

## شبیه‌سازی مخزن آب‌بند مایع شبکه فلر پالایشگاه نفت آبادان

عباس کوثری‌نیا<sup>1\*</sup>، حسن رستمی‌نژاد<sup>2</sup>، مسعود نعمت‌الهی<sup>3</sup>

<sup>1</sup> استادیار، گروه مهندسی مکانیک، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

<sup>2</sup> کارشناسی ارشد، گروه مهندسی مکانیک، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران

<sup>3</sup> کارشناس پژوهش شرکت پالایش نفت آبادان، آبادان، ایران

نوع مقاله: ترویجی

دریافت: 1398/04/08 پذیرش: 1398/10/21

### چکیده

در مقاله حاضر رفتار جریان دو فاز مایع-گاز درون مخزن آب‌بند مایع<sup>1</sup> مربوط به شبکه فلر به صورت عددی مورد بررسی قرار گرفته است. مخزن آب‌بند مایع یکی از مهم‌ترین تجهیزات در شبکه فلر است که وظیفه مرحله‌بندی گاز فلر را عهده‌دار است. عدم کارکرد صحیح این تجهیز موجب نوسانی شدن فشار خروجی، آلودگی‌های زیست محیطی و افزایش احتمال انفجار در شبکه می‌شود. این مخزن در صنعت ایران با طرح‌ها و هندسه‌های متفاوت موجود است. در این مقاله با توجه به عدم کارکرد صحیح سیستم فلر شماره 3 پالایشگاه آبادان که علاوه بر اختلال در کارکرد سیستم، آلودگی زیست محیطی را به همراه دارد، جهت رفع این مشکل، با اعمال تغییراتی در هندسه مخزن آب‌بند مایع موجود، هندسه جدیدی پیشنهاد می‌گردد. هر دو طرح توسط نرم‌افزار انسیس فلوئنت و با استفاده از مدل چندفازی حجم سیال، مدل‌سازی و شبیه‌سازی شد. نتایج حاصله نشان داد در شرایط یکسان، طرح موجود به درستی عمل نمی‌کند و میانگین فشار خروجی 11 پاسکال است که دچار نقص عملیاتی است. این نقص در مدل جدیدتر کم‌تر مشاهده می‌شود و میانگین فشار خروجی حدود 3 برابر افزایش پیدا کرده است که با اعمال تغییرات جزئی در بافل مربوطه می‌توان نقص عدم پیوستگی شعله را به کلی برطرف نمود.

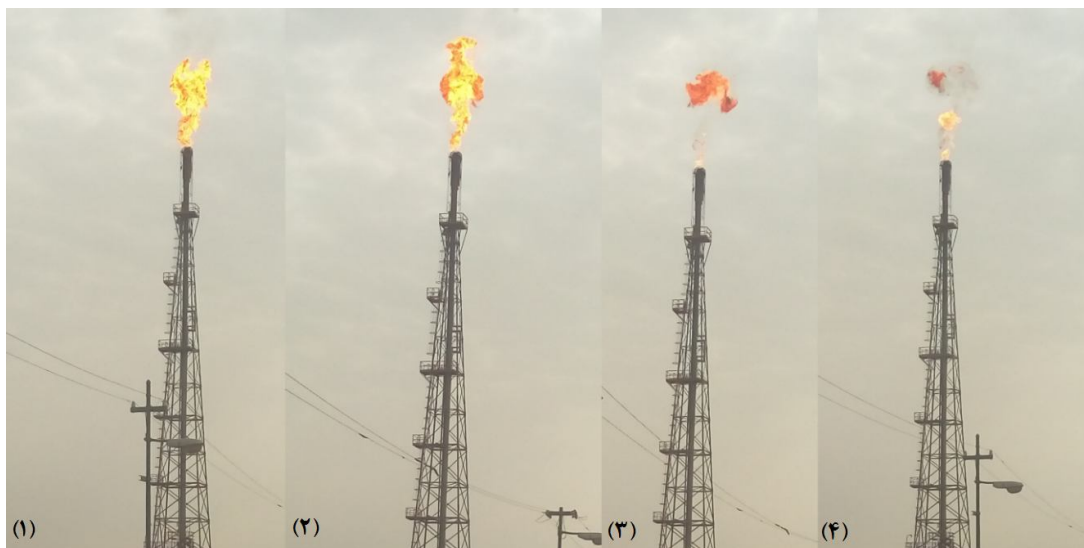
**کلمات کلیدی:** جریان دو فاز، فلر، مخزن آب‌بند مایع، مدل چند فاز، حجم سیال، شبیه‌سازی عدد

\* kosarineia@gmail.com

1- Seal pot, Liquid seal drum

### مقدمه

از مهم‌ترین مسائل ایمنی در شبکه فلرها، ایزوله کردن شبکه از محیط خارج از شبکه است. برای این منظور باید احتمال نفوذ هوا به داخل شبکه را کاهش داد. یکی از روش‌ها، مثبت نگه داشتن فشار داخل شبکه می‌باشد. به همین دلیل از مخزن آب‌بند مایع برای این منظور استفاده می‌شود. فشار مثبتی که در مخزن آب‌بند مایع ایجاد می‌شود به دلیل مغروق شدن لوله ورودی گاز به درون آب موجود در مخزن آب‌بند مایع است. هر چه مقدار وارد شدن لوله در آب بیشتر باشد، فشار مثبتی که در شبکه به وجود می‌آید، بیش‌تر خواهد بود همچنین نسبت قطر مخزن به قطر لوله ورودی نیز تاثیرگذار است [1,2]. از دیگر وظایف این مخزن می‌توان به جلوگیری از انتقال سیالات از جریان پایین‌دست به جریان بالادست (جلوگیری از ورود هوا، ایجاد برگشت شعله و ایجاد پس‌فشار)، تحت فشار بودن جریان بالادست و جلوگیری از انفجار اشاره نمود. مواردی که در ساخت این نوع از تجهیزات استفاده می‌شود، مورد به مورد متفاوت خواهد بود و ارتباط مستقیم با طراحی این تجهیز دارد. این موارد شامل بافل‌ها، لوله‌ای مشبک و تغییر دهنده‌های جریان هستند. گزینش مناسب آنها در طراحی این مخازن مورد توجه قرار می‌گیرد. گزینش اشتباه موارد فوق و انتخاب نادرست پایه غوطه‌ور باعث پالسی شدن یا ناپیوستگی (شکل 1) فرآیند فلرینگ می‌شود. ایمنی زیست‌محیطی عملیات فلرینگ از اهمیت بسزایی در جهان برخوردار است که در این مقوله ارتفاع و محل شعله، ثبات شعله، ترکیبات گازها، روش‌های عملیاتی و تجهیزات مورد استفاده، تاثیرگذار می‌باشند [3].

