JOHE
Journal of Occupational Hygiene Engineering
J Occup Hyg Eng, 2024; 11(2): 84-94 Doi: 10.32592/joohe.11.2.84
https://johe.umsha.ac.ir

Original Article

Health Risks Assessment of Occupational Exposure to Respirable Crystalline Silica in Silica Crushing, Ceramics, Foundry, and Cement Industries in Hamadan, Iran

Maryam Farrokhzad[1], Farshid Ghorbani Shahna[2], Maryam Farhadian[3], Akram Ranjbar[4], Mohammad Javad Assari [5*]

1. Department of Basic Sciences, Khomein Faculty of Medical Sciences, Khomein, Iran
2. Center of Excellence for Occupational Health, Occupational Health and Safety Research Center, School of Public Health, Hamadan University of Medical Sciences, Hamadan, Iran
3. Department of Biostatistics, Research Center for Health Sciences, School of Public Health, Hamadan University of Medical Sciences, Hamadan, Iran
4. Department of Toxicology and Pharmacology, Pharmacy Faculty, Hamadan University of Medical Sciences, Hamadan, Iran
5. Research Center for Health Sciences, School of Public Health, Hamadan University of Medical Sciences, Hamadan, Iran

Article history:
Received: 27 August 2024
Revised: 09 September 2024
Accepted: 30 September 2024
ePublished: 06 October 2024

***Corresponding author:**
Mohammad Javad Assari, Research Center for Health Sciences, School of Public Health, Hamadan University of Medical Sciences, Hamadan, Iran

E-mail: asari@umsha.ac.ir

Abstract

Background and Objective: Exposure to respirable crystalline silica (RCS) causes silicosis, lung cancer, autoimmune diseases of rheumatoid arthritis or systemic scleroderma, and benign respiratory system diseases. The risk assessment has an important scientific role in the control of occupational diseases by estimating the risk of death and determining the dose-response relationship. The present study aimed to evaluate the health risks of occupational exposure to RCS in workers in silica crushing, ceramics, foundry, and cement industrial sectors in Hamadan, Iran.

Materials and Methods: In this cross-sectional study, occupational exposure to RCS was investigated in 15 job titles. The potential lifetime cancer risk (LCR) was calculated by considering some factors, such as work experience, duration and frequency of exposure, lifetime and the reference rate of inhalation exposure, and the risk coefficient (hazard quotient: HQ), using the Olawoyin model.

Results: The lowest levels of LCR (approximately 8 cases per 1.000.000 workers) and HQ (0.093) were obtained in the job title of Furnace (L) in the foundry, and the highest levels of LCR (approximately 2 cases per 1000 workers) and HQ (26.41) were observed in the job title of Supervisor (D) in silica crushing. The HQ levels in nine job titles were higher than the recommended allowable levels, while in other job titles, they were lower. Moreover, the results indicated a direct relationship between LCR and HQ levels in the studied job titles.

Conclusion: Considering the important and influential role of the parameters used to evaluate LCR and the possibility of HQ determination by the Olawoyin model, it is recommended that this model be employed to evaluate health risks in occupational exposure to RCS in future studies.

Keywords: Cement, Ceramics, Foundry, Health risk assessment, Respirable crystalline silica, Silica crushing

Please cite this article as follows: Farrokhzad M, Ghorbani Shahna F, Farhadian M, Ranjbar A, Assari MJ. Health Risks Assessment of Occupational Exposure to Respirable Crystalline Silica in Silica Crushing, Ceramics, Foundry, and Cement Industries in Hamadan, Iran. J Occup Hyg Eng. 2024; 11(2): 84-94. DOI: 10.32592/joohe.11.2.84

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

[DOI: 10.32592/joohe.11.2.84]

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" refers to minerals with the chemical composition of silicon dioxide (SiO2), which is the most abundant mineral in the earth's crust [1]. Many workers are exposed to Respirable Crystalline Silica (RCS) in industries, such as rock processing containing silica, clay and bricks, foundry, as well as ceramics and cement production [4]. Studies have shown that current silica exposure standard values are not sufficient to protect and prevent chronic silicosis in workers. Silica has many effects on human health. Exposure to RCS causes silicosis, bronchial or lung cancer, autoimmune diseases, such as rheumatoid arthritis or systemic scleroderma, and benign respiratory diseases [6-8]. In addition to risk assessment, the identification of the toxicity or side effects of exposure to chemicals is of significant importance in the control of occupational diseases by estimating the risk of death due to exposure using the dose-response (effect) relationship [1]. The Olawoyin's risk assessment model calculates the permissible limits and considers factors, such as work experience, duration and frequency of exposure, lifetime and inhalation exposure reference. This model also utilizes the dust concentration during the employment period [2]. Accordingly, since no study has been conducted on the risk assessment of exposure to RCS, the present study was conducted to evaluate the health risks of occupational exposure to RCS among the workers working at silica crushing, foundry, cement, and ceramic industries in Hamadan, Iran using the Olawoyin model.

Materials and Methods

This cross-sectional study investigated the occupational exposure to RCS in 15 job titles in such industries as silica crushing, foundry, ceramics, and cement in Hamadan, Iran. Demographic characteristics of the workers (e.g., age, level of education, type of industry, job duties, work experience, as well as exposure duration and frequency) were recorded using a questionnaire. The inclusion criterion was the obtainment of at least one year of exposure to RCS. Three air samples were collected from the respiratory zone of workers of different job titles in the studied industries using an individual sampling pump with a flow rate of 2.5 liters per minute, an aluminum cyclone, and a 37-mm polyvinyl chloride filter with a pore size of 0.5 µm during the work shift [4]. Following that, the potential lifetime cancer risk (LCR) was calculated by considering some factors, such as work experience, exposure duration and frequency, lifetime and the reference rate of inhalation exposure, and the risk coefficient (hazard quotient: HQ), using the Olawoyin model.

Results

According to the results, all participants in the study were male with a mean age and work experience of 38±7.098 and 10.08±4 years, respectively. In this study, the amount of individual exposure to RCS was investigated in 15 job titles in four industries. The mean amount of exposure to RCS was observed in silica crushing, ceramics, foundry, and cement production in descending order. The highest and lowest individual exposure levels in terms of total weight average (TWA) are respectively noticed in the job titles of supervisor (silica crushing, 5.66 mg/m^3) and furnace operator (foundry, 0.02 mg/m^3). Moreover, the highest and lowest individual exposure in terms of geometric mean (GM) was observed in the titles of supervisor (4.28 mg/m^3) and furnace operator (0.02 mg/m^3), respectively. According to the results of LCR and HQ level estimation using the Olawoyin model, the lowest levels of LCR (approximately 8 cases per 1.000 workers) and HQ (0.093) were found in the furnace (foundry) and the highest levels of LCR (approximately 2 cases per 1.000 workers) and HQ (26/41) was observed in the supervisor (silica crushing) titles. Furthermore, the HQ levels of such job titles as working in the open field, welder, supervisor, and driver (silica crushing), milling (cement industry), the casting and shot blasting (foundry), as well as casting and finishing (ceramic industry) exceed the recommended permissible levels; however, it was less than the permitted levels in other job titles. The results also indicated a direct relationship between HQ levels and LCR levels in the studied job titles.

