Original article

Concentration Evaluation and Health Risk Assessment of Welders' Exposure to Total Fumes and Manganese during Welding at Metal Industry

Mahmud Mohammadyan[1]
Esmael Babanejad[2]
Jamshid Yazdani Charati[3]
Yahya Esfandyari[4]
Solale Ramzani[5*]

1- Ph.D. in Professional Health, Professor, Health Science Research Center, Addiction Research Institute, Mazandaran University of Medical Sciences, Sari, Iran
2- Ph.D. in Analytical Chemistry, Assistant Professor, Department of Environmental Health, Mazandaran University of Medical Sciences, Sari, Iran
3- Ph.D. in Biostatistics, Associate Professor, Department of Statistics and Epidemiology, Mazandaran University of Medical Sciences, Sari, Iran
4- MSc in Environmental Engineering, Department of Environmental Health Engineering, Health Science Research Center, Mazandaran University of Medical Sciences, Sari, Iran
5- MSc Student of Occupational Health, Student Research Committee, Mazandaran University of Medical Sciences, Sari, Iran

***Corresponding author:** Solale Ramzani, Student Research Committee, Mazandaran University of Medical Sciences, Sari, Iran

Email: solale.ramzany@gmail.com

Received: 04 December 2019
Accepted: 11 January 2020

ABSTRACT

Introduction and purpose: Risk assessment of toxic or hazardous chemicals enables industrial hygienists to make appropriate decisions regarding management provisions in a healthy workplace. Exposure to total fumes and manganese during welding can have harmful effects on welders' health. Therefore, the present study was conducted in the metal industry to evaluate the concentration and determine the risk of welders' exposure to total fumes and manganese in 2018.

Methods: In this descriptive-analytical and cross-sectional study, welding fumes were sampled in the breathing zone of 35 welders using filters and cyclones moreover, the concentration of fumes was determined by a weight method. The samples were analyzed according to NIOSH 7301 method using an Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectrometry to determine the manganese concentration in the fume. Moreover, health exposure risk assessment of workers exposed to welding fumes was performed using the recommended method by the Singapore Health and Safety Association method. The data were analyzed in MINITAB software (version 17). A p-value less than 0.05 was considered statistically significant.

Results: The mean concentrations of total fumes and manganese produced in Shielded Metal Arc were 9.56±1.67 and 0.45±0.08 mg/m^{-3}, respectively. These values are about 2 and 22 times higher than the recommended occupational threshold limit for total fumes and manganese according to the American Conference of Governmental Industrial Hygienists, respectively. The risk assessment results showed that the mean values of exposure to total and manganese fume for the welders were moderate and high, respectively.

Conclusion: Due to the high level of welders' exposure to manganese during welding in the metal industry, preventive measures, such as engineering and management control techniques are recommended to reduce exposure to these fumes.

Keywords: Health of workers, Manganese, Occupational health, Risk assessment, Welding fume

▶ **Citation:** Mohammadyan M, Babanejad E, Yazdani Charati J, Esfandyari Y, Ramzani S. Concentration Evaluation and Health Risk Assessment of Welders' Exposure to Total Fumes and Manganese during Welding at Metal Industry. Journal of Health Research in Community. Winter 2020;5(4): 45-56.

مقاله پژوهشی

ارزیابی غلظت و ریسک بهداشتی مواجهه با فیوم کل و منگنز در فرایند جوشکاری یک صنعت فلزی

محمود محمدیان[1]
اسماعیل بابانژاد[2]
جمشید یزدانی چراتی[3]
یحیی اسفندیاری[4]
سلاله رمضانی[5*]

۱. دکتری بهداشت حرفه‌ای، استاد، مرکز تحقیقات علوم بهداشتی، پژوهشکده اعتیاد، دانشگاه علوم پزشکی مازندران، ساری، ایران
۲. دکتری شیمی تجزیه، استادیار، عضو هیأت علمی گروه بهداشت محیط، دانشگاه علوم پزشکی مازندران، ساری، ایران
۳. دکتری آمار حیاتی، دانشیار، عضو هیأت علمی گروه آمار زیستی و اپیدمیولوژی، دانشگاه علوم پزشکی مازندران، ساری، ایران
۴. کارشناسی ارشد مهندسی محیط زیست، مرکز تحقیقات علوم بهداشتی، دانشکده بهداشت، کمیته تحقیقات دانشجویی، دانشگاه علوم پزشکی مازندران، ساری، ایران
۵. دانشجوی کارشناسی ارشد بهداشت حرفه‌ای، کمیته تحقیقات دانشجویی، دانشگاه علوم پزشکی مازندران، ساری، ایران

* نویسنده مسئول: سلاله رمضانی، کمیته تحقیقات دانشجویی، دانشگاه علوم پزشکی مازندران، ساری، ایران

Email: solale.ramzany@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۸/۰۹/۱۳
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۱۰/۲۱

چکیده

مقدمه و هدف: ارزیابی خطر مواد سمی و شیمیایی، مهندسین بهداشت حرفه‌ای را قادر می‌سازد تا تصمیم‌های مناسبی را در ارتباط با برنامه‌ریزی اقدامات کنترلی در محیط کار اتخاذ نمایند. مواجهه با فیوم کل و منگنز در فرایندهای جوشکاری، اثرات عصبی زیان‌آوری را برای سلامت جوشکاران به همراه دارد. در این ارتباط، پژوهش حاضر به‌منظور ارزیابی غلظت و تعیین ریسک مواجهه جوشکاران با فیوم کل و منگنز در یک صنعت فلزی در سال ۱۳۹۸ انجام شد.

روش کار: در مطالعه توصیفی- تحلیلی- مقطعی حاضر، نمونه‌برداری از فیوم‌های جوشکاری در منطقه تنفسی ۳۵ نفر از جوشکاران توسط فیلتر و سیکلون انجام شد و با بهره‌گیری از روش وزنی، غلظت فیوم‌ها تعیین گردید. نمونه‌ها براساس روش NIOSH 7301 با استفاده از دستگاه ICP-OES (Inductively Coupled Plasma-Optical Emission Spectrometry) برای تعیین غلظت منگنز موجود در فیوم تجزیه شدند. خطر مواجهه بهداشتی کارگران مواجهه‌یافته با فیوم جوشکاری نیز با استفاده از روش توصیه‌شده توسط انجمن ایمنی و بهداشت سنگاپور بررسی گردید. تجزیه و تحلیل آماری داده‌ها با کاربرد نرم‌افزار MINITAB 17 در سطح معناداری ۰/۰۵ انجام شد.

