

بررسی دو نوع چیدمان صداگیر در مقابل فن کانال تهویه هوا به کمک شبیه‌سازی نرم‌افزاری

میثم خیری امناب*
کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک
دانشگاه آزاد اسلامی، واحد الیگودرز
m.s.kheyri@gmail.com

محمد شیخی
استادیار دانشکده مهندسی مکانیک
دانشگاه تربیت دبیر شهید رجایی
m.sheikhi@srttu.edu

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۱۲/۲۴

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱۲/۱۵

چکیده

از جمله مباحث مهم و اساسی در ایجاد و گسترش شبکه‌های حمل‌ونقل ریلی زیرزمینی، مبحث تهویه مطبوع تونل‌ها و ایستگاه‌های مترو است. عموماً فن‌ها با عبور جریان هوا از میان کانال‌های حفرشده، وظیفه اصلی در تهویه مطبوع تونل‌ها را برعهده دارند. در این بین دیده می‌شود که عبور هوا از میان کانال‌ها با سروصدا همراه است که در صورت عدم کنترل آن، آلودگی صوتی به یک مشکل اساسی برای مسافران و سایر افرادی که در ایستگاه‌های مترو فعالیت دارند مبدل می‌شود. هرچند تحقیقات در زمینه کنترل آلودگی و کاهش سروصدا در شبکه‌های مترو با شتاب بسیاری در حال انجام است، اما به دلیل رشد روزافزون در حوزه تولید مواد جاذب صدا و ابداع روش‌های ترکیبی، به نظر می‌رسد انجام تحقیقات تازه و بدیع در این زمینه ضرورت دارد. به علاوه شرایط محیطی متفاوت اقلیم‌های گوناگون سبب شده است تا بسیاری از مواد و روش‌های پیشنهادی کارایی چندانی با تغییر شرایط نداشته باشد. از این رو، تلاش برای بومی‌سازی دانش صداگیرها به عنوان هدف اصلی در این پژوهش مد نظر قرار گرفته است. در این مقاله، ضمن آشنایی با موضوع آلودگی صوتی در کانال‌های تهویه هوا به کمک شبیه‌سازی با نرم‌افزار فلوئنت، دو نوع مدل چیدمان صداگیرها در مقابل یک فن بررسی و مقایسه شده است تا بتوان در یک کانال تهویه از مدل بهینه و جدید جهت کاهش آلودگی صوتی در سیستم تهویه هوای مترو استفاده کرد.

واژگان کلیدی: مترو، صداگیر، آلودگی صوتی، شبیه‌سازی

۱. مقدمه

داخلی می‌توان به سروصدای ناشی از حرکت قطار، ترمزها، همه‌مهمه مسافران و جز این‌ها اشاره نمود. از عوامل خارجی نیز می‌توان صدای خارج از ایستگاه‌ها مانند سروصدای

به‌طور کلی موضوع آکوستیک در ایستگاه‌های مترو را می‌توان به دو بخش سروصدای تولیدشده توسط عوامل داخلی و خارجی تقسیم نمود. از جمله مهمترین عوامل

