

امکان آزمون هودهای آزمایشگاهی به روش ASHRAE-110-95 با تزریق کمتر گاز ردیاب

محمد جواد جعفری^۱، صبا کلانتری^{۲*}، رضوان زنده‌دل^۱، پروین سربخش^۳

۱- دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران

۲- دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی اراک، اراک، ایران

۳- دانشکده پیراپزشکی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، تهران، ایران

* آدرس نویسنده مسئول مکاتبات: kalantarei@arakmu.ac.ir

چکیده

سابقه و هدف: در ارزیابی عملکرد هودها با روش ASHRAE 110-95 مقدار قابل توجهی گاز بی‌اثر سولفور هگزافلوراید مصرف می‌شود. این گاز برای محیط زیست بسیار مخرب بوده و گران‌قیمت است. در مطالعه حاضر امکان استفاده از مقدار کمتری از گاز فوق در ارزیابی عملکرد هودها با روش استاندارد فوق مورد بررسی قرار گرفت.

روش بررسی: عملکرد یک هود آزمایشگاهی در سه ظرفیت مختلف تهویه و سه دبی تزریق گاز بی‌اثر سولفور هگزافلوراید، در حالی که یک اپراتور فرضی در مقابل هود قرار داشت به روش استاندارد ASHRAE 110-95 مورد بررسی قرار گرفت. سرعت هوا در دهانه هود جمعاً ۱۸۰ بار توسط بادسنج حرارتی مدل TA2 در فواصل ۱۵ سانتی‌متری اندازه‌گیری شد. الگوی جریان هوا در دهانه هود جمعاً ۱۸ بار مشاهده و فیلمبرداری شد. گاز ردیاب سولفور هگزافلوراید در سه گذرحجمی ۲، ۳ و ۴ لیتر بر دقیقه برای هر یک از سه سرعت مختلف هوا در دهانه هود تزریق و میزان مواجهه شغلی اپراتور مجازی جمعاً ۲۷ بار تعیین مقدار شد. مقدار گاز ردیاب به صورت مستقیم قرائت شد.

یافته‌ها: میانگین و انحراف معیار سرعت هوا در دهانه هود به ترتیب 0.4 ± 0.04 ، 0.7 ± 0.06 و 1.1 ± 0.07 متر بر ثانیه و دامنه آن $0.11-0.36$ متر بر ثانیه بود. عملکرد هود مورد آزمایش در آزمون‌های دود با حجم زیاد، غیرقابل پذیرش و اما در آزمون دود با حجم کم، قابل پذیرش بود. فقط در سرعت 0.4 متر بر ثانیه با تغییر گذرحجمی گاز تزریق شده از ۲ به ۳ لیتر بر دقیقه و نیز ۲ به ۴ لیتر بر دقیقه در میزان مواجهه شغلی اپراتور فرضی اختلاف معنی‌دار مشاهده شد. در تغییر سرعت از 0.4 به 0.6 متر بر ثانیه و نیز 0.4 به 0.7 متر بر ثانیه در دبی گاز تزریق شده ۳ و ۴ لیتر بر دقیقه اختلاف معنی‌دار مشاهده شد.

نتیجه‌گیری: آزمون عملکرد هودهای آزمایشگاهی با روش ASHRAE 110-95 با دبی کمتر گاز بی‌اثر سولفور هگزافلوراید توصیه نمی‌شود.

واژگان کلیدی: هود آزمایشگاهی، گاز ردیاب، سولفور هگزافلوراید، عملکرد هود، گذرحجمی، گاز تزریقی.

مقدمه

بدین منظور آزمون‌های متعددی از طرف سازمان‌های معتبر ارائه شده است و چندین سازمان دولتی و صنعتی در خصوص ایمنی هودهای آزمایشگاهی روش‌های استاندارد را سفارش نموده‌اند (۱، ۲).

با توجه به نقش مهم هودهای آزمایشگاهی در حفظ سلامت کارکنان، ارزیابی دوره‌ای عملکرد آن‌ها الزامی است.