یافته‌ها: میانگین غلظت فیوم کل و منگنز تولیدی در فرایند جوشکاری قوس الکتریکی با الکترود پوشش‌دار (Shielded metal arc welding) (SMAW) به‌ترتیب معادل ۱/۶۷±۹/۵۶ و ۰/۰۸±۰/۴۵ میلی‌گرم بر متر مکعب ارزیابی شد که این مقدار برای فیوم کل و منگنز به‌ترتیب حدود ۲ و ۲۲ برابر حد مجاز توصیه‌شده توسط انجمن متخصصان بهداشت صنعتی آمریکا می‌باشد. نتایج ارزیابی خطر نشان دادند که میانگین سطح خطر مواجهه با فیوم کل و فیوم منگنز برای جوشکاران به‌ترتیب در رتبه متوسط و زیاد قرار دارد.

نتیجه‌گیری: با توجه به گستردگی سطح خطر مواجهه با منگنز موجود در فیوم‌های جوشکاری برای جوشکارن این صنعت فلزی، انجام اقدامات پیشگیرانه نظیر روش‌های کنترل مهندسی و مدیریتی جهت کاهش مواجهه توصیه می‌گردد.

کلمات کلیدی: ارزیابی خطر، بهداشت شغلی، سلامت کارگران، فیوم جوشکاری، منگنز

◄ **استناد:** محمدیان، محمود؛ بابانژاد، اسماعیل؛ یزدانی چراتی، جمشید؛ اسفندیاری، یحیی؛ رمضانی، سلاله. ارزیابی غلظت و ریسک بهداشتی مواجهه با فیوم کل و منگنز در فرایند جوشکاری یک صنعت فلزی. مجله تحقیقات سلامت در جامعه، زمستان ۱۳۹۸؛۵(۴): ۵۶-۴۵.

مقدمه

یکی از مهم‌ترین مهارت‌های شناخته‌شده که بدون آن پیشرفت کل صنایع قابل‌تصور نیست، فرایند جوشکاری می‌باشد [۱].

جوشکاری فرایندی رایج برای اتصال فلزات از طریق گرما یا قوس الکتریکی است [۲]. از دیدگاه شغلی، یکی از فاکتورهای اصلی خطرناک برای سلامت جوشکاران، فیوم‌های تولیدشده حین جوشکاری می‌باشد. فیوم‌ها ذرات جامدی هستند که در اثر تراکم گازها پس از تصعید از مواد مذاب تولید می‌شوند [۳]. عنصر اصلی فیوم تولیدشده در طول عملیات جوشکاری، اکسید آهن می‌باشد. فلزات مهم دیگری که در فیوم‌های جوشکاری یافت می‌شوند، عبارت هستند از: منگنز، کروم، نیکل، سرب، مس، مولیبدن، کبالت، کادمیوم، روی و آلومینیوم [۴]. با پیدایش شیوه‌های جدید جوشکاری و به‌کارگیری و جایگزینی آن‌ها، تعداد کارگران در معرض فیوم‌های جوشکاری (با وجود مکانیزاسیون و اتوماسیون فرایندها) پیوسته درحال افزایش می‌باشد [۵]. تقریباً ۱۱ میلیون نفر در سراسر جهان به‌عنوان جوشکار مشغول به فعالیت هستند و ۱۱۰ میلیون نفر در مواجهه شغلی با فیوم‌های جوشکاری قرار دارند [۶].

بیشتر مطالعات انجام شده در ارتباط با فیوم‌های جوشکاری، اثرات تنفسی را مدنظر داشته‌اند که تحریک راه‌های هوایی، کاهش عملکرد ریوی، آسم، برونشیت، پنوموکونیوز یا سرطان‌های ریوی گزارش گردیده است [۷]. با این وجود، اطلاعات کمی در مورد اثرات غیر تنفسی فیوم‌های جوشکاری به‌ویژه اثرات عصب‌شناختی وجود دارد [۸]. مطالعات انجام‌شده نشان می‌دهند که منگنز موجود در فیوم‌های جوشکاری باعث ایجاد اختلالات عصب‌شناختی می‌شود [۹]. منگنز عنصری ضروری برای بدن است؛ اما در دوزهای بالا می‌تواند اثرات عصب‌شناختی بر سیستم عصبی مرکزی (CNS: Central Nervous System) و اختلالات عصب رفتاری مانند پارکینسون داشته باشد [۱۲-۱۰]. پارکینسون یک سندرم بالینی است که با لرزش، سفتی و خشکی عضلات، مشکلات در راه‌رفتن و تعادل و کندی حرکت شناخته می‌شود [۱۳]. مواجهه با منگنز ممکن است منجر به یک بیماری خاص مربوط به سیستم عصبی مرکزی به نام "منگانیسم" شود [۱۴]. انجمن متخصصان بهداشت صنعتی آمریکا (ACGIH: American Conference of Governmental Industrial Hygienists) با توجه به بروز علائم عصبی در کارگران، حد تماس شغلی متوسط هشت ساعته (TWA-TLV: Threshold Limit Value-Time-Weighted Average) را برای فیوم کل و فلز منگنز به‌ترتیب معادل ۵ و ۰/۰۲ میلی‌گرم بر متر مکعب تعیین نموده است [۱۵]. نتایج بسیاری از مطالعات انجام‌شده در ارتباط با سنجش تراکم غلظت منگنز موجود در فیوم‌های جوشکاری نشان داده‌اند که غلظت منگنز در منطقه هوای تنفسی افراد، بالاتر از غلظت مجاز پیشنهادشده از سوی ACGIH می‌باشد [۱۸-۱۶،۶]. نتایج سایر مطالعات نیز حاکی از آن هستند که قرارگرفتن در معرض غلظت پایین فیوم منگنز می‌تواند اثرات عصبی رفتاری را به همراه داشته باشد [۱۹]. نتایج مطالعات گل‌بابایی و فیض‌الله در ایران و Abelmann در آمریکا نشان از آن داشتند که رتبه ریسک کارگران جوشکار بالا می‌باشد. از سوی دیگر در مطالعات Sjogren در کانادا و YOON در کره، افزایش ریسک سرطان ریه در جوشکاران به دلیل مواجهه با فیوم‌ها تأیید گردیده است [۲۴-۲۰]. با توجه به کثرت تعداد افراد در معرض مواجهه با آلاینده‌های ایجادشده در فرایند جوشکاری، نیاز به تدوین یک برنامه جامع به‌منظور تعیین مقدار مواجهه با فیوم‌ها احساس می‌شود. یکی از راهکارهای اصلی برای رسیدن به این هدف، ارزیابی ریسک مواد شیمیایی است که می‌تواند کمک شایانی به اولویت‌بندی آلاینده‌های مخاطره‌آمیز و همچنین تصمیم‌گیری در مورد راه‌های کنترلی مناسب نماید [۲۵]. در ارزیابی ریسک، ویژگی‌های مخاطره‌آمیز مواد شیمیایی و وسعت پیامدهای مواجهه به‌صورت احتمال بروز اثرات سمی در جمعیت‌های مواجهه‌یافته بیان می‌گردد [۲۶]. هدف از ارزیابی ریسک مواد شیمیایی خطرناک شامل: شناسایی مواد خطرناک، ارزشیابی میزان تماس و تعیین احتمال اثرات نامطلوب تماس با مواد شیمیایی می‌باشد [۲۷].

