

پیش‌بینی و بهینه‌سازی رفتار صوت‌شناسی صداگیرهای واکنشی با استفاده از روش غیرخطی پویای گاز یک‌بعدی

بیژن فرهانیه

استاد دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی شریف

مرتضی کلانتری*

دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی شریف

mkalantari@alum.sharif.edu

*نویسنده مسؤل / پذیرش نهایی مقاله: ۱۳۸۷/۷/۸

داوود کمندلویی

دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی شریف

چکیده

در این مقاله، رفتار صوت‌شناسی صداگیرهای واکنشی در حوزه بسامد^۱، پیش‌بینی شده است. برای این منظور حرکت امواج در همه سامانه صداگیر با استفاده از روشی ترکیبی شبیه‌سازی شده است. در روش ترکیبی از روش تفاضل محدود مرتبه دوم ریچمیر^۲ برای حل جریان یک‌بعدی در لوله‌ها و از روش مشخصه‌ها برای شبیه‌سازی مرزها استفاده شده و تابع انتقال صداگیرهای واکنشی تعیین شده است. امواج به‌توسط منبع تحریک هارمونیک که در بالادست سامانه قرار دارد، ایجاد شده است. نتایج به دست آمده از حل عددی، مطابقت بسیار خوبی با نتایج تجربی دارد. در ادامه، با توجه به چرخه استاندارد آزمون آلابندگی موتور، هندسه نمونه صداگیر ساده با استفاده از این روش، بهینه‌سازی شده است. نتایج به دست آمده، نشان می‌دهد که کارایی صداگیر بهینه‌سازی شده، بمراتب بهتر از صداگیر اولیه است.

کلیدواژه‌ها: صداگیر واکنشی، روش تفاضل محدود، روش مشخصه‌ها، تابع انتقال

۱- مقدمه

■ امروزه آلودگی صوتی به یکی از معضلات عمده در شهرها تبدیل شده است. در این میان خودروها به عنوان یکی از منابع اصلی ایجاد صدای نامطلوب خیلی مورد توجه قرار گرفته‌اند. صدای تولیدی خودروها عمدتاً از سه بخش اصلی تشکیل شده است؛ صدای ناشی از احتراق، صداهای مکانیکی مانند صدای چرخ‌های خودرو و صدای لوله که از طریق انتهای باز سامانه مکش و تخلیه در محیط انتشار می‌یابد. برای کاهش صدای لوله معمولاً از صداگیر در نزدیکی انتهای باز ورودی و خروجی سامانه لوله استفاده می‌شود.

صداگیرهای واکنشی که در خودروها استفاده می‌شوند، در بسامدهای خاصی عملکرد بهتری دارند. در این گونه از صداگیرها، انرژی صوتی که به‌توسط امواج و اغتشاشات فشار حمل می‌شود، به سمت منبع تحریک باز می‌گردد و بدین صورت توان صوتی که به سمت پایین دست در حرکت است، محدود می‌شود و تراز فشار صوت خروجی کاهش می‌یابد. استفاده از صداگیر باعث ایجاد افت فشار ناخواسته در جریان

می‌شود که اصطلاحاً به آن پس‌فشار می‌گویند. وجود این پس‌فشار باعث می‌شود که بازده تنفسی و توان خروجی موتور، اندکی کاهش یابد. بنابراین در طراحی صداگیر دو مسأله باید مورد توجه قرار گیرد؛ کاهش مؤثر صدا و اعمال حداقل پس‌فشار بر روی موتور.

روش‌های موجود برای طراحی صداگیر، روش‌های تجربی و روش‌های عددی است. روش‌های تجربی طراحی و انتخاب صداگیر بسیار پرهزینه و زمان‌بر است، اما با استفاده از روش‌های شبیه‌سازی عددی، می‌توان عملکرد گونه‌های مختلفی از صداگیرها را در مدت زمان کوتاهی پیش‌بینی کرد. بنابراین با شبیه‌سازی عددی بهترین شکل صداگیر انتخاب می‌شود و سپس با استفاده از آزمایش‌های تجربی و بهینه‌سازی نهایی، مناسب‌ترین طرح انتخاب می‌گردد.

