Journal of Occupational Hygiene Engineering Volume 7, Issue 4, Winter 2021, Pages: 53-60

Original Article

doi: 10.52547/johe.7.4.53

Application of Arc-GIS for Zoning of Occupational Exposure Levels to Respirable Crystalline Silica in Crushing Factories

Mohammad Javad Assari[1,*], Farshid Ghorbani Shahna[2], Ali Pourmohammadi[3], Ebrahim Chavoshi[4], Zohreh Karami[5]

[1] *Associate Professor, Health Sciences Research Center, Department of Occupational Health, School of Public Health, Hamadan University of Medical Sciences, Hamadan, Iran*
[2] *Professor, Center of Excellence for Occupational Health, Occupational Health and Safety Research Center, Department of Occupational Health, School of Public Health, Hamadan University of Medical Sciences, Hamadan, Iran*
[3] *Research Assistant Professor, Health Sciences & Technology Research Institute, Hamadan University of Medical Sciences, Hamadan, Iran*
[4] *PhD Student, Biosystems Engineering Department, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamadan, Hamadan, Iran*
[5] *BS, Department of Occupational Health, School of public Health, Hamadan University of Medical Sciences, Hamadan, Iran*

**** Corresponding Author:** Mohammad Javad Assari, Health Sciences Research Center, Department of Occupational Health, School of Public Health, Hamadan University of Medical Sciences, Hamadan, Iran. Email: Asari@umsha.ac.ir*

Received: 09/09/2020
Accepted: 03/10/2020

How to Cite this Article:
Assari MJ, Ghorbani Shahna F, 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

Abstract

Background and Objective: Silica crushing is a process based on crushing, sieving, and granulating various types of siliceous rocks. The inhalation of silica dust leads to silicosis by imposing structural changes and irreversible fibrosis in the lung tissues. The crystalline silica is classified as a human carcinogen (Group 1) by the International Agency for Research on Cancer. Azandaryân region, Hamadan Province, Iran, is one of the largest silica production units in Iran with 40 silica crushing factories. This study was conducted to investigate the application of Arc-GIS in the zoning of occupational exposure to respirable crystalline silica (RCS) in this region.

Materials and Methods: In this descriptive study, the individual exposure levels to RCS were measured among 16 workers in silica crushing factories according to the National Institute for Occupational Safety and Health method No. 7602. Moreover, 16 air samples were collected and quantified simultaneously to evaluate the environmental concentrations of RCS in the studied factories.

Results: The results showed that the mean score of individual exposure level (2.01±2.61 mg/m^3) exceeded the occupational exposure limit proposed by the Iran Technical Committee of Occupational Health for 8 working h (0.025 mg/m^3). It was also found that there was a significant difference between the mean of individual exposure concentration and RCS in the different job activities (P=0.001).

Conclusion: The results showed that the individual exposure levels had no significant relationship with environmental concentrations of the RCS. Furthermore, geographic information system had a desirable potential for zoning occupational exposure levels to RCS in workplaces. The findings of this study also emphasized the application of other modeling methods to determine the amount of silica emission in different units of the silica crushing factories.

Keywords: Azandaryân; Crystalline Silica; Exposure Assessment; Geographic Information System; Silica Crushing

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-01]

[DOI: 10.52547/johe.7.4.53]

Copyright © 2021 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

مقاله پژوهشی

doi: 10.52547/johe.7.4.53

کاربرد Arc-GIS در پهنه‌بندی سطوح مواجهه شغلی با سیلیس کریستالی قابل استنشاق در کارگاه‌های سیلیس‌کوبی

محمد جواد عصاری[۱،*]، فرشید قربانی شهنا[۲]، علی پورمحمدی[۳]، ابراهیم چاوشی[۴]، زهره کرمی[۵]

[۱] دانشیار، مرکز تحقیقات علوم بهداشتی، گروه بهداشت حرفه ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران

[۲] استاد، قطب علمی آموزشی بهداشت حرفه ای، مرکز تحقیقات بهداشت و ایمنی شغلی، گروه بهداشت حرفه ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران

[۳] استادیار پژوهشی، پژوهشکده علوم و فناوری بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران

[۴] دانشجوی دکتری، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی سینا همدان، همدان، ایران

[۵] کارشناس، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران

* **نویسنده مسئول:** محمد جواد عصاری، مرکز تحقیقات علوم بهداشتی، گروه بهداشت حرفه ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی همدان، همدان، ایران. ایمیل: Asari@umsha.ac.ir

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۹/۰۶/۱۹

تاریخ پذیرش مقاله: ۱۳۹۹/۰۷/۱۲

تمامی حقوق نشر برای دانشگاه علوم پزشکی همدان محفوظ است.

چکیده

سابقه و هدف: سیلیس‌کوبی فرایندی مبتنی بر خرد کردن، غربال کردن و دانه‌بندی انواع سنگ‌های سیلیسی است. استنشاق گرد و غبار سیلیس با ایجاد تغییرات ساختاری و فیبروز برگشت‌ناپذیر در بافت ریه منجر به بیماری سیلیکوزیس می‌گردد. سیلیس کریستالی توسط آژانس بین‌المللی تحقیق در مورد سرطان (IARC: International Agency for Research on Cancer) به عنوان سرطان‌زای انسانی (گروه I) طبقه‌بندی شده است. منطقه ازندریان یکی از بزرگ‌ترین واحدهای تولید سیلیس در کشور می‌باشد که در آن ۴۰ کارگاه سیلیس‌کوبی وجود دارد. در این راستا، پژوهش حاضر با هدف کاربرد سیستم اطلاعات جغرافیایی (Arc-GIS: Geographic information system) در پهنه‌بندی سطوح مواجهه شغلی با سیلیس کریستالی قابل استنشاق (RCS: Respirable Crystalline Silica) انجام شد.

