Original article

Investigation of the Welding Workers' Exposure to Manganese Fume in a Factory in Amol, Iran

Mahmoud Mohammadyan[1]
Mohsen Gorgani Firoozjaei[2]
Jamshid Yazdani Charati[3]
Milad Pouransari[2]
Shahram Eslami[4]
Razieh Yoosefinejad[5]
Mohammadreza Zarei[2*]

1- PhD in Air Pollution, Professor, Health Sciences Research Center, School of Health, Mazandaran University of Medical Science, Sari, Iran
2- MSc, Department of OccuPational Health, School of Health, Mazandaran University of Medical Science, Sari, Iran
3- Professor of Biostatistics, Department of Biostatistics and Epidemiology, School of Health, Health Sciences Research Center, Mazandaran University of Medical Sciences, Sari, Iran
4- PhD Candidate in Pharmaceutical Sciences, Pharmaceutical Sciences Research Center, Student Research Committee, Faculty of Pharmacy, Mazandaran University of Medical Sciences, Sari, Iran
5- BSc, Department of OccuPational Health, Student Research Committee, Mazandaran University of Medical Sciences, Sari, Iran

***Corresponding author:** Mohammadreza Zarei, Department of OccuPational Health, Student Research Committee, School of Public Health, Mazandaran University of Medical Sciences, Sari, Iran
Email: zareimz64@gmail.com

Received: 15 August 2021
Accepted: 03 October 2021

ABSTRACT

Introduction and Purpose: Workers' exposure to manganese fumes emitted from the welding Process can lead to various ranges of diseases. This study aimed to investigate the concentration of manganese fume in the respiratory area of workers working at an industrial shed manufacturing factory in Amol, Iran.

Methods: This descriptive-analytical and cross-sectional study was conducted on the welders working at an industrial shed manufacturing factory in Amol, Iran (case group; n=35) and employees of administrative departments (control group; n=35). Inhalable Particles concentration and manganese concentration in welding fumes were measured using the NIOSH-0600 and NIOSH-7300 standard methods, respectively. Data analysis was Performed by SPSS software (version 25) using descriptive (mean and standard deviation) and analytical statistical methods (chi-square test, Spearman's rank correlation coefficient, and regression testing).

Results: The mean exposures of welders to inhalable Particles and manganese in welding fume were 2.4±1.2 and 0.15±0.83 mg/m^3, respectively. The maximum and minimum concentrations of inhalable Particles and manganese in welding fumes were 6 and 0.36 mg/m^3, as well as 0.7 and 0.04 mg/m^3, resPectively. There was a significant relationship between average Particle concentration and manganese concentration in welding fume among the two groups of maximum and minimum exposure limits. Moreover, a significant association was observed between the concentration of inhalable Particles and the concentration of manganese in welding fumes ($P<0.001$).

Conclusion: The exposure of all welders to manganese welding fume exceeded the allowable limit. Therefore, technical, engineering, and management control measures are recommended to reduce exposure to manganese.

Keywords: Manganism, Metal fume, Occupational exposure, Welding

▶ **Citation:** Mohammadyan M, Gorgani Firoozjaei M, Yazdani Charati J, Pouransari M, Eslami Sh, Yoosefinejad R, Zarei M. Investigation of the Welding Workers' Exposure to Manganese Fume in a Factory in Amol, Iran. Journal of Health Research in Community. Winter 2022;7(4): 15-26.

مقاله پژوهشی

بررسی مواجهه کارگران جوشکار با فیوم منگنز در یکی از کارخانه‌های شهرستان آمل

محمود محمدیان[1]
محسن گرگانی فیروزجایی[2]
جمشید یزدانی چراتی[3]
میلاد پورانصاری[2]
شهرام اسلامی[4]
راضیه یوسفی‌نژاد[5]
محمدرضا زارعی[2*]

۱. دکترای تخصصی آلودگی هوا، مرکز تحقیقات علوم بهداشتی، پژوهشکده اعتیاد، دانشگاه علوم پزشکی مازندران، ساری، ایران
۲. کارشناس ارشد، گروه بهداشت حرفه‌ای، کمیته تحقیقات دانشجویی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی مازندران، ساری، ایران
۳. استاد آمار زیستی، گروه آمار زیستی و اپیدمیولوژی، دانشکده بهداشت، مرکز تحقیقات علوم بهداشتی، دانشگاه علوم پزشکی مازندران، ساری، ایران
۴. دانشجوی دکترای علوم دارویی، مرکزتحقیقاف علوم دارویی، کمیته تحقیقات دانشجویی، دانشکده داروسازی، دانشگاه علوم پزشکی مازندران، ساری، ایران
۵. کارشناس، گروه بهداشت حرفه‌ای، کمیته تحقیقات دانشجویی، دانشگاه علوم پزشکی مازندران، ساری، ایران

* نویسنده مسئول: محمدرضا زارعی، گروه بهداشت حرفه‌ای، کمیته تحقیقات دانشجویی، دانشگاه علوم پزشکی مازندران، ساری، ایران

Email: zareimz64@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۵/۲۴
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۷/۱۱

چکیده

مقدمه و هدف: مواجهه با منگنز ناشی از فرایند جوشکاری ممکن است موجب ابتلا به بیماری‌های گوناگونی شود. این مطالعه با هدف بررسی غلظت منگنز حاصل از فرایند جوشکاری در منطقه تنفسی کارگران کارخانه سوله‌سازی شهرستان آمل انجام شد.

روش کار: مطالعه حاضر یک مطالعه توصیفی-تحلیلی از نوع مقطعی است. ۳۵ نفر از جوشکاران کارخانه سوله‌ساری شهرستان آمل (مورد) و ۳۵ نفر از شاغلان واحدهای اداری (شاهد) در این مطالعه شرکت کردند. غلظت ذرات قابل استنشاق و غلظت منگنز در فیوم‌های جوشکاری به ترتیب با استفاده از روش‌های استاندارد NIOSH-0600 و NIOSH-7300 اندازه‌گیری شد. داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۵ و روش‌های آماری توصیفی (میانگین و انحراف معیار) و تحلیلی (مربع کای دو، ضریب همبستگی SPearman و آزمون رگرسیون) تجزیه‌وتحلیل شد.

یافته‌ها: میانگین مواجهه جوشکاران با ذرات قابل استنشاق و منگنز در فیوم جوشکاری به ترتیب ۱/۲±۲/۴ و ۰/۸۳±۰/۱۵ میلی گرم بر مترمکعب بود. حداکثر غلظت ذرات قابل استنشاق و منگنز در فیوم جوشکاری به ترتیب ۶ و ۰/۳۶ و حداقل ۰/۷ و ۰/۰۴ میلی گرم بر مترمکعب بود. بین میانگین غلظت ذرات و غلظت منگنز در فیوم جوشکاری در بین دو گروه کمتر و بیشتر از حد مجاز مواجهه و همچنین غلظت ذرات قابل استنشاق و غلظت منگنز در فیوم‌های جوشکاری ارتباط معنی‌داری وجود داشت ($P<0/001$).

