JOHE
Journal of Occupational Hygiene Engineering
J Occup Hyg Eng, 2024; 11(2): 157-165 Doi: 10.32592/joohe.11.2.157
https://johe.umsha.ac.ir

Original Article

Evaluation and Comparison of Airborne Concentrations of Crystalline Silica and Total Respirable Dust in Refractory Brick Industries in Isfahan

Atefeh Sodaei[1], Parisa Adibi[2], Hamidreza Pouragha[1,3*]

1. Department of Civil-Environmental Engineering, School of Engineering, Mehr-Alborz University, Tehran, Iran
2. Faculty of Pharmacy, Shahreza Islamic Azad University, Isfahan, Iran
3. Center for Research on Occupational Diseases, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

Article history:
Received: 29 July 2024
Revised: 18 October 2024
Accepted: 29 October 2024
ePublished: 05 November 2024

*Corresponding author: Hamidreza Pouragha, Department of Civil-Environmental Engineering, School of Engineering, Mehr-Alborz University, Tehran, Iran

E-mail:
h.pouragha@mehralborz.ac.ir

Abstract

Background and Objective: Inhalation of crystalline silica particles in the workplace can lead to occupational diseases, such as silicosis. This study aims to evaluate and compare airborne concentrations of crystalline silica and respirable dust in the refractory brick industries in Isfahan province.

Materials and Methods: In this cross-sectional study, the airborne concentrations of crystalline silica and respirable dust were measured among 79 workers from large industries and 30 workers from small refractory brick industries over a three-year period. Personal sampling was conducted using individual sampling pumps and cyclones. Data analysis was performed in SPSS 24 software using the Mann-Whitney U and Kruskal-Wallis tests.

Results: The results indicated that 65.1% of the samples exceeded the occupational exposure limits, while 34.9% were below the limits. There was no significant difference in the mean three-year airborne crystalline silica concentration between the two occupational groups (P=0.791). However, a significant difference was observed in the mean airborne respirable dust concentrations between the groups (P=0.002).

Conclusion: The findings of this study suggest that the implementation of safety, health, and environmental management systems has effectively reduced airborne crystalline silica and respirable dust concentrations, creating a safer work environment for employees.

Keywords: Airborne concentration, Crystalline silica, Occupational health system, Refractory brick industry

Please cite this article as follows: Sodaei A, Adibi P, Pouragha H. Evaluation and Comparison of Airborne Concentrations of Crystalline Silica and Total Respirable Dust in Refractory Brick Industries in Isfahan. J Occup Hyg Eng. 2024; 11(2): 157-165 DOI: 10.32592/joohe.11.2.157

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-05-20]

[DOI: 10.32592/joohe.11.2.157]

Copyright © 2024 Journal of Occupational Hygiene Engineering. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/) which permits copy and redistribute the material just in noncommercial usages, provided the original work is properly cite

Extended Abstract

Background and Objective

Silica (SiO_2) exists in two crystalline and non-crystalline forms. Its crystalline form is known as a pollutant in the workplace, and workers who inhale these particles are at risk of developing lung cancer and silicosis. In 1997, the International Agency for Research on Cancer recognized silica as a carcinogen [1-7]. Silicosis is a significant occupational disease that can lead to respiratory failure and death. One of the objectives set by the World Health Organization and the International Labor Organization is to eliminate this disease by 2030. [8-10]. The cumulative amount of crystalline silica is the main cause of the spread of this disease, and such activities as abrasive blasting and stone cutting expose workers to silica dust [4, 6]. Workers are exposed to inhalable dust during the stages of brick production. The study by Rezazadeh Azari et al. (2015) showed that the mechanization of the industry reduced exposure to dust and the risk of lung cancer; however, the risk remains high. Brent et al.'s (2019) study demonstrated that the percentage of workers exposed to crystalline silica varied in different industries, and some were exposed to more than 10 times the recommended exposure limit (REL) [10-12]. Brick factories in Iran, especially in central and western provinces, supply a significant portion of brick production and are exposed to pollutants. This study aims to evaluate and compare airborne concentrations of crystalline silica and respirable dust in the refractory brick industries in Isfahan province.

Materials and Methods

This study was conducted cross-sectionally and observationally. The statistical population consisted of large refractory brick industries in Isfahan province with a Health, Safety, and Environment (HSE) management system and small industries without this system. The statistical samples were selected using a census sampling method in 2020, 2021, and 2023, resulting in 79 individuals from large industries and 30 from small industries, each of whom provided one silica sample and one inhalable dust sample. The total number of samples was 654, including 237 samples of crystalline silica and 237 inhalable dust samples from large industries, and 90 samples from small industries. All the investigated employees were male, and the job groups were divided into production (workers and machine drivers) and non-production (repairs, supervisors, experts, and quality control). Duties included brick pressing and cutting, equipment supervision and repair, production planning, and quality control. Airborne silica and inhalable dust concentrations were evaluated based on the NIOSH7602 and NIOSH0600 methods. Individual sampling was done using the SKC-universal standard pump with a flow rate of 1.7 liters per minute. The flow rate of the pump was controlled with a calibrated rotameter. The samples were taken from the breathing area of the workers (a hemisphere with a diameter of 30 cm in front of the mouth and nose). A cyclone with a 37 mm filter made of polyvinyl chloride was used to separate the particles. Sampling was done in an eight-hour shift, between 8:00 AM and 12:00 PM, and the samples were transported to the laboratory according to the standard method and were recycled and prepared for analysis based on the mentioned methods. The samples were measured by a weighing scale, and the inhalable dust concentration was calculated in milligrams per cubic meter based on the following formula:

$$C = \frac{(W2 - W1) \times 1000}{\Delta t \times Q}$$

where C is the concentration of inhalable dust, W1 and W2 are the weight of the filter before and after sampling, Δt is the duration, and Q is the pump flow rate. Silica analysis was performed using infrared spectrophotometry and a calibration equation. The samples were read in the highest peak absorption band (wavelength $800m^{-1}$) with a Perkin Elmer Spectrum 100 device. The calibration curve was used to measure quartz in unknown samples. Statistical analysis was performed in SPSS24 software using Chi-square, Mann-Whitney U, and Kruskal-Wallis tests.

