



Occupational and biological monitoring of workers exposed to airborne dust in Gol-e-Gohar Iron Ore mine

Mahvash Safinejad, MsSc, School of Public Health and Safety, Department of Occupational Health Engineering, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran

Mansour R. Azari, (*Corresponding author) Professor, Safety Promotion and Prevention of Injury Research Center, School of Public Health and Safety, Department of Occupational Health Engineering, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran. mrazari@sbmu.ac.ir

Rezvan Zendehtdel, Associate Professor, School of Public Health and Safety, Department of Occupational Health Engineering, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran

Athena Rafieepour, PhD Candidate, School of Public Health and Safety, Department of Occupational Health Engineering, Student Research Committee, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran

Soheila Khodakarim, Associate Professor, School of Public Health and Safety, Department of Epidemiology, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran

Behnam Khodarahmi, MSc, Department of Occupational Health Engineering, Gol-E-Gohar Mining and Industrial Co. Sirjan, Iran

Abstract

Background: Miners are exposed to considerable airborne dusts. According to the US Department of Labor Mine Safety and Health Administration (MSHA), the rate of either mortality or morbidity of miners due to their occupations is almost six times higher than other industrial workers. Blasting, crushing, and processing of mineral ores produces particulate emissions in the diverse mining processes. Mineral dust generated by mining can cause systemic toxicity through their chemical speciation and free radical inside of the body could provoke a higher rate of hyperplasia, cancer, and cardiovascular risks. The International Agency for Research on Cancer (IARC) has not classified iron oxide compounds as a carcinogenic compound. However, an increased incidence of lung disease is associated with workers in occupations involving exposure to iron oxide dust or fumes. Generally, exposure to iron oxide particles is suspected to lead to an increased risk of lung cancer in iron ore miners, iron metal welders, iron foundry workers, and iron and steel manufacturers. The cohort epidemiological studies also support a higher risk of lung fibrosis, siderosis, and silicosis for the workers exposed to iron dust or fume. Due to the variable composition of iron ore in mines of diverse geographical locations, the contradictory and conflicting findings from epidemiological studies has been reported. Researchers have also recommended further investigation for the health effects of occupational exposure to iron ore dust in different locations. Iron oxides such as Fe_2O_3 , FeO and Fe_3O_4 along with crystalline silica are the most prominent dust in iron ore mining. Despite the potential toxicity of Iron compounds, they are essential nutrients and play an important role in the metabolism of hemoglobin, mitochondrial function, enzymatic activity (especially cytochromes), and muscle metabolism, particularly myoglobin. However, an excess dose of iron compounds has been reported in iron accumulation in various organs, especially the liver (resulting in cirrhosis, liver failure, and hepatocellular carcinoma), endocrine organs (causing pituitary and gonadal failure), pancreas (causing diabetes), skin (causing pigmentation), and heart (resulting in cardiomyopathy, heart failure and arrhythmia). Most patients with severe iron overload, could develop cardiac, hepatic, conjunctivitis, choroiditis, and retinitis complications. Thus, early diagnosis and monitoring of workers are essential. Chronic inhalation of excessive concentrations of iron oxide fumes or dust may result in the development of benign pneumoconiosis, called siderosis, which could be observed in radio-graphical examination of the workers. Iron, as a transitive metal and a highly reactive oxidizing agent, can participate in the Fenton reaction, and then by producing hydroxyl radicals leads to lipid peroxidation (LPO). LPO is a chain reaction process initiated by the attack of reactive oxygen species (ROS) and reactive nitrogen species (RNS) on polyunsaturated fatty acid (PUFA) residues of phospholipids, leading to cell membrane damage and consequently to cell death. Several biomarkers of LPO have been established, such as 8-iso-prostaglandin $F_{2\alpha}$, malondialdehyde, hydroxynonenal (4-NHE), and exhaled breath ethane. Malondialdehyde is the most abundant and

Keywords

Iron dust,
Occupational monitoring,
Malondialdehyde,
Gol-e-Gohar Iron Ore
mine

Received: 21/01/2018

Accepted: 09/12/2018

stable aldehydic product of LPO and due its simplicity of analysis, it is a widely used biomarker of LPO. Regarding the high prevalence of occupational diseases in iron ore mine workers, the objective of this study was to investigate the occupational exposure of mine workers to respirable dust, iron compounds and determining the correlation of their personal exposure to the biomarker of oxidative stress through the levels of serum malondialdehyde.

Methods: The present study was a cross-sectional descriptive-analytic investigation. The study population was selected randomly from non-smoker healthy workers with a minimum working experience of one year. 92 workers of the concentrating and pelletizing plants and 48 office workers were recruited as the exposed and control group respectively. The sampling of respirable dust and iron oxides was performed using a plastic cyclone sampler equipped with mixed cellulose ester membrane filter connected to the SKC sampling pump according to standard methods such as NIOSH-0600, and OSHA-121 respectively. The measurement of respirable dust was conducted through gravimetric analysis, Pre and post weighing of the filter was conducted using an electronic balance (Sartorius-TE124S, precision: 10-5 gr). Analysis of iron oxides was carried out using Atomic Absorption Spectroscopy (Varian220FS). Serum malondialdehyde was measured by a spectrophotometric assay using the ZellBio GmbH kit and visible light spectrophotometer (CECIL CE2021) at a wavelength of 531.5 nm. The correlation between either respirable dust and iron compounds with serum malondialdehyde was determined by the Spearman correlation statistical test by using SPSS software.

Results: According to the results of the Mann-Whitney U test, exposure to general respirable dust, and iron oxides in the exposed and control group were (24.8, 2.9) and (0.59, 0.023) as mg/m³ respectively. The exposed workers had statistically significantly higher exposure than the control group ($p < 0.001$). Similarly, the Mann-Whitney test showed the serum malondialdehyde levels in the exposed group (41.6 $\mu\text{mol/L}$) was statistically significantly higher than their corresponding control group (22.52 $\mu\text{mol/L}$) ($p < 0.001$). According to the Spearman correlation test, there was a statistically significant positive correlation between the parameters of exposure to respirable dust and iron compounds in the exposed group ($r = 0.835$, $p < 0.001$). However, the correlation between the parameters of exposure to respirable dust and serum malondialdehyde level ($r = 0.006$ and $p = 0.95$), or their exposure to respirable iron oxides and serum malondialdehyde level ($r = 0.022$ and $p = 0.84$) in the exposed group were not statistically significant.

