



مدل سازی تجهیزات مدیریت سیال در مخازن موتورهای راکت پیشران مایع

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

۱- کارشناس ارشد، واحد علوم و تحقیقات آین الله آملی، دانشگاه آزاد اسلامی، مازندران، ایران

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

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

Email: ghaderi@ari.ac.ir

چکیده:

تجهیزات مدیریت مصرف پیشران، سازه‌هایی 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 می‌باشند. آنها را می‌توان به طور کامل از تیتانیوم ساخت تا بتوان از آنها در بیشتر پیشران‌های خورنده استفاده نمود. قطعات بدون حرکت و یا تغییر شکل، قابل اعتماد هستند. نیازمندی‌های مأموریت، طراحی مفهومی دستگاه مدیریت پیشران (تجهیزات مدیریت مصرف پیشران) هدایت می‌کند. پی‌ام‌دی‌های ساده اغلب برای مأموریت‌های ساده و بالعکس استفاده می‌شوند. برای ساخت تجهیزات مدیریت مصرف پیشران، مناسب باید مشتری مشخصات مورد نیاز آن را کامل نماید. بالا گرفتن مشخصات نیازهای پی‌ام‌دی به راحتی می‌تواند در نهایت باعث پیچیده، سنگین، گران و از همه مهم‌تر، قابل اعتماد پایین‌تر پی‌ام‌دی بینجامد. برای به دست آوردن ساده‌ترین، سبک‌ترین، کم‌هزینه و قابل اطمینان‌ترین تجهیزات مدیریت مصرف پیشران، برای مأموریت باید در تعیین دقیق مشخصات مورد نیاز تجهیزات مدیریت مصرف پیشران، دقت لازم را نمود.

کلید واژگان: تجهیزات مدیریت مصرف، پی‌ام‌دی، پیشران

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

Yaser Bazi¹ - Kores Nekofar^{2} - Zahra Ghader³*

2-Assistant Prof., Islamic Azad University, Chalous Branch, Mazandaran, Iran

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

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.

Keywords: Management Devices, PMD, Propellant

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 پره‌ای کاربردی است. نوع دیگر یک از نوع تله‌ای است، تجهیز گسترش دهنده حجم که به کمک کشیدن تله، سطح خمیده‌ای ایجاد شده است. مشخص شد که ویژگی‌های 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 ملاحظه‌ای خیلی سرد می‌شود. در واقع، مزایای پیش راه اندازی با کمک روش‌های کرایجنیک^۵ در این مقاله بررسی شده است [۳-۱].

آقای دان جیکل و همکارانش در شرکت پی‌ام‌دیر مقاله‌هایی 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

(مانگلیک و برگلس) نرخ انتقال حرارت و ضریب‌ها اصطکاک برای ۱۸ نوع فین را از لحاظ هندسی و روابط حاکم بررسی کرده‌اند.

(نجفی و حسین پوری) مدل سازی و بهینه سازی هزینه و انرژی را به کمک الگوریتم ژنتیک انجام داده‌اند و با استفاده از عرضه سوخت در پشتیبانی از فضای ماموریت علمی طراحی و

تولید شده است [۵]. دو مخزن یکسان برای سیستم نیروی محرکه فضاییما 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 تجهیز 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 نسبتاً شدیدی بر مدیریت مصرف سوخت از جایجای مخزن طراحی شده برای این ماموریت خواهد بود. شبیه به همه طرح‌های 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 شیوه‌های محافظه کارانه همانند همه تجهیزات مدیریت مصرف پیشران، قبلی به همان صورت انجام می‌شود. اعتبار سنجی تمام عناصر مکانیکی با تجزیه و تحلیل ساختاری تجهیزات مدیریت مصرف پیشران، صورت می‌پذیرد. این طراحی برای ساختیک تجهیزات مدیریت مصرف پیشران، تمام تیتانیوم قوی، کارآمد، و بسیار قابل اعتماد خواهد بود [۶، ۷].

