دوماهنامه سلامت کار ایران دوره ۱۳، شماره ۴، مهر و آبان ۱۳۹۵

طراحی و ارزیابی عملکرد سامانهٔ تهویهٔ مکشی موضعی بر روی مشعل جوشکاری

رسول یاراحمدی[۱]، فریده گلبابایی[۲]، علیرضا علیپور[۳]، میترا رشیدی[۴]

تاریخ دریافت: ۹۳/۱۱/۳۰ تاریخ ویرایش: ۹۴/۰۱/۱۵ تاریخ پذیرش: ۹۴/۰۳/۰۴

چکیده

زمینه و هدف: تهدید سلامت جوشکاران به علت مواجهه با دمه‌های جوشکاری امری جدی می‌باشد؛ بنابراین بررسی و کنترل کارآمد دمه‌های جوشکاری ضروری می‌باشد. در این مطالعه، عملکرد یک نمونه آزمایشگاهی از سامانهٔ تهویهٔ مکشی موضعی نصب شده بر روی مشعل جوشکاری به‌منظور کنترل آلاینده‌های آن مورد ارزیابی قرار گرفت.

روش بررسی: میانگین سرعت کانال با استفاده از روش نقاط فروبری و هواگذر مکشی تأمین شده توسط سامانهٔ تهویه بر اساس روش استاندارد ACGIH تعیین گردید. همچنین سرعت ربایش در نزدیک منبع آلاینده (نقطه جوش) با استفاده از آنمومتر حرارتی مورد اندازه‌گیری قرار گرفت. سپس به‌منظور تعیین غلظت ذرات کل و راندمان ربایش ایجاد شده توسط این سامانه، روش استاندارد NIOSH ۷۲۰۰ مورد استفاده قرار گرفت.

یافته‌ها: نتایج حاصل، میانگین سرعت کانال و در نتیجه هواگذر مکشی تأمین شده توسط سامانهٔ مورد بررسی را به ترتیب برابر ۹۲/۵±۶۲۹۶/۱ fpm و ۰/۵±۳۴/۰۶ Scfm نشان داد. همچنین سرعت ربایش در نزدیک محل جوش، ۱۴۰ fpm به دست آمد. نتایج حاصل از نمونه‌برداری در وضعیت خاموش و روشن بودن سامانهٔ مکشی به ترتیب، میانگین غلظت ذرات کل را ۷۵±۷ mg/m^3 و ۴±۱۶/۷ mg/m^3 نشان داد. در نتیجه کارایی حذف ۷۷٪ توسط این سامانه حاصل شد.

نتیجه‌گیری: سامانهٔ تهویهٔ مکشی موضعی مورد استفاده در این مطالعه یک نمونه اولیه ساخته شده کم‌هزینه می‌باشد و مطابق با نتایج به دست آمده، توانست غلظت ذرات کل در منطقه تنفسی را تقریباً به میزان ۲۲٪ کاهش دهد.

کلیدواژه‌ها: تهویهٔ مکشی موضعی، دمه‌های جوشکاری، طراحی و ارزیابی عملکرد.

مقدمه

جوشکاری یکی از مشاغل توأم با خطر می‌باشد. در طول عملیات جوشکاری، دمه‌ها و گازهایی تولید می‌شود که برای سلامتی افراد بسیار خطرناک می‌باشند [۱]، اهمیت تهدید سلامت جوشکاران به علت مواجهه با آن‌ها، دلیلی بر اهمیت و ضرورت کنترل دمه‌های جوشکاری می‌باشد [۲].

کاهش گازها و ذرات آلاینده و سمی در محیط کار به زیر سطوح قابل قبول به‌منظور فراهم ساختن محیط بهداشتی و ایمن برای کارکنان و همچنین حفاظت از محصولات و تجهیزات در کارخانه‌های صنعتی کوچک و بزرگ دارای اهمیت زیادی می‌باشد [۳].

روش‌های مختلفی، از جمله تهویه عمومی و موضعی برای کنترل دمه‌های جوشکاری توصیه شده است [۴]. فلاین و همکارانش طی مطالعه‌ای، سامانه‌های تهویهٔ موضعی مختلف را جهت کنترل دمه‌های جوشکاری حاصل از صنایع مختلف مورد بررسی قرار دادند. نتایج این تحقیق نشان داد که تهویهٔ موضعی (LEV) (Exhaust Ventilation Local) می‌تواند مواجهه با دمه‌های جوشکاری را برای کل ذرات، منگنز و کرم شش ظرفیتی به زیر سطوح قابل قبول امروزی کاهش دهد. همچنین نتایج مطالعات میدانی، بیش از ۴۰ تا ۵۰ درصد کاهش در مواجهه را برای سامانه‌های تهویهٔ موضعی متحرک یا ثابت در مقایسه با تهویه عمومی نشان داد [۵].

ازآنجایی‌که موقعیت جوشکار در طول جوشکاری نزدیک به قوس جوشکاری و منبع آلاینده می‌باشد، استفاده از سامانه‌های تهویهٔ مکشی موضعی، می‌تواند

۱- عضو مرکز تحقیقات بهداشت کار، گروه بهداشت حرفه ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی ایران، تهران، ایران.

۲- گروه بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران.

۳- استادیار گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران.

۴-(نویسنده مسئول) دانشجوی کارشناسی ارشد بهداشت حرفه‌ای، دانشگاه علوم پزشکی تهران، تهران، ایران.rashidi.mitra02@gmail.com

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2025-07-13]

انتخاب مناسبی به‌منظور بهبود محیط کار و حفاظت از مواجهه جوشکاران باشد [۶].

