دوماهنامه سلامت کار ایران دوره ۱۵، شماره ۳، مرداد و شهریور ۱۳۹۷

طراحی و ساخت نازل جت چندگانه با هدف کاهش صدای ناشی از تفنگ‌های بادپاش

علی صفری واریانی[۱]، سعید احمدی*[۲]، سجاد زارع[۳]، عاطفه السادات بهشتی[۴]، فاطمه حیدری عبدالهی[۵]، ویدا زراوشانی[۶]

تاریخ دریافت: ۹۵/۱۲/۱۳ تاریخ ویرایش: ۹۶/۰۵/۱۹ تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۷/۱۶

چکیده

زمینه و هدف: تخلیه هوای فشرده از نازل‌های مرسوم تک شکاف یا لوله‌های باز یکی از صداهای جت شایع در صنایع است. هدف از این مطالعه طراحی و ساخت نازل جت چندگانه به‌عنوان جایگزینی برای نازل تک شکاف تفنگ‌های بادپاش با هدف کنترل صدا است.

روش بررسی: یکی از رایج‌ترین تفنگ‌های بادپاش تجاری مجهز به نازل مرسوم تک شکاف به‌عنوان مرجع انتخاب شد. طرح سه‌بعدی نازل جت چندگانه با روزنه‌های متعدد و کوچکتر با نرم‌افزار Solid Works ترسیم شد و ساخت آن با پرینتر سه‌بعدی صورت گرفت. اندازه‌گیری و آنالیز فرکانس صوتی با صداسنج مدل Cassella Cell 450 انجام شد. به‌منظور کاهش بازتاب‌های ایجاد شده در محیط اندازه‌گیری از فوم‌های جاذب صدا استفاده شد. نیروی هوا با استفاده از ترازوی دیجیتال در فاصله ۳۰ سانتی‌متری از نازل‌ها اندازه‌گیری شد.

یافته‌ها: تراز فشار صوت نازل جت چندگانه به طور قابل‌توجهی کمتر از نازل مرسوم اندازه‌گیری شد ($p< ۰/۰۴$). متوسط تراز فشار صوت نازل جت چندگانه در سه زاویه ۳۰، ۹۰ و ۱۳۵ درجه به ترتیب ۷۵، ۷۶ و ۷۶ دسی‌بل A در فشار ۲، ۴ و ۶ بار اندازه‌گیری شد، که در مقایسه با نازل مرسوم با تراز فشار صوت ۷۸، ۸۳/۸۳ و ۸۶/۳ دسی‌بل A کاهش قابل‌توجهی را نشان داد. کاهش صدای نازل جت چندگانه در فرکانس‌های بالاتر از ۵۰۰ هرتز قابل‌توجه بود. متوسط نیروی هوای اعمال شده توسط نازل مرسوم و نازل جت چندگانه در فشار ۲، ۴ و ۶ بار به ترتیب ۱/۳۴ و ۱/۱۹ نیوتن اندازه‌گیری و اختلاف قابل‌توجهی بین آن‌ها مشاهده نشد. ($p= ۰/۷$).

نتیجه‌گیری: نازل جت چندگانه با تراز فشار صوت کمتر و نیروی تقریباً برابر با نازل تک شکاف می‌تواند به‌عنوان یک جایگزین مناسب برای کاهش صدا در تفنگ‌های بادپاش در نظر گرفته شود.

کلیدواژه‌ها: صدا جت، تفنگ باد پاش، نازل جت تک شکاف، نازل جت چندگانه، کاهش صدا.

مقدمه

سروصدای آزاردهنده در محیط‌های کاری می‌تواند با بیماری‌های فیزیولوژیک و روانی متعددی همراه باشد [۱]. یکی از عذاب‌آورترین و شایع‌ترین منابع صوتی در محیط‌های صنعتی صدای جت گاز است که تحت عنوان صدای آیرودینامیک شناخته می‌شود. خروج سیال‌های فشرده از نازل یا لوله با دهانه باز، شیرهای بخار، دریچه‌های تخلیه هوا، مشعل‌های مایع سوز یا گازسوز همراه با تولید صدای آیرودینامیک است [۲].

هوای فشرده به‌منظور انتقال دادن، پرتاب کردن، خنک کردن، تمیز کردن و سردکردن در صنایع مختلف نظیر پرسکاری، پلاستیک، فولاد کاربرد فراوانی دارد. برای این منظور از لوله‌ها یا شیلنگ‌های باز استفاده می‌شود که برای اعمال نیروی بیشتر عمدتاً خم کردن سر لوله‌ها معمول است. از طرفی انتخاب سایز لوله‌های باز حاوی هوای فشرده معمولاً همراه با محاسبات نیست و عمدتاً این لوله‌ها با اندازه بیشتر از مقدار مورد نیاز انتخاب و نصب می‌گردد، لذا در این شرایط تولید سروصدا و مصرف انرژی بیشتر اجتناب‌ناپذیر است [۳]. یکی دیگر از کاربردهای هوای فشرده استفاده از تفنگ‌های بادپاش به‌عنوان یکی از منابع تولید صدای آیرودینامیک در صنایع و کارگاه‌ها است. نازل‌های مرسوم نصب شده در این تفنگ‌ها از یک روزنه تشکیل شده‌اند و جریان خروجی از این نازل‌ها با آشفتگی و

۱- دانشیار، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی قزوین، قزوین، ایران.

