

مقایسه آیرودینامیکی دماغه‌های مافوق صوت مخروطی ساده و همراه با دیسک‌های

چند ردیفه

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۸/۰۳

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۶/۲۵

زهره شریعتی کوهبنانی^۱، مجتبی دهقان منشادی^۲

۱- کارشناس ارشد مهندسی فضایی، مجتمع دانشگاهی مکانیک، دانشگاه صنعتی مالک اشتر

۲- استاد، مجتمع دانشگاهی مکانیک، دانشگاه صنعتی مالک اشتر، mdmanshadi@mut-es.ac.ir

چکیده

در این تحقیق ویژگی‌های مهم و تأثیرگذار بر رفتار دماغه مخروطی در جریان مافوق صوت، نتایج استفاده از دیسک‌های چند ردیفه و تأثیر آن‌ها بر بهبود رفتار این دماغه بررسی می‌شود. از آنجاکه یک دماغه مخروطی به علت داشتن نوک تیز در حالت‌های پروازی نیروی پسای کم اما گرمای آیرودینامیکی زیادی تولید می‌کند؛ استفاده از آن در سرعت‌هایی با ماخ بالا مشکل‌زا می‌باشد. تغییرات جدیدی که با استفاده از اضافه کردن دیسک‌های چند ردیفه در طراحی این دماغه مخروطی صورت می‌گیرد به این دماغه اجازه می‌دهد تا علاوه بر حفظ ماهیت خود برای تولید نیروی پسای کم، گرمای آیرودینامیکی بالایی تولیدشده را نیز به صورت مؤثری کاهش دهد؛ بنابراین استفاده از ۱۲ عدد دیسک موجب کاهش حدود ۳۰ درصدی در ضریب نیروی پسا نسبت به دماغه مرجع بدون دیسک و کاهش قابل‌ملاحظه‌ای در دمای استاتیکی تولیدشده روی سطح دماغه می‌شود؛ بنابراین این نوع دماغه ویژگی‌های آیرودینامیکی خود را برای استفاده در سرعت‌های بالا بهبود بخشیده و امکان استفاده دوباره از این نوع دماغه به جای دماغه مخروطی محض مطرح می‌شود.

واژه‌های کلیدی: دماغه مخروطی، آیرودیسک‌های چند ردیفه، جریان مافوق صوت، دینامیک سیالات محاسباتی، گرمایش آیرودینامیکی

Aerodynamic evaluation between supersonic strict conical nose and multi-row disks

Zahra Shariati¹, Mojtaba Dehghan Manshadi²

1- Master of Science, Department of Mechanical Engineering, Malek Ashtar University of Technology

2- Professor, Faculty of Mechanical Engineering, Malek Ashtar University of Technology, mdmanshadi@mut-es.ac.ir

Abstract

In this research, the significant and influential characteristics behaviors of a conical nose in supersonic flow as well as discussing the results of using Multi-Row disks and their effects to recognize the behavior of this nose are investigated numerically. A cone nose produces low drag and high aerodynamic heat due to sharp tip in flight conditions, which makes it problematic at high speed Mach numbers. Thus, new modifications with the utility of adding Multi-Row disks in the design of this cone nose allows the nose to efficiently reduce the produced aerodynamic heat as well as preserving its nature to produce low drag. Results show that the using 12 disks caused to approximately 30% reduction in drag coefficient rather than reference nose without disks. It also significantly reduces the static temperature produced on the nose surface. One can conclude that this type of nose improves its aerodynamic characteristics that can advise to be used at high speed and raises the possibility of reusing this kind of nose instead of the strict conical one.

Keywords: conical nose, multi-row disks, supersonic flow, CFD, aero heating

۲۰۳

سال ۱۳ - شماره ۱

بهار و تابستان ۱۴۰۲

نشریه علمی

دانش و فناوری هوا فضا





۱. مقدمه

موشک‌ها وسایل پرنده‌ای هستند که با تبعیت از قانون سوم نیوتن، از نیروی پیشرانس عکس‌العملی برای حرکت برخوردار بوده و اغلب تمامی مواد لازم (سوخت و اکسیدکننده) برای تولید انرژی را درون خود حمل می‌کنند. بنابراین می‌توانند در فضای عاری از جو نیز پرواز کنند.

دماغه اجسام پرنده مافوق صوت همانند موشک تحت تأثیر نیروهای شدید پسا و گرمایش آیرودینامیکی هستند. بنابراین اگر وسیله‌ای طراحی شود که برای دماغه، موجب کاهش نیروی درگ و گرمایش آیرودینامیکی شود، آن وسایل نقلیه به‌خصوص موشک‌ها با صرف سوخت و هزینه کمتری برای مأموریت خود استفاده می‌شوند.

از طرفی طراحی بهینه آیرودینامیکی برای این موشک‌ها نیازمند سنجش منطقی و وزن‌دهی مناسب به پارامترهای تأثیرگذاری مانند عملکرد آیرودینامیکی، دسترسی عملیاتی، هزینه و وزن است [۱]. در میان تنوع نیازهای طراحی، کاهش نیروی پسا و گرما در این گونه موشک‌ها بحرانی‌ترین نیاز است که متأسفانه این دو هدف معمولاً ناسازگار و متضاد یکدیگر هستند. بنابراین طراحی و تولید وسیله‌ای که هم‌زمان کمترین پسا و گرمایش آیرودینامیکی را داشته باشد، ساده نبوده و نیاز به کاری دقیق و حساب‌شده دارد.

تاکنون با اصلاح جریان بالای دماغه وسیله پرنده، تلاش‌های بسیاری برای کاهش نیروی پسا و گرمای آیرودینامیکی صورت گرفته است. کاهش نیروی پسا آیرودینامیکی برای وسیله پرنده موجب صرفه‌جویی در مصرف سوخت و رسیدن به ارتفاع مطلوب شده و نسبت بار مفید به وزن ناخالص را به حداکثر می‌رساند.

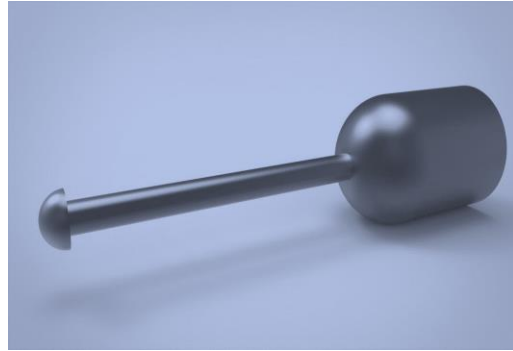
راه‌حل‌های متفاوتی برای اصلاح میدان جریان پیرامون دماغه با هدف پایین آوردن گرادپان فشار مثبت و شدت گرما، برای ایمن نگه داشتن ساختار داخلی دماغه ارائه شده است که برخی از آن‌ها عبارت‌اند از:

استفاده از اجسام باریک و نوک‌تیز در دماغه، استفاده از جسم پخ در دماغه، آیرواسپایک‌ها و دیسک‌های چند ردیفه [۲].

در استفاده از اجسام باریک و نوک‌تیز در دماغه، شوک متصل به دماغه ضعیف‌تر شده و درگ موجی کمتری تولید می‌شود؛ اما مشکل اصلی گرمای آیرودینامیکی بالای وسیله بود که نظریه دماغه نوک‌تیز را محکوم به شکست می‌کرد [۳].

جسم پخ برای تمامی دماغه‌های وسایل نقلیه مافوق صوت استفاده می‌شود زیرا گرمای آیرودینامیکی را کاهش می‌دهند؛ اما در مقایسه با جسم پخ، اجسام دراز و باریک پسای کمتری تولید می‌کنند [۲].

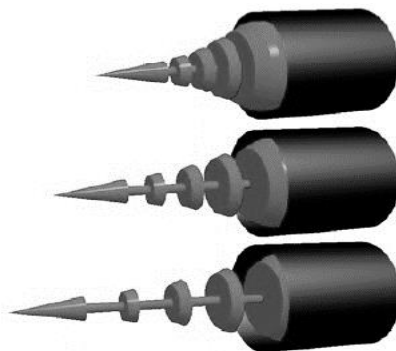
از میان روش‌های ارائه‌شده برای کاهش هم‌زمان پسا و گرمای آیرودینامیکی، اسپایک متصل به دماغه یکی از روش‌های ساده و کارآمد است؛ اما نتایج به‌دست‌آمده نشان می‌دهد که با افزایش زاویه حمله، تأثیر آیرواسپایک بر پسا و گرمای آیرودینامیکی کاهش می‌یابد. مشکل دیگر توانایی کنترل آیرودینامیکی در سرعت بالاست. افزایش عدد ماخ جریان آزاد باعث کاهش ناحیه جدایش جریان اطراف اسپایک نازک می‌شود. برای همین اثر آیرواسپایک نسبتاً کم می‌شود [۲]. شکل ۱ نمایی از یک آیرواسپایک را نشان می‌دهد.



شکل ۱. نمایی از دماغه به همراه آبرواسپایک

تحقیقات مربوط به دیسک‌های چند ردیفه از سال ۲۰۰۳ به صورت جدی آغاز شد. در آن سال وسیله جدیدی با نام MRD^1 طراحی و پیشنهاد شد که به عنوان دیسک‌های چند ردیفه هم شناخته می‌شود. این وسیله یک دماغه مخروطی و دیسک‌های پای‌دارکننده‌ای دارد که در راستای محوری قرار گرفته‌اند [۴]. از مزیت‌های این ساختار به موارد زیر اشاره شده است:

- پایداری آیرودینامیکی به دلیل وجود شیارهای عمیق در بین دیسک‌ها؛
 - کنترل پارامترهای آیرودینامیکی به علت داشتن هندسه متغیر؛
 - صرفه‌جویی در وزن به دلیل داشتن ساختار توخالی؛
 - جایگزین مناسب برای ساختارهای صلب (دماغه مخروطی ساده) [۵].
- شکل ۲ تصویری مفهومی از این وسیله طراحی شده جدید را نشان می‌دهد.



