

مقاله علمی - پژوهشی

بررسی عددی تغییرات طول به قطر دیفیوزر استوانه‌ای به جهت استفاده در استند تست خلأ

علیرضا نادری^{۱*} و حمیدرضا شیدوش^۲

۱ و ۲- مجتمع دانشگاهی هوافضا، دانشگاه صنعتی مالک اشتر

*تهران، لویزان، دانشگاه صنعتی مالک اشتر

naderi@mut.ac.ir

استند تست خلأ به شبیه‌سازی موتورهای سامانه‌های فضایی با نسبت انبساط بالا در ارتفاع‌های بالا و فشار خلأ به منظور انجام تست‌های استاتیکی می‌پردازد. در این گزارش به بررسی پایداری جریان در دیفیوزر، به جهت استفاده در استند خلأ پرداخته شده است. متغیرهایی از قبیل طول دیفیوزر، محل قرارگیری نازل نسبت به دیفیوزر، ابعاد مخزن خلأ و نسبت طول به قطر دیفیوزر در عملکرد این سیستم با توجه به فشار موتور راکت اهمیت دارد. در این تحقیق عددی نسبت طول به قطر دیفیوزر در فشارهای مختلف اعمالی از سوی موتور راکت به استند مورد بررسی قرار می‌گیرد. این نتایج در سه طول به قطر ۸ و ۱۰ انجام شده و فشار اعمالی نیز از ۳۰ تا ۵۰ بار تغییر می‌کند. نتایج حاصل نشان می‌دهد که هر چه نسبت هندسی طول به قطر دیفیوزر افزایش یابد در فشارهای اعمالی کمتر می‌توان در دیفیوزر شرایط پایدار ایجاد کرد.

واژه‌های کلیدی: استند خلأ، نسبت فشار پایداری، طول دیفیوزر، مخزن خلأ

مقدمه

این نکته حائز اهمیت است که شرایط پروازی سامانه فضایی- همانند موتورهای با نسبت انبساط بالا- با شرایطیکه باید در سطح زمین تست تجربی شوند متفاوت است. برای تست زمینی این سازه‌ها بایستی شرایط خلأ ایجاد کرد که بسیار پرهزینه است. از سوی دیگر این دسته از موتورها برای احتراق در شرایط پروازی ارتفاع بالا، مطابق با فشار نزدیک به خلأ یا خلأ کامل طراحی شده‌اند که اگر در شرایطی به غیر شرایط طراحی شده تست شوند (همانند سطح زمین) جریان در قسمت واگرای نازل جدا می‌شود. جریان جدا شده علاوه بر وارد کردن خطا در محاسبه تراست موتور سبب شکست نازل در طول کارکرد موتور خواهد شد. جریان جدا شده می‌تواند به دلیل موج شوکی که در نقطه جدایش وجود دارد سبب سوختن نازل، آسیب نازل به دلیل توزیع فشار نامتقارن و همینطور لرزش‌های بیش از اندازه به دلیل حرکت نامنظم نقطه جدایش در نازل شود. وجود چنین خطای

انجام فرآیند تست استاتیکی برای هر یک از سازه‌های هوایی با توجه به این موضوع که، طراحی‌های انجام شده برای هر کدام از این سازه‌ها صرفاً بر پایه روش‌های تحلیلی و عددی می‌باشد مورد نیاز و در بعضی از آن‌ها ضروری است. زیرا با انجام تست‌های استاتیکی صحت نتایجی که با استفاده از روش‌های فوق برای طراحی این سازه‌ها استفاده شده است، مشخص خواهد شد. بنابراین تست‌های استاتیکی که در سطح زمین انجام می‌شود به عنوان یک تایید بر عملکرد پرنده‌های هوایی می‌باشد.