برآوردهای اولیه نشان می‌دهند که در اغلب کارگاه‌های جوشکاری به دلیل نبود وسایل ایمنی و تهویه مناسب و تأثیر گازهای حاصل از جوشکاری، مشکلات جسمی برای کارگران این بخش از صنعت به وجود می‌آید. از آنجایی که جوشکاران از نیروهای حیاتی و مهم صنایع می‌باشند، مطالعه حاضر با هدف تعیین غلظت فیوم کل، سنجش تراکم غلظت منگنز موجود در فیوم‌ها و عوامل اثرگذار بر آن‌ها در ناحیه تنفسی جوشکاران و نیز تعیین سطح ریسک هریک از آن‌ها در یک صنعت فلزی در شهرستان بابل در سال ۱۳۹۸ انجام شد.

روش کار

روش نمونه‌برداری فیوم

مطالعه مقطعی حاضر با رویکرد توصیفی- تحلیلی در ارتباط با ۳۵ نفر از جوشکاران یکی از صنایع فلزی در شهرستان بابل انجام شد. بدین‌منظور، ۳۵ نفر از جوشکاران به روش تصادفی ساده به‌عنوان حجم نهایی انتخاب شدند. فرایند جوشکاری مورد استفاده از نوع جوشکاری قوسی با الکترود پوشش‌دار بود. نمونه‌برداری از فیوم‌های جوشکاری حاوی منگنز در ایستگاه‌های جوشکاری با استفاده از روش0600 NIOSH توسط پمپ نمونه‌بردار فردی SKC (مدل AirChek 3000 Deluxe) و سیکلون آلومینیومی (KC Aluminum Cyclone، ساخت کشور انگلستان) به همراه فیلترهای استر سلولزی با قطر ۳۷ میلی‌متر و پورسایز ۰/۸ میکرومتر با دبی ۲/۵ لیتر در دقیقه از منطقه تنفسی جوشکاران انجام شد. پیش از نمونه‌برداری، فیلترها به مدت ۲۴ ساعت داخل دسیکاتور قرار گرفته و خشک شدند. سپس توسط ترازویی حساس با دقت ۱ میکروگرم (مدل Sartorius ME5، ساخت کشور آلمان) وزن شدند. پیش از متصل‌کردن پمپ نمونه‌بردار فردی به کارگر، کالیبراسیون با فلومتر حباب صابون انجام شد. نمونه‌برداری به‌صورت مداوم و در طول یک شیفت کاری (۲۰ تا ۴۸۰ دقیقه) صورت گرفت و در انتهای نمونه‌برداری، فیلترها با دقت از سیکلون خارج گشته و در کاست قرار داده شدند. لازم به ذکر است که برای حذف خطای نمونه‌برداری و آنالیز، در مجموع چهار فیلتر شاهد در نظر گرفته شد و تمام مراحل کار به غیر از مرحله نمونه‌برداری از هوا روی آن‌ها صورت گرفت. اطلاعات مربوط به شرایط جوی شامل: دما، فشار، رطوبت نسبی و سرعت جریان باد نیز از ایستگاه هواشناسی منطقه به‌دست آمد. باید خاطرنشان ساخت که به‌منظور اطمینان از صحت نمونه‌برداری، فلوی پمپ‌ها و شرایط نمونه‌برداری به‌طور مرتب کنترل می‌شد. اطلاعات لازم برای ارزیابی نمونه‌ها از قبیل مشخصات محل نمونه‌برداری، وزن نمونه‌ها، فلوی پمپ، دما، فشار و حجم هوای نمونه‌برداری‌شده (پس از تصحیح براساس دما و فشار استاندارد) در فرم‌هایی که برای این کار طراحی شده بود، ثبت شد.

سنجش غلظت فیوم کل و منگنز

در این مطالعه غلظت فیوم کل به روش وزنی تعیین شد. از روش شماره ۷۳۰۱ انستیتوی ملی ایمنی و بهداشت حرفه‌ای آمریکا (NIOSH 7301) به‌منظور تعیین میزان منگنز در فیوم کل استفاده گردید [۲۸]. پس از انجام مراحل آماده‌سازی، آنالیز نمونه‌ها توسط دستگاه طیف‌بینی نشر اتمی پلاسمای جفت‌شده القایی (ICP-OES) (مدل PlasmaQuant PQ 9000، ساخت کشور آلمان) واقع در مرکز معاونت بهداشتی دانشگاه علوم پزشکی مازندران صورت گرفت. پیش از آنالیز نمونه‌ها به‌منظور به‌دست‌آوردن منحنی کالیبراسیون دستگاه، محلول استاندارد منگنز در غلظت‌های ۰/۰۲، ۱، ۵، ۱۰، ۱۵، ۲۵ و ۵۰ بخش در میلیون تهیه شد و به دستگاه تزریق گردید. سپس مطابق با روش استاندارد، نمونه‌های استخراج‌شده و شاهد به دستگاه تزریق شدند و غلظت منگنز در نمونه‌ها تعیین گردید.

