

مدل سازی عددی صدای تولید شده در جت خروجی از موتور هواپیما بخش اول: مدل سازی عددی جریان جت های توربولان گرم و سرد

سید مصطفی حسینعلی پور¹، محمد حسین عبا باف بهبهانی²
دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران، نارمک

چکیده

یکی از اصلی ترین منابع تولید صدا در هواپیماها جت، نویز حاصل از جریان جت خروجی از موتور هواپیما، جت نویز، است. جت نویز به وسیله اندرکنش ساختارهای توربولانی، در لایه برشی حاصل از جریان جت و محیط پیرامونی ایجاد می شود. با توجه به ماهیت فیزیکی تولید صدا در جریان جت، و لزوم بدست آمدن مشخصه های جریان برای حرکت در جهت پیش بینی دقیق میدان صوتی، نیاز به شناسایی و درک دقیق از جزئیات میدان سیال است. این مقاله بخش اول فرآیند مدل سازی تولید صدا، یعنی مدل سازی عددی جریان جت توربولانی را به عنوان ورودی حل آکوستیک جت مورد تاکید قرار می دهد. سال های متمادی است که از مدل های توربولانی بر پایه روش RANS برای حل جریان جت خروجی از نازل ها استفاده می شود. اثراتی چون 3 بعدی بودن و تراکم پذیری جریان و تاثیرات دما در جت های داغ بر نتایج مدل سازی اثر گذار است. در این مقاله جریان خروجی از یک جت مدور با اعداد ماخ 0/5، 0/75 و 0/9 به کمک مدل های توربولانی k-ε استاندارد، Realizable k-ε، RNG k-ε و RSM k-ω SST مدل سازی گشته و با حل بدست آمده از روش RANS و نتایج تجربی مقایسه شده است. حل جریان با اعداد ماخ متفاوت می تواند روند افزایش تاثیر عامل تراکم پذیری را بر خروجی هر یک از مدل ها نشان دهد. همچنین مدل سازی در دو حالت جت سرد و جت داغ انجام پذیرفته و با مقایسه آن ها، تاثیرات دما بر حل عددی آشکار می گردد. نتایج مدل سازی در قالب منحنی های سرعت و انرژی توربولانی روی محور جت نشان داده شده که با مقایسه این منحنی ها با نتایج تجربی در هر شرایط، بهترین مدل توربولانی RANS معرفی می گردد. در نهایت سطح صدای تولید شده در جت با استفاده از خروجی های حل توربولانس و با کمک آنالوژی آکوستیکی به صورت طیفی ارائه شده است.

واژه های کلیدی: مدل سازی RANS - آبرو آکوستیک - جت - نازل.

مقدمه

از سال 1930 صنعت پیشران جت، پیشرفت های زیادی در بخش های نظامی و غیر نظامی داشته است. همراه با این پیشرفت ها، یکی از معضلات اصلی حمل و نقل هوایی در جوامع، پدیده آلودگی صوتی هواپیماها گردید. لذا به تدریج کاهش صدای هواپیماها به یکی از مهمترین دغدغه های صنعت هواپیمایی تبدیل شد. در حال حاضر در جهان کارهای تحقیقاتی گسترده ای برای کاهش نویز هواپیماها از جمله جت نویز که یکی از منابع اصلی تولید صدا به حساب می آید، انجام می گیرد. اولین قدم در پیش بینی و سپس کاهش نویز جت، شناسایی جزئیات میدان جریان جت می باشد. جت نویز از اندرکنش جریان جت خروجی از نازل و محیط پیرامونی حاصل می شود. این اندرکنش

سبب تولید طیف وسیعی از گردابه های با اندازه متفاوت در جریان توربولان می گردد. نوسانات توربولانی جریان توسط این گردابه ها، منابع تولید امواج آکوستیکی در محدوده وسیع فرکانسی هستند. شکل شماره 1 طرح واره ای از گردابه های تولیدی در جریان جت خروجی را نشان می دهد. اولین بار لایت هیل [1] توانست با استخراج معادلات آنالوژی آکوستیکی در پیچه ای به حل مسائل آکوستیکی بگشاید. او با ترکیب معادلات پیوستگی و مومنوم به صورتی از معادله موج دست یافت که ترم منبع این معادله از حل میدان جریان توربولان به دست می آید. نهایتاً لایت هیل با اعمال فرضیاتی مولفه های نوسانی سرعت را به عنوان تانسور تنش لایت هیل و منبع تولید صدا معرفی کرد. در عمل رسیدن به توزیع دقیق زمانی و مکانی تمامی نوسانات جریان در مقیاس های مختلف مقدور نیست لذا استفاده از یک روش مدل سازی جریان برای توصیف مناسبی از ساختارهای توربولانی ضروری است. در میان روش های موجود برای حل جریان توربولانس مدل های بر پایه روش RANS به دلیل ارزان بودن در عین کارآمدی در بسیاری مسائل، بیشترین کاربرد را به خود اختصاص داده اند. در سال های اخیر استفاده از روش مدل سازی گردابه های بزرگ (LES) در کارهای تحقیقاتی مورد توجه قرار گرفته است. این روش با ارائه جزئیات بیشتری از میدان جریان، درک بهتری از فیزیک تولید صدا در جت را میسر می سازد؛ با این حال هنوز به دلیل گران قیمت بودن این روش و همچنین جواب های قابل قبول مدل های RANS در بسیاری از کارهای تحقیقاتی و عملی از مدل سازی جریان به کمک مدل های بر پایه روش RANS استفاده می شود. این روش ها اطلاعات میانگین گیری شده زمانی از مشخصه های جریان را فراهم می کنند. لذا در حل آکوستیک جریان باید به نوعی مولفه های نوسانی سرعت جریان را با اطلاعات میانگین گیری شده جایگزین کرد. در ادامه به بررسی مدل های RANS و کیفیت پیش بینی آن ها از میدان جریان و سپس به مدل سازی آکوستیکی با استفاده از داده های این مدل ها پرداخته می شود. تمرکز این تحقیق بر ارائه حل جریان جت است ولی از آنجا که هدف نهایی پیش بینی آکوستیکی است، رابطه بین توربولانس و آکوستیک با استفاده از آنالوژی آکوستیکی بیان شده است.

مدل سازی RANS

در تحلیل های آبرو آکوستیکی جریان جت، هم مقادیر متوسط و هم مولفه های توربولان جریان، برای پیش بینی نویز ساطع شده مهم می باشد. بیانی استاندارد از معادلات پیوستگی، مومنوم و انرژی در روش های RANS به شکل زیر است [2]:

$$\frac{\partial \bar{\rho}}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i} (\bar{\rho} \hat{u}_i) = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} (\bar{\rho} \hat{u}_i) + \frac{\partial}{\partial x_j} (\bar{\rho} \hat{u}_i \hat{u}_j) + \frac{\partial \bar{P}}{\partial x_i} - \frac{\partial \bar{\tau}_{ij}}{\partial x_j} - \frac{\partial \tau_{ij}^T}{\partial x_j} = 0 \quad (2)$$

1- دانشیار دانشکده مهندسی مکانیک

2- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی هوافضا، Mhababaf@gmail.com