نتیجه‌گیری: میزان مواجهه تمام جوشکارن با منگنز فیوم جوشکاری بیشتر از حد مجاز بوده است؛ بنابراین، انجام اقدامات کنترلی فنی، مهندسی و مدیریتی برای کاهش مواجهه با منگنز پیشنهاد می‌شود.

کلمات کلیدی: جوشکاری، فیوم فلزی، منگانیسم، مواجهه شغلی

◄ **استناد:** محمدیان، محمود؛ گرگانی فیروزجایی، محسن؛ یزدانی چراتی، جمشید؛ پورانصاری، میلاد؛ اسلامی، شهرام؛ یوسفی‌نژاد، راضیه؛ زارعی، محمدرضا. بررسی مواجهه کارگران جوشکار با فیوم منگنز در یکی از کارخانه‌های شهرستان آمل. مجله تحقیقات سلامت در جامعه، زمستان ۱۴۰۰؛۷(۴): ۲۶-۱۵.

مقدمه

افراد در زندگی روزانه و همچنین در محیط کار خود با مواد شیمیایی گوناگونی مواجهه دارند [۱]. برخی از این مواد شیمیایی

خطرهای بهداشتی زیادی برای سلامتی دارد و مواجهه با آن‌ها ممکن است اثرات مضر مختلفی بر سلامتی کارگران داشته باشد [۲]. جوشکاری یکی از حرفه‌های توأم با خطر است و کارگران شاغل در این بخش در معرض عوامل زیان‌آور زیادی ازجمله مواد شیمیایی مختلف، گازها، تشعشعات، دود و فیوم‌ها هستند [۳،۴]. جوشکاری فرایندی رایج برای اتصال فلزات از طریق گرما یا قوس الکتریکی است [۵]. عوامل خطرناکی از قبیل فیوم‌ها، گازها، بخارات، حرارت، صدا و تشعشعات مضر که در عملیات جوشکاری قوس الکتریکی تولید می‌شوند، از مواردی هستند که کارگران باید در مقابل آن‌ها محافظت شوند تا دچار ضعف و ازکارافتادگی نشوند. بزرگ‌ترین نگرانی از دیدگاه بهداشت صنعتی برای کارگران شاغل در بخش جوشکاری قوس الکتریکی، مواجهه با فیوم‌هاست [۴،۶].

در عملیات جوشکاری، میزان فیوم‌های تولیدشده تابعی از نوع فرایند جوشکاری، نوع آلیاژ، میزان آمپراژ و ولتاژ الکتریسیته، گاز حافظ، حرارت تبخیر و واکنش ترکیبات استفاده‌شده در الکترودهاست [۶]. ازآنجاکه فیوم‌ها ذرات بسیار ریزی در حد یک میکرون و کوچک‌تر از آن هستند، در داخلی‌ترین بخش ریه و قسمت‌های تحتانی آن نفوذ می‌کنند و با توجه به نوع فیوم فلزی و میزان غلظت آن، عوارض بسیاری را بر سلامتی انسان تحمیل می‌کنند. فیوم‌های جوشکاری موجب برونشیت، تحریک راه تنفسی و برخی از آن‌ها موجب سرطان و تب فلزی می‌شوند. علاوه بر مخاطرات موجود، فیوم‌ها بر کلیه‌ها، قلب و عروق، پوست و اندام تناسلی نیز اثرات نامطلوبی می‌گذارند [۶]. ذراتی که در قسمت فوقانی ریه رسوب می‌کنند، به‌آسانی با سرفه یا عطسه بیرون می‌آیند؛ اما ذرات قابل استنشاق فیوم‌ها به قسمتهای عمیق ریه یا آلوئول‌ها می‌رسند و برای مدت طولانی در ریه باقی می‌مانند [۷،۸].

جوشکاری قوس الکتریکی دستی (Manual Metal Arc) و جوشکاری قوس الکتریکی با گاز بی‌اثر (Metal Inert Gas) اثرات سیستولیک بر ماکروفاژهای آلوئولی دارد [۶]. فیوم‌های جوشکاری از اکسیدهای فلزی مختلفی تشکیل شده‌اند. عنصر اصلی فیوم تولیدشده در طول عملیات جوشکاری، اکسید آهن است. فلزات مهم دیگری که در فیوم‌های جوشکاری یافت می‌شوند، شامل منگنز، کروم، نیکل، سرب، مس، مولیبدن، کبالت، کادمیوم، روی و آلومینیوم هستند [۵]. بیشتر فیوم‌های تولیدشده در فرایندهای مختلف جوشکاری درصد کمی منگنز دارند که اثرات مضر فراوانی بر انسان می‌گذارد [۶،۹]. منگنز جزء ضروری در فرایند جوشکاری فولاد است که باعث استحکام فلز می‌شود و از ترک برداشتن فولاد در فرایند تولید جلوگیری می‌کند. همچنین ویژگی‌های متالوژیکی را بهبود می‌بخشد [۵،۱۰]. از کاربردهای مهم منگنز می‌توان به تولید فولاد، آهن و عامل اکسیدکننده در پوشش الکترود جوشکاری را نام برد [۱۱،۱۲].

منگنز عنصری ضروری برای بدن است و نقش مهمی در عملکردهای بیولوژیکی بدن ازجمله بهبود تحمل گلوکز و مدیریت دیابت ایفا می‌کند [۱۴-۱۲]. در صورت استنشاق و مواجهه بیش از حد، فیوم‌های این عنصر سبب بروز اثرات عصب‌شناختی در کارگران مواجهه‌یافته می‌شود. گاهی اوقات مسمومیت با منگنز عارضه منگانیسم را به وجود می‌آورد. منگانیسم نوعی سندرم عصب‌شناختی است که مشخصه آن غیرعادی بودن سیستم عصبی مرکزی و اختلالات روان‌پریشی است [۱۲،۱۳]. علائم عصبی حتی تا ۱۴ سال پس از پایان مواجهه با منگنز ممکن است باقی بماند [۱۳]. منگانیسم شباهت‌های بسیار زیادی به بیماری پارکینسون دارد که در اثر استنشاق طولانی‌مدت منگنز رخ می‌دهد [۱۲]. منگنز علاوه بر اثرگذاری روی سیستم عصبی، به آسم شغلی و سرطان ریه منجر می‌شود و سیستم‌های تنفسی، کبدی، تولیدمثل و قلبی و عروقی را نیز تحت تأثیر قرار می‌دهد [۱۵،۱۶].