Conclusion: According to the occupational exposure limit values provided by the office of Environment and Occupation Health of the Iranian Ministry of Health and Medical Education and the American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH) for the particles not otherwise specified (PNOS), 96.6% of workers' exposure to respirable dust were higher than the set limit. However, due to the content of crystalline silica in the respirable dust and the probable presence of other toxic compounds such as amphibole asbestos and heavy metals such as Cd, As, Ni, Co, and Hg, the airborne general dust of Gol-e-Gohar mine may not be classified as PNOS and workers' exposure could have a more harmful consequences. In the present study, According to the occupational exposure limit values set by the office of Environment and Occupation Health of the Iranian Ministry of Health and ACGIH for the respirable iron oxide compounds, 38.5% of workers in exposed group had higher exposure than their corresponding occupational exposure limit. In this study, the content of serum malondialdehyde of exposed workers as a nonspecific biomarker of the exposure to iron dust was statistically significantly higher than the control group. However, the correlation of workers' exposure to either respirable dust or iron compounds was not statistically significant with their serum malondialdehyde. This phenomenon could be due to the limitation of workers in exposed and control group in this study, and possibly other content of iron ore, such as crystalline silica, asbestos, and toxic metals which were quantified in this study. Miscellaneous confounding factors of oxidative stress, such as noise pollution and environmental heat stress have been reported in various studies. Although there were no significant correlation between the exposure of either respirable dust or iron oxide compounds with serum malondialdehyde, excessive workers' exposure to respirable dust and iron oxide compounds and statistically significantly higher serum malondialdehyde levels in the exposed workers compared to those in the control group, indicates the need for a more comprehensive investigation for the environmental and biological monitoring of the Gol Gohar workers. Further studies for monitoring larger exposed and control population, along with the more diverse examination of environmental dust ingredients and a more thorough biological monitoring of workers using a more specific biomarker for iron oxide compounds are recommended for the future study.

Conflicts of interest: None

Funding: Shahid Beheshti University of Medical Sciences

How to cite this article:

Safinejad M, Azari MR, Zendehdel R, Rafieepour A, Khodakarim S, Khodarahmi B. Occupational and biological monitoring of workers exposed to airborne dust in Gol-e-Gohar Iron Ore mine. *Iran Occupational Health*.2019 (Apr-May);16(1):23-32.

*This work is published under CC BY-NC-SA 1.0 licence



پایش شغلی و بیولوژیکی کارگران مواجهه یافته با گردوغبار هوابرد در معدن سنگ آهن گل گهر سیرجان: مطالعه مورد-شاهدی

مهوش صفی نژاد: کارشناس ارشد، دانشکده بهداشت و ایمنی، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران
منصور رضازاده آذری: (* نویسنده مسئول) استاد، دانشکده بهداشت و ایمنی، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران mrazai@sbmu.ac.ir

رضوان زنده دل: دانشیار، دانشکده بهداشت و ایمنی، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران
آتنا رفیعی پور: دانشجوی دکتری تخصصی، دانشکده بهداشت و ایمنی، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، کمیته تحقیقات دانشجویی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران
سهیلا خداکاریم: دانشیار، دانشکده بهداشت و ایمنی، گروه اپیدمیولوژی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران
بهنام خدارحمی: کارشناس ارشد، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، شرکت معدنی و صنعتی گل گهر، سیرجان، ایران

چکیده

کلیدواژه‌ها

گردوغبار آهن،
پایش شغلی،
مالون‌دی‌آلدئید،
معدن سنگ آهن گل گهر

زمینه و هدف: معدنکاری از جمله مشاغل مهم مواجهه با آلاینده‌های هوابرد می‌باشد. بر اساس گزارش اداره سلامت و ایمنی معادن ایالات متحده آمریکا، میزان تلفات و بیماری‌های ناشی از کار در معادن تقریباً شش برابر صنایع دیگر است. گردوغبار تولید شده در معادن می‌تواند عامل بروز سمیت سیستمیک، سرطان و افزایش ریسک ابتلا به بیماری‌های قلبی عروقی باشد. مواجهه با ذرات اکسید آهن بعنوان عامل افزایش ریسک ابتلا به سرطان ریه در کارگران معادن سنگ آهن، جوشکاران و تولید کنندگان فولاد، مطرح شده است. با توجه به شیوع بالای بیماری‌ها و جمعیت زیاد کارگران در معادن سنگ آهن، هدف مطالعه حاضر بررسی تاثیر مواجهه کارگران سنگ آهن با گردوغبار کلی استنشاقی معدن و ترکیبات آهن بر شاخص بیولوژیکی مالون‌دی‌آلدئید در نظر گرفته شد.

روش بررسی: در این مطالعه ۹۲ نفر از کارگران سالم غیرسیگاری معدن گل گهر سیرجان بعنوان گروه مواجهه و ۴۸ نفر از کارکنان اداری بعنوان گروه شاهد انتخاب شدند. نمونه‌برداری فردی جهت تعیین مقدار مواجهه با گردوغبار کلی استنشاقی و ترکیبات آهن به ترتیب مطابق با روش‌های NIOSH0600 و OSHA-Id121 و با استفاده از پمپ نمونه‌بردار فردی مجهز به سیکلون حاوی فیلتر غشایی استر سلولزی با دبی ۱/۷ لیتر بر دقیقه، در یک شیفت معمول کار در معدن انجام شد. اندازه‌گیری میزان مواجهه با گردوغبار کلی قابل استنشاق به روش وزن‌سنجی با استفاده از ترازوی الکترونیکی و آنالیز ترکیبات آهن با دستگاه اسپکتروسکوپی جذب اتمی انجام شد. به‌منظور تعیین سطح سرمی مالون‌دی‌آلدئید از کیت MDA خریداری شده از شرکت ZellBio GmbH و دستگاه اسپکتروفوتومتر نور مرئی در طول موج ۵۳۱/۵ نانومتر استفاده شد. همبستگی میان میزان مواجهه با گرد و غبار کلی استنشاقی و ترکیبات آهن با سطح سرمی مالون‌دی‌آلدئید، توسط نرم‌افزار SPSS بررسی شد.