روش‌های عددی مختلفی برای شبیه‌سازی عملکرد صداگیرها ابداع شده است. مانجال [۱] و دیویس [۲] با استفاده از الگوی صوت-شناسی خطی که روشی در حوزه بسامد است، اتلاف عبور صداگیرهای مختلف را محاسبه کرده‌اند. در این روش حل، از جدول^۳ انتقال چهار قطبی استفاده می‌شود که بسیار سریع است، اما نتایج پیش‌بینی شده ممکن است چندان واقعی نباشد. بلر [۳] با استفاده از روش‌های صوت‌شناسی خطی به الگوسازی چندراهه ورودی و خروجی موتور و سامانه صداگیر خروجی پرداخته

۱- Frequence

۲- Richtmyer

۳- ماتریس

در هنگام حل، چهار نوسانات زیادی می‌شود، لازم است برای پایدار کردن حل عددی، گرانیوی مصنوعی به آن افزوده شود. برای این منظور کافی است که جمله زیر به سمت چپ معادله (۷) اضافه شود.

$$D_e = e \left(U_{i+1}^n - 2U_i^n + U_{i-1}^n \right) \quad (8)$$

۳- الگوسازی هندسی صداگیر

برای شبیه‌سازی صداگیر با استفاده از روش‌های یک‌بعدی لازم است که هندسه صداگیر که غالباً سه‌بعدی است، به سامانه لوله یک‌بعدی معادل، با استفاده اجزاء شناخته‌شده تبدیل شود. با این که در این معادل‌سازی برخی از متغیرهای هندسی در الگو وارد نمی‌شود، اما تجربه نشان داده که نتایج به دست آمده با این روش، بسیار دقیق است.

به عنوان نمونه، در شکل (۱) چیدمان داخلی صداگیری که در این پژوهش بررسی شده، نشان داده شده است. برای شبیه‌سازی عددی، هندسه این صداگیر با سامانه‌ای لوله ای، معادل‌سازی شده است.

۳-۱- شرایط مرزی

بهترین روشی که تاکنون برای شبیه‌سازی یک‌بعدی جریان در مرزها ارائه شده، روش مشخصه‌هاست که بنسوسون و همکاران [۷] ارائه داده‌اند. در روش مشخصه‌ها، معادلات حاکم بر جریان سیال (معادلات ۴) که یک دسته معادله پاره‌ای غیرخطی هذلولوی است، روی خطوط مشخصه به صورت عددی، انتگرال‌گیری می‌شود (خطوط مشخصه عبارتند از خطوط چپ‌رونده و راست‌رونده و خط مسیر که حرکت ذرات سیال را دنبال می‌کند). روی این خطوط، معادلات دیفرانسیل پاره‌ای به معادلات دیفرانسیل معمولی قابل‌تقلیل است که این معادلات به تعریف متغیرهای ریمن و منجر می‌شود. اگرچه معادلات به دست آمده، معادلات دیفرانسیل خطی معمولی هستند، اما تنها روی خطوط مشخصه اعتبار دارند و نمی‌توان آن‌ها را به صورت مستقیم انتگرال‌گیری کرد و راه حل دقیق تحلیلی برای جریان غیردائمی به دست آورد. متغیرهای ریمن بدین صورت تعریف می‌شوند:

$$\lambda_I = A + \frac{k-1}{2} U \quad (9)$$

$$\lambda_{II} = A - \frac{k-1}{2} U \quad (10)$$

که سرعت صوت بی‌بعد و سرعت بی‌بعد سیال است. این متغیرها روی خطوط مشخصه متناظر، ثابت می‌مانند.

در حل جریان در لوله با استفاده از روش مشخصه‌ها معمولاً شبکه‌بندی مکانی در طول لوله در نظر گرفته شده و با توجه به متغیرهای ریمن که به هر گره‌ای وارد می‌شود، شرایط جریان در گام زمانی بعد محاسبه می‌گردد. بنابراین روش مشخصه‌ها دارای دقت مرتبه اول است، زیرا درون‌یابی مکانی برای محاسبه متغیرهای ریمن ورودی به هر گره لازم است. در این روش، شرایط مرزی به صورت شبه‌دائم الگوسازی شده که در آن فرض می‌شود نرخ تغییرات مکانی متغیرها خیلی سریعتر از نرخ تغییرات زمانی باشد. شرایط مرزی که در این شبیه‌سازی استفاده شده، شامل تغییر سطح مقطع، انشعاب چندشاخه، انتهای بسته، شرط مرزی انتهای خروجی و تحریک بالادست است که معادلات آن در مرجع [۷] موجود است.

است. او با استفاده از این روش، اقدام به طراحی و بهینه‌سازی موتور کرده است. انوراتی و همکارانش [۴] روی شبیه‌سازی پویای گاز یک‌بعدی سامانه‌های لوله صداگیر و صدای لوله انتهایی تحقیقات گسترده‌ای انجام داده‌اند. مانجال و همکارانش [۵] اثرات سه‌بعدی بودن جریان در صداگیر را با محفظه انبساط ساده و همراه با ورودی و خروجی طولی شده، با استفاده از روش اجزای محدود، بررسی و نتایج آن را با روش یک‌بعدی مقایسه کرده‌اند. سپس‌فورد [۶] روش عددی حجم محدود را برای تحلیل جریان تراکم‌پذیر غیردائم یک‌بعدی در سامانه خروجی موتور به کار برده است.

