

کنترل سازه ها نگاهی نو در طراحی سازه ها

چکیده :

مبحث کنترل سازه‌ها موضوع نوینی در طراحی سازه‌ها می‌باشد که به تازگی مورد توجه قرار گرفته است. استفاده از روشهای کنترل در طراحی سازه‌ها باعث اقتصادی تر شدن طرح می‌شود و دستیابی سریع تر و منطقی تر به هدف مورد نظر که عملاً کنترل رفتار سازه در محدوده قابل قبول است را ممکن می‌سازد.

در این مقاله به بیان مفاهیم و کلیات مربوط به کنترل سازه‌ها و همچنین مقایسه تفاوت موجود بین روشهای سنتی طراحی سازه‌ها و روشهای جدیدتر که پایه آنها استفاده از سیستم کنترل فعال و غیرفعال است پرداخته می‌شود. در اینجا تمام بررسی‌ها و مقایسه‌ها بر روی کنترل صوت متمرکز شده است و از ویژگیهای دزگیر صوتی سازه‌ای برای کنترل صوت انتشار یافته در فضا استفاده می‌شود.

مقدمه:

به طور کلی موج صوتی (sound wave) به هر اغتشاشی که در یک محیط الاستیک انتشار پیدا کرده است اطلاق می‌شود. این محیط می‌تواند گاز، مایع و یا جامد باشد. این تعریف شامل موجهای فراصوتی، صوتی و زیر صوتی (ultrasonic, sonic, and inforasonic) می‌شود. اما آنچه در اینجا و کلاً در مبحث کنترل صوت مطرح است همان موجهای صوتی (Sonic waves) می‌باشد که قابل تشخیص بوسیله حس شنوایی انسان است.

بعضی معضلات صوتی عبارتند از: از دست دادن قدرت شنوایی به صورت دائمی یا موقتی در یک کارخانه، کیفیت پایین انتقال صدای سخنران در یک سالن کنفرانس، عدم تمرکز مناسب در کلاس یا کتابخانه و... برای تقویت کردن میدان صوتی مورد نظر و یا کاهش شدت میدانهای صوتی مضر و کلاً بهبود شرایط صوتی، باید رابطه بین منبع صوتی، محیط انتقال صوت و محل دریافت صوت و ویژگیهای میدان صوتی منتشر شده مشخص شود. پس از آن می‌توان با روشهای مناسب به کنترل صوت منتشر شده پرداخت. معمولاً روشهای متنوع زیادی برای این کار وجود دارد، ولی توجه به جنبه‌های اقتصادی باعث عدم قابلیت استفاده از بعضی از آنها و میل به سمت استفاده از بعضی دیگر است. به عنوان مثال اگر هدف کنترل صوت ایجاد شده داخل یک کارخانه باشد می‌توان از یک یا ترکیبی از روشهای زیر استفاده کرد.

۱- کنترل منبع انتشار صوت: کاهش دادن توان صوت خروجی از منبع ارتعاشی با طراحی بهتر آن یا عایق بندی کردن آن و یا با ایزوله کردن منبع انتشار بوسیله محفظه‌های بسته و ..

۲- کنترل میدان مستقیم صوتی انتشار یافته: افزایش فاصله محل دریافت صوت و منبع ارتعاشی یا ایزوله کردن محل دریافت و یا طراحی مناسب وسایل داخل کارخانه و یا خودسازه کارخانه برای شکست بیشتر صوت و کم کردن میدان مستقیم صوتی

۳- کنترل میدان صوت انعکاسی: بوسیله استفاده از مواد جذب کننده صوت در دیوارها و .. آنچه در موارد بالا عنوان شد کنترل صوت به صورت غیر فعال (Passive) بود و اگر چه کنترل غیر فعال تاکنون کاربرد زیادی هم داشته است. اما از لحاظ اقتصادی نیز معمولاً هزینه‌های بالایی را در بر دارد. بنابراین اخیراً روشهای کنترل فعال که در صورت طراحی مناسب و قابلیت به کارگیری معمولاً کارایی و بازده بیشتری نیز دارند

مورد توجه قرار گرفته است. کنترل فعال را نیز مانند کنترل غیر فعال می‌توان در مراحل مختلف انتشار صوت به کار برد، به عنوان مثال کنترل منبع ارتعاشی یا کنترل میدان صوتی و یا کنترل ارتعاشات سازه‌های منعکس کننده و یا عبور دهنده صوت و ...