یافته‌ها: نتایج نشان داد مواجهه با گردوغبار کلی استنشاقی معدن و همچنین ترکیبات آهن در گروه مواجهه (به ترتیب ۲۴/۸ و ۲/۹ میلی گرم بر متر مکعب) بصورت معنی‌داری از میزان مواجهه در گروه شاهد (به ترتیب ۰/۵۹ و ۰/۲۳ میلی گرم بر متر مکعب) بالاتر بود ($p < 0/001$). میزان مالون‌دی‌آلدئید سرم در گروه مواجهه (۴۱/۶ میکرو مول بر لیتر) نیز بصورت معنی‌داری بالاتر از گروه شاهد (۲۲/۵ میکرو مول بر لیتر) بود ($p < 0/001$). بر اساس نتایج آزمون آماری اسپیرمن، میان پارامترهای میزان مواجهه با گردوغبار کلی استنشاقی و ترکیبات آهن ارتباط مثبت معنی‌داری مشاهده شد ($r = 0/۸۳۵$ ، $p < 0/001$) اما همبستگی میان پارامترهای میزان مواجهه با گردوغبار کلی استنشاقی و مواجهه با مواجهه با ترکیبات آهن با میزان مالون‌دی‌آلدئید سرم خون افراد گروه مواجهه به ترتیب ($r = 0/۰۰۶$ و $p = 0/۹۵$) و ($r = 0/۰۲۲$ و $p = 0/۸۴$) ارتباط معنی‌داری وجود نداشت.

نتیجه‌گیری: علی‌رغم عدم مشاهده همبستگی آماری معنی‌دار، میان مواجهه با گردوغبار و ترکیبات آهن قابل استنشاق با مالون‌دی‌آلدئید سرم که می‌تواند ناشی از وجود عوامل مداخله‌گری مانند سیلیس کریستالی، آزبست، عوامل فیزیکی و فلزات سنگین در بخش‌های مختلف معدن باشد، بیشتر بودن مواجهه کارگران با ترکیبات مذکور نسبت به حدود مجاز مواجهه شغلی آن‌ها و همچنین بالاتر بودن میزان شاخص استرس اکسیداتیو مالون‌دی‌آلدئید در سرم خون افراد گروه مواجهه در مقایسه با افراد گروه شاهد، لزوم انجام مطالعات جامع‌تر پایش بیولوژیکی را خاطر نشان می‌نماید.

تعارض منافع: گزارش نشده است.

منبع حمایت کننده: دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی

شیوه استناد به این مقاله:

Safinejad M, Azari MR, Zende del R, Rafieepour A, Khodakarim S, Khodarahmi B. Occupational and biological monitoring of workers exposed to airborne dust in Gol-e-Gohar Iron Ore mine. Iran Occupational Health.2019 (Apr-May);16(1):23-32.

*انتشار این مقاله به صورت دسترسی آزاد مطابق با **CC BY-NC-SA 1.0** صورت گرفته است.

مقدمه

فرآیند معدنکاری با بروز بیماری‌های ریوی از سوی محققین مختلف مورد بررسی قرار گرفته است و نتایج مطالعات وجود این ارتباط را تأیید کرده‌اند (۱۱). از طرف دیگر تحقیقات علمی اخیر بروز استرس اکسیداتیو را در نتیجه بیماری‌های ریوی تأیید کرده‌اند (۱۲) و امروزه محصولات استرس اکسیداتیو و پراکسیداسیون لیپیدی در بدن به عنوان بیومارکرهای متداول در پایش بیولوژیکی شناخته شده است (۱۳-۱۵).

بیومارکرهای متعددی برای تشخیص پراکسیداسیون لیپیدی وجود دارد که از آن میان می‌توان به مالون‌دی‌آلدئید (MDA)، هیدروکسی نونال (4-HNE)، ایزوپروستاگلندین و اتان بازدی اشاره کرد. اما از آنجا که MDA پایدارترین و فراوان‌ترین محصول پراکسیداسیون لیپیدی است و از این‌رو از سوی محققین به عنوان بیومارکر متداول تشخیص پراکسیداسیون لیپیدی در نظر گرفته می‌شود (۱۶). از طرف دیگر در برخی مطالعات افزایش میزان MDA به دلیل مواجهه با گردوغبارهای محصولات معدنی در کارکنان یک صنعت تولید نیرو و همچنین معدن کاران بازنشسته گزارش شد (۱۵، ۱۷).

با توجه به بررسی‌های انجام شده و جمعیت زیاد کارگران صنایع معدن سنگ آهن در کشور ایران و ریسک مواجهه شغلی آنان با گردوغبار و ترکیبات آهن قابل استنشاق، هدف مطالعه حاضر، بررسی میزان مواجهه شغلی کارگران معدن سنگ آهن گل‌گهر سیرجان با ترکیبات نامبرده و نیز تعیین ارتباط میان میزان مواجهه آن‌ها با مقدار MDA سرم خون به عنوان بیومارکر استرس اکسیداتیو در نظر گرفته شد.

روش بررسی

این پژوهش یک مطالعه مقطعی (مورد-شاهدی) است که در سال ۱۳۹۶-۱۳۹۵، در معدن سنگ آهن گل‌گهر شهر سیرجان واقع در جنوب شرق کشور ایران انجام شد. کارگران گروه مواجهه از میان دو کارخانه تغلیظ و گندله‌سازی و کارگران گروه شاهد از میان کارکنان بخش اداری و رستوران معدن انتخاب شدند. از پارامترهای ورود به مطالعه داشتن حداقل یک سال سابقه کاری، برخورداری از سلامت فیزیکی و بدون

شغل معدنکاری امروزه در رده‌بندی مشاغل خطرناک قرار گرفته و موجب ایجاد مشکلات و بیماری‌های شغلی متعدد در میان کارگران معدن شده است (۱). بر اساس گزارش اداره سلامت و امنیت معادن ایالات متحده آمریکا میزان تلفات، آسیب‌ها و بیماری‌های ناشی از کار در معدن تقریباً شش برابر صنایع دیگر است (۲). مواجهه با ذرات گردوغبار از میان عوامل تهدیدکننده سلامت در معدن بیشترین تأثیر را بر افزایش نرخ بیماری‌های تنفسی در کارگران معدن دارد که در فعالیت‌هایی نظیر خردایش سنگ، سرند و انتقال مواد می‌تواند افراد را در معرض مواجهه با خود قرار دهد (۳). مواجهه با گردوغبار معدنی می‌تواند با تضعیف سیستم برونشی منجر به بروز بیماری‌هایی همچون آسم، سل، پنوموکونیوزیس و سرطان ریه شود. خطرات بهداشتی متفاوتی از مواجهه با گردوغبار سنگ آهن در معدن مختلف، به علت تفاوت در اجزای متشکله سنگ معدن و درصد عناصر آن در نواحی مختلف جغرافیایی و همچنین نوع حفاری در سطوح مختلف زمین گزارش شده است و این موضوع می‌تواند بر بروز یافته‌های متناقض تعیین‌کننده باشد (۴-۶). از میان ترکیبات تشکیل‌دهنده گردوغبارهای معدنی هوابرد می‌توان به اکسیدهای فلزی، تالک، میکا، آزبست و سیلیس اشاره کرد. یافته‌های متون علمی نشان می‌دهد که آهن و سیلیس کریستالی بیشترین و رایج‌ترین آلاینده‌های هوابرد موجود در گردوغبار معادن سنگ آهن می‌باشد (۶).