آژانس بین‌المللی تحقیقات روی سرطان (International Agency for Research on Cancer: IARC) ترکیبات منگنز را به‌عنوان ترکیبات سرطان‌زای گروه 2B تقسیم‌بندی

کرده است [۱۷]. با توجه به اثرات ذکرشده ناشی از ذرات فیوم جوشکاری ناشی از فلزات جوشکاری‌شده و الکترودهای جوشکاری که در کارگاه‌های جوشکاری مورد نظر از نوع الکترود ساخت یزد استفاده می‌شود و با توجه به بررسی‌های اولیه که نشان می‌دهند در ترکیب این الکترودها منگنز نیز وجود دارد و همچنین مسمومیت‌ها و بیماری‌های ناشی از تماس با ذرات فلزی منگنز موجود در این فیوم‌ها، اندازه‌گیری، ارزیابی و کنترل این ذرات در محیط کار ضروری است. برآوردهای اولیه نشان می‌دهد در اغلب کارگاه‌های جوشکاری به علت نبود وسایل ایمنی و تهویه مناسب و تأثیر فیوم‌های حاصل از جوشکاری، مشکلات جسمی برای کارگران این بخش از صنعت پیش می‌آید که آثار آن به صورت کوتاه‌مدت و بلندمدت موجب اثرات منفی بر فرد، خانواده و اجتماع خواهد شد [۱۸]. برای انجام هر اقدام کنترلی در زمینه فیوم‌های جوشکاری لازم است غلظت فیوم‌ها و مواد سمی موجود در آن‌ها شناسایی و ارزشیابی شود تا با استفاده از اطلاعات به‌دست‌آمده بتوان اقدامات مفید و کارآمدی را انجام داد. لذا این مطالعه با هدف تعیین میزان منگنز موجود در فیوم جوشکاری در منطقه تنفسی کارگران در یک کارخانه سوله‌سازی در شهرستان آمل انجام شد.

روش کار

مطالعه حاضر یک مطالعه توصیفی-تحلیلی از نوع مقطعی است. مطالعه حاضر روی ۷۰ نفر از شاغلان بخش‌های مختلف تولیدی به‌عنوان گروه مورد و اداری به‌عنوان گروه شاهد در یک کارخانه سوله‌سازی در شهرستان آمل به‌صورت سرشماری انجام شد.

الف) مشخصات محل مطالعه‌شده

کارخانه مطالعه‌شده، یکی از کارخانجات صنایع فلزی شهرستان آمل بود که فعالیت اصلی آن در زمینه طراحی و ساخت اسکلت فلزی در ابعاد وسیع است و در فعالیت‌های مختلفی مانند برشکاری ورق‌های فلزی، عملیات سوراخ‌کاری، مونتاژکاری و جوشکاری در این کارخانه کارگران با فیوم‌های فلزی در تماس هستند.

ب) تعداد نمونه آماری

به‌منظور انجام مطالعه، از بین کارکنان فعال در بخش‌های مختلف تولیدی (۱۱۰ نفر) و اداری (۴۰ نفر)، تعداد ۳۵ نفر که در فرایند جوشکاری مشغول بودند و به‌طور مستقیم با فیوم‌های جوشکاری مواجهه داشتند، به‌عنوان گروه مورد و تعداد ۳۵ نفر از واحدهای اداری به‌عنوان گروه شاهد انتخاب شدند.

پ) روش نمونه‌برداری

پس از گرفتن رضایت‌نامه کتبی از کارگران حائز شرایط مواجهه، از منطقه تنفسی آن‌ها نمونه‌برداری شد. نمونه‌برداری فردی از منطقه تنفسی ۳۵ نفر از کارگرانی انجام شد که در بخش‌های مختلف با فیوم‌های جوشکاری در طول یک شیفت کاری ۸ ساعته مواجهه داشتند. همچنین ۳۵ نمونه از منطقه تنفسی کارکنان قسمت‌های اداری به‌عنوان موارد مواجهه‌نیافته (شاهد) گرفته شد. درنهایت نتایج نمونه‌برداری با استاندارد حد مواجهه شغلی توصیه‌شده برای کشور ایران (کمیته فنی بهداشت حرفه‌ای ایران) (OccuPational ExPosure Limit: OEL) و همچنین TLV سازمان انجمن متخصصان بهداشت صنعتی آمریکا (American Conference of Governmental Industrial Hygienists: ACGIH) مقایسه شد [۱۹،۲۰]. برای تعیین دقیق میزان مواجهه کارگران، نمونه‌برداری از ابتدای شیفت کار شروع و تا انتهای زمان کار در همان شیفت ادامه داشت.

برای نمونه‌برداری از ذرات قابل استنشاق مطابق روش استاندارد شماره ۰۶۰۰ ارائه‌شده انستیتو ملی بهداشت و ایمنی شغلی آمریکا (NIOSH) [۲۰]، به‌منظور جمع‌آوری نمونه‌ها از پمپ نمونه‌بردار فردی ساخت شرکت SIBATA مدل ۸۰۸۶-۲

از کشور ژاپن و برای جداسازی بخش ذرات قابل استنشاق از یک نمونه‌بردار سیکلون (Higgins Dewell Cyclone) ساخت شرکت SKC از کشور انگلستان با هواگذر ۲/۲ لیتر بر دقیقه و برای نمونه‌برداری و تعیین وزن ذرات قابل استنشاق فیوم از یک فیلتر غشایی از جنس PVC با قطر ۳۷ میلی‌متر و با پورسایز ۲ میکرون ساخت شرکت SKC از کشور انگلستان استفاده شد.

ت) روش تحلیل و سنجش غلظت ذرات قابل استنشاق

قبل از نمونه‌برداری، فیلترها برای مدت ۲۴ ساعت در داخل دسیکاتور قرار گرفتند و پس از خشک شدن با یک ترازوی حساس با دقت یک میکروگرم (Sartorius ME5 ساخت کشور آلمان) وزن شدند. پس از کالیبراسیون، مدار نمونه‌برداری شامل سیکلون حاوی فیلتر وزن‌شده، اوریفیس بحرانی با دبی ۲/۲ لیتر بر دقیقه و پمپ نمونه‌برداری فردی با شلنگ‌های رابط به هم متصل و برای نمونه‌برداری استفاده شدند. نمونه‌برداری به‌صورت مداوم و در طول یک شیفت کاری ادامه داشت و در انتهای نمونه‌برداری، فیلترها با دقت و احتیاط از سیکلون خارج و در کاست قرار داده شدند.