در این مقاله ابتدا به توضیحی مختصر راجع به موج صوتی و پارامترهای مربوط به صوت پرداخته می‌شود سپس کلیاتی راجع به عوامل ایجاد میدانهای صوتی در فضا ارائه می‌شود. پس از آن برخی روشهای عمده کنترل غیر فعال صوت از جمله محفظه‌های بسته و پوشش دهنده‌ها به صورت خلاصه عنوان می‌شوند و سپس مطالبی راجع به کنترل فعال صوت و تحقیقات راجع به آن خواهد آمد. در این قسمت ابتدا امکان پذیری کنترل میدان صوتی عبوری از یک صفحه به وسیله کنترل ارتعاشات آن صفحه بررسی می‌شود. سپس راجع به توانایی محرکهای پیروالکترونیک در کنترل صوت انتقالی از میان صفحات بحث می‌شود و اینکه آیا می‌توان از آنها در کنترل صوت استفاده کرد. پس از آن در قسمت سوم به بررسی کنترل صوت منتقل شده از میان سیستم‌های دو جداره پرداخته می‌شود. و در مورد اثر پارامترهای مختلف مؤثر بر آن تحقیق می‌شود. همچنین به سؤال مهمی راجع به سیستم‌های دوجداره پاسخ داده می‌شود که آیا می‌توان به جای کنترل جداری که با منبع صوتی در ارتباط است جداری را که با قسمت دریافت کننده صوت در ارتباط است کنترل کرد و اثر کدام عامل بیشتر است؟

موج صوتی و پارامترهای مربوط به آن:

هر ارتعاشی که فرکانس آن در حوزه شنوایی انسان قرار داشته باشد باعث تغییر فشار در هوای داخل گوش انسان می‌شود و این تغییر فشار را انسان به عنوان صدا درک می‌کند. تفاوت این فشار ایجاد شده با فشار اتمسفر به عنوان فشار صوت (Sound pressure) در نظر گرفته می‌شود (با واحد پاسکال P_a) گوش انسان فرکانسهای حدود ۱۵HZ تا ۱۶/۰۰۰HZ را حس می‌کند. که به این ناحیه فرکانس شنوایی نرمال گویند. اما گوش انسان در فرکانسهای بین ۳۰۰۰ تا ۶۰۰۰HZ حساستر است و همچنین حداقل فشار صوتی برابر 20Mpa را حس می‌کند.

شدت صوت:

دومین پارامتر مهمی که معمولاً در محاسبات مربوط به صوت اندازه‌گیری می‌شود شدت صوت است شدت صوت، توان پیوسته صوت که در یک نقطه از فضا از میان مساحتی کوچک می‌گذرد، می‌باشد. واحد آن وات بر واحد سطح (w/m^2) است. به عبارت دیگر شدت صوت معرف میزان انرژی منتقل شده توسط موج صوتی است.

سطح شدت صوت (Sound Intensity level)

معرف همان شدت صوت است، اما واحد آن بل (یا دسی بل) می‌باشد و به صورت زیر تعریف می‌شود.

$$\text{Intensity level} = L_1 = 10 \log \frac{I}{I_0}$$

که در آن I_0 شدت صوت مبنا است و برابر $10^{-12} w/m^2$ است.

جذر میانگین مربعات فشار صوت (P_{rms})

اغلب اصوات شامل سربهای نامنظمی از اغتشاشات با فشار مثبت و اغتشاشات با فشار منفی هستند که این فشارهای مثبت و منفی نسبت به یک فشار تعادلی اندازه‌گیری شده است. اگر مقدار میانگین فشار صوت را اندازه بگیریم مقادیر مثبت و منفی یکدیگر را حذف می‌کند و این مناسب نیست بنابراین به جای آن از جذر میانگین مربعات فشار صوت استفاده می‌شود. (P_{rms})

انواع عوامل ایجاد میدانهای صوتی در فضا

صوت انتشار یافته در فضا به علل مختلفی ایجاد شده است که عمده آنها عبارتند از:

- جریان ناپایدار گاز و همچنین برهمکنش جریان گاز با اجسام صلب باعث ایجاد صوت می‌شود که به آن صوت آئرو دینامیکی (Aerodynamic Sound) گویند. این جریان گاز اغلب باعث تهییج مدهای ارتعاشی در سطحی از سازه که جریان گاز را احاطه کرده است می‌شود و باعث ایجاد صوت انتقالی - سازه‌ای می‌شود. این صوت ایجاد شده توسط جریان گاز در اغلب فرایندهای صنعتی (تولید کشتی، هواپیما، اتومبیل، راکت و ...) بوجود می‌آید و علاوه ایجاد مزاحمت صوتی ممکن است بر پایداری سازه اثر گذارد و یک عامل برای ایجاد پدیده خستگی باشد.

- صوت ایجاد شده به علت ارتعاشات موتور احتراقی رفت و برگشتی اتومبیل که از سطح خارجی موتور به فضا انتشار می‌یابد و به طور کلی هر وسیله مکانیکی که در آن برخورد و حرکت اعضای مختلف وجود دارد.