شکل ۲. مدل مفهومی از دماغه با دیسک‌های چند ردیفه در ادامه در سال ۲۰۰۴ مشخصات آیرودینامیکی دماغه‌هایی با دیسک‌های چند ردیفه یا همان MRD برای پیش‌رانش‌های

هواتنفسی^۲ ماوراءصوت به صورت تجربی بررسی شد [۶]. در ماه جولای همان سال مارو^۳ مفهوم چیدمان این دیسک‌های چند ردیفه برای اسپایک متقارن را بررسی کرد. این تحقیق مفهوم پیشرفته‌ای از عملکرد ورودی هوا برای سیستم‌های پیش‌رانش هواتنفسی آن هم در وسایل پروازی ماوراءصوت مانند فضاپیما را نشان داد [۷]. سرانجام در سال ۲۰۰۷ با طراحی و ساخت این دماغه، بررسی‌های اساسی مانند تحلیل ویژگی‌های آیرودینامیکی و اثرات ناپایداری جریان شیار بر فشار و نوسانات آن، در دماغه‌های حاوی این وسیله مافوق صوت همراه با آزمایش‌های تجربی در تونل باد و شبیه‌سازی‌های عددی در محیط CFD به صورت کامل صورت گرفت [۱].

در سال ۲۰۱۷ سیدانت کورانا^۴ و همکارانش اقدام به تحقیقات محاسباتی درباره طراحی دماغه همراه با دیسک‌های چند ردیفه کردند [۸]. همچنین کریمی و عبودی با تحقیق درباره توسعه روش‌هایی برای کاهش نیروی پسا و گرمای آیرودینامیکی در جریان‌های هایپرسونیک، از طراحی این هندسه نیز در کنار سایر مدل‌ها استفاده کرده‌اند [۹].

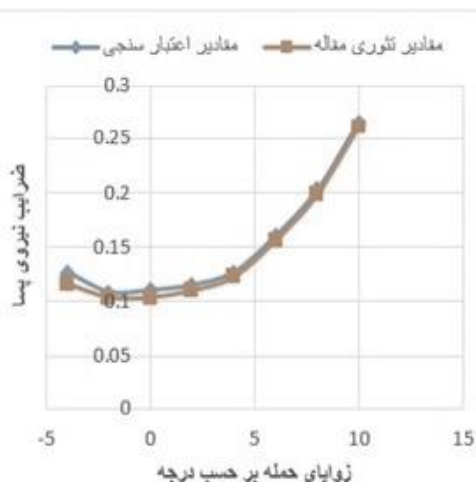
در این مطالعه با طراحی مدل جدیدی برای دماغه، با تغییر یکی از پارامترهای هندسی که در مدل طراحی شده توسط کوبایاشی و همکارانش که در شکل ۳ ارائه شده است، یعنی تغییر زاویه دماغه (δ) از مقدار ۸ به ۹ درجه، نتایج شبیه‌سازی عددی جریان اطراف دماغه‌ای همراه با دیسک‌های چند ردیفه با تعداد ۴، ۶، ۸، ۱۰، ۱۲ درجه، مختلف عدد دیسک، در محدوده زوایای حمله مختلف (۰، ۲، ۴، ۶، ۸، ۱۰ و ۱۲ درجه) بررسی شده است. در این زمینه برخلاف مطالعات قبلی صورت

۲. اعتبارسنجی

در این تحقیق برای اطمینان از صحت روش و مدل‌سازی صورت گرفته، ابتدا نتایج مربوط به بررسی عددی جدیدترین تحقیق کوبیاشی و همکارانش در سال ۲۰۰۷ مورد آزمایش قرار گرفت.

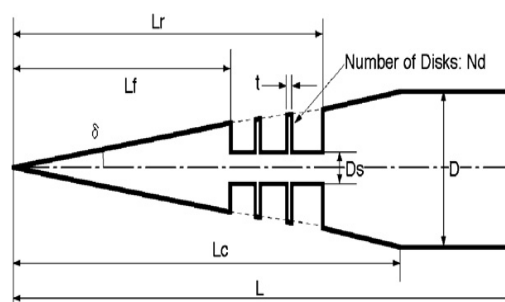
داده‌های اصلی این مقاله بر اساس شرایط فشار استاتیکی جریان آزاد $P=120.6/53$ پاسکال و دمای استاتیکی $T=102/88$ کلوین و عدد رینولدز $Re=3/47 \times 10^7$ و در زوایای حمله بین ۴- تا ۱۰ درجه ارزیابی شده‌اند؛ بنابراین برای این اعتبارسنجی همین کار ادامه داده شده است. زمانی که با شرایط ذکر شده بالا و زاویه حمله صفر درجه، تحلیل به جواب موردنظر یعنی 0.108 نزدیک شد، مرحله اصلی یعنی اضافه کردن زاویه حمله آغاز می‌شود.

زوایای حمله از مقدار ۴- درجه تا ۱۰ درجه به ترتیب برای دماغه اعمال شده و نتایج تحلیل و بررسی شده‌اند که نتایج آن‌ها به صورت مقایسه با نتایج ارائه شده در مقاله در شکل ۴ نشان داده شده است. این نتایج کمتر از ده درصد خطا دارند.



شکل ۴. مقایسه نتایج اعتبارسنجی و نتایج مرجع [1]

گرفته در اعداد ماخ پایین، این دفعه بررسی درباره اعداد ماخ در محدوده جریان مافوق صوت به‌طور ویژه ماخ ۳ صورت گرفته است. همچنین برای مقایسه بهتر در مورد کارایی این نوع دماغه، یک نمونه دماغه ساده مخروطی با همین مشخصات هندسی اما بدون دیسک آزمایش شده است و نتایج حاصل از دو دماغه با هم مقایسه شده است.



شکل ۳. پارامترهای هندسی استفاده شده در مدل کوبیاشی برای سال‌های ۲۰۰۳ و ۲۰۰۴ [۲]

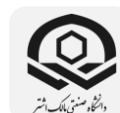
شرایط شبیه‌سازی به‌گونه‌ای است که در گذر جریان از نوک دماغه، جریان روی دیسک‌ها و انتهای بدنه دماغه، با تشکیل امواج ضربه‌ای قوی، ضعیف و با گردابه‌هایی در داخل شیار دیسک‌ها مواجه می‌شود.

هدف از این پژوهش بررسی اثربخشی استفاده از دیسک‌های چند ردیفه مختلف، درون شیارهای نسبتاً عمیق در کاهش ضریب نیروی پسا تولیدشده و همچنین مشاهده تأثیر استفاده از تعداد ۱۲ دیسک به‌خصوص در تغییرات یادشده می‌باشد.

مدل‌های ارائه شده در اینجا، یک دماغه مخروطی ساده به‌عنوان دماغه مرجع و دماغه‌های مخروطی با تعداد متفاوت دیسک چند ردیفه می‌باشد که به‌صورت محوری جایگذاری شده‌اند. این مدل‌ها در نرم‌افزار، مورد تحلیل عددی و بررسی فیزیکی قرار گرفته است.

۲۰۶

سال ۱۲- شماره ۱
بهار و تابستان ۱۴۰۲
نشریه علمی
دانش و فناوری هوا فضا



مقایسه آیرودینامیکی دماغه‌های مافوق صوت مخروطی ساده و همراه با دیسک‌های چند ردیفه

۳. روش عددی

معادلات استفاده شده در این مطالعه، معادلات ناویر استوکس تراکم پذیر پایا بوده که با استفاده از نرم افزار تجاری فلونت حل شده اند. میدان جریان کاملاً آشفته فرض شده و از مدل تک معادله ای اسپالارت آلماراس^۵ برای مدل سازی جریان استفاده شده است. این مدل کم هزینه، معادله انتقال را برای ویسکوزیته گردابی اصلاحی حل می کند. بنابراین این مدل در حوزه هوافضا و به خصوص آیرودینامیک با جدایش کم مانند جریان های مافوق صوت/ حدود صوت و جریان های لایه مرزی کاربرد دارد. از این مدل برای اعداد رینولدز پایین استفاده می شود. معادله ۱-۳ معادله اسپالارت - آلماراس را معرفی می کند:

$$\frac{D\tilde{v}}{Dt} = G_v + \frac{1}{\sigma_{\tilde{v}}} \left[\frac{\partial}{\partial x_j} \left\{ (\mu + \rho\tilde{v}) \frac{\partial \tilde{v}}{\partial x_j} \right\} + C_{b2\rho} \left(\frac{\partial \tilde{v}}{\partial x_j} \right)^2 \right] - Y_v - S_{\tilde{v}} \quad (1)$$

که در آن

$$\mu_t = \rho\tilde{v}\delta f_{v1} \quad (2)$$

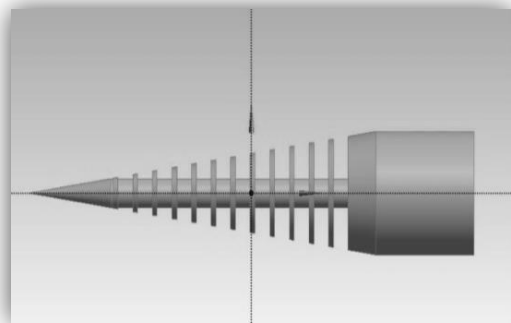
$$f_{v1} = \frac{\left(\frac{\tilde{v}}{v}\right)^3}{\left(\frac{\tilde{v}}{v}\right)^3 + C_{v1}^3} \quad (3)$$

در این معادله \tilde{v} معرف ویسکوزیته سینماتیکی اغتشاشی، G_v تولید ویسکوزیته اغتشاشی و Y_v اتلاف ویسکوزیته اغتشاشی است که در ناحیه نزدیک دیواره به سبب انسداد و استهلاك ویسکوز رخ می دهد. σ_v و $C_{b2\rho}$ ضرایب ثابت و v ویسکوزیته مولکولی می باشد [۱۰].

همچنین در اینجا از روش گام برداری زمانی ضمنی و پردازش موازی برای سرعت بخشی به روند حل مسائل استفاده شده است.

۴. هندسه مدل و شبکه محاسباتی

در این قسمت هندسه دماغه و موقعیت دیسک های قرار گرفته در دماغه معرفی می شود. برای چیدمان و نحوه قرارگیری دیسک های چند ردیفه بر روی دماغه طرح های مختلفی وجود دارد. مدلی که در تحقیقات سال های ۲۰۰۳ و ۲۰۰۴ بیشتر بررسی شده است، چیدمانی بوده که دیسک ها با فاصله های مشخص و حدوداً از همان ابتدای دماغه مخروطی روی آن جایگذاری شده اند. شکل ۵ این نوع چیدمان را بهتر نشان می دهد.

