دومین کنفرانس بین المللی و پنجمین کنفرانس ملی
تهویه مطبوع و تاسیسات حرارتی و برودتی ایران
۱۴ و ۱۵ مهر ماه ۱۴۰۳، نمایشگاه بین المللی تهران، ایران

# منابع آلودگی صوتی در سامانه‌های تهویه مطبوع و راهکارهای کاهش آن

علی فائزیان[۱،۲*]، هاشم احمدی تیغ‌چی[۳]

۱- دانشیار، گروه طراحی ماشین آلات صنایع غذایی، موسسه پژوهشی علوم و صنایع غذایی، مشهد، ایران
۲- پژوهشگر، شرکت دانش بنیان صنعت پروژه توس، پارک علم و فناوری خراسان رضوی، مشهد، ایران
۳- استادیار، گروه مهندسی مکانیک، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران
* مشهد، ۹۱۸۹۵۱۵۷۳۵۶، a.faezian@rifst.ac.ir

**چکیده**

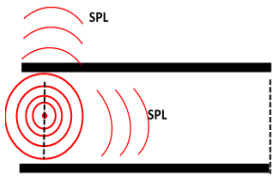
صدا و کیفیت آن در سامانه‌های تهویه مطبوع یکی از عوامل اصلی تامین آسایش بهره‌برداران است. منابع اصلی صدا در سامانه تهویه مطبوع، فن‌های مکنده یا دمنده هستند که این آلودگی صوتی معمولا از کانال‌های انتقال هوا انتشار و انتقال می‌یابند. راهکارهای کاهش صدا به دو شکل کنترل در منبع یا در مسیر انتشار متناسب با شرایط موجود، محدودیت‌های اجرایی و هزینه‌ای اجرا می‌شود. در زمان اجرای ساختمان‌سازی و نصب سامانه تهویه مطبوع نیز نکاتی باید رعایت شود تا سبب کاهش انتشار و انتقال صدا شود. راهکارهای استفاده از سایلنسر تهویه، پوشش آکوستیکی، اتاق آکوستیکی و لرزه‌گیر نیاز به طراحی دارند تا عملکردی مناسبی داشته باشند. در این مقاله نحوه طراحی سایلنسر تهویه بیان شده که طول و تعداد صفحات جاذب صوت سایلنسر، فاصله صفحات و ضخامت آنها برای رسیدن به عملکرد آکوستیکی و هیدرودینامیکی مطلوب محاسبه می‌گردد. در واقع الگوریتم محاسباتی می‌تواند حالت بهینه در طراحی سایلنسر برای یافتن حداکثر کاهش صدا در فرکانس‌های مدنظر و حداقل افت فشار را در مسیر جریان هوا پیدا کند.

**کلیدواژگان:** تهویه مطبوع، راهکارهای کاهش صوت، المان آکوستیکی، سایلنسر، تلفات عبور

## ۱- مقدمه

سامانه‌های تهویه مطبوع در واحدهای مسکونی و اداری برای ایجاد آسایش افراد استفاده می‌شود اما استفاده از آنها در برخی مواقع با آلودکی صوتی برای ساکنین همراه است. تراز فشار صوت مجاز شبانه برای واحد مسکونی ۴۳ دسی‌بل و محیط اداری ۶۵ دسی‌بل است [۱،۲]. منابع اصلی صدا در سامانه تهویه مطبوع فن‌های مکنده یا دمنده هستند که محیط انتشار و انتقال صدا کانال‌های انتقال هوا می‌باشند. اگر کانال‌ها به درستی طراحی نشوند تغییر سطح مقطع‌ها، انشعاب‌ها و دریچه‌ها علاوه بر انتقال صدا خود تولید کننده صدا خواهند بود. اگر سرعت جریان هوا در این مسیرها و مقاطع بیش از حد مجاز باشد صدای تولیدی در آنها قابل توجه خواهد بود. گاهی کانال‌های سامانه تهویه مطبوع صدای منابع دیگر آلودگی صوتی مانند صدای رفت و آمد خودروها در بزرگراه یا خیابان مجاور را به داخل واحد مسکونی یا اداری منتقل می‌کند. در دیگ آب گرم علاوه بر فن دمنده هوای مصرفی، خود مشعل، اگزوز آن و پمپ آب گرم نیز صدا تولید می‌کنند.