- وسایل الکتریکی (ماشین های الکتریکی، موتورهای الکتریکی، ژنراتورها) نیز می‌توانند باعث ایجاد ارتعاشات صوتی به علت عوامل الکترومغناطیس، مکانیکی و آئرو دینامیکی شوند، که اثر هر کدام از این عوامل ایجاد صوت بستگی به نوع وسیله الکتریکی دارد. عوامل مکانیکی و آئرو دینامیکی مستقیماً باعث ایجاد و انتشار صوت می‌شود ولی عامل الکترومغناطیسی که مختص وسایل الکتریکی است باعث ارتعاشات مکانیکی دستگاه می‌شود که این ارتعاشات باعث ایجاد صوت می‌شوند.

بعضی روشهای کنترل غیر فعال صوت

محفظه‌های بسته و پوشش دهنده‌ها (Enclosures & wrapping)

یکی از مواردی که بیشترین استفاده را در کاهش ارتعاشات صوتی منتشر شده بوسیله تجهیزات، ماشین آلات، لوله‌ها و ... دارد، محفظه‌های بسته است. همچنین محفظه‌های بسته برای جلوگیری از اثر صوت با شدت زیاد بر انسان یا تجهیزات حساس به کار می‌روند. محفظه‌های معمول دارای جدارهایی از مصالح چند لایه هستند که لایه خارجی آن دارای جنسی از مصالح نفوذ ناپذیر و لایه داخلی آن یک لایه متخلخل و دارای جنسی از مصالح جذب کننده صدا است. لایه صلب و متراکم خارجی انرژی صوتی منتشر شده از منبع صوتی را داخل محفظه نگه می‌دارد و لایه متخلخل و جذب کننده صوت داخلی این انرژی صوتی را مستهلک می‌کند.

تفاوت کلیدی محفظه‌های بسته (Enclosures) و پوشش دهنده‌ها (wrapping) اینست که در محفظه‌های بسته (Enclosures) محفظه با منبع ارتعاشی تماسی ندارد و از آن فاصله دارد ولی در پوشش دهنده‌ها (wrapping) لایه متخلخل و جذب کننده صوت به طور کامل با سطح خارجی جسم مرتعش تماس دارد و آنرا کاملاً احاطه کرده و پوشانده است. یکی از معایب پوشش دهنده‌ها نسبت به محفظه‌های بسته اینست که

به دلیل تماس پوشش دهنده‌ها با سطح خارجی منبع ارتعاشی (جسم مرتعش) برخورد سطح مرتعش و لایه خارجی پوشش دهنده باعث ارتعاش لایه خارجی پوشش دهنده می‌شود و این باعث انتشار ارتعاشات صوتی به خارج از فضای پوشش دهنده می‌شود و از بازدهی آن می‌کاهد.

پوشش دهنده‌ها کاربرد زیادی در کاهش ارتعاشات صوتی سطح‌های ارتعاشی نظیر خطوط لوله گاز و آب و ... دارند. از آنجا که فایبر گلاس (glass fiber) و پشم شیشه (mineral wool) که معمولاً به عنوان مواد جذب کننده صدا در پوشش دهنده‌ها به کار می‌روند، عایق‌های خوبی برای حرارت هستند پس این پوشش دهنده‌ها هم به عنوان عایق حرارتی و هم عایق صوتی می‌توانند به کار روند.

کاربرد محفظه‌های بسته بیشتر مواقع برای احاطه کردن یک وسیله ارتعاشی مدوله صوت است تا صوت انتشار یافته که به یک دریافت کننده صوت (receiver) در خارج از محفظه می‌رسد کاهش یابد و از این محفظه‌ها بسیار کم برای احاطه کردن دریافت کننده صوت (ممکن است یک وسیله حساس باشد) به منظور کاهش صوت منتشر شده از یک منبع خارج از آن که به دریافت کننده می‌رسد استفاده می‌شود.

کنترل فعال صوت (Active control of Sound)

در این قسمت کنترل فعال صوت منتقل شده از میان صفحات که باعث ارتعاش آن صفحات نیز می‌شود مورد بررسی قرار گرفته و کنترل صوت انتشار یافته در فضا توسط کنترل ارتعاشات صفحه‌ای که میدان صوتی از آن عبور کرده یا مجاور آن است، صورت می‌گیرد.

البته روشهای کنترل دیگری هم برای کنترل ارتعاشات صوتی در فضا وجود دارد. مثلاً یک روش استفاده از تعدادی بلندگو (Speaker) است که صوتی با فاز مخالف در فضا ایجاد کنند و در نهایت میدان کلی صوتی کاهش یابد. اما این روش در عمل به تعداد زیادی بلندگو نیاز دارد و به صورت کلی غیر قابل اجرا است. در این جا همانطور که در مقدمه به آن اشاره شد کنترل فعال صوت انتقال یافته از میان صفحات بوسیله کنترل ارتعاشات آن صفحه در حالت مختلف و موارد مربوط به آن تحت بررسی قرار خواهد گرفت.