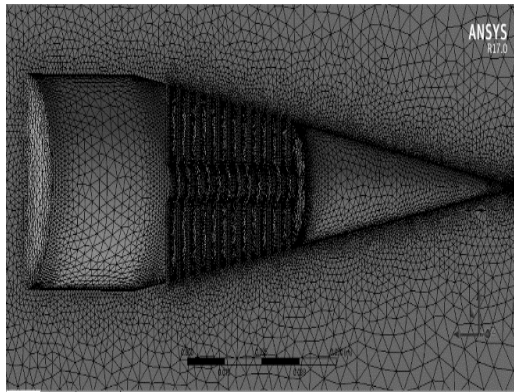


شکل ۵. مدل طراحی شده کوبایشی برای سال های ۲۰۰۳ و ۲۰۰۴ [۲]

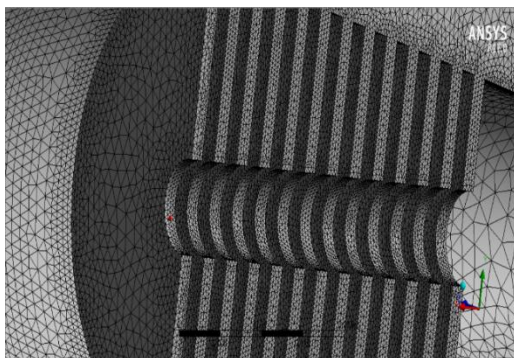
با بررسی مدل های مختلف دماغه مخروطی با چیدمان شکل ۵، مسئله ایجاد نیروی پسای بیشتر به علت برخورد مکرر جریان با دیسک ها مورد توجه قرار گرفت؛ بنابراین برای اصلاح بهتر این چیدمان از قرارگیری دیسک ها در فضای بین دماغه استفاده شد.

شکل ۶ هندسه دوبعدی دماغه مخروطی یکی از نمونه ها که ۱۲ دیسک دارد را نشان می دهد. سایر مدل ها نیز با تفاوت در تعداد دیسک ها چنین چیدمانی دارند.

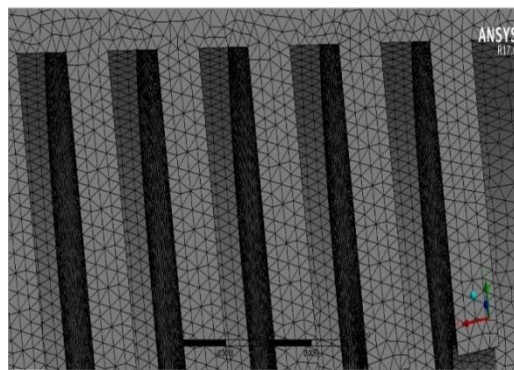




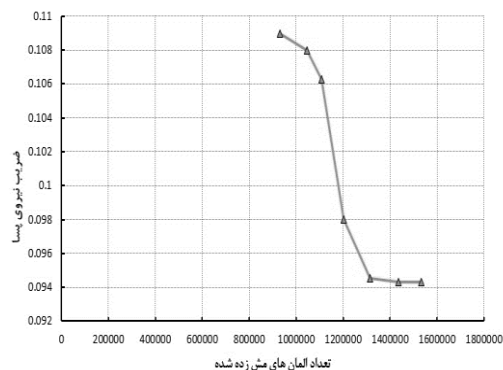
شکل ۸. شبکه مش زده شده اطراف دماغه و دیسکها



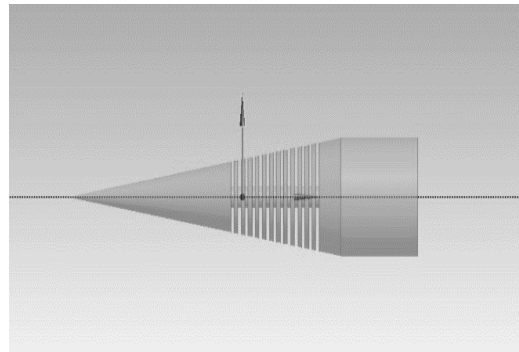
شکل ۹. شبکه تولیدشده روی دیسک و شیارها



شکل ۱۰. شبکه تولیدشده در داخل شیارها



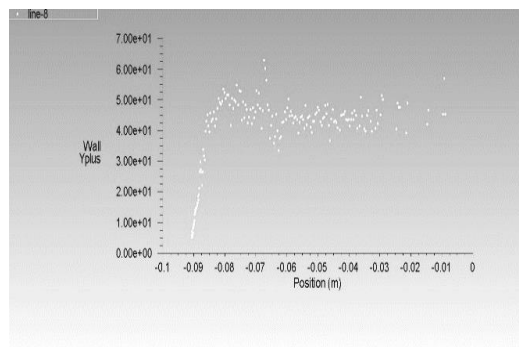
شکل ۱۱. نمودار استقلال حل از شبکه



شکل ۶. نمایی از هندسه دوبعدی یکی از دماغه های مدل شده

چون مدل های بررسی شده، تقارن دارند، به بررسی نیمی از شکل آن ها بسنده می شود. مش بندی استفاده شده برای مدل ها با حدود یک میلیون و چهارصد هزار سلول از نوع مش بی سازمان به همراه مش بندی جداگانه لبه های تمام سطوح دماغه به اندازه های مناسب بوده تا شرط ارضا شدن Y^+ و شبیه سازی گردابه های تولیدی در داخل شیارها را برآورده کند. شکل ۷ نمودار Y^+ را بر روی دماغه مخروطی نشان می دهد. مقدار متوسط Y^+ از عدد ۳۰ بیشتر می باشد. جریان در صفحه $Y-Z$ هم متقارن فرض شده است.

برای اطمینان از این که جواب های محاسبه شده توسط نرم افزار ارتباطی با تعداد المان های مش زده برای مدل ندارند، تغییرات ضریب نیروی پسا برای چندین شبکه محاسباتی برای ماخ ۳ در نمودار gride study شکل ۱۱ آورده شده است.



شکل ۷. نمودار Y^+ ترسیم شده برای دماغه مخروطی



۵. شرایط حل جریان

برای شبیه‌سازی جریان در دوردست، از شرط مرزی ورودی فشار در دوردست^۶ با عدد ماخ جریان آزاد، دما و فشار استاتیکی مربوطه که در جدول ۱ معرفی شده است استفاده می‌شود. برای سطوح دیسک‌ها و دماغه از شرط مرزی دیوار آدیاباتیک و برای صفحه تقارن از شرط مرزی تقارن استفاده شده است.

عدد ماخ جریان آزاد از ۳ تا ۴ (با گام‌های ۰/۵) و زاویه حمله از ۰ تا ۱۲ درجه (با گام‌های ۲ درجه) انتخاب شده است. دماغه مخروطی ساده و دماغه مخروطی همراه با دیسک‌های چند ردیفه متعدد، به ترتیب در این شرایط بررسی شده‌اند.

جدول ۱. شرایط فیزیکی مربوط به هر عدد ماخ

عدد ماخ	فشار استاتیکی pa	دمای استاتیکی k
۳	۱۲۰۰۶/۵۳	۱۰۲/۸۸
۳/۵	۶۸۵۱/۹۷	۸۳/۴۷
۴	۳۹۸۰/۱۱	۶۸/۵۷
۵	۱۴۵۰/۹۴	۴۸

۶. تحلیل رفتار جریان

در این قسمت ابتدا تغییرات مربوط به ضرایب نیروی پسا برای پنج نوع دماغه مخروطی که تعداد مختلفی دیسک‌های چند ردیفه دارد بررسی می‌شود و دماغه‌ای که اثرات بهتری در بین سایر دماغه‌ها دارد انتخاب شده و با دماغه مخروطی ساده مقایسه می‌شود.

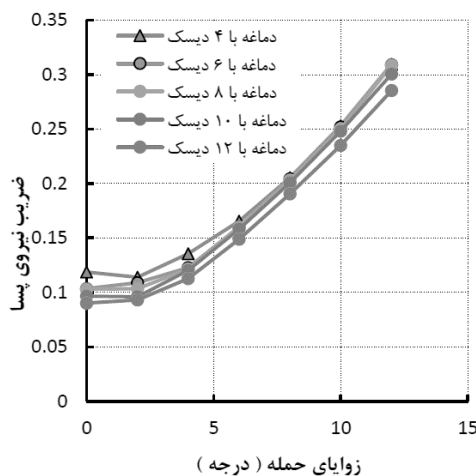
دماغه‌های مخروطی با دیسک‌های چند ردیفه ۴، ۶، ۸، ۱۰ و ۱۲ تایی طراحی و تحلیل می‌شوند. برای هر دماغه، بررسی ضریب نیروی

پسا در بازه زوایای حمله صفر تا ۱۲ درجه و در شرایط فشار و دمای عدد ماخ ۳ می‌باشد.

همان‌گونه که در جدول ۱ نشان داده شده است، این بررسی برای اعداد ماخ ۳/۵، ۴ و ۵ هم صورت گرفته است؛ اما به دلیل گسترده بودن حجم نتایج هر عدد ماخ و البته شباهت‌های کافی در نتایج آن‌ها، تنها نتایج حاصل از یکی از اعداد ماخ معرفی شده در جدول ۱ بررسی شده است.

البته دلیل این کار بیشتر برای مطابقت رفتارها و نتایج این تحقیق با نتایج حاصل از منبع [1] که در عدد ماخ ۳ صورت گرفته، بوده و برای همین این نتایج برای عدد ماخ ۳ آورده شده است.

هدف اصلی این تحقیق بررسی عملکرد این نوع دماغه در محدوده سرعت‌های مافوق صوت یعنی از ماخ ۳ تا ۵ بوده است.