صدایی که در منبع آلودگی صوتی سامانه تهویه مطبوع (فن و غیره) تولید می‌شود در بستر جریان هوا در داخل کانال با سرعت صوت حرکت می‌کند. همان‌طور که در شکل ۱ دیده می‌شود صدا از منبع تا دریافت کننده از طریق سازه[1] یا هوا[2] یا ترکیب آنها انتقال می‌یابد. اگر از همان ابتدای طراحی ساختمان و سامانه تهویه مطبوع پارامترهای آکوستیکی نیز در نظر گرفته شود هزینه آن بسیار کمتر از حالتی است که پس از اجرای ساخت‌وساز و نصب سامانه تهویه مطبوع اقدام به کاهش صدا شود.




**شکل ۱** انتقال صدا از منبع تا دریافت کننده از طریق سازه یا هوا

روشهای صنعتی و تجاری رایجی برای کنترل آلودگی صوتی سامانه تهویه مطبوع وجود دارد. پژوهش‌های زیادی برای ساخت مواد اولیه و تجهیزات سامانه تهویه مطبوع به منظور کاهش آلودگی صوتی صورت پذیرفته است. به عنوان مثال کاهش نویز فن با حفظ عملکرد آیرودینامیکی آن از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. مهدی یادگاری و همکاران [۳] در پژوهش خود فن جریان محوری مورد مطالعه قرار داده‌اند. آنها در پژوهش خود به بررسی اهمیت لبه فرار و محدوده حدفاصل قاب فن با پره و استفاده از حفره آکوستیکی در پوسته فن جریان محوری پرداخته‌اند.

در این پژوهش به بررسی راهکارهای کاهش آلودگی صوتی در منابع موجود در سامانه تهویه مطبوع پرداخته می‌شود. ضمن ارائه راهکار برای هر

1. Structural Borne
2. Air Borne

منبع صوتی مزایای آن نیز ارائه می‌شود و برای یک نمونه از راهکارها نمونه محاسبات و نتایج طراحی آورده می‌شود تا طراحان سامانه تهویه مطبوع بتوانند از دیدگاه کنترل صدا نیز توجه لازم را در محاسبات در نظر بگیرند.

## ۲- مسیر انتقال صدا در سامانه تهویه مطبوع و راهکارهای کاهش آن

### ۲-۱- مسیرهای اصلی انتقال صدا

دیوارها، پنجره‌ها، مجاری تهویه، درب‌ها، درزها و سازه مسیرهای انتقال صدا از منبع صدا به دریافت کننده می‌باشند. قبل از اجرای هر یک از راهکارهای ساختمانی برای کاهش نویز دریافتی لازم است کلیه منافذ و درزهای ساختمان حداقل در وجه مورد نظر بسته شود. در غیر این صورت تاثیر راهکارها کم و حتی خنثی می‌شود. راهکارهایی که در اینجا ارائه می‌شود راه‌حل‌های محتمل و امکان‌پذیر می‌باشند. در عمل با توجه به شرایط موجود، هزینه‌ها و تبعاتی که اجرای هر راهکار به همراه دارد یک یا چند راهکار انتخاب و اجرا می‌شود. در واقع در طراحی هر سامانه تاسیسات لازم است راهکار یا راهکارهای بهینه انتخاب شود.

### ۲-۲- به حداقل رساندن تغییر سطح مقطع ناگهانی در مجاری

به طور کلی موانع و تغییر در سطح مقطع در مسیر جریان سبب ایجاد نویز می‌شود. بنابراین به هر شکلی که بتوان از ایجاد موانع و تغییر سطح مقطع ناگهانی جلوگیری کرد از تولید نویز پیش‌گیری خواهد شد. استفاده از شیر شیر توپی بجای شیر سماوری یکی از راه‌های جلوگیری از تغییر سطح مقطع ناگهانی می‌باشد.

### ۲-۳- انتخاب ظرفیت بالاتر

دستگاه‌های با ظرفیت بالاتر از ظرفیت مورد نیاز همواره گرانتر هستند اما گاهی با توجه به شرایط موجود انتخاب ظرفیت بالاتر روشی اقتصادی است.

