

تحلیل تجربی اثر افزایش دما بر روی میزان صدای منتقل شده از پوسته

کمپرسور اسکرو در سیستم‌های تهویه مطبوع

امید محمدپور	رضا احمدی	مهدی کریمی*	میثم پرهیخته
استادیار گروه مهندسی مکانیک	استادیار گروه مهندسی مکانیک	استادیار گروه مهندسی مکانیک	دانشجوی دکتری گروه مهندسی مکانیک
دانشگاه پیام نور تهران	دانشگاه پیام نور تهران	دانشگاه بوعلی سینا همدان	دانشگاه بوعلی سینا همدان
mohammadpour@pnu.ac.ir	rahmadi@pnu.ac.ir	m_karimi@basu.ac.ir	Parhikhteh665@gmail.com

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۵/۲۱

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۵/۲

چکیده

سیستم‌های تهویه مطبوع در صنایع و محیط‌های مسکونی با هدف بهبود شرایط محیطی و ایجاد دمای آسایش جهت کاربران بکارگیری می‌شوند. با توجه به تولید صدا و ارتعاش در بیشتر اجزای آن، عدم کنترل سطح صدای تولیدی، کاربران را همواره در معرض صدای ناخواسته قرار می‌دهد که این خود علاوه بر اینکه عوارض شنوایی را به دنبال دارد بلکه باعث خستگی و ایجاد ناراحتی از شرایط محیط می‌گردد. از مهمترین منابع تولید صدا در سیستم‌های تهویه مطبوع، کمپرسورها هستند که کمپرسورهای اسکرو^۱ یکی از پرکاربردترین آنها در صنایع تهویه مطبوع می‌باشند. لذا باید پوسته کمپرسور طوری طراحی گردد که انتقال صدا از داخل به بیرون را به حداقل برساند. از آنجاییکه ماکزیمم دمای کاری کمپرسورها تا ۸۰ درجه سانتی‌گراد می‌باشد، لذا در این پژوهش، تست آکوستیکی بر روی یک نمونه پوسته کمپرسور اسکرو در دو حالت دمای محیط و ماکزیمم دمای کاری در داخل اتاق آکوستیک انجام و اثر افزایش دما بر روی میزان فشار صوت منتقل شده از پوسته به محیط بیرون مورد بحث قرار گرفته است. همچنین برای اعتبارسنجی نتایج، شبیه‌سازی و تحلیل اجزای محدود پوسته استوانه‌ای در نرم‌افزار کامسول فیزیک^۲ صورت گرفته است. تطابق قابل قبول نتایج آزمایشگاهی و حل عددی، بیانگر دقت و کیفیت مطلوب تست‌های انجام شده در این پژوهش می‌باشد. در نهایت، براساس تحلیل فرکانسی انجام شده در دو حالت دمای محیط و ماکزیمم دمای کاری و مقایسه میزان صوت منتقل شده به محیط در فرکانس‌های مختلف، راهکارهای عملی برای کاهش میزان فشار صوت منتقل شده ارائه شده است.

واژگان کلیدی: اثر دما بر انتقال صوت، تحلیل فرکانسی، کمپرسور اسکرو، سیستم‌های تهویه مطبوع

۱. مقدمه

کمپرسورهای اسکرو مورد استفاده در سیستم‌های تهویه مطبوع سطح قابل توجهی از میزان صدای تولیدی را به خود اختصاص می‌دهند. در شکل ۱ تصویری از یکی از نمونه‌های پرکاربرد این کمپرسورها در کشور آورده شده است. صدای تولید شده عمدتاً ناشی از دو پارامتر عملیات مکانیکی که توسط کمپرسور انجام می‌شود و منابع سیال موجود در کمپرسور می‌باشد. اولین مرحله در جهت کاهش میزان صدا، شناسایی عوامل ایجاد صدای نامطلوب است که برای این منظور منابع تولید سر و صدا و عوامل تأثیرگذار بر آن، در داخل این ماشین‌ها شناسایی شده‌اند و روش‌هایی جهت کاهش میزان صدای نامطلوب تولیدی توسط کمپرسور ارائه شده است.