Results

The Kolmogorov-Smirnov test indicated that the three-year average concentration of crystalline silica was not normally distributed ($P<0.05$). The results showed that 65.1% of the samples were higher and 34.9% were lower than the REL. In 2023, 34.9% of the samples fell below the REL, while 65.1% exceeded it. In contrast, in 2021 and 2020, 56.9% and 51.4% of the samples were below the REL, with 43.1% and 48.6% above it, respectively. Data analysis for dust also revealed that 25.7% of the samples were above the REL and 74.3% were below, with standard deviations of 1.918, 1.466, and 1.293 in the above years, respectively. The results of a three-year comparison of silica concentration in production and non-production occupational groups showed that 35.8% of production workers and 33.3% of non-production workers were below the REL, while 64.2% and 7.7 66% were above the REL, respectively. Moreover, 64.2% of production workers and 90.5% of non-production workers had dust concentrations below the REL. The results of investigating the concentration of airborne silica and inhalable dust in occupational groups showed that there

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-05-20]

[DOI: 10.32592/joohe.11.2.157]

was no significant difference in the concentration of silica (P=0.921); however, there was a significant difference in inhalable dust (P=0.020). The three-year average concentration of airborne crystalline silica showed that in small industries, 33.3% of individuals were below and 66.7% were above the REL. In large industries, 35.4% were below, and 64.6% were above, with no significant difference (P=0.836). For inhalable dust, 46.7% of individuals in small industries were below, and 53.3% were above the limit, whereas in large industries, 84.8% were below and 15.2% were above, showing a significant difference (P=0.00004).

Discussion

This study evaluated and compared the concentration of airborne crystalline silica and inhalable dust in the refractory brick industries in Isfahan province during three years in production and non-production jobs. The results showed that the concentration of airborne crystalline silica in small factories without an HSE management system was higher than the REL (66.7%) in all three years. In large industries with HSE, this concentration was 41.8% in 2020, while it decreased to 34.2% in 2021 and increased to 64.6% in 2023. This increase was related to the type of soil and production volume. In the study by Rezazadeh Azari, 97% of workers in factories and 100% in traditional workshops were exposed to crystalline silica above the REL [11], which was consistent with this study. In the present study, there was no significant difference between the two groups and the three-year average exposure to silica (P=0.791). However, the results of a study by Asari et al. demonstrated a statistically significant difference in silica exposure in different occupational groups (P=0.001). The lack of access to some of the respiratory-related information and the employment of unauthorized workers were among the limitations of this study.

Conclusion

The results of the study indicated that in large industries with HSE management systems, the airborne concentration of crystalline silica and inhalable dust was significantly lower than that in small and traditional industries that lack these systems. This difference in concentrations is linked to managerial supervision of the production line, workshop discipline, as well as the establishment and maintenance of engineering systems, such as advanced industrial ventilation, training, and culturization. Therefore, it is recommended that industry managers facilitate the hiring of HSE specialists and implement their strategies to help decrease the levels of airborne crystalline silica and total dust in the workplace.

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-05-20]

[DOI: 10.32592/joohe.11.2.157]

JOHE
مجله مهندسی بهداشت حرفه‌ای
دوره ۱۱، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۳، صفحات: ۱۶۵-۱۵۷
https://johe.umsha.ac.ir
UMSHA Press

مقاله اصلی

ارزیابی و مقایسه غلظت هوابرد سیلیس کریستالی و گرد و غبار کلی تنفسی در صنایع آجر نسوز اصفهان

عاطفه سودایی[۱]، پریسا ادیبی[۲]، حمیدرضا پورآقا[۱،۳*]

۱. گروه آموزشی مهندسی عمران - محیط زیست، دانشکده مهندسی، دانشگاه مهر البرز، تهران، ایران
۲. دانشکده داروسازی، دانشگاه آزاد اسلامی واحد شهرضا، اصفهان، ایران
۳. مرکز تحقیقات بیماری‌های شغلی دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۳/۰۵/۰۸
تاریخ ویرایش مقاله: ۱۴۰۳/۰۷/۲۷
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۳/۰۸/۰۸
تاریخ انتشار مقاله: ۱۴۰۳/۰۸/۱۵

تمامی حقوق نشر برای دانشگاه علوم پزشکی همدان محفوظ است.

* **نویسنده مسئول:** حمیدرضا پورآقا، گروه آموزشی مهندسی عمران - محیط زیست، دانشکده مهندسی، دانشگاه مهر البرز، تهران، ایران

ایمیل:h.pouragha@mehralborz.ac.ir

چکیده

سابقه و هدف: استنشاق ذرات سیلیس کریستالی در محیط کار می‌تواند به بروز بیماری‌های شغلی همچون سیلیکوزیس منجر شود. هدف این پژوهش، ارزیابی و مقایسه غلظت هوابرد سیلیس کریستالی و گرد و غبار قابل استنشاق در صنایع آجر نسوز استان اصفهان است.

مواد و روش‌ها: در این مطالعه مقطعی، غلظت هوابرد سیلیس کریستالی و گرد و غبار کلی تنفسی در ۷۹ نفر از کارگران صنایع بزرگ و ۳۰ نفر از صنایع کوچک آجر نسوز طی یک دوره سه‌ساله ارزیابی شده است. نمونه‌برداری شخصی با استفاده از پمپ‌های نمونه‌برداری فردی و سیکلون انجام شده است. برای تحلیل داده‌ها از آزمون‌های من - ویتنی یو و کروسکال - والیس استفاده شده است.

یافته‌ها: نتایج نشان داد که ۶۵/۱٪ از نمونه‌ها غلظتی بالاتر از حدود مجاز مواجهه داشته‌اند، در حالی که ۳۴/۹٪ نمونه‌ها زیر این حدود بوده‌اند. اختلاف معناداری بین میانگین غلظت سیلیس کریستالی قابل استنشاق دو گروه شغلی در سه سال مشاهده نشده است (P=0.791)، اما از نظر غلظت هوابرد گرد و غبار قابل استنشاق بین این گروه‌ها اختلاف معناداری وجود داشته است (P=0.002).

نتیجه‌گیری: نتایج این مطالعه نشان می‌دهد که اجرای سیستم‌های مدیریت ایمنی، بهداشت و محیط زیست در کاهش غلظت هوابرد سیلیس کریستالی و گرد و غبار قابل استنشاق، تاثیر مثبت داشته و محیط کاری ایمن‌تری برای کارکنان فراهم کرده است.