در انتها، نتایج به‌دست‌آمده با مقادیر حد مجاز مواجهه شغلی (TLV-TWA) انجمن متخصصان بهداشت صنعتی آمریکا (ACGIH) مقایسه گردید.

ارزیابی خطر مواجهه

در این مطالعه برای تعیین میزان ریسک مواجهه با فیوم‌های جوشکاری از روش توسعه‌یافته توسط بخش ایمنی و بهداشت شغلی وزارت کار سنگاپور با نام «روش نیمه‌کمی ارزیابی تماس شغلی با مواد شیمیایی» استفاده گردید [۲۷]. ارزیابی ریسک در چهار مرحله تعیین درجه خطر (HR: Hazard Rate)، تعیین درجه مواجهه (ER: Exposure Rate)، تعیین ریسک (R: Risk) و تعیین رتبه ریسک (RR: Risk Rating) انجام شد.

تعیین درجه خطر (Hazard Rate)

تعیین ضریب مخاطره یا درجه خطر با توجه به مشخص‌بودن ماده شیمیایی مورد بررسی (فیوم جوشکاری و منگنز) براساس میزان سمیت یا مخاطرات ناشی از این ماده توسط جدول ۱ تعیین گردید.

تعیین درجه مواجهه (Rate Exposure)

به‌منظور تعیین درجه مواجهه (ER) با استفاده از سطح مواجهه واقعی (نتایج اندازه‌گیری آلاینده در هوا)، ابتدا میانگین وزنی-زمانی هفتگی مواجهه با استفاده از رابطه زیر تخمین زده شد:

$$E=(F.D.M)/w$$

جدول ۱: تعیین درجه خطر از طریق اثرات سمی یا عوارض زیان‌آور شیمیایی [۲۷]

درجه خطر	توصیف اثرات مواد شیمیایی بر تقسیم‌بندی مخاطرات آن‌ها
۱	- موادی که هیچ‌گونه اثر بهداشتی شناخته‌شده‌ای ندارند و به‌عنوان مواد سمی یا زیان‌آور طبقه‌بندی نشده‌اند. - موادی که سازمان ACGIH آن‌ها را در گروه A5 عوامل سرطان‌زا قرار داده است.
۲	- موادی که اثری برگشت‌پذیر بر پوست، چشم و غشای مخاطی دارند؛ اما اثرات آن‌ها آنقدر شدید نیست که بتوانند اختلال جدی در انسان ایجاد نمایند. - موادی که سازمان ACGIH آن‌ها را در گروه A4 عوامل سرطان‌زا قرار داده است. - موادی که باعث ایجاد حساسیت و تحریک پوست می‌شوند.
۳	- موادی که احتمالاً برای انسان یا حیوان سرطان‌زا یا موتاژن هستند؛ اما اطلاعات کافی در این زمینه وجود ندارد. - موادی که سازمان ACGIH آن‌ها را در گروه A3 عوامل سرطان‌زا قرار داده است. - موادی که سازمان IARC (International Agency for Research on Cancer) آن‌ها را در گروه B2 قرار داده است. - مواد خورنده (۳<PH<۵ یا ۹<PH<۱۲) و حساس‌کننده دستگاه تنفسی و غیره
۴	- موادی که امکان سرطان‌زایی، موتاژنی (جهش ژنی) و تراتوژنی (ناقص‌الخلقه‌زایی) آن‌ها بر مبنای مطالعات انجام‌شده در مورد حیوانات، بیشتر از گروه قبلی است. - موادی که سازمان ACGIH آن‌ها را در گروه A2 عوامل سرطان‌زا قرار داده است. - گروه A2 در طبقه‌بندی IARC - مواد سمی بسیار خورنده (۰<PH<۲ یا ۱۱/۱۴<PH<۵)
۵	- موادی که اثر سرطان‌زایی، موتاژنی (ایجاد جهش ژنی) و تراتوژنی (ناقص‌الخلقه‌زایی) آن‌ها شناخته شده است. - موادی که سازمان ACGIH آن‌ها را در گروه A1 عوامل سرطان‌زا قرار داده است (گروه ۱ در طبقه‌بندی IARC). - مواد شیمیایی بسیار سمی

جدول ۲: تعیین ضریب مواجهه [۲۷]

درجه مواجهه (ER)	(Occupational Exposure Limit) E/OEL
۱	<۰/۱
۲	۰/۱-۰/۵
۳	۰/۵-۱/۰
۴	۱/۰-۲/۰
۵	≥۲/۰

جدول ۳: رتبه‌بندی ریسک با توجه به نمره آن [۲۷]

نمره ریسک (R)	رتبه ریسک
۰-۱/۷	ناچیز
۱/۷-۲/۸	کم
۲/۸-۳/۵	متوسط
۳/۵-۴/۵	زیاد
۴/۵-۵	بسیار زیاد

E= میزان مواجهه هفتگی (میکروگرم بر متر مکعب)

F= تعداد دفعات مواجهه در هفته (روز در هفته)

C= غلظت آلاینده (میکروگرم بر متر مکعب)

W= میانگین ساعت کاری در هفته (۴۰ ساعت در هفته)

D= میانگین زمان هر مواجهه (ساعت در روز)

پس از محاسبه میانگین مواجهه هفتگی (E)، درجه مواجهه با استفاده از جدول ۲ مشخص گردید.