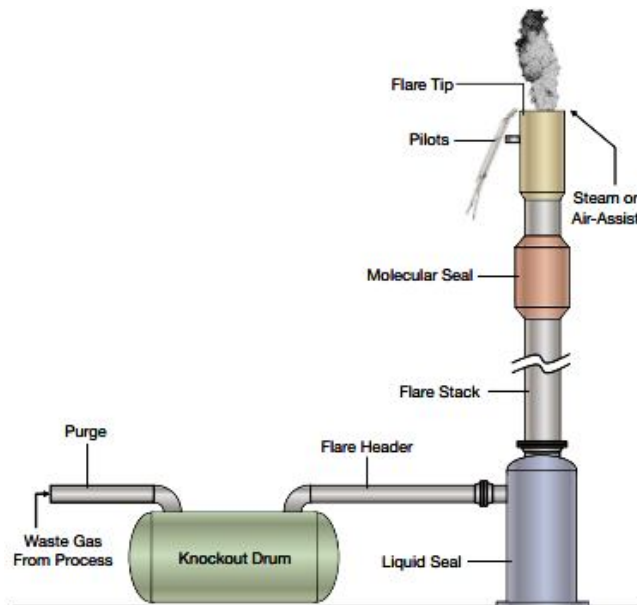


شکل 1. نوسانی بودن مشعل.

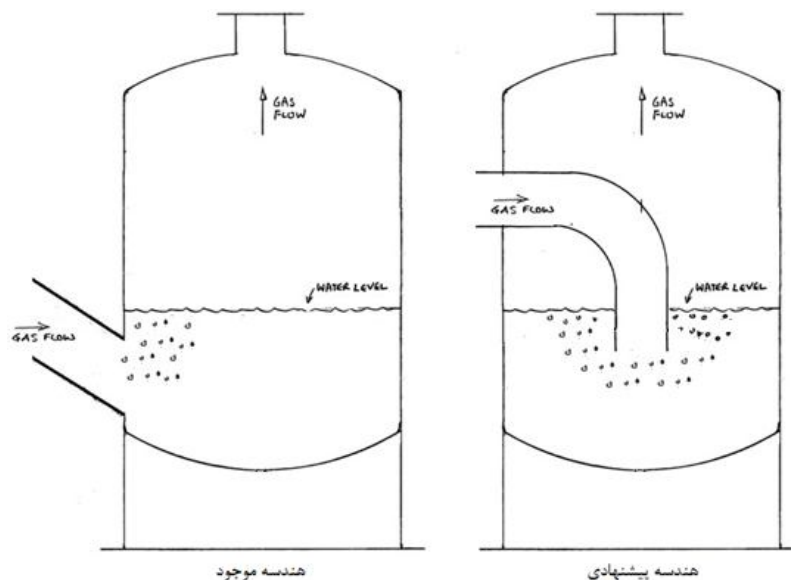
در شبکه‌های فلر با تکنولوژی پیشرفته به دلیل عیوب عملیاتی از مخزن آب‌بند مایع استفاده نمی‌شود و از تجهیز دیگری با نام Molecular Seal استفاده می‌شود. با توجه به اینکه این نوع تجهیز در شبکه‌های فلر واحدهای پالایشگاهی داخل کشور موجود است، این پژوهش به شبیه‌سازی هیدرودینامیک مربوط به مخزن پرداخته است. در شکل 2 تجهیزات شبکه فلر نشان داده شده است، که یک شبکه فلر می‌تواند دارای تمام تجهیزات نمایش داده شده نباشد. در شکل 3 مدل موجود و مدل پیشنهادی مخزن نمایش داده شده است.

در دهه‌های اخیر استفاده از دینامیک سیالات محاسباتی و نرم‌افزارهای مربوطه جهت مطالعه بر روی رفتار سیالات مورد توجه قرار گرفته است. سان و همکار یک مدل سه فازی جامد، مایع و گاز درون یک همزن را به وسیله مدل

حجم سیال در نرم‌افزار فلوئنت شبیه‌سازی کردند. نتایج حاصل از شبیه‌سازی و نتایج آزمایشگاهی بسیار نزدیک به هم بوده است [4]. تیان و همکاران با استفاده از مدل حجم سیال در نرم‌افزار فلوئنت یک گرداب بزرگ را شبیه‌سازی کردند و فروپاشی گرداب را مورد مطالعه و ارزیابی قرار دادند و داده‌های مربوطه در فروپاشی اولیه را استخراج نمودند [5]. انصاری و همکاران جریان دوفازی اسلاگ در کانال افقی با مقطع مستطیلی را به روش حجم سیال در نرم‌افزار فلوئنت شبیه‌سازی کردند. شبیه‌سازی انجام شده قادر به پیش‌بینی صحیح طول اسلاگ مطابق با آزمایش و مکان ایجاد آن با خطای 22% بوده است. همچنین در مقایسه با تحقیق دیگران، نتایج عددی نشان دهنده بهبود و دقت بالاتر در پیش‌بینی جریان است [6]. اقبال‌زاده و همکار جریان ورود هوا به مایع را با استفاده از مدل حجم سیال در نرم‌افزار فلوئنت شبیه‌سازی کردند. شبیه‌سازی جریان در مدل حجم سیال و آزمایشگاه بسیار نزدیک به هم بوده است [7]. نوئی و همکاران به شبیه‌سازی یک سر ریز با استفاده از مدل حجم سیال در نرم‌افزار فلوئنت پرداختند. نتایج حاصله، اختلاف کم‌تر از 6% با نتایج حاصل از مطالعات آزمایشگاهی را نشان داد [8]. مینگ و همکار جریان دوفازی گاز-مایع درون یک مخزن مستطیلی را با استفاده از مدل حجم سیال در نرم‌افزار فلوئنت شبیه‌سازی کردند و نتایج حاصله از اعتبار قابل قبولی نسبت به داده‌های تجربی برخوردار بود [9].



