

بهینه‌سازی هندسه فضاهای معماری برای دستیابی به عملکرد حرارتی با استفاده از اثر ترموآکوستیک*

مهندس زهرا سخندان سرخابی**، دکتر فرشاد نصرالهی**، دکتر عباس غفاری***

تاریخ دریافت مقاله: ۱۳۹۵/۰۲/۲۱ تاریخ پذیرش نهایی: ۱۳۹۶/۰۶/۲۱

چکیده

در مقاله حاضر هندسه‌های بهینه که با جذب نوسان‌های صوتی حاصل از انعکاس، حداکثر میزان گرما را تولید می‌کنند، شناسایی شده‌اند، تا با به حداقل رسیدن میزان نوفه، از تغییرات دمایی حاصل در جهت گرمایش و سرمایش فضا بهره‌گیری شود. پژوهش حاضر به روش تجربی و شبیه‌سازی، با نرم‌افزار COMSOL5.2 انجام شده‌است. با پخش صوت با فرکانس ۸۰۰۰ هرتز در فضا، تغییرات دمایی حاصل از جذب صوت در فضا مستندسازی شد و با دستیابی به نتایج عددی، مناسب‌ترین هندسه‌ها برای تولید گرما از نوسانات صوتی و به حداقل رساندن نوفه شناسایی گشت. می‌توان گفت در میان احجام خالص، استوانه موجب تولید بیشترین دما با انرژی‌های صوتی می‌گردد. افزایش گوشه‌های ۹۰ درجه در هندسه‌های معماری به حالتی که طول ضلع‌های مجاور زاویه، برابر باشد، دما را ارتقاء داده و بهترین مکان برای گوشه‌سازی در پلان‌های راست گوشه، ۱/۳ فوقانی از ارتفاع فضا است که بیشترین جذب انرژی‌های صوتی به صورت گرمایشی را موجب می‌گردند.

واژه‌های کلیدی

گوشه سازی، انرژی صوتی، جذب کننده، گرما، SPL

* مقاله حاضر مستخرج از پایان‌نامه دکتری با عنوان «واکاوی عملکرد حرارتی فضای داخلی مدارس تبریز با تأکید بر هم‌نشینی هندسی و آکوستیکی پوسته فضا و کاواک» به راهنمایی آقای دکتر فرشاد نصرالهی و آقای دکتر عباس غفاری می‌باشد.
** دانشجوی دکتری رشته معماری، دانشگاه هنر اصفهان، استان اصفهان، شهر اصفهان. (مسئول مکاتبات)

Email: Zahra.sokhandan@gmail.com

*** استادیار گروه معماری، دانشگاه هنر اصفهان، استان اصفهان، شهر اصفهان.

Email: f.nasrollahi@udk-berlin.de

*** استادیار گروه معماری، دانشگاه هنر اسلامی تبریز، استان آذربایجان شرقی، شهر تبریز.

Email: abbas_gaffari@yahoo.com

۱-۱- مقدمه

در طول تاریخ، انسان از منابع و انرژی‌های موجود در طبیعت برای تأمین نیازهای گرمایشی و سرمایشی خود بهره‌جسته‌است (سخن‌دان و خان محمدی، ۱۳۹۴). یکی از اصلی‌ترین دلایل مصرف بیش‌ازاندازه از منابع طبیعی برای تولید انرژی، رسیدن به آسایش حرارتی در داخل بنا بوده است (برزگر و همکاران، ۱۳۹۳). متداول‌ترین روش تولید گرمایش و سرمایش در زندگی معاصر، استفاده از منابع تجدیدناپذیر مانند سوخت‌های آلی است که باوجود تولید انرژی قابل‌توجه، صدمات عظیمی را بر پیکره طبیعت و محیط‌زیست وارد می‌کند که بازنگری جامعی را در سبک زندگی، معماری و رفع نیاز انسان معاصر می‌طلبد (Khanmohammadi & Sokhandan, 2013). جامع‌ترین تحولاتی که در معماری معاصر به وقوع پیوست بازگرداندن طبیعت به معماری بود، به‌نحوی که باد، آفتاب، آب و گیاه به‌عنوان بخشی از منابع تأمین انرژی موردنیاز انسان به کار بسته شدند (مور، ۱۳۸۲). توجه به جهت‌گیری‌های مناسب نسبت به باد و آفتاب، نقش حفاظتی گیاه و استفاده از ظرفیت گرمایی آب متداول‌ترین اقداماتی بود که در غالب ایجاد سامانه‌های ایستا در کالبد معماری معاصر نقش‌بست (لب و واتسون، ۱۳۸۴). تغییرات تشدید فشار هوا گونه‌ای از قابلیت‌های طبیعی است که در کارکرد و طراحی سامانه‌های ایستا، کمتر موردتوجه قرار گرفته‌است. شاید دلیل محدودیت این عامل، توجه بیشتر به مسیر طبیعی جریان هوا در سامانه‌های ایستا بوده است، درحالی‌که فرایندهای طبیعی مختلفی در فضاهای معماری و در زیست‌محیط، ایجادکننده، تشدیدکننده، نوسان‌ساز جریان هوا و تغییردهنده فشار آن هستند. یکی از این عوامل، صدا و انرژی‌های آکوستیکی است که تغییرات قابل‌توجهی را در فشار هوا ایجاد می‌کنند، این تغییرات در داخل فضاها در موقعیت‌های متنوعی تشدید می‌گردند که بازتابش‌های متعدد صوت در محفظه‌های کوچک و کنج‌ها از آن جمله‌اند. سؤال اصلی پژوهش این است که چه نوع هندسه‌هایی در تولید گرما از انرژی‌های صوتی بدون دخالت عواملی مانند خصوصیات مصالح کاربردی در فضا، رطوبت نسبی سیال و جریان هوای داخلی مؤثرند؟

برای انجام پژوهش از نرم‌افزار COMSOL و فیزیک‌های آکوستیک و انتقال گرما در سیالات بهره‌گیری شده‌است. شبیه‌سازی در دو گام اصلی آکوستیکی شامل محاسبه فشار، شدت، تراز فشار صوتی و گرمایشی به هدف استفاده از توان تولیدی انرژی صوتی جهت ایجاد اختلاف دما در واحد کلون انجام شده‌است. داده‌های کاربردی در فیزیک صوت، فرکانس اولیه و ضریب جذب سیال اصلی (هوا) و در فیزیک انتقال گرما، دمای اولیه در داخل فضا است. ابتدا شبیه‌سازی در احجام خالص با حجم یک مترمکعب شامل مکعب، کره، سهمی و مخروط با ارتفاع ثابت یک‌متر انجام شده و مناسب‌ترین هندسه جهت تولید گرما از نوسانات فشار هوا در اثر انرژی‌های صوتی به‌دست‌آمده‌است. سپس با ترکیب هندسه مناسب با هندسه‌های راست‌گوشه، هندسه‌های ترکیبی مؤثر شناسایی شده و عوامل مؤثر هندسی به‌صورت راهکار معماری در تولید گرما از صوت ارائه گشته است.

هدف اصلی پژوهش یافتن هندسه‌هایی است که بدون نیاز به جذب‌کننده‌های صوتی و به‌صورت منحصربه‌فرد با استفاده از خصوصیات هندسی فضا و جریان سیال موجود (هوا) در آن به جذب

انرژی‌های صوتی پرداخته و آنها را به‌صورت گرمابه داخل فضا انتقال دهد. در این صورت با کاهش سطح انتقال صوت به خارج از فضای موردنظر، سطح نوفه در فضاهای مجاور کاهش‌یافته و از گرمایش تولیدی به‌واسطه جذب صوت جهت رفع نیازهای محدود گرمایشی بهره‌گیری خواهد شد.

