

## ارزیابی مقایسه ای مواجهه جوش کاران با فیوم‌های جوش کاری بر اساس تراکم جرمی و عددی

جواد ساجدی فر<sup>۱</sup> - امیرحسین کوکبی<sup>۲</sup> - کمال اعظم<sup>۲</sup> - سمیه فرهنگ دهقان<sup>۳</sup> - علی کریمی<sup>۴</sup> - فریده گلبابایی<sup>۵\*</sup>

fgolbabaie@sina.tums.ac.ir

تاریخ پذیرش: ۹۵/۶/۲۱

تاریخ دریافت: ۹۵/۴/۲۱

### مکیده

**مقدمه:** امروزه جوش کاری با الکتروود دستی پوشش دار یا SMAW (Shielded Metal Arc Welding) پر مصرف ترین نوع جوش کاری در میان جوش کاری‌های قوس الکتریکی می‌باشد. در طول عملیات جوش کاری معمولاً عوامل زیان‌آور مختلفی از قبیل فیوم‌ها، گازها، گرما، صدا و پرتو فرابنفش تولید می‌شوند که از دیدگاه بهداشت شغلی، مهم‌ترین این عوامل فیوم‌های جوش کاری می‌باشند. مطالعه حاضر سعی دارد تا با مقایسه تراکم عددی و جرمی فیوم‌های منتشره در فرآیندهای جوش کاری SMAW مشخص کند که کدام یک از تراکم‌های عددی یا جرمی شاخص بهتری از مواجهه با فیوم‌ها را در فرآیندهای جوش کاری نشان می‌دهد.

**روش کار:** این در مطالعه حاضر، دستگاه پایش گر گردوغبار GRIMM مدل ۱۰۱۰۶ برای ارزیابی تراکم عددی و جرمی فیوم‌های جوش کاری SAMW بر روی استیل زنگ نزن ۳۰۴ با ضخامت ۰/۴ میلی متر مورد استفاده قرار گرفت. نمونه برداری از هوا به منظور پایش ذرات در فاصله ۴۱ سانتی متری که نماینده ناحیه تنفسی اپراتور جوش کار می‌باشد، انجام شد. سنجش تراکم عددی و جرمی فیوم‌ها در شرایطی صورت گرفت که ولتاژ ۲۵ ولت و قطبیت الکتروود به صورت جریان مستقیم الکتروود مثبت یا DCEP (Direct Current Electrode Negative) بود.

**یافته‌ها:** میزان تراکم عددی و جرمی کلی فیوم‌های جوش کاری در ناحیه تنفسی اپراتور جوش کار به ترتیب ۱۱۴۰۴۵۱ ذره بر لیتر و  $۱۶۳۱/۱۱ \mu\text{g}/\text{m}^3$  است. بیشترین تراکم عددی مربوط به ذرات در ردیف اندازه ۰/۳۵ تا ۰/۵ میکرومتر (NC1) با  $۹۳۸۹۷۶$  ذره بر لیتر و کمترین آن مربوط به ذرات در ردیف اندازه ۵ تا ۶/۵ میکرومتر (NC7) و ذرات بزرگ‌تر از ۶/۵ میکرومتر (NC8) به ترتیب با ۲۸۸ و ۴۶۳ ذره بر لیتر بود. بالاترین میزان تراکم جرمی مربوط به ذرات در ردیف اندازه ۰/۳۵ تا ۰/۵ میکرومتر (MC1) و ذرات بزرگ‌تر از ۶/۵ میکرومتر (MC8) به ترتیب با میزان  $۴۵۰$  و  $۳۵۵ \mu\text{g}/\text{m}^3$  می‌باشد.

**نتیجه گیری:** نتایج این پژوهش نشان داد که بین تراکم عددی و جرمی به عنوان دو شاخص ارزیابی ذرات در محدوده سائیز تطابق وجود ندارد و با کوچک‌تر شدن سائیز ذرات این عدم تطابق مشهودتر است. از آن جایی که ذرات کوچک‌تر به قسمت‌های تحتانی دستگاه تنفسی نفوذ می‌کنند و پتانسیل بالاتری برای اعمال اثرات نامطلوب بهداشتی را دارند، لزوم سنجش و ارزیابی ذرات در ردیف اندازه‌های مختلف و بخصوص کسر ریزتر ذرات احساس می‌شود. لذا تصور می‌شود صرفاً در نظر گرفتن تراکم جرمی و عدم توجه به تراکم عددی در ارزیابی مواجهه با ذرات در محیط‌های کار صنعتی و به خصوص در فرآیند جوش کاری، ارزیابی صحیح و درستی از اثرات بهداشتی فیوم‌های جوش کاری به عنوان سم سیستمیک ارگان‌های بدن منعکس نخواهد کرد.

**کلمات کلیدی:** جوش کاری، تراکم عددی، تراکم جرمی، جوش کاری با الکتروود دستی پوشش دار، مواجهه تنفسی

- ۱- کارشناس، گروه مهندسی بهداشت حرفه ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران
- ۲- استاد، گروه متالورژی، دانشکده مهندسی و علم مواد، دانشگاه صنعتی شریف، تهران، ایران
- ۳- دانشیار، گروه آمار و اپیدمیولوژی، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران
- ۴- استادیار، گروه بهداشت حرفه ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران
- ۵- استادیار، گروه مهندسی بهداشت حرفه ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران
- ۶- استاد، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران

### مقدمه

جوش کاری قوس الکتریکی به صورت گسترده برای ساختارهای فلزی در سراسر جهان مورد استفاده قرار می‌گیرد. با این حال، فیوم‌های خطرناکی می‌تواند تولید کند و سلامت کارگران را تهدید نماید (۱). امروزه جوش کاری با الکتروود دستی پوشش دار (SMAW) پرمصرف ترین نوع جوش کاری در میان جوش کاری‌های قوسی می‌باشد. از منبع تغذیه یک قطب جریان به سطح کار و قطب دیگر به انبر الکتروود وصل می‌شود (۲). در این جوش کاری قوس الکتریکی باعث ایجاد حرارت می‌شود. هم‌چنین فلز پرنکننده نقش الکتروود را نیز ایفا می‌کند. الکتروود دارای پوشش می‌باشد. این پوشش همراه با فلز اصلی الکتروود ذوب می‌شود و جنس آن به شکلی است که باعث تسهیل اشتعال در قوس، با ثبات کردن قوس، برداشتن لایه اکسید شده از روی سطح کار، حفاظت از اکسید شده یا جذب نیتروژن و تشکیل سرباره روی سطح جوش می‌شود تا به شکل یک محافظ عمل کند (۳). اگرچه عوامل زیان‌آور مختلفی از قبیل فیوم‌ها، گازها، حرارت، صدا و پرتو فرابنفش در طول عملیات جوش کاری تولید می‌شوند، از دیدگاه بهداشت شغلی، مهم‌ترین این عوامل فیوم‌های جوش کاری می‌باشند (۴، ۵). با پیدایش انواع جدیدی از شیوه‌های جوش کاری و به کارگیری و جایگزینی آنها، تعداد کارگران در معرض فیوم‌های جوش کاری، علی‌رغم مکانیزاسیون و اتوماسیون فرآیندها، پیوسته در حال افزایش است (۶). روزانه بیش از ۵ میلیون جوش کار در سراسر دنیا با فیوم جوش کاری مواجهه دارند (۷). گزارش شده است که در ایالات متحده آمریکا حدود ۴۶۲۰۰۰ نفر از کارگران به‌عنوان جوش کاران تمام‌وقت طبقه‌بندی شده‌اند و احتمالاً این آمار طی ۵ تا ۷ سال آینده افزایش ۵ درصدی خواهد داشت (۸). فیوم‌ها یکی از محصولات

ناخواسته در فرآیندهای مختلف جوش کاری بوده که بر حسب ترکیب خود دارای عوارض متعددی بر روی انسان می‌باشند (۹). دکتر گل‌بابایی و همکاران در مطالعه‌ای در سال ۱۳۹۰ تراکم جرمی فیوم‌ها را به منظور ارزیابی مواجهه جوش کاران در فرآیندهای جوش کاری قوسی با گاز محافظ (GMAW) و نقطه‌ای مقاومتی در یک صنعت خودروسازی ارزیابی کردند. یافته‌های این مطالعه نشان داد که میانگین تراکم جرمی فیوم کل در فرآیندهای جوش کاری قوسی با گاز محافظ و نقطه‌ای مقاومتی به ترتیب  $۵/۷۸ \pm ۵/۶۱$  و  $۲/۱۵ \pm ۲/۳۸$  میلی‌گرم بر مترمکعب می‌باشد. مطالعه کنترل‌شده‌ای که توسط Zimmer و Biswas در سال ۲۰۰۱ انجام شد، نشان داد که تراکم عددی فیوم‌های جوش کاری GMAW در ارتفاع  $۴/۸$  سانتی‌متری  $۱۰^۷ \times ۴۲/۱$  و در ارتفاع  $۲/۱۹$  سانتی‌متری از محل جوش کاری  $۱۰^۶ \times ۶۷/۳$  ذره بر سانتی مترمکعب است (۱۰). تاکنون تحقیقات محدودی در زمینه شناسایی پتانسیل اثرات سوء فیوم‌ها بر سلامتی انسان و محیط صورت گرفته است (۱۱). در محیط‌های کار، حفاظت در برابر مواد سمی به‌واسطه کاهش مواجهه به کمتر از حدود تعیین‌شده، حاصل می‌شود که هدف آن محافظت از سلامت کارکنان در طول عمر کاری آنها است. اثرات بهداشتی گردوغبارها و فیوم‌ها در محیط‌های صنعتی از دیرباز مورد بررسی قرار گرفته است. در این مطالعات به دلیل آن‌که حد توصیه شده مجاز بر حسب میلی گرم بر متر مکعب بوده است، اکثر اندازه‌گیری‌ها بر مبنای تراکم جرمی انجام گرفته است. غالباً جرم نانو ذرات در مقایسه با جرم ذرات درشت در محیط‌های کار صنعتی ناچیز است، اما در این محیط‌ها تراکم عددی بسیار زیادی از ذرات نانو و نانو ساختارها می‌توانند حضور داشته باشند. این‌که کدام متریک

هم‌چنین میزان جریان (Q) نمونه‌برداری این دستگاه که توسط پمپ داخلی آن تولید می‌شود lit/min ۲/۱ است. تراکم عددی و جرمی فیوم‌ها در ۸ ردیف اندازه ۵/۰-۳۵/۰، ۵/۰-۵/۰، ۷۵/۰-۷۵/۰، ۱-۲، ۵/۳-۵/۳، ۵-۶، ۵/۵-۵/۵ و بالای ۵/۶ میکرومتر توسط این دستگاه اندازه‌گیری شد (۱۷) که در ادامه به ترتیب با اندیس‌های ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷ و ۸ نمایش داده خواهد شد. هم‌چنین تراکم عددی و جرمی به صورت اختصاری به ترتیب با علائم  $NC^3$  و  $MC^4$  ارزیابی خواهد گردید. استیل مورد استفاده در جوش‌کاری‌های مذکور استیل زنگ نزن ۳۰۴ با ضخامت ۰/۴ میلی متر بود. برای جوش‌کاری با الکتروود دستی پوشش دار (SMAW) از دستگاه جوش SAFEY C2 0320-0500 و الکتروود AWS E308L-16 با قطر ۲/۴ و طول ۳۰۰ میلی متر استفاده شد. اندازه‌گیری تراکم عددی و جرمی در شرایطی انجام گرفت که قطبیت الکتروود در حالت جریان مستقیم - الکتروود مثبت (DCEP) و ولتاژ و شدت جریان دستگاه جوش‌کاری به ترتیب ۲۵ ولت و ۱۰۰ آمپر بود. هم‌چنین قبل از تمامی نمونه‌برداری‌ها، سطح استیل زنگ نزن از هر گونه آلودگی و چربی پاک می‌شد. در طول جوش‌کاری تهویه خاموش و درها و پنجره‌ها بسته بود (۱۶). در هر تست، نمونه‌برداری از فیوم‌های جوش‌کاری بعد از گذشت ۱۰ ثانیه از شروع جوش‌کاری به دلیل پایدار شدن جریان، ولتاژ و قوس الکتریکی انجام شد. عملیات جوش‌کاری بر روی فلز پایه به صورت دستی توسط یک جوش‌کاری حرفه‌ای با تجربه انجام شد و با توجه به مدت زمان محدود مصرف الکتروود جوش‌کاری، نمونه‌برداری از فیوم‌ها در ۳ دوره ۱۸ ثانیه‌ای به منظور صحت بیشتر داده‌ها انجام گردید و نهایتاً از آن‌ها میانگین گرفته شد. همه تست‌های