### ۲-۴- افزایش ضخامت لوله یا کانال

ممکن است بخش قابل توجهی از نوفه جریانی از مسیر جداره لوله یا کانال به فضای بیرون آن انتقال یابد. در این صورت با انتخاب رده یا ضخامت بالاتر جداره، انتقال صدا کاهش می‌یابد.

### ۲-۴- کاهش طول مسیر لوله یا کانال

صدای منتشر شده از جداره لوله یا کانال متناسب با سطح پیرامونی یا طول آن می‌باشد. با کاهش این طول، سطح انتشار نویز و شدت آن کاهش می‌یابد.

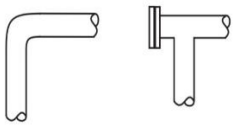
### ۲-۵- دورکردن هدر از دریافت کننده صدا

با توجه به اینکه هدر سطح قابل توجهی برای انتشار صوت دارد، با قرار دادن هدر در مکانی که فاصله آن از دریافت کننده صدا بیشتر شود صدای کمتری به آنها می‌رسد.

### ۲-۶- استفاده از اتصال تی به جای زانویی ۹۰ درجه در هدرها

دو روش اتصال لوله به لوله یا لوله به هدر، اتصال تی با انتهای کور[1] و اتصال خم ۹۰ درجه می‌باشند (شکل ۲). استفاده از اتصال تی با انتهای کور بجای خم ۹۰ درجه یا بالاتر سبب می‌شود یک المان حجمی (انتهای بسته تی شکل) ایجاد شود که به عنوان یک المان آکوستیکی به کاهش نویز کمک می‌کند.

1. Blind T



**شکل ۲** دو روش اتصال لوله؛ اتصال تی با انتهای کور (راست) و خم ۹۰ درجه (چپ)

### ۲-۷- رعایت حداکثر سرعت مجاز در طراحی کانالها

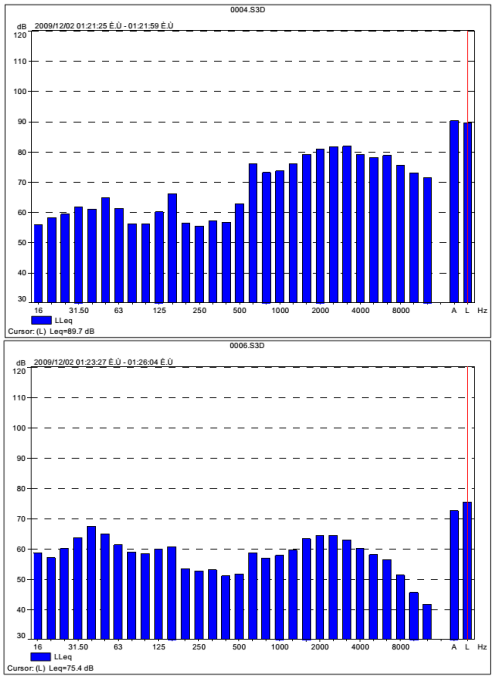
کانال علاوه بر آنکه مهمترین عامل انتشار نویز جریان هوا است خود نیز نویز تولید می‌کنند. حداکثر سرعت مجاز هوا در کانال‌ها ۴ متر بر ثانیه می‌باشد.

### ۲-۸- فاصله گرفتن از منبع نویز

یکی از عواملی که در کاهش صدا نقش دارد فاصله شنونده از منبع صوت می‌باشد. اگر منبع صوت خطی و انتشار آن استوانه‌ای باشد با دو برابر شدن فاصله از منبع صوت تراز فشار صوت حدود ۳ دسی‌بل کاسته می‌شود. اگر منبع صوت نقطه‌ای و انتشار آن کروی باشد با دو برابر شدن فاصله از منبع صوت تراز فشار صوت حدود ۶ دسی‌بل کاسته می‌شود.