مواد و روش‌ها: در این مطالعه توصیفی، سطوح مواجهه فردی با RCS در ۱۶ کارگر شاغل در کارگاه‌های سیلیس‌کوبی مطابق با روش NIOSH ۷۶۰۲ (National Institute for Occupational Safety and Health) اندازه‌گیری شد. همچنین ۱۶ نمونه هوا جهت ارزیابی غلظت‌های محیطی RCS در کارگاه‌های مورد مطالعه به طور هم‌زمان جمع‌آوری و تعیین مقدار گردید.

یافته‌ها: نتایج نشان دادند که میانگین سطوح مواجهه فردی کارگران (۲/۶۱±۲/۰۱ میلی‌گرم بر متر مکعب) از حدود مجاز مواجهه شغلی (OEL: Occupational exposure limit) پیشنهادی توسط کمیته فنی بهداشت حرفه‌ای کشور برای هشت ساعت کاری (۰/۰۲۵ میلی‌گرم بر متر مکعب) بیشتر می‌باشد. همچنین نتایج حاکی از وجود اختلاف آماری معنادار بین میانگین غلظت مواجهه فردی با RCS در فعالیت‌های شغلی مختلف بودند (P=۰/۰۰۱).

نتیجه‌گیری: نتایج حاکی از عدم وجود ارتباط معنادار بین سطوح مواجهه فردی و غلظت‌های محیطی RCS بودند. یافته‌های این مطالعه نشان دادند که GIS جهت پهنه‌بندی سطوح مواجهه شغلی با RCS در محیط‌های کار از قابلیت زیادی برخوردار است. نتایج این مطالعه بر استفاده از سایر شیوه‌های مدل‌سازی به منظور تعیین میزان انتشار سیلیس در واحدهای مختلف کارگاه‌های سیلیس‌کوبی تأکید دارد.

واژگان کلیدی: ارزیابی مواجهه؛ ازندریان؛ سیستم اطلاعات جغرافیایی؛ سیلیس کریستالی؛ سیلیس‌کوبی

مقدمه

سیلیس یک عنصر قدیمی شناخته شده است که کماکان کاربرد گسترده‌ای در صنایع مختلف دارد [۱]. سیلیس مورد نیاز از معادن سیلیس یا سیلیس‌کوبی‌ها تأمین شده و به عنوان ماده اصلی توسط سایر صنایع مورد استفاده قرار می‌گیرد. سیلیس در

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-01]

[DOI: 10.52547/johe.7.4.53]

صنایع به اشکال مختلفی کاربرد دارد؛ اما از آنجایی که مواجهه با گرد و غبار قابل استنشاق کوارتز، کریستوبالیت و تریدیمیت اثرات زیان‌بار بسیاری بر سلامتی کارگران دارد، از دیدگاه اپیدمیولوژی و سم‌شناسی، مواجهه شغلی با این کانی‌ها از اهمیت زیادی برخوردار می‌باشد [۲]. سایر ترکیبات سیلیس که بیشتر به شکل انواع سیلیکات‌ها یافت می‌شوند، اگرچه نسبت به سیلیس آزاد کم‌خطرتر هستند؛ اما در صورت استنشاق می‌توانند مشکل ریوی ایجاد کنند [۳]. در مطالعات متعددی ارتباط میان مواجهه با ذرات کریستالی قابل استنشاق سیلیس و ابتلا به بیماری‌هایی چون سرطان ریه، سل ریوی، بیماری مزمن انسدادی ریه و بیماری‌های خودایمن مورد بحث قرار گرفته است [۴]. سیلیکوزیس یک بیماری شغلی ریوی خطرناک، ناتوان‌کننده، غیر قابل برگشت و کشنده با شیوع تدریجی و سیر تکاملی آهسته است که هر ساله هزاران نفر را در سراسر دنیا به کام مرگ می‌کشد. این بیماری با توجه به غلظت گرد و غبار سیلیس و طول مدت تماس، به شکل‌های مختلف سیلیکوزیس مزمن، سیلیکوزیس حاد و سیلیکوزیس پیش‌رونده بروز می‌کند [۵]. مواجهه بیش از حد مجاز با ترکیبات سیلیس، علاوه بر ایجاد سیلیکوزیس به عنوان عامل شناخته شده خطرناک، در ایجاد سایر بیماری‌های تنفسی مانند اسکلروزیس (سفت شدن بافت‌ها) نقش دارد [۶].

در سال ۱۹۹۷ میلادی، IARC سیلیس آزاد را به عنوان ترکیب سرطان‌زای گروه I (سرطان‌زای انسانی) معرفی نموده [۷] و ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists) نیز سیلیس آزاد را به عنوان ماده سرطان‌زای گروه A2 (مشکوک به سرطان زائی در انسان) طبقه‌بندی کرده است [۸]. نگرانی در مورد مواجهه کارگران با سیلیس آزاد به عنوان عاملی برای ایجاد سیلیکوزیس و سرطان ریه، یک موضوع مطرح در سطوح بین‌المللی است. با وجود تلاش‌های فراوان سازمان بین‌المللی کار (ILO: International Labour Organization) برای کنترل مواجهه کارگران با سیلیس، هنوز میلیون‌ها کارگر در صنایع در کشورهای مختلف از این موضوع رنج می‌برند و سیلیکوزیس همچنان یکی از عوامل تهدیدکننده سلامت و بهداشت در جهان می‌باشد [۹]. برآورد شده است که سالیانه بالغ بر ۲۵۰ کارگر در ایالات متحده آمریکا در اثر سیلیکوزیس جان خود را از دست می‌دهند و بیش از صدها نفر در اثر این بیماری دچار ناتوانی می‌شوند [۶]. مطابق با توصیه آژانس حفاظت از محیط زیست آمریکا، در محیط‌های کاری فرآوری و پردازش کوارتز به اشکال مختلف می‌بایست ذرات هوابرد با قطر ۱۰ میکرومتر و ذرات کوچک‌تر ایجادکننده بیماری تنفسی پایش شوند [۱۰].