۱-۲- پیشینه پژوهش

در دهه‌های اخیر، ترکیب علوم آکوستیک و ترمودینامیک سبب پیدایش فناوری ترموآکوستیک (دانش گرما صوت) و توسعه دستاوردهای جدید در زمینه‌های علمی و صنعتی شده‌است. فناوری ترموآکوستیک به دلیل دارا بودن مزایایی مانند عدم ایجاد آلودگی‌های زیست‌محیطی و عدم استفاده از گازهای مخرب توجه زیادی را به خود جلب کرده‌است (کریمی، ۱۳۹۲). اصطلاح ترموآکوستیک به دانشی بین‌رشته‌ای در مطالعات تبدیل انرژی‌های گرمایشی و انرژی‌های آکوستیکی اشاره می‌کند (Jin et al., 2015). کنش و واکنش‌های گرمایشی و هیدروینامیک بین دیوار (مصالح) صلب و جریان صوتی با بهره‌گیری از نوسان سیال می‌تواند جریان گرمایشی و توان قابل‌توجهی را در جهت موافق یا مخالف موج‌های صوتی ایجاد کند (Swift, 1988; Rott, 1969). توجه به اثر ترموآکوستیک تاریخچه‌ای طولانی در حدود دو قرن را سپری کرده‌است. پدیده ترموآکوستیک و ایجاد امواج نوسانی برای اولین بار توسط بیرون هیگینز^۱ در سال ۱۷۷۷ میلادی، با قرار دادن شعله هیدروژن در یک لوله بزرگ که بعدها به شعله آوازخوان معروف شد، مشاهده‌گردید. در سال ۱۸۱۶ زمانی که لاپلاس^۲ محاسبات نیوتن را در مورد صوت تصحیح می‌کرد، متوجه شد که در اثر تراکم و انبساط امواج صوتی دما اندکی تغییر می‌یابد (Swift, 1988). چند دهه بعد در سال ۱۸۵۰، ساندهاوس^۳ مشاهدات خود در مورد ترموآکوستیک را در قالب یک مقاله منتشر کرد (کریمی، ۱۳۹۲). در این مشاهدات بیان شده بود که اگر یک حباب شیشه‌ای در انتهای یک لوله شیشه‌ای نازک قرار گیرد صدایی از ناحیه باز لوله شنیده می‌شود. در سال ۱۸۵۹ دانشمندی به نام ریگی^۴ آزمایش ساندهاوس را در یک لوله دو سر باز با قرار دادن یک صفحه مشبک در میانه لوله تکرار کرد و دریافت که ارتعاشات شدیدی در لوله رخ می‌دهد (Jin et al., 2015). کریشهف^۵ در سال ۱۸۶۸ برای اولین بار به مطالعه میرایی موج در اثر عبور از لوله و انتقال حرارتی ناشی از آن پرداخت و در اواخر قرن نوزدهم، رایلی یک توصیف کیفی از پدیده ترموآکوستیک با عنوان «تئوری صوت» را ارائه نمود. او در این تئوری پدیده تقویت و میرایی نوسانات آکوستیکی را بدین‌صورت تشریح کرد: «اگر به گاز در لحظه بیشترین انقباض، گرما داده شود و در لحظه کمترین انبساط گرما از آن گرفته شود، انتقال حرارت، موجب ارتعاش شده و نوسانات آکوستیکی تقویت می‌گردد» (Rott, 1974). او همچنین نوسانات ساندهاوس را که مقدمه‌ای بر نوسانات تاکنونی هستند، اثبات کرد. «نوسان تاکنونی^۶ پدیده‌ای است که در آن یک تیوب پر از گاز از دمای محیط به دمای سرد می‌رسد و دچار نوسانات خود به خودی می‌شود که با انتقال حرارت زیادی از محیط به فضای سرد همراه است» (Gopinath et al., 1998). توسعه معادلات ترموآکوستیک با مطالعه عمیق‌تر پدیده تاکنونی در سال ۱۹۴۹ توسط کرامر^۷ آغاز

از جذب‌کننده‌های صوتی روشی است که باعث کاهش زمان واکنش انرژی صوت شده و فرایند تبدیل انرژی‌های صوتی به انرژی‌های گرمایی را تسهیل می‌سازند. یکی از مشکلات متداول در زمینه فوق، انتقال صوت به فضاهای مجاور قبل از به هدر رفتن آن به صورت گرمایی است که موجبات ایجاد نوفه در فضا را فراهم می‌کنند. روند کلی پژوهش انتخاب هندسه‌های متنوع فضایی به حجم یک مترمکعب و پخش یک فرکانس ثابت از سقف در ارتفاع یک متری از کف فضا و بررسی میزان فشار، شدت، تراز فشار صوتی و دمای تولیدی است. در فرایند انجام پژوهش از نرم‌افزار Comsol، فیزیک‌های آکوستیک و انتقال حرارت نرم‌افزار جهت شبیه‌سازی استفاده شده‌است. فرکانس ثابت شبیه‌سازی، ۸۰۰۰ هرتز (به‌عنوان بحرانی‌ترین فرکانس از نظر تولید گرما)، دمای اولیه ۲۹۰ درجه کلوین (معادل ۱۷ درجه سانتی‌گراد، حداقل دمای آسایش زمستان) و مدت‌زمان انجام شبیه‌سازی ۲۰۰۰ ثانیه است. در فرایند پژوهش، شبیه‌سازی هندسه‌های مختلف در دو دسته احجام خالص و احجام ترکیبی انجام شده‌است.

امکان‌سنجی استفاده از صوت برای تولید گرما

بخش حاضر برای اعتبارسنجی بیرونی، امکان‌یابی و کمی‌سازی تجربی فرایند تولید گرما از انرژی‌های صوتی با توجه به عوامل طبیعی و مصنوعی است که در فضاهای معماری دخالت دارند. رطوبت نسبی و جریان هوا، مصالح کاربردی در فضا و موقعیت منبع صوتی، جزء این عوامل هستند. از آنجایی که ساخت گونه‌های متنوع هندسی به صورت تجربی و آزمون آن به حالت آزمایشگاهی مستلزم صرف هزینه بسیار زیاد است یک نمونه هندسی متداول در کارهای ساختمانی ساخته شده و اعتبار سنجی بیرونی و نرم‌افزاری به‌وسیله آن انجام شده‌است.

نمونه ساخته شده یک مکعب مستطیل در ابعاد $1 \times 1 \times 0.5$ مترمکعب است که با استفاده از ورق‌های یونولیتی به ضخامت ۵ سانتیمتر و دولایه گچ به صورت گچ‌و‌خاک به ضخامت $1/5$ سانتی‌متر و گچ سفید به ضخامت ۱ سانتی‌متر ساخته شده‌است. منابع صوتی در درون نمونه قرار گرفته و در مدت‌زمان ۲۰ دقیقه صوت در داخل آن پخش می‌شود. با قیاس دمای سطوح و دمای هوای داخل نمونه مورد آزمایش قبل و بعد از پخش صوت، با استفاده از دماسنج لیزری نتایج استخراج می‌گردد. صدای پخش شده صدایی در فرکانس ۱۰۰۰ هرتز بوده و تعداد منبع صوتی دو عدد است. (شکل ۱)

شرایط آزمایش تجربی در نرم‌افزار Comsol شبیه‌سازی شده و نتایج مقایسه گشته‌است. ضریب جذب سیال داخل مکعب مستطیل با توجه به رطوبت نسبی هوا و ضرایب جذب صوت، ضریب انتقال حرارتی و ظرفیت حرارتی دیوار گچی به دیوارهای نمونه شبیه‌سازی شده اختصاص داده می‌شود. دمای اولیه در محیط آزمایش $23/5$ درجه سانتی‌گراد معادل ۲۹۷ درجه کلوین در محیط نرم‌افزار Comsol است. (شکل ۲)

مقایسه نتایج عددی شبیه‌سازی در نرم‌افزار Comsol و آزمایش تجربی در جدول ۱ ارائه شده‌است.