تعیین سطح ریسک (Level Risk)

در مرحله بعد، نمره ریسک یا سطح ریسک با توجه به درجه خطر ماده شیمیایی (HR) و درجه مواجهه (ER) با استفاده از رابطه زیر محاسبه گردید:

$$\text{Risk level}=(HR+ER)^{1/2}$$

رتبه‌بندی ریسک (Rating Risk)

بر مبنای جدول ۳، با توجه به مقدار عددی ریسک، سطح ریسک که شامل پنج سطح قابل چشم‌پوشی، کم، متوسط، زیاد و بسیار زیاد بود، تعیین گردید.

تجزیه و تحلیل آماری

داده‌های به‌دست‌آمده از سنجش مقدار فیوم‌ها توسط نرم‌افزار MINITAB 17 آنالیز شدند. از سوی دیگر، داده‌ها با استفاده از آزمون‌های t، Pearson و رگرسیون لجستیک تحلیل گردیدند. در این مطالعه سطح معناداری آماری معادل (P<۰/۰۵) در نظر گرفته شد.

یافته‌ها

نتایج اندازه‌گیری غلظت فیوم کل و منگنز در نمونه‌های برداشت‌شده از ناحیه تنفسی جوشکاران در جدول ۴ ارائه شده است. یافته‌های حاصل از نمونه‌برداری هوای منطقه تنفسی جوشکاران نشان داد که میانگین تراکم غلظت مواجهه جوشکاران با فیوم کل و منگنز به‌ترتیب معادل ۱/۶۷±۹/۵۶ و ۰/۰۸±۰/۴۵ میلی‌گرم بر متر مکعب می‌باشد.

نتایج آزمون t زوجی حاکی از آن هستند که ارتباط معناداری میان غلظت منگنز موجود در فیوم جوشکاری با غلظت فیوم کل وجود دارد (P<۰/۰۵). نتایج آزمون Pearson نیز نشان‌دهنده رابطه خطی بسیار قوی بین غلظت فیوم کل و غلظت منگنز هوای تنفسی بودند (r=۰/۹، P<۰/۰۵).

جدول ۵ مقایسه میانگین غلظت فیوم‌های کل و منگنز را با حد مجاز توصیه‌شده نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، میانگین مقادیر منگنز و فیوم کل در ایستگاه‌های جوشکاری بالاتر از حد مجاز شغلی (TLV-TWA) توصیه‌شده توسط انجمن متخصصان بهداشت صنعتی آمریکا (ACGIH) برای فلز منگنز

جدول ۴: اندازه‌گیری غلظت فیوم‌های جوشکاری و منگنز و متغیرهای محیطی در ناحیه تنفسی جوشکاران

کد جوشکار یا نمونه	غلظت فیوم (میلی‌گرم بر متر مکعب)	غلظت منگنز (میلی‌گرم بر متر مکعب)	دما (درجه سلسیوس)	رطوبت نسبی (درصد)	میانگین سرعت باد (متر بر ثانیه)
۱	۲/۱۹	۰/۰۹	۲۴/۱	۷۷	۳
۲	۰/۵۰	۰/۰۱	۲۴/۱	۷۷	۳
۳	۱/۹۶	۰/۱۱	۲۴/۱	۷۷	۳
۴	۱/۸۴	۰/۱۰	۲۵/۳	۷۰	۲
۵	۱/۴۲	۰/۰۵	۲۵/۳	۷۰	۲
۶	۱/۱۷	۰/۱۰	۲۵/۳	۷۰	۲
۷	۰/۵۱	۰/۰۰	۲۵/۹	۶۶	۳/۵
۸	۱/۸۸	۰/۰۶	۲۵/۹	۶۶	۳/۵
۹	۱/۲۱	۰/۰۴	۲۵/۵	۶۰	۵/۵
۱۰	۱۶/۵۳	۰/۷۹	۲۵/۵	۶۰	۵/۵
۱۱	۳۵/۳۴	۱/۶۴	۲۴	۷۳	۲/۵
۱۲	۰/۶۰	۰/۰۲	۲۴	۷۳	۲/۵
۱۳	۱۰/۱۳	۰/۴۶	۲۴	۷۳	۲/۵
۱۴	۳/۷۰	۰/۱۸	۲۵/۶	۶۶	۴/۵
۱۵	۰/۱۵	۰/۰۰	۲۱/۱	۷۷	۳/۵
۱۶	۴/۱۸	۰/۲۵	۲۱/۱	۷۷	۳/۵
۱۷	۱۸/۵۲	۱/۴۶	۲۱/۱	۷۷	۳/۵
۱۸	۶/۸۷	۰/۳۷	۲۳/۶	۶۳	۳/۵
۱۹	۱۷/۳۹	۰/۸۲	۲۳/۶	۶۳	۳/۵
۲۰	۳/۱۵	۰/۱۶	۲۶	۶۴	۲/۵
۲۱	۱۵/۹۱	۰/۷۴	۲۶/۹	۷۶	۳
۲۲	۲۵/۲۰	۱/۲۵	۲۶/۹	۷۶	۳
۲۳	۶/۶۵	۰/۳۸	۲۶/۹	۷۶	۳
۲۴	۱۰/۳۶	۰/۵۶	۲۷	۷۹	۳
۲۵	۲/۲۴	۰/۱۱	۲۷	۷۹	۳
۲۶	۱۴/۰۴	۰/۶۳	۲۷	۷۹	۳
۲۷	۲۵/۹۹	۱/۲۶	۲۶/۸	۶۳	۳/۵

ادامه جدول ۴.