خودروها، فن‌ها و سایر تأسیسات را، که توسط سیستم‌های تهویه مطبوع به داخل ایستگاه هدایت می‌وند، نام برد. مطالعات اخیر ایستگاه‌های مترو با پارامترهای کلی طراحی سروکار دارند. آلتی^۱ مسائل مربوط به حرکت مسافران و ایمنی آنها و نیز مسائل سلامت روانی و فیزیکی آنها را بررسی می‌کند و در این رهگذر، کنترل میزان سروصدا را به‌عنوان مهمترین عامل در ایجاد یک فضای رضایت‌بخش معرفی می‌نماید. یک مطالعه جامع توسط دورمیسیویک و ساریلیدی^۲ پارامترهای مربوط به راحتی و آسایش مسافران در فضاهای زیرزمینی را بررسی کرده و مسائل آکوستیکی را نیز مورد توجه قرار داده است. کانگ^۳ نیز ویژگی‌های پایه‌ای توزیع و انعکاس صدا در فضاهای طویل را مطالعه کرده است. مدل کامپیوتری دنبال کردن اشعه توسط یانگ و شیلد برای پیش‌بینی قابلیت فهم صدا در ایستگاه‌ها با سطح مقطع مستطیلی ارائه شده است. قابلیت فهم و شاخصه‌های انتقال صوت توسط ژیان و ژه^۴ با استفاده از یک روش تصویری مطالعه شده است. به‌تازگی نیز کانگ از مدل‌های مقیاس با توجه به قابلیت فهم صدای چندین بلندگو در ایستگاه استفاده کرده است. در مطالعه دیگری نیز به بررسی نحوه انتشار صدای قطار در ایستگاه پرداخته است. بنابر نظر کانگ، لازم است تا جذب‌کننده‌ها به‌منظور ارتقای قابلیت فهم صدا، به‌گونه‌ای مناسب در ایستگاه‌ها نصب شوند. برای نیل به به کاهش سطح صدای مناسب، جذب‌کننده‌ها باید به‌صورت مساوی در یک مقطع نصب شوند. کروکت و پیک^۵ نشان دادند که وقتی جذب‌کننده‌ها روی سقف و دیواره‌های جانبی نصب می‌شوند، به‌جای اینکه فقط روی سقف نصب شوند، زمان اولیه تضعیف صدا کوتاه‌تر خواهد بود و تضعیف سطح فشار صدا بیشتر می‌باشد. ژیان و ژه تدابیر لازم را هنگامی که قطار درون تونل است مورد مطالعه کرده‌اند. سروصدا با نصب یک مقطع جذب‌کننده قوی در نزدیکی ورودی تونل به‌طور قابل توجهی می‌تواند کاهش یابد. کانگ جذب‌کننده‌های غشایی را به‌عنوان یک نمونه برای جاذب صوتی غیرالیافی مطالعه

نمود. ایروین و ریچاردز^۶ استفاده از سقف‌های کاذب بالای سکوها را مطالعه کردند؛ نتایج این بررسی نیز حاکی است که سیستم سقف کاذب از فیبرهای معدنی یا شیشه‌ای، که با رعایت مسائل ایمنی در برابر آتش‌سوزی در صفحات تعبیه شده‌اند، می‌تواند کمک شایانی به جذب سروصدا بکند [۱].

اگرچه بنظر می‌رسد مطالعات نسبتاً جامعی درباره مسائل آکوستیکی داخلی ایستگاه‌های مترو انجام شده است، اما کمبود مطالعات درباره کاهش سروصداهاى خارجی کاملاً مشهود است. چون این سروصداها عموماً از طریق اجزای سیستم‌های تهویه مطبوع همچون فن‌ها تولید می‌شود و به‌همراه سروصدای خارجی از طریق کانال‌های انتقال هوا به‌داخل ایستگاه هدایت می‌شوند، در این مقاله نیز تلاش شده است تا به‌طور ویژه به چیدمان صداگیرها و نحوه جذب سروصدا در مسیر انتقال هوا به‌درون ایستگاه پرداخته شود.

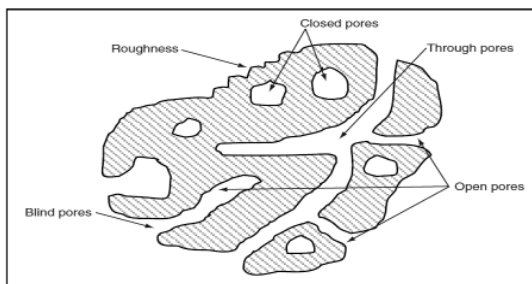
۲. طراحی جاذب صوت

۲-۱. چستی صدا

صوت وقتی ایجاد می‌شود که تغییرات فشار هوا سبب تولید امواجی از فشار شده و در اتمسفر منتقل شوند. در حین عبور، این امواج به روش‌های گوناگونی با محیط خود تعامل دارند. صدا کلمه‌ای است که به‌طور معمول برای صوت ناخواسته به‌کار می‌رود. صوت موجود در اکثر محیط‌های کاری ناخواسته است. بنابراین می‌توان گفت صدا شکلی از انرژی مکانیکی است که توسط ارتعاش مولکول‌های محیطی انتقال می‌یابد. هرچه محیط غلیظ‌تر باشد، سرعت انتقال صوت در آن بیشتر است. ساده‌ترین نوع موج صوتی، یک صوت خالص یا موج سینوسی است که در یک جهت و بدون واگرایی از منبع تولید دور می‌شود. به‌عبارت دیگر، حرکات ملکول‌های هوا به عقب و جلو و در همان جهت حرکت انتقال صوت می‌باشد. شکل ۱ موج صوتی خالص را با الگوی سینوسی نمایش می‌دهد.

