

مدلسازی عددی صدای تولیدی از جریان جت مادون صوت خروجی از موتور هواپیما

سید مصطفی حسینعلی پور¹، محمد حسین عبا باف بهبهانی²

تهران، نارمک، دانشگاه علم و صنعت ایران، دانشکده مهندسی مکانیک

چکیده

جریان جت خروجی از موتور هواپیما یکی از منابع اصلی تولید نویز آکوستیکی در هواپیما است. تخمین شدت و توزیع فرکانسی نویز جریان جت، به منظور توسعه روش‌هایی برای کاهش آن بسیار مورد توجه است. مطالعه این پدیده در حوزه مسائل آیرودینامیک می‌گنجد. تلاش‌ها در این زمینه با دو راهبرد اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی و تحلیل‌های عددی به کمک آیرودینامیک محاسباتی پیگیری می‌گردد. به طور کلی روش‌های عددی حل معادلات آیرودینامیک جریان جت، به دو دسته تقسیم می‌شوند؛ روش‌های مستقیم و ترکیبی. در این تحقیق با استفاده از روش ترکیبی حل معادلات آیرودینامیک و به کارگیری آنالوژی آکوستیکی، صدای تولید شده از جریان آشفته خروجی از نازل یک جت مادون صوت مورد مطالعه قرار گرفته است. ابتدا به کمک مدل‌های توربولانسی ریز، میدان جریان آشفته جت مدل‌سازی گردیده است. در ادامه به کمک نتایج حاصل از مدل‌سازی جریان آشفته، سطح صدای ناشی از جریان جت با به کارگیری مدل‌سازی آکوستیکی و معادله آکوستیکی لیلی تخمین زده شده است. نتایج حل آکوستیکی در قالب منحنی‌های شدت صوت بر حسب فرکانس و همچنین موقعیت ناظر ارائه گردیده است. این نتایج به طور کلی تطابق قابل قبولی را با نتایج تجربی در طیف فرکانسی و زوایای مختلف ناظر نسبت به محور جت نشان می‌دهد. البته پیش‌بینی صوتی در فرکانس‌های پایین و همچنین زوایای نزدیک به محور جت از دقت خوبی برخوردار نیست. مهمترین علت این پدیده فاصله گرفتن از فرض توربولانس همگن و افزایش اثرات گردابه‌های مقیاس بزرگ جریان است که در این مدل‌سازی دیده نشده است.

واژه‌های کلیدی: آیرودینامیک - جت - آنالوژی آکوستیکی - نویز آکوستیکی

مقدمه

امروزه آلودگی صوتی هواپیماهای جت، یکی از مشکلات جدی صنعت هوایی به شمار می‌رود. نویز آکوستیکی موتور جت از منابع متعددی شامل نویز فن، نویز حاصل از احتراق و جت نویز تشکیل می‌شود. نویز حاصل از جریان جت خروجی از موتور، «جت نویز»، یکی از منابع اصلی نویز در هواپیماهای جت است. البته مسئله جت نویز فقط به صنعت هوایی محدود نمی‌شود. در صنایعی نظیر صنایع پتروشیمی و نیروگاهی نیز در برخی قسمت‌ها، صدای زیادی از جریان سرعت بالای خروجی از نازل‌ها یا مقطعی گلوگاهی از تاسیسات پدید می‌آید. ایستگاه‌های تقلیل فشار گاز نیز در قسمت شیرهای فشارشکن خود با این مسئله روبرو هستند. با این حال عمده کاربرد و هدف اصلی مطالعات جت نویز در صنعت هوایی است. جت نویز حاصل از اندرکنش ساختارهای توربولانسی جریان جت با هوای پیرامونی است. لایتپیل در سال 1952 برای اولین بار با ارائه آنالوژی آکوستیکی، به ارائه روشی تحلیلی برای حل معادلات آیرودینامیک پرداخت [1] و [2]. در حوزه مطالعات آیرودینامیک به طور عمده دو

