



مدلسازی تجهیزات مدیریت سیال در مخازن موتورهای راکت پیشران مایع

یاسر بزی^۱، کورس نکوفر^۲، زهرا قادری^{۳*}

۱- دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم تحقیقات آیت اله آملی

۲- دانشگاه آزاد اسلامی، واحد چالوس، چالوس، ایران

۳- پژوهشگاه هوافضا، وزارت علوم، تحقیقات و فناوری، تهران، ایران

*تهران، ۱۴۶۵۷۷۴۱۱، ghaderi@ari.ac.ir

چکیده

تجهیزات مدیریت مصرف پیشران، سازه هایی تمام فلزی در داخل مخازن پیشران فضا پیما هستند که با استفاده از قابلیت کشش سطحی عامل انتقال مایع به خروجی مخزن با کمک گاز پرفشار بی اثر می باشند. آن ها را می توان به طور کامل از تیتانیوم ساخت تا بتوان از آن ها در بیشتر پیشران های خورنده استفاده نمود. قطعات بدون حرکت و یا تغییر شکل، قابل اعتماد هستند. نیازمندی های مأموریت، طراحی مفهومی دستگاه مدیریت پیشران (تجهیزات مدیریت مصرف پیشران) هدایت می کند. پی ام دی های ساده اغلب برای مأموریت های ساده و بالعکس استفاده می شوند. برای ساخت تجهیزات مدیریت مصرف پیشران، مناسب باید مشتری مشخصات مورد نیاز آن را کامل نماید. بالا گرفتن مشخصات نیازهای پی ام دی به راحتی می تواند در نهایت باعث پیچیده، سنگین، گران و از همه مهم تر، قابل اعتماد پایین تر پی ام دی بینجامد. برای به دست آوردن ساده ترین، سبک ترین، کم هزینه و قابل اطمینان ترین تجهیزات مدیریت مصرف پیشران، برای مأموریت باید در تعیین دقیق مشخصات مورد نیاز تجهیزات مدیریت مصرف پیشران، دقت لازم را نمود.

اطلاعات مقاله

مقاله پژوهشی کامل

دریافت: ۲۱ دی ۱۳۹۷

پذیرش: ۲۳ اسفند ۱۳۹۷

ارائه در سایت: ۲۵ اردیبهشت ۱۳۹۸

کلیدواژگان

تجهیزات مدیریت مصرف

پی ام دی

پیشران

Modeling the equipment of fluid managing in liquid propellant engine rocket tanks

Yaser Bezi¹, Kuros Nekoufar², Zahra Ghaderi^{3*}

1- Islamic Azad University, Ayatollah Amoli Branch, Amol, Iran

2- Islamic Azad University, Chalooos Branch, Chalooos, Iran

3- Aerospace Research Institute, Ministry of Science, Research and Technology, Tehran, Iran

Article Information

Original Research Paper

Received 11 January 2019

Accepted 14 March 2019

Available Online 15 May 2019

Keywords

Management Devices

PMD

Propellant

ABSTRACT

Propellant Management Devices, or PMDs, are static all metal structures inside spacecraft propellant tanks that use surface tension to ensure gas free liquid delivery to the tank outlet. They can be made entirely from titanium allowing their use in the most corrosive propellants. With no moving or deforming parts, they are inherently reliable. Anyone who needs liquid access or liquid control in space. PMDs are found in many satellites, solar system probes, rockets, and the Space Shuttle. They are used mostly for propellants but can be used in water systems, thermal systems, cryogenic systems and, in fact, in any space bound liquid system. PMDs can be made completely from titanium (or from any suitable solid). This makes them compatible with any liquid and very lightweight - unlike the alternatives such as rubber bladders. Plus PMDs are much more reliable since they have no moving parts.

Please cite this article using:

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:

Zahra Ghaderi, Kuros Nekoufar, Yaser Bezi, Modeling the equipment of fluid managing in liquid propellant engine rocket tanks, *Journal of Mechanical Engineering and Vibration*, Vol. 10, No. 1, pp. 24-31, 2019 (In Persian)