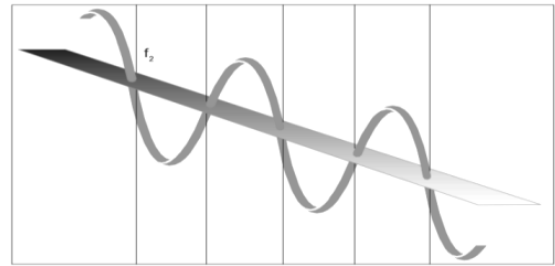
۲-۳. مواد جاذب متخلخل

مواد جاذب صوت بخش عمده انرژی صوتی را جذب و مقدار کمی از آن را منعکس می‌کنند. از این‌رو استفاده از این مواد برای کنترل میزان سروصدا بسیار مفید است و در مکان‌های گوناگونی چون نقاط نزدیک به منابع تولید سروصدا (مانند فن‌ها در سیستم‌های تهویه مطبوع) و درون کانال‌های انتقال هوا استفاده می‌شوند. محدوده گسترده‌ای از این مواد وجود دارند که خواص جذب متنوعی براساس فرکانس صدا، نوع ترکیب، ضخامت، سطح بیرونی و نحوه نصب فراهم می‌کنند. این درحالی است که مواد با ضرایب جذب صدای بالا معمولاً متخلخل‌اند. یک ماده جاذب متخلخل جامدی است که شامل حفره‌ها، کانال‌ها یا شکاف‌هایی است که امواج صوتی قادر به ورود به آنها هستند. شکل ۲ نمایی شماتیک از سطح مقطع ماده جامد متخلخل را نمایش می‌دهد. در این مقاله از پشم سنگ به‌عنوان ماده جاذب متخلخل استفاده شده است. خواص این ماده نیز بدین شرح است:



شکل ۲. نمایی شماتیک از سطح مقطع یک جامد متخلخل [۳]

پشم سنگ^۹ در زمره خانواده عایق‌های حرارتی متشکل از الیاف معدنی است. ماده اولیه و اصلی برای تولید این عایق، سنگ بازالت، از گروه سنگ‌های آذرین، است که بازمانده فعالیت‌های آتش‌فشانی است. به دلیل رگه‌ای بودن مواد اولیه آن محصول تولیدی آن نیز ممکن است دارای خلوص یکنواخت نباشد. روش تولید پشم سنگ بدین صورت است که ابتدا سنگ بازالت در دمای ۱۵۰۰ درجه سانتی‌گراد ذوب می‌شود و به‌صورت سیلیکات مذاب درمی‌آید. سپس مذاب



شکل ۱. موج صوتی خالصی که الگویی سینوسی دارد [۲]

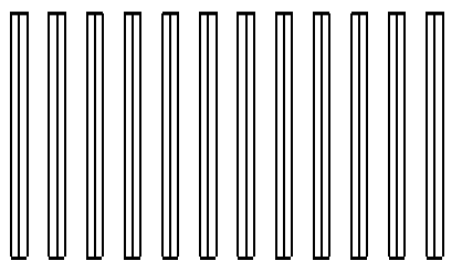
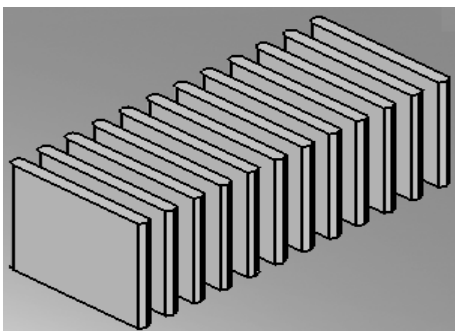
۲-۲. چستی صداگیر