آهن به عنوان یک عنصر ضروری دارای نقش حیاتی بر عملکردهای مهم فیزیولوژیک بدن مانند انتقال اکسیژن و فعالیت‌های آنزیمی است ولی در شرایط افزایش مقدار آن در بدن می‌تواند باعث بروز واکنش فنتون و پراکسیداسیون لیپیدی شود. همچنین تجمع آهن اضافی در بدن در طولانی مدت می‌تواند باعث بروز بیماری‌های مختلفی مانند نارسایی قلبی، دیابت، سرطان کبد و یک نوع از پنوموکونیوز خوش‌خیم به نام سیدروزیس گردد که به دلیل حضور هیدروپراکسیدهای ناپایدار ناشی از واکنش لیپید پراکسیداسیون است (۷-۱۰). از دیرباز ارتباط بین مواجهه با آلاینده‌های ناشی از

سرم از کیت ۹۶ تستی MDA (ساخت شرکت ZellBio GmbH، حساسیت: ۰/۱ میکرومولار و دامنه غلظتی ۵۰/۷۸-۰ میکرومولار) استفاده شد که بر پایه واکنش تیوبابیتوریک اسید (۲۲) در طول موج ۵۳۱/۵ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر (مدل CECIL CE2021، ساخت انگلیس) قرائت گردید (۲۳). همچنین اعتبار سنجی روش‌های اندازه‌گیری آهن و MDA در این مطالعه با بهره‌گیری از روش Mitra (۲۴) انجام شد و پارامترهای دقت، خطای استاندارد، گستره خطی، حد تشخیص کیفی (LOD) و حد تشخیص کمی (LOQ) برای هر کدام از روش‌ها محاسبه گردید (جدول ۳). نرم افزار SPSS نسخه ۲۱ و آزمون آماری Mann-Whitney U و Chi square به ترتیب برای آنالیز متغیرهای کمی غیر نرمال و آنالیز متغیرهای کیفی استفاده گردیدند. همچنین به منظور تعیین همبستگی بین میزان مواجهه با گرد و غبار کلی و ترکیبات آهن قابل استنشاق با میزان سطح سرمی MDA در گروه مواجهه از آزمون همبستگی Spearman استفاده گردید.

یافته‌ها

آزمون آماری Mann-Whitney U تفاوت معنی داری را از لحاظ متغیرهای دموگرافیک سن، BMI و سابقه کار میان دو گروه مواجهه و شاهد نشان نداد ($p > 0.05$) (جدول ۱).

نتایج آزمون آماری Kolmogorov-Smirnov نشان داد مقادیر عددی مواجهه استنشاقی با ذرات گردوغبار و ترکیبات آهن نامحلول در معدن کاران و همچنین مقدار MDA سرم از توزیع نرمال برخوردار نبودند. آزمون آماری Mann-Whitney U میزان مواجهه با گردوغبار کلی و ترکیبات آهن قابل استنشاق در کارگران گروه مواجهه را به صورت معنی داری بیشتر از افراد گروه شاهد نشان داد ($p < 0.001$). همچنین نتایج این آزمون نشان داد که میزان MDA سرم خون کارگران گروه مواجهه بصورت معنی داری بیشتر از افراد گروه شاهد است ($p < 0.001$) (جدول ۲). بر اساس حدود استاندارد مجاز مواجهه شغلی ارائه شده از سوی سازمان ACGIH برای گردوغبار کلی قابل استنشاق (3 mg/m^3) و ترکیبات آهن قابل استنشاق

سابقه ابتلا به بیماری‌های وراثتی، کبدی، قلبی، دیابت و فشارخون و نیز عدم مصرف دارو و دخانیات بود. با توجه به پیشینه تحقیق (۱۸) و در نظر گرفتن امکان ریزش نمونه‌ها، حداقل تعداد نمونه مورد نیاز در گروه مواجهه، ۹۲ نفر و در گروه شاهد ۴۸ نفر برآورد شد که پس از کسب رضایت آگاهانه آن‌ها به مطالعه وارد شدند. اطلاعات دموگرافیک و سوابق بیماری افراد با استفاده از پرسشنامه و توسط محقق جمع‌آوری شد. تعداد افراد گروه مواجهه به نسبت جمعیت شاغل در هر گروه کاری مختلف تعیین شدند.

نمونه‌برداری از هوای تنفسی کارگران به منظور تعیین میزان مواجهه آن‌ها با گردوغبار و ترکیبات آهن به ترتیب مطابق با روش‌های استاندارد NIOSH-0600 (۱۹)، OSHA-Id121 (۲۰) انجام شد. برای این منظور نمونه‌بردار سیکلون دارای فیلتر غشایی استرسولوزی (قطر ۲۵ میلی‌متر و پورسایز ۰/۸ میکرون) متصل به پمپ نمونه‌برداری فردی SKC با دبی ۱/۷ l/min برای مدت ۲ ساعت به یقه کارگر متصل شد. همچنین جهت تعیین مواجهه احتمالی افراد گروه شاهد نیز، سه نمونه فردی از سه شرکت کننده گروه شاهد گرفته شد. تعیین مقدار مواجهه با گرد و غبار کلی قابل استنشاق به روش وزن سنجی و با استفاده از ترازوی حساس الکترونیکی (Sartorius-TE124S، دقت 10^{-5} gr) و آنالیز ترکیبات آهن با دستگاه جذب اتمی (مدل Varian220FS، ساخت فرانسه) انجام شد.

لازم به ذکر است بر اساس مطالعه سلطانی و همکاران کانی‌های آهن موجود در گردوغبار معدن سنگ آهن گل‌گهر سیرجان از نوع نامحلول در آب (مگنتیت، پیریت، هماتیت، اکتینولیت، بیوتیت، کالکوپیریت، هیدروکسیدهای آهن، ورمیکولیت و مگنزیه‌هورنبلند آهن دار) شناسایی شدند (۲۱). از همین رو در این مطالعه از روش هضم اسیدی بر اساس استاندارد OSHA-Id121 برای آنالیز ترکیبات آهن بصورت نامحلول استفاده شد.