آقای دان جیکل در شرکت تکنولوژی پی‌ام‌دی در ماسا - چوست در سال‌های ۱۹۹۶ و ۱۹۹۷ در مقاله‌های جداگانه‌ای که در مجله AIAA^۹ چاپ شده به بررسی دستگاه مدیریت مصرف سوخت تله‌ای، آبشخوری و خندقی و پره ای و ... پرداخته‌اند.

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 افزارهای اپن سورس^{۱۲} این فوم^{۱۳} انجام داده است [۸].

⁶- Mono Methyl Hydrazine (MMH)

⁷- MON 3

⁸- (STA) 6AL-4V

⁹- American Institute of Aeronautics and Astronautics

¹⁰-University of Padova

¹¹-Computational Fluid Dynamics(CFD)

¹²-Open Source

¹³- OPEN-FOAM

¹- PMDs

²-Liquid oxygen (LO2)

³-Liquid CH4 (LCH4)

⁴- Aluminium

⁵- Krayjnyk

معادلات حاکم

معادله قانون بقای جرم را بصورت معادله ۱ بیان می‌کند:

(۱)

$$\int_{\Gamma} \rho \vec{V} \cdot \hat{n} d\Gamma = 0$$

که در آن Γ سطح محدود کننده حجم مورد نظر، ρ چگالی، \vec{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 :

(۲)

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_{\Omega} \rho \vec{V} d\Omega + \int_{\Gamma} \vec{V} (\rho \vec{V} \cdot \hat{n}) d\Gamma = \int_{\Gamma} -P \hat{n} d\Gamma + \int_{\Gamma} \vec{\tau} \cdot \hat{n} d\Gamma + \int_{\Omega} \rho \vec{F}_b d\Omega$$

که در آن $\vec{\tau}$ تانسور تنش بوده و برای سیال نیوتنی برابر است با $(\vec{\tau} = \mu(\nabla \vec{u} + (\nabla \vec{u})^T))$ یا با نمایش اندیسی

$$\tau_{ij} = \mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right)$$

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 :

(۳)

$$\frac{\partial}{\partial t} \int_{\Omega} \rho \phi d\Omega + \int_{\Gamma} \phi (\rho \vec{V} \cdot \hat{n}) d\Gamma = \int_{\Gamma} \rho D (\nabla \phi \cdot \hat{n}) d\Gamma + \int_{\Omega} S_p d\Omega$$

که در آن S_p نرخ تولید کمیت اسکالر به ازای واحد حجم و D پخشندگی مولکول^{۱۴} 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 \vec{V} ، $\rho D = \mu$ لحاظ کردن معادله پیوستگی و در نظر گرفتن اثر فشار در جمله چشمه به صورت $\vec{S}_p = \vec{\nabla}(-P\vec{I}) + \rho \vec{F}_b$ 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 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 ۴ می باشد

(۴)

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \vec{\nabla} \cdot \rho \vec{V} = 0$$

اندازه حرکت خطی به صورت معادله ۵ می باشد.

(۵)

$$\rho \frac{D\vec{V}}{Dt} = -\vec{\nabla}P + \vec{\nabla} \cdot \vec{\tau} + \rho \vec{F}_b$$

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

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

(۶)

$$\rho \frac{D\phi}{Dt} = D\nabla^2 \phi + S_p$$

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: ۱- استفاده از شبکه جابه جا شده ۲- اصلاح روش میانمایی سرعت روی سطح

معادلات ناوراستوکس، یکی مدل ریاضی کامل برای سیال ارائه می دهند. به دلیل پیچیده بودن این معادلات در فرم کامل ناوراستوکس، 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 ناوراستوکس نیازمند زمان پردازش و حافظه زیادی می باشند، بنابراین مقداری ساده سازی در حل این معادلات ناوراستوکس برای کاهش منابع محاسباتی مورد احتیاج، لازم است.