Discussion

The results of the individual exposure estimation to silica showed that the concentration of RCS in all job titles was higher than the occupational limits recommended by the revision committee of the permissible limits of the country (0.025 mg/m^3). A study by Aghilinejad et al. was conducted on 27 industries in silica crushing in Azandarian, Malayer. The results showed that even several months of exposure to high concentrations of RCS in this industry can cause silicosis in workers [15]. In the present study, the range of individual exposure to RCS in job titles of silica crushing industry in Azandarian was found to be 0.5-19.66 mg/m^3. This finding is relatively consistent with the results of studies by Pourmohammadi et al. (2021) and Bahrami et al. Several studies have been conducted to determine the risk of lung cancer mortality due to exposure to RCS using the Rice model [3, 12, 14, 22]. Omidiandoost et al. (2010) investigated the risk of mortality due to lung cancer in small foundries in Pakdasht. In the same vein, the results of the studies illustrate that in the Rice model, risk levels can be calculated only by using GM values, and with the increase of GM, the predicted risk levels increase. However, as shown in the present study, the evaluation of LCR levels in the Olawoyin model requires access to various parameters, such as lifetime cumulative silica dust exposure concentration, reference exposure value, total occupation exposure in terms of TWA, work experience, exposure frequency, worker life span of 70 years, and exposure duration [2]. Therefore, according to the change of the mentioned parameters in different industrial fields, the estimation of risk levels in the Olawoyin model will have less uncertainty. Therefore, since no study has been conducted on the risk assessment of exposure to RCS using the Olawoyin

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

[DOI: 10.32592/joohe.11.2.84]

model, the present study emphasizes the assessment of the health risks of exposure to RCS in different occupational fields using the mentioned model.

Conclusion

In the present study, the individual exposure to RCS in all the studied job titles was higher than the occupational limits recommended by the revision committee of the country's permissible limits. Therefore, considering that the non-cancerous effects caused by exposure to RCS show a similar trend to the lifetime cancer risk, it is of great importance to determine the potential effects of RCS by evaluating HQ levels, especially when HQ is>1. Furthermore, considering the important and influential role of the parameters used to evaluate LCR levels and also the possibility of evaluating HQ in the Olawoyin model, it is recommended to use this model to evaluate health risks in jobs having exposure to RCS in future studies.

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

[DOI: 10.32592/joohe.11.2.84]

JOHE
مجله مهندسی بهداشت حرفه‌ای
دوره ۱۱، شماره ۲، تابستان ۱۴۰۳، صفحات: ۹۴-۸۴
https://johe.umsha.ac.ir
UMSHA Press

مقاله اصلی

ارزیابی ریسک مواجهه شغلی با سیلیس: ارزیابی ریسک‌های بهداشتی مواجهه شغلی با سیلیس کریستالی قابل‌تنفّس در صنایع سیلیس‌کوبی، سرامیک‌سازی، ریخته‌گری و سیمان شهر همدان

مریم فرّخزاد[۱]، فرشید قربانی شهنا[۲]، مریم فرهادیان[۳]، اکرم رنجبر[۴]، محمّدجواد عصاری[۱،۵]*

۱.گروه علوم پایه، دانشکده علوم‌پزشکی خمین، خمین، ایران
۲.مرکز تحقیقات بهداشت و ایمنی شغلی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم‌پزشکی همدان، همدان، ایران
۳.مرکز تحقیقات مدل‌سازی بیماری‌های غیر واگیر، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم‌پزشکی همدان، همدان، ایران
۴.گروه سم‌شناسی و داروشناسی، دانشکده داروسازی، دانشگاه علوم‌پزشکی همدان، همدان، ایران
۵.مرکز تحقیقات علوم بهداشتی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم‌پزشکی همدان، همدان، ایران

تاریخ دریافت مقاله: ۱۴۰۳/۰۶/۰۶
تاریخ ویرایش مقاله: ۱۴۰۳/۰۶/۱۹
تاریخ پذیرش مقاله: ۱۴۰۳/۰۷/۰۹
تاریخ انتشار مقاله: ۱۴۰۳/۰۷/۱۵

تمامی حقوق نشر برای دانشگاه علوم پزشکی همدان محفوظ است.

* **نویسنده مسئول:** محمدجواد عصاری، مرکز تحقیقات علوم بهداشتی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم‌پزشکی همدان، همدان، ایران

ایمیل:Asari@umsha.ac.ir

چکیده

سابقه و هدف: مواجهه با RCS باعث ایجاد سیلیکوزیس، سرطان ریه، بیماری‌های خودایمنی آرتریت‌روماتوئید یا اسکلرودرمی سیستمیک و بیماری‌های خوش‌خیم دستگاه تنفسی می‌شود. ارزیابی ریسک با تخمین ریسک مرگ‌ومیر و تعیین رابطه دُز- پا سخ، از جایگاه علمی مهمی در کنترل بیماری‌های شغلی برخوردار ا ست. هدف از انجام مطالعه حا ضر ارزیابی ریـ سک‌های بهدا شتی مواجهه شغلی با RCS در کارگران سیلیس‌کوبی، ریخته گری، سیمان و سرامیک‌سازی استان همدان است.

مواد و روش‌ها: در این مطالعه مقطعی، مواجهه شغلی با RCS در ۱۵ عنوان شغلی بررسی شد. ریسک بالقوّه سرطان در طول عمر (LCR) با در نظر گرفتن عواملی مانند سابقه کار، تداوم و تناوب مواجهه، طول عمر و میزان مرجع مواجهه استنشاقی و همچنین ضریب ریسک (HQ) با استفاده از مدل Olawoyin محاسبه شد.

یافته‌ها: کمترین سطوح LCR (تقریباً ۸ مورد به‌ازای هر ۱/۰۰۰/۰۰۰ کارگر) و HQ (۰/۰۹۳) در عنوان شغلی کوره (L) در ریخته‌گری و بیشترین سطوح LCR (تقریباً ۲ مورد به‌ازای هر ۱/۰۰۰ کارگر) و HQ (۲۶/۴۱) در عنوان شغلی سرپرست (D) در سیلیس‌کوبی مشاهده شد. سطوح HQ در ۹ عنوان شغلی از سطوح مجاز توصیه‌شده بیشتر و در سایر عنوان‌های شغلی از سطوح مجاز کمتر بود. نتایج همچنین حاکی‌از وجود ارتباط مستقیم بین سطوح LCR و HQ در عنوان‌های شغلی موردمطالعه بود.

نتیجه‌گیری: با توجه به نقش مهم و تأثیرگذار پارامترهای به‌کاررفته جهت ارزیابی LCR و همچنین امکان تعیین HQ توسط مدل Olawoyin، استفاده از این مدل جهت انجام ارزیابی ریسک‌های بهداشتی در مواجهات شغلی با RCS در مطالعات آینده توصیه می‌شود.

واژگان کلیدی: ارزیابی ریسک بهداشتی، سیلیس کریستالی قابل‌تنفّس، سیلیس‌کوبی، سرامیک‌سازی، ریخته‌گری، سیمان

استناد: فرخزاد، مریم؛ قربانی شهنا، فرشید؛ فرهادیان، مریم؛ رنجبر، اکرم؛ عصاری، محمدجواد. ارزیابی ریسک مواجهه شغلی با سیلیس: ارزیابی ریسک‌های بهداشتی مواجهه شغلی با سیلیس کریستالی قابل‌تنفّس در صنایع سیلیس‌کوبی، سرامیک‌سازی، ریخته‌گری و سیمان شهر همدان. مجله مهندسی بهداشت حرفه‌ای، تابستان ۱۴۰۳؛۱۱(۲): ۹۴-۸۴

مقدمه

واژه سیلیس به مواد معدنی با ترکیب شیمیایی دی‌اکسید سیلیکون (SiO_2) اطلاق می‌شود. سیلیس فراوان‌ترین کانی در پوسته زمین است که به اشکال کریستالی و بی‌شکل موجود است [۱]. سیلیس یک مادّه بی‌رنگ، بی‌بو و غیرقابل‌اشتعال با نقطه ذوب ۱۶۰۰۰ °C است [۲]. سیلیس می‌تواند به‌صورت یکی از هشت پلی‌مورف‌های (a-کوارتز، O-کوارتز، کریستوبالیت، تری‌دیمیت، استیشوویت، کوزیت، موگانیت و کیاتیت) متبلور شود که از بین آن ها، سه پلی‌مورف کوارتز، کریستوبالیت و تری‌دیمیت به‌صورت پایدار

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-05-20]
[DOI: 10.32592/joohe.11.2.84]