شایان‌ذکر است که برای حذف عوامل مداخله‌گری مانند توان گرمایی

گردید و روت بر پایه مطالعات کرامر در سال ۱۹۶۹ یک تئوری خطی موفق در مورد ترموآکوستیک ارائه کرد و پس‌از آن تلاش گسترده‌ای به‌منظور کاربردی کردن فناوری ترموآکوستیک آغاز شد (Bao et al., 2006). از منظر انتقال انرژی تأثیرات ترموآکوستیکی در چهار دسته کلی تقسیم می‌شود:

- تبدیل گرمایش به صوت؛
- استفاده از صوت برای سرمایش؛
- استفاده از صوت برای تولید برق؛
- کارکرد صوت در گرمایش؛

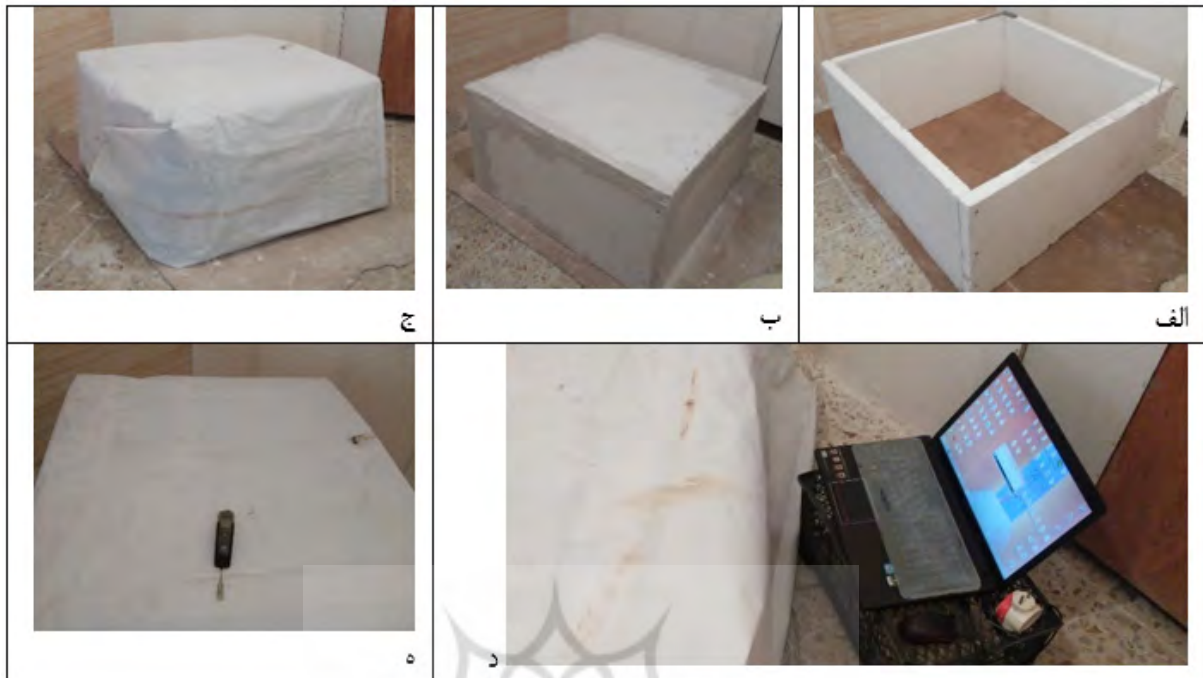
اصلی‌ترین جزء در تجهیزات ترموآکوستیک، رزوناتورها یا حفره‌های هلم هولتز هستند که در دانش آکوستیک، کاواک نامیده می‌شوند (صادقی‌زاده، ۱۳۹۰). از آنجایی که کاواک‌ها با استفاده از خصوصیات هندسی خود به جذب صوت و اتلاف آن (به حالت گرمایی) می‌پردازند، ایده استفاده از هندسه معماری به‌عنوان یک کاواک عظیم را در فضا برای تولید گرما از انرژی‌های صوتی در ذهن پژوهشگر مطرح ساخته‌است. در پژوهش حاضر، پژوهشگر به دنبال یافتن هندسه‌هایی است که فضای عظیم معماری را از نظر قوانین فیزیک آکوستیک به یک کاواک پویا تبدیل کند و با استفاده از خصوصیات هندسی فضا بر محدودیت‌های کاربردی کاواک‌های اولیه فائق آید. اصلی‌ترین محدودیت آکوستیکی کاواک، جذب صوت در فرکانس‌های کم است. بنابراین پژوهشگر در مقاله حاضر تلاش کرده‌است که با استفاده از فرکانس بالا و خصوصیات هندسی فضا، به تولید گرمایش و جذب صوت بپردازد. فرکانس ۸۰۰۰ هرتز با تمایل به تغییر فرکانسی به سمت فرکانس‌های بالاتر و خنثی‌سازی انرژی صوت با هم‌نشینی شکم و گره‌های صوتی در اثر پاسخ فرکانسی به‌عنوان فرکانس مورد آزمایش در پژوهش انتخاب شده‌است.

روش پژوهش

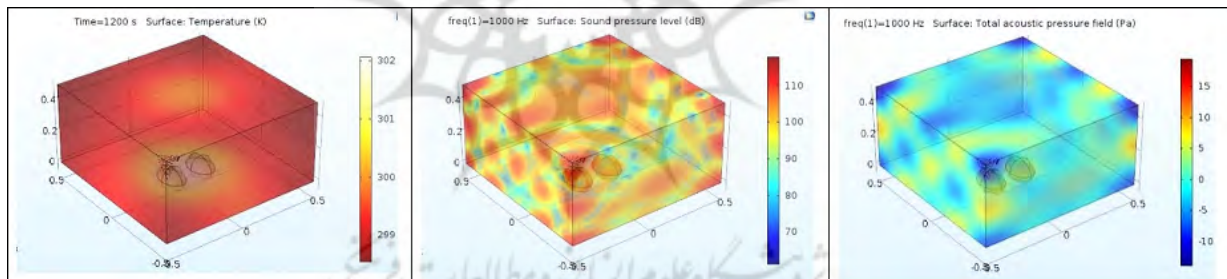
پژوهش حاضر از نظر هدف، در دسته پژوهش‌های کاربردی قرار می‌گیرد زیرا درصدد رفع نیازمندی‌های بشر، بهبود و بهینه‌سازی ابزارها، اشیاء و الگوها در جهت توسعه رفاه، آسایش و ارتقاء سطح زندگی است. گونه پژوهش از نظر ماهیت داده‌ها به دلیل وجود داده‌های عددی حاصل از شبیه‌سازی در نرم‌افزار، کمی و روش پژوهش از نظر روش، شبیه‌سازی است.

هندسه فضا و گرما صوت

یکی از اصلی‌ترین راهکارهای معماری برای ارتقاء کیفیت آکوستیکی و گرمایی در فضا، استفاده از هندسه‌های مشخص در ساخت آنها است. بهره‌گیری از هندسه‌های متراکم و حداقل نسبت سطح به حجم برای کنترل گرمایی و ایجاد همگرایی و واگرایی در هندسه‌های چهارگوش جهت ایجاد دیوارهای هم‌راستای غیر موازی برای کنترل آکوستیکی از متداول‌ترین راهکارهای معماری محسوب می‌شود (اگان، ۱۳۹۰). انرژی‌های صوتی تولیدشده در فضا، پس از سپری شدن زمان واکنش مربوط به خود به‌صورت انرژی‌های گرمایی به هدر می‌روند. استفاده



شکل ۱. مراحل ساخت و آزمایش نمونه آزمایشگاهی، الف و ب: ساخت نمونه، ج: عایق سازی دولایه پتویی و پلاستیکی، د: پخش صوت، ه: دماسنج لیزری برای اندازه گیری دما.



شکل ۲. شبیه سازی آکوستیکی و حرارتی نمونه مورد آزمایش.