یکی از سامانه‌هایی که به‌طورمعمول در صنایع مورد استفاده قرار می‌گیرد هودهای قابل جابجایی یا هودهای با بازوی متحرک می‌باشد؛ اما این هودها به‌منظور تأمین ربایش مؤثر، باید نزدیک به منبع انتشار آلودگی قرار گیرند در نتیجه لازم است که به دفعات مکرر توسط جوشکار تنظیم شوند و وضعیت آن‌ها تغییر داده شود که در عمل مشکل بوده و ممکن است توسط جوشکار فراموش شود، در نتیجه کارایی مورد نظر را نداشته باشند [۷ و ۸].

شکیل زیدی و همکارانش دو دستگاه مکشی موضعی قابل حمل و قابل جابجایی را برای حذف دمه‌های منگنز مورد مقایسه قرار دادند. نتایج این مطالعه کارایی بسیار بالایی را برای سامانهٔ مکشی موضعی قابل حمل نشان داد؛ و توصیه شد که این سامانه برای صنایع در مقیاس بزرگ و کوچک و وظایف کاری سنگین مناسب‌تر می‌باشد [۹].

دم پکک و جان ساندرز سامانهٔ مکشی نصب شده بر روی مشعل جوشکاری را مورد بررسی قرار داد. نتایج این مطالعه، مزایای این سامانه را نسبت به سامانه‌های با بازوی متحرک گزارش نمود [۸].

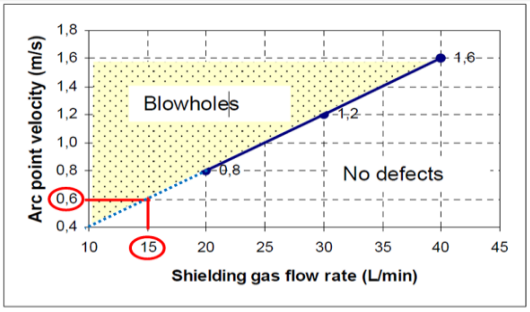
یکی دیگر از روش‌هایی که جهت کنترل آلاینده‌های جوشکاری مورد استفاده قرار می‌گیرد، سامانه‌های حجم پایین–سرعت بالا (LVHV)[1] نصب شده بر روی مشعل جوشکاری می‌باشد که این سامانه‌ها می‌توانند به‌صورت اضافه بر روی مشعل جوشکاری نصب شوند (Add-on) یا اینکه به‌صورت بخش جدایی‌ناپذیر از مشعل طراحی شوند (Integral). به‌طور کلی این سامانه‌ها به‌عنوان سامانه‌های مکشی On-gun (نصب شده بر روی مشعل) شناخته شده‌اند.

مزیت اصلی این سامانه‌ها این است که همیشه نزدیک به منبع انتشار آلاینده قرار می‌گیرند، در نتیجه در مقایسه با هودهای با بازوی متحرک حجم هوای کمتری ربایش می‌کنند؛ اما احتمال حذف گاز محافظ در سرعت‌های بالا و در نتیجه کاهش کیفیت جوش یک چالش عمده در استفاده از این سامانه‌های کارآمد می‌باشد [۱۰].

جان اوجیما عملکرد سامانهٔ مکشی دمهٔ نصب شده روی مشعل جوشکاری قوس الکتریکی CO2 مورد بررسی قرار داد. نتایج این مطالعه نشان داد که این سامانه نسبت به سامانهٔ موضعی و عمومی نیاز به حذف هوای بسیار کمتری دارد در نتیجه از نظر اقتصادی به‌صرفه می‌باشد و قابلیت اجرایی آن نسبت به دیگر سامانه‌های تهویه برتری دارد؛ اما در شرایطی که مکش به علت موقعیت جوشکار و یا افزایش بیش‌ازحد گاز محافظ مختل شود باعث کاهش راندمان حذف دمه‌های جوشکاری می‌شود [۲].

ایواساکی و همکاران طی مطالعه‌ای نسبت دبی حجمی گاز محافظ و سرعت در نقطه قوس جوشکاری را مورد بررسی قرار دادند، نتایج نشان داد که در فرایند جوشکاری مرزی وجود دارد که تشکیل حفره یا نقص جوش در آن مرز رخ می‌دهد. نتایج در شکل ۱ نشان داده شده است [۱۱].

امروزه در مراکز و مؤسسات تولید و توسعه فناوری‌های کنترل آلودگی در حال بازاریابی انواع مختلفی از سامانه‌های تهویهٔ موضعی می‌باشند، بااین‌وجود، مشکلات مربوط به هزینه بالای واردات، خرید، نگهداری و تعمیر این سامانه‌ها بخصوص برای



شکل ۱– نسبت سرعت در نقطه قوس و میزان جریان حجمی گاز محافظ – مرزی که نقص های جوشکاری رخ می دهد (مطالعه ایواساکی و همکاران)

[1]. Low Volume High Velocity

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2025-07-13]

کارگاه‌های کوچک، عمده نگرانی و دلیل اصلی عدم استفاده از این تجهیزات کارآمد در کشورهای درحال‌توسعه و توسعه‌نیافته می‌باشد؛ و در بسیاری از موارد باوجود پرداخت هزینه‌های سنگین برای وارد کردن این تجهیزات، بعد از مدتی به علت استهلاک و عدم توانایی پرداخت هزینه تعمیر، بدون استفاده باقی می‌مانند؛ بنابراین در این‌چنین کشورهایی نیاز به روش‌های کم‌هزینه و قابل‌دسترس جهت حفظ بهداشت و ایمنی کارکنان بسیار چشمگیر می‌باشد. در نتیجه، تلاش برای طراحی و ساخت سامانه‌های مشابه، در داخل کشور و با مواد و محصولات داخلی و همچنین انجام تحقیقات میدانی جهت دستیابی به کارایی بهتر می‌تواند یکی از تدابیر مؤثر برای تأمین نیازهای داخلی در آینده باشد [۹].