در این پژوهش، جریان در صداگیرهای واکنشی با استفاده از روش ترکیبی یک‌بعدی شبیه‌سازی شده و در نهایت رفتار صوت‌شناسی صداگیر با این روش بهینه‌سازی شده است. در روش ترکیبی، جریان در لوله‌ها با استفاده از روش تفاضل محدود و شرایط مرزی با استفاده از روش مشخصه‌ها شبیه‌سازی شده است.

۲- معادلات حاکم

معادلات حاکم بر جریان غیردائم تراکم‌پذیر یک‌بعدی به این صورت بیان می‌شود:

معادله پیوستگی:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial \rho u}{\partial x} = 0 \quad (1)$$

معادله مقدار حرکت (ممتوم) (با صرف‌نظر کردن از نیروی اصطکاک و نیروی ناشی از تغییر سطح مقطع):

$$\frac{\partial(\rho u)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u^2 + p)}{\partial x} = 0 \quad (2)$$

معادله انرژی:

$$\frac{\partial(r e_t)}{\partial t} + \frac{\partial[(r e_t + p)u]}{\partial x} = 0 \quad (3)$$

در این معادله e_t انرژی کل سیال در واحد جرم است. این معادلات به صورت جدولی قابل بیان است:

$$\frac{\partial \bar{U}}{\partial t} + \frac{\partial \bar{F}}{\partial x} = 0 \quad (4)$$

$$\bar{U} = \begin{bmatrix} r \\ r u \\ r e_t \end{bmatrix}, \quad \bar{F} = \begin{bmatrix} r u \\ r u^2 + p \\ (r e_t + p)u \end{bmatrix} \quad (5)$$

برای حل این دستگاه معادلات، از روش تفاضل محدود ریچمیر استفاده شده است.

روش ریچمیر روشی دومرحله‌ای است که به این شکل قابل بیان است:

$$U_{i+1/2}^{n+1/2} = \frac{1}{2} (U_{i+1}^n + U_i^n) - \frac{1}{2} (F_{i+1}^n - F_i^n) \quad (6)$$

$$U_{i-1/2}^{n+1/2} = \frac{1}{2} (U_i^n + U_{i-1}^n) - \frac{1}{2} (F_i^n - F_{i-1}^n)$$

و

$$U_i^{n+1} = U_i^n - \Delta t \left(F_{i+1/2}^{n+1/2} - F_{i-1/2}^{n+1/2} \right) \quad (7)$$

در این روش، مرحله اول پیشگو و مرحله دوم تصحیح‌کننده نامیده می‌شود. در این دو مرحله، از دو شبکه‌بندی متفاوت استفاده می‌شود. چون این روش به شکل طبیعی

۳-۲- الگوسازی منبع تحریک

چون هدف اصلی، بررسی توانایی صداگیر برای کاهش صدا در حوزه بسامد است، بنابراین شرط مرزی مناسبی برای بالادست نیاز است که بتواند بسامد اغتشاشات را وارد مسأله کند. تحریک در بالادست می‌تواند اغتشاش فشاری هارمونیک با دامنه مناسب و بسامد مشخص باشد. برای این منظور، تغییری سینوسی در فشار سکون در منبعی بزرگ در بالادست سامانه لوله در نظر گرفته می‌شود. در این صورت بدین صورت قابل تعریف است:

$$p_o = p_{o,mean} + \Delta p \sin(2\pi ft) \quad (11)$$

که در آن بسامد و دامنه اغتشاش هارمونیک و فشار سکون متوسط بالادست است. در محاسبات، برای اعمال تحریک در بالادست، معادله (۱۱) با استفاده از روش مشخصه‌ها بر حسب متغیرهای ریمن ورودی و خروجی از مرز، به این صورت بازنویسی می‌شود.

$$A_o^2 = \left(\frac{\lambda_{in} + \lambda_{out}}{2} \right)^2 + \frac{k-1}{2} \left(\frac{\lambda_{in} - \lambda_{out}}{k-1} \right)^2 \quad (12)$$

معادلات آن در مرجع [۷] آمده است.

۳-۳- اثرات سه‌بعدی بودن جریان در مرزها

زمانی که موج به تغییری ناگهانی در سطح مقطع یا انتهای باز خروجی می‌رسد، به دلیل وجود اثرات سه‌بعدی جریان غیردائمی، فرض وجود موج‌های تخت یک‌بعدی، معتبر و قابل استفاده نیست. در حقیقت موج‌ها در زمان رسیدن به تغییر سطح مقطع یا انتهای باز، شکل کروی به خود می‌گیرند. علاوه بر آن جدایی غیردائم جریان در انتهای باز که ناشی از حرکت غیردائم امواج است، باعث بروز رفتارهای صوت شناسی پیچیده‌ای در این نواحی می‌شود [۸]. برای در نظر گرفتن این اثرات، معمولاً یک طول اصلاحی به لوله منتهی به ناپیوستگی افزوده می‌شود.