برای حذف خطاهای نمونه‌برداری و تحلیل به ازای هر ۸ فیلتر نمونه، یک فیلتر شاهد در نظر گرفته شد و تمام مراحل کار به‌جز نمونه‌برداری از هوا روی آن‌ها انجام شد که در کل از ۸ عدد فیلتر به‌عنوان شاهد استفاده شد. قبل از توزین، فیلترهای نمونه و شاهد در کاست مخصوص قرار داده شدند و پس از رطوبت‌گیری در دسیکاتور به مدت ۲۴ ساعت، فیلترها دوباره وزن و تفاوت وزن اولیه و ثانویه به‌عنوان وزن ذرات قابل استنشاق ثبت شد. 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 استاندارد نمونه‌برداری‌شده (پس از تصحیح بر اساس دما و فشار) و همچنین سایر اطلاعات لازم در فرم‌ها و پرسش‌نامه‌ای ثبت شد که برای همین کار طراحی شده بود. برای تعیین حجم هوای نمونه‌برداری‌شده، زمان نمونه‌برداری در دبی نمونه‌برداری ضرب شد و با استفاده از میانگین دمای هوا هنگام نمونه‌برداری و فشار هوای کارگاه، تصحیحات لازم انجام شد تا حجم هوای استاندارد تعیین شود. درنهایت طبق رابطه ۱، غلظت ذرات در حجم هوای نمونه‌برداری‌شده تعیین و درنهایت میزان مواجهه کارگران در شرایط استاندارد تعیین شد.

رابطه ۱:
$$C = \frac{(W_2 - W_1) - (B_2 - B_1)}{V} \times 10^3 \ (mg / m^3)$$

در رابطه ۱، C غلظت ذرات قابل استنشاق جوشکاری در منطقه تنفسی کارگران، W1 و W2 وزن فیلترهای نمونه به ترتیب قبل و بعد از نمونه‌برداری بر حسب میلی‌گرم، B1 و B2 وزن فیلترهای شاهد به ترتیب قبل و بعد از نمونه‌برداری بر حسب میلی‌گرم و V حجم نمونه هوا بر حسب لیتر در شرایط استاندارد است.

ث) روش تحلیل و سنجش غلظت فلز منگنز

برای تعیین غلظت فلز منگنز طبق روش استاندارد شماره ۷۳۰۰ سازمان NIOSH عمل شد [۲۱]. به این صورت که در آزمایشگاه هر فیلتر به‌صورت جداگانه از کاست خارج و داخل بشر ۵۰ میلی‌لیتری قرار داده شد. سپس با پیپت ۵ میلی‌لیتر به آن اسید نیتریک غلیظ اضافه و بشر روی هات‌پلیت موجود در زیر هود انتقال داده شد. پس از انتظار برای اینکه حجم اسید که در اثر گرما به نقطه جوش خود رسیده بود، به یک میلی‌لیتر کاهش پیدا کند، دوباره با پیپت دو میلی‌لیتر اسید پرکلریک غلیظ به آن اضافه شد. دوباره پژوهشگران منتظر ماندند تا حجم اسید به یک میلی‌لیتر کاهش پیدا کند و اسید فیلتر را هضم کند و فلزات موجود در آن وارد فاز محلول شوند. درنهایت با استفاده از آب دیونیزه محلول مدنظر تا کمترین حد تشخیص دستگاه رقیق شد (برای فلز منگنز ۱ میکروگرم بر لیتر بود). برای تعیین غلظت

فلز منگنز در محلول آماده‌سازی‌شده، از دستگاه طیف‌بین نشر اتمی پلاسمای جفت‌شده القایی مدل Agilent ساخت کشور استرالیا آزمایشگاه مرکزی دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری استفاده شد.

ازآنجاکه دستگاه تحلیل ICP حساسیت زیادی دارد، غلظت فلز منگنز در محلول بسیار رقیق هم قابل اندازه‌گیری بود. سپس این محلول به داخل فالکون ۱۵ میلی‌لیتری منتقل و از هرکدام از فالکون‌ها برای یک نمونه استفاده شد که با احتساب ۷۰ نمونه و ۸ شاهد، ۷۸ فالکون برای فلز منگنز در نظر گرفته شد. محلول مدنظر به‌عنوان نمونه اصلی به دستگاه طیف‌بینی نشر اتمی پلاسمای جفت‌شده القایی منتقل شد. سپس با اندازه‌گیری میزان نشر یون فلز منگنز و مقایسه با منحنی کالیبراسیون (که با استفاده از نمونه‌های استاندارد با غلظت مشخص به دست آورده شده بود) به میزان مجهول در نمونه پی برده شد. ازآنجاکه امکان داشت در ساختار خود فیلتر مقداری فلزات زمینه وجود داشته باشد و همچنین برای حذف سایر مداخلات زمینه‌ای، فیلترهای شاهد که طی نمونه‌برداری هم به‌عنوان شاهد استفاده شده بودند، دقیقاً طبق روش فوق هضم شد و میزان فلز منگنز موجود در آن به دست آمد. برای محاسبه میزان واقعی فلزات از رابطه ۲ استفاده شد.

رابطه ۲:
$$C=\frac{[(A\times SA\times D\times GF)-(B\times SB\times GF)]}{AirVol}$$

C: غلظت (میلی‌گرم در مترمکعب)

A: غلظت آنالیت در محلول نمونه اصلی

SA (PPm): حجم محلول نمونه اصلی (لیتر)

B: غلظت آنالیت در محلول نمونه شاهد

SB (PPm): حجم محلول نمونه شاهد (لیتر)

D: فاکتور ترقیق (دفعه)

GF: فاکتور جرمی (بدون واحد)

Air Vol: حجم هوای نمونه‌برداری‌شده (لیتر).

ج) تجزیه و تحلیل آماری

داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SPSS نسخه ۲۵ تحلیل شد. در این مطالعه از روش‌های آماری توصیفی (میانگین و انحراف معیار) و تحلیلی استفاده شد. پس از تعیین نرمالیتی داده‌ها با استفاده از آزمون کلموگروف-اسمیرنوف، به دلیل نرمال نبودن داده‌ها از تست ناپارامتری مربع کای دو (Pearson Chi-Square) برای مقایسه میانگین‌ها استفاده شد. برای کنترل مداخله‌گیری فصل بر غلظت ذرات و منگنز، از آزمون ناپارامتری کوکران منتل هنزل استفاده شد. به‌منظور بررسی رابطه بین غلظت ذرات قابل استنشاق و غلظت فیوم‌های جوشکاری، از آزمون ضریب همبستگی Spearman استفاده شد. به‌منظور بررسی عوامل محیطی تأثیرگذار بر غلظت ذرات قابل استنشاق از آزمون رگرسیون استفاده شد.

یافته‌ها

میانگین سنی جوشکاران ۸/۲±۳۴/۷ سال و سابقه کار آن‌ها ۳/۸±۷/۸ سال بود. از مجموع ۷۰ نمونه گرفته‌شده، ۳۵ نمونه مربوط به کارگران مواجهه‌یافته در واحد تولید و ۳۵ نمونه مربوط به کارگران مواجهه‌نیافته در واحد اداری بود. میانگین مواجهه کارگران با ذرات قابل استنشاق جوشکاری در واحد تولید ۱/۲±۲/۴ میلی‌گرم در مترمکعب و در قسمت اداری ۰/۳±۰/۲ میلی‌گرم در مترمکعب بود. همچنین حداکثر مواجهه کارگران با ذرات قابل استنشاق در واحد تولید ۶ میلی‌گرم در مترمکعب و حداقل ۰/۷ میلی‌گرم در مترمکعب اندازه‌گیری شد. حداکثر مواجهه با ذرات قابل استنشاق برای کارکنان واحد اداری ۰/۵ میلی‌گرم در مترمکعب و حداقل آن ۰/۱ میلی‌گرم در مترمکعب اندازه‌گیری شد. همچنین در ۹۵ درصد از کارگران شاغل در واحد جوشکاری، مواجهه با غلظت ذرات قابل استنشاق کمتر از ۵/۳۳ میلی‌گرم در مترمکعب بود. این نتایج در جدول ۱ بیان شده است.