واژگان کلیدی: غلظت هوابرد آلاینده‌ها، گرد و غبار کلی، سیلیس کریستالی، صنایع آجر نسوز، سیستم بهداشت حرفه‌ای

استناد: سودایی، عاطفه؛ ادیبی، پریسا؛ پورآقا، حمیدرضا. ارزیابی و مقایسه غلظت هوابرد سیلیس کریستالی و گرد و غبار کلی تنفسی در صنایع آجر نسوز اصفهان مجله مهندسی بهداشت حرفه‌ای، تابستان ۱۴۰۳؛۱۱(۲): ۱۶۵-۱۵۷

مقدمه

سیلیس ماده‌ای با ترکیب شیمیایی SiO_2 است [۱,۲]. سیلیس در طبیعت به دو شکل (Crystalline) که شامل کوارتز، تریدیمیت و کریستوبالیت است و همچنین فرم (Amorphous) وجود دارد [۳]. نوع کریستالی سیلیس در محیط کار و همچنین محیط زیست به عنوان آلاینده شناخته شده است [۴]. کارگرانی که ذرات بسیار کوچک سیلیس کریستالی را استنشاق می‌کنند در معرض خطر ابتلا به بیماری‌های سرطان ریه، سیلیکوزیس، اختلالات ریه و کلیوی هستند [۵]. در سال ۱۹۹۷ نیز سیلیس را آژانس بین‌المللی تحقیقات سرطان IARC (International Agency for Research on Cancer) یکی از عوامل ایجادکننده سرطان دانست [۶,۷]. سیلیکوزیس یک بیماری شغلی مهم در دنیا است که علی‌رغم کوشش بسیار در جهت پیشگیری از آن، هنوز یک مشکل جهانی است [۸] که در صورت پیشرفت حتی به نارسایی تنفسی و مرگ نیز منجر می‌شود [۹]؛ از این رو، حذف آن تا سال ۲۰۳۰ میلادی از اهداف سازمان بهداشت جهانی و سازمان بین‌المللی کار است [۱۰]. مقدار تجمعی سیلیس کریستالی عامل مهمی در شیوع این بیماری است [

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-05-20]
[DOI: 10.32592/joohe.11.2.157]

۴]. فعالیت‌هایی مانند انفجار ساینده با ماسه، اره کردن آجر یا بتن، سنباده‌کاری یا حفاری روی دیوارهای بتنی، ملات سنگ‌زنی، ساخت آجر، بلوک‌های بتنی، میزهای سنگی یا محصولات سرامیکی و برش یا خرد کردن سنگ منجر به قرار گرفتن کارگران در معرض گرد و غبار سیلیس کریستالی قابل استنشاق می‌شود [۶]. به هنگام ساخت آجر، کارگران در مراحلی با گرد و غبار قابل استنشاق مواجهه دارند که عبارتند از: ۱- قبل از تبدیل شدن به گل؛ ۲- هنگام خشک شدن؛ ۳- حمل و نقل به داخل کوره و ۴- بار کردن آجر پخته‌شده. در مطالعه‌ای که رضازاده آذری و همکاران (۱۳۹۵) درباره مواجهه کارگران کارخانه مدرن (ماشینی) و کارگاه‌های سنتی تولید آجر با سیلیس کریستالی انجام داده‌اند، نشان داده شد که مکانیزه شدن صنعت باعث کاهش مواجهه با گرد و غبار کلی قابل استنشاق و سیلیس کریستالی شده و خطر فوت ناشی از سرطان ریه را کاهش داده؛ اما هنوز این ریسک در هر دو صنعت بالا است [۱۱]. در مطالعه‌ای که Brent و همکاران (۲۰۱۹) با موضوع تخمین تعداد کارگرانی که با سیلیس کریستالی در صنعت مواجهه دارند، انجام داده‌اند؛ نشان داده شد درصد کارگرانی که با سیلیس کریستالی قابل تنفس مواجهه دارند بر حسب صنعت متفاوت بوده است و برخی کارگران صنایع بیش از ۱۰ برابر Recommended Exposure) REL (Limit با آن مواجهه داشتند و مواجهه‌ها می‌تواند با اجرای سلسله‌مراتب کنترل‌ها به زیر REL کاهش پیدا کند [۱۲]. در سال ۲۰۱۰ مقدار ۰/۰۲۵ میلی‌گرم بر متر مکعب به عنوان حد مجاز مواجهه شغلی با سیلیس کریستالی توسط American) Conference of Governmental Industrial Hygienists) ACGIH تعیین شد [۱۳]. در ایالات متحده سطح مجاز به درصد سیلیس (کوارتز) در گرد و غبار قابل تنفس بستگی دارد؛ اما وقتی گرد و غبار قابل تنفس ۱۰۰٪ شامل کوارتز باشد، این سطح ۰/۱۰میلی گرم بر متر مکعب است [۱۴].

کارگاه‌های آجرپزی در ایران، به‌عنوان بخشی از صنایع سنتی، در بسیاری از مناطق کشور به ویژه استان‌های مرکزی و غربی فعالیت دارند. این کارگاه‌ها در اندازه‌های مختلف از کوچک تا بزرگ تقسیم‌بندی شده‌اند و بخش مهمی از تولید آجر ساختمانی کشور را تامین می‌کنند. از نظر مواجهه با آلاینده‌ها، شرایط در این کارگاه‌ها نگران‌کننده است؛ چرا که غبار و ذرات معلق، گازهای آلاینده و سیلیس کریستالی در فرایندهای تولیدی به‌وفور یافته می‌شوند و خطرات جدی سلامتی مانند بیماری‌های ریوی و سیلیکوزیس را برای کارگران به همراه دارند. هزاران نفر در این صنعت مشغول به کار هستند که بیشتر از اقشار کم‌درآمد بوده‌اند و به دلیل کمبود تجهیزات حفاظتی در معرض این مخاطرات قرار دارند. با توجه به نبود مطالعه‌ای در این باره در استان اصفهان؛ این مطالعه به منظور ارزیابی و مقایسه غلظت هوابرد سیلیس و گرد و غبار قابل استنشاق در صنایع آجر نسوز اصفهان و مقایسه آن با حدود مجاز، همچنین ارزیابی و مقایسه غلظت هوابرد سیلیس کریستالی و گرد و غبار قابل استنشاق شاغلان به تفکیک شغل و در نهایت ارزیابی و مقایسه غلظت هوابرد سیلیس و گرد و غبار قابل استنشاق در صنعت دارای نظام مدیریت HSE (Health, safety & Environment) با صنایع کوچک بدون داشتن نظام HSE و تفاوت و بررسی و مقایسه شرایط انجام شده است. یادآوری می‌شود نظام مدیریت HSE (بهداشت، ایمنی و محیط زیست) به طور موثری از سلامت و ایمنی کارکنان و همچنین حفاظت از محیط زیست در محیط‌های کاری حفاظت می‌کند. این سیستم با ایجاد برنامه‌های منظم آموزشی، استفاده از تجهیزات حفاظتی و پایش مداوم ریسک‌ها، شرایط کار ایمن‌تر و کارآمدتری را برای کارکنان فراهم می‌کند و نقش مهمی در بهبود عملکرد سازمان‌ها و پایبندی آن‌ها به مقررات دارد.

