مقاله

اصول و روش‌های کاهش آلودگی صوتی در صنعت

حجت نداف شرق
دانشجوی کارشناسی ارشد هوا فضا
دانشگاه فردوسی مشهد
nadaf.um@gmail.com

انوشیروان فرشیدیان‌فر*
استاد دانشکدهٔ مهندسی مکانیک
دانشگاه فردوسی مشهد
farshid@ferdowsi.um.ac.ir

سیدمحمد خادم‌باشی
دانشجوی کارشناسی ارشد مکانیک
دانشگاه فردوسی مشهد
s.m.khadembashi@gmail.com

امیررضا عسکری
دانشجوی دکتری مهندسی مکانیک
دانشگاه فردوسی مشهد
amaskari@gmail.com

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۷/۲۹ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۱۰/۱۷

چکیده

آلودگی صوتی و آثار ناشی از آن از جمله مهمترین مشکلات جوامع بشری محسوب می‌شوند. امروزه با صنعتی‌شدن جوامع، آلودگی صوتی افزایش چشمگیری پیدا کرده است. سروصدا می‌تواند سبب افت شنوایی و بروز بسیاری از مشکلات جسمی دیگر شود. در دهۀ اخیر، با توجه به اهمیت کنترل نوفه[1] در پیشگیری از بروز مشکلات زیست‌محیطی، تحقیقات گسترده‌ای برای کاهش آلودگی صوتی صورت گرفته است. هدف مقالۀ حاضر معرفی عوامل اصلی ایجادکنندۀ آلودگی صوتی در صنعت و بیان اصولی کلی برای کنترل آن است. همچنین برای درک بهتر، در هر قسمت، اصول ذکرشده با مثال‌هایی ساده و کاربردی همراه شده‌اند و در نهایت آلودگی صوتی یک واحد صنعتی با استفاده اصول یادشده کنترل شده است.

واژگان کلیدی: آلودگی صوتی در صنعت، جاذب‌های صدا، کنترل نوفه

۱. مقدمه

صوت گونه‌ای از ارتعاش است که به‌عنوان یک موج مکانیکی از طریق یک محیط مادی منتشر می‌شود. این ارتعاش مکانیکی براساس فرکانس منبع تولید آن به سه دستۀ فروصوت[2] (فرکانس‌های زیر ۲۰ هرتز)، صوت یا صدای قابل شنیدن[3] (فرکانس‌های بین۲۰ هرتز تا ۲۰ کیلوهرتز) و فراصوت[4] (فرکانس‌های بالای ۲۰ کیلوهرتز) تقسیم‌بندی می‌شود [۱]. گاهی صدا به ارتعاشاتی با فرکانس‌هایی در محدودۀ شنوایی انسان نیز اطلاق می‌گردد. به هرگونه صدای نامطلوب نیز اصطلاحاً آلودگی صوتی گفته می‌شود. آلودگی صوتی یکی از شایع‌ترین عوامل زیان‌بار فیزیکی موجود در محیط کار است که تقریباً در تمام صنایع وجود دارد. اصولاً صنعتی را نمی‌توان یافت که از نظر آلودگی صوتی ایمن باشد [۱]. امروزه نیز با پیشرفت جوامع بشری به‌سوی صنعتی‌شدن و نیاز روزافزون به تولیدات و مواد صنعتی، سروصدای محیط‌های کاری به‌طور قابل ملاحظه‌ای افزایش یافته است. بنابراین چون مهمترین و قطعی‌ترین اثر آلودگی صوتی افت شنوایی است، مطالعۀ عوامل ایجاد نوفه و یافتن راهکارهای مناسب

برای کاهش آن ضروری به‌نظر می‌رسد. کاهش شنوایی ناشی از صدای محیط کار یکی از قدیمی‌ترین بیماری‌های شغلی بوده و قرن‌هاست برای بشر شناخته شده است. تقریباً ۲۰۰۰ سال قبل پلینی[۵] خاطر نشان کرد که ساکنان در کنار آبشارهای پر سروصدا کاهش فزاینده‌ای در میزان شنوایی دارند [۲]. همچنین رامازینی[۶] کاهش شنوایی ناشی از سروصدا را به‌عنوان یک مخاطرهٔ شغلی معرفی کرد [۲]. سروصدای محیط کار سبب آسیب‌دیدن اجزای سیستم شنوایی، به‌خصوص بخش حلزونی آن می‌شود به کاهش شنوایی می‌انجامد. نخستین نشانهٔ این کاهش قدرت شنوایی در درست نشنیدن صدا در فرکانس‌های ۳۰۰۰ تا ۶۰۰۰ هرتز دیده می‌شود که معمولاً دوطرفه و متقارن[۷] است. اگرچه ضایعهٔ ایجادشده در حلزونی گوش ثابت و برگشت‌ناپذیر است، اما در اثر قطع تماس با سروصدا می‌توان از پیشرفت آن جلوگیری کرد [۳-۴]. هنگامی‌که تراز[۸] صدا از حد مجاز تجاوز کند، می‌تواند علاوه بر سیستم شنوایی، آثار زیان‌باری بر عملکرد سایر قسمت‌های بدن از جمله سیستم گردش خون و دستگاه عصبی ایجاد کند [۵]. شایان ذکر است که این آثار مخرب علاوه بر تراز صدا به عوامل دیگری از جمله سن، جنس، رنگ چشم و پوست، محدودهٔ فرکانسی صدا و مدت زمان تماس با آلودگی صوتی بستگی دارند. مطالعات و پژوهش‌های اخیر نشان می‌دهند که مواجهه با آلودگی صوتی برای بیش از ۱۰ سال، به‌طور قابل‌توجهی احتمال بروز خطر کاهش قدرت شنوایی را افزایش می‌دهد [۶]. هرچند براساس مطالعات انجام‌شده، میانگین آستانهٔ شنوایی در افرادی با سن بالای ۳۰ سال بیش از افرادی است که کمتر از ۳۰ سال سن دارند [۷-۸]. شواهد زیادی وجود دارد که نشان می‌دهد احتمال وقوع حادثه نیز برای کارگرانی که در محیط کار در معرض صدایی بیش از حد مجاز هستند، بیشتر است [۹]. شایان ذکر است که سروصدا به‌عنوان یک تنش فیزیکی نیز می‌تواند سبب افزایش فشار خون و ضربان قلب گردد [۱۰].