شکل ۱۲. تغییرات ضریب نیروی پسا در زوایای حمله مختلف برای دماغه‌های مخروطی با دیسک‌های چند ردیفه متفاوت

همان‌گونه که در شکل شماره ۱۲ مشاهده می‌شود، دماغه‌ها در زوایای حمله کوچک، ضرایب نیروی پسا مشابهی را تولید می‌کنند و میزان اختلاف بین نیروی پسا تولیدشده در دماغه‌ای با ۴ دیسک و دماغه‌ای با ۱۲ دیسک در هر زاویه

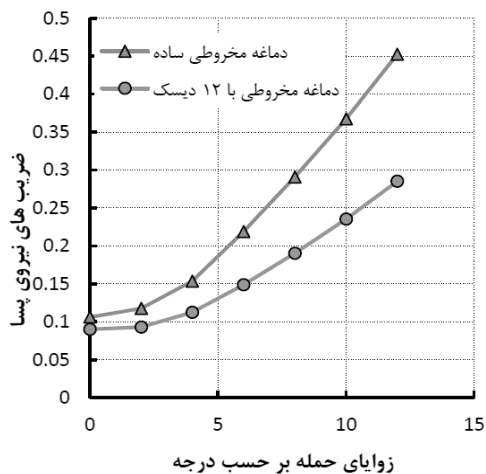
حمله بسیار قابل توجه می‌باشد. بیشترین تفاوت در زاویه حمله صفر درجه و کمترین آن در زاویه حمله ۱۲ درجه مشاهده شده است. جدول ۲ میزان کاهش ضرایب نیروی پسا دماغه‌ها نسبت به دماغه ۱۲ دیسکی در ماخ ۳ را برای دو زاویه حمله ۰ و ۱۲ نشان داده است.

جدول ۲. اختلاف ضرایب نیروی پسا در دماغه‌های مختلف به دماغه دارای ۱۲ دیسک

تعداد دیسک‌ها	$\alpha = 0$	$\alpha = 12$
۴	۲۳/۸۹٪	۷/۸۸٪
۶	۱۲/۷۹٪	۷/۷۳٪
۸	۱۰٪	۷/۵۸٪
۱۰	۶/۶۵٪	۵/۰۹٪

دماغه مخروطی ساده مقایسه می‌شود تا صحت این ادعا بررسی شود.

شکل ۱۳ مقایسه‌ای بین ضرایب نیروی پسا در دماغه مخروطی ساده با دماغه‌ای که ۱۲ دیسک چند ردیفه دارد را در عدد ماخ ۳ نشان می‌دهد.



شکل ۱۳. مقایسه ضرایب نیروی پسا بین دو دماغه مخروطی

مشاهده می‌گردد که با افزایش زاویه حمله ضرایب نیروی پسا برای هر دو دماغه افزایش پیدا می‌کند اما میزان اختلاف در ضرایب نیروی پسا برای دو زاویه حمله متوالی در دماغه‌ای که دارای ۱۲ عدد دیسک می‌باشد بسیار کم‌تر از دماغه مخروطی ساده است. همچنین مشاهده می‌گردد که در زاویه حمله ۱۲ درجه، دماغه مخروطی همراه با ۱۲ دیسک نسبت به دماغه مخروطی ساده؛ ضریب نیروی پسا را حدود ۳۰٪ کاهش می‌دهد؛ بنابراین استفاده از دیسک‌های چند ردیفه تأثیر مثبتی روی کاهش ضریب نیروی پسا نسبت به دماغه مخروطی ساده دارد.

در بررسی‌ای دیگر تأثیر افزایش عدد ماخ بر روی عملکرد دماغه مخروطی که دارای ۱۲ دیسک چند ردیفه می‌باشد مورد تحلیل قرار گرفته است. هدف از این بررسی اطمینان از

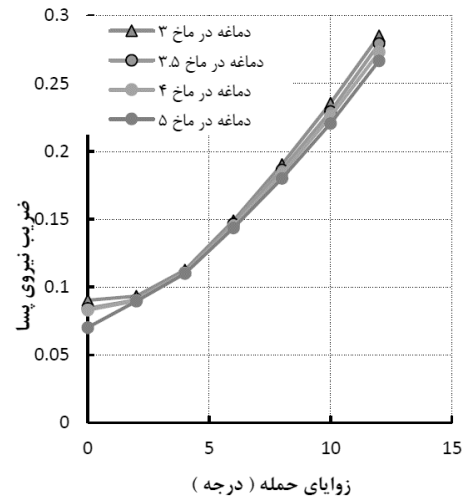
دلیل این اتفاق تأثیر حضور دیسک‌های چند ردیفه بعد از دماغه مخروطی نوک‌تیز است که ابتدا باعث ضعیف‌تر شدن قدرت امواج ضربه‌ای شده و سپس لایه مرزی تولید شده روی دیسک‌ها را کاهش داده‌اند که در نتیجه کاهش مؤثر ضریب نیروی پسا را به دنبال داشته است.

دماغه مخروطی ساده باعث تولید کمترین مقدار نیروی پسا و میزان مصرف سوخت در پرواز می‌شود ولی با مشکل افزایش دمای آیرودینامیکی مواجه می‌باشد. ادعا می‌شود که این طراحی جدید برای دماغه مخروطی که به همراه ۱۲ عدد دیسک چند ردیفه می‌باشد، به بهبود ضرایب نیروی پسا حتی نسبت به حالت دماغه ساده کمک می‌کند. برای این منظور، بهترین مدل از بین دماغه‌های مخروطی با دیسک‌های چند ردیفه که دماغه‌ای با ۱۲ دیسک می‌باشد با یک



عملکرد مطلوب این دماغه در سرعت‌های بالا جهت رد شدن امکان احتمالی یا شانسی بودن نتایج از بین پاسخ‌های گرفته‌شده از نرم‌افزار می‌باشد.

شکل ۱۴ تغییرات ضریب نیروی پسا را برای دماغه مخروطی با ۱۲ دیسک در اعداد ماخ ۳، ۳/۵، ۴ و ۵ را نشان می‌دهد.



شکل ۱۴. مقایسه ضرایب نیروی پسا بین دماغه‌های مخروطی در اعداد ماخ مختلف

مشاهده می‌شود که با افزایش عدد ماخ جریان به‌صورت تدریجی، ضرایب نیروی پسا به آرامی کم می‌شوند. جدول شماره ۳ میزان اختلاف بین هر دماغه را در یک زاویه حمله مشخص نشان می‌دهد.

جدول ۳. اختلاف ضرایب نیروی پسا در دماغه دارای ۱۲ در زوایای حمله مختلف

زاویای حمله	درصد اختلاف میان ماخ ۳ و ۵	درصد اختلاف میان ماخ ۳/۵ و ۴	درصد اختلاف میان ماخ ۴ و ۵
۰	۰/۲۲	۰/۱۶/۵	۰/۱۶/۷
۲	۰/۲/۹	۰/۰/۱۰۷	۰/۰/۱۵۵
۴	۰/۱/۵۹	۰/۰/۱۱۶	۰/۰/۱۶۳
۶	۰/۳/۵۶	۰/۲/۰۴	۰/۰/۱۶۹
۸	۰/۵/۴	۰/۳/۳۲	۰/۱/۷۹
۱۰	۰/۶/۳۲	۰/۳/۸۳	۰/۲/۲۱
۱۲	۰/۶/۴۵	۰/۴/۵	۰/۲/۳

همان‌گونه که مشاهده می‌شود، در زاویه حمله صفر درجه میزان اختلاف بین ضریب نیروی پسا دماغه‌های ۱۲ دیسکی با یکدیگر نسبت به حالت‌هایی که دماغه دارای زاویه حمله است، بیشتر می‌باشد و بعد از آن ضرایب نیروی پسا در هر دماغه و با توجه به زاویه حمله مشخص، مقادیر مشابهی دارد که اختلاف چندانی با یکدیگر ندارند اما با افزایش زاویه حمله آهسته‌آهسته بین این مقادیر تفاوتی ایجاد می‌شود.

بنابراین می‌توان این احتمال را در نظر گرفت که علت کاهش ضریب نیروی پسا با افزایش سرعت جریان برخوردکننده به نوک دماغه مخروطی، ممکن است به خاطر برخورد جریان به دیسک‌های قرار گرفته در راستای دماغه باشد که در حالت بدون زاویه حمله، دارای بهترین کارایی و کاهش چشمگیر برای ضریب نیروی پسا می‌باشند.

مطابق با اظهارات قبلی در منبع [۱]؛ به نظر می‌رسد افزایش تعداد دیسک‌ها باعث کاهش پسای بدون لیفت^۷ و پسای القایی^۸ می‌شود. در آیرودینامیک، نیروی پسای القایی نیرویی است که هر زمان یک جسم در حال حرکت، جهت جریان هوا را تغییر دهد، ایجاد می‌شود.

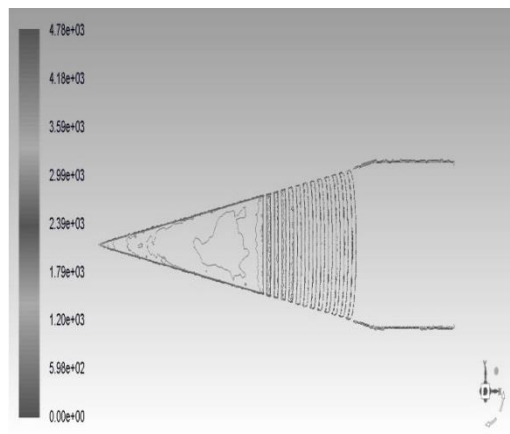
از طرف دیگر با نامتقارن شدن وضعیت دماغه در زوایای حمله بالاتر، این دیسک‌ها نقش پایدارکننده‌ای در جریان پیدا می‌کنند زیرا رشد لایه مرزی را به‌طور مؤثری کاهش می‌دهند که این اقدام احتمالاً شرایط بحرانی افزایش ضریب نیروی پسا و فشار را کنترل می‌کند. همچنین وجود شیارهای عمیق که دیسک‌ها در آن قرار گرفته‌اند به بهبود فشار و کاهش ضرایب نیروی پسا در این سرعت کمک شایانی می‌کند زیرا خود



شیارها نیز در رشد لایه مرزی جریان مؤثر هستند.

قبل از بررسی تغییرات ضریب فشار، عدد ماخ و تغییرات دمای استاتیکی لازم است کمی درباره رفتار لایه مرزی در این تحقیق صحبت شود.