در طبیعت وجود دارند [۲،۳]. بسیاری از کارگران در صنایعی مانند فراوری سنگ‌های حاوی سیلیس، خاک رس، آجر، سرامیک‌سازی، تولید سیمان و ریخته‌گری با سیلیس کریستالی قابل‌تنفّس سیلیس (RCS) مواجه هستند [۴]. مطالعات نشان داده است که مقادیر فعلی استاندارد مواجهه سیلیس برای محافظت و پیشگیری از سیلیکوزیس مزمن در کارگران کافی نیست. در ایالات‌متّحده آمریکا، حدود ۲/۳ میلیون کارگر (حدود ۱/۵٪ از نیروی کار نیرو) در اتّحادیه اروپا، ۵/۳۰۰/۰۰۰ کارگر، در هند نزدیک به ۱۱/۵ میلیون و در چین ۲۳ میلیون کارگر در معرض گردوغبار سیلیس هستند [۶، ۵]. سیلیس اثرات متعددی بر سلامت انسان دارد. مواجهه با RCS باعث ایجاد سیلیکوزیس، سرطان برونش یا ریه، بیماری‌های خودایمنی ازجمله آرتریت‌روماتوئید یا اسکلرودرمی سیستمیک و بیماری‌های خوش‌خیم دستگاه تنفسی می‌شود. سیلیکوزیس از مواجهه تنفسی مزمن با سیلیس کریستالی (کوارتز) ناشی می‌شود و خطر سیلیکوزیس بسته به دُز و مدت‌زمان مواجهه با RCS افزایش می‌یابد. سیلیکوزیس می‌تواند حاد، پیشرفت‌کننده یا مزمن باشد. همچنین، نقش RCS در ایجاد بیماری‌های بینابینی ریه (ILDs)، پنومونی بینابینی ایدیوپاتیک و سارکوئیدوز به‌خوبی شناخته شده است. [۸-۶]. به‌همین‌دلیل، آژانس بین‌المللی تحقیقات سرطان (IARC) در سال ۱۹۷۷ گردوغبار سیلیس کریستالی را در گروه ۱ (سرطان‌زا برای انسان) طبقه‌بندی کرد که شامل سایر اشکال سیلیس نمی‌شود. همچنین، اتّحادیه اروپا نیز در سال ۲۰۱۷ مواجهه با فرایند تولید گردوغبار سیلیس را به‌عنوان عامل سرطان‌زا تقسیم‌بندی کرد [۱۰، ۹].

امروزه ارزیابی ریسک علاوه‌بر شناسایی سمّیت یا عوارض مواجهه با مواد شیمیایی، با تخمین ریسک مرگ‌ومیر ناشی از مواجهه ازطریق تعیین رابطه دُز- پاسخ (اثر) از جایگاه علمی مهمی در کنترل بیماری‌های شغلی برخوردار است [۱]. تاکنون مطالعات زیادی برای تعیین ارتباط بین مواجهه با سیلیس و ریسک‌های مرگ‌ومیر ناشی از سیلیکوزیس و سرطان ریه انجام شده است. در اکثر مطالعات، ریسک نسبی مرگ‌ومیر ناشی از سیلیکوزیس با استفاده از مدل Mannetje مبتنی‌بر مواجهه تجمّعی (غلظت × زمان مواجهه در سال) برآورد شده است. علاوه‌براین، در مطالعات ارزیابی ریسک مرگ‌ومیر ناشی از سرطان ریه در کارگران در معرض RCS، از مدل Rice نیز استفاده شده است [۱، ۱۲، ۱۱، ۱۰]. نتایج مطالعه Mannetje و همکاران نشان داد که خطر مرگ‌ومیر ناشی از سیلیکوزیس با افزایش مواجهه تجمّعی با سیلیس کریستالی به‌صورت یکنواخت افزایش می‌یابد. این محقّقان با طبقه‌بندی کردن مواجهه تجمّعی در محدوده ۰ - ۲۸/۱ mg/m^3 در سال، خطر مرگ‌ومیر ناشی از سیلیکوزیس ناشی از مواجهه تجمّعی را ۱- ۶۳ مورد در ۱۰۰۰ نفر گزارش کردند [۱۱]. همچنین مدلی مبتنی‌بر میانگین هندسی (GM) جهت ارزیابی ریسک مواجهه کارگران با غلظت ثابت RCS با فرض ۴۵ سال سابقه کار مستمر (بین سنین ۲۰ تا ۶۵ سال) و زمان تأخیر ۱۰ سال توسط Rice و همکاران توسعه داده شده است. علاوه‌براین، این مدل قابلیت محاسبه ریسک تجمّعی سرطان ریه (A) ناشی از افزایش سالانه مقادیر ریسک تا سن ۸۵ سالگی را نیز داراست [۱۲].

در مدل ارزیابی ریسک Olawoyin که ازطریق محاسبه حدود مجاز (OEL) با استفاده از رابطه پیشنهادی اداره ایمنی و بهداشت شغلی آمریکا (OSHA) انجام می‌شود، علاوه‌بر در نظر گرفتن عواملی مانند سابقه کار، تداوم و تناوب مواجهه، طول عمر و مرجع مواجهه استنشاقی، از غلظت گردوغبار در طول دوره اشتغال که ازطریق محاسبه غلظت تجمّعی (سابقه کار × غلظت گردوغبار در طول دوره اشتغال) به‌دست می‌آید نیز استفاده می‌شود. بنابراین در این رویکرد، با در نظر گرفتن عوامل بیشتری نسبت به مدل Mannetje می‌توان ریسک سرطان‌زایی و غیرسرطان‌زایی مواجهه با RCS را نیز برآورد کرد [۲]. نتایج مطالعات ارزیابی مواجهه شغلی با سیلیس حاکی‌از آن است که بیشترین مواجهه با RCS در صنایعی مانند سیلیس‌کوبی، ریخته‌گری، سیمان و سرامیک‌سازی اتفاق می‌افتد [۳، ۱۳]. بنابراین با تأکید ویژه بر این مهم که باوجودِ جست‌وجوهای کتابخانه‌ای انجام شده است، مطالعه‌ای مبنی‌بر ارزیابی ریسک مواجهه با RCS با استفاده از مدل Olawoyin در کشور یافت نشد و مطالعه حاضر با هدف ارزیابی ریسک‌های بهداشتی مواجهه شغلی با RCS در کارگران سیلیس‌کوبی، ریخته گری، سیمان و سرامیک‌سازی استان همدان انجام گرفت.

روش کار

در این مطالعه مقطعی، مواجهه شغلی با RCS در ۱۵ عنوان شغلی در صنایع سیلیس‌کوبی، ریخته‌گری، سیمان و سرامیک‌سازی مستقر در استان همدان بررسی شد. اطلاعات دموگرافیک کارگران شامل سن، میزان تحصیلات، نوع صنعت، وظایف شغلی، سابقه کار، تداوم و تناوب مواجهه توسط پرسش‌نامه ثبت شد. شرط ورود به مطالعه، داشتن حداقل یک سال سابقه مواجهه با RCS بود. بدین‌منظور، سه نمونه هوا از منطقه تنفّسی شاغلانِ گروه‌های مختلف شغلی در صنایع موردمطالعه جمع‌آوری و نمونه‌های هوایی که غلظت RCS آن‌ها در مقایسه با سایر نمونه‌ها غیرقابل‌قبول بود، از مطالعه حذف شدند.