مقایسه بین غلظت ذرات قابل استنشاق جوشکاری با استاندارد OELکشوری و TLV نشان داد از مجموع ۳۵ نفر شاغل در بخش جوشکاری، ۲۳ نفر (۶۵/۷ درصد) کمتر از حد TLV و ۱۲ نفر (۳۴/۳ درصد) بیشتر از حد استاندارد و از مجموع ۳۵ نفر شاغل در بخش اداری، همه افراد کمتر از حد TLV (۳ میلی‌گرم در مترمکعب) با ذرات قابل استنشاق مواجهه داشتند.

بررسی میزان مواجهه کارگران با غلظت منگنز حاصل در دو گروه مواجهه‌یافته (۳۵ نفر از جوشکاران) و مواجهه‌نیافته (۳۵ نفر از کارکنان اداری) نشان داد میانگین و انحراف معیار مواجهه کارگران با غلظت منگنز در واحد جوشکاری ۰/۸۳±۰/۱۵ میلی‌گرم در متر مکعب و برای کارکنان در قسمت اداری ۰/۰±۰/۱۱ میلی‌گرم در متر مکعب بود. همچنین حداکثر و حداقل مواجهه کارگران با غلظت منگنز در واحد جوشکاری به ترتیب ۰/۳۶ و ۰/۰۴ میلی‌گرم در متر مکعب اندازه گیری شد. حداکثر مواجهه با غلظت منگنز برای کارکنان واحد اداری ۰/۰۲ میلی‌گرم در متر مکعب و حداقل غلظت منگنز برای این کارکنان در واحد اداری ۰/۰۱ میلی‌گرم در متر مکعب اندازه‌گیری شد. همچنین تمامی کارگران مواجهه‌یافته در واحد جوشکاری با غلظت منگنز بیشتر از ۰/۰۲ میلی‌گرم در متر مکعب مواجهه داشته‌اند. این نتایج در جدول ۲ بیان شده است.

پس از طبقه‌بندی غلظت گردوغبار قابل استنشاق به دو گروه بیشتر و کمتر از ۳ میلی‌گرم در مترمکعب و غلظت منگنز فیوم‌های جوشکاری به دو گروه بیشتر و کمتر از ۰/۰۲ میلی‌گرم در مترمکعب با توجه به استاندارد، برای بررسی معنی‌داری تفاوت میانگین غلظت ذرات و غلظت منگنز در دو گروه مواجهه‌یافته و مواجهه‌نیافته با توجه به نرمال نبودن داده‌ها، از آزمون ناپارامتری

جدول ۱: نتایج آمار توصیفی غلظت ذرات قابل استنشاق در قسمت جوشکاری و اداری (میلی‌گرم در مترمکعب)

ذرات قابل استنشاق	تعداد	میانگین	انحراف معیار	حداقل	حداکثر
مواجهه‌یافته (جوشکاران)	۳۵	۲/۴۵۳	۱/۲۱۲	۰/۷۹	۶
مواجهه‌نیافته (اداری)	۳۵	۰/۲۸۱	۰/۱۳	۰/۱	۰/۵۱
کل	۷۰	۱/۳۶۷	۱/۳۸۸	۰/۱	۶

جدول ۲: نتایج آمار توصیفی غلظت منگنز در قسمت جوشکاری و اداری (میلی‌گرم در متر مکعب)

غلظت فیوم منگنز	تعداد نمونه	میانگین	انحراف معیار	حداقل	حداکثر	میلی‌گرم بر مترمکعب ۰/۰۲> (تعداد)
مواجهه‌یافته (جوشکاران)	۳۵	۰/۱۵۶	۰/۸۳۳	۰/۰۴	۰/۳۶	۳۵
مواجهه‌نیافته (اداری)	۳۵	۰/۱۱۳	۰/۰۰۲	۰/۰۱	۰/۰۲	۰
کل	۷۰	۰/۰۸۴	۰/۰۹۳	۰/۰۱	۰/۳۶	۳۵

جدول ۳: بررسی تفاوت میانگین غلظت ذرات و غلظت منگنز فیوم جوشکاری بین دو گروه مواجهه‌یافته و مواجهه‌نیافته

متغیر	گروه	مقدار کای دو	درجه آزادی	P
غلظت ذرات قابل استنشاق فیوم جوشکاری	مواجهه‌یافته مواجهه‌نیافته	a ۱۴/۴۸	۱	۰/۰۰۱
غلظت منگنز فیوم جوشکاری	مواجهه‌یافته مواجهه‌نیافته	۷۰a/۰۰۰	۱	۰/۰۰۱

جدول ۴: تأثیر عوامل محیطی بر غلظت ذرات قابل استنشاق با استفاده از آزمون رگرسیون

متغیر	ضریب ثابت	خطای استاندارد	فرض	درجه آزادی	P	مقدار تابع‌نمایی	فاصله اطمینان (C.I) ۹۵ درصد	
							حد پایین	حد بالا
دما	۰/۱۹۱	۰/۰۹	۴/۲۹	۱	۰/۰۳۸	۱/۲۱	۱/۰۱	۱/۴۵
ماه	-۳/۱۱	۱/۴۰	۴/۸۶	۱	۰/۰۲۷	۰/۰۴۵	۰/۰۰۳	۰/۷۱
همبستگی	-۶۱/۱۸	۲۸/۶۰	۴/۵۷	۱	۰/۰۳۲	۰/۰۰۰		

جدول ۵: ارتباط بین غلظت منگنز با دما، رطوبت، سرعت جریان هوا و جهت جریان هوا

	غلظت	دما	رطوبت	سرعت جریان باد	جهت جریان باد
غلظت منگنز	۱	-۰/۷۷	۰/۱	-۰/۲۱۸	-۰/۰۲۴

مربع کای دو استفاده شد [۲۱،۲۲]. نتایج نشان داد میانگین غلظت ذرات در بین دو گروه کمتر و بیشتر از حد مجاز مواجهه‌یافته تفاوت معنی‌داری از نظر مواجهه با ذرات وجود دارد (P<۰/۰۰۱). همچنین میانگین غلظت منگنز درفیوم جوشکاری در بین دو گروه کمتر و بیشتر از حد مجاز مواجهه‌یافته تفاوت معنی‌داری از نظر مواجهه وجود دارد (P<۰/۰۰۱). این نتایج در جدول ۳ بیان شده است.