در کانال‌های تهویه هوا، عموماً به‌دلیل کارکرد فن، خواه فن‌های محوری^۷ و خواه فن‌های گریز از مرکز^۸، صدای ناخوشایندی در محیط پراکنده می‌شود؛ شدت این صدا بسته به عواملی چون نوع فن، فاصله فن از محل، جنس و نوع کانال‌ها و انشعابات، جنس دیواره‌های محیط و عوامل دیگری از این دست متفاوت است، اما در هر صورت وجود این سروصدا سبب ایجاد محیطی ناراحت برای ساکنان خواهد شد. امروزه برای حل این مشکل از صداگیرهای کانالی استفاده می‌شود. این صداگیرها، با طراحی ویژه خود، علاوه بر کمترین تأثیر بر جریان هوای تهویه، تا حد بسیار بالایی صدای تولیدی توسط دستگاه‌های تهویه مطبوع را از بین می‌برند. صداگیرها به‌صورت گسترده در صنایعی چون متالورژی، برق قدرت، معدن، تونل مترو و معماری داخلی به‌منظور کاهش صدای سیستم تهویه مطبوع کاربرد دارند. جنس و طراحی صداگیرها به‌گونه‌ای است که سروصدای تولیدی با انواع فرکانس‌ها را جذب و در محدوده شنوایی انسان (از ۶۳ هرتز تا ۸۰۰۰ هرتز) شرایط آسایش محیطی را از نظر صوتی فراهم می‌کنند. در این خصوص، طراحی صداگیر مناسب که بتواند این شرایط را در محیط فراهم کند از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است؛ به‌گونه‌ای که در صورت طراحی نادرست، صداگیر قادر به جذب صدا نخواهد بود و خود به‌عنوان عامل ایجاد صدا، مشکلات را دوچندان خواهد کرد. اساس کار جذب صدا در صداگیرها بر پایه جذب امواج در مواد متخلخل استوار است.

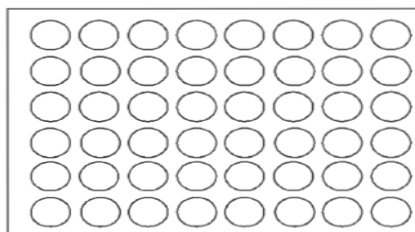
حاصل تحت روش‌های خاصی به الیافی به‌قطر حدود ۶ میکرون تبدیل می‌شود. مجموعه این الیاف پشم سنگ را تشکیل می‌دهد. همچنین این عایق، به‌دلیل عدم انتشار صدا به میان اجزای متشکله و نیز جذب صدا، عایق صوتی بسیار مطلوبی است. از همین رو در فرودگاه‌ها، استودیوهای صدا برداری، زیر ریل‌ها و در ایستگاه‌های متروی داخل شهری نصب می‌شوند. افزایش ضخامت و ایجاد فاصله هوایی مناسب در پشت عایق، مقدار تضعیف انرژی صوتی را افزایش می‌دهد [۴].

۲-۴. هندسه صداگیرها

ساختار صداگیرها شامل ورقه‌های سوراخکاری‌شده دقیق به‌ضخامت یک میلی‌متر است که مواد متخلخل بسته به محل مورد استفاده در بین دو ورق قرار می‌گیرند. شکل ۳ نمایی کلی از یک ورق فلزی سوراخ‌دار از جنس گالوانیزه را نمایش می‌دهد که به‌وسیله اتصالات طراحی‌شده تشکیل یک ماژول صداگیر را می‌دهند. همچنین از کنار هم قرار گرفتن این ماژول‌ها یک صداگیر یکپارچه به‌وجود می‌آید. البته در این مقاله سعی شده است تا صداگیرها به دو صورت تیغه‌ای و ماتریسی تحلیل شوند. در ادامه ساختار هر یک تشریح می‌شوند.