خون‌گیری با هدف تعیین مقدار MDA سرم خون افراد مورد مطالعه در پایان شیفت کاری و در آخر هفته انجام شد. سپس نمونه‌های سرم خون جداسازی شده و تا زمان انجام آزمایش در دمای ۲۰- درجه سانتی‌گراد نگهداری شدند. به منظور تعیین مقدار میزان MDA

جدول ۱- آمار توصیفی برگرفته از آزمون Mann-Whitney U برای متغیرهای دموگرافیک افراد نمونه

P-Value	گروه شاهد (N=۴۸) (میانۀ بازه)	گروه مواجهه (N=۹۲) (میانۀ بازه)	میانۀ ویژگی های دموگرافیک
۰/۳۵	۲۰ - ۵۴ (۳۱)	۱۹ - ۶۵ (۳۱)	سن (سال)
۰/۵	۴ - ۹ (۵)	۴ - ۱۰ (۶)	سابقه کار (سال)
۰/۷۴	۱۸/۳ - ۵۲ (۲۵)	۱۷ - ۳۴/۵۳ (۲۵)	BMI

جدول ۲- میزان MDA سرم و میزان مواجهه شغلی با گردوغبار کلی و ترکیبات آهن قابل استنشاق در گروه مواجهه و شاهد

آهن قابل استنشاق (mg/m ³) (میانۀ بازه)	گردوغبار قابل استنشاق (mg/m ³) (میانۀ بازه)	سطح سرمی MDA (μmol/l) (میانۀ بازه)	جمعیت مطالعه
۰/۰۳ - ۴۵ (۲/۹)	۱/۵ - ۱۰۱ (۲۴/۸)	۷/۱۷ - ۱۰۸ (۴۱/۶)	گروه مواجهه (N=۹۲)
۰/۰۱۲ - ۰/۰۲۸ (۰/۲۳)	۰/۵۱ - ۰/۸۸ (۰/۵۹)	۲/۳۴ - ۶۰/۹۷ (۲۲/۵)	گروه شاهد (N=۴۸)
<۰/۰۰۱	<۰/۰۰۱	<۰/۰۰۱	P-Value

جدول ۳- نتایج اعتبار سنجی روش های اندازه گیری آهن و MDA

نوع آنالیت	دستگاه اندازه گیری	LOD	LOQ	خطای استاندارد	گستره خطی	دقت (%)
آهن	جذب اتمی	۰/۰۵۶	۰/۰۶۵	۰/۰۰۳۳	۱ تا ۱۰ میلی گرم بر لیتر	۱/۶۸
MDA	اسپکتروفتومتر نور مرئی	۰/۰۰۴	۰/۰۱۲	۰/۰۰۱	۰/۷۸ تا ۵۰ میکرومول بر لیتر	۳/۶۲

بحث و نتیجه گیری

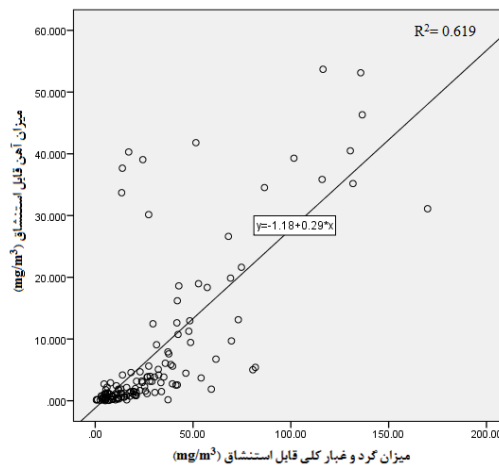
مواجهه با گرد و غبار و ذرات آهن قابل استنشاق یکی از پیامدهای کار در معدن می باشد که از دیرباز در متون علمی مختلف به آن اشاره شده است. مواجهه با آلاینده های هواپرد در فرایند معدنکاری می تواند منجر به بروز بیماری های ریوی و اختلالات تنفسی در میان معدن کاران شود (۲۷-۲۵) و در یک مطالعه اپیدمیولوژیک تولید مقادیر زیاد گرد و غبار هواپرد در حین عملیات معدنکاری عامل افزایش نرخ مرگ و میر ناشی از سرطان ریه در میان جمعیت ساکنین حومه معدن شناخته شده است (۲۸).

در مطالعه حاضر میزان مواجهه کارگران معدن سنگ آهن گل گهر سیرجان با گردوغبار و نیز ترکیبات آهن نامحلول قابل استنشاق بیشتر از حدود استاندارد توصیه شده (۵mg/m³) توسط مرکز سلامت محیط و کار ایران (۲۹) و سازمان ACGIH تشخیص داده شد. علاوه بر آن حد آستانه مجاز مواجهه شغلی سازمان ACGIH برای گرد و غبار قابل استنشاق با پیش فرض عدم

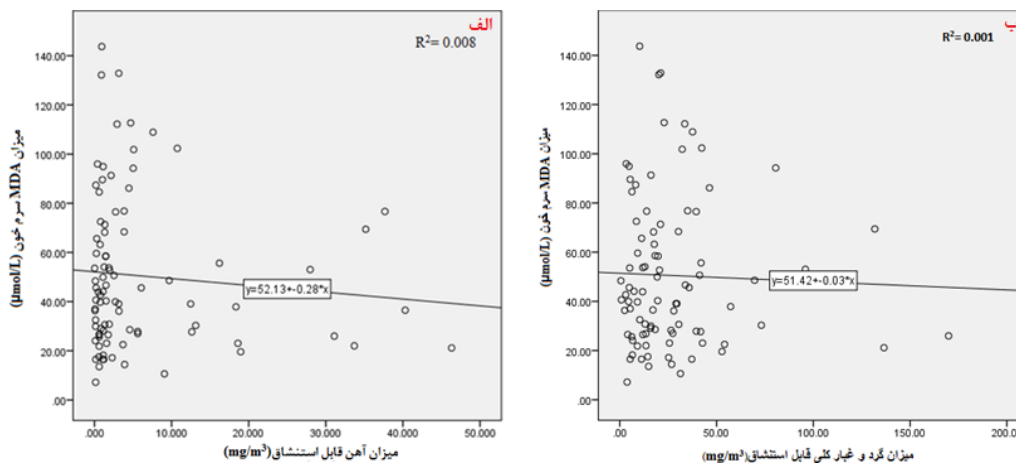
(۵mg/m³) میزان مواجهه با این ترکیبات به ترتیب در ۹۶.۶ و ۳۸.۵ درصد از افراد گروه مواجهه بیشتر از حدود مجاز مواجهه شغلی بود.