۱- مقدمه

مفاهیم دستگاه مدیریت مصرف سوخت^۱ برای واکنش‌های مرحله ای سیستم کنترل و مرحله صعود (نیروی محرکه اصلی و سیستم کنترل) ماموریت اصلی با استفاده از اکسیژن مایع^۲ و متان مایع^۳ طراحی شده بودند. مطالعات زمین شناختی حداکثر ۱۹ روز مانده به راه اندازی و لحظه پرتاب به ماه، و جهت ماندن آن ۲۱۰ روز پس از پرتاب در سطح ماه صورت پذیرد. دو طرح پی‌ام‌دی مفهومی برای هر یک از مخازن سوخت سیستم کنترل مرحله ای، و برای هر یک در ازای افزایش ارتفاع مخازن سوخت اصلی طراحی شده بود. یکی از این دو نوع تجهیزات مدیریت مصرف پیشران، یک دستگاه چهار پره ای کاربردی است. نوع دیگر یک آن از نوع تله ای است، تجهیز گسترش دهنده حجم که به کمک کشیدن تله، سطح خمیده ای ایجاد شده است. مشخص شد که ویژگی های منحصر به فرد چند طرح ساده برای طراحی تجهیزات مدیریت مصرف پیشران، این ویژگی‌ها (۱) بالا رفتن سوخت مخزن فشار عملیاتی (۲) مخازن ذخیره سازی سوخت از جنس آلومینیوم^۴ بوده، و (۳) عایق مورد نیاز دقیق باشد. در نتیجه، این امکان برای استفاده از اکسیژن مایع و متان مایع جهت اینکه آن‌ها را در زمین ذخیره نموده چرا که آن‌ها پیشران‌های آن در طول ماموریت در ماه به مقدار قابل ملاحظه ای خیلی سرد می شود. در واقع، مزایای پیش راه اندازی با کمک روش های کرایجنیک^۵ در این مقاله بررسی شده است [۱-۳].

آقای دان جیکل و همکارانش در شرکت پی‌ام‌دیدر مقاله هایی که در سال ۲۰۰۸ ارائه نمودند به بررسی دستگاه مدیریت مصرف سوخت برای سوخت منومتیل هیدرازین از جنس تیتانیوم پرداخته است [۴].

مخزن سوخت شامل دستگاه مدیریت مصرف سوخت با کمک کشش سطحی (تجهیزات مدیریت مصرف پیشران) برای ذخیره و عرضه سوخت در پشتیبانی از فضای ماموریت علمی طراحی و تولید شده است [۵]. دو مخزن یکسان برای سیستم نیروی محرکه فضاپیما مورد استفاده، یکی برای مونومتیل هیدرازین^۶ به عنوان سوخت و دیگر نیتروژن تترا اکسید^۷ به عنوان اکسید کننده نیاز دارد. جنس تجهیز مدیریت مصرف سوخت در اینجا از تیتانیوم^۸

به منظور کاهش هزینه برنامه تعیین گردیده است. این طرح به کمک آزمون ارتعاش برای به دست آوردن بارهای ساختاری در پوسته مخزن با یک تجهیزات مدیریت مصرف پیشران، شبیه سازی شده است. با یک بارگذاری واقعی به عنوان ورودی جهت تجزیه و تحلیل تنش فعال شده که پوسته مخزن مورد استفاده قرار گرفته اعتبار تجزیه و تحلیل در نمونه پرتاب واقعی آزمایش و را برای پوسته مخزن معین نمود. تجهیزات مدیریت مصرف پیشران، با کمک کشش سطحی قادر به فراهم آوردن کنترل نسبتا شدیدی بر مدیریت مصرف سوخت از جایگاه مخزن طراحی شده برای این ماموریت خواهد بود. شبیه به همه طرح های قبلی تجهیزات مدیریت مصرف پیشران، اعتبار سنجی عملکردی توسط تنها تجزیه و تحلیل شبیه سازی صورت گرفته است. تجزیه و تحلیل عملکرد تجهیزات مدیریت مصرف پیشران، با استفاده از روش طراحی و شیوه های محافظه کارانه همانند همه تجهیزات مدیریت مصرف پیشران، قبلی به همان صورت انجام می شود. اعتبار سنجی تمام عناصر مکانیکی با تجزیه و تحلیل ساختاری تجهیزات مدیریت مصرف پیشران، صورت می پذیرد. این طراحی برای ساختیک تجهیزات مدیریت مصرف پیشران، تمام تیتانیوم قوی، کارآمد، و بسیار قابل اعتماد خواهد بود [۷،۶].

آقای دان جیکل در شرکت تکنولوژی پی‌ام‌دی در ماساچوست در سال های ۱۹۹۶ و ۱۹۹۷ در مقاله های جداگانه ای که در مجله AIAA^۹ چاپ شده به بررسی دستگاه مدیریت مصرف سوخت تله ای، آبشخوری و خندقی و پره ای و ... پرداخته اند.

همچنین خانم مارتا لازارین در ژانویه ۲۰۱۲ در دانشگاه پادوا^{۱۰} ایتالیا بر روی تجهیزات مدیریت مصرف پیشران، از نوع اسفنجی مطالعه نموده و تز رساله دکتری خود را برای بررسی شبیه سازی به کمک سی اف دی^{۱۱} و با نرم افزار های این سورس^{۱۲} این فوم^{۱۳} انجام داده است [۸].