برای مثال، در جریان های آیرودینامیک خارجی با سرعت بالا و زاویه حمله کم، می توان از معادلات غیر لزج اوپلر استفاده کرد. یا در مسائلی که ضخامت لایه مرزی خیلی کوچک است، فرض غیر لزج گرفتن جریان یک فرض مطمئن می باشد. هنگامی که در معادلات ناوراستوکس، قسمت های مربوط به لزجت حذف گردند، این معادلات به معادله اوپلر تبدیل خواهند شد که از سرعت محاسبات نسبی بالایی (افزایش سرعت پردازش و کاهش حافظه لازم) برخوردار می باشند.

معادله پیوستگی

اصل اساسی که از آن در مکانیک سیالات استفاده می شود اصل بقاء جرم است. این اصل بیان می دارد که جرم نه تولید

¹⁴-Molecular diffusivity

(۱۱)

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

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 معادله‌ی ۱۲ بیان می‌شوند.

نتیجتاً برای محاسبه افت فشار تمامی پارامترها بدست آمد. (۱۲)

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

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

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

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

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

$$\overline{f'g'} = 0 \quad (۱۴)$$

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

$$\overline{f+g} = \bar{f} + \bar{g}$$

نوشتن معادلات حرکت در جریان آشفته

ابتدا معادلات را برای کمیت‌های لحظه‌ای، یعنی کمیت‌های متوسط بعلاوه کمیت‌های نوسانی می‌نویسیم. آنگاه از طرفین هر معادله متوسط گیری زمانی به عمل می‌آوریم. البته در این رابطه باید به این نکته توجه نمود که چنانچه تساوی برای معادلات لحظه‌ای برقرار باشد، این تساوی برای متوسط زمانی آن (برای دامنه مشخصی از زمان) نیز برقرار خواهد بود. در نهایت معادلات را ساده سازی کرده تا جایی که کمیت‌های متوسط زمانی ظاهر گردند.

معادله پیوستگی برای جریان آشفته

برای جریان تراکم‌پذیر معادله‌ی ۱۵ را داریم: (۱۵)

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

برای جریان تراکم‌ناپذیر از آنجایی که $\rho' = 0$ می‌باشد، معادله فوق به صورت معادله ۱۶ در خواهد آمد:

(۱۶)

$$\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_i} = 0$$

می‌شود و نه از بین می‌رود و توسط معادله پیوستگی بیان می‌شود (۷)

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

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

برای سیالات تراکم‌ناپذیر:

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

معادله مومنتوم

مکانیک سیالات تنها با داشتن معادله پیوستگی مشخص نمی‌شود بلکه باید اصل بقا اندازه حرکت یا قانون دوم نیوتون را درباره آن بیان کرد. اندازه حرکت حاصلضرب 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 معادله‌ی ۸ می‌باشد:

(۸)

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

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

$$\left(\frac{DV}{Dt} = \frac{\partial v}{\partial x} + \dots \right) \text{ و } \left(\frac{D}{Dt} = \frac{\partial}{\partial t} + \dots \right) \text{ تعریف می‌گردد.}$$

معادلات حاکم برای جریان آرام

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

(۹)

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial u}{\partial y}$$

(۱۰)

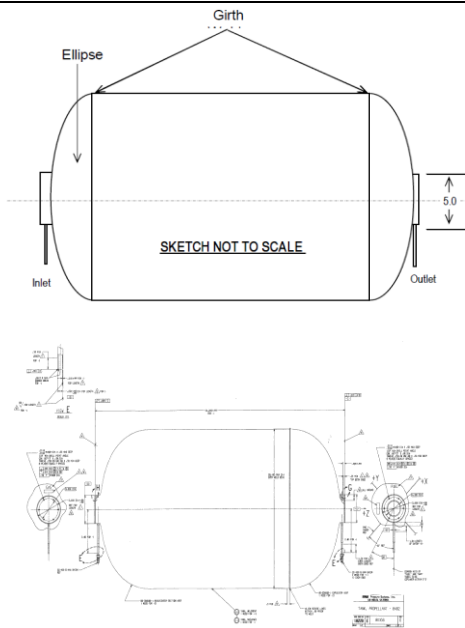
$$u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + v \frac{\partial^2 u}{\partial y^2}$$

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 شکل گیری معادلات جریان آشفته می‌پردازیم و سپس شکل آشفته هر کدام از معادلات را معرفی می‌کنیم.