۱. استادیار

۲. کارشناسی ارشد

سرد و داغ) به بررسی پارامترهای طراحی و عملکردی پرداختند. در آن مطالعه، پارامترهایی از قبیل نسبت طول به قطر دیفیوزر، نسبت مساحت دیفیوزر به مساحت گلوگاه نازل، نسبت مساحت دیفیوزر به مساحت خروجی نازل و نسبت گرمای ویژه بر روی نسبت فشار پایداری دیفیوزر صورت گرفته است. همچنین در این کار با استفاده از روابط شوک عمودی نسبت فشار پایداری دیفیوزر محاسبه و سپس با استفاده از نتایج حاصل از تست تجربی مقایسه شده است [3]. پارک^۳ و همکارانش به تحلیل پایداری دیفیوزر و رسیدن به فشار خلاً مخزن خلاً در حالت گذرا برای طولهای مختلف و همچنین پیکربندی ایجاد شرایط خلاً قبل از شروع به کار موتور با استفاده از روشهای عددی پرداختند [4]. احمد آبادی و همکارانش اثر اندازه شبکه و میزان دقت حل بر حل عددی و همچنین فشار سکون ورودی روی میزان خلاً ایجاد شده را مورد بررسی قرار دادند [5]. یوم^۴ و همکارانش ناپایداری ساختار جریان و تغییرات فشار خلاً در دیفیوزر مافوق صوت مجهز به تست موتور شبیه ساز ارتفاع را با استفاده از روش عددی مورد مطالعه قرار دادند. در آن تحقیق تاکید بر بررسی تغییرات جریان در دیفیوزر در نزدیک فشار پایداری دیفیوزر بوده است [6]. سونج^۵ و همکارانش در تحقیق خود، پارامترهای طراحی و عملکردی دیفیوزرهای خودکشش به جهت شبیه سازی ارتفاع بالا برای موتورهای راکت در سطح زمین را با استفاده از تحلیل‌های تئوری، عددی و تجربی مورد بررسی قرار داده‌اند. جزئیات ساختار جریان در دیفیوزر، بررسی تغییرات فشار در مخزن خلاً و دیفیوزر به منظور بررسی حداقل نسبت فشار پایداری دیفیوزر مورد ارزیابی قرار گرفته است. پارامترهای طراحی و عملکردی به ترتیب شامل نسبت مساحت دیفیوزر به مساحت گلوگاه، ابعاد مخزن خلاً و فشار موتور می‌باشد [7].

در کار حاضر، بهینه‌سازی نسبت طول به قطر دیفیوزر با فشارهای مختلف ورودی راکت برای استفاده در استند خلاً به صورت عددی انجام می‌شود. برای این منظور از نرم‌افزار تجاری فلوئنت استفاده می‌شود. برای این منظور ابتدا اعتبارسنجی انجام می‌شود. این اعتبارسنجی روش عددی استفاده شده چگالی مبنای رو^۶ و مدل‌سازی آشفتنگی $k - \omega - SST$ به کار گرفته را تایید می‌کند. گفتنی است که میدان جریان با استفاده از شبکه با سازمان گسسته شده است

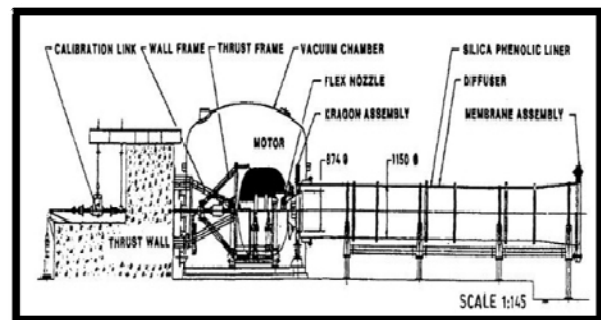
تئوری مسئله

به جهت شناخت زیر سیستم‌های مورد استفاده در استند خلاً، شماتیک یک استند خلاً همراه با نام هریک از آن‌ها در شکل ۲ مشاهده می‌شود.

بزرگی در سطح زمین برای موتورهای با نسبت انبساط بالا سبب شد تا دانشمندان فضایی به دنبال ساخت تجهیزاتی باشند که بتواند شرایط پروازی را برای موتورهای مورد نظر ایجاد کنند. بنابراین آن‌ها همواره در صدد این بودند که بتوانند فشار محیط (فشار در سطح زمین) را به فشار خلاً برسانند. در نهایت، طراحان برای شبیه سازی شرایط پروازی موتورهای با نسبت انبساط بالا دو راه را پیشنهاد می‌دهند که هریک از این روش‌ها در ادامه آورده شده است [1].

اولین راه به جهت شبیه سازی ارتفاع در فشارهای خلاً استفاده از نازل‌های تست می‌باشد. موتورهای سامانه‌های فضایی را می‌توان بدون نیاز به هیچ وسیله‌ی مهندسی با نازل تست، شبیه‌سازی کرد. تست‌های استاتیکی به وسیله نازل‌های تست به این صورت است که ابتدا محل دقیق نقطه جدایش مشخص سپس آن نقطه از نازل اصلی برش داده شده و تست‌های استاتیکی با این نازل که نازل تست نام دارد انجام می‌شود. البته لازم به ذکر است، با انجام تست استاتیکی با نازل تست به دلیل کاهش نسبت انبساط، تراستی که بدست می‌آید برای همان نازل تست (نسبت انبساط کمتر) می‌باشد که باید این نکته در محاسبات لحاظ شود.

دومین پیشنهاد طراحان استفاده از تجهیزات تست استاتیکی به نام استند تست خلاً می‌باشد. این تجهیزات که شامل مخزن خلاً، دیفیوزر، اسپری خنک کننده و اژکتور می‌باشد؛ می‌تواند شرایط خلاً را برای موتورهای سامانه‌های فضایی همانند شرایط پروازی مدل کند. شکل ۱- یک نمونه تست خلاً مربوط به سامانه PS-3 را نشان می‌دهد [1].