امروزه، براساس تخمین مؤسسهٔ ملی ایمنی و بهداشت شغلی امریکا[۹]، حدود ۳۰ میلیون شاغل امریکایی در معرض سروصدایی بیش از حد مجاز قرار دارند. این میزان در اتحادیهٔ اروپا در حدود ۳۵ میلیون نفر است، به‌گونه‌ای‌که کاهش شنوایی شغلی به‌عنوان یکی از اصلی‌ترین بیماری‌های شغلی در اروپا محسوب می‌شود. قابل ذکر است هرچند آمار چندان دقیقی از میزان مواجههٔ افراد با سروصدا در ایران موجود نیست، اما می‌توان تصور نمود که ابعاد این مشکل در ایران نیز قابل توجه باشد [۳].

با توجه به نکات ذکرشده، آشنایی با اصول کنترل آلودگی صوتی و استفاده از آنها در محیط کار و زندگی ضروری به‌نظر می‌رسد. در این مقاله سعی شده است تا علاوه بر آشنایی کامل با عوامل ایجادکنندهٔ آلودگی صوتی در صنعت و تفکیک آنها به هفت دسته، راه‌کارهایی برای کنترل آن به‌همراه مثال‌هایی ساده و کاربردی ارائه شود.

۲. طبقه‌بندی اصول کنترل آلودگی صوتی

روش‌های کنترل آلودگی صوتی را می‌توان به سه گروه اصلی زیر تقسیم نمود [۱۱-۱۲]:

۱. کنترل در منبع ایجاد صوت
۲. کنترل در مسیر انتشار صوت
۳. کنترل در محل شنونده

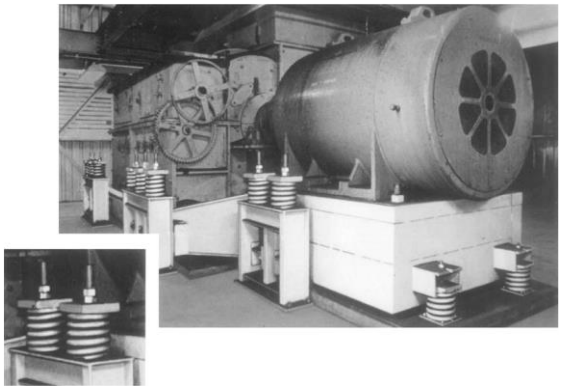
براساس روش‌های سه‌گانهٔ کنترل نوفه می‌توان اصول کلی زیر را در مورد کنترل آلودگی صوتی بیان کرد [۱۳-۱۴]:

۱. توجه به ویژگی‌های اساسی صوت
۲. کنترل صدای تولیدشده در صفحات مرتعش
۳. کنترل صدای تولیدشده در اثر عبور جریان سیال
۴. کنترل نوفه در ساختمان
۵. کنترل نوفه در کانال‌ها
۶. کنترل صدای تولیدشده در ماشین‌آلات دوار
۷. استفاده از مانع و دیوار برای کاهش شدت نوفه

در ادامه با ذکر چند مثال ساده و کاربردی، هریک از این اصول هفت‌گانه تشریح خواهند شد.

۲-۱. توجه به ویژگی‌های اساسی صوت

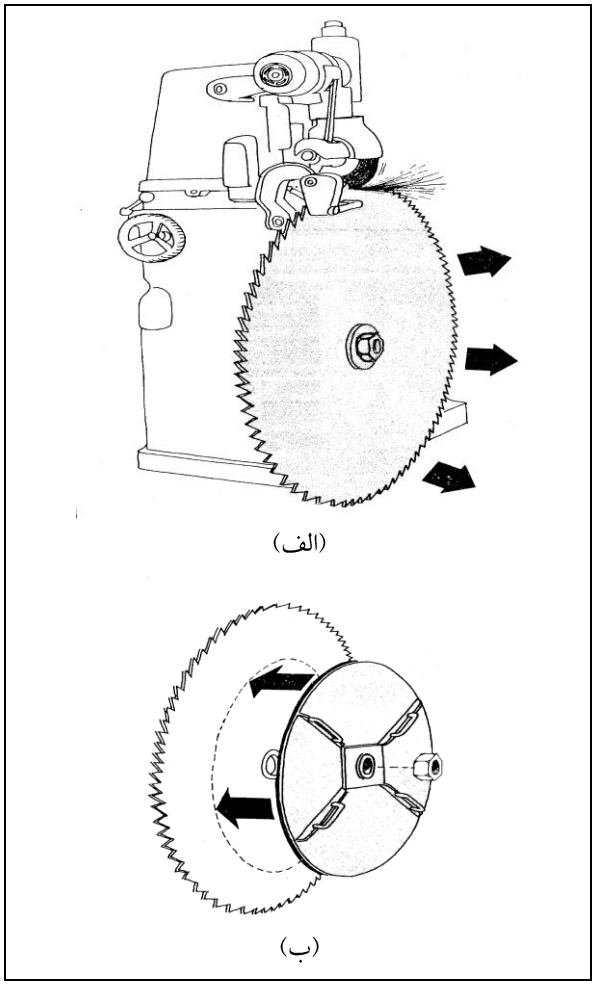
ارتعاشات در جامدات و مایعات بسیار سریع‌تر از هوا منتشر می‌شود. بنابراین، نخستین راه‌حل برای کنترل آلودگی صوتی، متوقف‌کردن ارتعاشات در نزدیک‌ترین فاصله از منبع ایجاد سروصدا می‌باشد. دستگاه‌ها اغلب نوسانات را به لوله‌ها، سازه‌های فلزی و قطعات جانبی انتقال می‌دهند. بنابراین طبق اصل اول، باید از خود دستگاه به‌عنوان منبع تولید صدا برای کنترل نوفه شروع نمود. مثلاً در یک دستگاه برای جداکردن قطعهٔ ارتعاشی به‌عنوان منبع اصلی ایجاد نوفه، لرزش شناسایی‌شده را می‌توان با نصب کمک‌فنر مناسب کاهش داد (شکل ۱). استفاده از کمک‌فنر همچنین می‌تواند در کاهش فرکانس ارتعاشات و در نتیجهٔ آن کاهش نوفهٔ ایجادشده نیز مؤثر باشد.