شده است. گام های انجام پژوهش در یکی از احجام (استوانه) به تفصیل شرح داده شده و نتایج بقیه احجام در جداول بعدی ارائه می گردد. نتایج آکوستیکی شبیه سازی در حجم یک مترمکعب استوانه ای در شکل های ۳ تا ۵ ارائه شده است.

تغییرات فشار آکوستیک در نمونه اندازه گیری شده از $4/98$ تا $20/7$ پاسکال حاصل گردید. بیشترین میزان فشار آکوستیک در نمونه معادل با $257/1$ پاسکال است. (شکل ۳)

تغییرات شدت صوت از عدد $5-10 \times 57/1$ تا $2-10 \times 57/2$ وات بر مترمربع در نمونه مورد شبیه سازی قابل مشاهده است. (شکل ۴)

نتایج آکوستیکی حاصل از فیزیک آکوستیک در نرم افزار به عنوان داده های اولیه برای محاسبه میزان گرمای تولید شده در داخل نمونه استوانه ای، مورد استفاده قرار گرفته است. در این مرحله، نرم افزار از معادلات کاواک برای محاسبه میزان گرمای تولیدی استفاده می کند. داده هایی مانند دمای اولیه هوا و ضریب جذب آن در این مرحله از

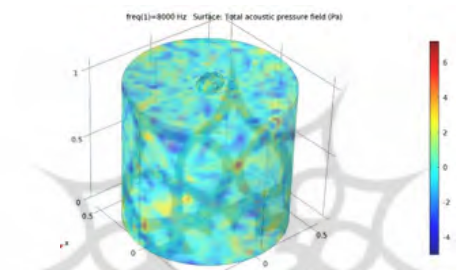
منبع صوتی (گرم شدن دستگاه)، آزمایش مجدداً تکرار شده و تفاوت دما (در حدود $0/5$ درجه سانتی گراد) از نتایج آزمایش کسر شده است و اعداد اصلاحی در جدول ارائه شده است. تفاوت دما در جبهه شمالی به جهت قرارگیری این جبهه در جهت مخالف جریان گرمایی در فضای آزمایشگاه است.

گرمای صوت در احجام فالص

در این بخش از پژوهش احجام کروی، سهموی، مخروطی، استوانه ای و مکعب شکل با حجم های برابر یک مترمکعب و با ارتفاع های یکسان یک متر شبیه سازی شده اند. منبع پخش صوت به شکل یک حجم سهموی با اقطار 7 ، 10 و 7 سانتی متری است که در مرکز سطح فوقانی حجم مورد نظر مکان یابی شده است. دمای حاصله از پخش صوت با فرکانس 8000 هرتز (معادل با توان صوتی یک نفر) در بازه های زمانی 50 ، 125 ، 250 ، 500 ، 1000 و 2000 ثانیه در احجام مذکور اندازه گیری

جدول ۱. مقایسه نتایج نمونه موردی تجربی و شبیه‌سازی و اعتبارسنجی بیرونی.

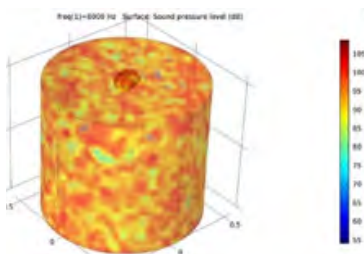
موقعیت نمونه تجربی	دما قبل از انجام آزمایش	دما بعد از انجام آزمایش	دمای اولیه شبیه‌سازی	دما بعد از شبیه‌سازی
دیوار شمالی	۲۳/۵ C	۲۴/۵ C	۲۹۷ K = ۲۳/۵ C	۲۹۸/۹۶ K = ۲۵/۴۶ C
دیوار جنوبی	۲۴ C	۲۶ C	۲۹۷ K = ۲۳/۵ C	۲۹۹/۵۵ K = ۲۶,۰۵ C
دیوار شرقی	۲۴ C	۲۶ C	۲۹۷ K = ۲۳/۵ C	۲۹۹/۴۱ K = ۲۵,۹۱ C
دیوار غربی	۲۳/۵ C	۲۵/۵ C	۲۹۷ K = ۲۳/۵ C	۲۹۹/۳۲ K = ۲۵,۸۲ C
هوای داخل نمونه	۲۳/۵ C	۲۵/۵ C	۲۹۷ K = ۲۳/۵ C	۲۹۹/۰۴ K = ۲۵,۵۴ C
سقف	۲۴ C	۲۶/۵ C	۲۹۷ K = ۲۳/۵ C	K = ۲۶/۵۰۴ ۳۰۰/۰۰۴



شکل ۳. توزیع فشار صوتی در حجم استوانه‌ای.



شکل ۴. توزیع شدت صوتی حجم استوانه‌ای.



شکل ۵. توزیع تراز فشار صوتی (SPL) در حجم استوانه.

استوانه‌های شکل استفاده شود، نوفه کمتری در فضاهای مجاور ایجاد شده و حرارت بیشتری در فضا تولید می‌گردد. اما آنچه که قابل تأمل است محدودیت کاربرد احجام استوانه‌ای در طراحی معماری به جهت مسائل سازه‌ای و روان‌شناسی است. بنابراین پژوهشگر تلاش کرده‌است که با ایجاد ترکیباتی از استوانه و مکعب به حداکثر حرارت تولیدی در داخل فضا دست یابد.

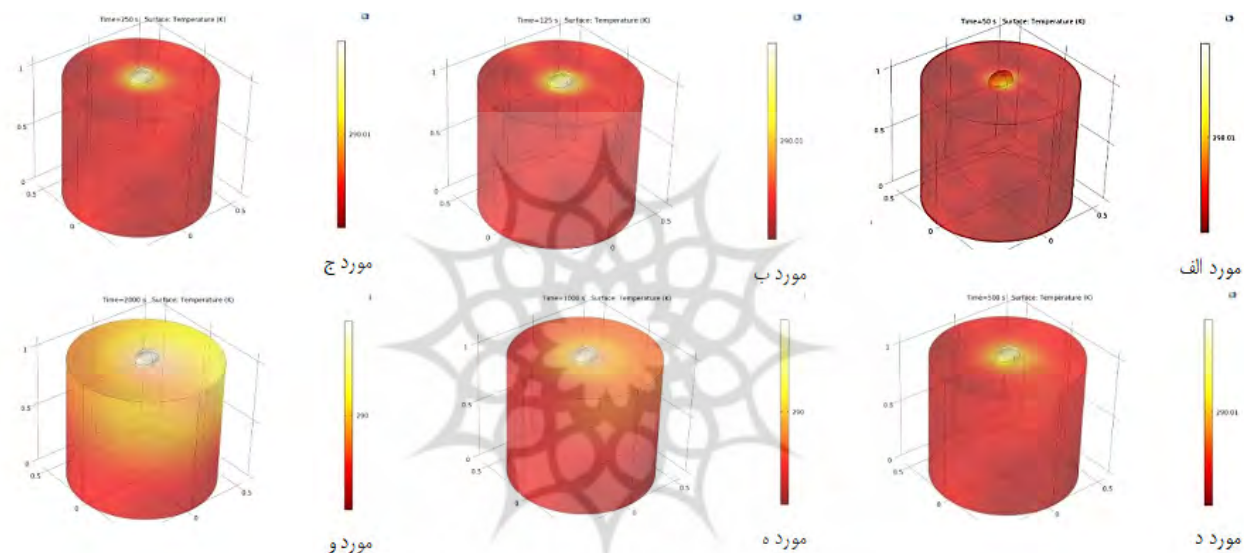
اشکال ترکیبی با دو روش مجزا انتخاب شده‌اند. روش اول ترکیب مستقیم قطعه‌هایی از استوانه در شکل‌های راست‌گوشه مکعب یا مکعب مستطیل و روش دوم بیشتر کردن میزان گوشه‌ها و ضلع‌ها در فضاهای مکعب مربع با توجه به این‌که استوانه یک‌چند ضلعی با بی‌نهایت ضلع و گوشه است.

