع مختلف مانند فعالیتهای صنعتی و کشاورزی وارد محیط شده و

نمونه گرد و غبار فیلتر کولر و ۲۵ نمونه گرد و غبار سطحی بیرون منزل) بود.

### آنالیز شیمیایی نمونه ها

نمونه های گرد و غبار پس از انتقال به آزمایشگاه به مدت ۲۴ ساعت در داخل دسیکاتور قرار داده شدند سپس با الک سایز ۶۳ میکرون الک شده و در نهایت در دمای ۱۰۵ درجه سانتیگراد در آن به مدت ۲۴ ساعت خشک شدند (۷۰۱۰). پس از خشک شدن نمونه ها تقریباً ۰/۲۵ گرم از گرد و غبار الک شده نرم را با ترازوی دیجیتال با دقت ۰/۰۰۰۱ گرم مدل AAA 250 L شرکت Adam Equipment انگلستان وزن کرده و در داخل لوله های پلی اتیلنی مخصوص هضم ریخته و با استفاده از ۷ میلی لیتر مخلوط اسید های HClO<sub>4</sub>-HF-HNO<sub>3</sub> با نسبت های ۱:۲:۴ بر روی هات پلیت قرار گرفتند تا زمانی که بخار سفید رنگ بلند شود و عمل هضم کامل گردد. پس از بخار و خشک شدن اسید، باقیمانده را با اسید نیتریک ۲ در صد حل کرده و به حجم ۲۵ میلی لیتر رسانده شدند. نمونه های شاهد را نیز با تکرار تمامی مراحل هضم و بدون حضور نمونه آماده گردید (۱۱). در نهایت نمونه های توسط دستگاه پلاسمای جفت شده القایی- اسپکترومتر جرمی سری ICP-MSY8۰۰ اندازه گیری شد.

### فاکتور غنی شدگی

این فاکتور در ابتدا برای ارزیابی عناصر در جو، بارش یا آب دریا استفاده می شد، اما به تدریج برای مطالعه خاک، رسوبات و سایر موارد زیست محیطی توسعه یافت (۱۲). غنی شدگی عناصر در گرد و غبار برای تعیین منابع احتمالی طبیعی یا انسانی به کار می رود (۱۳) و بیان کننده درجه آلودگی عناصر سمی در گرد و غبار می باشد. فاکتور غنی شدگی یک عنصر با استفاده از معادله زیر به دست می آید:

$$EF = \frac{\left(\frac{C_x}{C_{ref}}\right)_{Sample}}{\left(\frac{C_x}{C_{ref}}\right)_{background}} \quad (1)$$

نسبت غلظت عنصر مورد نظر به عنصر مبنا در نمونه مورد

شمالی از استوا واقع شده است و با ۱۸ متر ارتفاع از سطح دریا در عرض های میانه و طبق طبقه بندی های اقلیمی جزء اقلیم گرم و خشک است بدین صورت که حداکثر دمای روزانه آن با حداکثر دمای مناطق حاره شبیه بوده ولی میانگین حداقل های دمای آن کمتر از میانگین حداقل های دمای مناطق جنب حاره ای است میانگین دراز مدت سالیانه دمای اهواز ۲۵ درجه سانتیگراد، میانگین حداکثرهای دمای آن ۳۲/۸ درجه سانتیگراد و میانگین حداقل های دمای آن ۱۷/۲ درجه سانتیگراد می باشد (۹).

سیستان در محدوده ۶۰ درجه ۵۱ دقیقه تا ۶۲ درجه و ۵۰ دقیقه شرقی از نصف النهار گرینویچ و ۳۰ درجه و ۴۵ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۳۰ دقیقه شمالی از خط استوا قرار دارد. منطقه سیستان دارای جمعیتی در حدود ۴۰۰ هزار نفر بوده و مساحت آن در حدود ۱۵۱۹۷ کیلومتر مربع است. منطقه سیستان دارای بیش از ۹۰۰ روستا و سه شهرستان زهک، زابل و محمد آباد است. نمونه برداری در شهر زابل واقع در مرکز منطقه سیستان صورت خواهد گرفت. به طور کلی شهرستان زابل و منطقه سیستان در یک منطقه خشک واقع در شرق ایران و در استان سیستان و بلوچستان بوده که از جمله خصوصیات این منطقه می توان به پوشش گیاهی پایین، وزش باد های ۱۲۰ روزه، رطوبت پایین و دمای بسیار بالا اشاره کرد (۳،۴).