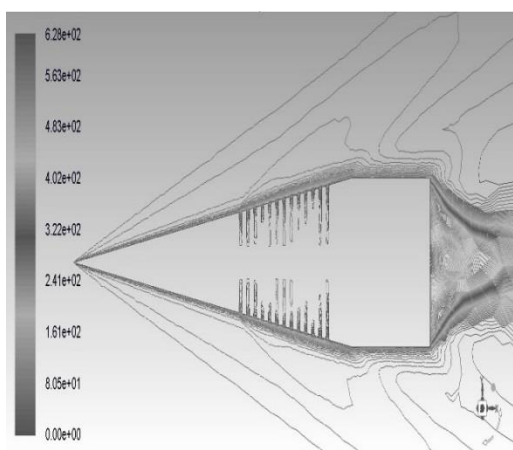
اگر دماغه ۱۲ عدد دیسک داشته باشد و رفتار آن در جریانی با عدد ماخ ۳ در دو حالت زاویه حمله صفر و ۱۲ درجه بررسی شود، مشاهده می‌شود که دماغه زمانی که به صورت متقارن و بدون زاویه حمله درون جریان قرار می‌گیرد، لایه مرزی از ابتدای دماغه مخروطی تا انتهای بدنه به صورت یکنواخت تشکیل شده و تنها زمانی که در پشت بدنه دماغه جدایش جریان رخ می‌دهد، لایه مرزی دیگر تأثیری ندارد. زیرا در آنجا جریان کاملاً از روی سطح جدا شده و تماسی بین جریان و سطح نیست. شکل ۱۵ لایه مرزی تشکیل شده روی دماغه ۱۲ دیسکی که بدون زاویه حمله در جریان قرار گرفته است را نشان می‌دهد.



شکل ۱۵. کانتور ضریب تنش برشی دیواره برای دماغه ۱۲ دیسکی در زاویه حمله صفر درجه

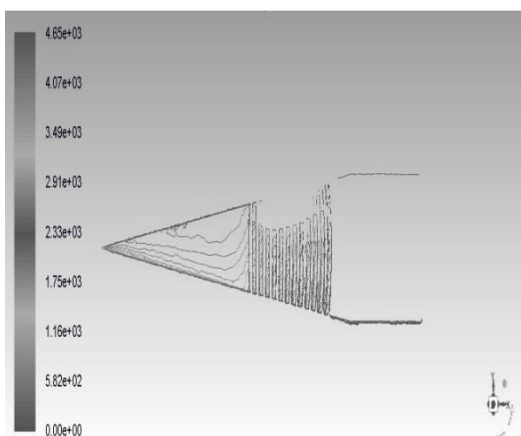
البته این رفتار قابل پیش‌بینی بوده و همین‌طور کانتور اندازه سرعت نیز بر رفتار متقارن جریان روی سطح دماغه تا قبل از انتهای بدنه تأکید می‌کند. شکل ۱۶ کانتور اندازه سرعت

را برای همین دماغه نشان می‌دهد.



شکل ۱۶. کانتور اندازه سرعت برای دماغه ۱۲ دیسکی در زاویه حمله صفر درجه

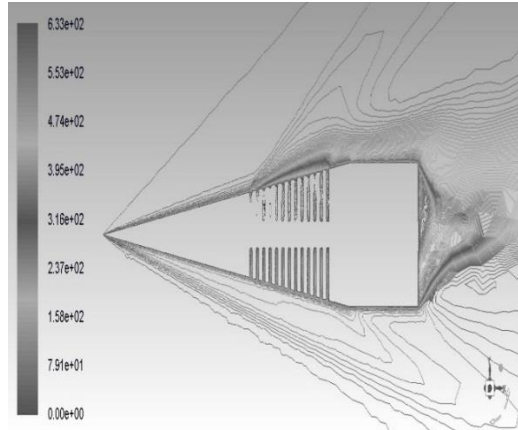
اما زمانی که دماغه ۱۲ دیسکی با زاویه حمله ۱۲ درجه بررسی می‌شود، مشاهده می‌شود که دلیل کاهش فشار و افزایش سرعت روی سطح بالایی دماغه و شروع زودتر جدایش جریان، دیگر لایه مرزی به صورت متقارن تشکیل نشده و بیشتر در سطح زیرین دماغه قرار خواهد گرفت چون در سطح بالا و در محل دیسک‌ها جدایش جریان هم وجود دارد. شکل ۱۷ کانتور ضریب تنش برشی دماغه ۱۲ دیسکی را در زاویه حمله ۱۲ درجه نشان می‌دهد.



شکل ۱۷. کانتور ضریب تنش برشی دیواره برای دماغه ۱۲ دیسکی در زاویه حمله ۱۲ درجه

رفتار کانتور اندازه سرعت برای این دماغه نیز

گواه این رفتار است که با افزایش سرعت و کاهش فشار در سطح بالایی دماغه، لایه مرزی به پایین دماغه منتقل می‌شود. شکل ۱۸ کانتور اندازه سرعت این دماغه را نشان می‌دهد.



شکل ۱۸. کانتور اندازه سرعت برای دماغه ۱۲ دیسکی در زاویه حمله ۱۲ درجه

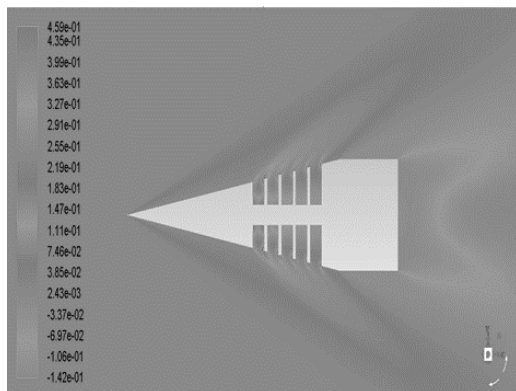
در ادامه دو پارامتر مهم در عملکرد کلی یک دماغه مخروطی، یعنی تغییرات ضریب فشار و دمای استاتیکی بررسی می‌شود. بنابراین ابتدا دماغه‌های مخروطی همراه با دیسک‌های چند ردیفه متعدد بررسی و مقایسه می‌شوند و سپس دماغه برتر با دماغه مخروطی ساده مقایسه می‌شود.

مقایسه صورت گرفته در بین دماغه‌های مخروطی همراه با دیسک‌های چند ردیفه مختلف در عدد ماخ ۳ صورت گرفته است.

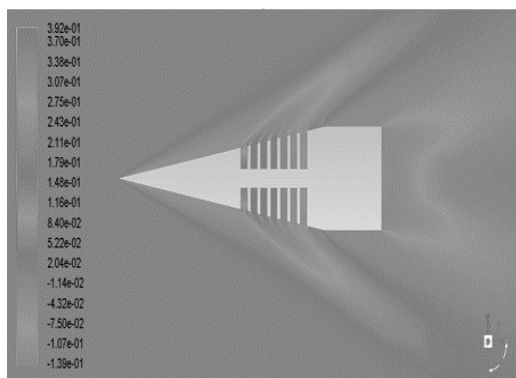
زاویه حمله صفر معمولاً به‌عنوان حالتی مناسب و ایده‌آل برای حرکت هرگونه وسیله پروازی محسوب می‌شود که به‌اصطلاح به آن حالت پرواز کروز هم گفته می‌شود؛ اما زاویه حمله ۱۲ درجه به‌عنوان بحرانی‌ترین وضعیت پروازی در بین حالت‌های پروازی ارائه شده در این مقاله است که در آن وضعیت نامتقارن برای وسیله و دماغه ایجاد می‌شود. هدف از مقایسه‌های صورت گرفته در این دو زاویه به نحوی مقایسه

بین رفتار راحت‌ترین و دشوارترین وضعیت پروازی در تعیین صلاحیت دماغه‌های موردبررسی می‌باشد. شکل‌های ۱۹ تا ۲۳ مربوط به کانتورهای ضریب فشار این دماغه‌ها در زاویه حمله صفر و شکل‌های ۲۴ تا ۲۸ مربوط به کانتورهای ضریب فشار در زاویه حمله ۱۲ درجه می‌باشد.

با توجه به شکل‌های زیر چون دماغه مخروطی می‌باشد، موج ضربه‌ای مایل متصلی از نوک دماغه ساع می‌شود که این موج ضربه‌ای مایل باعث می‌شود که فشار وارد بر سطح دماغه مخروطی اندکی زیاد شود. پس از عبور از دماغه، جریان به دیسک‌های قرار گرفته برخورد می‌کند.

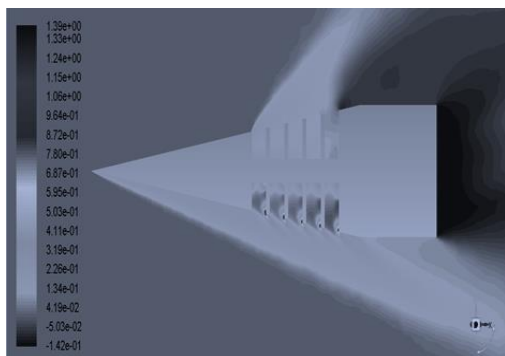


شکل ۱۹. تغییرات ضریب فشار در دماغه ۴ دیسکی در زاویه حمله صفر

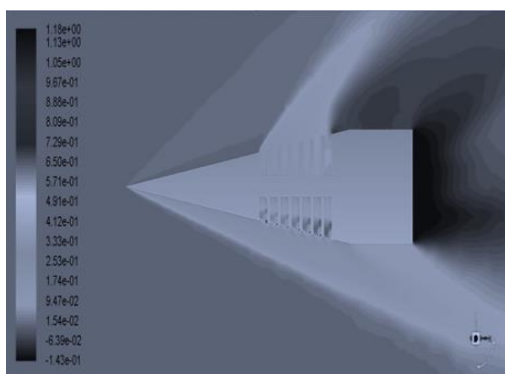


شکل ۲۰. تغییرات ضریب فشار دماغه ۶ دیسکی در زاویه حمله صفر

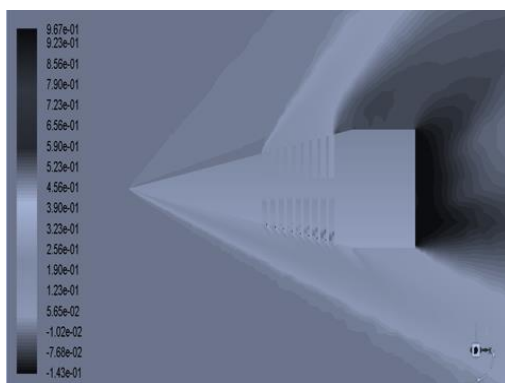
موج ضربه‌ای ضعیفی تولید می‌کند. از طرفی با افزایش تعداد دیسک‌ها فضای داخلی بین آن‌ها کاهش یافته و جریان داخل شیار افزایش فشار بالایی را تجربه می‌کند که به دیسک‌های اولی محدود گردیده و بعد از آن‌ها فشار به آرامی کاهش می‌یابد. افزایش فشار و توزیع متقارن آن باعث نیروی لیفت بیشتری برای دماغه می‌شود.