در مطالعات انجام شده مبتنی بر نقش GIS در بهداشت و محیط زیست، استفاده از این فناوری به عنوان یک ابزار تحلیلی مناسب جهت دست‌یابی آسان به اطلاعات و تسهیل فرایند تصمیم‌گیری در راستای ارتقای بهداشت عموم جامعه مورد تأکید قرار گرفته است [۱۱]. کاربرد GIS در حوزه بهداشت حرفه‌ای بیشتر مربوط به کنترل آلودگی صوتی و کاهش شنوایی بوده و تاکنون مطالعات انگشت‌شماری در خصوص کنترل آلاینده‌های هوای محیط کار با استفاده از این فناوری انجام شده است [۱۲].

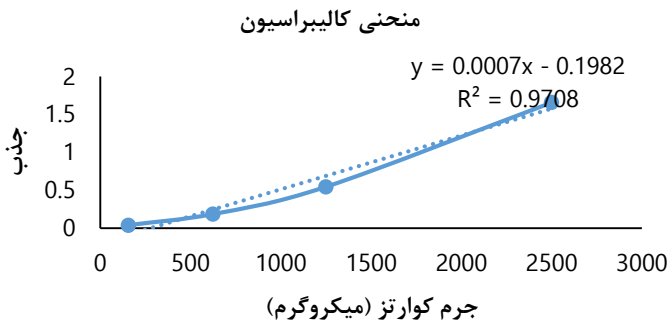
ازندریان در منطقه شمال و شمال غربی شهرستان ملایر، بین جاده ارتباطی ملایر- همدان و در ۴۵ کیلومتری جنوب شرق شهرستان همدان واقع شده است. ازندریان منطقه‌ای کوهستانی با دشت و کشتزارهای وسیع می‌باشد. در شهرستان ملایر ۴۰ واحد سیلیس‌کوبی وجود دارد که ۳۲ واحد از آن در شهر ازندریان می‌باشد؛ بنابراین با توجه به اینکه در حال حاضر منطقه ازندریان ملایر یکی از بزرگترین واحدهای تولید سیلیس در کشور می‌باشد، پژوهش حاضر با هدف کاربرد Arc-GIS در پهنه‌بندی سطوح مواجهه شغلی با سیلیس کریستالی قابل استنشاق در کارگاه‌های سیلیس‌کوبی این منطقه انجام شد.

مواد و روش‌ها

مطالعه توصیفی- مقطعی حاضر در سال ۱۳۹۷ در ارتباط با ۱۶ کارگر شاغل در کارگاه‌های سیلیس‌کوبی منطقه ازندریان در شهرستان ملایر انجام شد. بدین‌منظور با توجه به اهداف و فرضیات مطالعه، ۱۶ نمونه فردی از کارگران شاغل در بخش‌های مختلف در طول شیفت کاری و ۱۶ نمونه محیطی به طور همزمان از هوای کارگاه‌های مورد مطالعه جمع‌آوری گردید و مطابق با دستورالعمل پیشنهادی در روش استاندارد ۷۶۰۲ NIOSH تجزیه گشت [۱۳]. به طور خلاصه، ابتدا فیلترهای پلی‌وینیل کلراید (PVC: Polyvinyl chloride) ۳۷ میلی‌متری با قطر منافذ ۵ میکرون که از قبل به مدت ۲۴ ساعت جهت حذف رطوبت در دسیکاتور جای گرفته بودند، داخل سیکلون نایلونی قرار داده شدند. سپس با استفاده از پمپ نمونه‌برداری فردی (مدل 224-PCMTX8، ساخت شرکت SKC) کالیبره شده در دبی ۱/۷ لیتر بر دقیقه، اقدام به نمونه‌برداری از هوا گردید. همچنین همزمان با انجام عملیات نمونه‌برداری، اقدام به ثبت پارامترهای محیطی دما، رطوبت و سرعت جریان هوا گردید. جهت ثبت اطلاعات دموگرافیک افراد شامل: سن، سابقه کار، محل کار و شرایط محل نمونه‌برداری از چک‌لیست استفاده شد.

پس از انتقال نمونه‌ها به آزمایشگاه، ابتدا فیلترها مجدداً به مدت ۲۴ ساعت برای حذف رطوبت در دسیکاتور قرار داده شدند. سپس، فیلترها سه بار وزن شده و میانگین وزن آن‌ها یادداشت گردید. در این مرحله فیلترهایی که به دلیل بروز پدیده اشباع (Over load)، میزان گرد و غبار جمع‌آوری شده روی آن‌ها در مدت زمان نمونه‌برداری بیشتر از ۲ میلی‌گرم بود، مطابق با توصیه روش، حذف گردید. برای آماده‌سازی، ابتدا هریک از فیلترها در بوته چینی تمیز قرار داده شده و به مدت ۲ ساعت در کوره‌ای با دمای

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-01]
[DOI: 10.52547/johe.7.4.53]



شکل ۱: منحنی کالیبراسیون کوارتز

۸۰۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفت. پس از خارج کردن نمونه‌ها از کوره، نمونه‌ها به خاکستر تبدیل شدند. برای تهیه قرص فشرده از وسیله تولید قرص (Die) و دستگاه پرس قرص استفاده گردید. بدین‌منظور، خاکستر به دست آمده از مرحله قبل با مقادیر معینی از پودر برمید پتاسیم (KBr) مخلوط شد و با استفاده از دستگاه پرس، تحت فشار و خلأ به صورت قرص فشرده درآمد. سپس قرص‌های تهیه شده به منظور شناسایی کیفی و تعیین مقدار RCS، درون دستگاه طیف‌سنج مادون قرمز تبدیل فوریه (FTIR: Fourier Transform Infrared Spectroscopy) (مدل Spectrum Tow/Perkin Elmer) قرار داده شدند. از سوی دیگر به منظور رسم منحنی کالیبراسیون، مقادیر معینی از کوارتز خالص ساییده و کاملاً نرم شده با مقادیر معینی از KBr مخلوط گردید و پس از انجام کلیه عملیات آماده‌سازی، به شکل قرص فشرده درون دستگاه FTIR قرار داده شد و مقادیر جذب نمونه‌ها قرائت گردید. نمونه‌ای از منحنی استاندارد تهیه شده در شکل ۱ نشان داده شده است.