۱- معادلات حاکم

معادله قانون بقای جرم را بصورت معادله ۱ بیان می کند:

$$\int_{\Gamma} \rho \vec{V} \cdot \hat{n} d\Gamma = 0 \quad (1)$$

^۹ American Institute of Aeronautics and Astronautics

^{۱۰} University of Padova

^{۱۱} Computational Fluid Dynamics (CFD)

^{۱۲} Open Source

^{۱۳} OPEN-FOAM

^۱ PMDs

^۲ Liquid oxygen (LO2)

^۳ Liquid CH4 (LCH4)

^۴ Aluminium

^۵ Krayjnyk

^۶ Mono Methyl Hydrazine (MMH)

^۷ MON 3

^۸ (STA) 6AL-4V

محدود در گسسته سازی معادلات در مقاله حاضر از ذکر جزئیات آن خودداری شده و صرفاً نتایج ارائه می شود.

معادلات به فرم دیفرانسیلی

پیوستگی به صورت معادله ی ۴ می باشد

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \bar{\nabla} \cdot \rho \bar{V} = 0 \quad (4)$$

اندازه حرکت خطی به صورت معادله ی ۵ می باشد.

$$\rho \frac{D \bar{V}}{Dt} = -\bar{\nabla} P + \bar{\nabla} \cdot \bar{\tau} + \rho \bar{F}_b \quad (5)$$

که در آن اپراتور مشتق مادی با تعریف $\frac{D}{Dt} = \frac{\partial}{\partial t} + \bar{V} \cdot \bar{\nabla}$ باشد.

انتقال یک کمیت اسکالر به صورت معادله ی ۶ می باشد.

$$\rho \frac{D \phi}{Dt} = D \nabla^2 \phi + S_p \quad (6)$$

اگر مقادیر سرعت روی سطوح با میانمایی معمولی از معادله مومنتم بدست آیند، با جاگذاری در معادله پیوستگی حالت شطرنجی (غیر فیزیکی) بوجود می آید. حل این مشکل دو راه حل دارد:

استفاده از شبکه جابه جا شده

اصلاح روش میانمایی سرعت روی سطح

معادلات ناویراستوکس، یکی مدل ریاضی کامل برای سیال ارائه می دهند. به دلیل پیچیده بودن این معادلات در فرم کامل ناویراستوکس، حل تحلیلی غیرممکن است، بنابراین روش های عددی به کمک رایانه بهترین گزینه برای حل بخشی از این معادلات می باشند. پیشرفت سریع در زمینه تکنولوژی رایانه در چند دهه اخیر باعث استفاده گسترده دینامیک سیالات محاسباتی در حل عددی مسائل جریان سیال شده است. با توجه به اینکه تمامی حل کننده های معادلات ساده شده ناویراستوکس نیازمند زمان پردازش و حافظه زیادی می باشند، بنابراین مقداری ساده سازی در حل این معادلات ناویراستوکس برای کاهش منابع محاسباتی مورد احتیاج، لازم است.

برای مثال، در جریان های آیرودینامیک خارجی با سرعت بالا و زاویه حمله کم، میتوان از معادلات غیر لزج اوایلر استفاده کرد. یا در مسائلی که ضخامت لایه مرزی خیلی کوچک است، فرض غیر لزج گرفتن جریان یک فرض مطمئن میباشد. هنگامی که در

که در آن Γ سطح محدود کننده حجم مورد نظر، ρ چگالی، \bar{V} بردار سرعت و \hat{n} بردار یکه قائم بر سطح می باشد.

معادله اندازه حرکت خطی

معادله قانون دوم نیوتن را بصورت معادله ۲ بیان می کند :

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} \int_{\Omega} \rho \bar{V} d\Omega + \int_{\Gamma} \bar{V} (\rho \bar{V} \cdot \hat{n}) d\Gamma \\ = \int_{\Gamma} -P \hat{n} d\Gamma + \int_{\Gamma} \bar{\tau} \cdot \hat{n} d\Gamma + \int_{\Omega} \rho \bar{F}_b d\Omega \end{aligned} \quad (2)$$

که در آن $\bar{\tau}$ تانسور تنش بوده و برای سیال نیوتنی برابر است با $\bar{\tau}_{ij} = \mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right)$ یا با نمایش اندیسی $\bar{\tau} = \mu (\bar{\nabla} \bar{u} + (\bar{\nabla} \bar{u})^T)$ و \bar{F}_b نیروی حجمی به ازای واحد جرم است.