روش آماری بررسی جریان آشفته

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



شکل ۱ مخزن و پی‌ام‌دی مدل شده [۱۰،۹]

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 [۱۰،۹]

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 دقیقه تنظیم گشته با مش‌های متحرک با سرعت زاویه‌ای حول محور افقی مثبت به اندازه ۰.۶۳ رادیان بر ثانیه و سرعت عمودی موشک برابر با ۲۰۰ متر بر ثانیه در جهت بالا می‌باشد.

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 مش‌ها برابر ۲۲۱۳۲۰ عدد بوده که نتایج آن به شرح زیر می‌باشد: در حالت خطی بعد از ۲۲۸۳ مرحله به صورت شکل ۲ همگرا شد.

معادلات مومنتوم^{۱۵} برای جریان آشفته

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

تنها تفاوت معادله مومنتوم فوق با معادله مومنتوم با کمیت‌های لحظه‌ای اضافه شدن عبارت آخر در سمت راست معادله یعنی $\rho \overline{u'_i u'_j}$ می‌باشد. این عبارت را اصطلاحاً تنش آشفتگی یا تنش 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 نمی‌باشد بلکه بیانگر اثر تبادل مومنتوم می‌باشد. فراموش نکنیم که این عبارت از سمت چپ معادله مومنتوم یعنی جایی که با عبارتهای اینرسی سر و کار داریم. به سمت راست منتقل شده است. بنابراین ریشه و بنیان این عبارت از جنس اینرسی مومنتوم می‌باشد.

مدل سازی جریان‌های آشفته

اگر از دیدگاه امروزی به مساله آشفتگی بپردازیم، شاید بیشترین پیشرفت نسبت به دهه‌های ۱۹۷۰ و ۱۹۸۰ میلادی، پیشرفت در روش‌های محاسباتی باشد. اولین آنها شبیه‌سازی گردابه‌های بزرگ بود که به وسیله دردورف در سال ۱۹۷۰ ارائه شد. به دنبال آن به سرعت روش دی‌ان‌اس^{۱۶} به وسیله اورساگ و پترسون در سال ۱۹۷۲ ارائه شد. همچنین گستره وسیعی از روش رنس^{۱۷} در آن سال مورد بررسی قرار گرفت. از آن زمان تا دهه ۱۹۹۰ به دلیل کمبود امکانات محاسباتی برای روش‌های شبیه‌سازی گردابه‌های بزرگ و دی‌ان‌اس، روش رنس به طور گسترده‌ای مورد استفاده قرار گرفت.

از نظر ماهیت محاسبات، روش شبیه‌سازی گردابه‌های بزرگ بین روش رنس و دی‌ان‌اس محسوب می‌شود. در روش رنس با متوسط گیری زمانی، مقادیر متوسط متغیرها محاسبه می‌شود. اما روش دی‌ان‌اس بدون هیچگونه مدلسازی و با اعمال شبکه بندی در حد کوچیکترین مقیاس‌ها به حل جریان می‌پردازد. در روش رنس، پارامترها به دو جمله نوسانی و متوسط که شامل تمامی مقادیر نوسان است مدلسازی می‌شوند. مزیت شبیه‌سازی گردابه‌های بزرگ نسبت به رنس در آنست که ابتدا مقیاس‌های بزرگ از مقیاس‌های کوچک جدا شده و سپس نوسان موجود در مقیاس‌های کوچک مدل سازی می‌شود.