### نمونه برداری

نمونه گیری در فصل تابستان از داخل و بیرون منازل و ساختمان ها به صورت مجزا انجام شد. برای نمونه برداری از گرد و غبار محیط داخلی از فیلتر کولر های گازی اسپیلت و برای جمع آوری گرد و غبار سطحی ته نشین شده در فضای آزاد، ظروف پلاستیکی با اندازه مشخص در ارتفاع ۱/۵ متری از سطح زمین استفاده گردید. تعداد نمونه ها که بصورت میانگین در مطالعه حاضر مورد بررسی قرار گرفت شامل منطقه پارس جنوبی جمعاً ۳۰ نمونه (شامل ۱۵ نمونه گرد و غبار فیلتر کولر و ۱۵ نمونه گرد و غبار سطحی بیرون منزل) و زابل جمعاً ۲۰ نمونه (شامل ۱۰ نمونه گرد و غبار فیلتر کولر و ۱۰ نمونه گرد و غبار سطحی بیرون منزل) و در اهواز جمعاً ۵۰ نمونه (شامل ۲۵

ارزیابی ریسک خطر برای کودکان و بزرگسالانی که در معرض عناصر سمی موجود در گرد و غبار می باشند، با استفاده از یک مدل ارزیابی ریسک توسعه یافته توسط آژانس حفاظت محیط زیست ایالات متحده انجام گردید (۱۸،۱۹).

### ضریب خطر

ریسک بیماری‌های غیر سرطانی با ضریب خطر بیان می شود که نسبت بین مواجهه فردی با غلظت یک ماده آلاینده و سطح دوز مرجع آن (RfC) است. HQ برای هر ماده آلاینده جداگانه محاسبه می شود که کوچکتر یا مساوی عدد یک نشان می دهد اثرات مضر قابل انتظار نیست اما بزرگتر از یک احتمال بروز اثرات مضر بر سلامتی فرد توسط آن ماده آلاینده وجود دارد. برای نشان دادن اثرات چند ماده بر یک ارگان (بافت بدن) از اندیس خطر (HI) استفاده می شود که معادل با مجموع HQ می باشد (۲۰).

$$HQ = \frac{D_{ing}}{RfDo} = \frac{D_{dermal}}{RfDo \times GIABS} \quad (2)$$

$$= \frac{D_{inh}}{RfCi \times 1000 \mu gmg - 1}$$

### خطر سرطان زا

خطر سرطان زا به احتمال وقوع هر نوع سرطان در تمام طول عمر فرد در صورت قرار گرفتن در معرض عنصر سرطان زا می باشد. این مطالعه خطر سرطان زا برای کروم، نیکل و آرسنیک به عنوان عناصر سرطان زای بالقوه محاسبه گردید. خطر سرطان زایی با استفاده از معادلات زیر محاسبه می شود (۱۹،۲۱).

$$SFo = D_{dermal} \times (SFo / GIABS) = \quad (3)$$

$$CR = D_{ing} \times IUR \times D_{inh}$$

SFo فاکتور شیب دهانی، RfDo دوز رفرنس، RfCi غلظت رفرنس تنفسی، GIABS فاکتور جذب دستگاه گوارشی، IUR ریسک واحد تنفسی، از وبسایت USEPA تهیه می شوند. محدوده مجاز و ریسک قابل قبول در حدود  $10^{-6}$  تا  $10^{-4}$  می باشد (Lu و همکاران، ۲۰۱۴). سطوح مختلف ریسک به ترتیب  $10^{-6}$  < خیلی کم،  $10^{-6}$  تا  $10^{-5}$  کم،  $10^{-5}$  تا  $10^{-4}$  متوسط،  $10^{-4}$  تا  $10^{-3}$  زیاد و  $10^{-3}$  > خیلی زیاد است (۲۲).

مطالعه و نسبت غلظت عنصر مورد نظر به عنصر مبنا در مقادیر زمینه می باشد.

با محاسبه فاکتور غنی شدگی می توان ارزیابی کرد که عناصر موجود در نمونه مورد نظر منشأ طبیعی دارند یا در نتیجه فعالیت‌های انسانی به وجود آمده اند. اگر EF عنصر مورد نظر کمتر از یک باشد آن عنصر منشأ طبیعی و در صورتی که بین یک تا ده باشد عنصر هم منشأ طبیعی و هم منشأ انسانی خواهد داشت و در صورتی که این نسبت بیشتر از ۱۰ باشد منشأ عنصر مورد نظر عمدتاً عوامل انسانی است. مقادیر EF ۱ تا ۵ نشان دهنده این است که منابع انسانی سهم معنی داری در میزان آن عنصر ندارند (۱۴). در جدول ۱ مقادیر فاکتور غنی شدگی در پنج گروه طبقه بندی شده است (۱۵-۱۷).

### جدول ۱- طبقات مختلف فاکتور غنی شدگی

Table 1. Different classes of enrichment factor

میزان غنی شدگی	فاکتور غنی شدگی
کم	$EF < 2$
متوسط	$2 \leq EF < 5$
قابل توجه	$5 \leq EF < 20$
خیلی زیاد	$20 \leq EF < 40$
به شدت زیاد	$EF \leq 40$

فاکتور غنی شدگی فرمولی جهان شمول و ابزاری ساده و آسان برای ارزیابی درجه غنی شدگی و مقایسه آلودگی‌های مختلف زیست محیطی است. در محاسبه فاکتور غنی شدگی، عنصر رفرنس باید تغییر پذیری کمی داشته باشد. معمولاً سیلیس، آلومینیوم و یا آهن به عنوان عنصر رفرنس استفاده می شوند ولی قانون پذیرفته شده عمومی برای انتخاب آن وجود ندارد (۱۴،۱۶،۱۷).