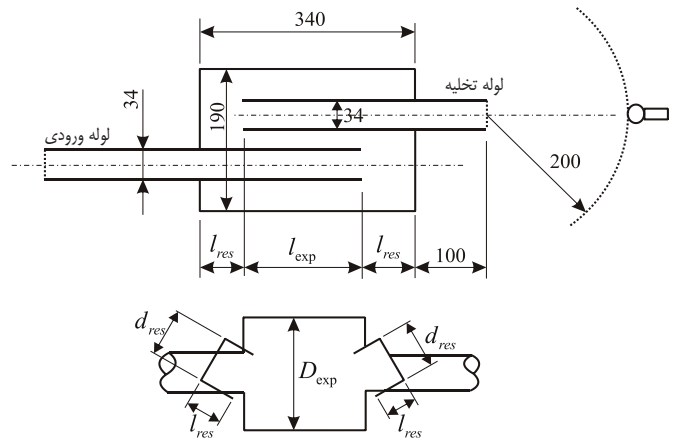
در حالت کلی طول اصلاحی، تابعی از متغیرهای هندسی ناپیوستگی و بسامد امواج عبوری است. وارد کردن این طول اصلاحی برای مکان‌یابی صحیح صفحه انعکاس امواج، امری ضروری است. ناپیوستگی‌های هندسی که برای هر یک از آن‌ها از معادلات اصلاحی استفاده می‌شود، در شکل (۲) نشان داده شده است. معادلات آن در مرجع [۸] موجود است.

۴- محاسبه تابع انتقال

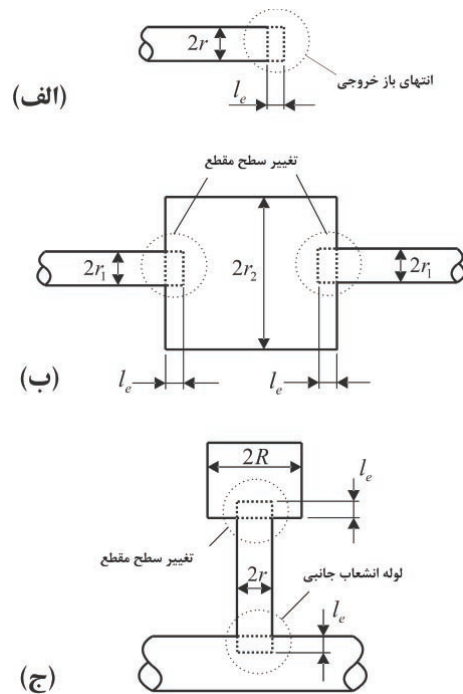
تابع انتقال عبارت است از مقدار کاهش در سطح صدای عبوری از صداگیر بر حسب بسامد. پس از ردیابی امواج تولیدشده به توسط منبع تحریک و تعیین میدان سرعت و فشار در طول سامانه لوله، مقدار کاهش صدا در هر بسامد از این معادله محاسبه می‌شود:

$$TF = L_{p,upstr} - L_{p,downstr} \quad (13)$$

$L_{p,downstr}$ و $L_{p,upstr}$ به ترتیب تراز فشار صوتی در بالادست و پایین‌دست سامانه صداگیر است. مقدار صدای منتشرشده از انتهای باز خروجی با محاسبه تغییرات زمانی فشار قابل محاسبه نیست، زیرا فشار ایستایی^۱ در خروجی با فشار محیط برابر است. اگر خروجی به‌عنوان منبعی تک‌قطبی که امواج کروی منتشر می‌کند، تصور شود،



شکل ۱ معادل‌سازی هندسه داخلی صداگیر با سامانه لوله متشکل از اجزای شناخته شده



شکل ۲ طول اصلاحی در ناپیوستگی‌های هندسی (الف) انتهای باز خروجی (ب) تغییر (ج) لوله انشعاب جانبی

Archive of SID

آن گاه می‌توان میدان فشار را در فاصله از انتهای باز با مشتق زمانی سرعت به این معادله پیوست:

$$p(r, t) = \frac{\rho_0 F}{4\pi r} \frac{d}{dt} \left[u \left(t - \frac{r}{a_0} \right) \right] \quad (14)$$

که سطح مقطع انتهای باز خروجی است و چگالی و سرعت صوت در محیط اطراف است. این معادله تا زمانی معتبر است که طول موج خیلی بزرگتر از قطر انتهای باز لوله باشد.

مقدار صدای خروجی در هر بسامد بر حسب تراز فشار صوتی به این صورت قابل محاسبه است:

$$L_p(f_n) = 20 \log \frac{P_{n,rms}}{2 \times 10^{-5}} \quad (15)$$

برای تعیین تراز فشار صوتی بالادست می‌توان مستقیماً از علائم فشار در لوله استفاده کرد و آن را در معادله (15) قرار داد.