معادله انتقال یک کمیت اسکالر

اگر ϕ یک کمیت اسکالر به ازای واحد جرم باشد معادله انتقال آن بصورت معادله ۳ بیان می شود :

$$\begin{aligned} \text{Transient term} \quad \text{Convection term} \quad \text{Diffusion term} \\ \frac{\partial}{\partial t} \int_{\Omega} \rho \phi d\Omega + \int_{\Gamma} \phi (\rho \bar{V} \cdot \hat{n}) d\Gamma = \int_{\Gamma} \rho D (\bar{\nabla} \phi \cdot \hat{n}) d\Gamma + \\ \text{Source term} \\ \int_{\Omega} S_p d\Omega \end{aligned} \quad (3)$$

که در آن S_p نرخ تولید کمیت اسکالر به ازای واحد حجم و D پخشندگی مولکول^۱ اسکالر است. معادلات (۱) و (۲) صورت خاصی از معادله (۳) می باشند؛ اگر ϕ برابر ۱ فرض شود و تولید و پخش کمیت صفر در نظر گرفته شوند معادله (۱) حاصل می شود. همینطور با فرض ϕ برابر \bar{V} ، $\rho D = \mu$ ، لحاظ کردن معادله پیوستگی و در نظر گرفتن اثر فشار در جمله چشمه به صورت $\bar{F}_b = \bar{\nabla}(-P\bar{I}) + \rho \bar{F}_b$ و با استفاده از قضیه گرین، معادله (۲) بدست می آید.

فرم دیفرانسیلی معادلات فوق با اعمال قضیه گرین بر روی فرم انتگرالی قابل حصول است که با توجه به استفاده از روش حجم

¹Molecular diffusivity

$$u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + u \frac{\partial^2 u}{\partial y^2}$$

معادلات حاکم برای جریان آشفته

با توجه به اینکه جریان مورد بررسی در این کار جریان آشفته می‌باشد، لازم است شکل معادلات در قالب آشفته بررسی گردد. در ادامه ابتدا به بررسی اجمالی نحوه شکل‌گیری معادلات جریان آشفته می‌پردازیم و سپس شکل آشفته هر کدام از معادلات را معرفی می‌کنیم.

۲- روش آماری بررسی جریان‌ات آشفته

در روش آماری، در ابتدا مقداری میانگین زمانی را برای کمیت f به صورت معادله ۱۱ تعریف می‌کنیم:

$$\bar{f} = \frac{1}{\Delta t} \int_{t_0}^{t_0+\Delta t} f dt \quad (11)$$

که در آن Δt آنقدر بزرگ انتخاب می‌شود که برای مقادیر زمانی بزرگتر از T_1 تغییر در اندازه انتگرال مذکور مشاهده نشود. به عبارت دیگر \bar{f} مستقل از زمان انتخاب شده Δt در می‌آید. در این روش آماری متغیرهای جریان که به صورت اتفاقی تغییر می‌کنند، به صورت حاصل جمع میانگین زمانی با مقادیر نوسانی به صورت معادله ۱۲ بیان می‌شوند.

$$u = \bar{u} + u' \quad (12)$$

$$w = \bar{w} + w'$$

$$p = \bar{p} + p'$$

مطابق تعریف، میانگین زمانی متغیرهای نوسانی صفر، به صورت معادله ۱۳ است.

$$\bar{f}' = \frac{1}{\Delta t} \int_{t_0}^{t_0+\Delta t} f' dt = 0 \quad (13)$$

ارتباطات ریاضی نیز بین دو کمیت فرضی f و g در این روش آماری به صورت معادله ۱۴ حاکم می‌باشد:

$$\overline{f'g'} = 0 \quad (14)$$

$$\frac{\overline{f'g}}{f + g} = \frac{\overline{f'g}}{f + g}$$

نوشتن معادلات حرکت در جریان آشفته

ابتدا معادلات را برای کمیت‌های لحظه ای، یعنی کمیت‌های متوسط بعلاوه کمیت‌های نوسانی مینویسیم. آنگاه از طرفین هر معادله متوسط‌گیری زمانی به عمل می‌آوریم. البته در این رابطه باید به این نکته توجه نمود که چنانچه تساوی برای معادلات لحظه ای برقرار باشد، این تساوی برای متوسط زمانی آن (برای دامنه

معادلات ناویرستوکس، قسمت‌های مربوط به لزجت حذف گردند، این معادلات به معادله اویلر تبدیل خواهند شد که از سرعت محاسبات نسبی بالایی (افزایش سرعت پردازش و کاهش حافظه لازم) برخوردار می‌باشند.