در سال ۱۹۹۱، گرینلی در مطالعه‌ای به بررسی اثر نشتی هودهای پر و خالی با استفاده از دو آزمون ASHRAE 110 و ANSI 1992 پرداخت. در این مطالعه اثر سرعت دهانه، ارتفاع شیشه مقابل هود و ظرفیت هود بر میزان نشتی هود در اندازه‌های مختلفی از هودهای شیمیایی بررسی شد. در حالی که سرعت دهانه مطابق با استاندارد ANSI حفظ می‌شد ۶۷٪ از هودهای مورد نظر به لحاظ آزمون نشتی رد شدند. از این مطالعه نتیجه‌گیری شد که گرچه سرعت دهانه، فاکتور مهمی در ارتباط با عملکرد هود است اما نمی‌تواند تنها فاکتور قابل ملاحظه‌ای در ارزیابی عملکرد هود باشد (۵). این مطالعه نشان می‌دهد که روش ASHRAE 110 که در آن علاوه بر آزمون سرعت هوا در دهانه هود از تزریق گاز بی‌اثر نیز استفاده می‌شود از سایر روش‌ها معتبرتر است.

یکی دیگر از ویژگی‌های منحصر به فرد آزمون‌های ASHRAE این است که این روش دارای زیر مجموعه‌های مختلفی برای هنگام ساخت (As Manufactured)، نصب (As Installed) و استفاده (As Used) می‌باشد (۴). آزمون ASHRAE شامل دو بخش آزمون کیفی و کمی است. آزمون کیفی شامل آزمون دود است. آزمون کمی شامل آزمون گاز آشکار ساز، آزمون سرعت هوا در دهانه هود، اثر حرکت پنجره و آزمون محیط اطراف هود است.

ارزیابی عملکرد هودها به تنهایی از راه اندازه‌گیری سرعت در دهانه کافی نبوده و طبق استاندارد ASHRAE 110-95 باید آزمون گاز بی‌اثر نیز انجام گیرد (۱). مه‌ترین بخش آزمون استاندارد ASHRAE آزمون گاز بی‌اثر می‌باشد. این آزمون یک آزمون کمی است که برای تعیین میزان نشتی مواد آلاینده از هودهای آزمایشگاهی به کار می‌رود. این آزمون از طریق تزریق گاز ردیاب (بی‌اثر) سولفور هگزافلوراید به داخل هود و اندازه‌گیری میزان مواجهه شغلی یک اپراتور فرضی که با استقرار یک مانکن انسانی در محل استقرار وی شبیه‌سازی شده است صورت می‌گیرد (۶).

غیرقابل اشتعال بودن، سمی نبودن و امکان اندازه‌گیری دقیق گاز سولفور هگزافلوراید در حد ppb از مزایای اصلی

از جمله روش‌های ASHRAE^a 110-1195 در آمریکا، BS^c 7258(BS DIN^b 12924(DIN 1991) در آلمان، EN 14175 در اروپا، (1994) در انگلستان، NFPA^d 45 برای آزمون هودهای آزمایشگاهی مورد استفاده قرار می‌گیرند (۳). راهکارهای دیگری نیز از سوی سازمان‌هایی مانند انجمن بهداشت حرفه‌ای انگلستان (BOHS 1976) و انجمن سلطنتی شیمی‌دان‌ها (RSC 1900) ارائه شده و مقالات و کتاب‌های بسیار توسط اشخاصی نظیر Cook در سال ۱۹۹۷، Nicholson در سال ۱۹۹۳، Saunders و Hughes در سال ۱۹۸۰ و همچنین Hughes در سال ۱۹۸۶ به چاپ رسیده است (۳).

متداول‌ترین آزمون‌های عملکرد هودهای آزمایشگاهی که از سوی بسیاری از کشورها نیز مورد پذیرش قرار گرفته است، سلسله آزمون‌های استاندارد است که از طرف انجمن گرمایش، سرمایش و تهویه مطبوع آمریکا ASHRAE ارائه شده است. این آزمون‌ها سالیان دراز اصلاح شده و آخرین نسخه آن با عنوان ASHRAE 110-95 می‌باشد. این روش برای بررسی عملکرد هودهای آزمایشگاهی متشکل از سه آزمون اندازه‌گیری سرعت هوا در دهانه هود، آزمون دود و آزمون گاز بی‌اثر می‌باشد (۱).

در سال ۱۹۹۱ هیچینگر نتایج به دست آمده از آزمون ۳۶۶ هود شیمیایی را با استفاده از دو روش استاندارد ASHRAE 110 و ANSI 1992 مقایسه کرد. براساس نتایج به دست آمده در حالی که ۵۱٪ هودهای مورد مطالعه معیارهای ANSI 1992 را کسب کرده بودند، تنها ۲۹٪ از این هودها معیارهای قابل قبول آزمون ASHRAE 110 را داشتند (۵). این مطالعه نشان داد که آزمون ASHRAE 110 سختگیرانه‌تر از آزمون ANSI 1992 می‌باشد.

