



Risk assessment of occupational exposure to heavy metals (lead, chromium, cadmium) in cement respirable particles in a cement factory

Milad Pouransari, MSc, Department of Occupational Health, School of Health, Mazandaran University of Medical Science, Sari, Iran

✉ **Mahmoud Mohammadyan**, (*Corresponding author) PhD of Air Pollution, Professor, Health Sciences Research Center, School of Health, Mazandaran University of Medical Science, Sari, Iran. mohammadyan@yahoo.com

Rezaali Mohammadpour, PhD of Biostatistics, Associate Professor, Health Sciences Research Center, School of Health, Mazandaran University of Medical Science, Sari, Iran

Abstract

Background and aims: One of the major health issues in developed countries is the workplace air pollution. Cement factories are one of the industries where many workers worked in them. Workers in this industry are exposure with many harmful factors, such as ergonomics factor, physical factors, and in particular various chemical agents, during their job. The most important factors that threaten the health of workers in the cement industry are dust and respirable particles of cement. Respirable particles of cement contain some elements such as arsenic, calcium, aluminum, cadmium, lead, cobalt, zinc, iron, and chromium. Recent studies concluded that the concentrations of arsenic, chromium, lead, and cadmium within the particles are higher than the other metals. Exposure to heavy metals within cement respirable particles can lead to some adverse health effects among exposed workers. Expanding of industries and emission of respirable particles containing heavy metals in the workplace ambient causes higher exposure for workers within various industries and therefore has become a major problem in these industries, including the cement industry. To arrive the health goal that is protection of the workers, exposure to chemicals and the dangers of exposure to these substances need to be scrutinized. Risk assessment is defined as the process of assessing the risks arising from risks in the workplace by taking control measures and deciding whether or not to accept them. Risk assessment is a basic action for evaluation of danger in the workplace and the first step for risk management.

Quantitative health risk assessment for different chemical agents in industries is necessary to decide on control of risk and management measures to reduce risk and determine risk level of these substances. This process combines scientific information about the toxic properties of chemicals as well as the results of chemical measurements in the workplace can provide comprehensive information on the measure of risk and how best to deal with these potential risks. The aim of this study was to assess the risk level of workers occupational exposure to heavy metals (lead, chromium, cadmium) within cement respirable particles for exposed workers in a cement factory.

Methods: This cross-sectional study was conducted in one of the cement industries during warm and cold air condition during 3 months (March 2016 to May 2016). In this study, the concentration of respirable particles within the breathing zone of 70 workers who were working at different production worksites of a cement factory (Packing worksite, Cement mill, Grill and Greater cooler, kiln, blending, Raw material storage and Mine and crushing) was evaluated. The standard method of 0600 recommended by the National Institute of Occupational Safety and Health (NIOSH) was used to evaluate time weighted average (TWA) of workers' exposure to respirable cement particles. Worker's exposure was measured using a personal sampling pump (SKC, model 224-44MTX, UK) with a 2.5 L.min⁻¹ flow rate, air was passing through an aluminum cyclone (SKC, UK) with a 37 mm 2 micrometer pore size poly vinyl chloride (PVC) filter (SKC, UK) bedding on a plastic cassette. The filters were placed in the desiccator for 24 hours before sampling time. To weigh the filters, a microbalance accurate to 6 decimal places (1 µg sensitivity Sartorius, Model ME5, Germany) was used. Critical orifice was used to keep the flow constant during sampling period. Workers personal sampling carried out continuously during a complete shift time. A blank filter was used for each batch of samples to eliminate sampling errors. To evaluate workers' exposure to heavy metals including lead, chromium and cadmium within the cement respirable particles, the standard method of ID121 recommended by the Occupational Safety and Health Administration (OSHA) was applied. Each filter was dissolved separately at 100 ° C in concentrated nitric acid and perchloric acid until its metals were dissolved in the solution phase. Then, the solution obtained with deionized water was diluted to the lowest level of

Keywords

Chemical risk assessment,
Occupational exposures,
Heavy metals,
Cement respirable particles

Received: 24/05/2018

Published: 13/05/2020

detection (LOD). The US-made FAAS Model VARIAN 240FS atomic absorption device was used for analysis. Firstly the standard curve was obtained using standard solutions with different concentrations of metals. Samples were then transferred to the atomic absorption apparatus to determine the concentration of the metals within solution. By measuring the sample absorption rate and comparing with the calibration curve and using Beer Lambert's law, the amount of metal elements in the unknown sample was obtained. Semi quantitative risk assessment of heavy metals among exposed workers was carried out using a standard method provided by the Institute of the occupational health and Safety in Singapore. Finally, the risk level for each of the heavy metals (lead, chromium and cadmium) in the respirable cement particles was obtained. The degree of exposure (ER) for all parts of the plant was obtained. Since the mean concentrations of these metal in the air of all sections of the cement plant were below the exposure limit recommended by the Iranian Occupational Health Technical Committee (OEL) and the (TLV) recommended by the ACGIH, the E/OEL ratio was lower than one. The hazard rating (HR) of the chemicals was determined using a standard table. Then, the exposure rating (ER) was calculated and determined using air monitoring results using E that is the weekly exposure in milligram per cubic meter or parts per million, F is the number of exposures per week, D is the average time of each exposure in hours, M is the exposure rate in parts per million or milligram per cubic meter, W is the average working hours per week (40 h). Finally, the risk rate (RR) was calculated using the chemical hazard risk (HR) and exposure rate (ER) values.

Results: This study showed that the mean concentrations of cadmium, lead and chromium elements were measured as 2.41, 10.39, and 1.36 microgram per cubic meter respectively. The highest average exposure to lead metal in the respirable cement particles was $15.09 \pm 4.45 \mu\text{g}/\text{m}^3$ and the lowest mean was $8.48 \pm 3.11 \mu\text{g}/\text{m}^3$. The highest mean chromium concentration in cement respirable particles was $2.27 \pm 1.15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ and the lowest mean was $1.11 \pm 0.48 \mu\text{g}/\text{m}^3$. The highest mean concentration of cadmium in the cement respirable particles was $2.78 \pm 0.62 \mu\text{g}/\text{m}^3$ and the lowest mean was $2.17 \pm 0.37 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Most workers in the various cement worksites were exposed to heavy metals less than the OEL suggested by the Iranian Occupational Health Technical Committee and the TLV recommended by the ACGIH. Due to the toxicity of lead metal, the grade 3 risk was considered for this metal. According to the E / OEL ratio, the exposure rate (ER) for all parts of the plant was 1, and since the concentration of this metal in all parts of the cement plant was less than the OEL designed by the Iranian Occupational Health Technical Committee and the TLV recommended by the ACGIH. The risk score for all parts of the plant was 1.73, and finally the risk score for lead in all parts of the plant was low. Due to the toxicity level of chromium metal, the hazard rate (HR) for this metal was considered 5. According to the E / OEL ratio, the exposure rate (ER) for all parts of the plant was obtained 1 and since the concentration of this metal in all parts of the cement plant is less than the OEL designed by the Iranian Occupational Health Technical Committee and the TLV recommended by the ACGIH, the risk score was 2.23 in all parts of the plant. And the risk rating for chromium metal was low in all parts of the plant. Due to the toxicity level of cadmium metal the (HR) was considered 4 for this metal. Risk score was obtained in all parts of factory number 2 and as a result the risk rating for cadmium metal in all parts of factory was low. Since all workers in a section are exposed to cement respirable particles and therefore exposed to lead, chromium and cadmium metal elements in these particles are different. The risk of exposure to workers exposed to the highest concentrations of the studied metals in the three sections of kiln, blending, and Cement mill was calculated separately. The results showed that workers exposed to cadmium and lead metals were in the medium risk exposure kiln and blending worksites, respectively and workers exposed to chrome metal working in the cement mill were also at low risk.

Conclusion: According to the present study, concentrations of chromium, cadmium and lead in the respirable cement particles were lower than the exposure limit set by the Occupational Health Technical Committee of Iran (OEL) and (TLV) recommended by the ACGIH. Exposure to lead, chromium and cadmium elements in cement respirable particles were at a low risk rates for all worksites of the plant. However, some workers in the kiln silo and milling materials that exposed to higher particle concentrations containing cadmium and lead had an average risk rate. Therefore, engineering and management control strategies for heavy metal exposure in those sectors are recommended to reduce the risk and prevent injury to these workers.

Conflicts of interest: None

Funding: Mazandaran University of Medical Sciences

How to cite this article:

Pouransari M, Mohammadyan M, Mohammadpour R. Risk assessment of occupational exposure to heavy metals (lead, chromium, cadmium) in cement respirable particles in a cement factory. *Iran Occupational Health*. 2020 (13 May);17:9.