Number Concentration -3

Mass Concentration -4

و مقیاس اندازه‌گیری برای ارزیابی ریسک مواجهه با ذرات هوا برد، مناسب‌ترین است، امروزه به یک مساله بحث‌برانگیز تبدیل شده است (۱۲، ۱۳). مطالعات جدید و نو در این‌چنین محیط‌ها و مواجهاتی، می‌تواند دانش بهتری از اثرات بهداشتی، ویژگی‌ها و مشخصات خاص آئروسول‌ها به ما بدهد. مطالعه حاضر سعی دارد تا تراکم عددی و جرمی فیوم‌های منتشره در فرآیندهای جوش‌کاری SMAW را در ردیف اندازه‌های مختلف مورد مقایسه قرار دهد و لزوم استفاده از یک شاخص درست در ارزیابی ذرات ریز و تبیین استانداردهای میزان مواجهه با ذرات را نشان دهد.

### روش کار

با توجه به اینکه سازمان ACGIH<sup>1</sup>، قد کارگر مرجع را ۱۷۵ cm در نظر گرفته است (۱۴) و با در نظر گرفتن توصیه مرکز بهداشت حرفه‌ای و ایمنی کانادا CCOHS<sup>2</sup> که ارتفاع میز جوش‌کاری را برای فردی با قد ۱۷۵ cm، بین ۷۴ تا ۱۱۸ سانتی‌متر تعیین نمود، که در این مطالعه ارتفاع به طور متوسط ۹۶ cm در نظر گرفته شد (۱۵). از سویی، نمونه‌برداری از فیوم‌ها در فاصله ۴۱ cm از محل جوش‌کاری که نماینده میزان آلاینده در ناحیه تنفسی کارگر (۱۶) است، انجام شد. تمامی نمونه‌برداری‌ها در کارگاه جوش‌کاری دانشکده مواد و متالورژی دانشگاه صنعتی شریف به ابعاد (۳×۹×۴ m) انجام شد. در مطالعه حاضر، دستگاه کالیبره شده پایش گردوغبار مدل ۱.۱۰۶ ساخت کمپانی GRIMM کشور آلمان برای ارزیابی فیوم‌های جوش‌کاری مورد استفاده قرار گرفت. اساس کار دستگاه پایش گردوغبار، اندازه‌گیری پراکندگی زاویه‌ای یا پراکنش امواج نوری ناشی از یک دیود لیزری در اثر عبور ذرات با ابعاد مختلف می‌باشد.

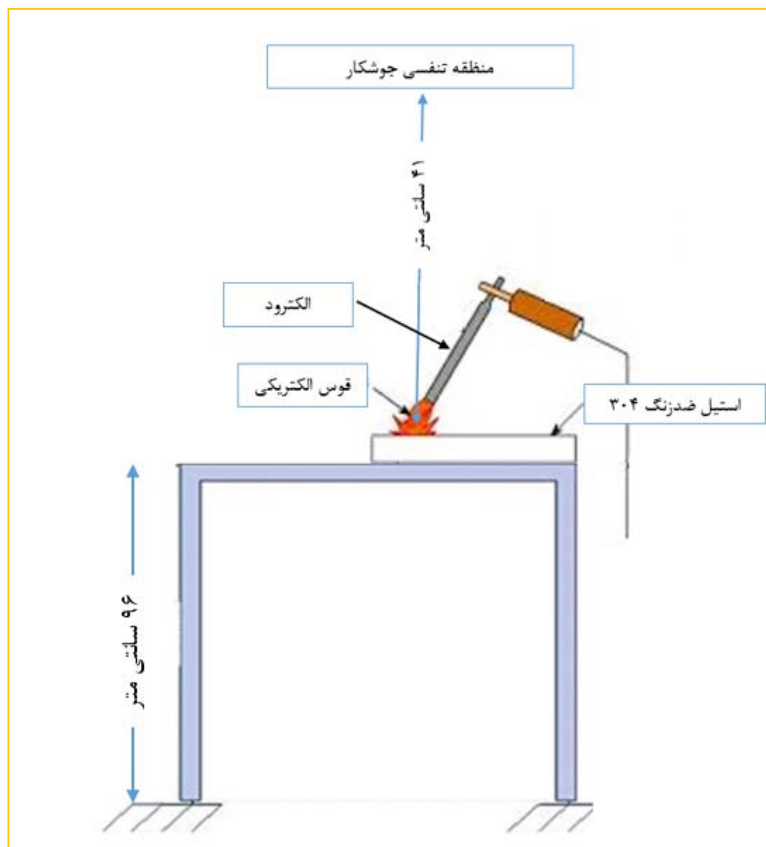
American Conference of Governmental Industrial Hygienists-1