روش کار

نوع مطالعه، شرکت‌کنندگان و روش نمونه‌گیری

این مطالعه به صورت مقطعی و مشاهده‌ای انجام شد. جامعه آماری این تحقیق از صنایع بزرگ تولید آجر نسوز اصفهان که دارای نظام مدیریت HSE و صنایع کوچک که بدون این نظام بودند و به صورت کارگاهی اداره می‌شدند، تشکیل شد. نمونه‌های آماری این تحقیق در مقطع زمانی سه‌ساله و در سال‌های ۱۳۹۹، ۱۴۰۰ و ۱۴۰۲ به صورت سرشماری بودند. در صنایع بزرگ از ۷۹ نفر و در صنایع کوچک از ۳۰ نفر و هر نفر یک نمونه سیلیس و یک نمونه گرد و غبار قابل استنشاق گردآوری شد. تعداد کل نمونه‌ها در مجموع ۶۵۴ نمونه بود که عبارتند از: ۲۳۷ نمونه سیلیس کریستالی و ۲۳۷ نمونه گرد و غبار قابل استنشاق در صنایع بزرگ و ۹۰ نمونه سیلیس کریستالی و ۹۰ نمونه گرد و غبار قابل استنشاق در صنایع کوچک. در سال ۱۴۰۱ به دلیل بروز برخی مشکلات تولیدی در صنایع آجر نسوز اصفهان (شامل کمبود مواد اولیه و قطعی گاز) اندازه‌گیری انجام نشد. نمونه‌های همه کارکنان مورد بررسی و شاغل در این صنایع را مردان تشکیل می‌دادند. گروه‌های شغلی در صنایع کوچک و بزرگ به دو گروه تولیدی و غیرتولیدی تقسیم‌بندی شدند. گروه شغلی تولیدی شامل کارگران و رانندگان ماشین‌آلات واحد تولید و گروه غیرتولیدی شامل واحد تعمیرات – نگهداری، سرپرستان، کارشناسان تولید، واحد ایمنی، سلامت و محیط زیست و واحد کنترل کیفیت بودند. وظیفه گروه‌های شغلی مورد بررسی عبارتند از: ۱- کارگران و رانندگان ماشین‌آلات واحد تولید: پرس و برش آجر، کیسه پرکنی، آسیاب، رانندگی لیفتراک، لودر و ... ؛ ۲- واحد تعمیرات – نگهداری: نظارت و تعمیرات تجهیزات و دستگاه‌ها؛ ۳- سرپرستان، کارشناسان تولید، واحد ایمنی، سلامت و محیط زیست: برنامه‌ریزی تولید، نظارت بر تولید و امور ایمنی، سلامت و محیط زیست کارکنان؛ ۴- واحد کنترل کیفیت: کنترل محصول نهایی از نظر کیفیت. آجر نسوز، از مدرن‌ترین انواع آجرنماها به شمار می‌رود که امروزه در *کارخانه تولید آجر نسوز*، با پیشرفته‌ترین تجهیزات و ماشین‌آلات ساخته می‌شود.

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-05-20]

[DOI: 10.32592/joohe.11.2.157]

روش تولید آجر نسوز دارای چهار مرحله است که عبارتند از: ۱- استخراج مواد اولیه و ذخیره‌سازی آن؛ ۲- تهیه گل و شکل‌گیری قالب؛ ۳- خشک کردن آجر و ۴- پخت آجر. ارزیابی و مقایسه غلظت هوابرد سیلیس بر اساس روش انستیتوی ملی بهداشت حرفه‌ای و ایمنی آمریکا (National Institute for (NIOSH) NIOSH7602 Occupational Safety and Health) و گرد و غبار قابل استنشاق بر اساس روش NIOSH0600 انجام گرفته است. نمونه‌برداری فردی با استفاده از پمپ استاندارد نمونه‌برداری فردی SKC-universal و با میزان دبی ۱/۷ لیتر بر دقیقه انجام شد. پایش دبی پمپ نمونه‌بردار با استفاده از روتامتر کالیبره انجام شده است. نمونه هوا از منطقه تنفسی که نیم‌کره‌ای است به قطر تقریبی ۳۰ سانتی‌متر در جلو دهان و بینی کارگر برداشت شد. برای جداسازی ذرات سیلیس و گرد و غبار کلی از نمونه‌بردار سیکلون با نگهدارنده فیلتر ۳۷ میلی‌متری استفاده شد. فیلتر ۳۷ میلی‌متری از جنس پلی ونیل کلراید در داخل نگهدارنده فیلتر قرار گرفت. از آن جایی که کارگران در یک شیفت هشت‌ساعته مشغول فعالیت بودند، نمونه‌برداری در محدوده زمانی ۸ صبح تا ۱۲ ظهر انجام گرفت. نمونه‌ها بر طبق روش استاندارد به آزمایشگاه حمل و بر اساس روش‌های بیان‌شده بازیافت شدند و آماده‌سازی جهت آنالیز صورت گرفت. نمونه‌ها با ترازو توزین و غلظت گرد و غبار قابل استنشاق بر حسب میلی‌گرم در متر مکعب بر اساس فرمول زیر محاسبه شدند:

$$C=\frac{(W2-W1)\times 1000}{\Delta t \times Q}$$

C: غلظت گرد و غبار قابل استنشاق در هوای محیط کار بر حسب میلی‌گرم بر متر مکعب؛ W_1: وزن فیلتر قبل از نمونه‌برداری بر حسب میلی‌گرم؛ W_2: وزن فیلتر بعد از نمونه‌برداری بر حسب میلی‌گرم؛ Δt: مدت زمان نمونه‌برداری بر حسب دقیقه؛ Q: دبی پمپ نمونه‌برداری بر حسب لیتر در دقیقه. آنالیز نمونه‌های دارای سیلیس با استفاده از روش اسپکتروفوتومتری مادون قرمز (IR) و معادله خط منحنی کالیبراسیون $Y=۰.۰۲۰۳۵X-۰.۰۲۲۷$ انجام گرفت که دارای حساسیت و اطمینان زیادی بود. نمونه‌های آماده‌شده در بالاترین پیک باند جذبی (طول موج $800m^{-1}$) در دستگاه (Perkin Elmer Spectrum 100) قرائت و منحنی استاندارد کوارتز تهیه شد. از منحنی کالیبراسیون تهیه‌شده برای سنجش کمی کوارتز موجود در گرد و غبار قابل استنشاق، در نمونه‌های مجهول به‌دست‌آمده از هوای منطقه تنفسی کارگر استفاده شد.