در این مطالعه یک نمونه اولیه از مدل هود کوچک مکنده دمهٔ جوشکاری ساخته شده در مقیاس آزمایشگاهی ارائه شد؛ و تمرکز اصلی این مطالعه بر روی ساخت و بررسی عملکرد این هود می‌باشد.

روش بررسی

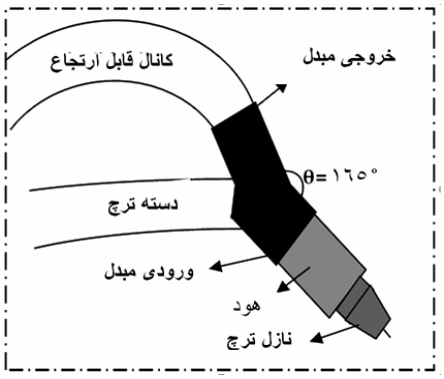
طراحی هود: در مطالعه حاضر یک نمونه از سامانهٔ مکشی موضعی دمهٔ جوشکاری (هود کوچک) نصب شده بر روی مشعل جوشکاری مورد بررسی قرار گرفت. طراحی این سامانه بر اساس شکل و ابعاد مشعل جوشکاری انجام شد و همچنین با توجه به این‌که جوشکاری از دسته مشاغل دقیق و ظریف می‌باشد، در طراحی سامانهٔ مورد مطالعه حفظ ظرافت آن نیز تا حد امکان در نظر گرفته شد. در ادامه مشخصات و شکل اجزای این سامانه توضیح داده شده است.

در شکل ۲- الف طرح‌واره‌ای از سامانهٔ طراحی شده نشان داده شده است براین اساس در محل زاویه گردش گردن مشعل، یک قسمت زانویی شکل با شعاع گردش ۱۶۵ درجه از جنس پلاستیک فشرده (مواد پلی وینیل کلراید) ساخته شد و به‌صورت ثابت در اطراف گردن مشعل و قسمت بالای آن نصب گردید و به‌عنوان یک مبدل برای اتصال هود به کانال قابل انعطاف مورد استفاده قرار گرفت (قطر داخلی ورودی و خروجی کانال به ترتیب ۳۲ و ۲۵ میلی‌متر می‌باشد). قابل‌ذکر است که مواد پلی وینیل کلراید به دلیل سهولت ساخت به‌صورت دستی در آزمایشگاه انتخاب شد؛ و به‌منظور مقاوم نمودن سامانه در برابر حرارت و جلوگیری از تغییر شکل آن در اثر حرارت، برای قطعه‌ای از هود که در تماس نزدیک با محل جوش قرار می‌گرفت جنس آلومینیوم انتخاب شد. برای این منظور هودی ساده با مقطع دایره‌ای از جنس آلومینیم (با قطر داخلی ۳۲ و ضخامت ۱ میلی‌متر) ساخته شد، ازآنجایی‌که سامانه‌های مکشی موضعی برای اینکه کارایی مناسبی داشته باشند لازم است تا حد امکان نزدیک به منبع آلاینده قرار گیرند، سعی شد حداقل فاصله ممکن انتخاب شود به‌گونه‌ای که با فرآیند جوشکاری (برای مثال دیدن منطقه جوشکاری) تداخلی ایجاد نشود. در این مطالعه دهانه هود در فاصله ۲۰ میلی‌متری از نازل گاز مشعل جوشکاری قرار گرفت. همچنین خروجی مبدل توسط یک کانال انعطاف‌پذیر با قطر داخلی ۳۲ میلی‌متر و طول ۳ متر به فن مکنده متصل شد. به دلیل کوچک بودن خروجی مبدل و به‌منظور جلوگیری از تغییر ناگهانی، قطر تا حد امکان کوچک در نظر گرفته شد. از طرفی به‌طورمعمول در کاربردهای صنعتی، مناسب بودن طول کانال به‌منظور تسهیل در قابلیت جابجایی جوشکار در طی فرآیند جوشکاری دارای اهمیت می‌باشد؛ و با توجه به تأثیر افزایش طول کانال بر افزایش افت فشار، در شرایط آزمایش نیز با انتخاب طول ۳ متر سعی شد تا حدی اثر این عامل در عملکرد سامانه اعمال شود. در شکل ۲- ب تصویر مدل آزمایشگاهی طراحی شده نشان داده شده است.

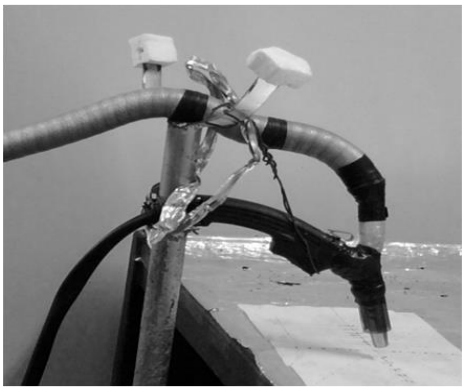
مشخصه‌های مورد بررسی در این مطالعه، شامل هواگذر مکشی، حداقل سرعت کانال، سرعت دهانه هود و سرعت ربایش در سامانه مورد مطالعه می‌باشد.

حداقل سرعت کانال (V_{duct}): عبارت است از سرعت هوای آلوده در داخل کانال پشت هود که هوا را منتقل می‌نماید (برحسب fpm)؛ و با استفاده از رابطه ۱

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2025-07-13]



الف



ب

شکل ۲- تصاویر سامانه مورد بررسی، الف) طرحواره و ب) تصویر از چیدمان آزمایشگاهی

محاسبه می‌شود.