Canadian Centre for Occupational Health and Safety -2

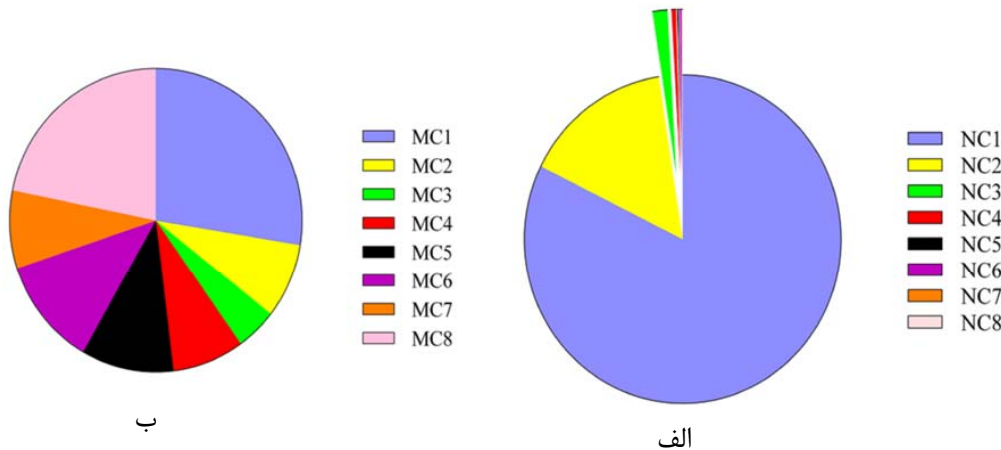
### یافته‌ها

شکل ۲ تراکم عددی و جرمی فیوم‌های جوش کاری SMAW را در ردیف‌های مختلف اندازه ذرات در منطقه تنفسی اپراتور جوش کار نشان می‌دهد. میزان تراکم عددی و جرمی کلی فیوم‌های جوش کاری به ترتیب  $1140451$  ذره بر لیتر و  $\mu\text{g}/\text{m}^3$   $11/1631$  می‌باشد. بیش‌ترین تراکم عددی مربوط به NC1 با ۸۲٪ و کم‌ترین آن مربوط به NC7 و NC8 به ترتیب با ۰/۰۳٪ و ۰/۰۴٪ بود. به این ترتیب یک روند نزولی در تراکم عددی فیوم‌های جوش کاری با بزرگ‌تر شدن اندازه ذرات مشاهده می‌شود. در طرف مقابل، بالاترین میزان تراکم جرمی مربوط به MC1 و MC8 به ترتیب با میزان ۲۷٪ و ۲۱٪ می‌باشد.

جوش کاری در موقعیت مسطح انجام شد (۱۸). بین هر تست فواصل زمانی در حدود ۲ الی ۵ دقیقه (۱۹) به منظور پخش شدن آئروسول در اتمسفر بسته محل جوش کاری در نظر گرفته شد (۱۶). هم‌چنین قبل از هر نمونه‌برداری، از هوای کارگاه جوش کاری یک نمونه شاهد به منظور ارزیابی تراکم ذرات در اتمسفر هوای کارگاه جوش کاری درست در نقاط نمونه برداری در روی میز جوش کاری انجام گرفت. پژوهش حاضر در فصل بهار و در شرایط دمایی  $37/0 \pm 2/28$  درجه سلسیوس و رطوبت نسبی  $0/27 \pm 0/39$  درصد در هنگام سنجش تراکم عددی و دمای  $32/0 \pm 76/27$  درجه سلسیوس و رطوبت نسبی  $0/25 \pm 27/39$  درصد در هنگام سنجش تراکم جرمی انجام شد.

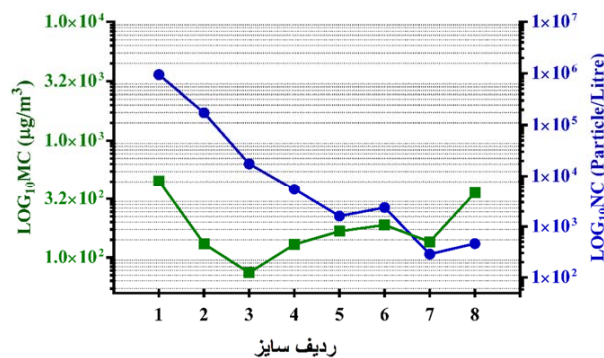


شکل ۱. نمای شماتیک محل نمونه‌برداری



فیوم کلی		بزرگتر از ۶/۵		۶/۵ تا ۵		۵ تا ۳/۵		۳/۵ تا ۲		۲ تا ۱		۱ تا ۰/۷۵		۰/۷۵ تا ۰/۵		۰/۵ تا ۰/۳۵		ردیف سایز
MC Total	NC Total	MC8	NC8	MC7	NC7	MC6	NC6	MC5	NC5	MC4	NC4	MC3	NC3	MC2	NC2	MC1	NC1	متغیر
۱۰۰	۱۰۰	۲۱/۸	۰/۰۴	۸/۳۲	۰/۰۳	۱۱/۵۹	۰/۲۱	۱۰/۲۳	۰/۱۴	۷/۹۱	۰/۱۴۸	۴/۵۴	۱/۵۲	۸/۰۱	۱۵/۲۵	۲۷/۵۹	۸۲/۲۳	
۱۶۳۱/۱۱	۱۱۴۰۴۵۱	۳۵۵/۶۴	۴۶۳	۱۳۵/۶۹	۲۸۸	۱۸۹/۰۴	۲۳۶۲	۱۶۶/۹۱	۱۶۰۲	۱۲۹/۰۸	۵۴۲۸	۷۳/۹۸	۱۷۳۶۴	۱۳۰/۶۸	۱۷۳۹۶۴	۴۵۰/۰۹	۹۳۸۹۷۶	مقدار