منابع مکانیکی تولید صدا به طور کامل توسط استوسیک [۱] و هلمز [۲ و ۳] بررسی شده و روش‌هایی جهت کاهش صدا توسط آنها پیشنهاد شده است. بررسی پدیده ضربان ایجاد شده توسط گاز در کمپرسور به عنوان مهم‌ترین منبع تولید صدا توسط نویسندگان مختلف منتشر شده است که این کار ابتدا در سال ۱۹۸۶ توسط فوجی وارا و ساکورای [۴] انجام گرفت که ارتعاشات گاز و میزان صدای تولیدی در کمپرسور اسکرو را بررسی کردند. به دنبال آن، کوآی و سودل [۵ و ۶] یک مدل آکوستیکی را با در نظر گرفتن ضربات جریان گاز و تأثیر آن بر عملکرد کمپرسور اسکرو مورد مطالعه و بررسی قرار دادند. سانگفوس [۷]، تانتاری [۸] و هوگمن و همکارانش [۹] مدل‌های ریاضی برای پیش‌بینی پدیده ضربان گاز در محفظه مکش و تخلیه ارائه دادند و تأثیر پارامترهای مختلف بر پدیده ضربان گاز در مرحله مکش و تخلیه کمپرسور را

بررسی کردند. وو و همکاران [۱۰] چهار دسته از منابع اصلی تولید صدا در کمپرسورهای دو سیلندر دوار را بررسی کردند و اعمال تغییرات ممکن در طراحی کمپرسور جهت کاهش صدا را مورد بحث قرار دادند. موجیک و همکاران [۱۱] تجزیه و تحلیل کامل و جامعی از منابع ایجاد سر و صدا در کمپرسورهای اسکرو انجام دادند و به این نتیجه رسیدند که ضربان گاز منبع اصلی تولید صدا می‌باشد. وو [۱۲] یک میراگر ضربان فشار را با فرکانس هدف ۲۵۰ هرتز برای کاهش ضربان فشار مطالعه کرد. اگرچه ضربان فشار درگاه تخلیه کاهش پیدا کرد ولی از این روش فقط برای یک فرکانس خاص می‌توان بهره برد. هی و همکاران [۱۳] به منظور کاهش موثر سروصدای دینامیکی ایجاد شده به وسیله ضربان گاز، اقدامات مختلفی از جمله استفاده از صدا خفه کن، تشدید کننده هلمهلتز^۳ و غیره برای کمپرسور اسکرو آزمایش کردند. همچنین در پژوهشی دیگر هی و همکاران [۱۴] ویژگی‌های تجربی سر و صدای تولیدی در کمپرسور اسکرو را مورد مطالعه قرار داده‌اند. یاین هی و همکاران [۱۵] توزیع سطح فشار صوت در پوسته کمپرسور برای فرکانس‌های مختلف تحت تحریک خارجی را مطالعه کردند. نتایج نشان داد که برای فرکانس‌های مختلف هرچه فشار صوت برخوردی به پوسته بیشتر باشد سطح فشار صوت عبوری بیشتر شده و حداکثر فشار سطح فشار صوت عبوری در فرکانس ۲۰۰۰ هرتز رخ می‌دهد.

بررسی ادبیات تحقیق نشان می‌دهد که تاکنون مطالعه تجربی بر روی اثرات افزایش دما بر روی میزان صدای منتقل شده از پوسته کمپرسور به محیط مورد بررسی قرار نگرفته است. لذا در این پژوهش به صورت تجربی اثرات افزایش دمای کاری کمپرسور بر روی میزان

صدای انتقالی از پوسته کمپرسور اسکرو به محیط اطراف مورد مطالعه قرار گرفته است.

علاوه بر انجام تجربی تست آکوستیکی بر روی یک پوسته استوانه‌ای با طول ۵۵ سانتیمتر و قطر ۱۶/۸۳ سانتیمتر در یک اتاق تست آکوستیک بزرگ در داخل کشور، نوآوری اصلی این تحقیق مربوط به بررسی تجربی و حل عددی اثرات افزایش دما بر روی رفتار آکوستیکی پوسته استوانه‌ای می‌باشد. در گذشته برخی تحلیل‌های تئوری بر روی رفتار ارتعاشی ورق‌ها و پوسته‌های استوانه‌ای تحت اثرات محیط حرارتی صورت گرفته است اما نویسندگان این مقاله، از میان تحقیقات انجام شده تاکنون، هیچ پژوهشی که اثرات دما بر روی رفتار آکوستیکی پوسته استوانه‌ای را به صورت تجربی مورد بررسی قرار داده باشد مشاهده نمودند. همچنین انجام شبیه‌سازی در نرم‌افزار کامسول فیزیک و تطابق قابل قبول نتایج آزمایشگاهی و حل عددی، بیانگر دقت و کیفیت مطلوب تست‌های انجام شده در پژوهش است.

استوانه‌ای تحت آزمایش آویزان شده در اتاق تست را نشان می‌دهد که قطر خارجی، طول و ضخامت آن به ترتیب ۱۶۸/۳، ۵۵۰ و ۶/۳ میلی‌متر است. قابل ذکر است برای پوسته استوانه‌ای شرایط مرزی تکیه‌گاه ساده در نظر گرفته شده است. برای این منظور، دو درپوش دایروی در ابتدا و انتهای پوسته قرار داده شده است. با توجه به اینکه تعبیه درپوش‌ها مانع از ورود صوت به داخل پوسته خواهند شد، بنابراین می‌توان انتقال صوت را تنها از طریق جداره پوسته استوانه‌ای و در راستای شعاعی در نظر گرفت.