تجزیه و تحلیل آماری

تحلیل اطلاعات به‌دست‌آمده با استفاده از نرم‌افزار SPSS ۲۴ (Statistical Package for the Social Sciences) و با استفاده از آزمون‌های کای دو، من ویتنی - یو و کروسکال والیس بررسی شد.

نتایج

پایش فردی گرد و غبار کلی تنفسی و سیلیس کریستالی تنفسی در ۱۰۹ کارگر و دو زیرگروه شغلی صنایع آجر نسوز اصفهان در مقطع زمانی سه‌ساله (۱۳۹۹، ۱۴۰۰ و ۱۴۰۲) انجام شد. شرح مشاغل، تعداد و درصد آنان در جدول (۱) نمایش داده شده است. نرمالیته میانگین سه‌ساله غلظت هوابرد سیلیس کریستالی با استفاده از آزمون کولموگروف – اسمیرنوف مشخص شد که غیر نرمال است ($p<۰/۰۵$). مقایسه نتایج میانگین غلظت هوابرد سیلیس قابل استنشاق اندازه‌گیری‌شده طی سه سال و حدود مجاز مواجهه نشان داد ۶۵/۱٪ نمونه‌ها بالاتر از حدود مجاز مواجهه و ۳۴/۹٪ نمونه‌ها پایین‌تر از حدود مجاز مواجهه بوده است. نتایج انحراف معیار میانگین سه‌ساله سیلیس اندازه‌گیری‌شده در سال‌های ۱۳۹۹، ۱۴۰۰ و ۱۴۰۲ به ترتیب ۰/۰۹۵، ۰/۰۹۹ و ۰/۱۶۹ بوده است. در سال ۱۴۰۲، نتایج حاصل از آنالیز داده‌های غلظت هوابرد سیلیس بیانگر این بود که ۳۴/۹٪ نمونه‌ها پایین‌تر از حدود مجاز مواجهه و ۶۵/۱٪ نمونه‌ها بالاتر از حدود مجاز مواجهه است. این آنالیز در سال‌های ۱۴۰۰ و ۱۳۹۹ نیز صورت گرفت و نتایج به این صورت بود که در سال ۱۴۰۰، ۵۶/۹ ٪ نمونه‌ها پایین‌تر از حدود مجاز مواجهه و ۴۳/۱٪ بالاتر از این حدود و در سال ۱۳۹۹، ۵۱/۴٪ نمونه‌ها پایین‌تر از حدود مجاز مواجهه و ۴۸/۶٪ نمونه‌ها بالاتر از حدود مجاز مواجهه بوده است. آزمون آنالیز داده‌ها در جهت تعیین غلظت هوابرد گرد و غبار نیز انجام شد و مقایسه نتایج میانگین غلظت هوابرد گرد و غبار قابل استنشاق طی سه سال و حدود مجاز مواجهه، مقادیر ۲۵/۷ ٪ برای بالاتر از حدود مجاز مواجهه و ۷۴/۳٪ برای پایین‌تر از حدود مجاز مواجهه را نشان داد. انحراف معیار میزان گرد و غبار اندازه‌گیری‌شده در سال‌های ۱۳۹۹، ۱۴۰۰، ۱۴۰۲، به ترتیب ۱/۲۹۳، ۱/۴۶۶ و ۱/۹۱۸ بوده است. نتایج مقایسه میانگین سه‌ساله غلظت هوابرد سیلیس و حدود مجاز مواجهه در گروه‌های شغلی تولیدی و غیرتولیدی در جدول (۲) نمایش داده شده است که بر طبق این جدول مشخص شد میانگین سه‌ساله غلظت هوابرد سیلیس در ۳۵/۸٪ شاغلان تولیدی پایین‌تر از حدود مجاز مواجهه و در ۶۴/۲٪ آنان بالاتر از حدود مجاز مواجهه بوده است. همچنین در ۳۳/۳٪ شاغلان غیرتولیدی میزان مواجهه پایین‌تر از حدود مجاز و در۶۶/۷٪ آنان بالاتر از حدود مجاز توصیه‌شده بوده است. از طرفی میانگین غلظت هوابرد گرد و غبار قابل استنشاق در۶۴/۲٪ شاغلان تولیدی پایین‌تر از حدود مجاز مواجهه و در ۳۵/۸٪ آنان بالاتر از حدود مجاز مواجهه است. در ۹۰/۵ ٪ شاغلان غیرتولیدی نیز غلظت هوابرد گرد و غبار قابل استنشاق پایین‌تر از حد مجاز و در ۹/۵٪ آنان بالاتر از حدود مجاز مواجهه بوده است.

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-05-20]

[DOI: 10.32592/joohe.11.2.157]

جدول ۱. تعداد و درصد کارگران به تفکیک دو زیرگروه شغلی

گروه صنعتی	گروه شغلی	تعداد	درصد
صنایع کوچک	شاغلان تولیدی*	۲۹	۹۶/۷
	شاغلان غیرتولیدی**	۱	۳/۳
صنایع بزرگ	شاغلان تولیدی	۳۸	۴۸/۱
	شاغلان غیرتولیدی	۴۱	۵۱/۹

*شاغلان تولیدی شامل: کارگران و رانندگان تولید. **شاغلان غیرتولیدی شامل: تعمیرات – نگهداری، سرپرستان و کارشناسان تولید، آتش‌نشانی و HSE و واحد کنترل کیفیت.