شکل 2. شماتیک سیستم فلرینگ [10].



شکل 3. هندسه‌های مخزن آب‌بند مایع.

## روش تحقیق

### مدل‌سازی

مدل‌سازی مخزن آب‌بند مایع به صورت سه بعدی و با لحاظ مدل جریان چند فاز با دیدگاه اولری-اولری و با حل معادلات پایستاری پیوستگی و مومنتوم برای دو فاز گاز و مایع صورت گرفته است.

### معادله کسر حجمی

ردیابی فصل مشترک (های) میان فازها با حل معادله‌ی پیوستگی برای کسر حجمی یک (یا بیش‌تر) از فازها انجام می‌گیرد. برای فاز  $q$  ام، این معادله به شکل زیر است:

$$\frac{1}{\rho_q} \left[ \frac{\partial}{\partial t} (\alpha_q \rho_q) + \nabla \cdot (\alpha_q \rho_q \vec{v}_q) \right] = S_{aq} + \sum_{p=1}^n (\dot{m}_{pq} - \dot{m}_{qp}) \quad (1)$$

که  $\dot{m}_{pq}$  انتقال جرم از فاز  $q$  به فاز  $p$  و  $\dot{m}_{qp}$  انتقال جرم از فاز  $p$  به فاز  $q$  است. به صورت پیش فرض ترم منبع  $S_{aq}$  در سمت راست معادله 1، برابر صفر است اما شما می‌توانید یک مقدار ثابت یا چشمه‌ی جرمی تعریف شده توسط کاربر را برای هر فاز تعریف کنید. با توجه به تعداد فازها معادله‌ی کسر حجمی برای یک فاز کم‌تر حل می‌گردد و کسر حجمی فاز باقی مانده مطابق با محدودیت زیر محاسبه می‌شود:

$$\sum_{q=1}^n \alpha_q = 1 \quad (2)$$

معادله کسر حجمی می‌تواند هم برای انفصال زمان ضمنی و هم صریح حل شود.

### معادله مومنتوم

معادله مومنتوم در سرتاسر دامنه، حل می‌شود و میدان سرعت حاصل به صورت مشترک در اختیار همه فازها قرار می‌گیرد. معادله‌ی مومنتوم نشان داده شده در زیر وابسته به کسرهای حجمی همه فازها، خواص سیال شامل چگالی و گران‌روی می‌باشد:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \vec{v}) + \nabla \cdot (\rho \vec{v} \vec{v}) = -\nabla P + \nabla \cdot [\mu(\nabla \vec{v} + \nabla \vec{v}^T)] + \rho \vec{g} + \vec{F} \quad (3)$$

یکی از محدودیت‌های تقریب میدان مشترک در حالتی است که اختلاف سرعت زیادی میان فازها وجود داشته باشد، در نتیجه دقت سرعت‌های محاسبه شده در نزدیک فصل مشترک می‌تواند تحت تأثیر قرار گیرد. توجه داشته باشید که اگر نسبت گران‌روی بزرگ‌تر از  $1 \times 10^3$  باشد ممکن است مشکلاتی در هم‌گرایی نیز به وجود آید. طرح CICSAM برای جریان‌های با نسبت بالای گران‌روی میان فازها مناسب است و حل مسئله با هم‌گرایی ضعیف انجام می‌شود.

### معادله انرژی

معادله انرژی نیز بین فاز به صورت زیر به اشتراک گذاشته می‌شود:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho E) + \nabla \cdot (\vec{v}(\rho E + p)) = \nabla \cdot (k_{eff} \nabla T) + S_h \quad (4)$$

در مدل حجم سیال انرژی  $E$  و دمای  $T$  به صورت متغیرهای متوسط جرمی گزارش می‌گردند:

$$E = \frac{\sum_{q=1}^n \alpha_q \rho_q E_q}{\sum_{q=1}^n \alpha_q \rho_q} \quad (5)$$

که  $E_q$  برای هر فاز بر اساس گرمای ویژه فاز و دمای مشترک به دست می‌آید.

خواص  $\rho$  و  $k_{eff}$  (ضریب هدایت حرارتی مؤثر) نیز برای مخلوط فازها در مدل استفاده می‌شود. ترم چشمه  $S_h$  شامل تشعشع و همچنین دیگر چشمه‌های حرارتی حجمی می‌باشد. باید توجه کرد که همانند میدان سرعت، دقت دما در نزدیک فصل مشترک در حالتی که اختلاف دمای زیادی بین فازها وجود دارد، کم است. این مسئله در حالتی که خواص از نظر مرتبه‌ی بزرگی متفاوت هستند به وجود می‌آید. مثلاً اگر مدلی حاوی فلز مذاب همراه با هوا باشد، ضریب‌های هدایتی مواد با اختلافی از مرتبه‌ی بزرگی 4 می‌باشند. این اختلاف زیاد در خواص منجر به یک دستگاه معادلات با ضرایب غیر ایزوتروپیک شده که در نتیجه می‌تواند منجر به هم‌گرایی با دقت پایین شود.

### خواص مواد

خواص ظاهر شده در معادلات انتقال با حضور اجزای فاز در هر حجم کنترل تعیین می‌شود. به‌عنوان مثال در سیستم دوفازی با زیرنویس 1 و 2 نمایش داده شوند و اگر کسر حجمی فاز دوم ردیابی شود. چگالی در هر سلول با رابطه‌ی زیر داده می‌شود:

$$\rho = \alpha_2 \rho_2 + (1 - \alpha_2) \rho_1 \quad (6)$$

به طور کلی برای سیستم  $n$  فازی، چگالی متوسط کسر حجمی به صورت زیر است:

$$\rho = \sum \alpha_q \rho_q \quad (7)$$

تمامی خواص دیگر (مثل گران‌روی) نیز به طریق مشابه محاسبه می‌شوند.

### تئوری مدل حجم سیال

فرمول‌های حجم سیال بر اساس این حقیقت که دو یا چند سیال (با فاز) غیرقابل نفوذ در یکدیگرند، طراحی شده است. اضافه شدن هر فاز به مدل به صورت متغیری از کسر حجمی فاز در سلول محاسباتی منظور می‌شود. در هر حجم کنترل، جمع کسرهای حجمی همه فازها برابر با یک می‌باشد. تا زمانی که کسر حجمی هر فاز در هر موقعیتی مشخص باشد، میدان همه متغیرها و خصوصیات بین فازها تقسیم می‌شود و به صورت میانگین حجمی بیان می‌شود.