هواگذر مکشی (Q_{ex}): ابتدایی‌ترین و مهم‌ترین معیار در یک هود است؛ به‌عبارت‌دیگر میزان Q باید به‌اندازه‌ای باشد که بتواند سرعت ذره آلوده‌کننده در محل تولید را به‌سرعت ربایش برساند و موجب کشیدن آلودگی به سمت هود گردد (برحسب cfm)؛ و با استفاده از رابطه ۲ محاسبه می‌شود.

سرعت دهانه هود (V_{face}): عبارت است از سرعت هوا در دهانه باز هود و یا به‌عبارت‌دیگر سرعتی که هوای آلوده بایستی در دهانه هود داشته باشد قادر به ادامه جریان در داخل سامانه شود (برحسب fpm) و با استفاده از رابطه ۳ محاسبه می‌شود.

سرعت ربایش (V_c): عبارت است از سرعت جریان هوای لازم در هر نقطه از دهانه هود و یا مجرا برای غلبه بر جریان‌های مخالف و گرفتن هوای آلوده و هدایت آن به داخل هود و مجرا که عاملی مهم برای طراحی سامانهٔ تهویه جهت جمع‌آوری هوای آلوده می‌باشد (برحسب fpm) و با استفاده از رابطه ۴ محاسبه می‌شود.

$$V_{duct} = 4005 \times \sqrt{VP_e} \quad (۱)$$

$$Q_{ex} = 4005 \times A_{duct} \sqrt{VP_e} \quad (۲)$$

$$V_{face} = \frac{Q_{ex}}{A_f} \quad (۳)$$

$$V_c = \frac{Q_{ex}}{10x^2 + A_f} \quad (۴)$$

در این روابط VPe فشار سرعت معادل (in.w.G)، A_{duct} سطح مقطع کانال (ft^2) و A_{face} سطح مقطع دهانه هود (ft^2) را نشان می‌دهند.

اندازه‌گیری فشار سرعت در کانال: میانگین سرعت کانال تابع فشار سرعت (اینچ آب) می‌باشد؛ که طبق رابطه ۱ محاسبه می‌شود. به‌منظور اندازه‌گیری فشار سرعت کانال درون سامانهٔ مورد بررسی، روش نقاط فروبری (Travers Point) برای کانال گرد و قطر کوچک‌تر مساوی ۶ اینچ مطابق استاندارد ACGIH مورد استفاده قرار گرفت. همچنین هواگذر مکشی بر اساس روش استاندارد ACGIH با استفاده از رابطه ۲ موردمحاسبه قرار گرفت [۱۲].

اندازه‌گیری سرعت در بالادست جریان: اندازه‌گیری سرعت ربایش در نزدیک منبع آلودگی با استفاده از بادسنج حرارتی یا آنمومتر حرارتی مدل(KIMO 50 INSTRUCTEUR-VT) و نسبت به نقطه قوس (Arc) فرضی، بدون عملیات جوشکاری انجام گرفت. هود به‌صورت عمود بر قطعه کار و در بالای محل جوشکاری قرار گرفت.

نمونه‌برداری و تعیین کارایی سامانه: برای تعیین غلظت ذرات کل (Total Dust)، روش وزن سنجی NIOSH مورد استفاده قرار گرفت [۱۳]. نمونه‌برداری با استفاده از صافی فایبرگلاس واتمن با قطر ۲۵ میلی‌متری با میزان جریان ۱/۲ لیتر بر دقیقه و حداقل زمان نمونه‌برداری ۱۵ دقیقه برای هر نمونه در طول

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2025-07-13]

شکل ۳- تصویر مشعل جوشکاری مورد استفاده

جدول ۱- مشخصه های کارکردی در فرآیند جوشکاری

وضعیت جوشکاری	تخت
جریان (A)	۲۰۰
ولتاژ (V)	۵۷
هواگذر گاز محافظ (lit/min)	۱۵
قطر سیم (mm)	۰/۷
طول بیرونزدگی سیم (mm)	۱۰ -۱۵

فرآیند جوشکاری انجام گرفت و بین هر مرحله نمونه‌برداری ۱۵ تا ۳۰ دقیقه فاصله زمانی به‌منظور رقیق شدن آلاینده تولید شده در طول نمونه‌برداری مرحله قبل در نظر گرفته شد. نمونه‌برداری در منطقه تنفسی جوشکار (در فاصله ۳۰ سانتی‌متری از منبع انتشار آلاینده) در طی انجام عملیات جوشکاری در حالت فعال و غیرفعال بودن مکش هود (با و بدون حضور هود بر روی مشعل) انجام گرفت. به‌طور کلی ۸ نمونه (۴ نمونه در حالت غیرفعال و ۴ نمونه در حالت فعال بودن هود مکشی) به همراه ۱ نمونه شاهد برای هر مرحله جمع‌آوری شد. سپس توزین صافی‌ها با استفاده از ترازوی حساس آزمایشگاهی و همچنین محاسبات مربوط به غلظت و کارایی حذف آلودگی انجام گرفت.

نوع جوشکاری مورد استفاده در این مطالعه، جوشکاری قوس فلزی با گاز محافظ CO2 (GMAW)[2] می‌باشد. GMAW یکی از رایج‌ترین انواع جوشکاری می‌باشد که تقریباً برای تمام فلزات تجاری و آلیاژهای آن‌ها، در طیف بسیار گسترده‌ای از کاربردهای مهندسی صنایع، کشاورزی، ساخت و ساز، کشتی‌سازی، معدنکاری و غیره مورد استفاده قرار می‌گیرد [۱۴]. در شکل ۳ تصویر مشعل مورد استفاده در این مطالعه نشان داده شده است. قطر داخلی و قطر خارجی نازل مشعل به ترتیب ۱۲ میلی‌متر و ۱۸ میلی‌متر می‌باشد. همچنین شرایط جوشکاری تنظیم شده در این مطالعه، در جدول ۱ نشان داده شده است.