شکل ۲. نمونه پوسته استوانه‌ای ساخته شده تحت آزمایش

۱.۲. مشخصات اتاق آکوستیک، محفظه حرارتی و

وسایل مورد نیاز جهت انجام آزمایش

در این پژوهش جهت آزمایش نمونه ساخته شده، از اتاق آکوستیک با حجم ۲۷۵ مترمکعب با امکان ایجاد صوت در محدوده فرکانسی ۴-۱۰۰۰۰ هرتز و همچنین با تراز فشار صوتی ۱۴۵ دسی‌بل (dB) که مناسب برای تست نمونه‌های با ابعاد ۲×۲×۲ متر می‌باشد، استفاده شده است. شکل ۳ تصویری از بیرون اتاق تست آکوستیک را در آزمایشگاه نشان می‌دهد.



شکل ۱. کمپرسور اسکرو ساخت شرکت بیتزر^۴ کشور آلمان

۲. مشخصات پوسته استوانه‌ای تحت آزمایش

برای مدل‌سازی پوسته کمپرسور اسکرو از یک پوسته استوانه‌ای فلزی جنس ASTM A234 با ابعاد کوچک‌تر جهت انجام تست، استفاده شده است. شکل ۲ پوسته



شکل ۵. تصویری از محفظه حرارتی

۲.۲. مراحل و روش انجام آزمایش

جهت انجام آزمایش، ابتدا درپوش‌های پوسته مدل شده کمپرسور اسکرو که به صورت یک پوسته استوانه‌ای ساخته شده است، در حالی که در دمای محیط ۲۵ درجه سانتی‌گراد قرار دارد، بر روی ابتدا و انتهای آن قرار گرفته و سپس مطابق شکل ۶، توسط چند طناب نگهدارنده به پایه‌های فلزی آویزان گردید. دلیل معلق نگه داشتن پوسته استوانه‌ای این است که قرار گرفتن آن بر روی پایه‌های نگهدارنده، مانع از ایجاد ارتعاش در برخی از شکل مودها می‌شود و این امر سبب می‌گردد که فرکانس‌های مربوطه در نمودار طیف فرکانسی قابل شناسایی نباشند.



شکل ۳. تصویری از نمای بیرون اتاق آکوستیک

قابل ذکر است میکروفون مورد استفاده جهت سنجش سطح فشار صوت داخل پوسته از نوع PCB PIEZOTRONICS مدل 378C01 با دقت اندازه‌گیری ۳ دسی‌بل می‌باشد که تصویر آن در شکل ۴ قابل مشاهده است.



شکل ۴. میکروفون مورد استفاده جهت سنجش سطح فشار

صوت داخل پوسته از نوع PCB PIEZOTRONICS جهت اعمال دما بر روی نمونه ساخته شده و برای آنکه توزیع دما بصورت یکنواخت باشد، از یک محفظه حرارتی که قابلیت ایجاد دما از منفی ۸۰ درجه سانتی‌گراد تا مثبت ۳۰۰ درجه سانتی‌گراد را دارد استفاده شده است. تصویر محفظه حرارتی در شکل ۵ قابل مشاهده است.



شکل ۷. محل نصب میکروفون بر روی درپوش انتهایی پوسته

استفاده از اتاق آکوستیک بدین جهت بوده است که محیط آزمایش کاملاً ایزوله بوده و از ورود هرگونه نویز و صدای اضافی جلوگیری شود. همچنین داده‌ها با نرخ فرکانس نمونه برداری ۲۰۰۰۰ هرتز توسط میکروفون تعبیه شده در داخل پوسته داده برداری شده‌اند.

سپس پوسته استوانه‌ای به داخل محفظه حرارتی انتقال داده می‌شود و مطابق شکل ۸، تا دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد که ماکزیمم دمای کارکرد کمپرسور می‌باشد، گرم می‌شود و بعد از گرم شدن بلافاصله به داخل اتاق آکوستیک منتقل شده و مجدد آزمایش بر روی پوسته تحت حرارت انجام می‌شود.



شکل ۸. گرم نمودن پوسته تا دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد



شکل ۶. تصویری از داخل اتاق تست و نحوه آماده‌سازی نمونه جهت انجام آزمایش

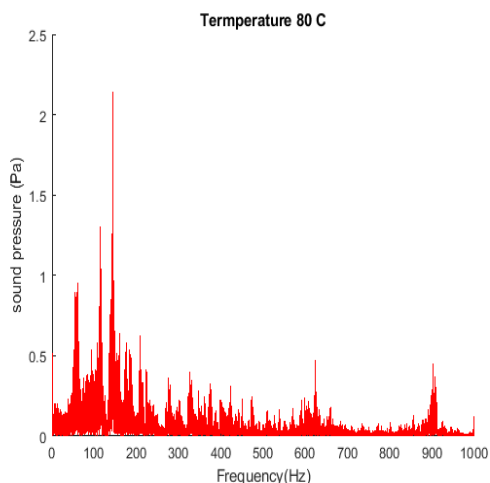
لازم به توضیح است که مطابق شکل ۷، برای آماده‌سازی آزمایش، قسمت میانی یکی از درپوش‌ها جهت عبور سیم میکروفون سوراخ شده است. این میکروفون در داخل پوسته استوانه‌ای به گونه‌ای تعبیه شده که امکان تغییر موقعیت آن از بیرون توسط یک دسته وجود داشته باشد. در ادامه پس از اینکه میکروفون در داخل پوسته استوانه‌ای قرار داده شد، درپوش‌ها در دو انتهای پوسته محکم بسته می‌شوند. در نهایت، درب اتاق آکوستیک بسته و آزمایش تحت دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد انجام می‌گیرد.

قابل ذکر است همانطور که در شکل ۷ قابل مشاهده است علاوه بر میکروفون داخل پوسته استوانه‌ای، یک میکروفون نیز در خارج از پوسته تعبیه شده است تا از یکسان بودن شرایط در اتاق آکوستیک و شدت صدای تولیدی در حالات مختلف تست اطمینان حاصل گردد.

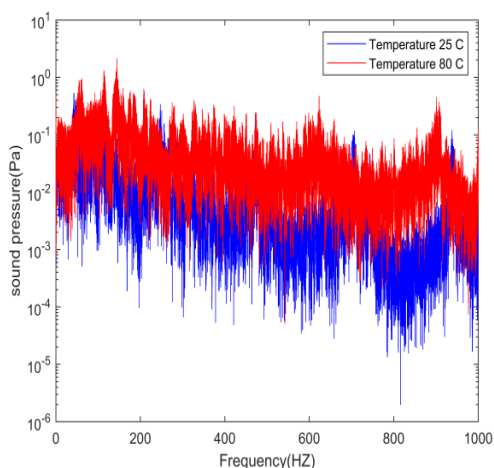
۳. نتایج آزمایش

بعد از اینکه نمونه پوسته استوانه‌ای در هر دو حالت با دمای محیط ۲۵ درجه سانتی‌گراد و دمای گرم شده حدود ۸۰ درجه سانتی‌گراد در اتاق آکوستیک مورد آزمایش قرار گرفتند، داده‌های ثبت شده توسط میکروفون‌ها استخراج می‌شوند. از آنجاییکه داده‌های جمع‌آوری شده در حوزه زمان می‌باشند لذا برای اینکه در حوزه فرکانس بررسی شوند، داده‌ها به نرم‌افزار متلب منتقل شده و با گرفتن تبدیل فوریه سریع^۵ (FFT) از آنها تحلیل فرکانسی صورت می‌گیرد.

ابتدا در شکل ۹ و ۱۰، به ترتیب نمودار FFT برای حالتی که پوسته در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و ۸۰ درجه سانتی‌گراد قرار گرفتند، آورده شده است. در شکل ۱۱ نیز نتایج هر دو نمودار با هم مقایسه شده‌اند.

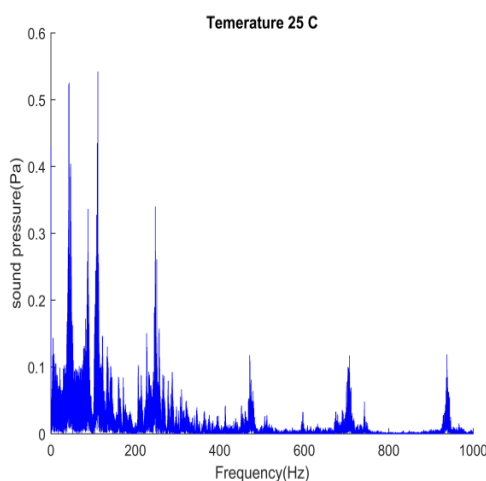


شکل ۱۰. نمودار FFT در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد



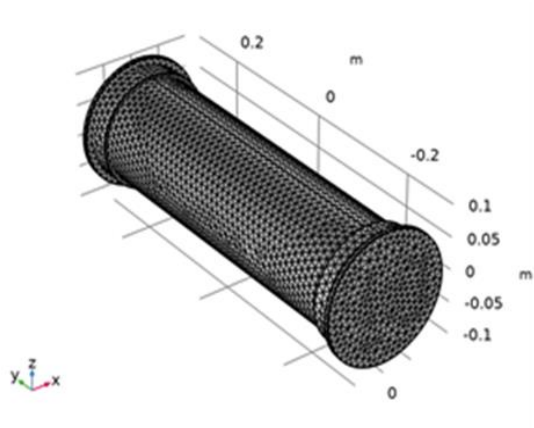
شکل ۱۱. مقایسه نمودارهای FFT در دمای ۲۵ و ۸۰ درجه سانتی‌گراد