نمونه‌های هوا طبق روش پیشنهادی انستیتوی ملّی بهداشت و ایمنی شغلی آمریکا (NIOSH) شماره ۷۶۰۲ با استفاده از پمپ نمونه‌بردار فردی (SKC-224-44MTX) با دبی ۲/۵ لیتر در دقیقه، سیکلون آلومینیمی و فیلتر پلی‌وینیل‌کلراید ۳۷ میلی‌متری (PVC) با اندازه منافذ ۰/۵ میکرومتر در طول شیفت کار جمع‌آوری شد [۴]. فیلترها ۲۴ ساعت قبل و بعداز نمونه‌برداری در دسیکاتور قرار داده و سپس با ترازوی دیجیتال (Sartorius مدل TE313S آلمان) با حساسیت ۰/۰۰۰۱ گرم وزن شدند. بعداز پایان نمونه برداری، نمونه‌های هوا جهت تجزیه و تعیین مقدار به آزمایشگاه آلودگی هوای دانشکده بهداشت دانشگاه علوم‌پزشکی همدان منتقل گردیدند. نمونه‌های استانداردهای کاربردی تهیه‌شده ازطریق

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

[DOI: 10.32592/joohe.11.2.84]

مخلوط کردن مقادیر مشخص کوارتز با فیلترهای PVC، نمونه‌های هوای فردی، نمونه‌های بلانک میدانی (جمع‌آوری‌شده از عرصه) و بلانک آزمایشگاهی (فیلتر PVC خالص)، به‌طور هم‌زمان به مدت ۲ ساعت در دمای ۶۰۰ °C در کوره حرارت داده شدند. سپس، نمونه‌های خاکستر به‌دست‌آمده از این مرحله با برومید پتاسیم (KBr) که از قبل با قرار دادن ۱۲ ساعت در دمای ۱۱۰ °C خشک شده بود، مخلوط و پس از انتقال به داخل قالب مخصوص، با استفاده از پرس هیدرولیک (مدل Specac) به شکل قرص قالب‌گیری شد. با قرار دادن قرص‌های آماده‌شده در دستگاه طیف‌سنج نوری مادون‌قرمز تبدیل فوریه (FT-IR) مدل Spectrum Tow ساخت کمپانی Perkin Elmer، مقادیر جذب با بیشترین حساسیت در طول موج ۸۰۰ cm^{-1} قرائت شدند. درنهایت با تعیین غلظت سیلیس کریستالی در نمونه‌ها ازطریق منحنی کالیبراسیون، غلظت سیلیس در نمونه‌های هوای تنفسی کارگران با استفاده از رابطه ۱ محاسبه شد.

$$C = \frac{A - B}{m.v} \qquad \text{(رابطه ۱)}$$

در این رابطه، C غلظت سیلیس کریستالی در نمونه‌های هوای برحسب mg/m^3، A مقادیر جذب نمونه‌های هوا، B مقادیر جذب نمونه بلانک، m: شیب منحنی کالیبراسیون و v حجم هوای نمونه برداری‌شده برحسب لیتر است.

در مطالعه حاضر برای ارزیابی ریسک مواجهه با RCS، از مدل پیشنهادی Olawoyin استفاده شد [۲]. مطابق با این مدل، مقادیر حدود مجاز توصیه‌شده (OEL) ازطریق رابطه پیشنهادی OSHA محاسبه می‌شود (رابطه ۲).

$$PEL = \frac{10\ \frac{mg}{m^3}}{\%\ SiO_2 + 2} \qquad \text{(رابطه ۲)}$$

جهت ارزیابی ریسک سرطان در این مدل، از رابطه ۳ استفاده می‌گردد:

$$LCR = CDC \times I_r \qquad \text{(رابطه ۳)}$$

در این رابطه، LCR ریسک بالقوّه سرطان در طول عمر، CDC: غلظت تجمّعی مواجهه با گردوغبار سیلیس در طول عمر (که با استفاده از رابطه ۴ محاسبه شود) و Ir مقدار مواجهه مرجع (mg/m^3 ۰/۰۰۳) است [۲]. چنانچه رتبه ریسک به‌دست‌آمده از رابطه ۳ بیشتر از 10^{-4} باشد، به معنای قطعی بودن ریسک است.

$$CDC = \sum_{j=1}^{n} (C_j \times T_j) \qquad \text{(رابطه ۴)}$$

در این رابطه، Cj: مجموع مواجهه شغلی با میانگین وزنی زمانی ۸ ساعته (TWA) محاسبه‌شده برای هریک از عنوان‌های شغلی و Tj: سابقه کار است که با استفاده از رابطه ۵ برآورد می‌شود.

$$T_j = \frac{EF \times ED}{LT} \qquad \text{(رابطه ۵)}$$

در این رابطه، EF تناوب مواجهه (۴۵ سال)، LT طول عمر کارگر (۷۰ سال) و ED مدت‌زمان مواجهه است که با استفاده از رابطه ۶ محاسبه می‌شود.

$$ED = \frac{8}{24} hours \times \frac{5}{7} days \times \frac{48}{52} weeks \qquad \text{(رابطه ۶)}$$

در این مطالعه، با توجه به تفاوت شرایط کاری در هریک از عنوان‌های شغلی در واحدهای صنعتی موردبررسی، مقادیر ED بعداز تغییر پارامترهای رابطه ۶ محاسبه شد. توجه به این نکته ضروری است که در این مدل، ریسک اثرات هم‌افزایی (Synergistic) قابل‌بررسی نیست. همچنین، فرض بر این است که کارگران تا پایان سال موردنظر با سطوح ثابتی از سیلیس مواجه بوده‌اند [۲]. سپس، محاسبات مبتنی‌بر میانگین غلظت TWA برای هریک از عنوان‌های شغلی توسط Excel 2016 انجام شد. جهت برآورد اثرات غیرسرطان‌زایی بالقوّه با استفاده از مدل Olawoyin، از رابطه ۷ استفاده شد.

$$HQ = \frac{CDC}{I_r} \qquad \text{(رابطه ۷)}$$

که در این رابطه، HQ ضریب ریسک و Ir و CDC همان‌طور که در بالا نیز اشاره شد، به ترتیب مقدار مواجهه مرجع و غلظت تجمّعی مواجهه با گردوغبار سیلیس در طول عمر هستند. اگر مقادیر ضریب به‌دست‌آمده از رابطه ۷ بیش از ۱ باشد، به معنای قطعی بودن ریسک است.

نتایج

تمامی شرکت‌کنندگان در مطالعه مرد بودند و میانگین سنّی و سابقه کاری آن‌ها به ترتیب ۷/۰۹۸ ± ۳۸ و ۴ ± ۱۰/۰۸ سال بود. در این مطالعه، میزان مواجهه فردی با RCS در ۱۵ عنوان شغلی در چهار عرصه صنعتی بررسی شد. میانگین میزان مواجهه با RCS به‌صورت نزولی به ترتیب در سیلیس‌کوبی، سرامیک‌سازی، ریخته‌گری و سیمان مشاهده شد (جدول ۱). بیشترین و کمترین میزان مواجهه فردی برحسب TWA به ترتیب در عنوان‌های شغلی سرپرست (D) در صنعت سیلیس‌کوبی (mg/m^3 ۵/۶۶) و اپراتور کوره (L) در صنعت ریخته‌گری (mg/m^3 ۰/۰۲) به دست آمد. همچنین بیشترین و کمترین مواجهه فردی برحسب GM نیز به ترتیب در عنوان‌های شغلی D در صنعت (mg/m^3 ۴/۲۸) و عنوان شغلی L در صنعت (mg/m^3 ۰/۰۲) مشاهده شد. جهت تعیین میزان مواجهه فردی کارگران با RCS در هریک از عنوان‌های شغلی، ابتدا مقادیر PEL با توجه به درصد سیلیس به‌دست‌آمده جهت نمونه‌های هوا در هریک از عنوان‌های شغلی موردمطالعه، با استفاده از رابطه ۲ برحسب mg/m^3 محاسبه شد. سپس، نسبت TWA / PEL محاسبه و به‌صورت پارامتر شدت گزارش گردید (جدول ۲).