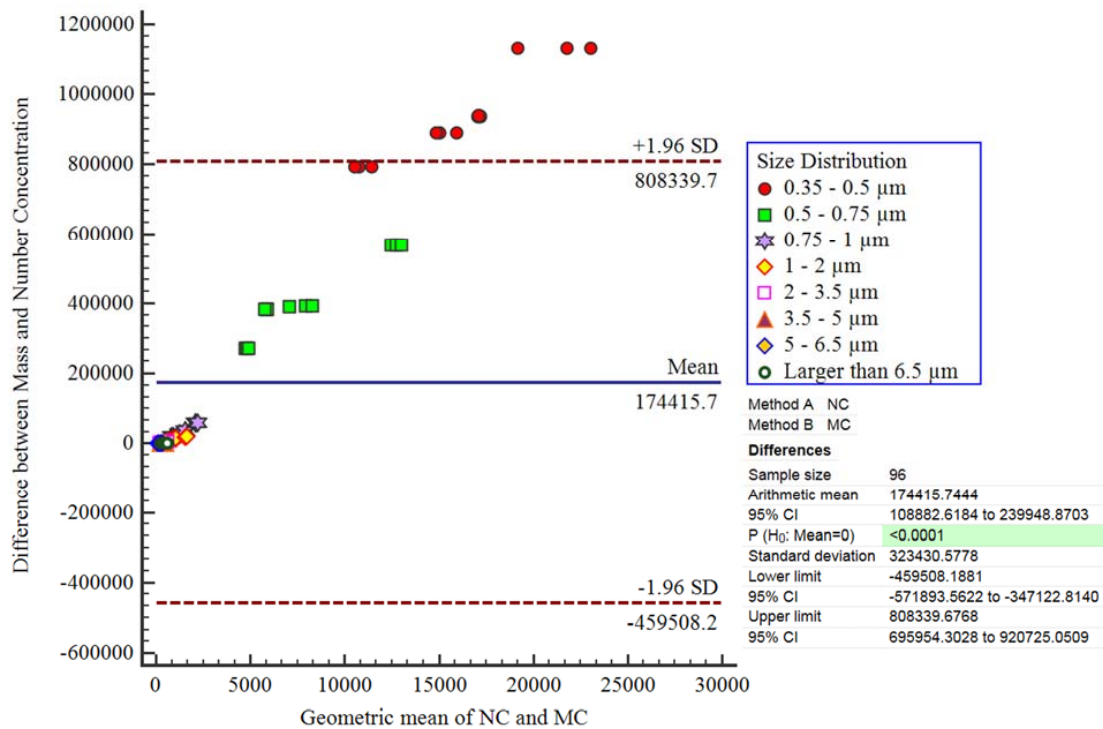
شکل ۲. تراکم عددی (الف) و جرمی (ب) فیوم‌های منتشره از جوشکاری SMAW (واحد تراکم عددی: تعداد ذره بر لیتر - واحد تراکم جرمی: میکروگرم بر مترمکعب)



شکل ۳. مقایسه تراکم عددی و جرمی در ردیف سایزهای مختلف در جوشکاری SMAW

لیتر بود و برای ذرات ۰/۳۵ تا ۰/۵ میکرومتر به میزان ۹۳۸۹۷۶ ذره بر لیتر رسید. به این ترتیب، با نادیده گرفتن نوسانات جزئی در ردیف سایزهای ۶ و ۸ که تراکم عددی فیوم‌ها نسبت به ردیف سایز قبلشان افزایش داشته، یک روند نزولی در تراکم عددی فیوم‌های جوشکاری با بزرگ‌تر شدن اندازه ذرات مشاهده می‌شود. بیش‌ترین تراکم جرمی نیز مربوط به MC1 و MC8 به ترتیب با مقادیر ۴۵۰ و ۳۵۵ میکروگرم بر مترمکعب بود. با کاهش تعداد ذرات، تراکم جرمی فیوم‌های جوشکاری از MC1 تا MC3

هم‌چنین شکل ۳، تراکم عددی و جرمی فیوم‌های جوشکاری SMAW را در ردیف‌های مختلف اندازه ذرات مورد مقایسه قرار می‌دهد. از آنجایی که تفاوت تراکم عددی و جرمی در ردیف سایزهای مختلف زیاد می‌باشد، برای نمایش گرافیکی بهتر داده‌ها، از مقادیر آن‌ها لگاریتم در مبنای ۱۰ گرفته شده است. شایان ذکر است که افزایش چشم‌گیری در تراکم عددی فیوم‌های جوشکاری با کاهش قطر ذرات مشاهده می‌شود، به طوری که تراکم عددی ذرات با قطر ۵ تا ۶/۵ میکرومتر، ۲۸۸ ذره بر



شکل ۴. مقایسه تراکم عددی و جرمی منتشره از جوش کاری SMAW با استفاده از نمودار Bland-Altman

تراکم جرمی که براساس استانداردهای حدود مواجهه شغلی به عنوان تراکم مرجع برای ارزیابی مواجهه با ذرات در نظر گرفته شده است، تطابق ندارد. با توجه به شکل، ذرات کوچکتر بیش تر مسوول این عدم تطابق هستند و با کوچکتر شدن اندازه ذرات، تفاوت بین تراکم عددی و جرمی افزایش می‌یابد.

### بحث

مطالعات انجام شده در زمینه اپیدمیولوژی محیط‌زیستی نشان‌گر این است که نه تنها میزان تراکم جرمی، بلکه تراکم عددی نیز نقش برجسته‌ای را در ارزیابی اثرات نامطلوب ذرات استنشاقی ایفا می‌کنند (۱۹). از این رو در مطالعه حاضر، علاوه بر تراکم جرمی، تراکم عددی فیوم‌های جوش کاری نیز در ردیف اندازه‌های مذکور سنجش شد. سازمان OSHA<sup>۱</sup>

کاهش محسوسی دارد و سپس با افزایش قطر فیوم‌ها و سنگین تر شدن آن‌ها از MC3 تا MC8 افزایش می‌یابد. شایان ذکر است که مقداری کاهش در MC7 نسبت به ردیف سایزهای قبلی مشاهده می‌شود. شکل ۴ تراکم عددی و جرمی فیوم‌های جوش کاری SMAW را با استفاده از نمودار Bland-Altman مورد مقایسه قرار داده است. نمودار بلند-آلتمن (یا نمودار تفاوت) نوعی روش نمایش داده در شیمی تحلیلی و آمار زیستی است که برای تحلیل میزان توافق بین دو پارامتر اندازه‌گیری شده به کار می‌رود (۲۰، ۲۱). این نمودار هم‌چنین می‌تواند برای مقایسه یک روش اندازه‌گیری با روشی دیگر که استاندارد طلایی است به کار گرفته شود (۲۲). همان‌طور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود، با توجه به مقدار P-value ( $<0.0001$ ) فرضیه تطابق بین تراکم عددی و جرمی رد می‌شود و در نتیجه تراکم عددی با