^a American Society of Heating, Refrigerating and Airconditioning Engineers

^b Danish Standard

^c British Standard

^d National Fire Protection Association

دهانه هود، آزمون دود و آزمون گاز بی‌اثر بود که همه آن‌ها در سه ظرفیت مختلف تهویه و سه دبی تزریق گاز بی‌اثر سولفور هگزافلوراید و در حالی که یک اپراتور فرضی (مانکن) در حد وسط مقابل هود قرار داشت انجام شد.

آزمون سرعت در دهانه هود: ظرفیت تهویه هود توسط دیمر نصب شده برای سه سرعت تقریبی ۰/۴، ۰/۶ و ۰/۷ متربرثانیه (حدود ۸۰، ۱۲۰ و ۱۴۰ فوت بردقیقه) در دهانه هود تنظیم گردید. مقدار سرعت هوا در دهانه هود در هر آزمایش در ۲۰ نقطه و با سه بار تکرار (۶۰ بار) و در مجموع در سه مرحله (۱۸۰ بار) اندازه‌گیری شد (جدول ۱).

جدول ۱- نقاط اندازه‌گیری سرعت هوا در دهانه هود مورد مطالعه

NO.1	NO.5	NO.9	NO.13	NO.17
NO.2	NO.6	NO.10	NO.14	NO.18
NO.3	NO.7	NO.11	NO.15	NO.19
NO.4	NO.8	NO.12	NO.16	NO.20

برای اندازه‌گیری سرعت هوا در دهانه هود ابتدا طبق روش ASHRAE 110-95 دهانه هود به فواصل مساوی ۱۵ سانتی‌متر تقسیم‌بندی و نشانه‌گذاری شد (۹). در حین هر آزمایش تمام در و پنجره‌های آزمایشگاه بسته و دستگاه بادسنج حرارتی قبلاً کالیبره شد. با توجه به دامنه سرعت‌های مورد انتظار و برای برخورداری از دقت هر چه بیشتر، از یک بادسنج حرارتی با دامنه ۰-۲ متربرثانیه استفاده شد. بادسنج حرارتی مورد استفاده، مدل TA2 ساخت شرکت Airflow، کشور انگلستان بود. خطای اندازه‌گیری این دستگاه معادل $\pm 3\%$ (۱۳) بوده و دسته پروب آن تا یک متر قابل تنظیم بود. دستگاه مورد استفاده با معیارهای ذکر شده در روش ASHRAE 110-95 کاملاً سازگار بود. در روش بالا تصریح شده است که از یک بادسنج با دامنه اندازه‌گیری ۰/۲۵-۲ متربرثانیه و خطای $\pm 5\%$ استفاده شود (۹).

مطالعه الگوی جریان هوا: به منظور قابل رؤیت کردن الگوی جریان هوا در دهانه هود، در هر آزمایش دو

استفاده از این گاز در این روش به شمار می‌رود (۳). این گاز یک گاز آلی، بی‌رنگ، بی‌بو، بی‌اثر و جزء دسته گازهای گلخانه‌ای است. این گاز از ۶ اتم فلور که به یک اتم سولفور اتصال یافته تشکیل شده است. بالا بودن قیمت گاز سولفور هگزافلوراید و این‌که این گاز جزء گازهای گلخانه‌ای بوده و اثر گلخانه‌ای آن ۲۳۹۰۰ برابر بیش از گاز دی‌اکسید کربن است، از معایب اصلی استفاده از این گاز به شمار می‌رود (۷، ۸).