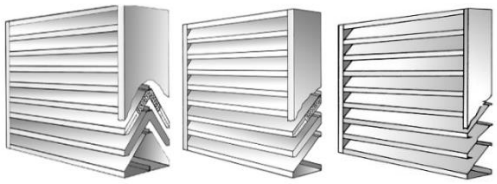
### ۲-۱۰- پنجره‌ها و مجاری تهویه

یکی از عواملی که در کاهش صدا نقش دارد فاصله شنونده از منبع صوت می‌باشد. جایابی پنجره‌ها و مجاری تهویه و هواکش‌ها در مقدار صدایی که به دریافت کننده می‌رسد بسیار مؤثر است. تا حدی که بزرگ بودن دریچه‌ها و مجاری تهویه می‌تواند تأثیر جذب و کاهش عبور صدا دیوارها را خنثی کند. در اندازه‌گیری‌های صوتی انجام گرفته روی ایستگاه تقلیل فشار گاز شهری مقدار تراز فشار صوت خارج ایستگاه در ارتفاع ۱.۵ متری از سطح زمین و یک متری از دیوار در پشت دیواری که فاصله بین سقف ایرانیت و دیوار ۵۰ سانتیمتر می‌باشد حدود ۹۰ دسی‌بل و در وجهی که فاصله هوایی وجود ندارد حدود ۷۵ دسی‌بل است (شکل ۳). تفاوت این دو مقدار نشان دهنده تأثیر فاصله هوایی بر عملکرد صوتی دیوار می‌باشد.

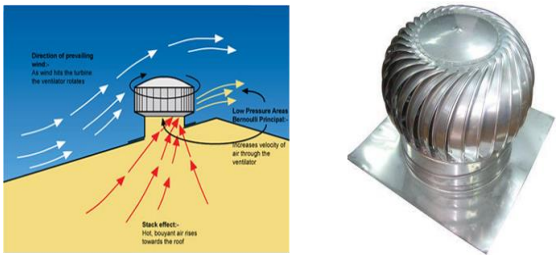



**شکل ۳** مقایسه طیف تراز فشار صوتی در فاصله یک متری پشت دیوار در وجه دارای فاصله هوایی (تصویر بالا) و سمت بسته ساختمان (تصویر پایین) [۴]

مکان دریچه‌ها می‌بایست بر روی دیواره‌هایی باشد که به سمت واحد مسکونی نبوده یا بر روی سقف نصب شده و به وسیله کانالی به ارتفاع بالاتر منتقل شود. در صورتی که تغییر مکان دریچه‌ها مقدور نباشد و یا در تمام وجوه اتاقک شنونده نوفه وجود داشته باشد می‌توان با استفاده از مجاری تهویه‌ای که در مسیر عبور هوا از مواد جاذب صوت استفاده می‌کنند مشکل عبور صدا از این مجاری را تا حد زیاد بهبود بخشید [۸-۵]. در شکل ۴ دو نمونه از این دریچه‌ها و یک دریچه معمولی بدون جاذب صدا نشان داده شده است. همچنین استفاده از هواکش‌های بادی به جای دریچه هوا میزان صدای عبوری را کاهش می‌دهد که نمونه آن در شکل ۵ آورده شده است.



**شکل ۴** دریچه ساده (راست) و دو دریچه آکوستیکی (چپ)




**شکل ۵** هواکش توربینی و نحوه عملکرد آن

### ۲-۱۱- درب‌ها

کلاس عبور صوتی[1] درب با ورق‌های فولادی ۲ میلیمتر حدودا ۳۵ دسی‌بل می‌باشد که کمتر از دیوار آجری ۳۵ سانتیمتری است [۹]. بنابراین هر چه مساحت و تعداد درب‌ها زیاد باشد کلاس عبور صوتی کل اتاق پایین می‌آید. همچنین سطح این درب‌ها ضریب جذب بسیار کمی دارد که منجر به انعکاس بخشی از صدا به داخل ساختمان می‌شود. می‌توان با استفاده از جاذب‌های صوتی در سطح داخلی این درب‌ها ضریب جذب و کلاس عبور صوتی را به شدت افزایش داد. همچنین دریچه ساده روی درب‌ها باعث افت شدید عملکرد صوتی آن می‌شود که می‌توان این مشکل را با استفاده از دریچه‌های آکوستیک یا کم کردن سطح این دریچه‌ها (پوشاندن قسمتی از آن) تا حدودی برطرف کرد. نشت صدا از درز بین درب و چارچوب آن نیز بسیار قابل توجه است.