Occupational Safety and Health Administration -1

ولتاژهای مختلف اندازه‌گیری کردند که در ولتاژ ۱۶ ولت ۹۸۰۰ ذره بر سانتی مترمکعب و در ولتاژ ۲۴، ۸۲۸۰۰ ذره بر سانتی مترمکعب بود (۵۴)، در حالی که مطالعه Buonanno و همکارانش تراکم عددی را در محدوده  $2 \times 10^5$  تا  $8 \times 10^5$  ذره بر سانتی مترمکعب نشان داد (۵۵). یکی از تفاوت‌های محسوس در بحث بالا، تفاوت در واحد تراکم عددی گزارش شده می‌باشد که در مطالعات فوق‌الذکر بر حسب تعداد ذره بر سانتی مترمکعب بود اما در مطالعه حاضر بر حسب تعداد ذره بر لیتر می‌باشد که این ریشه در ردیف سایزهای پایش شده دارد. در مطالعه حاضر ۸ ردیف سایز در محدوده میکروذرات مورد ارزیابی قرار گرفتند، اما در مطالعات فوق‌الذکر تمامی ردیف سایزها از محدوده میکرو ذرات تا نانو ذرات سنجش شده است. همان گونه که نتایج نشان داد بیشترین تراکم عددی مربوط به فیوم‌های جوشکاری در ردیف سایز  $0/5 - 35/0$  میکرومتر و کمترین تراکم عددی مربوط به ذرات در ردیف سایزهای  $5/6 - 5$  و بزرگ‌تر از  $6/5$  میکرومتر می‌باشد. در مقابل، ذرات در ردیف سایز  $0/5 - 35/0$  و بزرگ‌تر از  $5/6$  میکرومتر بیشترین تراکم جرمی را به خود اختصاص داده اند. علت این پدیده را می‌توان به بالاتر بودن تراکم عددی در ردیف سایز  $5/0 - 35/0$  میکرومتر و سنگین تر بودن ذرات برای ذرات بزرگ‌تر از  $5/6$  میکرومتر نسبت داد. از سویی با کوچک‌تر شدن اندازه ذرات، تراکم عددی آنها افزایش چشم‌گیری پیدا می‌کند و روند صعودی نسبتاً منظمی در افزایش تراکم عددی فیوم‌های جوشکاری با کاهش سایز ذرات مشاهده می‌شود، که نشان می‌دهد برخلاف تراکم جرمی، فرآیند جوشکاری بیشترین تراکم عددی را برای ردیف سایزهای کوچک‌تر منتشر می‌کند. هم‌چنین نتایج این پژوهش نشان داد که بین تراکم عددی و جرمی به عنوان دو شاخص ارزیابی ذرات

تاکنون حدود مواجهه قابل قبولی (PEL<sup>۱</sup>) خصوصاً برای مواجهه با فیوم‌های جوشکاری تنظیم نکرده است. NIOSH<sup>۲</sup> فیوم‌های جوشکاری را به عنوان یک پتانسیل شغلی سرطان‌زا در نظر می‌گیرد و کاهش در مواجهه با فیوم‌های جوشکاری را به پایین‌ترین سطح ممکن پیشنهاد می‌کند (۲۳). به‌علاوه، ACGIH اخیراً مقدار حدود مجاز مواجهه (TLV<sup>۳</sup>) را برای گردوغبار کلی<sup>۴</sup> به مقدار  $5 \text{ mg/m}^3$  کاهش داده است (۲۴). در آلمان، وزارت کار و امور اجتماعی یک حدود مواجهه شغلی برای ذرات قابل تنفس<sup>۵</sup> و قابل استنشاق<sup>۶</sup> به ترتیب با مقادیر  $10 \text{ mg/m}^3$  و  $3 \text{ mg/m}^3$  تنظیم کرده است که برای فیوم‌های جوشکاری نیز به کار می‌رود (۲۵). در مطالعه حاضر، مقدار تراکم جرمی کلی  $63/1 \text{ mg/m}^3$  است و پایین‌تر از حدود مجاز مواجهه شغلی فوق‌الذکر می‌باشد. در مطالعه Lee و همکاران تراکم جرمی فیوم‌های جوشکاری در شرایط مختلف اندازه‌گیری بین  $48/6 \text{ mg/m}^3$  تا  $4/24 \text{ mg/m}^3$  متغیر بود (۲۶) و مقادیر بالاتری را نسبت به مطالعه حاضر نشان می‌دهد. اندازه‌گیری‌های انجام شده در مطالعه آنها در یک اتاقک جوشکاری با فضای محدود صورت پذیرفته است (۲۶) که تجمع ذرات در این اتاقک می‌تواند علت بالا بودن تراکم جرمی در پژوهش آنها نسبت به مطالعه حاضر باشد. هم‌چنین مقدار تراکم عددی کلی  $73/2 \times 10^6$  ذره بر لیتر بود. Stephenson و همکارانش نیز تراکم عددی ذرات را در جوشکاری قوس الکتریکی بر روی استیل کربن  $2 \times 10^5$  ذره بر سانتی مترمکعب گزارش کردند (۵۳). از سویی Hovde و Rayner تراکم عددی ذرات را در

permissible exposure limits -1

National Institute for Occupational Safety and Health -2

Threshold Limit Value -3

Total dust -4

Inhalable -5

Respirable -6

تطابق وجود ندارد و با کوچک‌تر شدن سایز ذرات این عدم تطابق مشهودتر است. از آنجایی که ذرات کوچک‌تر به قسمت‌های تحتانی تر دستگاه تنفسی نفوذ می‌کنند و پتانسیل بالاتری برای اعمال اثرات نامطلوب بهداشتی دارند، لزوم سنجش و ارزیابی ذرات در ردیف سایزهای مختلف و به‌خصوص کسر ریزتر ذرات احساس می‌شود. لذا تصور می‌شود صرفاً در نظر گرفتن تراکم جرمی و عدم توجه به تراکم عددی در ارزیابی مواجهه با ذرات در محیط‌های کار صنعتی و به‌خصوص در فرآیند جوش کاری، ارزیابی صحیح و درستی از اثرات نامطلوب بهداشتی بر روی ارگان‌های بدن و به ویژه بافت ریه منعکس نخواهد شد. با توجه به اینکه هر تحقیق سرآغازی برای تحقیقات آتی به شمار می‌رود، لذا پیشنهاداتی که در زیر ارائه می‌گردد می‌تواند کمک شایانی به تحقیق و پژوهش در حیطه ارزیابی مواجهه با میکرو و نانو ذرات در آینده بکند. پیشنهادات این تحقیق به شرح زیر ارائه می‌شود:

- ۱- ارزیابی تراکم جرمی، عددی و سطح رویه در ارزیابی مواجهه با ذرات در محیط‌های کار صنعتی
- ۲- ارزیابی مواجهه با ذرات در ردیف سایزهای نانو در عملیات مختلف جوش کاری.