معادله پیوستگی

اصل اساسی که از آن در مکانیک سیالات استفاده می‌شود اصل بقای جرم است. این اصل بیان می‌دارد که جرم نه تولید می‌شود و نه از بین می‌رود و توسط معادله پیوستگی بیان می‌گردد:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \vec{\nabla} \cdot (\rho \vec{V}) = 0 \quad (7)$$

برای سیالات تراکم پذیر به صورت معادله ۷ می‌باشد.

$$(\vec{\nabla} \cdot \vec{V}) = 0$$

معادله مومنتوم

مکانیک سیالات تنها با داشتن معادله پیوستگی مشخص نمی‌شود بلکه باید اصل بقای اندازه حرکت یا قانون دوم نیوتون را درباره آن بیان کرد. اندازه حرکت حاصل ضرب جرم در سرعت است. قانون دوم نیوتون بیان می‌کند که برآیند نیروهایی که بر یک جسم اثر می‌کند برابر است با تغییرات خالص مومنتوم. با در نظر گرفتن جریان غیرقابل تراکم و ثابت فرض کردن ضریب ویسکوزیته، شکل معادله ناویر استوکس به صورت معادله ۸ می‌باشد:

$$\rho \frac{DV}{Dt} = \rho f - \nabla P + \mu \nabla^2 V \quad (8)$$

که در آن V بردار سرعت، P بیانگر فشار، f نیروهای حجمی و μ ویسکوزیته می‌باشد.

$\frac{D}{Dt}$ بیانگر مشتق مادی بوده و به صورت $(\frac{D}{Dt} = \frac{\partial}{\partial t} + \vec{V} \cdot \nabla)$ تعریف می‌گردد.

معادلات حاکم برای جریان آرام

معادلات ناویراستوکس نیمه بیضوی حاکم بر جریان پایدار، تراکم ناپذیر و دوبعدی در حالت آرام به صورت معادلات ۹، ۱۰ می‌باشد:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y} \quad (9)$$

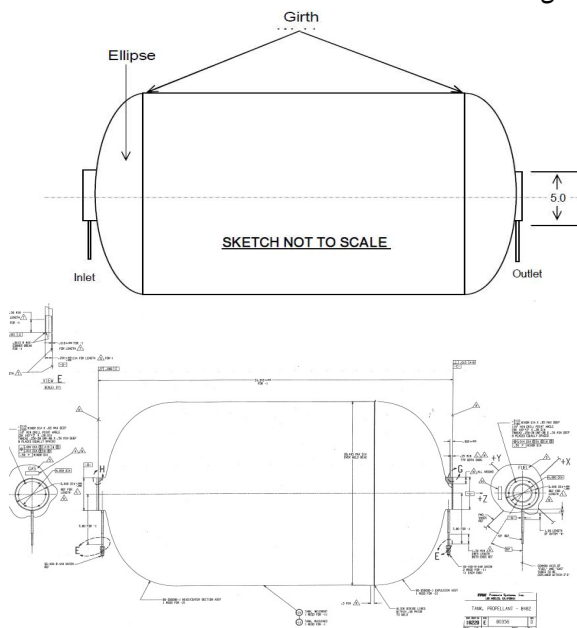
$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + v \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \quad (10)$$

رینولدز میگوییم. تنها تفاوت معادلات جریان آرام با آشفته نیز فقط حضور همین عبارت میباشد. به طور کلی این عبارت از لحاظ فیزیکی یک تنش نمایشد بلکه بیانگر اثر تبادل مومنتوم می باشد. فراموش نکنیم که این عبارت از سمت چپ معادله مومنتوم یعنی جایی که با عبارت های اینرسی سر و کار داریم به سمت راست منتقل شده است. بنابراین ریشه و بنیان این عبارت از جنس اینرسی مومنتوم می باشد.

مدل سازی جریان های آشفته

اگر از دیدگاه امروزی به مساله آشفتگی بپردازیم، شاید بیشترین پیشرفت نسبت به دهه های ۱۹۷۰ و ۱۹۸۰ میلادی، پیشرفت در روش های محاسباتی باشد. اولین آن ها شبیه سازی گردابه های بزرگ بود که به وسیله دردورف در سال ۱۹۷۰ ارائه شد. به دنبال آن به سرعت روش دی آن اس^۲ به وسیله اورساگ و پترسون در سال ۱۹۷۲ ارائه شد. همچنین گستره ی وسیعی از روش رنس

مخزن و پی ام دی مدل شده در این مقاله به شماره مشخصه مخزن و پی ام دی 80356-1 از نوع پره ای بوده که نقشه آن در شکل ۱ آمده است:



شکل ۱ مخزن و پی ام دی مدل شده [۹، ۱۰]

مشخصی از زمان) نیز برقرار خواهد بود. در نهایت معادلات را ساده سازی کرده تا جایی که کمیت های متوسط زمانی ظاهر گردند.