همانطور که مشاهده می‌شود نمودارها برحسب فرکانس در محور افقی و طیف فشار صوت در محور عمودی رسم شده‌اند. با مقایسه دو نمودار می‌توان دریافت که طیف فشار صوت به طور تقریبی در تمامی فرکانس‌های مشابه، برای حالتی که پوسته در دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد قرار دارد، بیشتر از حالتی هست که پوسته در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. این نتیجه نشان دهنده آن است که میزان فشار صوت عبوری از پوسته که توسط میکروفون اندازه‌گیری شده است برای حالتی که پوسته گرم‌تر شده بیشتر از حالتی است که



شکل ۹. نمودار FFT در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد

از آنجایی که تاکنون پژوهشی در رابطه با بررسی اثرات دما بر روی میزان صوت انتقالی از پوسته کمپرسور اسکرو صورت نگرفته که بتوان نتایج این پژوهش را جهت صحت سنجی با آنها مقایسه نمود، لذا به منظور اعتبارسنجی نتایج بدست آمده از آزمایش، شبیه‌سازی نمونه در نرم‌افزار کامسول فیزیک انجام شده است. نحوه انجام شبیه‌سازی در نرم‌افزار کامسول فیزیک بدین صورت است که ابتدا مدل پوسته استوانه‌ای با مشخصات هندسی مذکور در بخش ۲ و مشخصات مکانیکی و جنس آن در قسمت مواد نرم‌افزار اعمال می‌گردند. بعد از انجام عملیات مش‌بندی مدل و پس از اعمال شرایط مرزی و بارگذاری مربوطه، تحلیل انجام می‌شود. در ادامه پس از بررسی استقلال شبکه از حل، سطح انتقال صوت برای زمانی که پوسته در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد قرار دارد بدست می‌آید. نمایی از هندسه و شبکه‌بندی پوسته استوانه‌ای مدل‌سازی شده در محیط نرم‌افزار در شکل ۱۲ نشان داده شده است.



پوسته در دمای محیط قرار دارد. بدین ترتیب می‌توان اثرات دما بر روی میزان فشار صوتی منتقل شده از پوسته کمپرسور را مشاهده نمود. همچنین از شکل ۹ و شکل ۱۰ مشخص است که در هر دو حالت دمایی، میزان فشار صوت عبوری از پوسته با افزایش فرکانس کاری کاهش می‌یابد.

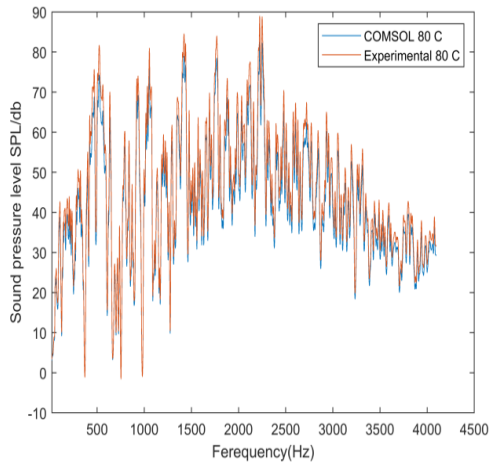
در جدول ۱ مقدار دامنه چندین طیف فشار صوت برای دو حالتی که پوسته در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد و دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد قرار دارد، آورده شده است. همچنین میزان اختلاف آنها که بیانگر میزان اختلاف فشار صوت عبوری از پوسته در هر دو حالت دمایی است، محاسبه شده‌اند.

جدول ۱. مقایسه دامنه طیف فشار صوت در چند فرکانس خاص

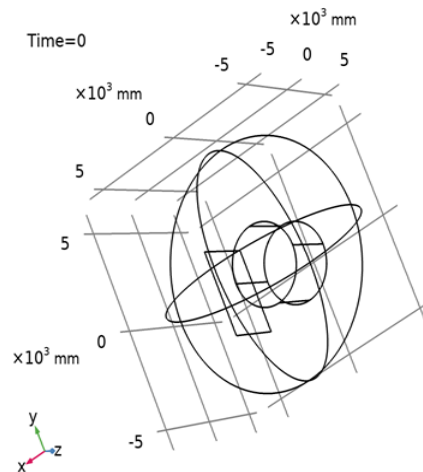
فرکانس (هرتز)	دمای ۲۵ درجه	دمای ۸۰ درجه	میزان اختلاف
۶۱	۰/۰۹۵۲	۰/۰۹۵۴	۱/۸۵۸۸
۱۴۴	۰/۳	۲/۱	۱/۸
۴۰۰	۰/۱	۰/۳	۰/۲
۶۲۳	۱/۰۰۴۱۶	۰/۴۶۹	۱/۴۶۴۹
۱۰۰۰	۰/۰۱۴	۰/۱۲۴	۰/۱۱

نتایج حاکی از آن است که میزان اختلاف فشار صوت بیشتری در فرکانس‌های پایین نسبت به فرکانس‌های بالاتر، برای پوسته با دمای ۸۰ درجه سانتی‌گراد نسبت به پوسته با دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد ملاحظه می‌گردد.