در این مطالعه آلومینیوم به عنوان عنصر رفرنس در نظر گرفته شد چرا که منابع انسانی انتشار آن ناچیز و قابل صرف نظر می باشد.

### ارزیابی ریسک سلامت

ریسک سرطان بزرگتر از  $10^{-4}$  نشان دهنده پتانسیل بالای خطر برای افراد ساکن در منطقه بوده لذا بایستی مورد توجه قرار گیرد (۲۳).

جدول ۲- توضیحات و مقادیر فاکتورهای مورد استفاده در معادلات ارزیابی ریسک (۱۸-۲۱)

Table 2. Explanations and values of factors used in risk assessment equations

Factor	Description	Value		Source
		Adult	Child	
(measurement unit)				
IngR (mg/day)	Ingestion rate	100	200	(US EPA 2002)
EF (day/year)	Exposure frequency	90	90	
ED (year)	Exposure duration	30	6	(US EPA 2002)
BW (kg)	Average body weight	70	15	(US EPA 1989)
InhR (m <sup>3</sup> /day)	Inhalation rate	20	7.6	(Van den Berg 1995)
SA (kg)	Skin area	5700	2800	(US EPA 2002)
AF (mg/cm <sup>2</sup> )	Adherence factor	0.07	0.2	(US EPA 2002)
PEF (m <sup>3</sup> /kg)	Particle emission factor	$1.36 \times 10^9$	$1.36 \times 10^9$	(US EPA 2002)
AT	Average time	In case of non-carcinogenic Exposure AT = $365 \times$ ED		(US EPA 2002)
ABSd	Dermal absorption	ABS = 0.001 for all elements		(RAIS 2014; RAIS 2004)
RfD <sub>ing</sub> (mg kg <sup>-1</sup> day <sup>-1</sup> ) And RFC <sub>inh</sub> (mg m <sup>-3</sup> )	Chronic reference dose and chronic reference concentration	Chemical specific		(RAIS 2014)
SF (mg/kg day) <sup>-1</sup>	Cancer slope factor	C <sub>r</sub> SF = 5.00E-01		(RAIS 2014)
IUR (mg/m <sup>3</sup> ) <sup>-1</sup>	Inhalation unit risk	C <sub>r</sub> IUR = 8.40E-02 and Ni IUR = 2.60E-04		(RAIS 2014)
LT (year)	Lifetime	70		(RAIS 2014)

یافته ها

### نتایج و بحث

در تمام نمونه های گرد و غبار (بجز داخل ساختمان شهر زابل) و همچنین غلظت عنصر سرب در نمونه های داخل ساختمان در شهر اهواز بیشتر از مقدار زمینه (غلظت در پوسته زمین) بود که در واقع این مطلب نشان می دهد که غلظت بالای این عناصر مربوط به منابع انسانی مثل ترافیک، تاسیسات صنعتی، تاسیسات تولید برق، سوختن روغن در مناطق مسکونی، بدسوزی و فعالیتهای ساخت و ساز است. تحقیقات نشان می دهد گرد و

در جدول ۳ میانگین و انحراف معیار غلظت فلزات کادمیوم، سرب و کروم در داخل و بیرون ساختمان شهرهای اهواز، عسلویه (پارس جنوبی) و زابل آورده شده است. همانطور که نتایج نشان می دهد در هر سه منطقه مورد مطالعه میانگین عناصر مورد مطالعه در داخل و بیرون ساختمان به ترتیب  $Cd < pb < Cr$  اندازه گیری شد. همانطور که نتایج در جدول ۳ نشان می دهد غلظت کادمیوم

در گرد و غبار داخل منازل مربوط به انتشار این فلزات از اتومبیل ها و سایر وسایط نقلیه موتوری است. اکثر عناصر سمی از ترافیک، صنعت و انتشارات زباله سوزها منشأ می گیرند (۳۱-۱۱،۲۸). سرب عمدتاً از رنگ، باتری ها، و افزودنی بنزین به هوای محیط های شهری وارد می شود. مقادیر بالای سرب در گرد و غبار مربوط به وسایط نقلیه موتوری و اتومبیل هاست که سرب را به واسطه مصرف سوخت های فسیلی مانند بنزین در هوا منتشر می کنند که هنوز هم این مساله یکی از مهمترین مشکلات آلودگی هوا در محیط های شهری است. کروم همچنین توسط احتراق ذغال و نفت به اتمسفر وارد می شود، منشأ عمده کروم در اتمسفر جریان غبارات قاره ای می باشد (۳۲،۳۳).