براساس آزمون ضریب همبستگی اسپیرمن، بین غلظت ذرات قابل استنشاق جوشکاری و میزان غلظت منگنز موجود در فیوم‌های جوشکاری در کارگران مواجهه یافته در سطح P<۰/۰۰۱ رابطه معنی‌دار و همسو (با ضریب همبستگی ۰/۸۷۸) وجود داشته است.

برای تعیین ارتباط بین عوامل محیطی مؤثر بر غلظت فیوم‌های حاصل از جوشکاری در هوای محیط کار برخی از این عوامل ازجمله دما و رطوبت محیط کار اندازه‌گیری شد و اطلاعات مربوط به سرعت وزش باد و جهت جریان باد در خارج محیط از اداره هواشناسی گرفته شد. میانگین و انحراف معیار دما (برحسب درجه سانتی‌گراد)، رطوبت (برحسب درصد) و سرعت جریان هوا (برحسب متر بر ثانیه) به ترتیب برابر با ۵/۷۴±۱۸/۱۱، ۱۷/۸۹ ±۵۴/۴۲ و ۱/۴۳±۳/۰۵ بوده است. به‌منظور بررسی عوامل محیطی تأثیرگذار بر غلظت ذرات قابل استنشاق از آزمون رگرسیون استفاده شد که در جدول ۴ آمده است. نتایج نشان داد اگر دما یک درجه افزایش یابد، شانس میزان مواجهه با ذرات قابل استنشاق به میزان ۲۱ درصد افزایش خواهد یافت (P=۰/۰۳۸). همچنین ماه‌های فروردین و اردیبهشت نسبت به اسفند تا ۲۰ برابر شانس مواجهه با ذرات را افزایش می‌دهد (P=۰/۰۳۲).

بررسی عوامل محیطی بر غلظت منگنز در منطقه تنفسی در جدول ۵ آمده است. همان‌گونه که مشخص است، بین میزان غلظت منگنز و هیچ‌یک از عوامل محیطی ارتباط معنی‌داری وجود ندارد.

بحث و نتیجه‌گیری

پژوهش حاضر با هدف بررسی غلظت منگنز موجود در فیوم جوشکاری در منطقه تنفسی کارگران یکی از کارخانه‌های صنایع فلزی شهرستان آمل انجام شد. مقدار استاندارد ارائه‌شده کمیته فنی بهداشت حرفه‌ای ایران (OEL) و همچنین TLV سازمان ACGIH برای غلظت ذرات قابل استنشاق ۳ میلی‌گرم در مترمکعب و برای غلظت منگنز در فیوم جوشکاری ۰/۰۲ میلی‌گرم در مترمکعب است [۱۹،۲۰]. نتایج حاصل از این مطالعه

(مطابق جدول ۱) نشان داد میانگین مواجهه با ذرات قابل استنشاق جوشکاری در این کارخانه کمتر از حد مواجهه شغلی توصیه‌شده است [۱۹،۲۰].

در مطالعه گل‌بابایی و همکاران میانگین مواجهه جوشکاران ۵/۶۱ میلی‌گرم در مترمکعب و در مطالعه مهری‌فر و همکاران میزان مواجهه جوشکاران ۷/۴۲ میلی‌گرم در مترمکعب و بیشتر از حد استاندارد بوده است که با نتایج مطالعه حاضر همخوانی ندارد [۲۳،۲۴]. در مطالعه مشکانیان و همکاران نیز برخلاف مطالعه حاضر، میزان مواجهه جوشکاران با ذرات قابل استنشاق بیشتر از حد مجاز بوده است [۲۵]. در مطالعه رمضانی و همکاران میانگین غلظت فیوم کل ۹/۵۶ میلی‌گرم در مترمکعب و تقریباً ۳ برابر میزان استاندارد بوده است [۲۶]. علت اصلی عدم همخوانی نتایج مطالعه حاضر با مطالعات مذکور این است که در کارخانه مدنظر با توجه به نوع فعالیت در ساخت سازه‌های بزرگ، افراد در سوله‌های بزرگ مشغول به کار هستند که فضا بسته نیست و افراد در شرایطی شبیه به فضای آزاد کار می‌کنند و جریان هوا در ایستگاه‌های کاری زیاد است که میزان استنشاق ذرات را کاهش می‌دهد.

بررسی‌ها نشان داد ۶۵/۷ درصد از جوشکاران با میانگین غلظت ذرات قابل استنشاق کمتر از حد مجاز توصیه‌شده TLV سازمان ACGIH و OEL کشور ایران و ۳۴/۳ درصد از جوشکاران با میانگین غلظت بیشتر از حد مجاز مواجهه داشته‌اند [۲۱،۲۲]. در هیچ‌یک از نمونه‌هایی که در واحدهای اداری به‌عنوان گروه مواجهه‌نیافته گرفته شد، میزان مواجهه بیشتر از حد استاندارد نبوده است. در مطالعه Oxhoj و همکاران حدود نیمی از جوشکاران در معرض غلظت ذرات بیش از ۱۰ میلی‌گرم بر متر مکعب قرار داشتند، درحالی‌که در مطالعه حاضر تقریباً یک‌سوم از کارگران با آلاینده بیشتر از حد مجاز مواجهه داشته‌اند [۲۳]. همچین در مطالعه Men و همکاران ۴۳/۳ درصد از جوشکاران در معرض غلظت بیشتر از TWA بوده‌اند [۲۷].

بررسی عوامل محیطی تأثیرگذار بر غلظت ذرات قابل استنشاق با استفاده از آزمون رگرسیون (مطابق جدول ۴) نشان داد اگر دما یک درجه افزایش یابد، شانس میزان مواجهه با ذرات قابل استنشاق به میزن ۲۱ درصد افزایش خواهد یافت (P=۰/۰۳۸). همچنین ماه‌های فروردین و اردیبهشت نسبت به اسفند تا ۲۰ برابر شانس مواجهه با ذرات را افزایش می‌دهد (P=۰/۰۳۲). همان‌طور که آزمون آماری نشان داد، در ماه‌های فروردین و اردیبهشت شانس آلودگی ذرات ۲۰ برابر بیشتر از اسفند بوده است که این ممکن است ناشی از افزایش دمای هوا و پراکنده شدن ذرات موجود روی سطوح خشک در ماه‌های مذکور باشد. یکی دیگر از دلایل عمده افزایش میزان آلودگی در ماه‌های فروردین و اردیبهشت، افزایش میزان تولید در این دو ماه نسبت به ماه اسفند است؛ به‌طوری‌که افزایش تولید موجب افزایش ایجاد ذرات و مواجهه بیشتر شاغلان با ذرات شده است.