برپایه روش ASHRAE 110-95 گاز ردیاب سولفور هگزافلوراید با گذر حجمی ۴ لیتربردقیقه توسط یک افشانک در داخل اتاقک هود و به مدت ۵ دقیقه رها می‌شود و مقدار گازی که از هود فرار کرده توسط یک دستگاه قرائت مستقیم ثبت می‌شود. نقطه رهاسازی گاز بی‌اثر توسط افشانک در فاصله ۱۵ سانتی‌متری از سطح پنجره لغزنده هود می‌باشد (۶، ۹، ۱۰). براساس استاندارد فوق برای آزمایش هر هود حدود یک و نیم تا دو پوند گاز سولفور هگزافلوراید مصرف می‌شود که با توجه به تعداد هودهای آزمایشگاهی نصب شده در کشورهای گوناگون و لزوم آزمون سالانه آن‌ها، در مقیاس وسیع ارزیابی عملکرد هودها منجر به رهاسازی حجم زیادی گاز به اتمسفر خواهد شد. از این رو جایگزینی این گاز با گازی که دارای معایب کمتری باشد منطقی به نظر می‌رسد (۷، ۱۱)؛ اما متأسفانه تلاش پژوهشگران متعددی که در این خصوص سعی کرده‌اند گازی مناسب‌تر بیابند به نتیجه قطعی نرسیده است (۷، ۱۲). اگر بتوان با تزریق کمتر گاز ردیاب سولفور هگزافلوراید و بدون این‌که به کیفیت آزمایش لطمه‌ای وارد گردد عملکرد هودها را با روش استاندارد ASHRAE 110 آزمود، کمک شایانی به کاهش هزینه‌ها و کاهش اثرات گلخانه‌ای ناشی از این آزمون خواهد شد. به همین منظور در یک پژوهش آزمایشگاهی این موضوع مورد بررسی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش آزمایشگاهی کلیه مراحل سه‌گانه آزمون عملکرد هود به روش استاندارد ASHRAE 110-95، به یک هود آزمایشگاهی اعمال گردید. آزمون‌های سه‌گانه اعمال شده در این مطالعه شامل آزمون سرعت هوا در

اساس آشکارسازی این دستگاه Non-Dispersive Infrared Spectroscopy است. در این تکنیک با جذب انرژی در ناحیه مادون قرمز در ترازها، انرژی کششی و لرزشی در مولکولها تغییر می‌یابد به طوری که میزان انرژی جذب شده با مقدار ماده متناسب است. براساس نوع پیوندهای مولکولی، جذب انرژی برای هر ترکیب در یک طول موج اختصاصی صورت می‌گیرد. بنابراین طول موج جذب انرژی مادون قرمز برای ترکیب سولفور هگزافلوراید اختصاصی است. در دستگاه‌های NDIR، اشعه مادون قرمز در طول موج‌های مختلف به نمونه تابانده می‌شود و بعد فیلتری جلوی مسیر نور قرار می‌گیرد که تمامی طول موج‌ها بجز طول موج جذبی ترکیب مدنظر را حذف می‌کند (۱۵).

معیار پذیرش آزمون با تزریق کمتر گاز: چنانچه گذر حجمی گاز تزریق شده کاهش یابد انتظار می‌رود میزان نشت گاز از هود نیز کاهش یافته منجر به کاهش میزان مواجهه اپراتور هود گردد. برپایه همین منطبق در این مطالعه چنانچه با کاهش گذرحجمی گاز تزریق شده میزان مواجهه اپراتور فرضی هود به طور معنی‌داری کاهش یابد در این صورت توصیه می‌شود که با تزریق کمتر گاز ردیاب نیز می‌توان هود را آزمود. در غیر این صورت هود را نمی‌توان با تزریق گاز کمتر آزمود.

تجزیه و تحلیل آماری یافته‌ها: برای مقایسه کلی میانگین میزان مواجهه به گاز سولفور هگزافلوراید از آزمون تی تست استفاده شد. برای بررسی تأثیر متغیرهای سرعت، دبی بر میزان مواجهه به گاز سولفور هگزافلوراید از آزمون آنالیز واریانس دو طرفه استفاده شد. در این آزمون، تمام اثرات اصلی و متقابل ممکن بین متغیرها در مدل آنالیز واریانس در نظر گرفته شدند. همچنین برای انجام مقایسات چندگانه در آنالیز واریانس انجام شده از روش بن فرونی (Bonferroni) استفاده شد.

یافته‌ها

سرعت هوا در دهانه هود: دامنه، میانگین و انحراف معیار سرعت هوا در دهانه هود در جدول ۲ نشان داده

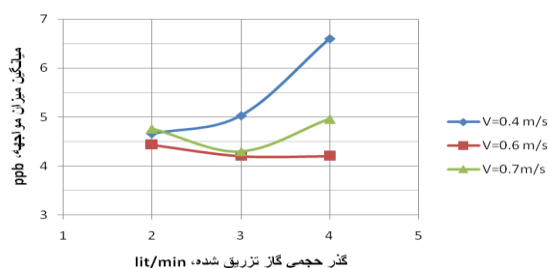
حالت و جمعاً ۱۸ بار با حجم کم و حجم زیاد دود قابل رؤیت شد و نتایج آن مشاهده و فیلمبرداری گردید.