۲- (نویسنده مسئول) استادیار، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی قزوین، قزوین، ایران.saeidahmad@gmail.com

۳- استادیار، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی کرمان، کرمان، ایران.

۴- دانشجوی کارشناسی بهداشت حرفه‌ای، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی قزوین، قزوین، ایران.

۵- دانشجوی کارشناسی بهداشت حرفه‌ای، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی قزوین، قزوین، ایران.

۶- استادیار، گروه مهندسی بهداشت حرفه‌ای، دانشکده بهداشت، دانشگاه علوم پزشکی قزوین، قزوین، ایران.

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-04-30]

سرو صدای زیادی همراه است به‌طوری‌که در فشار ۴ بار تراز فشار صوت در فاصله ۳۰ سانتی‌متری حدود ۹۵ دسی‌بل A است [۴].

صدای ناشی از بیرون جهی دن گاز یا هوا با فشار زیاد از لوله‌ها و شیلنگ‌هایی که جریان سیال به سرعت از آن‌ها عبور می‌نماید، صدای جت (Noise Jet) نامیده می‌شود که در واقع یکی از انواع صداهای آیرودینامیک است. ساده‌ترین شکل جت گاز، خروج هوای فشرده با سرعت زیاد از یک لوله باز است. در اثر تعامل ایجاد شده بین جریان هوایی که با سرعت از لوله یا نازل خارج می‌شود با هوای ساکن اطراف آن آشفتگی جریان ایجاد می‌شود که همراه با تولید صدای فرکانس بالا در نزدیکی نازل و صدای فرکانس پایین در بخش‌های دورتر از نازل است [۲، ۵].

استفاده از نازل‌های اختصاصی هوا که با هدف کنترل صدا طراحی شده‌اند به‌عنوان یکی از روش‌های کنترل صدا در لوله‌ها و شیلنگ‌ها با دهانه باز مطرح است [۲]. این نوع نازل‌ها با ساختار عملکردی مختلفی تولید می‌شوند که ازجمله این نازل‌ها می‌توان به نازل‌های جت چندگانه (nozzles Multiple jet)، نازل‌های با هوای پوشاننده (Conceal)، نازل‌های محدودکننده (Restrictive) اشاره نمود. یکی از روش‌های مؤثر برای کاهش صدای ناشی از نازل‌های مرسومی که دارای یک روزنه با قطر کم هستند، استفاده از نازل‌های جت چندگانه با تعداد روزنه‌های بیشتر و قطر کمتر است [۶]. ازآنجایی‌که کاهش سایز روزنه‌های نازل باعث افزایش فرکانس صدای پیک می‌شود، بنابراین طیف فرکانسی صدای تولید شده در نازل‌های جت چندگانه به سمت فرکانس‌های بالاتر هدایت می‌شود و توان صوتی تولید شده در فرکانس‌های پایین‌تر (محدوده شنوایی) کاهش می‌یابد، اگرچه که توان صوتی کلی تولید شده بدون تغییر باقی می‌ماند [۴، ۶]. تعداد شکاف، فاصله بین شکاف‌ها، سطح مقطع شکاف، شکل شکاف، شکل هندسی نازل و پلنوم موجود در نازل‌های جت چندگانه از فاکتورهای عملکردی مهم در طراحی این نازل‌ها به حساب می‌آیند. افزایش سطح مقطع شکاف‌های یک نازل باعث افزایش توان صوتی و نیروی اعمال شده توسط نازل‌ها می‌شود، بنابراین اولویت طراحی در طراحی نازل‌های جت چندگانه افزایش تعداد شکاف‌های نازل و کاهش سطح مقطع هریک از شکاف‌ها است [۲، ۶، ۷].

در کنترل صدا با استفاده از نازل‌های جت چندگانه، نصب این نازل‌ها بر روی لوله‌های باز یا جایگزین کردن نازل‌های مرسوم تک شکاف با نازل‌های جت چندگانه، در صورتی مفید خواهد بود که کاهش قابل‌توجهی در نیروی اعمال شده در مقایسه با لوله‌های باز یا نازل‌های مرسوم ایجاد نکند. یکی از پارامترهای عملکردی مهم در استفاده از هوای فشرده اعمال نیروی مورد نیاز برای عملیات‌های صنعتی نظیر خشک کردن، تمیز کردن و انتقال دادن است، لذا درصورتی‌که جایگزین کردن نازل‌های جت چندگانه با نازل‌های مرسوم علی‌رغم کاهش صدا باعث کاهش نیروی اعمال شده گردد، عملیات‌های صنعتی با نقص مواجهه خواهد شد. بنابراین علاوه بر کاهش صدا، حفظ نیروی اعمال شده توسط نازل‌های جت چندگانه قابل‌توجه و مهم است [۳، ۴].