جدول ۲. مقایسه میانگین سه‌ساله غلظت هوابرد سیلیس و گرد و غبار قابل استنشاق با حدود مجاز مواجهه در دو زیرگروه شغلی

شغل	مقایسه با حدود مجاز مواجهه	تعداد نمونه سیلیس	درصد سیلیس	P-v	تعداد نمونه گرد و غبار	درصد گرد و غبار	P-v
شاغلان تولیدی*	پایین‌تر	۲۴	۳۵/۸	۰/۷۹۱	۴۳	۶۴/۲	۰/۰۰۲
	بالاتر	۴۳	۶۴/۲		۲۴	۳۵/۸	
شاغلان غیرتولیدی**	پایین‌تر	۱۴	۳۳/۳		۳۸	۹۰/۵	
	بالاتر	۲۸	۶۶/۷		۴	۹/۵	

*شاغلان تولیدی شامل: کارگران و رانندگان تولید. **شاغلان غیرتولیدی شامل: تعمیرات – نگهداری، سرپرستان و کارشناسان تولید، آتش‌نشانی و HSE و واحد کنترل کیفیت.

با استفاده از آزمون Chi-square بررسی وجود اختلاف معناداری آماری و نبود آن بین زیرگروه‌های مختلف شغلی (چهارگانه، سه‌گانه و دوگانه) از نظر میانگین غلظت هوابرد سیلیس و گرد و غبار قابل استنشاق انجام شد. نتایج حاصل از این آزمون نشان داد گروه‌های شغلی چهارگانه از نظر میانگین سه‌ساله غلظت هوابرد سیلیس با هم اختلاف معناداری نداشتند (p=۰/۹۲۱) اما از نظر میانگین غلظت هوابرد گرد و غبار قابل استنشاق با هم اختلاف معنادار داشتند (p=۰/۰۲۰)؛ همچنین گروه‌های شغلی سه‌گانه از نظر میانگین سه‌ساله غلظت هوابرد با سیلیس با هم اختلاف معناداری نداشتند (p=۰/۷۸۳) اما از نظر میانگین غلظت هوابرد گرد و غبار قابل استنشاق با هم اختلاف معنادار داشتند (p=۰/۰۰۷) و گروه‌های شغلی دوگانه نیز از نظر میانگین سه‌ساله غلظت هوابرد با سیلیس با هم اختلاف معناداری نداشتند (۰/۷۹۱ =p)؛ اما از نظر میانگین غلظت هوابرد گرد و غبار قابل استنشاق با هم اختلاف معنادار داشتند (p=۰/۰۰۲). مقایسه میانگین سه‌ساله غلظت هوابرد با سیلیس کریستالی قابل استنشاق در صنایع بزرگ و کوچک نشان داد غلظت هوابرد ۳۳/۳٪ افراد در صنایع کوچک پایین‌تر از حدود مجاز مواجهه و ۶۶/۷٪ بالاتر از حدود مجاز مواجهه و در صنایع بزرگ غلظت هوابرد ۳۵/۴٪ افراد پایین‌تر از حدود مجاز مواجهه و ۶۴/۶٪ افراد بالاتر از حدود مجاز مواجهه بود و از نظر اختلاف آماری، اختلاف معناداری نداشتند (p=۰/۸۳۶). مقایسه میانگین سه‌ساله غلظت هوابرد گرد و غبار قابل استنشاق دراین دو نوع صنعت نیز صورت گرفت و نتایج نشان داد غلظت هوابرد در صنایع کوچک ۴۶/۷٪ پایین‌تر از حدود مجاز مواجهه و ۵۳/۳٪ بالاتر از حدود مجاز مواجهه و در صنایع بزرگ نیز ۸۴/۸٪ پایین‌تر از حدود مجاز مواجهه و ۱۵/۲ ٪ بالاتر از حدود مجاز مواجهه بود و این دو صنعت از نظر آماری اختلاف معناداری داشتند (p=۰/۰۰۰۰۴). انحراف معیار میزان غلظت هوابرد گرد و غبار قابل استنشاق در سال ۱۴۰۲ و در مشاغل تولیدی، صنایع کوچک ۱/۴۱۸ و در صنایع بزرگ ۲/۴۱۴ و در مشاغل غیرتولیدی، صنایع کوچک بدون عدد و در صنایع بزرگ ۱/۶۷۳ بود. در سال ۱۴۰۰ انحراف معیار گرد و غبار قابل استنشاق در مشاغل تولیدی، صنایع کوچک ۱/۲۹۰ و صنایع بزرگ ۱/۶۳۶ و در مشاغل غیرتولیدی، در صنایع کوچک بدون عدد و در صنایع بزرگ ۱/۲۶۱ بود و در آخر انحراف معیار گرد و غبار قابل استنشاق در سال ۱۳۹۹ بررسی شد که حاصل به ترتیب در مشاغل تولیدی، در صنایع کوچک ۱/۳۰۰ و در صنایع بزرگ ۱/۱۴۵ و در مشاغل غیرتولیدی، در صنایع کوچک بدون عدد و در صنایع بزرگ ۱/۳۵۷ بوده است.

بحث

این مطالعه با هدف ارزیابی و مقایسه غلظت هوابرد سیلیس کریستالی و گرد و غبار قابل استنشاق در صنایع آجر نسوز اصفهان در مقطع زمانی سه‌ساله در مشاغل تولیدی و غیرتولیدی انجام گرفته است. بررسی‌های صورت‌گرفته نشان داد که غلظت هوابرد سیلیس کریستالی در کارگاه‌های کوچک که بدون سیستم مدیریت HSE بود در هر سه سال اندازه‌گیری‌شده بالاتر از حدود مجاز مواجهه بود و این غلظت درصد قابل توجهی بوده است (۶۶/۷٪)؛ اما در صنایع بزرگ که دارای سیستم مدیریت HSE بود در سال ۱۳۹۹ که درصد غلظت هوابرد بالاتر از حدود مجاز مواجهه ۴۱/۸٪ بود به نسبت سال ۱۴۰۰ که ۳۴/۲٪ بود روند کاهشی داشته است؛ با وجود این، این غلظت در

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-05-20]

[DOI: 10.32592/joohe.11.2.157]