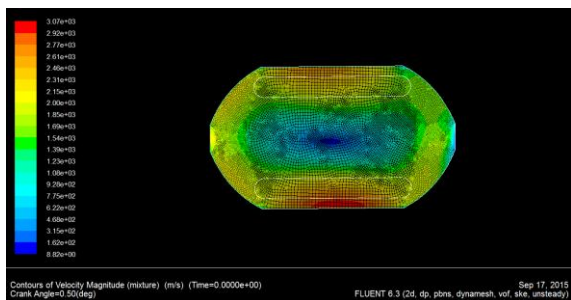
در شبیه‌سازی گردابه‌های بزرگ میتوان مطمئن بود که هرگونه حرکتی در مقیاس‌های شامل انرژی‌های بزرگ، به صورت مستقیم، مانند روش دی‌ان‌اس محاسبه می‌شود.

¹⁵-Momentum

¹⁶- DNS

¹⁷- RANS

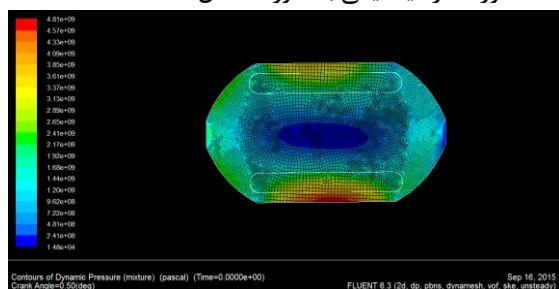
¹⁸-Hydrazine



شکل ۶ کانتور سرعت در جریان مغشوش

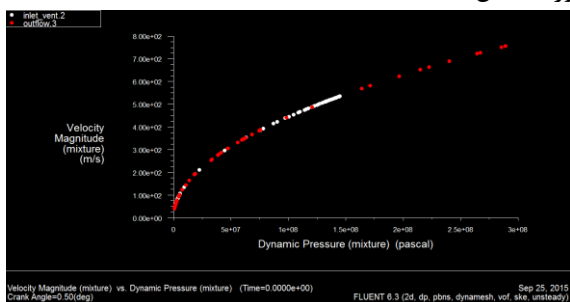
که البته با توجه به سرعت زاویه ای و چرخش آن به درستی کمترین سرعت در مرکز و بیشترین در ماکزیم شعاع مخزن صورت گرفته است.

کانتور فشار دینامیکی به صورت شکل ۷ شد.



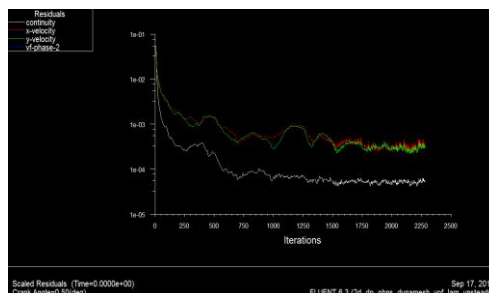
شکل ۷ کانتور فشار دینامیکی در حالت مغشوش

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



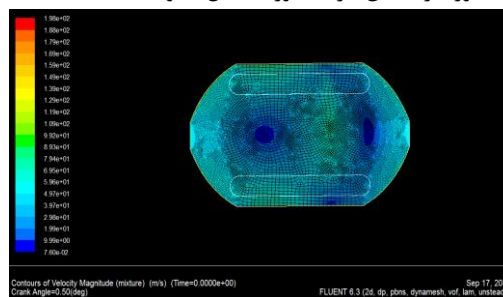
شکل ۸ نمودار سرعت و فشار با یکدیگر

در عملیات احتراق تراستری که شتابشان کم است، تجهیزات مدیریت مصرف پیشران، پره‌ای پیشران را به طور مداوم برای هر مدت زمان سوختن و در تمام جهات فراهم می کند. این عدم محدودیت در زمان و جهت همراه با سبک وزن و کم هزینه پی-امدی پره‌ای ، عواملی شده‌اند تا پی‌امدی پره‌ای مطلوب‌ترین گزینه برای هر مأموریت شود. متأسفانه دستگاه مدیریت مصرف سوخت پره‌ای تنها در شرایط گرانش حداقلی کار می کنند. این عامل سبب شده تا این تجهیز برای سامانه‌هایی که با پیشران