از آنجایی که با توجه به توصیه روش NIOSH ۷۶۰۲، پیک مرتبط با سیلیس کریستالی در طول موج ۸۰۰ نانومتر ظاهر می‌شود، پس از تنظیم دستگاه، نمونه‌ها از نظر وجود یا عدم وجود سیلیس کریستالی (شناسایی کیفی) مورد بررسی قرار گرفتند و پس از تأیید وجود پیک مرتبط در طول موج ۸۰۰ نانومتر، مقادیر سیلیس از طریق منحنی کالیبراسیون محاسبه گردید. در نهایت، غلظت نهایی RCS در نمونه‌های هوا بر حسب میلی‌گرم بر متر مکعب محاسبه گشت. رسم نقشه پهنه‌بندی سطوح مواجهه فردی و غلظت‌های محیطی RCS در فعالیت‌های شغلی مورد مطالعه با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS 10.4.1 نسخه انجام شد. برای تجزیه و تحلیل داده‌ها از نرم‌افزار SPSS 20 استفاده گردید. همچنین به منظور مقایسه و بررسی متغیرها از آزمون‌های ناپارامتری کروسکال والیس و من‌ویتنی و برای بررسی ارتباط متغیرها از آزمون‌های ناپارامتری Pearson و Spearman استفاده شد.

یافته‌ها

میانگین سن و سابقه کار شرکت‌کنندگان در این مطالعه به ترتیب ۷ ۱۴/۳۷± و ۹/۲۸±۳/۱۴ سال بود. نتایج نشان دادند که میانگین سطوح مواجهه فردی با RCS (۲/۶۱ ۲۰۱/۲± میلی‌گرم بر متر مکعب) از OEL پیشنهادی از سوی کمیته فنی بهداشت حرفه‌ای کشور برای هشت ساعت کاری (۰/۰۲۵ میلی‌گرم بر متر مکعب) بیشتر می‌باشد. در این مطالعه میزان مواجهه فردی براساس نوع فعالیت شغلی شاغلین در سیلیس‌کوبی (اپراتور سنگ‌شکن، سالن تولید، راننده لودر و سرپرست کارگاه) مورد بررسی قرار گرفت. محدوده سطوح مواجهه فردی و غلظت‌های محیطی RCS در گروه‌های شغلی مختلف به ترتیب ۹/۳۹–۰/۱۱ و ۲/۹۶–۰/۰۹ میلی‌گرم بر متر مکعب به دست آمد (جداول ۱ و ۲). بیشترین و کمترین میزان مواجهه فردی با RCS به ترتیب مربوط به سرپرست کارگاه و اپراتور سنگ‌شکن بود. این در حالی است که بیشترین و کمترین غلظت‌های محیطی RCS در سالن تولید مشاهده شد. نتایج آزمون آماری حاکی از وجود

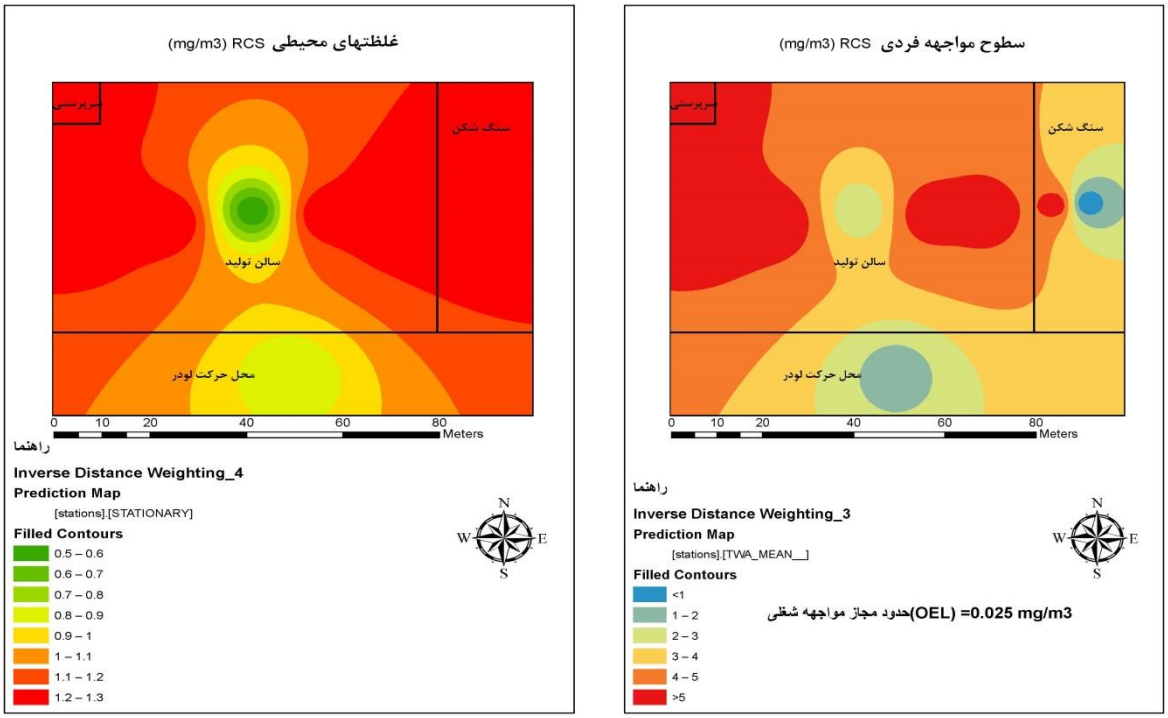
جدول ۱: سطوح مواجهه فردی میانگین وزنی- زمانی RCS در گروه‌های شغلی مورد مطالعه