شکل ۴. نمایی از نحوه چیدمان ماژول صداگیرهای تیغه‌ای



شکل ۳. نمایی از یک ورق فلزی سوراخکاری شده

۲-۴-۱. صداگیرهای تیغه‌ای

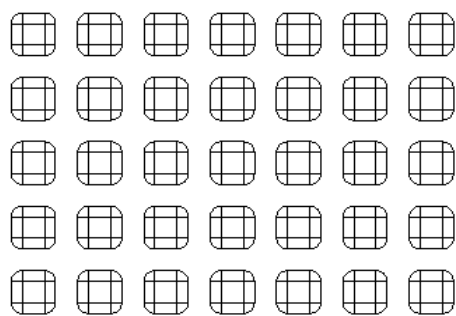
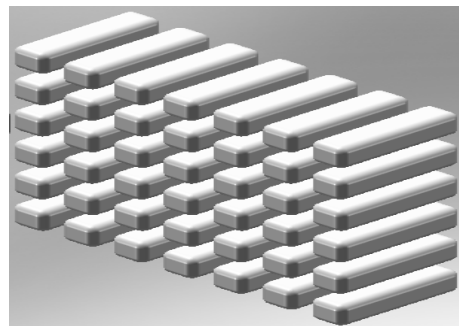
این دسته از صداگیرها، که امروزه در اکثر موارد استفاده می‌شوند، به‌شکل تیغه‌های عمودی با طول و عرض مشخص‌اند؛ تیغه‌هایی که با فواصل همسان در کانال‌های تهویه در کنار یکدیگر قرار می‌گیرند. بنابراین جریان هوای

۲-۴-۲. صداگیرهای ماتریسی

این دسته از صداگیرها به‌شکل ورق‌های سوراخ‌دار مکعب مستطیل شکل‌اند و مواد متخلخلی درون آنها قرار می‌گیرد. این نوع صداگیرها با فواصل مشخص در کنار هم طراحی شده‌اند. اساس کار آنها نیز بدین گونه است که جریان هوا

عبوری با گذشتن از میان این تیغه‌ها به‌وسیله دو سطح و خاصیت جذب صوت مواد متخلخل موجود در بدنه تیغه، صدای همراه خود را تا حد معین از دست می‌دهند. شکل ۴ یک صداگیر تیغه‌ای را در نماهای گوناگون نمایش می‌دهد. البته این نوع صداگیر دارای مزیت‌هایی است که از جمله آن می‌توان به استواری در مقابل جریان هوا و سرعت باد، همچنین قابلیت تعویض ماژول‌های خراب اشاره کرد. در بیان معایب استفاده از این روش چیدمان نیز می‌توان به جذب صدا توسط دیوارهای کناری جاذب‌ها و میزان صدای عبوری بیش از استاندارد از میان آنها و استفاده از اتصالات زیاد برای ایستاده نگه‌داشتن آنها و وزن سنگین و قابلیت طاقت‌فرسای جابه‌جایی ماژول‌ها اشاره کرد. به‌همین منظور طراحی جدیدی با عنوان چیدمان ماتریسی صورت گرفته است.

با عبور از کنار آنها به دلیل خاصیت جذب صوت مواد متخلخل توسط چهار سطح (البته در قسمت‌هایی هم توسط دو سطح) جذب می‌شود. شکل ۵ صداگیرهای ماتریسی را از نمای گوناگون نمایش می‌دهد. از مزایای این روش می‌توان به قابلیت حمل و نقل آسان ماژول‌ها به دلیل کوچک و سبک بودن آنها و استفاده کمتر از مواد مصرفی و در واقع بهینه‌سازی میزان مواد مصرفی و خاصیت جذب صوت دو و چهارسطحی در نقاط مختلف و در نتیجه آن سطح صوت کمتر در خروجی نسبت به روش چیدمان تیغه‌ای اشاره کرد. از معایب استفاده از این روش نیز می‌توان به نحوه نصب ماژول‌ها در داخل یک کانال و سبکی بیش از حد آن در مقابل جریان باد اشاره کرد. البته هر دو عیب مذکور را می‌توان با ایجاد راهکارهایی مشخص تاحدی برطرف کرد.