۲۸	۵/۴۶	۰/۲۶	۲۶/۸	۶۳	۳/۵
۲۹	۱۲/۲۳	۰/۴۶	۲۶/۸	۶۳	۳/۵
۳۰	۲۱/۶۹	۰/۸۳	۲۶/۷	۵۸	۳/۵
۳۱	۸/۲۳	۰/۳۳	۲۶/۷	۵۸	۳/۵
۳۲	۲۳/۱۸	۱/۰۴	۲۶/۷	۵۸	۳/۵
۳۳	۱/۹۵	۰/۰۷	۲۷/۲	۶۳	۴
۳۴	۱/۰۵	۰/۰۲	۲۷/۲	۶۳	۴
۳۵	۳۰/۹۱	۱/۰۸	۲۷/۲	۶۳	۴
حداقل	۰/۱۵	۰/۰۰	۲۱/۱	۵۸	۲
حداکثر	۳۵/۳۴	۱/۶۴	۲۷/۲	۷۹	۵/۵
انحراف معیار±میانگین	۹/۵۶±۱/۶۷	۸/۰۸±۰/۴۵	۰/۳۰±۲۵/۳	۱/۲۱±۶۹	۳/۳±۰/۱۳

جدول ۵: مقایسه میزان غلظت فیوم‌های کل و منگنز هوای تنفسی جوشکاران با میزان مجاز مواجهه

آلاینده	میانگین غلظت (میلی‌گرم بر متر مکعب)	TLV-TWA (میلی‌گرم بر متر مکعب)	T	سطح معناداری
فیوم کل	۹/۵۶	۵	۲/۷۲	۰/۰۱
فیوم منگنز	۰/۴۵	۰/۰۲	۵/۴۸	۰/۰۰۰

جدول ۶: رتبه ریسک مواجهه با فیوم‌های کل و منگنز در فرایند جوشکاری

	میزان مواجهه هفتگی / مقدار حد مجاز	ضریب خطر	ضریب مواجهه	ضریب خطر کمی	سطح خطر کیفی
فیوم کل	۲/۲۹	۲	۵	۳/۱	متوسط
فیوم منگنز	۲۷	۳	۵	۳/۸	زیاد

(۰/۰۲ میلی‌گرم بر متر مکعب) و فیوم کل (۵ میلی‌گرم بر متر مکعب) می‌باشد. بر مبنای نتایج آزمون t تک‌نمونه‌ای می‌توان گفت که این اختلاف معنادار می‌باشد (جدول ۵).

برای تعیین ارتباط بین مواجهه کارگران جوشکار با فیوم جوشکاری و منگنز موجود در آن و نیز تعیین عوامل محیطی اثرگذار بر غلظت آلاینده‌های هوا از آزمون رگرسیون لجستیک استفاده شد. نتایج نشان دادند که ارتباط معناداری بین مواجهه با فیوم‌های کل و منگنز در منطقه تنفسی با دما، رطوبت نسبی و سرعت جریان هوا وجود ندارد (P<۰/۰۵).

نتایج حاصل از ارزیابی ریسک و تعیین رتبه ریسک مواجهه با فیوم‌های جوشکاری و منگنز موجود در آن طی فرایند جوشکاری در جدول ۶ ارائه شده است. در این مطالعه درجه خطر (HR)

فیوم‌های جوشکاری و منگنز با توجه به اثرات سمی یا عوارض زیان‌آور شیمیایی به‌ترتیب معادل ۲ و ۳ برآورد گردید. متوسط مواجهه افراد در یک شیفت کاری، هشت ساعت در روز به مدت شش روز در هفته در نظر گرفته شد. با توجه به جدول ۳، رتبه ریسک در مواجهه با فیوم کل، متوسط و در مواجهه با منگنز، زیاد می‌باشد.

بحث و نتیجه‌گیری

پژوهشگران بسیاری به ارزیابی مواجهه با عوامل مخاطره‌آمیز در طول فرایندهای مختلف جوشکاری پرداخته‌اند [۱،۲۹]. با این وجود، مطالعات در ارتباط با تعیین رتبه ریسک تماس جوشکاران با فیوم حاصل از فرایندهای جوشکاری مستندسازی نشده است. مواجهه شغلی با فیوم‌های جوشکاری از جمله منگنز یکی از مهم‌ترین مشکلات صنایع می‌باشد؛ به همین دلیل تعداد مطالعات در زمینه مواجهه جوشکاران با فیوم‌های جوشکاری در سال‌های اخیر گسترش یافته است. مواجهه شغلی با فیوم‌های جوشکاری حاوی منگنز می‌تواند باعث بروز علائم عصبی- رفتاری شود [۹].

نتایج مطالعه حاضر نشان دادند که تراکم غلظت منگنز در منطقه تنفسی جوشکاران به‌طور معناداری بالاتر از حد مجاز شغلی توصیه‌شده از سوی ACGIH می‌باشد. در مطالعه‌ای که توسط حسنی و همکاران در ارتباط با جوشکاران خطوط انتقال گاز انجام شد، میزان غلظت منگنز در منطقه تنفسی جوشکاران بسیار بالاتر از حد مجاز بود که این مهم با نتایج مطالعه حاضر همخوانی دارد [۲]. در مطالعه‌ای دیگر، مهری‌فر و همکاران میزان مواجهه کارگران جوشکار با منگنز را در یک مجتمع ذوب‌آهن مورد مطالعه قرار دادند. نتایج بیانگر آن بودند که میانگین تراکم غلظت مواجهه جوشکاران با فیوم کل و فیوم منگنز بالاتر از حد استاندارد بوده است [۳۰]. Lehnert و همکاران نیز در مطالعه‌ای میزان مواجهه با فیوم‌های قابل‌تنفس و استنشاق را در جوشکاران مورد بررسی قرار دادند و گزارش نمودند که از میان ۳۳ نمونه اندازه‌گیری‌شده، تنها منگنز پنج نمونه پایین‌تر از حد مجاز بود که این مهم حاکی از مواجهه اکثر جوشکاران با مقادیر قابل‌توجه منگنز می‌باشد [۳۱]. در مطالعه Instly و همکاران نیز نشان داده شد که کارگران مشغول به فعالیت در کارگاه‌های فلزکاری، در معرض مواجهه با منگنز و اکسید آهن بیش از حد مجاز می‌باشند [۱۶]. این یافته با نتایج مطالعه حاضر همسویی دارد.