شبیه‌سازی به کار بسته می‌شود و گرمای تولیدی حاصل از ضریب جذب هوا در داخل استوانه به حجم یک مترمکعب به دست می‌آید.

همان‌طور در شکل ۶ دیده می‌شود تغییرات دمایی از محل قرارگیری منبع شروع شده و باگذشت زمان در داخل حجم استوانه‌ای گسترش می‌یابد. تغییرات دمایی استوانه در بازه زمانی ۲۰۰۰ ثانیه در جدول ۲ ارائه شده‌است.

در ادامه فرایند شبیه‌سازی فوق در سایر احجام خالص (کره، سهمی، مخروط و مکعب) به حجم یک مترمکعب انجام شده و نتایج حاصله در جداول ۳ و ۴ ارائه گشته است.

میزان حرارت تولیدی از نظر بیشینه مقدار در حجم استوانه‌ای بیشتر از سایر احجام است. بنابراین در صورتی‌که در طراحی فضا از احجام



شکل ۶ تغییرات دمایی به ترتیب در زمان‌های ۵۰، ۱۲۵، ۲۵۰، ۵۰۰، ۱۰۰۰، ۲۰۰۰ ثانیه در حجم استوانه‌ای.

جدول ۲ تغییرات دمایی در بازه ۲۰۰۰ ثانیه در حجم استوانه‌ای.

حداکثر دما (برحسب کلوین)	حداقل دما (برحسب کلوین)	زمان سپری شده (برحسب ثانیه)
۲۹۰/۰۳۴۵	۲۸۹/۹۴۲۳۰	۵۰
۲۹۰/۰۴۴۷۶	۲۸۹/۹۴۶۲۵	۱۲۵
۲۹۰/۰۱۳۴۲	۲۸۹/۹۹۱۲	۲۵۰
۲۹۰/۰۱۵۱۵	۲۹۰/۰۰۱۹۸	۵۰۰
۲۹۰/۰۱۲۰۱	۲۹۰/۰۰۳۶۳	۱۰۰۰
۲۹۰/۰۰۵۷۸	۲۹۰/۰۰۳۹	۲۰۰۰

جدول ۳. شبیه‌سازی در احجام کره، سهمی، مخروط و مکعب.

شکل و عامل	کره	سهمی	مخروط	مکعب
اکوستیک فشار				
تراز فشار صوتی				
شدت صوت				
دما در ۲۰۰۰ ثانیه				

جدول ۴. نتایج اکوستیکی و گرمایی در احجام کره، سهمی، مخروط و مکعب.

شکل و عامل	کره		سهمی		مخروط		مکعب	
	کمینه	بیشینه	کمینه	بیشینه	کمینه	بیشینه	کمینه	بیشینه
فشار اکوستیک (Pa)	-۵/۴۷	۴/۶۲	-۴/۰۹	۴/۰۶	-۷/۱۵	۶/۶۳	-۳/۵۷	۴/۷۶
تراز فشار صوتی (dB)	۴۹/۶۴	۱۰۷/۲	۶۲/۰۷	۱۰۴/۴۶	۴۳/۶	۱۰۹/۰۸	۵۹/۸۳	۱۰۵/۳۷
شدت صوت (w/m ²)	حدود صفر	۰/۰۴۴	حدود صفر	۰/۰۱۵	حدود صفر	۰/۰۱۵	حدود صفر	۰/۰۱۲
دما در ۵۰ ثانیه (K)	۲۸۹/۹۹۸	۲۹۰/۰۳۲	۲۹۰/۰۰۰۴۶	۲۹۰/۰۱۶۸۴	۲۹۰/۰۰۰۰۳	۲۹۰/۰۱۵۶۷	۲۹۰/۰۰۰۰۲	۲۹۰/۰۱۹۶۶
دما در ۱۲۵ ثانیه (K)	۲۹۰/۰۰۰۸۱	۲۹۰/۰۲۰۰۴	۲۸۹/۹۸۰۰۴	۲۹۰/۰۱۶۰۲	۲۸۹/۹۸۰۸۶	۲۹۰/۰۲۴۲	۲۸۹/۹۸۷۲۵	۲۹۰/۰۱۸۹
دما در ۲۵۰ ثانیه (K)	۲۹۰/۰۰۱۲۹	۲۹۰/۰۱۴۶۱	۲۹۰/۰۰۰۲۶	۲۹۰/۰۰۷۵	۲۹۰/۰۰۰۲۴	۲۹۰/۰۱۳۰۷	۲۹۰/۰۰۰۷۱	۲۹۰/۰۰۷۶۴
دما در ۵۰۰ ثانیه (K)	۲۹۰/۰۰۱۶۸	۲۹۰/۰۱۰۸۵	۲۹۰/۰۰۱۵	۲۹۰/۰۰۸۴۴	۲۹۰/۰۰۰۳۷	۲۹۰/۰۱۰۶۵	۲۹۰/۰۰۱۹	۲۹۰/۰۰۶۷۷
دما در ۱۰۰۰ ثانیه (K)	۲۹۰/۰۰۲۱۶	۲۹۰/۰۰۸۰۵	۲۹۰/۰۰۱۶۷	۲۹۰/۰۰۰۶	۲۹۰/۰۰۰۴۷	۲۹۰/۰۰۶۷۱	۲۹۰/۰۰۲۰۱	۲۹۰/۰۰۵۲
دما در ۲۰۰۰ ثانیه (K)	۲۹۰/۰۰۲۵۸	۲۹۰/۰۰۵۶۵	۲۹۰/۰۰۱۸۳	۲۹۰/۰۰۳۲۳	۲۹۰/۰۰۰۵۹	۲۹۰/۰۰۲۹۳	۲۹۰/۰۰۲۱۶	۲۹۰/۰۰۳۱۶

ترکیب مستقیم قطاع‌های استوانه با مکعب

قطاع‌های استوانه در سه حالت کلی با مکعب ترکیب شده‌اند: گروه اول: ترکیب قطاع استوانه با مکعب در قسمت گوشه‌های ۹۰ درجه دیوارها به صورتی که مکعب با گوشه‌های منحنی را ایجاد می‌کند. تصاویر الف و ب در جدول ۵ اشاره به فرم‌های مطرح‌شده دارند.

گروه دوم: ترکیب قطاع استوانه با مکعب به صورتی که گوشه‌های ۹۰ درجه مکعب حفظ شود. در این صورتی دیوارهای مکعب با قطاع‌های استوانه‌ای ترکیب می‌شوند و استوانه با ۴ زاویه ۹۰ درجه را ایجاد می‌کنند. تصاویر (ج) و (د) در جدول ۵ اشاره به موارد مطرح‌شده دارند. گروه سوم: ترکیب مکعب و استوانه به حالت عمودی به صورتی که استوانه در سقف ایجاد شود. در ادامه حالت‌های ترکیبی استوانه در

دما نسبت به مکعب خالص فراهم می‌کند (مورد ج جدول ۶). ترکیب مکعب با گوشه‌های منحنی و استوانه در سقف باعث افزایش تغییرات دمایی به صورت گرمایشی است (مورد د جدول ۶). نتایج عددی شبیه‌سازی ترکیبات ارائه شده در جدول ۶ مشهود است.