۱- کنترل فعال انتقال صوت از میان یک صفحه مستطیلی

به منظور بررسی کنترل فعال انتقال صوت بوسیله قرار دادن محرکهایی روی صفحه‌ای که انتقال صوت از میان آنها صورت می‌گیرد و کنترل ارتعاشات آن، آزمایش‌هایی توسط توماس (D.R. THOMAS) و دیگران انجام شده است که در اینجا شرح داده می‌شود.

برای انجام این آزمایش (مطابق شکل ۱) از دو اتاقک مجزا، که میان آنها محلی برای قرار دادن صفحه مستطیلی وجود دارد استفاده شده است. اتاقک سمت راست با حجم $152m^3$ برای قرار گرفتن منبع ایجاد صوت و اتاقک سمت چپ با حجم $348m^3$ برای قرار گرفتن تعدادی میکروفون (که مقدار صوت رسیده به آنها را اندازه می‌گیرند) در نظر گرفته شده است. صوت ایجاد شده توسط منبع صوتی به صفحه مستطیلی برخورد می‌کند و باعث ارتعاش آن می‌شود و این ارتعاشات باعث انتقال صوت به اتاقک سمت راست می‌شود و این صوت پس از عبور از

فضای این اتاقک به سیم پیچ (Coil) که به عنوان محرک (actuator) بر روی صفحه مستطیلی قرار گرفته اند ارتعاشات این صفحه کنترل می شود. موقعیت محرکها مطابق شکل ۲ به صورت زیر است:

محرک اول در $x=45\text{ cm}$ و $y=25\text{ cm}$

محرک دوم در $16/5\text{ cm}$ و $y=20\text{ cm}$

محرک سوم در $x=27\text{ cm}$ و $y=63\text{ cm}$

در این آزمایش در اتاقک سمت چپ ۲۴ میکروفن به طور تصادفی (Random) پخش شده اند. الگوریتم به کار گرفته شده برای کنترل الگوریتمی مشابه الگوریتم L.M.S است و همچنین تابع هدفی که در اینجا مینیمم می شود عبارت است از مجموع مجذورات فشار در میکروفن ها (که این کار با اعمال نیروی کنترل توسط محرکها به صفحه انجام می شود).

همانطور که گفته شده پارامتر اصلی در نظر گرفته ، مجموع مجذورات فشار در میکروفون ها (۲۴ میکروفن) است که به صورت زیر نوشته می شود.

$$J_{p24} = \sum_{n=1}^{24} |p_n|^2$$

کاهش در این مقدار مشخصه خوبی برای نشان دادن میزان کارایی کنترل فعال می‌باشد. لذا این مقدار به عنوان تخمینی از توان صوت مرتعش شده از صفحه در یک فرکانس مشخص منبع ارتعاش در نظر گرفته می‌شود.

آزمایشها در یک محدوده فرکانسی ۸۰ تا ۱۰۰ HZ انجام شده‌اند و در این محدوده فرکانس، صفحه مورد نظر چگالی حدی پایینی دارد بنابراین هرگونه وابستگی به نتایج کنترل فعال ارتعاشات صفحه به خوبی قابل تشخیص خواهد بود.

همانطور که در شکل ۱ دیده می‌شود چهار محل اولیه مختلف برای محل منبع صوتی در نظر گرفته شده است و برای هر کدام به طور مجزا آزمایش فوق انجام شده است.

نتایج و جداول

در شکل ۳ در محدوده فرکانسی ۸۰ تا ۱۰۰ Hz برای فرکانسهای مختلف و همچنین برای هر ۴ حالت قرارگیری منبع صوتی تغییرات در کاهش مقدار J_{p24} نشان داده شده است. در این حالت کنترل توسط هر سه محرک انجام شده است. با توجه به شکل مشخص است که ΔJ_{p24} تغییرات زیادی هم به ازای تغییر فرکانس و هم به ازای تغییر محل منبع صوتی دارد.

در شکل ۴ بیشترین مقدار ΔJ_{p24} برای حالت استفاده از یک، دو و یا سه محرک در فرکانسهای مختلف منبع صوتی رسم شده است. با توجه به این شکل مشاهده می‌شود که تعداد نیروی محرک استفاده شده تغییرات کمی بر کاهش صوت انتقالی در این محدوده فرکانسی گذاشته است.

بحث روی نتایج

شکل ۴ نشان می‌دهد که تعداد مختلف نیروهای محرک (که برای کنترل صفحه به کار می‌رود) اثر کمی روی نتایج کنترل می‌گذارد. بنابراین برای اغلب فرکانسهای به کار رفته در این آزمایش یک مد غالب وجود دارد.