در مطالعه حاضر به بررسی پارامترهای اعتبارسنجی کیت مورد استفاده برای تعیین مقدار MDA و نیز روش تجزیه ترکیبات آهن قابل استنشاق پرداخته شد و دقت دو روش مناسب تشخیص داده شد (جدول ۳).

نتایج آزمون همبستگی Spearman ارتباط مثبت و معنی داری را میان پارامترهای مواجهه با گردوغبار کلی و ترکیبات آهن قابل استنشاق نشان داد ($r^2=0/۸۳۵$ و $p<0/۰۰۱$) (شکل ۱). میان پارامترهای مواجهه با گردوغبار کلی قابل استنشاق و MDA سرم ($r^2=0/۰۰۶$ و $p=0/۹۵$) و همچنین میان پارامترهای مواجهه با آهن قابل استنشاق و MDA سرم ($r^2=0/۰۲۲$ و $p=0/۸۴$) ارتباط معنی داری دیده نشد (شکل ۲).



شکل ۱- ارتباط بین مواجهه با گردوغبار کلی و ترکیبات آهن قابل استنشاق در کارگران معدن گل گهر سیرجان برگرفته از آزمون همبستگی Spearman



شکل ۲- الف- ارتباط بین مواجهه با ترکیبات آهن قابل استنشاق و میزان MDA سرم کارگران معدن گل گهر سیرجان برگرفته از آزمون همبستگی Spearman، ب- ارتباط بین مواجهه با گردوغبار کلی قابل استنشاق و میزان MDA سرم کارگران معدن گل گهر سیرجان برگرفته از آزمون همبستگی Spearman

مقایسه با مقادیر استاندارد ارائه شده توسط سازمانهای ACGIH و مرکز سلامت محیط و کار ایران نبوده و میزان ریسک اثرات بهداشتی به مراتب بالاتر تشخیص داده می‌شود. برخلاف نتایج مطالعه به دست آمده، Hwang و همکاران در مطالعه خود بر روی معدن کاران شش معدن سنگ آهن ایالت مینه سوتا در آمریکا، میزان مواجهه معدن کاران با گرد و غبار کلی قابل استنشاق را به علت برخورداری از سیستم های مطلوب تهویه صنعتی، کمتر از حد استاندارد شغلی سازمان ACGIH گزارش نمودند (۳۰). در مطالعه دیگری نیز Adelroth و همکاران میزان مواجهه کارگران با گرد و غبار قابل استنشاق را در یک معدن سنگ آهن زیرزمینی در سوئد در حدود ۳/۲ میلی گرم بر متر مکعب گزارش کردند (۳۱) که در مقایسه با

وجود آزبست، محتوای سیلیس کریستالی کمتر از ۰/۱ و نیز سمیت بسیار پایین در حدود 3 mg/m^3 گزارش شده است. این در حالی است که بر اساس نتایج مطالعات قبلی وجود ترکیبات خطرناکی مانند آزبست آمفیبولی، فلزات سنگین و سیلیس کریستالی در مقادیر بیش از ۰/۱ در نمونه گردوغبار هوابرد معدن گل گهر سیرجان تأیید گردید (۲۱). در نتیجه نمونه‌های گرد و غبار هوابرد معدن گل گهر سیرجان را نمی‌توان در دسته گردوغبارهای بی خطر (PNOS) طبقه‌بندی کرد و ارزشیابی مواجهه شغلی کارگران، نیاز به پایش مواجهه آنان با ترکیبات مختلف در گرد و غبار هوای تنفسی آنان از قبیل سیلیس، آزبست، فلزات سنگین و سایر ترکیبات به صورت همزمان دارد و میزان مواجهه کارگران معدن سنگ آهن گل گهر سیرجان قابل

افزایش مقدار آهن خون نشان می‌دهد (۳۷). در مطالعه Huang و Zhang بر روی سلولهای ریوی A549 انسانی، مواجهه با غلظتهای مختلف از گردوغبار معادن زغال سنگ عامل افزایش سطح آهن آزاد خون و میزان پراکسیداسیون لیپیدی معرفی شد (۳۸). نتایج مطالعه Armutcu و همکاران بر روی کارگران معدن سنگ آهن ترکیه نشان داد که آهن سرمی در نتیجه مواجهه با آهن هواپرد افزایش می‌یابد که می‌تواند منجر به افزایش در میزان MDA سرم خون افراد معدنکار می‌شود (۱۸). یافته‌های این مطالعات می‌تواند دلیلی برای توضیح افزایش میزان MDA خون در کارگران در معرض مواجهه با آهن باشد. این در حالی است که اگرچه در مطالعه حاضر با افزایش میزان مواجهه با گرد و غبار میزان مواجهه استنشاقی با آهن نیز افزایش پیدا کرد اما ارتباط میان استرس اکسیداتیو و مواجهه استنشاقی با آهن و گرد و غبار دیده نشد که می‌تواند به دلیل وجود آلاینده‌های مداخله‌گر در بخش‌های مختلف معدن مانند فلزات واسطه و یا کربنات کلسیم با اثر مهارکنندگی عوارض آهن (۳۸) یا نقش مواجهه همزمان با آهن و سایر آلاینده‌های هواپرد، وجود برخی پارامترهای فیزیکی مانند حرارت و یا سرو و صدای محیط کار (۱۳-۱۱، ۳۹) و یا کافی نبودن تعداد جمعیت مورد بررسی و متغیر بودن میزان مواجهه با آلاینده‌های هواپرد با توجه به ماهیت کار در معدن باشد. نتایج تجزیه عنصری نمونه سنگ معدن گل‌گهر سیرجان در مطالعه سلطانی و همکاران نیز غلظت بالای عناصر بالقوه سمی مانند آرسنیک، کبالت، مس، آهن، نیکل و وانادیم را در ذرات غبار سطحی و غبار معلق و بالا بودن غلظت جرمی ذرات معلق و نیز کاهش سطح اسید آسکوربیک در نمونه خون معدن کاران گل‌گهر سیرجان را نشان داد که می‌تواند به عنوان عامل مؤثر بر افزایش سطح MDA سرم خون باشد (۲۱).