*This work is published under CC BY-NC-SA 3.0 licence



ارزیابی ریسک مواجهه شغلی با فلزات سنگین (سرب، کروم، کادمیوم) موجود در ذرات قابل استنشاق سیمان

میلاذ پورانساری: کارشناس ارشد، گروه بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی مازندران، ساری، ایران
محمود محمدیان: (* نویسنده مسئول) دکترای تخصصی آلودگی هوا، استاد، مرکز تحقیقات علوم بهداشتی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی مازندران، ساری، ایران
mohammadyan@yahoo.com
رضا علی محمد پور تهمتن: دکترای تخصصی آمار زیستی، دانشیار، مرکز تحقیقات علوم بهداشتی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی مازندران، ساری، ایران.

چکیده

کلیدواژه‌ها

ارزیابی ریسک شیمیایی،
فلزات سنگین،
مواجهه شغلی،
ذرات قابل استنشاق سیمان

زمینه و هدف: مواجهه با فلزات سنگین موجود در ذرات قابل استنشاق سیمان منجر به عوارضی در کارگران مواجهه یافته می‌شود. گسترش روز افزون صنایع و پراکندگی ذرات قابل استنشاق حاوی فلزات سنگین در هوای محیط کار باعث شده است که نیروی کار مواجهه ی بیشتری با این فلزات در صنایع مختلف داشته باشد و این قضیه تبدیل به یک مشکل اساسی در صنایع مختلف از جمله صنعت سیمان شده است. این مطالعه با هدف ارزیابی ریسک مواجهه شغلی کارگران با فلزات سنگین (سرب، کروم و کادمیوم) موجود در ذرات قابل استنشاق سیمان در یک کارخانه تولید سیمان انجام شد.

روش بررسی: در این مطالعه غلظت ذرات قابل استنشاق در هوای منطقه تنفسی ۷۰ نفر از کارگران کارخانه سیمان که در مراحل مختلف تولید کار می‌کردند مورد ارزیابی قرار گرفت. نمونه برداری از ذرات قابل استنشاق براساس روش استاندارد شماره ۰۶۰۰ ارائه شده توسط سازمان NIOSH با استفاده از پمپ نمونه بردار فردی با دبی ۲/۵ لیتر بر دقیقه و یک فیلتر از جنس PVC با قطر ۳۷ میلی متر قرار گرفته در داخل یک سیکلون آلومینیومی انجام شد. برای تعیین میزان مواجهه کارگران با فلزات سنگین (سرب، کروم و کادمیوم) موجود در ذرات قابل استنشاق سیمان براساس روش استاندارد شماره ۱۳۱ ارائه شده توسط سازمان OSHA عمل شد. به منظور ارزیابی ریسک بهداشتی فلزات سنگین موجود در ذرات قابل استنشاق سیمان از روش ارائه شده توسط انستیتو ایمنی و بهداشت شغلی سنگاپور استفاده گردید. در نهایت سطح ریسک برای مواجهه فلزات سنگین موجود در ذرات قابل استنشاق سیمان به دست آمد.

یافته‌ها: نتایج حاصل از این مطالعه نشان داد که میانگین غلظت عناصر فلزی در ذرات قابل استنشاق سیمان به ترتیب برای کادمیوم، سرب و کروم ($۱/۳۶$ و $۱۰/۳۹$ ، $۰/۲۴۱$ $\mu\text{g}/\text{m}^3$) می‌باشد. بیشترین میانگین مواجهه با عنصر فلزی سرب در ذرات قابل استنشاق سیمان در بخش سیلوی کلینکر برگشتی $۱۵/۰۹ \pm ۴/۴۵$ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ و کمترین میانگین مربوط به بخش آسیاب سیمان $۸/۴۸ \pm ۳/۱۱$ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ بود. بیشترین میانگین غلظت فلز کروم در ذرات قابل استنشاق سیمان در بخش آسیاب سیمان $۲/۲۷ \pm ۱/۱۵$ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ و کمترین میانگین مربوط به بخش کوره و گریت کولر $۱/۱۱ \pm ۰/۴۸$ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ بود. بیشترین میانگین غلظت فلز کادمیوم موجود در ذرات قابل استنشاق سیمان در بخش سیلوی کلینکر برگشتی $۲/۷۸ \pm ۰/۶۲$ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ و کمترین میانگین مربوط به بخش بارگیرخانه $۲/۱۷ \pm ۰/۳۷$ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ بود. اغلب کارگران شاغل در بخش‌های مختلف تولید سیمان با فلزات سنگین موجود در گرد و غبار کمتر از OEL تعیین شده توسط کمیته فنی بهداشت حرفه ای ایران و TLV توصیه شده توسط ACGIH مواجهه دارند. ارزیابی ریسک مواجهه کارگران قسمت‌های مختلف تولید سیمان نشان داد که سطح ریسک در همه بخش‌ها در حد کم تا متوسط می‌باشد.

نتیجه گیری: مواجهه با فلزات سرب، کروم و کادمیوم موجود در ذرات قابل استنشاق سیمان برای تمامی بخش‌های کارخانه در رتبه ریسک کم طبقه‌بندی می‌شود. ولی در برخی از کارگران مشغول به کار در بخش سیلوی کلینکر برگشتی و آسیاب مواد که با غلظت‌های بالاتری از فلزات کادمیوم و سرب مواجهه داشتند رتبه ریسک متوسط برآورد شد، به همین دلیل راهکارهای کنترل مهندسی و مدیریتی مواجهه با فلزات سنگین در این بخش‌ها پیشنهاد می‌گردد.

تعارض منافع: گزارش نشده است.

منبع حمایت کننده: پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی مازندران

شیوه استناد به این مقاله:

Pouransari M, Mohammadyan M, Mohammadpour R. Risk assessment of occupational exposure to heavy metals (lead, chromium, cadmium) in cement respirable particles in a cement factory. Iran Occupational Health. 2020 (13 May);17:9.

*انتشار این مقاله به صورت دسترسی آزاد مطابق با CC BY-NC-SA 3.0 صورت گرفته است

مقدمه

افراد در زندگی روزمره و به خصوص در محیط کار خود با مواد شیمیایی مختلفی مواجهه دارند (۱). برخی از این مواد شیمیایی دارای خطرهای بهداشتی بالقوه زیادی برای سلامتی بوده و مواجهه با آنها می‌تواند اثرات مضر مختلفی بر روی سلامتی کارگران داشته باشد. اثرات بهداشتی ناشی از مواجهه با این مواد شیمیایی بصورت حاد یا مزمن، سیستمیک یا موضعی و برگشت پذیر یا غیر قابل برگشت بروز می‌کند (۲). در صنعت سیمان عوامل زیان آور شیمیایی و محیطی زیادی وجود دارند که برای سلامتی شاغلین خطرناک هستند (۳). مطالعات مختلف نشان داده است که گرد و غبار قابل استنشاق سیمان داری فلزات مختلفی از قبیل کروم، کادمیوم و سرب می‌باشد. این فلزات اثرات سوء مختلفی بر روی انسان دارند (۴). کروم موجود در سیمان می‌تواند باعث حساسیت های آلرژیک، درماتیت تماسی آلرژیک، سرطان ریه و مشکلات کبدی و کلیوی شود (۵، ۶). آژانس بین المللی تحقیقات بر روی سرطان (International Agency For Research On Cancer) ترکیبات کروم شش ظرفیتی را به عنوان ترکیبات سرطانزای گروه یک تقسیم بندی کرده است (۷). فلز سرب به دلیل نیمه عمر بالایی که در بدن دارد می‌تواند در استخوان ها تجمع یابد همچنین بر سیستم عصبی محیطی و مرکزی اثرات سوئی دارد، نوروباتی از اثرات منفی سرب بر کلیه ها می‌باشد (۸-۱۰). فلز سرب توسط آژانس بین المللی سرطان جزء سرطانزای گروه ۲ب دسته بندی شده است (۷). مطالعات مختلف نشان داده است که کادمیوم می‌تواند در بدن تجمع یابد و بر ارگان های حیاتی بدن اثر منفی بگذارد (۱۱). کادمیوم برای اسپرم سمی است و می‌تواند باعث اختلال در سیستم تولید مثل شود (۱۲، ۱۳). کادمیوم توسط آژانس بین المللی سرطان جزء سرطانزای گروه یک دسته بندی شده است (۷). مطالعات اخیر کاهش ظرفیت های ریوی، بروز سرطان حنجره و سرطان معده را در کارگران صنعت سیمان گزارش کرده اند (۱۴). ارزیابی ریسک که مکانیسمی را برای بررسی اطلاعات مرتبط با تخمین پیامدهای بهداشتی و زیست محیطی ارائه می‌دهد، از سال ۱۹۷۰ به طور گسترده ای مورد توجه کارشناسان قرار گرفته است (۱۶).