نتایج نشان داد که امکان استفاده از نیروهای کنترل برای کنترل انتقال صوت از میان یک صفحه با لبه‌های گیردار وجود دارد، چه وقتی که صفحه در حالت تشدید باشد و چه وقتی که صفحه در حالت تشدید نباشد. مشکل است که نتیجه گیری قاطع دیگری از این نتایج بتوان انجام داد زیرا تغییر در موقعیت اولیه منبع صوتی تغییرات زیادی در نتایج ایجاد می‌کند، اما واضح است که رابطه پیچیده‌ای بین کنترل فعال و پاسخ مدی صفحه وجود دارد. تحقیقات بیشتر که شامل آنالیز ارتعاشات صفحه باشد ممکن است ماهیت نتایج را نشان دهد و مکانیزم کنترل را مشخص تر سازد.

۲- کنترل فعال انتقال صوت از میان صفحه‌ای مستطیلی با به کارگیری محرکهای پیزوالکتریک:

در این قسمت تحقیقاتی راجع به تواناییهای محرکهای پیزوالکتریک در کنترل صوت مورد بررسی قرار می‌گیرد. مسئله در این جا کنترل صوت منتقل شده - مرتعش شده از میان یک صفحه دایره‌ای گیردار با ضخامت کم، می‌باشد. یک موج صفحه‌ای (plane wave) در یک طرف صفحه ایجاد شده است و مقداری از آن از میان صفحه انتقال پیدا کرده و باعث ارتعاشات آن شده است. این موج انتقالی یک میدان اولیه است. یک محرک پیزوالکتریک پی شکل روی سطح صفحه قرار داده شده است و ولتاژ آن بوسیله یک سیگنال سینوسی که فرکانس آن با فرکانس صوت یکی است فعال شده است. هدف محاسبه شدت ولتاژ مورد نیاز برای محرک است که این شدت می‌تواند طوری رفتار ارتعاشی صفحه را بهبود بخشد که میدان صوتی منتقل شده به صورت کلی مینیمم شود. این هدف با مینیمم کردن کل توان صوت منتقل شده از صفحه بدست می‌آید. پس از نائل شدن به چنین هدفی می‌توان گفت که این نوع محرکها (پیزوالکتریک) می‌توانند با کارایی بالا ارتعاشات صوتی را در فرکانسهای متنوع (در حالت تشدید یا غیر آن) کنترل کنند.

نتایج شامل توزیع ارتعاشات صفحه و میدان صوتی منتشر شده برای حالت اولیه و حالت کنترل شده می‌باشد. نشان داده خواهد شد، که هم اندازه و هم موقعیت این محرکها نقش مؤثری در کنترل دارند. باید توجه شود که نتایج زیر به صورت تخمینی و دقیق تنها برای محرکهای کوچک که شکل آنها را بتوان تقریباً مستطیلی فرض کرد معتبر هستند.

نتایج و بحث

مشخصات فیزیکی صفحه به کار رفته در محاسبات در جدول ۱ آمده است. محیط انتشار هوا و موج سطحی القا شده در θ_i برابر ۴۵ درجه به صفحه اثر می‌کند. اندازه و موقعیت عناصر محرک در هر حالت مطالعه شده ارائه شده است. در ابتدا مسئله مقادیر ویژه صفحه به ازاء (Natural wave number) مختلف بوسیله تکنیک نیوتن-رافسن حل شده و ۳۶ فرکانس تشدید اولیه در جدول ۲ ارائه شده است.

تمام محاسبات کامپیوتری انجام شده در اینجا دارای فرکانسهای بی بعد شده (K_0a) برابر ۰/۲۱، ۰/۳۲۶۵ و ۰/۴۵ هستند. با توجه به اینکه فرکانس بی بعد شده مد (۰ و ۱) برابر ۰/۲۱۷۵ و مد (۱ و ۰) برابر ۰/۴۵۱۸۶ است (اینها دو مد اول ارتعاش صفحه هستند) بنابراین محاسبات در فرکانس مد ارتعاش اول، دوم و در فاصله بین آنها انجام شده است. هنگام استفاده از ضرایب و روابط مربوطه در محاسبات تنها از ۳۶ مد اول ارائه شده در جدول ۲ استفاده شده است که تعداد مدهای در نظر گرفته شده بیش از حد مورد نیاز به نظر می‌رسد. انتگرالها در بعد α مختصات کروی با استفاده از قانون سیمون سه نقطه‌ای محاسبه شده است.

از آنجا که نمودارها را نمی‌توان به صورت سه بعدی رسم کرد، نتایج در راستای قطری که مشخص کننده $\theta = 0$ و $\theta = \pi$ است رسم شده است. بنابراین مقادیر مثبت r/a مقادیر راستای $\theta = 0$ صفحه و مقادیر منفی r/a مقادیر در راستای $\theta = \pi$ را نشان می‌دهند. در زیر نتایج بدست آمده ارائه شده است. توجه شود که نتایج مربوط به فشار صوت ارتعاشی با مقدار $|RC_R|$ نرمال شده است. (c_R ضریب و R فاصله از مرکز است)

موقعیت محرک: $R_1=0.15m$ و $R_2=0.18m$ و $\theta_1 = -15.0 \text{ deg}$ و $\theta_2 = -15.0 \text{ deg}$

در این حالت اندازه محرک نسبت به صفحه (شعاع صفحه برابر ۰/۲m است) کوچک است شکل آن نیز تقریباً مستطیلی است.