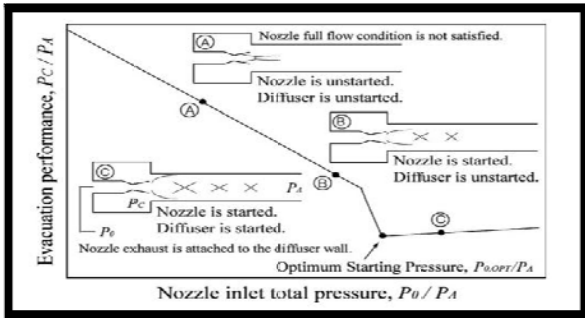
شکل ۱- استند تست خلاً سامانه PS-3

در گذشته فعالیت‌های تجربی، عددی و تحلیلی زیادی در زمینه بررسی جریان مافوق صوت انجام گرفته است. آنامالی^۱ و همکارانش به بررسی پایداری جریان در داخل دیفیوزر به جهت کاهش طول و نسبت فشار پایداری دیفیوزر با انجام تست‌های تجربی (تست سرد) پرداختند. در این کار تاثیر پارامتر طول بر نسبت فشار پایداری دیفیوزر با انتخاب سه طول متفاوت به منظور انتخاب طول بهینه صورت گرفته است [2]. ویسوانتان^۲ و همکارانش با انجام تست‌های تجربی (گاز

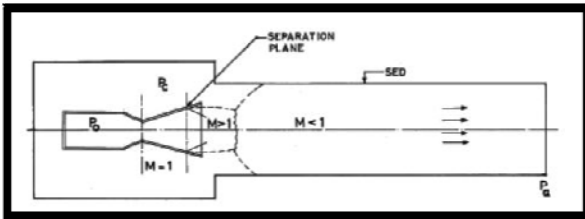
3. BH.Park
4. HW.Yeom
5. HG.Sung
6. Roe method

1. K.Annamalai
2. K.Visvanathan

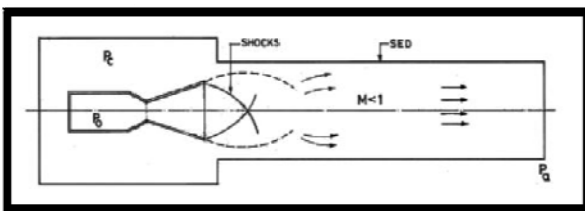
زمانی اتفاق می‌افتد که مقدار دبی خروجی از نازل، به اندازه و مطابق با مقدار دبی جریان از بیرون به درون مخزن خلأ باشد.



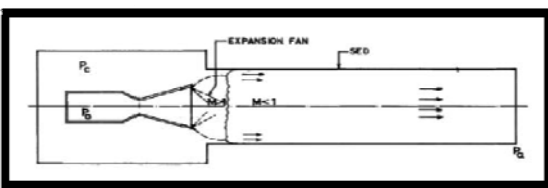
شکل ۳- منحنی مشخصه پایداری دیفیوزر



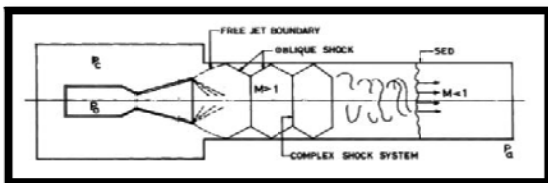
شکل ۴- شرایط عدم پایداری جریان داخل نازل و دیفیوزر در ناحیه A



شکل ۵- شرایط عدم پایداری داخل نازل با شکای قوی در ناحیه B

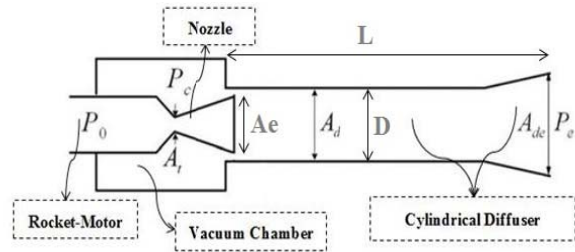


شکل ۶- شرایط عدم پایداری داخل نازل با شکای انبساطی در ناحیه B



شکل ۷- فاز پایداری، جریان مافوق صوت بدون جدایش پیکربندی و تولید هندسه

مدل هندسی که برای بررسی استند تست خلا در نظر گرفته شده، مدل مربوط به مرجع [۷] است، شکل ۸ این مدل را نشان