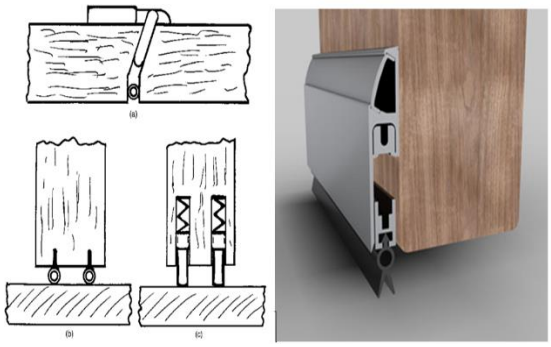
### ۲-۱۲- درزها

درزها و منافذ هوایی عملکرد صوتی ساختمان را محدود می‌کنند. با استفاده از نوارهای لاستیکی درزگیر و یا چسب‌های درزگیری می‌توان این منافذ را پوشاند و انتقال صدای آن را کاهش داد (شکل ۶).

**شکل ۶** انواع درزگیرهای لاستیکی با سطح مقاطع مختلف

1. Sound Transmission Class (STC)

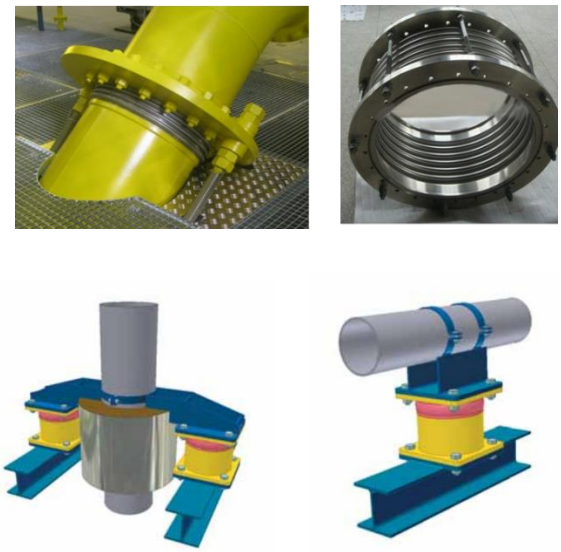
وجود فاصله هوایی، درز بین درها و دیواره‌ها و همچنین عدم استفاده از دریچه‌های تهویه مناسب یا مکان نامناسب آن‌ها باعث افت شدید عملکرد راهکارهای آکوستیکی می‌شود [۲]. بنابراین لازم است با استفاده از درزگیرها و مکانیزم‌های مناسب اتصال دیواره‌ها و لولاها میزان فضای خالی به حداقل مقدار ممکن برسد. نمونه‌هایی از درزگیرها برای اطراف در و محل لولا در شکل ۷ نشان داده شده است. این درزگیرها می‌توانند به صورت نوارهای لاستیکی یا مایع درزگیر باشد.



**شکل ۷** درزگیری لبه‌ها در اتاقک

### ۲-۱۳- لرزش

صدای تولید شده در اثر انتقال ارتعاش پمپ، کمپرسور و لوله‌های موتورخانه به فندانسیون و سازه ساختمان یکی دیگر از منابع صوت است. برای جلوگیری از انتقال ارتعاشات پمپ، کمپرسور، هدر و لوله از اتصال لرزه‌گیر در مسیر لوله یا دمپر و عایق‌های ارتعاشی در تکیه گاه استفاده می‌شود (شکل ۸). جنس و اندازه لرزه‌گیر تابع تعداد پایه شاسی، فاصله‌ی آنها و قطر و وزن تقریبی دستگاه می باشد.



**شکل ۸** نمونه‌هایی از لرزه‌گیرها و دمپرها

### ۲-۱۴- نصب سایلنسر

با نصب سایلنسر در بالا دست و یا پایین دست منبع نویز (فن دمنده یا مکنده) صدای تولید شده در منبع کاهش می‌یابد. سه نوع سایلنسر مکانیکی عکس‌العملی[2]، جذبی[3] و ترکیبی[4] وجود دارد [۱۰-۶]. در سایلنسرهای

2. Reactive
3. Absorptive

عکس‌العملی با استفاده از تغییرات هندسی در مسیر جریان بخشی از انرژی امواج صوتی با انعکاس و تداخل مستهلک می‌شود. در سایلنسرهای جذبی با برخورد امواج صوتی با سطوح جذبی بخشی از انرژی صوتی به گرما تبدیل می‌شود. این دو نوع سایلنسر در فرکانس‌های متفاوت انرژی صوتی را مستهلک می‌کنند. بنابراین ترکیب آنها در محدوده بیشتر طیف فرکانسی نویز را کاهش می‌دهند.