شکل ۷ میدان صوتی ایجاد شده در فضا را در حالتی که فرکانس موج اولیه ارتعاشی برابر $360/15 \text{ rad/s}$ است نشان می‌دهد که این فرکانس بسیار نزدیک به فرکانس مد اول (مد (۰ و ۱)) صفحه می‌باشد. همانطور که انتظار می‌رود. میدان صوتی در حالت کنترل نشده دارای ویژگی تک قطبی است و صفحه به صورت عمده در مد اول مرتعش شده است (مد (۰ و ۱)) به علاوه این مد دارای بالاترین بازده ارتعاشی نسبت به سایر مدها

است. وقتی ولتاژ بهینه مربوط به پیزوالکتریکها به آنها اعمال شود، ارتعاشات اضافی ایجاد شده در صفحه که عمدتاً دارای ویژگی دو قطبی هستند با ارتعاشات مد اول ترکیب می‌شوند و ارتعاشات باقیمانده غالباً در مد (۱و۱) است. بنابراین مشاهده می‌شود که مد (۱و۱) (مد اول) به صورت کامل کنترل شده است و با توجه به شکل حداقل کاهشی برابر ۵۵ dB در سطح فشار صوت (SPL) ایجاد شده است.

همچنین شکل ۸ پروفیل جابجایی صفحه در حالت کنترل نشده و کنترل شده را نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که در حالت کنترل نشده ارتعاشات صفحه در مد (۱و۱) است ولی پس از اعمال نیروهای کنترل جابجایی صفحه شامل ترکیبی از مدهای بالاتر است که البته مد (۱و۱) در آن غالب است (این نشان دهنده همان ویژگی دو قطبی میدان صوتی اضافه شده می‌باشد)

شکل ۹ و ۱۰ مربوط به انجام محاسبات در حالتی است که فرکانس موج اولیه برابر ۷۷۱/۷۵s است که بسیار نزدیک به فرکانس مد دوم ارتعاشی صفحه یعنی مد (۱و۱) است. در حالت کنترل نشده با توجه به شکل چه در میدان صوتی انتقالی و چه در ارتعاشات صفحه مد (۱و۱) غالب است. نیروی کنترل اعمال شده در این حالت دارای ویژگی تک قطبی است و همانطور که در شکل ۹ مشاهده می‌شود میدان صوتی کنترل شده ترکیبی از مد (۱و۱) که مناسب است و مدهای بالاتر می‌باشد. ارتعاشات صفحه حداقل ۳۰dB در ارتعاشات میدان صوتی حداقل ۱۵dB در اکثر نقاط نیمکره (فضا) کاهش یافته است.

اکنون حالتی در نظر گرفته می شود که در آن فرکانس موج ارتعاشی اولیه بین دو مقدار فوق باشد (560 rad/s). با توجه به شکل ۱۱ الگوی ارتعاشی (قبل از اعمال کنترل) به صورت غالب شامل مد (۰ و ۱) است، اما میدان کنترل شده تنها شامل مد (۱ و ۰) می باشد. کاهش در صوت حداقل 20 dB بوده است. با توجه به شکل ۱۱ از یک سو به نظر می رسد که مد (۰ و ۱) خوب کنترل شده است از سوی دیگر با توجه به شکل ۱۲ مقدار زیادی وارد شدن (Spillover) به مد (۱ و ۰) وجود دارد. در اینجا محرک سعی می کند حالت بهینه ای را بین دو عامل درگیر با هم انتخاب کند. اگر محرک بخواهد مد (۰ و ۱) را به خوبی کنترل کند. وارد شدن ارتعاشات صفحه به مد (۱ و ۰) خود باعث تشدید ارتعاشات می شود پس کنترل وقتی بهینه است که یک توازن بین کاهش مد (۰ و ۱) و افزایش مد (۱ و ۰) ایجاد شود.

به وضوح (با توجه به شکل ۱۲) مشخص است که هیچگونه کاهش قابل توجهی در انرژی ارتعاش صفحه در این حالت صورت نگرفته است (در حالت کنترل شده نسبت به قبل از آن) اما توزیع جدید انرژی در صفحه باعث کاهش قابل ملاحظه ای در میدان صوتی ارتعاشی شده است.

نتایج بدست آمده به وضوح کارایی پیزوالکتریک ها را نشان می دهد زیرا تغییر اندک در ارتعاشات صفحه باعث تغییر بسیار زیادی در میدان صوتی منتشر شده گذاشته است. برای بدست آمدن نتایج بهتر می توان از تعداد بیشتری محرک استفاده کرد.