۱۷). ارزیابی ریسک اطلاعات علمی را در مورد خواص خطرناک مواد سمی و میزان مواجهه ی با این مواد در جمعیت مورد مواجهه را با هم ترکیب می‌کند و در نهایت میزان خطر را ارزیابی می‌کند (۱۸). برای تصمیم گیری در مورد اقدامات کنترلی و حفاظت کارکنان در برابر عوارض سوء ناشی از مواد شیمیایی، لازم است ریسک های بهداشتی ناشی از مواجهه با این مواد به طور اختصاصی مورد ارزیابی قرار گیرد (۱۹، ۲۰). از آنجایی که کارگران زیادی در صنعت تولید سیمان و صنایعی که در آنها سیمان مصرف زیادی دارد مشغول به کار هستند و عوامل زیان آور زیادی سلامتی کارگران کارخانه تولید سیمان را تهدید می‌کند، هدف از این مطالعه ارزیابی ریسک نیمه کمی مواجهه با فلزات سنگین (سرب، کروم، کادمیوم) موجود در ذرات قابل استنشاق در یک کارخانه سیمان در کشور ایران است.

روش کار

روش نمونه برداری: در این مطالعه ۷۰ نفر به صورت سرشماری از بخش های مختلف کارخانه (بارگیرخانه، آسیاب سیمان، کوره و گریت کولر، سیلوی کلینکر برگشتی، آسیاب مواد، سالن خاک و معدن و سنگ شکن) به عنوان نمونه انتخاب شدند. نمونه گیری از ذرات قابل استنشاق سیمان در هوای سرد و گرم و در طی ۳ ماه (از اسفند ۱۳۹۵ تا اردیبهشت ۱۳۹۶) از بخش های بارگیرخانه (۲۴ نمونه)، آسیاب سیمان (۱۲ نمونه)، کوره و گریت کولر (۸ نمونه)، سیلوی کلینکر برگشتی (۲ نمونه)، آسیاب مواد (۸ نمونه)، سالن خاک (۴ نمونه) و معدن و سنگ شکن (۱۲ نمونه) انجام شد. برای نمونه برداری از ذرات قابل استنشاق از روش استاندارد شماره 0600 ارائه شده توسط انستتوی ملی بهداشت و ایمنی شغلی آمریکا (NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health)) برای جمع آوری نمونه ها از پمپ نمونه بردار فردی SKC ساخت کشور انگلستان و نمونه بردار سیکلونی آلومینیومی (مدل SKC Aluminum Cyclone ساخت کشور انگلستان) با هواگذر ۲,۵ لیتر بر دقیقه و برای جداسازی بخش ذرات قابل استنشاق و تعیین وزنی ذرات از یک فیلتر غشایی از جنس PVC با قطر ۳۷ میلیمتری و با پورسایز ۲ میکرون استفاده شد.

مقایسه با منحنی کالیبراسیون (که با استفاده از نمونه های استاندارد با غلظت مشخص به دست آمد) و استفاده از قانون بیرلامبرت، میزان عناصر فلزی موجود در نمونه مجهول بدست آمد (۲۲).

ارزیابی ریسک: پس از تعیین غلظت هر یک از فلزات (سرب، کروم و کادمیوم) در ذرات قابل استنشاق سیمان، برای ارزیابی ریسک مواجهه از روش ارزیابی ریسک نیمه کمی مواد شیمیایی توصیه شده توسط دپارتمان بهداشت حرفه ای سنگاپور استفاده شد (۱۹). ارزیابی ریسک در ۴ مرحله ی تعیین درجه خطر HR Exposure Rate)، تعیین نمره ریسک R (Risk) و تعیین رتبه ریسک RR (Risk Rating) انجام شد.

درجه خطر با توجه به اثرات سمی هر کدام از فلزات (سرب و کروم و کادمیوم) طبق جدول شماره ۱ بدست آمد. برای تعیین درجه ی مواجهه ابتدا متوسط وزنی - زمانی مواجهه E در هر یک از بخش های کارخانه و برای هر کدام از فلزات (سرب، کروم و کادمیوم) طبق رابطه ی شماره ۱ بدست آورده شد.

$$E = \frac{F.D.M}{W} \quad \text{رابطه (۱)}$$

در آن F تعداد مواجهه در هفته که در این مطالعه ۶ روز بود و D متوسط زمان در هر مواجهه که به طور متوسط روزانه ۸ ساعت بود، M میزان غلظت مواجهه برای هر یک از فلزات بر حسب میکروگرم بر متر مکعب و W متوسط زمان کاری در هفته است که با توجه به استاندارد تماس ۴۰ ساعت کار در هفته در نظر گرفته شد. در مرحله بعد، از تقسیم متوسط وزنی - زمانی هفتگی بر مقادیر مواجهه مجاز (E/OEL) که توسط کمیته فنی بهداشت حرفه ای ایران برای فلزات سرب، کروم و کادمیوم به ترتیب (۵۰، ۵۰ و ۱۰ $\mu\text{g}/\text{m}^3$) تعیین شده است (۲۳). با استفاده از جدول شماره ۲ میزان درجه مواجهه (ER) برای هر کدام از فلزات (سرب و کروم و کادمیوم) موجود در ذرات قابل استنشاق سیمان در هر بخش از کارخانه بدست آمد. پس از محاسبه درجه مواجهه و درجه خطر، نمره ریسک با توجه به فرمول $\text{Risk} = (\text{HR} \times \text{ER})^{1/2}$ (۱۹). برای کارگران شاغل در هر بخش از کارخانه محاسبه شد و در نهایت رتبه ی ریسک (RR) تعیین شد. در نهایت

قبل از نمونه برداری فیلترها به مدت ۲۴ ساعت در دسیکاتور قرار گرفتند و سپس توسط ترازوی (مدل Sartorius ME5 ساخت کشور آلمان) با دقت یک میکروگرم وزن شدند. برای ثابت نگه داشتن دبی در طول مدت نمونه برداری از اریفیس بحرانی استفاده شد. نمونه برداری فردی بصورت پیوسته و در طول یک شیفت کاری ادامه داشت. برای حذف خطاهای نمونه برداری به ازای هر سری نمونه از یک عدد فیلتر شاهد استفاده شد (۲۱). اطلاعات لازم برای ارزیابی نمونه ها و همچنین سایر اطلاعات محیطی در ارتباط با غلظت ذرات در پرسشنامه ای که برای همین کار طراحی شده بود ثبت و داده ها با استفاده از نرم افزار SPSS نسخه ۲۰ مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفتند.

روش آماده سازی و آنالیز نمونه ها: برای تعیین غلظت فلزات (سرب، کروم و کادمیوم) در ذرات قابل استنشاق سیمان از روش استاندارد شماره ۱۲۱ ارائه شده توسط سازمان بهداشت و ایمنی شغلی آمریکا OSHA (Occupational Safety and Health Administration) استفاده شد. فیلتر از کاست خارج شده و داخل یک بشر ۵۰ میلی لیتری قرار داده شد. سپس به وسیله ی پمپ ۵ میلی لیتر اسید نیتریک غلیظ (cas number = ۳۷-۲-۷۶۹۷) (ساخت شرکت مرک کشور آلمان) به آن اضافه شد. بشر روی هات پلیت موجود در زیر هود با دمای 100°C انتقال داده شد تا زمانی که حجم اسید به یک میلی لیتر کاهش پیدا کرد سپس دو میلی لیتر اسید پرکلریک غلیظ (cas number = 3-90-7601) (ساخت شرکت مرک آلمان) به آن اضافه شد تا حجم اسید به یک میلی لیتر رسید و فیلتر هضم شد و تا زمانی که فلزات موجود در آن وارد فاز محلول شوند جوشاندن ادامه یافت. محلول با آب دیونیزه تا اندازه کمترین حد تشخیص (LOD) دستگاه جذب اتمی (FAAS Model VARIAN 240FS) (ساخت کشور آمریکا) رقیق شد. حجم محلول رقیق شده نهایی برای هر فلز (FV_{factor}) برای فلزات مورد مطالعه کمتر از ۵۰۰ میلی لیتر به دست آمد. محلول نهایی برای هر فلز ۲ میلی لیتر بدست آمد که به داخل فالکون ۱۵ میلی لیتری انتقال داده شد. برای سه فلز کروم، کادمیوم و سرب مجموعاً ۲۱۰ نمونه و ۲۷ شاهد آماده شد و به دستگاه جذب اتمی-شعله ای (FAAS) منتقل شد. سپس با اندازه گیری میزان جذب نمونه و

جدول ۱- تعیین درجه خطر از طریق اثرات سمی یا عوارض زیان آور شیمیایی (۱۹).