### نتیجه‌گیری

هم‌اکنون اکثر اندازه‌گیری‌های میزان مواجهه با ذرات در محیط‌های کاری و از جمله جوش کاری، همانند مقادیر مجاز مواجهه شغلی (TLV) بر مبنای تراکم جرمی انجام می‌پذیرد. غالباً جرم ذرات ریزتر در مقایسه با جرم ذرات خشن‌تر و درشت‌تر در محیط‌های کار صنعتی ناچیز است. اما در این محیط‌ها تراکم عددی بسیار زیادی از میکرو ذرات و نانو ذرات می‌توان مشاهده کرد. از آنجایی که با کوچک‌تر شدن اندازه ذرات، با فرض حجم یکسان، نسبت سطح به حجم ذرات افزایش می‌یابد و با در

نظر گرفتن این واقعیت که افزایش سطح ذرات، علی‌رغم دارا بودن یک ترکیب شیمیایی یکسان، قادر است یک ماده خنثی و بی‌اثر را به یک ماده سمی تبدیل کند و واکنش‌های بسیار متفاوتی را با مایعات زیستی و سلول‌ها داشته باشد، به تبع باعث افزایش اثرات نامطلوب بهداشتی آن‌ها می‌شود. هم‌چنین اخیراً مطالعات متعددی وجود یک هم‌بستگی و ارتباط را بین مواجهه با ذرات ریز و نانو ذرات هوابرد با مشکلات سلامتی نشان داده‌اند. انسان‌ها بخش زیادی از زمانشان را در محیط کار می‌گذرانند، بنابراین اثرات بهداشتی ناشی از مواجهه با ذرات مخصوصاً در این چنین محیط‌هایی مورد توجه خاص می‌باشد. تعدادی از مطالعات برای فهم بهتر تئوریک از مواجهه و جذب آن‌ها یک پایه ایجاد کرده‌اند. قوی‌ترین فرضیه این است که متناسب با افزایش تعداد و سطح رویه ذرات، احتمال می‌رود تا توانایی ماکروفاژها در فاگوسیتوز این ذرات ریز و جذب آن‌ها به‌وسیله سلول‌های اپیتلیال کاهش یابد. از این رو، این ذرات نهایتاً می‌توانند به داخل بافت‌ها راه یابند و باعث التهاب شوند. لذا ضروری به نظر می‌رسد تا علاوه بر تراکم جرمی، تراکم عددی ذرات نیز در ردیف سایزهای مختلف برای ارزیابی مواجهه در محیط‌های کار صنعتی مورد توجه قرار گیرد. به‌علاوه، از آنجایی که ذرات کوچک‌تر به قسمت‌های تحتانی تر دستگاه تنفسی نفوذ می‌کنند و پتانسیل بالاتری برای اعمال اثرات نامطلوب بهداشتی دارند، لزوم سنجش و ارزیابی ذرات در ردیف سایزهای مختلف و به‌خصوص کسر ریزتر ذرات احساس می‌شود. لذا تصور می‌شود صرفاً در نظر گرفتن تراکم جرمی و عدم توجه به تراکم عددی در ارزیابی مواجهه با ذرات در محیط‌های کار صنعتی و به‌خصوص در فرآیند جوش کاری ارزیابی صحیح و درستی از اثرات نامطلوب بهداشتی را بر روی ارگان‌های بدن و به ویژه بافت ریه منعکس نخواهد کرد.



### تشکر و قدردانی

هم‌چنین نویسندگان مقاله، مراتب تقدیر و تشکر خود را از کارشناس گروه متالورژی دانشگاه صنعتی شریف، مهندس محمدرضا رسنجان‌کی که با همکاری خود امکان انجام این پژوهش را فراهم کردند، اعلام می‌نمایند.

این مقاله برگرفته از طرح پژوهشی تصویب‌شده در دانشگاه علوم پزشکی تهران بوده و توسط معاونت پژوهشی این دانشگاه به شماره ۲۹۷۵۱-۲۷-۰۴-۹۴ تأمین اعتبار شده است.

### REFERENCES

- Gomes JFP, Qualidade IdSe, de Formação S-SA. Higiene e segurança em soldadura 1993.
- Golbabaee F, Zare Sakhvidi MJ, Tirgar A, Shahtaheri S, Rahimi Foroshani A. Assessment of Hexavalent Chromium Emission in Various Stainless Steel Welding Processes. Iran Occupational Health Journal. 2007;4(1):20-4.
- Loukzadeh Z, Torab Jahromi M. Occupational hazards in welding industry. OCCUPATIONAL MEDICINE Quarterly Journal. 2013;5(3):95-114.
- Hobson A, Seixas N, Sterling D, Racette BA. Estimation of particulate mass and manganese exposure levels among welders. Annals of occupational hygiene. 2010;meq069.
- Yoon CS, Paik NW, Kim JH. Fume generation and content of total chromium and hexavalent chromium in flux-cored arc welding. Annals of Occupational Hygiene. 2003;8(47):671-80.
- Gomes JF. Analysis of welding fumes: a short notice on the comparison between two sampling techniques. Toxicological and Environmental Chemistry. 2005;87(1-4):345-9.
- Yu K-M, Topham N, Wang J, Kalivoda M, Tseng Y, Wu C-Y, et al. Decreasing biotoxicity of fume particles produced in welding process. Journal of hazardous materials. 2011;185(2):1587-91.
- Sriram K, Lin GX, Jefferson AM, Roberts JR, Chapman RS, Chen BT, et al. Dopaminergic neurotoxicity following pulmonary exposure to manganese-containing welding fumes. Archives of toxicology. 2010;84(7):521-40.
- IARC; International Agency for Research on Cancer: IARC Summary & Evaluation. 49 p. 49, 1990.
- Zimmer AT, Biswas P. Characterization of the aerosols resulting from arc welding processes. Journal of Aerosol Science. 2001;32(8):993-1008.
- Bakand S, Farshad AA. A review of nanotechnology and nanotoxicology (Editorial). Iran Occupational Health Journal. 2007;4(1):1-3.
- Warheit DB, Borm PJ, Hennes C, Lademann J. Testing strategies to establish the safety of nanomaterials: conclusions of an ECETOC workshop. Inhalation toxicology. 2007;19(8):631-43.
- Trout DB, Schulte PA. Medical surveillance, exposure registries, and epidemiologic research for workers exposed to nanomaterials.