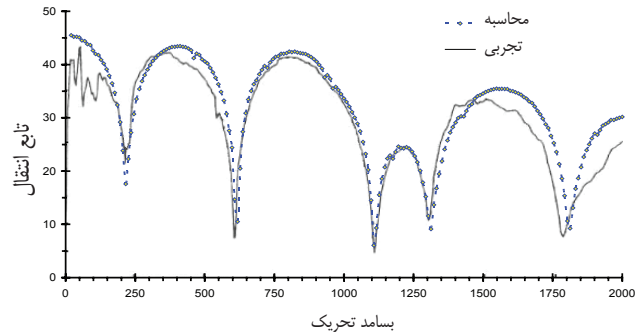
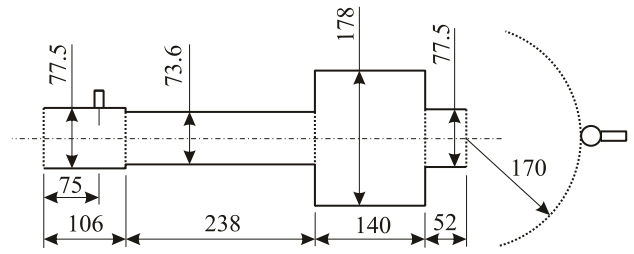
۵- نتایج حل عددی و صحنه‌گذاری

تابع انتقال که مقدار کاهش سطح صدای عبوری را از صداگیر در حوزه بسامدی مشخص می‌کند، بدین ترتیب تعیین می‌شود که ابتدا در بسامد و دامنه ثابت منبع تحریک، حرکت امواج در سامانه لوله ردیابی می‌شود. برای رسیدن به نتایج قابل قبول، تعدادی تحریک سینوسی در بالادست اعمال می‌شود تا جایی که اختلاف میدان جریان در صداگیر در دو تحریک متوالی از یک مقدار دلخواه کمتر شود. سپس برای تعیین تابع انتقال در بسامدهای دیگر، بسامد با یک گام مشخص افزایش می‌یابد تا کل بازه بسامدی مورد نظر، تحت پوشش قرار گیرد.

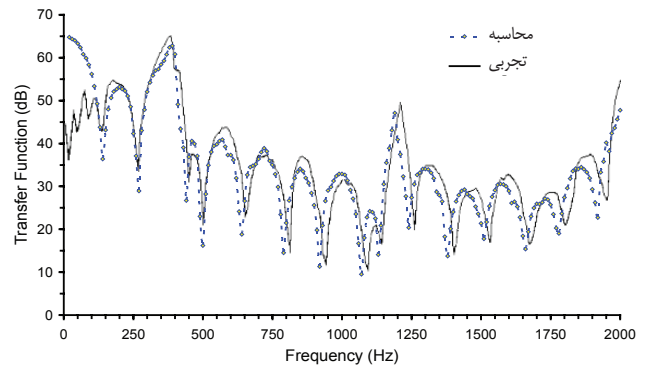
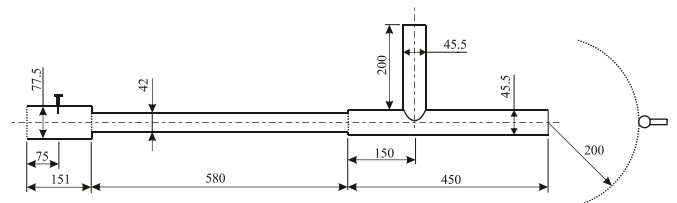
برای اطمینان از درستی نتایج، تابع انتقال چند صداگیر متفاوت با داده‌های تجربی ارائه شده به توسط انوراتی [۴] مقایسه شده است. در شکل (۳) و (۴) تابع انتقال محفظه انبساط ساده و تشدیدکننده ستونی جانبی نشان داده شده است. مشاهده می‌شود که نتایج به دست آمده انطباق بسیار خوبی بر نتایج تجربی دارد؛ به طوری که مقدار قله‌های تابع انتقال و بسامد عبور سامانه (کمینه‌های تابع انتقال) بخوبی ردیابی شده است.