در نتیجه متغیرها و خصوصیات در هر سلول داده شده، با توجه به مقادیر کسر حجمی می‌تواند نشان دهنده هر یکی از فازها یا مخلوطی از فازها باشد.

مدل حجم سیال می‌تواند دو یا بیش‌تر سیال غیرقابل امتزاج را با حل یک مجموعه معادلات مومنتوم و ردیابی کسر حجمی هر یک از سیالات در سراسر دامنه‌ی محاسباتی مدل کند. مواردی نظیر انحلال جت، جریان‌های سطح آزاد، حرکت حباب‌های بزرگ در یک مایع، جریان‌های لایه‌ای، حرکت مایع پس از پشت سر گذاشتن مانع، شبیه‌سازی شکستن سد و همچنین مسیریابی گذرا یا پایدار هرگونه محیط گاز-مایع از جمله کاربردهای مدل حجم سیال می‌باشد. که می‌توان در نرم‌افزار فلونت شبیه‌سازی نمود. امکان تحلیل جوشش و چگالش با استفاده از این مدل در نرم‌افزار فلونت وجود ندارد. از قوی‌ترین امتیازها و ویژگی‌های این مدل، مدل کردن جریان حبابی است به گونه‌ای که فاز ثانویه به وسیله تزریق گر وارد سیستم شود. در روش حجم سیال، شبیه‌سازی دو یا چند سیال غیرقابل نفوذ در یکدیگر با استفاده از حل معادلات مومنتوم و مسیریابی کسر حجمی هر یک از سیالات در دامنه محاسباتی، امکان‌پذیر است.

محدودیت‌های زیر برای مدل حجم سیال در نرم‌افزار اعمال می‌شود.

- باید از حل‌کننده بر پایه‌ی فشار<sup>2</sup> استفاده کرد. مدل حجم سیال برای حل‌کننده‌های بر پایه چگالی<sup>3</sup> در دسترس نمی‌باشد.
- تمامی المان‌های حجمی باید یک فاز سیال یا ترکیبی از فازها پر باشند. مدل حجم سیال اجازه وجود نواحی خالی را نمی‌دهد.
- فقط یکی از فازها می‌تواند به عنوان گاز ایده آل تراکم پذیر تعریف شود. در استفاده از توابع تعریف شده توسط کاربر برای مایعات تراکم ناپذیر محدودیتی وجود ندارد.
- جریان‌هایی را که شدت جریان جرمی هم زمان با افت فشار آن معلوم می‌باشد، نمی‌توان با مدل حجم سیال شبیه‌سازی کرد.
- فرمولاسیون گام زمانی ضمنی<sup>4</sup> مرتبه دوم را نمی‌توان با طرح صریح<sup>5</sup> حجم سیال استفاده کرد.
- وقتی ردیابی ذرات با استفاده از پردازش موازی انجام می‌شود، اگر گزینه‌ی حافظه‌ی مشترک فعال شده است، مدل DPM نمی‌تواند هم‌زمان با مدل حجم سیال استفاده شود.

فرمولاسیون مدل حجم سیال با تکیه بر این واقعیت است که دو یا چند فاز به عنوان محیط‌های پیوسته‌ی درهم نفوذ کننده در جریان وجود ندارد. برای هر فاز اضافی که شما می‌خواهید به مدل اضافه کنید، یک متغیر کسر حجمی فاز در سلول محاسباتی وارد می‌شود. در هر المان حجمی، مجموع کسرهای حجمی فازها برابر واحد است. میدان‌ها برای تمامی متغیرها و خواص توسط فازها به اشتراک گذاشته می‌شود و بیان‌گر مقادیر متوسط حجمی است به شرطی که کسر حجمی هر یک از فازها در هر مکان معلوم باشد. بنابراین متغیرها و خواص در هر سلولی یا بیان‌گر یکی از فازها

2- Pressure-based solver

3- Density-based solvers

4- Implicit time-stepping formulation

5- Explicit scheme

و یا بیان گر مخلوطی از فازها با توجه به مقادیر کسر حجمی می باشد. به عبارت دیگر، اگر کسر حجمی سیال  $q$ ام در سلول  $\alpha_q$  نشان داده شود، سه شرط زیر احتمال دارد:

- $\alpha_q = 0$  سلول از سیال  $q$ ام خالی است.
- $\alpha_q = 1$  سلول از سیال  $q$ ام پر است.
- $0 < \alpha_q < 1$  سلول حاوی فصل مشترک بین سیال  $q$ ام و سایر سیالات است.

بر اساس مقدار محلی  $\alpha_q$ ، خواص و متغیرهای مناسب برای هر المان حجمی داخل دامنه اختصاص می یابد [11].