آزمون گاز بی‌اثر: مهم‌ترین بخش عملی پژوهش، تزریق گاز بی‌اثر در سه گذر حجمی مختلف و اندازه‌گیری میزان مواجهه شغلی یک اپراتور مجازی ایستاده در مقابل هود بود. در کلیه بخش‌های آزمون هود به منظور شبیه‌سازی شرایط واقعی، مطابق با شرایط ذکر شده در استاندارد ASHRAE 110-95 یک مانکن با قد ۱۷۰ سانتی‌متر به گونه‌ای در حد وسط مقابل هود قرار گرفت که بینی آن ۷/۵ سانتی‌متر از پنجره هود فاصله داشته باشد (۶، ۹ و ۱۴) شکل (۲). سپس گاز ردیاب سولفور هگزافلوراید در گذرهای حجمی ۲، ۳ و ۴ لیتر بر دقیقه به هود تزریق و مقدار مواجهه شغلی اپراتور مجازی که در واقع نشان دهنده میزان نشتی گاز ردیاب از هود به شمار می‌رود در مجموع با سه بار تکرار ۲۷ بار با روش قرائت مستقیم اندازه‌گیری شد.



شکل ۱- چیدمان آزمون گاز بی‌اثر براساس روش ASHRAE 110

اندازه‌گیری گاز سولفور هگزافلوراید: برای اندازه‌گیری گاز سولفور هگزافلوراید از یک دستگاه SF₆ Gas Leak Detector مدل GDWG- III ساخت شرکت HV Hipot Electric CO کشور چین استفاده شد. خطای اندازه‌گیری این دستگاه معادل $\pm 10\%$ اعلام شده است. دستگاه بالا قابل حمل بوده و قادر است مقدار گاز سولفور هگزافلوراید را در منطقه تنفسی در حد پی پی بی اندازه‌گیری کند. دامنه آشکارسازی دستگاه در سه محدوده ۰-۳۰، ۰-۲۰۰، ۰-۵۰۰ پی پی ام بوده و دستگاه دارای گواهی‌نامه معتبر کالیبراسیون است.



شکل ۳. میزان مواجهه شغلی اپراتور هود به گاز ردیاب سولفور هگزافلوراید در سرعت‌های دهانه مختلف.

جزئیات دقیق‌تری از میزان مواجهه اپراتور فرضی به گاز ردیاب سولفور هگزافلوراید سرعت‌های مختلف هوا در دهانه هود در جدول ۳ ارائه شده است.

جدول ۳- میانگین و انحراف معیار میزان مواجهه شغلی اپراتور هود به گاز ردیاب سولفور هگزافلوراید (PPb)

سرعت در دهانه هود m/s	گذر گاز ردیاب lit/min		
	۰/۷	۰/۶	۰/۴
۲	۴/۷۶±۰/۴۱	۴/۴۳±۰/۴۰	۴/۶۶±۰/۴۰
۳	۴/۳۰±۰/۱۰	۴/۲۰±۰/۱۰	۵/۰۳±۰/۱۱
۴	۴/۹۶±۰/۱۱	۴/۲۰±۰/۱۰	۶/۶۰±۰/۵۱

بررسی اثرگذر حجمی گاز تزریق شده بر میزان مواجهه: آزمون آماری آنالیز واریانس دو طرفه نشان می‌دهد که فقط در سرعت ۰/۴ متر بر ثانیه، اگر میزان گاز تزریق شده از ۴ لیتر بر دقیقه به ۲ لیتر بر دقیقه و یا به ۳ لیتر بر دقیقه کاهش یابد، میانگین میزان مواجهه اپراتور هود بطور معنی داری کاهش می‌یابد (جدول ۴- صفحه بعد).

شایان ذکر است که در جدول ۴، مقادیر p-value کمتر از ۰/۰۵ به معنی وجود اختلاف معنی‌دار و مقادیر p-value مساوی و بزرگتر از این مقدار به معنی وجود نداشتن اختلاف معنی‌دار در میانگین میزان مواجهه در دو حالت مقایسه شده است.

شده است. میانگین سرعت‌های اندازه‌گیری شده در هر مرحله با اهداف از پیش تعیین شده برای آن کاملاً سازگار است.