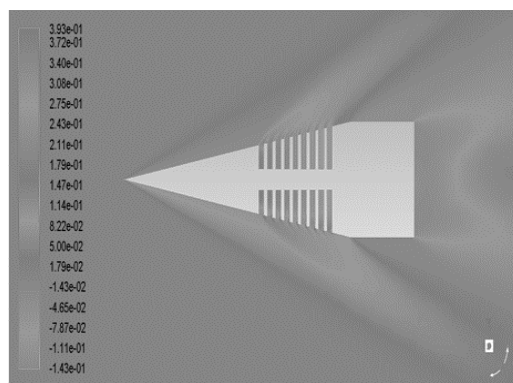
شکل ۲۴. تغییرات ضریب فشار دماغه ۴ دیسکی در زاویه حمله ۱۲ درجه



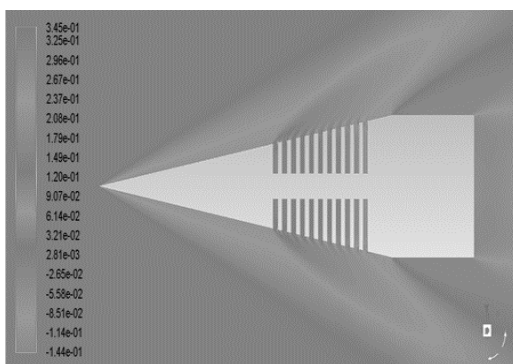
شکل ۲۵. تغییرات ضریب فشار دماغه ۶ دیسکی در زاویه حمله ۱۲ درجه



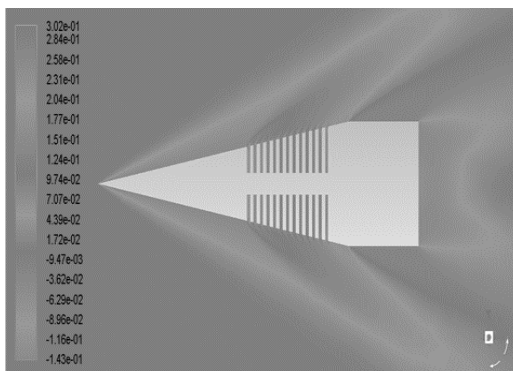
شکل ۲۶. تغییرات ضریب فشار دماغه ۸ دیسکی در زاویه حمله ۱۲ درجه



شکل ۲۱. تغییرات ضریب فشار دماغه ۸ دیسکی در زاویه حمله صفر



شکل ۲۲. تغییرات ضریب فشار در دماغه ۱۰ دیسکی در زاویه حمله صفر

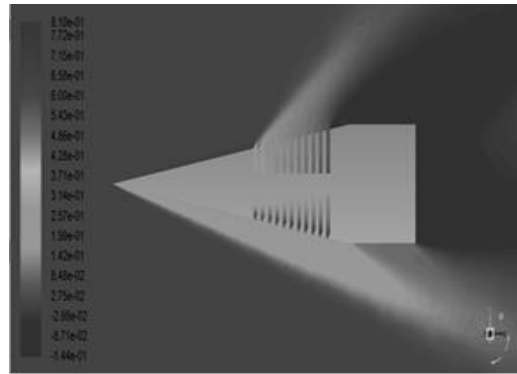


شکل ۲۳. تغییرات ضریب فشار دماغه ۱۲ دیسکی در زاویه حمله صفر

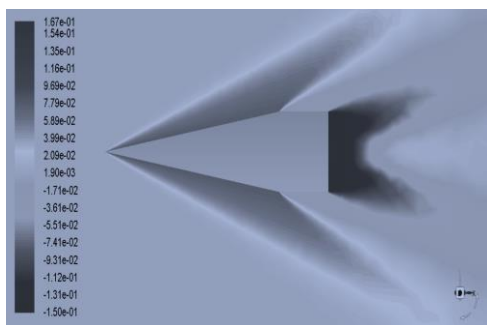
با توجه به شکل‌های ۱۹ تا ۲۳ اگر دماغه‌ها در زاویه حمله صفر قرار گرفته باشند، با هر برخورد جریان به دیسک‌ها، موج ضربه‌ای قوی‌تری نسبت به نوک دماغه ایجاد می‌شود که این امواج باعث افزایش بیشتر ضریب فشار می‌شوند. پس از عبور جریان از شیارها و دیسک‌های قرار گرفته شده، جریان به بدنه برخورد و

۱۲ عدد، بر افزایش ضریب فشار روی دماغه، دیسک‌ها، بدنه و افت تدریجی آن بسیار بهتر از دماغه‌ای با تعداد ۴ عدد دیسک است.

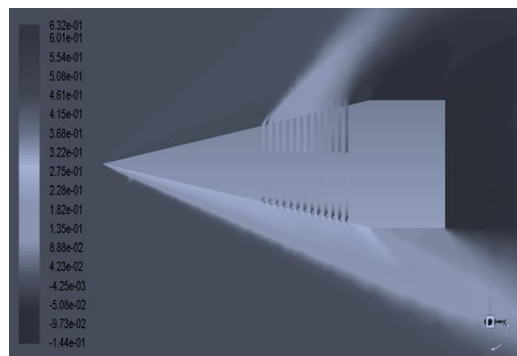
بررسی دیگر در ارتباط با تغییرات ضریب فشار برای دماغه مخروطی ساده و دماغه مخروطی منتخب یعنی دماغه مخروطی با ۱۲ دیسک چند ردیفه می‌باشد. برای یکسان‌سازی نتایج برای مقایسه بهتر، بررسی‌های زیر نیز در عدد ماخ ۳ صورت گرفته‌اند.



شکل ۲۷. تغییرات ضریب فشار دماغه ۱۰ دیسکی در زاویه حمله ۱۲ درجه

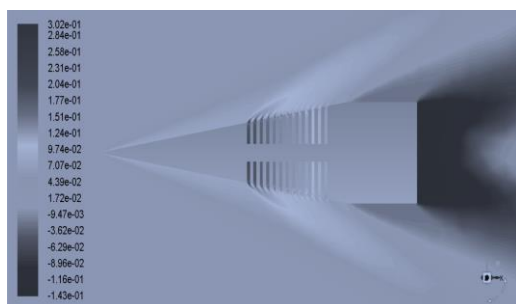


شکل ۲۹. تغییرات ضریب فشار در دماغه مخروطی ساده



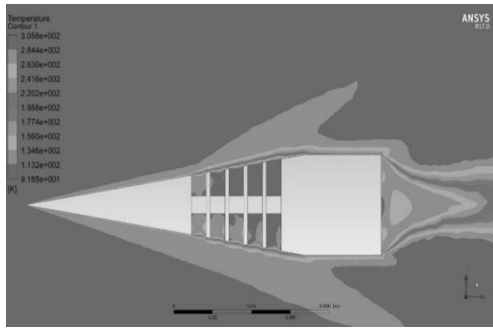
شکل ۲۸. تغییرات ضریب فشار دماغه ۱۲ دیسکی در زاویه حمله ۱۲ درجه

جریان مافوق صوت در حالی به دماغه مخروطی ساده برخورد می‌کند که انتظار می‌رود با توجه به ماهیت دماغه، فشار کمتری به سطح مخروط وارد نماید. چون موج ضربه‌ای ایجاد شده بر روی مخروط، زاویه موج کوچک‌تری دارد بنابراین موج ضربه‌ای ضعیفی تولید می‌شود؛ اما این موج ضربه‌ای به نوبه خود موجب افزایش فشار بر روی سطح دماغه شده و به جریانی با فشار منفی در انتهای دماغه تبدیل می‌شود.

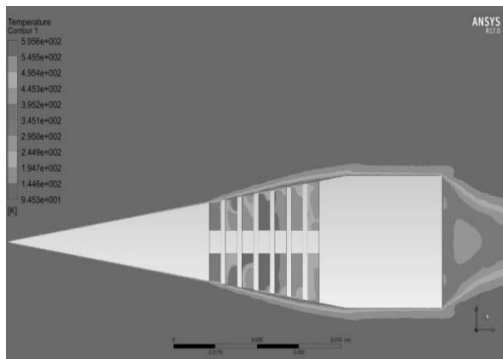


شکل ۳۰. تغییرات ضریب فشار دماغه مخروطی با ۱۲ دیسک چند ردیفه

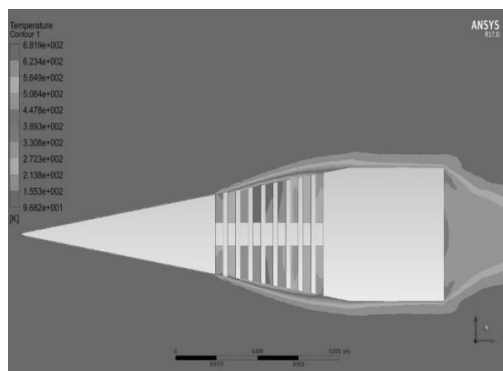
اگر دماغه‌ها در زاویه حمله نسبتاً بالایی مثل ۱۲ درجه قرار بگیرند، دیگر دماغه‌ها به صورت متقارن رفتار نمی‌کنند و افزایش ضریب فشار برای سطح زیرین دماغه‌ها و دیسک‌ها بیشتر رخ می‌دهد. در سطح بالایی دماغه، جریان در گذر از دیسک‌ها کمی افزایش در ضریب فشار پیدا می‌کند و بلافاصله بعد از برخورد به بدنه افت فشار شدیدی را تجربه می‌کند درحالی‌که برای سطح زیرین، تقریباً تا انتهای بدنه چنین افت فشاری به وجود نمی‌آید و دلیل آن امواج ضربه‌ای قوی‌تری است که در سطح زیرین به علت نامتقارن بودن دماغه ایجاد شده است. دیسک‌هایی که در دماغه تعبیه شده‌اند، به نحوی تأثیر شیارهای عمیق را نشان می‌دهند که این‌گونه شیارها باعث پیوستگی توزیع فشار می‌شود. باز هم مشاهده می‌شود که تأثیر تعداد دیسک‌های بیشتر مانند