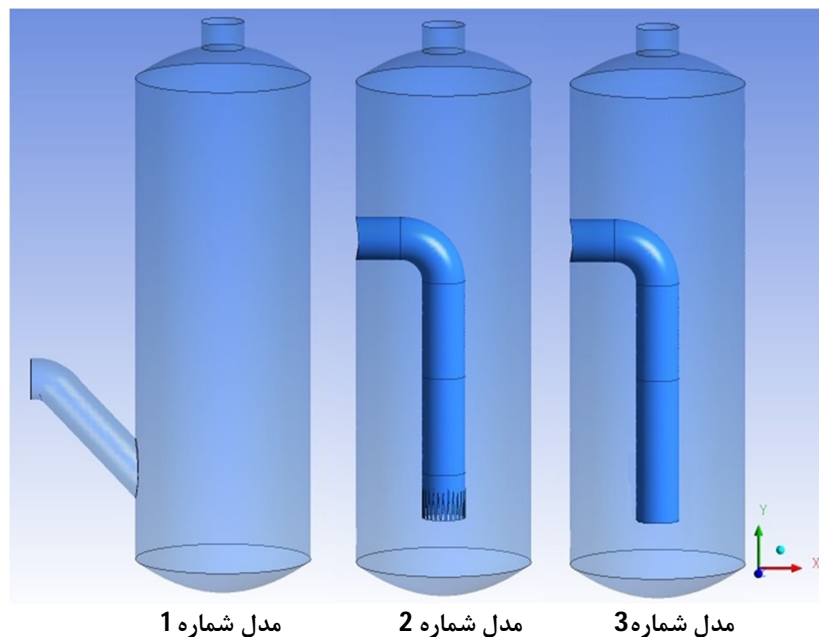
### شبیه سازی

#### کد شبیه سازی و الگوریتم حل عددی

در حل این مسئله از مجموعه نرم افزار انسیس نسخه 18 استفاده شده است که از الگوریتم SIMPLE برای حل معادلات گسسته شده، پیوستگی جرم و مومنتوم و همچنین از مدل دو فازي حجم سیال، ضمنی درجه یک جهت گسسته سازی زمانی، روش PRESTO جهت گسسته سازی و کوپلینگ معادله مومنتوم و فشار، روش درجه دو پیشرو جهت گسسته سازی مومنتوم، روش بازسازی هندسی جهت گسسته سازی کسر حجمی و فواصل زمانی به صورت متغیر در نظر گرفته شده است.

#### هندسه مخزن آب بند مایع

مدل سازی مخزن آب بند مایع به صورت سه بعدی در نظر گرفته شده است که ابعاد آن مربوط به نمونه موجود در پالایشگاه نفت است. مخزن آب بند مایع دارای یک ورودی جهت ورود و یک خروجی جهت خروج گاز فلر است که پس از عبور از آب درون مخزن صورت می گیرد. در این مدل سازی دو مخزن آب بند مایع با هندسه های متفاوت مدل سازی شده است.

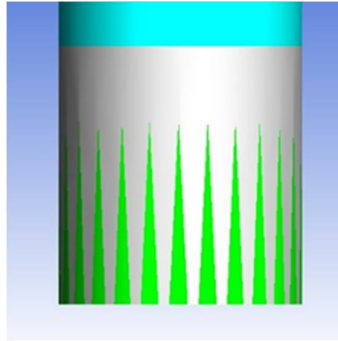


مدل شماره 1

مدل شماره 2

مدل شماره 3

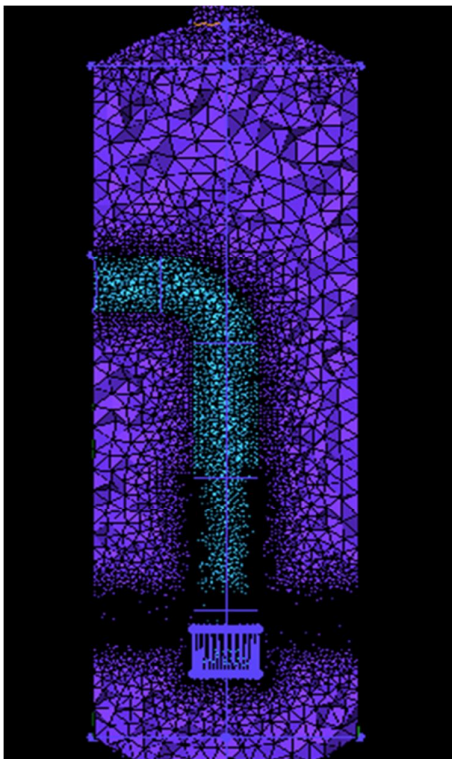
شکل 4. هندسه های مورد مطالعه.



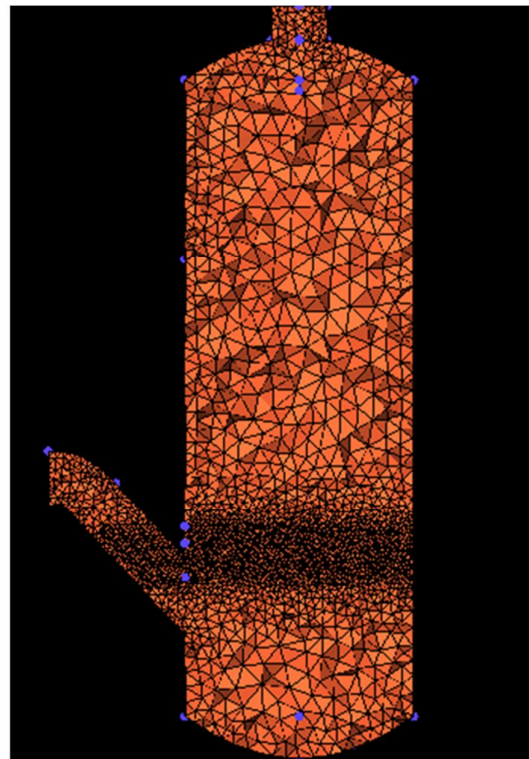
شکل 5. هندسه مربوط به ورودی گاز به سیال درون مخزن در مدل شماره 2.

#### شبکه‌بندی هندسه مسئله

برای شبکه‌بندی از نرم‌افزار ICEM از زیر مجموعه‌های نرم‌افزار انسیس 18 استفاده شده است. نکته‌ای که در شبکه‌بندی باید به آن دقت کرد آن است که اندازه شبکه‌ها باید بهینه باشد. در شکل‌های 6 و 7 نمای کلی از شبکه‌های تولید شده برای هر دو مخزن مدل‌سازی شده، نمایش داده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود در فصل مشترک گاز فلر و آب، همچنین در نواحی که حباب ایجاد می‌شود جهت دقت بالا در شبیه‌سازی جریان سیال، از شبکه‌های ریز استفاده شده و در سایر نواحی از شبکه‌هایی با اندازه‌های درشت‌تر استفاده شده است. در تولید شبکه‌ها از الگوی شبکه‌بندی مثلثی<sup>6</sup> استفاده شده است.



شکل 7. شبکه‌بندی مربوط به مدل شماره 2.



شکل 6. شبکه‌بندی مربوط به مدل شماره 1.



کیفیت شبکه‌های تولید شده در نرم‌افزار ICEM CFD مورد بررسی قرار گرفته است. با توجه به مقادیر استخراج شده از نرم‌افزار ICEM در مدل‌سازی مدل شماره 1 تعداد 355,833 شبکه تولید شده است که تعداد 355,796 شبکه با کیفیت بالا و تعداد 37 شبکه با کیفیت متوسط وجود دارد. این شبکه‌بندی فاقد شبکه‌هایی با کیفیت پایین می‌باشد. همچنین در مدل شماره 2 تعداد 1,550,112 شبکه تولید شده است که شامل، تعداد 1,529,274 شبکه با کیفیت بالا، تعداد 20,785 شبکه با کیفیت متوسط و تعداد 36 شبکه با کیفیت پایین می‌باشد.