افت فشار سایلنسر یکی از مشخصه‌های مهم آن است. یکی از نگرانی‌های مصرف کنندگان سایلنسر تاثیر افت فشار آن بر عملکرد سامانه تهویه مطبوع است. طراحی بهینه براساس سه پارامتر مهم افت فشار، میزان کاهش صدا و هزینه انجام می شود.

**۱۵-۲- استفاده از اتاق آکوستیک**

هنگامی که امکان کاهش صدا در منبع صدا یا در مسیر فرایندها میسر نیست استفاده از اتاقک‌های آکوستیک از رایج‌ترین روش‌های کاهش نوفه و صدای تولیدی مزاحم در صنعت می‌باشد. با وجود مشکل بودن پیش بینی عملکرد نهایی این اتاقک‌ها، موارد استفاده از آن بسیار وسیع و متنوع است.

برای جلوگیری از تخریب مواد جاذب صدای استفاده شده در دیوارهای اتاق در اثر رطوبت از ورود آب باران یا شستشو به داخل اتاقک و دیوارهای آن جلوگیری می‌شود. همچنین برای جلوگیری از نفوذ گردوخاک و البته ایجاد آلودگی باید پوشش مناسب بر روی مواد جاذب تعبیه شود و امکان جایگزینی مواد جاذب با مواد جاذب جدید و سالم فراهم شود.

**۱۶-۲- استفاده از پوشش آکوستیک**

یکی از راه‌های افزایش اتلاف عبور نویز در بدنه تجهیز یا کانال استفاده از پوشش آکوستیکی می‌باشد. این پوشش می‌تواند بطور جداگانه پیرامون بدنه لوله یا بدنه تجهیز قرار گیرد یا داخل بدنه و جزئی از آن باشد. نوع پوشش بیرونی می‌تواند فلزی صلب یا پارچه‌ای انعطاف‌پذیر (پارچه مخصوص) باشد. پوشش داخلی بدنه می‌تواند مجموعه حفره‌های (لانه زنبوری) آکوستیکی یا جاذب یا ترکیبی باشد.

**۱۷-۲- استفاده از مواد جاذب صوت در دیوار و سقف**

یکی از گزینه‌هایی که در دیوارها رفتار آکوستیکی مناسبی دارند پانل‌های عایق صوتی[1] می‌باشد. استفاده از پانل‌های سبک‌تر و با کارایی صوتی بیشتر با رعایت استانداردهای ایمنی، بهداشتی، محیط زیستی و عدم اشتعال پذیری، گزینه‌های مناسبی برای استفاده در سقف و دیوارها می‌باشند.

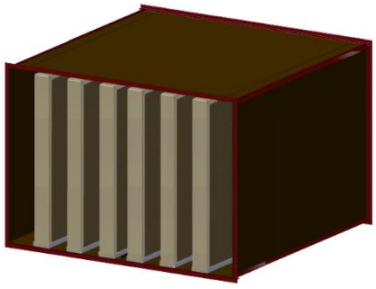
حتی‌الامکان استفاده از سطوح بازتابنده صوت (با ضریب جذب کوچک) مانند سرامیک در مجاورت منبع تولید نویز جلوگیری شود. زیرا اگر منبع صوت در نزدیکی یک سطح بازتابنده صوت (زمین یا دیوار سخت و صاف) نصب شده باشد حداقل مقدار ۳ دسی‌بل به صدای اصلی اضافه می‌گردد. به همین ترتیب اگرمنابع تولید نویز در نزدیکی دو یا سه سطح بازتابنده نصب شود به ترتیب حداقل ۶ و ۹ دسی‌بل به صدای اصلی اضافه می‌شود. گاهی لازم نیست کل دیوارها و سقف ساختمان با پانل‌های آکوستیکی پوشیده شود و استفاده از سپر یا مانع صوتی با ضریب جذب بالا در اطراف منبع صوت برای رساندن نویز به حد مجاز کفایت می‌کند که روش نسبتا ارزانی محسوب می‌شود.