یافته‌ها

پس از ساخت و نصب هود کوچک مورد مطالعه به‌منظور ارزیابی عملکرد آن، اندازه‌گیری فشار سرعت انجام گرفت و سایر متغیرها نیز به‌صورت تابعی از فشار سرعت موردمحاسبه قرار گرفت.

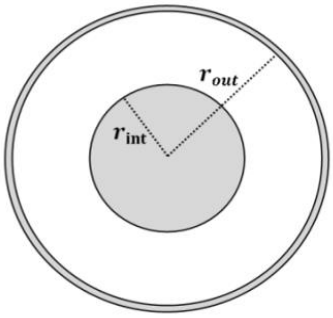
نتایج مربوط به اندازه‌گیری فشار سرعت کانال و محاسبه هواگذر مکشی و سرعت دهانه هود: با توجه به اینکه هود طراحی شده همانند حلقه‌ای نوک مشعل را احاطه نموده است، بنابراین شکل سطح مقطع هود حلقوی می‌باشد و مطابق فرمول مساحت حلقه از رابطه ۵ محاسبه شد. در شکل ۴ طرح‌واره‌ای از سطح مقطع هود نشان داده شده است؛ و همچنین در جدول ۲ ابعاد هود و نوک مشعل مورد استفاده در مطالعه حاضر نشان داده شده است.

$$A_f = \pi\,(r_{out}^2 - r_{int}^2) \quad (۵)$$

A_f: سطح مقطع دهانه حلقوی (m^2)

r_{int} : شعاع داخلی هود (m)

r_{out} : شعاع خارجی هود (m)



شکل ۴- سطح مقطع حلقوی

[2]. Gas Metal Arc Welding

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2025-07-13]

جدول ۲- ابعاد هود ساخته شده

ابعاد	مقدار	
قطر داخلی کانال	۰/۰۸۳ ft	۲۵/ ۳ mm
سطح مقطع کانال	۰/۰۰۵۴ ft_2	۰/۰۰۰۵ m^2
قطر داخلی دهانه هود (قطر کلی)	۰/۱۰۵ ft	۳۲ mm
قطر خارجی نوک نازل	۰/۰۵۴ ft	۱۸ mm
قطر موثر دهانه هود	۰/۰۴۵۹۳ ft	۱۴ mm
سطح مقطع دهانه هود	۰/۰۰۵۹ ft_2	۰/۰۰۰۵۵ m^2

جدول ۳- میانگین سرعت کانال، هواگذر مکشی و سرعت دهانه محاسبه شده

پارامتر	تعداد نمونه	میانگین	انحراف معیار	ضریب تغییرات (٪)
سرعت کانال (fpm)	۳	۶۲۹۶/۶۴	±۹۲/۵۰	۱/۴۶۹
هواگذر مکشی (Scfm)	۳	۳۴/۰۶	±۰/۵۰	۱/۴۶۸
سرعت دهانه هود (fpm)	۳	۵۷۶۳/۹۳	±۸۴/۶۷	۱/۴۶۹

نتایج حاصل از اندازه‌گیری فشار سرعت کانال با استفاده از روش نقاط فروبری، مقدار متوسط ۲/۴۸ اینچ آب را نشان داد.

میانگین سرعت کانال (V_{duct})، هواگذر مکشی (Q_{ex}) و سرعت دهانه هود (V_{face}) به ترتیب با استفاده از معادلات ۱، ۲ و ۳ موردمحاسبه قرار گرفتند؛ که نتایج در جدول ۳ نشان داده شده است.

ضریب تغییرات به‌عنوان شاخص تکرارپذیری و تجدید پذیری در اندازه‌گیری و کنترل دقت تجهیزات آزمایشگاهی توصیه شده است [۱۵ و ۱۶].

به همین منظور در مطالعه حاضر نیز به‌منظور تعیین دقت اندازه‌گیری‌ها، ضریب تغییرات نتایج ارزیابی‌ها مورد بررسی قرار گرفت. این ضریب شاخصی است به‌صورت نسبت انحراف معیار به میانگین محاسبه می‌شود و با CV نمایش داده می‌شود.

همان‌گونه که در جدول ۳ نشان داده شده است، ضریب تغییرات در مورد هر سه متغیر تقریباً برابر با ۱/۴۷ است. ازآنجاکه داده‌های مربوط به هواگذر مکشی و سرعت دهانه نیز تابع سرعت کانال می‌باشند و از قرارگیری سرعت کانال در معادلات به دست آمده‌اند، پراکندگی داده‌ها در هر سه متغیر مشابه می‌باشد؛ و مقدار کوچک ضریب تغییرات نشان‌دهنده پراکندگی کم و دقت بالای اندازه‌گیری‌ها است. سرعت متوسط کانال و تغییرات بسیار کم نشان‌دهنده سرعت مناسب و با یکنواختی کافی جهت انتقال گازها و ذرات فیوم در مسیر کانال سامانهٔ مکنده توسط هود ایجاد و هدایت شده است.

نتایج اندازه‌گیری سرعت ربایش: در جدول ۴، نتایج سرعت ربایش اندازه‌گیری شده در نزدیک نقطه قوس جوشکاری و بدون انجام عملیات جوشکاری جهت ارزیابی عملکرد سامانهٔ مورد نظر نشان داده شده است. اندازه‌گیری‌ها در هواگذر مکشی ثابت ۳۴/۰۶ scfm انجام گرفت.