### شرایط مرزی و عملیاتی

با توجه به آنکه این پژوهش به درخواست پالایشگاه آبادان انجام شده است، لذا اطلاعات مربوط به شرایط مرزی، آنالیز گاز فلر و دیگر اطلاعات مربوطه از واحد پژوهش پالایشگاه آبادان اخذ شده است. در این پژوهش دبی گاز ورودی برابر با 3190 و 7327 متر مکعب بر ساعت، دمای گاز فلر 35 درجه سانتی‌گراد و دمای آب درون مخزن 30 درجه سانتی‌گراد در نظر گرفته شده است. خواص ترموفیزیکی با توجه به آنالیز گاز فلر که در جدول 1 نمایش داده شده، با استفاده از نرم‌افزار هایسیس استخراج شده و در جدول 2 نمایش داده شده است.

شرایط مرزی در ورودی، خروجی و دیواره‌های مخزن به شرح ذیل است:

- در ورودی میدان از شرط دبی ورودی ثابت برای گاز فلر استفاده شده است. همچنین آب موجود درون مخزن فاقد ورودی و خروجی است و به صورت ساکن در مخزن موجود است.
- خروجی این مخزن به مسیر مشعل فلر متصل است. ولی به دلیل عدم دسترسی به مقدار فشار خروجی، فشار اتمسفر را به عنوان فشار مبنا در نظر گرفته شده است.
- شرط اعمال شده بر دیواره‌ها نیز شرط عدم لغزش است. از تابع دیواره استاندارد برای حل جریان در نواحی نزدیک دیواره استفاده می‌شود.

جدول 1. آنالیز گاز فلر.

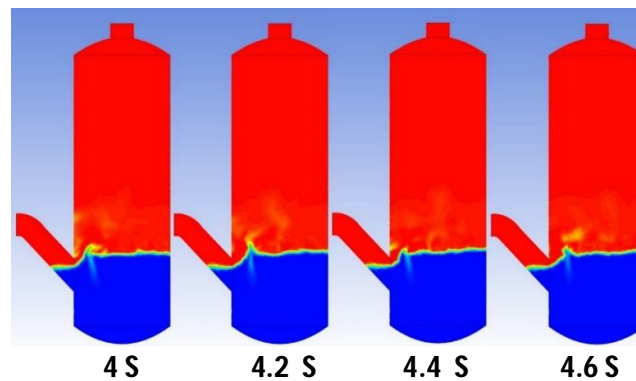
Compounds	Gas vol.%
H2S	10 ppm
H2	26.51
CO2	0.19
N2	3.39
C1	8.64
C2	9.13
C2"	0.21
C3	10.32
C3"	0.88
i-C4	5.96
n-C4	12.83
C4"	21.27
i-C5	0.40
n-C5	0.09
C6+heavier	0.22

جدول 2. خواص مربوط به گاز فلر.

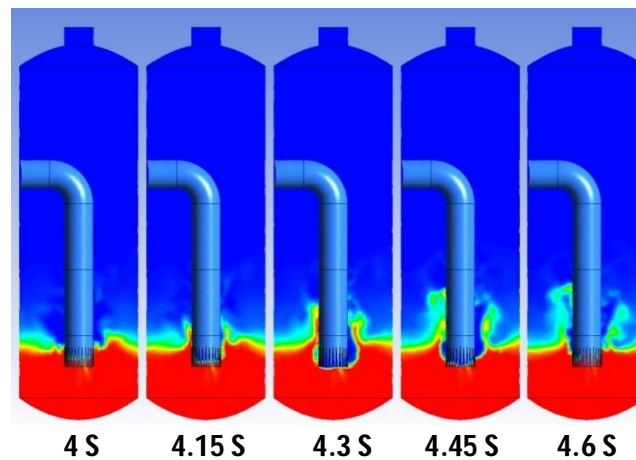
Properties	Gas Flare
Dynamic Viscosity $\mu$ (kg/m.s)	1.076e-05
Density (kg/m <sup>3</sup> )	Compressible Ideal Gas
Thermal conductivity k (W/m.k)	0.0376
Specific Heat Cp (j/kg.k)	1889
Molecular Weight (kg/kmol)	34.05
Reference Temperature (k)	298.15

نتایج، بحث و تحلیل

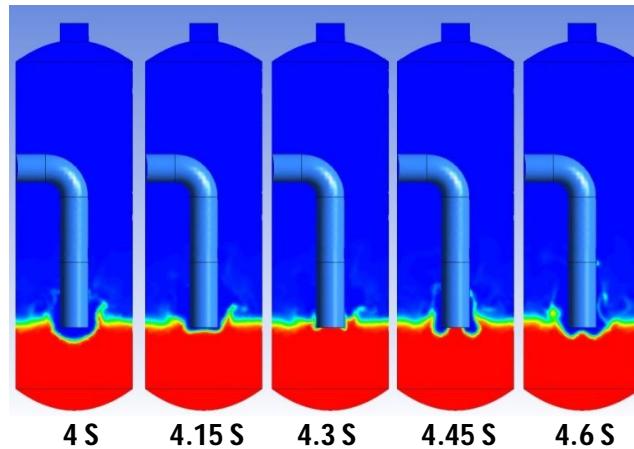
در این تحقیق فشار درون مخزن در سه هندسه و دو دبی متفاوت مورد بررسی قرار گرفته است. در شکل‌های 8، 9 و 10 کانتورهای جریان مربوط به سه مدل نمایش داده شده است.



شکل 8. کانتور جریان سیال در بازه زمانی 4 الی 4/6 ثانیه مربوط به مدل شماره 1.