صنایع بزرگ در سال ۱۴۰۲ به نسبت سال ۱۴۰۰ روند افزایشی داشته است و از ۳۴/۲٪ به ۶۴/۶٪ رسیده است که این روند را می‌توان به نوع خاک مصرفی در دو سال اخیر که حاوی درصد سیلیس بالا و همراه با افزایش حجم تولید صنایع بزرگ به نسبت سال‌های گذشته بوده است، تعمیم داد. در مطالعه‌ای که رضازاده آذری و همکاران (۱۳۹۵) به منظور بررسی سیلیکوزیس در کارگاه‌های سنتی و کارخانه ماشینی تولید آجر انجام دادند، این نتیجه برآورد شد که ۹۷٪ شاغلان کارخانه ماشینی و ۱۰۰٪ کارگاه‌های سنتی از نظر مواجهه با سیلیس کریستالی بالاتر از حدود مجاز مواجهه بودند [۱۱] که این نتایج با مطالعه فعلی همخوانی دارد و میزان غلظت هوابرد سیلیس کریستالی در سال‌های ۱۳۹۹، ۱۴۰۰، ۱۴۰۲ در صنایع کوچک به نسبت صنایع بزرگ بالاتر بوده است. در نتایج مطالعه‌ای که محمدیان و همکاران (۱۳۸۹) درباره شاغلان صنایع تولید آجر، Shilpi و همکاران (۲۰۱۹) درباره معدنچیان ایالات متحده آمریکا و Nurul و همکاران (۲۰۱۶) درباره کارکنان صنعت فولاد در ساحل شرقی شبه جزیره مالزی انجام دادند، نیز نشان داده شد مواجهه با سیلیس کریستالی بین کارگران آن صنعت بالاتر از حدود مجاز مواجهه بوده است [۱۵-۱۷]. همان‌طور که پیش از این گفته شد حد مجاز مواجهه شغلی با سیلیس که از طرف سازمان ACGIH اعلام شده است ۰/۰۲۵ میلی‌گرم بر متر مکعب است که بر این اساس ۶۴/۲٪ شاغلان تولیدی و ۶۶/۷٪ شاغلان غیرتولیدی در صنایع مورد مطالعه دارای غلظت هوابرد بیشتر از حد مجاز بودند. همچنین سازمان ACGIH حد مجاز مواجهه شغلی برای گرد و غبار کلی قابل استنشاق را ۳ میلی‌گرم بر متر مکعب تعیین کرده است که بر این اساس، ۲۵/۷٪ شاغلان بالاتر از حدود مجاز مواجهه و ۷۴/۳٪ آنان پایین‌تر از حدود مجاز مواجهه قرار داشتند. مقایسه این نتایج در دو زیرگروه شغلی تولیدی و غیرتولیدی نشان داد ۳۵/۸٪ شاغلان تولیدی و ۹/۵٪ شاغلان غیرتولیدی، غلظت هوابرد پایین‌تر از حدود مجاز داشته‌اند، در صورتی که در مطالعه‌ای که عسگری‌پور و همکاران (۱۳۹۳) انجام دادند به این نتیجه رسیدند که میانگین غلظت هوابرد گرد و غبار کلی قابل استنشاق ۳/۵ ± ۴/۳۵ میلی‌گرم بر متر مکعب و بیشتر از استاندارد سازمان ACGIH بوده است [۱۸]. کلانتری و همکاران (۱۳۹۶) نیز مطالعه‌ای مروری بر وضعیت مطالعات مرتبط با مواجهه شغلی با گرد و غبار در ایران طی ۱۴ سال گذشته انجام دادند که بر اساس نتایج مشخص شد میانگین مواجهه با سیلیس کریستالی در صنایع تولید آجر، شن و ماسه ۰/۱۶ میلی‌گرم بر متر مکعب بوده[۱۹] که این مقدار نشان‌دهنده درصد بالای مواجهه با سیلیس در صنایع تولید آجر بوده است. در مطالعه حاضر به این نتیجه رسیدیم که بین گروه‌های شغلی دوگانه و میانگین مواجهه سه‌ساله با سیلیس اختلاف معناداری نبوده است (P= ۰/۷۹۱)؛ اما نتایج در مطالعه عصاری و همکاران که آن را در کارگاه‌های سیلیس‌کوبی انجام داده بودند، خلاف این بود و بین میانگین مواجهه با سیلیس در گروه‌های شغلی مختلف اختلاف آماری معنادار وجود داشت (P=۰/۰۰۱)[۲۰]. در مطالعه رضازاده آذری و همکاران (۱۳۹۵) آزمون تی تست نشان داد بین کارخانه آجرپزی سنتی و ماشینی در میزان مواجهه شغلی با گرد و غبار قابل استنشاق اختلاف معناداری وجود دارد (p=۰/۰۰۱) اما در میزان مواجهه با سیلیس کریستالی اختلاف معناداری مشاهده نشد (P=۰/۱۰۷) [۱۱]. در مطالعه‌ای که Gottesfeld و همکاران (۲۰۰۸) درباره کاهش سیلیس قابل استنشاق به دنبال معرفی کاربردهای اسپری آب در آسیاب‌های سنگ‌شکن هندی انجام دادند، این نتیجه حاصل شد که استفاده از اسپری آب و ایجاد رطوبت، به طور متوسط به ترتیب باعث کاهش سطوح کوارتز و کریستوبالیت به میزان۸۲ و۶۱ درصد می‌شود [۲۱] که می‌توان این روش را در کاهش غلظت هوابرد سیلیس در صنایع تولید آجر نسوز به عنوان اقدام پیشگیرانه در نظر گرفت. از جمله محدودیت‌های این مطالعه دسترسی نداشتن به اطلاعات پیامدهای مواجهه از جمله شاخص‌های عملکرد تنفسی شرکت‌کنندگان است. همچنین به دلیل به‌کارگیری برخی کارکنانی که در چتر حمایت قانونی قرار ندارند (اتباع غیر مجاز) اطلاعات مواجهه آن‌ها قابل به دست آوردن نبود.

نتیجه‌گیری

در صنایع بزرگی که دارای سیستم مدیریت HSE بودند میزان غلظت هوابرد سیلیس کریستالی و گرد و غبار قابل استنشاق به صورت معناداری کمتر از صنایع کوچکی بود که بدون سیستم مدیریت HSE بودند و به صورت سنتی اداره می‌شدند. این تفاوت غلظت را می‌توان به دلیل نظارت‌های مدیریتی بر خط تولید، انضباط کارگاهی و ایجاد و تداوم سیستم‌های مهندسی مانند تهویه صنعتی ترقیقی و موضعی و آموزش و فرهنگ‌سازی دانست؛ از این رو، لازم است مدیران صنایع در جهت کاهش سطح غلظت هوابرد سیلیس کریستالی و گرد و غبار کلی تنفسی محیط کاری کارکنان، زمینه‌های لازم را برای استخدام متخصصان HSE و به‌کارگیری تدابیر آنان فراهم کنند.