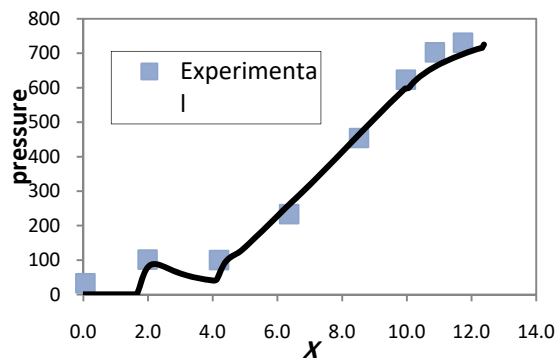
شکل ۲- شماتیک استند تست خلأ

در شکل ۳ نیز تغییرات فشار مخزن استند (PC) نسبت به تغییرات فشار ورودی راکت (P_0) نشان داده شده است. در منطقه یا ناحیه A منحنی عملکرد، هم نازل و هم دیفیوزر پایدار نمی‌شوند. جزئیات دقیق این حالت در شکل ۴ نشان داده شده است. اگر فشار ورودی افزایش یابد در ناحیه B، جریان به طور کامل و بدون جدایش از نازل عبور می‌کند ولی به هر حال دیفیوزر هنوز پایدار نمی‌شود. شکل ۵ نیز این شرایط شکای ناپایدار را دقیقتر نشان می‌دهد. در کل، ناحیه عدم پایداری شامل دو فاز می‌باشد، در فاز اول که جریان به طور کامل از نازل عبور نمی‌کند و در قسمت واگرای نازل جدا می‌شود و در فاز دوم جدایش جریان در لبه خروجی نازل اتفاق می‌افتد. در هر دو این موارد جریان خارج شده از نازل با فشار غالب مخزن خلأ تطبیق پیدا می‌کند. در فاز دوم جریان در لبه نازل می‌تواند از طریق یکی از این دو راه یعنی یا با شوک مایل قوی همانند شکل ۵ یا از طریق یک سری امواج انبساطی مثل شکل ۶ عبور کند. به هر حال جریان خروجی از نازل از طریق یک سیستم امواج ضربه ای پیچیده و مختلط، در هم شکسته و تجزیه می‌شود و جریان مافوق صوت در هیچ مکان و مقطع در کل سطح مقطع عرضی دیفیوزر، غالب نمی‌شود که این به خاطر شکسته شدن سیستم امواج ضربه ای می‌باشد و فشار محیط روی فشار مخزن خلأ تأثیر می‌گذارد. اگر همین طور فشار ورودی راکت (P_0) افزایش پیدا کند جریان به طور کامل از دیفیوزر عبور می‌کند و همچنین سیستم شوک به طور کامل در دیفیوزر مستقر می‌شود. در این صورت جریان مافوق صوت داخل دیفیوزر مثل شکل ۷ با یک سری امواج شکای مایل به دیواره دیفیوزر برخورد می‌کند. در نهایت گفته می‌شود که دیفیوزر پایدار شده است و کمترین فشار و البته فشار لازم بهینه (optimum) برای شروع (starting) پایداری می‌باشد. این فشار در شکل ۳ در ابتدای ناحیه C نشان داده شده است. بعد از این هرگونه افزایش فشار ورودی، الگو و شکل سیستم شوک را تغییر کوچکی می‌دهد و فشار مخزن خلأ به طور خطی در ناحیه C با افزایش P_0 تغییر می‌کند. به علت گریبان فشار شوک مایل در خلاف جهت جریان عبوری - که به سبب چرخش و پیچش جریان است - قسمتی از جریان جرمی از داخل مخزن خلأ برگشت می‌کند و هوای مخزن خلأ به همراه جریان خروجی از نازل به داخل دیفیوزر حرکت می‌کند. پس نازل به صورت اژکتور عمل می‌کند. فشار محفظه تست آن قدر کم می‌شود تا به تعادل برسد. این تعادل

باشد. زیرا با ماخ ورودی ۰/۱، جریان در گلوگاه نازل به 1 و در نهایت در خروجی نازل مافوق صوت می شود.

$$\left(\frac{p_0}{p_a}\right) = \left(1 + \frac{\gamma-1}{2} M^2\right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}} \quad (1)$$

شکل ۱۱ توزیع فشار استاتیکی این تحلیل عددی را با نتایج تجربی در امتداد دیواره دیفیوزر مقایسه می کند. دقت شود که واحد محور طولی، سانتی متر است و این نمودار برای نسبت طول به قطر (یا همان نسبت هندسی) ۱۰ ارایه شده است. مشاهده می شود که تحلیل عددی کار حاضر تطابق نسبتاً خوبی با نتایج تجربی دارد. اما مقدار فشار اولین نقطه برخورد جریان خروجی از نازل به دیواره دیفیوزر (تقریباً در نقطه $X=2$) هنوز به طور کامل منطبق با نتایج تجربی نمی باشد. چنانچه در شکل ۱۱ مشهود است فشار ورودی هم کاملاً با یکدیگر منطبق نمی باشد. با این وجود، فشار ورودی به دیفیوزر که همان فشار شبیه سازی شده (خلاً) می باشد، تنها وابسته به صورت مسئله است. امکان دارد که در صورت مسئله این نیاز مطرح شود که موتور راکت حتماً باید در یک فشار خلاً مشخص کار کند. بنابراین در این مسئله فشار ورودی دیفیوزر (فشار مخزن خلاً) مورد نظر طراح می باشد.