## ۳- طراحی راهکارها

از راهکارهای آکوستیکی بیان شده برای کنترل و کاهش صدا در سامانه تهویه مطبوع سه راهکار سایلنسر تهویه، اتاق آکوستیکی و لرزه‌گیر نیاز به طراحی دارد. در بقیه راهکارها انتخاب مناسب مواد، تجهیزات و اجرای آن اهمیت پیدا می‌کند. در این مقاله درباره طراحی سایلنسر تهویه توضیح داده می‌شود.

**۱-۳- طراحی سایلنسر تهویه**

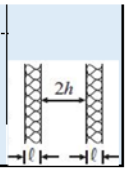
در سایلنسر تهویه مطابق شکل ۹ بافل ها یا صفحه‌های جاذب صدا به شکل صاف یا هشتی موازی کنار هم قرار می‌گیرند [۱۱،۱۲]. با معلوم بودن نرخ جریان هوا و سرعت مجاز در این سایلنسر سطح مقطع لازم برای سایلنسر محاسبه می‌شود. در طراحی سایلنسر طول و تعداد صفحات جاذب صوت سایلنسر و فاصله و ضخامت آنها به منظور کاهش صدای مورد نیاز محاسبه می‌گردد. از طرفی مقدار افت فشار مجاز نیز پارامتر دیگر در طراحی سایلنسر بافلی نقش دارد.



**شکل ۹** طرحواره سایلنسر تهویه

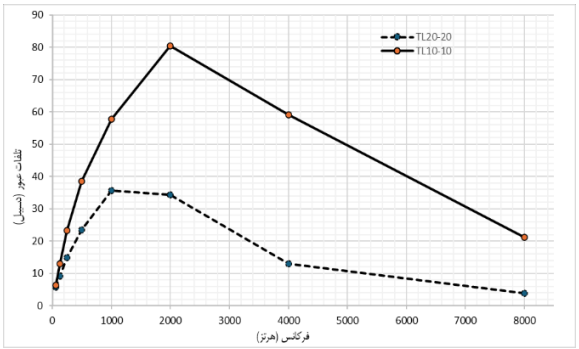
برای محاسبه عمق سایلنسر تهویه و ضخامت بافل‌ها و فاصله بین آنها از برنامه‌های مبتنی بر الگوریتم‌های محاسباتی باید استفاده نمود که داده‌های ورودی آن در شکل ۱۰ ارائه شده است.

| | |
|---|---|
| Length=? [m] | 1.50 |
| Passage Height (2h)=? [m] | 0.10 & 0.2 |
| Baffle Thickness (l) [m] | 0.10 & 0.2 |
| Density (ρ) of Rock Wool=? [kg/m³] | 80.00 |
| Rectangular = 1<br>Circular = 2 | 1 |




**شکل ۱۰** داده‌های ورودی برنامه محاسبه اتلاف عبور سایلنسر بافلی

نمونه نتیجه‌ای که از برنامه محاسباتی برای دو حالت ضخامت صفحه‌های جاذب و فاصله هوایی بین دو صفحه به ترتیب ۲۰ و ۲۰ سانتیمتر و همچنین ۱۰ و ۱۰ سانتیمتر بدست آمده در شکل ۱۱ نشان داده شده است.




**شکل ۱۱** توزیع طیفی (در فرکانس‌های اوکتا) اتلاف عبور سایلنسر بافلی

4. Combined
1. Sound Insulate Panel (SIP)

افت فشار در محفظه سایلنسر $\Delta P_{total}$ از مجموع افت فشار در ورودی داکت (کانال) $\Delta P_{entrance}$، خروجی داکت $\Delta P_{exit}$ و در طول مسیر داکت $\Delta P_{duct}$ به علت اصطکاک به دست می‌آید [۱۳].

$$\begin{aligned}\Delta P_{total} &= \Delta P_{entrance} + \Delta P_{exit} + \Delta P_{duct} \\ &= (k_{entr} + k_{exit} + k_{duct})\rho\frac{V^2}{2} \\ &= k_{total}\rho\frac{V^2}{2}\end{aligned} \quad (۱)$$

در رابطه فوق ضریب افت فشار ورودی، خروجی و طول مسیر سایلنسر، چگالی و سرعت هوا مشخص می‌باشند. بنابراین افت فشار کل در سایلنسر تهویه بدست می‌آید.