۴. شبیه‌سازی اجزای محدود



شکل ۱۳. مقایسه نتایج حاصل از شبیه‌سازی و آزمایش برای هر دو حالت دمایی ۲۵ و ۸۰ درجه سانتی‌گراد



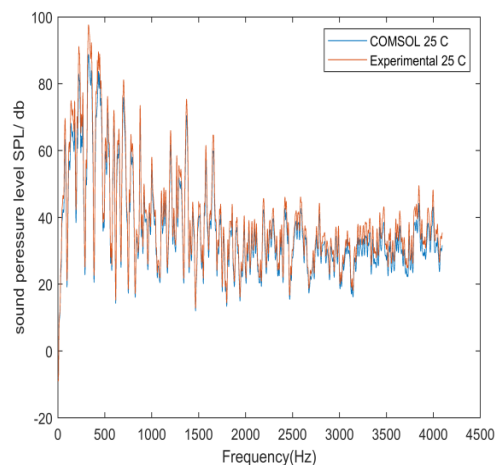
شکل ۱۲. هندسه و شبکه‌بندی پوسته شبیه‌سازی شده در نرم‌افزار کامسول فیزیک

جدول ۲ و ۳ به ترتیب مقایسه بین سطح فشار صوت برای باند فرکانسی یک سوم اکتاو و درصد اختلاف آنها را برای دو حالت شبیه‌سازی عددی با کامسول فیزیک و نتایج بدست آمده از تست تجربی در دو دمای ۲۵ و ۸۰ درجه سانتی‌گراد نشان می‌دهند.

جدول ۲. مقایسه دامنه سطح فشار صوت برای باند فرکانسی یک سوم اکتاو در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد

فرکانس (هرتز)	نتایج تجربی	نتایج شبیه‌سازی	درصد اختلاف
۲۵	۱۳/۳۷	۱۴/۷۱	۹/۱٪
۳۱/۵	۲۳/۱	۲۵/۶۶	۹/۹۸٪
۴۰	۳۲/۹۶	۳۵/۲۵	۶/۵٪
۵۰	۴۰/۴۳	۴۴/۰۱	۸/۱۴٪
۶۳	۴۱/۷۲	۴۴/۰۸	۵/۳۶٪
۸۰	۶۱/۰۶	۶۶/۱۶	۷/۷٪

نمودارهای شکل ۱۳ به ترتیب مقایسه سطح فشار صوت بر حسب دسی‌بل حاصل از نتایج تست آزمایشگاهی و نتایج شبیه‌سازی اجزای محدود توسط نرم‌افزار کامسول فیزیک را برای پوسته استوانه‌ای تحت دماهای ۲۵ و ۸۰ درجه سانتی‌گراد نمایش می‌دهد. همانطور که در هر دو نمودار مشاهده می‌شود نتایج شبیه‌سازی عددی تطابق رضایت‌بخشی با نتایج تست آزمایشگاهی دارد به طوری که اختلاف نتایج دو روش کمتر از ۱۰ درصد می‌باشد.



٪۶/۷۵	۴/۵۳	۴/۳۵	۳۱/۵
٪۶/۸۷	۸/۰۱	۷/۴۶	۴۰
٪۹/۰۹	۱۰/۲۳	۹/۳	۵۰
٪۹/۱۳	۲۴/۶۷	۲۲/۴۲	۶۳
٪۵/۰۶	۱۷/۰۱	۱۶/۱۵	۸۰
٪۷/۳	۳۹/۰۶	۳۶/۲۱	۱۰۰
٪۷/۹۵	۱۰/۸۳	۹/۹۷	۱۲۵
٪۷/۷۸	۴۰/۰۱	۳۶/۹	۱۶۰
٪۸/۴۲	۳۷/۹	۳۴/۷۱	۲۰۰
٪۹/۰۸	۲۱/۵۹	۱۹/۶۳	۲۵۰
٪۹/۷۸	۴۲/۰۳	۳۷/۹۲	۳۱۵
٪۷/۳۹	۵۴/۰۳	۵۰/۰۴	۴۰۰
٪۹/۰۸	۶۴/۲۸	۵۸/۵۳	۵۰۰
٪۹/۹۲	۶۲/۰۴	۵۵/۸۹	۶۳۰
٪۴/۹۷	۴۸/۹	۴۶/۴۷	۸۰۰
٪۶/۵۶	۴۹/۱۲	۴۵/۹	۱۰۰۰
٪۱۵۶	۳۳/۴۳	۳۱/۲۴	۱۲۵۰
٪۶/۵۲	۴۹/۷۳	۴۶/۴۹	۱۶۰۰
٪۷/۴	۵۲/۰۰۸	۴۸/۱۶	۲۰۰۰
٪۹/۳۶	۵۵/۱۴	۴۹/۹۸	۲۵۰۰
٪۷/۴۳	۳۳/۱۴	۳۰/۶۸	۳۱۵۰
٪۷/۳۸	۲۶/۹۸	۲۴/۹۹	۴۰۰۰