شکل ۱. استفاده از کمک‌فنر در دستگاه‌ها [۱۴]

۲-۲. کنترل صدای تولیدشده در صفحات مرتعش

پدیدهٔ تشدید از جمله عوامل اصلی ایجاد آلودگی صوتی در صنعت است. این پدیده در صفحات مرتعش به‌طور قابل ملاحظه‌ای اتفاق می‌افتد. استفاده از میرا کننده‌ها و جاذب‌های ارتعاشی یکی از راه‌های اصلی کاهش سروصدای ایجادشده در صفحات مرتعش است. این امر با مهار بخش یا نقطه‌ای از صفحه، توسط مواد میراکننده یا افزودن جرم اضافی برای جلوگیری از پدیدهٔ تشدید تحقق می‌یابد [۱۳]. این مواد میراگر و جاذب‌های ارتعاشی به‌ترتیب با اتلاف انرژی مکانیکی و یا تغییر فرکانس‌های طبیعی اصلی سیستم، آلودگی صوتی را به‌شدت کاهش می‌دهند [۱۳]. به‌عنوان مثالی برای این قسمت، تیغه اره‌ای را در نظر بگیرید که سروصدای زیادی ایجاد می‌کند (شکل ۲). استفاده از یک دیسک متصل به مرکز تیغه اره می‌تواند نقش جاذب ارتعاشی را بازی کند و در نتیجه آلودگی صوتی را به‌طور چشمگیری کاهش دهد.



شکل ۲. نمایی از تیغه اره

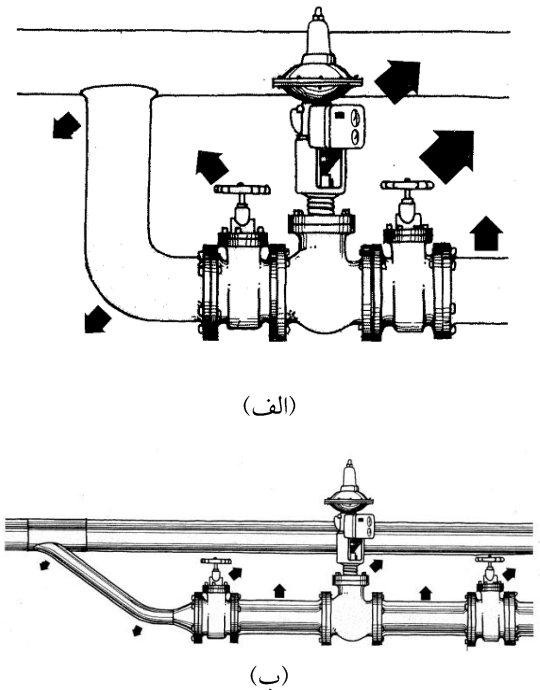
الف) بدون میراکننده و جاذب ارتعاشی

ب) همراه با میراکننده و جاذب ارتعاشی [۱۳]

۲-۳. کنترل صدای تولیدشده در اثر عبور جریان سیال

در اثر برخورد ذرات سیال جاری با یکدیگر در لایه‌های مختلف آن، جریان مغشوش می‌شود. در جریان داخل

لوله‌ها، معمولاً در نقاطی که مسیر حرکت به‌صورت ناگهانی تغییر می‌کند و یا سرعت سیال زیاد باشد، اغتشاش ایجاد می‌شود؛ اغتشاش ایجادشده در جریان سیال در نهایت منجر به آلودگی صوتی می‌گردد. بنابراین کاهش خمیدگی در زانویی‌های مورد استفاده و افزایش فواصل اتصالات می‌تواند آلودگی صوتی را به‌شدت کاهش دهد. مثلاً در ایستگاه‌های تقلیل فشار گاز، گاز با سرعت زیاد در یک سیستم لوله‌کشی جابه‌جا می‌شود؛ در این حالت به‌دلیل اغتشاشات ایجادشده در محل دریچه‌ها و سوپاپ‌ها، سروصدای زیادی تولید می‌گردد. این سروصدا را می‌توان با کاهش زاویهٔ اعمال‌شده در زانوها و افزایش فاصلهٔ بین سوپاپ‌های کنترل به‌طور قابل ملاحظه‌ای کاهش داد (شکل ۳).



(الف)

(ب)

شکل ۳. مسیر انحرافی جریان گاز؛ لف) با شیب ناگهانی
ب) با شیب ملایم و افزایش فاصلهٔ بین دریچه‌ها [۱۳]

از جمله دلائل ایجاد آلودگی صوتی، تغییرات ناگهانی شکل هندسی لوله‌های انتقال سیال است. این تغییرات هندسی سبب ایجاد تغییرات فشار و در نتیجه آشفتگی جریان سیال می‌شود. برخی از عوامل ایجاد آشفتگی جریان سیال درون لوله عبارت‌اند از:

۱. شیرهای کنترلی
۲. اوریفیس‌ها
۳. اتصالات تی‌شکل و زانویی‌ها

اگر سیستم دارای سطوح آزاد باشد، این اغتشاشات به سطوح آزاد انتقال یافته و سبب انتشار نوفه می‌شوند. با توجه به این موضوع، یک روش مؤثر در کاهش انتشار نوفه، کاهش سطوح آزاد جسم است. از جمله سطوح انتشار نوفه در سیستم انتقال سیال می‌توان به سطوح خارجی لوله‌ها، فلانچ‌ها، شیرهای کنترلی و تجهیزات متصل اشاره کرد. با توجه به نکات بیان‌شده، راه‌کارهای کاهش تولید آلودگی صوتی ناشی از جریان سیال در چند گروه قابل دسته‌بندی هستند [۱۳]:

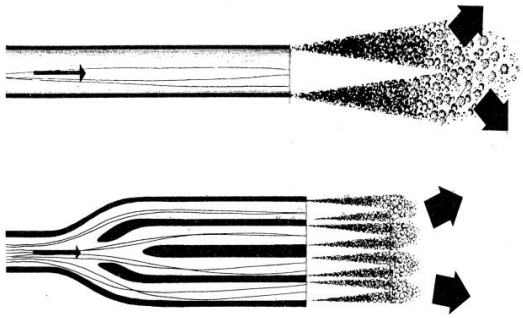
الف) اصلاح سیستم لوله‌کشی: تجهیزاتی که باعث ایجاد افت فشار و آشفتگی می‌شوند باید در فاصله‌ای مناسب نصب شوند تا آشفتگی هر یک از عوامل سبب تقویت آشفتگی‌های موجود در جریان سیال نشود. به‌عنوان مثال، فاصلهٔ بین زانویی و شیر باید حداقل ده برابر قطر لوله بوده، زانویی دارای انحنای آرامی باشد.