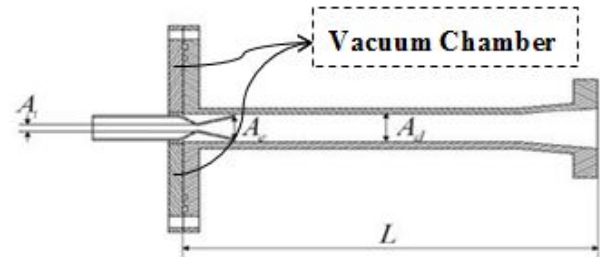


شکل ۱۱- توزیع فشار استاتیکی روی دیواره دیفیوزر مدل تجربی در مقایسه با مدل عددی در نسبت هندسی ۱۰

بررسی عددی نسبت تغییرات هندسی طول به قطر دیفیوزر

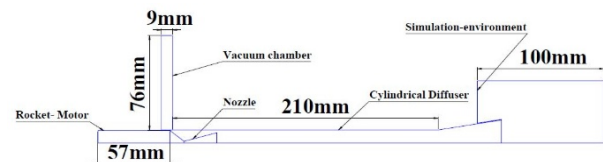
در این بخش به بررسی نسبت هندسی طول به قطر دیفیوزر L/A_d در فشارهای ورودی مختلف پرداخته شده است. هدف از این بررسی‌ها بهینه سازی نسبت طول به قطر دیفیوزر و حداقل نسبت فشار پایداری هستند تست خلاً می باشد. لذا به جهت محقق شدن این بهینه سازی، تحلیل عددی در سه نسبت طول دیفیوزر به قطر آن و به ازای فشارهای ورودی مختلف صورت گرفته است. بهینه سازی نسبت طول به قطر دیفیوزر و حداقل نسبت فشار پایداری به این معنی است که هستند تست خلاً در کمترین مقدار این نسبت‌ها عملکردی مناسب

می دهد. در این شکل عرض گلوگاه با A_t ، عرض خروجی نازل با A_e ، عرض دیفیوزر با A_d و طول دیفیوزر هم با L نشان داده شده است. محفظه خلاً (vacuum chamber) در شکل قابل مشاهده است.

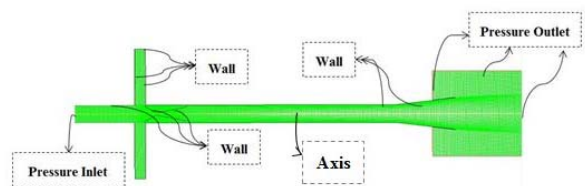


شکل ۸- مدل مورد بررسی

با توجه با تقارن هندسی مدب مورد نظر تنها نیمی از این مدل مورد تحلیل عددی قرار می گیرد تا زمان حل عددی کاهش یابد. ابعاد مدل مورد بررسی در شکل ۹ نشان داده شده است. ابعاد داده شده بر حسب میلی متر است. با توجه به این که استفاده از شبکه با سازمان می تواند سرعت همگرایی مساله را افزایش و حتی گاهی به افزایش دقت حل عددی بینجامد در این مساله از شبکه با سازمان بهره برده شده است. در مکانهای با حساسیت بیشتر مثل گلوگاه و نازل شبکه ریزتر شده است. در شکل ۱۰ این شبکه با سازمان و شرایط مرزی استفاده شده در این مساله، نشان داده شده است. گفتنی است که در ورودی میدان، فشار p_0 و در خروجی فشار محیطی p_a لحاظ می شود.



شکل ۹- ابعاد هندسی مدل مورد بررسی

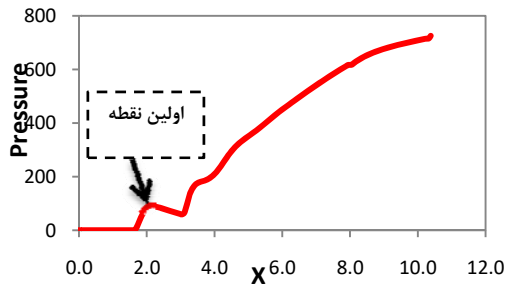


شکل ۱۰- شرایط مرزی مدل تجربی

اعتبارسنجی

در مرجع [7] اطلاعات دقیقی از فشار اولیه ای که باید در تحلیل عددی استفاده شود موجود نبود. بر مبنای رابطه (۱) نسبت فشار ورودی بر خروجی باید مقداری داشته باشد که ماخ ورودی به نازل تقریباً ۰/۱