بررسی میزان مواجهه با منگنز در فیوم‌های جوشکاری نشان داد میانگین مواجهه جوشکاران با منگنز بیشتر از حد مواجهه شغلی توصیه‌شده OEL و همچنین TLV است. همچنین همه افراد شاغل در واحد جوشکاری با غلظت منگنز بیشتر از حد مجاز OEL ایران و TLV سازمان ACGIH در تماس بوده‌اند (مطابق جدول ۲). این نتایج با مطالعه مهری‌فر و همکاران همخوانی دارد [۲۴]. در مطالعه Men و همکاران ۴۰ درصد از جوشکاران با غلظت بیش از حد مجاز منگنز در فیوم جوشکاری در تماس بوده‌اند [۲۷]. در مطالعه رمضانی و همکاران میانگین غلظت منگنز در فیوم جوشکاری ۰/۴۵ میلی‌گرم در مترمکعب بود و تمامی جوشکاران بیشتر از حد استاندارد مواجهه داشتند [۲۶]. میانگین مواجهه کارگران شاغل در کارگاه مطالعه‌شده در مقایسه با میانگین غلظت فیوم‌ها و ذرات قابل استنشاق ناشی از جوشکاری در مطالعه گل‌بابایی و همکاران بیشتر بود. گل‌بابایی و همکاران در سال ۲۰۱۲ در سالن‌های مونتاژ یک کارخانه خودروسازی در ایران (۲/۳۸±۲/۱۵ میلی‌گرم بر متر مکعب) پژوهشی انجام دادند [۲۳].

در مطالعه Chang و همکاران در سال ۲۰۰۹، غلظت منگنز در هوا ۰/۱۴ میلی‌گرم بر متر مکعب به‌دست آمد که از میزان توصیه‌شده TLV سازمان ACGIH بیشتر و از نتایج مطالعه حاضر کمتر است [۲۸]. در مطالعه دیگری که Ellingsen و همکاران در سال ۲۰۰۶ روی جوشکارانی انجام دادند که در مواجهه با منگنز بودند، غلظت منگنز موجود در هوای استنشاقی ۰/۰۰۳ تا ۴/۲۶ میلی‌گرم به‌دست آمد که از نتایج مطالعه حاضر بیشتر است [۲۹]. همچنین در مطالعه مشابهی Bowler و همکاران در سال ۲۰۰۷ متوسط غلظت وزنی زمانی منگنز را از ۰/۱۱ تا ۰/۴۶میلی‌گرم بر متر مکعب گزارش کردند [۳۰]. Smargiassi و همکاران طی پژوهشی که در سال ۲۰۰۰ انجام دادند، میانگین ذرات قابل استنشاق را ۰/۰۹۴ میلی‌گرم در مترمکعب و میانگین منگنز را ۰/۱۴۴ میلی‌گرم در مترمکعب به‌دست آوردند که در هر دو مورد کمتر از نتایج مطالعه حاضر است [۳۱].

Ellingsen و همکاران طی پژوهشی که در سال ۲۰۰۳ انجام دادند و در آن مواجهه استنشاقی با منگنز را در کارگران یک صنعت تولید آلیاژ منگنز ارزیابی کردند، میانگین غلظت منگنز تنفسی را ۰/۲۵۴ میلی‌گرم در مترمکعب برآورد کردند که از نتایج مطالعه حاضر بیشتر است [۳۲]. در مطالعه Harris و همکاران غلظت کلی منگنز اندازه‌گیری‌شده ۰/۱۴ میلی‌گرم بر متر مکعب، ۰/۱۶ میلی‌گرم بر متر مکعب و۱/۵ میلی‌گرم بر متر مکعب به ترتیب برای الکترودهای نوع E7018، E6010 و Mangjet بود. غلظت منگنز قابل استنشاق برای موردی که در منطقه مجاور محل جوشکاری کار می‌کرد، ۰/۲ میلی‌گرم بر متر مکعب گزارش شد که همسو با مطالعه حاضر، بیشتر از حد استاندارد بوده است [۶]. این اختلاف غلظت‌های به‌دست‌آمده از مطالعات مختلف نسبت به مطالعه حاضر احتمالاً به علل مختلفی ازجمله غلظت منگنز موجود در الکترود جوشکاری استفاده‌شده و نوع و کارایی سیستم‌های تهویه استفاده‌شده باشد.

در زمینه تأثیر نوع فرایند جوشکاری بر میزان مواجهه با آلاینده باید به مطالعه گل‌بایی و همکاران اشاره کرد. در پژ.هش آنان که در فرایندهای مختلف جوشکاری انجام شد، میانگین مواجهه جوشکاران در فرایندهای GMAW و نقطه‌ای به ترتیب ۵/۶۱±۵/۷۸ و ۲/۳۸±۲/۱۵ میلی‌گرم بر مترمکعب بود که از نظر آماری تفاوت معناداری داشت [۲۴]. همچنین در مطالعه حسنی و همکاران که در سال ۱۳۹۲ بین جوشکاران یکی از صنایع در تهران انجام شد، میزان مواجهه با منگنز ۰/۰۲۳ بود که برخلاف یافته‌های مطالعه حاضر، کمتر از حد مجاز بوده است [۳۳]. در تحقیق دیگری، حسنی و همکاران روی کارکنان ذوب یک صنعت تولید قطعات خودرو پژوهشی انجام دادند که میزان مواجهه با منگنز با میانگین ۰/۰۰۵ میلی‌گرم بر مترمکعب کمتر از حد استاندارد بوده است که مغایر با نتایج مطالعه حاضر است [۳۴].

با توجه به مطالعه حاضر در زمینه ذرات قابل استنشاق از مجموع ۳۵ نفر شاغل در بخش جوشکاری، ۲۳ نفر با غلظت کمتر از حد استاندارد TLV سازمان ACGIH و OEL کشور ایران و ۱۲ نفر با غلظت بیشتر از حدود مجاز توصیه‌شده مواجهه داشتند. در بخش اداری تمام ۳۵ نفر با غلظت کمتر از حدود مجاز توصیه‌شده کمیته حفاظت فنی ایران OEL و TLV سازمان ACGIH مواجهه داشتند. همه افراد شاغل در واحد جوشکاری با غلظت منگنز بیشتر از حد مجاز OEL ایران و TLV سازمان ACGIH (۰/۰۲ میلی‌گرم بر متر مکعب) در تماس بودند و همه ۳۵ نفر شاغل در واحد اداری با غلظت منگنز کمتر از حدود مجاز مواجهه داشتند.

قدردانی

در اینجا از معاونت پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی مازندران که از این طرح با کد اخلاق IR.MAZUMS.REC.1396.10199 حمایت مالی کردند، تشکر و قدردانی می‌کنیم.