جدول ۲- نتایج اندازه‌گیری سرعت هوا در دهانه هود (متر بر ثانیه)

حالت	تعداد	$\bar{X} \pm \sigma$	دامنه
۱	۶۰	۰/۴۲ ± ۰/۰۴	۰/۳۶-۰/۵۵
۲	۶۰	۰/۶ ± ۰/۰۷	۰/۵-۰/۸۵
۳	۶۰	۰/۷ ± ۰/۱۱	۰/۶-۱/۱

نتایج آزمون دود: نتایج آزمون دود نشان داد که هود مورد آزمایش در کلیه آزمون‌های دود با حجم زیاد در هر سه سرعت دارای نشتی است زیرا جریان دود به خارج از هود هدایت شده و حتی ممکن است به ناحیه تنفسی اپراتور هود رسیده و منجر به مواجهه وی شود؛ اما در آزمون دود با حجم کم در تمامی سرعت‌ها عملکرد هود قابل پذیرش بود زیرا دود تزریق شده توسط هود به داخل آن کشیده می‌شد. در شکل ۲ تصویری از آزمون انجام شده نشان داده شده است.



شکل ۲- شکلی از آزمون دود

نتایج آزمون گاز سولفور هگزافلوراید: نتایج نشان می‌دهد که در سرعت دهانه ۰/۴ متر بر ثانیه با افزایش گذر حجمی گاز ردیاب تزریق شده، میزان مواجهه شغلی اپراتور مجازی مستقر در روبه‌روی هود افزایش یافته است. در حالی که افزایش میزان مواجهه در سرعت‌های دهانه ۰/۶ و ۰/۷ متر بر ثانیه قابل توجه نبوده و در برخی موارد کاهش در میزان مواجهه مشاهده می‌شود (شکل ۳).

شایان ذکر است که مقادیر p-value کمتر از ۰/۰۵ به معنی وجود اختلاف معنی‌دار و مقادیر p-value مساوی و بزرگتر از این مقدار به معنی وجود نداشتن اختلاف معنی‌دار در میانگین میزان مواجهه در دو حالت مقایسه شده است.

بحث

برابر نتایج، با افزایش سرعت هوا از ۰/۴ متربرثانیه به ۰/۶ متربرثانیه، میزان مواجهه شغلی اپراتور فرضی مقابل هود به گاز ردیاب کاهش می‌یابد، اما با افزایش سرعت هوا در دهانه از ۰/۶ متربرثانیه به ۰/۷ متر بر ثانیه، میزان مواجهه افزایش می‌یابد. افزایش میزان مواجهه در سرعت‌های بالاتر از ۰/۶ متربرثانیه شاید به دلیل افزایش تلاطم در منطقه تنفسی اپراتور هود و ترکیب نامتجانس جریان هوا و آلاینده نشت کرده از هود در این منطقه است. این نتیجه با نتایج برخی متون علمی که توصیه می‌کنند برای پیشگیری از تلاطم در منطقه تنفسی اپراتور هودها، نباید سرعت در دهانه هود آزمایشگاهی از ۰/۶ متربرثانیه فراتر رود سازگاری کامل دارد (۱۶).

نتایج به‌دست آمده از مطالعه حاضر با نتایج کاپلان و کنوتسون کاملاً هماهنگ است. آن‌ها طی مطالعه‌ای روی یک هود با طراحی مناسب عنوان کردند، هنگامی که سرعت در حدود ۵۰ فوت بردقیقه (۰/۲۵ متر برثانیه) است ضریب حفاظتی ۲۲۰۰ مرتبه بیش از حالتی است که سرعت هوا در دهانه هود ۱۵۰ فوت بردقیقه (۰/۷۵ متر بر ثانیه) باشد (۱۳).

سائوندرز نیز در مطالعات خود سرعت ۵۰-۶۰ فوت بردقیقه (۰/۲۵ - ۰/۳ متربرثانیه) را سرعت دهانه‌ی پذیرفته شده برای هود اعلام کرد (۱۳). اغلب سازمان‌های معتبر نیز بیشینه سرعت هوا در دهانه‌ی هود را بین ۱۰۰ تا ۱۲۰ فوت بردقیقه (۰/۵ تا ۰/۶ متربرثانیه) سفارش می‌کنند به احتمال قوی یکی از دلایل این امر ایجاد جریان‌های توربولانسی و آشفته در سرعت‌های بالاتر از ۰/۶ متربرثانیه می‌باشد (۱۶). شایان ذکر است که پژوهشگران معدودی نظیر وونگ در پژوهش خود به رابطه معنی‌داری بین سرعت هوا در

جدول ۴- مقادیر p-value آزمون بررسی اثر گذر گاز تزریق شده بر میانگین میزان مواجهه شغلی اپراتور هود

سرعت در دهانه هود m/s	گذر گاز ردیاب lit/min	۰/۴	۰/۶	۰/۷
۲ و ۳		۰/۸۶۶	۰/۸۰۰	۰/۱۸۶
۲ و ۴		۰/۰۰۳	۰/۸۰۰	۱/۰۰۰
۳ و ۴		۰/۰۰۸	۱/۰۰۰	۰/۰۵۱

براساس همین آزمون آماری، در سایر سرعت‌های هوا در دهانه هود کاهش میزان گاز تزریق شده به هود باعث کاهش معنی‌دار میزان مواجهه اپراتور فرضی به گاز ردیاب نمی‌شود.