ب) اصلاح شیرهای کنترلی: اگر جریان سیال به شاخه‌های بیشتری تقسیم شود، میزان افت فشار و آشفتگی جریان در مواجه با عوامل کاهندهٔ فشار کاهش می‌یابد. برای این منظور می‌توان از تقسیم‌کننده‌های جریان استفاده کرد [۱۴].

ج) اجتناب از ایجاد افت فشار ناگهانی در سیستم: شوک تغییر ناگهانی در جریان سیال است. افت فشار ناگهانی درون سیستم عامل ایجاد شوک است. این شوک‌ها به‌علت ماهیت دینامیکی خود، سبب ایجاد آشفتگی با شدت زیادی می‌شوند. برای حل این مشکل باید افت فشار به‌صورت مرحله‌به‌مرحله در سیستم ایجاد شود.

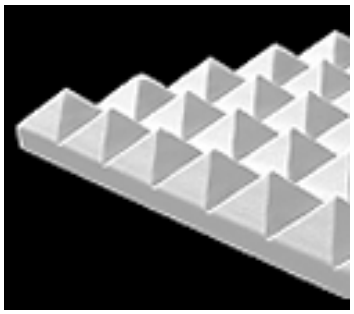
د) استفاده از اوریفیس چندروزنه‌ای: اوریفیس روزنه‌ای است که برای اندازه‌گیری دبی جریان سیال عبوری استفاده

می‌شود. اوریفیس‌ها دارای یک یا چند روزنه برای عبور سیال هستند. همان‌طور که در شکل ۴ مشاهده می‌شود، اوریفیس چندروزنه‌ای در مقایسه با اوریفیس تک‌روزنه‌ای آشفتگی کمتری در سیال ایجاد می‌کند و در نتیجه باعث کاهش آلودگی صوتی می‌شود.



شکل ٤. میزان آشفتگی در اوریفیس یک و چندروزنه‌ای [۱۳]

ه) استفاده از کاهندهٔ صدا[۱۰]: دیواره‌های کاهندهٔ صدا دارای مواد جاذب هستند؛ امواج صوتی به‌هنگام عبور از این محیط انرژی خود را از دست می‌دهند و در نتیجه میزان آلودگی صوتی کاهش می‌یابد. همان‌طور که در شکل ۵ مشاهده می‌شود، صفحات جاذب صوتی به‌منظور افزایش تماس با امواج صوتی به‌صورت واحدهای هرمی طراحی می‌شوند.



شکل ۵. صفحات جاذب صوتی [۱۵]

و) جداسازی سطوح انتشار صوت: جداسازی سطوح انتشار امواج صوتی یکی از مؤثرترین و ارزان‌ترین روش‌های کاهش انتشار نوفه در جریان‌های فرکانس بالا می‌باشد. این روش کاربرد ویژه‌ای در کاهش نوفهٔ انتقال‌یافته توسط تجهیزات متصل و موارد مشابه دارد. به‌عنوان مثال با جداسازی تابلوی برق دستگاه پرس از روی بدنهٔ آن می‌توان سطح انتشار نوفه را کاهش داد.

ز) کاهش اغتشاش با روش مناسب: در حالت کلی ایجاد اغتشاش در سیال سبب تولید نوفه در سیستم می‌شود و باید از آن پرهیز کرد. برخی موارد که باید در این رابطه لحاظ شوند، عبارت‌اند از:

۱. در لوله‌هایی که شیرهای صنعتی نصب شده‌اند، سیال قبل از رسیدن به شیر باید از یک کاهندهٔ فشار عبور کند.

۲. تا حد امکان فاصلهٔ بین شیرها زیاد باشد تا جریان مجدداً آرام شود.

۳. تغییر قطر لوله باید با شیب ملایم باشد.

۴. از زانویی با شیب ملایم به‌منظور تغییر راستای جریان استفاده شود.

۵. تا حد امکان مانعی در مسیر جریان نباشد و یا حداقل در فاصله‌ای مناسب از پمپ‌ها قرار داشته باشد تا موجب تشدید اغتشاش ناشی از عملکرد پمپ نشود.

۲-۴. کنترل آلودگی صوتی در ساختمان

برای داشتن محیطی آرام درون ساختمان، به استفاده از دو روش کنترل آلودگی صوتی در منبع (کاهش سروصدای ایجادشده درون ساختمان) و کنترل نوفه در محل استقرار گیرنده (استفاده از مواد جاذب) نیاز است. بر این اساس، در کاهش آلودگی صوتی درون ساختمان نکات زیر قابل توجه است [۱۴].

۲-۴-۱. کنترل در محل منبع تولید نوفه

یکی از مؤثرترین روش‌های پیشگیری از افزایش آلودگی صوتی، عدم قرارگیری منابع انتشار نوفه در نزدیک دیواره است. در غیر این‌صورت به‌علت انعکاس صدای تولیدشده، توان نهایی صدا افزایش می‌یابد؛ در این حالت اگر منبع صوت در کنار دیوار، دو کنج دیوار و یا سه کنج دیوار قرار داشته باشد، قدرت صوت به‌ترتیب دو، چهار و هشت برابر می‌شود [۱۶].