شکل ۵. نمایی از نحوه چیدمان ماژول صداگیرهای ماتریسی

در مرحله بعد جریان داخل کانال با استفاده از مدل‌های شبکه‌بندی موجود در نرم‌افزار گمبیت مش‌بندی شد. سپس با انتقال این مجموعه به نرم‌افزار فلونت^{۱۱} و تنظیم گزینه‌های مربوط به نوع تحلیل و جریان، نتایج هر یک از طرح‌ها در خروجی به صورت جداگانه ثبت شد. مرحله شبیه‌سازی با فلونت اصلی‌ترین مرحله این پژوهش است. زیرا پس از مرحله طراحی و مش‌بندی باید با تعیین شرایط مرزی درست و ایجاد مسیر ورودی و خروجی جریان هوا و تعریف تخلخل موجود در دیواره‌های صداگیر (البته ساده‌سازی شده) و پارامترهای دیگر می‌توان شرایط لازم را جهت شبیه‌سازی فراهم کرد. برای اندازه‌گیری میزان صدا باید نقطه دریافت‌کننده صدا در بخش آکوستیک نرم‌افزار تعریف کرد. همچنین با توجه به اینکه سرعت چرخشی فن در هر دو طرح ۹۵ رادیان بر ثانیه در نظر گرفته می‌شود و میزان فشار نسبی جریان در ورودی صفر است، می‌توان پره‌های چرخان فن را به عنوان عامل تولیدکننده صدا و محرک جریان در نظر گرفت. برای اجرای اهداف ذکر شده باید در منوی نرم‌افزار بعد از تعیین شرایط مرزی روش تحلیل آکوستیکی ویلیام را فعال کرد. بعد از تنظیم این پارامترها، نوبت به تحلیل آکوستیکی جریان می‌رسد. البته این تحلیل به صورت مجزا بعد از تحلیل اصلی جریان صورت می‌گیرد. البته لازم است قبل از پرداختن به شبیه‌سازی هر یک از طرح‌ها به منظور تحلیل و مقایسه نتایج تجربی و شبیه‌سازی و همچنین صحت‌سنجی کار با نرم‌افزار، میزان صدای اندازه‌گیری شده در خروجی یک کانال تهویه دارای صداگیرهای تیغه‌ای به وسیله دستگاه صوت‌سنج و همچنین استفاده از الگوی تجربی و ریاضی طرح ارائه شود.

۳-۱. اندازه‌گیری میزان صوت در کانال

به منظور اندازه‌گیری میزان صوت و همچنین نحوه استفاده از مدل تیغه‌ای در روش تجربی با استفاده از دستگاه صوت‌سنج و سرعت‌سنج و فشارسنج بعد از صداگیر

۳. شبیه‌سازی

در این مرحله، به کمک نرم‌افزار گمبیت^{۱۰} طراحی اولیه هر دو طرح، در داخل یک کانال هوا به صورت سه‌بعدی، به همراه ایجاد منبع صوت - که همان فن است - صورت و

اندازه‌گیری شد که بر مبنای آن این مشخصات گاز عبوری به شرح جدول ۱ می‌باشد.

جدول ۱. مشخصات هوای تولید شده توسط فن بعد از صداگیر

دما	۲۰- تا ۲۰۰ درجه سانتی‌گراد
فشار	کمتر از ۹۰۰ پاسکال
دبی جریان	۴۰۰ متر مکعب بر ثانیه
رطوبت نسبی	≤ ۹۲ درصد
سرعت جریان بین تیغه‌ها	≤ ۱۰ متر بر ثانیه
افت فشار	کمتر از ۷۶ پاسکال
قدرت صدای تولید شده	۱۰۰ دسی‌بل

بنابراین با توجه به مقدار اولیه در جدول ۱ و بنا بر معادله ۱ میزان افت فشار در خروجی به دست می‌آید:

$$\Delta P = (0.3 + 0.18L) \frac{\rho V^2}{2} \quad (1)$$

به طوری که در این معادله ΔP میزان افت فشار جریان عبوری از صداگیر، L طول کلی صداگیر، ρ چگالی گاز و نهایتاً V سرعت جریان بین تیغه‌هاست. همچنین میزان صدای اندازه‌گیری شده بر حسب فرکانس قبل از صداگیر در حالت تجربی طبق جدول ۲ می‌باشد.