درجه خطر	توصیف اثرات مواد شیمیایی در تقسیم بندی مخاطرات مواد شیمیایی
۱	موادی که هیچ گونه اثرات بهداشتی شناخته شده ای ندارند و به عنوان مواد سمی یا زیان آور طبقه بندی نشده‌اند.
۲	موادی که سازمان ACGIH آن‌ها را در طبقه A5 سرطان‌زاها قرار داده است. موادی که اثر برگشت پذیر روی پوست، چشم و غشای مخاطی دارند ولی اثراتشان آنقدر شدید نیست که بتواند اختلال جدی بر انسان ایجاد نماید.
۳	موادی که سازمان ACGIH آن‌ها را در طبقه A4 سرطان‌زاها قرار داده است. موادی که سبب ایجاد حساسیت و تحریک در پوست می‌شوند. موادی که احتمالاً برای انسان یا حیوان سرطانزا یا موتاژن هستند ولی اطلاعات کافی در این مورد وجود ندارد.
۴	موادی که سازمان IARC آن‌ها را در گروه B2 قرار داده است. مواد خورنده ($PH < 5$ یا $PH < 12$) و مواد حساس کننده دستگاه تنفسی و ... موادی که امکان سرطانزایی، موتاژن (جهش ژنی)، تراژون (ناقص الخلقه زایی) آن‌ها بر طبق مطالعات انجام شده روی حیوانات بیشتر از دسته قبلی است.
۵	موادی که سازمان ACGIH آن‌ها را در طبقه A2 سرطان‌زاها قرار داده است. گروه A2 در طبقه بندی IARC . مواد سمی خیلی خورنده ($PH < 2$ یا $PH < 14$) موادی که اثر سرطانزایی، موتاژنی (ایجاد جهش ژنی) و تراژونی (ناقص الخلقه زایی) آن‌ها شناخته شده است. موادی که سازمان ACGIH آن‌ها را در طبقه A1 سرطان‌زاها قرار داده است. گروه ۱ در طبقه بندی IARC. مواد شیمیایی خیلی سمی.

جدول ۲- تعیین درجه مواجهه ER و رتبه ریسک (RR) (۱۹).

رتبه ریسک (RR)	نمره ریسک (R)	درجه مواجهه (ER)	E/OEL
ناچیز	۰-۱/۷	۱	<۰/۱
کم	۱/۷-۲/۸	۲	۰/۱-۰/۵
متوسط	۲/۸-۳/۵	۳	۰/۵-۱/۰
زیاد	۳/۵-۴/۵	۴	۱/۰-۲/۰
خیلی زیاد	۴/۵-۵	۵	۲/۰≥

پس از مشخص شدن نمره ریسک رتبه بندی ریسک با توجه به جدول شماره ۲ صورت گرفت (۱۹).

یافته‌ها

از کل ۲۵۰ نفر پرسنل مشغول به کار در این کارخانه ۷۰ نفر در فرایند تولید سیمان به کار مشغول بودند و به طور مستقیم با ذرات آلاینده هوا در مواجهه بودند. سایر کارکنان در بقیه قسمت‌های کارخانه مانند بخش اداری، خدمات و نقلیه مشغول به کار بودند. میانگین سنی کارگران مواجهه یافته با گردوغبار سیمان $36/3 \pm 6/8$ سال و سابقه کار آن‌ها $8/2 \pm 3/1$ سال بود. غلظت فلزات سرب، کروم و کادمیوم موجود در ذرات قابل استنشاق در منطقه تنفسی کارگران شاغل در بخش‌های مختلف کارخانه سیمان در جدول شماره ۳

آورده شده است. بیشترین تعداد کارگران مواجهه یافته در بخش بارگیرخانه و کمترین تعداد آن‌ها در بخش سیلوی کلینکر برگشتی به کار مشغول بودند. بیشترین میانگین مواجهه با عنصر فلزی سرب در ذرات قابل استنشاق سیمان در بخش سیلوی کلینکر برگشتی $15/09 \pm 4/45 \mu\text{g}/\text{m}^3$ و کمترین میانگین مربوط به بخش آسیاب سیمان $8/48 \pm 3/11 \mu\text{g}/\text{m}^3$ بود. بیشترین میانگین غلظت فلز کروم در ذرات قابل استنشاق سیمان در بخش آسیاب سیمان $2/27 \pm 1/15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ و کمترین میانگین مربوط به بخش کوره و گریت کولر $1/11 \pm 0/48 \mu\text{g}/\text{m}^3$ بود. بیشترین میانگین غلظت فلز کادمیوم موجود در ذرات قابل استنشاق سیمان در بخش سیلوی کلینکر برگشتی $2/78 \pm 0/62 \mu\text{g}/\text{m}^3$ و کمترین میانگین مربوط به

جدول ۳- غلظت فلزات سرب، کروم و کادمیوم موجود در ذرات قابل استنشاق سیمان در منطقه تنفسی کارگران در بخش‌های مختلف کارخانه سیمان

بخش کارخانه	فلزات	تعداد کارگران	میانگین غلظت ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	انحراف معیار ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
بارگیرخانه	سرب	۲۴	۱۰/۱۶	۲/۸۸
	کروم	۲۴	۱/۱۶	۰/۳۳
	کادمیوم	۲۴	۲/۱۷	۰/۳۷
آسیاب سیمان	سرب	۱۲	۸/۸۴	۳/۱۱
	کروم	۱۲	۲/۲۷	۱/۱۵
	کادمیوم	۱۲	۲/۴۲	۰/۳۰
آسیاب مواد	سرب	۸	۱۱/۵۶	۷/۸۲
	کروم	۸	۱/۲۶	۰/۶۳
	کادمیوم	۸	۲/۶۱	۰/۳۵
کوره و گریت کولر	سرب	۸	۹/۵۰	۴/۶۵
	کروم	۸	۱/۱۱	۰/۴۸
	کادمیوم	۸	۲/۴۲	۰/۰۶
سیلوی کلینکر برگشتی	سرب	۲	۱۵/۰۹	۴/۴۵
	کروم	۲	۱/۳۰	۰/۰۵
	کادمیوم	۲	۲/۷۸	۰/۶۲
سنگ شکن و معدن	سرب	۱۲	۱۲/۲۲	۵/۲۴
	کروم	۱۲	۱/۱۷	۰/۲۳
	کادمیوم	۱۲	۲/۵۸	۰/۴۰
سالن خاک	سرب	۴	۹/۹۵	۲/۰۶
	کروم	۴	۱/۱۲	۰/۳۰
	کادمیوم	۴	۲/۷۷	۰/۱۷
کل	سرب	۷۰	۱۰/۳۹	۴/۴۵
	کروم	۷۰	۱/۳۶	۰/۷۰
	کادمیوم	۷۰	۲/۴۱	۰/۳۸

مختلف کارخانه ی سیمان برای فلز کروم را نشان می‌دهد. با توجه به میزان سمیت فلز کروم درجه خطر (HR) برای این فلز عدد ۵ در نظر گرفته شد. با توجه به نسبت E/OEL درجه ی مواجهه (ER) برای تمامی بخش های کارخانه عدد ۱ به دست آمد و از آنجایی که غلظت این فلز در تمام بخش های مختلف کارخانه سیمان کمتر از حدود مجاز مواجهه توصیه شده توسط کمیته ی فنی بهداشت حرفه ای کشور ایران (OEL) و همچنین TLV سازمان ACGIH می باشد نمره ریسک (R) در تمامی بخش های کارخانه عدد ۲/۲۳ بدست آمد و رتبه ریسک برای تمامی بخش های کارخانه کم به دست آمد.

بخش بارگیرخانه $2/17 \pm 0/37 \mu\text{g}/\text{m}^3$ بود. جدول شماره ۴ نتایج ارزیابی ریسک در بخش های مختلف کارخانه ی سیمان برای فلز سرب را نشان می دهد. با توجه به میزان سمیت فلز سرب درجه خطر برای این فلز عدد ۳ در نظر گرفته شد. با توجه به نسبت E/OEL درجه ی مواجهه (ER) برای تمامی بخش های کارخانه عدد ۱ به دست آمد و از آنجایی که غلظت این فلز در تمام بخش های کارخانه سیمان کمتر از حدود مجاز مواجهه توصیه شده توسط کمیته فنی بهداشت حرفه ای کشور ایران OEL(Occupational Exposure Limit) سازمان ACGIH(American Conference of Governmental Industrial Hygienists) می باشد نمره ریسک (R) در تمامی بخش های کارخانه عدد ۱/۷۳ بدست آمد و رتبه ریسک برای تمامی بخش های کارخانه کم به دست آمد. جدول شماره ۵ نتایج ارزیابی ریسک در بخش های

جدول ۴- نتایج ارزیابی ریسک فلز سرب موجود در ذرات قابل استنشاق سیمان در بخش‌های مختلف کارخانه سیمان

بخش کارخانه	درجه خطر (HR)	متوسط وزنی - زمانی هفتگی مواجهه (E)	E/OEL	درجه مواجهه (ER)	نمره ریسک (R)	طبقه‌بندی ریسک (RR)
بارگیرخانه	۳	۱۲/۱۹۲	۰/۲۴۳۸۴	۱	۱/۷۳	کم
آسیاب سیمان	۳	۱۰/۱۷۶	۰/۲۰۳۵۲	۱	۱/۷۳	کم
آسیاب مواد	۳	۱۳/۸۷۲	۰/۲۷۷۴۴	۱	۱/۷۳	کم
کوره و گریت کولر	۳	۱۱/۴۰	۰/۲۲۸	۱	۱/۷۳	کم
سیلوی کلینکر برگشتی	۳	۱۸/۱۰۸	۰/۳۶۲۱۶	۱	۱/۷۳	کم
سنگ شکن و معدن	۳	۱۴/۶۶۴	۰/۲۹۳۲۸	۱	۱/۷۳	کم
سالن خاک	۳	۱۱/۹۴	۰/۲۳۸۸	۱	۱/۷۳	کم