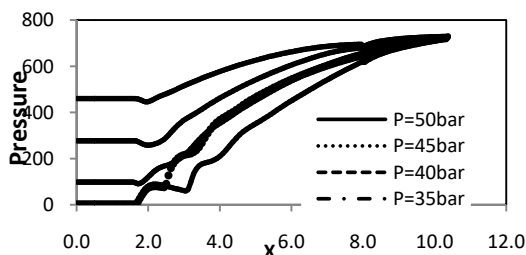
داشته باشد یا در کمترین مقدار این نسبت‌ها جریان در دیفیوزور پایدار و فشار خا مورد نیاز در مخزن خا ایجاد شود. بهینه‌سازی نسبت طول به قطر دیفیوزور در این بخش بر روی دیفیوزور مدل تجربی صورت گرفته است. لازم به ذکر است، نسبت هندسی طول به قطر مدل تجربی 10 می‌باشد. در صورتی که در نسبت کمتر از آن جریان در دیفیوزور پایدار شود، این نتیجه حاصل می‌شود که نسبت کمتر مدل‌سازی شده نیز می‌تواند پاسخگوی استند تست خا باشد. لذا، نسبت بهینه‌ای برای دیفیوزور به جهت استفاده در استند تست خا نمی‌تواند می‌باشد.



شکل ۱۳- توزیع فشار استاتیکی بر روی دیواره دیفیوزور با نسبت هندسی ۸

همچنین، دیفیوزور با نسبت ۸ در فشارهای ورودی مختلف بررسی عددی شده است. این بررسی به منظور تحلیل تغییرات دینامیک جریان در دیفیوزور و همچنین تاثیر کاهش نسبت طول به قطر دیفیوزور به ازای فشارهای ورودی مختلف صورت گرفته است. ضمناً در پایان این تحلیل، پاسخ این سوال که "برای نسبت ۸ چه فشار ورودی مناسب می‌باشد؟" داده شده است. به عبارت دیگر، این نسبت از دیفیوزور پاسخگو چه تعداد از موتورهای فضایی می‌باشد. تحلیل عددی برای بازه فشار ۳۰-۵۰ بار انجام شده است. فرضیات لحاظ شده برای هر یک از این تحلیل‌ها همانند تحلیل‌های قسمت‌های قبل می‌باشد.

در شکل ۱۴ نمودار توزیع فشار استاتیکی بر روی دیواره دیفیوزور برای نسبت ۸ و بازه فشارهای ورودی ۳۰-۵۰ بار آورده شده است. با توجه به شکل ۱۴، فشار خروجی دیفیوزور برای هر یک از فشارهای ورودی با فشار اتمسفر برابر می‌باشد. همانطور که در این شکل نشان داده شده است، استند تست خا برای فشارهای ورودی کمتر از ۴۵ بار مومنتوم لازم به جهت ایجاد فشار خا در مخزن خا را ندارد. لذا با کاهش فشار ورودی کمتر از ۴۵ بار فشار مخزن خا به فشار اتمسفر نزدیک می‌شود. بنابراین استند تست خا برای فشار کمتر از ۴۵ بار کارایی ندارد.

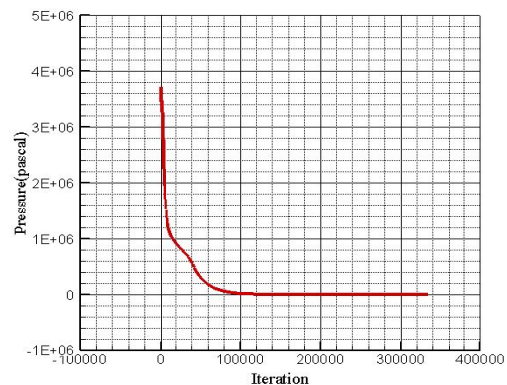


شکل ۱۴- نمودار توزیع فشار استاتیکی بر روی دیواره دیفیوزور برای فشارهای ورودی مختلف و نسبت هندسی ۸

معیار همگرایی در این تحلیل عددی فشار ورودی به دیفیوزور انتخاب شده است. لذا از ابتدا تحلیل عددی تا ثابت شدن تغییرات این فشار مورد ارزیابی قرار گرفته است. نمودار تغییرات فشار ورودی به دیفیوزور در شکل ۱۲ ارائه شده است. همانطور که در این شکل مشهود است، تغییرات فشار ورودی به دیفیوزور، بعد از تکرار حدود 100000 در شکل به بعد ثابت می‌شود و تحلیل عددی حاضر همگرا می‌گردد. بنابراین با توجه به شکل ۱۲ که صحتی بر همگرایی تحلیل عددی کار حاضر می‌باشد، می‌توان به بررسی نتایج حاصل پرداخت.

بررسی عددی نسبت طول به قطر برابر با ۸

معیار همگرایی در این تحلیل عددی فشار ورودی به دیفیوزور انتخاب شده است. لذا از ابتدا تحلیل عددی تا ثابت شدن تغییرات این فشار مورد ارزیابی قرار گرفته است. نمودار تغییرات فشار ورودی به دیفیوزور در شکل ۱۲ ارائه شده است. همانطور که در این شکل مشهود است، تغییرات فشار ورودی به دیفیوزور، بعد از تکرار حدود 100000 در شکل به بعد ثابت می‌شود و تحلیل عددی حاضر همگرا می‌گردد. بنابراین با توجه به شکل ۱۲ که صحتی بر همگرایی تحلیل عددی کار حاضر می‌باشد، می‌توان به بررسی نتایج حاصل پرداخت.