گوشه سازی در مکعب

در ادامه روند پژوهش، جهت دستیابی به نتایج گرمایشی مشابه با نتایج استوانه خالص، استوانه به حالت یک‌چند ضلعی منظم با بی‌نهایت ضلع و گوشه در نظر گرفته شده است. ابتدا گوشه سازی در دیوار و سقف اعمال شده و سپس با توجه به نتایج حاصله، گوشه‌سازی در سقف در حالت‌های مختلف انجام می‌شود (جدول ۷). در شکل الف از جدول ۶ با افزودن گوشه به دیوار با زاویه منفرجه، دمای حاصل از شبیه‌سازی، تغییرات حرارتی را به سمت کاهش دما نشان داده است. اما چنانچه گوشه‌سازی مذکور در سقف نیز تکرار شود، تغییرات دمایی به سمت افزایش دما تغییر می‌کند (مورد ب جدول ۷). با تقسیم عمودی فضا و حفظ فضای تحتانی با گوشه‌های ۹۰ درجه و تکرار گوشه‌سازی دیوار و سقف در قسمت فوقانی، تغییرات دمایی به سمت صورت افزایش دما قابل مشاهده است. زوایای ایجاد شده در گوشه‌سازی‌ها چنانچه متغیر باشند، در شرایط مختلف، نتایج متنوعی را ایجاد می‌کنند:

الف: چنانچه زوایای ثابت مانده و تکرار شوند، تغییرات دمایی به سمت افزایش دما حرکت خواهند کرد اما شتاب تغییرات، بسیار اندک خواهد بود (مورد ج جدول ۷).

ب: اگر زوایای متغیر بوده و به سمت زاویه ۹۰ درجه به صورت افزایشی و کاهش (از زاویه حاده به ۹۰ درجه گویای حالت افزایشی و از زاویه منفرجه به ۹۰ درجه گویای حالت کاهش) حرکت کنند، تغییرات دمایی به سمت افزایش دما خواهد بود.

جدول ۵. نتایج آکوستیکی و گرمایشی در گروه اول ترکیبی

دما در ۵۰ ثانیه (K)		دما در ۱۲۵ ثانیه (K)		دما در ۲۵۰ ثانیه (K)		دما در ۵۰۰ ثانیه (K)		دما در ۱۰۰۰ ثانیه (K)		دما در ۲۰۰۰ ثانیه (K)	
۲۹۰/۰۰۰۷۷	۲۹۰/۰۱۷۰۵	۲۹۰/۰۰۰۰۵	۲۹۰/۰۲۰۵۹	۲۹۰/۰۰۱۳۸	۲۹۰/۰۰۲۲۸	۲۹۰/۰۰۱۰۲	۲۹۰/۰۰۱۶۸	۲۹۰/۰۰۰۷۷	۲۹۰/۰۰۱۲۳	۲۹۰/۰۰۰۷۷	۲۹۰/۰۰۱۶۸
۲۹۰/۰۰۰۰۵	۲۹۰/۰۰۰۰۵	۲۹۰/۰۰۰۰۵	۲۹۰/۰۰۰۰۵	۲۹۰/۰۰۰۰۵	۲۹۰/۰۰۰۰۵	۲۹۰/۰۰۰۰۵	۲۹۰/۰۰۰۰۵	۲۹۰/۰۰۰۰۵	۲۹۰/۰۰۰۰۵	۲۹۰/۰۰۰۰۵	۲۹۰/۰۰۰۰۵
۲۹۰/۰۰۰۰۵	۲۹۰/۰۰۰۰۵	۲۹۰/۰۰۰۰۵	۲۹۰/۰۰۰۰۵	۲۹۰/۰۰۰۰۵	۲۹۰/۰۰۰۰۵	۲۹۰/۰۰۰۰۵	۲۹۰/۰۰۰۰۵	۲۹۰/۰۰۰۰۵	۲۹۰/۰۰۰۰۵	۲۹۰/۰۰۰۰۵	۲۹۰/۰۰۰۰۵
۲۹۰/۰۰۰۰۵	۲۹۰/۰۰۰۰۵	۲۹۰/۰۰۰۰۵	۲۹۰/۰۰۰۰۵	۲۹۰/۰۰۰۰۵	۲۹۰/۰۰۰۰۵	۲۹۰/۰۰۰۰۵	۲۹۰/۰۰۰۰۵	۲۹۰/۰۰۰۰۵	۲۹۰/۰۰۰۰۵	۲۹۰/۰۰۰۰۵	۲۹۰/۰۰۰۰۵
۲۹۰/۰۰۰۰۵	۲۹۰/۰۰۰۰۵	۲۹۰/۰۰۰۰۵	۲۹۰/۰۰۰۰۵	۲۹۰/۰۰۰۰۵	۲۹۰/۰۰۰۰۵	۲۹۰/۰۰۰۰۵	۲۹۰/۰۰۰۰۵	۲۹۰/۰۰۰۰۵	۲۹۰/۰۰۰۰۵	۲۹۰/۰۰۰۰۵	۲۹۰/۰۰۰۰۵
۲۹۰/۰۰۰۰۵	۲۹۰/۰۰۰۰۵	۲۹۰/۰۰۰۰۵	۲۹۰/۰۰۰۰۵	۲۹۰/۰۰۰۰۵	۲۹۰/۰۰۰۰۵	۲۹۰/۰۰۰۰۵	۲۹۰/۰۰۰۰۵	۲۹۰/۰۰۰۰۵	۲۹۰/۰۰۰۰۵	۲۹۰/۰۰۰۰۵	۲۹۰/۰۰۰۰۵
۲۹۰/۰۰۰۰۵	۲۹۰/۰۰۰۰۵	۲۹۰/۰۰۰۰۵	۲۹۰/۰۰۰۰۵	۲۹۰/۰۰۰۰۵	۲۹۰/۰۰۰۰۵	۲۹۰/۰۰۰۰۵	۲۹۰/۰۰۰۰۵	۲۹۰/۰۰۰۰۵	۲۹۰/۰۰۰۰۵	۲۹۰/۰۰۰۰۵	۲۹۰/۰۰۰۰۵
۲۹۰/۰۰۰۰۵	۲۹۰/۰۰۰۰۵	۲۹۰/۰۰۰۰۵	۲۹۰/۰۰۰۰۵	۲۹۰/۰۰۰۰۵	۲۹۰/۰۰۰۰۵	۲۹۰/۰۰۰۰۵	۲۹۰/۰۰۰۰۵	۲۹۰/۰۰۰۰۵	۲۹۰/۰۰۰۰۵	۲۹۰/۰۰۰۰۵	۲۹۰/۰۰۰۰۵
۲۹۰/۰۰۰۰۵	۲۹۰/۰۰۰۰۵	۲۹۰/۰۰۰۰۵	۲۹۰/۰۰۰۰۵	۲۹۰/۰۰۰۰۵	۲۹۰/۰۰۰۰۵	۲۹۰/۰۰۰۰۵	۲۹۰/۰۰۰۰۵	۲۹۰/۰۰۰۰۵	۲۹۰/۰۰۰۰۵	۲۹۰/۰۰۰۰۵	۲۹۰/۰۰۰۰۵
۲۹۰/۰۰۰۰۵	۲۹۰/۰۰۰۰۵	۲۹۰/۰۰۰۰۵	۲۹۰/۰۰۰۰۵	۲۹۰/۰۰۰۰۵	۲۹۰/۰۰۰۰۵	۲۹۰/۰۰۰۰۵	۲۹۰/۰۰۰۰۵	۲۹۰/۰۰۰۰۵	۲۹۰/۰۰۰۰۵	۲۹۰/۰۰۰۰۵	۲۹۰/۰۰۰۰۵

ج: چنانچه در شکل د از جدول ۷ دیده می‌شود اگر زوایای منفرجه به سمت زاویه ۱۸۰ درجه در حال تغییر باشند تغییرات دمایی با شتاب قابل توجهی به سمت کاهش دما حرکت خواهد کرد. نتایج عددی

جدول ۶: نتایج آکوستیکی و گرمایشی در گروه دوم ترکیبی.