نتایج محاسبه سطوح LCR و HQ توسط مدل Olawoyin در جدول ۳ نشان داده شده است. کمترین سطوح LCR (تقریباً ۸ مورد به‌ازای هر ۱/۰۰۰/۰۰۰ کارگر) و HQ (۰/۰۹۳) در عنوان شغلی کوره (L) در صنعت ریخته‌گری و بیشترین سطوح LCR

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

[DOI: 10.32592/joohe.11.2.84]

(تقریباً ۲ مورد به‌ازای هر ۱/۰۰۰ کارگر) و HQ (۲۶/۴۱) در عنوان شغلی سرپرست (D) در صنعت سیلیس‌کوبی مشاهده شد. همان طور که در جدول ۳ مشاهده می‌شود، سطوح HQ عنوان‌های شغلی کار در محوّطه (A)، جوشکار (B)، سرپرست (D)، راننده (E) در صنعت سیلیس‌کوبی، عنوان شغلی آسیاب (I) در صنعت سیمان، عنوان‌های شغلی ریخته‌گری (J) و شات‌بلاست (K) در صنعت ریخته‌گری و همچنین عنوان‌های شغلی ریخته‌گری (N) و تکمیل (O) در صنعت سرامیک‌سازی از سطوح مجاز توصیه‌شده بیشتر و در سایر عنوان‌های شغلی از سطوح مجاز کمتر بود. نتایج همچنین حاکی‌از وجود ارتباط مستقیم بین سطوح HQ با سطوح LCR در عنوان‌های شغلیِ موردمطالعه بود.

جدول ۱. میزان مواجهه فردی با RCS در عرصه‌های صنعتی مورد مطالعه

عرصه صنعتی	تعداد نمونه‌ها	میانگین (mg/m^3)	انحراف معیار (mg/m^3)	حداقل (mg/m^3)	حداکثر (mg/m^3)	P-value
سیلیس‌کوبی	۱۶	۲/۰۱	۲/۶۱	۰/۱۹	۵/۶۶	۰/۰۲۸
سیمان	۸	۰/۲۷	۰/۳۰	۰/۰۵۳	۰/۷۵	
ریخته‌گری	۱۳	۰/۲۸	۰/۲۵	۰/۰۲	۱/۰۵	
سرامیک‌سازی	۶	۰/۷۰	۰/۸۷	۰/۲۳	۲/۳	

جدول ۲. سطوح مواجهه فردی با RCS در عنوان‌های شغلی عرصه‌های صنعتی مورد مطالعه

عرصه صنعتی	سیلیس‌کوبی						سیمان			ریخته‌گری				سرامیک‌سازی			
عنوان شغلی	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	جمع
تعداد نمونه	۲	۷	۴	۲	۱	۲	۲	۲	۲	۱۱	۱	۱	۳	۲	۱	۴۳
میانگین TWA (mg/m^3)	۱۹/۲	۶۲/۱	۱۹/۰	۶۶/۵	۱۲/۱	۰/۱۶	۰۵۳/۰	۰۷۵/۰	۷۵/۰	۲۱/۰	۰۵/۱	۰/۰۲	۰/۳۱	۲۳/۰	۳۰/۲	۰/۸۹
GM* (mg/m^3)	۱۹/۲	۵۹/۰	۱۹/۰	۲۸/۴	۱۲/۱	۰/۱۳	۰/۰۸	۰/۰۷	۷۵/۰	۲۲/۰	۰۵/۱	۰/۰۲	۰/۱۰	۳۵/۰	۳۰/۲	۰/۶۵
** شدت	۱۲/۰	۰۹/۰	۰۱/۰	۳۱/۰	۰۶/۰	۰۰۹/۰	۰۰۳/۰	۰۰۴/۰	۰۴/۰	۰۱/۰	۰۶/۰	۰۰۱/۰	۰۱۷/۰	۰۱/۰	۱۲/۰	۰۴۸/۰

*GM: میانگین هندسی

**شدت: TWA/ OSHA PEL-TWA

A: کار در محوطه، B: جوش‌کار، C: سنگ‌شکن، D: سرپرست، E: راننده، F: پیش‌گرمکن، G: بارگیری، H: کوره، I: آسیاب، J: ریخته‌گری، K: شات‌بلاست، L:کوره، M: لعاب‌زنی، N: ریخته‌گری، O: تکمیل

جدول ۳. سطوح ریسک سرطان‌زایی و غیر سرطان‌زایی در عنوان‌های شغلی در عرصه‌های صنعتی مورد مطالعه

عرصه صنعتی	سیلیس‌کوبی						سیمان			ریخته‌گری				سرامیک‌سازی		
عنوان شغلی	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
میانگین TWA (mg/m^3)	۱۹/۲	۱/۶۲	۰/۱۹	۵/۶۶	۱/۱۲	۰/۱۶	۰۵۳/۰	۰۷۵/۰	۷۵/۰	۲۱/۰	۱/۰۵	۰/۰۲	۳۱/۰	۲۳/۰	۲/۳۰
*C_{DC}	۲۸/	۰۶۴/	۰۲۶/	۰/۷۹	۱۵۷/	۰۲۲/	۰/۰۱	۰/۰۱	۱۰/	۰۳/	۱۴۷/	۰۰۲/	۰۱/	۰۵/	۰۳۲/

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

[DOI: 10.32592/joohe.11.2.84]

L_{CR}**	۸۴	۱۹/۳	۷/۹۸	۲۳۱	۴۷	۶/۷۲	۳/۳۶	۳/۱۵	۳/۵ ۱	/۶۶ ۹	۴۴/۱	۰/۸۴	/۶۲ ۴	۱/۷ ۴	۹۶/۶
HQ***	۹/۳	۲/۱۵	۰/۸۹	۲/۴۱ ۶	۵/۲۲	۰/۷۴	۰/۳۷	۰/۳۵	۳/۵	/۰۷ ۱	۴/۹	/۰۹۳ ۰	/۵۱ ۰	/۶۳ ۱	۱/۷۳ ۰

*C_{DC}: غلظت تجمعی مواجهه با گردوغبار سیلیس در طول عمر

**L_{CR}: ریسک سرطان‌زایی بالقوه در طول عمر برحسب (1×10^{-5})

***HQ: ضریب ریسک غیر سرطان‌زایی

A: کار در محوطه، B: جوش‌کار، C: سنگ‌شکن، D: سرپرست، E: راننده، F: پیش‌گرمکن، G: بارگیری، H: کوره، I: آسیاب، J: ریخته‌گری، K: شات‌بلاست، L:کوره، M: لعاب‌زنی، N: ریخته‌گری، O: تکمیل

بحث

نتایج اندازه‌گیری مواجهه فردی با سیلیس در عرصه‌های صنعتیِ موردمطالعه نشان داد که غلظت RCS در تمام عنوان‌های شغلی از حدود مجاز شغلی توصیه‌شده توسط کمیته بازنگری حدود مجاز کشور ($0/025\ mg/m^3$) بیشتر بود (جدول ۱). این یافته که تأییدی بر افزایش احتمال ایجاد اثرات نامطلوب بر سلامت کارگران در صنایع موردمطالعه است، در سایر مطالعات مشابه نیز گزارش شده است [۱، ۱۰، ۱۲، ۱۴]. نتایج مطالعه عقیلی‌نژاد و همکاران که بر روی ۲۷ صنعت سیلیس‌کوبی در ازندریان ملایر انجام شد، نشان داد که حتّی مواجهه چندماهه با غلظت‌های بالای RCS در این صنعت نیز می‌تواند باعث ایجاد سیلیکوزیس در کارگران شود [۱۵]. در مطالعه حاضر، محدوده مواجهه فردی با RCS در عنوان‌های شغلی صنعت سیلیس‌کوبی شهر ازندریان ملایر $0/19-5/66\ mg/m^3$ به دست آمد (جدول ۱). این یافته با نتایج مطالعات پورمحمدی و همکاران (۲۰۲۱) و بهرامی و همکاران (۲۰۰۸) که در سیلیس‌کوبی‌های همین شهر انجام شده، از همخوانی نسبتاً قابل‌قبولی برخوردار است. در مطالعه بهرامی و همکاران (۲۰۰۸) میزان مواجهه فردی در عنوان‌های شغلی سنگ‌شکن، سالن تولید و راننده لودر به ترتیب mg/m^3 ۰/۴، ۰/۲۱ و ۲ گزارش شده است [۱۶]. همچنین در مطالعه پورمحمدی و همکاران (۲۰۲۱) میزان مواجهه کارگران در وظایف شغلی مختلف در سیلیس‌کوبی‌های شهر ازندریان $0/14-1/70\ mg/m^3$ گزارش شده است [۱۴]. تنها اختلاف مشاهده‌شده مربوط به عنوان شغلی D (سرپرست) است که صرفاً در مطالعه حاضر بررسی گردیده و در دو مطالعه پیش‌گفته بررسی نشده است. بنابراین بدون احتساب عنوان شغلی D در مطالعه حاضر، محدوده مواجهه به $0/19-2/19\ mg/m^3$ کاهش می‌یابد که با نتایج مطالعات پیش‌گفته همخوانی نزدیک‌تری خواهد داشت.