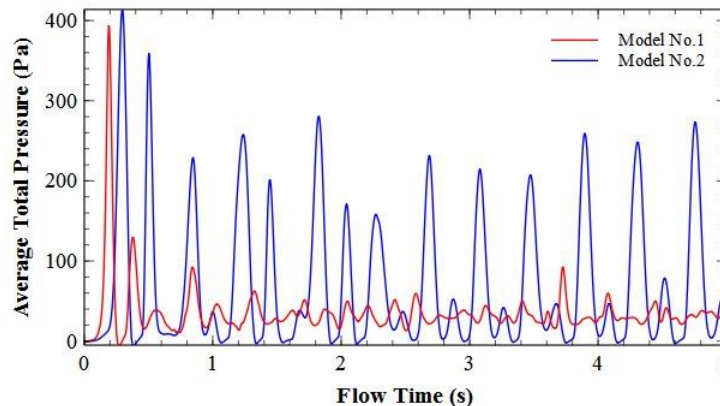


شکل 9. کانتور جریان سیال در بازه زمانی 4 الی 4,6 ثانیه مربوط به مدل شماره 2.

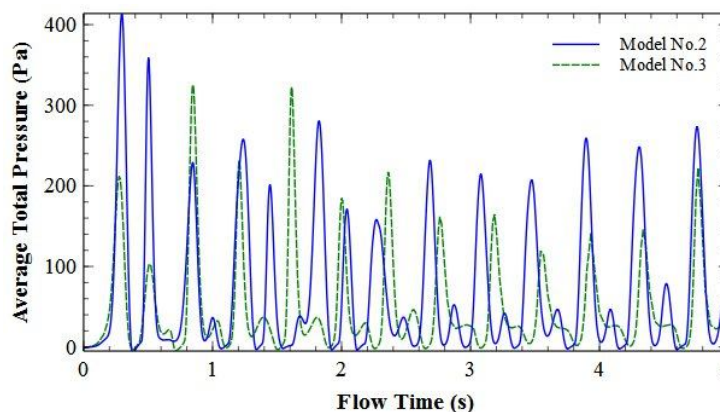


شکل 10. کانتور جریان سیال در بازه زمانی 4 الی 4,6 ثانیه مربوط به مدل شماره 3.

نتایج مربوط به دبی  $7327 \text{ m}^3/\text{hr}$  در ورودی مخزن



شکل 11. نمودار مقایسه‌ای میانگین فشار کل در خروجی مدل شماره 1 و 2.

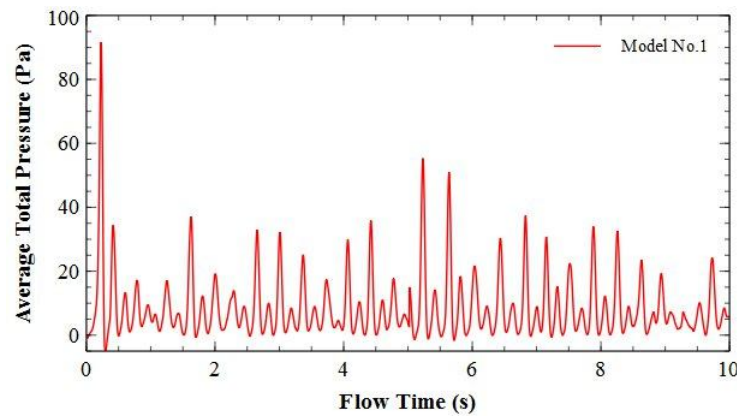


شکل 12. نمودار مقایسه‌ای میانگین فشار کل در مدل شماره 2 و 3.

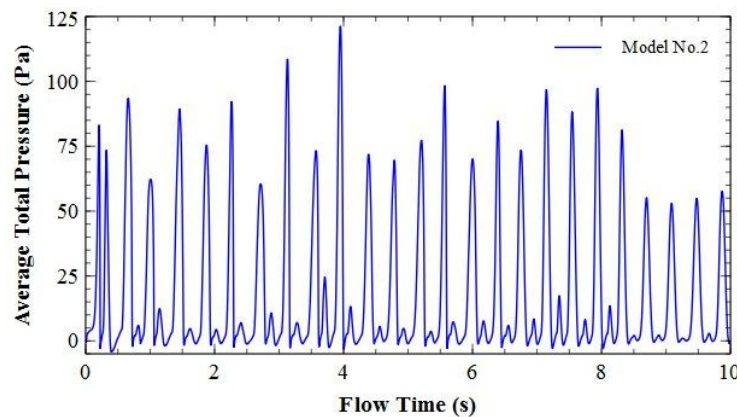
با بررسی نمودارهای مربوط به مقدار فشار کل در خروجی مخزن مشاهده می‌شود که مدل شماره 1 فشار پایین را در خروجی حاصل می‌شود و مدل‌های شماره 2 و 3 فشار بالاتری را در خروجی حاصل می‌شوند. فشار پایین در خروجی به دلیل احتمال برگشت شعله به سیستم نقص محسوب می‌شود لذا مدل شماره 1 مدل مناسبی نمی‌باشد، این فشار

در مدل‌های شماره 2 و 3 به ترتیب حدود 300 و 450 درصد افزایش پیدا کرده است از آنجایی که اندازه نوسانات فشار در مدل شماره 2 نسبت به مدل شماره 3 از نظم بیشتری برخوردار است و همچنین تعداد نوسانات در بازه زمانی یکسان در مدل شماره 2 از مدل شماره 3 نیز بیشتر است، لذا نتیجه می‌شود، در این دبی مورد مطالعه، مدل شماره 2 از اولویت بیشتری نسبت به دو مدل دیگر برخوردار است.

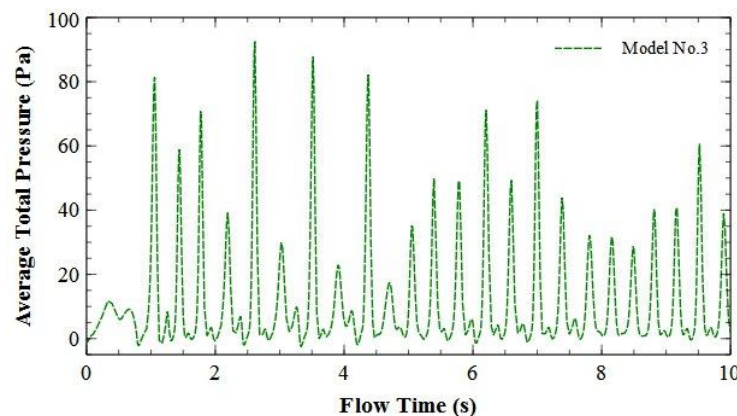
نتایج مربوط به دبی  $3190 \text{ m}^3/\text{hr}$  در ورودی مخزن



شکل 13. نمودار میانگین فشار کل در خروجی مدل شماره 1.