تشکر و قدردانی

پژوهش حاضر برگرفته از پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته مهندسی ایمنی، بهداشت و محیط زیست (HSE) از دانشگاه مهر البرز تهران است. از مدیران و کارگران صنایع آجر نسوز اصفهان جهت همکاری در پژوهش، تشکر و قدردانی می‌شود.

تضاد منافع

هیچ‌گونه تضاد منافعی بین نویسندگان در این مقاله وجود ندارد.

ملاحظات اخلاقی

در این مطالعه با نمونه انسانی کار نشده است و فقط از نمونه‌های محیطی استفاده شده است.

سهم نویسندگان

عاطفه سودایی در جمع‌آوری اطلاعات و نوشتن مقاله، پریسا ادیبی در جمع‌آوری اطلاعات و حمیدرضا پورآقا در طراحی مطالعه و آنالیز اطلاعات مشارکت

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-05-20]

[DOI: 10.32592/joohe.11.2.157]

داشته‌اند. همه نویسندگان نیز در مرور و ویرایش نهایی مقاله نقش داشته‌اند.

حمایت مالی

مطالعه حاضر با بودجه شخصی نویسندگان انجام شده است.

REFERENCES

1. Mohammadi H, Dehghan S, Noormohammadi M. Evaluation of the exposure of workers of an insulation industry to crystalline silica to determine the risk of mortality due to silicosis and lung cancer. *J Health Saf Work*. 2016; **7**(1): 45-52. Link
2. Maciejewska A. Health effects of occupational exposure to crystalline silica in the light of current research results. *Medycyna Pracy*. 2014; **6**(65): 818-799. DOI:10.13075/mp.5893.00054
3. Leung CC Y. Chen W. Silicosis. *Lancet*. 2012; **379**(9830): 18-2008. PMID: 22534002 DOI: 10.1016/S0140-6736(12)60235-9
4. Ahmadi Asour A. Mohammadyan M. Fasih Ramandi F. Hokmabadi R. Akrami R. et al .Risk Assessment of Occupational Exposure to Cement Respirable Particles and Crystalline Silica in a Cement Factory. Journal of North Khorasan University of Medical Sciences. 2021; **12**(4): 7-10. Link
5. Baron PA, Rice FL, Key-Schwartz R, Bartley D, Schlecht P. Health effects of occupational exposure to respirable crystalline silica. DHHS (NIOSH) Publication No. 2002:129. Link
6. Occupational Safety & Health Administration (OSHA).2016. Link
7. Tavakol Elaheh R. Salehpour S. Khodakarim S. Determining the level of occupational exposure of construction workers to respirable dust and respirable crystalline silica. *Improving safety and preventing injuries*. 2014; **3**(4): 263-70. DOI:10.22037/meipm.v3i4.11855
8. Yuewei Liu a. Yi Rong A. Kyle Steenland C. David C. Christiani D. Xiji Huang A. el at .Long-term Exposure to Crystalline Silica and Risk of Heart Disease Mortality. Epidemiology 25. 2014; 696-89. DOI: 10.1097/EDE.0000000000000143
9. Bang KM M. Wood JM. White GE. Hendricks SA. Weston A. Silicosis mortality trends and new exposures to respirable crystalline silica—United States, 2001–2010. *MMWR Morb Mortal Wkly Rep*. 2015; **64**(5): 117-20. Link
10. Nelson G. Ndlovu N. Murray J. Three decades of silicosis: disease trends at autopsy in South African gold miners. Environmental health perspectives. 2010; **118**(3): 421-6. DOI: 10.1289/ehp.0900918
11. Rezazadeh Azari M. Zarei F. Ebrahimi Hariri A. Salehpour S. Souri H. Assessing the risk of mortality due to silicosis and lung cancer in machine factory workers and traditional brick production workshops with crystalline silica. *Occupational Medicine*. 2019; **12**(3): 26-34. Link
12. Doney BC, Miller WE, Hale JM, Syamlal G. Estimation of the number of workers exposed to respirable crystalline silica by industry: Analysis of OSHA compliance data (1979-2015*). Am J Ind Med*. 2020;**63**(6):465-77. PMID: 32270550 DOI: 10.1002/ajim.23109
13. Irannejad Rankouhi S. Nasrabadi M. Consequence Modeling of Explosion Events by PHAST Software in an Industrial Unit-A Case Study of 2 Phases of South Pars. Bulding of the Georgian National Academy of Science. 2015; **9**(1): 26-316. Link
14. Muluken Yeheyis G. Kasun H. Rehan S. Exposure to Crystalline Silica Inhalation Among Construction Workers: A Probabilistic Risk Analysis. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*. 2012; **5**(18): 1036-50. DOI: 10.1080/10807039.2012.707931
15. Mohammadyan M. Islami S. Fazeli A. Evaluation of workers' exposure to crystaline silica particles in some factories of Mazandaran Province. *J Mazandaran Univ Med Sci*. 2012; **22**(88): 17-24. Link
16. Misra S, Sussell AL, Wilson SE, Poplin GS. Occupational exposure to respirable crystalline silica among US metal and nonmetal miners, 2000–2019.*Am J Ind Med*. 2023; **66**: 199-21. DOI: 10.1002/ajim.23451
17. Nurul AH. Noor Hassim I. Assessment of dust exposure in a steel plant in the eastern coast of peninsular Malaysia.*Work*. 2018; **55**(3): 655-62. DOI: 10.3233/WOR-162433
18. Asgaripor T. Phlevan D. Chandaghi J. Kazemi E. Health risk assessment of occupational exposure to crystalline silica in a complex ceramic tile production. *Journal of Occupational Medicine*. 2015; **6**(2): 44-53. Link
19. Yazdani Rad S. Kalantari S. Dehghan S. Review of the status of studies related to occupational exposure to dust in Iran during the last 14 years. Occupational Health and Safety Quarterly. 2015; **9**(1): 1-12. Link
20. Assari MJ. Pourmohammadi A. Chavoshi E. Karami Z. Application of Arc-GIS for Zoning of Occupational Exposure Levels to Respirable Crystalline Silica in Crushing Factories. *J Occup Hyg Eng*. 2021; **7**(4): 53-60. DOI: 10.52547/johe.7.4.53
21. Gottesfeld P. Kephart JW. Balakrishnan K. Rinehart R . Reduction of respirable silica following the introduction of water spray applications in indian stone crusher mills. *Int J Occup Environ Health*. 2008; **14**(2): 94-103. DOI: 10.1179/oeh.2008.14.2.94

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-05-20]

[DOI: 10.32592/joohe.11.2.157]