تفاوت در نوع وظیفه افراد گروه مواجهه یک عامل مؤثر بر تفاوت در مواجهه آن‌ها با آلاینده‌های شیمیایی و فیزیکی متفاوت می‌باشد که می‌تواند بر میزان سطح سرمی MDA اثرگذار باشد. از این رو انجام مطالعات متعدد به منظور بررسی تأثیر مواجهه با چند آلاینده به صورت همزمان بر سطح سرمی MDA در کارگران معدن توصیه می‌شود. همچنین با توجه به انحراف

مطالعه حاضر بسیار کمتر بود. غلامی و همکاران نیز در مطالعه خود بر روی نمونه گردوغبار هواپرد معدن سنگان شهرستان خواف، غلظت گرد و غبار قابل استنشاق را بیشتر از حدود استاندارد توصیه شده توسط مرکز سلامت محیط و کار ایران و سازمان ACGIH گزارش نمودند (۳۲).

میزان مواجهه با ترکیبات آهن قابل استنشاق در ۳۸.۵٪ از افراد گروه مواجهه در مطالعه حاضر بیشتر از حدود مجاز مواجهه شغلی مرکز سلامت محیط و کار ایران و نیز سازمانهای ACGIH و NIOSH اندازه‌گیری گردید. مرور مطالعات صورت گرفته بر روی معدن کاران سنگ معدن آهن توسط نویسندگان مطالعه حاضر نشان داد که مقایسه میان مقدار مواجهه استنشاقی کارگران معدن با حدود استاندارد مجاز مواجهه شغلی با ترکیبات آهن در آن‌ها در نظر گرفته نشده است. اگرچه ابتلا به بیماری‌های ریوی مختلف و همچنین وجود بیماری سیدروزیس در میان معدن کاران در مطالعات علمی گزارش شده است (۶). از طرف دیگر در سالهای اخیر پایش بیولوژیکی به عنوان بهترین روش برای ارزیابی مواجهه شغلی مورد توجه بسیاری از محققین را به خود جلب کرده است و جایگزینی برای مقایسه میزان مواجهه افراد با حدود استاندارد شغلی در نظر گرفته شده است (۳۳، ۳۴).

نتایج مطالعه نشان داد که اندازه‌گیری سطح سرمی MDA توسط کیت شرکت Zellbio از تکرار پذیری مناسبی برخوردار است. در طی یک مطالعه موازی نیز دقت ارزیابی به روش کیت در مطالعه حاضر در حدود دقت روش رایج اندازه‌گیری سطح سرمی MDA با استفاده از دستگاه HPLC به دست آمد (۳۵).

در مطالعه حاضر میزان MDA سرم خون افراد گروه مواجهه به صورت معنی داری بیشتر از افراد گروه شاهد مشاهده شد. نتایج آزمون تعیین همبستگی Spearman ارتباط معنی داری را میان مواجهه با گرد و غبار کلی و همچنین ترکیبات آهن قابل استنشاق با میزان MDA سرم خون کارگران در گروه مواجهه نشان نداد. در حالی که Misiewicz و همکاران در مطالعه خود افزایش میزان MDA در کارگران آلیاژ کار در معرض مواجهه با آهن را مشاهده کردند (۳۶). شواهد مطالعات حیوانی نیز افزایش MDA را در نتیجه

4. Stephens C, Ahern M. Worker and community health impacts related to mining operations internationally: A rapid review of the literature. London School of Hygiene and Tropical Medicine Report. 2002.
5. Yong RN, Mulligan C. Natural attenuation of contaminants in soils: CRC Press; 2003.
6. Banerjee KK, Wang H, Pisaniello D. Iron-ore dust and its health impacts. *Enviro Health*. 2006;6(1):11.
7. Garcia-Casal MN, Pasricha SR, Martinez RX, Lopez-Perez L, Peña-Rosas JP. 2015;7:1-28.
8. Siddique A, Kowdley K. The iron overload syndromes. *Aliment Pharmacol Ther*. 2012;35(8):876-93.
9. Prem Ponka MT, John W. Eaton. Handbook on the Toxicology of Metals (Fourth Edition) Chapter 41 – Iron 2015.
10. Bourgard E, Wild P, Courcot B, Diss M, Ettlinger J, Goutet P, et al. Lung cancer mortality and iron oxide exposure in a French steel-producing factory. *Occup Environ Med*. 2008.
11. Kaygusuz Ir, Öztürk A, Üstündağ B, Yalçın Ş. Role of free oxygen radicals in noise-related hearing impairment. *Hear Res*. 2001;162(1-2):43-7.
12. Demirel R, Mollaoğlu H, Yeşilyurt H, Üçok K, Ayçiçek A, Akkaya M, et al. Noise induces oxidative stress in rat. *Eur J General Med*. 2009;6(1)
13. Davidson JF, Schiestl RH. Mitochondrial respiratory electron carriers are involved in oxidative stress during heat stress in *Saccharomyces cerevisiae*. *Mol Cell Biol* 2001;21(24):8483-9.
14. Fenga C, Gangemi S, Teodoro M, Rapisarda V, Golokhvast K, Docea A, et al. 8-Hydroxy-deoxyguanosine as a biomarker of oxidative DNA damage in workers exposed to low-dose benzene. *Toxicol Rep*. 2017.
15. Kaur S, Gill MS, Gupta K, Manchanda K. Effect of occupation on lipid peroxidation and antioxidant status in coal-fired thermal plant workers. *Inte J Appl Basic Med Res*. 2013;3(2):93.
16. Domijan AM, Ralić J, Radić Brkanac S, Rumora L, Žanić-Grubišić T. Quantification of malondialdehyde by HPLC-FL-application to various biological samples. *Biomed Chromat*. 2015;29(1):41-6.
17. Lee JS, Shin JH, Hwang JH, Baek JE, Choi BS. Malondialdehyde and 3-nitrotyrosine in exhaled breath condensate in retired elderly coal miners with chronic obstructive pulmonary disease. *Safe Health Work*. 2014;5(2):91-6.
18. Armutcu F, Gurel A, Aker A. Serum iron concentrations, lipid peroxidation and superoxide dismutase activity in Turkish iron miners. *Enviro Geochem Health*. 2004;26(1):1-4.
19. Clere F. Particulate not otherwise regulated, respirable (NIOSH 0600). NIOSH Manual of Analytical Methods (NMAM), Department of Health