غبار بیرون نقش مهمی در غلظت گرد و غبار داخل ساختمان دارد، فلزات و عناصر می توانند به همراه هوای آزاد بیرون ساختمان ها وارد فضاهای بسته شده و همچنین در اثر فعالیت های ساکنین داخل ساختمان تولید شوند. فعالیت های در حال انجام در اطراف یا مجاورت ساختمان ها نیز می تواند به صورت مستقیم و غیرمستقیم بر روی غلظت و نوع فلزات موجود در گرد و غبار داخل ساختمان ها تاثیر بگذارند (۲۴-۲۷). Karami و همکاران در سال ۲۰۱۴ با بررسی غلظت فلزات سرب، کروم و کادمیوم در گرد و غبار سطحی در نواحی مختلف زاهدان غلظت فلزات را در گرد و غبار از زیاد به کم به ترتیب  $Cr > Pb > Cd$  گزارش کردند. براساس مطالعات گوناگون، مهمترین منبع فلزات

### جدول ۳- میانگین و انحراف معیار (mean $\pm$ SD) غلظت فلزات کادمیوم، سرب و کروم در داخل و بیرون ساختمان

#### شهرهای مورد مطالعه برحسب میکروگرم بر گرم

Table 3. concentration (mean  $\pm$  SD) of cadmium, lead and chromium metals indoor and outdoor the building of the studied cities ( $\mu\text{g/g}$ )

عناصر مورد مطالعه			محل نمونه برداری	شهر
کروم ( $\mu\text{g/g}$ )	سرب ( $\mu\text{g/g}$ )	کادمیوم ( $\mu\text{g/g}$ )		
$65/05 \pm 13/87$	$23/63 \pm 7/98$	$1/44 \pm 0/54$	داخل ساختمان	اهواز
$100/01 \pm 9/76$	$11/50 \pm 5/56$	$0/47 \pm 0/13$	بیرون ساختمان	
$59/76 \pm 7/82$	$5/15 \pm 2/28$	$0/28 \pm 0/12$	داخل ساختمان	عسلویه (منطقه پارس جنوبی)
$66/33 \pm 21/35$	$8/42 \pm 3/11$	$0/24 \pm 0/04$	بیرون ساختمان	
$35/43 \pm 5/09$	$4/74 \pm 2/58$	$0/06 \pm 0/01$	داخل ساختمان	زابل
$46/07 \pm 7/01$	$3/98 \pm 1/98$	$0/41 \pm 0/12$	بیرون ساختمان	
۱۰۲	۱۴	۰/۱۵		غلظت پوسسته زمین

زیاد، و در شهر زابل در داخل ساختمان غنی شدگی کم و در بیرون ساختمان غنی شدگی متوسط اندازه گیری شد. نتایج شاخص EF برای سرب در تمام مکان های نمونه برداری به جز داخل ساختمان شهر اهواز که متوسط برآورد گردید دارای غنی شدگی کم اندازه گیری شد. با محاسبه فاکتور غنی شدگی می توان ارزیابی کرد که عناصر موجود در نمونه مورد نظر منشأ طبیعی دارند یا در نتیجه فعالیت های انسانی به وجود آمده اند. اگر EF عنصر مورد نظر کمتر از یک باشد آن عنصر منشأ طبیعی و در صورتی که بین یک تا ده باشد عنصر هم منشأ طبیعی و هم منشأ

نتایج فاکتور غنی شدگی برای عناصر مورد مطالعه در داخل و بیرون ساختمان شهرهای مورد مطالعه در جدول ۴ آورده شده است. شاخص EF برای عنصر کروم در نمونه های داخل و خارج ساختمان شهرهای اهواز و زابل نشان داد که میزان کروم دارای غنی شدگی کم ( $EF < 2$ ) می باشد و در شهر عسلویه در نمونه های داخل و خارج ساختمان دارای غنی شدگی متوسط اندازه گیری شد. میزان کادمیوم در نمونه های داخل ساختمان شهر اهواز دارای غنی شدگی بسیار زیاد، در نمونه های داخل و بیرون ساختمان عسلویه و بیرون ساختمان اهواز دارای غنی شدگی



نشان داد که منابع انسانی در مقایسه با پوسته زمین سهم بیشتری در غنی شدگی فلزاتی مانند سرب، کروم و نیکل دارند (۳۸). با توجه به نتایج این تحقیق عناصر کادمیوم دارای درجه غنی شدگی خیلی زیاد تا کم را داشتند که نشان تاثیر فعالیت‌های انسانی در مناطق مورد مطالعه بر روی درجه غنی شدگی این عنصر می باشد.