با توجه به اینکه استفاده از نازل‌های جت چندگانه به‌عنوان جایگزین مناسبی برای لوله‌های باز و نازل‌های جت تک شکاف با هدف کنترل صدا مطرح است و طبق بررسی‌هایی که توسط پژوهشگران این مطالعه انجام شده، تاکنون از این نوع نازل‌ها در کنترل صدای ناشی از تفنگ‌های بادپاش ولوله‌های باز در داخل کشور استفاده نشده است، طراحی و ساخت نازل‌های جت چندگانه در جهت کنترل صدای ناشی از تفنگ‌های باد پاش در این مطالعه مورد توجه قرار گرفت.

روش بررسی

این مطالعه در سه فاز طراحی و ساخت نازل جت چندگانه، اندازه‌گیری صدا و اندازه‌گیری نیرو انجام گردید.

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-04-30]

یکی از رایج‌ترین تفنگ‌های بادپاش تجاری مدل DG-10 که مجهز به نازلی با یک شکاف دایره‌ای بود به‌عنوان مرجع و مقایسه با نازل جت چندگانه در این مطالعه انتخاب شد. سطح مقطع شکاف نازل این تفنگ بادپاش برابر با ۴/۱۴ میلی‌متر مربع اندازه‌گیری شد. شکل هندسی نازل جت چندگانه با الگوبرداری از یکی از نمونه‌های تجاری (Silvent,Sweden,۵۱۲) طراحی گردید که این نازل از یک پروفایل مخروطی تشکیل شده بود.

بر اساس معادله شماره ۱ در طراحی نازل‌های جت، چنانچه سطح مقطع شکاف‌های یک نازل جت چندگانه با سطح مقطع لوله باز یا شکاف نازل مرسوم برابر باشد میزان نیروی اعمال شده یکسان خواهد بود، لذا یکی از معیارهای طراحی یکسان بودن سطح مقطع شکاف‌های نازل جت چندگانه با شکاف نازل مرسوم در نظر گرفته شد[۸].

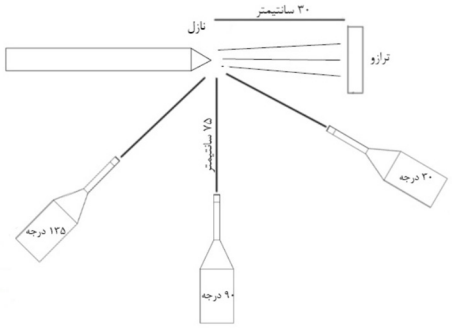
$$F = MV+A(Pe - Pa) \quad (۱)$$

F: نیروی اعمال شده، M: فلوی جرمی، V: سرعت جریان، A: سطح مقطع شکاف، Pe: فشار در خروجی جت، Pa : فشار اتمسفر

با افزایش تعداد شکاف به میزان دو برابر صدا به میزان ۳ دسی‌بل کاهش می‌یابد و هر چه تعداد شکاف‌ها بیشتر باشد، میزان کاهش صدا بیشتر خواهد شد [۹].

با در نظر گرفتن قطر استوانه نازل که در حدود ۸ میلی‌متر بود و محدودیت فضا برای مکان‌یابی شکاف‌ها ،در این مطالعه تعداد ۸ شکاف با مجموع سطح مقطع ۵/۲ میلی‌متر مربع مبنای طراحی قرار گرفت.

طراحی سه‌بعدی نازل جت چندگانه با استفاده از نرم‌افزار Solid Works 2016 انجام شد و ساخت آن با استفاده از یک پرینتر سه‌بعدی (Formlabs,Form2,USA) که یکی از روش‌های نوین در ساخت نمونه‌سازی است صورت گرفت. ماده مورد استفاده در پرینتر سه‌بعدی برای ساخت نازل جت از دسته رزین‌های پلیمری بود.