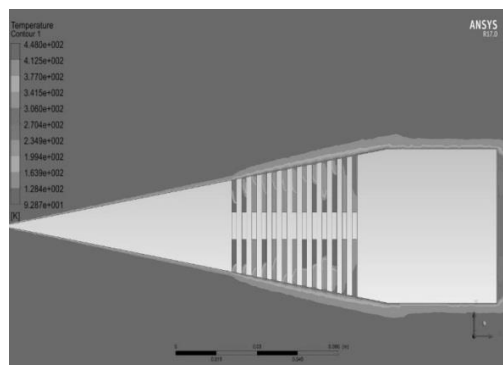
شکل ۳۱. تغییرات دمای استاتیکی در دماغه ۴ دیسکی در زاویه حمله صفر



شکل ۳۲. تغییرات دمای استاتیکی در دماغه ۶ دیسکی در زاویه حمله صفر



شکل ۳۳. تغییرات دمای استاتیکی در دماغه ۸ دیسکی در زاویه حمله صفر



شکل ۳۴. تغییرات دمای استاتیکی دماغه ۱۰ دیسکی در زاویه حمله صفر

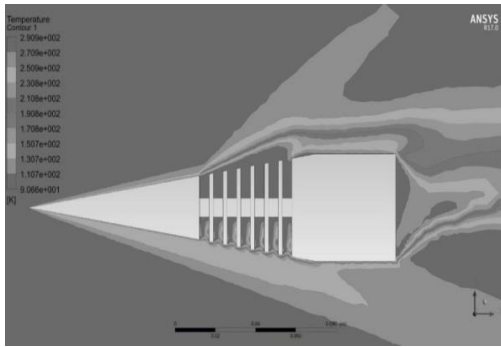
شکل ۳۰ نشان می‌دهد که استفاده از دیسک‌های چند ردیفه، امواج ضربه‌ای متعددی را ایجاد می‌کند تا از انرژی جریان به‌آرامی کاسته شده و فشار با شیب ملایمی از افزایش خود بعد از برخورد جریان به نوک دماغه مخروطی کاهش پیدا کرده و به فشار منفی در انتهای دماغه برسد. اهمیت استفاده از این نوع طراحی، جلوگیری از ایجاد ناپیوستگی و تغییرات ناگهانی ضریب فشار در گذر جریان مافوق صوت از روی چنین دماغه‌ای می‌باشد.

بررسی تغییرات مربوط به دمای استاتیکی یکی از مهم‌ترین و قابل تأمل‌ترین پارامترهای بررسی در هر دماغه مافوق صوت به‌خصوص دماغه‌های مخروطی مافوق صوت می‌باشد. زیرا یکی از مهم‌ترین ضعف‌های این نوع دماغه‌ها تولید دمای بالا بعد از برخورد جریان پرسرعت به نوک دماغه می‌باشد.

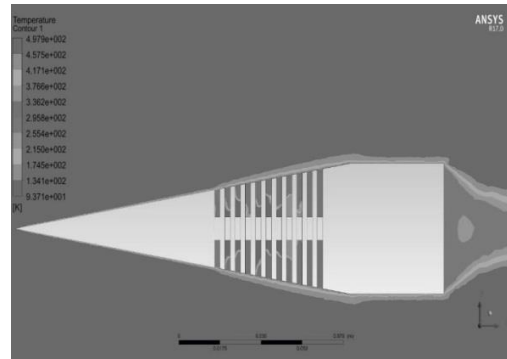
اولین اقدام در این قسمت بررسی وضعیت دمایی در بین دماغه‌های مخروطی با تعداد دیسک‌های مختلف است تا دماغه بهتر از بین آن‌ها انتخاب شود و در نهایت مزیت استفاده از آن با دماغه مخروطی ساده مورد تحلیل و مقایسه قرار گیرد.

تصویرهای زیر دماغه‌های مخروطی همراه با ۴، ۶، ۸، ۱۰ و ۱۲ عدد دیسک در دو زاویه حمله صفر و ۱۲ درجه را نشان می‌دهد. تصویرهای ۳۱ تا ۳۵ در زاویه حمله صفر درجه و تصویرهای ۳۶ تا ۴۰ در زاویه حمله ۱۲ درجه می‌باشد. برای رعایت مراحل، مقایسه و تحلیل این بررسی‌ها نیز در عدد ماخ ۳ صورت گرفته است.

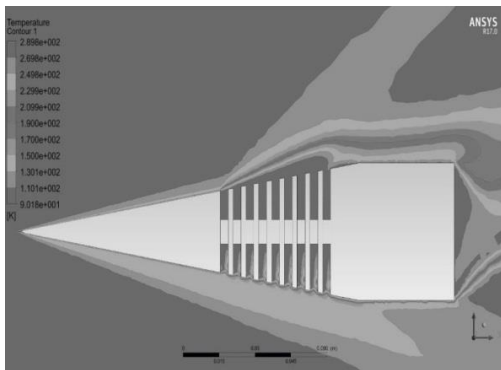




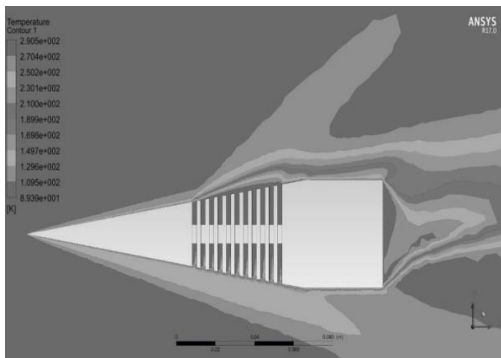
شکل ۳۷. تغییرات دمای استاتیکی دماغه ۶ دیسکی در زاویه حمله ۱۲ درجه



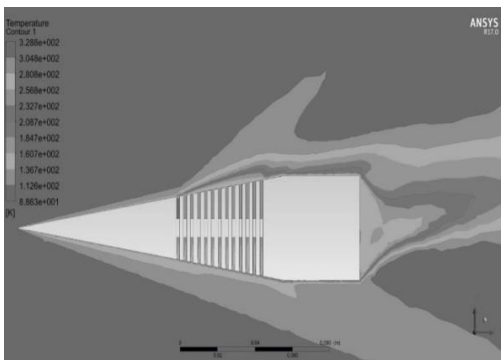
شکل ۳۵. تغییرات دمای استاتیکی دماغه ۱۲ دیسکی در زاویه حمله صفر



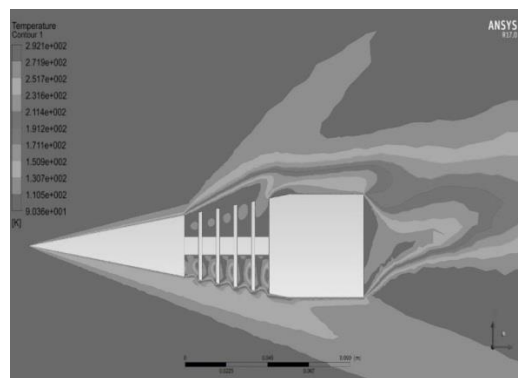
شکل ۳۸. تغییرات دمای استاتیکی دماغه ۸ دیسکی در زاویه حمله ۱۲ درجه



شکل ۳۹. تغییرات دمای استاتیکی دماغه ۱۰ دیسکی در زاویه حمله ۱۲ درجه



شکل ۴۰. تغییرات دمای استاتیکی دماغه ۱۲ دیسکی در زاویه حمله ۱۲ درجه



شکل ۳۶. تغییرات دمای استاتیکی دماغه ۴ دیسکی در زاویه حمله ۱۲ درجه

همان‌گونه که مشاهده می‌شود در برخورد دماغه با جریان مافوق صوت، موج ضربه‌ای مایلی در نوک دماغه ایجاد می‌شود که موجب افزایش دما می‌شود. این افزایش با شیب ملایمی تقریباً ثابت می‌ماند تا جریان به اولین دیسک برخورد می‌کند. امواج ضربه‌ای قوی‌ای که در اثر برخورد با دیسک‌ها تولید می‌شوند دمای جریان را بسیار بالا می‌برند اما با افزایش تعداد دیسک‌ها، فاصله آزاد بین دیسک‌ها را کم می‌کند و دمای جریان کاهش پیدا می‌کند. بعد از عبور از دیسک‌ها، جریان به بدنه برخورد می‌کند و چون موج ضربه‌ای ضعیف‌تری تولید می‌شود دما کاهش پیدا می‌کند. در انتهای بدنه و جدا شدن جریان از سطح آن، به خاطر موج ضربه‌ای مایلی که تشکیل می‌شود دما بار دیگر افزایش پیدا کرده و به آرامی دوباره به دمای اولیه خود نزدیک می‌شود.

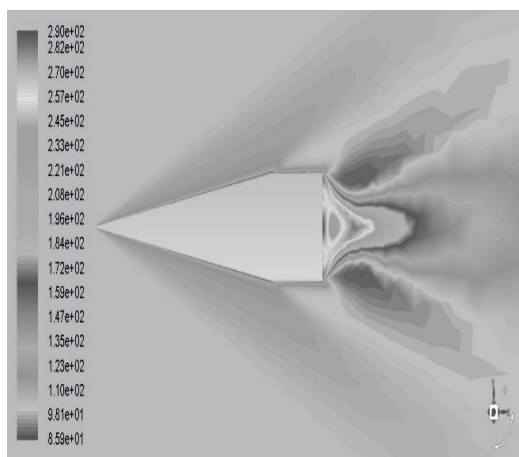


زمانی که دماغه در زاویه حمله ۱۲ درجه قرار می‌گیرد چون نامتقارن می‌شود روند تغییرات افزایش و کاهش دما در سطح بالایی دماغه شدیدتر رخ می‌دهد.

به طوری که در زاویه حمله ۱۲ درجه افت شدید دما در فاصله بین دیسک‌ها و انتهای بدنه دماغه مشاهده می‌شود. یکی از خواسته‌های طراحی این نوع دماغه هم ایجاد راهکاری برای کاهش دمای استاتیکی بعد از برخورد جریان به دماغه نوک‌تیز و دیسک‌ها بوده است.