جدول ۴- سرعت ربایش در نزدیک نقطه قوس فرضی، بدون انجام عملیات جوشکاری (Q_{ex} = ۳۴/۰۶ Scfm)

تعداد نمونه	میانگین سرعت ربایش	انحراف معیار	ضریب تغییرات (٪)
۴	m/s۰/۷	۰/۰۴۳۶±	۶/۲۳
	fpm۱۴۰	۸/۷۱۸±	

بحث و نتیجه‌گیری

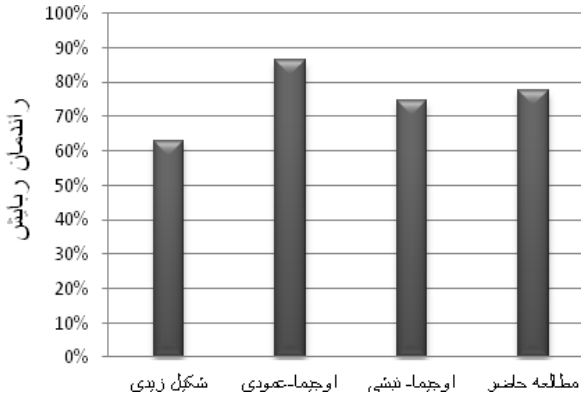
با توجه به اهمیت میزان سرعت در نزدیک نقطه قوس جوشکاری، به دلیل امکان اختلال در گاز محافظ جوشکاری، سرعت در نقطه مورد اندازه‌گیری قرار

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2025-07-13]

جدول ۵- غلظت و کارایی حذف کل ذرات، در حالت خاموش و روشن بودن مکش

وضعیت مکش	تعداد نمونه	فاصله از قطعه کار (cm)	میانگین غلظت ذرات کل (mg/m3)	کارایی ربایش (کنترل) ٪	ضریب تغییرات (٪)
خاموش	۳	۳۰	۷۵±۷	--------	۹/۳۳
روشن	۳	۳۰	۱۶/۷±۴	۷۷/۷۳	۲۳/۹۵

جریان گاز محافظ معادل l/min ۱۵ و محل نمونه برداری در منطقه تنفسی (۳۰ cm) بالای قوس جوشکاری لحاظ شده است. وضعیت جوشکاری: تخت و هود با زاویه تقریبی ۴۵ درجه بالای محل جوش قرار دارد.



شکل ۵- مقایسه کارایی ربایش بدست آمده با تحقیقات گذشته

گرفت. اندازه‌گیری‌ها، سرعت متوسط fpm ۱۴۰ را در نزدیک منبع آلاینده نشان داد؛ که این سرعت در محدوده سرعت‌های بهینه توصیه شده توسط ACGIH برای ربایش آلاینده‌های دود و دمه جوشکاری می‌باشد [۱۲].

اما همان‌گونه که قبلاً ذکر شد، یکی از چالش‌های عمده در استفاده از سامانه‌های تهویه مکشی موضعی نصب شده بر روی مشعل جوشکاری (On-gun)، حذف گاز محافظ در سرعت‌های مکش بالا می‌باشد. مطابق توصیه ACGIH، سرعت‌های ربایش بالای fpm۲۰۰ -۱۰۰ ممکن است منجر به اختلال در گاز محافظ و درنتیجه کاهش کیفیت جوش شوند [۱۳].

نتایج مطالعه ایواساکی و همکاران (شکل ۱) نشان داد، هنگامی‌که میزان جریان‌های حجمی گاز محافظ برابر با ۱۵، ۲۰، ۳۰ و ۴۰ لیتر بر دقیقه بوده به ترتیب در سرعت‌های ۰/۶، ۰/۸، ۱/۲ و ۱/۶ متر بر ثانیه تشکیل حفره یا نقص در جوش رخ خواهد داد [۱۱].

با توجه به اینکه دبی حجمی گاز محافظ مورد استفاده در این مطالعه ۱۵ لیتر بر دقیقه می‌باشد، بنابراین بر اساس مرز ذکر شده در شکل ۱، با این هواگذر مکشی، در سرعت fpm ۱۲۰ (۰/۶ m/s) تشکیل حفره یا نقص در جوش رخ می‌دهد؛ که با مقایسه سرعت‌های اندازه‌گیری شده در نقطه قوس جوشکاری می‌توان دریافت که سرعت fpm ۱۴۰ بالاتر از مرز ذکر شده در مطالعه ایواساکی و همکاران [۱۱] می‌باشد. در نتیجه به علت ایجاد نقص در جوش، این سرعت نامناسب بوده و لازم است در مقیاس صنعتی اصلاح گردد.

البته لازم به ذکر است که این سرعت‌ها بدون انجام عملیات جوشکاری (بدون گاز محافظ و قوس) اندازه‌گیری شده‌اند و به علت اینکه خروج گاز محافظ باعث کاهش هواگذر مکشی می‌شود، برای شرایط بدون عملیات جوشکاری می‌توان سرعت‌ها را بزرگ‌تر از میزان ذکر شده در نظر گرفت. ضریب تغییرات (CV)

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2025-07-13]

۶/۳۲٪ نشان‌دهنده پراکندگی تقریباً بالای سرعت‌های اندازه‌گیری در هر بار تکرار می‌باشد که ممکن است مربوط به‌دقت روش و ابزار اندازه‌گیری باشد.

در مطالعه حاضر، اندازه‌گیری‌ها، تنها در حداکثر هواگذر مکشی قابل‌تولید توسط فن مورد استفاده بود انجام گرفت؛ و ممکن است با تغییر شرایط جوشکاری از جمله استفاده از سرعت‌های بالاتر گاز محافظ، وضعیت‌های جوشکاری و ... نیاز به استفاده از هواگذرهای بزرگ‌تر یا کوچک‌تری به‌منظور حفظ کیفیت جوش باشد، بنابراین تأمین شرایطی برای قابلیت تنظیم هواگذر مکشی توسط جوشکار، متناسب با شرایط جوش یک راهکار جهت کارآمدتر شدن هود مورد مطالعه می‌باشد.