شکل ۱- نمای فوقانی چیدمان صداسنج ، ترازو و نازل ها

اندازه‌گیری صدا با استفاده از یک صداسنج (Cassella Cell 450 Type2,UK) و کالیبراتور مدل Cell-110/2 انجام شد. سرعت پاسخ صدا سنج در شبکه Slow و شبکه توزین فرکانسی A تنظیم گردید. آنالیز فرکانسی صدا در فرکانس‌های ۶۳، ۱۲۵، ۲۵۰، ۵۰۰،۱۰۰۰ ، ۲۰۰۰، ۴۰۰۰ و ۸۰۰۰ هرتز انجام شد. طول، عرض و ارتفاع مکان اندازه‌گیری صدا به ترتیب ۶، ۴و۳ متر بود. میکروفون صدا سنج در فاصله افقی ۷۵ سانتیمتری که متناسب با طول دست کارگر از نازل‌های تست شده است، تنظیم گردید. صدا سنج نازل‌ها در ارتفاع یکسان ۷۰ سانتیمتری نسبت به زمین مستقر گردیدند. اندازه‌گیری صدا در سه زاویه ۳۰، ۹۰ و ۱۳۵ درجه نسبت به محور خروج هوا از نازل‌ها انجام گردید (شکل ۱). در هر زاویه سه بار اندازه‌گیری تراز فشار صوت لحظه‌ای تکرار شد. به‌منظور کاهش بازتاب‌های ایجاد شده در محیط اندازه‌گیری صدا از فوم‌های جاذب صدا با ضریب جذب متوسط ۸۰ درصد در اطراف محل اندازه‌گیری صدا استفاده شد. از طرفی به‌منظور کاهش تداخل صدای ایجاد شده در اثر عملکرد کمپرسور با صدای اندازه‌گیری شده، کمپرسور در خارج از محیط آزمایشگاه مستقر گردید و هوای فشرده از طریق لوله کشی به داخل آزمایشگاه تأمین گردید. نیروی هوای فشرده با استفاده از یک ترازوی دیجیتال (مدل پند، ایران، گرم) که در فاصله ۳۰ سانتی‌متری از نازل‌ها قرار داشت اندازه‌گیری شد. جهت دمش نازل‌ها عمود بر صفحه ترازو تنظیم گردید.

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-04-30]

یافته‌ها

مدل سه‌بعدی نازل جت چندگانه (شکل ۲، الف و ب) و نازل جت چندگانه ساخته شده (شکل ۲، ج) با استفاده از پرینتر سه‌بعدی در شکل ۲ نشان داده شده است. این نازل از ۸ شکاف تشکیل شده است که مجموع سطح مقطع شکاف‌های ایجاد شده در حدود ۵/۲ میلی‌متر مربع است. تفنگ باد پاش مورد استفاده در این مطالعه مجهز به یک نازل مرسوم(شکل ۱، د) با سطح شکاف ۴/۱۴ میلی‌متر مربع بود.

تراز فشار صوت اندازه‌گیری شده در زوایای ۳۰، ۹۰ و ۱۳۵ درجه و فشار های کاری ۲، ۴ و۶ بار با تفنگ باد پاش مجهز به نازل مرسوم و نازل جت چندگانه در جدول ۱ نشان داده شده است. تفنگ بادپاش مجهز به نازل جت چندگانه در مقایسه با نازل مرسوم در زوایای مختلف تراز فشار صوت کمتری از خود نشان داد که با آزمون تی مستقل ($p< ۰/۰۴$) این موضوع تایید شد که نشان دهنده اختلاف معنی دار بین صدای ناشی از نازل مرسوم و نازل جت چندگانه بود. کاهش صدای ناشی از نازل جت چندگانه به ویژه در فشارهای ۴ و ۶ بار قابل‌توجه بود. حداکثر کاهش صدا در فشار کاری ۶ بار مشاهده شد به‌طوری‌که تراز فشار صوت قبل و بعد از استفاده از نازل جت چندگانه به ترتیب ۸۶ و ۷۳ دسی‌بل در زاویه ۳۰ درجه اندازه‌گیری شد. تراز فشار صوت اندازه‌گیری شده در زوایای مختلف و در یک فشار ثابت اختلاف قابل‌توجهی بایکدیگر نداشتند.

متوسط تراز فشار صوت ناشی از نازل مرسوم و نازل جت چندگانه در فشار ۶ بار به ترتیب ۸۶/۳ و ۷۶ دسی‌بل اندازه‌گیری شد. کاهش صدا در فشارهای پایین خیلی چشمگیر نبود، به‌طوری‌که متوسط ترازفشار صوت نازل مرسوم و نازل جت چندگانه در فشار ۲ بار به ترتیب ۷۸ و ۷۵ دسی‌بل اندازه‌گیری شد.