معادله پیوستگی برای جریان آشفته

برای جریان تراکم پذیر معادله ی ۱۵ را داریم:

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\bar{\rho} \bar{u}_i) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\bar{\rho}' u_i') = 0 \quad (15)$$

برای جریان تراکم ناپذیر از آنجایی که $\rho' = 0$ می باشد، معادله فوق به صورت معادله ۱۶ در خواهد آمد:

$$\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_i} = 0 \quad (16)$$

معادلات مومنتوم^۱ برای جریان آشفته

(۱۷)

$$\rho \left[\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial t} + \bar{u}_j \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} \right] = \bar{B}_i - \frac{\partial \bar{p}}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial t} - \rho \overline{u_i' u_j'} \right]$$

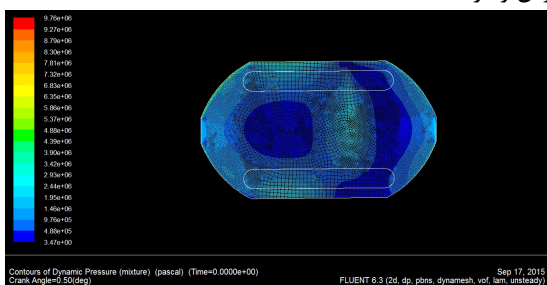
تنها تفاوت معادله مومنتوم فوق با معادله مومنتوم با کمیت های لحظه ای اضافه شدن عبارت آخر در سمت راست معادله یعنی $\rho \overline{u_i' u_j'}$ میباشد. این عبارت را اصطلاحاً تنش آشفتگی یا تنش^{۱۷} در آن سال مورد بررسی قرار گرفت. از آن زمان تا دهه ۱۹۹۰ به دلیل کمبود امکانات محاسباتی برای روش های شبیه سازی گردابه های بزرگ و دی آن اس، روش رنس به طور گسترده ای مورد استفاده قرار گرفت.

از نظر ماهیت محاسبات، روش شبیه سازی گردابه های بزرگ بین روش رنس و دی آن اس محسوب می شود. در روش رنس با متوسط گیری زمانی، مقادیر متوسط متغیرها محاسبه می شود. اما روش دی آن اس بدون هیچگونه مدلسازی و با اعمال شبکه بندی در حد کوچکترین مقیاس ها به حل جریان می پردازد. در روش رنس، پارامترها به دو جمله نوسانی و متوسط که شامل تمامی مقادیر نوسان است مدلسازی می شوند. مزیت شبیه سازی گردابه های بزرگ نسبت به رنس در آنست که ابتدا مقیاس های بزرگ از مقیاس های کوچک جدا شده و سپس نوسان موجود در مقیاس های کوچک مدل سازی می شود.

در شبیه سازی گردابه های بزرگ میتوان مطمئن بود که هرگونه حرکتی در مقیاس های شامل انرژی های بزرگ، به صورت مستقیم، مانند روش دی آن اس محاسبه می شود.

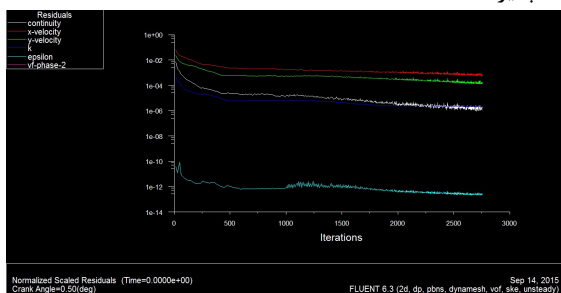
۳- نتایج و شبیه سازی

کانتور فشار نیز به صورت شکل ۴ است که با واقعیت سازگاری نداشت زیرا فشار خروجی به قدری پایین بود که احتمال جریان معکوس وجود داشت.



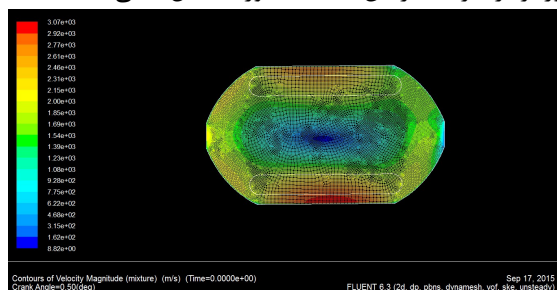
شکل ۴ کانتور فشار دینامیکی حالت خطی

حال حالت مغشوش با شرایط k-ε را بررسی می نماییم: که در این حالت به صورت شکل ۵ بعد از ۲۷۵۶ مرحله همگرایی صورت پذیرفت.



شکل ۵ همگرایی در حالت مغشوش

کانتور بردار سرعت در این حالت به صورت شکل ۶ می باشد:



شکل ۶ کانتور سرعت در جریان مغشوش

که البته با توجه به سرعت زاویه ای و چرخش آن به درستی کمترین سرعت در مرکز و بیشترین در ماکزیمم شعاع مخزن صورت گرفته است. کانتور فشار دینامیکی به صورت شکل ۷ شد.