۳- کنترل فعال انتقال صوت از میان سیستم های دوجداره

در این قسمت کنترل سازه ای فعال صوت (ASAC) در یک سیستم دو جداره بررسی می شود. مجموعه ای از آزمایشها در این قسمت انجام شده است. تکنیک کنترل، اعمال همان کنترل فعال سازه ای صوت (ASAC) می باشد (محرک ها روی سازه قرار داده می شوند و ارتعاشات سازه را کنترل می کند و این باعث کنترل سازه ای صوت منتشر شده می شود). نیروهای کنترل توسط محرک های پیزوالکتریک به سازه اعمال می شوند و فشار میدان صوتی ایجاد شده مینیمم می شود. برای کنترل از الگوریتم حداقل میانگین مربعات (LMS) استفاده شده است.

چندین آزمایش برای نشان دادن اعتبار اعمال ASAC (کنترل سازه‌ای فعال صوت) به سیستم دو جداره انجام شده است و به صورت خاص اثر سیستم کنترل، سختی پانل ارتعاشی، فرکانس تحریک و میدان صوتی ایجاد و مشخصات سیستم کنترل اعمالی است مورد مطالعه قرار گرفته است .

سیستم دو جداره شامل دو صفحه که میان آنها خلاء هوا وجود دارد می‌باشد که این صفحات داخل دیوار جدا کننده اتاقهای انعکاسی (مطابق شکل ۱۳) قرار دارند. در شکل ۱۳ مشخصات دو اتاقک انعکاسی، محل قرار گرفتن منبع صوتی در حالت‌های مختلف و سایر مشخصات نشان داده شده است.

پانل القایی (incident) از جنس آلومینیم و با ابعاد $I_x=381\text{mm}$ و $I_y=305\text{mm}$ و ضخامت $1/6\text{mm}$ می‌باشد. دو پانل ارتعاشی (radiating) با جنس‌های مختلف استفاده شده‌اند. یکی از جنس فایبر گلاس G_{10} (نسبتاً انعطاف پذیر) و دیگری از جنس تخته سه لا (Sandwich biavd) (نسبتاً سخت) ابعاد هر دو پانل برابر همان ابعاد پانل القایی است تنها تفاوت در ضخامت پانل سخت است که برابر $10/2\text{mm}$ است. مشخصات پانل‌ها در جدول ۳ ارائه شده است.

صفحات (پانل‌ها) داخل یک قاب سخت فولادی که مانند تکیه‌گاه گیردار عمل می‌کند قرار داده شده‌اند. فاصله بین صفحات 48mm است. تحریک هارمونیک برای پانل القایی بوسیله یک بلندگوی بزرگ در اتاقک منبع (اتاقک سمت چپ) ایجاد می‌شود. ارتعاشات منتقل شده توسط جدار اتاقک منبع به داخل اتاقک دریافت کننده (اتاقک سمت راست) ناچیز فرض می‌شود. بنابراین تنها راه عبور صوت به این صورت است که موج صوتی ایجاد شده توسط بلندگو باعث ارتعاش صفحه القایی شود، که این انرژی را به قسمت خلاء هوا منتقل می‌کند و از آنجا به صفحه ارتعاشی می‌رسد و باعث ارتعاشی آن می‌شود و سپس این صفحه مرتعش انرژی را به داخل اتاقک دریافت کننده می‌فرستد.

یک سؤال مهم در اینجا وجود دارد و آن اینست که : آیا اعمال نیروهای کنترل به صفحه ارتعاشی به جای صفحه القایی کارایی و اثر بیشتری در کنترل صوت ایجاد شده داخل اتاقک دریافت کننده ندارد؟

در اینجا آزمایشها بوسیله کنترل هر دو پانل انجام شده است تا جواب سؤال بالا مشخص شود ولی در همین جا می توان گفت از آنجا که پانل ارتعاشی به صورت مستقیم با میدان صوتی ایجاد شده در اتاقک دریافت کننده در ارتباط است پس کنترل مؤثرتر باید کنترلی باشد که ارتعاشات صفحه ارتعاشی را کنترل می کند.

نتایج و بحث:

ساختار سیستم کنترل:

برای مطالعه اثر شکل سیستم کنترل (یعنی تفاوت قراردادن نیروهای کنترل روی صفحه القایی یا ارتعاشی)، نیروهای کنترل به صورت مجزا روی هر دو صفحه قرار داده شده اند و مقدار کاهش در انتقال صوت (TL) برای هر دو حالت اندازه گیری شده است. صفحه انعطاف پذیر برای پانل ارتعاشی انتخاب شده است. فرکانس مربوطه ۲۱۸HZ (حالت غیر تشدید) و موج صوتی اولیه به صورت انعکاسی انتخاب شده است. نتایج در جدول ۶ ارائه شده است. همچنین تجزیه مدی پاسخ صفحه ارتعاشی در دو حالت کنترل نام برده شده در شکل ۱۴ ارائه شده است.