شکل و عامل		(الف) مکعب با اضلاع محدب با شعاع ثابت		(ب) مکعب با اضلاع مقعر با شعاع ثابت		(ج) مکعب با استوانه در سقف		(د) مکعب با گوشه‌های منحنی با شعاع ۰/۲۵ متر و استوانه در سقف	
کمینه	بیشینه	کمینه	بیشینه	کمینه	بیشینه	کمینه	بیشینه	کمینه	بیشینه
فشار آکوستیک (Pa)	-۴/۲۶	۴/۸۳	-۷/۲۳	۸/۷۶	-۴/۵۲	۵/۳۰	-۶/۱۳	۵/۷۴	
تراز فشار صوتی (dB)	۴۷/۳۸	۱۰۸/۲۰	۵۳/۴۳	۱۱۵/۶۴	۵۸/۴۲	۱۰۶/۳۲	۶۰/۰۴	۱۰۷/۱۰۷,۴۹	
شدت صوت (w/m ²)	حدود صفر	۰,۰۱۰۴	حدود صفر	۰/۰۳۴۳	حدود صفر	۰/۰۱۷۸۹	حدود صفر	۰/۰۲۳۲	
دما در ۵۰ ثانیه (K)	۲۹۰/۰۰۰۱۲	۲۹۰/۰۰۰۲۴۱	۲۹۰/۰۰۰۰۸	۲۹۰/۰۰۰۲۳۸	۲۸۹/۹۹۹۹	۲۹۰/۰۱۵۳۶	۲۹۰/۰۰۰۴۲	۲۹۰/۰۱۹۲۹	
دما در ۱۲۵ ثانیه (K)	۲۹۰/۰۰۰۱۶	۲۹۰/۰۰۱۹۵	۲۹۰/۰۰۰۱۸	۲۹۰/۰۰۱۹۸	۲۹۰	۲۹۰	۲۸۹/۹۷۳۸۴	۲۹۰/۰۱۷۲۷	
دما در ۲۵۰ ثانیه (K)	۲۹۰/۰۰۰۱۸	۲۹۰/۰۰۱۳۲	۲۹۰/۰۰۰۲۲	۲۹۰/۰۰۱۴۱	۲۹۰	۲۹۰/۰۰۷۵۲	۲۸۹/۹۹۷۷۳	۲۹۰/۰۰۸۳۵	
دما در ۵۰۰ ثانیه (K)	۲۹۰/۰۰۰۰۲	۲۹۰/۰۰۰۷۸	۲۹۰/۰۰۰۲۴	۲۹۰/۰۰۰۸۴	۲۹۰	۲۹۰/۰۰۵۷۵	۲۹۰/۰۰۱۹۲	۲۹۰/۰۰۸۸۳	
دما در ۱۰۰۰ ثانیه (K)	۲۹۰/۰۰۰۲۱	۲۹۰/۰۰۰۴۴	۲۹۰/۰۰۰۲۶	۲۹۰/۰۰۰۴۸	۲۹۰	۲۹۰/۰۰۳۲۹	۲۹۰/۰۰۲۳۷	۲۹۰/۰۰۶۷۳	
دما در ۲۰۰۰ ثانیه (K)	۲۹۰/۰۰۰۲۳	۲۹۰/۰۰۰۳۲	۲۹۰/۰۰۰۲۷	۲۹۰/۰۰۰۳۴	۲۹۰/۰۰۰۰۱	۲۹۰/۰۰۰۱۹	۲۹۰/۰۰۲۵۷	۲۹۰/۰۰۳۵۲	

جدول ۷: نتایج آکوستیکی و گرمایشی در گروه سوم ترکیبی.

شکل و عامل		گوشه سازی در دیواره‌های مکعب (الف)		گوشه سازی در سقف و دیواره مکعب (ب)		گوشه سازی در سقف مکعب تا جایی که گنبدخانه ایجاد شود (ج)		
کمینه	بیشینه	کمینه	بیشینه	کمینه	بیشینه	کمینه	بیشینه	
فشار آکوستیک (Pa)	-۴/۴,۷۶	۴/۴,۲۳	-۵/۷۳	۵,۵۰	-۵,۸۱	۵,۷۰	-۷	۴,۷۹
تراز فشار صوتی (dB)	۶۰/۷۶	۱۰۴/۷۴	۵۵/۳۲	۱۰۷/۵۲	۵۰/۳۱	۱۰۷/۳۰	۶۱/۴۴	۱۰۹/۳۷
شدت صوت (w/m ²)	حدود صفر	۰/۰۱۰۶۷	حدود صفر	۰/۰۱۳۹۱	حدود صفر	۰/۰۱۳۸۵	حدود صفر	۰/۰۲۴۱۸
دما در ۵۰ ثانیه (K)	۲۹۰/۰۰۰۰۸۱	۲۹۰/۰۱۱۳۵	۲۹۰/۰۰۱۳۱	۲۹۰/۰۲۷۶۳	۲۹۰/۰۰۱۲۵	۲۹۰/۰۳۴۳۲	۲۹۰/۰۰۰۱۸	۲۹۰/۰۰۳۷۵
دما در ۱۲۵ ثانیه (K)	۲۹۰/۰۰۱۲۲	۲۹۰/۰۰۶۴۷	۲۸۹/۹۹۱۱۷	۲۹۰/۰۲۸۴۷	۲۸۹/۹۷۹۷	۲۹۰/۰۳۷۶۳	۲۹۰/۰۰۰۲۲	۲۹۰/۰۰۳۲۸
دما در ۲۵۰ ثانیه (K)	۲۹۰/۰۰۱۴۲	۲۹۰/۰۰۵۴۸	۲۹۰/۰۰۱۵۱	۲۹۰/۰۱۵۹۳	۲۹۰/۰۰۱۸۲	۲۹۰/۰۰۲	۲۹۰/۰۰۰۲۵	۲۹۰/۰۰۲۴۳
دما در ۵۰۰ ثانیه (K)	۲۹۰/۰۰۱۵۴	۲۹۰/۰۰۴۳۷	۲۹۰/۰۰۲۵۹	۲۹۰/۰۱۱۱۲	۲۹۰/۰۰۲۷۷	۲۹۰/۰۱۵۱۵	۲۹۰/۰۰۰۲۸	۲۹۰/۰۰۱۵۱
دما در ۱۰۰۰ ثانیه (K)	۲۹۰/۰۰۱۶۳	۲۹۰/۰۰۳۰۶	۲۹۰/۰۰۲۷	۲۹۰/۰۰۶۹	۲۹۰/۰۰۳۷۶	۲۹۰/۰۰۴۵۷	۲۹۰/۰۰۰۳۱	۲۹۰/۰۰۰۸۱
دما در ۲۰۰۰ ثانیه (K)	۲۹۰/۰۰۱۷۵	۲۹۰/۰۰۲۴۳	۲۹۰/۰۰۲۸۸	۲۹۰/۰۰۲۸	۲۹۰/۰۰۳۲۳	۲۹۰/۰۰۴۵۶	۲۹۰/۰۰۰۳۲	۲۹۰/۰۰۰۵۸

۱- نتیجه‌گیری

در مقاله حاضر تأثیر هندسه در جذب صوت و ایجاد تغییرات دمایی در اثر تشدید و جذب انرژی‌های صوتی در یک فرکانس و حجم ثابت از طریق نرم‌افزار COMSOL مورد بررسی قرار گرفت و ثابت گردید که هندسه بنا در مواجهه با انرژی‌های صوتی بدون دخالت هیچ نوع جذب‌کننده صوتی، تأثیر مستقیمی در کنترل آکوستیکی و گرمایشی فضا دارد. تغییرات گرمایشی در دو دسته احجام خالص و احجام ترکیبی پس از جذب صوت، شبیه‌سازی گشته و مشخص شد که استوانه، بیشترین تولید انرژی گرمایشی حاصل از جذب صوت را در میان احجام خالص دارا است. همچنین با تلفی استوانه به‌عنوان یک چندضلعی منظم با بی‌نهایت گوشه، ضلع و ساخت گوشه در احجام ترکیبی، انرژی صوتی وابسته به زوایای بین اضلاع، دچار نوسان شده و هرچه گوشه‌های تولیدشده به زاویه ۹۰ درجه نزدیک‌تر باشند، گرمای بیشتری در داخل فضا ایجاد می‌شود. گوشه‌های منفرجه تغییرات دمایی را به سمت افزایش دما و گوشه‌هایی با زاویه حاده تغییرات دمایی را به سمت کاهش دما (سرمایش) سوق می‌دهند. علاوه بر نتایج ارائه‌شده نتایج زیر به‌عنوان دستاوردهای جانبی پژوهش ارائه می‌گردد:

الف: در هندسه‌های متراکم، تولید گرما از انرژی صوتی بیشتر از هندسه‌هایی با کشیدگی در یک بُعد است. چنانچه دمای تولیدشده در یک مکعب مربع بیشتر از یک مکعب مستطیل با حجم و ارتفاع برابر است.