٪۳/۳۴	۲۳/۰۵	۲۲/۲۸	۱۰۰
٪۶/۲۹	۵۹/۰۱	۵۵/۳۰	۱۲۵
٪۹/۱۵	۷۱/۸	۶۵/۲۳	۱۶۰
٪۸/۵۳	۵۳/۰۲	۴۸/۵	۲۰۰
٪۹/۰۹	۷۰/۱۳	۶۳/۷۶	۲۵۰
٪۹/۰۸	۸۲/۹	۷۵/۳۷	۳۱۵
٪۷/۶۷	۶۳/۷۹	۵۸/۹	۴۰۰
٪۶/۹۹	۵۴/۰۳	۵۰/۲۵	۵۰۰
٪۶/۵۵	۵۶/۸۶	۵۳/۱۴	۶۳۰
٪۶/۸۹	۵۹/۳	۵۵/۲۱	۸۰۰
٪۴/۸۹	۵۶/۹۹	۵۴/۲	۱۰۰۰
٪۴/۲۸	۳۲/۰۷	۳۰/۷	۱۲۵۰
٪۵/۶۷	۳۵/۰۱	۳۳/۰۲۷	۱۶۰۰
٪۳/۴۷	۲۳/۳۵	۲۲/۵۴	۲۰۰۰
٪۷/۵۹	۳۰/۰۷	۲۷/۷۹	۲۵۰۰
٪۷/۳۵	۲۲/۰۵	۲۰/۴۳	۳۱۵۰
٪۹/۶۸	۴۶/۰۱	۴۱/۵۶	۴۰۰۰

جدول ۳. مقایسه دامنه سطح فشار صوت برای باند

فرکانسی یک سوم اکتاو در دمای ۸۰ درجه

سانتی‌گراد

فرکانس (هرتز)	نتایج تجربی	نتایج شبیه‌سازی	درصد اختلاف
۲۵	۳/۹۶	۴/۳۵	٪۸/۳۷

مقایسه نتایج آزمایشگاهی و شبیه‌سازی عددی انجام شده

است. در نهایت با آنالیز فرکانسی و انجام تبدیل فوریه سریع (FFT) از فشار صوتی ایجاد شده در داخل پوسته، اثرات افزایش دما بر روی میزان انتقال صدا از پوسته کمپرسور ثبت گردید.

جهت اعتبارسنجی نتایج بدست آمده از تست آزمایشگاهی، مدل پوسته استوانه‌ای با همان هندسه و جنس در نرم‌افزار کامسول فیزیک شبیه‌سازی و تحلیل شد. نتایج شبیه‌سازی نرم‌افزاری نشان دادند که تطابق رضایت‌بخشی با نتایج آزمایشگاهی دارند و حداکثر اختلاف نتایج دو روش با یکدیگر در هر دو حالت دمایی در بازه فرکانسی یک سوم اکتاو، کمتر از ۱۰ درصد بوده است.

همچنین نتایج نشان می‌دهند که چنانچه دمای کاری کمپرسور بالاتر برود، میزان صوت منتقل شده به محیط اطراف بخصوص در فرکانس‌های پایین بیشتر می‌شود که می‌تواند سبب ایجاد بروز نارضایتی برای کاربران شود. لذا پیشنهاد می‌گردد با اقداماتی همانند خنک نمودن محیط کاری کمپرسور، استفاده از روغن مناسب جهت روانکاری و خنک کاری، تعویض به موقع روغن، استفاده از فیلترهای مناسب همواره دمای کارکرد کمپرسور در حد مطلوب و پایین نگه داشته شود تا علاوه بر افزایش عمر کاری، از میزان صدای نامطلوب تولیدی توسط کمپرسور که به محیط منتقل می‌شود و باعث ایجاد نارضایتی در کاربران می‌گردد، کاسته شود.

در این پژوهش که در شکل ۱۳ و جداول ۲ و ۳ آورده شده است، از نظر کیفی و کمی تطابق رضایت‌بخشی را نشان می‌دهند، بطوریکه از نظر کیفی نحوه تغییر فشار صوت در نتایج دو روش در هر دو دما بسیار مشابه می‌باشند و از نظر کمی نیز حداکثر اختلاف نتایج دو روش در باند فرکانسی یک سوم اکتاو کمتر از ۱۰ درصد می‌باشد.