References

1. Schenk L, Hansson SO, Rudan C, Gilek M. Occupational exposure limits: A comparative study. Regul Toxicol Pharmacol 2008; 50(2): 261-70.
2. Herber RF, Duffus JH, Christensen JM, Olsen E, Park MV. Risk assessment for occupational exposure to chemicals. A review of current methodology. Pure Appl Chem 2001; 73(6): 993-1031.
3. Honaryar MK, Lunn RM, Luce D, Ahrens W, Hansen J, Bouaoun L, et al. Welding fumes and lung cancer: a meta-analysis of case-control and cohort studies. Occup Environ Med 2019; 76(6): 422-31.
4. Bailey LA, Kerper LE, Goodman JE. Derivation of an occupational exposure level for manganese in welding fumes. Neurotoxicology 2018; 64: 166-76.
5. Yarmohammadi H, Hamidvand E, Abdollahzadeh D, Sohrabi Y, Poursadeghiyan M, Biglari H, et al. Measuring concentration of welding fumes in respiratory zones of welders: An ergo-toxicological approach. Res J Med Sci 2016; 10(3): 111-5.
6. Harris MK, Ewing WM, Longo W, DePasquale C, Mount MD, Hatfield R, et al. Manganese exposures during shielded metal arc welding (SMAW) in an enclosed space. J Occup Environ Hyg 2005; 2(8): 375-82.
7. Goossens D, Buck BJ. Can BSNE (Big Spring Number Eight) samplers be used to measure PM10, respirable dust, PM2.5 and PM1.0? Aeolian Res 2012; 5: 43-9.
8. Kanapilly G, Raabe O, Goh C, Chimenti RA. Measurement of in vitro dissolution of aerosol particles for comparison to in vivo dissolution in the lower respiratory tract after inhalation. Health Phys 1973; 24(5): 497-507.
9. Lucchini RG, Aschner M, Landrigan PJ, Cranmer JM. Neurotoxicity of manganese: Indications for future research and public health intervention from the Manganese 2016 conference. Neurotoxicology 2018; 64: 1-4.
10. Davouriea J, Westfalla L, Alia M, McGoughb D. Evaluation of particulate matter emissions from manganese alloy production using life-cycle assessment. NeuroToxicology 2017; 58: 180-6.
11. Pesch B, Weiss T, Kendzia B, Henry J, Lehnert M, Lotz A, et al. Levels and predictors of airborne and internal exposure to manganese and iron among welders. J Expo Sci Environ 2012; 22(3): 291-8.
12. Kwakye GF, Paoliello MM, Mukhopadhyay S, Bowman AB, Aschner M. Manganese-induced parkinsonism and Parkinson's disease: shared and distinguishable features. Environ Res Public Health 2015; 12: 7519-40.
13. Peres TV, Schettinger MRC, Chen P, Carvalho F, Avila DS, Bowman AB, et al. Manganese-induced neurotoxicity: a review of its behavioral consequences and neuroprotective strategies. BMC Pharmacol Toxicol 2016; 17(57): 1-20.
14. Ebrahimzadeh MA, Eslami S, Nabavi SF, Nabavi SM. Determination of trace element level in different tissues of the leaping mullet (Liza saliens, Mugilidae) collected from Caspian Sea. Biol Trace Elem Res 2011; 144(1-3): 804-11.
15. Mirmohammadi ST. Manganese exposure and toxicity. Pollut Effe Contr 2014; 2(2): 1-2 (Persian).
16. Nasri Y, Pournajaf A, Arman K. Designing and constructing welding tongs equipped with electric arch and ventilation system. J Ilam Uni Med Sci 2009; 17(2):1-7 (Persian).
17. IARC. Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. France: International Agency for Research on Cancer; 2012.
18. Wang GZ. 325 Occupational disease hazard factors investigation and risk assessment in one hovercraft manufacturing enterprise. Occup Environ Med 2018; 75(2): A1–A650
19. Occupational exposure limits, center for environment and health, ministry of health and medical education. Publishers: Student Hamedan; 2016.
20. Jones HH. American Conference of Governmental Industrial Hygienists' proposed threshold limit value for noise. Am Ind Hyg 1968; 29(6): 537-40.
21. NIOSH. Manual of analytical method, particulates not otherwise regulated, respirable, method number. NIOSH; 2008.
22. Mohammadian M, Babanezhad E, Yazdani charati J, Esfandiari Y, Ramzani S. Concentration evaluation and health risk assessment of welders' exposure to total fumes and manganese during welding at metal industry. J Health Res Commun 2020; 5(4): 45-56
23. Golbabaie F, Ghahri A, Mahdizadeh M, Ghiasuddin M. Risk assessment of welders exposure to total fume in an automobile industry. Journal of Health and Safety at Work 2011; 1(1): 9-18 (Persian).
24. 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).
25. Meshkinian A, Khamri A, Firoozi Nejad B, Khanlari K. Investigation of job exposure to welding fume among welding workers in Zahedan Welders Industrial Town. 3rd National Conference on Safety Engineering and HSE Management; 2009.
26. Mohammadian M, Babanezhad E, Esfandiari Y, Ramzani S. Concentration evaluation and health risk assessment of welders' exposure to total fumes and manganese during welding at metal industry. J Community Health Res 2020; 5(4): 45-56.
27. Men JL, Men JY, Zhang MP, Geng X, Zhang J, Chen XL, et al. An investigation of occupational exposure to welding fume, manganese, and manganese compounds in a large container manufacturing enterprise. Zhonghua Lao Dong Wei Sheng Zhi Ye Bing Za Zhi 2019; 37(10): 797-800.
28. Chang Y, Kim Y, Woo ST, Song HJ, Kim SH, Lee H, et al. High signal intensity on magnetic resonance imaging is a better predictor of neurobehavioral performances than blood manganese in asymptomatic welders. Neurotoxicology 2009; 30(4): 555-63.
29. Ellingsen DG, Dubeikovskaya L, Dahl K, Chashchin M, Chashchin V, Zibarev E, et al. Air exposure assessment and biological monitoring of 7 manganese and other major welding fume components in welders. J Environ Monit 2006; 8: 1078-86.
30. Bowler RM, Roels HA, Nakagawa S, Drezgic M, Diamond E, Park R, et al. Dose–effect relationships between manganese exposure 9 andvneurological, neuropsychological and pulmonary function in confined space bridge welders. Occup Environ Med 2007; 64: 167–77.
31. Smargiassi A, Baldwin M, Savard S, Kennedy G, Mergler D, Zayed J. Assessment of exposure to manganese inwelding operations during the assembly of heavy excavation machinery accessories. Appl Occup Env Hyg 2000; 15: 746–50.
32. Ellingsen DG, Hetland SM, Thomassen Y. Manganese air exposure assessment and biological monitoring in the manganese alloy production industry. JEM 2003; 5(1): 84–90.
33. Hassani H, Golbabaei F, Shirkhanloo H, Rahimi Foroushani A. A survey of neurobehavioral symptoms of welders exposed to manganese. JHSW 2013; 3(1):39-46 (Persian).
34. Hassani H, Golbabaei F, Shirkhanloo H. Manganese-Iron Ratio (MIR) as a potential biomarker for manganese exposure assessment. IOH 2016; 13(3): 47-53 (Persian).