۲-۴-۲. کنترل در محل شنونده با استفاده از جاذب‌های صوتی

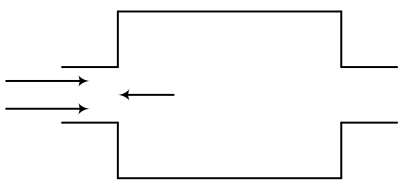
باتوجه به فاصلهٔ قرارگیری شنونده نسبت به منبع صوتی، امواج صوتی به دو صورت مستقیم و یا ترکیب امواج انعکاسی و امواج مستقیم به شنونده می‌رسند. اگر شنونده در نزدیکی منبع صوت باشد، امواج صوتی به‌صورت مستقیم به فرد می‌رسد. در این حالت با توجه به اینکه امواج صوتی نسبت به سطحی انعکاس ندارند، استفاده از جاذب‌های صوتی تأثیری در کاهش میزان توان صوتی ندارد. اگر شنونده در فاصلهٔ دوری از منبع قرار گرفته باشد، جاذب‌های صوتی بخشی از انرژی صوتی دریافتی را به انرژی گرمایی تبدیل می‌کند و در نتیجه شدت نوفه کاهش می‌یابد. باید توجه داشت در این حالت نیز جاذب‌های صوتی تأثیری بر امواجی که مستقیم به شنونده می‌رسند ندارند [۱۶]. در صورت استفاده از جاذب‌های متخلخل، بازده جاذب افزایش پیدا می‌کند. در جاذب‌های متخلخل ملکول‌های هوا درون حفره‌ها به دام افتاده و در اثر اصطکاک به‌وجود آمده، بخشی از انرژی صوتی به انرژی گرمایی تبدیل می‌شود و میزان انرژی صوتی کاهش می‌یابد. از جمله مواد متخلخل می‌توان به نمد، پارچه، فوم پلاستیکی و فوم لاستیکی اشاره کرد. البته باید دقت نمود که قطر بیش از حد حفره‌ها به‌علت کاهش مقدار مادهٔ جاذب، سبب کاهش بازده جاذب می‌شود [۱۷].

۲-۵. کنترل آلودگی صوتی در کانال‌ها

کانال‌ها مجرای انتقال سیال بین دو محیط هستند؛ در بسیاری از موارد جریان سیال عبوری از درون کانال دارای نوفه بوده و اگر اقدام مناسبی صورت نگیرد، سبب بروز نارضایتی می‌شود. این موضوع در سیستم‌های تهویه مطبوع و سایر سیستم‌های کانال‌کشی کاربرد دارد. یکی از مؤثرترین روش‌های کاهش نوفه در جریان سیال، استفاده از کاهندهٔ صداست. کاهندهٔ صدا با جذب و استهلاک انرژی صوتی میزان نوفه را کاهش می‌دهد. در این موارد، نوفه با عبور از درون کاهندهٔ صدا انرژی خود را از دست می‌دهد و به این ترتیب توان نوفه کاهش می‌یابد. به‌طور کلی کاهنده‌های صدا از نظر نحوهٔ عملکرد به دو دسته تقسیم می‌شوند [۱۴-۱۸]:

۲-۵-۱. کاهندهٔ صدای انعکاسی[11]

هر تغییری در مسیر جریان سیال، شامل تغییر قطر، ایجاد انشعاب، تغییر جنس دیواره و یا تغییر جهت جریان باعث ایجاد شوک درون جریان سیال می‌شود. شوک ایجادشده سبب انعکاس بخشی از امواج صوتی شده و با امواج صوتی ورودی مقابله می‌کنند. به این ترتیب شدت نوفهٔ عبوری از کانال به‌طور قابل ملاحظه‌ای کاهش می‌یابد. با توجه به عملکرد بیان‌شده، کاهندهٔ صدای انعکاسی در محدودهٔ فرکانسی معین کاربرد دارد. شایان ذکر است اگر محدودهٔ فرکانسی مورد نظر وسیع‌تر باشد، می‌توان از چند کاهندهٔ صدای انعکاسی به‌صورت متوالی استفاده کرد [۱۴]. نحوهٔ عملکرد کاهندهٔ صدای انعکاسی در شکل ۶ نمایش داده شده است.

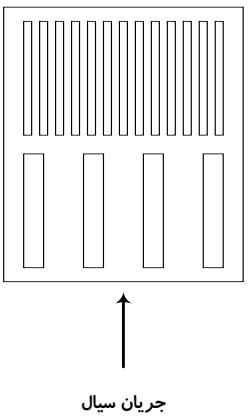


شکل ۶. کاهندهٔ صدای انعکاسی

۲-۵-۲. کاهندهٔ صدای جاذب[12]

ساده‌ترین شکل این نوع کاهندهٔ صدا، کانالی با دیواره‌های پوشیده از مواد جاذب است. با توجه به اینکه امواج صوتی با فرکانس بالا دامنهٔ کوچکی دارند، فاصلهٔ دیواره‌های کانال در این نوع کاهندهٔ صدا کم است. در مواردی که نوفهٔ عبوری دارای فرکانسی پایین است، ضخامت دیواره‌ها باید بیشتر باشد. همچنین اگر هر دو نوع آلودگی صوتی وجود داشته باشد، از هر دو نوع کاهندهٔ صدای مزبور به‌صورت متوالی استفاده می‌شود. نحوهٔ عملکرد و همچنین فاصله و ضخامت صفحات جاذب صوتی در کاهندهٔ صدای جاذب

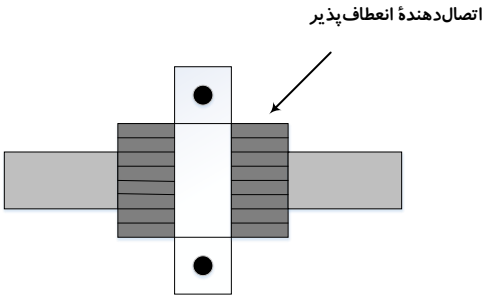
ترکیبی در شکل ۷ نمایش داده شده است. تعداد صفحات جاذب و ابعاد محفظه، به دبی سیال عبوری و میزان مورد نظر برای کاهش توان نوفه بستگی دارد. اتاق‌هایی که دارای ورودی و خروجی مجزا بوده و دیواره‌های آن از مواد جاذب پوشیده می‌باشند نیز به‌عنوان کاهندهٔ صدای جاذب کاربرد دارند. هر قدر که محفظه بزرگ‌تر، ضخامت صفحات جاذب بیشتر و ورودی و خروجی غیر هم‌راستاتر باشند، کاهندهٔ صدا کارایی بیشتری خواهد داشت.