۶- طراحی و بهینه‌سازی صداگیر

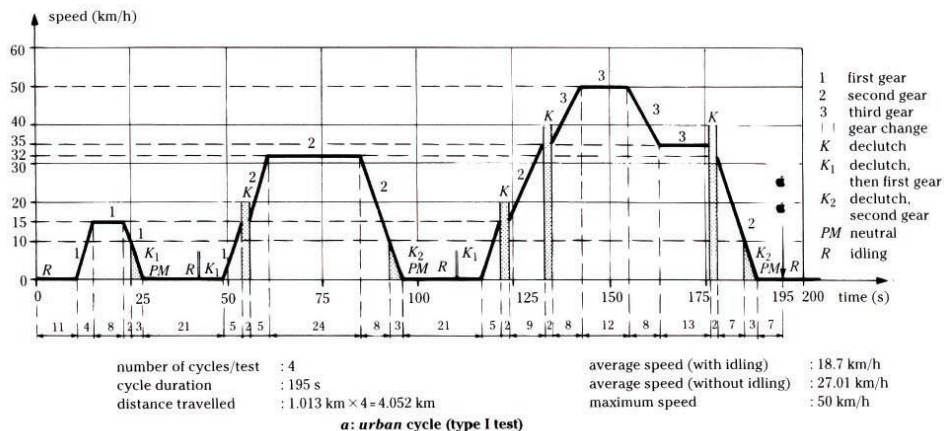
طراحی صداگیر معمولاً با توجه به اثرات متقابل کاهش صدای نامطلوب و تخریب عملکرد موتور صورت می‌گیرد. عامل اصلی در این زمینه، مقدار تابع انتقال است و پس فشار به‌عنوان عاملی بازدارنده مطرح می‌شود. چون تابع انتقال بر حسب بسامد بیان



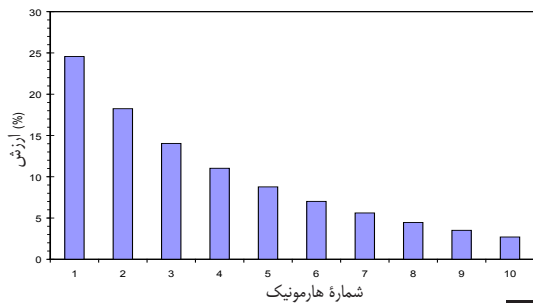
شکل ۳ مقایسه تابع انتقال به دست آمده از حل عددی با نتایج تجربی برای محفظه انبساط ساده



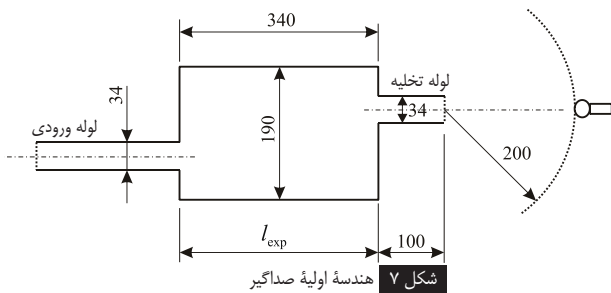
شکل ۴ مقایسه تابع انتقال به دست آمده از حل عددی با نتایج تجربی برای تشدیدگر ستونی جانبی



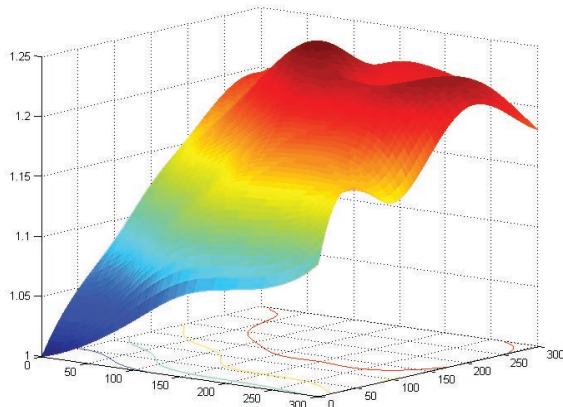
شکل ۵ چرخه استاندارد شهری



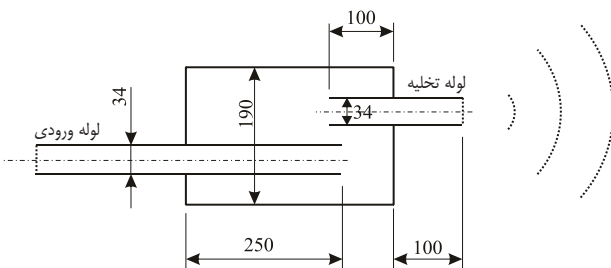
شکل ۶ تابع ارزش (به صورت درصد) برای مضرب های بسامدی در سامانه خروجی



شکل ۷ هندسه اولیه صداگیر



شکل ۸ شاخص عملکرد کلی صداگیر با لوله طولی شده برای طول های متفاوت لوله طولی شده ورودی و خروجی (محورهای افقی طول لوله طولی شده ورودی و خروجی را نشان می دهد)



شکل ۹ هندسه صداگیر بهینه سازی شده

می شود، لازم است معیاری تعریف شود که با استفاده از آن بتوان عملکرد کلی صداگیر را در کل بازه بسامدی مورد نظر ارزیابی کرد.