روند انجام آزمایش‌های تجربی و روش‌های تحلیلی پیگیری می‌شود. روش‌های حل آیرودینامیکی خود به دو دسته کلی تقسیم می‌شوند: محاسبه مستقیم نویز و روش‌های ترکیبی. در روش‌های مستقیم به دلیل در نظر گرفتن کلیه مقیاس‌های توربولانسی و آکوستیکی جریان، مدل‌سازی بسیار گران‌قیمت و در موارد زیادی ناممکن می‌گردد. به همین دلیل استفاده از روش‌های ترکیبی به شدت مورد توجه است. فرآیند حل در این شرایط به 2 بخش مجزا تقسیم می‌گردد، که در آن میدان جریان به طور مستقل نسبت به میدان آکوستیک حل می‌شود. انتشار صوت می‌تواند با یکی از روش‌های انتگرالی (انتگرال لایتپیل، انتگرال کیرشلف، فاکس-ویلیام هاو کینگز و ...) یا معادلات خطی سازی شده اولر بدست آید. در هر دو دسته روش‌های حل، ما به راه حلی مناسب برای محاسبه میدان آیرودینامیکی در نزدیکی جت (برای روش اول همین راه حل به طور مشابه برای محاسبه میدان آکوستیک در دور دست استفاده می‌شود) نیاز داریم. استفاده از روش‌های دو مرحله‌ای مدل‌سازی میدان جریان و میدان آکوستیک ایده‌ای است که سبب کاهش چشمگیر هزینه‌های محاسباتی گردد. هر چند این روش در مقایسه با حل مستقیم معادلات با در نظر گرفتن کوچکترین مقیاس‌های زمانی و مکانی دقت کمتری دارد، اما در حوزه بسیاری از مسائل کاربردی و صنعتی می‌تواند پاسخ‌های قابل قبولی ارائه کند.

مدلسازی جریان جت آشفته

گام اول در مدل‌سازی آیرودینامیکی به روش ترکیبی، مدل‌سازی جریان جت توربولانسی است. از آنجا که عامل تولید صدا، ساختارهای توربولانسی جریان هستند، استفاده از مدلی مناسب برای دستیابی به مشخصه‌های توربولانسی جریان ضروری است. برای حل میدان جریان دو راهبرد استفاده از روش‌های ناپایا نظیر شبیه‌سازی گردابه بزرگ و استفاده از مدل‌های میانگین زمانی نظیر مدل‌های ریز پیش رو است. در سالیان اخیر با توسعه قابلیت‌های سخت افزاری، به کارگیری روش شبیه‌سازی گردابه بزرگ مورد توجه قرار گرفته ولی هنوز بخش زیادی از تلاش‌ها بر توسعه روش‌های مبتنی بر مدل ریز استوار است. این روش‌ها توصیفی میانگین از مشخصه‌های جریان نظیر میدان سرعت و فشار را به دست می‌دهند، حال آن‌که مولفه‌های نوسانی عامل اصلی تولید میدان آکوستیکی هستند. لذا با انتخاب یکی از روش‌های ریز برای حل جریان باید به نوعی اثرات مولفه‌های نوسانی را در پیش‌بینی آکوستیکی خود مدل‌سازی کنیم. مدل‌های توربولانسی ریز (RANS)، برای کاربرد در جت‌های با نازل مدور نتایج نسبتاً قابل قبول و ارزان‌قیمتی ارائه می‌کنند. بر این اساس ابتدا حل جریان جت مادون صوت، در اعداد ماخ متفاوت و در شرایط جت سرد و داغ انجام پذیرفته و با نتایج تجربی مقایسه گردیده است [3]. داده‌های حل جریان جت شامل میدان سرعت میانگین، انرژی جنبشی توربولانسی و نرخ اضمحلال انرژی جنبشی توربولانسی برای مدل‌سازی آکوستیکی مورد استفاده قرار می‌گیرند. شکل شماره 1 ناحیه محاسباتی و شرایط مرزی برای حل جریان را نشان می‌دهد.

1- دانشیار دانشکده مهندسی مکانیک دانشگاه علم و صنعت

2- کارشناس ارشد مهندسی هوافضا، ababaf@mecheng.iust.ac.ir