شکل ۷. کاهندهٔ صدای ترکیبی

۲-۶. کنترل آلودگی صوتی در ماشین‌آلات دوار

در دستگاه‌های صنعتی، آلودگی صوتی حتی‌الامکان باید در منبع تولید نوفه کنترل شود. هرقدر فرکانس کاری دستگاه به فرکانس‌های طبیعی سیستم نزدیک‌تر باشد، دامنهٔ ارتعاشات و در نتیجه آلودگی صوتی تولیدشده توسط سیستم بیشتر خواهد بود [۱۶]. بنابرین میزان صلبیت سیستم و جرم دستگاه باید به‌گونه‌ای در نظر گرفته شود که فاصله‌ای مناسب بین فرکانس کاری دستگاه و فرکانس‌های طبیعی سیستم ایجاد شود. هرچند در برخی موارد فرایند کاری دستگاه به‌گونه‌ای است که فرکانس کاری دستگاه به‌طور متناوب به فرکانس‌های طبیعی دستگاه نزدیک می‌شود. در این شرایط از مواد میراکننده برای کنترل دامنهٔ ارتعاشات سیستم در لحظهٔ عبور از فرکانس‌های طبیعی استفاده می‌شود. در بسیاری از موارد در یک محوطهٔ کارگاهی مجموعه‌ای از دستگاه‌های دارای لرزش بالا همچون پرس‌های ضربه‌ای و دستگاه‌های دارای دقت بالا قرار دارند. به‌منظور عدم ایجاد خطا در عملکرد دستگاه‌های دارای دقت بالا و کاهش سطوح انتشار نوفه، بررسی راهکارهای جلوگیری از انتقال امواج ارتعاشی اهمیت به‌سزایی دارند. با توجه به اینکه کف محیط کارگاهی جسم جامد بوده و امواج ارتعاشی باسرعت بالایی در اجسام جامد منتشر می‌شوند، این موضوع از اهمیت بالاتری برخوردار است. برای این منظور روش‌های متنوعی از جمله استفاده از صفحات جاذب در پایه‌های دستگاه و جداسازی فونداسیون دستگاه‌ها نسبت به کف کارگاه وجود دارد [۱۱]. در بسیاری از موارد با وجود اینکه سیستم‌ها از فونداسیون نسبت به هم مستقل هستند، اما ارتعاشات یک سیستم از طریق اتصالات بین دستگاه‌ها مانند لوله‌ها، به سیستم‌های دیگر منتقل می‌شوند. برای جذب ارتعاشات موجود در اتصالات بین دستگاه‌ها، استفاده از اتصالات انعطاف‌پذیر و جاذب انرژی تأثیر به‌سزایی دارد. علاوه بر این، اتصالات مذکور باید به تکیه‌گاهی صلب متصل باشند. در شکل ۸ یک اتصال به‌همراه قسمت جاذب انرژی و نحوهٔ اتصال آن به تکیه‌گاه صلب نمایش داده شده است.



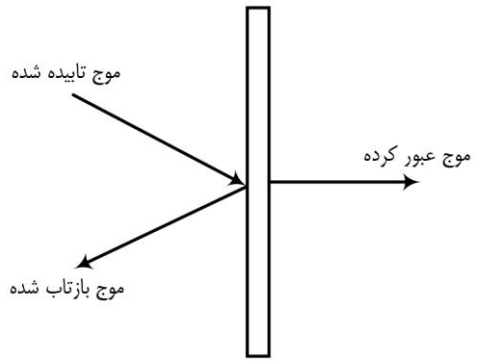
شکل ۸ اتصال‌دهندهٔ انعطاف‌پذیر

۲-۷. استفاده از مانع برای کاهش شدت صوت

از دیدگاه میکروسکوپی، وقتی امواج صوتی با موانعی مانند درب مواجه می‌شوند، بخشی از انرژی امواج صوتی باعث ارتعاش ذرات سازندهٔ درب شده و این ارتعاش در سمت دیگر درب سبب ارتعاش ذرات هوا و تولید نوفه می‌گردد. جرم، میرایی و سختی یک ماده در میزان مقاومت آن در

برابر عبور امواج صوتی بسیار تأثیرگذار هستند. هر قدر که جسم دارای چگالی بیشتری باشد، دارای تعداد مولکول بیشتری در واحد سطح خواهد بود. در برخورد امواج صوتی با این اجسام، تعداد ذرات بیشتری توسط امواج صوتی مرتعش می‌شود. با تبدیل انرژی صوتی به انرژی ارتعاشی مولکول‌های اجسام، بخشی از انرژی بر اثر اصطحکاک بین مولکول‌های مرتعش به انرژی گرمایی تبدیل می‌شود و امکان تبدیل مجدد آن به امواج صوتی از بین می‌رود. به این ترتیب، میزان انرژی امواج صوتی کاهش می‌یابد و اجسام چگال مشابه جاذب‌های صوتی عمل می‌کنند. وجود مواد میراکنندهٔ داخل درب نیز با جذب انرژی و تبدیل آن به انرژی گرمایی از میزان انتقال صوت می‌کاهد. بنابراین با افزایش میزان انعطاف‌پذیری و کاهش صلبیت، میزان نوفهٔ عبوری نیز کاهش می‌یابد. امواج صوتی با فرکانس بالا دارای طول موج کوتاهی هستند. بنابرین با توجه به اینکه در فرکانس‌های بالا درصد بالاتری از طول موج در ضخامت این موانع قرار می‌گیرد، این مسئله در مورد امواج با فرکانس بالا اهمیت بالاتری دارد [۱۴].