مقایسه آنالیز فرکانس صوتی تفنگ باد پاش مجهز به نازل مرسوم و نازل جت چندگانه در هریک از فشارهای آزمون شده نشان داد که ارتباط معنی داری بین صدای اندازه‌گیری شده در نازل‌های مرسوم و جت در فرکانس‌های مختلف وجود ندارد ($p= ۰/۱$). اگرچه

شکل ۲- طرح سه بعدی نازل جت چند گانه (نمای جانبی (الف) و سطح مقطع شکاف ها (ب))، نازل جت چند گانه ساخته شده(ج)، نازل مرسوم تفنگ های باد پاش (د)

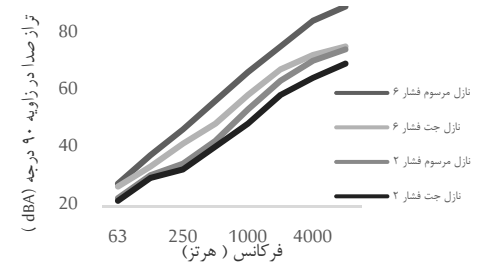
جدول ۱- تراز فشار صوت اندازه‌گیری شده در نازل مرسوم و نازل جت در زاویه‌ها و فشارهای مختلف

زاویه	نازل مرسوم			نازل جت چندگانه		
فشار(بار)	۳۰	۹۰	۱۳۵	۳۰	۹۰	۱۳۵
	درجه	درجه	درجه	درجه	درجه	درجه
۲	۷۸	۷۸	۷۷	۷۱	۷۷	۷۸
۴	۸۳	۸۴	۸۳	۷۳	۷۸	۷۷
۶	۸۶	۸۷	۸۶	۷۳	۷۷/۹	۷۷

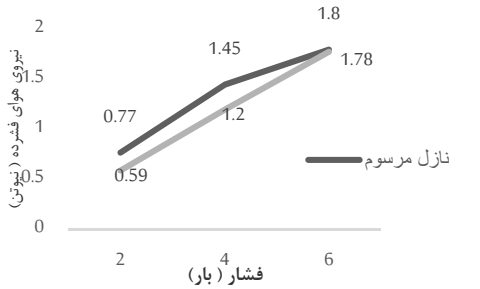
کاهش صدا در فرکانس‌های بالاتر از ۵۰۰ هرتز بیشتر بود، اما از نظر آماری اختلاف معنی داری بین صدای نازل‌های مرسوم و جت در فشار های کاری مختلف وجود نداشت. در فشار۶ بار و در فرکانس‌های ۵۰۰ الی ۸۰۰۰ هرتز تراز فشار صوت نازل مرسوم ۹۰-۵۷ دسی‌بل و نازل جت ۷۶-۴۹ دسی‌بل اندازه‌گیری شد. در فشار ۶ بار و فرکانس‌های کمتر از ۵۰۰ هرتز تراز فشار صوت نازل مرسوم ۴۷-۲۸ دسی‌بل و نازل جت ۴۲-۲۷ دسی‌بل اندازه‌گیری شد که نشان دهنده عملکرد ضعیف تر کاهش صوت نازل‌های جت، در فرکانس‌های پایین است (شکل ۳).

متوسط نیروی اعمال شده توسط نازل مرسوم و نازل جت چندگانه در فشار ۲ ، ۴ و ۶ بار به ترتیب ۱/۳۴ و ۱/۱۹ نیوتن اندازه‌گیری شد. نیروی هوای اعمال شده

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-04-30]



شکل ۳- تراز فشار صوت ناشی از نازل مرسوم و نازل جت چند گانه در فشار۲و ۶ بار و فرکانس‌های اکتاو



شکل ۴- نیروی ناشی از نازل مرسوم و نازل جت چندگانه در فشارهای مختلف

توسط نازل مرسوم و جت همبستگی اختلاف معنی‌داری با یکدیگر نداشتند (p= ۰/۷) و این آزمون تاییدی بر نیروی اعمال شده تقریباً یکسان توسط هر دو نازل است (شکل ۴).

بحث و نتیجه گیری

متوسط تراز فشار صوت ناشی از نازل جت چندگانه در زوایای مختلف و در فشار های ۲، ۴ و ۶ بار به ترتیب ۷۵، ۷۶ و ۷۶ دسی‌بل A اندازه‌گیری شد که درمقایسه با نازل مرسوم با ترازهای فشار صوت ۷۸، ۸۳ و ۸۶ دسی‌بلA در فشار های یاد شده کاهش صوت قابل‌توجهی را به ویژه در فشارهای بالاتر از خود نشان داد. Sheen نیز در مطالعه خود نشان داد که نازل‌های جت چندگانه در مقایسه با نازل‌های جت تک شکاف تراز فشار صوت کمتری را تولید می نمایند به‌طوری‌که کاهش سوراخ ها از سایز ۱ میلی‌متر به ۰/۷ میلی‌متر کاهش قابل‌توجهی در ترازفشار صوت اندازه‌گیری شده را نشان داد [۷].