نتایج اندازه‌گیری غلظت و کارایی ربایش: کارایی حذف یا کارایی ربایش آلاینده نشان می‌دهد که چه مقدار از آلاینده تولید شده توسط سامانهٔ مکشی به دام می‌افتد و چه مقدار در فضای محیط پراکنده می‌شود و در نتیجه امکان قضاوت در مورد مناسب یا نامناسب بودن سامانهٔ مکشی را فراهم می‌سازد. کارایی حذف ذرات به‌صورت نسبت جرم ذرات ربایش شده توسط سامانهٔ مکشی به جرم کل ذرات تولید شده توسط منبع انتشار و به‌صورت درصد بیان می‌شود که در رابطه ۶ نشان داده شده است.

در جدول ۵ نتایج مربوط به نمونه‌برداری از ذرات کل و راندمان ربایش سامانهٔ مورد بررسی قبل و بعد از عملکرد سامانه نشان داده شده است.

نمونه‌برداری‌ها در هواگذر مکشی ثابت ۴۳/۰۶ scfm و فاصله ۳۰ سانتی‌متر از بالای نقطه قوس جوشکاری (معادل ناحیه تنفسی جوشکار) انجام گرفت.

همان‌گونه که در جدول ۵ مشاهده می‌شود، در حالتی که سامانهٔ مکشی یا فن عمل نمی‌کند (حالت خاموش یا بدون وجود هود)، میانگین غلظت ذرات کل ۷±۷۵ و هنگام عملکرد سامانهٔ مکشی (حالت روشن) ۴±۱۶/۷ میلی‌گرم بر مترمکعب و در نتیجه کارایی ربایش ۷۷/۷۳ درصد به دست آمد؛ که از رابطه ۶ محاسبه شده است.

$$\%(\text{Efficiency} = \frac{m_c}{m_e} * 100 \quad (۶)$$

$$\frac{۱۶/۷}{۷۵} \times ۱۰۰ = ٪۷۷/۷۳$$

m_c : جرم ذرات ربایش شده (mg)

m_e : جرم کل ذرات تولید شده (mg)

ضریب تغییرات در حالت خاموش ۹/۳۳٪ و در حالت روشن ۲۳/۹۵٪ نشان‌دهنده پراکندگی زیاد اندازه‌گیری‌های غلظت، در حالت روشن و بالاتر بودن اعتبار نتایج در حالت خاموش می‌باشد. یکی از عمده‌ترین دلایل احتمالی این پراکندگی بالا را می‌توان، انجام نمونه‌برداری‌ها در مراحل جوشکاری مجزا و یکنواخت نبودن آلاینده تولید شده در هر مرحله چنین تحقیقی ذکر نمود. مطالعات مختلفی بر روی انواع متنوعی از سامانه‌های موضعی نصب شده بر روی مشعل جوشکاری انجام گرفت؛ که هر یک از آن‌ها بسته به شرایط آزمایش (مانند وضعیت جوشکاری، هواگذر مکشی، میزان جریان حجمی گاز محافظ، توان فن، نوع و مشخصه‌های جوشکاری و ابعاد و شکل هود) کارایی متفاوتی را گزارش نموده‌اند. شکیل زیدی کارایی حذف ۶۳٪ را برای حذف دمه‌های منگنز در ناحیه تنفسی با استفاده از یک سامانه تهویهٔ مکشی موضعی قابل حمل گزارش نمود [۹].

جان اوجیما برای وضعیت‌های جوشکاری تخت و جوشکاری عمودی روی نبشی به ترتیب کارایی ۸۶/۳٪ و ۷۴/۴٪ را در ناحیه تنفسی گزارش نمود [۲]. در شکل ۵ مقایسه کارایی ربایش به دست آمده در مطالعه حاضر با تحقیقات مشابه نشان داده شده است.

همان‌طور که در شکل ۵ نشان داده شده است، کارایی به دست آمده در مطالعه حاضر ۷۷/۷۳٪ به دست آمده است؛ که تقریباً نزدیک به راندمان‌های گزارش شده توسط مطالعات مشابه می‌باشد.

اگرچه سامانهٔ ارزیابی شده در این مطالعه نتوانست

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2025-07-13]

مواجهه با ذرات کل در منطقه تنفسی را به زیر حد مواجهه قابل قبول شغلی توصیه شده توسط ACGIH (۵ میلی‌گرم بر مترمکعب) کاهش دهد، اما قادر است غلظت ذرات کل در منطقه تنفسی را از ۷۵ به ۱۶/۶ میلی‌گرم بر مترمکعب کاهش دهد. در نتیجه مواجهه کارکنان با ذرات به میزان قابل توجهی کاهش یافته است.

۱- سرعت ۱۴۰ فوت بر دقیقه سرعت ربایش بهینه برای کنترل گازها و دمه‌های جوشکاری است که در هود طرح حاضر به دست آمده است.

۲- با توجه به اینکه سرعت ربایش در نزدیک خروجی گاز مشعل در محدوده توصیه شده توسط ACGIH می‌باشد و کمتر از حداکثر سرعت توصیه شده می‌باشد، احتمال حذف گاز محافظ کاهش میابد.

۳- هود بررسی شده در این مطالعه قابلیت حذف آلاینده‌های حاصل از فرآیند جوشکاری و همچنین کاهش خطر مواجهه با دمه‌های شیمیایی در جوشکاران (به میزان ۷۷ درصد) را فراهم نموده است.