گروه شغلی	تعداد نمونه	مدت نمونه‌برداری (ساعت)	میانگین غلظت (میلی‌گرم بر متر مکعب)	حداکثر (میلی‌گرم بر متر مکعب)	حداقل (میلی‌گرم بر متر مکعب)	سطح معناداری
سالن تولید	۸	۸	۱/۹۲	۲/۱۹	۰/۲۰	۰/۰۰۱
اپراتور سنگ‌شکن	۴	۸	۰/۱۸	۰/۱۹	۰/۱۱	
سرپرست کارگاه	۲	۸	۵/۶۷	۹/۳۹	۱/۹۵	
راننده لودر	۲	۸	۱/۴۵	۱/۹۶	۰/۹۴	

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-01]
[DOI: 10.52547/johe.7.4.53]

جدول ۲: غلظت‌های محیطی RCS در گروه‌های شغلی مورد مطالعه

گروه شغلی	تعداد نمونه	مدت نمونه‌برداری (دقیقه)	میانگین غلظت (میلی‌گرم بر متر مکعب)	حداکثر (میلی‌گرم بر متر مکعب)	حداقل (میلی‌گرم بر متر مکعب)	سطح معناداری
سالن تولید	۸	۱۵	۰/۴۸	۲/۹۶	۰/۰۹	۰/۰۱
سنگ‌شکن	۴	۱۵	۱/۲۳	۱/۸۴	۰/۹۶	
سرپرست کارگاه	۲	۱۵	۱/۲۵	۲/۱۴	۰/۳۶	
راننده لودر	۲	۱۵	۰/۷۷	۱/۳۹	۰/۱۵	



شکل ۲: نقشه پهنه‌بندی سطوح مواجهه فردی و غلظت‌های محیطی RCS در کارگاه‌های مورد مطالعه

اختلاف آماری معنادار بین میانگین سطوح مواجهه فردی و غلظت‌های محیطی RCS در گروه‌های شغلی مختلف به ترتیب (P=۰/۰۰۱) و (P=۰/۰۱) بود. این در حالی است که در مطالعه حاضر، ارتباط آماری معناداری بین سطوح مواجهه فردی و غلظت‌های محیطی سیلیس مشاهده نگردید.

نتایج پهنه‌بندی سطوح مواجهه فردی و غلظت‌های محیطی RCS در فعالیت‌های شغلی مورد مطالعه در شکل ۲ نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، سرپرست کارگاه به دلیل ماهیت کاری و لزوم حضور در بخش‌های مختلف کارگاه از بیشترین میانگین سطوح مواجهه فردی (۵/۶۷ میلی‌گرم بر متر مکعب) برخوردار می‌باشد. حداکثر میانگین غلظت محیطی RCS (۱/۲۵ میلی‌گرم بر متر مکعب) نیز در محلی که سرپرستان کارگاه طی یک شیفت کاری بیشترین زمان را در آنجا حضور داشتند، به دست آمد.

در این مطالعه بین سطوح مواجهه فردی با RCS و رطوبت محیط حین انجام عملیات نمونه‌برداری، ارتباط معناداری وجود داشت (P=۰/۰۰۱، r=-۰/۵۷۷). علاوه‌براین، نتایج حاکی از وجود ارتباط معنادار بین غلظت‌های محیطی RCS و رطوبت در محل نمونه‌برداری بودند (P=۰/۰۰۱، r=-۰/۴۹۵).

بحث

مطابق با نتایج به دست آمده از مطالعه حاضر، سطوح مواجهه فردی با RCS در سیلیس‌کوبی‌ها در تمام نمونه‌های مورد بررسی از OEL توصیه شده از سوی کمیته فنی بهداشت حرفه‌ای کشور (۰/۰۲۵ میلی‌گرم بر متر مکعب) بالاتر بود. در مطالعه‌ای که توسط بهرامی و همکاران با جمع‌آوری ۴۰ نمونه فردی در واحدهای سنگ‌کوبی ازندریان انجام شد، میزان مواجهه شاغلین سنگ‌کوبی‌ها با RCS بالاتر بود [۱۴]. علت اصلی وجود اختلاف در یافته‌های این دو مطالعه با وجود یکسان بودن محل انجام پژوهش در هر دو مطالعه، مربوط به مقادیر حدود مجاز مورد استناد در این مطالعات می‌باشد؛ زیرا در مطالعه مذکور، نتایج با حدود مجاز پیشنهادی در سال انجام مطالعه (۰/۰۵ میلی‌گرم بر

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-01]
[DOI: 10.52547/johe.7.4.53]