۱-۶- شاخص عملکرد کلی صداگیر

در این پژوهش، شاخص عملکرد کلی صداگیر، معیاری برای ارزیابی عملکرد کلی صداگیر در تقابل با منبع صوت است. برای محاسبه این شاخص در صداگیرهای خودرو، ابتدا لازم است که بسامد اصلی سامانه خروجی موتور، که صداگیر بیشتر در معرض آن قرار دارد، مشخص شود. برای موتور چهار زمانه، این بسامد با دور موتور متناسب است:

$$f_0 = n \frac{N}{120} \quad (15)$$

که دور موتور بر حسب و تعداد استوانه و بسامد اصلی سامانه خروجی است. بازه تغییر دور موتور در خودروها گسترده است، اما مدت زمان کارکرد موتور در بعضی دوره های خاص، بیشتر است و لازم است که صداگیر در این دوره ها عملکرد بهتری داشته باشد. در این پژوهش، برای مشخص کردن نسبت کارکرد موتور در دوره های مختلف، از چرخه استاندارد شهری اتحادیه اروپا^۱ که در ایران برای آزمون آلاینده های خودروهایی که کار می رود، استفاده شده است (شکل ۵).

همچنین باید توجه داشت که در خروجی موتور علاوه بر بسامد پایه (دور موتور)، مضرب هایی از این بسامد نیز ظاهر می شود که با افزایش بسامد، دامنه آن ها کاهش می یابد. در این پژوهش، برای در نظر گرفتن اثرات بسامدهای بزرگ تر، تا مضرب دهم بسامد پایه نیز در محاسبات لحاظ شده است. با توجه به کم شدن دامنه اغتشاشات فشار در بسامدهای بزرگ، تابع ارزش به صورت شکل (۶) تعریف شده که سهم بسامد پایه و مضرب های آن را به صورت هدفمند در روند طراحی در نظر می گیرد.

با محاسبه تابع انتقال صداگیرهای مختلف و تعیین شاخص عملکرد هر یک، می توان گونه ای را که عملکرد بهتری دارد، انتخاب کرد. عملکرد صداگیر^۲ در هر مضرب بسامدی، با انتگرال گیری از تابع انتقال روی چرخه استاندارد و ضرب کردن آن در تابع ارزش (شکل ۶) به دست می آید. شاخص عملکرد کلی صداگیر که معیار اصلی طراحی صداگیر است نیز برابر با حاصل جمع مقادیر به دست آمده در کل مضرب های بسامدی مورد توجه است.

۲-۶- بهینه سازی صداگیر

یکی از موارد حائز اهمیت در طراحی صداگیرها، محدودیت های فضایی است. در طراحی سعی می شود که صداگیر دارای بیشترین حجم ممکن باشد، زیرا در این حالت، توانایی صداگیر در کاهش صوت، افزایش می یابد. برای ارائه مثالی کاربردی، محفظه انبساط ساده در نظر گرفته شده و هندسه داخلی آن با استفاده از روش ذکر شده، بهینه سازی شده است. هندسه اولیه صداگیر در شکل (۷) نشان داده شده است.

به عنوان طرحی جایگزین صداگیر شکل (۱) پیشنهاد شده که با توجه به محدودیت های فضا، تنها از لحاظ چیدمان داخلی با نوع اولیه متفاوت است. در این طرح، لوله های ورودی و خروجی در داخل صداگیر نیز امتداد یافته است. با این روش در حقیقت دو تشدیدکننده ستونی به مسیر امواج در صداگیر افزوده شده و بدین ترتیب کارایی صداگیر افزایش یافته است. به عنوان متغیر مورد نظر برای بهینه سازی، طول

A	سرعت صوت بدون بعد
D_e	گرانروی مصنوعی
L_p	تراز فشار صوت (دسی بل)
N	دور موتور (rpm)
TF	تابع انتقال
U	سرعت سیال بدون بعد
a_o	سرعت صوت
e_t	انرژی کل سیال در واحد جرم
f	بسامد
k	نسبت گرمای ویژه حجم ثابت به فشار ثابت
n	تعداد استوانه موتور
p	فشار
p_o	فشار سکون در منبع
r	فاصله از انتهای آزاد لوله
u	سرعت سیال
t	متغیر زمان
x	متغیر مکان
λ_{in} λ_1	ثابت‌های ریمن
λ_{out} λ_{in}	ثابت‌های ریمن ورودی و خروجی از مرز
λ	$\Delta t / \Delta x$
ρ	چگالی

نمادها

قسمت‌های طولیل شده در لوله‌های ورودی و خروجی مورد توجه قرار گرفته و شاخص عملکرد کلی هر صداگیر بر حسب طول قسمت‌های طولیل شده به صورت رویه‌ای سه‌بعدی در شکل (۸) رسم شده است. مقادیر بر حسب شاخص عملکرد کلی صداگیر اولیه بی‌بعد شده است.