در این شکل اندازه های مخزن SIZE: 28-inch ID x 48.5-inch Long بوده است. مشخصات آن نیز در جدول ۱ آمده است.

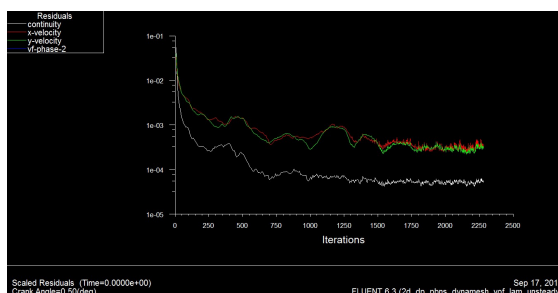
جدول ۱ اطلاعات مخزن [۹، ۱۰]

Operating Pressure, psig	325	Total Volume, ci	26,750
Proof Pressure, psig	439	Prop Volume, ci	26,700
Cryo Proof, psig	No	Max Design Wt, lbs	60.0
Burst Pressure, psig	488	Minimum Wall, inch	0.037

جریان را ۲ فاز VOF در نظر گرفته ایم. سیال ما در اینجا هیدرازین^{۱۸} مایع بوده موارد مربوط به کشش سطحی و چسبندگی آن را فعال نموده مساله نیز ۲ بعدی ۲ دفته تنظیم گشته با مش های متحرک با سرعت زاویه ای حول محور افقی مثبت به اندازه ۰.۶۳ رادیان بر ثانیه و سرعت عمودی موکش برابر با ۲۰۰ متر بر ثانیه در جهت بالا می باشد.

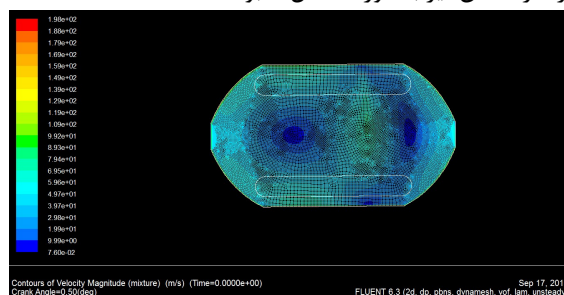
جریان را در ۲ حالت یک اینکه فراگیر و خطی در نظر گرفته شده است و بعدی برای حالت مغشوش k-ε تحلیل شده است و تعداد مش ها برابر ۲۲۱۳۲۰ عدد بوده که نتایج آن به شرح زیر می باشد:

در حالت خطی بعد از ۲۲۸۳ مرحله به صورت شکل ۲ همگرا شد.



شکل ۲ همگرایی در حالت خطی

کانتور سرعت آن نیز به صورت شکل ۳ بود.



شکل ۳ کانتور سرعت در حالت خطی

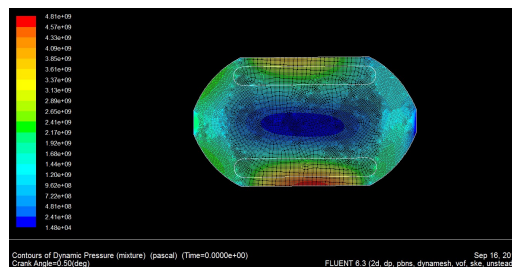
دستگاه مدیریت مصرف سوخت خندقی یکی از ساده‌ترین انواع پی‌ام‌دی جهت درک و فهمیده شدن و از تواناترین‌های پی‌ام‌دی هستند. این عامل سبب جذابیت زیاد آن‌هاست. متأسفانه آن‌ها همچون سنگین و پیچیده، ناکارآمد و با قابلیت اعتماد کم هستند. برای مأموریت‌هایی که در جهت و زمان تغییرات زیادی دارند در شتاب و نرخ‌های جریان بالا در دستگاه مدیریت مصرف سوخت‌گزین مناسبی هستند. برای مثال خندقی‌هایی که در مخزن شاتل RCS و ماهواره ارتباطی MILTAR استفاده شده‌اند از این نوع‌اند. علاوه بر این در اجزای دستگاه مدیریت مصرف سوخت خندقی تله‌های زیادی وجود دارد که برای تأمین حجم مورد پیشران نیاز در تغییرات زمان و جهت خواسته شده طراحی شده‌اند.