جدول ۵- نتایج ارزیابی ریسک فلز کروم موجود در ذرات قابل استنشاق سیمان در بخش‌های مختلف کارخانه سیمان

بخش کارخانه	درجه خطر (HR)	متوسط وزنی - زمانی هفتگی مواجهه (E)	E/OEL	درجه مواجهه (ER)	نمره ریسک (R)	طبقه‌بندی ریسک (RR)
بارگیرخانه	۵	۱/۳۹۲	۰/۰۰۲۷۸۴	۱	۲/۲۳	کم
آسیاب سیمان	۵	۲/۷۲۴	۰/۰۰۵۴۴۸	۱	۲/۲۳	کم
آسیاب مواد	۵	۱/۵۱۲	۰/۰۰۳۰۲۴	۱	۲/۲۳	کم
کوره و گریت کولر	۵	۱/۳۳۲	۰/۰۰۲۶۶۴	۱	۲/۲۳	کم
سیلوی کلینکر برگشتی	۵	۱/۵۶	۰/۰۰۳۱۲	۱	۲/۲۳	کم
سنگ شکن و معدن	۵	۱/۴۰۴	۰/۰۰۲۸۰۸	۱	۲/۲۳	کم
سالن خاک	۵	۱/۳۴۴	۰/۰۰۲۶۸۸	۱	۲/۲۳	کم

جدول ۶- نتایج ارزیابی ریسک فلز کادمیوم موجود در ذرات قابل استنشاق سیمان در بخش‌های مختلف کارخانه سیمان

بخش کارخانه	درجه خطر (HR)	متوسط وزنی - زمانی هفتگی مواجهه (E)	E/OEL	درجه مواجهه (ER)	نمره ریسک (R)	طبقه‌بندی ریسک (RR)
بارگیرخانه	۴	۲/۶۰۴	۰/۲۶۰۴	۱	۲	کم
آسیاب سیمان	۴	۲/۹۰۴	۰/۲۹۰۴	۱	۲	کم
آسیاب مواد	۴	۳/۱۳۲	۰/۳۱۳۲	۱	۲	کم
کوره و گریت کولر	۴	۲/۹۰۴	۰/۲۹۰۴	۱	۲	کم
سیلوی کلینکر برگشتی	۴	۳/۳۳۶	۰/۳۳۳۶	۱	۲	کم
سنگ شکن و معدن	۴	۳/۰۹۶	۰/۳۰۹۶	۱	۲	کم
سالن خاک	۴	۳/۳۲۴	۰/۳۳۲۴	۱	۲	کم

بدست آمد و در نتیجه رتبه ریسک برای تمامی بخش‌های کارخانه کم به دست آمد. از آنجا که مواجهه همه کارگران شاغل در یک بخش با ذرات قابل استنشاق سیمان و در نتیجه مواجهه آنان با عناصر فلزی سرب، کروم و کادمیوم متفاوت می‌باشد، ریسک مواجهه کارگرانی که در معرض بیشترین غلظت فلزات مورد مطالعه در سه کارگاه کلینکر برگشتی، آسیاب مواد و آسیاب سیمان بودند بصورت جداگانه محاسبه و در جدول شماره ۷ خلاصه شد. نتایج نشان داد که کارگران مواجهه یافته با کادمیوم و سرب به ترتیب در کارگاه های کلینکر برگشتی و آسیاب مواد در

جدول شماره ۶ نتایج ارزیابی ریسک در بخش‌های مختلف کارخانه سیمان برای فلز کادمیوم را نشان می‌دهد. با توجه به میزان سمیت فلز کادمیوم درجه خطر (HR) برای این فلز عدد ۴ در نظر گرفته شد. با توجه به نسبت E/OEL درجه ۱ مواجهه (ER) برای تمامی بخش‌های کارخانه عدد ۱ به دست آمد و از آنجایی که غلظت این فلز در تمام بخش‌های مختلف کارخانه سیمان کمتر از حدود مجاز مواجهه توصیه شده توسط کمیته ی فنی بهداشت حرفه‌ای کشور ایران (OEL) و همچنین TLV سازمان ACGIH می‌باشد نمره ریسک (R) در تمامی بخش‌های کارخانه عدد ۲

جدول ۷- نتایج ارزیابی ریسک کارگری که بیشترین مواجهه را با هر کدام از فلزات کادمیوم، سرب و کروم داشت در بخش‌های مختلف کارخانه سیمان

نام فلز	غلظت ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	بخش کارخانه	درجه خطر (HR)	متوسط وزنی- زمانی هفتگی مواجهه (E)	E/OEL	درجه مواجهه (ER)	نمره ریسک (R)	طبقه‌بندی ریسک (RR)
کادمیوم	۲/۲۳	کلینکر برگشتی	۴	۳/۸۷۶	۰/۳۸۷۶	۲	۲/۸۲	متوسط
سرب	۲۸/۱۲	آسیاب مواد	۳	۳۳/۷۴۴	۰/۶۷۴۸۸	۳	۳	متوسط
کروم	۴/۵۹	آسیاب سیمان	۵	۵/۴۹۶	۰/۱۰۹۹۲	۱	۲/۲۳	کم

مواجهه با ریسک متوسط هستند و کارگر شاغل در مواجهه با کروم در بخش آسیاب سیمان نیز در ریسک متوسط قرار می‌گیرد.

هدف از این مطالعه بررسی غلظت فلزات سنگین (سرب، کروم و کادمیوم) موجود در ذرات قابل استنشاق در یک کارخانه ی سیمان و ارزیابی ریسک نیمه کمی به روش ارائه شده توسط دپارتمان بهداشت حرفه‌ای سنگاپور برای مواجهه با این فلزات در ذرات قابل استنشاق سیمان در بخش‌های مختلف یک کارخانه سیمان بود. استاندارد مواجهه با فلزات کادمیوم، سرب و کروم بر طبق استاندارد OEL کشور ایران و همچنین TLV سازمان ACGIH به ترتیب ۱۰، ۵۰ و ۵۰۰ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ می‌باشد. در مطالعه ی حاضر میانگین غلظت فلزات در ذرات قابل استنشاق سیمان به ترتیب برای کادمیوم، سرب و کروم (۲/۴۱، ۱۰/۳۹ و ۱/۳۶) $\mu\text{g}/\text{m}^3$ اندازه گیری شد که تمامی آن‌ها از حد مجاز توصیه شده توسط کمیته فنی بهداشت حرفه ای کشور ایران (OEL) و همچنین TLV سازمان ACGIH کمتر بود (۲۳، ۲۴). در پژوهشی که توسط گبادو و همکاران در سال ۲۰۰۷ در یک کارخانه ی سیمان در جنوب غربی نیجریه انجام شد میزان مواجهه با فلزات کروم، سرب و کادمیوم (به ترتیب ۲۳۸۰، ۴۹۰ و ۲۸۰ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ هوا) گزارش شد که این نتیجه بیشتر از نتایج حاصل از مطالعه حاضر بود (۴). در مطالعه ای که توسط حضرتی و همکاران در سال ۱۳۹۴ در کشور ایران بر روی ارزیابی کروم شش ظرفیتی در هوای تنفسی و نمونه خون کارگران در یک کارخانه سیمان انجام شد، میزان کروم شش ظرفیتی در هوای تنفسی در قسمت آسیاب مواد، سنگ شکن و پری هیتر (۱۸/۱۸) $\mu\text{g}/\text{m}^3$ در بخش بارگیرخانه (۴۷/۱۷) و در قسمت تعمیر کوره (۵۹/۸۶)

به مطالعه ی حضرتی و همکاران بدست آمد (۲۵). در مطالعه ای که توسط هوی لینگ ما و همکاران (۲۰۰۸) بر روی اندازه گیری میزان فلز کروم موجود در ذرات هوابرد در مناطق صنعتی هنگ کنگ انجام شد چنین نتیجه گیری شد که میانگین غلظت فلز کروم موجود در ذرات هوابرد ۰/۱۳۲ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ برآورد شد که نسبت به مطالعه ی حاضر بسیار کمتر می‌باشد (۲۶). در مطالعه‌ای که توسط منیرشاه و همکاران (۲۰۰۴) در کشور پاکستان بر روی تعیین غلظت فلز سرب در ذرات هوابرد انجام شد نتیجه اندازه گیری در دو ایستگاه مختلف نشان داد که میانگین غلظت فلز سرب در ذرات هوابرد ۰/۱۸۵ و ۰/۵۰۵ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ می‌باشد که نتایج اندازه گیری در هر دو ایستگاه کمتر از مطالعه حاضر می‌باشد (۲۷). بالاترین میزان فلز سرب مربوط به کارگری در بخش آسیاب مواد $28/12 \mu\text{g}/\text{m}^3$ و کمترین مواجهه ی فردی با این فلز در بخش آسیاب سیمان $2/96 \mu\text{g}/\text{m}^3$ مشاهده شد. بیشترین مواجهه ی فردی با فلز کروم در بخش آسیاب سیمان $4/59 \mu\text{g}/\text{m}^3$ و کمترین مواجهه فردی با این فلز در بخش کوره و گریت کولر $0/7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ اندازه‌گیری شد. بیشترین مواجهه فردی با فلز کادمیوم در بخش سیلوی کلینکر برگشتی $3/32 \mu\text{g}/\text{m}^3$ و کمترین مواجهه فردی مربوط به بارگیرخانه $1/64 \mu\text{g}/\text{m}^3$ بود. بیشترین غلظت فلز کادمیوم مربوط به زمانی بود که باد از سمت شمال غربی به سمت کارخانه وزیده است که احتمال تاثیر ذرات انتقالی از محیط‌های اطراف کارخانه بر ترکیب شیمیایی ذرات قوی تر می‌شود. با افزایش دما غلظت فلز کروم افزایش یافته است