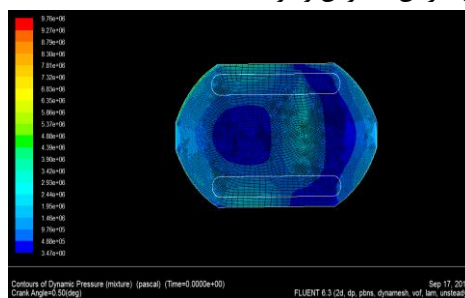
شکل ۲ همگرایی در حالت خطی

کانتور سرعت آن نیز به صورت شکل ۳ بود.



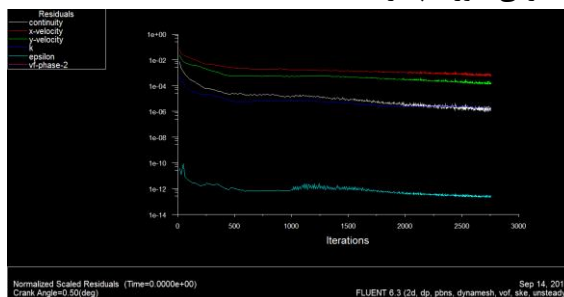
شکل ۳ کانتور سرعت در حالت خطی

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 $k-\epsilon$ را بررسی می نمایم : 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:

منابع

۱. [مترجم] نکوفر کورس، بزی یاسر /۱۳۹۴/ چگونگی طراحی، ساخت و آزمایش یک موتور موشک سوخت مایع کوچک/نوبت اول/انتشارات بعثت
۲. بزی/یاسر /۱۳۹۴/ انتخاب پیشران/ همایش یافته های نوین در هوافضا و علوم وابسته/دانشکده هوافضا دانشگاه تهران
۳. بزی/یاسر/۱۳۹۴/ تجهیزات ارتباطی مدیریت مصرف پیشران(تجهیزات مدیریت مصرف پیشران)/ همایش یافته های 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
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

هیدرازین کار می کنند ماندگار شود. در سامانه هایی که دو پیشران هستند، این تجهیز نمی تواند پیشران تا خلاف جهت شتاب زیاد منتقل نمایند. این تجهیز را در جایی که گرانش در آنجا برابر صفر باشد استفاده می کنند.

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.

دستگاه مدیریت مصرف سوخت خندقی یکی از ساده ترین انواع پی ام دی جهت درک و فهمیده شدن و از تواناترین های پی ام دی هستند. این عامل سبب جذابیت زیاد آنهاست. متأسفانه آنها همچین سنگین و پیچیده، ناکارآمد و باقابلیت اعتماد کم هستند. برای مأموریت هایی که در جهت و زمان تغییرات زیادی دارند در شتاب و نرخ های جریان بالا در دستگاه مدیریت مصرف سوخت گزینه مناسبی هستند. برای مثال خندقی هایی که در مخزن شاتل RCS و ماهواره ارتباطی MILTAR استفاده شده اند از این نوع اند. علاوه بر این در اجزای دستگاه مدیریت مصرف سوخت خندقی تله های زیادی وجود دارد که برای تأمین حجم مورد پیشران نیاز در تغییرات زمان جهت خواسته شده طراحی شده اند.

علائم و اختصارات

نماد	توضیح
Γ	سطح محدود کننده حجم مورد نظر
ρ	چگالی
\vec{V}	برداری سرعت
\hat{n}	برداری 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