۴- کارایی به دست آمده از نتایج تحقیق حاضر همگرایی نزدیکی (اختلاف کمتر از ۵ درصد) با نتایج مطالعات قبلی نشان می‌دهد.

سامانهٔ تهویه مکشی موضعی نصب شده بر روی مشعل جوشکاری مورد استفاده در این مطالعه یک نمونه اولیه ساخته شده می‌باشد و با توجه به نتایج به دست آمده می‌تواند تا حدی مواجهه با دمه‌های فیوم‌های جوشکاری را کاهش دهد؛ و دستیابی به نتایج بهتر مستلزم مطالعه بر روی سایر بخش‌ها و عوامل، همچون استفاده از فن قوی‌تر، مطالعه بر روی مواد مورد استفاده از نظر وزن و هدایت حرارتی دما و کنترل دما، صدا و غیره می‌باشد.

منابع

1. Turkem N, Bilirgen H, Viecco GA, Caram HS. Development of a lightweight fume hood for handheld welding guns. Welding journal. 2005; 84(2):31.

2. Ojima J. Performance of a fume-exhaust gun system in CO_2 arc welding. Journal of occupational health. 2006;48(3):9-207.

3. Sheykhzade GA TH, Amani J, Niromand A H. simulation and numerical analysis of dilution ventilation in a welding shop and explore optimal entry and exit of air. 1389. (Persian)

4. Jafari MJ, Shafiei B, Rezazadeh AM, Movahhedi M. Occupational exposure to welding fumes using different ventilation scenarios. International journal of occupational hygiene. 2010;1(2):1-5. (Persian)

5. Flynn MR, Susi P. Local exhaust ventilation for the control of welding fumes in the construction industry—A literature review. Annals of occupational hygiene. 2012;56(7):764-76.

6. Kulmala IK. Air flow field near a welding exhaust hood. Applied occupational and environmental hygiene. 1997;12(2):4-101.

7. HSE, WL4 Movable extraction: Fume hood on a flexible arm, in WL-COSHH essentials for welding, hot work and allied processes. 2010.

8. Pocock D, Saunders CJ. Effective control of gas shielded arc welding fume. Prepared by the Health and Safety Laboratory for the Health and Safety Executive. 2009.

9. Zaidi S, Sathawara N, Kumar S, Gandhi S, Parmar C, Saiyed H. Development of indigenous local exhaust ventilation system: reduction of welders exposure to welding fumes. Journal of occupational health. 2004;46(4):323-8.

10. Saunders C, Pocock D, Carter G. Controlling gas shielded arc welding fumes using an on-gun extraction system. International Journal of Ventilation. 2010;9(1):82-77.

11. Iwasaki T, Fujishiro Y, Kubota Y, OJIMA J, Shibata N. Some engineering countermeasures to reduce exposure to welding fumes and gases avoiding occurrence of blow holes in welded material. Industrial Health. 2005;43(2):351-7.

12. ACGIH, Industrial Ventilation: A Manual of Recommended Practice, American Conference of Government Industrial Hygienists (ACGIH) Committee on Industrial Ventilation, 22nd edition, Cincinatti, USA, 2014.

13. NIOSH, National Institute for Occupational Safety and Health, NIOSH Manual of analytical methods, Cincinati Ohio, USA. 2014.

14. Cooper P, Godbole AR, Norrish J. Design and optimisation of a novel on-torch fume extraction device using CFD and fluid simulation. 2008.

15. ISO 5725-1 Accuracy (Trueness and precision) of Measurement methods and results, Part 1: General

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2025-07-13]

principles and definitions. Geneva, Switzerland: ISO; 2013.

16. ISO 5725-1 Guidance for the Use of repeatability, reproducibility, and trueness estimates in measurement uncertainty estimation. Geneva, Switzerland: ISO; 2013.

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2025-07-13]

Design and evaluation of the performance of local exhaust hood on the welding torch

Rasoul Yarahmadi[1], Farideh Golbabaei[2], Alireza Alipoor[3], Mitra Rashidi[4]

Received: 2015/02/19 Revised: 2015/04/04 Accepted: 2015/05/25

Abstract

Background and aims: Threats against welders' health due to exposure to welding fume is an important issue; thus, controlling and examining effective exhaust of fumes are necesary. In this study, was evaluated prototype operation of local exhaust ventilation on-gun in bench scale.

Methods: Duct velocity average was determined using traverse points method and calculated flow rate by hood using ACGIH standard method. Also capture velocity close in contaminant source (Arc Point) was measured using thermal anemometer. Then, in order to determine total particles concentration and capture efficiency created by system NIOSH 7200 standard method was used.

Results: Duct velocity average and created flow rate by evaluated system were 6296.1±92.50 fpm and 34.06±0/50 scfm, respectively. Also, capture velocity in close of the weld point was obtained 140 fpm. Sampling results for averaged total particles concentration in off and on positions of system were 75±7 mg/m3 and 16.7±4 mg/m3, respectively. As a result, 77% containment efficiency was achieved by this system.

Conclusion: The local exhaust ventilation used in this study was a low cost prototype and according to the acheived results, it leads to reduce total particles concentration (T.P) in breathing zone aproximately to 22%.

Keywords: Welding fumes, Local exhaust ventilation, On-torch system, Design and evaluation.

1. Occupational Health Research Center,Department of Occupational Health, School of public Health, Iran University of medical sciences.
2. Professor, Department of Occupational Health, School of Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran.
3. Assistant Professor of Mechanical Engineering, Sahid Chamran Ahvaz University, Ahvaz, Iran.
4. (**Corresponding author**) MSc Student, in Occupational Health, Tehran University of Medical Sciences, Tehran, Iran. rashidi.mitra02@gmail.com

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2025-07-13]