با توجه به جدول ۶ کنترل پانل ارتعاشی بیش از ۵dB کاهش در صوت انتقالی ایجاد کرده است. شکل ۲۷a نشان می دهد وقتی نیروی کنترل به صفحه القایی وارد می شود، پاسخ ارتعاشات صفحه ارتعاشی مقداری کاهش در دو مد عمده خود (۱و۱) و (۳و۱) و در سایر مدها نشان می دهد. بر عکس شکل ۵b نشان می دهد وقتی نیروی کنترل به صفحه ارتعاشی وارد می شود مقدار کاهش دو مد عمده ارتعاشات صفحه (۱و۱) و (۳و۱) مقدار بیشتری است. و یک مقدار افزایش در مد (۳و۲) صفحه ایجاد شده است. ورودیهای کنترل که به طور مستقیم بر ویژگیهای درگیر صوتی-سازه ای اثر گذارند (یعنی

نیروهایی که بر صفحه القایی وارد می‌شوند) تنها می‌توانند ارتعاشات مؤثر صوتی را کنترل کنند (modal restructuring) در حالیکه ورودیهای کنترل که نمی‌توانند مستقیماً بر ویژگیهای درگیر صوتی-سازه‌ای اثر گذارند (یعنی نیروهایی که بر صفحه القایی وارد می‌شوند) باید تمام مدهای ارتعاشی را کنترل کنند (modal suppression). بنابراین برای یک سیستم کنترل با تعداد محدوده محرکهای کنترل حالت اول (modal restructuring) کارایی بیشتری برای کاهش انتقال صوت نسبت به حالت دوم (Modal suppression) دارد و این به علت تعداد نسبتاً کمتری از مدهای سیستم که نیاز به کنترل دارند می‌باشد (به عبارت دیگر کنترل مدهای ارتعاشی مؤثر در مقابل تمام مدها).

نتیجه‌گیری:

در این مقاله روشهای متنوعی از کنترل صوت مورد بررسی قرار گرفت که در مورد کنترل فعال صوت نتایج زیر جالب توجه است. دو قسمت اول کنترل فعال، نشان داده شده که امکان استفاده از نیروهای کنترل برای کنترل صوت از میان یک صفحه با لبه‌های گیردار وجود دارد. با توجه به محاسبات تئوریک مشخص شد که عناصر پیزوالکتریک که روی یک صفحه قرار داده شده‌اند می‌توانند برای کاهش صوت منتقل شده یا مرتعشی شده از صفحه به کار روند. در قسمت دوم کنترل فعال یک موج صوتی مسطح اولیه از یک سمت صفحه به آن انتقال پیدا کرد و نشان داده شد که کاهش کلی در صوت هم در حالت تشدید صفحه و هم در غیر آن (با بدست آوردن مقدار بهینه ولتاژ محرک برای مینیمم کردن توان کل صوت مرتعش شده) قابل دستیابی بود. بر اساس آنچه انجام شد مشخص شد که هم اندازه و هم موقعیت محرک‌ها اثر قابل توجهی در میزان کنترل می‌گذارند. برای کنترل بهتر می‌توان از تعداد بیشتری محرک در موقعیتهای مختلف استفاده کرد به طوری که هم فاز یا با فاز مخالف با هم عمل می‌کنند و این هم باعث کنترل بهتر ارتعاشات می‌شود و هم تا حدود زیادی از وارد شدن ارتعاشات به مدهای دیگر جلوگیری می‌کند. در سیستم‌های دو جداره اعمال کنترل به پانل ارتعاشی باعث کاهش بیشتری در صوت انتقالی می‌شود و علت آن اثر مستقیم آن روی طبیعت درگیر صوتی -سازه‌ای بین پانل ارتعاشی و اتاقک دریافت کننده است.

مراجع

1. Thomas, R.D. Nelson, P.A., Elliott, S.J., "Experiments on the Active Control of the Transmission of Sound Through a Clamped Rectangular Plate" , Journal of Sound and Vibration, 139(2), pp 351-355(1990)
2. Dimitriadis , E.K., Fuller , C.R., "Active Control of Sound Transmission Through Elastic Plates Using Piezoelectric Actuators", AIAA Journal , Vol 29, No.11, pp 1771-1777(1991)
3. Carneal , J.P., Fuller, C.R., "Active structural Acoustic Control of Noise Transmission Through Double Panel Systems", AIAA Journal , Vol 33, No.4, pp.618(1995).
4. Beranek, Leo L. and Ver, Istran L., Noise and Vibration Control Engineering , John Wiley & Sons Inc. , New York, 1992.