۴- علائم و اختصارات

نماد	توضیح
Γ	سطح محدود کننده حجم مورد نظر
ρ	چگالی
\vec{V}	بردار سرعت
\hat{n}	بردار یکه قائم بر سطح
$\bar{\tau}$	تانسور تنش
\vec{F}_b	نیروی حجمی به ازای واحد جرم
ϕ	کمیت اسکالر به ازای واحد جرم
S_p	نرخ تولید کمیت اسکالر به ازای واحد حجم
D	پخشندگی مولکولی اسکالر
ISP	ضربه ویژه
P	فشار
f	نیروهای حجمی
μ	ویسکوزیته
S_{ij}	تانسور نرخ کرنش متوسط

۵- مراجع

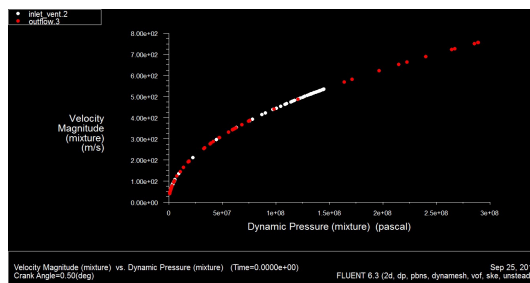
- [۱] [مترجم] نکوفر کورس، بزى یاسر / ۱۳۹۴ / چگونگی طراحی، ساخت و آزمایش یک موتور موشک سوخت مایع کوچک/نوبت اول/انتشارات بعثت
- [۲] بزى یاسر / ۱۳۹۴ / انتخاب پیشران/ همایش یافته‌های نوین در هوافضا و علوم وابسته/دانشکده هوافضا دانشگاه تهران
- [۳] بزى یاسر / ۱۳۹۴ / تجهیزات ارتباطی مدیریت مصرف پیشران(تجهیزات مدیریت مصرف پیشران)/ همایش یافته‌های نوین در هوافضا و علوم وابسته/دانشکده هوافضا دانشگاه تهران[۱]
- [4] r. Jaekle, D, Propellant management device conceptual design and analysis-Traps and Troughs, in Proceeding of, 2531



شکل ۷ کانتور فشار دینامیکی در حالت مغشوش

همانطور که از کانتورهای فشار دینامیکی ۲ حالت خطی و مغشوش مشخص است کمترین مقدار فشار در حالت مغشوش از بیشترین مقدار فشار در حالت خطی بیشتر بوده و جریان را به سمت خروجی منتقل می‌نماید.

نمودار سرعت و فشار با یکدیگر در حالت مغشوش نیز به صورت شکل ۸ شد.



شکل ۸ نمودار سرعت و فشار با یکدیگر

در عملیات احتراق تراستری که شتابشان کم است، تجهیزات مدیریت مصرف پیشران، پره‌ای پیشران را به‌طور مداوم برای هر مدت‌زمان سوختن و در تمام جهات فراهم می‌کند. این عدم محدودیت در زمان و جهت همراه با سبک‌وزن و کم‌هزینه پی‌ام‌دی پره‌ای، عواملی شده‌اند تا پی‌ام‌دی پره‌ای مطلوب‌ترین گزینه برای هر مأموریت شود. متأسفانه دستگاه مدیریت مصرف سوخت پره‌ای تنها در شرایط گرانش حداقلی کار می‌کنند. این عامل سبب شده تا این تجهیز برای سامانه‌هایی که با پیشران هیدرازین کار می‌کنند ماندگار شود. در سامانه‌هایی که دو پیشران هستند، این تجهیز نمی‌تواند پیشران تا خلاف جهت شتاب زیاد منتقل نمایند. این تجهیز را درجایی که گرانش در آنجا برابر صفر باشد استفاده می‌کنند.

شایان ذکر است که نتایج تحلیل برای هر دو حالت خطی و مغشوش نشان از آن داشت که جهت این که جریان به سمت خروجی برقرار شود باید فشار خروجی بالا بوده تا معکوس نگردد که این حالت به درستی در حالت مغشوش رخ داد.

- [5] M. Weislogel, M. Sala, S. Collicott, Analysis of Tank PMD Thrust Resettling, Citeseer, pp. 2002.
- [6] W. Tam, I. Ballinger, D. Jaekle, Surface tension PMD tank for on orbit fluid transfer, in Proceeding of, 5105.
- [7] W. Tam, I. Ballinger, D. Jaekle, Surface tension PMD tank for on orbit fluid transfer, in Proceeding of, 5105.
- [8] M. Wollen, F. Merino, J. Schuster, C. Newton, Cryogenic propellant management device: Conceptual design study, 2010.
- [9] M. Wollen, F. Merino, J. Schuster, C. Newton, Cryogenic propellant management device: Conceptual design study, 2010.
- [10] M. Wollen, F. Merino, J. Schuster, C. Newton, Cryogenic propellant management device: Conceptual design study, 2010.