متر مکعب) مورد مقایسه قرار گرفته است که دو برابر حدود مجاز مورد مقایسه در مطالعه حاضر (۰/۰۲۵ میلی‌گرم بر متر مکعب) می‌باشد. نتایج مطالعات انجام شده در کارگران در معرض مواجهه بیش از حد مجاز با RCS حاکی از آن بودند که این افراد در شرایط غیر قابل قبول از نظر استانداردهای بهداشتی قرار دارند. در این راستا، نتایج یک مطالعه مورد-شاهدی که با هدف قابلیت تشخیص بیومارکرهای استرس اکسیداتیو در نمونه‌های ادرار، سرم و بزاق ۲۱ کارگر در مواجهه شغلی با سیلیس کریستالی شاغل در سیلیس‌کوبی‌های منطقه ازندریان و ۲۸ نفر در گروه شاهد توسط فرخزاد و همکاران انجام شد، نشان دادند که مواجهه شغلی با RCS تأثیر قابل توجهی بر افزایش سطوح نشانگرهای استرس اکسیداتیو و کاهش فعالیت آنزیماتیک آنتی‌اکسیدانی در سرم، ادرار و بزاق شاغلین در سیلیس‌کوبی‌ها دارد [۱۵]. امیدیان دوست و همکاران نیز به منظور بررسی پارامترهای عملکرد ریوی ناشی از مواجهه شغلی با RCS، مطالعه‌ای مقطعی را در ارتباط با ۱۴۰ کارگر شاغل در کارخانه سیمان انجام دادند. نتایج حاکی از آن بودند که حداکثر هوای بازدمی (PEF: Maximal Expiratory Flow) در کارگران گروه مورد و شاهد دارای اختلاف معناداری می‌باشد [۱۶].

در مطالعه حاضر سطوح مواجهه فردی با سیلیس کریستالی قابل استنشاق در گروه‌های شغلی سنگ‌شکن، سالن تولید، راننده لودر و سرپرست کارگاه به ترتیب ۰/۱۱، ۰/۲۰، ۰/۹۴ و ۱/۹۵ به دست آمد (جدول ۱). کم بودن سطوح مواجهه فردی در قسمت سنگ‌شکن در پژوهش حاضر می‌تواند به دلیل انجام این فرایند در محیط باز و در نتیجه پراکنده شدن آلودگی باشد. همان‌طور که در مطالعه خان‌زاده و همکاران نشان داده شده است، افزایش سرعت باد به طور معناداری قادر به کاهش غلظت سیلیس قابل استنشاق در محیط کار می‌باشد [۱۷]. از سوی دیگر، سرپرست کارگاه سیلیس‌کوبی به علت حضور دائم در اغلب فرایندها و لزوم تردد در واحدهای مختلف، با مقادیر زیادی از گرد و غبار سیلیس در تماس بوده است؛ در نتیجه این میزان مواجهه برای این فعالیت شغلی دور از انتظار نمی‌باشد. مقایسه نتایج مطالعه حاضر با یافته‌های پژوهش بهرامی و همکاران که غلظت مواجهه فردی در گروه‌های شغلی سنگشکن، سالن تولید و راننده لودر را به ترتیب برابر با ۰/۴، ۰/۲۱ و ۰/۲ میلی‌گرم بر متر مکعب گزارش نمودند [۱۴]، نشان داد که با وجود تعداد کم نمونه به ویژه در مطالعه حاضر، نتایج این دو مطالعه از همخوانی قابل قبولی برخوردار می‌باشد. تنها اختلاف موجود در این دو مطالعه مربوط به گروه شغلی سرپرست کارگاه بود که با توجه به ماهیت شغلی و تنوع کاری، جهت اجتناب از تورش در نتایج، صرفاً در مطالعه حاضر مورد بررسی قرار گرفت. علاوه‌براین، نتایج مطالعات انجام شده در صنایعی که کارگران در خطر مواجهه شغلی با سیلیس کریستالی قرار دارند، نشان می‌دهند که حتی در صنایع مشابه نیز میزان مواجهه کارگران با سیلیس کریستالی دارای اختلاف می‌باشد که علت آن را می‌توان در درجه اول با میزان و نوع سیلیس آزاد موجود در مواد اولیه و در مراتب بعدی با بهره‌گیری از تکنولوژی‌های جدید در فرایند تولید، فرسودگی دستگاه‌های مورد استفاده، تفاوت در نوع سیستم‌های کنترل مهندسی به کار رفته در صنایع مورد اشاره، نحوه نگهداری سیستم‌های کنترلی و انجام تعمیرات و بازرسی‌های فنی به‌موقع، رعایت بهداشت و نظافت محیط کار، رعایت اصول ایمنی و بهداشت در انبار نمودن مواد اولیه و دپوهای ترکیبات حاوی سیلیس مرتبط دانست.

در مطالعه حاضر بین میزان رطوبت حین عملیات نمونه‌برداری با سطوح مواجهه فردی و غلظت‌های محیطی RCS، ارتباط معناداری وجود داشت و با افزایش میزان رطوبت، میزان سطوح مواجهه فردی و غلظت‌های محیطی با RCS کاهش یافت. نتایج مطالعه Gottesfeld و همکاران که در ارتباط با صنایع سنگ‌شکن در هند انجام شد، حاکی از آن بودند که استفاده از اسپری آب و ایجاد رطوبت، به طور متوسط به ترتیب باعث کاهش سطوح کوارتز و کریستوبالیت به میزان ۸۲ و ۶۹ درصد می‌شود [۱۸].

یکی از مهم‌ترین اهداف نمونه‌برداری از هوای محیط‌های کار، کاربرد نتایج جهت اولویت‌بندی اقدامات کنترلی در کارگاه‌های مختلف می‌باشد تا بدین‌وسیله پس از مقایسه غلظت آلاینده‌ها در محیط‌های مورد بررسی، کنترل آلاینده‌ها در کارگاه‌هایی که از غلظت بالاتری برخوردار می‌باشند، با تمرکز بیشتری انجام شود. در این راستا، در مطالعه‌ای که توسط محمدی کاجی و همکاران با هدف کاربرد GIS جهت ارزیابی مواجهات استنشاقی با گرد و غبار در گروه‌های شغلی مختلف با هدف تعیین بهترین مکان برای الویت اقدامات اصلاحی در یک صنعت الکترود انجام شد، بر کاربرد این روش جهت بهبود و مدیریت ارزیابی مواجهات تنفسی در بهداشت حرفه‌ای تأکید ویژه شده است [۱۲]؛ از این رو در مطالعه حاضر به منظور الویت‌بندی اقدامات کنترلی در کارگاه‌های مورد مطالعه، اقدام به پهنه‌بندی سطوح مواجهه شغلی با RCS با استفاده از نرم‌افزار Arc-GIS گردید.