انسانی خواهد داشت و در صورتی که این نسبت بیشتر از ۱۰ باشد منشأ عنصر مورد نظر عمدتاً عوامل انسانی است. مقادیر EF ۱ تا ۵ نشان دهنده این است که منابع انسانی سهم معنی داری در میزان آن عنصر ندارند (۳۴-۳۶). نتایج مطالعه زراسوندی و همکاران (۱۳۹۷) در شهر اهواز نشان داد که شاخص غنی شدگی برای کروم در سطح کم، و عنصر سرب سطح غنی شدگی متوسط قرار دارد (۳۷). تحقیقات دهمرده و همکاران (۱۳۹۶) در زابل

#### جدول ۴- فاکتور غنی شدگی غلظت فلزات کادمیوم، سرب و کروم در داخل و بیرون ساختمان شهرهای مورد مطالعه

Table 4. Enrichment factor of cadmium, lead and chromium metals indoor and outdoor the buildings of the studied cities

عناصر مورد مطالعه			محل نمونه برداری	شهر
کروم	سرب	کادمیوم		
۱/۳۶	۳/۶۱	۲۰/۴۸	داخل ساختمان	اهواز
۱/۶۹	۱/۴۱	۵/۴۴	بیرون ساختمان	
۲/۵۰	۱/۵۷	۷/۹۲	داخل ساختمان	عسلویه (منطقه پارس جنوبی)
۲/۰۵	۱/۹۰	۵/۱۵	بیرون ساختمان	
۰/۵۹	۰/۵۸	۰/۷	داخل ساختمان	زابل
۰/۷۱	۰/۴۸	۴/۳۲	بیرون ساختمان	


نمونه‌های گرد و غبار داخل و بیرون ساختمان مربوط به عنصر کروم در کودک و افراد بالغ بود. همچنین کمترین ریسک سرطانی مربوط به عنصر سرب در افراد بالغ و کودک و کمترین ریسک غیر سرطانی مربوط به عنصر کادمیوم در افراد بالغ و کودک بدست آمد. Neisi و همکاران در سال ۲۰۱۶ نیز در ارزیابی ریسک سلامت عناصر در گرد و غبار اهواز به نتایج تقریباً مشابهی با این تحقیق دست یافته بودند (۲۷). ارزیابی ریسک سلامت برخی عناصر سمی در زابل توسط دهمرده و همکاران (۱۳۹۹) نشان داد که خطرات بهداشتی ناشی از عناصر سمی در ذرات معلق در هوای زابل از بالاترین موارد گزارش شده در جهان است (۳۹).


نتایج مربوط به شاخص خطر (HI) و مجموع ریسک سرطانی (TCR) برای عناصر منتخب مورد مطالعه در داخل و بیرون ساختمان برای هر سه منطقه مورد مطالعه در جداول ۳ آورده شده است. HI نشان دهنده اثرات غیر سرطانی بوده و مجموع نسبت‌های خطر (HQ) برای چند ماده یا چند مکانیسم تماس می باشد که مقدار آن اگر بیشتر از یک باشد می تواند اثرات نامطلوبی بر سلامتی انسان داشته باشد، در مورد ریسک سرطانی مقادیر بالای  $1 \times 10^{-4}$  غیر قابل پذیرش، زیر  $1 \times 10^{-4}$  هیچ خطری برای سلامتی ندارد و بین  $1 \times 10^{-4}$  و  $1 \times 10^{-6}$  در حد قابل قبول می باشد (US EPA 2011a). با توجه به نتایج ارزیابی ریسک سلامت در شهر اهواز، عسلویه و زابل بیشترین ریسک غیر سرطانی (HI) و سرطانی (CR) در

جدول ۴- ریسک های سرطانی (TCR) و غیر سرطانی (HI) فلزات منتخب در گرد و غبار شهر های مورد مطالعه

Table 4. TCR and HI risks of selected metals in the dust of sutied cities

زابل								
HI=∑HQ				TCR=∑CR				کمترین  بیشترین
ریسک غیر سرطانی				ریسک سرطانی				
داخل		بیرون		داخل		بیرون		
کودک	بالغ	کودک	بالغ	کودک	بالغ	کودک	بالغ	
Cd	۰/۰۰۰	۰/۰۰۰	۰/۰۰۳	۰/۰۰۲	۲/۳۳E-۰۷	۵/۲۳E-۰۷	۱/۶۲E-۰۶	۳/۶۹E-۰۶
Cr	۰/۰۷۸	۰/۰۴۷	۰/۱۱۳	۰/۰۶۰	۱/۱۱E-۰۵	۲/۳۹E-۰۵	۱/۴۴E-۰۵	۳/۱۱E-۰۵
Pb	۰/۰۰۹	۰/۰۰۴	۰/۰۰۷	۰/۰۰۴	۲/۳۸E-۰۸	۶/۵۷E-۰۸	۱/۹۱E-۰۸	۳/۸۳E-۰۸