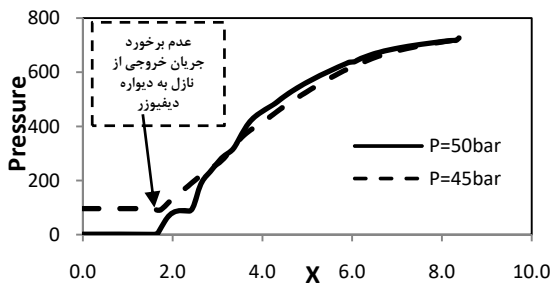
شکل ۱۲- نمودار همگرایی بررسی عددی نسبت طول به قطر ۸

مهمترین نتیجه از نسبت برابر با ۸، شبیه‌سازی توزیع فشار استاتیکی بر روی دیواره دیفیوزور می‌باشد. این توزیع فشار در شکل ۱۳ مشاهده می‌شود. با توجه به شکل ۱۳، جریان در دیفیوزور پایدار و فشار استاتیکی بر روی دیواره دیفیوزور بازایی (از مقدار کم به زیاد) شده است. فشار خروجی بدست آمده از تحلیل عددی کار حاضر تقریباً برابر فشار اتمسفر است. برابر بودن تقریبی فشار خروجی دیفیوزور با فشار اتمسفر حاکی از مناسب بودن طول دیفیوزور کار حاضر به جهت استفاده در استند تست خا می‌باشد. گرچه لازم به ذکر است شرط ذکر شده، شرط لازم برای عملکرد مناسب استند تست خا با نسبت مدل‌سازی شده به حساب می‌آید. با این وجود، علاوه بر شرط فوق، جریان خروجی از نازل می‌بایستی به اصطلاح فروصوت شده باشد و

بررسی عددی با نسبت هندسی طول به قطر ۶

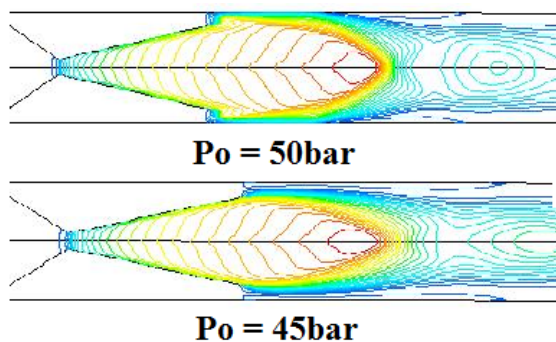
در این بخش به بررسی نسبت طول به قطر دیفیوزر ۶ به ازای فشارهای ورودی ۴۵-۵۰ بار پرداخته شده است.

شکل ۱۷ تغییر فشار روی دیواره دیفیوزر را با تغییر فشار ورودی راکت نشان می‌دهد. با توجه به این شکل، مقدار جریان در دیفیوزر با نسبت ۶ در فشار ورودی ۵۰ بار پایدار شده و فشار خلاً لازم در مخزن خلاً ایجاد شده است. به عبارت دیگر با این نسبت و فشار ورودی استند تست خلاً از عملکرد مناسبی برخوردار است. اگرچه در همین نسبت و فشار ۴۵ بار، فشار خلاً لازم شبیه‌سازی نشده است. همچنین جریان خروجی از نازل به دیواره دیفیوزر برخورد نکرده است. لذا دیفیوزر با نسبت ۶ در فشار ورودی ۴۵ بار برای نازل شبیه‌سازی شده در این تحلیل نمی‌تواند پاسخگو استند تست خلاً باشد.



شکل ۱۷- توزیع فشار استاتیکی به ازای فشارهای ورودی مختلف و نسبت هندسی ۶

همانطور که در شکل ۱۸ مشاهده می‌شود، با کاهش فشار از ۵۰ بار به ۴۵ بار مومنتوم خروجی از نازل کاهش می‌یابد و در نهایت جریان انبساطی از نازل برخوردی با دیواره دیفیوزر ندارد. لذا به دلیل عدم برخورد جریان خروجی از نازل به دیفیوزر، جریان در دیفیوزر ناپایدار و فشار خلاً لازم شبیه‌سازی نشده است.