۵. نتیجه‌گیری

در این مقاله اثرات دما بر روی میزان فشار صوت منتقل شده از پوسته کمپرسورهای اسکرو بصورت تجربی مورد مطالعه قرار گرفت. روش آزمایش بدین صورت است که ابتدا یک مدل از پوسته کمپرسور اسکرو ساخته شده و سپس میزان فشار صدای عبوری از این پوسته برای دو حالت، در دمای محیط ۲۵ درجه سانتی‌گراد و دمای کاری ۸۰ درجه سانتی‌گراد که ماکزیمم دمای کاری کمپرسور می‌باشد، اندازه‌گیری شد. برای آنکه محیط ایزوله باشد و هیچگونه صدای خارجی و مزاحم وجود نداشته باشد، این آزمایش در اتاق آکوستیک انجام گرفته است، به طوری که دو میکروفون در داخل و خارج پوسته قرار گرفته و در بیرون از اتاق، از طریق بلندگو صدای تصادفی ایجاد شده است که در نهایت از طریق میکروفون داخل پوسته، میزان فشار صوت عبوری اندازه‌گیری شده

۶. منابع

- [1] Stošić, Nikola, Elvedin Mujić, A. Kovačević, and I. K. Smith. "Development of rotor profile for silent screw compressor operation." In *International conference on compressors and their systems*, pp. 133-145. 2007.
- [2] Holmes, C. S. "Transmission error in screw compressors, and methods of their compensation during rotor manufacture." In *International Conference on Compressors and their Systems*. 2005.

- [3] Holmes, C. S. Transmission error in screw compressors, and methods of their compensation during rotor manufacture. In *Proceedings of the International Conference on Compressors and their systems*. 2005, additional paper, London, UK, 4–7 September 2005.
- [4] Fujiwara, A. and Sakurai, N. Experimental analysis of Screw Compressor Noise and Vibration. In *Proceedings of the 1986 International Compressor Engineering Conference*, Purdue University, West Lafayette, Indiana, USA, 4–7 August 1986.
- [5] Koai, Kwang-lu, and Werner Soedel. "Gas pulsations in screw compressors-part I: determination of port flow and interpretation of periodic volume source." (1990).
- [6] Koai, Kwang-lu, and Werner Soedel. "Gas Pulsations in screw compressors-Part II: dynamics of discharge system and it's interaction with port flow." (1990).
- [7] Sangfors, B. I. "Computer simulation of gas-flow generated noise from twin-screw compressors." In *IMECHE CONFERENCE TRANSACTIONS*, vol. 6, pp. 707-716. MECHANICAL ENGINEERING PUBLICATIONS, 1999.
- [8] Tanttari, Jukka. "On twin-screw compressor gas pulsation noise." In *The 29th International Congress and Exhibition on Noise Control Engineering*, pp. 2369-2372. 2000.
- [9] Wu, Huagen, Ziwen Xing, Xueyuan Peng, and Pengcheng Shu. "Simulation of discharge pressure pulsation within twin screw compressors." *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part A: Journal of Power and Energy* 218, no. 4 (2004): 257-264.
- [10] Woo, Sungtae, Unseop Lee, Chunmo Sung, Changjoo Shin, and Seonkyo Kim. "Noise Reduction in Two-Cylinder Rotary Compressor." (2008).
- [11] Mujic, E., A. Kovacevic, N. Stosic, and I. K. Smith. "Noise generation and suppression in twin-screw compressors." *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part E: Journal of Process Mechanical Engineering* 225, no. 2 (2011): 127-148.
- [12] Wu, Xiaokun, Ziwen Xing, Wenqing Chen, and Xiaolin Wang. "Performance investigation of a pressure pulsation dampener applied in the discharge chamber of a twin screw refrigeration compressor." *International Journal of Refrigeration* 85 (2018): 70-84.
- [13] He, Zhilong, Yaoxiang Han, Wenqing Chen, Minglong Zhou, and Ziwen Xing. "Noise control of a two-stage screw refrigeration compressor." *Applied Acoustics* 167 (2020): 107383.
- [14] He, Zhilong, Dantong Li, Yaoxiang Han, Minglong Zhou, Ziwen Xing, and Xiaolin Wang. "Noise control of a twin-screw refrigeration compressor." *International Journal of Refrigeration* 124 (2021): 30-42.
- [15] He, Yayin, Congcong Xiao, Wei Zhang, and Kai Wang. "Study of noise and structural characteristics of twin-screw air compressor based on multi-physical field coupling." *Scientific Reports* 13, no. 1 (2023): 20879.

پی نوشت

¹ Screw Compressors

² COMSOL Multiphysics 5.6

³ Helmholtz

⁴ Bitzer

⁵ Fast Fourier Transform