بحث

هدف از این مطالعه بررسی غلظت فلزات سنگین (سرب، کروم و کادمیوم) موجود در ذرات قابل استنشاق در یک کارخانه ی سیمان و ارزیابی ریسک نیمه کمی به روش ارائه شده توسط دپارتمان بهداشت حرفه‌ای سنگاپور برای مواجهه با این فلزات در ذرات قابل استنشاق سیمان در بخش‌های مختلف یک کارخانه سیمان بود. استاندارد مواجهه با فلزات کادمیوم، سرب و کروم بر طبق استاندارد OEL کشور ایران و همچنین TLV سازمان ACGIH به ترتیب ۱۰، ۵۰ و ۵۰۰ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ می‌باشد. در مطالعه ی حاضر میانگین غلظت فلزات در ذرات قابل استنشاق سیمان به ترتیب برای کادمیوم، سرب و کروم (۲/۴۱، ۱۰/۳۹ و ۱/۳۶) $\mu\text{g}/\text{m}^3$ اندازه گیری شد که تمامی آن‌ها از حد مجاز توصیه شده توسط کمیته فنی بهداشت حرفه ای کشور ایران (OEL) و همچنین TLV سازمان ACGIH کمتر بود (۲۳، ۲۴). در پژوهشی که توسط گبادو و همکاران در سال ۲۰۰۷ در یک کارخانه ی سیمان در جنوب غربی نیجریه انجام شد میزان مواجهه با فلزات کروم، سرب و کادمیوم (به ترتیب ۲۳۸۰، ۴۹۰ و ۲۸۰ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ هوا) گزارش شد که این نتیجه بیشتر از نتایج حاصل از مطالعه حاضر بود (۴). در مطالعه ای که توسط حضرتی و همکاران در سال ۱۳۹۴ در کشور ایران بر روی ارزیابی کروم شش ظرفیتی در هوای تنفسی و نمونه خون کارگران در یک کارخانه سیمان انجام شد، میزان کروم شش ظرفیتی در هوای تنفسی در قسمت آسیاب مواد، سنگ شکن و پری هیتر (۱۸/۱۸) $\mu\text{g}/\text{m}^3$ در بخش بارگیرخانه (۴۷/۱۷) و در قسمت تعمیر کوره (۵۹/۸۶)

به مطالعه ی حضرتی و همکاران بدست آمد (۲۵). در مطالعه ای که توسط هوی لینگ ما و همکاران (۲۰۰۸) بر روی اندازه گیری میزان فلز کروم موجود در ذرات هوابرد در مناطق صنعتی هنگ کنگ انجام شد چنین نتیجه گیری شد که میانگین غلظت فلز کروم موجود در ذرات هوابرد ۰/۱۳۲ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ برآورد شد که نسبت به مطالعه ی حاضر بسیار کمتر می‌باشد (۲۶). در مطالعه‌ای که توسط منیرشاه و همکاران (۲۰۰۴) در کشور پاکستان بر روی تعیین غلظت فلز سرب در ذرات هوابرد انجام شد نتیجه اندازه گیری در دو ایستگاه مختلف نشان داد که میانگین غلظت فلز سرب در ذرات هوابرد ۰/۱۸۵ و ۰/۵۰۵ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ می‌باشد که نتایج اندازه گیری در هر دو ایستگاه کمتر از مطالعه حاضر می‌باشد (۲۷). بالاترین میزان فلز سرب مربوط به کارگری در بخش آسیاب مواد $28/12 \mu\text{g}/\text{m}^3$ و کمترین مواجهه ی فردی با این فلز در بخش آسیاب سیمان $2/96 \mu\text{g}/\text{m}^3$ مشاهده شد. بیشترین مواجهه ی فردی با فلز کروم در بخش آسیاب سیمان $4/59 \mu\text{g}/\text{m}^3$ و کمترین مواجهه فردی با این فلز در بخش کوره و گریت کولر $0/7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ اندازه‌گیری شد. بیشترین مواجهه فردی با فلز کادمیوم در بخش سیلوی کلینکر برگشتی $3/32 \mu\text{g}/\text{m}^3$ و کمترین مواجهه فردی مربوط به بارگیرخانه $1/64 \mu\text{g}/\text{m}^3$ بود. بیشترین غلظت فلز کادمیوم مربوط به زمانی بود که باد از سمت شمال غربی به سمت کارخانه وزیده است که احتمال تاثیر ذرات انتقالی از محیط‌های اطراف کارخانه بر ترکیب شیمیایی ذرات قوی تر می‌شود. با افزایش دما غلظت فلز کروم افزایش یافته است

بندی شود. کارگران کارخانه سیمان به دلیل غلظت کمتر از حد مجاز مواجهه شغلی با فلزات سنگین سرب، کروم و کادمیوم موجود در ذرات قابل استنشاق سیمان در معرض ریسک به میزان کم هستند. اگرچه خطر مواجهه با فلزات سنگین سرب، کروم و کادمیوم موجود در ذرات قابل استنشاق سیمان برای کارگران بخش‌های مختلف کم می‌باشد ولی باید توجه داشت که برخی از کارگران مشغول به کار در بخش سیلوی کلینکر برگشتی و آسیاب مواد در مواجهه بیشتری با فلزات کادمیوم و سرب نسبت به دیگر قسمت‌های کارخانه بودند به طوری که رتبه ریسک برای این افراد متوسط برآورد گردید.

مطالعات مختلفی بر روی ارزیابی ریسک مواد شیمیایی گوناگون در صنعت انجام شده است، در مطالعه ای که توسط دهقانی و همکاران در سال ۲۰۱۸ بر روی ارزیابی ریسک ترکیبات فرار منتشره از واحد کک در یک کارخانه تولید فولاد در کشور ایران انجام شد چنین نتیجه‌گیری شد که ریسک سرطانزایی و غیرسرطانزایی سی روزه مواجهه شغلی با بنزن در تمام بخش‌های مورد مطالعه بیشتر از حد توصیه شده توسط کمیته ی فنی بهداشت حرفه ای کشور ایران بود همچنین مواجهه با تولوئن در بخش تصفیه ی بنزول دارای ریسک بالایی بود (۲۹) در مطالعه ی دیگری که توسط دهقانی و همکاران در سال ۲۰۱۷ با عنوان ارزیابی ریسک بهداشتی مواجهه با ترکیبات فرار BTEX در واحد رنگ یک صنعت خودروسازی به روش EPA در کشور ایران انجام شد، نتایج نشان داد که ریسک سرطان شغلی برای ترکیبات بنزن و اتیل بنزن در کلیه ی بخش های اندازه گیری شده بالا می باشد. همچنین ریسک غیر سرطانزایی نیز برای بنزن در کلیه بخش‌های اندازه‌گیری شده بسیار بالا می‌باشد. ریسک غیر سرطان زایی برای زایلن در بخش‌های کابین رنگ و پیش رنگ بالا بود که عمده ریسک بهداشتی کارگران واحد رنگ مربوط به ترکیبات بنزن و زایلن بود (۳۰) در مطالعه‌ای که توسط امید و همکاران در سال ۲۰۱۸ با عنوان ارزیابی ریسک سرطان زایی و غیر سرطان زایی مواجهه با ترکیبات آلی فرار (BTEX) با استفاده از تکنیک شبیه سازی مونت کارلو در یک صنعت فولاد در کشور ایران انجام شد، ریسک بالای سرطان زایی بنزن در واحدهای انرژی و بیوشیمی، تصفیه بنزول و

و رطوبت اثر معکوسی بر غلظت این فلز دارد که این اتفاق می‌تواند به این دلیل باشد که با افزایش دما و خشکی خاک ذرات بیشتری بصورت هوابرد پراکنده می‌شوند و در نتیجه افزایش غلظت ذرات غلظت کروم در هوا نیز افزایش می‌یابد و طبیعتاً با افزایش رطوبت غلظت ذرات سیمان و کروم موجود در آن نیز کاهش می‌یابد. نتایج نشان داد که افزایش رطوبت باعث افزایش غلظت فلز سرب می‌شود که این تاثیر نیز به دلیل تاثیر در غلظت کل ذرات سیمان و ذرات انتقالی توسط باد از اطراف کارخانه می‌تواند باشد احتمالاً یکی از دلایل آن می‌تواند این باشد که در مواد خامی که برای تولید سیمان از معدن کارخانه تهیه می‌شوند غلظت این فلزات کم می‌باشد. یا اینکه در طی فرایند تولید و موادی که به سیمان اضافه می‌شود حاوی مقداری کم این فلزات در خود می‌باشد.