در مطالعه حاضر، میزان مواجهه با RCS در عنوان‌های شغلی صنعت سیمان $0/053-0/75\ mg/m^3$ به دست آمد (جدول ۱) که با نتایج گزارش‌شده در مطالعه قراوندی و همکاران (۲۰۱۹) که میزان مواجهه با سیلیس کریستالی در عنوان‌های شغلی یک صنعت سیمان $0/03-0/50\ mg/m^3$ گزارش شده است [۱۷]، همخوانی نزدیک دارد. در مطالعه حاضر همچنین میزان مواجهه با RCS در عنوان‌های شغلی موردمطالعه در صنعت ریخته‌گری mg/m^3 ۰/۰۲-۰/۲۳ به دست آمد (جدول ۱). در مطالعه امیدیان‌دوست و همکاران (۲۰۱۶)، محدوده مواجهه با RCS در یک کارگاه ریخته‌گری $0/009-0/40\ mg/m^3$ به دست آمد که میزان مواجهه ۵۰٪ از کارگران از حدّ آستانه مجاز (TLV) پیشنهادی انجمن متخصصین بهداشت صنعتی آمریکا (ACGIH) بیشتر بود [۳]. علت کمتر بودن نتایج این مطالعه در مقایسه با یافته‌های مطالعه حاضر را می‌توان ناشی از تفاوت در اهداف مطالعات دانست؛ زیرا برخلاف مطالعه حاضر که بررسی میزان مواجهه با RCS در عنوان‌های شغلی مختلف در صنعت ریخته‌گری مدّنظر بود، هدف از انجام مطالعه پیش‌گفته، ارزیابی مواجهه با RCS در فرایندهای مختلف ریخته‌گری آهن، برنج، آلومینیم و سایر آلیاژها بوده است. در مطالعه حاضر، میزان مواجهه با RCS در عنوان‌های شغلی صنعت سرامیک‌سازی $0/23-2/3\ mg/m^3$ به دست آمد (جدول ۱). درحالی‌که در مطالعه محمدیان و همکاران (۲۰۱۳)، محدوده مواجهه با گردوغبار سیلیس در سرامیک‌سازی $0/254\ mg/m^3$ - ۰/۰۰۳ گزارش شده است [۱۸]. علت این اختلاف را علاوه‌بر تفاوت در محل و زمان مطالعه می‌توان با اهداف دو مطالعه مرتبط دانست؛ زیرا در مطالعه حاضر، بررسی مواجهه با RCS در عنوان‌های شغلی مختلف در صنعت سرامیک‌سازی مدّنظر بوده، درحالی‌که هدف از انجام مطالعه محمّدیان و همکاران مقایسه مواجهه شغلی با گردوغبار سیلیس در کارگاه‌های مختلف شیشه‌سازی، سرامیک‌سازی، سندبلاست و سنگ‌بری و سرامیک‌سازی بوده است.

تاکنون مطالعات متعددی برای تعیین ارتباط بین مواجهه با سیلیس و ایجاد سرطان ریه انجام شده است [۱، ۱۰، ۱۱، ۱۴]. در مطالعه مروری متاآنالیز انجام‌شده توسط Poinen-Rughoopoth و همکاران (۲۰۱۶) مکرّراً به نقش سرطان‌زایی سیلیس در ریه‌ها اشاره شده است [۱۰]. نتایج مطالعه Chen و همکاران (۲۰۱۵) نشان داد که مرگ‌ومیر ناشی از سرطان ریه سومین عامل مرگ‌ومیر در کارگران معادن در معرض RCS محسوب می‌شود [۱۳]. در مطالعه حاضر، سطوح LCR ۰/۸۴ تا

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

[DOI: 10.32592/joohe.11.2.84]

۲۳۱ مورد در ۱۰۰/۰۰۰ نفر و سطوح HQ ۰/۰۹ تا ۲۶/۴۱ به دست آمد (جدول ۳). با توجه به اینکه سطوح LCR بیش از ۱ مورد در ۱۰۰/۰۰۰ و HQ >۱ به‌عنوان ریسک قطعی در نظر گرفته شده است [۱۹]، به‌استثنای اپراتور کوره (L) در صنعت ریخته‌گری، سطوح LCR در سایر عنوان‌های شغلی موردمطالعه از سطوح مجاز بیشتر بود. درحالی‌که سطوح HQ در عنوان‌های شغلی سنگ‌شکن (C) در صنعت سیلیس‌کوبی، پیش‌گرم‌کن (F)، بارگیری (G) و کوره (H) در صنعت سیمان، کوره (L) در صنعت ریخته‌گری و (M) لعاب‌زنی در صنعت سرامیک‌سازی از سطوح مجاز کمتر و در سایر عنوان‌های شغلی از سطوح مجاز بیشتر بود. Olawoyin و همکاران (۲۰۱۵) با انجام مطالعه‌ای سطوح LCR و HQ ناشی از مواجهه با سیلیس کریستالی که به عنوان مواد افزودنی طی فرایند شکست هیدرولیکی به شن و ماسه اضافه می‌شد را بررسی کردند. در این پژوهش، سطوح LCR ۰/۲۹ تا ۱۹/۲ مورد در ۱۰۰/۰۰۰ نفر و سطوح HQ نیز ۰/۰۳ تا ۲/۱۳ گزارش شده است [۲]. ازآنجایی‌که سطوح مواجهه با RCS مهم‌ترین عامل در تعیین سطوح LCR و HQ در مدل پیشنهادی Olawoyin است و با توجه به اینکه در مطالعه حاضر محدوده مواجهه فردی با RCS در عنوان‌های شغلی موردمطالعه ۰/۰۲-۵/۶۶mg/m^3 (جدول ۲) و در پژوهش Olawoyin در عنوان‌های شغلی مربوط ۰/۰۱-۰/۴۵mg/m^3 گزارش شده است [۲]، اختلاف مشاهده‌شده چندان دور از انتظار نیست.

ازطرفی، در مطالعه حاضر بین سطوح LCR و HQ در عنوان‌های شغلی موردمطالعه ارتباط مستقیم مشاهده شد. نتایج پژوهش Olawoyin و همکاران نیز حاکی‌از وجود ارتباط مستقیم بین سطوح LCR و HQ در عنوان‌های شغلی مختلف بود [۲] که با نتایج مطالعه حاضر همخوانی کامل دارد. بنابراین ازآنجایی‌که مواجهه تجمّعی با گردوغبار سیلیس به ایجاد سایر عوارض زیان‌آور غیر از سرطان ریه منجر می‌شود و با توجه به اینکه اثرات غیرسرطانی ناشی از مواجهه با RCS روند مشابهی را با خطر سرطان در طول عمر نشان می‌دهد، تعیین اثرات بالقوّه RCS ازطریق ارزیابی سطوح HQ به‌خصوص در مواقعی که از HQ >۱ باشد، از اهمیت بالایی برخوردار است. ازطرفی، مطالعات اپیدمیولوژیک حاکی‌از آن است که توسعه علائم مزمن ناشی از RCS می‌تواند حتّی مدت‌ها پس از پایان مواجهه شغلی با سیلیس نیز رخ دهد. موارد افزایش نرخ مرگ‌ومیر ناشی از سایر اشکال غیرسرطان‌زا مانند بیماری مزمن انسدادی ریه (COPD) و بیماری‌های ایمونولوژیک و خودایمنی در کارگران گزارش شده است. همچنین، احتمال ابتلای کارگران با سابقه مواجهه شغلی بیش از ۴۵ سال با RCS به بیماری‌های غیرسرطان تقریباً ۱٪ است که ۵۰ درصد از این موارد ممکن است از مایکوباکتریوم توبرکولوزیس که به ایجاد بیماری سل منجر می‌شود، ناشی گردد [۲۰].