یکی دیگر از روش‌های مناسب برای جلوگیری از انتقال آلودگی صوتی و جداسازی بخش‌های مختلف یک محیط صنعتی، استفاده از پرده‌هایی با لایه‌هایی از جنس سرب و لاستیک است. لایه‌های لاستیک و سرب به‌ترتیب موجب افزایش انعطاف‌پذیری و چگالی پرده شده و انتقال امواج صوتی از آن را به‌شدت کاهش می‌دهند. علاوه بر این، بارزترین ویژگی این‌گونه پرده‌ها نسبت به دیوارهای عایق، قابلیت جابه‌جایی و نصب سریع آنهاست. اما از دیدگاه ماکروسکوپی، در برخورد امواج صوتی با موانع، امواج صوتی به سه بخش تقسیم می‌شوند: بخشی از صدا پس از ارتعاش ملکول‌های موانع، در سمت دیگر به‌صورت امواج صوتی منتشر می‌شود. بخشی از امواج صوتی توسط ماده جذب شده و به‌صورت انرژی گرمایی آزاد می‌شوند. بخشی از امواج صوتی نیز از سطح مانع صوتی انعکاس پیدا کرده و به محیط برمی‌گردد. این مطلب در شکل ۹ نمایش داده شده است.



شکل ۹. نمایش عملکرد یک مانع در برابر امواج صوتی

۳. کاربرد اصول هفتگانه

در اصول هفت‌گانهٔ فوق، مهم‌ترین راه‌کارهای کنترل و کاهش نوفه در محیط‌های صنعتی بیان شدند. در شکل ۱۰ یک واحد صنعتی که اصول یادشده در آن رعایت شده نمایش داده شده است. در این واحد از مواد جاذب و کاهندهٔ صدا در موارد زیر استفاده شده است:

الف) در سیستم تهویهٔ مطبوع به‌منظور عدم انتشار نوفه از واحد صنعتی به بیرون

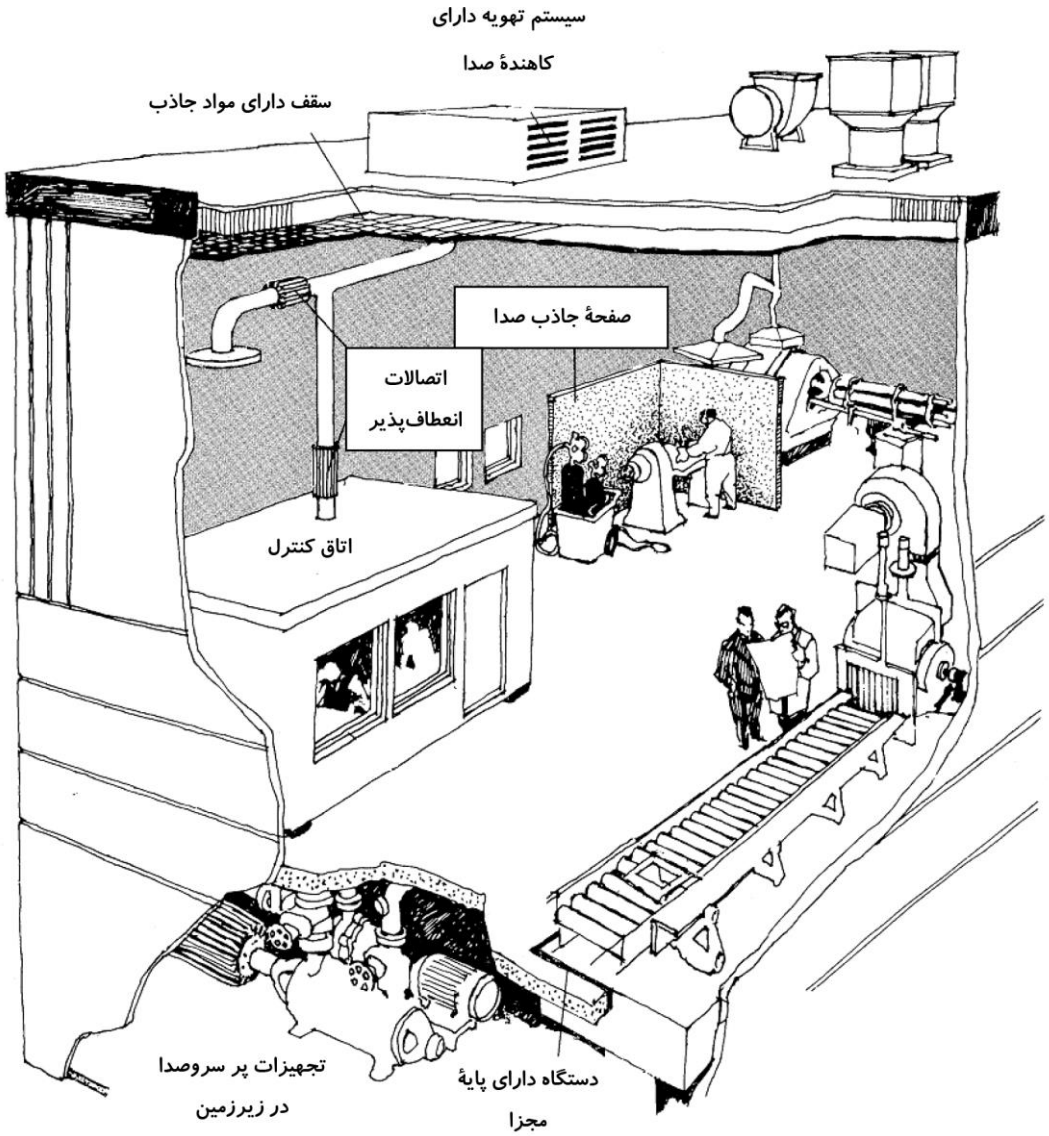
ب) در سقف واحد صنعتی به‌منظور کاهش میزان عبور و انعکاس امواج نوفه

ج) در نزدیک دستگاه برش به‌منظور جذب امواج نوفه در محل منبع آلودگی صوتی

د) همچنین به‌منظور عدم انتقال ارتعاشات بین اجسام جامد، از اتصالات انعطاف‌پذیر در مسیر لوله‌کشی‌ها استفاده شده است. علاوه بر رعایت نکات بالا، برخی از تجهیزات تولید-کنندهٔ آلودگی صوتی نیز به زیرزمین منتقل شده‌اند. همچنین دستگاه‌هایی که لرزش زیادی ایجاد می‌کنند، به پایه‌های جداگانه مجهز شده‌اند. در نهایت اتاق کنترل با استفاده از شیشه‌های دوجداره، درزبند و دیواره‌های عایق به‌منظور تأمین محیطی مناسب برای گروه سرپرست تولید تعبیه شده است.