مطالعات مختلف نشان داده‌اند که غلظت‌های بالای عنصر کروم می‌تواند موجب آلرژی‌های تنفسی مانند آسم، سرطان ریه، مشکلات گوارشی و کبدی و نیز انواع بیماری‌های پوستی شود (۶). از اثرات سوء کادمیوم بر بدن انسان می‌توان به بیماری ایتای ایتای اشاره کرد (۲۸). کادمیوم همچنین می‌تواند در بدن تجمع یابد و اثرات سوء مختلفی بر ارگان‌های بدن از قبیل کبد، کلیه‌ها، شش‌ها، استخوان‌ها، جفت و سیستم اعصاب مرکزی بگذارد (۱۱). آژانس بین المللی سرطان (IARC) فلزات کروم شش ظرفیتی و همچنین کادمیوم را جزو سرطانزای گروه یک دسته بندی کرده است (۷). با توجه به موارد فوق درجه ی خطر (HR) برای مواجهه با فلزات سرب، کروم و کادمیوم در ذرات قابل استنشاق سیمان به ترتیب (۳ و ۴ و ۵) در نظر گرفته شد. با اینکه درجه ی خطر برای فلزات کروم و کادمیوم موجود در ذرات قابل استنشاق سیمان بالا بود ولی از آنجا که غلظت این دو فلز و همچنین غلظت فلز سرب موجود در ذرات قابل استنشاق سیمان پایین تر از حد مجاز مواجهه تعیین شده توسط کمیته فنی بهداشت حرفه‌ای کشور ایران (OEL) و هم چنین TLV سازمان ACGIH بود، میزان ضریب مواجهه (ER) و در نتیجه نمره ریسک (R) مقدار پایینی به دست آمد که باعث شد رتبه ریسک (RR) مواجهه با هر سه فلز سرب، کروم و کادمیوم موجود در ذرات قابل استنشاق سیمان برای تمامی بخش‌های کارخانه در رتبه کم طبقه

میزان سطح ریسک غیر سرطانزایی بالاتر از میزان قابل قبول بود (۳۷). در مطالعه ای که توسط هرمن و همکاران در سال ۲۰۰۰ بر روی ارزیابی ریسک سرطان ریه در کارگران در صنعت تولید کروم در کشور ایالات متحده صورت گرفت چنین نتیجه گیری شد که بین مواجهه ی طولانی مدت با کروم شش ظرفیتی و سرطان ریه رابطه ی قوی وجود دارد (۳۸). در مطالعه ای که توسط جنید و همکاران در سال ۲۰۱۷ بر روی ارزیابی ریسک ابتلا به سرطان در صنعت چرم در کشور پاکستان انجام شد چنین نتیجه گیری شد که ریسک ابتلا به سرطان ریه در مواجهه با کروم شش ظرفیتی نسبت به فلز کادمیوم دارای ریسک بسیار بیشتری می باشد (۳۹). در مطالعه ای که توسط آناک و همکاران در سال ۲۰۱۷ بر روی ارزیابی ریسک فلزات سنگین موجود در ذرات قابل تنفس در یک منطقه ی صنعتی در کشور نیجریه انجام شد که فلزات کروم و کادمیوم در مقایسه با دیگر فلزات دارای ریسک بیشتری برای ابتلا به سرطان ریه در مواجهه ی طولانی مدت دارند که میزان ریسک ابتلا به سرطان برای دو فلز کروم و کادمیوم در این مطالعه بیشتر از مطالعه حاضر می باشد (۴۰).

نتیجه گیری

با توجه به مطالعه حاضر غلظت فلزات کروم، کادمیوم و سرب موجود در ذرات قابل استنشاق سیمان پایین تر از حد مجاز مواجهه تعیین شده توسط کمیته فنی بهداشت حرفه ای کشور ایران (OEL) و هم چنین TLV سازمان ACGIH بود و در نتیجه رتبه ریسک (RR) مواجهه با هر سه فلز سرب، کروم و کادمیوم موجود در ذرات قابل استنشاق سیمان برای تمامی بخش های کارخانه در رتبه کم طبقه بندی شد. همچنین به دلیل مواجهه بیشتر برخی از کارگران با فلزات کادمیوم و سرب در بخش های سیلوی کلینکر برگشتی و آسیاب مواد، رتبه ریسک برای این کارگران میزان متوسط برآورد گردید.

بنابراین می توان موارد زیر را جهت کاهش رتبه ریسک این کارگران انجام داد:

۱- مدت زمان مواجهه کارگران با ذرات قابل استنشاق و در نتیجه فلزات سنگین موجود در آنها را با ارائه روش های مدیریتی مناسب کاهش داد.

کوره آزمایشی را نشان داد (۳۱). در مطالعه ای که توسط جهانگیری و همکاران در سال ۲۰۱۱ بر روی ارزیابی ریسک مواجهه با عوامل زیان آور شیمیایی در یک صنعت پتروشیمی انجام گرفت چنین نتیجه گیری شد که مواجهه با دو ماده شیمیایی اپی کلروهیدرین و اسید سولفوریک در این صنعت از درجه خطر بالایی برخوردار می باشد (۳۲).

در مطالعه ای که توسط ملکوتی و همکاران در سال ۲۰۱۴ بر روی ارزیابی ریسک مواجهه با مواد شیمیایی خطرناک در آزمایشگاه های مراکز آموزشی درمانی دانشگاه علوم پزشکی شهر قم صورت گرفت به این نتیجه رسیدند که ۶۷/۲۶ درصد از آزمایشگاه های مورد مطالعه از ریسک قابل توجهی برخوردارند (۳۳).

در مطالعه ای که توسط موسوی و همکاران در سال ۲۰۱۹ با عنوان ارزیابی ریسک نیمه کمی مواجهه شغلی کارگران محوطه واحد پساب صنعتی در یک پالایشگاه نفت با آلاینده های شیمیایی صورت گرفت چنین نتیجه گیری شد که کارگران پساب صنعتی پالایشگاه نفت آبادان دارای سطح ریسک مواجهه خیلی بالایی با آلاینده های شیمیایی می باشند (۳۴).

در مطالعه ای که توسط فلاح زاده و همکاران در سال ۲۰۱۸ بر روی ارزیابی ریسک میزان کروم در منابع آب زیرزمینی با روش مونت کارلو در کشور ایران انجام شد، نتایج ریسک بالای غیر سرطان زایی فلز کروم را در کودکان و نوجوانان نشان داد همچنین نتیجه گیری شد که ریسک سرطانزایی برای مواجهه با فلز کروم از طریق پوست و نوشیدن بالا می باشد (۳۵).

در مطالعه ای که توسط استینر و همکاران در سال ۱۹۹۲ بر روی ریسک ابتلا به سرطان ریه در کارگران صنعت ذوب کادمیوم در کشور ایالات متحده صورت گرفت چنین نتیجه گیری شد که ریسک ابتلا به سرطان ریه در غلظت های حدود مجاز مواجهه با کادمیوم ۵۰ تا ۱۱۱ مورد به ازای هر هزار نفر می باشد که در مقایسه با مطالعه حاضر از میزان ریسک بسیار بالاتری برخوردار می باشد (۳۶). در مطالعه ی دیگری که توسط فضلی و همکاران در سال ۲۰۱۷ بر روی ارزیابی ریسک غیر سرطانزای شغلی در کارگران صنعت آبکاری در کشور ایران صورت گرفت چنین نتیجه گیری شد که با اینکه میزان مواجهه با کروم شش ظرفیتی در کارگران شاغل در این صنعت پایین تر از حدود مجاز مواجهه بود ولی

6. Isikli B, Demir TA, Urer SM, Berber A, Akar T, Kalyoncu C. Effects of chromium exposure from a cement factory. *Environ Res.* 2003;91:113-118.

7. IARC. Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans: Arsenic, metals, fibres and dusts. Lyon, France: International Agency for Research on Cancer; 2012.

8. Shokrzadeh M, Shaki F. Study of the Amount of Pb, Cd and Cr in Imported Indian Rice to Iran and Tarom rice Produced in the Province of Golestan. *J Mazandaran Univ Med Sci.* 2014;23(109):115123 [Persian]

9. Bellinger DC, Needleman HL, Eden AN, Donohoe MT, Canfield RL, Henderson CR, Jr, et al. Intellectual impairment and blood lead levels. *N Engl J Med.* 2003;349(5):500-2.

10. Sarathy A, Naidana K, Burra C. study on lead toxicity among the workers in an unorganized sector of lead-acid battery industry. *Al Ameen J Med Sci.* 2013;6(4):350- 354.

11. Castro-González M, Méndez-Armenta M. Heavy metals: Implications associated to fish consumption. *Environmental toxicology and pharmacology.* 2008;26(3):263-71.