تاکنون مطالعات متعددی برای تعیین ریسک مرگ‌ومیر ناشی از سرطان ریه ناشی از مواجهه با RCS با استفاده از مدل Rice انجام شده است [۳، ۱۲، ۱۴، ۲۱]. امیدیان‌دوست و همکاران (۲۰۱۰) ریسک مرگ‌ومیر ناشی از سرطان ریه را در ریخته‌گری‌های کوچک در شهر پاکدشت با استفاده از مدل Rice بررسی کردند. در این مطالعه، محدوده GM مواجهه شغلی با RCS در چهار فرایند مختلف ۰/۰۰۹-۰/۰۴mg/m^3 و ریسک مرگ‌ومیر ناشی از سرطان ریه بعداز گذشت ۴۵ سال مواجهه بین ۴ تا ۱۶ مورد در هر ۱۰۰۰ نفر گزارش گردید [۳]. در مطالعه آذری و همکاران (۲۰۰۹) که با هدف ارزیابی ریسک مواجهه شغلی کارگران با RCS با استفاده از مدل Rice انجام شد، محدوده GM مواجهه شغلی با RCS در ۱۰ حوزه صنعتی در شرق تهران ۰/۱۳۲-۰/۳۴۳ mg/m^3 و ریسک مرگ‌ومیر ناشی از سرطان ریه بعداز گذشت ۴۵ سال مواجهه، ۵۰ تا ۱۲۹ مورد در ۱۰۰۰ نفر پیش‌بینی شد [۲۱]. همچنین در مطالعه پورمحمّدی و همکاران (۲۰۲۱) که با استفاده از مدل Rice انجام شد، محدوده GM مواجهه شغلی با RCS در سیلیس‌کوبی‌های شهر ازندریان ملایر ۰/۱۴۳-۰/۷۰۵ mg/m^3 و ریسک مرگ‌ومیر ناشی از سرطان ریه بعداز گذشت ۴۵ سال مواجهه کارگران با RCS، ۲۶۴-۲ مورد در ۱۰۰۰ نفر محاسبه گردید [۱۴]. شایان‌ذکر است که مدل Rice مورداستفاده در مطالعات پیش‌گفته مبتنی‌بر GM بوده و صرفاً جهت ارزیابی ریسک مواجهه کارگران با غلظت ثابت RCS با فرض ۴۵ سال سابقه کار مستمر و زمان تأخیر ۱۰ سال توسعه داده شده است. ارزیابی ریسک سرطان در این مدل ازطریق مدل رگرسیون خطّی نسبی انجام می‌شود. در این مدل، فراوانی ریسک مرگ‌ومیر ناشی از سرطان ریه ناشی از ۴۵ سال مواجهه با RCS با غلظت ثابت mg/m^3 ۰/۰۵ حدود ۱۹ مورد در ۱۰۰۰ نفر برآورد شده است [۱۲]. ازآنجایی‌که TLV-TWA مواجهه با RCS پیشنهادی ACGIH از سال ۲۰۱۰ میلادی به ۰/۰۲۵ mg/m^3 تقلیل یافته است، با لحاظ مقادیر مجاز ۰/۰۲۵ mg/m^3، فراوانی ریسک مرگ‌ومیر ناشی از سرطان ریه به ۱۰ مورد در ۱۰۰۰ نفر کاهش می‌یابد. هرچند این سطح از مواجهه نیز قادر به تأمین ریسک قابل‌قبول ۱ مورد در ۱۰۰۰ نفر نخواهد بود [۳، ۱۹]. بنابراین نتایج مطالعات گویای این واقعیت است که در مدل Rice، سطوح ریسک صرفاً با استفاده از مقادیر GM قابل‌محاسبه بوده و با افزایش GM، سطوح ریسک پیش‌بینی‌شده افزایش می‌یابد. باوجوداین، همان‌طور که مطالعه حاضر نشان داده شد، ارزیابی سطوح LCR در مدل Olawoyin مستلزم دسترسی به پارامترهای مختلفی مانند غلظت تجمّعی مواجهه با گردوغبار سیلیس در طول عمر (CDC)، مقدار مواجهه مرجع ۰/۰۰۳ mg/m^3 (Ir)، مجموع مواجهه شغلی برحسب TWA (Cj)، سابقه کار (Tj)، تناوب مواجهه (EF)، طول عمر کارگر ۷۰ سال (LT) و مدت‌زمان مواجهه (ED) است [۲]. بنابراین با توجه به تغییر پارامترهای مذکور در عرصه‌های صنعتی مختلف، برآورد سطوح ریسک در مدل Olawoyin از عدم قطعیت کمتری برخوردار خواهد بود. علاوه‌براین، امکان ارزیابی HQ در مدل Olawoyin فراهم است، درحالی‌که مدل Rice این قابلیت را ندارد. بنابراین با توجه به این موضوع که تاکنون مطالعه‌ای مبنی‌بر ارزیابی ریسک مواجهه با RCS با استفاده از مدل Olawoyin در کشور انجام نشده، مطالعه حاضر بر انجام ارزیابی

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

[DOI: 10.32592/joohe.11.2.84]

ریسک‌های بهداشتی مواجهه با RCS در عرصه‌های شغلی مختلف با استفاده از مدل مذکور تأکید دارد.

نتیجه‌گیری

در مطالعه حاضر مواجهه فردی با RCS در تمام عنوان‌های شغلی موردمطالعه از حدود مجاز شغلی توصیه‌شده توسط کمیته بازنگری حدود مجاز کشور (۰/۰۲۵ mg/m^3) بالاتر بود. همچنین به‌استثنای یک مورد، سطوح LCR در سایر عنوان‌های شغلی موردمطالعه از سطوح مجاز (۱ مورد در ۱۰۰/۰۰۰ نفر) بیشتر بود. درحالی‌که از ۱۵ عنوان شغلی موردمطالعه، فقط در ۶ عنوان شغلی HQ <۱ بود. بنابراین با توجه به اینکه اثرات غیرسرطانی ناشی از مواجهه با RCS روند مشابهی را با خطر سرطان در طول عمر نشان می‌دهد، تعیین اثرات بالقوّه RCS ازطریق ارزیابی سطوح HQ به‌خصوص در مواقعی که HQ >۱ باشد، از اهمیت بالایی برخوردار است. ازطرفی، با توجه به نقش مهم و تأثیرگذار پارامترهای به‌کاررفته جهت ارزیابی سطوح LCR و همچنین امکان ارزیابی HQ در مدل Olawoyin، استفاده از این مدل جهت انجام ارزیابی ریسک‌های بهداشتی در مشاغل در مواجهه با RCS در مطالعات آینده توصیه می‌شود.

این مطالعه همچنین به‌جهت پیشگیری از سرطان ریه و سایر بیماری‌های شغلی ناشی از مواجهه با RCS در عرصه‌های صنعتی مختلف، بر بهبود شرایط محیط کار ازطریق انجام اقدامات کنترل مهندسی و مدیریتی، اجرای برنامه‌های آموزشی و استفاده صحیح از تجهیزات حفاظت فردی مناسب تأکید دارد.

تشکر و قدردانی

بدین‌وسیله از مرکز تحقیقات علوم بهداشتی دانشگاه علوم‌پزشکی همدان به‌جهت حمایت مالی از این پژوهش تشکّر و قدردانی می‌شود.