به نظر می‌رسد که اگرچه فلز منگنز درصد کمی از آلیاژهای الکترود مصرفی در فرایند جوشکاری را تشکیل می‌دهد؛ اما جوشکاران در فرایندهای مختلف جوشکاری در معرض مواجهه بیش از حد مجاز توصیه‌شده با فیوم‌های ناشی از این فلز قرار دارند. در مطالعه حاضر میانگین غلظت مواجهه با منگنز در ایستگاه‌های جوشکاری معادل ۰/۰۸±۰/۴۵ میلی‌گرم بر متر مکعب بود که ۲۲/۵ برابر بالاتر از حد استاندارد می‌باشد. جوشکاران صنعت مورد مطالعه در بخشی از فرایند جوشکاری در محفظه‌های بسته دیگ بخار مشغول به فعالیت می‌باشند. به نظر می‌رسد حضور در این فضای بسته و عدم وجود امکانات کنترلی از جمله تهویه مناسب در این بخش باعث استنشاق فیوم‌های بیشتر می‌شود. می‌توان نتیجه گرفت که این مقدار فیوم منگنز ممکن است منجر به بروز بیماری و آسیب‌های عصبی در صنعت مورد نظر شود. این امر لزوم تعیین رتبه ریسک تماس جوشکاران با فیوم حاصل از فرایندهای جوشکاری را نشان می‌دهد.

نتایج حاصل از ارزیابی ریسک در مطالعه حاضر نشان دادند که جوشکاران در معرض ریسک زیاد مواجهه با فیوم منگنز و ریسک متوسط مواجهه با فیوم کل قرار دارند. در مطالعه‌ای که توسط Abelman و همکاران با عنوان «ارزیابی ریسک تماس شغلی با فلزات فیوم‌های جوشکاری» انجام شد، نتایج نشان‌دهنده سطوح ریسک غیر قابل‌قبول برای تمام سناریوهای تعریف‌شده بودند [۲۲]. در مطالعه‌ای دیگر، گل‌بابایی و همکاران به ارزیابی ریسک بهداشتی مواجهه با فیوم کل در فرایندهای مختلف

جوشکاری در یک صنعت خودروسازی پرداختند و گزارش نمودند که رتبه ریسک جوشکاران قوس الکتریکی نسبت به سایر فرایندهای جوشکاری بالاتر می‌باشد [۲۰]. همچنین فیض‌الله و همکاران در پژوهشی به ارزیابی ریسک بهداشتی مواد شیمیایی در یک کارگاه تولید محصولات بتنی پرداختند. نتایج نشان دادند که فیوم آهن حاصل از جوشکاری، بالاترین رتبه ریسک را به خود اختصاص داده است که تا حدودی با یافته‌های مطالعه حاضر مطابقت دارد. در مطالعه‌ای مشابه، گل‌بابایی و همکاران به ارزیابی ریسک نیمه‌کمی فلزات مختلف به روش سنگاپور پرداختند. در این مطالعه میزان ریسک برای فلز منگنز در سطح متوسط برآورد گردید که این میزان ریسک نسبت به مطالعه حاضر کمتر می‌باشد [۲۱،۳۲]. Yoon و همکاران در مطالعات خود افزایش ریسک سرطان ریه در جوشکاران به دلیل مواجهه با فیوم‌ها را تأیید کرده‌اند [۲۴،۳۳]. علت بالابودن رتبه ریسک، بالابودن درجه خطر و میزان مواجهه در فرایند جوشکاری می‌باشد. از آنجایی که درجه خطر فیوم کل و فیوم منگنز قابل‌تغییر نیست، با انجام اقدامات کنترلی بهتر و کاهش زمان مواجهه با فیوم‌ها می‌توان رتبه ریسک را به میزان قابل‌توجهی کاهش داد. از محدودیت‌های این پژوهش می‌توان به کم‌بودن تعداد نمونه‌ها با توجه به محدودیت تعداد کارگران شاغل در بخش تولید اشاره کرد. به نظر می‌رسد یکی از دلایل معنادارنبودن ارتباط میان فاکتورهای محیطی با غلظت فیوم کل و فیوم منگنز، محدودیت در تعداد نمونه‌ها می‌باشد. نتایج پژوهش حاضر نشان‌دهنده مواجهه بیش از حد جوشکاران با فیوم کل و فیوم منگنز بودند که این مهم با نتایج سایر مطالعات همخوانی دارد. از آنجایی که ریسک بالا نشان‌دهنده اثرات نامطلوب بر سلامت ناشی از تماس با فیوم‌ها می‌باشد، احتمال می‌رود که جوشکاران مورد مطالعه دچار عوارض نامطلوب بهداشتی شوند.

در این مطالعه رتبه ریسک مواجهه با فیوم کل در سطح متوسط برآورد گردید. به‌منظور حفظ و ارتقای سلامت جمعیت کاری مورد مطالعه نیاز است اقداماتی از قبیل حفظ و اعمال کنترل‌ها، پایش هوا (در صورت نیاز)، آموزش کارکنان و بازنگری ارزیابی، هر سه سال یک بار صورت گیرد. بر مبنای نتایج، ریسک مواجهه با فیوم منگنز در سطح زیاد ارزیابی شد. در این راستا نیاز است علاوه بر اقدامات فوق، تهیه برنامه حفاظت تنفسی، تهیه وسایل حفاظت فردی مناسب، ایجاد و اعمال روش‌های اجرایی ایمن کار، تهیه روش‌های اجرایی برای شرایط اورژانسی و اضطراری و ارزیابی مجدد پس از تمامی اقدامات صورت گیرد.

قدردانی

بدین‌وسیله از معاونت پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی مازندران که از این پایان‌نامه با کد اخلاق IR.MAZUMS.REC.1398.4955 حمایت مالی نمودند و همچنین از جناب آقای مهندس صادقیان به دلیل همکاری در راستای انجام این طرح پژوهشی تشکر و قدردانی می‌گردد.

References

1. Mansouri N, Atbi F, Moharamnezhad N, Rahbaran DA, Alahiari M. Gravimetric and analytical evaluation of welding fume in an automobile part manufacturing factory. J Res Health Sci 2008; 8(2):1-8.
2. Hassani H, Golbabaei F, Ghahri A, Hosseini M, Shirkhanloo H, Dinari B, et al. Occupational exposure to manganese-containing welding fumes and pulmonary function indices among natural gas transmission pipeline welders. J Occup Health 2012; 54(4):316-22 (Persian).