در شکل (۸) مشاهده می‌شود که طولیل کردن لوله‌های ورودی و خروجی به هر میزان، کارایی صداگیر را افزایش داده است. با این حال اضافه کردن طول لوله ورودی تا ۲۵۰ میلی‌متر و لوله خروجی تا ۱۰۰ میلی‌متر، موجب بیشترین ارزش و کارایی شده است. این صداگیر در شکل (۹) نشان داده شده و تابع انتقال متناظر با آن در شکل (۱۰) با صداگیر اصلی مقایسه شده است.

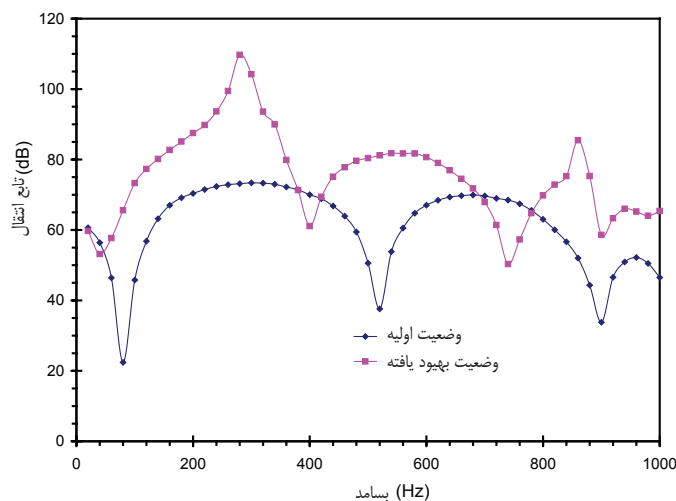
با مقایسه تابع انتقال دو صداگیر مشاهده می‌شود که صداگیر بهینه‌سازی شده، بمراتب مشخصات صوت‌شناسی بهتری نسبت به الگوی اولیه دارد و به طور متوسط ۱۰ دسیبل صدای خروجی را بیشتر کاهش می‌دهد که معادل با کاهش ۵۰ درصدی صدای خروجی از نظر شنونده است.

۷- بحث و نتیجه‌گیری

در این پژوهش با استفاده از روش اثر امواج، جریان در صداگیر شبیه‌سازی شده و تابع انتقال چند صداگیر متفاوت محاسبه شده است. نتایج به دست آمده نشان می‌دهد که استفاده از روش غیرخطی یک‌بعدی برای شبیه‌سازی جریان در صداگیر دقت بسیار خوبی دارد. با توجه به سرعت بسیار تند روش عددی و کم هزینه بودن آن در مقایسه با روش‌های تجربی، از این نتایج به عنوان ورودی استفاده شده و مشخصات صوت‌شناسی صداگیر برای دو متغیر دلخواه هندسی بهینه‌سازی شده است. یکی از ویژگی‌های روش بهینه‌سازی ارائه شده، در این است که پیوند معناداری بین تابع انتقال صداگیر و ویژگی‌های منبع تحریک مورد نظر برقرار می‌کند و بدین ترتیب، شاخص مناسبی برای ارزیابی عملکرد صداگیر در کل بازه بسامدی مورد نظر ارائه می‌دهد. این شاخص در مرحله طراحی برای مقایسه عملکرد صداگیرهای مختلف و انتخاب بهترین صداگیر و یا بهینه‌سازی صداگیرهای موجود، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است ■

Reference:

- Munjal, M. L. Acoustics of Ducts and Mufflers, New York: John Wiley & Sons, 1987.
- Davies, P. O. A. L., "The Design of Silencers for Internal Combustion Engines", Journal of Vibration, 1(2), (1964): 185-201.
- Blair, G., "Design and Simulation of Four-Stroke Engines", SAE, Aug 1999.
- Onorati, A., "Numerical Simulation of Unsteady Flow in IC Engine Silencers and the Prediction of Tailpipe Noise," chapter 6 in Design Techniques for Engine Manifolds, by D. E. Winterbone and R. J. Pearson, London: Professional Engineering Publishing, 1999.
- Sahasrabudhe, A. D., Munjal, M. L. and Anantha Ramu, S. "Design of Expansion Chamber Muffling Incorporating 3-D Effects" Noise Control Engineering Journal, No. 38 (1992).
- Sapsford, S. M. "Application of non-linear modeling to intake and exhaust system design" International Seminar High Performance SI Engines for Passenger Cars, Technical Paper, Milano (Italy), 1992.
- Benson, R. S., The Thermodynamic and Gas Dynamic of Internal Combustion Engine, Vol. 1. Clarendon Press, Oxford, 1982.
- Sahasrabudhe, A. D., Munjal, M. L. and Anantha Ramu, S. «Design of Expansion Chamber Muffling incorporating 3-D effects» Noise Control Engineering Journal 38, No. 1992.



شکل ۱۰. تابع انتقال صداگیر اولیه (شکل ۷) و صداگیر بهینه شده (شکل ۹)