عسلویه								
HI=∑HQ				TCR=∑CR				کمترین  بیشترین
ریسک غیر سرطانی				ریسک سرطانی				
داخل		بیرون		داخل		بیرون		
کودک	بالغ	کودک	بالغ	کودک	بالغ	کودک	بالغ	
Cd	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱	۰/۰۰۲	۰/۰۰۱	۱/۱۰E-۰۶	۲/۳۷E-۰۶	۹/۶۵E-۰۷	۲/۰۸E-۰۶
Cr	۰/۱۳۱	۰/۰۷۸	۰/۱۶۲	۰/۰۸۷	۱/۸۷E-۰۵	۶/۰۳E-۰۵	۲/۰۸E-۰۵	۶/۴۸E-۰۵
Pb	۰/۰۱۰	۰/۰۰۵	۰/۰۱۶	۰/۰۰۸	۲/۴۷E-۰۸	۶/۹۶E-۰۸	۶/۰۵E-۰۸	۸/۱۱E-۰۸

اهواز								
HI=∑HQ				TCR=∑CR				کمترین  بیشترین
ریسک غیر سرطانی				ریسک سرطانی				
داخل		بیرون		داخل		بیرون		
کودک	بالغ	کودک	بالغ	کودک	بالغ	کودک	بالغ	
Cd	۰/۰۰۹	۰/۰۰۶	۰/۰۰۳	۰/۰۰۲	۵/۶۸E-۰۶	۱/۲۲E-۰۵	۱/۸۷E-۰۶	۶/۰۴E-۰۶
Cr	۰/۱۴۴	۰/۰۸۵	۰/۲۴۴	۰/۱۳۱	۲/۰۴E-۰۵	۶/۳۹E-۰۵	۳/۱۳E-۰۵	۶/۷۵E-۰۵
Pb	۰/۰۴۵	۰/۰۲۲	۰/۰۲۲	۰/۰۱۱	۱/۱۴E-۰۷	۲/۲۸E-۰۷	۵/۵۳E-۰۸	۱/۱۱E-۰۷

های ناشی از فعالیت های صنعتی و ترافیک شهری مانند فلزات سنگین و عناصر سمی در هوای اهواز گردد و در نتیجهی افزایش این آلاینده ها در هوا و تماس روزانه افراد و ساکنین با این حجم آلودگی می تواند منجر به خطراتی برای سلامتی افراد ساکن در این منطقه گردد. منطقه ویژه اقتصادی پارس جنوبی با وجود دارا بودن حجم وسیعی از تاسیسات و فعالیت های صنعتی و پالایشگاهی آلودگی کمتری نسبت به اهواز داشت که یکی از علت های آن می تواند استفاده از گاز به جای سایر

بررسی ریسک سرطانی و غیرسرطانی ناشی از عناصر منتخب در سه منطقه مورد مطالعه نشان داد که در شهر اهواز ریسک ناشی از این عناصر از دو منطقه دیگر یعنی عسلویه (پارس جنوبی) و زابل بیشتر می باشد. وجود کارخانجات بزرگ صنعتی، تاسیسات اداری و صنعتی شرکت مناطق نفتخیز جنوب و شرکت ملی حفاری ایران، اهواز را به یکی از مهم ترین مراکز صنعتی ایران تبدیل کرده، همچنین جمعیت شهری زیاد و به تبع آن افزایش استفاده از وسایط نقلیه موتوری می تواند موجب افزایش آلاینده

## References

1. Zhang X, Chen X, Zhang X. The impact of exposure to air pollution on cognitive performance. *Proc Natl Acad Sci*. 2018;115(37):9193–7.
2. Shahsavani A, Naddafi K, Haghighifard NJ, Mesdaghinia A, Yunesian M, Nabizadeh R, et al. The evaluation of PM10, PM2.5, and PM1 concentrations during the Middle Eastern Dust (MED) events in Ahvaz, Iran, from april through september 2010. *J Arid Environ*. 2012;77:72–83.
3. Rashki A, Kaskaoutis DG, Rautenbach CJ deW, Eriksson PG, Qiang M, Gupta P. Dust storms and their horizontal dust loading in the Sistan region, Iran. *Aeolian Res*. 2012;5:51–62.
4. Behrooz RD, Esmaili-Sari A, Bahramifar N, Kaskaoutis DG. Analysis of the TSP, PM10 concentrations and water-soluble ionic species in airborne samples over Sistan, Iran during the summer dusty period. *Atmos Pollut Res*. 2017;8(3):403–17.
5. Barrio-Parra F, De Miguel E, Lázaro-Navas S, Gómez A, Izquierdo M. Indoor dust metal loadings: a human health risk assessment. *Expo Heal*. 2018;10(1):41–50.
6. Jaradat QM, Momani KA, Jbarah A-AQ, Massadeh A. Inorganic analysis of dust fall and office dust in an industrial area of Jordan. *Environ Res*. 2004;96(2):139–44.
7. Darus FM, Nasir RA, Sumari SM, Ismail ZS, Omar NA. Heavy metals composition of indoor dust in nursery schools building. *Procedia-Social Behav Sci*. 2012;38:169–75.
8. Meza-Figueroa D, De la O-Villanueva M, De la Parra ML. Heavy metal distribution in dust from elementary schools in Hermosillo, Sonora, México.