تضاد منافع

نویسندگان اعلام می‌کنند که در پژوهش حاضر هیچ‌گونه تضاد منافعی بین نویسندگان و سایر سازمان‌ها وجود ندارد.

ملاحظات اخلاقی

این مطالعه ازسوی کمیته اخلاق دانشگاه علوم‌پزشکی همدان (شماره مرجع: IR.UMSHA.REC.1395.530) تأیید شد.

سهم نویسندگان

طراحی مطالعه: مریم فرّخزاد، محمّدجواد عصاری و اکرم رنجبر

تحلیل و تفسیر داده‌ها: مریم فرّخزاد، فرشید قربانی شهنا و محمّدجواد عصاری

تهیه پیش‌نویس اوّلیه: مریم فرّخزاد

بازنگری و ویرایش: محمّدجواد عصاری

تجزیه‌وتحلیل آماری: مریم فرّخزاد و مریم فرهادیان

حمایت مالی

این مطالعه بخشی از پایان‌نامه کارشناسی‌ارشد با شماره ۹۶۰۳۰۹۱۵۹۸ است که با پشتیبانی مالی معاونت تحقیقات و فنّاوری دانشگاه علوم‌پزشکی همدان انجام شده است.

REFERENCES

1. Mohammadi H, Golbabaei F, Farhang Dehghan S, Normohammadi M. Occupational exposure assessment to crystalline silica in an insulator industry: Determination the risk of mortality from silicosis and lung cancer. *Health and Safety at Work*. 2017;**7**(1):45-52. Link
2. Olawoyin R. Modelling the health risks of exposure to respirable crystalline silica from hydraulic fracturing operations in the USA shale plays. *J Biomed Eng Inform* . 2015;**1**(1):25. DOI: 10.5430/jbei.v1n1p25
3. Omidianidost A, Ghasemkhani M, Kakooei H, Shahtaheri SJ, Ghanbari M. Risk assessment of occupational exposure to crystalline silica in small foundries in Pakdasht. *Iran J Public Health*. 2016;**45**(1):70-75. PMID: 27057524
4. Farokhzad M, Ranjbar A, Ghorbani-Shahna F, Maryam Farhadian M, AssariM J.Blood Oxidative Stress Levels in Workers Exposed to Respirable Crystalline Silica in the West of Iran. *Health Scope*. 2019;**8**(4):e85622. DOI: 10.5812/jhealthscope.85622
5. Nourmohammadi M, Yari S, Rahimimoghadam S. Effect of Occupational Exposure to Crystalline Silica on Pulmonary Indices in Tile and Ceramic Workers. *Asian Pac Environ Cancer*. 2022;**5** (1):45-48. DOI :10.31557/apjec.2022.5.1.45-48
6. Wardyn PM, Edme JL, Broucker V, Cherot-Kornobis N, David Ringeval D, Amouye P, Sobaszek et al. Occupational exposure to crystalline silica in a sample of the French general population. *J Occup Med Toxicol*. 2024;**19**(3):1-8. DOI: 10.1186/s12995-024-00402-z
7. Alexander BM, Esswein EJ, Gressel MG, Kratzer JL, Feng HA, Miller AL, et al. Evaluation of an improved prototype mini-baghouse to control the release of respirable crystalline silica from sand movers. *J Occup Environ Hyg*. 2018;**15**(1):24-37. DOI: 10.1080/15459624.2017.1376068
8. Iversen IB, Vestergaard JM, Ohlander J, Peters S, Bendstrup E, Jens Peter Ellekilde Bonde JP et al. Occupational exposure to respirable crystalline silica and incident idiopathic interstitial pneumonias and pulmonary sarcoidosis: a national prospective followup study Inge Brosbøl Iversen. *Occup Environ Med*. 2024;**81**(6):279-286. PMID: 38902031 DOI: 10.1136/oemed-2023-108964
9. Laurène-Delabre L, Houot MT, Burtin A, Pilorget C. Occupational exposure to silica dust in France: an ongoing concern. *Scand J Work Environ Health*. 2023;**49**(7):526-534. PMID: 37539747 DOI: 10.5271/sjweh.4105
10. Poinen-Rughooputh S, Rughooputh MS, Guo Y ,Rong Y, Chen W. Occupational exposure to silica dust and risk of lung cancer: an updated meta-analysis of epidemiological studies. *BMC public health*. 2016;**16**(1):1137. DOI: 10.1186/s12889-016-3791-5
11. Mannetje A, Steenland K, Attfield M, Boffetta P, Checkoway H, DeKlerk N, et al. Exposure-response analysis and risk assessment for silica and silicosis mortality in a pooled analysis of six cohorts. *Occup Environ Med*. 2002; **59**(11):723-8. PMID: 12409529

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

[DOI: 10.32592/joohe.11.2.84]

DOI: 10.1136/oem.59.11.723
12. Rice FL, Park R, Stayner L, Smith R, Gilbert S, Checkoway H. Crystalline silica exposure and lung cancer mortality in diatomaceous earth industry workers: a quantitative risk assessment. *Occup Environ Med*. 2001;**58** (1): 38- 45. PMID: 11119633 DOI: 10.1136/oem.58.1.38
13. Liao CM, Wu BC, Cheng YH, You SH, Lin YJ, Hsieh NH. Ceramics manufacturing contributes to ambient silica air pollution and burden of lung disease. *Environ Sci Pollut Res Int*. 2015;**22**(19):15067-79. PMID: 26002365 DOI: 10.1007/s11356-015-4701-6
14. Poormohammadi A, Mir-Moeini ES, Assari MJ, Khazaei S, Bashirian S, Abdulahi M, et al. Risk assessment of workers exposed to respirable crystalline silica in silica crushing units in Azandarian Industrial Zone, Hamadan, Iran. *Journal of Air Pollution and Health*.2021; **6**(3): 225-232. DOI: 10.18502/japh.v6i3.8234
15. Aghilinejad M, Jamaati H, Farshad A, Mostafaie M, Shidfar F, Atari G. Investigation of prevalence rate of silicosis in silica powderproduction workers in Azandarian-Malayer in 2001-2002. *Iran Occupational Health Journal*. 2006;**3**(1):76-80. Link
16. Bahrami AR, Golbabaei F, Mahjub H, Qorbani F, Aliabadi M, Barghi M. Determination of exposure to respirable quartz in the stone crushing units at Azendarian-west of Iran. *Ind*. *Health*. 2008;**46**(4):404-8. DOI: 10.2486/indhealth.46.404
17. Gharavandi S. Nasori M. Ghobadi M. Besharatipur M. Jabari M. Omidianidost A. Exposure to Respirable Dust and Crystalline Silica in a Cement Plant. *Archives of Occupational Health*. 2019;**3**(3):366-70. DOI: 10.18502/aoh.v3i3.1279
18. Mohammadyan M, Rokni M, Yosefinejad R. Occupational exposure to respirable crystalline silica in the Iranian Mazandaran province industry workers. *Arh Hig Rada Toksikol*. 2013;**64**(1):139-43. PMID: 23585166 DOI: 10.2478/10004-1254-64-2013-2284
19. U.S. Environmental Protection Agency (EPA). Ambient Levelsand Noncancer Health Effects of Inhaled Crystalline and Amorphous Silica. Health Issue Assessment. EPA/600/R- 95/115. 1996. Washington, DC: Office of Research and Development.1996. Link
20. National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH):NIOSH Hazard Review: Health Effects of Occupational Exposure to Respirable Silica. 2002. DHHS (NIOSH) Pub. No. 2002-129. Cincinnati, Ohio: NIOSH. Link
21. Azari MR, Rokni M, Salehpour S, Mehrabi Y, Jafari MJ, Naser-Moaddeli A, et al. Risk assessment of workers exposed to crystalline silica aerosols in the east zone of Tehran. *Tanaffos*.2009;**8**(3):43-50. Link

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

[DOI: 10.32592/joohe.11.2.84]