3. Lyttle K. Optimizing consumable selection increases productivity, decreases fumes. Gases Welding Distribution 2004; 48:45-7.
4. Hobson A, Seixas N, Sterling D, Racette BA. Estimation of particulate mass and manganese exposure levels among welders. Ann Occup Hyg 2010; 55(1):113-25.
5. Gomes JF. Analysis of welding fumes: a short notice on the comaprison between two sampling techniques. Toxicol Environ Chem 2005; 87(1-4):345-9.
6. Razos P, Christides A. An investigation on heavy metals in an industrial area in Greece. Int J Environ Res 2010; 4(4):785-94.
7. Antonini JM. Health effects of welding. Crit Rev Toxicol 2003; 33(1):61-103.
8. Antonini JM, Zeidler-Erdely PC, Young SH, Roberts JR, Erdely A. Systemic immune cell response in rats after pulmonary exposure to manganese-containing particles collected from welding aerosols. J Immunotoxicol 2012; 9(2):184-92.
9. Flynn MR, Susi P. Neurological risks associated with manganese exposure from welding operations–a literature review. Int J Hyg Environ Health 2009; 212(5):459-69.
10. Cersosimo MG, Koller WC. The diagnosis of manganese-induced parkinsonism. Neurotoxicology 2006; 27(3):340-6.
11. Colosimo C, Guidi M. Parkinsonism due to ephedrone neurotoxicity: a case report. Eur J Neurol 2009; 16(6):e114-5.
12. Guilarte TR, Gonzales KK. Manganese-induced parkinsonism is not idiopathic Parkinson's disease: environmental and genetic evidence. Toxicol Sci 2015; 146(2):204-12.
13. Wyckoff J, McBride M. Manganese exposure from welding: an emerging liability risk. Environ Claims J 2004; 16(2):117-34.
14. Ostiguy C, Asselin P, Malo S, Nadeau D, DeWals P. Management of occupational manganism: consensus of an experts' panel studies and research projects. Report 2005; R-417:57.
15. American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH). TLV's®: Threshold limit values and biological exposure indices for 2019. Ohio: American Conference of Governmental Industrial Hygienists; 2019.
16. Insley AL, Maskrey JR, Hallett LA, Reid RC, Hynds ES, Winter C, et al. Occupational survey of airborne metal exposures to welders, metalworkers, and bystanders in small fabrication shops. J Occup Environ Hyg 2019; 16(6):410-21.
17. Li GJ, Zhang LL, Lu L, Wu P, Zheng W. Occupational exposure to welding fume among welders: alterations of manganese, iron, zinc, copper, and lead in body fluids and the oxidative stress status. J Occup Environ Med 2004; 46(3):241-8.
18. Ward E, Yeh CL, Ma R, Snyder S, Rosenthal F, Dydak U. S11-1 Occupational exposure to manganese and iron from welding fume in a United States cohort. Occup Environ Med 2016; 73:A112.
19. Baker MG, Criswell SR, Racette BA, Simpson CD, Sheppard L, Checkoway H, et al. Neurological outcomes associated with low-level manganese exposure in an inception cohort of asymptomatic welding trainees. Scand J Work Environ Health 2015; 41(1):94-101.
20. Golbabaei F, Mahdizade M, Gheasedin M, Mohajer K, Eskandari D. Risk assessment of welders exposure to total fume in an automobile industry. Health Safety Work 2012; 1(1):9-18.
21. Hossein Feizollah F, Babaei Pouya A, Mosavianasl Z. Chemical health risk assessment: a case study at a concrete product workplace. J Occup Environ Health 2017; 3(2):105-11 (Persian).
22. Abelmann PA. Breathing-zone and aspirated welding fume exposure assessment. Fractional factorial design. [Doctoral Dissertation]. Chicago: University of Illinois; 2010.
23. Sjögren B, Hansen KS, Kjuus H, Persson PG. Exposure to stainless steel welding fumes and lung cancer: a meta-analysis. Occup Environ Med 1994; 51(5):335-6.
24. Yoon CS, Paik NW, Kim JH. Fume generation and content of total chromium and hexavalent chromium in flux-cored arc welding. Ann Occup Hyg 2003; 47(8):671-80.
25. Azari R. Textbook of public health: chemicals health risk assessment in individual exposure. 3rd ed. Tehran: Arjomand; 2007 (Persian).
26. Azari MR, Nasermoaddeli A, Movahadi M, Mehrabi Y, Hatami H, Soori H, et al. Risk assessment of lung cancer and asbestosis in workers exposed to asbestos fibers in brake shoe factory in Iran. Indust Health 2010; 48(1):38-42.
27. de Joode BV, van Hemmen JJ, Meijster T, Major V, London L, Kromhout H. Reliability of a semi-quantitative method for dermal exposure assessment (DREAM). J Exposure Sci Environ Epidemiol 2005; 15(1):111-20.
28. National Institute for Occupational Safety and Health

(NIOSH). Method 7301: Elements by ICP (aqua regia ashing). NIOSH manual of analytical methods (NMAM). Washington, DC: National Institute for Occupational Safety and Hazard; 2015.
29. Mäkinen M, Linnainmaa M. Dermal exposure to chromium in the grinding of stainless and acid-proof steel. Ann Occup Hyg 2004; 48(3):197-202.
30. Mehrifar Y, Pirami H, Farhang Dehghan S. The Relationship between exposure to manganese in welding fumes and incidence of migraine headache symptoms. Tehran Univ Med J 2018; 76(2):135-41 (Persian).
31. Lehnert M, Pesch B, Lotz A, Pelzer J, Kendzia B, Gawrych K, et al. Exposure to inhalable, respirable, and ultrafine particles in welding fume. Ann Occup Hyg 2012; 56(5):557-67.
32. Golbabaei F, Khadem M, Hosseini M, Hassani H, Ghahri A, Divani R, et al. Exposure to metal fumes among confined spaces welders. Italian J Occup Environ Hyg 2012; 3(4):196-202.
33. Yoon CS, Paik NW, Kim JH, Chae HB. Total and soluble metal contents in flux-cored arc welding fumes. Aerosol Sci Technol 2009; 43(6):511-21.