جدول ۲. صدای اندازه‌گیری شده قبل از صداگیر (تجربی)

فرکانس (هرتز)	میزان سطح صدا (دسی‌بل)
۶۳	۸۷
۱۲۵	۹۱
۲۵۰	۱۰۰
۵۰۰	۹۰
۱۰۰۰	۸۶
۲۰۰۰	۸۷
۴۰۰۰	۹۲
۶۰۰۰	۷۸

و به همین ترتیب، میزان صدای اندازه‌گیری شده بعد از صداگیر مطابق جدول ۳ می‌باشد. با بررسی بین جدول‌های

۲ و ۳ میزان جذب صوت توسط صداگیر به شکل کاملاً واضح مشهود است.

جدول ۳. صدای اندازه‌گیری شده بعد از صداگیر در حالت تجربی

فرکانس (هرتز)	میزان سطح صدا (دسی‌بل)
۶۳	۶۸
۱۲۵	۶۲/۵
۲۵۰	۵۷/۵
۵۰۰	۵۲
۱۰۰۰	۴۸
۲۰۰۰	۴۷
۴۰۰۰	۴۸
۶۰۰۰	۴۲

۲-۳. شبیه‌سازی طرح صداگیرهای تیغه‌ای

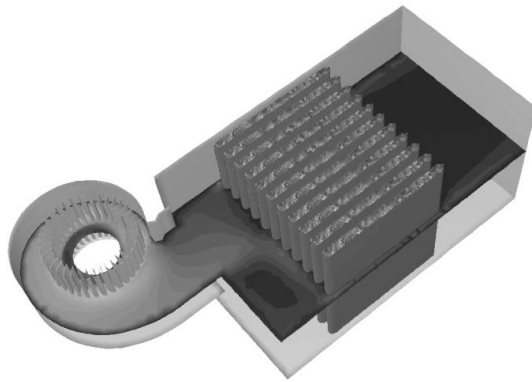
در این شبیه‌سازی، با توجه به نتایج به دست آمده و مقایسه با نتایج تجربی، می‌توان دریافت که شبیه‌سازی نرم‌افزاری با اعدادی کاملاً نزدیک به نتایج به دست آمده از صوت‌سنج و دیگر وسائل اندازه‌گیری می‌باشد. بنابراین می‌توان نتایج شبیه‌سازی را به شرح زیر ذکر کرد.

در شکل‌های ۶ و ۷ نمایی سه‌بعدی از صداگیرها قبل و بعد از تحلیل نمایش داده شده است. همچنین در جدول ۴ میزان صدای تحلیل شده توسط نرم‌افزار آمده است.

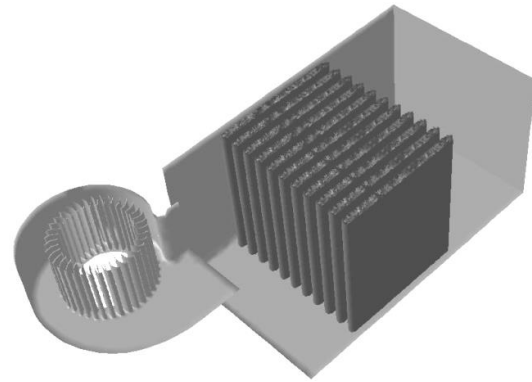
۳-۳. شبیه‌سازی طرح صداگیرهای ماتریسی

با توجه به نزدیک بودن نتایج در شبیه‌سازی صداگیرهای تیغه‌ای و با انجام عملیات مشابه برای چیدمان ماتریسی در نرم‌افزار فلوئنت نتایج حاصل از این روش بسیار بهتر از روش تیغه‌ای می‌باشد. بدین ترتیب شبیه‌سازی به شکل زیر صورت می‌گیرد.

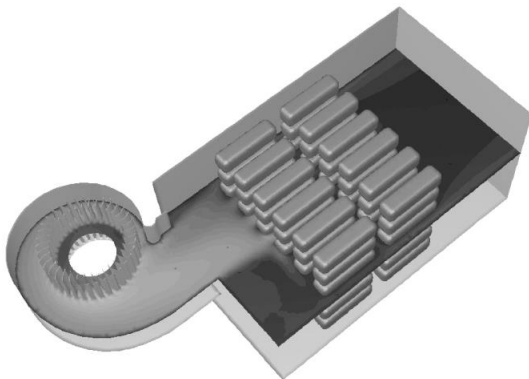
در شکل‌های ۸ و ۹ نمایی سه‌بعدی از صداگیرهای ماتریسی قبل و بعد از تحلیل نمایش داده شده است. همچنین در جدول ۵ میزان صدای تحلیل شده توسط نرم‌افزار با توجه به نمودار ۲ تعیین می‌شود.