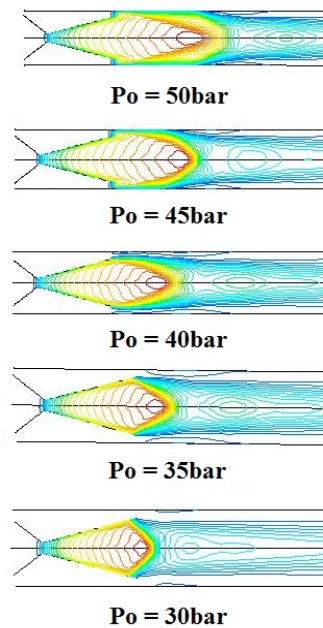
شکل ۱۸- کانتور عدد ماخ به ازای فشارهای ورودی مختلف و نسبت هندسی ۶

نتیجه‌گیری

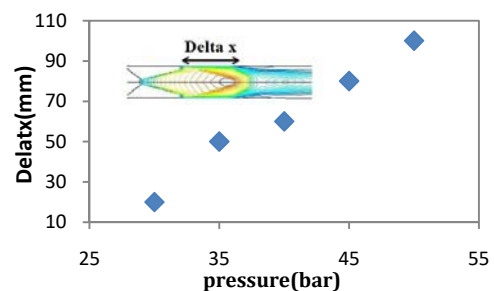
در این تحقیق به روش عددی به بررسی تاثیر نسبت هندسی طول به قطر دیفیوزر استند تست خلاً بر پایداری جریان داخل دیفیوزر پرداخته

در ادامه کانتور عدد ماخ برای بازه فشار ۳۰-۵۰ بار در شکل ۱۵ مشاهده می‌شود. همان‌طور که در شکل ۱۵ مشهود است، به ازای فشارهای ورودی کمتر مومنتوم خروجی از نازل کاهش می‌یابد. به دلیل کاهش مومنتوم خروجی از نازل دیفیوزر دیگر قادر به ایجاد فشار خلاً لازم در استند تست خلاً نمی‌باشد. به عبارت دیگر به ازای فشارهای ورودی کم تر از ۴۵ بار جریان خروجی از نازل روی دیواره فروصوت نمی‌شود. با این وجود، جریان خروجی از نازل به دلیل عدم انبساط جریان یا عدم قدرت کافی مومنتوم خروجی قادر به ایجاد فشار خلاً در مخزن خلاً نمی‌باشد. در نمودار ارائه شده در به ازای فشارهای ورودی ۳۰-۵۰ بار طول جریان خروجی از نازل حاصل شده است.

همچنین به جهت درک بهتر تاثیر فشار ورودی بر مومنتوم خروجی از نازل، طول مومنتوم خروجی برحسب فشارهای ورودی مختلف در شکل ۱۶ نشان داده شده است. همانطور که در نمودار ارائه شده در شکل ۱۶ مشاهده می‌شود، هر چه فشار ورودی (فشار مخزن) بیشتر می‌شود، آن طول افزایش می‌یابد.



شکل ۱۵- کانتور عدد ماخ به ازای فشارهای ورودی مختلف و نسبت هندسی ۸



شکل ۱۶- طول جریان خروجی از نازل به ازای فشارهای ورودی مختلف و نسبت هندسی ۸

- [2] K. Annamalai and T.N.V. Satyanarayana, Development of design methods for short cylindrical supersonic exhaust diffuser, *Experiment in fluid* 29(2000) 305-308.
- [3] K. Annamalai and K. Visvanthan, Evaluation of the performance of supersonic exhaust diffuser using scaled down Models, *Experimental Thermal and Fluid science* 17(1998) 217-229.
- [4] B.H. Park and J. Hyung, Studies on the starting transient of the straight cylindrical supersonic exhaust diffuser: Effects of diffuser length and pre-evacuation state, *International journal of heat and fluid flow* 29(2008) 1369-1379.
- [۵] مهدی نیلی احمد آبادی و هادی کرابی، بررسی عددی و تجربی جریان مافوق صوت در شبیه ساز خلاء آزمایشگاهی، کنفرانس انجمن هوا فضا ۱۰ (۱۳۸۹).
- [6] H.W. Yeom and S. Yoon, Flow dynamics at the minimum starting condition of a supersonic diffuser. *Mechanical science and technology*, Mechanical science and technology 23(2009) 254-261.
- [7] Hy. sung and H. yeom, Investigation of rocket exhaust diffuser for altitude simulation, *Propulsion and power* 26 (2010).

شده است. این مطالعات در فشارهای اعمالی مختلف از سوی نازل راکت انجام شده است. بررسی عددی با روش چگالی پایه رو با نرم افزار تجاری فلوینت انجام شده است. مبنای مناسب فشار اعمالی در نسبت‌های هندسی مختلف آن است که شاک خروجی از نازل بر دیواره دیفیوزر برخورد داشته باشد تا شرط پایداری برقرار باشد. نتایج نشان می دهد که در نسبت هندسی طول به قطر بالاتر می توان از فشار اعمالی کمتر برای پایداری دیفیوزر و در نتیجه ایجاد شرایط خلاء سود برد به طوری که در نسبت هندسی ۸ می توان با فشار ۴۵ بار هم شرایط پایدار ایجاد کرد.

مراجع

- [1] (Manikanda Kumaran R, 2009), Analysis of Diffuser and Ejector Performance in a High Altitude Test Facility, Indian Institute of Technology Madras, AIAA, 1-10, 2009.