- Toxicology. 2010;269(2):128-35.
14. Hygienists ACoGI, Vincent JH, editors. Particle size-selective sampling of particulate air contaminants 1999: ACGIH (American Conference of Governmental Industrial Hygienists).
  15. Canadian Centre for Occupational Health and Safety (CCOHS). Welders Health and Safety Guide. Hamilton, Ontario. 128 p.(1998).
  16. Guerreiro C, Gomes J, Carvalho P, Santos T, Miranda R, Albuquerque P. Characterization of airborne particles generated from metal active gas welding process. Inhalation toxicology. 2014;26(6):345-52.
  17. Model 1.106 Dust Monitor Manual, GRIMM Labortechnik GmbH & CO.KG, 1997.
  18. Gomes JF, Miranda RM. Emission of airborne ultrafine particles during welding of steel plates. Ciência & Tecnologia dos Materiais. 2014.
  19. Brand P, Lenz K, Reisgen U, Kraus T. Number size distribution of fine and ultrafine fume particles from various welding processes. Annals of occupational hygiene. 2012;mes070.
  20. Altman DG, Bland JM. Measurement in medicine: the analysis of method comparison studies. The statistician. 1983:307-17.
  21. Bland JM, Altman D. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. The lancet. 1986;327(8476):307-10.
  22. Bland JM, Altman DG. Measuring agreement in method comparison studies. Statistical methods in medical research. 1999;8(2):135-60.
  23. OSHA. (1997) Occupational safety and health guideline for welding fumes. Occupational Safety and Health Administration Available at <http://www.osha.gov/SLTC/healthguidelines/weldingfumes/recognition.html>. Accessed 30 March 2011.
  24. ACGIH Monograph. (2011) TLVs and BEIs, threshold limit values for chemical substances and physical agents and biological exposure indices. Cincinnati, OH: Signature Publications.
  25. Lehnert M, Pesch B, Lotz A, Pelzer J, Kendzia B, Gawrych K, et al. Exposure to inhalable, respirable, and ultrafine particles in welding fume. Annals of occupational hygiene. 2012;56(5):557-67.
  26. Lee M-H, McClellan WJ, Candela J, Andrews D, Biswas P. Reduction of nanoparticle exposure to welding aerosols by modification of the ventilation system in a workplace. Nanotechnology and Occupational Health: Springer; 2006. p. 127-36.

## The comparative assessment of welders' exposure to welding fumes based on mass and number concentration

Javad Sajedifar<sup>1</sup>, Amir Hosein Kokabi<sup>2</sup>, Kamal Azam<sup>3</sup>, Somayeh Farhang Dehghan<sup>4</sup>  
Ali Karimi<sup>5</sup>, Farideh Golbabaei<sup>6\*</sup>

<sup>1</sup> B.Sc., Department of Occupational Health Engineering, School of Public Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

<sup>2</sup> Professor, Department of Materials Science and Engineering, Sharif University of Technology, Tehran, Iran

<sup>3</sup> Associate Professor, School of Public Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

<sup>4</sup> Assistant Professor, Department of Occupational Health, School of Public Health, Shahid Beheshti University of Medical Sciences, Tehran, Iran

<sup>5</sup> Assistant Professor, Department of Occupational Health Engineering, School of Public Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

<sup>6</sup> Professor, Department of Occupational Health Engineering, School of Public Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran

### Abstract

**Introduction:** Nowadays, Shielded Metal Arc Welding (SMAW) is the most widely used arc welding. During the welding operation, typically, various harmful agents such as fumes, gases, heat, sound and ultraviolet radiation are produced of which fume is the most important component from the viewpoint of occupational health. The present study aims to compare the number and the mass concentration emitted in SMAW to determine the most appropriate index of exposure to fumes in the welding processes.

**Material and Method:** In this study, the portable laser aerosol spectrometer and dust monitor of GRIMM, model 1.106, was used to measure the number and mass concentration of fumes emitted from SMAW on 304 stainless steel with a thickness of 0.4 mm. Air sampling was performed at a distance of 41 cm representing the welder's breathing zone. The measurements of number concentration (NC) and mass concentration (MC) were taken under the condition of 25 volt voltage and direct current of the electrode polarity.

**Result:** The total NC and MC of welding fumes in welder's breathing zone was 1140451 particles per liter and 1631.11 micrograms per cubic meter, respectively. The highest number concentration was found to correspond to the particles with 0.35 to 0.5 micrometer-sized distribution (NC1; 938976 particles per liter) and the lowest was related to the particles with 5 to 6.5 micrometer-sized distribution (NC7; 288 particles per liter) and the particles larger than 6.5 micrometer (NC8; 463 particles per liter). Moreover, the highest mass concentration was related to the particles with 0.35 to 0.5 micrometer-sized distribution (MC1; 450 micrograms per cubic meter) and the particles larger than 6.5 micrometer (MC8; 355 micrograms per cubic meter).

**Conclusion:** The findings indicated that there is no agreement between number and mass concentration as two particles assessment index, and as the particles' size become smaller, the mismatch of them is becoming more apparent. Since the smaller particles penetrate into the lower respiratory tract and have higher potential for adverse health effects, it is necessary to measure and assess particles in various size distributions and especially the smaller fraction of particles. Therefore, it is thought that considering the mass concentration alone and not paying attention to number concentration in the assessment of exposure to particles in the industrial workplaces and specifically in welding stations will not be reflected valid assessment of adverse health effects of welding fumes as a systemic poison on body organs.

**Key words:** Inhalation Exposure, Mass Concentration, Number Concentration, Shielded Metal Arc Welding, Welding

\* Corresponding Author Email: [fgolbabaei@sina.tums.ac.ir](mailto:fgolbabaei@sina.tums.ac.ir)