۴. نتیجه‌گیری

تاکنون مطالعات گسترده‌ای پیرامون وضعیت شنوایی کارگران شاغل در صنایع در سراسر دنیا انجام شده است. این مطالعات بیانگر این نکته بوده است که کاهش شنوایی ناشی از آلودگی صوتی، از جمله مهمترین بیماری‌های شغلی به‌حساب می‌آید و همه‌ساله هزینه‌های گزافی صرف تشخیص و جلوگیری از پیشرفت آن می‌شود. در این مقاله سعی شد تا براساس عوامل اصلی ایجادکنندهٔ آلودگی صوتی در صنعت، اصولی هفت‌گانه برای کاهش نوفه در شرایط گوناگون ارائه شود. در هرقسمت نیز با ذکر نمونه‌هایی کاربردی، استفاده از اصول ذکرشده برای کاهش آلودگی صوتی محیط تبیین گردید. بر اساس مثال‌های بیان شده در هر قسمت، دیده می‌شود که رعایت اصول هفت‌گانهٔ کاهش آلودگی صوتی در محیط بسیار کم‌هزینه اما توأمان با آثار مفید بسیار است. بنابراین رعایت این اصول در طراحی محیط‌های صنعتی و خانگی بسیار ضروری به‌نظر می‌رسد. در انتها نیز برای آشنایی بیشتر با نحوهٔ استفادهٔ ترکیبی از این اصول، کاربردی از ترکیب آنها در کاهش آلودگی صوتی یک محیط صنعتی ارائه گردید.



شکل ۱۰. واحد صنعتی با رعایت نکات اکوستیکی [۱۴]

۵. مآخذ

[۱] میرمحمدی، سیدجلیل، فرناز باباحاجی‌میبدی، فروغ‌نورانی. "بررسی آستانه شنوایی در کارگران مجتمع کاشی میبد"، *مجله دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی شهید صدوقی یزد*، س. ۱۶، ش. ۱، بهار ۱۳۸۷، ص. ۱۳-۸.

[2] Ferrite. S, V. Santana. "Joint effects of smoking, noise exposure and age on hearing loss," *Occupational Medicine* vol. 55, pp. 48-53, 2005.

[3] Kowalska. M. S, A. Dudarewicz, P. Kotylo, E. Szmytke, M. Pawlaczykłuszczyńska, A. Gajda-Szadkowska. "Individual susceptibility to noise induced hearing loss: choosing an optimal method of retrospective classification of workers in to noise-susceptible and noise-resistant groups," *Occupational Medicine and Environment Health*, vol. 19, pp. 235-245, 2005.

[4] Sharon. G, M. Kujawa, L. Chales, "Acceleration of age-related hearing loss by early noise exposure: evidence of a misspent youth," *The Journal of Neuroscience*, vol. 26, 2006.

[۵] حلوانی، غلامحسین، محسن زارع، ابوالفضل برخورداری. "بررسی ارتباط بین صدا و افت شنوایی در کارگران کارخانجات نساجی تابان یزد"، س. ۱۵، ش. ۴، زمستان ۱۳۸۷، ص. ۷۵-۶۹.

[۶] زارع. مهدی، پروین نصیری، سید جمال‌الدین شاه‌طاهری، فریده گلبابایی، تیمور آقاملایی. "آلودگی صوتی و افت شنوایی در یکی از صنایع نفت ایران"، *مجله پزشکی هرمزگان*، س. ۱۱، ش. ۲، تابستان ۸۶ ص. ۱۲۶-۱۲۱.

[۷] تاجیک. رضا، احمد قدمی، فرهاد قمری. "بررسی اثرات آلودگی صوتی بر روی سیستم شنوایی کارگران شاغل در یکی از صنایع فلزی اراک"، *طبیب شرق*، س. ۱۰، ش. ۴، زمستان ۱۳۸۷، ۲۹۹-۲۹۱.

[۸] صفوی. سیدعباس، محمدرضا فتح‌العلومی، علی فتاحی. "بررسی وضعیت شنوایی کارگران کارگاه‌های پر سروصدای کارخانه آزمایش تهران"، *دانشگاه علوم پزشکی و خدمات بهداشتی درمانی شهید بهشتی*، س. ۲۹، ش. ۳، پاییز ۱۳۸۴، ص.۲۴۳-۲۳۹.

[9] Picard. M, S. Girard, M. Simard, R. Larocque, T. Leroux, F. Turcotte. "Association of work-related accidents with noise exposure in work place and noise-induced hearing loss based on the experience of some 240000 person-years of observation," *Accident Analysis and Prevention*, vol. 40, pp. 1644-1652, 2008.

[10] Chang. T, R. Jain, C. Wang, C. Chan. "Effects of occupational noise exposure on blood pressure," *Journal Occupational and Environmental Medicine*, vol. 45, pp. 1289-1296, 2003.

[11] Newman, Robert. B. *NOISE CONTROL FOR BUILDINGS*, CertainTeed.

[12] Randall. F., Barron, *Industrial Noise Control and Acoustics*, Marcel Dekker Inc, 2001.

[13] "Industrial Noise Control Manual," *National Institute for occupational Safety and Health*: NIOSH, 1979.

[14] "Noise Control- A Guide for Workers and Employers," ed: Occupational Safety and Health Administration, 1980.

[15] Sound Absorbers, http://www.acousticsfirst.com/sound-absorbers.htm (accessed February 1, 2015)

[16] Wilson. C. E, *Noise Control*: Krieger, 2005.

[17] Jensen. P., C. R. Jokel, L.N. Miller. *Industrial noise control manual*: Bolt Beranek and Newman Inc 1978.

[18] Bies. D. A., C. H. Hansen. *Engineering noise control*: Spon Press, 2003.

پی‌نوشت

1. Noise
2. Infrasound
3. Audible sound
4. Ultrasound
5. Peliny
6. Ramaziny
7. Mutual
8. Level
9. National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), http://www.cdc.gov/niosh (accessed February 1, 2015)
10. Muffler
11. Reflecting muffler
12. Absorbing muffler