## ۳- جمع بندی و نتیجه‌گیری

اگر از همان ابتدای طراحی ساختمان و سامانه تهویه مطبوع پارامترهای آکوستیکی نیز در نظر گرفته شود هزینه آن بسیار کمتر از حالت پس از ساخت ساختمان و نصب تجهیزات می‌باشد. راهکارهایی که در این مقاله ارائه گردید راهکارهای ممکن می‌باشند. در عمل با توجه به شرایط موجود، هزینه‌ها و تبعاتی که اجرای هر راهکار به همراه دارد یک یا چند راهکار انتخاب و اجرا می‌شود. در واقع در طراحی آکوستیکی هر سامانه تاسیسات لازم است راهکار یا راهکارهای بهینه انتخاب شود. همچنین با استفاده از الگوریتم محاسباتی مناسب می‌توان انواع سایلنسرها، از جمله سایلنسر تهویه را در حالت بهینه طراحی کرد که عملکرد آکوستیکی و هیدرودینامیکی مطلوبی داشته باشد.

## ۵- فهرست علائم

| | |
|---|---|
| $p$ | فشار ($kgm^{-1}s^{-2}$) |
| $k$ | ضریب افت فشار |
| $V$ | سرعت ($ms^{-1}$) |
| $TL$ | تلفات عبور (dB) |

**علایم یونانی**

| | |
|---|---|
| $\rho$ | چگالی ($kgm^{-3}$) |
| $\Delta$ | تغییرات |

**زیرنویس‌ها**

| | |
|---|---|
| entrance | ورودی |
| exit | خروجی |
| duct | داکت |
| total | کل محفظه |

## ۵- مراجع


[1] M. Haghayegh, *Evaluation of measurable environmental components affecting mental health in apartment housing, based on comparative comparison through brain wave recording*, PhD Thesis, Azad University of Shiraz, Shiraz, 2023. (in Persian)

[2] *Regulations for preventing noise pollution*, *Environmental Protection Organization*, Approval letter of the Supreme Council of Environmental Protection, article 13, 2011. (in Persian)

[3] M. Yadegari, *Aerodynamic noise reduction of axial flow fan with passive flow control method*, PhD Thesis, Tarbiat Modares University, Tehran, 2023. (in Persian)

[4] A. Faezian, *Compilation of standards and guidelines for the design of tawn gas pressure reduction stations with acoustic considerations*, Report by Sanat Prozheh Toos Company, R&D of NIGC, Mashad, 1996. (in Persian)

[5] A. Faezian, S. M. R. Razavi, A. Omidvar, S. Bayani, *Studying, designing and manufacturing suitable silencers in order to reduce the noise of gas pressure reduction stations and providing operational and executive solutions*, Ferdowsi University of Mashhad, R&D of NIGC, Mashad, 2012. (in Persian)

[6] R.F. Barron, *Industrial Noise Control and Acoustics*, CRC Press, Boca Raton, Florida, 2003.

[7] W. Graham, *Handbook for industrial noise control (NASA SP)*, Legacy CDMS, 1981.

[8] F. Alton Everest, C. Ken, *Master Handbook of Acoustics*, 5th Edition, McGraw Hill Professional, 2009.

[9] ASTM E413, *Classification for Rating Sound Insulation*, American National Standards Institute, 2022.

[10] M.P. Norton, D.G. Karczub, *Fundamentals of Noise and Vibration Analysis for Engineers*, Cambridge University Press, 2003.

[11] J. L. Ver, L. L. Beranek, *Noise and Vibration Control Engineering Principles and Applications*, 2nd Edition, John Wiley & Sons, 2006.

[12] M. J. Crocker, *Handbook of acoustics*, John Wiley & Sons, 1998.

[13] B. Munson, D. F. Young, T. H. Okiishi, W. W. Huebsch, *Fundamentals of Fluid Mechanics*, 6th edition, John Wiley & Sons, 2009.