در مطالعه حاضر نازل جت طراحی شده شامل ۸ سوراخ مستطیلی شکل با فاصله یکسان از یکدیگر بر روی دایره‌ای به قطر ۸ میلی‌متر بود. در مطالعات قبلی نشان داده شده است که افزایش تعداد سوراخ های نازل‌های جت نقش موثری در کاهش صدا دارد. از طرفی افزایش تعداد سوراخ ها بر روی استوانه ای با قطر مشخص باعث می‌شود تا فاصله بین سوراخ‌ها کاهش یابد، در این شرایط تداخل هوای خروجی از جت‌های نزدیک به هم، کاهش صدای ناشی از افزایش تعداد سوراخ ها را کمتر خواهد کرد. بنابراین در نازل طراحی شده تعداد سوراخ های موجود با توجه به نمونه‌های تجاری و بر اساس تجربه در نظر گرفته شد تا فاصله سوراخ های نازل به یکدیگر نزدیک نباشند. با توجه به اینکه افزایش ابعاد هندسی نازل می‌تواند باعث کاهش محدودیت در دسترسی تفنگ باد پاش برای تمیز کاری قطعات و بخش‌هایی از ماشین آلات که دهانه‌ها و روزنه‌های باریک دارند شود، ابعاد هندسی نازل را نمی‌توان بیش از حد بزرگ در نظر گرفت، بنابراین فاصله بین شکاف‌ها با توجه به ابعاد هندسی نازل طراحی شده در نظر گرفته شد. در مطالعه حاضر قطر نازل طراحی شده ۸ میلی‌متر بود و تعداد سوراخ های نازل متناسب با این قطر در نظر گرفته شد. چنانچه قطر نازل طراحی شده افزایش یابد، این امکان وجود دارد تا با تعداد سوراخ بیشتر به کاهش صدای بیشتری دست یافت.

برطبق مطالعات قبلی کاهش سایز شکاف‌ها باعث افزایش فرکانس صدای پیک تولید شده می‌شود و توان صوتی منتشر شده در فرکانس‌های شنیداری کاهش می‌یابد بنابراین ازآنجایی‌که نازل‌های جت چندگانه از شکاف‌هایی با سطح مقطع کوچک تشکیل شده است، تراز فشار صوت آن نیز در فرکانس‌های شنیداری کاهش یافته است. تغییر فرکانس‌های توان صوتی منتشر شده از نازل جت به سمت فرکانس‌های بالا و اولتراسونیک از دلایل اصلی کاهش صدا در نازل‌های جت چندگانه است و ازآنجایی‌که این فرکانس ها به راحتی در هوا جذب می‌شوند برای انسان خطر کمتری

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-04-30]

دارند [۶، ۸]. نازل‌های جت سایز کوچک با قطر در حدود چند میلی‌متر عمدتاً فرکانس صدای پیکی بالاتر از ۲۰ کیلوهرتز دارند. فرکانس صدای پیک تولید شده در نازل‌ها به طور معکوسی با قطر نازل متناسب است. توان صوتی کلی منتشر شده در نازل‌ها شامل توان صوتی منتشر شده در فرکانس‌های اولتراسونیک و فرکانس‌های شنیداری (کمتر از ۲۰ کیلوهرتز) است. در نازل‌های مرسوم صدای پیک عمدتاً در فرکانس‌های شنیداری تولید شده و به عبارتی بیشتر توان صوتی منتشر شده توسط انسان شنیده می‌شود، اما در نازل‌های جت چندگانه فرکانس صدای پیک عمدتاً در بخش فرکانس‌های اولتراسونیک است که توسط انسان شنیده نمی‌شود، بنابراین بخش کوچکی از توان صوتی کلی منتشر شده توسط انسان شنیده ودرک می‌شود. چنانچه نازل‌های جت چندگانه جایگزین نازل‌های مرسوم شوند، فرکانسی که در آن ماکزیمم صدا تولید می‌شود به سمت فرکانس‌های اولترا سونیک تغییر خواهد یافت و توان صوتی انتشار یافته در فرکانس‌های شنیداری کمتر خواهد شد، بنابراین صدای تولید شده با استفاده از نازل‌های جت کاهش خواهد یافت [۲].

میزان کاهش صدا در فشار های مختلف مقادیر متفاوتی را از خود نشان داد به‌طوری‌که حداکثر کاهش صدا در فشار ۶ بار و حداقل آن در فشار ۲ بار اندازه‌گیری شد. تراز فشار صوت ناشی از نازل مرسوم ونازل جت چندگانه در فشار ۲ بار و زاویه ۳۰ درجه به ترتیب ۷۸ و ۷۱ دسی‌بل A اندازه‌گیری شد. ازآنجایی‌که تراز فشار صوت ناشی از نازل مرسوم در فشار ۲بار کمتر از حد اقدام کشوری (۸۲ دسی‌بل A) بود، بنابراین این مقدار کاهش صدا نیز مطلوب است.