12. Chen L, Ren W, Zhu S, Gao W, Zhou J, Jiang Y, et al. Effects of chronic cadmium loading on the testis and endocrine function of reproduction in male rats. *Acta Physiol Sin.* 2002;54(3):258-62.

13. Alabi N, Whanger P, Wu A. Interactive effects of organic and inorganic selenium with cadmium and mercury on spermatozoal oxygen consumption and motility in vitro. *Biol Reprod.* 1985;33(4):911-9.

14. Mirzaee R, Kebriaei A, Hashemi S, Sadeghi M, Shahrakipour M. Effects of exposure to Portland cement dust on lung function in Portland cement factory workers in Khash, Iran. *Iran J Environ Health Sci Eng.* 2008; 5(3):201-206.

15. Smailyte G, Kurtinaitis J, Andersen A. Mortality and cancer incidence among Lithuanian cement producing workers. *Occup Environ Med.* 2004;61(6):529-34.

16. Paustenbach DJ. Human and ecological risk assessment: Theory and practice. *Hum Ecol Risk Assess.* 2003;9(4):1089-90.

17. National Research Council. Risk Assessment in the Federal Government: Managing the Process. Washington DC: National Academy Press; 1983.

18. Roberts SM, James RC, Williams PL. Principles of toxicology: environmental and industrial applications: John Wiley & Sons; 2014.

19. OS&HD. A Semi-Quantitative Method to Assess Occupational Exposure to Harmful Chemicals. Singapor ministry of manpower; 2005 3-35.

20. Malakoti J, Rezazadeh Azari M, Farahani A. Occupational exposure risk assessment of researchers to harmful chemical agents. *Journal of IRIAF Health Administration* 2000;13(3,4):31-35. [Persian]

۲- از سیستم تهویه مناسب و کارآمد استفاده شود و قسمت‌های فرسوده سیستم تعویض یا تعمیر شود.

۳- استفاده از وسایل حفاظت فردی مناسب.

۴- از به کارگیری کارگرانی که دارای حساسیت و مشکلات تنفسی هستند در بخش‌های سیلوی کلینکر برگشتی و همچنین آسیاب مواد جلوگیری شود.

با توجه به محدودیت‌های مطالعه حاضر توصیه می‌شود محققین در مطالعات آتی خود به بررسی تعداد بیشتری از کارخانجات کشور بپردازند، همچنین تعداد نمونه و کارگران مورد مطالعه را نیز افزایش دهند. توصیه می‌شود از دستگاه‌های جدیدتر و دقیق‌تر مانند ICP (Inductively Coupled Plasma) برای آنالیز نمونه‌ها استفاده شود همچنین برای فلز کروم به بررسی ظرفیت‌های دیگر این فلز مانند شش ظرفیتی نیز بپردازند.

تقدیر و تشکر

نویسندگان مراتب قدردانی خود را از همکاری صمیمانه مدیر عامل کارخانه سیمان، معاونت محترم پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی مازندران که هزینه اجرای این مطالعه را تقبل نمودند اعلام می‌نمایند، مقاله مورد نظر با کد ۲۷۱۰ (IR.MAZUMS.REC.96) مورد تایید کمیته اخلاق قرار گرفت.

References

1. Schenk L, Hansson SO, Rudan C, Gilek M. Occupational exposure limits: A comparative study. *Regul Toxicol Pharmacol.* 2008;50(2):261-70.
2. Herber RFM, Duffus JH, Christensen JM, Olsen E, Park MV. Risk assessment for occupational exposure to chemicals. A review of current methodology. *Pure Appl Chem.* 2001;73(6):993-1031.
3. Vestbo J, Knudsen KM, Raffn E, Korsgaard B, Rasmussen FV. Exposure to cement dust at a Portland cement factory and the risk of cancer. *Br J Indust Med.* 1991;48(12):803-7.
4. Gbadebo A, Bankole O. Analysis of potentially toxic metals in airborne cement dust around Sagamu, southwestern Nigeria. *J Appl Sci* 2007;7(1):35-40.
5. Short S, Petsonk E. Respiratory system: the variety of pneumoconioses In: Stellman JM, ed. *Encyclopaedia of occupational health and safety*, 4th ed Geneva: Int Labor Organiz. 1998;1:10.66-10.69.

- Medical Sciences. Iran Occup Health J. 2014;11(2):13-25.
34. mousavi SM, Koohpaei A, hajizadeh R, yazdanirad s, moradirad r. Semi-quantitative risk assessment of occupational exposure area industrial wastewater Treatment unit in an oil refinery and chemical contaminants. Iran Occup Health J. 2019;15(6):10-20.
 35. Fallahzadeh RA, Khosravi R, Dehdashti B, Ghahramani E, Omidi F, Adli A, et al. Spatial distribution variation and probabilistic risk assessment of exposure to chromium in ground water supplies; a case study in the east of Iran. Food Chem Toxicol. 2018;115:260-6.
 36. Stayner L, Smith R, Thun M, Schnorr T, Lemen R. A dose-response analysis and quantitative assessment of lung cancer risk and occupational cadmium exposure. Ann Epidemiol. 1992;2(3):177-94.
 37. Fazli Z, Zendedel R, Panahi D, Omidi M. Non-carcinogenic risk assessment of occupational exposure to hexavalent chromium in two. J Health Field. 2016;4(1).
 38. Gibb HJ, Lees PS, Pinsky PF, Rooney BC. Lung cancer among workers in chromium chemical production. Am J Indust Med. 2000;38(2):115-26.
 39. Junaid M, Hashmi MZ, Tang YM, Malik RN, Pei D-S. Potential health risk of heavy metals in the leather manufacturing industries in Sialkot, Pakistan. Sci Rep. 2017;7(1):8848.
 40. Anake WU, Ana GR, Williams AB, Fred-Ahmadu OH, Benson NU, editors. Chemical Speciation and Health Risk Assessment of Fine Particulate Bound Trace Metals Emitted from Ota Industrial Estate, Nigeria. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science; 2017: IOP Publishing.
 21. NIOSH. NIOSH Manual of analytical method, Particulates Not Otherwise Regulated, RESPIRABLE, Method Number: 0600 . accessed on 13/10/2008 at: <https://www.cdc.gov/niosh/docs/81-123/pdfs/0600.pdf>.
 22. <https://www.osha.gov/dts/sltc/methods/inorganic/id121/id121.html>.
 23. Occupational exposure limits, Center for Environment and occupational Health, Ministry of Health and Medical Education, Publishers: Student Hamedan.1395.
 24. The American Conference of Governmental Industrial Hygienists Threshold Limit Values (TLVs). 7, editor 2015.
 25. Hazrati S, Rezazadeh Azari M, Fazlzadeh M. Evaluation of Workers Exposure to Hexavalent Chromium Compounds in a Cement Industry. J Environ Health Work. 2016;1(1):35-40. [Persian]
 26. Ma HL, Tanner PA. Determination of chromium in airborne particulate matter by inductively coupled plasma dynamic reaction cell mass spectrometry. J Environ Monitor. 2008;10(10):1217-25.
 27. Shah MH, Shaheen N, Jaffar M, Saqib M. Distribution of lead in relation to size of airborne particulate matter in Islamabad, Pakistan. J Environ Manag. 2004;70(2):95-100.
 28. Ebrahimi Sirizi Z, Sakizadeh M, Esmaili Sari A, Bahramifar N, Ghasempouri SM, Abbasi K. Survey of Heavy Metals (Cd, Pb, Cu and Zn) Contamination in Muscle tissue of Esox luciusn from Anzali International Wetland: Accumulation and Risk Assessment. J Mazandaran Uni Med Sci. 2012;22(87):57-63 [Persian]
 29. Dehghani F, Omidi F, Heravizadeh O, Barati Chamgordani S, Gharibi V, Sotoudeh Manesh A. Occupational health risk assessment of volatile organic compounds emitted from the coke production unit of a steel plant. Int J Occup Saf Ergonom. 2018;1-6.
 30. Dehghani F, Golbabaei F, Abolfazl Zakerian S, Omidi F, Mansournia MA. Health risk assessment of exposure to volatile organic compounds (BTEX) in a painting unit of an automotive industry. Health Saf Work. 2018; 8(1):55-64.
 31. Omidi F, Fallahzadeh RA, Dehghani F, Harati B, Barati Chamgordani S, Gharibi V. Carcinogenic and non-carcinogenic risk assessment of exposure to volatile organic compounds (BTEX) using Monte-Carlo simulation technique in a steel industry. Health Saf Work. 2018;8(3):299-308.
 32. Jahangiri M, Motovagheh M. Health Risk Assessment of Harmful Chemicals: Case Study in a Petrochemical Industry. Iran Occup Health J. 2011;7(4):4-0.
 33. Malakouti J, Arsang jang S, Mosaferchi S, Hasely F, Azizi F, Mahdinia M. Health Risk Assessment of Occupational Exposure to Hazardous Chemicals in Laboratories of Qom University of