سوخت های فسیلی در مراکز پالایشگاهی و صنعتی این منطقه با شد همچنین وجود جمعیت شهری کم و استفاده از وسایل نقلیه موتوری کمتر در این منطقه نیز می تواند دلیل دیگری بر کم بودن غلظت عناصر منتخب و ریسک ناشی از آنها در این منطقه باشد. در مورد شرایط شهر زابل نیز به سبب جمعیت شهری کم و فعالیت ها صنعتی و ترافیک شهری به مراتب کمتر نسبت به اهواز غلظت عناصر منتخب و به مراتب ریسک ناشی از آنها در مقایسه با اهواز کمتر بود.

## نتیجه گیری

با توجه به نتایج تحقیق حاضر، در بین عناصر منتخب در سه منطقه مورد مطالعه بالاترین فراوانی و غلظت مربوط به عنصر کروم و سپس عناصر سرب و کادمیوم بودند. میانگین غلظت کادمیوم در تمام نمونه های گرد و غبار (بجز داخل ساختمان شهر زابل) و همچنین غلظت عنصر سرب در نمونه های داخل ساختمان در شهر اهواز بیشتر از مقدار زمینه (غلظت در پوسته زمین) بود. غلظت عناصر منتخب از لحاظ کمی در شهر اهواز نسبت به دو منطقه دیگر بالاتر بود. ارزیابی ریسک عناصر منتخب در شهر اهواز، منطقه پارس جنوبی و زابل نشان داد که بالاترین ریسک غیر سرطانی و سرطانی در گرد و غبار بیرون و داخل برای هر دو گروه بزرگسال و کودک مربوط به عنصر کروم می باشد. همچنین کمترین ریسک سرطانی مربوط به عنصر سرب در افراد بالغ و کودک و کمترین ریسک غیر سرطانی مربوط به عنصر کادمیوم در افراد بالغ و کودک بدست آمد. ولی بطور کلی نتایج مربوط به شاخص خطر (HI) و مجموع ریسک سرطانی (TCR) برای عناصر مورد مطالعه، نشان دهنده خطر پذیری و باید تحت شرایط کنترل و نظارت قرار داشته باشد. اما در مورد شاخص سرطانی TCR کل فلزات منتخب در گرد و غبار، این شاخص نشان داد که افراد بالغ بیشتر از کودکان در معرض ریسک سرطانی قرار دارند. همچنین بررسی ریسک سرطانی و غیر سرطانی ناشی از عناصر منتخب در سه منطقه مورد مطالعه نشان داد که در شهر اهواز ریسک ناشی از این عناصر از دو منطقه دیگر یعنی پارس جنوبی و زابل بیشتر می باشد.

- the sources of metals in urban road dust. *Sci Total Environ.* 2016;541:1303–9.
17. Yongming H, Peixuan D, Junji C, Posmentier ES. Multivariate analysis of heavy metal contamination in urban dusts of Xi'an, Central China. *Sci Total Environ.* 2006;355(1–3):176–86.
18. USEPA. Supplemental guidance for developing soil screening level for superfund sites. OSWER 9355.4-24 Office of Solid Waste and Emergency Response, Washington. 2002;
19. USEPA. Risk assessment guidance for superfund. Vol. I: Human health evaluation manual. EPA/540/1-89/002 Office of Solid Waste and Emergency Response, Washington. 1989;
20. Usepa. EPA's approach for assessing the risks associated with chronic exposure to carcinogens. 1992;
21. RAIS. Risk Assessment Information System,. US Department of Energy's, Oak Ridge Operations Office. <http://rais.ornl.gov>. 2014;
22. Rapant S, Fajčiková K, Khun M, Cvečková V. Application of health risk assessment method for geological environment at national and regional scales. *Environ Earth Sci.* 2011;64(2):513–21.
23. Chen M-J, Lin C-H, Lai C-H, Cheng L-H, Yang Y-H, Huang L-J, et al. Excess lifetime cancer risk assessment of volatile organic compounds emitted from a petrochemical industrial complex. *Aerosol Air Qual Res.* 2016;16(8):1954–66.
24. Sulaiman FR, Bakri NIF, Nazmi N, Latif MT. Assessment of heavy metals in indoor dust of a university in a tropical environment. *Environ forensics.* 2017;18(1):74–82.
25. Madany IM, Akhter MS, Al Jowder OA. The correlations between heavy Atmos *Environ.* 2007;41(2):276–88.
9. Farsani MH, Shirmardi M, Alavi N, Maleki H, Sorooshian A, Babaei A, et al. Evaluation of the relationship between PM10 concentrations and heavy metals during normal and dusty days in Ahvaz, Iran. *Aeolian Res.* 2018;33:12–22.
10. Kurt-Karakus PB. Determination of heavy metals in indoor dust from Istanbul, Turkey: estimation of the health risk. *Environ Int.* 2012;50:47–55.
11. Wan D, Han Z, Liu D, Yang J. Risk assessments of heavy metals in house dust from a typical industrial area in Central China. *Hum Ecol Risk Assess An Int J.* 2016;22(2):489–501.
12. Reimann C, de Caritat P. Distinguishing between natural and anthropogenic sources for elements in the environment: regional geochemical surveys versus enrichment factors. *Sci Total Environ.* 2005;337(1–3):91–107.
13. Wei B, Jiang F, Li X, Mu S. Heavy metal induced ecological risk in the city of Urumqi, NW China. *Environ Monit Assess.* 2010;160(1–4):33.
14. Khademi H, Gabarrón M, Abbaspour A, Martínez-Martínez S, Faz A, Acosta JA. Environmental impact assessment of industrial activities on heavy metals distribution in street dust and soil. *Chemosphere.* 2019;217:695–705.
15. Kartal Ş, Aydın Z, Tokalıoğlu Ş. Fractionation of metals in street sediment samples by using the BCR sequential extraction procedure and multivariate statistical elucidation of the data. *J Hazard Mater.* 2006;132(1):80–9.
16. Mummullage S, Egodawatta P, Ayoko GA, Goonetilleke A. Use of physicochemical signatures to assess