معیار به دست آمده از مطالعه حاضر، تعداد افراد نمونه برای مطالعات بعدی با هدف یکسان بیش از ۱۰۰۰ نفر برآورد شد. این در حالی بود که در این مطالعه به علت محدود بودن تحقیقات صورت گرفته در این زمینه و استفاده از انحراف معیار نزدیکترین تحقیق به اهداف مطالعه حاضر، تعداد جمعیت مورد بررسی ۱۴۰ نفر به دست آمد. بنابراین نیاز به مطالعه تکمیلی در این زمینه ضروری به نظر می رسد. از طرف دیگر انجام مطالعات جامع تر با امکان اندازه گیری همزمان اغلب آلاینده‌های مرتبط با سطح MDA سرم خون به منظور بررسی دقیق تر وجود ارتباط میان MDA و مواجهه با گرد و غبار و آهن قابل استنشاق نیز مورد نیاز است. از طرف دیگر با توجه به نتایج مطالعه Armutcu (۱۸)، Zhang (۳۸) و همکاران به نظر می رسد بررسی میزان آهن یا سطح فریتین خون، شاخص مناسب تری در قیاس با میزان MDA سرم معدنکاری سنگ آهن باشد. در مطالعه حاضر میزان مواجهه کارگران معدن سنگ آهن گل گهر سیرجان با گرد و غبار کلی قابل استنشاق بسیار بیشتر از حدود مجاز مواجهه شغلی توصیه شده برای ترکیبات PNOs اندازه گیری شد. همچنین نتایج نشان داد که همبستگی معنی داری میان مواجهه با گرد و غبار کلی و همچنین ترکیبات آهن قابل استنشاق با میزان MDA سرم وجود ندارد. اگرچه با توجه به بیشتر بودن میزان مواجهه کارگران معدن گل گهر سیرجان با گرد و غبار و ترکیبات آهن قابل استنشاق از حدود مجاز مواجهه شغلی و نیز بیشتر بودن میزان MDA سرم افراد گروه مواجهه در مقایسه با افراد گروه شاهد، انجام مطالعات جامع تر با شرکت تعداد بیشتری از کارگران توصیه می شود.

References

1. Ghasa S. A review on epidemic illnesses between miners and available laws to prevention from them. 2017.
2. Mine safety and health administration (MSHA). On the WWW, at www.MSHA.gov.
3. Babaei M, Bahrami A, Gorbani Shanna F. Control of fugitive dust emitted by combination of water spray and industrial ventilation as an efficient and economical solution at a mining company. *Iran Occup Health J*. 2017;14(2):135-46.

and Human Services, Cincinnati. 1994.

20. Safety O, Administration H. ID-121—Metal & Metalloid Particulates in Workplace Atmospheres (Atomic Absorption). through the Internet at http://www.osha-slc.gov/SLTC/analytical_methods/html-methods/inorganic/id; 1991.

21. Soltani N, Keshavarzi B, Sorooshian A, Moore F, Dunster C, Dominguez AO, et al. Oxidative potential (OP) and mineralogy of iron ore particulate matter at the Gol-E-Gohar Mining and Industrial Facility (Iran). *Enviro Geochem Health*. 2017;1-18.

22. Wasowicz W, Neve J, Peretz A. Optimized steps in fluorometric determination of thiobarbituric acid-reactive substances in serum: importance of extraction pH and influence of sample preservation and storage. *Clin Chem*. 1993;39(12):2522-6.

23. Zeb A, Ullah F. A simple spectrophotometric method for the determination of thiobarbituric acid reactive substances in fried fast foods. *J Analyt Methods Chem*. 2016;2016.

24. Mitra S. Sample preparation techniques in analytical chemistry: John Wiley & Sons; 2004.

25. Ädelroth E, Hedlund U, Blomberg A, Helleday R, Ledin M, Levin JO, et al. Airway inflammation in iron ore miners exposed to dust and diesel exhaust. *Eur Respirat J*. 2006.

26. McIvor A, Johnston R. Miners' lung: a history of dust disease in British coal mining: Routledge; 2016.

27. Majdi M, Rafeemanesh E, Ehteshamfa S, Fahool MJ, Masoodi S. Analyzing occupational lung disease among turquoise miners. *Iran Occup Health J*. 2009;6(2):31-7.

28. Crosby L, Tatu C, Charles K. Lung and bronchus cancer deaths in Boone County, Wv before and after mountaintop removal mining. *J Rare Disord: Diagnos Ther*. 2016;2(1):1-8.

29. Committee of survey for environmental health and occupational. Ministry of Health. 3 rd. 2013

30. Hwang J. Assessing present-day and historical exposures of workers to taconite dust in the iron mining industry in northeastern Minnesota: University of Minnesota; 2013.

31. Adelroth E, Hedlund U, Blomberg A, Helleday R, Ledin M, Levin J-O, et al. Airway inflammation in iron ore miners exposed to dust and diesel exhaust. *Eur Respirat J*. 2006;27(4):714-9.

32. Gholami A, Fani MJ, Sadeghi N. Occupational exposure determination of silica dust in an iron-stone ore and comparison with standard. *Int J Collaborat Res Med Public Health*. 2012;4(6):1141-9.

33. Hassani H, Golbabaei F, Shirkanloo H. Manganese-Iron Ratio (MIR) as a potential biomarker for manganese exposure assessment. *Iran Occup Health J*. 2016;13(3):47-53.

34. Asadi P, Azari MR, Rafieepour A, Rahmati A. Feasibility of Biological Monitoring of Anatomy Laboratory Staff Exposed to Formaldehyde. *Health*

Scope. 2018 (In Press).

35. Mohammadi Abgarmi Z, Khadem Ansari M, Jalali Khanabadi B, Mosadegh Mehrjardi M, Mahdavi S. Evaluation of Serum Malondialdehyde Spectrophotometrically and High Performance Liquide Chromatography and its Relationship with Coronary Artery Disease. *Urmia Med J*. 2009;19(4):289-94.

36. Misiewicz A, Radwan K, Dziewit T. Malonyl dialdehyde concentration in red blood cells of workers engaged in the production of iron-manganese alloys. *Medycyna Pracy*. 1999;50(4):277-81.

37. Al-Basher GI. Green tea activity and iron overload induced molecular fibrogenesis of rat liver. *Saudi J Biol Sci [in Press]*. 2017.

38. Zhang Q, Huang X. Induction of ferritin and lipid peroxidation by coal samples with different prevalence of coal workers' pneumoconiosis: role of iron in the coals. *Am J Indust Med*. 2002;42(3):171-9.

39. Ozguner M, Delibas N, Tahan V, Koyu A, Koylu H. Effects of industrial noise on the blood levels of superoxide dismutase, glutathione peroxidase and malondialdehyde. *Eastern J Med*. 1999;4(1):13-5.