در مطالعه حاضر به ازای جمع‌آوری هر نمونه فردی، در مکانی که کارگر مورد مطالعه بیشترین میزان حضور را داشت، اقدام به نمونه‌برداری از هوای محیطی گردید. نتایج حاکی از عدم وجود ارتباط معنادار بین سطوح مواجهه فردی و غلظت‌های محیطی سیلیس بودند (جداول ۱ و ۲). دلیل این یافته را می‌توان با ماهیت کار در گروه‌های شغلی مرتبط دانست؛ زیرا کارگران مورد مطالعه با وجود برخورداری از عناوین شغلی مشخص، با توجه به ضروریات کاری، مجبور به ترک محل کار خود برای مدت زمان کوتاه و گاه طولانی در طول یک شیفت کاری بودند. از سوی دیگر، با توجه به این موضوع که مدت زمان نمونه‌برداری در نمونه‌های فردی هشت ساعت و در نمونه‌های

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-01]

[DOI: 10.52547/johe.7.4.53]

محیطی ۱۵ دقیقه بود، بدیهی است که تعیین غلظت محیطی در یک مقطع زمانی کوتاه نمی‌تواند گویای وضعیت آلودگی در طول شیفت کاری باشد؛ بنابراین، بررسی دقیق این موضوع مستلزم جمع‌آوری نمونه‌های فردی و محیطی به میزان کافی است تا بدین‌وسیله بتوان هرگونه تغییر احتمالی را در نتایج لحاظ نمود.

در مطالعه حاضر سطوح مواجهه فردی و غلظت‌های محیطی RCS گروه‌های شغلی مختلف با استفاده از نرم‌افزار Arc-GIS پهنه‌بندی گردید. هرچند در این مطالعه ارتباط معناداری بین سطوح مواجهه فردی و غلظت‌های محیطی سیلیس مشاهده نگردید؛ اما همان‌طور که در شکل ۲ مشاهده می‌شود، سرپرستان کارگاه با توجه به تنوع کاری مجبور به تردد در مناطق مختلفی از کارگاه مانند سنگ‌شکن و سالن تولید که از غلظت‌های محیطی RCS بالایی برخوردار هستند، می‌باشند؛ بنابراین با بررسی دقیق نقشه‌های GIS، بار دیگر این ادعا که نتایج حاصل از بررسی نمونه محیطی را نمی‌توان به مواجهات فردی تعمیم داد، تأیید می‌گردد. هرچند تاکنون مطالعات اندکی در زمینه پهنه‌بندی گرد و غبار در محیط‌های کاری انجام شده است، نتایج مطالعات مشابه انجام شده نشان می‌دهند که استفاده از GIS به ویژه در مواقعی‌که کارگران در زمان‌های مختلف در مکان‌های متفاوتی حضور دارند، نتایج دقیق‌تری از مواجهه را فراهم می‌سازد [۱۲]؛ بنابراین با پهنه‌بندی مناطق پرخطر توسط GIS می‌توان نسبت به مدیریت مؤثر مواجهه در گروه‌های شغلی مانند سرپرست که به دلیل ماهیت کاری می‌بایست در مناطق مختلف کارگاه حضور داشته باشد، اقدام نمود.

از محدودیت‌های مطالعه حاضر می‌توان به عدم همکاری لازم کارفرمایان و شاغلین و همچنین حذف نمونه‌های با بار آلودگی بیش از حد قابل قبول اشاره نمود که سبب گردید بررسی در مورد تعداد محدودی نمونه (۱۶ نمونه فردی و ۱۶ نمونه محیطی) مقدور گردد که این مهم احتمال بروز خطا در ارزیابی مواجهه فردی و اندازه‌گیری‌های محیطی را افزایش می‌دهد. همچنین به دلیل عدم دسترسی به مختصات واقعی کارگاه‌های مورد بررسی، برای رسم نقشه‌ها از الگوی رایج در سنگ‌کوبی‌های منطقه استفاده گردید؛ از این رو با توجه به محدودیت‌های این مطالعه توصیه می‌گردد پژوهشگران علاقه‌مند به این زمینه تحقیقاتی برای کسب نتایج دقیق و قابل استناد در مطالعات آینده، علاوه بر استفاده از تعداد نمونه‌های هوای (فردی و محیطی) بیشتر جهت رسم نقشه‌های هم‌تراز آلودگی با استفاده از GIS، نقشه‌های پهنه‌بندی آلودگی صرفاً با استفاده از مختصات واقعی محیط کار مورد بررسی ترسیم گردد.

نتیجه‌گیری

از آنجایی که میزان مواجهه فردی کارگران با RCS در این مطالعه از OEL توصیه شده کشور بیشتر بود و نیز با توجه به عوارض و بیماری‌های ناشی از سیلیس، کنترل مواجهه کارگران از طریق اجرای روش‌های کنترل مهندسی، روش‌های صحیح انجام کار، رعایت بهداشت فردی، استفاده از وسایل حفاظت فردی، مراقبت‌های پزشکی و آموزش امری ضروری است.

از سوی دیگر، نتایج نشان دادند در مواقعی که کارگران با توجه به ضرورت شغلی در زمان‌های مختلف در مکان‌های متفاوتی حضور می‌یابند، پهنه‌بندی سطوح مواجهه شغلی با RCS با استفاده از نرم‌افزار GIS Arc-GIS برآورد دقیق‌تری از میزان مواجهه را ارائه می‌کند. نتایج این مطالعه بر استفاده از سایر شیوه‌های مدل‌سازی به منظور تعیین میزان انتشار سیلیس در بخش‌های مختلف کارگاه‌های سیلیس‌کوبی تأکید دارد.