Ching Sheen در مطالعه خود نشان داد که نازل‌های جت چندگانه در مقایسه با نازل‌های جت تک شکاف تراز فشار صوت کمتری را تولید می نمایند. عملکرد نازل‌های جت چندگانه با شکل هندسی مخروطی ومسطح اختلاف چندانی بایکدیگر ندارند. در این مطالعه نازل‌های جت چندگانه با تعداد شکاف و فاصله شکاف‌های متفاوت ساخته شد. کلیه نازل‌های جت چندگانه تراز فشار صوت کمتری را در مقایسه با نازل تک شکاف از خود نشان دادند [۷].

برطبق مطالعات قبلی چنانچه سطح مقطع روزنه‌های نازل جت چندگانه با نازل جت تک شکاف برابر باشد میزان نیروی اعمال شده یکسان خواهد بود.با توجه به اینکه فلوی جرمی عبوری از نازل با نیروری اعمال شده رابطه مستقیمی دارد، با افزایش سطح مقطع نازل فلوی جرمی عبوری از نازل افزایش و بالطبع نیروی اعمال شده بیشتر خواهد شد [۲]. آزمایش های اولیه در نازل‌های جت چندگانه که سطح مقطع یکسانی با نازل مرسوم داشتند نشان داد که علاوه بر کاهش صدا میزان نیروی اعمال شده نیز کاهش خواهد یافت که در این صورت باعث کاهش عملکرد اصلی نازل جت چندگانه (اعمال نیرو برای تمیزکاری) می‌شود، لذا در این مطالعه سطح مقطع روزنه‌های نازل جت چندگانه به مقدار جزئی بیشتر از نازل مرسوم تفنگ باد در نظر گرفته شد. نتایج نشان داد که علی‌رغم افزایش سطح مقطع نازل جت چندگانه نسبت به نازل مرسوم تفنگ باد باش، کاهش صدا نیز قابل‌توجه بود، اما تغییر قابل‌توجهی در میزان نیروی اعمال شده در دو نازل مشاهده نشد. برخلاف مطالعات قبلی نازل جت چندگانه با سطح مقطعی بیشتر از نازل مرسوم نیروی اعمال شده تقریباً یکسانی را از خود نشان داد. در مطالعه Hsiao و Sheen نازل‌های با تعداد شکاف متفاوت و قطر شکاف متفاوت ساخته شد، این نازل‌ها از نظر شکل هندسی و جنس و سایر متغیرها با یکدیگر یکسان بودند. سطح مقطع شکاف‌های ایجاد شده در نازل‌های جت چندگانه برابر با سطح مقطع نازل با یک شکاف بود و میزان نیروی اعمال شده در نازل‌های جت چندگانه با نازل تک شکاف یکسان اندازه‌گیری شد [۸].

آنالیز فرکانس صوتی نازل‌های جت چندگانه و نازل‌های مرسوم نشان داد که کاهش صدا در فرکانس‌های بالاتر از ۵۰۰ هرتز قابل‌توجه بود اما در فرکانس‌های کمتر از آن اختلاف قابل‌توجهی بین صدا در دو نازل تست شده وجود نداشت. برطبق مطالعات قبلی، هرگونه روش کنترل صدای جت که همراه با

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-04-30]

حفظ نیرو است، درفرکانس‌های پایین‌تر بازدهی کمتری در کنترل صدا دارند. بنابراین ازآنجایی‌که نازل جت چندگانه با حفظ نیروی اعمال شده و تقریباً برابر با نازل مرسوم تراز فشار صوت کمتری را تولید می‌نماید، این موضوع قابل تأیید است [۶]. ازآنجایی‌که کاهش صدا در فرکانس‌های بالاتر از ۵۰۰ هرتز که محدوده مکالمه نیز در این حدود قرار دارد بیشتر بود، لذا عملکرد نازل درکاهش صدا های شنیداری مورد تأیید است.

تفاوت در شکل هندسی نازل‌ها، شکل شکاف‌ها و جنس نازل‌ها (رزین پلاستیکی در مقابل فلزی) می‌توانند ازجمله عوامل تأثیر گذار بر نیروی اعمال شده باشد که نیاز است تا درمطالعات آینده بیشتر بررسی شود. نازل‌های جت چندگانه با کاهش صدا و حفظ میزان نیروی اعمال شده درمقایسه با نازل‌های تک شکاف و لوله‌های باز می‌توانند به‌عنوان یک جایگزین خوب مطرح باشند. طراحی، ساخت و توسعه استفاده از نازل‌های جت چندگانه جهت استفاده ونصب در لوله‌های باز که به‌منظور عملیات‌های صنعتی نظیر خنک کردن، خشک کردن، پرتاب کردن و انتقال دادن کاربرد دارند، می‌تواند نقش بسزایی در کاهش صداهای جت تولید شده در صنایع داخل کشور داشته باشد.