ب: ترکیب قطاع استوانه و مکعب در قسمت دیوار با حفظ زاویه ۹۰ درجه، تغییرات دمایی را به سمت افزایش دما سوق می‌دهد.

ج: با ایجاد مکعب با گوشه‌های منحنی^۸ (فیلت شده) در صورتی که شعاع استوانه برابر یا بزرگ‌تر از یک‌چهارم ضلع مکعب باشد، موجب افزایش دما شده و هرچه شعاع افزایش یابد، دمای بیشتری تولید خواهد شد.

د: تغییرات هندسی در احجام ترکیبی، چنانچه در قسمت یک‌سوم فوقانی فضا انجام شود، تغییرات حرارتی را به سمت افزایش دما سوق خواهد داد.

ه: در هندسه فضایی مقعر دمای بیشتری نسبت به هندسه فضایی محدب در اثر نوسانات صوتی ایجاد می‌شود.

۱- پی‌نوشت‌ها

1. Byron Higgins
2. Laplaca
3. Sondhauss
4. Rijke
5. Krichhoff
6. Taconis
7. Kramer
8. Fillet

۱- فهرست مراجع

۱. اگان، دیوید. (۱۳۹۰). آکوستیک در معماری. ترجمه مسعود حسینی. انتشارات یزد.
۲. برزگر، زهرا، نعمتی، محمدعلی و بذرگر، محمدرضا. (۱۳۹۳).

بررسی چگونگی بهره‌گیری از زمین در ساختمان‌های بومی براساس پارامترهای اقلیمی. هویت شهر، ۸ (۲۰)، ۸۹-۱۰۰.

۳. سخن‌دان، زهرا و خان محمدی، محمدعلی. (۱۳۹۴). بهینه کردن کارکرد انرژی دیوارهای بدون بازشو در جبهه‌های آفتاب‌گیر. هویت شهر، ۹ (۲۳)، ۷۳-۸۲.

۴. صادقی زاده، زهرا. (۱۳۹۰). بررسی عامل محرک ترموآکوستیک. پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شریف، تهران.

۵. کریمی، محسن. (۱۳۹۲). آنالیز اکسرژی پمپ حرارتی ترموآکوستیکی با کاربرد صنعتی. رساله دکتری، دانشگاه شریف، تهران.

۶. لب، کنت؛ و واتسون، دانلد. (۱۳۸۴). سیستم‌های کنترل محیط‌زیست، تنظیم شرایط محیطی در ساختمان، گرمایش، سرمایش، روشنایی. (وحید قبادیان و محمد فیض مهدوی، مترجم). تهران: دانشگاه تهران. (نشر اثر اصلی ۱۹۳۷).

۷. مور، فولر. (۱۳۸۲). طراحی اقلیمی، اصول نظری و اجرایی کاربرد انرژی در ساختمان. (محمدعلی کی‌نژاد و رحمان آذری، مترجم). تهران: دانشگاه هنر اسلامی تبریز. (نشر اثر اصلی ۱۹۳۷).

8. Bao, R., Chen, G., Tang, K., Jia, Z., & Cao, W. (2006). Influence of resonance tube geometry shape on performance of thermoacoustic engine. *Ultrasonics*, 44, Supplement, 1519-1521.

9. Gopinath, A., Tait, N. L., & Garrett, S. L. (1998). Thermoacoustic streaming in a resonant channel: The time-averaged temperature distribution. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 103(3), 1388-1405.

10. Jin, T., Huang, J., Feng, Y., Yang, R., Tang, K., & Radebaugh, R. (2015). Thermoacoustic prime movers and refrigerators: Thermally powered engines without moving components. *Energy*, 93, Part 1, 828-853.

11. Khanmohammadi, M. A. & Sokhandan, Z. (2013). Architectural Design of Passive Energy Systems, with Emphasis on Eaves. *Journal of Applied Environmental and Biological Sciences*, 3(11). pp: 96-102.

12. Rott, N. (1969). Damped and thermally driven acoustic oscillations in wide and narrow tubes. *Journal of Applied Mathematics and Physics (ZAMP)*, 20(2), 230-243.

13. Rott, N. (1974). The influence of heat conduction on acoustic streaming. *Journal of Applied Mathematics and Physics (ZAMP)*, 25(3), 417-421.

14. Swift, G. W. (1988). Thermoacoustic engines. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 84(4), 1145.

Optimization of Geometry of Architectures to Achieve the Thermal Function with Thermo-Acoustic Effect

*Zahra Sokhandan Sorkhabi**, Ph.D., Candidate, Architecture Department, Art University of Isfahan, Isfahan, Iran.

Farshad Nasrollahi, Ph.D., Assistant Professor, Architecture Department, Art University of Isfahan, Isfahan. Iran.

Abbas Ghaffari, Ph.D., Assistant Professor, Architecture Department, Islamic Art university of Tabriz , Tabriz. Iran.

Abstract

In this paper, geometries of architecture have been identified which convert maximum sound and oscillation energies to thermal energy without any kind of absorbers to minimize amount of noise in spaces through the geometry of space with absorbing the maximum sound energies. Research has been done with COMSOL5.2 software and simulation method. The argument of this research has been done through the logical reasoning and with test developing in selective software and has been documented and resulted. In process of research, sound with 8000 HZ frequency that simulated a human speech, has been played in spaces with diverse form (changes in form of walls, ceilings) and same materials and has been calculated the amount of intensity, pressure and sound pressure level. Then amount of sound absorbing and converting to thermal energy has been simulated in spaces with applying the absorbing rate of air and results has been documented from temperature change dependence to geometry of spaces. It is so important that the walls, ceilings and floors were adiabatic and insulate completely from inside. In Simulation processes, air has been used as a material that is filled inside of simulated forms and there has been not any kind of other materials. By obtaining numerical results, the most suitable geometries are identified for producing heat through the sound oscillations and minimizing the noise.

As a result, it was found that geometry of building make potential for Acoustic and thermal comfort from sound energy without any kind of absorbing materials inside of rooms. Heating changes simulated in two kind of geometries: pure volume and composite volume. Composite volumes have been choosing through the result of pure volume. Between pure volumes, Cylinder produced maximum temperature through the sound energies. Considering cylinder as a regular polygon with infinity corners and sides and making corners in composite volumes, heating changes oscillated due to corners between sides. Corners with angle about to 90 degree produce more heat compared with other corners. A plurality of corners with 90 degree and equal sides adjacent to angle in geometry of architectural spaces change the amount of temperature in increasing ways. Corners with obtuse angles cause higher temperature and corners with acute angles produce lower temperature. The highest temperature happens in geometries with 90 degree angles. Number of corners with obtuse and acute angles did not follow the definitive rules to produce heating or cooling in this study. The Best position for making consecutive corners in plans with right corners is the upper third of the height of Architectural spaces that produce high temperature. In compact geometries, the heat generated due to sound energies and oscillations are more than geometries with stretching in one direction. A Cube produces more heat than rectangle with same amount of height and volume. Composite of Cylinder and cube volumes in walls by maintaining the corners with 90 degree angles, lead to increasing the temperature. Filleted angles in walls of cubes and rectangles, with radius of $\frac{1}{4}$ of side of cube and more, make temperature increasing.

Keywords: Consecutive Cornering, Sound Energy, Sound Absorber, Thermal Energy, SPL

* Corresponding Author: Email: zahra.sokhandan@gmail.com