بررسی اثر سرعت هوا در دهانه هود بر میزان مواجهه: مقادیر p-value آزمون آماری آنالیز واریانس دو طرفه در جدول ۵ آمده است. بر پایه نتایج این جدول در گذر حجمی گاز تزریق شده ۲ لیتر بر دقیقه تغییر سرعت در دهانه هود در هیچ یک از سرعت‌ها اختلاف معنی‌دار نداشته و تنها در گذرحجمی تزریق شده ۳ و ۴ لیتر بردقیقه از سرعت ۰/۴ متر بر ثانیه به ۰/۶ متربرثانیه و نیز در گذرهای حجمی ۳ و ۴ لیتر بر دقیقه از تغییر سرعت ۰/۴ به ۰/۷ متربرثانیه موجب تغییر معنی‌دار میانگین میزان مواجهه اپراتور هود می‌شود.

جدول ۵- مقادیر p-value آزمون تأثیر سرعت در دهانه هود بر میانگین میزان مواجهه شغلی اپراتور هود

سرعت در دهانه هود m/s	گذر گاز ردیاب lit/min	۲	۳	۴
۰/۴ و ۰/۶		۱	<۰/۰۰۱	<۰/۰۰۱
۰/۴ و ۰/۷		۱	<۰/۰۰۱	۰/۰۰۲
۰/۶ و ۰/۷		۱	۰/۳۴۸	۰/۰۶۷

حد ۰/۴ متر بر ثانیه و کمتر است اما در همین حال معیار سرعت هوا در دهانه برخی از هودها بیش از ۰/۴ متر بر ثانیه سفارش شده است بنابراین برپایه نتایج به دست آمده از مطالعه حاضر نمی‌توان سفارش کرد که آن‌ها را با تزریق کمتر گاز ردیاب آزمود.

رعایت تمام نکات و انجام همه مراحل آزمون 95 ASHRAE و همچنین ارزیابی یکنواخت بودن مکش هود در دهانه از جمله نقاط قوت مطالعه حاضر به شمار می‌رود. استفاده نکردن از دستگاه بسیار دقیق در مطالعه حاضر از جمله محدودیت‌های اصلی مطالعه حاضر به شمار می‌رود. با توجه به اهمیت موضوع، سفارش می‌شود مطالعات مشابهی با استفاده از دستگاه‌های دقیق‌تر قرائت مستقیم و همچنین نمونه‌برداری دراز مدت از هوای تنفسی اپراتور فرضی و آنالیز دقیق آن انجام شود.

بر اساس نتایج این آزمایش، استفاده از گذرهای حجمی کمتر از حد استاندارد ASHREA 110 جهت آزمون هودهای آزمایشگاهی سفارش نمی‌شود.

تشکر و قدردانی

این مقاله برگرفته از طرح پژوهشی ثبت شده به شماره ۰۳۰۷/۱۴۱۰ مورخ ۹۱/۱۰/۹ دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی و پایان‌نامه کارشناسی ارشد سرکار خانم صبا کلانتری به راهنمایی دکتر محمد جواد جعفری می‌باشد. نویسندگان مقاله از معاونت پژوهشی دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی و دانشکده بهداشت سپاسگزاری و قدردانی می‌نمایند.

دهانه هود و میزان مواجهه دست نیافته‌اند (۷). برخی از پژوهشگران همچون مائوپین و هیتچینگز با وجود این که در مطالعه خود به یک مدل سازگار برای پیشگویی تراکم مواجهه با میانگین سرعت هوا در دهانه هود دست نیافته‌اند ولی عنوان کرده‌اند که این مسئله به معنی نبودن رابطه بین آن‌ها نیست (۷).