تشکر و قدردانی

بدین‌وسیله از مرکز تحقیقات علوم بهداشتی دانشگاه علوم پزشکی همدان به دلیل حمایت مالی از این پژوهش تشکر و قدردانی می‌گردد.

تضاد منافع

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

ملاحظات اخلاقی

پیش از تکمیل پرسشنامه، اهداف مطالعه برای شرکت‌کنندگان تشریح گردید و فقط کارگرانی که فرم رضایت آگاهانه را تکمیل کرده بودند، وارد مطالعه شدند.

سهم نویسندگان

عصاری و قربانی شهنا در مرحله طراحی پژوهش؛ کرمی و عصاری در جمع‌آوری، شناسایی کیفی و تعیین مقدار سیلیس؛ چاوشی در ترسیم نقشه پهنه‌بندی پراکنش ذرات RCS از طریق GIS؛ عصاری در نگارش و پورمحمدی در ویرایش مقاله مشارکت داشتند.

حمایت مالی

مطالعه حاضر در قالب طرح تحقیقاتی هیأت علمی با شماره ۹۳۱۱۱۴۶۵۱۸ که از سوی معاونت تحقیقات و فناوری دانشگاه علوم پزشکی همدان پشتیبانی شده است، صورت گرفت.

REFERENCES

1. Chen W, Liu Y, Wang H, Hnizdo E, Sun Y, Su L, et al. Long-term exposure to silica dust and risk of total and cause-specific mortality in Chinese workers: a cohort study. *PLoS Med*. 2012;**9**(4):e1001206. PMID: 22529751 DOI: 10.1371/journal.pmed.1001206
2. Mozafari A, Rokni M. Exposure to silica, its effects on

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-01]

[DOI: 10.52547/johe.7.4.53]

workers' physiology system and its way of controlling from a professional health perspective. Tehran: Naghsh Gostaran Bahar; 2008. [Persian]
3. EPA U. Ambient levels and noncancer health effects of inhaled crystalline and amorphous silica: health issue assessment. Washington, D.C: US Environmental Protection Agency, Office of Research and Development; 1996.
4. Jalali M, Zare MJ, Bahrami A, Berijani N, Mahjub H. Analysis of endogenous alkanes and aldehydes in the exhaled breath of workers exposed to silica containing dust. *J Occup Hyg Eng*. 2015;**1**(4):19-29. [Persian]
5. Ebrahimi S, Ghazanfari H, Taheri E, Zamani K, Babaeian M, Hassanzadeh A. Prevalence of silicosis and related factors among workers of stone carving workshops in Khomeinishahr, Iran. *Health Syst Res*. 2013;**9**(4):362-9.
6. Naghizadeh A, Mahvi A, Jabbari H, Dadpour A, Karimi M. Determination the level of dust and free silica in air of khaf iron stone quarries. *Health Environ*. 2008;**1**(1):37-44. [Persian]
7. IARC I. Monographs on the evaluation of the carcinogenic risk of chemicals to humans. *Chem Environ Exper Data*. 1982;**4**:50-1.
8. American Conference of Governmental Industrial Hygienists. Threshold limit values for chemical substances and physical agents and biological exposure indices. Washington, D.C: American Conference of Governmental Industrial Hygienists; 2017.
9. Azari M, Ramazani B, Mosavian M, Movahadi M, Salehpour S. Serum malondialdehyde and urinary neopterin levels in glass sandblasters exposed to crystalline silica aerosols. *Int J Occup Hyg*. 2011;**3**(1):29-32.
10. Verma DK, Shaw DS. A comparison of international silica (α-quartz) calibration standards by Fourier transform–infrared spectrophotometry. *Ann Occup Hyg*. 2001;**45**(6): 429-35. DOI: 10.1093/annhyg/45.6.429
11. Atashnafas M, Atashnafas E. Application of GIS and comprehensive map of the country in the field of health. *Univ Med Sci Islam Repub Iran*. 2011;**8**(4):305-13. [Persian]
12. Mohammadi Kaji S, Zare Sakhavidi MJ, Barkhordari A, Mostaghaci M, Zare Sakhavidi F, Ghorbani R. Application of GIS and alignment maps of dust pollution in the workplace in order to evaluate the inhalatin exposures. *Occup Med Quart J*. 2016;**1**(8):34-42. [Persian]
13. NIOSH. Manual of analytical method 7602. Silica, crystalline by IR. 4th ed. New York: NIOSH Press; 2003.
14. 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
15. Farokhzad M, Ranjbar A, Kheiripour N, Soltanian AR, Assari MJ. Potential in the diagnosis of oxidative stress biomarkers in noninvasive samples of urine and saliva and comparison with serum of persons exposed to crystalline silica. *Int Arch Health Sci*. 2020;**7**(2):84-8. DOI: 10.4103/iahs.iahs_37_19
16. Omidianidost A, Gharavandi S, Rezazadeh-Azari M, Hashemian, AH, Ghasemkhani M, Rajati F, et al. Occupational exposure to respirable dust, crystalline silica and its pulmonary effects among workers of a cement factory in Kermanshah, Iran. *Tanaffos*. 2019;**18**(2):157-62. PMID: 32440304
17. Akbar-Khanzadeh F, Brillhart RL. Respirable crystalline silica dust exposure during concrete finishing(grinding) using hand-held grinders in the construction industry. *Ann Occup Hyg*. 2002;**46**(3):341-6. PMID: 12176721 DOI: 10.1093/annhyg/mef043
18. Gottesfeld P, Nicas M, 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. PMID: 18507285 DOI: 10.1179/oeh.2008.14.2.94

[Downloaded from johe.umsha.ac.ir on 2026-11-01]

[DOI: 10.52547/johe.7.4.53]