با افزایش تعداد دیسک‌ها به خصوص به تعداد ۱۰ و ۱۲، جریان در انتهای دماغه و هنگام جدا شدن افزایش زیادی پیدا نمی‌کند و زودتر از سایر دماغه‌ها به دمای کمتر مدنظر می‌رسد. بنابراین دماغه مخروطی با ۱۲ دیسک چند ردیفه مناسب در بین هم نمونه‌های خود می‌باشد.

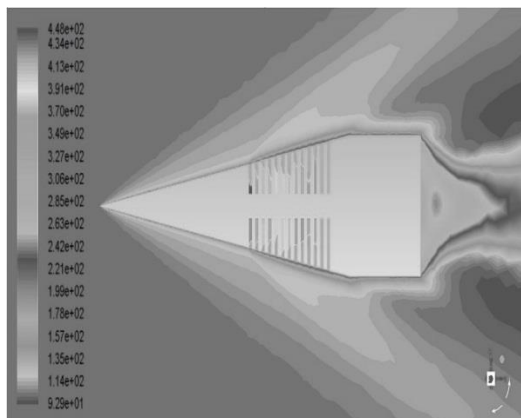
حال نوبت به بررسی کارایی و مزیت این دماغه مخروطی نسبت به دماغه مخروطی ساده می‌رسد. در شکل‌های ۴۱ و ۴۲ تغییرات دمای استاتیکی این دو نوع دماغه مقایسه شده است.



شکل ۴۱. تغییرات دمای استاتیکی دماغه مخروطی ساده

عبور جریان مافوق صوت با عدد ماخ ۳ از روی چنین دماغه‌ای همانند شکل شماره ۴۱ نشان

می‌دهد که دمای جریان بعد از تشکیل شوک مایل نوک دماغه حدود ۵۰ درجه کلوین از دمای اصلی جریان بیشتر شده و این افزایش دما به تدریج بیشتر شده و در انتهای دماغه و محل جدایش جریان از سطح دماغه به میزان حداکثری خود می‌رسد.



شکل ۴۲. تغییرات دمای استاتیکی دماغه مخروطی با ۱۲ دیسک چند ردیفه

در ارتباط با دماغه مخروطی‌ای که بعد از نوک مخروطی دیسک‌های چند ردیفه محوری قرار گرفته‌اند، دمای اولیه جریان بعد از عبور از شوک مایل، به میزان کمتری نسبت به دماغه مخروطی محض افزایش دما پیدا کرده و این دیسک‌های چند ردیفه خود با ایجاد امواج ضربه‌ای متعدد زمینه‌ای را ایجاد می‌کنند تا دمای روی سطح بدنه با شدت کمتری افزایش یافته و در نتیجه در انتهای دماغه با افزایش دمای بالایی همانند دماغه مخروطی ساده روبه‌رو نبوده و دمای جریان زودتر به دمای اولیه خود نزدیک می‌شود. در مسئله جریان‌های مافوق صوت کاهش حتی چند درجه‌ای دمای استاتیکی روی سطح دماغه و انتهای آن بسیار مهم می‌باشد. البته باید به مسئله گرمای گیر افتاده در داخل فضای بین دیسک‌ها نیز توجه کرده و با راهکارهای عملی مانند بیشتر کردن فضای بین دیسک‌ها یا حتی استفاده از

مواد و مصالح مقاوم اثر این مسئله را تعدیل نمود.

۷. نتیجه‌گیری

در مطالعه حاضر به بررسی عددی جریان مافوق صوت پیرامون دماغه مخروطی ساده و دماغه‌هایی همراه با دیسک‌های چند ردیفه مختلف از جمله دماغه مخروطی همراه با ۱۲ دیسک یا MRD پرداخته شد.

الگوریتم حل عددی جریان در نرم‌افزار بر مبنای چگالی بوده و نتایج عددی گرفته شده از آن نشان داد که این حلگر، روشی قوی و مؤثر است که فیزیک و خواص میدان جریان را به خوبی شبیه‌سازی می‌کند.

از مهم‌ترین کاربردهای استفاده از دیسک‌های چند ردیفه محوری در این دماغه‌های مخروطی، کاهش ضریب نیروی پسا و گرمای آیرودینامیکی ایجادشده در سر دماغه است.

به همین دلیل برای مقایسه بهتر بین کارکرد و مزیت استفاده از این نوع دماغه مخروطی با دیسک‌های چند ردیفه نسبت به دماغه مخروطی ساده بدون دیسک، مقایسه‌ای بین ضرایب نیروی پسا، ضرایب فشار و تغییرات دمای استاتیکی صورت گرفت.

در مقایسه‌های اولیه برای هر پارامتر، ابتدا نتایج استفاده از دیسک‌های چند ردیفه با تعداد مختلف ۴، ۶، ۸، ۱۰ و ۱۲ تایی بررسی و تحلیل شد. برای جامع بودن نتایج این بررسی، این دماغه‌ها در دو زاویه حمله مختلف صفر و ۱۲ درجه آزمایش شدند.

در هر دو گروه از زوایای حمله، عملکرد دماغه‌ای همراه با ۱۲ دیسک چند ردیفه محوری بهتر از سایر هم‌گروه‌های خود مشاهده شد.

این نوع دماغه با توجه به نوع چیدمانی که داشت در بخش کاهش ضریب نیروی پسا، کاهش دمای استاتیکی و توازن مناسب در افزایش و تغییرات ضریب فشار، انتخاب مناسبی محسوب می‌شد. همچنین برای اطمینان از صحت نتایج، این نوع دماغه در اعداد ماخ مختلفی بررسی شد که نتایج آن برای بررسی ضریب نیروی پسا همانند قبل گزارش شد.

با انتخاب این نوع دماغه نوبت به بررسی و صحت‌سنجی مربوط به ادعای عملکرد بهتر دماغه همراه با دیسک‌های چند ردیفه نسبت به دماغه مخروطی ساده رسید.

با مشاهده نتایج بررسی ضرایب نیروی پسا برای دماغه مخروطی همراه با ۱۲ دیسک چند ردیفه و دماغه مخروطی ساده، می‌توان گفت که استفاده از دیسک‌های چند ردیفه تا حد بسیار زیادی به بهبود شرایط جریان عبورکننده از روی دماغه مخروطی کمک کرده و حتی در مواقعی موجب کاهش ضریب نیروی پسا می‌شود. این امر در زوایای حمله بالا بیشتر صادق است. بنابراین دماغه مخروطی همراه با دیسک‌های چند ردیفه برای کاهش هم‌زمان ضریب نیروی پسا و گرمای آیرودینامیکی دماغه، در حین گذر از جریان‌های مختلف گزینه مناسبی است.

علاوه بر این قرار گرفتن دیسک‌های چند ردیفه در دماغه مخروطی آن هم در شیارهای عمیق و فاصله‌های مشخص، به بهبود وضعیت فشار و پایداری آیرودینامیکی در حین عبور دماغه از جریان‌هایی با سرعت بالا منجر می‌شود. همچنین این ساختار جدید دماغه گزینه مناسبی برای صرفه‌جویی در مواد، مصالح و وزن می‌باشد.

از طرف دیگر، با توجه به مشکل افزایش دما



Recent Advances in Aerospace Engineering, March 2017.

- [9] M.S.Karimi, M.J.Oboodi, Investigation and Recent Developments in Aerodynamic Heating and Drag Reduction for Hypersonic Flows, Heat and Mass Transfer, Volume 55, Issue 2, pp 547-569, February 2019.
- [10] P. R. Spalart and S. R. Allmaras, A One-Equation Turbulence Model for Aerodynamic Flows, AIAA paper 92-0439, 1992.

۸. پی‌نوشت

- ¹ Multi Row Disk
² Air Breating
³ Maru
⁴ Khurana
⁵ Spalart Allmaras
⁶ Pressure Far-Field
⁷ Zero-lift Drag
⁸ Indused Drag

به علت برخورد جریان مافوق صوت به نوک دماغه مخروطی که موجب کاهش استفاده از این نوع دماغه در جریان‌هایی با سرعت ماخ بالاتر می‌شود، مشاهده شد که می‌توان از قرار دادن دیسک‌های چند ردیفه به صورت محوری بر روی دماغه برای کاهش دمای تولیدشده بر روی دماغه استفاده کرد. این نتایج باعث امیدواری خواهد بود که امکان استفاده دوباره دماغه‌های مخروطی در سرعت‌های بالا دوباره مطرح شده و آزمایش‌های کامل‌تری برای اطمینان از آن صورت گیرد.

۷. مأخذ

- [1] H. Kobayashi, Y. Maru, M. Hongoh, Sh. Takeuchi, K. Okai, T. Kojima, Study on Variable-Shape Supersonic Inlets and Missiles with MRD Device, Acta Astronautica, pp. 978-988, 2007.
- [2] M. Yaghoub NeJad, Numerical study of the effect of aerospace on improving drag coefficient and aerodynamic heating of Blunt body, MA of Aerospace Engineering, Faculty of Mechanics and Aerospace, Malek Ashtar University, 2014 (in Persian فارسی)
- [3] J. D. Anderson, Hypersonic and High Temperature Gas Dynamics, Mcgraw-Hill Book company 1989.
- [4] H. et al. Kobayashi, Air Intake and Intake System, Japanese Patent, 2003-016096 (Patent Pending), 2003.
- [5] H. Kobayashi, T. kojima, K. Okai, Y. Maru, Study of Supersonic Cavity Flow in Advanced Variable Geometry Inlet, IAC-04-S.5.06, 55th International Astronautical Congress, 2004.
- [6] H. et al. Kobayashi, Experimental Study of Multi-Row Disk Inlets for Hypersonic Air Breathing Propulsion, AIAA 2004-861, 42nd AIAA Aerospace Sciences Meeting and Exhibit, Reno NV, January 2004.
- [7] N. Tanatsugu, T. Sato, H. Kobayashi, T. Kojima, K. Okai, Multi-Row Disk Arrangement Concept for Spike of Axisymmetric Air Inlet, AIAA 2004-3407, 40th AIAA Joint Propulsion Conference and Exhibit, July 2004.
- [8] S.Khurana, G.G.Achary, S.Arora, J.Sinha, Computational Analysis of Multi Row Disk Inlet, First International Conference on

۲۲۰
سال ۱۲ - شماره ۱
بهار و تابستان ۱۴۰۲
نشریه علمی
دانش و فناوری هوا فضا



مقایسه آیرودینامیکی دماغه‌های مافوق صوت مخروطی ساده و همراه با دیسک‌های چند ردیفه