بر پایه نتایج مطالعه گوفی که در آن به بررسی اثر سرعت بر میزان مواجهه دو گاز سولفور هگزافلوراید و نیتروژن اکسید پرداخت، مقادیر بیشینه، کمینه و انحراف معیار سرعت در دهانه هر هود رابطه‌ی ضعیفی با مقادیر میانگین غلظت مواجهه با هر دو گاز مطالعه شده توسط وی دارد (۷).

نتایج جدول‌های ۲ و ۴ نشان می‌دهد که بجز در سرعت ۰/۴ متر بر ثانیه در سایر سرعت‌ها، با کاهش میزان گاز تزریق شده از ۴ لیتر بر دقیقه به ۳ و سپس به ۲ لیتر بر دقیقه میزان مواجهه نه تنها کاهش معنی‌داری نیافته است بلکه بعضاً افزایش یافته است. در سرعت ۰/۴ متر بر ثانیه اگر چه با کاهش میزان گاز تزریق شده، میزان مواجهه اپراتور فرضی کاهش یافته است اما تنها هنگامی که مقدار گاز تزریق شده از ۴ به ۲ کاهش می‌یابد میزان مواجهه بطور معنی‌داری کاهش می‌یابد و در سایر موارد (یعنی در هنگام کاهش از ۴ به ۳ و از ۳ به ۲ لیتر بر دقیقه) میزان کاهش مواجهه اپراتور فرضی معنی‌دار نیست. بنابراین برپایه معیار تعریف شده در این مطالعه، فقط در سرعت ۰/۴ متر بر ثانیه می‌توان هود را با تزریق ۲ لیتر بر دقیقه آزمود و در سایر سرعت‌ها این امر سفارش نمی‌شود. البته معیار سرعت هوا در دهانه بسیاری از هودها در

REFERENCES

1. Esmaeilzadeh A, Golbabaee F, Shahtaheri S. Evaluation of laboratory fume-hoods performance in a petrochemical industry based on ASHRAE 110 Standard. Journal of School of Public Health and Institute of Public Health Research. 2008;6(3-4):111-7.
2. Fk.T. Chemical Fume Hood Safety Protecting the Health of Laboratory Workers. eScholarship University of California. 2000;p.8.
3. Karimi Zare A. Evaluation of laoratory hoods in Tehran Water and Waste water Co. Tehran: Islamic Azad university; 2000.
4. Rydock JP. Tracer performance testing of installed fume hoods: One European perspective. Chemical Health and Safety. 2002;9(4):7-9.

5. Ivany RE, First MW, Diberardinis LJ. A new method for quantitative, in-use testing of laboratory fume hoods. The American Industrial Hygiene Association Journal. 1989;50(5):275-80.
6. Hitchings DT. Laboratory fume hood and exhaust fan penthouse exposure risk analysis using the ANSI/ASHRAE 95 -110 and other tracer gas methods. Transactions-American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers. 1997;863:72-103.
7. Guffey EJ. Nitrous oxide as a substitute for sulfur hexafluoride in the ANSI/ASHRAE 110 Method of hood performance evaluation. Massachusetts Institute of Technology. 2011:1-44
8. Occupational Safety & Health Administration. 2012 [2 dec]; Available from: www.osha.gov/dts/chemicalsampling/data/CH_268600.html/Accessed.
9. Jacobs PJ. Laboratory fume hood performance. 2009; p:20-50.
10. Taylor S, Initiative TC. Fume Hood Study: Tufts University. 2044; p: 1-40.
11. Roni v. Choosing less environmentally damaging gases for fume hood tracer gas testing. Alternative gases to meet. 2007; p: 2.
12. Kalantari S. Ethylene as a Substitute for Sulfur Hexafluoride in the ASHRAE 95-110 Method of Hood Performance Evaluation. Tehran: Shahid Beheshti University of Medical Science; 2013.
13. Bell G, Sartor D, Mills E. The Berkeley hood: development and commercialization of an innovative high-performance laboratory fume hood Lawrence Berkeley National Laboratory, Berkeley. California 2003.
14. Dale T, Maupins K. Using the ASHRAE 110 Test as a TQM tool to improve laboratory fume hood performance. ASHRAE Transactions. 1997;14:851-62.
15. Crawley LH. Application of non-dispersive infrared (NDIR) spectroscopy to the measurement of atmospheric trace gases. 2008.
16. Industrial Ventilation a manual of practice for design 27th ed. American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH); Cincinnati: ACGIH; 2010.
17. Ojima J. Tracer gas evaluations of push-pull ventilation system performance. Industrial health. 2009;47(1):94-6.