- López-Chuken UJ, Valdés-González A, de la Riva-Solís LG, Vargas-Pérez MP, et al. Heavy metals (lead, cadmium and zinc) from street dust in Monterrey, Mexico: ecological risk index. *Int J Environ Sci Technol.* 2020;1–10.
34. Kamani H, Mahvi AH, Seyedsalehi M, Jaafari J, Hoseini M, Safari GH, et al. Contamination and ecological risk assessment of heavy metals in street dust of Tehran, Iran. *Int J Environ Sci Technol.* 2017;14(12):2675–82.
35. Barbieri M. The importance of enrichment factor (EF) and geoaccumulation index (Igeo) to evaluate the soil contamination. *J Geol Geophys.* 2016;5(1):1–4.
36. Kaushik A, Kansal A, Kumari S, Kaushik CP. Heavy metal contamination of river Yamuna, Haryana, India: assessment by metal enrichment factor of the sediments. *J Hazard Mater.* 2009;164(1):265–70.
37. Alireza Z, Raziea M, Fatemeh R. Investigation of the Contamination level and Source of Heavy Metals in Street Dust and their Ecological Risk Assessment (Case Study: Ahvaz City). *J Environ Sci Technol.* 2018;
38. Behrooz RD, Esmaili-Sari A, Bahramifar N, Kaskaoutis DG, Saeb K, Rajaei F. Trace-element concentrations and water-soluble ions in size-segregated dust-borne and soil samples in Sistan, southeast Iran. *Aeolian Res.* 2017;25:87–105.
39. Behrooz RD, Kaskaoutis DG, Grivas G, Mihalopoulos N. Human health risk assessment for toxic elements in the extreme ambient dust conditions observed in Sistan, Iran. *Chemosphere.* 2020;127835.
- metals in residential indoor dust and outdoor street dust in Bahrain. *Environ Int.* 1994;20(4):483–92.
26. Rashed MN. Total and extractable heavy metals in indoor, outdoor and street dust from Aswan City, Egypt. *CLEAN–Soil, Air, Water.* 2008;36(10-11):850–7.
27. Neisi A, Goudarzi G, Akbar Babaei A, Vosoughi M, Hashemzadeh H, Naimabadi A, et al. Study of heavy metal levels in indoor dust and their health risk assessment in children of Ahvaz city, Iran. *Toxin Rev.* 2016;35(1–2):16–23.
28. Duong TTT, Lee B-K. Determining contamination level of heavy metals in road dust from busy traffic areas with different characteristics. *J Environ Manage.* 2011;92(3):554–62.
29. He C-T, Zheng X-B, Yan X, Zheng J, Wang M-H, Tan X, et al. Organic contaminants and heavy metals in indoor dust from e-waste recycling, rural, and urban areas in South China: spatial characteristics and implications for human exposure. *Ecotoxicol Environ Saf.* 2017;140:109–15.
30. Muhamad-Darus F, Nasir RA, Sumari SM, Ismail ZS, Omar NA. Nursery schools: characterization of heavy metal content in indoor dust. *Asian J Environ Stud.* 2017;2(5):63–70.
31. Xuan J, Sokolik IN, Hao J, Guo F, Mao H, Yang G. Identification and characterization of sources of atmospheric mineral dust in East Asia. *Atmos Environ.* 2004;38(36):6239–52.
32. Day JP, Hart M, Robinson MS. Lead in urban street dust. *Nature.* 1975;253(5490):343–5.
33. Castillo-Nava D, Elias-Santos M,