شکل 14. نمودار میانگین فشار کل در خروجی مدل شماره 2.



شکل 15. نمودار میانگین فشار کل در خروجی مدل شماره 3.

با مطالعه نمودارهای مربوط به میانگین فشار کل در خروجی مشاهده می‌شود مدل شماره 1 در خروجی دارای فشار میانگین 11 پاسکال که در مدل‌های شماره 2 و 3 به ترتیب 33 و 38 پاسکال است لذا همانند بررسی قبل مدل شماره 1 نسبت به دو مدل دیگر از اهمیت پایین‌تر برخوردار است و مدل‌های شماره 2 و 3 همچنان از اهمیت بالاتری برخوردار هستند. مدل شماره 2 نسبت به مدل شماره 3 از نظم بیش‌تری در اندازه نوسانات برخوردار است و مشاهده می‌شود پس از گذشت مدت زمان 8 ثانیه از نظم خاصی پیروی می‌کند.

### نتیجه گیری

در این پژوهش دو مخزن کاربردی در صنعت، مربوط به شبکه فلر با استفاده از مدل دوفازی حجم سیال و مدل اغتشاشی  $k-\epsilon$  RNG در نرم‌افزار فلوئنت به صورت سه بعدی شبیه‌سازی شده است.

این مسئله با انجام شبیه‌سازی سه مدل در دو دبی متفاوت در ورودی گاز فلر، حل شده است. نتایج حاصل از کانتورهای جریان و نمودارهای فشار نشان می‌دهد در دبی ورودی بالاتر، مدل شماره 1 و 3 با توجه به وظایف مخزن آب‌بند مایع به درستی عمل نمی‌کنند همچنین با توجه به اینکه در مدل شماره 1 ورودی گاز فلر به پوسته مخزن متصل است، به دلیل عدم تقارن، آشفتگی سیال از نظم خاصی برخوردار نمی‌باشد و این امر در نمودارهای مربوطه مشهود است. مدل شماره 2 و 3 با توجه به اینکه ورودی گاز به صورت متقارن وارد آب درون مخزن می‌شوند، لذا مشاهده می‌شود که داده‌های خروجی از نظم بیش‌تری نسبت به مدل 1 برخوردار است.

با توجه به کانتورهای جریان مشاهده می‌شود، در مدل‌هایی که هیچگونه حبابی تشکیل نمی‌شود یا به عبارت دیگر گاز فلر از درون آب درون مخزن عبور نمی‌کند، سیستم دچار نقص است. با بررسی نتایج مشاهده می‌شود مدلی که امکان کنترل بیش‌تر روی اندازه حباب‌های ناشی از گاز فلر را دارد از اهمیت بیش‌تری نسبت به دیگر مدل‌ها برخوردار است.

از جمله مواردی که بر روی مقدار عددی و نوسانات فشار خروجی می‌تواند تأثیرگذار باشد می‌توان به اندازه قطر لوله‌های ورودی و خروجی مخزن، سطح مایع درون مخزن و طراحی نازل درون مخزن اشاره نمود. از آنجایی که لوله‌های ورودی و خروجی مخزن به تجهیزات دیگری متصل می‌شوند لذا تغییر در اندازه آن‌ها امری منطقی به نظر نمی‌آید، ارتفاع سطح آب درون مخزن با توجه به دبی ورودی می‌تواند مورد شبیه‌سازی قرار گیرد و تأثیر آن بر روی نوسانات فشار در خروجی مورد مطالعه قرار گیرد. با توجه به هزینه بالای محاسبات و در دستور کار قرار نداشتن برای این پژوهش، این امر صورت نگرفته است. با توجه به نتایج به دست آمده مشاهده شد کنترل کردن حباب‌های ناشی از گاز فلر از نظر ابعادی به نظم بیش‌تر در نوسانات کمک می‌کند لذا می‌توان نازل‌های دیگری طراحی نمود که توانایی کنترل بیش‌تری از نظر ابعادی روی حباب‌های تشکیل شده داشته باشند.

### علائم انگلیسی

انرژی	E
نیرو	F
نیروی گرانش	g
ضریب هدایت حرارتی مؤثر	$k_{eff}$
فشار	P
ترم چشمه جرمی	$S_h$
ترم چشمه حرارتی	$S_{aq}$
زمان	t
دما	T
سرعت	v
کسر حجمی	$\alpha$
انتقال جرم از فاز q به فاز p	$\dot{m}_{pq}$
انتقال جرم از فاز p به فاز q	$\dot{m}_{qp}$
چگالی	$\rho$
گران‌روی	$\mu$

## منابع

- [1] Sazal Kumar Kundu, Process Safety and Environmental Protection, Vol. 88, Issue 2, March 2010, pp. 91-96
- [2] API Recommended Practice 521, Guide for pressure-Relieving and Depressuring Systems, Fourth Edition, March 1997
- [3] David Shore, Journal of Loss Prevention in the Process Industries, Vol. 9, Issue 6, November 1996, pp. 363-381
- [4] Xiaosong Sun, Mikio Sakai, Chemical Engineering Science, Vol. 134, 29 September 2015, pp. 531-548
- [5] Xiu-Shan Tian, Hui Zhao, Hai-Feng Liu, Wei-Feng Li, Jian-Liang Xu, Fuel Processing Technology, Vol. 131, March 2015, Pages 396-402, Vol. 17, March 2014, pp. 13-25
- [6] محمدرضا انصاری، ابراهیم سلیمی، بابک حبیب پور و پویان ادیبی، مجله مهندسی مکانیک مدرس، مهر 1393، دوره 14، شماره 7، ص ص 176-182
- [7] Afshin Eghbalzadeh, Mitra Javan, Procedia Engineering, Vol. 28, 2012, pp. 657-660
- [8] MU Zhenwei, Zhang Zhiyan, ZHAO Tao, Procedia Engineering, Vol. 28, 2012, pp. 808-812
- [9] Ping-jian MING, Wen-yang DUAN, Journal of Hydrodynamics, Ser. B, Vol. 22, Issue 6, December 2010, pp. 856-864
- [10] NAO Co. (www.nao.com)
- [11] هاشم‌آبادی، سید حسن. (1395). شبیه‌سازی CFD جریان‌های چند فازی با نرم‌افزار FLUENT. چاپ سوم. تهران: اندیشه سرا