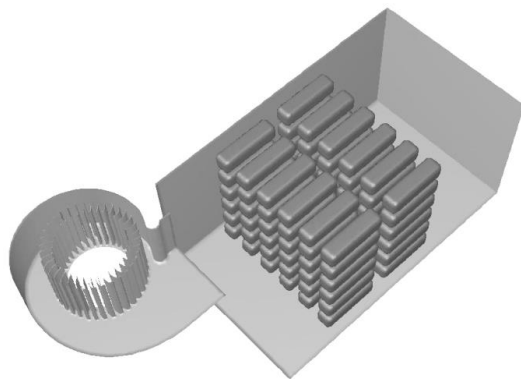
شکل ۷. نمایی شماتیک از چیدمان تیغه‌های صداگیر بعد از تحلیل



شکل ۶. نمایی شماتیک از چیدمان تیغه‌های صداگیر قبل از تحلیل



شکل ۹. نمایی شماتیک از چیدمان ماتریسی صداگیر بعد از تحلیل



شکل ۸. نمایی شماتیک از چیدمان ماتریسی صداگیر قبل از تحلیل

جدول ۵. میزان صدای اندازه‌گیری شده بعد از صداگیر ماتریسی

میزان سطح صدا (دسی‌بل)	فرکانس (هرتز)
۵۸	۶۳
۴۸	۱۲۵
۳۹	۲۵۰
۳۸	۵۰۰
۳۶	۱۰۰۰
۲۸	۲۰۰۰
۲۹	۴۰۰۰
۲۳	۶۰۰۰

جدول ۴. صدای اندازه‌گیری شده بعد از صداگیر تیغه‌ای

میزان سطح صدا (دسی‌بل)	فرکانس (هرتز)
۷۰	۶۳
۶۰	۱۲۵
۵۵/۵	۲۵۰
۵۱	۵۰۰
۴۴	۱۰۰۰
۴۱	۲۰۰۰
۴۲	۴۰۰۰
۳۲	۶۰۰۰

۴. نتیجه‌گیری

باتوجه به دو نوع شبیه‌سازی و همچنین مقایسه بین این دو طرح با میزان سطح صوتی تجربی، استفاده از روش چیدمان صداگیرهای ماتریسی بهتر و بهینه‌تر است؛ زیرا

هم در کاهش میزان مواد مصرفی و هم در افزایش جذب صوت و کاهش مصرف انرژی اهمیت و تأثیر بیشتر خود را نشان داد.

۵. قدردانی

صنام، به پاس راهنمایی‌های ارزنده و مفیدشان، تشکر و قدردانی کنند.

در پایان، نویسندگان بر خود لازم می‌دانند تا از گروه صنایع

۶. مأخذ

- [1] Sü, Z., Kan, M. Çalış. “Acoustical Design and Noise Control in Metro Stations: Case Studies of the Ankara Metro System.” *J. of Building Acoustics*, 14(3), (2007): 231–249.
- [2] Noise Control in Buildings. Guidelines for Acoustical Problem-Solving, Certain Teed Corporation, 2003.
- [3] Arenas, J.P., M.J. Crocker. “Recent Trends in Porous Sound-Absorbing Materials.” *J. of Sound and Vibration*, (2010): 12-17.
- [4] Wikipedia, “Iran's isolation”, <http://www.irima.ir> (accessed March 27, 2014).

پی‌نوشت

-
1. Altay
 2. Durmisevic and Sariyildiz
 3. Kang
 4. Shuo-xian and Yue-zhe
 5. Crockett and Pyke
 6. Irvine and Richards
 7. Axial
 8. Centrifugal
 9. Rock wool
 10. Gambit®
 11. Fluent®