تقدیر و تشکر

این مقاله از طرح تحقیقاتی دانشجویی به شماره ۱۴۰۰۲۲۷۰وکد اخلاق .IR.QUMS REC.1395.323 درکمیته تحقیقات دانشجویی دانشگاه علوم پزشکی قزوین استخراج شده است.

منابع

1.Nandi SS, Dhatrak SV. Occupational noise-induced hearing loss in India. Ind J Occup Enviro Med. 2008;12(2):53.

2.Bell LH. Industrial noise control. Marcel Dekker, Inc, 1982. 1982:572.

3.Silvent. Advanced air nozzle technology. Sweden. 2014.

4.Li P, Halliwell N. Industrial jet noise: coanda nozzles. J Sound Vibr. 1985;99(4):475-91.

5.Dahl M, McDaniel O. The performance of jet noise suppression devices for industrial applications. ASME, Transac, J Vibr Acous Stress Reliab Design. 1985;107:303-9.

6.Sheen S-C. Effect of Exit Spacing in a Multiple-Jet Nozzle on Noise Levels at Audible Frequencies. J Occup Enviro Hyg. 2011;8(6):349-56.

7.Sheen SC. Noise Generated by Multiple-Jet Nozzles With Conical Profiles. Int J Occup Safe Ergonom. 2011;17(3):287-99.

8.Sheen SC, Hsiao YH. On using multiple-jet nozzles to suppress industrial jet noise. J Occup Enviro Hyg. 2007;4(9):669-77.

9.Executive Has. Noise from pneumatic systems. second ed: Health and safety executive; 1999.

10.Ahmadi S, Nassiri P, Ghasemi I, Esmaeilpoor MRM. Sound transmission loss through nanoclay-reinforced polymers. Iran Polymer J. 2015;24(8):641-9.

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-04-30]

Air blow guns noise reduction through design and fabrication of a multiple jet nozzle

Ali Safari Variani1, Saeid Ahmadi*[2], Sajad Zare[3], Atefe Sadat Beheshti[4], Fatemeh Heidari Abdolahei[5], Vyda Zaroshani[6]

Received: 2017/03/03 Revised: 2017/08/10 Accepted: 2017/10/08

Abstract

Background and aims: Discharging compressed air through conventional single jet nozzles or open pipes is a common jet noise in industry. This study is aimed to reduce air blow gun jet noise by designing and fabrication of multiple jet nozzle as a substitute for conventional single jet nozzles.

Methods: One of the most common commercial air blow gun equipped with a conventional single jet nozzles was considered as a reference. An air Nozzle's three dimensional model with multiple and smaller openings was designed by solid works software and the designed sketch was fabricated by a three dimensional printer. Noise measurement was made by a Cassella Cell 450 sound level meter with one octave band analyzer. Noise absorption foams were applied to mitigate noise reflection in the testing environment. Air thrust was measured using a digital scale that was placed 30 cm away from nozzle tips.

Results: Multiple jet nozzle's sound pressure level was measured significantly lower than conventional nozzle's sound pressure level ($p<0.04$). Multiple jet and conventional nozzle's average sound pressure level in various angles from nozzle axis (30, 90 and 135 degree) was measured to be 75, 76, 76 dB A and 78, 83.3, 86.3 dB A in pressures of 2, 4 and 6 bar respectively. Multiple jet nozzle's noise reduction in frequencies higher than 500 Hz was significant in comparison with conventional nozzles. Conventional and multiple jet nozzle's average air thrust in pressures of 2,4 and 6 Bar was measured to be 1.39 and 1.19 N respectively and there was no significant relationship between air thrusts ($p=0.7$).

Conclusion: Multiple jet nozzle with lower noise and the air thrust that is approximately equal to single jet nozzle, can be considered as an appropriate alternative for noise reduction in air blow guns.

Keywords: Jet noise, Single jet nozzle, Multiple jet nozzle, Air blow gun, Noise reduction.

1. Associate Professor, Department of Occupational Health Engineering, School of Public Health, Qazvin University of Medical Sciences, Qazvin, Iran.

2. (**Corresponding author**) Assistant Professor , Department of Occupational Health Engineering, School of Public Health, Qazvin University of Medical Sciences, Qazvin, Iran. saeidahmad@gmail.com

3. Assistant Professor, Department of Occupational Health Engineering, School of Public Health, Kerman University of Medical Sciences, Kerman, Iran.

4. Bachelor of Science Student, Department of Occupational Health Engineering, School of Public Health, Qazvin University of Medical Sciences, Qazvin, Iran.

5. Bachelor of Science Student, Department of Occupational Health Engineering, School of Public Health, Qazvin University of Medical Sciences, Qazvin, Iran.

6. Assistant Professor, Department of Occupational Health Engineering, School of Public Health, Qazvin University of Medical Sciences, Kerman, Iran.

[Downloaded from ioh.iums.ac.ir on 2026-04-30]